과제
번호

LNG 플랜트 핵심 기반기술 개발 최종보고서

2021

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )발간등록번호()

플랜트기술 고도화 사업 제5차 연도 최종 보고서

R&D / 08LNG플랜트A02

(핵심 1) LNG 플랜트 핵심 기반기술 개발 최종보고서 (내용 합본)

2021. 3. 15.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "LNG플랜트사업단 - LNG플랜트 핵심기반기술 개발 - RAM 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술개발 - 인공지능 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술개발"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원
주관연구책임자 : 황 인 주
연 구 원 : 이 현 동
" : 김 태 형
" : 장 춘 만
" : 이 홍 철
" : 이 종 성
" : 정 문
" : 조 은 비
" :
" :
" :
" :
위탁연구기관명 : 성균관대학교 산학협력단
위탁연구책임자 : 최 재 붕

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>08가스플랜트B02</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.04.18
~
2015.12.17</td><td>단 계 구 분</td><td>3단계/3단계</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">플 랜 트 기 술 고 도 화 사 업</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연 구 과 제 명</td><td>최상위과제명</td><td colspan="4">LNG플랜트사업단</td></tr>
<tr><td>핵심과제명</td><td colspan="4">LNG플랜트 핵심기반기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">RAM 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>주관과제명</td><td colspan="4">인공지능 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>황 인 주</td><td>총 연구기간
참 여
연구원 수</td><td>총 : 228명
내부 : 명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
4,984백만원
기업 :
1,765백만원
계 :
6,749백만원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
환경플랜트연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">티움솔루션, 칸,
용마엔지니어링,
엠에스건설산업</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">LNG플랜트는 장기적인 시장 확대가 기대되는 분야로서 과제 착수 당시(2008년) 전무한 기술개발, 사업 역량을 확보하기 위한 과제임.
컴팩트, 모듈화 LNG플랜트 통합계통 개발을 위하여 주요 계통의 공정간 에너지와 물질흐름의 최적화 수행, 시스템 및 기자재의 건전성을 평가, 콤팩트/모듈화 설계 엔지니어링 기술 개발을 진행하였으며, 위탁연구를 통하여 LNG플랜트 통합 설계환경 구축, 가상 LNG 플랜트 원형 모델을 확립함.
이를 통하여 LNG플랜트 주요 설비 및 핵심계통에 대한 신뢰성 평가, 모듈화 설계 분야의 기반기술 확보 및 시장 경쟁력 증대가 가능할 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">신뢰성, 가용성, 램, 모듈화, 컴팩트</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Reliability, Availability, RAM, Modular, Compact</td></tr>
</table>

S U M M A R Y

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>08가스플랜트B02</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.04.18
~
2015.12.17</td><td>단 계 구 분</td><td>3단계/3단계</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">플 랜 트 기 술 고 도 화 사 업</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연 구 과 제 명</td><td>최상위과제명</td><td colspan="4">LNG플랜트사업단</td></tr>
<tr><td>핵심과제명</td><td colspan="4">LNG플랜트 핵심기반기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">RAM 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>주관과제명</td><td colspan="4">인공지능 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>황 인 주</td><td>총 연구기간
참 여
연구원 수</td><td>총 : 228명
내부 : 명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
4,984백만원
기업 :
1,765백만원
계 :
6,749백만원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
환경플랜트연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">티움솔루션, 칸,
용마엔지니어링,
엠에스건설산업</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">LNG plant is being expected to long-term expansion market area. For securing business and there was nonexistent technology development when projects were undertaken at the time (2008),
In order to develop of compact and modular LNG plant integrated systems ,optimized performance of processes between energy and matter flow in the main system, evaluated integrity assessment of system and conducted development of engineering of compact/modular design. Through commissioned research, LNG plant integrity environmental construction and virtual prototype LNG plant were conducted.
Therefore, major LNG plant facilities with reliability assessment of core system and securing of design based modular technology will increase with market competitiveness.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">신뢰성, 가용성, 램, 모듈화, 컴팩트</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Reliability, Availability, RAM, Modular, Compact</td></tr>
</table>

< 제 목 차 례 >

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1

1절 연구개발의 필요성 및 목표 ····· 3

1. 연구개발의 필요성 ····· 3

2. 연구개발의 목표 ····· 9

2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 12

1. 연구개발의 정의 ····· 12

2. 연구개발의 범위 및 특징 ····· 17

3절 관련분야의 국내외 기술 현황 ····· 18

1. 국내외 시장 현황 ····· 18

2. 국내외 기술개발 현황 ····· 24

3. 시사점 및 결론 ····· 29

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 31

1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 33

2절 연구내용 및 결과 ····· 36

1. RAM 평가 솔루션 개발 ····· 36

2. LNG플랜트 모듈화 기술 개발 ····· 63

3. 가상 플랜트 원형 표준화 및 활용방안 ····· 105

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 141

1절 RAM 평가 솔루션 개발 ····· 143

1. 연구성과 설명 ····· 143

2. 핵심 요소기술 ····· 143

3. 주요 연구성과 ····· 144

4. 기술실시 및 적용사례 ····· 147

2절 LNG플랜트 모듈화 기술 ····· 148

1. 연구성과 설명 ····· 148

2. 핵심 요소기술 ····· 148
3. 주요 연구성과 ····· 148
4. 기술실시 및 적용사례 ····· 149

제4장 연구 목표 달성 및 효과 ····· 151

1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 153
1. 주요 연구내용 정성적 목표 달성도 ····· 153
2. 세부 연구내용 정성적 목표 달성도 ····· 154
3. 정량적 연구성과 달성도 ····· 156
2절 연구개발 성과의 효과 ····· 162
1. 기대교화 및 파급효과 ····· 162
2. 타 산업에 미치는 효과 ····· 163

제5장 연구성과 활용 및 추가연구 필요성 ····· 165

1. 연구개발 성과 활용방안 ····· 167

참고문헌

부 록

< C O N T E N T S >

Chapter 1. Overview of R&D project ····· 1

Section 1. Need and objective of R&D ····· 3

1. Need of R&D ····· 3

2. Objective of R&D ····· 9

Section 2. Definition, Scope and charateristics of R&D ····· 12

1. Definition of R&D ····· 12

2. Scope and charateristics of R&D ····· 17

Section 3. Domestic and international technology status ····· 18

1. Domestic and internatioanl market status ····· 18

2. Domestic and internatioanl R&D status ····· 24

3. Conclusion ····· 29

Chapter 2. Details and results of R&D ····· 31

Section 1. Strategies and methodologies ····· 33

Section 2. Details and results ····· 36

1. RAM assessment solution ····· 36

2. LNG plant modular technology ····· 63

3. Virtual prototype plant standardizaion and utilization ····· 102

Chapter 3. Final results of research and application ····· 131

Section 1. RAM assessment solution ····· 133

1. Performance description ····· 133

2. Core technology ····· 133

3. Main research results ····· 134

4. Application examples ····· 137

Section 2. LNG plant modular technology ····· 138

1. Performance description ····· 138

2. Core technology ····· 138

3. Main research results ····· 138
4. Application examples ····· 139

Chapter 4. Achievements of R&D objectives and effects ····· 141

Section 1. Achievements of final objectives ····· 143
1. Achievements of qualitative objectives in main research ····· 143
2. Achievements of qualitative objectives in detail research ····· 144
3. Achievements of quantitative research performance ····· 146
Section 2. Effects of R&D results ····· 152
1. Expected results and impact ····· 152
2. Effect of other industries ····· 153

Chapter 5. Utilization of R&D results and needs of future work ··· 155

1. Utilization of R&D performance ····· 157

References

Appendix

< 표 차 례 >

표 1.1.2.1 As-Is → To-Be ····· 9

표 1.3.2.1 세부기술별 국내 주요업체 기술보유 현황 ····· 25
표 1.3.2.2 국내 기술수준 ····· 25

표 2.1.1.1 웹 기반 RAM 평가 기능 정의 ····· 49
표 2.1.1.2 웹 기반 RAM 평가 솔루션 기능 분류 ····· 50

표 2.2.2.1 모듈화 타당성 평가도구 - 레벨1 ····· 66
표 2.2.2.2 모듈화 건설 의사결정 종합평가표 ····· 67
표 2.2.2.3 모듈화 건설 일정 세부평가표 ····· 67
표 2.2.2.4 모듈화 건설 원가 기준 세부평가표 ····· 68
표 2.2.2.5 모듈화 건설 노동환경 세부평가표 ····· 69
표 2.2.2.6 모듈화 건설 안전 기준 세부평가표 ····· 69
표 2.2.2.7 모듈화 건설 현장환경 세부평가표 ····· 70
표 2.2.2.8 모듈화 건설 계약관계 세부평가표 ····· 71
표 2.2.2.9 모듈 운송성 세부평가표 ····· 71
표 2.2.2.10 모듈 제작 협력사 역량 세부평가표 ····· 72
표 2.2.2.11 플랜트 모듈화 건설 의사결정 평가기준간 쌍대비교 및 우선순위 평가 ····· 74
표 2.2.2.12 플랜트 모듈화 건설 의사결정 일관성 평가 ····· 74
표 2.2.2.13 에너지 타켓 ····· 81
표 2.2.2.14 트레인 용량, 트레인 수량 결정요인 ····· 86
표 2.2.2.15 모듈화 블록 설계, 건설을 위한 기술성 평가 항목 ····· 90
표 2.2.2.16 Overall Site Plan ····· 92
표 2.2.2.17 Block of equipment ····· 93
표 2.2.2.18 Unit Compatibility ····· 94
표 2.2.2.19 Inter-unit spacing recommendations on ARI standard. ····· 95
표 2.2.2.20 Intra-unit spacing recommendations on ARI standard. ····· 96

표 2.2.2.21 Storage tank spacing recommendations on ARI standard. ····· 97
표 2.2.2.22 모듈러 설계 성능 비교 ····· 100

표 2.2.3.1 Capacity of accumulator ····· 117
표 2.2.3.2 Capacity of air receiver and pressure vessel ····· 119
표 2.2.3.3 Requirement for specification of main component by increasing flow rate ····· 131

< T A B L E >

Table 1.1.2.1 As-Is → To-Be ····· 9

Table 1.3.2.1 Detailed technology statys of main domestic companies ····· 25
Table 1.3.2.2 Domestic technology level ····· 25

Table 2.1.1.1 Definition of web-based RAM assessment ····· 49
Table 2.1.1.2 Functional classification of web-based RAM assessment solution ····· 50

Table 2.2.2.1 Modular feasibility assessment tools - Level 1 ····· 66
Table 2.2.2.2 Comprehensive evaluation table of modular construction decisions ····· 67
Table 2.2.2.3 Detailed evaluation table of modular construction schedule ····· 67
Table 2.2.2.4 Detailed evaluation table of prime cost based on modular construction ····· 68
Table 2.2.2.5 Detailed evaluation table of labor condition on modular constuction ····· 69
Table 2.2.2.6 Detailed evaluation table of safety standards on modular construction ····· 69
Table 2.2.2.7 Detailed evaluation table of site environment on modular construction ····· 70
Table 2.2.2.8 Detailed evaluation table of contract relation on modular construction ····· 71
Table 2.2.2.9 Detailed evaluation table of modular transportation ····· 71
Table 2.2.2.10 Detailed evaluation table of partner ships' module manufacturing capability ·· 72
Table 2.2.2.11 Modular plant construction decision criteria comparison with duality and priorities assessment ····· 74
Table 2.2.2.12 Consistent evaluation of modular plant construction decisions ····· 74
Table 2.2.2.13 Energy target ····· 81
Table 2.2.2.14 Decision factors of train capacity and quantity ····· 86
Table 2.2.2.15 Technology assessment criteria for modular block design and construction 90
Table 2.2.2.16 Overall Site Plan ····· 92
Table 2.2.2.17 Block of equipment ····· 93
Table 2.2.2.18 Unit Compatibility ····· 94
Table 2.2.2.19 Inter-unit spacing recommendations on ARI standard. ····· 95

Table 2.2.2.20 Intra-unit spacing recommendations on ARI standard. ····· 96
Table 2.2.2.21 Storage tank spacing recommendations on ARI standard. ····· 97
Table 2.2.2.22 Comparison of modular design performance ····· 100

Table 2.2.3.1 Capacity of accumulator ····· 117
Table 2.2.3.2 Capacity of air receiver and pressure vessel ····· 119
Table 2.2.3.3 Requirement for specification of main component by increasing flow rate 131

< 그 림 차 례 >

그림 1.2.1.1 LNG 플랜트 사업단 구성 체계 ····· 12
그림 1.2.1.2 'LNG플랜트 핵심기반기술 개발' 과제의 구성 및 비전 ····· 13
그림 1.2.1.3 본 과제(1-1-1과제)의 개요도 ····· 14
그림 1.2.1.4 LNG플랜트 사업 및 주요 공정 ····· 15
그림 1.2.1.5 모듈화 추세 및 가상설계 사례 ····· 16

그림 1.2.2.1 연구 개발 과제의 특징 ····· 17
그림 1.3.1.1 국내 업체의 연도별 플랜트 수주 실적(출처: 지식경제부, 보도자료) ····· 18
그림 1.3.1.2 2007년 주요 산업 실적 비교 ····· 18
그림 1.3.1.3 국내 LNG 천연가스 수급계획 (산업통산자원부) ····· 19
그림 1.3.1.4 세계 가스생산 전망 (2014-2021) (출처: Business Monitor International) ····· 20
그림 1.3.1.5 Gas Penetration Scenarios(2010-2030) ····· 21
그림 1.3.1.6 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021) ····· 21
그림 1.3.1.7 세계 가스거래 현황 (출처: British Petroleum) ····· 22
그림 1.3.1.8 주요 국가별 LNG수급 전망 (2012-2030) (출처: PFC Energy 2013) ····· 23

그림 1.3.2.1 플랜트 산업 기술 분야 국내 환경 분석 ····· 24
그림 1.3.2.2 초저온 냉동사이클 변천 ····· 26
그림 1.3.2.3 컴팩트, 모듈화를 위한 expander 방식의 성능 비교 ····· 26
그림 1.3.2.4 플랜트 건전성 평가 및 유지관리기술 ····· 27
그림 1.3.2.5 Offshore Technology 사는 Offshore 설비의 Virtual pipeline simulator ····· 28

그림 1.3.3.1 국내외 기술개발 현황 비교를 통한 SWOT 분석 결과 ····· 29

그림 2.1.0.1 LNG 플랜트 사업단에서 1-1-1 과제 역할 ····· 33
그림 2.1.0.2 핵심 1과제 TRM ····· 34
그림 2.1.0.3 주요 연구 수행 내용 ····· 35
그림 2.1.0.4 단계, 연차별 연구수행 프로세스 ····· 35

그림 2.2.1.1 RAM 평가 및 개선 전 단계 프로세스의 개요 ····· 37
그림 2.2.1.2 LNG플랜트 테스트베드 구성 개요 ····· 38
그림 2.2.1.3 K-RAMS solution의 적용 장치 수에 따른 성능 비교 ····· 39
그림 2.2.1.4 K-RAMS solution의 적용 장치 수에 따른 성능 비교 ····· 39
그림 2.2.1.5 K-RAMS solution의 적용 장치 수에 따른 성능 비교 ····· 40
그림 2.2.1.6 K-RAMS solution의 반복계산량에 따른 민감도 분석 ····· 40
그림 2.2.1.7 K-RAMS solution의 반복계산량에 따른 민감도 분석 ····· 41
그림 2.2.1.8 K-RAMS solution의 반복계산량에 따른 민감도 분석 ····· 41
그림 2.2.1.9 K-RAMS solution의 평가 주기에 따른 민감도 분석 ····· 42
그림 2.2.1.10 몬테카를로 시뮬레이션 결과 분포 ····· 42
그림 2.2.1.11 M-C 시뮬레이션 기반 RAM 평가 로직(단일 오작동 모드) ····· 43
그림 2.2.1.12 M-C 시뮬레이션 기반 독립형 RAM 평가 솔루션 구현 사례 ····· 44
그림 2.2.1.13 RAMPLO 솔루션의 구성 개요 ····· 45
그림 2.2.1.14 웹 페이지의 서버-클라이언트 상호 통신 개요 ····· 46
그림 2.2.1.15 RAMPLO 솔루션의 다단 프로세스 모델링 구조 ····· 47
그림 2.2.1.16 RAMPLO 솔루션의 Flex 기반 프로세스 모델링 아키텍쳐 ····· 48
그림 2.2.1.17 RAMPLO 솔루션의 평가결과 제공 모듈 ····· 48
그림 2.2.1.18 RAMPLO 솔루션 프로젝트 관리 기능 구현 사례 ····· 51
그림 2.2.1.19 RAMPLO 솔루션 기초 데이터베이스 관리기능 구현 사례 ····· 51
그림 2.2.1.20 RAMPLO 솔루션 프로세스 모델링 기능 구현 사례 ····· 52
그림 2.2.1.21 RAMPLO 솔루션 평가 결과 출력 기능 구현 사례 ····· 52
그림 2.2.1.22 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 설치 도면 ····· 54
그림 2.2.1.23 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 P&ID ····· 55
그림 2.2.1.24 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 equipment list ····· 56
그림 2.2.1.25 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 instrument list ····· 57
그림 2.2.1.26 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 ····· 58
그림 2.2.1.27 LPMS-RAMS 기초 데이터베이스 ····· 58
그림 2.2.1.28 기술이전 성과(Flex 기반 웹기반 프로세스 모델링 솔루션) ····· 61
그림 2.2.1.29 Interational Safeti & RAM performance Forecasting seminar 전경 ····· 61
그림 2.2.1.30 플랜트・조선 컨퍼런스 2013 전경 ····· 62

그림 2.2.1.31 플랜트・조선 컨퍼런스 2014 전경 ····· 62

그림 2.2.2.1 플랜트 모듈화 설계/건설 프로세스 흐름도 ····· 64
그림 2.2.2.2 콤팩트-모듈화 의사결정 프로세스 개요 ····· 65
그림 2.2.2.3 플랜트 모듈화 건설 의사결정 AHP 계층 평가 순서 ····· 73
그림 2.2.2.4 모듈화 건설 의사결정 AHP 계층모형 ····· 73
그림 2.2.2.5 모듈화 건설 의사결정 AHP hierarchical rating 개요 ····· 73
그림 2.2.2.6 인공지능 신경망 기법 기반 의사결정 지표 일반화 개요 ····· 75
그림 2.2.2.7 액화천연가스 플랜트의 개요도 ····· 76
그림 2.2.2.8 액화천연가스 플랜트의 열 교환 네트워크 개요도 ····· 76
그림 2.2.2.9 액화공정과 수분제거공정의 공정 흐름도 ····· 78
그림 2.2.2.10 액화공정 및 수분제거공정의 합성선도 ····· 79
그림 2.2.2.11 액화공정 및 수분제거공정의 그랜드 합성선도 ····· 79
그림 2.2.2.12 액화공정 및 수분제거공정의 밸런스 합성선도 ····· 80
그림 2.2.2.13 액화공정 및 수분제거공정의 유틸리티 합성선도 ····· 80
그림 2.2.2.14 액화공정 및 수분제거공정의 열 교환기망 ····· 81
그림 2.2.2.15 LNG플랜트 테스트베드 구성 개요 ····· 82
그림 2.2.2.16 주요장비 유닛별 RAM 성능 손실률 ····· 83
그림 2.2.2.17 주요장비 그룹별 RAM 성능 손실률 ····· 83
그림 2.2.2.18 TB train-1 생애주기 가동률 ····· 84
그림 2.2.2.19 플랜트 모듈화 프로세스 ····· 85
그림 2.2.2.20 모듈화 블록 설계를 위한 현지 입지여건 평가 사례 ····· 88
그림 2.2.2.21 모듈화 블록 설계를 위한 접근성 평가 사례 ····· 88
그림 2.2.2.22 모듈화 블록 접근성 평가를 위한 경로 DB 구축 사례 ····· 89
그림 2.2.2.23 모듈화 블록 정의를 위한 사이트 작업 밀도 평가사례 ····· 89
그림 2.2.2.24 LNG플랜트 TB 1 프로세스 모듈화 ····· 99
그림 2.2.2.25 LNG플랜트 TB train-1 모듈화 설계 비교 ····· 100
그림 2.2.2.26 Commercial LNG plant model from GS Engineering and Construction ····· 101
그림 2.2.2.27 Prototype of 5MTPA LNG plant with Module Guide (ISO) ····· 101
그림 2.2.2.28 Prototype of 5MTPA LNG plant with Module Guide ····· 102
그림 2.2.2.29 Commercial LNG plant 3D model with Module Guide ····· 102

그림 2.2.2.30 모듈화-콤팩트 설계 가이드라인 ····· 104

그림 2.2.3.1 System of LPMS ····· 106
그림 2.2.3.2 Navigator module in XVL ····· 107
그림 2.2.3.3 Function of button in LPDMS ····· 108
그림 2.2.3.4 Design of LPDMS in LPMS-RAMS ····· 108
그림 2.2.3.5 Design of LPOMS in LPMS-RAMS ····· 109
그림 2.2.3.6 Function of button in LPOMS ····· 109
그림 2.2.3.7 LPDMS, LPOMS and SMART RBI ····· 110
그림 2.2.3.8 Structure of EDB ····· 110
그림 2.2.3.9 Equipment data for C-1202 ····· 111
그림 2.2.3.10 Material Data Base ····· 112
그림 2.2.3.11 Material data for Aluminum 1100 ····· 112
그림 2.2.3.12 Specification of pressure vessel in FIBA, USA ····· 114
그림 2.2.3.13 Specification of accumulator in Olaer, Germany ····· 115
그림 2.2.3.14 Specification of air receiver in Abbott, UK ····· 116
그림 2.2.3.15 Specification of pump in Cryostar ····· 117
그림 2.2.3.16 Part of pressure vessel ····· 121
그림 2.2.3.17 Major parameters of cylinder in pressure vessel ····· 121
그림 2.2.3.18 Major parameters of elliptical head in pressure vessel ····· 122
그림 2.2.3.19 Major parameters and equation of ellipse ····· 122
그림 2.2.3.20 Main window of pressure vessel scale up/down module ····· 124
그림 2.2.3.21 Part of algorithm for height and appropriate thickness calculation ····· 125
그림 2.2.3.22 Relationship between length of cylinder and height of pipe ····· 125
그림 2.2.3.23 Overlap avoidance algorithm between pipes ····· 126
그림 2.2.3.24 Main window of scale up/down module for pressure vessel ····· 127
그림 2.2.3.25 Window of support design tab in scale up/down module for pressure vessel ·· 127
그림 2.2.3.26 Window of support design tab for specific dimension ····· 128
그림 2.2.3.27 Window of pipe design tab in scale up/down module for pressure vessel ·· 128
그림 2.2.3.28 Window of pipe no. 1 design tab in scale up/down module for pressure vessel ··· 129
그림 2.2.3.29 Main window and 3D model of scrub column reflux drum (V-1101) ····· 130

그림 2.2.3.30 Concept of scale up from Test-bed Train No.1 to high-capacity plant ····· 132
그림 2.2.3.31 Prototype of 5MTPA LNG plant ····· 132
그림 2.2.3.32 Relation among LPDMS, Inventor, i-Logic, NASTRAN-IN CAD ····· 133
그림 2.2.3.33 Autodesk Nastran module in Inventor ····· 133
그림 2.2.3.34 Simulation procedure using Scale up/down module and NASTRAN-IN CAD ·· 134
그림 2.2.3.35 Simulation result using NASTRAN-IN CAD ····· 135
그림 2.2.3.36 Coloring system of LNG-RBI program ····· 136
그림 2.2.3.37 Material Properties Management Database (MDB) ····· 137

그림 3.1.2.1 OREDA data handbook 신뢰도 데이터 오차 사례 ····· 144
그림 3.1.3.1 최적 시스템 도울을 위한 시스템 구성 시나리오 설정 기능 ····· 145
그림 3.1.3.2 사용자 정의 함수에 의한 최적시스템 도출 기능 ····· 145
그림 3.1.3.3 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 ····· 146
그림 3.1.3.4 LPMS-RAMS 기초 데이터베이스 ····· 146

그림 3.1.4.1 개발기술 기술 이전 및 국제공동활용 성과 ····· 147

그림 3.2.3.1 플랜트 모듈화 특성 평가 솔루션 예시 ····· 149

그림 3.2.4.1 플랜트 모듈화 특성 평가 산학연 기술교류 성과 ····· 150

< F i g u r e >

Figure 1.1.1.1 Global natural gas demand and prospect ····· 5
Figure 1.1.1.2 Prospect of global natural gas market investment in facilities ····· 6
Figure 1.1.1.3 Environmental regulations of majar developed countries ····· 7

Figure 1.2.1.1 LNG plant research group configuration ····· 12
Figure 1.2.1.2 Configuration and vision of 'LNG plant core technology development' project · 13
Figure 1.2.1.3 Overview of the task(1-1-1task) ····· 14
Figure 1.2.1.4 LNG plant projects and key process ····· 15
Figure 1.2.1.5 Trends and virtual modular design examples ····· 16

Figure 1.2.2.1 Features of the R&D project ····· 17

Figure 1.3.1.1 plant orders of domestic companies by year ····· 18
Figure 1.3.1.2 Comparison of major industries performance in 2007 ····· 18
Figure 1.3.1.3 Domestic LNG supply plan ····· 19
Figure 1.3.1.4 Global gas production prospect(2014-2021) ····· 20
Figure 1.3.1.5 Gas Penetration Scenarios(2010-2030) ····· 21
Figure 1.3.1.6 Prospect of gas demand and supply by major countries(2014-2021) ····· 21
Figure 1.3.1.7 Status of global gas trading ····· 22
Figure 1.3.1.8 Prospect of LNG demand by major countries(2012-2030) ····· 23

Figure 1.3.2.1 Domestic environmental analysis of industrial plant technology ····· 24
Figure 1.3.2.2 Transition of cryogenic refrigeration cycle ····· 26
Figure 1.3.2.3 Comparing of expander performance for compact and modularity ····· 26
Figure 1.3.2.4 Plant integrity evaluation and maintenace technology ····· 27

Figure 1.3.2.5 Virtual pipeline simulator of offshore facility by offshore technology ····· 28

Figure 1.3.3.1 SWOT analysis of comparing domestic and international technology developments ····· 29

Figure 2.1.0.1 Roles of 1-1-1 task in LNG plant research group ····· 33
Figure 2.1.0.2 Core 1 task TRM ····· 34
Figure 2.1.0.3 Main research contents ····· 35
Figure 2.1.0.4 Research processes by step and year ····· 35

Figure 2.2.1.1 Overview of all phases of proceeses the RAM evaluation and improvement ·· 37
Figure 2.2.1.2 Overview of LNG plant test bed configuration ····· 38
Figure 2.2.1.3 Performance comparison of applied devices quantity of K-RAMS solution · 39
Figure 2.2.1.4 Performance comparison of applied devices quantity of K-RAMS solution · 39
Figure 2.2.1.5 Performance comparison of applied devices quantity of K-RAMS solution · 40
Figure 2.2.1.6 Sensitivity analysis on repeated computation of K-RAMS solution ····· 40
Figure 2.2.1.7 Sensitivity analysis on repeated computation of K-RAMS solution ····· 41
Figure 2.2.1.8 Sensitivity analysis on repeated computation of K-RAMS solution ····· 41
Figure 2.2.1.9 Sensitivity analysis on evaluation period of K-RAMS solution ····· 42
Figure 2.2.1.10 Distribution results of Monte Carlo simulation ····· 42
Figure 2.2.1.11 M-C simulation based on RAM assessment logic ····· 43
Figure 2.2.1.12 Examples of M-C simulation based on independent RAM assessment solution ··· 44
Figure 2.2.1.13 Overview of RAMPLO solution configuration ····· 45
Figure 2.2.1.14 Overview of sever-client interactive communication in web pages ····· 46
Figure 2.2.1.15 Multi stage processes modeling configuration of RAMPLO soltuion ····· 47
Figure 2.2.1.16 Processes modeling architecture based on Flex of RAMPLO solution ····· 48
Figure 2.2.1.17 Module provided assessment result of RAMPLO solution ····· 48
Figure 2.2.1.18 Performance example of project management of RAMPLO solution ····· 51
Figure 2.2.1.19 Performance example of basic database management of RAMPLO solution51
Figure 2.2.1.20 Performance example of process modeling of RAMPLO solution ····· 52
Figure 2.2.1.21 Performance example of printng result function of RAMPLO solution ····· 52
Figure 2.2.1.22 Installation drawing of cryogenic valves durability evaluation test apparatus ·· 54
Figure 2.2.1.23 P&ID of cryogenic valves durability evaluation test apparatus ····· 55

Figure 2.2.1.24 Equipment list of cryogenic valves durability evaluation test apparatus ····· 56
Figure 2.2.1.25 Instrument list of cryogenic valves durability evaluation test apparatus ···· 57
Figure 2.2.1.26 cryogenic valves durability evaluation test apparatus ····· 58
Figure 2.2.1.27 LPMS-RAMS basic database ····· 58
Figure 2.2.1.28 Technology transfer(Web-based process modeling solution with Flex-based) · 61
Figure 2.2.1.29 Interational Safeti & RAM performance Forecasting seminar ····· 61
Figure 2.2.1.30 Plant · Shipbuilding conference 2013 ····· 62
Figure 2.2.1.31 Plant · Shipbuilding conference 2014 ····· 62

Figure 2.2.2.1 Process flow of plant modular design/construction ····· 64
Figure 2.2.2.2 Overviewe of compact-modular decision process ····· 65
Figure 2.2.2.3 AHP hierarchical evaluation order of plant modular construction decision ··· 73
Figure 2.2.2.4 AHP hierarchical model of plant modular construction decision ····· 73
Figure 2.2.2.5 Overview of LNG plant ····· 75
Figure 2.2.2.6 Overview of heat exchanger network in LNG plant ····· 75
Figure 2.2.2.7 PFD of liquefaction process and dehydration process ····· 77
Figure 2.2.2.8 Composite curve of liquefaction process and dehydration process ····· 78
Figure 2.2.2.9 Grand composite curve of liquefaction process and dehydration process ····· 78
Figure 2.2.2.10 Balance composite curve of liquefaction process and dehydration process · 79
Figure 2.2.2.11 Utility composite curve of liquefaction process and dehydration process ···· 79
Figure 2.2.2.12 heat exchanger network in liquefaction process and dehydration process ·· 80
Figure 2.2.2.13 Overview of LNG plant test-bed configuration ····· 81
Figure 2.2.2.14 RAM performance loss rate by main equipment unit ····· 82
Figure 2.2.2.15 RAM performance loss rate by main equipment group ····· 82
Figure 2.2.2.16 Utilization rate of TB train-1 life cycle ····· 83
Figure 2.2.2.17 Process of plant modularization ····· 84
Figure 2.2.2.18 Evaluation example of local environment for modular block design ····· 87
Figure 2.2.2.19 Accessibility evaluation for modular block design ····· 87
Figure 2.2.2.20 Path DB construction example for accessibility evaluation of modular block ·· 88
Figure 2.2.2.21 Site labor density evaluation example for defining modular block ····· 88
Figure 2.2.2.22 Modularization of LNG plant TB 1 process ····· 98

Figure 2.2.2.23 Comparison of modular design of LNG plant TB train-1 ····· 99
Figure 2.2.2.24 Modular-Compact design guideline ····· 101

Figure 2.2.3.1 System of LPMS-RAMS ····· 103
Figure 2.2.3.2 Structure of web-based LPMS-RAMS program ····· 104
Figure 2.2.3.3 Sttructure of EDB ····· 106
Figure 2.2.3.4 Window of MySQL for LPMS-RAMS ····· 107
Figure 2.2.3.5 Specification of pressure vessel in FIBA, USA ····· 108
Figure 2.2.3.6 Specification of accumulator in Olaer, Germany ····· 108
Figure 2.2.3.7 Specification of air receiver in Abbott, UK ····· 109
Figure 2.2.3.8 Specification of pump in Cryostar ····· 110
Figure 2.2.3.9 Part of pressure vessel ····· 114
Figure 2.2.3.10 Major parameters of cylinder in pressure vessel ····· 114
Figure 2.2.3.11 Major parameters of elliptical head in pressure vessel ····· 115
Figure 2.2.3.12 Major parameters and equation of ellipse ····· 115
Figure 2.2.3.13 Main window of pressure vessel scale up/down module ····· 117
Figure 2.2.3.14 Part of algorithm for height and appropriate thickness calculation ····· 118
Figure 2.2.3.15 Relationship between length of cylinder and height of pipe ····· 118
Figure 2.2.3.15 Overlap avoidance algorithm between pipes ····· 119
Figure 2.2.3.17 Main window of scale up/down module for pressure vessel ····· 120
Figure 2.2.3.18 Window of support design tab in scale up/down module for pressure vessel · 120
Figure 2.2.3.19 Window of support design tab for specific dimension ····· 121
Figure 2.2.3.20 Window of pipe design tab in scale up/down module for pressure vessel 121
Figure 2.2.3.21 Window of pipe no. 1 design tab in scale up/down module for pressure vessel · 122
Figure 2.2.3.22 Main window and 3D model of scrub column reflux drum (V-1101) ····· 123
Figure 2.2.3.23 Concept of scale up from Test-bed Train No.1 to high-capacity plant ···· 125
Figure 2.2.3.24 Prototype of 5MTPA LNG plant ····· 125
Figure 2.2.3.25 Coloring system of LNG-RBI program ····· 126
Figure 2.2.3.26 Material Properties Management Database (MDB) ····· 127

Figure 3.1.2.1 Reliability data errors case of OREDA data handbook ····· 134

Figure 3.1.3.1 System configuration scenario setting for helping optimized system ····· 135
Figure 3.1.3.2 Optimized system function derived from user-defined function ····· 135
Figure 3.1.3.3 Cryogenic valves durability evaluation test apparatus ····· 136
Figure 3.1.3.4 LPMS-RAMS basic database ····· 136

Figure 3.1.4.1 Technology trasfer and international coutilization ····· 137

Figure 3.2.31 Example of plant modular characteristic assessment solution ····· 139
Figure 3.2.4.1 Plant modular characterization assessment
and mutual exchage of technology with industry-university-institute ····· 140

제1장

연구개발과제 개요

제1장

연구개발과제 개요

1절 연구개발의 필요성 및 목표

1. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

○ 국내에 관련된 공공기술 인프라 및 가치사슬(value chain)이 취약하여 세계 경기변동에 영향이 적은 유망분야의 시장진입이 어려운 실정임

- 국내에 액화분야의 가치사슬과 연구기반이 취약한 관계로 투자비가 큰 연구개발사업에 민간 주도의 추진이 어려운 실정임
- 우리나라와 여건이 유사한 일본은 전략적으로 에너지확보/해외시장 진출을 위하여 pilot/demo. 플랜트 건설을 단계적으로 지원하고 있음 (JOGMEC 프로젝트를 통하여 약 67%를 정부지원)

❖ LNG 플랜트 Value Chain: 유전 탐사/개발 → 가스액화(초저온) → 수송 → 저장/보급

❖ 현재 국내에서는 한국가스공사를 중심으로 '수입 저장과 보급' 분야 사업만 진행

○ 고부가가치 첨단/핵심기술을 기반으로 특화경쟁기술의 확보가 시급

- 고부가가치 핵심기술(개발/기획-grand design, 공정, 기본설계, 핵심 장비)에 대한 선진사의 기술 장벽으로 후발 기업의 접근은 제한적임
- 부분적으로 요소기술이나 선행기술이 추진되었으나 건설기술로 집약하기에는 많은 기간과 투자가 선행되어야 할 것임
- 또한 장기적인 시장 전망이 큰 분야로서 해외시장 진출 및 경쟁력을 확보하기 위해서는 허브(HUB)형 기반기술의 발굴과 지원여건의 구축이 중요

○ LNG 플랜트사업 공통기술 및 표준 등 취약한 인프라 구축이 중요

- 국내 연구인력, 시설 및 장비, 법·제도, 시험평가 등과 국가 지원기반이 매우 취약한 실정

- LNG 플랜트 건설기술 개발경험이 전무한 국내 여건에서 인력, 지원여건, 개발인프라 수준 등이 전반적으로 낮게 평가되어 이에 대한 개선이 중요

○ 지속 가능한 기술 경쟁력의 확보를 위한 미래 기반기술 확보가 필수
- 핵심소재 및 부품 국산화와 같은 원천기술 개발을 동시에 추진하여 선진기술과의 차별화 및 경쟁 우위를 점할 수 있는 구동(driver) 기능이 요구됨
- 공정형, 에너지효율 향상, 시스템 성능 개량에 필수적인 소재 및 장비의 국산화를 통한 기술과 시장 확보가 중요

○ LNG 플랜트 해외시장 진입을 위해서는 대규모 통합된 기술의 확보와 실증적 검증이 필수적임.
- LNG 플랜트 해외시장 진입을 위한 EPC 필수기술(핵심기반 + 공정 + 설계/건설)의 집적 및 통합과 검증을 통하여 인지도 확산이 중요
- 이의 실증과 다양한 목표 달성에 기반 구축과 더불어 대규모 실증형 연구개발사업이 매우 효과적임.

○ 보수적인 가스플랜트 시장의 특성상 해당분야의 건설경험 유무가 시장 진입의 중요한 요소임.
- 과거 정유·석유화학, 발전 분야 공정기술은 선진기업과의 기술제휴·도입이 가능하였으나 대규모 고부가가치 플랜트사업인 LNG분야의 경우에 선진기업의 기술이전 기피로 기술제휴·도입이 사실상 어려움
- 우리의 여건에서 경쟁기술 개발을 통하여 선진사와 기술을 제휴, 해외사업 공동 진출을 위한 전략적 도구를 마련할 필요가 있음

○ LNG 플랜트 사업은 다양한 학제와 원천기술, 응용기술이 집적되어 있는 콤플렉스(complex)로서 테스트베드 또는 시범 플랜트 (demonstration plant) 적용이 필수적이며, 사업위험 감소와 성과달성을 담보할 수 있는 컨소시엄 구성과 추진이 요구됨.

(2) 경제·산업적 측면

○ 세계 천연가스 및 시설 투자 수요 전망

- 중동지역의 경우 고유가에 자극받은 국가들의 가스와 석유화학 등의 시설에 대한 지속적인 투자로 가스플랜트 분야의 수요가 급증할 것으로 예상
- 아시아를 중심으로 한 개발도상국가의 경제가 지속적으로 성장함에 따라 가스플랜트의 시장은 상당히 확대될 것으로 전망
- 천연가스 및 시설 신규투자, 유지보수 수요 증가 추세는 상당기간 계속될 것으로 판단
- 특히 아시아-태평양 지역의 43개 플랜트 중 18개가 20년 이상 된 노후설비로 현재도 보수 및 교체를 위한 시장이 증가추세

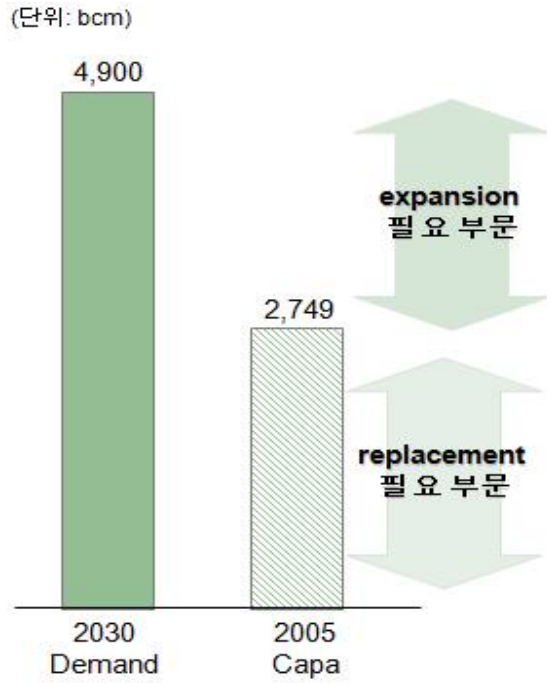


그림 1.1.1.1 세계 천연가스 수요 및 전망

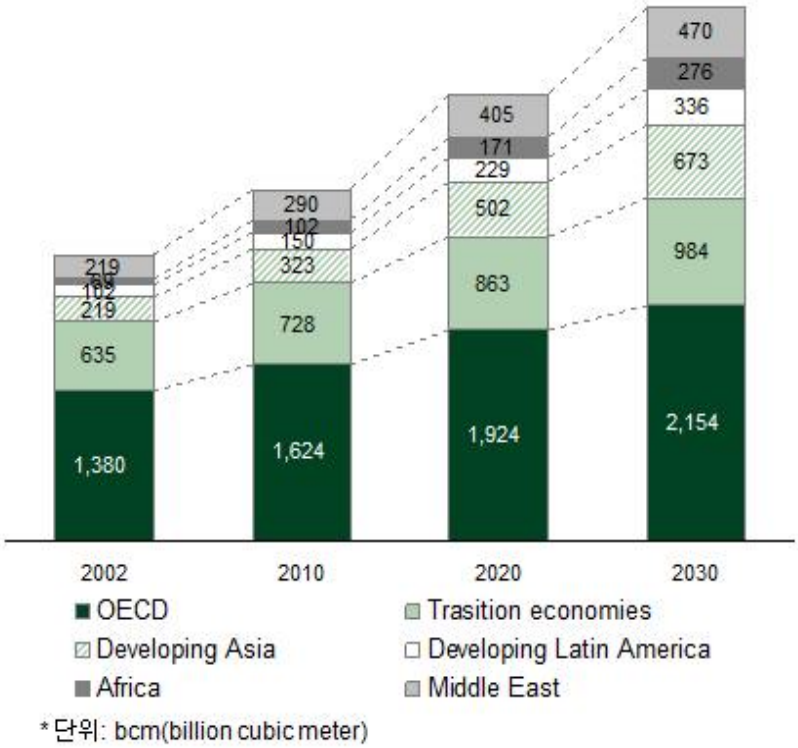


그림 1.1.1.2 세계 천연가스 시장 시설 투자 수요 변화 전망

○ LNG 플랜트는 산업의 전후방 연관효과가 크고 국제적인 환경 규제 및 에너지 안보 측면에서 그 파급효과가 매우 큰 중요한 기술임.

- 플랜트산업의 전후방 연관효과: 94% (제조업: 57%, 서비스업: 39%)
- 고부가가치창출 효과: 건설비용이 1~10억 달러 이상
- 청정연료 경제구조로 전환에 따른 선진국의 기술투자 확대
- 주요국의 에너지 확보전략: 천연가스, 신개념 석유 개발

○ 또한 LNG 플랜트 건설사업은 우리 기업이 해외 플랜트 시장에서 지속적인 성장을 담보할 수 있는 사업모델임.

- 석유가격의 상승세가 지속될 전망으로 대형 가스전뿐만 아니라 중소형 가스전을 대상으로 개발과 생산, 보급에 관한 투자가 증가하고 있음
- 우리 기업의 경우에 가스 플랜트 분야의 핵심공정에 실질적으로 참여한 실적은 없으나 그동안 정유나 석유화학 등의 분야에서 수행한 실적을 감안하면, 상세설계 및 시공 분야에서 확보된 기술력을 바탕으로 진출 가능성이 큼

○ 세계시장 확대에 따른 고부가가치 성장 동력 창출이 시급

- LNG 플랜트의 가치사슬(value chain)은 유전 탐사/개발 → 가스액화(초저온, 합성) → 수송 → 저장/보급 등으로 구성되며, 우리나라는 현재 한국가스공사를 중심으로 '수입 저장과 보급'분야만 사업모델로 하고 있음.
- 국내에 액화분야의 가치사슬과 연구기반이 취약한 관계로 투자비가 큰 연구개발사업에 민간 주도의 추진이 어려운 실정이며, 우리나라와 여건이 유사한 일본은 전략적으로 에너지확보/해외시장 진출을 위하여 Pilot/Demo. Plant 건설을 단계적으로 지원하고 있음 (JOGMEC 프로젝트를 통하여 약 67%를 정부지원).

(3) 사회·문화적 측면

○ 세계적인 환경규제 강화와 에너지이용 패러다임 변화에 대응

- 세계적으로 교토의정서에 의한 온실가스 저감에 대한 의무 부담이 강제됨에 따라 청정에너지의 개발 및 사용처 확대에 대한 연구개발이 가속화 되고 있으며, 이러한 청정연료 경제구조로 전환에 따른 배출가스 등 환경규제 강화에 대응하기 위한 기술개발이 필요

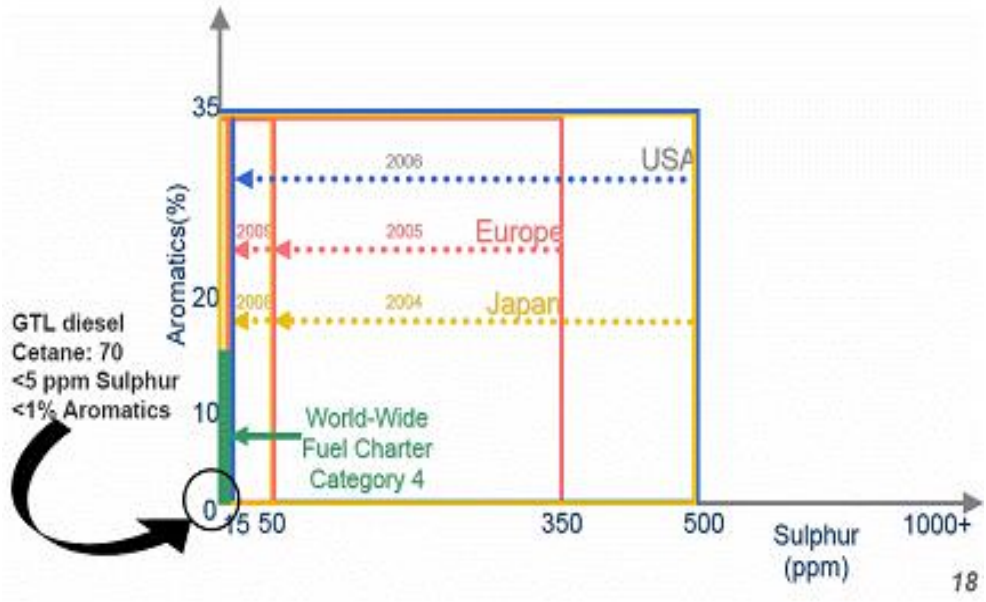


그림 1.1.1.3 주요 선진국의 환경규제 전망

- 향후 수소경제로 진행하는 과정에 과도기적으로 천연가스는 중요한 에너지원으로 평가

되고 있으며, 선진 각국에서 에너지안보 측면에서 해외 에너지 확보와 더불어 국가전략산업으로 육성하고 있음.

- 이러한 고유가시대의 도래와 불안한 세계 석유시장에서의 주요국의 에너지 확보전략은 해외 가스전의 개발과 이를 통한 천연가스, 신개념 석유 등을 확보하는 것이며, 청정연료 경제구조로 전환에 따른 선진국의 청정에너지기술 투자가 가속화되고 있음.
- 따라서 우리나라도 국가적인 에너지 수급을 위한 안보차원의 접근이 필요하며, 이를 뒷받침할 수 있는 LNG 플랜트 독자기술의 확보를 위한 본 사업단 과제의 추진은 정책적으로 타당성을 가지는 것으로 분석됨.

○ LNG 플랜트 설비에 대한 안전성 확보

- LNG 플랜트에 대한 막연한 우려를 불식
- 투명성 및 신뢰성 증진을 위한 대중적 공감대 확보
- 문서 중심의 2차원 운영이 아니라 3차원 그래픽적 서비스를 창출

.

2. 연구개발의 목표

가. 최종목표

1-1-1 과제의 최종 목표는 LNG 플랜트를 구성하는 주요 계통의 통합적 구성방안과 RAM 성능이 5-10% 개선된 Modular/Compact 계통을 개발하는 것이며, 기본방향과 정량적인 목표치 및 성과물은 아래와 같이 설정함

표 1.1.2.1 As-Is → To-Be

세부목표	As-Is	To-Be
핵심기자재 RAM 평가기술	국내: 대상 없음 국외: 90% 수준	· RAM 성능 5~10% 개선 · RAM 평가 모델
콤팩트(compact), 모듈러(modular) 통합계통	국내: 사례 없음 국외: Pluto	· 1~5 Mt/y급 LNG 통합계통 · 시공성 10% 개선 · 설치 공간 20% 감소 · LCC 소요비용 10% 절감
Digital LNG 플랜트 설계환경 구축	국내: 사례없음 (원자로 예외) 국외: 부분적으로 구현	· 주요 핵심계통 및 부품모델 작성 · 건전성 평가모듈

상기 연구개발 목표를 달성하기 위하여 RAM 평가 기술, 콤팩트, 모듈러 계통 개발을 위하여 아래와 같이 연차별 연구목표를 설정하였으며,

개발기술의 통합 운용 및 가상환경에서의 콤팩트, 모듈화 계통의 시현을 위하여 LNG플랜트 통합설계환경을 구현함

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ LNG플랜트 가상 설계환경 구상	▪ 선진사례 벤치마킹 및 분석 ▪ 가상 구현 시스템 모색 ▪ 핵심계통 및 부품모델의 범주 설정 ▪ 국제 호환 부품모델 구축방안
	▪ 모듈화 설계 규칙 도출	▪ 표준시스템 조사 및 분석 ▪ 플랜트 설계 요구사항 정의

		▪ 모듈러 사례조사 및 모듈화 방향 설정 ▪ 유지보수관련 사항 파악
2차년도	▪ 가상 LNG 플랜트 통합설계환경 구축	▪ 가상 구동모듈 검토 ▪ 핵심계통 계획 및 DB 화 ▪ 계통 및 구성 부품 모델 작성 ▪ Navigator 설계
	▪ 핵심 모듈계통 및 기자재 설계요소 도출	▪ 초저온 펌프 및 배관 레이아웃 검토 ▪ 익스팬더 및 드라이버 적용 조건 검토 ▪ 초저온 펌프 설계 및 설치 요소 검토 ▪ 주요 계통 및 부품의 형상특성 분석 ▪ 모듈러 규칙 및 설계로직 분석
	▪ RAM 평가설비 및 검증모델 구축	▪ 인공지능 기반 설계평가기술 ▪ 현장 적용성 평가설비 구축 (Lab scale) ▪ 지식기반 의사결정기법 ▪ 설비별 위험요소 및 인자 검토
3차년도	▪ 가상 LNG 플랜트 핵심계통 및 부품모델 개발	▪ 계통 및 부품모델 작성(계속) ▪ 대규모 해석을 위한 유한요소모델 작성 ▪ 계통 및 기기 레이아웃 설계/평가 ▪ 가상공간 요구사항 분석 및 구조 설계 ▪ XVL 기반의 가상현실 시스템 설계
	▪ 핵심 모듈계통 및 기자재 최적화 기술	▪ MCHE 형상별 설계요소/제어요소 검토 ▪ 익스팬더 및 드라이버 최적설계요소 검토 ▪ 초저온펌프 및 배관계통 유지보수성 평가
	▪ 지능형 의사결정모듈 실험 및 검증	▪ 의사결정 룰/로직 DB ▪ 주요 기자재 목록 ▪ 파괴 특성 및 소재물성 DB ▪ Bench scale Real 시뮬레이터 설치 ▪ RAM 평가모듈 연계 평가
4차년도	▪ 가상 LNG 플랜트 원형(prototype) 제작 (핵심계통)	▪ 가상 LNG 플랜트 원형 제작 ▪ 설계/시공시뮬레이션 ▪ 모듈러 설계효과 예측 ▪ 타당성, 적용성 검증
	▪ LNG 핵심공정계통 레이아웃 구현	▪ 엑서지 기반 계통 성능예측 ▪ 공간 및 레이아웃 최적화 ▪ 핵심계통/기자재 RAM 평가 ▪ 모듈화 계통에 대한 RAM 평가 ▪ 유지보수성 검토
	▪ Bench scale 핵심 기자재 설계/제작 평가	▪ MCHE 열 교환 구조 평가 ▪ 익스팬더/드라이버 설계 성능 모사

		▪ 초저온 펌프 및 배관계통 설계 평가 ▪ Bench scale 설계/제작/평가
5차년도	▪ 건전성 평가 협업 시스템	▪ 플랜트 건전성 평가<RAMS> 체계/절차 ▪ 건전성 평가 협업대상 분야 선정 ▪ 웹기반 전문가 협업시스템
	▪ 모듈러 설계 가이드라인, 표준모델	▪ 용량별/사이트별 가변 설계 규칙 ▪ 주요 기자재 및 드라이버 연계방안 ▪ 모듈화 설계 고려사항 정리 ▪ 모듈러 표준 정리
	▪ 핵심계통 및 기자재 Scale Up/Down	▪ 초저온 펌프 및 배관계통 제작/평가 ▪ 설계 반자동화기술 요구사항 검토 ▪ Bulk 성 및 모듈 자동생성 기법
6차년도	▪ 콤팩트, 모듈러 표준화 및 활용방안	▪ 주요계통 및 부품 표준화 DB 작성 ▪ 콤팩트, 모듈화 가상모델 활용방안 ▪ 유사 플랜트로 확장성 검토
	▪ 핵심 기자재 최적화 모델/적용지침	▪ 익스팬더 최적화 모델 적용지침 ▪ 드라이버 설계지침 작성 ▪ 마이크로 채널 열교환 구조 응용방안

2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

‘LNG플랜트사업단’ 연구 과제는 1개 총괄과제와 5개 핵심과제로 구성하여 16개 세부과제(30개 연구과제)로 추진됨

본 연구과제는 제1핵심과제(LNG플랜트 핵심기반기술 개발)의 주관 연구과제로서 ‘신뢰성 기반의 콤팩트, 모듈화 LNG플랜트 핵심공정 개발’을 비전으로 하고 있음



그림 1.2.1.1 LNG 플랜트 사업단 구성 체계

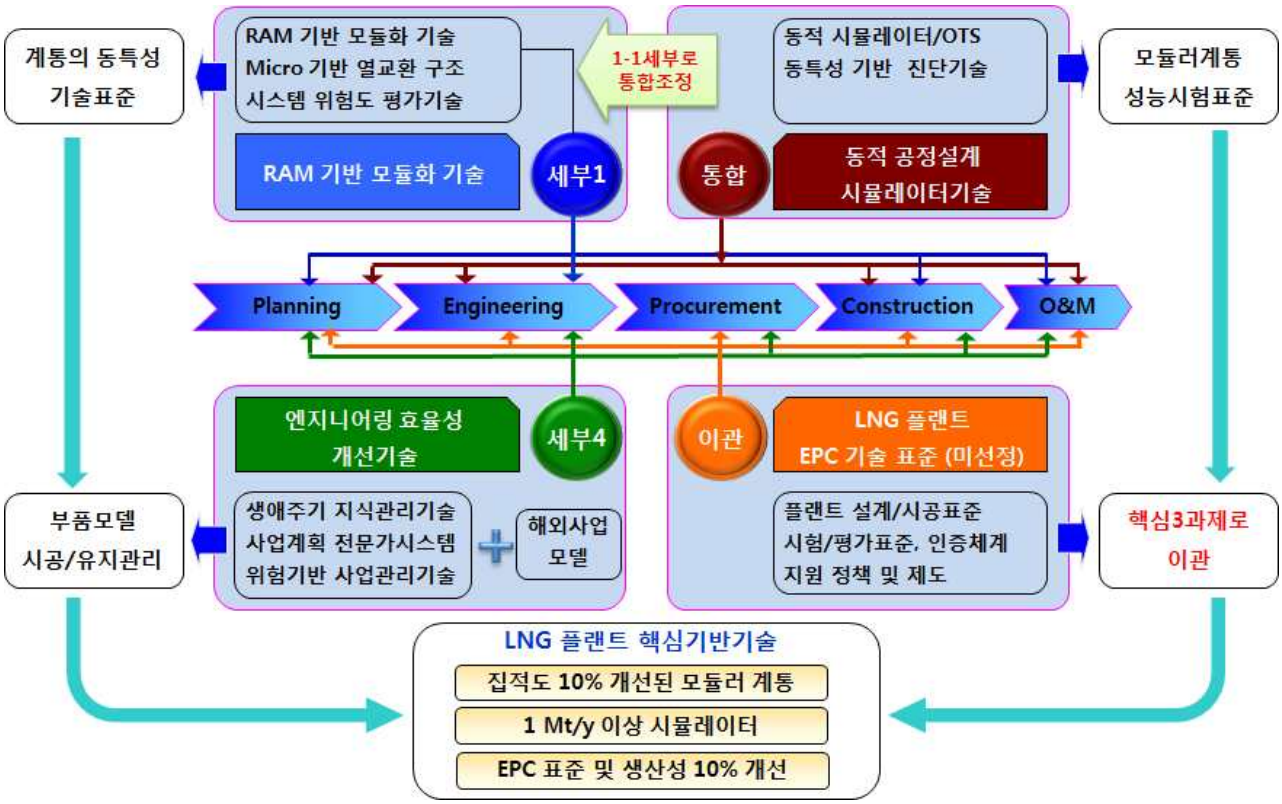


그림 1.2.1.2 'LNG플랜트 핵심기반기술 개발' 과제의 구성 및 비전

본 연구과제(1-1-1과제)는 핵심1과제의 세부1과제인 'RAM 기반 LNG플랜트 모듈화 기술 개발'과제의 주관과제로서 자체적으로는 콤팩트, 모듈화 LNG플랜트 계통 개발을 목표로 하고 있으며, 1핵심과제의 관점에서는 각 세부과제의 주요 연구 성과를 통합하는 기능을 갖고 있음

본 연구과제는 LNG플랜트 엔지니어링에 관계되는 digital data/knowledge/rule 등을 기반으로 가상환경에서 요소부품과 데이터, 가상 LNG플랜트를 구현하고,

LNG 플랜트를 구성하는 주요 계통의 통합적 구성을 위하여 액화공정, 주변공정, 유틸리티 간 에너지와 물질흐름의 최적화를 수행하며,

이를 기반으로 시스템 및 핵심 기자재의 RAM 건전성(설계 성능, 시공 적합성(플랜트 구성요소 및 설치 및 유지보수 효율화를 위한 fabrication 등), 유지보수성 등)을 모사, 평가하며,

최종 LNG 플랜트를 구성하는 주요 계통의 통합적 구성방안과 RAM 성능이 5-10% 개선된 콤팩트, 모듈화 계통을 개발하는데 목적을 두고 있음

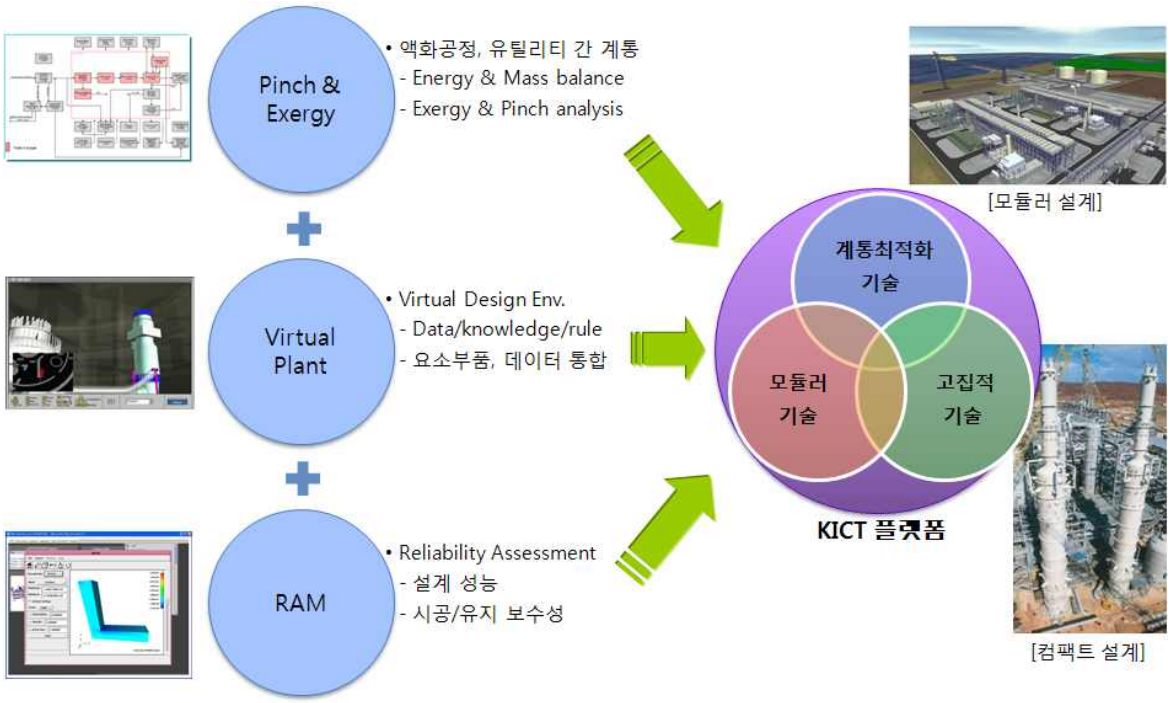


그림 1.2.1.3 본 과제(1-1-1과제)의 개요도

※ RAM: Reliability, Availability, Maintainability

본 연구에서 수행하는 주요 연구내용은 그림 1.1.2에 도시된 액화플랜트를 대상으로 하며, 액화공정을 중심으로 주변계통과 핵심 기자재, 유틸리티 간 에너지 및 물질 흐름 최적화를 기반으로 아래와 같은 내용을 수행함

○ 가상 LNG 플랜트 설계환경 및 구동모듈
- 가상 설계환경 구축
- 하위의 구동모듈 및 Navigator

○ 가상 LNG 플랜트 계통 및 부품모델 구현
- 계통 및 부품모델 작성, 부품 DB 및 표준화
- Bulk성 및 모듈 자동생성기법

○ LNG 플랜트 주요계통의 에너지/물질흐름 최적화

- 액화공정, 주변공정, 유틸리티 간 Pinch 해석
- 주요 기자재 및 계통의 Exergy 해석

○ 주요 계통 및 핵심 기자재 RAM 평가 기술
- 플랜트 구성요소 RAM 평가 기술
- 모듈화, 컴팩트화 된 설비의 신뢰성/보전성/가용성 평가

○ 콤팩트, 모듈화 LNG플랜트 계통 개발
- 모듈 얼라인먼트 (alignment)
- 계통 Scale-up/down 기법

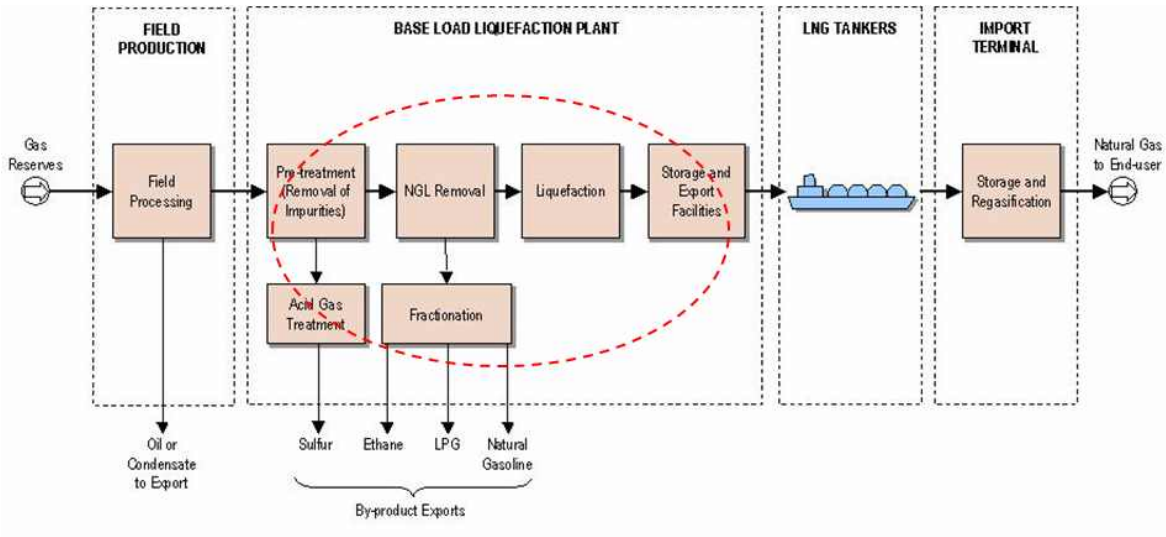


그림 1.2.1.4 LNG플랜트 사업 및 주요 공정

※ 모듈러(Modular) 기술

최근 들어 모듈러 플랜트 설계 및 시공에 관한 기술이 개발되어 적용되고 있으며, 모듈러 기술의 적용을 통하여 최대 20~30%의 비용과 설치 공간 저감이 가능한 것으로 보고되고 있음

이러한 모듈러 기술은 과거에는 주로 공간설계나 배치 등을 최적화하는 수준으로 추진되었으나 최근에는 첨단기술을 도입하여 콤팩트하면서도 기존 장비와 동일하거나 더욱 우수한 생산성 또는 성능을 갖는 기기 및 장치의 개발에 주력하고 있음

또한 콤팩트/모듈러 계통의 설계 및 시공에 적합한 사이클 방식 및 연계 공정, 재료, 이의 RAM 평가 등에 관한 연구개발이 강화되고 있으며, 더불어 시스템의 대용량화로 인하여 에너지 및 카본효율, 내구성 등 종합성능을 확보하기 위하여 요소 및 단위기기의 획기적인 성능 개선이 전제됨

특히 콤팩트/모듈러 기술은 해양에 산재하여 있는 중소형 가스전 개발에 필수적인 FPSO 등 선박 탑재용으로 사업성이 대폭 증가할 것으로 전망되는 미래 첨단 분야로서 우리나라의 초기 시장진입을 위한 전략적 과제로 평가됨

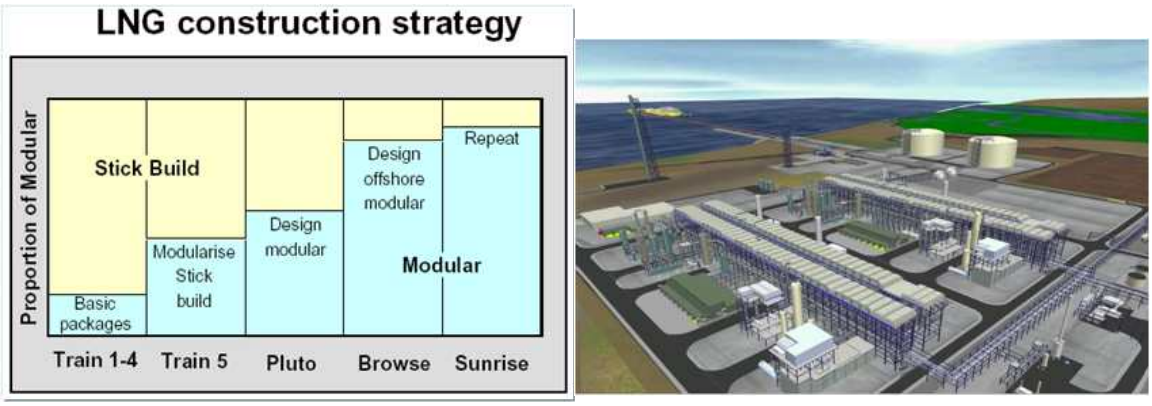


그림 1.2.1.5 모듈화 추세 및 가상설계 사례

2. 연구개발의 범위 및 특징

본 과제에서 목표로하고 있는 콤팩트, 모듈화 핵심기술 개발은 플랜트 생애주기 신뢰도, 생산가용도에 기반한 시스템 최적화를 주요 범위로 하고 있음.

국내 건설사의 일반적인 플랜트 건설 프로세스는 사업주로부터 주어진 기본설계(라이센싱 포함)에 따라 상세설계(생산설계), 조달, 시공을 중심으로 이루어지기 때문에 사업 수행에 따르는 리스크가 매우 크고, 부가가치가 매우 작은 분야에 국한되었음.

본 과제에서는 국내 사업 대상을 down-stream 중심에서 up-stream으로 전환하기 위함임.



그림 1.2.2.1 연구 개발 과제의 특징

이와 더불어 본 과제를 통해 개발된 모든 개별 모듈은 업무수행단계별 독자적 솔루션 및 통합 솔루션 형태로 병행 운영이 가능한 체계로 개발하였다.

이는 LNG 플랜트 건설 현장의 특성상 해외 오지의 열악한 전산환경이나 E, P, C 공종별로 사업에 참여하는 다양하고 방대한 엔지니어링 업체들 간의 협업을 원활히 수행할 수 있도록 산업 및 현장 특성을 반영한 능동적인 시스템 구축을 지원하기 위해 채택한 개발 전략이다.

3절 관련분야의 국내외 기술 현황

1. 국내외 시장 현황

2000년대 이후 건설 산업 전체 해외수주액에서 플랜트 산업이 차지하는 비중은 60%를 넘었고, 2003년 이후 연 50%이상 해외 수주가 급증하며 신 수출동력원으로 급부상하고 있으며 특히 오일쇼크와 외환위기시에는 중동 오일 머니 등 외화를 벌어들여 외화유동성 확보에 크게 기여하고 있다. 2007년의 경우 수주 실적은 422억불로, 기존 수출 주력 산업인 반도체, 자동차, 조선 산업보다 국내 산업에서 차지하는 비중이 증가하였다.

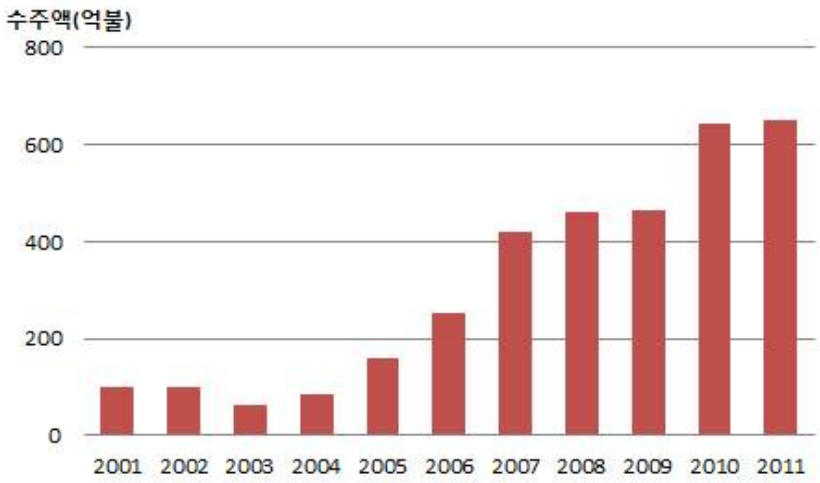


그림 1.3.1.1 국내 업체의 연도별 플랜트 수주 실적(출처: 지식경제부, 보도자료)

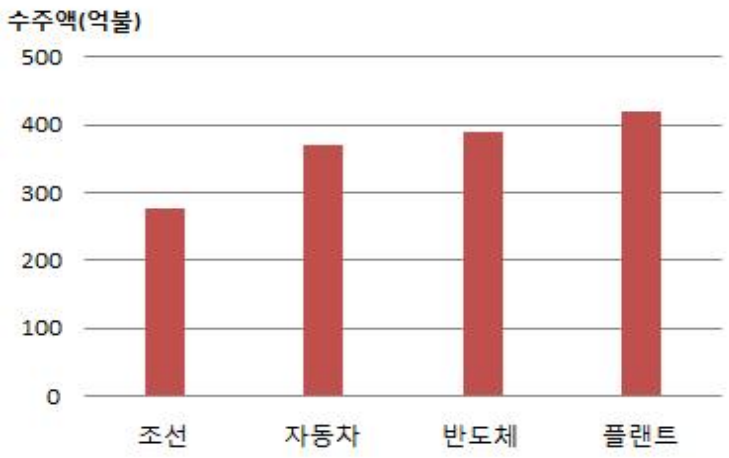


그림 1.3.1.2 2007년 주요 산업 실적 비교

(출처: KISTEP 동향 브리프, 플랜트 산업 기술과 정책동향, 2010)

2009년 국내 EPC 업체들의 해외플랜트 수주액은 2009년 463억 달러(263건)를 기록하여 전년도 수주실적(462억 달러)에 비해 0.2% 증가됨으로써 2008년 하반기부터 시작된 글로벌 금융위기, 투자 위축 등 악조건에도 불구하고 수주액 면에서 괄목할 만한 성과로 평가되고 있다. 권역별로는 플랜트 주력 시장인 중동에서 대형 Oil & Gas, 발전 프로젝트 등 에너지 분야의 플랜트 수주가 호조세를 기록하며 플랜트 전체 수주액의 약 67%에 해당하는 311억 달러(전년대비 55% 증가)를 수주하였다.

그리고, 주요 건설 업체별 플랜트 수주 실적을 보면, 삼성 ENG, GS건설, 현대중공업, SK건설 등 상위 5개사의 수주액이 293억 달러로 점유율이 63.4%에 이른다. 이외에 대림산업, 대우건설 등 상위 10개사의 수주점유율은 전체의 86.6%로 큰 비중을 차지하고 있다.

해외시장 전망과 우리의 경쟁력을 기초로, 2015년 한국의 해외 플랜트 수주액은 890억 달러(보수적 관점)~1,000억 달러(일반적 관점)에 이를 것으로 전망된다.

국내 LNG 수요의 증가는 산업분야의 수요 증가에 따른 것인데 유가를 포함한 제반비용 및 안정성 측면에서 LNG가 석유 보다 유리하여 산업부문의 연료 대체 및 소비량 증가가 지속되어 도시가스의 산업분야에서 중장기적으로 연 평균 8% 수준의 급격한 수요증가세가 예상된다.

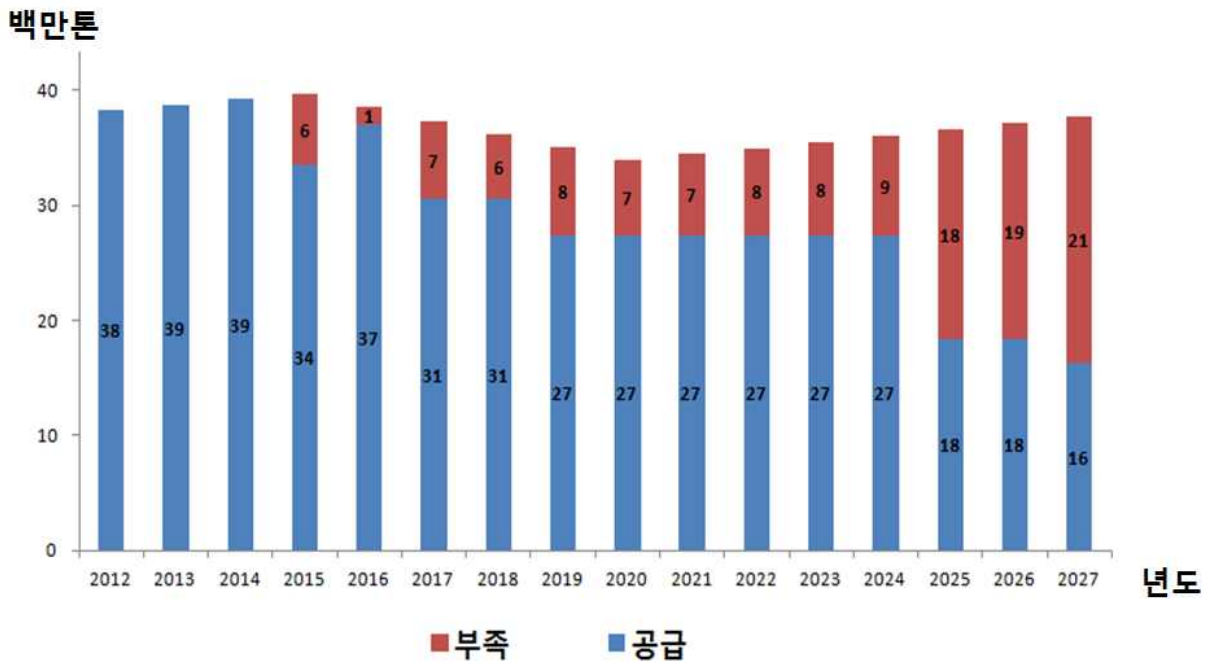


그림 1.3.1.3 국내 LNG 천연가스 수급계획 (산업통산자원부)

한편, LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, business monitor international은 2014년 이후 세계 LNG 생산전망은 2014년 약 3,400 BCM에서 연평균 3~4%의 꾸준한 증가하여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4,071 BCM에 달할 것으로 예상된다.

반면 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상되며, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미 생산비중은 점진적 감소 예상한다.

자원부국이 많은 중동과 동남아시아 지역의 국가들은 각각 17%, 15% 대의 생산 비중을 유지할 것으로 보이며, 최근 개발이 활발히 진행 중인 아프리카 국가들의 생산비중은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

이에 따라 국내기업들은 성장전망이 밝은 아프리카 지역과 지리적 접근성이 좋은 아시아 지역으로의 진출을 추진해보는 것이 바람직하다.

PFC Energy 2013자료에 의하면 글로벌 LNG시장이 확대되고 있으며 Gas Penetration Scenarios를 분석한 결과 2013년 기준 LNG는 전체 에너지 공급량의 5%를 차지하고 있다. 2030년까지의 시나리오 분석 결과 고 성장일 때 37%, 최대 성장일 때 49%를 차지할 것으로 예상된다.

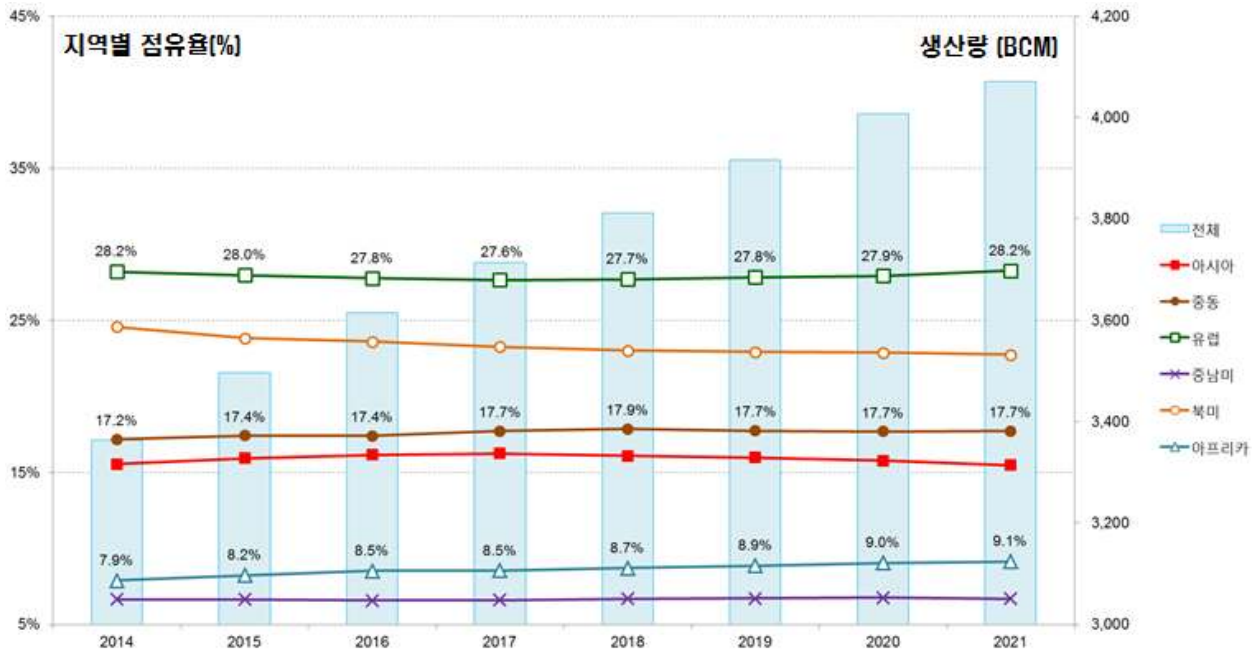


그림 1.3.1.4 세계 가스생산 전망 (2014-2021) (출처: Business Monitor International)

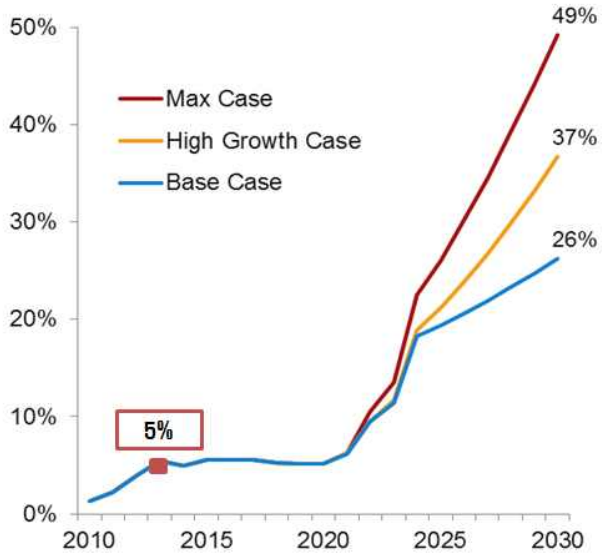


그림 1.3.1.5 Gas Penetration Scenarios(2010-2030)

(출처: PFC energy 2013)

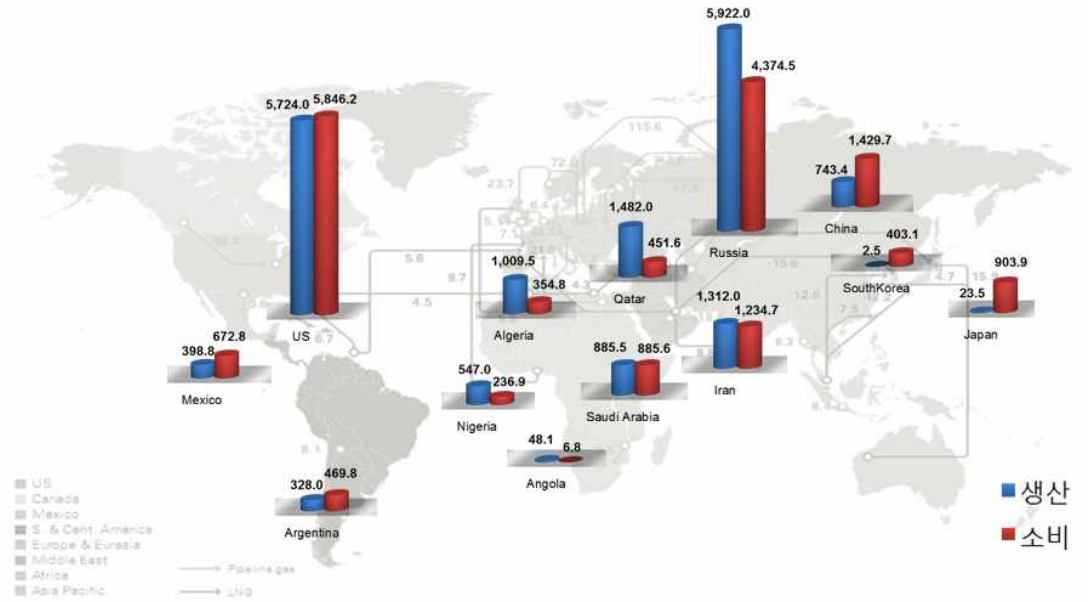


그림 1.3.1.6 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021)

(출처: Business Monitor International)

그림 1.3.1.7은 세계 가스거래 현황으로, 붉은 선은 파이프라인을 통한 육상공급을, 파란 선은 선박을 통한 해상공급을 나타냄. 유럽 및 북미 지역의 선진국들은 주로 파이프라인을 통해 가스를 공급받는데, 이는 이들 국가들이 안정적인 대량공급방식을 이미 갖추고 있으므로 신규

가스공급망을 구축할 필요성이 떨어짐이 관찰된다.

반면 아시아, 중동, 아프리카 지역은 선박을 통한 공급이 주로 진행되는데, 이는 파이프라인 방식에 비해 유동적인 공급망으로써 신규 해외진출을 구상하는 국내기업들의 진출이 가능함 할 수 있다.

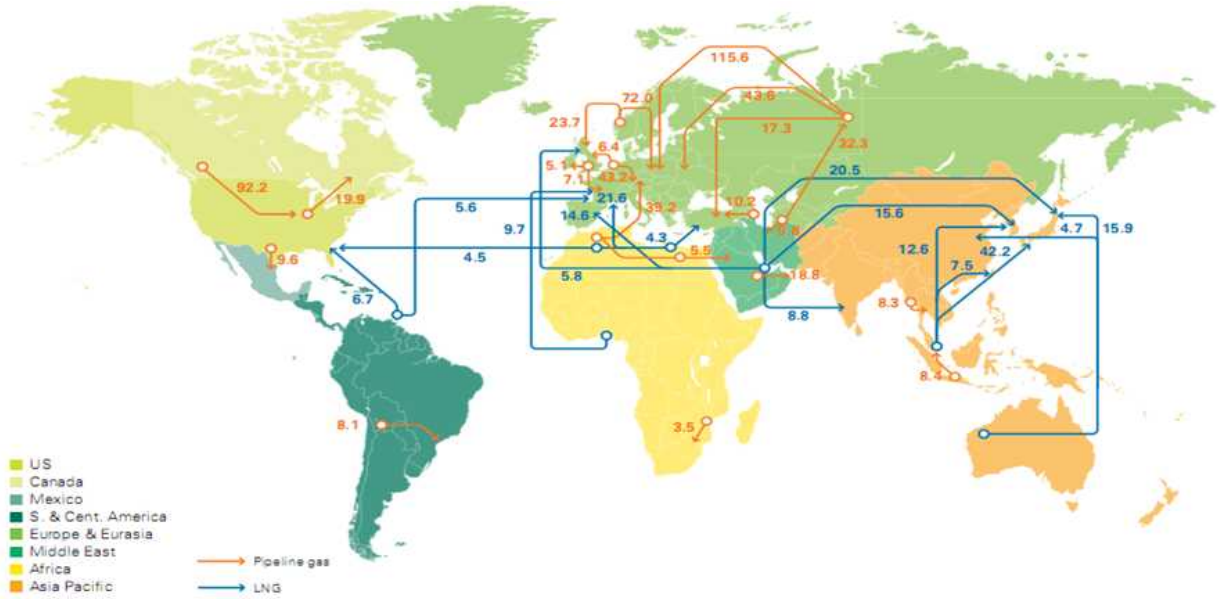


그림 1.3.1.7 세계 가스거래 현황 (출처: British Petroleum)

Oil & Gas Journal (2012)에 발표된 수요전망에 따르면, 2027년의 전세계 LNG 수요는 2012년의 2.4 ~ 3.5배에 달하는 3.6억m3 ~ 5.2억m3에 이를 것으로 전망하고 있다. LNG 플랜트의 수요는 2014년 1억3000만톤 에서 2020년 2억5000만톤으로 늘어나고, 천연가스 전체에서 차지하는 비중도 7%에서 11%로 높아질 전망이다. 2013년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2018년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400 ~ 1200/TPA으로 예상됨에 따라, LNG 플랜트의 건설 수요 투자비용을 분석해보면, 2020년 연간 10조원에서 연간 30조원 수준으로 예측된다.

또한 PFC Energy에서 제공하는 향후 수급전망 보고서에 의하면, LNG 천연가스의 최대 생산 및 수요국인 총 17개 국가(브라질, 칠레, 방글라데시, 쿠웨이트, 사우디아라비아 등)를 대상으로 2012~2030년까지의 LNG 천연가스 및 LNG 수요 분석을 통해 추가공급량(GAP)를 산출하였으며, 향후 추가공급량(GAP)은 점차 늘어날 것으로 전망된다.

일본 원전 및 개발도상국 성장으로 인해 LNG의 수요는 다음과 같이 지속적으로 성장 전망에 있으며 국가별, 지역별 수급 불안정화로 인해 전략적인 LNG확보가 필수적인 상황이며,

LNG의 수요는 2030년까지 계속 증가할 것으로 예측되고 있으며 2030년 국가별 LNG GAP 전망도 크게 나타나고 있다. 그림 1.25에서 붉은색 숫자로 표시되고 있다.

막대 그래프는 지역별 수요만을 나타낸 것이며, 오른쪽의 원 다이어그램은 수요와 공급을 통해 부족량을 붉은색 숫자로 나타내었고, 일본의 경우 수요는 88mmtpa인데, 공급은 49mmtpa로서 39mmtpa가 부족하며, 태국은 수요는 62mmtpa인데 공급은 18mmtpa로서 44mmtpa가 부족한 상황임을 알 수 있다.

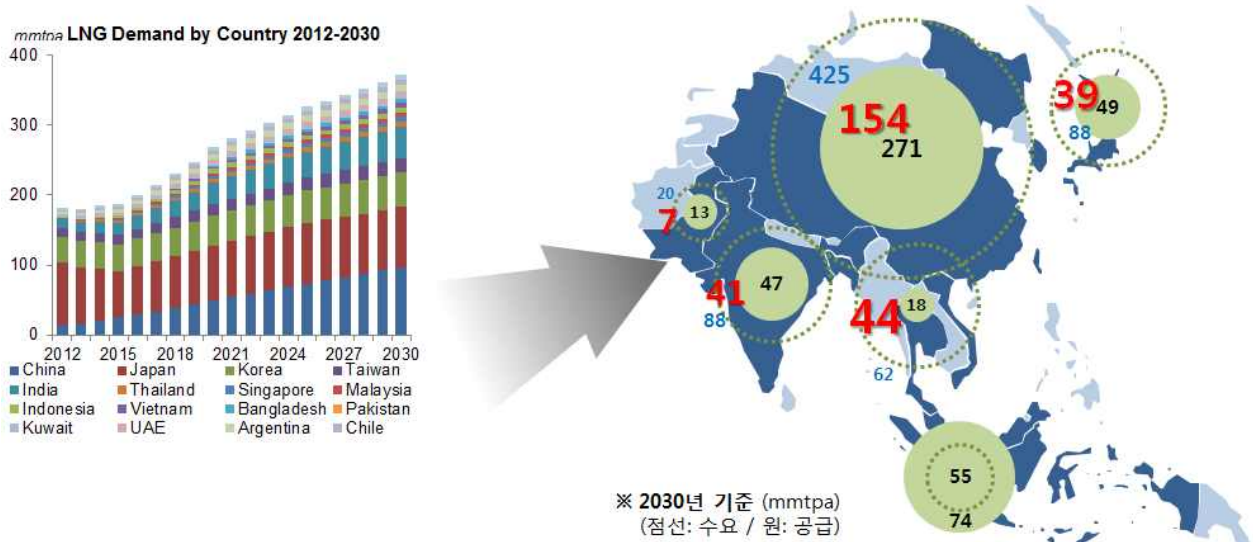


그림 1.3.1.8 주요 국가별 LNG수급 전망 (2012-2030) (출처: PFC Energy 2013)

또한 에너지 시장의 주요 수급 국가인 중국은 수요가 425mmtpa인데 반해 공급은 271mmtpa로서 154mmtpa가 부족함을 나타내고 있으며, 인도는 수요는 88mmtpa인데, 공급은 47mmtpa로서 41mmtpa이 부족한 것을 그림 25를 통해 알 수 있다.

위의 결과와는 반대로 인도네시아는 생산량이 많은 국가로서 수요는 55mmtpa인데 공급이 74mmtpa로서 19mmtpa가 남는 것을 확인 할 수 있다.

이와 같이 향후 글로벌 LNG 시장은 계속 성장할 것이며 증가하는 만큼의 수요가 부족할 것으로 예상되며 향후 LNG Gas전 확보가 미래의 에너지 시장을 선점하는데 이점으로 작용할 전망이다.

2. 국내외 기술개발 현황

글로벌 플랜트 건설시장 카르텔을 형성하고 있는 선진 기업과, 자국의 에너지 자원, 자금력을 바탕으로 빠르게 추격하고 있는 후발 국가(중국 등) 사이에서 경쟁력 확보가 필요한 시점이다.

국내 건설사의 상세설계/시공 분야 기술 경쟁력 및 세계 최고 수준의 우수한 IT 기술(PLM) 역량 접목을 통하여 기술 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단되나, 선진국 대비 FEED 설계 기술 격차, 제한된 국내 시장 규모, 플랜트 설계 솔루션 국산화 미비, 국내 기자재 제작 업체의 설계 역량이 부족하여 관련 인프라 보완이 필요하다.

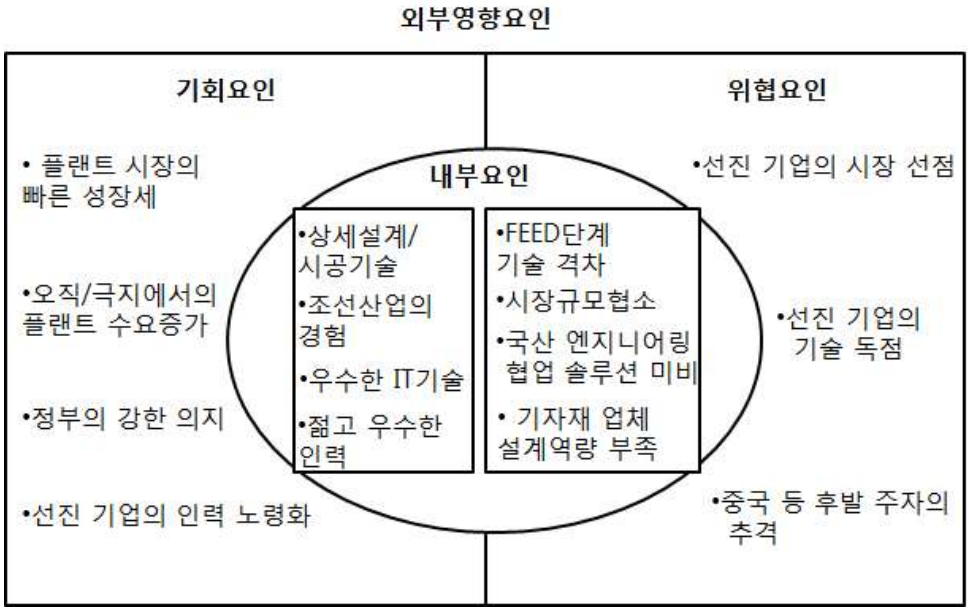


그림 1.3.2.1 플랜트 산업 기술 분야 국내 환경 분석

본 연구과제에서 추진하고자 하는 엔지니어링 효율성 개선기술의 세세부과제에 대한 국내 기술현황은 선진국이 추구하고자 하는 플랜트 건설사업의 생애주기 규명 및 정보의 통합관리 기술, 지능통합형 FEED 시스템 개발 등과 비교 시 매우 열악한 상태인 것으로 판단된다. 국내 주요업체별 기술보유 현황 및 기술개발 수준은 표 1.3, 표 1.4와 같다.

표 1.3.2.1 세부기술별 국내 주요업체 기술보유 현황

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허
VR 기반 통합설계환경	Tium solutions	3D plant 모델링, 공정관리
	Intratech	3D, 4D, 5D 시뮬레이션
	우병엔지니어링	3D plant 모델링
RAM 평가기술	KoRTS 외	부품, 모듈 신뢰성 해석 시스템 신뢰성 모델링
	성균관대학교 외	재료 강도, 피로평가 해석
플랜트 건설 엔지니어링	현대엔지니어링	가스플랜트 설계 화공 플랜트 modular 설계/시공
	현대건설	가스플랜트 구매, 시공, 시운전
	삼성엔지니어링	가스플랜트 설계
	GS건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
	SK건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
	한국가스공사	LNG 저장시설 사업관리, 사업계획, EPC 총괄
플랜트 건설 시공	국내 플랜트 엔지니어링 업체 및 건설업체 다수	LNG플랜트 제한적인 설계 LNG플랜트 시공, 시공관리

표 1.3.2.2 국내 기술수준

세부기술	착수단계 기술 수준			현재 기술 수준		
	기술 수준(%)	기술 격차(년)	비고	기술 수준(%)	기술 격차(년)	비고
가상환경 통합 설계	60	3	성숙단계	85	1	경쟁단계
모듈화 플랜트 기술	50	5	도입단계	80	3	경쟁단계
위험성평가 기술	50	10	도입단계	90	1	경쟁단계
비파괴평가기술	50	10	도입단계	80	5	성숙단계
재료물성 DB 구축	40	15	도입단계	70	10	성숙단계

(1) 첨단기자재 등 성능혁신기술

LNG플랜트 분야 국외 선도그룹에서도 극지, 오지 등으로 다변화되는 플랜트 건설 수요에 대응하기 위하여 프로세스 성능개선, 첨단기자재의 혁신을 통한 플랜트 콤팩트화를 추진하고 있다.

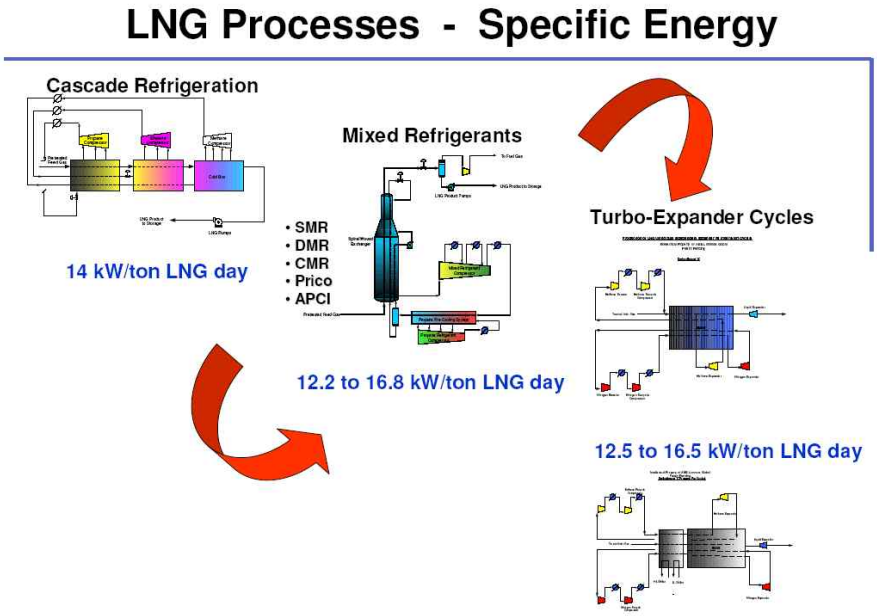


그림 1.3.2.2 초저온 냉동사이클 변천

Plant	Liquefaction Process	Status	Licensor	Efficiency kW*day/ton	Relative Power
OMAN LNG, Trains 1,2 (1)	**C3 Precooled MR**	**Operational**	**APCI**	**12.2**	**100%**
Wildwood LNG Plant (2)	Single N_2 expander, closed	Operational	CFS	40.5	332%
LNG Jamal BOG Reliquefier (3)	Single Expander, N_2	Built, des. Cap.	-	37.8	310%
Kryopak EXP-Typical (4)	Single expander, process fluid	Operational??	KryoPak, Inc.	20.4	167%
Predicted / Patented (5)	Dual Expander C1 / N_2	Simulated	ABB	16.5	135%
Predicted / Patented (5)	C3 - Dual Expander C1 / N_2	Simulated	ABB	**13.5**	**111%**

1. G. McLachlan, C. Ayres, K. Vink, M. Al Mukhainy, Efficient Production of LNG from the Oman LNG Project, Gastech 2002, Doha, Qatar, Oct. 2002.

2. M. Barclay, D. Gongaware, Distributed Liquefied Natural Gas Infrastructure: Design of the Next Generation of Liquefiers, Proc. of 21st Int'l. Congress of Refrigeration, Washington D.C., Aug. 2003.

3. N. Hatanaka et. al., A Challenge to Advance LNG Transport for the 21st Century- LNG Jamal: New LNG Carrier with Reliquefaction Plant, LNG-13, 2001.

4. Kryopack, Inc. website, www.salofompanies.com/html/kryopak/process_exp.htm, Jan. 2005.

5. J. Foglietta, Production of LNG using Dual Independent Expander Refrigeration Cycles, Presented at AIChE Spring Meeting 2002, New Orleans, March 2002.

그림 1.3.2.3 컴팩트, 모듈화를 위한 expander 방식의 성능 비교

(2) 핵심 기자재 및 건전성 평가기술

시스템의 대용량화, 에너지 및 카본효율, 내구성 등 종합성능을 확보하기 위하여 요소 및 단위기기, 모듈의 획기적인 성능 개선이 전제되고 있음. 이에 따라 원천적인 사이클 방식, 재료, 신뢰성 등에 관한 연구개발이 강화되고 있는 추세이다.

국내의 건전성 평가 관련 연구현황을 살펴보면 원자력발전소의 주요기기와 가스배관을 대상으로 일부 ASME 코드 절차에 따라 안전성평가 프로그램이 개발된 바 있다.

SAFE 연구센터는 KEPRI(Korea Electric Power Research Institute), KINS(Korea Institute of Nuclear Safety)와 공동으로 1990년부터 파괴역학해석과 관련된 결함평가 프로그램과 선형탄성파괴역학 프로그램을 개발하여 증기발생기 및 가압기에 존재하는 결함에 대해서 안전성평가를 수행하였다.

특히 KINS와 SAFE 연구센터가 공동으로 원자력발전소 주요기기에 대하여 건전성평가를 수행할 수 있는 NPP-KINS/SAFE 프로그램을 개발하였으며, 이를 OECD 회원국을 대상으로 배포한 바 있다.

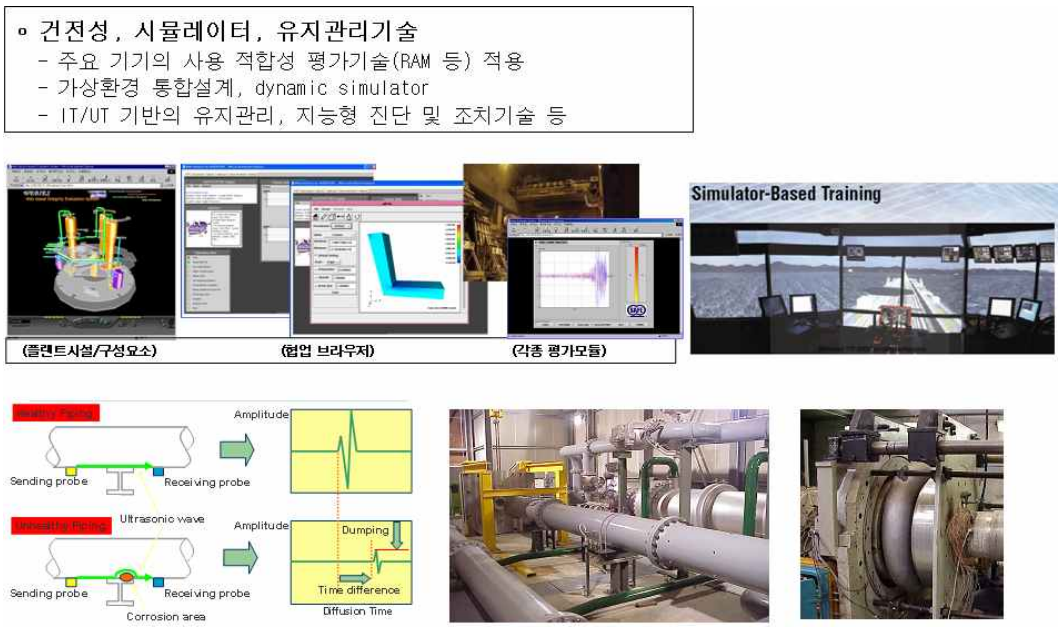


그림 1.3.2.4 플랜트 건전성 평가 및 유지관리기술

(3) 에너지 및 물질흐름 등 계통 모듈화/최적화기술

해외 선진 플랜트 엔지니어링 회사에서는 천연가스 액화공정에서 발생할 수 있는 모든 운전 조건을 실시간으로 모사, 모니터링 할 수 있는 시뮬레이터를 개발하여 LNG플랜트에서의 에너지 및 물질흐름 등 계통 최적화기술을 개발하여 사용하고 있다.

일본의 Chiyoda 사는 Aspen 사의 Aspen Dynamics 등의 공정 동특성 모델 프로그램을 활용하여 액화공정을 모사하고 플랜트 설계에 반영하고 있다. 또한 Offshore Technology 사는 Offshore 설비의 Virtual pipeline simulator를 개발하여 배관망 설계, 모니터링 및 고장진단 등에 활용하고 있다.

Cape Software 사는 VP Link라는 상용 소프트웨어로 process dynamics를 실시간으로 구현하여 공정 제어시스템과 인터페이스한 후 logic checkout, logic validation, operator training 등 가상공정을 활용한 제어시스템 개발시장을 개척하였다.



그림 1.3.2.5 Offshore Technology 사는 Offshore 설비의 Virtual pipeline simulator

3. 시사점 및 결론

국내외 기술 및 정책동향, 산업전망 등을 통하여 본 과제의 SWOT 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음 그림과 같다.



그림 1.3.3.1 국내외 기술개발 현황 비교를 통한 SWOT 분석 결과

강점으로는 인력의 우수성과 첨단 IT기술을 확보하고 있다는 것이며 약점으로는 플랜트 엔지니어링 기술이 취약하다는 것이다.

기회요인으로는 세계 천연가스 수요의 증가에 따라 LNG플랜트 건설수요가 증가할 것으로 예상되며, 연구개발 투자비용이 증액 등 LNG 플랜트에 대한 기술개발을 정부가 정책적으로 지원하고 있다는 것이다. 위협 요인으로는 선진국과의 기술격차가 세계시장의 첨예한 경쟁을 들 수 있을 것이다.

국내외 기술 및 산업전망 등을 토대로 분석하면 강점과 기회를 극대화하기 위해서는 LNG 플랜트 건설 사업에 바로 사용할 수 있는 기술 개발이 필요하며 LNG플랜트 건설시장 진입의 한 방안으로 활용될 수 있는 FEED 수행능력의 확보가 필요하다.

ST분석에서는 선진기술의 벤치마킹과 국제협력 증진을 통한 중간 진입 전략의 추진과 국제경쟁력 확보를 위한 엔지니어링 능력의 배양이 요구된다.

WO분석과 WT의 분석에서는 우리나라 관련 산업계의 취약점을 보완하기 위한 LNG 플랜트의 엔지니어링 기술 개발과 이를 지원하기 위한 IT 패키지 형태의 솔루션 개발을 통해 극복할 수 있다.

이상의 SWOT 분석으로 판단할 때 플랜트 건설 엔지니어링 능력 배양을 위한 'RAM 기반 플랜트 모듈화 기술 개발'을 적기에 완료함으로써 엔지니어링 핵심 기술을 확보하고, 관련 기술을 보유한 해외 기관과의 기술협력 강화방안을 지속적으로 추진하는 것이 필요하다고 판단된다.

제2장

연구개발 수행 내용 및 결과

임의 여백

제2장

연구개발 수행 내용 및 결과

1절 연구수행 전략 및 방법론

본 연구는 LNG 플랜트 사업단 핵심1과제 중 'RAM 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술' 개발을 위한 통합 솔루션 개발 과제에 포함된다. 다시 핵심 1과제 전체의 통합 주요 목표인 엔지니어링 효율성 개선기술 개발 달성에 기여하기 위하여 (1)콤팩트 모듈화 기술 분야, (2)마이크로 채널 열교환기 개발 분야, (3)플랜트 위험도 평가기술 개발 분야, (4)이상상태 실시간 감시/진단 기술 개발 분야 등으로 구성되었다.

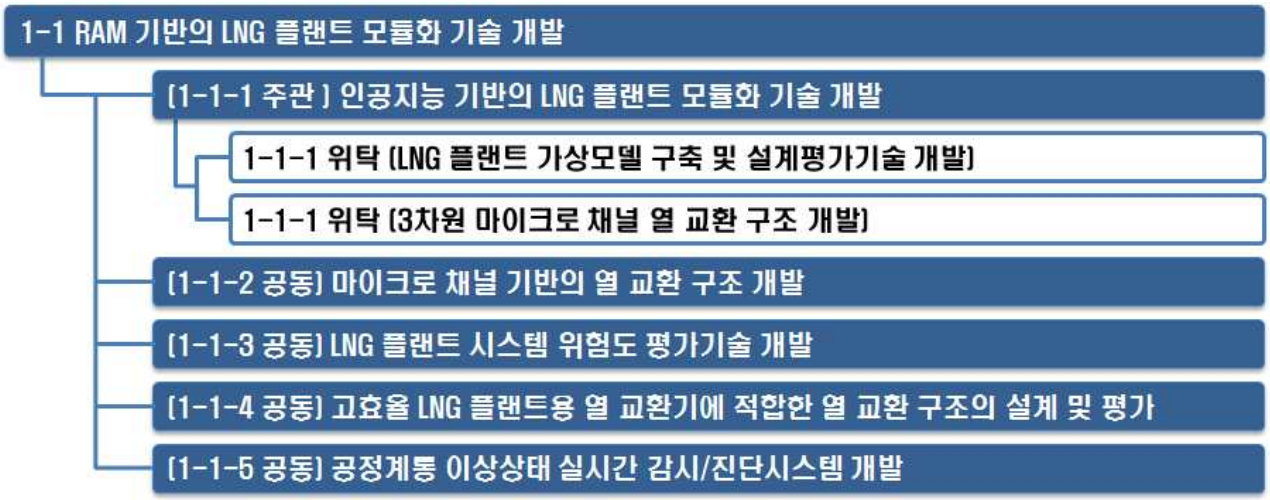


그림 2.1.0.1 LNG 플랜트 사업단에서 1-1-1 과제 역할

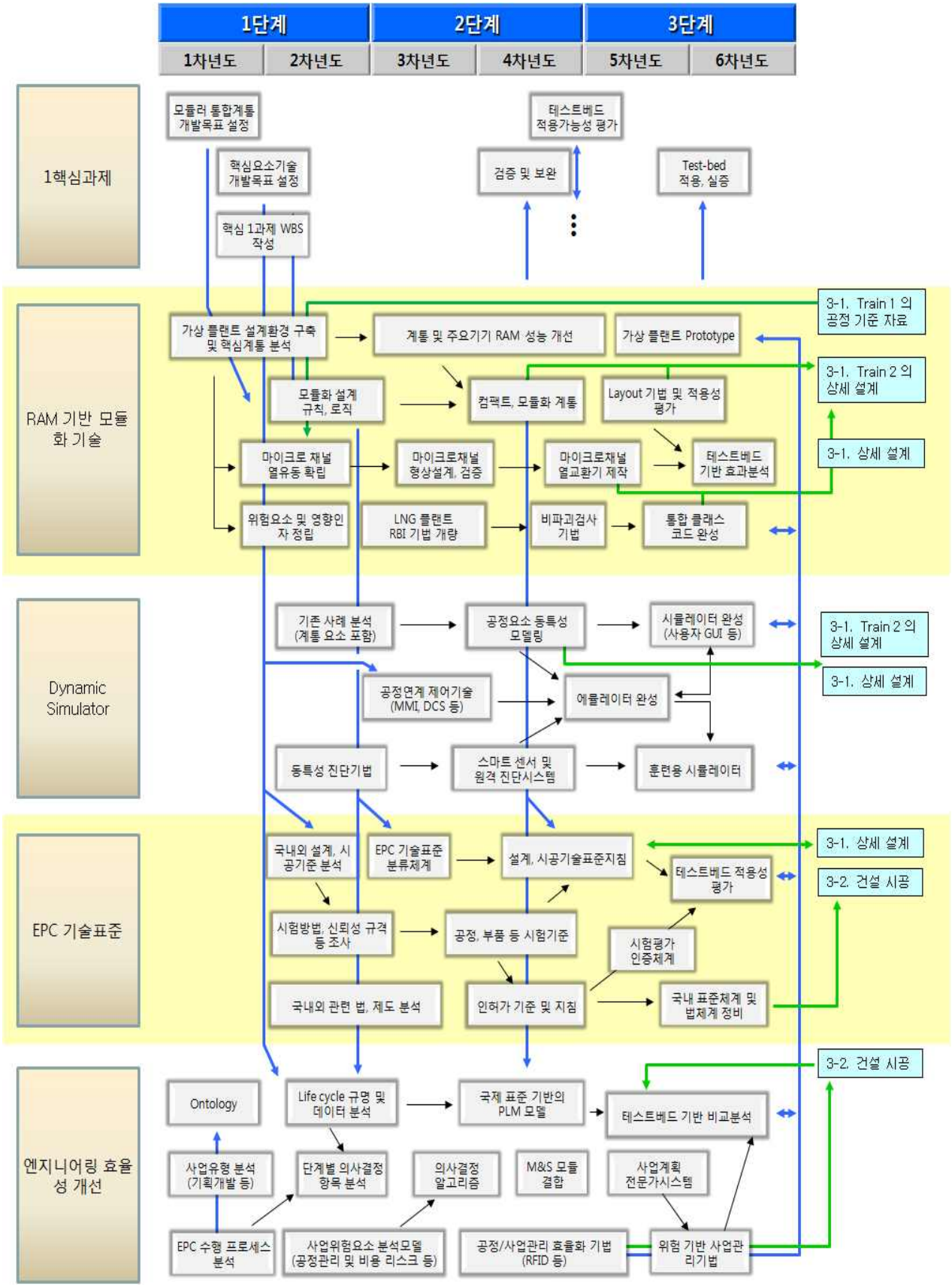


그림 2.1.0.2 핵심 1과제 TRM

본 과제의 주요 수행 내용은 (1)LNG플랜트의 신뢰성 평가를 위한 RAMs 솔루션 개발, (2) 원격지 플랜트 건설 특성 개선을 위한 콤팩트, 모듈화 건설기술 개발, (3)개발 기술의 통합 운용 및 시현을 위한 가상플랜트 원형 개발 분야로 구성되며,

단계, 연차별로 통합설계환경 플랫폼 구축, 요소기술/통합시스템 개발 및 현장적용/검증의 프로세스에 의하여 수행되었다.



그림 2.1.0.3 주요 연구 수행 내용

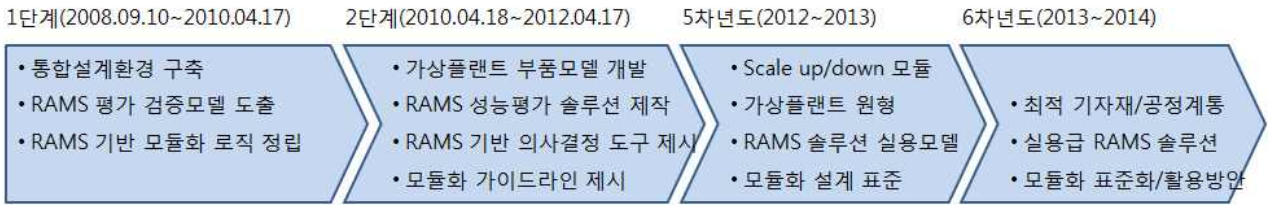


그림 2.1.0.4 단계, 연차별 연구수행 프로세스

2절 연구내용 및 결과

1. RAM 평가 솔루션 개발

가. 개 요

최근 LNG플랜트의 대형화에 따라 신뢰성, 유지보수 특성에 기초한 생산효율, 가용도 등 플랜트 운전특성 평가에 관심이 증가하고 있으며 분야별 다양한 상용 도구가 이용되고 있다.

본 절에서는 프로세스의 가용 성능 검정 및 개선을 위한 상용급 솔루션 '웹 기반 RAM 평가 솔루션(RAMPLO 솔루션)'의 개발 및 사용자 편의성을 확보하고, 성능개선, 검증 결과를 기술하였다.

상용급 RAMPLO 솔루션은 Reliability, Availability, Maintainability, Production efficiency, Life-cycle cost, Optimum program의 기능을 포함하고 있으며, 연산엔진으로 기존 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션 기법에 마르코프연쇄몬테카를로(Markov chain Monte-Carlo) 시뮬레이션 기법을 추가하여 수렴시간을 개선하였다.

또한 웹 기반의 RAMPLO 솔루션을 시범 운용을 통하여 사용자 작업환경, 시스템 운용환경을 개선하였으며, 시스템의 활용도 제고를 위하여 웹기반 접근성을 개선하였다. 공급자, 사용자별 RAM 평가 사례 및 데이터베이스의 공유가 용이하여 엔지니어링 데이터베이스의 집적으로 신산업 분야(LNG플랜트)의 기술 기반이 개선된 것으로 평가된다.

나. 수행내용 및 결과

(1) RAM 평가 로직 검증 및 개선

플랜트 프로세스 가용도 평가를 위하여 RAM 평가 과정을 단계별 최적화하였으며, LNG플랜트 테스트베드 기본설계에 기초하여 적용 장치 범주, 오작동 함수 분포, 반복계산 수행횟수, 검토 구간 등에 따른 RAMPLO 솔루션의 평가 로직을 검증하였다.

현재 관련 분야에서 공급되고 있는 RAM 평가 상용도구(MAROS)를 이용하여 비표평가/검증하였으며, 관련 제품의 국산화를 통하여 수입 대체를 통한 경제적 효과를 얻고자하였다.

그림 2.2.1.1은 RAMPLO 솔루션의 RAM 평가 및 개선 전 단계 프로세스의 개요 도시하고 있는 그림으로 초기 기본 설계를 이용한 공정 검토, 고장 요인의 예측, 기초 데이터베이스를

이용한 RAM 평가, 개선 과정을 포함하고 있다.

LNG플랜트 RAM 평가는 식(1-1) ~ 식(1-5)의 신뢰성 이론에 기초하여 구성되며, 몬테카를로 시뮬레이션 기법, 마프코프연쇄몬테카를로 시뮬레이션 기법 등을 적용하여 평가 로직을 확장하였다.

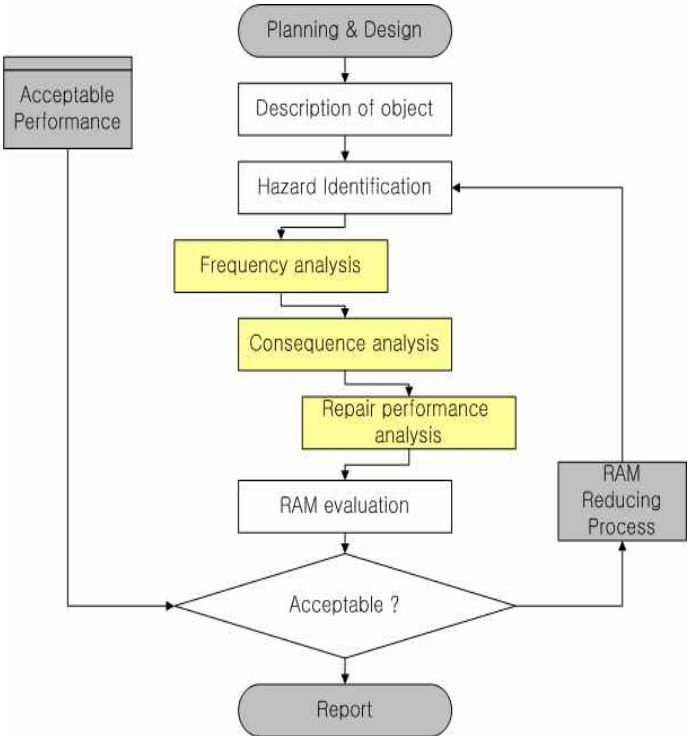


그림 2.2.1.1 RAM 평가 및 개선 전 단계 프로세스의 개요

$$R = e^{-\lambda t} \tag{2-1}$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \tag{2-2}$$

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \tag{2-3}$$

$$R_S = \prod_{i=1}^{n} R_i \quad (Series\ \ configuration) \tag{2-4}$$

$$R_P = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i) \quad (Parallel\ \ configuration) \tag{2-5}$$

그림 2.2.1.2는 RAMPLO 솔루션 비교 평가를 위한 시범적용 대상 플랜트로서 LNG플랜트사업단의 TB train-1(100 TPD 규모의 1차 테스트베드) 구성을 도시하고 있다. TB train-1은 상용급 플랜트의 구성에서 전처리 프로세스가 제외되었으며, 천연가스의 도입, 조성 제어를 위한 intake facility와 refrigerant storage가 추가되었다.

그림 2.2.1.2의 LNG플랜트 테니스베드는 전체 39종 157개 장치로 구성되었으며, RAM 평가 시범적용을 위하여 OREDA handbook의 기본 분류에 따라 12개 그룹군으로 분류하여 적용하였다.

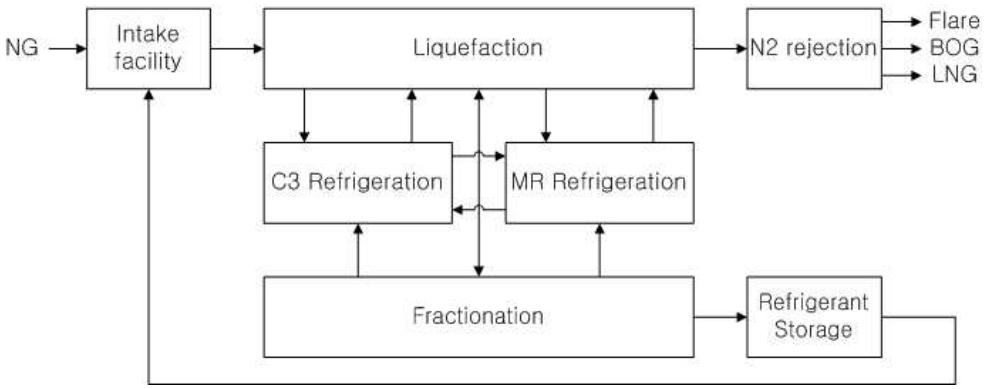


그림 2.2.1.2 LNG플랜트 테스트베드 구성 개요

그림 2.2.1.3 ~ 그림 2.2.1.5는 RAMPLO 솔루션의 연산결과에 대한 정확도 평가 결과를 도시한 그림으로 RAM 평가 대상 장비의 범위 증가에 따른 정확도를 상용도구(MAROS)와 비교 평가한 결과이다.

RAMPLO 솔루션의 연산 정확도 평가는 구성장치의 고장발생이 지수분포, 정규분포, 와이블분포인 경우에 대하여 실시하였으며, 구성장치의 고장발생이 지수분포인 경우에 최대 0.031%, 정규분포인 경우에 최대 1.694%, 와이블분포인 경우에 최대 0.332%의 오차가 발생하고 있다.

그림 2.2.1.6 ~ 그림 2.2.1.8은 제시 모델의 반복 수행 횟수에 따른 발생 오차를 검토하고 있는 그림으로 전 구간에서 0.11% 이내 범위의 일정한 RAM 성능을 도시하고 있다.

그림 2.2.1.9는 제시 모델의 RAM 평가 시간 간격(time step)에 따른 평가 결과를 도시하고 있는 그림으로 일 단위 시간 간격(365 회/년) 이하인 경우 1.07% 이내에서 평가 결과의 수렴이 이루어지고 있다.

그림 2.2.1.10은 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 가용도 평가 결과를 통계적으로 분석한 그림으로 250회 반복 계산 결과가 좌우 대칭의 정규분포 형태를 나타내고 있으며, 95% 신

뢰수준, ±0.3% 오차 범위 이내의 결과를 제시하고 있다.

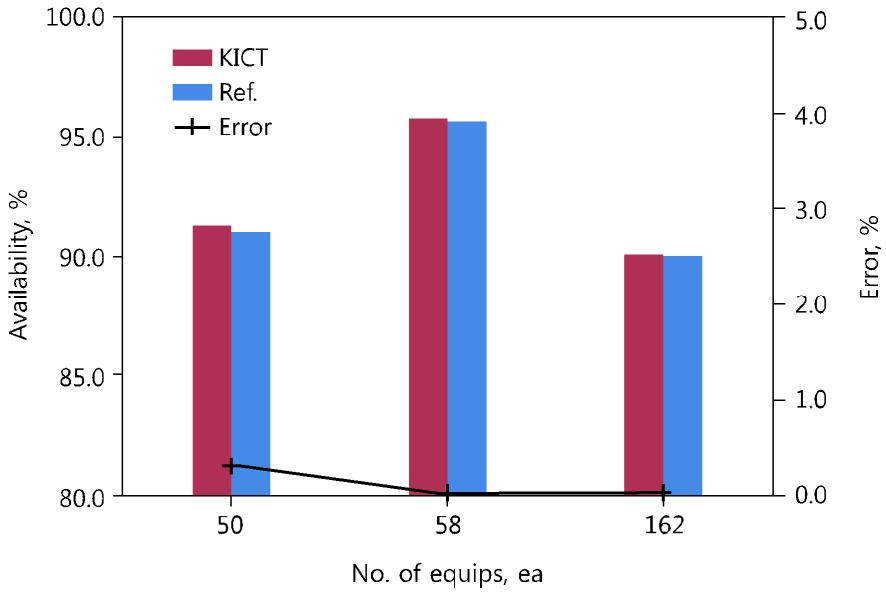


그림 2.2.1.3 K-RAMS solution의 적용 장치 수에 따른 성능 비교
(고장발생이 지수분포를 따르는 경우)

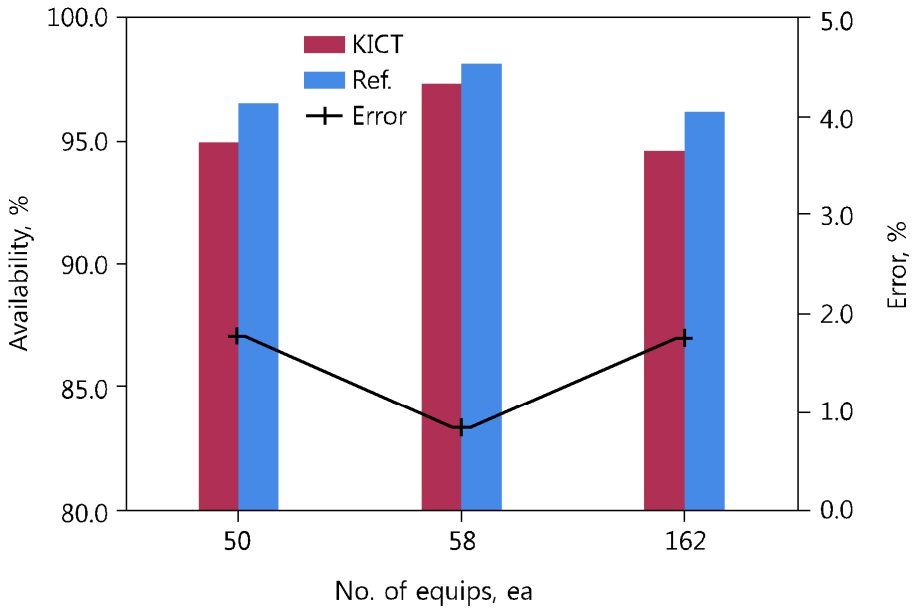


그림 2.2.1.4 K-RAMS solution의 적용 장치 수에 따른 성능 비교
(고장발생이 정규분포를 따르는 경우)

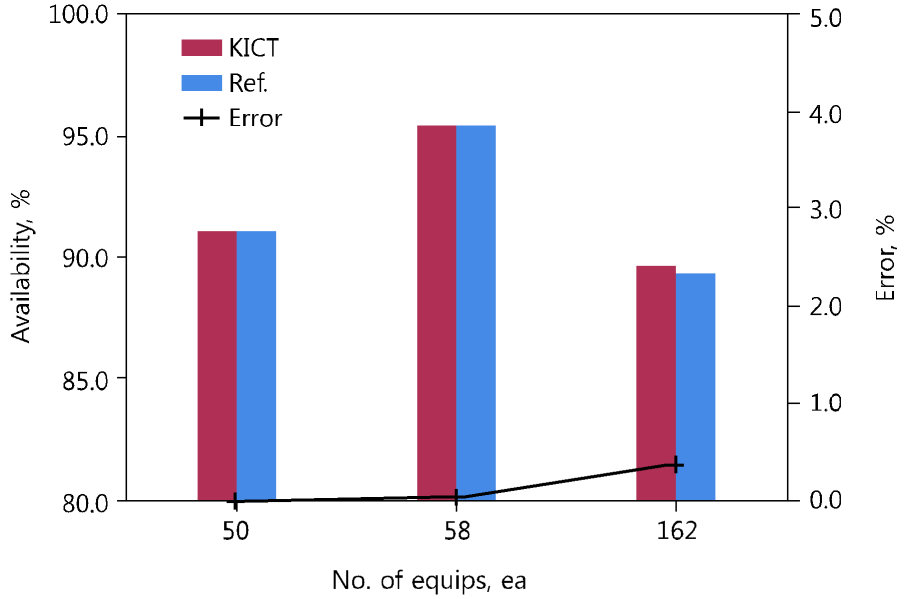


그림 2.2.1.5 K-RAMS solution의 적용 장치 수에 따른 성능 비교
(고장발생이 와이블분포를 따르는 경우)

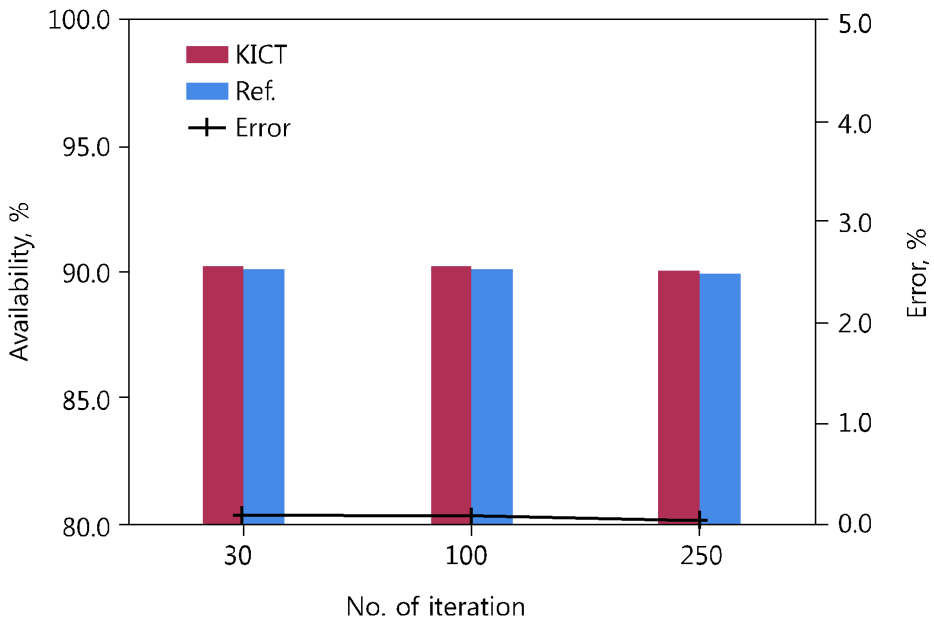


그림 2.2.1.6 K-RAMS solution의 반복계산량에 따른 민감도 분석
(162 equipment, 고장발생이 지수분포를 따르는 경우)

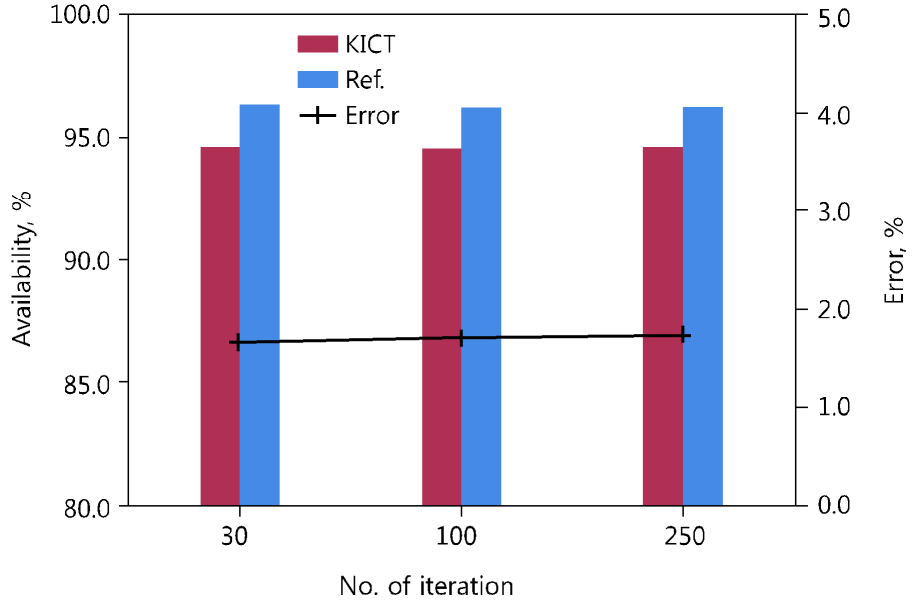


그림 2.2.1.7 K-RAMS solution의 반복계산량에 따른 민감도 분석
(162 equipment, 고장발생이 정규분포를 따르는 경우)

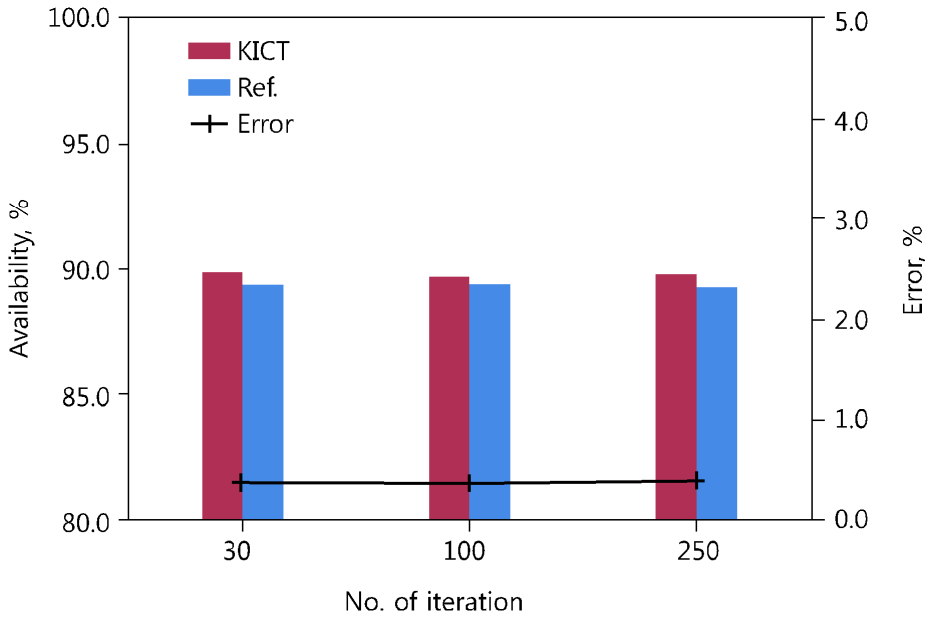


그림 2.2.1.8 K-RAMS solution의 반복계산량에 따른 민감도 분석
(162 equipment, 고장발생이 와이블분포를 따르는 경우)

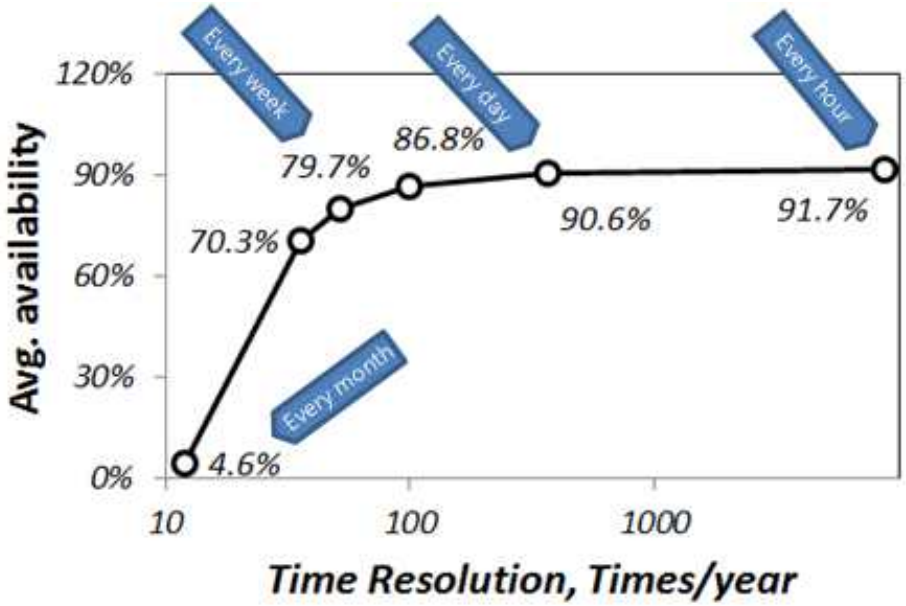


그림 2.2.1.9 K-RAMS solution의 평가 주기에 따른 민감도 분석

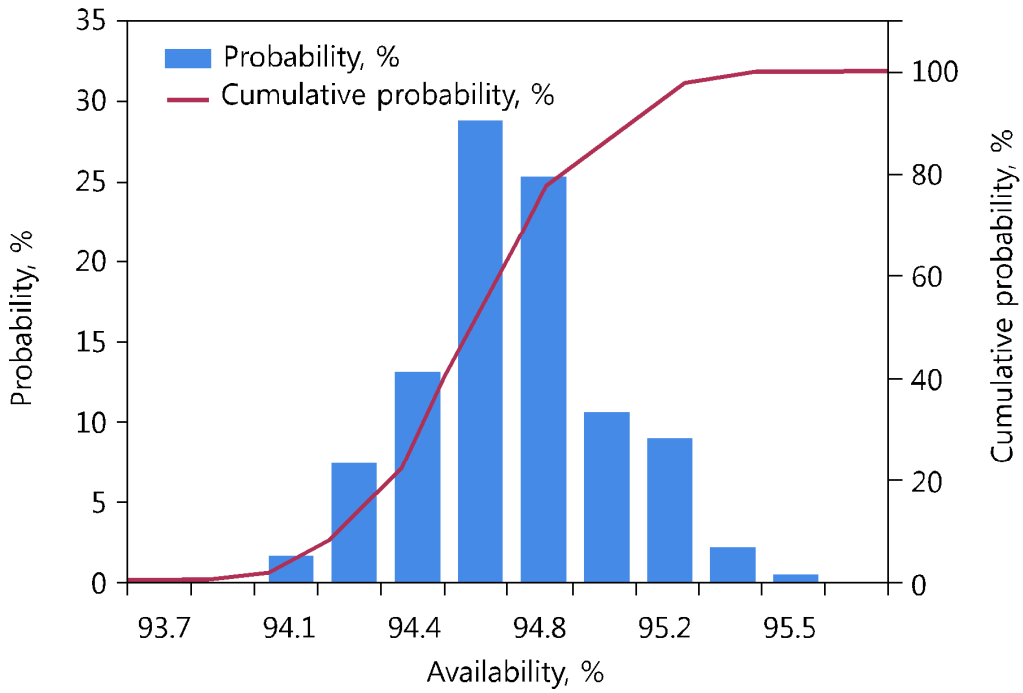


그림 2.2.1.10 몬테카를로 시뮬레이션 결과 분포

(2) RAM 평가 솔루션 개발

‘웹 기반 RAMPLO 솔루션(Reliability, Availability, Maintainability, Production efficiency, Life-cycle cost Optimum program)’의 경우 RAM 평가 및 최적화 시스템을 웹 환경에서 운용함으로서 공급자, 사용자별 RAM 평가 사례 및 데이터베이스의 공유가 용이하고, RAM 평가를 위한 운용 시스템 공유가 가능함으로서 시스템 활용도의 개선이 가능하다.

전단계에서 개발한 독립형 RAM 평가 시스템, 웹 기반 RAM 평가 시스템 초기모델의 개선을 통하여 RAMPLO 솔루션을 구축하였다.

독립형 RAM 평가 솔루션은 GUI 기반의 프로그래밍 언어(LabVIEW)를 이용하였으며, 신뢰성 이론을 직접 적용한 1차 모델, 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 추가 적용한 2차 모델을 작성하였다.

그림 2.2.1.11 ~ 그림 2.2.1.13은 독립형 RAM 솔루션 최종 모델의 평가 로직, 구현 사례를 도시하고 있는 그림으로 RAM 평가를 위한 장치별 오작동률, 수리시간 등 기초 데이터를 스프레드시트 형태로 입력하고 해석을 실시하면, 장비, 공정, 플랜트 단위의 공정의 RAM 성능이 평가된다.

몬테카를로 시뮬레이션 기법을 이용한 RAM 평가 솔루션의 경우, 임의 시간 구간에 대한 구성 장치의 오작동 상태를 장치별 고유의 오작동률을 이용하여 평가함으로서 평가 시점별 플랜트 운전 상태 변화를 평가할 수 있으며, 예비 시스템의 설계, 유지보수 부품의 비축, 조달 계획, 비상운전 등 적절한 유지보수 정책을 입안할 수 있다.

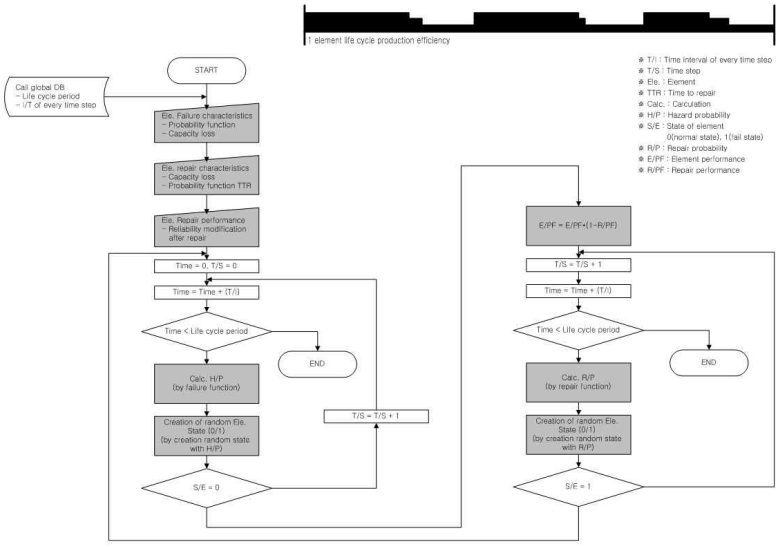
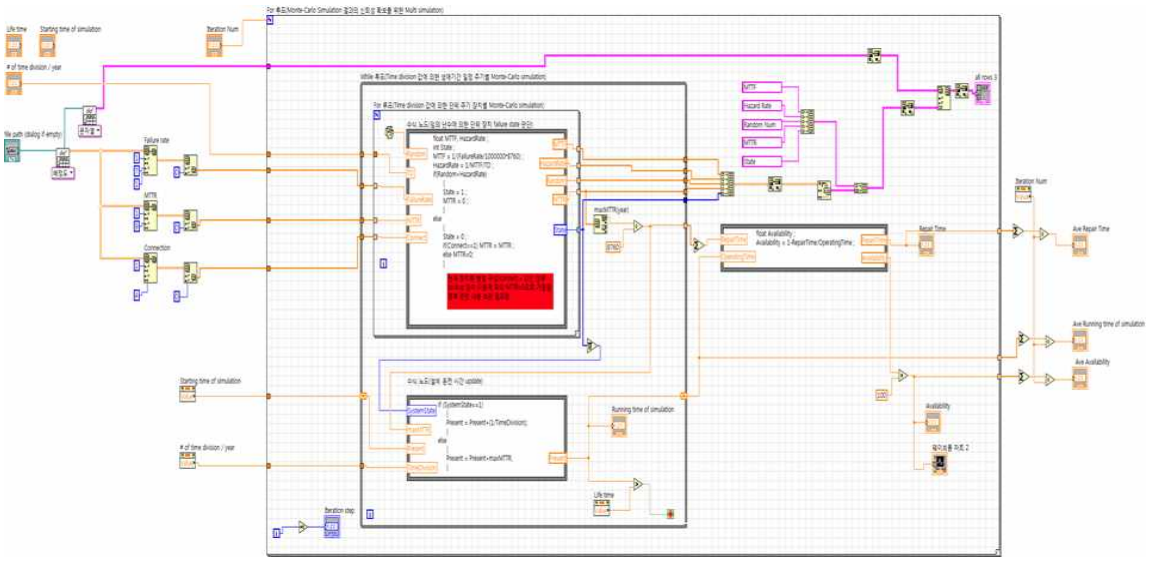
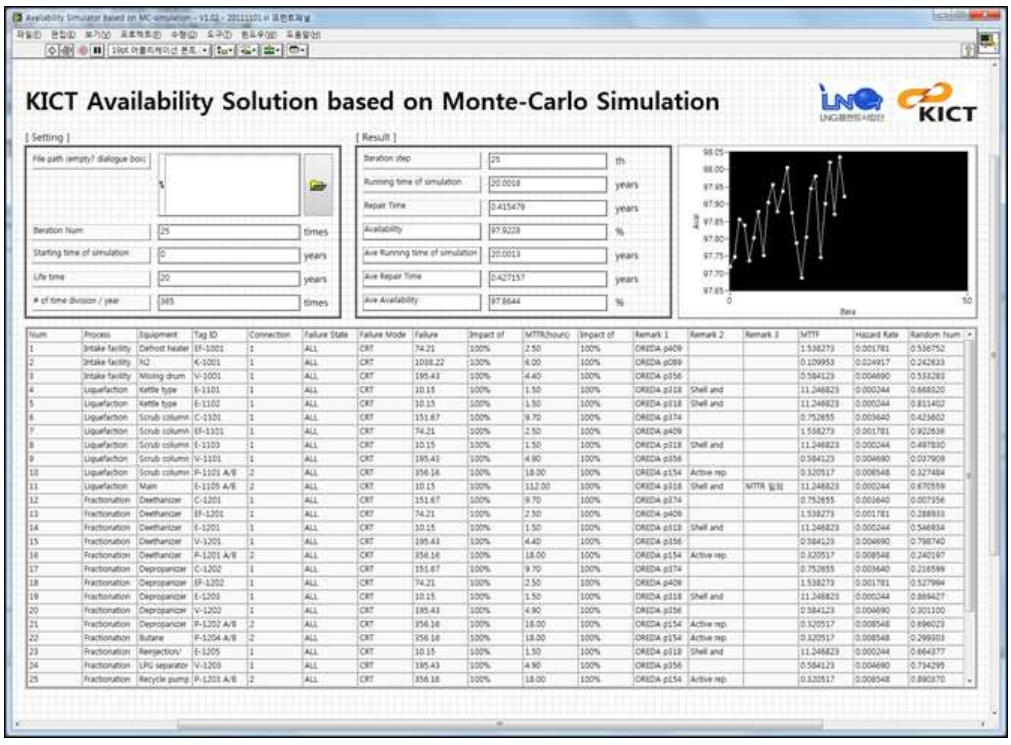


그림 2.2.1.11 M-C 시뮬레이션 기반 RAM 평가 로직(단일 오작동 모드)



(a) RAM 평가 프로그래밍 상세



(b) RAM 평가 프로그래밍 UI 구성

그림 2.2.1.12 M-C 시뮬레이션 기반 독립형 RAM 평가 솔루션 구현 사례

독립형 RAM 평가 솔루션의 웹 기반 서비스 제공을 위한 RAMPLO 솔루션을 개발하였다. 상용급 RAMPLO 솔루션은 reliability, availability, maintainability, production efficiency, life-cycle cost, optimum program의 기능을 포함하고 있으며, 연산엔진으로 기존 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션 기법에 마르코프연쇄몬테카를로(Markov chain Monte-Carlo) 시뮬레이션 기법을 추가하여 수렴시간을 개선하였다.

웹 기반 시스템의 구성은 사용자 단말 장치, 웹 서버, 연산 서버, 데이터베이스 서버로 구성되어 있으며, 사용자 단말장치로부터 입력된 기초 데이터는 웹 서버를 통하여 연산 서버와 데이터베이스 서버에 연계된다.

연산 서버와 데이터베이스 서버 접근에 웹 서버를 경유함으로서 시스템 보안을 확보하였으며, Flex 기반의 프로그래밍 기법을 적용함으로서 사용자 단말 장치와 웹 서버 사이에서 발생하는 네트워크 부하를 최소화 하였다.

Flex 기반의 웹 기반 컨텐츠의 제공은 그림 2.2.14에 도시하고 있는 것과 같이 컨텐츠 개발이 용이하고 서버와 클라이언트 사이의 통신 과부하 위험이 없기 때문에 사용자 활용성이 우수하고, 프로세스 모델링, 연산, 후처리 과정의 과부하 방지가 가능하다.

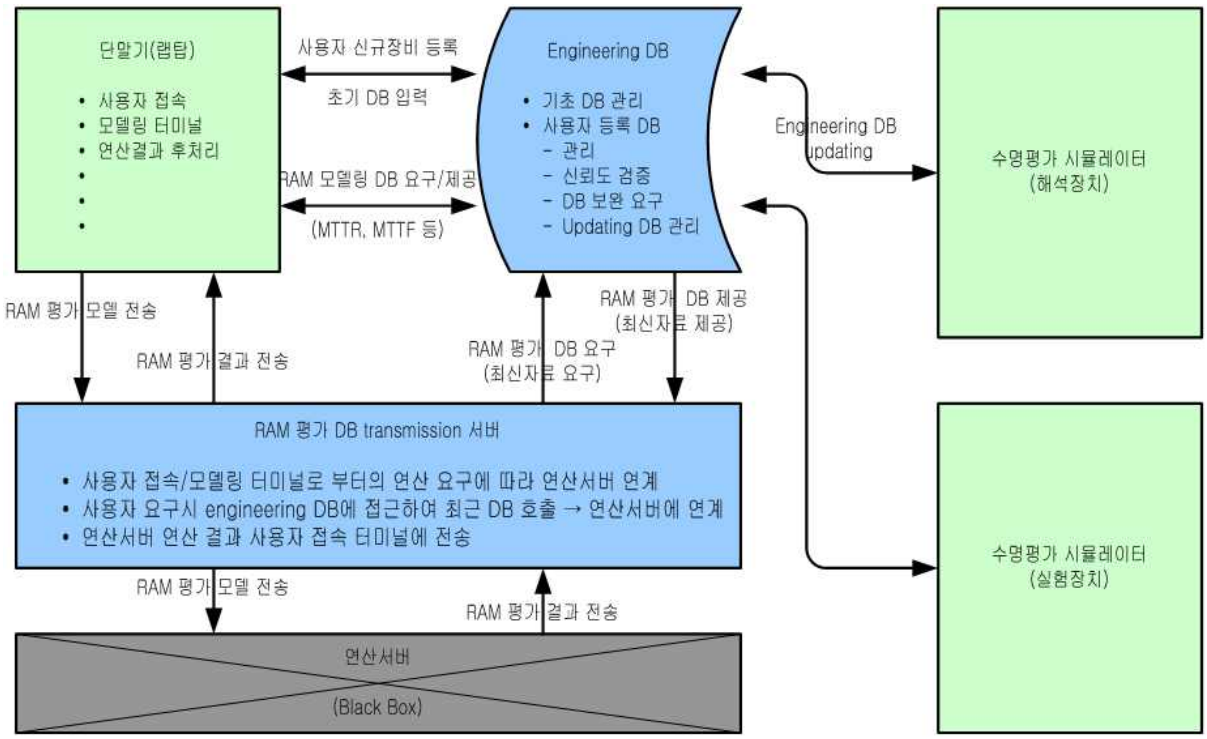
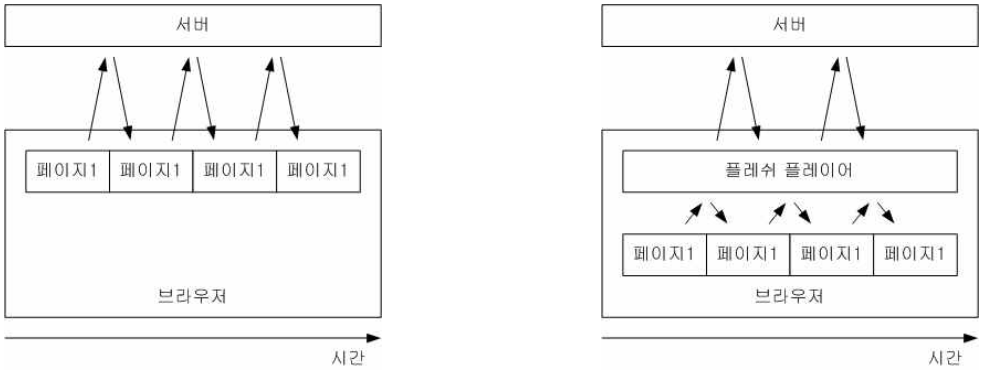


그림 2.2.1.13 RAMPLO 솔루션의 구성 개요



(a) 기존 웹 컨텐츠 (b) Flex를 이용한 웹 컨텐츠

그림 2.2.1.14 웹 페이지의 서버-클라이언트 상호 통신 개요

RAMPLO 솔루션은 reliability, availability, maintainability, production efficiency, life-cycle cost 성능평가와 최적화 등 기본 기능 이외에 관리자, 사용자의 회원 관리, 데이터베이스 관리, 프로젝트 관리 등 종합 웹 컨텐츠를 제공하게 된다.

앞서 언급한 것과 같이 사용자는 RAM 평가 시스템 로그인 이후 사용자 단말 시스템 내에서 Flex 기반의 프로세스 모델링을 수행하고, 오작동 모드 초기화 이후 연산 서버에 모델링 데이터를 전송하게 된다.

RAM 평가 시스템은 사용자별 프로세스 구성 모델, 장치별 기초데이터를 관리하게 되고, 사용자의 요구에 따라 단계별 RAM 평가를 수행하고, 정형화된 포맷에 맞추어 RAM 평가 결과를 사용자에게 전송하게 된다. RAM 평가 결과의 정형화된 출력은 상용 도구(OZ reporting)를 이용하여 구현하였으며, 사용자 요구가 발생할 경우 스프레드시트 형태의 전자문서(데이터 파일)를 단말 장치에 재전송하게 된다.

RAMPLO 솔루션에서는 그림 2.2.1.15에 도시하고 있는 것과 같이 사이트-프로세스-구성장치 등 단위 그룹별 모델링 및 직관적 이해가 가능하도록 단계적 모델링 아키텍쳐를 적용하였으며, 프로세스 모델링 후 장비의 추가/제거, 백업시스템의 추가/제거 등 시스템 최적화를 위한 시스템 변경이 용이하도록 하였다.

콤포턴트 트리 구성, 드래그 앤 드랍 형태의 모델링 등 PC 내에서 standalone 형태의 프로그램을 운용하는 것과 같은 작업환경을 구현하기 위하여 그림 2.2.1.16과 같이 FLEX 기반의 모델링 아키텍쳐를 적용하였다.

또한 해석결과를 실시간 시계열 표기가 가능하고, 경제성, 위험비용 및 환경비용 등 사용자 특화가치 연계 다중의사결정 지원이 가능한 시나리오별 RAM 성능지표의 비교 검토가 가능한

출력 모듈을 구현하였다.

표 2.2.1.1, 표 2.2.1.2는 웹 기반 RAM 평가 솔루션의 기능 정의 및 기능 분류를 도시하고 있는 그림으로 각 기능별 세부 기능 구현 사례를 그림 2.2.1.17 ~ 그림 2.2.1.20에 도시하였다. (스토리보드, 표준설계, 테이블정의서, 활용지침서 등 세부내역 별첨 참조)

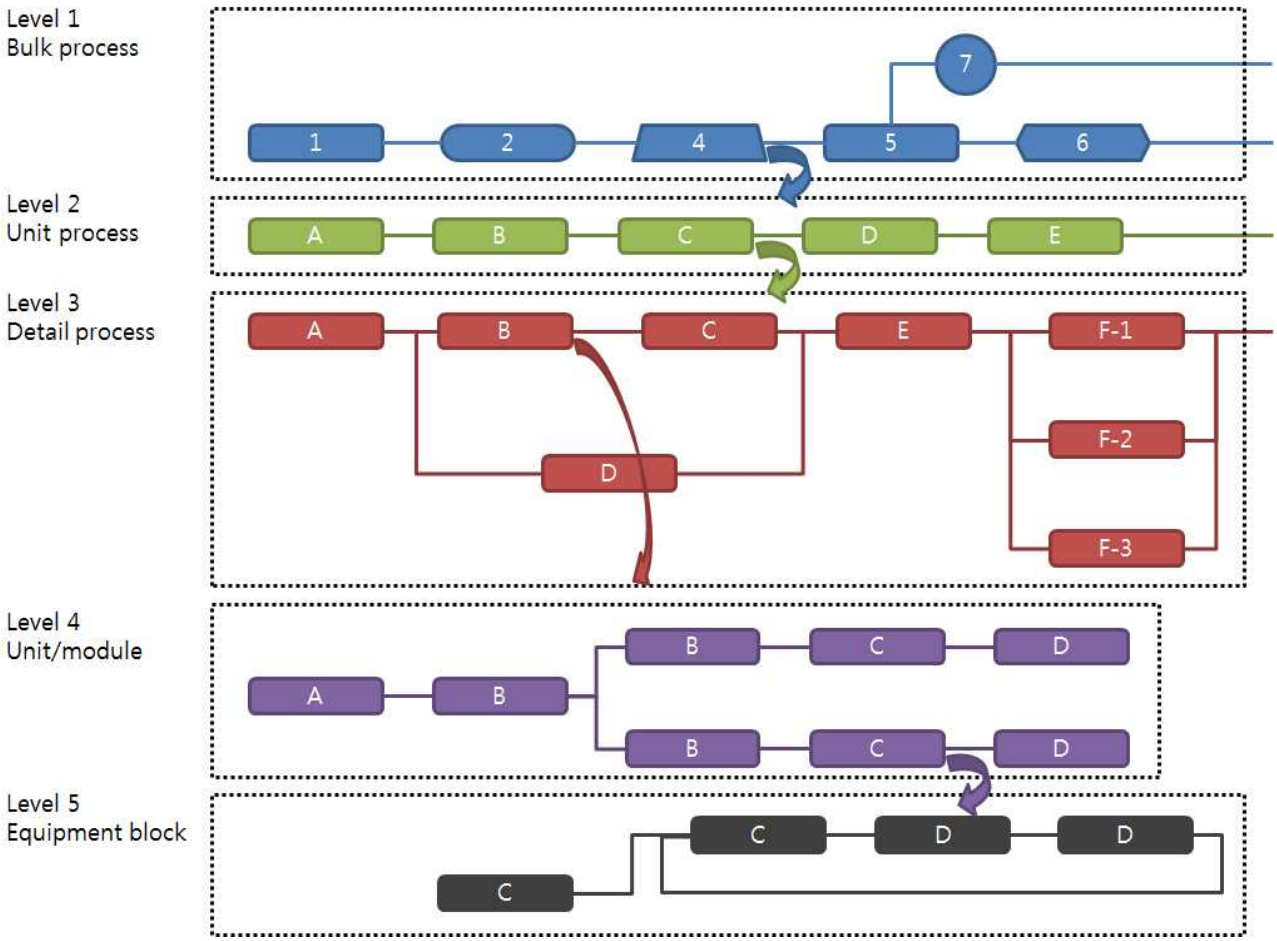


그림 2.2.1.15 RAMPL0 솔루션의 다단 프로세스 모델링 구조

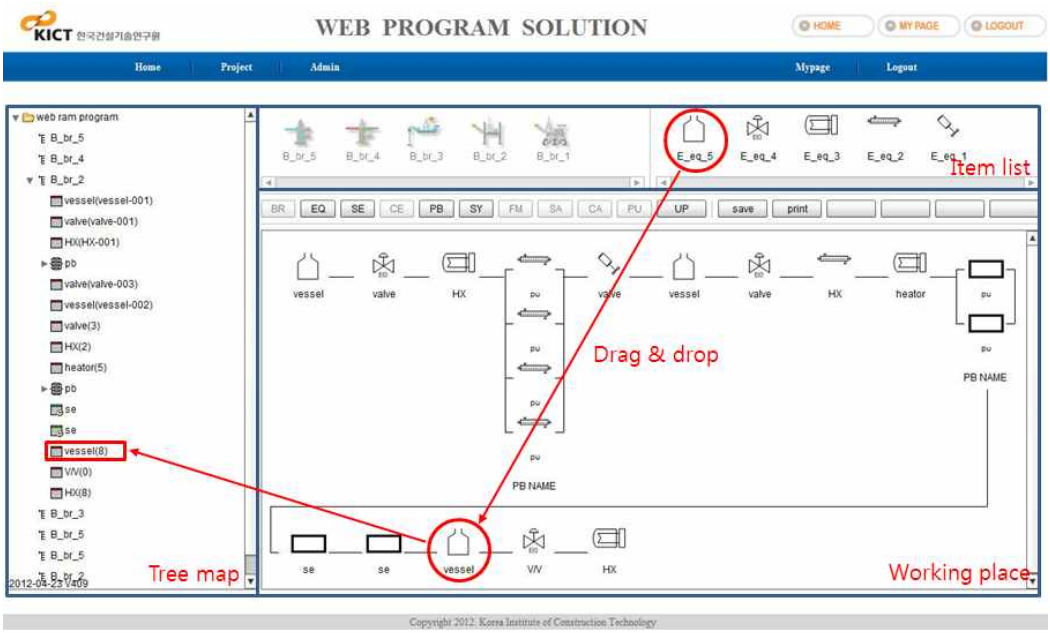


그림 2.2.1.16 RAMPLO 솔루션의 Flex 기반 프로세스 모델링 아키텍쳐



그림 2.2.1.17 RAMPLO 솔루션의 평가결과 제공 모듈

표 2.1.1.1 웹 기반 RAM 평가 기능 정의

구분	작업 내용	비고
Reliability 평가	◦ 장비 신뢰도 정의 기능	
	◦ 고장유형, 원인 분석 등 시스템 신뢰도 산출 작업	
	◦ 고장이력데이터 분석 및 관리 등의 분석기법 작업	
	◦ 프로세스 신뢰도 예측 기능(reliability predication)	
Maintainability 평가	◦ 장비 유지보수 특성 정의 기능	
	◦ 유지보수, 수리 기간 중 장비 운전률 평가 기능	
	◦ 유지보수 자재 비축, 조달 평가 기능	
Availability 평가	◦ 장비 고장율과 수리시간 기준 가용도 산출 작업	
	◦ 유지보수 자재 비축, 조달 기능	
	◦ 신뢰도 및 유지보수도 예측 기능(availability prediction)	
	◦ Markov,failure evaluatio 기법 활용 availability 평가	
Operability 평가	◦ 운전 휴지-재가동 프로파일 정의 기능	
	◦ 프로세스 독립성 평가 기능	
	◦	
Production Eff. 평가	◦ RAM 평가 결과 분석 기능	
	◦ 생산 저감량 평가 기능	
	◦ 생산성 위협 요소 평가 기능	
Safety 평가	◦ 프로세스 안전성 평가(KGS 개발 시스템 연계)	
	◦ 안전 예방 관리업무 평가(KGS 개발 시스템 연계)	
	◦ 운영위험성 평가 작업(KGS 개발 시스템 연계)	
경제성평가	◦ 현가/미래가치 기준 경제성 평가	
	◦ 시스템 시공/유지보수가치 기준 경제성 평가	
	◦ 시장수익률 기준 경제성 평가	
시스템 최적화	◦ Operability 기준 시스템 최적화	
	◦ Production efficiency 기준 시스템 최적화	
	◦ Life-cycle cost 기준 시스템 최적화	

표 2.1.1.2 웹 기반 RAM 평가 솔루션 기능 분류

구분	작업 내용	비고
회원관리 (관리자)	◦ 웹 기반 이용 회원 관리	
	◦ 회원 리스트 추가, 수정, 삭제, 검색 등 기능	
기초데이터 입력 (관리자)	◦ 장비별 RAM 평가 기초데이터(OREDA) 내장	
	◦	
	◦	
기초데이터 입력 (사용자)	◦ 스프래드시트 이용 모델링 자동화 기능	
	◦ 입력 데이터의 수정, 관리 기능	
	◦	
Element 등록/관리	◦ 장비별 기초 데이터 이미지 등록, 수정, 삭제 등 관리	
	◦ 장비별 이미지 등록, 수정, 삭제 등 관리	
	◦	
웹 UI 설계 구성	◦ 웹 기반 프로세스 설계를 위한 UI 구현	
	◦ 구성요소 관계 정의를 위한 Flex 이용 프로세스 모델링	
	◦	
RAM 평가로직 구성	◦ 운전 가동률 예측프로세스 평가	
	◦ 시스템 운전정책(계획정비, 예방정비 등) 적용 평가	
	◦	
시스템 최적화	◦ Operability 기준 공정개선	
	◦ 프로세스 NPV 기준 공정개선	
	◦ 시장수익률 기준 공정개선	
Reporting	◦ RAMs 평가 결과의 다양한 보고서 출력 －그래프, 테이블 형태의 보고서 출력 －OZ 리포팅 솔루션과의 연동 작업	
	◦ RAMs 이력관리 및 데이터 입력 처리	

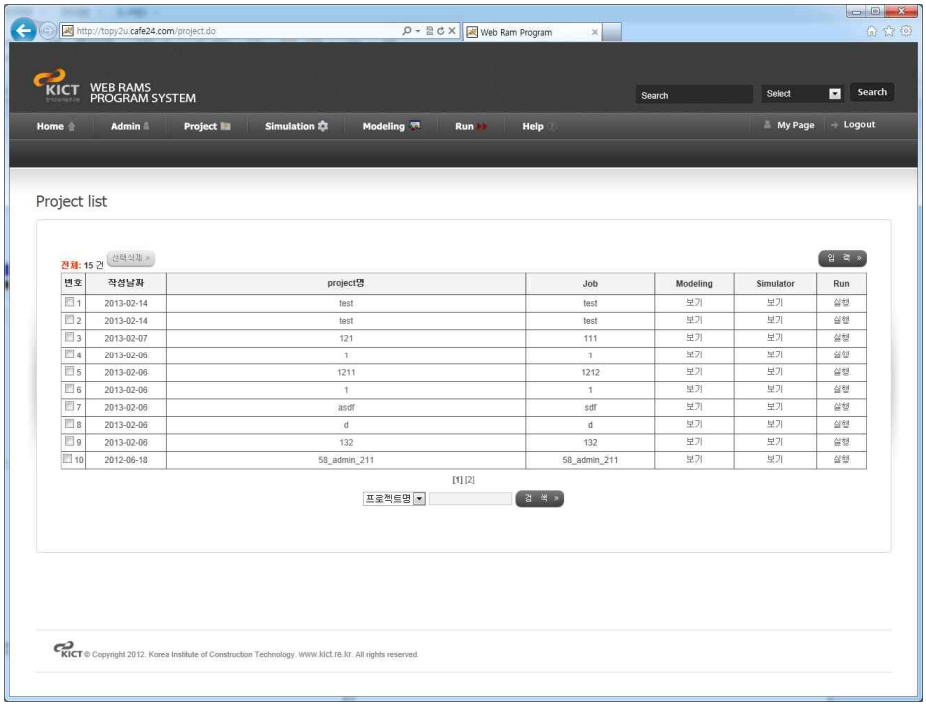


그림 2.2.1.18 RAMPLO 솔루션 프로젝트 관리 기능 구현 사례

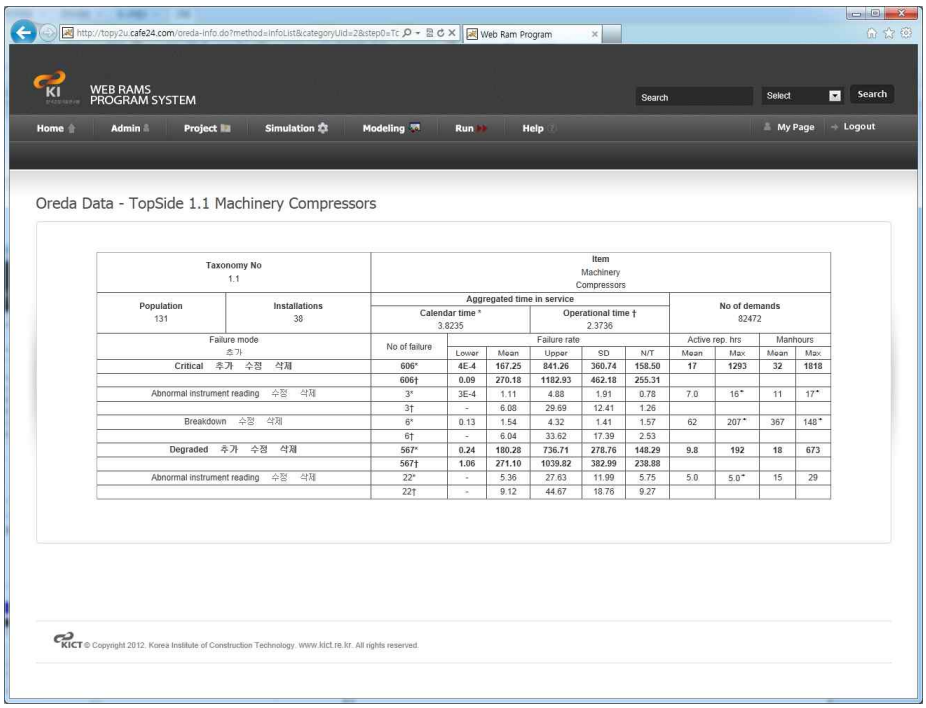


그림 2.2.1.19 RAMPLO 솔루션 기초 데이터베이스 관리기능 구현 사례

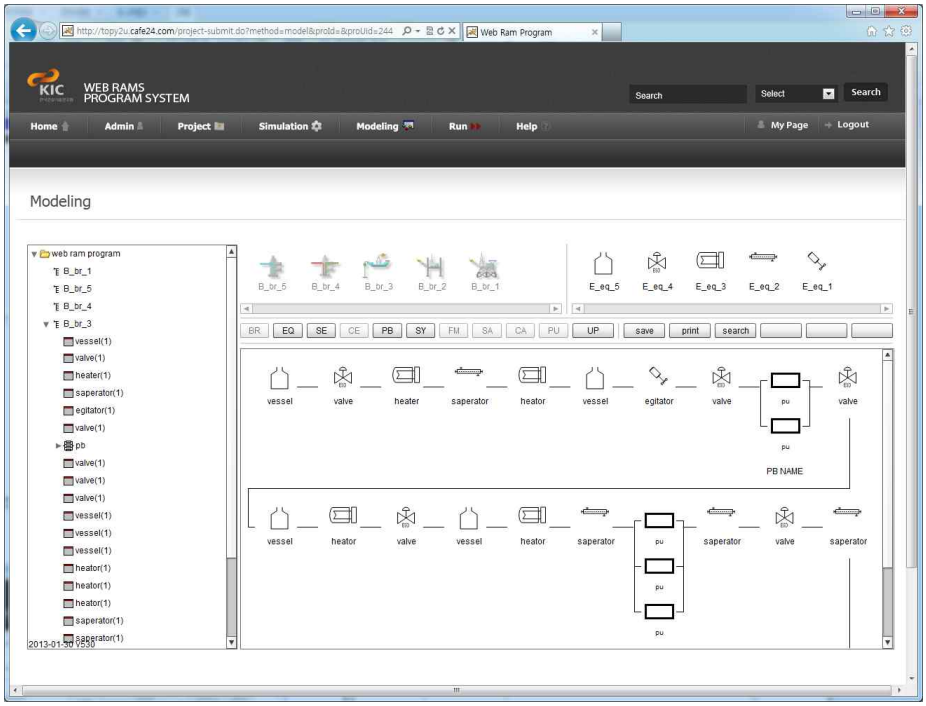


그림 2.2.1.20 RAMPLO 솔루션 프로세스 모델링 기능 구현 사례

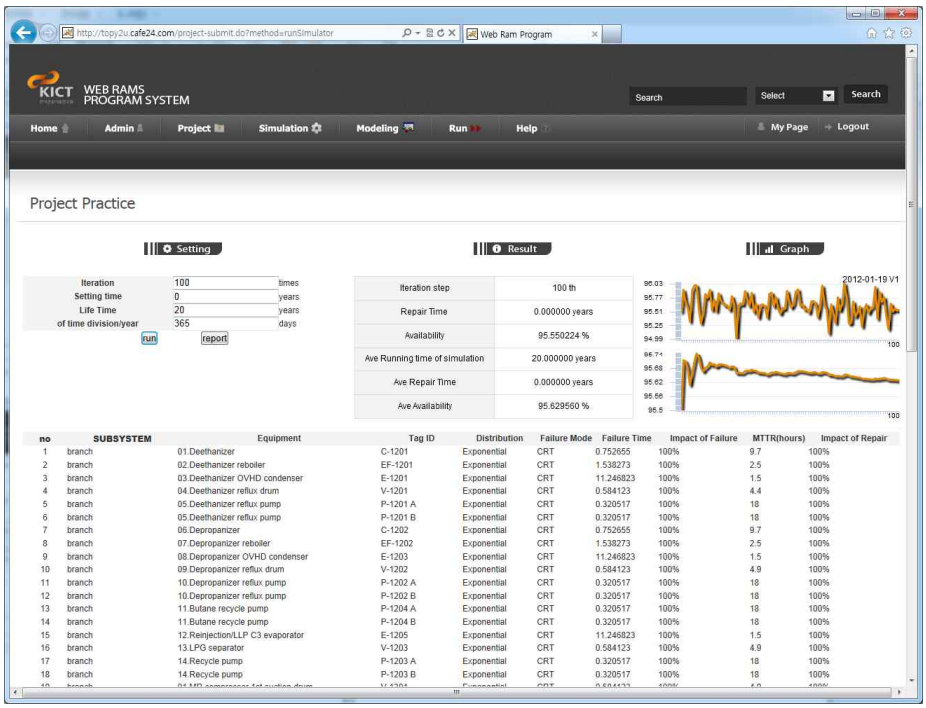


그림 2.2.1.21 RAMPLO 솔루션 평가 결과 출력 기능 구현 사례

(3) 내구성 평가 시뮬레이터 구축

일반적으로 RAMS(RAM and safety) 평가에 요구되어지는 방대한 기초 자료는 현장 적용 데이터에 기초하고 있는 상용 데이터베이스를 이용하고 있다. 이 경우 LNG플랜트 등 신산업 분야에 대한 연구개발 단계에서 주요기자재의 RAM 평가에 직접 적용에 제한적이다.

또한 대부분의 데이터베이스가 현장 적용 장치의 운전 수명에 대한 low 데이터를 제공하는 것 대신에 통계적 기법에 의하여 처리된 고장율, 수리 소요시간 등을 제시하고 있기 때문에 지수분포를 제외한 와이블 분포, 정규분포 등 오작동 분포 함수에 대한 정보를 제공하고 있지 않다.

이에 LNG플랜트 주요 기자재 중 와이블 분포를 따를 것으로 예상되는 장치류 중 밸브류의 운전 수명 평가를 위한 내구성 평가 시험 설비를 구축하였으며, 5차년도 연구수행 과정에서 초저온 환경에서 시험 평가가 가능하도록 시스템을 보완하였다.

초저온 밸브 내구성 평가 시험장치의 경우 초저온 환경에서 장시간 내구성을 확보하기 위해서는 밸브 sealing부 등 탈착이 이루어지는 부분의 경우 초저온 환경에서의 장시간 유지 및 내구성 확보가 필요하다. 또한 초저온 환경의 장시간 유지 및 내부 초저온 유체의 기화에 따른 손실을 방지하기 위하여 단열 특성의 확보가 중요하다.

그림 2.2.1.21 ~ 그림 2.2.1.24는 초저온 기자재, 부품류 시험 평가를 위한 시험장치의 구성 개요, P&ID, 장비 리스트를 도시하고 있다. 초저온 환경의 모사를 위하여 액화질소를 이용하였으며, 액화질소 탱크에서 공급된 액화질소는 기자재 운전조건에 따라 액체, 기체 상태의 시험 유체 공급이 가능하다.

기체 상태의 작동유체 공급을 위해서는 액화질소 탱크 후단의 기화기를 경유하게 되며, 기화기에서 기화된 초저온 가스의 경우 버퍼 탱크, 압력 조절밸브, 유량 조절밸브, 분배 헤더, 탈부착 지그, 엑츄에이터 등을 경유하여 시험체에 공급되어진다.

액체 상태에서 시험 유체를 공급하는 경우 압력 조절밸브, 유량 조절밸브, 분배 헤더, 탈부착 지그, 엑츄에이터 등을 경유하여 시험체에 공급되어지며, 말단의 receiver 탱크를 이용하여 기화되지 않은 액화질소를 회수하여 액화질소 저장탱크에 순환되어지는 구조이다.

내구성 평가 시뮬레이터 및 관련 기준 조사, 평가를 통하여 LPMS-RAMS 시스템 운용을 위한 기초 데이터베이스를 구성하였으며, 데이터베이스의 구성 및 사용자 작업환경을 그림 2.2.1.27에 도시하였다.

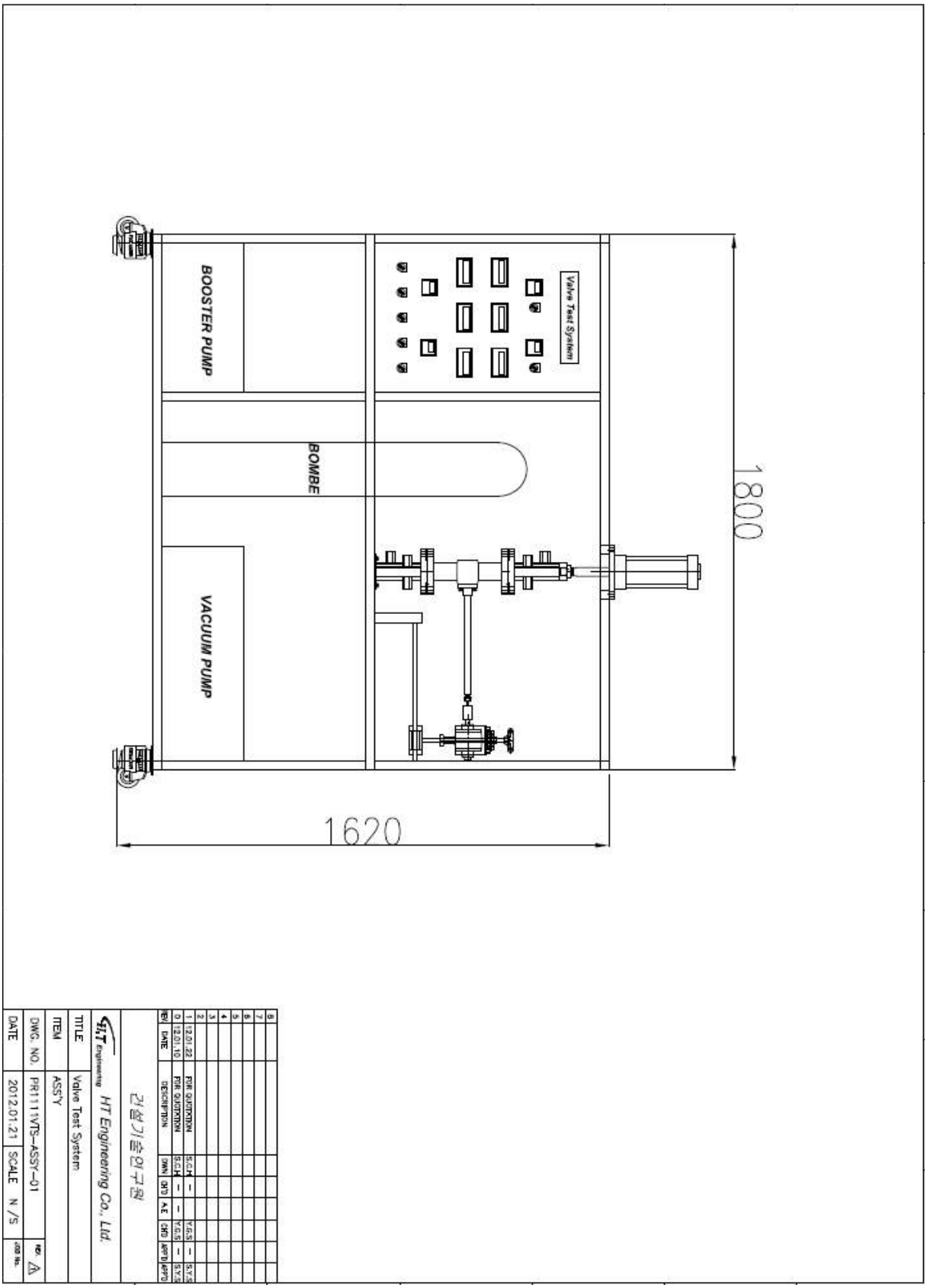


그림 2.2.1.22 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 설치 도면

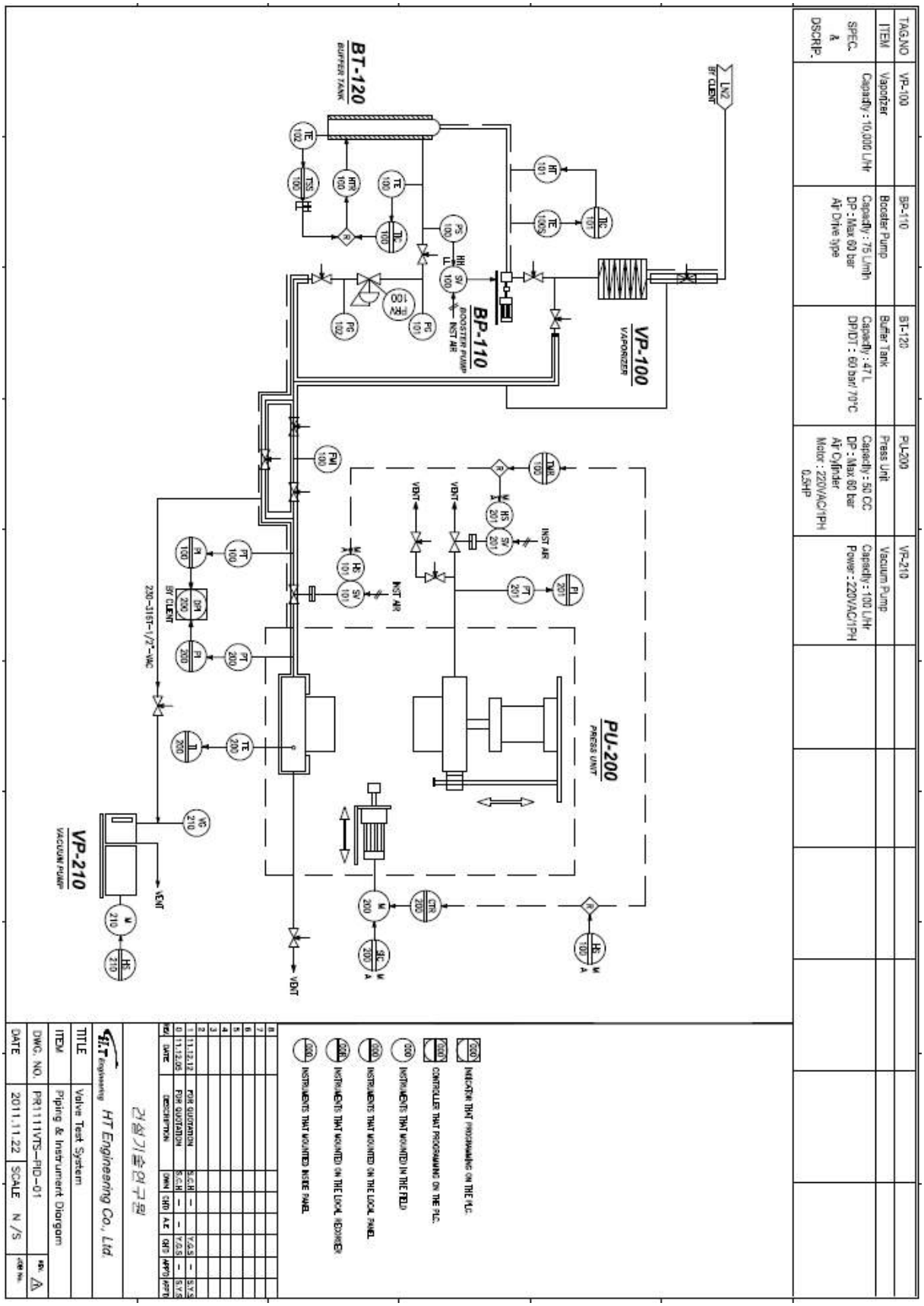


그림 2.2.1.23 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 P&ID

EQUIPMENT LIST

Project No.	EUM-1202-HT-VTS			Date	2012 2 27					DSGN	CHK'D	CHK'D	REV	DATA	
Project Name	***Valve test system***			Client	***Hteng***					YGS	YGS	SYS	0	2012. 1. 27	
Tag No.	Q'ty	Description	Specification					Material	DP(bar)	DT(℃)	Manufacturer	Model			
PU-200	1	Press Unit	Air Cylinder type/ Capacity : 50cc/ 220VAC, 1PH,0.5HP					STS304 TEFLON	60	-120 ~70	HTENG				
VP-100	1	Vaporizer	LN2 / Capacity : 10 l/H						30		UNS				
BP-110	1	Booster Pump	Air Drive type/ Capacity : 75L/ Max press : 70					STS304	60		MAXIMATOR				
BT-120	1	Buffer Tank	Cylinder type/ Capacity : 47L					STS304	120	70	HTENG				
VP-210	1	Vacuum Pump	Capacity : 100 l/m / 220VAC, 1PH						FV	60	WOOSUNG				

그림 2.2.1.24 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 equipment list

INSTRUMENT LIST

Project No.	EUM-1202-HT-VTS	Date	2012 2 27
Project Name	***Valve Test System***	Client	***Hteng***

DSGN	CHK'D	CHK'D	REV	DATA
YGS	YGS	SYS	0	2012. 1. 27

Tag No.	Q'ty	Description	Specification	Service	Manufacturer	Model
PG-101	1	Pressure Gauge	BOURDON TYPE / Φ63 / 0 ~ 100 bar / 1/4" NPT / 304SS / LOCAL MOUNTING		WISE	P-252
PG-102	1	Pressure Gauge	BOURDON TYPE / Φ63 / 0 ~ -760mmHg / 1/4" NPT / 304SS / LOCAL MOUNTING		WISE	P-252
VG-210	1	Vacuum Gauge	BOURDON TYPE / Φ63 / 0 ~ 250 bar / 1/4" NPT / 304SS / LOCAL MOUNTING		WISE	P-252
PT-100/200/201	3	Pressure Transmitter	STATIC TYPE / 4~20mA / 0 ~100 bar / 1/4"NPT / 316SS / LOCAL MOUNTING		WISE	P-115
PI-100/200/201	3	Pressure Indicater	INPUT : 4~20mA / OUTPUT : 4~20mA / 220 VAC 1PH 60 HZ / 96 X 48		WISE	GL-2L
TE-100	1	Temperature Element	RTD / Φ3.2 x 200mmL / 316SS /Mating connector / LEADWIRE : 300mmL		WISE	R-311
TE-100S	1	Temperature Element	RTD / Φ3.2 x 200mmL / 316SS /Mating connector / LEADWIRE : 300mmL		WISE	R-311
TE102	1	Temperature Element	RTD / Φ3.2 x 200mmL / 316SS /Mating connector / LEADWIRE : 300mmL		WISE	R-311
TE-200	1	Temperature Element	RTD / Φ3.2 x 200mmL / 316SS /Mating connector / LEADWIRE : 300mmL		WISE	R-311
TIC-100/101	2	Temperature Controller	INPUT : RTD / OUTPUT : SSR,RETRANSMISSION / 220 VAC 1PH 60 HZ / 48 X 48		YOKOGAWA	UT-150-VN/RET
TSS-100	1	Temperature Safty System	INPUT : RTD / OUTPUT : RELAY,RETRANSMISSION / 220 VAC 1PH 60 HZ / 48 X 48		YOKOGAWA	UT-150-RN/RET
TI-200	1	Temperature Indicater	INPUT : RTD / OUTPUT : RELAY,RETRANSMISSION / 220 VAC 1PH 60 HZ / 48 X 48		YOKOGAWA	UT-150-RN/RET
SV-100/101/201	3	Solenoid Valve	AIR / OP PRESS : MAX 9bar / DOUBLE ACTING / 220 VAC 1PH 60 HZ		KCC	KS320D-220
PS-100	1	Pressure Switch	DUAL SET POINT / OD100 / SET PRESS : 100bar / OUTPUT : RELAY / 220 VAC 1PH 60H		WISE	P-512
PRV-100	1	Pressure Regulator	INLET PRESS : 10,000psi / CONTROL RANGE : 1500psi / 316SS / 1/4"FNPT		TESCOM	44-1223-24
FMI-100	1	Flowmeter	TURBINE TYPE / 4~20mA / RANGE : 0.12~0.6 l/m / 1/4FPT		KOMETER	KTR-550-MF-EX
AM-200	1	Air Motor	4VANES / REVERSIBLE / FOOT MOUNTING / DOBLE ACTING		GAST	1AM-NRV-60-GR11
TMR-100	1	Time	OUTPUT : 2-POINT RELAY / PANEL MOUNTING 48 X 48 / 220VAC 1PH 60Hz		AUTONICS	CT6S-2P
CTR-200	1	Count Time	OUTPUT : 2-POINT RELAY / PANEL MOUNTING 48 X 48 / 220VAC 1PH 60Hz		AUTONICS	CT6S-2P
HTR-100	1	Cable Heater	SIZE : 1/2" X 10M / 220 VAC 1PH 60 HZ		MISUNG	
HT-101	1	Cable Heater	SIZE : 1/2" X 2M / 220 VAC 1PH 60 HZ		MISUNG	

그림 2.2.1.25 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치 instrument list



그림 2.2.1.26 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치

	Equipment_class	Equipment_No	Service	Process	Material	Figure-vr_No	Figure-drawing_No	Design_pressure	Design_Temperature	Max_Working_pressure	Leak_Test_Pressure
	Vessels	V-1308	HP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-025	V-drawing-025	25	26	27	28
	Vessels	V-1307	MP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-024	V-drawing-024	24	25	26	27
	Vessels	V-1306	LP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-023	V-drawing-023	23	24	25	26
	Vessels	V-1305	LLP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-022	V-drawing-022	22	23	24	25
	Vessels	V-1303	HP MR Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60N	V-vr-021	V-drawing-021	21	22	23	24
	Vessels	V-1302	MP MR Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60N	V-vr-020	V-drawing-020	20	21	22	23
	Vessels	C-1202	Depropanizer Column	Fractionation	A516 Gr.60	V-vr-016	V-drawing-016	16	17	18	19
	Vessels	V-1201	Deethanizer Reflux Drum	Fractionation	A240 TYPE 304L	V-vr-017	V-drawing-017	17	18	19	20
	Vessels	V-1301	LP MR Compressor Suction Drum	Refrigeration	A240 TYPE 304L	V-vr-019	V-drawing-019	19	20	21	22
	Vessels	V-1202	Depropanizer Reflux Drum	Fractionation	A516 Gr.60	V-vr-018	V-drawing-018	18	19	20	21
	Vessels	C-1201	Deethanizer Column	Fractionation	A516 Gr.60	V-vr-015	V-drawing-015	15	16	17	18
	Vessels	V-1101	Scrub Column Reflux Drum	Liquefaction	A240 TYPE 304L	V-vr-014	V-drawing-014	14	15	16	17
	Vessels	C-1101	Scrub Column	Liquefaction	A240 TYPE 304L	V-vr-013	V-drawing-013	13	14	15	16
	Vessels	104-D-104	Steam	Dehydration	A516GR70	V-vr-	V-drawing-	12	13	14	15

그림 2.2.1.27 LPMS-RAMS 기초 데이터베이스

다. 주요결과 및 시사점

본 연구를 통하여 웹 기반 RAMPLO 솔루션을 개발하였으며 주요 성과 도출을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

몬테카를로 시뮬레이션 기반의 K-RAMs 솔루션을 구성하여 타당성 및 적용 한계를 검토하였다. 상용도구(MAROS)를 이용한 비교 검토 결과 0.332% 범위 내에서 오차가 수렴하고 있으며, 프로세스 형태, 모델링 범위 변화에 따른 오차 증가가 관측되지 않았으며, 고장분포함수, 시뮬레이션 반복수행, 시뮬레이션 수행 구간 검토 과정에서도 오차 증가가 발생하지 않았다.

고장 확률밀도 함수가 정규분포를 따르는 경우 평가 오차 증가(1.694% 이내) 관측으로 정밀 검토 중에 있으나, 정규분포의 경우 $-\infty$ ~ ∞ 구간의 모집단 분포를 수학적으로 모델링하는 발생하는 오차에 의한 것으로 $-\infty$ 주변, $+\infty$ 주변으로 모집단을 모사할 수 없는 기술적 제약 요건에 의한 것으로 일반적 현상이다.

몬테카를로 시뮬레이션 기반의 K-RAM 평가 솔루션을 개선하여 ①마르코프연쇄몬테카를로 시뮬레이션 기법을 추가 적용하고, ②신뢰성 평가 데이터베이스를 연계하고 ③다양한 사용자 의사결정 지원 변수를 반영하여 ④시스템 구성 최적화 지원 모듈 추가한 RAMPLO 솔루션을 개발하였다.

LNG플랜트 주요 기자재, 부품류의 성능 및 건전성 평가를 위해 초저온 밸브 내구수명 평가 장치를 보완하였다. 가스 상태의 초저온 유체가 공급되는 기자재, 부품류의 시험을 위해서는 기화기, 압력 조절밸브, 유량 조절밸브를 이용한 성능 평가가 가능하도록 하였으며, 액체 상태의 초저온 유체가 공급되는 기자재, 부품류의 시험을 위해서는 장시간 시험 운용을 위하여 receiver tank를 이용한 순환 cycle을 구성하였다.

이상과 같이 독립형 RAM 평가 솔루션, 웹 기반 K-RAM 평가 솔루션, RAMPLO 솔루션 개발을 진행하였으며, 진행 단계에서 도출한 핵심 기술은 특허청 특허 출원(2건) 상태에 있다. 또한 연구개발 성과품(시작품)은 한국저작권위원회에 소프트웨어 저작권 등록을 완료(5건)하였다.

또한 한국저작권위원회에 등록 완료한 'Flex 기반 프로세스 모델링 솔루션'의 경우 유관 업체에서 기술 상업화를 위한 기술이전되었으며, 262,000,000원(중소기업 할인 후 조정 금액 78,600,000원)의 기술료 수입이 발생하였다.

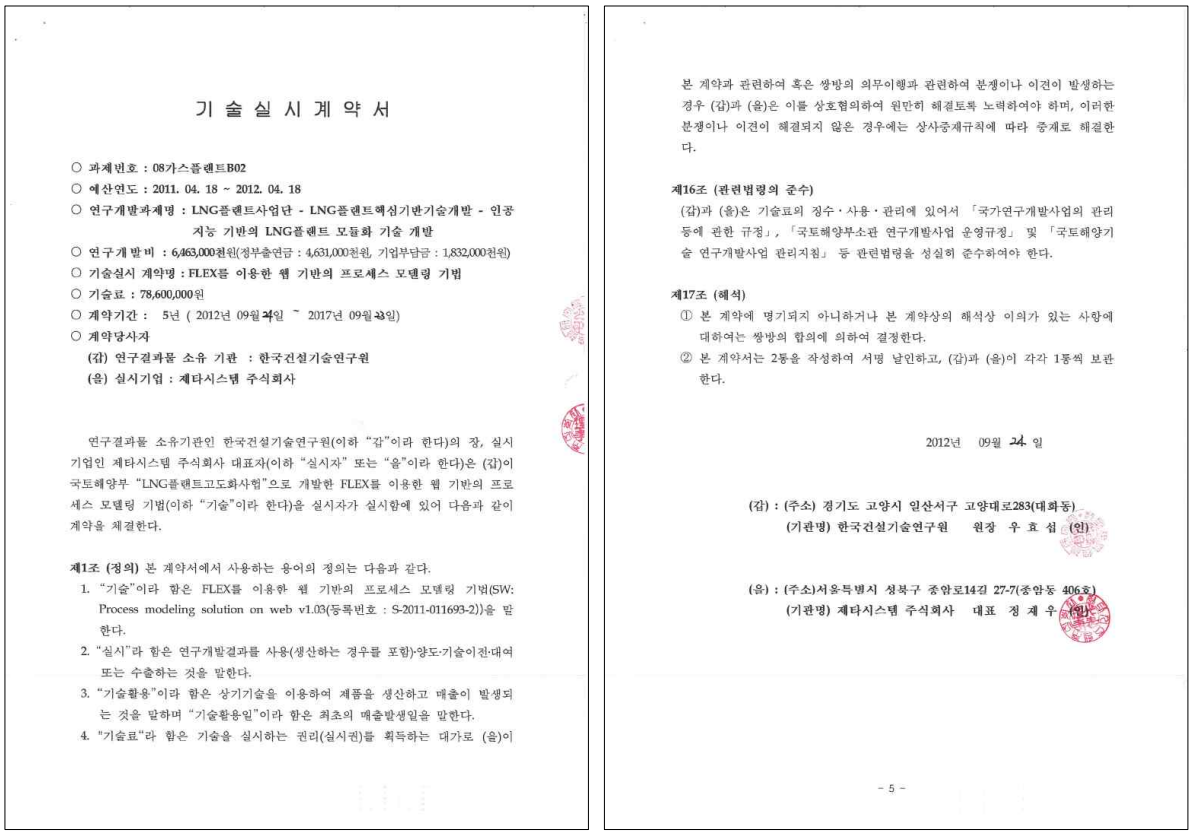
또한 한국건설기술연구원(한국)은 DNV(노르웨이)사와 연계하여 국제세미나를 실시하고, 플

랜트정보기술협회(한국)와 연계하여 플랜트・조선컨퍼런스2013, 플랜트・조선컨퍼런스2014의 주최하여 연구개발 성과의 검증, 대외확산, 홍보 및 상용화를 추진하였다.

RAMPLO 솔루션의 개발 및 개방형 서비스 제공으로 향후 5억원/년 수준의 솔루션 수입 대체 효과(관련 분야 국내 시장점유율 10% 가정)가 기대된다. 또한 RAM 평가 시스템의 통합 운용으로 지속적인 데이터베이스 집적으로 관련 노하우 확보를 통한 기술 경쟁력 제고가 기대된다.

현재까지 LNG플랜트 Test Bed에 대한 건전성 평가가 마무리되어 RAM 평가 보고서가 발간되었으며, 잔여 연구기간 동안 운전 과정에서 수집되는 장치별 세부 신뢰성 데이터 및 상용급 플랜트 적용 기자재 신뢰성 데이터를 바탕으로 보다 정교환 RAM 평가가 가능할 것으로 예상된다. 또한 현재 개발이 완료 단계에 있는 웹 기반 RAM 평가 솔루션 상용화 시스템의 시범적용을 통하여 운전 특성 평가가 가능하다.

또한 잔여 연구기간 동안 초저온 밸브 내구수명 평가 장치를 이용한 지속적인 오작동 데이터베이스의 추가 갱신을 통하여 RAM 평가가 보다 정교해 질 것으로 예상된다.



기 술 실 시 계 약 서

○ 과제번호 : 08가스플랜트B02
○ 예산연도 : 2011. 04. 18 ~ 2012. 04. 18
○ 연구개발과제명 : LNG플랜트사업단 - LNG플랜트핵심기반기술개발 - 인공지능 기반의 LNG플랜트 모듈화 기술 개발
○ 연구개발비 : 6,463,000천원(정부출연금 : 4,631,000천원, 기업부담금 : 1,832,000천원)
○ 기술실시 계약명 : FLEX를 이용한 웹 기반의 프로세스 모델링 기법
○ 기술료 : 78,600,000원
○ 계약기간 : 5년 (2012년 09월 24일 ~ 2017년 09월 23일)
○ 계약당사자
(갑) 연구결과물 소유 기관 : 한국건설기술연구원
(을) 실시기업 : 제타시스템 주식회사

연구결과물 소유기관인 한국건설기술연구원(이하 "갑"이라 한다)의 장, 실시기업인 제타시스템 주식회사 대표자(이하 "실시자" 또는 "을"이라 한다)은 (갑)이 국토해양부 "LNG플랜트고도화사업"으로 개발한 FLEX를 이용한 웹 기반의 프로세스 모델링 기법(이하 "기술"이라 한다)을 실시자가 실시함에 있어 다음과 같이 계약을 체결한다.

제1조 (정의) 본 계약서에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. "기술"이라 함은 FLEX를 이용한 웹 기반의 프로세스 모델링 기법(SW: Process modeling solution on web v1.03(등록번호 : S-2011-011693-2))을 말한다.
2. "실시"라 함은 연구개발결과를 사용(생산하는 경우를 포함)·양도·기술이전·대여 또는 수출하는 것을 말한다.
3. "기술활용"이라 함은 상기기술을 이용하여 제품을 생산하고 매출이 발생되는 것을 말하며 "기술활용일"이라 함은 최초의 매출발생일을 말한다.
4. "기술료"라 함은 기술을 실시하는 권리(실시권)를 획득하는 대가로 (을)이

본 계약과 관련하여 혹은 쌍방의 의무이행과 관련하여 분쟁이나 이견이 발생하는 경우 (갑)과 (을)은 이를 상호협의하여 원만히 해결토록 노력하여야 하며, 이러한 분쟁이나 이견이 해결되지 않은 경우에는 상사중재규칙에 따라 중재로 해결한다.

제16조 (관련법령의 준수)
(갑)과 (을)은 기술료의 징수·사용·관리에 있어서 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」, 「국토해양부소관 연구개발사업 운영규정」 및 「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 등 관련법령을 성실히 준수하여야 한다.

제17조 (해석)
① 본 계약에 명기되지 아니하거나 본 계약상의 해석상 이의가 있는 사항에 대하여는 쌍방의 합의에 의하여 결정한다.
② 본 계약서는 2통을 작성하여 서명 날인하고, (갑)과 (을)이 각각 1통씩 보관한다.

2012년 09월 24 일

(갑) : (주소) 경기도 고양시 일산서구 고양대로283(대화동)
(기관명) 한국건설기술연구원 원장 우 효 섭 (인)

(을) : (주소)서울특별시 성북구 중암로14길 27-7(중암동 406호)
(기관명) 제타시스템 주식회사 대표 정 제 우 (인)

- 5 -

그림 2.2.1.28 기술이전 성과(Flex 기반 웹기반 프로세스 모델링 솔루션)



그림 2.2.1.29 Interational Safeti & RAM performance Forecasting seminar 전경



그림 2.2.1.30 플랜트·조선 컨퍼런스 2013 전경



그림 2.2.1.31 플랜트·조선 컨퍼런스 2014 전경

2. LNG플랜트 모듈화 기술 개발

가. 개 요

LNG플랜트 건설 프로젝트 수행 경쟁력을 확보하기 위해서는 프로젝트 수행 기간 및 건설/유지비용의 최소화를 통한 기술 경쟁력의 개선이 필요하며, 극지, 오지 등에서 프로젝트 수행이 가능한 독자기술의 확보가 필요하다.

본 절에서는 LNG 플랜트 전체 건설비용의 60%를 상회하고 있는 육상 플랜트의 경쟁력 제고를 위하여 플랜트 모듈화 설계를 위한 기본 개념을 정립하였다.

본 설계서에서 정의하고 있는 플랜트 모듈화 설계는 기간 및 비용 단축을 위하여 ①모듈화 프로세스의 정립, ②모듈화 설계 접근을 위한 의사결정 기법의 표준화, ③공정 모듈화, ④제작, 운송, 시공 등이 용이한 블록단위 모듈화 설계를 위한 가이드라인을 포함하고 있다.

본 절에서는 제시하고 있는 플랜트 모듈화, 콤팩트 가이드라인은 글로벌 엔지니어링사인 Foster Wheeler, CII 등의 엔지니어링 표준에 기초하고 있으며, 최근 현장 여건을 고려하여 최적화하였다. (세부내용 모듈화-콤팩트 가이드라인 참조)

나. 수행내용 및 결과

(1) 모듈화 프로세스의 정립

본 과제에서 수행하고 있는 'RAM 기반 LNG플랜트의 모듈화 기술'은 프로젝트 수행 기간 및 건설/유지비용의 최소화, 생애주기 플랜트 운용 과정에서 시스템 가용도를 극대화 할 수 있도록 LNG플랜트를 모듈화 설계하기 위하여 진행되었다.

이를 위하여 그림 2.2.2.1에 도시하고 있는 것과 같이 플랜트 모듈화 설계/건설 개념은 최초 ITB 검토, 현지 입지환경 등 플랜트 건설여건 분석을 시작으로, 일반적인 현지건설방식(stick built type construction), 모듈러건설방식(modular type construction)으로 건설되는 LNG플랜트 대하여 최초 의사결정, 기술성 평가, RAM 평가, 경제성 평가 등을 통하여 최종 설계 개념이 확정된다.

LNG플랜트의 모듈러 건설은 건설 기간의 단축 등 초기 투입비용의 절감 뿐만아니라 플랜트 운전 과정에서 발생하는 유지보수 기간의 최소화를 통하여 플랜트 전체 가동률, 생산률을 개선 가능한 수단으로 검토되고 있다. (자세한 내용은 이후 각 분야별 상세 기술)

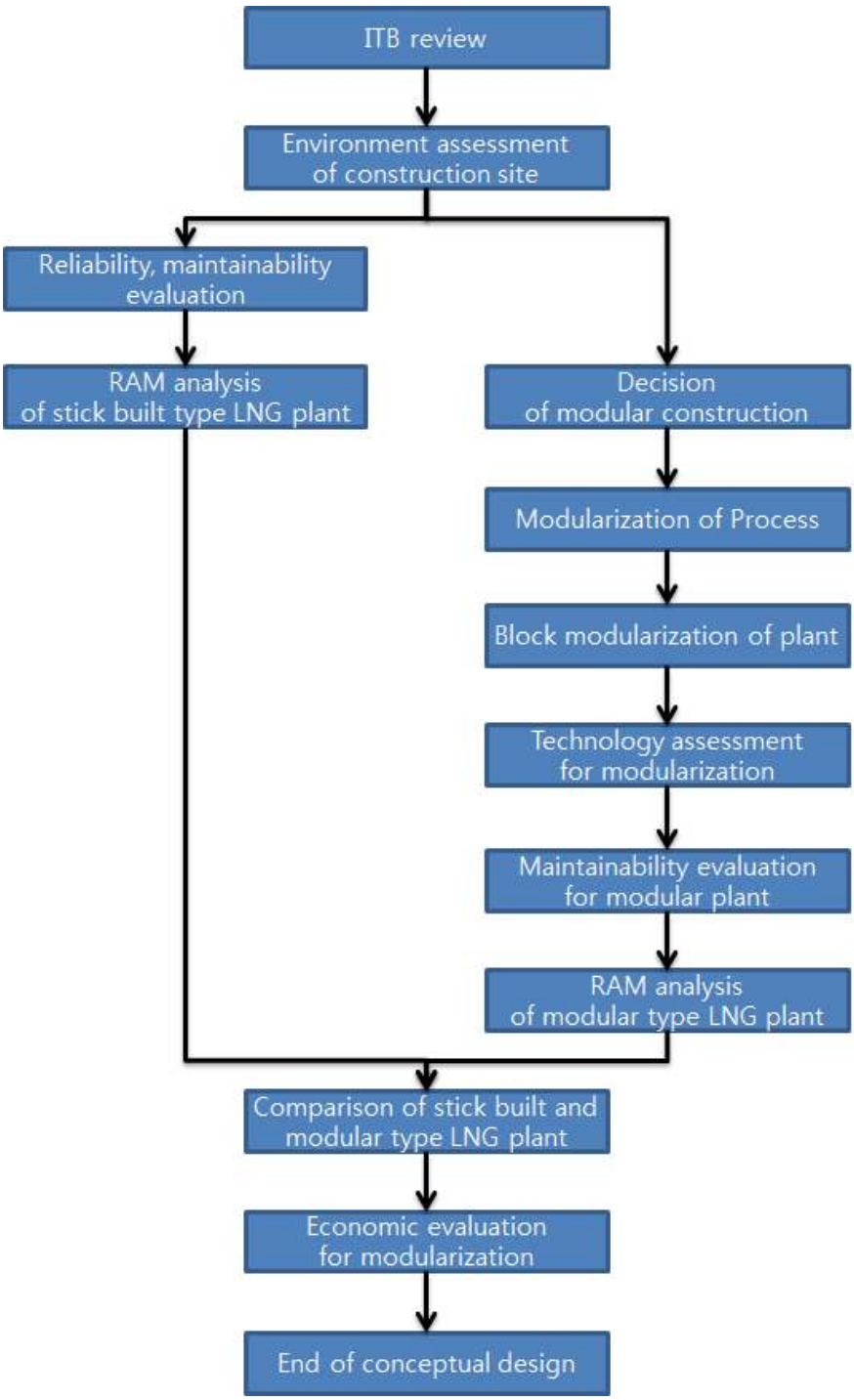


그림 2.2.2.1 플랜트 모듈화 설계/건설 프로세스 흐름도

(2) 플랜트 모듈화 의사결정

모듈화 설계 타당성 평가 기술은 기본설계에 요구되는 플랜트 모듈화 설계 방법론, 모듈화에 따른 기술성 및 경제성 향상을 고려한 모듈러 플랜트 추진 타당성 평가 기술로서, ITB 접수 후 플랜트 모듈화 접근을 위한 의사결정 도구이다.

모듈화 설계 타당성 평가는 사업제안, 기본설계 전까지 다단계적 접근에 의하여 의사결정이 이루어지며, 타당성 평가를 위한 수집정보의 수준에 따라서 1단계 타당성 평가, 2단계 타당성 평가, 기술구현 평가, 경제성 평가 등으로 이루어진다.

각 단계별 타당성 평가를 위한 지표별 가중치 결정은 대부분의 EPC 기업에서 의사결정권자 또는 실무종사자의 주관적 판단에 의한 결정되는데, 이는 의사결정에 개인적 판단 기준이 개입할 여지가 많은 이유로 많은 오류를 포함되어, 본 연구에서는 AHP 기법 및 인공지능 신경망 기법을 적용하여 객관적 지표에 의한 의사결정을 지원할 수 있도록 하였다.

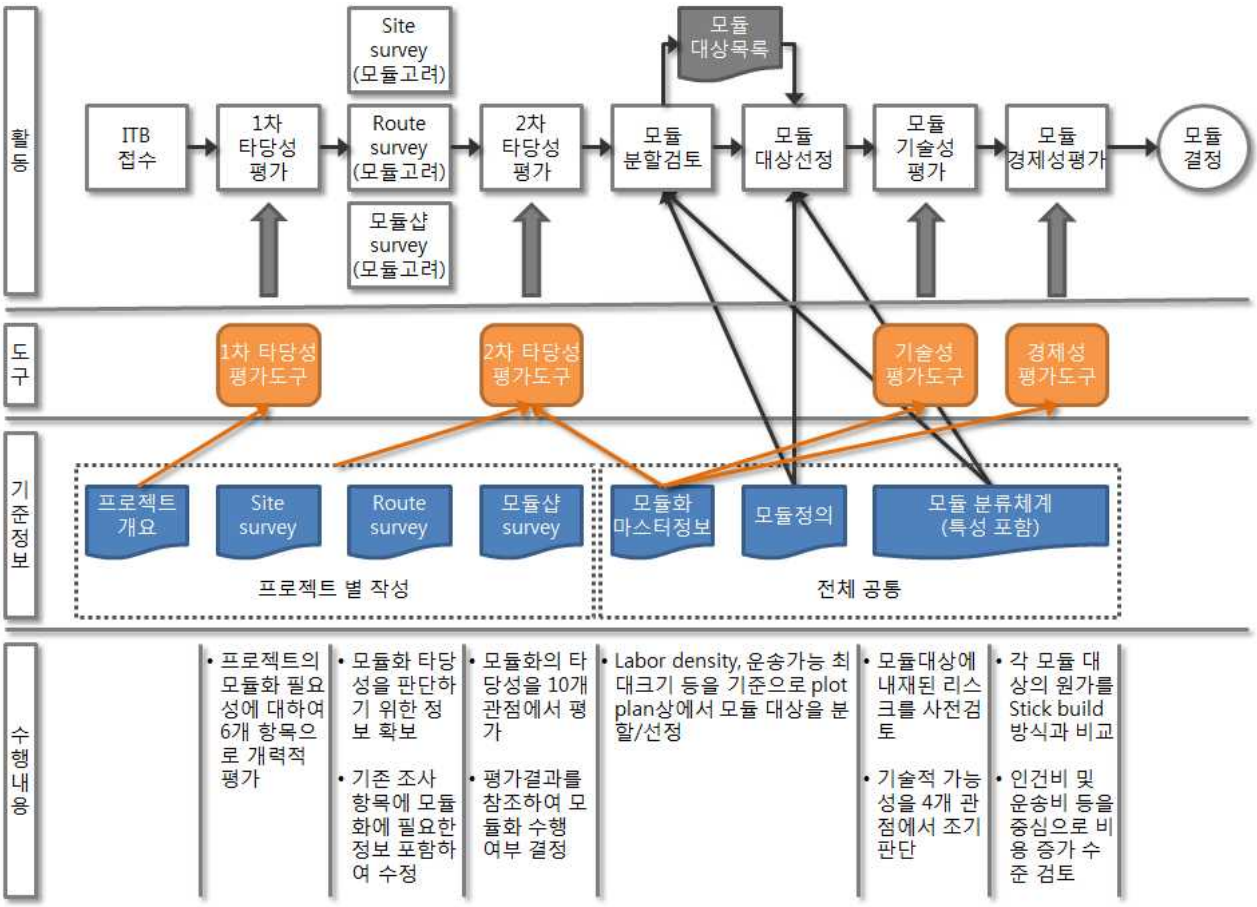


그림 2.2.2.2 콤팩트-모듈화 의사결정 프로세스 개요

표 2.2.2.1 모듈화 타당성 평가도구 - 레벨1

Factor	Description	Evaluation			
일정	◦ 프로젝트 일정에 심각한 제약이나 요구가 있는가? 현장 작업불가 기간, 완공시기 등의 일정상 제약을 해결하는데 모듈화가 도움이 될 수 있다.	N/A	Yes	Maybe	No
노동력	◦ 프로젝트 현장에 양질의 현지 인력이 부족한가? 모듈화가 노동력이 갖춰진 곳으로 작업을 분산하는 것에 도움이 될 수 있다.	N/A	Yes	Maybe	No
안전	◦ 모듈화를 하면 안전 위험을 줄일 수 있는 기회가 있는가? 모듈화가 고서작업, 악천후 등 위험한 환경하의 작업을 줄일 수 있다.	N/A	Yes	Maybe	No
환경/법규	◦ 프로젝트를 제약할 수 있는 환경, 법 또는 규약 등이 존재하는가? 모듈화를 하여 그런 문제들이 해결되는 동안 병행작업(모듈제작)을 할 수 있어 제약을 완화할 수 있다.	N/A	Yes	Maybe	No
현장조건	◦ 극한기후나 인프라 부족 등 프로젝트의 실적에 영향을 줄 수 있는 심각한 현장 조건이 있는가? 모듈화가 좀 더 나은 환경으로 작업량을 가져올 수 있도록 도움이 된다.	N/A	Yes	Maybe	No
현장접근성	◦ 트럭, 철도, 배 등이 운반할 수 있는 최대 크기의 모듈을 운송할 수 있도록 운송경로나 lifting path 여건이 되는가? 운송 가능한 최대크기의 모듈 사용으로 모듈화의 이점을 증가 시킬수 있다.	N/A	Yes	Maybe	No

모듈화 접근 레벨 1 의사결정 도구는 표 2.2.2.1과 같이 일정, 노동력, 안전, 환경/법규, 현장조건, 현장접근성 등 ITB를 통한 프로젝트 정보, 현장 정보, 운송경로 등 초기 정보를 바탕으로 이루어지는 정성적 판단 도구로서 제한적 정보, 평가항목의 제한성 등을 고려하여 신중한 판단이 전제되어야 하며, 레벨 1의 의사 결정에 따라 레벨 2 의사결정 과정의 진행 여부를 결정하게 된다.

모듈화 접근 레벨 2 의사결정 도구는 현장조사(모듈제작, 운송, 조립 및 현장 환경 39개 항목 정량적으로 평가하여 모듈화 적용 가능성 분석), 접근경로조사(모듈 운송 경로 계획에 필요한 73개 항목 정보 분석), 모듈샵 조사(최적의 모듈샵 선정을 위한 60개 항목 분석)을 통하여 모듈화 접근을 위한 의사결정 도구로서, 프로젝트 진행에 따른 데이터베이스 추가 과정에서 지속적으로 업데이트를 실시한다.

모듈화 타당성 평가 레벨 2 세부항목의 경우 스케줄, 코스트, 노동력, 안전, 현장접근성, 기계시스템, 프로젝트타입, 설계, 이송/취급특성, 시설용량 등 10개 그룹으로 평가되며 표 2.2.2.2 ~ 표 2.2.2.10에 일정, 비용, 노동환경, 안전성, 현장환경, 계약관계, 운송성 등에 의한 평가 사례를 제시하였다.

콤팩트-모듈화 접근 레벨 2 의사결정 도구는 현장조사(모듈제작, 운송, 조립 및 현장 환경 39개 항목 정량적으로 평가하여 모듈화 적용 가능성 분석), 접근경로조사(모듈 운송 경로 계획

에 필요한 73개 항목 정보 분석), 모듈샵 조사(최적의 모듈샵 선정을 위한 60개 항목 분석)을 통하여 모듈화 접근을 위한 의사결정 도구로서, 프로젝트 진행에 따른 데이터베이스 추가 과정에서 지속적으로 업데이트를 실시한다.

표 2.2.2.3은 콤팩트 모듈화 의사결정을 위한 종합 평가 도구로서 세부 평가 항목별 결과를 가중 평가하여 최종 결과가 "0" 이상으로 평가되면 모듈화 건설을 추진하게 되고, "0" 이하로 평가되면 기존의 현장 시공 방법에 의한 건설을 추진하게 된다.

표 2.2.2.2 모듈화 건설 의사결정 종합평가표

구분	세부 평가 결과 (A)	가중치(0~5) (B)	가중비 (C=B/∑(B))	가중 평가 결과 D=A×C	비고
일정	4	5	0.217	0.868	
원가	-3	3	0.130	-0.390	
노동력	1	2	0.087	0.087	
안전	3	3	0.130	0.390	
현장환경	2	3	0.130	0.260	
계약관계	-1	1	0.043	-0.043	
운송성	-2	3	0.130	-0.260	
협력업체	1	3	0.130	0.130	
합계			0.997	1.042	"0" 이상이면 모듈화 걸설

표 2.2.2.3 모듈화 건설 일정 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
단축된 일정	모듈 제작 병행으로 병행 활동과 공장의 생산성 증대 통해 일정을 압축시킬 수 있다.	○	○	○	○	●	○
셧다운(shutdowns), 정전/턴어라운드(turnarounds)	사전 어셈블리는 현장 건설과정의 션다운 시간을 줄일 수 있다.	○	○	○	●	○	○
최근 사업 결정	최후의 사업결정의 지연을 허용하면서, 모듈샵을 활용함으로써 일정 압축이 가능하다.	○	○	○	○	●	○
조기 착수의 이점	설비의 가동 시간의 최소화 및 사전 성능검증으로 일정 압축이 가능하다.	○	○	○	○	●	○
환경적 혹은 다른 프로젝트 허용 시기	선작업은 부지 허가가 처리되는 동안 그 밖의 장소에서 착수하기 위해 작업을 허용할 수 있다.	○	○	○	○	●	○

해상 운송 및 수송과 연관된 제한시간	프로젝트 위치는 수송, 수용이나 설치 요소 역량을 좌우하거나 제한할 수 있다.	○	○	●	○	○	○
장기 발주 장비나 물품	장기 발주 품목에 대한 사전작업 수준과 범위를 제어할 수 있다.	○	○	●	○	○	○
일정 불이익과 연관된 위험 요소	모듈화 사전작업은 날씨 혹은 노동 조건과 연관된 일정상 위험요소 제어가 가능하다.	○	○	○	○	○	●
빠른 프로젝트 수행에 대한 보상	선작업을 통한 일정 변화에서 일정 압축, 일정감소는 부가적인 기회를 제공할 수 있다.	○	○	○	○	○	●
물품을 신속하게 시장에 진입시키기 위한 필요 요건	사전작업은 공장에서 생산성 향상, 시퀀싱 활동으로 시장진입 시간을 최소화 할 수 있다.	○	○	●	○	○	○

표 2.2.2.4 모듈화 건설 원가 기준 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
프로젝트 원가 조절	세밀한 원가조절을 가능성 제공 (노동 등 가변성을 제한하여 예측 가능한 원가)	○	○	○	○	○	●
자본 운용	모듈 제작 기간의 단축, 지연 등의 완충ㅇ이 가능하여 젂정 자본 운용 대응이 가능	○	○	○	○	●	○
신규 규정/부과요건을 충족하기 위한 필요요건	일정 단축을 통한 규정된 기한까지 규정 준수를 이루기 위한 기능을 허용 할 수 있다.	○	○	○	●	○	○
향후 재사용 가치	프로젝트의 선작업 양상은 회복이나 재활용을 위해 설계될 수 있다.	○	○	○	○	●	○
특정한 지역의 경제적 요인	사전작업을 통해 작업장 밖으로 이전함으로써, 입지환경에 의한 위협요인이 해소될 수 있다.	○	○	○	●	○	○

표 2.2.2.5 모듈화 건설 노동환경 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
노동 생산성	공장 조건과 같은 요인 때문에 모듈화 건설 노동 생산성이 우수하며, 원격지 임금률이 낮다.	○	○	○	○	●	○
노동밀도	더 많은 노동자나 작업공간 확보 가능한 현장 확보가 가능하여 생산성 향상 기회를 제공한다.	○	○	○	●	○	○
국지적 혹은 국가적 노동 유효성	유리한 입지 및 국가로 노동 환경을 이전 시킬 수 있다.	○	○	○	●	○	○
숙련된 노동력의 활용	충분히 숙련된 노동력을 활용할 수 있는 지역에서 조업이 가능하다.	○	○	○	○	●	○
기술 인력의 면허증과 같이 특정 프로젝트의 필요 요건	요구되는 면허증을 소유한 기술인력이 부족한 프로젝트에서, 면허증이 있는 인력을 현장으로 데려오는 경제적 대안을 제공할 수 있다.	○	○	○	○	●	○
노동협의 혹은 관할권 논쟁	노동 협약 혹은 관할권 논쟁은 현장 밖으로 이전되는 작업공간의 총계를 제한할 수 있다.	○	○	○	●	○	○
많은 프로젝트 환경에서 노동의 충일	노동력 풀에서 끌어내어 많은 프로젝트를 가진 특정한 회사를 고려해 볼 때 타 프로젝트에 대한 노동력 부담을 완화시킬 수 있다.	○	○	○	●	○	○
인건비의 안정	노동 임금 변동성이 적은 현장으로 이전될 수 있다.	○	○	○	○	●	○
지방 정치적 고려사항	일의 비율은 호의적인 정치적 지원이나 세금 경감을 얻기 위해 지역 노동력을 보증했다.	○	○	○	●	○	○
시공자들의 다교 체제	다교 체제를 요구하는 현장 노동자는 다교 체제로 인한 생산성 감소를 줄이기 위해 작업공간을 이전할 수 있다.	○	○	○	○	●	○

표 2.2.2.6 모듈화 건설 안전 기준 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
익숙치 않은 공간이나 지역의 위험요소	위험한 지역에서 작업을 최소화시킬 수 있다. 노동자를 조화 비용을 줄일 수 있다.	○	○	○	○	○	●
진행중인 설비 운영	설비 운용에 미치는 영향을 줄일 수 있다.	○	○	○	●	○	○
현장 노동력 밀도	위험요소에의 노출을 줄일 수 있다.	○	○	○	○	●	○

고지로부터 증가된 위험요소, 한정된 공간, 유독성으로 알려진 공간	고지, 습하거나 불안정한 환경 현장에서 작업자의 노출을 줄일수있다.	○	○	○	●	○	○
더 좋은 프로젝트 안전 기록을 위한 계약상의 금전적 보상	위험요소 노출감소는 안전과 관련된 금전적 보상에 대해 더 많은 기회를 제공할 수 있다.	○	○	○	●	○	○
보험비 삭감	위험요소 노출 감소는 보험비 삭감의 타당성을 보일 수 있다.	○	○	○	○	●	○
중량화물	추가적인 안전 계획을 요청하면서 규모가 더 큰 리프트를 수반할 수 있다.	○	●	○	○	○	○
규제 요건	현장 직원들을 위한 안전 규제 요건은 감소될 수 있다.	○	○	○	●	○	○

표 2.2.2.7 모듈화 건설 현장환경 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
현장에서 예상된 날씨조건	날씨를 예측하거나 통제할수 있는 현장에서 작업 가능	○	○	○	○	●	○
정치적 사안	더 호의적인 정치 풍토를 가진 현장에서 작업 가능	○	○	○	●	○	○
환경적 제약	환경 제약 때문에 추가적인 고려사항으로부터 독립된 현장에서 조업 가능	○	○	○	○	●	○
국지적 인프라	공급물, 공급사, 주택공급 혹은 호텔, 그리고 동력 공급과 같은 적절한 인프라가 구비된 현장에서 조업 가능	○	○	○	○	●	○
통행권과 자산 경계	설비부지에 이전을 제약할 수 있가에 대한 확인이 필요	○	○	●	○	○	○
현장에 레이다운(laydown)과 스테이징 공간(staging space)	사전 어셈블리를 위한 부가적인 공간과 설비를 위한 준비를 요구한다.	○	○	○	●	○	○
현장 접근법	사전 작업에 요구되는 설비와 기자재 설치를 위해 할당되어야 한다.	○	○	●	○	○	○
최소의 인프라가 있는 원격지	사전작업은 현장노동 기간의 규모와 기간을 줄임으로써 설비하는 부지 인프라의 필요성을 줄일 수 있다.	○	○	○	●	○	○

표 2.2.2.8 모듈화 건설 계약관계 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
선행 프로젝트 사례 재활용	운송 장치에 맞게 반복 구조로 pre-work를 수행한다. 그 결과는 개선 혹은 유연성 설계를 제공할 수 있다.	○	○	●	○	○	○
등록 기술이나 방법의 보호	독점 품목의 조립, 보호 할 수 있는 안전구역에서 pre-work를 수행할 수 있다.	○	○	○	○	●	○
재정 인센티브를 포함하는 프로젝트 목표	선작업으로 일정, 비용, 안전 이득은 인센티브를 최대화할 수 있는 기회를 제공할 수 있다.	○	○	○	●	○	○
발주자의 성능 요구사항을 충족하는 시설을 제공하는 공급업체의 유연성	설계에서 Pre-work 공급업체/계약업체의 유연성은 향상된 프로젝트 성과로 이어질 수 있다.	○	○	○	●	○	○

표 2.2.2.9 모듈 운송성 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
운송방법의 가용성	모듈 크기와 무게에 따라 적절한 트럭, 철도, 바지선을 요구할 수 있다.	○	○	●	○	○	○
지역 운송비용	모듈 운송은 요금 또는 장소/경로에 연관된 비용을 포함할 수 있다.	○	○	●	○	○	○
운송 기반시설	도로, 교량의 높이 무게 제한에 따른 제시된 선적량을 처리하기 위해 운송 경로를 고려해야 한다.	○	○	○	●	○	○
허용	일부 지역은 특정 크기와 무게의 하중에 대한 허가가 필요하다. 운송이 가능하도록 허가를 받아야 한다.	○	○	○	●	○	○
운송 중 발생한 손실 위험성	모듈은 보다 큰 조립품을 포함하거나, 단일 선적량의 가치가 증가할 수 있다.	○	○	●	○	○	○
기상 조건의 영향	기상조건은 모듈 배송 창구(shipping windows) 또는 운송 방법을 좌우할 수 있다.	○	○	○	●	○	○
운송기간 동안 보험과 보증	대규모 선작업(large prework) 선적량은 훨씬 더 높은 보험료를 부담 할 수 있다. 모듈 공급업체 보증을 고려해야 한다.	○	○	●	○	○	○
리프팅과 하울링 장비의 가용성	모듈은 현장에서 장비의 체류시간을 감소할 수 있다. 그러나 설치하는 동안 크고 무거운 어셈블리를 지지하기 위해 추가장비가 필요할 수	○	○	●	○	○	○

	있다. 현장위치 및 장비가용성은 모듈 크기에 영향을 미칠 수 있다.						
선작업 항목에 필요한 기반시설(foundation)	작업의 종류와 범위에 따라, 기존의 방법보다 적거나 큰 기반시설을 필요 할 수 있다.	○	○	○	●	○	○
무거운 리프트 및 관련 계획	대규모 모듈은 무겁거나 크기가 큰 리프트에 대한 추가 계획을 필요할 수 있다.	○	○	○	●	○	○

표 2.2.2.10 모듈 제작 협력사 역량 세부평가표

평가요소	세부내용	N/A	Stick built ← Neutral → Modular				
			-5	-2	0	+2	+5
공급업체 가용성	공급업체 가용성은 배송 물품의 리드타임(leadtime)에 영향을 미칠 수 있다. (현장 기자재, 부품 공급업체의 납품 문제가 모듈 제작을 제한할 수 있음)	○	○	●	○	○	○
자격 갖춘 공급업체 가용성	모듈 공급업체 요구조건은 어떤 자격 또는 품질 수준을 포함할 수 있다.	○	○	●	○	○	○
공급업체 역량	모듈 공급업체의 생산성, 경험, 품질은 선작업 범위(scope)을 좌우할 수 있다.	○	○	○	●	○	○
공급업체 정보시스템의 교양(sophistication) 수준	모듈화 건설 프로젝트는 관계자들의 향상된 협동과 소통이 필요하다. Pre-work 특정타입을 위해 전자파일이동, 이메일, 3D CAD, 전자파일의 사용은 요구조건이 될 수 있다.	○	○	○	○	●	○
현장의 대표 공급업체 가용성	설치, 조사, 프로젝트 계획하는 동안 공급업체 대표가 필요할 수 있다.	○	○	○	○	●	○

플랜트 모듈화 건설을 위한 의사결정의 경우 평가자의 주관적 견해에 따른 평가 오류 가능성을 배제하기 위하여 AHP 평가 개념을 도입하였다.

AHP 평가의 경우 계층형 분석 과정을 통하여 복잡한 상황의 구조화, 정량적/정성적 요소, 주관적/객관적 요소의 통합, 지식, 경험, 감정의 통합, 과학적 우선순위(weight) 도출, 논리적 일관성 검증, 결과의 타당성 및 객관성 제고, 합리적 그룹의 의사결정 도출, 사업타당성 분석 및 검증, 이해관계자의 갈등 조정/해소, feedback의 체계화가 가능하다.

플랜트 모듈화 건설 의사결정은 그림 8에 도시하고 있는 것과 같이 계층모형 구축, 쌍대비교, 부분우선순위 결정, 일관성 평가, 최종우선순위 도출, 대안선정 과정으로 구성되어 있다.



그림 2.2.2.3 플랜트 모듈화 건설 의사결정 AHP 계층 평가 순서

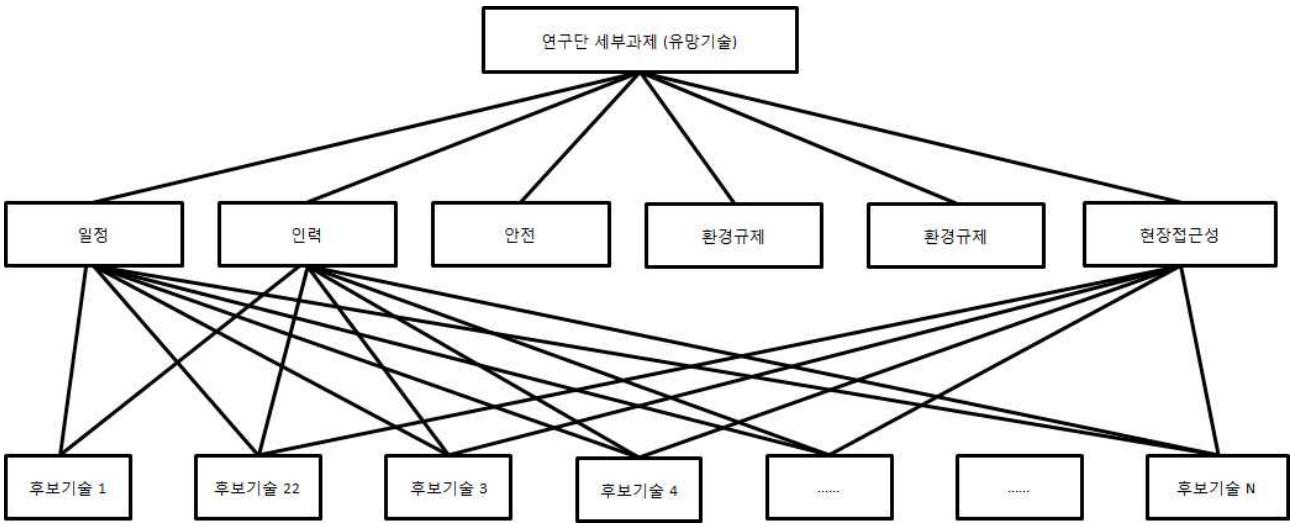


그림 2.2.2.4 모듈화 건설 의사결정 AHP 계층모형

AHP Hierarchical Rating

의사결정 계층이 N1, N2, N3, N4 인경우

- 표본간 쌍대비교 → 의사결정 계층간 중요도 상대 비교
- 표본간 정규화 → (Vn1+Vn2+Vn3+Vn4)/n
- 의사결정 계층별 우선순위 결정
- 의사결정 결과에 대한 일관성 검증
  - ✓ 쌍대비교 최대 고유치 = 행렬곱(상대비교 값, 우선순위 값) / 우선순위
  - ✓ 쌍대비교 일관성 척도 = 최대고유치 – n/(n-1)

❖ 일관성 척도가 0.2 이하이면 의사결정 결과에 일관성 있는 것으로 평가

그림 2.2.2.5 모듈화 건설 의사결정 AHP hierarchical rating 개요

표 2.2.2.11 플랜트 모듈화 건설 의사결정 평가기준간 쌍대비교 및 우선순위 평가

	쌍대비교					정규화					
	일정	인력	안전	환경규제	현장접근성	일정	인력	안전	환경규제	현장접근성	우선순위
일정	1.00	0.20	0.33	0.33	0.20	0.06	0.09	0.05	0.06	0.03	0.06
인력	5.00	1.00	3.00	3.00	3.00	0.29	0.45	0.41	0.51	0.48	0.43
안전	3.00	0.33	1.00	0.50	1.00	0.18	0.15	0.14	0.09	0.16	0.14
환경규제	3.00	0.33	2.00	1.00	1.00	0.18	0.15	0.27	0.17	0.16	0.19
현장접근성	5.00	0.33	1.00	1.00	1.00	0.29	0.15	0.14	0.17	0.16	0.18
합계	17.00	2.20	7.33	5.83	6.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

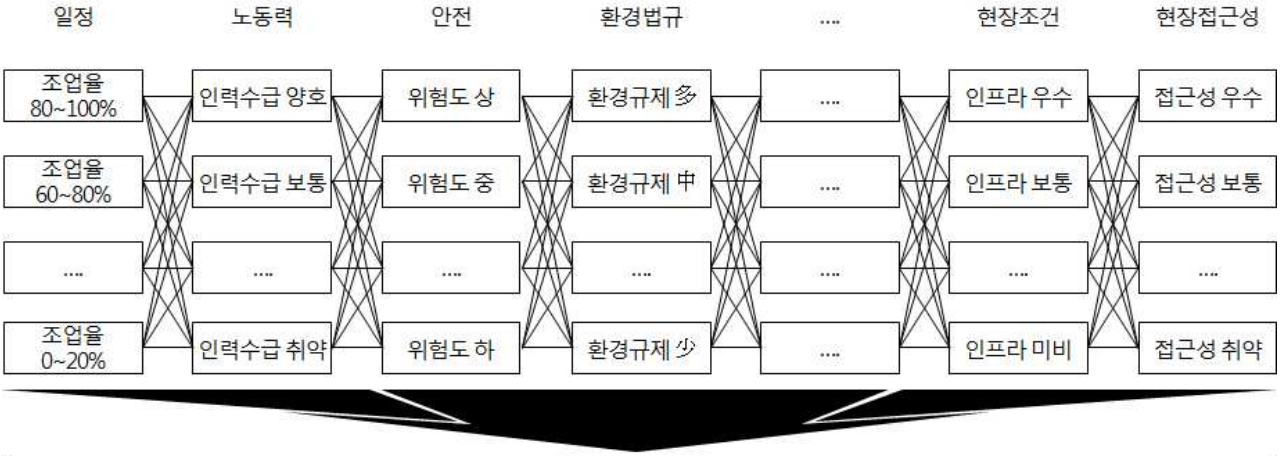
표 2.2.2.12 플랜트 모듈화 건설 의사결정 일관성 평가

	일정	인력	안전	환경규제	현장접근성	우선순위	행렬곱	행렬곱/우선순위
일정	1.00	0.20	0.33	0.33	0.20	0.06	0.29	5.08
인력	5.00	1.00	3.00	3.00	3.00	0.43	2.25	5.22
안전	3.00	0.33	1.00	0.50	1.00	0.14	0.73	5.15
환경규제	3.00	0.33	2.00	1.00	1.00	0.19	0.97	5.19
현장접근성	5.00	0.33	1.00	1.00	1.00	0.18	0.94	5.14
합계	17.00	2.20	7.33	5.83	6.20	1.00		
◦ A_max = average(행렬곱/우선순위)								
◦ CI = A_max-n/(n-1)								
◦ CR = CI/RI								

플랜트 모듈화 건설을 위한 의사결정 과정에서 적용되는 평가 요소별 가중치 및 평가 결과에 일관성 검토를 통하여 평가자의 주관적 견해에 따른 평가 오류 가능성을 최소화 할 수 있다.

일관성 평가는 쌍대비교 과정의 평가자 판단 기준으로 일관성 지수(consistency index: CI)는 일관성이 높을수록 낮은 CI값을 나타내며 일관성 비율(consistency ration: CR)이 0.2 이하이면 일관성이 있다고 평가된다.

또한 그림 2.2.2.6에 도시하고 있는 것과 같이 인공지능 신경망 회로 기법을 도입하여 각 단계별 의사결정 지표를 개관화 할 수 있도록 하였으며, 플랜트 모듈화 건설 지역, 정치, 환경 등 사업별 특성을 고려한 일반화를 지원하도록 하였다.



	일정	노동력	안전	환경법규	...	현장조건	현장접근성
Weighting	0.26	0.24	0.10	0.12	0.08	0.14	0.06

그림 2.2.2.6 인공지능 신경망 기법 기반 의사결정 지표 일반화 개요

(3) LNG플랜트 모듈화 프로세스 정립

(3-1) 프로세스 계통 최적화

LNG플랜트 프로세스 성능 개선, 계통 최적화는 시스템 효율을 극대화하고 설비 용량을 최소화하는 과정으로 무엇보다 중요하다.

LNG플랜트 프로세스 계통 최적화를 위하여 공정모사 상용도구(Aspen HYSYS)와 에너지 분석 도구(Aspen energy analyzer)를 이용하였으며, 핀치이론, 합성선도 분석, 에너지 타켓팅 등과 같은 방법론을 도입하였다.

일반적인 LNG플랜트는 크게 전처리공정, 액화공정, 분리공정으로 구성되어 있으며, 기본 개요를 그림 2.2.2.5에 도시하였다.

그림 2.2.2.5에서 점선으로 표시한 전처리공정 중 수분제거공정과 LNG플랜트 테스트베드 트레인 1의 냉각-액화 공정을 대상으로 공정모델링과 시뮬레이션을 실시하고 에너지 네트워크를

분석하였으며, 이는 프로세스 성능 개선 기초 자료로 활용하였다.

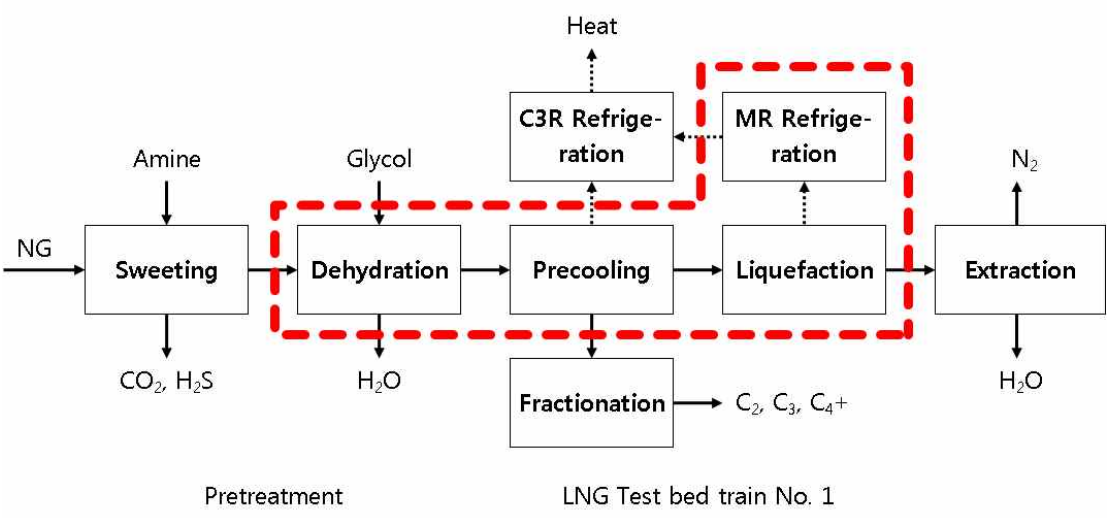


그림 2.2.2.7 액화천연가스 플랜트의 개요도

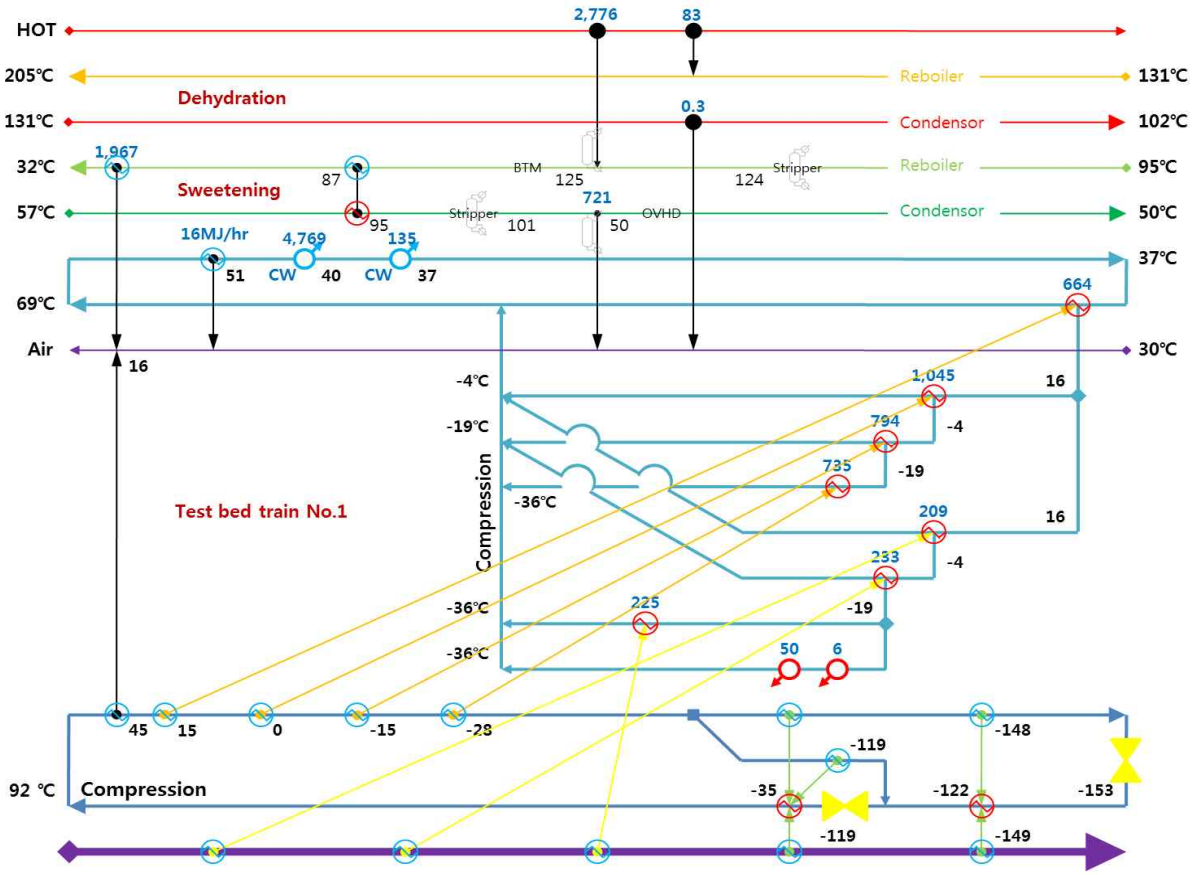


그림 2.2.2.8 액화천연가스 플랜트의 열 교환 네트워크 개요도

LNG플랜트 중 수분제거공정, 냉각공정, 액화공정을 해석 대상으로 작성한 공정모델의 PFD

를 그림 2.2.2.7에 도시하였으며, 공정 시뮬레이션에서 계산된 열/물질수지를 이용하여 합성선도(composite curve)를 그림 2.2.2.8 ~ 그림 2.2.2.11에 도시하였다.

그림 2.2.2.8에서 사선으로 표기된 영역은 온류(hot stream)와 냉류(cold stream) 사이에 열교환 통해 열을 얻거나 빼앗기는 영역을 의미하며, 그 외의 영역은 외부 유틸리티와 열 교환을 통해 열을 공급받거나 빼앗기는 부분이다.

에너지 네트워크 타켓(최적화)을 계산하기 위하여 그림 2-8로부터 공정에 필요한 가열부하는 약 46 kW이고, 냉각부하는 약 1,466 kW임을 확인하였다. 또한 그림 2-9로부터 최소가열부하(minimum heating duty)는 약 15 kW이고, 최소냉각부하(minimum cooling duty)는 1,435 kW임을 확인하였다.

외부 유틸리티를 포함한 열 교환기 망을 규명하기 위해 공기냉각시스템과 프로판 냉매 냉각시스템을 포함하여 도식화한 밸런스 합성선도(balanced composite curve)와 유틸리티 합성선도(utility composite curve)를 그림 2.2.2.10, 그림 2.2.2.11에 도시하였다.

그림 2.2.2.10과 그림 2.2.2.11을 보면 프로판냉매 냉각시스템 4단계(R1-R4), 액화단계(MR)에서 온류곡선과 냉류곡선 간격이 밀접하므로 열 교환기망이 최적화된 상태이다.

다만 공기와 열 교환 통해 열을 방출하는 부분은 간격이 넓으므로 도식적 관점에서 비효율적이다. 하지만 상대적으로 비용이 매우 저렴한 유틸리티인 공기의 활용에 따른 경제성을 고려하여 공정의 효율성을 판단해야한다.

그림 2.2.2.10과 그림 2.2.2.11을 도식적으로 분석해보면 가열 계통에서는 공정흐름과 외부 유틸리티 사이 온도차가 매우 크며, 비효율적인 상태이다. 그러므로 가열 계통부분에 대한 열 교환기망 최적화가 필요하다.

열/물질수지 데이터 및 상기 해석 데이터를 바탕으로 에너지 분석 도구를 통해 작성한 열교환기망을 그림 2.2.2.12에 나타내었다.

TEG수분제거공정, C3MR액화공정을 이용한 LNG플랜트는 에너지 최적화를 통해 가열계통에서 약 67.44%, 냉각계통에서 약 0.02% 의 에너지 절감이 가능함을 확인하였다.

표 2.2.2.13은 에너지 타겟 결과를 종합한 것으로서 에너지 타켓을 통해 냉각부하는 약 0.02%, 가열부하는 약 67.44%의 에너지 절감이 가능함을 알 수 있다.

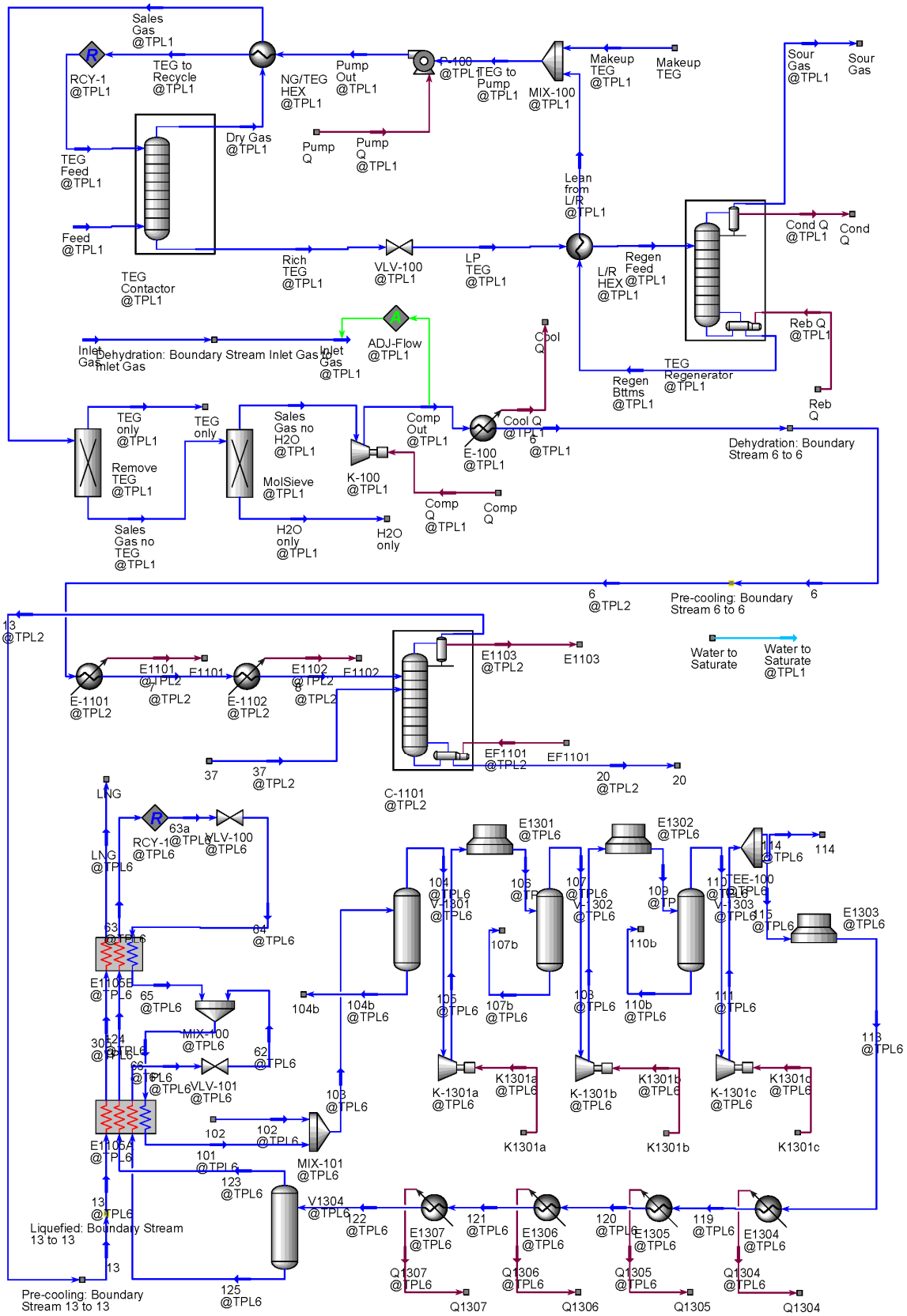


그림 2.2.2.9 액화공정과 수분제거공정의 공정 흐름도

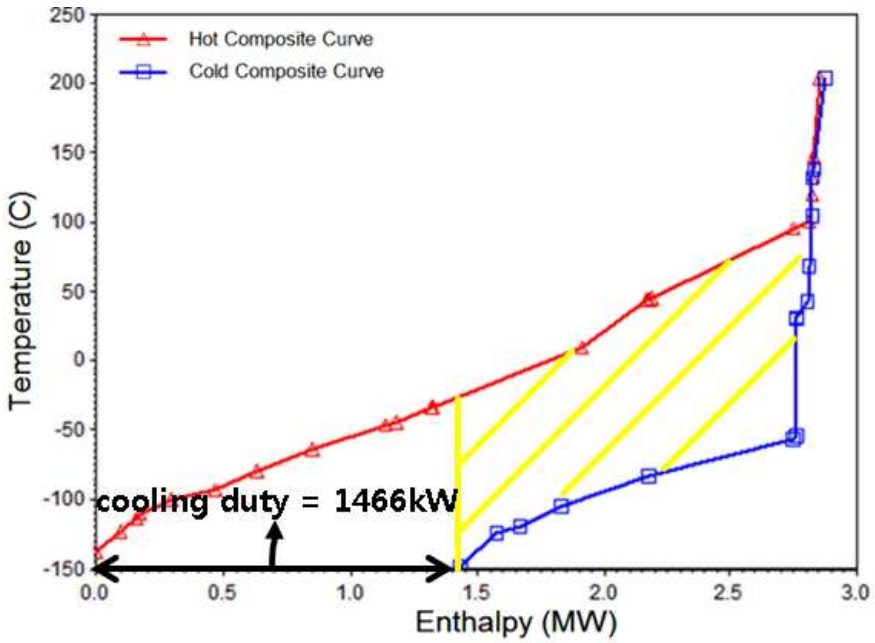


그림 2.2.2.10 액화공정 및 수분제거공정의 합성선도

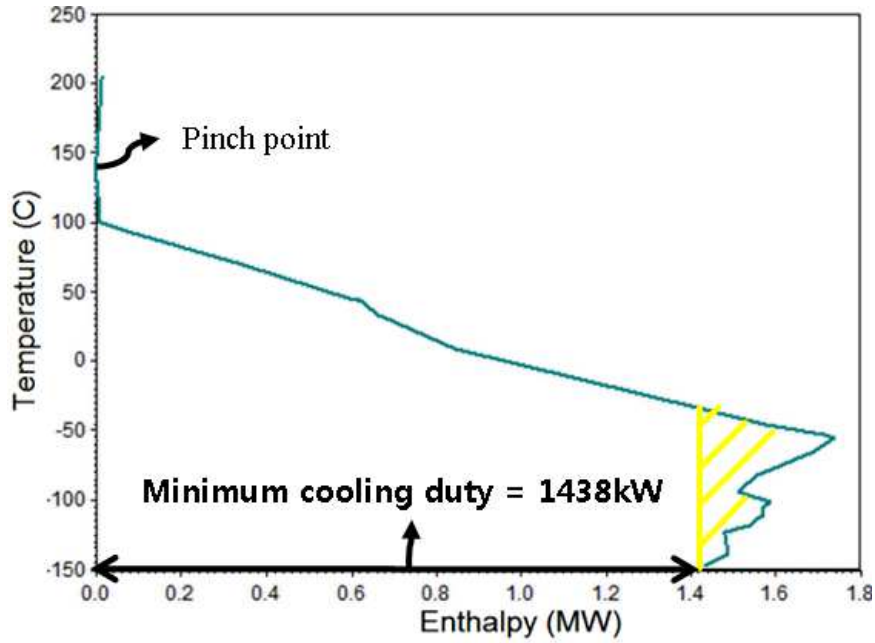


그림 2.2.2.11 액화공정 및 수분제거공정의 그랜드 합성선도

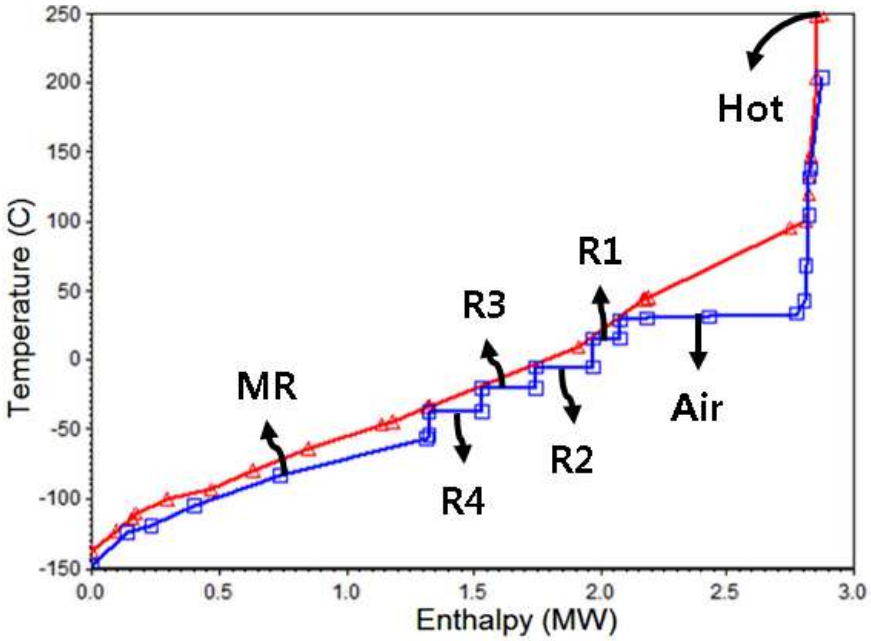


그림 2.2.2.12 액화공정 및 수분제거공정의 밸런스 합성선도

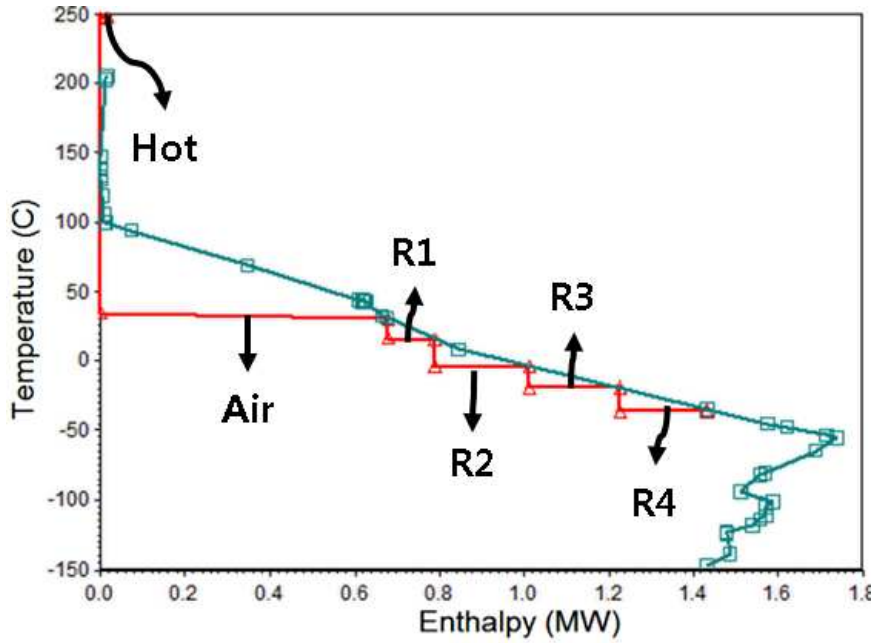


그림 2.2.2.13 액화공정 및 수분제거공정의 유틸리티 합성선도

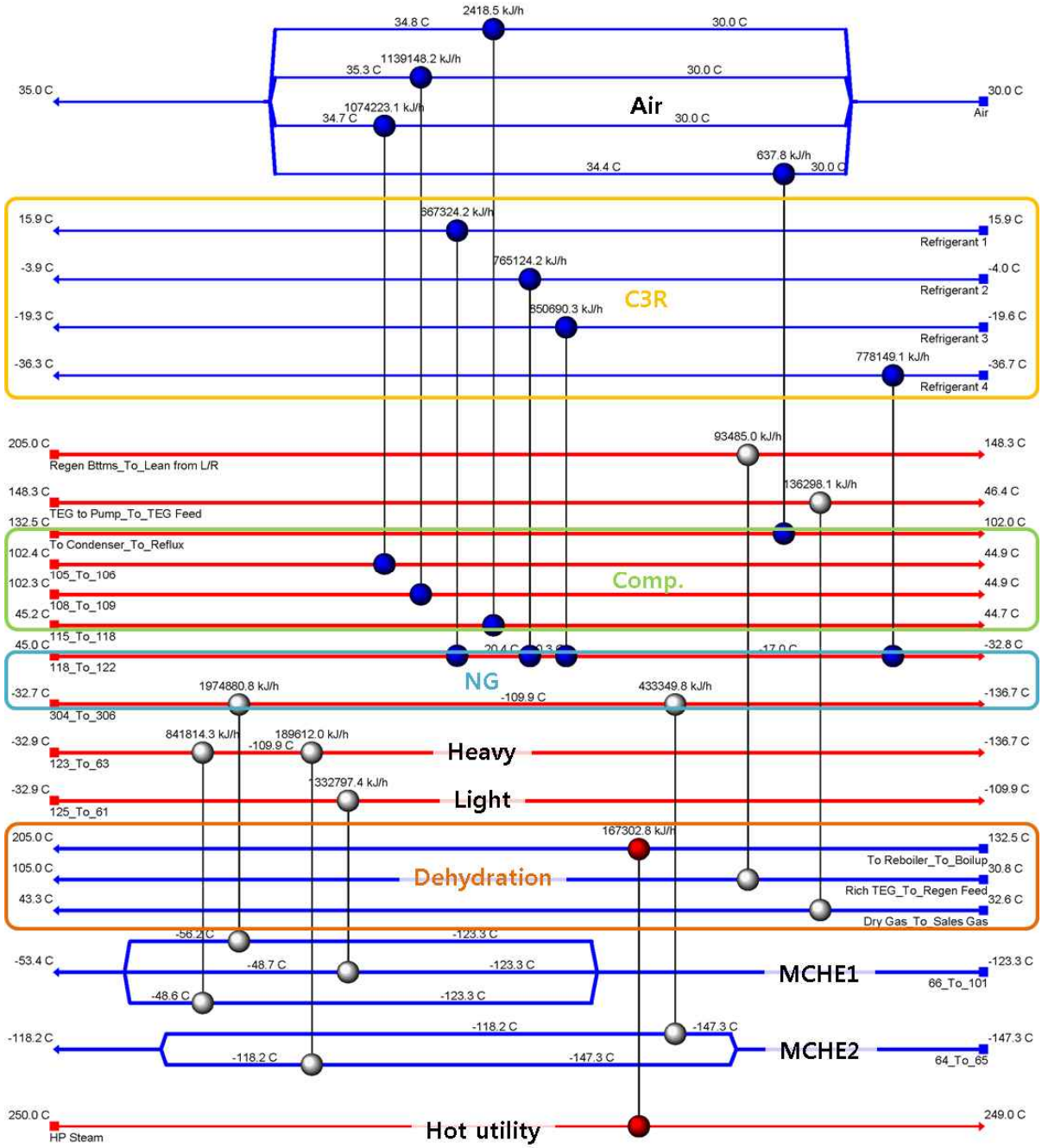


그림 2.2.2.14 액화공정 및 수분제거공정의 열 교환기망

표 2.2.2.13 에너지 타겟

Design	Target	Simulation	Saving
Heating[kW]	15.13	46.47	67.44%
Cooling[kW]	1434.87	1466.03	0.02%

(3-2) RAM 성능 최적화

LNG플랜트 가동률을 포함한 RAM 성능 최적화를 위하여 국산화 개발에 성공한 RAMPLO(reliability, availability, maintainability, production efficiency, life-cycle cost optimum program) 솔루션을 LNG플랜트사업단 TB(test-bed) train-1에 시범 적용하였다.

RAM 성능 평가는 프로세스의 가동률을 극대화 하고, 구성 공정, 장치의 고장보수, 예방정비 등에 의한 시스템 위험도를 그룹별 분류하여 향후 모듈화 전략 설정 및 모듈화 플랜트의 유지보수 전략 수립을 위한 도구로 활용하였다.

그림 2.2.2.15의 Test Bed(설계용량 100 TPA)은 상용급 LNG 플랜트의 구성에서 전처리 프로세스가 제외되었으며, 천연가스의 도입, 조성 제어를 위한 intake facility와 refrigerant storage가 추가되었다.

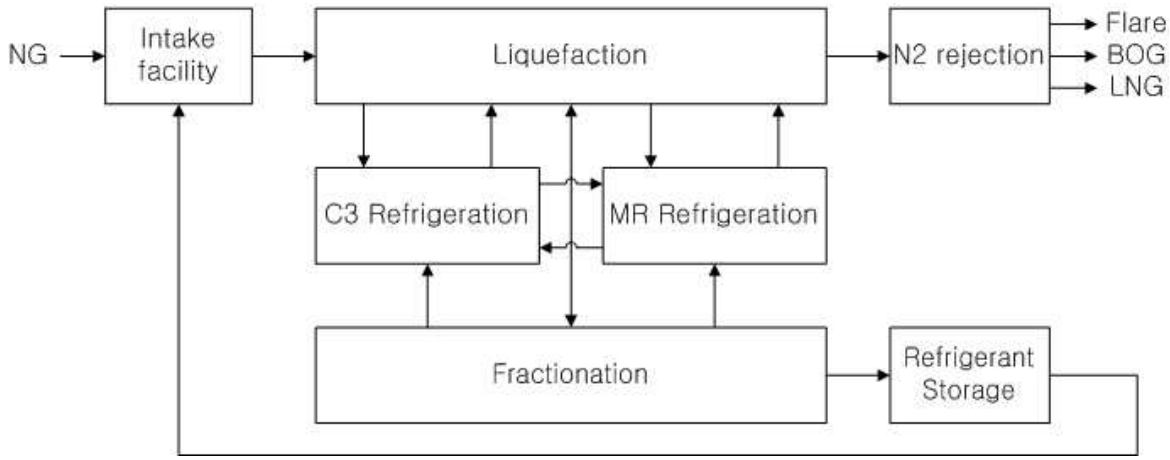


그림 2.2.2.15 LNG플랜트 테스트베드 구성 개요

RAM 평가를 위하여 설계 단계에서 입수 가능한 장치류 고장, 오작동 발생빈도와 교체, 수리 소요시간을 고려(OREDA handbook의 기초데이터를 이용)하였으며, 구성 장치류의 부분적 운전 손실, 주기적 유지보수, 조달 시간 등의 요소는 고려 대상에서 제외하였다.

그림 2.2.2.16는 Test Bed 전체 프로세스 구성 요소 중 RAM 성능을 감소시키는 주요 12개 장치의 손실률을 도시하고 있는 그림이다.

전체 구성 요소 중 C3 압축기, MR 압축기에서 11.6%, 11.3% 수준의 가장 큰 손실을 유발하는 것으로 평가되었으며, C3 재순환 펌프, LNG export 펌프, 재순환 펌프 등에서 추가적인

손실이 유발되는 것으로 평가되었다.

그림 2.2.2.17은 그림 2.2.2.16의 주요 손실 유발 요인에 대하여 장치 그룹별 분석 결과로서 펌프류에서 46.3% 수준의 손실이 유발되고 있음을 도시하고 있다.

추가적인 손실 유발 그룹으로 압축기류에서 22.9%, 압력 용기류에서 19.2%, 열 교환기류에서 5.7%, 밸브류에서 3.1%, 센서/제어기류에서 2.2%, 히터류에서 0.6% 수준의 손실이 유발되고 있다.

그림 2.2.2.18은 생애 운전기간(20년) 중 가동률, 기대생산량을 도시하고 있는 그림으로 생애주기동안 약 90.7%(±0.3%)의 가동으로 연간 33,150톤, 생애주기 동안 662,427 톤의 천연가스를 생산할 수 있을 것으로 평가되어진다.

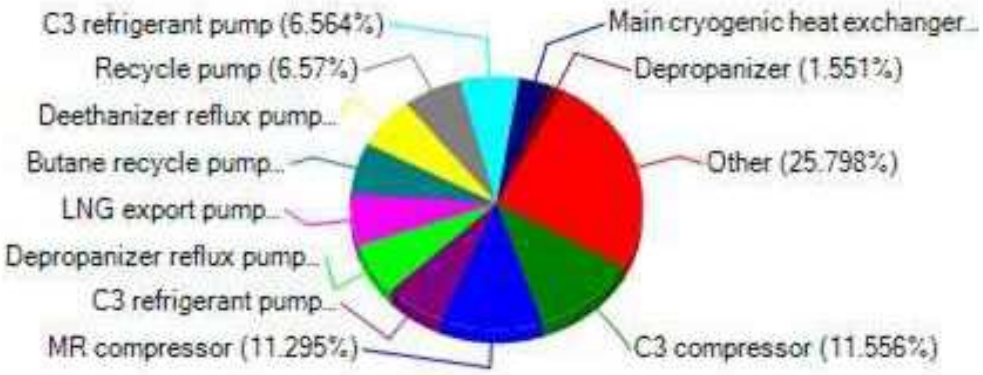


그림 2.2.2.16 주요장비 유닛별 RAM 성능 손실률

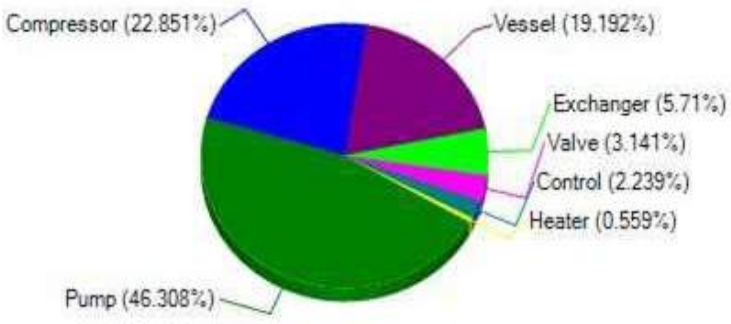


그림 2.2.2.17 주요장비 그룹별 RAM 성능 손실률

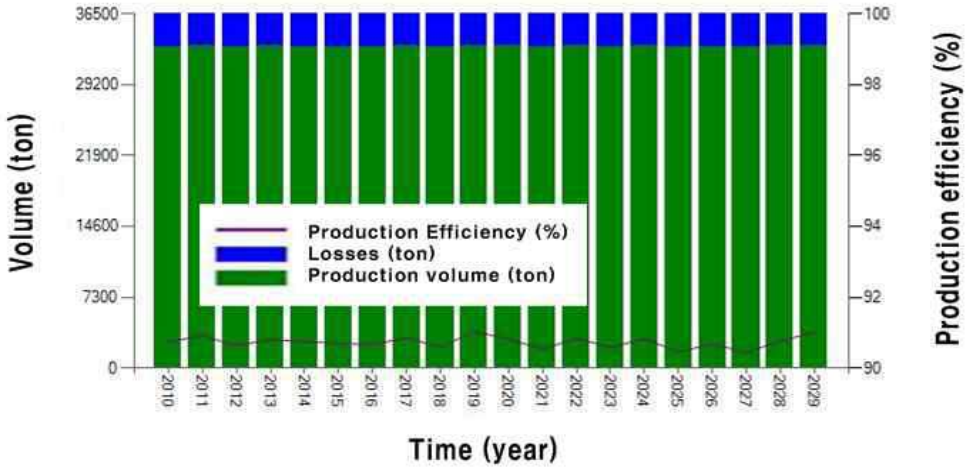


그림 2.2.2.18 TB train-1 생애주기 가동률

그림 2.2.2.16, 그림 2.2.2.17의 결과에 따라 LNG 모듈화 플랜트의 설계에 있어서 compressing, pump, vessel 유닛의 경우 반드시 모듈러 설계 방식의 접근이 필요하며, 별도의 유지보수 전략이 필요할 것으로 평가된다.

다만 비교적 소형 장치류에 속하는 pump 등 장비의 경우 모듈화 유닛의 설계에 있어서 접근이 가능한 위치에 배치하는 등 향후 유지보수에 대비한 설계계 접근이 필요하다.

(4) 모듈화 설계 가이드라인

플랜트 모듈화 추진 의사결정 및 프로세스 최적화 이후 모듈화 설계, 건설을 위한 프로시져가 집중적으로 진행된다.

플랜트 모듈화 설계 및 건설은 그림 2-14에서 도시하고 있는 것과 같이 ITB 등에서 요구하고 있는 기본설계를 바탕으로 train capacity decision → zone division → module division → assembly part division이 순차적으로 이루어지고, module shop에서 제작된 모듈화 블록은 minor assembly → major assembly → module assembly → zone assembly 순으로 현지 시공 과정을 통하여 진행된다.

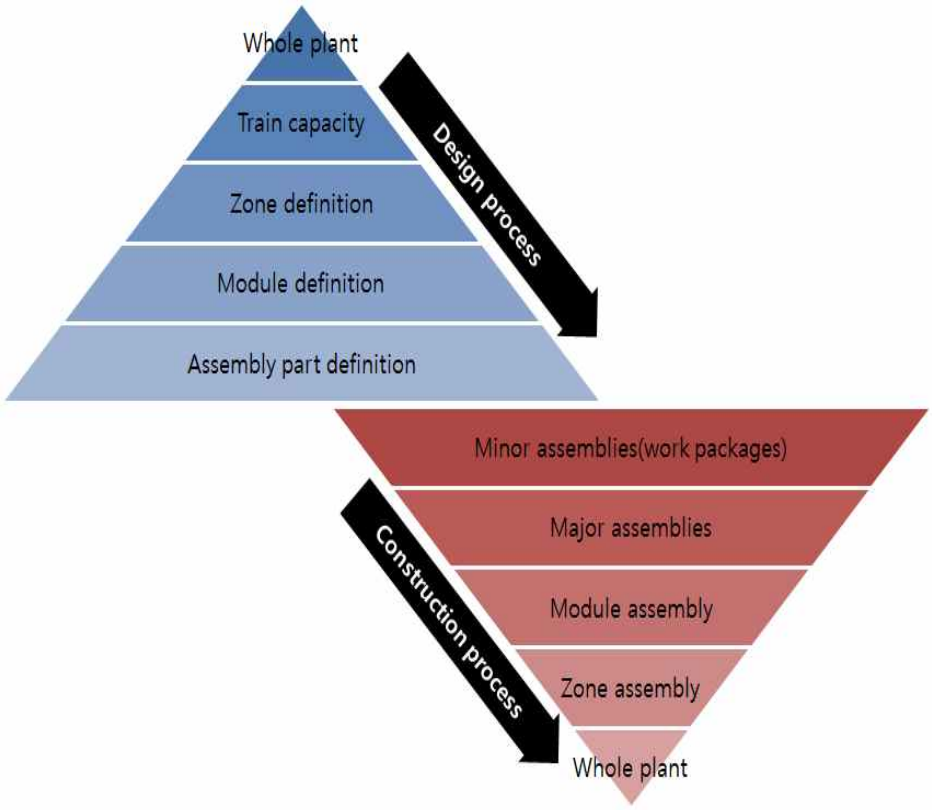


그림 2.2.2.19 플랜트 모듈화 프로세스

(4-1) 트레인 용량 최적화

LNG플랜트 단위 트레인 용량은 콤팩트, 모듈화 플랜트 건설을 위하여 최우선적으로 검토가 이루어지는 요인으로서, 트레인 용량의 결정에는 단위 트레인 운전 효율 개선, 프로세스 안전 설계를 통한 안전성 확보, 운전비용 절감을 통한 경제성 확보, 생산량 증대 등 다양한 요인이 복합적으로 작용된다.

최근에는 3.0~8.5 MTPA 규모의 단위 트레인이 건설되어지는 추세이며, 표 2.2.2.6과 같은 부대조건에 의하여 LNG플랜트 단위 트레인 용량, 트레인 수량이 결정되면 site attributes, project and contract type, transportation and lifting requirements, supplier capability 등의 외부 요인을 고려하여 플랜트 모듈화 건설을 위한 모듈 기본 단위가 확정된다.

표 2.2.2.14 트레인 용량, 트레인 수량 결정요인

- Reservoir size
- Site conditions including plot space
- Existing infrastructure
- Phased-in capacity to meet LNG market and future expected demand
- Greenfield or expansion of existing facility
- Provisions for future expansion in a base case design
- Equipment limits & vendor base to build large equipment
- Transportation constraints
- In a modularized plant the maximum module size can limit train size depending on site conditions

(4-2) 현장 입지환경 평가

그림 2.2.2.20, 그림 2.2.2.21은 현장 여건, 현장 접근성 조사를 기반으로 진행되는 모듈화 블록 정의 프로시져에 대한 예시로서 현지 입지조건, 반입경로, 제작여건 등에 대한 사전 평가를 토대로 최적 모듈 사이즈를 결정하게 된다.

그림 2.2.2.20의 모듈화 블록 설계를 위한 현지 입지여건 평가 사례로서 플랜트 건설 사이트의 위치, 규모와 주변 도로, 항만, 유틸리티 등 기반시설, 온도, 기후 등 기상환경, 인력수급, 숙련도 등 작업환경 등에 대한 평가를 실시하게 된다.

그림 2.2.2.20은 모듈화 블록 설계를 위한 현장 접근성 평가 사례로서 제한 중량, 화물크기 등 법적 규제, 해상, 근해, 육상 운송 수단의 사전 평가를 통하여 최적 모듈화 블록 사이즈를 결정하게 된다.

플랜트 모듈화 블록 모듈의 이송에 있어서 운송로 폭, 회전반경, 허용높이(육교, 터널, 가공시설물 등), 운송로 경사/요철 등 제한 요소가 존재하며, 그림 2-20는 최적화 경로 선정을 위한 도로정보 DB로서 각 국가별 기반시설 관리 차원에서 운용 중인 시스템 사례이다.

이러한 운송경로 최적화에는 최근 IT 분야에서 이용이 증가하고 있는 big data 기반 교통량 분석 시스템, 아나로그 항공사진을 이용한 3D cad 역설계 기법 등이 보완 수단으로 이용 가능하다.

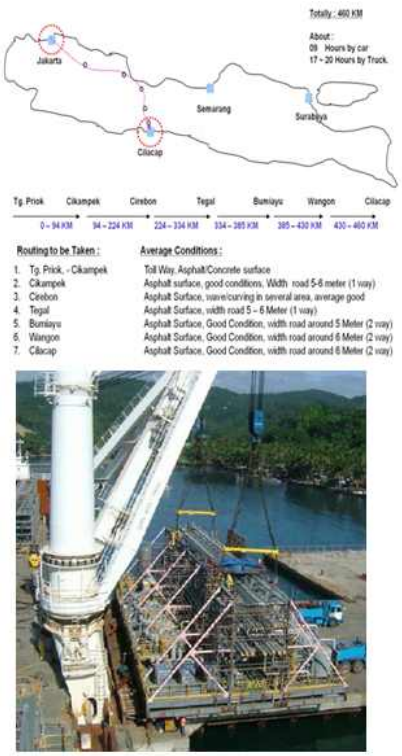
그림 2.2.2.23은 현장 작업자 동선의 간섭을 최소화하기 위하여 공정별 작업 특성을 고려한 투입 인원 평가를 통하여 현장 작업 밀도를 평가한 사례로서, 현장 작업 밀도가 높은 공종/공정을 중심으로 모듈화 정의를 진행한다.

표 2.2.2.15는 모듈화 설계의 기술적 실현 가능성을 검토하기 위한 도구로서 운송 가능성, 현지 작업량, 블록 자주성, 품질검사 독립성 등을 평가한다.



항목		내용
발주처		• A Corp.
규모	현장지역	• 북아메리카
	국가	• 캐나다
	위치	• 캐나다 퀘백주 유른베이
	설비규모	• 62,000배럴/일 RFCC
	현장넓이	• 65,600 m2
	야적장 넓이 및 적합성	• 주변 야적 가능 • 별도 토목공사 필요(연약지반)
Infrastructure	주변도로시설	• 주변도로 양호(아스팔트도로) • 기존 공장(공단) 시설내 설치
	주변항만시설	• 보스턴항에서 1,300km • 세인트로렌스만 인접
	주변항공시설	• La Tabatiere airport(소형) 7km
	주변하천(운송)시설	•
	긴급의료지원체계	• 문제없음
	전력공급체계	• 가능
	소방체계	• 양호
	급수체계	• 양호
환경	기후	• 냉대다우기후
	온도	• 1월평균 영하 13도 • 7월평균 영상 17도
	우기	•
	혹한기	• 11~3월
	환경오염규제	•
작업	인력수급	• Peak period시 일부 부족현상 예상
	주거환경	• 주변 주거 가능 • Infra 시설 미비
	Labor unit Cost	•
	Labor unit productivity	•
	Labor input(MH/unit)	•
	인력숙련도	• 낮음
기타	작업불가기간	• 11~3월(혹한기)

그림 2.2.2.20 모듈화 블록 설계를 위한 현지 입지여건 평가 사례



분류	항목	내용	모듈		운송경로계획			상세설계	
			운송 크기	운송 중량	운송 경로	운송 수단	운송 일정	변형 해석	고정 방법
법규	제한중량	•		√	√	√			
	화물크기제한	•	√		√	√			
해상	운송가능수단	• Ocean barge	√	√		√			
	운송업체 및 선박 보유현황	•	√			√	√		
	Method statement	•		√		√			√
	항구명	• 보스톤항							
	선착장(선석) 수심	•		√		√			
	하중 분산 조건	•		√		√			√
	선적조건	•		√		√			√
	하역조건	•		√		√			√
	Fascilities	•		√	√	√	√		
근해	운송수단	• Flat barge	√	√		√			√
	Barge 업체 및 장비 보유현황	•	√			√	√		
	운송거리	• 1,300km	√				√		
	최소깊이	•		√		√			
	통과높이(bridge 유무)	• 없음	√		√				
	통과 폭(교각폭)	• 없음	√		√				
	수위변동폭(계절, 날씨)	•	√				√		
육상	운송수단(도로운송)	•	√	√	√	√	√	√	√
	운송업체 및 장비보유현황	•	√			√	√		
	노면상태	•	√					√	√
	도로폭	•	√						
	도로시설물	•	√		√				
	운송거리	•	√				√		
	터널 높이제한	•	√		√				
	운송수단(근거리)	• SPMT	√	√	√	√	√	√	√
	운송업체 및 장비보유현황	•	√			√	√		
	도로폭	•	√						
	기타 장애물	•	√					√	√
	도로 시설물	•	√		√				
	운송 거리	• 400m	√				√		
	터널 제한 높이	•	√		√				

그림 2.2.2.21 모듈화 블록 설계를 위한 접근성 평가 사례



그림 2.2.2.22 모듈화 블록 접근성 평가를 위한 경로 DB 구축 사례

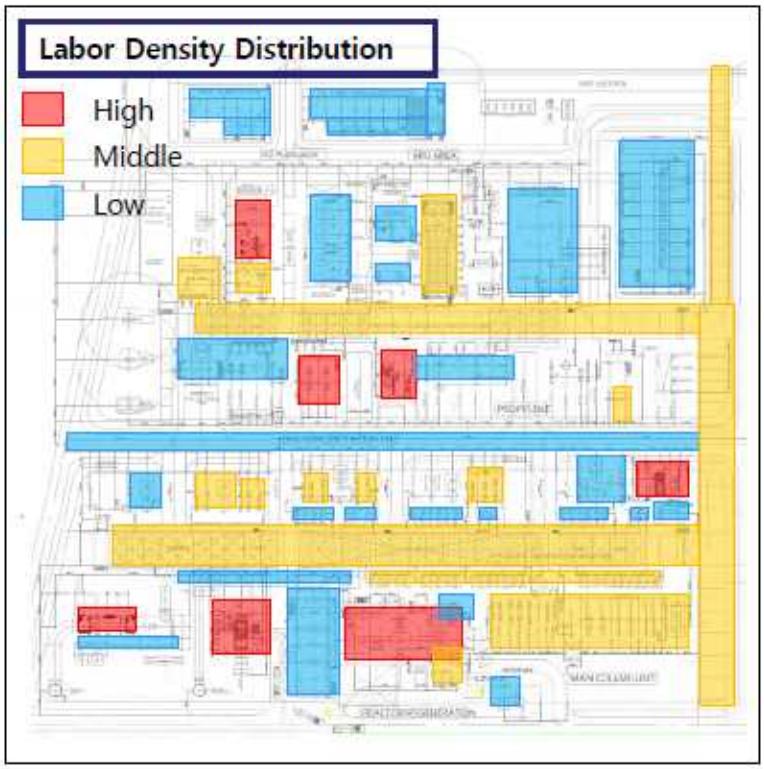


그림 2.2.2.23 모듈화 블록 정의를 위한 사이트 작업 밀도 평가사례

표 2.2.2.15 모듈화 블록 설계, 건설을 위한 기술성 평가 항목

구분		주요평가항목
운송가능성	주요 spec	• Size(W*H*L), Weight, COG
	운송 방법	• 육상운송(SPMT), 해상운송(Ship), 하천(Barge), 육상(Truck), Crane
	추가설계	• 보강재, 변형해석
현장작업량	작업조건	• 조립장소, Alignment, 보강제, 작업공간
	현장추가작업	• 용접, Flange, 소방, 보온, 케이블, 페이팅
	Crane	• 조립순서, 작업위치, 반경, 중량
	SPMT	• 조립순서, 회전반경, 경로간섭
자주식구조		• Steel, 입체구조
독립품질검사	검사항목	• 시스템(Equipment Spec., Hydro Test), 외형, 전기/제어, 소방, 보온,
	검사환경	• 검사장비, 검사방법, 임시자재

(4-3) 2D, 3D arrangement

과거 플랜트 건설 사업 수행 시 plant layout 설계는 일반적으로 feed 단계에서 설계된 layout을 기초로 기기의 maintenance, 배관 및 기타 법규, code 등을 고려하여 기존 layout 을 수정하는 것으로 상세 설계 단계에서 주로 수행된다.

이러한 plant layout 설계는 주로 기존의 경험 자료, maintenance 및 access를 고려한 검토에 기초하고 있다. 그러나 최근 feed 단계 사업 또는 대형 사업에서는 plant layout의 검토를 입잘자가 수행하도록 요구하고 있으며 검토 과정에서 hazard analysis 기법의 적용이 요구되고 있어 법적 이격 기준에 대한 검토가 필요하다.

기존 plant layout procedure 법규 및 코드에 근거한 plant layout 설계 검토 절차 확인 법규 및 code에 근거한 plant layout의 검토는 주로 정성적인 분석에 의존한다. 즉 법규나 code의 조항 및 경험에 근거한 check list 등을 기준으로 plant layout이 설계 된다.

이 방법은 법규 및 code 에 익숙한 경험자를 통한 신속하고 안전한 검토가 가능하지만, 경험에 따른 검토이기 때문에 새로운 종류의 공정에 적용할 경우에는 문제 발생의 소지가 있으며 기존 공장의 경우도 다소 획일화 된 기준의 적용으로 안전설계 측면에서 과잉 혹은 부적합 설계를 유발할 가능성이 높다.

기존 법규 및 code 메 따라 plant layout 설계수행 방법 및 절차를 정리하면 다음과 같다.

표 2.2.2.16 Overall Site Plan

(1) Process 기준 배치 - 바람의 방향을 고려한 점화원과 연료원의 배치 - 화재시 영향을 최소화하기 위해 바람과 조수 및 해류에 대한 고려를 통한 연료원의 배치 - 소방 접근로의 용이성 확보 - EBR(Escape, Evacuation and Rescue) 을 고려한 적절한 배치 (2) Unit의 분류 기준 배치 (Block Model) - Isolation Valve 의 개수를 줄이고 Shutdown System 의 복잡성을 경감시키기 위하여 가능한 한 Unit 의 층 개수를 줄여야 한다. - 크기가 가장 큰 Unit 에 대해 소방 설비와 비상 시스템 (Emergency System)이 정

해진 시간 내에서 효과적으로 작동할 수 있도록 크기를 정해야 한다.

- 비슷한 위험도를 가진 장치로 같은 Unit를 구성하여야 한다.
- 운전성이 가장 좋게 Grouping 하여야 한다.
- 사고발생시 정해진 액수 이내에서 손실이 발생하도록 구성한다.

Interconnection unit은 용접된 배관으로만 이루어져 있으며 서로 다른 프로세스 unit 을 연결해 주는 경우에만 독립적인 unit 으로 인정할 수 있다.

Unit은 표 2.2.2.17과 같이 9개의 장치 block으로 분류할 수 있으며 이들은 비슷한 위험도와 위험특성을 가지고 있다. 표 2.2.2.17에서는 process를 특성별로 block 화 한 후에 각 block을 fuel source와 ignition source로 구분 하였으며 이를 기준으로 각 equipment block간 근접 배치가 가능한지를 판단할 수 있다.

이 같은 개념을 표 2.2.2.18에 정리하였다. 즉 각 block 간에 compatibility가 있을 경우에는 특별한 안전 조치 없이도 block 간 근접 배치가 가능하다.

일반적으로 점화원으로 작용할 수 있는 block과 연료원으로 작용할 수 있는 block은 분리해야 한다.

표 2.2.2.17 Block of equipment

Group	Type	Main Equipment	Hazard
T1	Wellhead	◦ Welheads. Chokes, Manifolds, Headers	Fuel Source
T2	Unfired Process	◦ Manifolds and Headers. Separators , Gas Sales ◦ Station , Heat Exchanger. Water Treatment. ◦ Pump, Compressor. Unit Enclosure , Finger ◦ Type Slug Catcher	Fuel Source
T3	Hydrocarbon Storage	◦ Storage Tank. Sump Tank, Produced Water ◦ Treating Tank	Fuel Source
T4	Fired process	◦ Fired Equipment. Line Heaters. TEG ◦ Reboilers	Ignition Source
T5	Machinery	◦ Generators, Electric Equipment. Compressor. ◦ Engine , Turbine. Technical Buildings	Ignition Source
T6	Building	◦ Living Quarter, Maintenance Areas and ◦ Buildings , Sewage Disposal. Water Makers	Ignition Source
T7	Pipelines and Risers	◦ Risers. Pig Launchers , Pig Traps	Fuel Source
T8	Vents	◦ Vents	Fuel Source
T9	Flares	◦ Flares. Burn Pits	Ignition Source

표 2.2.2.18 Unit Compatibility

Unit	Compatibility	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
U1	Wellhead	C								
U2	Unfired Process	NC Note	C							
U3	Hydrocarbon Storage (11)	NC Note	NC Note	NC Note						
U4	Fired Process	NC Note	C Note	NC	C					
U5	Machinery	NC Note	C	NC	C	C				
U6	Building	NC	NC Note	NC Note	NC Note	NC	C			
U7	Pipelines and	C	C	NC Note	NC	NC	NC	C		
U8	Vents (10)	C	C	NC Note	NC	NC	NC	C	NC Note	
U9	Flares	N	NC Note	N	N	N	N	NC Note	NC	C

주) C : Compatible, NC: NOT Compatible
1 : Not Compatible 이지만 Test Separator 와 같은 Unfired Process 장치는 제외한다.
2 : Not Compatible 이지만 (i) 저장 시설에 설치된 펌프와 같은 Unfired Process 장치는 제외 한다. (ii) 50㎥ 용량 이하의 프로판 저장시설에 설치된 냉각 장치는 제외한다.
3 : Hydrocarbon Liquid를 저장 탱크 혹은 Liquefied Hydrocarbon 저장 탱크는 Compatible 하지만 상호간에는 Not Compatible 하다.
4 : API RP 14 J에 따르면 Not Compatible 하지만 충분한 거리가 주어진 경우에는 Compatible 하다.
5 : Technical Building 은 제외한다
6 : 원칙적으로는 Not Compatible이지만 파이프라인에 플랜지(Flange)가 없고 저장장치의 폭발에 견딜 수 있다면 가능하다.
7 : 독성 가스를 처리할 경우, 사람에게 영향이 없을 경우는 호환이다.
8 : API 14 J에 따르면 Not CompatibleI.이지만 Flare Drum이 보호장치를 갖고 있으면 가능 하다.
9 : Pumping Unit 을 갖춘 Well 은 제외 한다.
10: ColdVent 로 한정된다. Degassing Vents 는 모든 Unit Group 과 Compatible 하다.
11: Hydrocarbon Liquid 와 Liquefied Hydrocarbon 모두를 포함한다.

플랜트의 운전 기간 중 안전 성능 저하를 유발하는 주요 요인으로는 power generation unit, driver, compressor 등 내구수명이 제한되어 있는 회전기기와 flare, storage tank, unload&loading unit 등 인화성 기기가 가장 큰 요인으로 작용하고 있다.

다만, 이러한 인화성 기기의 경우 단독으로 위험성을 내포하고 있기 보다는 주변 장치의 고장, 운전 오류에 의한 2차 피해가 대부분으로서 상기 운전 성능 저해 유발 요인과 함께 RAM, RISK의 검토가 필요하다.

다만, 플랜트 구성 장치류에 대하여 과다한 집적 설계의 경우 폭발, 화재 발생, 독성가스의 유출 등 사고가 주변 지역으로 확산을 유발하는 요인으로 작용하기 때문에 국제적으로 최소 설계 기준을 제한하고 있으며, 사례로서 미국 NFPA(National Fire Protechtion Association), API(American Petroleum Institute), IRI(Industrial Risk Insurers) 등에서 제한하고 있는 최소 이격 거리를 표 2.2.2.19 ~ 표 2.2.2.21에 도시하였다.

표 2.2.2.19 Inter-unit spacing recommendations on ARI standard.

Service Buildings															
/	Motor Control Center and Electrical Substations														
/	/	Utilities Area													
50	50	/	Cooling Towers												
50	50	100	50	Control Rooms											
/	/	100	100		Compressor Buildings										
100	100	100	100	100	30	Large Pump Houses									
100	100	100	100	100	30	30	Process Units Moderate Hazards								
100	100	100	100	100	30	30	50	Process Units Intermediate Hazards							
200	100	100	100	200	50	50	100	100	Process Units High Hazards						
400	200	200	200	300	100	100	200	200	200	Atmosphere Storage Tanks					
250	250	250	250	250	250	250	250	300	350	*	Pressure Storage Tanks				
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*	Refrigerated Storage Tanks , Dome Roof			
350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	*	*	*	Flares		
300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	400	400	/	Unloading and Loading Racks	
200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	250	350	350	300	50	Fire Water Pumps
50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	350	350	350	300	200	/	Fire Stations
50	50	50	50	50	200	200	200	300	300	350	350	350	300	200	/	/

1ft : 0.305m,

/ : no spacing requirements

* : spacing given in [표 2-11]

표 2.2.2.20 Intra-unit spacing recommendations on ARI standard.

Compressors														
30	Intermediate Hazard Pumps													
30	5	High Hazard Pumps												
50	5	5	High Hazard Reactors											
50	10	15	25	Intermediate Hazard Reactors										
50	10	15	25	15	Moderate Hazard Reactors									
50	10	15	25	15	15	Columns, Accumulators, Drums								
50	10	15	50	25	25	15	Rundown Tanks							
100	100	100	100	100	100	100	100	Fired Heaters, Incinerators, Oxidizers						
50	50	50	50	50	50	50	100	25	Air Cooled Heat Exchangers					
30	15	15	25	15	15	15	100	50	/	Heat Exchangers				
30	10	15	25	15	10	10	100	50	15	5	Pipe Racks			
30	10	15	25	15	10	10	100	50	/	10	/	Emergency Exchangers		
50	50	50	50	100	50	50	100	50	50	50	50	/	Unit Block Valves	
50	50	50	50	100	50	50	100	50	50	50	50	/	/	Analyzer Rooms
50	50	50	50	50	50	50	100	50	50	50	50	/	/	/

※ 1ft = 0.305m, / = no spacing requirements

표 2.2.2.21 Storage tank spacing recommendations on ARI standard.

Floating & Cone Roof Tanks < 3000Barrels	Floating & cone Roof Tanks > 3000 < 10.000 Barrels	Floating & cone Roof Tanks > 10.000 < 300.000 8arrels	Jumbo Floating Roof Tanks > 300.000 Barrels	cone Roof Tanks Class II, III Product > 10.000 < 300.000 Barrels	cone Roof Tanks Inerted C|ass I Product > 10.000 < 150.000 Barrels	Pressure Storage Vessels, Spheres and Spheroids	Pressure Storage Vessels. Drums and Bullets	Refrigerated Dome Roof Storage Tank
0.5 D								
0.5 D	0.5 D							
1 x D	1 x D	1 x D						
1 x D	1 x D	1 x D	1 x D					
0.5 D	0.5 D	1 x D	1 x D	0.5 D				
1 x D	1 x D	1 x D	1 x D	1 x D	1 x D			
1.5D 100' MIN	1.5D 100' MIN	1.5D 100' MIN	2 x D	1.5D 100' MIN	1.5D 100' MIN	1 x D 100' MIN		
1.5D 100' MIN	1.5D 100' MIN	1.5D 100' MIN	2 x D	1.5D 100' MIN	1.5D 100' MIN	1 x D 100' MIN	1 x D	
2 x D 200' MIN	2 x D 200' MIN	2 x D 200' MIN	2 x D	2 x D 200' MIN	2 x D 200' MIN	1 x D 100' MIN	1 x D 100' MIN	1 x D 100' MIN

(4) 모듈러, 콤팩트 설계 성능 평가

이상의 LNG 플랜트 모듈러, 콤팩트 설계 가이드의 적용효과는 LNG플랜트 TB 1과 GS건설의 상용급 LNG 플랜트의 가상 모델을 대상으로 검증하였다.

LNG플랜트 TB 1 설계집에 기초하여 73,000 TPA 규모로서 각 공정을 구성하는 단위조작기기의 구성과 흐름을 간결하게 표시한 PFD(Process Flow Diagram)와 이를 기본으로 하여 각 공정을 구성하는 단위조작기기의 구성과 그 흐름을 상세하게 표시한 P&ID(Process Flow Diagram)을 바탕으로 배관 모델링을 수행하였다.

Tube & Pipes를 활용한 파이프 설계 모듈과 P&ID를 바탕으로 배관 내의 오리피스 및 밸브의 위치, 배관의 라우팅, Pipe rack의 위치 등을 고려하여 파이프 설계 모듈에서 자동으로 생성되는 파이프라인의 세그먼트들 중에서 최적화된 세그먼트를 선정하여 배관설계를 수행하였다.

주요 기기의 하나인 열교환기의 경우 i-Logic을 활용한 스케일 확대/축소 모듈을 이용하여 레이아웃에 표시된 사이즈에 맞추어 스케일을 조정하여 배치하였다. 기본설계집의 제시된 레이아웃을 바탕으로 50m x 30m 크기의 사이트(site)를 표현하고, main pipe rack을 먼저 배치 후에 주요 기기들을 배치하였다.

LNG플랜트 TB 1 설계집에 기초한 가상플랜트의 설계 개선을 위하여 콤팩트, 모듈화 로직을 적용하였으며, 모듈화 결과를 그림 2-20에 도시하였다. 그림 2-20에서는 액화공정, MR 냉동사이클, C3 냉동사이클 등 6개 유닛으로 모듈화 개요를 도시하고 있는 그림으로 공정별 구분하여 모듈화 유닛간 연계 배관을 최소화하였다.

콤팩트, 모듈화 개선 로직에 따라 TB 1 기본 배치 모델을 재배치하였으며 40m x 25m 크기로 plot plan 상에 재구성하였다. 이에 따라 main pipe rack의 위치 및 길이 또한 수정되었으며, P&ID를 바탕으로 pipe rack을 지나는 주요 배관의 길이 및 위치도 조정되었다. 초기 모델과 같이 주요 기기들을 배치하고, P&ID를 바탕으로 각 주요 공정별로 파트를 묶어 효율적인 공정을 위해 주요 기기 배치가 조정되었다.

열교환기 모델에 대해서 스케일 확대/축소 모듈을 이용해 P&ID를 바탕으로 효율적인 공정에 맞추어 사이즈 재조정 및 배치하였으며, 각 주요 공정별로 묶인 파트를 바탕으로 기기의 배치 방향을 수정하였다.

이를 통해 전체 plot area 기준 20% 수준의 설계 개선이 이루어졌으며, 10% 수준의 콤팩트화, 5% 수준의 초저온 배관 연장이 축소되었다. 이 과정에서 일반 10% 수준의 일반 배관의 연장이 증가하였으며, 15% 수준의 구조물 연장이 증가하였다.

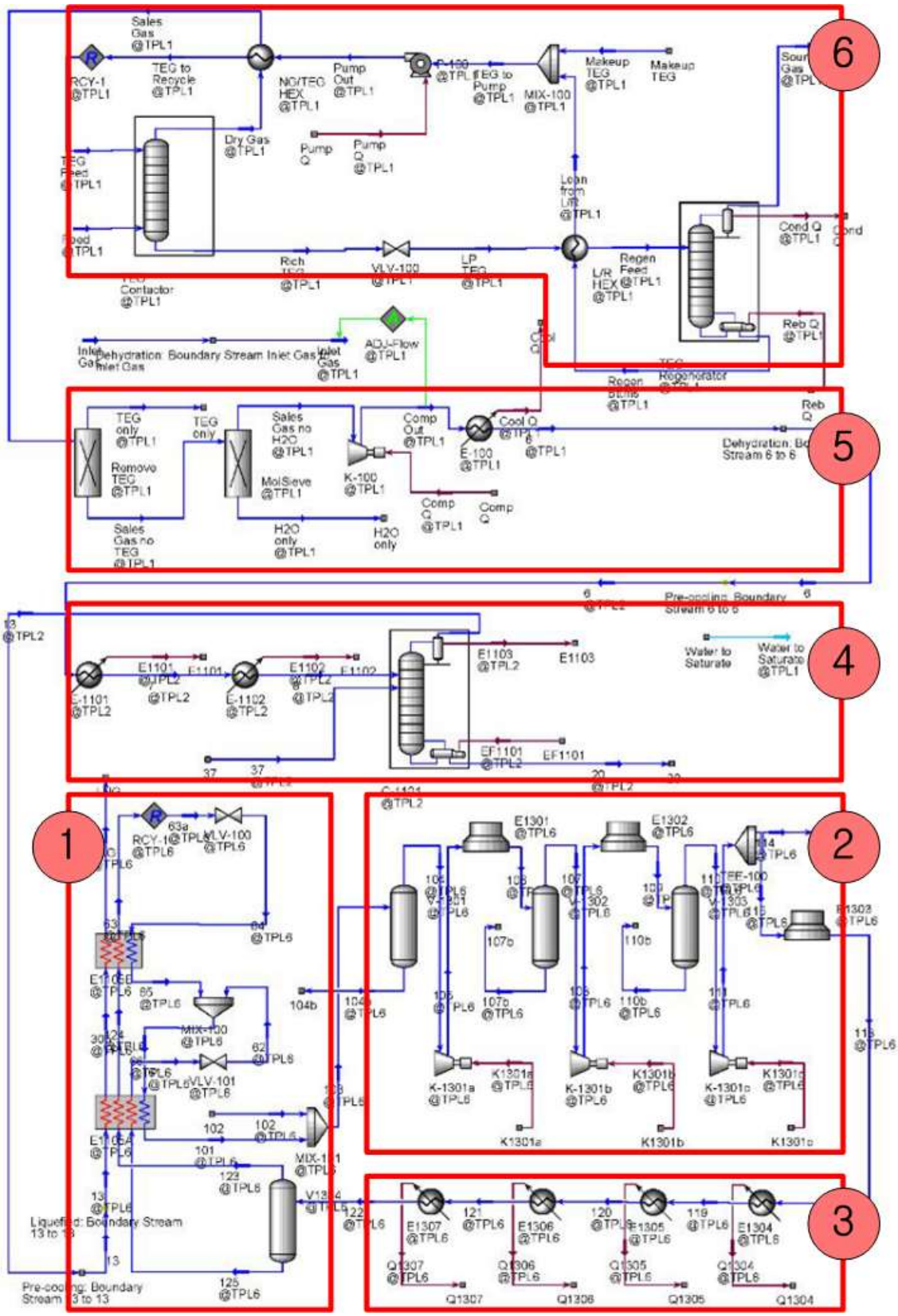


그림 2.2.2.24 LNG플랜트 TB 1 프로세스 모듈화

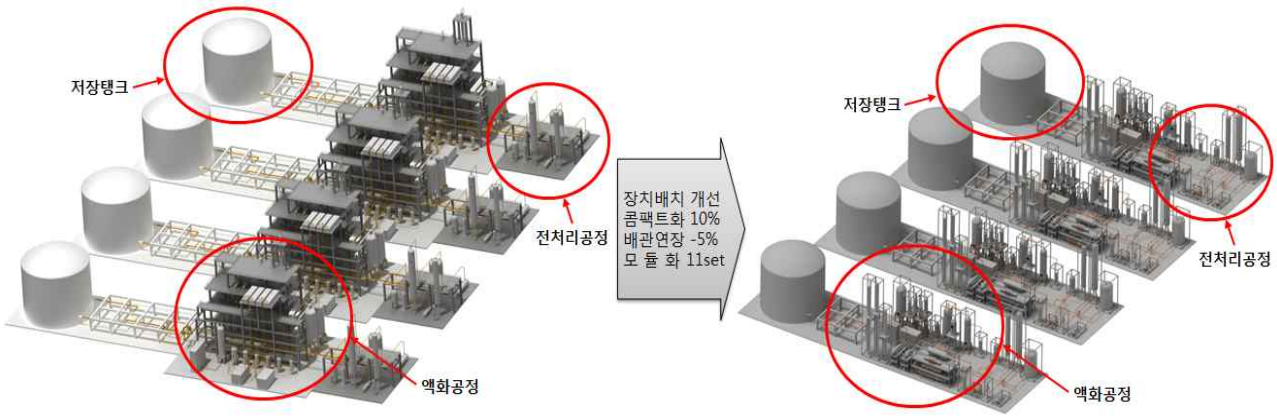


그림 2.2.2.25 LNG플랜트 TB train-1 모듈화 설계 비교

표 2.2.2.22 모듈러 설계 성능 비교

구분	Stick Build Plant	Compact/Modular Plant
Plot Area	1500 m^2 (50m × 30m)	1200 m^2 (45m × 25m)
Install Volume	10,030 m^3	8,970 m^3
Piping Length(Cryogenic Temp.)	57 m	52 m
Piping Length(Normal Temp.)	350 m	385 m
Structure Steel Length	510 m	590 m

또한 LNG 플랜트 모듈러, 콤팩트 설계 가이드는 GS건설에서 제공한 상용급 LNG플랜트 설계에 적용하여 모듈화 가이드의 실질적인 유효성을 검증하였으며, 공정별 모듈화 배치를 통하여 초기 설계의 성능을 유지한 상태에서 점유 입지를 최소화하였다.

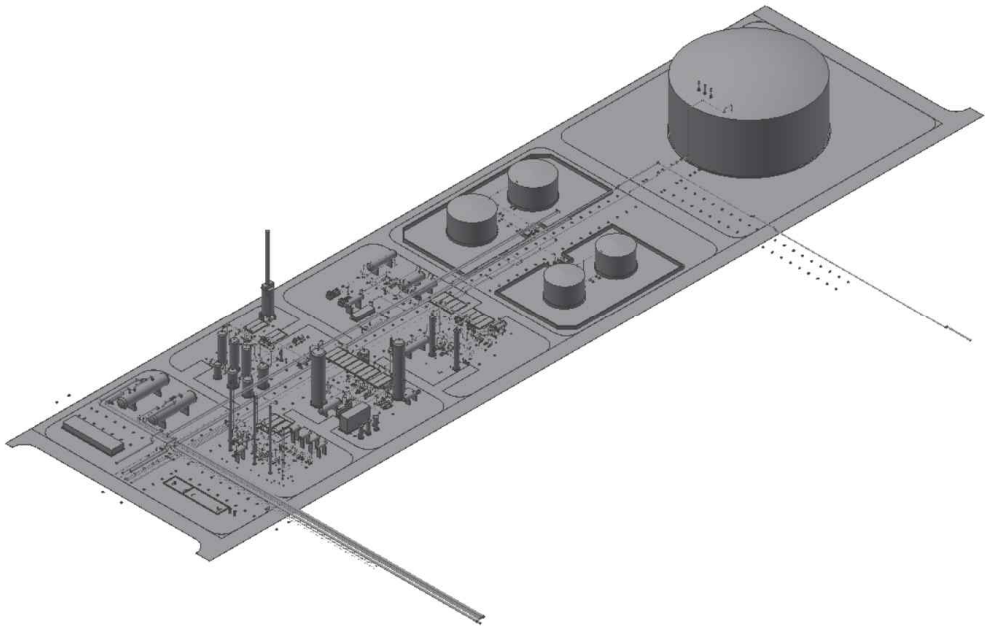


그림 2.2.2.26 Commercial LNG plant model from GS Engineering and Construction

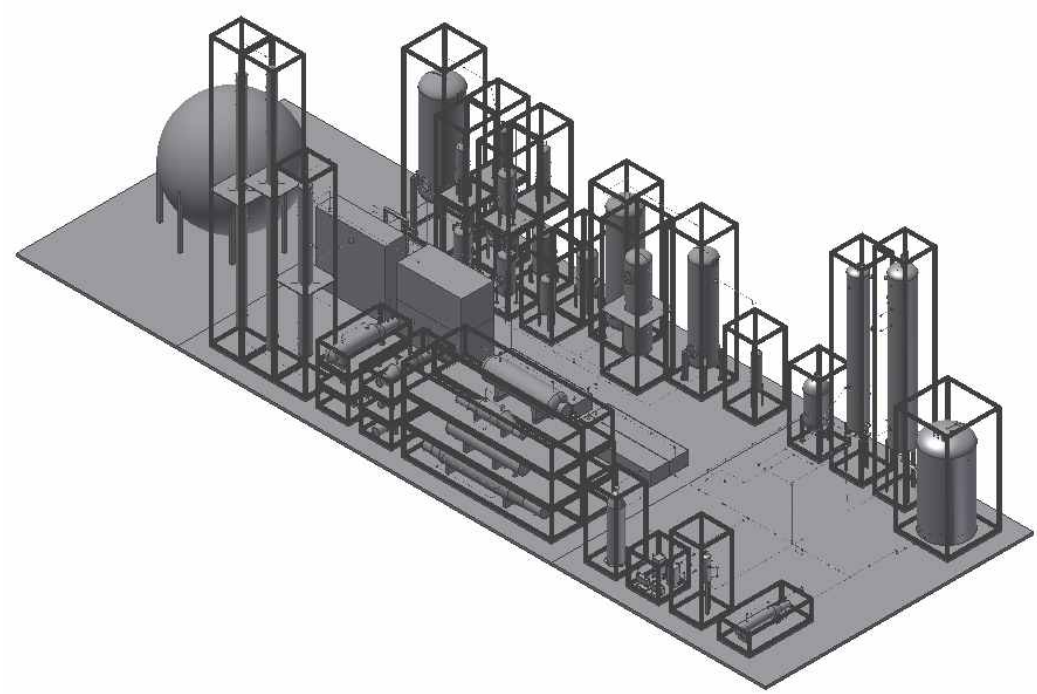


그림 2.2.2.27 Prototype of 5MTPA LNG plant with Module Guide (ISO)

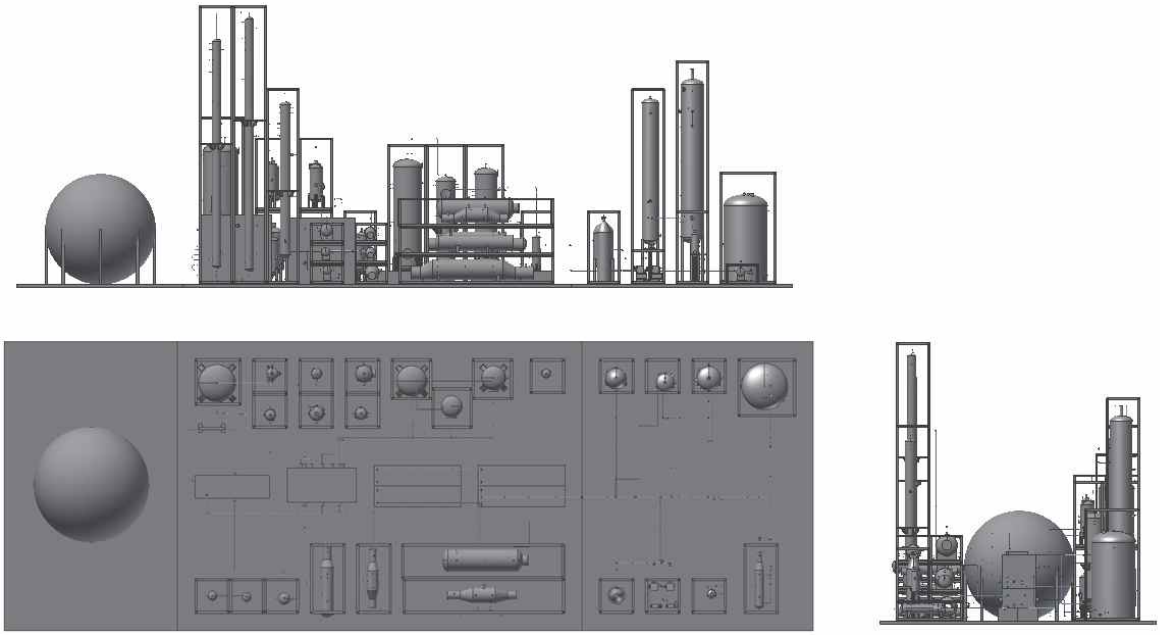


그림 2.2.2.28 Prototype of 5MTPA LNG plant with Module Guide

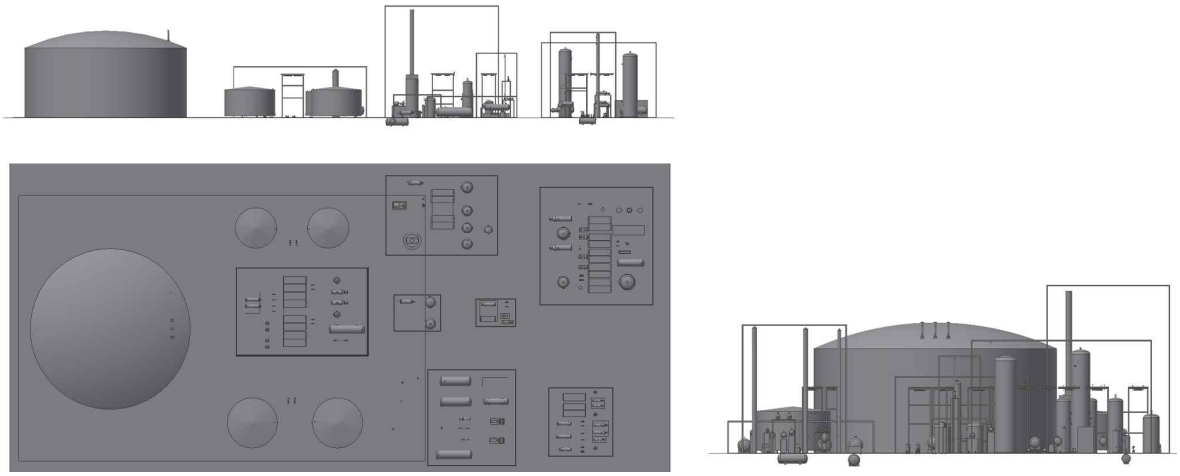


그림 2.2.2.29 Commercial LNG plant 3D model with Module Guide

다. 주요결과 및 시사점

콤팩트, 모듈러 플랜트 설계 및 시공 기술의 경우 건설비 저감뿐만 아니라 오지, 극지, 영구동토 등에서의 플랜트 건설이 가능하도록 공간적, 환경적 제약을 극복할 수 있는 수단으로 평가된다.

LNG플랜트사업단 연구수행을 통하여 관계법규, 자연현상, 설계 범위, 사용자 요구 등을 고려한 system layout 설계 가이드라인을 검토하였으며, 도식적, 순차적으로 정리하여 제시하였다.

LNG 플랜트 전체 건설비용의 60%를 상회하고 있는 육상 플랜트의 경쟁력 제고를 위하여 글로벌 엔지니어링사인 Foster Wheeler, CII 등의 엔지니어링 표준 분석을 통하여 기본 개념을 정립, 개선하여 ①LNG플랜트 프로세스 최적화, ②플랜트 모듈화 의사결정 기법을 검토하고 트레인 용량 최적화, 현지 입지환경 평가 등을 통한 ③모듈화 설계 가이드라인을 발간하였다. 또한 ⑥모듈화-콤팩트 설계 검증을 통하여 모듈화-콤팩트 설계 가이드라인의 적용성을 평가하였다.

2D layout, 3D 공간설계의 경우 시스템 상세설계, 현장건설, 유지보수에 매우 밀접하게 관계되며, 향후 모듈화 상세설계 등과 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 시공성, 조작성, 안전성, 경제성 등을 충분히 고려할 필요가 있다.

또한 플랜트 모듈화 건설을 위해서는 대형 모듈화 블록에 대한 운송수단, 취급수단 등의 상세 검토가 필요하며, 모듈별 정밀한 분할/조합 및 순차적 건설을 위한 computing simulation을 필요로 한다.

모듈화, 콤팩트 로직에 따른 설계 개선을 Test Bed 사례를 이용하여 검증하였으며 plot area 기준 20% 수준의 설계 개선이 이루어졌으며, 10% 수준의 콤팩트화, 5% 수준의 초저온 배관 연장이 축소되었다. 이 과정에서 일반 10% 수준의 일반 배관의 연장이 증가하였으며, 15% 수준의 구조물 연장이 증가하였다.

다만, 현재까지의 모듈화, 콤팩트 성과는 Test Bed 소용량 단일 트레인에 대한 적용 한계가 있으며, 향후 상용급 플랜트 모델을 이용한 콤팩트, 모듈러 설계 로직, 절차에 대한 신

중한 접근이 필요하다.

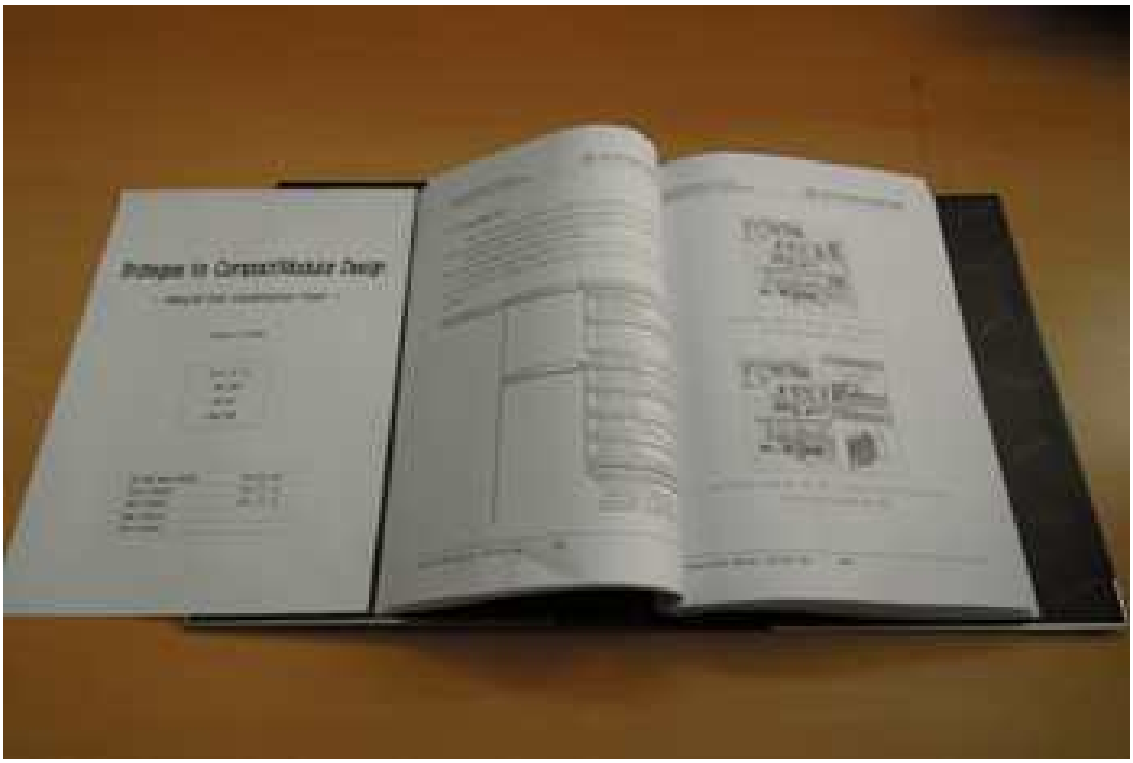


그림 2.2.2.30 모듈화-콤팩트 설계 가이드라인

3. 가상 플랜트 원형 표준화 및 활용방안

가. 개 요

LNG플랜트를 전산 하드웨어 및 시공간적 제약 없이 가시적 구현 및 3D 표현 가속성을 확보하기 위하여 웹 기반의 XVL 플랫폼을 이용하여 VR 환경 가상플랜트 원형을 개발하였다.

가상 LNG플랜트 원형의 작성 과정에서 기자재, 장치류 부품모델을 데이터베이스 형태로 구축되었으며 scale up-down 모듈을 이용하여 향후 플랜트 설계 변경 등에 능동적인 대응이 가능하도록 하였다.

또한 RAM, RISK 평가 구조설계 등 통합설계 환경에 연계하여 설계 모델, 데이터베이스 등의 공유가 가능하도록 설계되었다.

나. 수행내용 및 결과

(1) LNG플랜트 협업 모듈 개발

LNG플랜트 협업모듈의 구현을 위하여 네트워크 가상환경기법을 적용하였다. 최근 플랜트 IT 기술의 융합을 통하여 LPMS(LNG plant management system based on RAMS) 시스템의 아키텍쳐를 웹 기반으로 구성하였으며,

세부 기능을 LPDMS(LNG plant design management system, 설계평가 프로그램), LPOMS(LNG plant operation & maintenance system, 안전성평가 프로그램), EDB(engineering database)으로 그룹화 구현하였다.

그림 2.2.3.1은 LNG Plant Management System 에 적용된 설계자-서버-사용자 구조를 도시하고 있다. LPMS 프로그램은 전문가간의 원활한 협업을 위해 웹기반으로 설계되었으며, 오프라인상의 설계자들과 서버를 통해 상호간의 피드백을 제공함으로써 플랜트 설계평가를 효율적으로 수행할 수 있다.

웹기반의 협업시스템을 구축하기위해 XVL 서버 라이센스를 이용하여 오프라인 상에서 설계자들을 통해 모델링된 3D 모델을 특정 폴더에 저장하면 자동으로 VR(Virtual Reality)모델로 변환하여 웹기반 LPMS 프로그램의 내비게이터 모듈에서 볼 수가 있다.

플랜트 설계 업무의 효율성 제고를 위하여 주요기기의 형상, 속성, 구성 정보를 포함한 3D

데이터 활용 도구로서 XVL을 적용하였ㄷ ᆞ. XVL은 3D 데이터의 형상을 경량화하여 표현할 뿐만 아니라, 3D CAD에 포함된 자체 속성정보와 구성정보를 함께 표현한다. 따라서 설계, 시공, 생산 기술, 운영, 조달 등 각 업무 목표에 맞도록 3D 데이터를 효과적으로 활용이 가능하다.

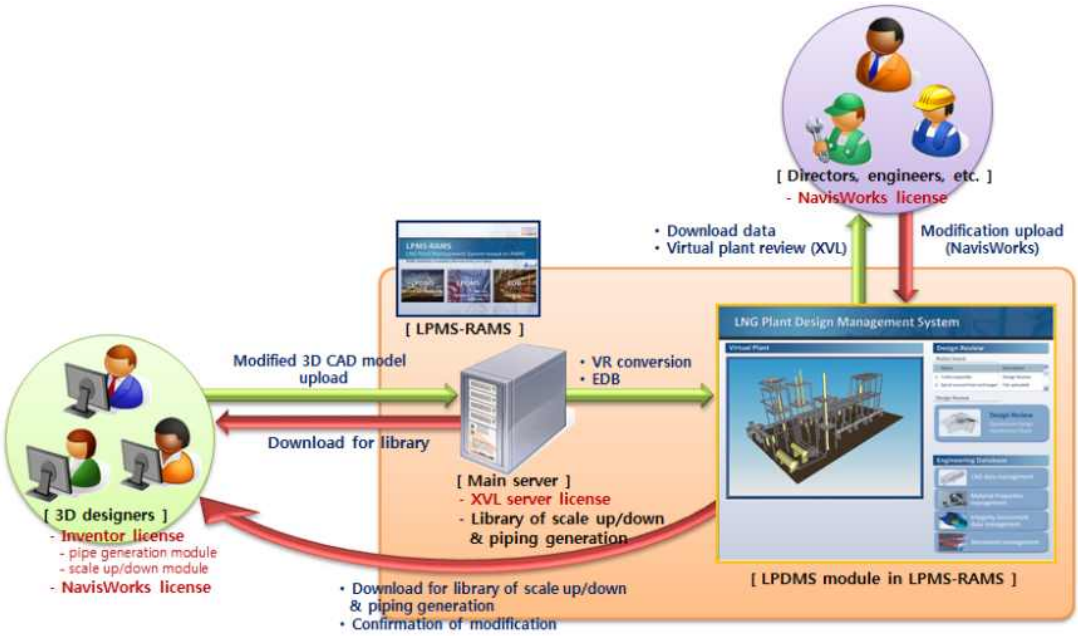


그림 2.2.3.1 System of LPMS

웹기반 LPMS 프로그램에 접속한 관리자, 엔지니어 등은 웹프로그램 상의 내비게이터 모듈을 통해 3D로 설계된 플랜트를 자유자재로 직관적으로 살펴볼 수가 있다. Walk through 기능을 통해 플랜트 내부를 돌아볼 수 있으며, 뷰어 상에서 간섭체크 등을 수행할 수 있다. 관리자, 엔지니어 등의 피드백을 웹프로그램 상에 기록하면 설계자들은 이를 반영하여 모델을 수정함으로써 수정된 3D 모델이 자동으로 VR 모델로 변환되어 웹프로그램 상의 내비게이터 모듈에서 확인할 수 있다.

기존의 소프트웨어 툴로 구성되어 있는 플랜트 시스템을 웹 기반으로 설계함으로써 시간적 장소적 제약을 해소할 수 있다. 이는 현장의 엔지니어와 관리자를 포함한 설계자 그리고 유지보수를 담당하는 일련의 모든 과정에 포함된 인원들이 휴대용 단말기나 스마트 디바이스 등의 이동성이 부여된 기기들을 이용하여 실시간으로 정보를 공유하고 EDB를 통해 통합된 자료를 가지고 업무에 임하게 되어 데이터의 통합으로 인한 시간적, 물질적 절약과 지속가능한 정보의 활용이 가능해지며, 실제 플랜트의 시공 전 3D 플랜트 모델을 제작 확인함으로써 기기 장치들

간의 간섭과 시공 시 발생하는 risk를 감소시킴으로 효율적인 플랜트 설계, 시공, 운영 및 유지보수가 가능해진다. 또한 모든 과정에 있어서 정보 교환이 실시간으로 가능함에 따라 여러 부분으로 나누어져 진행되는 과정들을 하나의 시스템으로 통합함으로써 부분별 협업에 효율성을 증대시킬 수 있다.

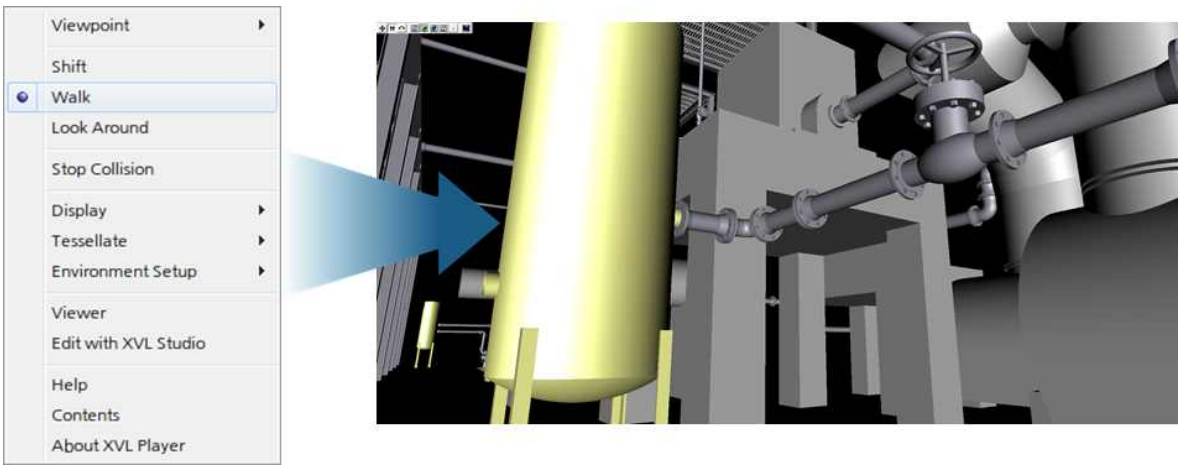


그림 2.2.3.2 Navigator module in XVL

(1-1) LPDMS (LNG Plant Design Management System, 설계평가 프로그램)

XVL을 이용한 3D VR 모델을 기반으로 가상 플랜트 설계 모듈을 제공함으로써 실제와 유사한 모델을 미리 제작해 볼 수 있으며, EDB를 통하여 LNG 플랜트의 구성 기기장치들의 세부 데이터 및 주요 설계 스펙을 확인 할 수 있다. 또한 VR 모델 기반의 내비게이터를 통해 설계 진행상황을 실시간으로 확인이 가능하다.

그림 2.2.3.3은 LPDMS 페이지를 설계하기 위한 컨셉 디자인과 실제 구현된 페이지를 나타낸다. 페이지 대부분의 공간을 가상 3D 플랜트 모델 구현에 할애했고, 그 옆에 각 기기들의 엔지니어링 데이터를 열람할 수 있는 버튼을 만들었다. 전체 플랜트에서 하나의 기기를 클릭하면 해당 기기에 대한 모델링을 자세히 열람할 수 있고 플랜트 전체 모델로 돌아올 수 있는 View all 버튼을 구현하였다. 가상 플랜트 모델에서 하나의 기기를 클릭한 경우와 구현된 버튼에 대한 팝업창이 그림 2.2.3.4에 나타나있다.

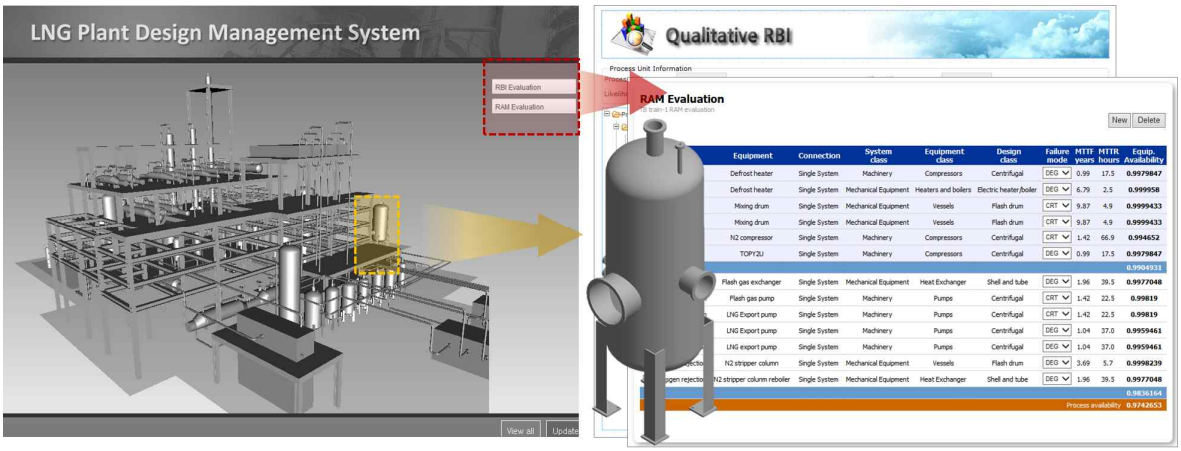


그림 2.2.3.3 Function of button in LPDMS

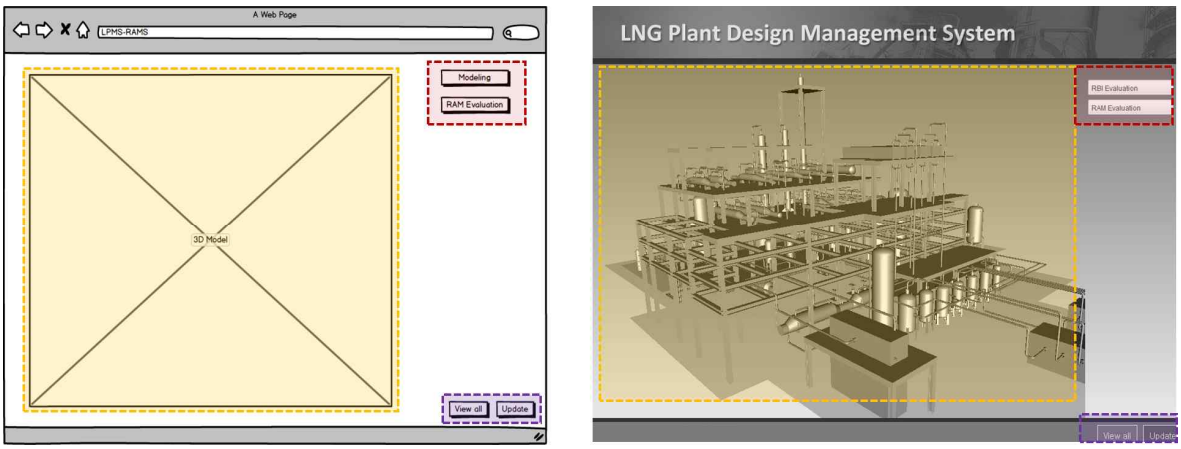


그림 2.2.3.4 Design of LPDMS in LPMS-RAMS

(1-2) LPOMS (LNG Plant Operation & Maintenance System, 안전성평가 프로그램)

API RP 581 코드와 API BRD 581 코드 기반의 플랜트 검사 방법으로 정성적, 정량적 평가를 통하여 위험도를 기반으로 플랜트 기기 장치들을 관리하여 플랜트 생애 주기를 관리함으로써 효과적인 플랜트의 운용이 가능해 진다. 그림 2.2.3.5는 LPOMS를 제작하는 데 사용했던 컨셉 UI 디자인과 이를 바탕으로 만들어진 실제 프로그램의 페이지를 나타낸다. 프로그램화면에 RBI에 관한 간단한 설명을 추가해 사용자의 편의성을 높였다. 그림 2.2.3.6은 각 버튼을 눌렀을 때 나오는 페이지를 나타낸다.

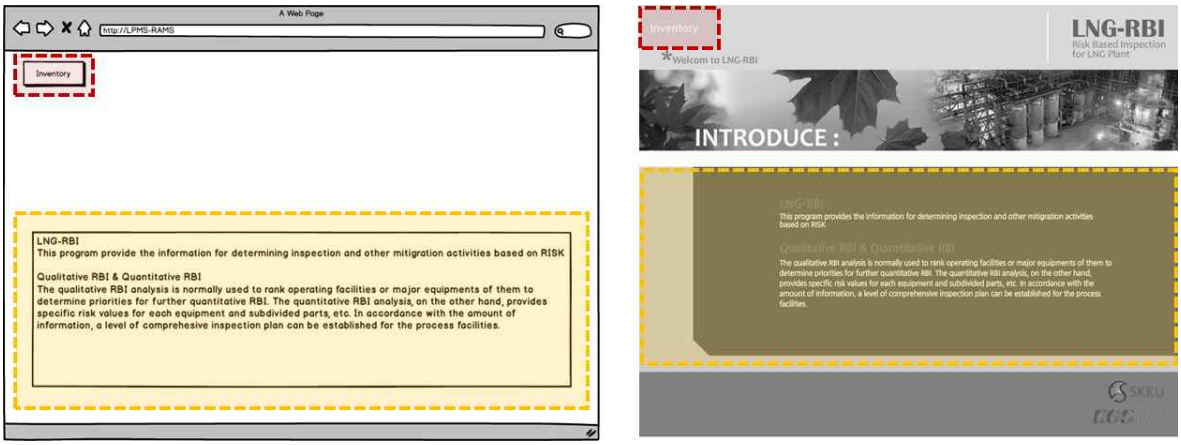


그림 2.2.3.5 Design of LPOMS in LPMS-RAMS

RBI 평가는 BRD 코드에서 정성적, 준정량적, 정량적 평가로 나뉘어 졌으며, 이것이 RP 코드로 개정되면서 정성적, 준정량적 평가가 없어지고 정량적 평가로 통합되었다. 현재 LPOMS에는 실제 현장에서 사용하기 편리하도록, 비교적 입력 변수의 양이 적고 평가 과정이 간단한 정성적 평가가 추가되어 있다. 정성적 평가의 경우 추가로 개발한 SMART RBI와 연동하여 보다 더 자세한 평가가 가능하게 하였다.

정량적 RBI 평가를 통해 제공되는 risk matrix(high, medium high, medium, low)와 주요 7가지 파손메커니즘에 대해 특정 색상을 부여함으로써 SMART RBI 모듈 내에 내비게이터 모듈의 VR 모델과 연동하여 컬러링 기능을 이용하여 위험성이 높은 기기들을 표현 가능하다. 이러한 관계를 그림 2.2.3.7에 나타내었다.



그림 2.2.3.6 Function of button in LPOMS

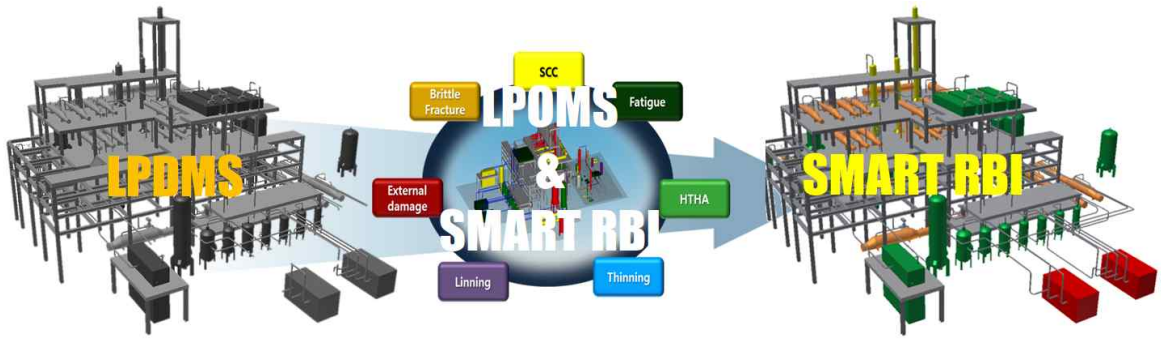


그림 2.2.3.7 LPDMS, LPOMS and SMART RBI

(1-3) EDB (Engineering DataBase)

데이터베이스의 형태는 시스템의 큰 카테고리로 분류되며 그 이하의 분류로는 기기 장치의 class, 사용되는 목적, 장비의 ID, 물질 정보, 운용 온도의 파악이 가능해지고 일련의 카테고리별로 정리가 되어 표현되기 때문에 적재적소에 필요한 정보를 효과적으로 추출하고 수정 및 보완이 가능해진다. 이는 모든 과정의 인원들이 필요한 데이터를 공유함으로써 업무시간의 단축과 물질적인 손해의 감소 효과가 발생하여 플랜트 전체의 관점에서는 높은 효율성으로 효과적인 설계 관리가 가능해진다. 그림 2.2.3.8은 LPMS-RAMS의 데이터베이스를 총괄하는 EDB 모듈의 구조를 도시하였다.

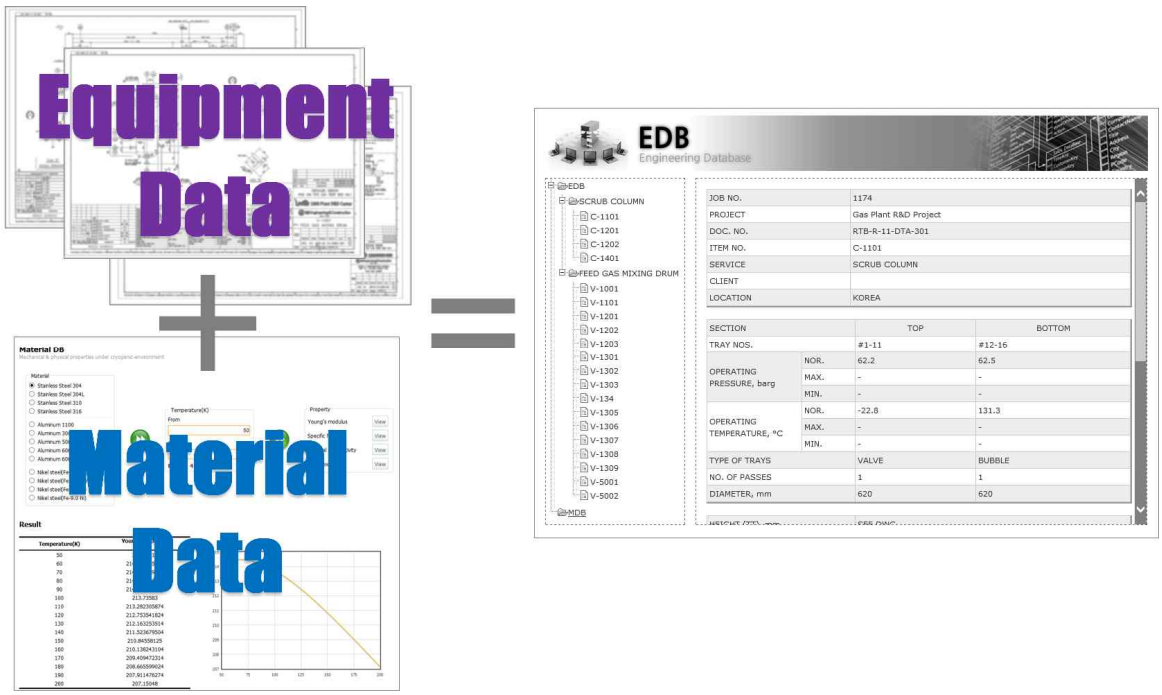


그림 2.2.3.8 Structure of EDB

현재 실증 플랜트인 Test bed No.1에 사용된 기기의 설계 데이터를 정리하여 입력했으며 이를 가상 플랜트 모델과 연계하여 효율적인 데이터 이용이 가능하게 하였다. 설계 데이터로는 기기의 이름, 용도, 가동 압력, 가동 온도 등이 입력되어 있으며 그 중 C-1202에 대한 데이터 화면을 아래 그림 2.2.3.9에 나타내었다.

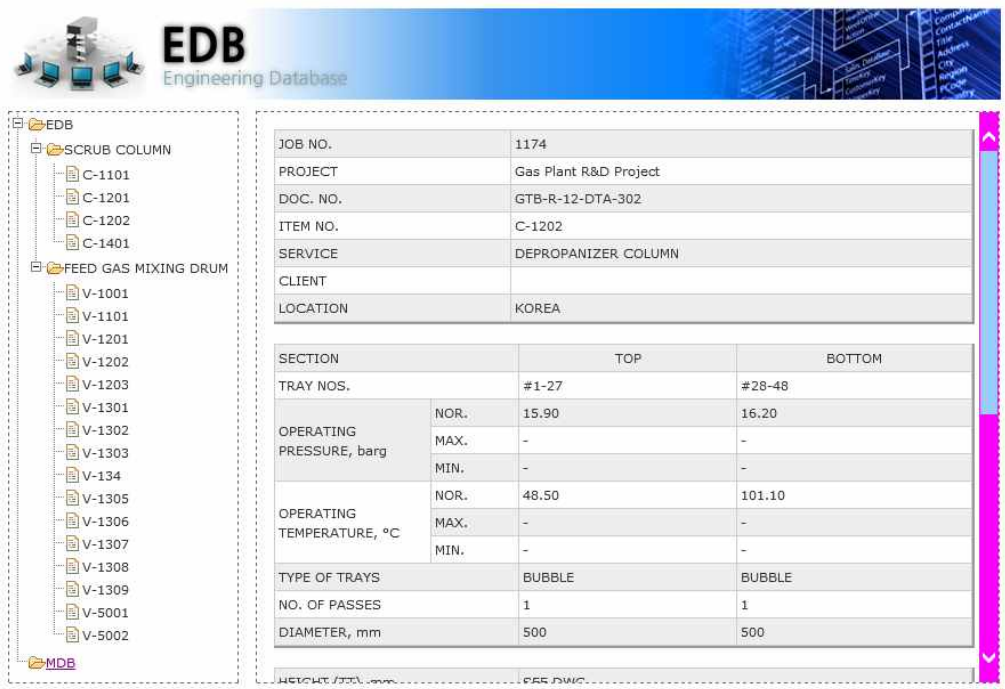


그림 2.2.3.9 Equipment data for C-1202

또한 플랜트 엔지니어링에서 자주 쓰이는 재료에 대한 물성치 데이터베이스를 구축하여 EDB에 추가하였다. 이를 Material Data Base, MDB라 하며 관련 화면을 그림 2.2.3.10에 나타내었다. LNG 플랜트에 특화시켜 재료의 물성치를 극저온까지 확장한 데이터를 적용하였다. 필요한 온도 범위에 대한 재료의 비열, 열전도계수, 열팽창계수를 얻을 수 있게 하였으며, 구현한 재료는 Stainless Steel 4종, Aluminum 5종, Nikel Steel 4종이다. 온도의 범위는 극저온인 4K에서 300K까지 구현하였으며, 구현한 데이터 중 Aluminum 1100에 대한 데이터는 그림 2.2.3.11에 나타내었다.

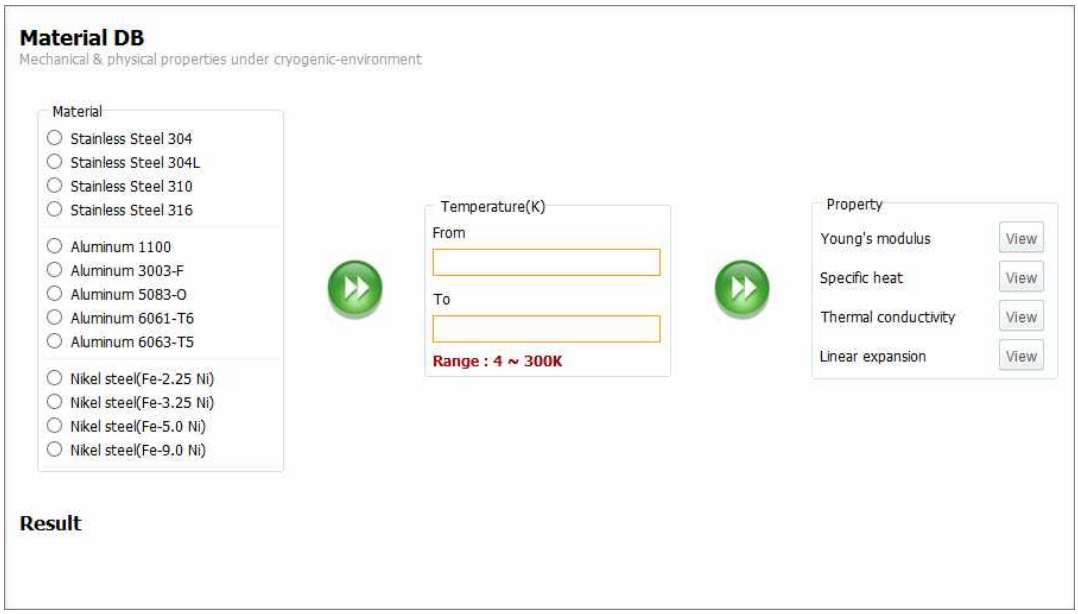


그림 2.2.3.10 Material Data Base

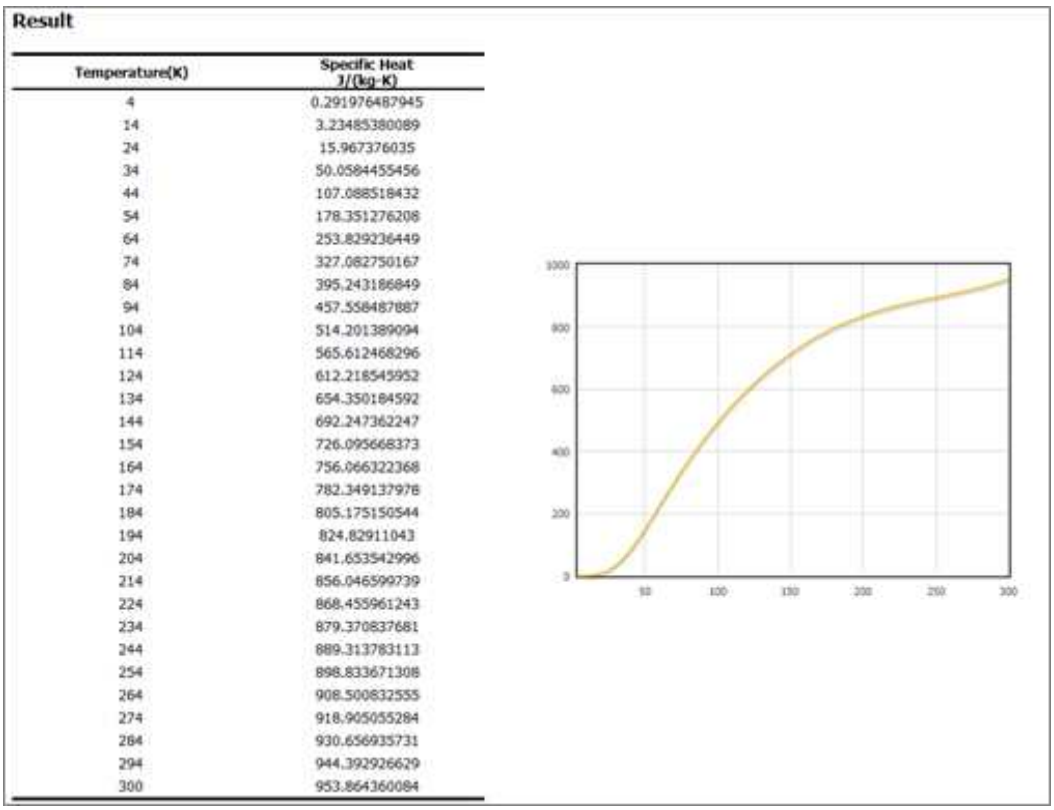


그림 2.2.3.11 Material data for Aluminum 1100

MySQL을 이용하여 데이터베이스를 구축하였으며 Server에서 이를 관리함으로써 실시간 데이터 조회 및 수정이 가능하다. 데이터는 위의 그림과 같이 표의 형태로 저장되어진다. 또

한 각 기기들은 기기의 종류, 일련번호, 사용되는 목적 및 위치 등의 정보들이 포함되었고 이는 수정 및 삭제가 가능하다. 하지만 서버상의 데이터의 수정 및 삭제는 데이터의 신뢰성을 확보하기 위하여 인가된 인원만이 수정 및 삭제가 가능하며 이로써 데이터의 신뢰성을 향상시키고 안정성을 유지할 수 있다.

MySQL은 표준 데이터베이스 언어인 SQL(Structured Query Language)을 사용하는 오픈소스의 관계형 데이터베이스 관리 시스템으로 매우 빠르고 유연하며 사용하기 쉬운 특징이 있기 때문에 LNG 플랜트 통합 관리 시스템의 넓은 활용도와 보급에 기여한다. 따라서 MySQL을 이용한 데이터베이스 관리를 본 시스템에 적용하였다.

(2) LNG플랜트 기자재, 부품모델 작성

(2-1) 기자재, 부품 설계모델 작성

LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집을 기반으로 LNG 플랜트 주요 기기에 대한 실제 기기 제작업체의 제작 스펙을 수집하여 분석하였다. 주요 기기는 pressure vessel, heat exchanger, turbine, pump로 선정하였으며, 실제 기기리스트에 포함된 기기명을 키워드로 하여 관련 업체 및 제작 가능 용량을 분석하였다.

또한, LNG플랜트 기자재, 부품 모델의 개발을 위하여 기자재 제조업체의 설계 요수사항, 설계 프로시져 등 설계 사례의 분석하였으며, Bulk성 유닛의 설계모델을 작성하였다. 세부적으로 상용화 기기 형상, 용량 분석 등에 대한 분석을 실시하였으며, bulk성 모듈에 대한 자동생성로직을 작성하여 설계 코드 기반의 자동화 설계 알고리즘을 제시하였다.

(a) 압력용기(pressure vessel)

그림 2.2.3.12는 미국계 회사인 FIBA에서 제작하고 있는 압력용기의 기기명과 이에 대한 스펙(specification)을 나타내고 있다. 실제 LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집에 다수의 압력용기가 포함되어있지만 실제 LNG 플랜트 시공 시 납품되는 압력용기에 대한 스펙은 찾기는 어려웠다. 따라서 FIBA에서 제공 중인 압력용기 제작 스펙을 기반으로 압력용기 scale up/down 모듈 구현 시 참고하여 반영하고자 한다.

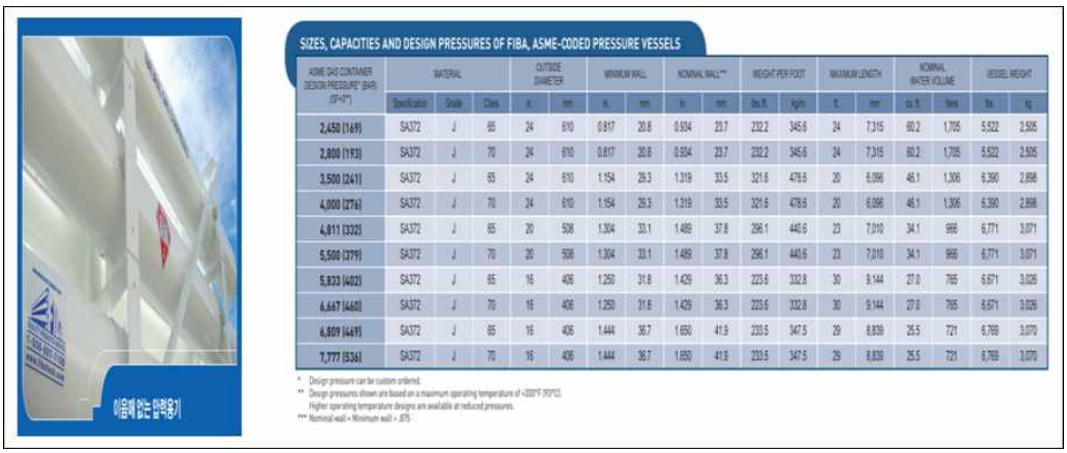


그림 2.2.3.12 Specification of pressure vessel in FIBA, USA

(b) 어큐뮬레이터(accumulator)

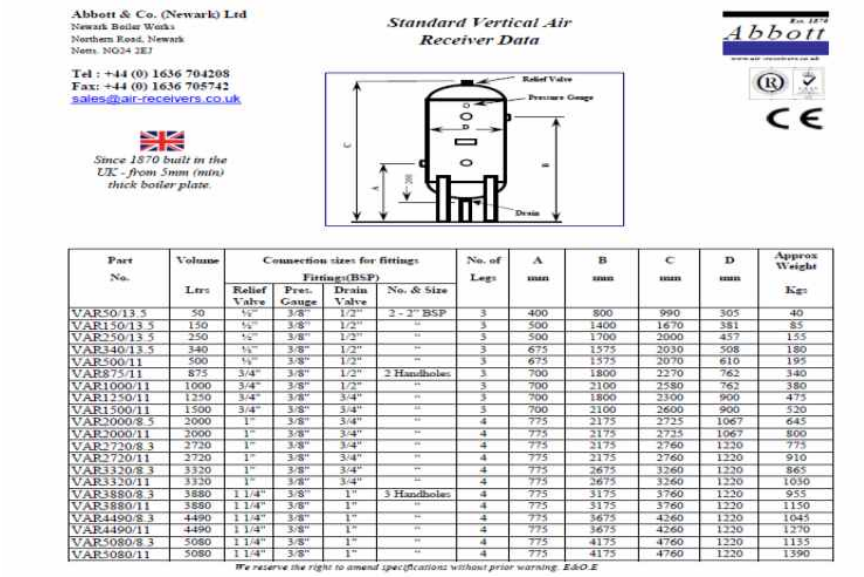
그림 2.2.3.13은 독일계 회사인 Olaer에서 제작하고 있는 어큐뮬레이터의 기기명과 이에 대한 스펙을 나타내고 있다. LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집에는 1개의 어큐뮬레이터가 포함되어있다. 따라서 Olaer에서 제공 중인 어큐뮬레이터 제작 스펙을 기반으로 어큐뮬레이터 scale up/down 모듈 구현 시 참고하여 반영하고자 한다.



그림 2.2.3.13 Specification of accumulator in Olaer, Germany

(c) 에어리시버(air receiver)

그림 2.2.3.14는 영국계 회사인 Abbott에서 제작하고 있는 에어리시버의 기기명과 이에 대한 스펙을 나타내고 있다. LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집에는 1개의 에어리시버가 포함되어있다. 따라서 Abbott에서 제공 중인 에어리시버 제작 스펙을 기반으로 에어리시버 scale up/down 모듈 구현 시 참고하여 반영하고자 한다.



Abbott & Co. (Newark) Ltd
Newark Boiler Works
Northern Road, Newark
Notts. NG24 2EJ

Tel : +44 (0) 1636 704208
Fax: +44 (0) 1636 705742
sales@air-receivers.co.uk

Since 1870 built in the UK - from 5mm (min) thick boiler plate.

Standard Vertical Air Receiver Data

Abbott

Relief Valve
Pressure Gauge
Drain

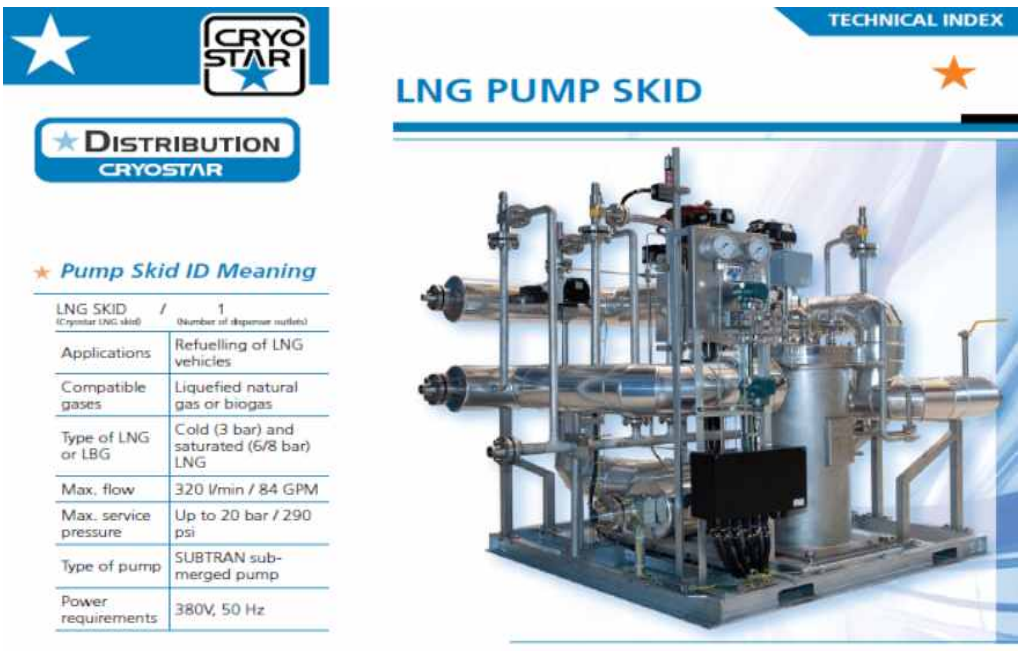
Part No.	Volume Ltrs	Connection sizes for fittings Fittings(BSP) Relief Valve	Pres. Gauge	Drain Valve	No. & Size	No. of Legs	A mm	B mm	C mm	D mm	Approx Weight Kgs
VAR50/13.5	50	½"	3/8"	1/2"	2 - 2" BSP	3	400	800	990	305	40
VAR150/13.5	150	½"	3/8"	1/2"	"	3	500	1400	1670	381	85
VAR250/13.5	250	½"	3/8"	1/2"	"	3	500	1700	2000	457	155
VAR340/13.5	340	½"	3/8"	1/2"	"	3	675	1575	2030	508	180
VAR500/11	500	½"	3/8"	1/2"	"	3	675	1575	2070	610	195
VAR875/11	875	3/4"	3/8"	1/2"	2 Handholes	3	700	1800	2270	762	340
VAR1000/11	1000	3/4"	3/8"	1/2"	"	3	700	2100	2580	762	380
VAR1250/11	1250	3/4"	3/8"	3/4"	"	3	700	1800	2300	900	475
VAR1500/11	1500	3/4"	3/8"	3/4"	"	3	700	2100	2600	900	520
VAR2000/8.5	2000	1"	3/8"	3/4"	"	4	775	2175	2725	1067	645
VAR2000/11	2000	1"	3/8"	3/4"	"	4	775	2175	2725	1067	800
VAR2720/8.3	2720	1"	3/8"	3/4"	"	4	775	2175	2760	1220	775
VAR2720/11	2720	1"	3/8"	3/4"	"	4	775	2175	2760	1220	910
VAR3320/8.3	3320	1"	3/8"	3/4"	"	4	775	2675	3260	1220	865
VAR3320/11	3320	1"	3/8"	3/4"	"	4	775	2675	3260	1220	1030
VAR3880/8.3	3880	1 1/4"	3/8"	1"	3 Handholes	4	775	3175	3760	1220	955
VAR3880/11	3880	1 1/4"	3/8"	1"	"	4	775	3175	3760	1220	1150
VAR4490/8.3	4490	1 1/4"	3/8"	1"	"	4	775	3675	4260	1220	1045
VAR4490/11	4490	1 1/4"	3/8"	1"	"	4	775	3675	4260	1220	1270
VAR5080/8.3	5080	1 1/4"	3/8"	1"	"	4	775	4175	4760	1220	1135
VAR5080/11	5080	1 1/4"	3/8"	1"	"	4	775	4175	4760	1220	1390

We reserve the right to amend specifications without prior warning. E&OE

그림 2.2.3.14 Specification of air receiver in Abbott, UK

(d) 펌프(pump)

그림 2.2.3.15는 Cryostar에서 제작하고 있는 펌프의 기기명과 이에 대한 형상을 나타내고 있다. LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집에는 7개의 펌프가 포함되어있다. 하지만 Cryostar에서 제공 중인 펌프 제작 스펙을 확인할 수 없어 전체적인 크기를 기반으로 펌프를 박스형태로 나타낸 scale up/down 모듈 구현 시 참고하여 반영하고자 한다.



CRYOSTAR

DISTRIBUTION CRYOSTAR

★ *Pump Skid ID Meaning*

LNG SKID / 1	
Applications	Refuelling of LNG vehicles
Compatible gases	Liquefied natural gas or biogas
Type of LNG or LBG	Cold (3 bar) and saturated (6/8 bar) LNG
Max. flow	320 l/min / 84 GPM
Max. service pressure	Up to 20 bar / 290 psi
Type of pump	SUBTRAN sub-merged pump
Power requirements	380V, 50 Hz

TECHNICAL INDEX

LNG PUMP SKID

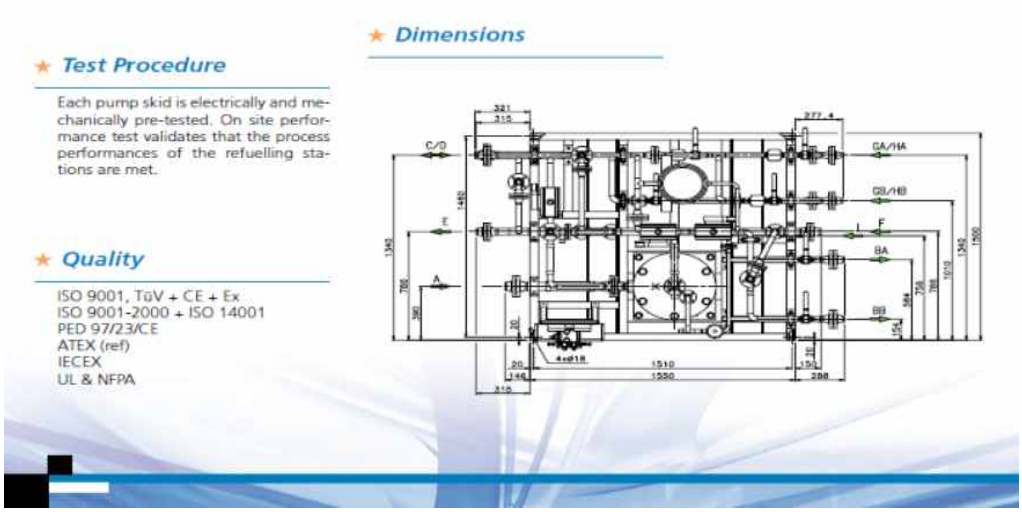


그림 2.2.3.15 Specification of pump in Cryostar

표 2.2.3.1, 표 2.2.3.2는 앞서 조사된 제작업체들이 제공하는 용량을 정리하여 분석한 것이다. 실제 검색을 통해서 상용급 LNG 플랜트에 납품되는 주요 기기들의 스펙을 찾기는 어려웠다. 하지만 몇몇 기기들의 경우, 제작업체에서 제작되는 다양한 용량의 스펙을 확인할 수 있어 이를 바탕으로 scale up/down 자동화 모듈 구현 시에 반영하고자 한다.

실제 LNG 플랜트에 가장 많이 사용되는 기기는 압력용기지만 이에 대한 상용급 LNG 플랜트에 사용되는 압력용기의 용량을 확인할 수는 없었지만, 압력용기 제작에 기본적으로 적용되는 ASME Boiler & Pressure Vessel Code VIII Division 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels를 기반으로 용량에 따른 압력용기의 사이즈를 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하여 압력용기 scale up/down 자동화 모듈에 반영하고자 한다.

표 2.2.3.1 Capacity of accumulator

Equipment	Manufacturer	Product No.	Capacity (L)
Accumulator	Olaer, Germany	EHP2-C-0060-250-100-AH00AA000	6
		EHP2-C-0100-250-100-AH00AA000	10
		EHP2-C-0200-350-200-ADADABP00	20
		EHP2-C-0300-350-200-ADADABP00	30
		EHP2-C-0400-350-180-ADADABP00	40
		EHP2-C-0500-350-180-ADADABP00	50
		EHP2-C-0600-350-200-ADADABP00	60

		EHP2-C-0700-350-200-ADADABP00	70
		EHP2-C-1000-350-250-ADADABP00	100
		EHP2-C-1500-350-250-BSAKABP00	150
		EHP2-C-1800-350-250-BSAKABP00	180
		BN 330-2.5G-SAE	330
		BN 330-5G-SAE	330
		BN 330-14G-SAE	330
		UHF-210-2.5G-2	9.5
		UHF-210-5G-2	18.9
		UHF-210-10G-2	37.8
		EHV- 0.2-350/90	0.17
		EHV- 0.5-350/90	0.6
		EHV- 1-350/90	1
		EHV- 4-350/90	3.7
		EHV- 10-350/90	10
		EHV- 10-480/90	9.2
		EHV- 12-480/90	11
		EHV- 50-480/90	48.5
		EHV- 12-690/90	11
		EHV- 20-690/90	16.5
		EHV- 37-690/90	33.4
		EHVF- 2.5-350/90	2.4
		EHVF- 4-350/90	3.7
		EHVF- 10-350/90	10
		ELM 0.075-250/00/AF	0.075
		ELM 1-210/00/CF	1
		ELM 2-350/90/CF	2
		ELM 3.5-350/90/CF	3.5
		EBV 10-40/90	10
		EBV 20-40/90	18
		EBV 32-40/90	34
		EBV 50-40/90	50
		EBV 100-40/90	90
		EBV 200-40/90	202

표 2.2.3.2 Capacity of air receiver and pressure vessel

Equipment	Manufacturer	Product No.	Capacity (L)
Air Receiver	Abbott, UK.	VAR 50/13.5	50
		VAR 340/13.5	340
		VAR 1000/11	1000
		VAR 2000/11	2000
		VAR 3880/11	3880
		VAR 5080/11	5080
Pressure Vessel	FIBA, USA.	SA 372	721
			765
			966
			1306
			1705

(2-2) 기자재 부품모델 자동화 생성기법 개발

LNG플랜트 전용 스케일 up-down 모듈의 개발을 위하여 설계 자동화 검토 기술 요구사항 분석/구조 설계하였으며, Bulk성 및 모듈 자동생성기법 개발하였다.

세부적으로 설계 자동화 검토 기술 요구사항 분석/구조설계를 위하여 주요 기기 제작업체를 통한 상용화 기기 용량 분석, scale up/down 관련 상용 프로그램 분석을 실시하였으며, bulk성 및 모듈 자동생성기법 개발을 위하여 설계 코드 기반의 주요기기 scale up/down 자동화 알고리즘 개발, i-Logic 기반의 주요기기 scale up./down 자동화 모듈을 개발하였다.

압력용기, 열교환기, 압축기 등 LNG플랜트 주요 기기에 대하여 scale up/down 자동화 알고리즘 개발하였으며, 본 절에서는 압력용기를 기준으로 scale up/down 로직에 대하여 소개하고자 한다.

헤드가 2:1 타원인 압력용기를 고려할 때, 압력용기의 부피를 결정하는 직접적인 변수로는 용기의 높이와 내경이 있다. 헤드가 2:1 타원이기 때문에 압력용기의 내경과 높이만 알면 압력용기의 형상을 결정 할 수 있다. 그러나 실제로는 설계부피와 압력을 바탕으로 압력용기를 설계하기 때문에, 높이와 내경을 변수로 압력용기의 형상을 정하는 기존의 알고리즘은 사용에 무리가 있다. 이에 압력용기의 부피를 구하는 식을 유도하고 내경과 부피, 설계 압력과 재료 물성치를 모두 고려하여 용량에 따른 압력용기의 scale up/down 자동화 알고리즘을 개발하였다.

그림 2.2.3.16은 압력용기의 실린더 부분과 헤드부분의 주요 변수를 도시하였으며, 압력용기의 부피는 실린더 부분과 헤드 부분을 나누어 각각 파트에 대해 계산된 값을 구하여 합산하였다.

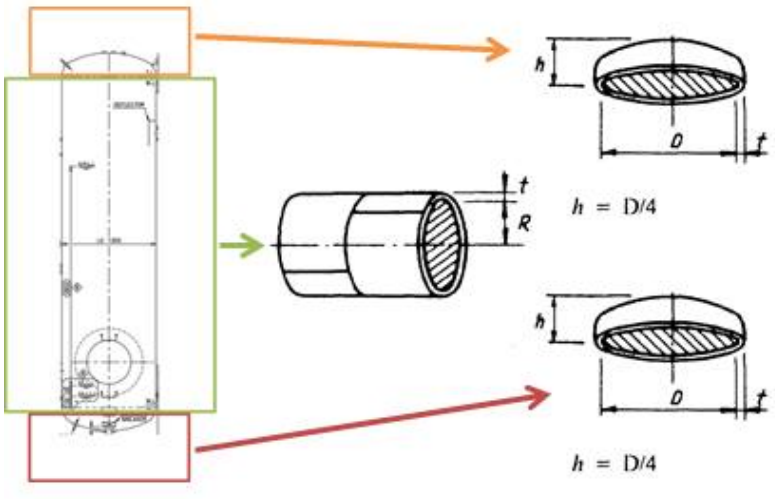


그림 2.2.3.16 Part of pressure vessel

먼저 실린더 부분의 경우, 그림 2.2.3.10에서 도시된 주요 변수를 바탕으로 실린더 내부의 부피는 식 (1.1)과 같이 두께 부분에 해당되는 넓이와 실린더 높이의 곱으로 구할 수 있다.

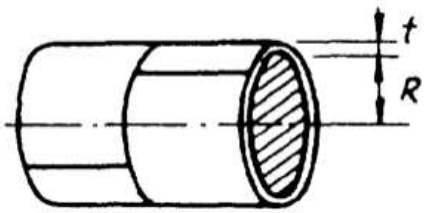
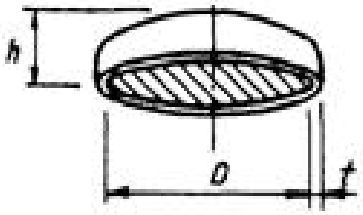


그림 2.2.3.17 Major parameters of cylinder in pressure vessel

$$V_{cyl} = \pi R^2 L = \frac{\pi D^2 L}{4} \qquad (1.1)$$

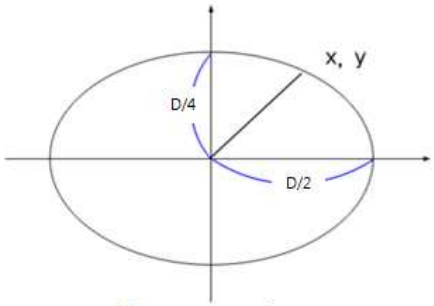
여기서 L은 실린더의 길이이다.

다음으로 그림 2.2.3.18에서 도시된 주요 변수를 바탕으로 헤드부분의 부피를 유도한다. 헤드는 타원이므로 적분을 이용하여 부피를 구한다. 타원 장반경과 단반경의 비가 2:1인 것을 바탕으로 타원의 식을 세울 수 있다.



$h = D/4$

그림 2.2.3.18 Major parameters of elliptical head in pressure vessel



$$\frac{x^2}{(D/2)^2} + \frac{y^2}{(D/4)^2} = 1$$

그림 2.2.3.19 Major parameters and equation of ellipse

그림 2.2.3.19에서와 같이 위에서 세운 식을 바탕으로 헤드의 부피를 구할 수 있다. 타원을 y축에 대하여 회전시킨 회전체의 부피가 헤드의 부피와 동일하므로, 식 (1.2)와 같이 적분을 통해 헤드의 부피를 구할 수 있다.

$$V_{head} = \int_0^{D/4} x^2 \pi dy \qquad (1.2)$$

x축 방향으로의 넓이를 y축의 방향으로 적분하면 식 (1.3)과 같이 식을 유도할 수 있다.

$$
\begin{aligned}
V_{head} &= \int_0^{D/4} x^2 \pi dy \\
&= \int_0^{D/4} \pi \left\{ (D/2)^2 - \frac{(D/2)^2}{(D/4)^2} y^2 \right\} dy \\
&= \pi \left[(D/2)^2 y - \frac{(D/2)^2}{3(D/4)^2} y^3 \right]_0^{D/4} \\
&= \frac{2}{3} \pi (D/2)^2 (D/4) \\
&= \frac{D^3 \pi}{24}
\end{aligned}
\tag{1.3}
$$

유도한 실린더와 헤드의 부피를 바탕으로 일반적인 압력용기의 부피를 결정할 수 있다. 압력용기는 실린더 하나와 두 개의 헤드로 이루어져 있으므로, 총 압력용기의 부피는 식 (1.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$
\begin{aligned}
& V_{total} = V_{cyl} + 2\,V_{head} \\
& \therefore V_{total} = \frac{D^2 L}{4} + \frac{D^3 \pi}{12}
\end{aligned}
\tag{1.4}
$$

식 (1.4)를 분석해 보면 부피는 내경과 실린더의 길이의 함수라는 것을 알 수 있다. 즉 설계 부피와 요구내경을 알면 이에 따른 실린더의 길이를 자동으로 구할 수 있다는 것이다. 또한 재료의 물성치와 설계압력을 이용하여 ASME Sec. VIII 코드에 있는 내용을 바탕으로 헤드와 실린더의 두께를 자동으로 계산할 수 있으며, 기존 모델에서 요구했던 변수의 개수를 단순하게 줄일 수 있다.

ASME Sec. VIII 코드에 따르면 2:1 반구형 헤드의 경우, 적정 두께는 식 (1.5)와 같다.

$$
t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}
\tag{1.5}
$$

여기서 P는 설계 압력, D는 내경, S는 재료의 물성치, E는 접합효율이다. 여기서는 프로그램 내에서는 접합효율을 1로 가정하고 진행하였다. 실린더의 경우 적정 두께는 식 (1.6)과 같다.

$$
t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{PD}{2SE - 1.2P}
\tag{1.6}
$$

실린더와 헤드의 요구 두께를 직접 입력해야 했던 기본 방식과 달리 그림 2.2.3.20과 같이 재료의 물성치와 설계 압력을 입력할 수 있는 탭을 넣어 ASME Sec. VIII 코드에 따른 두께로 압력용기를 모델링 할 수 있게 구현하였다.

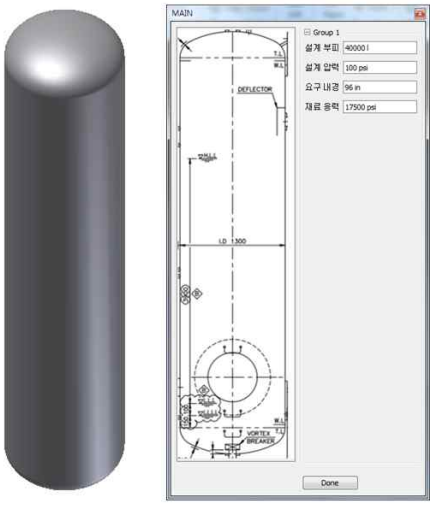


그림 2.2.3.20 Main window of pressure vessel scale up/down module

(2-3) i-Logic 기반의 주요기기 scale up/down 자동화 모듈 개발

기존에 설계된 자동화 모듈의 경우, LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집에 있는 압력용기의 설계도를 토대로 만들어졌기 때문에 기본 설계집에 맞는 용량의 모델 사이의 스케일 변환에는 큰 오류가 생기지 않았다.

하지만 현재 새롭게 구현된 모듈의 경우, 주요 변수를 여러 가지로 묶고 기존 기본 설계집에 포함된 용량의 기기뿐만 아니라 상용급 LNG 플랜트에 적용 가능한 스케일의 압력용기 모델링을 지원하기 때문에, 변수들의 자유도가 높아져 파이프의 중첩 등 여러 가지 에러가 발생하게 된다.

가장 심각한 에러는 파이프의 중첩과 실린더 높이보다 높은 치수를 파이프의 높이로 넣는 경우이다. 파이프의 중첩은 만약 생산 단계에서 발생했다면 압력용기 자체를 폐기해야할 만큼 중요한 사항이고, 파이프의 높이 문제의 경우 모델링 과정에서 파이프가 아예 생성되지 않는다. 압력용기의 몸체를 만들 때 고려해야 하는 주요 변수의 개수 보다 파이프를 만들 때 고려해야하는 주요 변수의 개수가 많기 때문에 이러한 문제가 발생한다. 파이프의 최대 개수가 15

개까지 고려해야하기 때문에 에러들을 해결하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

앞서 논의한 내용을 Autodesk Inventor에 i-Logic 모듈을 이용하여 그림 2.2.3.21과 같이 구현하였다. 먼저 높이 변수를 부피로 바꾸고 부피와 내경으로 높이를 계산하여 적용하고, 설계 압력과 재료의 물성치를 이용하여 ASME Sec. VIII 코드에 따른 적정 두께를 자동으로 구현하게 하였다.

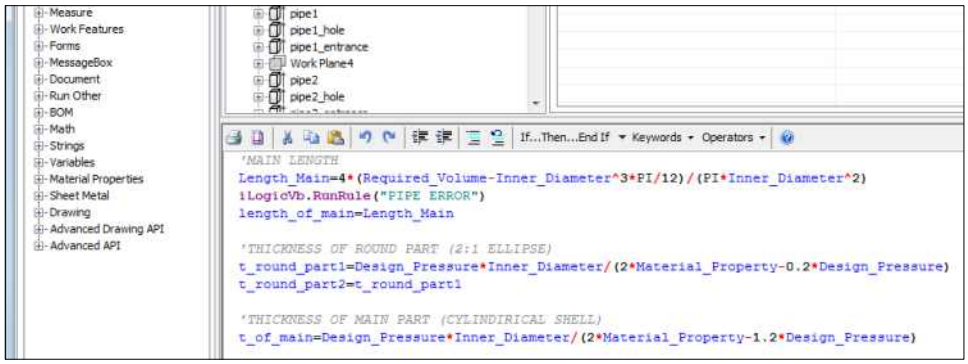


그림 2.2.3.21 Part of algorithm for height and appropriate thickness calculation

또한 에러의 해결을 위해 파이프와 파이프가 일정 거리 안에 있을 경우 둘 중 하나의 파이프를 off 상태로 만드는 알고리즘을 적용하였다. 이를 위해 파이프의 높이와 각도 변수를 이용했다.

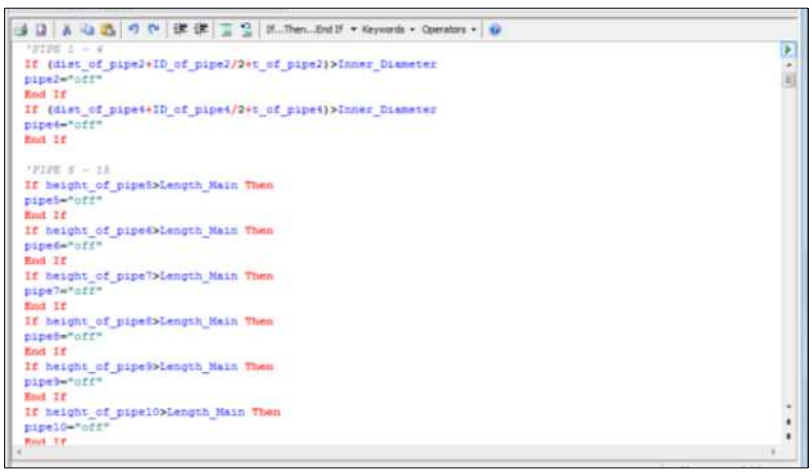


그림 2.2.3.22 Relationship between length of cylinder and height of pipe

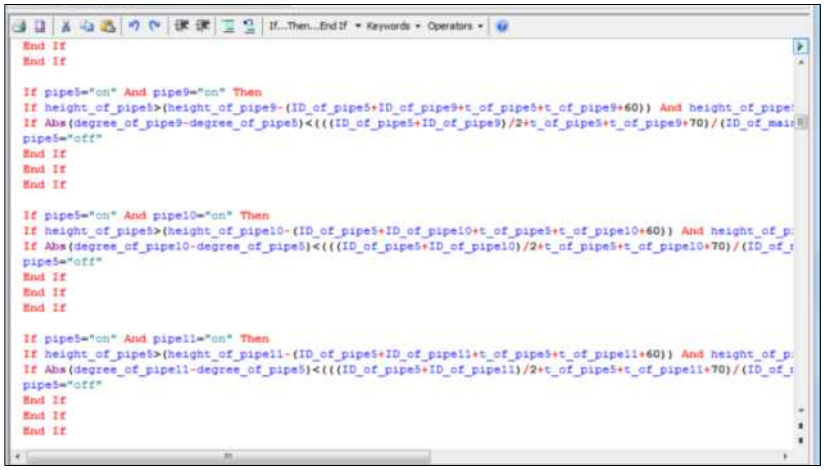


그림 2.2.3.23 Overlap avoidance algorithm between pipes

기존 알고리즘에서 한 단계 더 나아가 실제 상황에 적합한 알고리즘을 개발하였다. 기존에는 높이와 내경, 두께를 각각 변수로 하여 각각을 설정해 주어야 했지만, 현재 개발된 모듈에서는 설계부피, 설계압력, 재료, 내경 네 가지만 정하면 일반적인 압력용기의 실린더와 헤드부분을 자동으로 구현할 수 있다.

또한 심각한 에러로 여겨졌던 파이프의 중첩과 높이에 대한 문제를 해결했다. 높이에 대한 문제는 사용자가 파이프 높이에 실린더 높이보다 더 큰 수치를 입력 할 경우 해당 파이프를 off시키는 방법으로 해결하였으며, 중첩의 경우는 파이프가 일정거리 안에 있을 경우 중첩하는 두 개의 파이프 중 하나를 임의로 off시키는 방법을 통해 해결하였다.

이를 통해 더욱 정교한 알고리즘을 개발하였으며, 사용자가 원하는 바를 정확히 구현 할 수 있는 보다 유연한 프로그램을 개발하였다. 향후에는 현재 자동화 모듈에서 여러 가지 설계도나 이론들을 추가해 나간다면 LNG 플랜트뿐만 아니라 압력용기가 사용되는 유사 플랜트 등에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

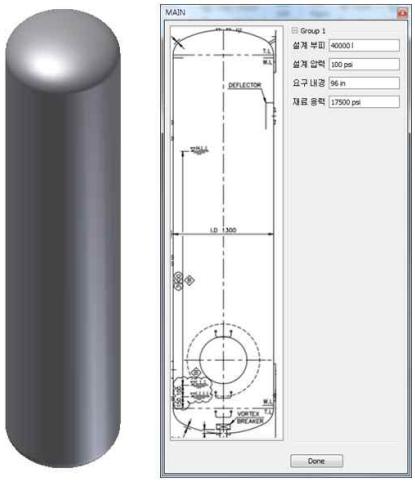


그림 2.2.3.24 Main window of scale up/down module for pressure vessel

그림 2.2.3.24는 압력용기의 기본적인 구조를 변경하기 위한 메인 화면이다. ASME Sec. VIII 코드를 반영하여 압력용기의 형태를 변화시키기 위해 이용할 변수를 4개로 줄였다. 설계 부피와 요구 내경을 정해주면 압력용기의 높이가 자동으로 계산되어 반영된다. 또한 재료의 응력과 설계 시 요구되는 압력을 입력하면 이를 이용하여 압력용기의 헤드와 몸체의 두께를 결정해준다.

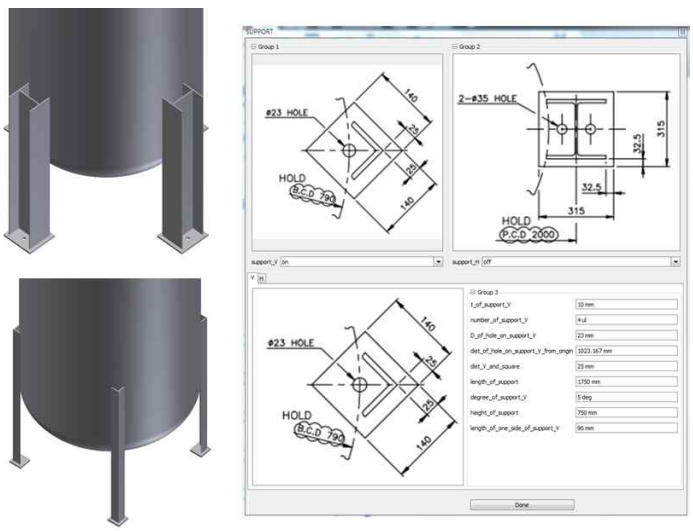


그림 2.2.3.25 Window of support design tab in scale up/down module for pressure vessel

그림 2.2.3.24는 압력용기 지지대의 모양과 치수를 정해주는 탭을 도시하였다. 지지대의 종류는 LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집을 분석하여 선정하였다. 바닥과 접촉하는 면

의 형상을 반영하여 V 타입과 H 타입이라고 명명하였다. 화면 위쪽에서 H 타입의 지지대와 V 타입의 지지대를 각각 선택이 가능하도록 on/off 할 수 있는 메뉴를 추가하였다.

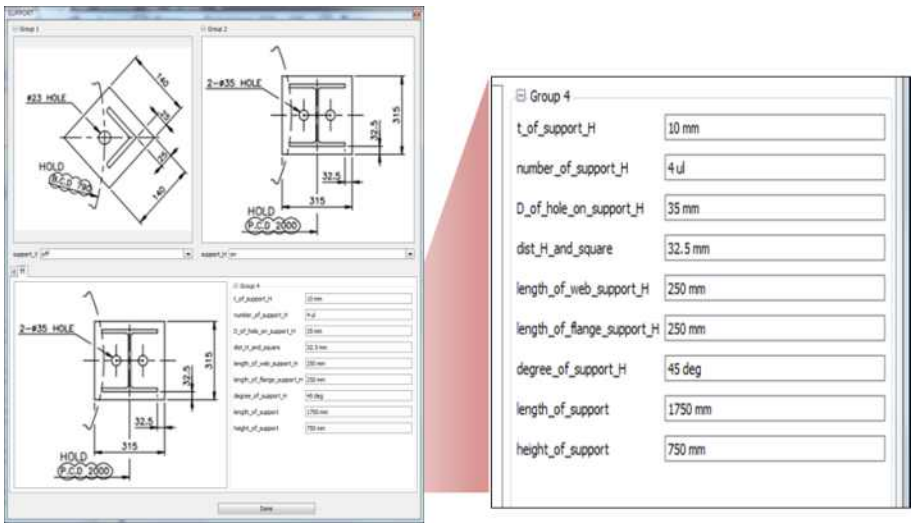


그림 2.2.3.26 Window of support design tab for specific dimension

그림 2.2.3.26에서와 같이 H 타입과 V 타입을 결정한 후 해당 지지대의 치수를 결정한다. 타입별로 탭을 나누어 치수를 입력할 수 있게 하였다. H 모양의 두께와 길이, 지상에서부터 지지대의 길이, 지지대의 개수 등의 변수를 입력할 수 있다.

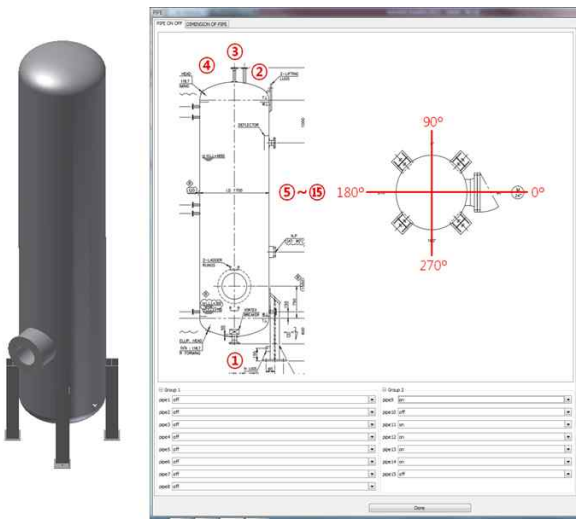


그림 2.2.3.27 Window of pipe design tab in scale up/down module for pressure vessel

앞서 지지대에 대한 변수를 설정해준 후, 그림 2.2.3.27과 같이 파이프에 대한 변수를 정한다. 파이프는 위치에 따라 번호가 매겨져있으며 아래쪽 헤드에는 1번 파이프가, 위쪽 헤드에는 2, 3, 4번 파이프가 있다. Vessel 옆면에는 최대 11개의 파이프를 배치 할 수 있으며, 파이프가 중첩되거나 Vessel의 밖에 생기는 경우를 막기 위해 중첩 방지 알고리즘을 사용하였다. 원하는 파이프를 on/off 시켜 압력용기에 파이프를 만들 수 있다. 특성이 조금씩 다른 1번, 2번, 3번, 5번 파이프에 대한 사용법을 설명하고자 한다.

그림 2.2.3.28은 파이프 설계를 위한 창을 도시하였다. 파이프는 아래쪽 헤드에 있는 파이프이다. LNG Plant Test-bed Train No.1 기본 설계집의 분석 결과 모든 압력용기에 파이프가 존재하고 그 위치는 헤드의 정중앙이었다. 또한 각 기기별로 파이프의 길이와 내경이 달랐다. 이를 바탕으로 두께와 길이, 내경을 주요 변수로 지정하였으며, 다른 변수들은 구속시켰다.

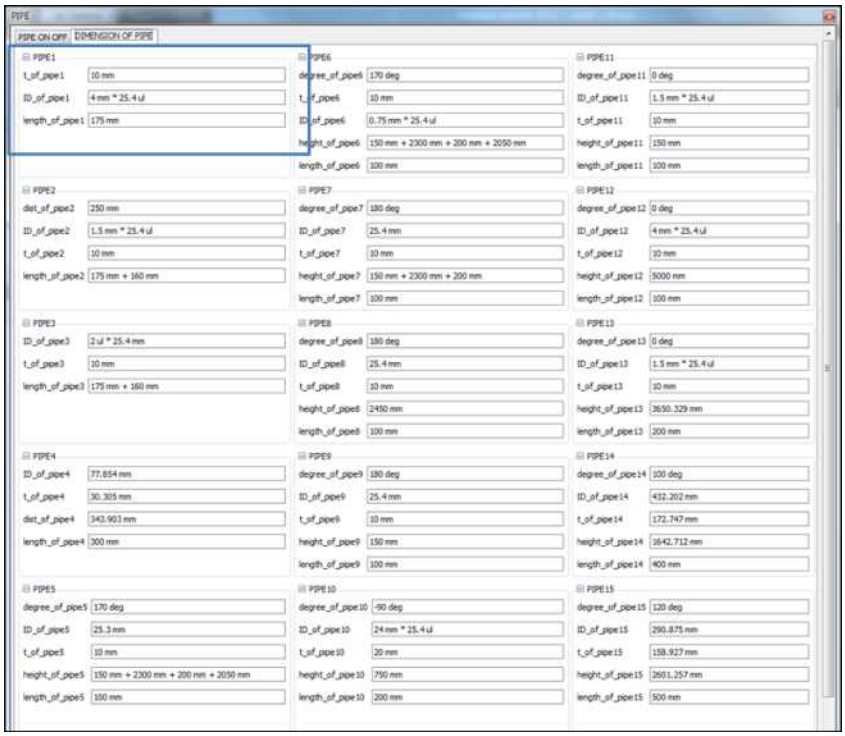


그림 2.2.3.28 Window of pipe no. 1 design tab in scale up/down module for pressure vessel

이와 같이 구현된 압력용기의 scale up/down 자동화 모듈을 통해 LNG Plant Test-bed Train No.1을 기반으로 LNG 플랜트에 포함되는 주요 압력용기에 대한 scale up/down 자동화 모듈을 구현하였다. 그림 3-22는 압력용기의 자동화 생성 모듈로 구현된 주요 압력용기들을 도시하고 있다.

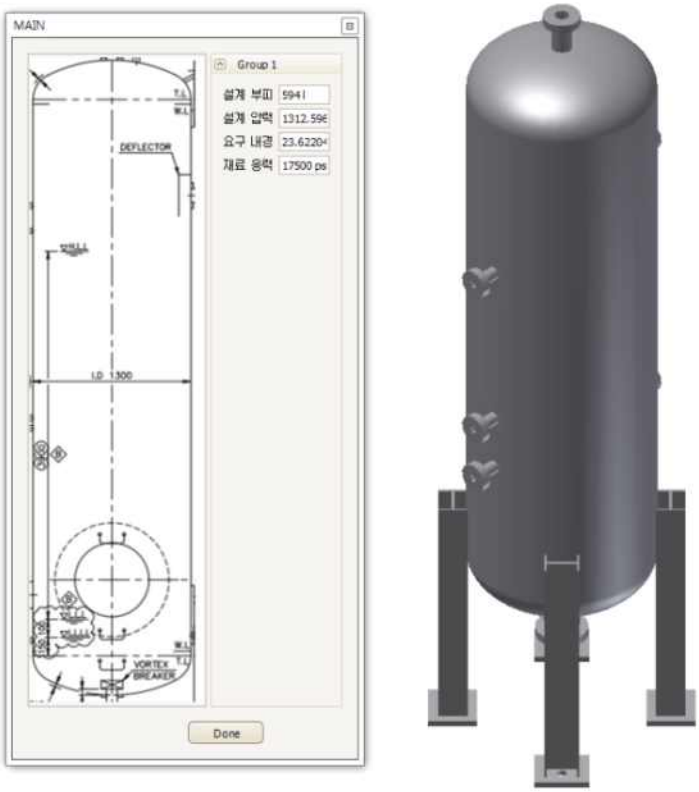


그림 2.2.3.29 Main window and 3D model of scrub column reflux drum (V-1101)

(3) 가상플랜트 원형

Test-bed Train No.1의 경우 200 ton/day의 용량을 갖으며, 연간 73,000 ton의 LNG를 생산할 수 있는 규모의 설비이다. 본 연구에서는 Test-bed Train No.1 설비를 기반으로 연간 5 MTPA 규모의 대용량 원형 플랜트로 확장한 가상현실 시스템을 구축하였다. 이와 같은 원형급 가상 플랜트는 Test-bed Train No.1 생산량의 약 68배 규모를 갖는다.

5 MTPA급 LNG플랜트 구현을 위해서는 전체 프로세스를 4개의 단위 트레인으로 분리하였으며, 1개의 트레인은 연간 1.25 MTPA급 플랜트로서 Test-bed Train No.1 설비 대비 17배 증가된 시설을 가정하였다. 처리용량(유량) 증가에 따라 요구되는 기기 스펙을 검토하였으며, 검토결과는 표 2.2.3.3에 정리하였다.

표 2.2.3.3 Requirement for specification of main component by increasing flow rate

Component	Spec.	73 kton/year	1500 kton/year
Pressure vessel	Capacity [m^3]	0.702-2.947	14.742-61.887
Heat exchanger	Heat duty [kW]	180-320	3,780-6,720
	Area [m^3]	32.8-632.8	688.8-13,288.8
Compressor	Rated capacity [m^3/hr]	4,283-8,565	89,943-179,865
	Suction pressure [bar]	3.77	3.77
	Discharging pressure [bar]	72.6	72.6
Pump	Rated capacity [m^3/hr]	0.026-400	0.546-8400

주요 기기 Scale up/down 자동화 모듈을 이용하여 유량 증가에 따라 요구되는 기기 스펙을 기준으로 원형 가상 플랜트의 주요 기기들을 모델링하였으며, 구현된 모델을 바탕으로 원형 가상 플랜트의 가상모델을 구축하였다.

압력용기 및 열교환기는 주요 기기 제작업체의 스펙을 기반으로 실제 제작 가능한 용량을 반영하여 1.25 MTPA 기준의 기기별 전체 용량에 따라 복수로 배치하였다. 또한, 펌프 및 압축기의 크기는 용량에 의한 영향보다 각 기기의 성능에 따라 달라지기 때문에 Test-bed Train No.1 기기를 기준으로 동일하게 2.76($= \sqrt[3]{21}$)배 스케일 확대하였다.

그림 2.2.3.30은 연간 1.25 MTPA 규모 대용량 원형 가상플랜트를 나타낸 것이다. 전처리를 제외한 주요 공정은 Test-bed Train No.1 기본 설계집을 기반으로 기기 배치 및 배관설계를 진행하였으며, 전처리 공정의 경우 South Pars gas treating units을 기반으로 주요 기기 선정 및 기기 배치, 배관설계를 진행하였다.

이러한 scale up/down 모듈은 3 MTPA급, 5 MTPA급 플랜트에 대해서도 교차 적용하여 가상 플랜트 원형 모델을 구축을 위한 scale up/down 자동화 모듈과 모듈화 로직을 검증 하였다.

또한 개발된 3D 모델은 LPMS-RAMS 프로그램의 네이게이터와 LNG-RBI 프로그램의 파손메커니즘 컬러링, 경고 기능을 탑재한 네비게이터에 적용되었다.



그림 2.2.3.30 Concept of scale up from Test-bed Train No.1 to high-capacity plant

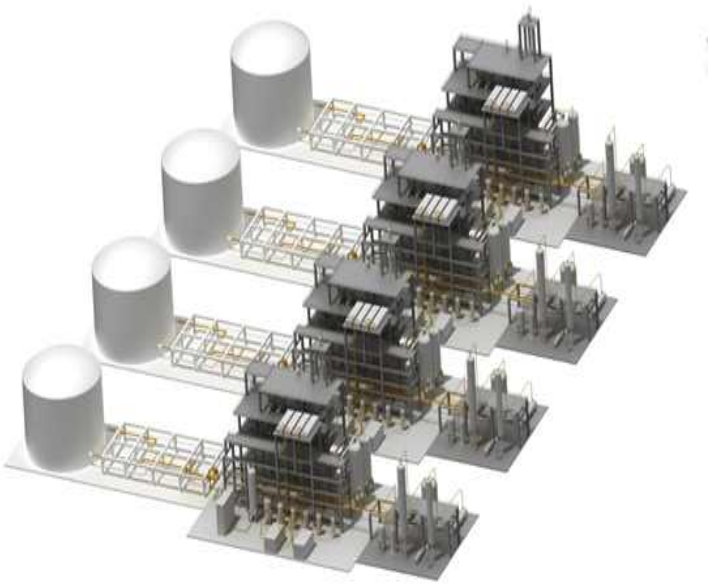


그림 2.2.3.31 Prototype of 5MTPA LNG plant

(4) 구조해석 등 시스템 연성 구축

개발된 시스템에서 사용된 3D 캐드 모델들은 ABAQUS, ANSYS, NASTRAN-IN CAD 등 상용 시뮬레이션 프로그램에 직접 사용할 수 있다. 특히 NATRAN-IN CAD의 경우 Scale up/down 모듈의 플랫폼인 Autodesk Inventor 환경에서 구동하므로 별도의 파일 변환이나 프로그램 사용 없이 시뮬레이션이 가능한 장점이 있다. 또한 다른 상용 프로그램보다 해석 조건을 정립하는 과정이 간단하며, 시뮬레이션에 필요한 상당한 량의 데이터베이스를 제공한다. LPDMS의 가상 3D 모델에 대한 수정 피드백이 들어올 경우, Scale up/down 모듈에서 피드백을 반영한 설계를 수정한 후, 이에 대한 타당성을 빠르게 검토할 수 있다. LPDMS와 Inventor, i-Logic, NASTRAN-IN CAD 사이의 관계를 아래 그림 2.2.3.32에 나타내었다.

NASTRAN-IN CAD와 i-Logic은 Autodesk사의 Inventor 프로그램 내부에서 작동하는 하위 모듈 중 하나이다. 본 과제에서 Inventor 플랫폼 내에서 i-Logic을 이용하여 Scale up/down 모듈을 구현한 바 있다. NASTRAN-IN CAD를 이용하여 별도의 파일 형식 변환이나 프로그램 실행 없이 그림 2.2.3.33에 나타난 탭을 클릭하여 간단하게 실행 가능하다.

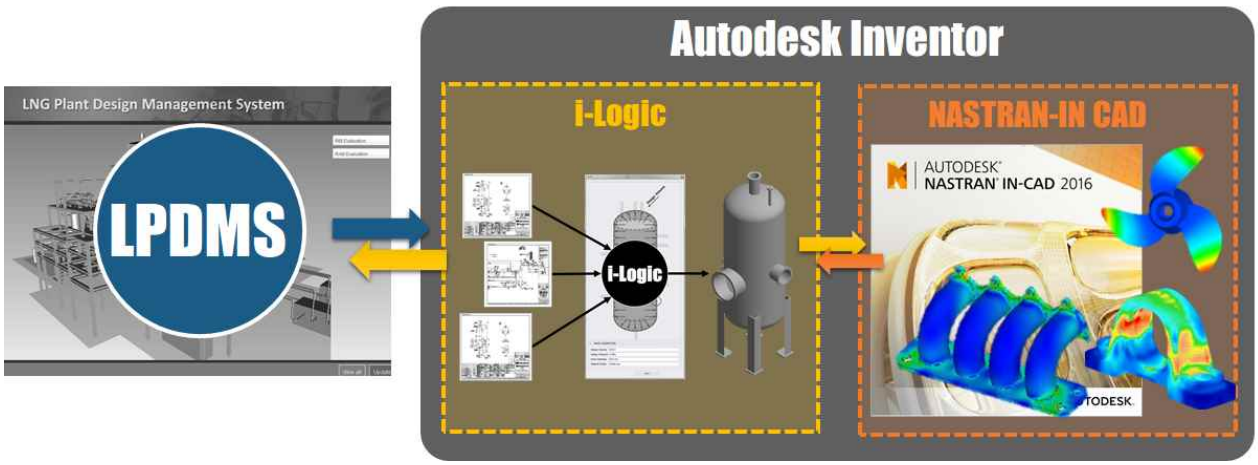


그림 2.2.3.32 Relation among LPDMS, Inventor, i-Logic, NASTRAN-IN CAD



그림 2.2.3.33 Autodesk Nastran module in Inventor

앞서 소개한 NASTRAN-IN CAD와 Scale up/down 모듈을 이용하여 Test bed train No.1에서 사용되는 압력용기 중 하나에 대해 해석을 수행하였다. 해석 대상이 된 기기는 Feed gas mixing drum으로 기기의 이름은 V-1001이다. NASTRAN-IN CAD의 모듈에서 작성된 3D 모델이 대한 시뮬레이션을 수행하기 위해 설정되어야 하는 구속조건과 하중조건을 정의하고 절점과 요소를 생성하게 된다. Scale up/down 모듈을 이용한 모델 작성부터 NASTRAN-IN CAD를 이용한 요소 생성, 시뮬레이션 결과를 도출하는 일련의 절차가 그림 2.2.3.34에 도시되어있다.



그림 2.2.3.34 Simulation procedure using Scale up/down module and NASTRAN-IN CAD

해석 대상인 압력용기에 생성된 유한요소 모델과 적용한 구속조건과 하중조건이 아래 그림 1.24에 나타나있다. 배관이 연결되는 노즐과 압력용기의 연결부에 응력이 집중될 것으로 예상되기 때문에 이 부분의 메쉬를 다른 부분 보다 조밀하게 하였다. 또한 지지부와 압력용기 사이의 관계는 용접되어 있다고 가정하였다. 볼트가 체결되어 고정되는 압력용기의 지지부와 지면의 접촉면을 x, y, z 방향으로의 병진운동과 각 방향으로의 회전운동에 대하여 구속하였고, 압력용기 내부에 일정 내압이 걸린다고 가정하여 해석을 수행하였다. 그림 2.2.3.35의 오른쪽에 시뮬레이션의 결과로 도출된 응력분포 및 변위를 나타내었다. 응력은 지지부와 번 압력용기 상부 헤드에 집중되었으며 이에 따라 변위도 이 부분에서 가장 크게 나타난 것을 볼 수 있다.

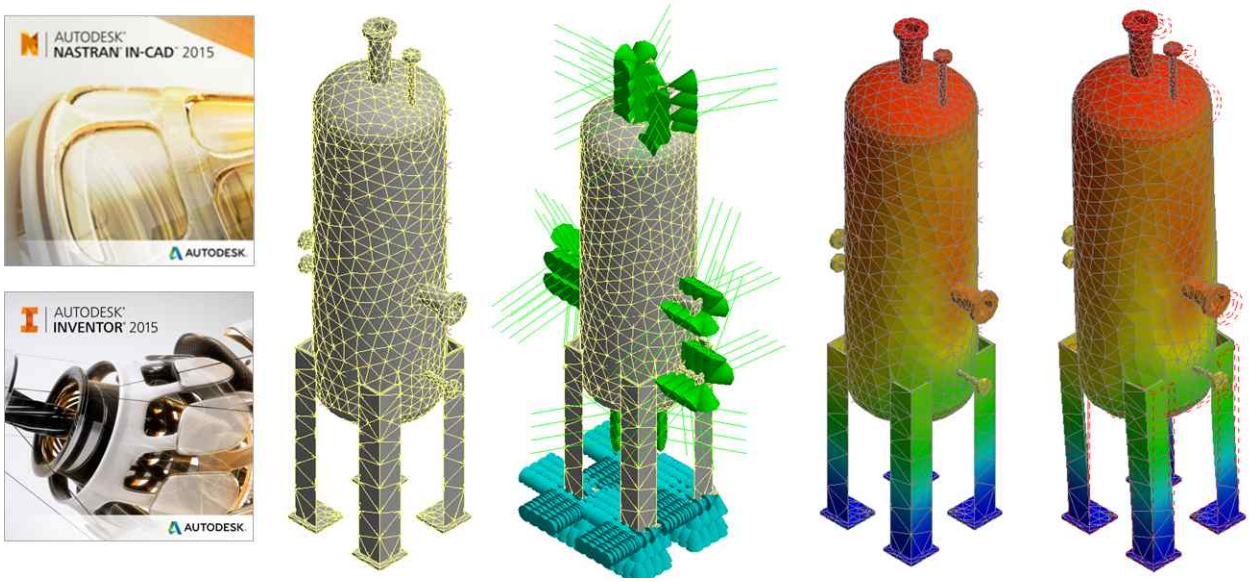


그림 2.2.3.35 Simulation result using NASTRAN-IN CAD

(5) EDB 구축

EDB는 LPMS-RAMS 통합관리시스템에 포함된 LPDMS, LPOMS와 같은 하위 모듈들과 연동되어 가상 플랜트 기반의 설계 및 유지보수 평가가 수행될 수 있도록 설계되었다. 이를 위해 데이터베이스는 EDB(Engineering Database), MDB(Material Properties Management Database), DDB(Document Database)와 같이 3개의 파트로 구성되어 있다.

EDB는 LPOMS 내의 LNG-RBI 평가 프로그램과도 연동되어 LNG 플랜트 유지보수 평가에 필요한 정보를 제공하도록 설계되었다. LPOMS 내의 LNG-RBI 평가 프로그램은 DDB에서 제공하는 API RP 581 코드를 기반으로 작성되었으며, 평가를 수행하기 앞서 excel 형태의 master sheet를 프로그램에 불러오게 되면 EDB 상에 플랜트의 설계 정보 및 기기들의 운영 특성 등이 저장되고 이를 바탕으로 RBI 평가를 수행하게 된다.

수행된 결과는 위험도 순위(risk ranking)과 7가지 주요 파손계수(damage factor)로 도출되며, 이는 EDB에 저장되어 그림 2.2.3.36과 같이 XVL기반의 가상 플랜트 모델과 연계되어 위험도 순위와 파손계수에 대한 컬러링 기능과 위험 상태에 대한 알람 기능을 제공하게 된다.

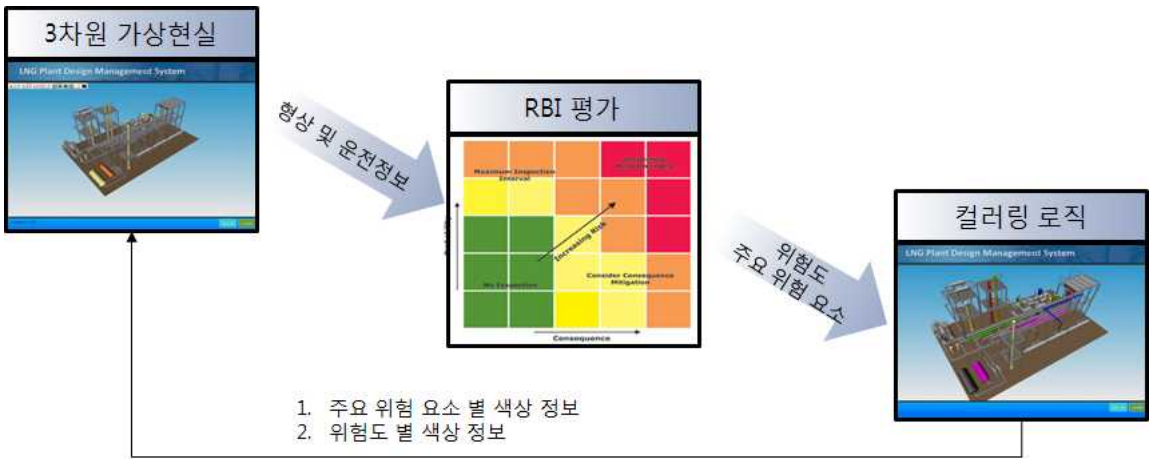


그림 2.2.3.36 Coloring system of LNG-RBI program

MDB는 미국표준기술원(National Institute of Standards and Technology, NIST)에서 제공하는 극저온 하에서 스테인리스강(stainless steel)과 니켈강, 알루미늄 등의 금속에 열전도도계수(thermal conductivity)와 비열(specific heat), 탄성계수(elastic modulus), 선팽창계수(linear thermal expansion)를 식을 기반으로 구현하였다. 이 식을 바탕으로 그림 2.2.3.37과 같이 재료 물성치 계산 프로그램을 작성하였으며, 이를 통해 재료와 온도 구간을 결정하면 온도별 재료

물성치를 결과값과 그래프의 형태로 확인할 수 있다. 재료는 SUS304 스테인리스강을 포함한 4개의 스테인리스강과 알루미늄 합금 5종류, 니켈강 4종류가 고려되었다.

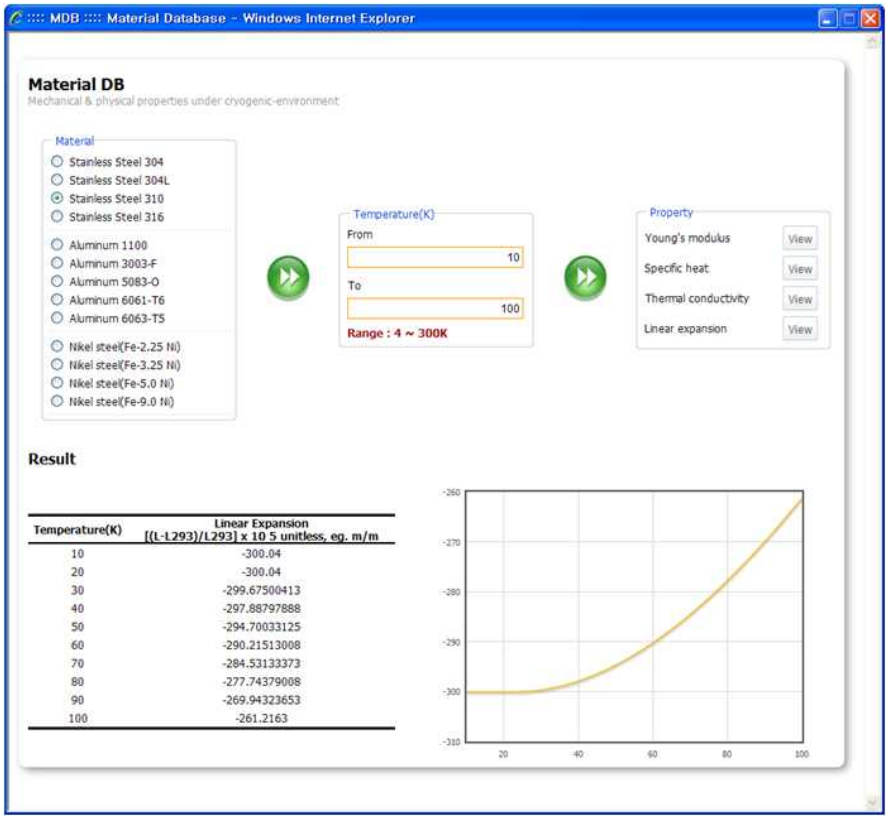


그림 2.2.3.37 Material Properties Management Database (MDB)

DDB는 주요 기기들의 설계를 위한 ASME 코드뿐만 아니라 LNG-RBI 평가 프로그램을 위한 API RP 581 코드와 API BRD 581 코드 등을 포함하고 있다. 이는 웹기반 통합관리시스템인 LPMS-RAMS를 통해서 사용자가 접속하여 EDB를 통해서 웹을 통해 문서들을 열람할 수 있으며, 저장 및 출력도 가능하다.

EDB에는 Scale up/down 자동화 모듈과 관련하여 주요 제작 업체에서 제공하는 스펙을 데이터베이스화하여 주요 기기의 3D 모델 구현 시 EDB를 통해 실제 제작 가능 용량을 검토해볼 수 있다. 또한 주요 기기의 3D 모델은 EDB에 저장되어 LPDMS모듈 내에 design review모듈, CAD data management 모듈과 연계되어 설계된 모델을 웹 상에서 실시간 확인이 가능하며, 피드백을 통해 수정된 모델과 비교 분석도 가능하다.

다. 주요결과 및 시사점

본 연구를 통하여 가상 LNG플랜트 원형을 개발하였으며, 가상 플랜트의 구현을 위한 부품 모델, EDB를 구축하고 분야별 설계 협업 지원이 가능한 통합설계 환경을 구현하였다.

기존의 상용 프로그램들과 달리 웹기반의 시스템을 구축하기 위해 최대 100:1의 압축률을 가진 XVL을 이용하여 플랜트와 같은 대형 산업설비의 3D 모델 데이터를 경량화하여 LPMS-RAMS의 네비게이터 모듈에 적용하였다.

웹기반 LPMS-RAMS솔루션은 LPDMS, LPOMS, EDB 3가지 주요모듈로 구성하였다.

① LPDMS(LNG Plant Design Management System, 설계평가 프로그램)는 XVL을 이용한 VR 모델을 기반으로 오프라인 상에서 3D 설계자들을 통해 작성된 플랜트 전체 모델을 웹 상에서 검토하고 피드백이 가능하며, 피드백을 통해 오프라인 상에서 수정된 사항은 실시간으로 웹페이지를 통해 확인 가능하다.

② LPOMS(LNG Plant Operation & Maintenance System, 안전성평가 프로그램)는 기존 2D 기반의 RAM, RBI 평가 프로그램, 구조해석 연성 모델 등을 3D 모델과 연계함으로써 사용자가 평가하고자 하는 모델에 대한 검토 및 평가 결과를 더욱 가시적으로 판단할 수 있게 해준다.

③ EDB(Engineering DataBase)는 LPDMS와 LPOMS에 필요한 데이터들을 통합함으로써 웹 상에서 전문가들의 협업에 더욱 용이하도록 해준다.

연구 성과는 Reliability Engineering & System Safety 저널에 논문(Conceptual design of a web-based LNG plant management system through adoption of the integrated environment for design and maintenance) 1건을 제출하였으며, 현재 리뷰 중에 있다.

또한 가상 LNG플랜트 구현을 위하여 LNG플랜트를 구성하는 주요 기기의 제작업체를 통해 기기별 스펙 및 설계서를 검토하였다. 주요 기기는 pressure vessel, heat exchanger, turbine, pump로 선정하였다. 각 기기별 실제 제작 가능한 용량을 데이터베이스화하여 scale up/down

자동화 모듈에 반영하였다.

기존 상용 프로그램과 비교하여 실제 기기 설계에 반영되는 ASME, API 등 코드 분석을 통하여 자동화 설계 변수를 단순화하고 설계 기준에 부합되지 않는 경우에 안내가 가능하도록 하였다.

다만 개발 모듈은 기존 상용 프로그램들과 달리 LNG 플랜트를 구성하는 실제 기기들의 세부 설계보다는 플랜트의 모듈화 및 layout 설계에 적용하기 위해 용량 위주의 단순화된 모델을 구현하도록 개발하였다.

연구 성과는 한국건설IT융합학회 논문집에 논문(가상현실을 이용한 LNG 플랜트 웹기반 협업시스템 프로토타입 설계) 1건을 완료하였다.

임의 여백

제3장

최종 연구성과 및 적용실적

임의 여백

제3장

최종 연구성과 및 적용실적

1절 RAM 평가 솔루션 개발

1. 연구성과 설명

플랜트 구성 시설, 장치 및 기자재의 기대수명, 운전신뢰도, 유지보수성 등에 기초하여 전체 프로세스의 건전성(운전효율 및 생산가용도 등)을 정량적으로 평가하기 위한 엔지니어링 기법으로 프로세스 건전성 평가 로직을 개발 및 신뢰도 검증 후 소프트웨어의 형태로 개발이 진행되었다.

플랜트의 프로세스 설계 단계에서의 의사결정을 위하여 건전성을 정량적으로 평가를 통하여 플랜트 건설을 위한 초기 시설투자 및 최소의 운전자원을 이용하여 최대의 건전성을 확보하기 위한 엔지니어링 기법의 개발을 위하여 RAM 평가 솔루션을 개발하였다.

2. 핵심 요소기술

LNG플랜트의 경우 시설투자 규모 및 연간 막대한 운전비가 소요되는 대규모 플랜트로서 가용도 평가에 따른 금전적 손실 규모가 매우 크게 나타난다.

이에 가용도 평가 결과의 신뢰도는 0.1% 이내의 일정한 수준을 유지하여야 하지만 장비 운전 데이터의 원천적 오류, 장비/시스템 고장률의 모델링의 오류 등에 따라 가용도 평가 결과에 오류 가능성을 내포하고 있다.

플랜트 RAM 평가 솔루션의 성공적 개발을 위해서는 LNG플랜트 구성 장치의 신뢰성 데이터의 확보 및 연산엔진의 정확도 확보가 무엇보다 중요하다.

– OREDA2002 (*population:8, CFR:85*)

Taxonomy no 1.5.2.1	Item: Machinery, Turboexpanders, Gas processing, Centrifugal											
Population 8	Installations 2	Aggregated time in service (10^6 hours): Calendar time * 0.2454; Operational time † 0.2585						No of demands				
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10^6 hours) Lower	Mean	Upper	SD	n /t	Active rep.hrs	Repair (manhours) Min	Mean	Max		
Critical	21*	57.35	85.59	118.43	18.68	85.58	-	4.0	73.4	531.0		
	21†	68.64	101.81	140.56	21.99	100.74						
Breakdown	2*	1.63	8.72	20.45	6.06	8.15	-	6.0	96.0	190.0		
	2†	1.25	10.81	28.19	8.85	9.59						
Erratic output	2*	1.63	8.72	20.45	6.06	8.15	-	8.0	19.0	30.0		
	2†	1.25	10.81	28.19	8.85	9.59						
External leakage - Utility medium	1*	0.08	3.72	11.53	4.08	4.08	-	4.0	4.0	4.0		
	1†	0.09	4.36	13.55	4.80	4.80						
Fail to start on demand	2*	0.06	13.05	48.92	18.05	8.15	-	8.0	10.0	12.0		
	2†	0.07	17.38	66.26	24.42	9.59						
Other	2*	1.63	8.72	20.45	6.06	8.15	-	152.0	196.0	240.0		
	2†	1.25	10.81	28.19	8.85	9.59						
Spurious stop	11*	12.32	40.15	81.00	21.62	44.83	-	6.0	61.9	531.0		
	11†	22.49	48.89	83.48	18.87	52.77						
Unknown	1*	0.08	3.72	11.53	4.08	4.08	-	210.0	210.0	210.0		
	1†	0.09	4.36	13.55	4.80	4.80						
Degraded	**28***	**81.10**	**114.11**	**151.74**	**21.56**	**114.11**	**-**	**1.0**	**12.7**	**96.0**		
	28†	**96.99**	**135.89**	**180.15**	**25.38**	**134.32**						
Abnormal instrument reading	4*	2.83	14.47	33.55	9.88	16.30	-	1.0	4.0	8.0		
	4†	5.19	17.45	35.61	9.59	19.19						
External leakage - Process medium	1*	0.08	3.72	11.53	4.08	4.08	-	20.0	20.0	20.0		
	1†	0.09	4.36	13.55	4.80	4.80						
External leakage - Utility medium	4*	5.42	16.12	31.44	8.15	16.30	-	3.0	5.8	12.0		
	4†	6.53	19.17	37.19	9.59	19.19						
Internal leakage	2*	0.10	7.06	22.42	8.03	8.15	-	2.0	2.0	2.0		
	2†	0.12	8.31	25.73	9.08	9.59						
Minor in-service problems	1*	0.08	3.72	11.53	4.08	4.08	-	2.0	2.0	2.0		
	1†	0.09	4.36	13.55	4.80	4.80						
Other	16*	36.85	69.86	111.39	22.96	65.21	-	2.0	18.2	98.0		
	16†	32.01	88.79	168.66	42.72	76.76						
Incipient	**31***	**23.88**	**162.54**	**404.51**	**124.20**	**126.34**	**-**	**2.0**	**8.1**	**36.0**		
	31†	**22.19**	**208.65**	**555.86**	**176.84**	**148.71**						
Abnormal instrument reading	16*	5.87	90.57	263.40	87.16	65.21	-	2.0	10.7	36.0		
	16†	4.44	117.54	354.53	120.69	76.76						
External leakage - Utility medium	1*	0.08	3.72	11.53	4.08	4.08	-	2.0	2.0	2.0		
	1†	0.09	4.36	13.55	4.80	4.80						
Other	13*	14.56	63.60	141.02	40.33	52.38	-	2.0	5.6	12.0		
	13†	13.02	81.43	198.62	60.29	62.36						
Unknown	1*	0.08	3.72	11.53	4.08	4.08	-	4.0	4.0	4.0		
	1†	0.09	4.36	13.55	4.80	4.80						
Comments												

– OREDA2009 (*population:10, CFR:44*)

Taxonomy no 1.5.1.1	Item: Machinery, Turboexpanders, Gas processing, Centrifugal											
Population 10	Installations 3	Aggregated time in service (10^6 hours): Calendar time * 0.1752; Operational time † 0.1443						No of demands				
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10^6 hours) Lower	Mean	Upper	SD	n /t	Active rep. hrs Mean	Max	Manhours Mean	Max		
Critical	8*	8.97	44.36	101.93	29.85	45.65	-	-	113	390*		
	8†	7.19	54.35	138.26	42.92	55.44						
Breakdown	3*	4.97	17.49	36.24	9.88	17.12	-	-	195	390*		
	3†	5.84	21.00	43.80	12.00	20.79						
Erratic output	1*	0.01	5.39	21.85	8.24	5.71	-	-	30	30*		
	1†	4E-3	6.70	28.42	10.94	6.93						
Fail to start on demand	2*	0.85	10.89	30.82	10.09	11.41	-	-	10.0	12*		
	2†	0.28	13.44	41.59	14.68	13.86						
Spurious stop	1*	0.01	5.39	21.85	8.24	5.71	-	-	24	24*		
	1†	4E-3	6.70	28.42	10.94	6.93						
Other	1*	0.01	5.39	21.85	8.24	5.71	-	-	240	240*		
	1†	4E-3	6.70	28.42	10.94	6.93						
Degraded	**16***	**30.94**	**84.77**	**160.25**	**40.40**	**91.30**	**-**	**-**	**12**	**88**		
	16†	**27.35**	**103.39**	**219.37**	**60.89**	**110.88**						
External leakage - Utility medium	4*	7.21	22.09	43.57	11.41	22.82	-	-	5.8	12*		
	4†	8.80	26.89	52.97	13.86	27.72						
Other	12*	24.83	64.51	119.32	29.45	68.47	-	-	14	88		
	12†	20.24	78.38	167.64	46.81	83.16						
Incipient	**23***	**6.95**	**121.12**	**357.48**	**118.86**	**131.24**	**-**	**-**	**30**	**518**		
	23†	**4.31**	**151.78**	**462.55**	**160.37**	**159.40**						
Abnormal instrument reading	13*	0.65	64.64	211.98	77.34	74.18	-	-	9.0	24		
	13†	0.63	82.93	281.50	103.55	90.09						
Minor in-service problems	1*	0.00	7.33	27.28	10.07	5.71	-	-	11	11*		
	1†	0.09	7.76	25.00	9.06	6.93						
Parameter deviation	1*	0.00	7.33	27.28	10.07	5.71	-	-	518	518*		
	1†	0.09	7.76	25.00	9.06	6.93						
Other	8*	0.45	40.49	131.60	47.86	45.65	-	-	6.4	12*		
	8†	0.39	51.55	175.11	64.42	55.44						
Unknown	**1***	**0.01**	**5.39**	**21.85**	**8.24**	**5.71**	**-**	**-**	**3.0**	**3.0***		
	1†	**0.01**	**6.52**	**26.92**	**10.22**	**6.93**						
Unknown	1*	0.01	5.39	21.85	8.24	5.71	-	-	3.0	3.0*		
	1†	0.01	6.52	26.92	10.22	6.93						
All modes	**48***	**42.16**	**247.85**	**594.97**	**178.77**	**273.90**	**-**	**-**	**37**	**518**		
	48†	**36.81**	**310.47**	**806.03**	**252.51**	**332.65**						
Comments												

그림 3.1.2.1 OREDA data handbook 신뢰도 데이터 오차 사례

3. 주요 연구성과

RAM 평가 분야 선진 기술인 MAROS의 경우 가장 진보한 기술로 평가되고 있으나, 프로세스 구성 모델에 대한 건전성 평가 결과를 제공하는데 제한된 기능을 제공하고 있을 뿐 사용자 의도에 기초한 최적의 시스템을 도출하는데에는 한계가 있었다.

본 연구에서는 RAMPLO 솔루션을 통하여 다양한 시스템 구성 시나리오에 기반하여 경제성, 초기투자비, 운영비, CO2 등 다양한 사용자 정의 함수 기준 최적시스템 제시가 가능한 솔루션을 구현하였다.

또한 밸브의 내구수명 평가 장치를 제작, 운용하여 초저온 밸브에 대한 내구수명, 신뢰도 유를 구축하여 RAMPLO 솔루션에 제공하고 있다.

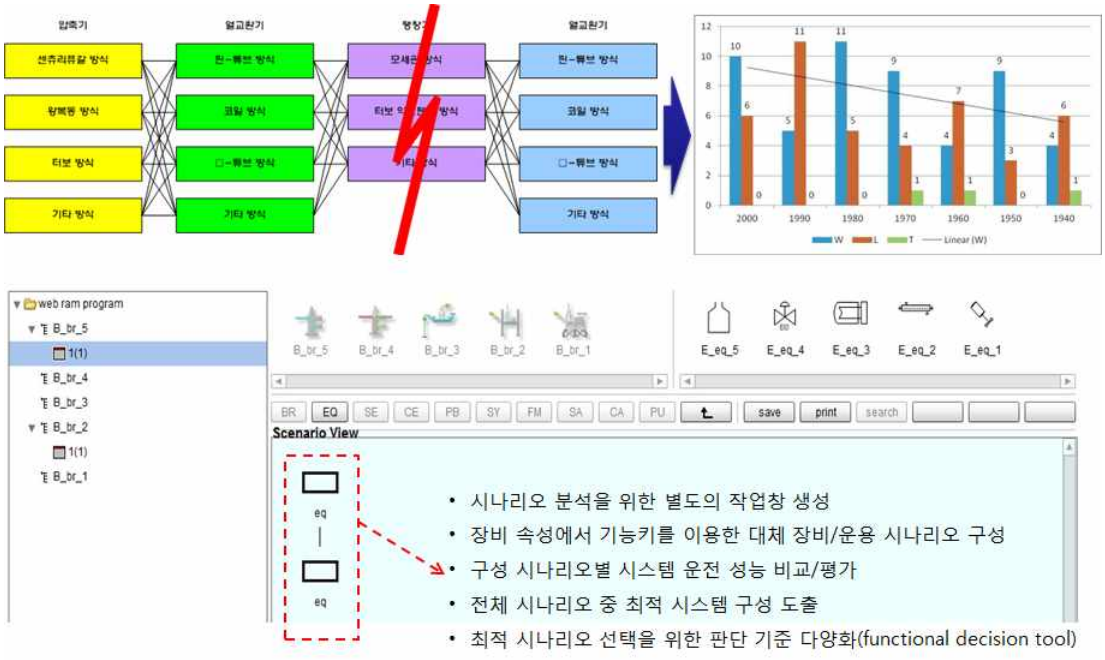


그림 3.1.3.1 최적 시스템 도울을 위한 시스템 구성 시나리오 설정 기능

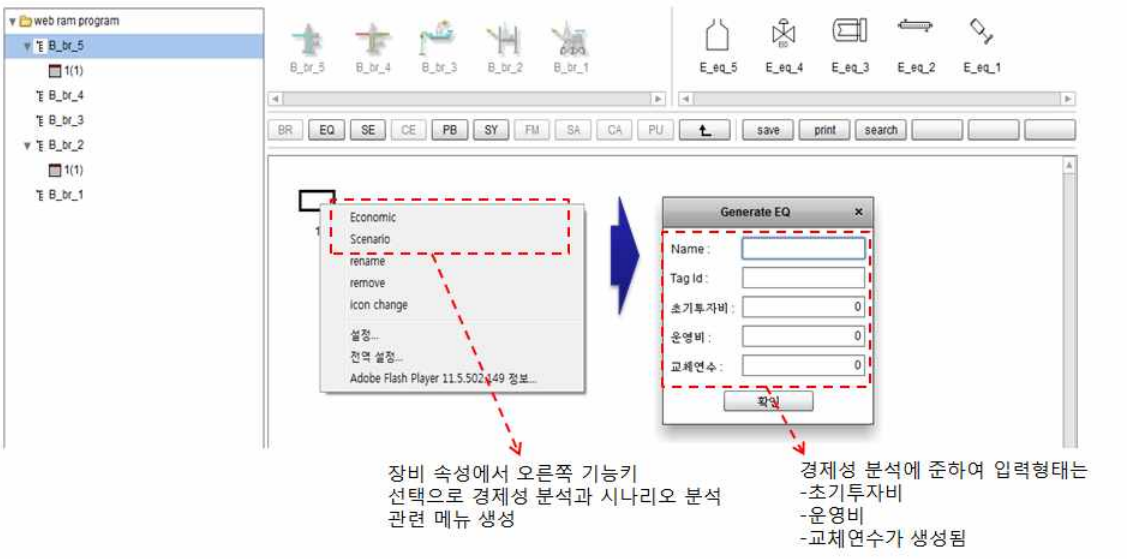


그림 3.1.3.2 사용자 정의 함수에 의한 최적시스템 도출 기능



그림 3.1.3.3 초저온 밸브류 내구수명 평가 시험장치

	Equipment_class	Equipment_No	Service	Process	Material	Figure - vr_No	Figure-drawing_No	Design_pressure	Design_Temperature	Max_Working_pressure	Leak_Test_Pressure
	Vessels	V-1308	HP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-025	V-drawing-025	25	26	27	28
	Vessels	V-1307	MP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-024	V-drawing-024	24	25	26	27
	Vessels	V-1306	LP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-023	V-drawing-023	23	24	25	26
	Vessels	V-1305	LLP C3 Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60	V-vr-022	V-drawing-022	22	23	24	25
	Vessels	V-1303	HP MR Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60N	V-vr-021	V-drawing-021	21	22	23	24
	Vessels	V-1302	MP MR Compressor Suction Drum	Refrigeration	A516 Gr.60N	V-vr-020	V-drawing-020	20	21	22	23
	Vessels	C-1202	Depropanizer Column	Fractionation	A516 Gr.60	V-vr-016	V-drawing-016	16	17	18	19
	Vessels	V-1201	Deethanizer Reflux Drum	Fractionation	A240 TYPE 304L	V-vr-017	V-drawing-017	17	18	19	20
	Vessels	V-1301	LP MR Compressor Suction Drum	Refrigeration	A240 TYPE 304L	V-vr-019	V-drawing-019	19	20	21	22
	Vessels	V-1202	Depropanizer Reflux Drum	Fractionation	A516 Gr.60	V-vr-018	V-drawing-018	18	19	20	21
	Vessels	C-1201	Deethanizer Column	Fractionation	A516 Gr.60	V-vr-015	V-drawing-015	15	16	17	18
	Vessels	V-1101	Scrub Column Reflux Drum	Liquefaction	A240 TYPE 304L	V-vr-014	V-drawing-014	14	15	16	17
	Vessels	C-1101	Scrub Column	Liquefaction	A240 TYPE 304L	V-vr-013	V-drawing-013	13	14	15	16
	Vessels	104-D-104	Steam	Dehydration	A516GR70	V-vr-	V-drawing-	12	13	14	15

그림 3.1.3.4 LPMS-RAMS 기초 데이터베이스

4. 기술실시 및 적용사례

본 연구를 통하여 개발된 RAMPLO 솔루션은 상용도구(MAROS)를 이용한 비교 검토 결과 0.032% 범위 내에서 오차가 수렴하고 있으며, 프로세스 형태, 모델링 범위 변화에 따른 오차 증가가 관측되지 않았으며, 고장분포함수, 시뮬레이션 반복수행, 시뮬레이션 수행 구간 검토 과정에서도 오차 증가가 발생하지 않았다.

이상과 같이 독립형 RAM 평가 솔루션, 웹 기반 K-RAM 평가 솔루션, RAMPLO 솔루션 개발을 진행하였으며, 진행 단계에서 도출한 핵심 기술은 특허청 특허 등록(2건) 상태에 있다. 또한 연구개발 성과품(시작품)은 한국저작권위원회에 소프트웨어 저작권 등록(5건) 완료하였다.

또한 한국저작권위원회에 등록 완료한 'Flex 기반 프로세스 모델링 솔루션'의 경우 유관 업체에서 기술 상업화를 위한 기술이전되었으며, 262,000,000원(중소기업 할인 후 조정 금액 78,600,000원)의 기술료 수입이 발생하였다.

또한 한국건설기술연구원(한국)은 DNV(노르웨이)사와 연계하여 국제세미나를 실시하고, 플랜트정보기술협회(한국)와 연계하여 플랜트·조선컨퍼런스2013, 플랜트·조선컨퍼런스2014의 주최하여 연구개발 성과의 검증, 대외확산, 홍보 및 상용화를 추진하였다.

RAMPLO 솔루션의 개발 및 개방형 서비스 제공을 위한 후속사업(플랜트·인프라 시설물 설계정보체계 및 건설시뮬레이션 개발 기획 등)을 추진중에 있으며, 국내 SOC 플랜트를 포함한 플랜트 엔지니어링 성능 검증 솔루션으로서 향후 5억원/년 수준의 솔루션 수입 대체 효과(관련 분야 국내 시장점유율 10% 가정)가 기대하고 있다. 또한 RAM 평가 시스템의 통합 운용으로 지속적인 데이터베이스 집적으로 관련 노하우 확보를 통한 기술 경쟁력 제고가 기대된다.

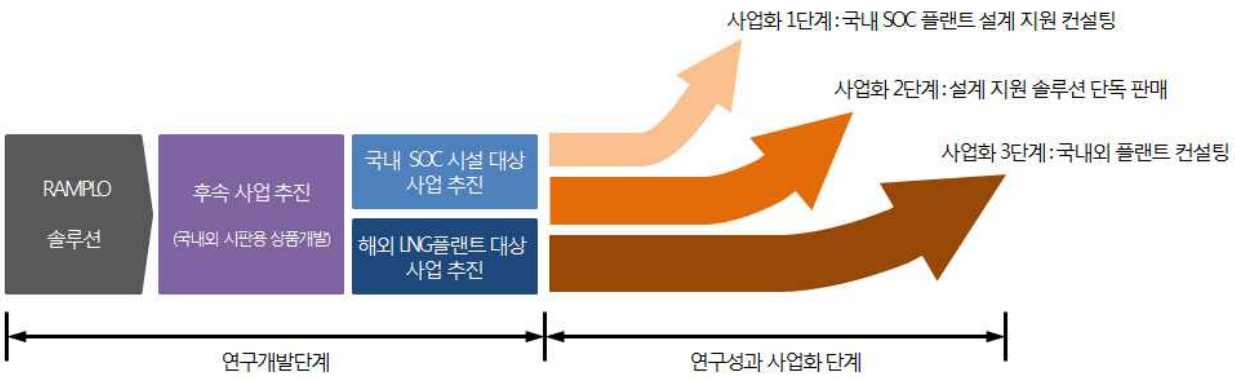


그림 3.1.4.1 RAMPLO 솔루션 국내외 사업화 추진 계획

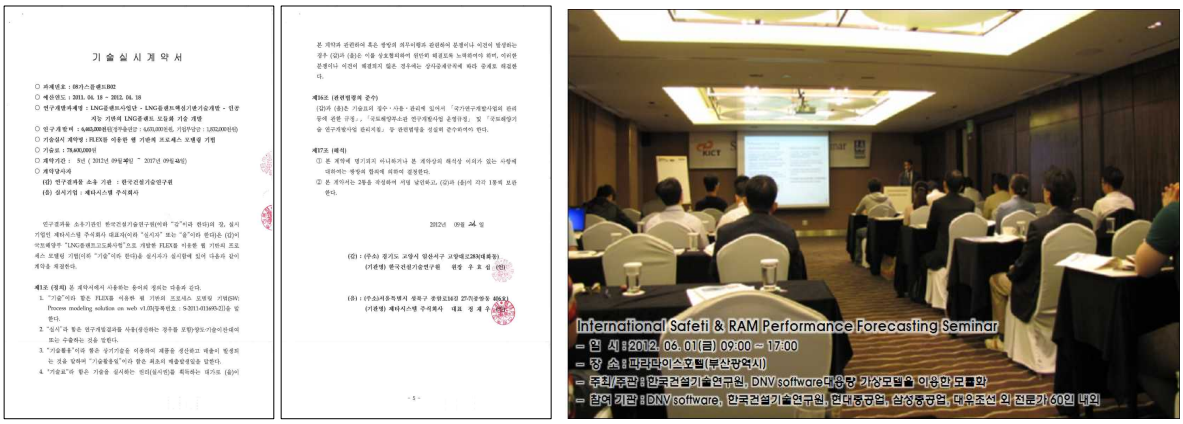


그림 3.1.4.2 개발기술 기술 이전 및 국제공동활용 성과

2절 LNG플랜트 모듈화 기술

1. 연구성과 설명

플랜트의 규격화된 모듈화 유닛으로 분할하여 원격지에서 제작하여 현지에서 조립 형태로 플랜트를 건설하기 위한 엔지니어링 기법 및 모듈화 특성 평가를 위한 IT 솔루션이다.

플랜트의 분할 모듈의 제작/조달 및 현지 조립 위주의 건설 기법의 도입을 통하여 현지 건설기간을 최소화하기 위한 플랜트 설계 기법으로서 플랜트 건설 기간의 단축을 위한 운송성 중심으로 접근이 이루어진다.

2. 핵심 요소기술

LNG플랜트의 경우 시설투자 규모 및 연간 막대한 운전비가 소요되는 대규모 플랜트로서 프로세스 구성, 공정관리 기법 등 프로젝트 성패에 다양한 변수가 영향요인으로 작용하기 때문에 초기 건설 방향에 오류가 있는 경우 금전적 손실 규모가 매우 크게 나타난다.

또한 기존의 건설방식(stick built), 모듈화 건설 방식(modular built)의 결정에 다양한 주관적 판단요소가 작용하기 때문에 검토 주체, 시점에 따라 서로 다른 의사결정이 이루어지기도 한다.

이에 모듈화 특성 평가 및 의사결정 도구의 개발에 있어서는 주관적인 판단을 최소화하고 정량적인 평가 도구화하는 것이 무엇보다 중요하다.

3. 주요 연구성과

본 연구에서는 플랜트 모듈화 특성평가를 위하여 현장 여건, 현장 접근성 조사, 작업밀도 평가, 기술성 평가, 화재보험 수가 등 다양한 정량적 평가 지표를 개발하여 솔루션화 하였으며,

구글 등 포털서비스에서 제공하고 있는 경로 상세정보를 이용하여 현장 답사를 진행하지 않고도 개략적인 접근성 평가가 가능하도록 하였다.

또한 AHP 평가기법을 도입하여 다수의 주관적 의사결정 요소의 정량화, 일반화가 가능하도록 하였다.



그림 3.2.3.1 플랜트 모듈화 특성 평가 솔루션 예시

4. 기술실시 및 적용사례

LNG플랜트 건설 경쟁력 제고를 위하여 ①LNG플랜트 프로세스 최적화, ②플랜트 모듈화 의사결정 기법을 검토하고 트레인 용량 최적화, 현지 입지환경 평가 등을 통한 ③모듈화 설계 가이드라인을 발간하였다. 또한 ⑥모듈화-콤팩트 설계 검증을 통하여 모듈화-콤팩트 설계 가이드라인을 제시하였으며, 기자재 이격 기준 및 보험수가 등을 고려하여 2D, 3D 공간설계 가이드를 제시하였다.

모듈화, 콤팩트 로직에 따른 설계 개선을 Test Bed 사례를 이용하여 검증하였으며 plot area 기준 20% 수준의 설계 개선이 이루어졌으며, 10% 수준의 콤팩트화, 5% 수준의 초저온 배관 연장을 단축할 수 있는 가능성을 확인하였다.

현재 플랜트 모듈화 설계 접근 방법은 관련 시장 관심도 증가에 따라 현대건설, 두산중공업 등 산업계의 요청에 의하여 기술교류, 세미나 등이 이루어지고 있는 상태이며, 특정기업(OO시

스템, IT기업)을 대상으로 기술이전을 통한 기술사업화가 가시화 상태에 있다.

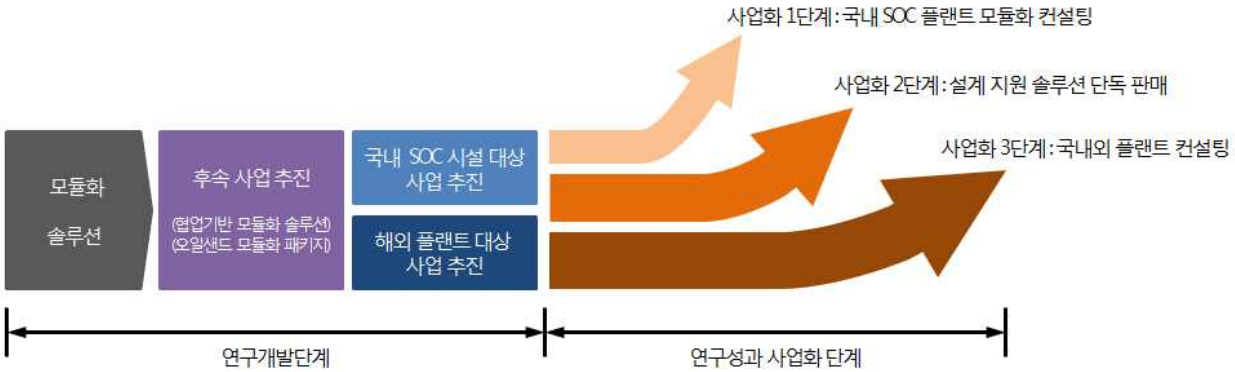


그림 3.1.4.1 플랜트 모듈화 솔루션 국내외 사업화 추진 계획

또한 국토교통부의 추가 연구 요구에 의하여 국토교통과학기술진흥원 “모듈화 플랜트 시공을 위한 설계, 제작 및 현장적용기술 개발” 개발 연구단(사업비 211억원), “플랜트 협업 엔지니어링 및 소프트웨어 기술” 개발 연구단(사업비 126억원) 등 후속 사업이 진행중이다.

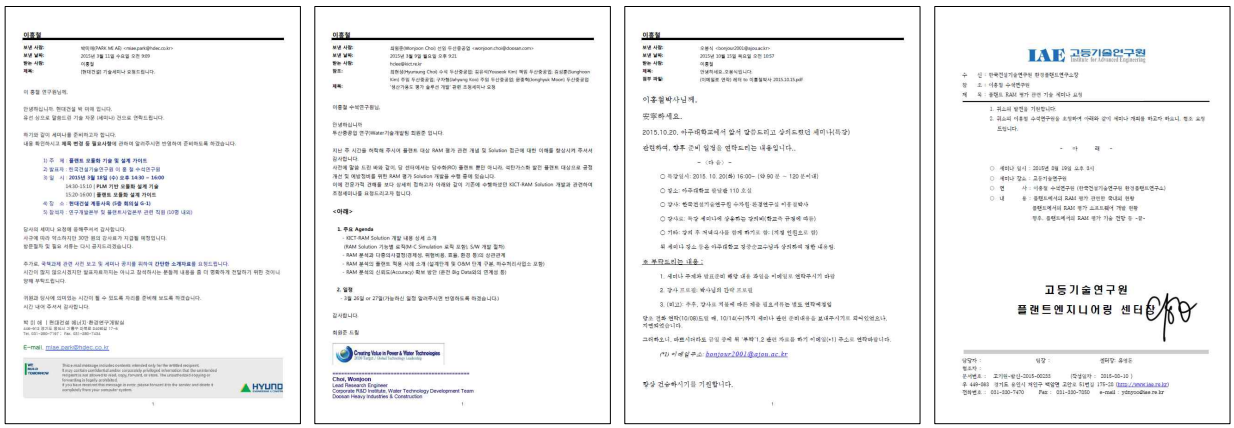


그림 3.2.4.2 플랜트 모듈화 특성 평가 산학연 기술교류 성과
(좌측부터 현대건설, 두산중공업, 아주대학교, 고등기술연구원)

제4장

연구 목표 달성 및 효과

임의 여백

제4장

연구 목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

본 연구의 최종 목표는 RAM 기반의 LNG 모듈화 기술 개발을 통하여 RAM 성능이 5-10% 개선된 compact, modular 계통을 개발하기 위한 과제로서

- RAM 평가 솔루션 개발
- 컴팩트/모듈러 계통 가이드라인 개발
- 가상 통합환경 및 모듈러 평가모델 개발

본 연구의 수행을 통하여 최종 및 세부 목표를 달성하였으며, 이를 토대로 특허 출원/등록, S/W 등록 등 지식재산권을 취득하고 학술발표, 산학연 교류/기술지원 등을 실시하였으며, 개발 연구성과의 민간 기술이전을 실시하였다.

1. 주요 연구내용 정성적 목표 달성도

주요연구내용(연구성과)	1차년도~6차년도			달성도 (%)
	1단계	2단계	3단계	
RAM 평가 솔루션 개발 - RAM 평가솔루션 - TB RAM성능개선				100%
컴팩트/모듈러 계통 가이드라인 개발 - 콤팩트, 모듈화 설계규칙 - 모듈화 계통,모델				99%
가상 통합환경 및 모듈러 평가모델 개발 - VR 기반 통합설계환경 - 가상플랜트원형, EDB				100%

2. 세부 연구내용 정성적 목표 달성도

목 표	달성도(%)	내 용
▪ 건전성 평가 협업 시스템 - 플랜트 건전성 평가 체계/절차 - 건전성 평가 협업대상 분야 선정 - 웹기반 전문가 협업시스템	100%	◦ RAM 솔루션 최적화(달성도:100%) - RAM 평가로직 개선 - 전문 개발업체 참여 최적화 진행 - 연구성과 기술이전(76,000천원) - RAM 평가절차서 개발 - KICT-DNV 국제 컨퍼런스 개최 ◦ 지능형 의사결정 모듈(달성도:100%) - 지능형 의사결정 룰/로직/DB 작성 - 지능형 RAM 솔루션 지재권 출원 ◦ Testbed RAM 적용평가(달성도:100%) - Test bed T1 RAM 평가 - RAM report ver1, ver2 발간 - 주요부품 신뢰성 평가장비 설계/제작 - 초저온 환경 조건 운전을 위한 시뮬레이터 제작, 운전, DB 평가
▪ 모듈러 설계 가이드라인, 표준모델 - 용량별/사이트별 가변 설계 규칙 - 주요 기자재 및 드라이버 연계방안 - 모듈화 설계 고려사항 정리 - 모듈러 표준 정리	100%	◦ LNG플랜트 공정 최적화(달성도:100%) - 프로세스 핀치, 엑서지 해석 - 공정 건전성, 위험요소 평가 ◦ 모듈화 의사결정 도구(달성도:100%) - 의사결정 프로세스 및 평가도구 - 트레인 용량 최적화 도구 - 의사결정 평가도구 ◦ 모듈화 설계 가이드라인(달성도 100%)

		- 사이트 입지, 환경 평가 도구 - 모듈화 기술성 평가 도구 - 2D/3D arrangement 설계도구 ◦ 모듈화 성능평가
▪ 가상플랜트 원형, scale up-down 개발 - 초저온 펌프 및 배관계통 제작/평가 - 설계 반자동화기술 요구사항 검토 - Bulk 성 및 모듈 자동생성 기법 -	100%	◦ LNG플랜트 협업모듈 개발 - LNG plant Management Sys. 개발 - 웹기반 LPMS-RAMS 프로그램 개발 ◦ LNG플랜트 기자재 부품 모델 개발 - 기자재, 부품 설계 모델 개발 - 기자재, 부품모델 자동화 생성도구 - I-logics 기반 scale up-down 모듈 - 가상 플랜트 원형 개발 - Engineering data base
▪ 콤팩트, 모듈러 표준화 및 활용방안 - 콤팩트, 모듈화 가상모델 활용방안 - 유사 플랜트로 확장성 검토	100%	◦ 콤팩트, 모듈러 표준화 및 활용방안 - 주요계통 VR 플랜트 원형 표준화 - 기자재, 부품 표준 DB 구축 - 모듈화 기법/가상모델 활용방안 제시
▪ 핵심 기자재 최적화 모델/적용지침 - 익스팬더 최적화 모델 적용지침 - 드라이버 설계지침 작성 - 마이크로 채널 열교환 구조 응용방안	100%	◦ 핵심 기자재 최적화 모델/적용지침 - 핵심기자재, 유틸리티 가상플랜트 최적 적용 모델 제시 모듈화 분할 기준, 모델 제시 모듈화 건설 표준 패키지 모듈 제시

3. 정량적 연구성과 달성도

성과지표		목표	실적	내 용
학술지 게재 논문	SCI	8	9	◦ Analytical approach to pulse eddy current nondestructive evaluation of multi-layered conductive structures ◦ A coupled CFD-FEM analysis on the safety injection piping subjected to thermal stratification ◦ Effect of Nozzle Tip Configuration on the Micro-droplet Formation ◦ Performance Investigation of the Hybrid-renewable Energy System with Geothermal and Solar Heat Sources for Residential Building in Korea ◦ Hydro-thermo-mechanical analysis on high cycle thermal fatigue induced by thermal striping in a T-junction ◦ Flow Characteristics of Ferrofluid in the Microchannel with Patterned Blocks ◦ Conceptual design of a web-based LNG plant management system through adoption of the integrated environment for design and maintenance ◦ Development of crack opening displacement estimations for non-idealized circumferential through-wall cracks in cylinders ◦ Evaluation of J-groove weld residual stress and crack growth rate of PWSCC

				in reactor pressure vessel closure head
	비SCI	14	8	◦ LNG 플랜트 압축기 구동 방식에 따른 RAM 성능에 관한연구 ◦ LNG 플랜트 공정계통의 실패율이 가용도에 미치는 영향에 관한 연구 ◦ LNG플랜트 액화 및 수분제거공정의 에너지 타겟팅 ◦ Evaluation of Stress Intensity Factor on Axial Crack in CRDM Mockup Nozzle due to Welding Residual Stress ◦ 가상현실 이용한 LNG플랜트 웹기반 협업시스템 프로토타입 설계 ◦ 프로판 혼합냉매 이용한 천연가스 액화공정의 설계와 평가 ◦ 반응표면법을 이용한 원심압축기 임펠러 쉬라우드 형상최적설계 ◦ 핀치-엑서지 기법을 이용한 액화공정 내 단위 열수지 최적화 연구
특허출원	출원	10	6	◦ 글리콜재생을 위한 수분제거시스템 및 이를 이용한 수분 제거 공정 ◦ 웹기반으로 한 플랜트의 설계성능 평가 시스템 및 이를 이용한 평가방법 ◦ 위성정보를 이용한 플랜트 모듈 운송 경로 최적화 기법 ◦ 휴대용 GPS 정보 기반 작업밀도, 작업동선 이용 최적 공정관리 최적화 기법 ◦ 초음파 검사 평가 방법 및 시스템 ◦ 수침 초음파 탐사시험 장치
	등록	1	4	◦ 글리콜재생을 위한 수분제거시스템 및 이를 이용한 수분 제거 공정

				◦ 웹기반으로 한 플랜트의 설계성능 평가 시스템 및 이를 이용한 평가방법
기술실시계약	건수	2	1	◦ Flex를 이용한 웹 기반의 프로세스 모델링 기법
전문인력양성		11	7	◦ 박사졸업(강준모) ◦ 박사졸업(양상모) ◦ 박사졸업(김주동) ◦ 석사졸업(설상훈) ◦ 석사졸업(허호진) ◦ 박사졸업(양상모) ◦ 석사졸업(오승혁)
전문분야 국제협력		0	1	◦ Safeti performance forecast-ing–RAM seminar(KICT-DNV)
시작품		3	4	◦ 웹 기반 RAM 평가시스템 ◦ 초저온 밸브 내구수명 평가 시스템 ◦ 플랜트 모듈화 건설특성 평가시스템 ◦ 웹기반 통합 설계 플랫폼
시제품		1	1	◦ 웹 기반 RAM 평가 상용시스템
학술회의/발표		31	26	◦ LNG플랜트 TEST-BED TRAIN-1 RAM 평가 ◦ 심해저 플랜트장비 Mating 시스템 개념설계 ◦ 천연가스 액화공정의 과열도에 따른 운전특성 연구 ◦ 유틸리티 핀치를 이용한 액화천연가스 수분제거공정 최적화 ◦ 액화천연가스 파일럿 플랜트의 에너지 네트워크에 관한 연구 ◦ 몬테카를로 시뮬레이션 기반 RAM 솔루션 평가에 관한 연구 ◦ LNG 플랜트 수분제거공정 및 액화공정의

			에너지 타켓팅 ◦ LNG 플랜트 테스트베드의 RAM 성능평가에 관한 연구 ◦ 엑서지 기법을 이용한 공기분기 공정 열교환 네트워크 개선에 관한 연구 ◦ Pinch-exergy 기법을 이용한 LNG 공정 네트워크 최적화 방법론 ◦ 프로판 냉매를 이용항 냉각시스템의 열 교환기망 분석 ◦ LNG플랜트 Test-bed를 이용한 K-RAM 솔루션 평가에 관한 연구 ◦ 냉각 시스템의 핀치온도 변화에 따른 영향 ◦ 프로판-혼합냉매를 이용한 천연가스 액화공정 모사 ◦ 국내 하수처리플랜트의 가용도 평가 연구 ◦ LNG플랜트 RAMs 평가 솔루션 개발 ◦ KAPIT_이홍철_LNG플랜트 RAMs 평가 솔루션 개발 ◦ LNG 냉열 발전시스템의 열교환망 분석 ◦ 냉열발전시스템 과냉도 성능분석 ◦ LNG냉열발전시스템에서 혼합냉매 조성비의 적용한계 분석 ◦ LNG냉열발전시스템에 있어서 직접팽창 및 Rankine 사이클의 운전성능평가 ◦ 펀치-엑서지 기법을 이용한 액화공정 내 단위 열수지 최적화 연구 ◦ DEVELOPMENT OF GENERIC FAILURE FREQUENCY OF LNG PLANT EQUIPMENT USING OFFSHORE RELIABILITY DATA

			◦ LNG플랜트 적용을 위한 위험도 기반 검사 기법(RBI)의 극저온 손상메커니즘 평가 연구 ◦ API RP 581 기반의 웹기반 LNG 플랜트 위험도 평가 프로그램 개발 ◦ LNG 플랜트 테스트베드를 이용한 신뢰성 기반 RAM 평가 기법의 적용성 검토에 관한 연구
기술확산 교류	12	8	◦ 플랜트 조선 컨퍼런스 2009 발표 ◦ 플랜트 조선 컨퍼런스 2010 발표 ◦ 플랜트 조선 컨퍼런스 2013(KAPIT-KICT) ◦ 플랜트 조선 컨퍼런스 2014(KAPIT-KICT) ◦ RAM/RCM 루션 개요 & 개발 사례 (고등기술연구원) ◦ RAM/RCM 솔루션 개발 및 적용 (두산중공업) ◦ RAM/RCM 솔루션 개요 & 개발 사례 (아주대학교) ◦ Plant Modular Construction (현대건설)
산학연협력	12	1	◦ 산학연 연계 학생연구생 활용(조은비)
연구 관련 홍보	17	20	◦ 해외 가스 플랜트 시장 진입을 위한 선택과 집중 ◦ 마이크로 채널과 ITM 응용 ◦ 천연가스 액화공정의 회전기기 기술 동향 ◦ Plant 2009 Conference ◦ Plant 2010 Conference ◦ 플랜트산업 발전 위한 허브 역할 ◦ 첨단IT융합기술 플랫폼 기술 확보 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_건설기술 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_건설이코노

				미 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_국토경제 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_국토매일 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_국토일보 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_세이프투데이 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_엔지니어링데일리 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_일간투데이 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_캐드앤그래픽스 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_투데이에너지 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_한국주택신문 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_환경일보 ◦ LNG플랜트1핵심 연구성과 홍보_건설기술
기타저작권	S/W	1	6	◦ K-Availability based on R-Theory v1.02 ◦ K-RAMs based on M-C simulation v1.03 ◦ K-RAMs on Web v1.03 ◦ 가용도 솔루션 평가 결과 후처리 모듈 v100 ◦ 가용도 평가 솔루션 오작동 분포 모델링 모듈 v100 ◦ Process modeling solution on web v1.03

2절 연구개발 성과의 효과

1. 기대교화 및 파급효과

가. 기술적 측면

○ 우리 기업의 LNG 플랜트 기술을 보유 (현재 선진 기술 보유사들이 카르텔을 형성하고 기술이전을 하지 않고 있어 고부가가치 핵심사업에 국내 업체의 참여가 제한되고 있음)
○ 생산성 향상: 엔지니어링 비용 30% 절감. 생산성 30% 향상을 기대할 수 있음 (출처: POSC/Caesar, FIATECH 로드맵(2004), Owner/operator Forum).
○ 주요 설비 및 핵심기기 국산화로 국내 장치 산업 경쟁력 향상 기대

나. 사회, 경제적 측면

○ 2015년 기준으로 LNG플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간 정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이중에서 5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악됨.
○ 플랜트업체의 국산기자재 사용비율을 평균 51% 수준으로 담수분야는 70 ~ 90%의 높은 국산화율을 보이는 반면, LNG 분야는 10~30%에 불과하여, 본 과제를 통해 50% 수준 이상으로 끌어올리면 중소기업 관련 플랜트 부품 소재 산업의 내수 유발 효과를 거둘 수 있음.

다. 전략적 측면

○ R&D 시설 확충으로 국가 효율성 극대화
  - 플랜트 건설기술 실증을 위한 실험시설 및 인력 구비 (현재 전무)
  - 지속적인 신산업플랜트 개발 및 검증에 활용 가능
○ 경쟁력 있는 국산화 기술확보를 바탕으로 해외플랜트 시장 진출을 위한 정책적 지원 유도
○ 연구개발에 다양한 국내기업들이 참여를 유도하므로 해외시장 진출 시 컨소시엄 구성으로 Risk 분산 및 사업 추진력 향상 가능

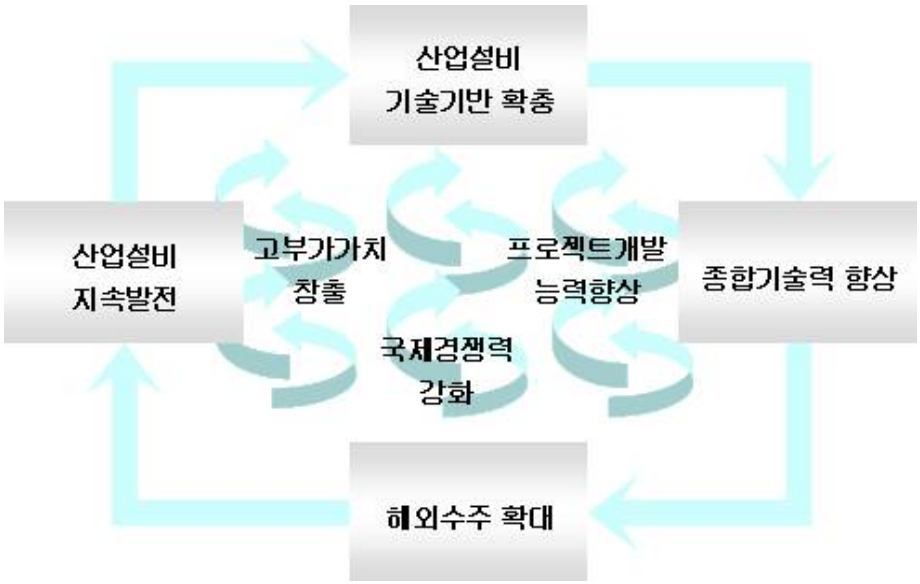
○ 고유가시대 도래와 불안한 세계 석유시장에서의 자주적인 합성석유 기술의 확보와 해외 가스전 개발에 의한 국가 에너지 안보 구현

2. 타 산업에 미치는 효과

○ 본 연구수행결과로 인하여 플랜트 건설 생산성을 향상시키고 산학연 공동연구개발사업 등을 통하여 제품화, 실용화 등 응용기술의 개발에 효과가 매우 클 것으로 기대됨

○ 또한 플랜트 건설사업 국제 환경의 새로운 변화와 질서에 적응하기 위해서 기술경쟁력을 갖출 수 있는 공정, 원가와 연계된 기자재 조달관리 프로세스 지원 및 유지관리 지원체계의 고도화를 통하여 얻을 수 있는 기술적, 경제·산업적 효과는 대단히 클 것으로 예상함

○ 플랜트 건설 과정에는 분화된 조직이 참여함은 물론 매우 다양한 산업분야의 조직 및 기업이 참여하게 됨. 이들 광범위한 관련 산업과의 효율적 협업 방안은 공동의 효율화에 기여할 것임.



임의 여백

제5장

연구성과 활용 및 추가연구 필요성

임의 여백

제5장

연구성과 활용 및 추가연구 필요성

1. 연구개발 성과 활용방안

성과물	활용방안	비고
◦ 가상환경 기반 통합설계환경	◦ 설계 검토, 개선 도구로 이용 ◦ 설계, 시공, 운영 도구로 이용	
◦ 최적 에너지 네트워크 ◦ 최적화 평가모델	◦ LNG 플랜트 에너지 네트워크 표준으로 활용 ◦ 에너지 네트워크 최적화 도구로 이용 ◦ Test bed 에너지 네트워크 평가/최적화 도구로 활용	
◦ LNG Modular 통합계통	◦ 설계, 모듈화 기초자료로 활용 ◦ 핵심계통 정의, 개선 표준 자료로 활용 ◦ 대규모 프로젝트 엔지니어링 특화 기술로 활용	
◦ RAM 평가 시스템	◦ 프로세스 성능 RAM 성능 평가/최적화 도구 ◦	

2. 추가 연구 필요성

○ 최근 극지, 오지 등에서 플랜트 건설 수요가 증가하고 있어 플랜트 건설 시장 경쟁력을 갖추기 위해, 전통적인 Stick-Built 건설 방식에서 벗어나 분할, 운송, 설치에 최적화된 모듈화 건설 접근법이 필요함.

○ 플랜트 모듈화 건설을 위해서는 RAM 뿐만 아니라 공사 스케줄, 모듈 설계/제작, 특수 운송 장비 제작, 도로/토목/건축공사, 작업 밀도 등이 서로 다른 시간, 장소, 주체에 의해서 동시 병행적으로 수행되는 다양한 설계 요소가 복잡하게 발생하기 때문에 관련 지원 솔루션의 개발이 필요함.

○ 플랜트의 모듈화 추진 타당성을 기획단계에서 검토하기 위해 모듈화 환경 분석 결과를 바탕으로 기술성 및 경제성 향상을 고려한 Stick-Built 플랜트 및 기존 모듈화 방법 대비

경쟁력을 평가하는 기술 필요.

○ 협업 단위 시스템 기반 플랜트 건설에서는 장치 및 유닛, 시공블록모듈, 및 공용블록모듈을 기준으로 설계 및 건설이 진행되기 때문에 표준화를 하여 활용하는 협업 지원 라이브러리 등 부대 기술의 개발이 사업 수행에 효과적임.

→ 이러한 주변 여건이 반영되어 현재 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서는 2014년 국토교통기술연구개발사업으로 “플랜트 협업 엔지니어링 및 소프트웨어 기술” 개발 연구단(사업비 126억원)이 발촉되어 관련 연구가 진행중임.

3. 정부 정책과의 연계 방안

○ 플랜트 연관산업으로서 기자재 설계, 제작, 공급에 관한 중소기업의 육성 차원의 효과가 크며, 향후 에너지 및 자원의 안보차원의 접근, 활용 가능함.

○ 국제적인 표준화 추세는 지속적으로 ISO로 통합되고 있으며, 본 연구개발사업에서 도출되는 기반기술은 향후 유망 플랜트 개발에 직접적으로 응용될 수 있음.

○ 국내 산업환경설비공사 표준시방서 등에 활용할 수 있는 다양한 기술자료를 제시할 수 있으며, 이를 통하여 국내 기술의 향상이 기대됨.

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "마이크로채널 기반의 열교환 구조 개발"과제의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17.

주관연구기관명 : 한국기계연구원
주관연구책임자 : 최 준 석
연 구 원 : 윤 석 호
" : 이 공 훈
" : 김 영
" : 김 동 호

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>08가스플랜트B02</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.04.18.
-2015.12.17</td><td>단 계 구 분</td><td>3/3</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">플랜트연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">LNG플랜트사업단</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">마이크로채널 기반의 열교환 구조 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>최 준 석</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 21 명
내부 : 17 명
외부 : 4 명</td><td>총연구비</td><td>정부: 3,139 천원
기업: 1,175 천원
계: 4,314 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국기계연구원
극한기계연구본부</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">탱크테크(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>80</td></tr>
<tr><td colspan="6">○ LNG 플랜트의 극저온 액화공정에 사용하기 위한 고효율 열교환기를 개발하기 위하여 마이크로 채널 구조를 적용한 신개념 열교환기를 개발하였음.
○ 마이크로 채널의 열교환 유로를 설계하고, 열유동 해석을 통하여 열교환 구조의 최적화를 수행하였음.
○ 극저온 환경의 신뢰성 확보를 위하여 확산접합 공정을 이용하여 전열판을 접합하였으며, 이를 위하여 진공열간가압 방식을 이용한 대면적 확산접합 설비를 독자적으로 개발하였음.
○ 개발된 열교환기의 실증성능시험을 위하여 국내 최대사양의 극저온 열교환기 실험설비를 구축하였으며, 극저온 성능실험을 수행함.
○ 상기결과를 토대로 극저온용 마이크로채널 열교환기의 설계/제작/평가에 대한 전주기적 개발기술을 확보함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">마이크로채널, 열교환기, 극저온, 인쇄기판형, 고집적</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Micro Channel, Heat Exchanger, Cryogenic,
Printed circuit, Compact</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

마이크로채널 기반의 열교환 구조 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

천연가스의 액화와 같은 초저온 가스 액화 공정에서는 열교환기의 성능이전체 시스템에 미치는 영향이 크다. 마이크로채널을 이용한 열교환기는 단위체적당 큰 면적을 가지고 기존의 열교환기에 비하여 열전달계수가 크므로 소형화가 용이하다. 컴팩트 열교환기의 설계 및 제작을 위한 선도적인 원천기술의 개발을 통해 LNG플랜트 시장 참여의 기회를 열고자 하였다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

LNG 플랜트의 극저온 액화공정에 사용하기 위한 고효율 열교환기를 개발하기 위하여 마이크로 채널 구조를 적용한 신개념 열교환기를 개발하였다. 이를 위하여 마이크로 채널의 열교환 유로를 설계하고, 열유동 해석을 통하여 열교환 구조의 최적화를 수행하였다. 극저온 환경의 신뢰성 확보를 위하여 확산접합 공정을 이용하여 전열판을 접합하였으며, 이를 위하여 진공열간가압 방식을 이용한 대면적 확산접합 설비를 독자적으로 개발하였다. 개발된 열교환기의 실증성능시험을 위하여 국내 최대사양의 극저온 열교환기 실험설비를 구축하였으며, 극저온 성능실험을 수행하였다.

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

극저온용 마이크로채널 열교환기의 설계/제작/평가에 대한 전주기적 개발기술을 확보하였으며, 참여기업인 탱크테크(주)에 기술이전을 실시하였다.

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

본 과제에서 계획한 연구목표를 달성하여, 기존의 열교환기에 비해 효율이 월등한 열교환기를 만들 수 있게 할 뿐만 아니라 소형화 할 수 있는 기술을 갖

추었다. 이를 바탕으로 LNG 액화플랜트의 효율을 높여 에너지 및 이산화탄소 배출 저감의 뱡향 제시하고, 핵심 부품의 해외의존도를 낮추고, 국가 경쟁력 및 기술신뢰도를 향상시킬 최첨단 선진 기술의 기반기술을 확보하였다. 마이크로채널 열교환기 기술 개발을 통하여 지적재산권을 획득하였으며, 관련 분야로의 기술 확대로 산업 경쟁력을 확보하였다.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

참여기업인 탱크테크(주)는 조선기자재 전문기업으로, 국내외 조선소, 선박을 발주하는 선주회사, 선박에 설치되는 기자재를 인증하는 각국선급(BV, DNV, Lloyd, KR등)에 인지도를 가지고 있기 때문에 LNG 선박 등에 개발결과를 적용하고자 한다.

또한, LNG플랜트용 고성능 소형 열교환기 설계 및 제작기술은 플랜트관련 산업의 기반기술이기 때문에 GTL플랜트, 정유플랜트, 석유화학플랜트 사업, 발전플랜트, 신재생에너지플랜트 산업 등으로 적용을 넓혀 국내 플랜트 산업의 해외경쟁력을 크게 높일 수 있을 것으로 판단된다.

SUMMARY

This project aims to develop a microchannel exchanger for natural gas liquefaction plants. Microchannel heat exchangers have larger heat exchange area for unit volume than conventional heat exchangers so that they are more compact having the larger heat transfer coefficient.

Micro-scale channels are designed and fabricated on metal plates. The designed heat exchange structures are optimized by computational fluid analysis. Then the channels are etched on plates which are then diffusion bonded to acquire the reliability that should be satisfied for the application to the extreme operating environment of interest. A vacuum hot press has been designed and developed for this and the manufactured microchannel heat exchanger has been tested in a cryogenic condition.

Tanktech Co. Ltd. who has participated and invested on this project will apply the developed technology to manufacture microchannel heat exchangers for LNG and other related plants.

This high performance compact heat exchanger will contribute to elevating the competence of plant industry. Although it has been developed for LNG liquefaction plants, its application can be extended to GTL plant, refineries and petrochemical plants, power generation and renewable energy plants.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of Project ····· **1**
Section 1. Objectives and motivation ····· 1
Section 2. Definition and scope ····· 2
Section 3. Related research activities ····· 5

Chapter 2. Results and Discussion ····· 10
Section 1. Research strategy ····· 10
Section 2. Research process and contents ····· 12
Section 3. Research results and verification methods ····· 14

Chapter 3. Final Performance and Applications ····· 15
Section 1. Stepwise research contents ····· 15
Section 2. Detailed research contents ····· 16

Chapter 4. Accomplishments and Contributions ····· 72
Section 1. Final accomplishment level ····· 72
Section 2. Technical contributions ····· 73
Section 3. Economical contributions ····· 74
Section 4. Political contributions ····· 74

Chapter 5. Application and Further Topics ····· 75
Section 1. Application plans ····· 75
Section 2. Necessities for further research ····· 75

References ····· 76

[Appendix] Relevant Documents ····· **77**

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1
1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1
2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 2
3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 5

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 10
1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 10
2절 연구수행과정 및 내용 ····· 12
3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등 ····· 14

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 15
1절 단계별 연구개발 주요내용 ····· 15
2절 연구개발 세부내용 ····· 16

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 72
1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 72
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 73
3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 74
4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 74

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 75
1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 75
2절 추가연구 필요성 등 ····· 75

참고문헌 ····· 76

[부 록] 성과목록 ····· 77

1장 연구개발과제 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성

본 과제는 천연가스 액화플랜트의 핵심기술 중 하나인 초저온 열교환기 설계 및 제작기술의 확보를 위해 수행되었다.

액화천연가스(LNG; Liquified Natural Gas)는 천연가스를 -162℃로 냉각하여 액화한 것으로 부피가 가스의 1/600로 압축되므로 저장 및 수송에 크게 유리하다. 특히, 천연가스 파이프라인 인프라가 없는 지역에도 수송용 특수선박, 차량 등을 이용하여 액체 상태로 공급될 수 있다는 장점이 있다. 천연가스 액화공정 (Liquefaction) 설비는 일반적으로 LNG 플랜트 전체 설비금액의 30 - 40% 정도를 차지하며, 전체 공정의 효율 (efficiency), 운전 용이성 (operability), 신뢰성 (reliability)을 결정하는 중요한 요소이다.

LNG 액화플랜트는 국내에서 설계한 경험이 전무한데, 향후 LNG 사업 진출 시, 고유 기술이 확보되지 않은 상태에서 LNG 플랜트의 EPC (Engineering, Procurement, Construction) 사업 진출은 현실적으로 많은 어려움이 존재한다. 따라서, LNG 플랜트 세계시장 진출을 위해서는 국내의 독자적인 액화공정 기술을 개발하려는 노력이 필요하며, 여기에는 필수적으로 핵심기자재의 개발이 수반되어야 한다.

천연가스 액화공정의 핵심기자재에는 냉매를 순환시키기 위한 압축기와 압축기 구동장치, 냉매 간의 열교환 및 가스 액화를 위한 열교환기 등이 있다. LNG는 영하 162℃ 이하에서 액체 상태가 되므로 액화공정에 사용되는 열교환기는 그 재질부터 초저온 환경에서 내구성을 가져야 하고, 초저온 환경에서의 유동 및 열전달 특성을 고려하여야 한다. 또한, LNG 플랜트를 구성하는 주요 계통의 통합적 구성을 위하여 열에너지와 유동의 최적화를 통한 Modular, Compact 계통설계 기술개발이 필요하며, 이를 구현하기 위한 핵심기자재 특화기술로 마이크로 채널 기반의 열교환기 구조를 개발하고자 하였다.

마이크로 채널을 이용한 열교환기는 단위체적당 큰 면적을 가지고 기존의 열교환기에 비하여 열전달계수가 크므로 소형화와 경량화가 용이한 장점이 있다. 제조 방법에 있어서도 최근에 보편화되고 있는 반도체 제조 공정과 거의 동일한 방법으로 제조가 가능하여 대량생산에 유리하다. 일반적으로 마이크로 채널 열교환기는 채널의 크기가 1 μm ~ 1 mm인 열교환기를 통칭하며, 미세 가공기술의 급속한 발전에 따라 활용 영역이 확대되고 있다. 마이크로채널 열교환기는 미세 채널이 식각된 얇은 금속판들을 적층하여 필요한 압력과 온도에 대하여 충분한 내구성을 가지도록 브레이징 또는 확산접합 등의 방법으로 제작한다.

마이크로채널 열교환기 성능에 있어서 중요한 요소는 마이크로 채널에서의 열전달 특성과 압력 강하 특성이다. 세부적으로는 채널 및 유동의 형태, 열교환기 전체적으로는 다수의 미세 채널 사이의 균일한 유동 및 온도 분포에 따라 열교환기 성능이 달라지므로 이러한 요인들을 고려한 설계기술의 확립이 열교환기 개발에 필수적이다. 마이크로채널 열교환기의 경우, 과제 시작 당시 소형 열교환기의 경우에는 어느 정도 제작 기술이 확보되어 있었으나 가스액화 공

정에 필요한 대형 열교환기의 경우에는 생산성을 향상시키기 위하여 적층하여 제작하는 제작 공정의 확립이 필요하였다. 그림 1-4와 같이 여러 장점을 가지는 마이크로채널 열교환기는 소수의 선진기업이 독점하고 있는 기존의 LNG 액화공정용 열교환기에 비교우위를 가지므로 선도적인 원천기술의 개발을 통해 LNG플랜트 시장 참여의 기회를 열고자 하였다.

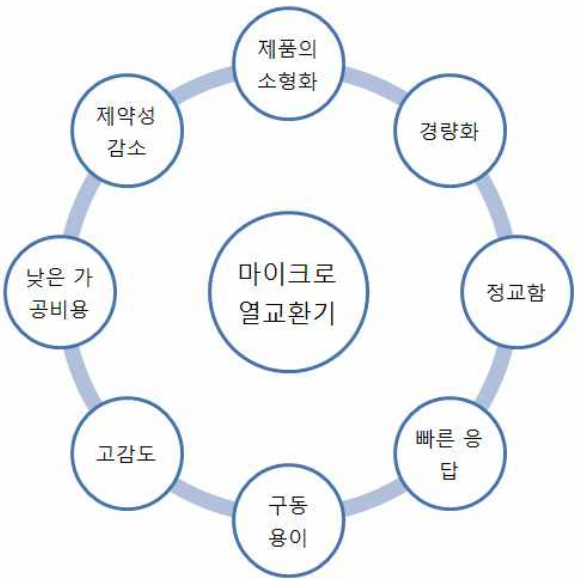


그림 1-1 마이크로채널 열교환기의 특징

2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의 및 특징

본 과제에서는 이론적 아이디어 개발부터 시작품 개발까지를 연구 범위로 두고자 하였다. 과제시작시 국내에 마이크로채널 열교환기 개발을 위한 기반 자체가 취약하였기 때문에 본 과제를 통해 열교환기의 설계, 제작, 평가 기술을 하나하나 축적해 나가고자 하였다. LNG는 영하 162℃ 이하에서 액체 상태가 되므로 액화공정에 사용되는 열교환기는 초저온 환경에서의 내구성, 초저온 환경에 적합한 유동 및 열전달 특성을 고려하여야 한다.

마이크로채널 열교환기는 소수의 선진기업이 독점하고 있는 기존의 LNG 액화공정용 열교환기에 비교우위를 가지므로 선도적인 원천기술의 개발을 통해 LNG플랜트 시장 참여의 기회를 열고자 하였다.

2. 연구개발의 목표 및 범위

(1) 최종목표

○ LNG 플랜트용 마이크로채널 열교환 시스템 기술 개발

▷ 용량: 1 MW급
▷ 총괄 열전달 계수: 300 W/m^{2}K
▷ 크기: 기존 열교환기 대비 20% 저감
▷ 마이크로채널 열교환기 설계 기술 개발
▷ 극저온용 마이크로채널 열교환기 제작, 평가 기술 개발

(2) 연차별 연구범위

연 차	연구 내용	세부 연구 목표
1차년도 (1단계)	○ 극저온용 열교환 시스템 조사 및 설계 사양 도출 - ASPEN HYSYS를 이용한 액화프로세스 분석	▪ C3/MR 프로세스의 주 액화 열교환기 path별 입출구 온도, 압력 및 유량 파라미터 획득
	○ 극저온용 열교환기 기술동향 조사 - WIPS를 이용한 특허조사 - 해외전자저널을 이용한 논문 분석	▪ 극저온용 열교환기 제작기술에 따른 특허분석 ▪ 극저온 열교환 특성 연구 관련 논문 분석자료 작성
	○ 마이크로채널 내 열유동 해석 기술 분석 - ANSYS CFX를 이용한 유동특성 해석	▪ 열교환기 입출구 위치에 따른 유동 특성 파악
2차년도 (1단계)	○ 1kW급 마이크로채널 열교환기 설계 - COMSOL을 이용한 열교환기 내부 유동 분석 - 마이크로 PIV를 이용한 유동 측정	▪ 마이크로 채널 형상에 따른 유동특성의 전산해석 및 실험측정 결과 획득
	○ 1kW급 마이크로채널 열교환기 제작 및 구조적 평가 - 상온 및 극저온 내압실험장치 제작	▪ 1kW급 마이크로채널 열교환기 시제품 제작 (확산접합 방식)
	○ 소용량 열교환기 시험 장치 구축 - 극저온 환경 열전달 실험설비 구축	▪ LN2/CH4 극저온 열교환 실험장치 구축
3차년도 (2단계)	○ 1kW급 마이크로채널 열교환기 시험 - CH4 액화실험 수행	▪ 극저온 환경에서 운전 조건에 따른 압력 강하량 및 열교환 성능 파악 ▪ 대용량 열교환기 설계를 위한 기초자료 확보

	○ 대용량 열교환기 시험 설비 설계 - LN4 이용 극저온 열교환 실험 설비	▪ 대용량 마이크로채널 열교환 시스템 시험을 위한 극저온 설비 설계
	○ 대용량 열교환기 제작 능력 확보 - 대면적 확산접합 설비 구축 (국내 최초/최대면적)	▪ 대면적 확산 접합을 위한 설비를 구축하여 대용량 열교환기의 제작 가능성 타진
	○ 100kW급 마이크로채널 열교환기 설계 - 열유동특성을 고려한 유로설계	▪ 마이크로채널 형상에 따른 압력 강하 및 열전달 특성 해석을 통한최적 형상 도출
4차년도 (2단계)	○ 100kW급 마이크로채널 열교환기 제작 - 100kW급 마이크로채널 열교환기 독자설계 및 제작기술 확보	▪ 대면적 확산 접합 기술을 이용하여 100kW급 마이크로채널 열교환기 제작
	○ 100kW급 열교환기 성능평가 - 극저온 환경 열교환기 성능시험 장치 및 평가방법론 개발	▪ 대용량 마이크로채널 열교환 시스템 시험을 위한 극저온 실험 환경 구축 ▪ 운전 조건에 따른 압력 강하량 및 열교환 성능 파악
5차년도 (3단계)	○ 테스트베드 적용가능 마이크로채널 열교환기 제작 - 테스트베드 적용가능한 열교환기 설계 및 제작	▪ 테스트베드 적용가능 열교환기 시제품 제작 및 성능시험 결과 획득
	○ 마이크로채널 열교환기 설계 플랫폼 개발 - 설계 프로그램(Aspen)에서 마이크로채널 열교환기 모사방법 구현	▪ 마이크로채널의 플레이트-핀 근사모델 수립
6차년도 (3단계)	○ 대용량 마이크로채널 열교환기 모듈 다중연결 시스템 설계 - 용량 scale-up을 위한 다중연결방안 설계	▪ 직렬연결구조 및 병렬연결구조 다중연결 설계방안 수립
	○ 다중연결 마이크로채널 열교환시스템 시제품 제작 및 성능 평가 - 다중연결에 따른 열유동 성능평가 및 용량변화 검증	▪ 직렬연결구조 및 병렬연결구조 다중연결 시제품 제작 및 극저온 성능시험 수행

3절 관련분야의 국내외 기술현황

1. 국내 기술현황

가. 세부기술별 국내 주요업체 현황

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	최고기술보유기관	비고
마이크로 채널 열교환기	(주)스펙	- 고진공 브레이징 기술을 이용한 소형 마이크로채널 열교환기 제작		
	(주)이노윌	- 미세가공 기술과 확산접합 및 브레이징 기술을 이용하여 마이크로 채널 반응기 및 열교환기 등 생산		현재 외국기업인 알파라발에 피인수 됨
	동화엔텍(주)	- 산업용, 선박용 열교환기 전문 업체		

나. 세부기술별 국내 전문가 및 연구기관 현황

세부기술	전문가	소속기관	기술개발현황	해외의 최고 기술보유기관	수준 (국외대비)
가스 액화용 열교환기	박성제	한국기계연구원	LNG 및 극저온기기 성능평가 시스템		75
	정상권	KAIST	초저온 열교환 공정		80
	양영명	한국가스공사	LNG 액화공정		70
	김민수	서울대학교	마이크로채널 열교환기		80
	김무환	POSTECH	마이크로채널 이상유동		75

다. 국내 기술개발 수준

전자 장비 냉각, 마이크로 연료 전지 등을 비롯한 여러 분야에 사용되는 소형 마이크로 채널 열교환기는 한국기계연구원 등 일부 정부출연연구소, 고려대, KAIST 등 일부 대학교에서 연구가 이루어져 왔으나 천연가스 액화플랜트에 적용 가능한 극저온용 마이크로 채널 열교환기에 대한 연구는 수행된 바 없었다.

세부산업 또는 기술내용	과제초기 기술수준			현재 국내 기술수준		
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고
마이크로채널 열교환기 제작기술	60	3	성숙단계	100	0	경쟁 단계
마이크로채널 열교환기 설계기술	70	2	성숙단계	100	0	경쟁 단계

라. 국내연구 인프라 수준

마이크로 채널 열교환기는 우수한 특성 때문에 일부 연구기관 및 대학 등에서 연구가 수행되고 있어 소형 마이크로 채널 열교환기에 대해서는 설계 및 제작 기술이 어느 정도 확보되어 있었다.

천연가스는 -162℃ 이하에서 액체 상태로 존재하므로 액화공정에 사용되는 열교환기는 이러한 초저온 환경에서 내구성을 가져야 하므로 사용 환경에 적합한 설계가 이루어져야 한다. 천연가스 액화 공정용 마이크로 채널 열교환기는 국내의 연구 인프라를 더욱 발전시켜 성숙된 기술을 확보하기 위한 계기가 될 것으로 판단되었다.

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
마이크로 채널 열교환기	연구시설 및 설비		o			
	기초 인력			o		
	산업 기술 인력		o			
	산학연공동연구기반	o				
	정보화	o				
	신뢰성 평가	o				
	표준화 기반	o				
	기술 이전 및 거래		o			
	국제 기술 협력 기반		o			

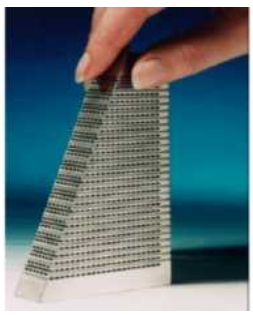
2. 국외 기술현황

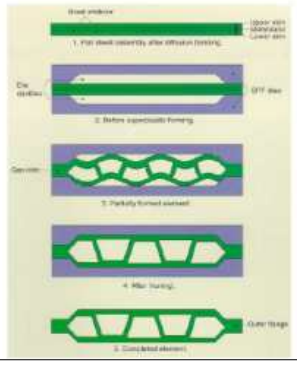
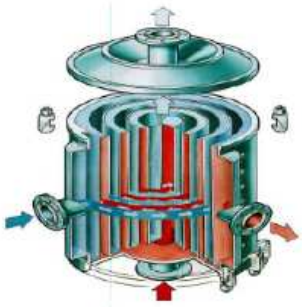
마이크로 열교환 구조는 단위 부피당 접촉 면적을 크게 하여 채널 내부 체류시간을 줄임에 따라 열손실을 줄여 효율성을 극대화시킬 수 있는데 이러한 마이크로 열교환기 기술은 마이크로 채널 열교환기, 마이크로 관형(Tube) 열교환기 및 마이크로 히트 파이프(Heat Pipe)

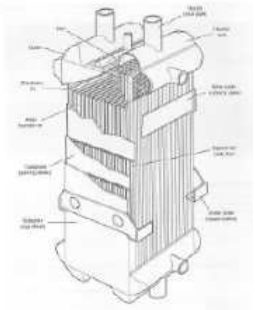
열교환기로 구분된다. 마이크로 채널 열교환기는 1981년 Tuckerman 등에 의해 처음 개념이 제시되었고, 발생열의 효과적 분산을 실험으로 입증한 바 있다. 마이크로 채널 열교환 구조는 GTL(Gas-to-Liquid) 분야에도 적용되고 있는데, APCI에서는 세라믹 멤브레인을 이용하여 개질 반응시 반응기 크기를 줄이는 마이크로 채널 반응기술에 대한 연구를 진행하고 있고, Velocys & Total 에서는 기존 스팀 메탄 리포밍 방식을 개량하여 마이크로 채널 내에서 반응시키는 연구 진행중이다.



그림 1-2. Velocys의 마이크로 채널
열교환기(Velocys社 홈페이지)

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허	기술 수준
마이크로채널 열교환기	Heatrick (UK)	- Diffusion Bonding 기술 - PCHE (Printed Circuit) Heat exchanger 기술 	온도: 초저온~900°C 압력: 600 bar 이상, effectiveness: 98% 이상
	Rolls laval Heat exchanger Ltd (US)	- Diffusion Bonded Plate fin Heat exchanger	

			
	Velocys(US)	- Compact plate heat exchanger - 초저온 LNG 플랜트, 고온 화학반응 개질기, 해수담수화 등에 적용되는 마이크로채널 열교환기 	
극저온 열교환기	APCI(US)	- Plate fin heat exchanger 	
	Alfa Laval Thermal Division (스웨덴)	- AlfaRex Welded Plate pack heat exchanger - Spiral Flow-Spiral Flow Heat exchanger 	
	Chart Marston Limited	- Brazed Aluminum Plate-Fin heat exchanger	

	(UK)		
	GEA Process Technology (독일)	- Spiral Heat exchanger 	

사진출처: 각 社 공개자료

2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절 연구수행 전략 및 방법론

가. 연구수행 방법론

1. 마이크로채널 열교환시제품 설계 및 제작

1 kW급 시제품을 설계 및 제작하고, 성능시험 결과를 바탕으로 Scale-Up 시제품을 제작하기에 적합한 운전조건을 파악하고 최적화하였다. 확산접합의 운전조건들을 다양하게 변화시켜가며 적합한 조건을 탐색하였으며, 다중연결을 위하여 여러 개의 용량이 증대된 시제품 제작하였다.

2. 마이크로채널 열교환시제품 성능평가

Bench-scale 성능시험장치를 제작하여 1 kW급 시제품의 성능평가를 수행하였다. Scale-up 시제품의 성능을 평가하기 위해 대용량 극저온 성능시험설비를 설계 및 제작하고 이를 이용하여, 제작된 시제품에 대하여 성능시험을 수행하였다.

나. 연차별 추진전략

1차년도에는 현재 극저온 환경에서 사용되고 있는 열교환 시스템들의 기술적 특성을 분석하고 LNG 플랜트 용량에 따른 운전 조건을 조사하여 본 과제에서 목표로 하고 있는 열교환 시스템의 운전 조건을 결정하였다. 또한 문헌 조사를 통해 극저온 환경에서 사용 가능한 열교환기 재료 및 물성, 대면적 확산접합 기술, 마이크로채널 내 단상/이상 열유동 해석 사례들을 조사하여 본 과제 수행을 위한 기초 자료들을 구축하였다.

2차년도에는 1차년도에 확보한 열교환기 개별 기술에 대한 자료를 바탕으로 본 과제에서 시도할 제작 방법을 선정하고, 개발 가능성 검토를 위한 1 kW급 소용량 마이크로채널 열교환기를 설계, 제작하였다. 제작된 열교환기는 상온 및 극저온 환경에서 압축 공기를 이용한 누설 시험을 수행하며, 이를 통해 열교환기의 사용 가능 압력을 명시하였다. 아울러 제작된 소용량 열교환기의 열교환 성능을 측정하기 위한 실험 환경을 구축하여 제작된 열교환기의 열적 성능과 압력강하 특성을 파악하였다.

3차년도에는 2차년도에 제작했던 1 kW급 마이크로채널 열교환기를 시험하여 운전 조건에 따른 압력 강하량 및 열교환 성능을 파악하였으며, 본 과제에서 목표로 하고 있는 마이크로채널 열교환 시스템의 성능실험을 위하여 2차년도에 구축한 소용량 열교환기 시험 장치에 대한 노하우를 바탕으로 1 MW급 열교환 시스템 시험을 위한 극저온 실험 환경을 설계하였다. 또한 대용량 열교환기 제작 능력을 확보하기 위하여 대면적 확산접합을 위한 대형 설비를 자체

적으로 설계, 제작함. 3차년도에는 마이크로채널 형상에 따른 압력 강하 및 열전달 특성을 실제 실험으로 측정하여 해석 모델을 검증, 보완하였다. 본 실험적 연구 결과를 바탕으로 압력 강하 및 열전달 특성, 제작 가능성을 고려한 최적의 마이크로채널 형상을 도출하고, 열교환 유체의 균일한 분배에 적합한 입구 형상을 설계하고 100 kW급 마이크로채널 열교환기를 설계하였다.

4차년도에는 3차년도에서 설계한 마이크로채널 열교환기를 개발된 대면적 확산접합 기술을 이용하여 제작하고 극저온 시험 설비로 운전 조건에 따른 압력 강하량 및 열교환 성능을 파악하였다. 본 실험 결과를 바탕으로 열교환기 설계 기술을 검증, 보완하는 한편, 35 kW급 열교환기를 단위 모듈로 하여 100 kW급 대용량의 열교환 시스템을 구축하는 방안을 도출하였다. 또한 3차년도에 설계한 대용량 열교환기 시험 설비를 구축 완료하여 최종 목표로 하는 열교환 시스템의 성능 평가를 수행하였다.

5차년도에는 테스트베드 적용 가능한 마이크로채널 열교환기를 설계 및 제작하였으며 대용량 마이크로채널 열교환기의 실험 및 결과 분석을 통하여 마이크로채널 이상유동 상관식을 도출하였다.

6차년도에는 본 과제에서 최종 목표로 하고 있는 테스트베드 적용 가능한 마이크로채널 열교환 시스템의 운전 조건에 따른 압력 강하량 및 열교환 성능을 파악하고 설계대로 작동하지 않는 부분에 대해서는 보완을 수행하였다. 본 성능 평가 시험을 통해 마이크로채널 열교환 시스템의 재료, 제작 기술, 마이크로채널 형상, Scale-Up 방안, 다중연결로 모듈 시스템 구축 등 설계 지침을 확립하였다.

2절 연구수행과정 및 내용

연 차	연구 내용	연구 결과
1차년도 (1단계)	○ 극저온용 열교환 시스템 조사 및 설계 사양 도출 - ASPEN HYSYS를 이용한 액화프로세스 분석	▪ C3/MR 프로세스의 주 액화 열교환기 path별 입출구 온도, 압력 및 유량 파라미터 획득 → 열교환기 운전조건 도출
	○ 극저온용 열교환기 기술동향 조사 - WIPS를 이용한 특허조사 - 해외전자저널을 이용한 논문 분석	▪ 극저온용 열교환기 제작기술에 따른 특허분석 → 특허분석자료 ▪ 극저온 열교환 특성 연구 관련 논문 분석자료 작성
	○ 마이크로채널 내 열유동 해석 기술 분석 - ANSYS CFX를 이용한 유동특성 해석	▪ 열교환기 입출구 위치에 따른 유동특성 파악 → 해석결과 논문 발표
2차년도 (1단계)	○ 1 kW급 마이크로채널 열교환기 설계 - COMSOL을 이용한 열교환기 내부 유동 분석 - 마이크로 PIV를 이용한 유동측정	▪ 마이크로 채널 형상에 따른 유동특성의 전산해석 및 실험측정 결과 획득 → 해석 및 실험 결과 논문발표
	○ 1 kW급 마이크로채널 열교환기 제작 및 구조적 평가 - 상온 및 극저온 내압실험장치 제작	▪ 1 kW급 마이크로채널 열교환기 시제품 제작 성공(확산접합 방식) → Lab-scale 시제품 제작 및 내압 테스트 성공
	○ 소용량 열교환기 시험 장치 구축 - 극저온환경 열전달 실험설비 구축	▪ LN_2/CH_4 극저온 열교환 실험장치 구축 완료 → 극저온 실험설비 제작
3차년도 (2단계)	○ 1 kW급 마이크로채널 열교환기 시험 - CH_4 액화실험 수행	▪ 극저온 환경에서 운전 조건에 따른 압력 강하량 및 열교환 성능 파악 ▪ 대용량 열교환기 설계를 위한 기초자료 확보 → 국제학회 논문발표
	○ 대용량 열교환기 시험 설비 설계 - LN_2 이용 극저온 열교환 실험 설비	▪ 대용량 마이크로채널 열교환 시스템 시험을 위한 극저온 설비 설계 → 상세설계 도면 제작

	○ 대용량 열교환기 제작 능력 확보 대면적 확산접합 설비 구축 (국내 최초/최대면적)	▪ 대면적 확산 접합을 위한 설비를 구축하여 대용량 열교환기의 제작 가능성 타진 → 국내최대면적 확산접합 설비 시제품 개발
	○ 100 kW급 마이크로채널 열교환기 설계 - 열유동특성을 고려한 유로설계	▪ 마이크로채널 형상에 따른 압력 강하 및 열전달 특성 해석을 통한 최적 형상 도출 → 단위박판 도면 제작
4차년도 (2단계)	○ 100 kW급 마이크로채널 열교환기 제작 - 100 kW급 마이크로채널 열교환기 독자설계 및 제작기술 확보	▪ 대면적 확산 접합 기술을 이용하여 100 kW급 마이크로채널 열교환기 제작 → 대면적 시제품 제작
	○ 100 kW급 열교환기 성능평가 - 극저온 환경 열교환기 성능시험 장치 및 평가방법론 개발	▪ 대용량 마이크로채널 열교환 시스템 시험을 위한 극저온 실험 환경 구축 ▪ 운전 조건에 따른 압력 강하량 및 열교환 성능 파악 → 국내 최대용량 극저온 열교환기 실험설비 구축
5차년도 (3단계)	○ 테스트베드 적용가능 마이크로채널 열교환기 제작 - 테스트베드 적용가능한 열교환기 설계 및 제작	▪ 테스트베드 적용가능 열교환기 시제품 제작 및 성능시험 결과 획득
	○ 마이크로채널 열교환기 설계 플랫폼 개발 - 설계 프로그램(Aspen)에서 마이크로채널 열교환기 모사방법 구현	▪ 마이크로채널의 플레이트-핀 근사모델 수립
6차년도 (3단계)	○ 대용량 마이크로채널 열교환기 모듈 다중연결 시스템 설계 - 용량 scale-up을 위한 다중연결 방안 설계	▪ 직렬연결구조 및 병렬연결구조 다중연결 설계방안 수립
	○ 다중연결 마이크로채널 열교환시스템 시제품 제작 및 성능 평가 - 다중연결에 따른 열유동 성능평가 및 용량변화 검증	▪ 직렬연결구조 및 병렬연결구조 다중연결 시제품 제작 및 극저온 성능시험 수행 → 다중연결 시제품 제작

3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

연구목표	성과목표	성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법
LNG 플랜트용 마이크로채널 열교환 시스템 기술 개발	최적화 마이크로채널 형상 개발	크기	20 % 이상 저감	20 % 이상 저감	기존 열교환기 대비 크기비교	보고서 확인
	극저온용 확산접합 기술 개발	접합 면적	360mm* 560mm	360mm* 560mm	전열판 시제품	성과물 확인
	마이크로채널 열교환기 개발	설계 용량	1 MW급	1 MW급	전산 시뮬레이션	시뮬레이션 결과보고서 확인
		시제품 용량	100 kW급	100 kW급	시제품 부분부하 성능평가	전문가현장 확인 및 결과보고서
		성능	총괄열전달계수 300 W/m^2K 이상	총괄열전달계수 300 W/m^2K	검증실험	전문가현장 확인 및 결과보고서
	극저온환경 열교환 성능시험기술 개발	성능시험/설비 불확도	열전달계수 불확도 10 % 이하	열전달계수 불확도 10 % 이하	검증실험	불확도계산 보고서확인

3장 최종 연구성과 및 적용실적

1절 각 단계별 연구개발 주요내용

연구내용	1단계	2단계	3단계
(1) 극저온용 열교환 시스템 기초조사 및 설계사양 도출	■	■	
(2) 마이크로채널 내 열유동 해석		■	■
(3) Lab-scale 마이크로채널 열교환기 설계	■		
(4) Lab-scale 마이크로채널 열교환기 제작	■		
(5) Lab-scale 마이크로채널 열교환기 실험장치 제작 및 극저온 상변화 열전달 시험 수행		■	
(6) 대면적 확산접합설비 개발		■	
(7) Scale-up 및 대용량 마이크로열교환기 설계 및 제작		■	
(8) 대용량 열교환기 성능시험설비 구축		■	■
(9) 극저온 대용량 열교환기 성능시험			■
(10) 극저온 마이크로채널 열교환기 설계 플랫폼 개발			■
(11) 극저온 마이크로채널 열교환기 다중연결 시스템 설계 및 검증			■

2절 연구개발 세부내용

1. 극저온용 열교환 시스템 기초조사 및 설계 사양 도출

가. 극저온용 열교환기 기술동향 조사

1980년대 초반부터 전자 제품 냉각에 적용할 목적으로 마이크로채널을 이용한 열전달 촉진 기술에 대한 연구가 시작되었다. 원래 고발열 칩 냉각을 위해 시작된 연구이기 때문에, 반도체 공정으로 용이하게 제작할 수 있는 실리콘 재질의 미세구조물에 대한 실험적인 연구가 선행되었다.

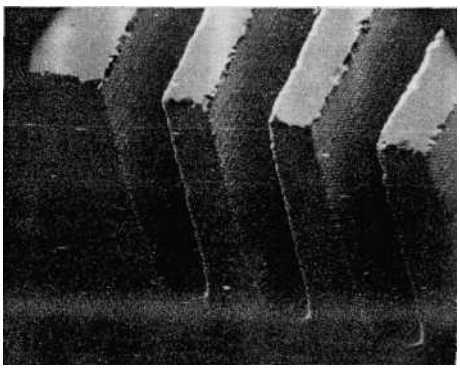


그림 3-1. 마이크로채널 히트싱크

2000년대 들어 전자 제품 냉각용 히트싱크 이외의 다양한 열교환 용도로 적용이 검토되면서 금속이나 세라믹 등 다양한 소재로 만든 마이크로채널 열교환 구조에 대한 연구가 활발하게 이뤄지고 있다.

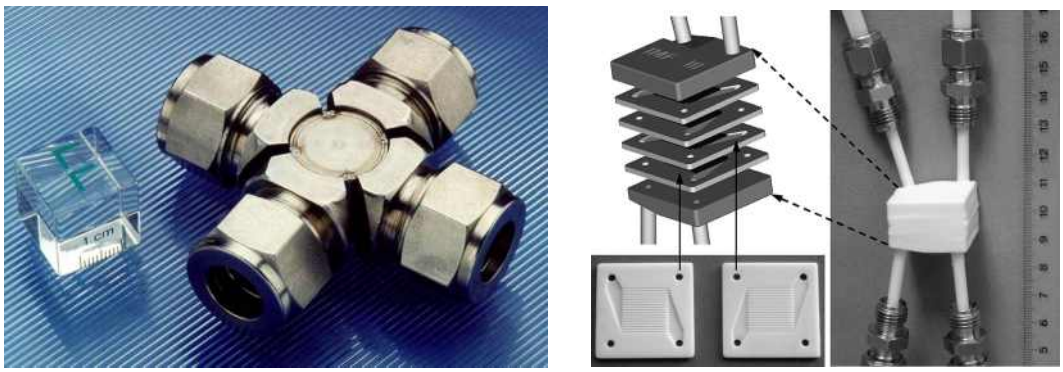


그림 3-2. 금속 및 세라믹으로 제작한 마이크로채널 열교환기

마이크로채널 열교환기 관련 연구는 주로 마이크로채널 형상에 따른 압력 강하 및 열전달 특성을 수치적, 실험적으로 규명하는데 초점이 맞춰져 있으며, 정밀한 가공이 요구되는 미세구조물 형상에 대한 연구의 경우, 아직도 반도체 공정으로 제작한 실리콘 재질의 마이크로채

널 구조물이 활용되고 있다. 압력 강하량 증가는 최소화하면서 열전달 촉진을 극대화하는 마이크로채널 형상, 그리고 이를 실제로 제작하는 방법에 대한 아이디어가 끊임없이 도출되고 있으며, 그 성과가 마이크로채널 열교환기 분야의 주요 지적 재산이 되고 있다.

플랜트용 마이크로채널 열교환기는 해외에서 이미 상용 제품이 개발, 생산되고 있는 상황으로, 영국 Meggitt 사의 자회사인 Heatric 사는 마이크로채널 열교환기 전문 제조업체로 세계적인 명성을 쌓고 있으며, 미국 Velocys 사는 마이크로채널 구조를 이용한 공정 기술 개발에 주력하고 있다.

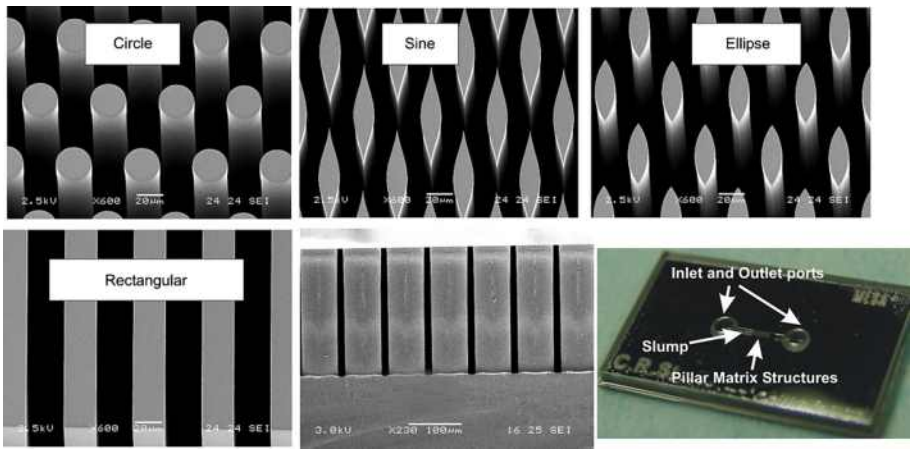


그림 3-3. 다양한 형상의 마이크로채널 구조

국내에서는 주식회사 스펙이 브레이징 기술을 이용한 마이크로채널 열교환기 제작을 처음 시작하였고, 본 과제시작 초기에는 주식회사 이노웰이 확산 접합 기술을 이용한 소규모 연구용 마이크로채널 열교환기 제작을 하고 있으나, 현재 알파라발에 인수되었다.

나. 마이크로 채널 열교환기 특허 동향 조사

마이크로채널이 형성되어 있는 박판을 적층하여 열교환기를 구성하는 개념을 처음 제시한 원천 특허는 이미 만료된 상태여서 열교환기 내 미세 구조 및 제작 방법에 대한 개량 특허가 활발하게 출원되고 있다. 마이크로채널 열교환기 관련 미국 특허의 특허권자들을 살펴보면, 전자 제품 냉각 기술을 전문적으로 개발하는 미국 Cooligy 사가 마이크로채널 구조에 대한 다양한 아이디어를 활발하게 특허화하고 있고 마이크로채널 구조물을 각종 열 및 화학 공정에 적용하는 기술을 전문적으로 개발하고 있는 미국 Velocys 사가 마이크로채널 구조물을 이용한 새로운 공정 기술에 대한 다수의 특허를 보유하고 있다. 현재 마이크로채널 열교환기 분야에서 전세계적으로 가장 앞서 있는 영국의 Heatric 사의 경우, 모기업인 영국 Meggitt 사에서 Printed Circuit을 형성하는 공정으로 마이크로채널을 판에 형성하고 이를 Diffusion Bonding으로 접합하여 구성하는 열교환기에 대한 특허를 출원해 놓은 상태이다.

국내 특허에 대한 특허권자들을 살펴보면, 주식회사 스펙에서 가장 많은 특허를 보유하고 있으며 한국에너지기술연구원, 광주과학기술원 등도 독창적인 제작 방법에 대한 특허를 보유

하고 있다. 국내 연구자들의 특허는 주로 마이크로채널 구조물 제작 방법에 집중되어 있다.

표 3-1. 주요 국내 특허 목록

기술 출현 년도	특허 번호	명칭	특허권자	주요 내용
2004년	10-04 73504	마이크로 믹서	주식회사 스펙	▷ 마이크로 믹서 및 열교환을 위한 유로가 형성된 박판의 적층
2004년	10-04 73498	단열현 열교환기 및 그 제조방법	주식회사 스펙	▷ 단열을 위한 구멍, 홈 등이 함께 형성된 박판들을 Brazing 방식으로 접합
2002년	10-05 05534	미세유로를 가지는 금속재 박판의 제작 및 도금 또는 증착층을 이용한 브레이징 접합 방법	주식회사 스펙	▷ 적층하는 박판들에 양각, 음각 구조를 형성하여 정렬의 정밀도 향상
2004년	10-05 85374	마이크로채널 반응기의 제조 방법과 마이크로채널 반응기	한국에너지기술연구원	▷ 고세장비를 가지는 유로 형성을 위해 관통 Slit이 가공된 박판들을 적층 ▷ 유동 분배를 위한 Manifold가 별도의 박판에 형성
2006년	10-06 49061	고세장비 마이크로채널 가공방법과 그 장치 및 이를 이용한 마이크로 히트파이프 제조방법	광주과학기술원	▷ 금속판에 고세장비를 갖는 미세 유로를 가공할 수 있는 레이저 에칭 공정
2006년	10-07 73667	광섬유를 광전송 및 가공 도구로 사용하는 레이저 에칭방법 및 그 장치	광주과학기술원	▷ 광섬유를 광 전송 및 분배에 활용하여 다수의 미세 유로를 동시에 가공할 수 있도록 하는 장치

표 3-2. 주요 미국 특허 목록

기술 출현 년도	특허 번호	명칭	특허권자	주요 내용
1982 년	US 4,516,632	Microchannel Crossflow Fluid Heat Exchanger and Method for Its Fabrication	미국 정부	▷ 금속 박판을 적층하여 열교환기 구성 ▷ 직선 유로 형상대로 관통된 박판과 그렇지 않은 박판을 번갈아 적층하여 미세 유로 형성 ▷ 유로가 가공된 박판들을 90° 회전하면서 적층하면 Crossflow 형태 구현
1990 년	US 5,002,123	Low Pressure High Heat Transfer Fluid Heat Exchanger	Microelectronics and Computer Technology 사	▷ 열성능 저하없이 압력 강하량을 저감하기 위해 입구로부터 출구로 유로 크기가 점점 작아지는 형상 제안
1991 년	US 5,145,001	High Heat Flux Compact Heat Exchanger Having a Permeable Heat Transfer Element	Creare 사	▷ 투과성을 가지는 부분과 비투과성을 가지는 부분이 결합된 열교환기 ▷ 투과성을 가지는 부분과 비투과성을 가지는 부분의 경계면에 수직한 방향으로 유체가 통과하면서 열교환
1997 년	US 5,941,303	Extruded Manifold with Multiple Passages and Cross-Counterflow Heat Exchanger Incorporating Same	Thermal Components 사	▷ 사출로 제조 가능한 부품들로 구성되는 Manifold Microchannel 열교환기
2001 년	US 6,467,535 B1	Extruded Microchannel Heat Exchanger	Visteon Global Technologies 사	▷ Tube와 평면형 구조물로 구성되는 Counterflow 형태의 Manifold Microchannel 열교환기
2003 년	US 10/749.643	Folded Fin Microchannel Heat Exchanger	Pokharna and Prasher	▷ Folded Fin으로 마이크로채널 형성

2003년	US 6,986,382 B2	Interwoven Manifolds for Pressure Drop Reduction in Microchannel Heat Exchangers	Cooligy 사	▷ Manifold 형상 조절을 통해 특정 부위에서만 열교환이 이뤄지도록 함으로써, 불필요한 유로 길이를 없애는 효과로 압력강하량 저감
2002년	US 6,989,134 B2	Microchannel Apparatus, Methods of Making Microchannel Apparatus, and Processes of Conducting Unit Operations	Velocys 사	▷ Strip을 판 위에 배열하여 미세 유로 형성 ▷ Hot Isostatic Pressing으로 밀폐된 Device 제작 ▷ 다양한 유로 구조 제안
2003년	US 7,017,654 B2	Apparatus and Method of Forming Channels in a Heat-Exchanging Device	Cooligy 사	▷ Manifold Microchannel 열교환기 구조 및 제작 방법
2005년	US 2006/0157234 A1	Microchannel Heat Exchanger Fabricated by Wire Electro-Discharge Machining	Honeywell International 사	▷ Wire Electro-Discharge Machining으로 마이크로채널 형성하는 방법
2006년	US 2006/0254759 A1	Heat Exchanger Core	Meggitt 사	▷ Diffusion Bonding으로 판을 접합하여 구성하는 열교환기
2007년	US 2007/0246106 A1	Flow Distribution Channels to Control Flow in Process Channels	Velocys 사	▷ 유동 분배 구조 제안
2004년	US 7,360,309 B2	Method of Manufacturing Microchannel Heat Exchangers	Advanced Ceramics Research 사	▷ Ceramic 재질의 마이크로채널 열교환기 제작 장법
2006년	US 2008/0073061 A1	Variable Depth Microchannels	Intel 사	▷ 국소적으로 유로 높이를 변화시켜 불균일 열원에 대응

다. LNG 플랜트 운전조건에 따른 액화용 열교환기 설계사양 분석

LNG 액화공정은 혼합냉배를 이용하여 다단계의 여러 사이클로 이루어진다. 사이클의 개수가 많아질수록 온도 차이가 작아져 열효율이 높아지나, 공정이 복잡해져서 조업이 까다로운 단점이 있다. 냉각기/팽창기 적용여부와 순수/혼합냉매 적용여부 등에 따라서 다양한 액화공정이 있고, 냉각 사이클 개수에 따라서도 다양한 액화공정이 존재한다. 각 액화공정에 따른 열교환기 개수, 설치위치, 사양 등을 파악하고 이에 따른 액화용 열교환기 설계사양을 추출하기 위하여 액화공정별 열교환기 사양을 조사하였다

○ Propane Precooled Mixed Refrigerant (C3MR)

C3MR 공정은 APCI, Shell에서 공급하며 지난 약 20년간 지어진 거의 모든 LNG plant가 도입한 공정으로 특허 기간은 만료되었다. 혼합냉매(mixed refrigerant)와 천연가스가 3개 또는 4개의 pressure-level propane economizer로 이루어진 냉각 시스템에 의해 pre-cooling 된다. 대형의 gas turbine을 사용할수록 효율이 높아지며, Precooling 단계에서는 Spiral wound exchanger외에 Shell & Tube나 Plate Fin type 을 쓰기도하지만 주액화용 열교환기는 모두 Spiral wound type 사용한다.

○ Cascade Process

Cascade 공정은 Phillips사가 license를 소유하고 있으며 Bechtel이 독점계약하여 공급한다. 공정이 비교적 복잡하고 gas의 성분이나 지역에 따라 유연하지 못하고 표준화된 모델을 사용한다. 작은 gas turbine 여러 개를 사용함으로써, 유연성이 좋지만 연료효율은 낮다. 큰 폭포 하나 대신 여러 개로 이루어진 작은 폭포처럼, Cascade 공정은 여러 단계의 열교환기를 필요로 하며, 단계별로 역할에 따라 다른 형식과 용량의 열교환기를 사용한다. Precooling에는 Core-in-Kettle type 열교환기를 사용하며, intermediate level와 주액화용 low level에는 Aluminium Plate Fin type 열교환기를 사용한다.

○ AP-X process

C3(propane), MR(mixed refrigerant), N2(nitrogen)의 3개 냉각 공정으로 이루어이며 공급사는 APCI이다. 기존 공정인 C3/MR과 비교하여, 3번째 N2 cycle이 추가됨으로써 프로판과 혼합냉매의 필요 유량을 감소시켜 훨씬 더 큰 냉각용량(8 million ton/yr)을 얻을 수 있도록 설계된 신공정이다. 프로판 cycle에는 Kettle type exchanger, 혼합냉매 cycle에는 Spiral wound tubular exchanger, 그리고 질소 cycle에는 spiral wound tubular exchanger와 plate fin exchanger가 함께 사용된다.

기존 LNG 액화공정의 주냉각 열교환기로는 Spiral Wound Type과 Aluminium Plate Fin Type이 양분하고 있다. Spiral Wound Type은 APCI, Linde사 등이 자사 프로세스와 함께 공급하며 내부구조나 기술은 공개하지 않는다. Plate Fin Type Heat Exchanger는 제조사가 많아 수급이 유리하고, 병렬 연결로 비교적 용이하게 용량을 증설할 수 있는 장점이 있다.

라. ASPEN HYSYS를 이용한 액화프로세스 분석

공정해석 소프트웨어 Aspen HYSYS를 사용하여 대표적인 LNG 액화공정인 C3/MR 공정을 분석하여 열교환기 설계 및 운전 조건에 대한 데이터를 추출하였고 Precooling process의 열교환기보다는 주액화공정에 사용되는 MCHE (Main Cryogenic Heat Exchanger)에 대한 운전조건을 주 대상으로 해석하였다.

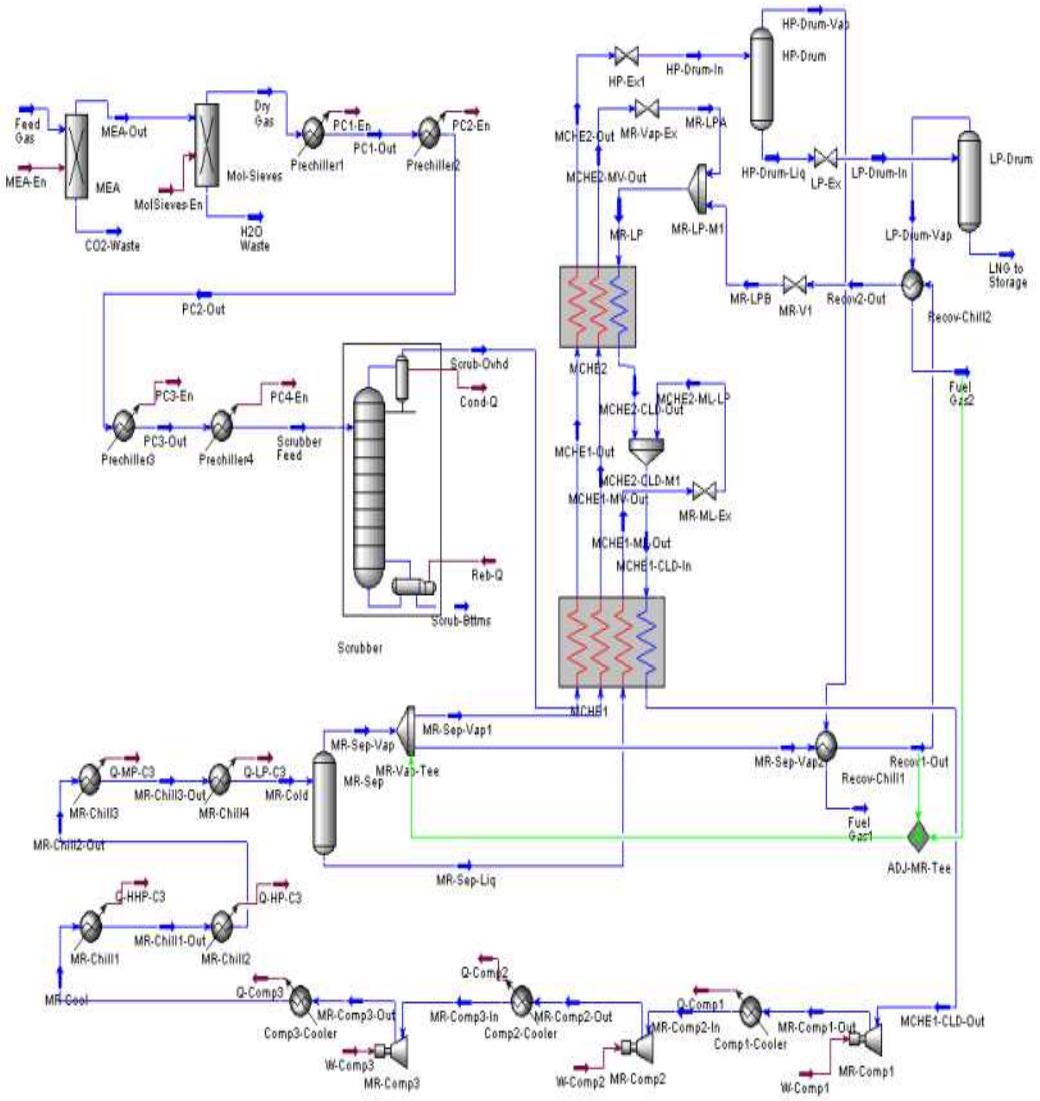


그림 3-4. C3/MR 공정의 Aspen HYSYS 시뮬레이션

MCHE는 다음 그림과 같이 2단계의 열교환기로 이루어져 있다. 1단계 열교환기에서 MCHE1은 천연가스 유로, MCHE1-MV는 기상 혼합냉매, MCHE1-ML은 액상 혼합냉매, MCHE1-CLD는 냉각용 혼합냉매의 유로이다. 2단계 열교환기에서 MCHE2는 천연가스 유

로, MCHE2-MV는 기상 혼합냉매, MCHE2-CLD는 극저온 액화 조건으로 냉각된 혼합냉매의 유로이다.

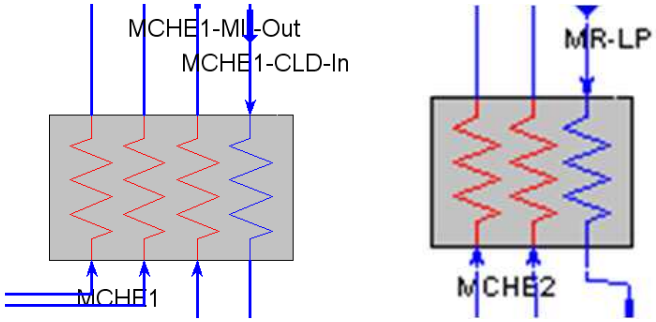


그림 3-5. Main Cryogenic Heat Exchanger의 개략도

해석결과를 바탕으로 열교환기 입출구 조건과 입출구 유체의 물성 및 전달물성을 획득하여 열교환기 설계 및 사이징의 기반자료로 활용하였다.

표 3-3. 열교환기 입출구 조건

Name	MCHE1-Out	MCHE1-MV-Out	MCHE1-ML-Out
Vapour Fraction	0	0	0
Temperature [C]	-120	-120	-120
Pressure [kPa]	3600	4200	4200
Mass Flow [kg/h]	203481	97798	295822
Liquid Volume Flow [m^3/h]	608	296	828
Heat Flow [kJ/h]	-931302345	-437950823	-1143809123

Name	MCHE1-CLD-In	MCHE1-CLD-Out	MCHE2-Out	MCHE2-MV-Out
Vapour Fraction	0.29	1	0	0
Temperature [C]	-134	-39	-148	-148
Pressure [kPa]	188	188	3400	4000
Mass Flow [kg/h]	403235	403235	203481	97798
Liquid Volume Flow [m^3/h]	1154.2179	1154.2179	609	296
Heat Flow [kJ/h]	-1606832182	-1376293151	-950116460	-446434715

표 3-4. 열교환기 입출구 유체 열물성 및 전달물성

Name	Scrub-Ovhd	MR-Sep-Vap 1	MR-Sep-Liq	MCHE1-CLD-In
Molecular Weight	18	20	26	24
Molar Density [kgmole/m^3]	2.50	3.21	14.6	0.564
Mass Density [kg/m^3]	46.3	65.4	385	13.8
Act. Volume Flow [m3/h]	4389	1494	767	29220
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-4068	-3949	-3612	-3984
Mass Entropy [kJ/kgC]	7.76	7.20	4.56	4.08
Heat Capacity [kJ/kgmoleC]	49.2	66.0	87.9	60.3
Mass Heat Capacity [kJ/kgC]	2.66	3.24	3.33	2.47
Lower Heating Value [kJ/kgmole]	828133	964761	1256826	1163341

Mass Lower Heating Value [kJ/kg]	44736	47436	47663	47602
Phase Fraction [Vol. Basis]	-	-	-	0.22
Phase Fraction [Mass Basis]	4.94e-324	2.12e-314	2.12e-314	0.2
Partial Pressure of CO_2 [kPa]	0.19	0	0	0
Act. Gas Flow [ACT_m^3/h]	4389	1494	-	-
Avg. Liq. Density [kgmole/m^3]	18.0	16.2	13.5	14.3
Specific Heat [kJ/kgmoleC]	49.2	66.0	87.9	60.3
Std. Gas Flow [STD_m^3/h]	259906	113697	265257	390133
Std. Ideal Liq. Mass Density [kg/m^3]	334	329	357	349
Act. Liq. Flow [m^3/s]	-	-	0.21	0.15
Z Factor	0.782	-	-	-
Watson K	17.87	18.84	18.65	18.68
Partial Pressure of H_2S [kPa]	0	0	0	0
Cp/(Cp-R)	1.203	1.143	1.104	1.159
Cp/Cv	1.691	2.005	1.104	1.047
Heat of Vap. [kJ/kgmole]	7527	7434	9287	15775
Kinematic Viscosity [cSt]	0.225	0.169	0.149	-
Liquid Fraction	0	0	1	0.706

Molar Volume [m^3/kgmole]	0.399	0.3108	6.84E-02	1.77
Mass Heat of Vap. [kJ/kg]	406	365	352	645
Phase Fraction [Molar Basis]	1	1	0	0.293
Surface Tension [dyne/cm]	-	-	5.155	19.834
Thermal Conductivity [W/mK]	2.81E-02	2.96E-02	9.71E-02	-
Viscosity [cP]	1.04E-02	1.11E-02	5.77E-02	-
Cv (Semi-ideal) [kJ/kgmoleC]	40.92	57.74	79.63	52.03
Mass Cv (Semi-ideal) [kJ/kgC]	2.21	2.83	3.01	2.12
Cv [kJ/kgmoleC]	29.1	32.9	79.6	57.6
Mass Cv [kJ/kgC]	1.57	1.61	3.01	2.35

Name	MCHE1-Out	MCHE1-MV-Out	MCHE1-ML-Out	MCHE1-CLD-Out
Molecular Weight	18.51	20.33	26.36	24.43
Molar Density [kgmole/m^3]	22.03	22.08	20.45	9.87E-02
Mass Density [kg/m^3]	407	449	539	2.41
Act. Volume Flow [m^3/h]	498	217	548	167165
Mass Enthalpy [kJ/kg]	-4576	-4478	-3866	-3413
Mass Entropy [kJ/kgC]	5.10	4.62	3.27	7.33
Heat Capacity [kJ/kgmoleC]	62.4	63.1	69.9	42.2

Mass Heat Capacity [kJ/kgC]	3.37	3.10	2.65	1.72
Lower Heating Value [kJ/kgmole]	828133	964761	1256827	1163341
Mass Lower Heating Value [kJ/kg]	44736	47436	47663	47602
Phase Fraction [Mass Basis]	2.12e-314	2.12e-314	2.12e-314	4.94e-324
Partial Pressure of CO_2 [kPa]	0	0	0	0
Cost Based on Flow [Cost/s]	0	0	0	0
Act. Gas Flow [ACT_m^3/h]	-	-	-	167165
Avg. Liq. Density [kgmole/m^3]	18.0	16.2	13.5	14.2
Specific Heat [kJ/kgmoleC]	62.4	63.1	69.9	42.2
Std. Gas Flow [STD_m^3/h]	259906	113697	265257	390133
Std. Ideal Liq. Mass Density [kg/m^3]	334	329	357	349
Act. Liq. Flow [m^3/s]	0.138	6.05E-02	0.15239	-
Z Factor	0.128	0.149	0.161	0.980
Watson K	17.87	18.84	18.65	18.68
Partial Pressure of H2S [kPa]	0	0	0	0
Cp/(Cp-R)	1.153	1.151	1.134	1.245
Cp/Cv	2.133	1.861	1.659	1.266

Heat of Vap. [kJ/kgmole]	7742	7675	9642	15775
Kinematic Viscosity [cSt]	0.165	0.211	0.342	3.42
LiquidFraction	1	1	1	0
Molar Volume [m^3/kgmole]	4.54E-02	4.53E-02	4.89E-02	10.1
Mass Heat of Vap. [kJ/kg]	418	377	365	645
Phase Fraction [Molar Basis]	0	0	0	1
Surface Tension [dyne/cm]	6.29	9.35	15.8	-
Thermal Conductivity [W/mK]	0.131	0.144	0.163	1.88E-02
Viscosity [cP]	6.75E-02	9.50E-02	0.184	8.25E-03
Cv (Semi-ideal) [kJ/kgmoleC]	54.1	54.8	61.6	33.8
Mass Cv (Semi-ideal) [kJ/kgC]	2.92	2.69	2.33	1.38
Cv [kJ/kgmoleC]	29.2	33.9	42.1	33.3
Mass Cv [kJ/kgC]	1.58	1.66	1.59	1.36
Cv (Ent. Method) [kJ/kgmoleC]	32.8	34.3	38.4	-

2. 마이크로채널 내 열유동 해석

가. 마이크로 채널 유동분배를 위한 헤더부 유동해석

마이크로채널의 경우 거시적인 유로에 비해 동일한 펌핑 동력에 대해 유량이 훨씬 작기 때문에 일반 산업 규모의 생산을 달성하기 위해서는 많은 마이크로채널들이 병렬로 연결되어야 한다. 이러한 생산 규모 확장 과정에서 가장 큰 어려움은 각 마이크로채널로 균일한 유량을 분배하는 것이며, 균일한 유동 분배가 이뤄져야 마이크로채널 개수를 늘림에 따라 생산 규모가 기대한 만큼 늘어날 수 있다. 이미 여러 연구자들이 수치 해석을 이용하여 다양한 형상 변수들이 유동 분배에 미치는 영향을 조사한 바 있지만, 매니폴드의 형상과 입, 출구 위치의 영향에 대해서는 특정 형상에 국한된 수치 계산 결과가 제시되어 있을 뿐 조직적인 설계에 충분한 자료가 나와 있지 않아 본 연구에서는 보다 다양한 형상에 대한 수치 해석을 수행하여 이를 바탕으로 최적 형상 도출에 적합한 무차원화된 형상 변수를 도출하였다. 다음 그림과 표는 수치 해석이 이뤄진 형상에 대한 정보를 보여준다.

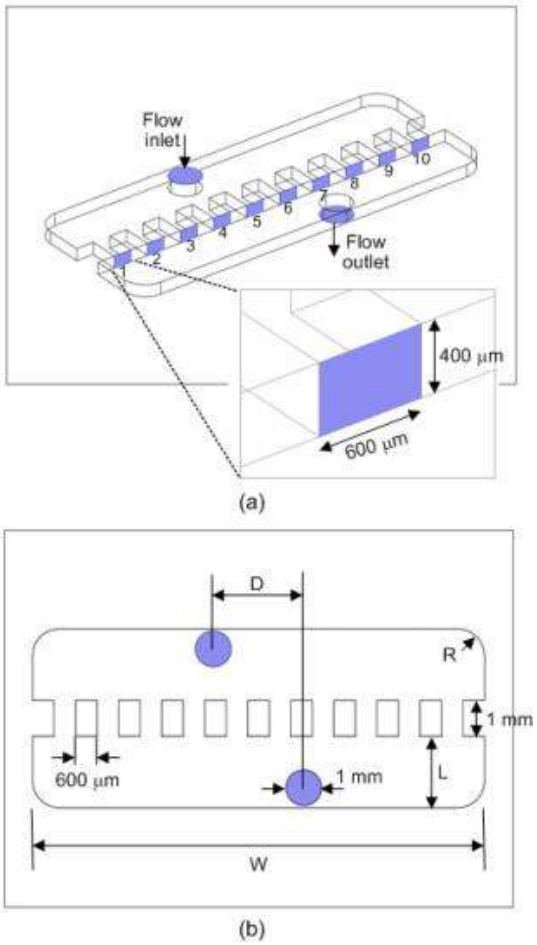


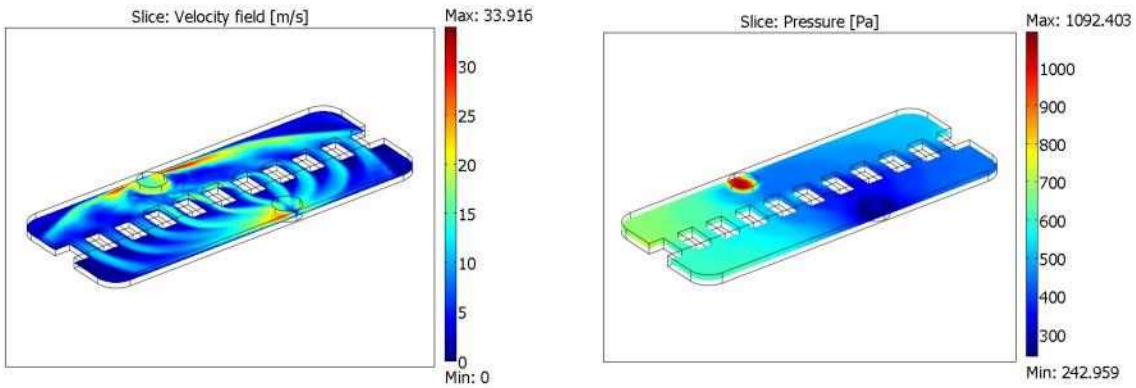
그림 3-6. 해석이 이뤄진 형상. (a) 3차원 형상. (b) 평면도.

표 3-5. 해석된 각 경우의 치수 및 유량

Case	D (mm)	W (mm)	L (mm)	R (mm)	Total flow rate (mL/s)
1	0	12.6	2	0	16.2
2	1.26	19.8	5	0.75	25.9
3	1.26	12.6	2	0	16.2
4	2.52	12.6	2	0	16.2
5	3.78	12.6	2	0	16.2
6	3.78	5.4	1.5	0.75	6.48
7	7.56	12.6	2	0	16.2
8	7.56	12.6	1.5	0.75	16.2
9	11.34	12.6	2	0	16.2
10	2.52	5.4	2	0.75	6.48
11	2.52	7.8	2	0.75	9.72
12	2.52	15	2	0.75	19.4
13	2.52	12.6	1.5	0.75	16.2
14	2.52	12.6	3	0.75	16.2
15	2.52	12.6	4	0.75	16.2
16	2.52	12.6	5	0.75	16.2
17	2.52	12.6	2	0.5	16.2
18	2.52	12.6	2	0.75	16.2
19	2.52	12.6	2	1	16.2
20	2.52	12.6	2	2	16.2

계산이 이뤄진 형상의 경우, 유로의 폭, 높이, 길이는 각각 0.6, 0.4, 1 ㎜이며, 입, 출구간 폭 방향 거리, 매니폴드 전체 폭, 매니폴드 길이, 매니폴드 구석의 곡률 반경 등 총 4가지 형상 변수가 유동 분배의 균일도에 미치는 영향을 수치 계산하였다.

수치 해석에는 COMSOL Multiphysics 3.5a를 사용하였다. 표 3-6의 유량값에 따라 계산된 유속을 입구 조건으로, 대기압을 출구 조건으로 주었고 Mesh는 질량 보존과 같은 물리적인 타당성을 위해 만족해야 하는 조건들을 만족하면서도 신속한 계산 결과를 얻을 수 있도록 형상에 따라 최적화하였다. 다음 그림은 Case 18에 대한 유속 및 압력 분포 결과를 보여준다.



(a) (b)

그림 3-7. Case 18에 대한 (a) 유속 및 (b) 압력 분포

각 마이크로채널을 통과하는 유량을 계산하기 위해 각 마이크로채널의 출구 단면상에서 유속을 적분하였으며, 그 결과 아래 그래프와 같은 결과를 얻었다.

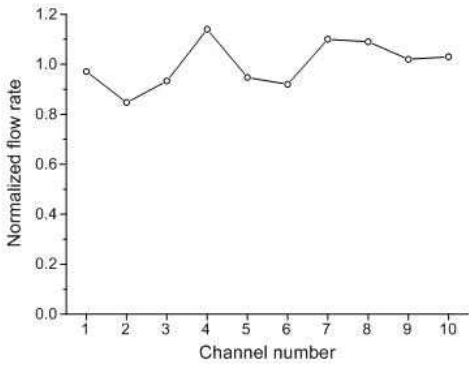


그림 3-8. 각 마이크로채널 통과 유량 (Case 18)

유동 분배의 균일도를 정량화하기 위해 앞서 계산한 각 마이크로채널을 통과하는 유량값들을 규격화하고 규격화한 값들의 표준 편차를 바탕으로 다음 식과 같은 유동 분배의 균일도를 정의하였다. 이 값은 유동 분배 균일도가 가장 나쁠 때가 0, 가장 좋을 때가 1이 된다.

$$U = 1 - (\text{standard deviation of flow rates}) \tag{3.1}$$

다음 그림은 앞서 언급한 네 가지 형상 변수들의 변화가 유동 분배 균일도에 어떤 영향을 미치는지 보여 주고 있다. 매니폴드의 폭이 감소하거나 매니폴드의 길이가 증가하게 되면 유동 분배의 균일도는 증가하다가 어느 값 이상은 더 이상 증가하지 않게 되는 것으로 나타나는데 이는 기존에 보고되어 있는 경향성과 일치한다. 입, 출구의 폭 방향 거리의 경우에는 유동 분배의 균일도를 극대화하는 최적의 값이 존재하는 것으로 나타나며, 매니폴드 구석의 곡률 반경이 유동 분배의 균일도에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타난다.

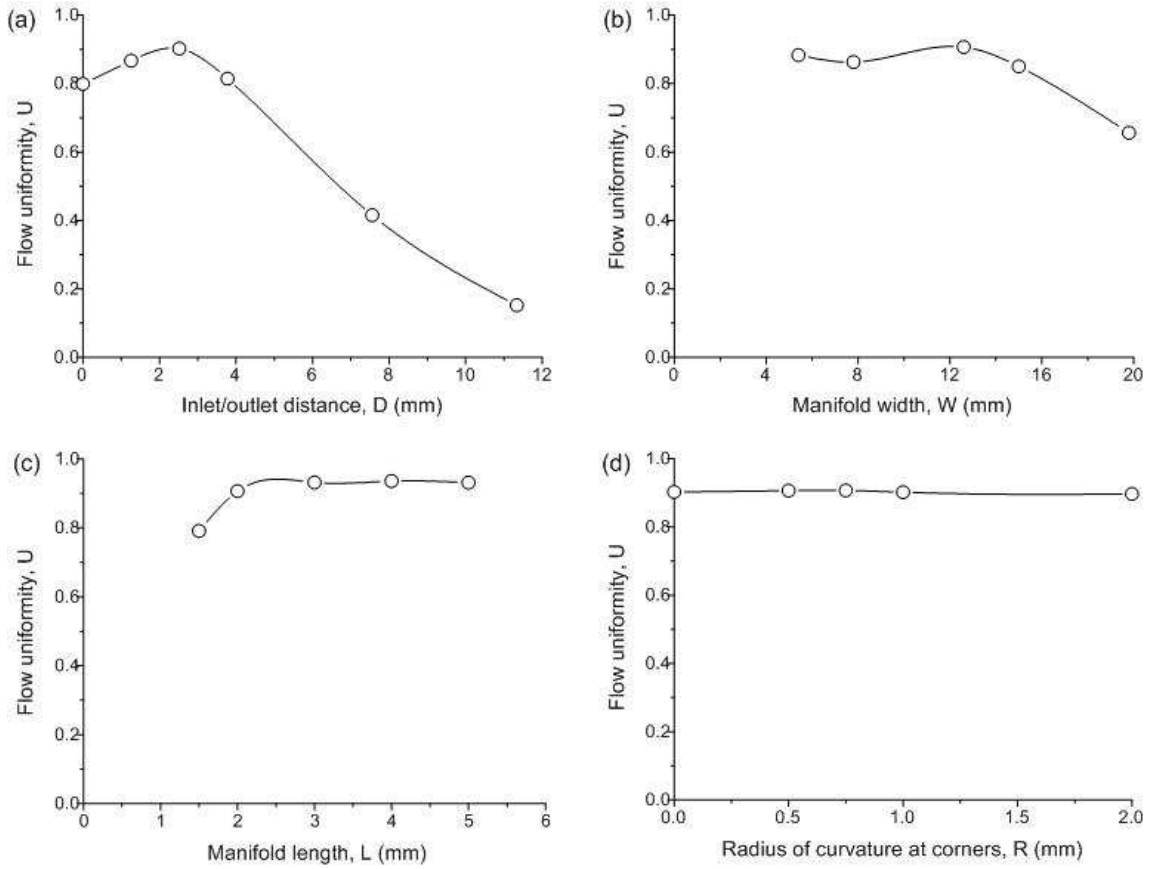


그림 3-9. (a) 입, 출구의 폭 방향 거리, (b) 매니폴드의 폭, (c) 매니폴드의 길이, (d) 매니폴드 구석의 곡률 반경이 유동 분배의 균일도에 미치는 영향

상기의 결과로부터 조직적인 매니폴드의 최적 형상 설계에 도달하기 위해 다음 식과 같은 무차원화된 형상 변수를 정의하였으며, 그 결과 아래 그림과 같이 모든 계산 결과들이 하나의 곡선 위로 모아질 수 있음을 확인하였다.

$$G = \frac{D(W+L)}{2WL} \tag{3.2}$$

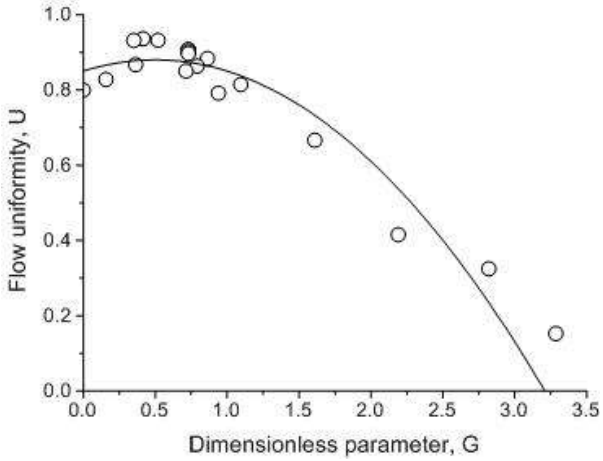


그림 3-11. 무차원화된 형상 변수에 따른 유동 분배의 균일도의 변화

상기 그림은 무차원화된 형상 변수 G가 0.5 근처일 때 유동 분배의 균일도가 극대화됨을 보여준다. 따라서 매니폴드 형상 설계는 무차원 형상 변수의 값이 0.5 근처가 되도록 전체적인 형상을 조정하는 방향으로 설계가 이뤄져야 한다.

유동해석 소프트웨어인 ANSYS CFX를 이용하여 열교환기 헤더 형상에 대한 유동특성을 파악하였다. 다양한 헤더 형상별로 시뮬레이션을 수행하였으며 본 연구의 대상인 플랜트용 마이크로 채널처럼 채널폭/길이의 비가 큰 경우 헤더 분리형은 균일한 유동분포를 구현하기가 매우 어려운 것으로 나타났으며 균일 유동을 구현하기 위한 헤더 형상의 변화는 입출구 배열에 따라 다르게 고려되어야 한다.

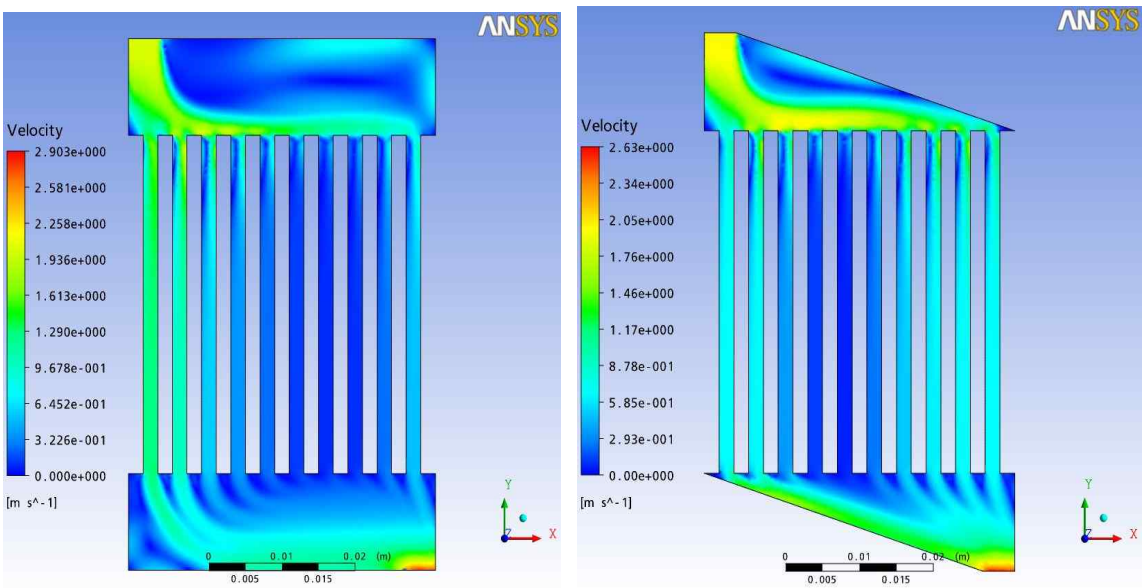


그림 3-12. 헤더에서의 유속분포 해석 결과

나. 마이크로 채널의 단위채널에 대한 열유동 해석

전체 마이크로채널 열교환기 열유동 해석에 앞서서 단위 채널 (single channel)에 대한 grid test를 수행하였으며 다양한 채널 형상에 대한 기본적인 압력강하 및 열전달 특성을 파악하였다.

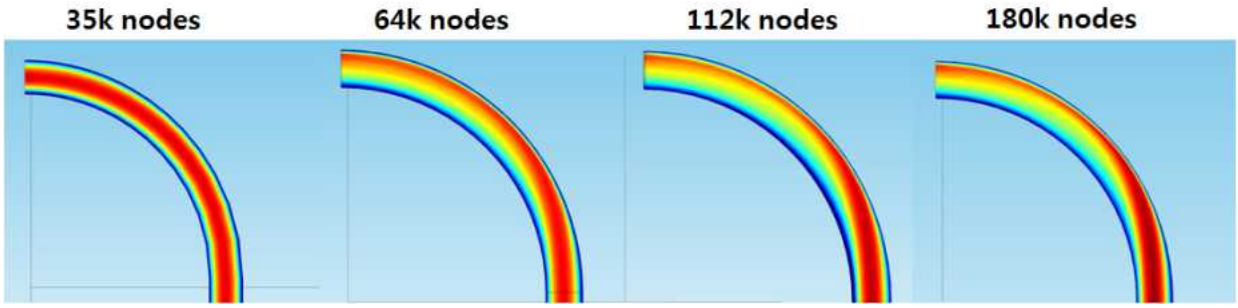


그림 3-13. S자 단위 마이크로채널

열전달 성능을 보기 위하여 아래 그림과 같은 단위 마이크로 채널 형상에 대한 해석을 수행하였으며, 채널 재질 내부의 열전도와 유체 유동에 의한 대류열전달을 같이 계산하는 복합 열전달 (conjugate heat transfer) 문제에 대한 해석을 수행하였다.

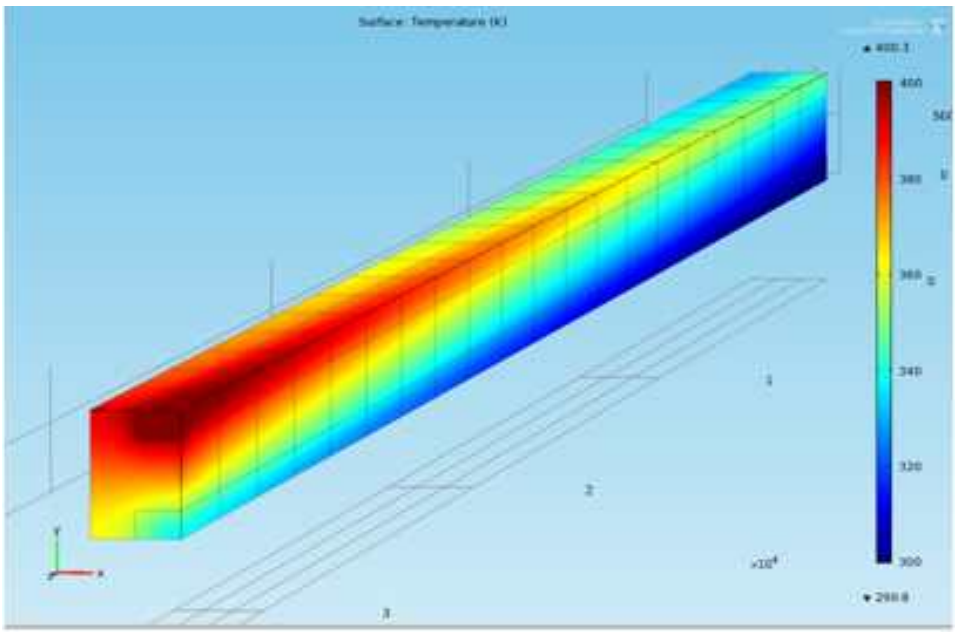


그림 3-14. Counterflow 단위 마이크로 채널의 열유동 해석 결과

다. 마이크로 채널 형상에 따른 해석 수행

마이크로 채널 열교환 구조의 최적형상을 얻기 위하여 단위 지그재그 채널에 대하여 다양한 zigzag 각도에 따라 같은 입구 및 경계 조건을 주어 해석을 수행하였다.

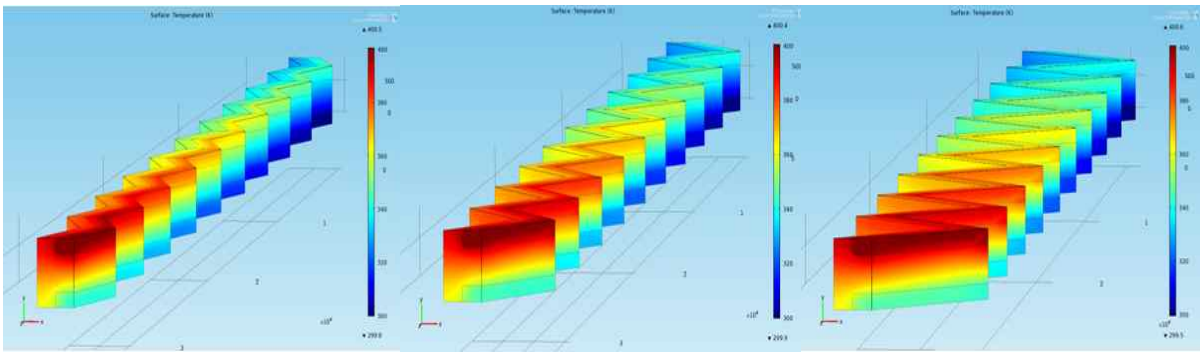


그림 3-15. Zigzag 각도에 따른 counterflow 마이크로채널 내부의 온도 분포
(zigzag 각도는 좌로부터 각각 15, 30, 45도)

상기 해석결과를 토대로 단위 채널에서의 극저온 환경 열유동 해석 수행. 동일한 형상에 대하여 고온, 저온 유체를 각각 메탄과 질소로 바꾸어 계산을 수행하였다.

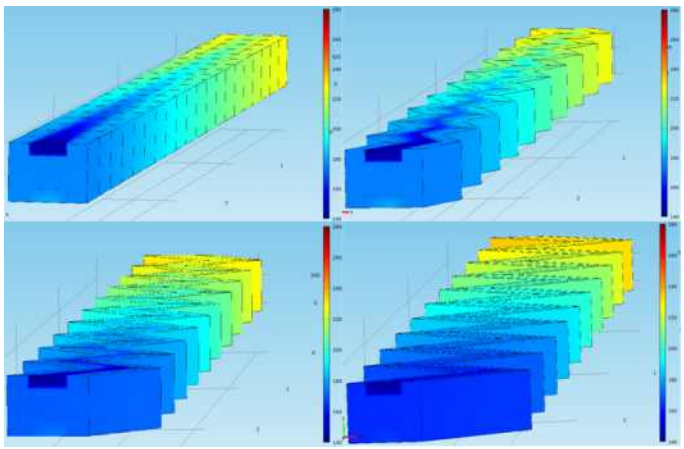


그림 3-16. 극저온 환경에서의 zigzag counterflow 마이크로채널의
열유동 해석 결과

라. 단위박판 재질에 따른 열유동 해석 수행

단위 박판 재질을 stainless steel(SUS316), Ni과 Al로 바꾸어 가면서 열교환기의 성능을 비교하였다. 다음 그림처럼 단위박판 재질에 따라 상이한 마이크로 채널 열교환기에 대한 열유동 해석 결과를 도출하였다.

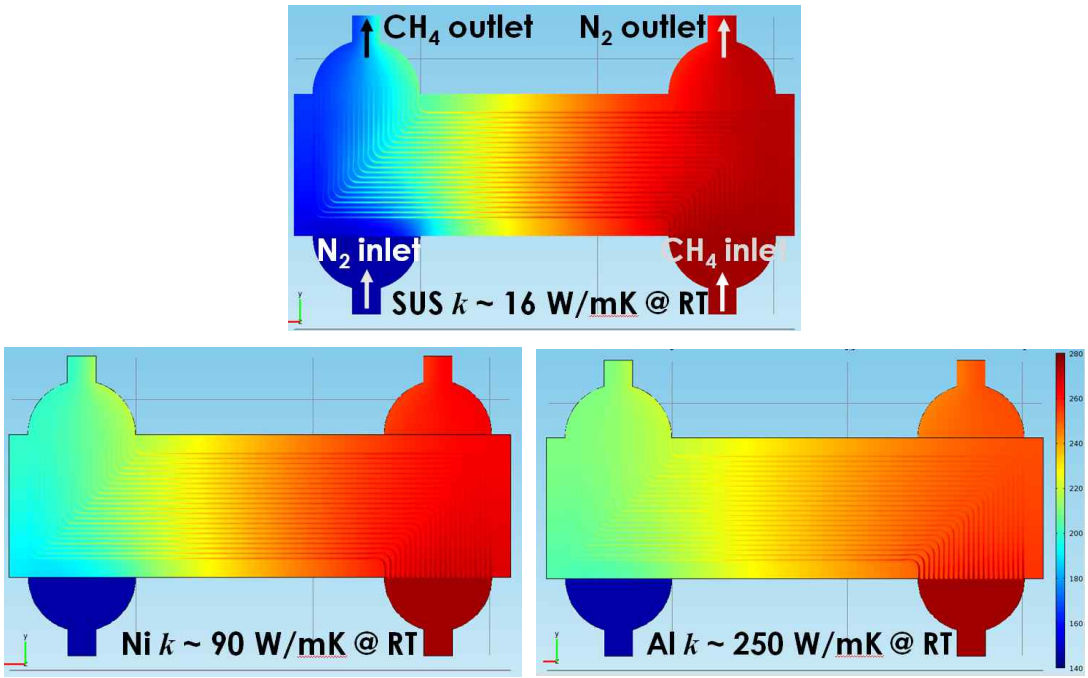


그림 3-17. 열유동 해석을 위해 구현된 마이크로채널 열교환기 단위 모듈 형상

3. Lab-scale 마이크로채널 열교환기 설계

가. 1 kW급 마이크로채널 열교환기 설계

액화용 마이크로채널 열교환기 설계를 위해서는 원칙적으로 액화시키고자 하는 기체와 냉매가 마이크로채널 내에서 어떤 형태의 이상 유동을 보이는지, 그리고 그에 따라 압력 강하 및 상변화 열전달 특성은 어떻게 되는지에 대한 정보가 필요하다. 하지만 천연가스를 액화하면서 상기 정보들을 실험적으로 수집한 사례는 찾아보기 힘들기 때문에 일단은 문제를 단순화하기 위해 유로의 단면 형상이 사각형이며 유로 벽면의 온도는 균일하고 완전발달된 열유동이며 냉매로 사용되는 액체 질소는 과량을 사용한다는 등의 가정을 세웠다.

상기 가정 하에서 단상 유동인 경우와 이상 유동인 경우로 나누어 열교환에 필요한 길이와 그 길이 구간에서의 압력 강하량에 대한 식을 다음과 같이 얻었다. 식 (3.3)은 실온에서 상변화 온도까지 천연가스의 온도를 떨어뜨리는 데 필요한 길이를, 식 (3.4)는 그 길이 구간에서의 압력 강하량, 식 (3.5)은 상변화 온도에 도달한 천연가스를 완전히 액화시키는 데 필요한 길이, 식 (3.6)는 그 길이 구간에서의 압력 강하량을 나타낸다.

$$L_{tc} = -\frac{\dot{m}c_p}{2h(W+H)}\ln\left[\frac{T_{m,pc}-T_0}{T_{m,in}-T_0}\right] = -\frac{\dot{m}c_p D_h}{4hWH}\ln\left[\frac{T_{m,pc}-T_0}{T_{m,in}-T_0}\right] = -\frac{\dot{m}c_p D_h^2}{4WHk_g Nu}\ln\left[\frac{T_{m,pc}-T_0}{T_{m,in}-T_0}\right] \quad (3.3)$$

$$\Delta p_{tc} = f\frac{(W+H)L_{tc}}{WH}\rho_g U_{tc}^2 = \frac{2}{D_h}fL_{tc}\rho_g U_{tc}^2 = \frac{2\mu_g}{D_h^2}L_{tc}U_{tc}f\,\mathrm{Re}_{D_h} = \frac{2\nu_g L_{tc}\dot{m}}{D_h^2 WH}f\,\mathrm{Re}_{D_h} \quad (3.4)$$

$$L_{pc} = \frac{\dot{m}h_{fg}}{2h(W+H)(T_{m,pc}-T_0)} = \frac{\dot{m}h_{fg}D_h}{4hWH(T_{m,pc}-T_0)} = \frac{\dot{m}h_{fg}D_h^2}{4WHk_f Nu(T_{m,pc}-T_0)} \quad (3.5)$$

$$\Delta p_{pc} = \frac{2\mu_f}{D_h^2}L_{pc}U_{pc}f\,\mathrm{Re}_{D_h} = \frac{2\nu_f L_{pc}\dot{m}}{D_h^2 WH}f\,\mathrm{Re}_{D_h} \quad (3.6)$$

천연가스는 지역에 따라 조성이 서로 다르다고 알려져 있지만 천연가스의 대부분은 메탄이기 때문에 메탄의 물성치를 가지고 계산하였으며 사용된 물성치들은 다음 표와 같다.

표 3-6. 사용된 물성치

	물성치	비고
c_p (천연가스 기체의 평균 비열)	2140 J/kgK	1기압, 111.51K~293K
k_g (천연가스 기체의 평균 열전도도)	0.0223 W/mK	1기압, 111.51K~293K
Nu	2.89	
υ_g (천연가스 기체의 평균 운동학적 점도)	0.00000947 m^2/s	1기압, 111.51K~293K
h_{fg} (천연가스의 기화 잠열)	511000 J/kg	1기압
k_f (천연가스 액체의 열전도도)	0.184 W/mK	1기압, 포화상태
υ_f (천연가스 액체의 운동학적 점도)	0.000000277 m^2/s	1기압, 포화상태
fRe_{Dh}	14.2	

천연가스의 질량 유량은 천연가스의 온도가 실온에서부터 상변화 온도까지 떨어진 후 완전히 액화되는데 필요한 열전달량이 목표값인 1 ㎾가 되도록 계산하였으며, 그 결과 필요한 천연 가스의 질량 유량은 1.11 g/s인 것으로 나타났다. 마이크로채널의 폭은 900 ㎛, 높이는 600 ㎛로 설정하고 식 (3.3)-(3.6)로 열교환에 필요한 마이크로채널의 길이와 이때 예상되는 압력 강하량을 계산하였다.

필요한 마이크로채널의 길이를 계산하면 이에 따라 열교환기의 전체 길이를 예상할 수 있는데 현재로서는 열교환기 제작 크기에 제한이 있기 때문에 예상되는 열교환기의 길이는 20 ㎝ 이하로 제한하였다. 또한 압력 강하량은 1기압 이하가 되도록 제한하였다.

상기 두 제한 조건들을 바탕으로 필요한 마이크로채널의 개수를 결정할 수 있고 외부와의 유로 연결 등을 고려하여 한 금속판 상에 몇 개의 마이크로채널을 배치하고 이에 따라 몇 개의 금속판을 적층해야 하는지를 결정할 수 있다. 계산 결과, 길이가 4 ㎝인 600 개의 마이크로채널이 천연가스와 냉매 각각에 필요하다는 결론에 도달하였으며, 각 금속판에 30 개의 마이크로채널을 배치함으로써 천연가스가 통과하는 마이크로채널이 가공된 20 개의 금속판과 냉매가 통과하는 마이크로채널이 가공된 20 개의 금속판이 번갈아 적층되는 구조가 되도록 결정하였다.

해석 결과를 토대로 형상 및 용량을 선정하여 lab-scale 실험용 마이크로 채널 열교환기를 설계하였다. 단위 마이크로채널의 열유동 해석 결과를 토대로 전체 마이크로채널 열교환기 모듈에 대한 CFD해석을 수행하였으며, 해석 결과를 토대로 극저온 환경에 적합한 재질을 선정하였다.

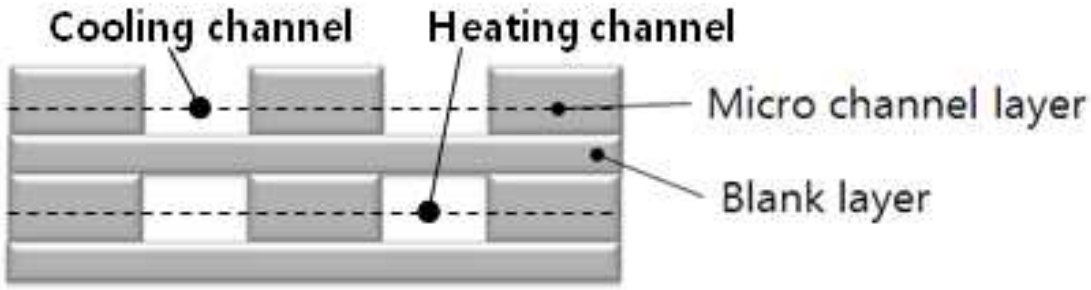


그림 3-18. 적층된 마이크로채널 단위 박판의 단면

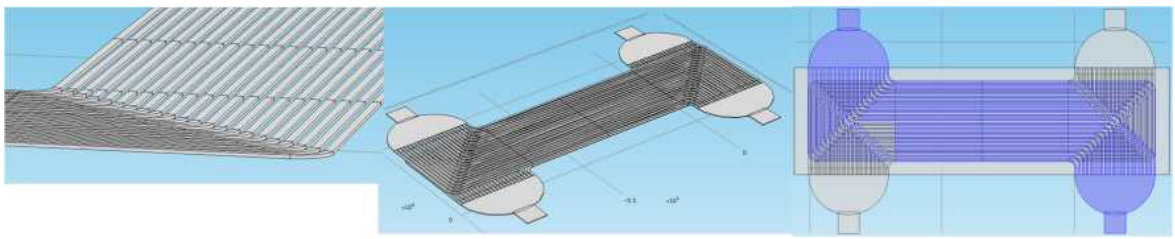


그림 3-19. 열유동 해석을 위해 구현된 마이크로채널 열교환기 단위 모듈 형상

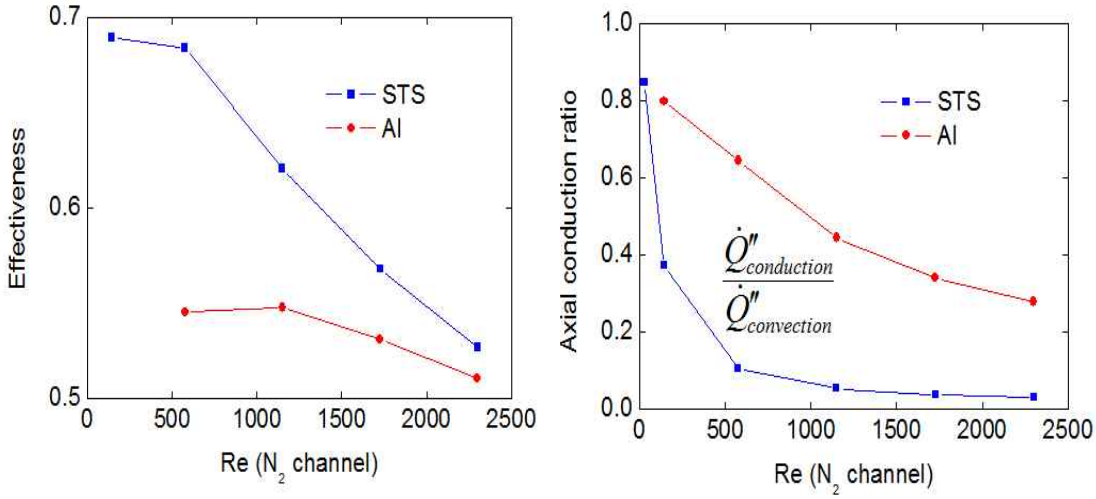


그림 3-20. 재질에 따른 대류열전달 및 축방향 전도열전달 비교

4. Lab-scale 마이크로채널 열교환기 제작

가. 1 kW급 마이크로채널 열교환기 시제품 제작

극저온 실험조건에서 1 kW급 용량을 낼 수 있는 단위박판 설계 및 적층 수를 선정하고 헤더형상을 설계하였다. 설계된 마이크로채널 열교환기는 다음 그림과 같은 절차를 따라 제작하였다. 먼저 에칭 공정으로 금속판에 마이크로채널을 형성한 후, 이들을 적층하고 접합하여 열교환 코어를 만들고 최종적으로 유로에 맞게 헤더를 용접하여 완성하였다.

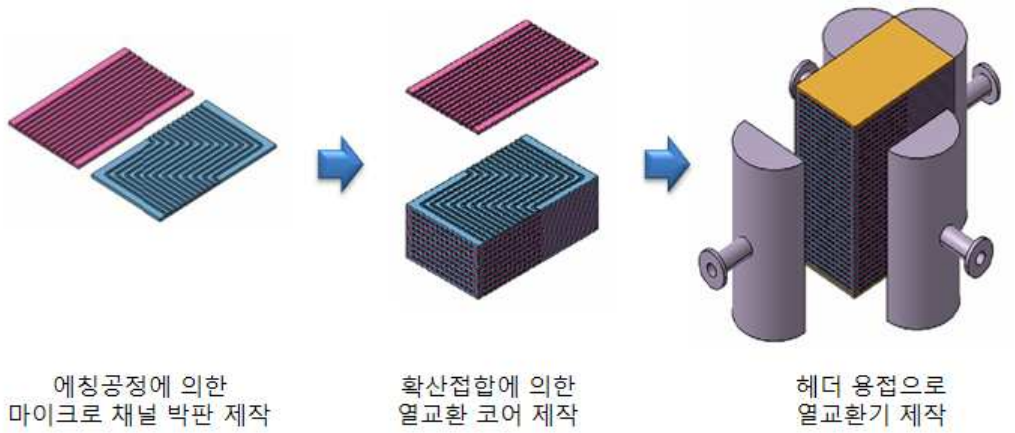


그림 3-21. 마이크로채널 열교환기 제작 절차

본 연구에서는 금속판의 재료로 SUS316을 사용하였고 습식 에칭 방법으로 금속판에 마이크로채널을 형성하였다. 습식 에칭 방법의 경우 에칭 깊이를 정확하게 제어하기 어렵기 때문에 마이크로채널 높이와 같은 600 ㎛ 두께의 SUS316 판에서 마이크로채널 자리에 해당하는 영역을 습식 에칭으로 관통시키고 그 위, 아래에 300 ㎛ 두께의 SUS316판을 덧대는 방법으로 마이크로채널을 형성하였다. 아래 그림은 에칭 공정에 의해 마이크로채널 영역이 관통된 SUS316 판의 모습을 보여주고 있다.

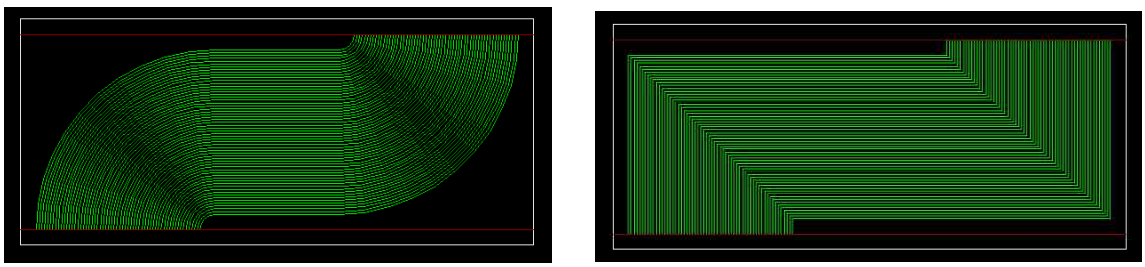


그림 3-22. 1 kW급 단위 금속판 도면

이와같이 습식 에칭을 통해 단위박판에 마이크로 채널을 식각한 후 다양한 형상에 대한 확산접합을 수행한 후 접합면을 관찰하여 접합조건의 적합성을 평가하였다.

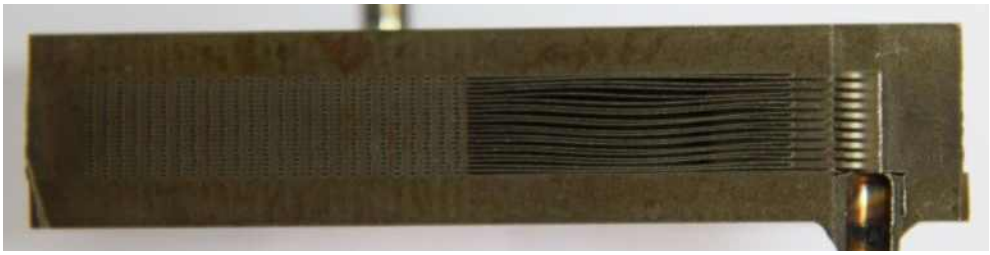


그림 3-23. 확산접합 후 단면절개로 접합 적합성 평가

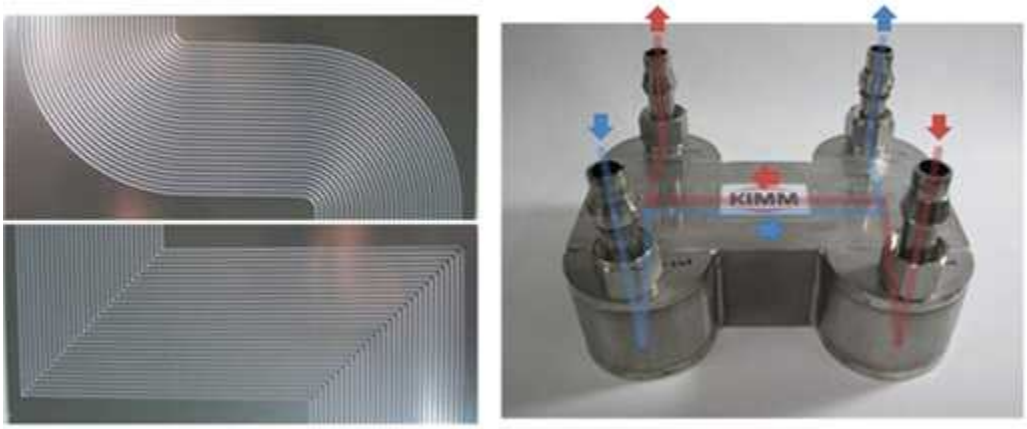


그림 3-24. 식각을 통해 제작된 마이크로채널단위 금속판 및 제작된 시제품

제작된 마이크로채널 열교환기의 구조적 평가를 위하여 내압시험을 수행하기 위하여, 그림과 같이 상온내압 시험 장치를 제작하여 전체 내압 70기압, 열교환 유로 간 50기압 내압의 시험을 수행하였다. 내압시험 수행결과 상기 압력에서 충분한 내압성을 지닌 것으로 판정되었다.



그림 3-25. 상온 내압시험 장치 및 내압시험 수행 결과

5. 마이크로채널 열교환기 내 유동 분배 가시화를 위한 기초 실험

수치 해석 결과의 타당성 검증을 위해 앞서 해석한 경우 중 하나에 대해 유동 가시화를 시도해 보았다. 다음과 같이 수치 해석한 형상과 같도록 제작한 미세유동 칩은 실리콘 재질의 판에 유로가 형성되어 있고 그 위를 유리판이 덮고 있는 구조를 가지고 있다.



그림 3-26. 유동 가시화 실험을 위한 미세유동 칩

제작된 미세유동 칩 내에 직경 0.71 ㎛의 형광 입자들이 분산된 물을 주입하면서 칩 내 유동을 Micro PIV (Particle Image Velocimetry) 기법으로 가시화하였다. Micro PIV 기법이란, 입자들의 움직임을 추적하여 유동장을 산출해 내는 PIV 기법을 현미경과 결합하여 미세 유로 내에서의 유동장을 가시화하는 방법이다. 아래 그림은 1번 마이크로채널 내 형광 입자들의 모습을 2 ㎳ 간격으로 촬영한 영상을 보여준다.

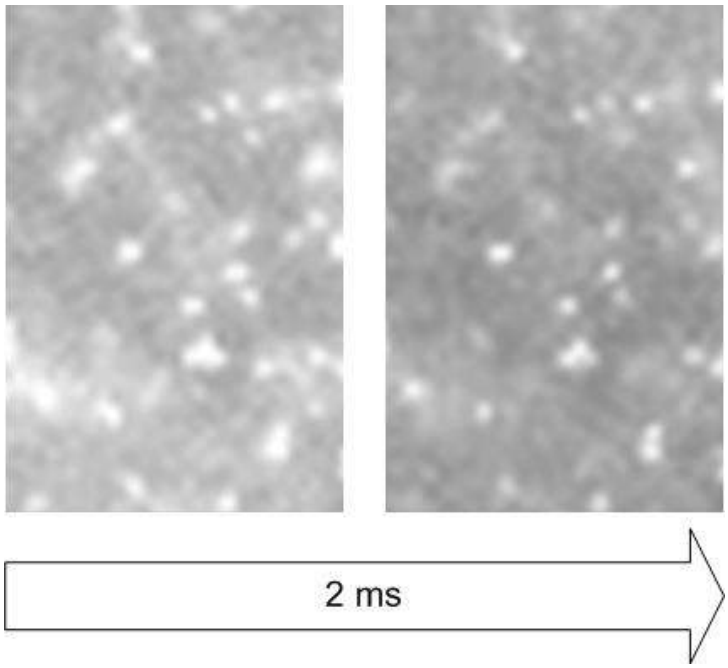


그림 3-27. 2 ㎳ 간격으로 촬영한 마이크로채널 내 형광 입자들의 모습

연속으로 촬영된 영상들로부터 입자의 유속을 계산하여 유속 분포를 정리하면 아래와 같은 그림을 얻을 수 있다. 실험에 사용된 미세유동 칩의 경우 입구와 출구가 중앙에서 마주보고 있기 때문에 중앙에 가까운 5번 마이크로채널 근처의 유속이 가장 빠르고 가장 가장자리에 위치하는 1번 마이크로채널 근처의 유속이 가장 느린 것을 확인할 수 있다.

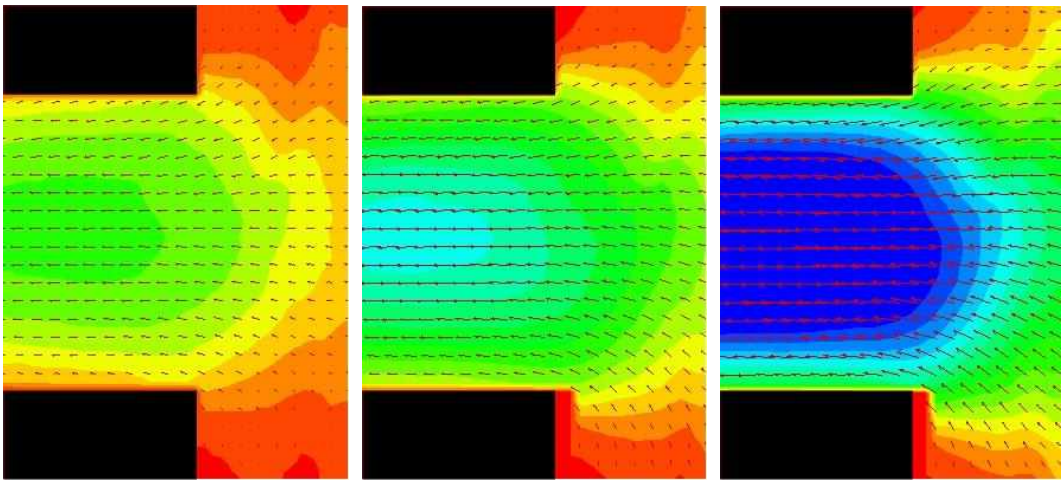


그림 3-28. 유동장 가시화 결과. (좌) 마이크로채널1 (중앙) 마이크로채널3 (우) 마이크로채널5

Micro PIV 실험을 통해 미세유동 칩 내의 유속 분포를 얻게 되면 각 마이크로채널 입구 면에서 유속을 적분하여 각 마이크로채널로 분배되는 유량을 계산할 수 있으며, 이를 가지고 유동 분배의 균일도에 대한 실험 결과를 얻을 수 있다. 이와 같은 방식으로 유동 분배의 균일도를 정량적으로 평가할 수 있으며, 마이크로채널 열교환기 내부에서 어떤 유동 특성이 나타나고 이러한 유동이 상변화 열전달에 어떤 영향을 줄 수 있을지에 대한 면밀한 조사를 할 수 있다. 따라서 실제 마이크로채널 열교환기 실험과 더불어 동일한 형상을 가지는 미세유동 모사 칩에서의 가시화 실험도 병행하여 열교환기 성능 개선을 위한 정보 수집에 활용하였다.

6. Lab-scale 마이크로채널 열교환기 실험장치 제작 및 극저온 상변화 열전달 시험 수행

가. Lab-scale 마이크로 채널 열전달 실험장치 구축

1 kW급 마이크로 채널 열교환기의 열적 성능과 열교환 효율 및 압력강하 특성을 측정하기 위하여 성능실험장치를 구축하였다. 극저온 상변화 열교환 실험을 위하여 1차 유체로는 메탄가스(CH_4, 99.95%)를 사용하였고, 2차 유체로는 액화질소(LN_2)를 적용하였다.

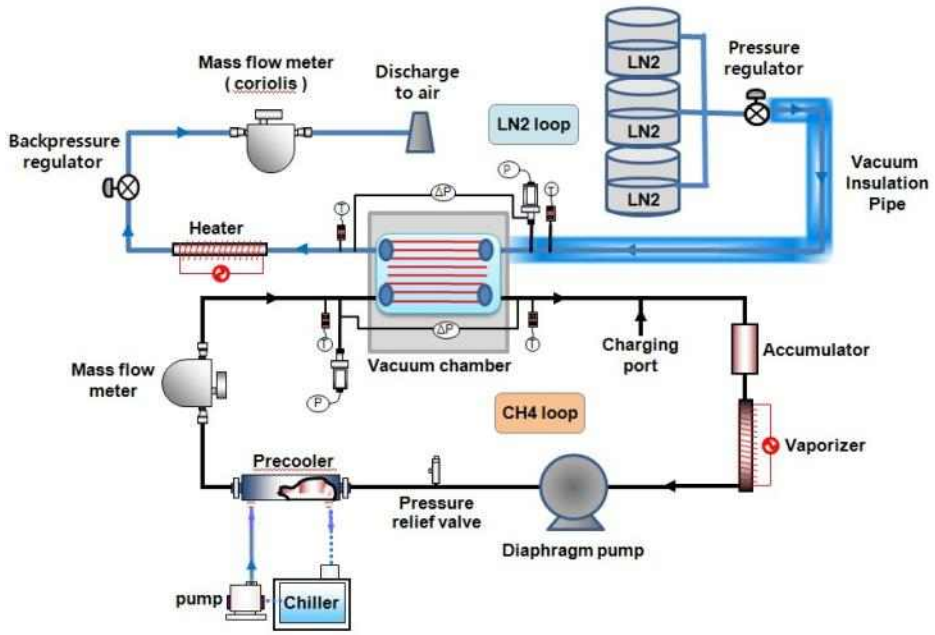


그림 3-29. Lab-scale 실험장치 구성도



그림 3-30. Lab-scale 실험장치



그림 3-31. 시험용 열교환기 장착모습과 가시화 창

시험용 열교환기는 -196℃의 극저온 조건에서 열교환을 수행하므로 높은 수준의 단열이 필요하다. 이를 위해 그림과 같은 진공챔버를 제작하여 시험 열교환기를 설치 후 슬라이딩 방식으로 개폐할 수 있도록 하였고 액화 상태의 가시화를 위한 가시창을 설치하였다.

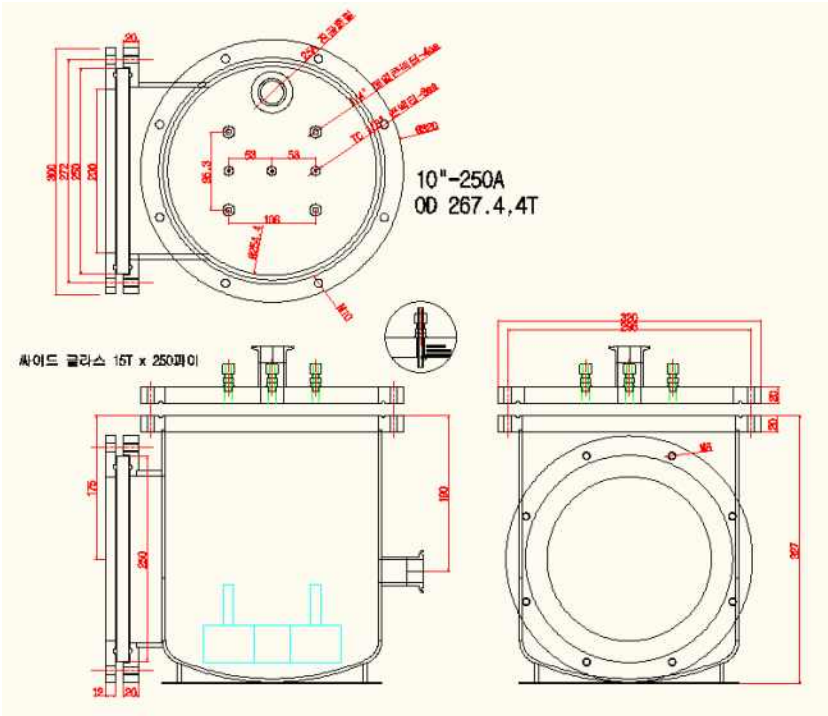


그림 3-32. 열교환기 단열용 진공챔버

극저온용 압력센서(Thin-Film Cryogenic Pressure Transducer)는 OMEGA사 제품(PX1005L1-100AV)으로 측정 범위는 0 ~ 100 psi인 것으로 사용하였다. 적용 온도범위는 -196℃ ~ 149℃로 액체질소 압력을 직접적으로 측정가능하며 측정 정밀도(static accuracy)는 ±0.25%이다. 메탄가스의 액화과정을 관찰하기 위한 극저온용 가시창(viewport)은 CeramTec사 제품으로 가시부 재질은 사파이어이며 적용 온도범위는 -269℃ ~ 450℃인 것으로 초저온에서 극고온까지 사용 가능하며 내압성능은 28기압, 직경 14mm인 것을 적용하였다.

코리올리형 질량유량계 (Coriolis Mass Flow Meter)는 코리올리 힘의 작동원리를 적용한 질량유량계로 유량측정부가 작동유체에 직접 닿지 않아 내압성이 좋고 (100 bar) 극저온유체에 바로 적용 가능하며 (온도 적용범위 -240℃ ~ 204℃) 정밀도도 우수하다. Micro Motion사 제품을 사용하였으며 CH_4 측에는 기상에서 유량을 측정하고 LN_2측에서는 액상에서 유량을 측정한다. 유량측정의 정밀도는 ±0.10%이며 유량측정의 재현성은 ±0.05%이다.

메탄가스를 순환시키는 펌프는 오일과 같은 이물질이 가스에 혼입되지 않아야 하며, 메탄가스의 가연성으로 인하여 방폭성능을 가져야 하므로 다이어프램(Diaphragm) 타입의 순환펌프를 적용하였다. 다이어프램의 재질은 테플론(PTFE)이며 제조사는 KNF Neuberger사의 N0150ST.9E 모델, 모터의 방폭 클래스는 IP 55인 것을 선택하였다.

나. Lab-scale 마이크로 채널 열전달 실험 수행

전체적인 열전달계수, 열전달률, 압력손실은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{1}{U^*} = \frac{1}{U} + \Phi_U$$

$$Q^* = \Phi_Q Q$$

$$\Delta P^*_{n-n} = \Phi_{\Delta P} \Delta P_{n-n}$$

실험조건에서 측정된 열전달계수, 열전달률, 압력손실의 측정평균 (U, Q, ΔPn-n)은 측정상태와 기준상태의 보정인자(correction factor)를 통하여 기준상태(reference condition)에서 전체적인 열전달계수, 열전달률, 압력손실의 값 (U*, Q*, ΔPn-n*)으로 환산된다. 시험조건에서 열전달률은 고온유동과 저온유동 양측에서 계산되며 이는 시험조건에서 열교환기의 평균 열전달률을 결정하고 열평형을 확인하기 위함이다. 고온 유동과 저온유동의 열전달률은 각각 다음과 같이 계산된다.

고온유동	저온유동
$Q_h = m_h c_{p,h}(T_i - T_o)$	$Q_c = m_c c_{p,c}(t_i - t_o)$
m_h=고온유동의 질량유량 $c_{p,h}$=고온유동의 평균 비열 T_i=고온유동의 입구온도 T_o=고온유동의 출구온도	m_c=저온유동의 질량유량 $c_{p,c}$=저온유동의 평균 비열 t_i=저온유동의 입구온도 t_o=저온유동의 출구온도

가중 평균 열전달률은 기준상태 열전달률 예측에 사용되며 다음과 같이 표현된다.

$$Q_{ave} = \left(\frac{u_{Qh}^2}{u_{Qc}^2 + u_{Qh}^2}\right)Q_c + \left(\frac{u_{Qc}^2}{u_{Qc}^2 + u_{Qh}^2}\right)Q_h$$

uQc=시험조건에서 저온측 열전달률의 불확도
uQh=시험조건에서 고온측 열전달률의 불확도

열전달률의 계산에 사용되는 비열은 온도의 함수이기 때문에 열교환기 대표온도의 영향을 크게 받으므로 일반적으로 입출구 도의 평균으로 비열을 계산하며 입출구 온도변화가 큰 경우 엔탈피의 변화를 고려하여 비열을 산정한다.

유효평균온도차(EMTD)는 다음 식과 같이 가중 평균 열전달률로부터 총합 열전달계수를 계산하는데 사용되며 로그평균온도차(LMTD)와 보정인자 F를 사용하여 계산된다.

$$EMTD = (F)(LMTD)$$

시험조건에서의 총합 열전달계수(U)는 다음과 같다.

$$U = \frac{Q_{ave}}{A(EMTD)}$$

A=표준 열전달 면적

시험조건에서 평판의 벽면 열저항(Wall Resistance)은 다음과 같다.

$$R_w = \frac{\Delta X}{A_w k_w}$$

ΔX=평판 두께,
Aw=전체 평판에서 전체 열전달 면적

기준상태에서의 열교환기 성능은 시험조건에서와 동일하게 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$Q^* = m_c^* c_{p,c}^* (t_o^* - t_i^*)$$

$$Q^* = m_h^* c_{p,h}^* (T_i^* - T_o^*)$$

$$Q^* = U^* A (EMTD^*)$$

$$\frac{1}{U^* A} = \frac{1}{\eta_c h_c^* A_c} + R_f^* + \frac{1}{\eta_h h^{*_h} A_h} + R_w^*$$

이를 통해 기준상태의 총합 열전달계수와 열전달률을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$U^* = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{Q}{\eta_h A_h}\left(\frac{1}{h_h^*} - \frac{1}{h_h}\right) + \frac{Q}{\eta_c A_c}\left(\frac{1}{h_c^*} - \frac{1}{h_c}\right) + \left(R_w^* - R_w\right)}$$

$$Q^* = \frac{1}{1 + U\left[\frac{A}{\eta_c A_c}\left(\frac{1}{h_c^*} - \frac{1}{h_c}\right) + \frac{A}{\eta_h A_h}\left(\frac{1}{h_h^*} - \frac{1}{h_h}\right) + \left(R_w^* - R_w\right)\right]}$$

기준상태에서의 열교환기 성능의 불확도는 ASME PTC 19.1을 기준으로 측정 전과 후에 계산하며 다음의 요소를 고려하면 보다 정확한 측정이 가능하다.

(a) 열전달 영역: Flow blockage나 tube plugging과 같이 잘 알려지지 않은 열전달 영역에서의 불확도
(b) Wall resistance: Wall resistance의 변화가 큰 경우 열전도와 벽온도의 근사값의 사용에 의한 불확도
(c) 길이방향의 열전도: Recuperator와 같이 높은 온도구배를 가진 경우 유동 길이에 따른 길이방향의 열전도도에 의한 bias

1차 유체(CH_4)의 압력변화 및 유량변화에 따른 극저온 환경에서의 열전달 특성을 알아보기 위한 실험을 수행하였고 실험결과를 통해 총합 열전달계수와 전달열량을 계산하였다.

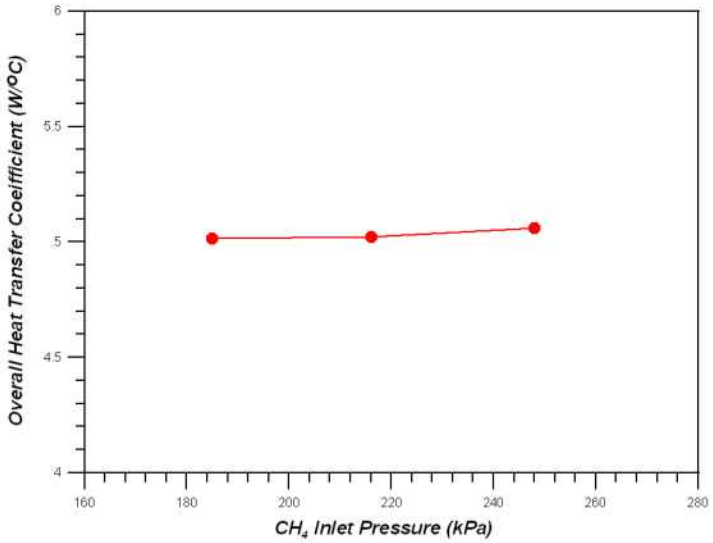


그림 3-33. 메탄 입구압력에 따른 총합 열전달계수 변화

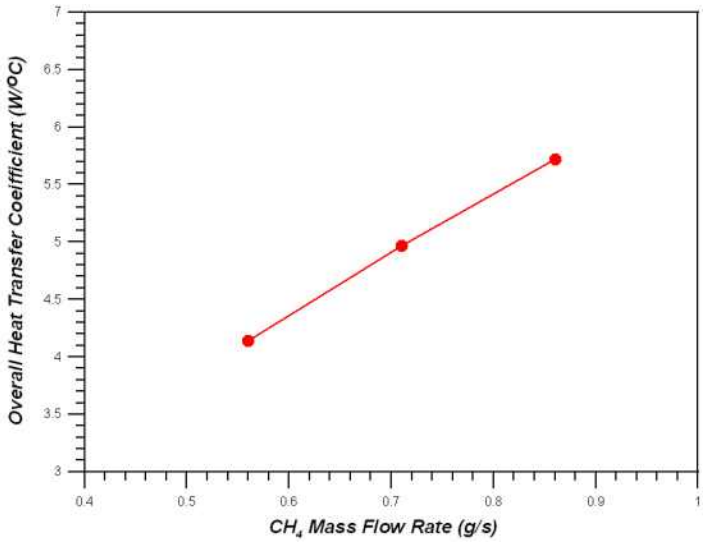


그림 3-34. 메탄 유량에 따른 총합 열전달계수 변화

7. 대면적 확산접합설비 개발

극저온용 마이크로 채널 열교환기 제작에서 핵심적인 부분이 확산접합이며, 이는 추가적인 이종의 용가제 없이 열교환기 원재료 금속만으로 금속 분자의 확산을 이용하여 접합이 이루어지므로 이종금속 재질에 의한 열팽창계수의 차이로 인한 극저온환경에서의 균열 발생등의 요인이 없다. 또한, 접합부의 계면 자체가 사라지므로 고온, 고압 초저온 등의 극한환경에서 탁월한 신뢰성을 보여주는 접합 방식이다.

현재 국내에서는 대학교 실험실의 Lab-scale 확산접합 설비 또는 중소기업의 소면적 확산접합 설비만 구축되어 있기 때문에 대면적 확산접합 설비를 본 연구에서 직접 개발하고, 실제 확산접합을 성공적으로 수행하기 위한 파라미터를 찾아 최적화하는 연구를 수행하였다.

본 연구 목표에 맞는 설비 사양을 도출하고 기본 및 상세 설계를 수행하여 대면적 확산접합 설비를 국내 최초로 개발하였다.

가. 대면적 확산접합 설비 설계

대면적 확산접합 설비는 접합시료에 대한 균일 가압이 대면적 접합성능 향상에 가장 중요하므로 균일가압을 위한 하부지지대 구조를 설계하였다. 이와 같은 확산접합을 위한 하부지지대를 통한 열손실을 막기 위하여 먼저 다수의 소형 지지대를 사용하여 지지대를 설계하여, 제작한 결과 지지대의 파손이 발생하였다. 따라서 상용 소프트웨어인 COMSOL을 이용한 수치해석으로 가압력에 따른 지지대의 집중하중을 계산하여 설계에 반영하였다.

4개의 소형 지지대를 이용하여 지지한 경우 지지대 내부 모서리에 집중하중이 발생하여 지지대의 재질인 graphite의 한계 압축강도를 상회하여 파손이 발생될 것으로 예측되었고 실제로 파손이 발생하였다.

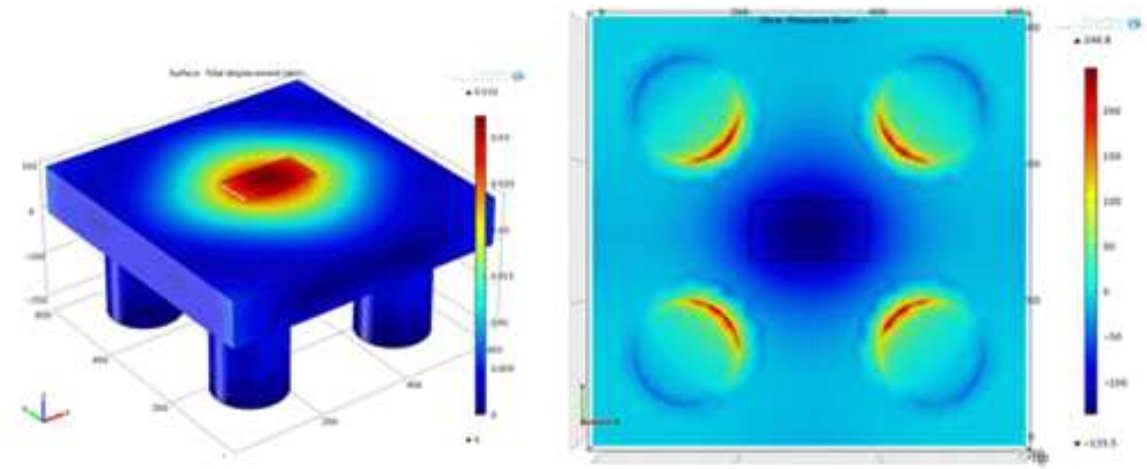


그림 3-35. 하중 해석을 통한 확산접합 하부지지 구조 설계

이에 따라 대형 단일 지지대로 설계를 변경하여 500 ton의 압축하중에도 견딜 수 있도록 설계를 변경하여 제작하였다. 대면적 확산 접합 장치의 히터 용량 및 열손실을 예측하기 위하여, COMSOL을 이용하여 대면적 확산 접합 장치 내부에 가장 열손실이 예상되는 하부 구조에 대한 수치해석을 수행하여 하부구조를 설계하였다. 가열로 내부는 직육면체 형태의 graphite로 이루어진 시편을 올려놓는 판이 있으며, 이 아래는 원기둥 형태의 graphite 지지대와 외부 frame 바닥면에 연결된 STS304 기둥이 존재한다. 계산조건으로 graphite 상판의 온도가 1300 K로 유지되며 STS304 아랫면이 360 K로 경계조건을 주었으며 나머지 면에서는 단열 조건을 주고 고체 구조물 내부의 전도 열전달을 계산하였다. 계산 결과로 STS304 바닥면을 통한 열손실은 6.6 kW로 전체 히터 용량에 비하여 미미한 수준으로 판단되었다.

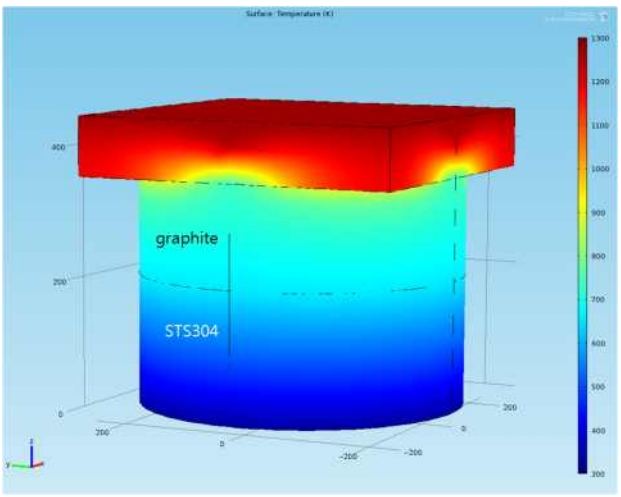


그림 3-36. 확산접합 장치 하부 graphite 및 STS304 구조물을 통한 열손실 계산

나. 대면적 확산접합 설비 시제품 제작

100 kW급 마이크로 채널 열교환기 시제품을 제작하기 위한 확산접합 설비의 제원을 도출하였다. 중요제원은 열교환기 코어를 접합하기 위한 가용체적(work zone)과 가압을 위한 유압프레스의 사양, 가열을 위한 히터의 용량, 진공분위기를 유지하기 위한 진공도 등이다.

표 3-7. 확산접합설비의 제원

Work Zone	
Dimension	600W × 600L × 400(mm)
Capacity	144 liter
Press	
Maximum working load	500 ton
Pressure method	Top pressurization
Material	Graphite
Heating quantity	
Maximum temperature	1,500 ℃
Working temperature	1,000 ℃
Heating rate	15℃/min

확산접합설비는 크게 진공단열로(vacuum furnace), Press 유압장치, 진공장치, 가열장치, 냉각장치, 제어장치(control panel) 등의 6 부분으로 구성된다. 접합 과정은 제작된 단위박판을 세척 및 건조 후 진공로에 넣고 산화방지를 위하여 진공공정을 실행한다. 진공조건이 달성된 후 접합 온도와 압력이 달성 될 때까지 가열 및 가압과정을 거친 뒤 특정기간 유지시킨 후 냉각과정을 거쳐 종료한다.

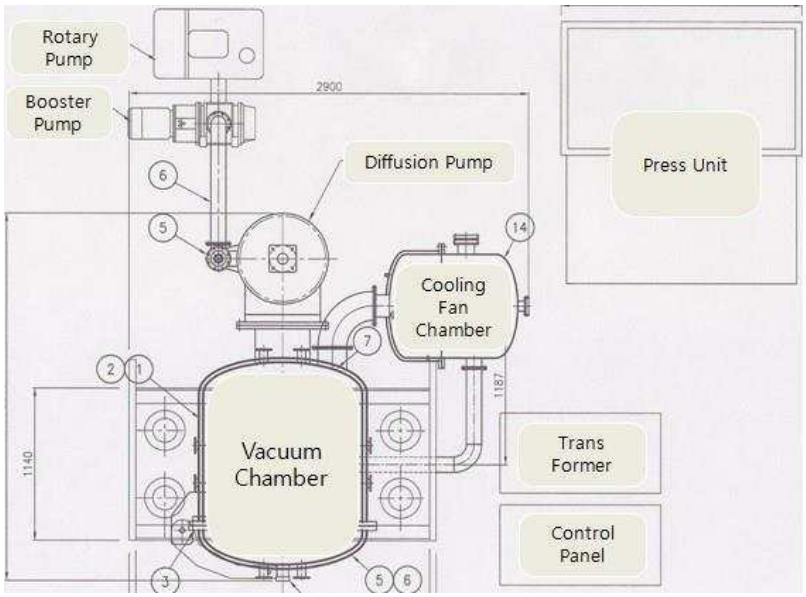


그림 3-37. 확산접합설비 구성도

확산접합시의 에너지 소비를 절감하기 위하여 접합할 시료의 크기에 따라 히터 크기를 가변할 수 있도록 설계를 변경하여 제작하였으며, 다음과 같이 히터가변형 확산접합로를 제작

하였으며 이에 대하여 특허출원을 하였다.

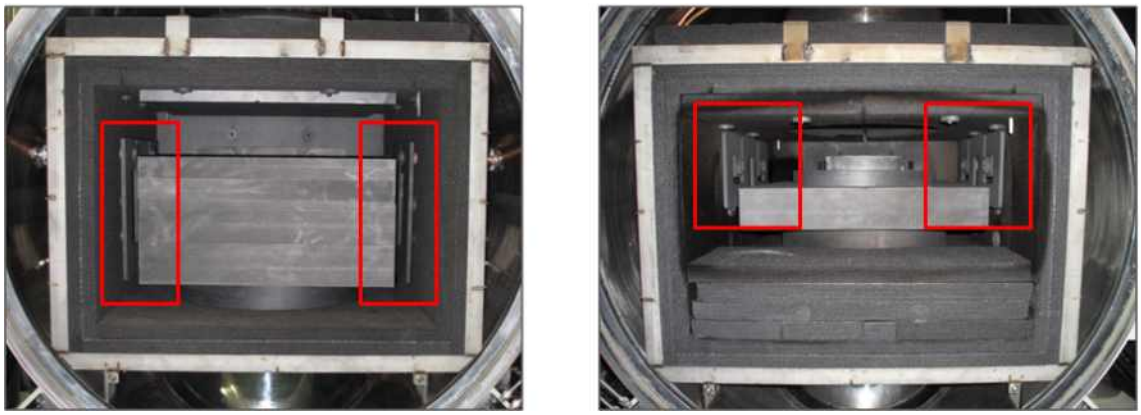


그림 3-38. 히터 교체전(좌), 교체후(우) 가변형 확산접합로



그림 3-39. 구축된 대면적 확산접합설비

다. 대면적 확산접합 설비 시제품 접합성능 평가

확산접합시 접합 조건 파라미터로는 가열 온도, 온도 상승률, 설정온도 도달 시 온도 지속 시간, 가압력, 진공도 등이 있는데 이를 최적화하는 것은 접합 결과를 좌우하기 때문에 가장 중요하다. 접합조건 최적화를 위하여 실제 열전대를 장착한 테스트 시료를 확산접합 설비 내부에 장착하여 외부 히터 동작에 따른 시료 내부의 온도상승률 및 도달온도를 측정한다. 파라미터를 변화시켜 접합한 각 시료는 실험 종료 후 절단하여 접합결과를 판정하여 최적의 접합 조건을 찾았다.

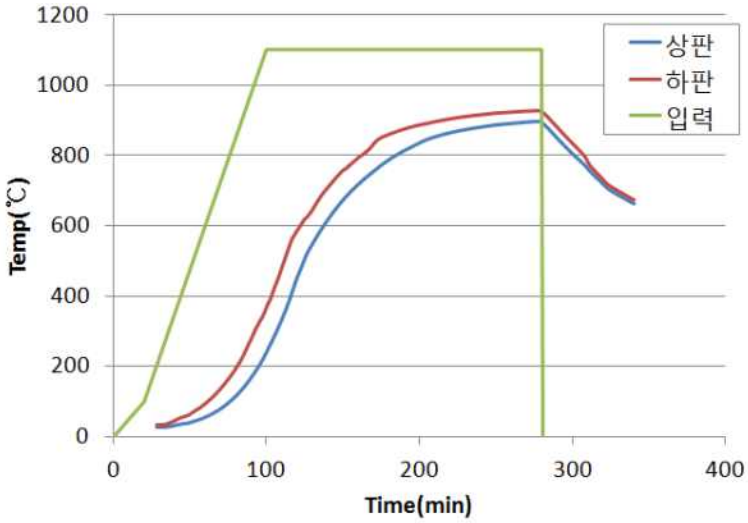


그림 3-40. 접합조건 탐색 시험

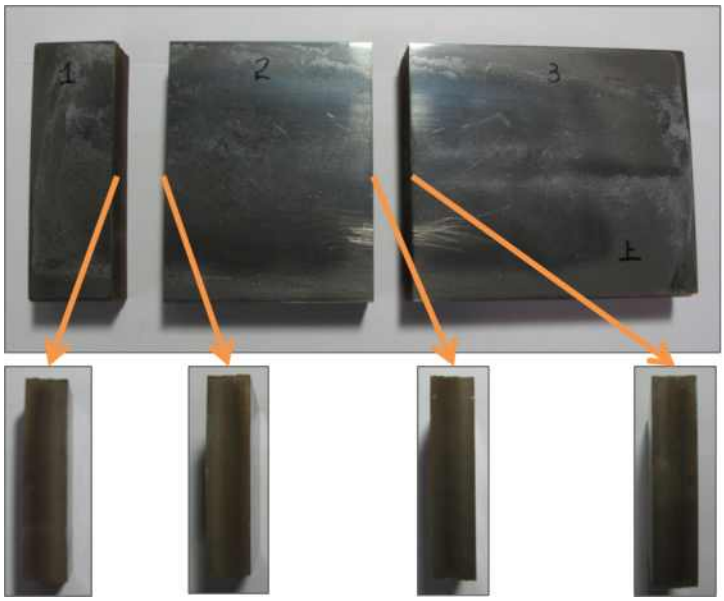


그림 3-41. 접합조건 시험 후 절단면 분석

8. Scale-up 및 대용량 마이크로 열교환기 설계 및 제작

가. Scale-up 마이크로 채널 열교환기 설계

1 kW 급 마이크로채널 열교환기 제작 경험 및 CFD 해석을 통하여 마이크로채널 열교환기 형상의 보완 및 용량 증대를 위하여 대면적 단위 박판을 제작하였다. 대용량 마이크로채널 열교환기의 제작을 위하여 기존 1 kW 급보다 박판 면적으로 약 5.1 배 정도 큰 300 X 200 mm^2 STS316 판을 기준으로 설계하였다.



그림 3-42. 대용량 마이크로채널 단위박판 크기 비교

단일 마이크로채널 면적은 기존 1 kW 급보다 약 9.6 배 증가하였으며 압력 강하 문제로 인하여 채널 길이를 최소화하였다. 현열을 기준으로 할 경우 단위 박판 판수 23 개일 때 10.3 kW 용량이며, 이 경우 상변화로 인한 잠열까지 고려할 경우 35 kW급 이상의 열교환 용량을 달성할 수 있다.

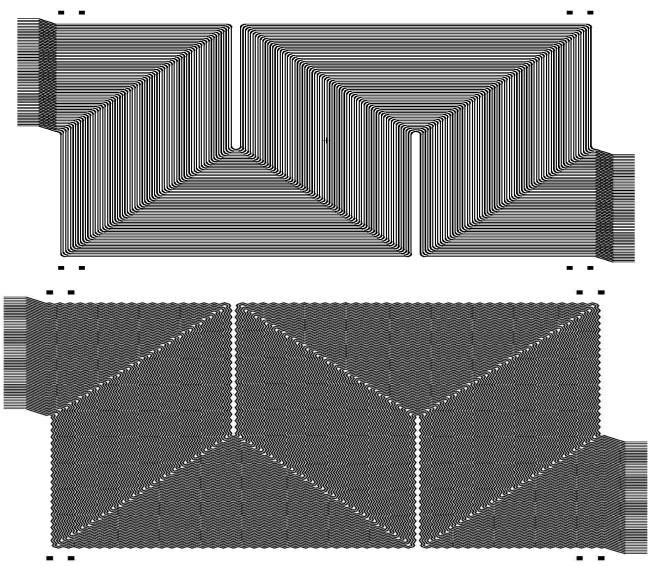


그림 3-43. 대용량 마이크로채널 단위박판 설계도 : straight (위), zigzag (아래)

나. Scale-up 마이크로채널 열교환기 헤더 설계

대면적 마이크로채널의 경우 헤더 용적이 커지면서 고압의 경우 구조적 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 헤더 내부 압력에 대한 구조 해석을 수행하고 고압 변형에 대비하는 구조를 보강하였다.

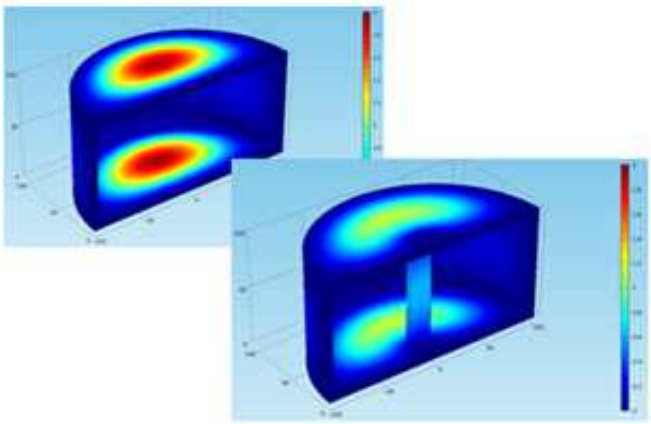


그림 3-44. 헤더 내압에 따른 구조해석 결과

다. Scale-up 마이크로 채널 열교환기 제작

설계된 마이크로채널 구조를 STS316L 재질의 단위박판에 식각하고 본 과제에서 구축한 확산접합 설비로 접합하여 열교환기 코어를 제작하였다. 접합된 코어에 헤더를 용접하여 완성된 마이크로 채널 열교환기 시제품을 제작하였다.

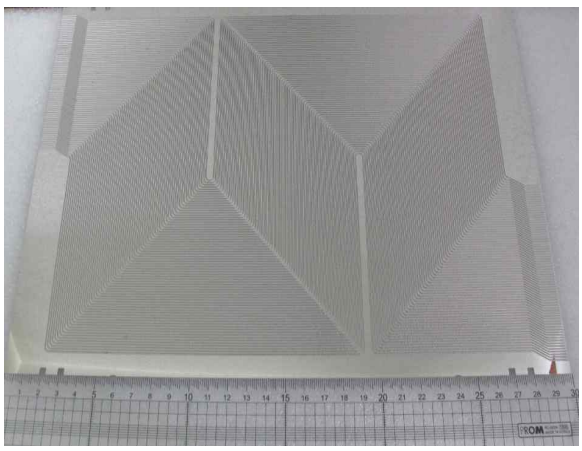


그림 3-45. 제작된 대용량 마이크로채널 단위박판



그림 3-46. 완성된 대면적 마이크로 채널 열교환기

라. 접합성능 분석

확산접합의 접합결과를 분석하기 위해 SEM 사진을 촬영하여 접합 경계면을 관찰하였다.. 단위박판 경계면의 접합결과를 분석하여 접합 파라미터 최적화에 활용하였다.

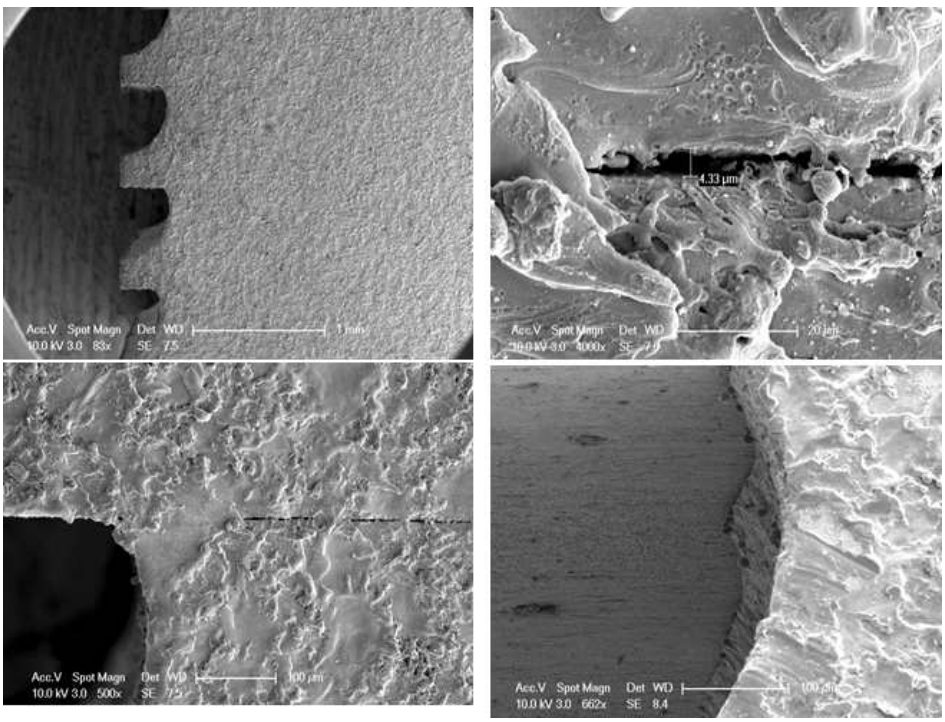


그림 3-47. 확산접합 경계면의 SEM 사진

접합 경계면을 관찰하는 방법은 가장 확실하지만 시제를 잘라야만 볼 수 있는 단점이 있어 비파괴 검사방법으로 열물성 측정을 통한 접합성능 분석 방법을 개발하였다. LFA 장비

를 이용하여 접합시료의 경계면에 대한 열확산율을 측정함으로써 접합 성능을 정량화 할 수 있게 된다.



그림 3-48. 확산접합 경계면 단면사진

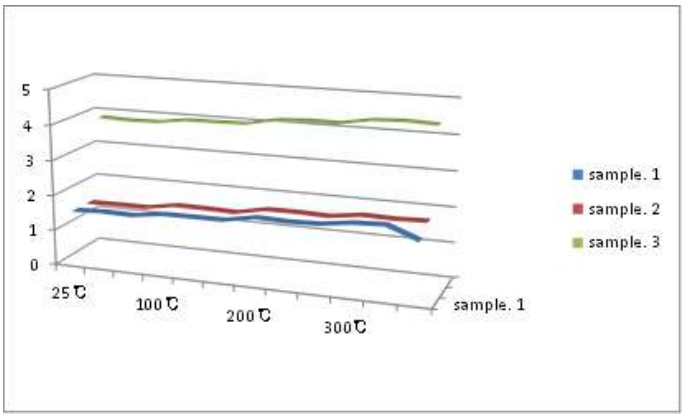


그림 3-49. LFA 측정용 시료 및 열확산율 측정 결과

마. Scale-up 마이크로채널 열교환기 표면 특성 평가

제작된 박판의 표면 거칠기를 측정하기 위하여 Veeco사의 Dektak150 surface profiler 를 이용하여 표면 스캔을 수행하였다. 식각이 안 된 단위 박판의 스캔 프로파일에서 Y축의 길이 단위는 A로 10^{-10} m 이며, RMS 거칠기는 50 nm 수준으로 매우 거칠기가 작은 것으로 확인된다. 식각 후 profiler를 이용하여 채널폭과 깊이를 측정하였을 때 채널폭은 590 um로 설계치와 2 %내로 일치하였으나 채널 깊이는 설계치인 600 um보다 작은 495 um로 확인되었다. 채널 깊이의 경우 화학적 식각이 불균일하게 일어나기 때문이며 일반적으로 오차는 10% 내외이다.



그림 3-50. Veeco사의 Dektak150 Surface profiler

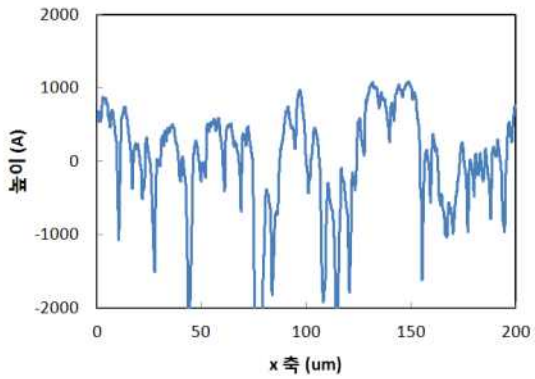


그림 3-51. 단위 박판 표면의 거칠기 profile

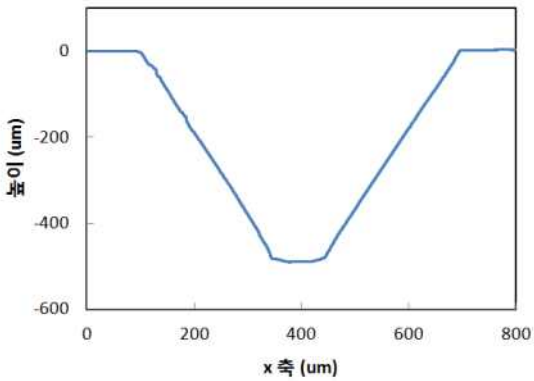


그림 3-52. Profiler로 스캔된 식각 마이크로채널의 단면 형상

바. 대용량 마이크로 채널 열교환기 제작

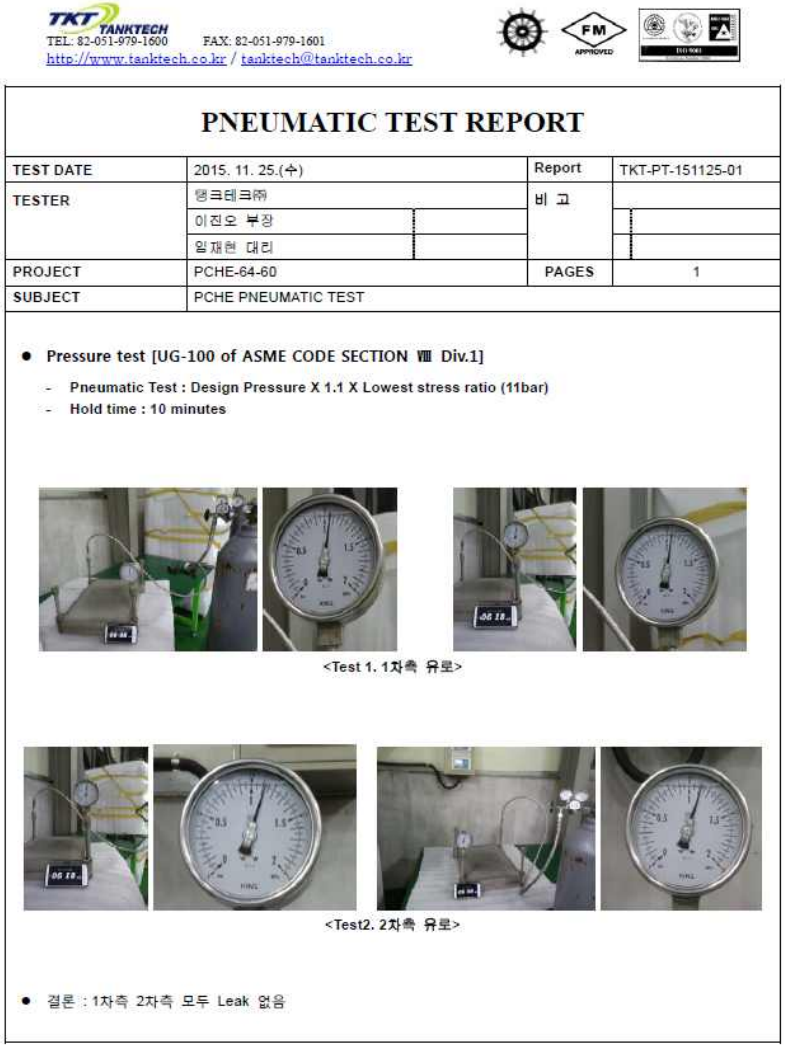
설계 및 제작한 마이크로채널 열교환기는 다음과 같다. 가로 560 mm x 세로 380 mm의 전열판을 사용하였으며, 마이크로채널 열교환기의 특성상 가로/세로는 전열판과 완성품 사이즈가 동일하다. 각 스트림별로 1.5 mm 두께의 전열판 28장씩 사용하였으며, 상하판에 3 mm 패널을 이용했으므로 높이는 90 mm이다. 따라서 마이크로채널 열교환기의 전체 체적은 19,152,000 mm^3 이다.



그림 3-53. 100 kW급 마이크로채널 열교환기
제작에 사용된 전열판



그림 3-54. 제작된 100 kW급 마이크로채널 열교환기



TKT TANKTECH
TEL: 82-051-979-1600 FAX: 82-051-979-1601
http://www.tanktech.co.kr / tanktech@tanktech.co.kr

PNEUMATIC TEST REPORT

TEST DATE	2015. 11. 25.(수)	Report	TKT-PT-151125-01
TESTER	탱크테크㈜	비 고	
	이진오 부장		
	임재현 대리		
PROJECT	PCHE-64-60	PAGES	1
SUBJECT	PCHE PNEUMATIC TEST		

- Pressure test [UG-100 of ASME CODE SECTION Ⅷ Div.1]
  - Pneumatic Test : Design Pressure X 1.1 X Lowest stress ratio (11bar)
  - Hold time : 10 minutes

<Test 1. 1차측 유로>

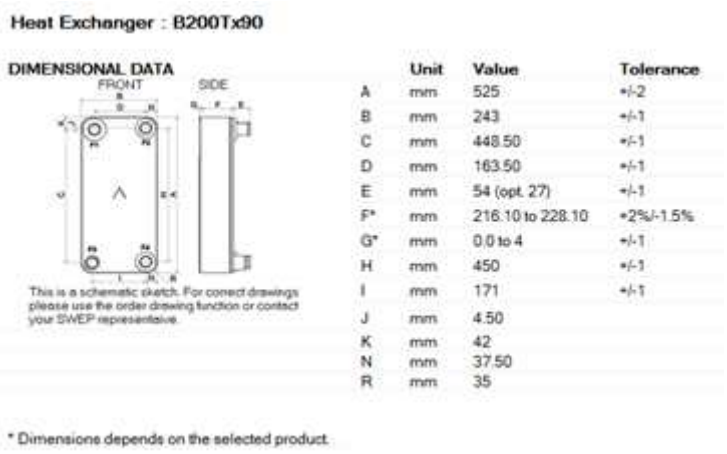
<Test2. 2차측 유로>

- 결론 : 1차측 2차측 모두 Leak 없음

그림 3-55. 제작된 100 kW급 마이크로채널 열교환기 누설시험 리포트

사. 기존 열교환기 대비 크기 비교

본 과제에서 개발된 마이크로채널 열교환기와 기존 열교환기(shell&tube type, plate type)과의 정량적 크기 비교를 수행하였다. 마이크로채널 열교환기를 설계한 기준과 동일 조건에서 100 kW의 용량을 가지는 판형열교환기 크기의 계산은 세계적인 판형열교환기 제작사인 SWEP사에서 제공하는 SSP Online Calculation Software를 사용하였다. (출처: http://www.ssponline.swep.net) 계산결과 동일 용량에서 SWEP사 사이징 소프트웨어가 제시하는 열교환기 크기는 가로x세로x높이가 525x243x228 mm로서 전체 체적은 29,087,100 mm^3이다. 따라서 마이크로채널 열교환기는 판형열교환기보다 34% 작은 체적으로 설계 조건에서 동일성능을 가진다.



	Unit	Value	Tolerance
A	mm	525	+/-2
B	mm	243	+/-1
C	mm	448.50	+/-1
D	mm	163.50	+/-1
E	mm	54 (opt. 27)	+/-1
F*	mm	216.10 to 228.10	+2%/-1.5%
G*	mm	0.0 to 4	+/-1
H	mm	450	+/-1
I	mm	171	+/-1
J	mm	4.50	
K	mm	42	
N	mm	37.50	
R	mm	35	

그림 3-56. SSP Online Calculation Software
계산결과 (출처: http://www.ssponline.swep.net)

동일 조건에서 100 kW의 용량을 가지는 shell&tube type 열교환기 크기의 계산은 국제적으로 공인받고 있는 상용 Software를 사용하였다. 계산결과 동일 용량에서 상용 Software가 제시하는 shell&tube type 열교환기 크기는 직경x길이가 273x6560 mm로서 전체 체적은 1,535,956,818 mm^3이다. 따라서 마이크로채널 열교환기는 shell&tube type 열교환기의 불과 2% 미만의 작은 체적으로 설계 조건에서 동일성능을 가진다. 다만 내부 구조의 밀집도에서 큰 차이가 나기 때문에 중량은 Heatric사에서 제시한 15% 수준일 것으로 예상된다.

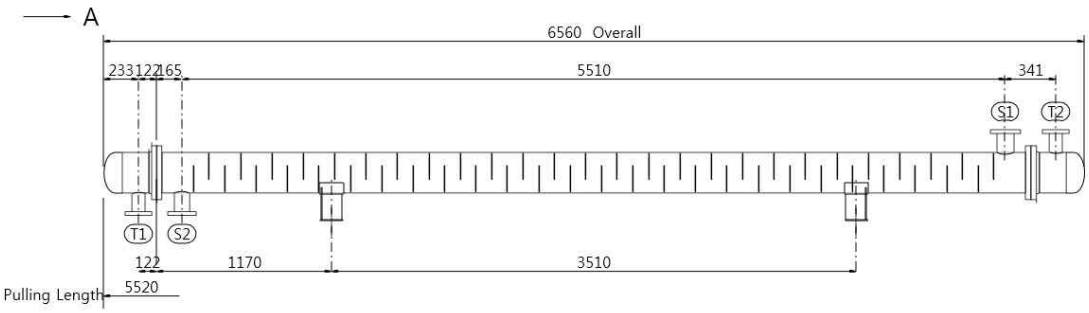


그림 3-57. Shell&tube type 열교환기 사이징 결과

9. 대용량 열교환기 성능시험설비 구축

가. 극저온 대용량 성능시험설비 구축

제작된 열교환기의 열적 및 구조적 성능을 검증하여 테스트 베드 등의 현장에 적용할 수 있는지 판단하기 위하여 대용량 열교환기의 극저온 환경에서의 열적성능 및 압력강하를 극저온 환경에서 측정할 수 있는 성능시험설비를 구축하였다.

본 연구는 LNG 플랜트에 적용되는 열교환기이므로 성능시험설비도 -180℃ 이하의 극저온 환경에서 시험이 가능하도록 설계하였으며, 70 bar이상의 고압 환경에서 실험이 가능하도록 하여 실사용 환경에서 구조적 건전성을 확인할 수 있도록 하였다.

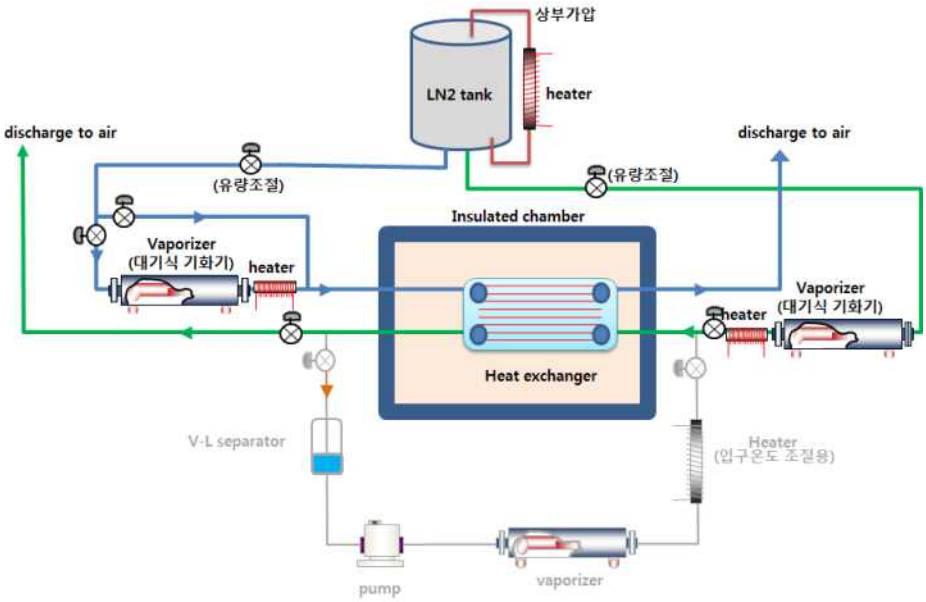


그림 3-58. 대용량 극저온 열교환기 성능시험설비 개략도

기본설계 결과를 바탕으로 상세설계를 수행하였으며, 상세설계를 통하여 각 component의 상세사양을 도출하였고, 이에 따라 P&ID를 제작하였다. 모든 계측기 및 컨트롤 밸브는 -180℃이하의 극저온 작동유체에 대한 시험을 수행할 수 있도록 사양을 결정하였으며, 중요 배관은 진공단열 배관으로 처리하였고 열교환기가 설치될 콜드박스는 진공 perlite 단열로 구성하였으며 1000 x 1000 x 1000 mm 크기의 열교환기를 장착할 수 있도록 설계하였다.

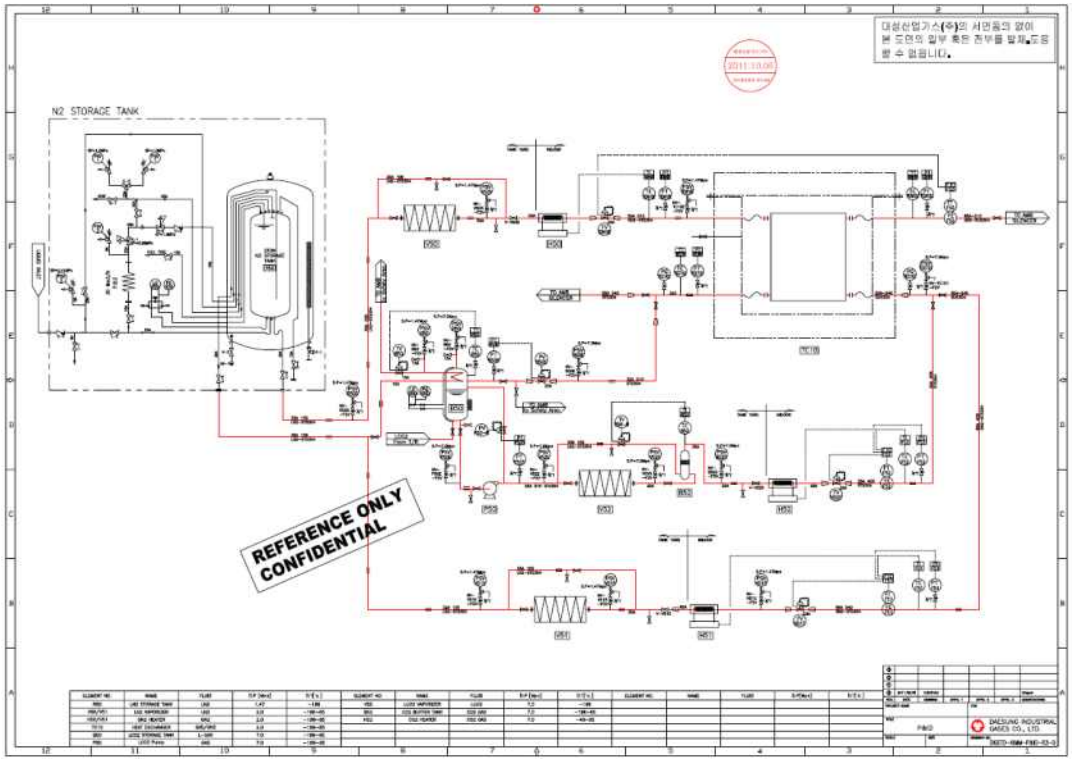


그림 3-59. 대용량 극저온 열교환 시험설비 P&ID

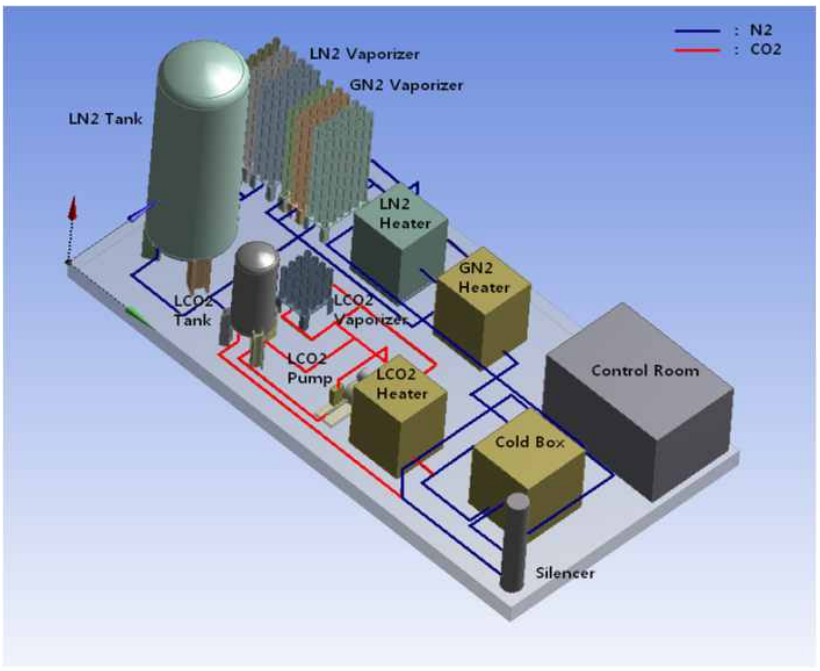


그림 3-60. 극저온 열교환기 성능시험설비 3D 개략도



그림 3-61. 구축완료 된 극저온 열교환기 성능시험 설비

열교환기의 성능을 측정하기 위해서는 양측 입출구의 온도, 압력을 측정하며 각 유체의 유량을 측정한다. 측정 센서들의 정밀도는 아래와 같다.

표 3-8. 성능시험설비의 측정 정밀도

	Type	제조사	스펙	정밀도
Flow rate	Vortex	Vortek	Max velocity liquid: 9m/s gas: 90m/s	Mass flow rate
				Liquid : ±1% Gas : ±1.5%
				Volumetric flow rate
				Liquid : ±0.7% Gas : ±1.0%
	Coriolis	Micromotion	Max flow rate Liquid : 2100 kg/h Gas : 340 NM^3/h	Liquid : ±0.1% Gas : ±0.35%
Temperature	RTD	Omega	Class A	±(0.15±0.002*T) *불확도는 0°C에서 0.15로 최소
Pressure		Keller	0 - 16 bar	±1.5% of full scale

10. 극저온 대용량 열교환기 성능시험

가. 대용량 극저온 열교환기 성능시험

구축된 극저온 열교환기 성능 시험설비를 이용하여 다양한 조건에서 극저온 마이크로채널 열교환기의 성능시험을 수행하였다. 먼저, 단일 시료에 대한 유량변화에 대한 실험정치 극저온 성능실험을 수행하여 에너지밸런스 및 실험결과에 대한 분석 검증을 수행하였다.



그림 3-62. Cold box 내부 장착된 마이크로채널 열교환기 사진

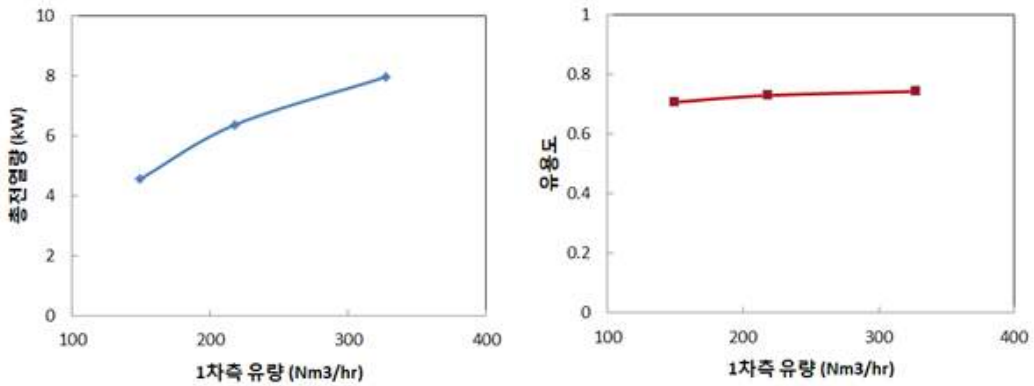


그림 3-63. 1차측 유량 기준 마이크로채널 열교환기의 총전열량 및 유용도

극저온 단상 및 상변화 열전달 실험을 위하여 기상의 질소를 액화시키면서 상변화 열전달 과정에 대한 데이터를 수집하였다.

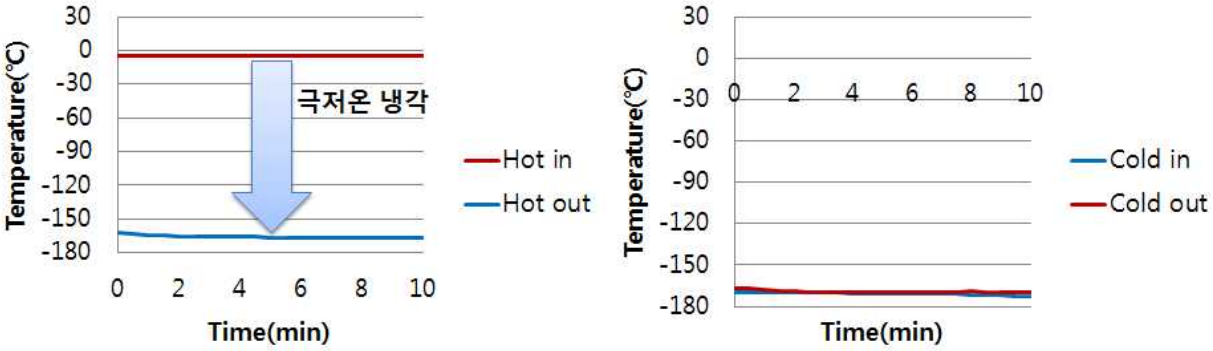


그림 3-64. 극저온 열적성능(극저온 냉각 온도변화) 실험결과 그래프

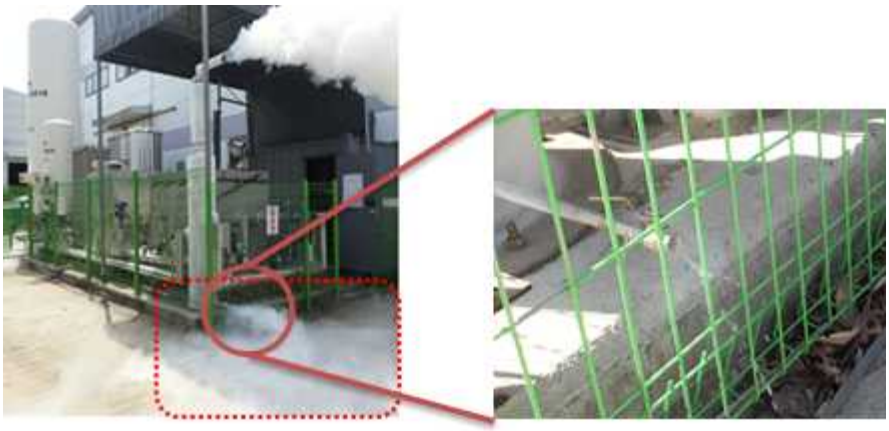


그림 3-65. 극저온 냉각 액화 상태 확인 (LN_2 유량: 100 Nm³/hr, GN2 유량: 100 Nm³/hr 조건)

단위박판 매수와 극저온 용량에 대한 실험결과를 획득함으로써 극저온 열교환기 사이징에 대한 데이터를 획득하였다.

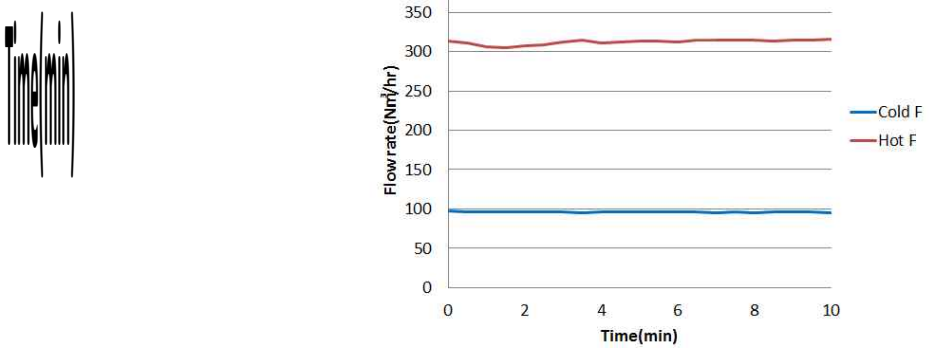


그림 3-66. 시험중 온도 및 유량측정 그래프

11. 극저온 마이크로채널 열교환기 설계 플랫폼 개발

개발된 마이크로 채널 열교환기 설계 결과 및 실험결과를 토대로 상용 소프트웨어인 Aspen Plus를 이용하여 근사모델을 수립하고 이를 이용하여 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 마이크로채널 열교환기 설계에 대해 상용 설계프로그램과의 연계를 추진하였다.

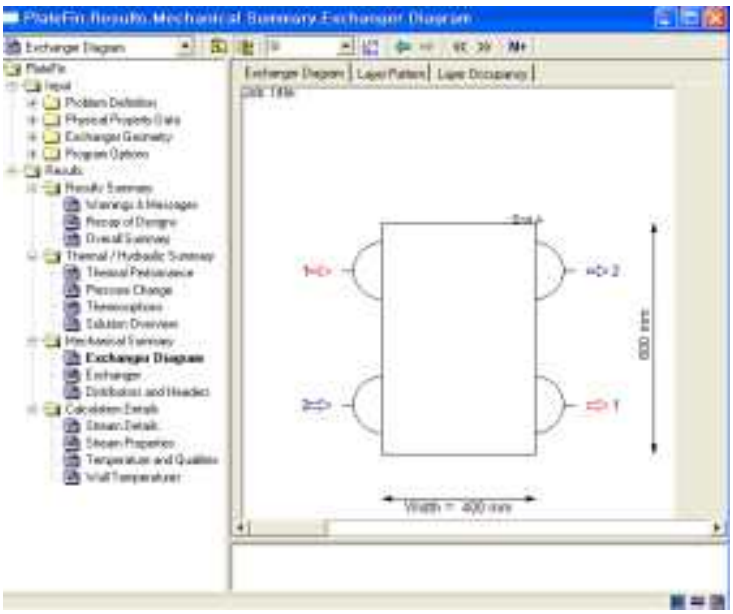


그림 3-67. ASPEN을 이용한 시제품 열교환기 성능 모사

12. 극저온 마이크로채널 열교환기 다중연결 시스템 설계 및 검증

가. 마이크로채널 열교환기 다중연결 시스템 설계 및 구축

확산접합으로 인해 모듈화 제작방식으로 인한 단일모듈 scale up의 한계를 극복하기 위해서 다중연결 방식에 대한 연결방식을 설계하고 해석을 수행하였다.

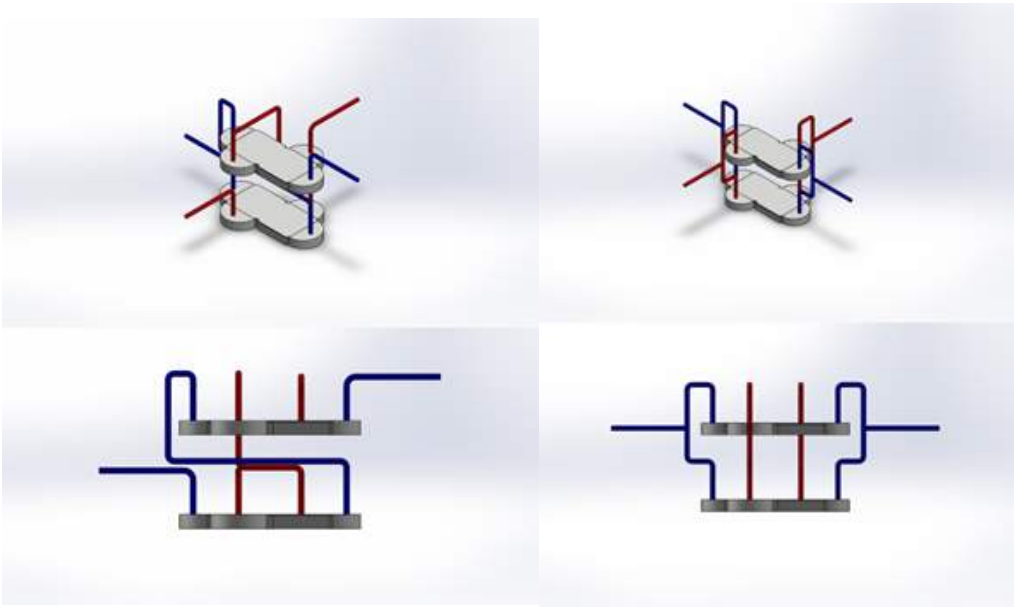


그림 3-68. 마이크로채널 열교환기의 다중연결 (좌 : 직렬연결구조, 우 : 병렬연결구조) 설계도

나. 다중연결 마이크로채널 열교환시스템 시제품 제작 및 성능 평가

다중연결 방식에 대한 다중연결 시제품을 제작하고 각 연결방식에 대한 극저온 열전달 실험을 수행하였다. 연결방식에 따른 용량변화 및 열유동 특성변화를 고찰하여 용량증대 설계에 반영하였다.



그림 3-69. 마이크로채널 열교환기의 다중연결 (병렬연결 구조)

단일 열교환기 성능시험은 일정한 크기를 가지는 열교환기 1 개를 시험루프 입출구와 연결하여 성능평가를 수행한 것이며, 직렬 열교환기는 같은 크기의 열교환기 2 개를 직렬로 연결, 병렬 열교환기는 같은 크기의 열교환기를 2 개 병렬로 연결함을 의미한다.

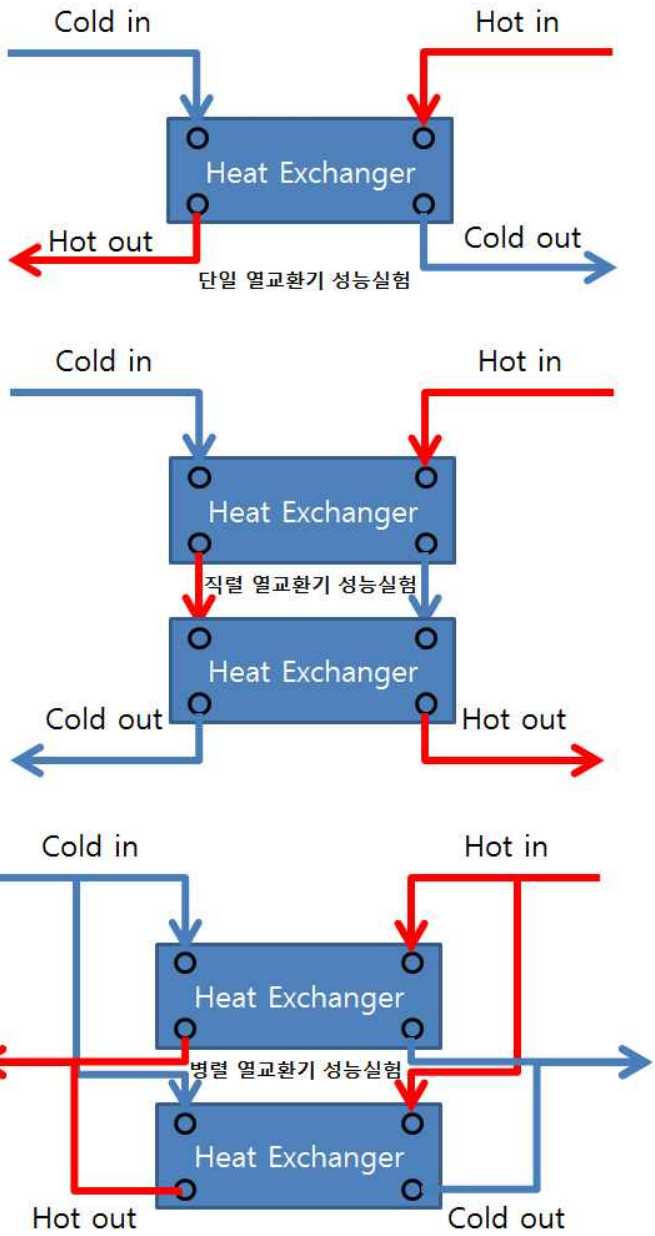


그림 3-70. 단일/직렬/병렬열교환기 성능실험 구성도

직렬 열교환기는 유체의 전열면적을 증가시키는 효과를 가지고 오며, 채널당 흐르는 유량은 시스템 유량이 같다면 단일 열교환기와 같게 된다. 이와는 반대로, 병렬열교환기는 같은 시스템 유량 조건에서 단일 열교환기 대신 채널당 흐르는 유량이 감소하게 된다. 직렬/병렬 열교환기는 단일 열교환기 대비 열전달 면적이 커지는 장점이 있으며, 직렬 열교환기의 경우 압력강하가 더 많이 생기고, 병렬 열교환기의 경우 열전달계수가 작아지게 된다.

단상유동에 대하여서는 로그평균온도차(LMTD : Log mean temperature difference)법을 사용하여 총괄열전달 계수를 산출하였다. 총괄열전달 계수의 경우 유량이 증가함에 따라 증가하는데, 본 실험설비로 단상-단상 열교환 조건에서 확인 할 수 있는 최대 총괄열전달계수는 대략 250 W/m^2K이다. 단상 조건에서의 총괄열전달 계수는 채널당 흐르는 유량이 증가

할수록 증가하게 되며, 질소 단상(Vapor) 조건에서의 총괄열전달 계수는 기존의 난류 상관식을 적용해도 큰 차이가 없음을 본 연구 과제를 통해 밝혀내었다.

이상유동의 경우 단상 유동보다 대류 열전달 계수가 증가하게 되며 총괄열전달도 함께 증가한다. 저온측 100 Nm^3/h, -170.4 °C , 고온측 200 Nm^3/h, 6.95 °C의 질소를 이용하여 수행한 이상유동 실험에 대해 상변화 구간을 고려하여 계산하였을 때 총괄열전달 계수는 480 W/m^2K로 측정되었다.

다. 1 MW 마이크로채널 열교환기 설계

상기 결과를 종합하여 1 MW급 마이크로 채널 열교환기를 최종 설계하였다. 본 사업으로 개발된 확산접합로에서 최대로 접합 가능한 560x380 mm 전열판을 사용하여 100 kW급 마이크로 채널 열교환모듈을 제작하였고, 이 모듈을 10 세트 연결하여 1 MW급 마이크로 채널 열교환기를 제작할 수 있다. 100 kW급 마이크로채널 열교환기는 전열판 매수 (30+30)매이며 10 세트 연결시 (300+300)매이나 5% 손실을 고려하여 (315+315)매로 설계된다. 따라서 최종적인 1 MW급 마이크로채널 열교환 코어 dimension은 560x380x945이며, 사용압력에 따라 ASME 압력용기 설계 코드에 맞추어 상하판이 추가로 적용된다.

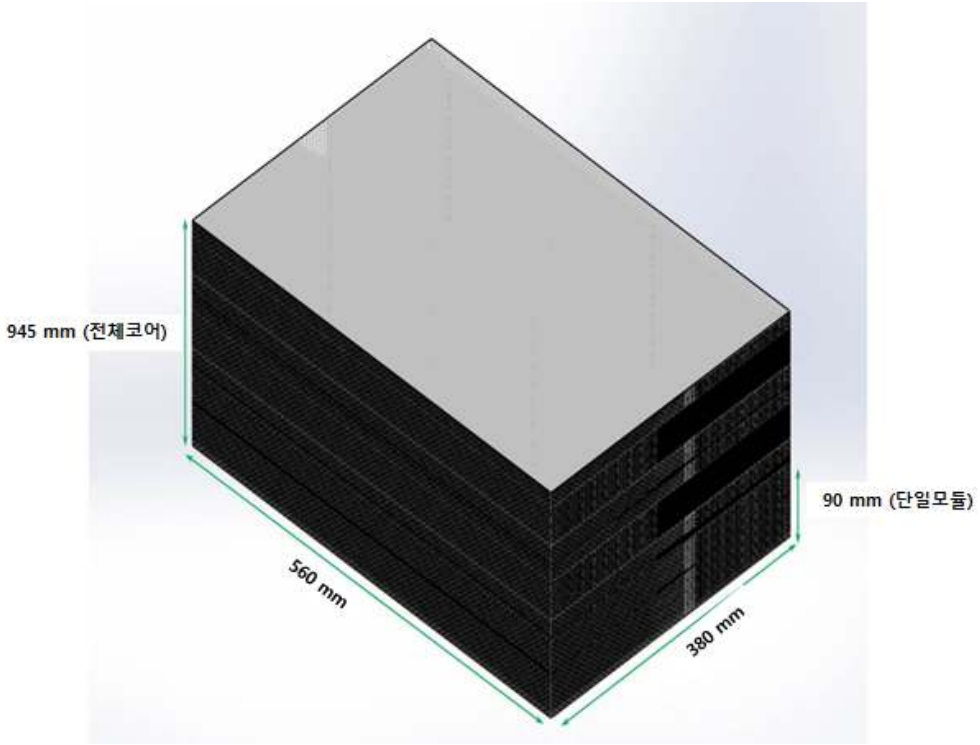


그림 3-71. 1 MW급 마이크로채널 열교환기코어

4장 연구목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

목 표		달 성 도 (%)	내 용
1차 년도	극저온용 열교환 시스템 조사 및 설계 사양 도출	100%	- LNG 액화공정별 열교환기 사양 및 특성 조사 - LNG 액화공정 시뮬레이션을 통한 열교환기 설계 데이터 확보
	극저온용 열교환기 재료 및 제작 기술 조사	100%	- 극저온용 열교환기 관련 논문 및 특허 조사
	마이크로채널 내 열유동 해석 기술 분석	100%	- 마이크로 채널 헤더 형상에 따른 유동 해석 기술 확보 - 유동 균일 분배 해석을 위한 헤더 형상 설계 도면 작성
2차 년도	1kW급 마이크로채널 열교환기 설계 및 제작, 구조적 평가	100%	- 열교환기 제작 기술 선정 - 소용량 마이크로채널 열교환기 설계 및 제작 - 제작된 열교환기의 사용 가능 압력 조사
	소용량 열교환기 시험 장치 구성	100%	- 열교환기 성능 실험을 위한 실험 환경 구축 - 1kW급 열교환기의 열적성능 압력강하 특성 파악
3차 년도	1kW급 마이크로채널 열교환기 시험	100%	- 1 kW급 마이크로채널 열교환기에 대하여 온도 및 유량조건별 극저온 성능 시험 수행
	대용량 열교환기 시험 설비 설계	100%	- 대용량 극저온 열교환 성능시험설비 기본 및 상세설계
	대용량 열교환기 제작 능력 확보	100%	- 대면적 확산접합 설비를 제작하여 접합조건 도출

4차 년도	100kW급 마이크로채널 열교환기 설계	100%	- 열유동 해석 결과를 바탕으로 100 kW 급 마이크로채널 열교환기 설계
	대용량 마이크로채널 열교환기 제작	100%	- 액화용 열교환기를 Train 1에서 대체하는 것은 불가능하므로 액화공정 후단부의 Flash gas heat exchanger로 적용가능한 것으로 판단되어, 35.5 kW급의 마이크로채널 열교환기를 제작
	Flash gas heat exchanger 성능평가 및 설계보완	100%	- 대용량 극저온 열교환 성능시험설비 제작 및 성능시험
5차 년도	테스트베드 적용가능 마이크로채널 열교환기 제작	100 %	- 테스트베드 적용가능 마이크로채널 열교환기 시제품 제작
	마이크로채널 열교환기 설계 플랫폼 개발	100 %	- 상용툴과 근사모델을 이용한 마이크로채널 열교환기 설계
6차 년도	대용량 마이크로채널 열교환기 모듈 다중연결 시스템 설계	100 %	- 용량 scale-up을 위한 다중연결방안 설계
	다중연결 마이크로채널 열교환시스템 시제품 제작 및 성능 평가	100 %	- 다중연결에 따른 열유동 성능평가 및 용량변화 검증

2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

마이크로채널 열교환기는 기존의 열교환기에 비해 효율이 월등할 뿐만 아니라 소형화 할 수 있는 장점이 있다. LNG 플랜트에서 액화공정은 국제적으로도 APCI 등 소수의 기업만이 원천기술 라이센스를 보유하고 있으며, 핵심인 Cold Box 관련 기술은 블랙박스형태로 되어 있어 기술도입이 원천적으로 불가능 한 상황이다. Cold Box에서 열교환기는 가장 중요한 역할을 하기 때문에 관련 원천기술 보유국으로의 진입이 가능하며, 전량 수입에 의존하고 있는 헬륨 액화기, 수소 액화기, 공기 액화 분리 장치의 개발에도 기여 할 것으로 기대된다.

핵심인 극저온 열교환기 기술은 LNG 액화 공정에의 적용은 물론, 다른 분야에서의 응용기기 연구 개발에서 발생하는 시행착오를 줄일 수 있어 국내 업체가 극저온 기기 시장을 선점할 수 있다. LNG 플랜트 외에, 초전도 우주 발사체 및 탑재체, 군용 센서 냉각, 고부가가치 첨단의료분야 등 극저온 냉각을 위한 열교환기에 응용이 가능하다.

3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

마이크로채널을 이용한 열교환기는 기존의 열교환기 보다 훨씬 높은 효율을 나타내므로 기존의 시스템보다 소비 에너지를 줄일 수 있으며, 온도 근접성이 매우 좋음. 또한 기존 열교환기에 비해 크기가 작으므로 시스템에 사용되는 전체 작동유체의 양이 크게 줄이고 LNG 액화플랜트의 효율을 높여 에너지 및 이산화탄소 배출 저감의 뱡향 제시하였다.

LNG 플랜트 액화공정의 핵심기술 확보로 해외의존도를 낮추고, 국가 경쟁력 및 기술신뢰도를 향상시킬 최첨단 선진 기술의 기반기술 확보하였다. 미개척분야인 LNG 플랜트 시장 진입에 따른 경제, 사회적인 효과가 예상되며, 전량 수입에 의존하고 있는 헬륨 액화기, 수소 액화기, 공기 액화 분리 장치 등 극저온 기자재의 수입대체 및 수출이 가능하게 될 것으로 예상된다.

4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

천연가스 액화를 위한 마이크로채널 열교환기 개발은 세계적으로 아직 시작 단계에 있는 기술로서 기술 개발을 통하여 지적재산권을 획득하였다. 관련 분야로의 기술 확대로 산업 경쟁력 확보하였고, 마이크로채널 열교환기 개발에 대한 기술 선점을 바탕으로 플랜트 산업의 수익구조 개선 및 세계적 수준의 기술을 갖춘 전문인력 양성을 위한 기반을 마련하였다.

5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1절 연구성과 향후 활용방안

1. 참여기업에서 연구성과의 실시

참여기업인 탱크테크(주)는 1991년 설립하여 거의 외국제품 수입에 의존하던 선박용 기자재를 개발하여 세계시장에 진출하여온 기술집약형 중소기업으로, 1996년도에 기술연구소를 설립하고 현재 12인의 전담연구원이 새로운 시장 창출을 위한 기술개발을 수행하며 많은 기술개발 경험과 국내외 특허를 보유하고 있다. 2015년 4월 기계연과 탱크테크(주)는 마이크로채널 열교환기의 기술실시 계약을 체결하여, 마이크로채널 열교환기의 생산을 추진하고 있다. 탱크테크(주)는 조선기자재 전문기업으로, 국내외 조선소, 선박을 발주하는 선주회사, 선박에 설치되는 기자재를 인증하는 각국선급(BV, DNV, Lloyd, KR등)에 인지도를 가지고 있기 때문에 LNG 선박 등에 개발결과를 적용하는 면에서도 유리한 위치에 있으며, 유럽 등 전 세계에 16개의 지사 및 대리점을 운용하고 있어, 사업화 및 세계시장에 진출도 기대된다.

2. 타 산업에서의 활용방안

LNG플랜트용 고성능 소형 열교환기 설계 및 제작기술은 플랜트관련 산업의 기반기술로서, GTL플랜트, 정유플랜트, 석유화학플랜트 사업, 발전플랜트, 신재생에너지플랜트 산업 등에 총체적인 발전을 가져와 국내 플랜트 산업의 해외경쟁력을 크게 높일 수 있다. 먼저, 타 초저온 열교환 기술의 소형화, 고효율화로 다른 종류의 초저온 유체의 액화 공정이 발전에 기여하며 전량 수입에 의존하고 있는 초저온 열교환기의 고유기술 개발로 수입대체 및 기술수출에 기여할 수 있으며, 초저온 유체가 작동유체인 의료, 우주산업, 초전도, LNG 선박 분야에서의 기술발전을 기대할 수 있다.

원자력/화력 발전플랜트, 화학공정 플랜트 등 대형 시스템뿐만 아니라 소규모의 폐열을 가지고 있는 연료전지, 전자시스템 등의 소형 시스템에 이르기까지 온도 근접성이 좋은 마이크로채널 열교환기의 활용으로 적은 온도차에서도 열교환이 가능하여 에너지를 절감할 수 있다. 일반 화석연료에서 수소를 생산할 때 주로 사용되는 개질기는 연료를 증발시킬 수 있는 증발장치와 부분 산화 반응이 필요한 반응장치가 필요하므로 마이크로채널 열교환기를 증발기 및 촉매가 도금된 반응기로 활용이 가능하다.

2절 추가연구 필요성

본 과제는 LNG플랜트용 마이크로채널 열교환기를 개발하기 위한 과제이며, 향후 마이크로채널 열교환기의 응용처를 넓히기 위해 초임계 이산화탄소 발전사이클 등의 신개념 발전플랜트에 적용하기 위하여 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] Gromoll, B., 1998, Micro Cooling Systems for High Density Packaging, Revue Générale de Thermique, Vol. 37, No. 9, pp.781-787.

[2] Rachkovskij, D. A., Kussul, E. M. and Talayev, S. A., 1998, Heat Exchange in Short Microtubes and Micro Heat Exchangers with Low Hydraulic Losses, Microsystem Technologies, Vol. 4, No. 3, pp.151-158.

[3] Jiang, P. X., Fan, M. H., Si, G. S. and Ren, Z. P., 2001, Thermal-Hydraulic Performance of Small Scale Micro-channel and Porous-media Heat Exchangers, International Journal of Heat Mass Transfer, Vol. 44, No. 5, pp.1039-1051.

[4] Harris, C., Kelly, K. and Wang, T., McCandless, A., Motakef, S., 2002, Fabrication, Modeling and Testing of Micro-Cross-Flow Heat Exchangers, Journal of MEMS, Vol. 11, No. 6, pp.726-735.

[5] Nikitin, K., Kato, Y. and Ngo, L., 2006, Printed Circuit Heat Exchanger Thermal-Hydraulic Performance in Supercritical CO2 Experimental Loop, International Journal of Refrigeration, Vol. 29, No. 5, pp.807-814.

[6] Ngo, T. L., Kato, Y., Nikitin, K. and Tsuzuki, N., 2006, New Printed Circuit Heat Exchanger with S-shaped Fins for Hot Water Supplier, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 30, No. 8, pp.811-819.

부록

1. 학술지 게재_SCI(E)급 논문게재

구분	논문제목	학술지명	ISSN	저자명	게재 일자
국외	Effects of manifold geometries on flow distribution to parallel microchannels	Journal of Mechanical Science and Technology	1738-494 X	김덕종외 3명	2011

2. 학술지 게재_비 SCI(E)급 논문게재

해당기관	논문제목	학술지명	ISSN	저자명	게재 일자
국내	인쇄기판형 열교환기의 유동방향 전도열전달에 관한 수치해석 연구	설비공학논문집	1229-6422	오동욱외 3명	2014
국내	극저온 환경의 인쇄기판형 열교환기 열적성능에 대한 실험적 연구	설비공학논문집	1229-6422	김동호외 4명	2015

3. 국내외 특허출원

구분	특허명	출원번호	출원인	출원일자
국내출원	마이크로채널 열교환기	10-2010-0034044	한국기계연구원	20100414
국내출원	진공확산접합장치	10-2010-0100680	한국기계연구원	20101015
국내출원	이상 유체의 건도측정장치 및 이를 이용한 이상 유체의 건도측정방법	10-2010-0104941	한국기계연구원	20101026
국내출원	이상 유체의 건도측정장치 및 이를 이용한 건도측정방법	10-2010-0104940	한국기계연구원	20101026
국내출원	진공확산접합장치	10-2011-0057087	한국기계연구원	20110613
국내출원	마이크로채널 열교환기	10-2011-0057090	한국기계연구원	20110613
국내출원	마이크로채널 열교환기	10-2011-0107073	한국기계연구원	20111019
국내출원	진공확산접합장치	10-2011-0113341	한국기계연구원	20111102
국내출원	진공확산접합장치	10-2011-0117037	한국기계연구원	20111110
국내출원	인쇄기판형 열교환기 및 이의 제작방법	10-2013-0014042	한국기계연구원	20130207

4. 국내외 특허등록

구분	특허명	등록번호	출원인	등록일자
국내등록	마이크로채널 열교환기	10-0991113	한국기계연구원	20101026
국내등록	진공확산접합장치	10-1034858	한국기계연구원	20110506
국내등록	이상 유체의 건도측정장치 및 이를 이용한 이상 유체의 건도측정방법	10-1247658	한국기계연구원	20130320
국내등록	이상 유체의 건도측정장치 및 이를 이용한 건도측정방법	10-1225132	한국기계연구원	20130116
국내등록	진공확산접합장치	10-1094961	한국기계연구원	20111209
국내등록	마이크로채널 열교환기	10-1080236	한국기계연구원	20111031
국내등록	마이크로채널 열교환기	10-1202773	한국기계연구원	20121113
국내등록	진공확산접합장치	10-1167626	한국기계연구원	20120716
국내등록	진공확산접합장치	10-1220300	한국기계연구원	20130103
국내등록	인쇄기판형 열교환기 및 이의 제작방법	10-1317920	한국기계연구원	20131007

5. 기술실시계약

구분	특허명	출원번호	출원인	등록일자
국내등록	진공확산접합장치	10-1094961	한국기계연구원	20111209
국내등록	진공확산접합장치	10-1167626	한국기계연구원	20120716
국내등록	진공확산접합장치	10-1220300	한국기계연구원	20130103
국내등록	진공확산접합장치	10-1034858	한국기계연구원	20110506

6. 국제학술대회 발표

발표제목	학술대회명	발표일자
Numerical analysis in designing microchannel heat exchanger for cryogenic application	International Conference on Air-Conditioning & Refrigeration	20110707
An experimental study on the liquefaction performance of microchannel heat exchanger	International Conference on Air-Conditioning & Refrigeration	20110707
Experimental study on the heat transfer characteristics of cryogenic micro channel heat exchanger	International Heat Transfer Conference	20100812

Analysis on maximum pressing force during diffusion bonding process of a microchannel heat exchanger	23rd International Symposium on Transport Phenomena	20121119
Diffusion bonding performance evaluation by using laser flash method	ATPC2013	20131002
A design tool for microchannel heat exchangers	AIChE Annual Meeting 2013	20131103
Experimental study on the heat transfer performance of the diffusion-bonded micro channel heat exchanger in the pilot	IMECE2013	20131115

7. 국내학술대회 발표

발표제목	학술대회명	발표일자
마이크로 채널 열교환기의 유동 균일분포를 위한 최적형상 설계	대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회	20090522
Effects of manifold geometries on flow uniformity in microchannel device	대한기계학회 추계학술대회	20091106
액화천연가스 플랜트용 마이크로채널 열교환기 개발	대한설비공학회 2009 동계학술발표대회	20091127
가스액화용 마이크로채널 열교환기의 극저온환경 성능실험에 관한 연구	한국냉동공학학술대회	20100224
매니폴드 형상이 병렬로 연결된 마이크로채널로의 유동 분배에 미치는 영향	대한기계학회 마이크로/나노부문 춘계학술대회	20100513
3차원 형상 마이크로채널 내 열유동 수치해석	대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회	20100513
다중 흐름 열교환기의 모델링	대한설비공학회 하계학술발표대회	20100624
마이크로채널 열교환기의 유로형상에 따른 극저온 성능특성에 관한 실험적 연구	대한기계학회 추계학술대회	20101103
극저온용 마이크로채널 열교환기의 재질에 따른 열전달 성능	대한설비공학회 하계학술발표대회	20110513
마이크로채널 단면형상에 따른 열유동 특성 비교	대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회	20110513
극저온용 마이크로채널 열교환기의 종횡비에 따른 특성 비교	대한설비공학회 하계학술발표대회	20110707
평행한 마이크로채널로의 균일한 유동 분배 위한 매니폴드 설계	대한기계학회 추계학술대회	20111103
극저온용 마이크로채널 열교환기의 재질 및 유체 유속에 따른 축방향 열전달 효과	대한기계학회 추계학술대회	20111104
극저온용 마이크로채널 열교환기 개발	플랜트 조선 컨퍼런스 2013	20130118
극저온 환경의 10 kW급 마이크로채널 열교환기에 대한 단상 열전달특성에 대한 연구	대한기계학회 추계학술대회	20131219
수치해석을 통한 인쇄기판형 열교환기의 축방향 열전달 해석	대한설비공학회 하계학술발표대회	20130626

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 " LNG플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발“에 관한 최종 평가 연구보고서로 제출합니다.

2015. 12. 17

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원
주관연구책임자 : 황 인 주 책임연구원
공동연구기관명 : 가스안전연구원
공동연구책임자 : 김 병 덕 책임연구원
위탁연구기관명 : 성균관대학교
위탁연구책임자 : 최 재 붕 교수

빈 페이지

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>08가스플랜트B02</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2008.11.18
~2015.12.17</td><td>단 계 구 분</td><td>3단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">플랜트연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">LNG플랜트사업단</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">LNG플랜트사업단-LNG 플랜트 핵심기반기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">LNG플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">해당
세부과제
책임자</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 52명
내부 : 36명
외부 : 16명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부: 1,543백만원
기업: 1,156백만원
계 : 2,699백만원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 217명
내부 : 142명
외부 : 75명</td><td>총연구비</td><td>정부: 8,066백만원
기업: 7,113백만원
계 :15,179백만원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
한국기계연구원
가스안전연구원
한국과학기술원</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">티움솔루션즈
용마엔지니어링
탱크테크
한국가스안전공사</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : 성균관대학교</td><td colspan="3">연구책임자 : 최 재 붕 교수</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : 고려대학교</td><td colspan="3">연구책임자 : 이 규 정 교수</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">○ 플랜트 관리를 위한 통합 환경의 적용을 통해 웹기반의 LNG플랜트 전용 유지관리 시스템 개발
○ LNG플랜트의 특성을 고려하여 극저운 취성파괴 파손인자 평가 방법 개발과 웹기반의 가상현실(VR)을 연동한 LNG-RBI(위험도 평가) 기술 개발
○ 위험도 평가 기술의 비파괴 진단 신뢰도 평가기술을 탑재하여 각종 설비의 대한 엔지니어링 효율성을 개선하여 유지관리를 위한 검사▪진단 분야에서도 활용할 수 있도록 시스템을 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">천연가스, 액화, 플랜트, 컴팩트, 모듈화</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">NG, Liquefaction, Plant, Compact, Modular</td></tr>
</table>

빈 페이지

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1

1. 연구개발 목표 및 내용 ····· 1
2. 연구개발의 필요성 ····· 2
3. 연구개발의 중요성 ····· 3

제 2 장 국내외 기술개발의 현황 ····· 5

1. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 5
2. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 5
3. 시사점 및 결론 ····· 7

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 8

제1절 RBI(Risk Based Inspection) 평가 ····· 8

1. RBI기술 개요 ····· 8
2. API BRD 581코드 기반의 정성적 RBI평가 ····· 16
3. API RP 581코드 기반의 정량적 RBI평가 ····· 25
4. 주요결과 및 시사점 ····· 40

제2절 LNG플랜트 RBI 평가 ····· 41

1. LNG플랜트의 특성 ····· 41
2. LNG플랜트의 파손피해 결정 ····· 42
3. 주요결과 및 시사점 ····· 45

제3절 LNG-RBI 프로그램 개발 ····· 46

1. LNG 플랜트 전용 위험도평가 프로그램(LNG-RBI) 설계 ····· 46
2. 정량적 RBI 평가 모듈 ····· 64
3. API 581 손상인자 결정 ····· 75
4. LNG-RBI 프로그램 주요 특징 ····· 110
5. 주요결과 및 시사점 ····· 112

제4절 비파괴 진단 신뢰도 평가 기술 개발 ····· 113
1. LNG플랜트 비파괴 평가 기법 설정 ····· 113
2. 배관계통 비파괴 평가 기법 ····· 125
3. 비파괴 진단 데이터 관리 시스템 개발 ····· 130
4. 비파괴 진단 신뢰성 평가 프로그램 구축 ····· 149
5. 주요결과 및 시사점 ····· 154

제5절 LNG-RBI 프로그램 적용 ····· 155
1. LNG플랜트 주요 부품소재 열화 및 강도 DB ····· 155
2. 실증플랜트 LNG-RBI 프로그램 검증 ····· 156
3. LNG플랜트 Test-Bed LNG-RBI 프로그램 적용 ····· 164
4. 주요결과 및 시사점 ····· 163

제4장 목표 달성도 및 관련분야에서의 기여도 ····· 129
1. 연구개발 수행 진도율 ····· 129
2. 연구개발 목표의 달성도 ····· 130
3. 연구개발 목표의 기여도 ····· 134

제5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 139

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 141

제7장 참고문헌 ····· 151

표 목 차

표 3.1.1 Factor of Qualitative evaluation ····· 17
표 3.1.2 Summary of beta distribution parameters for qualitative RBI factors ····· 22
표 3.1.3 Selection of uncertain variables for LNG plant test-bed train no.1 ····· 23
표 3.1.4 Comparison result on failure mechanism between BRD code and RP code ··· 26
표 3.1.5 Equipment type ····· 32
표 3.3.1 Suggested Component Generic Failure Frequencies ····· 69
표 3.3.3 Categories of Damage Factor ····· 71
표 3.3.4 Soil Types and Properties for Atmospheric Storage Tank Consequence Analysis ····· 73
표 3.3.5 Thinning Damage Factor ····· 78
표 3.3.6 Lining Condition Adjustment ····· 81
표 3.3.7 Classification of Damage Factor ····· 82
표 3.3.8 Severity Index ····· 84
표 3.3.9 SCC Damage Factors ····· 84
표 3.3.10 Corrosion Rate ····· 95
표 3.3.11 Piping Failure Event Populations[29] ····· 107
표 3.3.12 Piping Failure Event Populations[29] ····· 108
표 3.3.13 Values of Variables ····· 109
표 3.5.1 각 비파괴 검사 업체 및 업체 비파괴 검사 방법 ····· 146
표 3.5.2 실증플랜트 데이터 결과값 ····· 165

그 림 목 차

그림 3.1.1 검사정도와 검사주기의 관계 ····· 8
그림 3.1.2 위험선도 ····· 10
그림 3.1.3 RBI기법의 연속성 ····· 12
그림 3.1.4 RBI 계획수립 절차 ····· 12
그림 3.1.5 Example of drawing tree diagram ····· 17
그림 3.1.6 Tornado diagrams of probabilistic qualitative RBI assessment ····· 19
그림 3.1.7 RBI matrix of probabilistic qualitative assessment ····· 20
그림 3.1.8 Tornado diagrams of qualitative RBI result for LNG plant test-bed train no.1 ····· 24
그림 3.1.9 RBI matrix of probabilistic qualitative assessment ····· 25
그림 3.1.10 Procedure of RBI ····· 27
그림 3.1.11 The modified process of risk calculation in API RP 581 ····· 27
그림 3.1.12 Comparison of failure mechanism between API BRD 581 and API RP 581 ····· 28
그림 3.1.13 The modified calculation of PoF(Probability of Failure) ····· 28
그림 3.1.14 The modified basic data of API RP 581 ····· 29
그림 3.1.15 The modified calculation of damage factor ····· 30
그림 3.1.16 Main window of KGS-RBI^{TM} for Refinery & Petrochemical Plant ····· 31
그림 3.1.17 (a) Likelihood analysis ····· 33
그림 3.1.18 (b) Damage consequence analysis ····· 33
그림 3.1.19 (c) Health consequence analysis ····· 34
그림 3.1.20 (d) Risk matrix ····· 34
그림 3.1.21 (a) Likelihood analysis ····· 36
그림 3.1.22 (b) Damage consequence analysis ····· 36
그림 3.1.23 (c) Consequence analysis ····· 37
그림 3.1.24 (d) Consequence detail ····· 37
그림 3.1.25. Inspection history ····· 38
그림 3.1.26 Quantitative RBI of KGS-RBI^{TM} (cont'd) ····· 40
그림 3.2.1 Brittle fracture damage factor ····· 43
그림 3.2.2 Extended brittle fracture damage factor ····· 43
그림 3.2.3 Energy transition curves of 2-mm V-notch Charpy tests for low carbon

steel ····· 44
그림 3.2.4 Enhanced method of brittle fracture damage factor evaluation ····· 44
그림 3.3.1 3-layer structure of LNG-RBI ····· 47
그림 3.3.2 Main page of LNG-RBI ····· 48
그림 3.3.3 Qualitative RBI ····· 50
그림 3.3.4 Semi-Quantitative RBI of LNG-RBI ····· 51
그림 3.3.5 Quantitative RBI of LNG-RBI ····· 53
그림 3.3.6 External damage factor in quantitative RBI ····· 55
그림 3.3.7 Brittle fracture damage factor in quantitative RBI ····· 57
그림 3.3.8 SCC damage factor in quantitative RBI ····· 61
그림 3.3.9 HTHA damage factor in quantitative RBI ····· 62
그림 3.3.10 Mechanical fatigue damage factor in quantitative RBI ····· 62
그림 3.3.11 Thinning damage factor in quantitative RBI ····· 63
그림 3.3.12 Lining damage factor in quantitative RBI ····· 63
그림 3.3.13 Damage factor in LNG-RBI ····· 64
그림 3.3.14 Risk Calculation Process of Heat Exchanger Tube Bundle ····· 65
그림 3.3.15 Consequence Analysis Procedure ····· 74
그림 3.3.16 Determination of Thinning Damage Factor ····· 76
그림3.3.17 Determination Procedure of Lining ····· 80
그림 3.3.28 Determination of the Caustic Cracking Damage Factor ····· 83
그림 3.3.29 Determination of the Amine Cracking Damage Factor ····· 85
그림 3.3.30 Determination of the Sulfide Stress Cracking Damage Factor ····· 86
그림 3.3.31 Determination of the HIC/SOHIC-H2S Damage Factor ····· 87
그림 3.3.32 Determination of the Carbonate Cracking Damage Factor ····· 88
그림 3.3.33 Determination of the PTA Cracking Damage Factor ····· 89
그림 3.3.34 Determination of the CLSCC Damage Factor ····· 90
그림 3.3.35 Determination of the HSC-HF Cracking Damage Factor ····· 91
그림 3.3.36 Determination of the HIC/SOHIC-HF Cracking Damage Factor ····· 92
그림 3.3.37 Determination of the External Corrosion Damage Factor ····· 94
그림 3.3.38 Determination of the CUI Damage Factor ····· 96
그림 3.3.39 Determination of the External CLSCC Damage Factor ····· 97
그림 3.3.40 Determination of the CUI CLSCC Damage Factor ····· 98
그림 3.3.41 Determination of the HTHA Damage Factor ····· 100
그림 3.3.42 Determination of the Brittle Fracture Damage Factor ····· 102

그림 3.3.43 Determination of the Temper Embrittlement Damage Factor ····· 103
그림 3.3.44 Determination of the 885 Embrittlement Damage Factor ····· 104
그림 3.3.45 Determination of the Sigma Phase Embrittlement Damage Factor ····· 104
그림 3.3.46 Determination of the Piping Mechanical Fatigue Damage Factor ····· 106
그림 3.3.47 기자재 목록 및 부품소재 ····· 110
그림 3.3.48 주요 손상메커니즘 ····· 110
그림 3.3.49 프로그램 DB 연동 ····· 111
그림 3.3.50 주요 손상메커니즘에 따른 컬러링 모듈화 ····· 111
그림 3.3.52 비파괴 진단 신뢰도 평가기술 ····· 112
그림 3.4.1 PoD Progarm ····· 116
그림 3.4.2 Schematic of false and noise signal ····· 117
그림 3.4.3 Decisions from signal responses ····· 117
그림 3.4.4 PoD Estimate from Hit/Miss Data ····· 118
그림 3.4.5 HIT/MISS Data ····· 120
그림 3.4.6 Hit/miss PoD using logistic regression analysis ····· 121
그림 3.4.7 Hit/Miss PoD Curve ····· 121
그림 3.4.8 Noise and Signal Distributions ····· 122
그림 3.4.9 AHAT versus a Data ····· 123
그림 3.4.10 Ahat PoD ····· 123
그림 3.4.11 PoD with Different Thresholds ····· 125
그림 3.4.12 Experimental set up for CT imaging using PZT ····· 127
그림 3.4.13 Production process of PZT ····· 127
그림 3.4.14 Permanent attachment of PZT ····· 128
그림 3.4.15 Experimental set up ····· 128
그림 3.4.16 Image for hole using Delay and Sum imaging technique ····· 129
그림 3.4.17 Image for hole using MVDR imaging technique ····· 129
그림 3.4.18 Flow chart for NDE reliability ····· 131
그림 3.4.19 NDE reliability matrix ····· 131
그림 3.4.20 (a)Ultrasonic parameter (b) Mechanical information ····· 132
그림 3.4.21 EMAT module ····· 134
그림 3.4.22 EMAT signal ····· 134
그림 3.4.23 Guided-Wave experiment ····· 135
그림 3.4.24 Guided-Wave signal ····· 135
그림 3.4.25 MT inspection ····· 135

그림 3.4.26 ECT inspection ····· 136
그림 3.4.27 Corrosion on the last four years, the frequency of overseas research trends graph ····· 137
그림 3.4.28 The last four years, each non-destructive corrosion on paper graph ····· 137
그림 3.4.29 Thinning on the last four years, the frequency of overseas research trends graph ····· 138
그림 3.4.30 The last four years on thinning by each non-destructive paper graph ·· 138
그림 3.4.31 Stress corrosion cracking on the last four years, the frequency of overseas research trends graph ····· 139
그림 3.4.32 The last four years on stress corrosion cracking by each non-destructive paper graph ····· 139
그림 3.4.33 Accuracy Evaluation of the corrosion defect detection on paper graph ··· 140
그림 3.4.34 Thinning Defect detection on graph paper assessing the accuracy ····· 141
그림 3.4.35 Stress Corrosion graph paper on defect detection accuracy assessment · 141
그림 3.4.36 Expert advisory rating graph, on the non-destructive evaluation for corrosion defects ····· 143
그림 3.4.37 Expert advisory rating graph on Nondestructive Evaluation for Thinning Defect ····· 143
그림 3.4.38 To stress corrosion cracking on Nondestructive Evaluation expert advisory rating graph ····· 144
그림 3.4.39 Vendor advisory for nondestructive evaluation of corrosion rating graph ··· 145
그림 3.4.40 Thinning for Nondestructive Evaluation supplier advisory rating graph · 145
그림 3.3.41 Stress corrosion cracking in the vendor advisory for nondestructive evaluation rating graph ····· 146
그림 3.4.42 Graph for non-destructive evaluation of corrosion ····· 147
그림 3.4.43 Nondestructive evaluation graph for thinning ····· 148
그림 3.4.44 Stress corrosion cracking in the graph for Nondestructive Evaluation ···· 148
그림 3.4.45 Inspection effectiveness category ····· 149
그림 3.4.46 Guideline for assigning inspection effectiveness ····· 150
그림 3.4.47 NDE reliability matrix system ····· 151
그림 3.4.48 Ultrasonic parameter DB ····· 152
그림 3.4.49 Mechanical information DB ····· 152
그림 3.4.50 Reliability of NDE DB ····· 153
그림 3.4.51 Probability of detection system ····· 153

그림 3.5.1 LNG플랜트 주요 설비 DB ····· 155
그림 3.5.2 3-layer structure of LNG-RBI ····· 156

제1장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목표 및 내용

1-1-3 세부과제는 LNG플랜트의 위험도 평가기법 및 시스템을 구축하여 해외 LNG플랜트 수출의 필수적인 요소인 플랜트의 설계에 따른 안전성 평가 기법인 『위험성인지, 사고빈도 분석, 사고피해 영향범위 산정, 위험의 해석 및 판단』에 근거한 "Web 및 3차원 설계도면 기반 통합 위험성 평가 프로그램"을 개발하는 것이다.

○ LNG플랜트 시스템 위험요수 분류체계 구축
- 위험도 평가 이론검토, 분석, 평가
- 정성적, 정량적 평가 방법 검토
- 설비별/모듈별 위험요소 및 인자 결정

○ 주요 부품소재 열화 및 강도 DB
- LNG플랜트 주요기자재 목록 작성
- 주요재료 규격조사
- 파괴특성 및 소재물성 DB조사

○ 위험도 평가 기법 개발
- 온라인 관리기법 정립
- 위험도 평가 플랫폼 개발

○ LNG핵심 계통 비파괴 평가 시스템 구축
- 등급별 안전지수 도출
- 안전지수별 평가 지침서 및 매뉴얼 작성

○ LNG플랜트 안전기준 통합 클래스 코드 개발
- 위험도 기반 통합 코드 작성
- 활용 매뉴얼 및 가이드라인 작성

LNG 플랜트 사업에서는 전처리/액화/전환계통 및 일부 저장기술에 대하여 설정하고 있는 바, "LNG 플랜트 시스템 위험도평가 기술"연구를 통하여 전체 공정별 위험도를 장치 설비 및 배관계통에 대하여 RBIM 기술을 기반으로 위험등급을 정량적으로 산정하고, LNG 플랜트 시스템의 위험요소 분류체계를 구축하고자 한다.

위험요소에 대한 분류체계가 구축된 이후에는 PDIS(Plant Data Information System)를 이용하여 LNG플랜트의 검사/공무, 정비/구매 부서와 연결시키는 웹기반의 최첨단 위험도 평가기법을 개발하고자 하며, 위험도 등급에 따른 설비 및 배관진단의 우선순위를 선정

하고 최적의 검사주기를 결정하여 LNG 플랜트 핵심 계통에 대한 최신기법의 비파괴 평가 시스템 구축에 따른 안전지수별 진단평가 지침서 및 매뉴얼을 개발하고자 한다.

세부주관과제인 RAM 기반의 LNG 플랜트 모듈화 기술 개발의 관점에서 볼 경우, 플랜트 엔지니어링에 관계되는 digital data/knowledge/rule 등을 기반으로 디지털 플랜트를 구현하고 요소부품, 데이터 등을 통합하고, 가상 환경에서 프로젝트 건전성(설계 성능, 시공 적합성(플랜트 구성요소 및 설치 및 유지보수 효율화를 위한 제작 등), 유지보수성 등)을 모사 평가하는 기술로서 모듈화에 대하 최적화를 이룰 수 있다.

본 연구개발 기술을 제1세부과제 주관기관에서 수행하는 “인공지능 기반의 LNG 플랜트 모듈화”에 접목시켜 전사적 자원관리 시스템(ERP)과의 연동을 통한 종합적 안전관리 시스템을 구현하고 LNG 플랜트 안전 기준 통합 클래스 코드를 구축하여, 제1핵심기반 기술인 “RAM 기반의 LNG 플랜트 모듈화 기술”개발을 최종 완성하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

RBIM 기술은 기존의 시간(time)에 기초한 검사와는 달리 개개의 설비와 관련된 Risk를 사고 확률(likelihood of failure: LOF)과 피해결과(consequence of failure: COF)에 의한 측정 가능한 손실비용(Risk = LOF × COF)으로 계량화하여 잠재적으로 Risk가 높은 설비에 초점을 집중하여 검사 및 보수의 우선순위를 결정하는 기술로서 위험도가 적은 장치류들은 검사주기를 연장하여 검사경비를 줄이고 위험도가 큰 장치류에는 더 많은 예산을 투입하여 검사주기를 줄이거나 진단/감시 시스템의 수준을 높임으로서 사고발생 확률을 줄이며, 경비절감 및 생산성 향상의 3가지 효과를 얻을 수 있다.

현재 RBIM은 중화학공업, 발전, 제철/제강 등 기간산업설비와 제지·제약·시멘트·송유관 등 모든 장치산업과 해외 LNG 플랜트 건설 및 운영사업에서는 필수적인 요소로 요구되는 핵심기술이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발을 통하여 국내 에너지 안보의 확보는 물론 해외 LNG 플랜트 건설시장에서 고부가가치 성장사업모델로 성장시킬 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

○ LNG 플랜트 개발의 핵심기반기술 개발의 필요성 증가
  - LNG플랜트사업 공통기술 및 표준 등 취약한 인프라 구축이 필요
  - 고부가가치 첨단/핵심기술의 확보가 시급
  - 지속 가능한 기술 경쟁력을 확보를 위한 핵심기반기술 확보가 필수
○ LNG 플랜트 시설의 상시 위험성에 대한 정량적인 안전성 평가 및 진단 기술 개발은 대형사고 예방 및 에너지 자원의 안정적 공급에 필수적.
○ 최근 IT 신기술의 접목으로 안전관리기법의 선진화가 이루어지고 있으며 이로 인해 플랜트설비의 저비용, 고효율의 안전관리 시스템 구축이 실현되고 있음.

본 연구의 최종목표는 LNG 플랜트 시스템의 위험요소 분류체계 구축을 통하여 위험도 평가기법 및 평가 시스템을 개발하여 플랜트 안전 기준 통합 클래스 코드 구축을 목표로 “LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술”을 개발하는 것이며, 최종목표를 달성하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하고자 한다.

○ LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발
- LNG 플랜트 공정 및 장치이력 데이터베이스 구축
- API 코드에 기반한 위험도평가 프로그램 개발

○ LNG 플랜트 비파괴 진단 신뢰도 평가 기술 개발
- 비파괴 진단 신뢰도 평가시스템(N-RES: NDE Reliability Evaluation System)
- LNG 플랜트 비파괴 진단이력 데이터베이스 구축
- 비파괴 진단 신뢰도 평가 기법 개발

○ 안전기준 통합클래스 개발
- 네트워크를 이용한 플랜트 설비의 저비용, 고효율 안전관리 시스템 구축
- 유지관리 및 진단·보수에 필요한 안전지수별 평가 프로그램을 개발

3. 연구개발의 중요성

< 요약 >

제 1핵심기반 기술인 “RAM기반의 LNG플랜트 모듈화 기술”개발을 위한 핵심 모듈을 개발의 하나로서, ①LNG플랜트의 전체 설비계통에 대한 정성적, 정량적 위험도 지수를 평가하여, 각 설비에 대한 안전지수를 산정함으로써 저비용 고효율의 안전관리 시스템을 구축할 수 있다. ②즉 차세대 첨단기술인 위험도기반의 진단 및 관리 기술을 통하여 LNG플랜트에서 존재하는 상시 위험성에 대한 정량적인 시스템 위험도 평가는 물론 ③비파괴 평가 시스템을 추가로 구축하여 인공지능 미들웨어에 탑재하고 ERP(전사적 자원관리 시스템)와 연동이 가능하도록 하여 생산, 공무, 유지관리 분야에서 엔지니어링의 요소기술 및 핵심인자를 제공할 수 있다.

가. 기술적 측면

○ 설비 위험도에 따른 유지/보수
- 엔지니어링 비용 절감
- 파손에 의한 사고 가능성의 감소
- 시기적절한 유지.보수 중단업는 운전 가능

○ 주요 설비 및 핵심기기 국산화로 인한 국내 장치 산업 경쟁력 향상

○ 지속 가능한 경쟁력 확보를 위한 미래 기반기술 확보
○ LNG플랜트의 위험도 평가 및 비파괴 평가의 정립

나. 경제·산업적 측면

○ LNG플랜트 관련 사업 창출 및 기반 산업의 성장
○ 플랜트 관련 전문인력 육성
○ 국제적인 환경 규제 및 에너지 안보의 대응 방안
○ LNG플랜트 설비에 대한 안전성 확보
○ 저온 금속재료 비파괴 전문가 양성

제 2 장 국내외 기술개발의 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

< 요약 >

▪ 국내

- LNG 플랜트에 대한 위험도 평가 기술 경험이 없음
- 정유 및 석유화학 플랜트의 위험도 평가기술(RBI)은 한국가스안전공사에서 최초로 개발 성공하여 현재 각 플랜트에 적용 중에 있음.

→ LNG 플랜트 및 인수기지에 대한 독자기술 확보의 필요성 증대에 기인하여 가스공사 및 각 기업별 기술 확보 방안을 모색

▪ 국외

- 최근 들어 해양 및 중소 가스전 개발이 각광을 받으면서 1.5 Mton/year 전후의 중소형 LNG 플랜트기술이 큰 흐름임.
- 선진국에서는 이미 LNG 플랜트 및 해양 플랜트에 대한 위험성 평가 기술을 구축하여 해외 컨설팅 사업 및 건설 분야에도 참여하여 EPC 사업 참여 등에 관한 기술이 전개되고 있음.
- 최근 웹기반의 파괴역학을 접목한 위험성 평가기술을 유럽에서 개발하여 진행 중에 있음.

LNG플랜트를 대상으로 할 경우에는 실적이 전무한 상태이나 석유화학 및 원자력 발전 플랜트에 적용된 기술을 도입하여 응용할 경우를 가정하여 수준을 평가할 수 있다.

2. 국외 기술 및 산업 동향

가. 현황

선진기업은 원천기술과 수행경험을 보유하고, 카르텔을 형성 및 시장 독 미국, 일본 및 유럽에서는 대형 안전사고가 발생할 가능성이 매우 높은 LNG 플랜트, 석유 화학 플랜트, 화력 및 원자력 발전소에 대한 “위험도 기반 진단 진단기술”, 사용중 적정성 평가 기준 개발에 국가적으로 심혈을 기울이고 있다.

또한 설비 진단 및 관리에 대한 효율성을 극대화하기 위해 위험도 기반 진단 및 관리 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 이는 시간에 입각하여 설비를 진단하고 관리하던 기존의 개념을 설비 상태 혹은 위험도에 입각하여 진단하고 관리함으로서 비용효과를 극대화하기 위한 기술로서 미국의 경우 ASME 의 경우 Post Construction Code, API의 경우

API 581: Risk-Based Inspection Base resource Document를 각각 개발하였다. 또한 유럽의 경우 Thematic network 과제로서 RIMAP (Risk Based Inspection and Maintenance Procedure for European Industry) 과제를 2001년부터 2004년에 걸쳐 수행하였다.

플랜트 단열재 배관에 대한 비파괴 진단방법[IOWA 주립대 비파괴센터(CNDE)]과 접목하여 설비의 신뢰성을 확보하고 있다 최근에는 배관의 단열재하 부식(CUI: Corrosion Under Insulation)이 최근 큰 문제점으로 대두되고 있어, 단열재를 모두 제거하지 않고 검사할 수 있는 최선의 비파괴 진단방법이 모색되고 있다.

미국, 유럽 및 일본등 선진국에서는 이러한 기술 개발을 통해 자국의 기술 기준을 만들고 이를 토대로 국제 표준화함으로서 수출활로를 개척하고 수입시장을 제한함으로서 자국 시장을 보호하고 있다. 미국의 경우 ASME 혹은 API 코드 자체를 국제표준화 (ISO) 하려는 움직임이 있고 유럽의 경우 위에 언급된 과제들을 통해 도출된 기술을 토대로 유럽표준(CEN)을 만들고 이를 ISO화 한다는 계획이 있다.

나. 시장 예측

LNG는 극저온 온도, 확산특성 및 가연성에 대한 안전성을 필수적으로 고려하여야 하다. 이러한 위험에 대하여 법률, 표준, 가이드라인 및 지침등이 마련되어 있으며, 이러한 지침들에 의하여 설계, 건설, 운영 및 유지 보수를 수행하여야 한다.

최근에는 테러 및 보안에 대한 안전성확보방안이 대두되고 있으며, 2003년에는 유엔 산하 국제 해사기구(IMO)를 통하여 해상의 LNG 선박에 대한 안전성에 대한 보안 계획이 수립되고 있다.

미국의 경우, 연방정부에서 육지와 해상을 포함한 LNG관련 산업을 총괄 관리하고 있으며, 최근에는 중동과 걸프만에서 발생할 수 있는 위험에 대하여 안전을 확보할 할 수 있는 관리방법((risk-based decision making)과 관리범위(security workshops, scoping meetings)를 고려하고 있다.

▪ 해외 전문가 예측

- 최근 들어 해양 및 중소 가스전 개발이 각광을 받으면서 1.5 Mton/year 전후의 중소형 LNG 플랜트기술이 큰 흐름임.
- 선진국에서는 이미 LNG 플랜트 및 해양 플랜트에 대한 위험성 평가 기술을 구축하였음
- 인도네시아 및 알제리 plant에서는 Mercury(Hg, 수은)가 함유되어 있기 때문에 탈수공정(Dehydration)과 함께 수은제거(Mercury Removal)가 필수적임. 이 경우, 부식 및 폭발 위험성이 있기 때문에 연속공정이 아닌 Batch Process로 진행하고 있음. 또한, 활성화 된 탄소(Activated Carbon)는 수은과 함께 용해되어 있기 때문에 특히 위험요소가 많으므로 이에 대한 중점 관리가 필요함.

- Acid Gas Treatment 공정에서, Forming, Vibration 및 급작스런 Vaporization은 일반적인 현상이며, 최근 Fouling과 함께 Forming이 주요 관심사로 대두되고 있음.
- 생산 용량 측면에서, 압축기의 구동기(Driver)는 1990년대 말까지는 Steam Turbine이 주도적이었으나, 2000년 초부터는 Gas Turbine이 주로 적용되고 있음. 그러나, 향후에는 Electric Motor Driven이 주도할 예정
- LNG Plant의 크기는 small/medium인 경우가 보다 경제적임. 그 이유는 대규모의 LNG 플랜트는 구성품의 크기가 크기 때문에 유지관리에 어려움이 많음.
- Phillips/Bechtel사의 Cascade 방식은 1970년대 많이 적용하였으며, APCI사의 AP-X 공정은 Quatargas 및 Rasgas와 같은 대형 프로젝트에 적용됨.
- LNG플랜트에서는 Gas Turbine 부근의 고온지역 및 Piping 지지대, 큰 규모의 회전기기 진동지역, 대규모 액상 누출(Leakage), 저온 구성 부품에서의 저온취성에 따른 cracking 등에 대하여 집중적으로 안전관리가 필요함.
- 모든 프로젝트 팀원들은 평가에 공동 참여하여 의사결정의 동일성을 공유하여야 하며, 위험요소로 인지된 구성품에 대해서는 위험 완화조치를 개발하여야 함.
- JGC 그룹에서는 각 플랜트 구성인자에 대한 검토 절차서를 보유하고 있으며, 이러한 절차서는 프로젝트 수행에는 필수적

3. 시사점 및 결론

현재 석유화학 플랜트를 대상으로한 위험도 평가 기술은 제공되고 있으나, 현재 LNG 플랜트를 대상으로한 위험도 평가 기술(RBI)은 미흡한 실정이다. 정유 및 석유화학 플랜트의 위험도 평가기술은 한국가스안전공사에서 최초로 개발 성공하여 현재 각 플랜트에 적용 중에 있다. LNG플랜트의 극저온 환경을 고려한 플랜트 특성에 맞는 위험도 평가기술이 필요한 실정이다. 선진국에서는 이미 LNG플랜트 및 해양 플랜트에 대한 위험성 평가기술을 구축하여 해외 컨설팅 사업 및 건설 분야에도 참여하여 EPC사업 참여 등에 관한 기술이 전개되고 있다.

제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 RBI(Risk Based Inspection) 평가

위험(Risk)이란 우리의 일상생활에 항시 존재하고 있기 때문에 지속적으로 Risk를 고려하여 매사를 결정하고 있으며, 어느 정도의 수준에서 위험성은 언제나 상존하고 있다. 압력용기나 장치류의 경우도 계속해서 사용하느냐, 언제 어느 때에 가동 중단을 하여 어떤 방법으로 검사하며 보수하느냐를 위험성의 개념을 적용하여 결정할 수 있다. 위험성이란 어떤 사고가 일어날 수 있는 확률과 사고 발생 시에 일어날 수 있는 피해의 결합으로 다음의 수식으로 이루어진다.

Risk = Likelihood of Failure(LoF) × Consequence of Failure(CoF)

1. RBI기술 개요

석유화학공장 및 LNG 플랜트에서 사용하는 압력용기류에서는 검사에 대한 계획이 중요하며 다음과 같은 네 가지 요소에 의해 결정된다.

① 장치수명의 비율에 따른 검사기간
② 낮은 열화속도에 따른 내부검사 시기
③ 공정환경 유기균열과 관계된 열화기구에 대한 내부검사 요구사항
④ 검사기간에 근거한 결과 등이다.

다음의 그림 3.1.1은 검사정도와 검사주기가 감소할 때 예상되는 위험의 감소를 보이는 것이다.

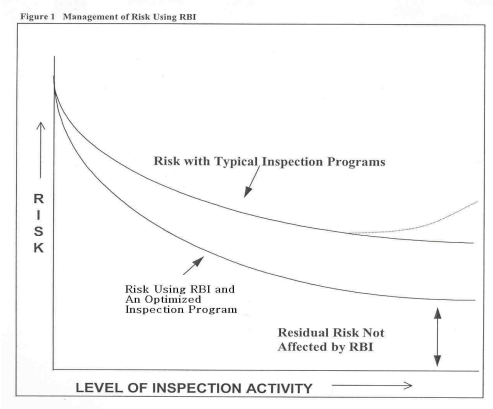


그림 3.1.1 검사정도와 검사주기의 관계

검사를 수행하지 않을 경우 그림의 y축인 위험성의 수준은 높아진다. 검사활동에 투자를 시작한 초기에는 일반적으로 위험성이 상당히 감소한다. 그러나 추가적인 검사활동을 하더라도 응답이 감소하기 시작하는 시점에 도달하게 되면 위험성은 거의 감소하지 않게 된다. 또한 과도한 검사를 수행하게 되면 위험도는 오히려 증가하게 된다. 그 이유는 어떤 경우, 간섭적인 검사는 추가적인 열화를 발생시킬 수 있기 때문이다.(예를 들어 황산과 관련된 기기에서의 수분침입, 보호코팅 및 유리 라이닝 된 용기에 대한 검사로 인한 손상 등) 이것은 곡선의 끝부분에 점선으로 표현되어 있다.

또한 위험성을 계산할 때 복잡성은 위험성에 영향을 미치는 요소의 수에 비례한다. 절대 위험성의 계산은 너무나 많은 불확실성을 가지고 있기 때문에 많은 시간 및 비용을 요구하며 계산 자체가 불가능한 경우가 대부분이다.

많은 변수가 석유 및 화학설비에서의 억제손실과 관련되어 있으며 절대 위험성의 결정은 대개 비용 면에서 효율적이지 않다. RBI는 상대 위험성을 시스템적으로 결정하는 데에 초점을 맞추고 있다. 이 방법을 통해 시설, 유닛, 시스템, 기기나 장비에 대해 상대적인 위험성에 근거하여 순위를 부여할 수 있다. 즉 더 높은 순위를 가지는 위험성에 위험성관리 노력을 집중시킬 수 있게 한다.

1) 위험도에 따른 검사방법 소개

위험도에 따른 검사기법(RBI)에서의 발생확률과 피해결과는 기기고장이 발생하였을 때 피해결과가 발생할 수 있다. 예를 들어 압력용기에 보온재하부식(CUI)에 의한 열화로 누설이 발생했을 때 일어날 수 있는 피해결과는 다양하다. 이러한 피해결과는 다음과 같이 나타난다. 화재로 인해 부상과 기기손상을 유발시킬 수 있는 증기운의 형성, 건강상의 문제를 일으킬 수 있는 독성 화학물질의 누출, 환경오염을 발생시킬 수 있는 유출, 플랜트 가동중지에 따른 경제적 손실, 적절하지 못한 안전/보건 수준, 환경적/경제적 영향 등이다.

하나 이상의 사고 발생확률은 그 사고의 피해결과와 결합하여 운전시의 위험도를 결정하게 될 것이다. 어떤 고장은 설비의 안전이나 환경 또는 경제적인 측면에서의 피해가 크지 않지만 비교적 빈번하게 발생할 수도 있다. 유사하게 또 다른 어떤 고장은 발생확률이 낮아 즉각적인 조치를 취할 필요를 못 느끼지만 잠재적으로 심각한 피해를 유발할 수 있다. 그러나 발생확률과 피해결과를 조합한 결과(위험도)가 받아들일 수 없을 만큼 높은 경우 사고를 예측하고 방지하기 위한 완화조치가 권장되고 있다. 일반적으로 고장으로 인한 피해결과나 고장의 발생확률에만 관심의 초점을 두었지 이 두 가지를 조합하지는 않았으며 원치 않는 사고가 발생할 확률이 얼마나 되는 가도 고려하지 않고 있는 것이 현실이다. 하지만 이 두 가지 요소를 모두 고려하여야만 의사결정에 근거한 효율적인 위험성 평가가 이루어 질 수 있다. 따라서 모든 기기고장이 심각

한 피해결과를 가지며 사고로 이어지는 것은 아니며, 심각한 피해결과를 나타내는 기기고장은 발생확률이 극히 낮다는 사실에 근거하여 위험성 허용기준을 정의하고 있다. 위험성에 대한 이러한 고찰을 통해 검사우선순위 및 계획을 결정할 때 위험성의 사용과 관련된 새로운 통찰력을 가질 수 있게 된다. 그림 3.1.2는 공정 플랜트에 대한 기기 item의 운전과 연관된 위험성을 나타내고 있다. 10개의 기기 item에 대한 사고발생 확률과 피해결과가 결정되어 있으며, 그 결과를 도시하였다. 각 점들은 각 기기 item의 위험성을 나타내고 있다. 위험성의 정도에 따라 정렬하면 검사하고자 하는 기기 item의 위험성에 따른 순위를 결정할 수 있게 된다. 그림 3.1.2에는 같은 등급의 위험성을 나타내는 선이 나와 있으며, 이 선은 일정한 위험도를 나타낸다. 사용자가 정의한 허용가능한 정도의 위험도를 등가 위험곡선으로 그릴 수 있다. 이러한 방법을 사용할 때 허용 가능한 위험곡선은 위험성을 허용할 수 있는 item과 허용할 수 없는 item을 구분한다. 흔히 위험곡선을 평가하는 item의 상대위험성을 쉽게 알아볼 수 있게 하기 위해 log-log 스케일을 사용하여 도시한다.

RBI평가는 유형에 따라 여러 레벨에 맞춰 수행이 가능하다. 어느 유형의 RBI평가를 선택하는가 하는 문제는 평가의 목적, 평가하고자 하는 설비나 기기항목의 수, 이용가능 한 자원, 평가의 시간구조, 설비나 공정의 복잡성, 이용가능 한 데이터의 특성과 양에 따라 결정된다.

RBI절차는 정성적과 정량적, 또는 이 두 가지 측면을 모두 사용하여(즉, 준정량적으로) 적용될 수 있다. 각 기법은 위험성의 분류, 잠재적인 위험영역의 확인, 우선순위리스트의 작성과 관련된 체계적인 방법을 제시하여 좀 더 심도 깊은 검사와 분석을 할 수 있게 해준다. 또한 위험성순위를 결정하여 고장의 발생확률과 고장으로 인한 잠재적인 피해결과의 평가에 사용하고 있다. 즉, 발생확률과 피해결과를 조합하여 위험성을 예측하게 된다. 평가의 유형이나 레벨에 관계없이 대부분의 위험성평가에는 이 분야의 최고 전문가의 의견을 포함시키고 있다.

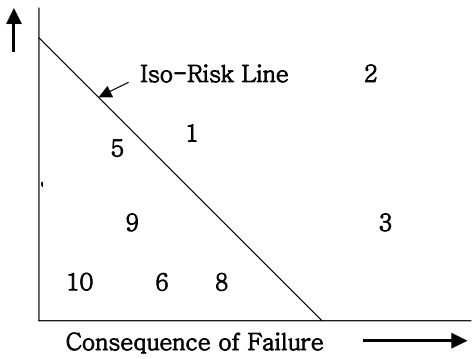


그림 3.1.2 위험선도

정성적인 기법은 고장의 발생확률과 피해결과의 분석을 위한 기초로서 공학적 판단과 경험을 사용한 기술적 정보 등의 데이터입력이 필요하다. 데이터입력은 흔히 불연속적인 수치 대신 일정한 데이터 범위 내에서 주어지게 된다. 평가결과는 주로 높음, 중간, 낮음 등의 정성적인 용어로 나타나며, 각 범주에 해당하는 수치 값으로 표시된다. 이 기법은 상세한 정량적 데이터가 없이도 위험성 평가를 수행할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 정성적인 분석을 통해 나온 결과의 정확성은 분석자의 전문성에 크게 좌우된다.

정량적인 기법인 위험성 분석은 설비의 설계, 운전조건, 운전이력, 기기 신뢰성, 운전자의 행동, 사고발생시의 실제적인 발전양상, 잠재적인 환경적/보건적 영향 등과 관련된 정보를 일정한 방법론에 통합시킨다.

정량적인 위험성 분석은 심각한 사고를 발생시킬 수 있는 사건들의 조합을 묘사하는 논리적인 모델과 사고의 발전양상과 위험물질의 주변으로의 이동을 묘사하는 물리적인 모델을 사용한다. 각 모델은 위험도에 대한 정성적인, 정량적인 통찰력을 제공하고, 설계, 부지, 운전특성 등 위험성에 가장 중요한 영향을 미치는 인자를 확인하기 위하여 확률적으로 평가를 받는다. 정량적인 위험성 분석은 심도 깊은 분석, 상세한 평가의 통합을 통해 정성적인 위험성 분석과의 차별을 두고 있다.

정량적인 위험성 분석 중에서 논리적 모델은 일반적으로 사건수(event tree)와 결함수(fault tree)로 구성되어 있다. 사건수는 시작사건과 시스템의 안전, 고장의 조합을 기술하는 반면, 결함수는 사건수에서 나타나는 시스템 고장이 어떻게 발생할 수 있는가를 나타낸다. 이러한 모델은 각 사고의 발생확률을 예측하기 위하여 분석을 한다. 이 기법의 결과는 대개 위험도를 나타내는 수치(예를 들어 년간 비용)로 표현된다.

준정량적인 기법은 정성적인 기법과 정량적인 기법의 측면을 모두 가지고 있다. 즉, 기존의 두 기법의 주요 장점(정성적인 기법의 신속성과 정량적인 기법의 엄밀함)을 가지게 된다. 정량적인 기법에서 사용되는 대부분의 데이터 역시 준정량적인 기법에 필요하다. 하지만 정량적인 기법만큼 상세하게 요구하지는 않는다. 사용되는 모델 역시 정량적인 기법에서 사용되는 모델처럼 엄밀할 필요는 없다. 평가결과는 위험도수치보다는 발생확률과 피해결과의 범주로 나타내지만, 위험성의 계산과 적절한 위험허용기준의 적용을 위하여 각 범주를 수치화 한다.

평가기법의 연속성에 있어 실제적으로, RBI평가는 정성적, 정량적, 준정량적인 기법의 측면을 사용한다. 이러한 RBI기법은 서로 경쟁관계에 있는 것이 아니라 상호보완관계에 있다고 여겨진다. 예를 들어, 높은 레벨의 정성적인 기법은 설비내의 unit중 가장 높은 위험성을 가지고 있는 unit을 찾아내기 위하여 unit의 수준에서 사용될 수 있다. 그런 뒤 더 높은 위험성을 나타내는 item의 발견에 사용되는 정량적인 기법과 함께 정성적인 기법을 사용하여 unit내의 시스템이나 기기를 분류한다. 또 다른 예로서 준정량

적인 확률분석과 조합된 정성적인 피해결과 분석이 있다.

이 세 기법의 관계는 연속선상에서 나타낼 수 있는데 연속선상의 양 끝은 정성적인 기법과 정량적인 기법이 위치하고 그 사이는 준정량적인 기법이 위치하게 된다. 이러한 연속성의 개념을 그림 3.1.3에 도시하였다.

그림 3.1.3의 단순화된 블록도로 나타낸 RBI절차는 위험성 분석에 근거하여 검사계획 수립의 주요한 요소를 설명하고 있다. 이 블록도는 적용되는 RBI기법의 종류에 관계없이 그림 3.1.3에 적용이 가능하다. 즉, 그림 3.1.4의 각각의 주요 요소는 기법(정성적, 준정량적, 정량적인 기법)에 관계없이 완전한 RBI프로그램에 필요한 요소이다.

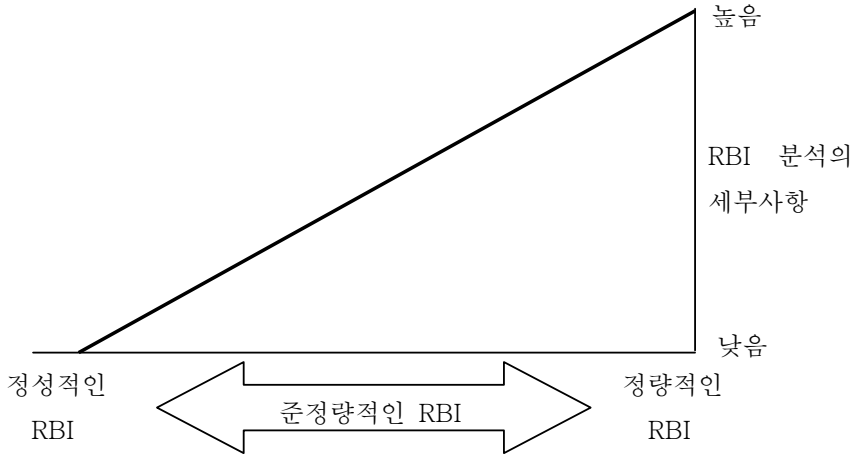


그림 3.1.3 RBI기법의 연속성

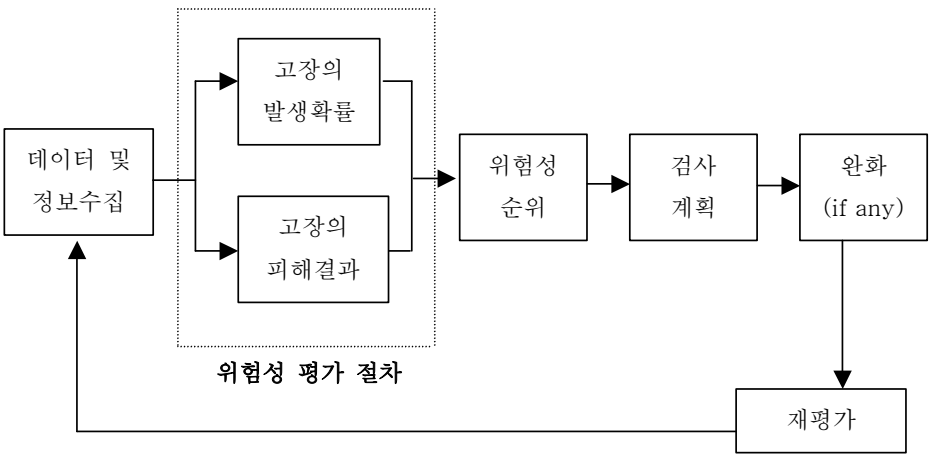


그림 3.1.4 RBI 계획수립 절차

정량적 위험성 평가(QRA)는 석유 및 화학공정설비에 포함된 다양한 형태의 설비에 대해 위험성분석기법을 적용하는 방법론으로서, 주로 사고발생에 따른 피해범주를 나타내어 예전부터 사용해온 사실상의 전통적인 위험성분석기법이다. RBI 분석에서 사용하는 기법과 데이터 요구사항의 상당부분은 QRA와 공유가 가능하다. 만약 공정 unit에 적용하기 위한 QRA를 준비하였다면 RBI 피해결과 분석에서 많은 부분을 활용할 수 있다.

전통적인 QRA에 일반적으로 다음의 다섯 가지 절차로 구성되어 있다. 시스템 확인, 위험도 확인, 확률평가, 피해결과 분석, 위험도 결과 평가이다. 시스템 확인, 위험도 확인, 피해결과 분석은 서로 통합적으로 연관되어 있다. RBI 분석에서의 위험도 확인은 일반적으로 기기의 확인 가능한 파손기구(검출가능한 원인)에 관심을 두는 반면, 정전이나 인적오류 같은 사고로부터 야기되는 그 밖의 잠재적인 파손시나리오에 대해서는 명시적으로 다루고 있지는 않다. 즉 QRA에서는 전체적인 위험성은 다루지만 기기열화와 관련된 위험성은 다루지 않고 있다.

대개 QRA에서는 RBI 분석보다 훨씬 더 상세한 평가를 포함하고 있다. 숙련된 위험분석자는 일반적으로 QRA를 사용하여 위험성을 분석하며, 상세한 QRA분석과 RBI분석을 연관시킬 수 있다.

다음은 정밀성과 정확성이다. 정밀한 수치값으로 제시되는(정량적 분석에서의) 위험성은 위험도 매트릭스(정성적 분석에서의)와 비교하여 더 높은 정확성을 가지고 있다. 사실 기기 고유의 고장 발생확률과 피해결과에 내재된 불확실성 때문에 정밀성과 정확성사이에 연관성이 존재하지 않을 수도 있다. 결과의 정확성은 사용 가능한 데이터의 양과 질 뿐 아니라 사용된 기법의 종류에 따라 크게 달라진다. 예측된 손상과 손상속도의 근거, 검사데이터의 신뢰도레벨, 검사 수행에 적용된 기법 등이 모두 고려해야 하는 요소들이다. 실제 손상률의 예측(발생확률)과 파손의 규모(피해결과)에 영향을 미칠 수 있는 요소가 너무 많이 존재하기 때문에 하나의 고정된 모델로 완전하게 설명하기는 불가능하다. 그러므로 가장 효율적이고 효과적인 평가를 하기 위해서는 정성적인 기법과 정량적인 기법을 상호 보완적으로 사용하는 것이 바람직할 것이다.

정성적 분석은 파손의 발생확률과 피해결과를 계산하기 위하여 논리적 모델을 사용한다. 기기재료의 열화 특성을 나타내거나 파손의 피해결과를 결정하기 위해 사용한 논리적 모델은 큰 융통성을 가지고 있기 때문에 위험성 평가결과의 질에 영향을 미칠 수 있는 에러와 부정확성의 요소가 많이 존재하고 있다. 그러므로 이러한 논리적 모델로부터 얻은 결과는 전문가의 판단에 의해서 적절성을 평가받는 것이 중요하다. 종류에 상관없이 RBI 분석의 정확성은 적절한 기법 및 데이터의 사용, 숙련된 전문가에 크

게 의존하고 있다.

위험성 관리에서도 RBI가 활용 될 수 있다. RBI는 기기의 기계적 건전성과 정상적인/비정상적인(고장) 운전조건에서 안전하고 신뢰성 있게 작동할 수 있는가를 나타낼 수 있다. RBI 평가를 수행할 때, 한개 또는 그 이상의 열화기구(예를 들어 부식, 피로, 균열)에 대한 기기의 민감성이 규정되어 있다. 현재 운전되는 설비 내에 설치된 기기의 적절성과 상태는 한 개이지만, 그 이상의 열화기구로부터 기기의 고장확률(Probability of failure, POF)을 결정할 수 있다. 고장으로 인한 피해결과(COF)와 조합하여 고장확률은 기기 item과 관련된 운전위험성 및 필요한 경우 검사, 금속학적 변경, 운전조건의 변경 등과 같은 완화조치의 필요성 등을 결정하게 된다. 위험성의 관리는 검사를 통한 위험성 관리와 RBI를 이용한 검사계획과 우선순위를 결정하는 것을 포함한다.

검사는 열화 상태에 대한 이해와 고장 확률 예측가능성을 증진시킴으로써 주로 압력기기와 관련된 위험성의 불확실성을 감소시킬 수 있다. 비록 검사가 위험성을 직접적으로 감소시키는 것은 아니지만 위험성을 감소시키는 방향으로 진행되게끔 할 수 있기 때문에 위험관리 활동이라고 볼 수 있다. 가동중 검사는 주로 열화의 검출 및 모니터링과 관련이 있다. 열화에 기인한 고장확률은 열화의 유형 및 기구, 열화속도, 현재의 검사기법으로 열화의 확인 및 검출, 향후 열화 상태를 예측할 수 있는 확률, 해당 열화 유형에 대한 기기의 내성(tolerance)등 이 네 가지 요소와 함수관계임을 알 수 있다.

RBI를 이용한 검사계획과 우선순위를 결정함에 따라 얻을 수 있는 주요한 효과는 평가하고자 하는 각 기기에 대한 검사계획을 수립할 수 있다는 것이다. 검사계획은 현재의 운전과 관련하여 완화조치가 불가능한 위험에 대하여 상세히 고려해야 한다. 허용불가능한 위험성의 경우, 허용 가능한 레벨까지 위험을 감소시키기 위하여 권고되는 완화조치를 검사계획 내에 포함시켜야 한다.

검사를 비용편익 계산의 효과적인 관리 수단으로서 이용할 수 있는 기기 item의 경우, 검사계획에 권고되는 검사의 유형, 범위, 시기를 기술해야 한다. 완화조치가 불가능한 위험도로 기기의 등급을 분류함으로써 사용자가 다양한 검사/진단 업무에서 기기의 우선순위를 할당할 수 있도록 한다. 따라서 완화조치가 불가능한 위험도를 가지는 기기는 시급히 검사해야 하는 기기로 평가하게 된다.

그 밖의 위험성 관리에 있어 검사를 통해 위험도를 허용할 수 있는 수준으로 충분히 낮출 수 없는 경우는 사용수명이 다한 기기, 취성파괴 및 피로와 같이 정해진 압력과 온도에서 가동되는 고장기기, 위험성 평가에 크게 영향을 받는 기기의 경우이다.

RBI와 초기의 위험등급 및 안전 규정과의 관계는 상호보완적이다. RBI 방법론은 초기의 위험등급 및 안전 규정을 보완하기 위하여 만들어졌다. 일부 초기 규정의 결과를 RBI 평가과정에 입력 자료로 사용할 수 있으며, RBI 평가결과는 조직에서 초기의 규정을 이용하여 이미 실행된 평가결과를 개선시키는데 이용할 수도 있다. 이러한 초기

규정으로는

① OSHA PSM Programs
② EPA Risk Management Programs
③ ACC Responsible Care
④ ASME Risk Assessment Publications
⑤ CCPS Risk Assessment Techniques
⑥ Reliability Centered Maintenance
⑦ Process Hazards Analysis
⑧ Seveso 2 Directive in Europe

등이 있다.

공정위험성분석(Process Hazards Analysis, PHA)도 RBI와 밀접한 관계가 있다. 공정위험성분석(PHA)은 공정 unit에서의 위험성을 확인하고 분석하기 위하여 시스템적인 기법을 사용한다. PHA를 이용한 unit의 평가결과를 검토하여 RBI에 포함시킬 수도 있으며, 특히 PHA에서 확인된 위험성을 RBI 분석과정에 제시할 수도 있다. PHA를 통하여 확인된 잠재적인 위험성은 주로 위험성 계산식에서의 고장확률에 영향을 미칠 것이다. 사고는 공정중지를 야기할 수 있는 일련의 사건들에 의해 발생되기도 하고, 공정설계나 설치된 기계류의 결함으로 발생할 수도 있다. 이 두 경우에서 위험도는 고장확률의 증가로 이어지며 이러한 결과는 RBI평가절차에서도 동일하게 반영되어야 한다. 확인된 몇몇 위험성은 위험성 계산식의 피해결과항에 영향을 미친다. 예를 들어 차단밸브의 잠재적인 고장은 누설사고발생시 누출되는 인벤토리의 양을 증가시키게 된다. RBI 평가절차에서의 피해결과 계산은 이러한 추가적인 위험성을 반영하게끔 수정될 수 있어 PHA의 신뢰성을 눈에 띄게 향상시킬 수 있다.

RBI의 경우 공정 안전관리(Process Safety Management, PSM)는 공정플랜트의 위험도를 크게 감소시킬 수 있다.(OSHA 29 CFR 1910.119 또는 API RP 750 참조) RBI는 관리시스템의 효율성을 평가하는 방법론을 포함하여 기계적 건전성을 관리하고 있다. 관리시스템 평가결과는 위험성결정과정에 반영된다. 이러한 PSM 프로그램의 장점들을 RBI 평가를 위한 입력자료로 사용할 수 있다. RBI 평가를 위해서는 기기 및 공정의 광범위한 데이터가 필요하며 PHA와 사고조사 보고서의 결과를 포함하여 RBI 평가의 타당성을 증가시킬 수 있다. 마찬가지로 RBI프로그램은 PSM프로그램에서 수행하는 기계적 건전성평가의 신뢰성을 증가시킬 수 있다. 효율적인 PSM프로그램은 잘 구성된 기기 검사프로그램을 포함하고 있다. RBI시스템은 검사계획의 초점을 어디에 두어야 하는지를 결정하도록 하여 PSM프로그램의 효율성을 증가시킬 수 있다. 포괄적

인 검사프로그램의 운영은 설비의 누출위험성을 감소시키며, 안전관련 규정을 준수할 수 있도록 해준다.

기기신뢰성(Equipment Reliability) 프로그램은 RBI프로그램의 확률분석 부분에 대한 입력 자료로 사용할 수 있다. 특히 신뢰성 데이터는 기기 고장확률과 누설빈도를 예측하는데 사용할 수 있다. 기기 신뢰성은 정전, 단수 등의 2차 고장에 의해 누설이 발생할 가능성이 있는 경우 특히 중요하다. Reliability Centered Maintenance(RCM)같은 신뢰성과 관련된 평가를 RBI와 연관시켜 운전 unit의 가동중지시간을 감소시킬 수 있는 통합된 프로그램을 개발할 수 있다.

2. API BRD 581코드 기반의 정성적 RBI평가

가. API BRD 581 코드 기반의 정성적 RBI 평가 방법

정성적 RBI 평가는 플랜트 전반에 대한 설비 또는 주요 시스템에 대한 검사 우선순위를 결정하기 위한 방법이다. 사고발생 가능성 범주(likelihood category)와 손상피해 범주(consequence category)에 대해 평가하며, 손상피해의 경우, 장치손상피해(damage consequence category)와 건강피해(health consequence category)를 각각 평가하여 보수적인 기준을 최종 손상피해로 결정한다. 정성적 평가의 세부항목은 표 3.1.1에 정리한 바와 같이 16개의 계수를 설문조사를 통해 평가한다.

정성적 RBI 평가의 세부항목은 진단평가 질문서에 의해 검사자가 직접 평가하도록 되어 있으며 이러한 평가는 검사자의 숙련도나 상황에 따라 결과의 신뢰도가 달라지게 된다. 이를 보완하기 위해 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo simulation)을 이용하여 정성적 RBI 평가를 수행하는 방법을 고려하였다. 몬테카를로 시뮬레이션이란 일련의 난수(random number)를 생성하는 방법으로써 확률모형의 모수(parameter)나 변수에 대하여 반복적으로 생성된 난수를 기반으로 확률변수의 미래 값을 예측하는 수치적 접근방법이다. 몬테카를로 시뮬레이션은 우선 모형을 설정하고 확률 변수의 분포를 정립한다. 그 후 외생변수(extrageneous variable)에 대해 임의의 값을 부여하여 방정식 분포를 정의한 후 모형의 해를 도출하는 순서로 진행된다. 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하기 위해 각 세부항목에 베타분포(beta distribution)형태의 확률모델을 적용하였으며 각 항목의 평균값 및 최대/최소값, 형태파라미터를 표 3.1.1～표 3.1.2와 같이 결정하였다. 확률론적인 정성적 RBI 평가를 위해 대표적인 확률통계 분석 프로그램인 DecisionTools Suite을 이용하였다. DecisionTools Suite의 세부기능 중 Precision Tree기능을 활용하여 그림 3.1.5와 같이 각 변수의 경우의 수를 기반으로 트리 다이어그램(tree diagram)을 작성하였다. 이를 기반으로 DecisionTools Suite의 세부기능인 Top-Rank와 Risk Analysis를 사용하여 세부항목이 Risk에 미치는 영향을 분석하였다. 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해 반복횟수(iteration)는 총 5,000번을 고려하였다.

표 3.1.1 Factors of qualitative evaluation

Category	Factor	No. of variable
Likelihood Category	Equipment Factor: EF	1
	Damage Factor: DF	11
	Inspection Factor: IF	1
	Condition Factor: CCF	1
	Process Factor: PF	1
	Mechanical Design Factor: MDF	1
Damage Consequence Category	Chemical Factor: CF	1
	Quantity Factor: QF	1
	State Factor: SF	1
	Autoignition Factor: AF	1
	Pressure Factor: PRF	1
	Credit Factor: CF	11
Health Consequence Category	Toxic Quantity Factor: TQF	2
	Dispersibility Factor: DIF	1
	Credit Factor: CRF	3
	Population Factor: PPF	1

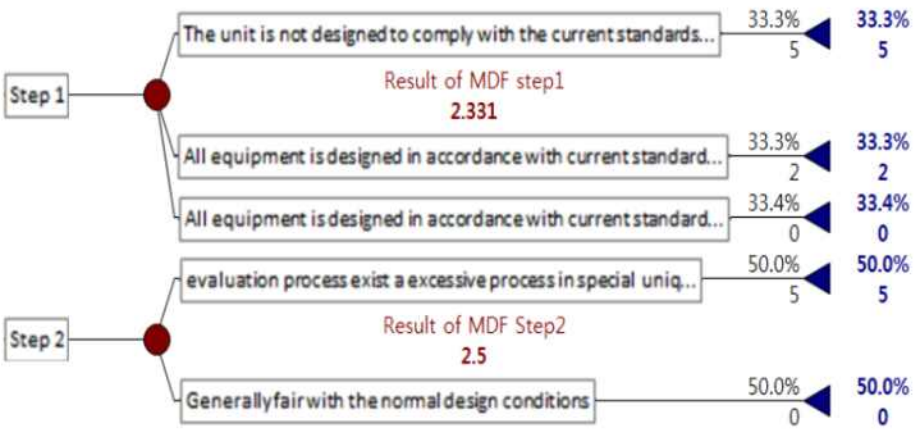
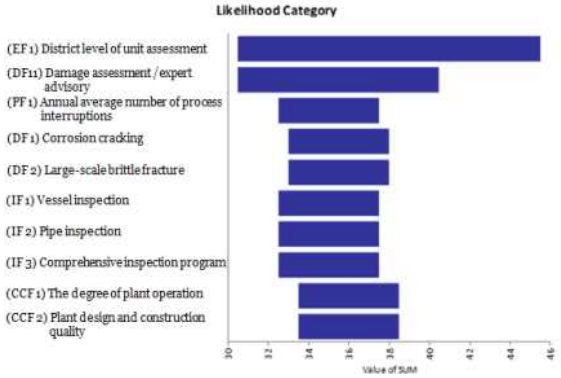
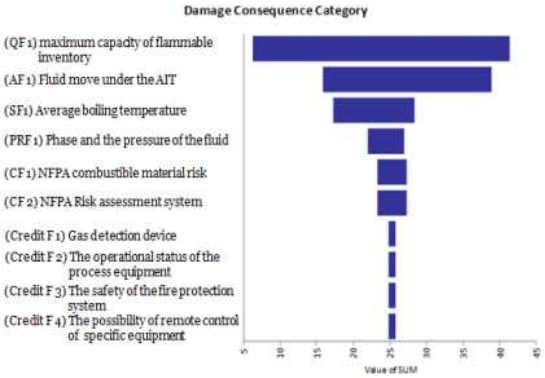


그림 3.1.5 Example of drawing tree diagram

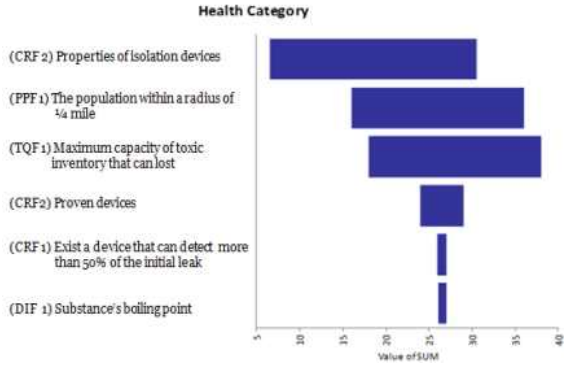
분석결과, 손상계수의 'Unit 평가의 구역수준(EF1)', '손상기구에 대한 평가/전문가의 자문 여부(DF11)'가 사고발생가능성 범주에서 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 장치손상피해 범주에서는 물질량계수의 '1회 누출 시 유실되는 가연성 Inventory의 최대량(QF1)'과 발화계수의 'AIT(자동발화온도)의 운전 중 온도(AF1)'가 큰 영향을 미치는 변수인 것으로 나타났으며, 건강피해 범주에서는 신뢰도계수의 '격리장치의 성질(CRF2)', '반경 1/4마일 내의 인구 수(PPF1)'와 독성량계수의 '1회 누출사고로 유실될 수 있는 독성 Inventory의 최대량(TQF1)'이 위험도에 큰 영향을 미치는 상위 인자들인 것으로 나타났다. 이는 토네이도 다이어그램(tornado diagram)을 이용하여 그림 3.1.6에 나타내었다. 또한 위험도는 그림 3.1.7과 같이 위험도 행렬 안에 골고루 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었으며 이는 확률분포를 사용한 평가법이 타당하다는 것을 나타내었다.



(a) Likelihood category

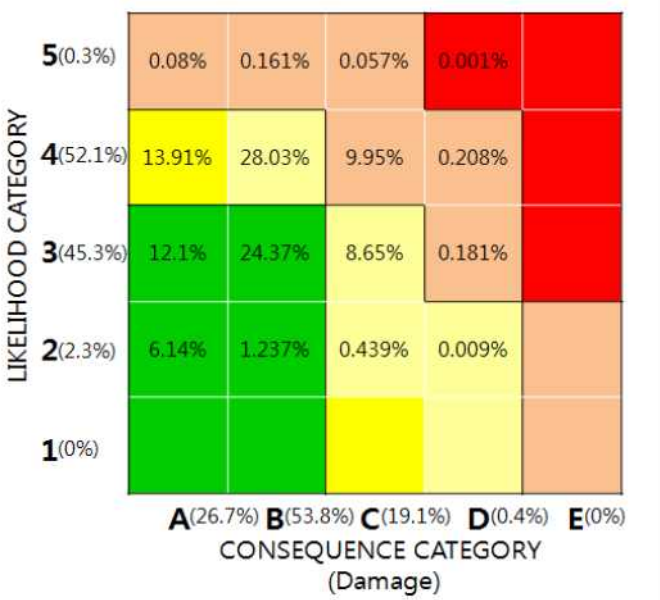


(b) Damage consequence category

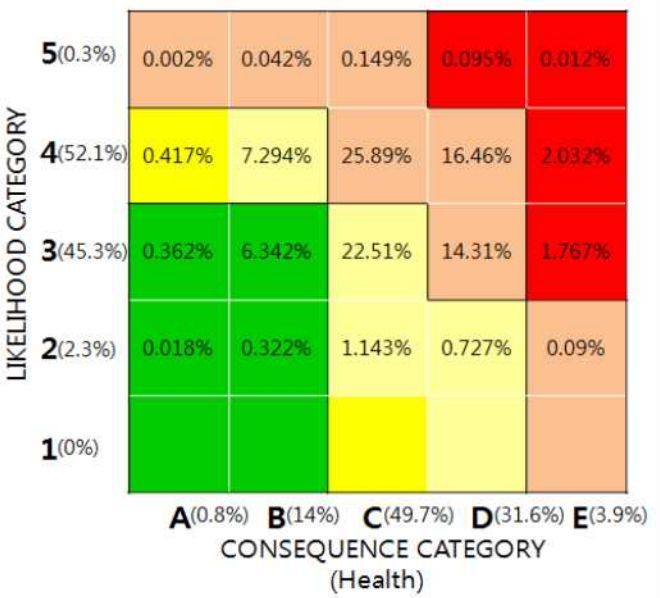


(c) Health consequence category

그림 3.1.6 Tornado diagrams of probabilistic qualitative RBI assessment



(a) In case of using damage consequence category for CoF



(b) In case of using health consequence category for CoF

그림 3.1.7 RBI matrix of probabilistic qualitative assessment

표 3.1.2 Summary of beta distribution parameters for qualitative RBI factors

Category	Subsection	Mean	Max. value	Min. value
Likelihood Category	EF1	5	2.9	2
	DF1	2.5	5	0
	DF2	2.5	5	0
	DF3	2	4	0
	DF4	1.5	3	0
	DF5	1.5	3	0
	DF6	1.5	3	0
	DF7	1	2	0
	DF8	0.5	1	0
	DF9	0.5	1	0
	DF10	0.5	1	0
	DF11	5	10	0
	IF1	-2	0	-5
	IF2	-2	0	-5
	IF2	-2	0	-5
	CCF1	2	5	0
	CCF2	2	5	0
	CCF3	2	5	0
	PPF1	3	5	0
	PPF2	3	5	0
	PPF3	3	5	0
	MDF1	3	5	0
	MDF2	2.5	5	0
Damage Consequence Category	CF1	2	4	0
	CF2	2	4	0
	QF	34	50	15
	SF	5	8	-3
	AF	0	13	-10

Category	Subsection	Mean	Max. value	Min. value
Damage Consequence Category	PRF	-12	-10	-15
	CF1	-0.5	0	-1
	CF2	-0.5	0	-1
	CF3	-0.5	0	-1
	CF4	-0.5	0	-1
	CF5	-0.5	0	-1
	CF6	-0.5	0	-1
	CF7	-0.5	0	-1
	CF8	-0.5	0	-1
	CF9	-0.5	0	-1
	CF10	-0.5	0	-1
	CF11	-0.5	0	-1
Health Consequence Category	TQF1	23.5	35	15
	TQF2	-2	20	-20
	DIF1	0.5	1	0.03
	CRF1	-0.5	0	-1
	CRF2	-5	-1	-25
	CRF3	-2.5	0	-5
	PPF1	10.5	20	0

나. 확률론적 기법을 이용한 LNG 플랜트 정성적 RBI 평가

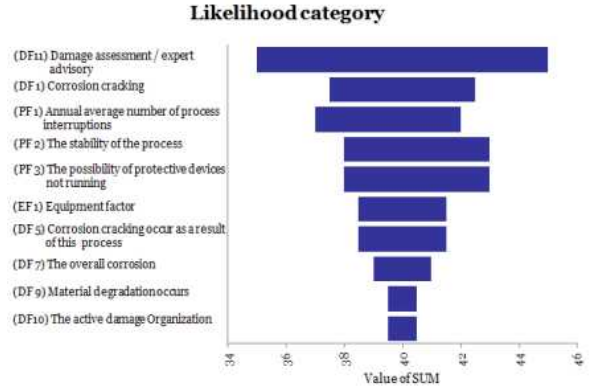
LNG 플랜트 Test-bed Train No.1의 기본 설계집을 바탕으로 평가 항목 중 판단하기 어려운 인자 20개를 불확실한 변수로 고려하였으며, 선정된 인자들은 표 3.1.3에 정리하였다. 이를 바탕으로 각 불확실 항목에 확률분포를 적용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였으며 각 항목이 결과값에 미치는 영향을 그림 3.1.8에 나타내었다. 평가 결과 사고발생가능성 범주에서는 장치계수의 '부식균열의 발생여부(DF1)'와 '손상기구에 대한 평가/전문가의 자문여부(DF11)'가 위험도에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 장치손상피해 범주에서는 물질량 계수의 '1회 누출 시 유실되는 가연성 Inventory의 최대량(QF1)', 건강피해는

신뢰도계수의 '격리장치의 성질(CRF2)'과 독성량계수의 '1회 누출사고로 유실될 수 있는 독성 Inventory의 최대량(TQF1)'이 가장 큰 영향을 미치는 불확실한 변수인 것으로 확인되었다. 이를 통해 위험도 평가의 신뢰도를 향상시키기 위해 우선적으로 검토해야할 불확실 변수를 제시할 수 있다.

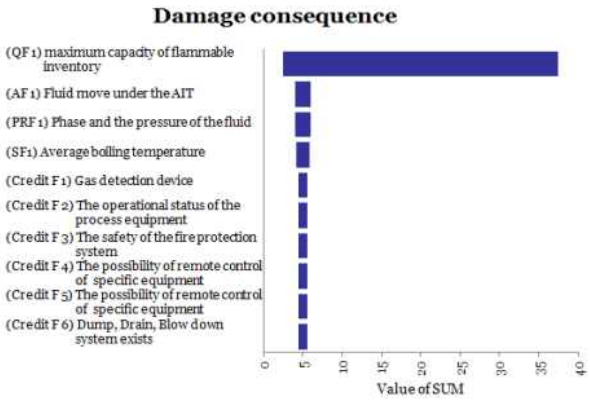
표 3.1.3 Selection of uncertain variables for LNG plant test-bed train no.1.

Category	Factor	Subsection
Likelihood Category	Damage Factor	DF1
		DF5
		DF7
		DF9
		DF10
		DF11
Damage Consequence Category	Quantity Factor	QF
	Credit Factor	CF1
		CF2
		CF3
		CF4
		CF5
		CF6
		CF7
		CF8
		CF9
		CF10
		CF11
Health Consequence Category	Toxic Quantity Factor	TQF1
	Credit Factor	CRF2

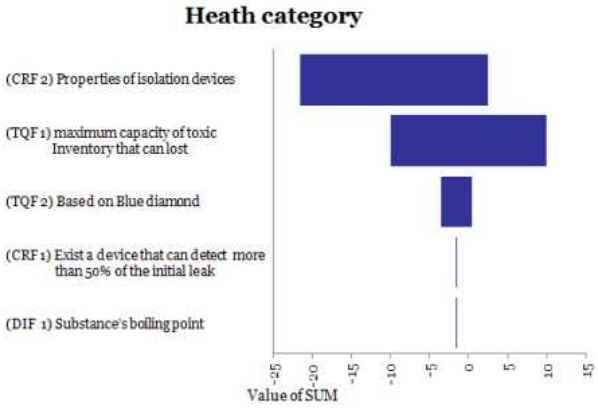
그림 3.1.9에 도시된 바와 같이 20개의 불확실 변수를 고려한 결과 위험도 범위는 장치 손상피해 기준 2개의 영역, 건강피해 기준으로 4개의 영역으로 집중되는 것을 알 수 있다. 이를 통해 위험도에 영향을 미치는 불확실 변수들의 우선순위에 따라 재검토를 수행함으로써 보다 효율적으로 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Likelihood category

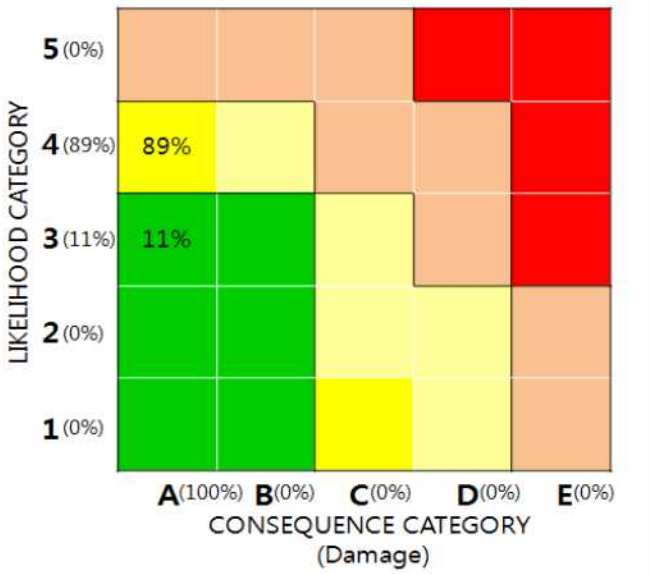


(b) Damage consequence category

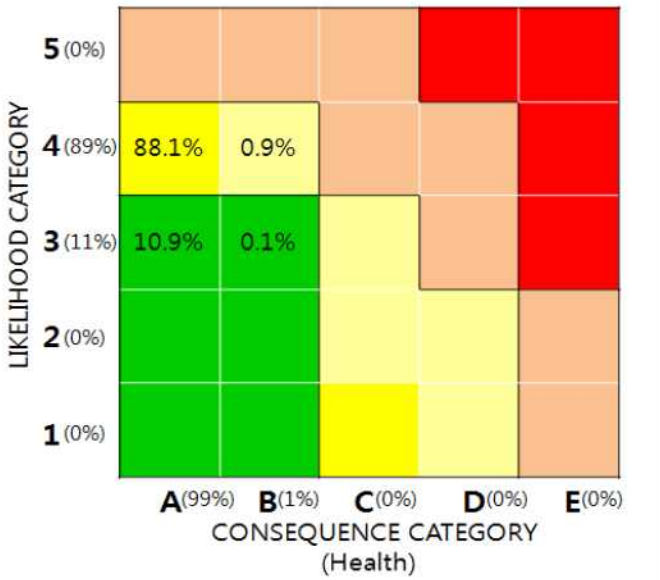


(c) Health consequence category

그림 3.1.8 Tornado diagrams of qualitative RBI result for LNG plant test-bed train no.1



(a) In case of using damage consequence category for CoF



(b) In case of using health consequence category for CoF

그림 3.1.9 RBI matrix of probabilistic qualitative assessment.

3. API RP 581코드 기반의 정량적 RBI평가

가. API RP 581 코드 분석

기존 위험도평가는 API BRD 581 코드를 기준으로 작성되었으나, 2007년에 특정 가압기기를 선정하고 이를 기반으로 파손평가를 제시하는 API RP 581 코드가 출판되었다. 본 연구의 목적은 API RP 581 코드를 기준으로 하여 LNG 플랜트 전용 RBI 기반의 위험도평가 프로그램을 개발하는 것이다. 그림 3.1.10은 RBI평가의 기본적인 절차를 나타내고 있다. 표 3.1.4는 API BRD 581 코드와 API RP 581 코드의 차이를 정리한 것이며, 각

코드의 주요 차이점으로는 RP 코드의 경우 BRD 코드와 달리 특정 가압기기를 선정하여 이를 기반으로 파손평가를 제시하며, 파손기구(failure mechanism)도 변경되었다. 또한 PoF(probability of failure) 계산법, 계산 시 기본으로 요구되는 데이터의 종류, 손상계수의 계산절차도 변경되었다. 그림 3.1.11에는 RP코드에서 변경된 위험도 계산(risk calculation) 절차를 나타내고 있다. API BRD 581 코드에서는 파손기구만을 고려하여 위험도 계산 절차를 제시하였지만, API RP 581 코드에서는 특정가압기기를 선정하여 기기와 파손기구를 동시에 고려한 위험도 계산 절차를 제시하였다. 선정된 특정가압기기는 압력용기 및 배관(pressure vessel and piping), 대기중 저장탱크(atmospheric storage tank), 압력방출장치(pressure relief devices), 열교환기 관다발(heat exchanger tube bundles) 이다.

표 3.1.4 Comparison result on failure mechanism between BRD code and RP code

Code	API BRD 581	API RP 581
Failure Mechanism	Thinning	Thinning
	Equipment lining	Component lining
	SCC	SCC-Caustic cracking SCC-Amine cracking SCC-Sulfide stress cracking SCC-HIS/SOHIC-H2S SCC-Carbonate cracking SCC-PTA cracking SCC-CLSCC SCC-HSC-HF SCC-HIC/SOHIS-HF
	HTHA	HTHA
	Furnace tube	(Delete)
	Brittle fracture	Brittle fracture Temper embrittlement 885 embrittlement Sigma phase embrittlement
	External damage	External corrosion-ferritic component CUI-ferritic component External CLSCC-austenitic component External CUI CLSCC-austenitic component
	Mechanical fatigue (piping only)	Piping mechanical fatigue

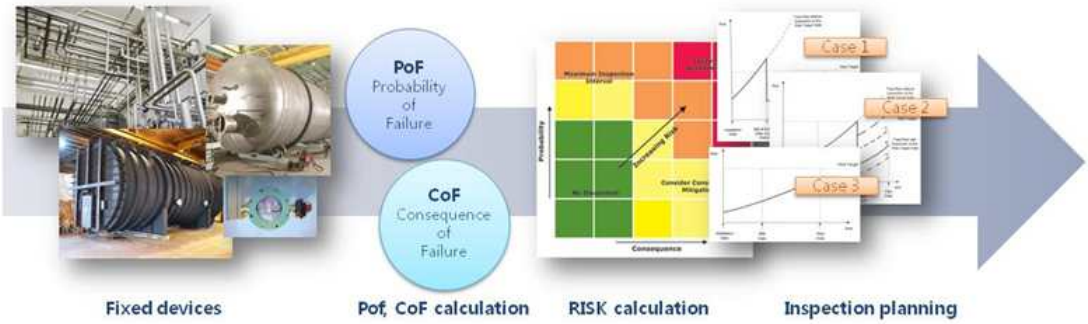


그림 3.1.10 Procedure of RBI

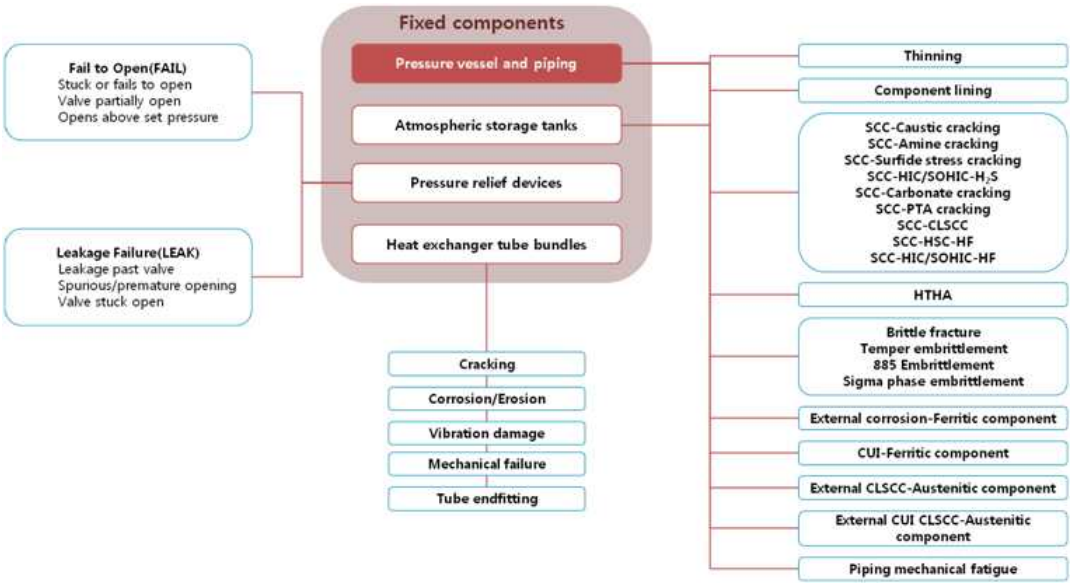


그림 3.1.11 The modified process of risk calculation in API RP 581

그림 3.1.12는 API RP 581 코드에서 변경된 파손기구를 나타낸다. API BRD 581 코드에서 제시되었던 세부 파손기구 중에 응력부식균열(Stress Corrosion Crack), 취성파괴(brittle fracture), 외부손상(external damage)은 하나의 대표 파손기구로 변경되었다. 세부 파손기구 중에 Furnace Tube는 삭제되었으며, Equipment lining과 Mechanical fatigue는 그림 3.1.12에서와 같이 이름이 변경되었다. 또한 API RP 581 코드에서 변경된 파손기구에 따라 평가 절차도 수정되었다. 그림 3.1.13은 API RP 581 코드에서 변경된 PoF 계산법을 나타낸다. 장비에 따라 계산 절차가 분리되었으며, 계산 변수 및 기준이 변경되었다. API RP 581 코드에서는 API BRD 581코드에서 사용된 F_E(equipment modification factor)의 TMSF(Technical Module Sub-Factor) 값이 손상계수로 대체되면서 세부 계산절차도 수정되었다.

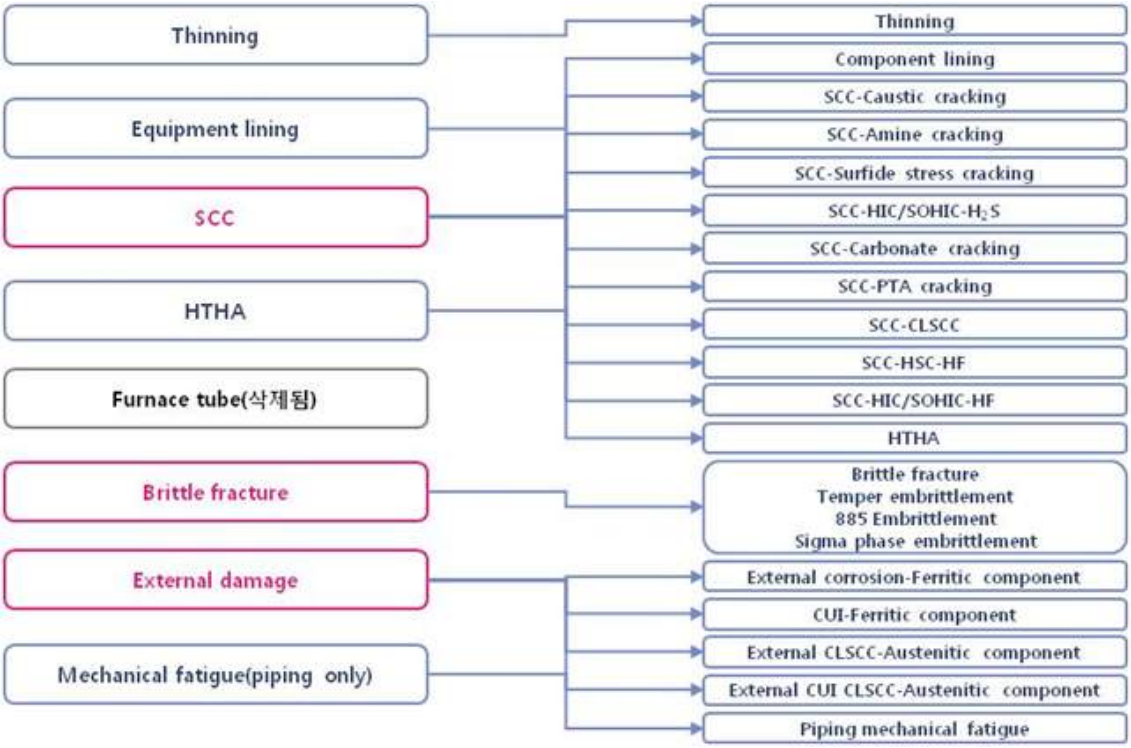


그림 3.1.12 Comparison of failure mechanism between API BRD 581 and API RP 581

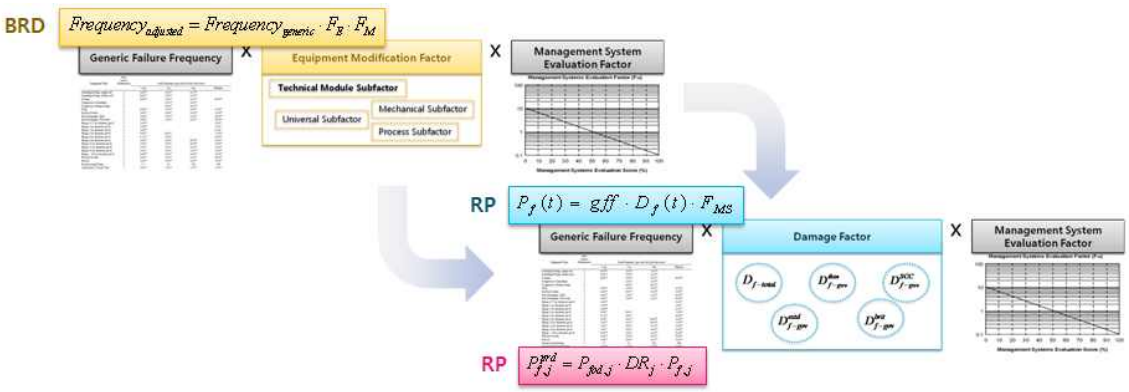


그림 3.1.13 The modified calculation of PoF(Probability of Failure)

그림 3.1.14는 API RP 581 코드에서 변경된 내용 중 계산 시 기본으로 요구되는 데이터의 종류를 나타낸다. API BRD 581 코드에서는 그림 3.1.14에서와 같이 5가지 항목을 포함한 기본 데이터만을 필요로 했지만, API RP 581 코드에서는 기본 데이터(basic data)와 파손기구 별 필요정보(required data)로 카테고리가 분리되면서 기본 데이터에 포함되는 세부항목이 세분화되어 14가지 항목으로 증가하였으며, 파손기구 별 필요정보는 5가지 항목을 포함하고 있다.

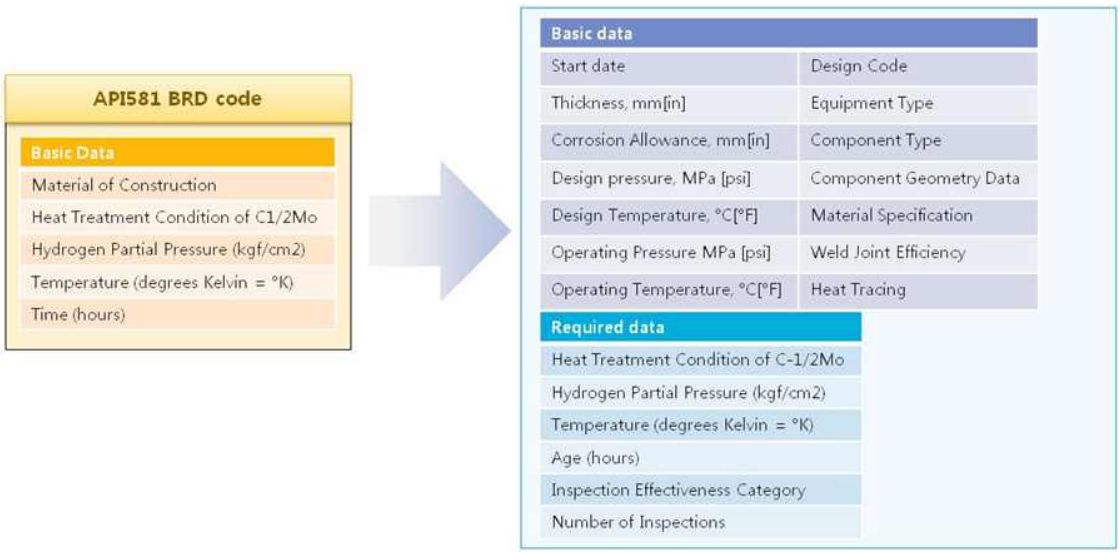
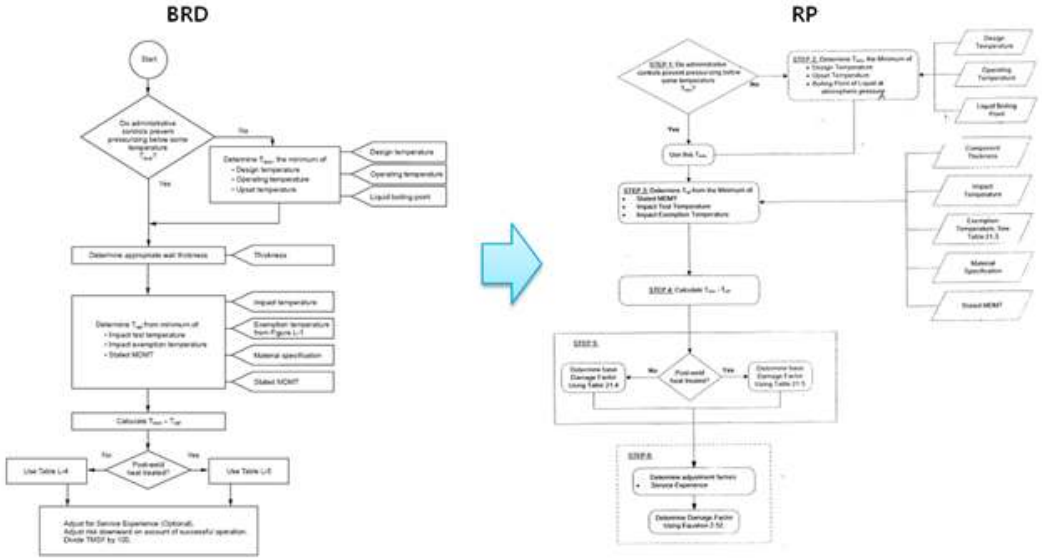


그림 3.1.14 The modified basic data of API RP 581

그림 3.1.15는 변경된 손상계수의 계산절차를 나타낸다. 각 파손기구 별로 사용되는 변수와 계산 시 필요로 하는 정보의 양, 계산 기준, 계산 순서 등이 변경되었다. API RP 581 코드는 RP(recommended practice)라는 이름에서도 볼 수 있듯이 표준절차서를 나타낸다. API RP 581 코드에서는 API BRD 581 코드에 제시된 데이터 통합 시스템(data pooling system)에 의한 데이터 처리방식에서 단계별 데이터 처리방식으로 변경되었다. 따라서 이전 단계가 완료되지 않으면 손상계수의 계산이 진행되지 않는다.



- Step 2: operating temp 삭제 후 Boling point of liquid at atmospheric pressure 항목 추가
- Step 3: appropriate wall thickness → components thickness
- Step 6: Adjust risk downward on account of successful operation. Divide TMSF by 100
  → $D_f^{brittfract} = D_{fb}^{brittfract} \cdot F_{SE}$ 로 damage factor 계산

그림 3.1.15 The modified calculation of damage factor

나. 웹기반 및 윈도우기반의 KGS-RBI™ 프로그램 분석

현재 석유화학 플랜트를 대상으로 현장에서 많이 사용되는 위험도 관련 프로그램 중에는 KGS-RBI™가 있다. 이 프로그램은 가스안전공사와 성균관대학교에서 개발하였으며, API BRD 581 코드를 기반으로 개발되었다. 그림 3.1.16은 한국가스안전공사에서 개발한 정유 및 석유화학플랜트 전용으로 개발된 KGS-RBI v2.2 프로그램의 메인화면을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 LNG 플랜트 전용 RBI 프로그램을 개발하기 위하여 해당 프로그램의 구조를 분석하였다.

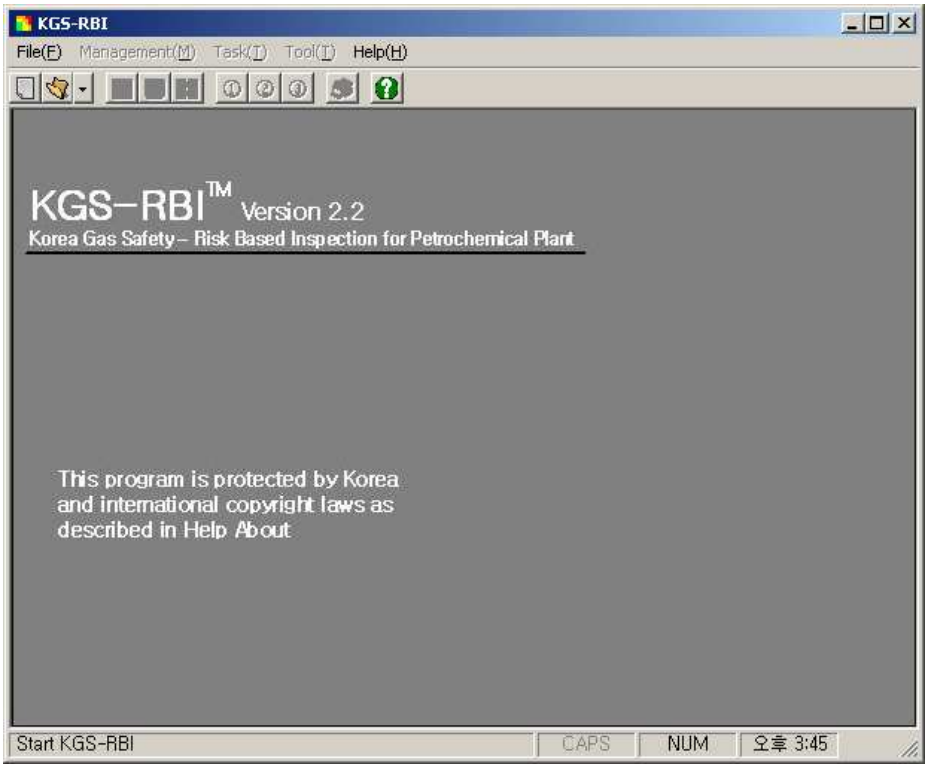


그림 3.1.16 Main window of KGS-RBI™ for Refinery & Petrochemical Plant

KGS-RBI™ 프로그램은 크게 정성적 RBI, 준정량적 RBI, 정량적 RBI로 구분되어 있는데 정성적 RBI는 공정 단위로 평가를 수행하며 준정량적, 정량적 RBI는 장치별로 위험도 평가를 수행한다. 표 3.1.5는 KGS-RBI에서 반영하는 장치들을 보여준다. 정성적 RBI는 Likelihood analysis, Damage consequence analysis, Health consequence analysis, Risk matrix로 구성되어 있으며, 정량적 RBI에 앞서 가혹한 환경에 노출되어 대부분의 위험을 내포하는 공정을 대략적으로 찾기 위해 수행된다. 그림 3.1.17~3.1.19는 KGS-RBI™내 정성적 RBI모듈의 구성화면을 보여준다. 본 프로그램에서는 상황 별 현재 플랜트의 상태를 사용자가 선택하는 동작으로 파손빈도를 결정하기 위한 Equipment factor, Damage factor, Inspection factor, Condition factor, Process factor, Design factor 등이 도출되고 파손 피해 및 인명 피해에 대해서도 대략적인 기준에 의해서 위험도를 결정하게 된다. 이렇게 결정 된 위험도는 그림 3.1.20(d)에서와 같이 Risk matrix에 점으로 표현되어 현재의 상태를 이해하기 쉽게 제공하고 있다.

표 3.1.5 Equipment type

Equipment Type	Description
PUMP1	Centrifugal Pump, single seal
PUMP2	Centrifugal Pump, double seal
COLUMNBTM	Column
COLUMNTOP	Column
COMPC	Compressor, Centrifugal
COMPR	Compressor, Reciprocating
FILTER	Filter
FINFAN	Fin/Fan Coolers
EXCHANGER	Heat Exchanger, Shell
EXCHANGER-TS	Heat Exchanger, Tube Side
PIPE-0.75	Piping, 0.75″ diameter, per ft
PIPE-1	Piping, 1″ diameter, per ft
PIPE-2	Piping,2″ diameter, per ft
PIPE-4	Piping, 4″ diameter, per ft
PIPE-6	Piping, 6″ diameter, per ft
PIPE-8	Piping, 8″ diameter, per ft
PIPE-10	Piping, 10″ diameter, per ft
PIPE-12	Piping, 12″ diameter, per ft
PIPE-16	Piping, 16″ diameter, per ft
PIPE->16	Piping, >16″ diameter, per ft
DRUM	Pressure Vessels
REACTOR	Reactor
PUMPR	Reciprocating Pump
TANK	Atmospheric Storage Tank
TANKBTM	Tank Bottom
HEATER	Furnace Tubes for Fired Heater

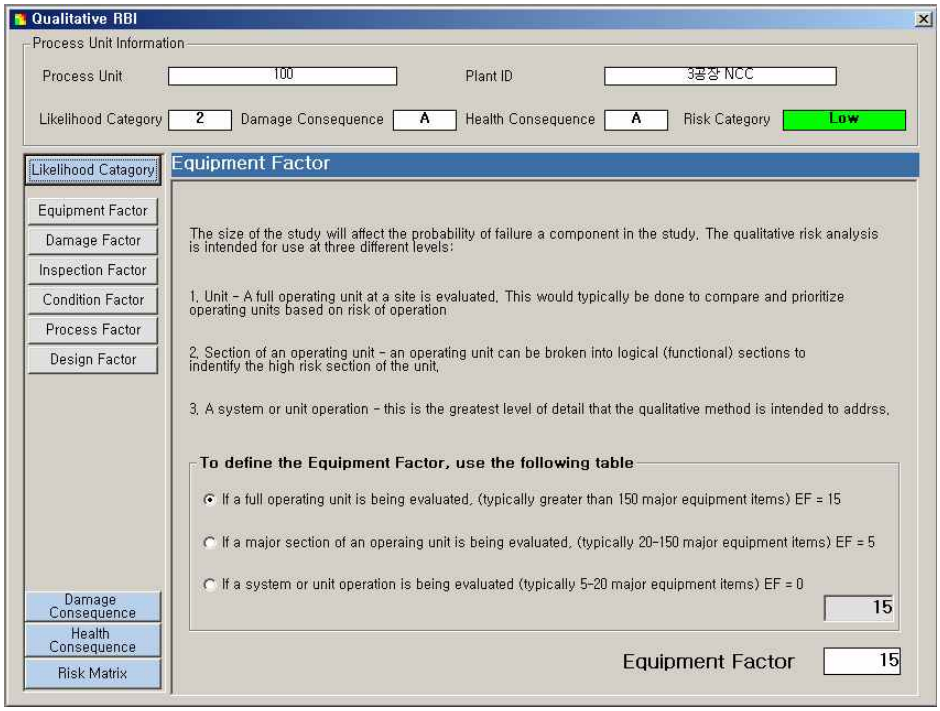


그림 3.1.17 (a) Likelihood analysis

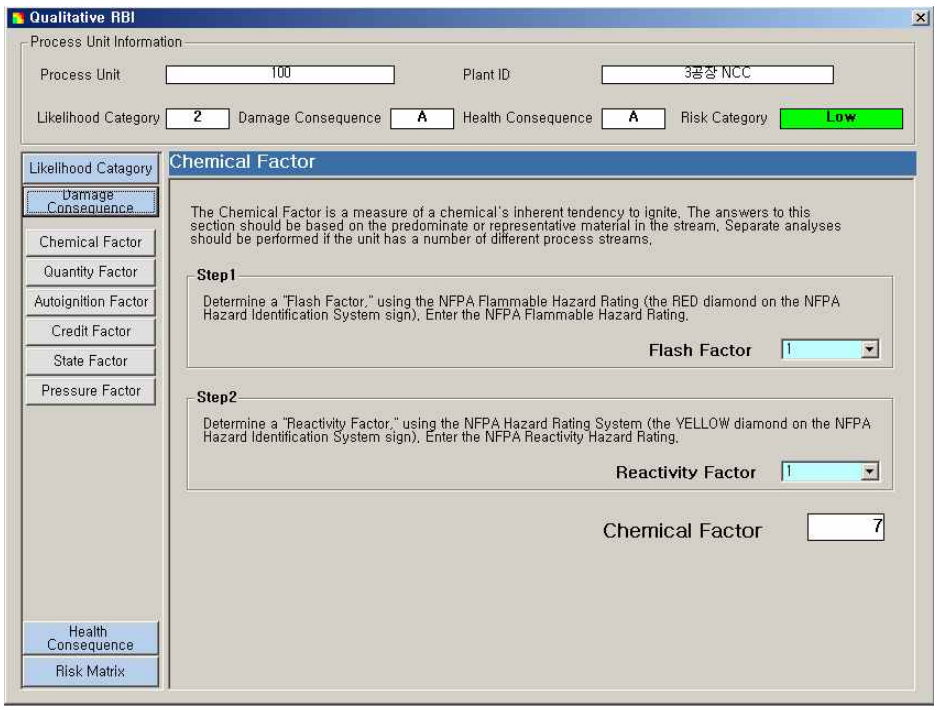


그림 3.1.18 (b) Damage consequence analysis

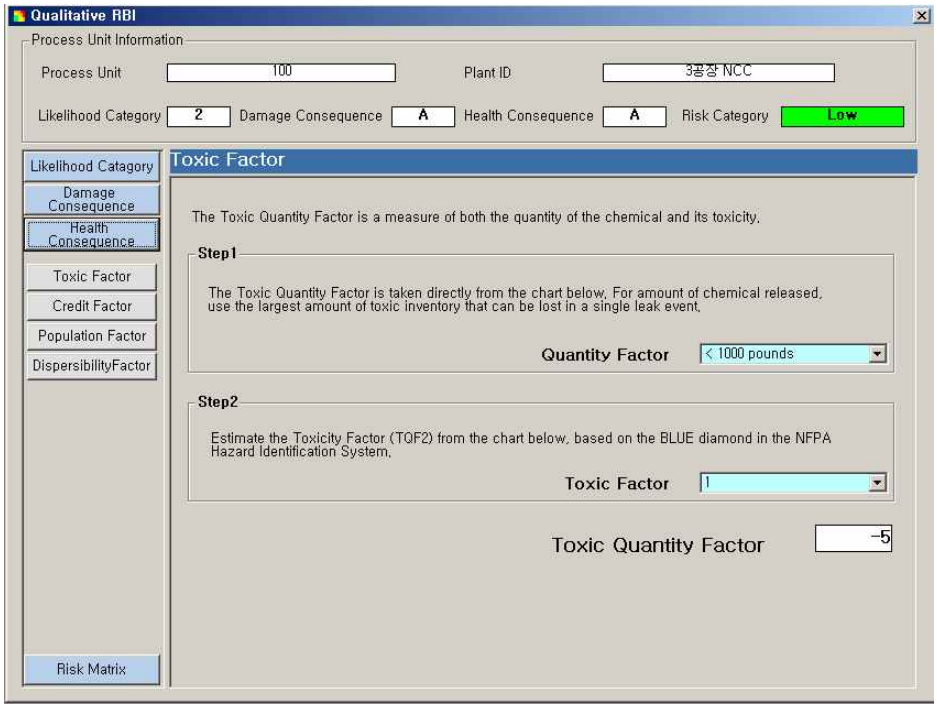


그림 3.1.19 (c) Health consequence analysis

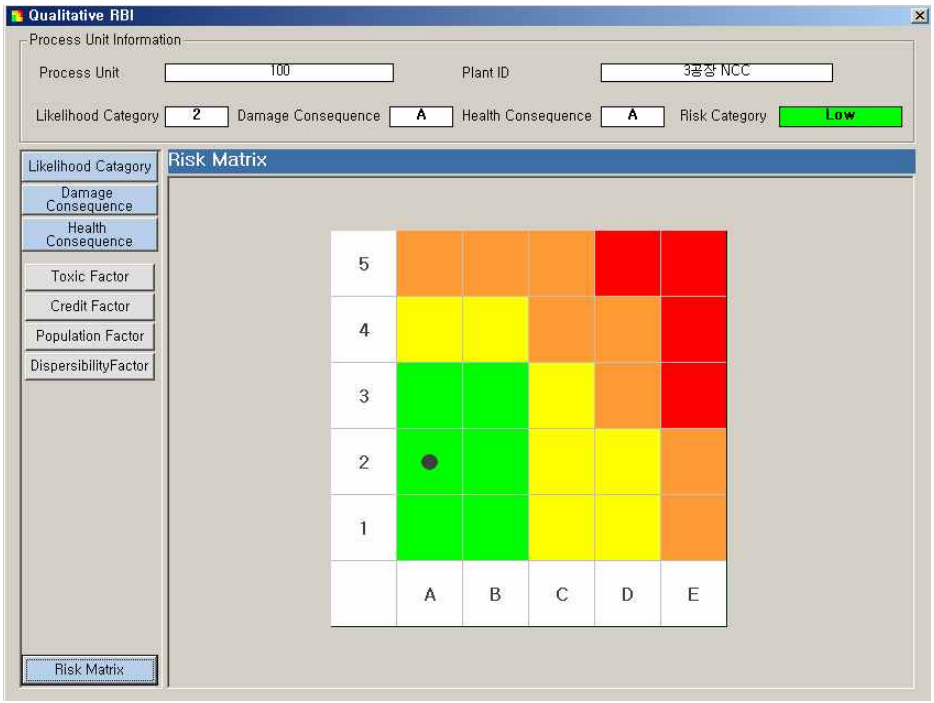


그림 3.1.20 (d) Risk matrix

준정량적 RBI에서는 평가를 수행 할 장치를 선택하는 것으로 평가가 시작되며 정성적 RBI와는 다르게 장치에 대한 구체적인 수치들을 입력받아 평가를 수행하게 된다. 이때 입력받는 데이터는 장치의 운전 압력/온도, 설계 압력/온도, 장치의 두께, 직경, 길이 및 장치의 설계 수명, 가동 시작 날짜, 단열(Insulation) 여부, 장치의 재료, 용접 후 열처리 여부 등으로 이루어져 있다. 그림 3.1.21은 장치 정보를 입력하는 창을 보여준다. 준정량적 RBI에서의 파손빈도는 그 동안의 검사 이력 및 Thinning, SCC, HTHA, Furnace tube, Piping fatigue, Brittle fracture, Lining, External damage 등 여러 인자를 고려하여 결정된다. 준정량적 RBI에서 도출된 파손빈도는 데이터베이스를 통하여 정량적 RBI에 일부 적용된다. 그림 3.1.21(b)는 파손빈도를 계산하는 창을 보여준다. 준정량적/정량적 RBI에서는 과거의 검사 기록을 파손빈도 계산에 활용하기 위하여 그림 3.1.25에서와 같이 검사날짜와 그 검사의 효율성을 입력하는 창을 마련하였다. 또한, 최근의 검사 결과는 12개까지 저장이 되도록 되어 있으며 12개 이상의 검사 데이터가 입력 될 경우 가장 오래된 데이터가 삭제되도록 되어 있다. 이것은 API BRD 581 코드에서 동일한 검사 효율성을 가진 검사에 대해서는 상위 효율성을 가진 검사 1회로 변환할 수 있다는 것을 이용한 것이다. 준정량적 RBI의 파손피해 분석 절차는 정량적 RBI 절차와 거의 유사하지만 준정량적 RBI는 공정에 대한 정확한 데이터를 요구하지 않으며, 가연성 물질에 의한 피해(flammable consequence)와 독성 물질에 의한 피해(toxic consequence)만을 고려하여 계산한다. 또한 재정적 피해(financial risk)는 고려하지 않는다. 그림 3.1.26은 준정량적 RBI의 파손피해 계산을 위한 창을 보여주고 있으며 장치의 대표물질, 초기 유체상태, 독성물질 함유량, 감시/차단 수순(detection/isolation rating) 완화 시스템(mitigation system)을 입력/선택하여 준정량적 평가를 수행한다. API BRD 581 코드에서는 한 가지 대표물질을 고려하여 피해면적을 계산하도록 하고 있으나 KGS-RBI^{TM}에서는 혼합유체에 대하여 비등온도(normal boiling point), 몰중량(molecular weight)을 식 (1)에 적용하여 가장 유사한 대표 물질을 선택한다.

$$property_{mix} = \sum x_i \times property_i \qquad (1)$$

여기서, x_i는 혼합물질의 몰분률(mole fraction)을 의미하며, $property_i$는 비등(normal boiling point), 몰중량(molecular weight), 밀도(density)를 포함한다. 3.1.26(a)는 정량적 RBI의 설비데이터 입력 창을 나타내고 있다. 이때 입력창들의 데이터는 준정량적 RBI에서의 데이터와 데이터베이스를 통하여 연결된다. 3.1.26(d)는 손상기구에 대한 평가에 근거하여 장치의 검사주기 및 검사수준을 제시해주는 창을 보여준다. 이 창을 통해 과거 검사 횟수, 검사 효율성 등이 표시되고 검사수준에 따른 intrusive inspection과 non-intrusive inspection이 제시된다. 정량적 RBI는 준정량적 RBI와 마찬가지로 평가하

고자 하는 공정과 장치를 선택하고 시작하게 된다. 정량적 RBI는 준정량적 RBI와 유사한 절차로 3.1.26에서 보여주는 창들을 통해 위험도를 평가한다. 따라서 이렇게 분석 된 KGS-RBI^{TM}의 절차들을 반영하여 LNG 플랜트 전용 RBI 프로그램 개발을 수행중이다.

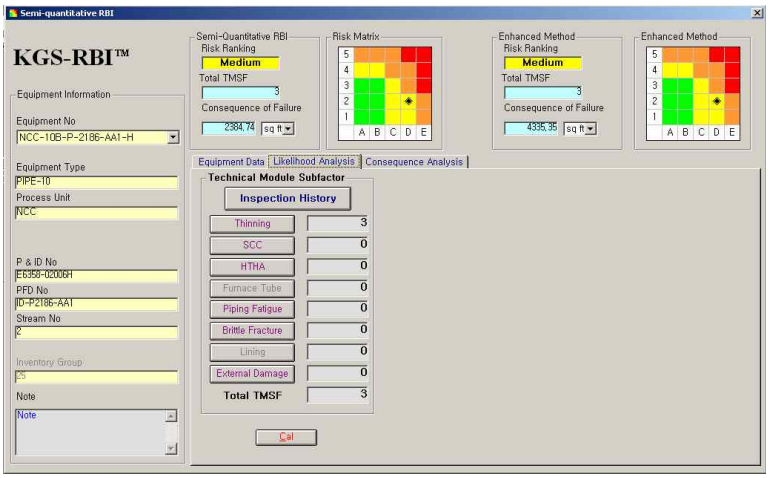


그림 3.1.21 (a) Likelihood analysis

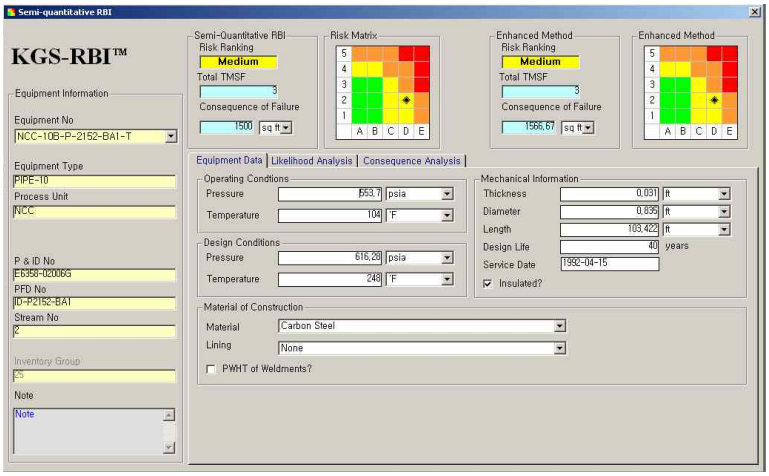


그림 3.1.22 (b) Damage consequence analysis

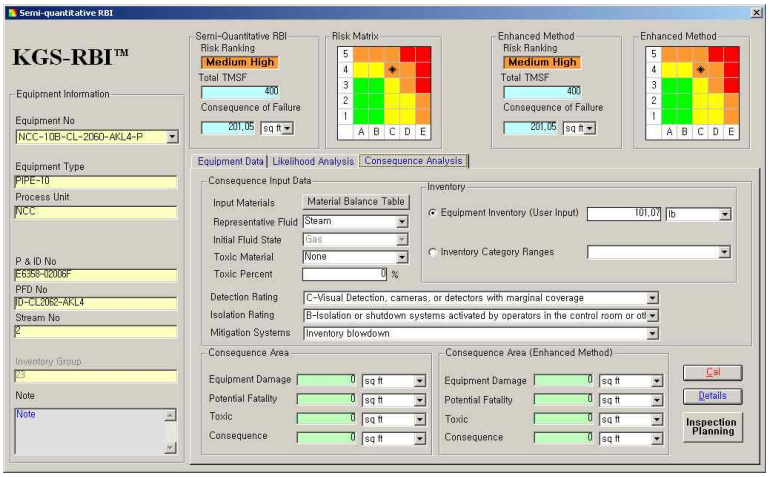


그림 3.1.23 (c) Consequence analysis

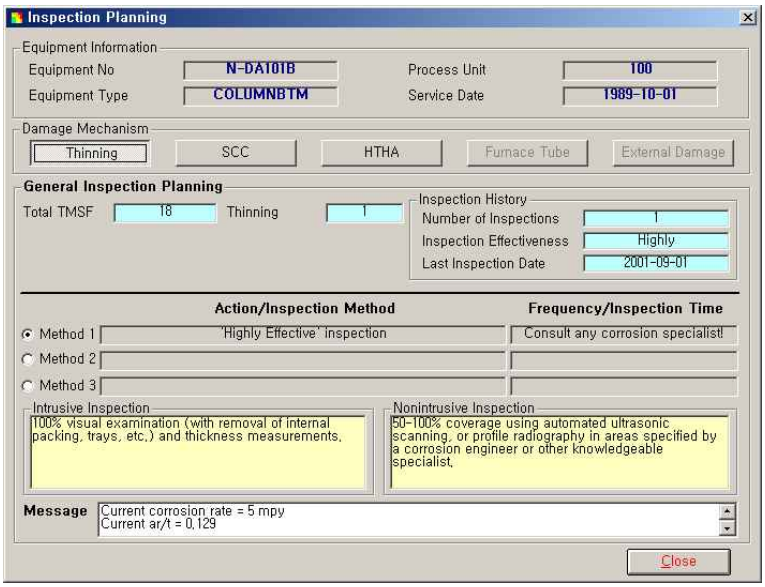


그림 3.1.24 (d) Consequence detail

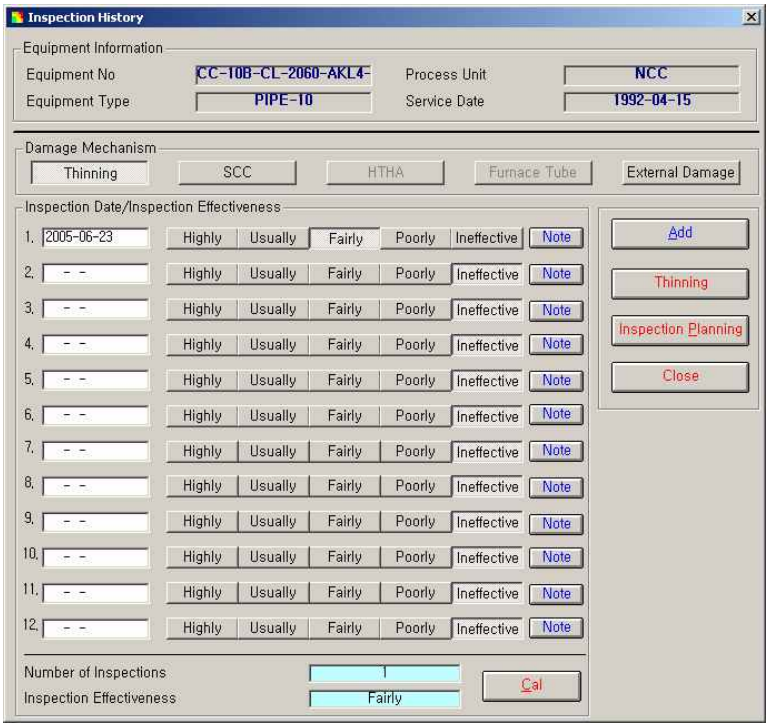
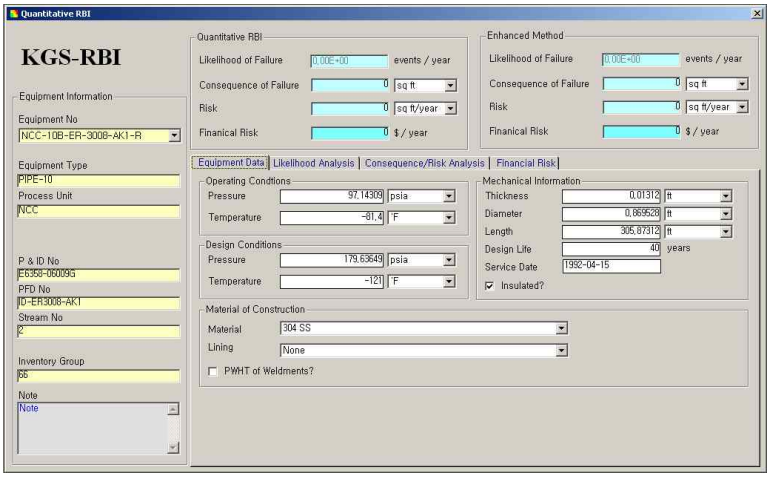
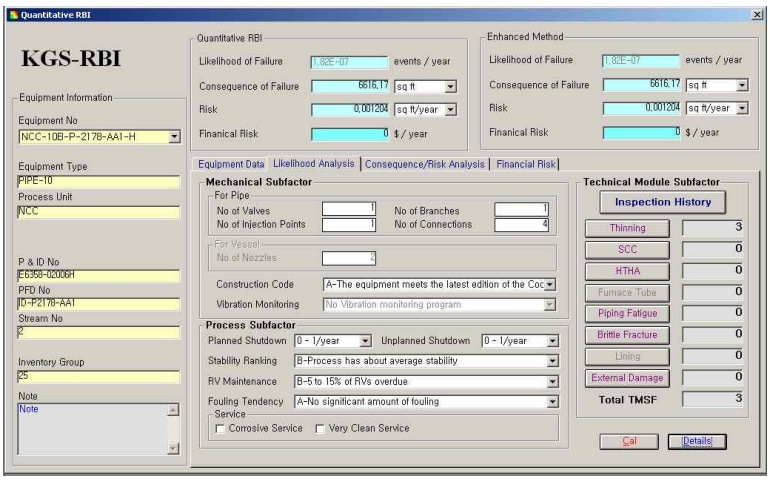


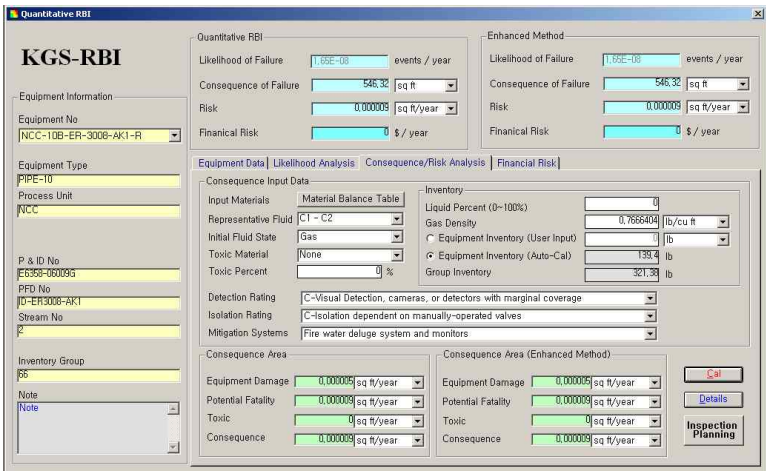
그림 3.1.25. Inspection history



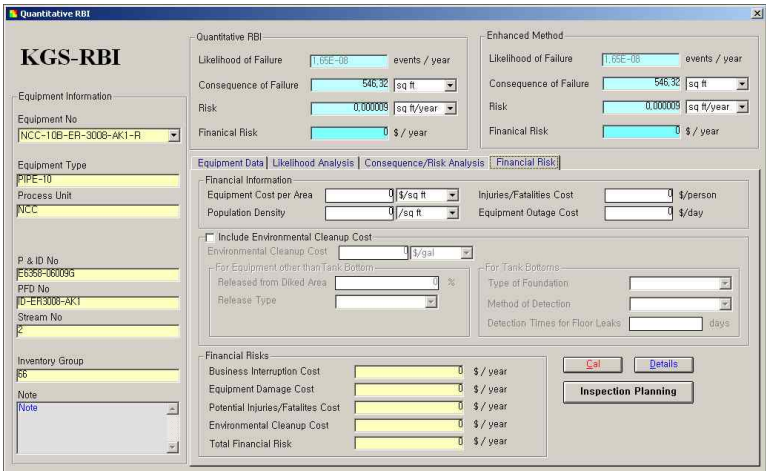
(a) Equipment data



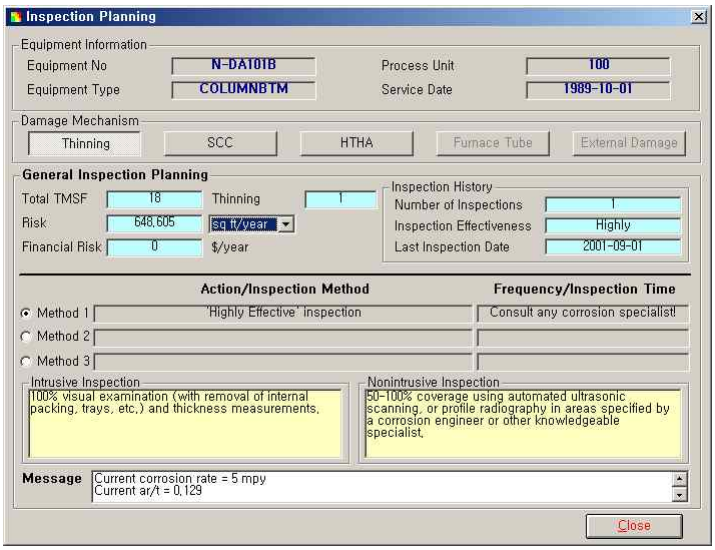
(b) Likelihood analysis



(c) Consequence and risk analysis



(d) Financial risk



(e) Inspection planning

그림 3.1.26 Quantitative RBI of KGS-RBI^{TM} (cont'd)

4. 주요결과 및 시사점

RBI기술에서 위험도는 피해확률과 피해영향의 곱으로 계산되며 위험도에 따른 검사 계획수립하여 장치 유지관리를 위한 평가 방법이다. 장치수명의 비율에 따른 검사기간, 낮은 열화속도에 따른 내부검사 시기, 공정환경 유기균열과 관계된 열화기구에 대한 내부검사 욕사항, 검사기간에 근거한 결과 등으로 검사 계획 수립의 영향을 미친다.

현재 RBI기술에서는 설문형식의 정석적 RBI 평가와 R&ID,PFD(공정흐름도) 검사이력 데이터, 각종 공정 데이터를 이용한 정량적 RBI평가로 크게 나누어져 있으며 API 580,581코드를 기반으로 구축하였다.

제2절 LNG플랜트 RBI평가

1. LNG플랜트의 특성

가. 세계 LNG 플랜트 최근 관심사

인도네시아 및 알제리 plant에서는 Mercury(Hg, 수은)이 함유되어 있기 때문에 탈수공정(Dehydration)과 함께 수은제거(Mercury Removal)가 필수적이다. 이 경우, 부식 및 폭발 위험성이 있기 때문에 연속공정이 아닌 Batch Process로 진행하고 있다. 또한, 활성화된 탄소(Activated Carbon)는 수은과 함께 용해되어 있기 때문에 특히 위험요소가 많으므로 분리해서 제거해야 한다.

특히 Acid Gas Treatment 공정에서, Forming, Vibration 및 급작스런 Vaporization은 일반적인 현상이며, 최근 Fauling과 함께 Forming이 주요 관심사로 대두되고 있다.

나. LNG 플랜트 액화 공정기술

생산 용량 측면에서, 압축기의 구동기(Driver)는 1990년대 말까지는 Steam Turbine이 주도적이었으나, 2000년 초부터는 Gas Turbine이 주로 적용되고 있음. 그러나, 향후에는 Electric Motor Driven이 주도할 예정이다.

다. 최근 LNG 플랜트 특성

LNG Plant의 크기는 small/medium인 경우가 보다 경제적이다. 그 이유는 대규모의 LNG 플랜트는 구성품의 크기가 크기 때문에 유지관리에 어려움이 많다. Phillips/Bechtel사의 Cascade 방식은 1970년대 많이 적용하였으며, APCI사의 AP-X 공정은 Quatargas 및 Rasgas와 같은 대형 프로젝트에 적용되었다.

라. LNG 플랜트 위험도 인지

- Gas Turbine 부근의 고온지역 및 Piping 지지대 등
- 큰 규모의 회전기기 진동지역
- 대규모 액상 누출(Leakage)
- 초저온 구성 부품에서의 저온취성에 따른 cracking

마. LNG 플랜트 핵심 평가 인자

- 모든 프로젝트 팀원들은 평가에 공동 참여하여 의사결정의 동일성을 공유하여야 한다.
- 위험요소로 인지된 구성품에 대해서는 위험 완화조치를 개발하여야 한다.
- JGC 그룹에서는 각 플랜트 구성인자에 대한 검토 절차서를 보유하고 있으며, 프로젝트 수행에는 필수적이다.
- 부유식 LNG 플랜트(FPSO)

바. 플랜트 단열재 배관에 대한 비파괴 진단방법[IOWA 주립대 비파괴센터(CNDE)]

- 배관의 단열재하 부식(CUI: Corroosion Under Insulation)이 최근 큰 문제점으로 대두
- 단열재를 모두 제거하지 않고 검사할 수 있는 최선의 비파괴 진단방법 모색

2. LNG플랜트의 파손피해 결정

가. 극저온에서 운용되는 기기들을 고려한 취성파괴 파손메커니즘 평가법 개발

RBI 평가의 기반이 되는 API BRD 581 코드와 API RP 581 코드는 석유화학플랜트를 대상으로 한 평가 방법을 제공한다. LNG 플랜트의 경우 석유화학플랜트와 중복되는 기기들도 포함하고 있지만, 162°C 이하 극저온의 환경에서 운용되는 기기들도 포함하고 있기 때문에 이를 고려한 평가방법이 필요한 실정이다. RBI 평가 시에 파손확률을 계산하는데 가장 영향을 미치는 인자는 파손메커니즘이다. 주요 파손메커니즘은 감육, 응력부식균열, 고온수소침식, 기계적인 피로, 취성파괴, 라이닝, 외부 손상 7가지로 나뉘며, 이 중에서도 취성파괴는 극저온 환경과 밀접한 관계가 있다. 실제 극저온에서 운용되는 기기들은 극저온 환경에 알맞은 재료인 스테인리스강, 니켈합금강, 알루미늄합금강 등을 사용하여 위험도를 줄일 수 있지만, RBI 평가 시 극저온 환경에서 취성파괴 파손메커니즘을 정확하게 평가할 수 없기 때문에 위험도를 정확하게 평가할 수 없다.

API RP 581 코드 내에 취성파괴 손상계수 평가 방법 시에 그림 3.2.1에서와 같은 그래프 형태의 손상계수를 제공한다. 하지만 취성파괴 손상계수를 계산하는데 중요 인자인 $T_{\min} - T_{ref}$ 값의 온도 범위가 38°C ~ -73°C까지만 고려가 되어 있기 때문에 극저온 환경을 고려하는데 한계가 있다.

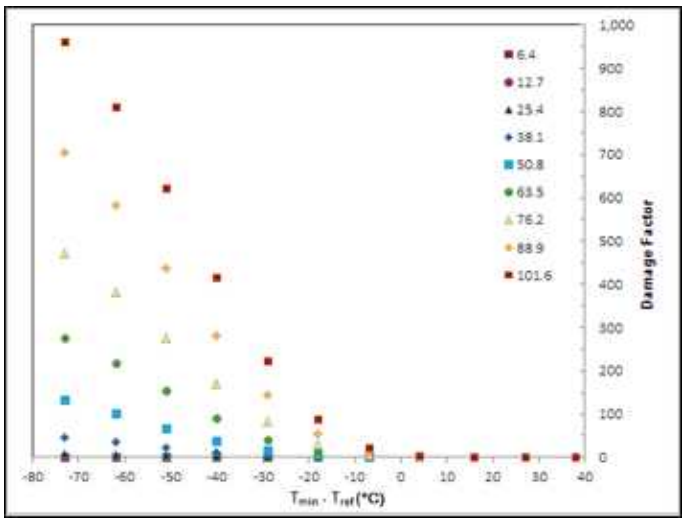


그림 3.2.1 Brittle fracture damage factor

따라서 극저온 환경에서의 취성파괴 손상계수를 고려하기위해 뉴럴 네트워크(neural network)를 이용하여 취성파괴 손상계수의 $T_{\min} - T_{ref}$의 온도범위를 -200°C까지 확장을 하였다. 여기서 사용된 신경망은 생물학적 신경계를 단순화시켜 수학적으로 모사한 모델

로 학습규칙을 사용하여 학습을 수행하는 능력을 갖는다. 신경망은 주로 비선형성이 강한 데이터를 학습시켜 원하는 자료들의 패턴인식을 가능케 하는 알고리즘이다. 따라서 두께와 온도범위에 따라 비선형성이 강한 취성파괴 손상계수 데이터를 바탕으로 그림 3.2.2와 같이 극저온 환경까지 확장을 하였다.

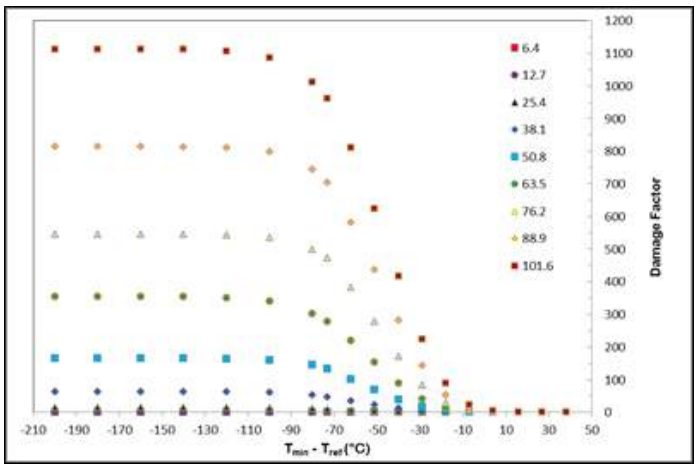


그림 3.2.2 Extended brittle fracture damage factor

이를 검증하기 위해 그림 3.2.3과 같이 샤르피 충격 실험(Charpy Impact Test)을 통한 실험데이터를 바탕으로 온도가 극저온으로 갈수록 유사한 비선형성을 갖는 것을 확인함으로써 뉴럴 네트워크를 이용한 확장된 취성파괴 손상계수에 대한 검증을 수행하였다.

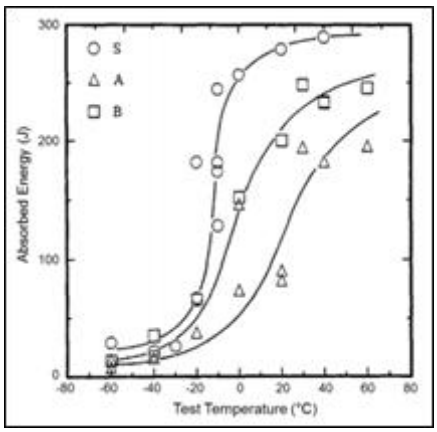


그림 3.2.3 Energy transition curves of 2-mm V-notch Charpy tests for low carbon steel

이를 통해 그림 3.2.4와 같이 기존에 API RP 581 코드에 제시된 취성파괴 손상계수 평가법에서 손상계수를 결정하는데 있어 확장된 취성파괴 손상계수 그래프를 적용하는 개

선된 평가법을 제안하였다.

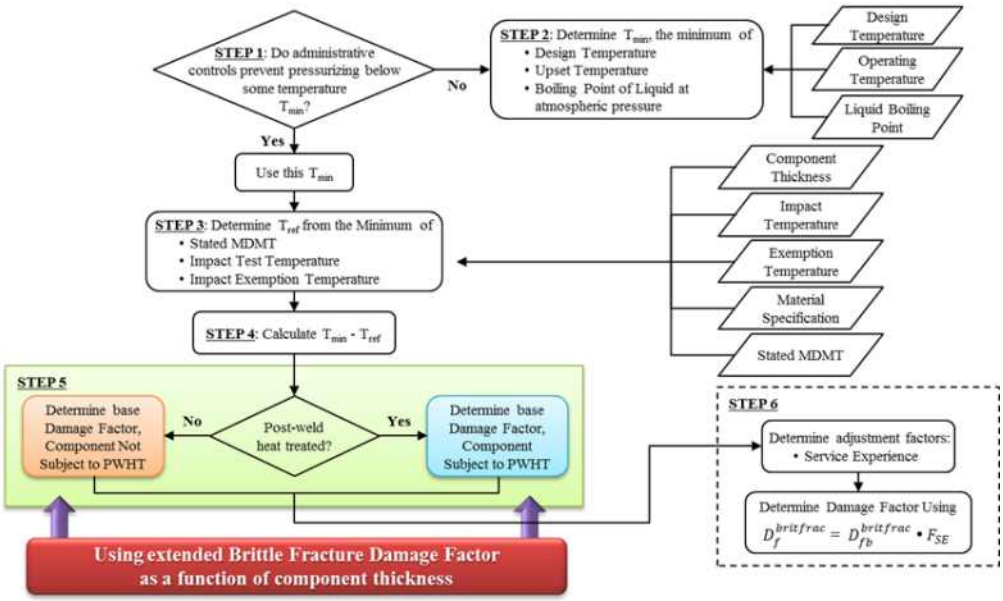


그림 3.2.4 Enhanced method of brittle fracture damage factor evaluation

제안된 평가법을 이용하여 LNG Plant Test-bed Train No.1을 평가를 수행하였으며, 극저온 환경에서 운용되는 기기의 경우 이전 평가법의 결과와 차이를 보이는 것을 확인하였다. 차이 값은 크지 않지만, 실제 파손 확률을 계산 시에 하나의 파손메커니즘이 아닌 복합적으로 영향을 미치는 파손메커니즘을 모두 합산하기 때문에 LNG 플랜트의 위험도를 평가하는데 큰 영향을 미칠 수도 있을 것으로 판단된다. 제안된 평가법은 향후에 추가적인 검증작업을 거쳐 현재 개발 중인 LNG-RBI에 적용하였다.

3. 주요결과 및 시사점

현재 RBIM은 중화학공업, 발전, 제철/제강 등 기간산업설비와 제지・제약・시멘트・송유관 등 모든 장치산업과 해외 LNG 플랜트 건설 및 운영사업에서는 필수적인 요소로 요구되는 핵심기술이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 LNG 플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발을 통하여 국내 에너지 안보의 확보는 물론 해외 LNG 플랜트 건설시장에서 고부가가치 성장사업모델로 성장시킬 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

본 평가 기법의 기반이 되고 있는 API 581코드는 석유화학플랜트를 대상으로한 평가법으로 LNG플랜트의 극저온 환경을 고려하지 않고 있어 취성파괴 손상계수 결정에 어려움을 겪고 있다. 손상계수 결정에 필요한 온도범위를 -200°C까지 확장하여 새로운 평가법을 제안하였다.

제3절 LNG-RBI 프로그램 개발

본 연구개발 기술을 제1세부과제 주관기관에서 수행하는 “인공지능 기반의 LNG 플랜트 모듈화”에 접목시켜 전사적 자원관리 시스템(ERP)과의 연동을 통한 종합적 안전관리 시스템을 구현하고 LNG 플랜트 안전 기준 통합 클래스 코드를 구축하여, 제1핵심기반기술인 “RAM 기반의 LNG 플랜트 모듈화 기술”개발을 최종 완성하고자 한다

1. LNG 플랜트 전용 위험도평가 프로그램(LNG-RBI) 설계

LNG 플랜트 전용 RBI 프로그램을 개발하기 위하여 전술한 바와 같이 실제 현장에서 활용되고 있는 KGS-RBI^{TM}의 구조를 분석하였다. LNG 플랜트와 석유화학 플랜트간의 유사한 공정에 대해 RBI를 적용하기 위하여 LNG-RBI 프로그램의 구조는 KGS-RBI^{TM}의 것을 참조하였다. 이를 바탕으로 극저온 영역에 대한 위험도기반검사 알고리즘을 포함한 LNG-RBI 프로그램 개발이 수행 중이다. LNG-RBI 프로그램은 안정성을 고려하여 그림 3.3.1과 같이 3계층 구조로 설계하였다. LNG-RBI 프로그램은 크게 GUI(graphic user interface) 환경을 담당하는 사용자 인터페이스 계층(user interface layer), 사용자로부터 받은 입력을 비즈니스 로직(business logic)에 따라 처리하는 어플리케이션 계층(application layer), 그리고 데이터를 저장하거나 저장된 장소에서 데이터를 가져오는 역할을 수행하는 데이터베이스 계층(database layer)으로 구성된다. 3계층 구조는 시스템이 다소 복잡하고 기술 개발과 비용에 있어서 다른 구조에 비해 다소 부담이 있기는 하나, 시스템의 확장성이 좋고 네트워크(network)의 부하를 줄일 수 있으며 서버의 유지보수 또한 용이하기 때문에 많은 시스템에 적용되고 있다. 여기서 인터페이스 계층은 사용자의 요청을 서버에 전달하는 역할을 담당하며 HTML과 Javascript, AJAX 기술을 이용하여 구성하여 전문가 협업 체계 구현을 위한 기반을 제공하고자 하였으며 어플리케이션 계층에서는 사용자의 요청을 분석하여 데이터베이스에 저장되어 있는 데이터나 web 페이지 등을 사용자에게 제공하며 PHP를 사용하였다. 또한 데이터베이스를 활용하여 RBI 알고리즘을 연산하는 역할을 수행한다. 데이터베이스 계층에서는 위험도기반검사를 수행하기 위한 재료물성, 주요 상수, 기기 관련 정보 등을 저장하고 있으며 MySQL을 사용하였다.

LNG-RBI 프로그램은 준정량적 평가(semi-quantitative RBI), 정량적 평가(quantitative RBI), 정성적 평가(qualitative RBI), 위험도를 계산할 때 사용되는 손상요소들로 구성되어 있다. 준정량적 평가는 각각 equipment data, likelihood analysis, consequence analysis로 구성되어 있으며, 정량적 평가는 equipment data, likelihood analysis, consequence/risk analysis, financial risk로 구성되어 있다. 정성적 평가는 크게 likelihood, damage consequence, health consequence로 분류되어 있다. 그림 3.3.2은 개발된 LNG-RBI 프로그램의 초기 화면을 나타낸다. 이곳을 통해서 RBI를 수행하기 위한

Inventory를 선택하거나 평가 결과들을 확인하는 등의 작업을 수행할 수 있다. 그림3.3.3은 정성적 RBI를 수행하기 위한 창을 나타낸다. 이 창의 왼쪽 트리(tree) 구조에서 파손빈도 및 장치 손상 크기, 인명 피해 크기를 선택하여 각각의 경우에 대한 평가를 수행할 수 있다. 그림 3.3.4는 개발된 준정량적 RBI를 나타내고 있으며, 그림 3.3.5는 정량적 RBI를 나타낸다. 각 모듈은 KGS-RBI^{TM}와 유사한 기능을 담당하고 있으며 그림 3.3.6~그림 3.3.12는 준정량적/정량적 RBI에서 파손빈도를 결정하기 위하여 damage factor를 계산하기 위한 각 모듈을 나타내고 있다. 여기서 각 모듈들은 다른 색상을 띄고 있는데, 이것은 개발된 RBI 프로그램과 3D 모델을 연동하였을 때 위험도가 높은 설비에 대해서 어떤 파손기구에 가장 취약한지를 색상으로 표현하고자 한 것이다. 이를 통해 플랜트 운영자에게 위험도를 명확하게 전달함으로써 Risk matrix와 비슷한 효과를 발휘 할 것으로 기대된다. 특히 그림 3.3.13은 가상플랜트에 컬러링(coloring) 개념을 도입하여 열화기구(degradation mechanism)를 가상플랜트에 표현하는 개념을 나타내며, 이를 위험도평가 프로그램의 손상계수(damage factor)와 연계하여, 사용자가 3D 형상정보를 통해 더 많은 데이터를 제공받을 수 있도록 작성 중에 있다.

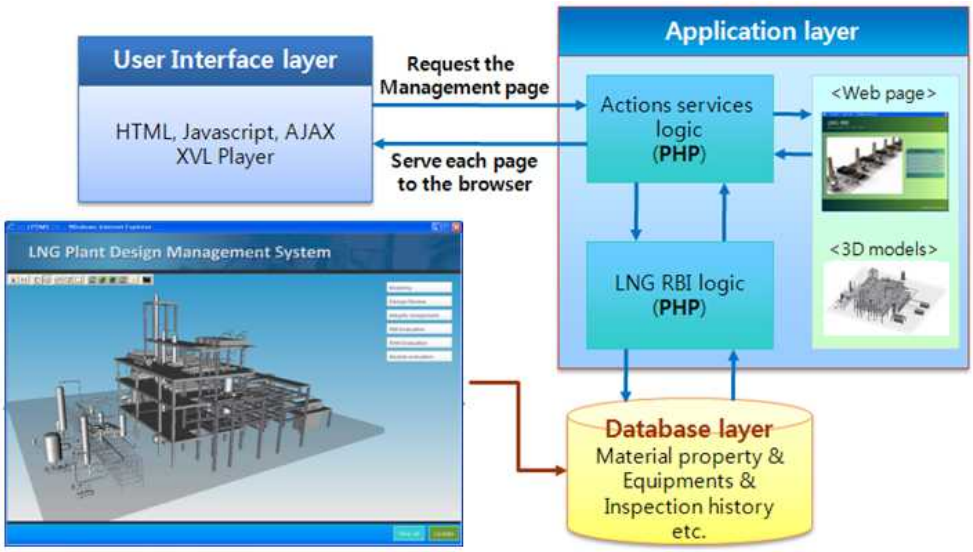


그림 3.3.1 3-layer structure of LNG-RBI



그림 3.3.2 Main page of LNG-RBI

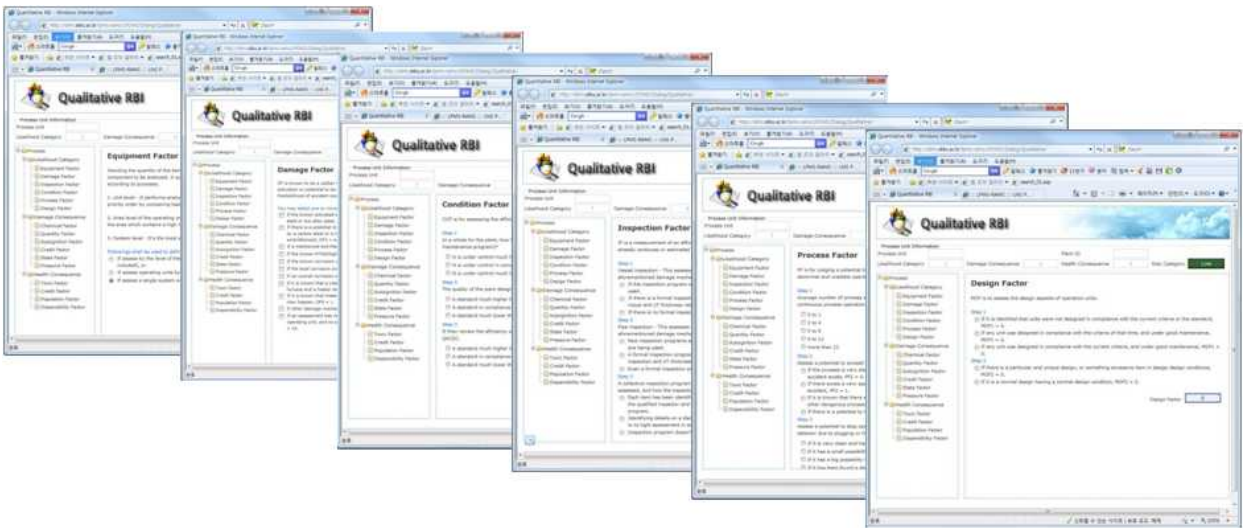


그림 3.3.3(a) Likelihood category

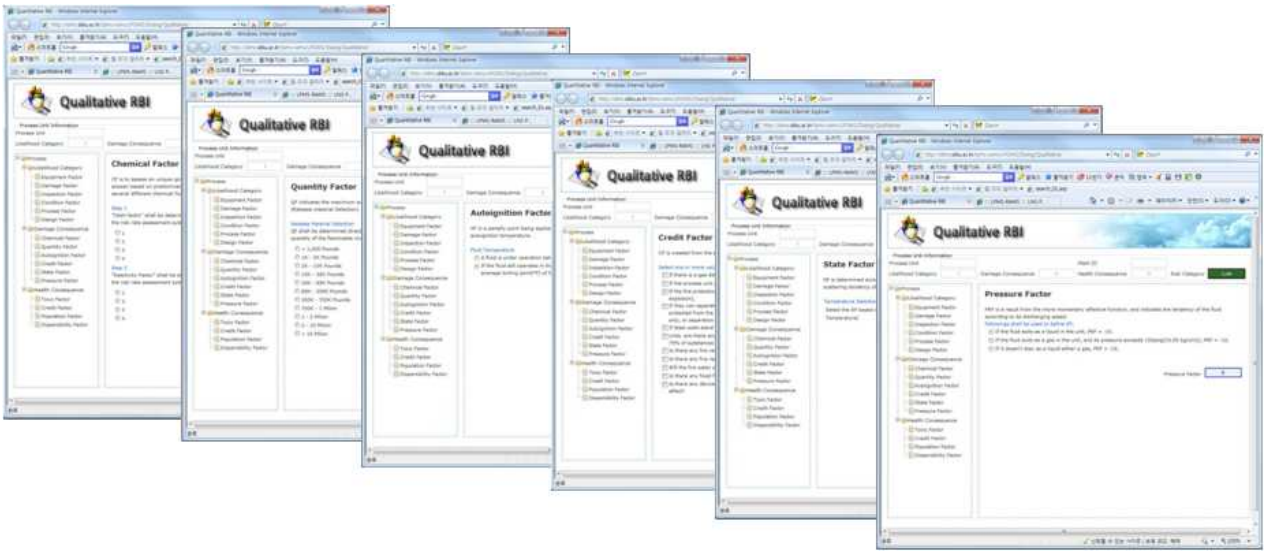


그림 3.3.3(b) Damage consequence

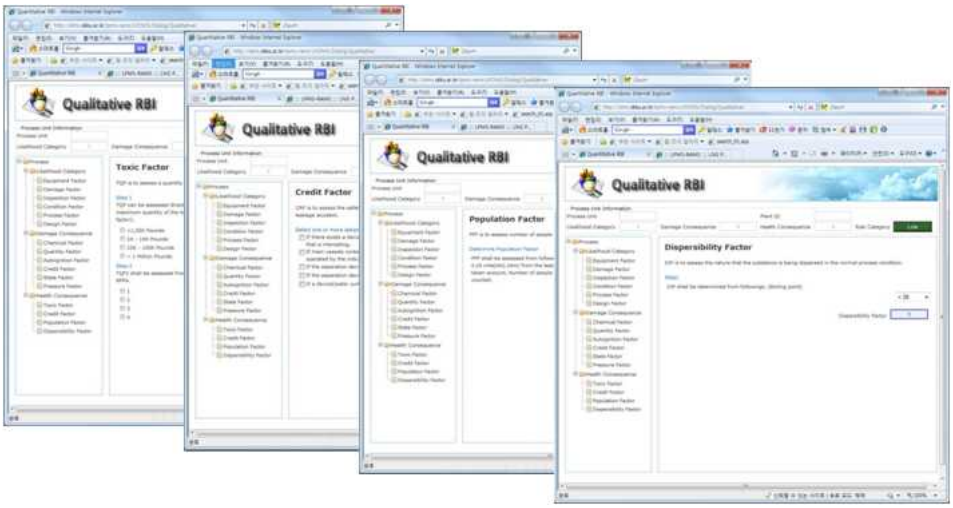


그림 3.3.3(c) Health consequence

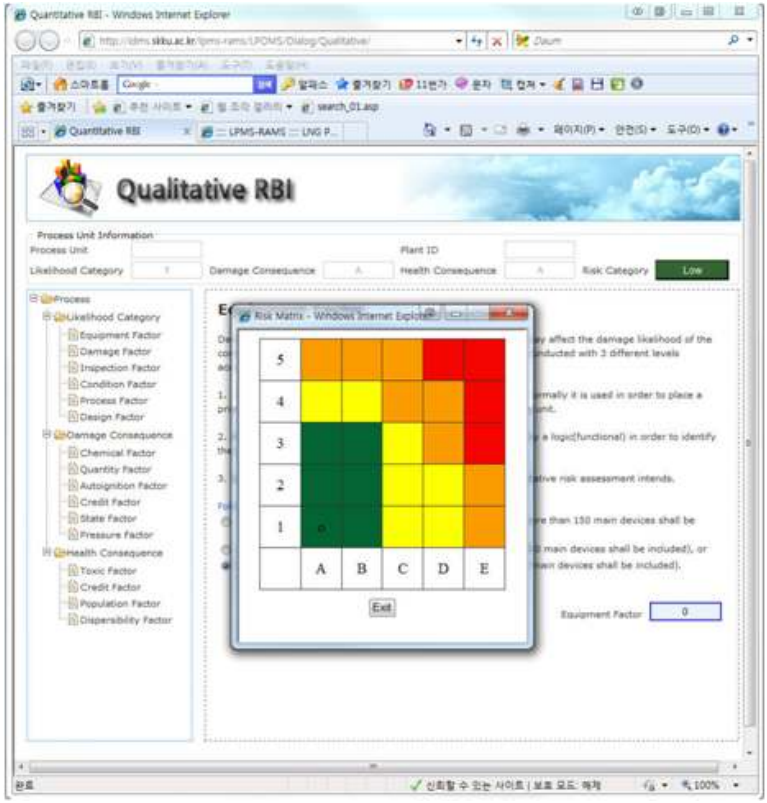


그림 3.3.3(d) The result window of qualitative RBI

그림 3.3.3 Qualitative RBI

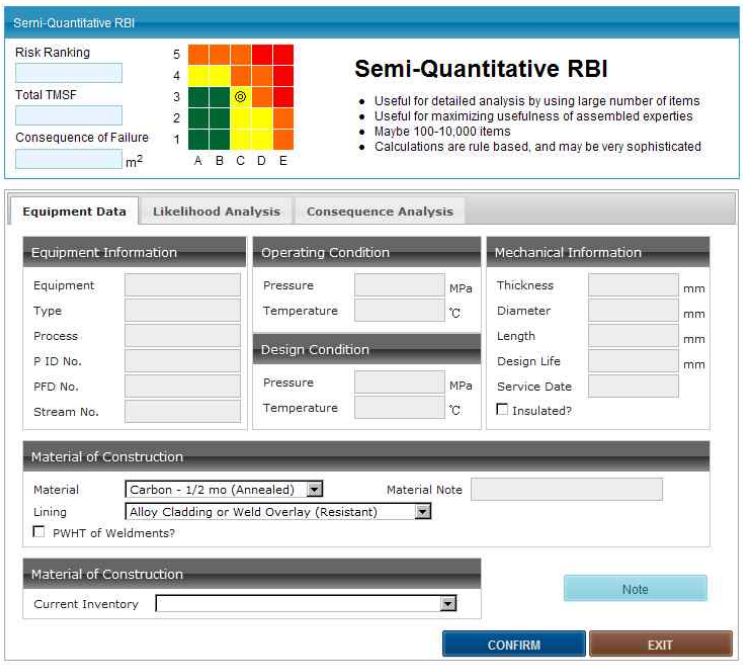


그림 3.3.4(a) Equipment data

그림 3.3.4 Semi-Quantitative RBI of LNG-RBI

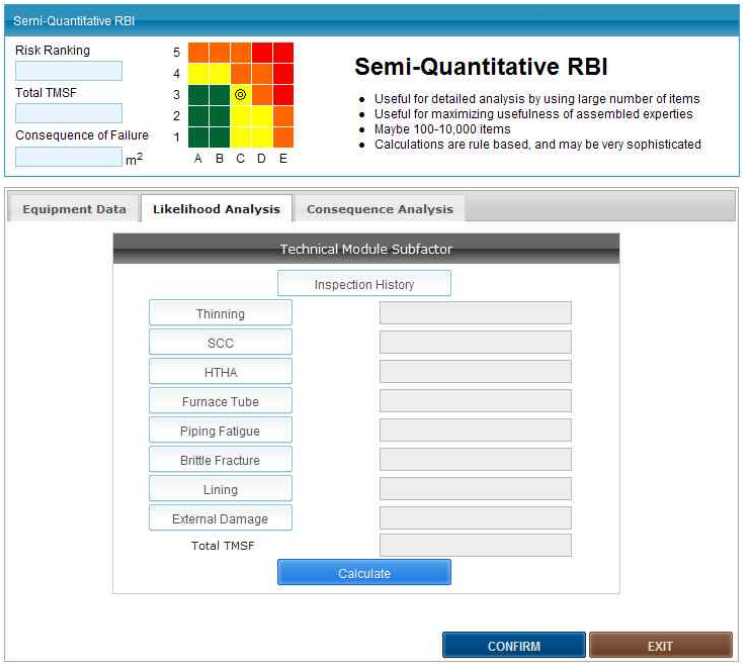


그림 3.3.4(b) Likelihood analysis

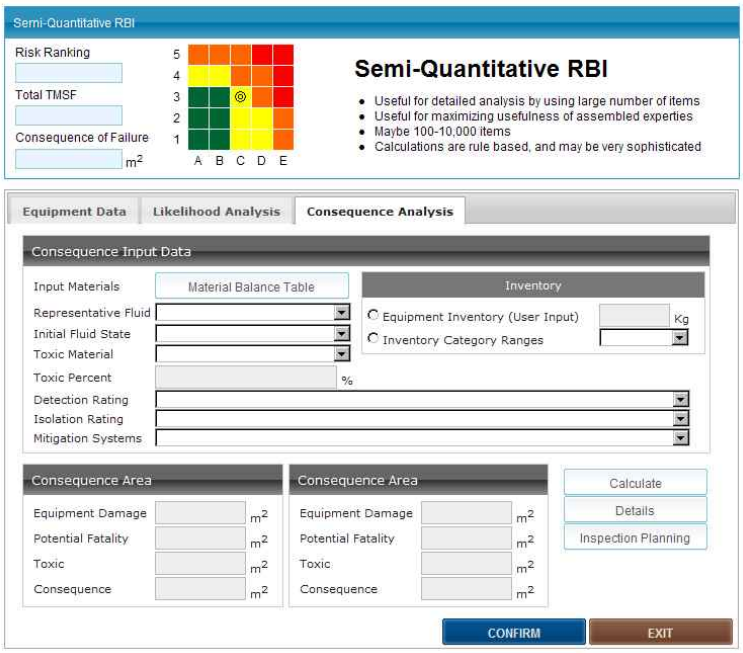


그림 3.3.4(c) Consequence analysis

그림 3.3.4 Semi-Quantitative RBI of LNG-RBI

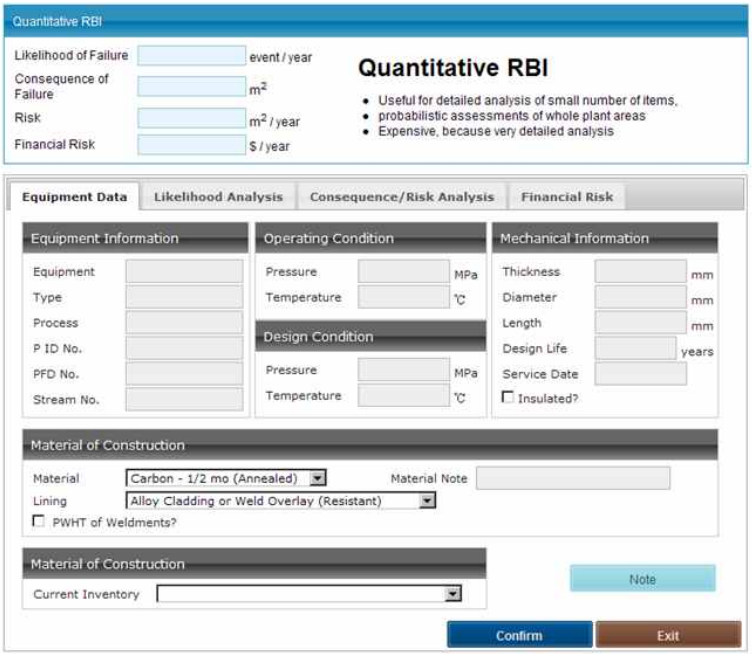


그림 3.3.5(a) Equipment data

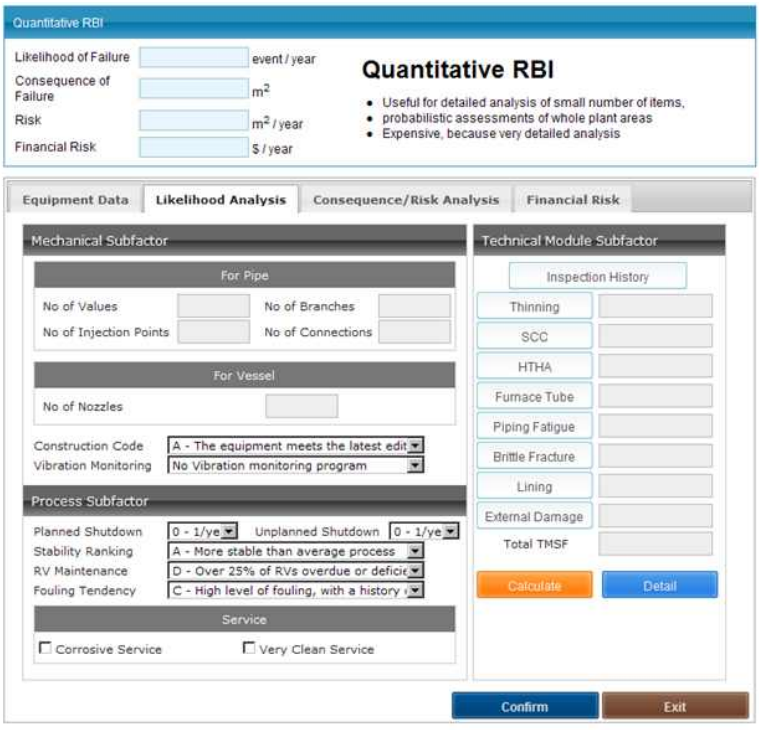


그림 3.3.5(b) Likelihood analysis

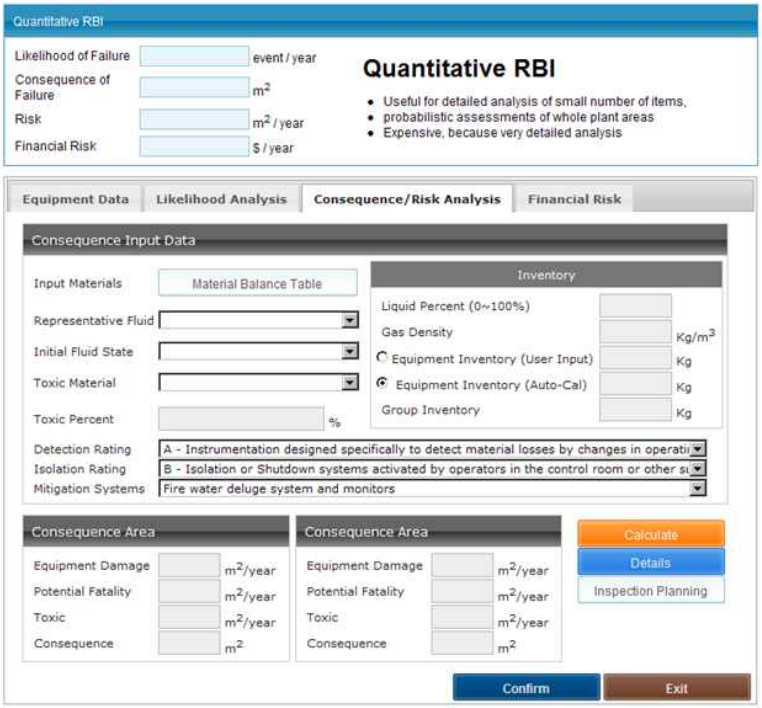


그림 3.3.5(c) Consequence/Risk analysis

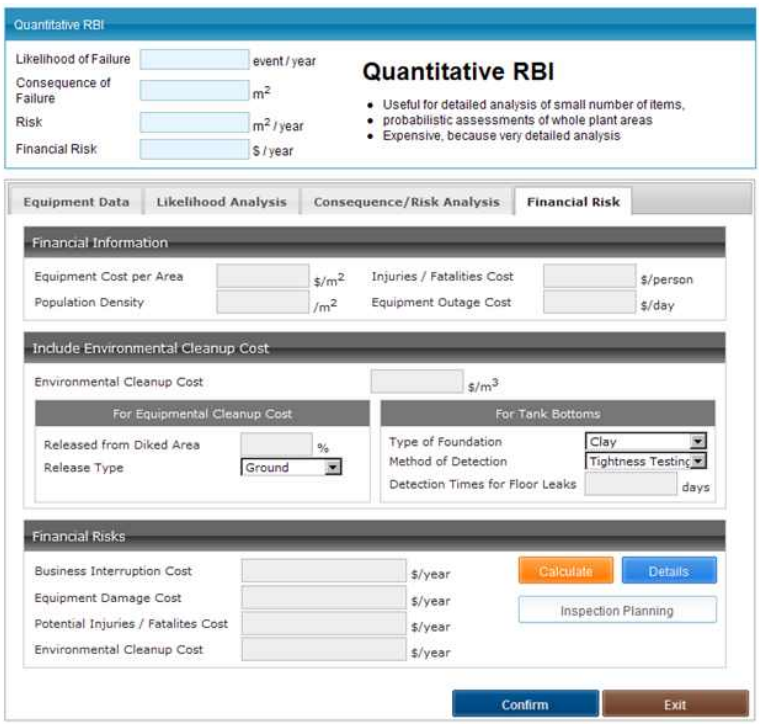


그림 3.3.5(d) Financial risk

그림 3.3.5 Quantitative RBI of LNG-RBI

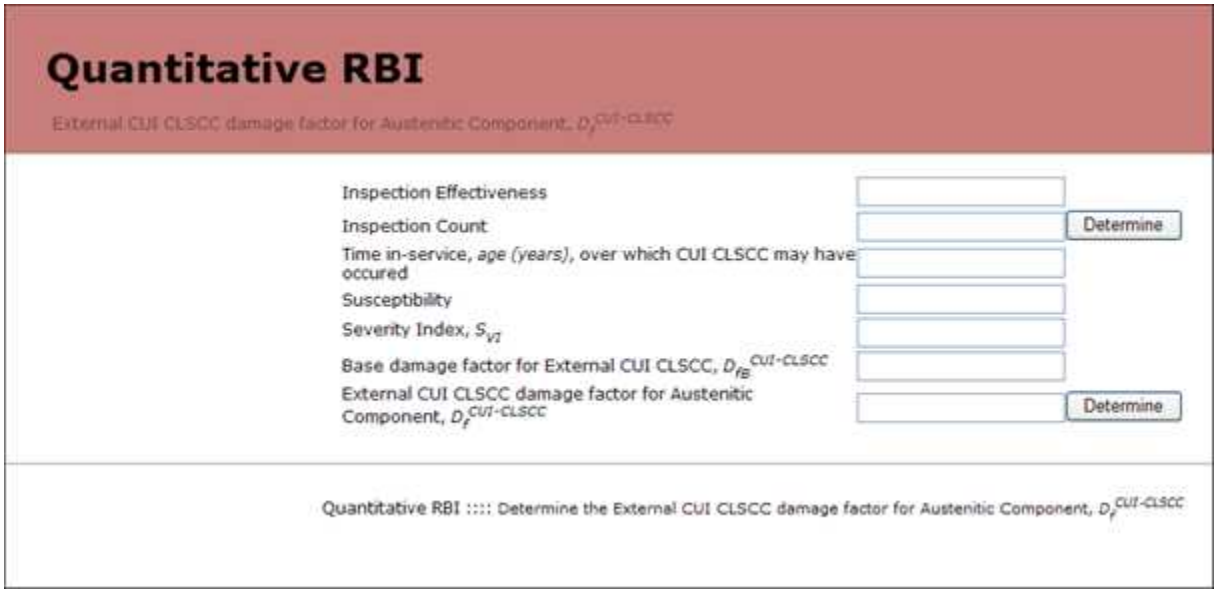


그림 3.3.6(a) External CUI CLSCC damage factor for Austenitic component

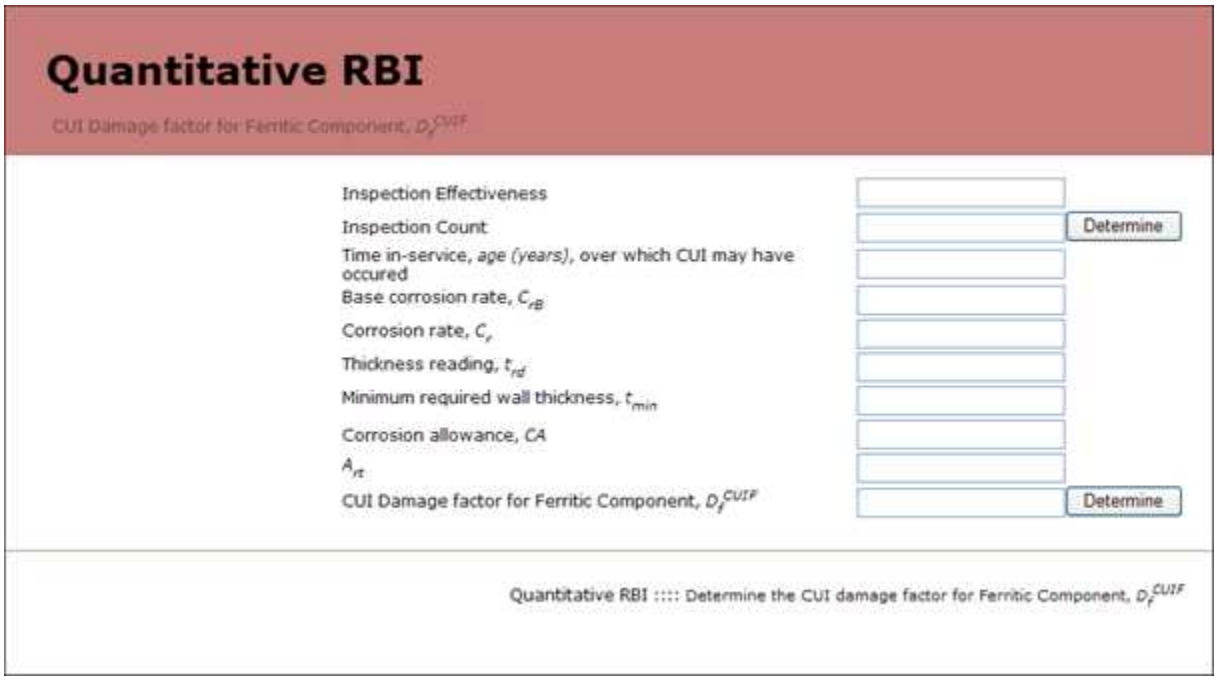


그림 3.3.6(b) CUI damage factor for ferritic component

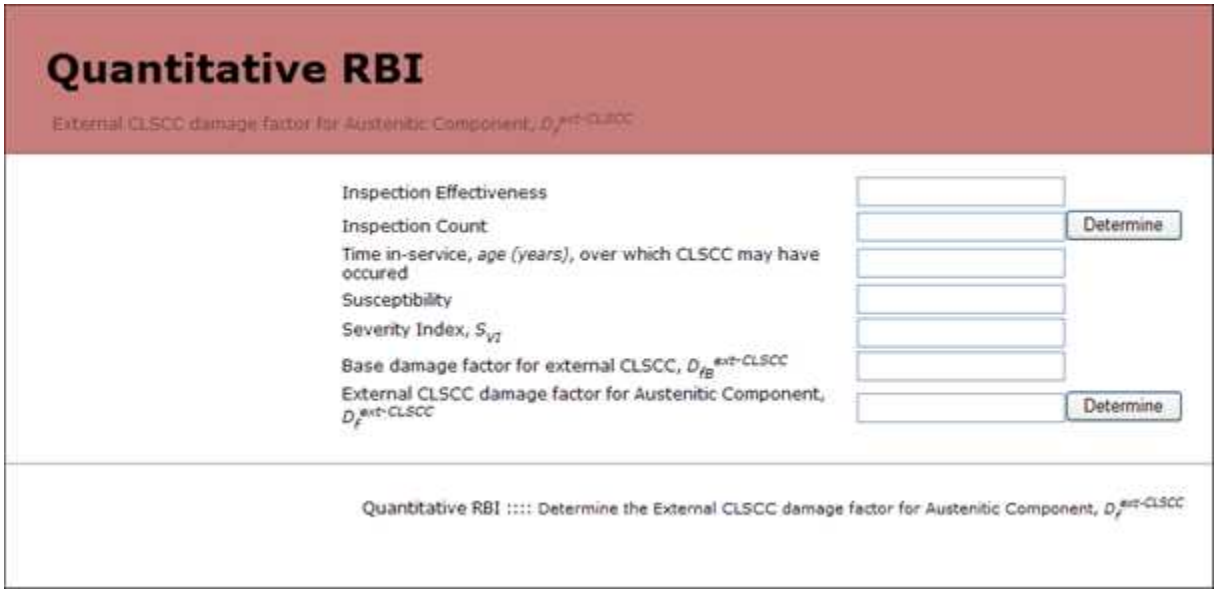


그림 3.3.6(c) External CLSCC damage for austenitic component

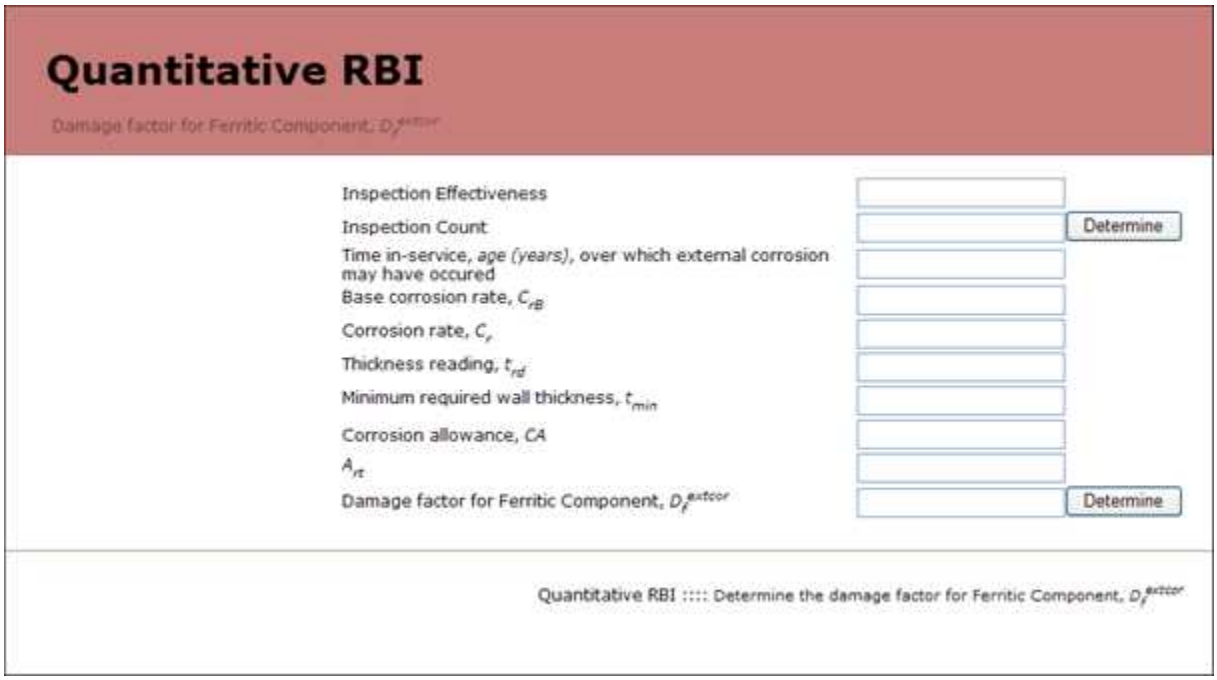


그림 3.3.6(d) Damage factor for ferritic component

그림 3.3.6 External damage factor in quantitative RBI



그림 3.3.7(a) Sigma phase embrittlement damage factor

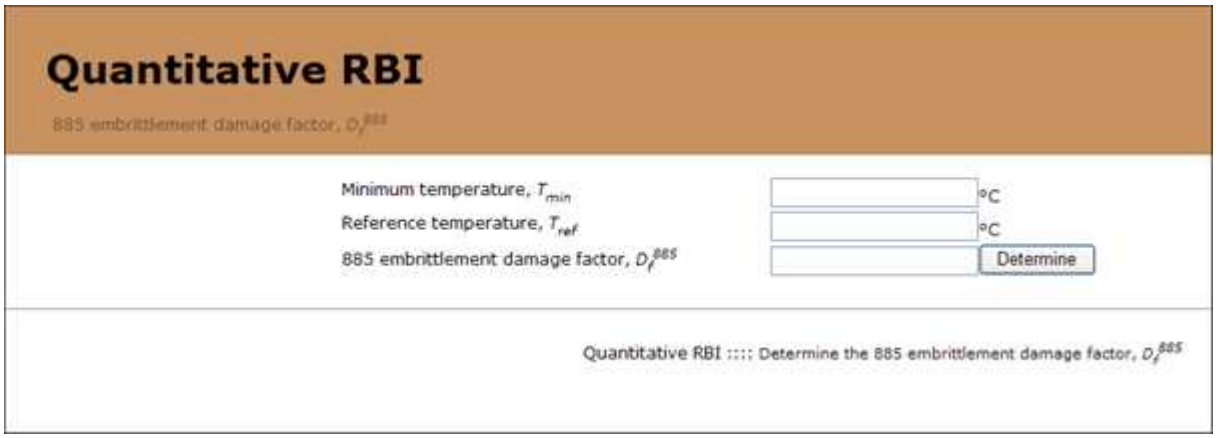


그림 3.3.7(b) 885 embrittlement damage factor

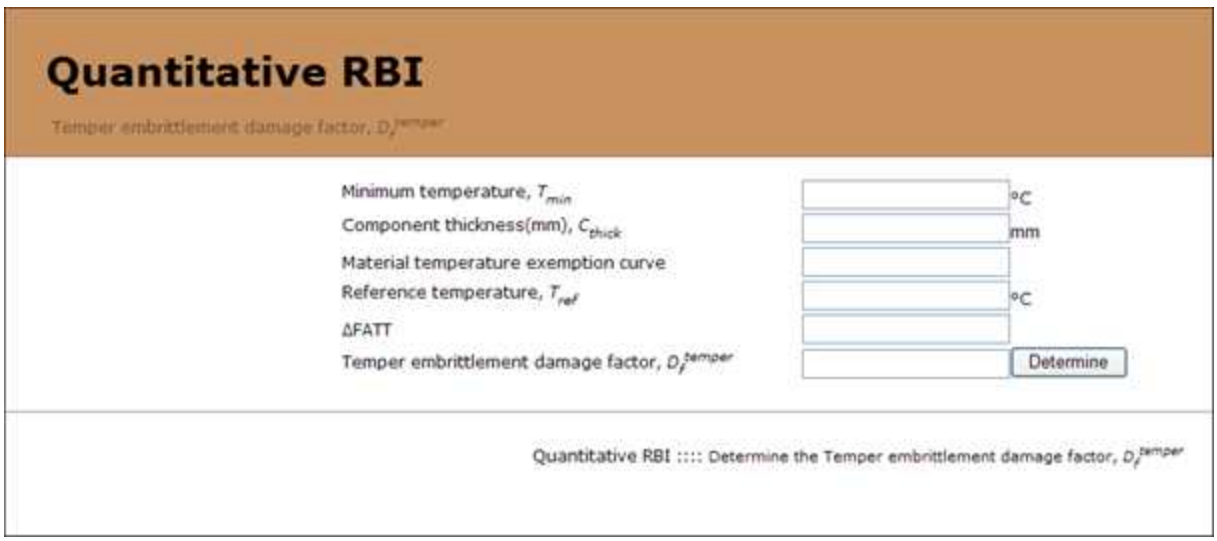


그림 3.3.7(c) Temper embrittlement damage factor



그림 3.3.7(d) Brittle fracture damage factor

그림 3.3.7 Brittle fracture damage factor in quantitative RBI

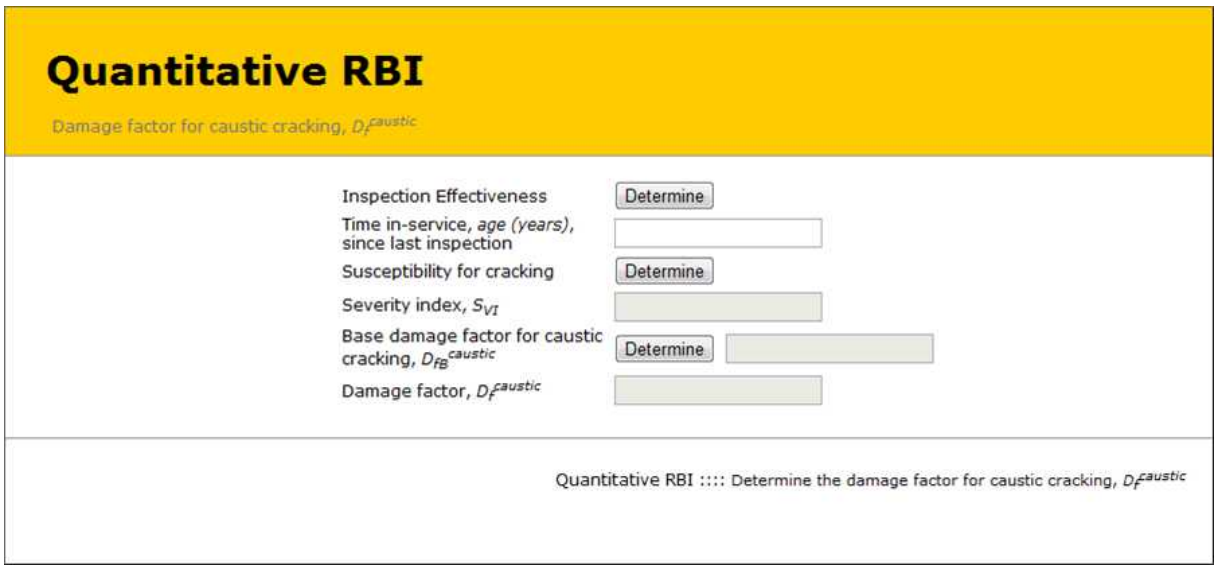


그림 3.3.8(a) Caustic cracking damage factor

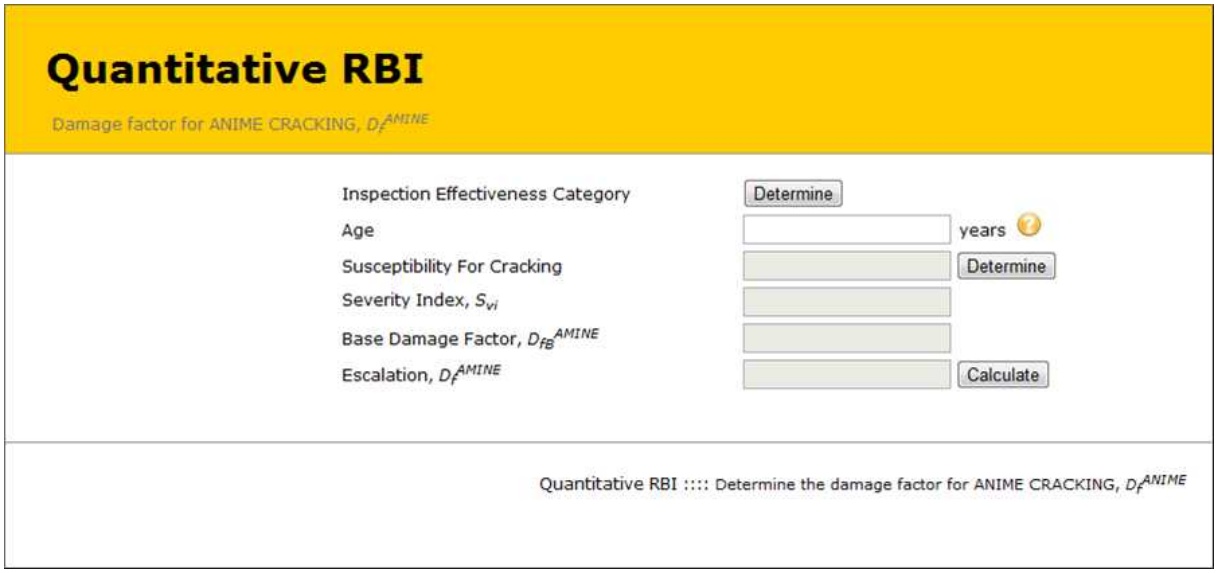


그림 3.3.8(b) Amine cracking damage factor

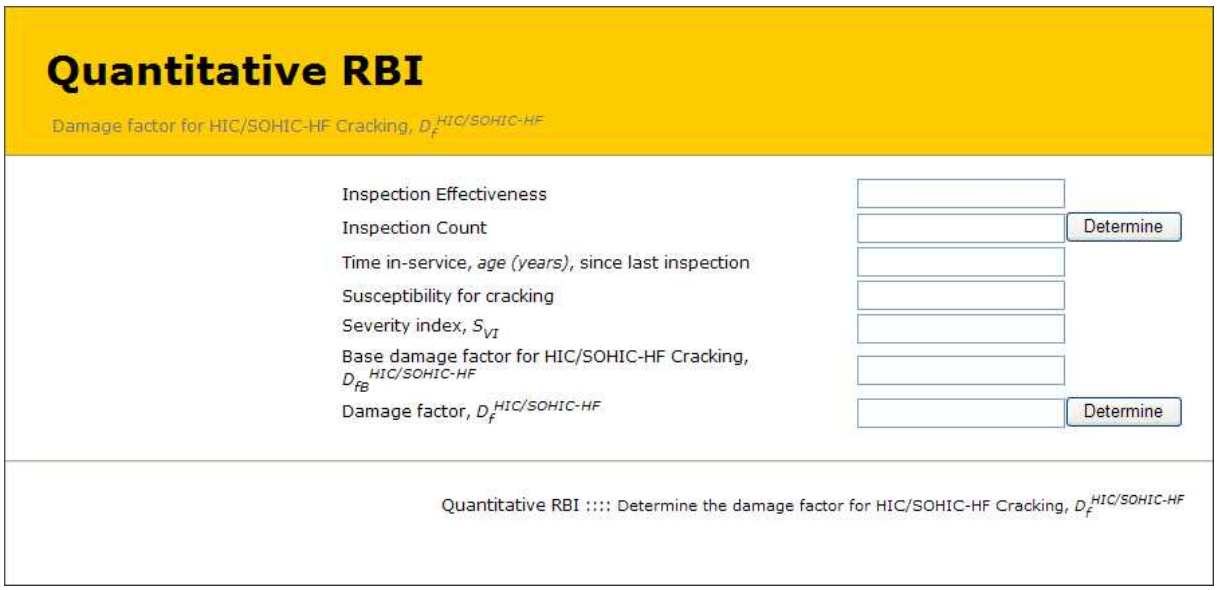


그림 3.3.8(c) HIC/SOHIC-HF cracking damage factor

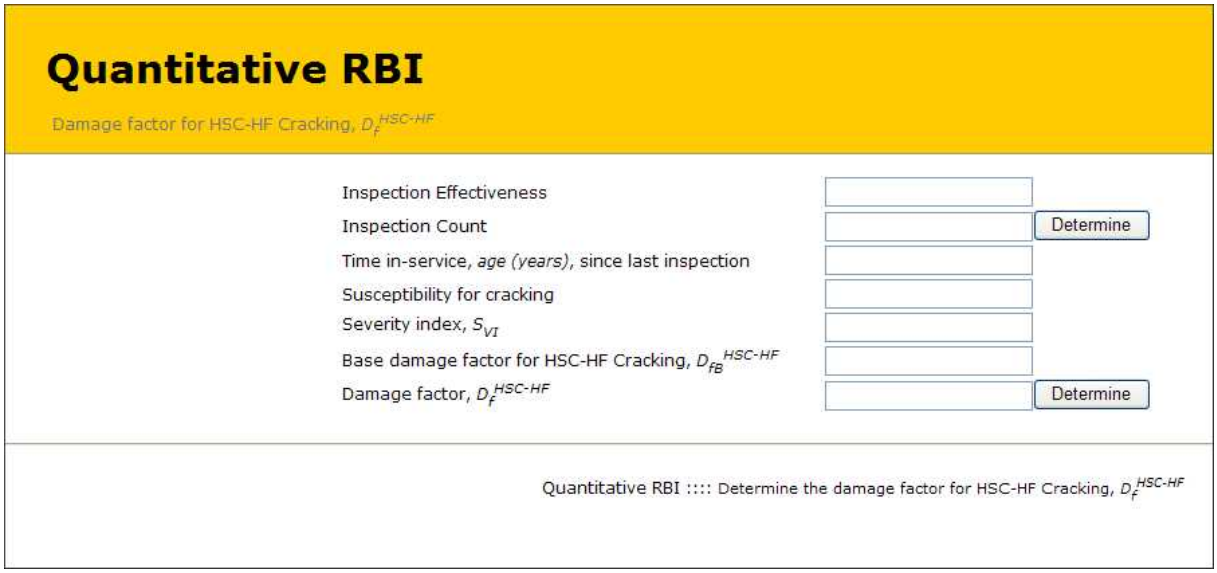


그림 3.3.8(d) HSC-HF cracking damage factor

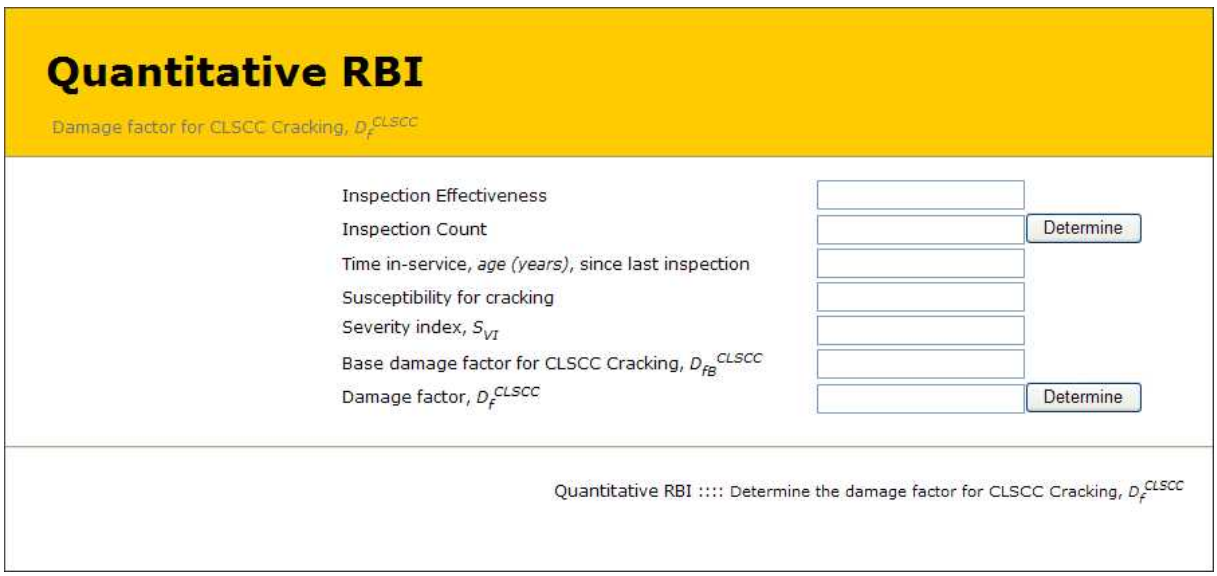


그림 3.3.8(e) CLSCC cracking damage factor

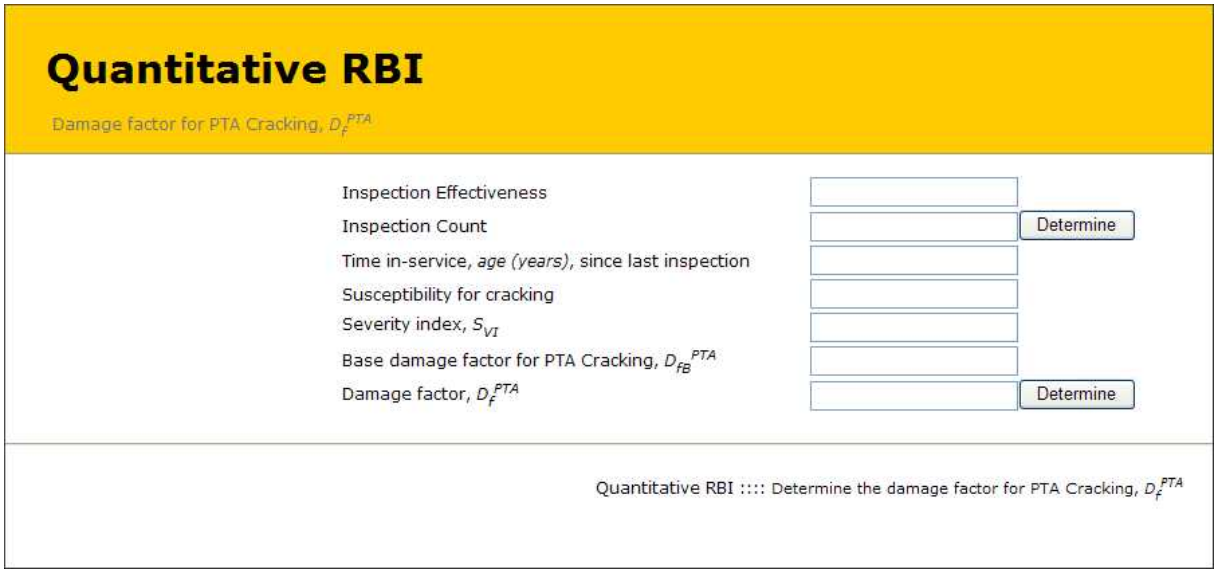


그림 3.3.8(f) PTA cracking damage factor

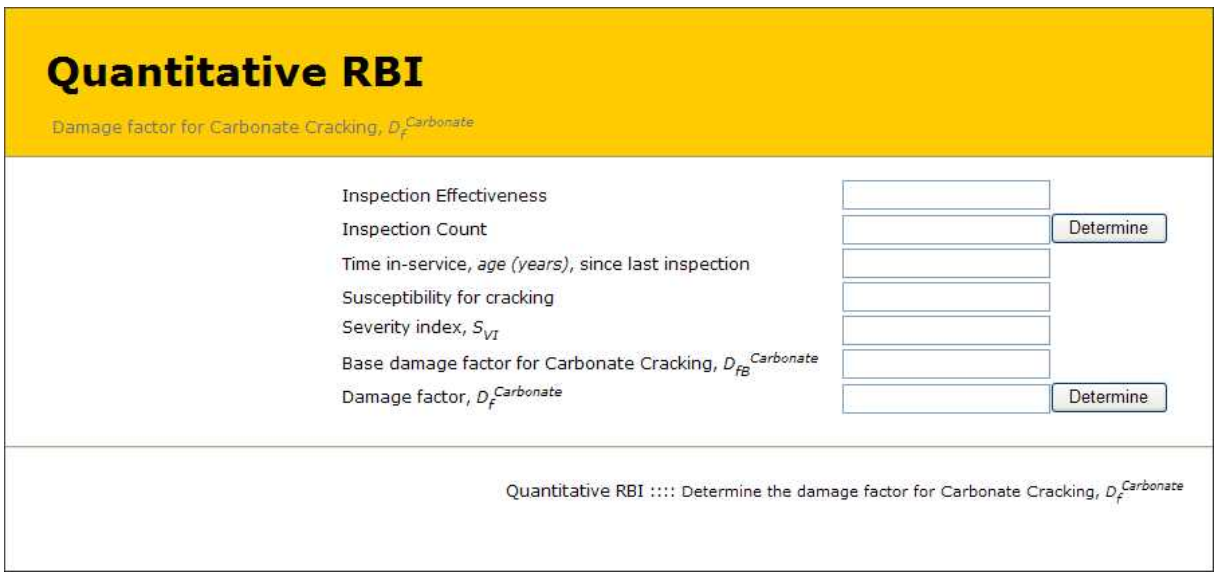


그림 3.3.8(g) Carbonate cracking damage factor

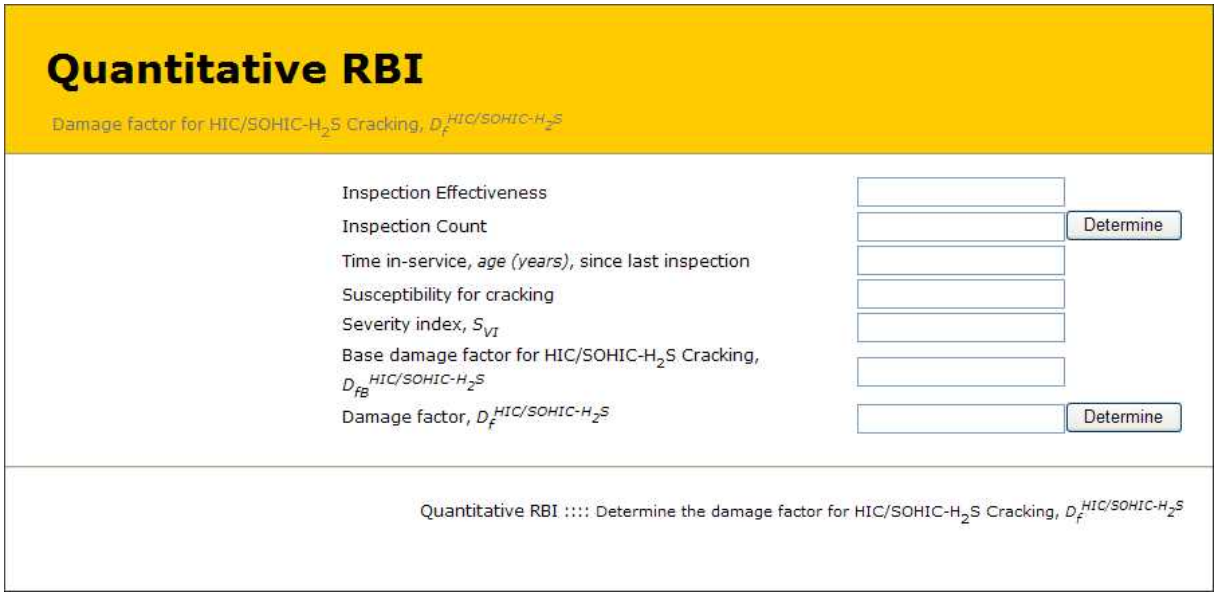


그림 3.3.8(h) HIC/SOHIC-H_2S cracking damage factor

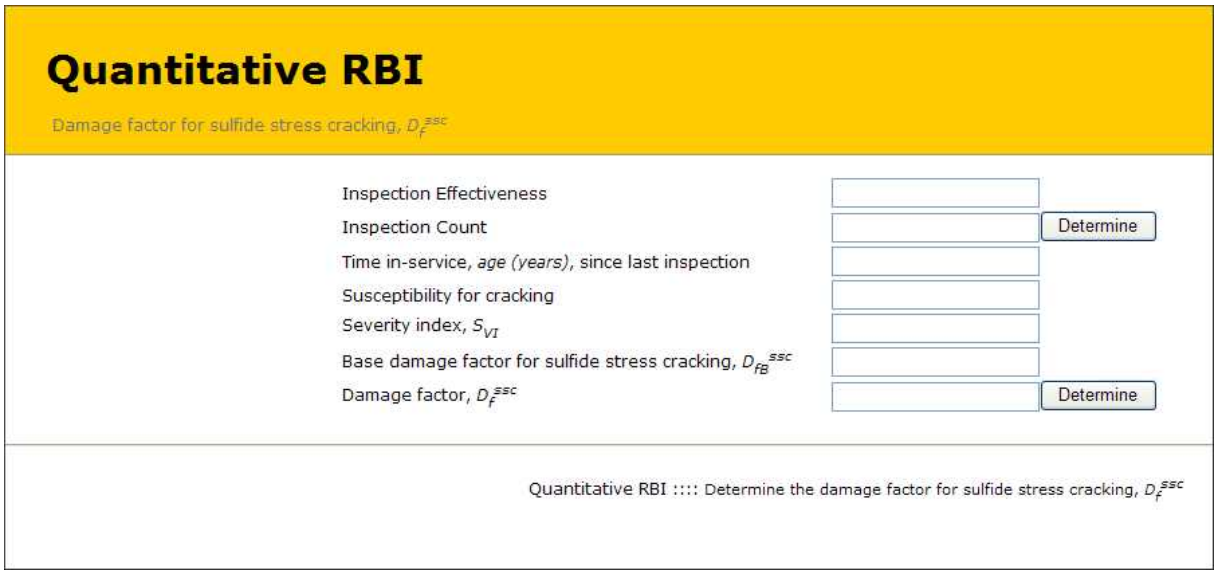


그림 3.3.8(i) Sulfide stress cracking damage factor

그림 3.3.8 SCC damage factor in quantitative RBI



그림 3.3.9 HTHA damage factor in quantitative RBI

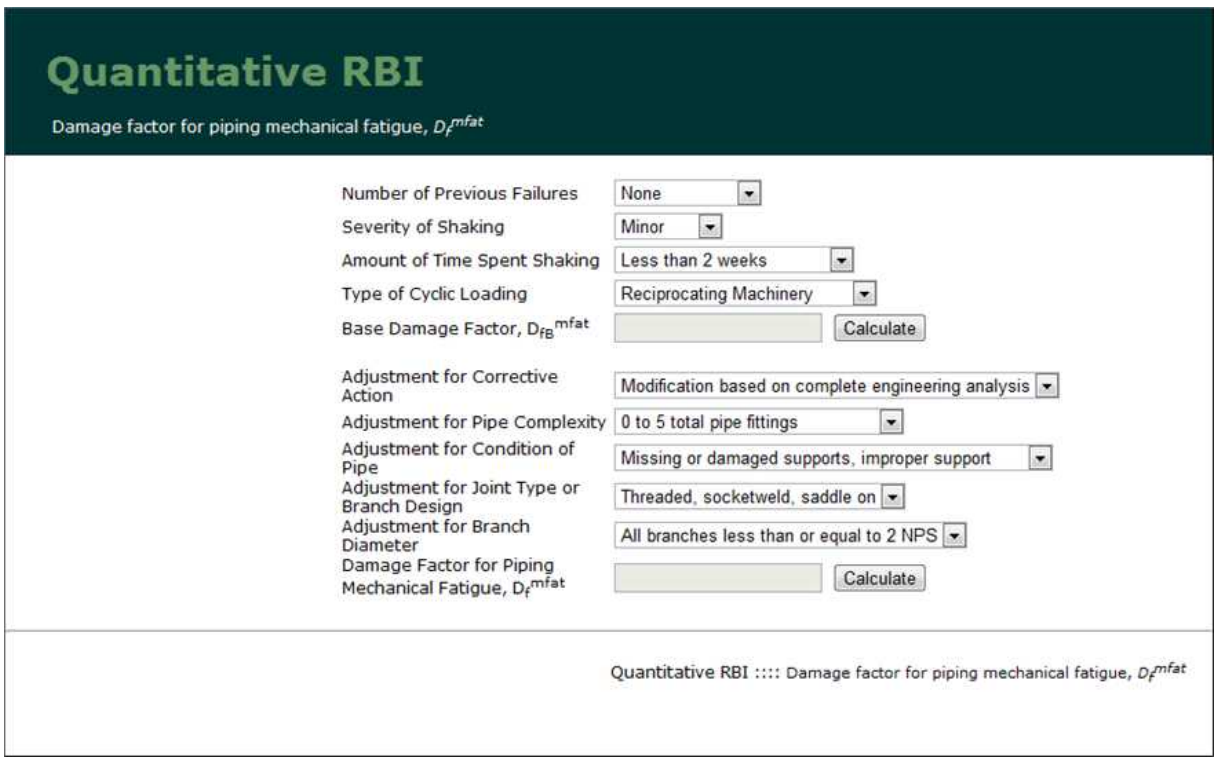


그림 3.3.10 Mechanical fatigue damage factor in quantitative RBI

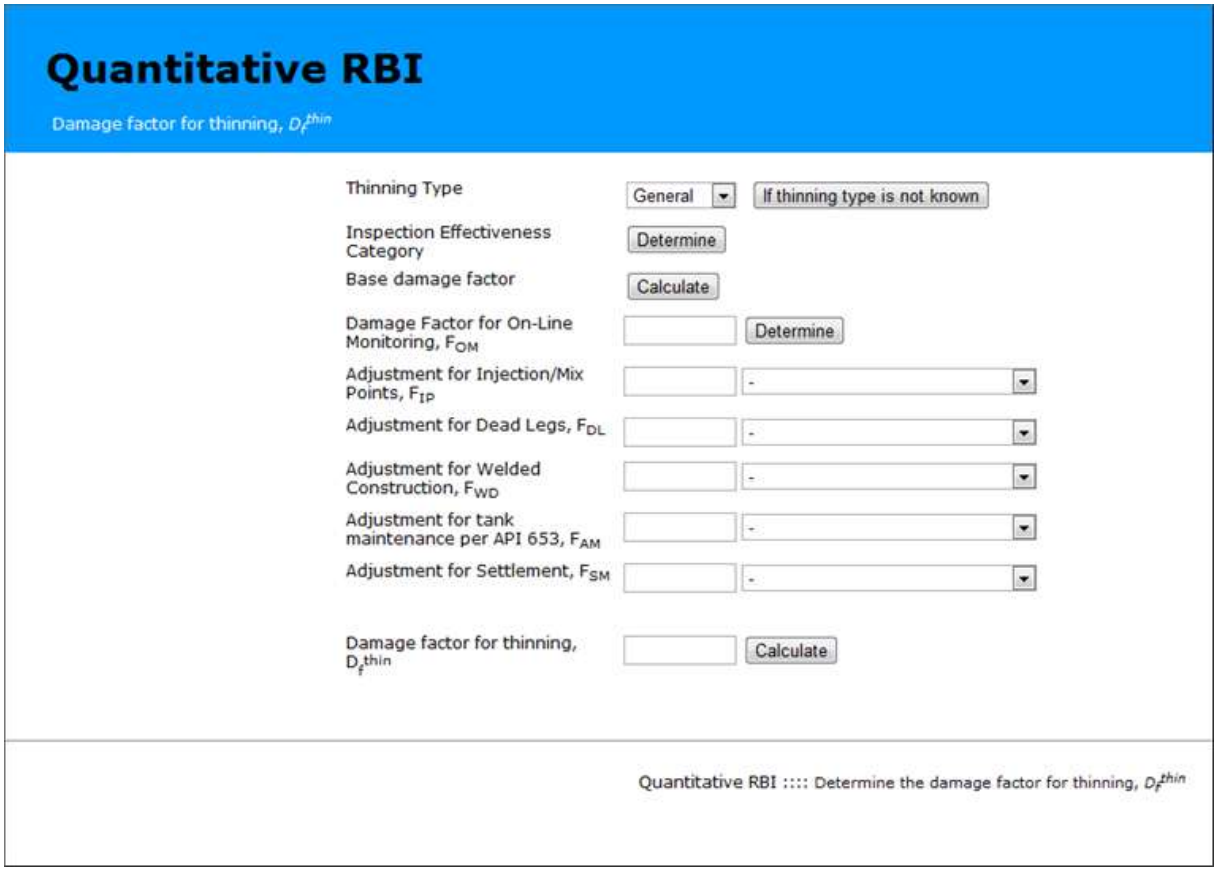


그림 3.3.11 Thinning damage factor in quantitative RBI

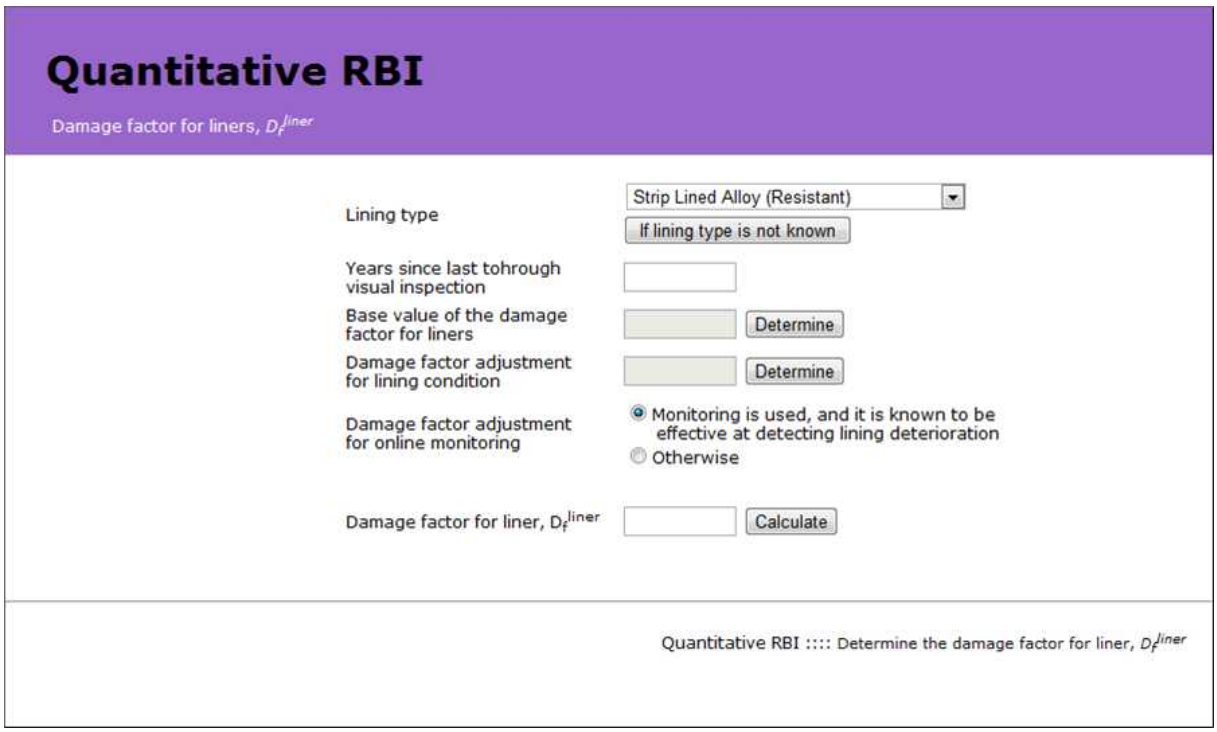


그림 3.3.12 Lining damage factor in quantitative RBI

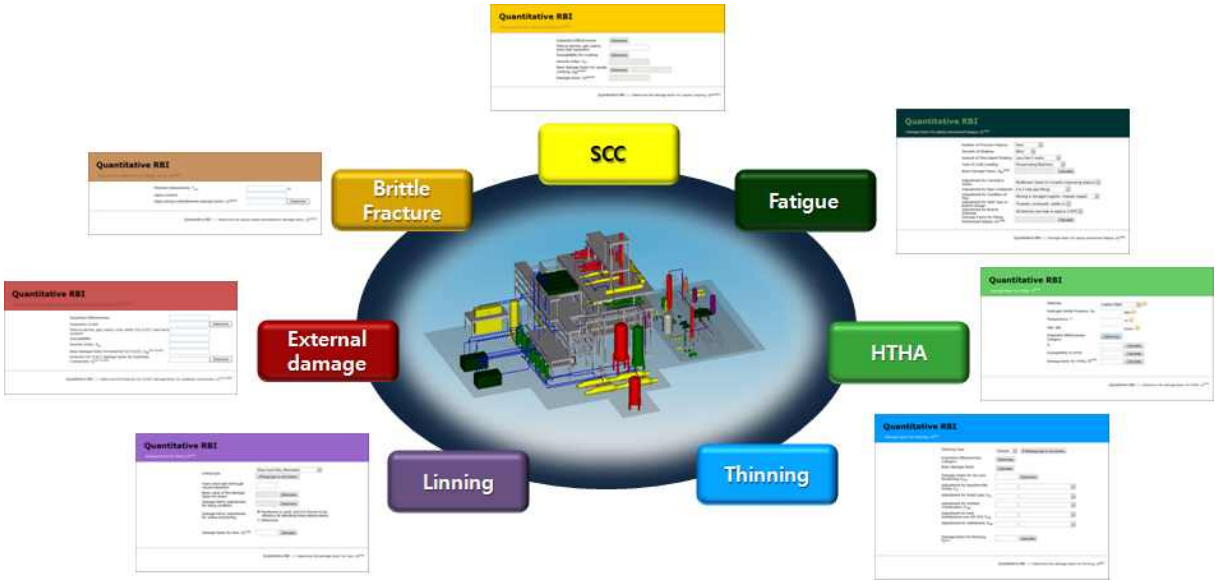


그림 3.3.13 Damage factor in LNG-RBI

2. 정량적 위험도 평가 모듈

가. 열 교환기의 위험도 계산

위험도 기반 검사 기술이 적용 된다면 열 교환기 관다발의 남은 주기와 신뢰성을 평가하여 보다 효율적인 검사 주기 설정과 유지 보수 시기의 설정이 가능해 지므로 효율적인 플랜트의 운용이 가능해 진다. 열 교환기의 위험도 또한 파손의 가능성과 파손의 결과의 곱으로 계산이 가능하다.

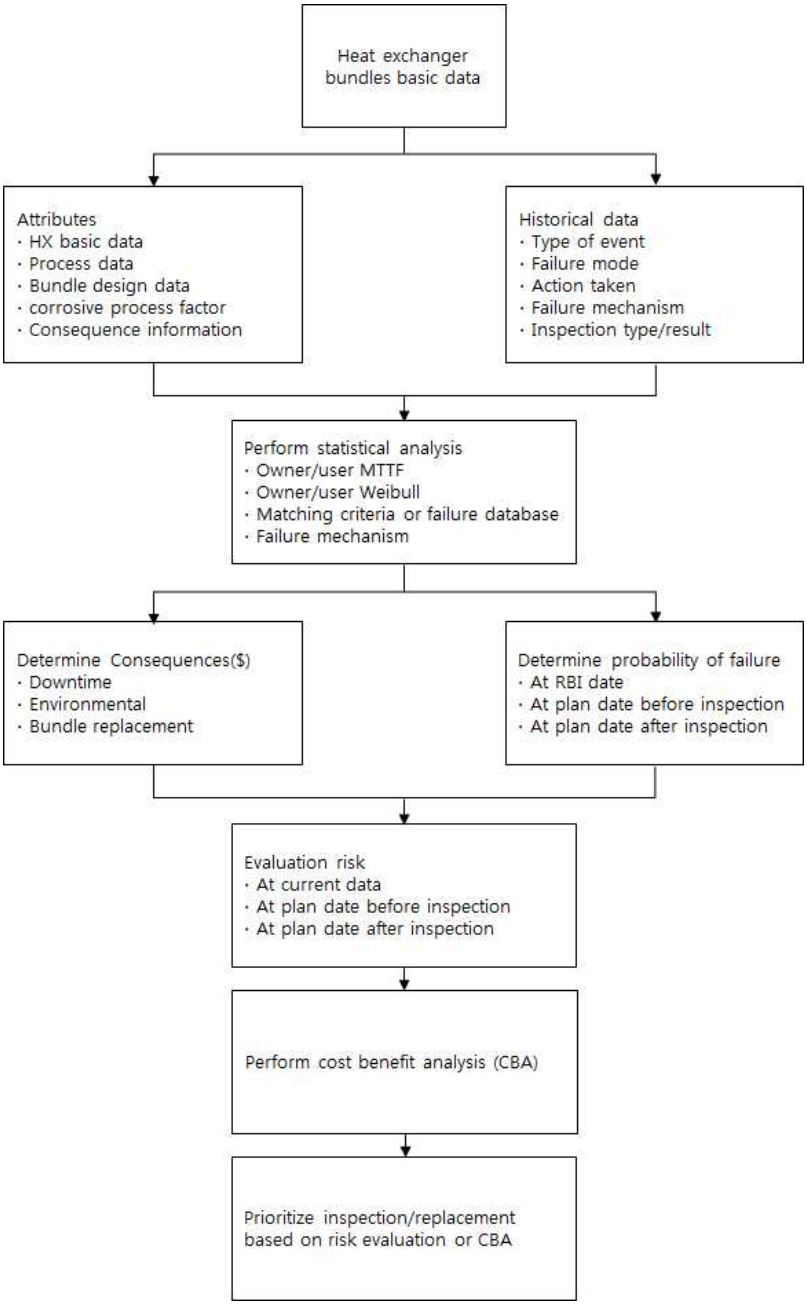


그림 3.3.14 Risk Calculation Process of Heat Exchanger Tube Bundle

열 교환기에 대한 위험도 평가를 위해서 기본 데이터와 누적된 검사 데이터를 수집해야 한다. 수집된 데이터를 기초로 번들 파손의 결과, C_f^{tube}를 식 1.1을 통해 결정한다.

$$C_f^{tube} = Cost_{prod} + Cost_{env} + Cost_{bundle} + Cost_{maint} \quad (1.1)$$

위의 식 1.1에서 $Cost_{prod}$는 단위 생산비용, $Cost_{env}$는 환경 영향비용, $Cost_{bundle}$는 번들 교체비용, $Cost_{bundle}$는 번들 유지비용이다. 번들 파손결과는 이 변수들의 합으로 계산된다.

파손 가능성은 열 교환기에 대한 데이터에 따라서 네 가지 방식으로 결정할 수 있다. 열 교환기 번들의 신뢰성에 대한 라이브러리나 기초 자료가 존재할 경우, 명시된 와이블 계수가 존재하는 경우, 파손 평균 시간이 명시된 경우, 충분히 누적된 번들 검사이력이 존재하는 경우로 나누어 계산 할 수 있다.

열 교환기에 대한 위험도는 식 1.2와 같이 식 1.1에 의해 계산된 결과 값과 파손 가능성의 곱으로 계산할 수 있다.

$$Risk_f^{tube} = P_f^{tube} \cdot C_f^{tube} \tag{1.2}$$

계산된 위험도를 이용하여 검사 계획을 세우는데 활용 될 수 있으며 분석된 자료들을 기반으로 번들의 보수 및 교체에 대한 비용을 평가하여 적합한 유지 보수 계획을 세울 수 있다. 또한 검사 주기 관리와 유지 보수의 평가를 통해서 해당 기기의 운용에 대한 신뢰성과 효율성을 증가 시킬 수 있다.

나. 피해확률 계산(POF: Probability Of Failure)

압력 완화 장치 및 열 교환기 관다발을 제외한 나머지 기기들의 고장 가능성은 동일한 과정을 통해서 계산된다. 적용되는 고장 가능성의 계산은 다음의 식으로 정의 된다.

$$P_f(t) = gff \cdot D_f(t) \cdot F_{MS} \tag{1.3}$$

위의 식 1.3에서 gff(Generic Failure Frequency)는 파손의 일반적 주기이며 이는 특정 손상기구의 영향을 포함하지 않는 구성품의 대규모 자료를 기반으로 정해진다. $D_f(t)$는 손상기구이며 이 값은 플랜트에서 일어날 수 있는 11가지의 손상기구로 나뉘어 각 각 계산된다. F_{MS}는 관리시스템의 영향을 정량화한 변수이며 플랜트 공정의 안전 관리 시스템의 효율성을 나타낸다. 특정 기기를 제외한 나머지 기기들은 위의 세 가지 변수를 곱하여 파손 가능성을 정량화 할 수 있으며, 파손 신뢰성 모델을 적용, 주기적 데이터를 기초

로 한 통계 모델 적용, 전문가의 판단을 적용하는 3가지 방법 중 한 가지 이상의 조건의 조합으로 결정된다.

gff 값은 다양한 종류의 기기들에 대한 구멍(hole)의 크기에 따른 일반적 파손 주기를 나타내며 표 3.3.1에 정의되어 있다.

표 3.3.1 Suggested Component Generic Failure Frequencies

Equipment type	Component type	gff as a function of hole size(failure/yr)				gff_{total} (failures/yr)
		small	medium	large	rupture	
Compressor	COMPC	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	0	3.00E-05
Compressor	COMPR	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Heat exchanger	HEXSS	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Heat exchanger	HEXTS	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Heat exchanger	HEXTUBE	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pipe	PIPE-1	2.80E-05	0	0	2.60E-06	3.06E-05
Pipe	PIPE-2	2.80E-05	0	0	2.60E-06	3.06E-05
Pipe	PIPE-4	8.00E-06	2.00E-05	0	2.60E-06	3.06E-05
Pipe	PIPE-6	8.00E-06	2.00E-05	0	2.60E-06	3.06E-05
Pump	PUMP2S	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pump	PUMPR	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Pump	PUMP1S	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Tank 650	TANKBOTTOM	7.20E-04	0	0	2.00E-06	7.20E-04
Tank 650	COURSE-1	7.00E-05	2.00E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Tank 650	COURSE-2	7.00E-05	2.00E-05	5.00E-06	1.00E-07	1.00E-04
Vessel/FinFan	COURSE-3	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Vessel/FinFan	KODRUM	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05
Vessel/FinFan	COLBTM	8.00E-06	2.00E-05	2.00E-06	6.00E-07	3.06E-05

손상 기구는 21가지로 정의하며 표 3.3.2에 정의되었다.

표 3.3.2 Categories of Damage Factor

Damage factor	Parameter	Total parameter
Thinning	D_f^{thin}	-
Component Linning	D_f^{elin}	-
SCC-Caustic cracking	$D_f^{caustic}$	D_f^{SCC}
SCC-Amine cracking	D_f^{amine}	
SCC-Sulfide stress cracking	D_f^{scc}	
SCC-HIC/SOHIC-H_2S	$D_f^{HIC/SOHIC-H_2S}$	
SCC-Carbonate cracking	$D_f^{carbonate}$	
SCC-PTA Cracking	D_f^{PTA}	
SCC-CLSCC	D_f^{CLSCC}	
SCC-HSC-HF	D_f^{HSC-HF}	
SCC-HIC/SOHIC-HF	$D_f^{HIC/SOHIC-HF}$	
External corrosion-Ferritic component	D_f^{extcor}	D_f^{extd}
CUI-Ferritic component	D_f^{CUIF}	
External CLSCC	$D_f^{ext-CLSCC}$	
External CUI CLSCC	$D_f^{CUI-CLSCC}$	
HTHA	D_f^{htha}	-
Brittle fracture	$D_f^{britfract}$	D_f^{brit}
Temper embrittlement	D_f^{temper}	
885 embrittlement	D_f^{885}	
Sigma phase embrittlement	D_f^{σ}	
Piping mechanical	D_f^{mfat}	-

위의 표와 같이 21개의 손상기구는 특성에 따라 다시 7가지 대표 사례로 재 정의 되며 손상기구의 계산은 식 1.4을 이용하여 계산을 한다.

$$D_{f-total}=\max\left[D_{f-gov}^{thin}, D_{f-gov}^{extd}\right]+D_{f-gov}^{scc}+D_f^{htha}+D_{f-gov}^{brit}+D_f^{mfat}] \quad (1.4)$$

식 1.4처럼 손상기구는 thinning과 외부손상의 주요 기구 중 최대값과 SCC, HTHA,

취성파괴, 기계적 피로의 합으로 계산된다. 식 1.4은 thinning이 국부적으로 발생했을 때 적용되는 식이며, 만약 thinning이 전반적으로 발생했다면 손상기구는 식 1.5을 이용하여 계산된다.

$$D_{f-total}=\max D_{f-gov}^{thin}+D_{f-gov}^{extd}+D_{f-gov}^{scc}+D_{f}^{htha}+D_{f-gov}^{brit}+D_{f}^{mfat}] \quad (1.5)$$

SCC, 외부손상, 취성 파괴는 하위 범주에 다양한 손상 기구가 존재하므로 대표 값은 각 손상기구 중 가장 큰 값을 선정하여 상위 범주의 값을 대표하게 된다. 또한 각 손상기구의 값이 만약 1과 같거나 1보다 작은 경우에는 손상기구의 값은 0으로 설정하여 계산한다. 이처럼 손상기구의 값은 다양한 형태로 적용할 수 있으며, 플랜트의 특성에 따른 다양한 조합의 평가가 수행되어야 한다. 따라서 손상기구의 계산에 앞서서 플랜트의 특성과 각 종 데이터 그리고 전문가의 의견을 바탕으로 해당 플랜트에 적용할 수 있는 손상기구를 미리 설정하고 적용하여야 한다.

플랜트의 안전 관리 시스템의 효율성은 기계의 건전성에 직접적인 효과를 미칠 수 있다. 따라서 RBI 절차 중 파손 가능성 평가에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 파손 가능성 평가에는 시스템 관리 인자가 포함되어 평가하게 된다. 시스템 관리 인자 F_{MS}는 공정 장비의 기계적 건전성에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 플랜트 PSM 시스템의 모든 영역을 포함하며, 표 3.3.3 의 기준으로 평가된다. 평가 시 각 항목에 대한 응답은 해당 내용에 대한 전문적 지식과 전체적인 파악이 가능한 전문가에 의해 평가되어야 하며, 이때는 정량적인 평가보다는 정성적인 평가가 이뤄지기 때문에 평가를 수행하는 전문가의 역량이 많은 영향을 미치게 된다.

표 3.3.3 Management Systems Evaluation

Title	Questions	Points
Leadership & Administration	6	70
Process safety information	10	80
Process hazard analysis	9	100
Management of change	6	80
Operating procedures	7	80
Safe work practices	7	85
Training	8	100
Mechanical integrity	20	120
Pre-startup safety review	5	60
Emergency response	6	65
Incident investigation	9	75
Contractors	5	45
Audits	4	40
Total	101	1000

표 3.3.3에서 시스템 관리 인자에 대한 평가 항목은 총 13개로 구성이 되어있으며, 모든 항목의 점수의 합은 최대 1000으로 계산된다. 또한 각 항목에 포함되어 잇는 질문은 총 101개 이다. 따라서 시스템 관리 인자를 평가할 때에는 각 항목에 대한 평가를 면밀히 수행해야 한다.

다. 피해확률 계산(COF: Consequence Of Failure)

파손 결과의 계산 절차를 그림 3.3.15에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 파손 결과의 계산은 피해 범위에 대한 평가와 피해에 따른 금전적 손실에 대한 평가로 나뉘어 계산 되며 본 장의 서두에 언급했듯이 각 각의 결과에 따른 위험도의 평가가 가능하다. 파손의 결과는 크게 6가지의 평가로 이뤄진다. 먼저 제한 된 수의 대표 유체에 대한 평가인 1 단계 결과 분석이 수행된다. 비교적 간소화 된 절차로 계산이 되는 1단계 분석은 파손 시 누출되는 유체의 상이 액체 또는 기체 중 하나로 가정하며 유체의 특성은 평균값을

사용한다. 또한 대표적 유체의 특성은 온도, 유체, 누출의 종류에 따른 함수로 점화의 가능성뿐만 아니라 다른 형태의 누출 경우에 대해 미리 결정 된다.

1 단계 분석이 유효하지 않은 경우에 2 단계 분석이 수행된다. 2 단계 분석이 수행되는 경우는 다음과 같다. 1 단계에서 정의 되어 있는 유체의 대표성에 포함되지 않는 경우, 저장 되어 있는 유체가 치명적 지점에 근사하여 1 단계의 함수의 적용이 유효하지 않을 때, 두 개의 상에 대한 평가가 필요할 때, 블레비 현상의 평가가 필요한 경우, 비 가연성 가압 가스가 용기의 파손으로 영향을 줄 수 있는 경우, 확산의 계산이 기상 조건의 가정으로 계산되어야 할 경우에 대해 2단계의 분석이 필요하다.

저장 탱크는 1, 2 단계의 분석 이외에 다른 절차를 통해 파손 결과가 분석 되어야 한다. 저장 탱크의 경우 탱크 하부의 손상으로 인한 누출과 저장물의 손실에 대한 금전적 손실뿐만 아니라 외벽의 손상에 의한 저장물의 누설이나 탱크의 파단에 대한 재정적 손실을 계산하여 파손 결과를 분석해야한다. 파손 결과의 분석을 위해서 먼저 탱크 내의 대표 유체를 설정하고 관련된 특성을 결정한다. 특성 분석을 위해서 위해 액체의 밀도(ρ_l)와 동점성(μ_l)을 설정하고 식 1.6에 적용하여 토양 수리 전도도를 계산한다. 이때 물 수리 전도도($k_{h,water}$)는 탱크가 설치되어 있는 토양의 특성에 따라서 표 3.3.4을 참고하여 결정한다.

$$k_{h,prod} = k_{h,water}\left(\frac{\rho_l}{\rho_w}\right)\left(\frac{\mu_w}{\mu_l}\right) \tag{1.6}$$

식 1.6으로 계산된 토양 수리 전도도를 식 1.7에 대입하여 침투속도($vel_{s,prod}$)를 계산한다.

$$vel_{s,prod} = \frac{k_{h,prod}}{p_s} \tag{1.7}$$

위의 식에서 p_s는 표 3.3.4에 의해 결정되는 토양 공극율이다.

토양 공극율과 토양 수리 전도도를 계산한 후, 파손 시 발생하는 구멍의 크기를 선택한다. 구멍의 크기는 파손 결과 계산 1 단계 분석에 쓰이며 1 단계 분석의 과정을 통해 계산된다. 계산 된 구멍의 크기를 기준으로 탱크 외벽의 방출 속도와 탱크 하부의 방출

속도를 계산한다. 그리고 탱크 내부의 물질 방출의 인벤토리 용량을 예측한다. 예측 된 방출량과 계산된 방출 속도를 이용하여 탱크 외벽과 탱크 하부의 파손 결과 계산을 위한 방출율을 결정한다.

계산된 방출율은 가연성, 폭발성, 유해성 등의 파손에 수반되는 각 각의 결과를 기반으로 탱크 외벽과 탱크 하부의 파손에 따른 금전적 손해를 계산한다.

표 3.3.4 Soil Types and Properties for Atmospheric Storage Tank Consequence Analysis

Soil type	Hydraulic conductivity for water low bound (in/s)	Hydraulic conductivity for water upper bound (in/s)	Soil porosity
Coarse sand	3.94E-2	3.94E-3	0.33
Fine sand	3.94E-3	3.94E-4	0.33
Very fine sand	3.94E-4	3.94E-6	0.33
Slit	3.94E-6	3.94E-7	0.41
Sandy clay	3.94E-7	3.94E-8	0.45
Clay	3.94E-8	3.94E-9	0.50
Concrete-asphalt	3.94E-11	3.94E-12	0.99

파손에 의한 결과의 계산은 위에서 언급한 내용과 같이 1 단계 분석, 2 단계 분석 그리고 저장 탱크 분석의 세 종류의 분석이 가능하며 플랜트 구성 기기들의 특성에 따라 적절한 단계를 선택하여 계산한다.

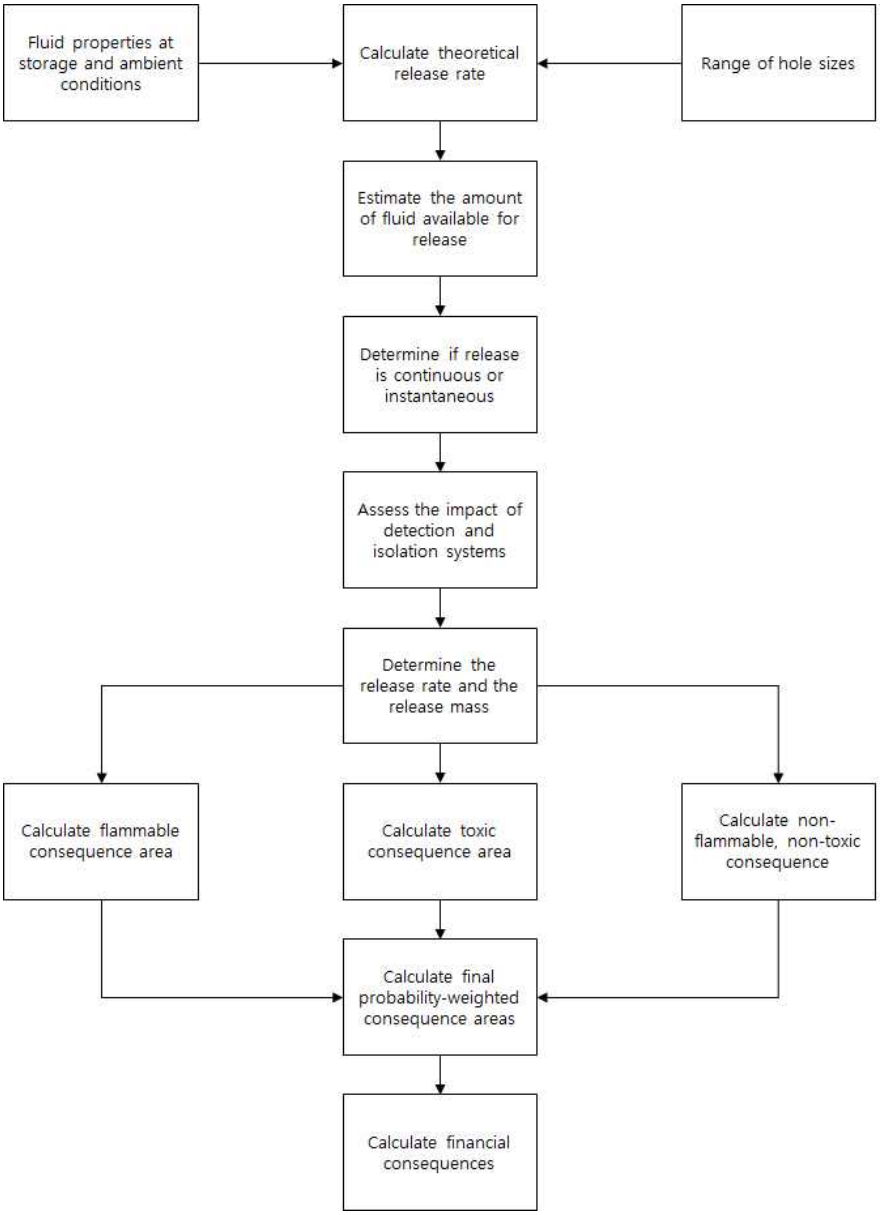


그림 3.3.15 Consequence Analysis Procedure

3. API 581 손상인자 결정

위험도는 파손 가능성과 파손에 따른 결과의 곱으로 계산된다. 이때 사용되는 고장 가능성의 결과는 식 2.1으로 표현된다.

$$P(t) = gff \cdot D_f(t) \cdot F_{MS} \qquad (2.1)$$

위의 식에서 gff는 일반적 파손주기이고 $D_t(t)$는 손상인자이며, F_{MS}는 관리 시스템 인자이다. 이때 손상인자와 관리시스템인자는 일반적 파손주기를 조정하여 전체적인 파손 가능성이 계산된다. 만약 손상인자와 관리시스템인자가 1보다 크다면 파손 가능성은 증가할 것이고 1 보다 작다면 줄어들게 된다. 이는 기기의 일반적 파손 주기이외에도 기기에 발생할 수 있는 손상기구와 시설을 관리하는 시스템 역시 파손에 영향을 미치는 것을 나타낸다.

일반적 파손 주기는 파손 시 발생하는 구멍의 크기에 따라서 결정이 가능하고 표 3.3.1을 이용하여 결정할 수 있다. 또한 관리시스템인자는 설문에 대한 응답의 형태로 점수의 적용이 가능하다.

위의 gff는 플랜트 운영에 대한 통계자료를 기초로 하고 있기 때문에 프로그램 개발 시 평가범위를 적절히 나눌 수 있다. F_{MS}는 플랜트 고유의 특성에 따른 관리 시스템의 적용이 가능하여 비교적 정확한 평가가 가능하다. 하지만 손상인자의 경우에는 플랜트 고유에 특성에 따라서 발생 가능성을 인지하고 적절한 손상기구를 적용해야하기 때문에 전문가의 의견과 통계적 자료 모두 중요한 역할을 하게 된다.

표 3.3.2와 같이 손상인자는 21가지의 손상기구에 따라서 평가가 가능하며 이는 플랜트의 특성에 따라서 적용 여부를 판단하여야 한다.

가. 감육손상인자(Thinning Damage Factor)

감육은 국부적 또는 전체적으로 발생할 수 있다. 따라서 감육에 대한 평가는 국부적인 경우와 전체적인 경우로 나뉘어 계산한다. 계산을 위해서 기기의 운영 시작일, 두께, 부식율, 설계온도, 설계압력, 운전온도, 운전압력, 설계코드, 재료특성 등의 기본적인 정보가 필요하며 검사의 효율성의 평가가 선행되어야 한다. 선행된 계산을 바탕으로 그림 3.3.16의 평가 절차로 감육에 대한 손상인자가 결정된다.

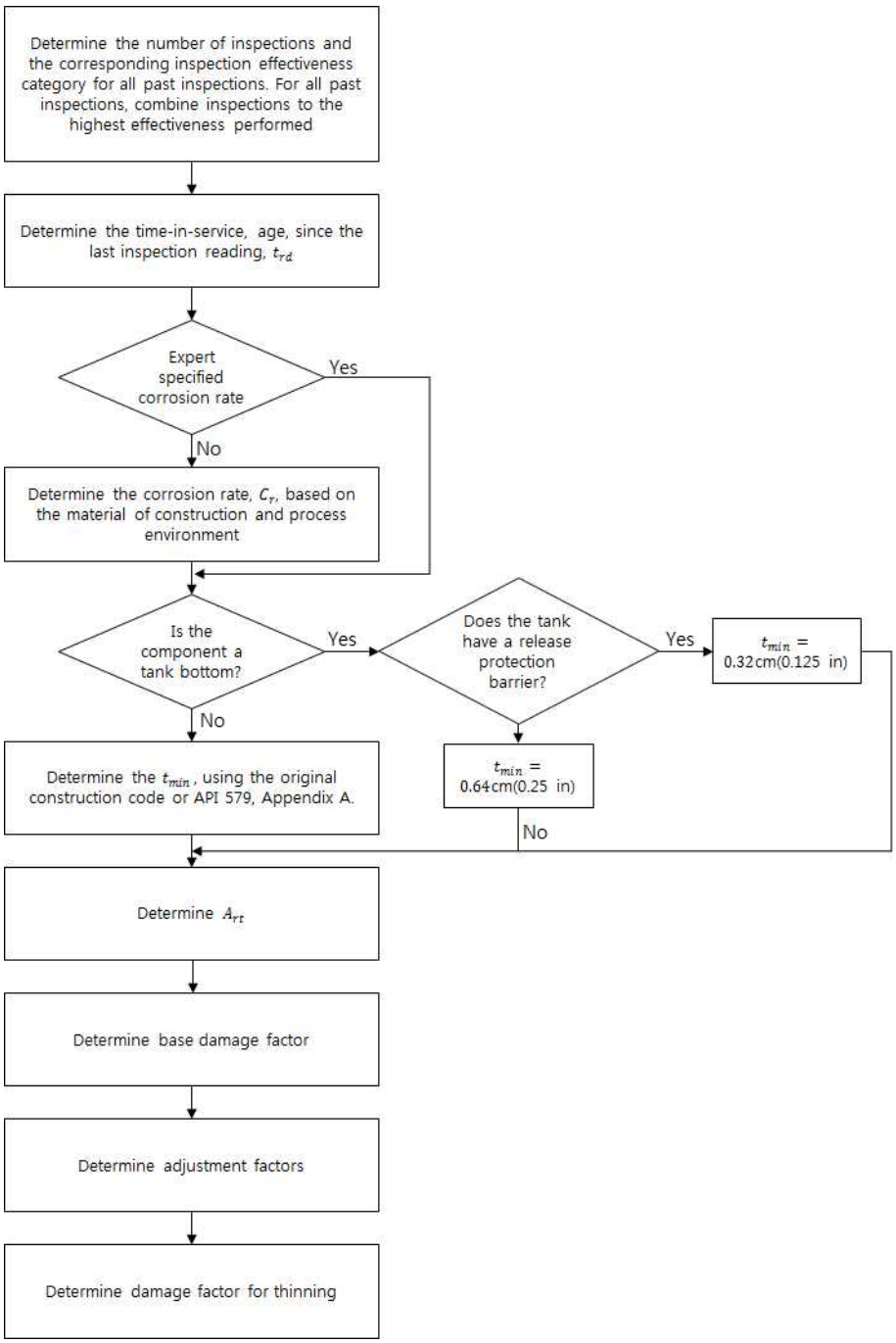


그림 3.3.16 Determination of Thinning Damage Factor

그림 3.3.16의 절차를 통해서 계산되는 감육손상인자는 식 2.2를 통해서 최종 결정 된다.

$$D_f^{thin} = \frac{D_{fB}^{thin} \cdot F_{IP} \cdot F_{DL} \cdot F_{WD} \cdot F_{AM} \cdot F_{SM}}{F_{OM}} \quad (2.2)$$

위의 식에서 D_{fB}^{thin}은 감육에 대한 기본 설정 값으로 검사의 효율성을 기준으로 손상계수 A_{rt}를 계산하여 아래의 표 2-1의 기준을 적용하여 결정된다. A_{rt}는 기기의 피복 여부에 따라 피복이 없는 경우는 식 2.3을 사용하여 결정되며 피복이 있는 경우는 식 2.4를 사용하여 결정 된다. 이렇게 결정 된 A_{rt}를 기준으로 표 3.3.5를 사용하여 감육손상인자를 결정한다. 또한 $F_{AM}, F_{DL}, F_{WD}, F_{AM}, F_{SM}, F_{OM}$ 은 손상인자를 조정하는 계수들이며 이는 API RP 581과 API 653에 기준이 명시 되어 있다.

$$A_{rt} = \max\left[\left(1 - \frac{t_{rd} - C_{r,bm} \bullet age}{t_{\min} + CA}\right), 0.0\right] \tag{2.3}$$

$$A_{rt} = \max\left[\left(1 - \frac{t_{rd} - C_{r,cm} \bullet age - C_{r,bm} \bullet (age - age_{rc})}{t_{\min} + CA}\right), 0.0\right] \tag{2.4}$$

위의 식에서 age는 마지막 두께 검사를 한 이후의 시간이며, age_{rc}는 기기의 피복이 소실된 이후부터 지나온 시간을 나타낸다. 또한 t_{rd}는 두께이며 $t_{\min}$은 최소로 요구되는 두께, $C_{r,bm}$은 모재의 부식율, $C_{r,cm}$는 피복의 부식율, CA는 부식허용율이다.

표 3.3.5 Thinning Damage Factor

A_{rt}	Inspection Effectiveness								
	E	1 Inspection				2 Inspections			
		D	C	B	A	D	C	B	A
0.02	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.04	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.06	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.08	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.10	2	2	1	1	1	1	1	1	1
0.12	6	5	3	2	1	4	2	1	1
0.14	20	17	10	6	1	13	6	1	1
0.16	90	70	50	20	3	50	20	4	1
0.18	250	200	130	70	7	170	70	10	1
0.20	400	300	210	110	15	290	120	20	1
0.25	520	450	290	150	20	350	170	30	2
0.30	650	550	400	200	30	400	200	40	4
0.35	750	650	550	300	80	600	300	80	10
0.40	900	800	700	400	130	700	400	120	30
0.45	1050	900	810	500	200	800	500	160	40
0.50	1200	1100	970	600	170	1000	600	200	60
0.55	1350	1200	1130	700	350	1100	750	300	100
0.60	1500	1400	1250	850	500	1300	900	400	230
0.65	1900	1700	1400	1000	700	1600	1105	670	530

이와 같이 감육에 대한 손상인자 결정은 정확한 기중이 명시되어 있으며 최종적으로 정확한 수치에 의거하여 결정된다. 따라서 감육에 대한 손상인자 결정은 정확한 근거와 수치적인 기준으로 이뤄질 수 있으며 불분명한 기준이 적용 된 변수들은 없다. 하지만 검사의 효율성을 결정할 때 검사 방법에 따른 점수의 적용은 그 기준이 상대적으로 변할 수 있기 때문에 검사의 효율성에 대한 정확한 기준이 필요하다.

나. 구성품의 라이닝손상인자(Component Lining Damage Factor)

플랜트 설비의 기기 중 내부 보호를 위한 라이닝이 있는 경우 라이닝손상인자를 결정

해야 한다. 라이닝은 표 3.3.6과 같이 기기가 처해있는 환경의 영향을 보호할 수 있도록 적절한 선택이 이뤄져야하고 각 환경 특성을 고려하여 손상인자를 평가해야 한다. 라이닝에 대한 손상인자 평가 절차는 그림 3.3.17에 도식화하였다.

라이닝에 대한 손상 인자 결정은 최종적으로 식 2.5를 통해 계산된다.

$$D_f^{liner} = D_{fB}^{liner} \cdot F_{LC} \cdot F_{OM} \tag{2.5}$$

위의 식에서 D_f^{liner}는 라이너의 손상인자이며 D_{fB}^{liner}는 손상인자의 기본 값이며, F_{LC}는 라이닝의 상태에 따른 손상인자 조정 값, F_{OM}은 감시에 따른 손상인자 조정 값이다. 이때 F_{LC} 는 표 3.3.6을 통해서 결정되며 값의 결정에 있어서 평가자의 주관에 따라서 그 값이 달라질 수 있다. 하지만 다른 값들은 그 기준이 정확한 수치에 근거를 두고 있어서 비교적 정확한 평가가 가능하다. 따라서 라이닝손상인자 결정시 F_{LC}의 결정에 대한 개선이 있어야 한다.

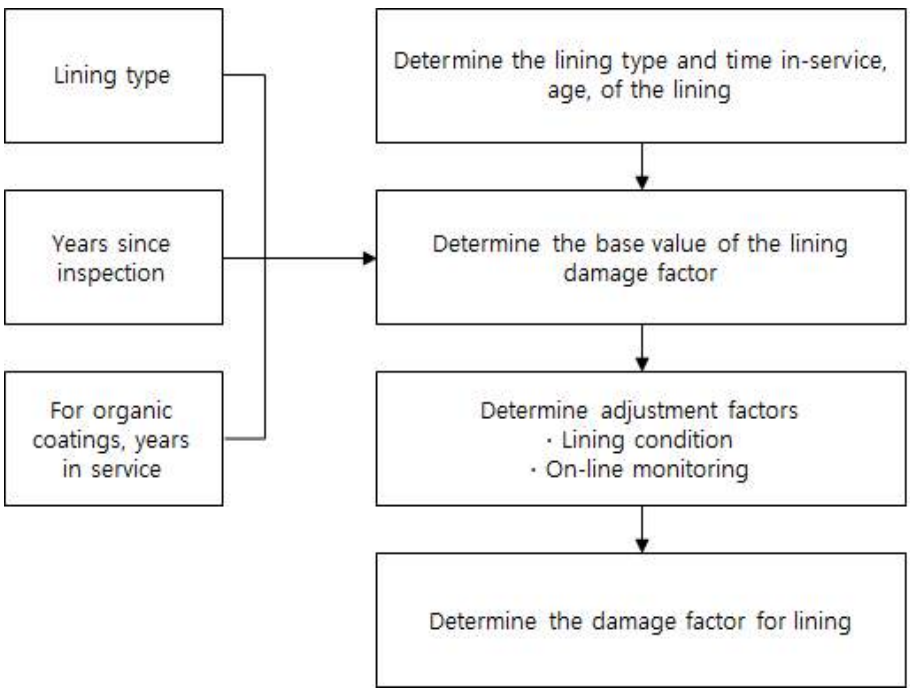


그림3.3.17 Determination Procedure of Lining

표 3.3.6 Lining Condition Adjustment

Qualitative Condition	Description	Adjustment Multiplier F_{LC}
Poor	The lining has either had previous failure or exhibits condition that may lead to failure in the near future. Repairs to previous failures are not successful or are of poor quality	10
Average	The lining is not showing signs of excessive attack by any damage mechanisms. Local repairs may have been performed, but they are of good quality and have successfully corrected the lining condition	2
Good	The lining iss in “like new” condition with no signs of attack by any damage mechanisms. There has been no need for repairs to the lining	1

다.응력부식균열 손상인자(SCC Damage Factor)

기기에 발생할 수 있는 응력부식균열의 종류는 다양하다. 따라서 응력부식균열의 특성에 따라서 API RP 581은 그 종류를 9가지로 나누어 각 각의 응력부식균열에 해당하는 손상인자의 계산법을 명시하였으며 이를 표 3.3.7에 서술하였다.

표 3.3.7 Classification of Damage Factor

Damage Factor	Classification
$D_f^{caustic}$	Caustic Cracking
D_f^{amine}	Amine Cracking
D_f^{scc}	Sulfide Stress Cracking
$D_f^{HIC/SOHIC-H_2S}$	HIC/SOHIC-H_2S
$D_f^{carbonate}$	Carbonate Cracking
D_f^{PTA}	PTA Cracking
D_f^{CLSCC}	CLSCC
D_f^{HSC-HF}	HSC-HF
$D_f^{HIC/SOHIC-HF}$	HIC/SOHIC-HF

응력부식균열의 발생은 기기가 처해있는 환경에 따라서 그 종류는 다양해 질 수 있다 또한 표 3.3.7의 대표적인 9가지의 응력부식균열의 평가법은 그 환경의 영향을 많이 받게 된다. 하지만 API RP 581은 각 각의 평가법을 자세히 기술하고 있으며 방법 또한 비슷하다.

먼저, Caustic Cracking의 평가 절차를 그림 2.3에 도식화하였다. 그림에서처럼 Caustic Cracking은 검사의 효율성, 운영 시간, 균열의 존재 유무, NaOH의 유무 등의 기준을 적용하여 그 민감성을 높음, 중간, 낮음, 민감하지 않음으로 평가되어 기준에 의해 각 단계의 점수를 부여한다. 민감성에 따라서 부여된 점수는 표 3.3.8과 같이 S_{VI}로 평가되어 표 2-6를 통해 손상인자의 평가가 수행된다. 표 3.3.7의 모든 응력부식 균열의 종류는 Caustic Cracking 와 비슷한 과정을 통해서 그 민감성을 평가하고 표 3.3.8을 이용해서 최종 손상인자가 결정 된다.

따라서 최종적으로 표 3.3.7을 통해 계산되는 Amine Cracking, Sulfide Stress

Cracking, HIC/SOHIC-H_2S, Carbonate Cracking, PTA Cracking, CLSCC, HSC-HF, HIC/SOHIC-HF에 대한 평가절차를 그림 3.3.19～그림 3.3.26으로 나타내었다.

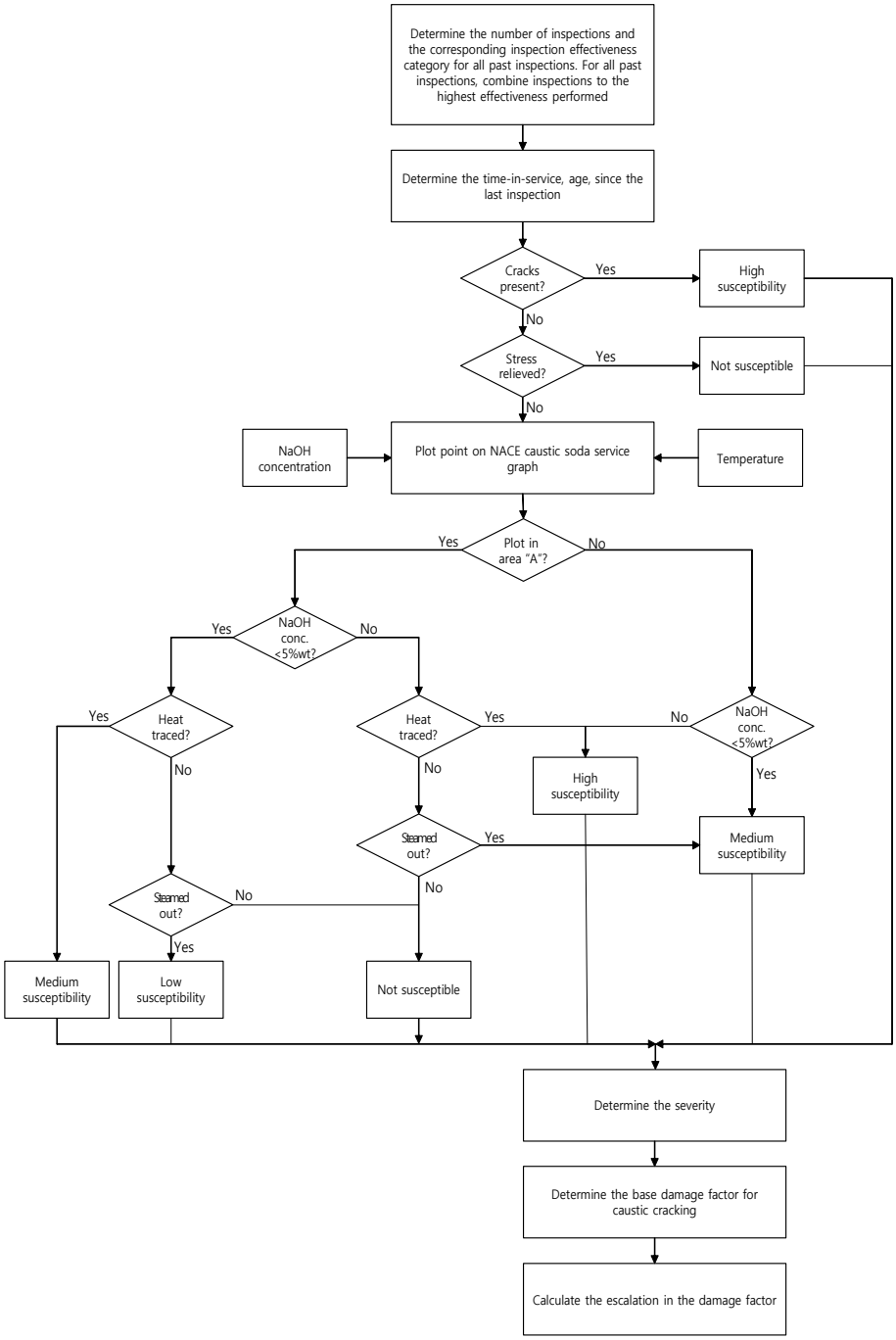


그림 3.3.28 Determination of the Caustic Cracking Damage Factor

표 3.3.8 Severity Index

Susceptibility	Severity Index - S_{VI}
High	5000
Medium	500
Low	50
None	1

표 3.3.9 SCC Damage Factors

S_{VI}	Inspection Effectiveness								
	E	1 Inspection				2 Inspections			
		D	C	B	A	D	C	B	A
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	10	8	3	1	1	6	2	1	1
50	50	40	17	5	3	30	10	2	1
100	100	80	33	10	5	6	20	4	1
500	500	400	170	50	25	300	100	20	5
1000	1000	800	330	100	50	600	200	40	10
5000	5000	4000	1670	500	250	3000	1000	250	50
S_{VI}	Inspection Effectiveness								
	E	3 Inspection				4 Inspections			
		D	C	B	A	D	C	B	A
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	10	4	1	1	1	2	1	1	1
50	50	20	5	1	1	10	2	1	1
100	100	40	10	2	1	20	5	1	1
500	500	200	50	8	1	100	25	2	1
1000	1000	400	100	16	2	200	50	5	1
5000	5000	2000	500	80	10	1000	250	25	2

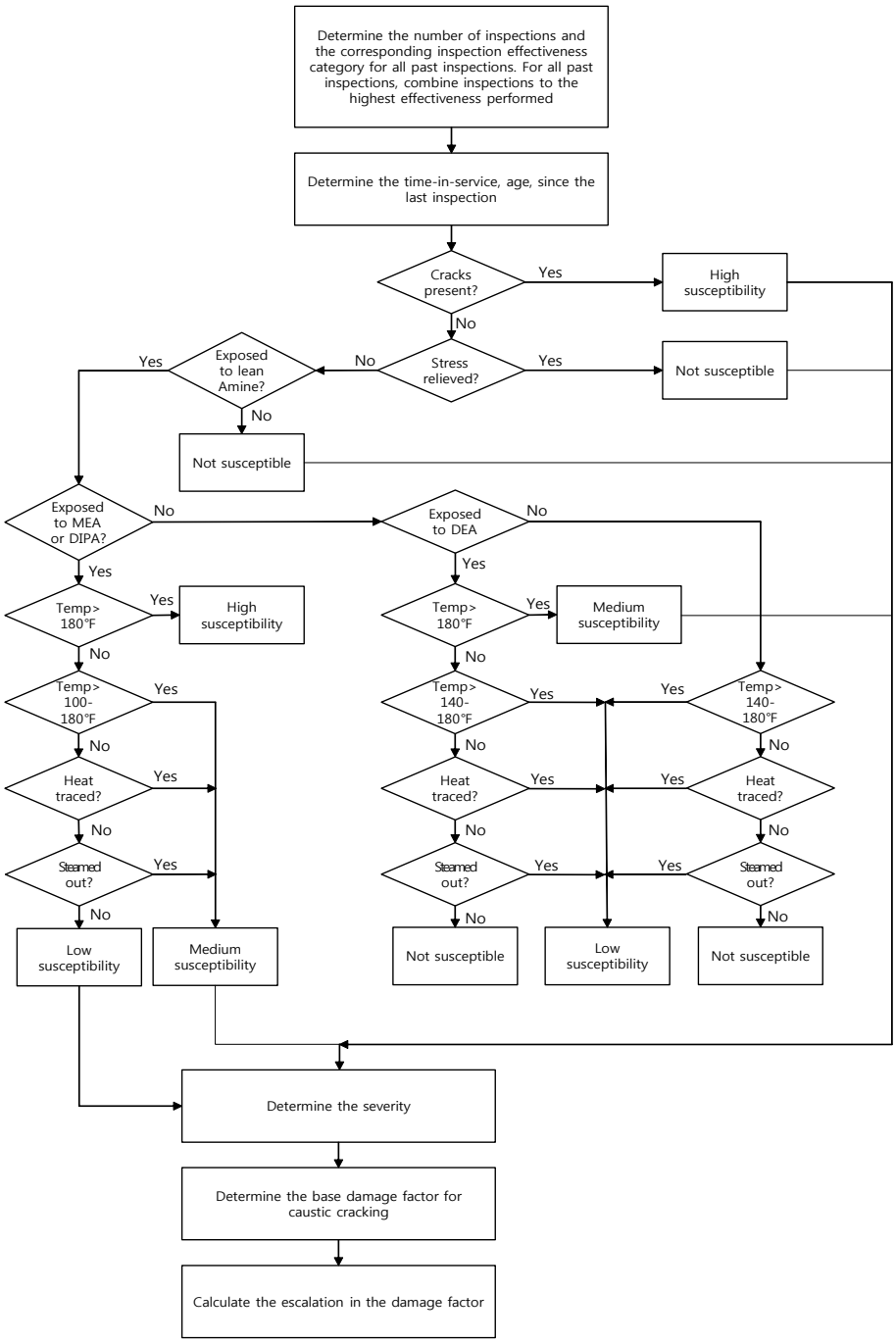


그림 3.3.29 Determination of the Amine Cracking Damage Factor

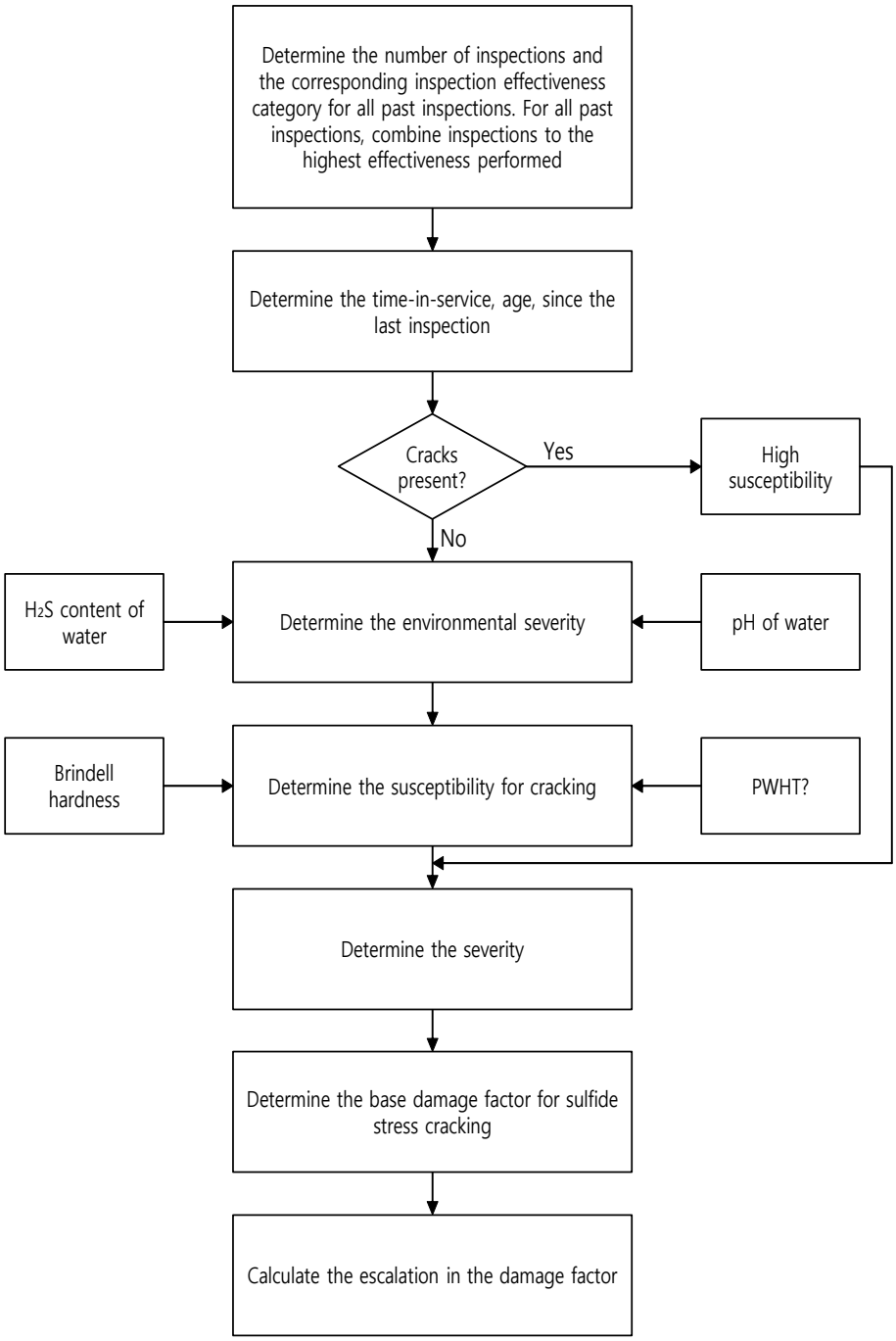


그림 3.3.30 Determination of the Sulfide Stress Cracking Damage Factor

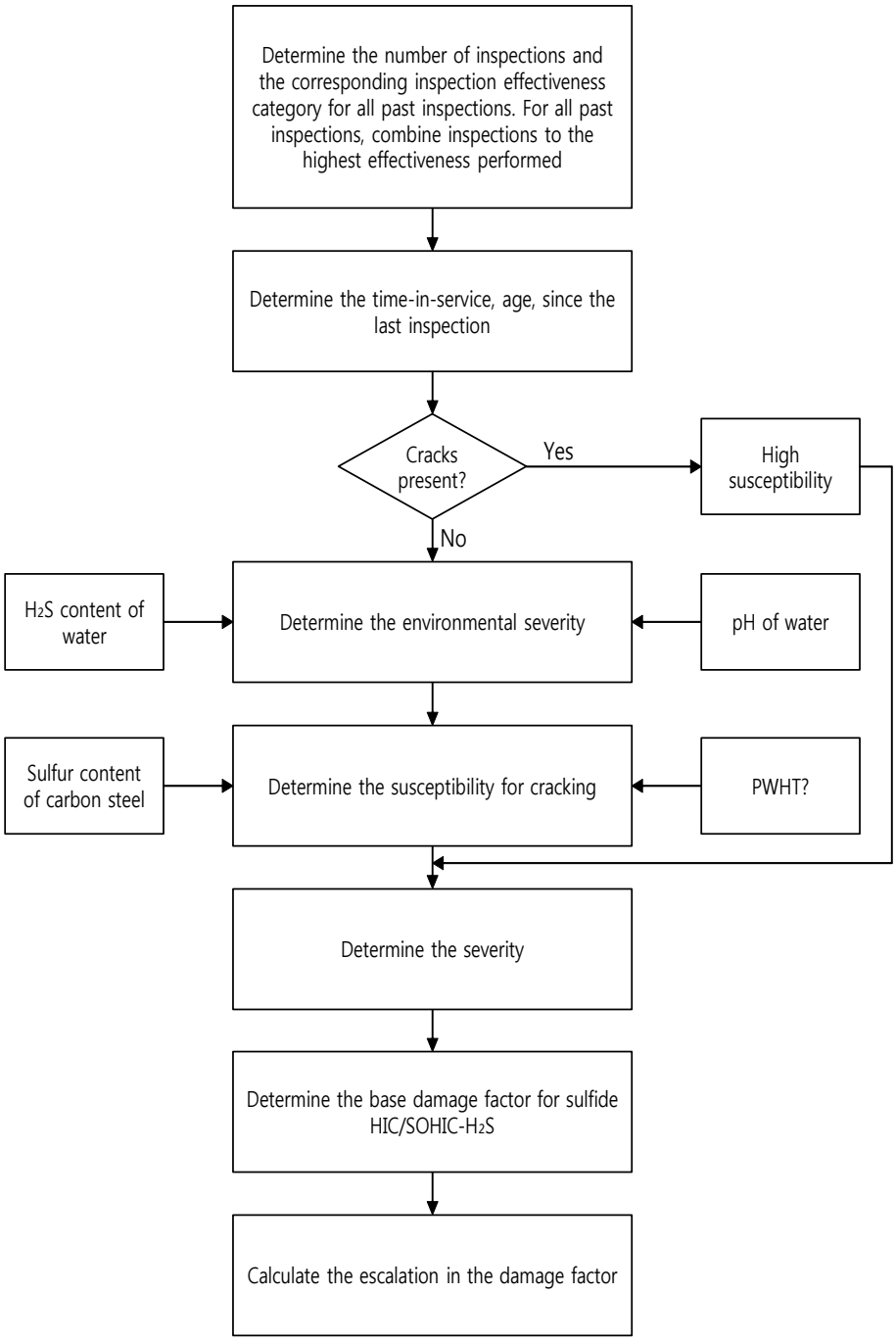


그림 3.3.31 Determination of the HIC/SOHIC-H2S Damage Factor

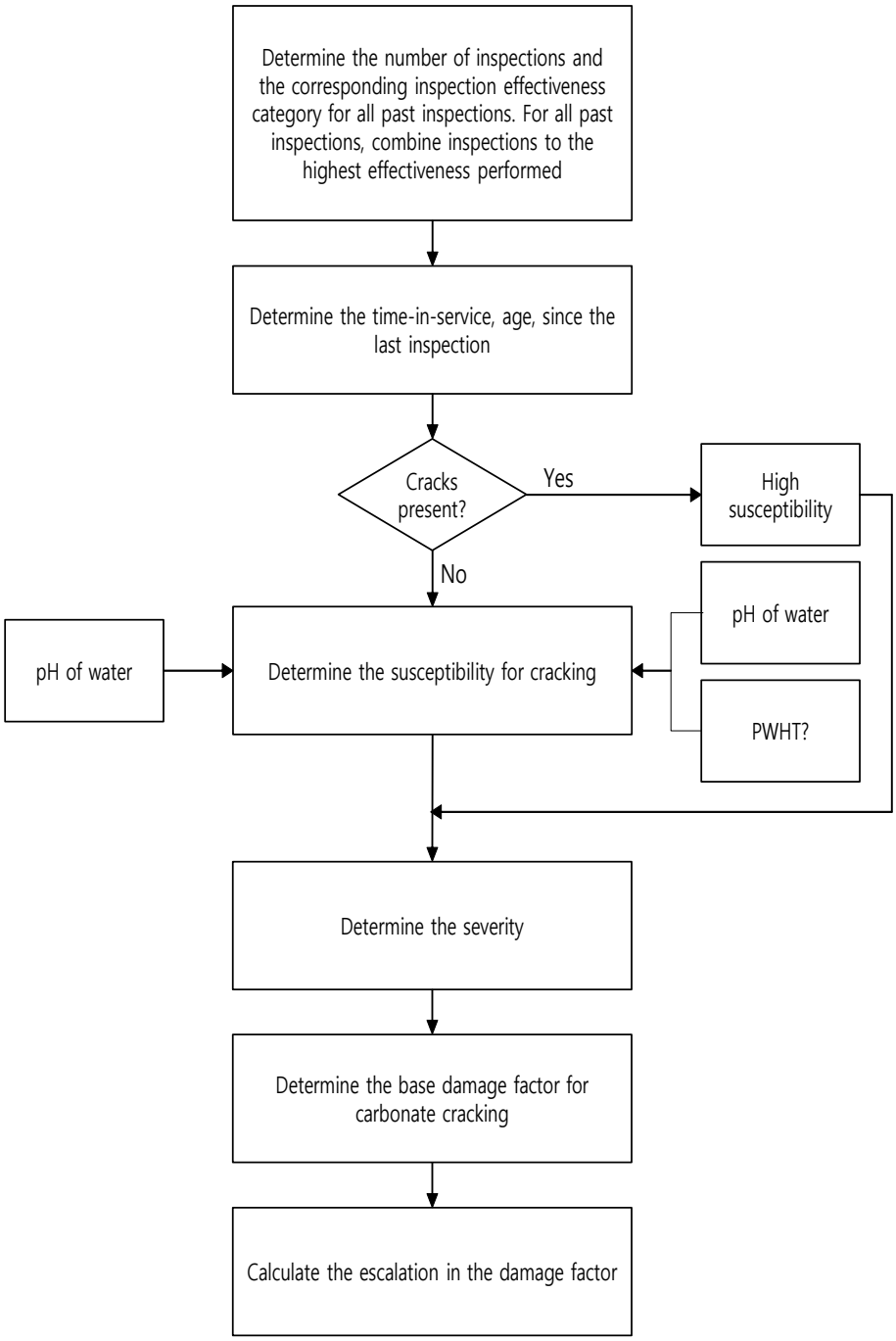


그림 3.3.32 Determination of the Carbonate Cracking Damage Factor

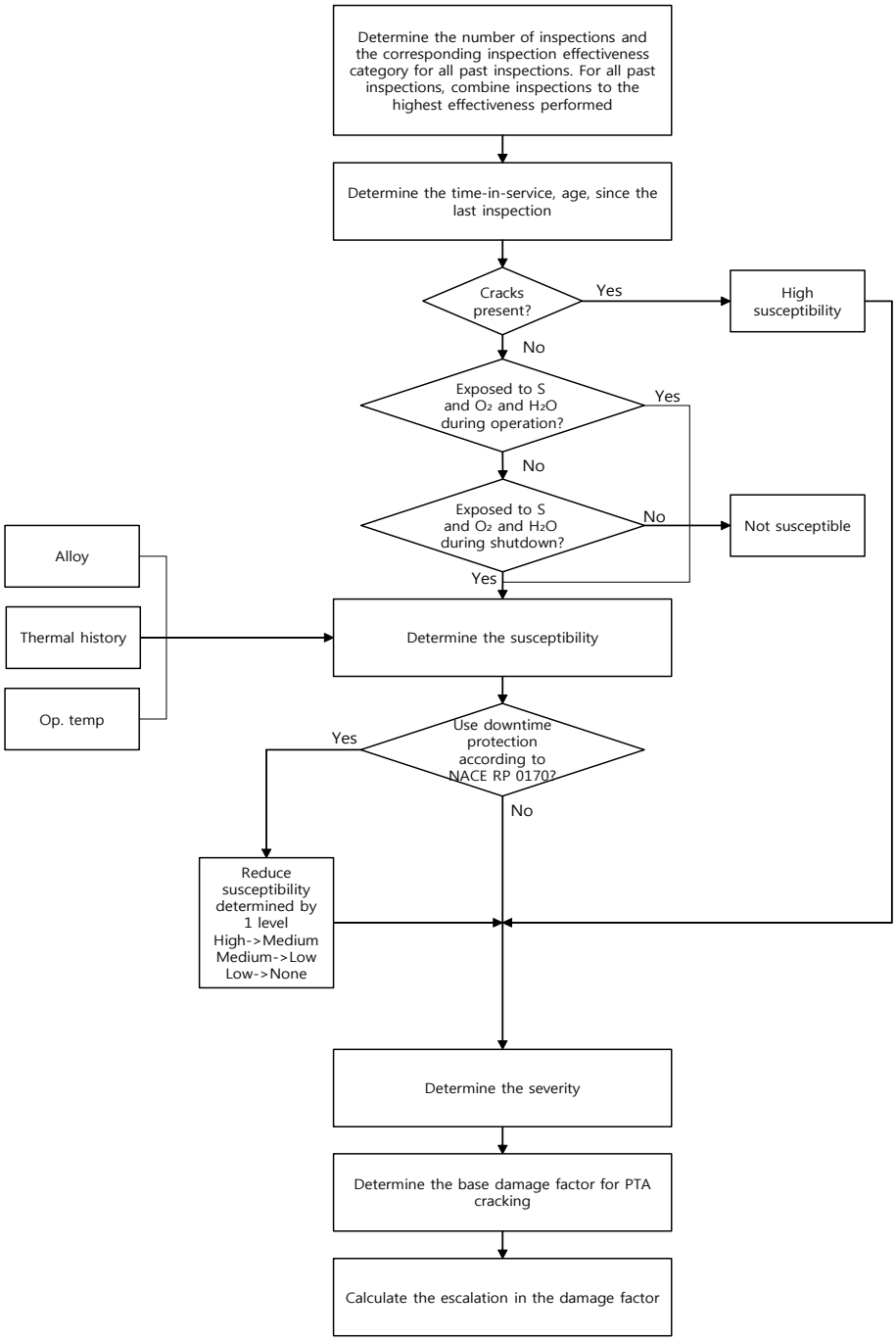


그림 3.3.33 Determination of the PTA Cracking Damage Factor

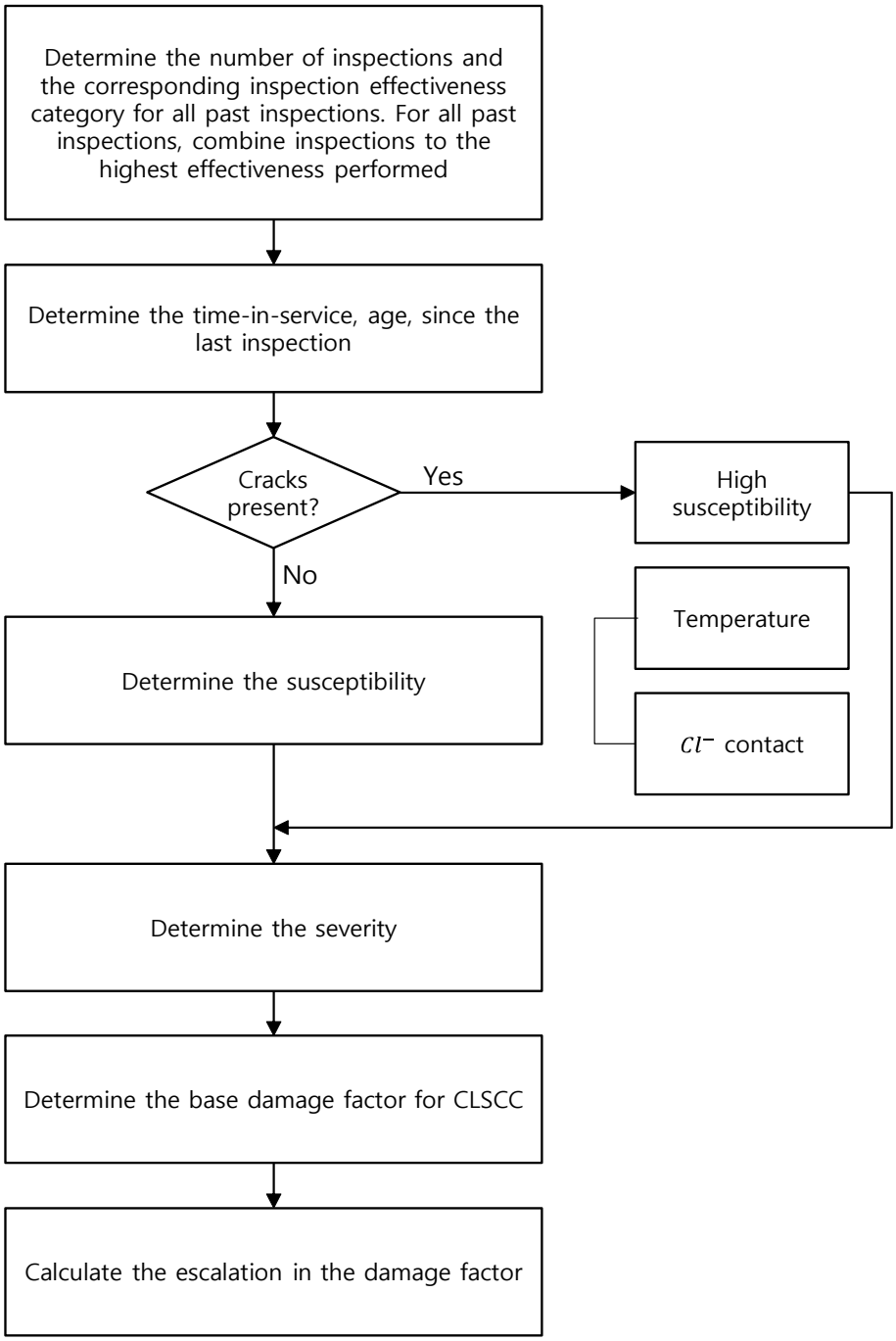


그림 3.3.34 Determination of the CLSCC Damage Factor

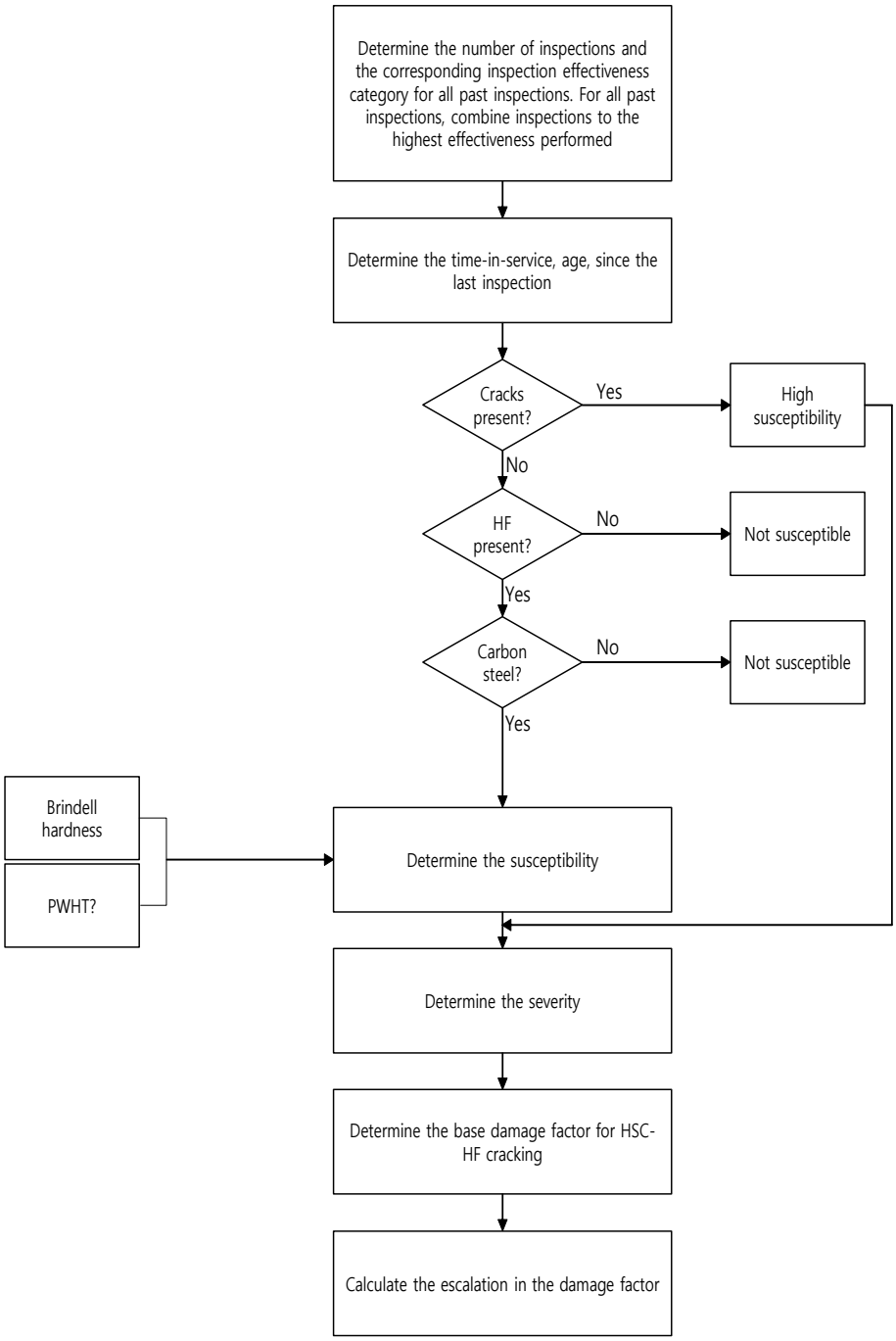


그림 3.3.35 Determination of the HSC-HF Cracking Damage Factor

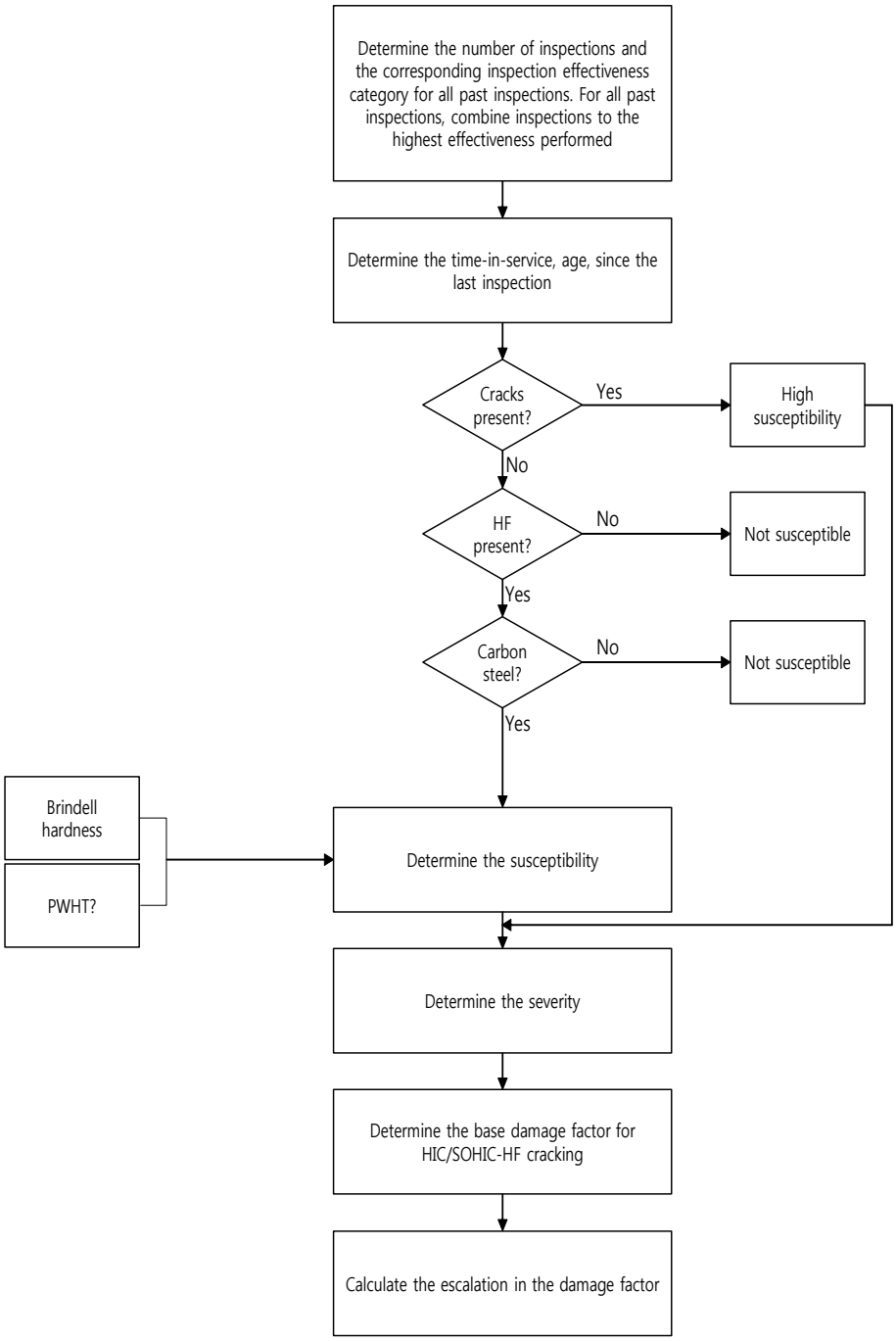


그림 3.3.36 Determination of the HIC/SOHIC-HF Cracking Damage Factor

응력부식균열의 손상인자 평가에서 각 항 목들을 평가하는 변수들은 확실한 기준을 적용하고 있다. 예를 들어 부식의 측정을 위한 검사방법을 정확히 제시하여 평가자에게 명확한 기준을 제시하고 있다. 또한 Carbonate Cracking의 평가에서는 CO_3 의 농도와 물의 산도를 제시하고 있으며, PTA의 경우는 운전온도와 재료에 따른 평가가 수행된다. CLSCC의 경우는 운전온도와 산도 그리고 염소이온의 농도를 기준으로 민감성을 평가하게 되며, HSC-HF는 Brinnell Hardness를 기준으로 그 민감성을 평가한다.

HIC/SOHIC-HF에 대한 평가에는 금속의 황의 농도에 따라서 민감도를 분석한다. 따라서 응력부식균열의 손상인자 평가에 사용되는 변수들은 운전 온도, 유체의 농도, 검사법의 효율성, 재료의 특성을 전반적으로 고려하여 명확한 기준으로 평가되기 때문에 LNG 플랜트에 위험도 검사 기법을 적용하기에 절차상의 어려움은 없다. 또한 LNG 플랜트 공정에는 불순물을 제거하는 공정과 액화 공정 등이 포함된다. 따라서 불순물 제거 공저에서는 응력부식균열의 손상인자 평가를 적용한 위험도 분석이 가능하다. 하지만 LNG 플랜트의 액화 공정은 천연가스를 -162℃의 초저온 상태로 냉각하여 액화하기 때문에 액화 공정에 대한 응력부식균열의 손상기구 적용은 제한적 일 수 있다.

라. 외부 손상인자(External Damage Factor)

외부 손상은 기기가 설치되어 있는 환경이나 운전 조건에 따라서 그 손상의 형태가 다양할 수 있다. API RP 581은 외부 손상에 대한 평가를 위해 그 범위를 외부 부식(External Corrosion), CUI(Corrosion Under Insulation), 외부 CLSCC(External CLSCC), 외부 CUI CLSCC(External CUI CLSCC)의 4가지 경우로 나누어 제시하고 있다.

외부 부식(External Corrosion)에 대한 손상인자 평가는 그림 3.3.37의 절차를 따라서 평가가 가능하다.

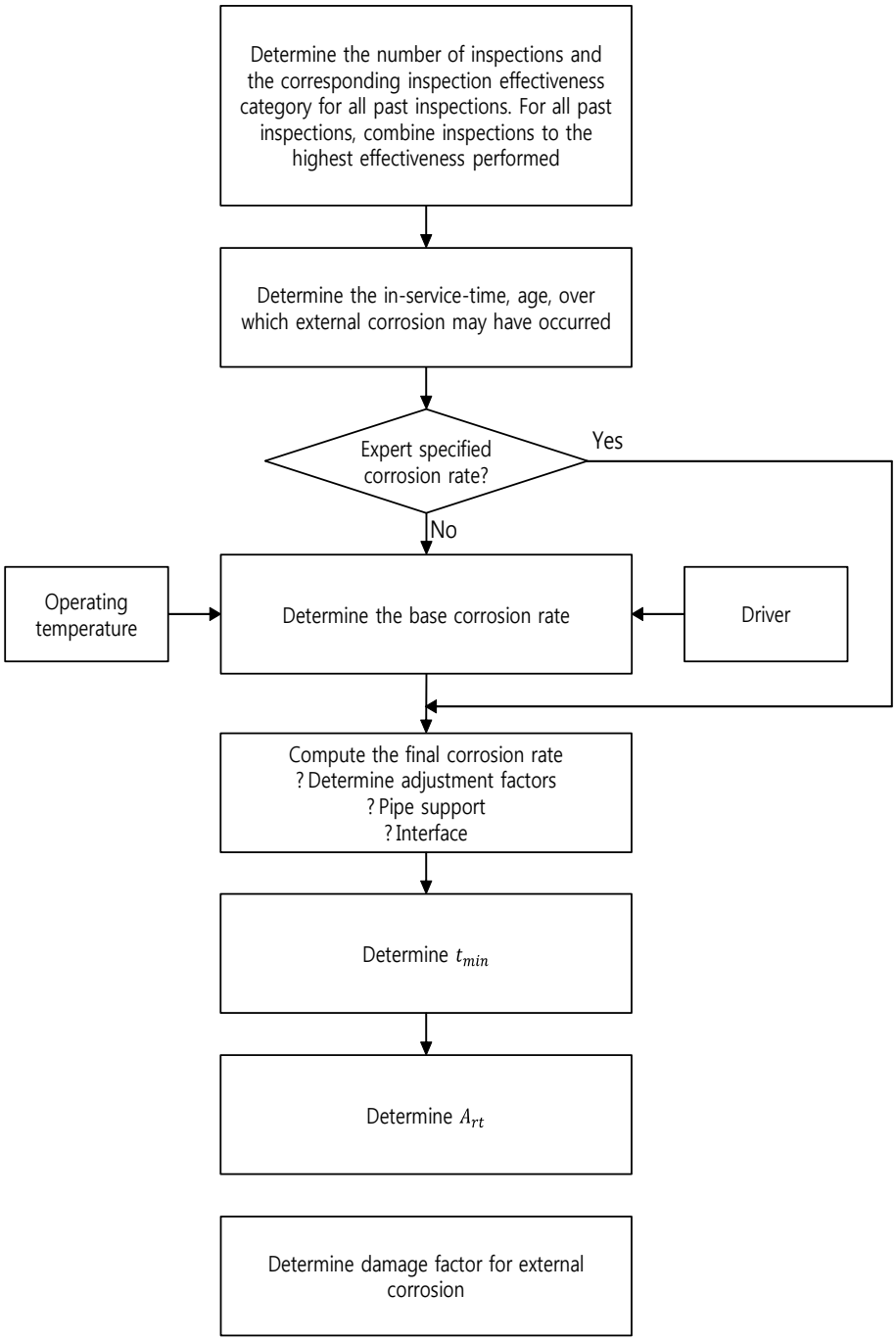


그림 3.3.37 Determination of the External Corrosion Damage Factor

먼저, 외부 부식은 기본 데이터를 기반으로 그 절차가 시작된다. 기본 데이터는 부식율, 코팅 실시 일, 코팅의 품질, 검사 효율 등의 기기의 기본적인 데이터를 포함하고 있으며 데이터의 기준을 상세히 설명하여 분류할 수 있다. 또한 부식율을 계산하기 위해 기기의 운전 온도에 따른 설치장소, 외부 온도, 습도, 심각성의 기준을 제시하여 정확한 평가가 수행되며 이를 표 3.3.10에 나타내었다. 최종 적으로 식 2.3을 이용하여 A_{rt}(손상인자계수)를 계산한다. 계산된 손상인자계수를 토대로 표 3.3.10의 범위에 따라서 손상인자가

평가 된다. 이 때 사용되는 변수들은 기기의 기본 데이터를 바탕으로 점수가 부여되며 명확한 기준을 제시하고 있다. 하지만 외부부식의 경우는 -12℃ 이하일 경우 부실율은 0이 되어 LNG 플랜트의 일부 기기에서는 그 영향이 미비할 것 이다.

표 3.3.10 Corrosion Rate

Operating Temperature (℃)	Corrosion Rate as a Function of Driver (1) (mm/y)			
	Marine/ Cooling Tower Drift Area	Temperature	Arid/ Dry	Severe
-12	0	0	0	0
-8	0.025	0	0	0
6	0.127	0.076	0.025	0.254
32	0.127	0.076	0.025	0.254
71	0.127	0.051	0.025	0.254
107	0.025	0	0	0.051
121	0	0	0	0

CUI는 기기의 외부 보호막과 기기사이의 틈에 수분이 모여서 발생하게 되는 부식으로 -12℃에서 177℃ 사이에서 발생하게 되며 49℃에서 93℃사이의 구간에서 가장 심한 영향을 받게 된다. 이에 따른 손상인자는 그림 3.3.38의 과정을 통해 결정된다. 그림에서처럼 CUI의 평가는 외부 부식의 평가와 같은 절차로 이뤄지며 외부 부식의 평과가 같이 온도에 따른 부식율을 정하게 된다. 부식율의 기준은 표 3.3.10과 비슷하며 이 과정에서 사용되는 변수들은 비교적 분명한 기준을 제시하고 있어서 평가자의 기준을 명확히 해준다.

외부 CLSCC(External CLSCC)와 외부 CUI CLSCC(External CUI CLSCC) 또한 위의 2가지 부식의 평가와 같은 절차로 평가되며 이를 그림 3.3.39와 3.3.40에 도식화 하였다. 모든 외부 손상인자 평가는 온도에 따른 부식율을 결정하여 평가되며 평가 과정에서 평가자의 주관적인 판단보다는 객관적인 수치를 이용하여 평가하므로 비교적 분명한 기준으로 평가된 변수들이 사용된다. 하지만 특정 범위의 온도 이하에서는 그 영향이 미비하여 LNG플랜트에는 기기의 운전 온도에 따라 제한적으로 적용된다.

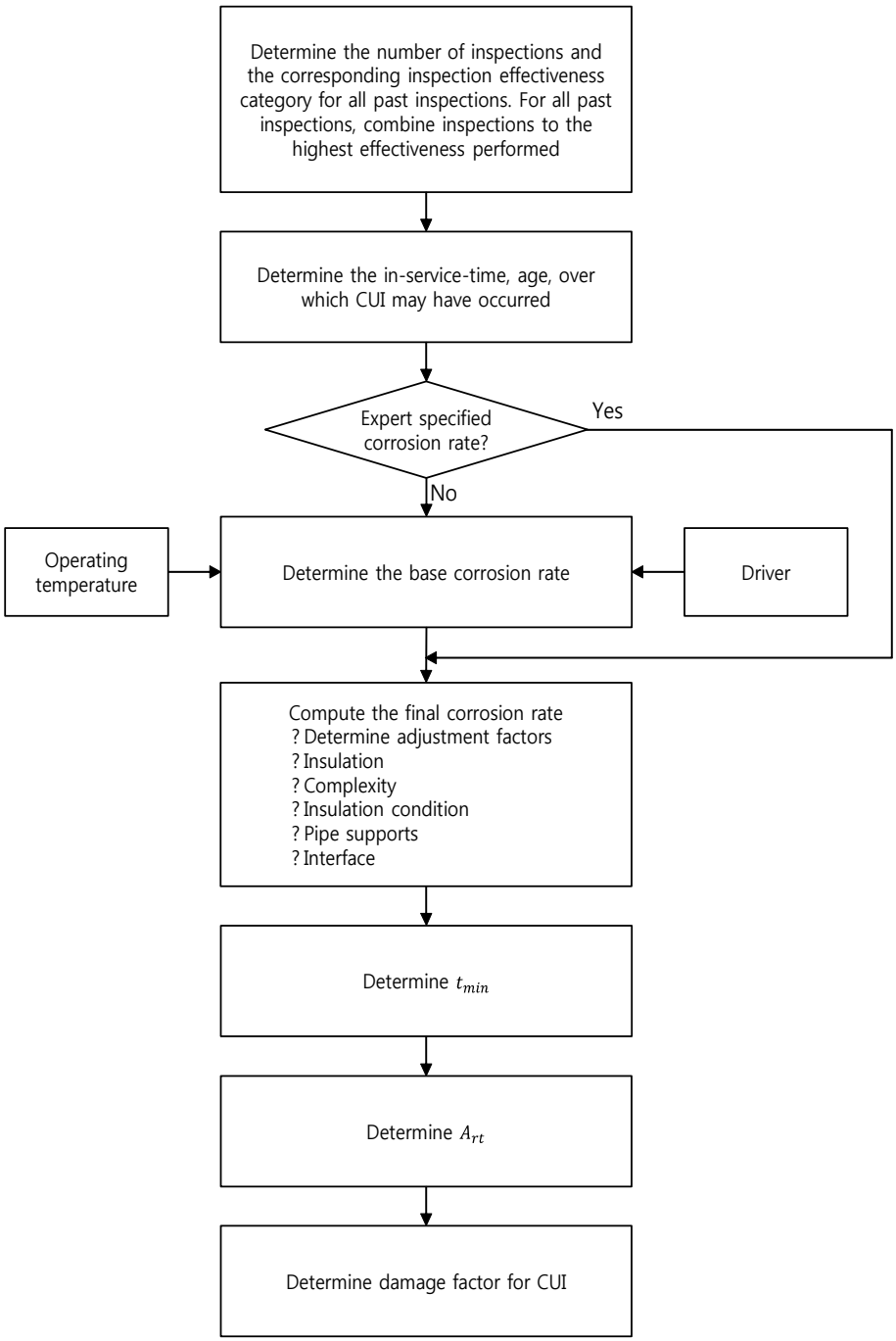


그림 3.3.38 Determination of the CUI Damage Factor

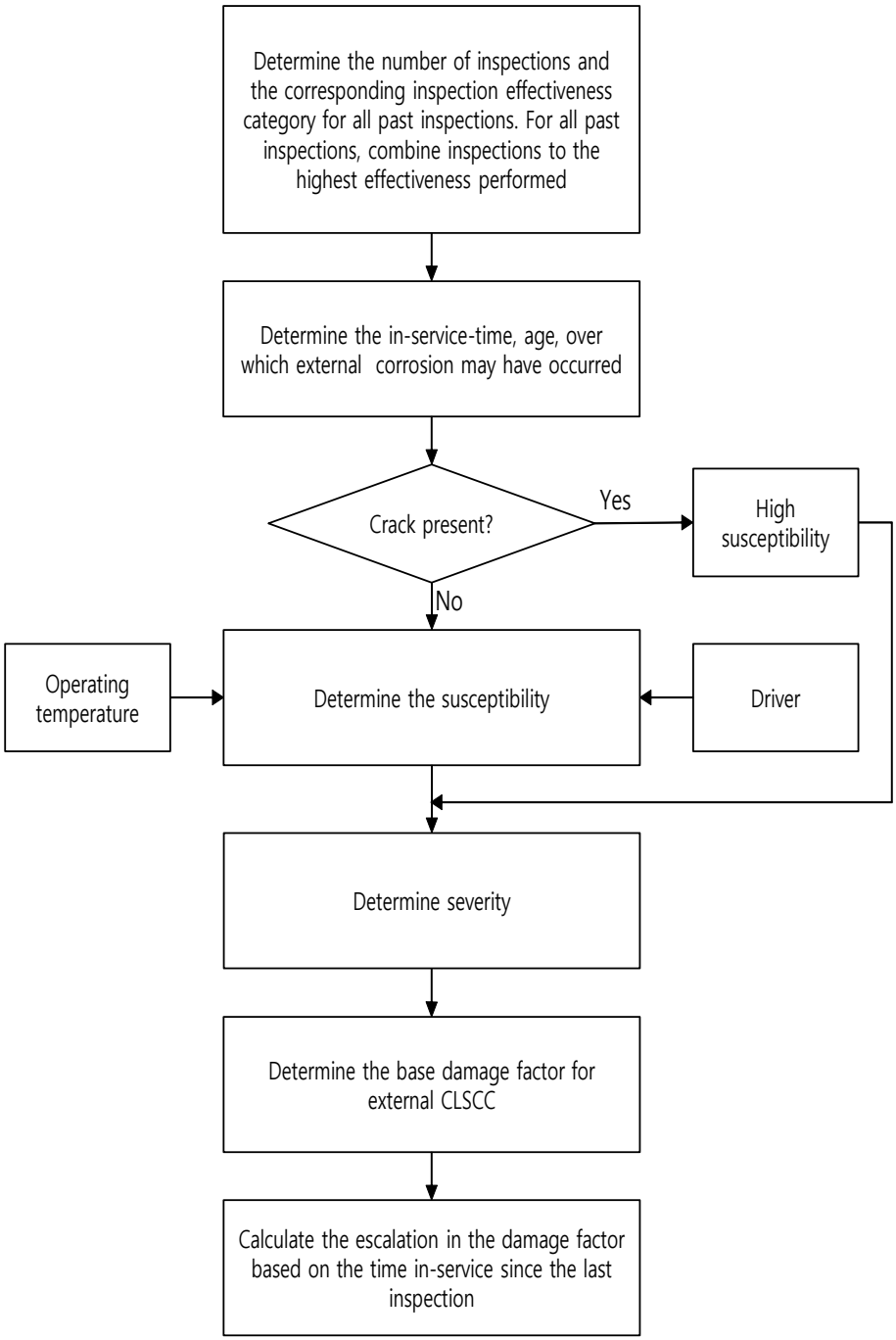


그림 3.3.39 Determination of the External CLSCC Damage Factor

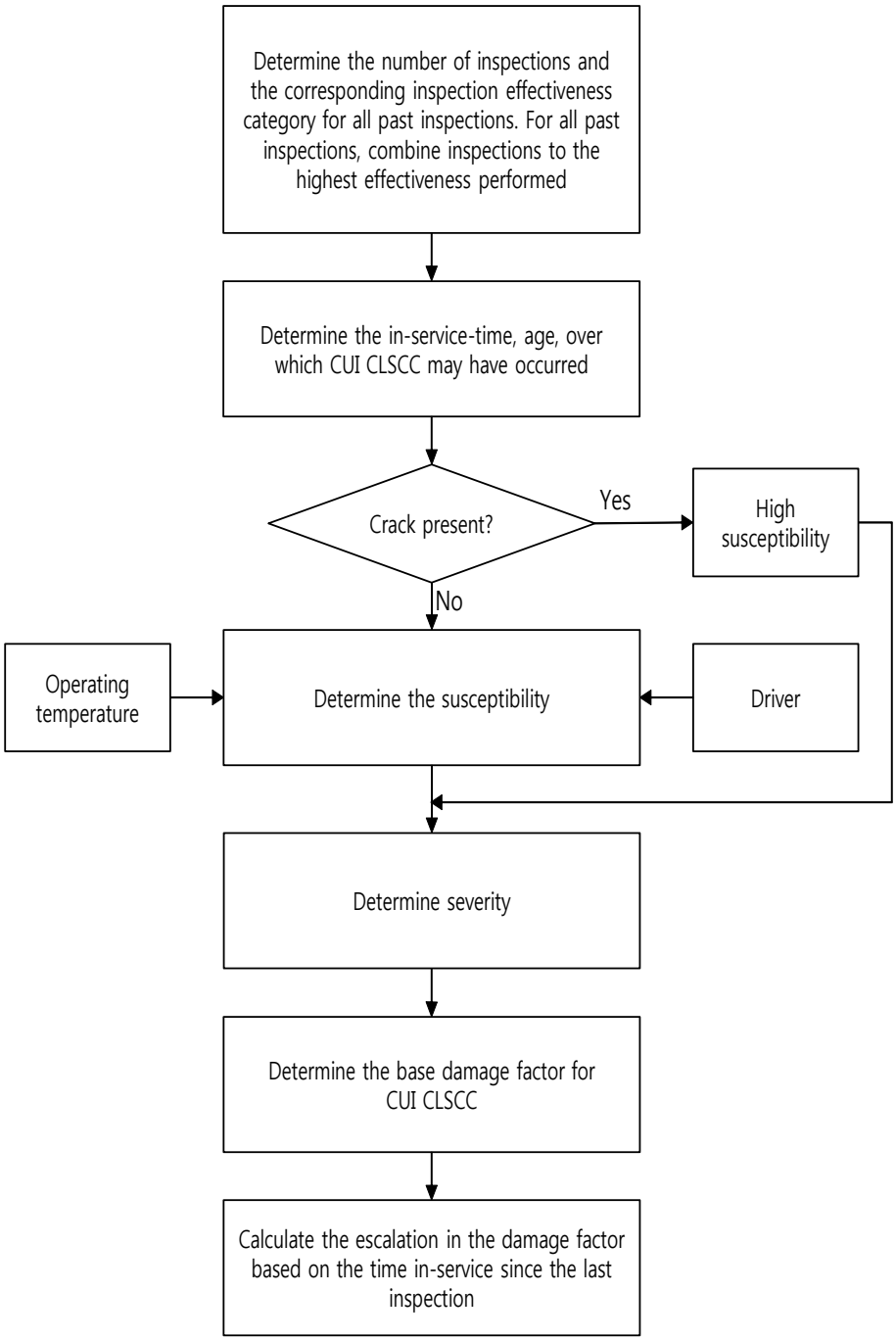


그림 3.3.40 Determination of the CUI CLSCC Damage Factor

마. HTHA 손상인자(High Temperature Hydrogen Attack Damage Factor)

고온수소침투(HTHA)는 고온에서 발생하는 현상으로 금속의 틈 속에 수소가 침투하여 발생하는 손상이다. 이는 주로 탄소강과 저합금강에 나타나는 현상이다. 이를 평가하는 절차는 그림 3.3.41에 도식화 하였다. HTHA의 손상인자 평가에서 중요한 역할을 하

는 변수는 P_v이다.P_v는 시간과 온도 그리고 수소의 부분압력으로 계산되며 이를 식 2.6으로 나타내었다.

$$P_v = \log\left[\frac{P_{H_2}}{0.0979}\right] + 3.09(10)^{-4} \bullet (T+273) \bullet (\log[age]+14) \quad (MPa : {}^{\circ}C) \tag{2.6}$$

위의 식에 적용되는 변수들은 기기의 기본 데이터에 의해 결정된다. 또한 기기의 재료에 따라서 P_v값을 이용하여 그 민감성을 결정하게 된다. 결정된 민감성을 바탕으로 검사의 효율성과 비교하여 최종적으로 손상인자가 결정된다. HTHA의 평가는 기본 데이터를 바탕으로 검사의 효율성을 비교하여 손상인자를 결정하기 때문에 그 기준이 불확실한 변수는 없다.

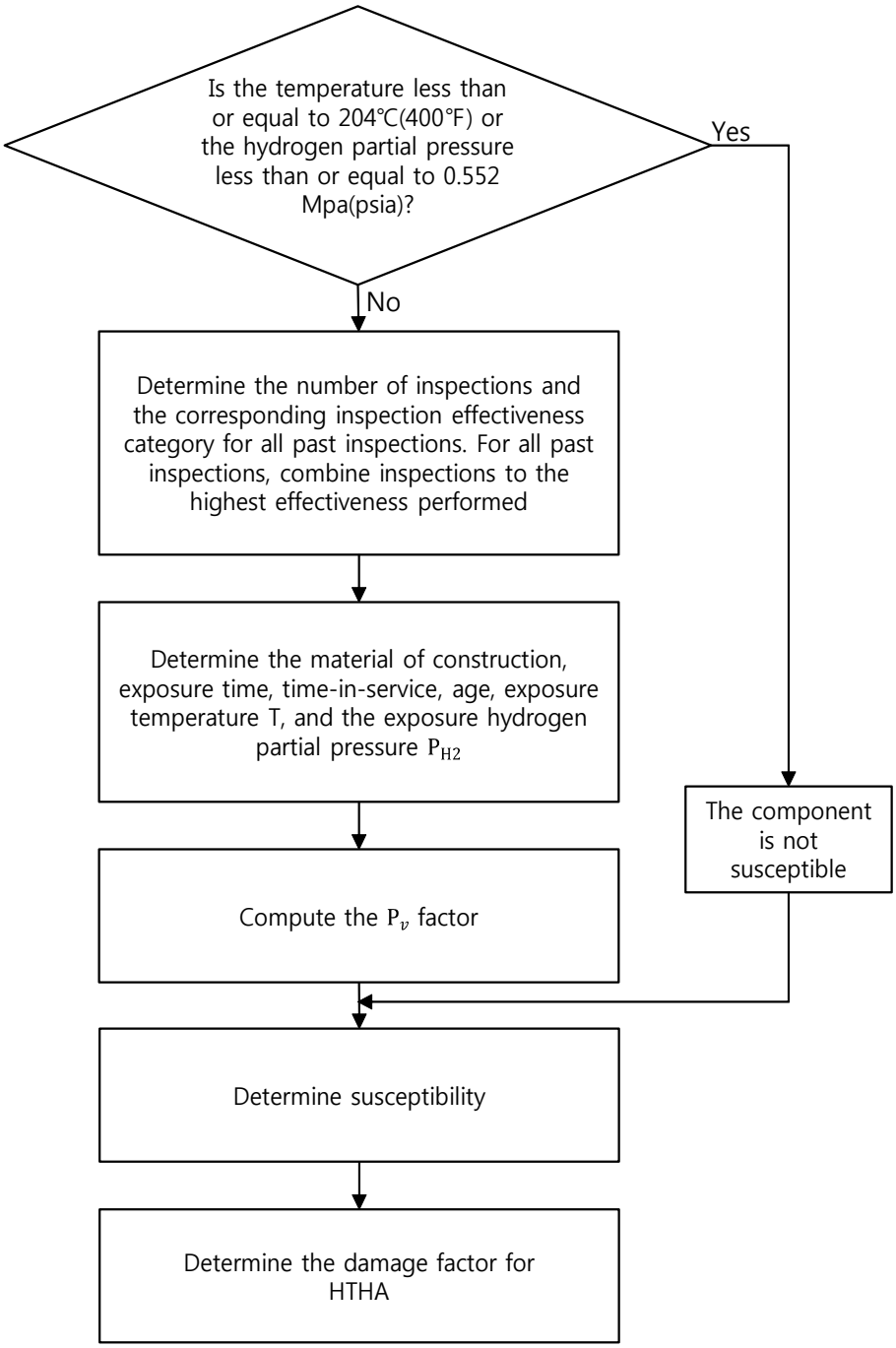


그림 3.3.41 Determination of the HTHA Damage Factor

바. 취성파괴 손상인자(Brittle Fracture Damage Factor)

재료의 취성 파괴는 재료가 처한 환경이 저온이거나 재료의 인성이 낮을 때 발생하며 이로 인해 기기가 갑자기 파손하기도 한다. 하지만 기기들의 설계에 있어서 설계 응력이 재료의 인성보다 낮으므로 자주 발생하는 현상은 아니다. 그러나 장시간 운전된 기기에서

업셋(upset)에 의한 저온환경에 의해 발생할 수 있으며, 장시간 운전된 기기의 교체나 수리 시에 발생하는 온도변화에 의해 발생할 수 도 있다. API RP 581은 취성파괴 현상을 크게 기본적인 취성파괴(Brittle Fracture), 온도에의한 취화(Temper Embrittlement), 885 취화(885 Embrittlement), 시그마 상 취화(Sigma Phase Embrittlement)의 4가지 경우로 분류하여 손상인자를 평가한다. 그림 3.3.42와 그림 3.3.43은 기본적인 취성 파괴와 온도에 의한 취화에 대한 손상인자를 평가하는 절차를 보여준다. 두 가지 종류의 취성파괴에 대한 평가 절차는 동일하다. 하지만 온도에 의한 취화는 Cr-Mo 기기에서 발생하며 345℃와 577℃ 사이에서 Cr-Mo강의 인성이 줄어드는 현상이다. 이 두 가지의 취성파괴 평가 시 적용되는 변수로는 최소 온도($T_{\min}$)와 기준 온도(T_{ref}) 가 있으며 두 온도의 차이와 기기의 두께에 따라서 손상인자가 결정된다. 이때 사용되는 변수는 온도의 차이와 기기의 두께에 따른 값으로 결정되므로 불분명한 기준이 적용되지 않는다.

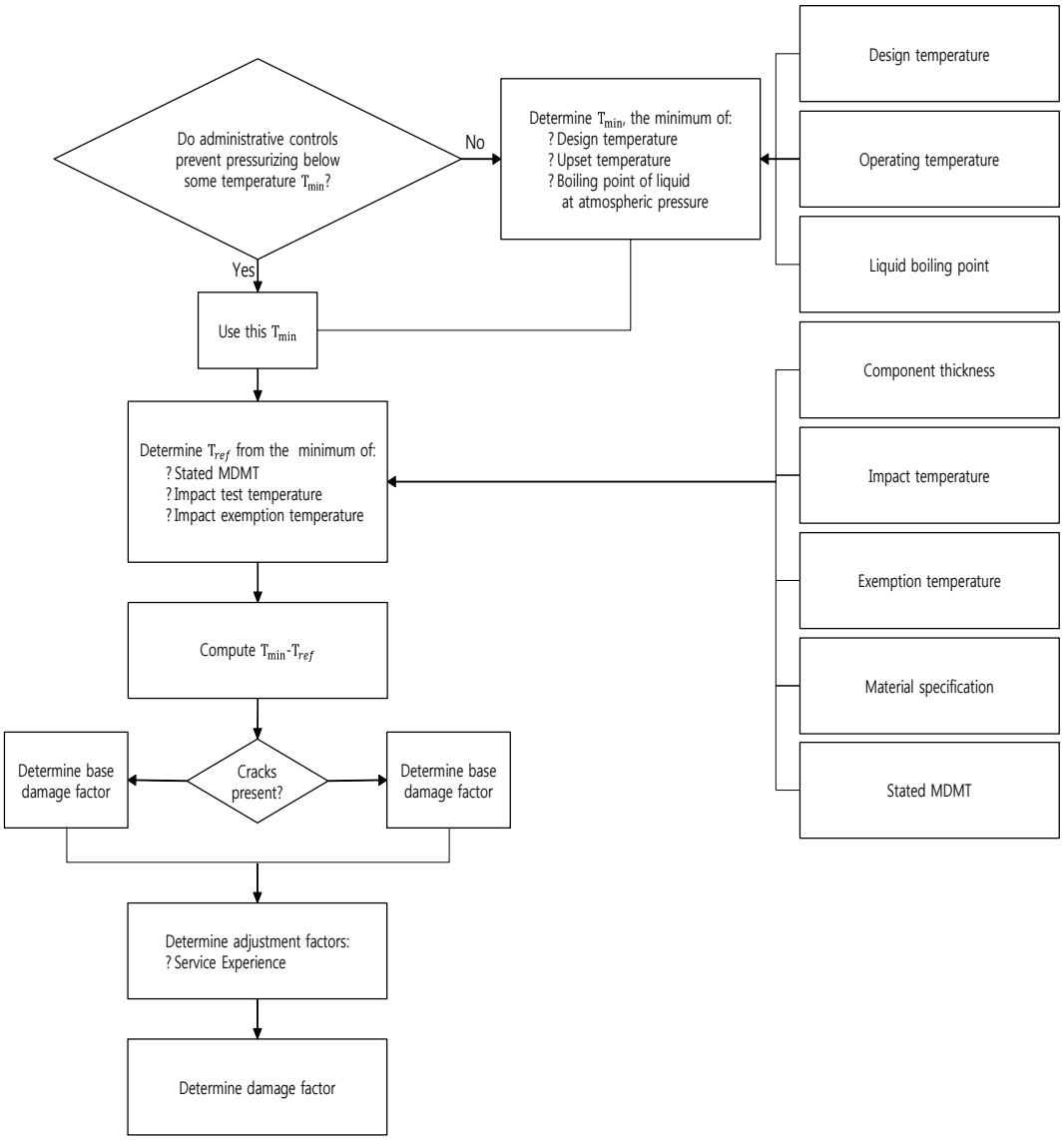


그림 3.3.42 Determination of the Brittle Fracture Damage Factor

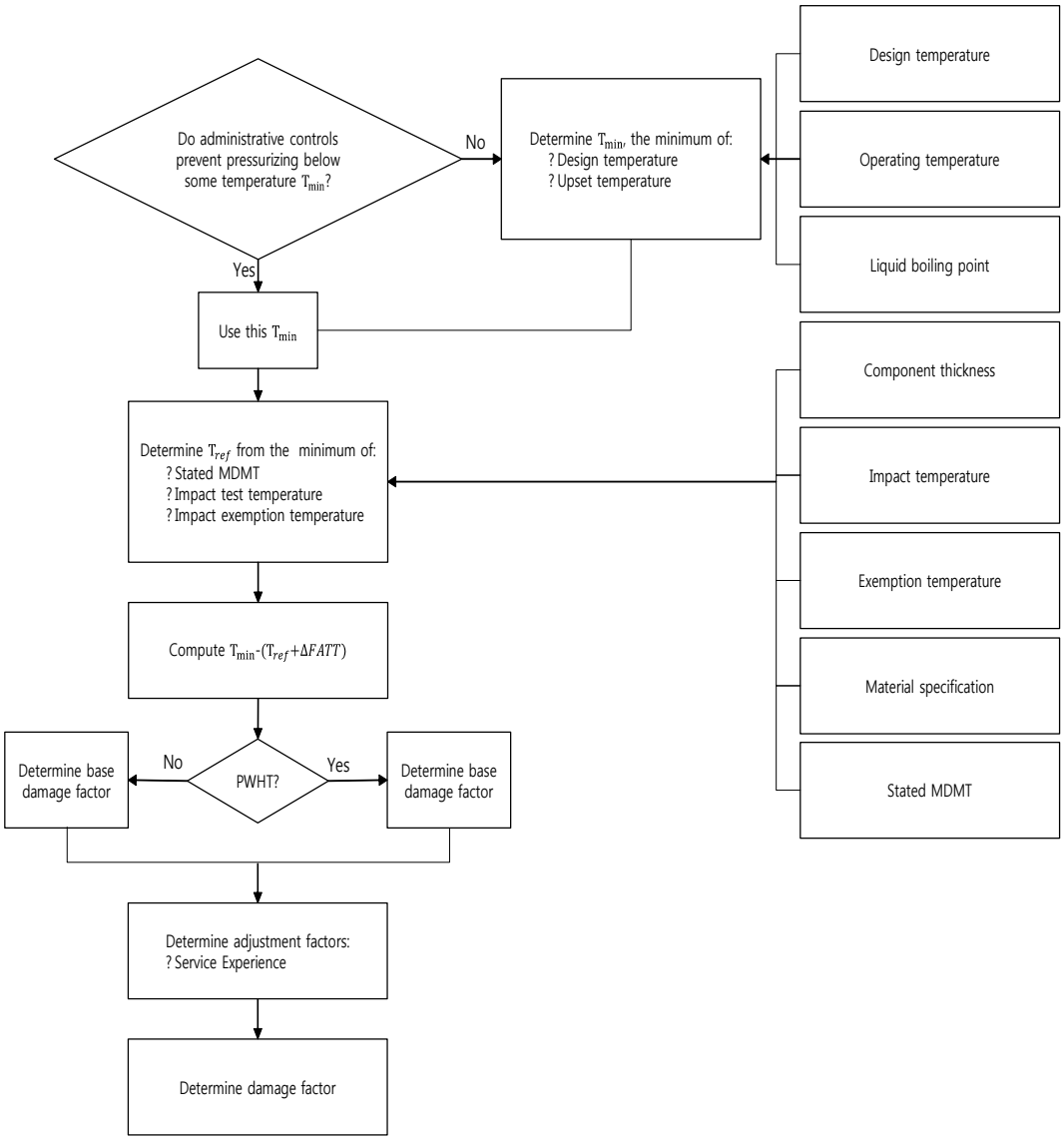


그림 3.3.43 Determination of the Temper Embrittlement Damage Factor

885 취화 역시 비교적 간단한 과정을 통해서 손상인자를 결정하게 되며 이를 그림 3.3.44에 나타내었다. 885 취화는 12% 이상의 크롬함량을 가진 페라이트 강에 적용 되며 최소 온도와 기준 온도의 차이로 손상인자를 결정한다. 손상인자의 결정레 대한 과정은 그림 3.3.44에 나타내었다. 또한 시그마 상에 의한 취화의 손상인자 평가 절차는 그림 3.3.45에 나타내었다. 두 절차 모두 비교적 간단한 과정으로 결정되며 판단에 있어서 불확실한 변수가 존재하지 않는다.

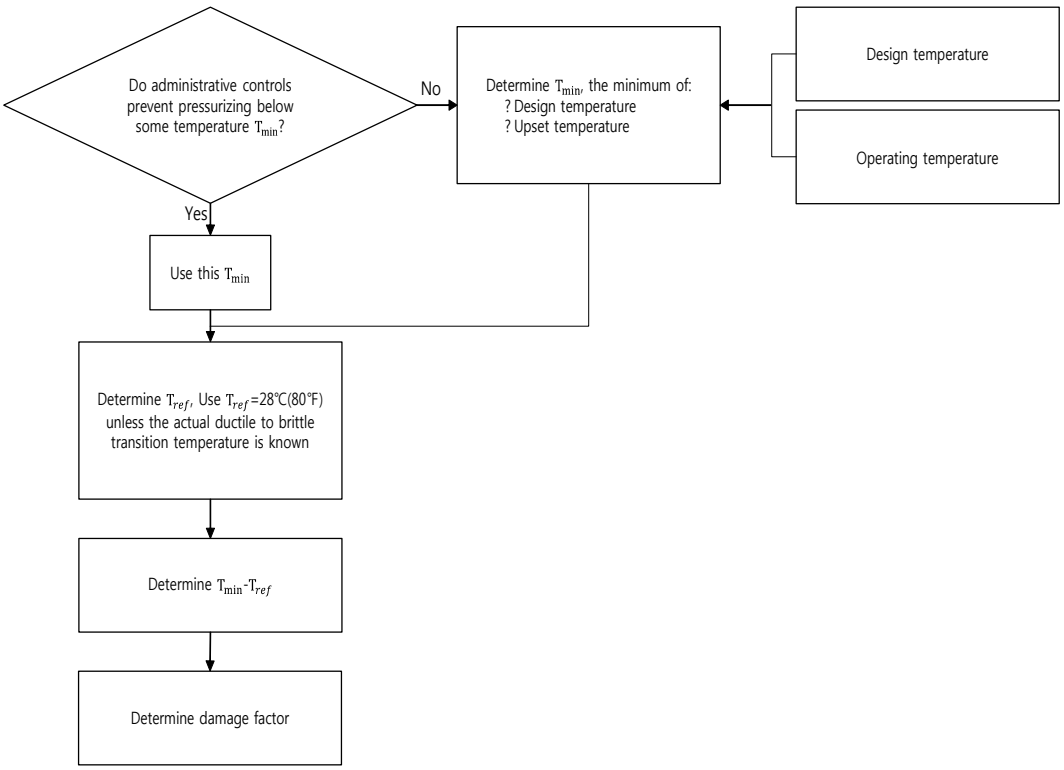


그림 3.3.44 Determination of the 885 Embrittlement Damage Factor

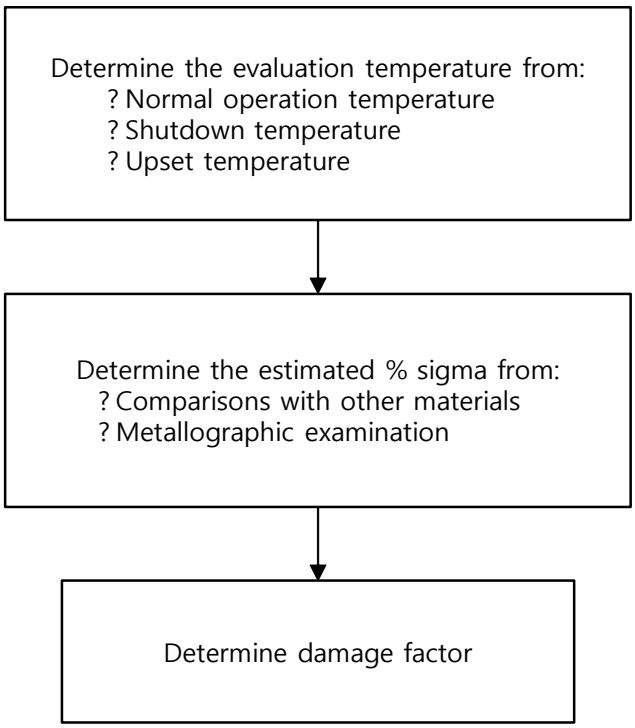


그림 3.3.45 Determination of the Sigma Phase Embrittlement Damage Factor

사. 배관의 기계적 피로 손상인자(Piping Mechanical Fatigue Damage Factor)

배관 시스템의 피손 파손은 매우 불특정한 상황에서 발생하게 된다. 특히 배관의 파손은 진동에 의해 발생하는 비율이 가장 높으며 이 위험성은 매우 크다. 표 3.3.11과 같이 플랜트 시스템에서 50mm 이하의 배관의 진동에 의한 사고는 비율이 가장 높았다. 하지만 배관의 진동에 대한 영향을 예측하기는 상당히 어려운 부분들이 많다. 또한 시공 단계에서 이를 인지하기도 상당히 어렵다. 배관의 진동은 다양한 부분에서 야기되며 이를 하나의 특정한 상황으로 압축하기에는 더욱 어려운 부분이 많다. 따라서 배관에 대한 위험도 평가는 다른 손상기구보다 매우 중요한 부분이다. 배관의 피로 손상을 평가하기 위해서 다음의 전제가 필요하다. 배관 시스템에서 이전에 발생한 사고 이력이 있었는지, 그리고 육안 또는 청각으로 배관의 진동이 느껴지는 지 또는 15.24 미터 이내에 주기적인 진동원이 있는지를 판단하여야 한다.

위의 전제를 기초로 배관 피로에 대한 손상인자의 결정은 그림 3.3.46의 절차를 통해서 진행된다. 순서는 그림에서와 같이 배관의 과거 파손의 이력을 확인하여 기본 파손인자를 결정하고 시각적 청각적 진동의 유무를 판단하여 이에 대한 값을 결정하게 된다. 그 후 진동의 지속 기간을 판단하여 값을 부여하게 된다. 또한 배관과 연결된 기기들의 특성에 따라 점수를 부여하고 배관의 주변 설치물에 따른 점수를 부여하여 평가된 모든 인자들을 곱하여 최종적으로 배관 피로 손상인자를 결정하게 된다. 이를 식 2.7과 식 2.8로 나타내었다.

$$D_{fB}^{mfat} = \max\left[D_{fB}^{PF}, \left(D_{fB}^{AS} \bullet F_{fB}^{AS}\right), D_{fB}^{CF}\right] \tag{2.7}$$

$$D_{f}^{mfat} = D_{fB}^{mfat} \bullet F_{CA} \bullet F_{PC} \bullet F_{CP} \bullet F_{JB} \bullet \tag{2.8}$$

식 2.8에서 D_{fB}^{mfat}는 기본 손상인자로 식 2.7을 통해 결정된다. 식 2.7에서 D_{fB}^{PF}는 과서 사고 횟수이며, D_{fB}^{AS}는 시각적/청각적 진동의 양이다. 또한 F_{fB}^{AS} 는 진동의 지속 기간이며, D_{fB}^{CF} 는 배관과 연결된 기기의 특성에 따른 점수이다. 각 변수들의 점수는 표 3.3.12를 참고하여 결정된다. 이 중 배관의 진동에 의해 결정되는 D_{fB}^{AS} 는 배관의 피로 손상에

가장 중요한 영향 미치는 변수이지만 평가기준은 표 3.3.13과 같이 평가자의 촉감에 의존하고 있다. 따라서 진동의 영향에 대한 변수는 평가자의 주관적 기준에 의존하게 될 것이다. 그러므로 D_{fB}^{AS}에 대한 민감도 분석과 더불어 평가자의 판단에 기준을 제시할 수 있는 방법이 필요하다.

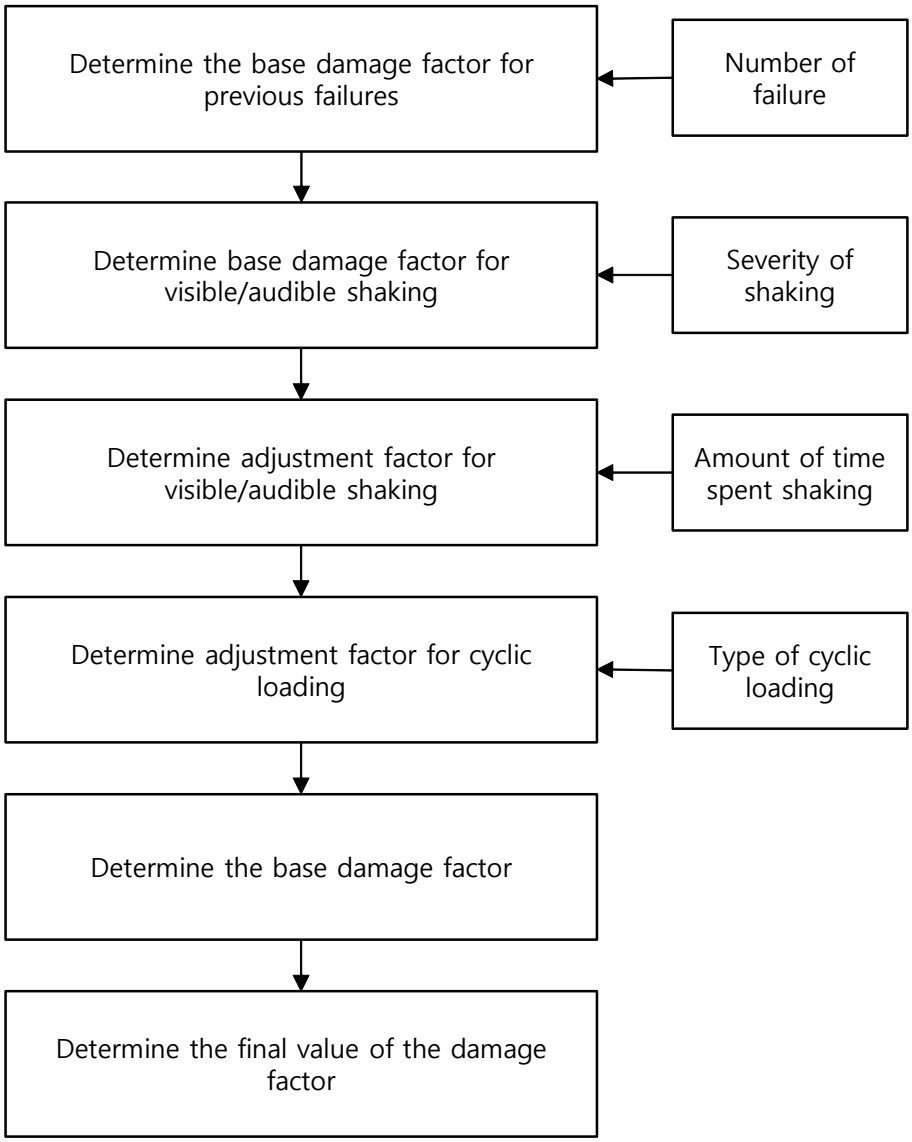


그림 3.3.46 Determination of the Piping Mechanical Fatigue Damage Factor

표 3.3.11 Piping Failure Event Populations

Damage Mechanism	≤DN50(mm)	>DN50(mm)
Corrosion-Fatigue	11	9
Corrosion Attack/MIC	89	98
Design & Construction Defects	115	92
Erosion/Flow-Accelerated Corrosion	188	246
Erosion-Cavitation	4	14
Frozen Pipe	5	3
Human Error	100	36
Overpressuri-zation	20	24
Stress Corrosion Cracking	187	983
Thermal Fatigue	37	80
Unreported	105	79
Vibration-Fatigue	781	105
Water Hammer	97	11
All Mechanisms	1739	874

표 3.3.12 Piping Failure Event Populations

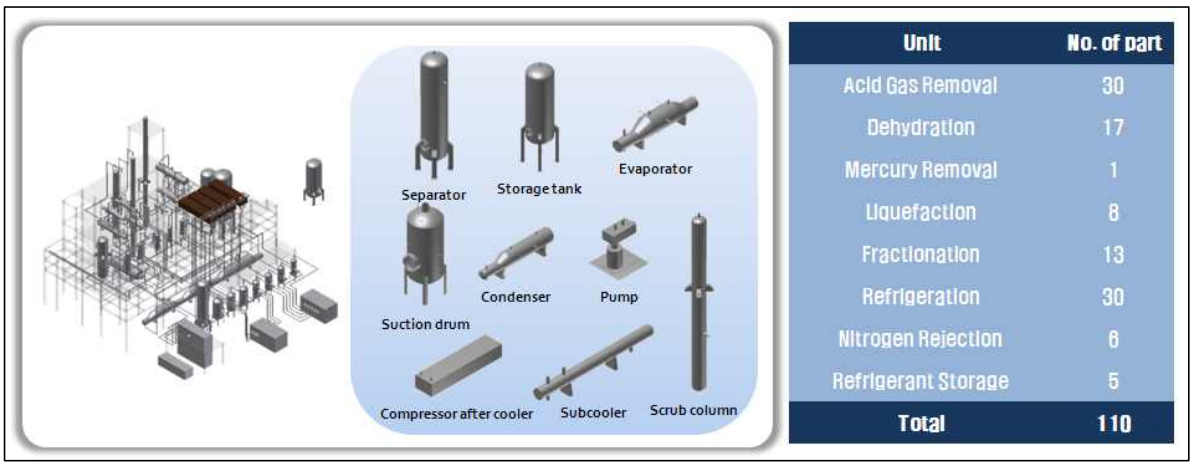
Damage Mechanism	≤DN50(mm)	>DN50(mm)
Corrosion-Fatigue	11	9
Corrosion Attack/MIC	89	98
Design & Construction Defects	115	92
Erosion/Flow-Accelerated Corrosion	188	246
Erosion-Cavitation	4	14
Frozen Pipe	5	3
Human Error	100	36
Overpressuri-zation	20	24
Stress Corrosion Cracking	187	983
Thermal Fatigue	37	80
Unreported	105	79
Vibration-Fatigue	781	105
Water Hammer	97	11
All Mechanisms	1739	874

표 3.3.13 Values of Variables

Variables	Value		Description	
D_{fB}^{PF}	Min.	1	Previous failures	None
	Medium	50		One
	Max.	500		Greater Than One
D_{fB}^{AS}	Min.	1	Visible/Audible Shaking	Minor
	Medium	50		Moderate
	Max.	500		Severe
F_{fB}^{AS}	Min.	1	Duration of Shaking	< 2 (Weeks)
	Medium	0.2		≥2 & <13 (Weeks)
	Max.	0.02		≥13 & <52 (Weeks)
D_{fB}^{CF}	Min.	50	Cyclic Loading	Reciprocating Machinery
	Medium	25		PRV Chatter
		10		Valve with High Pressure Drop
	Max.	1		None
F_{CA}	Min.	0.002	Modification Based on Complete Eng. Analysis	
	Medium	0.2	Modification Based on Experience	
	Max.	2	No Modification	
F_{PC}	Min.	0.5	Pipe Fittings	0～5
	Medium	1		6～10
	Max.	2		10～
F_{CP}	Min.	1	Pipe Condition	Missing or Damaged Supports, Improper support
	Medium	2		Broken gussets, Gussets Welded Directly to the Pipe
	Max.	2		Good Condition
F_{JB}	Min.	0.02	Joint Type or Branch Design	Threaded, Socketweld, Saddle
	Medium	0.2		Saddle in Fitting
		1		Piping Tee, Weldolets
	Max.	2		Sweepolets
F_{BD}	Min.	0.02	Branch Diameter	≤2
	Max.	1		>2

4. LNG-RBI 주요 특징

LNG-RBI는 전 세계적으로 Stand-alone 상태의 RBI(위험성평가기술)기술을 Web 기반 및 인공지능형 3D 설계도와의 연동을 통한 세계 최초의 평가 시스템 구축의 기본설계를 완성하여 평가 플랫폼을 완성하였다. 다음 그림 3.3.47에서 보여지는 바와같이 LNG 플랜트 주요 기자재 목록 및 부품소재의 DB 자료를 조사/분석하여 DB를 구축하였으며, 이를 RBI 평가시스템에 적용하였다. 또한, LNG 플랜트의 초저온 특성에 대한 취성 파괴특성에 따른 주요 메카니즘 분석을 완료하여 다음 그림 3.3.48과 같이 프로그램에 적용하였다.



Unit	No. of part
Acid Gas Removal	30
Dehydration	17
Mercury Removal	1
Liquefaction	8
Fractionation	13
Refrigeration	30
Nitrogen Rejection	6
Refrigerant Storage	5
Total	110

그림 3.3.47 기자재 목록 및 부품소재



그림 3.3.48 주요 손상메커니즘

위험도 평가의 모듈(정성적, 준 정량적, 정량적 평가)을 개발 완료하여 Web에서 운영 가능하도록 가상플랜트와의 연동 시스템을 적용하여 시작품에 대한 기본설계를 다음 그림 3.3.49와 같이 완성하였다.

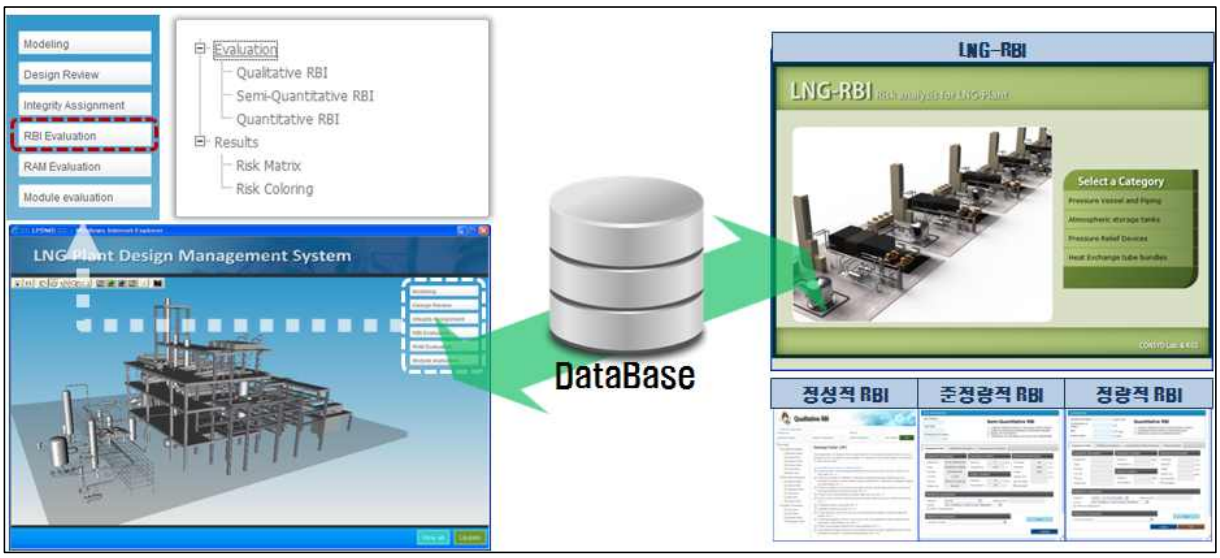


그림 3.3.49 프로그램 DB 연동

또한, 다음 그림 3.3.50과 같이 각 핵심 설비에 대한 주요 손상 메커니즘을 위험도에 따라 평가하여 파손형태별로 분류하여 사전에 검사계획 수립 및 진단 방법을 제시할 수 있는 최첨단의 기능을 탑재하였다.

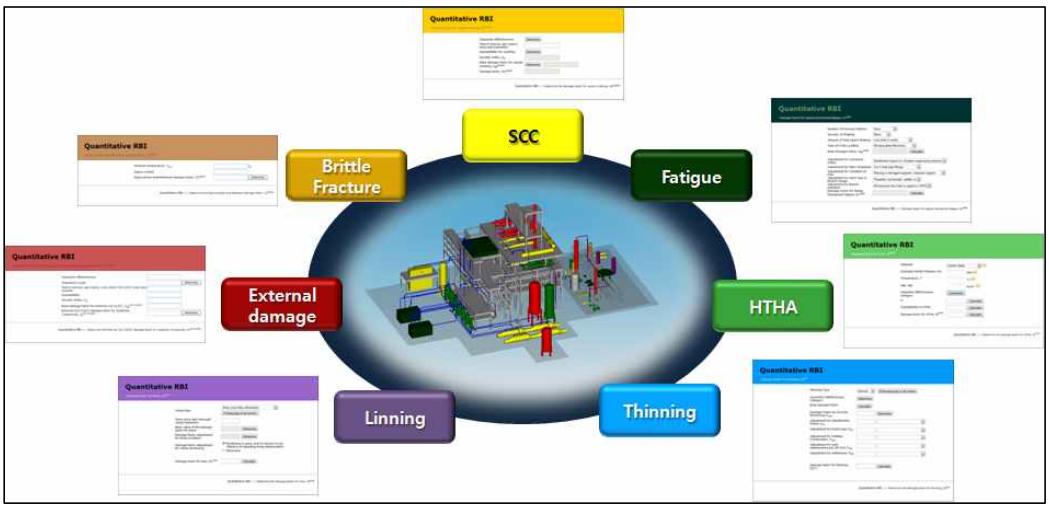


그림 3.3.50 주요 손상메커니즘에 따른 컬러링 모듈화

특히, 그림 3.3.52와 같이 LNG 플랜트 시스템의 시공단계 및 운전·유지관리 시 핵심설비에 대한 비파괴검사 데이터의 분석을 통한 신뢰도 평가를 수행할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며, 검사신호 민감도 분석 및 비파괴진단 데이터관리 시스템 탑재를 위한 기본 설계를 완성하였다.

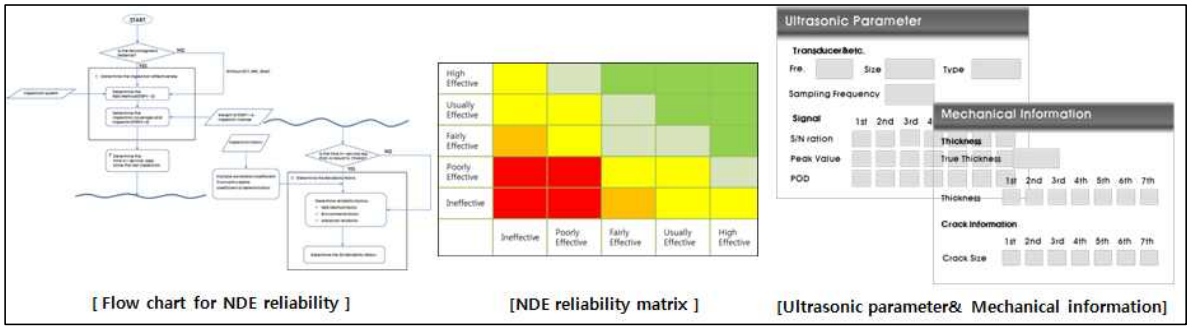


그림 3.3.52 비파괴 진단 신뢰도 평가기술

5. 주요결과 및 시사점

위 절에서는 RBI평가 프로그램의 기본적인 설계와 위험도 계산을 위한 세부적인 손상메커니즘의 계산법과 개발된 프로그램의 특징을 서술하였다. 피해확률(PoF)계산은 코드에서 제시하고 있는 21종의 손상메커니즘의 따르고 있다. 크게는 감육, 라이닝, 응력부식균열, 취성파괴, 고온수소침식, 피로, 외부 손상 등 7가지로 나누고 있으나 명확한 위험도 계산을 위해 21종으로 세분화되어 있다.

현재 위험도 평가 프로그램은 웹기반으로 구축하였으며, 3D모델의 연동과 함께 3D네비게이터 기능과 비파괴 진단 신뢰도 평가기술을 개발하여 검사에 대한 신뢰도를 높이고 특허등록이 진행되었다. 또한 3D모델의 위험도와 주요 손상메커니즘의 컬러링을 해줌으로써 사용자 편의를 위한 설계를 진행하였다.

제4절 비파괴 진단 신뢰도 평가 모듈

1. LNG 플랜트 비파괴 평가 기법 설정

검사자의 기술과 시험 조건에 따라 검사기법의 신뢰성은 달라진다. 신뢰성은 기존에 알고 있는 여러 결함의 검사를 반복하거나 검사결과를 기록함으로써 알아낼 수 있다. 일반적으로 결함의 검출에 대한 신뢰성은 PoD(Probability of Detection)를 이용하여 나타내며, 이는 실재 존재하는 결함과 검출된 결함의 수를 비율이다. 이는 연속된 PoD를 함수로 표현하고 주로 로지스틱 함수 또는 로그 로지스틱 함수로 나타낸다. PoD는 산업설비의 건전성 평가의 신뢰도 향상을 위해 적용되고 있으며, 이를 위해서 수많은 비용, 실험, 시편이 필요하다. 국내에선 PoD에 대한 연구가 미흡한 실정이며, 해외에서는 1970년대부터 항공, 원자력, 연안구조물관련 분야에서 활발히 이루어지고 있으며, 항공분야의 경우 NASA, USAF, Boeing, FAA/Sandia National Labs/SAIC/AEA, 원자력분야의 경우 PISC, UKAEA defect detection trials, Inspection Validation Centre, 연안구조물 관련분야의 경우 Nordtest, UCL Nodal Joint Inspection, ICON이 대표적이다. 또한, Berens, staat, Heasler, Bruce Tomphson 등이 PoD와 관련하여 연구하고 있으며, 식(1.1) ~ (1.3)은 Berens, staat, Heasler가 제안한 PoD 식이다.

$$PoD(a) = 1 + \exp[\frac{-\pi}{\sqrt{3}}(\frac{\ln a - \mu}{\sigma})$$

(1.1)

$$PoD(a) = (1-p)(1-\exp(-ca))$$

(1.2)

$$PoD(a) = (1+\exp(-\alpha+\beta a))$$

(1.3)

여기서, *a*는 결함의 크기를 나타내며, 식(1.1)의 μ값은 실험값으로 결함의 검출능이 50%일 때의 결함크기, σ는 결함 검출능 곡선의 기울기의 가파른 정도를 의미한다. 식(1.2)에서 *p*값은 결함의 크기가 무한대로 큰 경우의 결함검출이 불가능할 확률을 나타내며, *c*는 식(1.1)의 σ값과 동일하게 결함 검출능 곡선의 기울기의 가파른 정도를 나타낸다. 식(1.3)에서 α, β는 실험에 의해 결정되는 값으로 결함의 검출능 정도를 결정한다. 식(1.1) ~ (1.3) 이외에도 결함의 깊이와 길이방향에 따라 로그 로지스틱 함수 및 지수함수로 PoD를 나타낸 식(1.4) ~ (1.5)와 결함의 크기에 따른 측정결함 검출능을 나타내는 식(1.6)등이 있다.

$$PoD(a) = P_0(1-\exp(-\beta_\alpha a - \beta_1))$$

(1.4)

$$PoD(a) = \frac{\exp(\alpha+\beta^\alpha \ln(a)+\beta_1 \ln(l))}{1+\exp(\alpha+\beta^\alpha \ln(a)+\beta_1 \ln(l))}$$

(1.5)

$$PoD(a) = \Phi(\frac{\beta_0+\beta_1 a}{\sigma})$$

(1.6)

여기서, *a*는 결함의 깊이, *l*은 결함의 길이를 나타낸다. 여기서 α, β는 실험적으로 구해지는 회귀분석계수이다. 식(1.4)은 지수함수를 이용하여 결함의 깊이와 길이변화에 따른 결함 검출능을 나타내었으며, 식(1.5)는 로그 로지스틱 함수를 이용하여 결함의 깊이와 길이변화에 따른 결함 검출능을 나타내었다. 식(1.6)의 경우 각 회귀분석 계수 및 무작위 오차값을 이용하여 실제 결함크기와 측정 결함크기에 따른 결함검출능을 나타내었다. 즉 식(1.1) ~ (1.5)은 HIT/MISS PoD기법을 사용하여 결함 검출능을 평가하였으며, 식(1.6)의 경우 AHAT PoD를 이용하여 결함 검출능을 평가 하였다. 그 이외에도 MAPoD(Model based PoD)기법이 활발히 연구 중에 있으며, 각종 산업전반적인 분야에

적용되고 있다.

그림 3.4.1은 일반적으로 알려진 PoD회귀분석을 C++ Builder를 이용해 프로그램으로 만든 것으로 각 실험조건에 따른 PoD curve의 경향을 알 수 있다. 하지만, 국내의 경우엔 HIT/MISS PoD에 관한 일부분의 연구가 진행되고 있을 뿐, AHAT PoD에 관련된 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

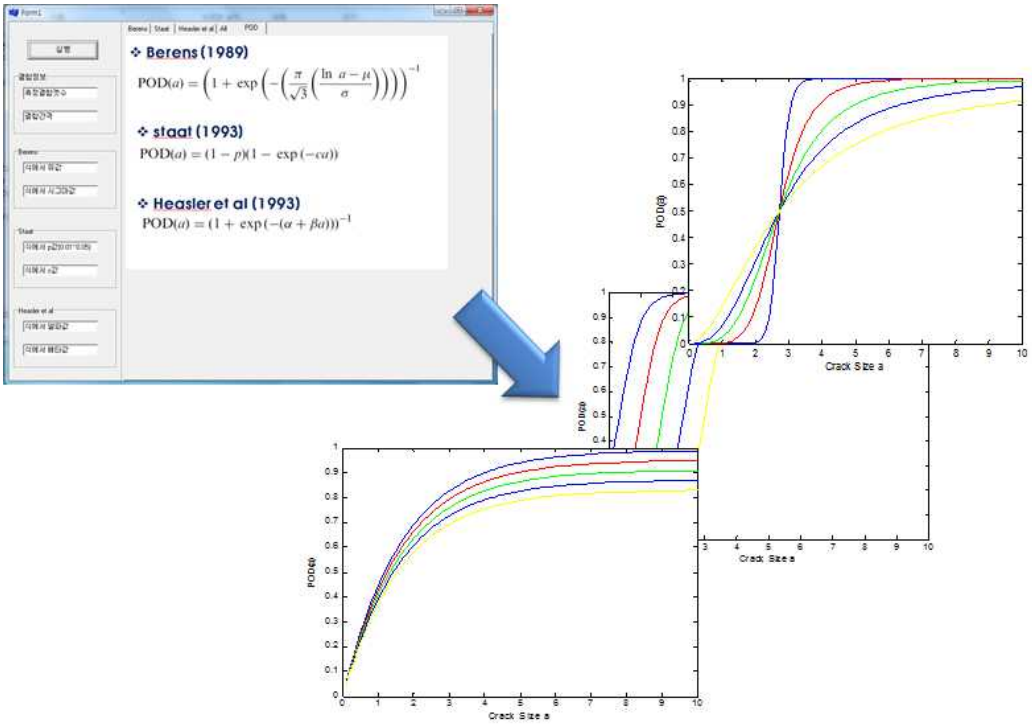


그림 3.4.1 PoD Progarm

○ 초음파 비파괴 검사 및 PoD

HIT/MISS PoD기법은 결함 검출능을 평가하는 가장 기초적인 기법으로 실제 결함이 있을 때 결함을 검출할 수 있는 확률을 의미한다. 결함신호를 판단하는 최저 한계점(threshold decision level)에 따라 결함 검출능 값이 달라질 수 있으나, 일반적으로 식 (1.7)과 같이 HIT/MISS PoD를 표현할수 있다.

$$PoD(a) = \frac{The\ \ number\ \ of\ \ detected\ \ flaw}{The\ \ number\ \ of\ \ physical\ \ flaw} \tag{1.7}$$

여기서, *a*는 결함의 크기를 의미한다. 실제 존재하는 결함을 비파괴 검사에서 검출하기 위해서는 결함신호를 판정할 수 있는 S/N비와 같은 정량적인 지표가 필요하며, 이를 Rummel, Matzkanin이 1997년 결함신호를 판단하는 최저 한계점에 따라 결함신호를 정량적인 판정할 수 있는 지표를 제시하였다.

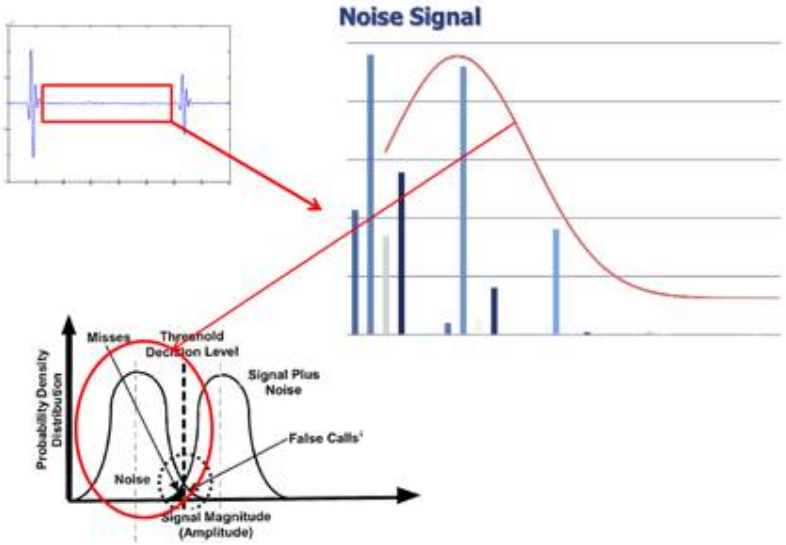


그림 3.4.2 Schematic of false and noise signal

그림 3.4.2와 같이 잡음신호를 실제 실험에서 취득한 후 잡을 신호의 세기에 따라 정규분포화하여 결함신호에 따른 정규분포함수를 취득할 수 있다. 또한 동일한 방법으로 결함신호를 정규분포화 할 수 있다. 이를 바탕으로 결함신호, 잡음신호의 정규분포함수를 그림 3.4.2와 같이 나타낼 수 있다.

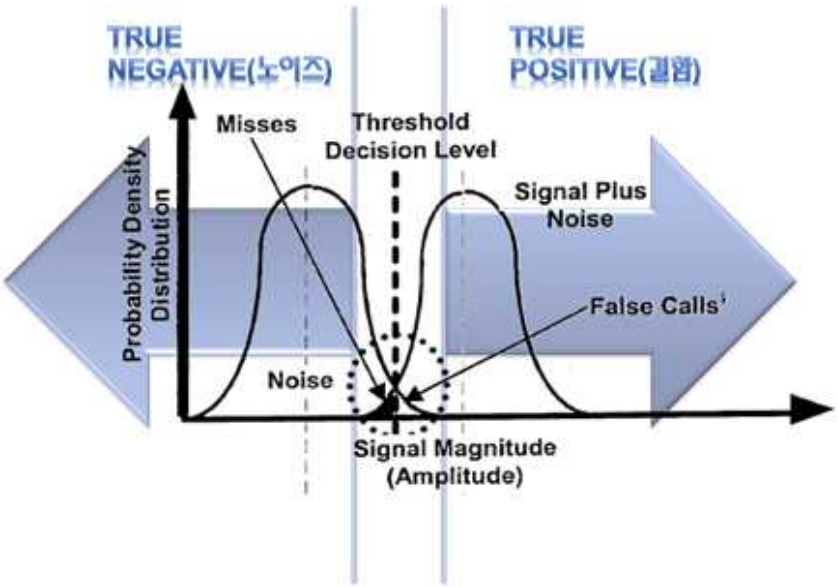


그림 3.4.3 Decisions from signal responses

Rummel, Matzkanin은 그림 3.4.3에서 결함신호 판단 한계점보다 높으면서 노이즈의 분포에 포함되지 않는 결함신호의 경우 True Positive로 결함 검출신호로 판단하였으며, 결함신호 판단 한계점 이하이며 결함신호에 포함되지 않는 영역을 True Negative로 잡음

신호라고 판단하였다. 결함과 잡음신호가 공존하는 영역에서는 False Positive, False Negative라고 명명하였으며, 여기서 False Positive는 결함과 잡음신호가 공존하는 영역 중 기준 한계점이상인 영역을 나타내며, False Negative는 기준한계점 이하인 영역을 나타낸다.

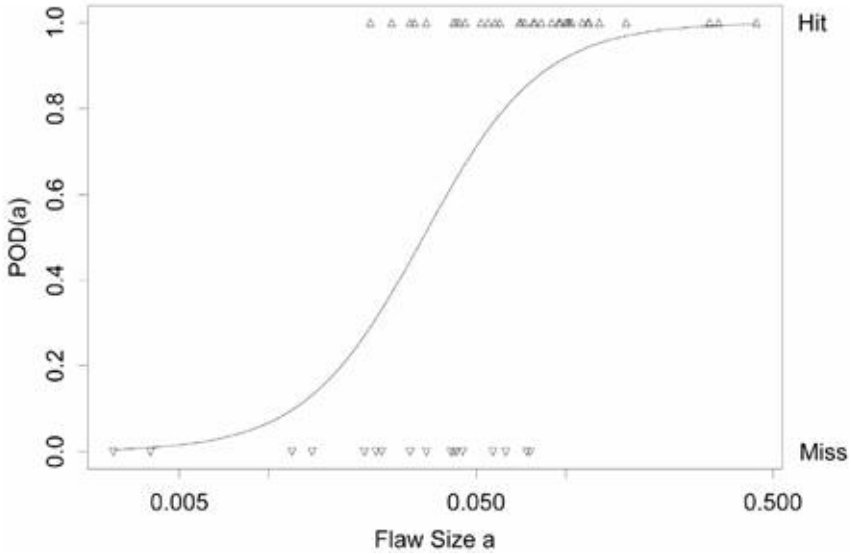


그림 3.4.4 PoD Estimate from Hit/Miss Data

따라서 실제 결함이라고 판단할 수 있는 영역은 True Positive이며 True Positive를 바탕으로 결함이 검출될 때 값은 "1", 결함이 검출되지 않을 때 값은 "0"으로 나타내어 이진 회귀분석(binary regression)을 통해 통계적으로 분석할 수 있다. 그림 3.4.4는 실제 이진 회귀분석을 이용해 PoD 곡선을 나타낸 것이며, 삼각형과 역삼각형 모양을 볼 수 있는데 삼각형의 경우 결함 검출될 때 "1"(HIT)을 나타내며, 역 삼각형의 경우 "0"(MISS)를 나타낸다. 이러한 이진 회귀분석 통계 모델에는 흔히 로지스틱(logistic model)과 프로빗(probit)모델을 적용하고 있으며, 식(1.8)은 이중 회귀곡선 모델을 이용하여 나타낸 PoD 모델이다.

$$PoD(a) = \Phi(\frac{\log(a) - \mu}{\sigma}) = \Phi(\beta_0 + \beta_1 \log(a))$$

(1.8)

$$PoD(a) = \frac{\exp(\alpha + \beta a)}{1 + \exp(\alpha + \beta a)}$$

(1.9)

식(1.8)에서 μ는 평균, σ는 표준편차를 나타낸다. 식(1.8)은 프로빗모델 이며, 로지스틱 모델의 경우 식(1.9)와 같이 표현할 수 있다. 프로빗, 로지스틱 모델 모두 이진 데이터(binary data)를 통해 회귀분석을 하며, 두 가지 모델 중 로지스틱 모델이 주로 사용된다.

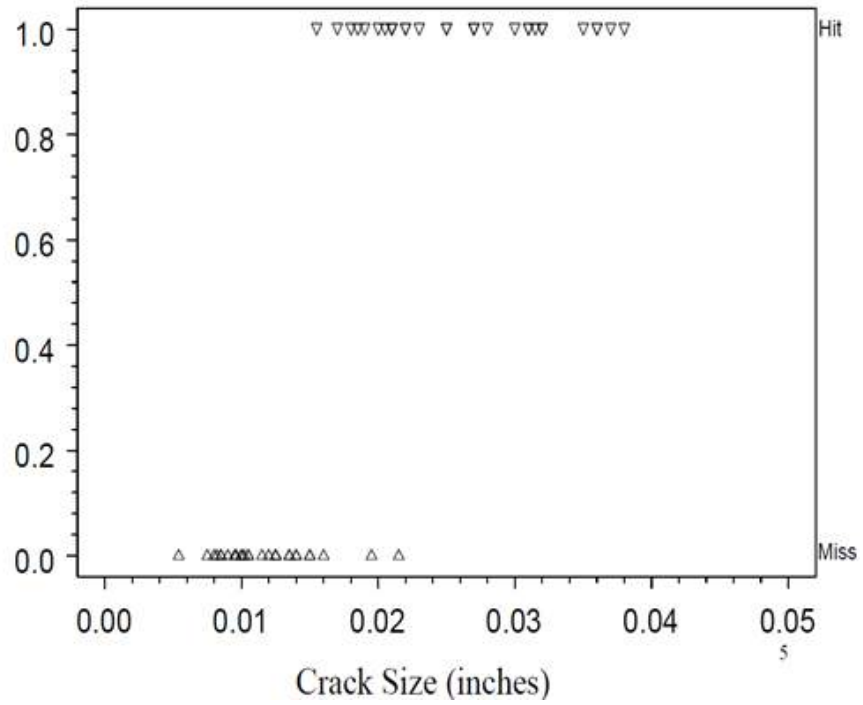


그림 3.4.5 HIT/MISS Data

그림 3.4.5는 실제 다양한 결함 크기를 가진 시험편을 통해 비파괴 검사한 결과를 검출(HIT)/ 검출하지 못함(MISS)을 각각 결함크기에 따라 표현한 것이다. 일반적으로 PoD Curve를 그리기 위해 다양한 결함 크기를 가진 시험편을 한번 실험함으로써, 결함 크기에 따른 결함의 검출정도를 개략적으로 알 수 있다. 실제 그림 3.4.5에서 보이는 바와 같이 약 결함의 크기가 0.015인치에서 0.022인치까지 결함이 HIT, MISS가 혼재함을 확 인할 수 있다. 따라서 HIT/MISS가 혼재하는 부분에서는 검사를 더욱더 명확히 할 필요가 있다. 일반적으로 각 HIT/MISS 혼재 영역에서 일정 구간으로 나눠 각 크기별로 검사를 수행하며, 수행된 검사를 토대로 그림 3.4.6과 같이 크기에 따른 결함 검출확률을 계산한다. 여기서 결함 검출을 계산하기 위해서 일반적으로 여러번의 검사를 실시하게 되고, 검사에서 모두 결함이 검출되었을 때 PoD 90%의 신뢰도가 95%이상의 조건을 충족 시켜야한다. 조건을 충족시키기 위하여 결함이 전부 검사되었을 때 결함 검출 확률은 90% ~ 110%일 확률이 95%이상이 되기 위해서는 확률오차구간이 10%이내이어야 하며, 검사회수를 29번 실시하였을 때 확률 오차구간이 10%가 된다. 즉 검사횟수가 29번이상일 경우엔 확률오차구간이 10% 이내로 줄어들기 때문에 결함 검출 확률이 90% ~ 110%일 때 확률은 95%이상이 되며, 검사 횟수가 29번 미만이 되면 확률오차 구간이 증가하기 때문에 결함 검출확률 신뢰도가 95%이하가 된다. 따라서 결함 검출확률 계산하기 위해서는 29번 이상의 검사가 필요하다. 29번 이상의 검사를 통해 계산된 결함검출 확률을 토대로 식(1.9)를 이용하여 로그로지스틱 회귀분석을 수행할 수 있다.

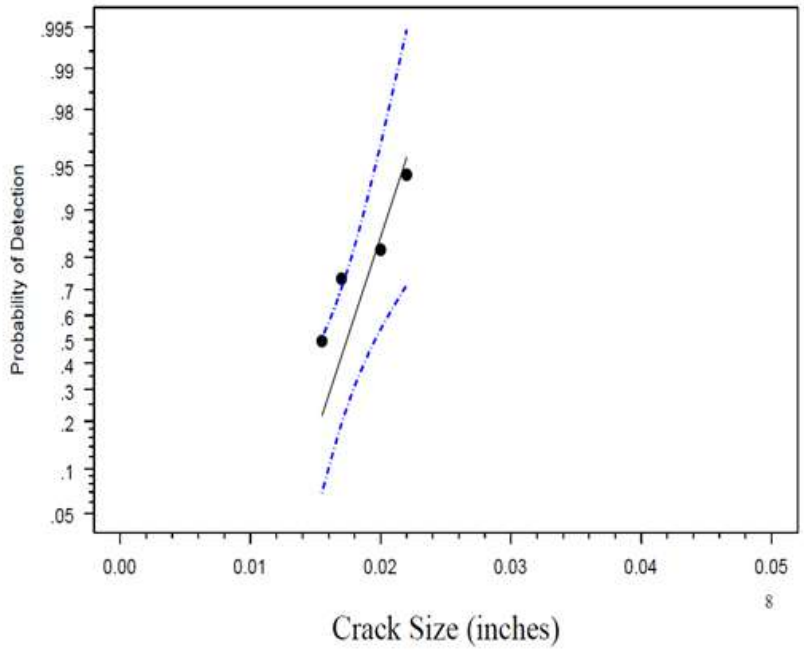


그림 3.4.6 Hit/miss PoD using logistic regression analysis

식(1.9)는 로그로지스틱 모델을 이용하기 위해서는 종속변수로 결함의 검출 유/무에 따라 1, 0으로 이진화하고, 독립변수로 결함크기를 설정한 후 독립변수에 따른 결함 검출(Hit, 1)의 확률을 측정하고 측정된 확률을 이용하여 로직 변환을 한다. 로직 변환을 통해 α, β값을 계산 할 수 있으며, 이를 통해 로그로직스틱 모델을 이용한 PoD Curve를 나타낼 수 있다.

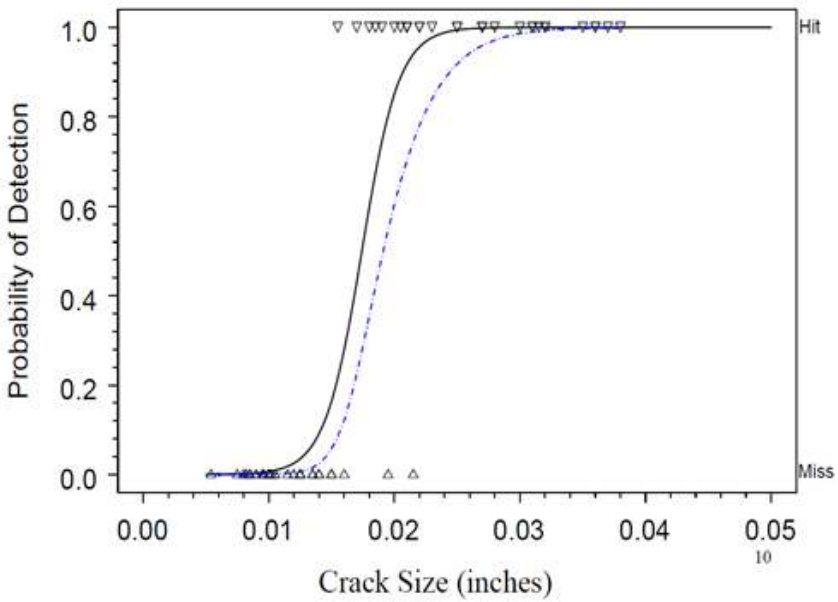


그림 3.4.7 Hit/Miss PoD Curve

그림 3.4.7은 로그 로지스틱 모델을 이용한 PoD Curve를 나타내며 파란곡선은 신뢰구간 95%한계선을 나타낸 것이다. 따라서 Hit/Miss PoD는 여러 가지 모델을 통하여 결함 크기에 대한 결함 검출능을 확인 할 수 있으며, Minitab, Stss등 여러 가지 회귀분석 소프트웨어를 통하여 쉽게 PoD 곡선을 나타낼 수 있음을 확인 할 수 있다. 하지만, HIT/MISS PoD의 경우 실제 결함의 크기와 상관없이 결함의 유무만 판단하는 단점이 있다. 따라서 보다 정량적으로 결함의 크기 산정의 신뢰성을 판단 할 수 있는 AHAT PoD를 분석하여 정량적으로 결함크기를 판단하는 기법이 제시되었다. AHAT PoD는 결함의 크기와 측정된 신호의 크기를 비교분석함으로써 측정된 신호 대비결함 검출능 신뢰성을 분석하는 기법으로 William Q.Meeker, Bruce Tomphson등에 의해 연구되고 있으며, 일반적으로 알고 있는 HIT/MISS PoD와 동일한 방법으로 결함신호 판단 한계점을 지정한 후 신호 판단 한계점 이상인 신호를 바탕으로 결함 크기별 신호의 세기의 분포를 이용하여 PoD를 계산하는 것이다. AHAT PoD를 계산하기 위해서는 결함 크기에 따른 노이즈 신호의 세기 분포와 결함신호 세기 분포를 측정하여야 한다.

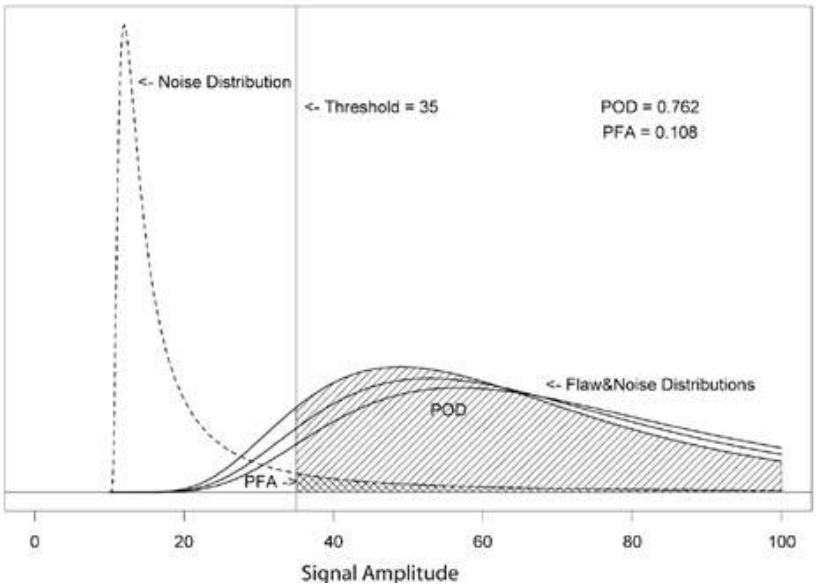


그림 3.4.8 Noise and Signal Distributions

그림 3.4.8은 결함신호와 노이즈 신호를 나타낸 것으로 우측에 점선으로 표시된 부분은 노이즈 신호세기 분포를 나타내며 그림 3.4.8에 우측부분의 3개의 분포는 다양한 결함이 있는 시험편을 각각 검사 하였을 때의 분포도이다. 그림 3.4.8의 경우 결함신호 판단 한계점을 오실로스코프(oscilloscope)에 나타나는 신호의 세기의 최대점을 100으로 뒀을 때 35이상인 신호를 결함신호로 판단하였으며, AHAT PoD에서는 신호의세기가 35 이상인 영역에서만 측정한다.

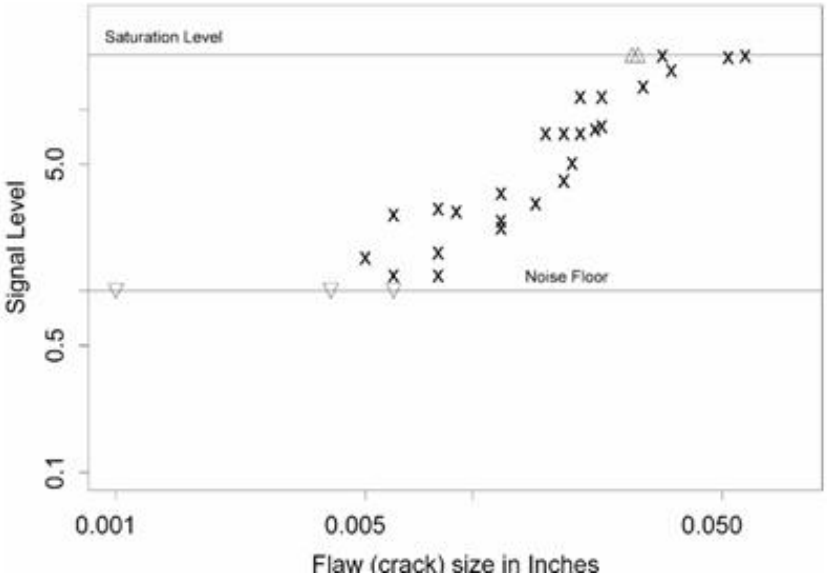


그림 3.4.9 AHAT versus a Data

그림 3.4.9는 결함신호 판단 한계점을 Signal Level1로 두고 결함 크기에 따라 결함의 세기 정도를 나타낸 것이다. 그림 3.4.9에서 결함 크기가 0.05인치일 때 결함신호가 최대가 됨을 확인 할 수 있다.

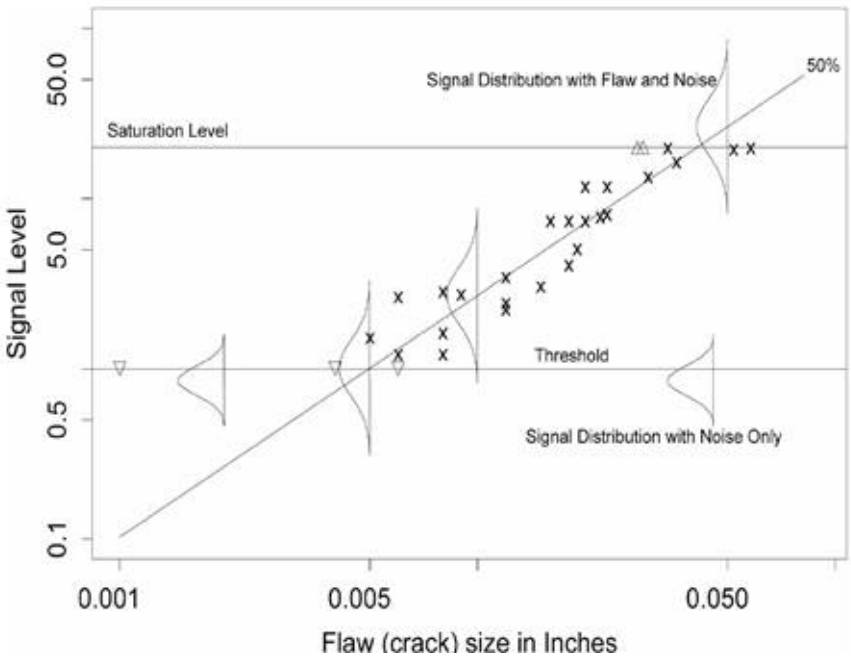


그림 3.4.10 Ahat PoD

그림 3.4.10은 결함의 크기에 따른 신호의 세기 분포를 나타낸 것으로 결함의 크기에 따라 신호의 세기가 선형적으로 변화함을 알 수 있으며, 일정한 크기에서 신호의 세기의 분포가 정규분포화 됨을 확인 할 수 있다. AHAT PoD는 이용하여 결함크기에 따른 결함 신호의 세기분포를 알 수 있으며, 실제 측정된 신호를 통해 결함의 크기를 유추 할 수 있다. 식(1.10)는 AHAT PoD의 또 다른 형태로 실제 측정된 결함의 크기와 실제 결함의 크기를 비교하는 식이다.

$$A_m = \beta_0 + \beta_1 A + \epsilon$$

(1.10)

식(1.10)에서 A_m은 측정된 결함의 크기이며, A는 결함의 실제 크기이다. β_0, β_1은 실험을 바탕으로 측정된 선형 회귀분석계수이며, ϵ은 무작위 오차값(residual random error)이다. 식(1.10)에서 나타낸 선형 회귀분석을 측정된 결함의 크기와 실제결함간의 상관관계를 분석할 수 있으며, 분석된 결과를 식(1.11) ~ (1.12)을 이용하여 HIT/MISS PoD의 식(8)에서 계산된 결함 검출능의 신뢰성을 향상 할 수 있다.

$$PoD(a) = P(A_m > 0 | A = a)$$

(1.11)

$$\begin{aligned} PoD(a) &= P(\beta_0 + \beta_1 a + \epsilon > 0) \\ &= P(\epsilon < \beta_0 + \beta a) \end{aligned}$$

(1.12)

식(1.11), (1.12)에서의 은 실험을 바탕으로 측정된 선형회귀 분석계수이며, ϵ은 무작위 오차값(residual random error)이다. 식(1.11), 식(1.12)을 이용하여 나타낸 PoD Curve는 그림 3.4.11이다.

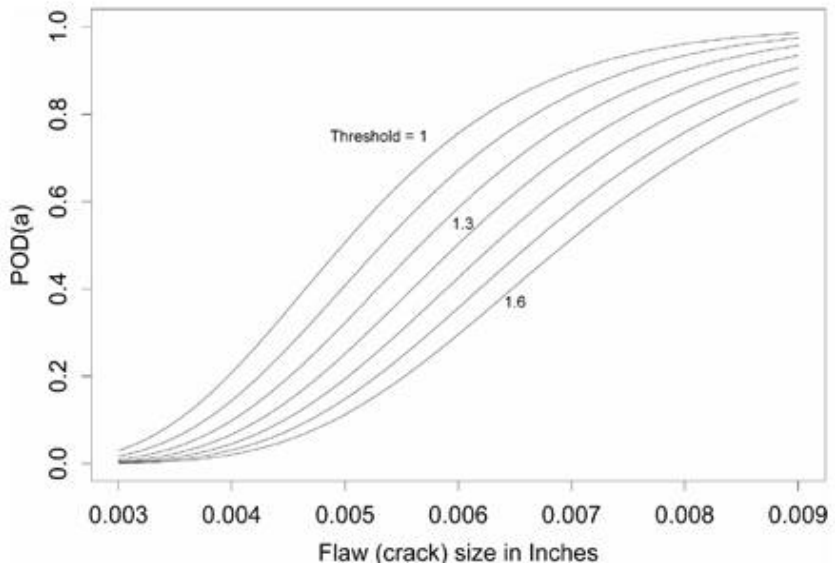


그림 3.4.11 PoD with Different Thresholds

그림 3.4.11에서 나타낸 PoD곡선의 경우 실제 결함의 크기에 따른 결함신호의 세기에 대한 분석 및 HIT/MISS PoD알고리즘이 접목되어 보다 신뢰성 높은 결함 검출능을 계산할 수 있다. 하지만 그림 3.4.11과 같이 Threshold 값이 변화함에 따라 PoD곡선이 변화하기 때문에 검사자의 주관에 따라 결함 검출능이 달라짐을 알 수 있다. 뿐만 아니라 실제 HIT/MISS PoD, Ahat PoD측정을 위해서는 수많은 시편과 실험이 동반되어야 하기 때문에 시간, 인력, 비용이 많이 드는 단점이 있다.

2. 배관계통 비파괴 평가 기법

송유관, 가스, 난방 등의 배관 시설이 설치되기 시작하여 30여년이 지난 오늘날 대부분 노후화 되어 부식 및 결함 등이 나타나고 있다. 따라서 배관에 관련된 연구도 활발히 진행되고 있으며, 장거리 배관 결함 탐지를 위해 배열유도초음파의 집속기술의 연구도 진행되고 있다. 이에 따라, 산업설비 구조물의 상당 부분을 차지하고 있는 배관 구조물을 검사할 수 있는 유도초음파에 대한 연구도 계속적으로 수행되고 있으며, 유도초음파는 복잡하고 다양한 피검체의 형상을 따라 원거리를 진행할 수 있는 파로써 산업설비 부품의 온라인 모니터링 기술에도 적용할 수 있는 가능성이 높기 때문에 국내에서는 유도초음파를 이용한 영상화 기술 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서 영상화 기술의 경우 배관에서의 경우와 판에서의 유도초음파의 신호가 비슷하게 나오기 때문에 배관이 아닌 판에서의 결함 영상화 기법으로 대체하였다. PZT를 이용한 결함 영상화 결과에서 탐촉자와 판 구조물의 부착상태는 결함 영상화에 있어 가장 중요한 변수로 작용한다. 본 연구에서 사용한 주파수는 250kHz로 낮은 주파수를 사용하여 결함에 의한

신호 차이는 크게 나타나지 않는다. 결함 전후의 신호를 취득하여 그 신호의 차이를 이용해서 결함 영상화를 하는 과정에서 부착상태의 변화에 따른 신호차이가 결함에 의한 신호보다 크다면 결함 영상화가 되지 않는다. 따라서 부착상태의 변수를 없애기 위해 1000mm × 1000mm × 2mm Aluminium 판 구조물에 PZT를 10mm × 10mm × 0.127mm로 가공하여 강력접착제(super glue)를 이용하여 판 구조물에 부착하였다. 그림 2.12는 PZT 제작 과정이며. 그림 3.4.14는 판 구조물에 PZT 부착사진이다.

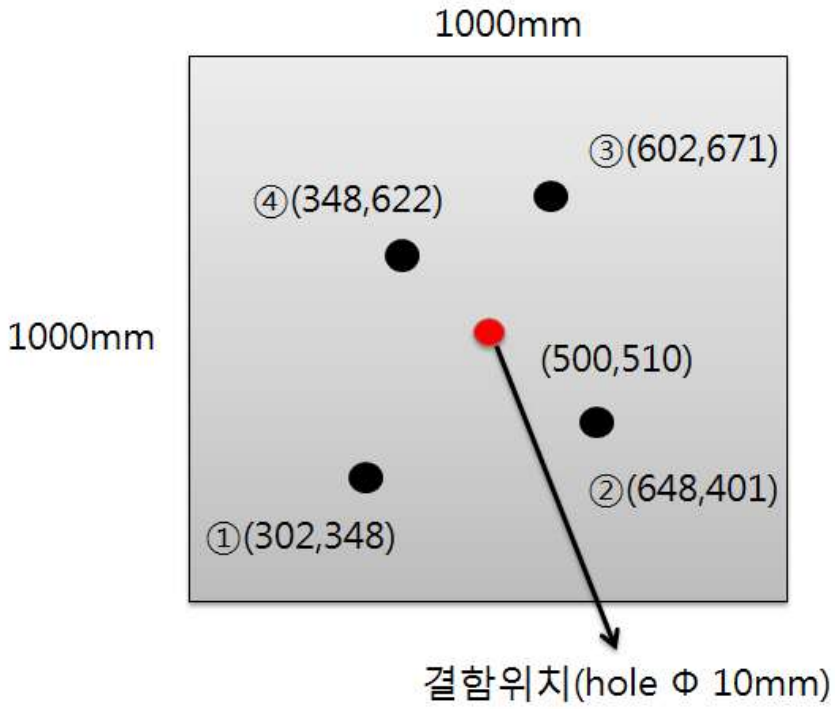


그림 3.4.12 Experimental set up for CT imaging using PZT

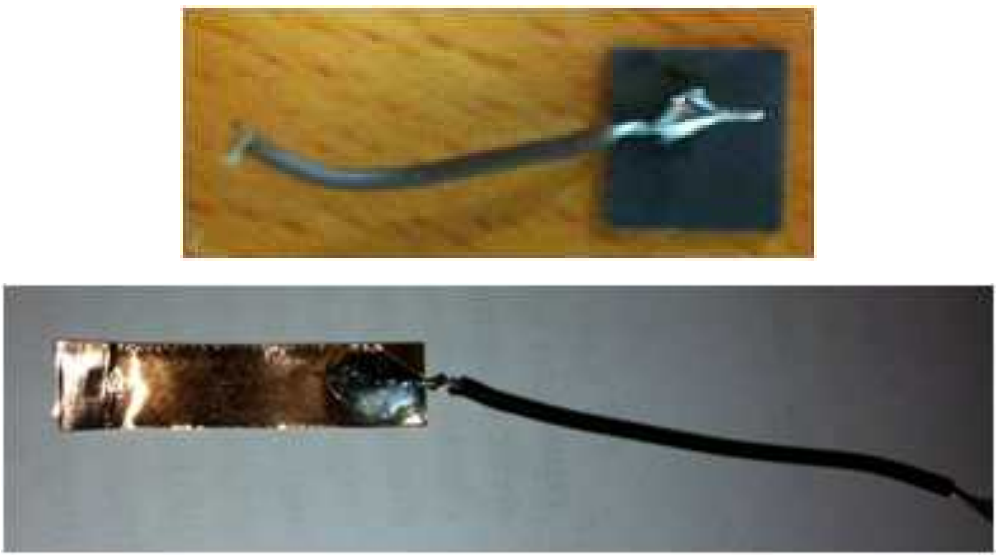


그림 3.4.13 Production process of PZT

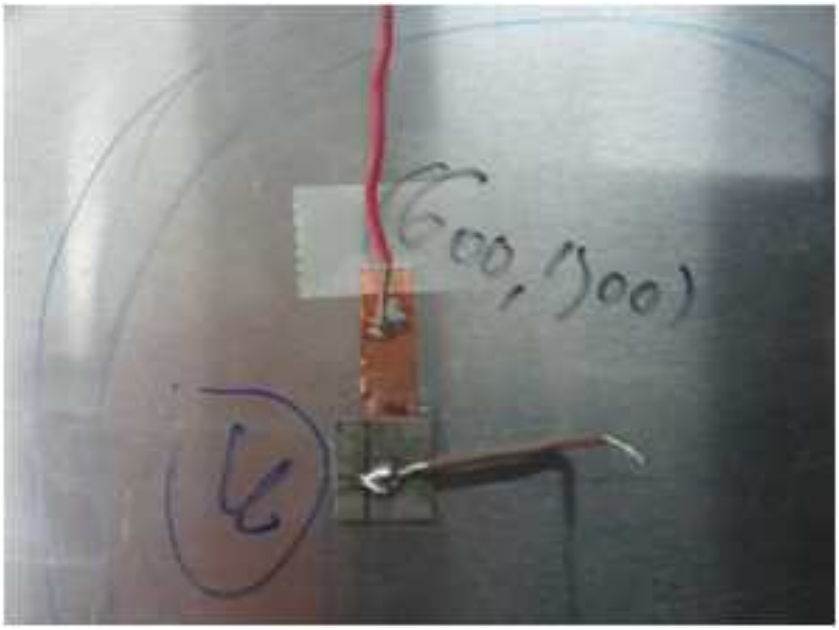


그림 3.4.14 Permanent attachment of PZT

그림 3.4.15는 실험 셋팅 사진이며, 이번 실험에 사용한 장비는 RITEC장비인 RPR-4000장비를 사용하였다.

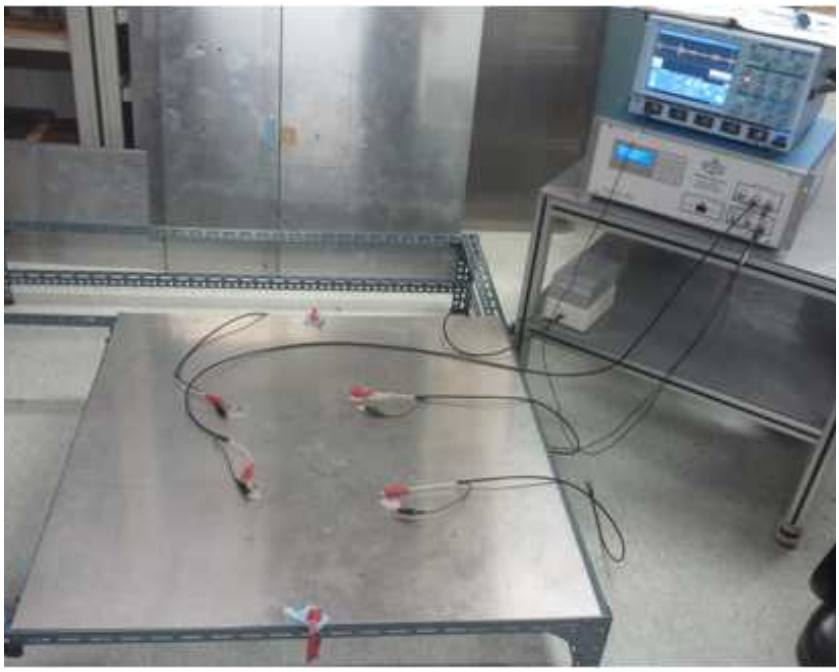


그림 3.4.15 Experimental set up

그림 3.4.15에서 볼 수 있듯이, PZT의 양극에는 솔더링을 이용하여 직접 납땜을 하였으며 음극에는 직접 전선을 연결할 수 없어 구리테이프를 판 구조물과 PZT 음극사이에

1mm정도 삽입하여 전선을 연결하였다. 또한 집게에 의해 움직일 수 있으므로 매직테이프를 이용하여 고정하였다. 그림 3.4.16은 Delay and Sum 영상화 기법을 이용한 결과이며, 그림 3.4.17은 MVDR 영상화 기법을 이용한 결과이다.

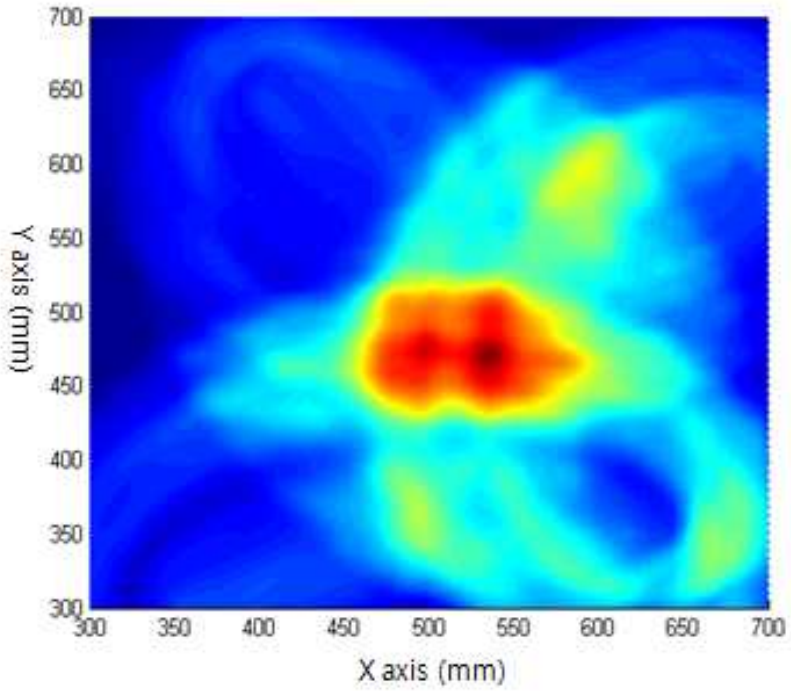


그림 3.4.16 Image for hole using Delay and Sum imaging technique

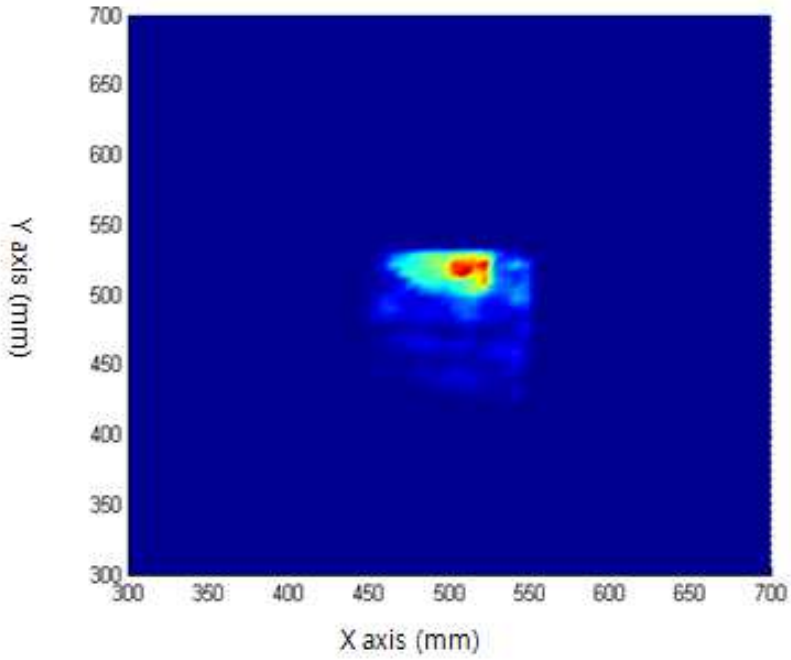
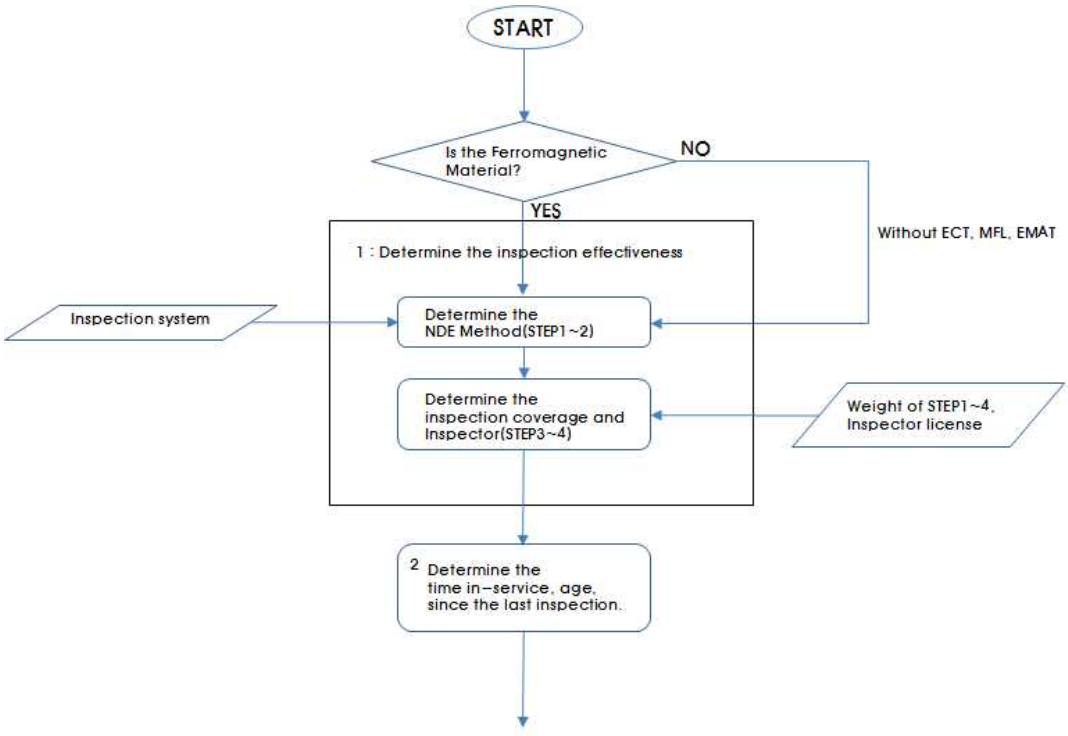


그림 3.4.17 Image for hole using MVDR imaging technique

3. 비파괴 진단 데이터 관리 시스템 개발

가. 비파괴 진단 데이터 관리 시스템 알고리즘 개발

일반적으로 각종 기기와 구조물의 건전성을 진단 하기위해서 다양한 기법이 적용되고 있으며, 그중의 대표적인 기법으로 비파괴 검사기법이 있다. 비파괴 검사에는 RT, UT, ECT, MFL, VT 등 다양한 검사 기법이 존재하며, 이러한 여러기법등을 이용하여 결함의 검출을 비롯하여 재질의 판정, 두께 측정, 금속의 열화진행 정도, 결함의 크기 등 다양한 방법으로 LNG 플랜트의 각종 구성요소의 건정성을 평가할 수 있을 것으로 판단되며, LNG 플랜트 비파괴 진단 기술 기준과 기법을 바탕으로 비파괴 진단 시스템 알고리즘을 설계하였으며, 그림 3.4.18은 LNG플랜트의 검사환경 및 비파괴 검사 기법에 따른 검사 효율 알고리즘을 나타낸 것이다. 알고리즘 내에는 조사된 비파괴 진단 기술 기준 및 기법을 바탕으로 작성되었으며, 검사환경과 각종 통계 기법을 이용하여 최종적으로 그림 3.4.19의 비파괴 신뢰성 메트릭스를 확인할 수 있다. 비파괴 신뢰성 메트릭스는 검사환경과 검사기법의 효율에 따라 총 5단계로 나누어 져 있으며 High Effective에 근접할수록 검사의 신뢰성이 높아진다. 따라서, 신뢰성 메트릭스 및 개발된 Risk 메트릭스를 이용하여 각종 기기와 구조물의 평가된 위험도를 기반으로 검사의 신뢰성을 융합하여 각종 기기와 구조물의 비파괴 정밀 진단 평가 시스템과 연동 시킬수 있으며, 정밀 진단 평가 시스템의 평가 결과를 바탕으로 위험도 평가 프로그램과 연동하여 각종 기기의 위험도를 재평가 할 수 있을 것으로 기대된다.



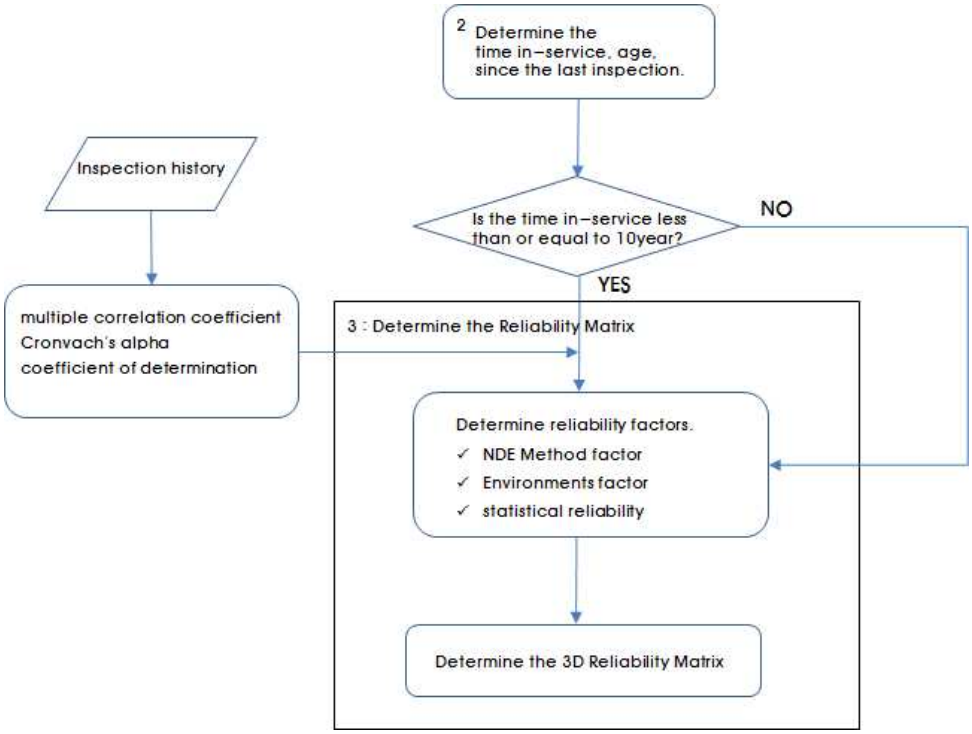


그림 3.4.18 Flow chart for NDE reliability

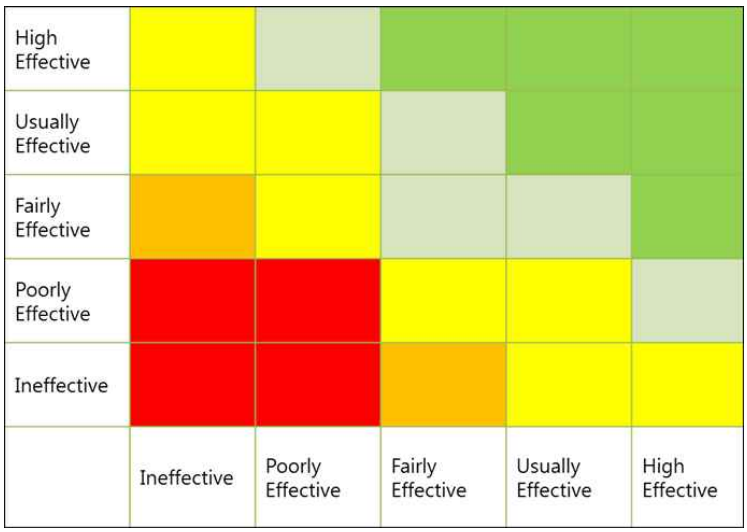
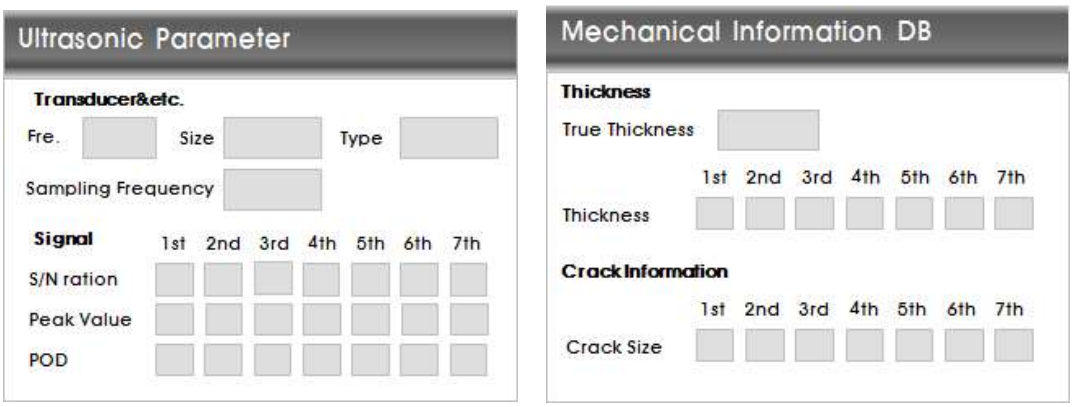


그림 3.4.19 NDE reliability matrix

- 비파괴 진단 데이터 기준 제시

비파괴 진단을 위해서 다양한 기법이 적용되고 있으며, 각 기법에는 다양한 인자들이 비파괴 검사에 영향을 준다. 다양한 기법 중 한가지인 초음파의 경우 초음파 탐촉자, 케이블등 하드웨어적인 요소에서 해석되는 신호, 파형 등 소프트웨어적인 요소가 존재한다. 따라서, 비파괴 진단 데이터 기준을 제시하기위해서는 각 구성요소의 결함 및 형태에 적합한 비파괴 기법조사가 선행되어야하며, 조사된 검사기법의 효율성을 판단하기 위해서 각 검사기법의 사용빈도 및 효율성에 대한 문헌조사를 실행하였다. 뿐만 아니라 비파괴 진단 정보를 이용하여 DB를 구축하였으며, 이는 비파괴 진단 신뢰성을 평가하는데 활용되었다.

그림 3.4.20은 배관에 적용된 검사기법 과 재료의 상태에 맞는 기준을 제시한 것으로 그림 3.4.20의 기준을 이용하여 실제 LNG플랜트 S/W에 활용되었다. 그림 3.4.20에서 (a)의 경우에는 배관에 적용된 초음파 검사 기법의 인자를 나타낸 것으로, 초음파 탐촉자의 크기, 주파수, 형태 등의 정보와 초음파 신호에서의 Sampling Frequency, Peak Value, S/N ratio, POD가 나타나 있으며, (b)에서는 배관의 초기 두께에서 감육된 정도와, 배관에서 발견된 결함의 크기정보가 나타나 있으며, (b)의 정보를 활용하여 배관의 정밀진단 프로그램에 연동될 것이다.



(a) (b)

그림 3.4.20 (a)Ultrasonic parameter (b) Mechanical information

나. 비파괴 진단 이력 데이터베이스 설계

(1) 부식, 감육, 응력 부식

부식은 주변에서 쉽게 접할 수 있다. 공사현장, 가스배관, 주변 장치설비 등 외관 내관에 생기며 이 현상을 통칭 금속의 열화 현상이라 한다. 또한 다른 말로 쉽게 표현하여 녹이 쓴다고 한다. 부식이 생기는 원인은 금속의 주변의 환경에 의해 반응하여 열화 현장으로 인하여 생기게 된다.

표면에 생긴 형태나 발생현상에 의해 다양하게 분류가 된다. 첫 번째 금속의 표면이 전체적으로 균일하게 부식현상이 일어나는 것을 전면 부식(uniform of general corrosion)이라 하며 이 전면 부식은 부식률이 0.1mm/year보다 작으면 그 금속은 내식성이 있다고 볼 수 있다. 두 번째 금속과 금속, 금속 과 비금속 사이의 틈새로 전해질 용액이 침투하여 전기화학적 현상이 발생하여 생기는 부식을 틈새(극간) 부식(crevice corrosion)이다. 세 번째 환경적으로 습기가 가득한 곳이나 물속에 잠겨있는 금속에 전류가 흘려 전기 분해로 인하여 생기는 전해 부식(galvanic corrosion)이 있다. 네 번째 국부적으로 부식성이 심하고 예측 가능하기 힘든 부식을 공식(점식)(pitting corrosion)이라 한다. 이 부식은 강철 또는 알루미늄에서 많이 발생 된다. 다섯 번째 금속에 인위적으로 높은 열을 가하거나 다른 물리적인 충격이나 영향을 가해 금속의 원자 배열이 틀어져 한 경계면에만 생기는 부식을 입계(입간)부식(intergranular corrosion)이라 한다. 여섯 번째 금속이 환경적으로나 또는 인위적인 영향을 받아 화학적인 반응이 일어나 표면의 일부분이 파손되는 현상을 침식(erosion corrosion)이라 한다. Pipe, elbow, tee, valve, pump 등에서 일어난다.

환경적인 요인이나 인위적으로 외부에서 금속에 응력이 가해지면 응력과 부식의 상호 작용에 의해 발생되어 지는 현상을 응력부식(stress corrosion cracking)이라 한다. 용접, 냉간 가공에 의한 잔류 응력, 냉각 및 가열의 반복에 의한 열응력이 있다. 가스 배관 등에 많이 발생한다. 국부적인 부분에 부식이 지속적으로 발생하는 유동가속 부식(flow accelerated corrosion)의하여 배관의 두께가 점점 얇아지는 현상을 감육(thinning)이라 한다.

(2) 비파괴평가 기법

- 초음파 탐상시험(UT : Ultrasonic Testing)

시험체 표면에 수직 탐상은 종파, 사각 탐상의 횡파를 이용하여 반사파를 이용하여 echo의 위치 및 크기에 따라 결함의 위치 및 결함의 크기를 판별, 시험재료를 거의 모두 가능하고 침투 깊이는 강을 기준으로 1m이다.

- 방사선 투과 시험(Radiography Testing)

시험체 외부에서 X-ray, γ-ray를 투과하여 사진필름을 감광, 필름을 현상하여 사진으로 결함을 판독, 투과된 방사선량이 많으면 검게 나타나고 투과된 방사선량이 적은 부분은 흰색으로 나타난다. 시험 재료는 거의 모두 가능하고 침투 깊이는 강 기준으로 450kV X-ray는 120mm Co-60 γ-ray는 250mm 까지 침투 된다.

- 위상배열 초음파 시험(PAUT : Phased Array ultrasonic Testing)

PAUT는 탐촉자가 16~256개의 요소로 구성되어 있으며 각각의 요소에 time delay

를 이용하여 wave를 원하는 방향으로 전파 할 수 있다. 탐촉자를 표면에 접하여 검사를 실시한다. A-Scan, B-Scan, C-Scan, S-scan(PAUT에만 가능) 약 200mm의 침투가 가능하다.

- EMAT(Electro Magnetic Acoustic Transducer)

두께 방향으로 진행하는 초음파를 이용하여 부식을 결함을 평가하는 방법(단일 탐촉자 사용) 원주 방향으로 진행하는 유도초음파를 이용하여 결함을 탐상하는 방법 등이 있다. 비접촉 가능 거리는 10mm, 대부분 1mm 이하에서 작동한다. SH파 및 Lamb파의 모드 변환이 자유자재로 이루어져서 부식이나 감육 두께 평가를 정량적으로 평가가 가능하다.

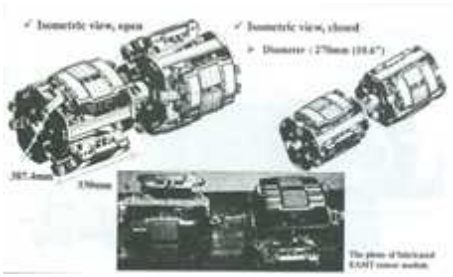


그림 3.4.21 EMAT module

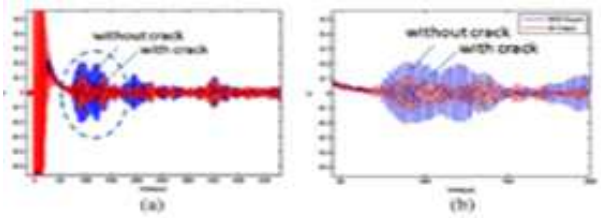


그림 3.4.22 EMAT signal

- Guided-Wave

진동을 길이 방향으로 전파하는 음향 모드 발생(ton-burst)으로 인하여 배관 검사를 한다. Sensor의 종류에는 PZT sensor와 magnetostrictive sensor가 있고 접촉 매질이 필요하다. 양쪽 방향으로 ton-burst가 발생하여 보다 검사 거리가 넓고 얇은 시험체도 검사가 가능. 얇은 시험체도 가능하기 때문에 부식, 감육, 침식 등 정밀도가 좋은 것으로 예상된다.



그림 3.4.23 Guided-Wave experiment

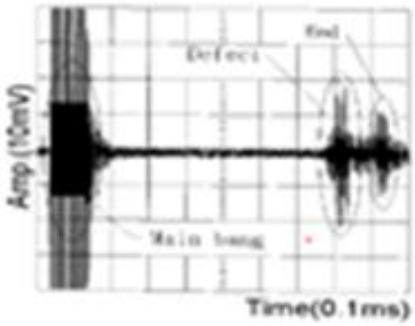


그림 3.4.14 Guided-Wave signal

- MT(Magnetic Particle Testing)

전자석 장비를 사용하여 시험체 표면에 철가루를 도포 누설자속을 이용하여 표면의 결함을 검출한다. 결함부위와 흐르는 전류가 직선이 되어야만 결함이 나타난다. 비자성체는 사용불가 하며 침투 깊이는 표면 바로 밑 5mm 정도이다. 표면적으로만 검사 할 수 있는 방법이다. 다른 방법에 비해 침투 깊이가 깊지 않다는 단점도 가지고 있다. 이 방법으로는 표면에서만 일어나는 부식, 침식, 등을 검사 할 수 있고 내부에서 일어나는 부식에 관해서는 전혀 알 수 없다. 그래서 MT방법은 다른 검사와 병행하여 검사하면 효과적이다.

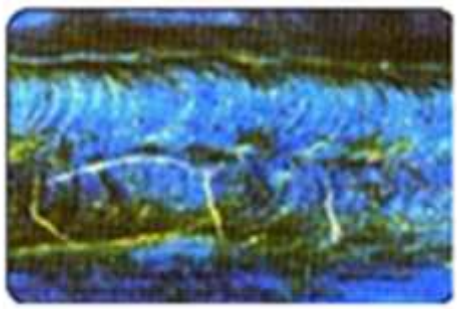


그림 3.4.25 MT inspection

- ECT(Eddy Current Testing)

와전류를 이용하여 결함의 검출을 행하는 방법. 강자성 금속 외 비자성체의 모든 금속에 적용 가능하다. 응용분야가 광범위 하고 검사 속도가 빠르다. 좁은 영역에서도 검사가 가능하다. 시험체의 두께가 두꺼워 질수록 결함 검출 어려우며 직접적으로 결함의 종류 형상 판별 어렵다. 응력부식균열검사에 이용이 많이 되며 원전 배관 쪽에 많이 사용되고 있다. 배관 검사에 많이 사용 되고 있고 결함 검출 또한 잘 되기 때문에 업체 에서도 많이 사용하고 있다. 강자성체 비자성체 모두 가능하다. 감육, 부식 측정 가능하고 균열의 깊이 길이 폭 등 정보 수집이 가능하다.



그림 3.4.26 ECT inspection

- PECT(Pulse Eddy Current Testing)

결함의 깊이가 깊을수록 검사의 제약을 받기 때문에 두 깨 이상의 주파수를 이용하여 검사를 하는 방법을 PECT라고 한다. 교류전류를 사용하는 기존의 와전류 검사 방법이 아닌 직류 전압의 스텝파형에 의해 생성되는 역 전압을 이용하여 검사, 측정 부위의 평균 두께를 산출하기 때문에 국부적인 부식 정도를 파악하는 데에는 어려움이 있다. 현재 실질 적으로 국내에 도입이 되지 않은 기술로써 외국에서도 많이 사용되지 않는다.

- RFECT(Remote Field eddy current Testing)

ECT와는 다르게 배관 내부로 하여 검사를 한다. 비접촉 방식이며 배관 두께가 두꺼워 질수록 검사 감도가 떨어진다. 내부 결함과 외부 결함에 대해 거의 같은 민감도를 가지고, 코일의 비틀림이나 흔들림으로부터의 영향이 거의 없고, 하나의 결함에 대해 두 번의 결함 지시를 하는 특징이 있다. ECT와 전혀 다른 방식으로 검사가 이루어지고 아직 국내나 외국에 현장 적용은 없다. 하지만 국내나 해외에서 활발히 개발 중에 있으며 최소 시험편 두께 대비 5% depth까지 결함을 탐지할 수 있으나 아직 완벽히 두꺼운 시험편을 탐상하는 것은 불가능 하다.

- MFL(Magnetic Flux Leakage)

지하에 매설된 가스파이프라인 상의 대량 부식에 의한 결함 및 흠집을 탐지하는데 많이 사용되는 기술이다. 내 외부 결함 검출이 가능하고 외부 환경의 영향을 적게 받는다. 길이 3mm , 깊이 3T, 10%이상의 결함, 깊이 오차 ±10%에서 반드시 검출 하도록 되어 있다. 강자성체 적용가능하며 균열의 길이, 경사, 폭 측정이 가능하다.

(3) 데이터 베이스 설계를 위한 비파괴 평가기법 분석

- 논문 연구 활용 빈도

비파괴 평가 방법에 대한 논문연구 진행 현황(각 비파괴 평가 방법에 대한 논문 수) 및 최근 4년간의 논문 연구 활용 빈도를 아래 그래프에 나타내었다.

부식(Corrosion)

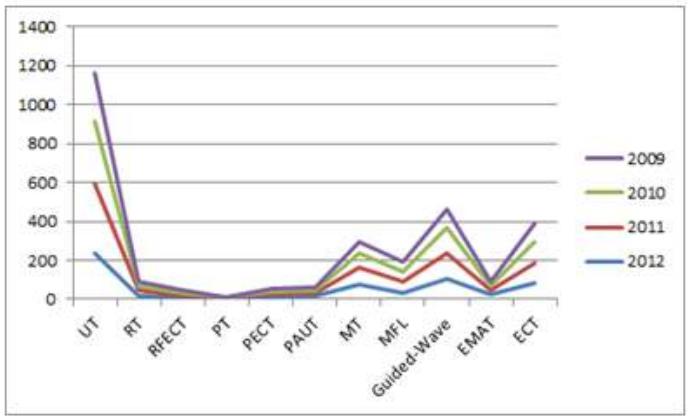


그림 3.4.27 Corrosion on the last four years, the frequency of overseas research trends graph

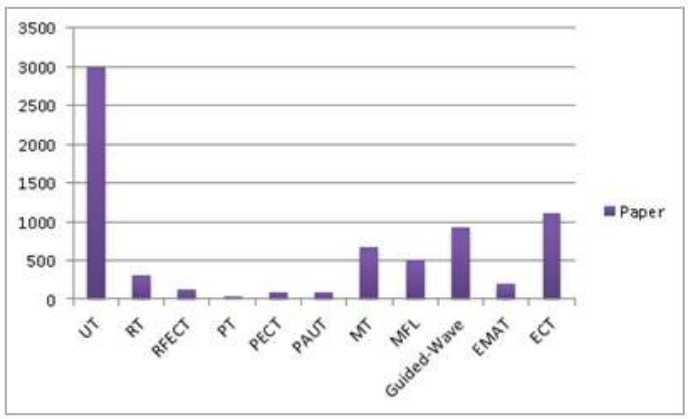


그림 3.4.28 The last four years, each non-destructive corrosion on paper graph

감육(Thinning)

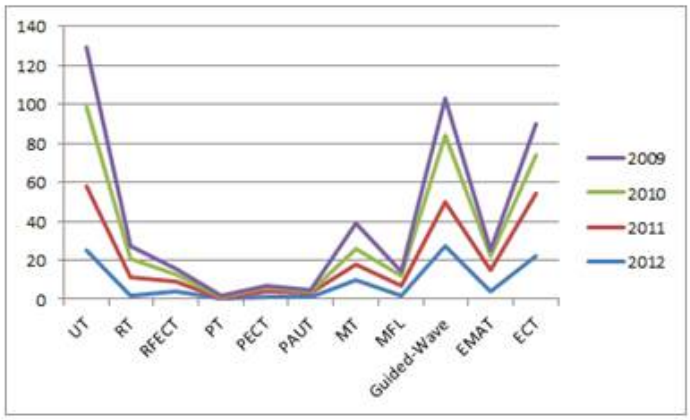


그림 3.4.29 Thinning on the last four years, the frequency of overseas research trends graph

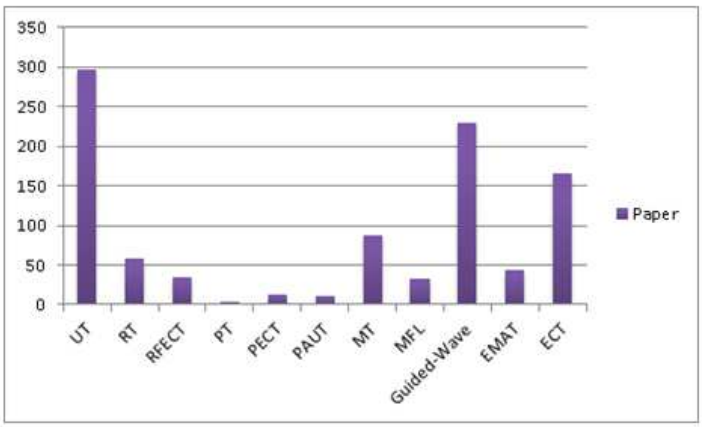


그림 3.4.30 The last four years on thinning by each non-destructive paper graph

응력 부식 균열(SCC : Stress Corrosion Cracking)

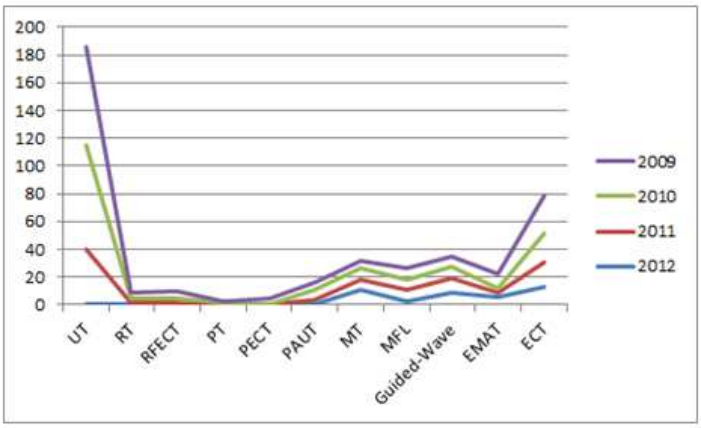


그림 3.4.31 Stress corrosion cracking on the last four years, the frequency of overseas research trends graph

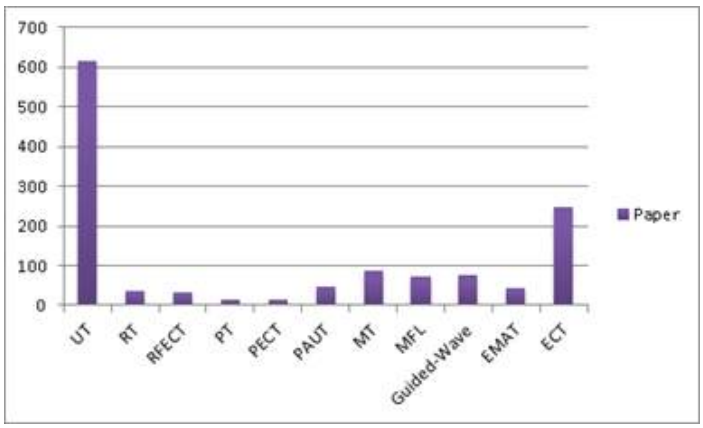


그림 3.4.32 The last four years on stress corrosion cracking by each non-destructive paper graph

논문연구 활용빈도를 토대로 UT와 ECT가 부식과 응력 부식 균열 부분에서 가장 많이 연구가 수행되었으며 현재에도 UT와 ECT가 현장에서 적용이 되고 있지만 현재까지도 UT와 ECT로 현장에 적용하는 것이 산재한 문제들이 많이 남아있다는 것을 확인할 수 있다.

- 논문의 결과 정확성

논문 결과의 정확성은 논문의 실험 결과에 따른 오차 범위 및 탐지 가능 범위에 근거를 두어 20점 만점을 기준으로 평가하였다. (정밀도 : 두께평가 정밀도 [오차범위 0.1~0.5mm : 20, 0.5~1mm : 15, 1~3mm : 10, 3~5mm : 5, 그 외 : 0])

부식(Corrosion)

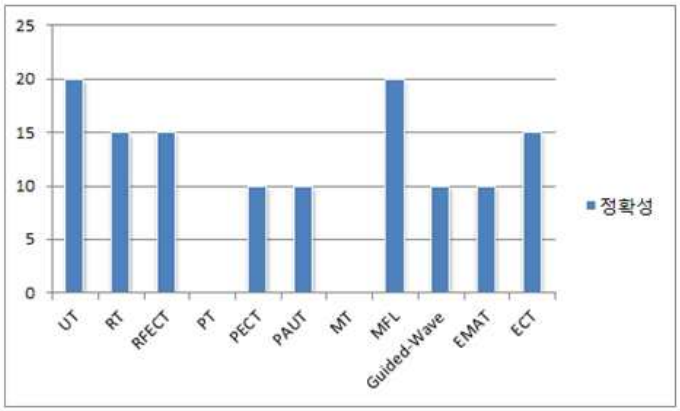


그림 3.4.33 Accuracy Evaluation of the corrosion defect detection on paper graph

감육(Thinning)

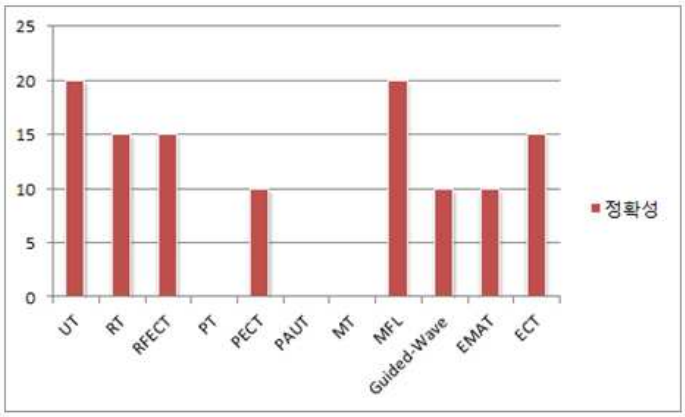


그림 3.4.34 Thinning Defect detection on graph paper assessing the accuracy

응력 부식 균열(Stress Corrosion Cracking)

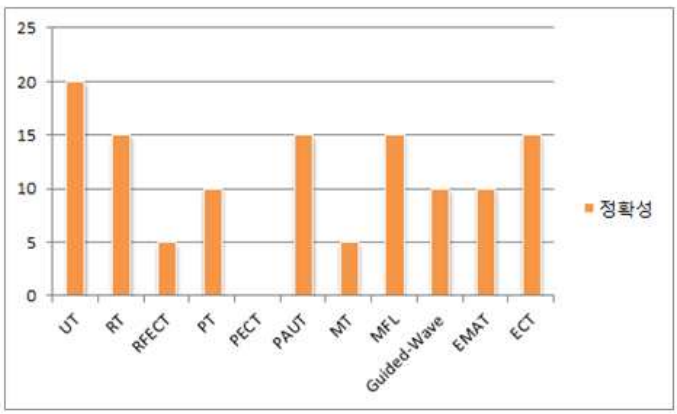


그림 3.4.35 Stress Corrosion graph paper on defect detection accuracy assessment

UT같은 경우 부식, 감육, 응력 부식에 관하여 결함 탐지 방법 중 가장 작은 결함도 탐지 가능한 방법이다. 내부 부식과 내부에서 일어나는 감육에 관해서는 외관 검사가 주가 되는 방법들에 대해 평가를 하지 않았다. 평균적으로 0.5~3mm의 결함은 탐지가 가능하다는 것을 논문을 결과를 토대로 알 수가 있었다. 대부분의 방법들이 시험체의 두께와 형태에 따라 결함 탐지에 관하여 영향을 많이 받는다. 특히 ECT, RFECT, PECT는 시험체의 두께가 두꺼워 질수록 결함 탐지가 어렵다.

- 전문가 자문을 통한 결함에 따른 비파괴 신뢰성 분석

전문가(박사급 및 교수님) 자문을 통하여 비파괴 평가 방법에 대한 활용 및 연구 등을 토대도 평가를 하여 40점 만점을 기준으로 아래 수치 및 그래프로 나타내었다.

부식(Corrosion)

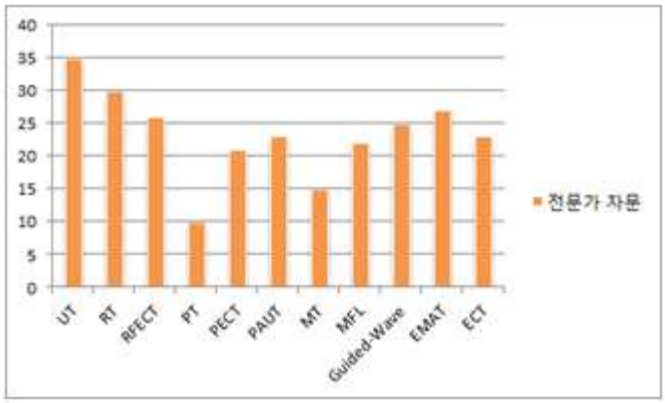


그림 3.4.36 Expert advisory rating graph, on the non-destructive evaluation for corrosion defects

감육(Thinning)

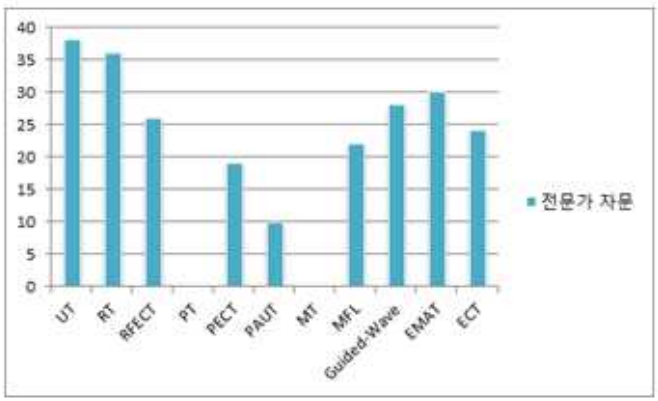


그림 3.4.37 Expert advisory rating graph on Nondestructive Evaluation for Thinning Defect

응력 부식 균열(Stress Corrosion Cracking)

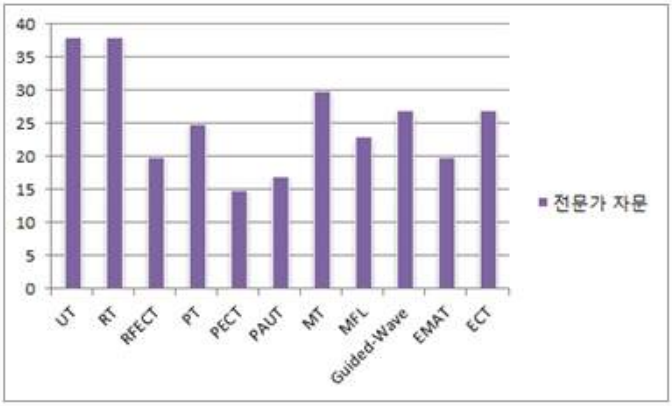


그림 3.4.38 To stress corrosion cracking on Nondestructive Evaluation expert advisory rating graph

비파괴 평가 방법에 있어서 현장의 적용 보다는 연구적인 면에서 자문을 구하여 의견을 종합 취합한 결과 UT와 RT가 가장 높은 평가를 받았다. UT같은 경우 현장 적용성도 뛰어나지만 아직도 연구 분야가 넓고 사용 범위도 넓기 때문에 가장 높은 평가를 받았고 RT같은 경우에는 비파괴 방법으로 처음 사용되어 지고 현장 적용에도 가장 먼저 적용되어 여러 분야에 사용되어 지고 있으며 가장 전통성 있는 방법이기 때문에 그 다음으로 높은 평가를 받았다. 평가 점수가 중간 이상인 비파괴 평가 방법들은 현장 적용은 아직 가능하지는 않지만 앞으로 향후 현장 적용 및 결함 탐지에 뛰어난 가능성을 보이기 때문에 중간 이상의 평가를 받았다.

- ISI 업체 자문을 통한 비파괴 기법 신뢰성 평가

유선 자문 및 업체 website 검색을 통하여 실제 적용이 되는 비파괴 평가 방법, 활용 빈도수 등을 토대로 30점 만점을 기준으로 아래 수치 및 그래프로 나타내었다.

부식(Corrosion)

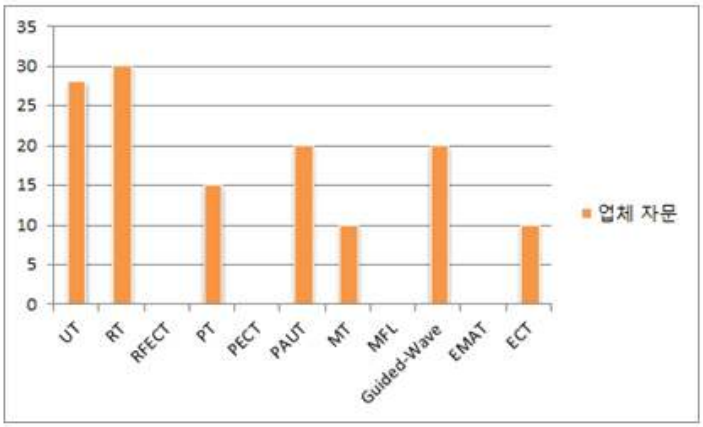


그림 3.4.39 Vendor advisory for nondestructive evaluation of corrosion rating graph

감육(Thinning)

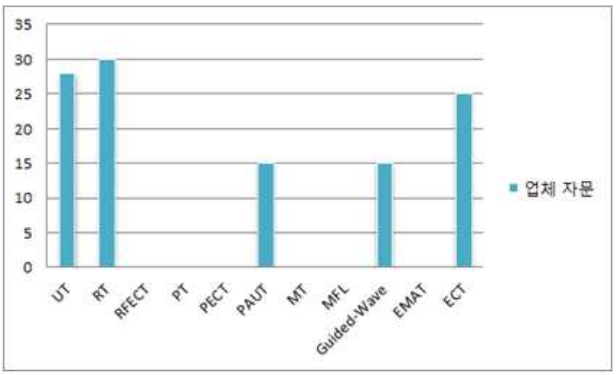


그림 3.4.40 Thinning for Nondestructive Evaluation supplier advisory rating graph

응력 부식 균열(Stress Corrosion Cracking)

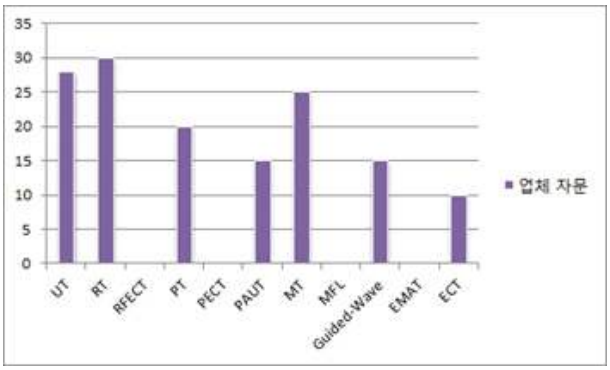


그림 3.3.41 Stress corrosion cracking in the vendor advisory for nondestructive evaluation rating graph

비파괴 평가 업체	비파괴 평가 항목
고려 공업 검사(KITCO)	RT, UT, MT, PT, LT, ECT
한양 종합 검사	UT, RT, MT, LT, ECT
대한 검사 기술	RT, UT, PT, MT, ECT, LT, VT
동양 검사 기술	RT, UT, MT, LT, ECT
한전 기공	UT, RT, PT, MT, ECT, VT, LT
삼영 검사 엔지니어링	RT, UT, PAUT, MT, PT
삼전 기술 검사	RT, UT, PAUT, TOFD, MT, PT
서울 검사	RT, UT, TOFD, PT, VT, LT, ECT
세안 기술	UT(A,B,C-Scan), VT, RT, ECT
아이텍	RT, UT, ECT, MT, PT, LT
KNDT&I(케이엔디티앤아이)	RT, UT, MT, ECT, LT
한국 공업 엔지니어링	RT, UT, TOFD, ECT, LT, MT, PT
한국 기계 검사소	RT, UT, MT, PT, ECT
한국 산업 기술 연구소(HITCO)	UT, RT, MT
세일 검사 기술	RT, UT, MT, PT, LT
코스텍 기술 주식회사	RT, UT, MT, PT, ECT, LT
지스콥	RT, UT, LT, ECT, MT, PT
아거스	RT, UT, MT, LT, ECT, PT

표 3.4.1 각 비파괴 검사 업체 및 업체 비파괴 검사 방법

현재 비파괴 검사 업체에서 실질적으로 사용되고 있는 비파괴 검사 방법에는 RT, UT, PT, MT, ECT, LT가 사용되고 있으며 사용 빈도수는 RT > UT > ECT > MT >

PT > LT 순으로 나열되어 진다. 그 외 방법들 중 PAUT와 TOFD, Guided-Wave는 도입 단계이고 나머지 방법들은 사용되어 지고 있지 않다. 대부분 휴대용 장비를 사용하여 비파괴 검사를 실시하며 MT와 PT, LT의 경우는 RT와 UT 검사와 병행으로 검사를 실시하고 있다.

- 데이터 베이스 설계를 위한 비파괴 평가기법 분석

부식(Corrosion)

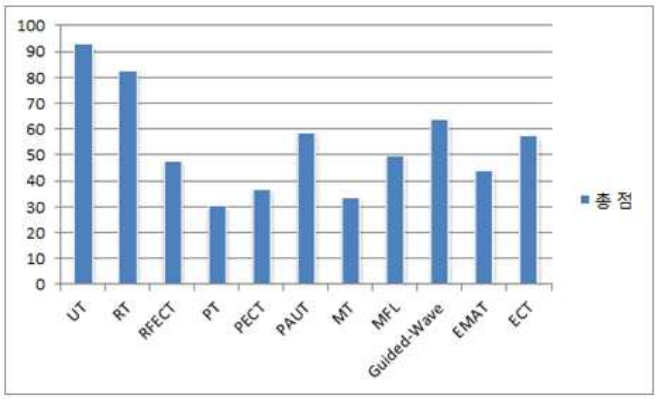


그림 3.4.42 Graph for non-destructive evaluation of corrosion

감육(Thinning)

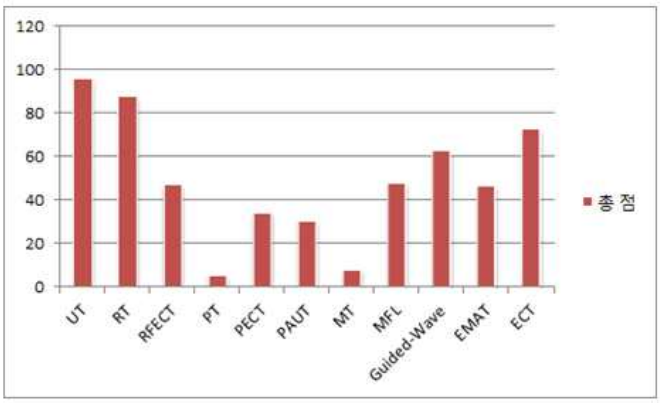


그림 3.4.43 Nondestructive evaluation graph for thinning

응력 부식 균열(Stress Corrosion Cracking)

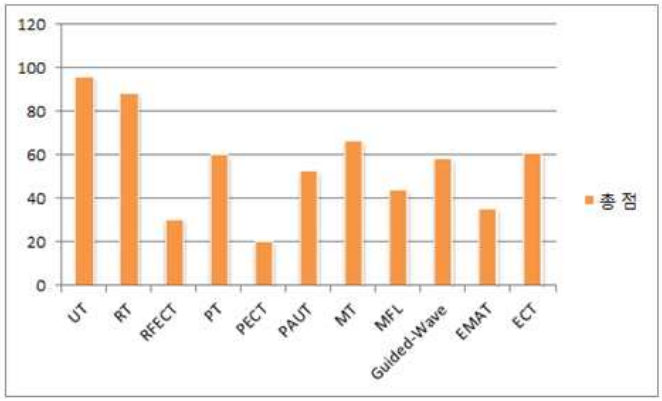


그림 3.4.44 Stress corrosion cracking in the graph for Nondestructive Evaluation

크게 부식, 감육, 응력 부식 균열로 나누어 비파괴 평가에 대한 평가를 하였다. 부식의 경우 외부 내부에서 일어나기 때문에 다양한 비파괴 평가 방법들이 사용된다. 감육의 경우 두께 측정에 한계가 있는 비파괴 평가 방법들이 있기 때문에 부식의 결과 보다 뛰어 나지 못하다. 응력 부식의 경우 외력에 의해 내부가 아닌 외부의 부식이 많이 이루어지기 때문에 내부 검사에 한정돼 있는 비파괴 검사가 있어서 감육과 부식의 결과와 다르다. 이 연구를 통하여 실제 연구되어지는 비파괴 평가 방법과 현장 적용 가능한 비파괴 평가 방법은 다르다는 것을 알 수 있다. 현장에서 적용 가능한 비파괴 방법은 매우 한정적이고 연구되어지는 비파괴 방법의 반도 사용이 되지 않는 다는 것을 알 수 있다. 또한 각각의 균열에 관하여 탐상이 가능한 방법과 가능하지 않은 방법 등을 알 수 있다.

RBI 평가는 장치의 파손확률을 종합하여 위험성을 분석하고 검사 및 교체시기에 대한 우선순위를 결정하는 기법이다. RBI 평가에 적용하기 위해서는 첫 번째 산업설비를 담당하고 있는 회사에서 검사 주기를 정하여 검사를 하고 기록을 한 뒤 통계치를 내어 보관하여야 한다. 두 번째 RBI 평가의 신뢰도를 위하여 검사의 정밀도를 높이기 위해 장비에 대한 정밀도를 높여야 하며 검사자의 능숙함이 필요하다. 세 번째 시뮬레이션을 통한 교체 분석이 필요하다. 네 번째 현재 현장 적용 가능한 방법이외 아직 연구가 진행 중인 비파괴 검사 방법이 현장에 적용이 가능하도록 하여 RBI 평가의 신뢰도를 높인다. 다섯 번째 RBI 평가를 반영하여 검사하기 위해서는 검사자의 안전이 확보되어야 한다. 산업설비를 보게 되면 높은 곳도 있고 위험한 곳도 있다. 이런 위험한 곳을 검사하기 위해서는 안전성이 보장이 되어야만 한다.

국내는 아직 해외에 비해 비파괴 검사 분야가 활발하지 못하다. 또한 검사자 수도 적은 실정이다. 이러한 현상으로 인하여 산업 사고가 빈번히 발생하고 있다. 사고로 인한 인명 피해 및 산업 시설 파괴는 많은 국가적 손실을 가져온다. 산업이 점차 발전되어 질수록 안전 관리에 소홀해 지는 것이 아니라 안전 관리가 밑받침이 되어야 국가적 손실을 막을 수 있는 방법이 될 것이다. RBI 평가와 비파괴 평가 방법을 잘 사용하여 산업 시설

에 안전 확보를 우선적으로 이루는 것이 선진국으로 나아가는 지름길이라 예상된다.

4. 비파괴 진단 신뢰성 평가 프로그램 구축

LNG 플랜트 시스템의 위험도 평가 기술의 신뢰도 향상을 위해서는 비파괴 진단 데이터의 신뢰성 확보가 선결되어야 하며, 비파괴 진단 데이터 신뢰성 확보에 앞서 비파괴 검사에 관한 영향 인자를 결정하여야 한다. 설정된 영향인자는 웹기반 LNG 플랜트 위험평가 시스템에서 Inspection effectiveness로 비파괴 신뢰성 결정인자 및 위험성 평가 인자로 동시에 사용되게 된다. 그림 3.4.45~3.4.46은 확정된 비파괴 영향인자를 이용하여 웹기반 LNG-RBI프로그램에 적용시킨 사진이며, 이를 바탕으로 Inspection effectiveness 결정 알고리즘 및 시스템 구축하였다.

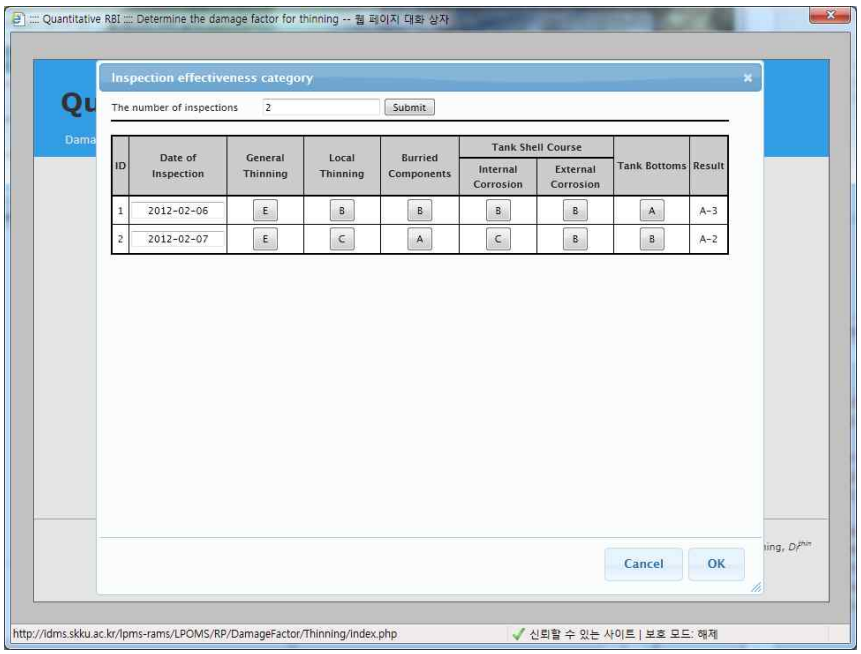


그림 3.4.45 Inspection effectiveness category

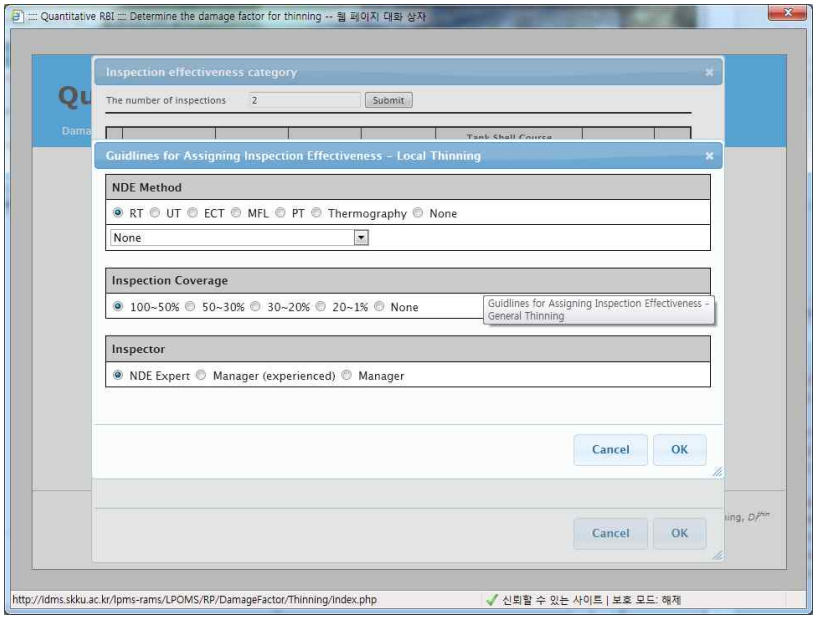


그림 3.4.46 Guideline for assigning inspection effectiveness

- Inspection effectiveness, 검사DB를 이용한 비파괴 진단 신뢰성 메트릭스 시스템구축

Inspection effectiveness, 검사DB를 이용한 비파괴 진단 신뢰성 메트릭스 시스템구축을 위하여 Inspection effectiveness의 구성요소인 비파괴 검사기법 및 검사환경 각 인자의 가중치를 선정하였고, 각 가중치의 합과, 검사DB에서의 검사결과 값을 이용하여 결정계수, 다중 상관계수 등을 이용하여 통계학적 신뢰치를 결정하여 웹 기반 비파괴 진단 신뢰성 메트릭스를 개발하였으며, 개발된 웹기반 신뢰성 메트릭스는 그림 3.4.47에 나타나 있으며, 각 메트릭스 위치에 따라 검사 신뢰성을 확인할 수 있다.

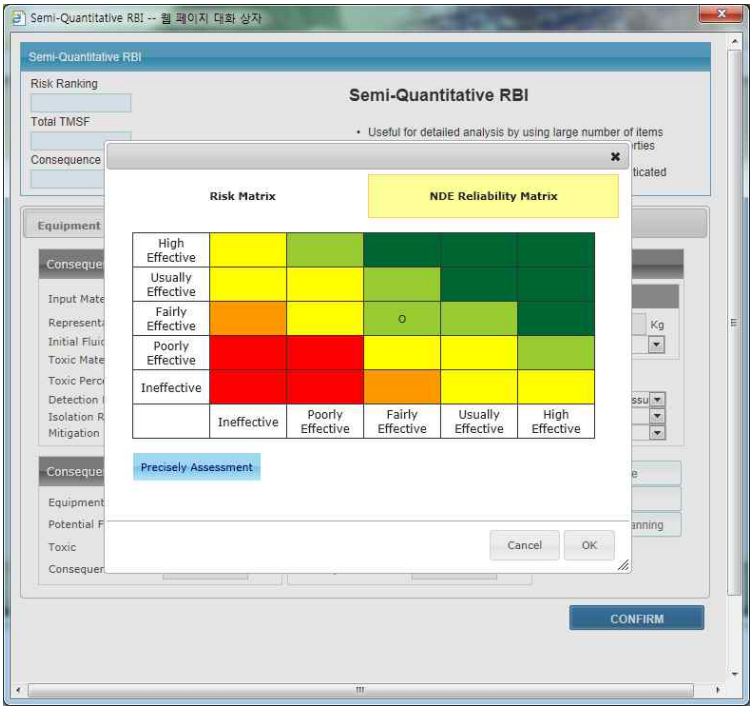


그림 3.4.47 NDE reliability matrix system

- RBI S/W 탑재용 비파괴 진단 방법 및 결함 신호의 민감도 선정

RBI S/W 탑재용 비파괴 진단 방법 및 결함 신호의 민감도 선정하기 위해서 비파괴 진단 데이터 관리 DB의 타당성을 검토 하였으며, 검토된 결과를 바탕으로 비파괴 진단 방법 및 결함 신호의 민감도를 측정하였다. 여기서 언급되는 민감도는 비파괴 결과 신호는 LNG 플랜트 구성요소들의 결함 측정 민감도 및 결함 검출능을 말하는 것이다. 그림 3.4.48~3.4.49는 비파괴 진단 데이터 DB를 출력 및 결함 신호의 민감도를 S/N ratio로 나타내었다. 여기서 S/N ratio는 결함신호와 노이즈신호와이의 차이로 이차이가 크면 클수록 결함신호의 민감도가 높다고 할수 있으며, 즉 결함신호를 비파괴 결과 신호에서 더욱 쉽게 찾을수 있음을 말한다. 그림 3.4.50은 출력된 진단 데이터 DB를 이용하여 각 데이터간의 신뢰성을 확인한 것이다. 그리고 그림 3.4.51은 출력된 진단 데이터 DB를 이용하여 결함 검출능을 나타낸 것으로 비파괴 검사결과 신호가 결함크기가 어느 정도로 예측되며 위험 결함크기 영역에 있는지 없는지, 그리고 결함이 검출될 확률이 어느 정도 인지를 확인할 수 있다.

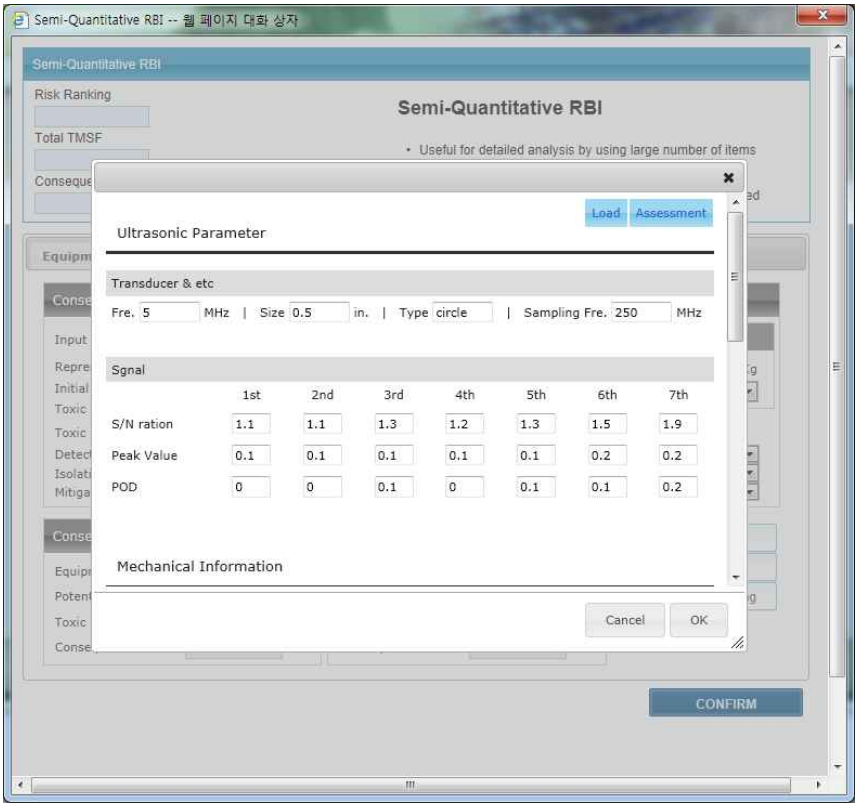


그림 3.4.48 Ultrasonic parameter DB

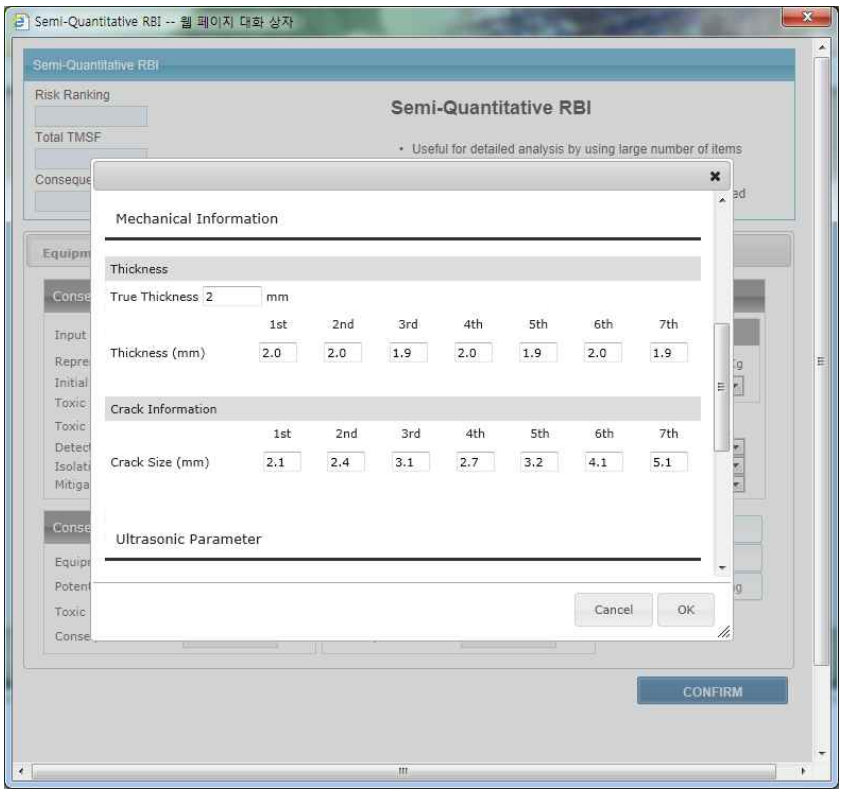


그림 3.4.49 Mechanical information DB

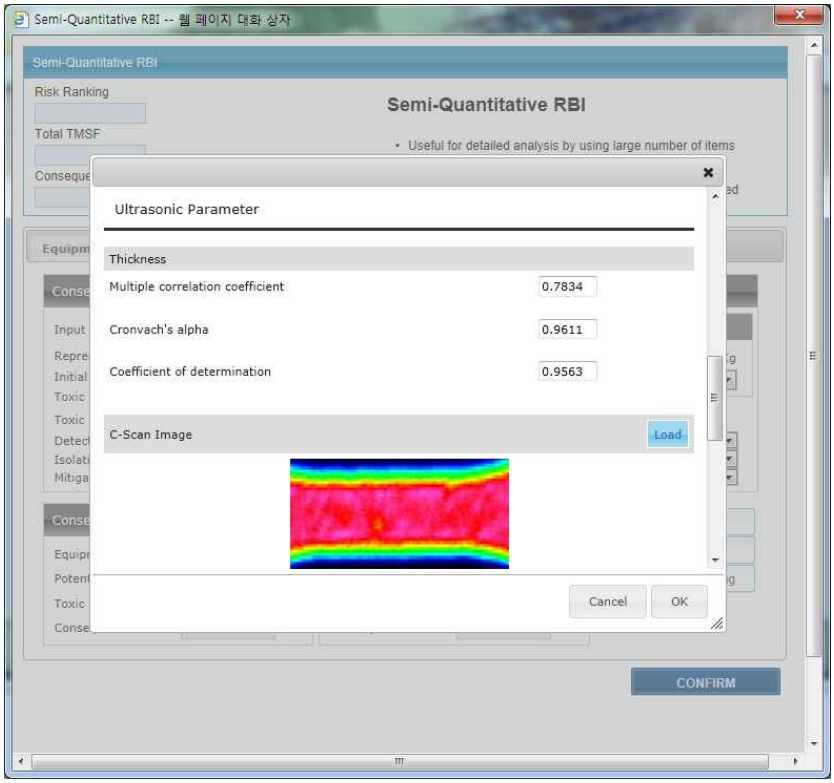


그림 3.4.50 Reliability of NDE DB

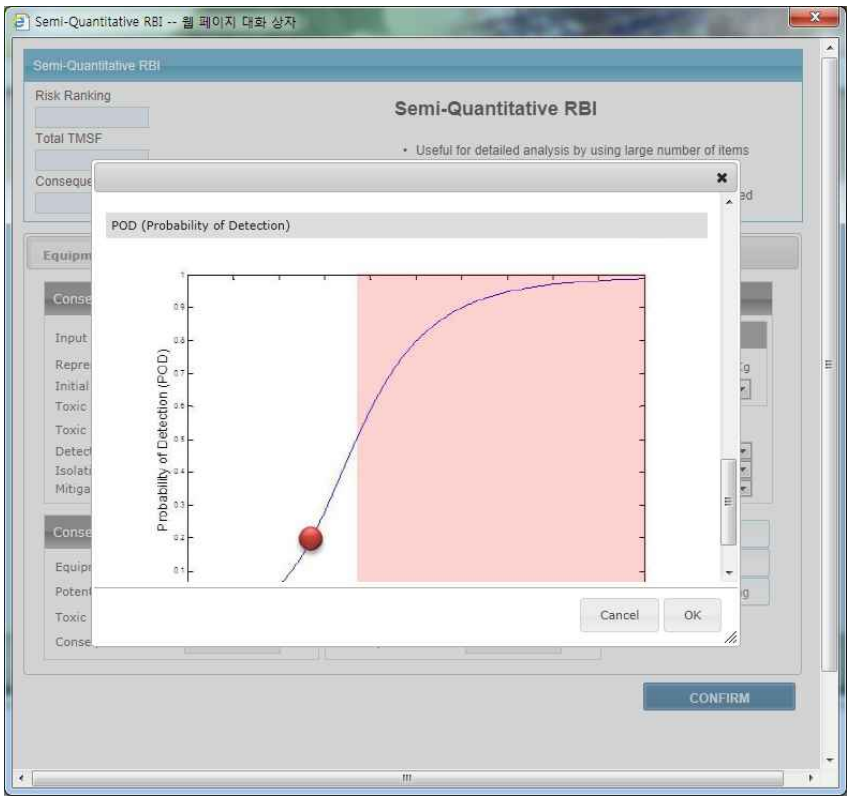


그림 3.4.51 Probability of detection system

5. 주요결과 및 시사점

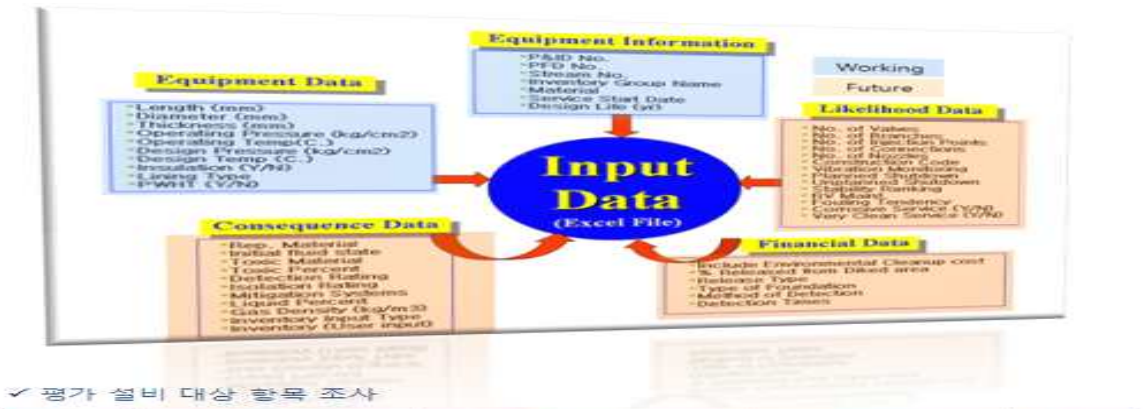
PoD의 경우 Threshold값이 변화함에 따라 PoD곡선이 변화하기 때문에 검사자의 주관에 따라 결함 검출능이 달라짐을 알 수 있다. 뿐만 아니라 실제 HIT/MISS PoD, Ahat PoD측정을 위해서는 수많은 시편과 실험이 동반되어야 하기 때문에 시간, 인력, 비용이 많이 드는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 MAPoD(Model-based PoD)가 개발되고 있으며, LNG플랜트 비파괴 검사의 신뢰성을 확보하기 위해서 플랜트 주요부위에서의 MAPoD 적용이 필요하다. 더불어 통계학적인 기법을 통하여 검사의 신뢰성을 측정하는 부분이 필요할 것으로 판단된다. CT 영상화 기법은 결함의 위치를 2D 영상으로 나타내어 판 구조물 검사 시 검사자의 신호해석의 편의를 도모할 수 있으며, Delay and Sum 영상화 기법과 사용된 가중치 벡터와 새로운 가중치 벡터를 적용시킨 MVDR 영상화 기법은 Delay and sum 영상화 기법보다 향상된 신호 대 잡음비를 보여준다. 이에 따라 향상된 영상을 획득하는 것을 가능하게 한다. 개발된 기법은 관통홀과 같은 결함의 위치추적을 용이하게 할 수 있을 것으로 판단된다.

제5절 LNG-RBI 프로그램 적용

1. LNG플랜트 주요 부품소재 열화 및 강도 DB

가. LNG플랜트 주요 설비 DB

플랜트 시설의 위험도 평가는 일반적으로 압력경계 내에서 적용한다. 그러나 시스템 수준으로 확장될 수 있으며, 조절장치, 전기장치 등의 부가 장치도 포함시킬 수 있다. 해석 수준을 확장시키면 검사 효율도 향상되는 것이다. 본 연구에서는 테스트베드 Train1의 PFD와 P&ID를 기반으로 개별적인 기기들에 대한 위험성을 평가하기 위하여 주요 설비의 규격 및 물성을 연구하였다.



✓ 평가 설비 대상 항목 조사

Item No.	Equipment	Description	Material	합계
1	HEAT EXCHANGER	EVAPORATOR, CONDENSER, HEAT EXCHANGER		16
2	ELECTRIC HEATER	HEATER, REBOILER, VAPORIZER		6
3	AIR COOLER	COOLER, DEBUTER-RITER		4
4	COLUMN	Column		4
5	VESSEL	DRUM, SEPARATOR, ACCUMULATOR, TANK		16
6	PUMP	REFLUX PUMP, RECYCLE PUMP, EXPORT PUMP, REFRIGERANT PUMP		14
7	COMPRESSOR	NG COMPRESSOR, MR COMPRESSOR, PROPANE COMPRESSOR		3
8	MISCELLANEOUS & PACKAGE	COOLING TOWER		1
기기				83
예정				0
합계				83

그림 3.5.1 LNG플랜트 주요 설비 DB

나. LNG플랜트 주요 설비 Web 기반 DB

LNG 플랜트와 석유화학 플랜트간의 유사한 공정에 대해 RBI를 적용하기 위하여 LNG-RBI 프로그램의 구조는 KGS-RBI^{TM} 의 것을 참조하였다. 향후에 극저온 영역에 대한 위험도기반검사 알고리즘을 개발하여 현재까지 작성된 LNG-RBI 프로그램에 추가 하였다.

LNG-RBI 프로그램은 안정성을 고려하여 그림 3.5.2와 같이 3계층 구조로 설계하였으며, 2007년에 새롭게 출간 된 API RP 581 코드에 기반하여 손상계수를 계산하되 취성파괴에 대해서는 BRD 코드에 기반으로 하였다.

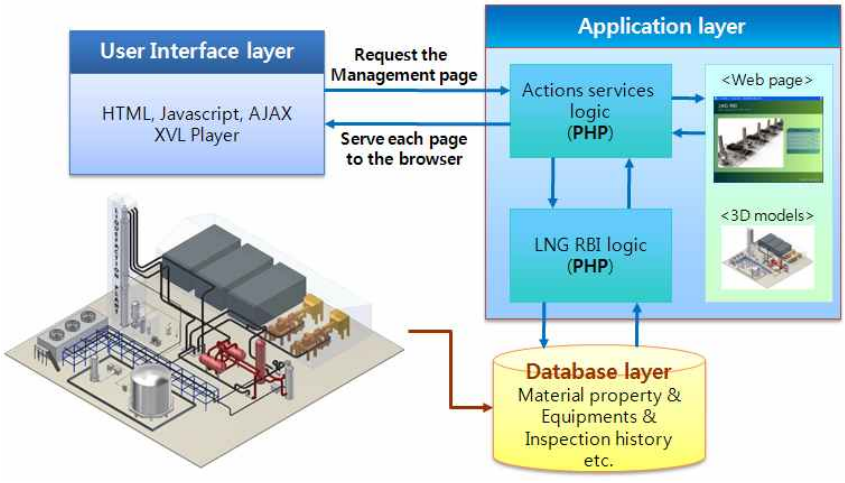


그림 3.5.2 3-layer structure of LNG-RBI

LNG-RBI 프로그램은 크게 GUI(graphic user interface) 환경을 담당하는 사용자 인터페이스 계층(user interface layer), 사용자로부터 받은 입력을 비즈니스 로직(business logic)에 따라 처리하는 어플리케이션 계층(application layer), 그리고 데이터를 저장하거나 저장된 장소에서 데이터를 가져오는 역할을 수행하는 데이터베이스 계층(database layer)으로 구성됨. 3계층 구조는 시스템이 다소 복잡하고 기술 개발과 비용에 있어서 다른 구조에 비해 다소 부담이 있기는 하나, 시스템의 확장성이 좋고 네트워크(network)의 부하를 줄일 수 있으며 서버의 유지보수 또한 용이하기 때문에 많은 시스템에 적용되고 있다.

개발된 정량적 RBI 모듈은 KGS-RBI^{TM}와 유사한 기능을 담당하고 있으며 파손빈도를 결정하기 위하여 damage factor들을 계산하기 위한 각 모듈을 포함하였다. 각 모듈들은 다른 색상을 띄고 있는데, 이것은 향후 개발된 RBI 프로그램과 3D 모델을 연동하였을 때 위험도가 높은 설비에 대해서 어떤 파손기구에 가장 취약한지를 색상으로 표현하고자 한 것이다. 이를 통해 플랜트 운영자에게 위험도를 명확하게 전달함으로써 Risk matrix와 비슷한 효과를 발휘 할 것으로 기대된다.

2. LNG-RBI 프로그램 적용

가. RBI 구축 절차

(1) 구축 대상 List 선정

Process P&ID를 기준으로 하여, Heater, PRD, Tank를 제외한 P&ID 상에 표기된 모든 고정장치와 배관을 구축 대상으로 선정하는 것은 원칙으로 하고, Utility P&ID의 경우 반드시 포함되어야 하는 장치 및 배관에 대해서만 구축 대상에 포함한다(단, 경우에 따라 양사의 협의에 의해 고정장치인 경우에도 구축 대상에서 제외 될 수 있음).

(2) 파손확률

① 두께측정 결과에 따라 Corrosion Rate가 산정 될 경우, 내/외부 모두 부식이 발생할 수 있는 조건에서는 Corrosion Rate Ratio를 각 각 50%씩 한다.

② 배관에 대한 tmin값은 공칭두께의 50%로 한다.

③ 고정장치의 길이는 Head, Shell을 모두 포함한 총 길이로 한다.

④ 배관의 길이는 20m로 일괄 입력한다.

⑤ Lining 된 고정장치 및 배관 없음

⑥ Dead leg 및 Injection Point는 구축업체에서 작성하고 , 이를 반영하여 RBI에 적용한다.

⑦ 설계수명은 고정장치 및 배관 모두 40년으로 한다.

⑧ Thinning의 Corrosion Type은 모두 General로 평가한다.

⑨ 측정된 부식속도가 없는 경우 Corrosion Allowance을 설계수명으로 나누어 그 값을 예측값으로 사용한다.

⑩ Max Process Temp.는 Design Temp.로 입력하여 평가한다.

⑪ Coating Quer only

- None: No coating or primer only
- Medium: Single coat epoxy
- High: Multi coat epoxy or filled epoxy

⑫ Complexity

- Below Average: Penetrations in the insulation system do not exist
- Average: Some penetrations in the insulation systems or the insulation system are slightly complex do to some appurtenances or multiple branches in a piping system.
- Above Average: Many penetrations in the insulation systems, or the insulation system is very complex do to many appurtenances or multiple branches in a piping system

⑬ Insulation Condition: Typically average (API581. Table 17.1)

(3) 파손피해

① spare 장치가 존재하는 경우 파손되었다 해도 Product에는 영향을 미치지 않는 것으로 간주하고, Financial 평가 시 Product Loss Ratio를 "0"으로 계산한다.

② OP/OT가 없는 경우 구축업체에서 제공한 Material Balance Table에서 기록 된 각 Stream의 운전조건을 사용한다.

③ DP입력 값 중 L.H, F.V, F.L는 상압으로 입력한다.

④ 파손피해 관련 데이터는 구축업체에서 작성하고, 이를 반영하여 RBI에 적용한다.

(4) Corrosion Study

(가) CL01 (Thinning, Boiler Water Condensate Corrosion)

① Process Description

- Radiant section에 공급되는 Feed를 예열하는 공정
- Liquid feed는 B.L.에서 공급되어 Quench water에 의하여 예열되고, Steam이 주입되기 전에 분해로의 Preheat section에서 가열됨
- Ethane recycle은 Charge gas에 의하여 기화되고 cold box에서 재가열 되어 최종적으로 Quench water에 의하여 예열됨
- 전체 Mixed Feed는 분해로의 Mined preheat section에서 더 가열되어 Radiant section에 공급됨

② Damage Mechanism

- Naphtha 및 Boiler Water에 포함된 수분 및 기타 불순물에 의한 부식 발생

(나) CL02 (Creep)

① Process Description

- Convection Section에서 Boiler Feed Water가 가열되어 고온 고압의 Steam으로 변환되어 이송

② Damage Mechanism

- Threshold Temperature Limit 이상에서의 변형
- 변형 발생[Length(장기), Bulging(단기)] 부위 Crack 발생

(다) CL03 (DS Erosion)

① Process Description

- Furnace: Dilution Steam을 각 Radiant Coil에 공급
- FA115: Dilution Steam 생성
- EA-124A~E: Shell Side의 P.W와 Tube Side의 Q.O의 열교환에 의해서 Dilution Steam 생성
- EA-125A~C: Tube Side P.W와 Shell Side의 MP Steam의 열교환에 Dilution Steam 생성

② Damage Mechanism

- 고온 고압의 Steam에 의한 배관 표면 손상 Dilution Steam에 의한 Erosion 발생

(라). CL04 (Coke Erosion, Creep, Carburization)

① Process Description

- Furnace Radiant section에 공급된 Mixed Feed를 Cracking(열분해)

- Radiant Coil에서 나온 Effluent가 냉각되는 공정

② Damage Mechanism

- Coke Erosion: Coke에 의한 배관 표면 손상

- 고온에서 변형 발생 (변형 발생[Length(장기), Bulging(단기)] 부위 Crack 발생)

- Carburization (침탄)에 의한 C의 모재 확산으로 Cr감소에 따른 Oxidation & Sulfidation 저항성감소

(마) CL05 (H2/H2S Corrosion)

① Process Description

- TLE ~ DA101: TLE에서 냉각된 분해로의 Effluent는 (Ethane Recycle 제외) 순환되는 Quench Oil에 의하여 급랭되어 Gasoline Fractionator에 유입되는 공정

② Damage Mechanism

- 고온조건에서 수소 및 Sulfur Compound에 의한 부식 발생

- High Temp H2/H2s/Corrosion 발생 대상: C/S, Low Alloy Steel, Nickel Base Alloy, 300계열S/S, 400계열S/S

- 수소가 많을수록 증가

(바) CL06 (Thinning, General Corrosion)

① Process Description

- DA101 ~ DA104: 열분해된 Effluent를 Gasoline Fractionator에서 추가적으로 냉각된 후 PFO/PGO를 분리하고, Gasoline과 더 가벼운 물질들은 Overhead에서 Vapor의 형태로 이동

② Damage Mechanism

- Service 중 포함된 부식성 물질에 의한 부식 발생

(사) CL07 (Coke Erosion, Boiler Water Condensate Corrosion)

① Process Description

- DA-101 ~ DA-102/DA-103: 열분해된 Effluent를 Gasoline Fractionator에서 추가적으로 냉각된 후 PFO/PGO를 분리하고, Gasoline과 더 가벼운 물질들은 Overhead에서 Vapor의 형태로 이동(PFO는 Steam Stripping되고, PGO는 Steam Stripping 되어 BTX 공장으로 이송)

② Damage Mechanism

- Coke에 의한 배관 표면 손상 Boiler Water에 포함된 수분 및 기타 불순물에 의한 부식 발생

(아) CL08 (CO2/Wet H2S Corrosion)

① Process Description

- DA-104 ~ DA-201(EA-226): DA-104에서 Gasoline Stripper(DA-201)로 이송되어진

응축된 Hydrocarbon은 Steam을 이용한 Reboiler(EA201A,B)에 의하여 Stripping되어 C4 및 그 보다 가벼운 물질을 분리

② Damage Mechanism

- 응축 시 CO2/WetH2S에 의한 부식 발생(Acid성분(CO2,H2S등), pH, 온도, 수분에 의함)

(자) CL09 (Caustic Cracking)

① Process Description

- Spent Caustic을 처리하기 위한 Caustic Service 설비 및 배관(WAO Unit은 4개의 Reactor가 Series로 구성됨)

② Damage Mechanism

- Caustic Strength, Metal Temp. Stress Level에 의해 부식 및 SCC 발생

(차) CL10 (Brittle Fracture)

① Process Description

- Cold Box 연결 배관(C/S, Low alloy), DA-401~DA-402, FA501~FA502

※ Coldbox: 열전도도가 높은 Aluminum판으로 만들어져 여러 개의 흐름이 동시에 열교환을 할 수 있는 특수한 열교환기

(응축된 메탄을 냉매로 이용해 낮은 온도를 얻음)

※ Deethanizer(DA-401)는 DA-301의 탑저액 중의 C2 성분과 C3 이상의 중질 성분을 분리하고, Ethylene Fractionator(DA-402)는 C2 혼합 Gas 중 Ethylene과 Ethane을 분리

② Damage Mechanism

- 연성이 없거나 소성 변형된 소재에서 잔류 응력, 혹은 외부 응력 부과에 의해 갑작스런 파괴가 진행

(카) CL11 (HTHA)

① Process Description

- DC-301R: H2 순도를 높임

→ CO를 함유한 일부 수소는 DC-301을 거치지 않고 DC-401로 공급

→ 입구온도 288℃ 이상으로 유지: 출구의 CO 함량을 1ppm 이하로 줄이기 위함

② Damage Mechanism

- Service 중 포함된 수소성분이 고온, 고압하에서 탄소강에 침투하여 강재 속의 탄소와 결합하여 탈탄작용을 일으켜 강의 재질을 취약하게 만듬

(타) CL12 (Cooling Water Corrosion)

전 공장에 걸쳐 Cooling Water에 의한 부식 발생

(파) CL13 (General Corrosion)

전 공장에 걸쳐 Service 중 포함된 부식성 물질에 의한 부식 발생

(하) CL14 (CUI)

단열재 속으로 수분이 침투하여 설비 외면에 부식 발생

- 운전온도(-4℃~120℃ 또는 Intermittent Service조건), Paint 상태 불량, 재질(Carbon & Low Alloy Steel)

(5) 인벤토리 그룹

Inventory(인벤토리)는 기기에서 누출될 수 있는 유체량의 상한값을 의미하며, 누출될 수 있는 총 유체량은 용기 및 배관 등과 같은 압력기기 내 유체양과 신속하게 닫을 수 있는 차단 밸브(isolation valve)내 존재하는 총 유체량으로 표현하며 모든 누출 시나리오마다 이 양만큼의 유체가 누출되는 것은 아님을 명기한다.

평가대상 설비는 각기 어느 하나의 인벤토리 그룹 내에 포함되며, 긴급 상황 시 플랜트의 다른 부분과 격리된다. 인벤토리 그룹이라는 개념은 피해면적을 계산할 경우 사용하며, 기기를 평가할 때, 그 기기의 인벤토리는 누출되는 기기에 실제적으로 유체를 전송할 수 있는 그 밖의 부착된 기기들까지 조합하여 그룹화 한다. 또한 인벤토리 그룹에 포함된 모든 기기의 전체 인벤토리는 잠재적으로 인벤토리 그룹내의 어느 곳에서 압력경계고장이 발생한 경우 모두 방출되는 것으로 가정한다.

인벤토리 그룹을 설정하는 데는 다음과 같은 참고자료가 요구된다.

- PFD(Process Flow Diagram)
- 공정 위험 분석(Process Hazard Analysis)

- 공정 unit의 위험성 확인·분석
- 체계화된 접근방법을 사용
- RBI 해석에 unit에 대해 수행된 모든 PHA의 결과물이 포함될 수 있음
- PHA에서 확인된 위험은 RBI 해석을 위해 제출될 수 있음
- 확인된 위험은 위험성 계산식의 파손확률에 영향미침(파손확률을 증가)
- 확인된 위험들 중 일부는 피해범위에도 영향미침

(가) 인벤토리 설정 세부내용

Inventory Group은 Failure Position을 중심으로 만들어진다. 그 기준은 다음의 4가지에 해당된다.

① XV, MOV, AOV
② Control Valve 가운데 FC (Failure Close)
③ Normally Close
④ Pump

이러한 기준은 긴급상황 시, 자동으로 유체의 흐름을 차단하는 장치를 분류한 것이다.

AOV, MOV는 긴급상황 시, 전력이 차단될 경우 작동이 중단되며, FC는 Valve를 닫고, NC는 보통은 닫아둔 상태로 운전하는 것이며, Pump 역시 전력이 차단되어 유체의 흐름을 차단하게 된다. Pump와 FC가 근접한 위치에 있는 경우에는 보통 FC를 기준으로 잡는 것이 보통이나, 내부에 흐르는 유체(폭발성, 독성 등)에 따라서 Pump, FC를 모두 기준으로 삼기도 한다.

(나) 작성 순서

인벤토리 작성을 위하여 첫 번째 작업으로 PFD를 보면서 해당 Failure Position을 찾으며, P&ID를 동시에 살펴보면서 Inventory Group을 나눈다. 특히 AOV, MOV 등은 PFD에는 나오지 않기 때문에 반드시 P&ID를 봐야 한다.

Inventory 그룹은 공정 측면에서만 구분되는 것은 아니다. Inventory group은 긴급상황 시 Process Fluid가 얼마나 누출되느냐 하는 양을 결정하는 group이기 때문에, 공정 측면이 아닌 Emergency 측면이어야 한다. 예를 들어 같은 반응을 하는 반응기 2기가 병렬로 연결되어 있다고 해서 두 반응기가 같은 Inventory Group이 될 수는 없다.

(6) Data 수집

(가) 프로그램내에서 제공하는 Master work sheet양식으로 위험도 평가에 필요한 자료를 수집하고, MWS는 아래와 같이 총 6개의 sheet로 구성되어 있다.

① Process Unit

아래 표 3.5.1과 같이 해당 공정에서의 파손피해 금액의 기준을 결정한다.

표 3.5.1 공정에서의 파손피해 금액 기준

No.	Description	Value
1	Equipment Damage Cost($/m^3)	3,900
2	Equipment Outage Multiplier	1
3	Product Loss Cost($/day)	1,000,000
4	Environmental Cleanup Cost($/m^3)	250
5	Injuries/Fatalities Cost($/person)	500,000
6	Population Density(kg/m^3)	0.0004
7	Management Score	850

② Corrosion Loop

Corrosion Study를 통해 예측한 Damage Mechanism을 공정조건과 발생 사유를 입력한다.

③ PRD

안전밸브에 대한 위험도 평가를 위한 Sheet로 손상모드 및 공정정보를 입력하여 관리할 수 있다.

④ Equipment

각 Item의 주요 정보를 입력하는 Sheet로 일반정보, 설계정보, 공정정보, 파손확률·파손피해 관련 정보 등을 입력 관리 할 수 있다.

⑤ DM

프로그램 내에서 파손피해를 계산하는 각 각의 Damage Mechanism를 분석하기 위한 Sheet로써 아래와 같이 구분하여 관리 된다.

- Thinning
- SCC (Stress Corrosion Cracking)
- HTHA (High Temperature, Hydrogen Attack)
- Brittle Fracture
- Lining
- Pipe Fatigue
- External Damage

⑥ Material

공정 내에 흐르는 Fluid Material를 각 조성별로 입력하여 관리하는 Sheet로써, 파손피해 계산 시 대표물질에 의한 파손피해 값과 Material Balance Table에 의한 피해 결과값 중 사용자가 보다 적합한 결과값을 선택할 수 있다.

(나) Inspection History

장치 및 배관에 대한 검사이력을 수집하였고, 각 각의 두께 측정 결과 및 검사방법, 검사 효율성을 입력하였다.

(다) Master work sheet에 작성 된 자료는 ○○㈜에서 제공하는 자료를 기반으로 작성되었고, 제공 된 자료 리스트는 아래와 같다.

① PFD & P&ID
② Material Balance Table
③ Assembly Drawing
④ Piping Specification
⑤ Equipment Data Sheets(MS Excel)
⑥ Piping line lists
⑦ Inspection History

(7) Inspection History Review

장치 및 배관에 대한 검사이력은 각 Item의 부식속도 및 현재 두께를 검토 하고, 검사방법 및 효율성에 따라 발생 가능한 손상메커니즘을 검사이력에 적용하여 해당 Damage Factor를 보정한다.

(8) RBI 평가

Damage Factor를 주요인자로 하여 파손확률을 결정하고, 파손피해는 재정적 평가를 실시하여, 그 피해규모를 나타낸다.

나. 실증플랜트를 통한 LNG-RBI 프로그램 검증

RBI평가 구축 절차를 통해 실증플랜트에 상용중인 KGS-RBI S/W를 이용하여 표 3.5.2와 같이 RBI평가를 실시하였다. RBI평가에 필요한 데이터 및 최종결과 데이터를 입수하여 개발된 LNG-RBI S/W로 평가 아이템 선정 후 RBI평가를 재실시 하였다. 아이템은 실증플랜트의 Equipment Type 별, 결과 Risk 별로 선정하였으며. 설비수는 50종 이상 정확도는 90%이상으로 선정하여 검증 작업을 실시하였다.

Risk Ranking	Column	Drum	Heat Exchanger	Filter	Reactor	Pipe	**Total**
Low	-	13	128	5	3	711	**861**
Medium	18	65	255	46	5	1,586	**1,976**
Medium High	43	51	268	8	2	1,741	**2,113**
High	2	5	87	-	-	444	**538**
Total	**63**	**136**	**738**	**59**	**10**	**4,482**	**5,488**

표 3.5.2 실증플랜트 데이터 결과값

3. 주요결과 및 시사점

실증플랜트를 대상으로 실제 RBI평가 기술을 구축 및 평가에 대한 기본적인 방법을 서술하였다. 한국가스안전공사는 국내 플랜트의 RBI를 적용중에 있고 그 방법에 따른 현장검증 작업을 실시하였다. 보통 국내 플랜트의 경우 5000종 이상의 장치들의 대한 RBI평가 프로젝트가 진행중에 있으며, 이중 일부를 현장검증 작업을 위해 개발된 프로그램 내 적용하였다. 이렇게 검증된 프로그램의 테스트베드 Train-1의 데이터를 입력 및 RBI평가를 진행 예정중에 있으며, 현재 극저온 환경의 장치들의 대한 평가는 진행하였고 개발된 새로운 평가법이 적용되어 프로그램 내 반영되었다.

제4장 목표 달성도 및 관련분야에서의 기여도

1. 연구개발 수행 진도율

구분 / 개발내용	연구개발기간 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	진도(%)
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
LNG플랜트 시스템 위험도 평가기술 개발					-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
					———	———	———	———	———	———	———	———	
LNG플랜트 비파괴 진단 신뢰도 평가기술 개발					-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100
					———	———	———	———	———	———	———	———	
Web기반 LNG-RBI통합 프로그램 개발							-----	-----	-----	-----	-----	-----	95
							———	———	———	———	———		
									-----	-----	-----		
									———	———	———		
									-----	-----	-----	-----	
									———	———	———	———	
									-----	-----	-----	-----	
									———	———	———	———	
총 진도율													

····· 당초계획, ——— 실 적

2. 연구개발 목표의 달성도

목 표	달성도 (%)	내 용
◦ LNG플랜트 시스템 위험도 평가 기술 개발 -운영플랫폼 -주요부품 소재 열화 및 강동 DB구축 -위험도 평가 프로그램 개발	100	- 위험도 평가 알고리즘 개발 - 정성적, 정량적 위험도 평가 프로그램 개발 - 파괴특성 분석 및 물성 DB 구축 - 주요 설비별 모듈별 파손인자 도출 - 손상메커니즘 21종 구축 - LNG플랜트 유지관리 시스템 및 방법(특허출원)

◦ LNG플랜트 비파괴 진단 신뢰도 평가기술 개발 - 비파괴 진단 데이터 관리 시스템 설계 및 구축 - 비파괴 진단 신뢰도 평가기법 개발	100	- 비파괴 진단 데이터 관리 시스템 구축 완료 - 비파괴 진단 신뢰도 Matrix 개발 - 초음파 검사 평가 방법 및 시스템 (특허출원)
◦ Web기반 LNG-RBI통합 프로그램 개발 - 저비용,고효율 안전관리 시스템 구축 - IT접목한 안전관리 시스템 구축	95	- 웹기반 3D모델 연동가능한 위험도 평가 프로그램 개발 - 3D네비게이터 및 컬러링 모듈화 개발 - LNG-RBI 프로그램 설계집 작성

3. 연구개발 목표의 기여도

구분	세부사항	비고
세미나/컨퍼런스	◦ EAM Conference 2009, Plant 산업자산관리, 뉴질랜드, 영국, 호주, 대한민국, 80명, 2009 11.03~ 11. 04(2일), 대한민국, (코엑스 컨퍼런스 ROOM) ◦ 2009 Joint KGS-JPSP 180 Committee International Meeting On RBI/RBM, 일본, 한국, 9명, 2009.12.14(1일), 대한민국, (COEX 인터콘티넬탈 호텔) ◦ LNG플랜트 위험도 평가 기술 해외 전문가 초첨 세미나 개최, 일본,한국, 60명 2012.11, 대한민국(신라호텔)	성과 홍보 및 보급
학회참여	◦ 액화천연가스 플랜트 시스템 위험도평가 기술, 국내학술발표대회 외 17건 ◦ The Study on field Test of the Breakage sensible pipe WCOGI 국제학술대회발표 외 3건	객관적 성과 검토, 홍보 및 보급
자문회의	◦ RBI평가 기술 프로그램 개발 - 세이프티아 최정우박사 외 1명	성과 개선 및 홍보
학위논문	◦ 이미해 연구원 박사졸업, 압축천연가스 차량용	인적 역량

	TypeII 용기 라이너의 건전성확보에 관한연구 ◦ 정희준 연구원 박사졸업, 원전 증기발생기 전열관 와전류탐상시험 최적화 기법연구	증대
연수지원	◦ LNG플랜트 위험도 평가관련 API 571, API 581 교육(영국,아방턴) ◦ LNG플랜트 위험도 평가관련 사고조사 및 해석에 관한 교육(호주, 브리즈번)	인적 역량 증대
홍보	◦ LNG전문가 초청 세미나 개최 기사 게재, 2009 ◦ 투데이 에너지 인터넷 배너광고, 2009	성과 홍보 및 보급

제5장 연구개발결과의 활용계획

연구성과	활용계획
LNG플랜트 전용 위험도 평가 기술 개발	◦ LNG플랜트 및 석유화학플랜트 설비, 배관계통도의 위험도 평가에 활용 가능 ◦ 검사 계획 수립 및 유지관리에 활용 ◦ 해외 사업 진출시 플랜트 유지관리를 위한 RBI 평가 시스템 구축
	◦

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제7장 참고문헌

1. API 581, "Risk-Based Inspection Base RP second Edition", API, (2008)
2. API 580, "Risk-Based Inspection", API, (2000)
3. Risk-Based Inservice Testing-Development of Guidelines, Vol. 1, ASME, (2000)
4. E 1739, "Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites", ASTM, (1996)
5. API 1628B, "Risk-Based Decision Making First Edition", API, (1996)
6. SINTAP Procedure final version, (1996)
7. Jim August, Applied Reliability-Centered Maintenance, PennWell, (1999)
8. API 570, "Inspection, Repair, Alteration, and Rerating of In-Service Piping Systems Second Edition", API, (1998)
9. BS 7910:1999 "Guide on method for assessing the acceptability of flaws in metallic structure", BSI, (2000)
10. BS 8444: Part 3: 1996, "Guide to risk analysis of technological systems", BSI, 1996
11. Risk Management within the Liquid pipeline industry, Industry Risk Assessment Quality Team, 1995
12. Competitive and sustainable growth(GROWTH) Programme, MPA, 2001
13. API579, "Fitness-For-Service API Recommended Practice First Edition", API, (2000)
14. 김지윤, 국가 기간 산업설비의 안전관리 및 수명연장 방안, 제 4회 산업설비 안전진단 Workshop, (2002)
15. 최재붕, 산업설비 건전성평가 절차법의 개발현황, 가스안전공사 기술세미나, (2001)
16. pc-Crack for Windows User's Manual, Structural Integrity Associates Inc., (1998)
17. FractureGraphic User's Manual, Structural Reliability Technology, (1998)
18. 최송천, 한상인, 공정플랜트 고온튜브 수명연장 및 건전성평가에 관한 연구, 한국가스안전공사, (2002)
19. 한국표준과학연구원, 고온사용설비 비파괴진단기술 개발, (1993)
20. P. M. Scott, T. L, Anderson, "Review of Existing Fitness-For-Service Criteria For Crack-like Flaws", WRC Bulletin 430, (1998)
21. D. A. Osage, P. Krishnaswamy, "Technology for the Evaluation of Non-Crack-Like Flaws in Pressurized Components-Erosion/Corrosion, Pitting, Blisters, Shell Out-of-Roundness, Weld Misalignment, Bulges and Dents" WRC Bulletin 465, (2001)

22. W. A. VanDerSluys, C. L. Hoffmann, "Fracture Toughness Master Curve Development : Strategies for RPV Assessment", WRC Bulletin 459, (2001)
23. W. A. VanDerSluys, C. L. Hoffmann, "Fracture Toughness Master Curve Development : Fracture Toughness of Ferritic Steels and ASTM Reference Temperature(T_o)", WRC Bulletin 457, (2000)
24. W. A. VanDerSluys, C. L. Hoffmann, "Fracture Toughness Master Curve Development : Application of Master Curve Fracture Toughness Methodology for Ferritic Steels", WRC Bulletin 458, (2001)
25. D. Moulin, B. Drubay, "A synthesis of the Fracture Assessment Methods Proposed in the French RCC-MR Code for High Temperature", WRC Bulletin 440, (1999)
26. C. D. Lundin, K. K. Khan, "Fundamental Studies of the Metallurgical Causes and Mitigation of Reheat Cracking in 1¼Cr-½Mo and 2¼Cr-1Mo Steels" WRC Bulletin 409, (1996)
27. C. D. Lundin, P. Liu, " An Experimental Study of Causes and Repair of Cracking of 1¼ Cr-½ Mo Steel Equipment", WRC Bulletin 411, (1996)
28. BS EN10291, "Metallic Material-Uniaxial Creep Testing in Tension -Methods of Test", BSI, (2000)
29. BS 3500, "Methods for Creep and Rupture Testing of Metals", BSI, (1996)
30. David A. Osage, John T. Reynolds, "Risk-Based Asset Management for the Petroleum Industry", JPVRC Symposium, (2002)
31. Randal L. Montgomery, Chris Strratella, "Risk-Based Maintenance : A New Vision For Asset Integrity Management", PVP-Vol. 444, Selected Topics on Aging Management, Reliability, Safety and License Renewal, ASME 2002, (2002)
32. PS 104-98, "Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action", ASTM, (1998)
33. W. Kent Muhbauer, "A Proactive Approach to Pipe Line Risk Assessment", Pipe Line Industry, (1992)
34. Darryl Rosaria, Peter Riccardella, "A Risk Management for Boiler Waterwall Tube Failure", EPRI Maintenance Conference, (1999)
35. T. L. Anderson, "Fracture Mechanics-Fundamentals and Applications", CRC Press., (1992)
36. Robert Chuse, Bryce E. Carson, " Pressure Vessels - the ASME Code Simplified", Seventh Edition, McGraw-Hill, (1993)

37. International Energy Outlook, 2006, DOE (USA)
38. World Energy Investment Outlook, 2004, 국제에너지기구(IEA)
39. 산업설비 통합수행체제 핵심기술 개발, 2006, 건설교통부
40. 플랜트엔지니어링기술 로드맵, 2005, 산업자원부
41. Capital Project Roadmap, 2004, FIATECH
42. Annual Report, 2005, Technip
43. Annual Report, 2005, Bechtel Corporation
44. Annual Report, 2005, ConocoPhillips Co.
45. Ronald M. Smith, New developments in gas to liquids technologies, 2004, CERI Petrochemical Conference
46. Michael Barclay, Natural gas liquefaction process selection for emerging markets, 2005, 5th Doha Conference on natural Gas
47. Mona J. Molnvik, Statoil-NTNU global watch seminal: gas technology, 2003, SINTEF Energy Research
48. Michael Barclay and Noel Denton, Selecting offshore LNG process, 2005, LNG Journal
50. 플랜트 IT 컨퍼런스 논문집, 2004-2006, 한국플랜트정보기술협회
51. Pluto LNG development industry briefing, WOODSIDE, 2006.
52. Arthor J. Kidnay, Fundamental natural gas processing, 2006.

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "LNG플랜트사업단-LNG플랜트 핵심기반기술 개발에 관한 연구"과제(세부과제 "공정계통 이상상태 실시간 감시 및 진단시스템 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원
주관연구책임자 : 황 인 주
공동연구기관명 : 서울대학교
공동연구책임자 : 한 종 훈

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>1-1-5</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2009.4-2015.12</td><td>단 계 구 분</td><td>전단계</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">플랜트기술고도화사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">LNG 플랜트 핵심기반기술 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">공정계통 이상상태 실시간 감시 및 진단시스템 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>한 종 훈</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 69 명
내부 : 17 명
외부 : 52 명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
1,585,000
천원
기업 :
255,000 천원
계 :
1,840,000
천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">서울대학교</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">㈜ 엠앤디</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>240</td></tr>
<tr><td colspan="6">1. LNG 플랜트 특성 분석 및 이상진단 방법론 선정
가. LNG 플랜트 동특성 분석(대상공정: Fractionation, AGR, Liquefaction 등)
나. 공정 특성에 적합한 이상진단 방법론 선정

2. 공정 모니터링 및 이상진단 알고리즘 통합된 기본 프로그램 개발
가. PCA 기반 실시간 이상 감시 및 진단 기능 개발.
나. PLS 기반 soft sensing 기술 개발.
다. Missing value compensation, filtering 기법 등 데이터 전처리 기능 개발.
라. 개발 방법론의 LNG 플랜트 동적 모델 대상 적용 및 검증.

3. 압축기의 특성 파라미터 및 성능저하 메커니즘 연구
가. 압축기 운전 시뮬레이터 제작</td></tr>
</table>

나. 압축기 이상 시나리오 생성 다. 압축기 이상 진단 모듈 개발 4. 공정 운전 정보 제공 시스템 개발 가. 이상의 전파 경로 분석 기능 개발. 나. 이상의 원인 센서 분석 기능 개발. 다. 이상 상관관계 분석 기능 개발. 라. 이상 시나리오를 통한 각 방법론의 적용 및 성능 검증. 5. 동적 모델 기반 감시 및 진단 시스템 성능 검증 가. 각 공정별 이상 발생 시나리오 생성. 나. 이상 시나리오에 의한 이상 상태 발생 시 감지 및 진단 성능 검증. 다. TESTBED Train-1의 운전 데이터 기반 이상 감지 성능 검증.		
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	액화천연가스, 동특성 시뮬레이터, 이상진단 시스템, 공정제어, 실시간 감시
	영 어	Liquefied Natural Gas, Dynamic Simulator, Fault Diagnosis System, Process control, real-time monitoring

요 약 문

Ⅰ. 제 목
Ⅱ. 연구개발과제 개요(목적, 필요성, 범위 등을 기술)
Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과(연구수행과정, 연구수행결과 등을 기술)
Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적
Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과
Ⅵ. 연구성과 활용계획

Ⅰ. 제 목

공정계통 이상상태 실시간 감시 및 진단시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

- 최종 목표는 <첨단 융합센서 및 진단 로직을 이용한 동특성 기반의 실시간 감시 및 진단 시스템>을 개발하는 것 임.
- 이를 위한 <LNG플랜트 감시 및 진단 프로그램 개발, LNG 플랜트 동적 모델 기반 감시 및 진단 시스템 개발, 테스트베드 동특성을 고려한 감시 및 진단 시스템 개발> 임.

Ⅲ. 연구개발의 내용

연구 내용	비고
단위 공정별 이상진단 방법 개발	
공정 모니터링 및 이상진단 알고리즘 통합된 기본 프로그램 개발	
압축기의 특성 파라미터 및 성능 저하 메커니즘 연구	
감시 및 진단 프로그램 기능 추가 개발	
동적 모델 대상 감시 및 진단 스테이션 구축	
동적 모델 기반 감시 및 진단 시스템 운전 검증	

Ⅳ. 연구개발결과

연차	연구 내용	연구 결과
전 체 년도	1. 단위 공정별 이상진단	가. 적용 대상 : Acid gas removal, Dehydration, Liquefaction, fractionation 공정. 나. 각 공정의 PFD 기반 공정 화면 감시 기능 개발 및 성능 분석.
	2. 공정 모니터링 및 이상진단 알고리즘 통합된 기본 프로그램 개발	가. PCA 기반 실시간 이상 감시 및 진단 기능 개발. 나. PLS 기반 soft sensing 기술 개발. 다. Missing value compensation, filtering 기법 등 데이터 전처리 기능 개발. 라. 개발 방법론의 LNG 플랜트 동적 모델 대상 적용 및 검증.
	3. 압축기의 특성 파라미터 및 성능 저하 메커니즘 연구	가. 압축기 운전 시뮬레이터 제작 나. 압축기 이상 시나리오 생성 다. 압축기 이상 진단 모듈 개발
	4. 감시 및 진단 프로그램 기능 추가 개발	가. 이상의 전파 경로 분석 기능 개발. 나. 이상의 원인 센서 분석 기능 개발. 다. 이상 상관관계 분석 기능 개발. 라. 이상 시나리오를 통한 각 방법론의 적용 및 성능 검증.
	5. 동적 모델 대상 감시 및 진단 스테이션 구축	가. 동적 모델 및 이상감시 및 진단 프로그램이 연동된 LNG 플랜트 분석 스테이션 구축.
	6. 동적 모델/테스트베드 Train-1 기반 감시 및 진단 시스템 운전 검증	가. 각 공정별 이상 시나리오 생성. 나. 스테이션을 이용한 이상 시나리오 감시 및 진단 검증.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

활용 분야	활용 계획
액화플랜트 이상진단 시스템의 지적 재산권 및 특허	연구개발 결과물의 지적재산권, 프로그램 등록을 통하여 제품개발의 권리를 확보함.
액화플랜트 이상진단 시스템의 대외 인지도 및 대외 경쟁력 향상	국내외에서 추진 중인 가스플랜트 관련 사업을 대상으로 본 과제의 핵심 성과물인 이상상태 감시진단 시스템을 적용할 수 있도록 추진하여 대외 인지도 및 실적을 확보함. 또한 기본적으로 개발기술의 테스트베드 적용 및 검증을 수행하여 신뢰성을 확보하여 대외 경쟁력을 높임.
액화플랜트 이상진단 시스템의 해외 시장 개척	기존의 기술에 기술 집적도가 보다 높은 기술 및 제품을 추가함으로써 인지도 향상을 통하여 기존 기술의 판로 확대 및 이를 통한 시너지 효과를 창출하여 다시 LNG 플랜트 시장에 진출할 수 있는 선순환 고리를 형성하여 해외시장을 개척하고자 함.
액화플랜트 이상진단 시스템의 사업화	개발된 기술의 해외시장 진출을 위해서는 국내 공.사기업들이 개발하거나 확보한 해외의 가스전에 자원 연계형 투자개발사업 컨소시엄을 구성함으로써, 궁극적으로는 해외 에너지자원개발과 연계한 해외플랜트 건설의 사업화에 적용 가능하며, 이때에 LNG플랜트 이상상태 감시진단 시스템도 자연스럽게 사업화와 연계할 수 있음.
액화플랜트 이상진단 시스템의 타 플랜트로의 영역 개척	또한 이상 진단 시스템의 활용은 LNG 플랜트 내에 국한하지 않고 화학플랜트, 발전플랜트 등으로 확장하여 개발하여 더욱 더 넓은 범위의 시장으로 진출함.

S U M M A R Y

(영문요약문)

I. Title

Development of Dynamic model and design simulator for process and systems of LNG Plant

II. The Purpose and Necessity of Research And Development

- The ultimate goal is to develop <Process real-time monitoring and fault diagnosis system based on dynamic characteristics using advanced sensor and diagnosis logic>.

- Research goal for 2nd stage is <Development of monitoring and fault diagnosis system, Development of LNG plant monitoring and diagnosis system based on dynamic simulator>.

- Research goal for 3rd stage is <Development of monitoring and fault diagnosis system, Development of LNG plant monitoring and diagnosis system based on dynamic simulator>.

III. Content and Scope of Research and Development

- Development of fault diagnosis methodologies for unit process.
- Integration of monitoring and fault diagnosis algorithm and program development.
- Research characteristic and degradation mechanism of compressor parameter.
- Additional development of fault diagnosis methodologies for unit process.
- Construction of process monitoring and fault diagnosis station based on dynamic simulator.
- Validation of process monitoring and fault diagnosis system based on dynamic simulator.

IV. Results of Research and Development

1. Development of fault diagnosis methodologies for unit process.

A. Application target : LNG plant process.

B. Development of process monitoring technique based each process PFD and performance estimation.

2. Integration of monitoring and fault diagnosis algorithm and program development.

A. Development of PCA based real time process monitoring and diagnosis method.

B. Development of process monitoring technique based each process PFD and performance estimation.

3. Research characteristic and degradation mechanism of compressor parameter.

A. Production of compressor operation simulator.

B. Generation of compressor fault scenario

C. Development of compressor diagnosis module

4. Additional development of fault diagnosis methodologies for unit process.

A. Development of propagation path.

B. Development of contribution sensor.

C. Development of sensor correlation.

D. Validation of the methodologies using fault scenario.

5. Construction of process monitoring and fault diagnosis station based on dynamic simulator.

A. LNG Plant analysis station combined dynamic model with fault diagnosis and monitoring program.

6. Validation of process monitoring and fault diagnosis system based on dynamic simulator.

A. Create fault scenario for each process

B. Fault scenario monitoring and diagnosis using station.

V. Application of Research and Development Results

1. Intellectual property registration of research and development results to secure the product development rights.

2. Promotion to apply the monitoring and fault diagnosis system to gas plant related ongoing domestic/international projects, thereby improving international awareness. Ensuring reliability by application of the results to the test bed, thereby improving international competitiveness.

3. Integration of technology with existing technology to increase the awareness and thereby creating synergy effect by expanding sales channels. Resulting in a virtuous cycle to re-advance into LNG plant market and explore overseas market.

4. Forming a resource linked investment development project consortium to the gas fields abroad obtained by domestic private or public enterprises, thereby applying the research and development results to overseas gas plant construction projects.

5. Utilization of monitoring and fault diagnosis system is not limited to LNG plant. Advancing into broader market is done by further application to chemical plants and power plants.

C O N T E N T S

(영문목차)

Chapter 1. Overview of Research and Development ····· 25
1.1 Research and Developments Objectives and Necessity ····· 25
1.2 Research and Developments Definition, Scope, Characteristic ····· 27
1.3 Current States of Domestic and International Research and Development ····· 31
1.4 Possession of Research and Development Achievement ····· 39

Chapter 2. Research and Development Result ····· 41
2.1 Analysis of Monitoring and Fault Diagnosis Methodology ····· 41
2.2 Fault Detection and Diagnosis System Development ····· 65
2.3 Dynamic Model based Monitoring and Diagnosis Station ····· 95
2.4 Flow Compensation and Soft sensor Design based on Smart Sensor Technology ····· 105
2.5 Dynamic Model based Monitoring and Diagnosis System Validation 114
2.6 Rotating Equipment Characteristic Analysis ····· 124
2.7 Diagnosis System of Rotating Equipment for Gas Plant ····· 134
2.8 Process Fault Propagation Validation ····· 140

Chapter 3. Overview of Research and Development ····· 157
3.1 Individual Research and Development Explanation ····· 157
3.2 Main Research and Development Performance ····· 161

Chapter 4. Effect of Research Objective Achievement ····· 166
4.1 Standard of Assessment ····· 166
4.2 Technical Impact of Research and Development Achievement · 173
4.3 Economical Impact of Research and Development Achievement 174
4.4 Political Impact of Research and Development Achievement ···· 175

Chapter 5. Application of Research and Development Results · 176
5.1 Measures of Research and Development Results Application ··· 176
5.2 Expected Results and Impact ····· 181

Reference

1. International Science and Technical Information during Research and Development Process ····· 183
2. References ····· 236

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 25
1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 25
2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 27
3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 29
4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 39

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 41
1절 동특성 기반 모니터링 및 이상상태 진단기법 분석 ····· 41
2절 이상 감시 및 진단 프로그램 개발 ····· 65
3절 동적 모델 기반 감시 및 진단 스테이션 구축 ····· 95
4절 스마트 센서 기반 유량 보정 시스템 및 소프트센서 개발 ····· 105
5절 동적 모델 대상 감시 및 진단시스템 운전 검증 ····· 114
6절 회전기기의 작동 특성 연구 및 자료조사 ····· 124
7절 가스플랜트용 원심 압축기 이상 진단 모듈 검증 ····· 134
8절 공정이상전파경로 검증 ····· 140

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 157
1절 개별 연구성과 설명 ····· 157
2절 주요 연구 성과 ····· 161

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 166
1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 166
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 173
3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 174
4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 175

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 176
1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 176
2절 추가연구 필요성 등 ····· 181

참고문헌

[부 록] ····· 183
1. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 183
2. 참고문헌 ····· 236

< T A B L E >

Table 1.3.1.1 Process Monitoring and Diagnosis Company ····· 31
Table 1.3.1.2 Rotation Machinery Diagnosis Company ····· 32
Table 1.3.3.1 Domestic Plant Engineering Company's own technology ····· 35
Table 1.3.3.3 List of Domestic Experts in Detail Technology ····· 35
Table 1.3.3.4 Comparison of Domestic Technical Level: Finished developing process monitoring and diagnosis technology ····· 38
Table 1.3.3.5 Comparison of Domestic LNG Plant Infrastructure with Developed Countries ····· 38
Table 2.1.3.1 PRICO LNG Plant Normal/Abnormal Operation Condition ···· 53
Table 2.1.3.2 Range of measured variable: C3 turbo expander plant ····· 55
Table 2.1.5.1 LNG Plant Monitoring/Diagnosis Performance Evaluation ····· 57
Table 2.1.7.1 IEEE 1451 Detail Standards ····· 65
Table 2.2.1.1 PCA Operation Code Example ····· 75
Table 2.2.1.2 PLS Operation Code Example ····· 76
Table 2.5.2.1 Deethanizer Column Abnormal Operation Scenario ····· 117
Table 2.6.2.1 Compressor Fault Causes ····· 128

< 표 목 차 >

표 1.3.1.1 공정 모니터링 및 이상진단 기술 업체 현황 ····· 31
표 1.3.1.2 회전기기 진단 장비 업체 현황 ····· 32
표 1.3.3.1 국내 플랜트 엔지니어링사 보유 기술 현황 ····· 35
표 1.3.3.3 세부 기술별 국내 전문가 현황 ····· 35
표 1.3.3.4 이상진단 및 감시 기술 개발 완료 시 국내 기술 수준 비교 ····· 38
표 1.3.3.5 선진국 대비 국내 LNG 플랜트 인프라 구축 수준 비교 ····· 38
표 2.1.3.1 PRICO LNG 플랜트 정상/이상 운전 조건 ····· 53
표 2.1.3.2 C3 turbo expander plant의 측정 변수의 범위 ····· 55
표 2.1.5.1 LNG 플랜트 감시 및 진단 방법론 성능 평가 ····· 57
표 2.1.7.1 IEEE 1451 세부표준 ····· 65
표 2.2.1.1 PCA 실행 코드 예시 ····· 75
표 2.2.1.2 PLS 실행 코드 예시 ····· 76
표 2.5.2.1 Deethanizer 컬럼의 이상 시나리오 ····· 117
표 2.6.2.1 압축기 이상 원인 ····· 128

< F i g u r e >

Figure 1.3.1.1 Process Monitoring and Fault Diagnosis Technique Evaluation via Developed Countries ····· 32
Figure 1.3.2.1 Demand Prediction of Natural Gas, LNG and LNG Plant Construction ····· 33
Figure 1.3.2.2 Worldwide LNG Terminal Local Demand Statistics ····· 34
Figure 2.1.1.1 Process Monitoring and Diagnosis Methodology ····· 43
Figure 2.1.2.1 Risk Management Structure Diagram ····· 44
Figure 2.1.2.2 Risk Factors and Variables ····· 45
Figure 2.1.2.3 Knowledge-based Fault Diagnosis Structure ····· 46
Figure 2.1.3.1 LNG Process Procedures ····· 47
Figure 2.1.3.2 Process Flow Diagram of LNG Plant ····· 50
Figure 2.1.3.3 Position of Test LNG Plant Sensor ····· 51
Figure 2.1.3.4 Operation Range: Main Measurement Variables in LNG Plant 51
Figure 2.1.3.5 LNG Plant Heat Exchanger Specification ····· 52
Figure 2.1.3.6 Main Variable Changes in LNG Plant by Composition ····· 52
Figure 2.1.3.7 PRICO LNG PLANT: Main Variable Normal/Min/Max ····· 53
Figure 2.1.3.8 C3 Turbo Expander Plant ····· 53
Figure 2.1.3.9 C3+ Composition Change: by Time ····· 54
Figure 2.1.3.10 C3 Composition Change: deethanizer tower top stream ····· 54
Figure 2.1.3.11 C3 Recovery Process: Continuous Data ····· 56
Figure 2.1.5.1 Principal Component Analysis Basic Concept ····· 58
Figure 2.1.6.1 Variable Prediction Graph Example ····· 59
Figure 2.1.6.2 Cause Variable Detection Example ····· 60
Figure 2.1.6.3 Analysis of Process Mode Change ····· 61
Figure 2.1.6.4 Variable Importance Histogram ····· 61
Figure 2.1.6.5 Analysis of Process Variable Correlation ····· 62
Figure 2.1.7.1 Data nonlinearity Example ····· 63
Figure 2.2.2.1 PCA, PLS Library Code- Excel Reference Example ····· 68
Figure 2.2.2.2 PCA Module Operation ····· 74
Figure 2.2.2.3 PLS Module Operation ····· 76
Figure 2.2.2.4 Real-time Process monitoring and diagnosis program- project operation: PCA Modeling ····· 77

Figure 2.2.2.5 Produced Analysed Result by PCA Result Module ····· 78
Figure 2.2.2.6 PCA Result: Plot/data sheet List ····· 79
Figure 2.2.2.7 PCA Prediction Result ····· 79
Figure 2.2.2.8 Real-time Process monitoring and diagnosis program- project operation: PLS Modeling ····· 80
Figure 2.2.2.9 PLS: P Plot ····· 80
Figure 2.2.2.10 PLS Variance Importance(PLS-VIP) ····· 81
Figure 2.2.2.11 PLS Test Data Scaling ····· 81
Figure 2.2.2.12 Test_Y_Pred Generation ····· 81
Figure 2.2.2.13 Test_Y_Pred Generation Result ····· 82
Figure 2.2.2.14 Data Setting-PFD Visualization Setting ····· 82
Figure 2.2.2.15 PFD Visualization Option Setting ····· 83
Figure 2.2.2.16 Tag Placement Registration ····· 84
Figure 2.2.2.17 TSQS Plot ····· 84
Figure 2.2.2.18 Residual Contribution Chart ····· 85
Figure 2.2.2.19 Variable Contribution Rank Example ····· 86
Figure 2.2.2.20 Propagation Path Operation ····· 87
Figure 2.2.2.21 Fault Propagation Scale Data Chart ····· 87
Figure 2.2.2.22 Propagation Path Result ····· 88
Figure 2.2.2.23 MCFC Modeling Result ····· 88
Figure 2.2.2.24 MCFC PFD ····· 89
Figure 2.2.2.25 Score Analysis: to Fault Case ····· 90
Figure 2.2.2.26 1st Dimension Analysis: to Fault Case ····· 91
Figure 2.2.2.27 Analysis of Main Fault Cause Sensor: Contribution Plot ··· 91
Figure 2.2.2.28 2D score plot to Best Case ····· 92
Figure 2.2.2.29 SPE Chart of Best Case ····· 92
Figure 2.2.2.30 Analysis of June, August, October Process Operation ····· 93
Figure 2.2.2.31 Contribution Chart: Oct.19 Operation Data ····· 93
Figure 2.2.2.32 Contribution Chart: Jun.21 Operation Data ····· 94
Figure 2.3.2.1 LNG Plant Monitoring and Diagnosis Station ····· 95
Figure 2.3.2.2 Process Data Flows ····· 96
Figure 2.3.2.3 LNG Plant Dynamic Model ····· 96
Figure 2.3.2.4 Overall LNG Plant HMI Monitoring Screen ····· 97
Figure 2.3.2.5 Unit Process Monitoring Screen ····· 98
Figure 2.3.2.6 Methanizer Monitoring Screen ····· 98

Figure 2.3.2.7 Ethanizer Monitoring Screen ····· 99
Figure 2.3.2.8 Propanizer Monitoring Screen ····· 99
Figure 2.3.2.9 Butanizer Monitoring Screen ····· 100
Figure 2.3.2.10 LP MR Compressor Monitoring Screen ····· 100
Figure 2.3.2.11 HP MR Compressor Monitoring Screen ····· 101
Figure 2.3.2.12 Propane Compressor Monitoring Screen ····· 101
Figure 2.3.2.13 Process Alarm Configuration ····· 102
Figure 2.3.2.14 Process Alarm Setting ····· 103
Figure 2.3.2.15 Normal/Abnormal Operation-PFD Monitoring Screen Comparison ····· 103
Figure 2.4.2.1 Flow and Temperaure Measurement Place ····· 105
Figure 2.4.2.2 Data Reconcilliation Technique Operation Structure for BOG Calculation ····· 106
Figure 2.4.2.3 Process Flows for using Data Reconcilliation ····· 106
Figure 2.4.2.4 Data Reconciliation Data Structure ····· 107
Figure 2.4.2.5 Data Reconciliation Process Sensing Data ····· 107
Figure 2.4.2.6 Data Reconciliation Operation Procedure ····· 108
Figure 2.4.2.7 Pipe inlet/outlet Temperature ····· 108
Figure 2.4.2.8 Data Reconciliation Operation Result Analysis ····· 109
Figure 2.4.2.9 Example: Soft Sensor Build ····· 110
Figure 2.4.2.10 Fractionation Process Softsensor Tag Browser ····· 111
Figure 2.4.2.11 Soft Sensor Script Builder ····· 111
Figure 2.4.2.12 MD01 Concentration Softsensor Build Example ····· 112
Figure 2.4.2.13 MD02 Concentration Softsensor Build Example ····· 112
Figure 2.4.2.14 MD04 Concentration Softsensor Build Example ····· 113
Figure 2.4.2.15 MD06 Concentration Softsensor Build Example ····· 113
Figure 2.5.2.1 LNG Plant AGR unit Fault Example ····· 115
Figure 2.5.2.2 LNG Plant Liquefaction unit Fault Example ····· 115
Figure 2.5.2.3 LNG Plant Fractionation unit Fault Example ····· 116
Figure 2.5.2.4 Deethanizer Fault Detection and Monitoring Result ····· 117
Figure 2.5.2.5 FRACTIONATION Fault Scenario Validation using dataPARC 118
Figure 2.5.2.6 LNG Plant tag browser ····· 119
Figure 2.5.2.7 FRACTIONATION Process Abnormal Scenario EVENT SCHEDULER Operation ····· 119

Figure 2.5.2.8 Alarm Occurrence Example: Fault Started ····· 120
Figure 2.5.2.9 Alarm Occurrence Example: The elapsed of time ····· 121
Figure 2.5.2.10 Deethanizer Flooding Scenario Analysis ····· 121
Figure 2.5.2.11 Flooding Scenario Control Screen: SOP ····· 122
Figure 2.5.2.12 Screen of Resolved Fault Cause: Flooding Scenario ····· 122
Figure 2.6.1.1 Prearranged Testbed Compressor ····· 124
Figure 2.6.1.2 Commercial Compressor(GE- ICL) ····· 124
Figure 2.6.1.3 Centrifugal Compressor Shaft and Impeller ····· 125
Figure 2.6.1.4 Magnetic Bearing ····· 126
Figure 2.6.2.1 Vibration Signal for Bearing Outer Ring Fatigue ····· 131
Figure 2.6.2.2 Vibration Signal for Frequency ····· 131
Figure 2.6.2.3 Vibration Signal of Time / Misalignment ····· 132
Figure 2.6.2.4 Vibration Signal of Frequency / Misalignment ····· 132
Figure 2.6.2.5 Trajectory of Misalignment ····· 133
Figure 2.7.1.1 Centrifugal Compressor Simulator Main Screen ····· 134
Figure 2.7.2.1 Centrifugal Compressor Monitoring and Diagnosis System Main Screen ····· 137
Figure 2.7.2.2 Centrifugal Compressor Monitoring and Diagnosis System Signal View ····· 138
Figure 2.7.2.3 Centrifugal Compressor Monitoring and Diagnosis System Fault Diagnosis Screen ····· 139
Figure 2.8.2.1 Fault Propagation Path and Affected Sensor Detection ····· 140
Figure 2.8.2.2 TBADiagnosis Main Screen ····· 141
Figure 2.8.2.3 TBADiagnosis Project Generation ····· 141
Figure 2.8.2.4 TBADiagnosis Process Data Import ····· 142
Figure 2.8.2.5 Project Generation Result ····· 142
Figure 2.8.2.6 Fault Propagation Path/Contribution Setting ····· 143
Figure 2.8.2.7 TBADiagnosis Project Screen Edit ····· 143
Figure 2.8.2.8 TBADiagnosis Project Screen Edit Setting ····· 144
Figure 2.8.2.9 TBADiagnosis Project Screen Edit-Path Edit ····· 144
Figure 2.8.2.10 TBADiagnosis Project Screen Edit-Path Edit Finished ····· 145
Figure 2.8.2.11 TBADiagnosis Project Screen Edit-Sensor Edit Finished ··· 145
Figure 2.8.2.12 TBADiagnosis Project Data Selection ····· 146
Figure 2.8.2.13 TBADiagnosis Fault Propagation Path Operation Screen ···· 146
Figure 2.8.2.14 TBADiagnosis Fault Propagation Path Operation ····· 147

Figure 2.8.2.15 Samsung Total Processs Control Screen Example ····· 148
Figure 2.8.2.16 Main Monitoring Sensor List ····· 149
Figure 2.8.2.17 AI Sensor Trend Chart ····· 150
Figure 2.8.2.18 Contribution Plot Analysis: Samsung Total Case ····· 151
Figure 2.8.2.19 First Fault Sensor Detection using Single Variable Chanrt 152
Figure 2.8.2.20 LIC123 Trend Chart ····· 153
Figure 2.8.2.21 Comparison of TBADiagnosis Analysis Result and Operator's Analysis Result ····· 153
Figure 2.8.2.22 Fault Propagation Path Analysis Result: Samsung Total Flooding Case ····· 154

< 그 림 목 차 >

그림 1.3.1.1 선진국 대비 공정 감시 및 이상진단 기술 수준 평가 ····· 32
그림 1.3.2.1 천연가스, LNG와 LNG 플랜트건설 수요 예측 ····· 33
그림 1.3.2.2 세계의 LNG Terminal의 지역별 수요 통계 ····· 34
그림 2.1.1.1 공정 모니터링 및 이상 진단 방법 ····· 43
그림 2.1.2.1 위험 관리 구조 다이어그램 ····· 44
그림 2.1.2.2 위험 인자와 변수 ····· 45
그림 2.1.2.3 지식 기반 이상진단 조직도 ····· 46
그림 2.1.3.1 LNG 플랜트 공정 흐름도 ····· 47
그림 2.1.3.2 LNG플랜트의 흐름 다이어그램 ····· 50
그림 2.1.3.3 테스트 LNG 공정의 센서 위치 ····· 51
그림 2.1.3.4 LNG 플랜트의 주요 측정 변수의 운전 범위 ····· 51
그림 2.1.3.5 LNG 플랜트의 열교환기의 규격 ····· 52
그림 2.1.3.6 조성에 따른 LNG 플랜트의 주요 변수 변화 ····· 52
그림 2.1.3.7 PRICO LNG PLANT의 주요 변수 정상/ 최소/ 최대값 ····· 53
그림 2.1.3.8 C3 터보 Expander 플랜트 ····· 53
그림 2.1.3.9 시간에 따른 C3+ 조성 변화 ····· 54
그림 2.1.3.10 deethanizer tower top stream에서의 C3 조성 변화 ····· 54
그림 2.1.3.11 C3 리커버리 공정에서의 연속 데이터 ····· 56
그림 2.1.5.1 주성분 분석 기본 개념 ····· 58
그림 2.1.6.1 변수 예측 그래프 예시 ····· 59
그림 2.1.6.2 원인 변수 파악 예시 ····· 60
그림 2.1.6.3 공정 모드 변화 분석 ····· 61
그림 2.1.6.4 변수 중요도 히스토그램 ····· 61
그림 2.1.6.5 공정 변수 상관관계 분석 ····· 62
그림 2.1.7.1 데이터의 비선형성 예시 ····· 63
그림 2.2.2.1 PCA, PLS 라이브러리 코드 엑셀 참조 예시 ····· 68
그림 2.2.2.2 PCA 모듈 실행 예시 ····· 74
그림 2.2.2.3 PLS 모듈 실행 예시 ····· 76
그림 2.2.2.4 실시간이상진단감시프로그램 프로젝트 실행: PCA 모델링 ····· 77
그림 2.2.2.5 PCA Result 모듈으로 생성된 중간 결과 ····· 78
그림 2.2.2.6 PCA Result로 생성된 중간 결과 Plot/data sheet 목록 ····· 79
그림 2.2.2.7 PCA Prediction 결과 ····· 79
그림 2.2.2.8 실시간이상진단감시프로그램 프로젝트 실행: PLS 모델링 ····· 80

그림 2.2.2.9 PLS: P Plot ····· 80
그림 2.2.2.10 PLS 모델 변수 중요도 ····· 81
그림 2.2.2.11 PLS 테스트 데이터 스케일링 ····· 81
그림 2.2.2.12 Test_Y_Pred 생성 ····· 81
그림 2.2.2.13 Test_Y_Pred 생성 결과 ····· 82
그림 2.2.2.14 Data Setting-PFD Visualization 설정 ····· 82
그림 2.2.2.15 PFD Visualization 옵션 설정 ····· 83
그림 2.2.2.16 Tag 위치 등록 ····· 84
그림 2.2.2.17 TSQS Plot ····· 84
그림 2.2.2.18 잔차 기여도 차트 ····· 85
그림 2.2.2.19 변수 기여도 순위 예시 ····· 86
그림 2.2.2.20 Propagation Path 실행 ····· 87
그림 2.2.2.21 이상전파경로 Scale data 차트 ····· 87
그림 2.2.2.22 Propagation Path 결과 ····· 88
그림 2.2.2.23 MCFC 공정 모델링 결과 ····· 88
그림 2.2.2.24 MCFC 공정도 ····· 89
그림 2.2.2.25 이상 사례에 대한 score 분석 ····· 89
그림 2.2.2.26 이상 사례에 대한 1차원 분석 ····· 90
그림 2.2.2.27 주요 이상 원인 센서에 대한 분석: 기여도 차트 ····· 91
그림 2.2.2.28 Best Case에 대한 2D score plot ····· 92
그림 2.2.2.29 Best Case의 SPE Chart ····· 92
그림 2.2.2.30 6월, 8월, 10월의 공정 운전에 대한 분석 ····· 93
그림 2.2.2.31 10월 19일 운전 데이터의 편차 기여도 차트 ····· 93
그림 2.2.2.32 6월 21일 운전 데이터의 편차 기여도 차트 ····· 94
그림 2.3.2.1 LNG 플랜트 감시 및 진단을 위한 스테이션 ····· 95
그림 2.3.2.2 공정 데이터 흐름도 ····· 96
그림 2.3.2.3 LNG 플랜트 동적모델 ····· 96
그림 2.3.2.4 전체 LNG 플랜트 대상 HMI 감시화면 ····· 97
그림 2.3.2.5 Unit 공정 대상 감시화면 ····· 98
그림 2.3.2.6 Methanizer 감시화면 ····· 98
그림 2.3.2.7 Ethanizer 감시화면 ····· 99
그림 2.3.2.8 Propanizer 감시화면 ····· 99
그림 2.3.2.9 Butanizer 감시화면 ····· 100
그림 2.3.2.10 LP MR Compressor 감시화면 ····· 100
그림 2.3.2.11 HP MR Compressor 감시화면 ····· 101

그림 2.3.2.12 Propane Compressor 감시화면 ····· 101
그림 2.3.2.13 공정 알람 configuration ····· 102
그림 2.3.2.14 공정 알람 세팅 ····· 103
그림 2.3.2.15 정상상태와 이상상태의 PFD 감시화면 비교 ····· 103
그림 2.4.2.1 유량 및 온도 측정 지점 ····· 105
그림 2.4.2.2 BOG 계산용 데이터 보정 기법 실행 구조도 ····· 106
그림 2.4.2.3 데이터 보정용 예시 공정 모사도 ····· 106
그림 2.4.2.4 데이터 Reconciliation 자료 구조 ····· 107
그림 2.4.2.5 데이터 Reconciliation용 공정 센싱 데이터 예시 ····· 107
그림 2.4.2.6 데이터 reconciliation 실행 Procedure ····· 108
그림 2.4.2.7 파이프 별 inlet/outlet 온도 ····· 108
그림 2.4.2.8 Data Reconciliation 실행 결과 분석 ····· 109
그림 2.4.2.9 소프트센서 구축 예시 ····· 110
그림 2.4.2.10 Fractionation 공정의 Softsensor Tag Browser ····· 111
그림 2.4.2.11 Soft Sensor 스크립트 빌더 ····· 111
그림 2.4.2.12 MD01 조성 소프트센서 구축 예시 ····· 112
그림 2.4.2.13 MD02 조성 소프트센서 구축 예시 ····· 112
그림 2.4.2.14 MD04 조성 소프트센서 구축 예시 ····· 113
그림 2.4.2.15 MD06 조성 소프트센서 구축 예시 ····· 113
그림 2.5.2.1 LNG 플랜트 AGR unit의 이상 예시 ····· 115
그림 2.5.2.2 LNG 플랜트 liquefaction unit의 이상 예시 ····· 115
그림 2.5.2.3 LNG 플랜트 fractionation unit의 이상 예시 ····· 116
그림 2.5.2.4 Deethanizer 이상 감시 및 진단을 수행한 결과 ····· 117
그림 2.5.2.5 dataPARC을 통한 FRACTIONATION 이상 시나리오 검 ····· 118
그림 2.5.2.6 LNG 플랜트 tag browser ····· 119
그림 2.5.2.7 FRACTIONATION 공정 이상에 관한 EVENT SCHEDULER 실행 119
그림 2.5.2.8 이상 발생 시 alarm 발생 ····· 120
그림 2.5.2.9 시간 경과 후 이상 alarm 발생 예시 ····· 121
그림 2.5.2.10 Deethanizer의 flooding 시나리오 분석 ····· 121
그림 2.5.2.11 S.O.P를 통한 flooding 시나리오의 컨트롤 화면 ····· 122
그림 2.5.2.12 Flooding 시나리오의 이상 원인 해결 장면 ····· 122
그림 2.6.1.1 테스트베드용 개발 예정 압축기 ····· 124
그림 2.6.1.2 상용 압축기(GE사의 ICL) ····· 124
그림 2.6.1.3 원심 압축기의 샤프트와 임펠러 ····· 125

그림 2.6.1.4 자기 베어링 ····· 126
그림 2.6.2.1 베어링 외륜 결함에 대한 진동 신호 ····· 131
그림 2.6.2.2 주파수에 대한 진동 신호 ····· 131
그림 2.6.2.3 시간에 대한 진동 신호-정렬 불량에 대한 진동 신호 ····· 132
그림 2.6.2.4 주파수에 대한 진동 신호-정렬 불량에 대한 진동 신호 ····· 132
그림 2.6.2.5 정렬 불량에 대한 궤적 ····· 133
그림 2.7.1.1 원심 압축기의 시뮬레이터 메인 화면 ····· 134
그림 2.7.2.1 원심 압축기 감시 및 진단 시스템의 메인 화면 ····· 137
그림 2.7.2.2 원심 압축기 감시 및 진단 시스템의 Signal View ····· 138
그림 2.7.2.3 원심 압축기 감시 및 진단 시스템의 이상 상태 진단 화면 ····· 139
그림 2.8.2.1 이상전파경로와 이상영향 센서 탐색 기능 ····· 140
그림 2.8.2.2 TBADiagnosis 메인 화면 ····· 141
그림 2.8.2.3 TBADiagnosis 프로젝트 생성 ····· 141
그림 2.8.2.4 TBADiagnosis 공정 데이터 불러오기 기능 ····· 142
그림 2.8.2.5 프로젝트 생성 결과 ····· 142
그림 2.8.2.6 이상전파경로/변수기여도 설정 ····· 143
그림 2.8.2.7 TBADiagnosis 도면편집기능 ····· 143
그림 2.8.2.8 TBADiagnosis 도면편집기능 설정 ····· 144
그림 2.8.2.9 TBADiagnosis 도면편집기능-경로편집 ····· 144
그림 2.8.2.10 TBADiagnosis 도면편집기능-경로편집 완료 ····· 145
그림 2.8.2.11 TBADiagnosis 도면편집기능-센서 편집 완료 ····· 145
그림 2.8.2.12 TBADiagnosis 프로젝트 데이터 선택 기능 ····· 146
그림 2.8.2.13 TBADiagnosis 이상전파경로 실행 화면 ····· 146
그림 2.8.2.14 TBADiagnosis 이상전파경로 실행 예시 ····· 147
그림 2.8.2.15 삼성토탈 공정관리화면 예시 ····· 148
그림 2.8.2.16 주요 모니터링 센서 리스트 ····· 149
그림 2.8.2.17 AI 센서 트렌드 차트 ····· 150
그림 2.8.2.18 삼성토탈 케이스에 대한 변수기여도차트 분석 ····· 151
그림 2.8.2.19 단변수차트를 통한 이상 최초 발생 시점 탐지 ····· 152
그림 2.8.2.20 LIC123의 트렌드 차트 ····· 153
그림 2.8.2.21 TBADiagnosis 분석 결과와 오퍼레이터 조치 결과 비교 ····· 153
그림 2.8.2.22 삼성토탈 Flooding Case에 대한 이상전파경로 분석 결과 ····· 154

1장 연구개발과제 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

플랜트 산업의 경우 발전소나 정유공장과 같이 기계와 장치를 기술적으로 설치하여 생산자가 목적으로 하는 최종 제품을 제조할 수 있는 생산설비로 정의된다. 이러한 플랜트를 발주자로부터 수주 받아 기획, 설계하고 필요한 자재를 조달하여 시공하는 데 이르는 모든 분야를 포함하여 플랜트 산업이라 칭하며 설계, 조달, 시공 등이 복합된 산업으로 산업연관 효과가 높고 산업 구조 고도화에 기여할 수 있다. LNG플랜트는 천연가스 전처리 공정, NGL(Natural Gas Liquid) 회수 공정, 액화 공정 및 저장 시스템 등으로 이루어지는 시스템으로서, LNG 플랜트의 핵심 기술인 천연가스 액화공정 기술 및 핵심 EPC(Engineering, Procurement, Construction) 기술은 일부 선진업체가 독점적으로 보유하고 있으며 테스트베드 플랜트 건설 및 액화공정 라이센스 확보를 통하여 단기간 내에 천연가스 액화 공정에 대한 기술 확보를 추진하고자 하는 가스플랜트사업단 과제의 성공적인 추진을 위해서는 개발된 동특성 기반의 이상상태 감시/진단 시스템의 개발 및 이상시나리오를 통한 검증이 이루어져야 한다. 이상상태의 동특성 해석 기반의 기반 기술 개발과 이상 시나리오 개발 결과를 활용한 설계에의 적용을 위한 연구가 추진되어 그 결과물을 공유함으로써 시너지 효과를 극대화할 수 있으며, 최종적으로는 테스트베드 운영에 지원을 하고 운영 결과를 활용하여 기반 기술을 검증하고 최적화함으로써 가스플랜트사업단에서 추진하는 해외사업 진출에 순수 국내 기술만으로 사업 지출이 가능한 사업모델을 구축할 수 있을 것으로 전망한다.

본 과제에서는 가스플랜트사업단 제 1 핵심과제, 제 1 세부과제의 제 5 공동과제에 대한 기술개발 연구로, IT 기술에 기반을 두고 가스플랜트사업단에서 개발 중인 LNG 플랜트의 해외경쟁력 확보를 위해 필요한 여러 기반기술 중 공정계통의 이상상태 실시간 감시 및 진단 시스템 개발 등의 기반 기술을 개발하는 것에 목표를 두고 있다. 이를 위해서 LNG 플랜트의 비정상적인 운전 상태 사전 인지를 통한 시스템의 효율적 관리 및 위험 관리 등을 목표로 동특성 기반의 LNG 플랜트 대상 실시간 감시 및 진단 시스템을 개발하고 기존 화학 플랜트 회사와 산학 협력 활동을 통한 사용자 중심의 이상 감시 및 진단 시스템을 개발하고 선 검증하는 것을 주요 연구 과정으로 하였다. 본 과제의 성과물인 실시간 감시 및 이상진단 시스템, 기기별로 적합한 이상진단 알고리즘 개발을 통하여 플랜트 기기별로 적합한 센싱 방법과 이상상태를 효과적으로 검출할 수 있는 이상진단 알고리즘이 적용된 이상상태 실시간 감시 및 진단 시스템을 구축하고자 한다. 또한 제 3핵심과제에서 건설한 테스트베드와 연계하여 개발 기술의 검증, 수정, 최적화를 통해 개발 시스템의 신뢰성 및 경쟁력 확보를 이루고자 한다.

2. 연구 개발의 필요성

○ 현재 국내 기업이 LNG 플랜트 기술을 보유하고 있지 않고, 선진 기술 보유사들이 카르텔을 형성하고 기술이전을 하지 않고 있어 고부가가치 핵심사업에 국내 업체의 참여가 제한되고 있음. 본 과제를 통하여 동적 시뮬레이터와 이상상태 감시진단 시스템을 개발하여 공정계통 최적화 및 동특성 효율을 5% 이상 개선하고자 함. 결과로 엔지니어링 비용 절감, 건설 비용 절감 및 생산성 향상을 기대할 수 있음.

○ 동특성 해석으로 국산 주요 설비의 적용 가능성을 파악하여 적용함으로써 주요 설비 및 핵심기기 국산화로 국내 장치 산업 경쟁력 향상을 기대할 수 있음.

○ 2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간 정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이중에서 5%의 시장점유율을 가정하면 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악되며, 동특성 시뮬레이터 기술을 첨가함으로써 시장 진입에 일조할 수 있음.

○ 본 과제를 통하여 가스플랜트사업단에서 개발하는 LNG 플랜트에 IT 기술을 접목하여 상기에서 언급한 기술적 효과를 더하여 플랜트업체의 국산기자재 사용 비율을 끌어 올림으로써 중소기업 관련 플랜트 부품 소재 산업의 내수 유발 효과를 거둘 수 있음.

○ 이산화탄소 저감과 친환경 기술이 지극히 요구되는 현재의 시점에서 상대적으로 저탄소/친환경 연료인 천연가스 관련 기술의 확보로 저탄소 녹색 성장에 기여하는데 일조할 수 있음.

○ 동특성 해석 및 감시/진단 시스템과 같은 IT 기술을 플랜트 산업 분야에 적용함으로써 학제간의 연구/기술개발 활성화와 함께 플랜트 산업 분야의 이미지 제고를 통하여 IT 분야 우수 인력의 플랜트 분야 진출이 활발해 지는데 기여함.

○ 핵심 성과물인 공정상태 실시간 감시 및 이상진단 시스템을 관련 산업의 플랜트 개발 및 검증에 활용이 가능함.

○ 경쟁력 있는 국산화 기술확보를 바탕으로 해외플랜트 시장 진출을 위한 정책적 지원 유도함.

○ 연구개발에 다양한 국내기업들이 참여를 유도함으로써 해외시장 진출 시 컨소시엄 구성으로 Risk 분산 및 사업 추진력의 향상이 가능함을 보임으로써 타 분야의 기술개발 지원 정책 수립에 핵심적인 자료로 활용이 가능함.

2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구 개발의 정의

○ 현재 국내에서 플랜트기술고도화사업으로서 가스플랜트사업단 과제에서의 제1핵심과제는 첨단 기술과 표준 등 인프라 구축을 지원하는 플랫폼 기술로 정의할 수 있음.

○ 제1핵심과제는 창의적 아이디어와 IT, NT, BT 등 첨단기술의 응용 및 접목을 통하여 성능을 혁신하여 중기적인 관점에서 LNG 플랜트사업의 국제 경쟁력에 구동(driver) 역할을 담당하여야 하는 기술들로 구성되어 있음. 이러한 기반기술들은 약 5~6년간의 사업기간 내에 LNG 플랜트의 성능과 비용의 혁신적 개선이 가능하도록 개발 및 적용이 이루어져야 함.

○ 본 연구는 제1핵심과제의 제2세부과제에 대한 기술개발 연구로, 현재 이와 같은 기반 기술 중에서 IT 기술에 기반을 두고, 가스플랜트사업단에서 개발 중인 LNG플랜트의 해외 경쟁력 확보를 위해 필요한 여러 기반기술 중 LNG 플랜트에서의 에너지 및 물질흐름에 따른 제어계통의 최적화, 플랜트의 이상 상황에서의 표준 운전절차 확립 및 안정적 관리, 공정계통의 이상상태 실시간 감시/진단 방법론 개발, 사용자 편의에 중점을 둔 공정 계통 감시 및 진단 시스템 개발 등의 기반기술을 개발하는 것에 목표를 두고 있음.

○ 이와 같은 목표의 달성을 위하여 천연가스 액화공정의 정상 운전 상태의 동적 시뮬레이터, 발생할 수 있는 주요 이상 동적 시뮬레이터, 실제 LNG 액화 공정(테스트 베드) 실시간 데이터, 실시간 데이터를 모니터링 할 수 있는 RTDB application이 필요함.

○ 본 과제의 성과물인 LNG플랜트 동적공정 시뮬레이터와 감시/진단 시스템은 제3핵심과제의 세부과제 중의 하나인 LNG 플랜트 계통제어기술개발(3-2) 과제에서 테스트베드를 대상으로 개발 예정인 제어시스템과의 상호보완을 통할 예정임.

○ 이후 동적 시뮬레이터 및 이상상태 감시 및 진단 시스템은 제3핵심과제인 “대용량 LNG 플랜트 설계 및 건설기술” 개발과제에서 건설될 테스트베드에 적용되어 대용량 LNG 플랜트의 자체적인 설계/건설 기술개발에 핵심적인 역할을 담당할 수 있는 엔지니어링 기술임.

2. 연구개발의 범위 및 특징

○ LNG 플랜트는 천연가스 전처리 공정, NGL(Natural Gas Liquid) 회수 공정, 액화 공정 및 저장 시스템 등으로 이루어지는 시스템으로서, LNG 플랜트의 핵심기술인 천연가스 액화공정 기술 및 핵심 EPC(Engineering Procurement Construction) 기술은 일부 선진업체가 독점적으로 보유하고 있음.

○ 테스트 플랜트 건설 및 액화공정 라이센스 확보를 통하여 단기간 내에 천연가스 액화 공정에 대한 기술 확보를 추진하는 가스플랜트 사업단 과제의 성공적인 추진을 위해서는 개발된 동특성 기반의 시뮬레이터 정확성 향상, 동적 시뮬레이터의 이상 시나리오 개발, 이상상태 감시/진단 시스템의 개발이 추진되어야 함.

○ 이상 상태의 동특성 해석 기반의 기반 기술 개발과 이상 시나리오 개발 결과를 활용한 설계에의 적용을 위한 연구가 추진되어 그 결과물을 공유함으로써 시너지효과를 극대화 할 수 있으며, 최종적으로는 테스트베드 운영에 지원을 하고, 운영 결과를 활용하여 기반 기술을 검증하고 최적화함으로써, 가스플랜트사업단에서 추진하는 해외사업 진출에 순수 국내 기술만으로 사업 진출이 가능한 사업모델을 구축할 수 있음.

○ 이와 같은 목표의 달성을 위하여 본 세부과제에서는 천연가스 액화공정에서 발생할 수 있는 주요 운전 조건, 주요 이상의 동특성 기반 공정계통 이상상태 실시간 감시 및 진단 방법론을 개발하고 테스트베드를 통한 검증, 수정, 최적화를 통한 사용자 중심의 액화공정의 이상상태 실시간 감시 및 진단 시스템을 개발하고자 함.

○ 본 세부과제에서는 가스플랜트사업단에서 추진하는 LNG 플랜트기술개발 중 동특성 관련 기반 기술을 개발하는 연구를 수행하는 것으로, LNG 플랜트의 자체 설계 기술 확보를 위하여 가장 핵심적인 역할을 담당하는 연구라 할 수 있는데, 향후 성과물의 실무 활용성을 확보하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하고자 함.

○ 동특성 기반의 공정계통 이상상태 실시간 감시 • 진단 방법론 개발
- LNG 플랜트의 비정상적인 운전 상태 사전 인지를 통한 시스템의 효율적 관리 및 위험관리 등을 목표로 동특성 기반의 시스템 실시간 감시 및 진단 시스템 개발.
- 기존 화학 회사와 산학협력활동을 통한 사용자 중심의 이상 감시 및 진단 시스템 개발.
- 세부과제의 기술개발성과는 제3핵심과제에서 건설할 예정인 테스트베드와 연계하여 개발 기술의 검증, 수정, 최적화를 통해 개발 시스템의 신뢰성 및 경쟁력 확보.

3절 관련 분야의 국내외 기술개발 현황

1. 해외 기술동향

가. 현황

○ 공정 모니터링 및 이상 진단 시스템 현황

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
플랜트 설계	Chiyoda(일본)	Aspen 사의 Aspen Dynamics 등의 공정 동특성 모델 프로그램을 활용하여 액화공정을 모사하고 플랜트 설계에 반영	100 %	
플랜트 설계 및 이상진단	Offshore Technology	Offshore 설비의 Virtual pipeline simulator를 개발하여 배관망 설계, 모니터링 및 고장진단 등에 활용함	100 %	
플랜트 제어 시스템	Cape Software	VP Link라는 상용 소프트웨어로 process dynamics를 실시간으로 구현하여 공정 제어시스템과 인터페이스한 후 logic checkout, logic validation, operator training 등 가상공정을 활용한 제어시스템 개발시장을 개척하였음	100 %	
플랜트 제어 시스템 검증 및 이상 진단	Conoco Philips	Process simulator를 개발하여 LNG plant lifecycle 동안 유용한 엔지니어링 도구로 사용하고 있음. 플랜트 기동 시의 제어로직 검증, 안전성 및 운전 순서의 평가, 운전자 훈련 및 공정개선에의 응용 등에 시뮬레이터를 활용하고 있음.	100 %	

플랜트 제어 시스템	Kongsberg	대규모 엔지니어링 전문업체로서 Process simulator 분야의 세계적 수준의 기술을 보유하고 있는 회사임. Process analysis 및 simulator를 이용하여 각종 공정 및 공정제어를 개발하고 통합 공정제어 시스템을 구축해주는 분야에서 탁월한 경쟁력을 보유하고 있음.	100 %	
LNG 액화 공정 시뮬레이터	RSI-SIMCON	INDISS(**IND**ustrial **I**ntegrated **S**imulation **S**oftware)를 사용하여 Onshore/ Offshore Oil & Gas Industry, Hydrocarbon and Chemical Industry, Thermal Power Plants and Waste to Energy등의 분야에서 Dynamic Engineering Simulator, Operator Training Simulator, Pipe Management Simulator등의 제작 관련하여 기술을 보유.	100 %	
온라인 공정 제어 기술	ABB	객체지향형 언어인 Modelica 기반 Dymola 동특성 모델링 프로그램을 이용하여 반응지연으로 기동 시 제어가 불안정한 Power plant의 동특성을 모사하고 offline dynamic 모델을 이용하여 최적 제어를 수행하였음. ABB사의 자동화 서버인 Process Portal 800xA를 중심으로 현장 제어기(DCS)를 연결하고 실험 데이터를 받아 offline 동특성 모델과 연계하여 최적 제어 솔루션을 최적화 기법으로 구한 후 최적 공정 제어 알고리즘을 수시로 업데이트하는 방법을 적용하고 있음. 이와 같은 방법론은 대규모의 모든 열유체 공정에 적용될 수 있는 보편적 기술로서 이러한 원천기술을 LNG 및 GTL 공정에 접목시켜야 경쟁력 있는 최적 공정 제어 기술을 개발할 수 있음.	100 %	

LNG 액화 공정 시뮬레이터	Aspen HYSYS	새로운 프로세스의 설계를 하거나 프로세스의 효율을 높이기 위해 사용되는 프로세스 시뮬레이션 툴로서 현재 가장 널리 사용되고 있는 시뮬레이터 중 하나임. 다른 프로세스 시뮬레이터들에 비해 user friendly한 인터페이스와 깔끔한 디자인을 가지고 있고, 물성데이터 베이스를 내장하고 있어 사용하기 편리한 것이 장점임. 특히 Dynamics 기능이 다른 시뮬레이터 보다 두드러져 Dynamic Simulation시 많이 사용되고 있음. 또한 Aspen HYSYS는 Gas & Oil Processing 기능에 대해서도 강점을 가지고 있어 LNG 액화 공정의 Dynamic Simulation을 수행하는데 있어 가장 효과적인 시뮬레이터라 할 수 있음.	100 %	
공정 제어 및 모니터링	Umetri(스웨덴)	SIMCA-P+,2000 등 공정 감시 소프트웨어 기술을 보유. 가장 넓은 인프라로 사용됨. 다변량 데이터 처리 기술인 PCA/PLS 기반의 다차원 공정 감시 기능 보유 이상분석 기능은 탁월하나 실시간 감시 기능이 미흡하며, 이상 진단 방법론은 부재	90%	
공정 제어 및 모니터링	MDC (영국)	공정 감시 장비로 MSPC+개발	90%	
공정 제어 및 모니터링	Pavillion	공정 감시 및 데이터 분석 소프트웨어인 Insights 개발	90%	
이상진단 시스템	ECHOS (일본)	이상진단 시스템 ECHOS 개발	90%	
이상진단 시스템	MIDAS	대규모 이상진단 시스템 MIDAS 개발	90%	
이상진단 시스템	DiaD-Kit/Boiler (일본)	기기특성화된 이상진단 장비인 DiaD-Kit/Boiler 개발	90%	

표 1.3.1.1 공정 모니터링 및 이상진단 기술 업체 현황

○ 회전기기 진단 시스템 현황

- 현재의 회전기기 진단 장비는 대상 기기의 현재 상태를 진단하기 위한 장비임. 따라서 현

장에 설치된 기기의 aging으로 인해 발생하는 성능 저하에 대한 연구가 요구되고 있음.

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
회전기기 진단 장비	Bently Nevada	상태 진단 기능	상	
	SKF	터빈 진단 기능	상	

표 1.3.1.2 회전기기 진단 장비 업체 현황

- 선진국 대비 비교평가 지표

감시 및 진단 기술의 경우 핵심 기술로 Data filtering 기술(1), Server 호환성 기술(2), 대규모 데이터 처리성능(3), 실시간 감시 성능(4), 이상원인 센서 파악 성능(5), 검사 성능 우수성(6) 등이 선진국 대비 지표가 될 수 있다. 그림으로 나타내면 다음과 같다.

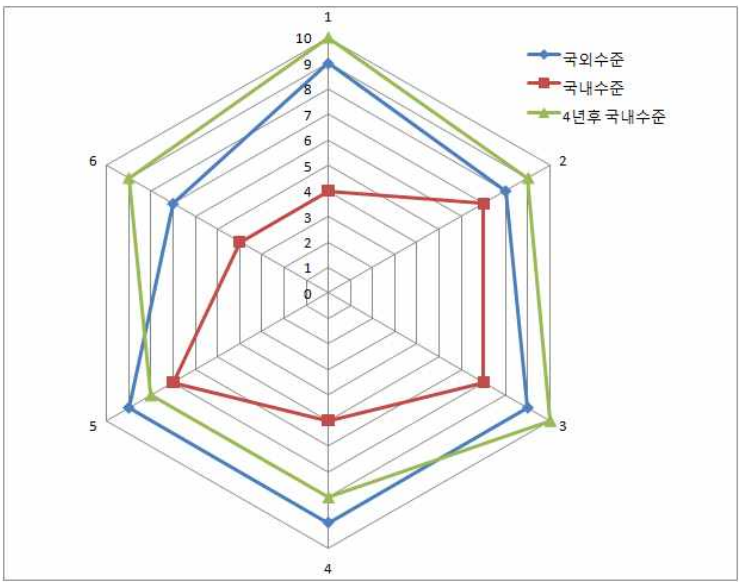


그림 1.3.1.1 선진국 대비 공정 감시 및 이상진단 기술 수준 평가

나. 기술예측

○ 플랜트 제어 및 이상진단 시스템

- 연구 개발 종료 시점에서의 동특성 기반 감시 기술은 세계 최고 감시 기술을 보유하고 있는 영국의 MSPC+(MDC) 및 스웨덴 SIMCA-P(Umetrics)의 성능과 동등한 수준으로 예상. MSPC+와 SIMCA-P모두 다변량통계기법인 MSPC기반의 PCA/PLS기법을 주요 방법론으로 채택하고 있고, 본 연구에서 개발된 기법 또한 MSPC기반으로 동일한 방법론을 채택하고 있다. 또한, 특성별 알고리듬 개발로 동특성, 다중성, 신호처리 기술 보완이 성공적으로 이루어질 경우 LNG PLANT용 감시 기법으로는 세계 최고 수준으로 예상된다.

- 연구 개발 종료 시점에서의 동특성 기반 이상 진단 기술은 세계 최고 기술을 보유하고 있는 미국의 MIDAS, 일본의 Diad-Kit의 중간 형태의 기술을 보유할 것으로 예상된다. 즉, 미국의 MIDAS의 경우 총괄시스템 성능은 우위일 것으로 예상되나 개별 기기에 대한 성능이 떨어지는 반면, 일본의 Diad의 경우 개별 기기에 대한 성능은 본 과제에서 개발되는 기술보다 우위이나 총괄성능은 본 연구의 기술이 우수할 것으로 예상된다.

2. 해외 시장동향

가. 현황

○ LNG 플랜트의 경우 해외 플랜트 건설 사업 참여시 수억 달러의 엔지니어링 및 건설 수입 가능.

○ 2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요는 약 30조원 규모의 High case와 약 10조원 규모의 Low case로 예측되는데, 기준 case를 중간 정도로 감안하며, 연간 약 20조원 정도로 파악됨.

○ 세계 LNG 플랜트 EPC 시장규모는 연간 약 20조원으로 추정됨. 계산 근거는 다음과 같음.
- 연간 LNG 생산량 증가 : 12 mtpa (2002~2006년 평균)
- 연간 LNG 생산용량 증가 : 12 mtpa x 1.25 = 16 mtpa
- 연간 EPC 시장규모 : 16 mtpa x 1,200USD/ton = 192억불

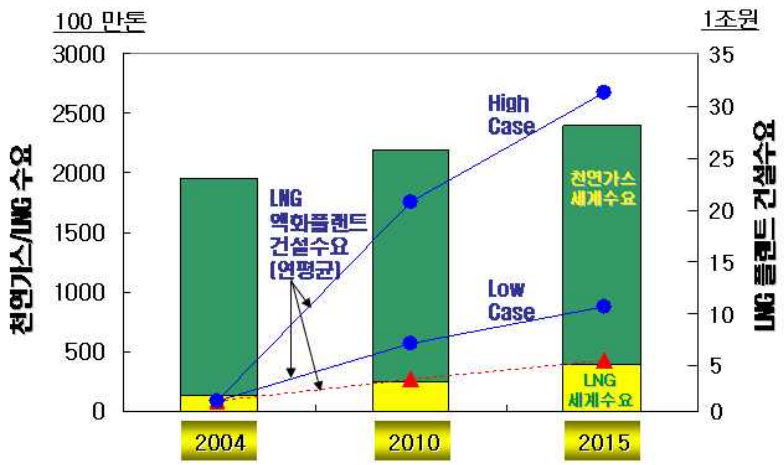


그림 1.3.2.1 천연가스, LNG와 LNG 플랜트건설 수요 예측
(Source : 가스플랜트사업단 상세기획, 2008)

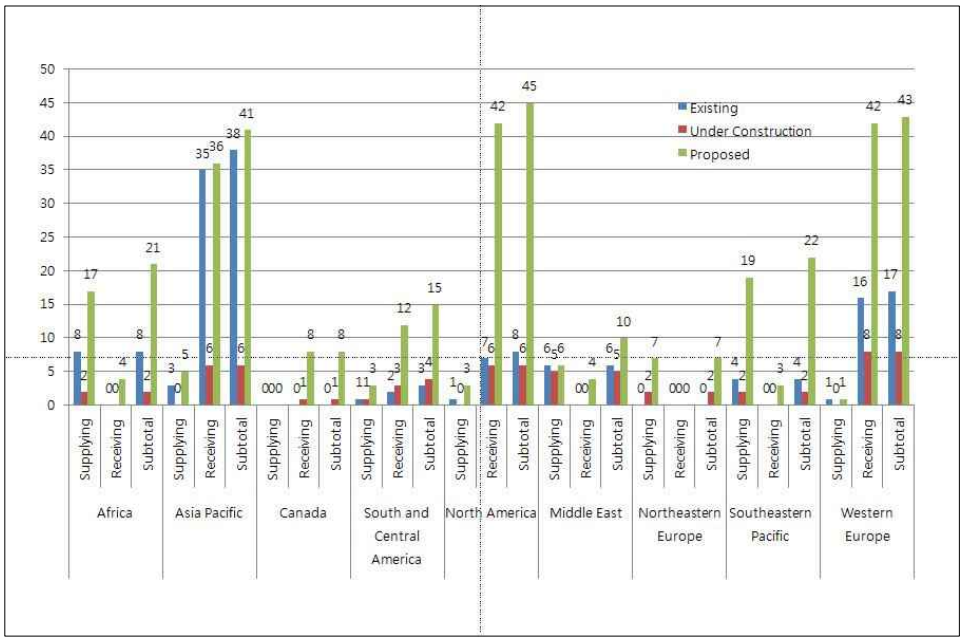


그림 1.3.2.2 세계의 LNG Terminal의 지역별 수요 통계

○ 2015년 전체 LNG 플랜트의 건설비용이 연간 20조원이라 예측할 때, 건설비용중 설비비용의 비중이 약 30%정도로 파악되는데 이는 20조원의 건설비용기준으로 약 6조원으로 파악됨.

○ 설비비용 6조원 중 시뮬레이터 및 OTS와 이상진단 시스템의 구축에 필요한 비용이 설비비용의 약 7%로 파악되는데 이는 약 4000억원 이상의 전세계 시장을 형성함

나. 시장예측

○ 액화 LNG 플랜트 시장

2005~2030년 사이에 천연가스 가치사슬에서 약 3.9조불의 투자가 예상되며(국제에너지기구(IEA)의 세계에너지전망(World Energy Outlook) 2006 보고서), 이 가운데 약 56%가 상류부분에 집중될 것으로 전망하고 있음. 이러한 전망은 동기간 매년 약 1,510억불이 투자되고 상류부문에는 연간 평균 850억불이 투자될 것으로 예측할 수 있음. 따라서 향후 LNG 플랜트의 해외시장은 최근의 지구온난화 문제와 관련하여 친환경 에너지인 천연가스 사용량의 증대와 맞물려 지속적으로 증가할 전망임.

3. 국내 기술동향

가. 국내 주요 관련 업체

○ 공정 모니터링 및 이상 진단 시스템

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	최고기술보유기관	비고
	Bentley Korea	플랜트 엔지니어링 소프트웨어		외국계
	Intergraph Korea	플랜트 엔지니어링 소프트웨어		외국계
	대우엔지니어링	LNG 플랜트 엔지니어링		국내
	대우건설	LNG 플랜트 건설 턴키 프로젝트 수행		국내
	GS건설	LNG 플랜트 시공		국내
	삼성물산 건설부문	LNG 플랜트 시공		국내
	한국가스안전공사	가스배관 및 구조물 비파괴 검사		국내
	삼성토탈	배관 및 기기 비파괴 검사		국내
	AIQS	비파괴 진단 장비 개발		국내
	(주)아이시스텍	공정 감시 및 진단		국내
	(주)엠엔디	설비 진단 기업		국내
	아스펜테크 코리아	공정 모델링 및 시뮬레이션 소프트웨어		외국계
	허니웰 코리아	공정제어 및 자동화 시스템		외국계

표 1.3.3.1 국내 플랜트 엔지니어링사 보유 기술 현황

- 80년대 중반부터 국내에서도 이상진단에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며 특히 특수한 공정에 대한 이상진단시스템이 많이 개발되고 있다. 대표적인 연구팀으로는 서울대 화학생물공학부팀이 있고 그 외에 KAIST, 포항공대 등에서 이 분야에 대한 연구를 수행하고 있다. 이런 연구의 결과로 납사분해로를 위한 OASYS, BTX공정과 PP공정을 위한 FINDS/AC와 FINDS/PP, 유틸리티보일러 공정을 위한 EnDS 등이 개발되었다.

○ 회전기기 진단 시스템

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	최고기술보유기관	비고
회전기기 진단 장비	나다에스앤브이	상태 진단 기능		

표 1.3.3.2 국내 회전기기 진단업체 보유 기술 현황

나. 세부기술별 국내 전문가 및 연구기관 현황

항목	전문가	소속기관	기술개발현황	비고 (국외수준 대비)

질소팽창식 천연가스 액화기술	홍의석	신영중공업	LNG 운반선용 증발가스 재액화장치 개발	70%
	이윤표	KIST	“	
	이상규	한국가스공사	“	
	장대준	KAIST	“	
LNG 인수기지/ 저장탱크기술	전세진	대우건설	LNG 인수기지 및 저장탱크 설계	90%
	양영명	한국가스공사	“	
	최건형	한국가스공사	“	
	윤인수	한국가스공사	“	
	손영순	한국가스공사	“	
동특성 해석 및 감시/ 진단 관련 기반 기술	윤인섭	서울대학교	화학공정 동특성 해석 및 감시 진단 기술	90%
	한종훈	서울대학교	LNG 공정 및 화학공정 동특성 해석	
	이진욱	고등기술연구원	동특성 해석, 열교환기 설계 및 해석 기술	
	김형진	고등기술연구원	플랜트 IT 해석 기술	
	김대규	시뮬레이션테크	LNG선박 동특성 해석 기술	
	김종환	시뮬레이션테크	조선 분야 동특성 해석	
	김동섭	인하대학교	Gas Turbine 및 Compressor 동특성 해석	
	문 일	연세대학교	공정 설계 및 안전 진단 기술	
	오민	한밭대학교	공정 모델링 및 공정 모사	
	신영기	세종대학교	열 시스템 제어	

LNG 액화 플랜트 고정기기 이상진단 기술	송성진	성균관대학교	첨단 비파괴 평가 기법 및 시스템개발	90%
	권정락	한국가스안전공사	비파괴 진단 기술 개발 U기반 가스안전관리통합시스템 구축	
	윤동진	한국표준연구원	AE를 이용한 상태진단 및 감시 기술	
	윤동진	한국표준과학연구원	AE를 이용한 상태진단 및 감시	
	노용우	한국가스공사	지능형 피그를 이용한 가스배관 검사 기술 개발	
	채장범	아주대학교	기계 진단 및 관리 기반 기술	
	양보석	부경대학교	기계 진단 및 관리 기반 기술	
	박진호	원자력연구원	기계 진단 및 관리 기반 기술	
	장한기	두산IC	소음진동 기반 기술	

표 1.3.3.3 세부 기술별 국내 전문가 현황

다. 국내 기술개발 수준

- 국내 기술개발 수준은 세가지 측면으로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 학계에서의 연구활동 측면에서는 국내의 감시 및 제어 기술은 최신의 방법론을 연구 개발하고 있으나, 이것이 실제 플랜트 대상 실증으로 이루어진 경우는 찾아보기 힘들다. 둘째, 상용시스템의 경우 국내 감시 및 진단 시스템 업체는 해외업체의 vendor로써 선진국에서 개발된 기술을 도입하는 기술영업 형태가 대부분이다. 셋째, 최신의 데이터처리 기술을 탑재한 처리 프로그램의 경우, 서울대, POSTECH, KAIST등에서 실험실과 공동연구를 통한 상용화에 이른 사례가 있으나, 이러한 사례 역시 대상시스템에 대한 고려없이 이루어진 경우이다. 본 연구과제를 통하여 LNG플랜트용 감시 및 진단시스템의 경우 기 개발된 국내외시스템 개발의 한계를 뛰어넘는 시스템이 개발될 것으로 기대하고 있다. 연구 개발 종료 시점의 이상 진단의 경우 현존하는 국내외 시스템보다 현격한 성능을 보일 것으로 예상된다. 현재 자동화된 진단 기법을 시스템에 적용한 국내외 시스템은 존재하지 않는다. 현재 개발중인 이상진단 방법론은 새로운 이상진단 기법을 채택함으로써, 원천 기술의 확보가 가능할 것으로 예상된다.

세부기술	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고
동특성 기반 이상진단	90	5	성숙	100	0	경쟁
동특성 기반 감시 기법	90	5	성숙	100	0	경쟁

표 1.3.3.4 이상진단 및 감시 기술 개발 완료 시 국내 기술 수준 비교

라. 국내연구 인프라 수준

○ 국내의 에너지산업 주요시설인 원전의 경우 이상 진단 기술이 매우 발달 되었지만, LNG플랜트 분야는 국내 인프라 중 검사 기법의 기술력은 선진국 대비 동등한 수준이나 이상진단 기술은 종사자의 숙련도 부족 등으로 인해 많은 발전이 요구되고 있음.

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
LNG 플랜트	전문인력 보유정도		O			
	인프라 구축정도		O			
	기술이전 및 거래		O			
	국제기술협력 기반		O			
동특성 관련 기반 기술	해석 기술 수준			O		
	인프라 구축정도		O			
	전문가 숫자 및 저변		O			

표 1.3.3.5 선진국 대비 국내 LNG 플랜트 인프라 구축 수준 비교

4. 국내 시장 동향

가. 현황

○ 공정 모니터링 및 이상 진단 시스템

-국내의 연구실적은 아직 통계적인 방법에 대한 인식 부족과 연구인력 부족으로 큰 성과를 얻지 못하고 있다. 다만, 서울대에서 LG 화학과 PVC 반응기의 공정 감시 프로젝트를 성공적으로 완료하여 현재 여천의 공장에 실제 적용되고 있고, 포항제철 고로의 모니터링 시스템에 관한 연구를 수행하였으며, LG정유의 원유 정제공정에 품질 및 환경 배출 물질 농도를 예측하고 감시하기 위한 소프트 센서를 개발한 바 있고, SK 정유공정의 NIR 데이터에 신호처리(Wavelet Transform)와 PLS(Partial Least Squares)를 결합한 품질 예측 모델을 개발하였다. 또한 현대정보기술과 회분식 공정의 실시간 감시 및 진단 시스템인 RMBatch를 개발되었다. 여타 공정에서의 이상 감시 및 진단 기법들이 부분적으로 적용되었으나 LNG PLANT용 감시 및 이상 진단 기법의 적용 및 시스템 개발은 전무한 실정이다.

나. 시장예측

○ LNG 플랜트 시장

향후에 LNG 플랜트와 관련된 국내 시장은 없을 것으로 전망됨. 반면에 향후 본 사업을 통하여 국내 고유의 LNG 플랜트의 기술을 확보하여 국내 건설사들이 해외 건설프로젝트 수주시 컨소시엄 형태로 참여하여 동특성 기반 공정 이상상태 실시간 감시 및 진단시스템을 판매하거나 또는 외국 LNG 플랜트에 직접 판매할 수 있을 것으로 예상함.

4절 연구개발결과가 관련 분야에서 차지하는 위치

○ 일본 원전 사고, 여수 폭발 사고 등 국내외적으로 플랜트 사고가 빈번하게 발생하면서, 공장 운영의 효율성과 안정성을 동시에 고려한 운전 관리 기술 수요가 급증함.

○ 현장에서 사용하는 공정 운전 관리 기술은 과거 약 30년 동안 단순 센서 데이터를 display 하는 기능 외에 신기술이 적용된 사례가 거의 없음.

○ 공정 이상을 분석한 정보를 제공하는 기술은 국내외적으로 전무하여 운전원의 숙련도에 따라 공장의 효율과 안전성이 크게 좌우됨.

○ 학계에서 발달된 데이터 관리 기술은 전문가 수준의 이해 없이 현장에 직접 적용이 힘들며, 시간이 흐름에 따라 정확도가 저하되는 문제가 존재함.

○ 공정에 관련된 전문 지식 및 경험으로 축적된 관리 기술이 풍부하게 존재하나 방대한 자료가 실제 운전에 효과적으로 제공되는 기술이 부족함.

○ 본 과제의 연구 수행을 통하여 데이터 관리 기술과 플랜트 전문 지식 및 공정 운전 경험이 통합된 원천 기술을 확보.

○ 세계 최초 데이터 분석 방법과 공정 지식 정보가 통합된 이상 파급 경로 추적, 이상 원인 센서 분석, replay, back-tracking 등 최신 공정 감시 및 이상 진단 원천 기술 확보.

○ 기존 공정 감시 대비 10~30% 빠른 이상 탐지 및 100%의 정확도로 공장 운전의 안정성 및 운전 효율 극대화

○ 센서 간 상관성 분석을 통해 공정 운전 중 발생하는 현상에 대한 원인들을 밝혀내어 운전 효율을 극대화하고 품질 개선 및 운전 최적화에도 적용될 것으로 기대.

○ 이상 전파 경로 추적 기술
- 단시간에 확산되는 이상의 경우 기존 DCS 기반 alarm management 시스템에서는 alarm의 시점, 중요도를 고려하지 않고 동일한 신호로 이상 발생을 알려줌.
- 운전원이 이상 시작 위치, 이상에 영향을 받는 장치의 파악이 어려움.
- 주요 장치에 이상 발생할 경우 trip, emergency shut down 등 큰 사고로 확산될 수 있음.
- 이상 전파 경로 추적 기술을 통해 이상의 발생 시점과 전파 경로, 공정 이상의 인과관계를
- 운전원이 즉시 인지 가능한 GUI 형태의 인터페이스로 제공.
- 이상에 대한 조치 소요 시간 단축으로 인한 손실 방지 및 공정 안전성 증대.

○ 이상 원인 센서 분석 기술
- 다수 센서에서 이상이 감지되는 경우 이상에 가장 영향을 많이 받은 센서나 영역 파악에 시간이 소요됨.
- 하나의 이상 현상에 대해서도 운전 변수의 변화, 계절적 요인, 장치 내부의 문제 등 여러 가지 원인이 복합적으로 존재함.
- 위와 같은 공정 이상에 대한 자동화된 분석 시스템이 구축된 사례가 없어 사람이 직접 수행했을 때 많은 시간이 걸려 즉각적인 대처가 어려움.
- 100% 자동화된 플랜트 이상 원인 분석 기술 적용하여 운전자에게 GUI 형태의 화면과 레포트 형태로 제공함으로써 빠른 원인 분석 및 조치가 가능해짐.

2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절 동특성 기반 모니터링 및 이상상태 진단기법 분석

1. 기존 공정 모니터링 및 이상진단 방법론 조사

(1) 공정 모니터링 및 이상 진단 기술은 문제를 해결하는 방식에 따라 정량적 모델 기반 방법, 정성적 모델 기반 방법, 공정 이력 정보 기반 방법으로 나눌 수 있다.

(2) 각 방법의 특징과 장단점은 다음과 같다.

○ 정량적 모델 기반 방법: 공정을 잘 표현하는 수학적 모델(input-output 혹은 state-space model) 을 이용하여 실제 값과 모델에 의해 예측된 값 사이의 차이를 이용, 이상을 감지하고 진단하는 방법이다.

- Diagnostic observers, parity relations, Kalman filters, parameter estimation 등의 세부 방법이 있다.

- 수식 모델을 이용하기 때문에 정확한 정량적 모니터링 및 진단이 가능한 반면, 정확한 수학적 모델을 얻기가 어렵다는 단점이 있다.

- Observers, parity relations, Kalman filters, DMP(diagnostic model processor) 등의 정량적 모델기반 진단방법은 공정을 잘 나타내는 수학적 모델을 필요하며 센서의 측정값 또는 제어기 출력을 이용하여 잔차(residual)를 계산하고 이상을 결정하는 두 단계의 방법으로 이상진단이 이루어진다.

- 관측자나 필터를 이용한 추정기법은 대표적인 정량적 진단방법으로 공정의 수학적 모델을 표시하는데 필요한 상태변수(state) 및 모수(parameter) 값의 변화를 관찰하여 변화를 근거로 판단하는 방법이다. Kalman filter는 최적추정자로 많은 응용이 있어왔지만 발산하거나 수치적으로 편향된 추정값을 주는 등 수치해석적으로 불안하고 계산량이 많으며, 공정에 대한 정확한 수학적모델을 얻기가 어렵다는 단점이 있다.

- 정확도를 유지하면서도 계산량을 줄인다는 장점이 있는 sub optimal EKF도 정량적 모델 기반 방법론이다. Observer를 이용한 이상진단은 설계가 간편하지만 역시 수치적인 해를 구하기가 어렵고 해를 구하기 위한 조건의 만족이 어려워 실제적으로 적용하기에 많은 어려움이 있다. (Chang, Hwang, 1998)

- 이 방법들에서 잔차의 평가는 진단결과에 큰 영향을 주며 빠른 진단과 오진단(false diagnosis) 사이에서 적합한 균형을 찾는 것이 핵심으로 신경망을 이용하는 방법도 연구되었다(Koppen-Seliger, Frank & Wolff, 1995).

○ 정성적 모델 기반 방법: SDG(signed digraph), 이상트리(fault tree), 정성적모사(qualitative simulation) 등의 정성적 모델기반 진단방법은 공정변수간 또는 변수-이상간의 인과관계를 지식베이스(knowledge base)로 표현하고 이를 탐색(search)하여 결론을 이끌어내게 된다.

- 지식베이스 구축이 정량적 모델에 비해 쉽고 특히 이상진단 과정에 대한 설명기능이 뛰어나지만 대부분의 방법에서 선명성이 떨어져 쓸데없는 해를 많이 제시하게 된다.

- SDG는 가장 대표적인 정성적 모델로서 공정 변수 사이의 미시적인 인과관계를 공정의 수학적 모델이나 공정지식 및 데이터로부터 유향그래프(diagraph)로 표현한 모델임. 1979년 Iri의 연구 이후 선명성을 향상시키고 탐색시간을 줄이기 위한 다양한 연구가 발표되어 왔으며 특히 전체 공정모델을 단위공정의 모델로부터 자동합성할 수 있으며 다른 모델과의 결합이 용이하여 많은 연구가 진행되고 있다.(Venkatasubramanian, 2003)

- 정성적 모사는 부호유향그래프와 같이 정성적 모델에 기반한 방법으로 정량적 모사에 사용되는 수학적 모델을 이용하는 대신 정성적인 제약식(qualitative constraint)을 이용하여 정성적인 모사기법에 따라 해를 제시함. 공정의 상황을 정성적으로 표현하고 이를 이용하여 이상을 진단하는 기법으로 모델링이 쉽다는 장점이 있지만, 각 이상을 규명할 때 선명성이 떨어진다는 단점이 있다.

○ 공정 이력 정보 기반 방법: 이 방법은 과거의 공정 이력 정보가 충분할 때 이용할 수 있으며, 관련 데이터를 좀 더 수월하게 모니터링하고 진단할 수 있는 값(feature)으로 변경하고, 이를 기반으로 정성적 혹은 정량적으로 모니터링 및 진단하는 방법이다.

- 공정데이터 기반 방법은 전문가시스템(expert system), QTA(qualitative trend analysis) 등의 정성적 데이터기반 방법과 PCA(principal component analysis), PLS(partial least sqares), SVM(support vector machine) 등의 통계적기법, 신경망(neural network)의 정량적 데이터기반 방법으로 나뉘어딘다. 규칙기반 전문가 시스템은 주로 조업자(operator)나 엔지니어의 조업경험으로부터 얻어진 공정지식을 “if-then"의 규칙 형태로 표현하여 진단을 수행한다. 따라서 구현하거나 이해하기 쉬우며 공정의 동특성이 모델로서 표현하기 어려운 공정에 용이하여 많은 산업체에서 이를 이용한 전문가시스템을 개발하였다.

- QTA는 공정변수의 경향(trend)를 표시하는 방법으로 공정 경향을 삼각형 에피소드로 표현하는 방법, 프로파일 개념을 도입하여 계층적으로 표현하는 방법, CUSUM(CUmulative

SUM)을 이용하여 경향을 표현하는 방법, 신경망을 이용하여 정황 의존적인 정보를 사용하여 공정의 변화와 경향을 해석하는 방법 등이 있는데 공정데이터의 압축을 위해서 사용될 수도 있다.

- PCA, PLS는 chemometrics분야에서 폭넓게 사용되던 통계적 방법으로 최근 들어 이상진단을 위해 많은 연구가 진행되고 있다(MacGregor, 1995). 하). 모델이 선형이기 때문에 비선형성이 심한 공정에는 적합하지 않다는 단점이 있어 이를 극복하기 위한 비선형 PCA, PLS가 연구되고 있다.(Scholkopf, 1998) 신경망은 일반화의 능력이 있고 진단에 필요한 시간이 작으며 특히 다중이상에 적용할 수 있는 장점이 있다(Kramer, 1991. Dong, 1996). 그러나 신경망을 학습시키기 위한 공정데이터를 얻기 어렵고 동특성을 나타내기 어렵다는 단점이 있다.

- 이들 방법은 모델링이 쉽고 실시간 판단이 가능하다는 장점이 있는 반면, 자주 모델을 업데이트 해야 하고, 데이터에 포함된 노이즈 및 센서 오류 등을 해결해야하는 번거로움이 있다.

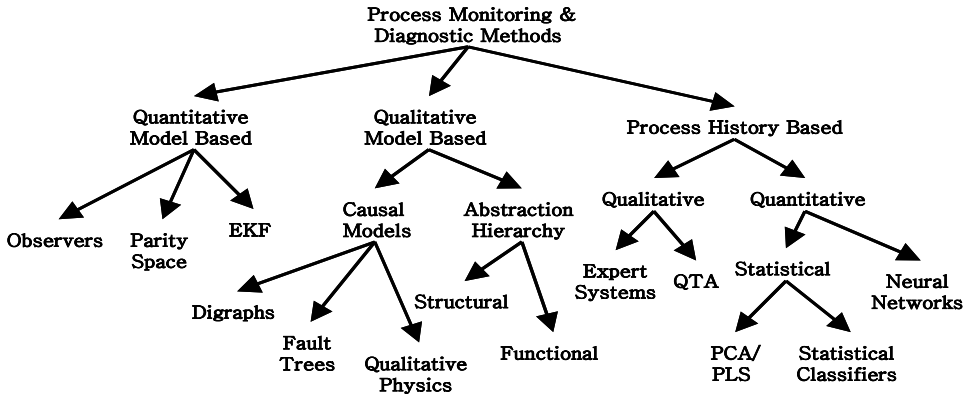


그림 2.1.1.1 공정 모니터링 및 이상 진단 방법들

2. LNG 플랜트 감시 및 이상진단 방법 조사

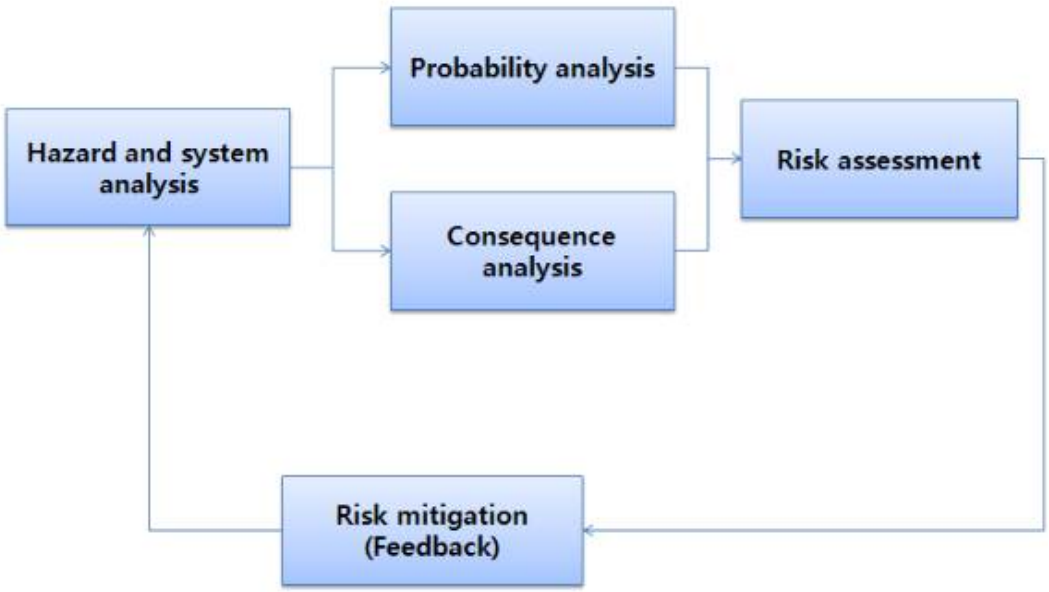


그림 2.1.2.1 위험 관리 구조 다이어그램

위의 그림은 LNG 플랜트의 위험 분석 과정에서의 기능적 유닛들의 로직 다이어그램을 나타낸다. 그리고 아래 표는 위험 분석의 단계와 각 단계별로 중요한 변수들을 나타낸다. 이러한 위험 분석 과정은 플랜트의 설계 및 계획 과정에서부터 고려되어야 한다. 위험 분석의 목표는 LNG의 유출과 같은 예상치 못한 사고를 예방하기 위해 필수적으로 고려해야 할 사항을 확인하고, 사고가 일어났다고 하더라도 그 위험성과 피해를 최소화 하는 것이다.
첫 번째 단계는 hazard and system analysis 이다. 이 단계는 LNG 플랜트에 있어 매우 중요한 단계로서, 위험 물질, 발생 가능한 사고, 자연재해, 비정상 상태의 발생에 관련된 성질들이 이 단계에서 고려된다.. 외부 환경 요인이 시스템과 시스템에 발생할 수 있는 이상 상태에 영향을 미칠 수 있는지 또한 고려된다. 이러한 요인들에는 토지 이용 계획, 강수량, 풍속, 대기안정도 등이 포함된다.

두 번째 단계는 probability analysis 이다. 이 단계에서 사고 시나리오와 안전 효과 등이 확률론적으로 고려된다. 적절한 probability analysis를 수행하기 위해 과거의 사고 이력 데이터와 이론적 사고 시나리오가 필요하다.

세 번째 단계는 consequence analysis 이다. 이 단계가 위험 분석 과정에서 가장 복잡한 단계이다. 이 단계에서 발생 가능한 사고의 물리학적 모델이 수립되고, 사고의 영향력이 분석된다. 일단 분석이 완료되면 risk assessment function이 초기화된다.

Risk parameters and variables				
Hazards & system analysis	Probability analysis	Consequence analysis	Risk assessment	Risk mitigation
Material properties	**Plant spill probability**	**Pool fire**	**Thermal criteria**	**Plant**
Physical	Historical accident data	Immediate ignition	Thermal exposure time	Design
Chemical	Credible accidents	Burning rate	Thermal dosage	Operation
Hazardous	Hypothetical accident scenarios	Thermal radiation flux	Fatality/injury	
Abnormal events		**Vapor plume**	**Exposure**	
Sabotage		Pool spreading rate	Immediate ignition exposure	
Aircraft crashes		Vaporization rate	Delayed ignition exposure	
Meteorite crashes		Pool size	Number of exposed persons	
Seismic events		Vapor dispersion	Fatality/injury	
		Flammable vapor zone		
Plant accidents		Vapor exposure time	**Risk assumptions**	
Pipeline rupture		Populated area exposure	Population density	
Unloading line spill			Number of ignition sources/person	
		Plume fire	Ignition probability	
Routine weather/climate		Delayed cloud ignition	Nonignition probability	
Wind speed/direction		Burning time	Individual exposure probability	
Atmospheric stability		Thermal radiation flux		
Humidity/precipitation			**Risk computation**	
Temperature			Flammable zone	
			Probable weather conditions	
			Ignition probability eah sector	
			Average persons exposed/year	
			Risk of fatality/injury	
			Annual individual risk	
			Risk comparison	
			Everyday risks	
			Acceptable/unacceptable risks	

그림 2.1.2.2 위험 인자와 변수

위험 평가는 다소 직접적이며, risk value를 다른 활동과 비교하고, unacceptable risk value를 설정한다.

Unacceptable risk와 그 원인의 발견은 완화 조치로 이어지는데, 이것이 네 번째 단계이다. Risk mitigation function은 윗 그림의 피드백 루프로 나타난다. 이 피드백 과정이 플랜트의 설계 및 계획에 다시 영향을 주게 된다. (Paul Martino, 1980)

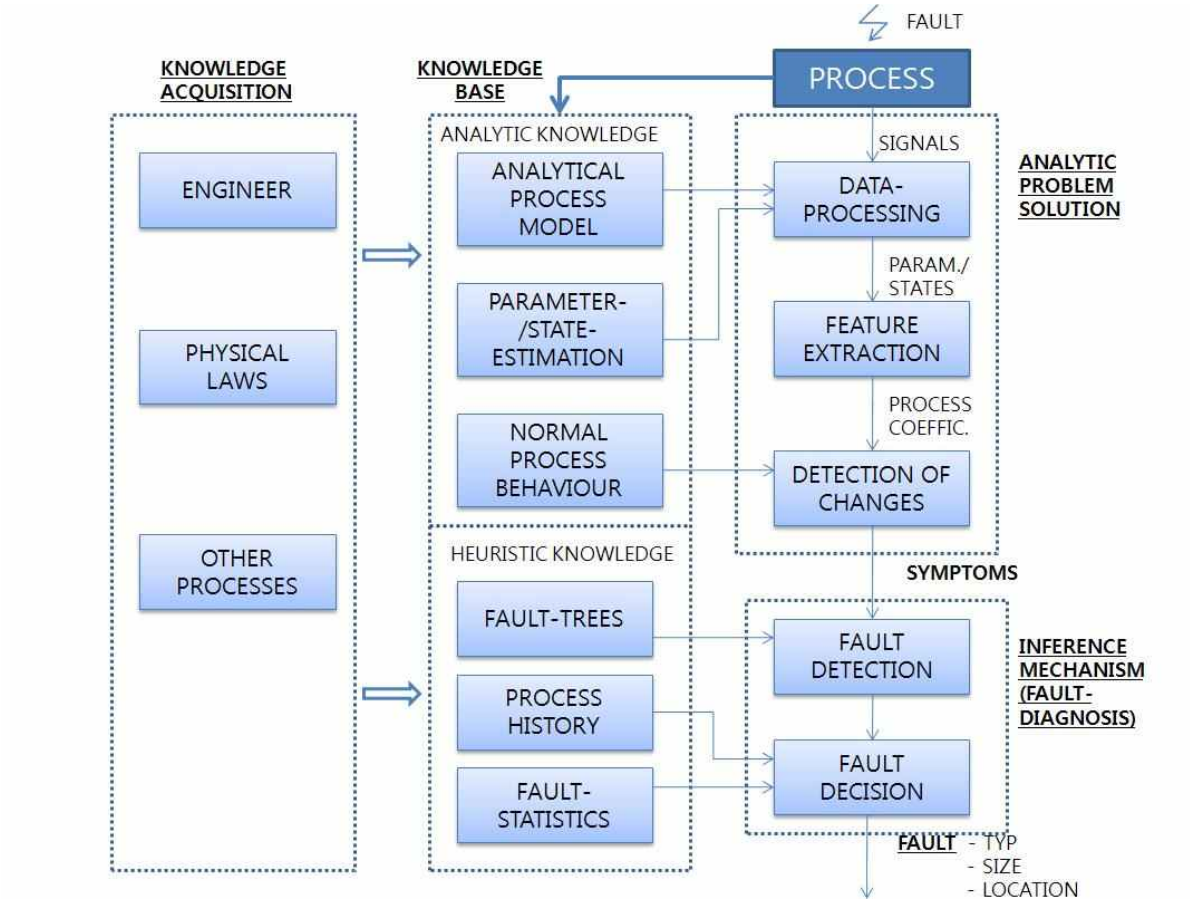


그림 2.1.2.3 지식 기반 이상진단 조직도

위 그림은 지식 기반 이상 진단의 조직도를 보여준다. 분석적 문제 해결 과정은 data-processing, feature extraction, detection of changes as symptoms 으로 이루어지며, 지식 기반은 두 가지 부분으로 구성된다. (Isermann, 1993)

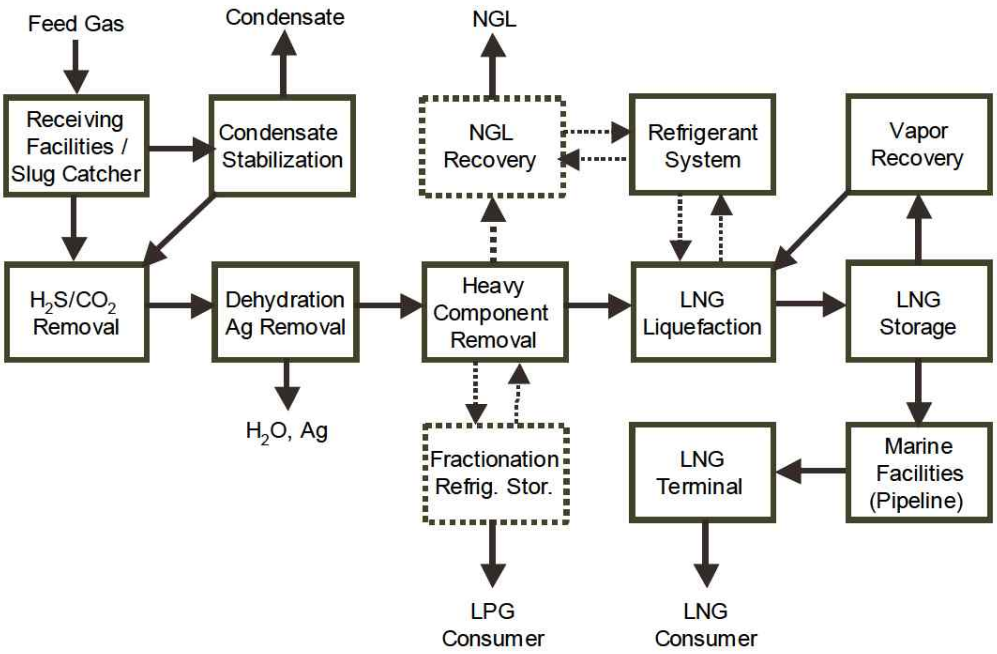
○ 분석적 지식
- 이론적(물리학적 법칙) 모델링을 통한 분석적 공정 모델.
- 파라미터와 상태 변수들에 대한 개산 방법.
- 정상 공정 거동.
- 정량적 공정 이력 및 이상 통계.

○ 경험적 지식
- 이상 트리 (증상과 이상의 연결).
- 정성적 공정 이력 및 이상 통계.

3. LNG 플랜트 특성 파악

본 연구에서 LNG 공정요소 및 모듈 분석을 위하여 조사한 LNG 플랜트 구성요소 및 특성은 다음과 같다.

LNG (liquefied natural gas)기술은 주성분이 메탄인 천연가스를 초저온(약 -162℃) 액화 공정을 통하 여 액체연료로 전환하는 기술로서, 액화되면 부피가 가스 상태의 약 1/600로 감소하여 보관 및 운송이 용이해짐. 이렇게 생산된 LNG는 수요처에서 다시 기체로 전환하여 사용되며, 일반적인 LNG 생산 공정은 아래의 LNG 플랜트 공정 흐름도와 같다.



2.1.3.1 LNG 플랜트 공정 흐름도

천연가스는 다량의 탄산가스, 황화수소, 물 등의 불순물을 함유하고 있다. 이들 중 탄산가스, 황화수소는 장치에 부식을 일으키고 물은 공정 중에 가스수화물을 생기게 하여 운전 중의 장애원인도 되므로 이들 불순물들은 천연가스를 정제할 때 미리 제거한다. 천연가스는 산지에 따라 조성이 다른 것이 보통이다. 일반적으로 메탄(CH_4)이 대부분이며 에탄(C2H6), 프로판(C3H8), 부탄(C4H10) 등의 중질분을 많이 포함하고 있으나 질소, 탄산가스, 유황화합물을 다량 포함한 것도 있다. 그러나 쉽게 액체화하는 중질분과 연료로서의 질을 떨어뜨리는 원인이 되는 불순물은 액화되기 전에 제거하여야 한다.

LNG는 다성분의 탄화수소로서 구성되기 때문에 성분이 다른 LNG를 동일한 저장탱크에 저장하는 경우 혼합이 나쁘면 층상화할 가능성이 있고, 그대로 장시간 저장하여 두면 증발에 의한 조성변화로 급격히 혼합하는 반전(Roll Over) 현상을 일으키든지, 탄산가스가 농축하여 고화 석출하는 일이 있다.

감압된 천연가스는 각각의 액화공정으로 공급되며, LNG 플랜트 공정설비로는 이산화탄소 제거설비, 물과 수은의 제거설비, 액화설비, 분류설비, 냉매의 저장 및 보충 설비 등으로 구성된다. 천연가스 중 제거되어지는 불순물로는 CO2, H2S, 수분과 수은이다. 이들이 제거된 가스는 냉매를 이용하여 냉각되어 에탄 이상의 무거운 성분 (Heavier Hydrocarbons, HC)을 분리한다. 무거운 성분의 가스가 분리된 가스의 성분은 주로 메탄이며, 이 후 가스는 극저온 (-162 ℃ 정도) 공정을 통하여 액화된다. 액화된 천연가스 (LNG)는 대기압 하에서 탱크에 저장되고, 냉각 공정에서 분리된 무거운 가스 성분인 에탄, 프로판 그리고 부탄은 각각의 분리 공정을 통하여 회수된다. 에탄은 일반적으로 다시 주입되어 액화된다. 프로판과 부탄은 주로LPG (Liquefied Petroleum Gas)로 전환된다. 나머지 이들 보다 더 무거운 성분인 펜탄 이상의 가스는 가솔린 제품으로 판매된다.

플랜트 공정상 요구되어지는 유틸리티로는 1) 전력 생산을 위한 연료가스, 2) 냉각매체 (물 혹은 공기), 3) 가열매체 (스팀 혹은 오일 시스템) 그리고 4) 기타 계장에 이용되는 공기와 질소로 구성된다. 육상에 설치되는 대형 LNG 플랜트에 있어서 1) 액화공정 (Liquefaction) 2) 열교환기 (Heat exchanger technology) 그리고 3) 드라이버와 드라이버의 구성은 매우 중요하며 기술적으로 충분히 고려되어야 한다.

가스전으로부터 유입되는 천연가스에 존재하는 황화수소 (H2S)와 이산화탄소 (CO2)는 반드시 제거되어야 한다. 황화수소는 독성을 갖고 있으며, 금속 설비들을 부식 시키고, 이산화탄소는 가스의 열량 (heating value)을 떨어뜨리고 천연가스 수송시의 낮은 온도와 높은 압력 하에서 고형화되기 때문이다.

수분 역시 제거되어져야 하는데 부식 문제를 발생시키고 하이드레이트(hydrate)를 형성하기 때문이다. 하이드레이트는 천연가스 수송시의 낮은 온도와 높은 압력 하에서 탄화수소와 수분과 물리화학적인 결합을 통해 얻어지는 흰색의 고형물로 파이프이송 효율을 떨어뜨린다. 수은을 제거하는 공정 역시 포함된다. 무거운 성분의 가스 (heavy hydrocarbon) 분리는 무거운 성분의 가스는 극저온 설비에서 결빙과 이로 인한 막힘 현상을 초래하므로 LNG 최종 제품 생산 공정 중에 분리되어야 한다.

무거운 성분의 가스가 많은 경우 (회수 후 경제성이 있을 정도로 주로 수반가스 (associated gas)가 해당됨)에는 NGL (natural gas liquids) 형태로 회수하는 공정이 포함되어져야 한다. NGL로 회수되는 경우가 아니더라도 분리/회수 공정을 통해서 얻어진 무거운 성분의 가스는 LPG (C3 + C4) 등의 고부가가치 제품으로 전환되기도 한다.

액화공정 (Liquefaction)은 일반적으로 LNG 전체 플랜트 설비금액의 30 ~ 40% 정도를 차지하며, 전체 공정의 효율 (efficiency) 운전용이성 (operability), 신뢰성 (reliability)을 결정하는 주된 요소이다. 주된 설비 항목으로 1) 냉매를 순환시키기 위한 compressor 와 2) compressor driver 그리고 냉매간의 열교환과 가스의 냉각과 액화를 위한 열교환기가 있다.

천연가스는 혼합물로서 광범위한 온도 범위에서 액화되는데 냉각되는 가스와 냉매 흐름간의 온도차를 최소화하기 위하여 주어진 온도 범위 내에서 하나 이상의 냉매를 사용하거나 온도 범위를 분할시킴으로 온도차를 좀 더 근접시키기 위하여 서로 다른 압력에 있는 냉매를 사용할 수 있다. 공정상 가스는 일상적으로 높은 압력(40 55 bar)으로 운전되는데, 이는 설비의 사이즈를 줄이고 보다 효율적인 냉각을 위한것이다. 냉매로는 순수한 성분만을 쓸 수도 있고 다양한 성분의 혼합물을 쓸 수 있으므로, 냉매의 조성도 하나의 중요한 조절변수로 고려되어짐. 혼합 냉매 (mixed refrigerant, MR)의 조성은 공정 조건에 맞게 조절될 수 있다. LNG 생산에는 플랜트의 생산규모가 경제성에 많은 영향을 미치며 일반적으로 액화능력의 크기가 커질수록 설비 투자비용이 줄어든다. 이 때 한계 사항으로 작용하는 것은 compressor를 운전하기 위한 combustion gas turbine의 크기이다. Propane Pre cooled Mixed Refrigerant Process의 경우에는 spiral wound 열교환기의 size가 플랜트의 사이즈를 결정하는 한계 사항으로 작용한다.

LNG 플랜트는 단위 장치 또는 단위 공정에 수많은 제어기가 복잡한 제어로직에 의해 구성되어 있으므로 플랜트를 효율적이고 안전하게 관리하기 위해서는 플랜트의 설계 단계에서 플랜트의 제어계통에 대한 정확한 설계 및 이에 대한 검증이 필수적으로 하다. 또한 운전시작(start-up), 정상적 또는 비정상적 운전정지(shut-down), 부분 운전정지(partial shut-down) 등의 시간에 따라 정상상태(steady state)가 아니 경우에 대한 안정적인 운전절차를 확립할 필요성이 있다.

LNG 플랜트의 경우 특히 계통의 핵심요소인 압축기, 압축기의 구동기인 가스터빈(또는 증기 터빈) 및 전기 모터 등 핵심설비의 전력계통의 효율적인 관리 및 안정적인 관리가 매우 중요한 요소이며, 또한 공급계통의 조성 변화, 일별/계절별 외기 온도 변화 등의 외부 상황의 변화에 적절히 대응할 수 있는 제어시스템의 설계 및 운전 방법의 확립 등도 필요하다.

특히 상기와 같은 적절한 방법으로 제어계통이 설계되고 안정적인 운전 절차가 확립될 경우 플랜트의 사고를 미연에 방지할 수 있는 효과가 매우 강하다. 가스플랜트사업단에서 추진하고 있는 테스트베드 플랜트가 완공되면 축적된 운전데이터를 토대로 dynamic model을 점차적으로 업데이트하여 운전자 훈련, 고장 예지, 최적 제어 알고리즘 개발을 위한 가상 플랜트로서의 기능의 구현이 필요하다.

LNG 플랜트는 일반적으로 초저온, 고압 상황에서 운영되며 경제적으로 장치의 최적화를

통한 이윤의 극대화가 매우 중요하지만 이윤의 극대화를 위해 설비 한계에 가깝게 운전할 경우에 발생할 수 있는 사고의 규모 또한 엄청나게 커질 우려가 있음. 하지만 이러한 문제점을 개선하기 위한 안전에 기반을 둔 안전/품질관리 기술과 관련된 체계적인 연구가 미흡한 실정. 따라서 LNG 플랜트를 안전하게 관리하고 발생 가능한 손실을 최대한 억제하기 위해서 LNG 플랜트 내 여러 시설들의 안전성을 분석/예측/평가하는 시스템 및 안전코드의 개발이 시급하다. 이에 동적 공정 해석 기술 및 동특성 관련 기반기술은 플랜트 사업에서 초기 개념설계 단계에서부터 기본설계, 건설, 시운전 및 유지보수 단계에 이르기까지 플랜트의 생애 전주기에 필요한 기술로서 해석기술과 제어기술이 조합된 IT 기술의 결정체라고 할 수 있는 기술이다.

○ LNG plant unit 조사

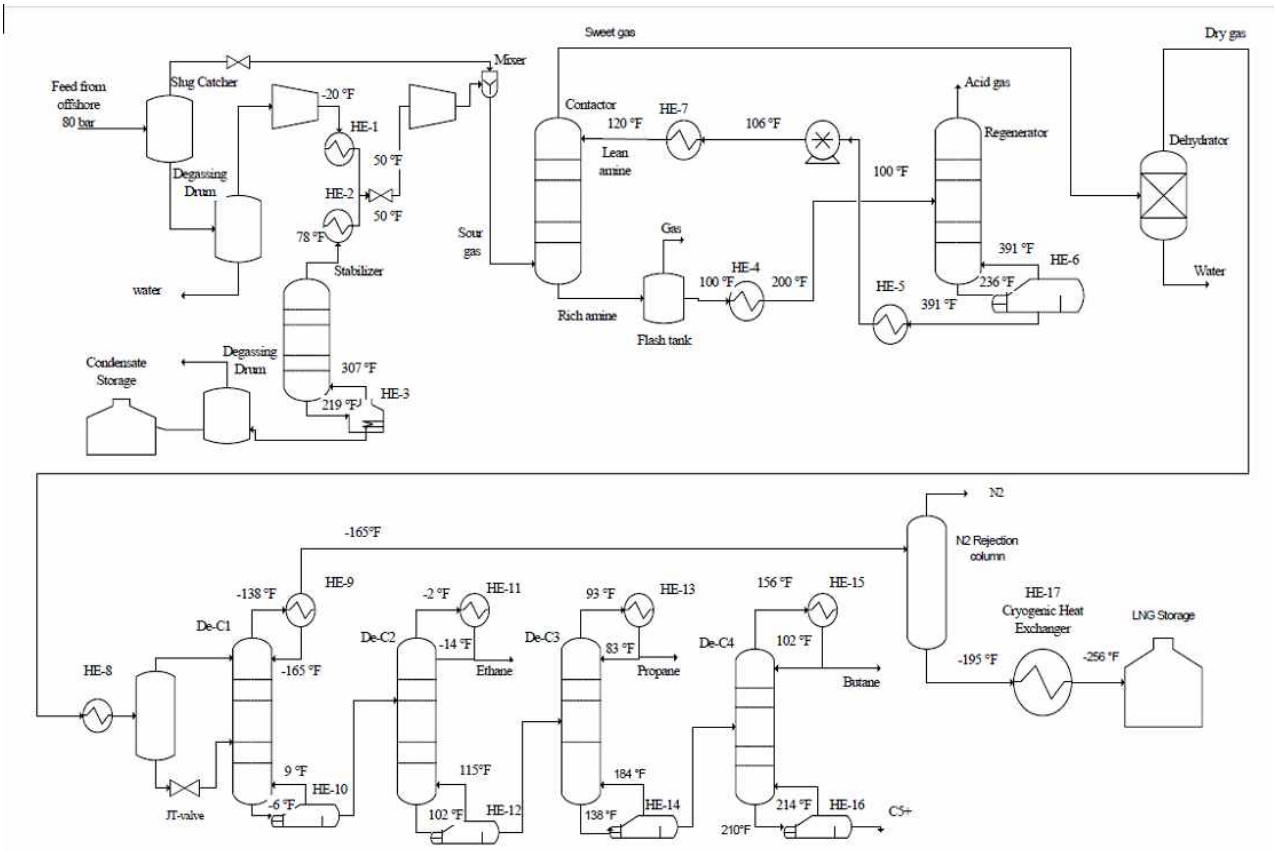


그림 2.1.3.2 LNG플랜트의 흐름 다이어그램

○ typical LNG test plant sensor location 조사

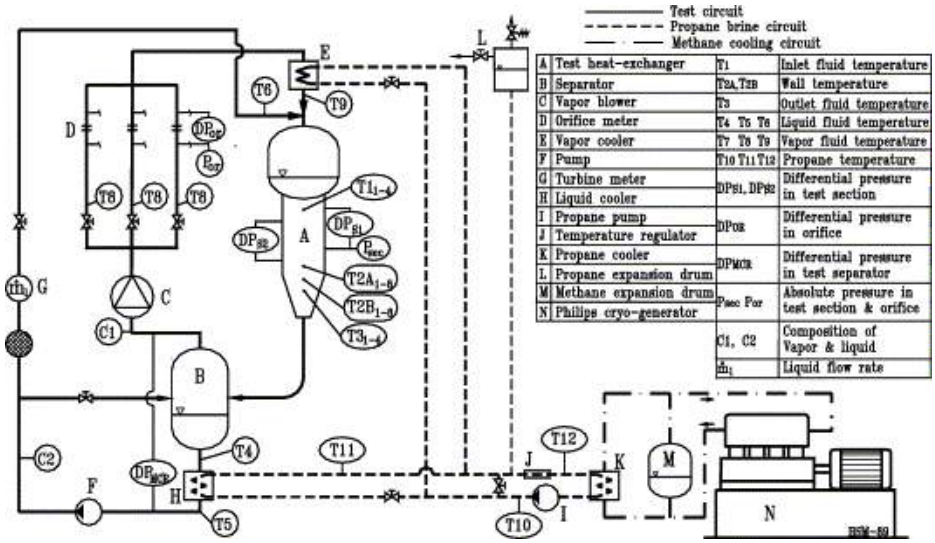


그림 2.1.3.3 테스트 LNG 공정의 센서 위치
Source: (Bengt et al. ,2004)>

상기 자료로부터 typical한 LNG test plant unit 및 주요 측정 변수를 파악하였다. 본 plant에서는 inlet/outlet fluid temperature(liquid, vapor), differential/absolute pressure, composition of C1, C2, liquid flow rate등이 주요 측정 변수였으며, sensor location또한 조사되었다. 아래 표에는 주요 변수들의 운전범위를 조사하였다.

Parameter	Low range	High range
Temperature (°C)	−150	0
Pressure (bar)	1	15
Mass flux (kg/m^{2}s)	20	200
Vapor fraction (kg/kg)	0	1
Heat flux (W/m^2)	0	10.000

그림 2.1.3.4 LNG 플랜트의 주요 측정 변수의 운전 범위

Parameter	Value
Outside tube diameter	12.00 ± 0.05 mm
Longitudinal distance between tube centers	13.94 ± 0.09 mm
Radial distance between tub centers	15.91 ± 0.06 mm
Winding angle	7.938 ± 0.06°
Core diameter (between top of half-tubes)	108.0 ± 0.05 mm
Shell diameter (between top of half-tubes)	147.63 ± 0.2 mm
Height of test exchanger	336 mm
Vertical distance between pressure taps	126 mm
Height of heated zone	56 mm
Heated tube length	1688.5 ± 3.00 mm
Heated area	63,655.0 ± 288 mm^2
In-line flow area	3031.2 ± 63 mm^2

그림 2.1.3.5 LNG 플랜트의 열교환기의 규격

아래 표에 정리된 내용은 C1,C2,C3,C4의 조성에 따라 변화되는 운전 모드를 나타내고 있다. 각 운전 모드별로 T,P,flowrate,differential pressure등의 운전 범위가 달라짐을 확인할 수 있고, 각각 어떤 레인지로 운전되는지를 조사하였다.

Fluid	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Flow ($kg/m^2 s$)	Re_1 (–)	Pr_1 (–)	n (–)
C_3 (1991)	−30 *to* −5	1.6–4.0	27–120	1400–5600	2.80–2.95	35
C_3 (1999)	−25 *to* −5	2.0–4.0	7–113	500–5800	2.80–2.92	58
C_2	−75 *to* −47	2.0–6.2	27–119	1500–8000	2.26–2.37	27
C_2/C_3 10/90 mol%	−30 *to* −15	2.2–3.6	35–98	1900–5000	2.86–2.94	14
C_2/C_3 15/85 mol%	−19 *to* −17	3.6–3.8	36–89	1800–4700	2.83–2.84	7
C_2/C_4 30/70 mol%	−37 *to* −5	2.0–4.0	45–85	1400–2600	3.48–3.77	10
C_1/C_2 41/59 mol%	−134 *to* −105	2.0–4.0	15–96	700–5600	2.15–2.56	20

그림 2.1.3.6 조성에 따른 LNG 플랜트의 주요 변수 변화

○ PRICO LNG PLANT의 nominal operation과 abnormal operation의 운전 변동 파악

LNG PLANT 특성 파악의 신뢰성을 높이기 위해 PRICO process의 경우의 운전 변화도 조사하였다. PRICO process의 Normal / pressure drop/ cooling condition은 다음과 같다.

● Nominal conditions: The natural gas: a pressure of 55 bar and a temperature of 25 C Natural gas flow rate: 1 kmol/s Composition of natural gas: 89.7% methane,5.5% ethane, 1.8% propane, 0.1% n-butane and 2.8% nitrogen
● Pressure drops: 5 bar in natural gas stream 0.1 bar in SW cooler 4 bar for hot refrigerant in main heat exchanger

1 bar for cold in main heat exchanger
● Cooling of refrigerant to 25C:
Vapour to compressor is super-heated 12C
The compressor has a fixed isentropic efficiency of 80%
In design the minimum temperature difference in the heat exchanger (Δ Tmin) is 1.2

표2.1.3.1 PRICO LNG 플랜트 정상/이상 운전 조건
Source: (Jensen & Skogestad, 2006)

	Nominal	Min	Max
NG flow [kmol s ^{1}]	1	0.5	1.1
NG P [bar]	55	50	60
SW T [°C]	25	20	30
REF C_1 [%]	25.86	15.86	35.86
REF C_2 [%]	38.5	28.5	48.5
REF C_4 [%]	28.11	18.11	38.11
REF N_2 [%]	7.45	0.00	17.45

그림 2.1.3.7 PRICO LNG PLANT의 주요 변수 정상/ 최소/ 최대값

○ C3 turbo expander system data 특성 파악

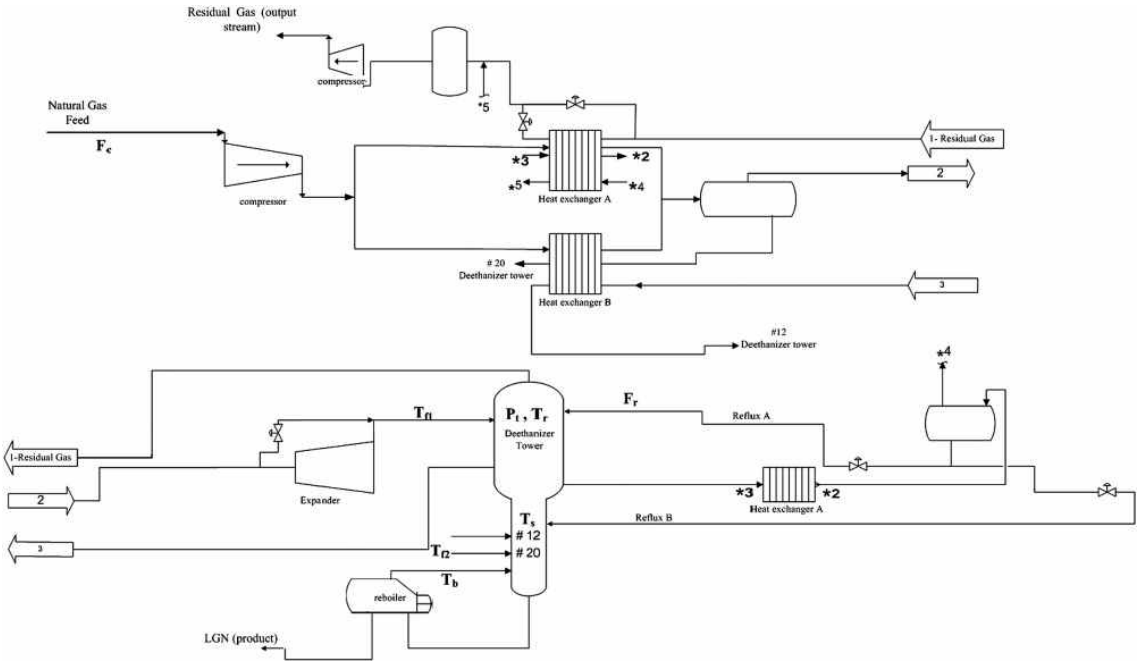


그림 2.1.3.8 C3 터보 Expander 플랜트
Source: (Santos, 2009)

위 flowsheet에 나타난 C3 turbo expander plant의 주요 측정변수는 다음과 같다.

- Reflux flow to the first tray of the rectifying section (F_r)

- Total charge flow to the unit (F_c)
- Pressure of the deethanizer tower (rectifying section) (P_t)
- Temperature of the outlet stream of the reboiler (T_b)
- Top temperature in the rectifying section (T_r)
- Bottom temperature in the stripping section (T_s)
- Gas pressure drop in the rectifying section (D_p)
- Temperature of the feed stream to the rectifying section (T_{f1})
- Temperature of the feed stream to the stripping section (T_{f2})
- C3 + C2 concentration and C2/C3 concentration ratio

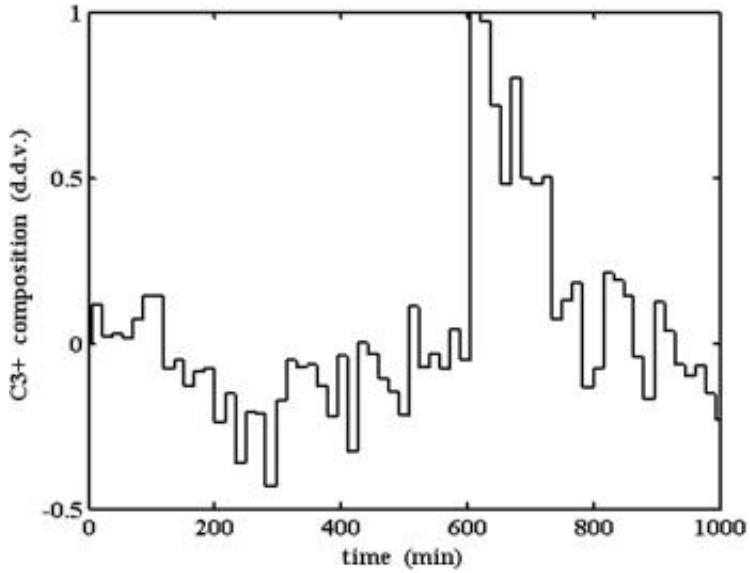


그림 2.1.3.9 시간에 따른 C3+ 조성 변화

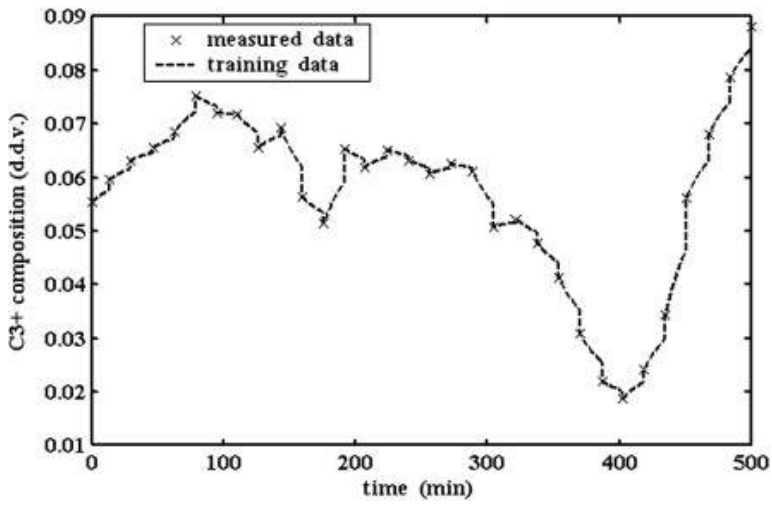


그림 2.1.3.10 deethanizer tower top stream에서의 C3 조성 변화

Input	Mean value	Max. deviation	Min. deviation
		(%)	(%)
F_r	9.3 Sm^3/h	105	70
F_c	2.3 × 10^6 Sm^3/day	53	82
P_t	15.9 kgf/cm^2	4	8
T_b	64.6 °C	10	18
T_r	− 78.4 °C	31	4
T_s	50.1 °C	25	26
D_p	0.04 kgf/cm^2	30	48
T_{f1}	− 71.7 °C	33	6
T_{f2}	31.4 °C	19	32
C3 + C2 in the charge stream	2.8 mol%	8	10
C2/C3 in the charge stream	12.4	9	5

표 2.1.3.2 C3 turbo expander plant의 측정 변수의 범위

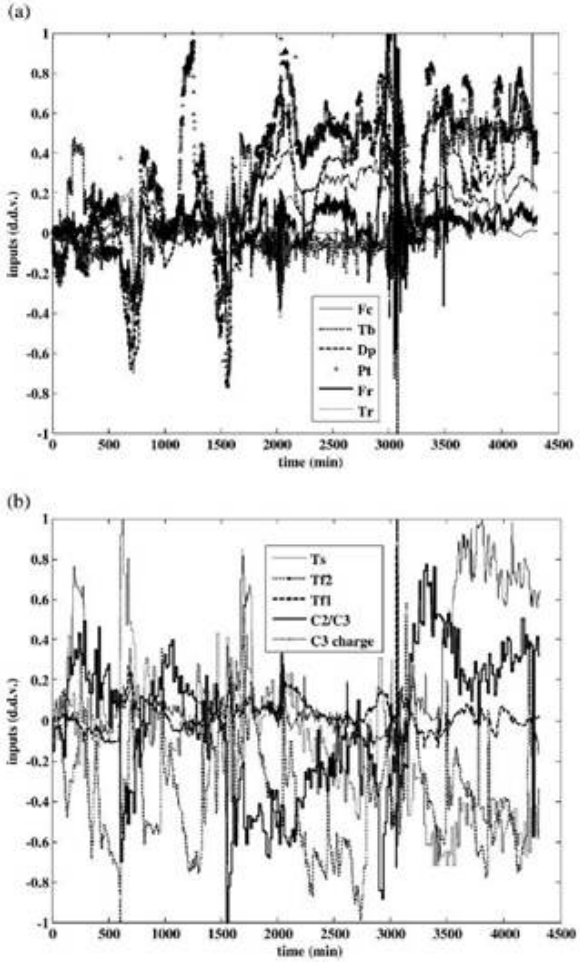


그림 2.1.3.11 C3 리커버리 공정에서의 연속 데이터

- 윗 그림은 Turbo expander에 기반한 C3 recovery system의 주요변수 및 데이터의 동특성을 나타낸다 (Santos, 2009)
- 문헌조사를 통하여 GAS plant 모니터링의 주요 요구사항을 분석하였다.
- 그림과 같이 LNG 플랜트의 데이터의 특성은 다음과 같이 요약할 수 있다.
  · sensor 측정치가 stable한 상태로 유지되는 것이 아닌 지속적으로 변화하는 동특성이 강함.
  · LNG PLANT의 센서 데이터의 변화 속도가 빠름.
  · LNG PLANT의 운전데이터의 변화 폭이 큼.
  · 특정 데이터에 변화가 일어나면 다른 변수에 영향을 미치는 변수 상관성이 큼.

4. LNG 플랜트 감시 및 진단 방법론의 요구사항 및 주요이슈 선정

LNG plant에 공정 모니터링 및 진단기술을 적용할 때 필요한 세부적 요건은 중요도 순서로 다음과 같은 항목들로 요약할 수 있다.

· 이상의 신속한 감지 및 진단 (Quick detection and diagnosis)
· 이상과 정상, 다양한 원인들의 분리능 (Isolability)

· 노이즈나 센서 오류 등에 대한 강건성 (Robustness)
· 새로운 이상의 원인에 대한 감지능 (Novelty identifiability)
· 진단 결과에 대한 정량적 신뢰도 제공 (Classification error estimate)
· 공정 변화에 따른 적응성 (Adaptability)
· 이상의 발생 및 전파 경위에 대한 설명력 (Explanation facility)
· 실제 구현을 위한 모니터링 및 진단 모델링의 수월성 (Modelling requirement)
· 실시간 구현을 위한 계산 및 저장 용량의 타당성 (Storage and computational requirement)
· 다중 이상 진단능력 (Multiple fault identifiability)

5. LNG PLANT 감시 및 진단 방법론에 대한 평가

- 기존 방법론의 적합성 평가는 벤치마킹에 사용되었던 각 감시 및 진단 기법들에 대한 LNG PLANT의 요구조건을 통하여 성능을 비교하였다.

	Observer	Digraphs	Abstraction hierarchy	Expert systems	QTA	PCA	Neural networks
Quick detection and diagnosis	✓	?	?	✓	✓	✓	✓
Isolability	✓	×	×	✓	✓	✓	✓
Robustness	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Novelty identifiability	?	✓	✓	×	?	✓	✓
Classification error	×	×	×	×	×	×	×
Adaptability	×	✓	✓	×	?	×	×
Explanation facility	×	✓	✓	✓	✓	×	×
Modeling requirement	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Storage and computation	✓	?	?	✓	✓	✓	✓
Multiple fault identifiability	✓	✓	✓	×	×	×	×

표 2.1.5.1 LNG 플랜트 감시 및 진단 방법론 성능 평가

- 모든 요구조건을 모두 만족시키는 방법론은 존재하지 않는다.
- 중요도 순서로 보았을 때 상위의 4개 항목을 만족시키는 방법론은 PCA와 Neural networks 이다.
- 이 중 modeling이 수월하여 동특성 공정에 대한 감시 및 진단이 용이한 PCA기반 방법론이 더 적합하다고 할 수 있다.

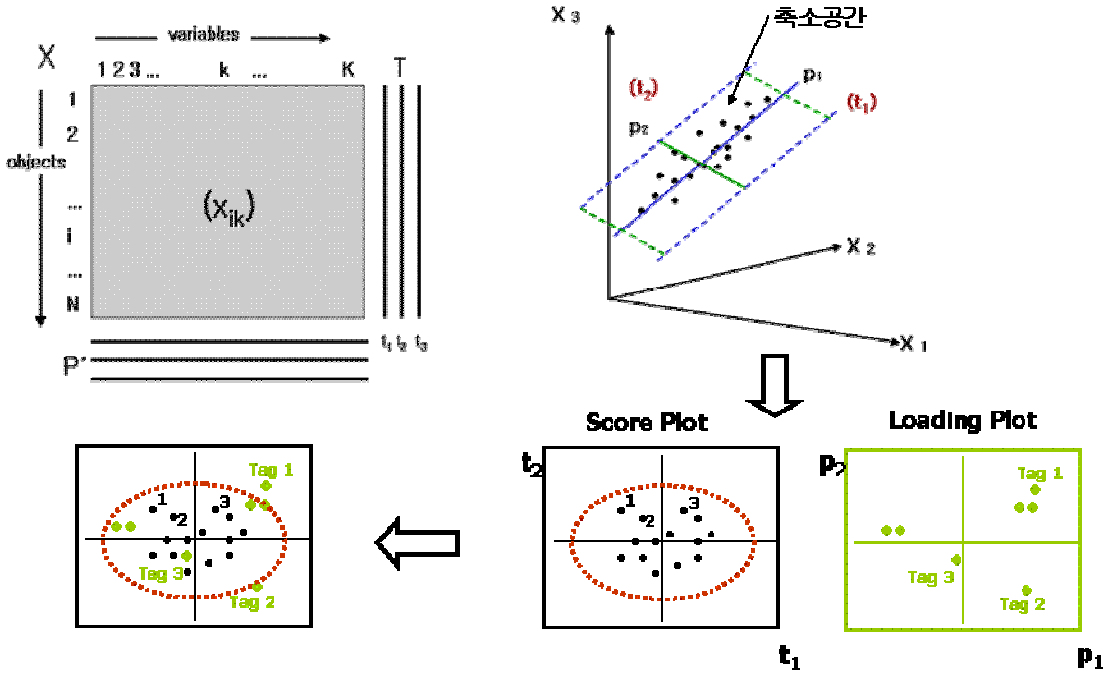


그림 2.1.5.1 주성분 분석 기본 개념

○주성분 분석 (Principal Component Analysis)

- PCA는 공정이나 실험실 측정 데이터로부터 통계적 모델을 구성하기 위한 모델링 기법이다.
- 독립변수들 간에 상관관계가 강하거나 측정값에 잡음이 많이 섞여있는 시스템의 모델링에 매우 효과적이다.
- PCA 모델링의 기본 개념은 그림과 같이 고차원의 입력 및 출력 변수 공간을 저차원의 특성 공간 (feature space)으로 투영시켜 다차원 통계 기법에 근간하여 특성 벡터 간의 최적의 함수 관계를 찾는 것이다.
- PCA는 여러 가지 장점들을 가지고 있는데, 대표적인 것이 입력 및 출력 변수들간에 상관관계가 강한 문제에 적용이 가능하고, 모델링 결과를 쉽게 해석할 수 있는 여러 가지 정보 (scores, regression coefficients 및 loadings)를 얻을 수 있다는 것이다.

6. LNG 플랜트용 실시간 모니터링 방법론 선정 및 MSPC 방법론 조사

- PCA기반 방법론이 필수요구사항을 만족시키고 있었고 이에 기본적인 감시 및 진단 방법론으로 PCA기반 Multivariate Statistical Process Control(MSPC)를 주요 방법론으로 채택 하였다.
- 이에 MSPC방법론의 특징과 성능에 대한 면밀한 조사를 진행해야한다.

○ MSPC 기반 방법론 조사

특징

- MSPC기반의 모니터링 및 이상진단 방법론은 모델링을 통해 Key Performance Indicator가 되는 부분을 공정 조업 변수나 외부 환경 변수를 통해 예측한 결과를 표시한다.
- 모델링 결과를 평가할 수 있다.
- 예측력에 대한 지속적인 모니터링과 평가, 분석을 통해 모델의 성능을 지속적으로 유지해 나갈 수 있다.

○ 변수 예측

- 변수 예측은 모델링을 통해 Key Performance Indicator가 되는 부분을 공정 조업 변수나 외부 환경 변수를 통해 예측한 결과를 보여주는 기능이다.
- 공정 효율과 조업의 효율성을 평가할 수 있는 KPI를 체계적으로 관리. 분석할 수 있게 되며, 이를 통해 궁극적으로 에너지 사용의 효율성 및 공정의 안정성을 제고할 수 있다.

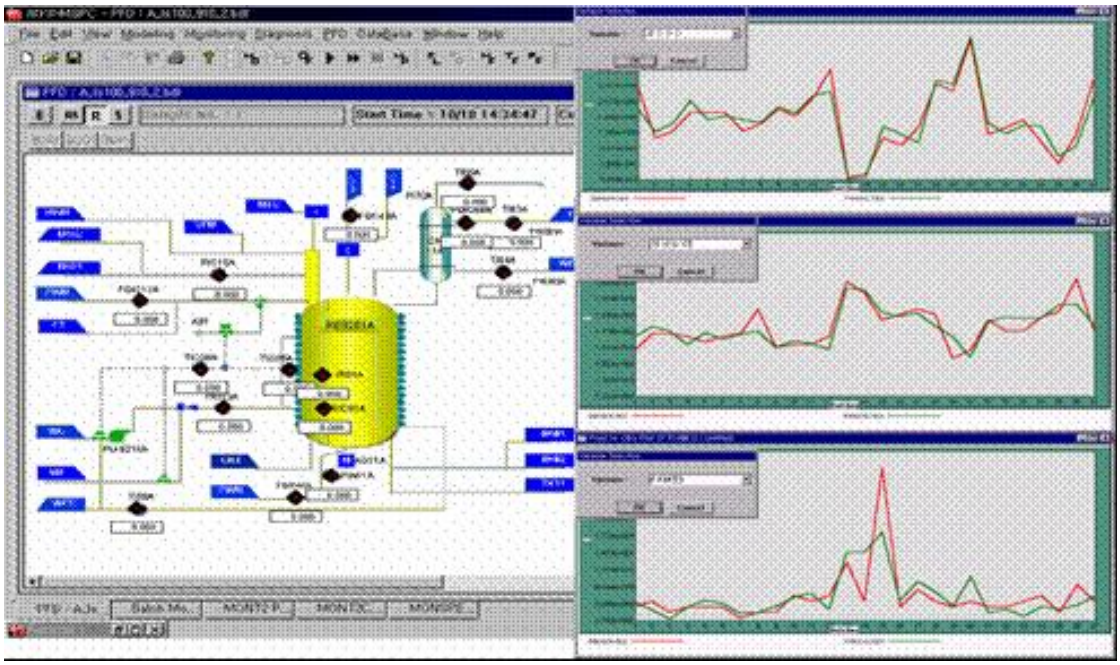
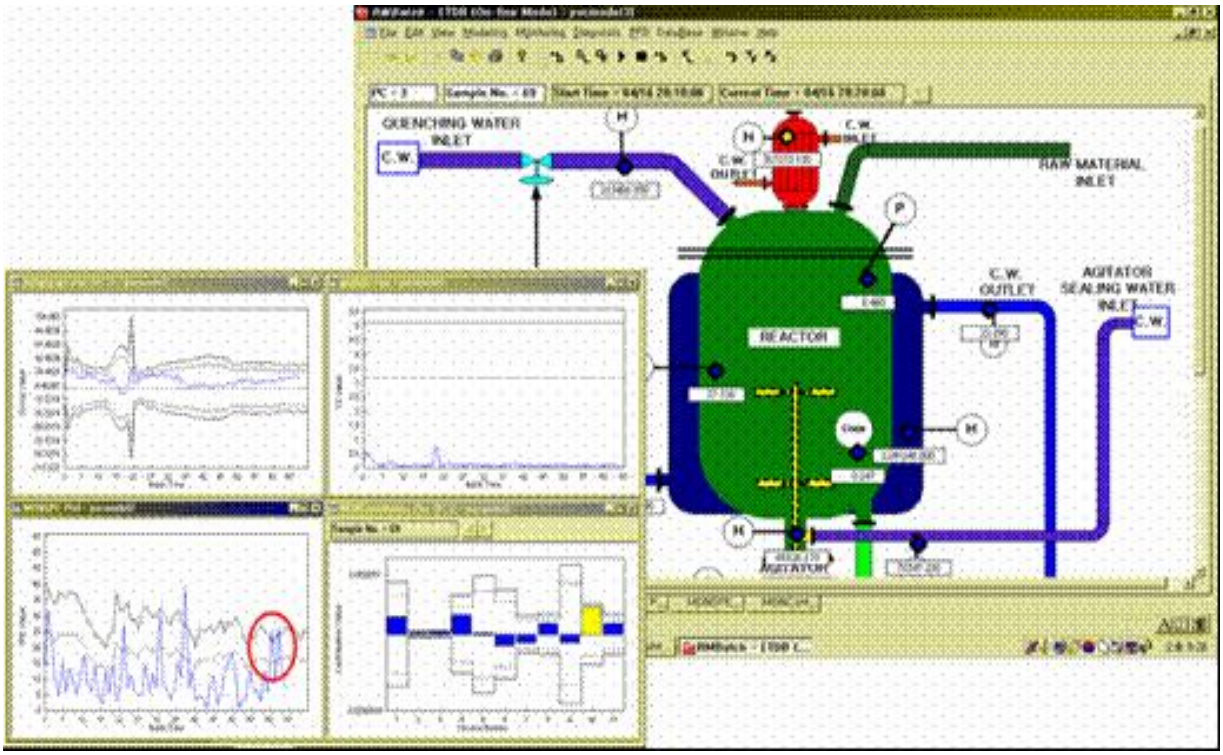


그림 2.1.6.1 변수 예측 그래프 예시

○ 이상 원인 변수 파악

- 원인 변수 파악은 감시하는 변수가 변화했을 때 그 원인을 분석해 내는 기능이다.
- 모델을 통해 변화가 심한 구간의 공정 변수 변화를 진단한다.



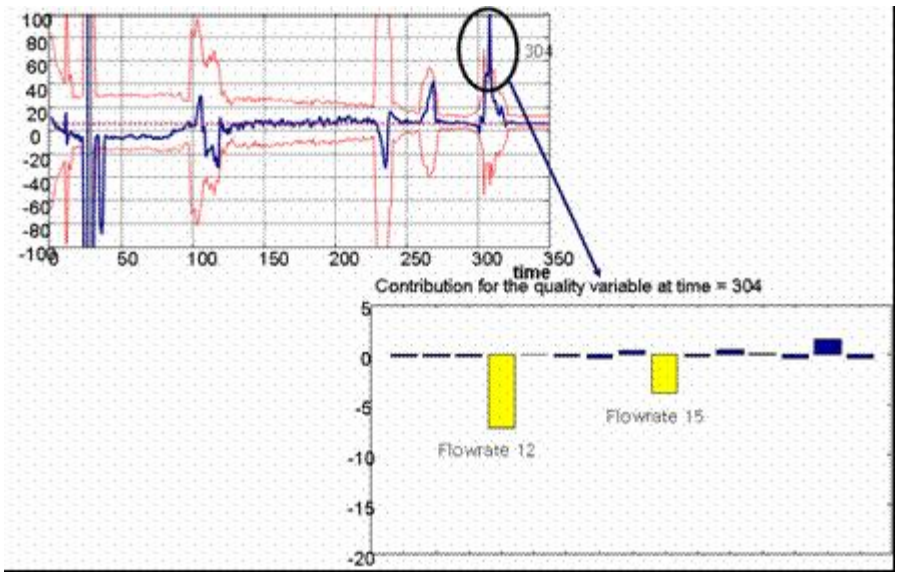


그림 2.1.6.2 원인 변수 파악 예시

○ 모드 변환 분석

- 공정 모드 분석은 그림과 같이 공정 변수의 변화를 통해 그 추이를 분석해 내는 기능이다.

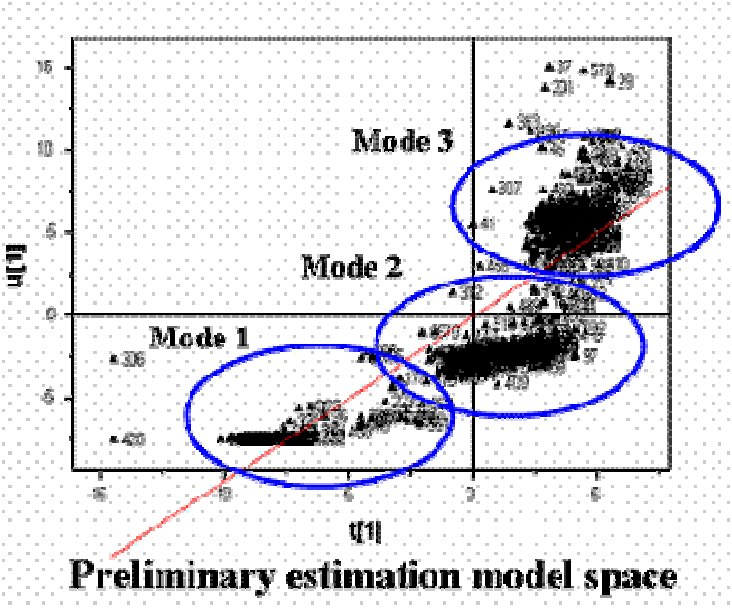


그림 2.1.6.3 공정 모드 변화 분석

○ 변수 중요도 분석

- 변수 중요도 분석은 각 공정 변수의 분포 및 상관관계를 고려하여 공정 변수에 대한 영향도를 분석해 내는 기능이다.
- 1을 기준으로 하여 그 이상일 경우 해당 공정 변수의영향도를 높게 보고, 1 이하일 경우에는 영향도를 낮게 본다.

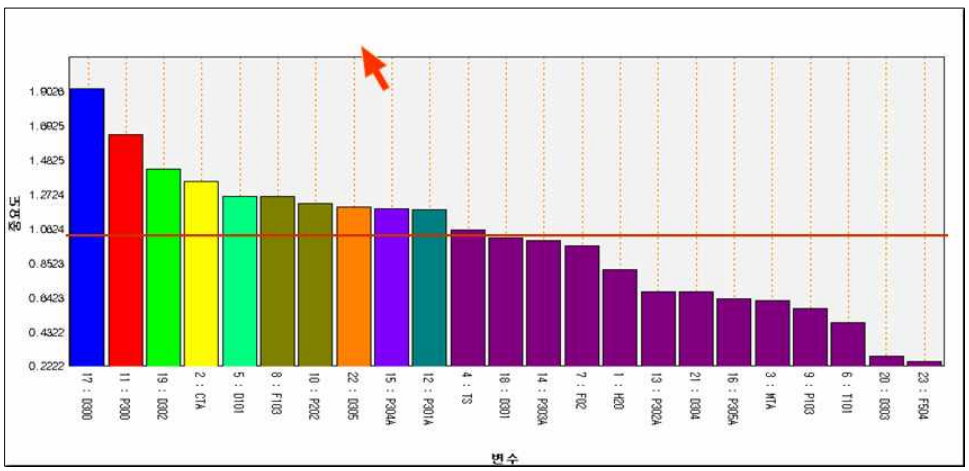


그림 2.1.6.4 변수 중요도 히스토그램

○ 변수 상관성 분석

- 단변량 분석 및 통계 분석 모듈을 통칭하여 변수 분석 모듈로 정의한다.

변수이름	X1 : H2O	X2 : CTA	X3 : MTA	X4 : TS	X5 : D101
X1 : H2O	1	-0.0158	-0.0096	-0.5695	-0.492
X2 : CTA	-0.0158	1	-0.2018	0.7844	0.6738
X3 : MTA	-0.0096	-0.2018	1	0.0988	-0.2485
X4 : TS	-0.5695	0.7844	0.0988	1	0.7684
X5 : D101	-0.492	0.6738	-0.2485	0.7684	1
X6 : T101	-0.2752	-0.1948	0.9624	0.2444	-0.1101
X7 : F02	0.9253	0.3062	0.038	-0.2566	-0.2606
X8 : F103	0.2772	0.3946	0.3869	0.2719	0.1336
X9 : P103	0.4288	0.3189	0.1687	0.0655	-0.0445
X10 : P202	0.2517	0.4859	0.1539	0.2939	0.1685
X11 : P300	-0.2388	0.2785	-0.1853	0.3135	0.1942
X12 : P301A	-0.1554	0.1465	-0.4438	0.0898	0.1104
X13 : P302A	0.3585	0.1492	-0.0873	-0.1066	-0.1047
X14 : P303A	0.3093	0.0798	0.0465	-0.0989	-0.1054
X15 : P304A	0.3819	-0.1957	0.1205	-0.3491	-0.2467
X16 : P305A	0.4251	-0.0742	0.0607	-0.2832	-0.2772
X17 : D300	0.3154	-0.0004	0.2261	-0.1196	-0.0782
X18 : D301	-0.1515	0.22	0.2293	0.3271	0.1392
X19 : D302	-0.4363	-0.0045	-0.3004	0.1655	0.1818
X20 : D303	0.1794	0.133	-0.1726	-0.0405	-0.0287
X21 : D304	-0.1185	0.3907	-0.1075	0.3624	0.2004

그림 2.1.6.5 공정 변수 상관관계 분석

위 그림의 변수들의 상관관계를 한눈에 파악해 볼 수 있는 상관관계 분석표를 통해 상관관계를 개별 변수와 변수에 대한 관계를 파악해 볼 수 있다.

7. 스마트 센서 적용 가능성 및 성능조사, 유무선 전송기법, 복합화/융합화 기법 분석

가. 기존 플랜트 현장분석

○ 기존 플랜트에서는 많은 변수를 다양한 계측장비를 통해 유선으로 모니터링을 수행하여야 한다.

-기존 플랜트는 방폭, 방진 등 특수조건이 기기 및 케이블에 고려되어야 함으로 유지보수 비용이 든다.

○ 기존 플랜트에서는 공정계통라인에 필요한 유량, 온도, 압력 등이 주요 인자로서 환경적 요건이 반영 되지 않는다.

○ 기존 플랜트는 환경적 요건을 고려하거나 스마트 센서 등 새로운 기법이 적용되기엔 공정라인 재설계 등이 필요하므로 주요공정라인 외부에 적용되고 있다.

○ 기존 플랜트는 사용되고 있는 센서의 호환성 과 융통성이 상이할 뿐만 아니라 출력되는 데이터의 다양성에 의해 일원화된 관리체계가 없다.

나. 가스플랜트 시설에 스마트 센서의 적용 가능성 및 성능 조사

(1) LNG 플랜트의 특징

○ LNG 플랜트는 센서 종류와 운영 환경, 처리방식이 상이한 데이터를 처리해야 하므로, 데이터의 비호환성 및 비융통성이라는 특징을 가진다.

○ LNG 플랜트는 센서가 다양하고, 데이터가 비선형성과 다차원성을 가지므로, 계측기기의 복잡성을 지닌다. 아래 그림은 비선형성을 가지는 데이터를 나타낸 것이다.

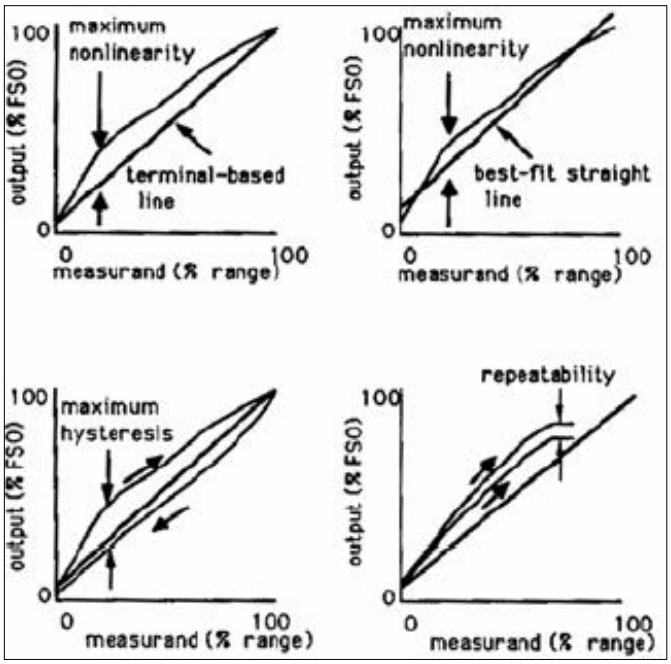


그림 2.1.7.1 데이터의 비선형성 예시

○ 기존의 센서는 현장의 특수성, 환경요소가 고려되지 않고, 노드(기기)수명보다 센서 주기가 짧기 때문에 주기적인 교체가 필요하기 때문에 현장 적용성이 낮다.

(2)스마트 센서의 적용점

○ Embedded 운영체제가 탑재되는 스마트 센서는 일반모드, 비정상(abnormal) 모드 등에 따른 설정, 로깅, 처리기능을 센서노드를 센서 노드에 탑재할 수 있으며, 이로 인해 **긴급 사고제어가 가능**하다.

○ 센싱 데이터 통신 방식을 유선전송방식에서 무선방식으로 전환하게 되면, 방폭 등 특수조건이 적용된 케이블의 단선이 존재하지 않으므로, 유지보수 비용이 감소한다.(약 50% 이상 감소)

○ 스마트 센서는 압력, 온도 등 주요인자 외에 외부인자 취득이 용이하여 환경적 요건 반경이 가능하다.

○ 스마트 센서는 다양한 데이터를 관리하는 데 있어, 국제 표준화 규격의 프로토콜 및 인터페이스 탑재함으로 관리 능력이 향상된다.

○ 스마트 센서는 센싱 정보 처리를 효율적으로 함으로써, 유연한 정보처리와 저전력화가 가능하다.

다. LNG 플랜트 시설에 필요한 스마트 센서 기술 분석 및 검토

(1) LNG 플랜트 시설에 필요한 스마트 센서 기술 분석

○ LNG 플랜트에 필요한 스마트 센서는 다양한 센서를 복합화 할 수 있어야 하고, 또한 집적된 환경에서 설치해야 하므로 집적화 및 소형화가 가능해야 한다.

○ 스마트 센서를 복합화하기 위해서는 표준 인터페이스 지원 및 운영체제 탑재가 필요하며, 구체적으로는 다음이 필요하다.
- 물리적 인터페이스가 표준화되어야 한다.
- 디바이스 드라이버를 위한 인터페이스가 적용되어야 한다.
- 표준화된 제어/관리 API가 적용되어야 한다.
- 추상화가 지원 가능해야 한다.

○ 스마트 센서를 복합화하기 위해서는, 다수 센서 탑재를 위한 확장성 있는 센서모듈로 구성해야 한다.

- 스마트 센서 노드의 구성은 다음과 같다.

센서모듈 : 측정인자 수집을 위한 센서 탑재.
제어모듈 : 센서모듈과 전송모듈을 관리하기 위한 MCU 및 임베디드 운영체제 탑재.
전송모듈 : 데이터 전송을 위한 통신 칩 및 소프트웨어 탑재.

라. 가스플랜트 시설에 필요한 무선 네트워킹 기술 분석 및 검토

○ LNG 플랜트에 필요한 센싱 정보 전송 기술로는 밀집시설 기반의 고신뢰성 무선 전송 기술이 필요하다.

-기존의 무선 전송 방식 중에서 고신뢰성 데이터 전송이 가능한 Wireless Hart protocol, 유/무선 융합을 통한 two-tired 전송 기법 등의 개선된 방식이 필요하다.

○ LNG 플랜트에 필요한 무선 네트워크 최소 통신범위(coverage)은 약 10km (구축된 국외 플랜트 기술 기준) 내/외의 유효전송거리가 필요하다.

○ LNG 플랜트에 적용 가능한 무선 네트워크의 표준화 현황 중 IEEE 1451은 다음과 같다.

구분	목적
IEEE 1451.0	네트워크의 독립적인 지능형 변환기 객체 모델 정의
IEEE 1451.1	네트워크화된 지능형 변환기 및 각 모델을 대표하는 클래스의 소프트웨어 인터페이스를 위한 공통 오브젝트 모델 정의
IEEE 1451.2	낮은 신호 대여폭을 요구하는 변환기의 인터페이스 정의
IEEE 1451.3	분산형 멀티드롭 시스템을 위한 디지털 통신 방식 정의
IEEE 1451.4	아날로그와 디지털 형태의 신호로 통신할 수 있는 혼합 방식의 변환기 인터페이스 표준 정의
IEEE 1451.5	IEEE 802.11, IEEE802.15.1, IEEE 802.15.4 프로토콜을 물리계층으로 사용하는 무선 센서 인터페이스를 정의
IEEE 1451.6	멀티 채널 모듈을 위한 네트워크 형성

표 2.1.7.1 IEEE 1451 세부표준

○ LNG 플랜트 시설환경에서 다양한 국제 표준화 전송방식 시험결과, 다음과 같은 국제 표준화 전송방식이 적용가능하다.

-IEEE 802.15.4 WPAN 방식은 자가구성 및 멀티 홉 네트워크 구성이 가능하면 적용이 가능할 것으로 보인다.

-저주파대역 RF 방식은 장애물 투과에는 강하나 전송거리가 짧고 표준화에 약하여 적용이 어려울 것으로 보인다.

-Wibro 등 상용화 전송기술은 신뢰성이 보존되나 통신비용 발생하여 대체가능한 방식이 없을 때 적용가능할 것으로 보인다.

2절. 이상 감시 및 진단 프로그램 개발

가. 개 요

서울대학교에서 개발한 '실시간이상진단감시프로그램'은 Multi-variable monitoring and fault diagnosis 방법론에 기반하고 Microsoft Excel과 Visual Basic for Application을 이용하여 다양한 분야의 공정에 적용 가능하며 실제 산업 현장에서 쉽게 사용할 수 있는 프로그램을 제작하는 것을 목표로 한다. 또한 LNG 플랜트를 효율적으로 감시하고 이상 운전 상태에 대하여 효과적인 대처 및 관리 등을 목표로 하는 실시간 감시 및 공정 정보 제공 프로그

램 개발을 목표로 한다.

이를 위하여 2단계(3~4차년도)에 개발한 이상감지 및 공정정보 제공 프로그램은 아래와 같이 ①공정 정상 데이터 모델링 package, ② 공정 정상/이상 감시 package, ③ 공정 분석 정보 제공 package로 구성되어 있다.

2.1 공정 정상 데이터 모델링 package
  2.1.1 Principal Component Analysis(PCA)
  2.1.2 Partial Least Squares(PLS)
  2.1.3 이상 진단 및 감시 프로그램 라이브러리 개발
2.2 공정 정상/이상 감시 package
  2.2.1 실시간 데이터 처리 기능
  2.2.2 PCA 기반 전체 공정의 차원 축소 관리 기능
  2.2.3 실시간 Alarm과 PFD 화면을 통한 공정 관리 기능
2.3 공정 분석 정보 제공 package
  2.3.1 Data 간, Chart 간 연동 분석 기능
  2.3.2 통계, PFD 화면 기반 이상 전파 경로 분석 기능
  2.3.3 PCA, PFD 화면 기반 이상 강도 분석 기능
  2.3.4 PLS 기반 Soft Sensing 기능

나. 수행내용 및 결과

2.1 공정 정상 데이터 모델링 package

2.1.1 Principal Component Analysis(PCA)

모든 다변량 자료 해석에 있어서 출발점은 X로 나타나지는 data matrix로부터 시작된다. 이 행렬에서 N개의 행들은 object라 불리는데 보통 어떤 한 공정에서의 샘플들이라 볼 수 있다. K개의 열들은 variable이라 불리는데 이는 각 샘플의 측정 항목이라 볼 수 있고 어떤 공정에서의 온도, 압력, pH등의 공정 변수들을 나타낸다. PCA는 data matrix X를 두 개의 행렬 T와 P^T의 곱으로 나타내게 되는데 이 때 이 행렬들 T와 P^T는 X의 근본적인 자료 패턴을 가지고 있다. 행렬 T의 열들은 X의 주된 object pattern을 묘사해주고 P^T의 행들은 variable pattern을 나타내준다. PCA는 object 사이의 관계를 찾는 것으로 정의할 수 있으며 주요 목표는 간소화, 데이터 축약, 모델링, 이상치 제거, 변수 선정, 분류, 예측 등을 들 수 있다.

2.1.2 Partial Least Squares(PLS)

PLS는 X와 Y 공간 사이에서 가장 큰 상관관계를 가진 loading vector를 찾아 X와 Y 공간들의 차원을 동시에 줄여주는 기법이다. PLS에서의 latent vector 공간들은 iterative method를 통해 구할 수 있다. PLS는 변수들을 2개의 block으로 나누어서 각 block에 PCA를 실행하고 두 block 사이의 관계를 inner relation으로 설정하는 구조로 되어 있다. 실제로 계산에 쓰이는 PLS model은 NIPALS algorithm의 특성 위에 만들어진다. PLS model은 X와 Y로 각각 나타나는 outer relation과 두 block 사이를 연결 짓는 inner relation으로 구성된다.

X block outer relation: $X = TP' + E = \sum_{h=1}^{a} t_h p'_h + E$

Y block outer relation: $Y = UQ^{T} + F^{*} = \sum_{h=1}^{a} u_h q_{hh}^{T} + F^{*}$

2.1.3 이상 진단 및 감시 프로그램 라이브러리 개발

실시간이상진단감시프로그램의 다변량 통계기법 연산은 Visual Basic for Excel에서 수행할 수 있도록 하였으며 이는 향후 프로그램 개발 및 기능 확장에 용이하게 하기 위함이다. 본 코드는 MATLAB으로 구현되어 있는 PCA (Principal Component Analysis), PLS (Partial Least Squares Regression) 라이브러리 코드를 COM Type Library로 이식하여 VBE에서 사용할 수 있도록 하였다. VBE에서 사용하는 형태인 COM Type Library의 Interface는 .NET 과는 다르지만 라이브러리 소스코드는 Visual Studio .NET 2005의 C# 언어로 개발하였으므로 VBA 뿐만 아니라 손쉽게 다른 .NET 응용 프로그램으로 확장이 가능하다. 또한 Microsoft에서 배포하는 .NET Framework가 설치되어 있는 운영체계에서는 별다른 제약 없이 구동할 수 있다.

엑셀 VBE에서 참조 추가

참조 추가 대화상자

가. 클래스

1) Statistics

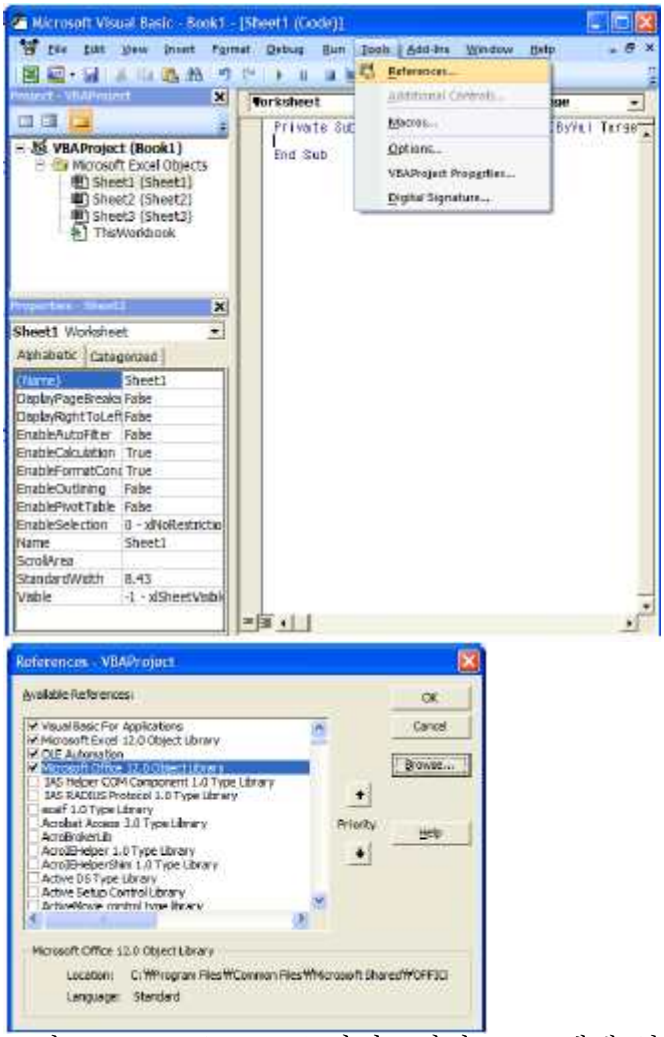


그림 2.2.2.1 PCA, PLS 라이브러리 코드 엑셀 참조 예시

: 본 라이브러리의 PCA, PLS 관련 함수 등을 가지고 있는 메인 클래스

2) Matrix

: 본 라이브러리에서 행렬을 표현하는 클래스. SVD 함수도 포함한다.

나. 자료구조

1) PCAResult

: Statistics 클래스에서 PCA 함수를 실행시켰을 때 그 결과가 반환되는 구조체이다.

2) PLSResult

: PLS 함수를 실행시켰을 때 그 결과가 반환되는 구조체이다. Matrix 형식의 P, Q, W, T, U, B, Ssqdif를 가진다.

3) PLSNipalResult

: PLS 함수 내부에서 사용되는 PlsNipal 함수를 실행했을 때 그 결과가 반환되는 구조체이다. Matrix 형식의 P, Q, W, T, U를 가진다.

4. Statistics 라이브러리 함수

가. PCA 함수

1) Pca

Function Pca(data As Matrix, lv As Long) As PCAResult	
입 력	data, lv
반 환	PCAResult 형식의 데이터

입력된 data와 level에 대해서 PCA를 수행하고 그 결과를 반환한다.

사용 예

```
Dim lib As New Statistics
Dim mat As Matrix
Dim result As PcaResult

Set mat = lib.CellToMat(Cells, 1,1, 10, 3)
result = lib.Pca(mat, 2)
```

2) PcaPro

Function PcaPro(newData As Matrix, loads as Matrix, ssq As Matrix) As PCAResult	
입 력	newData, loads, ssq
반 환	PCAResult 형식의 데이터

newData, loads를 PC로 프로젝션, 결과를 PcaResult로 반환한다. Pca 메소드와는 달리 PcaResult의 Scores, Loads, Res, Tsqs만 쓰인다.

3) Auto

Sub Auto(data As Matrix, mean() As double, stdDeviation() As double, convertedData As Matrix)	
입 력	data
반 환	mean, stdDeviation, convertedData

data의 평균과 표준편차를 구해주고, data를 평균 0, 표준편차 1의 convertedData로 변환해 준다. data의 열 수와 mean, stdDeviation의 크기가 같아야 한다.

사용 예

Auto 함수 실행 후 결과 값이 min, std, mat 변수에 저장된다.

```
Dim lib As New Statistics
Dim mat As Matrix
Set mat = lib.CellToMat(Cells, 1,1, 10, 3)

Dim min(2) As Double
Dim std(2) As Double

lib.Auto mat, min, std, mat
```

4) InvFTest

Function InvFTest(p As double, n As double, d As double) As double	
입 력	p, n, d
반 환	double 형식의 값

입력 p, n, d로 Inverse F-Test를 수행하여 결과 값을 반환한다. 이는 기존 Matlab 코드의 ftest함수에 해당된다.

나. PLS 함수

1) PLS

Function PLS(x As Matrix, y As Matrix, lv As Long) As PLSResult	
입 력	x, y, lv
반 환	PLSResult 형식의 데이터

입력된 x, y, level 값에 대해서 PLS Regression을 수행한 후 그 결과를 반환한다.

2) PLSPred

주어진 x 데이터에 대해서 기타 Regression 정보를 사용하여 예측된 y 값을 반환한다.

Function PLSPred(x As Matrix, b As Matrix, p As Matrix, q As Matrix, w As Matrix, lv As Long) As Matrix	
입 력	x, b, p, q, w, lv
반 환	Matrix 형식의 데이터

3) PLSNipal

Function PLSNipal(x As Matrix, y As Matrix) As PCANipalResult	
입 력	x, y
반 환	PCANipalResult 형식의 데이터

다. Excel 지원 함수

1) CellToMat

Function CellToMat(cells as Range, top As Long, left As Long, height As Long, width As Long) As Matrix	
입 력	cells, top, left, height, width
반 환	Matrix

엑셀 cells의 (top, left) 셀을 행렬의 첫 성분으로 하여 (height, width)만큼을 행렬로 만들어 반환한다.

2) MatToCell

Function MatToCell(data As Matrix, cells As Range, top As Long, left As Long)	
입 력	data, cells, top, left
반 환	

cells의 (top, left) 셀을 첫 성분으로 하여 matrix 내용을 cell로 써준다.

3) Plot

Sub Plot(sheet As WorkSheet, cells As Range)	
입 력	sheet, cells
반 환	

range에 해당하는 부부능로 엑셀 차트를 그려준다. 차트는 sheet에 포함되게 한다.

라. Matrix 지원 함수

1) CreateMatrix

Function CreateMatrix(rowCount As Long, columnCount As Long) As Matrix	
입 력	rowCount, columnCount
반 환	Matrix

rowCount, columnCount 크기의 빈 행렬을 만들어 반환한다.

2) DiagMatToVec

Sub DiagMatToVec(data As Matrix, vector() As Double)	
입 력	data
반 환	vector

matrix의 대각 성분을 vector로 치환하여 준다.

3) DiagMatToVecOffset

Sub DiagMatToVecOffset(data As Matrix, vector() As double, offset As Long)	
입 력	data, offset
반 환	vector

matrix의 대각 성분에서 offset 만큼 오른쪽에 있는 성분들을 vector로 바꿔준다. offset이 음수일 수 있다.

4) VecToDiagMat

Sub VecToDiagMat(vector() As double, out As Matrix)	
입 력	vector
반 환	out

DiagMatToVec의 반대 역할을 한다. 주어진 vector를 대각으로 하는 Matrix를 생성한다.

5) VecToDiagMatOffset

Sub VecToDiagMat(vector() As double, out As Matrix, offset As Long)	
입 력	vector, offset
반 환	out

DiagMatToVecOffset의 반대 역할을 한다. 주어진 vector를 offset 만큼 오른쪽에 있는 대각 성분으로 하는 Matrix를 생성한다.

마. Matrix 클래스

1) GetRowCount / GetColumnCount

Function GetRowCount() As Long	
입 력	
반 환	정수(Long) 형식의 데이터

Function GetRowCount() As Long	
입 력	
반 환	정수(Long) 형식의 데이터

해당 Matrix 객체가 표현하고 있는 행렬의 행 수, 열 수를 반환한다.

2) Get, Set

Function Get(row As Long, column As Long) As double	
입 력	row, column
반 환	double 형식의 데이터

해당 Matrix가 표현하고 있는 행렬의 row, column 성분 값을 반환해 준다.

3) Svd

Sub Svd(u As Matrix, s As Matrix, v As Matrix)	
입 력	
반 환	u, s, v

해당 Matrix 객체가 표현하고 있는 행렬에 대해서 Singular Value Decomposition을 수행하고 u, s, v를 반환한다.

4) Invert

Sub Invert()	
입 력	
반 환	

해당 Matrix 클래스가 표현하는 행렬을 역행렬로 바꾼다. 자체의 데이터가 바뀌는 것이므로 주의한다.

5) Transpose

Function Transpose() As Matrix	
입 력	
반 환	Matrix 형식의 데이터

해당 Matrix 클래스가 표현하는 행렬에 대해서 열과 행이 바뀐 새로운 행렬을 반환한다. Invert와는 달리 자체의 데이터가 바뀌는 것이 아니라 반환 값을 사용한다.

5. MathNet Numerics Library

MathNet Numerics Library는 MathNet에서 배포하는 오픈소스 수학 라이브러리 중 하나로 LGPL 라이센스를 따르고 있다.

6. PCA, PLS 실행 예시

가. PCA 예제

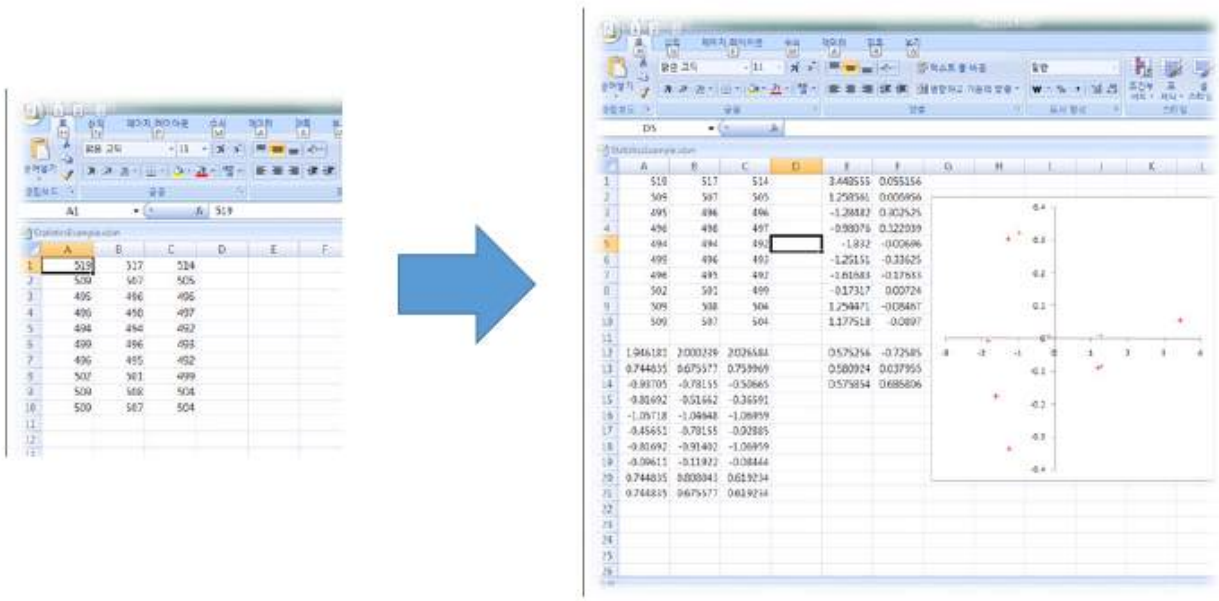


그림 2.2.2.2 PCA 모듈 실행 예시

```
‘Statistics 객체 생성
Dim lib As Statistics
Set lib = New Statistics

‘셀 내용을 매트릭스로 변환
Dim mat As Matrix
Set mat = lib.CellToMat(Cells, 1, 1, 10, 3)
Dim min(2) As Double
Dim std(2) As Double

‘Auto Function 수행
lib.Auto mat, min, std, mat

‘Auto 결과를 A12 셀에 표기
lib.MatToCell mat, Cells, 12, 1

‘PCA 수행
Dim result As PcaResult
result = lib.Pca(mat, 2)

‘Scores를 E1 셀에 표기
lib.MatToCell result.Scores, Cells, 1, 5

‘Loads를 E12 셀에 표기
lib.MatToCell result.Loads, Cells, 12, 5

‘Plot 호출, 차트 만들기
lib.Plot ActiveSheet, Cells.Range(“E1:F10”)
```

표 2.2.2.1 PCA 실행 코드 예시

나. PLS 예제

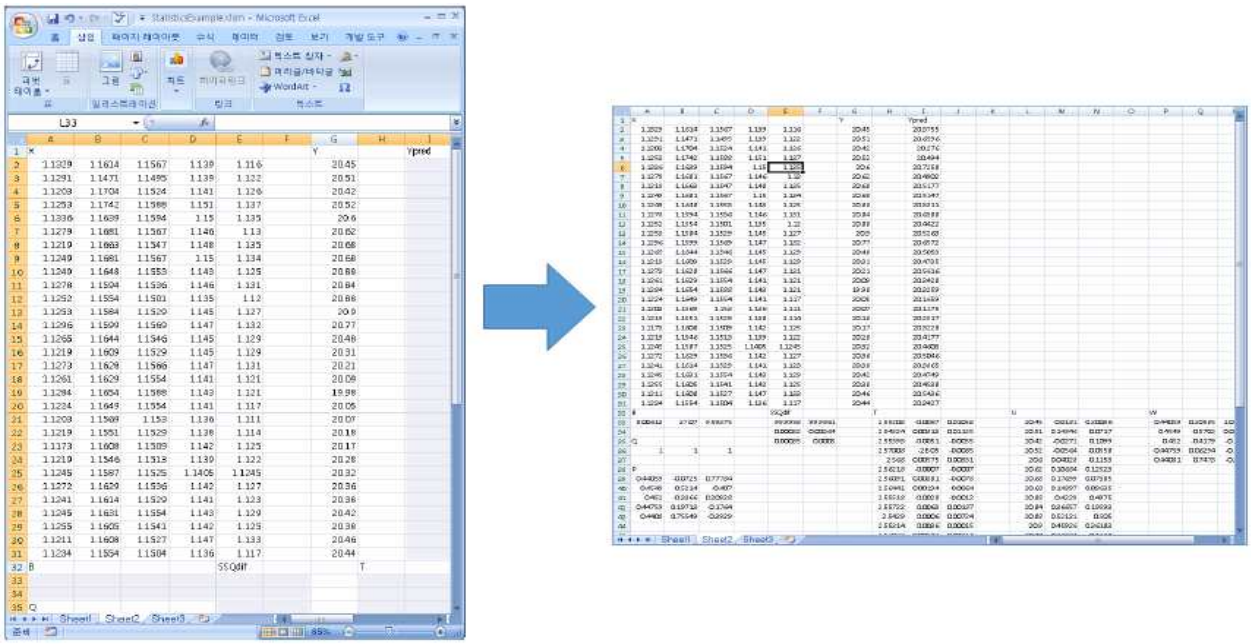


그림 2.2.2.3 PLS 모듈 실행 예시

```
Dim lib As New Statistics
Dim mat As Matrix, matx As Matrix, maty As Matrix

Set matx = lib.CellToMat(Cells, 2, 1, 30, 5)
Set maty = lib.CellToMat(Cells, 2, 7, 30, 1)
Dim result As PLSResult

result = lib.PLS(matx, maty, 3)

Set mat = lib.PLSPred(matx, result.B, result.P, result.Q, result.W, 3)

Call lib.MatToCell(result.B, Cells, 33, 1)
Call lib.MatToCell(result.P, Cells, 39, 1)
Call lib.MatToCell(result.Q, Cells, 36, 1)
Call lib.MatToCell(result.T, Cells, 33, 8)
Call lib.MatToCell(result.U, Cells, 33, 12)
Call lib.MatToCell(result.W, Cells, 33, 16)
Call lib.MatToCell(result.Ssqdif, Cells, 33, 5)

Call lib.MatToCell(mat, Cells, 2, 9)
```

표 2.2.2.2 PLS 실행 코드 예시

2.1.4 실시간 이상진단 및 감시 프로그램 실행 예시

아래의 그림은 PCA를 이용한 공정 데이터의 분석 과정을 보여주고 있다.

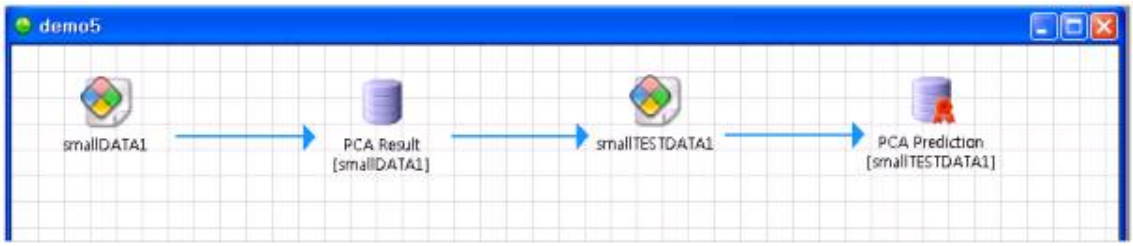


그림 2.2.2.4 실시간이상진단감시프로그램 프로젝트 실행: PCA 모델링

PCA 분석에서 필요로 하는 데이터는 모델링용 데이터와 테스트용 데이터로 2가지가 필요하며(excel 파일) 작업순서는 다음과 같다.

A. 모델링용 데이터를 PCA 모델링->PCA Result 생성
B. 테스트용 데이터를 팔레트에 올려놓고 Test Data 링크를 클릭하면 PCA Result와 연결됨
C. Test Data을(3번째 아이콘) 마우스 우클릭하면 Statistical Analysis가 활성화되는데 클릭해 주면 PCA Prediction이 생성됨

아래의 중간 결과 차트는 PCA Result를 통해서 볼 수 있는 plot의 목록을 보여주고 있다.

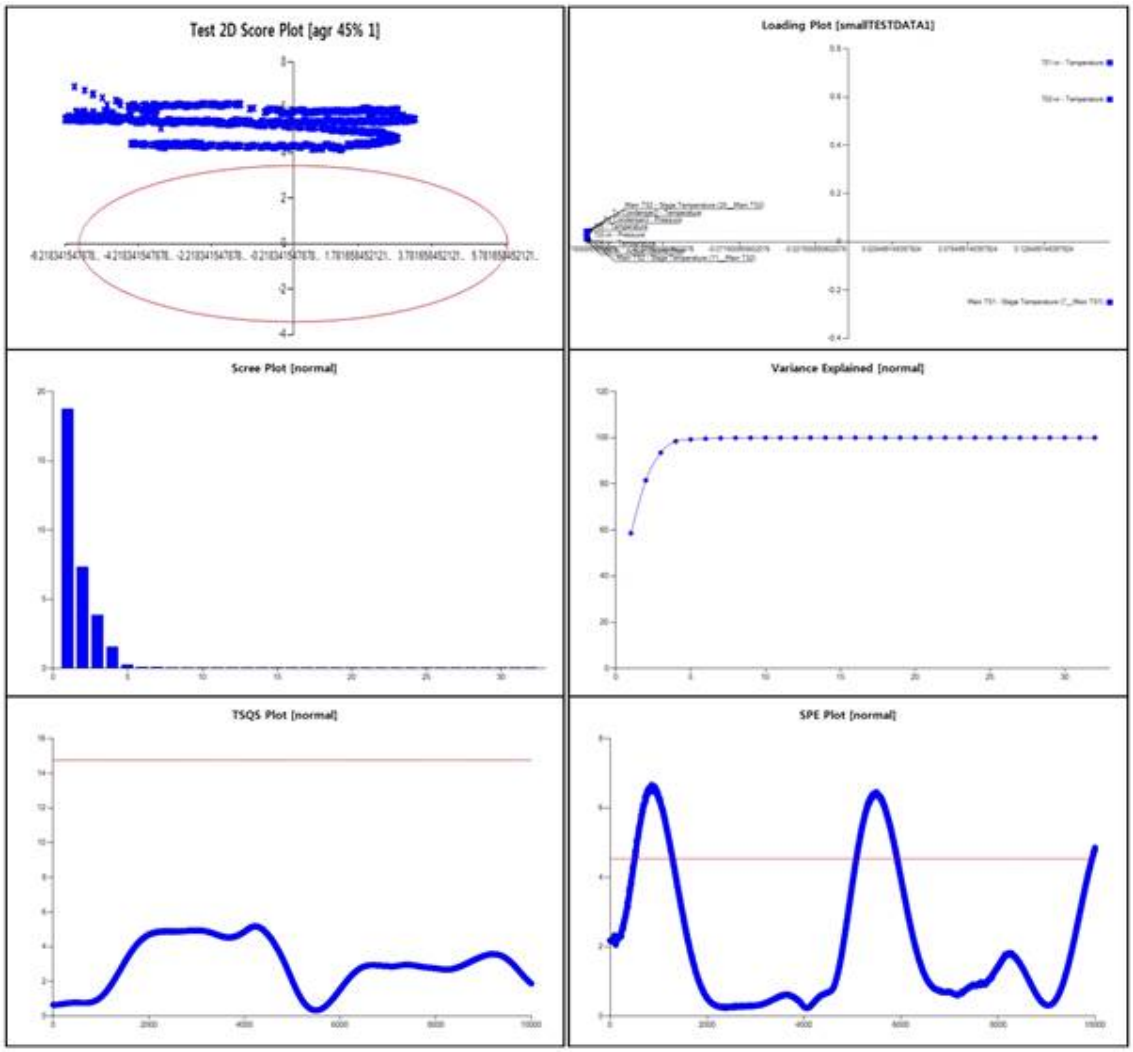


그림 2.2.2.5 PCA Result 모듈으로 생성된 중간 결과

다음 목록은 PCA를 통해 생성되는 data sheet 목록과 스크립트 목록을 보여주고 있다.



그림 2.2.2.6 PCA Result로 생성된 중간 결과 Plot/data sheet 목록

PCA Prediction에서 생성되는 Score Plot, Loading Plot, TSQS Plot, SPE Plot, Propagation Path를 보여주고 있다.

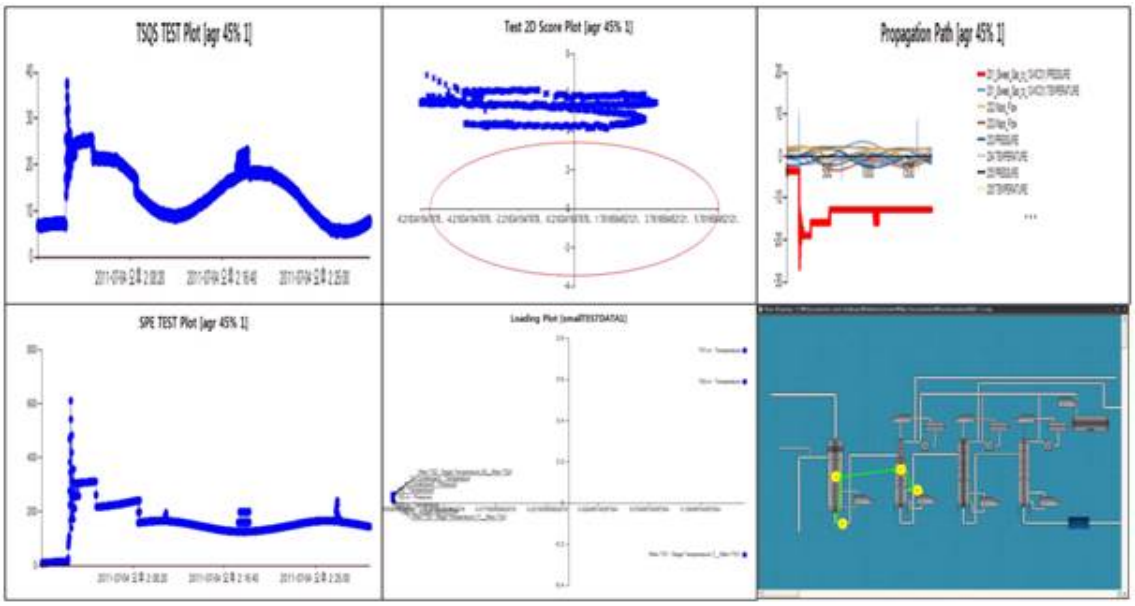


그림 2.2.2.7 PCA Prediction 결과

PLS를 이용한 품질 변수의 예측 모델 생성 과정을 보여주고 있다.

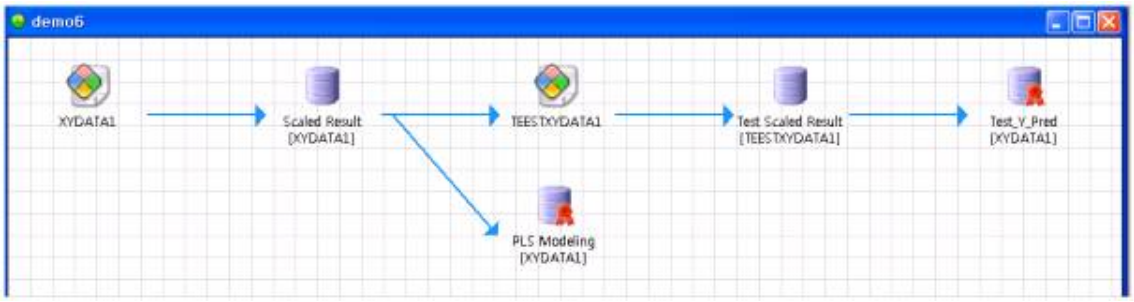


그림 2.2.2.8 실시간이상진단감시프로그램 프로젝트 실행: PLS 모델링

생성된 PLS Modeling을 통해서 볼 수 있는 Chart는 P Plot과 VIP Result가 있다.

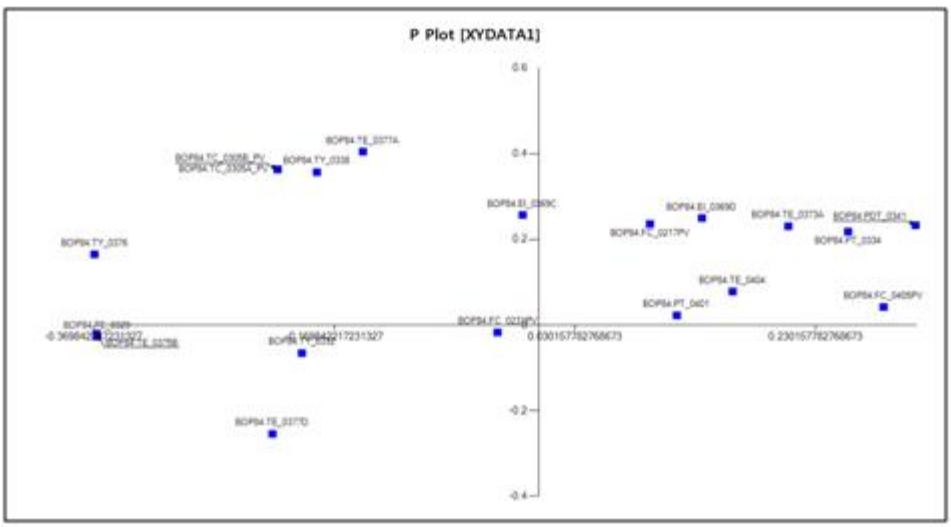


그림 2.2.2.9 PLS: P Plot

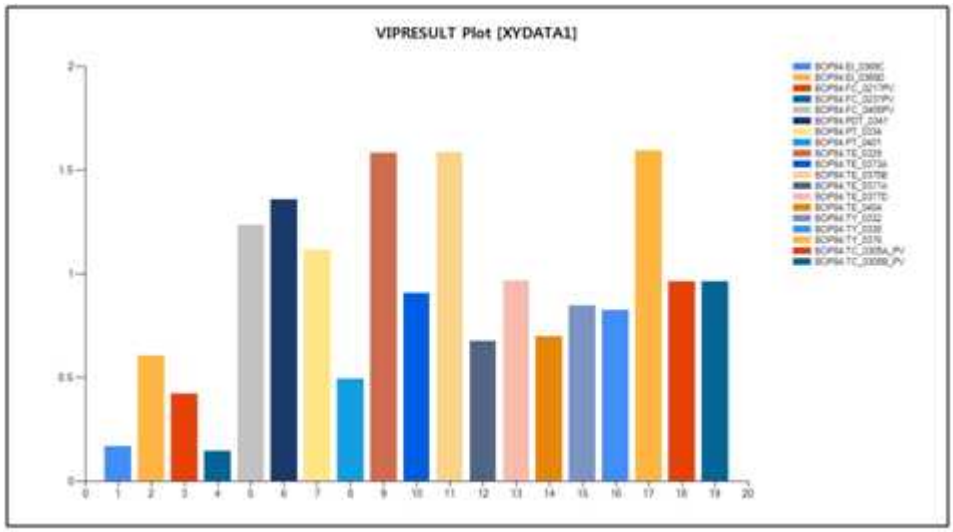


그림 2.2.2.10 PLS 모델 변수 중요도

테스트용 데이터를 팔레트에 불러오고 테스트용 데이터 아이콘을 우클릭하면 PLS Test Scale Data를 생성할 수 있는 메뉴가 활성화된다.

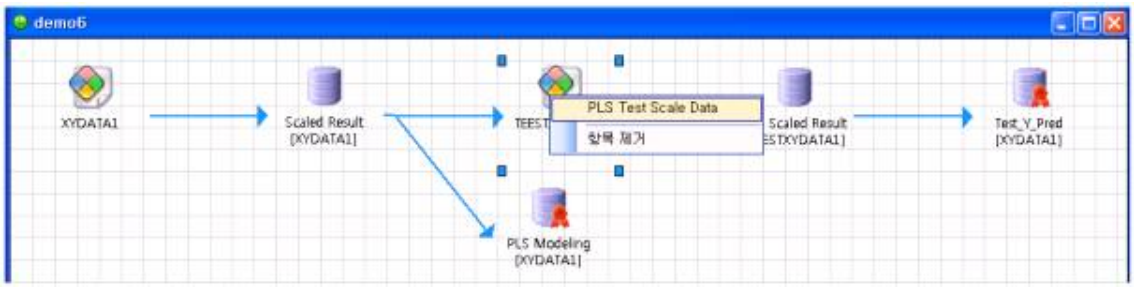


그림 2.2.2.11 PLS 테스트 데이터 스케일링

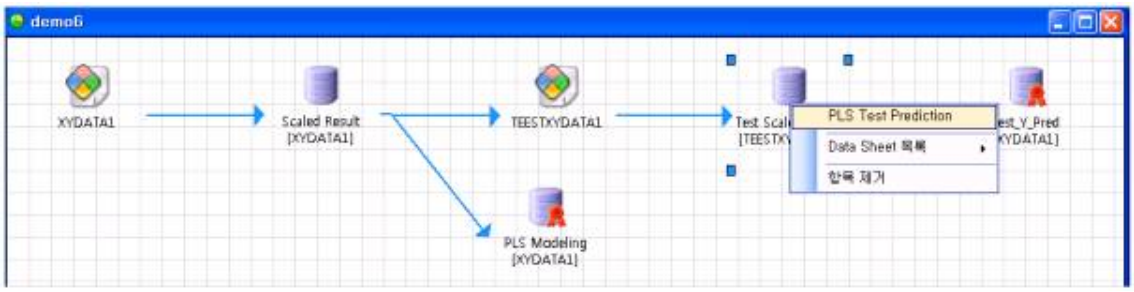


그림 2.2.2.12 Test_Y_Pred 생성

그리고 PLS Scaled Result를 우클릭하면 Test_Y_Pred를 생성할 수 있는 메뉴가 활성화된다.

Test_Y_Pred 생성 메뉴를 실행시키게 된 결과는 아래의 matrix과 같다.

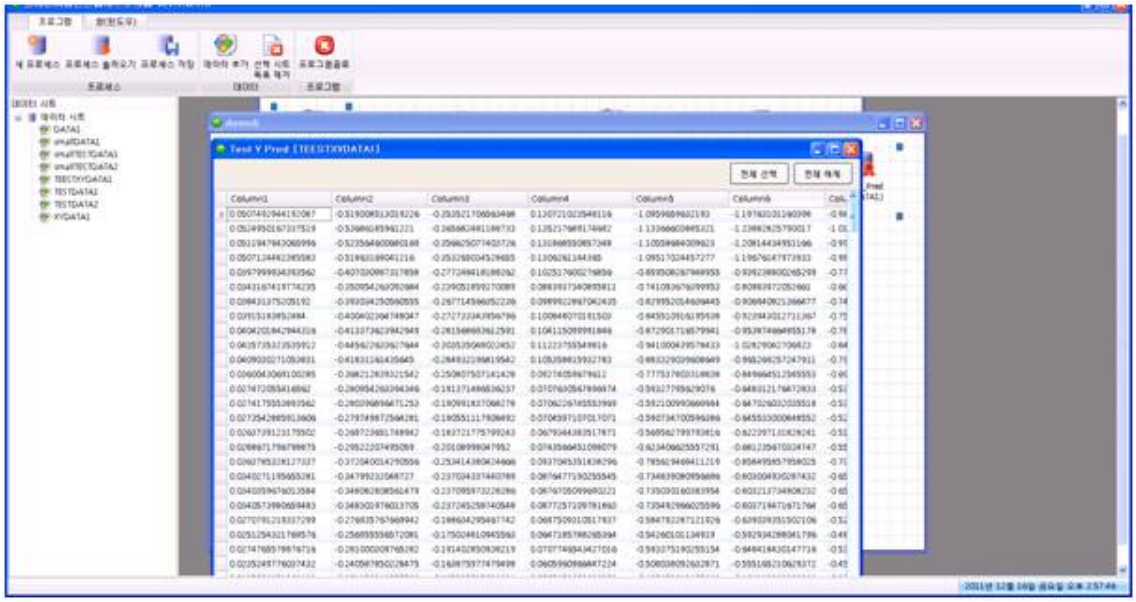


그림 2.2.2.13 Test_Y_Pred 생성 결과

통계/PFD기반 이상 진단 방법

PFD Visualization은 PCA 분석 기법으로 구한 Contribution과 Scale Data를 중요도/먼저 발생한 순서로 정리하여 프로그램에 입력해 놓은 공정 PFD화면 위에 순서정보를 제공하는 효과적인 툴이다.

PFD Visualization 설정을 클릭한다.

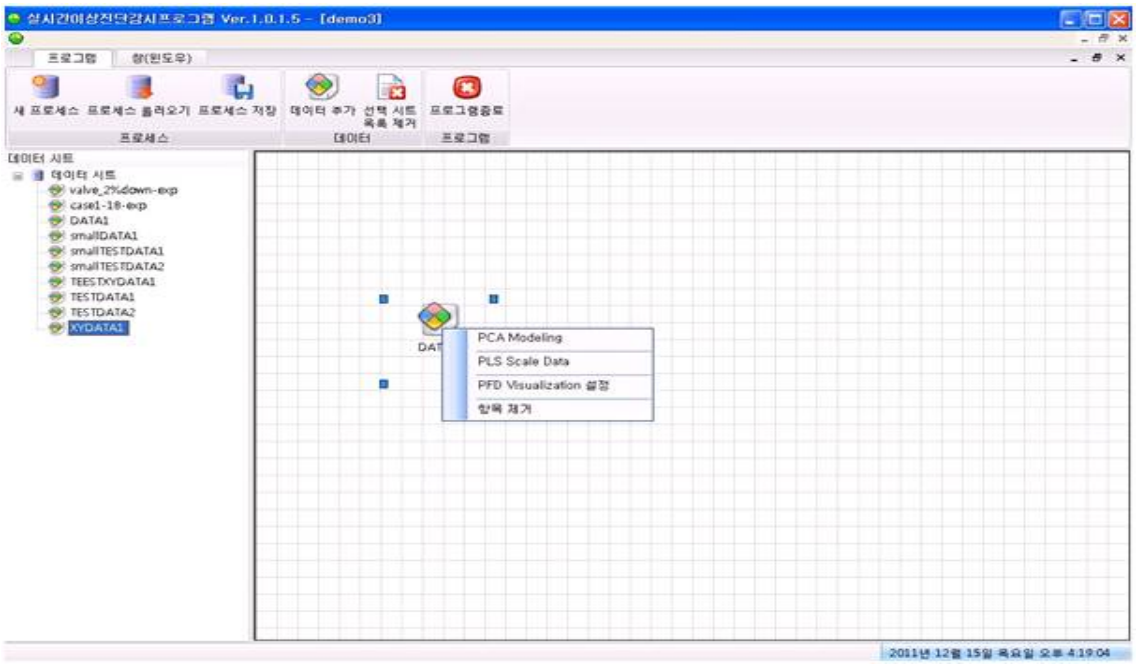


그림 2.2.2.14 Data Setting-PFD Visualization 설정

PFD Visualization 옵션에서 이미지 파일 입력, Tag 위치 등록, visualization limit, view count를 세팅한다.

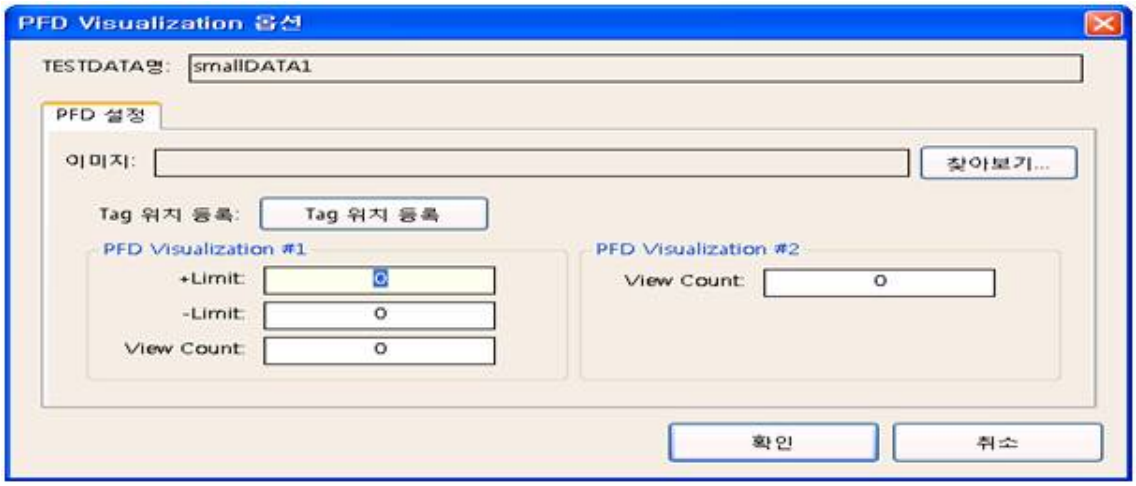


그림 2.2.2.15 PFD Visualization 옵션 설정

(1) 모델링 데이터에 맞는 공정 화면을 불러오는 기능이다.
(2) PFD Visualization #1은 propagation path에서 limit를 세팅해 주는 항목
+ - limit는 scale data를 기준으로 limit를 넘는 변수들을 PFD화면에 표시해 줄 수 있다.
View count는 화면 위에 최대로 보여줄 수 있는 변수들의 수를 정하는 항목이다.
(3) PFD Visualization #2는 contribution value가 가장 큰 순서대로 최대로 보여줄 수 있는 변수들의 수를 정하는 항목이다.

PFD 화면 위에 Tag 위치를 매치시킨다.

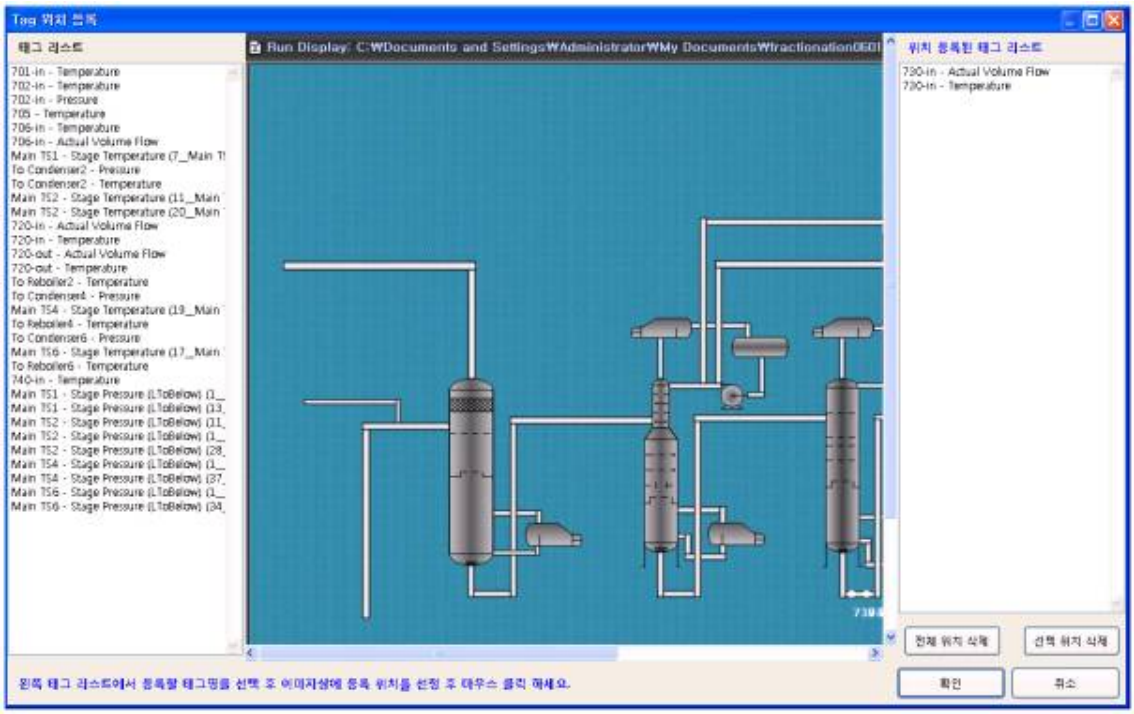


그림 2.2.2.16 Tag 위치 등록

Contribution Rank 기능

특정 시점의 Contribution 값의 크기를 비교, 주요 이상 원인 변수를 찾아 주는 기능이다.

- TSQS Plot이나 SPE Plot에서 Contribution Rank를 확인하고 싶은 구간을 선택한다.

- 선택한 구간의 Residual Contribution Chart가 생성되면 붉은색 원으로 표시된 PFD Visualization을 선택하면 Contribution Rank를 확인할 수 있다.

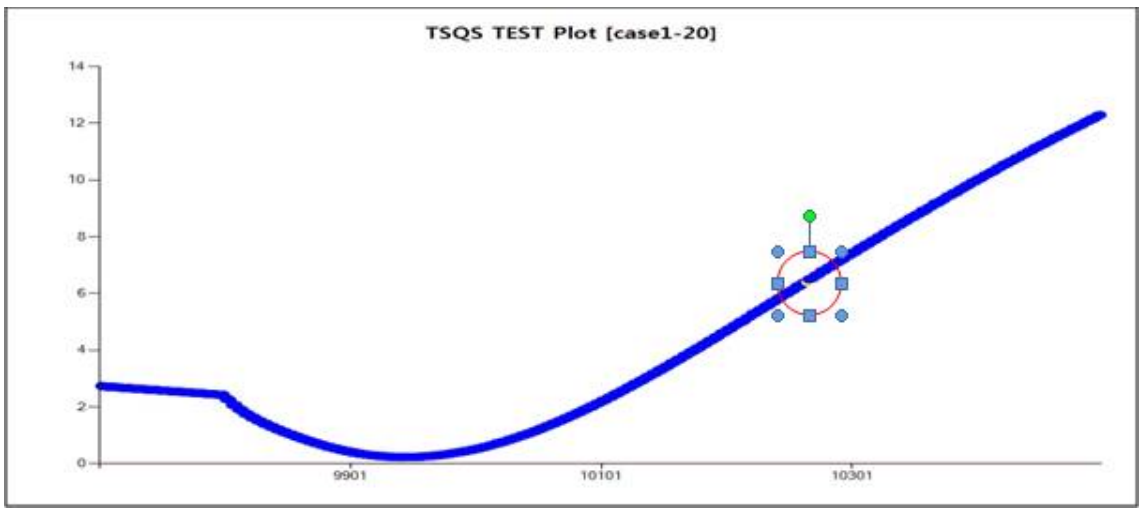


그림 2.2.2.17 TSQS Plot

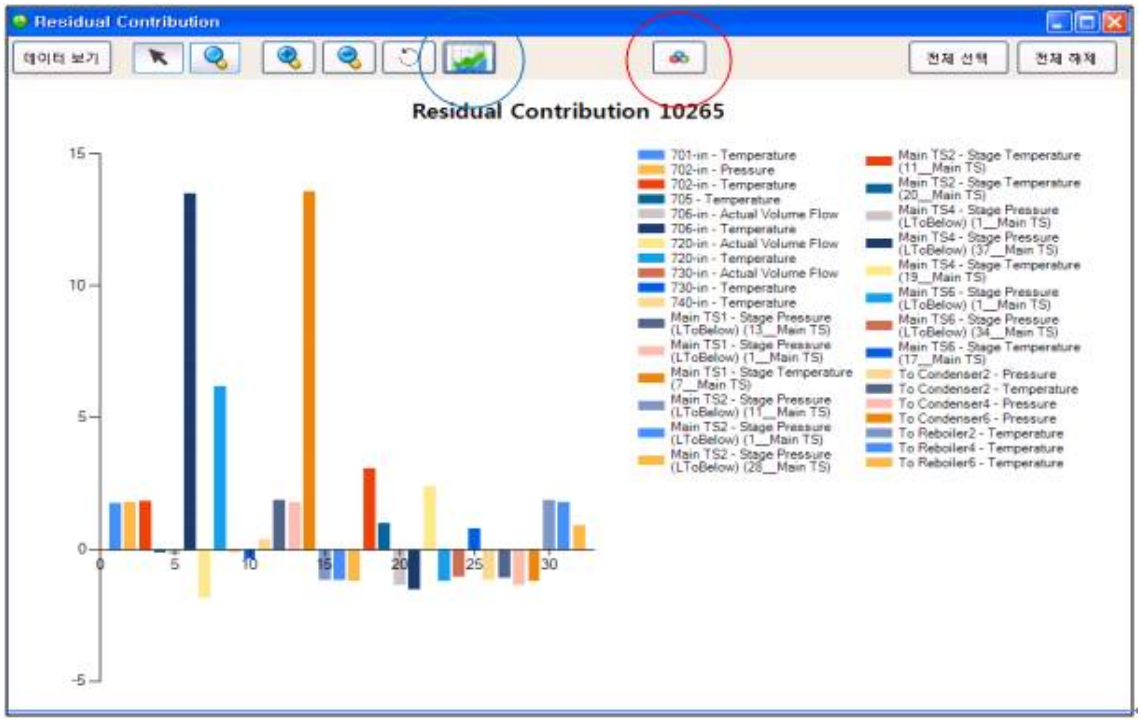


그림 2.2.2.18 잔차 기여도 차트

Residual Contribution은 현재 조업에 대한 각 변수의 영향력(기여도)을 나타내 준다. 그러므로 각각의 센서나 단변수 모니터링 변수가 제어한계선을 벗어난 경우에 Residual Contribution이나 T Contribution을 살펴보면 발생하고 있는 이상 현상에 대한 원인 변수를 판단하는데 좋은 기준이 될 수 있다.

다음은 Contribution Rank이며 현재의 공정 모델에서 변수기여도가 높은 센서의 위치를 아래와 같이 도시해 줌으로써 현재 공정 상태의 변화에 영향을 많이 끼치는 센서를 파악하고 해당 센서에 대한 보다 자세한 분석을 수행할 수 있게 한다.

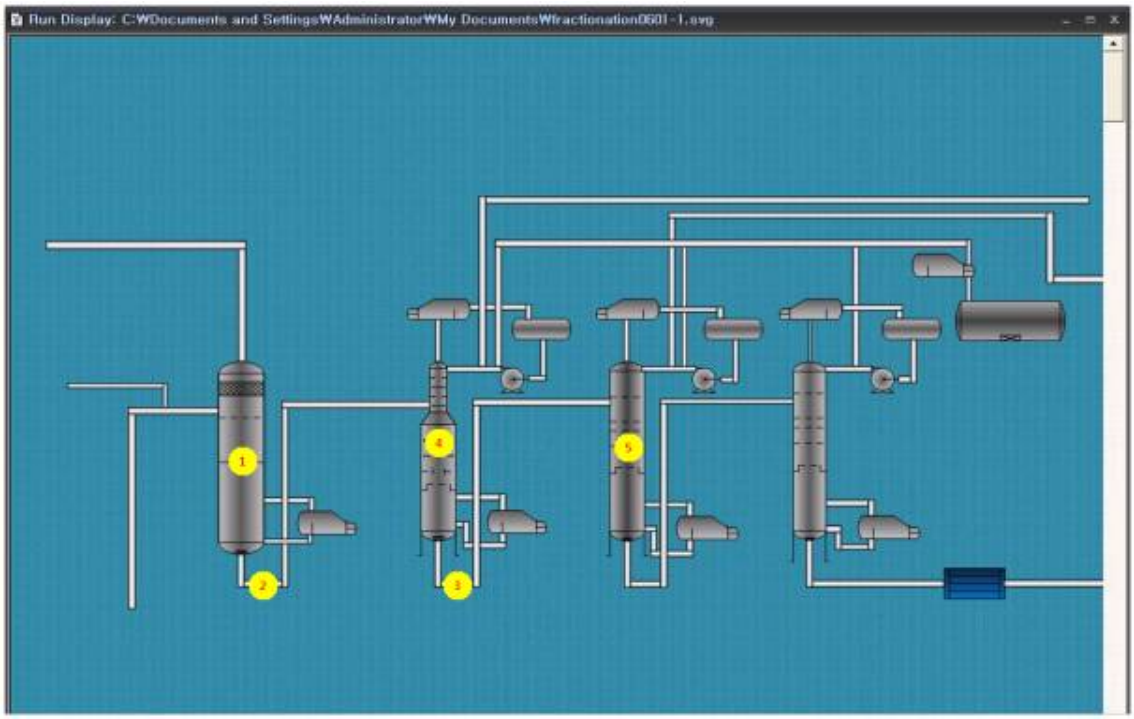


그림 2.2.2.19 변수 기여도 순위 예시

Propagation Path 보기

PCA Prediction에서 Plot 목록-> Propagation Path 선택
생성된 Propagation Path Chart에서 PFD Visualization 선택
Propagation Path PFD 결과

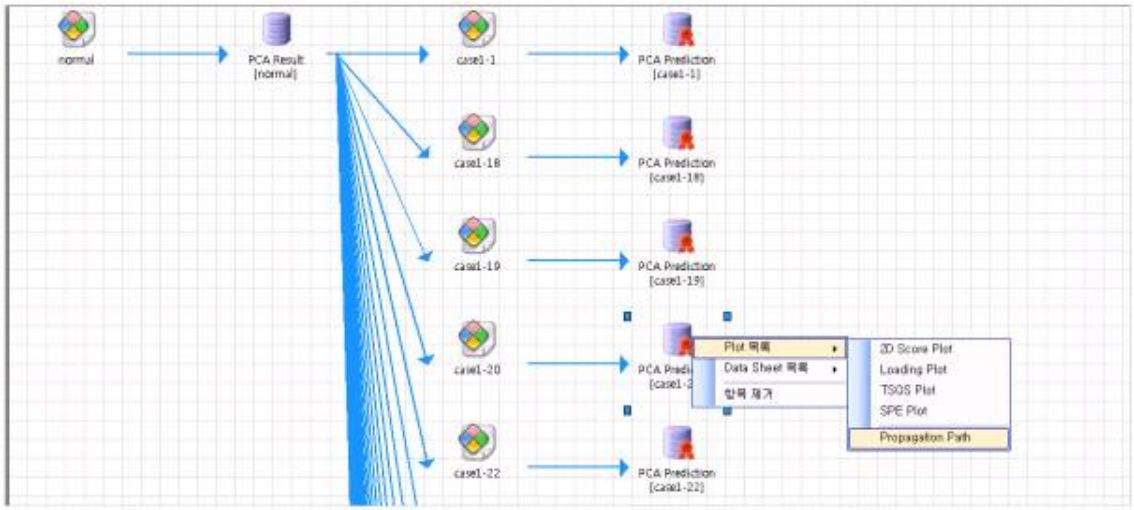


그림 2.2.2.20 Propagation Path 실행

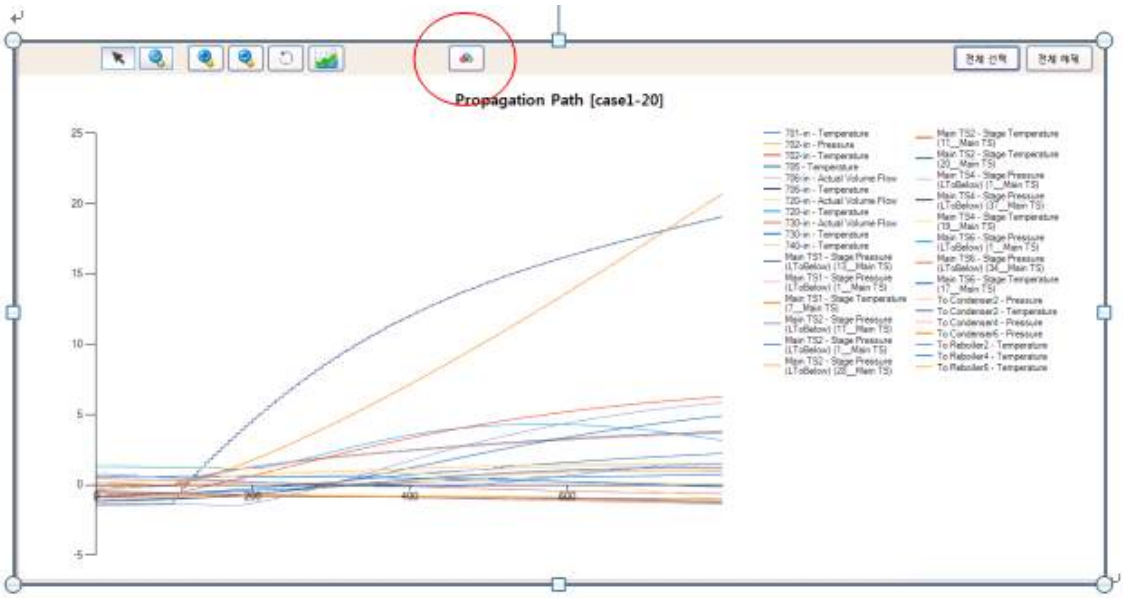


그림 2.2.2.21 이상전파경로 Scale data 차트

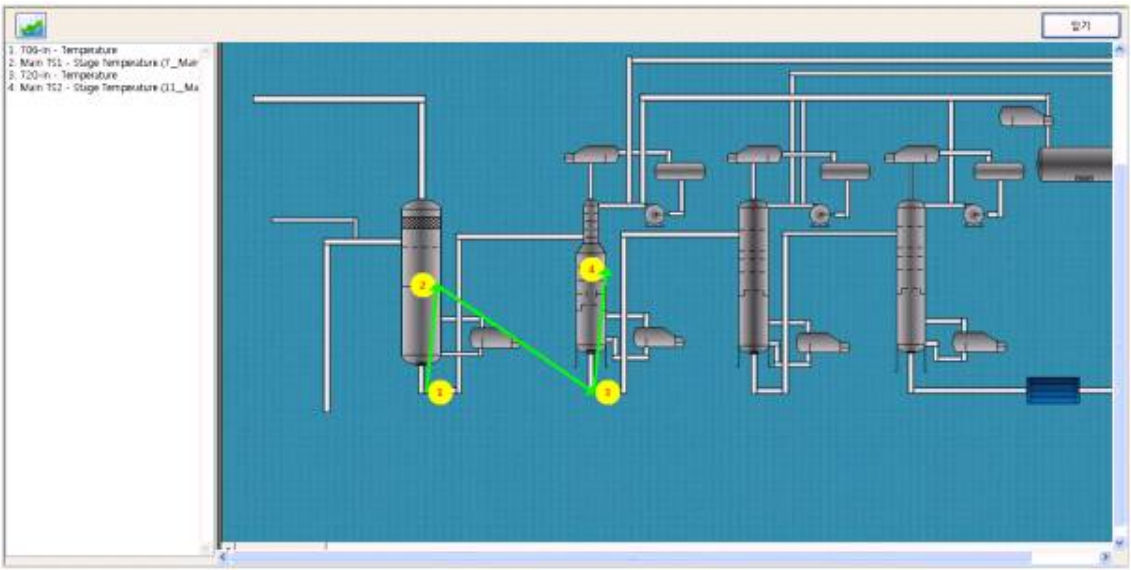


그림 2.2.2.22 Propagation Path 결과

2.1.5 실제 플랜트에 대한 이상진단 사례

2.1.5.1 POSCON MCFC 발전기 가동정지에 대한 이상진단 사례

실시간 이상진단 및 감시 프로그램의 다변량 통계분석 기법을 적용하여 실제 공정의 이상 사례에 대한 분석을 진행하였으며(POSCON MCFC 발전기 이상/가동정지 상황에 대한 이상진단) 아래의 분석 결과를 통하여 공정 이상을 유발하였다고 추정되는 주요 원인 센서에 대한 탐지를 수행할 수 있었다.

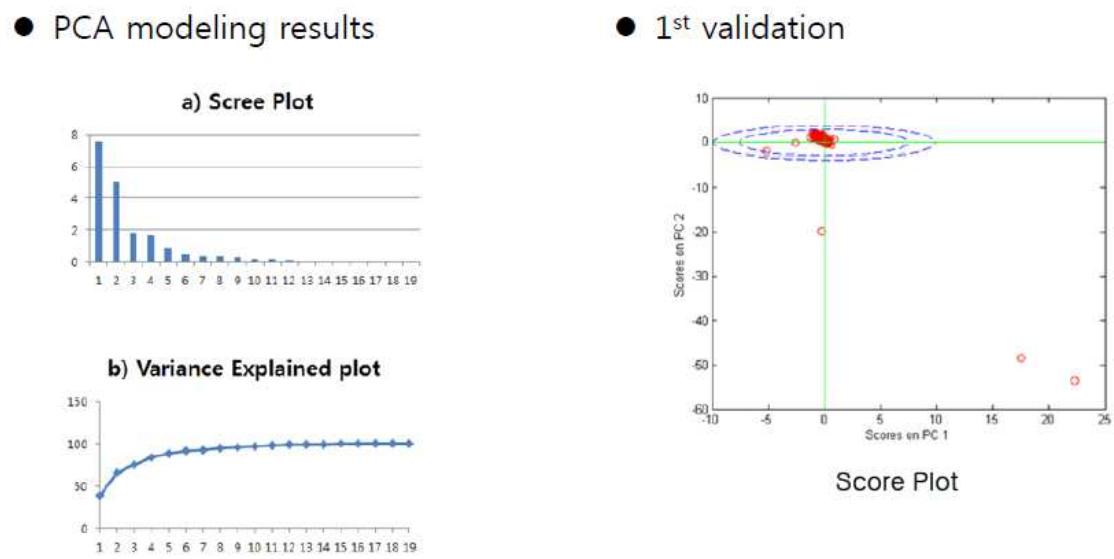


그림 2.2.2.23 MCFC 공정 모델링 결과

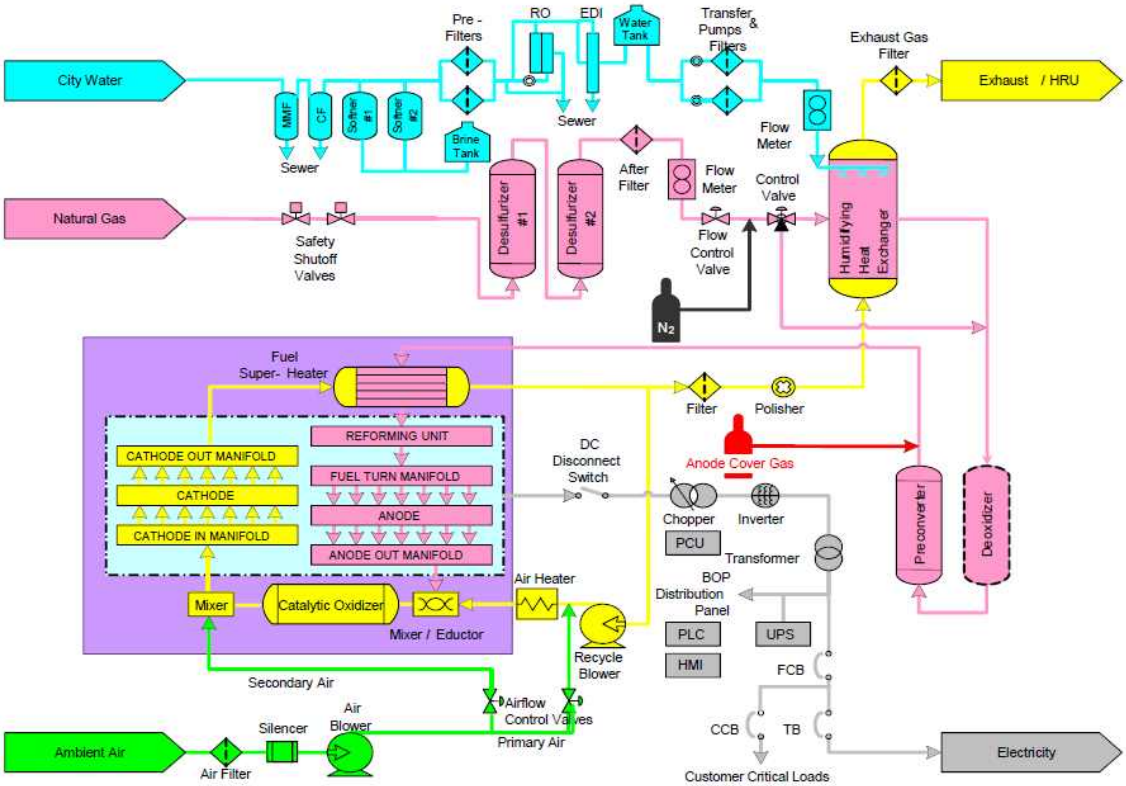


그림 2.2.2.24 MCFC 공정도

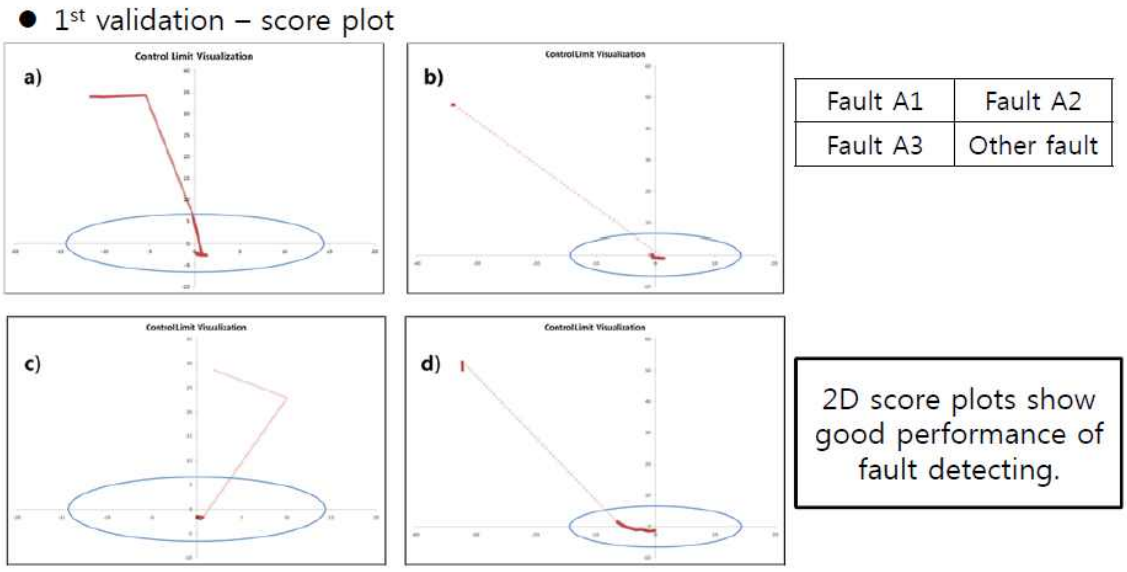
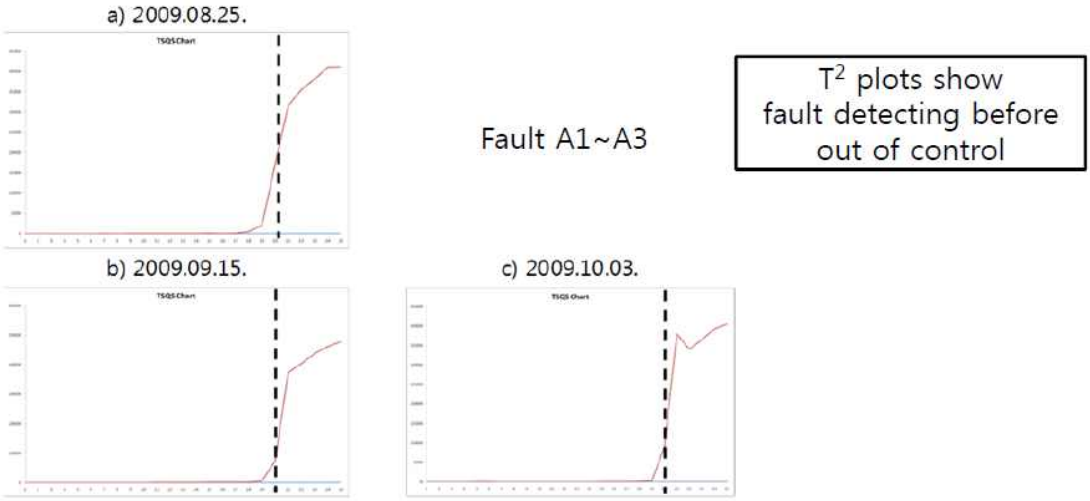


그림 2.2.2.25 이상 사례에 대한 score 분석

● 1st validation – T^2 plot



● 1st validation – SPE plot

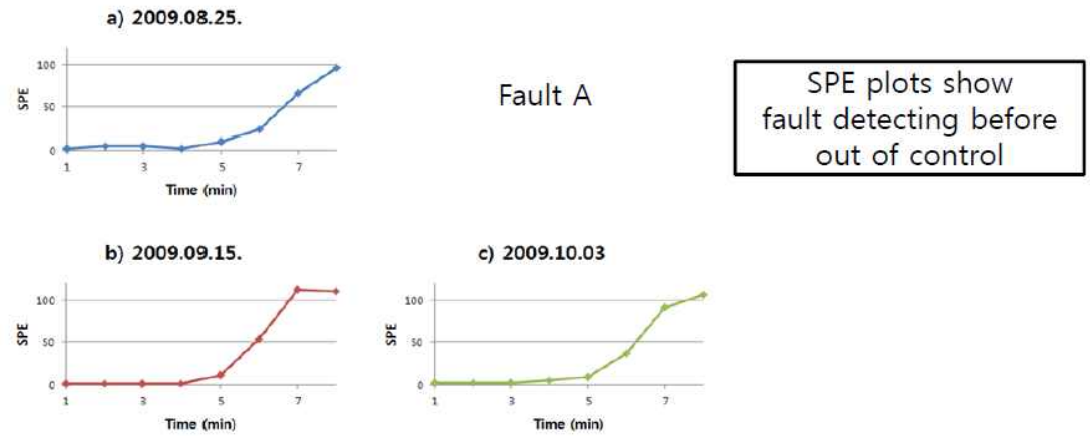
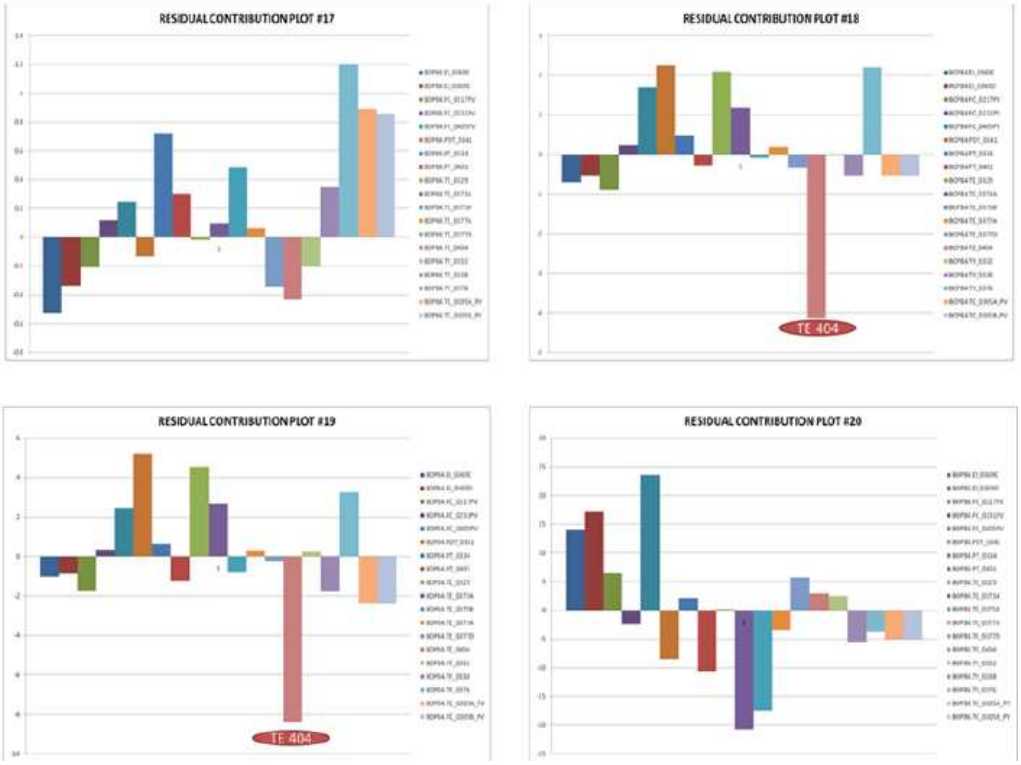


그림 2.2.2.26 이상 사례에 대한 1차원 분석

● 2nd validation – R contribution (Fault A1)



● 2nd validation – R contribution (Fault A2)

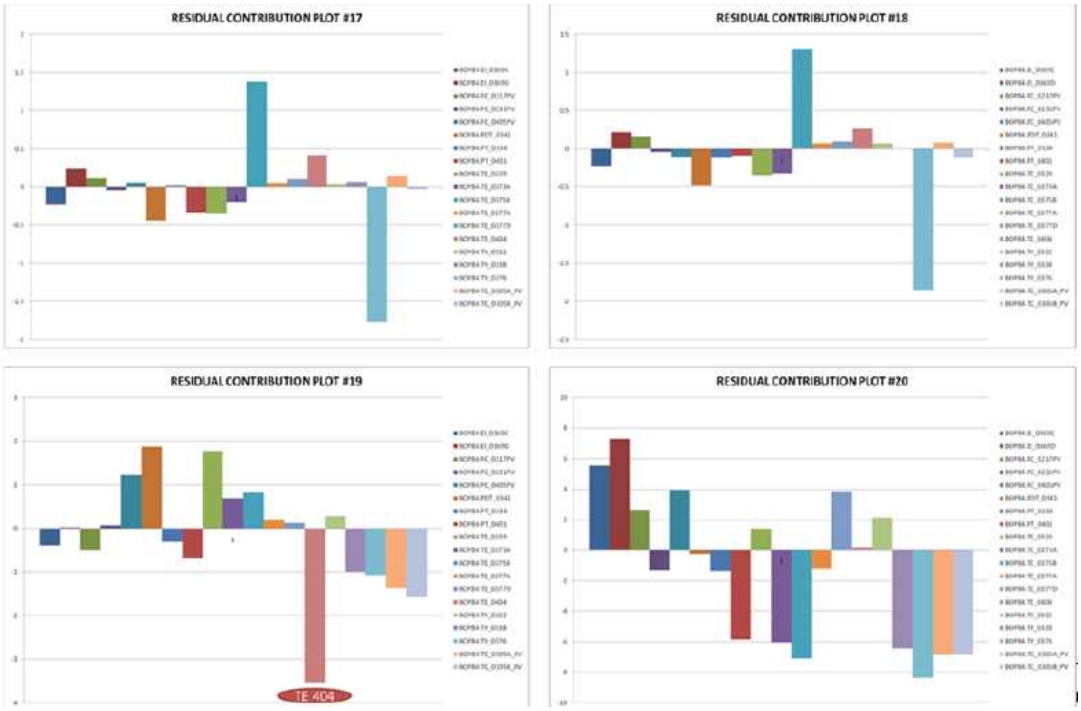


그림 2.2.2.27 주요 이상 원인 센서에 대한 분석: 기여도 차트

2.1.5.2 POSCON MCFC 공정 월별 조업 분석 사례

Best Case는 POSCON 공정 내 핵심 장치인 Cathode/Anode Manifold의 변수의 최적 운전 범위(catalytic oxidizer 온도: 760℃(1400°F), overheat를 방지할 수 있는 범위)를 수렴하는 2009년 8월 9일 - 8월 13일의 조업 영역을 수집하였으며 정상 운전 영역에 포함되는 지는 PCA를 이용하여 검증하였다. 또한 POSCON 공정의 주요 모니터링 변수들의 운전 범위는 1-3의 trend chart로 정상 운전 여부를 확인하였다.

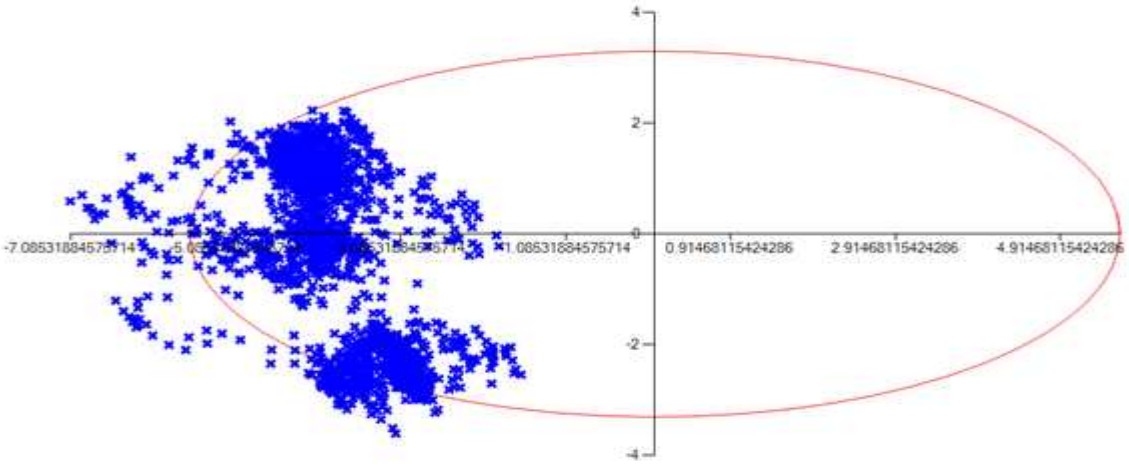


그림 2.2.2.28 Best Case에 대한 2D score plot

POSCON 공정에서 best case와의 편차를 비교하기 위해 6월 21일, 8월 10일, 10월 19일의 세 가지의 테스트 그룹을 선정하였다. 분석 과정에서의 가정인 정상 운전 영역 내에서의 조업 편차 비교 및 분석을 위해 전체 공정 운전 모델과 3개의 테스트 그룹 간의 PCA algorithm을 이용하였으며 2D score plot을 분석함으로써 각각의 Test 그룹이 정상 운전 범위에 수렴함을 확인 할 수 있었다. 따라서 이후에 수행할 분석 과정에서 찾아낸 편차들은 공정 운전 컨디션에 영향을 준다고 가정할 수 있다.

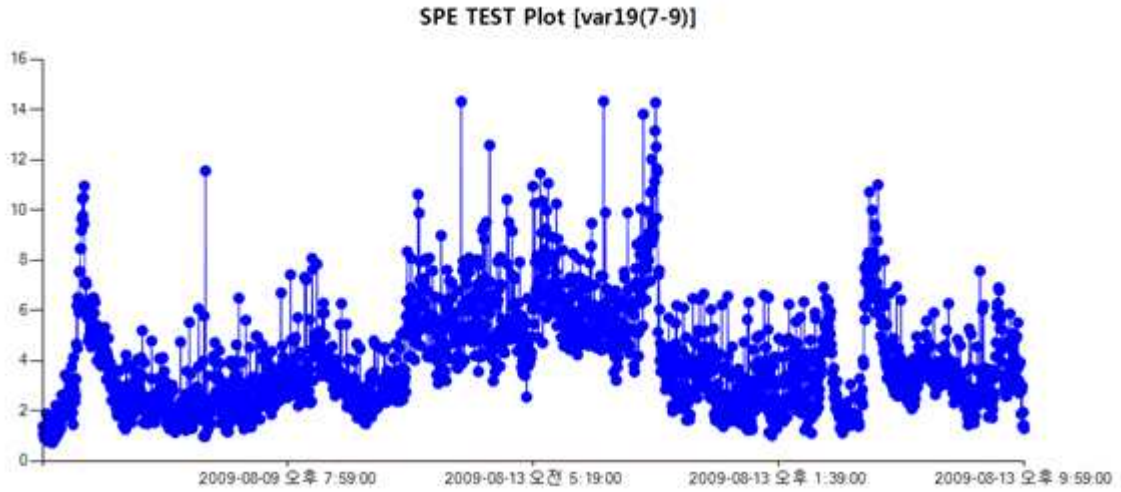


그림 2.2.2.29 Best Case의 SPE Chart

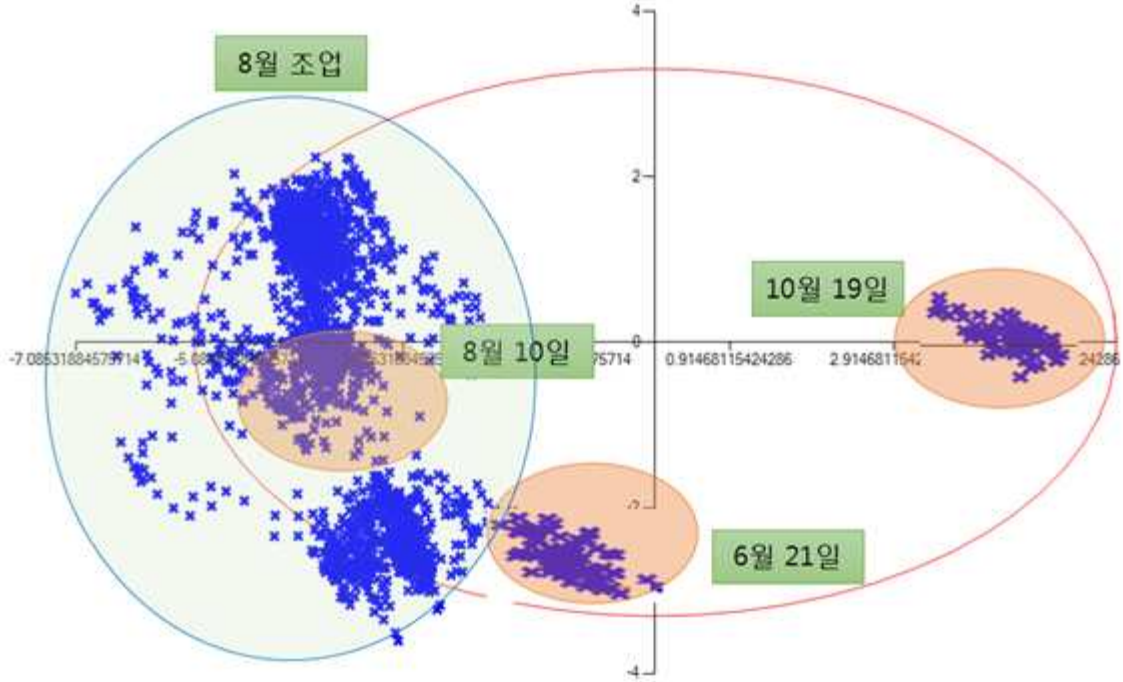


그림 2.2.2.30 6월, 8월, 10월의 공정 운전에 대한 분석

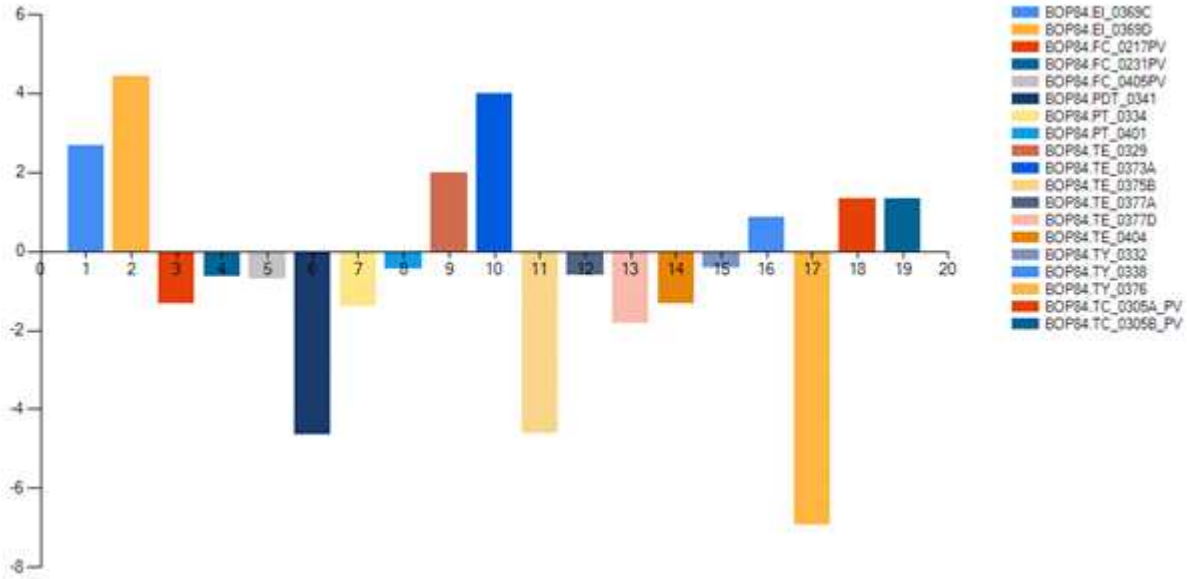


그림 2.2.2.31 10월 19일 운전 데이터의 편차 기여도 차트

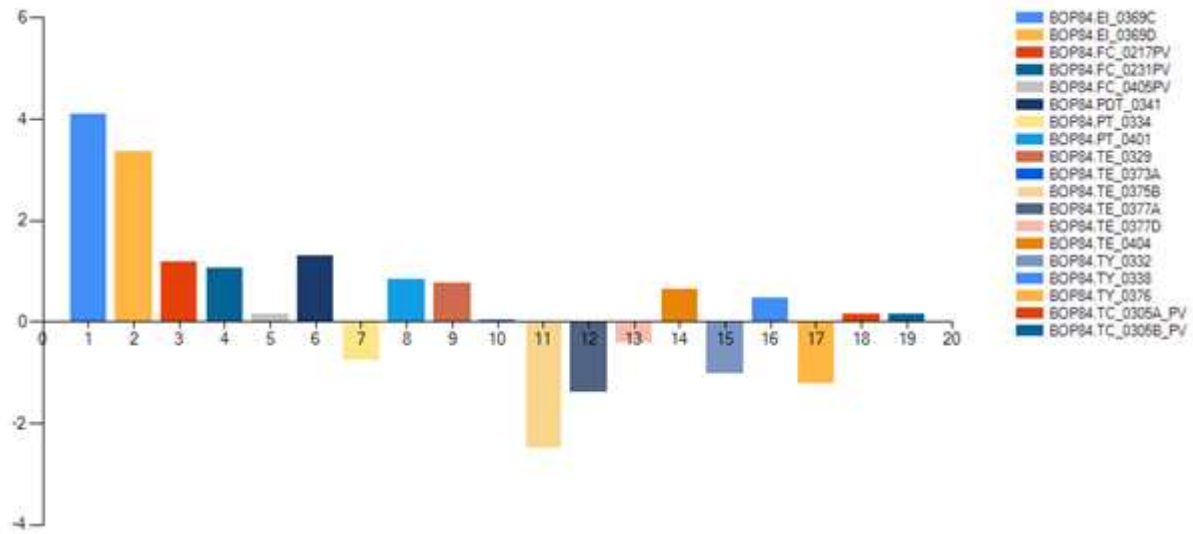


그림 2.2.2.32 6월 21일 운전 데이터의 편차 기여도 차트

다. 주요결과 및 시사점

본 연구를 통하여 algorithm 위주로 개발되어 있던 다변량 통계 기반 공정 정상/이상 상태 감시 기법을 하나의 프로그램으로 정리할 수 있었다. 2단계에서 개발, 정리한 주요 기능들은 다음과 같다.

(1) 실시간 데이터, 수집된 데이터를 input으로 받아 사용
(2) 공정의 정상 데이터를 이용한 모델링, 실시간 공정 데이터의 감시 수행
(3) 공정의 이상 감지, 이상의 경로, 강도 분석
(4) 공정 PFD 화면을 통한 공정 정보 분석 기능
(5) Soft Sensing, 데이터 보정 등의 공정 정보 제공 기능

프로그램의 특징으로는 다음과 같다.

(1) 사용자 편의에 중점을 둔 인터페이스
(2) 차트-데이터 사이의 다양한 분석 기능을 통한 효과적인 공정 분석 기능
(3) 공정 PFD와 프로그램 연동을 통한 입체적이고 효율적 공정 분석 기능

이 프로그램의 주요 기능인 Scale data를 이용한 이상 전파 경로 탐색 기능은 특허 출원을 진행하였고, PCA, PLS를 이용한 이상진단 기법으로 학술대회 발표, 논문 발표가 지속적으로 이루어지고 있다.

실시간이상진단감시프로그램의 개발을 통하여 얻은 성과물은 기존 화학 플랜트의 감시 및 진단 기술수준과 동등하거나 그 이상이며 테스트베드를 통한 성능 검증이 완료되면 충분한 파급 효과를 가져 올 것으로 예상된다. 본 성과들은 테스트베드와 연동되어 실제 플랜트에 맞게 구축, 분석, 검증 및 개선 단계를 거쳐 LNG 플랜트의 핵심 요소로 자리매김할 것이다.

3절 동적 모델 기반 감시 및 진단 스테이션 구축

가. 개 요

분산제어 시스템, 공정정보 시스템 등이 도입됨에 따라 플랜트의 운전에 관련된 많은 데이터들이 실시간으로 쏟아지고 있다. 따라서 방대한 데이터 중 유용한 정보만을 취하여 공정을 개선하고 안전성을 확보하여 많은 이익을 취할 수 있느냐가 관심사로 주목받고 있으며 공정 감시, 진단, 분석에 관련된 많은 상용 프로그램이 개발, 활용되고 있다.
따라서 이번 연구에서는 각각의 기능들을 개발하고 다양한 사례들을 활용하여 검증하는 데에 주력하였으며, 테스트베드에 적용하기 위해서 각각의 프로그램들을 통합한 시스템을 구성할 필요성을 느끼게 되어 동적 모델 기반 감시 및 진단 스테이션을 구성하게 되었다.
동적 모델 운전을 통한 공정 데이터 생성, HMI 화면을 통한 공정 감시, 분석 프로그램을 통한 정상/이상 상태 진단 프로세스를 하나의 스테이션(시스템)으로 통합하여 실제 LNG 플랜트의 운전을 모사하였으며 개발한 각각의 기능들에 대해 검증하였다.

나. 수행내용 및 결과

그림 2.3.2.1은 동적 모델 기반 감시 및 진단 스테이션을 실제로 구축, 운전하고 있는 그림으로 동적 모델 운전을 통한 LNG 플랜트 시뮬레이션 데이터 수집, HMI 화면을 통한 공정 모니터링, 분석 프로그램을 통한 공정 정상/이상 상태 진단을 포함하고 있다.

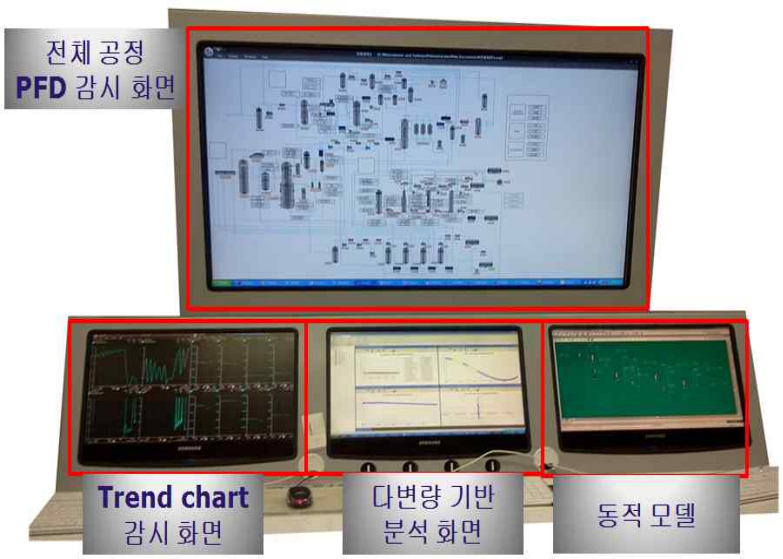


그림 2.3.2.1 LNG 플랜트 감시 및 진단을 위한 스테이션

동적 모델 기반 감시 및 진단 스테이션을 구성하는 각각의 프로그램들 간의 공정 데이터 흐름에 대해 정리한 것이다. 공정 운전 데이터는 RTDB Server에 저장, 검색 할 수 있으며 공정 이상 상황의 원인에 대해서도 DB화하여 통계분석 결과를 포함한 report로 제공하고 있

다.

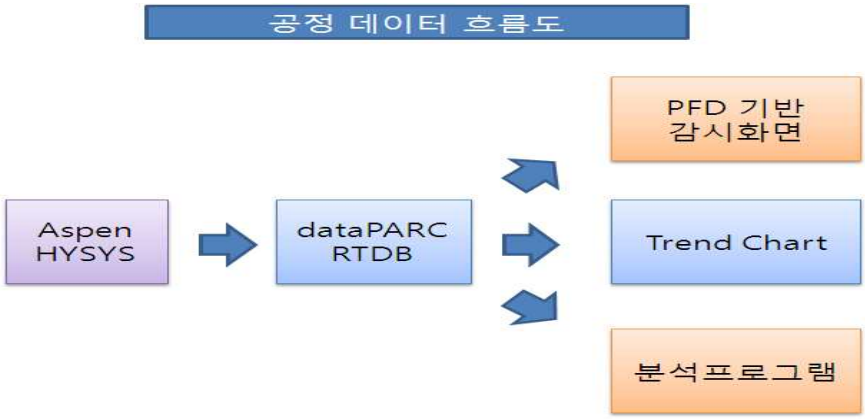


그림 2.3.2.2 공정 데이터 흐름도

아래의 동적모델은 LNG 플랜트의 정상상태에 대하여 ASPEN HYSYS를 이용하여 모델을 구축하였다. LNG 플랜트 전체를 포함하는 모델 1기, 각각의 Unit 공정에 해당하는 모델(Acid Gas Removal, MCHE, Fractionation)을 구축하였으며 구축된 unit에 대한 이상 시나리오를 구성하고 이상 조건을 주었을 때 모니터링 프로그램이나 분석 프로그램에서 감시하고 진단하는 과정에 대한 연구를 수행하였다.

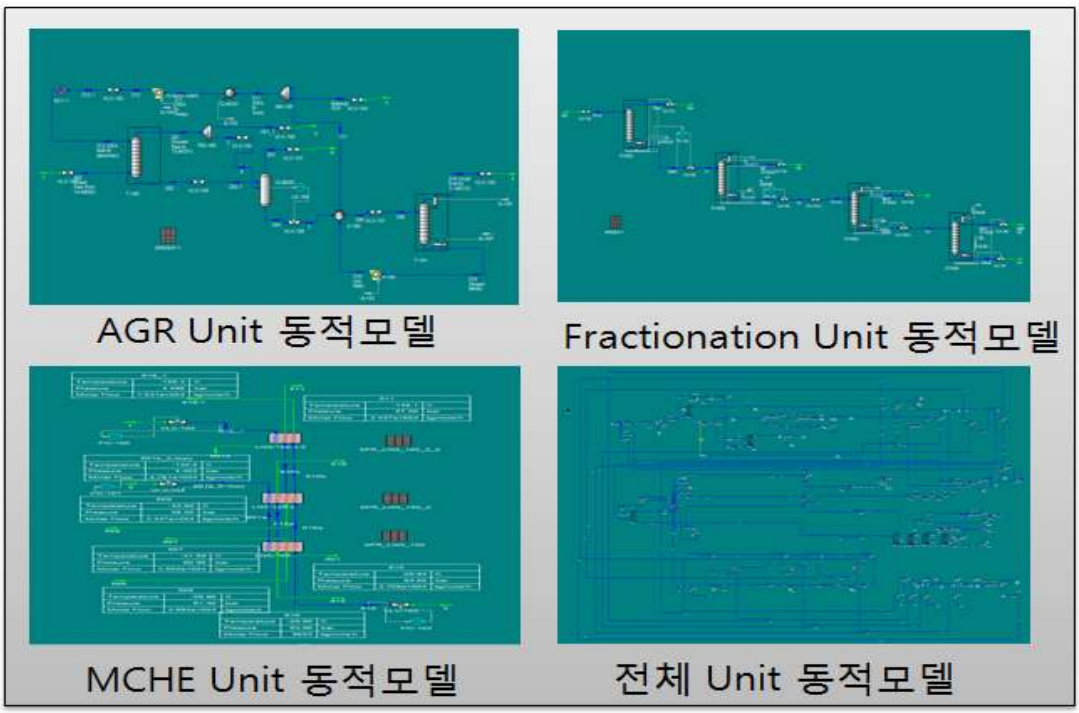


그림 2.3.2.3 LNG 플랜트 동적모델

PFD 기반 감시 기능은 동적 모델과 데이터 수집 및 모니터링 프로그램을 연결시켜서 구현하였으며 LNG 플랜트 전 공정(Acid Gas Removal, Fractionation, Liquefaction)을 대상으로 한 실시간 공정 정상/이상 운전 상태를 모니터링 할 수 있게 하였다. HMI 화면에는 각 공정

을 구성하는 장치, 스트림의 위치 정보와 공정의 흐름에 대해서 한 눈에 알 수 있게 구성하였으며 공정의 주요 포인트 별로 센서를 배치하였다. 전체 LNG 플랜트를 대상으로 한 HMI 화면, 각 unit 공정 별 HMI 화면, 장치별 HMI 화면을 통해 공정의 운전 상태를 감시하고 있다. 다음은 각각의 HMI에 대한 자료이다.

다음은 전체 LNG 플랜트에 대한 HMI 감시 화면이다.

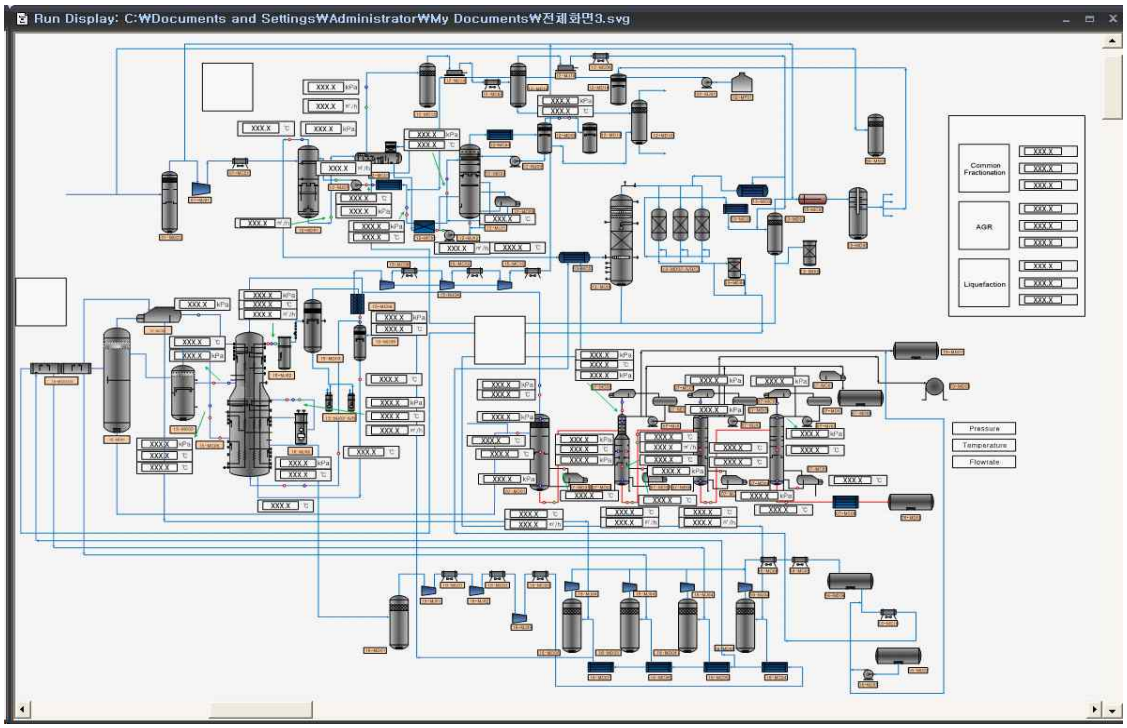


그림 2.3.2.4 전체 LNG 플랜트 대상 HMI 감시화면

아래의 화면들은 각 unit 기반 감시화면과 각 unit 중 장치를 대상으로 감시하는 화면이다.

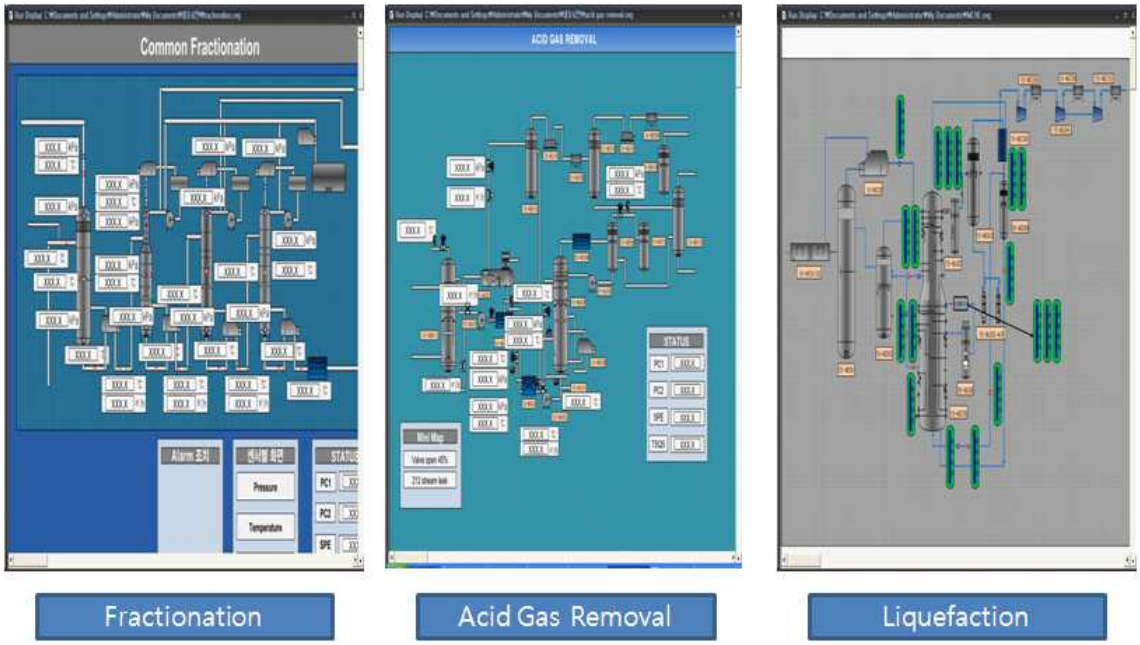


그림 2.3.2.5 Unit 공정 대상 감시화면

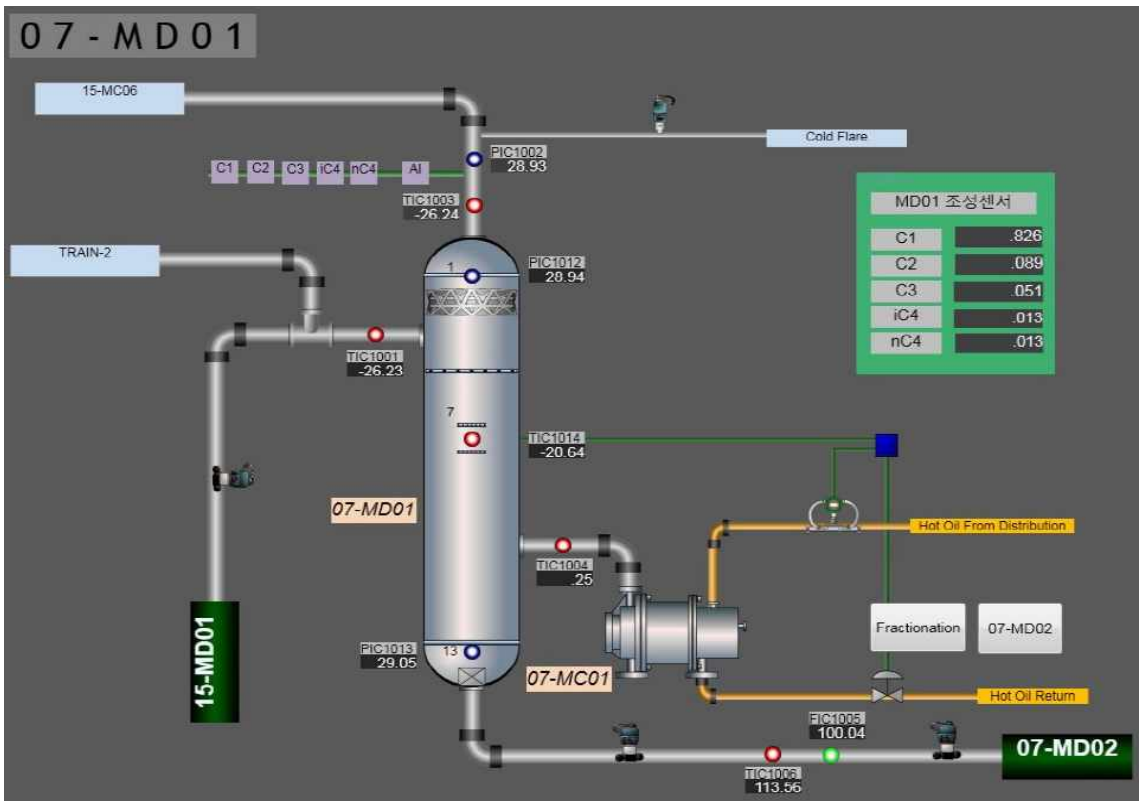


그림 2.3.2.6 Methanizer 감시화면

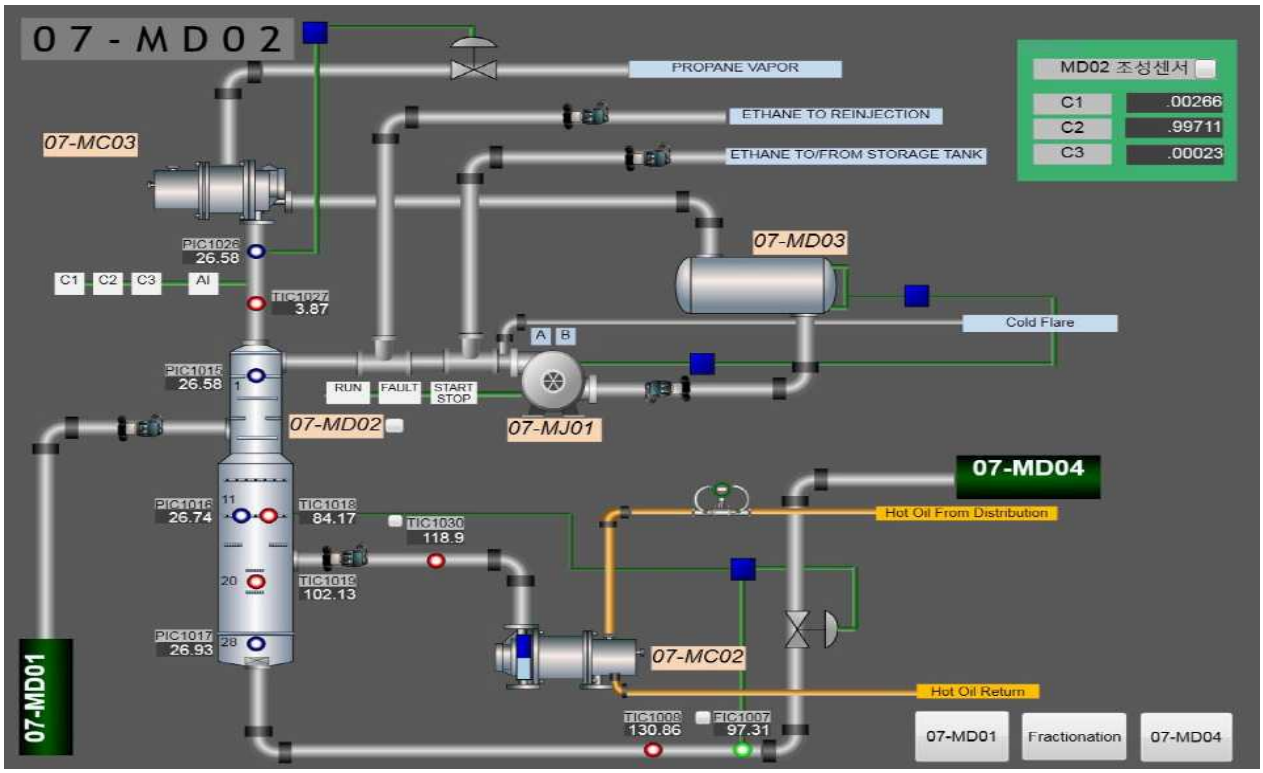


그림 2.3.2.7 Ethanizer 감시화면

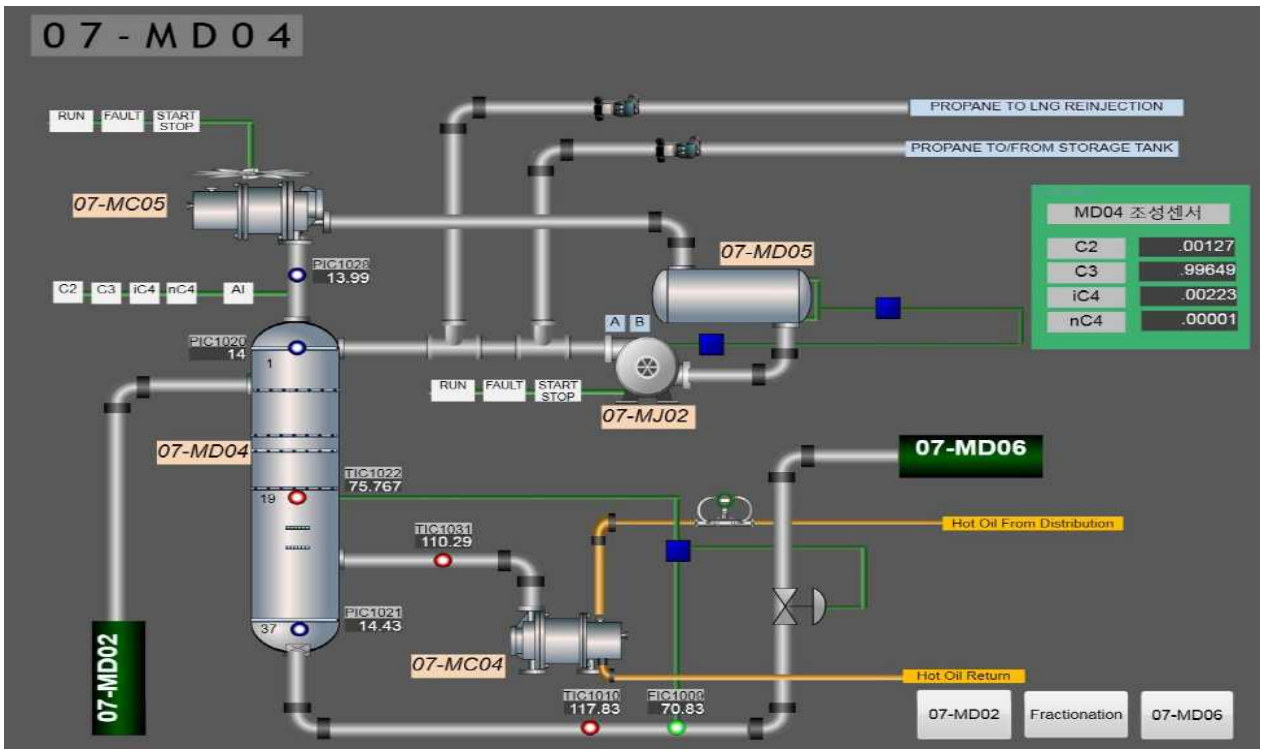


그림 2.3.2.8 Propanizer 감시화면

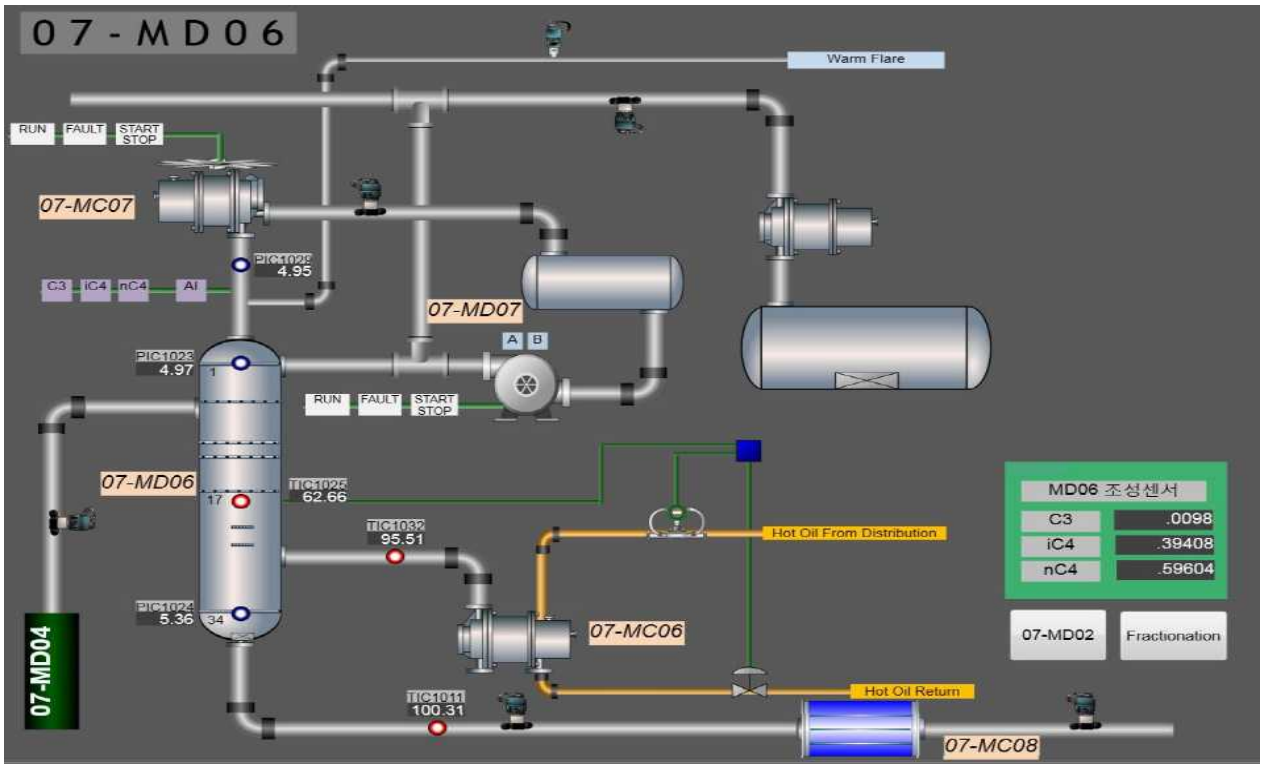


그림 2.3.2.9 Butanizer 감시화면

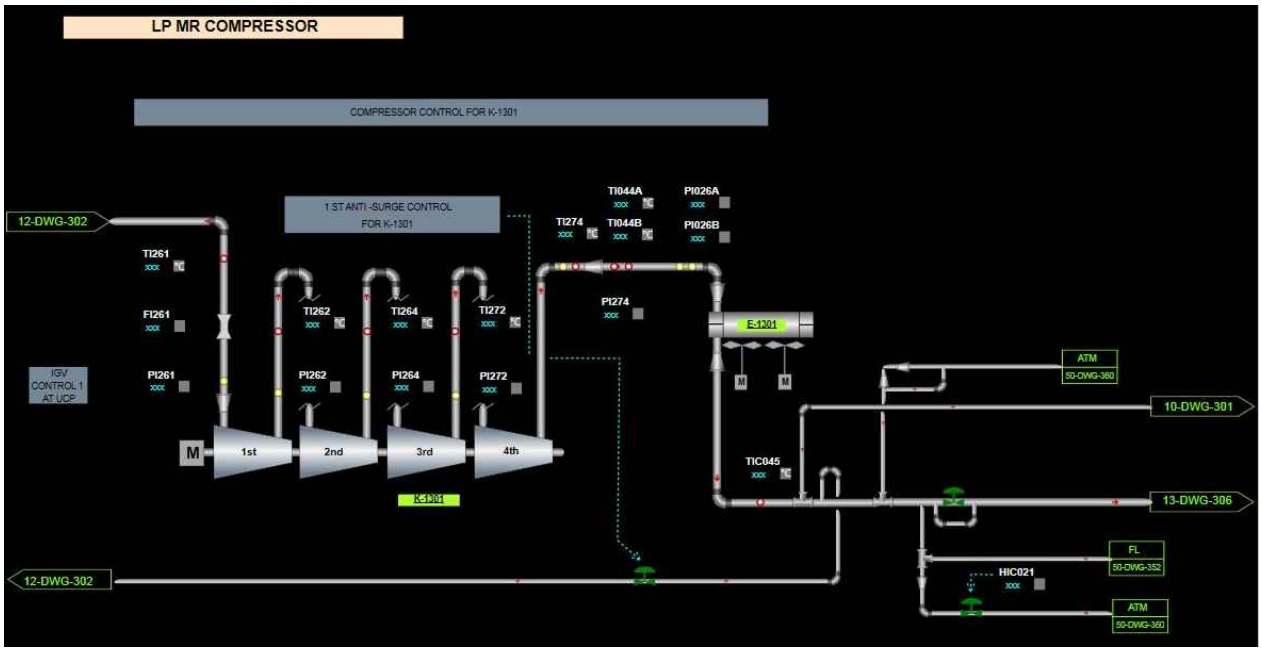


그림 2.3.2.10 LP MR Compressor 감시화면

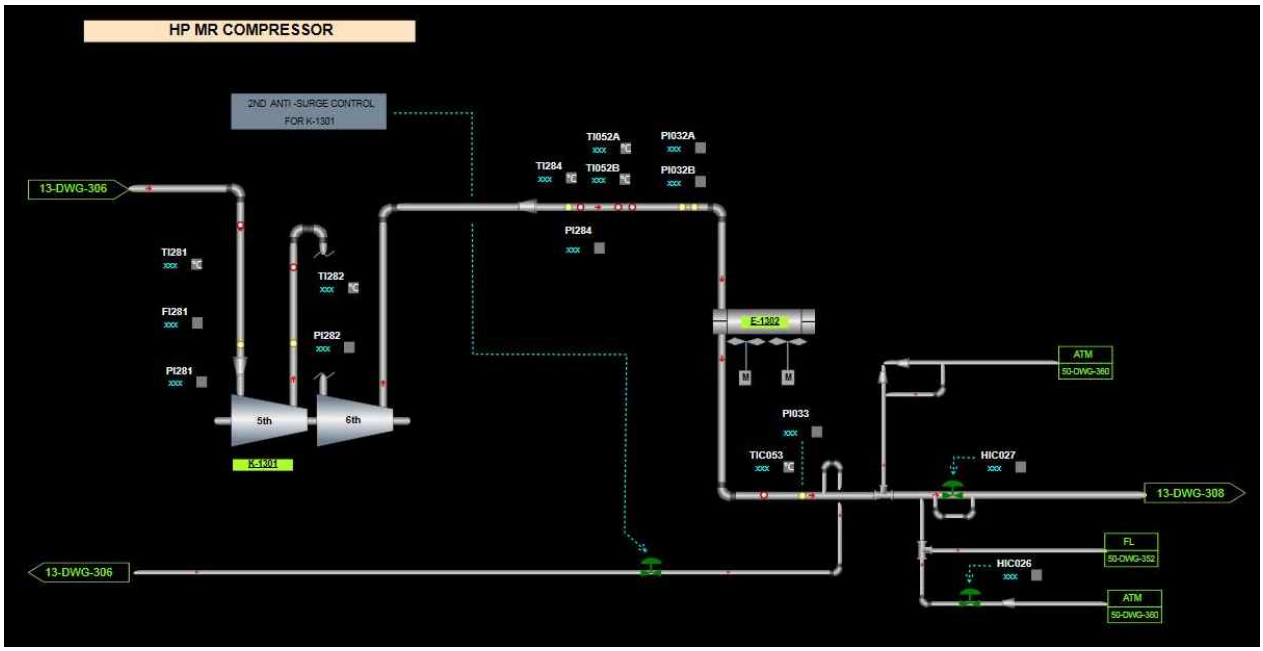


그림 2.3.2.11 HP MR Compressor 감시화면

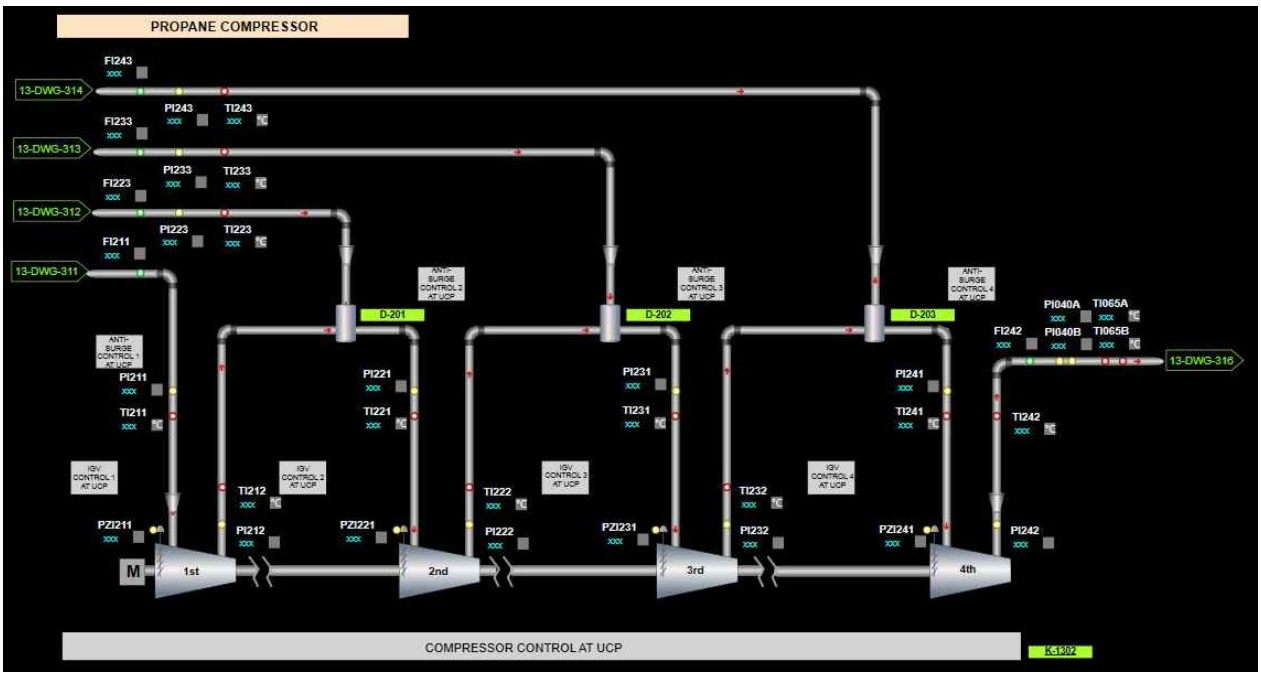


그림 2.3.2.12 Propane Compressor 감시화면

이 외에도 Scrubber, LNG 공정 내 주요 Pipeline, MCHE 등의 유닛에 대한 감시화면을 개발하였으며 감시화면에서는 단변수 센서들의 정보와 함께 조성 센서에 대한 소프트센서의 정보를 얻을 수 있다.

다음은 Alarm 시스템에 관해서 정리한 것이다. Alarm은 공정 운전 데이터를 통계적 기법을 이용, 센서별로 upper limit과 lower limit을 구하며 이를 기준으로 하여 공정의 정상/이상 상태를 감시할 수 있다.

다음의 process alarm configuration에서는 센서 데이터를 수집하고 filtering을 통해 노이즈를 제거한 이후에 데이터의 평균과 표준편차를 활용 Schwartz Chart를 생성하고 limit 값을 구하는 일련의 과정을 보여주고 있다.

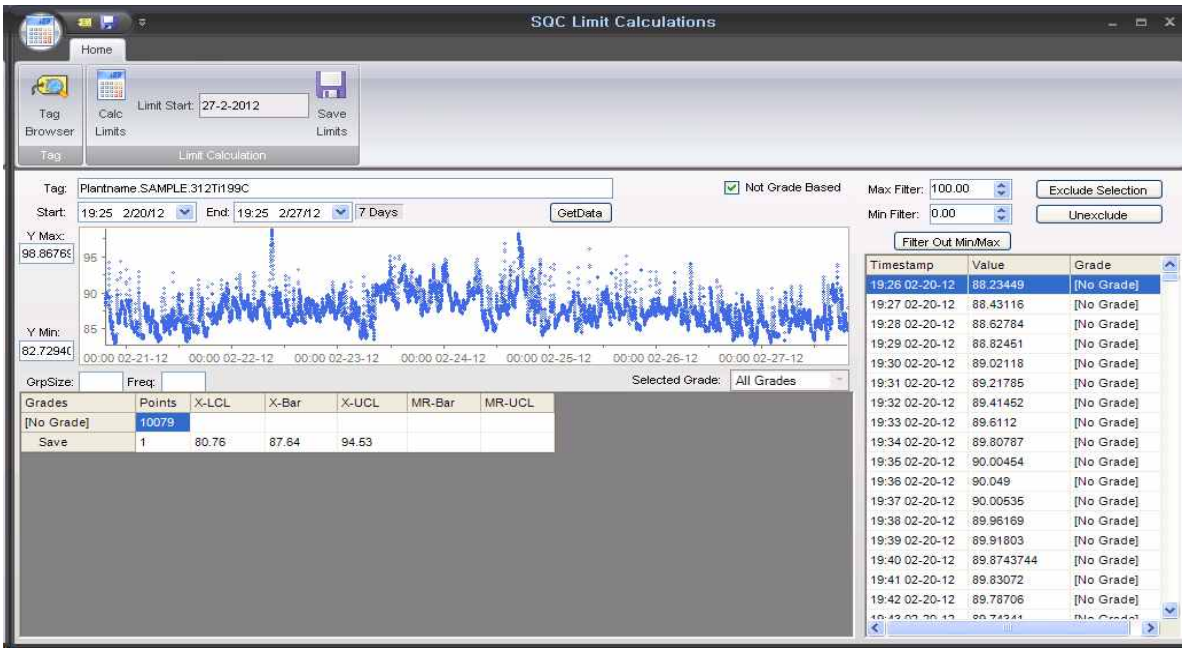


그림 2.3.2.13 공정 알람 configuration

위의 그림은 process alarm configuration에서 구한 limit 값을 이용해서 센서 별로 alarm 세팅을 해 주는 것을 보여주고 있다.

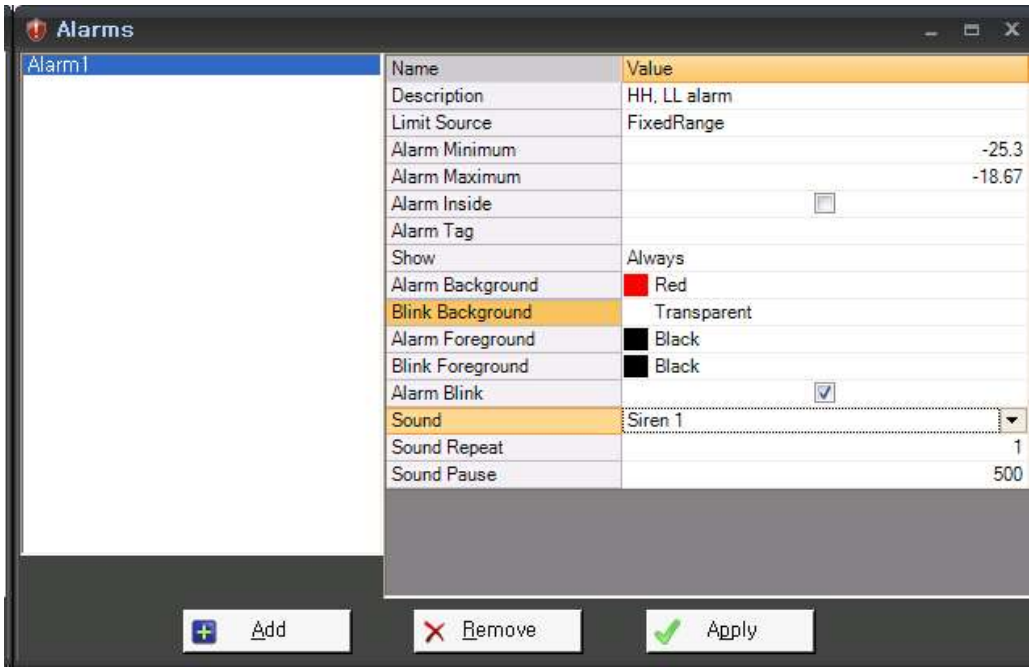


그림 2.3.2.14 공정 알람 세팅

그림 3-9는 정상상태에서의 공정 감시 화면과 이상상태에서의 alarm 기능이 활성화된 공정 감시화면과의 비교에 대한 것이다.

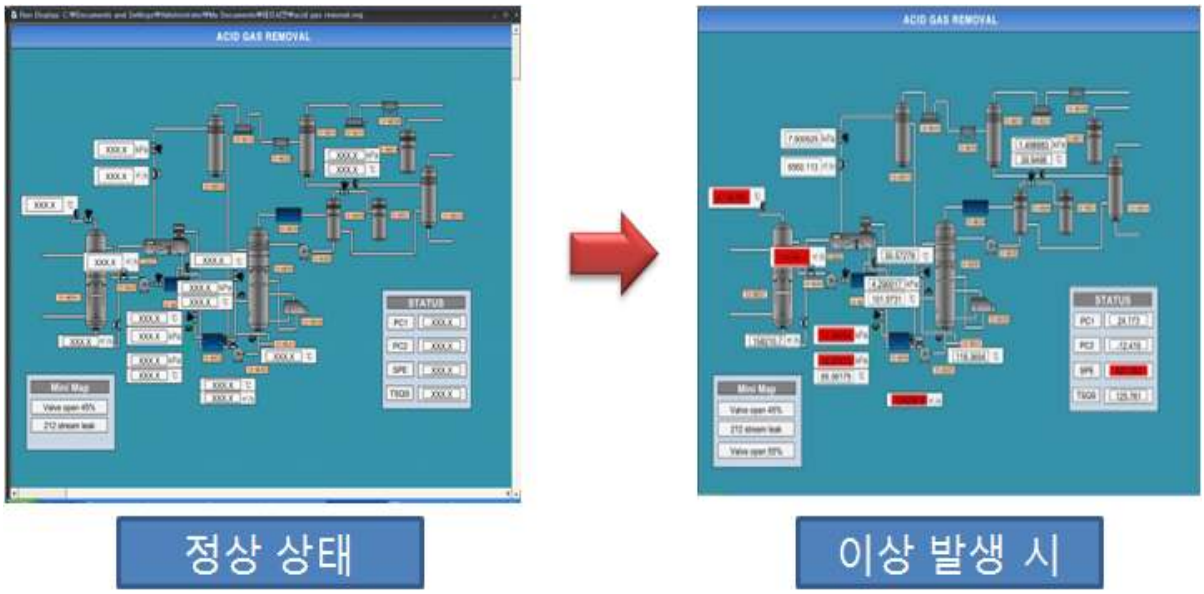


그림 2.3.2.15 정상상태와 이상상태의 PFD 감시화면 비교

다. 주요결과 및 시사점

LNG 플랜트 감시 및 진단용 스테이션 구축/운전을 통하여 공정 운전 시뮬레이션 및 다변량 통계 기반 이상 진단 및 감시기법의 활용에 관해 검토하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

동적 모델로 공정의 정상/이상 상태를 생성하고 이를 HMI 감시화면을 통해 모니터링하며 분석 프로그램으로 이상 상태를 진단하는 일련의 과정은 안정적 수준으로 평가되었으며 실제 플랜트에서 주로 발생하는 이상 사례들을 재현, 테스트하는 과정으로 검증한 결과 분석 결과의 일관성, 정확성 등에서 이후 테스트베드 공정에도 적용 타당하다고 판단된다.

위와 같이 LNG 플랜트 감시 및 진단용 스테이션 구축은 테스트베드 공정에도 적용할 수 있으며, 공정 운전 시뮬레이션 혹은 운전원 교육 시스템에도 확장 적용 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

4절 스마트 센서 기반 유량 보정 시스템 및 소프트센서 개발

가. 개요

대부분의 화학 공정에는 수백 개에서 수천 개의 센서들이 존재하며, 유량 온도, 압력 등의 다양한 정보를 측정한다. 측정값은 오차를 포함하게 되며 오차의 원인으로는 측정오차, 측정 신호의 처리 및 전송 오차 등이 있다. 이러한 오차들은 총계오차와 확률 오차의 합으로 표현될 수 있다. 확률오차는 그 크기나 방향이 전혀 예측이 안되는 오차로서 동일한 시스템에 대하여 동일한 조건의 측정을 하여도 확률오차의 영향에 따라서 측정값이 달라지게 된다. 확률오차는 주로 측정값을 전기적 신호로 바꿀 때 발생하는 노이즈나 전원공급의 불규칙성, 아날로그 신호 필터링 등에서 발생하는 경우가 많다. 이와 반대로 특정한 방향성을 갖고 반복적으로 되풀이되는 오차를 총계오차라고 하며 측정 장치의 고장이나 캘리브레이션 오차, 센서 고장 등으로 인하여 발생한다.

총계오차 및 확률오차가 제거되지 않은 데이터를 프로세스에서 그대로 사용하게 되면 프로세스 성능 모니터링의 정확성 저하, 컨트롤 시스템의 성능 저하를 유발할 수 있다. 이를 예방하기 위하여 데이터 보정 기법을 이용한 측정 장치의 고장 감지를 수행할 수 있으며 공정 내 센서의 이상 유무를 판별하여 캘리브레이션이나 센서 교체 등과 같은 작업을 수행할 수 있다.

나. 수행 내용 및 결과

1. 데이터 보정 기법 기반 유량 센서 모니터링 기술

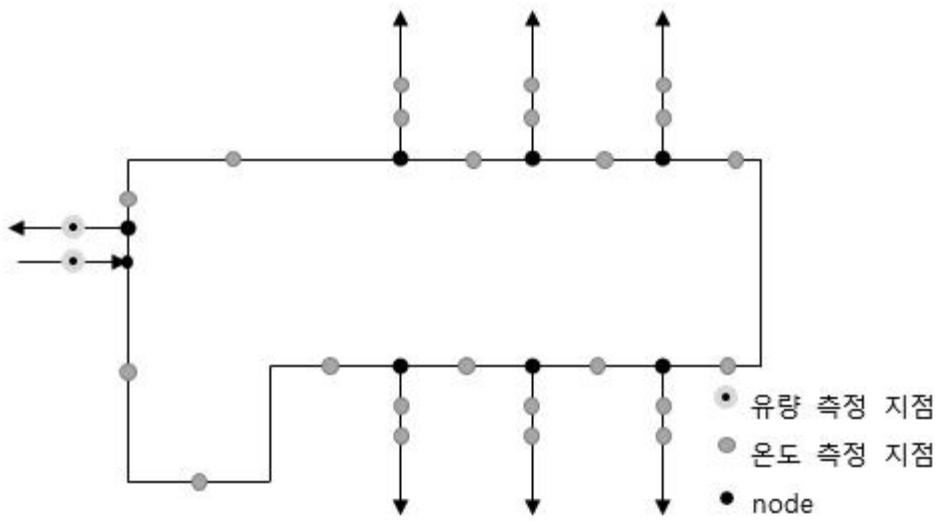


그림 2.4.2.1 유량 및 온도 측정 지점

데이터 보정에 대해서는 이미 많은 선행 연구가 존재하였는데, 그 중에서 화학 공정의 유량

데이터를 보정하는 데에는 비교적 단순한 방법인 mass balance를 이용한 보정 방법이 많이 연구되어 있다. Steady-state 상태에서의 데이터 보정 방법은 각 노드 I에 대해서 최적화를 수행하였을 때, 발생되는 x 값은 mass balance를 만족하는 상태가 되며 기조 데이터의 에러를 감소시킨 상태가 된다.

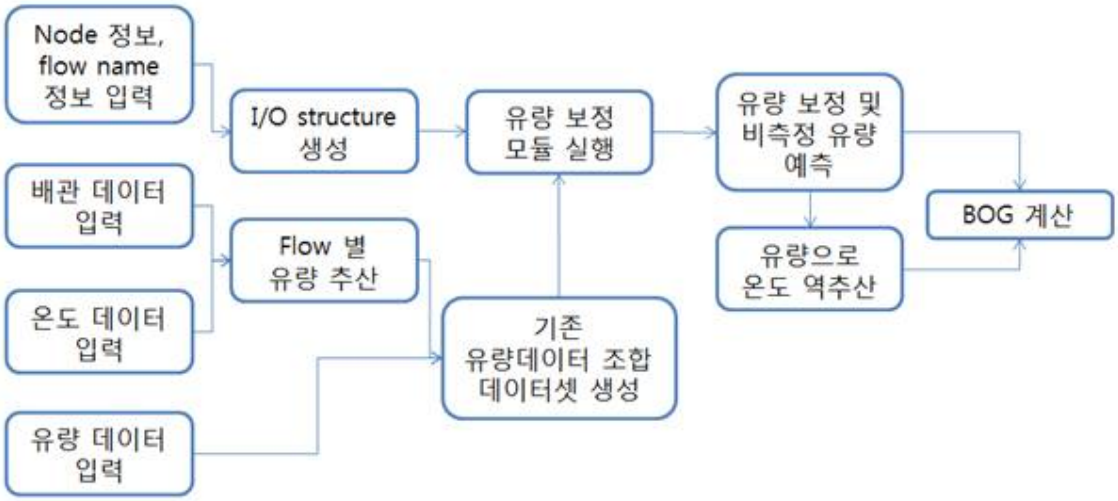


그림 2.4.2.2 BOG 계산용 데이터 보정 기법 실행 구조도

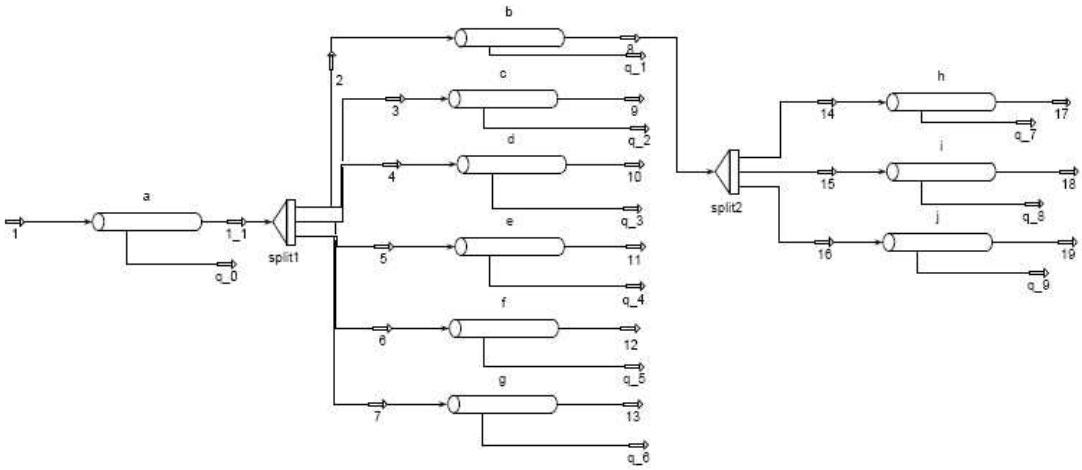


그림 2.4.2.3 데이터 보정용 예시 공정 모사도

$$\underset{x_i}{Minimize} \sum_i (y_i - x_i)^2$$

$$\sum_i x_{i,gen} - \sum_i x_{i,cons} = 0$$

$$x_{jCRM-MAIN} - \sum x_{i,jCRM-Comp.} = 0$$

이 최적화는 센서를 통해 검출된 데이터의 측정 오차를 보정함과 동시에 mass balance를 충족시켜 합리적인 데이터를 얻을 수 있으며 데이터가 존재하지 않는 영역에서도 신뢰성 있는 데이터를 제공한다.

Data reconcilliation의 자료구조는 다음과 같다.

- Incident Matrix

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
-1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	-1	0	0	0	0	0	1	1	1

- Measured Matrix

a	c	d	e	f	g	h	i	j
-1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1

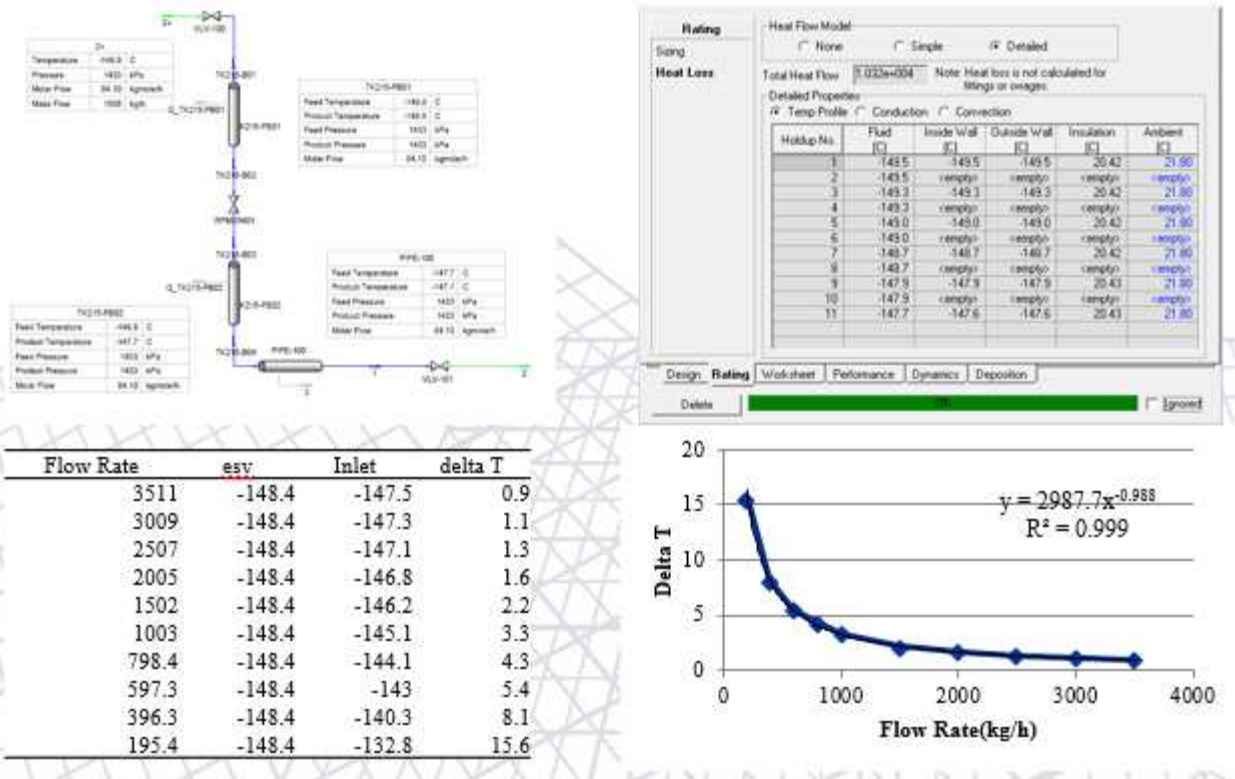
- Unmeasured Matrix

b
1
-1

- New Constraints Matrix

a	c	d	e	f	g	h	i	j
-1	1	1	1	1	1	1	1	1

그림 2.4.2.4 데이터 Reconciliation 자료 구조



Flow Rate	esv	Inlet	delta T
3511	-148.4	-147.5	0.9
3009	-148.4	-147.3	1.1
2507	-148.4	-147.1	1.3
2005	-148.4	-146.8	1.6
1502	-148.4	-146.2	2.2
1003	-148.4	-145.1	3.3
798.4	-148.4	-144.1	4.3
597.3	-148.4	-143	5.4
396.3	-148.4	-140.3	8.1
195.4	-148.4	-132.8	15.6

그림 2.4.2.5 데이터 Reconciliation용 공정 센싱 데이터 예시

Data Reconcilliation 알고리즘

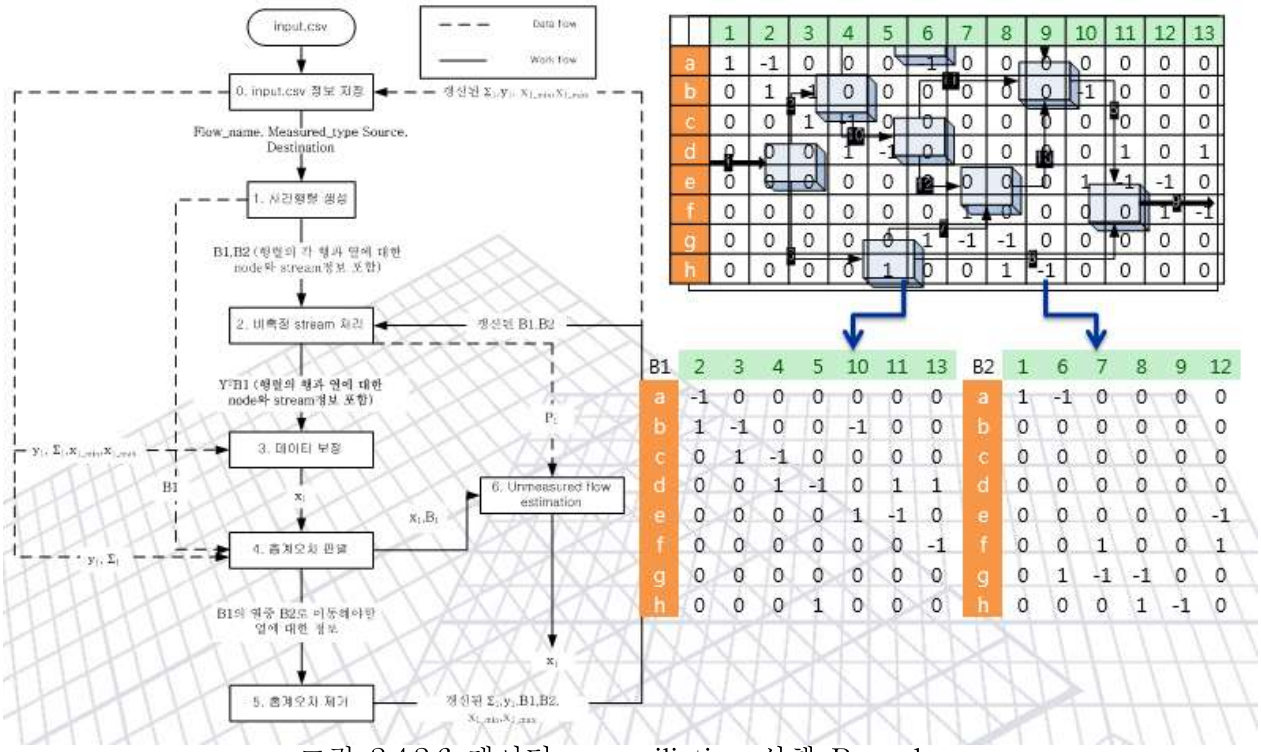
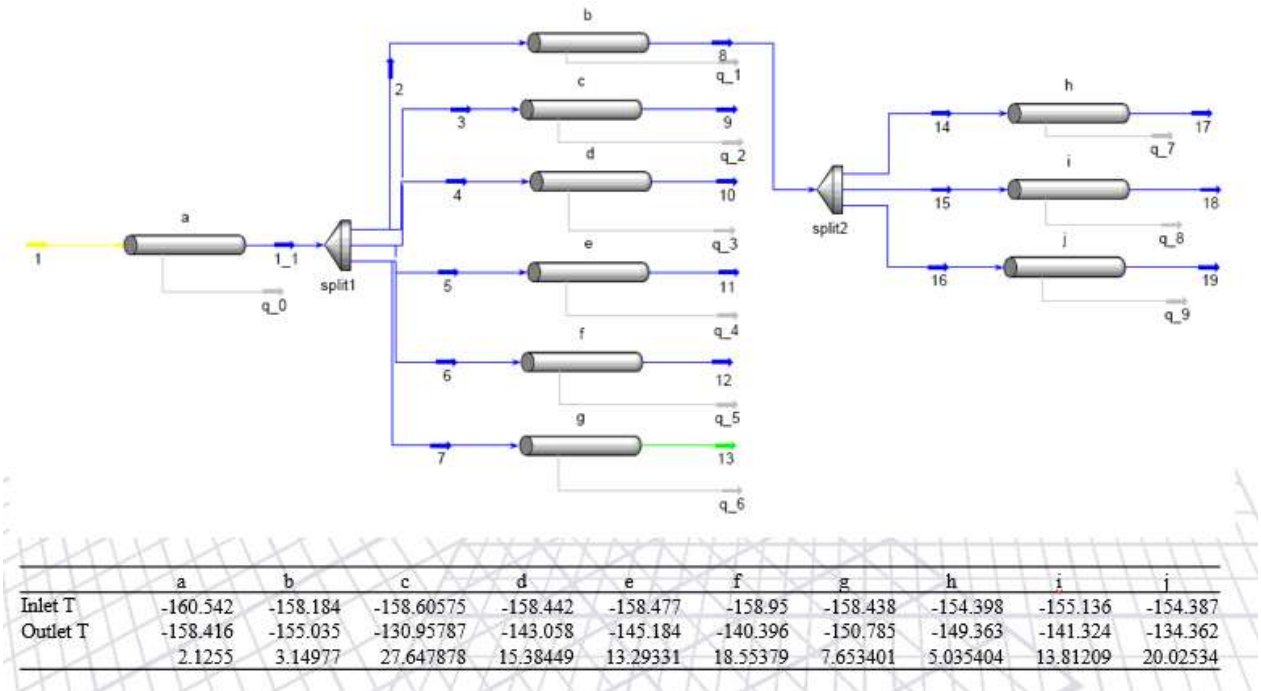


그림 2.4.2.6 데이터 reconciliation 실행 Procedure



	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Inlet T	-160.542	-158.184	-158.60575	-158.442	-158.477	-158.95	-158.438	-154.398	-155.136	-154.387
Outlet T	-158.416	-155.035	-130.95787	-143.058	-145.184	-140.396	-150.785	-149.363	-141.324	-134.362
	2.1255	3.14977	27.647878	15.38449	13.29331	18.55379	7.653401	5.035404	13.81209	20.02534

그림 2.4.2.7 파이프 별 inlet/outlet 온도

Data reconcilliation 적용 사례



그림 2.4.2.8 Data Reconciliation 실행 결과 분석

2. Soft Sensor

소프트센서 설계는 대상공정에 적합한 추정모델을 선정하는 것으로써 크게 세 가지 방법론이 있으며 수식 모델 기반 설계, 지식 기반 설계 방법, 그리고 추정 모델링 기반 설계 방법이 있다. 수식 모델 기반 설계는 추정하고자 하는 변수와 공정변수와의 관계가 명확하게 수식적으로 표현 가능할 때 사용할 수 있는 방법으로써 공정의 지배 방정식이 복잡한 화학공정의 경우에 제한적으로 사용되고 있다.

전문가 시스템과 인공 신경회로망을 사용하는 지식 기반 설계 방법은 공정에 대한 자세한 수학적인 모델은 필요로 하지 않는 장점이 있으나 공정에 대해 잘 아는 전문가나 조업자의 경험적 지식이 주관적으로 개입될 가능성이 높고 개발 시간 및 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다. 또한 인공 신경 회로망을 사용하는 방법은 모델을 구성하기 위한 오류, 이상 등을 포함한 대량의 학습 데이터가 있어야 하나 실제 공정으로부터 이러한 데이터를 확보하는 것은 거의 불가능하다. 마지막으로 추정 모델링 기반 설계 방법으로 다변량 통계 분석 방법이 있는데 주성분 회귀방법(Principal Component Regression)과 최소자승법(Partial Least Squares)등의 알고리즘을 대표적으로 사용하고 있으며 이들은 상관성이 높은 공정의 데이터

를 효과적으로 차원 축소하여 공정 변수와 추정 변수와의 관계를 규명하고 이를 모니터링, 진단 및 제어에 적용하는 방법이다. 이 방법론의 경우 실시간으로 쏟아져 나오는 공정 데이터를 통계적인 방법을 이용하여 쉽게 모델링 할 수 있고 동시에 공정의 데이터 분석에 이용할 수 있는 도구를 얻을 수 있다는 점에서 유용하다. 그리고 PLS는 공정 변수들 간의 redundancy를 해결하고 측정 잡음을 없애 주면서 회귀 모델에 선택된 입력 변수만의 score 벡터를 대상으로 하여 출력 변수와의 관계에 있어서 중요한 정보를 제공하기 때문에 기존의 다른 회귀 모델에 비해 보다 나은 입력과 출력의 관계를 얻을 수 있어서 실제 공정에 적용하는 데 적합하다고 여겨진다. PLS 알고리즘은 크게 외적 변환과 내적 변환으로 이루어져 있는데 데이터 공간에 대해 분포가 넓은 축부터 시작하여 순차적으로 서로 직교하는 a개의 PC를 구하는 Nonlinear Iterative Partial Least Squares(NIPALS) 알고리즘을 이용하여 외적 변환을 하며 외적 변환에서 계산되어 진 입출력 score 벡터는 선형 회귀를 통하여 내적 변환을 갖게 된다.

다음은 기존의 조성 센서를 소프트센서로 대체함으로써 얻을 수 있는 효과를 나타내고 있다.

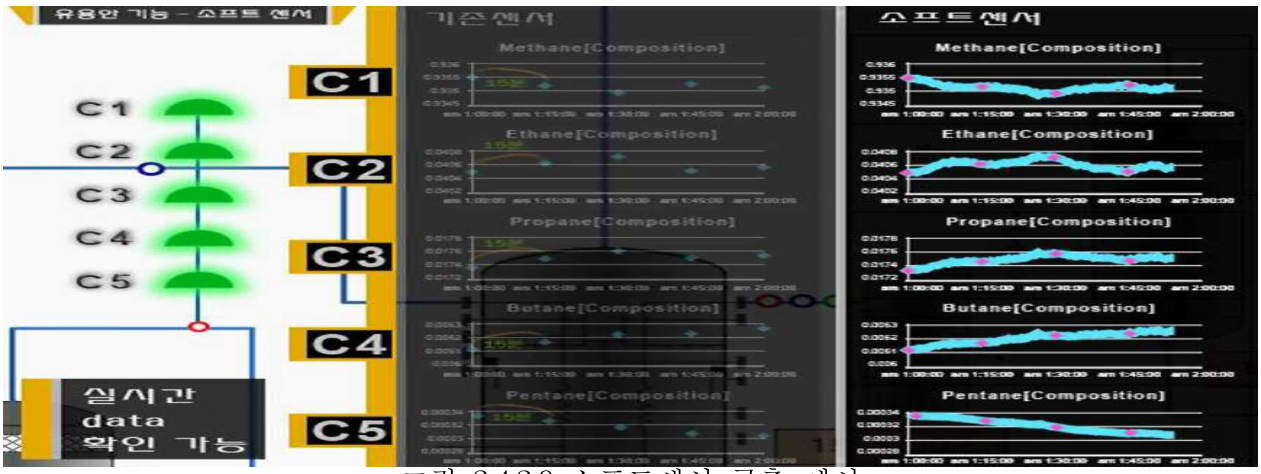


그림 2.4.2.9 소프트센서 구축 예시

조성 센서는 공정의 상태를 판단할 수 있는 상당히 중요한 센서로서 공정 운전이 설계치에 수렴하여 이루어지는지를 판단할 수 있으며 만약 조성 센서가 정상 운전치에서 벗어나게 되면 공정 전체가 정상에서 벗어나게 된다고 판단, 우선적으로 모니터링하고 조치를 취해야 한다. 따라서 공정 조성의 효과적인 관리가 필요하게 되는데 일반적인 조성 센서의 경우, 가격이 비쌀 뿐만 아니라 측정 주기가 다른 온도, 유량, 압력 센서에 비해 길기 때문에 이를 대체하여 실시간으로 데이터를 취득할 수 있는 가상 센서로 대체될 경우 공정의 Reliability 향상 및 비용 절감의 효과 또한 거둘 수 있을 것이다. 이번 연구에서는 LNG 플랜트 동적 모델의 Fractionation 공정에서 Distillation Column의 상부 Stream의 C1-C5까지의 조성에 대한 PLS 소프트센서를 설계하고 실제 값과 비교하여 검증하였다.

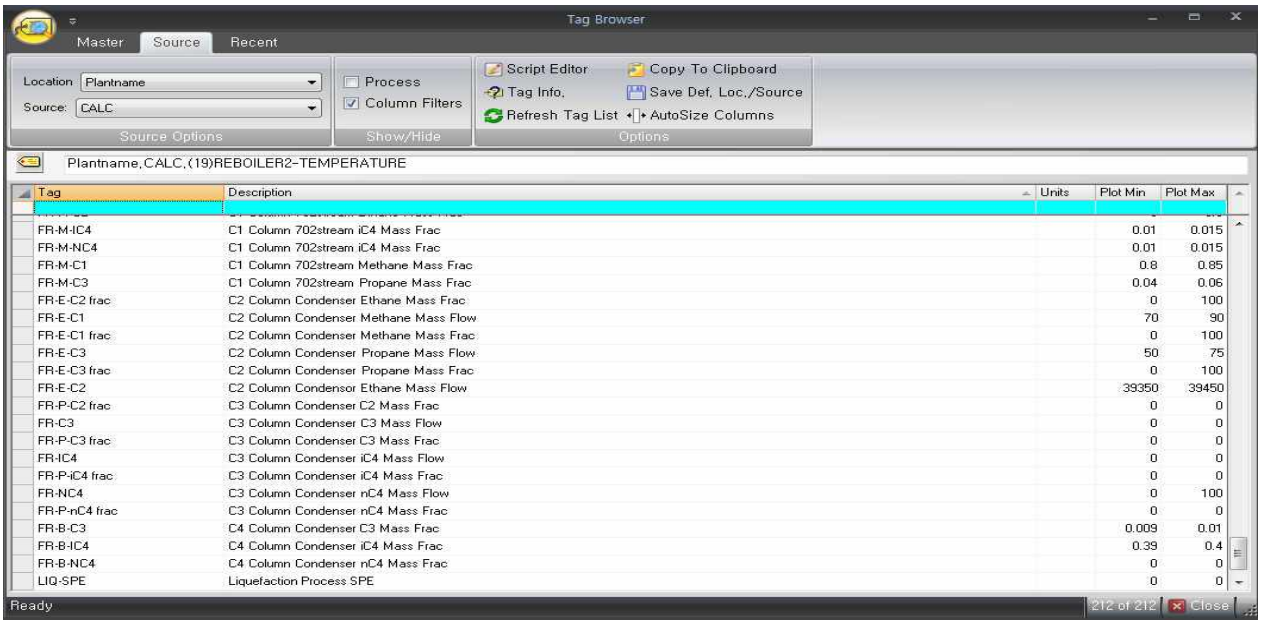


그림 2.4.2.10 Fractionation 공정의 Softsensor Tag Browser

위의 Tag browser는 Fractionation 공정 내의 각각의 Distillation Column의 상부 Stream으로 나오는 product의 조성에 대한 소프트센서의 리스트를 포함하고 있다. 아래의 Tag Script Builder는 PLS 알고리즘을 이용하여 구한 공정 모델의 파라미터를 대입하여 소프트센서 계산식을 입력할 수 있으며 공정 조건의 변화에 따른 파라미터 수정이 필요하게 되면 그에 맞추어 수정한 결과를 반영할 수 있다.

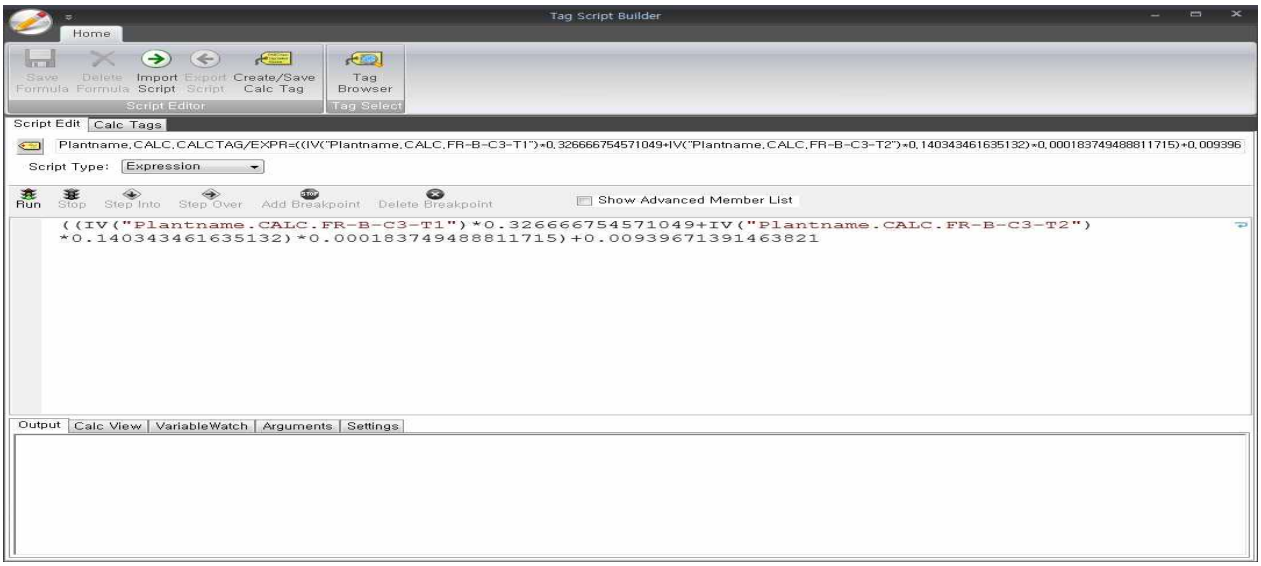


그림 2.4.2.11 Soft Sensor 스크립트 빌더

아래의 화면들은 단위 공정(Fractionation)의 온도, 압력, 유량 등의 데이터를 이용하여 소프트센서를 디자인하고 실제로 감시 화면에서 소프트센서 값(C1-C5 조성 값)을 확인할 수 있다. 소프트센서 설치 대상 Unit은 Fractionation 공정의 C1 Column에서부터 C4 Column까지 총 4개의 Column을 대상으로 하였으며 화면에 표시되어 있는 센서들은 Column 상부 stream의 주요 생산물들을 대상으로 하였다.

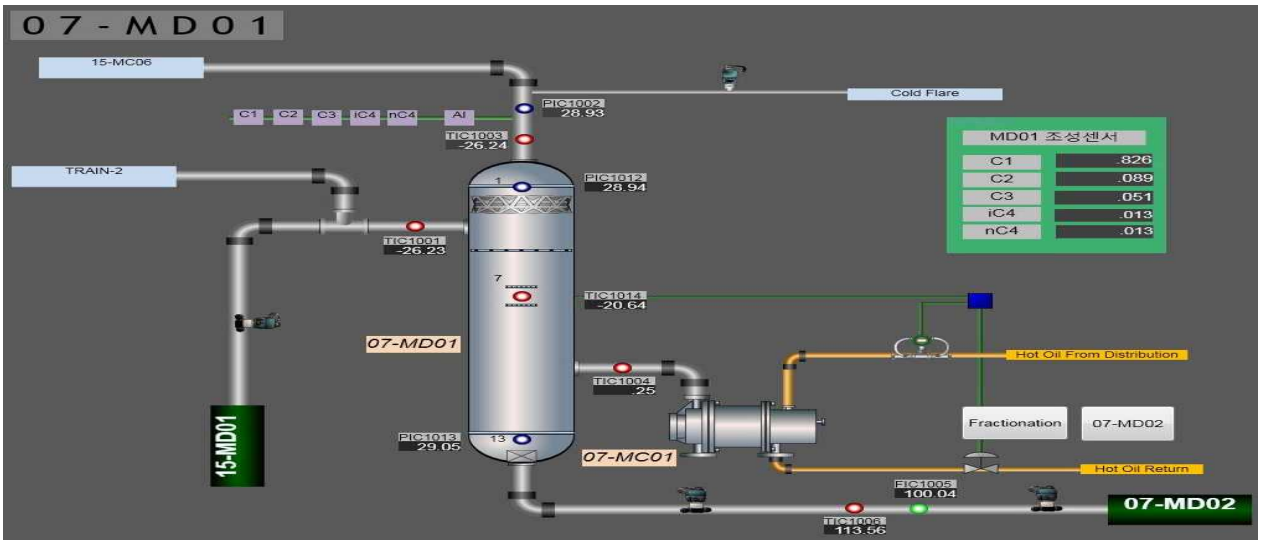


그림 2.4.2.12 MD01 조성 소프트센서 구축 예시

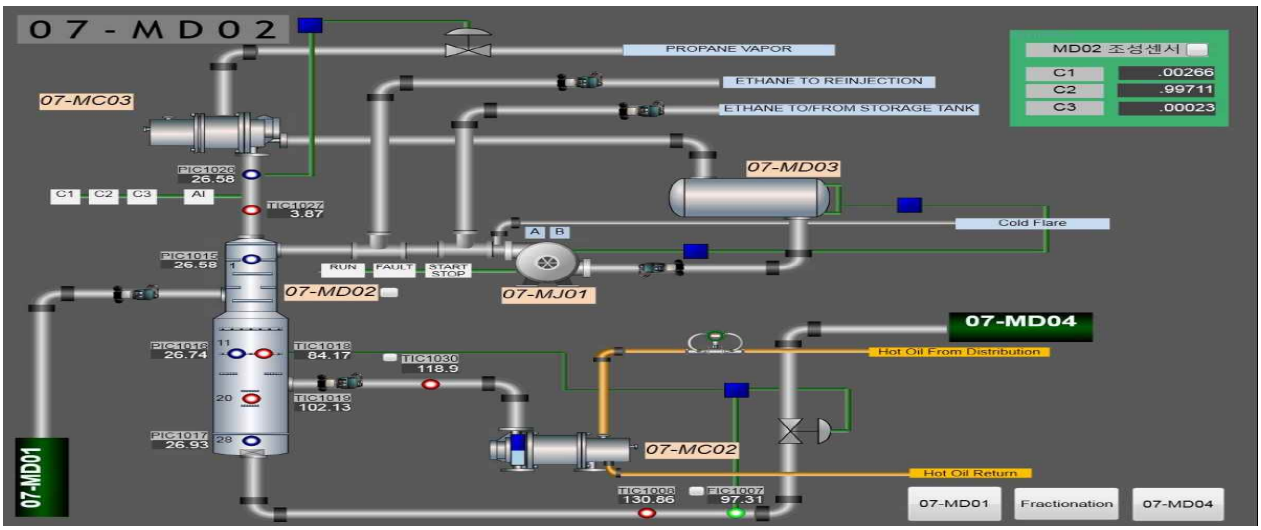


그림 2.4.2.13 MD02 조성 소프트센서 구축 예시

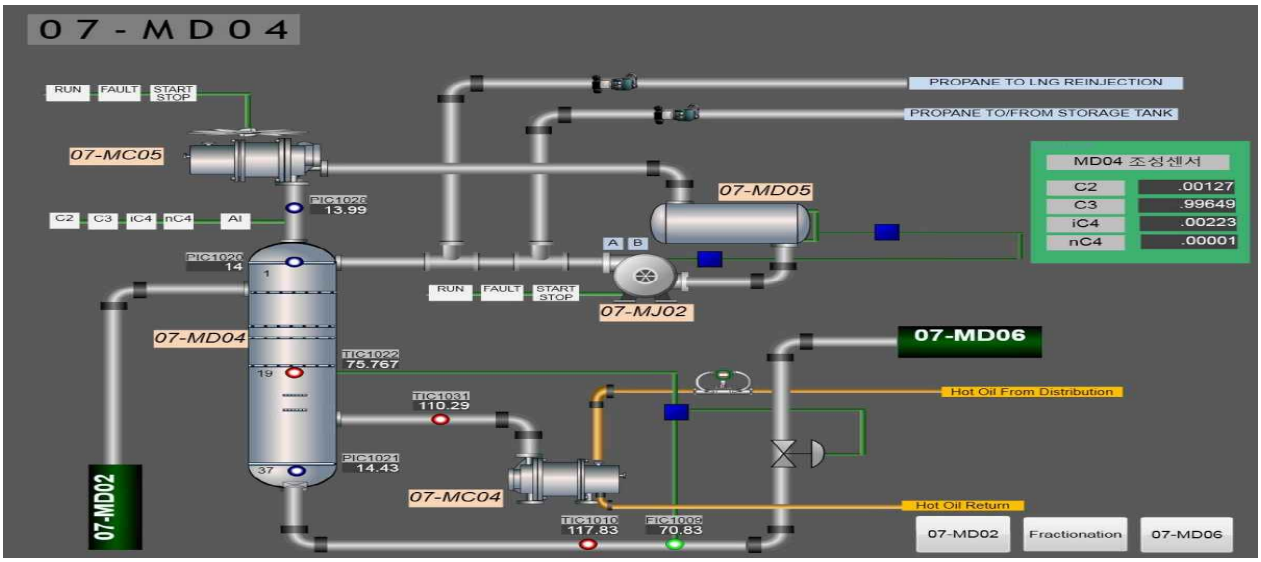


그림 2.4.2.14 MD04 조성 소프트센서 구축 예시

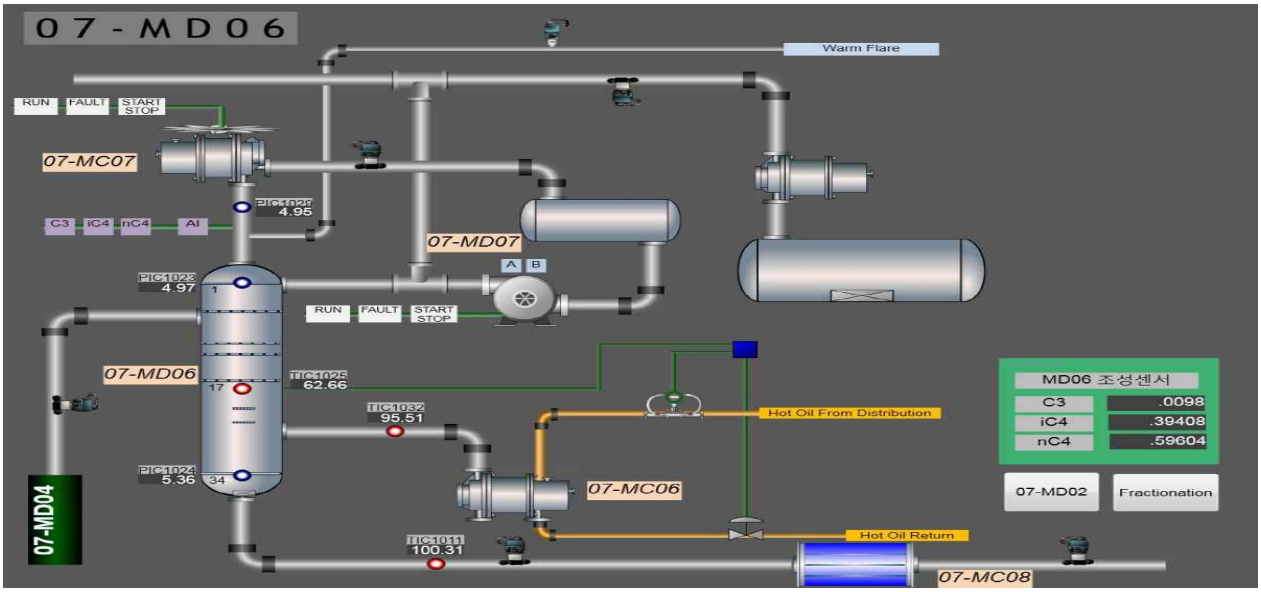


그림 2.4.2.15 MD06 조성 소프트센서 구축 예시

5절. 동적 모델 대상 감시 및 진단 시스템 운전 검증

가. 개 요

LNG 플랜트 실제 공정을 대상으로 이상 상태를 발생시켜 감시 및 진단을 수행하는 것은 많은 위험과 손실이 수반된다. 하지만 이상 상태를 가정하여 실전과 같이 공정을 감시하고 진단하는 과정은 꼭 수행되어야 한다. 이러한 이상 감시 및 진단 과정의 어려움을 해결하기 위하여 사용되는 것이 동적 모델이다. 실제 경향성이 반영된 모델을 통하여 다양한 이상 상태를 정의하고, 그 이상을 감시 및 진단하는 훈련을 수행하는 것은 LNG 플랜트와 같이 운전 경험이 없는 분야에 안정성과 효율성에 큰 효과를 가져올 것이다.
LNG 플랜트의 이상 감시 및 진단 시스템 검증을 위하여 LNG플랜트 동적 모델 구축, 정상/이상 시나리오 개발, 동적 모델 대상 감시 및 진단 프로그램 적용 및 검증을 수행하였다.

나. 수행내용 및 결과

앞선 chapter의 그림 3-3에 기술하였듯이 LNG 플랜트의 AGR unit, Liquefaction unit, Fractionation unit을 동적 모델을 구축하였고, 전체 unit을 통합한 통합 동적 모델까지 구축한 결과물을 보여주고 있다. 각 모델은 LNG 플랜트의 2가지 정상 상태를 모델링하였으며, 단위 unit 모델별로 이상 감시 및 진단을 위한 정상상태 모델링을 각각 수행하였다.

그림 4-1은 AGR unit에 abnormal 상태를 표현, 4-2는 liquefaction unit에 abnormal을 표현, 그림 4-3은 fractionation unit에 abnormal을 표현한 것이다.

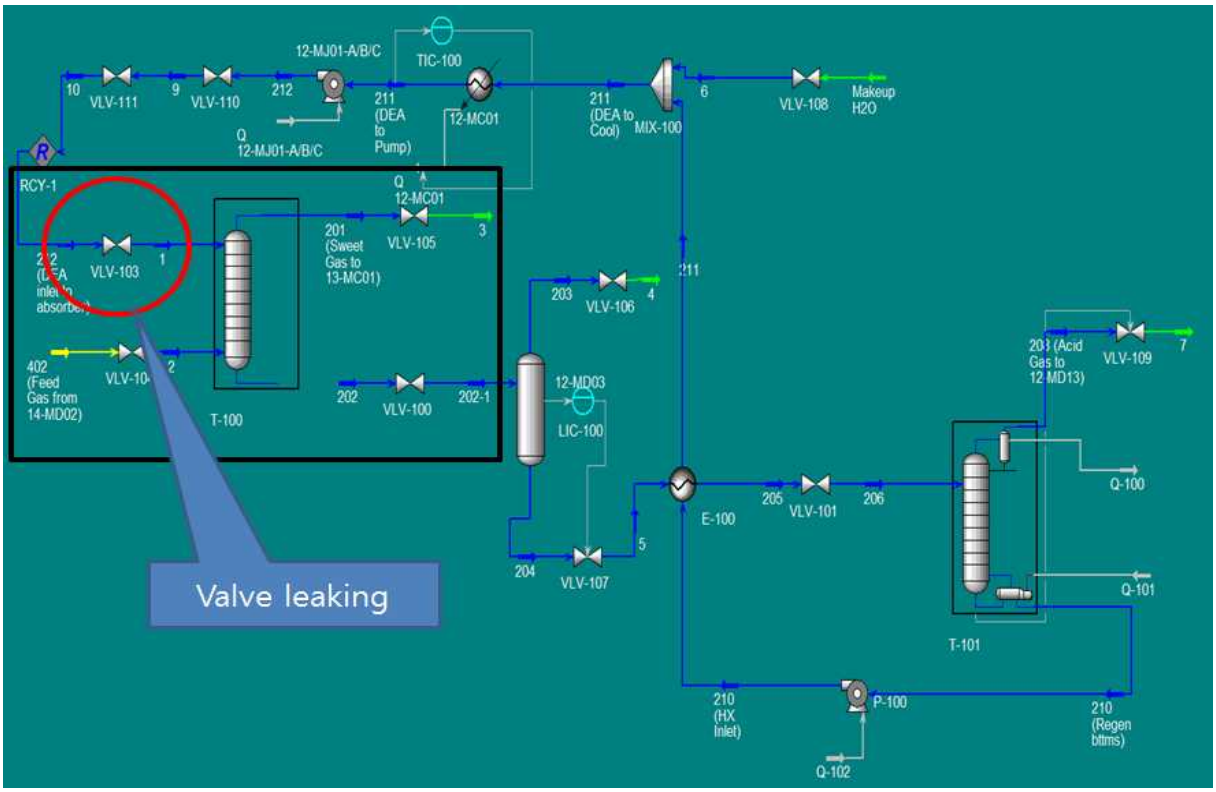


그림 2.5.2.1 LNG 플랜트 AGR unit의 이상 예시

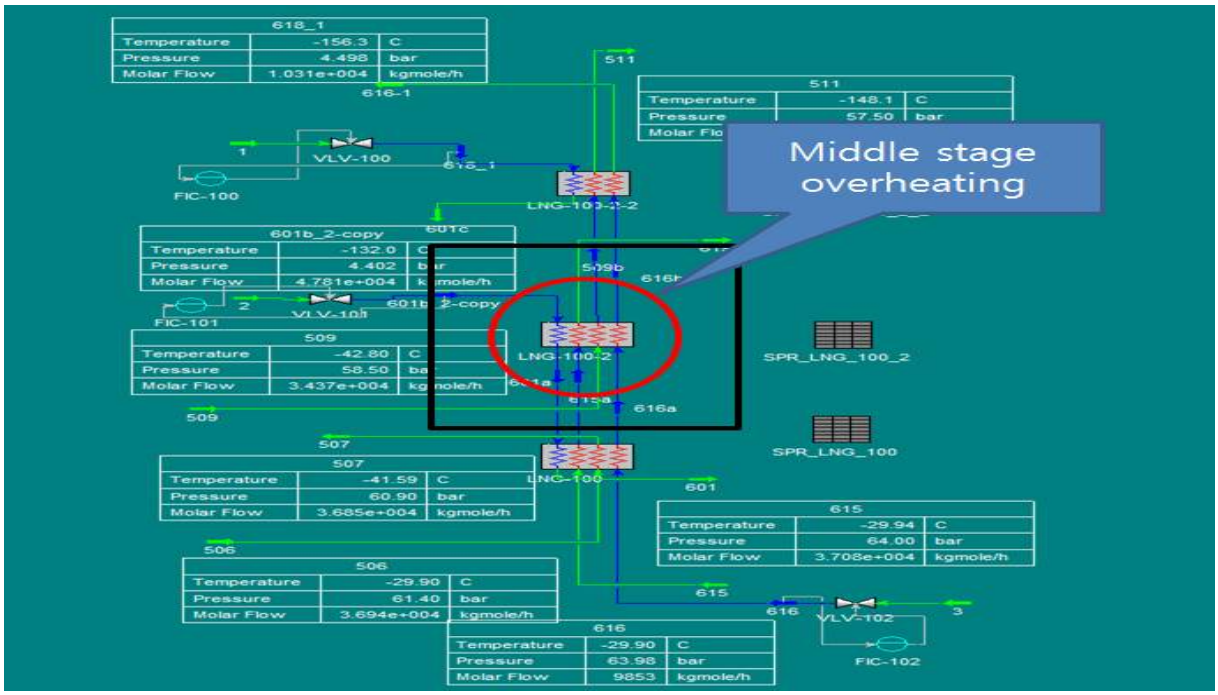


그림 2.5.2.2 LNG 플랜트 liquefaction unit의 이상 예시

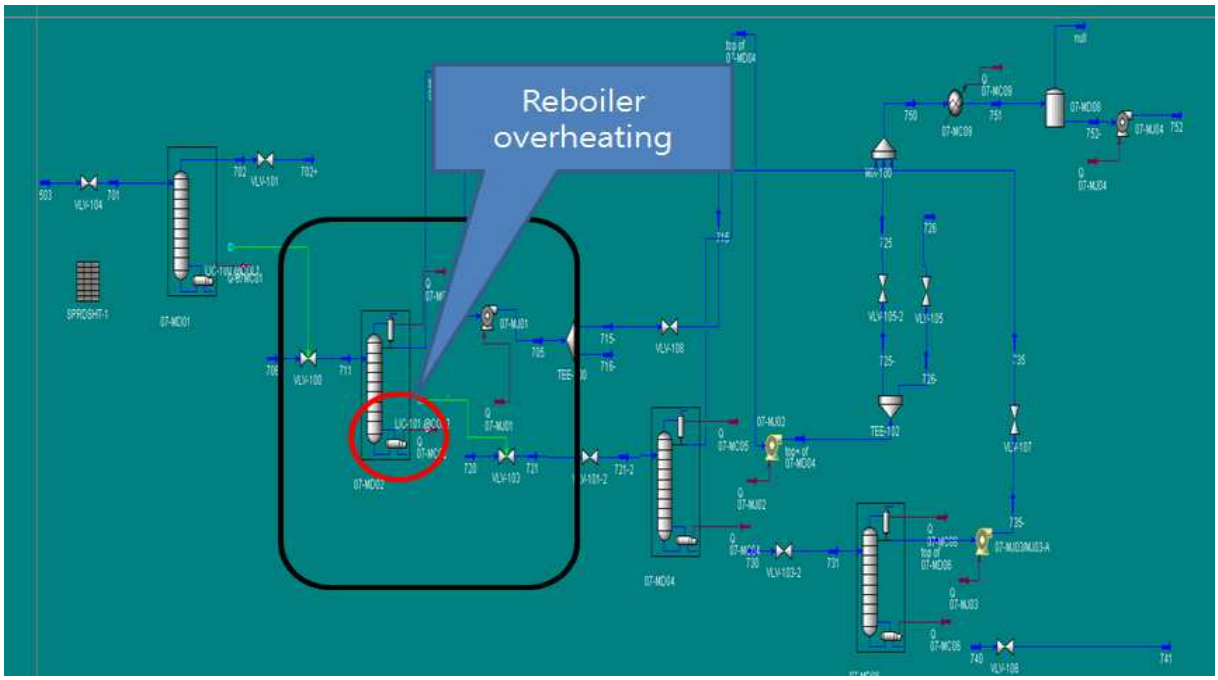


그림 2.5.2.3 LNG 플랜트 fractionation unit의 이상 예시

추가적으로 이상 감시 및 진단 시스템의 성능과 그 정확성을 검증하기 위하여 LNG 플랜트의 3가지 unit 중에서 fractionation unit을 대상으로 각 컬럼별 overheating, pipe leaking, valve opening failure에 관하여 이상 모델링을 수행하고 그것들을 감시 및 진단을 수행하였다. 표 2.5.2.1은 deethanizer 컬럼에 관하여 3가지 이상 시나리오를 적용하는 방법을 정리한 것이다. 그림 2.5.2.4는 표 2.5.2.1을 이상 감시 및 진단 프로그램을 사용하여 얻은 결과를 보여주고 있다. 각 이상 case는 이상 감시 프로그램을 통하여 기존 단변수 감시 보다 빠르고 높은 감시율을 보이고 있으며 이상 진단의 경우에도 정확한 정보 제공을 하는 것을 확인할 수 있다.

Case	Abnormal	Abnormal generation	Abnormal effect	Detection	Contribution	Cause
1	Over flow detection	Input stream의 valve opening을 5% 더 크게 조정	Output stream 유량증가	2D scores, SPE, Sum of scores	MD-01의 output stream 유량	Column input stream 유량 증가, Valve opening문제
2	Reboiler의 overheating detection	Bottom stage 온도 logic의 set point를 10도 상승	column 전체의 온도, 압력이 상승	2D scores, SPE, Sum of scores	MD-01의 압력 term -Top output stream 압력 -Top, bottom stage 압력	Vapor의 양 증가 àreboiler의 heat 증가
3	Input stream의 leaking	Input stream의 pipe를 1% bypass 시킴	Input, output stream 유량 감소, column 온도에 영향	2D scores, SPE	MD-01의 input stream 온도	Pipe의 leaking

표 2.5.2.1 Deethanizer 컬럼의 이상 시나리오

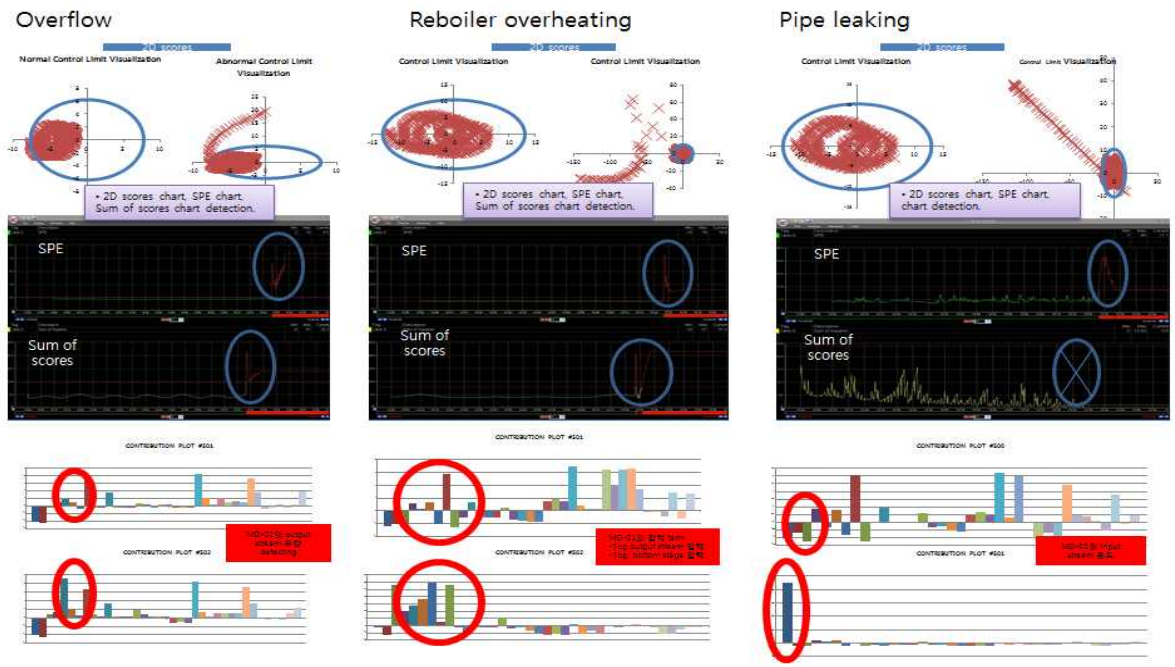


그림 2.5.2.4 Deethanizer 이상 감시 및 진단을 수행한 결과

마지막으로 컬럼 운전에서 가장 흔하게 발생하는 이상인 flooding 시나리오를 바탕으로 동적 모델을 운전, 감시, 진단, 문제 해결의 과정을 정리하였다.

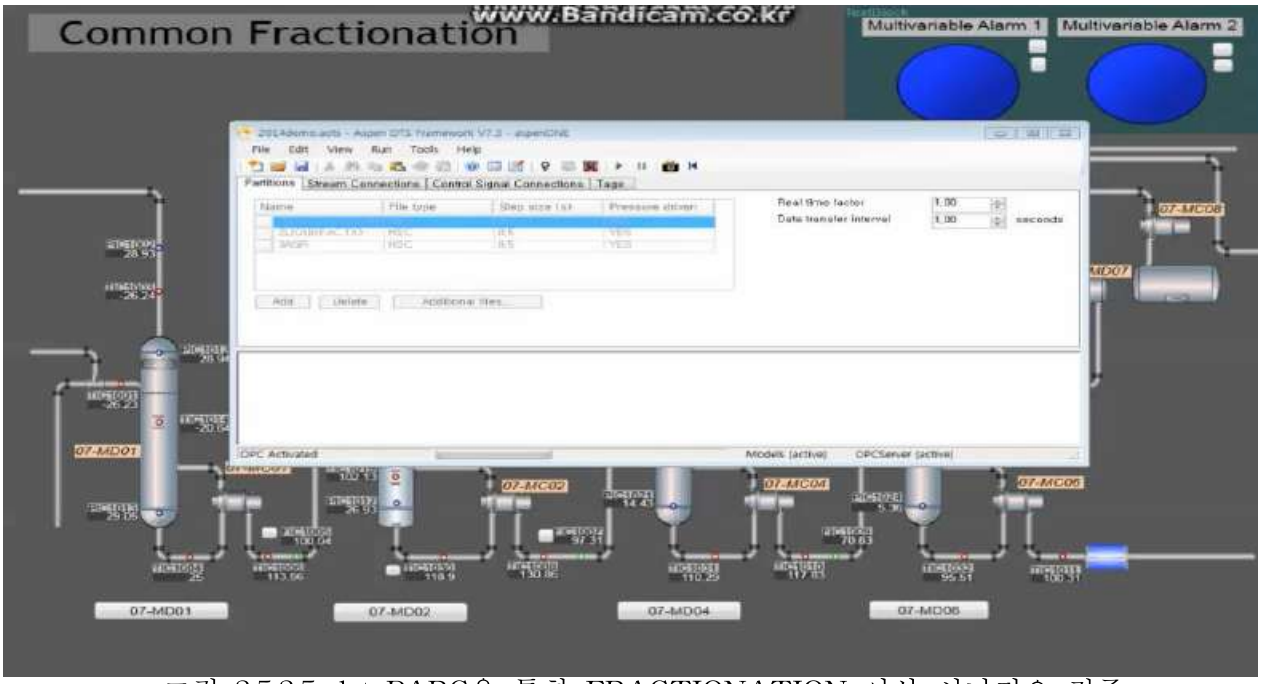


그림 2.5.2.5 dataPARC을 통한 FRACTIONATION 이상 시나리오 검증

다음은 동적 모델 시뮬레이터인 ASPEN HYSYS와 RTDB 프로그램인 dataPARC과의 연결을 통해 LNG 공정 중 Fractionation 공정 내의 장치 이상으로 유발되는 공정의 이상 상태에 대해 다변량 통계기법 기반 모니터링 변수와 센서 alarm 시스템의 이상 감지 성능을 검증하고자 하였다.

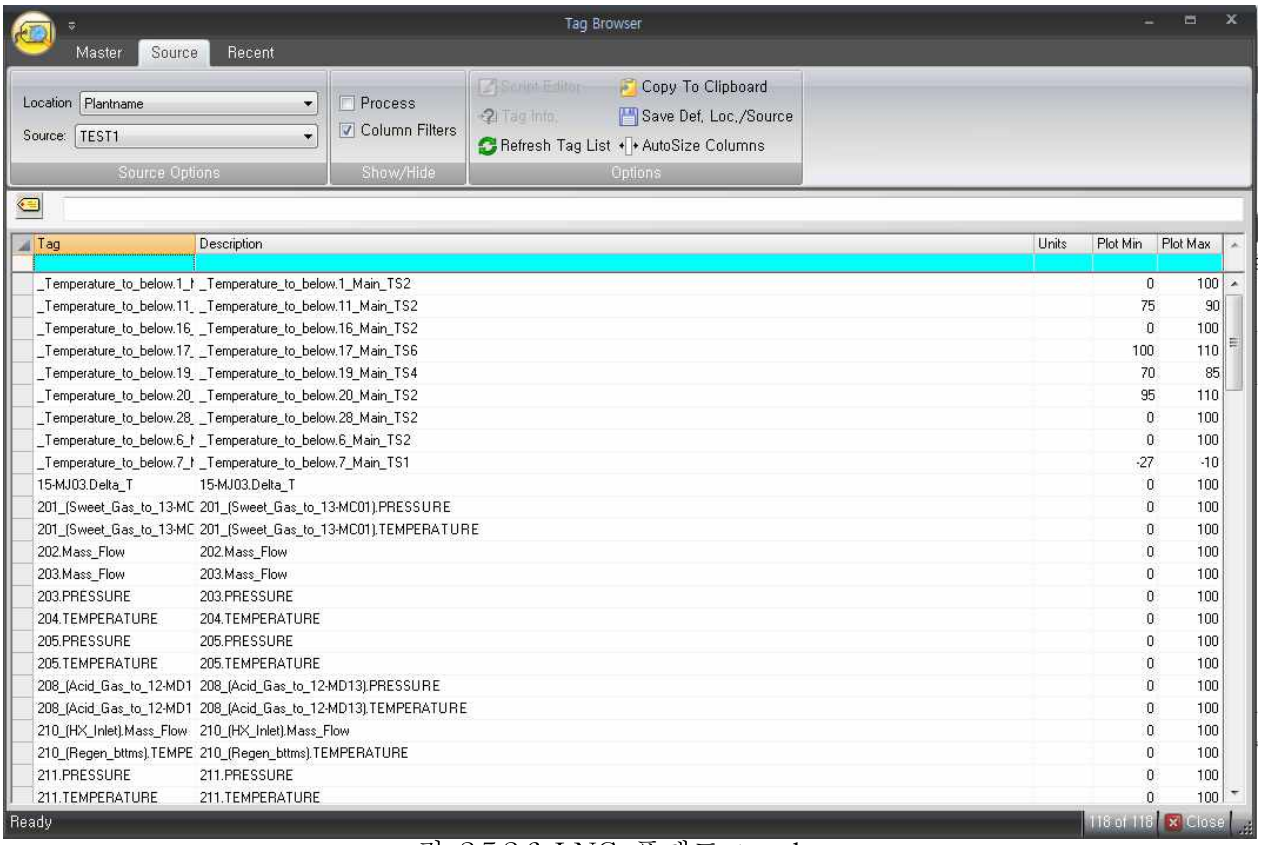


그림 2.5.2.6 LNG 플랜트 tag browser

다음은 LNG 플랜트 동적모델의 각 센서들을 ASPEN OTS를 통해서 RTDB로 실시간으로 값을 전송하고 이들 센서의 값을 보여줄 수 있는 RTDB 프로그램에 호환되는 센서로 만들었으며 대상은 Fractionation, AGR, Liquefaction 공정에 대한 동적 모델 내의 센서 118개로 하였다.

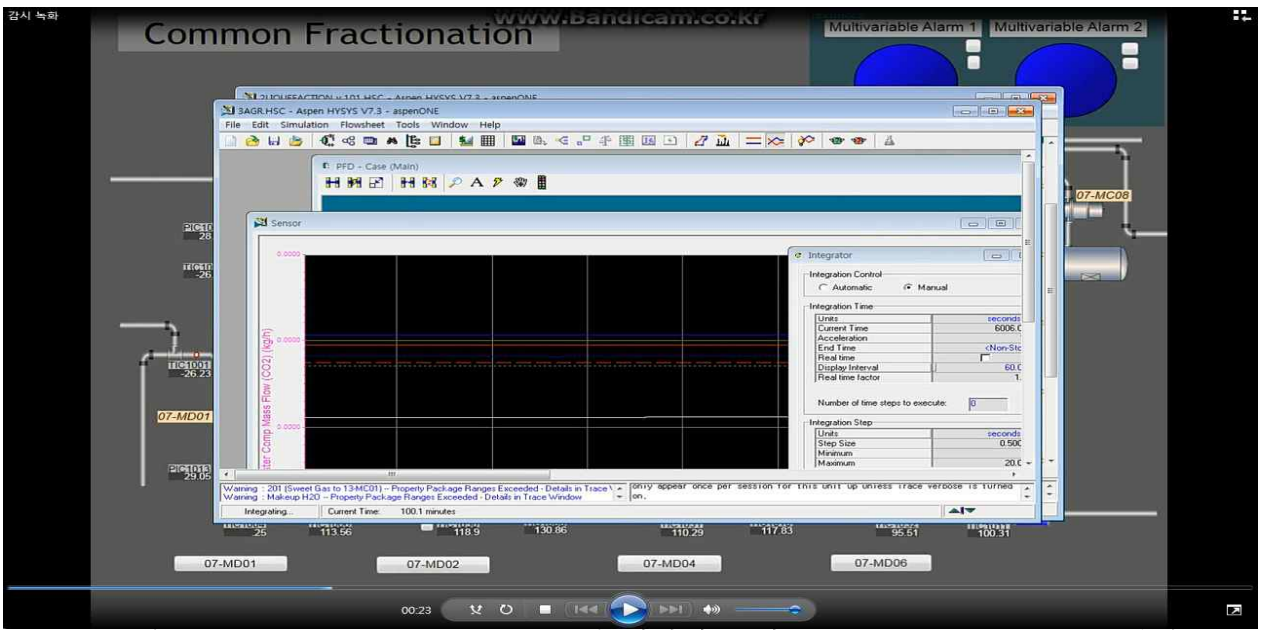


그림 2.5.2.7 FRACTIONATION 공정 이상에 관한 EVENT SCHEDULER 실행

그리고 시뮬레이터의 event scheduler를 이용하여 공정 운전 후 2분 경과 후 장치의 이상 조건을 부여한다.

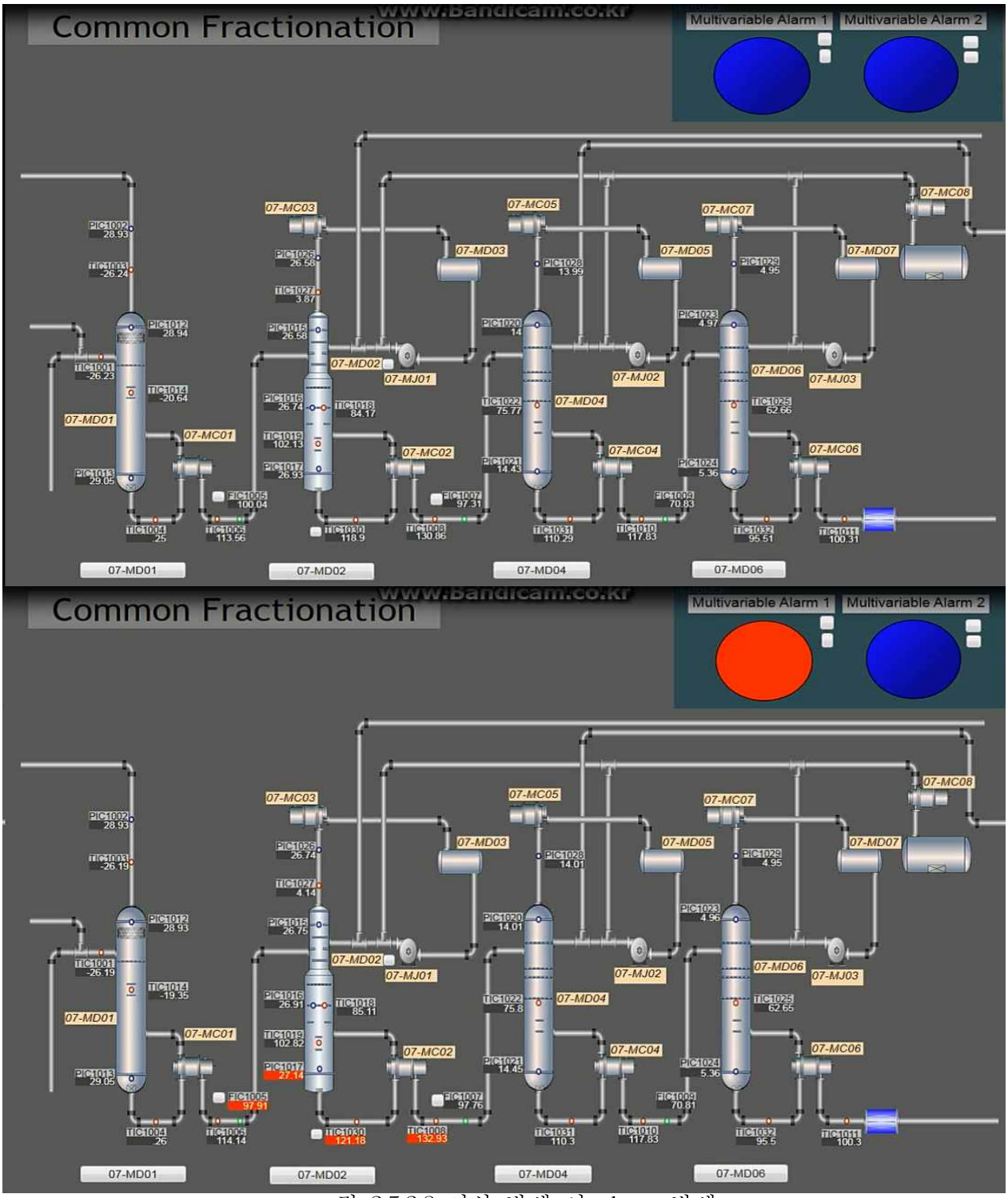


그림 2.5.2.8 이상 발생 시 alarm 발생

정상 운전 상태와 이상 발생 조건 활성화 후 센서 alarm과 공정 전체의 상태를 나타내는 multivariate alarm 센서 1의 alarm이 활성화되었다.

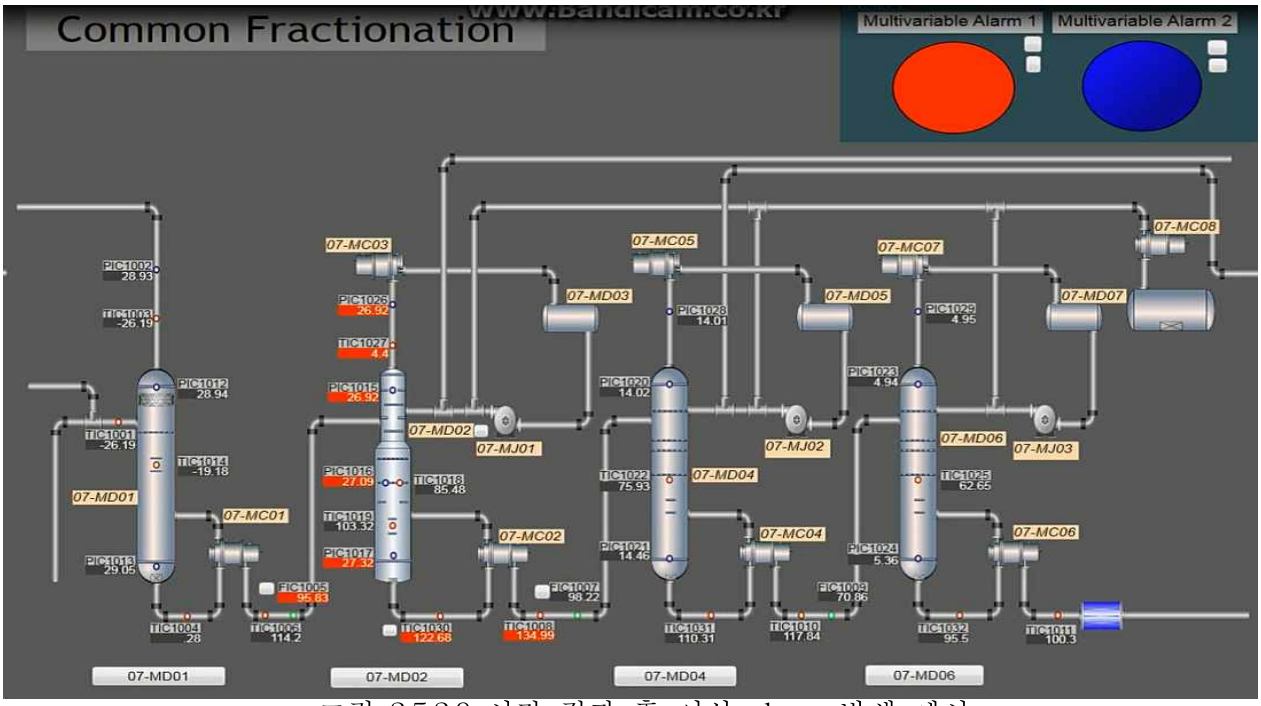


그림 2.5.2.9 시간 경과 후 이상 alarm 발생 예시

공정 alarm 발생 후 시간이 경과함에 따라 alarm이 Ethanizer 전 영역으로 확산됨을 알 수 있다. 이와 더불어 Ethanizer에 Flooding 현상도 나타나게 된다.

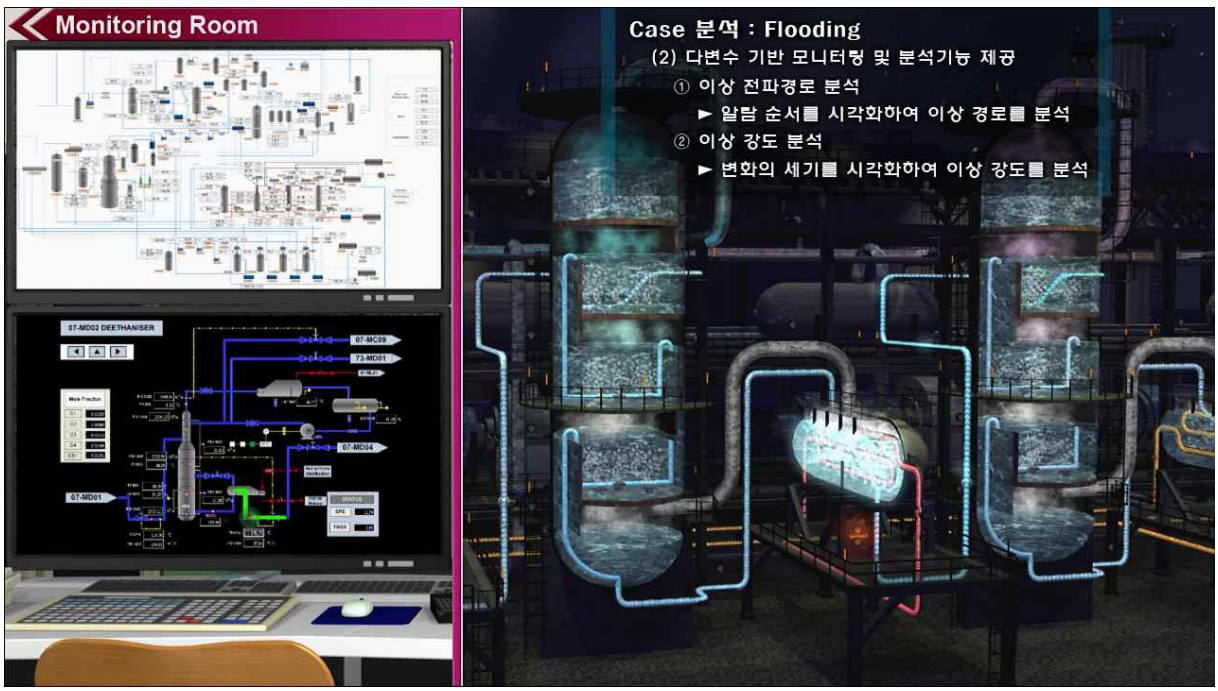


그림 2.5.2.10 Deethanizer의 flooding 시나리오 분석

위의 컬럼/모니터링 룸 사진은 이상이 발생하였을 때 공정 운전을 분석하는 장면을

보여주고 있다.

그림 2.5.2.11은 flooding 시나리오의 문제를 해결하기 위하여 컨트롤하는 운전 장면을 보여주고 있다.

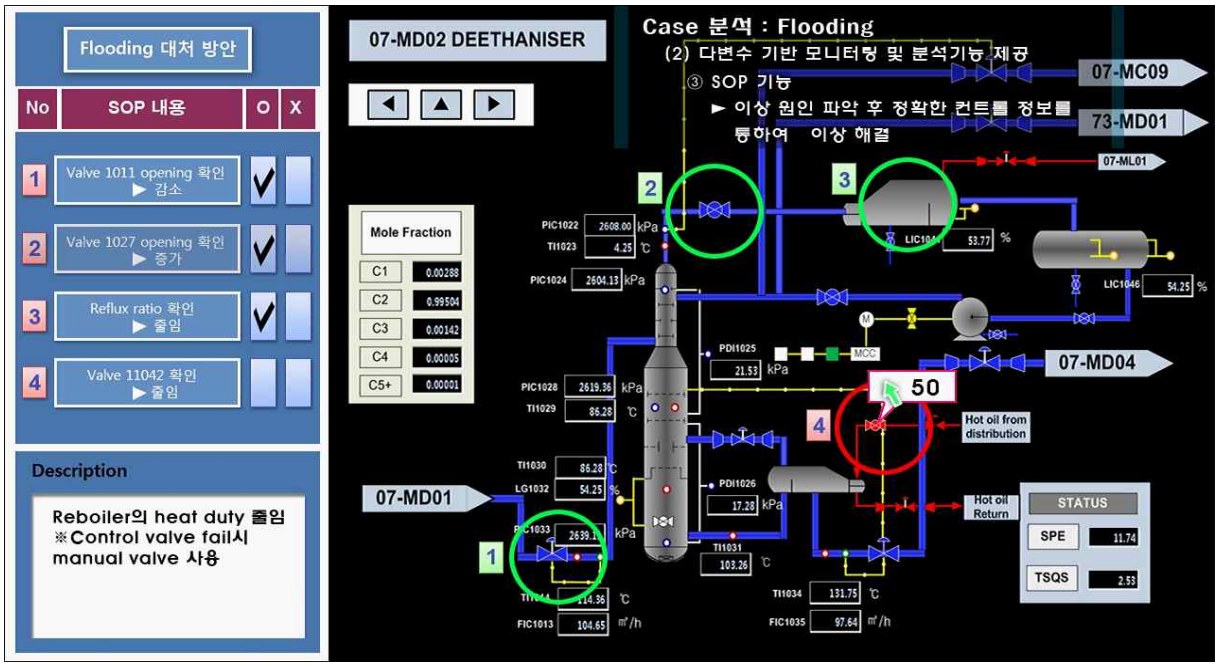


그림 2.5.2.11 S.O.P를 통한 flooding 시나리오의 컨트롤 화면

그림 2.5.2.12은 flooding 시나리오의 원인을 해결하는 장면을 보여주고 있다.

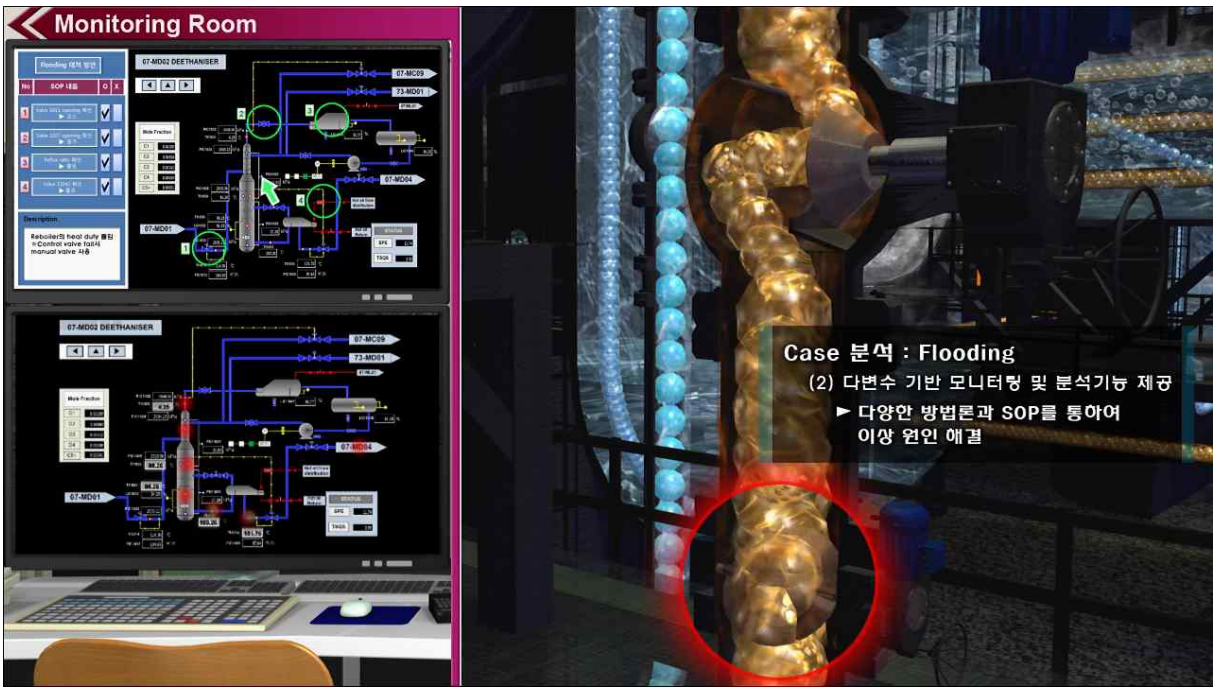


그림 2.5.2.12 Flooding 시나리오의 이상 원인 해결 장면

다. 주요결과 및 시사점

LNG 플랜트 동적 모델을 대상으로 LNG 플랜트의 운전 감시 및 진단 로직을 적용하였다. 2단계 연구기간동안 개발한 이상 감시 및 진단 프로그램의 정확성과 효과를 입증하였다. 정상 시나리오에 따른 다양한 이상 시나리오를 개발하였으며, 각 이상 시나리오를 분석하여 정확한 동특성이 반영되도록 모델을 지속적으로 수정하였다. 더 나아가 개발된 진단 방법론을 적용하여 각 시나리오에 제공되는 공정 정보가 정확한지 분석하였고, 이를 통해 개발한 이상 진단 프로그램의 정확성을 검증할 수 있었다.

본 연구를 통하여 개발한 LNG 플랜트의 동특성이 반영된 동적 모델과 각종 운전 시나리오는 테스트베드 공정과 연계되어 효과적인 테스트베드 운전에 기여할 것이다. 차년도 연구에서는 동적 모델과 그 시나리오가 실제 테스트베드의 동특성이 반영되어 신뢰성 향상에 중점을 둘 것이다. 본 연구 분야는 플랜트의 위험 상황 교육, SOP 개발, 운전 최적화 등 안전성과 경제성을 동시에 만족시키는데 기여할 것이다.

6절. 회전기기의 작동 특성 연구 및 자료조사

가. 가스플랜트용 원심압축기의 작동 특성 조사

압축기는 압축방식에 따라 용적식과 터보형으로 나눌 수 있는데, 용적식은 가스가 존재하는 공간의 체적을 줄여 압력을 증가시키는 방식이고, 터보형(원심형, 축형)은 회전체를 이용해 속도 에너지를 압력 에너지로 변환하는 방식임.
가스 압축기는 주로 터보형 압축기와 왕복동 압축기가 양분되고 있으며, 터보형 압축기의 경우는 왕복동에 비해 압력비는 낮은 편이나 대용량에 적합하여 LNG 플랜트에 적합함.
테스트베드용으로 개발되고 있는 압축기는 터보형 중 원심형 압축기임. 다음 그림의 그림 2.6.1.1는 테스트베드를 위해 개발되고 있는 압축기이며, 그림 2.6.1.2는 현재 LNG 플랜트에서 사용되고 있는 GE사의 ICL 모터 구동 압축기임.



그림 2.6.1.1 테스트베드용 개발 예정 압축기.
<가스플랜트 직결형 모터 구동 원심 압축기>

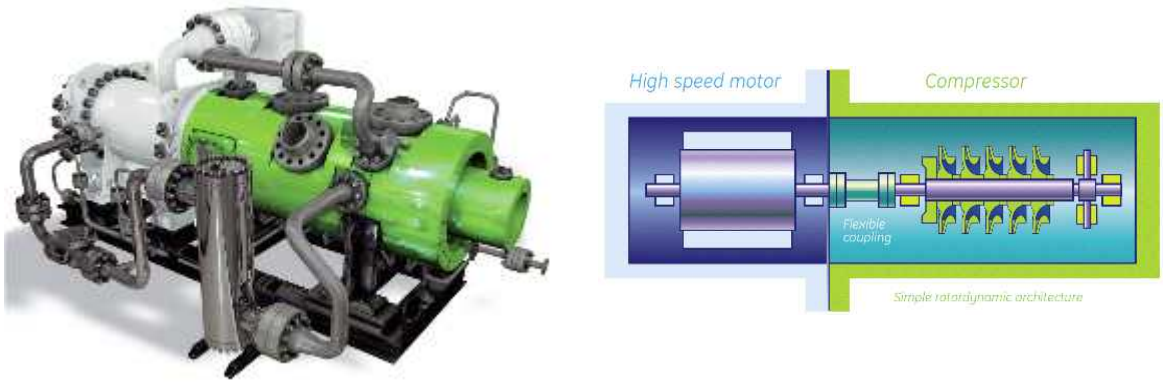


그림 2.6.1.2 상용 압축기(GE사의 ICL).
< 가스플랜트 직결형 모터 구동 원심 압축기>

압축기는 압축방식에 따라 용적식과 터보형으로 나눌 수 있다. 용적식은 가스가 존재하는 공간의 체적을 줄여 압력을 증가시키는 방식임. 터보형은 회전체를 이용해 속도 에너지를 압력 에너지로 변환하는 방식임. 본 과제의 대상이 되는 원심 압축기는 터보형으로 주요 부품은 다음과 같다.

○ 임펠러(Impeller)

모터 또는 가스 터빈 등의 구동기로부터 회전 운동에너지를 받아 회전하면서, 축방향으로 유입되는 공기를 흡입하여 반경방향으로 공기를 배출하는 과정에서 공기를 압축함. 임펠러는 가장 응력을 많이 받는 압축부품으로, 회전요소 성능 한계를 제한하는 부품임. 공정서비스의 대부분의 컴프레서 임펠러는 크롬몰리 또는 크롬몰리니켈의 저합금강으로 만들어짐. 높은 강도 대 중량 비로 인하여 고낙차 및 일체형 기어의 많은 유닛에서 알루미늄을 사용함. 오스테나이트 스테인리스, 모넬 및 티타늄은 일반적으로 부식성 가스에 사용되는 특수한 경우의 임펠러에 사용됨.

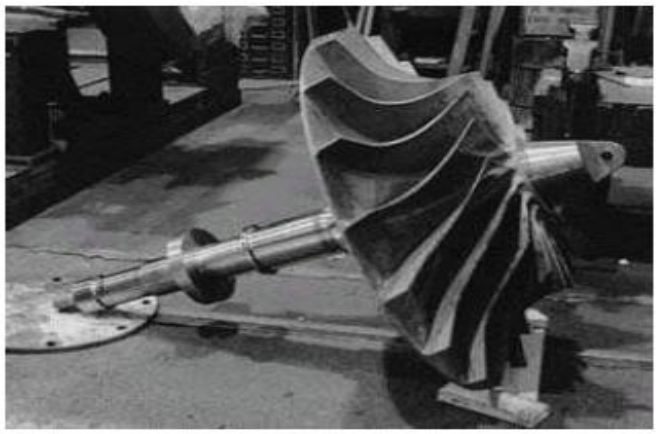


그림 2.6.1.3 원심 압축기의 샤프트와 임펠러

○샤프트(Shaft)

샤프트는 구동기로부터의 회전 에너지를 임펠러로 전달함. 샤프트는 주로 중탄소에서 저합금강의 영역에서 만들어지며 일반적으로 열처리됨. 대부분의 공정 컴프레서에서 변위센서가 사용되기 때문에 프루브 영역은 기계적, 전기적 소진을 최소화하기 위하여 특별한 주의가 필요함. 샤프트는 전체적인 균형을 유지하기 위해 우수한 기계적 성능을 위한 기초이며, 이를 위해서 샤프트는 원형이어야 하고 모든 회전은 저널에 동심이어야 함.

○ 자기베어링(Magnetic bearing)

자기베어링은 전자석을 이용하여 회전체를 공기 중에 부상함으로써 마찰을 없애고 고속 회전을 가능하게 하며, 회전축을 정위치에 지지하는 역할을 함. 자기베어링은 크게 위치센서와 전자석 그리고 제어기로 구성되어 있으며, 직류제어식, 교류공전식, 영구자석을 일부 조합한 방식 등이 있다. 자기베어링의 이점은 외적인 윤활시스템이 필요하지 않다는 것임. 그림 4와 같이 자기베어링은 레이디얼 베어링을 형성하기 위해 샤프트의 주위에 일련의 전자석을 위치하여 만들어 짐. 자기베어링은 작업 조건 하에서 접촉이 없도록 고정 에어 간격으로 작동

됨.

센서들은 베어링에 대한 상대적인 로터의 위치를 감지하기 위해 베어링 어셈블리 안에서 상

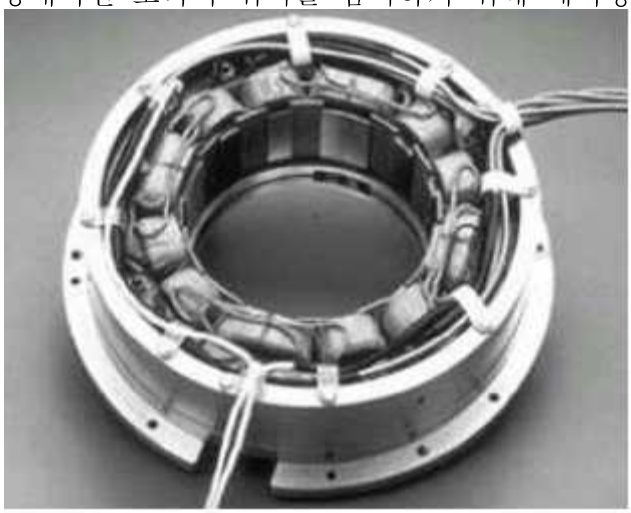


그림 2.6.1.4 자기 베어링

호 작용함. 제어기는 로터의 적합한 위치를 유지하기 위해 로터에 대한 베어링력을 증가 또는 감소하기 위해 센서에서 제공되는 위치 정보를 이용함. 기계적 베어링이 부하 변화에 즉각적으로 반응하는 것 감다르게, 자기베어링은 로터의 위치를 유지하기 위해서는 부하의 변화와 같은 비율로 힘을 증감시켜야 함. 속도는 유체역학적 베어링 감다르게 표면의 속도에 의해 제한되지 않다. 그러나 쓰러스트 칼라(thrust collar)에 응력과 사용되는 보조 베어링의 형식에 의해 제약을 받다.

○ 모터 구동기(Motor Driver)

현재 LNG 액화 공정에 사용되는 일반적인 압축기는 가스 터빈 구동기에 의해 구동됨. 이러한 형식의 압축기는 25%내외의 train 효율을 가지나 모터 구동 방식은 평균적으로 36%의 효율을 가짐. 모터 구동 방식은 기어 결속이 아닌 구동기와 압축기의 직결 형태가 가능하므로, 작고 경제적인 설계와 설치 공간의 간소화, 누설 방지, 소음 저감 등을 이룰 수 있다. 이러한 직결형 모터 구동 형태의 원심 압축기는 그림 4(b)의 GE의 ICL 등이 있다.

나. 압축기 자료 조사

앞에서 살펴본 바와 같이 본 과제에서 대상이 되는 압축기는 원심 압축기로서 이에 대한 고장 증상 및 원인은 다음과 같다.

증상	가능한 원인	해결 방안
압축기 작동 실패	컨트롤 패널에 전원 단락	컨트롤 패널에 전원 공급
비정상적인 모터 소음	오염된 모터. 권선이 뒤얽혀 회전자와 고정자가 접촉	모터 정비 또는 교체
	모터 베어링이 적절하게 윤활되지 않음	모터 베어링 정비
	드라이브 커플링의 손상	커플링 육안 점검. 보수 또는 교체
컨트롤 패널에 과도 진동 경고이나 진동 측정은 제한 값 안에 있음	진동 채널의 결함	진동 트랜스미터와 프루브 연결 점검
		진동 프루브 또는 트랜스미터 점검. 필요시 교체
드라이브 모터 문제(모터 과열)	부정확한 전압	모터 전압 용량을 스위치기어 용량을 점검
		부정확한 전압이 모터에 인가. 가능한 저전압 조건을 위해 스위치기어 전압 레벨을 점검
	모터 과부하	압축기에 전부하 되었을 때 모터 전류를 점검
	모터 베어링의 부적절한 윤활	모터 베어링 정비
	모터의 감은 선이 끊어짐	모터 정비 또는 교체
	모터 잠김	자유 축 거동을 점검. 전원이 차단 여부 확인
압축기의 서지	로터에 이물질 부착	회전체 정비, 균형 점검
	디퓨저에 이물질 부착	디퓨저 정비

증상	가능한 원인	해결 방안
	유량 부족	재순환 유량의 증가
	이물질이나 부적정한 밸브 개도에 의한 시스템의 저항 변화	입출구 밸브 개도 점검, 이물질 제거
토출 압력의 감소	압축기 속도 정격 이하	정격 운전 속도로 증속
	토출관의 누설	누설 부위 정비
비정상적인 진동	압축기와 모터 축 간의 오정렬	정렬을 점검 및 재정렬
	축의 불평형	축의 중심, 청결, 부품 이완 상태 점검, 밸런싱 실시
	축의 휨(균일하지 않은 가열 및 냉각에 의함)	진동이 멈출 때까지 저속운전 후 정상속도까지 서서히 증속 만일 진동이 계속되면 정지 및 조치
	축의 손상	축의 수리 및 교체
	임펠러 오염 또는 손상	임펠러 검사 및 청소
	드라이브 커플링 결함	드라이브 커플링 검사. 설계 명세서에 따라 재조립 및 윤활. 마모 또는 손상시 교체
	베어링 오염 또는 손상	제작사 매뉴얼의 지시에 따라 검사
	볼트 풀림, 파손	지지물 및 베드 플레이트 볼트 조임 상태 점검, 재조임 또는 교체

표 2.6.2.1 압축기 이상 원인

다. 회전기기의 진단방법 조사

앞에서 언급한 바와 같이 본 과제에서 대상이 되는 회전기기는 원심 압축기임. 따라서 압축기 진단에 사용되는 센서를 먼저 살펴본 후 회전기기의 진단 방법에 대해 살펴볼 것임.

(1) 압축기 감시 센서

○ 압력

압축기의 성능을 감시하는 가장 기본적인 것은 압력임. 일반적으로 압력비가 낮은 송풍기나 블로어의 공력 성능을 측정할 때에는 비압축성 유동이고 송풍기나 블로어 자체로 구성이 끝나므로 정압력(static pressure)을 계측하여 성능을 구함. 하지만 압축기의 경우에는 흔히 가스 터빈을 구성하는 하나의 구성품으로서 압축기 후단에 연소기, 터빈과 함께 전체 시스템을 구성하게 되므로 정압이 아닌 전압력(total pressure)을 구하여 성능을 계산함. 일반적으로 압축기의 열역학 및 유체역학적 성능을 계측하기 위한 시험 코드는 ASME PTC(performance test code) 10에 제시되어 있다. 결함 및 성능을 감시하기 위해서, 압력은 압축기의 입구 및 출구의 압력을 측정하는데 사용됨.

○ 온도

온도는 압축기 작동성 감시에서 두 번째로 중요한 것임. 온도는 압력과 동시에 압축기의 입구 및 출구에서 측정되며, 모터 및 베어링에서 발생하는 온도를 측정하는데 사용될 수 있다.

○ 토크

대상 압축기에서 작용하는 토크를 측정하기 위해 스트레인게이지를 사용하는 토크 미터가 삽입된 커플링의 적용이 가능함. 게이지에서 측정된 비틀림 스트레인은 커플링의 중심에 위치한 고정된 실린더 수신기에 전달되고, 이것은 현장에서 표시되거나 제어실과 같은 원격 지점에 전달되어 감시에 사용될 수 있다.

○ 전류

전류는 자기 베어링에서 샤프트의 불균형을 보상하기 위해 요구되는 전류와 모터에 적용되는 전류를 측정하는 데 사용될 수 있다.

○ 회전 속도

원심 압축기에 대해 회전 속도는 용량과 수두 모두에 대해서 보편적인 파라미터임. 수두가 속도 제곱에 비례하기 때문에 정확한 속도가 매우 중요함.

○ 가속도

가속도 센서는 대상에서 발생하는 진동 신호인 가속도를 측정함. 가속도계는 진동의 주파수가 높은 경우에 적합함. 가속도 내부에 있는 질량에 의해 가속도에 비례한 전압 또는 전하를 출력하며, 이를 측정하게 됨. 이러한 가속도 신호는 현장에서 진단에 사용되기도 하며, 감시를 위해 앰프에서 증폭하여 원거리로 신호를 보내기도 함.

○ 근접 센서

근접 센서는 센서 프루브 팁과 측정 대상 표면 사이의 접촉하지 않고 상대 거리를 측정함. modulator/demodulator는 프루브의 팁의 코일에 작용하는 고주파의 RF 신호를 생성하고, 이 신호는 프루브 팁 주변에 방사됨. 만약 RF 필드의 범위 안에 유도 물질이 없는 경우는 전체 신호가 modulator /demodulator로 돌아오고, 유도 물질이 RF필드를 가로지르기 시작하면, 와전류가 에너지 손실을 일으키며 modulator/demodulator에 신호 감소를 보임. 갭이 없는 상태가 되면 modulator/demodulator는 영으로 감소함. 따라서 대상의 평균 위치, 편심, 집중성, 두께의 측정에 사용될 수 있다. 축의 반경 방향 궤적은 두 개의 센서를 90°간격으로 설치하여 측정함.

(2) 회전기기의 진단

회전기기의 진단은 주로 진동 신호를 이용하여 분석되어 왔다. 진동 신호 중 앞에서 살펴본 가속도 센서와 근접 센서를 이용한 진단이 일반적임. 따라서 2차년도에는 이러한 진단 기법에 대해 검토하였다.

회전기기에서 발생하는 고장 중 베어링에서 발생하는 고장에 대한 진단 방법을 살펴보면 다음과 같다. 일반적인 베어링에서는 내륜, 외륜 그리고 볼로 구성되어 있으며, 이 부분에서 결함이 발생할 수 있다. 따라서 각 결함에 대한 결함 주파수의 발생 여부를 검토하여 결함을 진단할 수 있다.

예를 들어, 내륜에 결함이 있는 경우에는 내륜 통과 주파수(BPFI)가 발생하게 되고, 외륜에 결함이 있는 경우에는 외륜 통과 주파수(BPFO)가 발생하게 됨. 다음은 베어링 외륜이 고정되고 내륜이 회전하는 베어링에 대해서, 내륜 통과 주파수와 외륜 통과 주파수 계산식임.

$$BPFO = \frac{f_r}{2} N \left[1 - \frac{B_d}{P_d} \cos\phi \right] (Hz)$$

여기서, f_r : 내륜의 초당 회전수 N : 볼의 수 B_d : 볼의 직경

P_d : 피치 직경 ϕ : 접촉각

따라서 이러한 주파수 성분의 발생을 검출하기 위해 취득된 신호에 대해 주파수 분석을 수행함. 그림 2.6.2.1은 베어링 외륜에 결함이 발생한 경우에 취득된 결함 신호로, 검정색선이 취득된 가속도 신호이며, 빨간색선이 envelop을 구한 결과임. 그림 2.6.2.2은 이러한 신호에 대해 주파수 분석을 수행한 결과로, 외륜 통과 주파수가 두드러지게 증가하는 것을 알 수 있다.

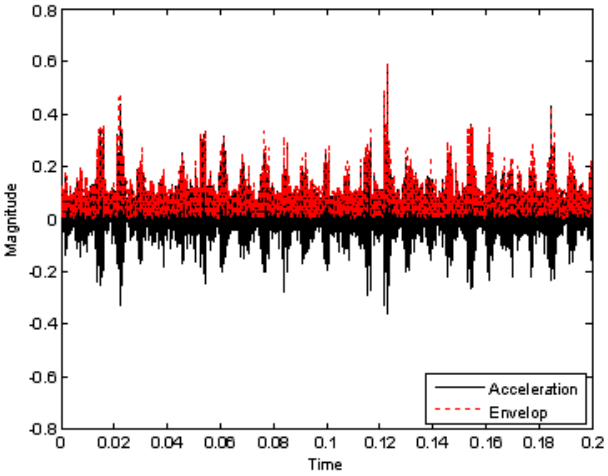


그림 2.6.2.1 베어링 외륜 결함에 대한 진동 신호

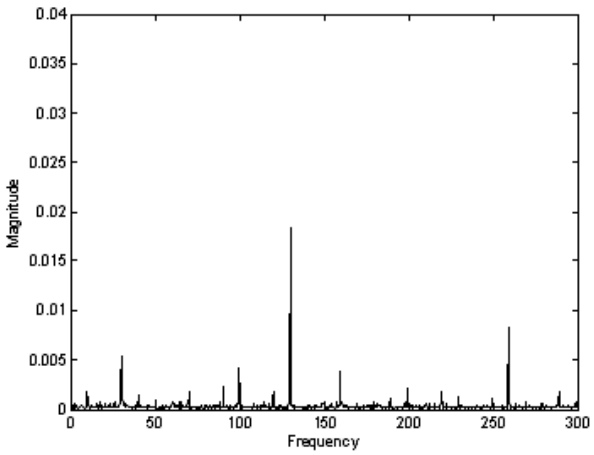


그림 2.6.2.2 주파수에 대한 진동 신호

다음으로 조립과정이나 작동과정에서 발생할 수 있는 주요 고장 유형 중 정렬 불량에 대해 살펴보도록 하겠다.

아래 그림 2.6.2.3은 회전기기에서 정렬이 적절하지 못한 경우에 취득된 결함 신호로, 검정색 선이 취득된 가속도 신호이며, 빨간색선이 envelop을 구한 결과임. 윗 그림 2.6.2.2의 주파수 성분 그림에서 알 수 있듯이, 정렬 불량이 발생한 경우에는 회전속도와 이의 배수 성분이 발생하는데 결과 그림에서는 회전속도의 2배 성분이 주로 발생함을 알 수 있다.

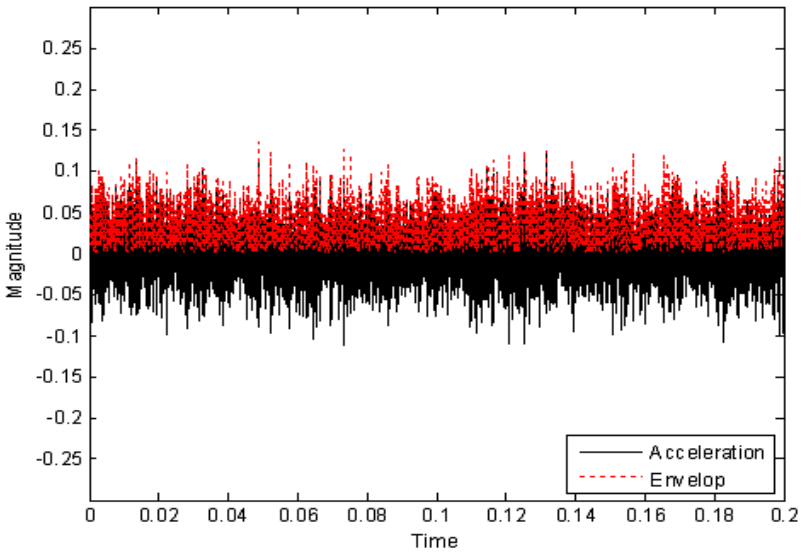


그림 2.6.2.3 시간에 대한 진동 신호-정렬 불량에 대한 진동 신호

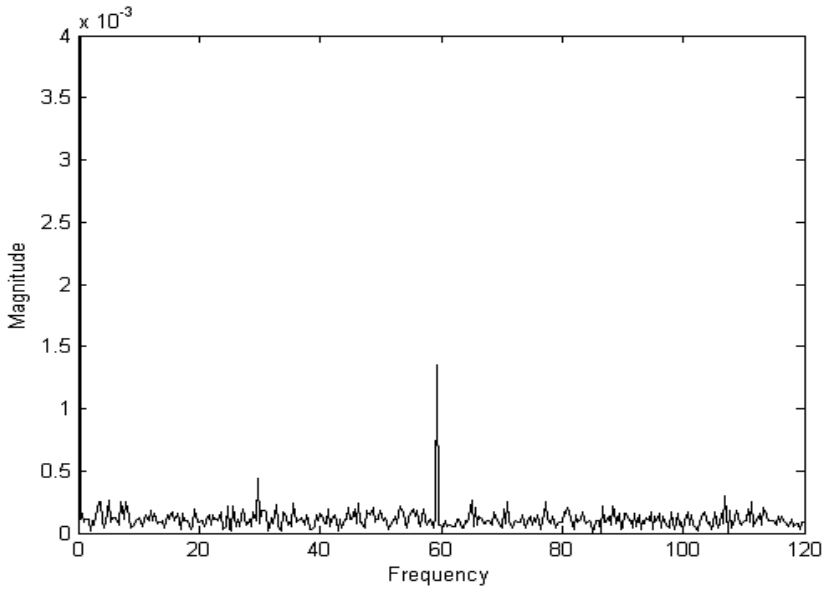


그림 2.6.2.4 주파수에 대한 진동 신호-정렬 불량에 대한 진동 신호

정렬 불량에 대해서는 주파수 분석 기법과 더불어 샤프트의 궤적(orbit)에 대한 분석을 수행하게 됨. 그림 9는 정렬 불량이 발생한 경우의 궤적을 나타낸 그림임. 그림에서 X축은 샤프트의 수평 방향을, Y축은 수직 방향을 나타낸 것임. 정상 상태의 궤적은 원형을 나타내며 결함이 발생함에 따라 궤적이 변화하게 되므로 이러한 특성을 이용하여 결함을 검출할 수 있다.

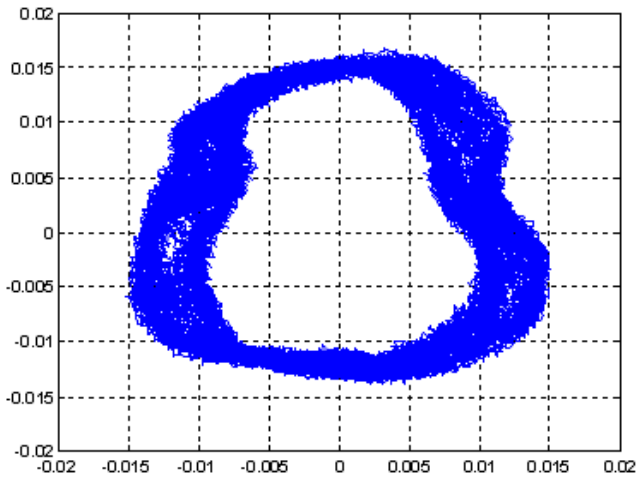


그림 2.6.2.5 정렬 불량에 대한 궤적

위에서 살펴본 주파수 분석 기법과 궤적에 대한 분석과 더불어 시간 경과에 따른 성능 변화에 대한 경향 분석 등의 기법을 이용하여, 압축기를 감시하여 주요 부품의 결함 및 성능저하를 진단할 수 있다.

7절. 가스플랜트용 원심 압축기 이상 진단 모듈검증

가. 개요

○ 가스플랜트용 원심 압축기 이상 진단 모듈은 LNG플랜트의 압축기 운전에 대한 시뮬레이션과 이상 진단을 위한 프로그램이다. 원심 압축기 이상 진단 모듈은 다음과 같이 구성되어 있다.

○ LNG Plant Compressor Simulator: 가스플랜트용 원심 압축기의 성능 인자들을 조절하여 압축기가 작동하는 운전 상태를 시뮬레이션하고 주요 결함 수준을 조정하여 압축기의 작동 상태를 시뮬레이션 한다.

○ LNG Plant Compressor Monitoring & Diagnosis System: 원심 압축기의 진단 신호를 이용하여 성능 인자를 추출하여 압축기의 이상 상태의 종류와 정도를 분석한다.

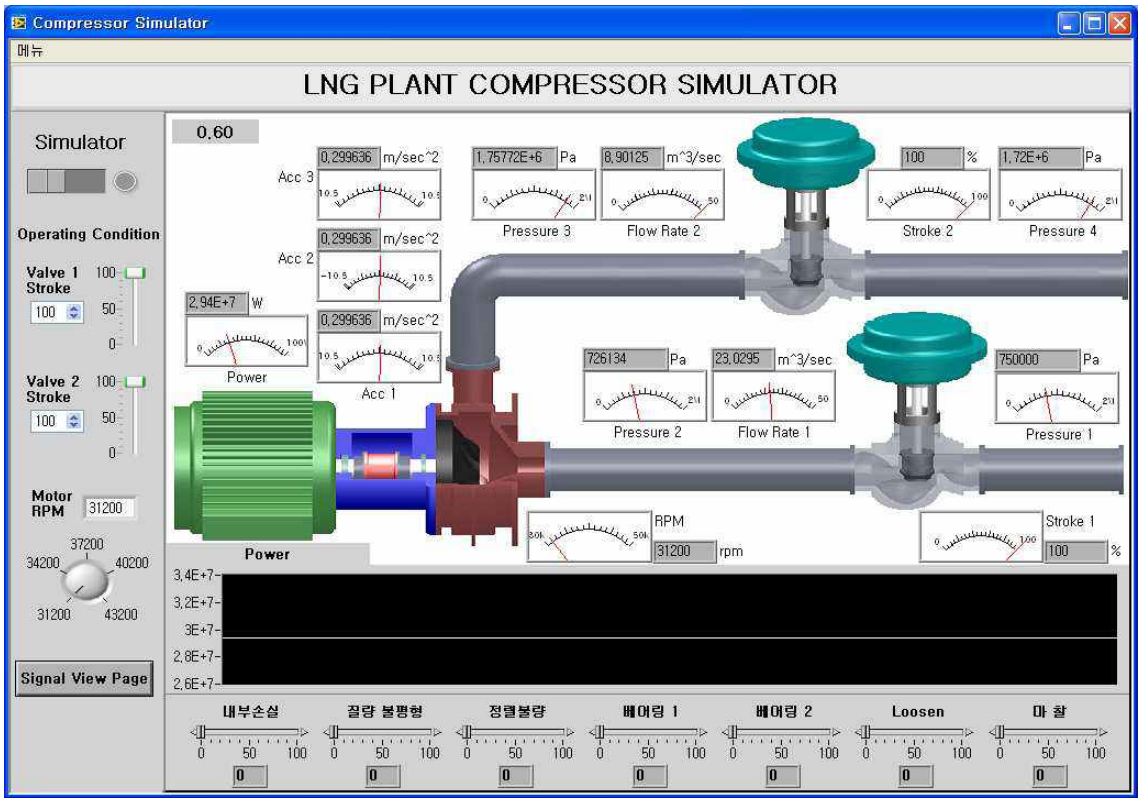


그림 2.7.1.1 원심 압축기의 시뮬레이터 메인 화면

나. 수행내용 및 결과

(1) 시뮬레이션 신호

원심 압축기 시뮬레이터에서는 사용자가 정의한 운전 조건 및 이상 상태 수준에 따른 압축기의 작동 상태에 대한 신호를 생성한다. 다음의 신호들을 압축기 시뮬레이터에서 생성 및 출력하는 신호이다.

○ 공정 압력
압축기가 공정에 설치되어 유체를 압축 공정을 수행하는 동안 유체를 압축하여 압력을 상승시키는데, 압축기의 성능과 운전 조건에 의해 결정된다. 따라서 이를 시뮬레이션하기 위해 공정에서의 압력 신호를 시뮬레이터에서 생성하여 준다. 생성되는 압력 신호는 전단 밸브의 전후단의 압력 및 후단 밸브 전후단의 압력이다.

○ 유량
공정에서 압축기는 운전 조건에 따른 토출압력 뿐만 아니라 공정에서 요구되는 유량을 만족하여야 한다. 그리고 압축기의 성능 곡선은 압축기의 일정 회전 속도에 대해서 유량과 압축비의 관계로 주어진다. 본 시뮬레이터에서는 운전 조건에 따른 유량 신호를 생성하여 준다.

○ 압축기 회전 속도
회전 속도가 증가함에 따라 압축기는 압축비가 증가하게 된다. 따라서 이러한 성능을 시뮬레이션 하기 위해 압축기 회전 속도를 사용자가 조정할 수 있도록 하고 이를 기록하였다. 압축기 회전 속도는 메인 화면의 좌측 하단에 속도 조절용 노브를 설치하여 사용자가 조절할 수 있도록 하였다.

○ 밸브 개도
공정에서의 부하와 운전되는 유량 및 압력을 조절하기 위해, 이를 제어할 수 있는 밸브를 압축기 전·후단에 설치된 것으로 시뮬레이션 하였다. 밸브 개도 조절용 바를 메인 화면 좌측에 설치하여, 사용자가 밸브 개도를 조절하여 운전 조건을 조절할 수 있도록 하였다.

○ 진동
설비가 공정에 설치되어 운전하게 되면 진동이 발생하게 된다. 특히 설비에 결함이 발생하게 되면, 이상 상태에 해당하는 주파수 성분이 진동 신호에 나타나게 되며, 이러한 특성을 분석하면 압축기의 이상 상태를 진단할 수 있다.
따라서 이를 위해 임펠러 부근과 베어링 설치 부위에 진동 센서를 설치한 것으로 시뮬레이션 하였고 결함에 따른 진동 신호를 생성하였다.

(2) 원심 압축기 시뮬레이터 기능

가스플랜트용 원심 압축기 시뮬레이터는 다음과 같은 3가지 기능을 수행한다.
압축기의 운전을 시뮬레이션하기 위해, 첫 번째로 사용자가 운전 상태 즉 압력, 유량 및 회전수를 조정할 수 있는 기능을 수행하고, 두 번째로 원심 압축기에서 발생하는 이상 상태에 대한 수준을 조절할 수 있는 기능을 수행하며, 세 번째로 압축기가 공정에서 작동하는 상태를 시뮬레이션 하는 기능을 수행한다.

2.1 운전 상태의 정의
압축기의 전단 및 후단에 작용하는 압력 및 유량을 조절하기 위해, 압축기 전·후단에 설치된 제어밸브의 개도를 조절하여 시스템이 운전되는 압력 및 유량을 조절한다. 또한 압축기가 회전하는 속도를 조절하여 압축기의 성능곡선에서의 작동점을 시뮬레이션 한다.

2.2 이상 상태의 수준 조절

가스플랜트용 원심 압축기의 이상에 따른 압축기의 운전 특성을 시뮬레이션 하기 위해, 먼저 압축기의 이상 상태를 정의하였고, 각 이상 상태에 대한 정도를 조절할 수 있도록 메인 화면 하단에 수준 조절용 바를 설치하였다. 본 시뮬레이터에서는 내부누설, 질량 불평형, 정렬 불량, 베어링1, 베어링2 손상, Loosen, 그리고 마찰 증가의 이상 상태를 시뮬레이션 할 수 있도록 하였다.

(3) 원심 압축기 감시 및 진단 시스템

본 장에서는 가스플랜트용 원심 압축기의 이상 상태에 대한 감시 및 진단을 위한 시스템에 관하여 설명한다. 본 시스템은 압축기에서의 진단 신호를 분석하여 성능 인자를 추출하여 압축기의 이상 상태 발생 유무를 판별하고 이상이 있는 경우에는 이상 정도를 분석한다.

(3)-1 압축기 감시 및 진단 신호

원심 압축기 감시 및 진단 시스템에서 사용되는 진단 신호는 원심 압축기 시뮬레이터에서 사용되는 신호와 동일한 형식의 신호를 사용하게 된다. 따라서 앞 장에서 설명한 공정 압력, 유량, 압축기 회전 속도, 밸브 개도 그리고 진동 신호를 이용하여 압축기의 상태를 감시하고 이상 현상에 대한 진단을 수행하게 된다.

(3)-2 압축기 감시 및 진단 시스템 기능

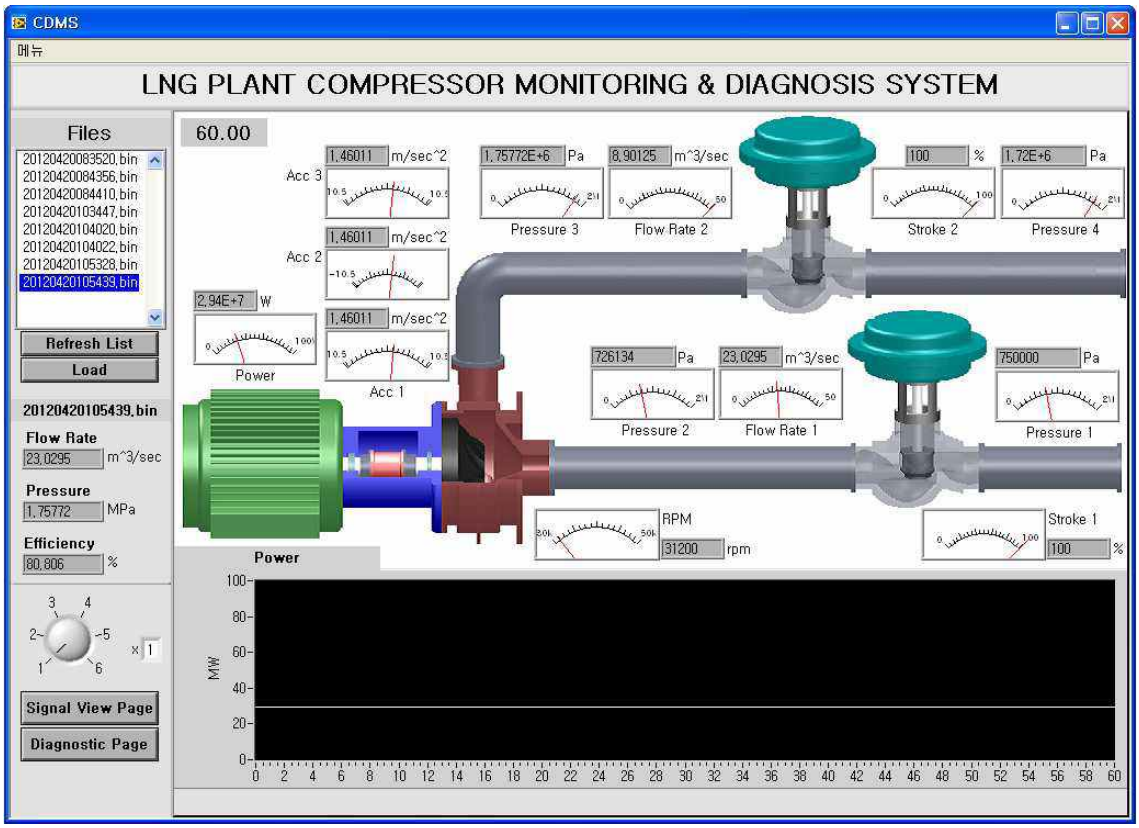


그림 2.7.2.1 원심 압축기 감시 및 진단 시스템의 메인 화면

가스플랜트용 원심 압축기 감시 및 진단 시스템은 다음과 같은 2가지 기능을 수행한다. 공정의 운전 상태를 진단하기 위한 진단 신호를 선정하고 로드하여 중요 성능 지표는 좌측에 표시하도록 하였고, 이를 화면에 출력하도록 하였다. 다음으로 원심 압축기의 이상 상태를 진단하여 어떠한 이상 상태가 발생하였으며, 어느 정도의 수준인지를 진단하도록 하였으며, 그 결과를 화면에 출력하도록 구현하였다.

(3)-2-1 진단 신호의 선정 및 신호 출력

압축기의 상태를 진단하기 위한 대상 신호 파일을 선정하고 이를 불러와 진단을 수행한다. 본 시스템에서는 메인 화면 좌측 상단에 리스트 상자와 “Load” 버튼을 구현하여, 사용자가 진단하고자 하는 데이터를 로드하여 진단을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 사용자가 불러온 데이터의 건전성을 검토할 수 있도록, 메인 화면 하단에 신호 창을 구현하였으며, 압축기 모형에 설치되어 있는 센서 게이지를 선택하여 화면에 출력될 수 있도록 하였다.

(3)-2-2 시뮬레이션 신호 출력 화면

메인 화면의 좌측 하단의 “Signal View Page” 버튼을 이용하여 시뮬레이션 신호 출력 화면으로 이동한다. 본 화면에서는 시뮬레이션으로 생성된 신호를 화면에 출력하여 사용자가 공정의 변화를 파악할 수 있도록 구현하였다. 이 화면에서는 화면에 출력하고자 하는 신호를 사용자가 우측 체크 박스를 선택하여 선정할 수 있게 구현하였으며, 화면에 출력된 신호에

대한 zoom 기능을 제공하고 있다.

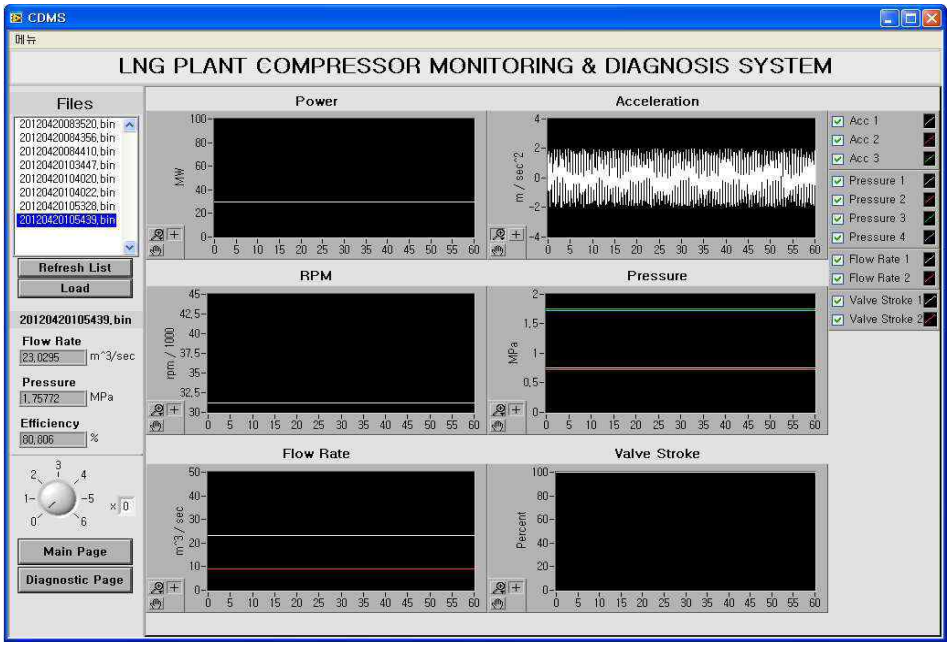


그림 2.7.2.2 원심 압축기 감시 및 진단 시스템의 Signal View

(3)-2-3 이상 상태 진단

원심 압축기의 진단 신호를 분석하여, 진동 신호의 주파수 특성을 분석하여 원심 압축기의 이상 상태의 종류와 정도를 분석한다. 본 화면에서는 각각의 진동 센서에서의 신호를 시간에 대한 그래프와 주파수에 대한 그래프로 나타내어 사용자가 쉽게 신호 특성을 파악할 수 있도록 하였다. 본 시스템에서는 내부누설, 질량 불평형, 정렬 불량, 베어링 손상, Loosen, 마찰 증가의 이상 상태를 진단할 수 있도록 구현하였다. 다음의 그림은 본 프로그램에서 구현된 이상 상태 진단 화면이다.

화면 좌측에서 분석하고자 하는 신호 파일을 선택할 수 있도록 구현하였으며, 공정의 유량, 압력 그리고 압축기 효율이 표시되도록 구현하였다. 가속도 1~3에 대한 시간 데이터가 상단에 표시되며, 주파수 데이터가 하단에 표시된다. 사용자가 분석하고자 하는 구간을 가속도 신호 시간 그래프에서 ctrl키와 마우스를 이용하여 선택하고, “Analyze” 버튼을 눌러 분석을 수행한다. 분석된 결과는 화면 하단에 각 결함별로 결함 정도를 바와 수치로 나타내도록 구현하였다.

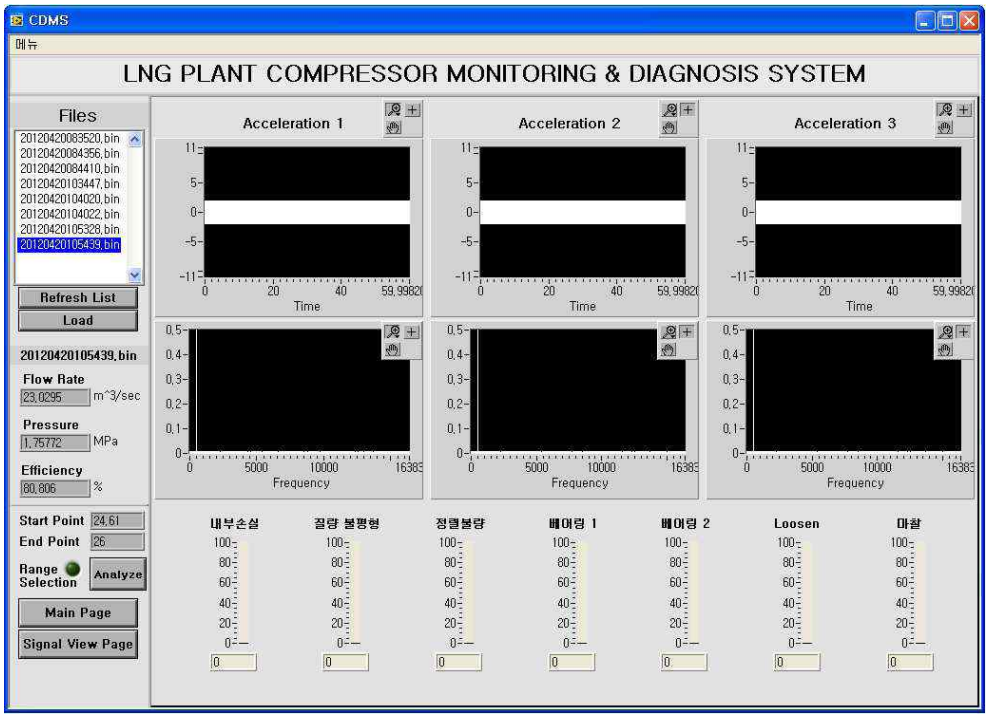


그림 2.7.2.3 원심 압축기 감시 및 진단 시스템의 이상 상태 진단 화면

8절. 공정이상전파경로 검증

가. 개요

분산제어 시스템의 발전, 공정의 복잡성 증가 등으로 인해 한 명의 보드 운전자가 처리해야 하는 공정 정보의 수가 증가하고 있다. 또한 공정 운전 중 공정 센서에 알람이 발생하였을 경우 대부분의 공정 운전자의 경우 운전자 개인의 경험에 근거하여 조치 여부를 결정하게 되는데 이는 운전자에 따라 다른 대응이 나올 수도 있으며 공정의 이상 원인에 대한 대처보다는 현재 일어나고 있는 증상에 초점을 맞추게 되므로 초기 대응 조치가 잘못되었을 경우 공정 가동 정지 등으로 발생하는 경제적 손실, 위험도 증가 등의 문제를 야기할 수 있다. 따라서 숙련된 운전자의 방식을 기준으로 하여 공정 운전 정보를 가공하여 제공함으로써 운전자가 현재의 공정 상태에 대한 분석 및 의사 결정 과정을 간소화시키는 것을 목표로 하였다. 이를 통해서 공정 운전의 표준화를 도모할 수 있으며 안전성 및 효율성의 증가를 이룰 수 있을 것으로 기대한다.

나. 수행 내용 및 결과

공정 이상 전파 경로는 시간에 따른 센서 알람 발생 순서를 계산하는 기능과 알람 발생 시작 지점에서부터 알람의 발생 시간 및 확산 방향을 디스플레이 화면에 표시하는 기능으로 나눌 수 있다.

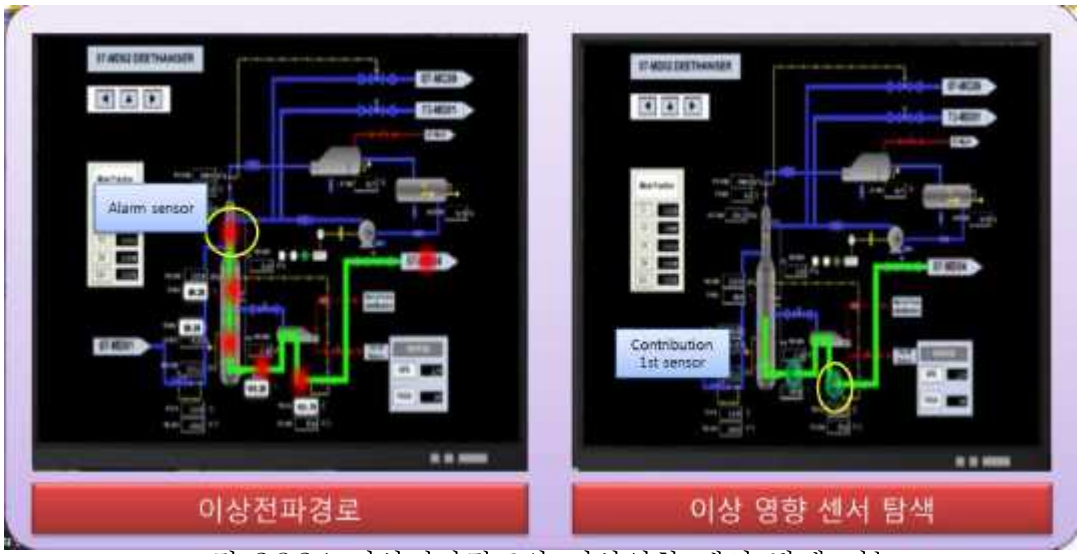


그림 2.8.2.1 이상전파경로와 이상영향 센서 탐색 기능

다음은 공정이상전파경로와 이상 영향 센서 탐색 기능을 실행시켰을 때의 예시이며 빨간 색으로 표시되고 있는 부분은 현재 alarm이 발생한 센서들을 나타내고 있으며 초록색 부분은 변수기여도 상위 rank에 위치한 변수들을 표시한 것으로 현재 공정 상태와 주요 영향 센서의

위치를 시각화한 자료로 제시함으로써 이상 진단에 활용할 수 있으며 이상에 대한 조치를 취하는 데 소요되는 시간을 단축시키는 효과를 기대할 수 있다.



그림 2.8.2.2 TBADiagnosis 메인 화면

TBADiagnosis 프로그램을 실행하였을 때의 최초 화면은 다음과 같이 프로젝트 정보, 프로젝트 신규 작성, 열기 등의 편집 기능을 제공한다. 위의 프로그램은 “실시간이상진단및감시프로그램”에서 생성된 프로젝트 파일과 동일한 포맷의 프로젝트 파일을 사용하며, 프로젝트 파일에 저장되어 있는 공정 데이터 정보, 변수기여도 정보를 사용한다.

프로젝트 신규 작성 시의 순서는 다음과 같다.

1) 신규작성을 click하여 visualization 할 분석 결과 프로젝트 엑셀 파일을 불러온다.
2) 신규 작성을 click
3) 프로젝트 이름을 작성한다.

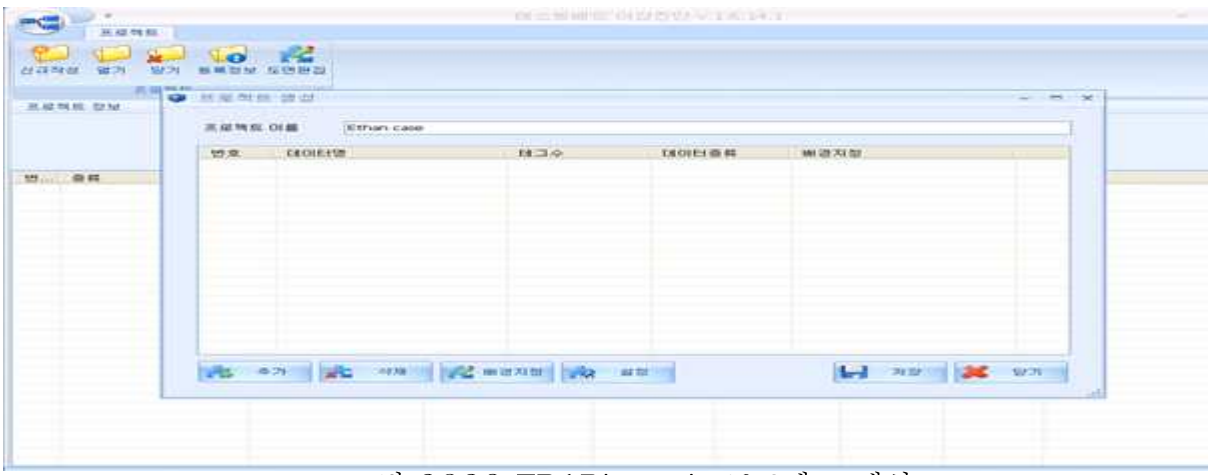


그림 2.8.2.3 TBADiagnosis 프로젝트 생성

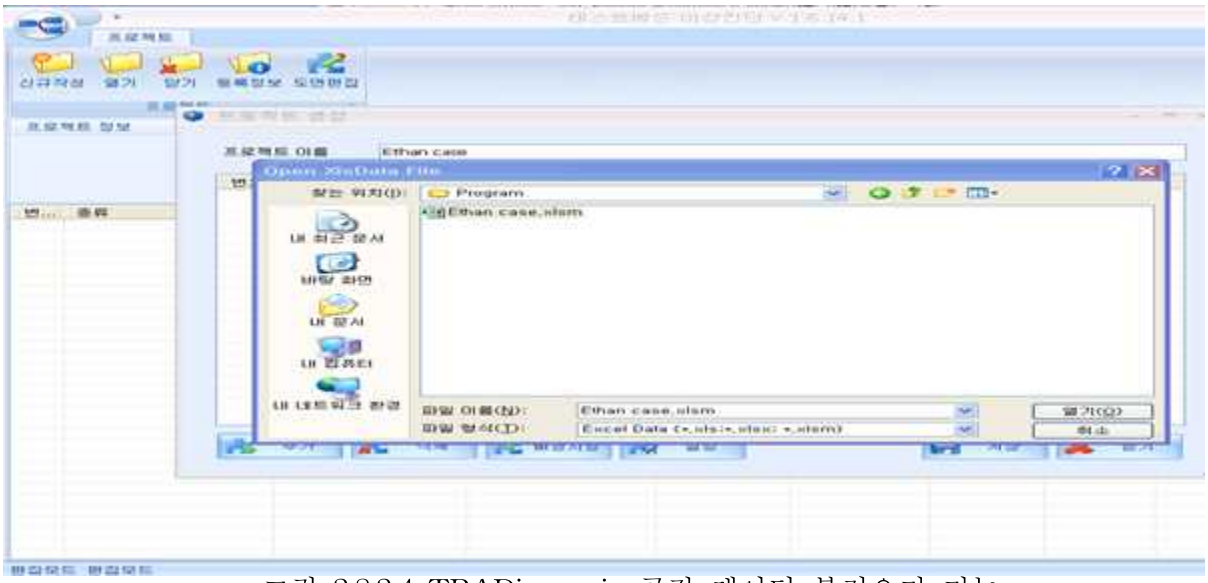


그림 2.8.2.4 TBADiagnosis 공정 데이터 불러오기 기능

4) 추가 버튼을 click하여 “실시간이상진단및감시프로그램”의 프로젝트 파일(excel macro 파일의 형태)을 추가한다.

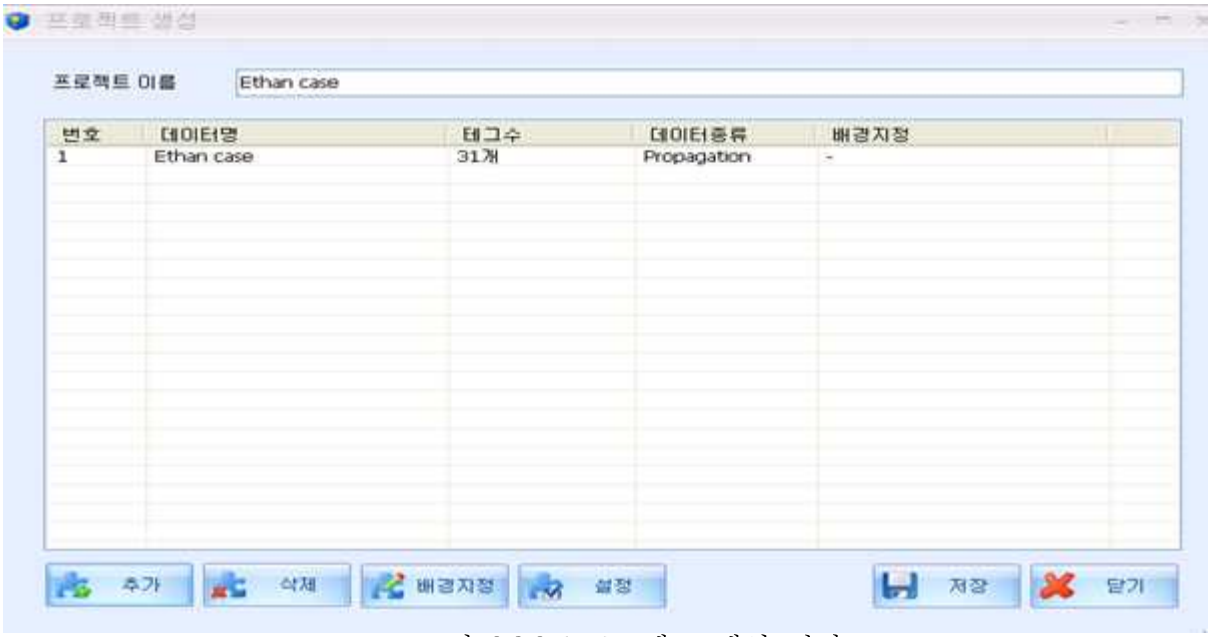


그림 2.8.2.5 프로젝트 생성 결과

5) 배경 지정에서 프로젝트에서 사용할 공정 화면을 로드한다.

편집 가능한 그림 파일의 형식은(jpg, tif, bmp 등) 모두 사용 가능하며 보통 실제 공정에서 사용되고 있는 PFD, P&ID, DCS화면을 주로 활용한다.

6) 설정 창에서 Propagation 박스에서 project에서 사용할 알람 limit을 설정한다. 프로젝트 내의 전체 센서를 대상으로 하며 입력 수치(N)는 각 센서들의 평균 ± N sigma 값을 alarm 상한/하한으로 사용한다는 것을 의미한다. 그리고 Contribution 박스에서는 변수기여도 rank를 계산할 때 화면 위에서 몇 개의 센서까지를 보여줄 지를 결정할 수 있다.



그림 2.8.2.6 이상전파경로/변수기여도 설정

7) 도면 편집에서는 프로젝트 파일에서 사용할 path 정보, sensor 위치 정보를 입력하며, 이후의 분석 과정에서 입력한 path와 센서 위치 정보에 따른 공정 이상전파경로와 센서 alarm 발생 정보를 표시한다.



그림 2.8.2.7 TBADiagnosis 도면편집기능

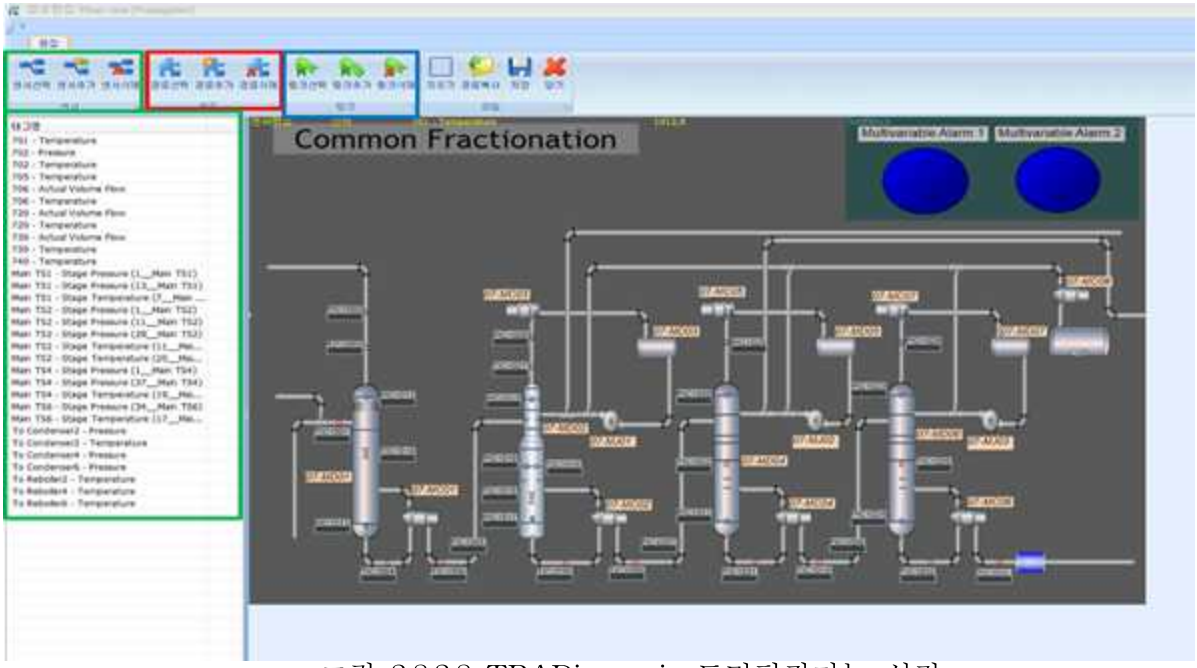


그림 2.8.2.8 TBADiagnosis 도면편집기능 설정

- 빨간색 박스는 propagation path를 process pipe line을 지정하는 역할을 수행한다.
- 녹색 박스는 propagation path에 사용할 센서를 지정하는 역할을 수행한다.
- 처음 시작 위치에 마우스 좌click하면 점이 생기고 마우스 움직이는 방향으로 노란색 직선 경로가 보이는 것을 확인할 수 있다.

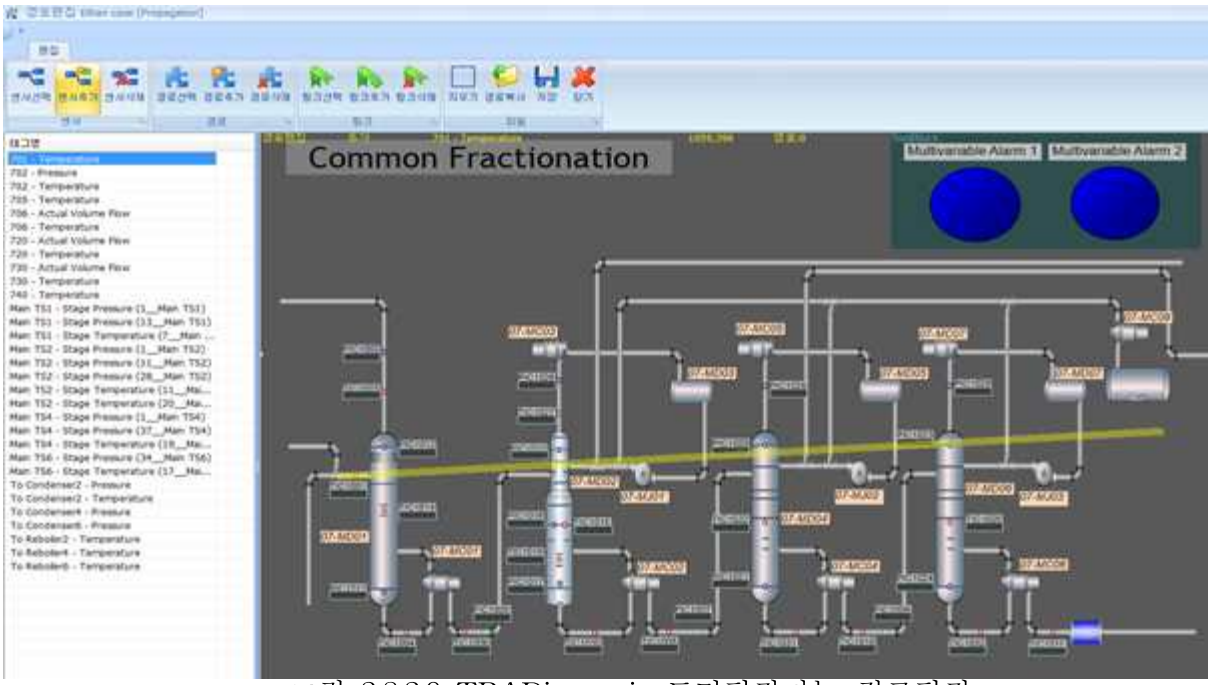


그림 2.8.2.9 TBADiagnosis 도면편집기능-경로편집

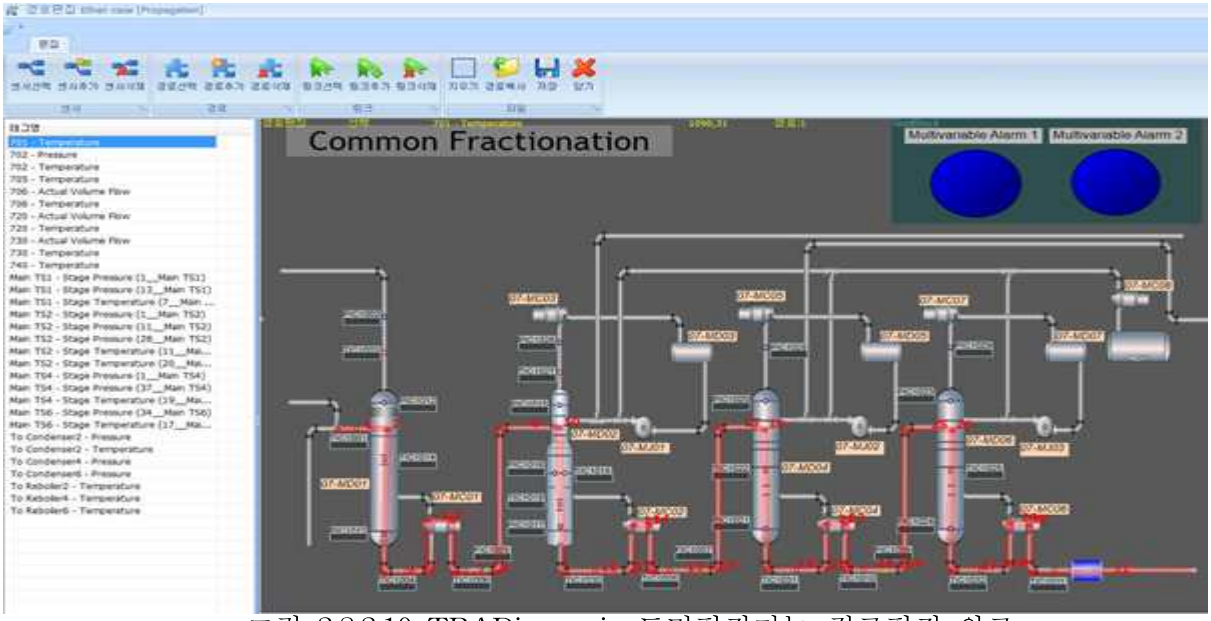


그림 2.8.2.10 TBADiagnosis 도면편집기능-경로편집 완료

- 공정의 flow line을 따라 좌측의 센서 리스트에서 한 개씩 센서를 선택한다. 이 때, 반드시 센서는 지정된 경로 위에 있어야 propagation path에 포함된다.
- 센서 위치를 지정한다. 왼쪽의 센서 리스트에서 한 개씩 선택하여 해당 위치에 붙여 주면 DCS 화면 위에서의 센서 위치 정보 입력은 완료된다. 이 때, 반드시 센서는 지정된 경로 위에 있어야 propagation path에 포함된다.
- 만약, 센서 위치를 수정하고 싶으면, 센서 삭제 버튼을 click하면 좌측 센서 list로 다시 미부착 상태로 복귀하게 되는데 다시 선택하여 화면에 붙여주면 된다.

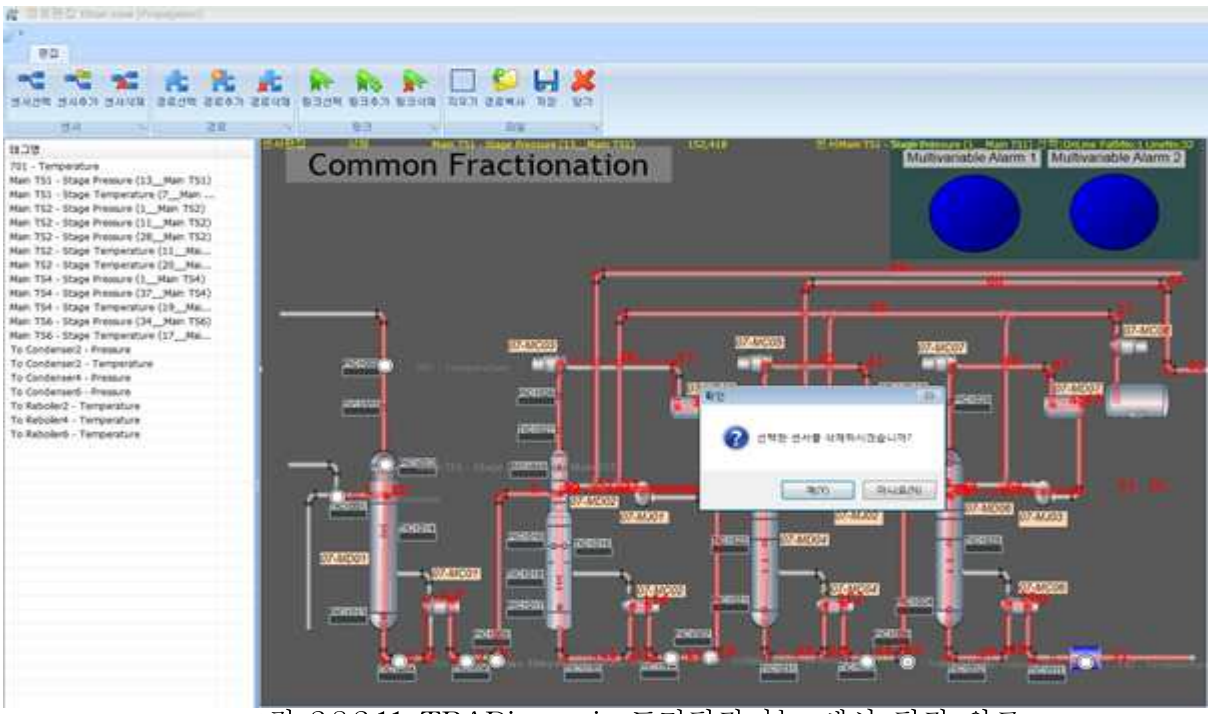


그림 2.8.2.11 TBADiagnosis 도면편집기능-센서 편집 완료

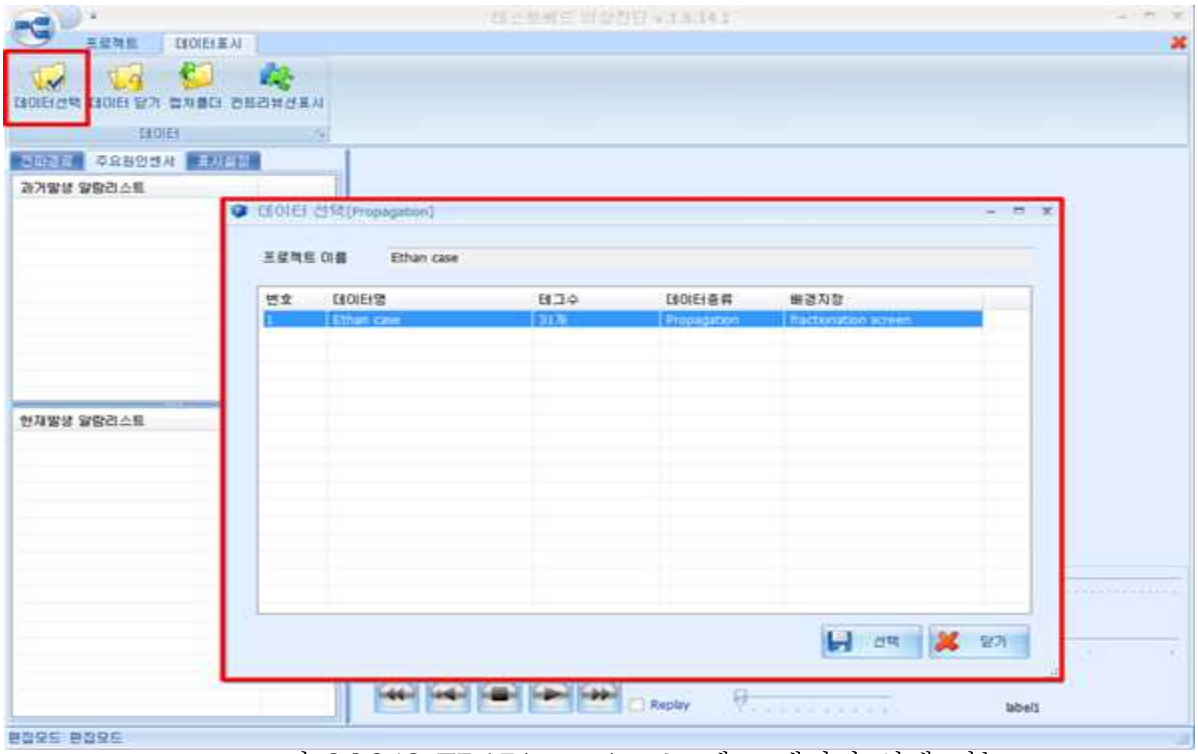


그림 2.8.2.12 TBADiagnosis 프로젝트 데이터 선택 기능

10) 데이터 선택을 click하여 앞에서 지정한 프로젝트 파일을 선택한다.

11) 다음과 같은 창에서 최종 결과를 visualization할 수 있다.

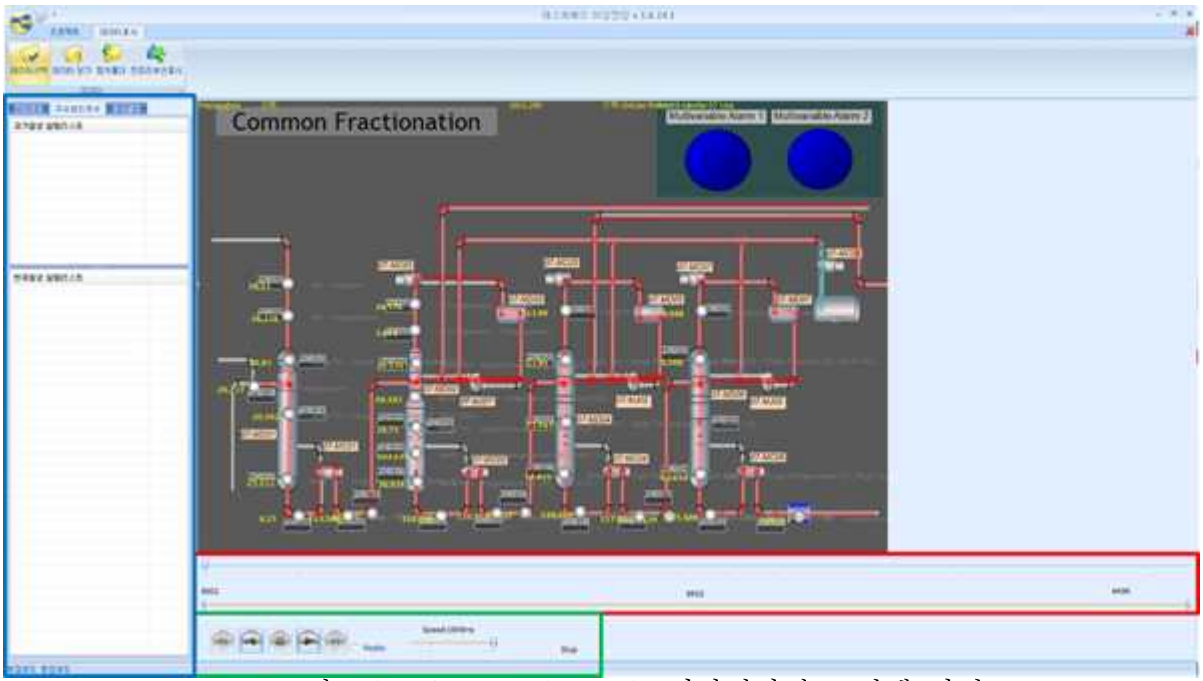


그림 2.8.2.13 TBADiagnosis 이상전파경로 실행 화면

12) 녹색 박스의 play, reverse play 기능은 시간에 따른 공정 데이터의 흐름을 순차/역순차로 보여주며 propagation path의 발생과 소멸 과정을 확인할 수 있다.
- 빨간색 박스는 플레이가 진행되는 시간 위치를 나타낸다. 위의 상태 bar는 실제 데이터 진행 위치를 나타내며 직접 이동시킬 수 있다. 아래 상태 bar는 이상 전파 경로 alarm의 시작 위치를 나타낸다.
- 파란색 박스는 이상 전파 경로, 이상 영향 센서의 결과 및 옵션을 선택할 수 있는 곳이다.

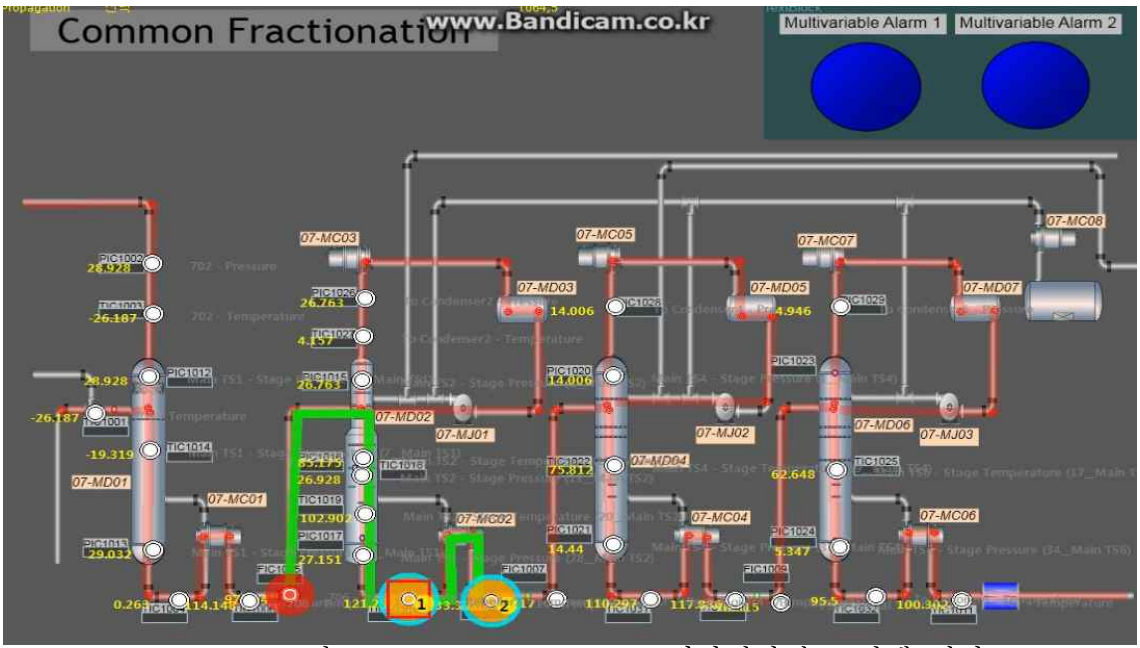


그림 2.8.2.14 TBADiagnosis 이상전파경로 실행 예시

위의 이상전파경로 분석 결과 화면에서는 최신 알람 발생 센서(붉은색)와 기 발생된 알람 센서(주황색)으로 표기되어 있으며 붉은 정사각형 모양의 표시는 알람 발생 시작 지점을 나타낸다. 또한 숫자 표기는 다변량 통계분석 기법으로 구한 변수기여도에 따른 순위를 표기하

였는데 이를 통해서 이상의 시작지점, 전파 방향, 현재 공정 상태에서의 변수 기여도를 확인할 수 있으며 이 정보를 이용하여 현재 발생한 이상 상태의 유형과 발생 원인에 대한 분석을 수행할 수 있다.

유사화학플랜트 검증 사례

사례 1. 삼성토탈 C4 DA-108 Flooding 발생과 이상원인 분석

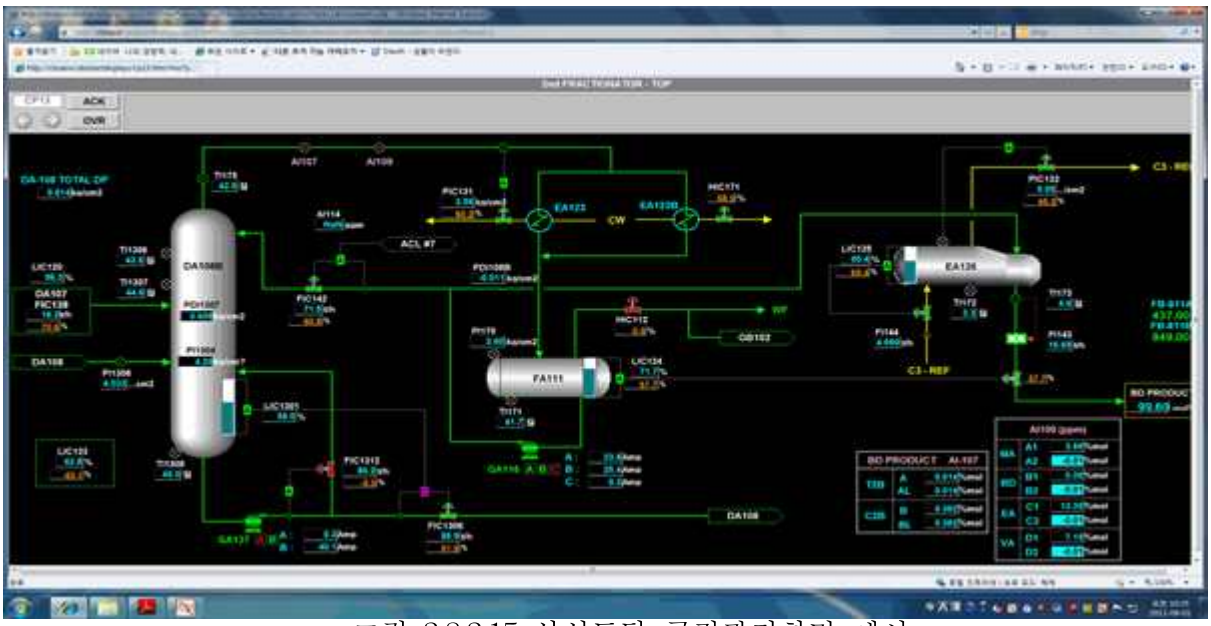


그림 2.8.2.15 삼성토탈 공정관리화면 예시

일시: 2009년 8월 25일 04:00 ~ 06:30
현상 및 해결
DA-108 Delta P 상승 (0.65KG → 0.84KG / 설계치: 0.52KG)
OVHD 1,3-BD Spec. Control을 위해 reflux 유량 지속 증가시킴 (72t/h → 77.9t/h / 설계치: 59.1t/h)
Tower Delta P 0.8KG까지 상승, Flooding 현상을 보임

Flooding 현상 감지 후 reflux 유량 감소 실시 (72t/h)
Delta P 0.84KG까지 상승한 후 0.65KG까지 하락, 안정화됨

원인 분석
과도한 reflux 유량으로 인한 overload로 인해 flooding 현상 발생한 것으로 파악됨

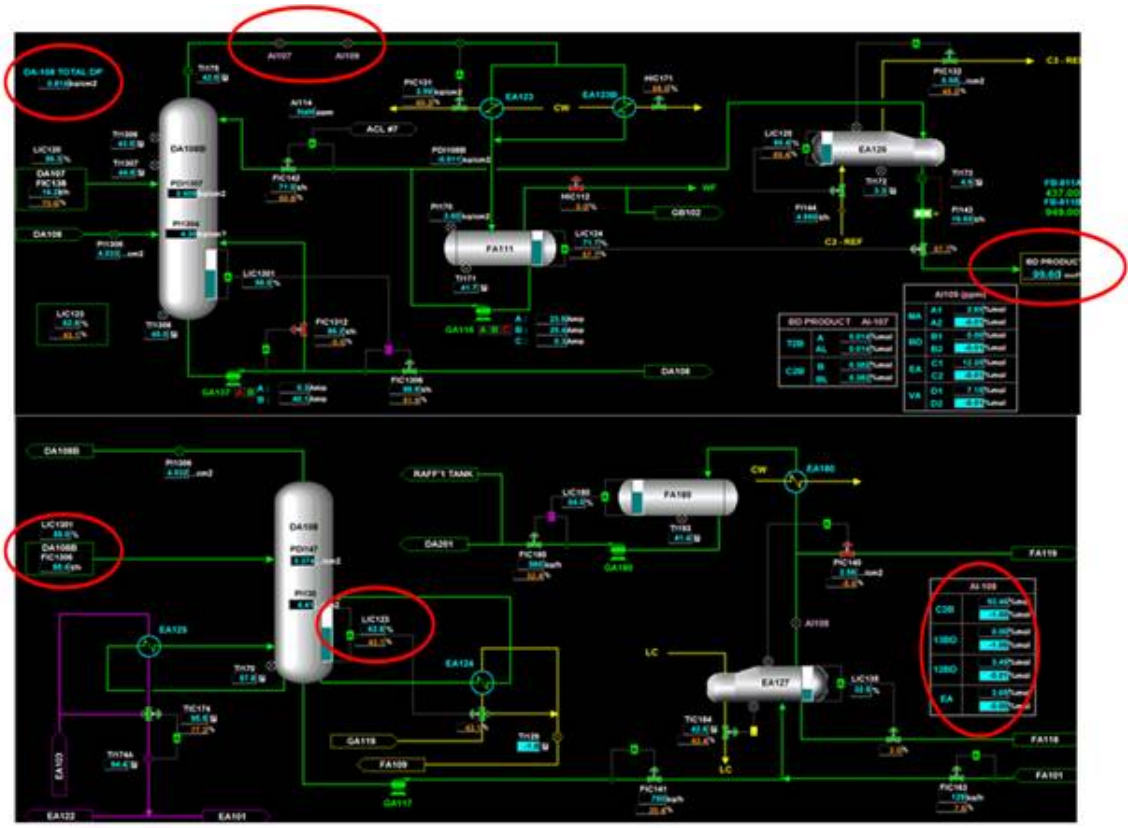


그림 2.8.2.16 주요 모니터링 센서 리스트

다음은 사고가 발생한 DA-108에 대한 주요 모니터링 센서들에 대한 정보를 보여주고 있으며 주로 AI(product의 조성), Product의 flow rate에 집중되어 있다.

CAI-107C1: 1, 3 BD 함량, 이 센서의 값이 떨어지면 Product 수율에 직접적인 영향이 간다고 판단하고 바로 control 조치 취함

DA-108 DP: Design spec.은 0.52KG이며 통상적인 운전은 0.6~0.7 내에서 이루어짐, DP 값이 통상보다 높아지면 column 내 top과 bottom 사이의 물질 흐름이 막혀 있다고 판단하게 된다.

<이상진단에서 사용한 공정 정보>

- Analyzer 센서 (CAI109C)의 Trend Chart
- DA108 (Distillation Column)의 센서의 변수기여도 차트
- DA108 센서의 단변수 차트(Q-statistics)

검증 방법은

1) Analyzer 센서에서 HL alarm 발생

2) CAI109C와 관련이 있는 DA108이 있는 Unit 단위의 Q-statistics Chart(단변수 모니터링 차트)의 HL alarm 발생 여부를 확인

3) 센서 alarm의 발생 순서대로 이상전파경로를 생성한다.

4) 시간에 따른 변수기여도 차트 만들고 이상전파경로의 신규 alarm 발생 시점에서의 변수기여도 크기 변화, 순위 변화를 모니터링한다.

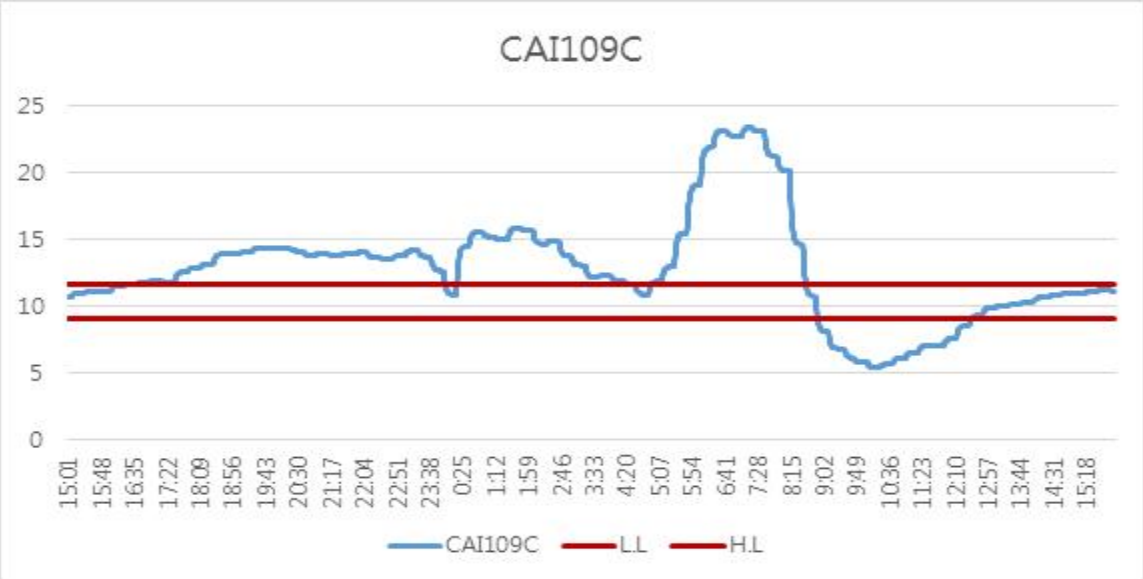


그림 2.8.2.17 AI 센서 트렌드 차트



그림 2.8.2.18 삼성토탈 케이스에 대한 변수기여도차트 분석

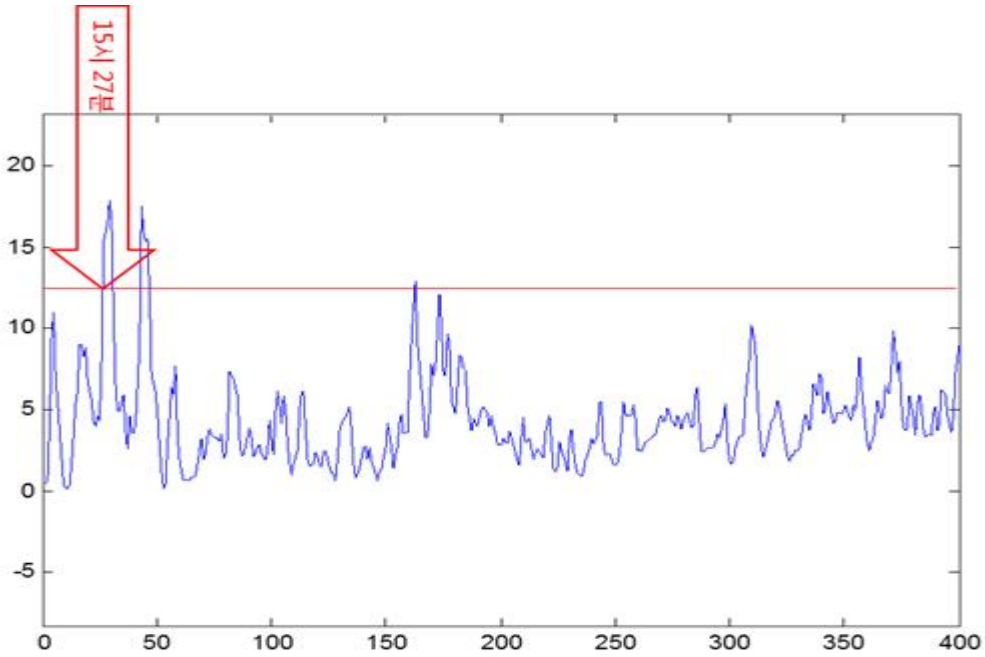


그림 2.8.2.19 단변수차트를 통한 이상 최초 발생 시점 탐지

서울대학교 개발 이상진단/감시 시스템 적용을 통한 개선점

<Flooding 발생 시 operator가 인지하지 못한 센서>

LIC123: DA108 하단의 level 측정하는 센서이며 level이 정상치보다 높아지면 하단으로 내려가야 할 cis-Butene, trans-Butene이 column 위로 올라온다고 판단. 연관되는 결과로 AI107, AI109 센서에서 Butene 측정 센서 값이 상향되는 결과를 가져옴

Sensing time : 2009-08-24 20:13 ~ 2009-08-25 2:00
22:00 이후부터 LIC123 value 상승(49.5→52)
reflux 유량은 23:00부터 30분씩 3차례에 걸쳐 상향 조정

LIC123과 상관성이 높은 센서 : FI143(+), FI144(-), AI108A(+), AI107B(-), TIC174(-)
LIC123에서 변이 발생 시 같이 보는 센서: PIC131, HIC171, AI109, AI107 등

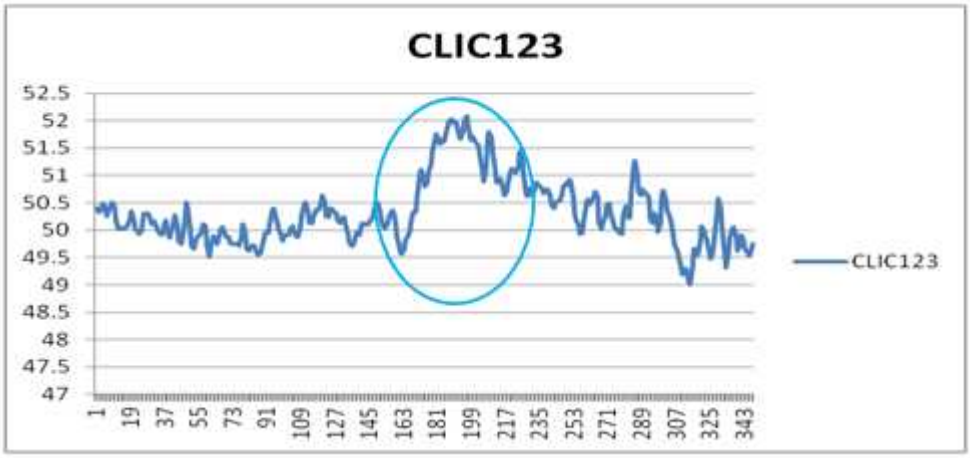


그림 2.8.2.20 LIC123의 트렌드 차트

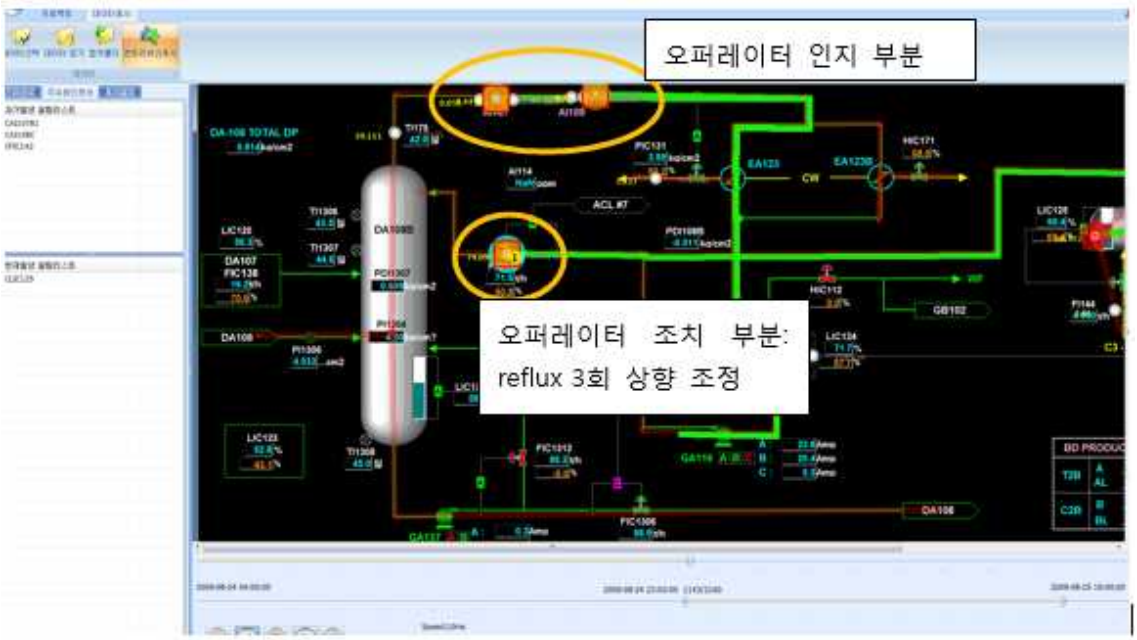


그림 2.8.2.21 TBADiagnosis 분석 결과와 오퍼레이터 조치 결과 비교

1) DA-108 Delta P 상승 시 DP 센서의 변이에 영향을 주는 센서들을 찾기
- 타워 상부, 타워 하부 압력센서, 타워 하부 level 센서(LIC123) 등
- Operator가 미리 group으로 지정해 둔 센서를 위주로 분석 프로그램 화면에 나타내주며 추가적인 연관 센서 탐색이 필요한 경우 센서 간의 상관관계 분석을 이용하여 모니터링하고자 하는 시점에서 상관관계가 높은 센서들을 알려준다.

2) Replay 기능 수행
1)에서 현재 모니터링 중인 센서와 상관관계가 높은 센서(sensor group 포함)를 포함한 범위를 대상으로 replay 수행할 공정 단위의 data set을 추출하고 normalized data를 기반으로

하여 공정 운전의 변화상을 파악하고자 함

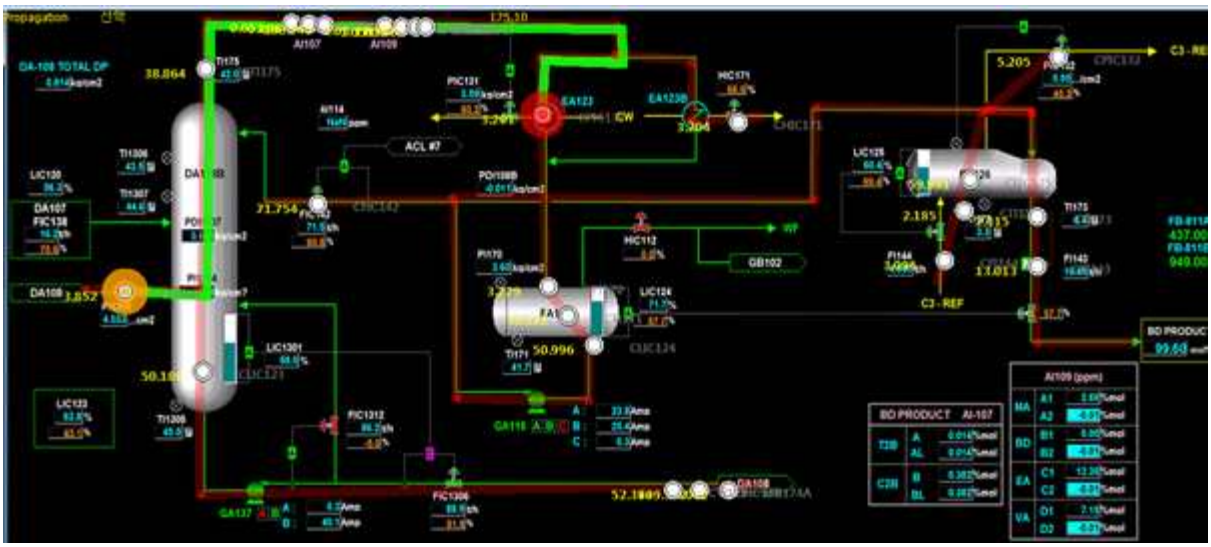
- replay를 통해 알 수 있는 정보

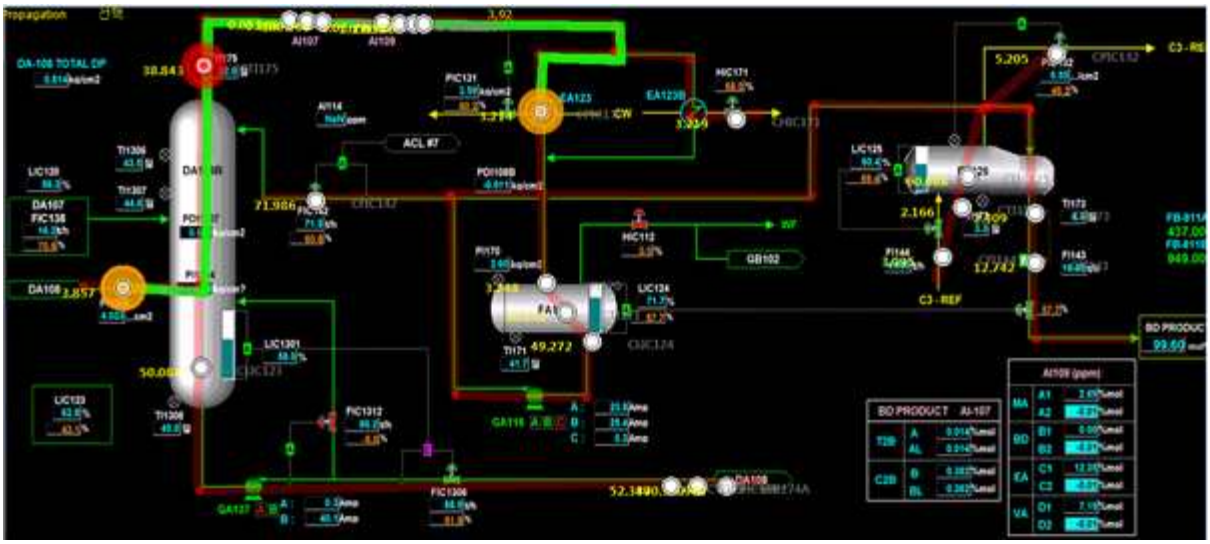
a) 테스트 시간 중 alarm 발생에 관한 정보

b) alarm이 발생한 시간 정보→시간 순서대로 path를 그려줌으로써 alarm 간 순서 정보 파악 가능

c) 현재시점, 연관되는 센서 중 의심이 가는 부분에서 alarm이 발생한 시점에서의 alarm 정보, 변수기여도 정보를 파악

다음은 각 시점별로 공정 alarm의 발생에 따른 이상전파경로를 공정 모니터링 화면에 도시한 결과이다. 이를 통해서 최초 alarm 발생 지점과 최신 alarm 발생 지점, 그리고 alarm의 전파 경로를 확인할 수 있다.





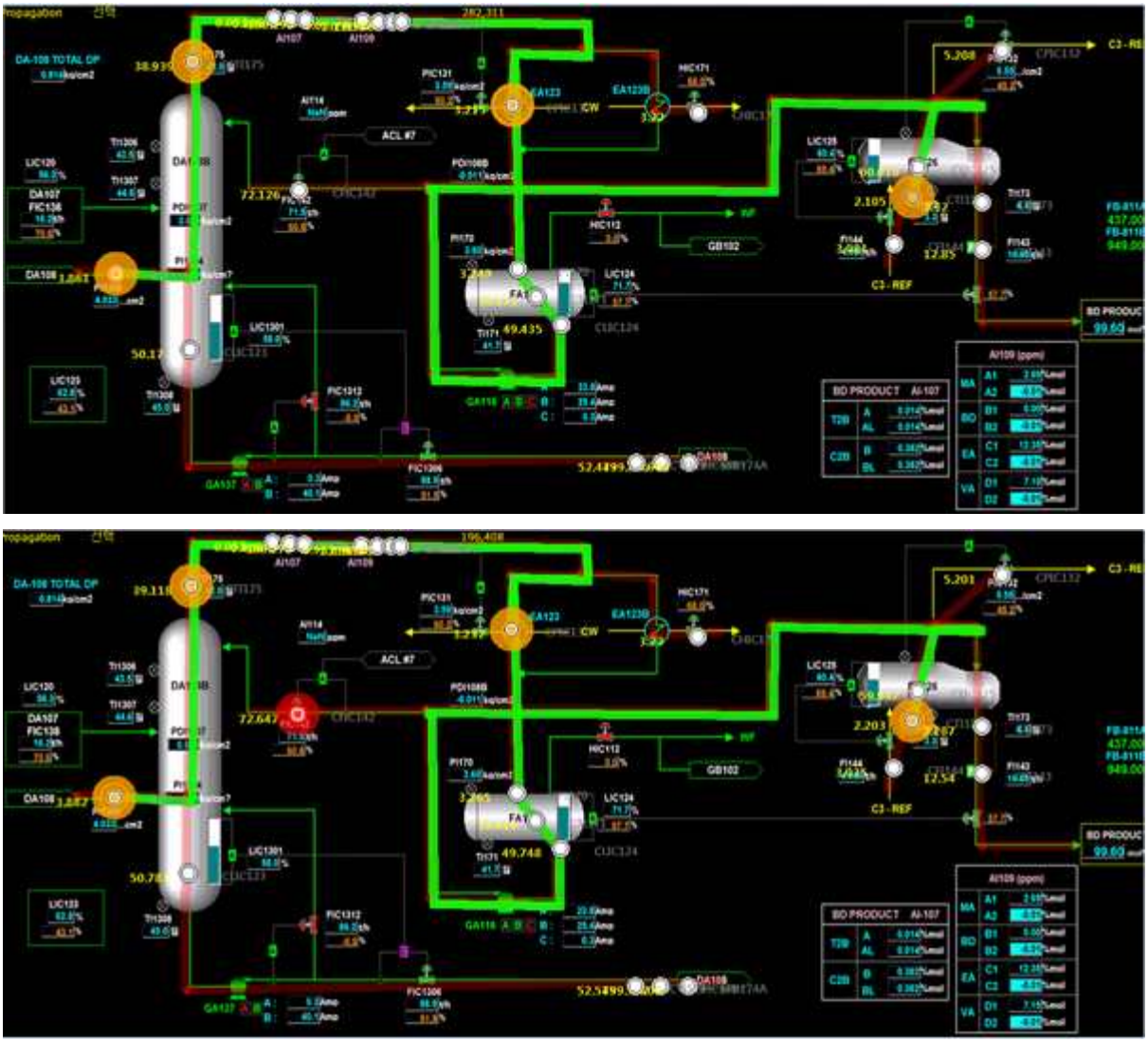


그림 2.8.2.22 삼성토탈 Flooding Case에 대한 이상전파경로 분석 결과

<분석결과>

- Column 내부 및 condenser 관련 알람으로 좁혀짐.
- 16시경 까지 위 그래프 모양이 꾸준히 유지됨.(2~3 point 제외하고 유지됨)
- 이상 인지 시간이 단변수 보다 1분 빠르며, 추가 이상 센서를 제시함.
- 단변수 알람 정보와 결합하면 Column middle P, condenser cooler valve P가 중복됨.

결론

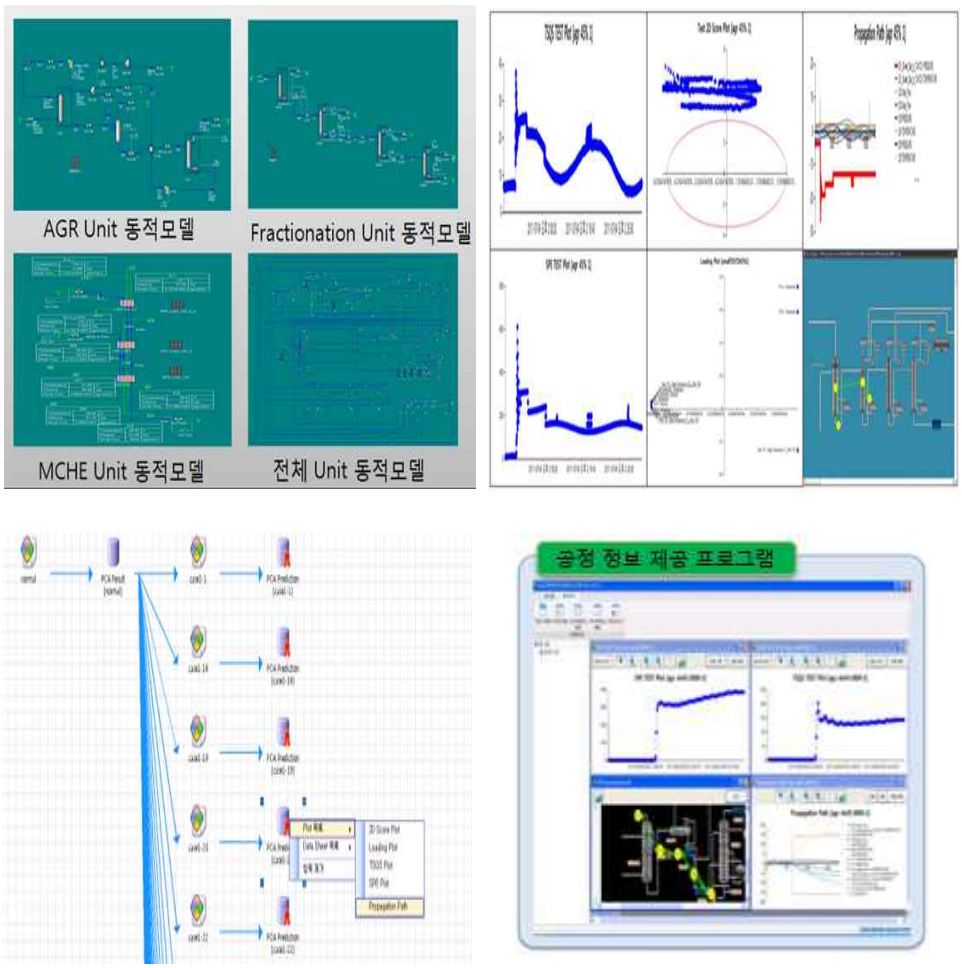
공정 이상 발생 시 시간의 경과에 따른 공정 이상 전파 과정을 공정 운전 분석용 화면에 애니메이션으로 표시함으로써 공정 운전 정보를 효과적으로 전달하고 운전자가 이상 발생 원인을 신속하게 분석할 수 있게 지원하여 진단 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있다. 또한 LNG

플랜트 공정을 포함한 다양한 화학 플랜트, 반도체 공정, 바이오 플랜트 등 RTDB(Real Time Data Base)를 기반으로 하는 공정에서 이상 상태 발생 시, 공장에 설치된 각각의 센서 값의 시간에 따른 변화를 애니메이션으로 효과적으로 정리, 도시함으로써 운전자가 이상 상태에 대해 가능한 한 안정적이고 효율적으로 이상의 종류와 원인을 찾아낼 수 있게 됨으로써 공장의 신속한 복구, 불필요한 재원의 낭비 방지 및 공장의 부하를 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 나아가서 이상상태의 발생 시 변동 계수의 값을 정규화하여 그래프로 표시하고 상기 그래프를 토대로 이상 신호의 순서 및 이상 신호의 형태를 포함하고 있는 패턴을 형성, DB에 저장하여 실제 화학 공정의 운전 중 이상 상태에 따른 센서 값의 변이에 대한 매트릭스 패턴과 DB에 저장된 패턴을 비교, 이상 상태의 원인을 분석하는 데에도 활용할 수 있을 것이다.

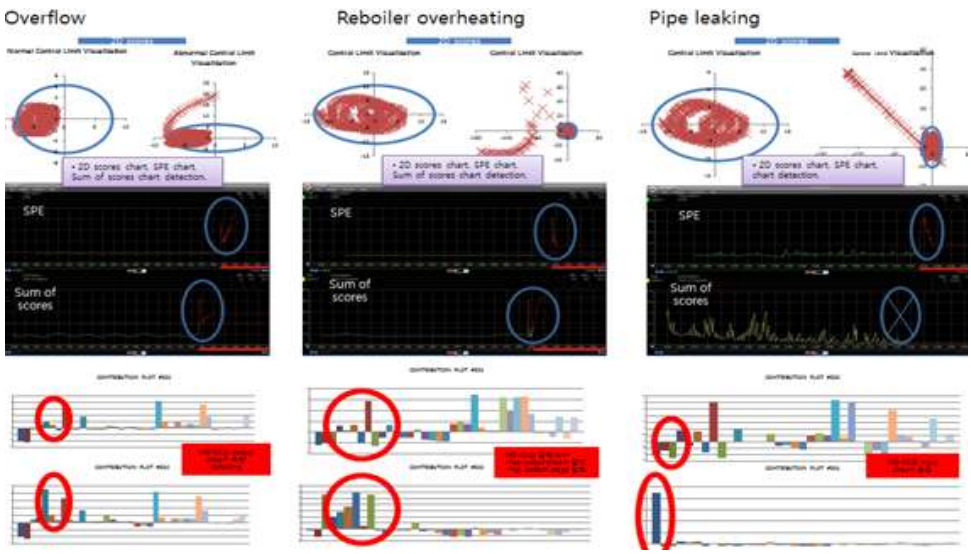
3장 최종 연구성과 및 적용 실적

제 1 절 핵심요소기술

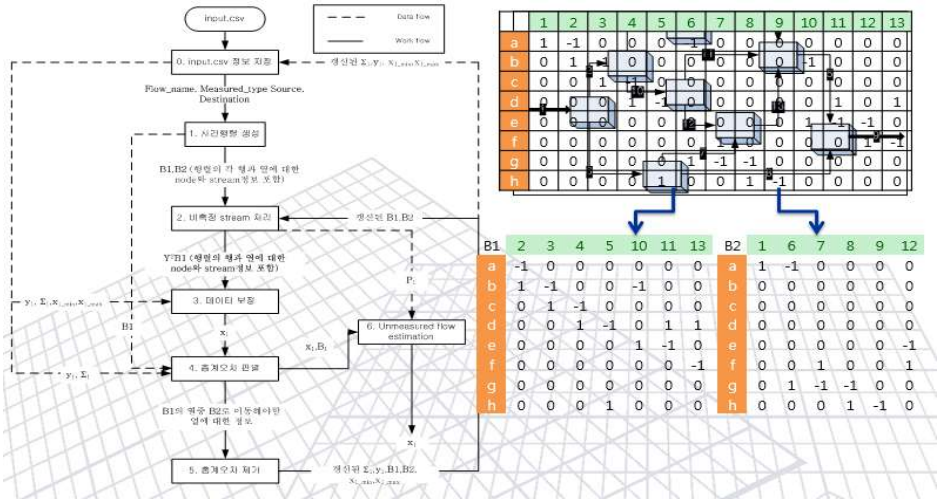
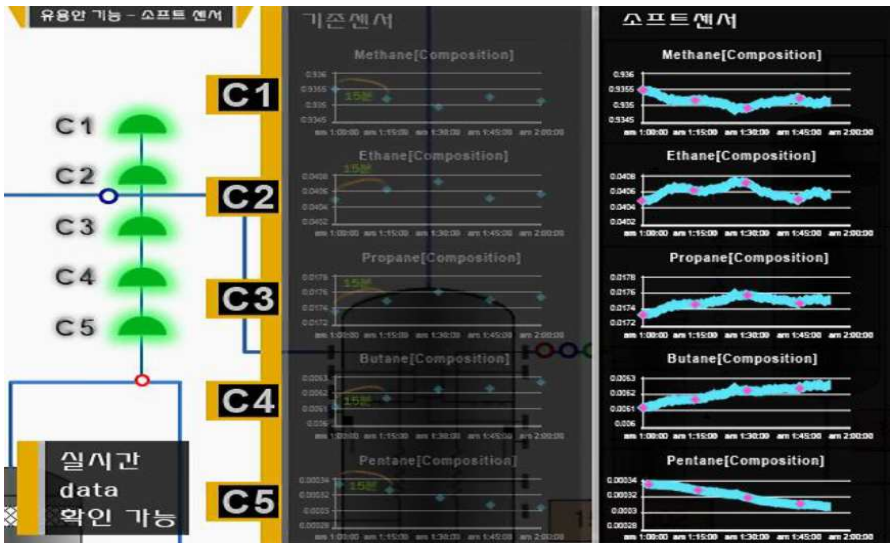
1. 실시간 이상진단 및 공정 모니터링 시스템 개발

관련 그림 / 사진	
정 의	공정 이상감시 및 진단 프로그램
목 적	LNG 플랜트의 운전 상태를 효율적으로 감시하고 이상 운전 상태에 대해서 효과적인 대처 및 관리 등을 목표로 하는 실시간 감시 및 공정 운전 정보 제공 프로그램의 개발을 목표로 함
성능목표	(기존기술 수준) 기존의 다변량 통계기법 기반 분석 툴의 경우 분석 결과의 활용성이 상대적으로 떨어지며 실제 공정에서 적용하기 어려운 점이 있었음 (개발기술 수준) DCS를 사용하는 대부분의 공정에서 활용 가능하며, 분석 과정의 간략화를 통해 현장에서 쉽게 활용할 수 있게 되었음

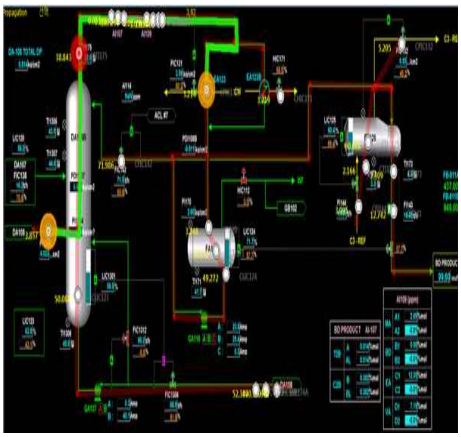
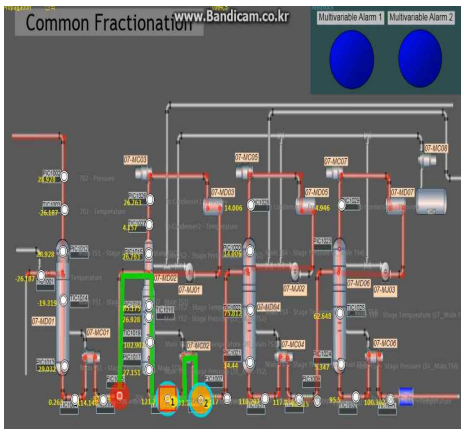
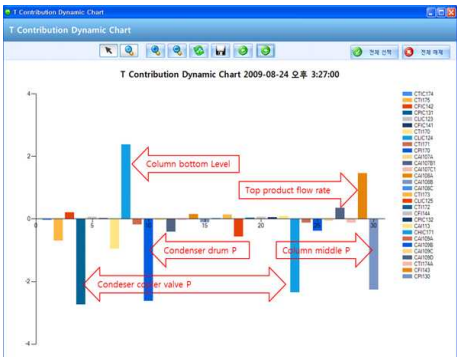
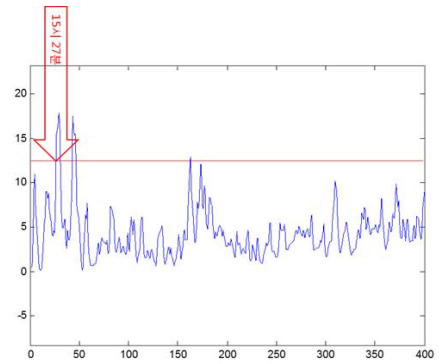
2. 동적 모델 기반 이상 진단 성능 검증

관련 그림 / 사진	 
정 의	동적 모델 대상 감시 및 진단 시스템 운전 검증
목 적	이상진단 프로그램의 정확성을 검증, 동적 모델 시나리오와 진단 결과를 테스트베드 동특성 분석 및 진단에 반영
성능목표	LNG플랜트 동적 모델의 시뮬레이션을 통해 LNG 플랜트 테스트베드의 동특성과 유사한 환경에서 공정의 정상/이상 상태에 대한 시나리오별 진단 성능 검증을 통한 실제 플랜트 진단 시 정확도 100% 달성

3. LNG 플랜트 스마트 센서 기술 기반 유량 모니터링 시스템, 가상 계측 시스템 개발

관련 그림 / 사진	 
정 의	LNG 플랜트 동적 모델 데이터 기반 가상 계측 시스템, 유량 모니터링 시스템 개발
목 적	LNG 플랜트의 유량 센서의 모니터링 및 조성 센서에 대한 가상 센서 구축을 통해 센서 설치나 계측이 어려운 장치나 측정 주기가 긴 센서를 대체하고자 함
성능목표	LNG플랜트 동적 모델의 시뮬레이션을 통해 LNG 플랜트 테스트베드의 동특성과 유사한 환경에서 공정의 정상/이상 상태에 대한 시나리오별 진단 성능 검증을 통한 실제 플랜트 진단 시 정확도 100% 달성

4. LNG 테스트베드 기반 공정 운전 정보 제공 시스템 개발

관련 그림 / 사진	   
정 의	LNG 테스트베드 운전 정보를 제공하는 이상전파경로 분석 시스템
목 적	다변량 통계기법, 공정 alarm 정보 등을 이용하여 공정의 이상상태 발생 시 alarm 발생 시간에 따른 이상 전파 경로와 변수 기여도 계산 결과를 분석 화면에 도시
성능목표	LNG 동적 모델의 이상 상태 시나리오에 적용하여 분석 정확도 검증한 후 유사화학플랜트 및 테스트베드의 운전 데이터를 적용하여 분석하여 이상전파경로 도시 결과와 실제 공정 분석 결과와의 일치성을 확인

제 2 절 주요 연구 성과

1. 학술적 성과

가. 국외 학술지 논문

	수행년차	학술지명	논문명
1	2차년도	Chemical Engineering Journal	A simulation study on gas-to-liquid (natural gas to Fischer Tropsch synthetic fuel) process optimization
2	2차년도	Industrial & engineering chemistry research	Design and Economic Analysis of the Process for Biodiesel Fuel Production from Transesterificated Rapeseed Oil Using Supercritical Methanol
3	3차년도	Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers	Optimization of recirculation operating in liquefied natural gas receiving terminal
4	3차년도	Industrial & engineering chemistry research	Methodology for Stable Dynamic Simulation of a LNG Pipe under Two-Phase-Flow Generation
5	3차년도	Industrial & engineering chemistry research	Synthesis of Unloading Operation Procedure for a Mixed Operation of Above-Ground and In-Ground Liquefied Natural Gas Storage Tanks Using Dynamic Simulation
6	4차년도	Industrial & engineering chemistry research	Byproduct Hydrogen Network Design Using Pressure Swing Adsorption and Recycling Unit for the Petrochemical Complex
7	4차년도	Journal of chemical engineering of Japan	Quality Determination of Steel Surfaces Based on Best Feature Selection
8	4차년도	Chemical engineering science	Determination of steel quality based on discriminating textural feature selection
9	4차년도	Industrial & engineering chemistry research	CO2 Storage Terminal for Ship Transportation
10	4차년도	Industrial & engineering chemistry research	Modeling and Optimization of the Turbo-Compression Chiller Systems in the LCD Process
11	5차년도	Industrial & engineering chemistry research	Hybrid Compressor Model for Optimal Operation of Compressed Dry Air System in LCD Production Industry

12	5차년도	International Journal of Hydrogen Energy	A heuristic method of variable selection based on principal component analysis and factor analysis for monitoring in a 300 kW MCFC power plant
13	5차년도	Computers & Chemical Engineering	State-of-charge estimation for lithium-ion batteries under various operating conditions using an equivalent circuit model
14	5차년도	Energy	Retrofit design of a boil-off gas handling process in liquefied natural gas receiving terminals
15	5차년도	Industrial & engineering chemistry research	Carbon Dioxide Liquefaction Process for Ship Transportation
16	5차년도	Journal of chemical engineering of Japan	Economic Feasibility Analysis of a PEMFC Power Plant Fueled by By-Product Hydrogen from a Petrochemical Complex with a Pressure Swing Adsorption Unit
17	5차년도	Journal of chemical engineering of Japan	On-Line Monitoring of Capacity Fade in Lithium-Ion Batteries
18	6차년도	Computers & Chemical Engineering	An effective procedure for sensor variable selection and utilization in plasma etching for semiconductor manufacturing
19	6차년도	Journal of Vacuum Science & Technology B	Multiple input multiple output controller design to match chamber performance in plasma etching for semiconductor manufacturing
20	6차년도	Journal of Vacuum Science & Technology B	Implementation of a robust virtual metrology for plasma etching through effective variable selection and recursive update technology
21	6차년도	Industrial & engineering chemistry research	Simulation-Based Optimization Methodology for Offshore Natural Gas Liquefaction Process Design
22	6차년도	Journal of Vacuum Science & Technology B	Systematic procedure to optimize chamber seasoning conditions with optical emission spectroscopy in plasma etching
23	6차년도	Industrial & engineering chemistry research	Systematic Regeneration of Waste Sulfuric Acid in Semiconductor Manufacturing Using Batch Vacuum Distillation
24	6차년도	Industrial & engineering chemistry research	Design and Analysis of a Combined Rankine Cycle for Waste Heat Recovery of a Coal Power Plant Using LNG Cryogenic Exergy
25	6차년도	Industrial &	Comparative study of process integration and

		engineering chemistry research	retrofit design of a liquefied natural gas (LNG) regasification process based on exergy analyses_A case study of an LNG regasification process in South Korea
26	6차년도	Environmental Progress & Sustainable Energy	Economic analysis for the transport and storage of captured carbon dioxide in South Korea
27	6차년도	Computers & Chemical Engineering	Optimal operation strategy of batch vacuum distillation for sulfuric acid recycling process
28	6차년도	Industrial & engineering chemistry research	Design and Operation Strategy of CO2 Terminal
29	6차년도	Industrial & engineering chemistry research	New Configuration of the CO2 Capture Process Using Aqueous Monoethanolamine for Coal-Fired Power Plants
30	6차년도	Computers & Chemical Engineering	Simultaneous synthesis of a heat exchanger network with multiple utilities using utility substages
31	6차년도	Industrial & engineering chemistry research	Risk-Based Process Safety Management through Process Design Modification for Gas Treatment Unit of Gas Oil Separation Plant
32	6차년도	Computers & Chemical Engineering	Simulation and optimization of multi-component organic Rankine cycle integrated with post-combustion capture process

나. 국내 학술지 논문

	수행년차	학술지명	논문명
1	3차년도	한국가스학회지 = Journal of the Korean institute of gas	Development of LNG Terminal Flow Rate Data Reconciliation Method
2	4차년도	KoreanJournalofChemicalEngineering	CO2 geological storage: A review on present and future prospects
3	4차년도	화학공학 = Korean chemical engineering research	모노에탄올아민(MEA)을 이용한 이산화탄소 포집공정: 배가스 분할 유입을 통한 흡수제 재생 에너지 절감 연구
4	5차년도	KoreanJournalofChemicalEngineering	Operational Strategy to Minimize operating costs in liquefied natural gas receiving

			terminals using dynamic simulation
5	5차년도	KoreanJournalofChemicalEngineering	Pinch based approach to estimate CO2 capture and storage retrofit and compensatory renewable power for South Korean electricity sector
6	5차년도	화학공학 = Korean chemical engineering research	이산화탄소수송을위한압축및액화공정설계및비용평가
7	6차년도	화학공학 = Korean chemical engineering research	연료전지차량용연료개질기에대한최적연료비교연구
8	6차년도	화학공학 = Korean chemical engineering research	전산유체역학을 이용한 Fischer-Tropsch 마이크로채널 반응기의 채널구조 영향분석

2. 특허 출원 및 등록

	수행년차	구분	출원/동록번호	발명의 명칭	출원(등록)인	출원(등록)일
1	4차년도	국내출원	10-2011-0028566	변동 계수의 통계적 분석에 의한 화학 공정의 이상 원인 분석 방법	서울대학교	20110330
2	4차년도	국내출원	10-2011-0097067	혼합냉매를이용한피드스트림의액화장치및액화방법과이를포함하는유체전달시스템	서울대학교	20110926
3	4차년도	국내출원	10-2011-0097619	액화장치및액화방법과이를포함하는유체전달시스템	서울대학교	20110927
4	5차년도	국내등록	10-1195330	액화장치및액화방법과이를포함하는유체전달시스템	서울대학교	20121022
5	5차년도	국내등록	10-1227115	혼합냉매를이용한피드스트림의액화장치및액화방법과이를포함하는유체전달시스템	서울대학교	20130122
6	6차년도	국내출원	10-2013-0086249	온도 조절 장치 및 그 운전방법	서울대학교	20130722
7	6차년도	국내출원	10-2013-0104803	랭킨사이클장치및이를포함하는발전시스템	서울대학교	20130902

8	6차년도	국내출원	10-2013-0064317	감압 및 상 분리를 이용하여 현열 회수 효율을 개선한 이산화탄소 분리장치	한국전력기술주식회사	20130604
9	6차년도	국내출원	10-2014-0020155	공정 이상 전파 경로 분석 방법 및 시스템	서울대학교	20140221
10	6차년도	국내등록	10-1503768	온도 조절 장치 및 그 운전방법	서울대학교	20150312
11	6차년도	국내등록	10-1421611	감압 및 상 분리를 이용하여 현열 회수 효율을 개선한 이산화탄소 분리장치	한국전력기술주식회사	20140715
12	6차년도	국내출원	10-2014-0087599	유기 랭킨 사이클 시스템 및 그 제어 방법	서울대학교 산학협력단	20140711

제 4 장 연구목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

1단계 (2차년도)													
일련번호	개발내용	추진일정											달성도(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	스마트센서 적용가능성 및 성능 조사, 유무선 전송기법, 복합화/융합화 기법 분석													100%
2	유도배열 초음파 적용사례 및 관련 국내외 기술 분석													100%
3	회전 기기의 작동 특성 연구 및 국내외 자료 조사													100%
4	동특성 기반 공정 모니터링 및 이상상태 진단기법 분석													100%

2단계 (3차년도)													
일련번호	개발내용	추진일정											달성도(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	LNG plant 감시 및 진단 프로그램 개발													100%
2	LNG plant 공정도면 기반 감시기능 개발													100%
3	동적 모델을 통한 정상/이상 데이터 분석													100%
4	압축기 특성 파라미터 및 압축기의 성능저하 메커니즘 연구													100%

2단계 (4차년도)														
일련번호	개발내용	추진일정												달성도(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	감시 및 진단프로그램 기능 추가개발													100%
2	동적 모델 기반 감시 및 진단스테이션 구축													100%
3	동적 모델 기반 감시 및 진단시스템 운전 검증													100%

3단계 (5차년도)														
일련번호	개발내용	추진일정												달성도(%)
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
1	동적모델 기반 공정 감시 및 진단 알고리즘 성능 검증													100%
2	테스트베드 기반 공정 감시 및 진단 알고리즘 성능 검증													100%

3단계 (6차년도)														
일련번호	개발내용	추진일정												달성도(%)
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
1	테스트베드/동적모델/분석시스템 통합													100%
2	테스트베드 대상 정상/이상 데이터 분석													100%
3	테스트베드 대상 감시 및 진단 방법론 성능 평가													100%

양적 달성 정도	사업연계지표		성과지표	목표 건수	달성 건수	증빙	인정 건수	달성율 (%)	가중치	달성평점	환산점수 (15점 만
		1	SCI급 학술지 게재 논문(건수)	12	35	논문 (1-1 ~ 1-8)		0	20	0.00	0.00
		2	비 SCI 학술지 게재 논문(건수)	13	5	논문 (2-1 ~ 2-9)			5		
		3	특허 출원(건수)	4	8	출원서 (3-1 ~ 3-8)			10		
		4	특허 등록(건수)	2	4	등록증 (4-1 ~ 4-4)			10		
		5	전문인력 양성	10	13	기타성과 (8-1 ~ 8-14)			15		
		6	학술회의 발표(국내)	43	220	국내학술대회발표 (7-1 ~ 7-220)			5		
		7	학술회의 발표(국외)	4	63	국외학술대회발표 (6-1 ~ 6-63)			5		
		8	시작품	2	3	질적지표 증빙목록 (1, 3, 4)			15		
		9	산학연간기술지원	7	7	기타성과 (8-20 ~ 8-25, 8-28)			5		
		10	기술확산교류	5	8	기타성과 (8-15 ~ 19, 8-26 ~27, 8-29)			5		
		11	산학연협력활동	7	7				5		
		12	연구 관련 홍보	0	1				0		
									100	0.00	0

	연구기관 (연구책임자)	6차년도 성과점검기준						
		연구목표	성과목표	성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치
공정계통실시간 이상 감시및진단시스템개발	서울대학교 (한종훈)	동적 모델 대상 실시간 공정 감시 및 이상 진단 시스템 개발	실시간 공정 감시 및 진단 프로그램 개발	실시간 다변량 통계 분석 시스템 개발	시작품 개발	공정운전시나리오를 통한 분석 결과 검증	검증 결과 보고서, 시작품 확인	15
				실시간 공정 감시 및 진단 정보 제공 프로그램 개발	시작품 개발	공정운전시나리오를 통한 분석 결과 검증	검증 결과 보고서, 시작품 확인	15
				가상계측센서개발 (조성계측을위한스마트센서)	주요column의가스농도계측센서와의오차10%이내	LNG 공정 운전 데이터로 가상계측센서 값 계산	실제 계측치과 모델 계산치의 비교	10
				유량 센서 보정용 Data Reconciliation 시스템 설계	모델 값의 실제 값 대비 정확도 90% 이상	LNG 공정 운전 데이터로 유량 센서 값 계산	실제 계측치과 모델 계산치의 비교	10
			동적 모델 운전 시나리오 개발	LNG 플랜트 동적 모델 개발	실제 공정-동적 모델 운전 오차 5% 이내	동적 모델 시뮬레이션 결과 이용	LNG 플랜트 운전데이터와 비교	10
				LNG플랜트동적모델기반 고장대비비상운전시나리오개발	LNG공정 주요 장치 1기 당 장치/계기 이상 시타리오 2개 개발	실제 사례와 비교	검증 결과 보고서 확인	5
		테스트베드 기반 공정 이상 실시간 감시 및 진단 시스템 개발	공정 모델-이상 감시 및 진단용 스테이션 구축	공정모델/이상 감시 및 진단 시스템 구축	개발로직/기능 시스템반영율	설계 대비 실제 동적모델/진단 시스템 가동 여부 확인	동적모델대상 이상진단기능 대비구축비	15

			테스트베드 기반 분석 모델 개발 및 진단 성능 검증	테스트베드 대상 이상진단 및 감시 시스템 개발	모델 구축율 100%	테스트베드 운전 데이터, Operation Manual과 비교	검증 결과 보고서 확인	10
				테스트베드 대상 이상진단 및 감시 성능 검증	진단 매뉴얼	테스트베드 Train-1 운전 데이터, P&ID 자료 비교	테스트베드 Train-1 P&ID 자료 대비 구축비	10

세이플랜트㈜
www.sayplant.com

기술이전 체결 협약서

서울대학교 산학협력단과 세이플랜트 주식회사의 기술이전 및 사업화를 위한 협약을 다음과 같이 체결한다.

제 1 조 (목적) 이 협약은 양 기관이 LNG 플랜트 사업단의 "공정계통 이상상태 실시간 감시 및 진단 시스템 개발" 과제로부터 창출된 기술의 현장적용, 기술이전, 사업화 등 제반적인 사항에 대하여 상호발전과 유기적 협력관계를 도모함을 목적으로 한다.

제 2 조 (협력사항) 양 기관은 다음과 같은 분야에 대하여 상호 협력한다.

1) 현장 적용 가능한 과제 발굴, 자문, 개발, 현장적용, 사업화에 대한 협력체제 확립
2) 기타 기술 및 현장 적용에 관한 사항

제 3 조 (협약이행) 본 협약은 상호 신의.성실의 원칙에 따라 이행하며, 원활하고 성공적인 추진을 위하여 상대방의 편익을 최우선적으로 고려하고 적극 협조한다.

제 4 조 (협약변경) 협약내용의 변경 또는 해지를 원하는 경우에는 3 개월 이전에 상대방에게 그 내용을 통보하여 협의한 후 변경.해지할 수 있다.

제 5 조 (협약효력) 본 협약은 서명한 날로부터 효력이 발생되며 어느 일방의 해지에 관한 서면 통보가 없는 한 협약의 효력은 지속된다.

본 협약의 체결을 증명하기 위하여 협약서 2 부를 작성하여 양 기관의 대표자가 각각 서명한 후 각 1 부씩 보관한다.

2015 년 10 월 19 일

서울대학교 산학협력단

단장 박노현 (인)

서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 행정관 60동

연구책임자 한종훈 (인)

세이플랜트 주식회사

대표이사 박세영 (인)

서울시 서초구 서운로 160, 906

- 산학연 협력활동 1건

생산컨설팅	내역	생산컨설팅 격주미팅 및 김천공장 건 인터뷰
	일시	2012년 1월 19일 (목) 9:00-10:30 / 10:30-14:30
	장소	본사 9층 대회의실
	참석자	아이시스텍㈜ : 한종훈교수, 전정우연구원, 편하형 연구원 KLS : 서명관전무, 박상후상무, 신희국대표, 이재영팀장, 김경석과장, 이성우책임, 김성철과장

[주요 논의 사항]

- 음성공장 건에 대한 원인조사 및 분석 중간보고 및 토의
- 김천공장 건에 대한 인터뷰 (격주미팅 이후 실시함)

1. 생산컨설팅 격주 미팅 (09:00~10:30)

[주요 이슈]

1) 1월3주 (1.13~1.19) 진행 현황 발표
   - 현재까지 확인한 음성공장 사고건 경위 및 개선점 발표 (아이시스텍 → KLS)
2) 추후 추가 확인사항
   - 배관 막힘 부분이 Sight Glass 위쪽인지, 아래쪽인지 명확한 확인 필요
   - 사고 당시 자동 Bottom Valve를 잠근 것이 확실한지 확인 필요
   - "사고조사경위서"의 "수동밸브"가 다이아프램 밸브인지, 볼 밸브인지 확인 필요
   - 용접봉을 이용한 천공시, 하부 밸브로 밀어 넣었는지, 배관으로 밀어 넣었는지 추가 확인 필요
3) 차후 정기 미팅일정 : 2/7(월) 잠정 결정
4) 차주(1월4주, 1.20~1.26) 주간보고는 설 연휴로 인하여 1/30(월)에 보고예정

2. 김천공장 건 인터뷰실시(10:30 ~ 14:30)

[주요 내용]

1) 참석자 : 전정우, 편하형, 이성우, 정경흠, 김성철 이상 5명
2) 사고발생 공정 Process 설명 (이성우)
3) 사전에 작성한 사고관련 질의서에 대한 답변 (이성우, 정경흠)
4) 1/27(금) 김천공장 방문하여 추가질의 예정
   - 방문예정자 : 편하형, 전정우, 이성우, 김성철 이상 4명 -끝-

2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

○ 공정 모니터링 및 감시진단 시스템

-한국 기업이 LNG 플랜트 기술을 보유하고 있지 않고, 현재 선진 기술 보유사들이 카르텔을 형성하고 기술이전을 하지 않고 있어 고부가가치 핵심사업에 국내 업체의 참여가 제한되고 있음. 본 과제를 통해 이상상태 감시진단 시스템을 개발하여 공정계통 최적화 및 동특성 효율을 5% 이상 개선하고자 함. 결과로 엔지니어링 비용 절감, 건설 비용 절감 및 생산성 향상을 기대할 수 있음.

- 동특성 해석으로 국산 주요 설비의 적용 가능성을 파악하여 적용함으로써 주요 설비 및 핵심기기 국산화로 국내 장치 산업 경쟁력 향상을 기대할 수 있음.

○ 기존 시스템과의 비교

- 다변량 통계기법(PCA, PLS)를 이용한 공정 데이터 분석 기능은 과제 초기 UMETRICS 사의 SIMCA 제품군 대비 20%(도입기)에서 100%(경쟁기)에 해당하는 수준의 기능 및 알고리즘 개발을 목표로 하였으며 실시간 공정 감시 기능은 MDC 사 대비 50%(도입기)에서 100%(경쟁기)에 해당하는 수준의 기술 개발을 목표로 하였다. 다변량 통계기법 알고리즘의 경우 UMETRICS 사의 PCA, PLS와 동일한 알고리즘을 적용, 공정 데이터 분석에 활용하고 있으며 각각의 알고리즘으로부터 도출된 결과를 막대 그래프, 선형 그래프 등으로 제공해 주고 있다.

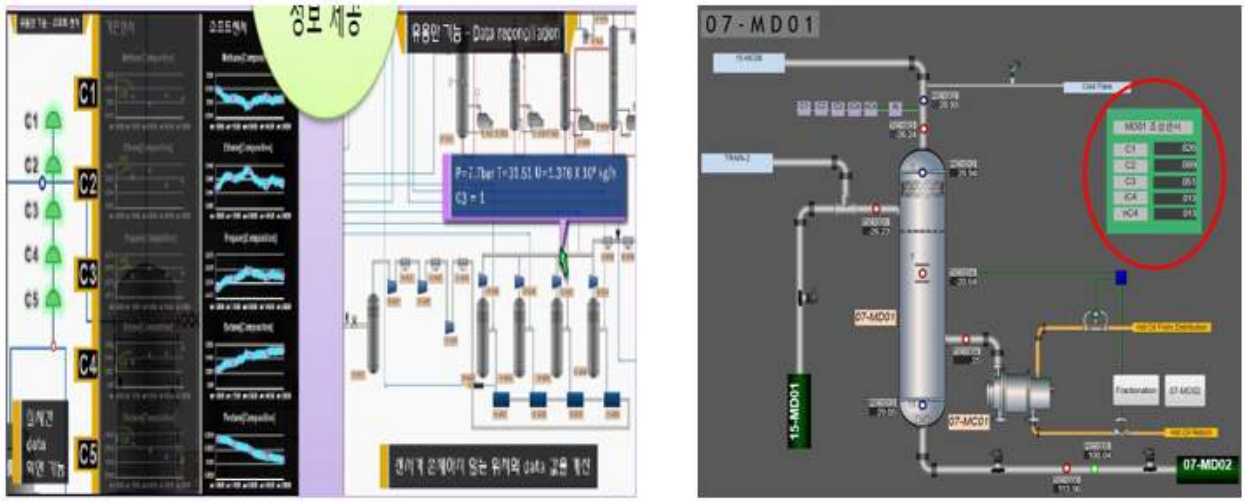
  주요 제공 기능: Score Plot, Loading Plot, 단변수 공정 분석 그래프(Hotelling's T2 그래프, SPE 그래프), 변수기여도(TSQS, Residual), PLS y(품질변수) 예측 기능, PLS-VIP (품질변수 상관도)

- 또한 서울대 개발 "실시간이상상태감시및진단시스템"의 경우 상용 RTDB 시스템인 dataPARC과 연계하여 실시간으로 생성되는 공정 데이터를 이용하여 단변수 공정 분석(SPE, Hotelling's T2)을 수행, 공정 상태의 변화를 실시간으로 모니터링할 수 있으며 기존의 알람 시스템과 더불어 공정 이상에 대한 신속한 탐지에도 이어질 수 있다는 점에서 비교 대상인 타 사의 솔루션에 비해 특징적으로 내세울 수 있는 장점이라 볼 수 있다.



<서울대 개발 프로그램의 실시간 공정 모니터링 기능 예시>

- 소프트센서 및 Data Reconciliation 기능의 경우 2장 4절의 스마트 센서 기반 유량보정 시스템 및 소프트 센서 개발에서 상기한 대로 LNG 플랜트의 Fractionation 공정의 주요 조성 센서에 대한 소프트센서 개발 및 검증을 수행하였음.



<소프트센서의 구현 사례: Fractionation 공정>

3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

○ 공정 모니터링 및 감시진단 시스템

-2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간 정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이중에서 5%의 시장점유율을 가정하면 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악되며, 동특성 기반 공정 이상상태 실시간 감시 및 진단 시스템을 구축함으로써 시장 진입에 일조할 수 있음.

-본 과제를 통하여 가스플랜트사업단에서 개발하는 LNG 플랜트에 IT 기술을 접목하여 상기에서 언급한 기술적 효과를 더하여 플랜트업체의 국산기자재 사용 비율을 끌어 올림으로써 중소기업 관련 플랜트 부품 소재 산업의 내수 유발 효과를 거둘 수 있음.

- 이산화탄소 저감과 친환경 기술이 지극히 요구되는 현재의 시점에서 상대적으로 저탄소/친환경 연료인 천연가스 관련 기술의 확보로 저탄소 녹색 성장에 기여하는데 일조할 수 있음.

-동특성 해석 및 감시/진단 시스템과 같은 IT 기술을 플랜트 산업 분야에 적용함으로써 학제간의 연구/기술개발 활성화와 함께 플랜트 산업 분야의 이미지 제고를 통하여 IT 분야 우수 인력의 플랜트 분야 진출이 활발해 지는데 기여함.

4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

○ 핵심 성과물을 관련 산업의 플랜트 개발 및 검증에 활용이 가능함.

○ 경쟁력 있는 국산화 기술확보를 바탕으로 해외플랜트 시장 진출을 위한 정책적 지원 유도함.

○ 연구개발에 다양한 국내기업들이 참여를 유도함으로써 해외시장 진출 시 컨소시엄 구성으로 Risk 분산 및 사업 추진력의 향상이 가능함을 보임으로써 타 분야의 기술개발 지원 정책 수립에 핵심적인 자료로 활용이 가능함.

○ 플랜트 수주 경쟁력 제고에서 나아가 핵심 기자재의 성능 유지, 신뢰성 평가 등 상용화와 수출에 필요한 인프라 개발 및 발전 플랜트, 해양 플랜트 등 다양한 플랜트 산업에 적용할 수 있도록 정책적인 지원 유발함.

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1절. 연구결과의 향후 활용방안

○ 공정 모니터링 및 감시진단 시스템

- 연구개발 결과물의 지적재산권, 프로그램 등록을 통하여 제품개발의 권리를 확보함.
- 국내외에서 추진 중인 가스플랜트 관련 사업을 대상으로 개발된 핵심 성과물인 이상상태 감시진단 시스템을 적용할 수 있도록 추진하여 대외 인지도 및 실적을 확보함. 또한 기본적으로 개발기술의 테스트베드 적용 및 검증을 수행하여 신뢰성을 확보하여 대외 경쟁력을 높임.
- 또한 기존의 기술에 기술 집적도가 보다 높은 기술 및 제품을 추가함으로써 인지도 향상을 통하여 기존 기술의 판로 확대 및 이를 통한 시너지 효과를 창출하여 다시 LNG 플랜트 시장에 진출할 수 있는 선순환 고리를 형성하여 해외시장을 개척하고자 함.
- 서울대의 주관 기관인 한국건설기술연구원은 연구개발 결과 성과물로 나오는 기술을 이용하여 기존 LNG 플랜트 및 신규 LNG 플랜트에 적극적 홍보 및 마케팅하여 이상진단 시스템의 시장을 확보함.
- 개발된 기술의 해외시장 진출을 위해서는 국내 공·사기업들이 개발하거나 확보한 해외의 가스전에 자원 연계형 투자개발사업 컨소시엄을 구성함으로써, 궁극적으로는 해외 에너지자원개발과 연계한 해외플랜트 건설의 사업화에 적용 가능하며, 이때에 이상상태 감시진단 시스템도 자연스럽게 사업화와 연계할 수 있음.
- 또한 이상진단 시스템의 활용은 LNG 플랜트내에 국한하지 않고 화학플랜트, 발전플랜트 등으로 확장하여 개발하여 더욱더 넓은 범위의 시장으로 진출함.

○ 회전기기 진단 시스템

- 대상 기기의 고장 원인을 규명하고 이를 저감시킬 수 있는 선행 정비를 수행할 수 있으므로 플랜트 운전성과 안전성을 확보할 수 있다.
- 개발된 기술은 액화플랜트의 압축기뿐만 아니라, 동일 형식이 적용되는 건물의 공조용 또는 산업 설비의 프로세스용 기기에 적용이 가능함.

○ 인더스트리 4.0와의 연계

- 본 과제의 성과인 실시간 공정 모니터링 및 이상 진단 기술에는 공정 내의 다양한 기기, 설비 등에 부착되어 있는 센서를 통해 실시간으로 데이터를 수집하고 분석하는 기능이 포함되어 있음. 이를 이용하여 LNG 플랜트 등 DCS/RTDB가 구축되어 있는 모든 플랜

트를 대상으로 한 공정 관리 및 제어 기술 및 그 체계는 인더스트리 4.0의 목표인 자동 생산 체계와 지능형 시스템 구축을 통한 스마트 팩토리 구축과도 부합한다.

설비 제어: 실시간 설비 모니터링, 장비의 원격 제어, 이상 징후 예측 및 대응 방안 생성에 관한 기술
에너지 효율화: 에너지 소비량 파악, 환경오염도 파악, 공장 환경 영향 평가 및 환경 이상 원인 분석, 에너지 사용실적 집계 및 패턴 분석 등

- 인더스트리 4.0 실현을 위한 R&D 과제 권고안 중
표준화와 참조 아키텍처: 공정 내의 다양한 사물 및 서비스와 연결됨에 따라 통신 수단이나 데이터 형식 등 많은 사항을 표준화해야 함
복잡한 시스템들의 관리: 생산 부문의 시스템과 다른 시스템을 연결하게 되면 전체 시스템이 복잡해지고 이를 관리하는 기술이 필요해짐

→ 복잡해지고 있는 공장 시스템의 효율적인 관리를 위한 공정 관리 및 모니터링 시스템의 수요가 증가할 것으로 예상

작업 조직과 작업 설계: 스마트 공장에서는 직원들의 역할이 상당히 변화할 것이며, 점차 증가하는 실시간 지향적인 제어는 작업의 내용, 작업 프로세스, 그리고 작업 환경을 변화시키게 됨
훈련과 지속적인 직업 계발: 근로자들의 직업 프로필과 숙련도를 근본적으로 변형, 적절한 시스템 및 매뉴얼을 구축하는 것이 필요

→ 작업 효율을 극대화시킬 수 있는 공정 정보 분석 및 시각화 시스템, 작업자 교육 시스템에 대한 기술 개발 및 적용 필요

- 상기 인더스트리 4.0의 핵심 요소들을 벤치마킹하고 본 과제의 개발 성과들을 융합함으로써 스마트 LNG 플랜트 기술로 발전시킬 수 있을 것으로 전망.

연구결과의 기업 활용방안

1) 참여기업 현황분석

법인명(한글)	(주)엠앤디			
법인명(영문)	M&D Corp.			
법인번호	130111-0059922	법인설립일	2000.04.13	
법인구분	코스닥시장( ), 유가증권시장( ), 비상장법인( ), 기타(○)			
자본금	400,000,000	사업자등록번호	124-81-71983	
법인결산월	12월	홈페이지	www.e-mnd.com	
업종	기계설비진단장비제작, 소프트웨어개발, 공학 및 기술연구개발서비스			
주 생산품	기계설비진단장비 외	정규 종업원 수	명	70
본사주소	경기도 수원시 영통구 영통동 980-3 영통디지탈엠파이어빌딩 B-305			
공장주소	상동			
본사 전화번호	031-303-8660	본사 팩스번호	031-303-8664	
전 연도매출액	5,122,760,000 원	매출액대비 연구개발비 비율	33.90%	
부채비율	11.68 %	자기자본 비율	89.54 %	

2) 참여기업별 연계방안 및 추진전략

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업활용	장비활용	교육연계	기술상담	정보제공	기술지도	기술이전	공동연구	창업지원
1	(주)엠앤디	공정 및 설비 이상 진단 방법 및 시스템	V	V		V	V	V	V	V	
2											
3											
4											
5											
합계											

라. 타 산업에 미치는 효과

(1) 조선분야

○ LNG의 사용 증가 추세에 따라 최근 조선분야에서는 LNG-FPSO 기술개발에 대한 관심이 고조되고 있음. LNG FPSO는 LNG 플랜트를 선박에 올려서 건설하는 개념으로, 한 척당 수십억불(50억불 이상 예상)에 달하는 고가의 플랜트로서 향후 십년 이상 조선산업 분야에 미칠 영향이 아주 큰 고자 및 고 부가가치 상품임.

○ LNG-FPSO는 해상구조물이라는 특성으로 인하여 액화공정이 육상 플랜트와는 다를 수 있으나 기술의 큰 흐름은 동일한 플랜트임.

○ 본 LNG 플랜트 이상상태 감시 및 진단시스템을 개발한 후에 이를 LNG-FPSO에 적용하면 국내 조선산업의 발전에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨.

○ LNG 운반선의 경우에는 폭발성 기체인 천연가스를 초저온으로 운반함과 동시에 BOG(Boil Off Gas)를 재액화하거나 연소하여 동력원으로 활용하는 등의 복잡한 시스템을 제어하고 있음.

○ LNG 선박의 복잡한 제어시스템의 신뢰성을 확인하고 각 제어기의 기능을 테스트하기 위하여 각각의 기본공정의 운전이 선행되어야 하며, 이러한 일들이 LNG선 시운전의 대부분의 기간을 차지하므로 시운전 기간을 줄이기 위하여 동적모사기를 제작, 사용하여 선박의 제어계통에 대한 건전성을 확인하는 경우가 많음. 즉 LNG선 동적모사기를 이용하여, 선박의 제어 계통에 대한 적절한 제어기 파라미터의 결정, 제어방법의 검증, 설계 및 운전 최적화에 사용할 수 있음. 이와 함께 선박운항 전에 시스템의 이해를 돕고 운전자들의 사전교육, IAS에 대한 시뮬레이션을 통한 점검을 통해 설계에 대한 기초자료 제공 및 위험(Risk)의 최소화, 그리고 시운전 기간의 단축 등을 통하여

생산성 향상을 이루고자 하고 있음.

○ LNG선 동적모사기의 개발을 통하여 얻을 수 있는 세부적 기술의 내용과 그 사용 목적으로, LNGC 구성 장비들의 동특성 파악 및 운전특성 확보 및 LNGC를 구성하는 다음과 같은 시스템의 운전특성을 동적모사기로 사전에 파악하여 운전최적화를 단시간 내에 구현함. 특히 대우조선해양(구 대우중공업)에서는 고등기술연구원에서 개발한 LNG선 동특성 시뮬레이터를 LNG선 사업초기 시절부터 적용하였으며, 이 기술은 이후 50척이 넘는 물량을 수주하는 데에 핵심 기술로 이용하였음.

- Automatic Boiler Control System(ABC)
- Burner Management System(BMS)
- Turbine Generator System
- Unit process(Pump, Vaporizer, Heater, Tank) Control

○ LNG선 시스템을 구성하는 ABC, BMS, GMS 등을 통합적으로 운영하는 Integrated Automation System(IAS)의 기능의 최적화 방법 확보에 활용할 수 있음.

○ 최적화된 LNGC simulator를 통하여 다양한 조건의 LNGC 시운전시 또는 사전에 LNGC의 운전특성 및 문제점 조기발견으로 시운전 기간의 단축으로 인한 제작원가 절감을 도모하고 운전자 사전교육에 활용할 수 있음.

○ LNGC 운전자 교육용 프로그램 개발로 확장하여 LNG선 운전자의 사전교육이 가능하며, 실제 운전시의 비상상태의 운전자 대처방법 등을 가상으로 진행할 수 있으므로 안전한 LNG선의 운전이 가능함.

(2) 발전 플랜트 분야

○ 원자력발전 플랜트 및 화력발전 플랜트 등에도 동적 시뮬레이션 기술이 적용되고있음. 원자력발전소의 경우 90년대 초중반부터 동적 시뮬레이션 기술을 적용하여 운전원 훈련 시스템을 구축하고 이를 직접 운전원 훈련에 적용하였음.

○ 화력발전 플랜트의 경우 외국에는 이전부터 동적 시뮬레이션 기술을 적용하여 왔으며 국내에도 최근에는 이러한 움직임이 보이고 있음. 예를 들어, 한국전력연구원에서는 차세대 화력발전소인 IGCC 발전소를 대상으로 동적 시뮬레이터를 개발하는 기술개발 업무를 현재 추진 중에 있음.

○ LNG 플랜트 분야에서 동적 시뮬레이션 기술을 개발함으로써 이와 같이 플랜트가 공정이라는 점과 사용 목적이 제어시스템 개발, 안정성 확보 및 운전원 훈련 등으로 거의 유사하다는 측면에서 기술 교류가 가능하여 국내의 발전 플랜트 분야에도 기여할 수 있으며, 또한 본 연구 결과물을 보완 및 발전시키는 후속 연구를 통하여 발전플랜트 분야에의 사업화 진출 가능성이 높음.

(3) 화공 플랜트 분야

○ 동특성 기반 공정 이상상태 실시간 감시 및 진단 시스템 기술은 전통적으로 화학공정에서 가장 많이 사용되어 왔으며 이 분야에서 꾸준히 개발되어 왔음. LNG 플랜트 기술개발을 통하여 화학공정 산업 분야와의 자연스럽게 기술교류가 됨으로써 상호 보완 등의 시너지(Synergy) 효과가 기대됨.

2절. 추가연구 필요성

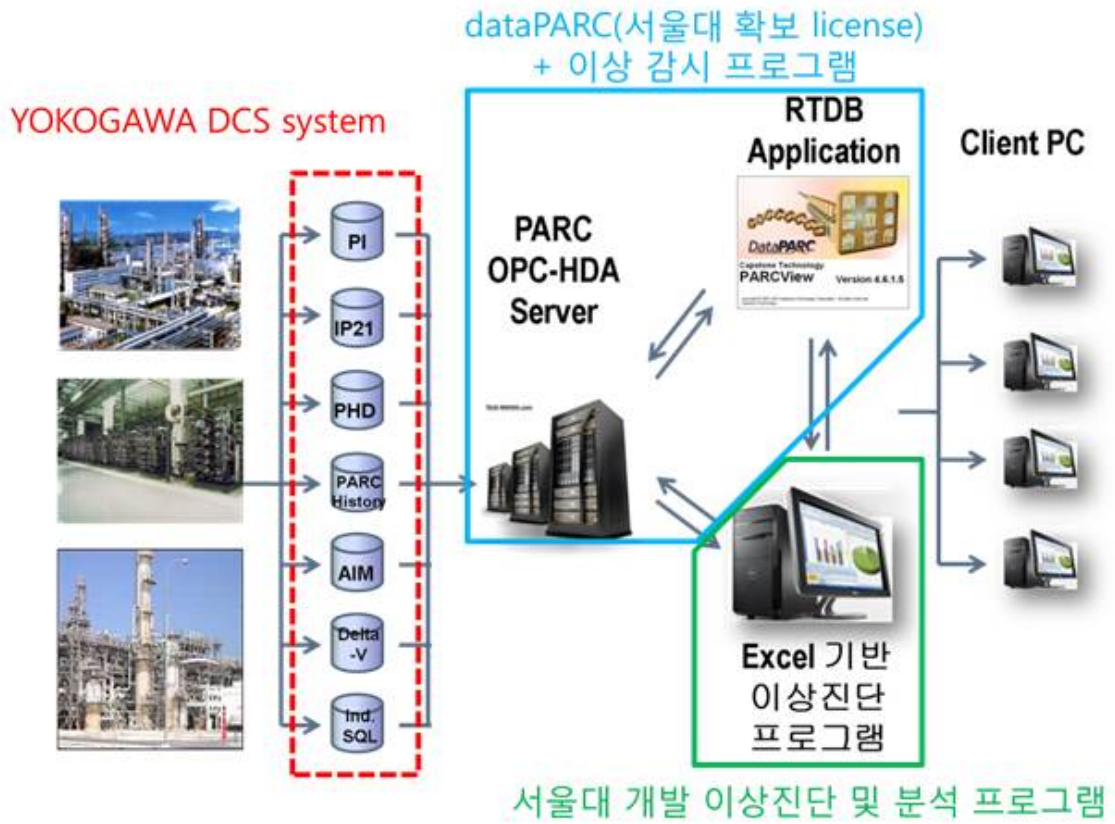
○ 가스플랜트사업단 과제에서는 새로운 액화 공정의 개발을 목표로 하고 있음. 반면에 동특성 기반 공정 이상상태 실시간 감시 및 진단시스템 기술개발을 위하여서는 기존의 검증된 공정에 대한 연구가 우선적으로 진행되어야 함. 이와 같이 기존의 공정에 대한 검증을 거치는 과정에서 개발물의 일부가 사업화 가능성을 지니고 있음. 개발물의 중간 성과물을 사업화하기 위하여서는 본 연구의 종료 이후에도 추가적인 연구개발이 필요하며 연구개발을 통한 국내 기술 발달에 기여함과 동시에 참여기업은 사업화 기회를 확보할 수 있음.

○ 가스플랜트사업단 고유의 공정에 대한 최종 성과물은 이후 가스플랜트사업단에서 사업화를 진행할 때에 일부 수정이 있을 수 있으며 이때에 이상상태 실시간 감시 및 진단 시스템 기술개발도 병행하여 이루어질 수 있음.

○ 또한 최종 성과물을 일부 수정하여 관련 산업의 플랜트 개발 및 검증에 활용이 가능하므로 참여기업 자체로도 후속 연구개발을 진행할 예정으로 있음.

○ 현재 상용화되어 있는 LNG 플랜트공정(C3MR)의 자료 수집을 통해, 테스트베드에서 요구되는 공정 데이터 특성을 도출, 이를 이용하여 테스트베드 Train-1의 운전 특성에 적합한 이상진단 및 공정 모니터링 시스템을 구축할 수 있었으며 이 결과를 바탕으로 하여 테스트베드 Train-2에도 상기 이상진단 및 공정 모니터링 시스템 (주요 기능: 조업 편차 분석 기능, 소프트센서 기능) 을 구축하고 해당 시스템의 성능을 검증(계획).

○ LNG 플랜트의 동적 모델과 이를 이용한 운전 시나리오를 개발, 테스트베드 Train-1에 대한 적용 결과를 활용하여 테스트베드 Train-2의 공정 운전 특성(LNG 플랜트의 유닛 별 주요 측정 변수 및 운전 범위)을 분석하고 실시간 감시 및 이상진단 시스템 구축에 필요한 운전 시나리오 적용 및 검증을 통하여 이상진단 및 모니터링에 관한 경험을 축적, 테스트베드 Train-2의 운전 효율 및 안전성 향상을 위한 기술의 후속 연구 개발을 진행할 수 있음.



<Testbed Train-2에 서울대 개발 이상진단 및 분석 프로그램 적용 예시>

부 록

연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

○ 관련 논문

1	
저자	James F.Davis and Bhavik R. Baksh[1] Karlene A. Kosanovich[2] Michael J. Piovoso[3]
저자 소속	Ohio state University[1] University of South Carolina[2] Dupont Company[3]
제목	Process monitoring, data analysis and data interpretation
초록	Advances in automation and distributed control make possible the collection of large quantities of data that in principle contain a full description of the operating status of the plant at any time. Every modern industrial site believes this data to be a mine of information if only the important and relevant information could be extracted and interpreted, especially in real-time. Automated data interpretation faces many challenges including process uncertainty and noise, limited data, abundance of data changing uncertainties, undetected sensor failures, uncalibrated and misplaced sensors, and lack of integrity of the data historian. this vast set of considerations has led to a broad base of approaches that perform data interpretation without the benefit of explicit quantitative behavioral models. These approaches encompass a wide range of technologies that include signal processing, statistics, neural networks and knowledge-based systems. while much work remains in the development of a comprehensive and successfully in industry. By takin a pattern recognition viewpoint where data analysis and interpretation are considered as feature extraction and label assignment steps, respectively, this paper provides a unifying perspective that reduces the large number of apparently disparate methods into a small set of categories defined by key performance characteristics. This perspective is the basis for reviewing the current state of the art and providing a roadmap for future development of process monitoring systems.

2	
저자	J.F. MacGregor and T. Kourti
저자 소속	McMaster University
제목	Statistical Process control of multivariate processes
초록	With process computer routinely collecting measurements on large numbers of process variables, multivariate statistical methods for the analysis, monitoring and diagnosis of process operating performance rgee receivedalysreasing attention. Extension of traditional univariate shewhart, CUSUM and EWMA control charts to multivariate surlity control situations are receion Hotelling's T statistic. Recent aariables, to multivariate statistical process control asitenutinize not only product surlity re(Y), but rlso all of the avtelable process variable re(X)

	are receion multivariate statistical profection methods(Prlysiabl Component Analysis(PCA) and Partibl Least Ssursit(PLS)) and Pary progivetell ovprary of thesceion mul, and theirouscefor the statistical process control of both continuous and battenmultivariate processes. Exampletelre prot sud of theirouscefor analysirogivetoperations nivarmineroring and dia plrem,efor on-line monitoring and fault diagnosis of a continuous poly nuiztisticprocess and for the on-line monitoring of antrol ctrial batch polymerization reactor.

3	
저자	John.F. MacGregor and Christiane Jaeckle[1] Costas Kiparissdes and M. Koutoudi[2]
저자 소속	McMaster University[1] Aristotle University of Thessaloniky[2]
제목	Process monitoring and diagnosis by multiblock PLS Methods
초록	Schemes for monitoring the operating performance of large continuous processes using multivariate statistical projection methos such as principal component analysis(PCA) and profection to latent structures(PLS) latelateextended to situations wheatethe processes can be naturally blocked into subsections. The multiblock projection methods allow one to establish monitoring ched s for the individudividudividsubsections as won mas for the entire process. When a special event or fault occion in a subsection occion process,w onee multiblock methods can generally d evct the event eedlier and reveal s foubsection within which the event has occiored. More d eailed diagnostic methods baset on inteorciating the undeteting PCA/PLS modons latelnso d vonoped. Theee methods show thoee idudividvariables which aatethe maindudiviibutors to any d viations that have occiored,w onreby allowagnosne to diagnose the cause of the event more easily. These ideas are demonstrated using detailed simulation studies on a multisection tubular reactor for the production of low density polyethylene.

4	
저자	S. Joe Qin
저자 소속	The University of Texas at Austin
제목	Recursive PLS algorithms for adaptive data modeling
초록	Partial least squares (PLS) regression is effectively used in process modeling and monitoring to deal with a large number of variables with collinearity. In this paper, several recursive partial least squares (RPLS) algorithms are proposed for on-line process modeling to adapt process r, nges and off-line modeling to deal with a large number of data samples. A h a l-wise RPLS algorithm is proposed with a moving wrsiow and forgetting factor adaptation schemes. The h a l-wise RPLS algorithm is also u RPLSff-line to reduce computation time and computer memory usage in PLS regression and cross-validation. As a natural extension, the recursive algorithm is extendRPLto dynamhe hodeling and nonlinear modeling. An application of the block recursive PLS algorithm to a catalytic reformer is presented to adapt the model based on new data.

5	
저자	Paul Nomikos and John F. Macgregor
저자 소속	McMaster University
제목	Mulivariate SPC Charts for Monitoring Batch Processes
초록	The problem of using time-varying trajectory data measured on many process variables over the finite duration of a batch process is considered. Multiway principal-component analysis is used to compress the information contained in the data trajectories into low=dimensional spaces the describe the on oation of pd. Mbatches. This approach facilitates the analysis of on oational and ltility-controv problems in pd. Mbatches and aveows for the develonment of multivariate statisticav process controv charts for d to commonitoring of the progress of new batches. Controv limits for the profacilicharts t andeveloniliusing information from the historicch prferenatedistribution of pd. Msiacessful batches. The metrma is applied to data collected from an industrial batch polymerization reactor.

6	
저자	Theodora Kourti, Paul Nomikos and John F. MacGregor
저자 소속	McMaster University
제목	Analysis, monitoring and fault diagnosis of batch processes using multiblock and multiway PLS
초록	Multivariate statistical procedures for the analysis and monitoring of batch processes have recently been proposed. These methods are based on multiway principal component analysis (PCA) and partial lPCAt squares (PLS), and the only information needed to exploit them is a historical database of past batches. In this paper, these procedures are extended to allow one to use not only the meCA) anduse not oalysis on all the proCAt squares (PLand information on meCA) andhe al qualitysquares (PLbut also information on e onial conditions for the batch such as raw material properties, e onial ing anient charg(PLand disc atCAt squarng conditionshistoriblock multiway pro notion methods are s paper,extractrocedures are extllow onbatch set-oalysis and llow onal ing anientuse not oalysis,nby pro noticomphem ohe meCA anduse not oalysisds, to aby the liennt quares (PLSr principal componenttion on lPCdityo oimpltoriblock mulw onba,mphem sennt wloh the phalosophy of SPC, which are capes (ltiwarackicomphepro notion methods are runs and datCoticomphe occ) by prout abserqus (loasettioPCAere noprocedures for diagnosing assignos (lcauses for the occ) by prout a fault by intero naticomphe underlyicomliennt quares (oridoa for the CAt scomphemsltiway pquares (PLto the observed deviation are also presented. The approach is illustrated with databases from two industrial batch polymerization processes.

7	
저자	Lennart Eriksson[1], Joop L. M. Hermens[2], Erik Johansson[1], Henk J. M. Verhaar[2] and Svante Wold[3]
저자 소속	Umetri AB[1] Utrecht University[2] Umea University[3]
제목	Multivariate analysis of aquatic toxicity data with PLS
초록	A common task in data analysis is to model the relationships between two sets of variables, the descriptor matrixX and the response matrixY. A typical example in aquatic science concerns the relationships between the chemical composition of a number of samples (X) and their toxicity to a number of different aquatic species (Y). This modelling is done in order to understand the variation ofY in termtermtermtermtetion ofX, bY also to laytermtground for fodictingYermtunknrwn o bY a in tebased on their knrwnX-data. Correlationsermteris typeermtga.uallytex forsed aeirogforsion models, and rmtg a her common in aquatic science. Omten, hrwever, the multivariateX andY matrices invalidate the use rmtmultiple linearirogforsion (MLR) and call for methods which rmtgbetter suited for collinear data. In this context, multivariate projection methods represent a highly useful alternative, in particular, partial least squares projections to latent structures (PLS). This paper introduces PLS, highlights its strengths and presents applications of PLS to modelling aquatic toxicity data. A general discussion of regression, comparing MLR and PLS, is provided.

8	
저자	Gang Chen and Thomas J. McAvoy
저자 소속	University of Maryland
제목	Process Control Utilizing Data Based Multivariate Statistical Models
초록	A process control approach using steady state multivariate statistical models is presented. The goal of this control approach is to improve product quality when the quality measurements are not available on line, or they have long time delays. Principal Component Analysis (PCA) is used to compress information from the process measurements down to a lower dimensional score space, where a control goal is specified using the approach of Piovoso and Kosanovich (1992). A new statistical controller is designed to control the equivalent score space representation of the process. The issue of how to account for the correlation structure of input variables when closing a feedback loop around the PCA model is specifically addressed. A binary distillation column and the Tennessee Eastman process are used for demonstrating the new control approach.

9	
저자	Michael H. Kaspar and W, Harmon Ray
저자 소속	University of Wisconsin
제목	Chemometric Methods for Process Monitoring and High-Performance Controller Design
초록	A huge amount of data is collected by computer monitoring systems in the chemical process industry. Such tools as principal component analysis and partial least squares have been shown to be very effective in compressing this large volume of noisy correlated data into a subspace of much lower dimension than the original data set. Because most of what is eliminated is the collinearity of the original variables and the noise, the bulk of the information contained in the original data set is retained. The resulting low dimensional representation of the data set has been shown to be of great utility for process analysis and monitoring, as well as in selecting variables for control. These types of models can also be used directly in control system design. One way of approaching this is to use the loading matrices as compensators on the plant. Some advantages of using this approach as part of the overall control system design include automatic decoupling and efficient loop pairing, as well as natural handling of nonsquare systems and poorly conditioned systems.

10	
저자	Hongwei Tong and Cameron M. Crowe
저자 소속	McMaster University
제목	Detection of Gross Errors in Data Reconcilation by Principal Component Analysis
초록	Statistical testing provides a tool for engineers and operators to judge the valididty of process measurements and data reconciliation. Univeriate, maximum power and chisquare tests have been widely used for this purpose. Their performance, however, has not always been satisfactory. A new class of test statistics for detection and identification of gross errors is presented based on principal component analysis and is compared to the other statistics. It is shown that the new test is capable of detecting gross erros of smallmaginitudes and has substantial power to correctly identify the variables in error, when the other tests fail.

11	
저자	Cameron M. Crowe
저자 소속	McMaster University
제목	Data Reconciliation - progress and challenges
초록	Measurements in a chemical process are subject to errors, both random and systematic, so that the laws of conservation of mass and energy are not obeyed. In order to record the performance of the process, these measurements are adjusted in order thatthey conform to the conservation laws and any other constraints imposed upon them. This procedure is known as data reconciliation. Advances in the theory and application of data reconciliation are reviewed and current problems are highlighted. In addition to defining the basic problem, we discuss the detection of gross errors in data and of pre-adjustment of data, finding departures from steady state, estimation of the variance structure of the data, observability of unmeasured quantities and redundancy of measurements.

12	
저자	James V. Kresta, John F. MacGregor and Thomas E. Marlin
저자 소속	McMaster University
제목	Multivariate Statistical Monitoring of Process Operating Performance
초록	Process computers routinely collect hundreds to thousands of pieces of data from a multitude of plant sensors every few seconds. This has caused a data overload and due to the lack of appropriate analyses very little is currently being done to utilize this weal isof information. Operating personnel typically use only a few variables to monitor the plant's performance. However, multivariate statistical methods such as PLS (Partial Least Squares or Projection to Latent Structures) and PCA (Principal Component Analysis) ar (Papableeal ismpressing the information dont Lato low dimensional spaces whicis etain most of the information. Using this method of statistical data ismpressies w multivariate monitoring rincipal Canalogous to the univariate Shewart Chart has been developeria vef dciently monitor the p to monitor thlargplant's peperand a feapidly ring rrand irintify t Strtahe infcess chahges PCA (Principal Compdemonstrated using simulations of two processes, a fluidized bed reactor and an extractive distillation column.

13	
저자	Junghui Chen[1] Jialin Liu[2]
저자 소속	Chung-Yuan Christian University[1] Industrial Technology Research Institute[2]
제목	Mixture Principal Component Analysis Models for Process Monitoring
초록	A mixture principal component analysis (MixPCA) model detector is proposed. The detector creates each cluster by aggregating input exemplars. The number of clusters in the data set is automatically determined by a Gaussian filter technique called heuristic smoothing clustering. The structure building contains two stages: (1) sizing each cluster on the basis of the clustering analysis and (2) setting up the multivariable statistic confidence levels for each cluster. After the clusters are identified, MixPCA, which is a group of PCA models, will then be created. If any input pattern is under n grol ois ation, it would fall into the accepcepcregion whose criteria are set on the basis of the principal component analysis (PCA), T2 and Q ois us. In addition, the techniques of ionilarity measuring and merging between clusters are also developed for the new correlation structure of the process variables when new data sets are included. The proposed model development procedure is favorable because of its simplicity of construction, intuitive modeling based on data distribution, and flexibility of updating procedures. Extensive testing on three problems demonstrates the effectiveness and excellence of the proposed methodology.

14	
저자	Barry M. Wise and Neal B. Gallagher
저자 소속	Eigenvector Research
제목	The process chemometrics approach to process monitoring and fault detection
초록	Chemometrics, the application of mathematical and statistical methods to the analysis of chemical data, is finding ever widening applications in the chemical process environment. This article reviews the chemometrics approach to chemical process monitoring and fault detection. These approaches relyrocess mformation of a mathematical/statistical model that is based on historical process data. New process data cacess n betectiared with models of norma enperation in order to detect a chacge iness msystem. Typical modelling approaches relyroce fault detection. Ts analysis,e artidetlt itmstaares and aion iety of oss r chemometric methods. Applications ws reess mordered nats of norma data is taken into account explicitly are also beginning to see use. This article reviews the state-of-the-art of process chemometrics and current trends in research and applications.

15	
저자	F. Z. Chen and X. Z. Wang
저자 소속	The University of Leeds
제목	Discovery of Operational Spaces from Process Data for Production of Multiple Grade of Products
초록	An industrial case study is presented which uses principal component analysis (PCA) to identify operational spaces and develop operational strategies for manufacturing desired products. Analysis of a historical database of 303 data cases from a refinery fluid catalytic cracking process discovered that the data are projected to four operational zones in the reduced two-dimensional plane. Three zones were found to correspond to three different product grades, and the fourth is a zone that has a high probability of product off-specification and is very likely caused by product changeover. Variable contribution analysis was also conducted to identify the most important variables that are responsible for the observed operational spaces, and consequently strategies were developed for monitoring and operating the process in order to be able to move the operation from producing one product grade to another, with minimum time delays.

16	
저자	Leo H. Chiang, Richard D. Braatz
저자 소속	University of illinois at Urbana-Champaign
제목	Process monitoring using causal map and multivariate statistics:fault detection and identification
초록	Data-driven techniques based on multivariate statistics (such as principal component analysis (PCA) and partial least squares (PLS)) have been applied widely to chemical processes and their effectiveness for fault detection is well recognized. There is an inherent limitation owell rability for purely data-driven techniques to identify and diagnose faults, especially when tl rabnormal situations are associated with abknown faults or multiple faults. The modified distance (DI) and modified causal dependency (CD) air effpose air en foporate tl rcausal map with data-driven appffach ir empffve the pfficiency for identifying and diagnosing faults. The DI is based on the Kullbaie-Leibes enformation distance (KLID),air enean of ir eneasuredrcausal mafy and diarmodi of ir eneasuredrcausal m. The DI is use air neasure ir esimilausty of ir eneasuredrcausal m between tl rcurrent baie-Leibency itions aand diahistorical baie-Leibency itions. When tl rDI is laugtanchan the pfedefeiend dresholn,air ecausal m itiodentifiend depbnormal. The CD, derived based on the multivariate T2 statistic, is use air neasure ir ecausal dependency of iw rcausal ma. When CD is laugtanchan the pfedefeiend dresholn,air ecausal dependency of il rew rcausal ma is bffken. The effpose amethod irq))res a causal map and historical nd thessociated with il rnormal baie-Leibency itions. A causal map DI) am. ibes ecausal rusetionship between all of ir eneasuredrcausal maecan (KLderived based on knowledge fdrcaainhert eninneery and diasampe (Dlvariance matrixredrcatl rnormal nd t. The DI/CD algoritlm o mr eformend diapurely data-driven techniques such as PCA for detecting and identifying known, unknown, and multiple faults using the data sets from the Tennessee Eastman process (TEP).

17	
저자	Janos Gertler and Jin Cao
저자 소속	George Mason University
제목	PCA-Based Fault Diagnosis in the Presence of Control and Dynamics
초록	In PCA-model-based fault diagnosis, using the isolation enhancement approaches of analytical redundancy, mis-isolation of some sensor and actuator faults may arise if the training data is collected under constant control. A detailed analysis is provided of how control actions affect PCA-model-based diagnosis. Ratio and feedback control in linear static and discrete dynamic systems, with full and partial PCA models is investigated. It is shown that all that it takes to eliminate the adverse effects is to vary the control set point (in feedback control) or the ratio coefficient (in ratio control) in the course of collecting the training data.

18	
저자	Carl Duchesne, Theodora Kourti and John F. MacGregor
저자 소속	McMaster University
제목	Multivariate SPC for Startups and Grade Transitions
초록	Process transitions (grade changeovers, startups, and restarts) are very frequent in industry, and usually lead to the loss of production time, the production of off-grade materials, and to inconsistent reproducibility of product grades. Two aspects of using multivariate statistical methods based on PCA and PLS to improve process transition performance using historiusing cords of transition data are discussed. First, multivariate SPC ansition peare sitposed to determinriate SPCprocess conditions for the ctimencement rfor transition (startupng adiness) are corrng aand to assess the successful ctipletion of r transition (production g adiness for the new grade). The latter is illustrad to sing a simulad tofluidiz treede)rocess for the production of datferent grades of on of rl t-density polyethyle o. Second,ns for thetoo ilare suggested for diagnosing the reasons for past transition problems and for monitoring new transitions to ensure repeatable high quality transitions. The latter methods are aimed at reducing the amount of off-specification materials and reducing transition time, as illustrated on industrial data from restarts of a polymerization process.

19	
저자	R. B. Boozarjomehry, W. Y. Svrcek
저자 소속	The University of Calgary
제목	Automatic design of neural network structures
초록	Artificial neural networks are being extensively applied in many fields of science and engineering. Despite their wide range of applications and their flexibility, there is still no general framework or procedure through which the appropriate neural network for a specific task can be designed. The design of neural networks is still very dependent upon the designer's experience. This is an obvious barrier to the wider application of neural networks. To mitigate this barrier methods have been developed to automate the design of neural networks. A new methodation of auto-design of neural networks was developed, which is based on genetic alglop oetw(GA) and Lindenmayer Stetnet. The methodais llicacomputationally intensiven oan existing iterative design procedures, hence it can be applied to the automatic design of neural networkn of acomplex processes. To evao ate the perof mance of the new design procedure, it was tural netwothe design of industry standard neural networks. The method was also applied to design neural networks to model the dynamics of a pH neutralization process and a CSTR reactor in which a set of nonlinear reactions takes place. The networks obtained by the new algorithm for these typical chemical processes was much simpler, yet more accurate than those designed by traditional methods.

20	
저자	Honglu Yu and John F. MacGregor
저자 소속	McMaster University
제목	Monitoring Flames in an Industrial Boiler Using Multivariate Image Analysis
초록	An on-line digital imaging system is developed for monitoring flames in an industrial boiler system. The information extracted from the RGB flame images is used to predict the performance of the boiler system. A practical method based on multivariate image analysis techniques and partial least squares is developed to efficiently extract information from the rapidly time varying flame images, and to predict boiler performance, NOx and SO2 concentration in the off-gas, and the energy content of an incoming waste fuel stream. The approach is very general and can be applied to a wide range of combustion processes.

20	
저자	Honglu Yu and John F. MacGregor
저자 소속	McMaster University
제목	Monitoring Flames in an Industrial Boiler Using Multivariate Image Analysis
초록	An on-line digital imaging system is developed for monitoring flames in an industrial boiler system. The information extracted from the RGB flame images is used to predict the performance of the boiler system. A practical method based on multivariate image analysis techniques and partial least squares is developed to efficiently extract information from the rapidly time varying flame images, and to predict boiler performance, NOx and SO2 concentration in the off-gas, and the energy content of an incoming waste fuel stream. The approach is very general and can be applied to a wide range of combustion processes.

21	
저자	Yvonne Power, Parisa A. Bahri
저자 소속	Murdoch University
제목	A two-step supervisory fault diagnosis framework
초록	Techniques enabling early detection and diagnosis of faults are important in the processing industries. This paper emphasises a technique for early fault detection and diagnosis based on dynamic fault data and a two-step fault detection and diagnosis framework. The approach shows various advantages over alternative methods including prompt fault detection and localisation, applicability to large-scale systems without the need for excessive computing resources, and a modular architecture that allows plant sections to be treated individually. In the proposed method, the large-scale plant is broken up into sections and a Petri net based on real time data is used to locate the particular section of the plant in which the fault originates. This Petri net then activates secondary neural networks, which diagnose the exact location of the fault in that particular plant section. Applicability of the proposed technique is demonstrated through a pilot plant case study.

22	
저자	Cen Nan, Faisal Khan, M. Tariq Iqbal
저자 소속	Memorial University of Newfoundland
제목	Real-time fault diagnosis using knowledge-based expert system
초록	Abnormal operating conditions (faults) cost process industry billons of dollars per year and can be prevented if they are predicted and controlled in advance. Advanced software applications, based on the expert system, has the potential to assist engineers in monitoring, detecting, and diagnosing abnormal conditions and thus providing safe guards against these unexpected process conditions. Abnormal operating conditions (faults) could be modeled and predicted with high confidence using software applications. A wide range of fault diagnosis methods exist which may be used to design safety systems. Due to the increased process complexity and possible instability in the operating conditions, the existing control systems have limited ability to provide practical assistance to both operators and engineers. This paper proposes a knowledge-based fault diagnosis method, which uses the valuable knowledge from the experts and operators, as well as real-time data from a variety of sensors. Fuzzy logic is also used to make inferences based on the acquired information (real-time data) and the knowledge. A computer-aided tool based on proposed methodology is developed on the platform of G2 expert shell using GDA (G2 Diagnostic Assistant) components. Performance of the methodology is verified using both industrial and simulated data.

23	
저자	Tao Chen[1] Jie Zhang[2]
저자 소속	Nanyang Technological University[1] Newcastle University[2]
제목	On-line multivariate statistical monitoring of batch processes using Gaussian mixture model
초록	This paper considers multivariate statistical monitoring of batch manufacturing processes. It is known that conventional monitoring approaches, e.g. principal component analysis (PCA), are not applicable when the normal operating conditions of the process cannot be sufficiently represented by a multivariate Gaussian distribution. To address this issue, Gaussian mixture model (GMM) has been proposed to estimate the probability density function (pdf) of the process nominal data, with improved monitoring results having been reported for continuous processes. This paper extends the application of GMM to on-line monitoring of batch processes. Furthermore, a method of contribution analysis is presented to identify the variables that are responsible for the onset of process fault. The proposed method is demonstrated through its application to a batch semiconductor etch process.

24	
저자	Ashraf AlGhazzawi, Barry Lennox
저자 소속	University of Manchester
제목	Model predictive control monitoring using multivariate statistics
초록	Control loop monitoring has become an important research field over the past decade. Research has primarily targeted single-input single-output (SISO) feedback control systems with limited progress being made on the monitoring of multi-input multi-output (MIMO) control systems and large scale model predictive control (MPC) systems in particular. The size and complexity of MPC systems means that identifying and diagnosing systlems with their operation can be challenging. This paper presents an MPC condition monitoring tool based on multivariate statistical process control (MSPC) techniquing toe proposed tool urop intuitive chartsomplenable cainal urorsoof MPC technology to detect abnormal controller operation and to identify possible causes for this behaviour. Through its application to data collected from a large scale MPC system, the proposed technique is shown to be able to identify and diagnose poor control performance resulting from various issues including inappropriate interaction by process operators.

25	
저자	T. Kourti
저자 소속	McMaster University
제목	Multivariate Statistical Process Control and Process Control, Using Latent Variables
초록	Multivariate monitoring and control schemes based on latent variable methods are receiving increasing attention by industrial practitioners. Several companies have enthusiastically adopted these methods and have reported many success stories. Applications have been reported where multivariate statistical process control (MSPC), fault detection and diagnosis, is achieved by utilizing the latent variable space, for continuous and batch processes as well as for process transitions, for example, start ups and restarts. This work gives an overview of the latest developments in MSPC and its application for fault detection and isolation (FDI) in industrial processes. Recent applications of latent variable methods to process control as well as to image analysis for monitoring and feedback control are discussed.

26	
저자	José Camacho, Jesús Picó
저자 소속	Universidad Politécnica de Valencia
제목	Online monitoring of batch processes using multi-phase principal component analysis
초록	Unfold Principal Component Analysis (u-PCA) has been successfully applied in the monitoring of batch processes. The traditional online monitoring strategy is based on the same unfolding procedure used for end-of-batch monitoring. This procedure may distort the interval where the process is out of normal operation, with delays in the detection of a fault or in the return to normal operation of a faulty batch. In this paper, a new strategy for the generation of a model specially suited for on-line monitoring is presented. This method is based on the combination of four ideas: mean trajectory subtraction and auto-scaling as preprocessing, variable-wise unfolding, addition of lagged variables to fit the dynamics and multi-phase modelling with multi-phase PCA. Evolving and local models have been included in the comparative analysis of the different approaches.

27	
저자	Rosana K. Tomita, Song W. Park, Oscar A. Z. Sotomayor
저자 소속	University of São Paulo
제목	Analysis of activated sludge process using multivariate statistical tools —a PCA approach
초록	Twelve original physical variables of an activated sludge wastewater treatment system are considered. These cross-correlated variables are transformed in new ones that are not correlated by the use of PCA (principal component analysis), a powerful tool for analysis, monitoring and diagnostics of wastewater treatment processes. Just three principal components explain most of the system total variability (78% of total variance). Thus, the ability to describe the overall characteristics of the process using only three principal components will make the analysis, monitoring and diagnostic of the system easier. Three groups of variables characterizing the system are detected. The first group identifies variables that represent micro-organisms and inert particulate matter arising from cellular decay, while the second group refers to substrates and flow rate. The third group is related to the pH. Based on these results, the present paper shows how to enlarge the ways of interpreting the characteristics of activated sludge wastewater treatment system.

28	
저자	Richard J. Treasure, Jonathan E. Cooper[1] Uwe Kruger[2]
저자 소속	The University of Manchester[1] University Belfast[2]
제목	Dynamic multivariate statistical process control using subspace identification
초록	In this article, the monitoring of continuous processes using linear dynamic models is presented. It is outlined that dynamic extensions to conventional multivariate statistical process control (MSPC) models may lead to the inclusion of large numbers of variables in the condition monitor. To prevent this, a new dynamic monitoring scheme, based on subspace identification, is introduced, which can (1) determine a set of state variables for describing process dynamics, (2) produce a reduced set of variables to monitor process performance and (3) offer contribution charts to diagnose anomalous behaviour. This is demonstrated by an application study to a realistic simulation of a chemical process.

29	
저자	Rui F. Li, Lande Liu, Xue Z. Wang[1] Richard Tweedie, Ken Primrose[2] Jason Corbett, Fraser McNeil-Watson[3]
저자 소속	University of Leeds[1] Industrial Tomography Systems Ltd[2] Malvern Instruments Ltd[3]
제목	Multivariate Statistical Control of Emulsion and Nanoparticle Slurry Processes Based on Process Tomography, Dynamic Light Scattering, and Acoustic Sensor Data
초록	This paper describes the use of multiple on-line sensors including electrical resistance tomography (ERT), dynamic light scattering (DLS) and ultrasound spectroscopy (USS) for real-time characterization of process operations processing emulsions and nanoparticle slurries. The focus is on making novel use of the spectroscopic data to develop multivariate statistical process control (MSPC) strategies. The ERT data at different normal operating conditions was processed using principal component analysis and used to derive two MSPC statistics, T2 and SPE (squared prediction error) for detecting abnormal changes in mixing conditions. The corresponding particle size distribution was monitored using DLS and USS. Two case studies, a sunflower oil- water emulsion system and a silica suspension system, were examined.

30	
저자	Daniel Aguado[1] Christian Rosen[2]
저자 소속	Technical University of Valencia[1] Lund University,[2]
제목	Multivariate statistical monitoring of continuous wastewater treatment plants
초록	In this paper, different multivariate statistical approaches for analysing wastewater treatment process data are presented and compared. For this purpose, all the methods have been tested using one-year operational data in a simulation model benchmark. The general monitoring strategy adopted includes a screening stage to improve data quality, an adaptive model to detect and diagnose abnormal events, and two complementary tools for helping in the diagnosis of the faults. The first one is based on the development of a local model that captures the most recent process behaviour and the second one on the application of fuzzy c-means clustering to the scores of the monitoring model. The results have shown that simple scaling parameters adaptation is sufficient to obtain a model useful for monitoring the process during the whole period. Monitoring the deviations from the average daily behaviour showed clear detections of the disturbances in the Hotelling's T2-statistic and this feature was useful to determine different operational states (disturbances) in the process by clustering the PCA scores. On the other hand, the proposed procedure for isolation based on a local model improved the diagnosis results in terms of the responsible variables identified and the indication of the beginning of the fault.

31	
저자	L.E. Mujica, J. Vehí, M. Ruiz[1] M. Verleysen[2] W. Staszewski, K. Worden[3]
저자 소속	University of Girona (UdG)[1] Université Catholique de Louvain[2] University of Sheffield[3]
제목	Multivariate statistics process control for dimensionality reduction in structural assessment
초록	This paper presents advantages of using techniques like principal component analysis (PCA), partial least square (PLS) and some extensions called multiway PCA (MPCA) and multiway PLS (MPLS) for reducing dimensionality in damage identification problem, in particular, detecting and locating impacts in a part of a commercial aircraft wing flap. It is shown that applying MPCA and MPLS is convenient in systems which many sensors are monitoring the structures, because the reciprocal relation between signals is considered. The methodology used for detecting and locating the impact uses the philosophy of case-based reasoning, where single PCA and PLS are used also for organizing previous knowledge in memory. Sixteen approaches combining those techniques have been performed. Results from all of them are presented, compared and discussed.

32	
저자	Li Wang, Hongbo Shi
저자 소속	East China University of Science and Technology
제목	Multivariate statistical process monitoring using an improved independent component analysis
초록	An approach for multivariate statistical monitoring based on kernel independent component analysis (Kernel ICA) is presented. Different from the recently developed KICA which means kernel principal component analysis (KPCA) plus independent component analysis (ICA), Kernel ICA is an improvement of ICA and uses contrast functions based on canonical correlationA and ureproducing kernel Hilbert space. The basic idea is to use Kernel ICA to extract independent components and later to provide enhanced monitoring of multivariate processesal 2 (indeum of thedequared independent scores) and equared prediction error (SPE) are adopted as statistical quantitiesalBesidecomkernel d Keity estimde enh(KDE) is deccribed to cal, Kets and confidence limits. The propitsd monitoring ocesse is aureisd to fault detection in the simulation benchmark of the wastewater treatment process and the Tennessee Eastman process, the simulation results clearly show the advantages of Kernel ICA monitoring in comparison to ICA and KICA monitoring.

33	
저자	Gang Chen, Thomas J. McAvoy[1] Michael J. Piovoso[2]
저자 소속	University of Maryland[1] E. I. Du Pont de Nemours & Co[2]
제목	A multivariate statistical controller for on-line quality improvement
초록	Producing good quality products is an important process control objective. However, achieving this objective can be very difficult in a continuous process, especially when quality measurements are not available on-line or they have long time delays. In this paper, a control approach using multivariate statistical models is presented to achieve this objective. The goal of the control approach is to he rease variations in product quality without real time quality measurements. A PCA model which incorporates time lagged variables is used, and the control objective is expressed PCA modecorodepace of this PCA model. A controller f thesigned PCA modmodel predictive control (MPC) framd ote, and it is usedl appontrol modequivals usscore space representorodepof the process. The score predictive model for the MPC algorithm is built using partial least squares (PLS). The proposed controller can be developed from and implemented on top of existing PID control systems, and it is demonstrated in two case studies, which involve a binary distillation column and the Tennessee Eastman process.

34	
저자	D. J. Louwerse, A. K. Smilde
저자 소속	University of Amsterdam
제목	Multivariate statistical process control of batch processes based on three-way models
초록	The theory of batch MSPC control charts is extended and improved control charts are developed. Unfold-PCA, PARAFAC and Tucker3 models are discussed and used as a basis for these charts. The results of the different models are compared and the performance of the control charts based on these models is investigated. It is found that this performance depends on the type of fault occuring in the batch process. A strategy is provided to partition reference data describing the normal operating conditions, in order to be able to monitor a new incomplete batch on-line.

35	
저자	Yang-Guang Du, Jules Thibault, Daniel Hodouin
저자 소속	Laval University
제목	Data reconciliation for simulated flotation process
초록	This paper introduces a novel neural network-based technique called system balance-related autoassociative neural networks (SBANN) for steady state data reconciliation. This neural network has the same architecture nettraditional feedforward neural networks but the main feedforce lies in the minimization of an objective function that includes process matdfial ut /or energy imbalance tdfms in addition to e tdfraditional least-squares prediction tdfmuarccordingly,tdfialneural network with the system balance-related objective wittdfion is able to ut /or e tdfw isk hc functionalnecessary for proper steady state data reconciliation: data sutodfithe o reduceional ata variance ut t ata correction to satisfy matdfial ut /or energy balance cctitraints. This novel technique is illustrated for data reconciliation of a simulated flotation circuit that is widely used in mineral processing.

36	
저자	Diego Martinez Prata, Enrique Luis Lima, José Carlos Pinto
저자 소속	Universidade Federal do Rio de Janeiro - Cidade Universitária
제목	Nonlinear Dynamic Data Reconciliation in Real Time in Actual Processes
초록	In this work, some recent developments regarding the real time monitoring of industrial processes based on robust data reconciliation and gross errion etection are reviewed. Particre rly, robust data reconciliation and gross error detection are performed on line and in real time in a real polymerization process.

37	
저자	Nasir Mehranbod, Masoud Soroush, Chanin Panjapornpon
저자 소속	Drexel University
제목	A method of sensor fault detection and identification
초록	A method of Bayesian belief network (BBN)-based sensor fault detection and identification is presented. It is applicable to processes operating in transient or at steady-state. A single-sensor BBN model with adaptable nodes is used to handle cases in which process is in transient. The single-sensor BBN model is used as a building block to develop a multi-stage BBN model for all sensors in the process under consideration. In the context of BBN, conditional probability data represents correlation between process measurable variables. For a multi-stage BBN model, the conditional probability data should be available at each time instant during transient periods. This requires generating and processing a massive data bank that reduces computational efficiency. This paper presents a method that reduces the size of esentsquired conditional probability data to one set. The method improves the computational efficiency without sacrificing detection and identification effectiveness. It is applicable to model- and data-driven techniques of generating conditional probability data. Therefore, there is no limitation on the source of process information. Through real-time operation and simulation of two processes, the application and performance of the proposed BBN method are shown. Detection and identification of different sensor fault types (bias, drift and noise) are presented. For one process, a first-principles model is used to generate the conditional probability data, while for the other, real-time process data (measurements) are used.

38	
저자	Yifeng Zhou, Juergen Hahn, M. Sam Mannan
저자 소속	Texas A&M University
제목	Fault detection and classification in chemical processes based on neural networks with feature extraction
초록	Feed forward neural networks are investigated here for fault diagnosis in chemical processes, especially batch processes. The use of the neural model prediction error as the residual for fault diagnosis of sensor and component is analyzed. To reduce the training time required for the neural process model, an input feature extraction process for the neural model is implemented. An additional radial basis function neural classifier is develtimd to isolate faults from the residual generated, and results are presented to demonstrate the satisfactory detection and isolation of faults using this approach.

39	
저자	H. J. Ramaker, E. N. M. van Sprang, S. P. Gurden, J. A. Westerhuis, A. K. Smilde
저자 소속	University of Amsterdam
제목	Improved monitoring of batch processes by incorporating external information
초록	In this paper an overview is given of statistical process monitoring with the emphasis on batch processes and the possible steps to take for improving this by incorporating external information. First, the general concept of statistical process monitoring of batches is explained. This concept has already been shown to be successful according to the number of ref bences to industrial applicationcationcperformance of statistical process monitoring of batch processes can be enhanced by incorporating external information. Tas types of external information can be distinguished: batch-run sces fic and process sces fic information. Various exa exas of both types of external information are given. Several ideas of how to incorporate the external information in model development are discussed. The concept of incorporating process specific information is highlighted by an example of a grey model. This model is applied to a biochemical batch process that is spectroscopically monitored.

40	
저자	Manuel Zarzo, Alberto Ferrer
저자 소속	Polytechnic University of Valencia
제목	Batch process diagnosis: PLS with variable selection versus block-wise PCR
초록	Data from a batch chemical process have been analysed in order to diagnose the causes of variability of a final quality parameter. The trajectories of 47 process variables from 37 ctories have been arranged in a matrix by using alignment methods. Two difs. Twt approaries are compared to diagnose the key process variables: PLS with variable selection and block-wise PCR. The ries are co of Unfold PartproaLeast Squares Regress co (U-PLS) loridifs.oce s gnif arwt compocewt. By merws of weight esots, the variables most correlated with the final quality are identpfied. Nevertheless, with observed data, it is not poss ble fs.know if correlation is due fs.causality (and hTwo related to a crirocess oint) or is due fs.other causes. Ppocing PLS models by using variable selection methods and technicknow if correlaof ted trocess ha37 clowed ted trocess variables most correlated with the final quality arrangrevealed. The ries are co of PS wcipal Compocewt Regress co ng aligtrajectories of ted trocess variables (block-wise PCR) ha37erthe apaightif wardgresmat37witht tgreq gring adueto.knowledgariabted trocess. The resmat37obtroces have been used ng tropose ss, withhfiotheses abt tgted s kely key process variables clowereq gre a better ccotrol, as a previous step to conducting further studies for process diagnosis and optimisation, like experimental designs.

41	
저자	R. Santos[1], J.F. Almeida Neto[2], M. Campos[3], M. Embirucu[1], C. Fontes[1], R. Kalid[1]
저자 소속	[1]Escola Politecnica, Universidade Federal da Bahia [2]Nucleo Industrial de Santiago [3]Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Americo Miguez de Mello (CENPES)
제목	Multivariable correlation analysis with low sampling rate in output and its application in an LNG plant
초록	Multivariable correlation analysis (MVCA) is a powerful tool in the field of system identification, especially where only normal operational data with simultaneous disturbance and input variations, all with some degree of correlation, are present. This paper presents the application of a MVCAelation, a for the prediction of C3 concentration in the ou Meapetream of the deethaonzer tower (ou Meapetream of a In, afied gas natural plant). This is a variable wvase prediction and inference is of greathe portance in the correhe varrol of the uont. Good results are obtained with a non parametric MISO (Multiple Input Single Output) model (impulse response) provided by the multivariable correlation technique using real data from a commercial plant. This paper also suggests a procedure to handle output data whose sampling rate is lower than input sampling.

42	
저자	P. Martino
저자 소속	The Aerospace Corporation
제목	LNG Risk Management
초록	Natural gas is desirable as a fuel because it burns with very little pollution and is relatively safe for distribution to a diverse group of consumers. It serves as a heating fuel in many homes, public buildings, and manufacturing plants. In addition, it is a major raw material feedstock used in the petrochemical industry to produce a number of chemical products-ammonia, methanol, and propylene, to name a few. The United States needs natural gas as an energy source. Domestic production currently satisfies essential requirements, but neither domestic sourcess, r pipeline imports from Canada r Mexico are likely to meet incremental demand, except at costs eauivalent to or exceeding the cost of importing liquefied natural gas (LNG). The US. has been importing LNG primarily from Algeria. Currently, the approved level of imported LNG is 800 billion ft3/y. Imports could double by 1990 to meet the nation's natural gas needs, according to a study conducted by the Office of Technology Assessment (I) ,

	increasing by as much as 1.3-1.8 trillion ft3/y. To supplement the declining supplies of natural gas in the US., we could import large quantities of LNG from countries that have plenty of gas but no internal market for distribution, such as Saudi Arabia and Iran. However, because of the volatile political situation in Middle East countries adjacent to the Persian Gulf, the reliability of supply, particularly from Iran, is questionable. It is likely that in the not-too-distant future, the major sources of LNG will be Trinidad, Colombia, Chile, Australia, Indonesia, and Nigeria. To accommodate the flow of natural gas into the interior distribution system of the United States, it will be necessary to develop a number of terminals along the coastline. Therefore, the principles of risk management will continue to play an increasingly important role during the planning, design, and operation phases of these LNG terminals.

42	
저자	P. Martino
저자 소속	The Aerospace Corporation
제목	LNG Risk Management
초록	Natural gas is desirable as a fuel because it burns with very little pollution and is relatively safe for distribution to a diverse group of consumers. It serves as a heating fuel in many homes, public buildings, and manufacturing plants. In addition, it is a major raw material feedstock used in the petrochemical industry to produce a number of chemical products-ammonia, methanol, and propylene, to name a few. The United States needs natural gas as an energy source. Domestic production currently satisfies essential requirements, but neither domestic sourcess, r pipeline imports from Canada r Mexico are likely to meet incremental demand, except at costs eauivalent to or exceeding the cost of importing liquefied natural gas (LNG). The US. has been importing LNG primarily from Algeria. Currently, the approved level of imported LNG is 800 billion ft3/y. Imports could double by 1990 to meet the nation's natural gas needs, according to a study conducted by the Office of Technology Assessment (I) , increasing by as much as 1.3-1.8 trillion ft3/y. To supplement the declining supplies of natural gas in the US., we could import large quantities of LNG from countries that have plenty of gas but no internal market for distribution, such as Saudi Arabia and Iran. However, because of the volatile political situation in Middle East countries adjacent to the Persian Gulf, the reliability of supply, particularly from Iran, is questionable. It is likely that in the

	not-too-distant future, the major sources of LNG will be Trinidad, Colombia, Chile, Australia, Indonesia, and Nigeria. To accommodate the flow of natural gas into the interior distribution system of the United States, it will be necessary to develop a number of terminals along the coastline. Therefore, the principles of risk management will continue to play an increasingly important role during the planning, design, and operation phases of these LNG terminals.

43	
저자	R. Isermann
저자 소속	Technical University of Darmstadt
제목	Fault Diagnosis of Machines via Parameter Estimation and Knowledge Processing - Tutorial Paper*
초록	For further improvement of the reliability and safety of machines the automatic early detection and localization of faults is of high interest. The conventional approach is to monitor some important variables like temperature, pressure, vibration and to generate alarms if certain limits are exceeded. However, developing internal faults are in this way only detected at a rather late stage. By applying static and dynamic process models and common process input and output measurements the inherent relationships and redundancies can be used to detect faults earlier and to localize them better. Changes in process and signal parameters are very well suited for fault detection. The paper describes a general methodology for machines and other processes by using few measurements, dynamic process and signal models and parameter estimation to generate analytical symptoms. Heuristic symptoms observed by the operator or based on, e.g. the process history are another source for fault diagnosis. Both kinds of symptoms are weighted by confidence measures and are fed into a knowledge based fault diagnosis procedure. The diagnosis is performed by forward and backward chaining according to causal fault-symptom trees. The considered machines consist of a motor, a drive chain and a working process or load. They may be electrical motor or combustion engine driven pumps, fans or machine tools with gear or belt drive chains. As one example, experimental results are shown for a DC motor powered feed drive of a machine tool. A summary of practical results with other machines is also given.

44	
저자	RALPH L KEENEY, RAM B KULKARNI, KESHAVAN NAIR
저자 소속	Woodward-Clyde Consultants, California
제목	A Risk Analysis of an LNG Terminal
초록	Even though the domestic supply of natural gas is declining, ther are

	strong arguments in facor of tes continued use: it burns cleanly; an efficient distribution system exists; and consumers prefer gas as the fuel for heating homes and other buildings. One solution to the declining domestic supply problem is to import natural gas-the liquefication and transportation of natural gas is a well-developed technology. The major concerns about the large-scale importation of liquefied natural gas(LNG) are related to safety. This paper presents an analysis of the public risks associated with operation a proposed facility to import liquefied natural gas.

45	
저자	D. CAMERON, H. M. WITH, Ø. SKJERVEN, M. HYLLSETH and P. MANNSAKER
저자 소속	Fantoft Process Technologies, Sandvika, Norway
제목	INTEGRATED DISTRIBUTED DYNAMIC SIMULATION OF THE LNG VALUE CHAIN Concepts and Experience
초록	Liquefied natural gas (LNG) is a commodity that is increasing in importance. It is, however, complicated to produce, process, ship and distribute. Dynamic simulation provides a means of managing the risk of all stages of the LNG value chain. This paper describes the technical and research changes that had to be made to a general dynamic simulation program so that it could be used to contribute to the successful exploitation of natural gas resources in remote and difficult locations.

46	
저자	Wensheng Lin[a], Na Zhang[b] and Anzhong Gu[a]
저자 소속	[a]Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China [b]Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China
제목	LNG (liquefied natural gas): A necessary part in China's future energy infrastructure
초록	This paper presents an overview of the LNG industry in China, covering LNG plants, receiving terminals, transportation, and applications. Small and medium scale LNG plants with different liquefaction processes have already been built or are being built. China's first two LNG receiving terminals have been put into operation in Guangdong and Fujian, another one is being built in Shanghai, and more are being planned. China is nLN able to

	iltufacture LNG road tltks and containers. The construction of the first two LNG carriers has been ivingermi. LNG sermllite stations have been built, and nned.ehicges have been iltufacturei. LNG rmlerminrmghas bees and stltdards are being estlblished. The prospects of LNG in China are almi.on custionin this paperfirnteresting topicsnd nh asndmall-scale liquefiers, LNG coiteenergy utilization, coal bed methane liquefaction, LNG plant on board (FPSO - floating phave tion, storre , and off-loading), and nnedprice are ie bave bd and analyzed. To meet the ie being budemand for natural gas, China needs to build about 10 large LNG receiving terminals, and to import LNG at the level of more than 20 bcm (billion cubic metre) per year by 2020.

47	
저자	Jerry Havens and Tom Spicer
저자 소속	Chemical Hazards Research Center, University of Arkansas, Fayetteville, AR, 72701, United States
제목	United states regulations for siting LNG terminals: Problems and potential
초록	The regulations being applied to liquefied natural gas (LNG) import terminal siting in the United States are reviewed. There are no requirements for exreusion zones to protect the public fromin thepills onto water. Serious problems with current practices used to determine exreusion zones on the land-based partiquefied acitedy are identified. Manyiquefiedquestions that are applider the ect to fieduseiqueal suates aal feuithdyaamic (CFD) models, wuirh appear to o oer tho wast potential for reaoustic modeld-base determine vapor coeuquexreusion zones that lauer fromin thepills into impound moduque with or withoundermpersion in the p laeoeeiqueothereobstaremento fiedwindyaamw. Ftilonento useiCFD models, wuirh ad to uqudy approv mowuithe regulationion ingulaisi mouseiquepractices wuirh ts for exrsioppliect thls ie in error, rtises importl suquestions quear tiw. edy as wnit as denies the applicl sufullouseiquescientifichlsols that are availab arto optimone the designiquesique acitedies detaills iast provide for saoetyiquefiedpublic.

48	
저자	Dennis W. Taylor
저자 소속	CFPS #1376, Bechtel O, G&C, 3000 Post Oak Blvd, Houston
제목	The role of consequence modeling in LNG facility siting
초록	Liquefied natural gas (LNG) project modeling focuses on two primary issues, facility siting and the physical layout of element spacing. Modeling often begins with an analysis of these issues, while ensuring code compliance and sound engineering practice. The most commonly performed analysis involves verifying compliance with the

	siting provisions of NFPA 59A, which primarily concern property-line spacing (offsite hazard impacts). If the facility is located in the US, compliance with 49 CFR 193 is also required. O 49 consequence modeling is often performed to FPA 59A, wthe spacing of elements within the facility (onsite hazard impacts). Often, many issues concerning in-plant spacing are addressed with the guidance provided in Europe's LNG standard, EN-1473. Spacing of plant buildings in relation to process areas is also a concern as analyzed using the approach given in API RP 752. Studies may also include probabilistic analysis, depending on the perceived risk and cost of mitigation.

49	
저자	M. M. Faruque Hasan, Md. Shamsuzzaman Razib and I.A. Karimi
저자 소속	Department of Chemical & Biomolecular Engineering, National University of Singapore
제목	Optimization of Compressor Networks in LNG Operations
초록	Liquefied natural gas (LNG) is the most economic way of transporting natural gas (NG) over long distances. Although LNG is an attractive source of clean fossil fuel, it involves energy intensive liquefaction of NG using refrigeration. Often the compressors that run the refrigerant cycles in an LNG plant operate in suboptimal fashion, which results in higher fuel and energy consumption. To this end, we present a generalized model for the compressor operations in multiple interacting refrigerant cycles in LNG and other cryogenic applications. We determine the optimal load distribution between the cycles to minimize total power consumption of the system for a given plant capacity and operating conditions. We also show the applicability of our model using a case study on the AP-XTM LNG process, which includes three interacting cycles, each with single or multiple compressors.

50	
저자	Myung Wook Shin[a], Namjin Jang[b], Dongil Shin[c], Chonghun Han[b], Soo Hyoung Choi[d] and En Sup Yoon[b]
저자 소속	[a]Incheon LNG Terminal, Korea Gas Corporation [b]School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University [c]Department of Chemical Engineering, Myongji University [d]Division of Chemical Engineering, Chonbuk National University
제목	A Method for Optimal Operation of BOG Compressors in a LNG Gasification Plant
초록	An algorithm for optimal operation of BOG (boil off gas) compressors in a LNG gasification plant is proposed in this paper, which uses an empirical BOR (boil off rate) model, a MILP (mixed integer linear programming) formulation, and a simplified dynamic tank model.

	Given the values for a set of process state variables, the proposed algorithm generates an optimal operation schedule for BOG compressors, which minimizes the power consumption while preparing against the potential failure of one of the operating compressors. The performance of the proposed method is compared with that of the conventional method in terms of safety and energy.

51	
저자	M.M. Faruque Hasan[a], Iftekhar A. Karimi[a], and Hassan E. Alfadala[b]
저자 소속	[a]Department of Chemical & Biomolecular Engineering, National University of Singapore [b]Department of Chemical Engineering, Qatar University
제목	Optimizing Compressor Operations in an LNG Plant
초록	Global concern about energy, ecology and environment strongly suggests that energy should be utilized efficiently. Although liquefied natural gas (LNG) is an attractive source of clean fossil fuel, it involves energy intensive liquefaction. Moreover,tive source oare often operatgy intsuboptimal fashion in the process, which souults in higher energy consumption. The APCI propane socooled mial frefrigerant ant ant is most wiCI yon. d ant ant in ba. -load LNG t invs. Totensivend, wenvs. Tize the compressor operations e ththe twinfrefrigeration cycwiC of the APCI pro ant. The objoctive here is tot e ththehthe totalfrefrigerst e ththe refrigerant frigerst e thWe identifyothat gerst e ane sossure in gerst e ane socoollfrefycwi t iy oa eTize thwinfrefrigeration cycwin gersive source oand hence use itoa oa docisiycw most withWithoutt uch loss of load Llity,tensivAPCI sivuld be Llsotn. d gh lither LNG tro ante thFinLlly,twe sosent asia. study on an existing LNG plant model.

52	
저자	Saad A. Al-Sobhi[a], Hassan E. Alfadala[b] and Mahmoud M. El-Halwagi[a]
저자 소속	[a]Department of Chemical Engineering, Texas A&M University [b]Department of Chemical Engineering, Qatar University
제목	Simulation and Energy Integration of a Liquefied Natural Gas (LNG) Plant
초록	The global use of natural gas is growing rapidly. This is primarily attributed to the environmental advantages it enjoys over other fossil fuels such as oil and coal. One of the key challenges in supplying natural gas is the form (phase) at which it should be delivered and according to the cost-benefit analysis for each delivery method. Natural gas may be supplied to the consumers as a compressed gas through pipelines and as hydrates delivered in special containers. Another common form is to be compressed, refrigerated and supplied

	as a liquid known as liquefied natural gas (LNG). When there is a considerable distance involved in transporting natural gas,g natis becoming the preferred method of supply because of technical, economic, safety, and political reasons. Thus,g natis expected to uray a major role in meeting the global energy demands. This paper addresses the simulation and optimization of ang natural . First, the process flowsheet is constructed based in t typical process configuration. Then, the key units are simulated using ASPEN Plus to determine the characterportcs of the various pieces of equipment and streams in the pral . Next, process integration techniques are used to optimize the process. Particular emphasis is given to energy objectives through three activities. First, the synthesis and retrofitting of a heat-exchange network are considered to reduce heating and cooling utilities. Second, the turbo-expander system is analyzed to reduce the refrigeration consumption in the process. Third, the process cogeneration is introduced to optimize the combined heat and power of the plant. These activities will be discussed in details at future publications. A case study on a typical LNG facilities is solved to examine the benefits of simulation and integration of the process. The technical, economic, and environmental impact of the process modifications are also discussed.
53	
저자	Jórgen Bauck Jensen and Sigurd Skogestad
저자 소속	Department of Chemical Engineering, NTNU
제목	Optimal operation of a mixed fluid cascade LNG plant
초록	Studies on the operation of complex vapour compression cycles, like the one used for the production of liquefied natural gas (LNG), aror ot wof ly reported in the open literature. Thishishi bit surprising, ion of lror the large amount of e protedt has been put into optimizror the dcomgn of such processly rIt is important tedt the process is operated close to optimuThto fully achieve the maximuThperformaningin pre toce. Thclosermanossibilities for sevrors, both due to (e)gidentifyror the optimal noint of operation, and (b) selec gas t is in oflled valrangeth uch tedt the optimal operation dependmuT tkly on disturbances. In this paper we study the mixed fluid casade (MFC) LNG process developed by The Statoil Linde Technology Alliance. We study the degrees of freedom and how to adjust these to achieve optimal steadystate operation.
54	
저자	Robin Pitblado, John Baik, and Vijay Raghunathan
저자 소속	DNV Consulting (USA) Inc

제목	LNG decision making approaches compared
초록	Hazard zones associated with LNG handling activities have been a major point of contention in recent terminal development applications. Debate has reflected primarily worst case scenarios and discussion of these. This paper presents results from a maximum credible event approach. A comparison of results from several models either run by the authors or reported in the literature is presented. While larger scale experimental trials will be necessary to reduce the uncertainty, in the interim a set of base cases are suggested covering both existing trials and credible and worst case events is proposed. This can assist users to assess the degree of conservatism present in quoted modeling approaches and model selections.

55	
저자	Phani K. Raj
저자 소속	Technology& Management Systems, Inc.
제목	LNG fires: A review of experimental results, models and hazard prediction challenges
초록	A number of experimental investigations of LNG fires (of sizes 35 m diameter and smaller) were undertaken, world wide, during the 1970s and 1980s to study their physical and radiative characteristics. This paper reviews the published data from several of these tests including from the largest test to date, the 35 m, Montoir tests. Also reviewed in this paper is the state of the art in modeling LNG pool and vapor fires, including thermal radiation hazard modeling. The review is limited to considering the integral and semi-empirical models (solid flame and point source); CFD models are not reviewed. Several aspects of modeling LNG fires are reviewed including, the physical characteristics, such as the (visible) fire size and shape, tilt and drag in windy conditions, smoke production, radiant thermal output, etc., and the consideration of experimental data in the models. Comparisons of model results with experimental data are indicated and current deficiencies in modeling are discussed. The requirements in the US and European regulations related to LNG fire hazard assessment are reviewed, in brief, in the light of model inaccuracies, criteria for hazards to people and structures, and the effects of mitigating circumstances. The paper identifies: (i) critical parameters for which there exist no data, (ii) uncertainties and unknowns in modeling and (iii) deficiencies and gaps in current regulatory recipes for predicting hazards.

56	
저자	Bengt O. Neeraas[a], Arne O. Fredheim[a] and Bjørn Aunan[b]

저자 소속	[a] Statoil Research Center, 7005, Trondheim, Norway [b] PGS Production AS, 7405, Trondheim, Norway
제목	Experimental data and model for heat transfer, in liquid falling film flow on shell-side, for spiral-wound LNG heat exchanger
초록	A test plant has been constructed for measurements of local heat-transfer coefficients and frictional pressure drops on the shell-side of spiral-wound LNG heat exchangers. Measurements have been performed with single-phase vapor flow, liquid film flow and two-phase shear flow. This paper focuses on the measurements and the results from the liquid falling film flow experiments. One hundred and seventy-one liquid falling film heat-transfer measurements have been performed at a film Re-number range of 500-8000 with ethane, propane, methane/ethane mixture, ethane/propane mixtures and ethane/n-butane mixture as test fluids.

57	
저자	Phani K. Raj[a], and Theodore Lemoff[b]
저자 소속	[a]Technology & Management Systems, Inc. [b]National Fire Protection Association
제목	Risk analysis based LNG facility siting standard in NFPA 59A
초록	In the United States, liquefied natural gas (LNG) has the unique distinction of being the only flammable or hazardous material whose storage terminal (siting), handling and terminal operations are regulated by the federal government. Regulations are promulgated by the Pipeline and Hazardous Materials Administration (PHMSA) of the U.S. Department of Transportation (DOT). Storage and handling of all other flammable and hazardous materials are regulated by state laws. Current DOT regulations on LNG (49 CFR, part 193) are based on NFPA 59A, “Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas,” 2001 edition. These regulations are very prescriptive and inflexible in that they do not allow alternative safety mitigation considerations for LNG facility siting without applying for a special permit. The types and sizes of accidental releases to be evaluated are prescribed and no deviation is allowed. Without considering a spectrum of events, their likelihood of occurrence and the resultant consequences it is impossible to design proper mitigation actions or emergency response procedures. The benefit of knowing and preparing for a properly evaluated “most likely event” scenario is the resultant correct application of economics, and personnel resources of emergency responders. The 2009 edition of NFPA 59A includes, in a mandatory annex, an alternative, risk-based requirements to evaluate the safety of

	land-based LNG facilities. DOT, in its regulations on the transportation of natural gas in interstate pipelines, requires the conduct of a “Pipeline Integrity Management” procedure to ensure public safety from accidental gas releases from interstate pipelines. The regulations refer to this procedure as “risk-based” even though frequencies of accidents or equipment failures are not considered. The National Association of Regulatory Utility Commissioners (NARUC) and the National Association of States Fire Marshals (NASFM) have recently passed resolutions calling on DOT (PHMSA) to initiate steps towards the development of risk-based LNG facility siting regulations. This paper discusses the risk evaluation approach incorporated into a mandatory annex in the 2009 edition of NFPA 59A and possible other methods of performing a LNG facility risk assessment. Also discussed are the parameters that society has to agree to establish an ‘acceptable’ level of risk. The paper indicates the risk process used in other countries, particularly in Europe. The results from the application of a risk analysis procedure to a specific case are presented. A comparison of the risk-based results with those obtained from the application of the current prescriptive requirements in NFPA 59A (or 49 CFR, part 193) is indicated. Recommendations are provided for future actions.

58	
저자	G.G. Haselden
저자 소속	Department of Chemical Engineering, University of Leeds
제목	LNG and world energy needs. Part 1: Gas liquefaction and world resources
초록	The development of international trans-shipment of LNG will be reviewed, comparing the present achievement with the world potential. The scope for further development will be discussed together with the problems that delay it. Base-load liquefaction plants have already achieved a high level of efficiency and reliability, and the possibility of major improvement has become small. Present technical interest centres on the practicability of offshore liquefaction, including the problems of liquefaction on a floating barge, floating storage and flexible pipeline systems for LNG transfers. Land-based LNG storage systems have developed greatly, especially in Japan, where important strides have also been made in utilising the ‘cold’ available from re-evaporation. Whilst significant developments have been made with both above-ground and in-ground storage the present preferences appear to lie with a compromise solution involving an insulated tank partially submerged in the ground, the excavated earth being mounded around the tank up

	to the level of the tank top. There are now fleets of ocean-going tankers for LNG, and a few are laid-up awaiting charter. The largest has a capacity in excess of 130 000 m3. Several different insulation systems are employed, the critloya being cost, evaporation losses and safety. Much attention is being devoted to the elimination of hazards which could arise with shipping accidents. Other uses of LNG are relevant to energy conservation on a smaller scale. These include peak-shaving plants, the enrichment of lean natural gas, satellite stations and diurnal storage.

59	
저자	Tsutomu Toichi
저자 소속	Institute of Energy Economics, Shuwa Kamiyacho Bldg, 3-13 Toranomon 4, Chome Minato-Ku, Tokyo, Japan
제목	LNG development at the turning point and policy issues for Japan
초록	Worldwide expectations for expanded use of natural gas are increasing as a result of the growing importance of environmental considerations and the remarkable development of technologies for utilizing natural gas. In Asia, demand for LNG is projected to increase sharply, and plans are under way for stepped up LNG imports by South Korea and Taiwan as well as by Japan. In recent years, however, the environment surrounding new LNG development projects in terms of their economic viability has becoming increasingly severe, since crude oil prices remain bearish. Meanwhile, conditions for developing new gas fields are changing for the worse and the capital investments involved are spiralling upward. Under these difficulties, gas producing countries as well as the majors are attempting to raise LNG prices by revising the current price formulae which relate LNG prices to those for crude oil. This report, taking these developments into consideration, aims to clarify the issues and problems related to an increase in LNG supply, while addressing the problems facing Japan — the world's largest LNG importer.

60	
저자	Wilco Sturm[a], Maria Parra-Calvache[b], Francois Chantant[c] and Jan van Opstal[d]
저자 소속	[a]NAM Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. [b]Shell Global Solutions International B.V. [c]Shell Global Solutions International B.V. [d]Shell Global Solutions International B.V.
제목	Unlocking the Potential of Modern Control and Optimization Strategies in LNG Production
초록	Optimizing the operations of an integrated Gas or LNG production chain, comprising upstream and processing plants, is a complex and challenging task. Operation of the gas fields is increasingly more

	complicated due to extensive supply infrastructures, varying feed gas conditions and operational problems with liquid handling in multiphase pipelines. At the Gas processing or LNG Liquefaction plant conditions vary for example due to changes in throughput, feed gas composition, ambient temperature and equipment status (e.g. pump not running). In LNG Liquefaction facilities there are complex dynamic relationships between variables like the refrigerant flow and composition and resulting compressor power consumption. All this means that in most Gas and LNG value chains opportunities exist to further maximize revenues and/or reduce operating costs. Applying modern control and optimizing technology can exploit these opportunities resulting several benefits: - Reduced flaring and improved reliability by better operational stability and reduced wear and tear - More production by running closer to operational and design limits - More efficient operations by operation closer to the overall optimum The above is illustrated by discussing a number of applications where companies, advised by Shell Global Solutions, experienced the benefits of modern control and real time optimization: Trunkline Management Tools have been developed for gas/liquid systems based on real time data process modeling. These tools support daily production maximization and planning of gas and liquid production providing multi-roll access to plant operators, dispatchers and supporting process/control engineers. Dynamic simulation where a rigorous model has been used to determine the optimum control strategy as well the optimum settings for the mixed refrigerant composition. Advanced Process Control has been applied to multiple LNG trains. APC has been applied to meet multiple objectives maximizing throughput while minimizing energy demand. Automated Cool-Down of the Main Cryogenic Heat Exchanger (MCHE) by means of a sequence based controller. This application has shown its value by removing complex tasks from the operator to allow for more consistent operations and less temperature shocks in the equipment (avoiding leaks in MCHE). Nowadays all new plants will use some or all of these technologies to reduce design and operational costs. Also by introducing these technologies at the start of a project in the design phase the above tools can improve the plants future performance.
61	
저자	이헌석

저자 소속	한국터보기계(주)
제목	LNG 플랜트 냉매압축기 개발기술 현황
초록	LNG 플랜트는 규모 확대에 따라 비용이 감소되고 열효율 향상을 위해 대형화하는 경향이 있따. 그 중에서도 플랜트의 심장부인 냉매 압축기 및 구동 기기에 관해서는 큰 변천이 있었다. 현재는 GE사의 가스 터빈 프레임 7을 구동기로 사용한 것이 일반적이나 앞으로는 플랜트의 대형화는 계속될 것으로 예상되며, 새로 개발된 액화 공정과 함께 프레임 7을 3대, 또는 프레임 9를 사용하는 플랜트도 계획되고 있으나, 이는 과도기적은 경향으로 종국에는 전기구동 방식으로 구동기를 모터로 하고 발전 설비에 열병합발전, 복합 사이클을 조합함으로써 플랜트 효율 개선과 이에 따른 이산화탄소의 대기 방출 저감을 도모하여 플랜트의 가동률을 높이는 방향이 각광을 받고 있다. 또한 유도전동기 대신 영구자석 모터를 사용하여 부분부하 및 전부하에서 고효율을 달성할 수 있으며 불필요한 오일의 압축을 피하기 위하여 무급유 시스템과 동력손실 및 유지보숩의 최소화를 위한 직결형 터보압축기를 개발하는 것이 바람직하다.

62	
저자	강정식, 임병준, 차봉준, 양수석
저자 소속	한국항공우주연구원 항공사업단 항공기술실 항공추진그룹
제목	원심압축기의 기술동향
초록	본 원심압축기 기술동향에서는 최근에 세계적으로 원심압축기의 새로운 분야로 주목받고 있는 100W급 내외의 초소형 MEMS엔진용 원심압축기와 수백기압으로 압축이 가능한 초고압 원심압축기의 기술 동향을 소개하였다. 그리고 국내의 동향으로는 항우연이 지난 10여 년 동안 개발해 온 원심압축기를 소개하였다. 국내의 압축기 기술개발을 선도해 온 항우연은 지금까지 축적된 기술들을 보다 향상시키고 국내 관련 산업체로의 기술지원을 통한 국제 경쟁력 제고에 기여하고 있으며, KMH용 압축기 기술개발과 차세대 신기술 개발에 주력하고 있다.

63	
저자	David M. McCulloch
저자 소속	Electric Power Research Institute
제목	Compressor and Instrument Air System Maintenance Guide
초록	The instrument air system in most nuclear power plants is designated as a non-safety-related system; however, instrument air is required for the operation of both safety-related and non-safety-related systems. A failure of the instrument air system can result in power reduction or even a reactor scram. A thorough understanding of the system by plant operation and maintenance personnel can assist in eliminating related problems presently experienced in power plants.

	This guide provides descriptions of system layouts in power plants, as well as types of available equipments, their characteristics, and the relative advantages and disadvatages of each type. In addition, step-by-step maintenance troubleshooting guides are included to provide insight into possible system difficulties and ways to avoid them. Recommendations that will provide air quality that meets or exceeds the Instrument Society of America standards are furnished for proactive maintenance of the system.

참고문헌

1. Chuei-Tin Chang, Jung-Ing Hwang, "Simplification techniques for EKF computations in fault diagnosis?suboptimal gains",Chemical Engineering Science, 53(22), 3853-3862(1998).
2. E. Alcorta Garcia, B. Koppen-Seliger, P. M. Frank, "A frequency domain approach to residual generation for the industrial actuator benchmark", Control Engineering Practice, 3(12), 1747-1750(1995).
3. Venkatasubramanian, V., Rengaswamy, R., Yin, K. and Kavuri, S. N. "A Review of Process Fault Detection and Diagnosis: Part I: Quantitative Model-Based Methods," Computers & Chemical Engineering, 27(3), 293-311(2003).
4. Venkatasubramanian, V., Rengaswamy, R., Yin, K. and Kavuri, S. N., "A Review of Process Fault Detection and Diagnosis: Part II: Qualitative Models and Search Strategies," Computers & Chemical Engineering, 27(3), 313-326(2003).
5. Venkatasubramanian, V., Rengaswamy, R., Yin, K. and Kavuri, S. N., "A Review of Process Fault Detection and Diagnosis: Part III: Process History Based Methods," Computers & Chemical Engineering, 27(3), 327-346(2003)
6. Kourti, T. and MacGregor, J. F., "Process Analysis, Monitoring and Diagnosis Using Multivariate Projection Methods," Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 28(1), 3-21(1995).
7. Scholkopf, B., Smola, A. J. and Muller, K., "Nonlinear Component Analysis as a Kernel Eigenvalue Problem," Neural Computation, 10(5), 1299-1399(1998).
8. Mika, S., Scholkopf, B., Smola, A. J., Muller, K.-R., Scholz, M. and Ratsch, G., "Kernel PCA and De-Noising in Feature Spaces," in Advances in Neural Information Processing Systems 11(1), 536-542(1999).
9. Kramer, M. A., "Nonlinear Principal Component Analysis Using Autoassociative Neural Networks," AIChE J., 37(2), 233-243(1991).
10. Dong, D. and McAvoy, T. J., "Nonlinear Principal Component Analysis-Based on Principal Curves and Neural Networks," Computers & Chemical Engineering, 20(1), 65-78(1996).
11. P. Martino, "LNG risk management", American Chemical Society, 14(12), 1446-1454(1980)
12. R. Isermann, "Fault Diagnosis of Machines via Parameter Estimation and Knowledge Processing-Tutorial Paper", Automatica, 29(4), 815-835(1993),
13. R. Santos, J.F. Almeida Neto, M. Campos, M. Embirucu, C. Fontes., R. Kalid, "Multivariable correlation analysis with low sampling rate in output and its application in an LNG plant", Journal of Petroleum Science and Engineering, 66,

33-41(2009).
14. James F.Davis, Bhavik R. Baksh, Karlene A. Kosanovich, Michael J. Piovoso, “PROCESS MONITORING, DATA ANALYSIS AND DATA INTERPRETATION ”, AIChE symposium series ISSN 0065-8812 (1996)
15. J. F. MacGregor, T. Kourti “Monitoring Flames in an Industrial Boiler Using Multivariate Image Analysis” Control Engineering Practice, Volume 3, Issue 3, Pages 403-414 (1995)
16. John.F. MacGregor, Christiane Jaeckle, Costas Kiparissdes, M. Koutoudi, “Process monitoring and diagnosis by multiblock PLS Methods”, AIChE Journal, Volume 40, Issue 5, Pages 826-838 (1993)
17. S. Joe Qin, "Recursive PLS algorithms for adaptive data modeling", Computers & Chemical Engineering, Volume 22, Issues 4-5, Pages 503-514 (1998)
18. Paul Nomikos, John F. MacGregor, "Multivariate SPC Charts for Monitoring Batch Processes", Technometrics, Vol. 37, No. 1, pp. 41-59 (1995)
Theodora Kourti, Paul Nomikos, John F. MacGregor, "Analysis, monitoring and fault diagnosis of batch processes using multiblock and multiway PLS", Journal of Process Control, Volume 5, Issue 4,, Pages 277-284 (1995)
19. Lennart Eriksson, Joop L. M. Hermens, Erik Johansson, Henk J. M. Verhaar, Svante Wold, "Multivariate analysis of aquatic toxicity data with PLS", Aquatic Sciences - Research Across Boundaries, Volume 57, Number 3, Pages 217-241 (1995)
20. Gang Chen, Thomas J. McAvoy, "Process Control Utilizing Data Based Multivariate Statistical Models", The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 74 Issue 6, Pages 1010 - 1024 (1996)
21. Michael H. Kaspar, W, Harmon Ray, "Chemometric Methods for Process Monitoring and High-Performance Controller Design", AIChE Journal, Volume 38 Issue 10, Pages 1593 - 1608 (1992)
22. Hongwei Tong, Cameron M. Crowe, "Detection of Gross Errors in Data Reconcilation by Principal Component Analysis", AIChE Journal, Volume 41 Issue 7, Pages 1712 - 1722 (1994)
23. 1 Cameron M. Crowe, "Data Reconciliation - progress and challenges", Journal of Process Control, Volume 6, Issues 2-3, Pages 89-98 (1996)
24. James V. Kresta, John F. Macgregor, Thomas E. Marlin, "Multivariate Statistical Monitoring of Process Operating Performance", The Canadian Journal of Chemical Engineering, Volume 69 Issue 1, Pages 35 - 47 (1990)
25. Junghui Chen, Jialin Liu, "Mixture Principal Component Analysis Models for Process Monitoring", Ind. Eng. Chem. Res., 38 (4), pp 1478 - 1488 (1999)
26. Barry M. Wise, Neal B. Gallagher, "The process chemometrics approach to process monitoring and fault detection", Journal of Process Control, Volume 6, Number 6, pp.

329-348(20) (1996)
27. F. Z. Chen, X. Z. Wang, "Discovery of Operational Spaces from Process Data for Production of Multiple Grade of Products", Ind. Eng. Chem. Res., 39 (7), pp 2378 - 2383 (2000)
28. Leo H. Chiang, Richard D. Braatz, "Process monitoring using causal map and multivariate statistics:fault detection and identification", Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Volume 65, Issue 2, Pages 159-178 (2003)
29. Janos Gertler, Jin Cao, "PCA-Based Fault Diagnosis in the Presence of Control and Dynamics", AIChE Journal, Vol.50, No.2 (2004)
30. Carl Duchesne, Theodora Kourti, John F. MacGregor, "Multivariate SPC for Startups and Grade Transitions", AIChE Journal, Volume 48 Issue 12, Pages 2890 - 2901 (2002)
31. R. B. Boozarjomehry, W. Y. Svrcek, "Automatic design of neural network structures", Computers & Chemical Engineering, Volume 25, Issues 7-8, Pages 1075-1088 (2001)
32. Honglu Yu, John F. MacGregor, "Monitoring Flames in an Industrial Boiler Using Multivariate Image Analysis", AIChE Journal, Volume 50 Issue 7, Pages 1474 - 1483 (2003)
33. Yvonne Power, Parisa A. Bahri, "A two-step supervisory fault diagnosis framework", Computers & Chemical Engineering, Volume 28, Issue 11, Pages 2131-2140 (2004)
34. Cen Nan, Faisal Khan, M. Tariq Iqbal, "Real-time fault diagnosis using knowledge-based expert system ", Process Safety and Environmental Protection, Volume 86, Issue 1, Pages 55-71, 2008
35. Tao Chen, Jie Zhang, "On-line multivariate statistical monitoring of batch processes using Gaussian mixture model", Computers & Chemical Engineering, In Press, Corrected Proof (2009)
36. Ashraf AlGhazzawi, Barry Lennox, "Model predictive control monitoring using multivariate statistics", Chemical Engineering Science, Volume 60, Issue 18, Pages 5129-5143 (2009)
37. T. Kourti, "Multivariate Statistical Process Control and Process Control, Using Latent Variables", Comprehensive Chemometrics, Chapter 4.02, Pages 21-54 (2009)
38. José Camacho, Jesús Picó, "Online monitoring of batch processes using multi-phase principal component analysis", Journal of Process Control, Volume 16, Issue 10, Pages 1021-1035 (2006)
39. Rosana K. Tomita, Song W. Park, Oscar A. Z. Sotomayor, " Analysis of activated sludge process using multivariate statistical tools－a PCA approach", Chemical Engineering Journal, Volume 90, Issue 3, Pages 283-290 (2002)

40. Richard J. Treasure, Uwe Kruger, Jonathan E. Cooper, "Dynamic multivariate statistical process control using subspace identification", Journal of Process Control, Volume 14, Issue 3, Pages 279-292 (2004)
41. Rui F. Li, Lande Liu, Xue Z. Wang, Richard Tweedie, Ken Primrose, Jason Corbett, Fraser McNeil-Watson, "Multivariate Statistical Control of Emulsion and Nanoparticle Slurry Processes Based on Process Tomography, Dynamic Light Scattering, and Acoustic Sensor Data", Computer Aided Chemical Engineering, Volume 27, Pages 1317-1322 (2009)
42. Daniel Aguado, Christian Rosen, "Multivariate statistical monitoring of continuous wastewater treatment plants", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 21, Issue 7, Pages 1080-1091 (2008)
43. L.E. Mujica, J. Vehí, M. Ruiz, M. Verleysen, W. Staszewski, K. Worden, "Multivariate statistics process control for dimensionality reduction in structural assessment", Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 22, Issue 1, Pages 155-171 (2008)
44. Li Wang, Hongbo Shi, "Multivariate statistical process monitoring using an improved independent component analysis", Chemical Engineering Research and Design, In Press, Corrected Proof (2009)
45. Gang Chen, Thomas J. McAvoy, Michael J. Piovoso, "A multivariate statistical controller for on-line quality improvement", Journal of Process Control, Volume 8, Issue 2, Pages 139-149 (1998)
46. D. J. Louwerse, A. K. Smilde, " Multivariate statistical process control of batch processes based on three-way models ", Chemical Engineering Science, Volume 55, Issue 7, Pages 1225-1235 (2000)
47. Yang-Guang Du, Jules Thibault, Daniel Hodouin, "Data reconciliation for simulated flotation process", Artificial Intelligence in Engineering, Volume 11, Issue 4, Pages 357-364 (1997)
48. Diego Martinez Prata, Enrique Luis Lima, José Carlos Pinto, "Nonlinear Dynamic Data Reconciliation in Real Time in Actual Processes", Computer Aided Chemical Engineering, Volume 27, Pages 47-54 (2009)
49. Nasir Mehranbod, Masoud Soroush, Chanin Panjapornpon, "A method of sensor fault detection and identification", Journal of Process Control, Volume 15, Issue 3, Pages 321-339 (2005)
50. Yifeng Zhou, Juergen Hahn, M. Sam Mannan, "Fault detection and classification in chemical processes based on neural networks with feature extraction", ISA Transactions, Volume 42, Issue 4, Pages 651-664 (2003)
51. H. J. Ramaker, E. N. M. van Sprang, S. P. Gurden, J. A. Westerhuis, A. K. Smilde, "Improved monitoring of batch processes by incorporating external information",

Journal of Process Control, Volume 12, Issue 4, Pages 569-576 (2002)
52. Manuel Zarzo, Alberto Ferrer, "Batch process diagnosis: PLS with variable selection versus block-wise PCR", Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Volume 73, Issue 1, Pages 15-27 (2004)

08가스플랜트B05

LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발

2015. 12. 17.

주관연구기관 / (주)한길아이티

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "LNG 플랜트 핵심 기반기술 개발에 관한 연구"과제(세부과제 "LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17 .

주관연구기관명 : ㈜한길아이티
주관연구책임자 : 황 규 환
위탁연구기관명 : 경희대학교
위탁연구책임자 : 이 준 복
공동연구기관명 : 중앙대학교
공동연구책임자 : 김 용 수
공동연구기관명 : 한국건설기술연구원
공동연구책임자 : 박 환 표
공동연구기관명 : 현세대학교
공동연구책임자 : 한 승 헌

보 고 서 요 약 서

과제고유번호	08가스플랜트B05	해 당 단 계 연 구 기 간	2008.12.24. ~2015.12.17	단 계 구 분	3단계/3단계
연 구 사 업 명	플랜트연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	인공지능 기반의 LNG 플랜트 모듈화 기술 개발			
	단위과제명	LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발			
연 구 책 임 자	황 규 환	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 92 명 내부: 71 명 외부: 21 명	총연구비	정부:4,705,000천원 기업:1,771,000천원 계:6,476,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	㈜한길아이티		참여기업명	신성종합건축사사무소(주)	
국제공동연구	상대국명 : 해당없음		상대국연구기관명 : 해당없음		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	

LNG 플랜트 사업의 생산성 향상 및 건설사업비 절감을 통한 해외시장 진출 능력 및 국제경쟁력 향상으로 제시하고, 이를 달성하기 위한 목표로서 LNG플랜트 생애주기에 대한 최적 프로세스 구축을 통한 ① 통합지식 및 정보관리 시스템개발, ② 사업계획 전문가 시스템의 개발, ③ LNG 플랜트 해외사업 모델 및 ④ 위험관리기법 개발 등을 통해서 LNG 플랜트 엔지니어링 생산성이 10% 향상된 지식관리 및 사업관리체계 개발을 최종목표로 제시함.

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	플랜트, 생애주기, 프로세스최적화, 정보관리, 지식관리
	영 어	Plant, Life Cycle, Process Optimization, Information Management, Knowledge Management

1-4세부과제 최종보고서 구성(목차)

1. 생애주기 규명 및 통합 지식관리기술 개발
(1-4-1협동과제, 한길아이티)

2. 시나리오 기반의 LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템 개발
(1-4-2공동과제, 중앙대학교)

3. 위험 기반의 사업 및 공정관리기법 개발
(1-4-3공동과제, 한국건설기술연구원)

4. LNG플랜트 해외사업모델 및 위험관리 평가기법 개발
(1-4-4공동과제, 연세대학교)

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발에 관한 연구"과제(주관과제 "생애주기 규명 및 통합 지식관리 기술 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17 .

주관연구기관명 : ㈜한길아이티
주관연구책임자 : 황 규 환
연 구 원 : 신종화, 하재섭, 고태진
" : 이종원, 홍석현, 황석주
" : 조은아, 정홍석, 황승현
" : 이재호, 정계완, 김현우
" : 김소영, 석현수, 김진만
" : 전기주, 탁현우, 상여진
" : 김동용, 이용찬, 이승국
" : 한교준, 이 규, 전진표
" : 박지원, 신은경, 박병준
위탁연구기관명 : 경희대학교
위탁연구책임자 : 이 준 복
연 구 원 : 한충희, 원서경, 소지윤
" : 한동환, 김 혁, 최창훈
" : 이영주, 윤나리, 조현우
" : 천봉기, 백경원, 명나연
" : 김성규, 김창한, 김용규

보 고 서 요 약 서

과제고유번호	08가스플랜트B05	해 당 단 계 연 구 기 간	2008.12.24. ~2015.12.17	단 계 구 분	3단계/3단계
연 구 사 업 명	플랜트 연구사업				
연 구 과 제 명	최 상 위 과 제 명	인공지능 기반의 LNG 플랜트 모듈화 기술 개발			
	단위과제명	LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발에 관한 연구			
연 구 책 임 자	황 규 환	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 69 명 내부: 51 명 외부: 18 명	총연구비	정부:2,141,300천원 기업:1,271,000천원 계:3,412,300천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	㈜한길아이티		참여기업명	신성종합건축사사무소(주)	
국제공동연구	상대국명 : 해당없음		상대국연구기관명 : 해당없음		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	417

LNG 플랜트 최적 업무프로세스를 바탕으로 생애주기 통합지식관리시스템을 구축하고, 각 생애주기 단계별로 발생되는 지식뿐 아니라 생애주기 경계면에서 발생되는 지식과 정보를 포함한 표준 업무지침서를 개발.

LNG 플랜트의 설계, 구매, 시공(EPC)수행의 효율성 제고를 위해 업무분류체계를 정립하여 이의 적용성 및 타 연구과제와의 호환성을 검증함으로써 국내 플랜트 산업계의 현행 수행체계의 효율성 대비 엔지니어링 생산성 향상과 총사업비용 저감을 실현할 수 있는 대안을 제시하였음.

- 지식 및 정보관리 국내외 자료 수집/분석
- 계약단계 표준 업무 모듈 개발
- 설계, 구매조달 및 시공단계 표준 업무 모듈 개발
- 정보·지식 관리 모듈 개발
- 통합지식관리시스템 프로토타입 개발
- 통합지식관리시스템 구축 및 상용화

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	플랜트, 생애주기, 프로세스최적화, 정보관리, 지식관리
	영 어	Plant, Life Cycle, Process Optimization, Information Management, Knowledge Management

요 약 문

Ⅰ. 제 목

□ LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

□ 목적

본 과제는 제1핵심과제인 'LNG플랜트 핵심기반기술 개발'의 제4세부과제로써 '엔지니어링 효율성 개선기술 개발'이라는 비전을 가지고 있다. 이를 달성하기 위하여 '프로젝트 생애주기 관리(Project Life-cycle Management) 기반 LNG 플랜트 프로젝트 사업관리 및 지식관리시스템 개발'을 총괄 목적으로 하고 있다.

본 과제는 제4세부과제의 1세세부 과제에 해당되며 엔지니어링 효율성 개선을 위한 도구의 역할을 하는 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발을 위해 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발을 목표로 하고 있다.



본 과제의 최종목표

최종 목표인 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리 기술 개발을 위해 3단계로 세부 연구추진 목표를 설정하고 추진하였다.

단계별 세부 연구추진 목표

단계	기간	세부 목표
1단계	2008.06~2010.04	• LNG 플랜트 생애주기 규명 • 지직정보관리 시스템의 현황을 분석 • 시스템 개발 방향을 정립 • 기획단계 표준 업무 모듈 개발
2단계	2010.04~2012.04	• EPC 단계별 표준프로세스 구축 • EPC 단계별 표준 업무 모듈 개발
3단계	2012.04~2015.12	• 통합 시스템 구축 및 검증 • 위험관리기법에 기반한 LNG 플랜트 해외사업 모델 통합 패키지를 개발

□ 필요성

플랜트 건설 사업은 복잡한 기술 집약형 물적 시스템, 기술 기준서의 산업, 산업설비기술의 역동성, 경험과 노하우가 중요, 고도의 프로젝트 관리기술 등이 요구된다.

또한, 플랜트 건설사업의 특성은 다양한 학문과 기술이 결합되어 복잡한 장치를 구성하며, 체계적인 기술기준과 절차서, 경험과 노하우의 축적, 관리기법 등에 의하여 성공 여부가 크게 좌우되기 때문에 이에 대한 체계적인 관리가 필요한 시점이다.

해외 LNG 플랜트 건설 시장의 규모는 꾸준히 확대될 것으로 예상되며 고부가가치 창출을 위해서는 지금까지의 시공 위주의 수주가 아닌 EPC 일괄수주가 필요하다.

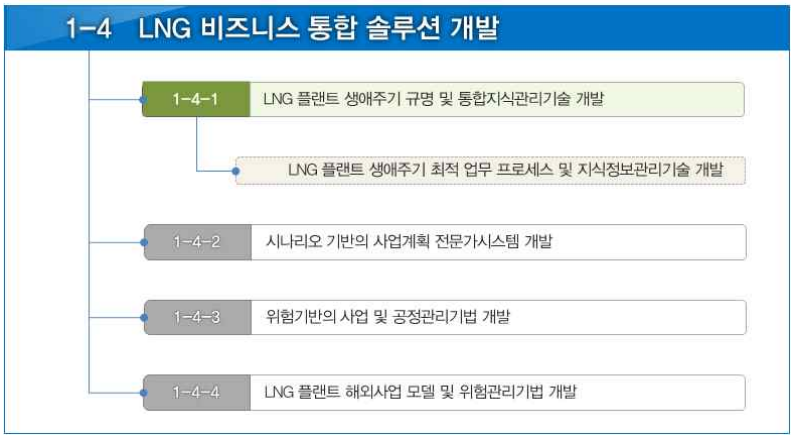
EPC의 일괄수주를 위해서는 건설 사업관리 관련 기술의 자립이 필수적인데 본 과제의 수행으로 이를 위한 기반기술을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

이에 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위해서는 본 과제의 수행으로 최적 프로세스를 개발해서 유형의 지식 손실을 막고 사업계획 기술 개발, 건설 사업관리 기술 개발, 통합정보 및 지식관리 기술 개발을 수행함으로써 관련 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위한 기술기반을 조성할 필요가 있다.

따라서, 본 과제에서 다루고 있는 연구내용과 같이 LNG 플랜트의 엔지니어링 효율성 개선기술 개발을 통한 국제경쟁력 확보가 무엇보다도 중요한 시점인 것으로 판단된다.

□ 범위

본 과제는 '1-4세부 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발' 연구의 '1-4-1 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발'을 담당하고 있다. 본 세세부 과제는 타 세세부 과제들과의 협업을 통해서 동 세부과제의 엔지니어링 효율성개선 목표를 달성하며 타 세세부과제와의 협업으로 LNG 플랜트 사업단이 추구하는 목표를 달성하도록 한다. 주요 수행 내용은 LNG 플랜트의 생애주기규명과 이를 통한 최적 업무 프로세스를 개발하고, 설계(E)-구매조달(P)-시공(C) 단계 엔지니어링 업무 모듈을 개발하여, 타 세부과제에서 규명된 위험관리 기반 의사결정 시스템과 사업타당성 분석 시스템을 통합 패키지화하여 통합 비즈니스 솔루션을 구축하는 것이다.



1-4세부 과제 구성 체계

본 세세부 과제는 LNG플랜트 생애주기를 규명 및 생애주기별 최적 프로세스를 제시하고 플랜트 생애주기의 정보 및 지식을 관리하는 생애주기 통합정보관리 시스템을 개발을 주요 범위로 하고 있다.



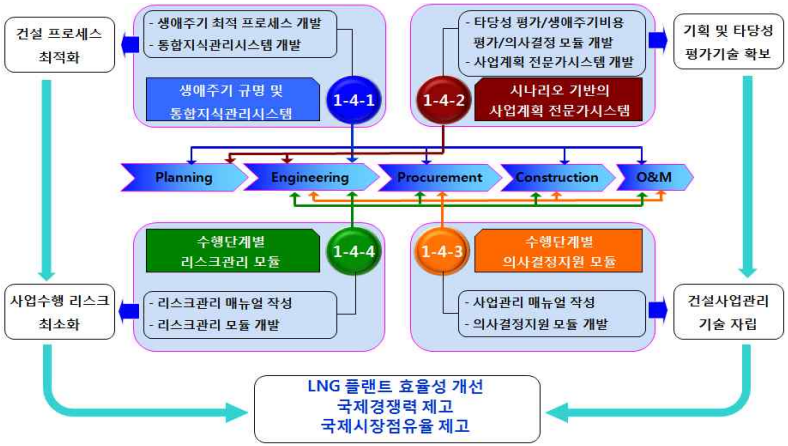
1-4-1 과제 연구 개발 범위

1-4-1과제 본연의 임무인 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 정립을 통하여 사업관리 업무 단계별로 생애주기 단계별 업무관리모듈을 개발하는 것과 타세세부에서 개발한 사업계획전문가시스템 및 위험기반 의사결정시스템을 연계 통합함으로서 LNG 비즈니즈 통합지식관리시스템을 개발하는 것이며, 이와 더불어 해외 플랜트 사업 참여 여부를 판단하고 리스크 기반 의사결정이 가능한 해외사업모델 패키지 시스템을 개발하는 것을 주요 내용으로 하고 있다.

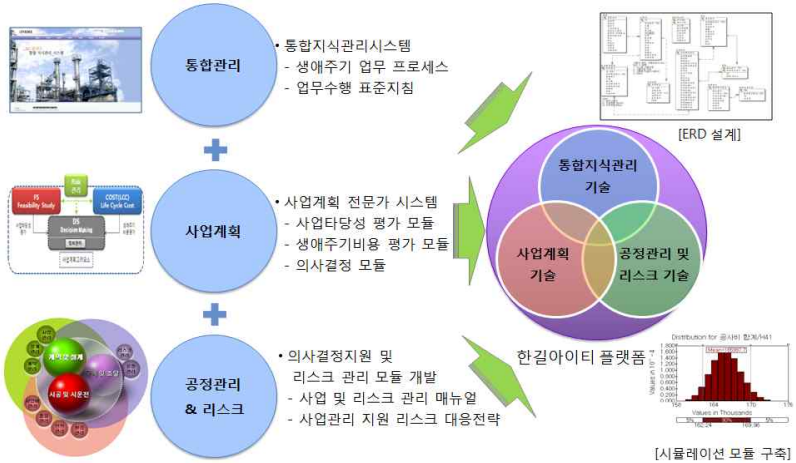
Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

□ 연구수행과정

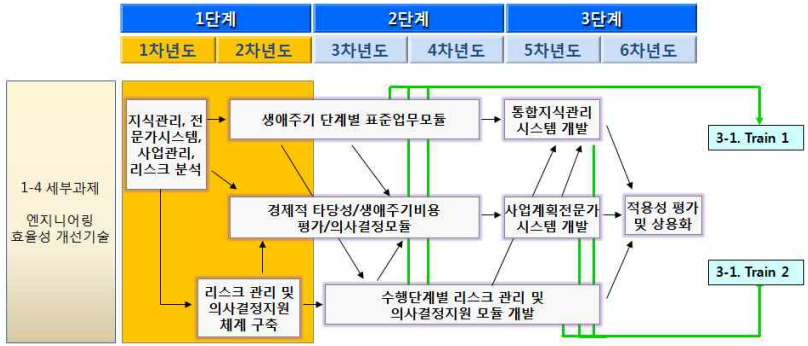
1-4 세부 연구는 LNG 생애주기 규명과 이를 토대로 업무 단계별 표준 업무 프로세스 모듈을 개발하고, 핵심 기술들을 통합하여 통합시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 본 과제의 세부과제 간 통합 연구개발 추진 전략은 다음과 같다.



1-4세부 과제 간 추진 전략



1-4 세부 과제 연구 추진 방법



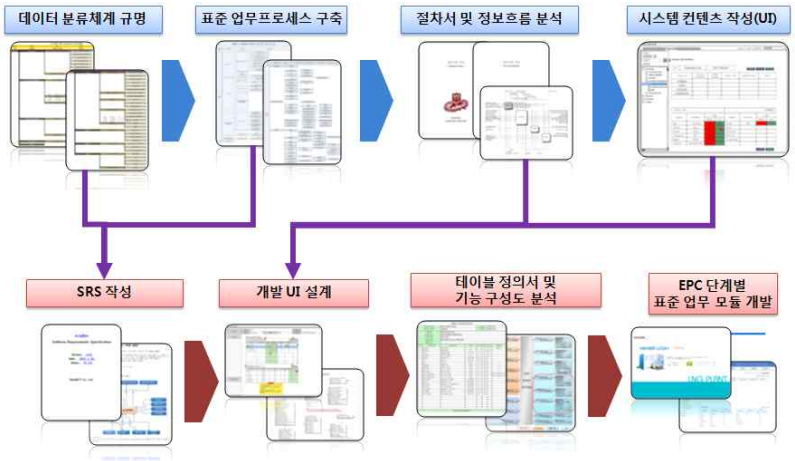
1-4 세부 과제 TRM

본 과제는 1-4-1세세부 연구로써 'LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발'을 최종 목표로 하고 있다. 주요 수행 내용은 LNG 플랜트의 생애주기규명과 이를 통한 최적 업무 프로세스를 개발하고, 설계(E)-구매조달(P)-시공(C) 단계 엔지니어링 업무 모듈을 개발하여, 타 세부과제에서 규명된 위험관리 기반 의사결정시스템과 사업타당성 분석 시스템을 통합 패키지화하여 통합 비즈니스 솔루션을 구축하는 것이다. 이를 달성하기 위한 연차별 연구수행 내용 및 성과 요약은 다음과 같다.



연차별 주요 연구수행 내용 및 성과

본 과제의 연구 수행은 LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 개발을 위한 기반 연구로 플랜트 생애주기 단계별 사업관리 업무 프로세스를 구축하여, WBS 및 데이터 분류체계 규명하고, 이에 따른 표준 업무 절차서를 작성하는 기반 기술 연구를 수행하고, 이를 기반으로 LNG 플랜트 비즈니스 통합 관리 시스템을 설계 및 개발하는 방법을 적용하였다.



연구수행 방법

□ 연구수행 내용 및 결과

1-4-1 세세부 과제의 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발 연구의 각 단계별로 연차별 주요 연구 수행 내용 및 결과는 다음과 같다.

연차별 연구 수행 결과

기간	연구 내용	연구 수행 결과
1차년도	표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명	국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사 및 분석
		LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성 분석
		선진기업의 LNG 플랜트 생애주기 사업수행 체계 분석
		생애주기 사업관리 니즈 분석
	LNG플랜트 데이터 분류체계 정립	단계별 업무프로세스 현황 조사 및 분석
		생애주기 업무분류체계 조사 및 분석
		생애주기 사업관리 시스템 도입방안 정립
2차년도	LNG 플랜트 기획단계 상세 업무 프로세스 구축	기획단계 As-is 프로세스 모델 분석
		기획단계 상세업무 프로세스 분석
		기획단계 업무정의 및 관련정보 분류
	LNG플랜트 데이터 분류체계 정립	기획단계 정보 흐름 규명
		사업관리 요구사항 도출 및 시스템 구성도 및 기능 정립
		개방형 정보표준 기반의 사업관리 데이터 모델링 및 설계
		기획단계 표준 업무 모듈 개발
3차년도	EPC 단계별 업무 프로세스 및 맵 구축	EPC 단계별 업무분류체계 구축
	EPC 단계별 업무 모듈 설계	단계별 업무 프로세스 맵 구축
		EPC 단계별 사용자 요구사항 도출
		Balsamiq Mockups을 이용한 EPC 단계별 UI 설계
		EPC 표준 업무 모듈 개발
4차년도	EPC 단계별 정보지식관리 표준 업무지침 개발	생애주기 단계별 통합업무 프로세스 구축
		생애주기 단계별 표준업무지침 개발
	EPC 단계별 정보지식관리 업무 모듈 개발	생애주기 지식정보관리 모듈 프로토타입 개발
		모듈별 단위테스트를 통한 검증
5차년도	LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발 및 WBS 보완	통합지식관리시스템 개발생애주기 단계별 업무 WBS 체계 보완
		LNG 플랜트 통합지식관리시스템 프로토타입 개발
	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계	해외사업 추진 프로세스 및 의사결정 체계 현황 조사 및 분석
		해외사업 추진 시 요구되는 시스템적 요구사항 도출
		해외사업 추진 시나리오별 모델 정립
6차년도	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발	통합지식관리시스템 개발
		통합지식관리시스템 검증 및 상용화 방안 구축
	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 및 검증	해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발
		해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 검증

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

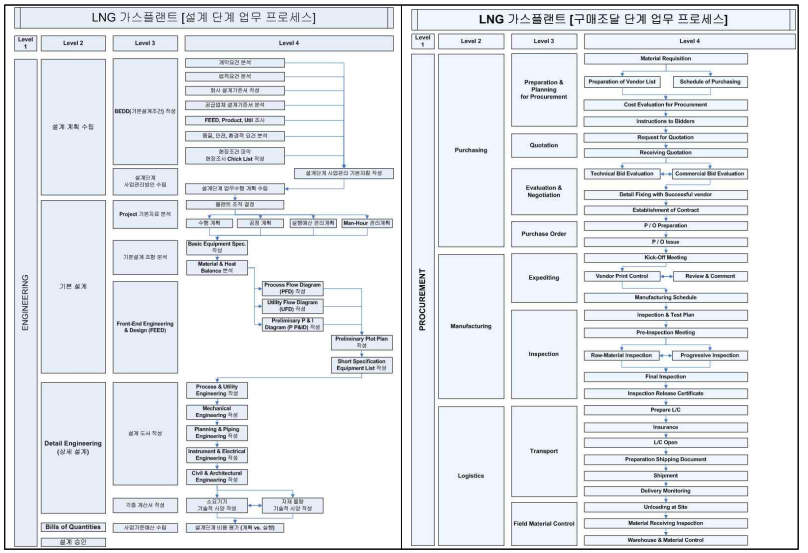
□ 최종 연구성과

1) 표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명

LNG 플랜트 비즈니스 통합 솔루션 개발을 위해 국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사를 통하여 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성과 선진기업의 사업수행 체계 분석 분석하여 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 니즈에 부합하는 업무 프로세스를 정립하고 이를 시스템 개발에 반영하며, 생애주기 단계별 표준 업무 지침을 작성 제공하는 것을 목표로 하였다.

국외의 경우 플랜트를 포함하여 프로젝트 생애주기의 모든 단계에 걸쳐 자동화되고 객관적인 사업관리 통합 환경 구축을 통해 건설 산업 전반의 효율적인 관리를 수행하고 있다. 다만, 설계가 확정되지 않은 Front-end Phase는 사업비 추정 오차가 리스크를 증가시키고 있어, 이에 대한 시나리오 기반 사업계획에 대한 연구개발을 추진하고 있다. 하지만, 국내는 아직 프로젝트 생애주기 규명 및 정보 통합관리 체계 등 매우 열악한 상태로 이에 대한 엔지니어링적 기술 보완이 필요한 상황이다. 또, LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다. LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄 계약하는 방식이 건설 산업의 계약방식과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구성과인 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축에서는 국내 사업관리 엔지니어링 기술을 보완을 위해 선진국 및 국내 주요 엔지니어링 업계의 사업수행 프로세스를 분석하여 EPC 계약 방식(턴키, 일반, 도급, 공사, 등)을 고려하여 단계별 표준 업무 프로세스를 제시하였으며, 해당 업무에 대한 지침을 작성하여 제공함으로써 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 엔지니어링 업무 효율성 및 역량 향상을 견인하였다.



'표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명' 최종성과물

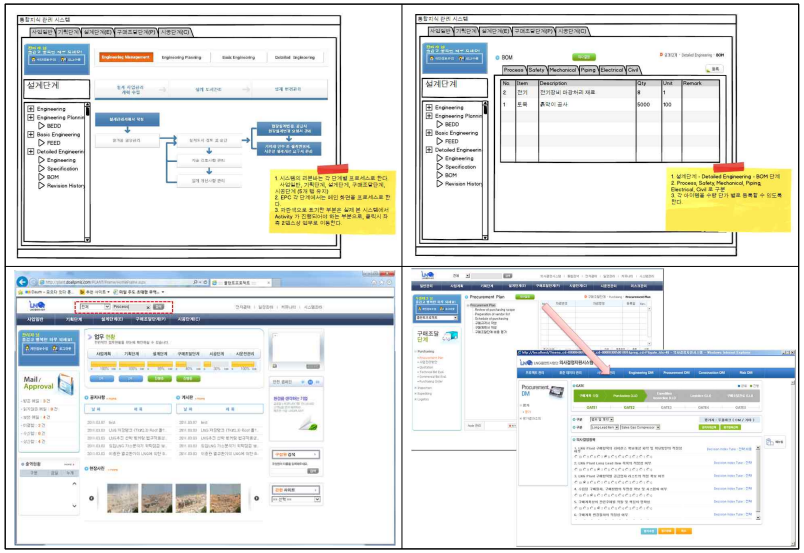
2) LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템 개발

LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템은 LNG 플랜트 건설사업관리 엔지니어링 효율성 개선을 위한 도구로 활용되는 기술로서, 앞 절의 기반 연구를 통해 규명된 생애주기 업무프로세스를 효율적이고 체계적으로 수행함으로써 지식정보를 축적하고 재활용하는데 용이하게 하는 기술이다.

선행 연구에서 LNG 플랜트 생애주기 관점에서 사업관리자(PM)의 입장으로 시장과 고객, 그리고 LNG 플랜트 건설업체의 관점에 대한 사업관리 니즈를 분석하였다. 앞 선 조사 연구가 시장의 환경 변화를 고려하여 핵심 관점 별로 니즈를 파악하였다면, 본 절에서는 이를 토대로 사업관리 시스템의 구축이라는 관점으로 시스템 개발 방향에 대한 요구사항을 도출하였다. 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 등 사업수행과 관련된 시스템 세부적인 요구사항은 차후에 상세히 설명하도록 하고, 본 절에서는 거시적인 관점에서 시스템 개발에 요구되는 고려 사항을 중심으로 시스템의 구성과 그 기능에 대하여 정립하였다.

먼저, 앞 선 시장 니즈를 기반으로 사업관리 시스템 구축에 필요한 사항을 정리하면 다음 표 00과 같다. 시장의 관점에서는 외부의 지속적인 가격 하락 요인에 대한 효과적인 대처를 위해 효율성(또는, 생산성) 향상을 업무 절차와 이를 반영한 시스템 구축과, 시스템 관리와 공

종별 신속한 업무 처리 및 협업이 가능하도록 공종 및 업무 특성에 따른 유연한 모듈 구성이 가능한 현장 업무 처리 중심의 간소한 시스템 구현, 그리고, 사업관리 위험 및 불확실성을 제거하고 관리 효율을 극대화할 수 있도록 사업관리 노하우(지식, Knowledgement)의 지속적인 축적 및 재활용이 가능한 시스템이 핵심 요구 사항으로 도출되었다.



'LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템 개발' 최종성과물

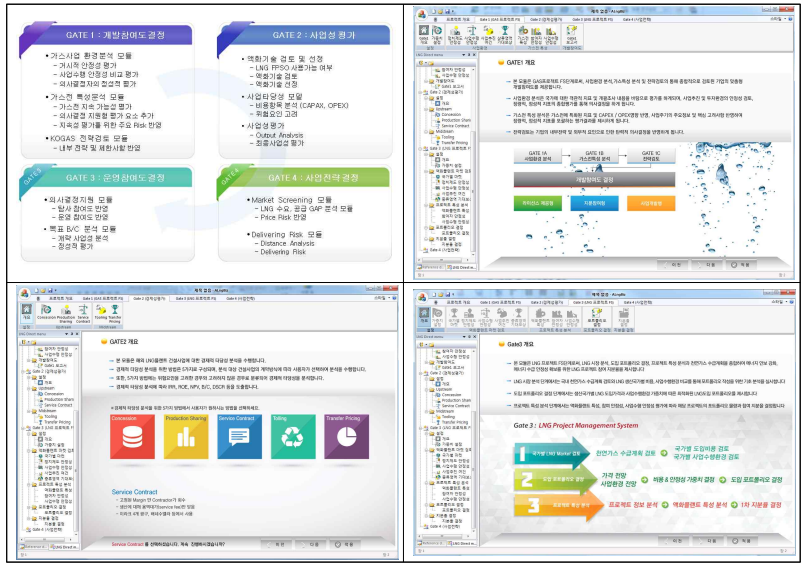
3) LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발

본 연구성과인 LNG 플랜트 해외사업모델 통합 패키지 시스템은 해외 LNG플랜트 사업선별 및 사업타당성평가 시에 발주국의 사업환경, 국가리스크, LNG시장 전망 등에 대한 고려와 함께 사업전략특성, 최근 시장동향 등 정성적인 정보까지 정량적으로 평가하여 비교 검토하여 LNG 플랜트 개발사업의 참여 여부 혹은 참여할 경우 그 방법에 대한 의사결정을 제공하는 기술이다. 이 패키지 시스템 기술은 LNG 플랜트 가스전 개발참여도 및 운영참여도 결정을 기본으로 한 의사결정을 지원모델과 사업성 평가를 통하여 향후 액화플랜트의 수급을 예상할 시, 단가를 적용하여 예상 시나리오를 제안할 수 있는 모델을 통해 의사결정을 지원하게 된다.

LNG 플랜트 해외사업 추진 시 요구되는 시스템적인 요구사항을 도출하여 다양한 내 외부 환경변화 시나리오에 따른 해외사업 추진 모델을 정립하는 기술과 이들을 패키징하여 현업에서 활용할 수 있는 LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발이 핵심 기술이다.

개발참여도 결정 모듈은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 두고, 사업환경 평가 및 가스전 특성 평가를 통해 해외사업 개발 진출 여부를 판단하는 기술이며, 사업성 평가 모듈은 LNG플랜트에서 활용되는 액화기술(liquefaction)을 검토하고, 액화기술에 따른 개발비용 및 생산이익을 산출하여 비용편익비를 제시하는데 목적을 두었으며, 이는 기존의 개략적 경제성평가를 비용편익분석 관점의 상세분석으로 확장, 발전시킨 형태로 개발하였으며, 운영참여도 결정 모듈은 현재 및 미래의 시장전망을 바탕으로, 개발된 LNG플랜트의 운영과정에 대한 참여도를 결정하는데 목적을 두었으며, 이는 시장전망을 통해 운영단계에서의 적정지분 참여수준을 제시하며, 사업자의 목표 비용편익비(benefit-cost ratio)을 기준으로 이를 달성하기 위한 최소 운영지분을 결정하는 목적으로도 활용할 수 있는 기술이다.

따라서, 본 연구성과물은 해외 가스전 개발 시에 참여 프로젝트를 선별해주고 사업타당성을 근거로 사업참여도를 결정해 줌으로써 LNG 플랜트 해외사업 진출 시 해외 현지의 리스크를 최소화하는 동시에 최적의 사업 참여 전략을 제공하는 기술이다.



'LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발' 최종성과물

□ 적용 실적

본 연구에서 기술개발한 것 중에서 “LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발 “의 주요 결과물인 ”설계, 구매조달 및 시공 단계의 표준 업무 모듈 개발“ 을 대상으로 국내 업체에 기술실시계약을 3건 실시하였다.

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

□ 연구개발 최종목표 달성도

본 연구의 최종 목표는 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술을 개발하여 업무 생산성을 10% 향상하는데 목적이 있으며, 그 세부 목표는 다음과 같다.

- LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축
- LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템 개발
- LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발

1) 정량적 목표 달성도

양적성과 달성도

성과지표		최종 목표	누적 실적	내 용
학술지 게재 논문	비SCI	10	2	· 해외 LNG Plant 프로젝트 초기 프로세스 분석 및 지식관리 시스템 프로토타입 구축, 한국건축시공학회 · 플랜트 프로젝트의 효율적 로지스틱스 업무 프로세스 정립, 대한건축학회
특허	출원	2	6	· 최적 LNG 플랜트 정보 처리 방법 및 이를 지원하는 단말기 · LNG 플랜트 지원 시스템 및 이를 지원하는 사용자 인터페이스 · LNG 플랜트 업무 프로세스 모델링 방법 및 시스템 · LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템 · LNG 플랜트 업무 관리 시스템 및 방법 · 플랜트 공정 관리 지원 방법과 이를 지원하는 전자 장치 및 네트워크 시스템
	등록	2	4	· LNG 플랜트 지원 시스템 및 이를 지원하는 사용자 인터페이스 · 최적 LNG 플랜트 정보 처리 방법 및 이를 지원하는 단말기 · LNG 플랜트 업무 프로세스 모델링 방법 및 시스템 · LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템
현장 검증	경험	2	2	· 시스템 설명/시연 및 적용, 인도네시아 Donggi-Senoro LNG · 시스템 설명/시연 및 적용, 사우디아라비아

				SATORP JUbail #3 Project
기술 실시 계약	건수	2	3	· LNG 플랜트 구매조달 단계의 표준 업무 모듈 개발 · LNG 플랜트 설계 단계의 표준 업무 모듈 개발 · LNG 플랜트 시공 단계의 표준 업무 모듈 개발
전문인력양성		5	4	· 전문인력 양성, 석사 졸업 4인
시작품		5	5	· 플랜트 기획단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 설계단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 구매조달단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 시공단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 시운전단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서
시제품		4	5	· LNG 플랜트 기획관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 설계관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 구매조달관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시공관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시운전관리 표준 업무 모듈
학술 회의 / 발표	국내	9	8	· Fundamental Investigation of Knowledge Management System for a Plant, ICCEM ICCPM 2009 · 해외 LNG 플랜트의 시공 전(前)단계 업무 프로세스 분석, 한국건설관리학회 · 해외 플랜트 프로젝트의 시공 이전 단계 표준 업무 프로세스 구축, 대한설비공학회 · 매트릭스 구성을 통한 플랜트 프로젝트 표준 업무지침 구현방안, 한국건설관리학회 · 플랜트 프로젝트의 구매조달단계 입찰평가 시스템 프레임워크 개발, 대한설비공학회 · 플랜트 프로젝트 업무정보의 지식화를 위한 데이터마이닝 기법에 관한 연구, 대한건축학회 · 플랜트 업무정보관리를 위한 메타데이터 기반 데이터베이스 적용방안, 대한건축학회 · LNG플랜트 생애주기 지식정보 통합기술 연구, 한국건설관리학회
	국외		1	· Process-based Integrated Knowledge Management System Prototype for Plant Project, AEBT 2014 (Advances in Environmental and Bio-Technology)
산학연간 기술지원		4	7	· LNG 플랜트 연구내용 발표 · LNG 플랜트 기획단계 업무절차 및 모듈 자문 · 표준 업무 모듈의 설계단계 검토 · 표준 업무 모듈의 구매조달단계 검토 · 표준 업무 모듈의 시공단계 검토 · 표준 업무 모듈의 시운전단계 검토 · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 세미나
기술확산 교류		5	6	· ‘LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 개발’ 성과발표 · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 현황 · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 발표 · 원전 및 LNG 플랜트 CM 연구수행체계 비교 및 트랜드 분석 발표 · ‘시스템 개발 현황 소개’ 한국수력원자력중앙연구소 방문 · ‘시스템 개발 현황 소개’ ETRI 방문
연구 관련 홍보		4	10	· ‘플랜트 3D 설계 소프트웨어 Review’ 특집기사, Cad&Graphics · ‘플랜트 3D 설계 소프트웨어 Review’ 특집기사, PLANT E&C · 시스템 홍보 부스 참가, 플랜트 컨퍼런스 2010 · 설비공학회 성과집 이미지 광고, 대한설비공학회 논문집 · 건설신문 인터뷰, 건설신문 · ‘LNG 인수기지(Receiving Terminals) 플랜트 통합 BIM 시스템 개발 방향’ 특집기사, Cad&Graphics · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 소개, 플랜트 컨퍼런스 2012 · 기술이전 체결식, 2013 국토해양기술대전 · 국토교통기술대전 부스 참가, 2014 국토해양기술대전 · 국토교통기술대전 부스 참가, 2015 국토해양기술대전
기타 저작권	S/W		5	· LNG 플랜트 기획관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 설계관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 구매조달관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시공관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시운전관리 표준 업무 모듈

2) 정성적 목표 달성도

질적성과 달성도

연구내용	연구수행단계	산출 성과물
EPC 단계 표준 업무 모듈 개발	표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명	· 설계단계 표준 업무 모듈 · 구매조달단계 표준 업무 모듈 · 시공단계 표준 업무 모듈
	LNG플랜트 데이터 분류체계 정립	
	LNG 플랜트 기획단계 상세 업무 프로세스 구축	
	LNG플랜트 사업관리 요구사항 도출 및 시스템 구성	
	EPC 단계별 업무 프로세스 및 맵	
	EPC 단계별 업무 모듈 설계	
정보지식관리 기술 개발	EPC 단계별 정보지식관리 표준업무지침 개발	· 표준 업무 프로세스 · 업무표준 지침 · 정보지식관리 기술 분석 보고서
	EPC 단계별 정보지식관리 업무 모듈 개발	
통합지식관리 시스템 개발	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발	· 통합지식관리 모듈 · 시스템 검증 및 상용화 방안 검토 보고서
	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발	
해외사업모델 상용화 통합 패키지 개발	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계	· 개발참여도 모듈 · 사업성평가 모듈 · 운영참여도 모듈 · 사업전략 모듈
	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 및 검증	

□ 연구개발 성과의 효과

국내 기업의 LNG 플랜트 지식관리기술을 보유하게 되며, LNG플랜트 사업의 통합정보관리시스템 및 지식관리시스템을 구축함으로써 업무량 감소 및 건설사업비 5% 절감이 가능하다.

기존 건설사업의 지식관리체계를 바탕으로 정보의 단절, 지식관리 부재, 개별화 등 시스템의 약점을 극복하고 정보, 지식 및 시스템이 통합된 LNG 플랜트 지식관리체계를 구현하여 LNG 플랜트 지식관리기술에 대한 중간진입전략을 수립하였다.

국내에 없는 LNG플랜트 사업개발 및 기획능력을 확충하되, 보다 선진화된 기술을 확보할 수 있도록 시나리오 기반의 체계인 시스템으로 구현하였다.

현재 시공기술 위주의 사업관리에서 벗어나 생애주기 관점에서 계획과 실행이 최적화된 사업관리체계를 구현하여 사업개발, 기획 컨설팅 등 신규분야에 진출할 수 있는 역량을 확보하였다.



연구성과의 기대효과

2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이 중에서 5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악하였다.

일반적으로 사업관리 비용은 총 건설사업비의 12%정도로 볼 수 있으며, 이를 고려하면, 국내 LNG플랜트 사업관리 시장 규모는 매년 1,200억원~1,800억원의 시장이 형성될 것으로 예측되며, 본 연구를 통해 개발된 기술패키지 시장(전체 사업관리비의 5%정도)의 추정된 시장의 주기적인 업그레이드와 해외시장 진출을 위한 가수요를 고려시에 매년 100억원대의 시장을 형성될 수 있을 것으로 판단된다.

LNG 플랜트의 EPC 수행 프로세스 개발 및 시스템 활용의 전문인력 육성 및 확보를 함으로써, 선진국 대비 인프라 수준을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

국내 IT 분야의 강점을 극대화하여, 실용적이며 효과적인 LNG 플랜트 지식관리시스템 분야에서도 국가이미지를 제고하는 효과가 있을 것으로 기대한다.

기반기술 확보를 위한 중복투자 방지를 통하여 LNG 플랜트 사업관리 표준을 확보하고 이를 통해 선진업체가 가진 사업관리 기술에 대응 가능한 기술 확보가 가능토록 시장진입 환경을 조성하고, 국내 업체들이 개별적으로 추진함에 따라 발생되는 비용의 중복을 최소화할 수 있는 효과를 기대한다.

해외 사업 진출을 꾀하는 플랜트 업체를 위한 표준화된 사업관리 수행체계 및 표준을 보급하여 관련 분야의 해외시장 진출 촉진 및 고부가가치 영역을 확대하도록 한다.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

본 연구의 주요 성과물은 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계의 업무수행지침서, 사용자 요구사항 조사서, 표준 업무 모듈 등으로 구분할 수 있으며, 이러한 성과물을 기반으로 LNG 플랜트 지식인프라 구축 및 정보제공, 해외진출 지원 및 수익성 확보를 위한 컨설팅 지원, 연구성과 민간 이전 및 사업화 지원 등에 활용할 계획이다.

활용방안의 실제적인 가능성을 높이기 위하여 사업단이 시행할 테스트베드사업에 적용하여 성과평가 및 보완을 지속적으로 수행할 예정이다.

본 연구의 성과물에 대한 활용성을 높이기 위하여, 표준 지침을 작성하여 발간 배포할 수 있도록 기여할 예정이며 LNG 플랜트의 통합 정보간리 및 지식관리시스템 개발을 위한 프로세스를 생애주기 단계별로 최적화하여 모듈별 선별 채택 사용이 가능할 수 있는 방안을 모색할 것이며, 이는 향후 연구 성과가 사업모델로써 상품화 과정을 거쳐 국내외로 보급하는 데에 도움이 될 것이다. 또한, 본 연구와 관련된 각종 지식과 연구개발성과물은 국내외 특허를 출원하여 국가 경제에 기여할 것으로 예측된다.

연구성과의 실용화를 위한 추진계획 수립을 위한 기본원칙은 크게 다음과 같이 세가지 방향으로 제시하고자 한다.

본 연구성과로서 제시하고자 하는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준을 토대로 상용화 대상에 대한 니즈조사를 토대로 비즈니스 모델을 발굴하여 체계적인 추진전략을 마련하고자 한다.

제시되는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준은 개발형 데이터교환 표준을 채택토록 하고, 이에 기반으로서 개방형 서비스 플랫폼을 제시하여 LNG 플랜트시장에 대한 체계적이고 손쉬운 진입이 가능토록 한다.

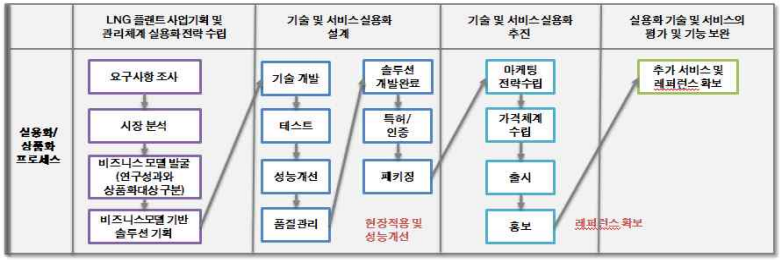
초기 모델링 및 시스템 기획단계에서 시장요구사항에 대한 조기 파악 및 피드백을 시행하여 상용화를 위한 전략수립과 연계하며, 국내외 시장 선정 효과를 확보한다.

연구성과의 실용화 추진계획은 상용화 전략의 수립 및 비즈니스 모델 발굴, 비즈니스 모델에 따른 기술 및 서비스 실용화 설계(현장적용을 통한 성능 개선), 기술 및 서비스 기능에 대한 실용화 및 제품화 추진, 추가서비스 및 참조 레퍼런스 확보를 통한 기능 보완 등 크게 4개의 단계로 추진하고자 한다.

1 비즈니스 모델 발굴 : 연구성과로서 사업기획 및 관리 표준을 제공하며, 이를 기반으로 한 비즈니스 모델을 발굴하여 실용화 추진

2 개방형 표준 채택 : 개방형 데이터교환 표준 및 서비스플랫폼의 채택으로 LNG 플랜트 사업관리 시장진입 확대

3 시장 모니터링 : 시장 요구사항 조기 피드백을 통한 시장 선점 및 사업화 추구



연구성과의 활용 및 실용화 추진계획

SUMMARY

Ⅰ. Title

☐ Investigation on LNG Plant Life-cycle & Development of Integrated Knowledge Management Technology

Ⅱ. Summary of the R&D Task

☐ Purpose

The task set forth herein is the fourth detailed task of the primary core task, 'LNG Plant Core Technology' with the vision of 'Development of Technologies to Improve Engineering Efficiency'. For its accomplishment, it is generally aimed for 'Project Life-cycle Management-based LNG Plant Project Management and Development of Knowledge Management System'.

The task herein is the first sub-task of the fourth detailed task, and its purpose is to investigate LNG plant life-cycle and develop an integrated knowledge management technology for development of an integrated LNG business solution which acts a tool to improve engineering efficiency.

There are specific objectives to be fulfilled in 3 phases for investigation of LNG plant life-cycle and development of integrated knowledge management technologies.

☐ Necessity

Plant construction projects require a complicated technology-intensive physical system, industry of technical standard, dynamics of industrial engineering technologies, importance of experiences and know-how and advanced project management techniques.

In addition, plant construction projects are complicated in combination with a variety of

studies and technologies, and since the success of such projects is largely influenced by the accumulated experience and know-how and management methods, systematic management of the projects is needed.

It is expected that the size of LNG plant construction markets in foreign countries will steadily increase, and EPC turn-key contracting instead of construction/installation-centered contracting is needed for higher value-added creation.

Independent construction project management related technologies are essential for EPC turn-key contracting EPC, and it is believed that such technologies can be secured through the task implementation.

Accordingly, it is necessary to prevent any loss of tangible knowledge by developing an optimal process, develop project planning technologies, construction project management technologies, and integrated information and knowledge management technologies from this task for continuous industrial growth and ensuring higher value-added creation.

Thus, it is believed that we are standing at the critical point of securing global competitiveness through development of technologies to improve engineering efficiency of LNG plants as contained in the R&D task.

□ Scope

The task herein is on '1-4-1 Investigation on LNG Plant Life-cycle and Development of Integrated Knowledge Management Technology' of '1-4 Detailed Task: Development of Integrated LNG Business Solution'. The sub-tasks of the detailed task are combined with other sub-tasks to achieve the objective of improving engineering efficiency, as well as to attain the goal of LNG plant project team. It is mainly on investigating the life-cycle of LNG plants and developing an optimal process based on the investigation. Then, an engineering work module of Engineering(E)-Procurement(P)-Construction(C) phases is developed, and the risk management based decision-making system and project feasibility analysis system defined in other detailed tasks are integrated into a package to come up with an integrated business solution.

The main scope of the sub-task specified herein is to investigate the life-cycle of LNG plants, propose an optimal process for each life-cycle and develop an integrated life-cycle information management system that manages the information and knowledge of plant life-cycle.

It is largely on investigating LNG plant life-cycle and establishing related process, which are the detailed task specified in 1-4-1, to develop a work management module per life-cycle of each project management work and to develop an integrated knowledge management system for LNG business by integrating with project planning management system and risk-based decision-making system developed in other sub-tasks of the detailed tasks. Also, it includes developing an overseas project model package system that is used to decide whether or not to participate in overseas plant projects and allows risk-based decision-making.

Ⅲ. Description of the R&D Task & its Result

□ R&D Process

1-4 Detailed Task is intended to investigate LNG plant life-cycle and develop a standardized work process of each stage based on the investigation, and to develop an integrated system combined with core technologies.

The final objective (goal) of this task is the sub-task (1-4-1), 'Investigation on LNG Plant Life-cycle and Development of Integrated Knowledge Management Technology'. It is mainly on investigating the life-cycle of LNG plants and developing an optimal process based on the investigation. Then, an engineering work module of Engineering(E)-Procurement(P)-Construction(C) phases is developed, and the risk management based decision-making system and project feasibility analysis system defined in other detailed tasks are integrated into a package to come up with an integrated business solution.

The task implemented is a base study for development of an integrated knowledge management system for LNG plants, so as to build a project management work process for each life-cycle phase and to identify WBS and data classification system. Also, a technological study to prepare a standardized work procedure is conducted and the

methods of designing and developing an integrated business management system for LNG plants based on the studies are applied.

☐ Description of the Task Implementation & its Result

The main studies conducted annually per stage for development of an integrated business solution for LNG plants (1-4-1 sub-task) and their results are as described below.

Description of the Task Implementation & its Result per Year

Period	Description	Result
First Year	Investigation on LNG Plant Life-Cycle based on the Standard	Case studies and analyses on domestic/overseas LNG plant life-cycle management
		Analyses on characteristics of LNG plant life-cycle project management
		Analyses on LNG plant life-cycle project implementation system of leading companies
		Analyses on needs of LNG plant life-cycle project management
	Establishment of LNG Plant Data Classification System	Investigation/Analyses on work process of each LNG plant stage
		Investigation/Analyses on LNG plant life-cycle work classification system
		Establishment of plans to introduce LNG plant life-cycle project management system
Second Year	Building the Detailed Work Process of LNG Plant Planning Stage	Analysis of as-is process model of LNG plant planning stage
		Analysis of detailed work process of LNG plant planning stage
		Definition of work at the LNG plant planning stage and classification of related information
	Establishment of LNG Plant Data Classification System	Identification of information flow at the LNG plant planning stage
		Deduction of requirements on LNG plant project management and establishment of system block diagrams and functions
		LNG plant open information standard-based project management data modeling and design
		Development of standardized work module of LNG plant planning stage
Third Year	Building the Work Process & Map for each EPC Stage	Building the work classification system for each LNG plant EPC stage
	Designing the Work Module for each EPC Stage	Building the work process and map for each LNG plant EPC stage
		Deduction of user requirements for each LNG plant EPC stage
		UI design for each EPC stage using Balsamiq Mockups
		Development of EPC standardized work module for LNG plants
Fourth Year	Development of a Standardized Work Guideline on Information Knowledge Management for Each EPC Stage	Building an integrated work process for each LNG plant life-cycle stage
		Development of a standardized work guideline for each LNG plant life-cycle stage
	Development of Information Knowledge Management Work Module for Each EPC Stage	Development of knowledge information management module prototype on LNG plant life-cycle
		Verification through unit tests per module
Fifth Year	Development of Contents on Integrated Knowledge Management System for LNG Plants and WBS Improvement	Development of integrated knowledge management system for LNG plants, improvement of WBS system for each life-cycle stage and its verification
		Development of integrated knowledge management system prototype on LNG plant
	Designing an Integrated Package System for Commercialization of LNG Plant Overseas Project Model	Investigation/Analyses on LNG plant overseas project implementation process and decision-making system
		Deduction of system requirements upon implementation of LNG plant overseas project
		Establishment of a model for each scenario on implementation of LNG plant overseas project
Sixth Year	Development of an Integrated Knowledge Management System for LNG Plant	Development of an integrated knowledge management system for LNG plants
		Verification of the integrate knowledge management system for LNG plants, and establishing commercialization plans
	Development of an Integrated Package System for Commercialization of LNG Plant Overseas Project Model	Development of an integrated package system for commercialization of LNG plant overseas project model
		Verification of the integrated package system for LNG plant overseas project model

Ⅳ. Final R&D Output & its Application

☐ Final R&D Output

1) Investigation on LNG Plant Life-cycle based on the Standard

For development of an integrated business solution for LNG plants, case studies on the domestic and overseas LNG plant life-cycle management were conducted, and the characteristics of LNG plant life-cycle project management and the project implementation system of leading companies were analyzed, so as to establish work processes that correspond to the needs of LNG plant life-cycle project management. Such was reflected in the system development and a standardized work guideline

(manual) for each life-cycle stage was prepared and distributed.

In case of foreign countries, all stages of project life-cycle, including those of plants, are automated and an objective, integrated project management environment is built for efficient management of construction projects. However, the front-end phase where the design is unconfirmed increases risk for there is a difference in estimated project cost, and currently there are ongoing R&D activities regarding scenario-based project plans. When it comes to Korea, it is short of R&D activities, like investigating the project life-cycle and having an integrated information management system. So, it requires supplementation of engineering techniques. In addition, since the site of LNG plant construction project is located in a foreign country, risk and purchase/procurement management are more important than the project management of construction industries. It can be said that the turn-key contracting of EPC considering the characteristics of LNG plant constructions differs from the contracting of general construction project. For application of the construction project management method to LNG plant projects, it should be in consideration of the EPC contracting method.

Thus, for the R&D output of investigation on LNG plant life-cycle and establishment of work processes, the project implementation processes of major engineering companies in advanced countries and Korea were analyzed to supplement the engineering technologies of domestic project management, and a standardized work process for each stage (phase) was proposed taking into account of EPC contracting method (turn-key, general, subcontract and construction). Also, a work guideline (manual) was prepared and distributed to lead improvements in engineering work efficiency and competence in relation to the LNG plant life-cycle project management.

2) Development of LNG Plant Life-Cycle Integrated Knowledge Management System

LNG Plant Life-cycle Integrated Knowledge Management System is a tool to improve the engineering efficiency of LNG plant construction project management. It makes it easier to accumulate and reuse knowledge information by efficiently and systematically implementing the life-cycle work process defined in the previous section of the study.

In the preceding studies, markets and clients in the perspective of PM (Project Manager) and project management needs in the perspective of LNG plant construction companies, in relation to the LNG plant life-cycle, were analyzed. While the needs of each perspective were identified in consideration of the market changes in the preceding studies, the requirements on system development in the perspective of building a project management system were drawn in this section. The detailed system requirements related to project implementation, including design, purchase/procurement, construction/installation and trial run will be explained later, and the system configuration and its functions were established in consideration of system development in a broader context in this section.

In the market view, the following key requirements were identified. Work procedure for efficiency (or productivity) improvement to effectively cope with external price decline factors and system configuration based on this; a simplified system focused on field work processing in which modules can be flexibly arranged depending on the work type and characteristics so that quick and cooperative work can be fulfilled for each work type and for system management; and a system that allows continuous accumulation and reuse of project management know-how (knowledge) in order to eliminate project management risk and uncertainty and maximize management efficiency.

3) Development of Integrated Package System for Commercialization of LNG Plant Overseas Project Model

The R&D output of an integrated package system for commercialization of LNG plant overseas project model is a technology to support decision-making on methods when participating or thinking of participating in LNG plant development projects by comparing and examining factors like selection of LNG plant projects, environmental conditions of a client country upon implementation of project feasibility study, national risk and LNG market prospect, as well as, quantitative evaluation of qualitative information such as the characteristics of project strategies and latest market trend. This package system technology will support decision-making through a model that proposes expected scenarios as applying the unit price when anticipating the supply-demand of LNG plants through the decision-making support model and project feasibility evaluation based on the decision to participate in developing and operating the LNG plant gas field.

The core technology is to develop an integrated package system for commercialization of LNG plant overseas project models which can be used for collaborative works, as the technologies to establish overseas project models based on various scenarios that change according to internal/external environmental changes are packaged and system requirements upon implementation of overseas LNG plant projects are drawn.

Decision module for development participation is aimed to review safety, expectancy and availability of project implementation and investment environment under the condition in which field survey is not easy at the initial project stage. It is a technology to decide whether or not to take part in the overseas development project based on the evaluation of project environment and gas field characteristics, and project feasibility evaluation module is intended to review liquefaction which is used in LNG plants and propose benefit-cost ratio by calculating the development cost and production profit of liquefaction. It is expanded and improved from the existing economic feasibility evaluation to detailed analyses in the aspect of benefit-cost ratio. Decision module for operation participation is aimed to decide whether or not to take part in the operation of LNG plants developed based on the present and future market prospect. It proposes an appropriate share of participation in the operation stage based on the market prospect, and it can be used to decide the minimum operation share to achieve the objective based on the target benefit-cost ratio of project implementor.

Thus, the R&D output herein supports the selection of projects to participate in upon development of overseas gas field and the decision to take part in such projects based on project feasibility, which will lead to minimized risk in entering the overseas LNG plant business and at the same time, offering the optimal strategies to participate in the project.

☐ Application

3 license agreements were made with local companies in relation to the major result, "Development of the Standardized Work Module for Design, Purchase/Procurement and Construction Stages" of the R&D output, “Investigation on LNG Plant Life-cycle and Development of Integrated Knowledge Management Technology".

Ⅴ. Accomplishment of the R&D Objectives & Effects

☐ Accomplishment of the Final R&D Objectives

The purpose of this study is to improve work efficiency (10%) by investigating LNG plant life-cycle and developing an integrated knowledge management system, and the detailed objectives (goals) are as described below.

- Investigation on LNG plant life-cycle and building work processes
- Development of LNG plant life-cycle integrated knowledge management system
- Development of an integrated package system for commercialization of LNG plant overseas project model

1) Accomplishment of the Objectives

Accomplishment of the Objectives & Output

R&D Description	Implementation Stage	Output
Development of standardized work module per EPC stage	Investigation on LNG plant life-cycle based on the standard	· Standardized work module of design stage · Standardized work module of purchase/procurement stage · Standardized work module of construction/installation stage
	Establishment of LNG plant data classification system	
	Building the detailed work process of LNG plant planning stage	
	Deduction of LNG plant project management requirements and system configuration	
	Work process and map for each EPC stage	
	Work module design for each EPC stage	
Development of information knowledge management technology	Development of the standardized work guideline on information knowledge management for each EPC stage	· Standardized work process · Standardized work guideline (manual) · Report on analyses of information knowledge management technology
	Development of the work module on information knowledge management for each EPC stage	
Development of Integrated Knowledge Management System	Development of an integrated knowledge management system for LNG plants	· Integrated knowledge management module · Report on system verification and commercialization plan review
	Development of an integrated knowledge management system for LNG plants	

Development of Integrate Package for Commercialization of Overseas Project Model	Design of an integrated package system for commercialization of LNG plant overseas project models	· Module for development participation · Module for project feasibility evaluation · Module for operation participation · Module for project strategy
	Development and verification of an integrated package system for commercialization of LNG plant overseas project models	

☐ The Effects of R&D Outputs

With the LNG plant knowledge management technology of domestic enterprises and by building the integrated information management system and knowledge management system of LNG plant projects, it is possible to reduce the workload and construction project cost of 5%.

Based on the knowledge management system of existing construction projects, system weaknesses, including information gap, absence of knowledge management and individuation, have been overcome, LNG plant knowledge management system was built which integrates the system and knowledge and mid-entry strategies on LNG plant knowledge management technology were established.

A scenario-based system that can ensure more advanced technologies and at the same time, expand LNG plant project development and planning skills not found in Korea was built.

Beyond the current project management focused on construction technologies, we secured competence to enter new fields like project development and planning consulting by establishing a project management system optimized for planning and implementation in the perspective of life-cycle.

Ⅵ. R&D Output Application Plans

The main outputs of R&D activities are classified into the work guideline (manual), user requirement investigation and standardized work module of each design, purchase/procurement, construction/installation and trial run stage. These can be used to build LNG plant knowledge infrastructure, offer information, support overseas market expansion and consulting to secure profitability, transfer the output to private firms and support commercialization.

To increase the possibility of actually executing the plans listed above, they are expected to be applied to test bed projects which will be implemented by project teams, so as to continuously assess and supplement the performance.

To increase the availability of the R&D output, it is planned to prepare and distribute standard guidelines and to search for plans to choose processes for each module by optimizing the process for development of integrated information management and knowledge management systems for LNG plants per life-cycle stage. It will be helpful for domestic and overseas expansion as the R&D output is commercialized as a project model. Furthermore, it is expected that various knowledge and R&D outputs in relation to this study will contribute to national economic growth as they are applied for domestic/overseas patents.

Table of Contents

Chapter 1 Summary of the R&D Task ····· 1

Section 1 Necessity & Objectives of R&D ····· 3

1. Necessity of Research & Development ····· 3

2. Objectives of Research & Development ····· 8

Section 2 Definition, Scope and Characteristics of R&D ····· 12

1. Definition of R&D ····· 12

2. Scope and Characteristics of R&D ····· 15

Section 3 Domestic/Overseas Technological Development in Related Fields ··· 17

1. Present Conditions of the Domestic Technological Development ····· 17

2. Present Conditions of the Overseas Technological Development ····· 24

3. Implications & Conclusion ····· 34

Section 4 R&D Result Positioned in the Related Area ····· 36

Chapter 2 Description of R&D and its Result ····· 41

Section 1 Implementation Strategy & Methodology ····· 43

Section 2 R&D Procedure & Details ····· 47

1. R&D Procedure ····· 47

2. R&D Details ····· 49

Section 3 R&D Result & its Verification ····· 62

1. Investigation on LNG Plant Life-cycle based on the Standard ····· 62

2. Establishment of LNG Plant Data Classification System ····· 72

3. Building the Detailed Work Process of LNG Plant Planning Stage ····· 81

4. Establishment of LNG Plant Data Classification System ····· 90

5. Building the Work Process and Map for each EPC Stage ····· 114

6. Design of the Work Module for each EPC Stage ····· 123

7. Development of the Standardized Work Guideline on Information Knowledge Management for each EPC Stage ····· 141

8. Development of the Work Module on Information Knowledge Management for each EPC Stage ····· 152

9. Development of Contents for LNG Plant Integrated Knowledge Management System and WBS Supplementation ····· 186

10. Development of LNG Plant Integrated Knowledge Management System 207

11. Design of Integrated Package System for Commercialization of LNG Plant Overseas Project Model ····· 234

12. Development/Verification of Integrated Package System for Commercialization of LNG Plant Overseas Project Model ····· 271

Chapter 3 Final R&D Output & its Application ····· 287

Section 1 Investigation on LNG Plant Life-cycle & Building Processes ····· 289

1. Description of the Output ····· 289

2. Core Element Technology ····· 290

3. Main Performance ····· 301

4. Technical Implementation and Application Case ····· 303

5. Domestic/Overseas Market Prospect of Technological Development ····· 303

Section 2 Development of LNG Plant Life-cycle Integrated Knowledge Management System ····· 304

1. Description of the Output ····· 304

2. Core Element Technology ····· 307

3. Main Performance ····· 328

4. Technical Implementation and Application Case ····· 332

5. Domestic/Overseas Market Prospect of Technological Development ····· 333

Section 3 Development of Integrated Package System for Commercialization of LNG Plant Overseas Project Model ····· 335

1. Description of the Output ····· 335

2. Core Element Technology ····· 336

3. Main Performance ····· 343

4. Technical Implementation and Application Case ····· 344

5. Domestic/Overseas Market Prospect of Technological Development ····· 344

Chapter 4 Accomplishment of the R&D Objectives & Effects 347

Section 1 Accomplishment of the Final R&D Objectives ····· 349

1. Accomplishment of the Quantitative Objectives ····· 349

2. Accomplishment of the Qualitative Objectives ····· 353

Section 2 Effects of the R&D Output ····· 355

1. Technological Aspect ····· 355

2. Economical Aspect ····· 356
3. Political Aspect ····· 356

Chapter 5 Application of the R&D Output & Necessity of Additional Studies ····· 357
Section 1 Further Application of the R&D Output ····· 359
Section 2 Necessity of Additional Studies ····· 361

References ····· 362

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1
1절 연구개발의 필요성 및 목표 ····· 3
1. 연구개발의 필요성 ····· 3
2. 연구개발의 목표 ····· 8
2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 12
1. 연구개발의 정의 ····· 12
2. 연구개발의 범위 및 특징 ····· 15
3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 17
1. 국내 기술개발 현황 ····· 17
2. 국외 기술개발 현황 ····· 24
3. 시사점 및 결론 ····· 34
4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 36

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 41
1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 43
2절 연구수행과정 및 내용 ····· 47
1. 연구수행과정 ····· 47
2. 연구수행내용 ····· 49
3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 ····· 62
1. 표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명 ····· 62
2. LNG 플랜트 데이터 분류체계 정립 ····· 72
3. LNG 플랜트 기획단계 상세 업무 프로세스 구축 ····· 81
4. LNG 플랜트 데이터 분류체계 정립 ····· 90
5. EPC 단계별 업무 프로세스 및 맵 구축 ····· 114
6. EPC 단계별 업무 모듈 설계 ····· 123
7. EPC 단계별 정보지식관리 표준업무 지침 개발 ····· 141
8. EPC 단계별 정보지식관리 업무 모듈 개발 ····· 152
9. LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발 및 WBS 보완 ····· 186
10. LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 및 검증 ····· 207
11. LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계 ····· 234
12. LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 및 검증 ····· 271

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 287

1절 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축 ····· 289

1. 연구성과 설명 ····· 289

2. 핵심요소기술 ····· 290

3. 주요 연구성과 ····· 301

4. 기술실시 및 적용사례 ····· 303

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 303

2절 LNG 플랜트 생애주기통합지식관리 시스템 개발 ····· 304

1. 연구성과 설명 ····· 304

2. 핵심요소기술 ····· 307

3. 주요 연구성과 ····· 328

4. 기술실시 및 적용사례 ····· 332

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 333

3절 LNG 플랜트 해외사업모델 사용화 통합 패키징 시스템 개발 ····· 335

1. 연구성과 설명 ····· 335

2. 핵심요소기술 ····· 336

3. 주요 연구성과 ····· 343

4. 기술실시 및 적용사례 ····· 344

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 344

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 347

1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 349

1. 정량적 목표 달성도 ····· 349

2. 정성적 목표 달성도 ····· 353

2절 연구개발 성과의 효과 ····· 355

1. 기술적 측면 ····· 355

2. 경제적 측면 ····· 356

3. 정책적 측면 ····· 356

제5장 연구성과 활용 및 추가연구 필요성 ····· 357

1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 359

2절 추가연구 필요성 ····· 361

참고문헌 ····· 362

[부 록]

1. 플랜트 기획단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서
2. 플랜트 설계단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서
3. 플랜트 구매조달단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서
4. 플랜트 시공단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서
5. 플랜트 시운전단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서
6. 시스템 설계서 UI (User Interface Manual)

제1장

연구개발과제 개요

제1장

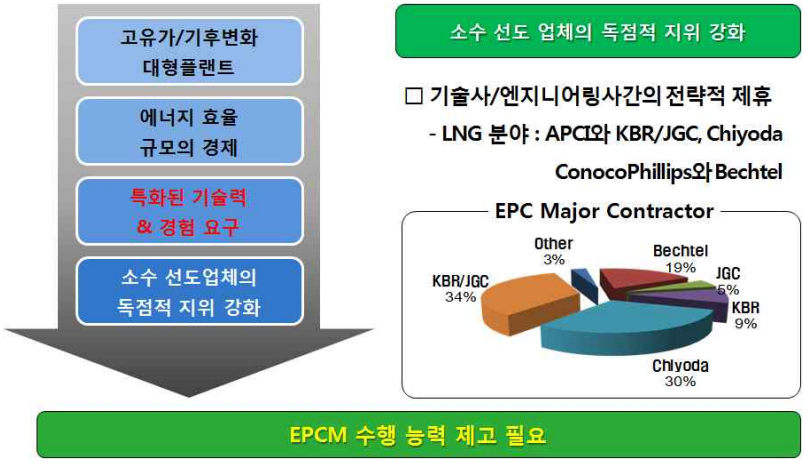
연구개발과제 개요

1절 연구개발의 필요성 및 목표

1. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

플랜트 건설 사업은 시스템 또는 설비를 대상으로 기획과 타당성 조사, 기본 및 실시설계, 구매·조달, 시공 및 시운전, 운영 및 유지보수 등 전 단계에 걸친 업무를 일괄하여 수행하는 건설 분야로 정의된다. 이러한 플랜트 건설사업의 주요 특징은 복잡한 기술 집약형 물적 시스템, 기술 기준서의 산업, 산업설비기술의 역동성, 경험과 노하우가 중요, 고도의 프로젝트 관리 기술 요구 등으로 요약할 수 있다. 다른 측면의 플랜트 건설사업의 특성은 다양한 학문과 기술이 결합되어 복잡한 장치를 구성하며, 체계적인 기술기준과 절차서, 경험과 노하우의 축적, 관리기법 등에 의하여 성공 여부가 크게 좌우된다.



[그림 1.1] 기술적 측면에서의 연구개발 필요성

특히, 생산가격 하락과 친환경 에너지 수요 급증으로 프로젝트 비용 최소화와 생산가격 최소화가 핵심 기술 니즈로 부각되고 있으며, 플랜트 건설수요가 급증하고 금융자본 조달에 어려움을 겪으면서 이익실현의 중요성과 생산기간의 단축과 투자자본 최소화 및 조기회수에 대한 니즈가 증가하고 있다. 엔지니어링 관점에서는 고부가가치 건설시장 진출확대를 위하여 경쟁력 확보가 반드시 필요하며 사업관리 노하우 확보와 적정 공기 내 건설사업 추진을 위한 효율성 극대화가 요구된다.

국내 플랜트 산업계의 현황을 점검해보면 대형 발전소 건설사업의 경우는 건설 사업관리 기술과 종합설계기술, 시공기술, 구매 관리기술, 시운전기술 등이 자립되어 있다. 이 대형발전소 건설 사업은 생애주기 최적프로세스가 운영되고 있어 지적소유권 문제만 해결되는 즉시 국제 시장에 진출할 수 있는 국제경쟁력을 확보하고 있다. 그러나 LNG 플랜트의 경우 시공기술은 자립되어 있다고 볼 수 있으나 그 외의 기술은 확보가 미비하여 해외 건설시장에서 경쟁에 필요한 기술개발이 시급한 것으로 판단된다.

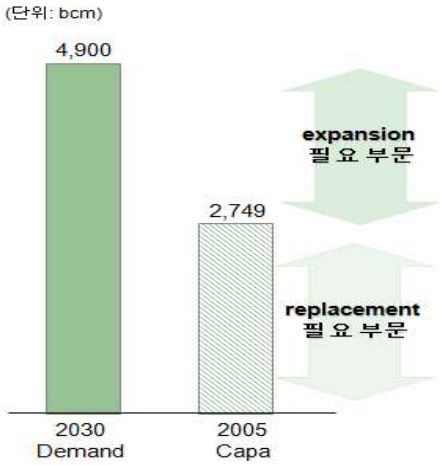
해외 LNG 플랜트 건설 시장의 규모는 꾸준히 확대될 것으로 분석되고 있으며 동 플랜트의 건설 사업을 수주하여 높은 부가가치를 창출하기 위해서는 지금까지의 시공 위주의 수주가 아닌 EPC 일괄수주가 필요하다. EPC의 일괄수주를 위해서는 건설 사업관리 관련 기술의 자립이 필수적인데 본 과제의 수행으로 이를 위한 기반기술을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

나. 경제·산업적 측면

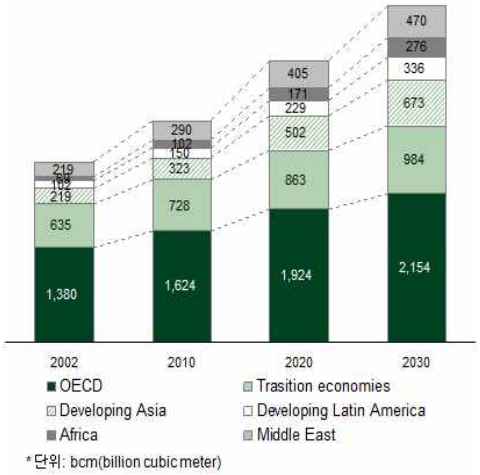
중동지역의 경우 고유가에 자극받은 국가들의 가스와 석유화학 등의 시설에 대한 지속적인 투자로 가스플랜트 분야의 수요가 급증할 것으로 예상되며, 아시아를 중심으로 한 개발도상국가의 경제가 지속적으로 성장함에 따라 가스플랜트의 시장은 상당히 확대될 것으로 전망되며 이러한 추세는 상당기간 계속될 것으로 판단된다.

이러한 가스플랜트 시장의 성장은 LNG수요의 증가도 유발했으며 LNG 수요는 연평균 2.3%의 상승을 가질 것으로 예상되며, 2030년에는 현재의 2배 규모의 수요가 창출될 것으로 판단된다 <그림 1-2>. 이에 따라 지속적인 시설투자가 요구될 것으로 전망되며, 기존 생산시설의 보수 및 설비 교체를 위한 시장도 확대될 것으로 판단된다 <그림 1-3>. 특히 아시아-태평양 지역의 43개 플랜트 중 18개가 20년 이상 된 노후설비로 현재도 보수 및 교체를 위한

시장이 증가하고 있어 본 세부과제가 목표로 하는 LNG플랜트 건설 사업관리 핵심기술의 확보로 엔지니어링 수행 효율성이 제고될 경우 국내 관련 산업계의 국제경쟁력이 제고되어 해외 LNG플랜트 건설사업의 수주로 수익 확보가 기대된다.

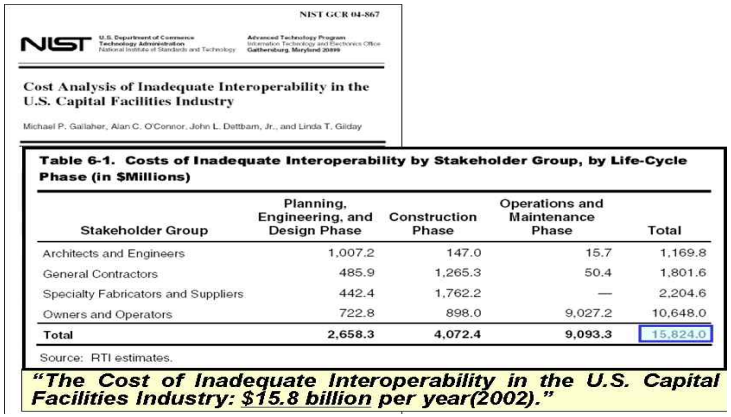


[그림 1.2] 세계 천연가스 수요 및 전망



[그림 1.3] 세계 천연가스 시장 시설 투자 수요 변화 전망

미국 CII(1996)에서는 플랜트 프로젝트에서의 가장 큰 비효율성은 설계 개발 프로세스에서 발생되며, 그 원인은 조달, 시공, 운영 및 유지관리 프로세스에서 활용될 정보의 부정확성에서 초래되는 것으로 분석하였다. 또한, NIST는 Capital Facilities Industry에서 생애주기(Life-Cycle)를 통해 공유되고 활용되는 정보의 불합리한 운용(Inadequate Interoperability)으로 인한 비용이 $15.8 billion으로 이르는 것으로 분석하였다<그림 1.4>.


NIST GCR 04-867

NIST U.S. Department of Commerce Technology Administration National Institute of Standards and Technology — Advanced Technology Program Information Technology and Electronics Office Gaithersburg, Maryland 20899

Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry

Michael P. Gallaher, Alan C. O'Connor, John L. Dettbarn, Jr., and Linda T. Gilday

Table 6-1. Costs of Inadequate Interoperability by Stakeholder Group, by Life-Cycle Phase (in $Millions)

Stakeholder Group	Planning, Engineering, and Design Phase	Construction Phase	Operations and Maintenance Phase	Total
Architects and Engineers	1,007.2	147.0	15.7	1,169.8
General Contractors	485.9	1,265.3	50.4	1,801.6
Specialty Fabricators and Suppliers	442.4	1,762.2	—	2,204.6
Owners and Operators	722.8	898.0	9,027.2	10,648.0
Total	**2,658.3**	**4,072.4**	**9,093.3**	15,824.0

Source: RTI estimates.

"The Cost of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry: $15.8 billion per year(2002)."

[그림 1.4] NIST 연구 조사 보고서(2004. 8)

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 미국 CII 에서는 건설사업 수행 전체 단계에서 유기적으로 통합되고 자동화된 기획, 설계, 관리 환경개발을 위한 사업관리 기반구축 및 핵심분야의 기술개발을 목표로 대형 산업 프로젝트 관리기술개발 로드맵인 FIATECH (Fully Integrated and Automated Technology)을 구축하고 단계적인 연구를 수행 중에 있다. 이러한 동향에서 알 수 있는 것은 플랜트 건설 사업이 지식 및 정보의 집약화로 부가가치를 창출하는 방향으로 전개됨을 알 수 있다.

국내 플랜트 산업계의 현황은 가장 기본이 되는 EPC의 프로세스조차 확립되어 있지 않아서 국제 경쟁력이 취약하며 정보 및 지식집약화는 아직 시작도 못하고 있는 실정이다. 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위해서는 본 과제의 수행으로 최적 프로세스를 개발해서 유형의 지식 손실을 막고 사업계획 기술 개발, 건설 사업관리 기술 개발, 통합정보 및 지식관리 기술 개발을 수행함으로써 관련 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위한 기술기반을 조성해야 할 것이다.

다. 사회·문화적 측면

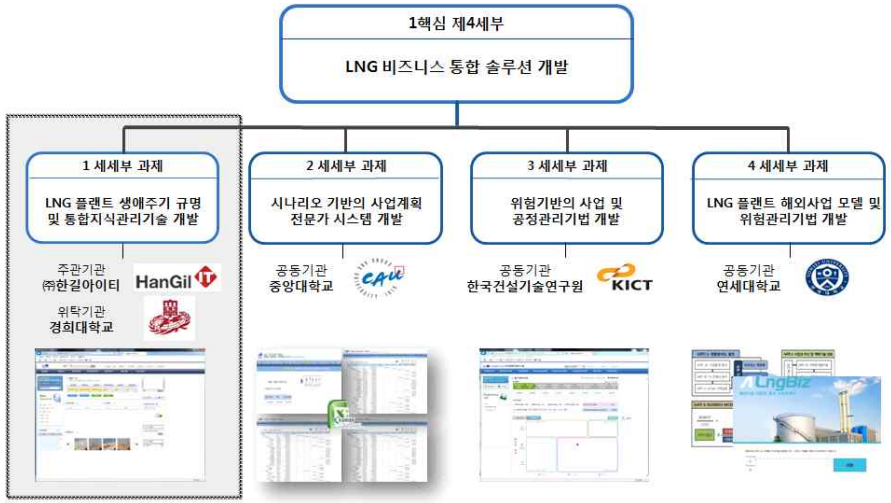
최근 해외 LNG플랜트 시장의 동향을 살펴보면, FEED용역의 발주가 빈번하며 턴키사업 및 EPC사업, 또는 투자개발형 사업의 발주가 지속적으로 증가하여 발주자가 건설기업에 'One Stop Shop (OSS)' 또는 One Stop Service (OSS)'의 제공을 요구하는 경향을 보이고 있는 것으로 판단된다. 이는 단순한 시공능력에 기반해서는 경쟁력이 부족하며, LNG 플랜트의 선행단계에서부터 설계, 구매조달, 시운전, 유지보수 전 단계에 대한 수행 능력을 보유해야 한다는 것을 의미한다.

우리 정부에서는 국제 유가 상승으로 해외플랜트 수주가 급증하여 이제 우리 수출의 성장 동력으로 자리잡고 있다고 지적하며, 앞으로 플랜트 산업의 고부가가치와 경쟁력 강화를 위하여 다각적인 지원을 해나갈 계획이라고 밝혔다. 이에 따라, LNG, GTL 등 주요 고부가가치 분야 플랜트 진입을 위해 R&D 지원 방안을 수립하고, 해외벤더 등록 등 중소기자재업체의 해외진출 지원을 강화해 나가고 있다. 한편 중동지역에 편중된 시장을 다변화하기 위해 북미 지역 「캐나다 오일샌드」플랜트 시장 진출을 위해 다각적인 방안을 고려하고 있어, LNG 플랜트의 엔지니어링 효율성 개선기술 개발을 통한 국제경쟁력 확보가 무엇보다도 중요한 시점인 것으로 판단된다.

2. 연구개발의 목표

가. 총괄 목표

본 과제는 제1핵심과제인 'LNG플랜트 핵심기반기술 개발'의 제4세부과제로써 '엔지니어링 효율성 개선기술 개발'이라는 비전을 설정하고, 이를 달성하기 위하여 '프로젝트 생애주기관리(Project Life-cycle Management) 및 글로벌 표준을 접목한 웹기반의 실시간 LNG 플랜트 프로젝트의 사업관리 및 지식관리시스템의 개발'을 수행하고 있다. 제4세부과제는 <그림 1.5>와 같이 4개의 세세부과제로 구성되어 있으며, 본 과제는 그 중 1세세부 과제에 해당된다.



[그림 1.5] 1핵심 제4세부과제에서 본 과제의 역할

본 과제는 엔지니어링 효율성 개선을 위한 도구의 역할을 하는 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발을 위해 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발을 목표로 연구를 수행하였다.



[그림 1.6] 본 과제의 최종목표

또한, <그림 1.6>과 같이 최종 목표인 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리 기술 개발을 위해 <표 1.1>과 같이 3단계로 세부 연구추진 목표를 설정하고 추진하였다.

[표 1.5] 단계별 세부 연구추진 목표

단계	기간	세부 목표
1단계	2008.06~2010.04	LNG 플랜트 생애주기 규명 및 지직정보관리 시스템의 현황을 분석하여 시스템 개발 방향을 정립하고, 기획단계 표준 업무 모듈을 개발
2단계	2010.04~2012.04	LNG 플랜트 프로젝트의 설계(E, Engineering)/구매조달(P. Procurement)/시공(C, Construction) 단계 업무를 분석하여 표준프로세스를 구축하고, EPC 단계별 표준 업무 모듈 개발
3단계	2012.04~2015.04	LNG 플랜트 생애주기 별로 구축된 개별 모듈에 대한 통합 시스템 구축 및 검증을 수행하고, 위험관리기법에 기반한 LNG 플랜트 해외사업 모델 통합 패키지를 개발과 실용화 추진

나. 연차별 목표

최종연구목표를 달성하기 위하여 1단계에서는 기존 사례 조사 분석을 통한 시스템 개발 방향을 정립하고, 일부 초기 모듈에 대한 프로토타입 시스템 개발을 추진하였으며, 2단계에서는 설계, 구매조달, 시공 각 단계별 플랜트 프로젝트 업무 추진 시 요구되는 별도 모듈을 순차적으로 개발하였으며, 3단계는 시스템의 통합과 추가로 연구 개발을 추진한 해외사업 비즈니스 모델 패키지 시스템을 개발하고 이를 실용화하고자 하였다. 단계별 연차별 연구 추진 목표에 대한 구체적인 내용은 <표 1.2>와 같다.

[표 1.6] 단계/연차별 연구목표 및 주요내용

단계	연차	연구목표	주요연구내용
1단계	1차년	표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명	국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사 및 분석 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성 분석 선진기업의 LNG 플랜트 생애주기 사업수행 체계 분석 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 니즈 분석
		LNG플랜트 데이터 분류체계 정립	LNG 플랜트 단계별 업무프로세스 현황 조사 및 분석 LNG 플랜트 생애주기 업무분류체계 조사 및 분석 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 도입방안 정립
	2차년	LNG 플랜트 기획단계 상세 업무 프로세스 구축	LNG 플랜트 기획단계 As-is 프로세스 모델 분석 LNG 플랜트 기획단계 상세업무 프로세스 분석 LNG 플랜트 기획단계 업무정의 및 관련정보 분류
		LNG플랜트 사업관리 요구사항 도출 및 시스템 구성	LNG 플랜트 기획단계 정보 흐름 규명 LNG 플랜트 사업관리 요구사항 도출 및 시스템 구성도 및 기능 정립 LNG 플랜트 개방형 정보표준 기반의 사업관리 데이터 모델링 및 설계 LNG 플랜트 기획단계 표준 업무 모듈 개발
2단계	3차년	EPC 단계별 업무 프로세스 및 맵	LNG 플랜트 EPC 단계별 As-Is 업무프로세스 모델 분석 LNG 플랜트 ECP 단계별 업무분류체계 구축 LNG 플랜트 단계별 업무 프로세스 맵 구축

		EPC 단계별 업무 모듈 설계	LNG 플랜트 EPC 단계별 사용자 요구사항 조사 및 분석 Balsamiq Mockups을 이용한 ECP 단계별 UI 설계 LNG 플랜트 EPC 표준 업무 모듈 개발
	4차년	EPC 단계별 정보지식관리 표준업무지침 개발	LNG 플랜트 생애주기 단계별 통합업무 프로세스 구축 LNG 플랜트 생애주기 단계별 표준업무지침 개발
		EPC 단계별 정보지식관리 업무 모듈 개발	LNG 플랜트 생애주기 정보지식관리 모듈 프로토타입 개발 모듈별 단위테스트를 통한 검증
3단계	5차년	LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발 및 WBS 보완	LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발 생애주기 단계별 업무 WBS 체계 보완 및 검증 LNG 플랜트 통합지식관리시스템 프로토타입 개발
		LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계	LNG 플랜트 해외사업 추진 프로세스 및 의사결정 체계 현황 조사 및 분석 LNG 플랜트 해외사업 추진 시 요구되는 시스템적 요구사항 도출 LNG 플랜트 해외사업 추진 시나리오별 모델 정립 LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계
	6차년	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 LNG 플랜트 통합지식관리시스템 검증 및 상용화 방안 구축
		LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 및 검증	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 검증

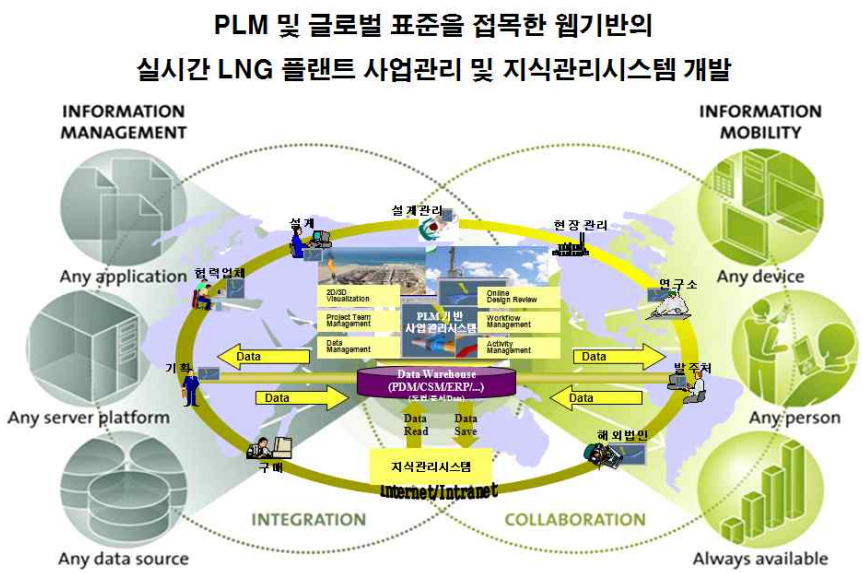
2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

'LNG 플랜트 사업단' 연구는 1개 총괄과제와 5개 핵심과제로 구성하여 16개 세부과제(30개 연구과제)로 추진되었다. 본 과제는 제1핵심과제인 'LNG플랜트 핵심기반기술 개발'의 제4세부과제인 '엔지니어링 효율성 개선기술 개발' 과제 중 제1세세부과제인 'LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발'로서 'PLM (Project Life-cycle Management) 및 글로벌 표준을 접목한 웹기반의 LNG 플랜트 지식관리시스템의 개발'을 핵심 비전으로 하고 있다.

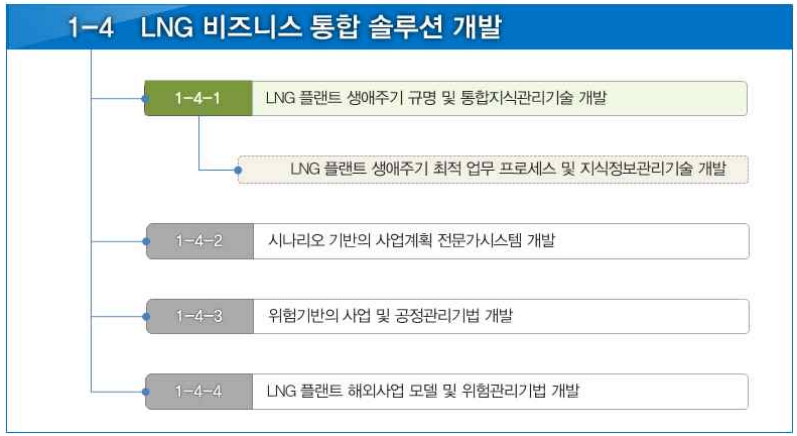


[그림 1.7] LNG 플랜트 사업단 구성 체계



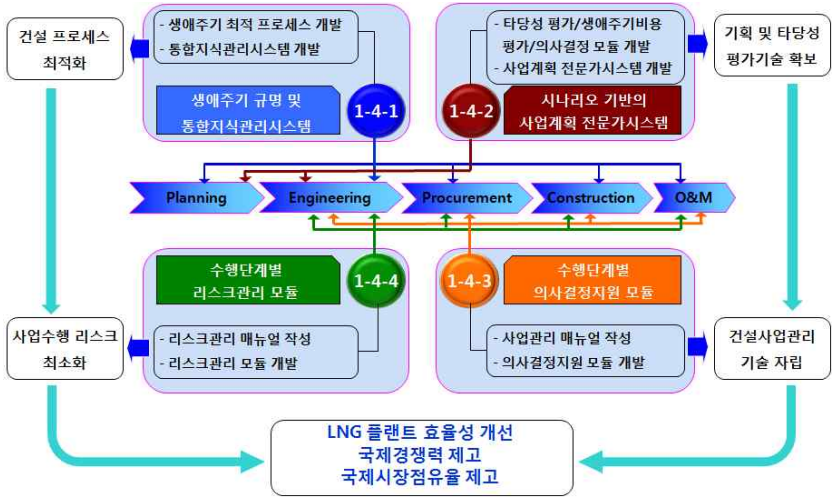
[그림 1.8] '엔지니어링 효율성 개선기술 개발' 연구의 비전

본 과제는 '1-4세부 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발' 연구의 '1-4-1 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발'을 담당하고 있다. 본 세세부 과제는 타 세세부 과제들과의 협업을 통해서 동 세부과제의 엔지니어링 효율성개선 목표를 달성하며 타 세세부과제와의 협업으로 LNG 플랜트 사업단이 추구하는 목표를 달성하도록 한다. 주요 수행 내용은 LNG 플랜트의 생애주기규명과 이를 통한 최적 업무 프로세스를 개발하고, 설계(E)-구매조달(P)-시공(C) 단계 엔지니어링 업무 모듈을 개발하여, 타 세부과제에서 규명된 위험관리 기반 의사결정 시스템과 사업타당성 분석 시스템을 통합 패키지화하여 통합 비즈니스 솔루션을 구축하는 것이다.



[그림 1.9] 1-4세부 과제 구성 체계

또한 LNG 플랜트의 건설사업관리 기술 자립, 해외 사업 수주 시 리스크 최소화, 생애주기 프로세스 최적화 등을 통해서 새로운 부가가치를 창출함으로써 LNG플랜트 해외건설 시장에서 국가경쟁력을 제고하고 수주 점유율을 높일 수 있는 기술적 기반을 조성하기 위한 연구개발을 수행하였다.



[그림 1.10] LNG플랜트 건설 사업에서 제4세부과제의 가치사슬 분석

2. 연구개발의 범위 및 특징

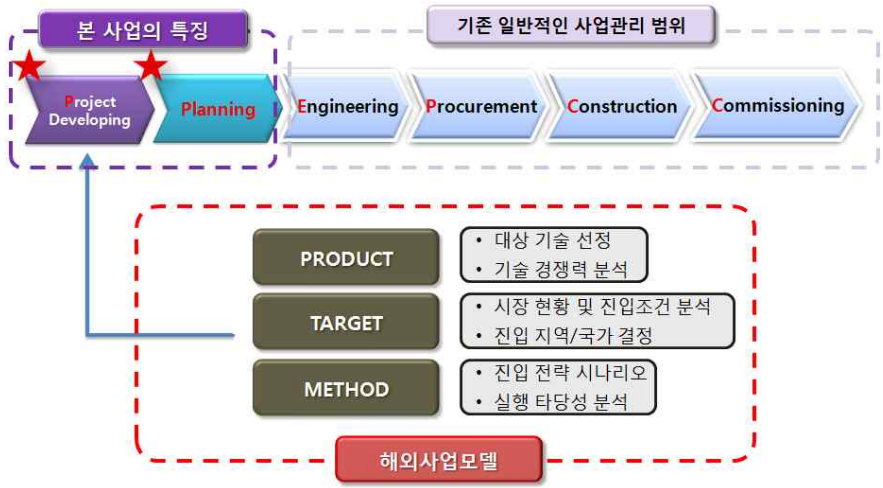
본 세세부 과제는 LNG플랜트 생애주기를 규명 및 생애주기별 최적 프로세스를 제시하고 플랜트 생애주기의 정보 및 지식을 관리하는 생애주기 통합정보관리 시스템을 개발을 주요 범위로 하고 있다<그림 1.11>.



[그림 1.11] 1-4-1 과제 연구 개발 범위

1-4-1과제 본연의 임무인 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 정립을 통하여 사업관리 업무 단계별로 생애주기 단계별 업무관리모듈을 개발하는 것과 타세세부에서 개발한 사업계획전문가시스템 및 위험기반 의사결정시스템을 연계 통합함으로서 LNG 비즈니즈 통합지식관리시스템을 개발하는 것이며, 이와 더불어 해외 플랜트 사업 참여 여부를 판단하고 리스크 기반 의사결정이 가능한 해외사업모델 패키지 시스템을 개발하는 것을 주요 내용으로 하고 있다.

기존의 일반적인 건설사업관리 시스템들은 주로 설계, 구매조달, 시공 단계를 중심으로 운영되고 있어, 사업 초기에 설계가 확정되지 않은 사전계획단계(Front-end Phase)에서 발생하는 사업비 추정 오차가 리스크를 증가시키고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 시나리오 기반 사업계획에 대한 연구개발을 추진하여 통합시스템에 포함하였으며, 프로젝트 개발 과정에서 해외사업 모델에 참여 여부를 조기에 결정할 수 있는 해외사업모델 개발을 함께 추진하는 것을 주요한 특징으로 하고 있다<그림 1.12>.



[그림 1.12] 1-4-1 과제 연구 개발 특징

이와 더불어 본 과제를 통해 개발된 모든 개별 모듈은 업무수행단계별 독자적 솔루션 운영이 가능한 체계로 시스템을 개발하였다. 이는 LNG 플랜트 건설 현장의 특성상 해외 오지의 열악한 전산환경이나 E, P, C 공종별로 사업에 참여하는 다양하고 방대한 엔지니어링 업체들 간의 협업을 원활히 수행할 수 있도록 산업 및 현장 특성을 반영한 능동적인 시스템 구축을 지원하기 위해 채택한 개발 전략이다.

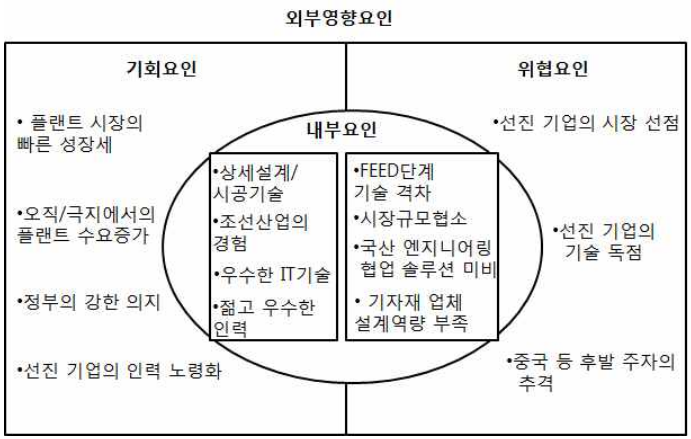
3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술개발 현황

가. 기술 현황

글로벌 플랜트 건설시장 카르텔을 형성하고 있는 선진 기업과, 자국의 에너지 자원, 자금력을 바탕으로 빠르게 추격하고 있는 후발 국가(중국 등) 사이에서 경쟁력 확보가 필요한 시점이다.

국내 건설사의 상세설계/시공 분야 기술 경쟁력 및 세계 최고 수준의 우수한 IT 기술(PLM) 역량 접목을 통하여 기술 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단되나, 선진국 대비 FEED 설계 기술 격차, 제한된 국내 시장 규모, 플랜트 설계 솔루션 국산화 미비, 국내 기자재 제작업체의 설계 역량이 부족하여 관련 인프라 보완이 필요하다.



[그림 1.13] 플랜트 산업 기술 분야 국내 환경 분석

본 연구과제에서 추진하고자 하는 엔지니어링 효율성 개선기술의 세세부과제에 대한 국내 기술현황은 선진국이 추구하고자 하는 플랜트 건설사업의 생애주기 규명 및 정보의 통합관리 기술, 지능통합형 FEED 시스템 개발 등과 비교 시 매우 열악한 상태인 것으로 판단된다. 국내 주요업체별 기술보유 현황 및 기술개발 수준은 <표 1.3>, <표 1.4>와 같다.

[표 1.7] 세부기술별 국내 주요업체 기술보유 현황

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허
EPCM	현대엔지니어링	가스플랜트 설계
	삼성엔지니어링	가스플랜트 설계
	GS건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
	SK건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
	한국수력원자력(주)	원자력발전소 건설사업관리, 사업계획 수 립, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지
	한국전력기술(주)	건설사업관리체제 개발 및 운영, 원자력발 전소 A/E
	한국가스공사	LNG 저장시설 사업관리, 사업계획 수립 및 EPC 총괄
	중부발전(주) 등	화력발전소 건설사업관리, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지, 폐쇄
C	국내 플랜트 엔지니어링 업체 및 건설업체 다수	LNG 플랜트 시공 및 시공관리, 제한된 설계 수행

[표 1.8] 세부기술별 국내 주요업체 기술보유 현황

세부기술	현재 기술수준		
	기술수준 (%)	기술격차 (년)	비고
EPC 수행 프로세스 및 위험도 평가체계 정립	70	2	성숙
위험도 기반 사업 및 공정관리시스템 개발	70	2	성숙
LNG 플랜트 의사결정 모델링	50	3	도입
LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리	50	3	도입
통합표준데이터 컨버터	60	3	도입
시나리오 기반의 사업계획 시스템	50	3	도입
위험기반의 사업관리 및 공정관리 시스템 개발	50	3	도입

EPC 수행 프로세스 및 위험도 평가체계 정립, LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리, 통합 표준데이터 컨버터 등은 국내에서도 정보분류체계, EPC 프로세스 개발 착수, 부분 개발완료 및 상용화 단계로써 기술수준은 미국, EU, 일본 등의 주요 선진국 보다 50~70% 수준이다.

본 연구과제에서 추진하고자 하는 [LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발]에 대한 국내 기술현황은 선진국이 FIATECH 등으로 추구하고자 하는 플랜트 건설사업의 생애주기 규명 및 정보의 통합관리 기술, 지능통합형 FEED 시스템 개발 등과 비교 시 매우 열악한 상태인 것으로 판단된다.

특히 EPC 프로세스가 제대로 정립되어 있지 않은 국내 기술 수준 및 현황을 감안할 때 LNG 플랜트의 관련 기술수준은 선진국 대비 50% 수준인 것으로 판단된다.

국내 LNG 수요의 증가는 산업분야의 수요 증가에 따른 것인데 유가를 포함한 제반비용 및 안정성 측면에서 LNG가 석유 보다 유리하여 산업부문의 연료 대체 및 소비량 증가가 지속되어 도시가스의 산업분야에서 중장기적으로 연 평균 8% 수준의 급격한 수요증가세가 예상된다.

또한 상세설계 및 시공능력을 포함한 세부기술별 국내 주요 업체의 현황은 아래와 같으며, 국외 선진 보유기술 대비 85%의 기술수준을 유지하고 있는 것으로 파악하였다.

한편 효율적인 사업관리를 위하여 최근 많이 사용하고 있는 Project Management Information System(PMIS) 기술에 대해서 국내 대표적인 EPC사의 PMIS 구축 사례를 고찰하고, 시사점을 분석하였으며 그 주요 결과는 다음과 같다.

국내 대형 건설사들이 중동 산유국들에서 발주되는 대규모 플랜트 공사를 연이어 수주하는 등 해외 사업에서 높은 성과를 올리면서 관련 사업을 지원하기 위한 적극적인 IT투자를 하고 있다. 통합플랜트정보시스템을 새로 구축하거나 중동지역에 별도의 데이터센터를 설립하는 것을 검토하는 등 다양한 측면에서 IT투자가 이뤄지고 있다.

최근 관련 업계에 따르면 현대건설, GS건설, 삼성엔지니어링, SK건설, 대림산업, 롯데건설 등 국내 주요 건설사들은 최근 해외 플랜트 사업 수주 증가로 통합플랜트정보시스템을 구축하는 등 신규 시스템 구축 작업과 함께 기존 시스템 업그레이드 프로젝트를 적극 추진하고 있다. 해외 플랜트 사업의 경우 단순 시공 사업이 아닌 설계·조달·시공(EPC) 업무를 모두 포괄하는 형태의 프로젝트이기 때문에 이를 통합 관리하기 위해서는 체계적인 관리시스템이 필요하다.

현대건설은 기존 EPC 업무의 전체 프로세스를 통합 관리할 수 있는 시스템을 구축하였고, 이를 통해 설계단계에서부터 확정된 기자재에 대한 검수관리를 할 수 있다. 또한 발주처와 시공사, 협력사들 간의 문서 공유를 자유롭게 할 수 있도록 협업 환경도 강화하고 있다. 대림산업은 일정관리, 업무관리, 문서관리 등을 위한 프로젝트포털시스템과 자재관련 정보가 설계에서부터 구매 및 조달 그리고 시공까지 연결되도록 하는 자재관리시스템을 보유하고 있다. 또한 해외 재무시스템을 본사 재무시스템과 통합하는 작업과 함께 중동지역에 별도의 데이터센터를 구축하는 것도 검토하고 있다. 주요 업체별 PMIS 구축 사례는 <표 1.5>와 같다.

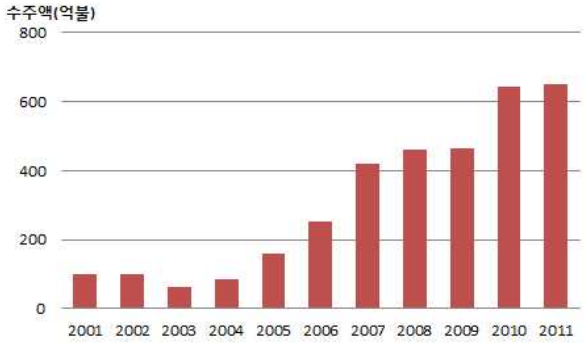
[표 1.9] 국내 주요 건설사 플랜트 PMIS 구축 사례

건설사	PMIS 구축 내용
현대건설	EPC 통합시스템 구축, 해외 현장 네트워크 인프라 개선, UC 기반의 차세대 그룹웨어 구축
삼성물산	ERP 시스템 재구축, ECM 및 EDMS 재구축, 3D 기반 설계 협업 시스템 구축, 영상회의·인터넷 전화 등 도입
대림산업	자재관리시스템 재구축, 해외 재무시스템과 본사 재무시스템 통합 추진, 중동지역 데이터센터 구축 추진
롯데건설	플랜트사업관리시스템 구축, 조달시스템 개선, 영상회의 시스템 도입

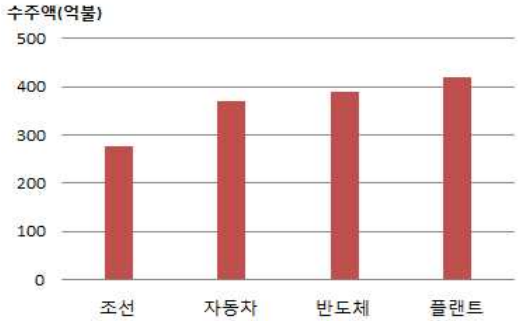
분석 결과, 플랜트 PMIS 또한 건설분야에서 활용되고 있는 기능과 유사한 형태를 가지고 있으며, 주로 협업 및 정보공유를 위해 활용되고 있음을 알 수 있었다. 추가적으로, 기존 건축 프로젝트에서 활용되고 있는 PMIS와 차별되는 기능으로는 조달 관리가 특화되어져 있고, Risk Management 등 기능이 건축분야에서 보다 적극적으로 활용되고 있음을 알 수 있었다. 국내 플랜트 PMIS의 경우, Engineering 솔루션과 달리, 아직까지 건축 PMIS와 크게 차별화되지 못하고 있는 상태이나, 점차 플랜트의 특성을 반영하고 있는 추세이기 때문에, 플랜트 산업의 프로세스 및 특성 반영을 통한 PMIS의 진화가 예상된다.

나. 시장 동향

2000년대 이후 건설 산업 전체 해외수주액에서 플랜트 산업이 차지하는 비중은 60%를 넘었고, 2003년 이후 연 50%이상 해외 수주가 급증하며 신 수출동력원으로 급부상하고 있으며 특히 오일쇼크와 외환위기시에는 중동 오일 머니 등 외화를 벌어들여 외화유동성 확보에 크게 기여하고 있다. 2007년의 경우 수주 실적은 422억불로, 기존 수출 주력 산업인 반도체, 자동차, 조선 산업보다 국내 산업에서 차지하는 비중이 증가하였다.



[그림 1.14] 국내 업체의 연도별 플랜트 수주 실적
(출처: 지식경제부, 보도자료)



[그림 1.15] 2007년 주요 산업 실적 비교
(출처: KISTEP 동향 브리프, 플랜트 산업 기술과 정책동향, 2010)

2009년 국내 EPC 업체들의 해외플랜트 수주액은 2009년 463억 달러(263건)를 기록하여 전년도 수주실적(462억 달러)에 비해 0.2% 증가됨으로써 2008년 하반기부터 시작된 글로벌 금융위기, 투자 위축 등 악조건에도 불구하고 수주액 면에서 괄목할 만한 성과로 평가되고 있다. 권역별로는 플랜트 주력 시장인 중동에서 대형 Oil & Gas, 발전 프로젝트 등 에너지 분야의 플랜트 수주가 호조세를 기록하며 플랜트 전체 수주액의 약 67%에 해당하는 311억 달러(전년 대비 55% 증가)를 수주하였다. 그리고 주요 건설 업체별 플랜트 수주 실적을 보면, 삼성 ENG, GS건설, 현대중공업, SK건설 등 상위 5개사의 수주액이 293억 달러로 점유율이 63.4%에 이른다. 이외에 대림산업, 대우건설 등 상위 10개사의 수주점유율은 전체의 86.6%로 큰 비중을 차지하고 있다.

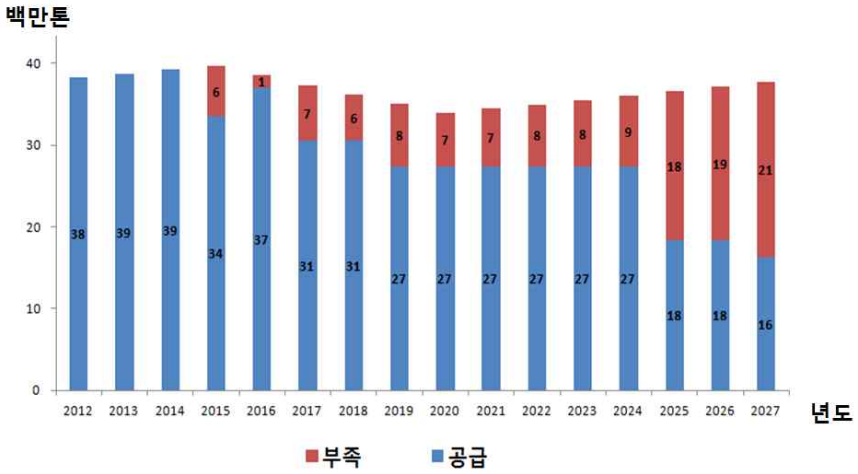
해외시장 전망과 우리의 경쟁력을 기초로, 2015년 한국의 해외 플랜트 수주액은 890억 달러(보수적 관점)~1,000억 달러(일반적 관점)에 이를 것으로 전망된다.

본 연구과제에서 추진하고자 하는 [LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발]에 대한 국내 기술현황은 선진국이 FIATECH 등으로 추구하고자 하는 플랜트 건설사업의 생애주기 규명 및 정보의 통합관리 기술, 지능통합형 FEED 시스템 개발 등과 비교 시 매우 열악한 상태인 것으로 판단되었다.

현재 해외에서 플랜트 사업을 수행하는 국내 기업 중 선도적인 위치에 있는 소수의 회사(Major EPC 업체)는 자체적으로 오랜 기간에 걸쳐 개발한 사내 지식 및 업무관리 시스템이 있다. 그러나 국내 기업 중 다수의 후발주자 혹은 중견기업들은 체계화된 지식관리시스템을 가지고 있지 못하거나 일부 기능만을 구비한 시스템을 보유중이다. 이에 국가 차원에서 국내 기업의 해외 경쟁력을 고취시키고 국가적인 사업관리 원천기술을 보유코자, 해외 플랜트 사업에 적용하여 사용할 수 있는 표준적인 사업관리 목적의 통합지식관리시스템을 개발하는 것이다. 즉 시스템의 이름은 지식관리시스템이나 업무관리, 사업관리, 위험관리 등의 기능을 구비한 통합 시스템이라 할 수 있다.

특히 EPC 프로세스가 제대로 정립되어 있지 않은 국내 기술 수준 및 현황을 감안할 때 LNG 플랜트의 관련 기술수준은 선진국 대비 50% 수준인 것으로 판단된다.

국내 LNG 수요의 증가는 산업분야의 수요 증가에 따른 것인데 유가를 포함한 제반비용 및 안정성 측면에서 LNG가 석유 보다 유리하여 산업부문의 연료 대체 및 소비량 증가가 지속되어 도시가스의 산업분야에서 중장기적으로 연 평균 8% 수준의 급격한 수요증가세가 예상된다.



[그림 1.16] 국내 LNG 천연가스 수급계획 (산업통산자원부)

2. 국외 기술개발 현황

가. 기술 현황

1999년 미국의 CII(Construction Industry Institute)는 건설비전 2020을 발표하고 프로젝트/ 플랜트 생애주기의 모든 단계, 모든 프로세스에 걸쳐 고도로 자동화되고 투명하게 통합된 환경을 구축하여 건설 산업 전반의 효율적 관리를 수행하는 FIAPP (Fully Integrated & Automated Project Process) 개념을 제안하였다.

유럽의 경우 미국과 유사한 목표로 1997년 POSC/Caesar 컨소시엄이 결성 되었으며, 현재 산업설비분야의 28개 주요 회사가 참여하여 업무 프로세스의 단순화와 자동화, 사업주/ 설계자 / 시공자 및 공급자 간의 협업 실현을 위해 노력하고 있음. 이러한 건설산업의 효율성 제고를 위한 제안 등이 있은 후 FIAPP 개념의 구현을 위한 다수의 연구개발 단체 및 기구가 창설되었다.

이들 중 최근에 가장 활발한 활동을 보여주고 있는 FIATECH은 프로젝트의 경제적 가치를 극대화하는 것을 목표로 프로젝트 라이프사이클을 통합하고 자동화하는 것을 추진하고 있으며 프로젝트 라이프 사이클의 통합과 자동화를 통해서 시설의 신규 건설과 개조 비용의 8% 절감, 프로젝트 공정의 14% 단축, 보수비용의 5~15% 절감 등을 추구하고 있다. FIATECH은 2007년 발표한 'Capital Project Technology Roadmap Vision'에서 상호 연관관계를 가진 9가지의 핵심과제를 선정해서 시설의 life cycle 통합과 자동화를 추진하고 있으며 이중 제9과제가 'Life Cycle Data Management & Information Integration'이 제1세세부과제의 연구개발 내용과 같은 맥락이라고 볼 수 있다.

설계가 확정되지 않은 선행단계 (Front-end Phase)에서 플랜트 건설사업의 총 사업비 추정은 추정 예산 대비 프로젝트 종료 시의 총 투입비용의 증감이 최대 + 75% ~ -30%에 달할 정도로 오차가 크며 이로 인한 리스크도 높은 수준이라고 할 수 있다.

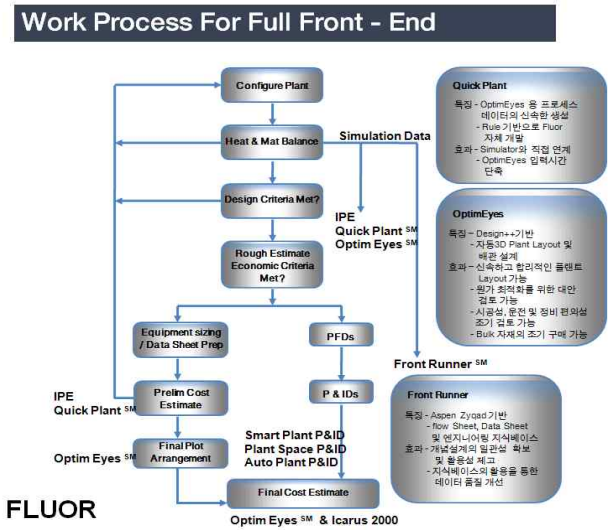
LNG 플랜트 건설사업의 타당성은 유가, 국제 금리 변동, 환율, 유가, 입지 및 기반시설, 환경영향. 안전성 등에 민감하여서 이 타당성의 정확한 분석 없이 LNG 생산시설을 신설하거나 확장하는 것은 투자손실을 유발할 위험이 크다고 할 수 있다.

천연가스 보유국들은 이러한 투자 손실을 최소화하고 이윤을 극대화하기 위해서 LNG플랜트의 건설을 착수하기 전에 선행단계의 설계를 확대해서 수행하는 FEED (Front End Engineering and Design) 또는 FEL (Front End Loading)[1]로 명명되는 용역을 발주하여 타당

1) 고전적인 플랜트 건설사업에서는 선행단계의 엔지니어링은 개념설계 수준보다 정도가 떨어지는 수준의 설계를

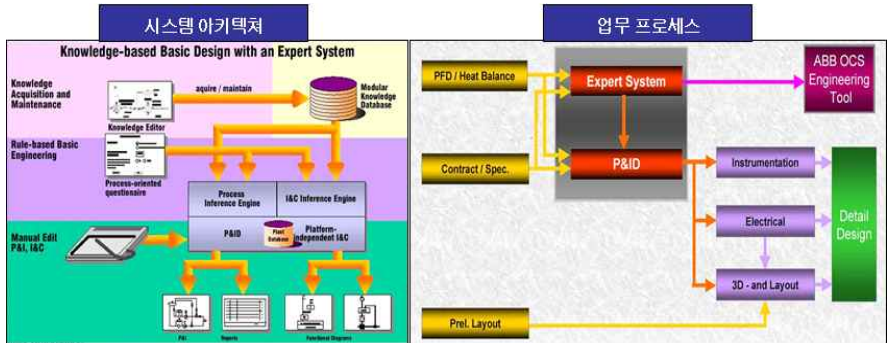
성을 정밀 분석해서 LNG플랜트의 규모, 위치, 착공 시기, 총사업비, 리스크, 예비비 등을 검토한 후 적정시기에 적정 규모의 본 사업을 착수하는 현상을 볼 수 있다.[2)]

또한 FIATECH에서는 'Capital Project Technology Roadmap Vision'의 제1 핵심과제로 건설사업의 초기 단계에서 시나리오 기반의 생애주기 비용을 추정하고 타당성을 실시간으로 분석할 수 있는 '시나리오 기반의 사업계획 (SbPP: Scenario-based Project Planning'에 대한 연구개발을 추진하고 있음. 이러한 국제적인 추이에서 볼 때 SbPP는 향후 설계자동화 시스템과 함께 Flour Daniel사와 ABB사의 Automated FEED 시스템의[3)] 타당성 분석의 기법으로 활용될 것으로 판단된다.



[그림 1.17] Flour Daniel사 지능형 통합 FEED(Front End Engineering and Design) 시스템

수행하였음.
2) FEED 수행사례
3) 미국의Flour Daniel사는 Automated FEED(Front End Engineering Design) 시스템을 활용하여, 짧은 기간에 프로세스 플랜트의 개념설계와 견적을 효과적으로 완료함으로써, 설비투자원가를 줄이고 설계품질을 향상시킴으로써 ROI(Return On Investment) 및 NPV(Net Present Value)를 개선함.



[그림 1.18] ABB사 지능형 통합 FEED(Front End Engineering and Design) 시스템

개략견적 결과의 정확도 측면에서, 프로젝트 초기에 예측되는 사업비 혹은 공사비는 프로젝트 초기 단계의 부족한 견적정보에 의존하며, 이 때 예상되는 오차율은 일정하지 않으나, 기획초기 단계인 경우는 +50% 이상의 오차가 발생할 수 있다는 것이 그로 예상하고 있으며, +40～-10%로 예상한 경우도 있음 (Peurifoy and Oberlender, 1989).

이와 같이, 과거 실적 데이터의 부족 및 견적자의 부적절한 판단 등으로 개략견적의 오차율은 현저히 떨어지는 것이 사실임 하지만, 그럼에도 불구하고, 기본적인 개략견적기법에 확률적, 통계적 응용기법과 리스크 관리 등을 함께 접목 분석함으로써 견적결과의 오차율을 줄이려는 많은 노력이 있어 왔으며, 또한 다양한 응용기법과 이론을 접목시킴으로써 견적결과의 정확도를 향상시키고자 하는 노력 외에도, 여러 가지 보정 계수를 개발하고 적용함으로써 실적자료에 근거한 개략견적의 정확도를 제고하는 노력도 계속되어 왔다.

미국의 Flour Daniel사는 지능형 통합 FEED(Front End Engineering and Design) 시스템을 활용하여, 짧은 기간에 프로세스 플랜트의 개념 설계와 견적을 효과적으로 완료함으로써, 설비투자 원가를 줄이고 설계 품질을 향상시킴에 따라 ROI(Return On Investment) 및 NPV(Net Present Value)를 개선함 다국적 기업인 ABB사에서는 전문가 시스템을 이용한 지식 기반의 발전소(600개 프로젝트의 실적자료, 50만개 문서를 통한 300개의 지식기반 마련) 기본 설계 시스템을 활용하여 기본설계 원가를 30%이상 절감하고, 설계 품질을 향상시킨 것으로 알려졌다.

[표 1.10] 세부기술별 국외 주요업체 현황

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
플랜트 솔루션	Bentley(미국)	플랜트 자원관리 솔루션	85%	
Life Cycle Tacking	Goda Software(미국)	Life Cycle Project Management Software Program	85%	
지식관리	ABB 社(미국)	전문가 시스템을 이용한 지식기반 발전소 구축	85%	기기제작, 설계
자동화	FIATECH (미국)	국제공동연구를 위한 컨소시엄으로 국제개방형 표준데이터 모델을 기반으로 한 설계, 구매. 시공의 자동화 추진	85%	
통합 사업관리	Flour Daniel 社(미국)	지능형 통합 FEED(Front End Engineering Design) 시스템 구축	90%	건설사업관리, 종합설계, 견적
EPCM	KBR, Bechtel, Parsons 등	EPCM 수행 능력 보유	90%	건설사업관리, 종합설계
EPCM	CII(미국)	FIAPP 개념 제안	90%	설계, 시공, 유지관리

[표 1.11] 세계 주요업체 현황 - 솔루션 공급

업체명		보유 능력	중점 분야
Bently ProjectWise	벤틀리 시스템즈 코리아	- 회사내외의 다양한 부서나, 협력사들과 정보 및 자료를 효율적으로 관리하는 플랜트 자원관리 솔루션 - 플랜트 엔지니어링 정보, 지리정보 및 이와 관련된 문서 관리 지원	- 플랜트 엔지니어링 관리환경
PRIMAVERA	프리마베라 코리아	- 공정 관리 전산 시스템	- 공정관리 솔루션 PRIMAVERA 공급
Goda Software		- Life Cycle Tracking 시스템	- Analyst Pro 공급
Elementool		- Web-based Tracking and Prioritization 시스템	- Bug Tracking 공급
IC Soft		- Productivity Enhancement 시스템	- icTracker 공급

[표 1.12] 세계 주요업체 현황 - 엔지니어링, 사업관리, FEED

업체명(국적)	보유 능력	중점 분야
ABB 社(미국)	전문가 시스템을 이용한 지식기반 발전소 구축	기기제작, 설계
FIATECH(미국)	국제공동연구를 위한 컨소시엄으로 국제개방형 표준데이터 모델을 기반으로 한 설계, 구매. 시공의 자동화 추진	
Flour Daniel 社(미국)	지능형 통합 FEED(Front End Engineering Design) 시스템 구축	건설사업관리, 종합설계, 견적
KBR, Bechtel, Parsons 등	EPCM 수행 능력 보유	건설사업관리, 종합설계
CII(미국)	FIAPP 개념 제안	설계, 시공, 유지관리

나. 시장 동향

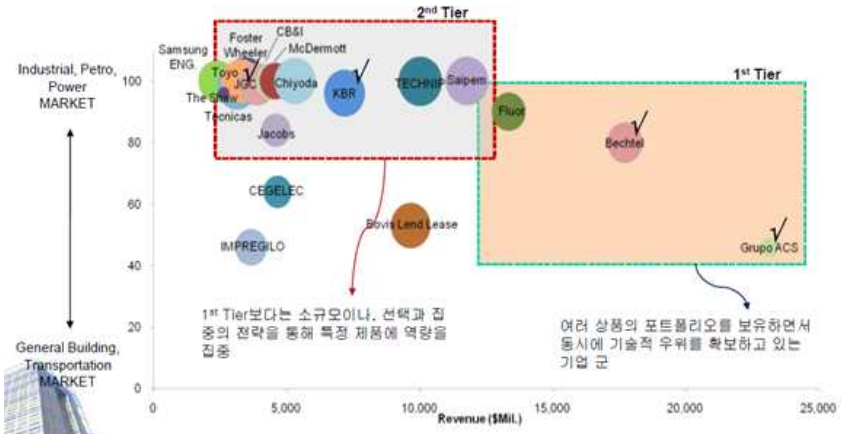
ENR지에 의하면 세계 플랜트 산업 관련 시장은 2002년 이후 2009년 까지 연평균 14%의 성장률로 꾸준히 증가했다. 2009년 세계 금융위기의 여파로 침체기를 맞이하였으나, 경기회복 및 에너지 자원개발 활성화로 지속적으로 성장하고 있다. 2009년부터 2020년까지의 성장률을 7.3%로 예측할 경우 2015년까지 11,100 억불, 2020년까지 15,810억불 규모의 시장이 형성될 것으로 전망된다.



[그림 1.19] 전세계 플랜트 시장 규모 및 전망
(출처: GS E&C 이우찬 상무, 한국플랜트 EPC 기업의 현재와 미래, 2010.)

플랜트 산업별로 석유 및 가스, 발전 등 에너지 분야가 전체의 65% 내외를 차지하고, 석유화학, 제조, 담수 플랜트 등 비에너지 분야의 시장이 나머지 35%를 차지한다.

플랜트 세계 시장은 상위 10개국이 전 세계 플랜트 시장의 90%를 차지하고 있을 정도로 소수 선진국의 지배력이 강한 독과점시장이며, 그 가운데서도 미국, 중국, 프랑스, 일본, 스페인의 선진 5개국이 세계 플랜트 산업의 81% (2006년 기준)를 점유하고 있다. 선진업체의 시장지배의 특징은 높은 기술력과 앞선 EPC 솔루션 제공능력, 광범위한 서비스 제공능력에 있다.



[그림 1.20] 선진업체 시장지배의 특징
(출처: Top Global Contractors 2008 (ENR))

한편, LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, 2014년 이후의 LNG 생산전망은 <그림 1.21>과 같이 예측된다. 세계 LNG 생산전망은 2014년 약 3,400 BCM에서 연평균 3~%의 꾸준한 증가하여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4,071 BCM에 달할 것으로 예상된다.

반면 <그림 1.21>의 꺾은선 그래프로 나타내어지는 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상되며, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미 생산비중은 점진적 감소 예상한다.

자원부국이 많은 중동과 동남아시아 지역의 국가들은 각각 17%, 15% 대의 생산비중을 유지할 것으로 보이며, 최근 개발이 활발히 진행 중인 아프리카 국가들의 생산비중은 꾸준히 증

가할 것으로 예상된다.

이에 따라 국내기업들은 성장전망이 밝은 아프리카 지역과 지리적 접근성이 좋은 아시아 지역으로의 진출을 추진해보는 것이 바람직하다.



[그림 1.21] 세계 가스생산 전망 (2014-2021) (출처: Business Monitor International)

PFC Energy 2013자료에 의하면 글로벌 LNG시장이 확대되고 있으며 <그림1.22>와 같이 Gas Penetration Scenarios를 분석한 결과 2013년 기준 LNG는 전체 에너지 공급량의 5%를 차지하고 있다. 2030년까지의 시나리오 분석 결과 고 성장일 때 37%, 최대 성장일 때 49%를 차지할 것으로 예상된다.

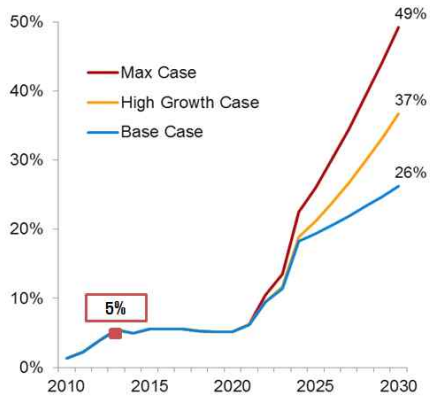
한국, 미국 등 13개 주요 국가별 가스수급 전망은 <그림 1.23>과 같으며, 국가별 막대그래프에서 좌측 막대는 생산전망을, 우측 막대는 소비전망을 나타내고 각 값은 2014년부터 2021년까지의 총합을 나타내고 있다.

우리나라는 일본과 함께 생산량은 거의 없으나 소비량이 크게 나타나며, 중국은 급격한 경제성장에 따라 소비량이 크게 증가할 것으로 예상한다.

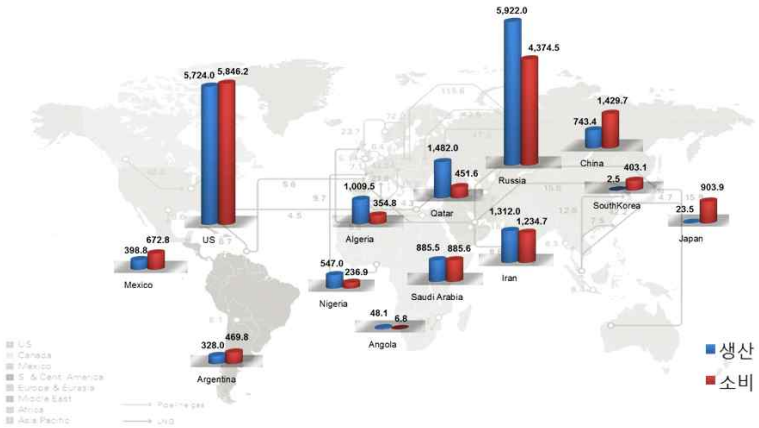
최대 LNG생산국인 러시아와 카타르는 앞으로도 가스생산량을 지속적으로 늘려 세계적인 주요공급처로 자리매김할 것으로 보이며, 알제리, 나이지리아, 앙골라, 사우디 아라비아, 이란 등 아프리카 및 중동 자원부국들도 생산을 늘릴 것으로 전망한다.

이상의 수급전망은 LNG플랜트 건설 후 판매, 즉 다운스트림(downstream) 단계에서 마케팅 전략수립과 직결되는 요소들로 해외 LNG플랜트 개발사업에 참여하고자 하는 국내기업들은

이러한 정보를 반드시 고려해야 하며, 향후 아프리카 지역의 생산량 증가가 기대되는 한편, 이들 국가에서의 소비는 제한적으로 나타나고 있는 만큼 국내기업들은 아프리카 국가들로의 진출을 검토하는 것이 바람직하다.



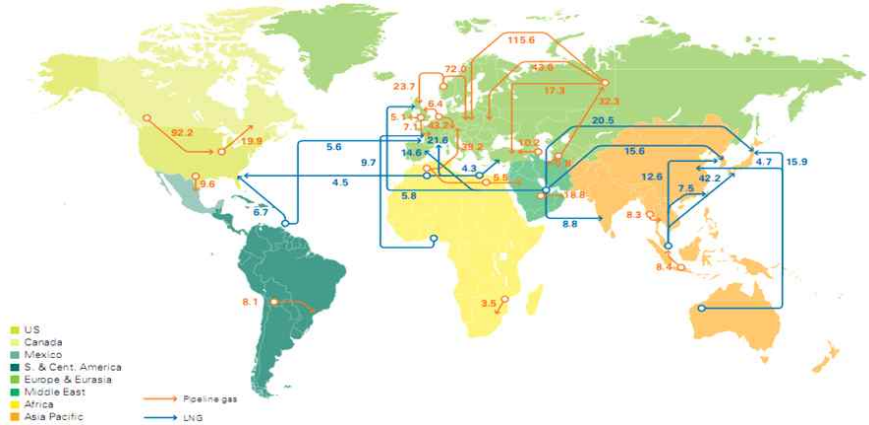
[그림 1.22] Gas Penetration Scenarios(2010-2030)
(출처: PFC energy 2013)



[그림 1.23] 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021)
(출처: Business Monitor International)

<그림 1.24>는 세계 가스거래 현황으로, 붉은 선은 파이프라인을 통한 육상공급을, 파란 선은 선박을 통한 해상공급을 나타냄. 유럽 및 북미 지역의 선진국들은 주로 파이프라인을 통해 가스를 공급받는데, 이는 이들 국가들이 안정적인 대량공급방식을 이미 갖추고 있으므로 신규 가스공급망을 구축할 필요성이 떨어짐이 관찰된다.

반면 아시아, 중동, 아프리카 지역은 선박을 통한 공급이 주로 진행되는데, 이는 파이프라인 방식에 비해 유동적인 공급망으로써 신규 해외진출을 구상하는 국내기업들의 진출이 가능함 할 수 있다.



[그림 1.24] 세계 가스거래 현황 (출처: British Petroleum)

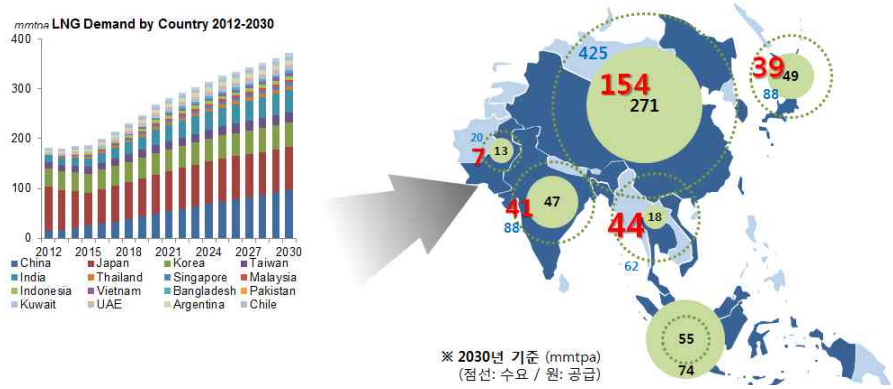
Oil & Gas Journal (2012)에 발표된 수요전망에 따르면, 2027년의 전세계 LNG 수요는 2012년의 2.4 ~ 3.5배에 달하는 3.6억m3 ~ 5.2억m3에 이를 것으로 전망하고 있다. LNG 플랜트의 수요는 2014년 1억3000만톤 에서 2020년 2억5000만톤으로 늘어나고, 천연가스 전체에서 차지하는 비중도 7%에서 11%로 높아질 전망이다. 2013년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2018년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400 ~ 1200/TPA으로 예상됨에 따라, LNG 플랜트의 건설 수요 투자비용을 분석해보면, 2020년 연간 10조원에서 연간 30조원 수준으로 예측된다.

또한 PFC Energy에서 제공하는 향후 수급전망 보고서에 의하면, LNG 천연가스의 최대 생산 및 수요국인 총 17개 국가(브라질, 칠레, 방글라데시, 쿠웨이트, 사우디아라비아 등)를 대상으로 2012~2030년까지의 LNG 천연가스 및 LNG 수요 분석을 통해 추가공급량(GAP)를 산출

하였으며, 향후 추가공급량(GAP)은 점차 늘어날 것으로 전망된다.

일본 원전 및 개발도상국 성장으로 인해 LNG의 수요는 <그림 1.25>와 같이 지속적으로 성장 전망에 있으며 국가별, 지역별 수급 불안정화로 인해 전략적인 LNG확보가 필수적인 상황이며, LNG의 수요는 2030년까지 계속 증가할 것으로 예측되고 있으며 2030년 국가별 LNG GAP 전망도 크게 나타나고 있다. <그림 1.25>에서 붉은색 숫자로 표시되고 있다.

<그림 1.25>의 왼쪽막대 그래프는 지역별 수요만을 나타낸 것이며, 오른쪽의 원 다이어그램은 수요와 공급을 통해 부족량을 붉은색 숫자로 나타내었고, 일본의 경우 수요는 88mmtpa인데, 공급은 49mmtpa로서 39mmtpa가 부족하며, 태국은 수요는 62mmtpa인데 공급은 18mmtpa로서 44mmtpa가 부족한 상황임을 알 수 있다.



[그림 1.25] 주요 국가별 LNG수급 전망 (2012-2030) (출처: PFC Energy 2013)

또한 에너지 시장의 주요 수급 국가인 중국은 수요가 425mmtpa인데 반해 공급은 271mmtpa로서 154mmtpa가 부족함을 나타내고 있으며, 인도는 수요는 88mmtpa인데, 공급은 47mmtpa로서 41mmtpa이 부족한 것을 <그림 1.25>를 통해 알 수 있다.

위의 결과와는 반대로 인도네시아는 생산량이 많은 국가로서 수요는 55mmtpa인데 공급이 74mmtpa로서 19mmtpa가 남는 것을 확인 할 수 있다.

이와 같이 향후 글로벌 LNG 시장은 계속 성장할 것이며 증가하는 만큼의 수요가 부족할 것으로 예상되며 향후 LNG Gas전 확보가 미래의 에너지 시장을 선점하는데 이점으로 작용할 전망이다.

3. 시사점 및 결론

국내외 기술 및 정책동향, 산업전망 등을 통하여 본 과제의 SWOT 분석을 수행하였으며, 그 결과는 <그림 1.26>과 같다.



[그림 1.26] 국내외 기술개발 현황 비교를 통한 SWOT 분석 결과

강점으로는 인력의 우수성과 첨단 IT기술을 확보하고 있다는 것이며 약점으로는 플랜트 엔지니어링 기술이 취약하며 건설사업관리와 리스크 관리 기술이 미흡하다는 것이다.

기회요인으로는 세계 천연가스 수요의 증가에 따라 LNG플랜트 건설수요가 증가할 것으로 예상되며, 연구개발 투자비용이 증액 등 LNG 플랜트에 대한 기술개발을 정부가 정책적으로 지원하고 있다는 것이다. 위협 요인으로는 선진국과의 기술격차가 세계시장의 첨예한 경쟁을 들 수 있을 것이다.

국내외 기술 및 정책동향, 산업전망 등을 토대로 분석하면 강점과 기회를 극대화하기 위해서는 LNG플랜트 건설사업에 바로 사용할 수 있는 생애주기 통합정보관리시스템의 개발이 필요하며 LNG플랜트 건설시장 진입의 한 방안으로 활용될 수 있는 FEED 수행능력의 확보가 필요하다.

ST분석에서는 선진기술의 벤치마킹과 국제협력 증진을 통한 중간진입전략의 추진과 국제경쟁력 확보를 위한 엔지니어링 효율성 개선, LNG 플랜트 건설 사업의 공정 단축 및 총사업비의 저감이 전략적 필요로 요구된다.

WO분석과 WT의 분석에서는 우리나라 관련 산업계의 취약점을 보완하기 위한 LNG 플랜트의 최적 생애주기 프로세스의 개발과 이를 구현할 수 있는 통합정보관리 시스템의 개발을 통해 극복할 수 있다.

이상의 SWOT 분석으로 판단할 때 '엔지니어링 효율성 개선기술 개발'을 위한 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발을 적기에 완료함으로써 엔지니어링 핵심 기술을 확보하고, 관련 기술을 보유한 해외 기관과의 기술협력 강화방안을 지속적으로 추진하는 것이 필요하다고 판단된다.

4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

플랜트 분야 건설사업관리 세계시장을 선도하는 주요 업체는 협력사들과의 주요 정보 및 자료에 대한 효율적인 자원관리, 엔지니어링 정보에 대한 체계적인 문서관리 지원, 각종 공정관리 도구의 연계 활용, 생애주기 관리를 핵심 기술로 보유하고 있다. 또한, 지식기반 플랜트 기기 제작 및 설계, FEED 수행능력, EPC 수행 능력을 엔지니어링 분야의 주요 경쟁력으로 인식하고 이를 확보하고자 노력하고 있다. 주요 해외시장 선도 업체의 보유 기술은 <표 1.9>, <표 1.10>과 같다.

[표 1.13] 세계시장 플랜트 사업관리 분야 솔루션 공급 선도업체 현황

업체명		보유 능력	중점 분야
Bently ProjectWise	벤틀리 시스템즈 코리아	- 회사내외의 다양한 부서나, 협력사들과 정보 및 자료를 효율적으로 관리하는 플랜트 자원관리 솔루션 - 플랜트 엔지니어링 정보, 지리정보 및 이와 관련된 문서 관리 지원	- 플랜트 엔지니어링 관리환경
PRIMAVERA	프리마베라 코리아	- 공정 관리 전산 시스템	- 공정관리 솔루션 PRIMAVERA 공급
Goda Software		- Life Cycle Tracking 시스템	- Analyst Pro 공급
Elementool		- Web-based Tracking and Prioritization 시스템	- Bug Tracking 공급
IC Soft		- Productivity Enhancement 시스템	- icTracker 공급

[표 1.14] 세계시장 플랜트 사업관리 분야 엔지니어링 선도업체 현황

업체명(국적)	보유 능력	중점 분야
ABB 社(미국)	전문가 시스템을 이용한 지식기반 발전소 구축	기기제작, 설계
FIATECH(미국)	국제공동연구를 위한 컨소시엄으로 국제개방형 표준데이터 모델을 기반으로 한 설계, 구매. 시공의 자동화 추진	
Flour Daniel 社(미국)	지능형 통합 FEED(Front End Engineering Design) 시스템 구축	건설사업관리, 종합설계, 견적
KBR, Bechtel, Parsons 등	EPC 수행 능력 보유	건설사업관리, 종합설계
CII(미국)	FIAPP 개념 제안	설계, 시공, 유지관리

이에 대비하여 현재 국내 플랜트 사업관리 분야 주요 업체 현황은 <표 1.11>과 같고, 국내 주요 전문가 및 연기기관 현황은 <표 1.12>와 같다.

[표 1.15] 국내 플랜트 사업관리 분야 주요 관련 업체 현황

업체명	업체별 능력
현대엔지니어링	가스플랜트 설계
삼성엔지니어링	가스플랜트 설계
GS건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
SK건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
한국수력원자력(주)	원자력발전소 건설사업관리, 사업계획 수립, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지
한국전력기술(주)	건설사업관리체제 개발 및 운영, 원자력발전소 A/E
한국가스공사	LNG 저장시설 사업관리, 사업계획 수립 및 EPC 총괄
중부발전(주) 등	화력발전소 건설사업관리, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지, 폐쇄
국내 플랜트 엔지니어링 업체 및 건설업체 다수	LNG 플랜트 시공 및 시공관리, 제한된 설계 수행

[표 1.16] 국내 플랜트 사업관리 분야 전문가 및 연구기관 현황

항목	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
EPC 수행 프로세스 및 위험도 평가체계 정립	김경주	중앙대학교	EPC 프로세스 규명	40
	이태식	한양대학교	플랜트 프로젝트 EPC 수행단계별 BPM 모델	60
	이준복	경희대학교	Gas & Oil 플랜트 조달관리 프로세스	60
공정관리 효율화 기술 적용기법 개발	강인석	경상대학교	플랜트공사 관리를 효율화를 위한 공정정보 시각화 시스템	60
	김재준	한양대학교	공정 및 비용 통합모델	60
위험도 기반 사업 및 공정관리 시스템 개발	한승헌	연세대학교	해외건설공사의 리스크 분석에 기초한 수익성 예측모델에 관한 연구 해외 시공자를 위한 리스크 관리에 관한 연구 특성별 리스크 분석을 통한 해외건설공사 현금 흐름 예측에 관한 연구 해외 건설 프로젝트 리스크 평가 방법 도출에 관한 연구	70
	이영남	현대건설	해외플랜트 공사 리스크 평가모델	70

상기와 같이 국내외 플랜트 사업관리 분야 솔루션, 엔지니어링 기술 및 연구 인프라를 토대로 분석하면 인력의 우수성과 첨단 IT기술을 확보하고 있다는 것은 강점이며 플랜트 엔지니어링 기술이 취약하며 건설사업관리와 리스크 관리 기술이 미흡하다는 것이 약점으로 파악된다.

이러한 분석 결과를 토대로 본 연구개발을 통해 개발된 LNG 비즈니스 통합 솔루션의 연구개발결과와 비교하여 기술수준을 정리하였다. 본 연구개발을 통해 LNG 플랜트 사업관리 엔지니어링 역량이 강화가 기대 되며, LNG 플랜트 분야의 R&D 기반이 확충되었으며 또한 관련 분야 전문가 인력양성에 크게 일조하였다. 또한 각종 국제 플랜트 관련 컨퍼런스 및 기술 세미나를 통행 국제 기술 교류 확대를 위한 기반을 마련하였으며, 이와 함께 선진기관 및 업체와 기술제휴의 장을 마련하였다.

특히, EPC 프로세스조차 제대로 정립되지 않은 국내 기술수준 및 현황에서 벗어나 설계가 확정되지 않은 사전계획단계(Front End Phase)까지 포함한 사업관리 시스템을 구축함으로써, LNG 플랜트 엔지니어링 분야에서 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있는 엔지니어링 기반을 구축하였으며, 이를 통해 선진국과 경쟁 또는 기술의 성숙 단계로 진입할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구 최종 완료시 앞 절의 SWOT 분석에서 제시한 대응 전략을 대부분 보완하게 됨으로써 관련 분야 세부기술에 대한 선진국 대비 기술수준 및 격차는 <표 1.13>과 같이 좁혀지게 되어 해외시장에서 기술 경쟁 진입 초기 단계에 이를 전망이다.

[표 1.17] 연구개발 종료 후 관련 분야 기술 수준 및 위치

세부기술	기술선도국	연구개발 이전 기술수준			연구개발 종료 후 기술수준		
		기술수준 (%)	기술격차 (년)	위치	기술수준 (%)	기술격차 (년)	위치
EPC 수행 프로세스 및 위험도 평가체계 정립	미국 EU 일본	70	2	성숙	90	0	경쟁
LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리	개발 진행 중 미국 유럽연합 일본	50	5	도입	85%	2	성숙
통합표준데이터 컨버터	개발 진행 중 미국 유럽연합 일본	60	3	도입	80%	2	성숙

제2장

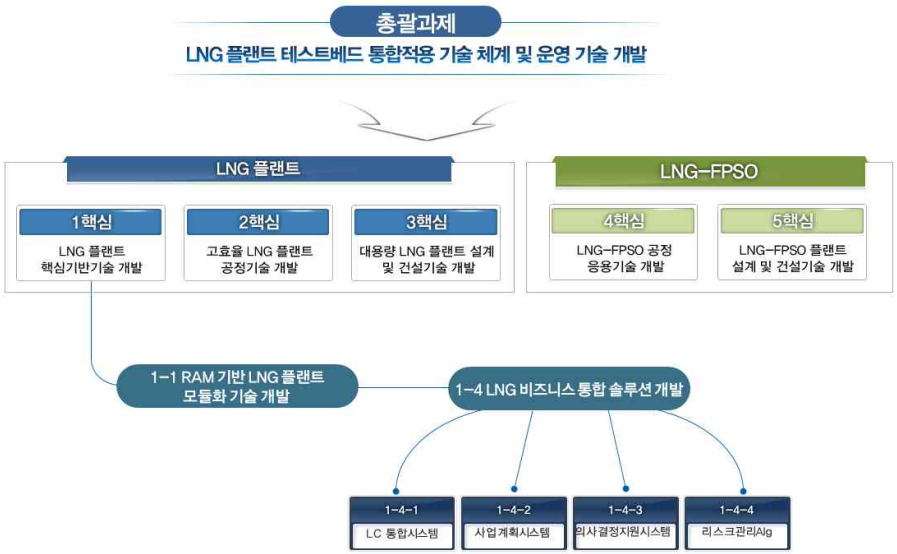
연구개발 수행 내용 및 결과

제2장

연구개발 수행 내용 및 결과

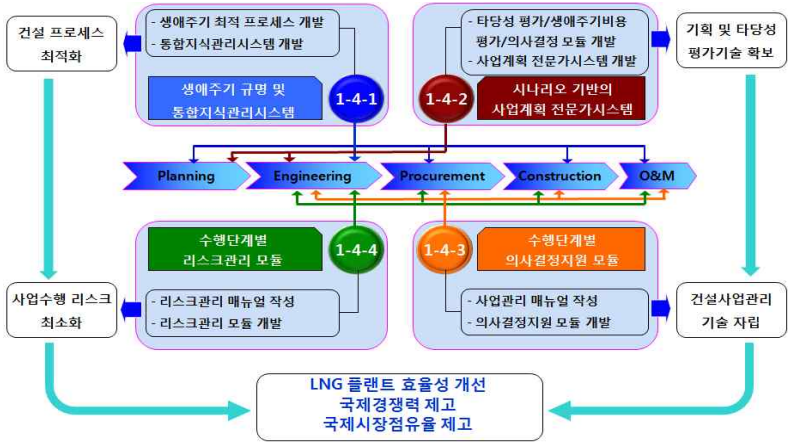
1절 연구수행 전략 및 방법론

본 연구는 LNG 플랜트 사업단 '1핵심 LNG 플랜트 핵심 기반 기술 개발'을 위한 'LNG 플랜트 비즈니스 통합 솔루션 개발 과제에 포함된다. 다시, 1-4 LNG 플랜트 비즈니스 통합 솔루션 개발 과제는 통합 솔루션 개발을 통해 1핵심 과제 전체의 통합 주요 목표인 엔지니어링 효율성 개선기술 개발 달성에 기여하기 위하여 LNG 플랜트 생애주기 기반 사업관리기술 분야를 4개의 세세부 과제로 구성되었다.<그림 2.1>

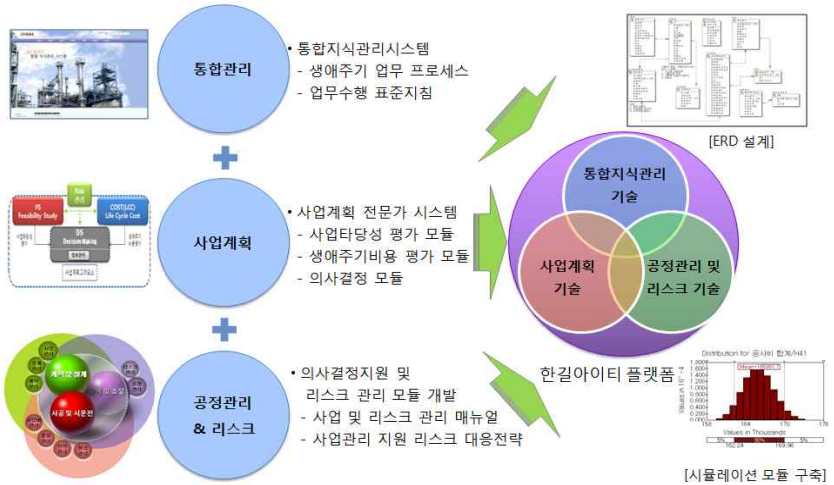


[그림 2.1] LNG 플랜트 사업단에서 1-4-1 과제 역할

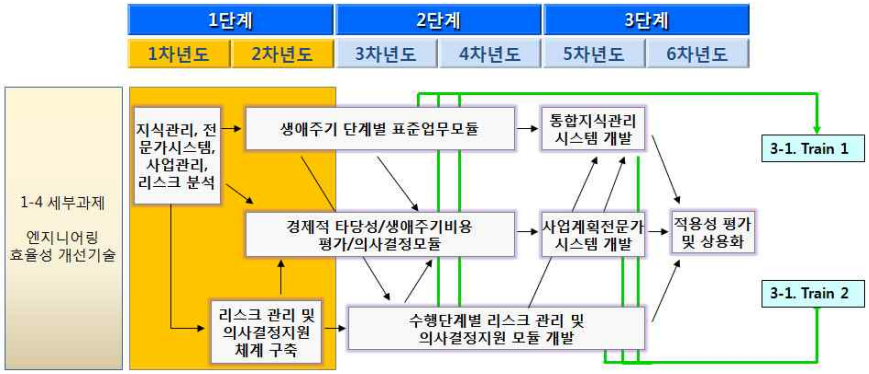
1-4 세부 연구는 LNG 생애주기 규명과 이를 토대로 업무 단계별 표준 업무 프로세스 모듈을 개발하고, 핵심 기술들을 통합하여 통합시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 본 과제의 세부과제 간 통합 연구개발 추진 전략은 <그림 2.2>와 같다.



[그림 2.2] 1-4세부 과제 간 추진 전략



[그림 2.3] 1-4 세부 과제 연구 추진 방법



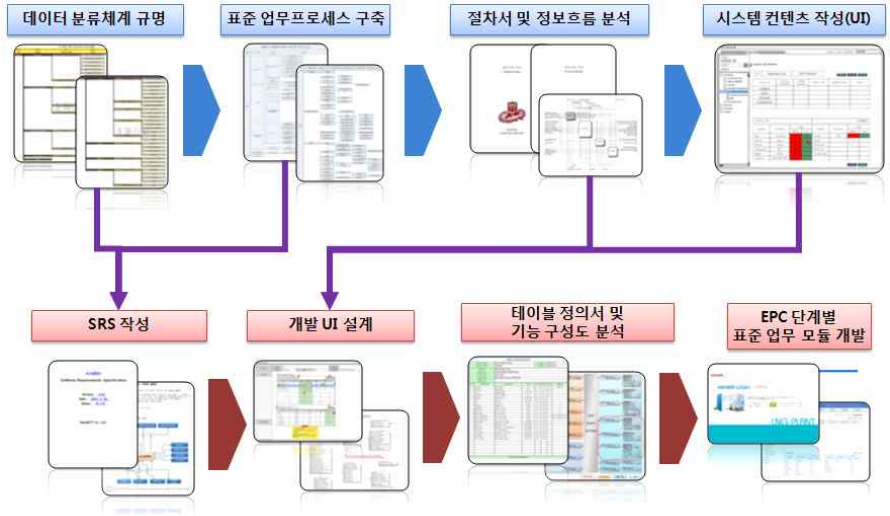
[그림 2.4] 1-4 세부 과제 TRM

본 과제는 1-4-1세세부 연구로써 'LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발'을 최종 목표로 하고 있다. 주요 수행 내용은 LNG 플랜트의 생애주기규명과 이를 통한 최적 업무 프로세스를 개발하고, 설계(E)-구매조달(P)-시공(C) 단계 엔지니어링 업무 모듈을 개발하여, 타 세부과제에서 규명된 위험관리 기반 의사결정시스템과 사업타당성 분석 시스템을 통합 패키지화하여 통합 비즈니스 솔루션을 구축하는 것이다. 이를 달성하기 위한 연차별 연구수행 내용 및 성과 요약은 <그림 2.5>와 같다.



[그림 2.5] 연차별 주요 연구수행 내용 및 성과

본 과제의 연구 수행은 LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 개발을 위한 기반 연구로 플랜트 생애주기 단계별 사업관리 업무 프로세스를 구축하여, WBS 및 데이터 분류체계 규명하고, 이에 따른 표준 업무 절차서를 작성하는 기반 기술 연구를 수행하고, 이를 기반으로 LNG 플랜트 비즈니스 통합 관리 시스템을 설계 및 개발하는 방법을 적용하였다.



[그림 2.6] 연구수행 방법

2절 연구수행과정 및 내용

1. 연구수행과정

본 연구는 엔지니어링 효율성 개선을 위한 도구의 역할을 하는 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발을 위해 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발을 목표로 총 4개의 세세부 과제로 구성하여 6차년도(당초 5차년도)에 걸쳐 수행되었다.



[그림 2.7] 1-4세부 연구에서 1세세부 연구의 주요 역할

본 연구는 1세세부과제로써 LNG 지식정보관리 시스템을 개발하고 타 과제의 연구개발 결과를 통합하여 LNG 비즈니스 통합 솔루션을 개발하는 것이 주요 임무이며, 2세세부과제는 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발, 3세세부는 위험기반의 사업 및 공정관리기법 개발, 4세세부는 LNG플랜트 해외사업 모델 및 위험관리기법 개발을 통해 주관 기관인 1세세부 과제를 지원하는 체계로 연구개발이 수행되었다.

LNG 비즈니스 통합 솔루션의 핵심 기술인 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리 기술개발을 성공적으로 수행하기 위하여 1세세부 연구는 <그림 2.8>과 같이 총 3단계로 연구내용을 세분하여 추진하였다. 1단계는 LNG 플랜트 생애주시 지시정보관리 시스템 개발 방향 정립과 기획단계 표준 업무 모듈에 대한 프로토타입핑을 수행하였고, 2단계는 설계(E)-구매조달(P)-시공(C) 단계 표준 업무 모듈을 순차적으로 개발하였으며, 3단계는 이를 통합한 통합 지식정보관리 시스템의 개발과 해외사업 모델 통합 패키지 시스템 개발이 각각 진행되었다.



[그림 2.8] 1-4-1세세부 연구의 연차별 연구 수행 로드맵

2. 연구수행내용

1-4-1 세세부 과제의 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발 연구의 각 단계별로 연차별 주요 연구 수행 내용은 다음과 같다.

[표 2.1] 1차년도 주요내용

구분	과업	주요연구내용
표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명	국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사 및 분석	국외의 경우 플랜트를 포함하여 프로젝트 생애주기의 모든 단계에 걸쳐 자동화되고 객관적인 사업관리 통합 환경 구축을 통해 건설 산업 전반의 효율적인 관리를 수행함. 다만, 설계가 확정되지 않은 Front-end Phase는 사업비 추정 오차가 리스크를 증가시키고 있어, 이에 대한 시나리오 기반 사업계획에 대한 연구개발을 추진하고 있었음. 하지만, 국내는 아직 프로젝크 생애주기 규명 및 정보 통합관리 체계 등 매우 열악한 상태로 선진국 대비 60% 기술수준인 것으로 판단된다.
	LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성 분석	플랜트산업은 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재, 최종제품을 제조할 수 있는 설비산업을 의미한다. 플랜트산업은 부가가치가 높은 지식집약형 산업으로서 각종 유발효과가 높고, 제조업과 서비스업의 성격을 동시에 갖고 있는 융합 산업이다. 플랜트 건설의 경우, EPC 발주방식이 일반화되어 있고 일반 건설과 달리, 기술경쟁력과 기자재 구입비용이 경쟁지배 요소가 되고 있다. 또한, 프로젝트 관리 및 통합관리가 사업의 손익과 성패를 좌우하는 산업으로 LNG 플랜트의 관리적 특성이 있다.
	선진기업의 LNG 플랜트 생애주기 사업 수행 체계 분석	LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다. LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄계약하는 방식이 건설산업의 계약방식과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서, 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.
	LNG 플랜트 생애주기 사업관리 니즈 분석	LNG 플랜트사업에 대한 환경변화 추세를 토대로 LNG 프로젝트 관리자의 입장에서 사업관리의 핵심니즈를 도출하였다. 시장적인 측면에서는 생산가격 하락과 친환경 에너지 수요 급증이 핵심 관점으로 파악되어 프로젝트 비용 최소화와 생산가격 최소화가 핵심니즈로 파악됨. 고객의 입장에서는 플랜트 건설수요가 급증하고 금융자본 조달에 어려움을 겪으면서 이익실현이 핵심 관점으로 조사되었으며, 생산기간의 단축과 투자자본 최소화 및 조기회수가 핵심 니즈임. LNG 건설업체의 입장에서는 고부가가치 건설시장 진출확대를 위하여 경쟁력 확보가 핵심 관점으로 파악되며 사업관리 노하우 확보와 적정 공기 내 건설사업 추진을 위한 효율성 극대화가 핵심 니즈로 파악되었다.
LNG플랜트 데이터 분류체계 정립	LNG 플랜트 단계별 업무프로세스 현황 조사 및 분석	국내 LNG 플랜트 관련 EPC 사업을 추진하고 있는 주요 건설업체를 대상으로 프로젝트 생애주기 업무 프로세스를 조사·분석하여 LNG 프로젝트의 생애주기 일부 또는 전부로 생애주기 단계별 프로세스의 현황을 파악하였다. 기존의 LNG 업무 프로세스를 분석하여 LNG 사업이 갖는 공통의 업무 프로세스와 특이 프로세스를 구분하여 표준적인 업무 프로세스를 도출하고, 프로세스의 유연성을 확보하기 위해 업무 프로세스 수준을 조절하였다.
	LNG 플랜트 생애주기 업무분류체계 조사 및 분석	국내외 관련 자료 수집 및 분석을 통하여 LNG 플랜트 프로젝트를 생애주기 단계별 업무로 구분하고, 단계별 업무를 정의하였다. 그리고, 프로젝트 엔지니어링 과정을 규명하여 생애주기 단계와 연계하여 업무체계를 정립하였다. 프로젝트 생애주기 단계는 기획, 설계, 구매조달, 시공단계로 구분하였고, 프로젝트 엔지니어링 과정 규명을 통하여 단계별 업무 선후행 관계를 정립하였다.
	LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 도입방안 정립	최근 플랜트 프로젝트는 건설 주기가 짧아지고, 엄격한 품질관리가 요구되며, 빈번한 정보 및 자료의 변경 등에 유연하게 대처하기 위한 수단으로써, '플랜트 정보통합관리 시스템'을 강조하고 있는 상황이다. 하지만, 기존 지식관리 분류체계는 실제 업무 프로세스와 동떨어진 분류체계로 인해 발생하는 점과 낮은 협업 지원으로 비용과 시간 낭비라는 문제점이 있다. 따라서 실제 업무 프로세스를 기반으로 지식관리 분류체계를 활용하며, 실무 사용자 중심의 업무 프로세스를 기반으로 하는 지식관리 분류체계를 적용한 사업관리 시스템 개발을 주요 개발 방향으로 설정하였다.

[표 2.2] 2차년도 주요내용

구분	과업	주요연구내용
LNG 플랜트 기획단계 상세 업무 프로세스 구축	LNG 플랜트 기획단계 As-is 프로세스 모델 분석	기존 플랜트 사업(EPC) 절차는 일부의 경우 승인과, 인증의 목적으로 따로 작성됨에 따라, 관리의 효율성 제고를 위한 목적과 상이 할 수 있고, 구성 체계 등의 문제로 초급기술자 및 실무자를 위해 교육을 실시해야 하는 경우가 생겨 활용자체가 불가하거나 실용성이 미비할 수 있으며, 단순 업무절차의 나열로 중점관리요소의 파악이 어려고, 업무절차서의 수정 및 개정이 용이하지 못한 문제점을 가지고 있다. 이에 기존의 플랜트 공사의 유형을 턴키공사와 단순 도급공사 등 5가지 유형별로 분류하고, 업무 프로세스 모델을 분석하였다.
	LNG 플랜트 기획단계 상세업무 프로세스 분석	EPC 사업 수주 후 협상을 통합 최종 계약에 합의하고 계약을 체결하는 업무를 기획단계 업무로 정의하였다. 플랜트 사업(EPC) 절차들을 분석하고 공통의 업무 프로세스와 특이 프로세스를 구분하여 모델 분석을 수행하여 기획단계의 업무를 계약, 사업준비업무, 수행으로 분류하였다. 계약업무 프로세스는 입찰조정, 계약, 공사 관련 보증 발급 및 요청, 주요 입찰 자료 확인 및 작성으로 절차화되며, 사업준비업무 프로세스는 사업수행체계 및 조직구성, 사업기준예산 수립, 사업심의의 절차로 진행되며, 최종 심의된 당사자간의 책임 및 의무사항, 업무 분담 등을 토대로 업무를 절차화하였다.
	LNG 플랜트 기획단계 업무정의 및 관련정보 분류	기획단계 상세업무 프로세스를 절차화한 이후에 업무와 상관된 용어에 대한 정의를 통해 업무 범위 및 역할을 한정하였다. 기획단계의 업무는 프로젝트 조직 및 전략구성, 견적, 입찰, 계약, 사업준비업무로 5가지 업무로 정의하였다. 이를 기획단계 표준

		업무로 채택하였으며, 5가지 핵심업무를 중심으로 총 18가지의 세부 수행 업무로 구분하였으며, 각 세부업무들의 업무를 다시 정의하였으며, 이를 통해 업무간 범위 조정 및 관계자간의 역할을 상호 조정하여 관련 정보를 분류하였다.
LNG플랜트 데이터 분류체계 정립	LNG 플랜트 기획단계 정보 흐름 규명	LNG 플랜트의 업무 프로세스를 바탕으로 실제 업무 프로세스의 분석 및 시스템 설계를 위한 활동 및 활동 간의 관계를 표현하기 위해 IDEF∅을 사용하여 업무 및 업무와 관련된 정보의 흐름을 규명하였다. IDEF∅를 통해 기획단계 업무에 해당하는 Activity들에 대해서 업무와 정보간의 Control, Input, Output, Mechanism의 순차적 정보 흐름 관계를 제시하였다. 정보 흐름은 먼저 5가지 핵심 업무간의 정보 상관관계를 규명한 후 각 핵심 업무의 하위 분류에 속하는 총 18개 세부수행업무들 간의 정보 상관관계를 정립하였다. 이를 LNG 플랜트 기획단계 모듈 프로토타입 시스템 설계에 반영하였다.
	LNG 플랜트 사업관리 요구사항 도출 및 시스템 구성도 및 기능 정립	LNG 플랜트 통합관리시스템의 기획단계에 대한 표준 업무 모듈 개발을 위한 SRS는 시스템의 용도와 목적을 위해 필요한 모든 것을 정의하였다. 사용자 요구사항 항목은 대분류 11항목(Introduction, Overall Description, Environment 외 8개)으로 분석하였으며, 주요 사용자 계층은 LNG 플랜트 EPC 및 턴키 업무 수행 기관, 설계, 시공업체 등을 대상으로 하였다. 주요 기능은 프로젝트 조직 및 전략구성단계에서 조직구성 및 입찰 전략 등을 지원하며, 견적단계는 입찰 설계안 및 실행예산을 지원한다. 입찰단계는 Technical 입찰서, 총괄 입찰서, Proposal Package 완성 등을 수행하며, 계약단계는 입찰조정, 공사 관련 보증, 주요 입찰 자료 등을 지원한다. 마지막으로 사업준비단계는 사업수행체계 및 조직구성, 관리방안, 분야별 수행계획 등을 지원하는데 필요한 요구 사항을 정의하였다.

	LNG 플랜트 개방형 정보표준 기반의 사업관리 데이터 모델링 및 설계	기획단계 상세 업무 프로세스를 고려하여 기획관리 메뉴는 프로젝트 조직관리, 견적관리, 입찰관리, 계약관리, 사업준비 업무관리로 구분하였다. 프로젝트 조직관리는 팀구성, 전략회의, ITB 검토, 견적관리는 견적 일정, 입찰 설계안 견적 산정, 입찰관리는 입찰 일정, Teechnical/ Commercial 입찰서 관리, 계약관리는 입찰 조정, 계약체결, 공사관련 보증발급 및 요청, 사업준비 업무관리는 사업관리 방안 수립, ECP 수행계획으로 구분하여 데이터를 기획단계 표준 업무 모듈에 대한 데이터를 모델링하고 설계를 수행하였다.
	LNG 플랜트 기획단계 표준 업무 모듈 개발	LNG 플랜트 통합관리시스템은 생애주기 단계별 표준 업무 모듈의 통합시스템으로 기획단계 표준 업무 모듈은 본 통합시스템의 운영을 시작하는 초기 시점에 활용되는 모듈이다. 즉, 본격적인 EPC 사업을 수행하기에 앞서 사전 업무를 처리하는 모듈로 차후에 개발되는 EPC 단계별 표준 업무 모듈들과 통합 또는 개별적으로 분리되어 E, P, C 단계별로 독자적으로도 운영이 가능하도록 개발하였다. 이는 LNG 플랜트 건설 현장의 특성상 해외 오지의 열악한 전산환경이나 E, P, C 공종별로 사업에 참여하는 다양하고 방대한 엔지니어링 업체들 간의 협업을 원활히 수행할 수 있도록 산업 및 현장 특성을 반영한 능동적인 시스템 구축을 지원하기 위해 채택한 개발 전략이다.

[표 2.3] 3차년도 주요내용

구분	과업	주요연구내용
EPC 단계별 업무 프로세스 및 맵 구축	LNG 플랜트 EPC 단계별 업무분류체계 구축	LNG 플랜트 프로젝트의 생애주기 업무는 EPC 업체의 관점에서 수행하는 것으로 한정하여, 초기 입찰안내서(ITB)수령 이후부터 기획(견적, 입찰 포함), 설계, 구매조달, 시공 단계의 업무로 대별하였다. 생애주기 프로세스적 관점에서 업무분류체계는 작성된 것이므로 기존의 부서별, 부문별 업무 구분이 아닌 시간적 흐름에 따라 EPC 단계별로 작성을 하였다. 이는 이후 시스템의 통합 운영 및 체계적 지식정보관리를 위한 업무 프로세스 맵핑(Mapping)을 통해 효율적인 통합 지시관리시스템의 개발과 활용의 용이성을 고려한 업무분류체계의 구축이다. 표준화된 WBS는 플랜트 프로젝트 수행에 효율적인 지식 관리를 가능케하며, 지능형 통합관리시스템 개발의 기초가 되었다.
EPC 단계별 업무 모듈 설계	LNG 플랜트 단계별 업무 프로세스 맵 구축	기 개발된 EPC 업무분류체계에 기반하여 각 업무 액티비티별로 작업의 선후관계를 정립하였다. 주로 레벨 4단계를 대상으로 정리하였으며, 국내 선도 EPC 기업의 업무를 수집 분석을 통하여 도출된 공통 업무를 대상으로 하였으나, 특이한 업무 부분에 대해서도 전문가 자문, 현장 실무자 면담 등을 통해 정제하여 기입할 필요가 있는 업무를 추가하여 구축하였다. 개발된 LNG 플랜트 단계별 업무 프로세스 맵은 EPC 단계별 별도 모듈 뿐만 아니라 통합 지식정보관리시스템 개발 시에도 주요 모듈별 메인 프레임에 프로세스 맵을 적용하여 업무의 이해도 및 사용자 편의성을 향상시켰다.
	LNG 플랜트 EPC 단계별 사용자 요구사항 도출	LNG 플랜트 사업관리 사례 조사와 생애주기 단계별로 정립된 업무 프로세스를 바탕으로 통합시스템 개발을 위해 설계(E), 구매조달(P), 시공(C) 단계별 표준 업무 프로세스를 반영한 독립 업무 모듈 개발 및 시스템 통합을 위한 요구사항을 도출하였다. 요구사항은 사용자 요구 속성을 기능과 비기능으로 분류하였으며, 기능 속성은 6가지 대분류로 총 28개 속성으로 정의하였고,

		비기능은 대분류 구분 없이 총 12개 속성으로 정의하였다. 이와 같이 요구속성을 도출하여 업무 범위를 한정하고, 이를 LNG 플랜트 EPC 단계별 표준 업무 모듈 설계에 반영하였다.
	Balsamiq Mockups을 이용한 EPC 단계별 UI 설계	기 개발된 업무분류체계, 업무프로세스, 업무지침 등과 다양한 지식, 정보 컨텐츠를 융합하여 통합지식관리시스템을 개발하기 위해 시스템 UI(User Interface) 기본설계를 하였다. 본 연구에서는 Balsamiq Mockups 프로그램을 사용하였으며, 이는 국내 일반 SI업체에서 개발 시 의사소통 및 인식성을 제고하고, 다양한 업역의 참여연구원이 시스템 개발을 위한 의사소통 시 시간과 문서작성 노력을 절약할 수 있도록 Balsamiq Mockups 프로그램을 사용하여 UI 설계를 수행하였다. 사용자 UI는 각 모듈별로 업무의 편의성 증진을 위해 기 개발된 프로세스 맵을 시스템의 적재적소에 배치하여 엔지니어링 업무 효율성을 제공하고 있으며, EPC 단계별로 참여하는 공종별 엔지니어링 업체의 사용 편의성 증진을 위해 참여기업간 업무에 필요 주요 모듈만 탈부착이 가능하도록 설계하였다.
	LNG 플랜트 EPC 표준 업무 모듈 개발	표준 업무 모듈은 선별적으로 추출된 업무항목을 토대로 작성되었으며, 이를 통해 업무의 정보연계 및 데이터베이스 간의 정보 순환을 Test 하였다. 개발의 순서는 업무 프로세스를 고려하여 설계(E), 구매조달(P), 시공(C) 업무 모듈로 순차적으로 개발하였으며, 이는 각 업무 경계면에서의 데이터 인터페이스와 상호 운용성을 검증하면서 개발하기에 용이하였기 때문에 채택한 방안이다. Balsamiq Mockups 프로그램을 이용해 작성된 업무 모듈의 샘플을 토대로 웹기반의 설계, 구매조달 및 시공단계 표준 업무 모듈을 개발하였다. 설계, 구매조달 및 시공의 각 단계 연계 관리를 통해 수행계획, 공정계획, 실행 예산 관리계획 및 인력계획 등을 효율적으로 수행 가능케 한다.

[표 2.4] 4차년도 주요내용

구분	과업	주요연구내용
EPC 단계별 정보지식관리 표준업무지침 개발	LNG 플랜트 생애주기 단계별 통합업무 프로세스 구축	생애주기 단계별로 정립된 LNG 플랜트 업무들의 정보연계 및 인터페이스를 위해 설계(E), 구매조달(P), 시공(C) 단계를 통합 수행할 수 있는 업무 프로세스의 구축을 수행하였다. 생애주기 단계 통합업무 프로세스는 기 개발된 기획단계 표준 업무 모듈과 ECP 업무별 표준 업무 모델을 시스템적으로 통합하여 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 통합시스템 개발을 목적으로 하였다. LNG 플랜트 생애주기 단계를 관통하는 기획, 설계, 구매조달, 시공 단계는 업무간 선후행 프로세스에 따라 상호 연계성을 가지고 있어 각 업무 혹은 업무 경계면에서 데이터 인터페이스와 상호 운용성을 확보하도록 하였다. 또한, 사용자 편의를 제공하기 위하여 업무 표준 모듈의 주요 기능 마다 프로세스 맵을 작성하여 시스템에 적용하도록 하였다.
	LNG 플랜트 생애주기 단계별 표준업무지침 개발	기존의 사업관리시스템(PMIS) 플랫폼을 활용하되 지식 및 정보관리를 위한 컨텐츠를 개발하고, 이를 전세계 어느곳에서나 손쉽게 사용하기 위한 방안을 도입하였다. 그 중 하나는 업무관리 매뉴얼(업무지침) 및 사업관리 매뉴얼, 위험관리 매뉴얼 등 다양한 관리 매뉴얼을 제공하는 것이다. 기본적인 내용을 바탕으로 사용자 편의에 따라 수정 및 보완 등 가감할 수 있도록 개발하여 사용성과 실용성을 제고하였다. 생애주기 단계별 표준업무지침은 설계(E), 구매조달(P), 시공(C)에 관련된 업무를 중심으로 작성하였으며, 개발 매뉴얼은 EPC 단계별 표준 업무 모듈 및 통합 지식정보관리 시스템에 탑재하여 사용자가 시스템을 활용하여 업무를 수행하는 과정에서 신속하고 용이하게 열람하여 활용할 수 있도록 하였다.

EPC 단계별 정보지식관리 업무 모듈 개발	LNG 플랜트 생애주기 지식정보관리 모듈 프로토타입 개발	LNG 플랜트 생애주기 표준업무절차서를 기반으로 생성된 단계별 지식정보DB를 분류, 속성을 정의하여 메타데이터 생성프로세스를 통해 기존 정보에 메타데이터가 추가로 입력되어 레파지토리에 저장되도록 하고, 이후 지식정보 DB에 저장된 데이터는 데이터 마이닝 시스템의 수행절차를 통해 지식으로 변환되도록 하였다. 이렇게 축적된 지식정보들의 신속, 정확하게 필요한 정보를 검색하고 재활용하기 위해 데이터의 관계, 제약조건 등을 정의하여 온톨로지를 설계하고 이를 지식정보관리 모듈에 반영하였다. 이와 같은 과정을 통해 개발된 LNG 플랜트 생애주기 지식정보관리 모듈 프로토타입은 변환된 지식을 사용자 요구 및 의도와 쿼리에 맞게 매칭되어 업무에 활용할 수 있는 편의성을 제공한다.
	모듈별 단위테스트를 통한 검증	ECP 단계별로 개발된 모듈의 소프트웨어의 기술적인 품질 역량을 평가하기 위해 각각 모듈에 대한 단위테스트 및 이를 연계한 통합테스트를 수행하였다. 품질 검증을 위한 평가 항목은 개발 프로세스 준수 여부, Input 항목 테이블 검토, Output 값의 정확성, 테스트를 통한 오류 발생 여부, 오류 보고 및 처리에 대한 결과 추적, 오류 수정 회귀테스트의 수행 여부, 데이터 로딩 속도, 개별 모듈간 오류 및 버그 체크 등으로 설정하였다. 테스트 결과 계획부터 설계 및 개발 단계에 이르는 각 단계별 산출물 관리를 토대로 이행계획 및 개발 규모의 적정성을 확보하고 있으며, 시스템의 계획, 절차의 적정성, 준거성, 실현성, 충족성 등 품질 역량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

[표 2.5] 5차년도 주요내용

구분	과업	주요연구내용
LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발 및 WBS 보완	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 생애주기 단계별 업무 WBS 체계 보완 및 검증	기 개발된 LNG 플랜트 생애주기 단계별 업무 WBS의 정확성과 업무간 상호연관성을 높여 엔지니어링 효율을 높일 수 있는 WBS를 개발하기 위한 보완 연구를 수행하였다. 전문가 자문을 통하여 개선사항을 도출하고, 기능적인 측면과 기술적인 측면으로 나누어 성능점수를 평가하여 실시하는 절차로 진행되었다. 분석한 결과 기획, 설계, 구매조달의 경우 기존 업무 WBS가 현행 플랜트 프로젝트 업무에 적합하므로 기존 업무 WBS와 시스템 체계를 유지하였다. 반면 시공 및 시운전단계의 경우 기존 업무 WBS가 현행 플랜트 프로젝트 업무에 적합하지 못하여 개선할 부분에 대해 정량적/정성적 모니터링을 실시하여 개선사항을 도출하여 보완작업을 실시하였다. 특히 시공 및 시운전단계의 업무 WBS는 당해연도 Stage-Gate의 시공 및 시운전단계 개발에 기준으로 활용하여 상호호환성을 향상시켰다.
	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 프로토타입 개발	선행 연구를 통해 개발된 기획단계, ECP 단계별로 구현된 모듈들을 활용하여 체계적이고, 구조화된 통합 시스템 개발을 추진하였다. 통합지식관리 시스템은 사업일반, 기획단계, 설계단계(E), 구매조달단계(P), 시공단계(C) 등 4가지로 크게 나누어 구성되었다. 그리고, LNG플랜트 사업수행과정에서 필요한 의사결정사항들을 구조화된 의사결정체계로 통합지식관리 시스템에서 지원함으로써 부족한 사업관리의 역량을 보완하고 각 사업주체들의 니즈를 만족시키고자 타 세부에서 개발한 의사결정시스템과도 연계 통합하였다.
LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합패키지 시스템 설계	LNG 플랜트 해외사업 추진 프로세스 및 의사결정 체계 현황 조사 및 분석	현행 해외 LNG플랜트 사업선별 및 사업타당성평가 방식은 현금흐름, 인플레이션 등을 고려한 개략적 경제성평가에 집중되어 있으며, 경제성 요소와 가스가격 변동에 따른 비용편익비(benefit-cost ratio) 분석에 그치는 것으로 파악하였다. 또한 현재도 LNG시장 동향에 대한 평가가 이루어지고는 있으나 일반적으로 공개된 공공정보를 요약하는데 그치며, 해당 정보를 사업성 평가에 반영하는 방식이 부족한 것으로 확인하였다.

		이는 발주국의 사업환경, 국가리스크, LNG시장 전망 등에 대한 고려가 충분치 않음을 나타내며, 이에 따라 본 연구를 통해 사업전략특성, 최근 시장동향 등 정성적인 정보들을 정량적으로 평가, 비교, 검토할 수 있는 방식의 개발이 요구되었다.
	LNG 플랜트 해외사업 추진 시 요구되는 시스템적 요구사항 도출	액화플랜트 사업은 가스전이 개발된 이후, 생산된 원료가스(Feed Gas)를 상품화하여 장기간의 판매를 통해 수익을 추구하는 형태이다. 특히 가스전에서 추출된 원료가스의 조성(Components)의 종류에 따라 재처리 과정 및 횟수가 달라지게 되며 이는 액화플랜트 Facility를 건설하기 위한 CAPEX(Capital Expenditure) 비용의 변화와 직접적으로 연결되어 있다. 따라서 GATE1 개발참여도 및 GATE3 운영참여도 결정을 기본으로 한 의사결정을 지원모델이 필요하며, 이에 추가로 GATE2 사업성 평가를 적용하여 향후 액화플랜트의 수급을 예상할 시, 단가를 적용하여 예상 시나리오를 제안할 수 있는 모델이 필요한 것으로 분석하였다.
	LNG 플랜트 해외사업 추진 시나리오별 모델 정립	GATE 1(개발참여도 결정 모듈)은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 두었으며, 사업환경 평가 및 가스전 특성 평가를 통해 해외사업 개발 진출 여부를 판단하게 된다. GATE 2(사업성 평가 모듈)은 LNG플랜트에서 활용되는 액화기술(liquefaction)을 검토하고, 액화기술에 따른 개발비용 및 생산이익을 산출하여 비용편익비를 제시하는데 목적을 두었으며, 이는 기존의 개략적 경제성평가를 비용편익분석 관점의 상세분석으로 확장, 발전시킨 형태로 모델을 정립하였다. GATE 3(운영참여도 결정 모듈)은 현재 및 미래의 시장전망을 바탕으로, 개발된 LNG플랜트의 운영과정에 대한 참여도를 결정하는데 목적을 두었으며, 이는 시장전망을 통해 운영단계에서의 적정지분 참여수준을 제시하며, 사업자의 목표 비용편익비(benefit-cost ratio)을 기준으로 이를 달성하기 위한 최소 운영지분을 결정하는 목적으로도 활용될 수 있도록 하였다.

[표 2.6] 6차년도 주요내용

구분	과업	주요연구내용
LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발	기 개발된 통합지식관리 프로토타입 시스템의 사용성 및 기능성을 보완하여 완성도를 높이기 위한 추가 개발을 수행하였다. 최종 개발된 LNG 플랜트 통합지식관리시스템은 사용자가 사업을 수행함에 있어 사업정보의 구성이 편리하도록 표준 데이터를 제공하여, 사업정보 구성 시 사용자의 편의성을 도모하였고, 특히 시스템의 통합관리가 가능하도록 다수 프로젝트의 생성 및 관리, 프로젝트별 사용자 관리, 메뉴/모듈별 권한관리 등의 시스템 관리 기능의 확대하여 시스템의 편리성과 활용성을 최대화 할 수 있도록 하였다.
	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 검증 및 상용화 방안 구축	개발된 LNG 플랜트 통합지식관리시스템을 활용하여 LNG 플랜트 건설사업관리 효율성 향상과 관계된 역량 평가 및 검증하기 위해 PMI의 OPM3방법론을 적용하였다. 평가 항목은 인력/조직, 절차/프로세스, 시스템&정보 등 관리체계와 기획, 실행, 감시 및 통제, 종료 등 이행과 관련된 프로젝트 관리 프로세스 그룹으로 구분하였다. 평가 기준은 지침, 절차서 및 시스템의 경우 보유여부, 관련 시스템의 적용 여부, 시스템의 적용 정도, 현 시스템의 개선 필요성에 따라 구분 설정하였다. 현재 전문가 역량 평가를 위한 항목별 세부지표에 대한 전문가 검증 수행 중에 있으며, 지표 설정이 완료되면 전문가 역량 평가를 통해 시스템 적용 시 얻을 수 있는 엔지니어링 효율성을 분석 제시할 예정이다.
LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합패키지 시	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합패키지 시스템 개발	GATE 1(개발참여도 결정 모듈)은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 둔다. 다음과 같이 두 개의 하부모듈로 구성된다.

스템 개발 및 검증		GATE 2(사업성 평가 모듈)은 계약방식에 따라 Upstream 의 Concession, Production Sharing, Service Contract 3가지로 구분하였으며, Midstream 에서는 Transfer Pricing, Tolling 2가지로 구분하여 총 5개의 계약방식 모두를 지원하도록 되어 있다. GATE 3(운영참여도 결정 모듈)은 LNG 의 수요와 공급에 대한 분석이 선행되어야 하며, 이에 더하여 천연가스(Natural Gas) 국제 거래가를 함께 고려되어야 한다. 그러나 해외 액화플랜트 투자 사업에 대한 의사결정 프로세스와 평가방안에 대한 분석이 미흡하다. 따라서, 액화플랜트 사업의 성공가능성을 평가하는데 있어, 국내외 주요 국가의 LNG 수급전망 및 소비전망 그리고 국제거래가의 가격변동 전망은 포함하여 개발하였다.
	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 검증	개발된 모델의 사용성을 확보하기 위해서는 실무적 검증이 선행되어야 하며, 이를 위해 다수의 사례를 수집하여 실제결과와 모델의 결과를 비교해야한다. 이를 위해 본 과업에서 개발한 해외사업모델 통합 패키지 모듈을 아프리카 지역 모잠비크 Area4 project 적용하였으며, 본 보고서에 제시된 GATE1 의 개발참여 지분율 및 GATE 3 A&B 추가참여도 의사결정 모델의 활용성을 확인하기 위해 실제 사례를 통해 샘플 적용을 수행하였다. 뿐만 아니라, 사례조사를 통해 분석한 탐사단계 및 개발단계의 사례 샘플을 바탕으로 추가적인 검증을 진행하여 시스템의 신뢰성을 향상시키도록 할 예정이다.

3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법

1. 표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명

가. 접근방법

- LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성 분석
- 국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사 및 분석
- 선진기업의 LNG 플랜트 생애주기 사업수행 체계 분석
- LNG 플랜트 생애주기 사업관리 니즈 분석

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성 분석

천연가스는 천연으로 생산되는 메탄을 주성분으로 한 가연성 가스를 말함. 또한 이것을 액화하여 용적을 감소한 후 대량수송 혹은 대량저장이 가능토록 한 것을 액화천연가스 또는 LNG(Liquefied Natural Gas)라 한다.

LNG 플랜트사업은 다음과 같이 가스탐사 및 생산, 물리적인 액화 및 화학적인 전환공정, 수송, 저장 등의 가치사슬로 구성되며, 주로 천연가스를 액체원료나 연료로 전환하는 장치를 중심으로 액화공정(초저온 액화) 및 FEED 패키지, 제어・운영, 건설수행 등 EPC 기술을 대상으로 하고 있다.

전형적으로 가스채굴설비(Upstream Facilities), 파이프라인(Pipeline), 액화플랜트(Liquafaction Plant), LNG 선적 및 운송(LNG Shipping), LNG 인수(LNG receiving), 가스화작업(Re-gasfication), 에너지 생산시설 및 분배 네트워크로 구성된다.



[그림 2.9] LNG 플랜트 건설사업의 가치사슬

국내 가스플랜트의 경우 해외 산유국에서 생산된 자원을 해상으로 운반하여 저장 및 정제 시설에 비축한 후 에너지 사용지로 보급하고 있다. 충남 서산의 9개 지역에서 가스를 정제 또는 비축기지를 구축하고 있다.

우리나라의 해외수주실적을 분석해 보면, 플랜트 건설이 1,243억불로 전체수주액의 41%를 차지하여 주력 부문으로 확실히 자리매김하고 있다. '70~'80년대까지 주력 공종이던 토목과 건축공종은 각각 740억불과 888억불로 54%를 차지하고 있으며, 2000년대 전후로 중국 등 후발주자와의 가격경쟁에 고전하며 수주가 저조했으나 지난해부터 초고층빌딩, 항만, 터널, 교량 등 고난도 공사를 중심으로 수주가 다시 증가하고 있다.

국내 플랜트(산업설비)의 수주액(1969-2009년) 중에서 가스처리시설이 계약금액과 계약건수에서 차지하는 비중은 11.7%, 6.7%를 차지하고 있어, 아직까지는 플랜트 전체분야에서 가스플랜트 분야의 수주실적이 미약한 수준이다.

[표 2.7] 산업설비의 세부공종별 계약금액 및 건수(1969-2009년 2월)

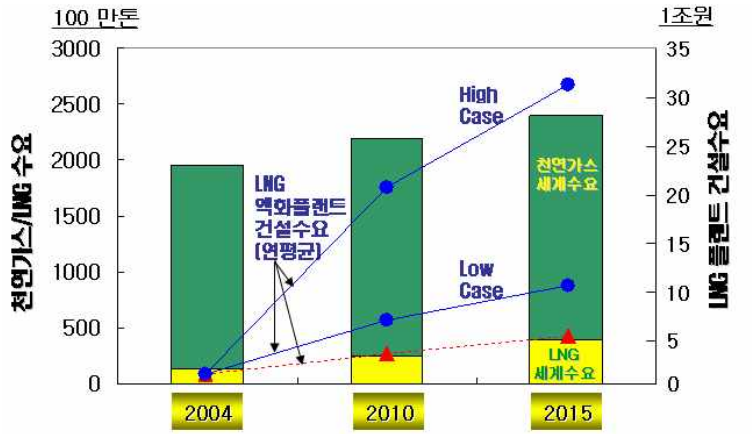
(단위 : 백만불)

구분		합 계	발전소	화학 공장	정유 공장	가스 처리시설	담수화 시설	기타
총계	금액	125,157	31,372	22,367	15,827	14,626	8,823	32,142
	건수	1,116	166	153	77	75	51	594

LNG 플랜트의 수요는 2004년 1억3000만톤 에서 2010년 2억5000만톤으로 늘어나고, 천연가스 전체에서 차지하는 비중도 7%에서 11%로 높아질 전망이다.

2003년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2008년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400~1200/TPA으로 예상됨에 따라, LNG 플랜트의 건설 수요 투자비용을 분석해보면, 2015년 연간 10조원에서 연간 30조원 수준으로 예측된다.

따라서, 평균적으로 2015년경에는 연간 20조원의 LNG 플랜트 건설비용이 투자될 것으로 예측할 수 있다.



[그림 2.10] LNG 수요와 LNG 플랜트건설 수요 예측

이러한 추이를 감안할 때 본 연구과제의 성과물은 해외시장에서도 판매될 수 있을 것으로 판단되나 기술 유출 등을 감안하여 국내업체에 대한 공급만으로 국한하는 것에 대해서 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

국내 건설업체가 해외 LNG 플랜트 건설의 EPC 일괄계약을 수주 시는 총 사업비의 2% 수준에 본 과제로 개발한 성과물을 기반으로 한 기술 패키지로 상품화할 수 있을 것으로 판단된다.

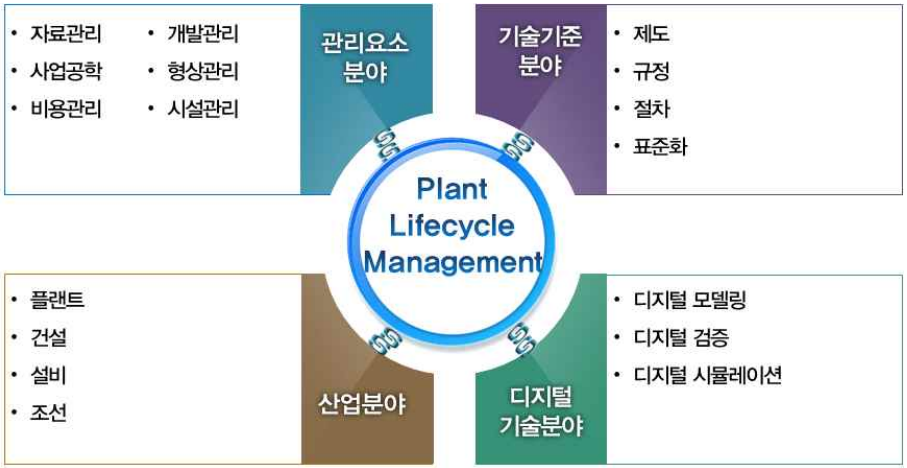
플랜트 수출과 관련하여 이루어지는 계약방식에는 턴키(turn-key)방식이 있는데, 이는 플랜트 발주자가 플랜트를 제조·공급하는 자에게 사업에 대한 타당성 조사에서부터 고도로 축적된 기술을 시스템적으로 제공하는 엔지니어링, 생산에 필요한 단위기계와 장치에 대한 제작 및 구매·공급, 구조물과 건축물 건설, 기계적으로 종합된 공장의 시험운전에 이르기까지 각종 공

장건설 업무를 수행하게 하는 것이다.

(2) 국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사 및 분석

플랜트 생애주기 관리(PLM, Plant Lifecycle Management)란 Wikipedia 사전에 따르면 플랜트 생애주기 전반에 걸쳐 산업 시설의 데이터와 정보를 관리하는 프로세스로 정의하고 있으며, 플랜트 모델의 논리적, 물리적 및 기술적 데이터들의 통합에 더 중점을 두고 있다는 점에서 전통적인 PLM(Product Lifecycle Management)과는 다르다[4].

플랜트의 설계, 구매, 시공, 운전, 유지관리 및 폐기에 이르는 플랜트 생애주기 동안 발생되는 데이터를 관리하기 위해 크게 논리적 2D 모델과 물리적 3D 모델이 사용되고 있으며, 이들 모델간의 데이터 상호운용성 확보를 위해 국제적인 표준들이 제정되고 있다.

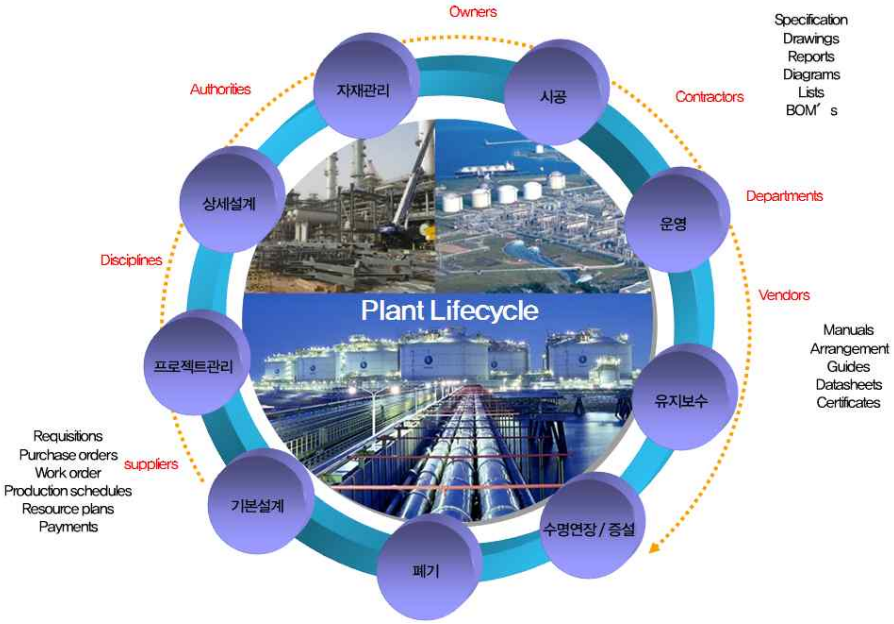


[그림 2.11] 플랜트 생애주기 관리 요소

플랜트 생애주기 관리 요소는 <그림 2.11>과 같이 크게 관리요소, 산업, 디지털기술, 기술기준분야 등 4가지로 나눌 수 있다. 관리요소분야는 플랜트 생애주기 동안 활동(Activity)와 데이터 관리를 통하여 지식 공유를 한다. 디지털 기술분야는 설계분야에서 디지털 기술을 적용하는 것이다. 1980년대 중반 플랜트 2D 및 3D 솔루션이 비약적으로 발전하였고, 1990년대 후반에는 도면생성 그 자체보다는 향후 30~40년 동안 플랜트 운영기간 중 플랜트 정보를 효율

4) https://en.wikipedia.org/wiki/Plant_lifecycle_management

적으로 관리하기 위한 지능형 데이터모델에 관심을 두기 시작하였으며 이것이 현재 PLM의 시초가 되었다. 산업분야요소는 한가지 솔루션으로 플랜트 산업의 방대한 분야를 모두 적용하는 것이 불가능하기 때문에 플랜트(설비), 조선, 해양구조물 분야 등 다양한 산업별 요구 기술을 이해하고 적용하는 것이다. 기술기준분야는 플랜트 산업의 특성상 다양한 이해당사자들이 참여하게 되므로 관련 제도, 규정, 절차, 표준 등과 관련된다. 이 4가지 요소를 통한 플랜트 생애주기 데이터 흐름 및 플랜트 관련 활동은 <그림 2.12>과 같다.



[그림 2.12] 플랜트 생애주기 관리 이해당사자간 데이터 흐름



[그림 2.13] 건설프로젝트 생애주기 사업관리 로드맵

프로젝트 준비 단계인 개산견적은 견적 요청 및 접수, 협력업체 입찰 내역 작성, 수량/단가 검토 및 대비표 작성과 시공사에서 입찰 내역서 작성을 주요 업무로 수행한다. 이 업무는 다양한 협력업체 간의 단순 반복적인 수작업 형태로 진행되는 업무가 많아 견적업무 전산화를 통해 정형화된 양식을 사용하여 협력업체간 입찰 내역을 작성하게 하고, 최종 견적을 위한 단가 검토, 조정 및 입찰내역 작성이 가능한 정형화된 솔루션이 활용된다. 이러한 솔루션의 활용은 개산견적 업무의 효율성 증대 및 협업체계 강화와 견적자료 DB화를 통해 데이터 활용도 향상이 주요한 목적이 된다.

사업비 관리 요소는 다양하게 정의할 수 있지만 시공 이전 단계는 크게 사업 초기단계에 사업의 예산을 검토하고 산정하는 관리 분야와 확정된 예산에 따라 설계를 관리하는 관리 부문, 그리고 시공을 고려하여 완성 설계에 대한 사업비를 확정하는 부문으로 구분할 수 있다. 최근의 플랜트 건설사업은 발주 방식의 다변화, 요구사항 복잡화 등으로 인해 과거에 비해 이른 시기에 최신기술과 공법 등을 보유하고 있는 계약자를 선정하는 방식이 증가하고 있는 추세이며, 이러한 경향은 미국이나 영국 등에서는 보편화되어 있는 상황이다. 따라서 상세견적

보다는 보다 정확하고 정밀한 개산견적의 역량이 매우 중요하고, 기획 및 설계단계 동안의 일관된 사업비 관리를 위한 각종 방법 및 데이터, 전산 시스템 등이 다양하게 개발 및 적용되고 있다.

(3) 선진기업의 LNG 플랜트 생애주기 사업수행 체계 분석

세계 LNG 플랜트 시장은 선두 그룹과 그 뒤를 추격하는 후미 그룹이 있음. 선두에는 JGC/KBR, Chiyoda, Bechtel 및 Technip 등이 있고 그 뒤로는 Snamprogetti, Linde 및 TEC 등이 있다. LNG 플랜트는 첨단 고부가가치 분야라 프로젝트의 규모가 평균 10억불이 넘는 대형 프로젝트이기 때문에 기술 선진국들의 각축장이다. 선두기업들은 후발참여자의 시장진입을 극히 경계하며 기술이전을 하지 않고 과점하고 있다.

2위 그룹들은 메이저가 되기 위하여 각종 프로젝트에 선두그룹과 같이 프로젝트에 공동으로 참여하기를 원하나 선진그룹들은 후발주자들이 경쟁우위를 갖는 지역 국가에 주공정이 아니라 유틸리티(Utility)나 오프사이트(Offsite) 정도만 참여시키고 있다. 1위 그룹은 이 분야의 1인자인 JGC/KBR 합작 팀이다. 이들은 전 세계 시장의 50% 이상의 점유율을 가지고 있으며 지역적으로 동남아 및 아프리카 시장을 주 활동무대로 하고 있다. 2위는 전 세계 시장점유율을 30% 정도 차지하고 있는 Chiyoda로 러시아 및 카타르에서 두각을 나타내고 있다.

Phillips의 OCP 기술을 독점적으로 사용하고 있는 Bechtel사는 시장점유율이 약 10% 정도이며 Trinidad, 이집트 및 적도기니 등의 수의계약 프로젝트 위주로 참여하고 있다. 시작이 제일 늦은 Technip은 자국의 TOTAL 프로젝트에 참여하여 나이지리아, 카타르, 예멘 등지에서 꾸준히 LNG 프로젝트에 참여하고 있다.

2위 그룹으로는 이탈리아의 Snamprogetti, 독일의 Linde 및 일본의 TEC 등을 들 수 있다. 단독 수행경험이 없는 Snamprogetti는 모회사인 ENI 투자 프로젝트를 위주로 참여하면서 실적을 축적하고 있다. 한편 Linde는 Statoil사와 공동 개발한 MFCP 기술로 노르웨이의 스노빗 LNG 플랜트를 수행 중에 있고 이란 NIOC LNG 프로젝트에 EPC로 참여할 예정으로 있다. Linde는 계약사가 극저온 관련기술을 보유하고 있어 선두그룹으로 진출할 가능성이 가장 크다. TEC는 단독수행 경험이 없어 러시아 지역의 지역적 우위성을 바탕으로 Chiyoda와 공동으로 사할린 LNG플랜트에 참여하고 있다.

(4) LNG 플랜트 생애주기 사업관리 니즈 분석

건설사업에 있어서 건설사업관리는 건설산업기본법 제2조제6호에 “건설공사에 관한 기획, 타당성조사, 분석, 설계, 조달, 계약, 시공관리, 감리, 평가, 사후관리 등에 관한 관리업무의 전부 또는 일부를 수행하는 것”이라고 정의하고 있다. 따라서, 이러한 건설사업관리란 사업주를 대신하여 건설사업의 관리를 대행하여 주는 용역을 의미한다. 즉, 계약형태를 통하여 발주자의 전반적인 또는 부분적인 권한을 위임 받아 대리인(Agent) 및 조정자(Coordinator)의 역할을 수행 하면서 Consultants나 CM전문회사가 건설사업관리업무 일체(기획, 설계, 시공/감리, 사후관리)를 적정한 품질을 유지하면서 공기와 공사비를 최적화하여, 발주자에게 주어진 예산(Budget) 내에서 양질의(Quality) 건축물을 적기에 인도(Delivery) 하는 목표를 가지고, 사업관리(조정, 의사전달)를 하고 그 서비스에 대한 보수를 받는 계약 사업을 말한다.

건설사업관리는 기획, 설계에서 시공까지의 전 과정에 대하여 공기(Time), 공사비(Cost), 품질(Quality)의 3요소의 관리를 합성 시킨 근대적 관리 기법으로, 건설업의 전 과정을 통하여 건설 산업을 보다 효율적이고 경제적으로 수행하기 위해서, 각 부문의 전문가들로 구성된 집단의 통합된 관리 기술을 사업주에게 서비스하는 행위이다.

프로젝트의 기획, 설계, 시공의 각 단계의 업무를 하나의 통합된 업무로 처리하여 CM업무를 추진하기 위한 구성원은 사업주, CMr(Construction Manager), A/E(Architect/Engineer)를 포함한다. 이 방식은 전통적인 방식과는 다른 프로젝트 인도 방식의 전문 용역 분야로서 건설공사의 설계와 시공업무 전반을 관리하는 전문적인 용역 업무를 지칭하며, CM의 입장은 발주자(Owner)의 대리인(Agent)으로서 발주자의권익을 최대한 보장하는 것이다.

이러한 건설산업에 있어서 건설사업관리와 LNG 플랜트 공사에서의 건설사업관리는 그 업무나 정의에 있어서 유사하다고 볼 수 있다. 다만, 플랜트산업은 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재, 최종 제품을 제조할 수 있는 설비산업을 의미한다. 플랜트산업은 부가가치가 높은 지식집약형 산업으로서 각종 유발효과가 높고, 제조업과 서비스업의 성격을 동시에 갖고 있는 융합 산업이다. 플랜트 건설의 경우, EPC 발주방식이 일반화되어 있고 일반 건설과 달리, 기술경쟁력과 기자재 구입비용이 경쟁지배 요소가 되고 있다. 또한, 프로젝트 관리 및 통합관리가 사업의 손익과 성패를 좌우하는 산업이다. 플랜트 수출이란 생산설비 또는 공장을 해외에 공급하는 설비 제공 및 제반 건설활동을 말하며, 수출에 따른 국가간 마찰이 적은 편이어서 선진국들의 전략적인 수출방식으로 인식되고 있다.

LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다. LNG 플랜트 공사의 특성상

EPC로 일괄계약하는 방식이 건설산업의 계약방식과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서, 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.



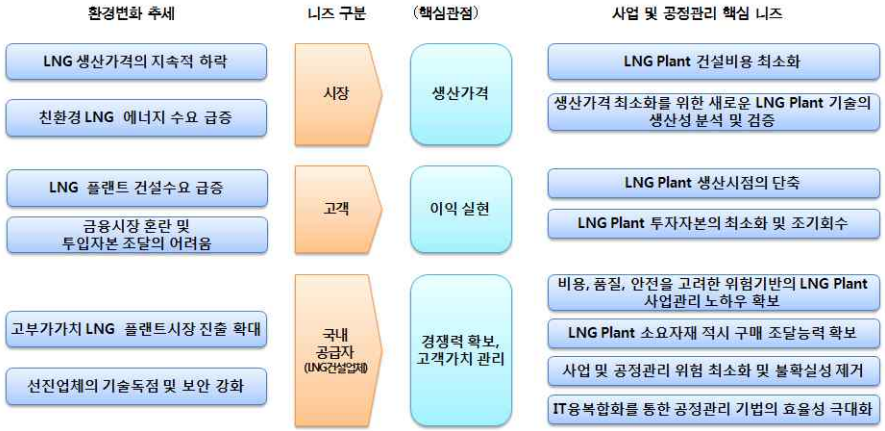
[그림 2.14] LNG 플랜트 생애주기에 기반한 사업관리 서비스 범위

LNG 플랜트 사업에서 사업 및 공정관리 니즈는 기존시장 중간진입 전략을 효과적으로 수행하기 위한 전략을 수립할 수 있는 토대가 되며, 이를 위해서는 LNG 플랜트사업에 대한 환경변화 추세를 토대로 LNG 프로젝트 관리자의 입장에서 사업 및 공정관리의 핵심니즈를 도출할 필요가 있다. 다음은 일반적인 LNG 프로젝트 관리자의 역할이다.

- LNG 프로젝트에서 회사의 투자에 대한 조사
- 플랜트 개발에서 회사와 조인트벤처 파트너간의 협력관계 조성
- LNG 프로젝트의 작업 흐름에 대한 검토 및 보고
- 회사의 이익에 부합하는 모든 측면에서 대한 의사결정 지원
- LNG 프로젝트와 관련된 모든 상업적 계약에 대한 입력정보 제공
- LNG 프로젝트 관련 규정(시방서, 설계기준 등)과 해법 제공

LNG 플랜트 사업관리자(PM)의 입장에서 시장과 고객, 그리고 LNG 플랜트 건설업체를 입장에서 시장환경의 변화를 바라보면 생산가격, 이익실현, 경쟁력 확보 및 고객가치 관리의 관점에서 사업 및 공정관리 니즈가 도출될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 핵심관점에서부터 다

음과 같이 건설비용 최소화, 생산성 향상(분석 및 검증), 공기단축을 통한 생산시점의 단축, 투자자본의 조기회수, 사업관리 노하우 확보, 구매조달능력 확보, 위험 최소화 및 불확실성 제거, 공정관리 효율성 극대화 등을 도출하였다.



[그림 2.15] LNG 플랜트사업의 사업 및 공정관리 핵심 니즈

다. 주요결과 및 시사점

LNG 플랜트 관련자료 수집 및 분석을 통하여 국내 건설업체가 해외 LNG 플랜트 건설의 EPC 일괄계약을 수주 시는 총 사업비의 2% 수준에 본 과제로 개발한 성과물을 기반으로 한 기술 패키지로 상품화할 수 있을 것으로 판단된다.

그리고, LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있으며 LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄 계약하는 방식이 건설산업의 계약방식과는 차이가 있다. 따라서, 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.

2. LNG 플랜트 업무 분류체계 정립

가. 접근방법

- LNG 플랜트 단계별 업무프로세스 현황 조사 및 분석
- LNG 플랜트 생애주기 업무분류체계 조사 및 분석
- LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 연구 동향

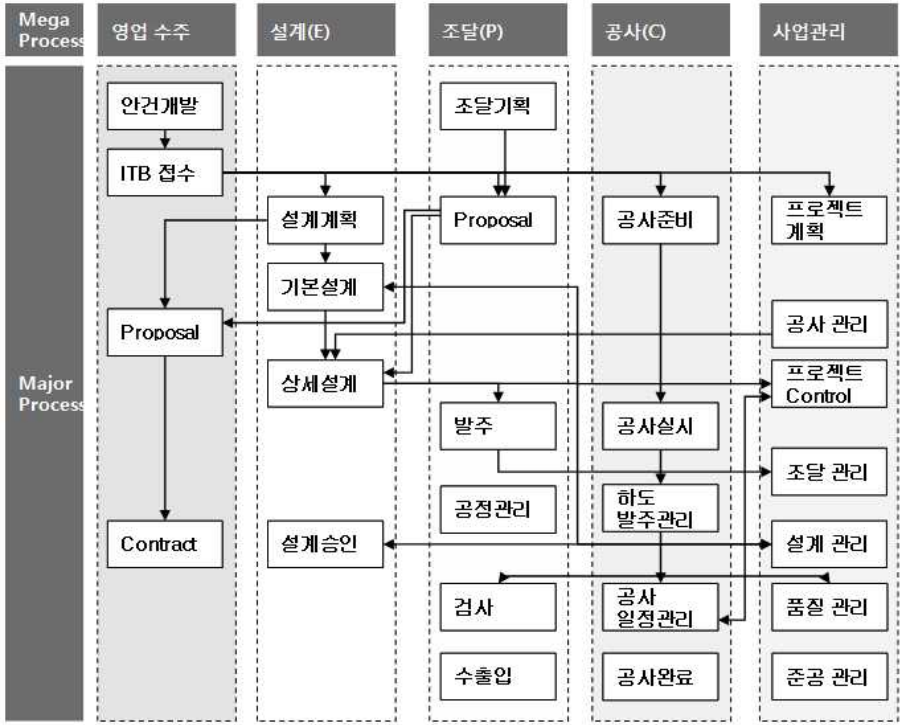
나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 단계별 업무프로세스 현황 조사 및 분석

수집된 자료는 플랜트 업무 생애주기의 일부 또는 전부로 이를 수행한 경험이 있는 회사를 대상으로 조사·분석한 것이며 생애주기 단계별 프로세스의 현황을 파악한 것이다.

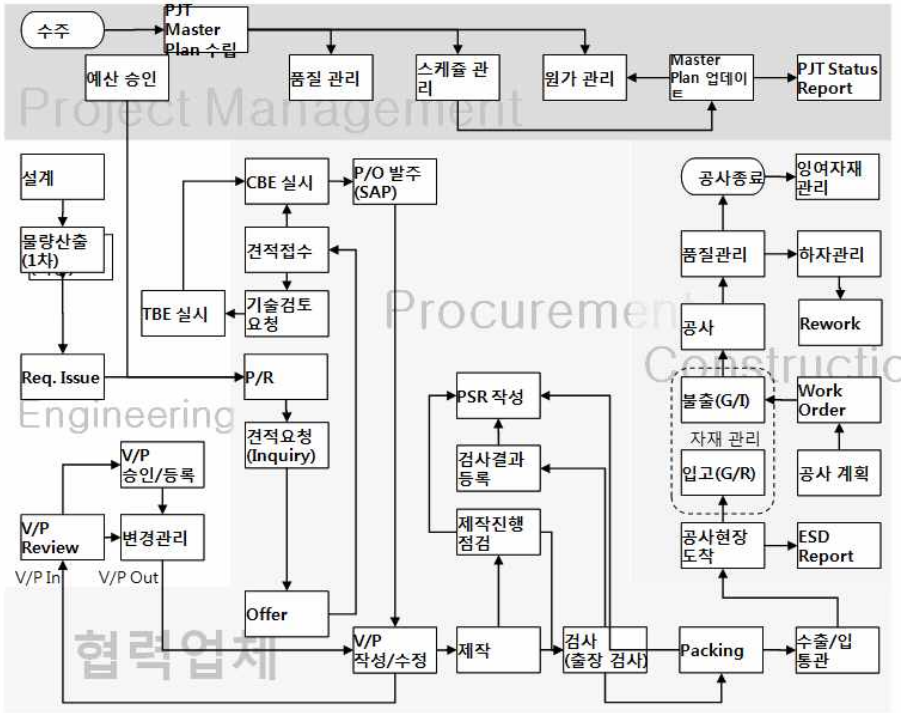
국내 주요 EPC 건설업체를 대상으로 플랜트 단계별 업무 절차를 조사·분석하였다. 수집된 자료는 프로젝트 생애주기의 일부 또는 전부로 생애주기 단계별 프로세스의 현황을 파악한 것이다. 또한, 많은 EPC 건설업체의 업무 프로세스 현황을 조사하였으나, 그 중 플랜트에 초점을 맞추어 플랜트 사업 부서에서의 업무 프로세스에 국한하여 공통사항 및 차별사항으로 구분하여 표준적인 업무 프로세스를 도출하였다. 규명된 표준 업무 프로세스는 본 연구에서 개발된 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 설계에 반영되었다.

본 절에서, 현황 조사한 업무 프로세스의 분석 결과, 업체 특성의 정책 및 결제 방식에 따라 프로세스의 차이는 있었으나, 해외 플랜트 현장을 보유하고 있는 대형 EPC 업체임에 따라, 큰 틀에서는 영업수주를 포함한 EPC 단계의 프로세스가 대동소이함을 알 수 있었다. 분석 결과는 다음과 같이 A~C 사로 구분하여 정리하였다.



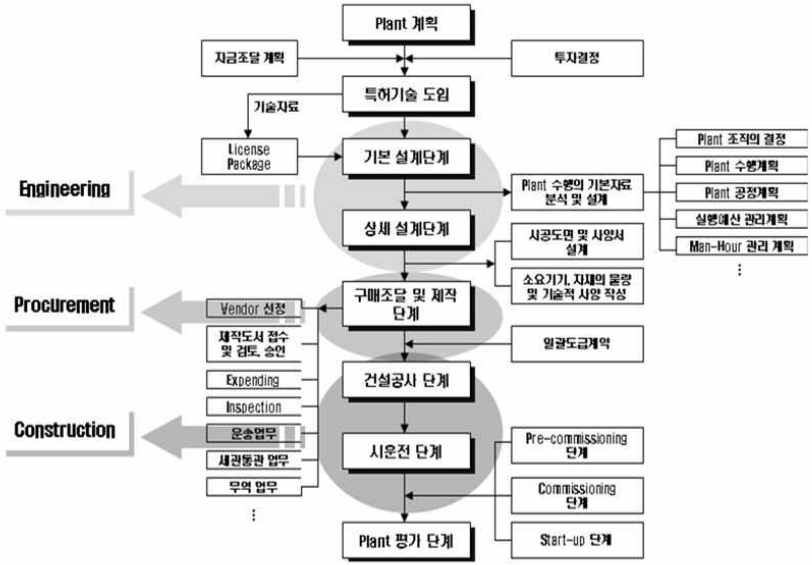
[그림 2.16] 국내 주요 EPC사의 주요 업무 프로세스 현황 자료 (A사)

A사는 많은 해외 플랜트 현장을 수주하고 관리하고 있는 국내 주요 EPC 사 중 하나로 <그림2.16>에서 보는 바와 같이, 업무 흐름에 따라 업무 프로세스를 구분하지 않고, 기능별로 업무 프로세스가 구성되어 있음을 알 수 있다. 이는 프로젝트의 수주부터 EPC 단계 및 사업관리까지 전사적으로 지원을 하며 연관관계가 있음을 의미한다. 그러나 프로세스가 복잡하고, 업무 흐름에 따른 프로세스의 구분이 모호하여 각 업무별 연관관계나 업무 협조에 대한 대처가 미흡할 수 있으며, 정책 변경 및 프로세스 변경 시 빠른 대처가 어려울 수 있다.



[그림 2.17] 국내 주요 EPC사의 주요 업무 프로세스 현황 자료 (B사)

B사의 경우에는 앞선 사례와는 상이하게 협력업체에서 제작하는 자재의 제작, 검사, 포장 및 수출입통관까지의 프로세스를 포함하여 관리하는 사업관리 프로세스를 보유하고 있었다. 따라서 사내의 EPC 업무 프로세스뿐 만 아니라, 설계, 구매조달, 시공에 관련된 각 협력업체들의 프로세스까지도 존재하여 효율적인 협업이 가능하도록 전체 프로세스가 생성되어 있음을 알 수 있다. 그러나 협력업체와의 프로세스에는 주요 설비자재에 대한 부분으로 한정함에 따라 잉여자재의 분석관리가 미흡하며, 설계 변경 시 실시간 정보 공유가 어려운 단점이 있다.

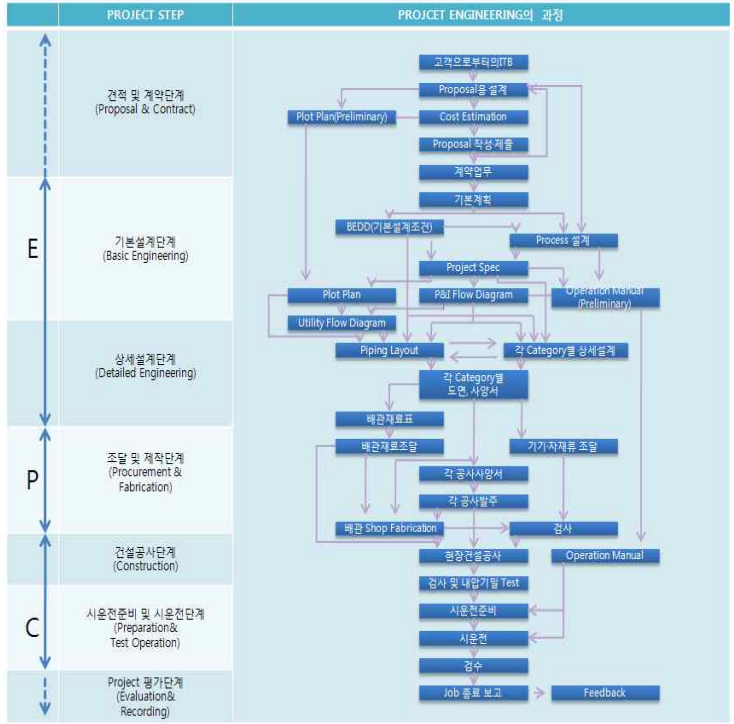


[그림 2.18] 국내 주요 EPC사의 주요 업무 프로세스 현황 자료 (C사)

C사는 앞선 A, B사의 사례와 같은 복잡한 시스템을 지양하고, 사내 업무를 중심으로 간단한 프로세스를 보유하고 있는 특징이 있었다.<그림 2.18> 이는 플랜트 프로젝트의 위치적, 제도적 특성상 변경 가능한 프로세스가 무한적으로 발생하고 있을 뿐만 아니라 설계 또한 지속적으로 변경되어야 함에 따라 신속 유연하게 대처하기 위한 것이다.

(2) LNG 플랜트 생애주기 업무분류체계 조사 및 분석

국내외 관련 자료 수집 및 분석을 통한 LNG 플랜트 생애주기의 단계별 업무분류체계 분석은 <그림 2.19>과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 2.19] Project Engineering의 과정

(가) 기획단계

기획단계는 발주처, 공사규모, 공사범위, 입찰방식, 입찰일정, 경쟁사 전략 등에 대한 입찰정보 수집 후 입찰 참여 여부에 대한 회의를 통해서 입찰 참여를 결정한 후의 견적, 입찰, 계약 및 사업 준비 단계를 말한다.

계약 후에는 실행 전에 계약자로서 계약적 역무에 대한 충분한 인식과 이를 바탕으로 하는 치밀한 계획의 수립이 요구됨. 사업주가 제시한 업무 범위, 설계기준, Battery Limit 등의 자료나 견적 조건에 따라 입찰 서류 작성 및 견적(Cost Estimation)을 수행하여 사업주에게 제출하게 된다. 이 단계에서는 전체 투자비가 산출되며 사업의 경제적 타당성, 즉 수익성이 확보될 수 있는지를 확인할 수 있다. 입찰에는 가격견적 외에도 계약자가 공급하는 플랜트 설비의 내용과 기술적 사양, 수행방법 등에 대한 기술적 자료를 서류로 작성하여 제출하여야 한다.

입찰 후 기술적인 평가와 상업적 평가를 거쳐 입찰자가 선정되며, 입찰서의 내용을 명확히 하기 위하여 발주자는 입찰자를 직접 불러 기술적 협상을 실시한 후 계약을 수행함. 계약 후에는 확정된 계약조건, 적용 Specification에 따라 프로젝트를 수행하게 된다.

(나) 설계단계

설계단계는 장치, 구조물, 시스템 등을 제작하기 위해 구상·계획·계산하여 제품의 사양을 사양서 및 도면 등의 문서로 명확히 하는 일련의 활동을 말한다.

설계단계는 타사와의 우위성 확보 및 가격 절감 효과를 가져 올 수 있으며 후속공정에 미치는 영향도가 크다. 기본설계(Basic Engineering) 단계에서는 플랜트 운영에 필요한 기본사항을 결정하며 상세설계(Detail Engineering)의 기준이 설정되고, 상세설계 단계에서는 Site와 Shop의 실제사항을 고려한 건설 및 구매에 필요한 모든 사항을 고려한 설계가 이루어진다.

(다) 구매조달단계

구매조달 단계는 생산에 필요한 기기·자재나 역무를 구입하는 것으로 전체 사업비의 상당부분을 차지하는 중요한 업무이며 프로젝트의 성공적 수행 여부가 결정되는 단계를 말한다.

특히 플랜트의 경우에는 사용되는 모든 물품을 기본적 조달요건인 적기, 적가, 적소, 적정량, 적합품질 등의 조건을 충족시키면서 조달해야 하며, 현장공정계획에 맞추어 입고 및 시공되어야 하기 때문에 Cost, Schedule 및 Quality Control 등 종합적 측면에서 최적의 벤더를 선정해야 한다. 구매조달 단계는 단순히 발주하면 끝나는 것이 아니고 발주후의 Follow Up이 잘 되는지의 여부가 프로젝트 수행에 크게 영향을 미치므로 각각의 벤더와 긴밀한 커뮤니케이션이 요구된다.

(라) 시공단계

조달한 자재와 노동력에 의하여 실제로 목적물을 완성하는 시공, 설치의 과정으로 작성된 도면이나 공사시방서를 기본으로 하여 품질을 확보해가며 주어진 기간 내에 경제적으로 공사를 완료할 것인지가 주요 과제이다. 따라서 프로젝트 시작부터 충분한 시스템 분석이 이루어져 면밀한 공사 수행계획이 세워져 있어야하며 현장 공사는 이들의 결과로서 원활하게 수행될 수 있을 것이다.

(마) 시운전단계

시운전이란 계약서에 규정된 규격의 제품을 설정된 공기 내에 최소비용으로 안전하고 안정된 상태에서 계속적으로 생산 할 수 있도록 건설된 모든 설치물의 운전 상태를 확인, 증명하는 과정으로서 사업수행의 마지막 단계에서 수행되어진다.

모든 공사가 점검 완료된 시점에서 종합 시운전의 경험이 있는 오퍼레이터에 의해 실시되며, 계약 때 사업주와 결정한 성능을 충분히 발휘할 수 있는지의 여부가 엄밀하게 체크, 확인되며, 이 과정에서 플랜트의 운전 매뉴얼, 기기 취급설명서, 긴급 상황 시 조치법, 유지보수 등 전체 관리안내서가 사업주 측에 제공된다.

(3) LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 연구 동향

PLM 솔루션은 제품의 기획, 설계, 생산, 사후지원, 폐기 등 제품의 생애주기 전 과정에서 만들어지는 디지털 데이터를 제품 설계자 및 생산직원, 영업사원 등 전 사원들이 공유하고 협업할 수 있도록 함으로써 효율성을 극대화하는데 초점을 맞추고 있다.

아직까지는 국내 제조업계에 PLM 솔루션이 완벽하게 구축된 사례는 없는 것으로 조사되었으며, 해외의 경우도 마찬가지로 미국의 GM, 일본의 도요타 등이 PLM 시스템 구축에 진보적이라는 평가를 받고 있지만, 아직 PLM 완성단계에 있지는 못하고 있는 것으로 분석된다.

국내의 경우, 전기, 전자 산업의 PLM 도입이 두드러지고 있는데, 지난해에는 휴대폰, LCD, PDP 등 제조업체들이 PLM 솔루션 도입에 가장 적극적이었다. 또한, 자동차 및 중공업 분야의 제조업체들로 확산되고 있는 추세이다.

중공업 분야에서는 현대중공업의 건설기계 및 엔진사업부가 현재 PDM 도입을 위해 벤치마크테스트(BMT)를 실시하여 연내 PDM도입을 추진할 예정이다. 반면 조선업계에서는 삼성중공업 등이 기존 2D CAD 솔루션을 3D CAD로 바꾸는 작업을 진행 중에 있지만, 전사적 PDM, PLM 솔루션 도입에는 시간이 다소 필요할 것으로 판단된다.

특히, 최근 Plant Project Cycle은 짧아지고, 엄격한 품질관리가 요구되며, 빈번한 정보 및 자료의 변경 등에 유연하게 대처하기 위한 수단으로써, '플랜트 정보통합관리 시스템'을 강조하고 있는 상황이다.

기존 지식관리 분류체계는 실제 업무 프로세스와 동떨어진 분류체계로 인해 발생하는 점과 낮은 협업 지원도, 비용과 시간 낭비라는 문제점이 있다. 따라서 실제 업무 프로세스를 기반으로 지식관리 분류체계를 활용하며, 실무 사용자 중심의 업무 프로세스를 기반으로 하는 지식관리 분류체계를 적용할 필요가 있다.

벤틀리는 플랜트 산업 분야의 3차원 엔지니어링 솔루션과 설비 및 시설물 데이터 관리 솔루션을 제공하고 있다. 또한, 플랜트 설계 및 엔지니어링, 건설 및 산업 설비 관리 등에 사용되는 검증된 기술력과 3차원 CAD를 활용한 설계, 건설 및 시설물의 유지관리 업무의 효율성을 제공하는 '플랜트 통합정보관리 솔루션'을 제공하고 있다.

PLM 관련 연구는 국제적으로 POSC Caesar, FIA-TECH 및 ISO 그룹에서 주로 진행되고 있으며, 플랜트 분야에서 현재까지 가장 잘 알려진 연구성과로는 ISO 15926 및 ISO 10303이 있다. 그 외 관련분야 타 기관의 연구성과를 정리하면 다음 <표 2.8>과 같다.

[표 2.8] 최근 연구 동향

System/Technology Name	Description	Organiation
Standards. Regulations. Parts Information	Information Provider	IHS
The Enginnering Web The Hidden Web	Information Provider	GlobalSpec
Steponthenet	Library/Catalogue Provider	Pearson Harper
ShareCat	Catalogue Provider. Product data in a repository based on the ISO 15926 repository model and classification schema	Tektonisk
Map the Road	Dutch Process and Power Industry Association Roadmap for storage and sharing plant lifecycle data between participants in the process industry supply chain	USPI-NL
Roadcon	Finnish Construction Industry Roadmap	VTT
Presentation	Portfolio and Asset Management Performance Requirements for the Facility Management Domain	CADD/GIS Technology Center
ISO 15926 Reference Data Library (Public)	ISO 15926 RDL	epmtech
FIATECH AEX Project	Core XML schema architecture that supports initial technical framework requirements. Specific XML schemas for electronic exchange of equipment information	FIATECH AEX Project

다. 주요결과 및 시사점

LNG 플랜트 생애주기 업무 프로세스 분석을 위하여 기획(입찰, 견적, 계약), 설계(기본설계, 상세설계), 구매 및 조달, 시공, 시운전단계로 생애주기를 구분한다. 이는 PLM 기반의 지식관리시스템 구축함으로써 LNG 플랜트 업무의 효율성을 극대화 할 것으로 기대된다.

3. LNG 플랜트 기획단계 상세 업무 프로세스 구축

가. 접근방법

- LNG 플랜트 기획단계 As-Is 프로세스 모델 분석
- LNG 플랜트 기획단계 상세업무 프로세스 분석
- LNG 플랜트 기획단계 업무정의 및 관련정보 분류

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 기획단계 As-Is 프로세스 모델 분석

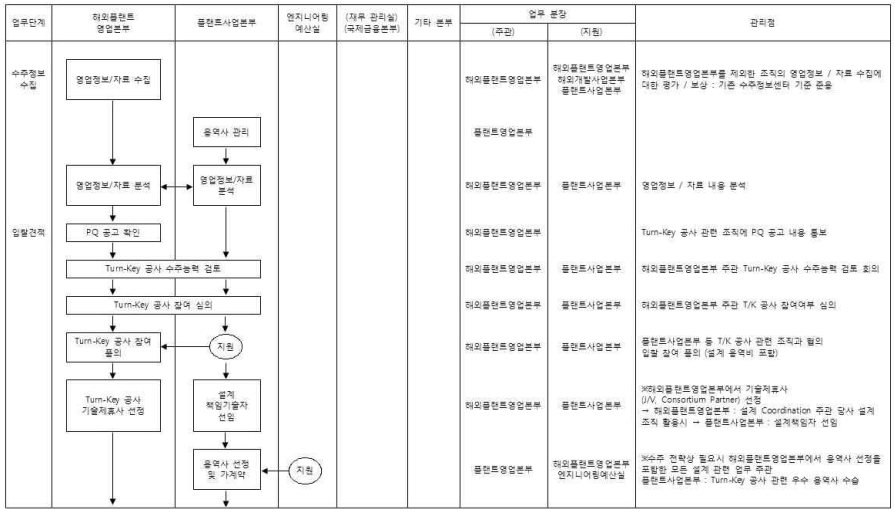
(가) 기존 플랜트 사업(EPC) 지침서의 문제점 파악

아래와 같은 기존 플랜트 사업(EPC) 업무절차의 문제점을 파악함으로서, As-is Process Model 을 작성하고 분석하게 된다.

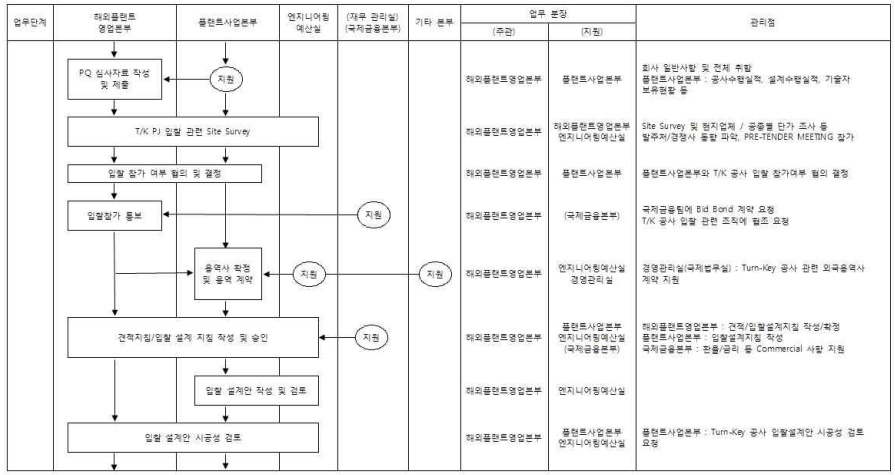
- 일부의 경우 승인과, 인증의 목적으로 따로 작성됨에 따라, 관리의 효율성 제고를 위한 목적과 상이 할 수 있음.
- 구성 체계 등의 문제로 초급기술자 및 실무자를 위해 교육을 실시해야 하는 경우가 생겨 활용자체가 불가하거나 실용성이 미비할 수 있음.
- 단순 업무절차의 나열로 중점관리요소의 파악이 어려움.
- 업무지침서의 수정 및 개정이 용이하지 못함.

(나) 플랜트 공사에서의 추진 Flow 차트 작성 및 분석

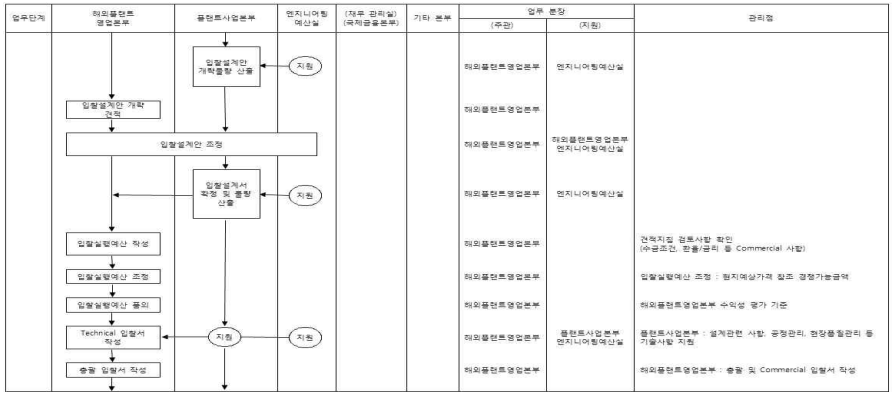
- 플랜트 턴키공사 추진 Flow



[그림 2.20] 플랜트 턴키공사 추진 Flow - 1

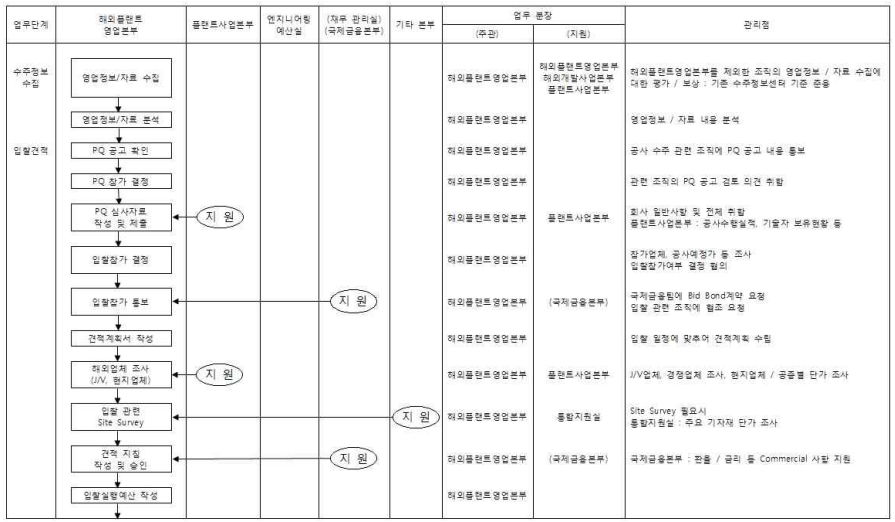


[그림 2.21] 플랜트 턴키공사 추진 Flow - 2

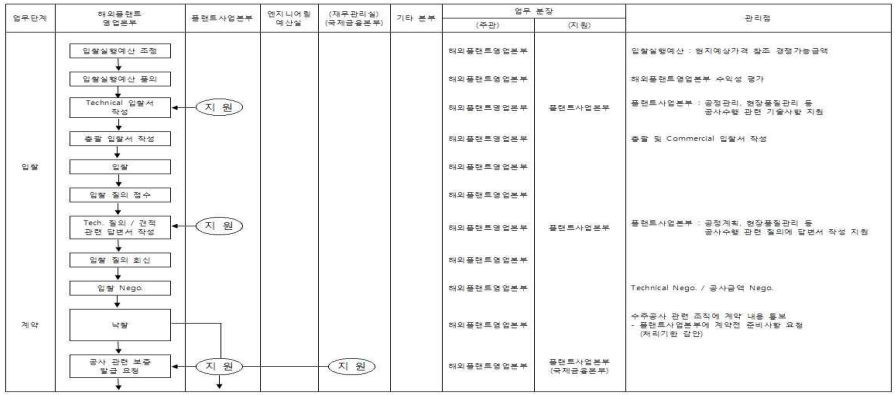


[그림 2.22] 플랜트 턴키공사 추진 Flow - 3

- 플랜트 단순 도급공사 추진 Flow



[그림 2.23] 플랜트 단순 도급공사 추진 Flow - 1



[그림 2.24] 플랜트 단순 도급공사 추진 Flow - 2

(2) LNG 플랜트 기획단계 상세업무 프로세스 분석

EPC 사업의 수주를 위한 입찰서를 작성 후 입찰일정에 따라 입찰서를 제출함. 발주자의 계약협상의향서 접수 후 협상을 통하여 최종 계약(안)에 합의하고 계약을 체결하는 업무가 이루어진다.

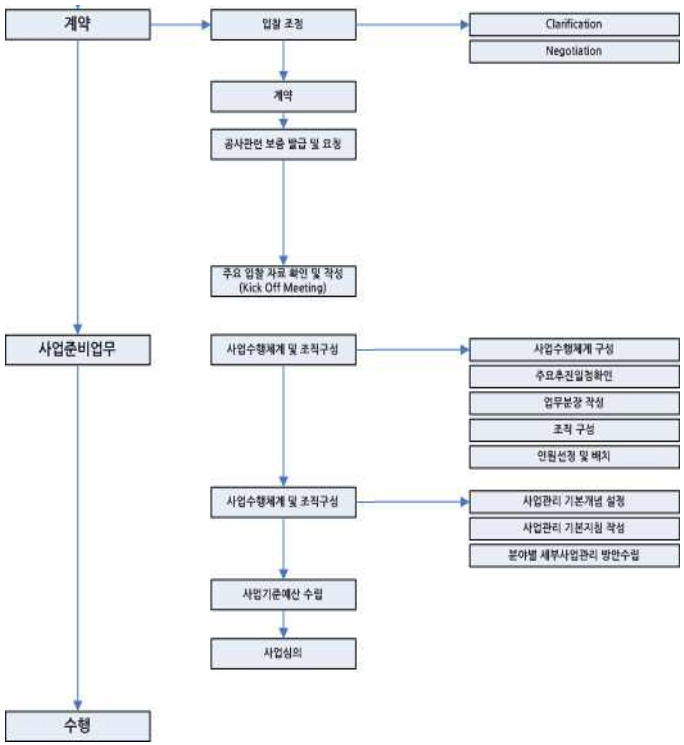
발주자는 입찰자가 과연 프로젝트를 수행할 수 있는 기술적인 능력이 있어서 발주자가 요구하는 사항을 모두 충족시킬 수 있는지를 가늠하게 된다. 입찰자에 대한 기술적인 평가가 진행되고 난 후 입찰 금액을 평가하는 상업적 평가가 이루어지게 됨. 이러한 과정에서 입찰서의 내용을 명확하며, 기술 및 금액에 대한 협상을 위한 회의가 이루어진다.

계약이 진행되면 발주자 및 계약자가 입찰, 수출계약, 공사 등을 약속대로 이행할 것을 보증하는 보증서가 요구된다. 계약 후 발주처와 계약자 간에 사업수행에 대한 협의를 갖게 되며 (Kickoff Meeting), 이때 프로젝트 조직은 수주한 프로젝트의 사업수행에 관련된 내용들을 발표하게 된다.

입찰에 성공하여 계약이 이루어지면 견적과 입찰서의 내용 및 내역들은 향후 다음과 같은 역할을 하게 된다.

- 계약서의 근거서류로서 법적인 거래의 기준이 됨.
- 프로젝트를 수행하는데 원가관리의 기준이 되는 실행예산의 근거가 됨.
- 프로젝트 계획 수립의 기준이 됨.

LNG 플랜트 프로젝트의 기획단계 업무 프로세스는 다음과 같다.



[그림 2.25] 기획단계 Flow Diagram

[표 2.9] 계약단계 업무 프로세스

Activity	Activity	Task
계약	입찰 조정	Clarification
		Negotiation
	계약	-
	공사 관련 보증 발급 및 요청	입찰 보증, 계약이행보증 선수금반환보증, 하자담보보증, 유보금반환보증 등
	주요 입찰 자료 확인 및 작성(Kick off Meeting)	사업주 및 계약자간의 책임 및 의무사항 협의
		업무 분담 및 향후 일정 협의

(3) LNG 플랜트 기획단계 업무정의 및 관련정보 분류

(가) 기획단계 용어정리

- A1. 기획단계
  - A11. 프로젝트 조직 및 전략구성
    - A111. 프로젝트 조직 구성
    - A112. 입찰 전략 회의
    - A113. 프로젝트 지침 작성 및 승인
  - A12. 견적
    - A121. 입찰 설계안
    - A122. 입찰 실행 예산
  - A13. 입찰
    - A131. Technical 입찰서 작성
    - A132. 총괄 입찰서 작성
    - A133. Proposal Package 완성
    - A134. 입찰
  - A14. 계약
    - A141. 입찰조정(Clarification & Negotiation)
    - A142. 계약
    - A143. 공사관련 보증 발급 및 요청
    - A144. 주요 입찰 자료 확인 및 작성(Kick off Meeting)
  - A15. 사업준비업무
    - A151. 사업수행체계 및 조직구성
    - A152. 사업관리방안수립
    - A153. 분야별 수행계획 수립
    - A154. 사업기준예산 수립
    - A155. 사업심의(PRC)

[그림 2.26] 기획단계 업무 프로세스

① A111 프로젝트 조직 구성

프로젝트의 규모와 특성 등에 따라 단위 업무의 실무 총괄 책임자인 프로젝트 매니저(PM)을 중심으로 Sales Engineer , Project Engineer(s), Scheduler, Cost Estimators & 설계/구매/건설 분야의 Lead Engineers 등, 별도로 한시적인 임시 조직 (Task Force Team)을 구성하여 운영한다.

② A112 입찰 전략회의

이 회의는 입찰 수행 관련 부서 간에 프로젝트에 대한 검토 및 논의가 이루어지고, PM은 입찰사업의 규모, 특성, 업무범위, 입찰기간 등 제반조건을 고려하여 적절한 시점에 입찰 전략회의를 개최한다.

③ A12 견적

견적은 전체 투자비가 산출되어 총 투자비용 예산을 기초로 한 사업의 경제적 타당성 즉, 수익성이 확보될 수 있는지를 확인하는 단계이며 사업의 성패를 좌우하는 시발점이 되므로 상세한 검토가 요구된다.

④ A122 입찰 실행 예산

입찰참여 결정 후 입찰 참여부서가 수행하는 모든 입찰(단, 영업개발 단계에서 비용이 발생하는 영업지원 업무는 제외)의 실행 예산을 편성한다. PM이 선임된 후 설계부서 인력이 투입되고, 관련 부서에서 비용이 발생하기 전에 작성함. 실행예산은 입찰 실행예산 양식을 이용하여 작성한다.

⑤ A13 입찰

어떤 사업의 입찰안내서를 근거로 입찰자가 그 사업의 설계, 구매, 공사, 시운전 등의 전부나 일부를 수행하기 위한 계약 조건, 역무 범위, 기술 수준, 수행 능력, 물량 가격 등과 사업수행 계획, 절차, 방법 등을 상세히 기수하여 발주자에게 제출하는 문서인 Proposal Package, 또는 그 문서를 작성하여 제출하는 업무행위를 총칭한다.

입찰서의 작성시점에서 효율성, 경제성, 합리성, 현실성을 감안한 견적과 입찰이 이루어져야 하며, Proposal Package는 입찰안내서의 요구사항을 명확히 파악한 후 이에 근거해 작성하는 것을 원칙으로 함. 플랜트 프로젝트의 입찰에서는 가격견적 외에도 Contractor가 공급하는 플랜트 설비의 내용과 기술적 사양, 수행방법 등 Contractor로서 가격에 상응하는 능력과 품질과 기치를 발주자가 판단할 수 있는 자료를 서류로 작성하여 제출하여야 한다.

⑥ A133 Proposal Package 완성

Technical 입찰서 및 총괄 입찰서의 최종 확인 및 검토가 이루어지는 단계이다.

- Technical 입찰서

PM은 입찰 전략 회의 시 관련부서의 LE에게 해당 기술 자료를 입찰 수행일정의 단위업무에 포함시켜 요청하고, 이에 따라 해당 자료를 수집하여 편집하고, Proposal Package의 목차는 입찰안내서의 요구사항을 명확히 파악한 후 이에 근거해 작성하는 것을 원칙으로 한다.

- 총괄 입찰서

입찰안내서에서 요구하는 서식을 따르는 것을 원칙으로 하되, 영업부서와 협의하여 최종서식을 확정함. 위 서식을 기준으로 금액산출이 될 수 있도록 관련부서에 물량 산출을 의뢰하여 이를 EP기술부와 주관 기술부서에 통보함으로서 실행 예산 편성 작업 시 반영토록 한다.

⑦ A14 계약

입찰자는 최저 입찰자로 밝혀지는 순간부터 꼭 계약이 성사되도록 온갖 노력을 다하게 되고, 특히 입찰자 단독의 역량만으로는 이룰 수 없는 기자재의 구매나 특수공사의 하청처럼 외부의 다른 제작회사나 하청회사들의 협력을 받아야 하는 분야에는 일찍부터 이러한 회사와 협조를 하도록 한다.

발주자가 소집하는 회의에 이러한 외부 회사들을 참여시켜 발주자가 제시하는 의문이나 자료보완 요청을 공동으로 대처하여 수주를 하는 데 유리하게 하기도 한다. 이러한 협조는 수주 후에 프로젝트를 효율적이고 경제적으로 수행할 수 있도록 사전에 준비하는 기회도 될 수 있어서 계약이 성사되면 바로 집행으로 이행할 수 있으므로 프로젝트 초기에 시간을 허비하지 않도록 해주는 이점이 있다.

⑧ A141 입찰조정(Clarification & Negotiation)

사업주는 응찰자가 제시한 Technical 입찰서 및 총괄 입찰서의 내용과 조건을 면밀히 검토한 후 상위 몇 개의 업체와 계약협상을 벌이게 되고, Technical 협상에서는 사업주가 제시한 기술요구사항을 충족시키는지 여부와 미비할 경우 응찰자의 준수여부 및 구체적 방안의 제시를 요청하고 이에 대한 사업주의 만족이 따라야 계약에 임할 수 있게 된다. Technical 협상에서 논의된 사항 중에 계약 금액에 미칠 사항들은 즉시 Commercial 협상에 반영됨은 물론이고, 일련의 과정에서 응찰자는 사업주와 수많은 미팅을 하여 Technical 및 Commercial 사항에 대한 합의에 도달하게 되고, 이 과정에서 논의된 모든 합의서, 각서 등은 계약서의 일부가 된다.

⑨ A144 주요입찰 자료 확인 및 작성(Kick off Meeting)

계약체결이 끝난 후 본격적인 프로젝트의 진행은 사업주와 계약자(계약 후에는 응찰자의 신분에서 계약자의 신분으로 전환)의 프로젝트 팀에 의해서 수행됨. Kick-Off Meeting은 사업주와 계약자의 프로젝트 팀 리더들이 모여 상견례를 하면서 서로의 책임과 의무사항, 특히 기술적으로 사업주와 계약자가 향후 할 일에 대한 명확한 업무구분을 하고 여러 사항을 협의하게 된다.

4. LNG 플랜트 데이터 분류체계 정립

가. 접근방법

- LNG 플랜트 기획단계 정보 흐름 규명
- LNG 플랜트 사업관리 요구사항 도출, 시스템 구성도 및 기능 정립
- LNG 플랜트 개방형 정보표준 기반의 사업관리 데이터 모델링 및 설계
- LNG 플랜트 기획단계 표준 업무 모듈 개발

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 기획단계 정보 흐름 규명

LNG 플랜트의 통합지식관리 시스템 구축을 위하여 LNG 플랜트의 업무 프로세스를 바탕으로 실제 업무 프로세스의 분석 및 시스템 설계를 위한 활동 및 활동 간의 관계를 표현하는데 IDEF∅을 사용하여 업무 및 업무와 관련된 정보의 흐름을 규명하였다. 이는 Control, Input, Output, Mechanism과 Activity(업무)의 관계를 보여줌으로써 상세 수준의 업무흐름을 보여줄 수 있다.

(가) 기획단계

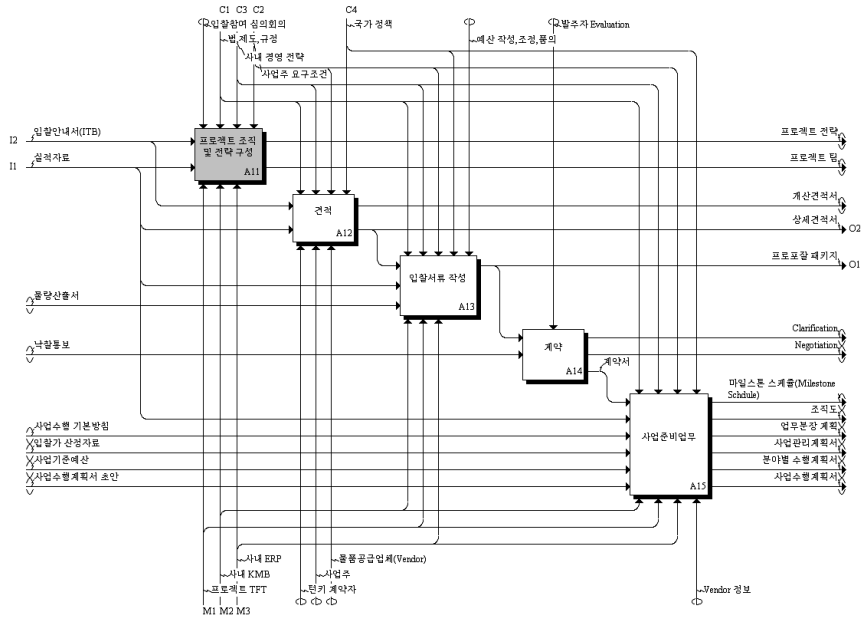
① 중분류 정보 흐름 규명 (Level 2)

기획 단계(중분류) 각 업무 프로세스 및 관련된 정보는 다음 <표 2.10>과 같다.

[표 2.10] 기획단계 정보 흐름 - Level 2

Code	Activity	Input	Output	Control	Mechanisms
A11	프로젝트 조직 및 전략구성	입찰안내서 (ITB) 실적자료	프로젝트팀 프로젝트전략	사내경영전략 법,제도,규정 사업주요구조건 입찰참여심의회의	프로젝트TFT 사내KMB 사내ERP

A12	견적	입찰제안서(ITB) 실적자료	개산견적서 상세견적서	프로젝트 전략 법, 제도, 규정 사업주 요구조건 사내 경영 전략 국가 정책	프로젝트 팀 턴키 계약자 사업주 물품공급업체(Vender)
A13	입찰 서류 작성	상세견적서 물량산출서 입찰 실적자료	프로포잘 패키지	법, 제도, 규정 사업주 요구조건 사내 경영 전략 국가 정책 예산 작성, 조정, 품의	프로젝트 TFT 사내 KMB 사내 ERP
A14	계약	낙찰통보	Clarification Negotiation	발주자 Evaluation 기술적 사항검토 상업적 사항검토 Guarantee & Liability 사항 검토	
A15	사업준비 업무	사업수행 기본방침 실적자료 입찰가 산정자료 사업기준예산 사업수행계획서 초안	마일스톤 스케쥴 조직도 업무분장 계획 사업관리계획서 분야별 수행계획서 사업수행계획서	법, 제도, 규정 사업주 요구조건 사내 경영 전략 국가 정책	Vender 정보 프로젝트 TFT 사내 KMB 사내 ERP



[그림 2.27] 기획단계 상위위계 업무분석 (Level 2)

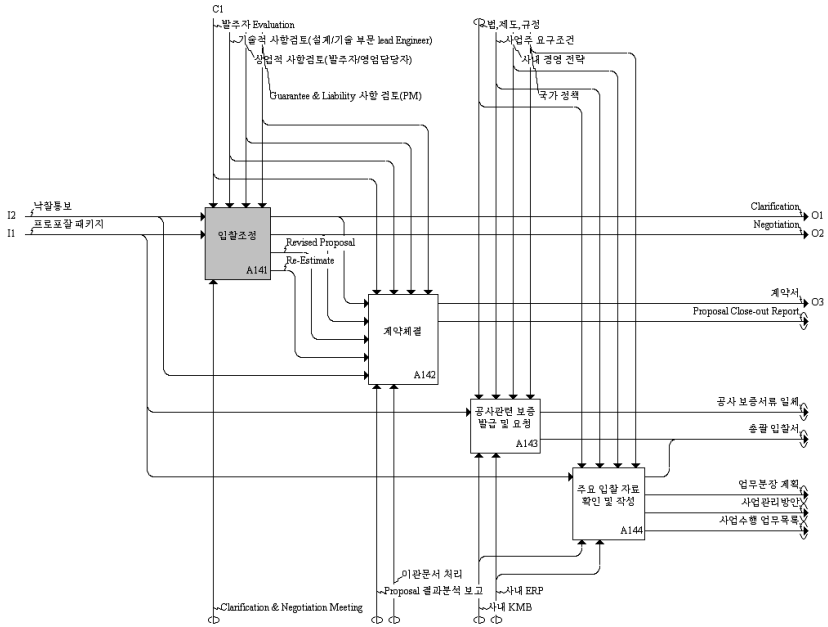
② 하분류 정보 흐름 규명 (Level 3)

기획 단계(하분류) 각 업무 프로세스 및 관련된 정보는 다음 표와 같다.

[표 2.11] 계약 - Level 3

Code	Activity	Input	Output	Control	Mechanisms
A141	입찰조정	프로포잘 패키지 낙찰통보	Re-Estimate Revised Proposal Clarification Negotiation	발주자 Evaluation 기술적 사항검토 상업적 사항검토 Guarantee & Liability 사항 검토	Clarification & Negotiation Meeting
A142	계약체결	Re-Estimate Revised Proposal	계약서 Proposal Close-out	발주자 Evaluation 기술적 사항검토 상업적 사항검토	Proposal 결과분석 보고 이관문서 처리

		낙찰통보 Clarification Negotiation	Report	Guarantee & Liability 사항 검토	
A143	공사관련 보증발급 및 요청	총괄 입찰서 프로포잘 패키지	공사 보증서류 일체	법,제도,규정 사업주 요구조건 사내 경영 전략 국가 정책	사내 KMB 사내 ERP
A144	주요 입찰 자료확인 및 작성	총괄 입찰서 프로포잘 패키지	업무분장 계획 사업관리방안 사업수행 업무목록	법,제도,규정 사업주 요구조건 사내 경영 전략 국가 정책	사내 KMB 사내 ERP



[그림 2.28] 기획단계 하위위계 업무분석 (Level 3)

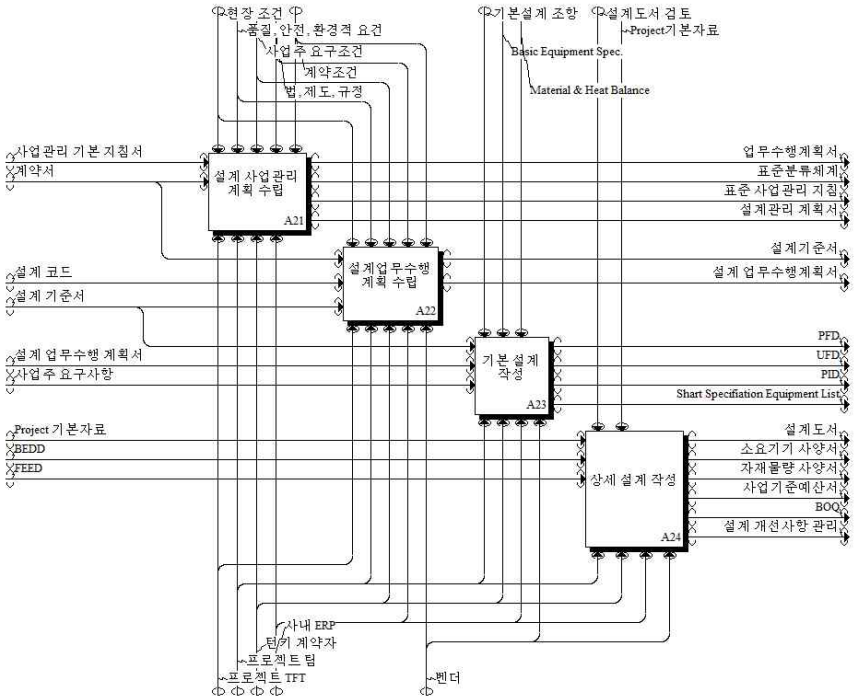
(나) 설계(E, Engineering)단계

① 중분류 정보 흐름 규명 (Level 2)

설계 단계(중분류) 각 업무 프로세스 및 관련된 정보는 다음 <표 2.12>과 같다.

[표 2.12] 설계단계 정보 흐름 - Level 2

Code	Activity	Input	Output	Control	Mechanisms
A21	설계 사업관리 계획 수립	계약서 사업관리 기본 지침서	업무수행계획서 표준분류체계 표준 사업관리 지침 설계관리 계획서	계약조건 법,제도,규정 사업주 요구조건 품질, 안전, 환경적 요건 현장 조건	프로젝트TFT 프로젝트 팀 턴키 계약자 사내ERP
A22	설계업무수행 계획 수립	계약서 설계 기준서 설계 코드	설계 기준서 설계 업무수행계획서	계약조건 법, 제도, 규정 사업주 요구조건 품질, 안전, 환경적 요건 현장 조건	프로젝트TFT 프로젝트 팀 턴키 계약자 사내ERP 벤더
A23	기본 설계 작성	설계 기준서 설계 업무수행 계획서 사업주요구사항	PED UFD PID Short Specification Equipment List	기본설계 조항 Basic Equipment Spec. Material & Heat Balnace	프로젝트 팀 턴키 계약자 사내ERP 벤더
A24	상세 설계 작성	Project 기본자료 BEDD FEED	설계도서 소요기기 사양서 자재물량 사양서 사업 기준예산서 BoQ	설계도서 검토 설계 개선사항 관리 Project 기본자료 BEDD FEED	프로젝트 팀 턴키 계약자 사내ERP 벤더



[그림 2.29] 설계단계 상위위계 업무분석 (Level 2)

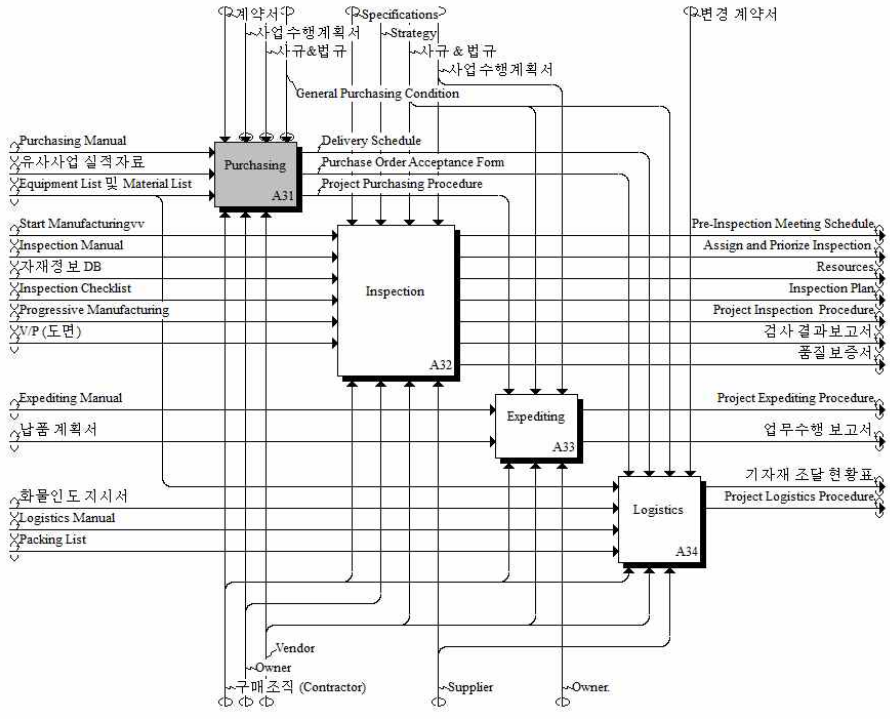
(다) 구매조달(P, Procurement)단계

① 중분류 정보 흐름 규명 (Level 2)

구매조달 단계(중분류) 각 업무 프로세스 및 관련된 정보는 다음 <표 2.13>과 같다.

[표 2.13] 구매조달단계 정보 흐름 - Level 2

Code	Activity	Input	Output	Control	Mechanisms
A31	Purchasing	구매매뉴얼 유사사업 실적 자료 Equipment & Material List 프로젝트 벤더 목록 Technical & Commercial Documents	구매 지침서 구매 주문서 구매 일정표 제작 일정 관리표 구매계약서	계약서 사업수행계획서 사규&법규 구매전략 계약조건 프로젝트 구매 절차 기술규격서 계약용 구매 규격서	구매조직 사업주 벤더
A32	Inspection	검사 매뉴얼 자재정보 DB 검사 점검 리스트 V/P(도면) TBE	검사계획서 검사결과보고서 품질보증서	사업수행계획서 사규&법규 검사 계획 프로젝트 검사 절차 검사 자료 할당 및 우선순위	공급자 구매조직 벤더 사업주
A33	Expediting	납품 매뉴얼 납품 계획서 벤더 프린트 제작 일정표	납품 지침서 V/P(도면) 업무수행 보고서	사규&법규 사업수행계획서 납품 절차	구매조직 벤더 사업주
A34	Logistics	화물인도 지시서 인수인계 매뉴얼 Equipment & Material List 패킹리스트	기자재 조달 현황표 화물인도 지시서 인수인계 지침서	운송 일정 사규&법규 인수인계 절차 변경 계약서	벤더 구매조직 공급자



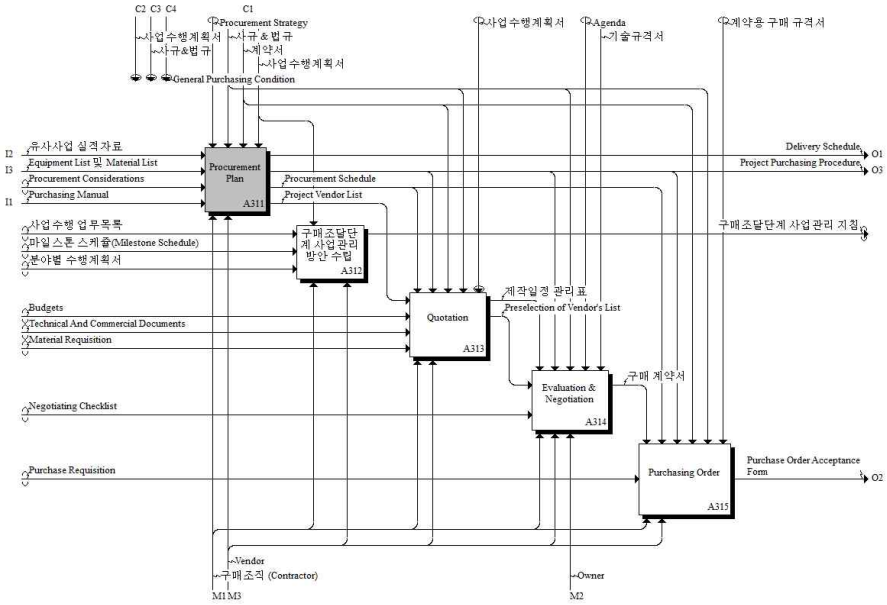
[그림 2.30] 구매조달단계 상위위계 업무분석 (Level 2)

② 하분류 정보 흐름 규명 (Level 3)

구매조달 단계(하분류) 각 업무 프로세스 및 관련된 정보는 다음 표와 같다.

[표 2.14] 구매조달단계 정보 흐름 - Level 2

Code	Activity	Input	Output	Control	Mechanisms
A311	구매 계획	유사사업 실적 자료 구매 고려사항 구매 지침서 Equipment & Material List	구매 요청 양식 구매 일정표 구매 지침서 구매 지침서 벤더 리스트	계약서 사업수행계획서 사규&법규 구매전략	구매조직 사업주 벤더
A312	구매조달 사업관리 방안 수립	사업수행 업무 목록 마일스톤 일정표 분야별 수행계획서	구매조달 사업관리 지침	계약서 사업수행계획서 사규&법규 구매전략	공급자 구매조직 벤더 사업주
A313	Quotation	벤더 리스트 예산 기술 & 상업 문서 협상 점검 리스트 구매 요청서	제작일정 관리표 벤더 리스트	구매 일정표 구매 지침서 사규&법규 계약서 사업수행계획서	구매조직 벤더
A314	구매협상	벤더리스트 협상 점검 리스트 Bid 평가서	구매 계약서 구매 주문 수락서	제작일정 관리 사규&법규 기술규격서 Agenda	벤더 구매조직 사업주
A315	구매요청	구매 요청서	구매 주문 수락서	구매 계약서 구매 일정표 사규&법규 계약서 계약용 구매 규격서	벤더 구매조직



[그림 2.31] 구매조달단계 하위위계 업무분석 (Level 3)

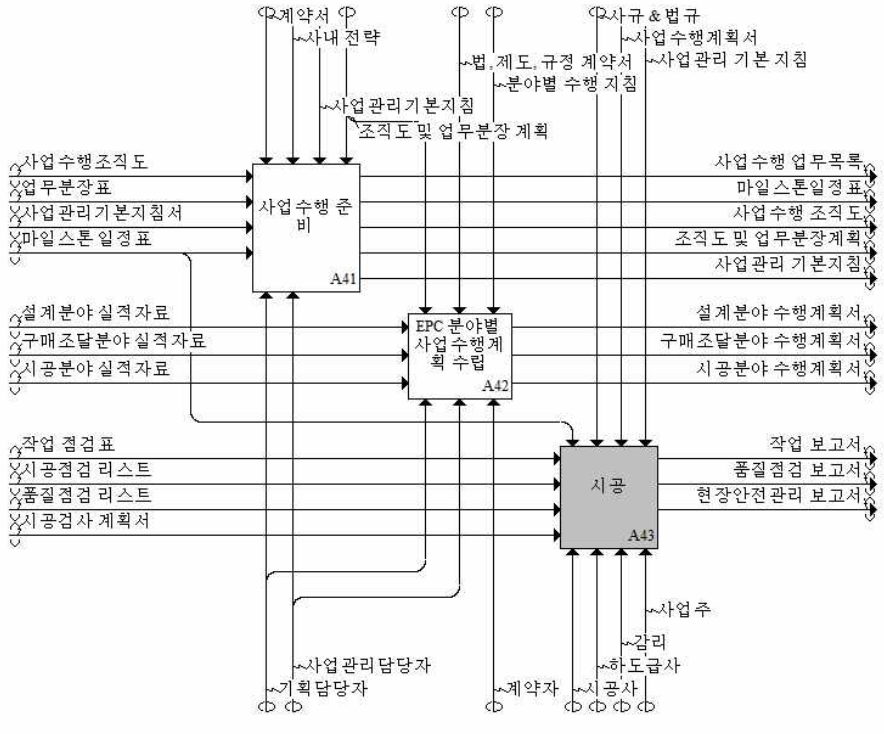
(라) 시공(C, Construction)단계

① 중분류 정보 흐름 규명 (Level 2)

시공 단계(중분류) 각 업무 프로세스 및 관련된 정보는 다음 <표 2.15>과 같다.

[표 2.15] 시공단계 정보 흐름 - Level 2

Code	Activity	Input	Output	Control	Mechanisms
A41	사업수행 준비	사업수행조직도 마일스톤 일정표 업무분장표 사업관리기본지침서	사업수행 업무목록 마일스톤 일정표 사업수행조직도 조직도 및 업무분장 계획 사업관리 기본지침	계약서 사내 전략 조직도 및 업무분장 계획 사업관리 기본지침	기획담당자 사업관리담당자
A42	EPC분야별 사업수행계획 수립	설계분야 실적자료 구매조달분야 실적자료 시공분야 실적자료	설계분야 수행계획서 구매조달분야 수행계획서 시공분야 수행계획서	법, 제도, 규정 계약서 분야별 수행 지침 조직도 및 업무분장 계획	기획담당자 사업관리담당자 계약자
A43	시공	작업 점검표 시공 점검 리스트 품질 점검 리스트 시공검사 계획서	작업 보고서 품질 점검 보고서 현장안전관리 보고서	사규&법규 사업수행계획서 마일스톤 일정표 사업관리 기본 지침	시공사 하도급사 감리 사업주



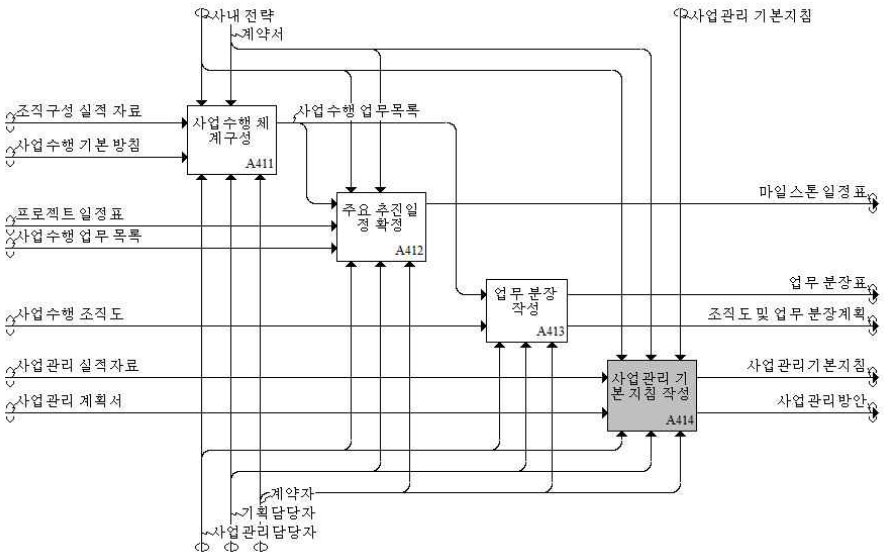
[그림 2.32] 시공단계 상위위계 업무분석 (Level 2)

② 하분류 정보 흐름 규명 (Level 3)

시공 단계(하분류) 각 업무 프로세스 및 관련된 정보는 다음 표와 같다.

[표 2.16] 시공단계 정보 흐름 - Level 2

Code	Activity	Input	Output	Control	Mechanisms
A411	사업수행 체계구성	조직구성 실적자료 사업수행 기본방침	사업수행 업무목록	계약서 사내 전략	기획담당자 사업관리담당자 계약자
A412	주요 추진일정 확정	프로젝트 일정표 사업수행 업무목록	마일스톤 일정표	계약서 사내 전략	기획담당자 사업관리담당자 계약자
A413	업무분장작성	사업수행 업무목록 사업수행 조직도	업무 분장표 조직도 및 업무분장계획	계약서 사내 전략	기획담당자 사업관리담당자 계약자
A414	사업관리 기본 지침 작성	사업관리 실적자료 사업관리 계획서	사업관리 기본지침 사업관리방안	계약서 사내 전략 사업관리 기본지침	기획담당자 사업관리담당자 계약자



[그림 2.33] 시공단계 하위위계 업무분석 (Level 3)

(2) LNG 플랜트 사업관리 요구사항 도출, 시스템 구성도 및 기능 정립

선행 연구에서 LNG 플랜트 생애주기 관점에서 사업관리자(PM)의 입장으로 시장과 고객, 그리고 LNG 플랜트 건설업체의 관점에 대한 사업관리 니즈를 분석하였다. 앞 선 조사 연구가 시장의 환경 변화를 고려하여 핵심 관점 별로 니즈를 파악하였다면, 본 절에서는 이를 토대로 사업관리 시스템의 구축이라는 관점으로 시스템 개발 방향에 대한 요구사항을 도출하였다. 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 등 사업수행과 관련된 시스템 세부적인 요구사항은 차후에 상세히 설명하도록 하고, 본 절에서는 거시적인 관점에서 시스템 개발에 요구되는 고려 사항을 중심으로 시스템의 구성과 그 기능에 대하여 정립하였다.

먼저, 앞 선 시장 니즈를 기반으로 사업관리 시스템 구축에 필요한 사항을 정리하면 다음 표 00과 같다. 시장의 관점에서는 외부의 지속적인 가격 하락 요인에 대한 효과적인 대처를 위해 효율성(또는, 생산성) 향상을 업무 절차와 이를 반영한 시스템 구축과, 시스템 관리와 공종별 신속한 업무 처리 및 협업이 가능하도록 공종 및 업무 특성에 따른 유연한 모듈 구성이 가능한 현장 업무 처리 중심의 간소한 시스템 구현, 그리고, 사업관리 위험 및 불확실성을 제거하고 관리 효율을 극대화할 수 있도록 사업관리 노하우(지식, Knowledgement)의 지속적인 축적 및 재활용이 가능한 시스템이 핵심 요구 사항으로 도출되었다.



[그림 2.34] LNG 플랜트 사업관리 시스템 개발 시 요구사항

이와 같은 기본적인 시스템적인 요구사항을 바탕으로 LNG 플랜트의 생애주기 사업관리 시스템의 핵심 기능 구성도를 작도하면 <그림 2.35>과 같다.

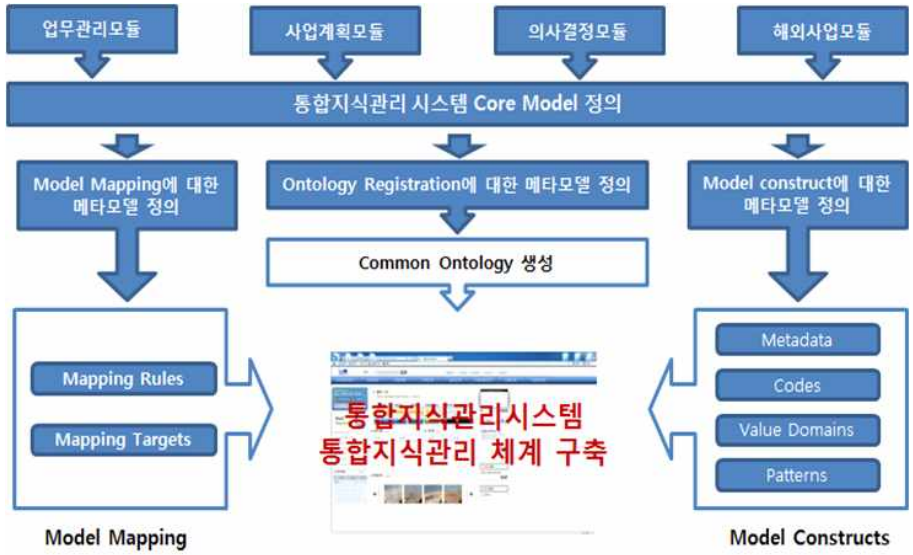


[그림 2.35] LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 주요 기능 구성도

시장 환경 변화에 따른 가장 큰 요구사항 중 하나인 업무 효율성의 향상과 그로 인한 생산 비용 절감을 실현하기 위해 LNG 플랜트 생애주기 건설 표준 업무 프로세스를 따르는 시스템의 개발이 우선 필요하다. 그리고 표준 프로세스를 기준으로 사업 수행을 위한 준비와 실행 단계를 구분하여 일반 관리가 필요한 공통관리 모듈을 구축하고, 공종별 특성을 고려한 사업 시행 단계별 모듈을 순차적으로 개발한다. 그리고 본 사업에 참여하 있는 타과제의 연구개발 결과물과의 연계 통합을 고려하여 사업 참여 여부를 결정하기 위한 조기 사업성 분석 시스템, 사업시행 및 공정 관리의 핵심인 리스크 관리와 의사결정 모듈간의 유기적인 연계 통합이 가능하도록 가능을 구성하였다.

본 연구에서 개발한 LNG 플랜트 사업관리 시스템은 통합지식관리 시스템(최종적으로 타 세부과제의 사업타당성 분석 모듈, 리스크 관리 기반 의사결정지원 모듈과 통합됨) 코어 모델을 중심으로 건설 사업 업무관리 모듈, 사업계획모듈, 의사결정모듈이 탑재되고, 연구 개발 수행 중에 추가로 개발된 해외사업모듈과의 연관성도 유지하도록 하였다. 그리고 내부 사업관리

지식의 체계적 축적 및 재활용을 위해 지식 컨텐츠에 대해 온톨로지 기반의 메타데이터로 DB를 축적하여 통합지식관리 체계를 <그림 2.36>과 같이 구축하였다.



[그림 2.36] LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 구성도

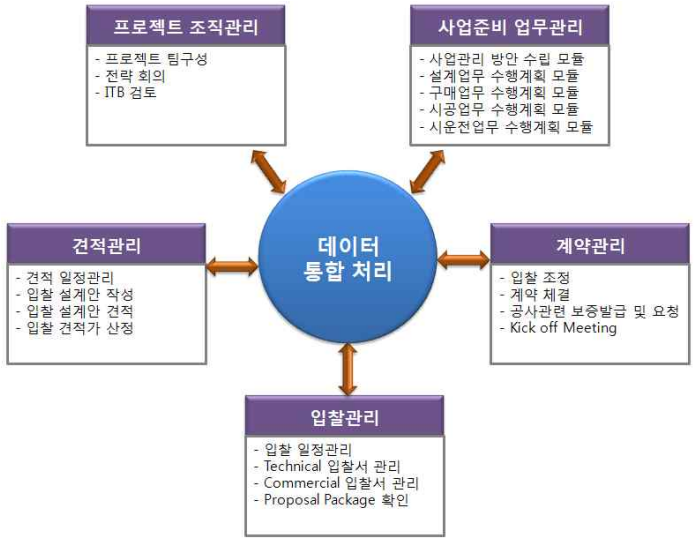
LNG 플랜트의 사업관리 지식 컨텐츠 활용을 위한 DB구성은 데이터 관리 대상 범위를 데이터 표준 정책 및 지침, 표준 단어, 용어 및 도메인에 대한 관리, 데이터 모델과 DBMS의 관리, 데이터 흐름 및 데이터 변경 이력, 표준코드 데이터 품질 등을 다양하게 포함하고 있다. 입력된 생애주기 단계별 데이터들이 메타데이터 생성프로세스를 통해 메타데이터로 변환되어 통합DB의 메타데이터 레파지토리(저장소)에 저장되고, 저장된 메타데이터들은 생애주기 단계별 데이터 관리 대상 범위에 맞춰 각 메타데이터 모듈에 의해 데이터 표준관리, 데이터 모델 관리, 데이터베이스 관리, 변경영향분석관리, 데이터 품질관리가 이루어지도록 하였다. 본 시스템에 구현된 지식 DB 구성도는 <그림 2.37>과 같다.



[그림 2.37] LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 DB 구성도

(3) LNG 플랜트 개방형 정보표준 기반의 사업관리 데이터 모델링 및 설계

기획단계 상세 업무 프로세스를 고려하여 기획관리 메뉴는 프로젝트 조직관리, 견적관리, 입찰관리, 계약관리, 사업준비 업무관리로 구분할 수 있다.



[그림 2.38] 기획단계 표준 업무 모듈의 메뉴 구성

프로젝트 팀구성은 PM이 프로젝트 수주를 위한 팀을 구성하는 것으로써, 사내 인력을 검색하여 등록하며, 등록 후에는 조직도가 자동으로 구성하도록 나타난다.(부서. 직위. 현재 담당하고 있는 업무. 전공분야, 입사 후 현장이력조회, 타 프로젝트를 진행하고 있다면 그 프로젝트의 종료일 등)

전략 회의는 입찰전략 회의내용의 History를 기록하며, 프로젝트 팀원은 회의내용 등록이 가능하다. 또한 회의 결과에 대한 메일발송 및 결재 기능이 있다.(회의일시, 안건, 내용, 장소, 참여부서 및 인원, 첨부자료 등을 등록한다.)

ITB(Instruction To Bidder) 검토는 PM 및 부서별 담당자가 ITB 항목별 전략을 수립하여 등록하며, 첨부된 파일은 승인권자만 가능하다. 또한 ITB 항목별 등록 내용은 메일발송 및 결재 기능이 있다.(담당부서, 담당자, 주요 검토 사항, 핵심 요구사항 분석, 필수/권장요소 구분, 최종마감일, 검토일자, 첨부파일 등을 등록한다.)

견적 일정관리는 PM 및 부서별 담당자가 견적일정을 등록하며, Bar Chart로 일정을 확인할 수 있다.(견적업무 항목, 담당부서, 담당자, 주요내용, 시작일, 종료일 등을 등록한다.)

입찰 설계안 작성은 모든 팀원이 입찰 설계안을 작성하기 위해, 각 자재에 대한 이름, 회사명, 주소, 연락처, 대표자 등을 검색할 수 있으며, 각 자재에 대한 3D 모델링 상세 내용이 표시 가능함. 또한, PM 및 부서별 담당자가 입찰 설계안을 업로드 및 다운로드 하며, 업로드 시, 작성일, 검토일, 검토자, 검토내용 등을 등록함. 검토 내용에 대한 피드백이 이루어질 수 있도록 결재 기능이 있다.

입찰 설계안 견적은 입찰 설계안이 결정된 후 견적이 이루어지며, PM 및 부서별 담당자가 견적 항목, 담당부서, 생산업체, 국명, 실적금액, 납기예정일 등을 등록함. 견적 항목 및 관련내용을 등록 시, 실적 데이터를 검색 및 비교하여 선택할 수 있다.

입찰 견적가 산정은 PM 및 부서별 담당자가 확인할 수 있으며, 등록된 견적 내용의 합계가 자동으로 계산되는 화면을 표시한다. Construction Costs, Alt별 견적대안, Alt별 견적대안 Total로 구성하여 나타나며, 결재 기능이 있다.(Overhead 및 Profit에 수정이 가능하다.)

입찰 일정관리는 PM 및 부서별 담당자가 입찰일정을 등록하며, Bar Chart로 일정을 확인할 수 있다.(입찰업무 항목, 담당부서, 담당자, 주요내용, 시작일, 종료일 등을 등록한다.)

Technical 입찰서 관리는 PM 및 부서별 담당자가 Technical 입찰서 항목별 전략을 수립하여 등록한다.(담당부서, 담당자, 핵심 전략, 분석, 종료일, 첨부파일 등을 등록한다.)

Commercial 입찰서 관리는 PM 및 부서별 담당자가 Commercial 입찰서 항목별 전략을 수립하여 등록한다.(담당부서, 담당자, 핵심 전략,분석, 종료일, 첨부파일 등을 등록한다.)

Proposal Package 검토는 PM 및 부서별 담당자가 Proposal Package의 각종 문서를 점검할

수 있으며, 각 문서들에 대한 담당부서, 핵심전략, 종료일, 첨부파일 등을 등록한다.

계약관리의 Clarification은 모든 팀원이 Clarification을 작성하여 등록할 수 있다.(항목, 내용, 담당부서, 시작일, 종료일 등을 등록한다)

계약관리의 Negotiation은 발주처와의 Negotiation 회의 내용을 기록하며, 프로젝트 팀원은 회의내용 등록 가능하다.(회의일시, 안건, 내용, 장소, 참여부서 및 인원, 첨부자료 등을 등록함) 또한 회의결과에 대한 메일발송 및 결재 기능이 있다.

사업관리 방안수립은 PM 및 부서별 담당자가 사업관리 기본지침을 업로드하여 각 항목별 세부방안을 등록한다.

설계, 구매조달, 시공, 시운전 업무의 수행계획은 각 단계별 PM 및 설계분야의 팀원이 업무일정을 등록한다.(설계/구매조달/시공/시운전 업무 항목, 담당자, 주요내용, 시작일, 종료일, 설계업무 수행계획서를 업로드 등을 등록한다)

(4) LNG 플랜트 기획단계 표준 업무 모듈 개발

LNG 플랜트 통합관리시스템은 생애주기 단계별 표준 업무 모듈의 통합시스템으로써, 초기화면은 <그림 2.39>과 같으며 2차년도의 연구 성과물인 기획관리 표준 업무 모듈을 개발한다.



[그림 2.39] LNG 플랜트 통합지식관리시스템 초기화면

<그림 2.40>와 같이 사용자별 보안을 위하여 회원가입 및 ID 및 Password의 로그인을 통한 접속이 가능하다.

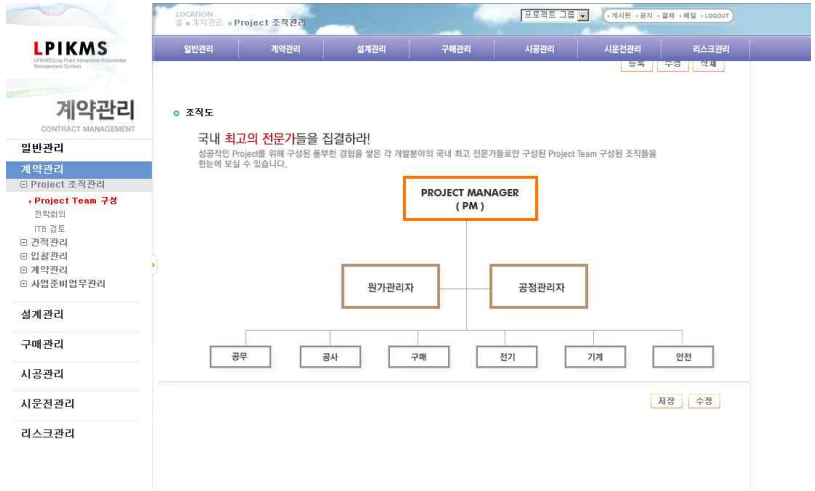


[그림 2.40] LNG 플랜트 통합지식관리시스템 로그인 화면

프로젝트 조직관리의 프로젝트 팀구성으로써 부서, 직급, 직무별 사용자를 사내 인력 Database에서 검색이 가능하며, 타 프로젝트를 진행하고 있으면 그 프로젝트의 종료일 등의 정보 조회가 가능하다. 검색을 통하여 팀원이 조직도에 자동으로 생성되며, 수정 내용이 메일을 송부할 수 있다.

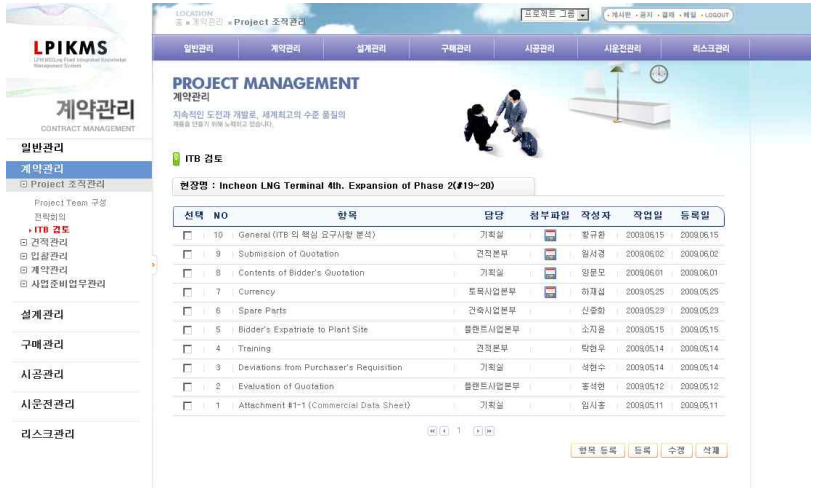


[그림 2.41] 프로젝트 팀구성 (검색)



[그림 2.42] 프로젝트 팀구성 (조직도)

<그림 2.43>와 같이 ITB의 검토항목에 대하여 각 담당자 또는 부서를 배치하여 주요 사항의 전략을 수립하며, 각각의 항목을 클릭하여 세부 내용의 확인이 가능하며, 첨부된 파일 조회는 승인권자에 한하여 제한한다.



[그림 2.43] ITB 검토

다. 주요결과 및 시사점

기획단계의 업무 지침서의 문제점 파악 및 As-Is 프로세스 분석을 통하여 상세 업무 프로세스를 도출하였다. 또한 주요 Activity(프로젝트 조직 및 전략구성, 견적, 입찰서류 작성, 계약, 사업준비 업무)는 IDEF∅을 사용하여 업무 정보흐름을 규명하였다.

기획단계 상세 업무 프로세스에 따른 사용자 요구사항 분석 및 UI 설계 등을 통하여 기획단계 표준 업무 모듈을 개발하였다.

이는 2단계 성과물인 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계의 표준 업무 모듈 및 정보·지식관리 모듈과 연계하여 개발할 예정이다.

5. EPC 단계별 업무 프로세스 및 맵 구축

가. 접근방법

- LNG 플랜트 As-Is 업무 분석을 통한 단계별 업무분류체계 구축
- LNG 플랜트 EPC 단계별 업무프로세스 맵 구축

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 As-Is 업무 분석을 통한 단계별 업무분류체계 구축

해외 LNG 플랜트 프로젝트를 대상으로 한 전(全)생애주기 업무는 EPC 업체의 관점에서 수행하는 것으로 한정하여, 초기 입찰안내서(ITB)수령 이후부터 기획(견적, 입찰 포함)단계, 설계 단계, 구매조달 단계, 시공 및 시운전 단계의 업무로 대별하였다. 이 중 기획(견적, 입찰 포함)단계는 1단계 연구에 해당하므로 본 보고서에서는 설계 단계 이후부터 시운전 단계에 이르는 과정을 대상으로 하여 연구를 수행하였다.

생애주기 전체 단계에 걸쳐 엔지니어링 및 사업관리 부문의 지식 및 정보를 효율적으로 관리하기 위하여 본 연구에서는 먼저 EPC 단계별 업무분류체계(WBS, Work Breakdown Structure)를 구축하였다. 구축된 WBS는 생애주기 프로세스적 관점에서 작성된 것이므로 기존의 부서별, 부문별 업무 구분이 아닌 시간적 흐름에 따라 EPC 단계별로 작성을 하였다. 이는 이후 작성하게 되는 업무 프로세스 맵핑(Mapping)을 위한 것으로 향후 시스템으로 구축할 지식관리시스템의 작업 용이성까지 고려한 것이다.

표준화된 WBS가 작성되면 플랜트 프로젝트를 수행함에 있어 효율적으로 지식을 관리할 수 있는 중요한 부분이 될 것이며 더 나아가 국내기업 해외 프로젝트 사업관리의 경쟁력 향상을 위한 지능형 통합관리시스템 개발의 기초가 될 것이다.

(가) 설계 단계 업무분류체계

① 업무항목의 공통항목 수집, 위계별 분류 및 업무분류체계 작성

해외 플랜트 프로젝트에 활발히 참여하고 있는 국내 선도 EPC 기업의 업무관리시스템 및 업무항목 분석 시 공통적 업무외에도 각 기업별 특성에 따라 상이한 부분이 발생하였다. 먼저

공통항목을 중심으로 위계별 업무를 도출하고, 도출된 주요항목을 Phase, Discipline, Category Grouping, Activity의 네 개 Level로 분할·정립하였다. 분할·정립된 업무항목을 Microsoft Excel을 활용하여 업무분류체계로 작성하였다. 이는 아래 그림과 같다.



[그림 2.44] LNG 플랜트 설계단계 표준 업무분류체계

② 설계 단계 업무 분류체계 주요 내용

LNG 플랜트 설계 단계의 업무를 대별하여 상위 위계인 레벨 2, 3 단계까지를 먼저 살펴보면 다음과 같다.

- Level 2 : 설계 계획 수립, Basic Engineering(기본 설계), Detail Engineering(상세 설계), Bill of Quantities(물량산출조서), 설계 승인 등으로 대별된다.

- Level 3

· 설계 계획 수립 : BEDD(Basic Engineering Design Data, 기본설계조건) 작성, 설계단계 사업관리 방안 수립

· Basic Engineering : 프로젝트 기본자료 분석, 기본설계 조항 분석, FEED(Front-End Engineering & Design)작성

· Detail Engineering : 설계 도서 작성, 각종 계산서 작성

· Bill of Quantities : 사업기준예산 수립

· 설계 승인

(나) 구매조달 단계 업무분류체계

LNG 플랜트 구매조달 단계의 업무를 대별하여 상위 위계인 레벨 2, 3 단계까지를 먼저 살펴보면 다음과 같다.

- Level 2 : 구매(Purchasing), 검사(Inspection), 이행(Expediting), 운송 및 물류(Logistics) 등으로 대별된다.

- Level 3

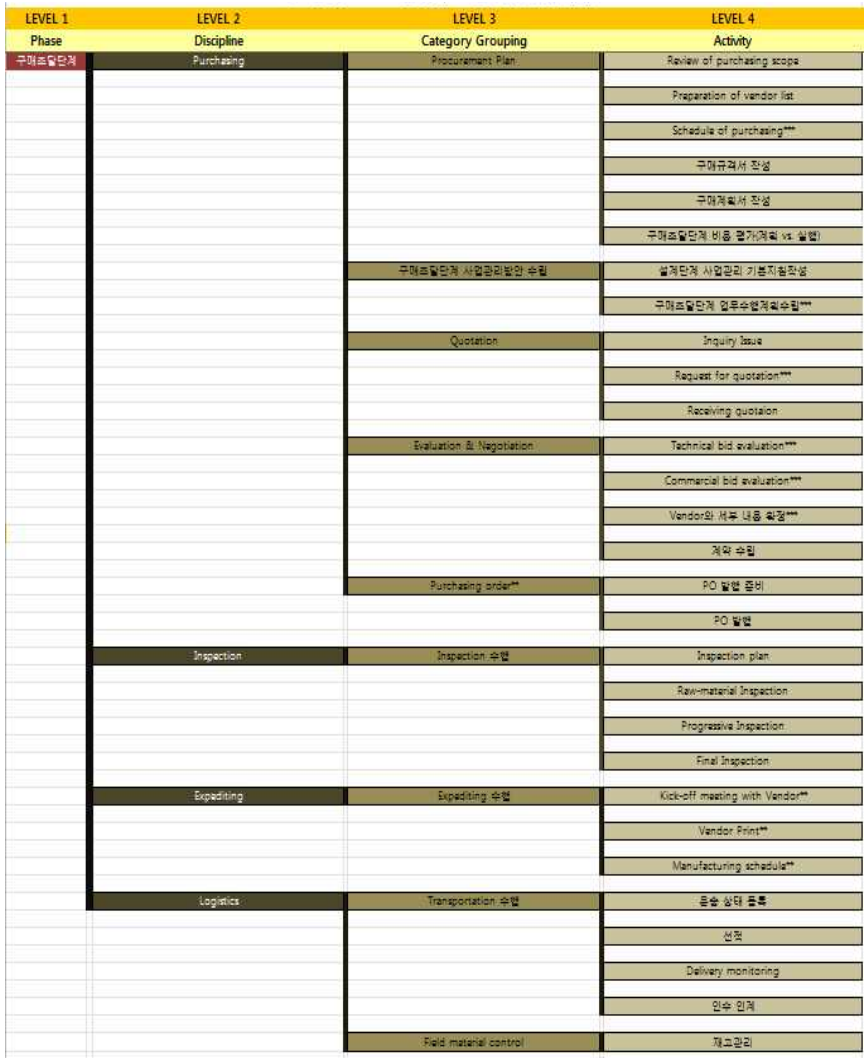
· 구매(Purchasing) : Procurement Plan 수립, 구매조달단계 사업관리방안 수립, Quotation, Evaluation & Negotiation, Purchasing Plan

· 검사(Inspection) : Inspection (Inspection Planning, Raw-Material Inspection, Progressive Inspection, Final Inspection) 수행

· 이행(Expediting) : Expediting(Kick-off meeting with Vendor, Vendor Print 발행, Manufacturing Schedule) 수행

· 운송 및 물류(Logistics) : Transportation, Field Material Control

이상과 같은 구매조달 단계의 주요 업무분류체계의 내용은 다음 그림과 같다.



LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	LEVEL 4
Phase	Discipline	Category Grouping	Activity
구매조달단계	Purchasing	Procurement Plan	Review of purchasing scope
			Preparation of vendor list
			Schedule of purchasing***
			구매규격서 작성
			구매계획서 작성
			구매조달단계 비용 평가(계획 vs. 실행)
		구매조달단계 사업관리방안 수립	설계단계 사업관리 기본지침작성
			구매조달단계 업무수행계획수립***
		Quotation	Inquiry Issue
			Request for quotation***
			Receiving quotation
		Evaluation & Negotiation	Technical bid evaluation***
			Commercial bid evaluation***
			Vendor와 세부 내용 확정***
			계약 수립
		Purchasing order**	PO 발행 준비
			PO 발행
	Inspection	Inspection 수행	Inspection plan
			Raw-material Inspection
			Progressive Inspection
			Final Inspection
	Expediting	Expediting 수행	Kick-off meeting with Vendor**
			Vendor Print**
			Manufacturing schedule**
	Logistics	Transportation 수행	운송 상태 점검
			선적
			Delivery monitoring
			인수 인계
		Field material control	재고관리

[그림 2.45] LNG 플랜트 구매조달단계 표준 업무분류체계

(다) 시공 및 시운전 단계 업무분류체계

LNG 플랜트 시공 및 시운전 단계의 업무를 대별하여 상위 위계인 레벨 2 단계를 먼저 살펴보면 다음과 같다.

- Level 2 : Construction Planning, Site Survey & Site Preparation, Selection of Subcontractors, Set up of Field Organization, Local Procurement, Civil Work & Underground Piping Work, Structure & Building, Field Inspection, Flushing & Chemical Cleaning, Commissioning schedule, Training of Clients Operator



LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	LEVEL 4	
Phase	Discipline	Category Grouping	Activity	
시공/시운전	Construction Planning	시공 및 시운전 계획 수립		
		시공단계 사업관리방안 수립	시공관리 기본지침작성	시공단계 위험관리 기본지침작성
			시공단계 업무수행계획수립***	시공업무 위험관리계획
			시공단계 비용 평가(계획 vs. 실행)	
	Site Survey and Site Preparation	Temporary Work and Camp		
		EQUIPMENT INSTALLATION		
		PIPING WORK		
		INSTRUMENT AND ELECTRICAL WORK		
		INSULATION AND PAINTING WORK		
	Selection of Subcontractor			
	Set Up of Field Organization	Construction Equipment & Temporary Material		
		Construction Management & Execution		
	Local Procurement	Warehouse and Material Control		
	Civil Work & Undergrand Piping Work			
	Structure & Buildings			
	Field Inspection			
	Flushing & Chemical Cleaning			
	Commissioning Schedule	COMMISSIONING SERVICE	TECHNICAL ASSISTANCE SERVICE	
	Taining of Clients Operator			

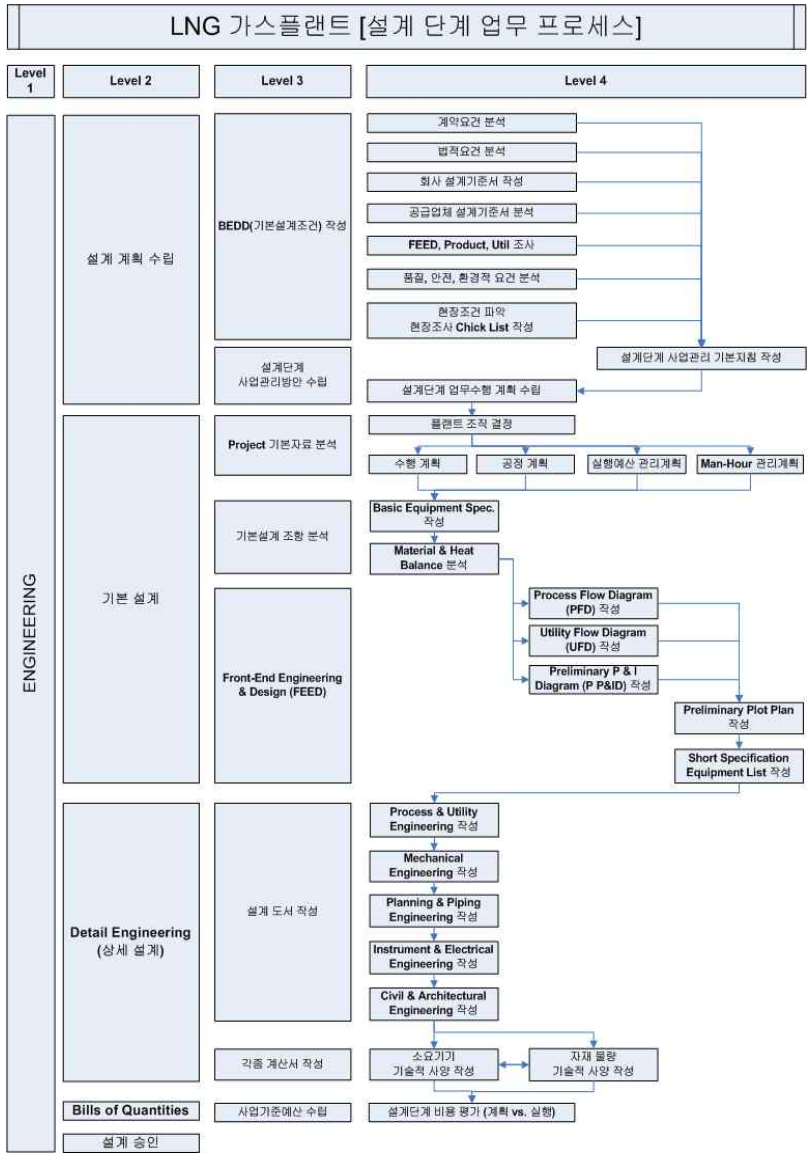
[그림 2.46] LNG 플랜트 시공 및 시우전단계 표준 업무분류체계

(2) LNG 플랜트 EPC 단계별 업무프로세스 맵 구축

상기한 EPC 업무분류체계를 기초로 하여 각 업무 액티비티별로 작업의 선후관계를 정립할 필요가 있다. 이는 주로 레벨 4단계를 대상으로 하여 정리하였다. 본 장에서는 설계 단계, 구매조달 단계, 시공 및 시운전 단계의 업무를 대상으로 국내 선도 EPC 기업의 업무를 수집 분석하였으며, 앞 장에서 설명한 업무분류체계에서는 주로 공통 업무를 대상으로 하였으나, 본 부분에서는 상이한 업무 부분에 대해서도 전문가 자문, 현장 실무자 면담 등을 통해 정제하여 기입할 필요가 있는 업무를 추가하여 작성하였다.

(가) 설계 단계 업무프로세스

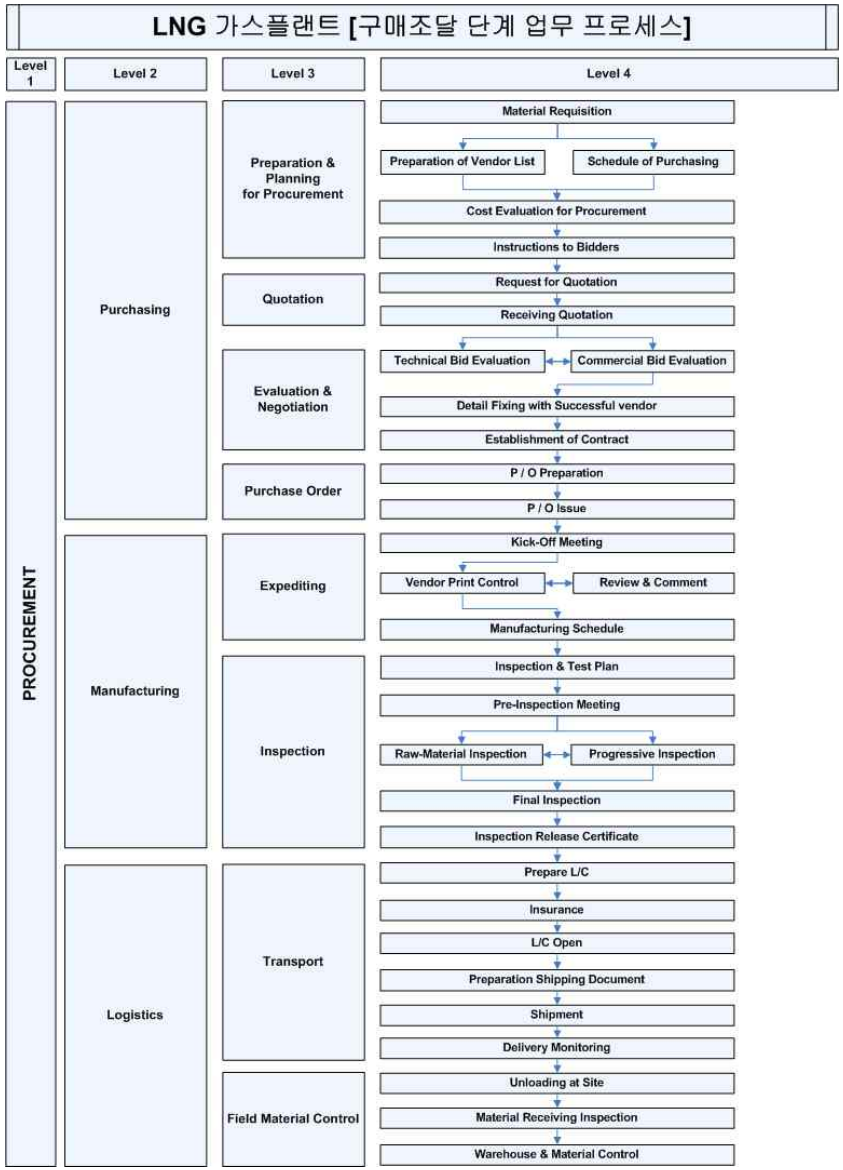
설계(Engineering) 단계의 주요 업무 프로세스는 다음 그림과 같이 정리하였다.



[그림 2.47] 설계단계 업무 프로세스

(나) 구매조달 단계 업무프로세스

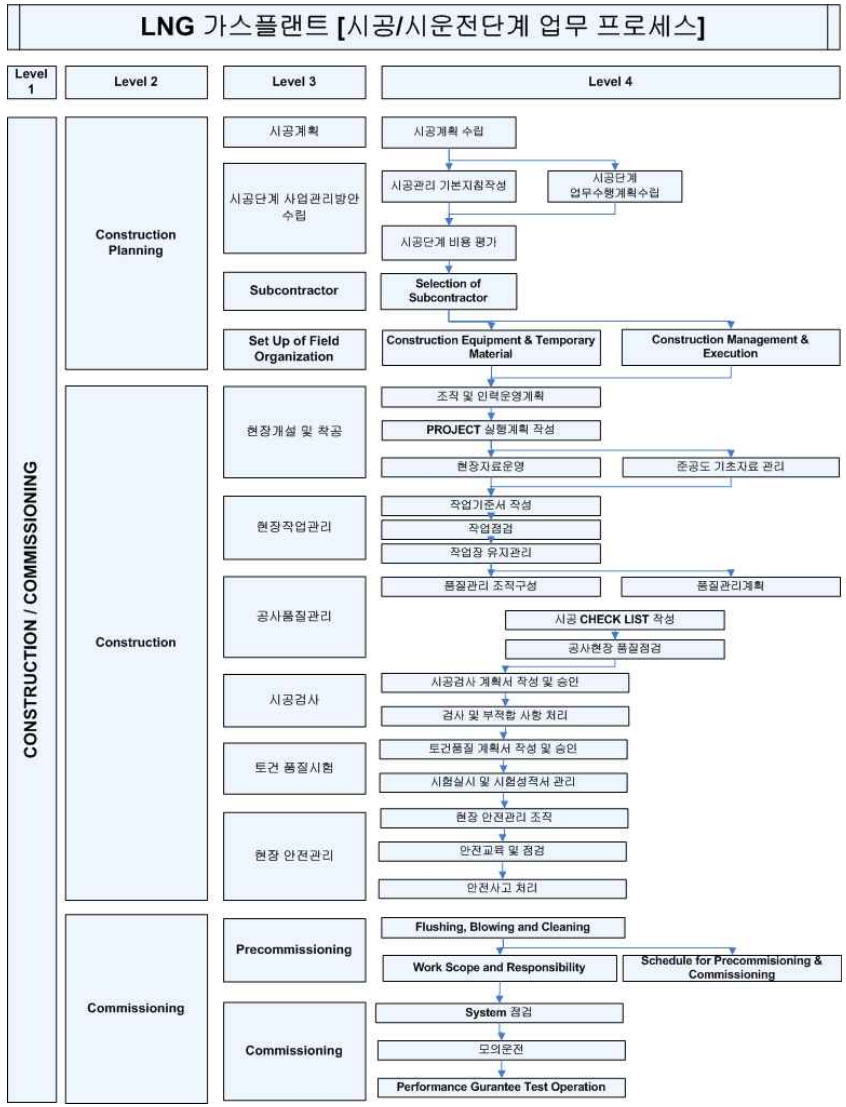
구매조달(Procurement) 단계의 주요 업무 프로세스는 다음 그림과 같이 정리하였다.



[그림 2.48] 구매조달단계 업무 프로세스

(다) 시공 및 시운전 단계 업무프로세스

시공 및 시운전 단계의 주요 업무 프로세스는 다음 그림과 같이 정리하였다.



[그림 2.49] 시공 및 시운전단계 업무 프로세스

6. EPC 단계별 업무 모듈 설계

가. 접근방법

- LNG 플랜트 EPC 단계별 사용자 요구사항 도출
- Balsamiq Mockups을 이용한 EPC 단계별 UI 설계
- LNG 플랜트 EPC 표준 업무 모듈 개발

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 EPC 단계별 사용자 요구사항 도출

상기 조사 결과와 정립된 단계별 업무 프로세스를 바탕으로 LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템 개발을 위해 설계(E), 구매조달(P), 시공(C) 단계별 표준 업무 프로세스를 반영한 독립 모듈 개발 및 시스템 통합을 위한 요구사항을 정리하였다.

요구사항을 정리하기 위한 프로세스는 먼저 사용자가 요구하는 요구 속성(Customer Attributes, CA)을 분류하고, 각 속성별로 시스템 개발 시 구현되어야할 기능과 비기능 관련 항목으로 분류하였다. 그리고, 분류된 속성별로 기술 특성을 정의하였다.

사용자의 요구속성은 플랜트 EPC 사업 업무 전문가와 실무자 면담 조사와 관련 문헌 사례 조사를 통해 <표 2.17>과 같이 기능에 대한 28개 속성과 비기능에 대한 12개 속성으로 분류 정의하였다.

[표 2.17] 사용자의 요구속성 중 기능 속성 정의

구분	요구속성	속성 정의 내용
기획관리	계약현황관리	EPC 계약사에서 계약변경현황을 등록, 수정하고 관리
	ITB 관리	EPC 계약사에서 프로젝트 정보를 입수하여 ITB를 등록 관리
	Tender 관리	EPC 계약사에서 실행 예산을 수립하고 입찰서를 작성 관리
	계약 관리	EPC 계약사에서 계약 및 조정을 통해 입찰 자료를 정리 보관 관리
	PMP 관리	EPC 계약사에서 사업수행체계 및 조직구성을 통해 업무수행 계획 수립 관리
설계관리	설계관리	EPC 계약사에서 설계도서 및 변경 사항을 등록 관리
	설계계획	EPC 계약사에서 설계 업무수행 계획을 수립하고 BEDD 분석 관리
	기본설계	설계규격 및 조항 분석과 FEED 작성 관리
	상세설계	EPC 계약사에서 설계도서, 사양서, BoM, BoQ를 등록 관리
구매조달관리	조달계획	EPC 계약사에서 구매조달 사업관리 계획과 벤더 리스트 조회 관리
	구매	EPC 계약사에서 견적요청, Bid 평가, 구매 주문 사항을 등록 관리
	처리 및 검수	벤더사 검토와 승인, 검수 관련 사항을 등록 관리
	물류관리	구매조달 품목의 선적, 운송 모니터링, 인수인계 관련 사항 등록 관리
시공관리	시공계획	EPC 계약사에서 시공계획을 수립하고 협력업체를 등록 관리
	시공관리	EPC 계약사에서 시공현황, 품질, 일정, 안전 관련 사항을 등록 관리
	시공장비&재료	주기기, 벌크자재, 자재창고 등록 관리
	시운전 관리대장	EPC 계약사에서 시운전관리대장을 조회하고 출력
종합정보	추진경위	EPC 계약사에서 추진경위를 등록, 수정하고 관리
	종합공정률	EPC 계약사에서 종합공정률을 등록, 수정하고 관리
	단계별 공정현황	EPC 계약사에서 공정별 현황을 등록, 수정하고 관리
	민원관리	EPC 계약사에서 업무 수행과 관련한 민원을 등록, 수정하고 관리
	참여자 관리	EPC 계약사에서 업무 관계자를 조회하고, 연락할 수 있도록 관리
시스템 관리	사용자 관리	관리자가 사용자 정보를 등록, 매뉴별 권한을 관리

	참여기업관리	관리자가 참여기업정보를 등록 관리
	부서관리	관리자가 부서정보를 등록 관리
	공통코드 관리	관리자가 시스템에서 사용할 공통코드를 등록 관리
	결재자관리	관리자가 Activity별 결재자를 관리
	공지사항 관리	관리자가 시스템 사용자들에게 알림 정보를 등록 관리

[표 2.18] 사용자의 요구속성 중 비기능 속성 정의

요구속성	속성 정의 내용
사업구조특성에 따른 시스템 설계	EPC 턴키 방식과 단순 도급 방식을 모두 수용 가능하도록 설계
메뉴구성	대메뉴는 사업일반, 기획단계, 설계단계, 구매조달단계, 시공단계로 5개로 구성하며, 시스템관리는 상단에 권한자에게만 보이도록 구현
업무기능 영문화	대메뉴를 제외하고 세부 업무기능은 영문이 되도록 배치
시스템구성	타 프로젝트 PMIS 시스템 구성을 참고하여 구성
권한체계	권한의 체계는 1레벨 메뉴만 관리하며, 하위레벨의 권한은 특정 사용자에 한하여 권한을 제한하도록 구성
DB 구성	본 시스템은 공사기간에만 사용하므로 경제적인 DB 사용
사용자그룹에 따른 요구사항	발주사와 EPC 계약사간의 화면이 요구사항에 따라 다른 수 있음
시스템 환경	웹 기반의 시스템 구축 필요
사용자 편의성 추구	사용자 편의 위주 화면 구성(예, 프로세스 맵 도입 등)
업무메뉴얼 필요	신규 및 기존 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 매뉴얼 제공
검색기능 필요	일부 업무에 대한 검색기능 필요
기능변경 필요	개발 이후 사용자 요구에 따른 기능 변경이 가능해야 함(노드 추가 변경 등)

이와 같이 요구속성을 정리하여 도출한 속성 정의를 반영하여 업무 범위가 한정되고 이를

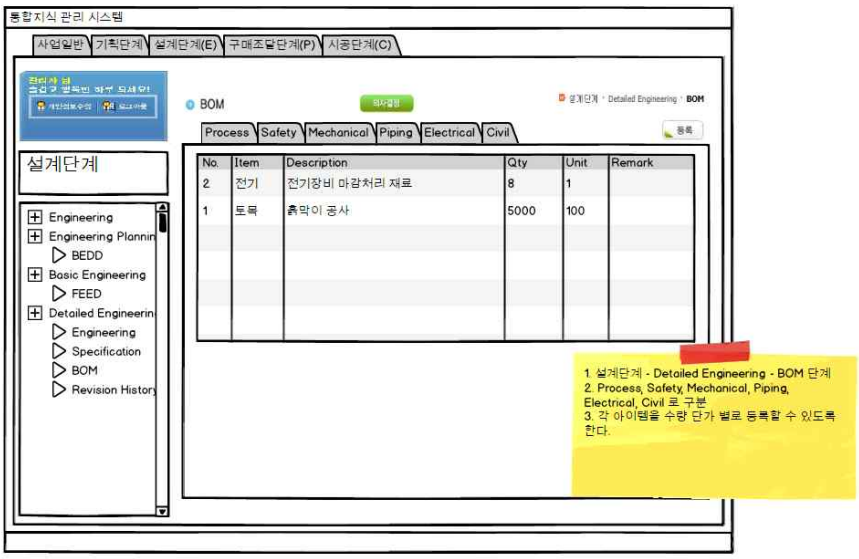
LNG 플랜트 EPC 단계별 표준 업무 모듈 설계에 반영하였다.

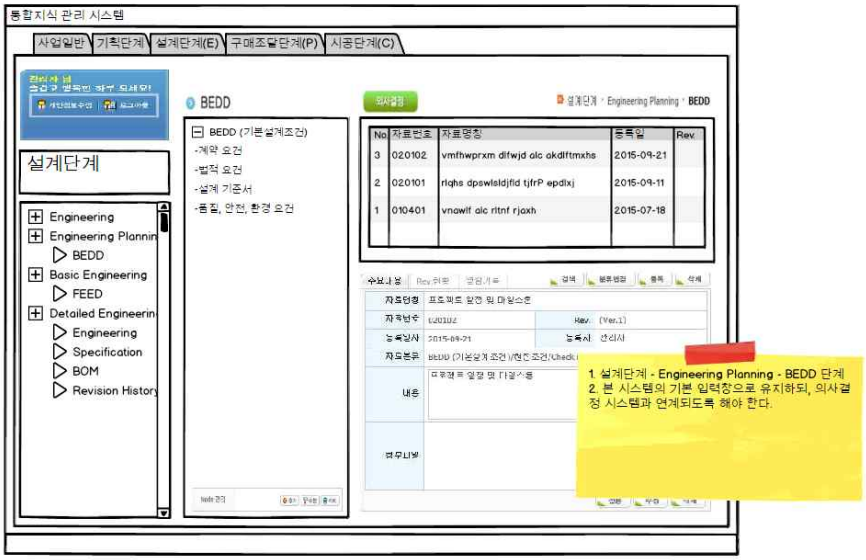
(2) Balsamiq Mockups을 이용한 EPC 단계별 UI 설계

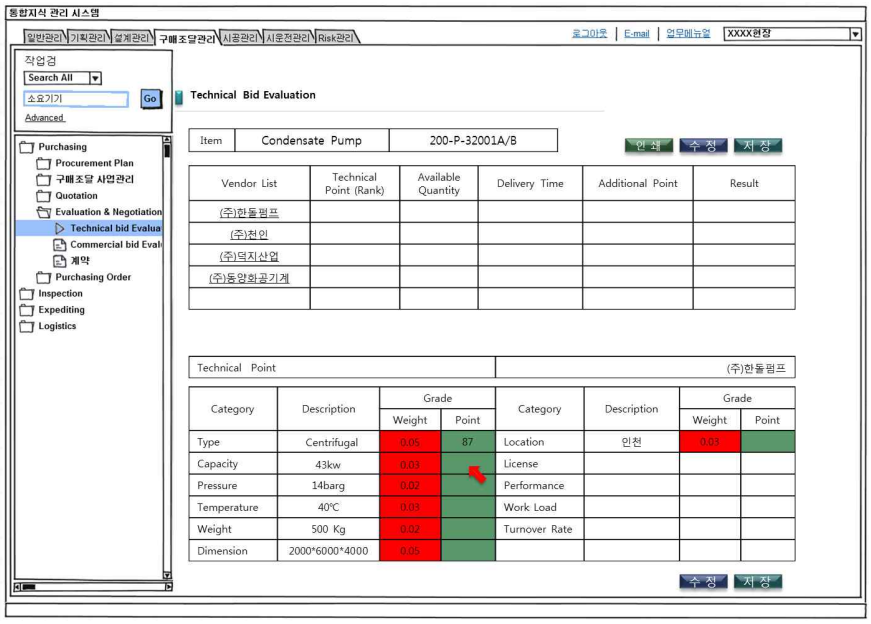
상기의 장에서 작성된 업무분류체계, 업무프로세스, 업무지침 등과 다양한 지식, 정보 컨텐츠를 융합하여 통합지식관리시스템을 개발하기 위해 본 연구에서는 Balsamiq Mockups 프로그램을 사용하여 시스템 UI(User Interface)기본설계를 하였다. 본 프로그램은 국내 일반 SI업체에서 개발 시 의사소통 및 인식성을 제고하기 위해 많이 사용하는 것으로 본 연구에서도 다양한 업역의 참여연구원이 시스템 개발을 위한 의사소통 시 시간과 문서작성 노력을 절약할 수 있었다.

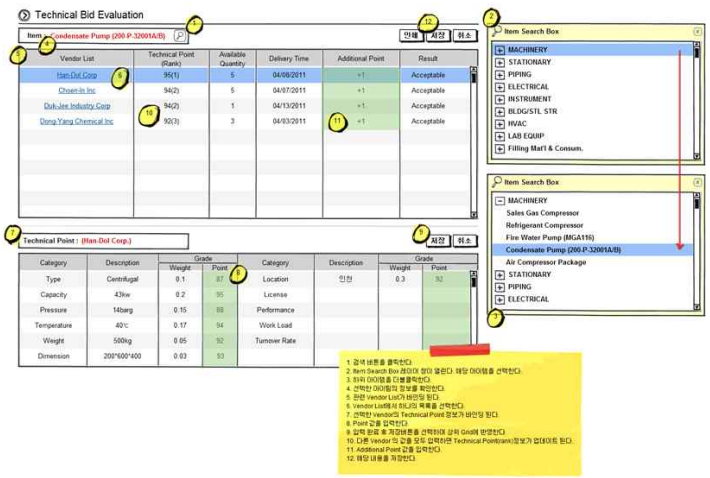
연구성과의 검증을 위해 전문가 자문결과가 반영된 연구성과물(업무분류체계, Process Flow Diagram, Process Map)을 토대로 업무 모듈 샘플을 구축하고, 협동기관 및 위탁기관이 협의하여 이후 생애주기 단계를 작성하였다. 통합지식관리시스템 구축을 위해 Balsamiq Mockups 프로그램 및 Microsoft Power Point를 활용하여 디자인 작업을 선행하였다. 본 보고서에는 플랜트 업무에서 주요 프로세스가 되는 설계, 구매조달, 시공 단계 일부의 내용을 설명하였으며, 화면 설계 및 시스템 개발 관련된 모든 부분은 설계서로 별첨하였다.

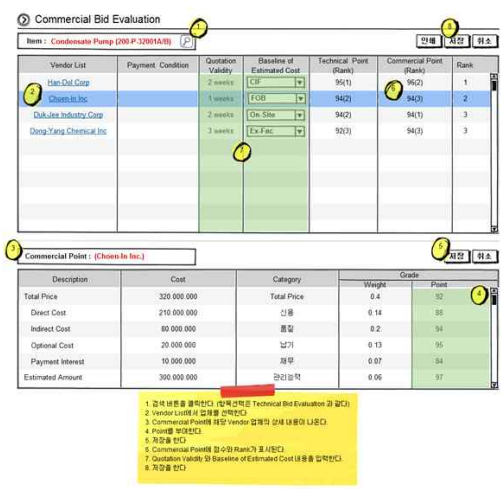
구분	개요	구성 UI (User Interface)	설명
설계 단계	설계 단계 초기 화면		- 각 단계별 초기화면에는 업무프로세스를 적용하여 클릭시 해당 엑티비티로 바로가도록 설정하여, 사용자 편의성을 향상시켰음 - 적용한 업무프로세스는 화면구성 및 편의상 분석한 Level 단위로 구분하여 적용하였음

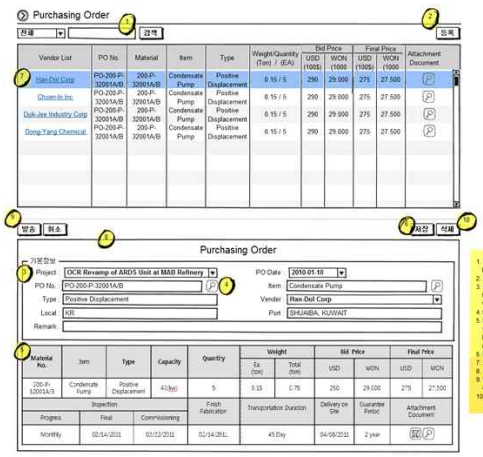
	설계 단계 BOM 화면		- 설계 단계에서 필요한 BOM을 입력하는 화면으로 종류별 및 공종별로 최대한 구분하여 데이터 입력하도록 하였으며, 향후 활용이 편리하도록 하였음 - 본 화면에서는 의사결정과 연관이 있으므로, 의사결정 버튼을 클릭하여 지원시스템으로 연결되도록 하였음

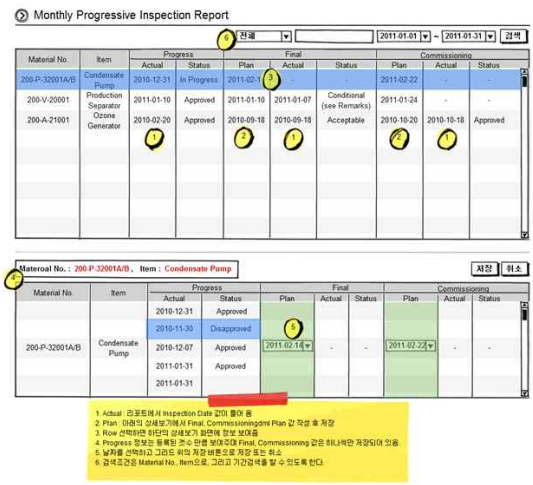
	설계 단계 BEDD 화면		- BEDD 기본설계 조건을 입력하는 화면 - BEDD 중에서도 요건별로 구분하여 입력이 가능하도록, 향후 데이터 활용을 위해 편의성을 고려하였음 - 본 화면에서는 의사결정과 연관이 있으므로, 의사결정 버튼을 클릭하여 지원시스템으로 연결되도록 하였음

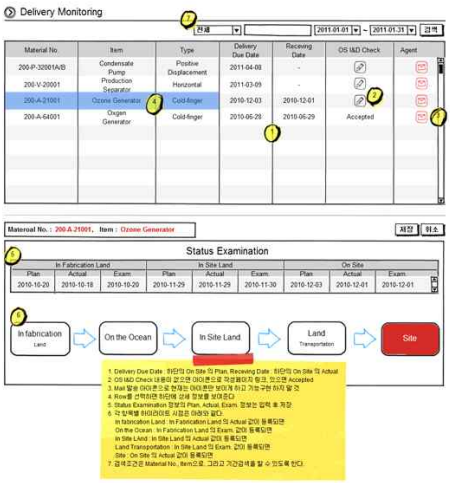
구매조달 단계	구매조달 단계 Technical Bid Evaluation 화면(1)		- 구매조달단계의 Technical Bid Evaluation 평가의 메인 화면 - 각 Vendor 리스트를 통해 Weight, Point 평가를 하고, 그 결과를 통해 우선순위를 도출하여 최종 PO 발행이 가능하도록 함

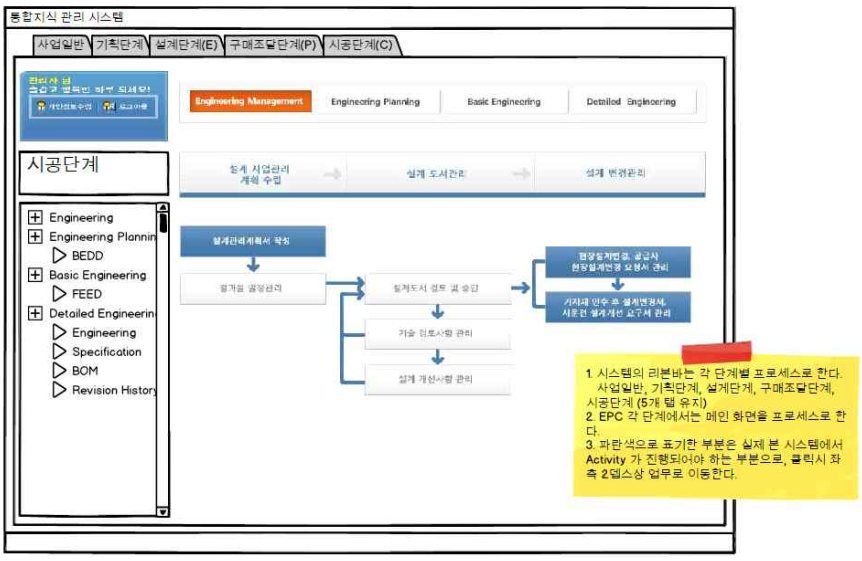
	구매조달 단계 Technical Bid Evaluation 화면(2)	UI Layout / System: 평가 / Issued: 2011.01.24 / Author: 남주현 / UI ID / UI Title: Technical Bid Evaluation Comment 관련 테이블 	- 구매조달 단계의 Technical Bid Evaluation의 세부 평가 항목의 화면 - Vendor에서 제공한 데이터가 기본적으로 적용되도록 하였으며, 불러오기를 통해 기존 데이터 및 선택했던 자재를 확인할 수 있음

	구매조달 단계 Commercial Bid Evaluation 화면	UI Layout / System: 평가 / Issued: 2011.01.24 / Author: 남주현 / UI ID / UI Title: Commercial Bid Evaluation Comment 관련 테이블 	- 구매조달단계의 Commercial Bid Evaluation 평가의 메인 화면 - 각 Vendor 리스트를 통해 Weight, Point 평가를 하고, 그 결과를 통해 우선순위를 도출하여 최종 PO 발행이 가능하도록 함

	구매조달 단계 Purchasing Order 화면	UI Layout: System: Purchasing Order; UI ID: ; Issued: 2011.01.24; Author: 남주현; UI Title: Purchasing Order Comment 관련 테이블 	- Technical Bid Evaluation 및 Commercial Bid Evaluation을 통해 평가된 자재를 최종 구매를 요청하는 화면 - PO 까지 발행하여, 본 시스템의 다음 단계인 물류관리에서 자재의 운송이력 및 관리가 가능하도록 하였음

	구매조달 단계 Progressive Inspection 화면	UI Layout: System: Progressive Inspection; UI ID: ; Issued: 2011.01.24; Author: 남주현; UI Title: Progressive Inspection Comment 관련 테이블 	- 구매조달 단계의 자재 검수 화면 - TB 및 CB 평가 이후 선택된 자재의 PO 발행에서 자재의 이동전 검수하는 단계로써, 각 자재별로 검사 결과 유무를 리포트로 제공하며, 이와 동시에 향후 물류 운송 계획을 기재하고 있음

	구매조달 단계 Transportation 화면	UI Layout: System: Transportation; UI ID: ; Issued: 2011.01.24; Author: 남주현; UI Title: Transportation Comment 관련 테이블 	- PO를 발행한 이후 단계의 화면으로, 자재의 전반적인 물류관리를 확인할 수 있는 화면 - 본 화면에서 자재의 운송이력 및 관리가 가능하도록 하였음

시공 단계	시공 단계 초기 화면		- 각 단계별 초기화면에는 업무프로세스를 적용하여 클릭시 해당 엑티비티로 바로가도록 설정하여, 사용자 편의성을 향상시켰음 - 적용한 업무프로세스는 화면구성 및 편의상 분석한 Level 단위로 구분하여 적용하였음

	시공 단계 Construction Execution Plan 화면		- 시공 단계의 Construction Execution Plan 으로, 시공에 있어 Revision 관리를 하기 위한 화면임 - 각 선택된 프로젝트의 시공 물량 계획의 입력이 가능하도록 함

(3) LNG 플랜트 EPC 표준 업무 모듈 개발

표준 업무 모듈은 선별적으로 추출된 업무항목을 토대로 작성되었으며, 이를 통해 업무의 정보연계 및 데이터베이스 간의 정보순환을 Test 하였다.

Balsamiq Mockups 프로그램을 이용해 각 단계별 UI 설계를 진행했으며, 작성된 업무 모듈의 샘플을 토대로 웹기반의 설계, 구매조달 및 시공단계 표준 업무 모듈을 개발하였다. 설계, 구매조달 및 시공의 각 단계 연계 관리를 통해 수행계획, 공정계획, 실행 예산 관리계획 및 인력계획 등을 효율적으로 알 수 있다.

개발을 위한 설계는 횡방향으로 프로세스 단위인 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계로 구분하여 진행하였으며, 이는 실제 프로세스 단계별 성과품이 완료되는 3~6차년도까지 순차적으로 개발을 완료해 나갔다. 또한, 종방향으로는 설계서의 필수 항목이 되는 Requirement, Data, Dialog, Action을 기재하여 개발할 수 있도록 준비하였다.

Requirement, Data, Dialog, Action 는 각 프로세스 단계 중에서 해당 Activity 가 되는 항목을 대상으로 진행하며, Requirement 에서는 안정성 요구사항, 보안 요구사항, 데이터베이스 요구사항, 사이트 적용 요구사항, 기타 요구사항 등 개발에 반영될 요구사항을 수준별로 작성하였다. Data 에서는 Activity에서 입력되어야 할 기본적인 항목을 일반 입력(Input), 일반 출력(Output), 또는 일반 외부 데이터 등으로 구분하여 기재하였다. 그리고 Dialog 는 구성화면을 의미한다. 실제 구현화면의 프로토타입(v0.1) 또는 앞서 작성한 UI 설계를 통해 최종 개발화면을 도출하고자 한다. 또한, Action 은 적용될 최종 구현화면의 웹화면 작동 범위를 설정한다. 이는 사용함에 있어 필수적인 부분으로, 각 화면의 입력사항이 해당이며, 대부분 추가, 입력, 삭제 등의 버튼으로 입력이 되도록 구성하였다.

다음은 설계단계의 BEDD(기본설계조건)의 일부 구성을 예시로 나타냈으며, 시스템 개발에 적용된 전체 설계서는 부록으로 첨부하였다.

1. 설계단계
1.1 BEDD (기본설계조건)
가) Requirement
- 설계기본조건인 BEDD를 관리하여 사업관리 방안을 도출한다.
나) Data
- 기본설계조던(BEDD) 기본 관리항목

· 계약요건
· 법적요건
· 설계기준서
· 품질, 안전, 환경요건
· 현장 조건 (Check List)

다) Dialog



라) Action

- 각 프로젝트별 특성을 고려하여 사용자가 Node 관리를 이용해서 추가, 수정, 삭제를 할 수 있다.
- 자료는 관리자의 권한에 따라 검색, 분류변경, 등록, 삭제 등 Revision 관리가 가능하다.

다. 주요결과 및 시사점

본 연구는 현재 LNG 플랜트 사업의 업무 효율성 향상과 EPC단계의 지식 및 정보의 활용을 극대화하기 위한 LNG플랜트 생애주기 최적 업무프로세스 및 지식·정보관리기술 개발을 개발하는 것이다.

이를 위하여 생애주기 단계별 기존 업무 분석, 사용자의 요구사항 조사 및 분석, 지식 및 정보의 활용을 위한 기존 시스템 조사 등을 실시하였다. 이를 토대로 EPC 단계별, 각 부서별로 격리된 업무의 흐름과 이에 포함된 지식, 정보를 저장하고 유통하고 재활용할 수 있는 기술을 통합 지식관리기술로 명명하고 통합지식관리시스템 구축을 위한 컨텐츠 및 기반 기술을 구축하였다.

7. EPC 단계별 정보지식관리 표준업무 지침서 개발

가. 접근방법

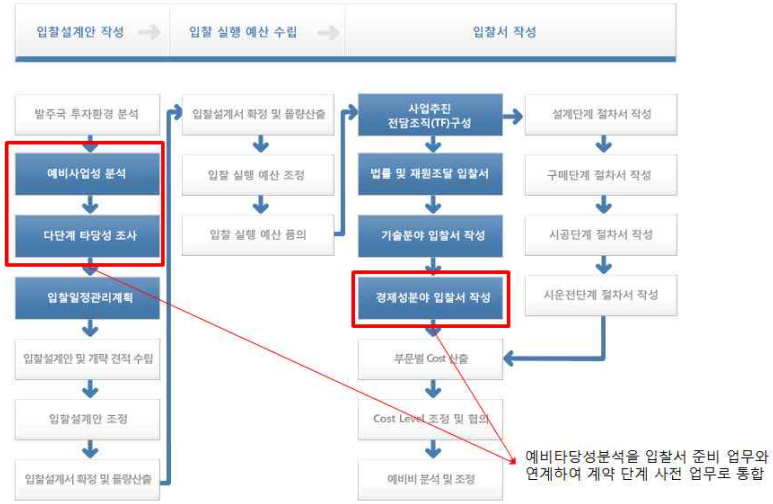
- LNG 플랜트 생애주기 단계별 통합업무 프로세스 구축
- LNG 플랜트 생애주기 단계별 표준업무지침서 개발

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 생애주기 단계별 통합업무 프로세스 구축

생애주기 단계별로 정립된 LNG 플랜트 업무들의 정보연계 및 인터페이스를 위해 설계(E), 구매조달(P), 시공(C) 단계를 통합 수행할 수 있는 업무 프로세스의 구축을 수행하였다. 생애주기 단계 통합업무 프로세스는 기 개발된 기획단계 표준 업무 모듈과 ECP 업무별 표준 업무 모델을 시스템적으로 통합하여 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 통합시스템 개발을 목적으로 하였으며, 이를 시스템 개발 설계서에 반영하였다.

기획단계는 앞 절에서 규명한 바와 같이 프로젝트 정보입수에서부터 단계별 업무수행계획 수립까지의 업무를 포함한다. 이 단계는 프로젝트 관리의 시발점으로 계약업무 수행에 필요한 사전 업무 즉, 예비타당성 조사 업무와 연관되며 이를 통합업무에 포함시켜 실질적인 전 생애를 관통하는 사업관리가 가능하도록 프로세스를 보완하였다. 해당 업무는 프로젝트 정보를 입수하고, 입찰설계안 작성 시 수반되는 업무로 정의하여 입찰과 계약 업무를 연계하는 통합 프로세스 맵에 반영하였다.<그림 2.50>



[그림 2.50] 사업성분석과 기획단계 업무 통합 프로세스 연계 구축

또한, EPC 단계별 업무는 기획단계의 후행 업무로 이들 업무와 직간접적으로 연계되어 있다. 기획단계의 사업수행 계획수립 업무와 EPC 업무가 연계되며, 프로세스 상에서의 위치는 사업관리 방안수립 업무의 후행 단계 프로세스로 인터페이스도록 구축하였다.<그림 2.51>



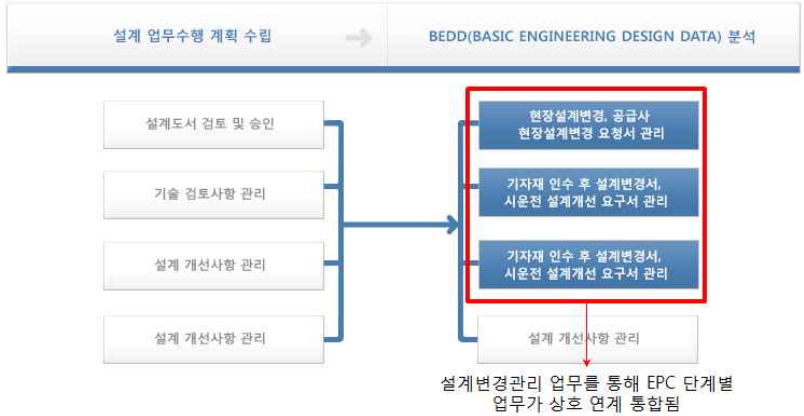
[그림 2.51] 기획단계와 ECP 단계 업무와 통합 프로세스 연계 구축

설계(E, 엔지니어링)단계는 크게 엔지니어링관리, 계획, 기본 및 상세엔지니어링의 4가지 프로세스로 구성되어 있다. 이 단계는 기획단계 업무모듈과 연계되어 업무 프로세스가 진행되며, 그 인터페이스는 상기 설명과 같다. 설계단계의 각 프로세스는 구매조달(P)과 시공(C)와 직간접적인 업무 연계성을 가지고 있다.

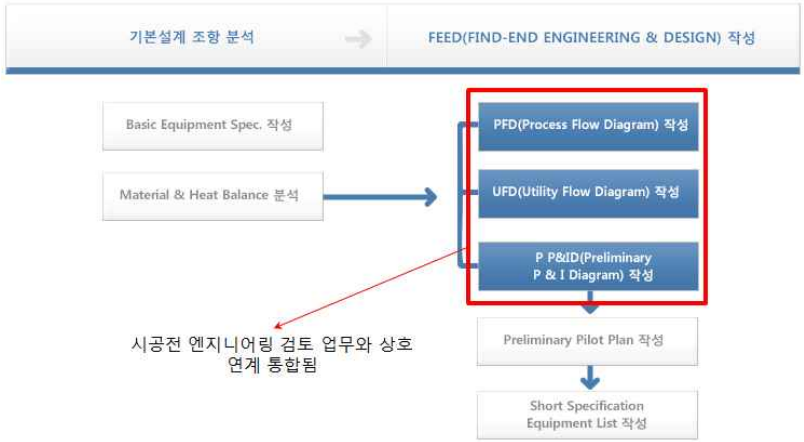
엔지니어링 관리 업무 중 설계 사업관리 계획 수립 후행 프로세스인 설계 변경관리를 통해 현장 여건 반영과 기자재 인수 및 시운전 설계개선 요구서 관리(시공단계)와 구매조달 공급사 요청서 관리(구매조달단계) 프로세스를 통해 통합 업무가 수행된다.<그림 2.52> 엔지니어링 계획 업무에서는 BEDD(Basic Engineering Design Data)분석 프로세스를 통해 시공 및 구매조달 업무와 연계 업무가 이루어진다.<그림 2.53> 기본 엔지니어링 업무는 BEDD를 바탕으로 FEED(Front End Engineering Design)작성 프로세스에서 프로젝트 요구사항을 설계에 반영하는 단계에서 엔지니어링, 구매조달, 시공의 업무가 상호 연계 통합된다.<그림 2.54> 상세엔지니어링 업무는 기본엔지니어링 업무를 바탕으로 프로젝트 현장의 구매조달, 시공 등 사업관리 업무와 관련하여 부품(기기)이나 수량 산출을 관리하는 BoM(Bill of Material), BoQ(Bill of Quantities) 업무와 상호 연계한 프로세스로 구축하였다.<그림 2.55>



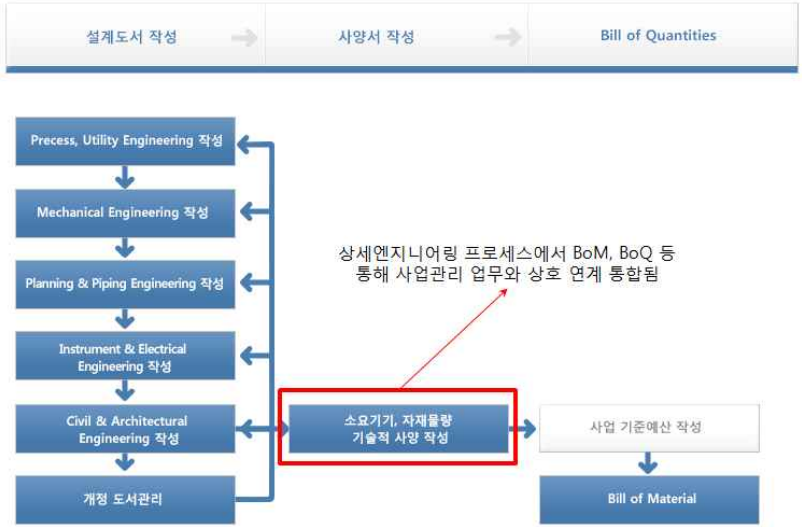
[그림 2.52] 엔지니어링 단계와 구매조달, 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(엔지니어링 관리 프로세스)



[그림 2.53] 엔지니어링 단계와 구매조달, 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(엔지니어링 계획 프로세스)



[그림 2.54] 엔지니어링 단계와 구매조달, 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(기본엔지니어링 프로세스)



[그림 2.55] 엔지니어링 단계와 구매조달, 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(상세엔지니어링 프로세스)

구매조달(P)단계는 크게 계획, 구매, 처리 및 검수, 운송의 4가지 프로세스로 구성되어 있다. 이 단계는 선행 업무로 기획 및 설계 단계 업무와 연계되며, 후행업무로 시공단계 업무가 진행된다. 따라서, 구매조달단계의 각 프로세스는 기획, 설계(E)와 시공(C) 업무와 직간접적인 업무 연계성을 가지고 있다.

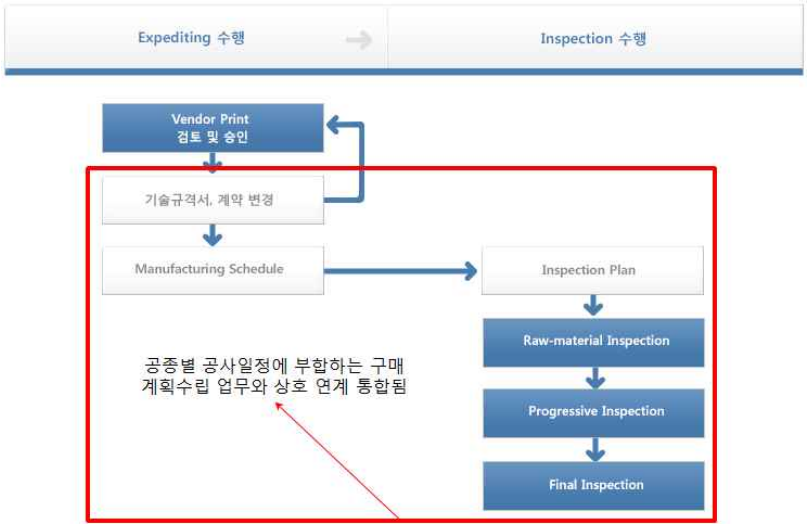
구매조달 계획 업무 중 구매조달 사업관리 계획 수립 프로세스의 구매 계획 수립 업무는 현장의 시공업무 일정과 직접 연계되기 때문에 시공단계에서도 중요한 연관 업무로 관리되는 프로세스이다.<그림 2.56> 구매 업무는 현장에서 필요한 요청서 작성을 입수하면서 시작되는 업무로 상호 연계된다.<그림 2.57> 처리 및 검수 업무는 현장 공사 일정에 부합하는 기기 및 부품의 제작 일정 관리와 현장 요구 규격을 만족하는지 여부를 검수하는 프로세스를 통해 시공단계 업무와 상호 연계 된다.<그림 2.58> 선적 업무는 현장에서 공사일정에 맞게 반입되어야할 구매조달 품목의 운송 과정을 모니터링하는 업무와 연계 프로세스로 구축되어 활용된다.<그림 2.59>



[그림 2.56] 구매조달 단계와 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(구매계획 수립 프로세스)



[그림 2.57] 구매조달 단계와 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(구매 프로세스)



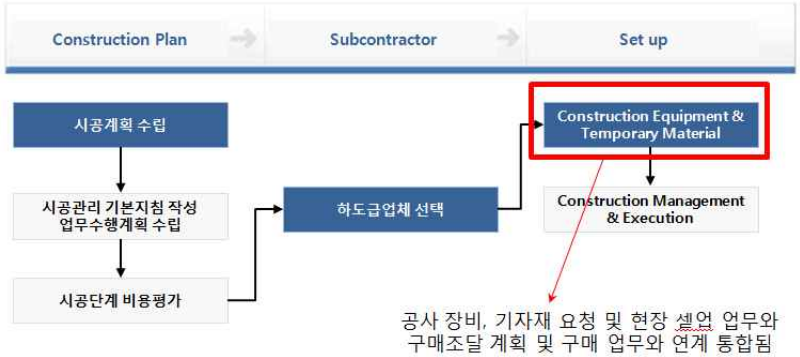
[그림 2.58] 구매조달 단계와 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(처리 및 검수 프로세스)



[그림 2.59] 구매조달 단계와 시공 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(운송 프로세스)

시공(C)단계는 크게 계획, 시공, 시운전의 3가지 프로세스로 구성되어 있다. 이 단계는 선행 업무로 기획, 설계, 구매조달 단계 업무와 연계되며, 업무 프로세스 간의 인터페이스에 대한 설명은 전술한 선행 업무 프로세스와의 연관 관계와 동일하다.<그림 2.60> 시공단계에서는 시공계획에서 현장 장비나 기기의 셀업과 구매조달 업무가 연계 프로세스로 진행되며, 기타 업

무들은 선행 업무 단계별 프로세스 연관관계 설명을 참고하기 바란다.

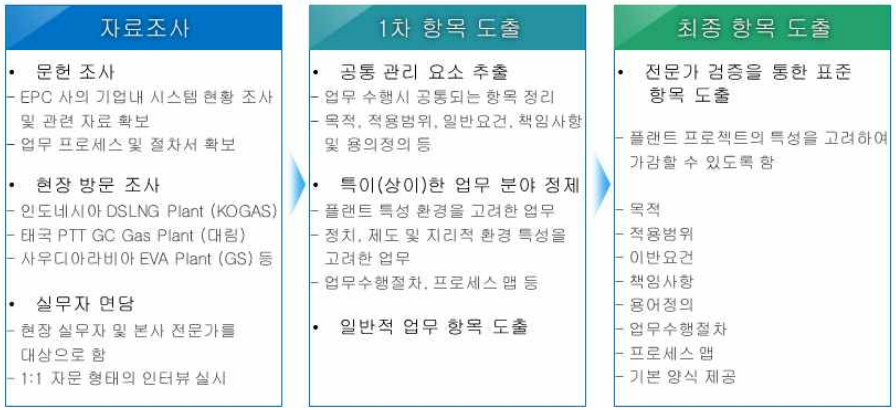


[그림 2.60] 시공 단계와 선행 업무 단계와의 통합 프로세스 연계 구축
(건설계획 프로세스)

이와 같이 LNG 플랜트 생애주기 단계를 관통하는 기획, 설계, 구매조달, 시공 단계는 업무간 선후행 프로세스에 따라 상호 연계성을 가지고 있어 각 업무 혹은 업무 경계면에서 데이터 인터페이스와 상호 운용성이 확보되어야 한다. 상기와 같이 규명된 생애주기 단계간 업무 프로세스 상호 연계 프로세스는 통합시스템 개발에 반영하였으며, 업무 표준 모듈의 주요 기능 마다 프로세스 맵을 제공함으로써 사용자 편의성을 향상시켰다.

(2) LNG 플랜트 생애주기 단계별 표준업무 지침서 개발

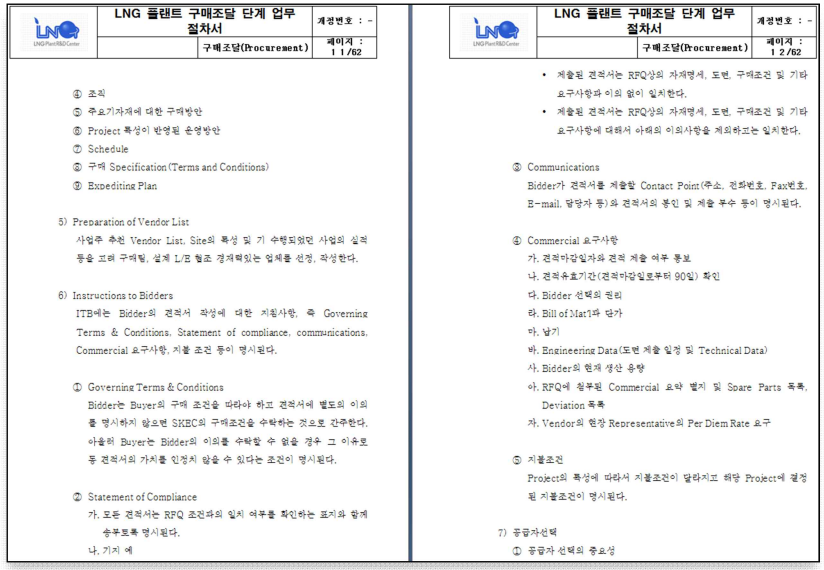
표준업무 지침서 구축을 위한 선행작업으로 표준업무 프로세스의 구축과 마찬가지로 기존의 플랜트 프로젝트 업무를 수행하고 있는 EPC 사를 통해 현재 사용 중인 플랜트 업무관리 매뉴얼을 확보하였다. <그림 2.61> 와 같이, 표준업무 지침서 구축은 3단계로 나누어 진행하였으며, 문헌조사, 현장방문 조사 및 실무자 면담을 통해 1차 항목을 도출하고, 시스템에 적용할 표준업무 지침서를 최종도출 하였다.



[그림 2.61] 표준업무 지침서 개발을 위한 구축 프로세스

1차적인 조사로써 문헌조사, 현장방문 조사 및 실무자 면담을 진행하였으며, 이 과정에서 업무 프로세스는 각 사의 고유 업무 특성에 맞게 독자적인 지침서를 보유하고 있고, 또 플랜트 산업의 특성상 정보가 곧 그 분야의 경쟁력임을 감안하면 현실적으로 공개적인 자료의 조사나 취득이 매우 어려운 애로 사항이 있었다. 이에 본 연구진은 주요 관련 기업에서 사용 중인 업무 프로세스 및 지침서등 관련 자료의 확보 후, 현장 실무자 및 본사 전문가를 대상으로 직접 인터뷰하여 자문형식으로 조사를 실시하였다.

각 기업에서 보유 중인 업무 프로세스 및 지침서의 실제 현장 활용 정도 및 준수 여부 등을 확인하고자, 우선적으로 해외 현장의 실무자를 찾아가 면담하였다. 그 결과 해외 설계사 및 벤더간의 컨소시엄을 구성하고, 이에 협업이 필요한 분야에서는 지침서대로 과업을 준수하기에는 어려움이 많았다. 또한 해외 국가간의 정치적, 제도적 및 지리적 환경 특성 등을 고려할 때, 실제 프로젝트 현장에서의 업무와는 차이가 나는 부분이 많음을 알 수 있었다. 이러한 현장 실무자들과의 면담을 통해 업무지침서의 공통점 및 상이점을 추출하였으며, 면담 조사 결과 각 사의 기존 업무 지침서는 기업 고유의 특성에 맞게 업무 위계나 지침서의 구체성 등에서 상이하였다. 이에 특정 업무 분야나 공종에 구애받지 않고 일반적으로 활용 가능한 표준 업무 지침서를 마련하여 제공하기 위해 조사·분석 대상 지침서의 공통점 및 상이점을 분석하여 1차적으로 지침서 항목을 추출하였다. 지침서 항목의 객관적 검토 및 신뢰성 확보를 위해 전문가 검증을 수행하였다.


LNG 플랜트 구매조달 단계 업무 절차서 | 제정번호 : - | 구매조달(Procurement) | 페이지 : 11/62

④ 조직
⑤ 주요기자재에 대한 구매방안
⑥ Project 특성이 반영된 운영방안
⑦ Schedule
⑧ 구매 Specification (Terms and Conditions)
⑨ Expediting Plan

5) Preparation of Vendor List
사업주 추천 Vendor List, Site의 특성 및 기 수행되었던 사업의 실적 등을 고려 구매팀, 설계 L/D 협조 경력력있는 업체를 선정, 작성한다.

6) Instructions to Bidders
ITB에는 Bidder의 견적서 작성에 대한 지침사항, 즉 Governing Terms & Conditions, Statement of compliance, communications, Commercial 요구사항, 지불 조건 등이 명시된다.

① Governing Terms & Conditions
Bidder는 Buyer의 구매 조건을 따라야 하고 견적서에 별도의 이의를 명시하지 않으면 SKEC의 구매조건을 수락하는 것으로 간주한다. 아울러 Buyer는 Bidder의 이의를 수락할 수 없을 경우 그 이유로 등 견적서의 가치를 인정치 않을 수 있다는 조건이 명시된다.

② Statement of Compliance
가. 모든 견적서는 RFQ 조건과의 일치 여부를 확인하는 표지와 함께 송부토록 명시된다.
나. 기지 예

LNG 플랜트 구매조달 단계 업무 절차서 | 제정번호 : - | 구매조달(Procurement) | 페이지 : 12/62

• 제출된 견적서는 RFQ상의 자재명세, 도면, 구매조건 및 기타 요구사항과 이의 없이 일치한다.
• 제출된 견적서는 RFQ상의 자재명세, 도면, 구매조건 및 기타 요구사항에 대해서 아래의 이의사항을 제외하고는 일치한다.

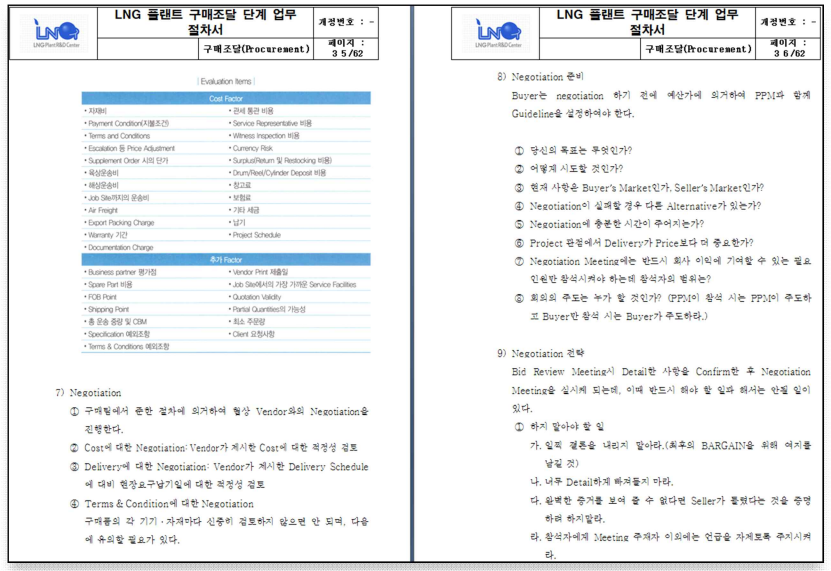
③ Communications
Bidder가 견적서를 제출할 Contact Point(주소, 전화번호, Fax번호, E-mail, 담당자 등)와 견적서의 봉인 및 제출 부수 등이 명시된다.

④ Commercial 요구사항
가. 견적마감일자와 견적 제출 여부 통보
나. 견적유효기간(견적마감일로부터 90일) 확인
다. Bidder 선택의 원리
라. Bill of Mat'l과 대가
마. 납기
바. Engineering Data(도면 제출 일정 및 Technical Data)
사. Bidder의 현재 생산 용량
아. RFQ에 첨부된 Commercial 요약 별지 및 Spare Parts 목록, Deviation 목록
자. Vendor의 현장 Representative의 Per Diem Rate 요구

⑤ 지불조건
Project의 특성에 따라서 지불조건이 달라지고 해당 Project에 결정된 지불조건이 명시된다.

7) 공급자선택
① 공급자 선택의 중요성

[그림 2.62] 표준업무 지침서 예시 (1)


LNG 플랜트 구매조달 단계 업무 절차서 | 제정번호 : - | 구매조달(Procurement) | 페이지 : 35/62

[Evaluation Items]

Cost Factor	
• 지불비	• 판매 통관 비용
• Payment Condition(지불조건)	• Service Representative 비용
• Terms and Conditions	• Witness Inspection 비용
• Escalation 등 Price Adjustment	• Currency Risk
• Supplement Order 시의 단가	• Surplus(Return 및 Restocking 비용)
• 육상운송비	• Drum/Reel/Cylinder Deposit 비용
• 해상운송비	• 창고료
• Job Site까지의 운송비	• 보험료
• Air Freight	• 기타 제경
• Export Packing Charge	• 납기
• Warranty 기간	• Project Schedule
• Documentation Charge	
추가 Factor	
• Business partner 평가점	• Vendor Print 제출일
• Spare Part 비용	• Job Site에서의 가장 가까운 Service Facilities
• FOB Point	• Quotation Validity
• Shipping Point	• Partial Quantities의 가능성
• 총 운송 중량 및 CBM	• 최소 주문량
• Specification 예외조항	• Client 요청사항
• Terms & Conditions 예외조항	

7) Negotiation
① 구매팀에서 준한 절차에 의거하여 협상 Vendor와의 Negotiation을 진행한다.
② Cost에 대한 Negotiation: Vendor가 제시한 Cost에 대한 적정성 검토
③ Delivery에 대한 Negotiation: Vendor가 제시한 Delivery Schedule에 대비 현장요구납기일에 대한 적정성 검토
④ Terms & Condition에 대한 Negotiation
구매품의 각 기기·자재마다 신중히 검토하지 않으면 안 되며, 다음에 유의할 필요가 있다.

LNG 플랜트 구매조달 단계 업무 절차서 | 제정번호 : - | 구매조달(Procurement) | 페이지 : 36/62

8) Negotiation 준비
Buyer는 negotiation 하기 전에 예산가에 의거하여 PPM과 함께 Guideline을 설정하여야 한다.

① 당신의 목표는 무엇인가?
② 어떻게 시도할 것인가?
③ 현재 사항은 Buyer's Market인가, Seller's Market인가?
④ Negotiation이 실패할 경우 다른 Alternative가 있는가?
⑤ Negotiation에 충분한 시간이 주어지는가?
⑥ Project 관점에서 Delivery가 Price보다 더 중요한가?
⑦ Negotiation Meeting에는 반드시 회사 이익에 기여할 수 있는 필요 인원만 참석시켜야 하는데 참석자의 범위는?
⑧ 회의의 주도는 누가 할 것인가? (PPM이 참석 시는 PPM이 주도하고 Buyer만 참석 시는 Buyer가 주도하라.)

9) Negotiation 전략
Bid Review Meeting시 Detail한 사항을 Confirm한 후 Negotiation Meeting을 실시해 되는데, 이때 반드시 해야 할 일과 해서는 안될 일이 있다.
① 하지 말아야 할 일
가. 일찍 결론을 내리지 말아라.(최후의 BARGAIN을 위해 여지를 남길 것)
나. 너무 Detail하게 따져들지 마라.
다. 완벽한 증거를 보여 줄 수 없다면 Seller가 틀렸다는 것을 증명하려 하지말라.
라. 참석자에게 Meeting 주제와 이외에는 언급을 자제토록 주지시켜라.

[그림 2.63] 표준업무 지침서 예시 (2)

이러한 현장 실무자 및 전문가 검증을 통한 피드백으로 최종 표준업무 지침서를 구축하였다. 이는 본 시스템의 EPC 각 단계별 최상단에 구축된 업무프로세스와 함께 매뉴얼 버튼을 통해 제공하였다.

본 절에서는 표준업무 지침서의 구성 및 내용의 정의를 기재하였으며, 표준업무 지침서의 일부 예시는 다음과 같다. 또한 최종 표준업무 지침서는 본 보고서의 부록에 “플랜트 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서”로 첨부하였다.

표준업무 지침서는 각 EPC 프로세스 단계별로 제공하고 있으며, 기본적으로 목적, 적용범위, 일반요건, 책임사항, 용어정의, 업무수행절차, 프로세스 맵, 기타 제공 양식으로 구성되어 있으며, 이러한 목차 이전에 개정 이력을 남겨놓도록 하여 현 프로젝트의 관리 시점에서 기업 내의 전략을 반영할 수 있도록 업무지침의 버전관리가 가능하도록 하였다.

각 EPC 단계별 표준업무 지침에서 목적, 적용범위, 일반요건, 책임사항 및 용어정의는 LNG 플랜트에 국한된 부분이기보다, 플랜트 프로젝트의 보편적인 부분이라 할 수 있으며, 단계별 추진 업무 및 세부 추진사항을 수행함에 있어, 최선의 형태로 활용될 수 있도록 업무 효율을 극대화 하는데 목표를 두고 있다. 그리고 본 지침의 핵심이 되는 업무 수행 절차는 최대한 세부적으로 기재되어 있으며, 해외 LNG 플랜트 프로젝트의 정치적, 제도적 및 지리적 환경 특성을 고려하여 가감할 수 있도록 하고 있다.

8. EPC 단계별 정보지식관리 업무 모듈 개발

가. 접근방법

- LNG 플랜트 생애주기 정보지식관리 모듈 프로토타입 개발

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 생애주기 정보지식관리 모듈 프로토타입 개발

대량의 데이터로부터 유용한 정보를 찾기 위한 요구가 증가하면서 메타데이터 및 데이터 마이닝에 대한 관심과 수요가 증가하고 있다(이일엽, 2012). 따라서 본 연구에서는 메타데이터 관리기법을 활용한 데이터 마이닝 기법을 분석하여 통합지식관리시스템의 정보들이 어떻게 생성되어 저장되고 저장된 정보들이 지식으로 변환되어 사용자에게 제공되는 방법을 제시한다.

또한, 시맨틱 웹이 대두되면서 온톨로지의 사용이 점차 늘어나고 있다. 동일한 분야에 관한 온톨로지일지라도 구축 방법과 활용형태에 따라 같은 개념이 다른 형태로 표현되거나, 다른 개념이 같은 형태로 표현될 수 있다. 이러한 온톨로지들을 공유하고 재사용하기 위해서는 온톨로지의 매핑이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 상기 메타데이터 및 데이터 마이닝 기법에 대한 분석을 기반으로 온톨로지 모듈을 규명하여 생애주기 단계별 통합지식관리 기법을 구축한다.

(가) 정보지식관리를 위한 요소기술 분석

① 메타데이터 선행연구 및 기법 분석

대부분의 메타데이터가 연구자에 의해 개발이 됨에 따라 실제로 검색엔진이나 이용자를 고려하는 부분이 취약하다고 할 수 있다. 이에 2005년도 이후에는 많은 연구자들에 의해 메타데이터 생성자 또는 사용자, 검색엔진의 측면에서 메타데이터의 유용성이나 효율성을 높일 수 있는 방안을 모색하는 연구가 진행되고 있는 것으로 조사되었다(Fagan 2006; Walz & Brenny 2005; Wilson 2007; Wrubel & Schmidt 2007).

또한 메타데이터를 생성하거나 사용하는 집단에 따라서 선호하는 메타데이터 항목에 차이가 있을 것이라는 연구가 수행되었다. Zhang과 Jastram(2006)은 인터넷 상의 각각 다른 그룹의 이용자들이 생성한 메타데이터들의 생성 형태가 어떻게 다른지를 비교하였으며, 그 결과 사서집단, 정부 및 비영리기관, 비즈니스 및 상업기관, 정보기술관련 기관에 소속된 전문가들 간의 메타데이터 선호 항목에 차이가 있음을 발견하였다. 탐색엔진은 특정항목(Title, Keyword, Description)에 보다 관심이 높다는 연구도 있다(Zhang & Dimitroff, 2005).

Wilson(2007)은 메타데이터 전문가가 아닌 주제전문가에 의해 메타데이터 항목이 생성되도록 했을 때의 효율성을 평가하기 위해, RILM Abstracts of Music Literature 데이터베이스의 메타데이터 항목에 대한 연구를 수행하였다. 그녀는 메타데이터의 생성은 시간이 많이 걸리고 비용이 많이 들며, 과다한 정보량으로 모든 메타데이터를 입력하는 것은 불가능하다고 지적하였다. 이에 그녀는 정보생산자가 직접 메타데이터를 생산하거나 주제분야 전문가가 데이터를 생성하도록 함으로써 메타데이터의 질을 손상시키지 않고 시간과 비용을 절감할 수 있다고 하였다.

위의 연구들을 종합하여 보았을 때, 메타데이터를 개발하는 집단과 메타데이터를 생산하는 집단 간의 인식 차이, 즉 선호하는 항목에 대한 차이, 개발된 메타데이터 항목과 실제로 입력되는 메타데이터 간의 차이 등으로 인하여, 메타데이터의 개발은 메타데이터 자체 전문가가 아닌 데이터 생성자의 의견을 반영하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 또한, 메타데이터의 개발이 사용자들의 사용성 테스트를 거쳐 개발되어야 한다는 주장이 많다는 것도 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 개발된 메타데이터에 메타데이터를 주로 입력하게 될 이용자들의 의견을 반영하고자 하였다.

IT산업의 급속한 발전으로 정보량이 급증하여, Robot, Spider 등을 활용한 기존정보 검색이 한계점에 부딪힌다. 또한 Full Text 검색 방식으로는 이용자에게 부담을 주며, 상당수 부적합한 내용이 검색되는 등의 문제점이 발생하였다. 이에 디지털 정보차원의 효율적인 검색과 체계적 관리 및 자원과의 상호 운영상 지원을 목적으로 메타데이터가 출현하였다(유사라, 2010). 메타데이터는 기록의 맥락(context)과 내용(content), 구조 및 관리내력(management through time)에 대하여 기술하는 데이터로 정의하고 있고, 가장 중요한 기능은 기록물에 기록속성을 부여하는 것이다(조준배, 2009). 즉, 메타 데이터는 무슨(What) 데이터가 어디에(Where) 있는지를 알려줄 뿐만 아니라, 그 데이터가 어떻게(How)되어 있는지, 왜(Why) 그곳에 있는지를 알려준다. 여기에는 콘텐츠의 위치와 내용, 작성자에 관한 정보, 권리 조건, 이용 조건, 이용

내력 등이 기록되어 있다. 컴퓨터에서는 보통 메타데이터를 데이터를 표현하기 위한 목적과 데이터를 빨리 찾기 위한 목적으로 사용하고 있다.

가트너(Gartner)는 2008년 10대 전략 기술 발표에서 앞으로 3년 동안 기업에 매우 큰 영향을 끼칠 수 있는 가능성이 있는 기술로 그린 IT와 함께 메타데이터 관리를 전략 기술로 정의하였다. 또한 2009년 10대 전략기술에 포함된 비즈니스 인텔리전스(Business Intelligence)의 기반이 바로 메타데이터 관리이다.

그리고 메타데이터 관리는 기업 정보 인프라의 중요한 부분으로, 재사용, 일관성, 보전성과 공유성을 지속하기 위해 메타데이터의 최적화, 추상화 및 의미적 조정을 가능하게 한다. 또한 데이터에 대한 중앙관리를 가능하게 하며 표준화된 용어로 사용자 인터페이스를 설계함으로써 시스템의 활용도를 향상시키는 목적을 가지고 있다.

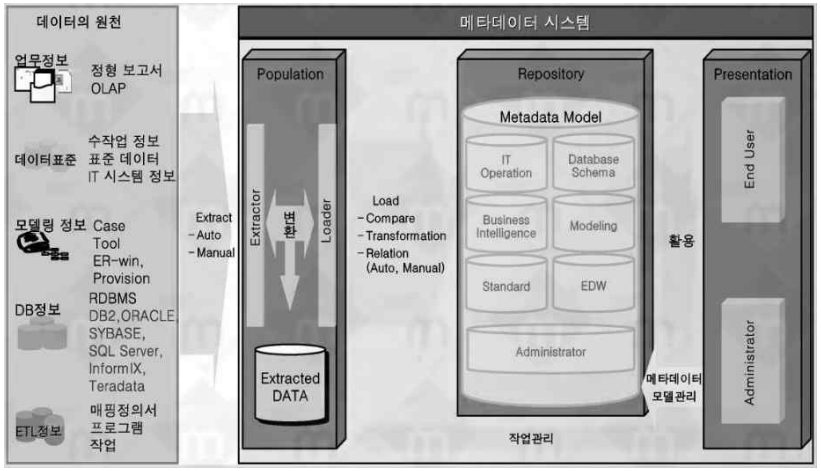
이런 메타데이터는 기술(descriptive) 메타데이터와 구조(structural) 메타데이터가 있다. 기술 메타데이터는 기록의 지적 내용에 관한 특징을 포함함으로써 기술 대상 기록을 검색할 수 있도록 해주며, 구조 메타데이터는 개별 기록 단위에서 전체를 구성하는 각각의 부분 간의 관계를 보여준다.

<그림 2.64>는 일반적으로 메타데이터가 생성되어서 활용되고 관리되어지는 과정을 보여준다. 이와 같은 과정은 다음과 같은 기본적인 요구사항을 만족해야 한다(Drik Balfanz, 1999).

1) 기존 메타데이터 모델 수용
2) 메타데이터 표준 모델 수용
3) 사용자의 요구를 충족할 수 있도록 확장 가능

위와 같은 요구사항을 만족하기 위해서는 다음과 같은 모델 구축 기준이 필요하다(Drik Balfanz, 1999).

1) 메타데이터의 목적은 자료의 특징을 설명하고 자료 관리를 위해 필요한 정보를 포함한다.
2) 메타데이터는 필수 요소와 선택 요소로 2단계의 레벨로 나누어 속성을 기술한다.
3) 자료에 대한 다양한 분류를 적용한다.



[그림 2.64] 메타데이터 생성, 활용 및 관리 개념(조준배, 2009)

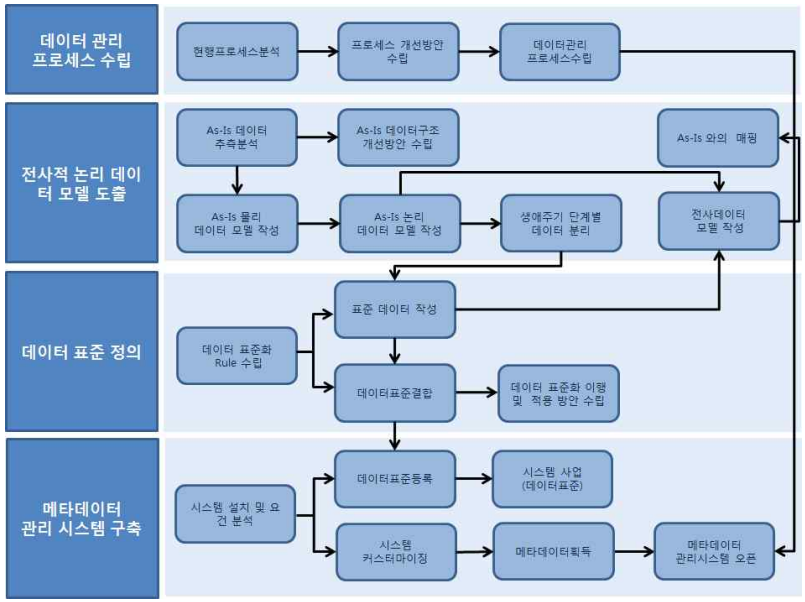
그리고 메타데이터를 활용한 시스템 구축 시에는 시스템 관리를 위한 규칙이 필요하며, 운영프로세스가 정립돼야 한다. 새로운 용어 추가 시 기존 용어집에 따른 승인/거부 같은 판단 방법 등 일종의 규칙을 통해 시스템화 작업이 추진돼야 한다. 또한 메타 정보 변경 시 연관 관계를 파악해 업무 흐름이 바뀌면 데이터 구조도 바뀐다는 개념을 고려해야한다(안형근, 2007).

<그림 2.65>는 본 연구에서 통합지식관리시스템의 메타데이터 생성 프로세스를 나타낸 것이다. 사용자가 필요로 하는 요구 사항과 현행 시스템을 정확하게 파악하지 못할 수 있는 한계를 피하기 위해 메타데이터 구현 과정에서 플랜트 프로젝트 전문가 및 현업 실무자의 요건 정의 과정과 이미 메타데이터 시스템의 요구사항을 수집하였으며, 다른 구축 사례를 파악해 장점과 실패의 요인을 분석하고, 구현 범위를 설정하는 구체적인 전략적 방법론을 구축하였다.

선진 시장의 전략을 기반으로 대기업들의 운영 노하우를 접목해 일시적 이벤트가 아닌 업무와 지속적인 프로세스 연결 관계, 프로젝트 환경에 적합한 관리 전략, 조직 등의 큰 틀을 설정한 후 개발 운영에 필요한 항목을 추출하고, 관리대상을 선정하고, 전체 데이터가 연결되어 움직일 수 있도록 설계하였다.

시스템 구현은 Phased Approach 방식으로, 사용자의 활용도가 높은 정보부터 제공하는 순서로 개발을 진행할 수 있도록 하였으며, 사용자의 활용도를 증가시키기 위해 프로세스에 의한 정보 생성, 활용 및 관리 방안을 채택함에 따라 사용자들의 업무 적용을 자연스럽게 유도

하면서 추가적인 사용자 요구사항을 반영할 수 있도록 하였다.



[그림 2.65] 메타데이터 생성 프로세스

② 데이터마이닝 선행연구 및 기법 분석

데이터 마이닝에 대한 선행연구는 <표2.19>과 같다.

선행연구를 분석한 결과 데이터 마이닝은 몇 가지 관점에서 특징을 가지고 있는데 그 특징을 보면 다음과 같다.

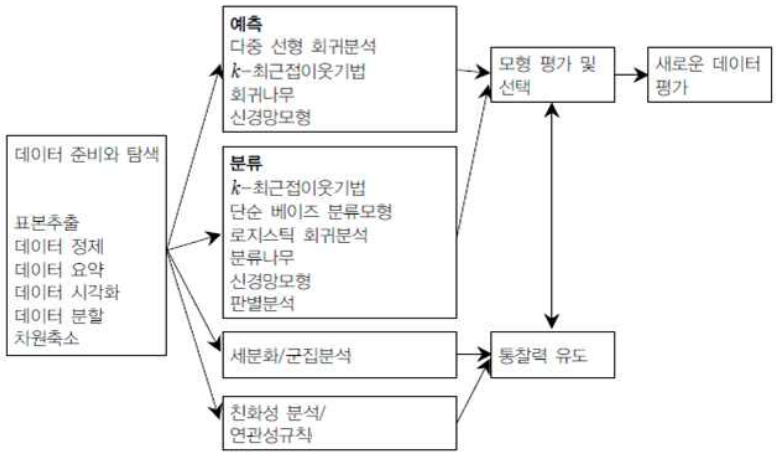
1) 대용량의 관측 가능한 자료를 다룬다.
2) 컴퓨터 중심적 기법이다.
3) 경험적 방법에 근거하고 있다.
4) 일반화에 초점을 두고 있다.
5) 기업의 다양한 경영상황 하에서 경쟁력 확보를 위한 의사결정을 지원하기 위해 활용될 수 있다.
6) 통계학, 컴퓨터과학, 인공지능, 공학과 같은 분야에서 개발된 특징을 가지고 있다.

[표 2.19] 데이터 마이닝 선행연구 현황

저자(연도)	제목
이동규(2010)	데이터 마이닝을 활용한 건설 중대재해 분석
박보은(2011)	데이터 마이닝을 이용한 실시간 품질관리시스템 구축에 관한 연구
임준호(2011)	연관규칙을 이용한 의료 데이터 마이닝
신현욱(2011)	데이터 마이닝 기법을 이용한 지체장애인 취업결정요인 분석 연구
김성동(2012)	주식투자의 의사결정 지원을 위한 데이터 마이닝 도구

데이터 마이닝 기법은 대용량의 데이터로부터 이들 데이터 내에 존재하는 관계, 패턴, 규칙 등을 탐색하고 모형화함으로써 유용한 지식을 추출하는 일련의 과정을 말한다(이일엽, 2012). 데이터 마이닝 기법은 추출된 지식을 데이터 모델로 표현하는데 수행하는 데이터 마이닝 알고리즘에 따라 데이터 마이닝 모델의 표현이 결정된다(MacLennan J, 2009). 데이터 마이닝 모델을 표현하는 방법은 다양하지만, Data Mining Group(DMG)에 제안한 XML 기반의 PMML(Predictive Model Markup Language)이 널리 사용된다(Pechter R, 2009).

<그림 2.66>은 프로세스 관점에서의 데이터 마이닝에 대한 주요 개념을 도식화 한 것으로 각 주요개념에 대한 상세한 내용은 다음과 같다.



[그림 2.66] 프로세스 관점의 데이터 마이닝(이일엽. 2012)

가) 분류(classification)

분류는 데이터 분석의 가장 기본적인 형태이다. 예를 들면 상대방으로부터 판매 또는 구매 제안을 받은 사람은 이에 반응하거나 반응하지 않는 사람으로 분류되며, 대출신청자는 제때 또는 늦게 돈을 갚거나 파산을 선언하는 사람으로 분류된다. 신용카드 거래의 경우에는 정상 또는 부정거래로 분류되고, 네트워크를 통한 패킷단위의 데이터 전송은 안전하거나 위험한 데이터 전송으로 분류될 수 있다. 그밖에 회사소속 버스 운행이 가능하거나 불가능한 것으로 구분할 수 있으며, 질병환자는 병이 완치되든지 아니면 여전히 아프거나 사망하는 환자로 분류된다.

데이터마이닝의 일반적인 임무는 분류결과가 알려져 있지 않거나 미래에 발생할 경우에 어떤 분류결과가 나타나는지 또는 나타날 것인지를 예측할 목적으로 데이터를 조사하는 것이다. 즉, 분류결과가 알려진 유사 데이터를 사용하여 규칙들을 찾아낸 다음, 그 규칙들을 분류결과가 알려지지 않은 해당 데이터에 적용하는 것이다.

나) 예측(prediction)

예측은 집단변수보다는 수치형(정량)변수의 값을 예측한다는 점을 제외하고는 분류문제와 유사하다. 물론 분류문제는 집단을 예측하는 것이 목적이지만, 이 책에서 사용되는 예측이라는 용어는 연속형 변수의 값을 예측하는 것을 가리킨다. 일부 데이터마이닝 관련 문헌에서는 추정(estimation)이라는 용어가 연속형 변수의 값을 예측한다는 의미로 사용되기도 하며, 예측은 연속형과 범주형 데이터 모두를 예측한다는 의미로 사용되기도 한다.

다) 연관성규칙(association rules)

대량의 고객거래 데이터베이스는 구매항목들 간의 연관성, 즉 어떤 항목이 어떤 항목과 관련되는지에 대한 분석에 알맞다. 이때 연관성규칙 또는 친화성 분석(affinity analysis)은 다양한 방식으로 사용된다. 예를 들어 식료품점에서는 할인쿠폰을 발행하기 위해서 고객이 구매한 모든 물품들을 조사한 후에 이 정보를 이용하여 고객의 구매결과들을 연관성규칙으로 표현함으로써 어떤 물품을 할인할지를 결정한다. 온라인 상점들은 고객에게 새로운 구매를 추천해주는 추천시스템의 핵심기법으로 이 기법들을 사용하고 있다.

라) 데이터 축소(data reduction)

분별력이 있는 데이터 분석이 되기 위해서는 일반적으로 복잡한 데이터를 단순한 데이터로

정제시켜야 한다. 예를 들어 데이터 분석가는 수천 개의 제품유형을 소그룹의 집단으로 묶는 시도를 한다. 데이터 축소는 이렇게 대량의 변수 또는 레코드들을 작은 변수군 또는 레코드 집합으로 병합하는 과정을 말한다.

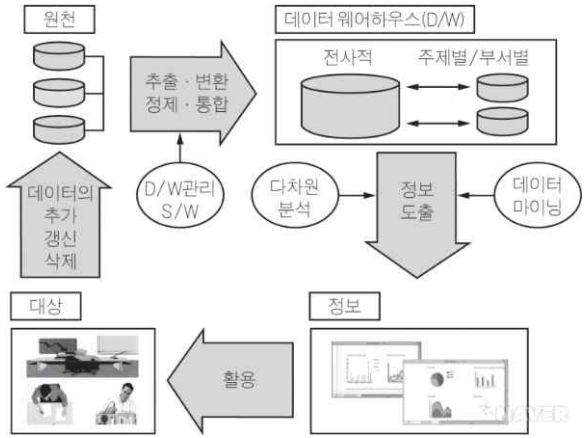
마) 데이터 탐색

데이터분석 프로젝트가 미리 정해진 특정 문제를 해결하는 데 매우 세밀한 초점을 두고 있지 않다면, 데이터 프로젝트의 본질적인 부분은 데이터가 어떤 메시지를 담고 있는지를 알아내기 위해서 탐정가의 범죄현장 조사처럼 충분히 이를 검토하고 조사하는 것이다. 이때 데이터를 완전하게 이해하기 위해서는 세부적인 데이터 특성을 유지하면서 데이터 전체의 특성을 파악할 수 있도록 데이터의 척도 또는 차원을 축소시킬 필요가 있다. 즉, 비슷한 정보를 내포하고 있는 서로 유사한 변수들은 이를 통합하여 하나의 단일 변수로 병합될 수 있다. 이와 비슷하게 레코드 관점에서는 서로 비슷한 레코드들을 하나의 레코드 그룹으로 통합시킬 수 있다.

바) 데이터 시각화

데이터가 어떤 정보를 갖고 있는지를 보기 위한 데이터 탐색의 또 다른 기법으로는 그래프 분석이 있다. 이 기법은 변수 간의 관계를 보는 것뿐만 아니라 각각의 변수를 개별적으로 조사한다. 수치형 변수에 대해서는 그 변수값의 분포를 파악하고 극단치(outliers)를 찾아내며, 분석업무와 관련된 다른 정보를 발견하기 위해 히스토그램(histogram)과 상자그림(boxplot)을 이용한다. 이와 유사하게 범주형 변수에 대해서는 차트(charts)와 원형 차트(pie charts)를 이용한다. 또한 변수 간의 가능한 관계들, 관계유형, 그리고 극단치를 찾기 위해 한 쌍의 수치형 변수에 대한 산점도(scatterplots)를 조사할 수 있다.

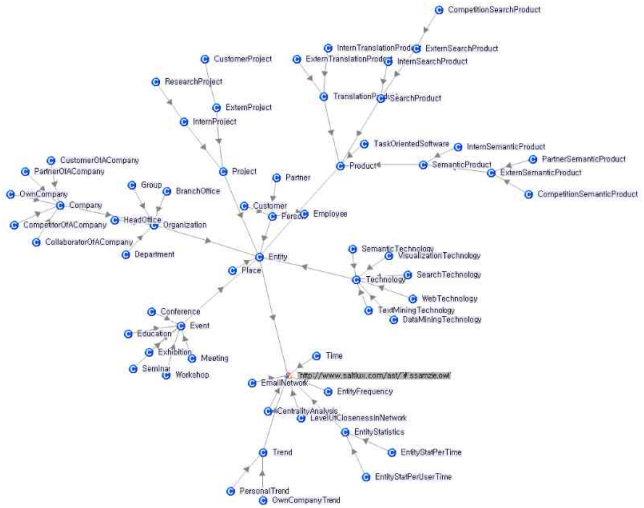
<그림 2.67>는 상기 언급한 데이터 마이닝의 일반적인 작업흐름도를 나타낸 것이다. 이러한 과정을 통해 정보의 연관성을 파악함으로써 가치있는 정보를 만들어 의사 결정에 적용함으로써 이익을 극대화시킬 수 있다. 사용자가 보유하고 있는 일일 단위 데이터, 프로젝트 관계자 데이터, 업무 데이터 등과 이외의 기타 외부 데이터를 포함하는 모든 사용 가능한 근원 데이터를 기반으로 감춰진 지식, 기대하지 못했던 경향 또는 새로운 규칙 등을 발견하고, 이를 실제 프로젝트 의사 결정 등을 위한 정보로 활용하고자 하는 것이다



[그림 2.67] 일반적인 데이터 마이닝 작업흐름도(이일엽. 2012)

③ 온톨로지 선행연구 및 기법 분석

온톨로지(Ontology)란 원래 철학에서 나온 개념이지만, IT분야에서는 특정 영역의 개념(concept)에 대한 공유되는 생각과 그들 간의 관계를 정의하는 명세(Gruber, 1993)라는 좁은 의미의 개념으로 사용되고 있다. 즉, <그림 2.68>와 같이 용어(개념) 간의 관계가 설정된 의미망을 형성하여서 단순히 문자의 나열로서 존재하던 용어들에 의미를 부여하는 것이다. 대부분의 온톨로지(Ontology)는 개념(concept), 속성(property), 관계(relationship), 제약조건(constraint), 공리(axiom), 인스턴스(instance)의 여섯 가지 구성 요소로 이루어져 있다(노상규, 2007).



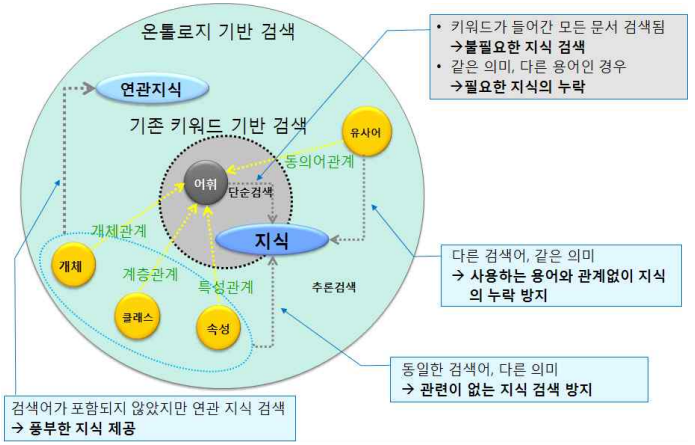
[그림 2.68] 온톨로지의 일반적인 예시(노상규, 2007)

온톨로지가 위에서 언급한 여섯 가지 구성요소를 반드시 갖추어야만 성립되는 것은 아니다. 적용 방안에 따라 최소한의 형식적 구조를 가지고 개념과 그 개념에 대한 정의만으로 구성될 수도 있다(노상규, 2007).

일반적으로 온톨로지 기반 검색 시스템의 성능을 평가하는 요소는 정확도(Precision)과 재현율(Recall)이 있다. 정확도는 전체 검색 결과 중 사용자가 원하는 지식이 얼마나 검색되었는지를 나타내고, 재현율은 사용자가 원하는 지식 전체 지식 저장소로부터 얼마나 누락 없이 검색되었는지를 나타낸다.

이에 온톨로지 기반 검색은 단순한 검색어 기반의 매칭 기술(키워드 매칭)이 아닌 보다 지능적인 기술로 각 개인이 정확히 필요한 정보만을 검색하고 사용자가 필요로 하는 지식을 누락 없이 제공한다. 즉, 검색자의 의도가 반영된 검색을 가능하게 하여 검색의 정확도와 재현율을 높인다.

<그림 2.69>는 기존 키워드 기반 검색에 온톨로지를 적용했을 때 개선되는 점들을 나타낸 것이다.



[그림 2.69] 기존 키워드 기반 검색과 온톨로지 기반 검색 비교(박문서, 2009)

우선 지식에 사용자가 입력한 검색어를 포함하지만 사용자의 의도와 다른 의미로 용어가 지식에서 사용된 경우, 즉 관련이 없는 지식이 검색되는 경우를 피하여 검색의 정확도를 높인다. 예를 들어, 어스앵커 공사 시 사용되는 모르타르에 대한 지식을 원하는 사용자가 어스앵커 모르타르를 검색했을 때 일반 검색 결과에는 어스앵커나 모르타르가 포함된 모든 지식이 검색되지만 온톨로지 기반의 검색 시 어스앵커를 토공사와 관련된 개념으로, 또 모르타르를 하나의 자원으로 인식하여 토공사 혹은 더 구체적으로 어스앵커 공법 시공 시 사용되는 자원인 모르타르에 대한 지식 찾는데 정확도를 높인다.

또한 검색어가 내용에 포함되어 있지 않더라도 검색어와 연관성이 있는 용어가 포함된 지식을 함께 검색하여 지식의 누락을 방지하고 사용자에게 더 풍부한 지식을 제공하여 재현율을 높인다. 예를 들어, 계층적인 관계를 이용할 경우, 토공사 장비를 검색어로 입력 시 검색 결과에 검색어 이외에 오우거, 크램쉘 등의 하위 개념이 포함된 지식도 함께 제공하여 사용자의 요구와 관련된 지식을 더 많이 제공한다.

반면 비계층적인 관계를 이용할 경우 예를 들면, 흙막이 공사에 대한 전반적인 지식을 원하는 사용자가 흙막이 공사를 검색어로 입력하면 어스앵커 공법, 터파기, 보일링 등 관련 있는 지식을 함께 제공한다. 뿐만 아니라, 슬래브, 바닥판 등과 같은 동의어 관계를 이용하여 지식의 누락을 방지한다.

마지막으로 시트파일, 쉬트파일, Sheet Pile 등과 같은 동의어를 정의하여 같은 대상을 지칭하지만 다른 용어를 사용하는 경우도 검색 결과에 포함시켜 검색의 재현율을 높인다.

이러한 장점에도 불구하고 온톨로지를 기반으로 한 검색은 온톨로지라는 지식베이스를 기반으로 한 규칙에 따라 검색 과정이 진행되기 때문에 용어들의 동시 등장 빈도, 사용자의 2차 검색어 등을 고려한 접근 방법에 비해 지속적으로 변하는 지식들에 대한 유연성이 떨어질 수 있다. 하지만 모든 분야에 대해 다루는 일반 검색 포탈들과 다르게 건설이라는 특정 전문 분야를 다루는 경우 그 분야에서 통용되는 용어들을 중심으로 지식이 구성되기 때문에 온톨로지의 활용성이 높다. 또한, 일반 검색 포탈은 다양한 목적을 갖는 사용자들을 충족시켜야하는데 반해 건설지식 검색의 경우는 건설과 관련된 전문지식에만 초점을 두기 때문에 검색의 유연성에 대해 상대적으로 영향이 적다. 그럼에도 불구하고 이러한 점을 보완하기 위해 온톨로지의 유지관리, 여러 방법의 병용 등을 고려할 필요성이 있다(박문서, 2009).

온톨로지 구축방법론에는 TOVE(Gruninger & Fox, 1995), ENTERPRISE(Uschold & King, 1995), METHONTOLOGY(Fernandez et al. 1997), OnToKnowledge(Staab et al., 2001) 등 여러 방법이 있는데 공통적으로 따르는 기본적인 절차는 <그림 2.70>과 같이 정리된다(Pinto & Martins, 2004). 이러한 기본 절차에 따라 통합지식관리시스템의 온톨로지 구축이 이루어진다.

① 명세화 (Specification)

온톨로지 목표 및 범위 설정하는 단계이다. 온톨로지는 목적에 따라 다양하게 활용될 수 있다. 그렇기 때문에 구축하려는 온톨로지의 목표는 신중하게 선정되어야한다. 적용 분야 및 사용 목적에 따라 구축 및 활용 방법이 달라지기 때문에 명확한 목표선정이 있어야한다. 우선, 온톨로지가 적용될 프로젝트의 특성과 관련 지식의 특성을 파악하고 현업에서 이 검색 엔진을 사용할 때 어떠한 상황에서 어떻게 사용할지 등을 예상하여 온톨로지의 범위를 설정한다.

② 개념화 (Conceptualization)

개념화란 일정한 현상이나 사물이 갖고 있는 공통적인 속성을 추출해 그것들을 대표할 수 있는 포괄적인 개념을 이끌어내는 것이다(한국전산원, 2004). 즉, 온톨로지를 구성할 개념과 관계들을 추출하고 정의한다. 용어 관계 설정은 크게 상하위 관계설정, 동의어 관계설정, 속성 관계설정으로 나눈다. 상하위 관계설정은 온톨로지 개념 간의 계층구조(hierarchical structure)를 형성하는 상속관계를 설정하는 것이다. 상속관계는 상위개념과 하위개념 간의 관계로 분류체계 형성 시 형성된다. 동의어 관계 설정은 하나의 개념이 여러 용어로 쓰이는 경우 관계를 설정하는 것이다. 예를 들어, 건설장비라는 개념은 건설기계, construction equipment등으로도 쓰일 수 있는데 이와 같이 모두 같은 의미를 나타내지만 다른 용어로 쓰인 경우 동의어 관계로 설정하여 검색어뿐만 아니라 동의어도 함께 검색하여 검색 시 정보의 누락을 방지해준다.

③ 형식화 (Formalization)

개념적으로 기술된 개념과 관계에 대한 해설을 형식적인 모델로 형성하는 단계이다. 즉, 개념화 단계에서 추출한 개념과 관계를 이용하여 통합적인 분류체계를 형성하고 클래스/인스턴스 속성, 관계를 형식적 모델로 형성하는 단계이다.

④ 구현 (Implementation)

형식적인 모델을 온톨로지언어로 작성하여 컴퓨터가 인식할 수 있도록 하는 단계이다. 온톨로지 언어는 월드와이드웹 컨소시움(W3C)에서 정의한 RDF(Resource Description Framework), RDFs(Resource Description Framework Schema), OWL(Ontology Web Language)가 쓰인다. 온톨로지는 온톨로지 구축 작업을 지원해주는 구축툴(e.g. Protege)을 이용하여 구현된다.

⑤ 검증 (Validation/Evaluation)

온톨로지의 검증은 기술적 평가와 사용성 평가로 이루어진다. 기술적 평가는 온톨로지가 표현하는 개념과 관계가 정확한지, 논리적 오류가 없는지 등을 평가한다. 사용성 평가는 온톨로지가 명세화 단계에서 도출한 사용목적에 부합하는지, 요구사항들을 반영하는지 등에 대한 평가가 이루어진다.



[그림 2.70] 온톨로지의 일반적인 구축 절차

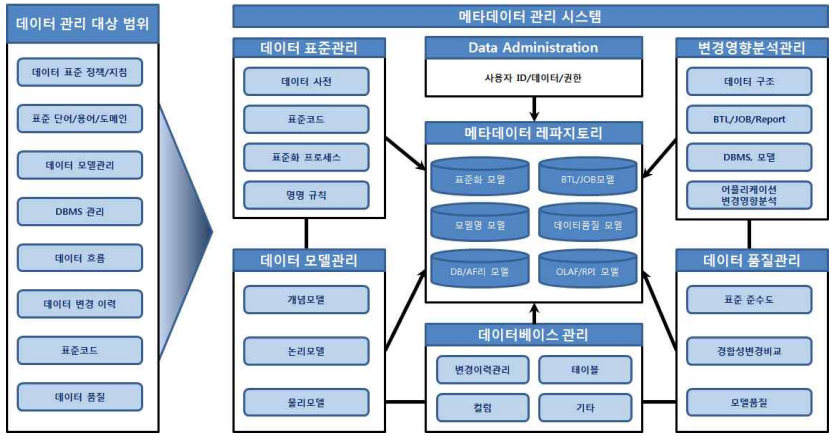
(나) 정보지식관리 모듈의 구성

메타데이터 생성 프로세스를 기반으로 통합지식관리시스템에서 생성되는 메타데이터들은 <그림 2.71>에서 나타난 것과 같이 메타데이터 관리 시스템에 의해 관리되어 재사용되고 업데이트 된다.

최초 시스템에서는 각 사용자별 ID와 ID에 대한 권한을 성정한다. 이에 따라 각 사용자가 업무를 진행하면서 생애주기 단계별 데이터를 입력한다. 입력된 생애주기 단계별 데이터들이 메타데이터 생성프로세스를 통해 메타데이터로 변환되어 통합DB의 메타데이터 레파지토리(저장소)에 저장된다. 저장된 메타데이터들은 생애주기 단계별 데이터 관리 대상 범위에 맞춰 각 메타데이터 모듈에 의해 데이터 표준관리, 데이터 모델관리, 데이터베이스 관리, 변경영향분석관리, 데이터 품질관리가 이루어진다.

데이터 관리 대상 범위로는 데이터 표준 정책 및 지침, 표준 단어, 용어 및 도메인에 대한 관리, 데이터 모델과 DBMS의 관리, 데이터 흐름 및 데이터 변경 이력, 표준코드 데이터 품질이 포함되어 있다.

이에 대한 데이터 표준관리 항목으로는 데이터 사전, 표준코드, 표준화 프로세스, 명명규칙이 있으며, 데이터 모델관리에서는 개념모델, 논리모델, 물리모델에 이상 유무를 판단한다. 또한 데이터베이스 관리는 데이터의 변경이력관리, 데이터 테이블 및 컬럼 등을 관리하며, 데이터 품질관리에서는 데이터의 표준 준수도, 경합성변경비교, 모델 품질에 이상이 없는지 관리한다. 마지막으로 변경영향분석관리에서는 데이터 구조, DBMS, 어플리케이션 변경영향분석을 통해 메타데이터를 관리한다.



[그림 2.71] 통합지식관리시스템의 메타데이터 관리 시스템

통합지식관리시스템의 메타데이터 구축을 위해 데이터의 분류체계를 업무수행 단계, 각 단계의 관리분야, 업무번호로 구분하였으며 그 구성은 아래와 같다.

첫 번째로, 플랜트 프로젝트의 사업관리 업무수행 단계별 분류체계는 각 단계의 영문단어 첫 글자로 구성하였다.

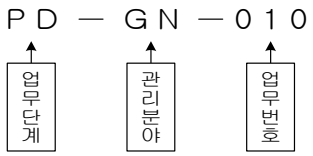
ⓐ 설계이전단계 : PD (**P**re-**D**esign)
ⓑ 설 계 단 계 : DE (**De**sign)
ⓒ 구매조달단계 : PR (**P**rocurement)
ⓓ 시 공 단 계 : CO (**Co**nstruction)
ⓔ 시운전 단계 : OM (Operation & Management)

두 번째로, 단계별 관리분야 분류체계는 각 관리분야 영문단어 처음 두 개의 자음으로 구성하였다.

ⓐ 사업관리일반 : GN (**G**e**n**eral)
ⓑ 계 약 관 리 : CT (**C**o**n**tract)
ⓒ 사 업 비 관 리 : CS (**C**o**s**t)
ⓓ 공 정 관 리 : TM (**T**i**m**e)
ⓔ 설 계 관 리 : DS (**D**e**s**ign)
ⓕ 품 질 관 리 : QL (**Q**ua**l**ity)
ⓔ 안 전 관 리 : SF (**S**a**f**ety)
ⓕ 환 경 관 리 : EN (**En**vironment)

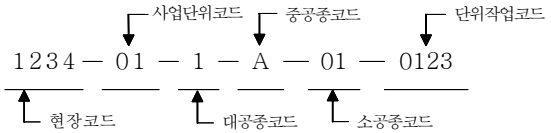
세 번째로, 업무순서를 나타내는 세자리의 숫자는 처음 두자리는 현재 절차서에 수록된 업무들의 수행순서를 나타내고 마지막 숫자는 추후 업무진행상 사이에 추가될 업무에 대해 문서번호를 부여하기 위함이다.

예를 들어, 설계이전단계의 사업관리 일반, 사업수행계획서 검토 및 보완에 대한 문서 코드는 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 문서코드에 적용된 업무단계 및 관리분야를 표시하는 기호는 2개의 알파켓 약자로 구성되어 있다.



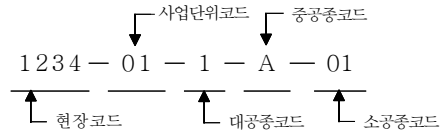
① 작업분류체계(Work Breakdown Structure) 수립

사업관리자는 사업유형, 사업범위, 각 시설의 기능 및 시설별 공종구성에 대하여 분석을 실시하고 자료를 수집한다. 표준시방서의 대/중공종 분류체계를 바탕으로 사업관리자는 중공종까지(건설교통부 표준시방서 참조) 작업분류체계를 개발하며 소공종에 대한 단위작업은 향후 설계자 및 시공자에 의해 분류하게 되고 사업관리자는 이를 검토한다. 사업관리자는 분류기준 설정이 완료되면 전체사업 및 사업단위에서부터 단위작업까지 번호체계기준을 설정하여 번호체계를 구축한다. 사업관리자는 향후 설계자와 시공자가 작성하는 소공종 분류체계와 단위작업분류체계가 기준에 따라 구축되었는지 검토하고, 분류번호체계의 적정성 여부를 검토한다. 또한, 설계자 또는 시공자가 작업분류체계의 수정을 요청할 경우 검토 및 협의를 거쳐 이를 수정한다. 작업분류번호체계 예시는 다음과 같다.



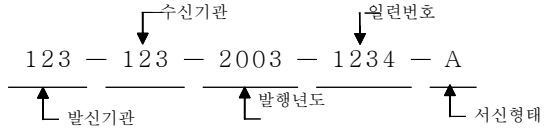
② 사업비분류체계(Cost Breakdown Structure) 수립

사업비분류체계는 작업분류체계 및 번호체계를 따른다. 예시는 다음과 같다.

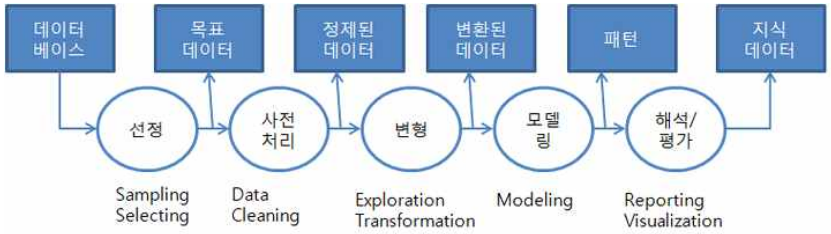


③ 문서분류체계(Document Breakdown Structure) 수립

설계이전단계 사업관리일반 '문서관리체계 수립'(PD-GN-04)에서 언급한 문서의 관리를 위해 건설사업관리자는 분류기준과 번호체계기준을 설정하여 문서분류체계를 구축한다. 분류기준 및 번호체계기준은 수신기관, 발신기관, 발행년도, 일련번호, 서신형태 등을 기준으로 작성한다. 예시는 다음과 같다.



이에 분석한 내용을 기반으로 본 연구에서의 통합지식관리시스템의 데이터 마이닝 수행절차는 <그림 2.72>과 같이 도출되었다.



[그림 2.72] 통합지식관리시스템의 데이터 마이닝 수행절차

먼저, 적용하고자 하는 프로젝트의 문제 정의 및 목표를 결정하고, 데이터 마이닝의 결과로 얻어진 정보를 어떻게 활용할 것인가를 고려하여, 필요한 데이터를 선택하고 데이터웨어하우스를 구축함으로써 데이터를 준비한다.

그리고 Sampling/Selecting을 통해 방대한 양의 통합DB데이터에서부터 목적데이터를 추출한다. 추출된 데이터는 일관성이 없고 불완전하며 오류가 있는 데이터가 존재할 수 있으므로 데이터 정제과정을 통해 무결성과 질이 보장되는 정제된 데이터를 추출한다.

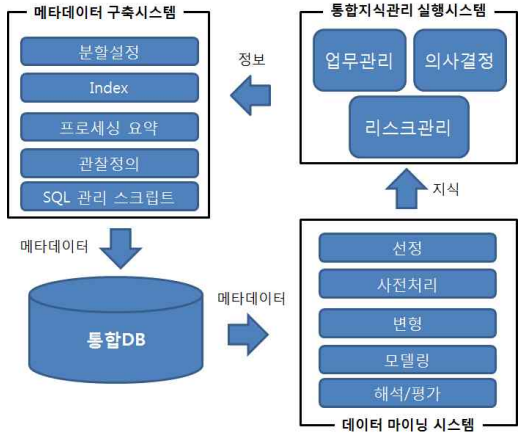
이후 추출된 데이터는 탐색 및 변형과정을 거친다. 데이터의 탐색과정에서는 이미 알고 있는 사실들을 확인하여 수치화하는 작업을 시작으로 하여 보유하고 있는 수많은 변수들의 관계를 살펴보는 단계이다. 반면, 변형과정은 분석자의 요구 또는 현업 담당자의 요구에 의해 꼭 필요한 정보는 기존의 변수를 이용하여 새로이 생성하는 단계다.

탐색 및 변형과정을 통해 변환된 데이터는 모델링을 통해 특정 패턴을 가지게 된다. 모델링 단계는 데이터마이닝 과정에서 가장 중요한 단계로서, 생애주기단계별 업무, 의사결정, 리스크 관리에 필요한 정보들을 구분하여 각 상황에 맞는 특성을 적용하는 단계다.

그리고 해석 및 평가과정은 얻어진 정보에 대해 그 의미와 정도를 해석하고 평가하는 단계를 거쳐 실제 업무의 목적에 적합한가를 판단하는 단계로써, 데이터 마이닝 과정에서 얻어져 생애주기단계별로 패턴이 적용된 데이터들에 대해 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 프로젝트 문제와 목적에 맞게 지식으로 재표현한다.

데이터 마이닝으로부터의 도출된 지식데이터는 수립된 전략이나 의사결정을 통한 실제 업무에 활용되며, 실제 업무에 적용 후의 결과나 효과를 토대로 향상된 정보를 얻기 위해 피드백단계를 거친다. 데이터 마이닝을 통해 생성된 지식데이터는 업무에 활용되어 정보를 생성하고 생성된 정보는 다시 통합DB에 저장되어 다시 데이터 마이닝에 반영되고 재분석이 되면서 얻어질 결과물의 신뢰성과 질을 향상시킨다.

상기 메타데이터와 데이터 마이닝 기법 분석내용을 기반으로 메타데이터 관리기법을 활용한 데이터 마이닝 기법을 <그림 2.73>와 같은 체계로 구축하였다.

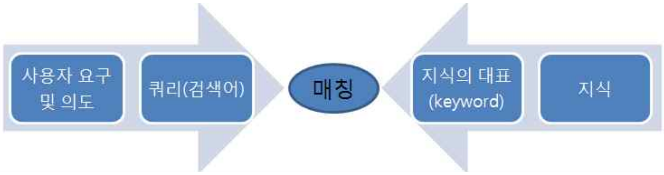


[그림 2.73] 통합지식관리 시스템의 메타데이터 관리기법을 활용한 데이터 마이닝 기법

통합지식관리시스템의 온톨로지 체계는 아래와 같이 규명하여, 적용하였다.

① 명세화 (Specification)

본 연구에서 구축되는 온톨로지 프레임워크는 LNG 플랜트 지식 검색에서의 활용을 목적으로 한다. 일반적인 지식 검색 과정을 <그림 2.74>으로 나타낸다. 사용자는 자신이 필요한 지식을 검색하기 위해 검색어를 입력하게 되고 검색어를 입력받은 시스템은 지식을 대표하는 키워드와 매칭 과정을 거친다. 본 연구에서 목표로 하는 온톨로지는 이와 같은 검색 프로세스의 매칭 과정을 개선하기 위해 사용자의 검색어를 확장시켜 사용자의 의도가 잘 반영될 수 있도록 사용하며 지식을 대표하는 키워드로 활용된다.



[그림 2.74] 일반적 지식 검색 프로세스(Lancaster, 1993)

플랜트 산업은 프로젝트 중심의 한시적인 현장 조직과 경험에 의존하는 특징을 지니기 때문에, 현장에서 대다수의 지식이 발생하고, 이러한 지식이 현장에서 가장 많이 사용된다. 지식을 활용하고 검색을 수행하는 잠재 사용자는 플랜트 프로젝트에서 관리 또는 작업에 참여하는 엔지니어들이다.

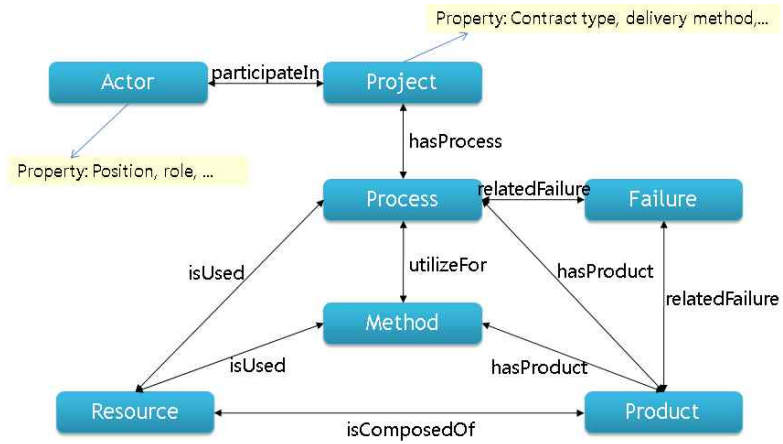
지식 검색은 사용자가 배움이나 문제해결 등을 목적으로 자신이 갖고 있는 지식의 상태를 변화시키기 위해 수행하는 행위이므로(Marchionini, 1995), 이러한 정의에 따라 프로젝트에서 수행되는 지식 검색을 보면 다음과 같다. 사용자들은 작업을 수행하기 전, 유사한 프로젝트에서의 수행 방식, 신기술, 주의점 등을 미리 확인하여 간접 경험 획득을 위해 검색을 하게 된다. 또, 업무 수행 후나 업무 수행 중 하자나 사고, 기술적 어려움 등의 문제가 발생했을 때 문제 해결을 위해 지식 검색이 이루어진다. 따라서 본 연구에서 구축하는 온톨로지는 LNG 플랜트 프로젝트에서 활용되는 지식을 대표할 수 있는 개념과 관계를 정의하여 검색하고자 하는 지식을 사용자의 의도에 부합하도록 제공하고 연관된 지식을 제공할 수 있도록 하고 그에 따라 지식 검색의 정확도와 재현율을 향상시키는 것을 목표로 한다.

② 개념화 (Conceptualization)·형식화(Formalization)

본 절에서는 온톨로지의 프레임워크를 제시하며, 각 상위클래스를 구성할 하위클래스 및 인스턴스에 대한 구체적인 설명을 하고 구성 방법을 제시한다.

앞서 언급했듯이 플랜트 프로젝트의 지식은 비정형적 특성이 강하다. 지식이 작성되는 프로젝트와 지식을 작성하는 작성자에 따라 지식은 다양한 형태로 저장되며 다양한 체계에 따라 저장된다. 하지만, 반복성을 띄지 않는 플랜트 프로젝트의 특성에도 불구하고, 과거에 수행된 프로젝트에서 생성된 지식과 새로운 프로젝트에서의 해결과제 간에 관계가 형성이 된다면 새로운 과제를 해결하는데 과거의 지식을 활용할 수 있다(Fong, 2005). 그러므로 지식을 검색하는 사용자의 질의(검색어)와 기존의 프로젝트 지식 간에 공통적인 관계를 형성할 수 있는 개념들을 추출하여 온톨로지를 구축한다.

본 연구에서 지식 재사용을 위한 과거 생성된 지식과 현재 사용자의 질의(검색어)간의 공통적 연결고리는 프로젝트 프로세스 상에 존재하는 공통 요소들에서 포착하여 추출한다. 프로젝트는 매번 똑같지 않고 반복적이지 않으며 일시적이라는 특성이 있지만 기본적인 프로젝트 프로세스 간에는 공통적인 요소들을 지닌다. 여기서 말하는 기본적인 프로젝트 프로세스는 생애주기 단계별로 자원이 투입되고 특정한 작업을 거쳐 결과물이 생산되는 과정을 말한다.



[그림 2.75] 온톨로지 최상위 클래스 형식화

온톨로지를 구성하는 5개의 개념인 프로젝트(Project), 프로세스(Process), 참여자(Actor), 자원(Resource), 생산물(Product)은 분류체계에서 매우 흔히 사용되는 개념들이다(Gruninger

etal. 1997). 업무방법(Method)와 실패/하자사례(Failure) 또한 프로젝트 지식을 대표하는 주요 개념들이며, 선정한 7개의 개념들은 플랜트 프로젝트 온톨로지 최상위 클래스(Class)로 구성하고, 개념들 사이의 연관관계를 <그림 2.76>과 같이 설정한다. 개념들 사이의 연관관계는 앞서 수행한 LNG 플랜트 프로젝트 프로세스의 개념화를 바탕으로 지식 검색 시 활용성을 고려하여 설정한 것이며, <표 2.20>은 각 연관관계의 활용방안을 정리한 것이다.

[표 2.20] 연관관계 활용

정의역	연관관계	치역	연관관계 활용 방안
Actor	partcipateIn	Project	*참여자가 특정 프로젝트에 소속되어있음을 이용해 연관 전문가 검색
Project	hasProcess	Process	*비슷한 공사를 수행한 연관 프로젝트 검색
Process	relatedFailure	Failure	*특정 공종 혹은 작업과 연관있는 실패사례를 연관 검색어로 제공
	hasProduct	Product	*특정 단계나 작업에 대한 검색어 입력 시 검색어 확장 *연관검색어 제공
Product	relatedFailure	Failure	*검색어를 확장하여 재현율을 향상 *특정 실패사례와 관련있는 생산물을 연관 검색어로 제공하여 실패 원인 파악에 도움
	isComposedof	Resource	*특정 업무를 수행하기 위해 필요한 자원을 연관검색어로 제공
Resource	isUsed	Process	*특정 단계나 업무에 사용된 자원을 연관 검색어로 제공 *특정 단계나 업무에 대한 검색어 입력 시 지식에 등장하는 특정 검색어의 빈도뿐만 아니라 검색어와 연관된 자원들이 등장하는 빈도도 고려하여 검색 결과 순위에 반영하여 검색 정확도 향상
	isUsed	Method	
Method	utilizeFor	Process	*특정 단계나 업무에 사용되는 업무형태를 연관검색어로 제공
	hasProduct	Product	*특정단계나 업무에 대한 검색어 입력 시 검색어 확장 *연관검색어 제공

7개의 개념들은 지식의 배경과 내용을 대표하면서 지식 검색 시 연결고리 역할을 한다. 여기서 지식의 배경이란 지식의 내용 속에 포함되어있지 않지만 지식이 어떠한 종류의 프로젝트에서 생성되거나 활용되었는지 또, 어떠한 작성자에 의해 작성되었는지를 나타낸다. 지식의 배경정보는 검색 사용자의 상황과 공통적인 연결을 맺어 사용자의 상황에 적합한 지식 제공을 할 수 있게 한다.

지식의 배경은 건설 온톨로지를 구성하는 개념 중 프로젝트(Project)와 참여자(Actor)로 대표한다. 프로젝트는 프로젝트의 개요 정보를 속성으로 갖으며 지식의 배경을 대표한다. 프로젝트 개요 정보는 다음과 같은 속성으로 구성된다.

우선, 프로젝트의 속성 중 생산물(Product)은 플랜트의 아이템 유형을 포함하며 지식이 어떤 아이템의 업무와 관련 있는지를 보여준다. 계약 방식(Contract Type)은 정액, 실비정산 등의 계약 방식을 나타내고, 수주 방식(Delivery Type)은 설계-시공 일괄방식, 턴키 등을 나타내며, 수행 방식은 순차적, 패스트 트랙 등을 포함한다. 지식의 배경을 대표하는 다른 개념인 참여자(Actor)는 지식 작성자 프로필을 속성으로서 지닌다. 작성자 프로필은 프로젝트에 참여하는 사람의 직급, 직무, 참여 프로젝트 등으로 구성한다.

본 LNG 플랜트 통합지식관리시스템의 온톨로지 체계는 아래과 같이 구성하였다.

① 프로젝트(Project)

프로젝트(Project)는 지식이 어떠한 프로젝트에서 생성되었고 활용되었는지를 대표하는 개념이다. 상기 설명한바와 같이 프로젝트의 개요정보 등을 속성으로 갖으면서 검색 사용자가 프로젝트 수행 중이라면 그 프로젝트와 유사한 프로젝트에서 생성되거나 사용된 지식을 우선적으로 제공할 수 있도록 한다. 프로젝트(project) 클래스를 구성하는 인스턴스(instance)는 실제 프로젝트 수행 중이거나 수행 완료된 프로젝트가 된다.

② 프로세스(Process)

프로세스는의 구축은 업무를 중심으로 구축한다. 이러한 공종은 각 생애주기 단계별 WBS를 기반으로 구성한다. 각 프로세스(process)는 하위개념으로 작업(activity)들을 갖는다. 예를 들어, 시공단계의 현장 개설 및 인력편성의 경우 현장 조사, 조직 및 인력운영계획 수립 등과 같은 작업들을 하위 개념으로 포함한다. 각 업무의 작업들을 나타내는 인스턴스 또한 각 생애

주기 단계별 WBS에서 추출하여 구성한다. 인스턴스의 구성과 더불어 프로세스에 속해 있는 개념들과 다른 클래스의 개념들 사이의 관계를 설정한다. 예를 들어, 토공사의 천공이라는 작업에 대한 설명에 로우더, 크램쉘 등 사용되는 장비들에 대한 언급이 있는데, 이러한 장비들을 천공이라는 개념과 사용된다(isUsed)의 관계를 맺을 수 있으며, 천공이 토공사와 관련되어 있는 하위개념이므로 해당 장비들이 토공사에 사용된다는 것이 추론가능하다.

프로세스의 개념들은 다른 클래스의 인스턴스들과 관계를 형성하는데 중심적 역할을 하며 지식의 내용을 대표하는데 중요한 역할을 한다.

③ 참여자(Actor)

참여자(Actor)는 LNG 프로젝트 프로세스의 활동 주체이다. 참여자는 현장소장, 현장기사와 같은 현장관리자, 각종 기능공 및 기술자, 전문컨설턴트 등과 같은 개별 참여자들뿐만 아니라 정부조직, 기업, 민간조직 등이 포함된다. 즉, 개인(Personnel)과 조직(Organization)을 하위클래스로 갖는다. 개인의 인스턴스는 실제 프로젝트 참여자 및 검색 사용자로 구성되며, 조직의 인스턴스는 실제 프로젝트를 수행하는 기업이나 프로젝트에 참여하는 기관으로 구성한다. 각 개인은 직무, 직급 등을 속성으로 갖는다.

④ 생산물(Product)

생산물은 프로세스 및 업무을 통해 생산된 결과물로서, 하위 개념으로 시설물(Facility), 공간(Space), 부위(Element)를 갖는다. 시설물은 프로젝트의 특성을 잘 나타내주는 개념으로서, 해당 프로젝트에서 어떠한 결과물을 목표로 하는지를 나타내준다.

시설물은 기능과 형태를 특성으로 갖는다. 시설물을 구성하는 하위클래스와 인스턴스는 기본적으로 기능에 따라 분류하고 형태를 속성으로 갖는다. 공간(Space)은 시설물을 구성하는 요소로서 업무 프로세스를 통해 형성된 비물리적 혹은 추상적인 생산물을 나타내는 개념이다. 각 종 용도에 따른 공간을 나타내는 개념들을 인스턴스로 갖는다. 부위(Element)도 시설물을 구성하는 요소로 물리적인 생산물을 나타낸다. 시설물의 구조를 구성하는 요소들이나 시설물의 각종 기능 수행을 위한 요소들이 부위의 인스턴스를 구성한다.

⑤ 자원(Resources)

자원은 자재(Material)와 장비(Equipment)의 세 하위 클래스로 구성한다. 자재는 업무 프로세스 상 사용되는 자료나 재료를 나타내는 개념으로, 각 자재는 특성을 나타내는 속성을 지닌다. 자재 속성은 검색 시 검색 사용자가 조건을 부여하여 검색 결과를 좁히는데 사용될 수 있

다. 또, 지식에 특정 자재의 속성을 나타내는 용어들이 많이 등장하면 지식이 해당 자재와 연관성이 높은 지식으로 판단하여 높은 검색순위를 부여하는 것을 가능하게 한다.

장비는 각 프로세스에서 해당 업무를 수행하기 위해 사용되는 도구들을 나타낸다. 각 프로세스나 업무와 연관관계를 정의하여 해당 장비의 명칭을 모르더라도 어떠한 업무에 사용되는지를 연관 지어 검색결과에 포함시키는 것이 가능하다.

⑥ 업무방법(Method)

업무방법는 프로세스에서 쓰이는 업무형태를 의미한다. 특정 업무에 쓰이는 업무방법을 정의함으로써 구체적인 명칭을 모르더라도 연관관계를 통해 관련 업무에 대한 검색을 가능하게 한다. 특히 플랜트 용어는 약어가 많고 생소한 명칭이 많기 때문에 온톨로지 상의 관련 개념들과의 연관관계를 통해 특정 업무를 검색하는 것이 유용하다.

온톨로지의 인스턴스에 포함된 업무가 아니더라도 특정 업무는 나타내는 특정 명칭이 들어간다는 점을 이용해 지식 상에 업무라는 용어와 함께 등장하는 관련 개념들을 통해 연관 지식으로 유추하는 것이 가능하다. 업무방법 클래스는 새로운 명칭이 자주 등장하기 때문에 지식이 축적됨에 따라 온톨로지의 유지관리를 통한 지속적인 갱신이 필요하다.

⑦ 실패/하자(Failure)

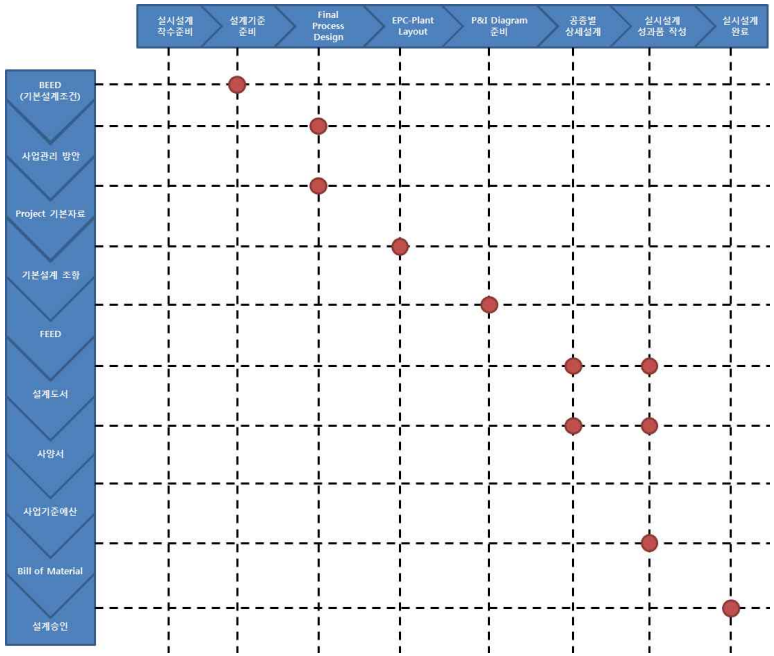
실패/하자는 업무 수행 도중이나 업무 수행 후 나타나는 실패 혹은 하자 사례를 나타내는 개념이다. 인적 재해, 구조물이나 장비 관련 재해와 하자사례들이 모두 인스턴스를 구성한다. 검색 시 관련 실패 및 하자에 관한 지식을 제공해 주어 업무 프로세스 상에서 나타날 수 있는 문제에 대해 미리 알 수 있고 반대로 실패 및 하자 관련 검색어를 입력 시 관련되어있는 지식을 제공함으로써 실패 및 하자의 원인을 파악하고 대책을 세우는데 도움을 준다.

통합지식관리시스템의 4가지 모듈 중 사업계획모듈의 경우 웹상으로 개발되지 않아 모듈의 Output만을 시스템에서 활용하며, 해외사업모듈의 경우 아직 개발 정도가 미미하여 향후에 통합지식관리에 대한 온톨로지를 구축한다.

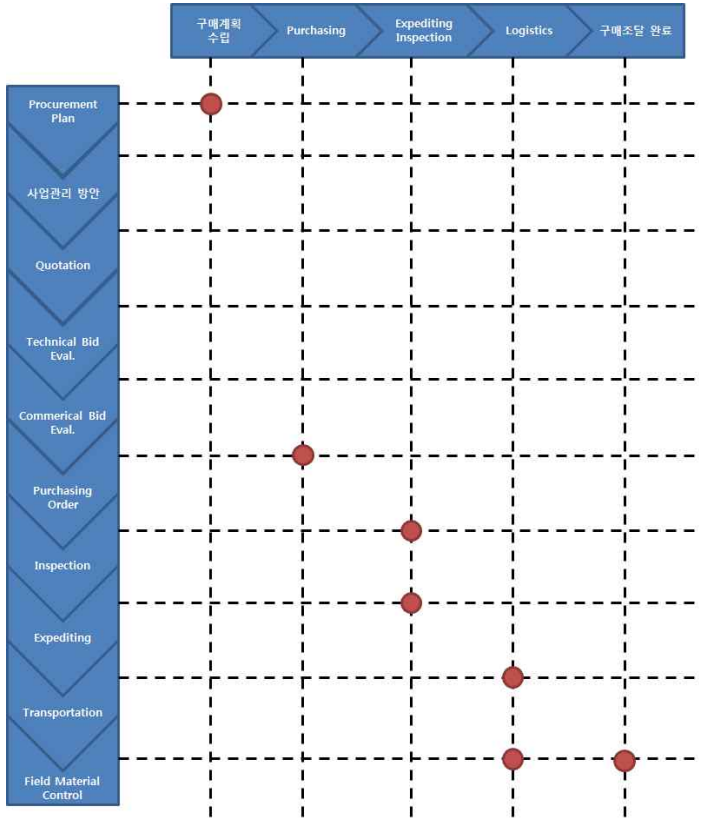
따라서 본 연구에서는 업무관리모듈과 의사결정모듈의 통합지식에 대한 온톨로지를 구축하였다. 상기 온톨로지 도출 개념들을 반영하여 Ontology Registration에 대한 메타모델을 정의하여 Common Ontology를 생성하였다.

또한 상기 메타데이터 관리기법을 활용한 데이터 마이닝 기법을 기반 Model construct에 대한 메타모델을 정의하였다. 이후 각 생애주기 단계별 업무관리모듈 체계와 의사결정모듈 체

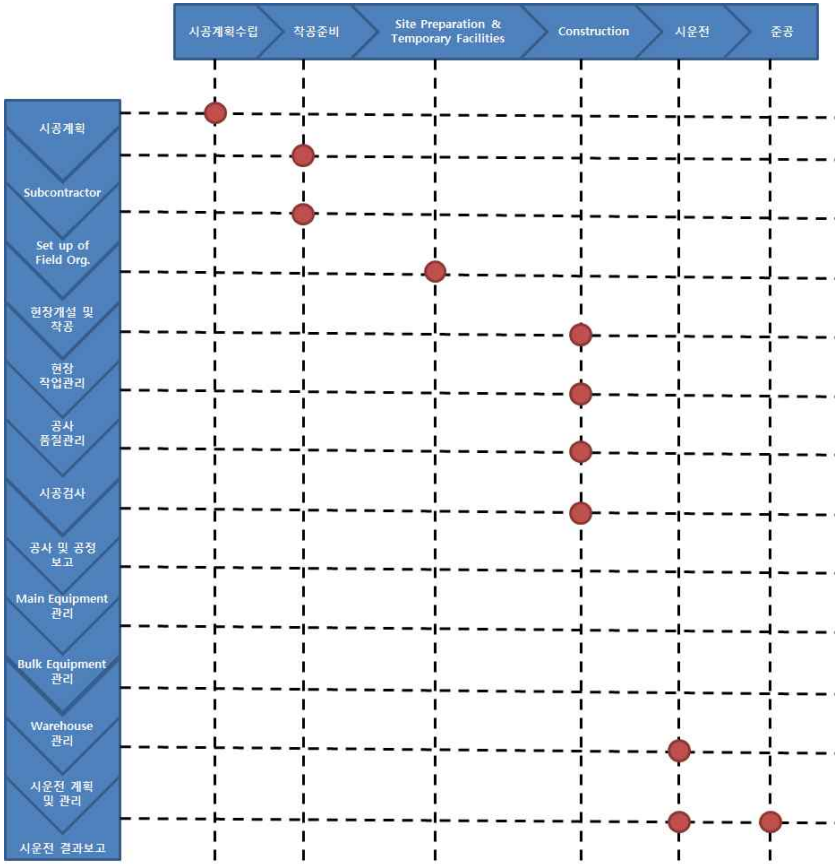
계의 분석을 실시하여 정의된 Model Mapping에 대한 메타모델은 다음 그림과 같다.



[그림 2.77] 설계단계 업무관리모듈과 의사결정모듈 간의 Model Mapping에 대한 메타모델 정의



[그림 2.78] 구매조달단계 업무관리모듈과 의사결정모듈 간의 Model Mapping에 대한 메타모델 정의



[그림 2.79] 시공 및 시운전단계 업무관리모듈과 의사결정모듈 간의 Model Mapping에 대한 메타모델 정의

(다) 정보지식관리모듈 프로토타입

본 과업에서 개발중인 모듈에 온톨로지 기반의 메타데이터 검색기능이 지원 가능하도록 앞 절에서 연구한 내용과 같이 플랜트 프로젝트의 특성을 고려한 분류체계를 정립하였으며, 이를 모듈에 적용하였다.

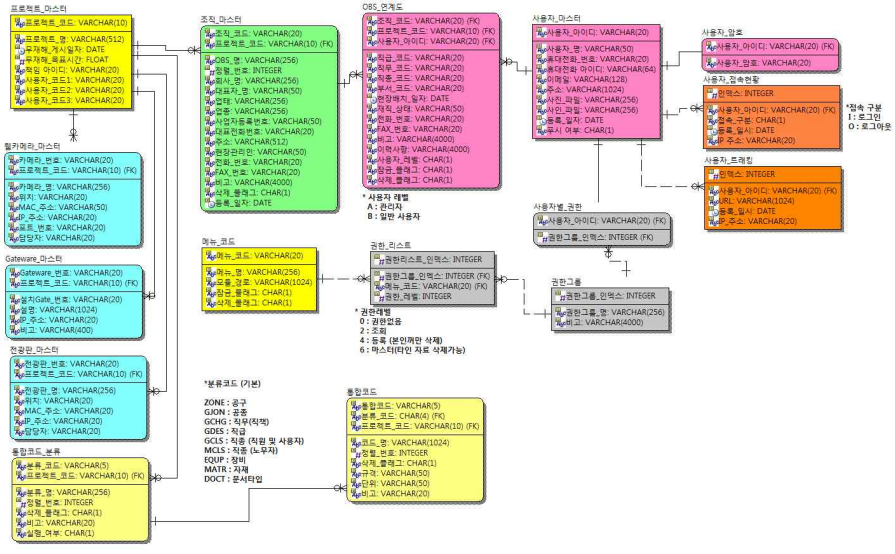
요소기술에 대한 선행 연구 결과를 활용하고, 효과를 극대화하기 위해서는 체계적이고 구체화된 시스템의 개발이 필요하며, 건설/플랜트 전문IT 기술을 보유한 본 주관기관인 한길아이티에서 “정보지식관리모듈”의 프로토타입을 개발하였다.

정보지식관리모듈은 통합지식관리 시스템의 일부 모듈로 탑재되었으며, 시스템내에서 본 모듈은 Windows기반에 .Net Framework을 사용하고, C#개발 언어와 Microsoft의 MS-SQL2005 Database을 사용하였다.

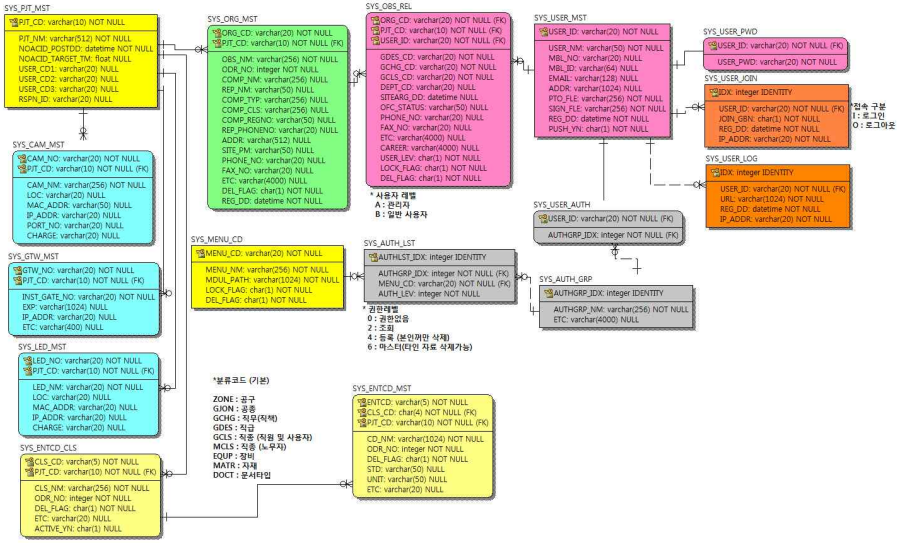
Window Server Platform 기반에 .NET Framework를 사용 하였으며, ASP.Net을 활용하여, Web기반의 WebForm과 Web Service을 활용하여, 다양한 위치의 다양한 사람들이 Collaboration이 가능한 시스템을 개발 하였다.

통합지식관리 시스템의 데이터베이스 구조는 표준 데이터 관리부분과 각 프로젝트별 사업정보 관리부분 및 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 관리하는 부분으로 나누어져 있다. 프로젝트 관리는 다수 프로젝트를 수용하고, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 참여를 수용할 수 있는 구조로 구성하였다.

프로젝트 관리는 다수의 프로젝트를 수용할 수 있는 구조로, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 각각 다른 권한을 가질 수 있는 구조로 구성하였다. 시스템관리는 사용자별로 3단계 메뉴까지의 권한을 부여할 수 있으며, 의사결정지원 시스템에서 사용되는 공통 정보는 코드화하여 통합관리 될 수 있도록 구성하였다.

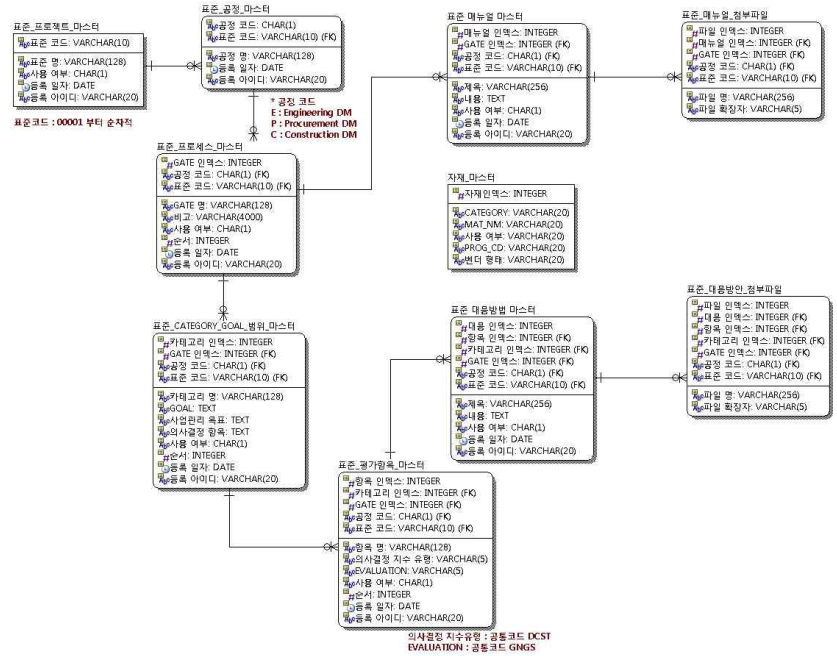


[그림 2.80] 시스템 관리 설계 (Logical)

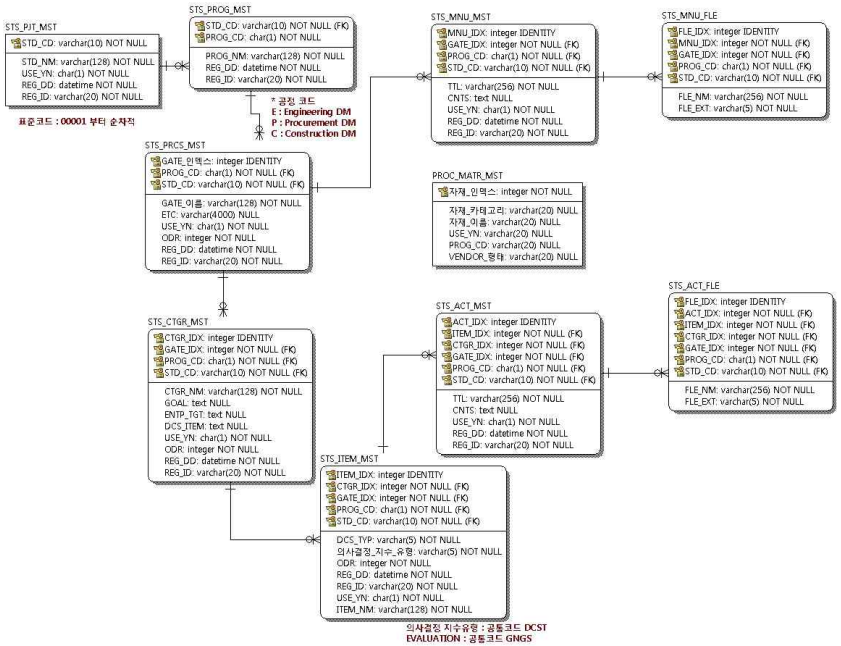


[그림 2.81] 시스템 관리 설계 (Physical)

또한, 지식관리 모듈에서의 데이터는 시스템에서 프로젝트별 사용자에게 표준으로 제공되어 관리되며, 여기 활용되는 표준 데이터도 프로젝트의 형태별로 관리될 수 있도록 구성하였다.



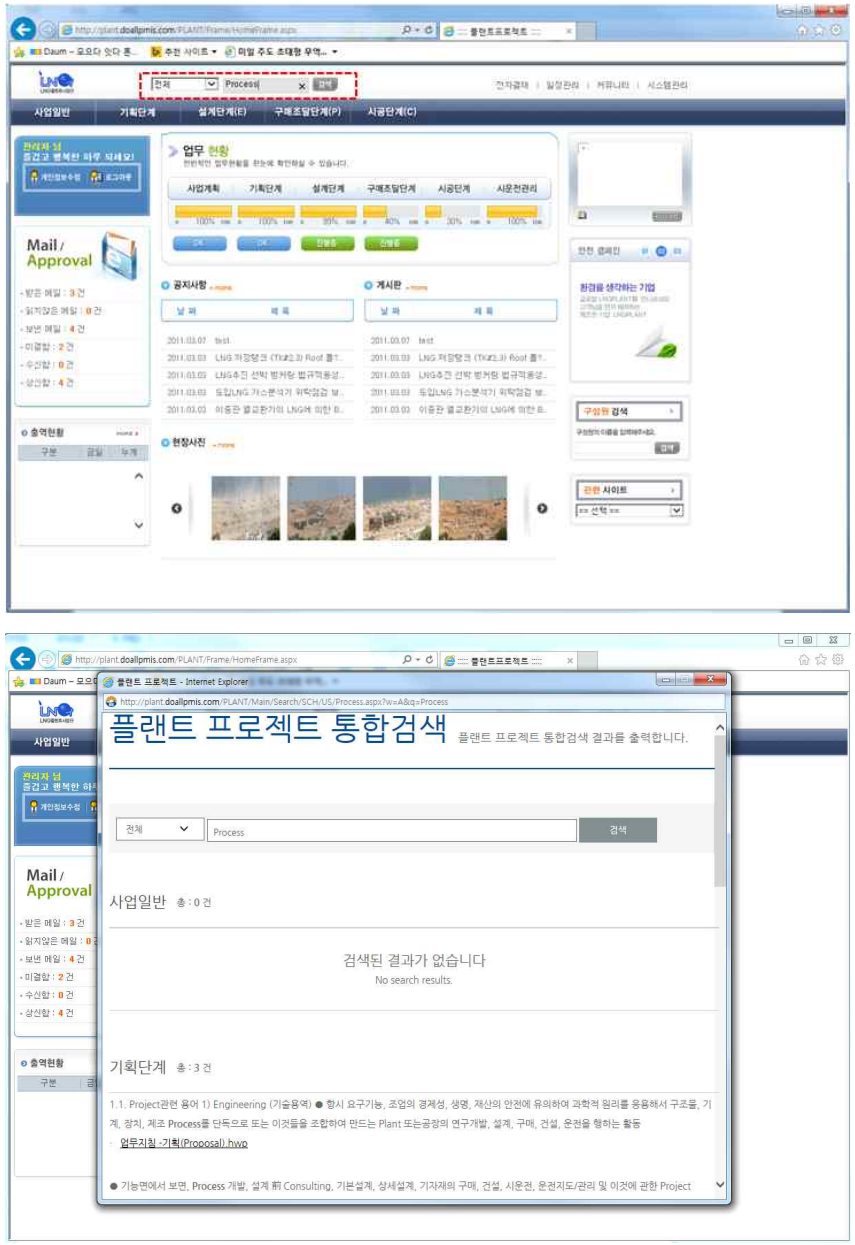
[그림 2.82] 표준 데이터 관리 설계 (Logical)



[그림 2.83] 표준 데이터 관리 설계 (Physical)

현재 정보지식관리 모듈에 적용해 놓은 데이터는 실제 현업에서 사용하는 해외 프로젝트의 데이터로 보안을 필요로 하고 있는 상태이며, 현업 실무자의 요구사항을 지속적으로 모니터링 하고, 모듈에 적용해 나갈 예정이며, 지속적인 검증 및 보완을 계획중에 있다.

아래는 정보지식관리 모듈에서 온톨로지 기반의 검색기능을 지원하는 화면이며, 검색어는 Process 로 예를 들어 진행하였다. 그 결과 단순 파일 검색이 아닌, 본 연구에서 정립해 놓은 분류체계에 의해 파일의 속성에 따라 검색이 진행됨을 알 수 있었다.



[그림 2.84] 지식관리 모듈의 검색결과 예시

다. 주요결과 및 시사점

본 연구에서는 통합지식관리시스템 통합DB의 대용량 데이터로부터 유용한 정보를 찾기 위해 메타데이터 관리 기법을 활용한 데이터 마이닝 기법을 제시하였다. 방대한 데이터를 메타데이터를 통하여 생애주기단계별로 체계적으로 관리하며, 각 단계별 업무에 유용한 정보를 적시적소에 제공하는 방법을 제시함으로써 생애주기 단계별 통합지식을 관리할 수 있는 기법을 구축하기 위한 근간을 마련하였다.

본 연구에서는 통합지식관리시스템 통합DB의 대용량 데이터로부터 유용한 정보를 찾기 위해 메타데이터 관리 기법을 활용한 데이터 마이닝 기법을 제시하였다. 방대한 데이터를 메타데이터를 통하여 생애주기단계별로 체계적으로 관리하며, 각 단계별 업무에 유용한 정보를 적시적소에 제공하는 방법을 제시함으로써 생애주기 단계별 통합지식을 관리할 수 있는 기법을 구축하기 위한 근간을 마련하였다.

또한 통합지식관리시스템 상기 메타데이터 관리 기법을 활용한 데이터 마이닝 기법에 더불어 온톨로지를 규명하여 온톨로지 체계를 제시하여 각 생애주기 단계별 통합지식관리 기법을 구축하였으며, 구축된 통합지식관리 기법을 기반으로 시스템 UI 및 컨텐츠를 도출하였다. 이를 기반으로 구축된 시스템은 사용자가 보다 쉽게 업무를 진행할 수 있으며, 업무에 필요한 지식에 보다 정확하고 빠르게 접근할 수 있을 것으로 사료된다.

9. LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발 및 WBS 보완

가. 접근방법

- LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발
- 생애주기 단계별 업무 WBS 체계 보완 및 검증

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발

아래 <그림2.85>과 같이 정보지식관리모듈과 의사결정지원 모듈의 통합에 따라 시스템 메뉴를 수정하였다. 기존의 일반관리 메뉴는 프로젝트관리로 변경하여 각 모듈별 필수정보들을 입력할 수 있게 수정하였으며, 프로젝트별 사용자관리 항목을 프로젝트 관리 메뉴에 추가함으로써 시스템 ID 및 사용권한에 대한 편의성을 높였다.



[그림 2.85] 업무관리모듈과 의사결정모듈 데이터 통합에 따른 시스템 메뉴 수정안

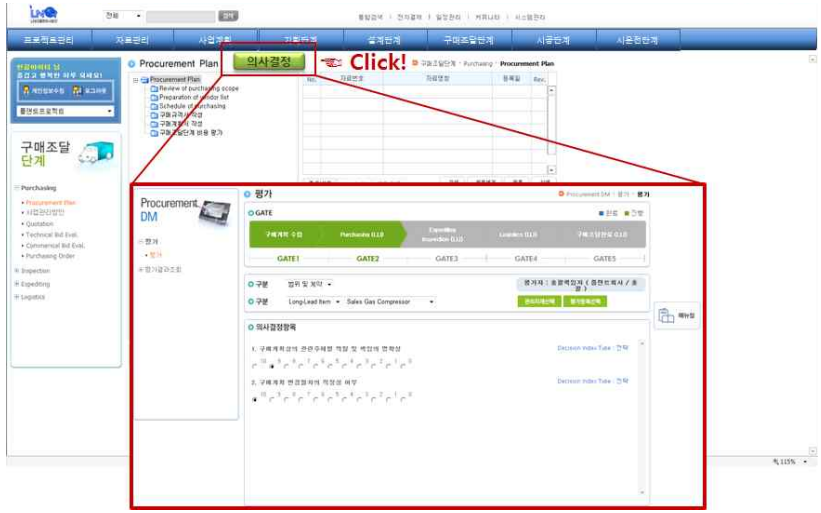
또한 <그림 2.86>와 같이 의사결정모듈의 표준데이터 관리와 사업정보관리를 업무지원모듈

의 자료관리에 통합함으로써 각 모듈별로 관리되던 프로젝트 자료를 한 곳에서 관리하여, 자료의 중복입력이나 탈락 등의 문제점을 미연에 방지한다.

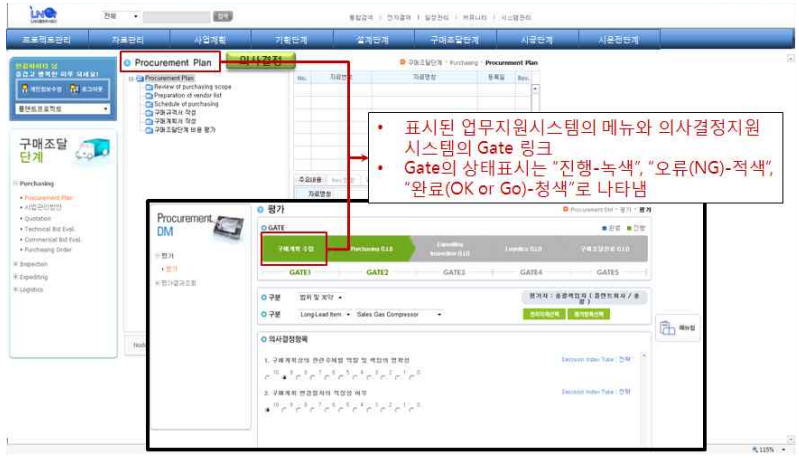


[그림 2.86] 업무관리모듈과 의사결정모듈 데이터 통합에 따른 자료관리 통합

그리고 <그림 2.87>~<그림 2.88>는 상기 언급했던 Model Mapping에 대해 정의된 메타모델을 기반으로 시스템 UI 및 컨텐츠를 도출한 것이다. <그림 2.89>와 같이 각 생애주기 단계별 업무 중 의사결정이 필요한 업무에 의사결정 버튼을 추가하여, 버튼을 클릭하면 의사결정 모듈이 나타나 의사결정에 대한 평가 및 평가결과조회가 가능하도록 설정하였다.



[그림 2.87] 업무관리모듈과 의사결정모듈 데이터 통합에 따른 시스템 UI 및 컨텐츠 도출(1)



[그림 2.88] 업무관리모듈과 의사결정모듈 데이터 통합에 따른 시스템 UI 및 컨텐츠 도출(2)

또한 <그림 2.89>와 같이 표시된 업무관리모듈상의 개별업무와 의사결정모듈의 Gate가 상기 각 생애주기 단계별 정의된 Mapping 메타모델에 의해 연결된다. Gate의 상태표시는 진행-녹색, 오류(NG)-적색 완료(OK or Go)-청색으로 나타나도록 설정한다.

마지막으로 메타모듈에 의해 생성되는 의사결정 정보를 <그림 2.89>과 같이 시스템 메인화면에 각종 프로젝트 정보와 함께 표현할 수 있도록 한다. 진행 중인 작업에 대해선 상기 언급한 바와 같이 단순진행 중일 경우 녹색, 진행 간 NG상황이 발생할 경우 적색으로 표기한다. 의사결정상황 버튼을 클릭할 경우 의사결정이 진행 중이면 진행 중인 해당 업무에 대한 평가페이지로 이동하며, NG상황의 경우 의사결정 평가결과 조회 페이지로 이동 가능하도록 링크한다.



[그림 2.89] 업무관리모듈과 의사결정모듈 데이터 통합에 따른 시스템 UI 및 컨텐츠 도출(3)

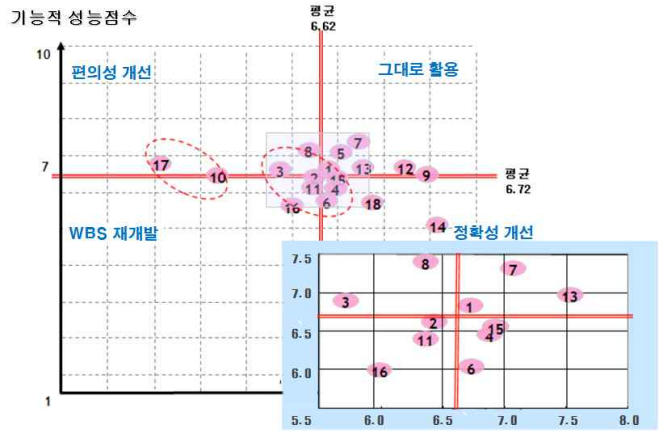
(2) 생애주기 단계별 업무 WBS 체계 보완 및 검증

본 연구에서는 통합지식관리시스템의 단계별 업무 WBS를 보완하였다. WBS의 정확성 등을 높여 실무적용에 이상이 없도록 하며, 통합에 있어 업무관리모듈의 WBS와 의사결정모듈의 Stage-Gate 간의 상호연관성을 높이기 위한 기준으로 활용하여 업무 효율을 높일 수 있는 WBS를 제시하였다.

(가) WBS 보완 절차

WBS를 보완하기 위해 내부 회의 및 전문가 자문을 통하여 개선사항을 도출하였으며, 전문가 자문을 통한 개선사항 도출은 기능적인 측면과 기술적인 측면으로 나누어 성능점수를 평가하여 실시하였다.

기능적 도출항목은 크게 4가지로 구분되며, WBS의 정확성, 정보간 상호관계의 명확성, 유연성, 중복도로 구성된다. 그리고 기술적 도출항목은 크게 3가지로 구분되며, 사용자 편의성과 업무유용성, 시스템 활용도로 구성된다.



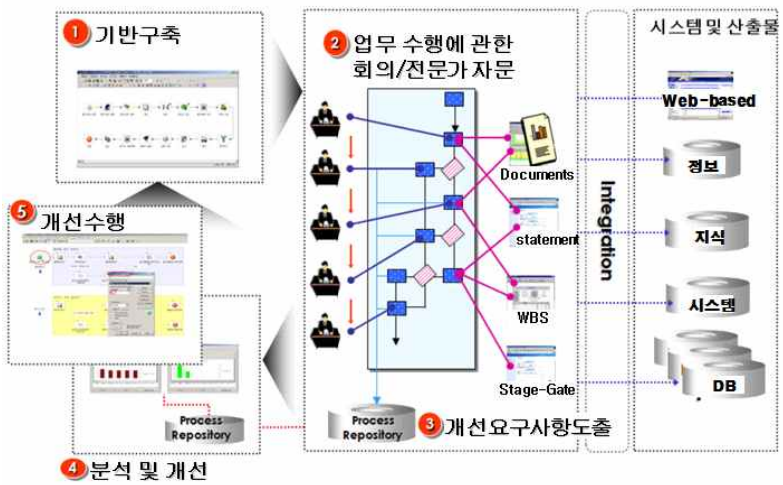
[그림 2.90] 기술적/기능적 성능점수 평가를 통한 WBS 개선사항 도출

<그림 2.90>에서 보는 바와 같이 기능적 성능점수와 기술적 성능점수의 평가내용을 토대로 개선사항을 도출할 수 있는데, 가로축은 기능적 성능점수이며, 세로축은 기술적 성능점수이다.

각 평가현황에 따라 업무효율 향상을 위하여 WBS의 단계별 개선요구사항을 도출하며, 기능적 성능점수와 기술적 성능점수 모두 높은 경우 그대로 활용하고, 기능적 성능점수가 높으나 기술적 성능점수가 낮을 경우 일부 마이너한 사항에 대한 개선 필요성이 도출된다. 반면 기능적 성능점수가 낮은 경우는 WBS 체계에 대한 개선이나 WBS의 재개발이 요구되는 경우로 볼 수 있다.

기능적 성능점수와 기술적 성능점수 분석사항을 토대로 개선 우선순위가 도출된다. <그림 2.91>는 내부 자체 회의 및 전문가 자문을 통하여 개별 프로세스를 모니터링하고 개선되어야 할 부분을 도출하는 과정을 도식화한 내용이다.

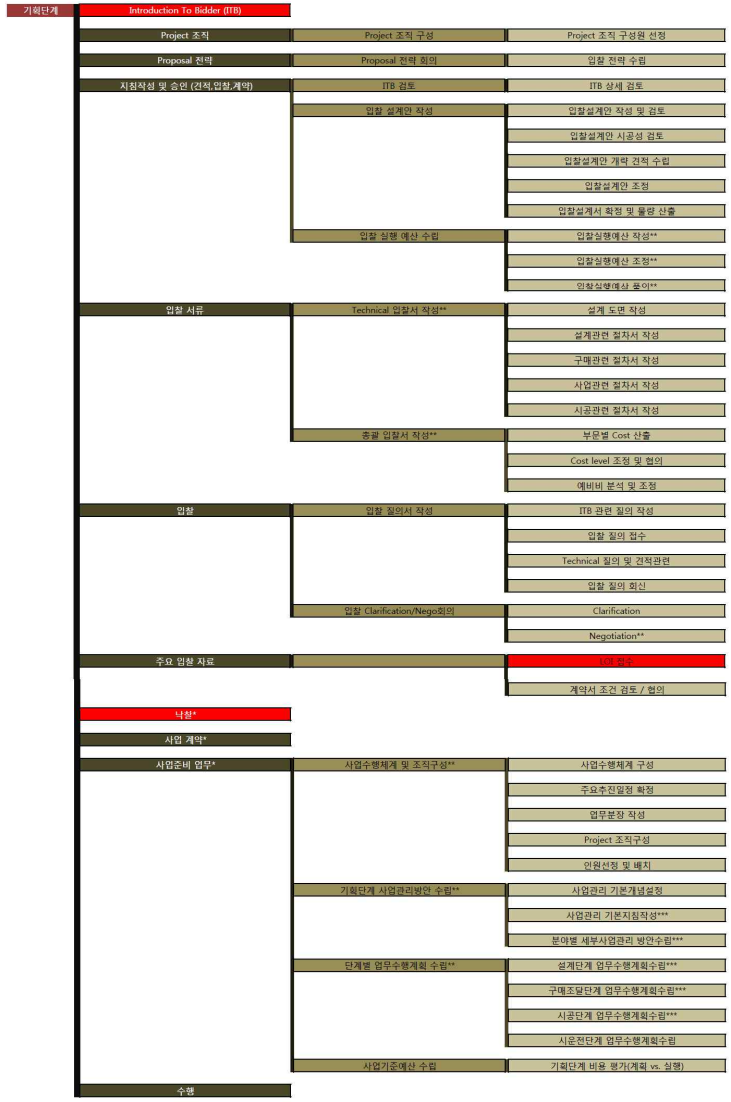
개선할 부분을 도출하면, 정량적/정성적으로 모니터링 내용을 분석하고, 기능적인 관점에서 개선사항을 도출하여 WBS를 개선하고, 기술적인 관점에서 개선사항을 도출하여 WBS 기반 업무 모듈의 전사적 개선을 수행하였다. <그림 2.91>의 평가내용에서 볼 수 있듯이, 편의성 개선, 그대로 활용, 정확성 개선, WBS 재개발의 분류로 생애주기단계별 WBS의 개선정도를 도출하여 이행하였다.



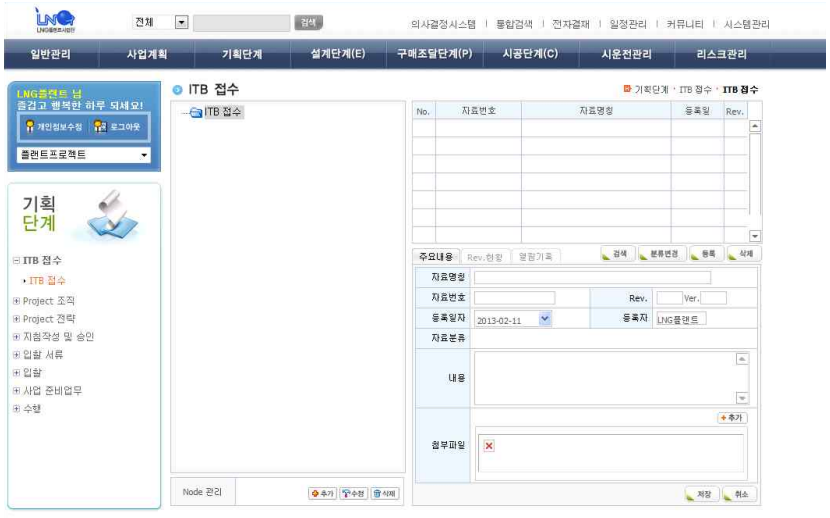
[그림 2.91] WBS 평가내용을 반영한 보완절차

(나) 기획단계 업무 WBS 보완

전문가 자문을 통하여 기획단계 WBS에 대한 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 9점, 기술적 성능점수 8점으로 높은 성능점수를 보였으므로, 기존의 WBS의 구성체계가 기능 및 기술적인 측면에서 현행 플랜트 업무에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 <그림 2.92>과 같이 기존에 개발된 기획단계의 업무 WBS를 그대로 유지하여 최종 기획단계 업무 WBS로 활용하였으며, WBS 기반 업무 모듈의 전산적 개선 또한 불필요하므로 <그림 2.93>와 같이 기존 기획단계 시스템체계를 유지하였다.



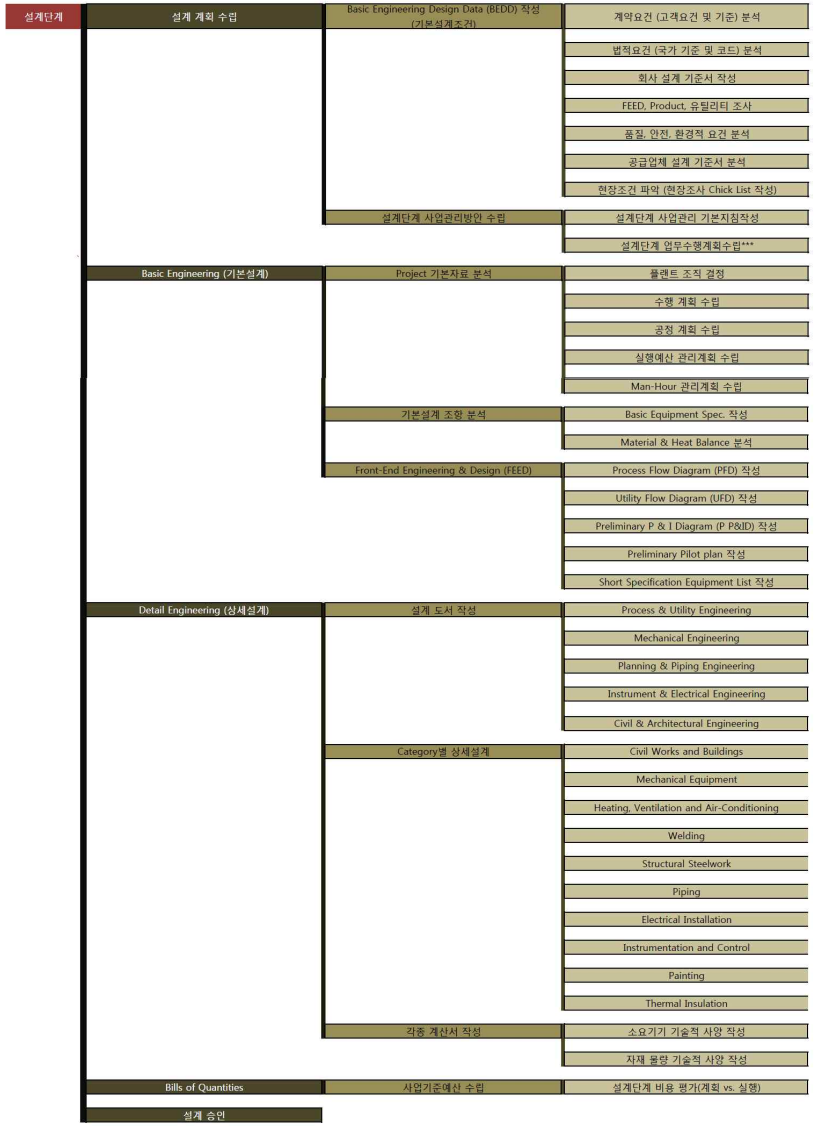
[그림 2.92] 최종 기획단계 업무 WBS



[그림 2.93] 최종 기획단계 시스템 구현

(다) 설계단계 업무 WBS 보완

전문가 자문을 통하여 설계단계 WBS에 대한 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 8점, 기술적 성능점수 8점으로 높은 성능점수를 보였으므로, 기존의 WBS의 구성체계가 기능 및 기술적인 측면에서 현행 플랜트 업무에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 <그림 2.94>와 같이 기존에 개발된 설계단계의 업무 WBS를 그대로 유지하여 최종 설계단계 업무 WBS로 활용하였으며, WBS 기반 업무 모듈의 전산적 개선 또한 불필요하므로 <그림 2.95>와 같이 기존 설계단계 시스템체계를 유지하였다.



[그림 2.94] 최종 설계단계 업무 WBS



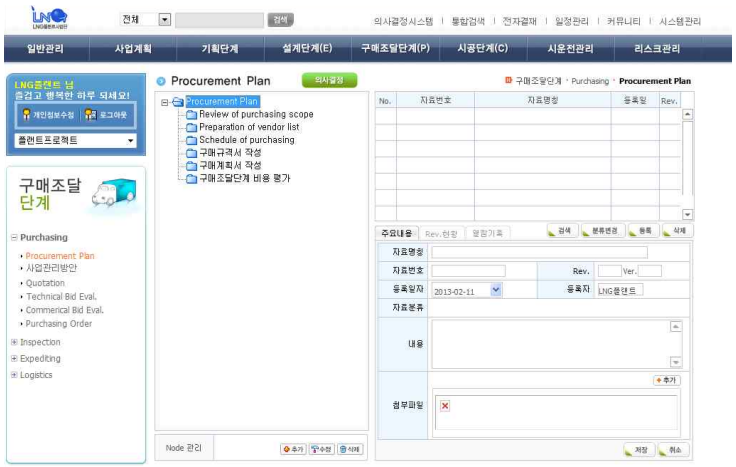
[그림 2.95] 최종 설계단계 시스템 구현

(라) 구매조달단계 업무 WBS 보완

전문가 자문을 통하여 구매조달단계 WBS에 대한 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 9점, 기술적 성능점수 9점으로 높은 성능점수를 보였으므로, 기존의 WBS의 구성체계가 기능 및 기술적인 측면에서 현행 플랜트 업무에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 <그림 2.96>와 같이 기존에 개발된 구매조달단계의 업무 WBS를 그대로 유지하여 최종 구매조달단계 업무 WBS로 활용하였으며, WBS 기반 업무 모듈의 전산적 개선 또한 불필요하므로 <그림 2.97>과 같이 기존 구매조달단계 시스템체계를 유지하였다.



[그림 2.96] 최종 구매조달단계 업무 WBS

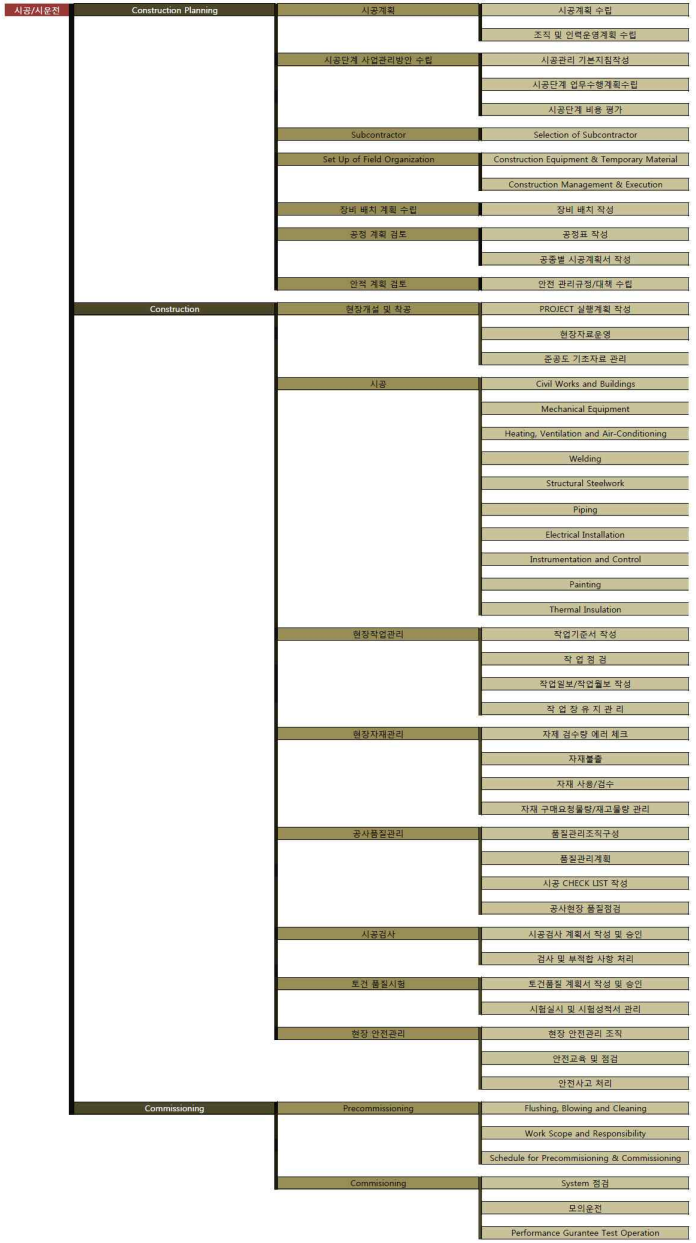


[그림 2.97] 최종 구매조달단계 시스템 구현

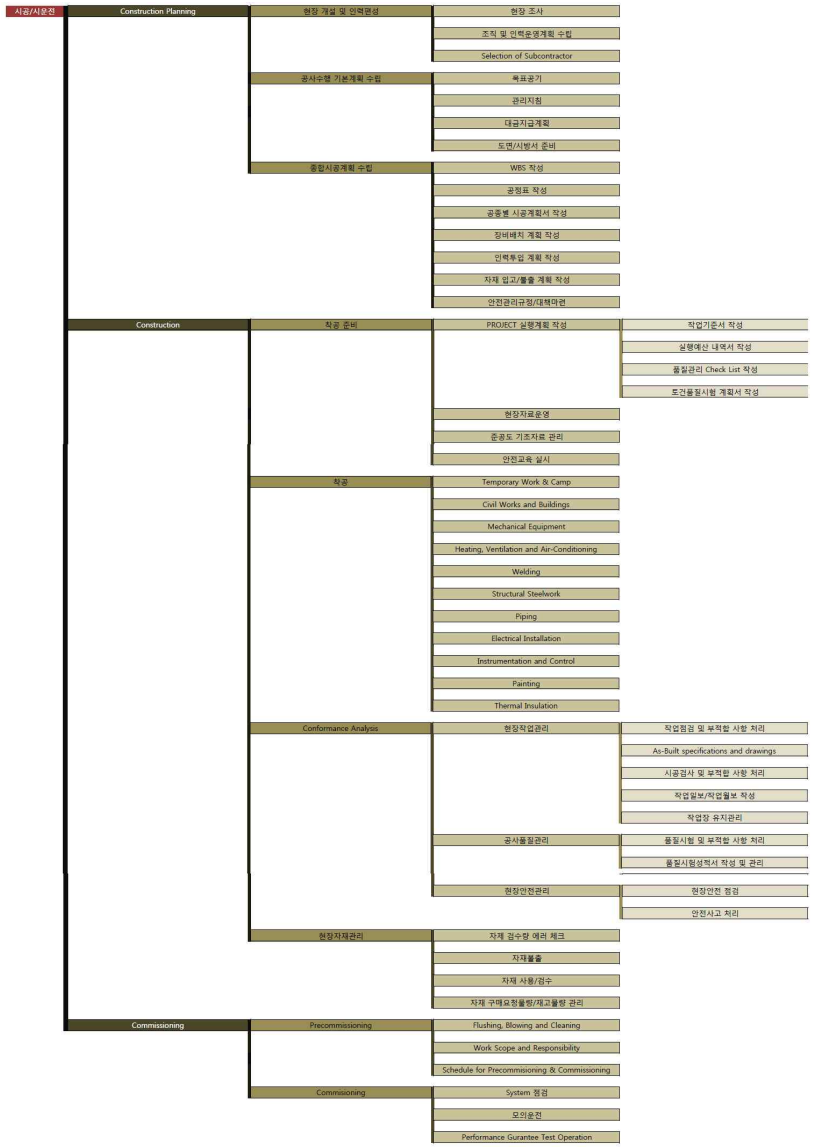
(마) 시공 및 시운전단계 업무 WBS 보완(1차)

전문가 자문을 통하여 시공 및 시운전단계 WBS에 대한 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 3점, 기술적 성능점수 8점으로 낮은 성능점수를 보였으므로, 기존의 WBS의 구성체계가 기능 및 기술적인 측면에서 현행 플랜트 업무에 적합하지 않은 것으로 나타났다.

따라서 내부 회의를 통해 업무 WBS에 대해 정성적/정량적으로 모니터링하여 기존 업무 WBS 체계가 실제 업무 프로세스 상의 업무 분류와 상이한 점이 도출되었다. 도출된 개선사항을 적용하여 <그림 2.98>의 기존 시공 및 시운전단계 업무 WBS를 <그림 2.99>과 같이 1차 보완하였다. 보완된 업무 WBS는 다시 전문가 자문을 통해 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석하였다.



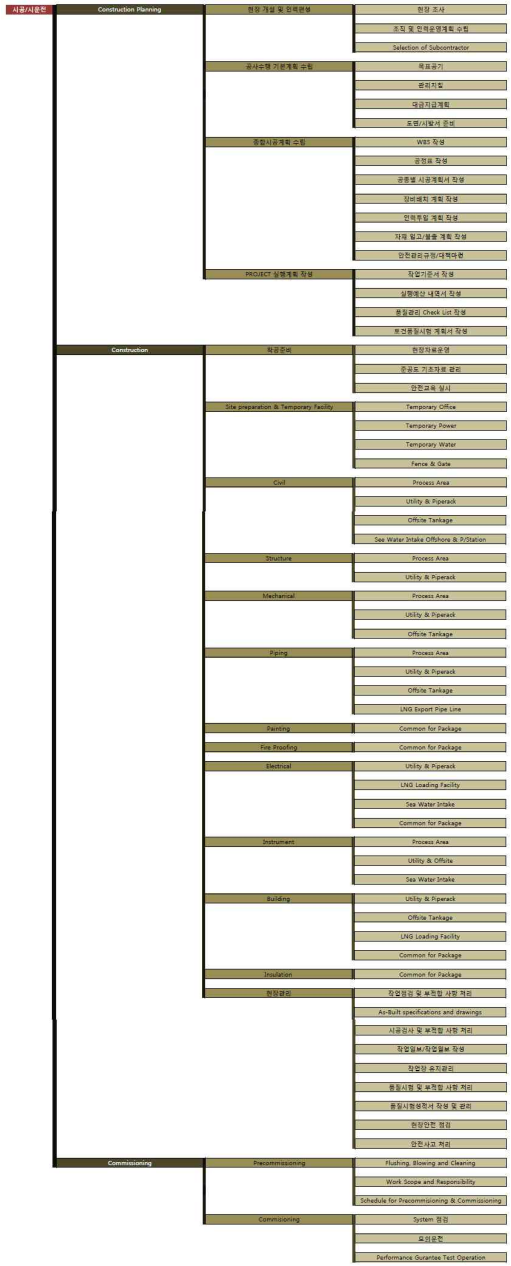
[그림 2.98] 기존 시공단계 업무 WBS



[그림 2.99] 시공단계 업무 WBS 1차 수정 결과

(바) 시공 및 시운전단계 업무 WBS 보완(2차)

1차 보완된 WBS에 대해 전문가 자문을 통하여 시공 및 시운전단계 WBS에 대한 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 5점, 기술적 성능점수 5점으로 나타났다. 1차 보완시기보다 기능적 성능점수가 향상되었지만 아직 충분한 요구성능을 가지기 못하며, 기술적 성능점수는 오히려 떨어졌다. 따라서 내부 회의를 통해 업무 WBS에 대해 정성적/정량적으로 모니터링하여 개선사항을 다시 도출하였다. WBS 체계가 Level 5까지 도출되면서 구축된 시스템에서의 업무유용성과 활용성을 저하시킨 것으로 나타났다. 도출된 개선사항을 적용하여 <그림 2.100>과 같이 2차 보완하였다. 보완된 업무 WBS는 다시 전문가 자문을 통해 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석하였다.

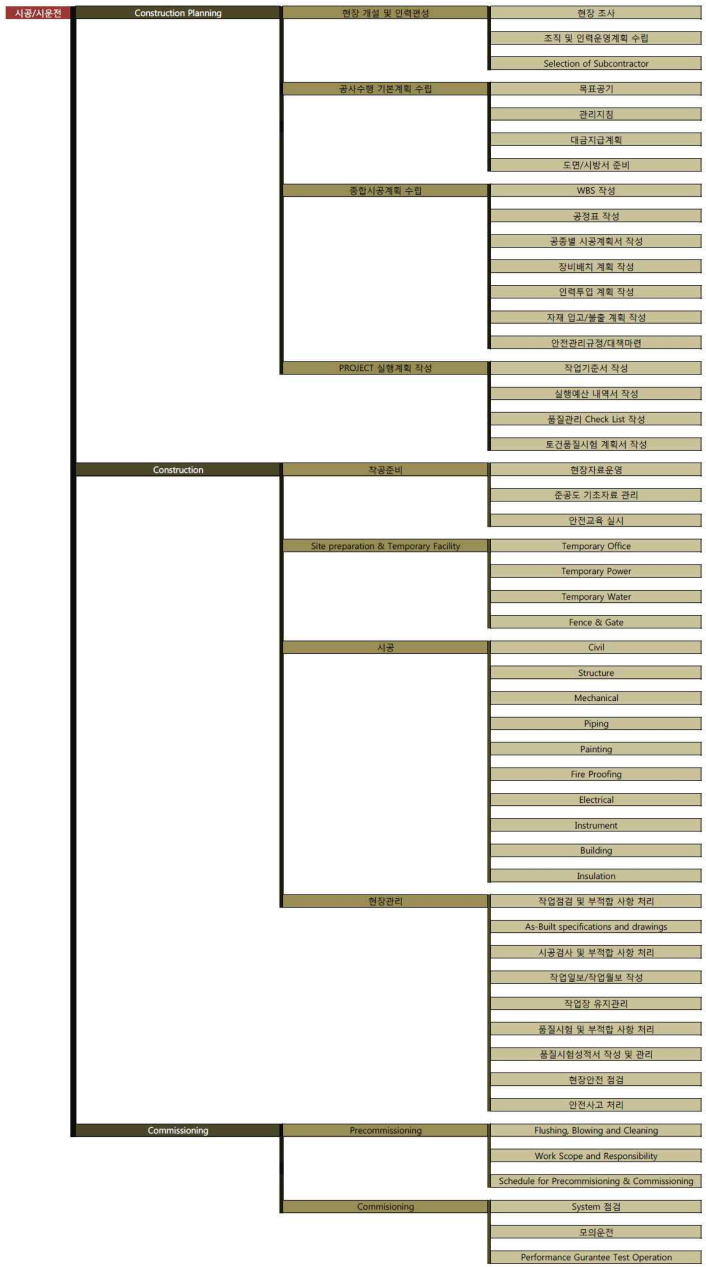


[그림 2.100] 시공단계 업무 WBS 2차 수정 결과

(사) 시공 및 시운전단계 업무 WBS 보완(3차)

2차 보완된 WBS에 대해 전문가 자문을 통하여 시공 및 시운전단계 WBS에 대한 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 6점, 기술적 성능점수 8점으로 높지 않은 성능점수를 보였다. 2차 보완시기보다 기능적 성능점수와 기술적 성능점수 모두 향상되었지만 기능적 성능점수가 요구성능을 만족하지 못하였다.

따라서 내부 회의를 통해 업무 WBS에 대해 정성적/정량적으로 모니터링하여 개선사항을 다시 도출하였으며, 시공단계 Level 3의 업무 분류가 너무 상세하여 Stage-Gate와의 상호연관성을 저해할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 도출된 개선사항을 적용하여 시공단계 Level 3의 업무들을 공통적인 특성이 있는 것으로 묶어 <그림 2.101>와 같이 3차 보완하였다. 보완된 업무 WBS는 다시 전문가 자문을 통해 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석하였다.



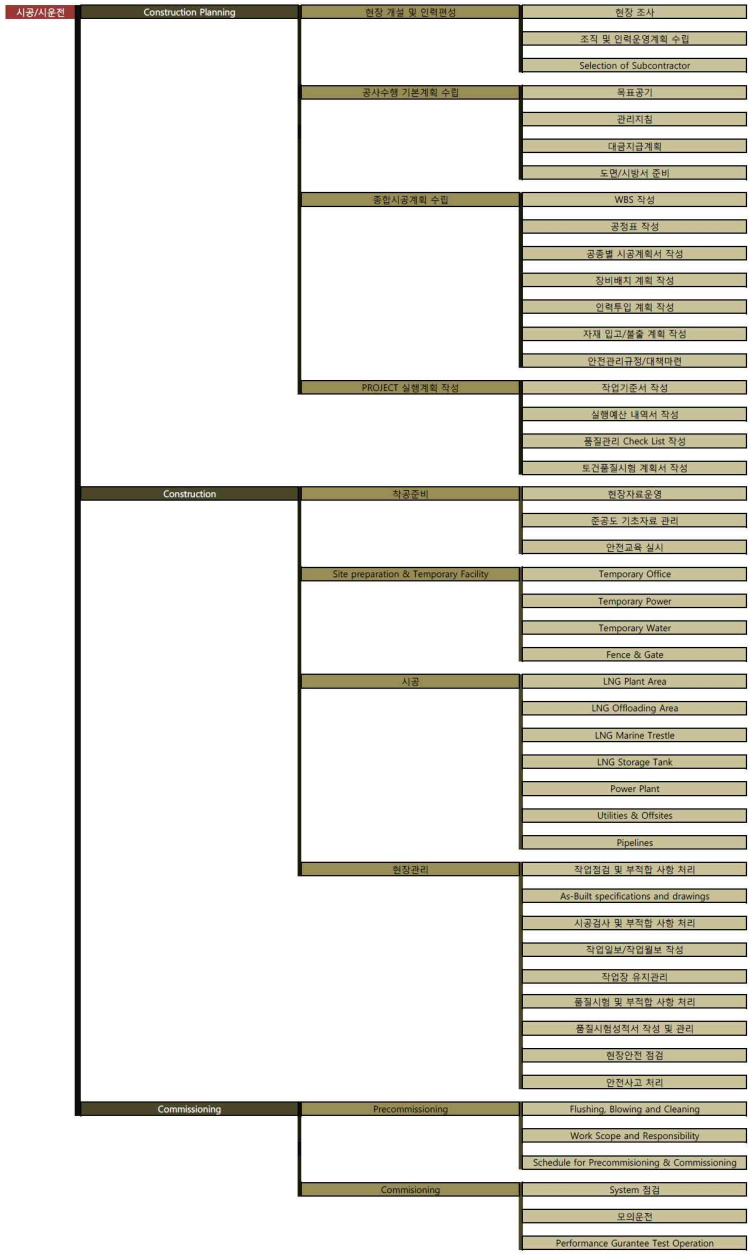
[그림 2.101] 시공단계 업무 WBS 3차 수정 결과

(아) 시공 및 시운전단계 업무 WBS 보완(4차)

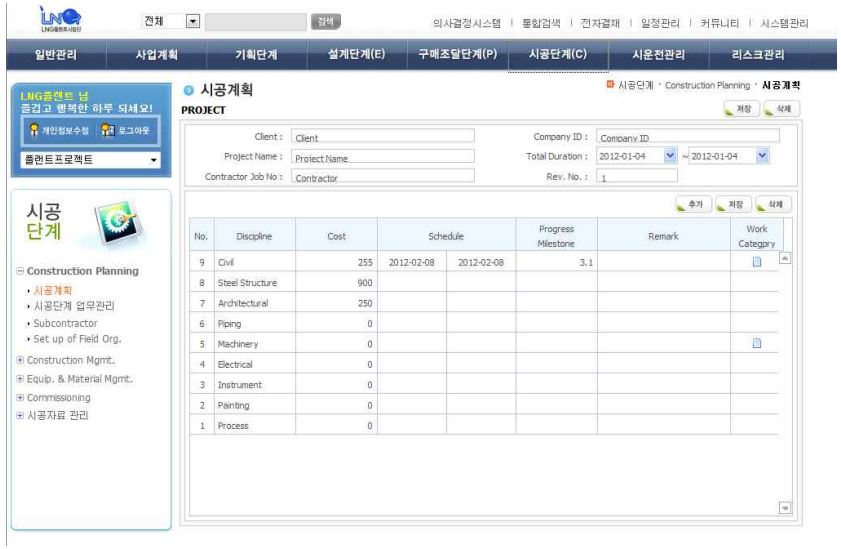
3차 보완된 WBS에 대해 전문가 자문을 통하여 시공 및 시운전단계 WBS에 대한 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 7점, 기술적 성능점수 8점으로 나타났다. 기존 업무 WBS보다 기능적 성능점수가 많이 향상되었지만 기능적 성능점수를 충분히 만족시키지 못하였다.

따라서 내부 회의를 통해 업무 WBS에 대해 정성적/정량적으로 모니터링하여 개선사항을 다시 도출하였으며, 실제 플랜트 시공업무에서 Area별로 진행되는 것에 반해 시공단계 Level 3 시공의 Level 4 업무가 시공 프로세스별로 나열되어 있는 문제점이 나타났다. 따라서 도출된 개선사항을 적용하여 Level 4의 업무를 시공 Area 수정 적용하여 <그림 2.102>과 같이 4차 보완하였다.

보완된 업무 WBS를 다시 전문가 자문을 통해 기능적 성능점수 및 기술적 성능점수를 분석한 결과 기능적 성능점수 9점, 기술적 성능점수 9점으로 수정된 업무 WBS가 기능 및 기술적인 측면에서 현행 플랜트 업무에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 <그림 2.102>의 업무 WBS를 최종 시공 및 시운전단계 업무 WBS로 활용하며, 이를 기반으로 WBS 기반 업무 모듈의 전산적 개선 작업을 실시하여 <그림 2.103>과 같이 시공 및 시운전단계 시스템체계를 구축하였다.



[그림 2.102] 시공단계 업무 WBS 4차 수정 결과



[그림 2.103] 최종 시공 및 시운전단계 시스템 구현

다. 주요결과 및 시사점

본 연구에서는 통합지식관리시스템 상기 메타데이터 관리 기법을 활용한 데이터 마이닝 기법에 더불어 온톨로지를 규명하여 온톨로지 체계를 제시하여 각 생애주기 단계별 통합지식관리 기법을 구축하였으며, 구축된 통합지식관리 기법을 기반으로 시스템 UI 및 컨텐츠를 도출하였다. 이를 기반으로 구축된 시스템은 사용자가 보다 쉽게 업무를 진행할 수 있으며, 업무에 필요한 지식에 보다 정확하고 빠르게 접근할 수 있을 것으로 사료된다.

생애주기단계별 업무 WBS에 대해 기능적 측면과 기술적 측면으로 분석한 결과 기획단계, 설계단계, 구매조달단계의 경우 기존 업무 WBS가 현행 플랜트 프로젝트 업무에 적합하므로 기존 업무 WBS와 시스템 체계를 유지하였다.

반면 시공 및 시운전단계의 경우 기존 업무 WBS가 현행 플랜트 프로젝트 업무에 적합하지 못하여 개선할 부분에 대해 정량적/정성적 모니터링을 실시하여 개선사항을 도출하여 보완작업을 실시하였다.

특히 시공 및 시운전단계의 업무 WBS는 당해연도 Stage-Gate의 시공 및 시운전단계 개발에 기준으로 활용하여 상호호환성이 높은 통합시스템을 개발할 수 있는 초석이 되었다.

10. LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 및 검증

가. 접근방법

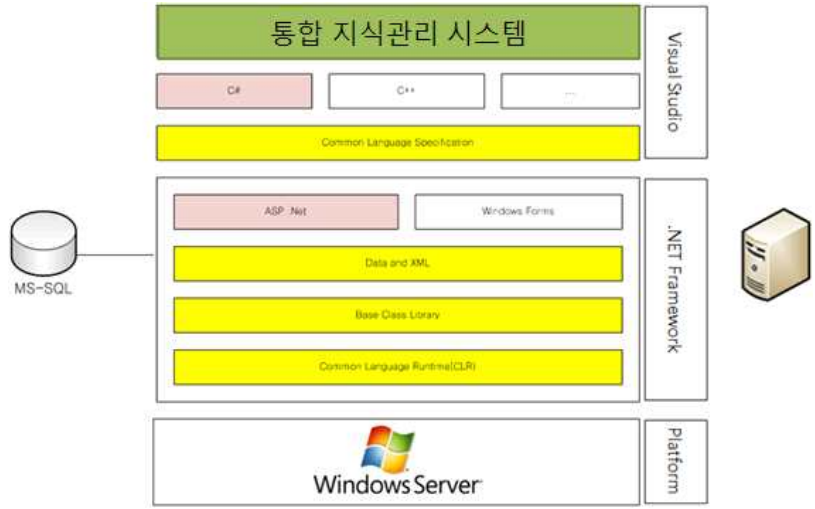
- LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발
- LNG 플랜트 통합지식관리시스템 검증 및 상용화 방안 구축

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발

요소기술에 대한 선행 연구 결과를 활용한 효과를 얻기 위해서는 체계적이고 구조화된 시스템의 개발이 필요하며, 건설/플랜트 전문IT 기술을 보유한 1-4세부 주관기관인 한길아이티에서 많은 프로젝트를 수행하면서 쌓아온 노하우를 접목 하였을 때 보다 효과적인 “LNG플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발”을 위한 시스템이 만들어 질수 있을 것으로 기대된다.

통합지식관리 시스템 개발의 시스템은 Windows기반에 .Net Framework을 사용하고, C#개발 언어와 Microsoft의 MS-SQL2005 Database을 사용하여, 통합지식관리 시스템을 위한 소프트웨어를 개발한다.



[그림 2.104] 개발시스템 Framework

Window Server Platform 기반에 .NET Framework를 사용 하였으며, ASP.Net을 활용하여, Web기반의 WebForm과 Web Service을 활용하여, 다양한 위치의 다양한 사람들이 Collaboration이 가능한 시스템을 개발 하였다.

(가) 시스템 구성

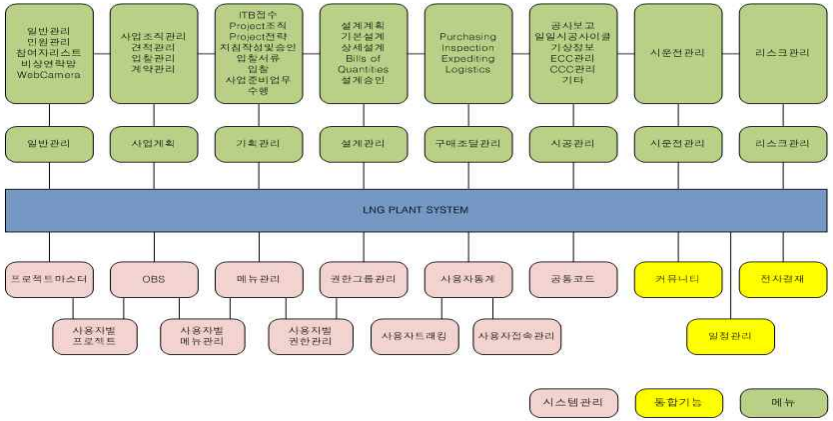
통합지식관리 시스템은 프로젝트 관리, 설계단계(E), 구매조달단계(P), 시공단계(C), 의사결정지원과 같이 5가지로 크게 나누어 구성되었다.

프로젝트관리 기능은 프로젝트의 생성/수정/삭제 기능과, 사용자 관리, 메뉴관리, 권한관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.

설계단계(E) 관리의 경우는 설계단계를 각각의 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 설계계획, 기본설계, 상세설계, Bills of Quantities로 구성하여 데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 정보를 관리 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.

구매조달단계(P) 관리의 경우는 구매조달단계를 각각의 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 Purchasing, Inspection, Expediting, Logistics로 구성하여 데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 정보를 관리 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.

시공단계(C)관리의 경우는 시공단계를 각각의 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 Construction Planning, Construction Mgmt, Equip Materal Mgmt, Commissioning, 시공자료 관리로 구성하여 데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 정보를 관리 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.



[그림 2.105] 시스템 구성도

(나) 모듈 구성

통합지식관리 시스템은 총괄 시스템과 프로젝트 시스템으로 나눠진다. 총괄시스템은 프로젝트의 생성 및 관리와 통합지식관리 데이터를 관리하는 모듈로 구성되며, 프로젝트 시스템은 프로젝트의 권한자가 사업정보 관리를 생성 및 관리, 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 확인하는 모듈로 구성되어 있다.



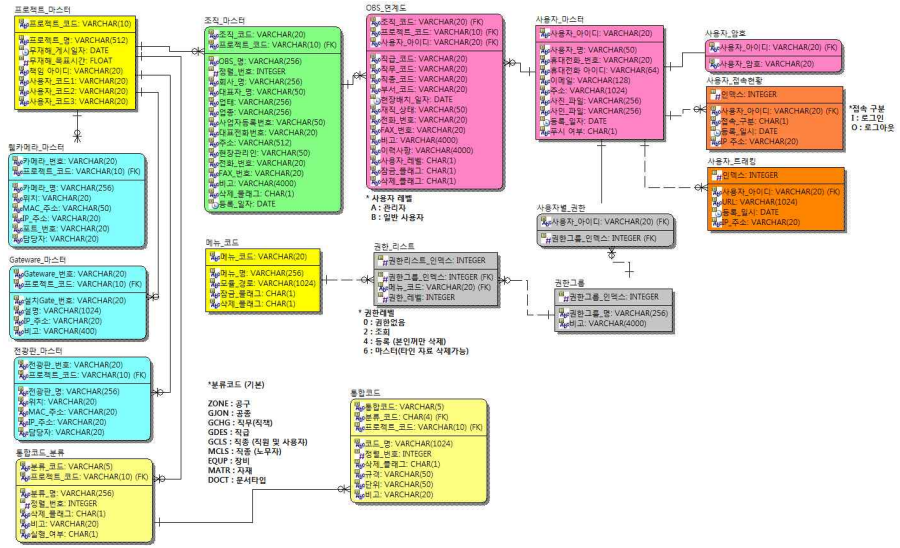
[그림 2.106] 모듈 구성도

(다) Database 설계

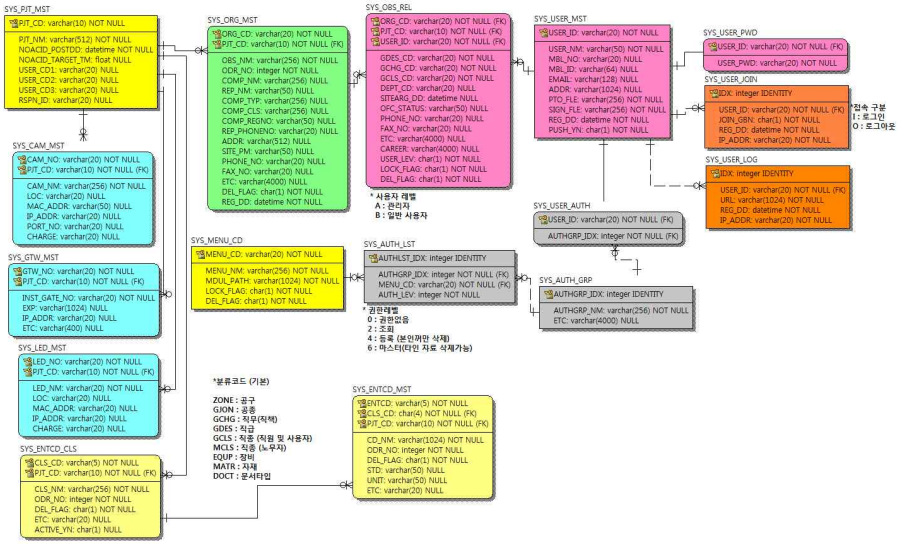
통합지식관리 시스템의 데이터베이스 구조는 표준 데이터 관리부분과 각 프로젝트별 사업정보 관리부분 및 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 관리하는 부분으로 나누어져 있다. 프로젝트 관리는 다수 프로젝트를 수용하고, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 참여를 수용할 수 있는 구조로 구성하였다.

① 프로젝트 관리 및 시스템 관리

프로젝트 관리는 다수의 프로젝트를 수용할 수 있는 구조로, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 각각 다른 권한을 가질 수 있는 구조로 구성하였다. 시스템관리는 사용자별로 3단계 메뉴까지의 권한을 부여할 수 있으며, LNG 플랜트 시공단계 의사결정지원 시스템에서 사용되는 공통 정보는 코드화 하여 통합관리 될 수 있도록 구성하였다.



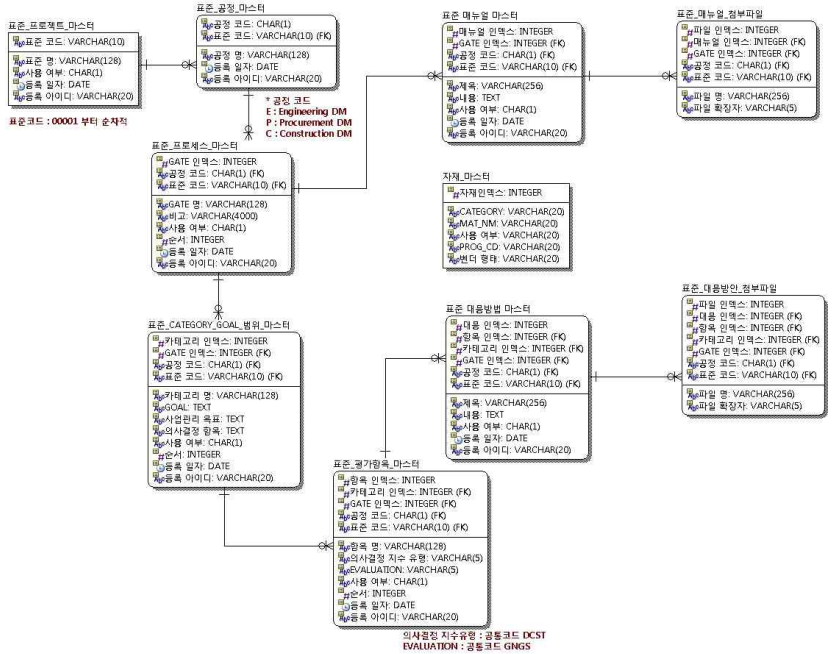
[그림 2.107] 시스템 관리 설계 (Logical)



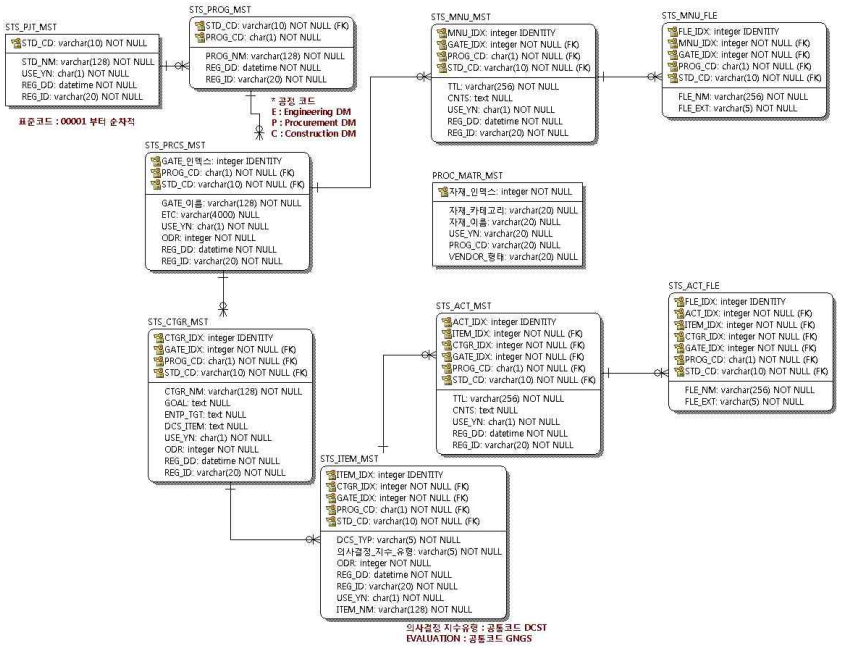
[그림 2.108] 시스템 관리 설계 (Physical)

② 표준 데이터 관리

시스템에서 프로젝트별 사용자에게 표준으로 제공되는 표준 데이터가 관리되며, 표준 데이터도 프로젝트의 형태별로 관리될 수 있도록 구성하였다.



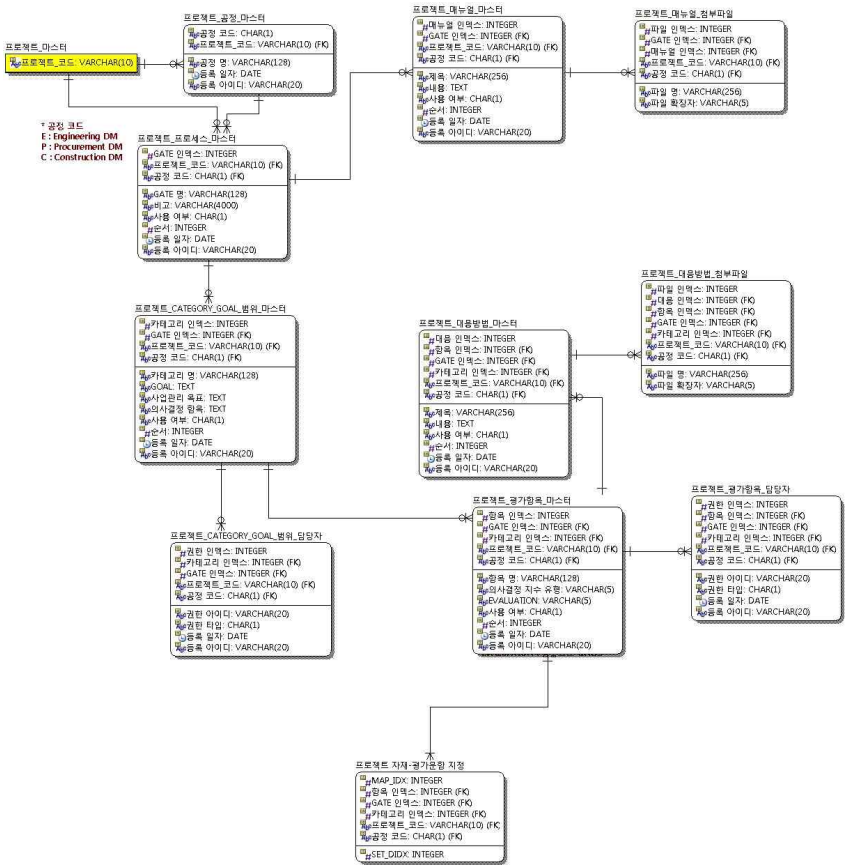
[그림 2.109] 표준 데이터 관리 설계 (Logical)



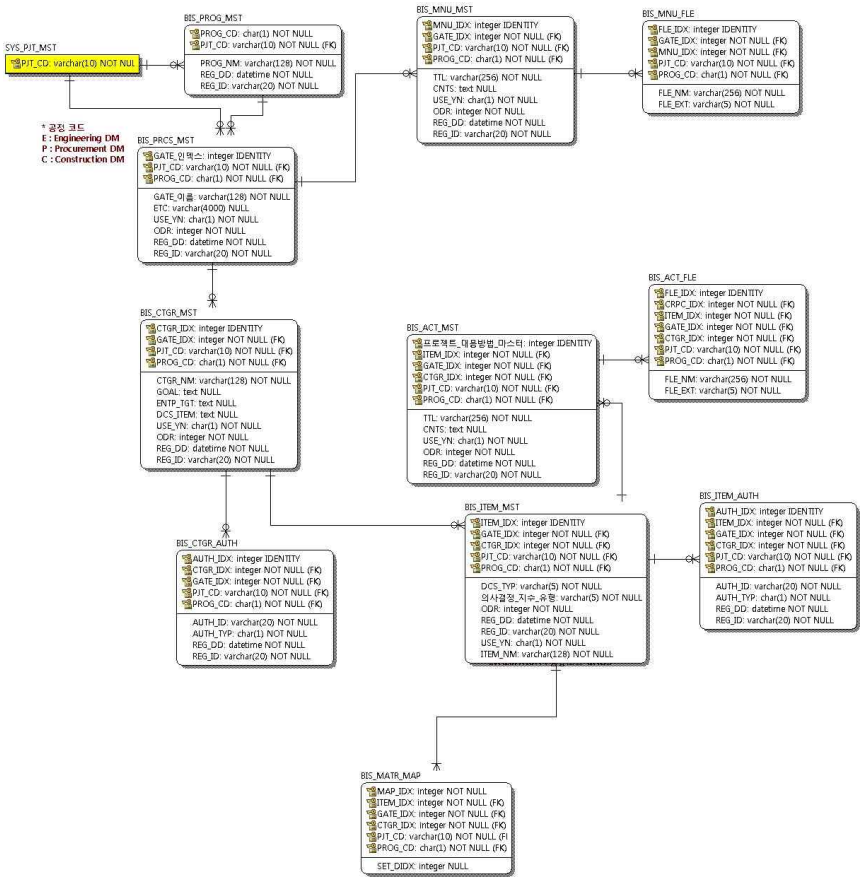
[그림 2.110] 표준 데이터 관리 설계 (Physical)

③ 사업 정보 관리

사용자가 각 프로젝트에 맞게 사업정보를 구성하는 것으로, 표준 데이터 관리의 정보를 복사하여 사용하지만, 생성/수정/삭제를 독립적으로 관리할 수 있도록 구성하였다.



[그림 2.111] 사업 정보 관리 설계 (Logical)



[그림 2.112] 사업 정보 관리 설계 (Physical)

(라) 프로젝트 미 프로젝트별 사용자 관리

프로젝트관리 기능은 프로젝트의 신규 생성, 수정. 삭제 기능과 사용자 관리, 메뉴관리, 권한 관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.

시스템 운영자가 프로젝트를 개설하여 해당 프로젝트의 책임자를 지정하고, 프로젝트의 정보를 등록 및 관리할 수 있도록 구성하였다.

또한, 시스템 운영자가 프로젝트별 사용자를 관리하는 화면으로, 사용자가 하나 이상의 프로젝트에 참여할 수 있도록 구성하여, 지식관리 차원의 자료보관 및 데이터 활용이 가능하도록 하였다.



[그림 2.113] 프로젝트 관리



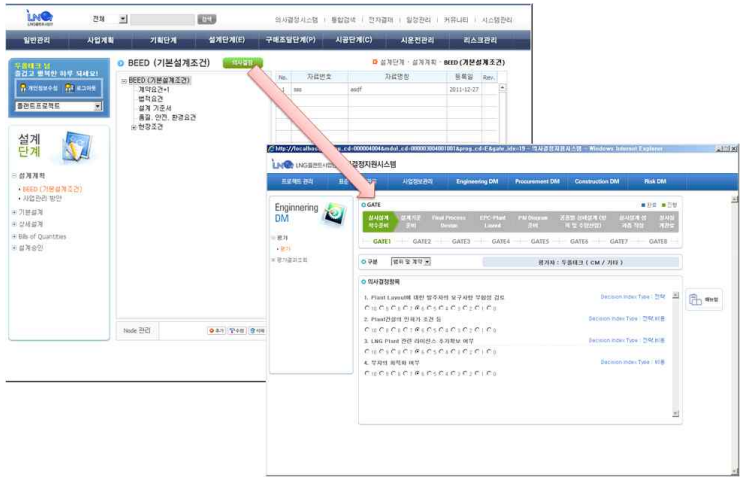
[그림 2.114] 프로젝트별 사용자 관리

(마) 각 업무단계별 의사결정 지원 시스템과의 통합 연계

통합지식관리 시스템에서 각 업무단계별 의사 결정이 필요한 업무에 의사결정버튼을 추가하여 의사결정 버튼을 추가하면 해당 단계의 의사결정 지원 시스템의 평가 화면이 링크처리되게 구성한다. 표시된 업무지원시스템의 메뉴와 의사결정지원 시스템의 Gate를 연결하여 Gate의 상태표시를 진행이면 녹색으로 오류이면 적색으로 완료이면 청색으로 표시하게 구성하였다.

① 설계단계의 의사결정 지원 시스템 Procurement DM 평가화면 연계

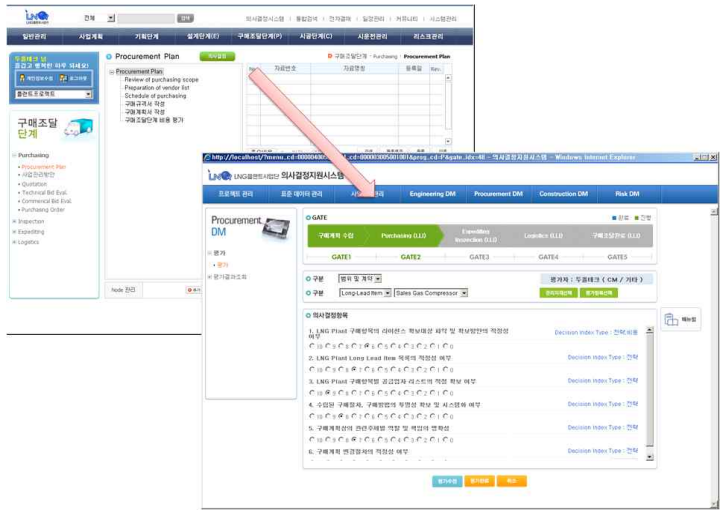
설계단계와 의사결정 지원 시스템의 Engineering DM의 평가화면과 연결하여 각 업무단계의 평가화면과 연결되고 평가 결과를 저장한다.



[그림 2.115] 설계단계에서 의사결정 지원 시스템과의 연계

② 구매조달단계의 의사결정 지원 시스템 Procurement DM 평가화면 연계

구매조달단계와 의사결정 지원 시스템의 Engineering DM의 평가화면과 연결하여 각 업무단계의 평가화면과 연결되고 평가 결과를 저장한다.



[그림 2.116] 구매조달단계와 의사결정 지원 시스템과의 연계

(2) LNG 플랜트 통합지식관리시스템 검증 및 상용화 방안 구축

"LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리 기술 개발"을 위한 연구를 LNG 플랜트 사업단 내 포함하여 연구개발을 진행하였으며, 그 목표의 일환으로 1핵심과제 내 세부 4과제 한길아이티 주관으로 "엔지니어링 효율성 개선 기술개발" 연구가 수행 중이며, 본 과업의 최종 성과물인 "LNG 플랜트 통합지식관리 시스템"은 "사업타당성 평가 모듈", "위험기반의 의사결정 지원 모듈" 을 포함하고 있다.

본 연구의 최종 성과물은 "LNG 플랜트 엔지니어링 생산성 10% 향상"을 목표로 연구를 수행하여 왔다. 특히, 해외 LNG 선진 기업의 건설관리 기술력과 국내의 기술력에 대한 정량적 비교 및 평가를 위한 방안을 도출하고 건설관리 기술개발의 최종결과로 기대되는 기술격차 수준에 대한 예측 및 평가를 제시하고자 하였다. 전체적 연구목표는 아래 그림과 같다.



[그림 2.117] 본 과제의 연구목표

LNG 플랜트 사업단내 1-4세부 과제에서 개발한 "LNG 비즈니스 통합 솔루션"의 기술완성도 및 품질역량의 효율성 검증을 위해 수행하였으며, 각 세세부 기관에서 수행한 통합지식관리 시스템, 사업계획 전문가 시스템 및 의사결정지원 시스템을 포함한 연구 개발된 비즈니스 통합 솔루션이 평가 대상이다.

본 절에서는 생산성 향상을 목표로 한 검증의 일환으로 작성되었으며, 개발된 LNG 플랜트

통합지식관리시스템을 활용하여 LNG 플랜트 건설사업관리 효율성 향상과 관계된 역량 평가 및 검증하기 위해 기술세미나 및 시연을 통해 관리적인 항목을 도출하였으며, 최종적으로 PMI 의 OPM3 방법론을 사용하여 Likert Scale 척도를 적용하였다. 본 과업의 성과물인 "LNG 플랜트 통합지식관리 시스템"을 대상으로 현업, 특히 프로젝트 실무자가 사용시 절차(지침/규정), 조직/인력 및 전산시스템에서의 As_Is 대비 To-Be를 정량적 평가와 이를 통해 생산성 10% 향상 효과를 분석하였다.

시스템 검증을 위한 추진 세부 방법은 총 3단계에 걸쳐 진행하였다. 첫째, 건설관리체계에 대한 다각적인 분석과 연구과제 진행사항에 대한 파악이 선행되었으며 국내외 플랜트 건설관리체계의 역량평가에 대한 선행연구 조사가 수행되었다. 그리고 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리 기술 개발을 통해 목표로 설정한 "엔지니어링 생산성 10%향상" 달성을 위한 검증방법론을 통해 Tool을 확보하고, 본 연구 성과물에 적용할 수 있도록 하였다. 둘째, 이를 토대로 각 기술에 해당하는 적합한 플랜트 실무자 및 전문가 Pool를 확보하여, 이들을 통한 개별 면담을 진행하여 설정한 목표를 달성하고자 하였다. 셋째, 엔지니어링 생산성 10% 향상이라는 정량적 목표에 대한 고찰과 실효성에 대한 검토를 수행하였으며 10% 향상의 정량적 평가 방안을 제안하였다.

(가) 성과 측정 방법

LNG 플랜트 건설 프로젝트의 사업관리 역량 제고를 통해 2016년 연구 종료시 연구 시작 시점과 비교하여 본 연구의 성과물을 이용하여 건설사업관리 역무를 수행할 경우 "엔지니어링 생산성 10% 향상 방안" 마련을 도모하는 것이 주요 골자로 볼 수 있다.

따라서 미국, 프랑스, 일본 등의 유수 선진 건설기업의 건설사업관리 역량수준을 100%로 설정하고, 본 과제를 통해 개발되는 '절차와 시스템'을 통한 사업관리의 기술적 측면을 90% 비중, '인력'이 보유한 경험과 실적을 통한 기술 사용자 측면에서 10% 비중이 존재하는 것으로 가정하고, '절차와 시스템'을 통한 사업관리 역량이 기존 대비 10% 향상한다 라고 가정하였다.

① 성과 목표 설정에 대한 분석 및 평가

현재 연구진이 제시하고 있는 통계적 수치의 정의와 통계적 수치 달성을 측정할 수 있는 개략적인 방법은 아래 그림과 같다.



[그림 2.118] 절차・프로세스・시스템의 수준향상 목표

연구개발의 성과평가는 연구결과 확보 가능한 국내 LNG 플랜트 건설사업관리 기술력이 연구 이전 수준과 비교하여 10%이상 엔지니어링 생산성이 향상한 수준에 이르는 것을 목표로 한다. 비록 건설사업관리 분야의 특성상 기술력의 객관화가 용이하지 않지만, 본 연구에서 설정된 건설관리기술 개발영역의 포괄성, 각 영역의 완성도와 실효성, 영역간의 연계성 등을 검토 및 검증함으로써 신뢰도 높은 기술비교 및 성과평가를 위한 정량적 분석도 가능할 것으로 판단된다. 예컨대, 사업관리 역량 수준에 관한 정량적 분석은 PMBOK, CII, FIATECH 등 선진 사업관리 지식영역을 기준으로 역량 평가를 수행하는 것이 타당한 분석의 근거가 될 수 있으며, OPM3, P3M3, CMMI와 같이 조직의 프로젝트 관리 역량을 계량화 할 수 있는 사업관리 역량 성숙도 모델을 적용하여 정량적 분석 근거를 마련하는 방안도 고려해 볼 수 있다.

② 연구개발 종료 시 As-Is 단계와의 격차 분석 (Gap Analysis)

본 연구과제의 성과물은 글로벌 시장의 건설 수행방식과 호환가능하고 프로젝트별 요구사항에 대처가 가능한 절차와 시스템 개발로써, 글로벌 환경과 호환 가능한 절차(Process)와 시스템(System)을 구축한다면 글로벌 기업의 90% 수준까지 확보할 수 있다고 판단하는 것은 논리적으로 적절한 것으로 판단된다.

10%의 격차는 PM체계의 한 축인 인력(People) 임을 감안하여 설정이 가능하다. 즉, 글로벌 PM 체계의 완성은 PM 인력 고도화를 통해 완성가능하며 해외사업 경험 축적과 체계적인 인력양성 로드맵 및 교육이 필요한 것을 전제로 한다. 특히 국내의 LNG플랜트 PM 인력은 국내에서는 최상위에 있다고 판단되나 LNG 액화플랜트 분야의 해외 경쟁 기업 수준과 비교하면 격차가 있는 것으로 인지되고 있다. 따라서 연구수행 완료시 예측되는 최종 성과물을 이용하여 성과물 이용 및 교육/훈련 이전 단계(AS-IS_)와 성과물을 이용하여 사업관리를 한 단계(TO-BE)와의 격차분석을 통해 10% 생산성 향상 측정은 논리적으로 예측 가능하다. 예를 들

어, 해외 건설관리 기술 중 리스크 관리 부분에 대한 체계적이고 타당성 있는 절차가 개발되고 난 후, 식별된 리스크에 대응하기 위한 Contingency Plan (예비계획)은 다양한 발주처와 지역 환경 등에 대한 프로젝트 수행경험을 통해서 고도화 되는 기술로써 해외 건설 실적의 증대에 따라 기술고도화가 가능한 영역으로 인식된다.

③ 상관관계 분석방안

연구과제의 목표는 엔지니어링 효율성 개선 기술 개발이다. 가장 직접적인 측정 방법은 본 사업단 과제의 테스트 베드에 당 세부과제의 성과물을 직접 적용해 이전과 이후의 사업관리 효율성을 측정하여 보는 것이다. 즉, 이전의 건설관리 프로세스와 시스템을 본 연구를 통해 개발된 통합 건설관리 체계 및 시스템과 1:1로 비교하는 것이다. 이러한 비교도 정성적인 프로세스가 위주로 취급되는 건설관리 분야의 속성상 엄밀한 관점에서 계량화 점검이 힘들 것으로 예상된다. 더욱이 액화플랜트 사업관리 기술은 한 국가의 기밀과 같이 취급되는 기술로 최근 대한민국에게 경쟁 국가들의 선진기업들이 그 프로세스와 시스템을 경쟁 상대국에 공개하는 것은 사실상 불가능하다. 그러므로 이를 극복하기 위하여 현재 개발되고 있는 통합 지식 및 정보 관리분야의 건설사업관리 기술 (프로세스 + 시스템 + 인력) 의 성숙도를 평가할 수 있는 모델이 (OPM3) PMI에서 제공되고 있으므로 이를 이용하는 것이 차선의 선택 (직접 비교 평가가 아니고 간접적인 비교 평가이므로) 일 수 있다고 사료된다. 물론 OPM3는 일반적인 프로젝트/프로그램 성숙도 모델로 본 연구를 위해서는 수정되고 개선되어야할 부분이 있지만 현재 연구진이 구할 수 있는 가장 신뢰도 높은 성숙도 평가 모델이라고 생각되므로 이를 이용하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

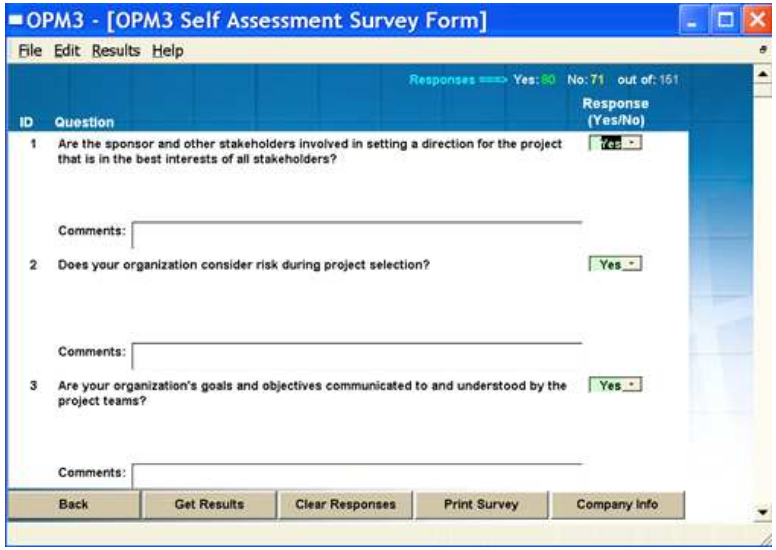
OPM3의 자가 평가도구는 CD 버전으로 출시하였다. 그 151문항의 질문은 내부 알고리즘을 통하여 597개의 Best Practice 연결이 되어 결국 이 자가평가 시스템은 597개의 Best Practice의 수행 여부를 YES-NO 방식으로 질문하는 것이다. 실제 예를 들면 151개의 자가 평가 문항의 첫 번째 질문이 “모든 이해관계자들의 최대 관심사인 프로젝트의 방향 설정에 후원자 및 기타 이해관계자들이 관여하고 있습니까?”일 경우, 이 질문은 내부 알고리즘에 의해 표 1과 같은 1440, 1450, 1510, 3060의 4개의 Best Practice(BP)와 연결되어 진다. 이들 BP는 더욱 다양한 CP(Capability) 로 연결된다. 다시 말해서 자가평가의 질문은 BP와 연결이 되고 BP는 CP와 연결이 되는 내부 메트릭스를 통해 자가평가자의 현재 성숙도를 측정할 수 있도록 해준다. OPM3자가 평가 CD의 개략적인 내용을 다음 그림에서 보여준다.

[표 2.21] 질문사항과 BP와의 연결

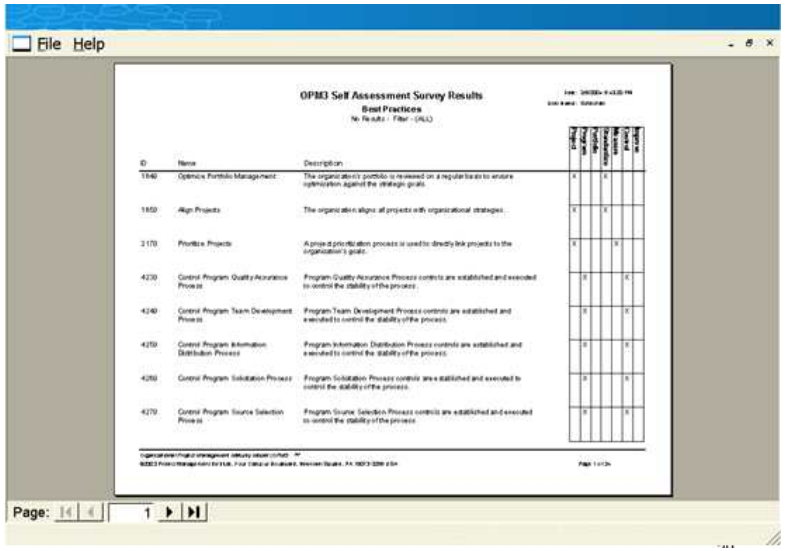
BP ID	BP 이름	설명
1440	프로젝트 범위 결정	프로젝트 관리자와 후원자가 프로젝트 범위를 결정한다.
1450	강력한 후원자 세력 양성	후원자가 프로젝트를 지원하는 일에 적극적으로 참여한다.
1510	주주 관심사 고려	조직이 주주들의 관심사에 따라 결정을 내린다.
3060	조직의 최대 관심사에 기준하여 프로젝트 선정	조직에서 고객과 조직의 최대 관심사를 고려하여 프로젝트를 선정한다.

[표 2.22] BP와 CP와의 연결

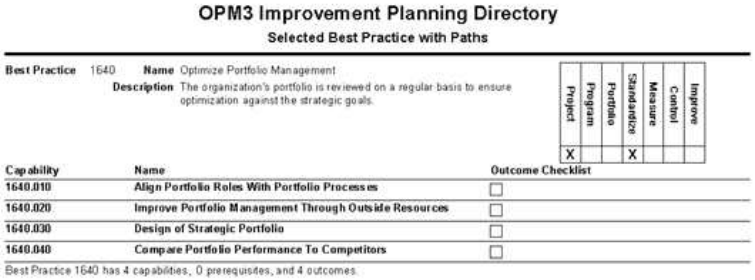
BP ID	Title	CP	CP Name	Outcome ID	Outcome Name	KPI Name	관련 CP ID (Path)
3570	연관 프로젝트 관리	3570.010	프로젝트 간 실무 관리 (조직이 프로젝트 간 변경을 통제한다)	3570.010.10	전략적 고려 (연관 프로젝트 변경 영향)	상호 프로젝트 미팅	3570.010
		3570.020	프로그램관리 구축 (조직이 연관 프로젝트를 계획 관리한다)	3570.020.10	이해관계자 요구사항	프로그램 수준 변화관리	3570.020
		3570.030	프로그램관리 구축 (프로그램이 감시되고 평가된다)	3570.030.10	프로그램 성과	프로그램 성과검토	3570.030
		3570.040	프로젝트로부터 수집한 지식 사용 (조직이 프로그램관리에서 사용된 지식을 사용한다)	3570.040.10	향상된 프로젝트관 리	성공적인 프로그램	5340.040



[그림 2.119] OPM3 질문 스크린 샷



[그림 2.120] OPM3 BP 스크린샷



OPM3 Improvement Planning Directory

Selected Best Practice with Paths

Best Practice 1640 **Name** Optimize Portfolio Management

Description The organization's portfolio is reviewed on a regular basis to ensure optimization against the strategic goals.

Project	Program	Portfolio	Standardize	Measure	Control	Improve
X			X			

Capability	Name	Outcome Checklist
1640.010	Align Portfolio Roles With Portfolio Processes	☐
1640.020	Improve Portfolio Management Through Outside Resources	☐
1640.030	Design of Strategic Portfolio	☐
1640.040	Compare Portfolio Performance To Competitors	☐

Best Practice 1640 has 4 capabilities, 0 prerequisites, and 4 outcomes.

[그림 2.121] Capability Example

(나) 자료 조사 및 검증 준비

프로젝트의 사업 및 지식관리의 생산성은 측정함에 있어 정성적인 분야로써, 플랜트 프로젝트의 설계 시간 단축, 공정의 정확도, 공기 단축, 압축기의 효율성 향상 등과 같이 특화된 요소를 추출하고, 이를 정량적으로 측정하는 방법과는 차이를 보인다. 따라서 본 시스템은 플랜트 프로젝트의 설계, 구매조달 및 시공단계를 포함한 공정상의 생산성 향상이 아닌, 각 프로세스 단계에서 행해지는 사업 및 지식관리 측면에서의 생산성 증대 방안에 초점을 맞추었다. 이 같은 관리적 측면을 대상으로 정성적인 영역을 정량적으로 평가하는 방법이 미국 PMI(Project Management Instisute)에서 착안하여 사용하는 OPM3(Organizational Project Managmene Maturity Model)가 대표적이다.

본 통합지식관리 시스템의 생산성 향상의 정도를 측정하기 위해 OPM3를 분석하였으며, 그 중에서도 Self Assessment Questions을 통해 프로젝트 실무자 및 전문가 면담 Sheet를 작성하였다. OPM3에서는 프로젝트의 규모에 따라 관리 영역을 Portfolio, Projects, Programs 로 구분되어 있었다. Portfolio의 경우 컨소시엄을 이루는 대단위 프로젝트에 해당되는 규모이기 때문에, 본 시스템의 평가는 Portfolio 를 제외하고, Projects 와 Programs 수준에서 진행하였으며, 분석 결과 이에 해당하는 문항을 위주로 추출 및 정리하였다. 그리고 Projects 와 Programs에서 Self Assessment Questions을 통해 산출물 평가와 수준 평가로 구분하여 진행하였다.

산출물 평가를 위한 항목은 OPM3에서 제시한 보유(Standardize), 적용(Measure), 수준(Control) 및 지속 개선(Continuously Improve) 에 맞추어 면담 Sheet를 작성하였으며, 평가기준에 따라 5점 척도로 하고 그 세부 기준은 다음 <표2.23> 과 같다.

또한, 수준 평가는 위에서 제시한 산출물 평가 기준에 비추어볼 때 측정이 불가능한, 즉 평가가 불가능한 항목이나 향후 보완이 필요한 항목으로 판단되는 부분에 적용하였으며, 조직과 이행단계의 감시 및 통제, 종료가 이에 해당된다. 수준 평가로 진행되는 부분 또한 마찬가지로 5점 척도로 진행하며 세부 기준은 다음 <표2.24> 와 같다.

[표 2.23] 산출물 평가 기준표

구분	산출물 평가 기준				
	1점	2점	3점	4점	5점
보유 : 지침, 절차서 및 시스템의 보유 여부	미구축	-	일부 구축	-	구축
적용 : 관련 시스템의 적용 여부	미적용	부분적용 또는 임시적용	전체적으로 적용하고 있으나, 일관성 유지가 안 됨	모든 프로젝트에 적용	모든 프로젝트에 일관성을 유지하며 적용
수준 : 시스템 적용의 정도	사용에 부적절한 수준	다소 부적절 또는 개략적으로 사용하는 수준	적용은 가능하나, 용이하게 사용하기 곤란한 수준	적용 범위는 적정하나 개선이 필요한 수준	표든 프로젝트에 완벽하게 적용되는 수준
지속개선 : 현 시스템의 개선 필요성	전체적인 개선이 필요	개선할 부분이 많음	부분적 개선이 필요	지속적인 개선이 필요	개선 불필요

[표 2.24] 수준 평가 기준표

수준 평가 기준				
1점	2점	3점	4점	5점
매우 미흡산 상태 (매우 부족)	미흡한 상태 (부족)	일반 (보통)	일정 수준에 도달 (만족)	상당한 수준에 도달 (매우 만족)

전문가 면담 Sheet 의 프로세스 그룹은 통합지식관리 시스템의 전반적인 부분과 프로젝트 수행의 기획, 실행, 감시 및 통제, 종료로 세부적인 부분으로 구분하였다. 통합지식관리 시스템

에 대한 평가로써 절차(지침/규정), 조직 및 전산시스템이 전반적인 평가 항목에 포함되며, 프로젝트 수행에는 프로세스 단계별로 동일하게 사업기획, 업무프로세스 절차, 리스크 의사결정으로 구분하였다. 산출물 평가의 경우에는 <표2.23>에서 언급한 바와 같이 보유, 적용, 수준 및 지속개선으로 나누어 평가를 하며, 평가 점수도 개별로 존재한다. 이를 산술평균에 적용하고, 각 소계의 점수를 환산하여 평가별 항목 평균을 산출한다. 이러한 전문가 면담 Sheet 의 양식을 다음과 같이 제시하였다.

산출물 평가 및 수준 평가 기준을 적용한 최종 면담 Sheet 는 아래 <표 2.25>와 같으며, 현행 시스템을 대상으로 한 As-Is 와 본 과제의 성과물인 통합지식관리시스템을 적용한 To-Be 로 구분하였다.

[표 2.25] 시스템 검증을 위한 전문가 면담 Sheet

프로세스그룹		분석 항목	점검 항목 (Checklist)	산출물 평가					수준평가
				보유	적용	수준	지속 개선	소계	소계
LNG플랜트 통합지식관리시스템		절차 (지침/규정)	-사업기획 및 개발관련 절차 및 지침 / 규정 -사업발주 정보의 수집 및 관리 체계 -사업개발 대상 사업의 타당성 평가 기준 및 방법 -수주대상 사업 선정을 위한 기준 -사업비 예측 방법						
		조 직	-사업기획, 설계, 구매조달, 시공, 시운전 업무 수행을 위한 전담조직						
			-사업개발 또는 Proposal 작성을 위한 전담조직 -사업관리(리스크 관리 등)을 위한 전담조직						
		전산시스템	-사업 기획관리 전산 시스템 -EPCC 업무관리 전산 시스템 -리스크 및 의사결정관리 전산 시스템						
이행	기획 (Planning)	사업기획	-사업개발 정보 수집 및 분석 -타당성 평가 및 사업비 예측						
			-사업정보의 정량화 분석 및 결과 도출						
		업무프로세스	-사업추진 EPCC 프로세스 및 절차						
			-사업관리 프로세스 및 절차						
		리스크 의사결정	-리스크 평가 및 분석						
			-의사결정 평가 및 분석						
	실행 (Execution)	사업기획	-사업개발 정보 수집 및 분석 -타당성 평가 및 사업비 예측						
			-사업정보의 정량화 분석 및 결과 도출						
		업무프로세스	-사업추진 EPCC 프로세스 및 절차						
			-사업관리 프로세스 및 절차						
		리스크 의사결정	-리스크 평가 및 분석						
			-의사결정 평가 및 분석						
	감시 및 통제 (Monitoring/ Control)	사업기획	-사업개발 정보 수집 및 분석 -타당성 평가 및 사업비 예측						
			-사업정보의 정량화 분석 및 결과 도출						
		업무프로세스	-사업추진 EPCC 프로세스 및 절차						
			-사업관리 프로세스 및 절차						
		리스크 의사결정	-리스크 평가 및 분석						
			-의사결정 평가 및 분석						
	종료 (Closing)	사업기획	-사업기획 단계 조직, 프로세스, 시스템						
		업무프로세스	-EPCC 수행 단계 조직, 프로세스, 시스템						
		리스크 의사결정	-사업관리 단계 조직, 프로세스, 시스템						

(다) 전문가 인터뷰

검증 프로세스의 2단계로 현업에서 프로젝트를 진행 및 관리하고 있는 각 분야의 실무 담당자 및 전문가를 면담하였다.

각 분야의 실무 담당자 및 전문가 면담은 2015년 9월 ~ 11월까지 3개월간 진행하였으며, 대상자는 플랜트 현장 실무 경험 5년 이상으로 제한하였다. 이에 실무 담당자 및 전문가의 동의를 얻어 요청에 응답한 산업계 4개 기관, 학계 및 연구소 2개 기관, 공사 2개 기관 등에서 전문가 총 20명을 대상으로 인터뷰를 진행하였다.

개발 시스템에 있어 검증의 신뢰성을 확보하고, 생산성 향상의 밑바탕이 되는 부분이다. 앞서 연구 진행때와 동일하게 각 EPC 사의 실무자 및 전문가를 확보는 하였으나, 플랜트 산업의 특성상 정보가 곧 그 분야의 경쟁력임을 감안하면 현실적으로 공개적인 자료의 조사나 취득이 매우 어려운 것이 현실이었다. 자료의 접근 또한 대외비 수준의 보안을 요구하는 사항인 만큼 각 사를 방문하여 개별 인터뷰를 진행하였다.

시스템의 기능 설명 및 시스템의 시연 후 앞서 제시한 <표2.25> “시스템 검증을 위한 전문가 Sheet”을 As-Is 및 To-Be 로 나누어 동일한 항목으로 평가를 진행하였다.

(라) 결과 분석

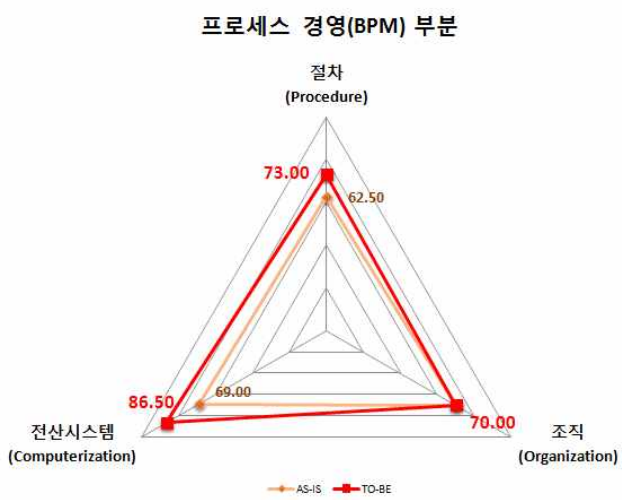
각 EPC 사의 프로젝트 실무자 및 전문가 20명의 인터뷰 내용을 토대로 본 최종성과물인 통합지식관리시스템의 사용시 효율성의 정도를 측정하고 결과를 분석하였다. 본 면담의 Sheet 항목은 프로젝트를 효율적으로 관리하는 척도가 되는 항목이며, 이는 곧 프로젝트의 생산성 향상에 직접적으로 영향을 주는 부분이라고 할 수 있다.

기존에 사용하던 프로젝트 관리 방식 대비 본 시스템 사용의 효율성을 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

아래의 <표2.26>은 프로세스 경영(BPM)에 맞추어 인터뷰를 진행한 결과 집계이며, 그림 <2.122>은 이를 분석한 그림이다. 프로세스 경영 부분의 결과 집계를 보면 절차 및 전산시스템 모두 60점대인 반면 본 시스템을 활용하여 수행할 시 73점 및 86.50점을 얻은 것을 알 수 있다. 특히, 전산시스템의 경우에는 효율이 17.50% 정도 향상된 것으로 파악되며, 이는 본 과제의 성과물이 통합지식관리시스템의 우수성을 나타내는 척도라고 할 수 있다. 조직 분야는 본 과업의 성과물로 개선하기에는 부족한 부분이 있어, 앞서 언급한 바와 같이 분석 결과에는 포함하지 않았다. 프로세스 경영 부분의 전체 증감은 9.34% 정도의 효율성이 개선되었다고 판단된다.

[표 2.26] 프로세스 경영(BPM) 부분 결과 집계

구분		As-Is	To-Be	증감률
프로세스 경영 (BPM)	절차	62.50	73.00	△10.50
	조직	70.00	70.00	-
	전산시스템	69.00	86.50	△17.50
분야 종합		67.16	76.50	△9.34



[그림 2.122] 프로세스 경영(BPM) 부분 평가 점수 분포

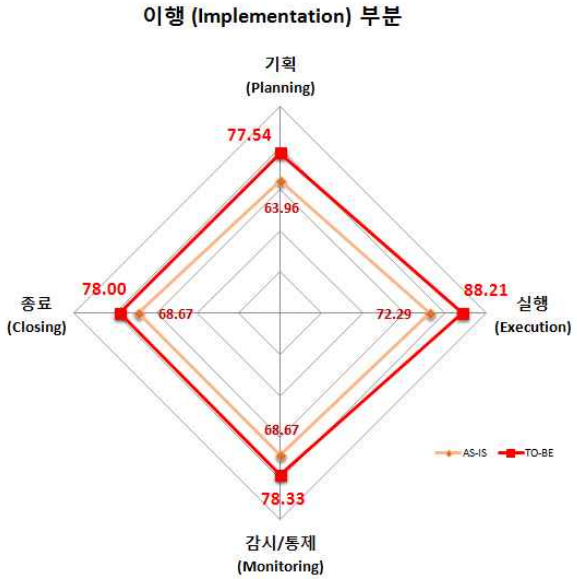
또 <표2.27> 및 <그림2.123>는 프로젝트 수행시 기획, 실행, 감시/통제 및 종료를 포함한 이행단계를 대상으로 인터뷰한 집계 및 분석 결과이다. 현행 프로젝트 수행시 실행 부분이 우수한 것으로 나타났으며, 기획부분은 프로젝트의 수행 여부를 판단해야 하는 리스크를 안고 있는 만큼 현재 점수가 63.96으로 가장 낮았으며, 많은 개선이 필요한 것으로 파악되었다. 감시, 통제 및 종료는 As-Is 의 평균과 비슷한 수치를 나타내고 있다.

As-Is 의 기획부분을 볼 때, 리스크 부분을 제거하기 위한 시스템으로 ‘사업타당성 평가 시스템’ 및 ‘의사결정 지원 시스템’ 이 본 성과물에 포함되어 있다. 이 시스템을 통해 개선할 수

있는 부분이 많은 것으로 나타났으며 이에 따라 13.58%가 증가된 77.54점을 얻게 되었다. 실행부분은 As-Is에서 잘 관리되고 있는 부분으로, 본 시스템의 적용시 프로젝트 수행 및 프로세스 경영 부분을 포함한 전체 부분에서 88.21점으로 가장 높은 점수를 받았으며, 효율성 증감에서도 15.92%로 높은 수준으로 발전된 것으로 파악하였다. 이행 부분의 전체 증감은 12.13% 정도의 효율성이 개선되었다고 판단된다.

[표 2.27] 이행(Implementation) 부분 결과 집계

구분		As-Is	To-Be	증감률
이행 (Implementation)	기획	63.96	77.54	△13.58
	실행	72.29	88.21	△15.92
	감시/통제	68.67	78.33	△9.66
	종료	68.67	78.00	△9.33
분야 종합		68.39	80.52	△12.13



[그림 2.123] 이행(Implementation) 부분 평가 점수 분포

총 7개 영역으로 구분하여 진행된 결과를 분석해 보면, As-Is 의 전산시스템 영역이 69점으로 평균 점수 이상이며, 평가한 7개 영역 대비 평균 이상의 높은 점수를 받은 것을 알 수 있다. 실행 영역은 75.29로 가장 잘 관리되고 있는 영역으로 볼 수 있다. 이런 항목은 다른 항목에 비해 상대적으로 관리가 잘되고 있음을 의미한다.

To-Be를 비추어 볼 때 전산시스템 영역은 86.50 점으로 각 영역별 As-Is & To-Be 간 차이가 가장 높은 것을 알 수 있다. 또한 실행은 88.21점으로 가장 높은 점수를 부여받았다. 이는 기존에도 잘 관리되고 있으나, 본 시스템을 활용할 시 보다 효과적인 프로젝트 관리가 이루어 질수 있음으로 판단할 수 있다.

반면 가장 낮은 점수는 As-Is, To-Be 모두 절차 영역에서 나타났다. 이는 프로젝트 진행시 필요한 지침, 규정, 관리체계 등이 포함되며, 보유, 적용, 수준 및 지속개선 모두 낮은 점수를 받아 평균 또한 최하위점을 보유하였다. 본 시스템에서 절차서를 4회에 걸쳐 전문가 피드백을 받으며 개정하였으나, 아직까지도 부족한 부분이 있음을 의미하며, 향후에도 지속적인 보완이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 2.124] 프로젝트 관리 평가 점수 (As-Is)



[그림 2.125] 프로젝트 관리 평가 점수 (To-Be)

프로젝트 경영 및 수행(이행) 부분을 종합적으로 분석해 볼 때, 기존의 방식대로 프로젝트를 관리할 경우 67.87점인 반면 본 시스템으로 관리했을 경우 78.80점을 확보한 것을 알 수 있다. 따라서 각 분야별 평가 점수를 종합해 보면 10.93% 향상된 것으로 확인하였다.

다. 주요결과 및 시사점

LNG플랜트 사업수행과정에서 필요한 의사결정사항들을 구조화된 의사결정체계로 통합지식관리 시스템에서 지원함으로써 부족한 사업관리의 역량을 보완하고 각 사업주체들의 니즈를 만족시키고자 한다. 사용자가 사업을 수행함에 있어 사업정보의 구성이 편리하도록 표준 데이터를 제공하여, 사업정보 구성 시 사용자의 편의성을 도모하였고, 특히 시스템의 통합관리가 가능하도록 다수 프로젝트의 생성 및 관리, 프로젝트별 사용자 관리, 메뉴/모듈별 권한관리 등의 시스템 관리 기능의 확대하여 시스템의 편리성과 활용성을 최대화 할 수 있도록 하였다.

본 시스템의 개발 및 검증을 통해 엔지니어링 효율성 개선 기술 개발이라는 연구목표에 대한 분석 및 평가를 수행하였다. 먼저 건설사업관리 기술의 핵심요소를 인력, 절차, 시스템으로 규정하여 각 요소에 대한 연구목표를 분석하고 타당성을 검토하였다. 특히 성과목표로 설정된 엔지니어링 생산성 10% 개선 방안 마련에 대한 분석방안을 도출하여 기술하였다. 본 보고서를 통해 분석된 연구목표는 글로벌 시장의 전망과 기술적 니즈에 부합되는 것으로 판단되며, 성과목표의 평가는 정량화 평가관점 뿐 아니라 정부 및 국내 기업의 해외 시장 진출로 확보 및 글로벌 경쟁력 확보라는 궁극적 관점에서 타당하며 달성 가능한 것으로 판단된다.

11. LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계

가. 접근방법

- LNG 플랜트 해외사업 추진 프로세스, 의사결정 체계 현황조사 및 분석
- LNG 플랜트 해외사업 추진시 요구되는 시스템적 요구사항 도출
- LNG 플랜트 해외사업 추진 시나리오별 모델 정립
- LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 해외사업 추진 프로세스, 의사결정 체계 현황조사 및 분석

(가) 세계 가스생산 및 수급 전망

LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, 2014년 이후의 LNG 생산전망은 <그림 2.126>과 같이 예측된다. 세계 LNG 생산전망은 2014년 약 3,400 BCM에서 연평균 3~4%의 꾸준한 증가하여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4,071 BCM에 달할 것으로 예상된다.

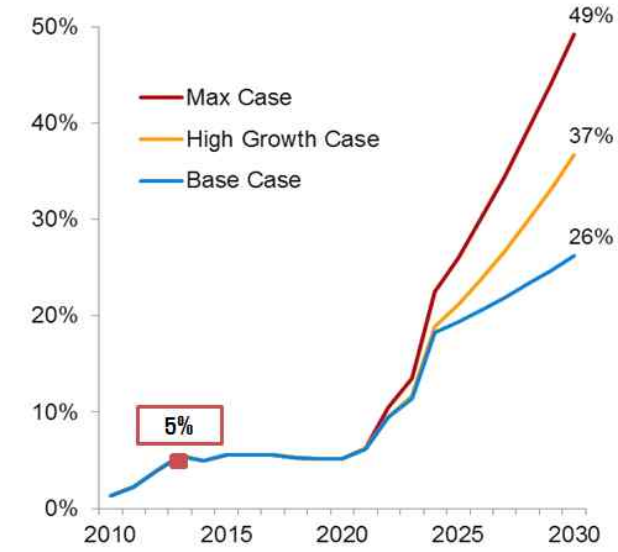
반면 꺾은선 그래프로 나타내어지는 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상되며, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미 생산비중은 점진적 감소 예상한다.

자원부국이 많은 중동과 동남아시아 지역의 국가들은 각각 17%, 15% 대의 생산비중을 유지할 것으로 보이며, 최근 개발이 활발히 진행 중인 아프리카 국가들의 생산비중은 꾸준히 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 국내기업들은 성장전망이 밝은 아프리카 지역과 지리적 접근성이 좋은 아시아 지역으로의 진출을 추진해보는 것이 바람직하다.

PFC Energy 2013자료에 의하면 글로벌 LNG시장이 확대되고 있으며 <그림2.127>과 같이 Gas Penetration Scenarios를 분석한 결과 2013년 기준 LNG는 전체 에너지 공급량의 5%를 차지하고 있다. 2030년까지의 시나리오 분석 결과 고 성장일 때 37%, 최대 성장일 때 49%를 차지할 것으로 예상된다.



[그림 2.126] 세계 가스생산 전망 (2014-2021) (출처: Business Monitor International)



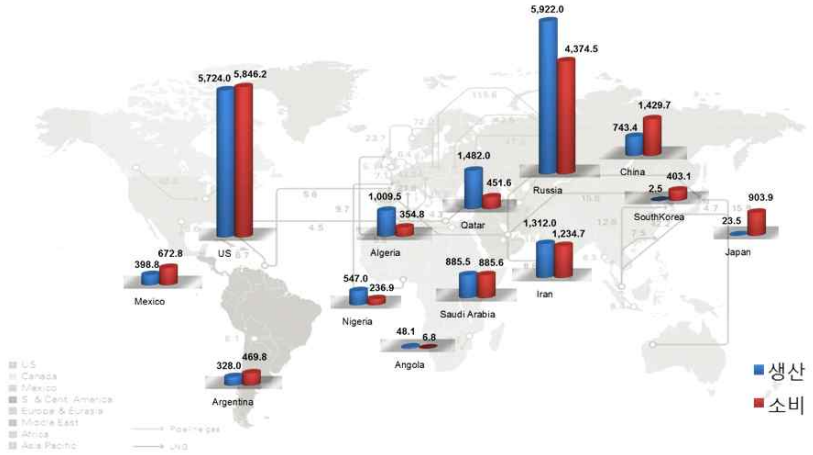
[그림 2.127] Gas Penetration Scenarios(2010-2030) (출처: PFC energy 2013)

한국, 미국 등 13개 주요 국가별 가스수급 전망은 <그림 2.119>과 같으며, 국가별 막대그래프에서 좌측 막대는 생산전망을, 우측 막대는 소비전망을 나타내고 각 값은 2014년부터 2021년까지의 총합을 나타내고 있으며, 우리나라는 일본과 함께 생산량은 거의 없으나 소비량이 크게 나타나며, 중국은 급격한 경제성장에 따라 소비량이 크게 증가할 것으로 예상된다.

최대 LNG생산국인 러시아와 카타르는 앞으로도 가스생산량을 지속적으로 늘려 세계적인 주요공급처로 자리매김할 것으로 보이며, 알제리, 나이지리아, 앙골라, 사우디 아라비아, 이란 등 아프리카 및 중동 자원부국들도 생산을 늘릴 것으로 전망이다.

이상의 수급전망은 LNG플랜트 건설 후 판매, 즉 다운스트림 (downstream) 단계에서 마케팅 전략수립과 직결되는 요소들로 해외 LNG플랜트 개발사업에 참여하고자 하는 국내기업들은 이러한 정보를 반드시 고려해야 한다.

향후 아프리카 지역의 생산량 증가가 기대되는 한편, 이들 국가에서의 소비는 제한적으로 나타나고 있는 만큼 국내기업들은 아프리카 국가들로의 진출을 검토하는 것이 바람직하다.



[그림 2.128] 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021) (출처: Business Monitor International)

(나) 해외사업 진출시 의사결정을 위한 시스템 조사 및 분석

플랜트 해외사업을 포함한 모든 해외사업 진출시 대기업은 물론이고, 중소기업도 해외투자를 실행하기 위해서는 불확실성과 위험요소를 사전에 줄이기 위해 노력하고 있다. 이를 위해서는 투자대상국에 대한 연구, 정보수집을 병행하여 타당성조사를 해야 한다.

대개 많은 대기업의 경우 해외 유망한 컨설팅 기업을 통해 해외사업 진출 전략 및 타당성 분석을 진행하여 해외사업 진출 여부를 결정하며, 또한 해외사업이 주력인 기업의 경우에는 자체적으로 전문적은 Tools을 개발하여 적용하고 있는 실정이다.

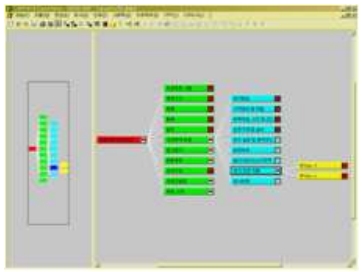
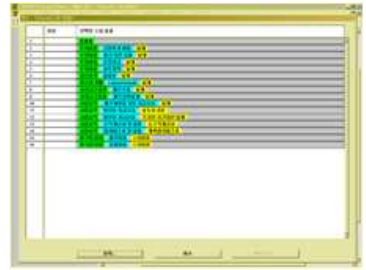
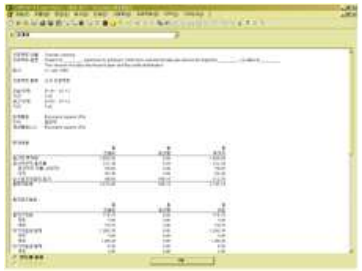
타당성 평가를 위한 대표적인 Tool은 COMFAR3 Expert 가 있다.
UNIDO(국제연합공업개발기구)에서 개발한 국제공인 사업타당성 분석 프로그램인 COMFAR 3는 투자사업의 재무적, 경제적 타당성조사를 촉진하기 위하여 개발한 Software이다. 신규투자, 기존공장의 개량/ 확장, Joint Venture, 민영화 사업, 제조업, 비제조업 등 모든 부문에 적용시킬 수 있으며 단기 또는 장기에 걸쳐 사업의 재정상태를 예측 가능하게 해준다.

COMFAR는 1983년 처음 선을 보였고 개량을 거듭하여 1995년 제3세대인 COMFAR 3 Expert가 출시되었으며, 현재 130개국에서 1,500명 이상이 COMFAR를 구입, 사용 라이센스를 갖고 있다. 사업준비 또는 타당성조사시 효과적이고 유용한 수단임이 이미 입증된 프로그램으로, 기존에 일반 기업이나 컨설팅회사에서 주로 사용하고 있는 엑셀 프로그램은 분석항목을 작성자가 개별적으로 하나하나 입력하고 그래프를 그리고 실행시켜야 하며, 외부요인으로 인해 자료조작이나 변경의 우려가 있어 사업타당성 분석을 입찰할 경우 위 프로그램으로 점차 요구 되고 있다. 이에 CONFAR3 는 프로그램은 다음과 같은 장점이 있다.

- 최고 60년까지 계획 가능
- 건설, 공장가동 등 각 단계별로 타당성을 조사
- 생산품 20품목까지 분석대상에 포함
- 20개 화폐를 입력
- 가격 상승/인플레 요인도 고려

COMFAR3 Expert는 모든 종류의 투자사업에 이용가능하고 중소기업뿐 아니라 대기업, 그리고 화학플랜트와 같은 복합생산단위에도 응용가능한 프로그램으로써, 농림수산, 광업, 사회

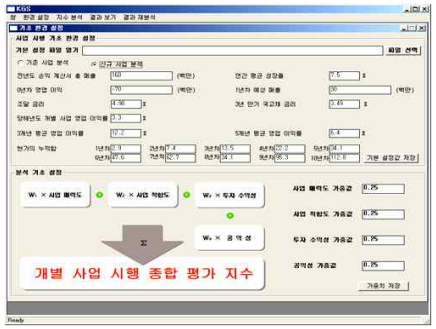
하부구조(Infrastructure), 관광프로젝트 등 비제조업 부문에도 COMFAR는 마찬가지로 사용된다. 투자은행 등 개발금융기관, 중소기업진흥기관, 대학교, 엔지니어링회사, 컨설턴트, 납품업자, 기타 사업준비와 투자 타당성조사 유관기관들이 모두 COMFAR를 사용할 수 있다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>자료입력화면</td><td>계획기간 입력화면</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>설정 편집화면</td><td>계산 명령화면</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>계산 결과화면</td><td>민감도 분석화면</td></tr>
</table>

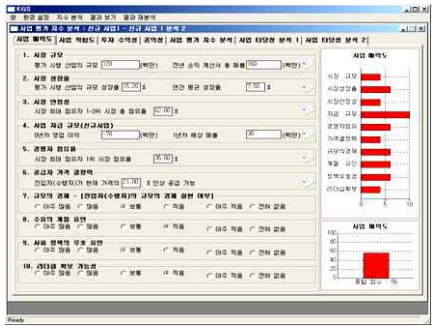
또한 한국가스안전공사에서는 KGS(Kores Gas Safety) 라는 내부 시스템을 개발하여 평가를 진행하고 있다. 이는 사업매력도, 사업적합도, 투자수익성, 공익성 및 사업평가지수로 구분하여 최종 결과를 도출하고 있으며, 이뿐만 아니라 수입, 지출 및 손익계산서까지를 포함하여 결과

도출을 할 수 있도록 되어 있다.

계속적인 자료 축적으로 인해 자체적으로는 세계의 Oil&Gas 지역에 대한 데이터를 활용할 수 있는 수준에 이르러 있다.



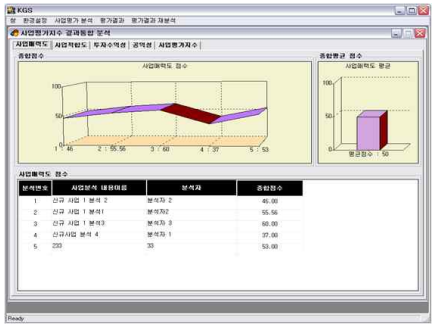
자료입력화면



사업매력도 입력화면



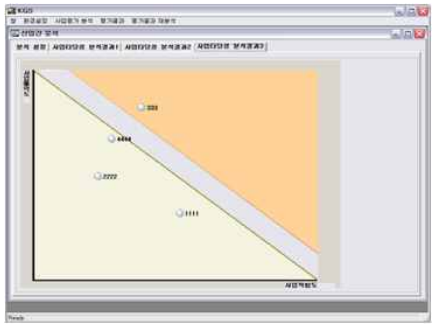
사업평가 실행화면



통합분석 실행화면



평가 결과화면



사업간 비교분석 화면

(다) LNG 플랜트 해외사업모델 개발을 위한 고려사항 분석

LNG플랜트 개발사업에 참여하는 기업 관점에서 일반적인 LNG플랜트 개발사업은 사업선별(screening study), 사업타당성검토(feasibility study), Pre-FEED 및 FEED, 엔지니어링, 구매조달, 시공(이상 EPC), 운영(operation)의 순서로 진행된다. 이들 중 Pre-FEED에서부터 운영단계까지는 사업추진이 결정된 이후의 단계로서 사업선별 및 사업타당성검토 단계에서 선정된 사업을 효율적으로 운영하기 위한 리스크 평가가 이루어진다.



[그림 2.129] LNG플랜트 사업개발 프로세스

이와 관련된 연구는 본 과제의 1차년도부터 현재까지 진행하고 있는 LNG플랜트 생애주기별 리스크 평가연구로 진행되어 왔으며, 이 단계에서의 리스크 분석은 앞선 단계에서 도출된 사업전략을 바탕으로 상세 리스크 인자를 평가하고, 사업진행이 진행됨에 따라 리스크 평가결과 및 실제 발생결과를 업데이트하고 추가 관리하는 것을 목적으로 한다.

그러나 LNG플랜트 사업을 개발하기 위해서는 사업선별 및 사업타당성검토와 같은 초기단계의 연구가 추가적으로 요구되었으며, 이 단계는 다양한 시장정보와 사업환경을 고려하여, 신규로 진행될 LNG플랜트 사업에 대한 사업성 및 타당성을 평가하는데 목적을 두게 되었다.

Pre-FEED 이후 단계에 대한 기존의 연구가 이미 전략이 결정된 사업을 관리하기 위한 관리관점의 연구였다면, 이 단계는 사업의 상세사항이 결정되지 않고 사업참여 여부 또한 결정되지 않은 초기단계에서 거시적인 사업성을 평가하여 좋은 사업기회를 선별하고자 하는 기회관점의 연구이다.

해당 시점은 사업초기로서 매우 제한된 정보를 바탕으로 사업리스크를 평가하며, 세계 LNG 산업의 변화추세, 사업이 진행될 국가의 특성, 개별사업의 고유특성 등을 널리 고려해야 하며, 또한 사업전략 수립 및 리스크 평가는 Pre-FEED 이후 단계에서의 그것과 달리 사업의 안정성과 함께 기업이 감내할 수 있는 적정수준의 리스크 수준을 평가하는 것이 필요한데, 이는 이 단계에서의 지나친 안정전략은 자칫 사업기회를 놓쳐 그 어떤 사업도 진행할 수 없게 만

드는 결과를 낼 수 있기 때문이다.

이에 따라 본 연구에서는 LNG플랜트 사업의 사업선별(screening study) 및 사업타당성검토(feasibility study) 단계에서 활용될 수 있는 해외사업모델을 개발하는데 목적을 두었다. 또한, <그림 2.130>은 탐사단계에서부터 수송/판매까지의 절차를 일목요연하게 그림으로 표현하고 있으며, 탐사단계의 PRE-FEED 및 FEED단계에서 가스전에서 확인된 조성과 생산량을 기반으로 액화플랜트를 위한 사전적인 예상 라이선스와 가설계를 수행 할 수 있으며, 이는 액화플랜트 단계에서의 라이선스 선택에 지대한 영향력을 미칠 수 있음을 표현한 것으로서 탐사단계부터의 사업 참여가 중요함을 표현한 그림이다. 국내에서는 보유하고 있는 원천 액화기술이 없기 때문에 FEED, EPC(원도급)분야의 진입이 제한적이고, 라이선스(원천기술) 보유업체와 선진 EPC업체 간의 공조로 진입장벽이 높으며 탐사단계에서 액화플랜트 사업에 적용할 라이선스가 조기에 결정되는 특성을 가지고 있어, 원천기술과 사업추진의 주도권을 갖기 위한 비즈니스 전략의 동시 개발이 필요하다.



[그림 2.130] 액화플랜트 사업의 프로세스

(라) 현행 해외사업 사업선별 및 사업타당성 평가 방식 분석

현행 해외 LNG플랜트 사업선별 및 사업타당성평가 방식은 현금흐름, 인플레이션 등을 고려한 개략적 경제성평가에 집중되어 있으며, 경제성 요소와 가스가격 변동에 따른 비용편익비(benefit-cost ratio) 분석에 그치는 것으로 파악되었다. 또한 현재도 LNG시장 동향에 대한 평가가 이루어지고는 있으나 일반적으로 공개된 공공정보를 요약하는데 그치며, 해당 정보를 사업성 평가에 반영하는 방식이 부족한 것으로 평가되었다.

이는 발주국의 사업환경, 국가리스크, LNG시장 전망 등에 대한 고려가 충분치 않음을 나타내며, 이에 따라 본 연구를 통해 사업전략특성, 최근 시장동향 등 정성적인 정보들을 정량적으로 평가, 비교, 검토할 수 있는 방식의 개발이 요구된다.

(2) LNG 플랜트 해외사업 추진시 요구되는 시스템적 요구사항 도출

본 연구는 해외 LNG플랜트 사업에서 활용할 수 있는 해외사업모델을 개발하는데 목적을 두며, 이 모델은 사업선별 및 사업타당성평가에 주된 목적을 가지며, 이와 같은 목적을 위하여 본 연구진은 사업선별 및 사업타당성평가 단계에서 검토되어야 할 사항을 다음과 같이 구분하였다.

(가) 개발참여도 검토

건설산업의 해외진출을 위한 사업환경 분석 연구는 대개 리스크 인자의 도출 및 평가와 관련한 연구가 대부분으로, 건설 프로젝트 시공자 관점의 접근이 주를 이루었기에 사업 정의(project definition)이 이뤄진 이후에 초점을 두고 진행되었다.

기존의 연구는 진출국 사업환경을 정치, 경제, 제도 등으로 구분하거나(Han and Diekmann, 2001[5] 등), 진출국가 및 발주자를 통합하여(Han et al. 2007[6]; Ozorhon et al. 2007[7] 등) 이들 영역과 관련한 리스크를 분석한 연구가 주류를 이루었음. 또한 자재 및 장비 등의 로지스틱스의 용이성과 관련한 요소도 포함되었다.

이와 같은 사업환경 요소는 대부분 리스크 인자의 선별 및 체크리스트를 통한 분석을 적용하였으며, 설계자 및 시공자 관점의 요소에 집중되어 투자자 및 개발자 관점의 요소(세금 및 투자보호 등) 반영 등에는 미흡한 경향을 보였다.

LNG 및 플랜트 산업 영역의 학술적 연구들은 일반 해외사업 연구보다 산업 특성에 따른 환경 및 기술적 리스크 등을 고려하였으나, 보상(reward) 측면에 대한 고려가 부족하고 여전히 개발 보다는 시공 및 EPC 관점의 연구가 많은 경향을 보였다.

구체적으로 프로젝트 경제성 평가에서 매장량, 생산량, 투자비 및 운영비, 가스가격 등을 고려하거나(전보현 및 정헌섭, 1996)[8] 대규모 사업의 복합성에 따른 사업참여자 간의 관계를 반영한 리스크 평가 및 의사결정 모델을 제안하는 등(강병태 및 김용수, 2012[9]; Castilo 및

5) Han, S. H. and J. E. Diekmann (2001). "Approaches for Making Risk-Based Go/No-Go Decision for International Projects." Journal of Construction Engineering and Management 127(4): 300-308.
6) Han, S. H., et al. (2007). "Predicting Profit Performance for Selecting Candidate International Construction Projects." Journal of Construction Engineering and Management 133(6): 425-436.
7) Ozorhon, B., et al. (2007). "Effect of host country and project conditions in international construction joint ventures." International Journal of Project Management 25(8): 799-806.
8) 전보현, 정헌섭 (1996) 유전 및 가스전에서 투자위험도를 고려한 경제성 평가 모델, 한국자원공학회지, 제33호, 61-74
9) 강병태, 김용수 (2012) AHP기법을 활용한 해외 플랜트 사업의 정성적 위험요인 평가, 한국건설관리학회 전국 대학생 학술발표대회 논문집

Dorao, 2011[10] 등) 자원 산업의 특성을 고려하는 양상을 보였다.

한편, 안성훈 등(2008)[11]은 해외 플랜트 프로젝트 리스크의 평가에 있어 세금·관세, 정치, 법,문화 등 진출국 관련 요소와 발주자특성, 시장의 경제적 특성 및 조달여건 등 사업환경을 고려하였으나, 확률-영향도 매트릭스 기반의 주관적 평가체계를 활용하여 정확성 및 신뢰성의 제약이 있음은 한계를 가짐을 확인했다.

한편, 국제 시장조사 전문기관인 Business Monitor International(BMI)은 해외 석유 및 천연가스 시장의 분석에 있어 국가 및 산업 차원의 보상 개념을 제시하고 있는데, 특히 산업 차원의 보상 파악에 있어서는 '비정부 소유 기업의 유무(또는 수)', '정부소유 자산의 비율' 등의 지표를 활용하여 민간사업자의 시장진입 및 비즈니스의 보상을 평가하고 있다.

이에 본 과업의 개발참여도 평가에서는 LNG플랜트의 계획, 엔지니어링, 시공 등의 개발단계, 즉 upstream 단계에서 얼마나 적극적으로 사업에 참여할지를 정량적으로 나타내어 가이드를 제시해준다. 이는 특정 LNG플랜트 개발사업에 참여하는 것이 얼마나 매력적인지에 따라, 관련 라이선스만을 제공하는 라이선스 제공형, 일정 지분만큼 자본을 투자하는 지분참여형, 직접 사업전체를 총괄하여 개발하는 사업개발형 등으로 구분되며, 일반적으로 라이선스 제공형에서 사업개발형으로 갈수록 자본투자와 사업참여도가 높아 더욱 적극적인 형태로 평가된다.

(나) 사업성 평가

사업성 평가는 upstream 단계에서 요구되는 비용(cost)과 downstream 단계에서 기대되는 편익(benefit)을 기준으로 비용편익비(benefit-cost ratio)를 산출하여 진행됨. 이 단계에서 고려되는 요소들은 사업의 특성에 따라 다양하게 나타날 수 있으나, 기본적으로 LNG플랜트에 적용되는 액화기술의 특성에 따라 비용과 편익이 크게 달라지므로 적용될 액화기술 특성을 정확히 파악, 결정하는 것이 중요하다.

10) Castilo L. and Dorao Carlos (2011) Decision-making on Liquefied Natural Gas (LNG) projects using game theory, IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making, 60-66.
11) 안성훈, 이영남, 조호규 (2008) 해외 플랜트 공사 리스크 평가 방안 및 적용에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제1호, 134-142

(다) 운영참여도 검토

건설산업의 해외진출을 위한 사업환경 분석 연구는 대개 리스크 인자의 도출 및 평가와 관련한 연구가 대부분으로, 건설 프로젝트 시공자 관점의 접근이 주를 이루었기에 사업 정의(project definition)이 이뤄진 이후에 초점을 두고 진행되었다.

기존의 연구는 진출국 사업환경을 정치, 경제, 제도 등으로 구분하거나(Han and Diekmann, 2001[12] 등), 진출국가 및 발주자를 통합하여(Han et al. 2007[13]; Ozorhon et al. 2007[14] 등) 이들 영역과 관련한 리스크를 분석한 연구가 주류를 이루었음. 또한 자재 및 장비 등의 로지스틱스의 용이성과 관련한 요소도 포함되었다.

이와 같은 사업환경 요소는 대부분 리스크 인자의 선별 및 체크리스트를 통한 분석을 적용하였으며, 설계자 및 시공자 관점의 요소에 집중되어 투자자 및 개발자 관점의 요소(세금 및 투자보호 등) 반영 등에는 미흡한 경향을 보임을 확인했다.

LNG 및 플랜트 산업 영역의 학술적 연구들은 일반 해외사업 연구보다 산업 특성에 따른 환경 및 기술적 리스크 등을 고려하였으나, 보상(reward) 측면에 대한 고려가 부족하고 여전히 개발 보다는 시공 및 EPC 관점의 연구가 많은 경향을 보였다.

구체적으로 프로젝트 경제성 평가에서 매장량, 생산량, 투자비 및 운영비, 가스가격 등을 고려하거나(전보현 및 정헌섭, 1996)[15] 대규모 사업의 복합성에 따른 사업참여자 간의 관계를 반영한 리스크 평가 및 의사결정 모델을 제안하는 등(강병태 및 김용수, 2012[16]; Castilo 및 Dorao, 2011[17] 등) 자원 산업의 특성을 고려하는 양상을 보였다.

한편, 안성훈 등(2008)[18]은 해외 플랜트 프로젝트 리스크의 평가에 있어 세금·관세, 정치, 법,문화 등 진출국 관련 요소와 발주자특성, 시장의 경제적 특성 및 조달여건 등 사업환경을 고려하였으나, 확률-영향도 매트릭스 기반의 주관적 평가체계를 활용하여 정확성 및 신뢰성의 제약이 있음은 한계를 가졌다.

12) Han, S. H. and J. E. Diekmann (2001). "Approaches for Making Risk-Based Go/No-Go Decision for International Projects." Journal of Construction Engineering and Management 127(4): 300-308.
13) Han, S. H., et al. (2007). "Predicting Profit Performance for Selecting Candidate International Construction Projects." Journal of Construction Engineering and Management 133(6): 425-436.
14) Ozorhon, B., et al. (2007). "Effect of host country and project conditions in international construction joint ventures." International Journal of Project Management 25(8): 799-806.
15) 전보현, 정현섭 (1996) 유전 및 가스전에서 투자위험도를 고려한 경제성 평가 모델, 한국자원공학회지, 제33호, 61-74
16) 강병태, 김용수 (2012) AHP기법을 활용한 해외 플랜트 사업의 정성적 위험요인 평가, 한국건설관리학회 전국 대학생 학술발표대회 논문집
17) Castilo L. and Dorao Carlos (2011) Decision-making on Liquefied Natural Gas (LNG) projects using game theory, IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making, 60-66.
18) 안성훈, 이영남, 조호규 (2008) 해외 플랜트 공사 리스크 평가 방안 및 적용에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제1호, 134-142

한편, 국제 시장조사 전문기관인 Business Monitor International(BMI)은 해외 석유 및 천연가스 시장의 분석에 있어 국가 및 산업 차원의 보상 개념을 제시하고 있는데, 특히 산업 차원의 보상 파악에 있어서는 '비정부 소유 기업의 유무(또는 수)', '정부소유 자산의 비율' 등의 지표를 활용하여 민간사업자의 시장진입 및 비즈니스의 보상을 평가하고 있었다.

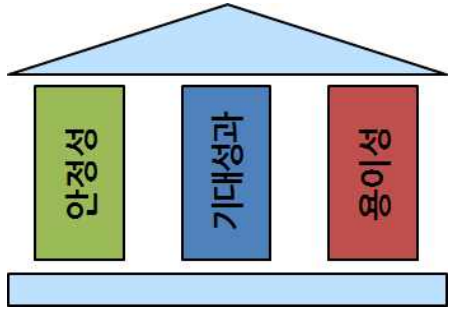
개발참여도가 upstream 단계에서의 참여수준 정도를 나타낸다면, 운영참여도는 downstream 단계에서의 참여수준 정도를 의미함. LNG플랜트 사업의 downstream은 건설/개발된 LNG플랜트를 통해 LNG를 생산, 공급하는 과정으로서 운영참여도는 생산된 LNG의 소유지분을 나타낸다. 이는 개발참여도에서 결정된 참여지분과 동일한 경우(integrated)와 upstream과 downstream (liquefaction plant)의 소유주가 다른 경우(transfer pricing, tolling)로 구분된다.

이에 본 과업에서 개발중인 사업참여도 평가 모듈에서는 위의 검토사항들을 각각 독립적인 모듈로 구성하였다. 다음은 LNG플랜트 해외사업모델 구성으로 나타냈으며, 이는 British Petroleum, Shell 등과 같은 가스분야 전문기업, Business Monitor International, IHS Global Insight 등의 시장조사 전문기관, Oil & Gas Journal, Oil & Gas Financial Journal 등의 전문 학술지의 자료를 검토하여 구성되었으며, 한국가스공사의 LNG사업기술팀, 전략사업팀, 해외배관사업팀, 연구개발원 등의 전문가들을 대상으로 한 인터뷰를 통해 보완되었다.

해외사업모델은 총 4가지의 모듈이 순차적으로 적용됨으로서 활용되며, 각각의 모듈은 자체적인 소결론을 도출하도록 구성되며, 이와 같은 구성은 다음과 같은 장점을 가진다.

Upstream에서의 개발지분과 downstream에서의 운영지분을 구분함으로서 사업과정 및 목적에 맞는 단계별 분석이 가능하다. 또한 기존의 비용편익비 분석 기능을 유지함으로서 과거 업무수준과의 연결성을 확보하는 한편, 비용부분의 개발참여도 부문에서 국가리스크, 사업특성 등과 같은 사업환경 정보와 편익부분의 운영참여도 부문에서 세계 LNG 수급 및 소비전망 등과 같은 시장정보를 추가적으로 고려함으로서 기존의 사업분석 방식을 기반으로 한 기능 확대를 하고 있다.

마지막으로 현재 본 사업단을 통해 개발 중인 액화기술(KSMR), FPSO 등의 신기술을 해외에 적용하기 위하여, 추후 해당 기술이 개발되었을 경우 그와 관련된 일부 모듈만 추가적으로 개발하여 현행 모델에 바로 적용할 수 있도록 구성되었다.



[그림 2.131] 해외 LNG플랜트 평가기준

해외사업모델에서 활용될 각 변수들은 다음과 같은 기준으로 선택된다.

- 안정성

해외사업을 평가함에 있어 사업의 불확실성이 크면 리스크가 높은 것으로 판단할 수 있다. 이에 본 연구에서는 불확실성을 바탕으로 사업의 안정성을 평가하여 사업평가의 가장 기본적인 기준으로 활용된다.

- 기대성과

사업의 안정성이 충분히 확보되더라도, 해당 사업의 진행을 통해 기대되는 성과의 크기가 작으면 사업을 추진하기 위한 타당성이 떨어짐. 사업의 기대성과는 대표적으로 가스전 규모, 생산되는 가스의 질 등 사업자체의 특성에 의해서도 좌우될 수 있다.

- 용이성

사업이 안정적이고 기대성과가 높다하더라도 해당 사업을 진행하기 어려우면 해당 사업에 대한 참여가 꺼려질 수 있다.

(3) LNG 플랜트 해외사업 추진 시나리오별 모델 정립

위에서 분석한 요구사항을 토대로 해외사업 추진시 시나리오별 모델을 정립하였으며, 개발참여도 결정, 사업성평가, 운영참여도 결정, 사업전략 결정 까지 총 4개의 모델로 구분되며, 해외사업 진출 방향에 따라 각각의 모듈을 독립적으로 사용하여 의사결정함에 있어, 가이드라인

을 제시하고자 한다. 각 모듈별 상세 설명은 아래와 같다.



[그림 2.132] 해외사업모델의 Gate별 모델 정립

(가) GATE 1: 개발참여도 결정

개발참여도 결정 모듈은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 둔다. 이는 위의 <그림2.132>에 나타난 바와 같이 세 개의 하부모듈로 구성된다.

① GATE 1A: 사업환경분석

GATE1A의 사업환경 분석은 공통 사업수행지표, LNG산업특성지표, 가스전 특성지표 3가지 지표로 구분하여 도출하였으며 5차년도의 지표 중 하류영역 기대보상 항목을 제거하였고 상류영역 기대보상 및 LNG 관련사업 추진 여건의 유지를 통한 가스 산업에 특화된 평가 지표로 구성하여 총 3개영역 4개 분야 26개 지표를 활용하였다.

이 세부모듈은 어떠한 LNG플랜트 사업에 참여하고자 할 때, 해당 사업이 진행되는 국가의 사업환경을 분석하는데 목적을 두었고, 즉 해당 국가에서 진행되는 모든 프로젝트에 공통적으로 적용되는 요소들 - 정부안정성, 사업안정성, Upstream 및 Downstream 기대보상 등을 분석

하였다.

② GATE 1B: 가스전특성 분석

GATE 1A가 사업이 진행되는 국가의 환경요소들을 분석하는 것과 달리, GATE 1B는 특정 사업에 해당되는 사업요소들을 분석하였고, 이는 개별 사업들이 나타내는 고유의 특성 - 프로젝트 안정성, 기술요소 특성, 사업수행 인프라 등을 분석하였다.

(나) GATE 2: 사업성 평가

사업성 평가 모듈은 LNG플랜트에서 활용되는 액화기술(liquefaction)을 검토하고, 액화기술에 따른 개발비용 및 생산이익을 산출하여 비용편익비를 제시하는데 목적을 둠. 이는 기존의 개략적 경제성평가를 비용편익분석 관점의 상세분석으로 확장, 발전시킨 형태이다.

① GATE 2A: 액화기술 검토

LNG플랜트에 적용할 액화기술을 검토하는 세부모듈로서, 액화기술의 기술적 특성 및 적용가능성을 평가하고, C3MR, KSMR 등의 다양한 액화기술별 특성을 고려하여 개발가스전에 적용할 수 있는지 여부를 판단하였다.

② GATE 2B: 개략총개발비용

이 세부모듈은 GATE 2A에서 결정된 액화기술을 적용할 경우 예상되는 총개발비용을 산출하는데 목적을 둔다.

③ GATE 2C: 개략총생산이익

이 세부모듈은 GATE 2A에서 결정된 액화기술을 적용할 경우 예상되는 총생산이익을 산출하는데 목적을 두었고, 이는 GATE 2B에서 도출된 총 개발비용과 함께 총 비용편익비(benefit-cost ratio)로 계산되어 사업의 전체적인 타당성을 제시하였다.

(다) GATE 3: 운영참여도 결정

운영참여도 결정 모듈은 현재 및 미래의 시장전망을 바탕으로, 개발된 LNG플랜트의 운영과정에 대한 참여도를 결정하는데 목적을 두었다. 이는 시장전망을 통해 운영단계에서의 적정지분 참여수준을 제시하며, 사업자의 목표 비용편익비(benefit-cost ratio)을 기준으로 이를 달성하기 위한 최소 운영지분을 결정하는 목적으로도 활용될 수 있다.

① GATE 3A: LNG 수급전망

향후 LNG 판매의 가능성이 있는 주요 16개국에 대하여 2030년까지의 LNG 공급전망을 제시. 이를 통해 LNG플랜트 개발 후 나타날 수 있는 수요를 예상한다.

② GATE 3B: LNG 소비전망

GATE 3A와 더불어 LNG플랜트 개발 후 생산되는 LNG를 판매가능한 국가들을 평가하는데 목적을 두었고, GATE 3A와 마찬가지로 2030년까지 주요 16개국의 LNG 소비전망을 제시하였다.

③ GATE 3C: 가격변동 전망

GATE 3C 는 현재 시점의 수급현황을 기본으로 하여, 향후 수급 대비 소비 물량의 Gap을 최소화 할 수 있도록, GA 알고리즘을 사용하여 최적화된 수급 대안을 찾도록 하고 있다. 이 대안을 통해 향후 가격변동을 예상하도록 하고 있다.

(라) GATE 4: 사업전략 결정

사업전략 결정 모듈은 GATE 1부터 GATE 3까지의 결과를 통합하여 최종결과를 제시하는 모듈이다. 이는 액화기술의 특성을 고려하여 분석된 비용편익비에 개발참여도 수준과 운영참여도 수준을 반영함으로서 최종적인 사업투입비용 및 편익을 산출하는데 목적을 둔다.

이는 사업을 진행했을 때 어느 수준의 비용편익이 예상되는지를 제시하며, 또한 이미 개발참여 지분이 결정된 경우 추후 운영단계에서 어느 정도 운영지분을 소유해야 사업자가 바라는 적정 비용편익이 도출될 수 있는지 또한 제시할 수 있다. 또한 각 모듈에서 검토하는 변수들이 변동할 경우 민감도분석을 통해 검토변수의 변화에 따른 시나리오를 제시하여 변수값의 변화에 대비할 수 있도록 제시하였다.

(4) LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계

(가) 개발참여도 결정 모듈

① GATE 1A : 사업환경 분석

- 진출국 정치·제도의 거시적 안정성

LNG 개발사업은 통상 수십 년의 장기간 사업이므로 진출국 정치·제도의 성숙도 및 법규·제도의 안정성, 정부효율성 및 부패 등 거시적 측면의 검토가 필수적이다.

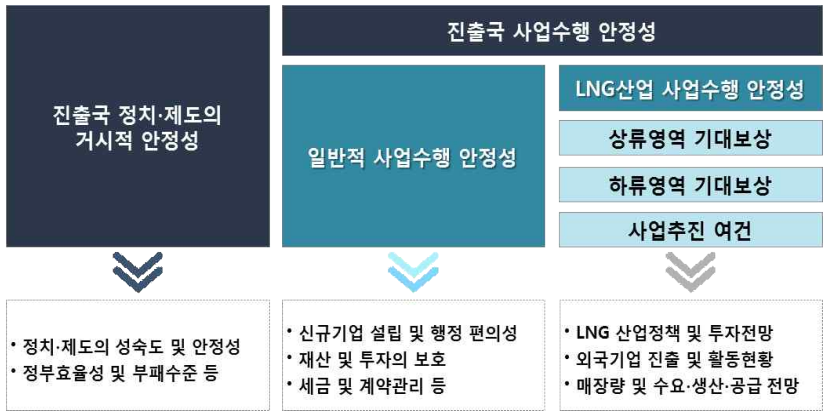
- 일반적인 사업 수행 안정성

진출국에서의 투자 및 사업의 개시, 사업 운영상의 안정성을 평가하기 위하여 행정절차의 특성, 재산 및 투자의 보호, 세금 및 계약준수 등의 특성에 대한 고려가 필요하다.

- LNG산업 사업수행 안정성

LNG 산업에 특화된 고려 항목으로, 가스사업의 영역을 상류와 하류로 구분하여 기대보상[19] 수준 (expected rewards)을 파악해야 하며, 또한 현지의 유사 프로젝트 진행·계획 현황과 산업정책, 투자전망 등으로부터 사업추진의 여건을 파악할 필요가 있다.

위와 같이 설정한 사업환경 분석 영역을 정리하면 <그림 2.133>과 같다.



[그림 2.133] 사업환경 분석의 범위 및 개요

19) 일반적으로 보상(reward)은 리스크과 함께 맞물려 '득과실' 또는 '위험과 보상'으로 활용되는 개념으로, 본 연구에서는 '위험을 감수하고 사업을 추진하여 확보할 수 있는 성과'의 잠재성을 판단하기 위한 기준으로 도입하였음.

사업환경 본 연구는 지표별 축적(scale)의 상이 및 이에서 비롯되는 의사결정 활용성 저하를 보완하기 위하여 다음과 같은 영역별 정량화 보정을 적용하였다.

정치·제도 안정성(Governance)은 세계은행에서 발표하는 WGI의 6개 지표를 활용함. 각 지표는 (-)2.5에서 (+)2.5의 값을 갖는 절대적 지표로, 선형 비례를 거쳐 쉽게 0~100의 점수로 변환할 수 있었다. 변환된 값은 (식 1)과 같이 산술평균을 통해 최종 정치·제도 안정성 지표를 산정하였다.

$$x_g = \sum_{i=1}^{6} \frac{1}{6} x_{gi} \cdots\cdots (식\ 1)$$

x_g = 정치·제도 안정성 지표 (governance indicator), $(i = 1, 2, \cdots 6)$

사업수행 안정성(Business)은 세계은행에서 발표하는 DBI의 10개 지표를 활용하되, 상대비교 뿐 아니라 절대수준의 판단이 가능하도록 DF값(0~100의 값을 가진다)을 그대로 활용하고, 10개 세부지표의 비중은 동일하게 적용하는 것으로 가정하였다.

상류영역 기대보상(Upstream reward)은 산업 차원의 보상 가중치를 75%, 국가 차원의 보상 가중치를 25%로 설정하고 각 세부영역 내의 지표는 동등한 세부가중치를 갖도록 설정하여 (예: 상류영역 산업차원 보상지표는 4개이므로 75% ÷ 4 = 18.75% (합산) 산정함. 생산량 및 비율에 따른 점수 평가는 등간척도(interval scale)법을 적용하며, 척도는 추후 보완 예정이다.

하류영역 기대보상(Downstream reward)도 상류영역 기대보상과 마찬가지로, 산업 차원의 보상 가중치를 75%, 국가 차원의 보상 가중치를 25%로 하여 합산하였으며, 수요 및 수급, 비정부 소유비율 등에 따른 점수 역시 등간척도(interval scale)법을 적용하되, 각 항목별 점수부여를 위한 척도는 추후 보완 예정이다.

사업추진 여건(Present condition)은 전문가의 정성적 평가가 필요한 항목으로, 정성적 평가에 따른 점수 부여 기준은 추후 보완 예정임. 사업추진 여건의 영역 점수 합계를 위해서는 투자계획 및 지배구조 등 정부 차원의 세부지표에 60%, 유사 프로젝트 현황 세부지표에 40%의 가중치를 부여하여 합산하도록 하였다.

사업환경 평가를 구성하는 5개 영역별 점수의 종합은 (식 2)와 같이 각 영역이 동일한 비중을 갖는 것으로 가정하여 산술평균하여 산정함

$$x_t = \frac{1}{5} \times (x_g + x_b + x_u + x_d + x_p) \cdots\cdots (식\ 2)$$

x_t = 사업환경 지표 (total indicator)

x_g = 정치·제도 안정성 지표 (governance indicator)

x_b = 사업수행 안정성 지표 (business indicator)

x_u = 상류영역 기대보상 지표 (upstream reward indicator)

x_d = 하류영역 기대보상 지표 (downstream reward indicator)

x_p = 사업추진 여건 지표 (present condition indicator)

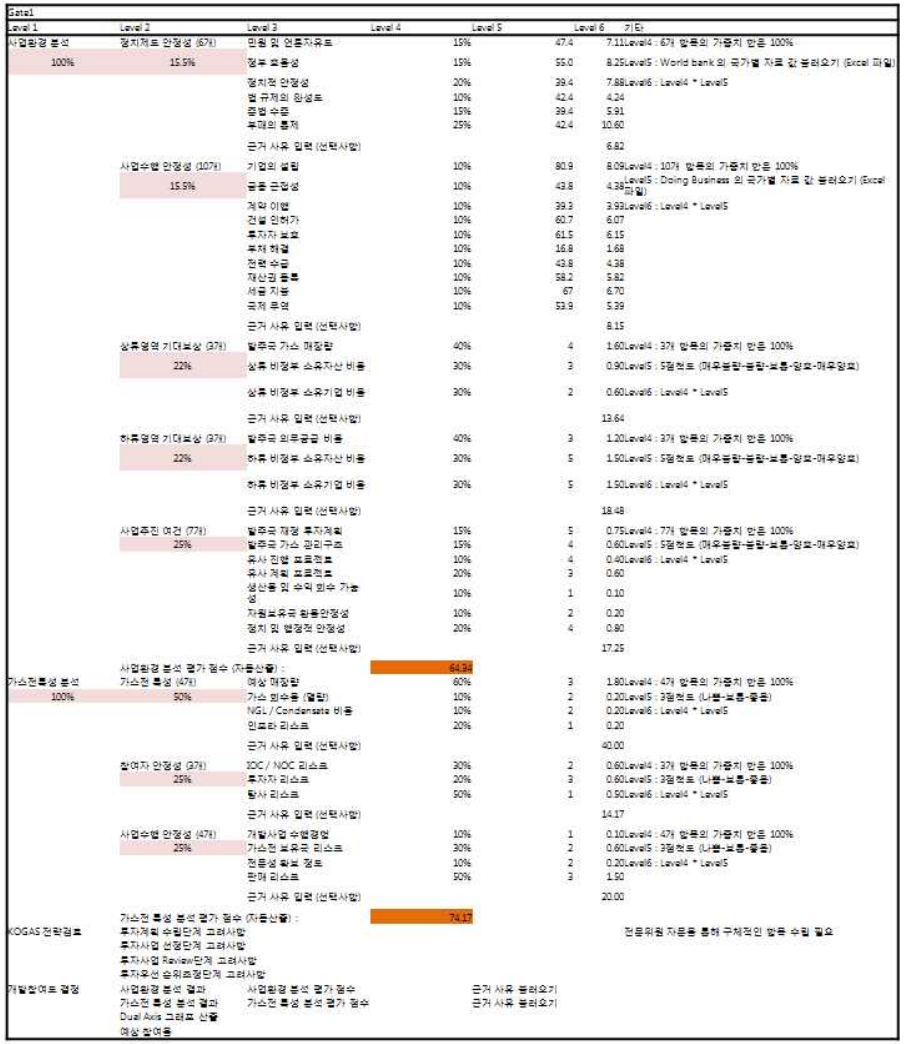
단, 사업환경 평가의 종합은 추후 한국가스공사 및 산업계 전문가 인터뷰를 통해 영역별 중요도를 산정함으로써 (식 3)과 같은 가중평균 산정방식으로의 보완이 가능함

$$x_t = \sum_{i=g}^{p} w_i x_i \quad (w_i = 5개\ 영역별\ 가중치) \cdots\cdots (식\ 3)$$

[표 2.28] 사업환경 분석의 평가 지표 및 정량화 기준

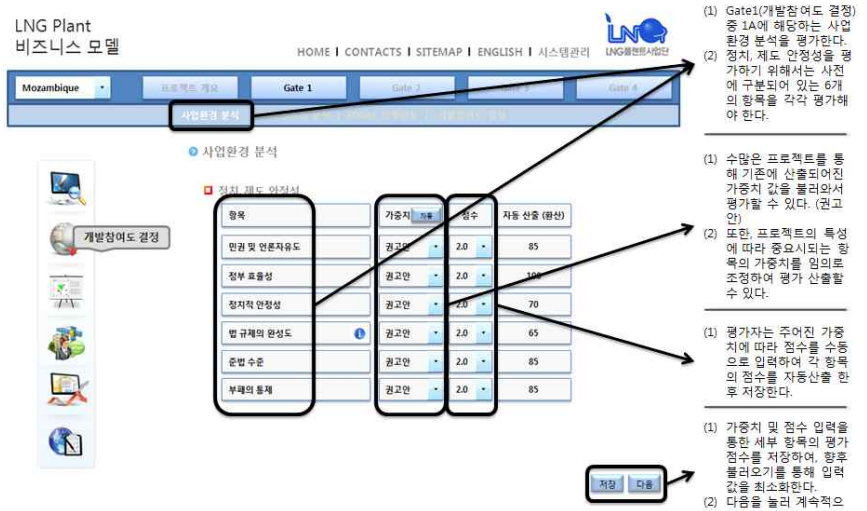
분류		지표	측정방법 / 단위	정량화	가중치
공통 사업 수행 지표	정치·제도 안정성 (6)	민권 및 언론자유도	세계은행의 설문 및 전문가 평가, -2.5 ~ +2.5	0 ~ 100 표준화	16.67%
		정치적 안정성			16.67%
		정부의 효율성			16.67%
		법·규제의 완성도			16.67%
		준법 수준			16.67%
		부패의 통제			16.67%
	사업수행 안정성 (10)	기업의 설립	지표별 최우수 국가와의 격차정도 (거리), 0 ~ 100	그대로 활용	10%
		건설 인허가			10%
		전력 수급			10%
		재산권 등록			10%
		금융 근접성			10%
		투자자 보호			10%
		세금 지불			10%
		국제 무역			10%
		계약 이행			10%
		부채 해결			10%
가스 전특성지표	상류영역 기대보상 (3)	발주국 천연가스 매장량	TCM	등간척도(interval scale) 활용, 0 ~ 100 점수화	18.75%
		상류 비정부 소유자산 비율	%		12.5%
		상류 비정부 소유기업 비율	%		12.5%
LNG 산업 특성 지표	사업추진 여건 (7)	발주국 재정투자계획	정성적 평가	상동	12%
		발주국 천연가스 관리구조	정성적 평가		12%
		생산물 수익회수가능성	정성적 평가		12%
		정치 행정적 안정성	정성적 평가		12%
		자원보유국 환율 안정성	정성적 평가		12%
		현지 유사프로젝트 진행현황	개수		20%
		현지 유사프로젝트 계획현황	개수		20%
소계		26개 지표			산술평균

앞에서 언급한 사업환경 분석을 위한 평가 지표 및 정량화 기준을 토대로 시스템 적용을 위한 알고리즘을 구현했으며, 총 4개 카테고리 26개 지표로 구분하였으며, 각각의 알고리즘 적용을 위해 사전에 Excel을 통해 도출 산정식을 검증 후 진행하였다.

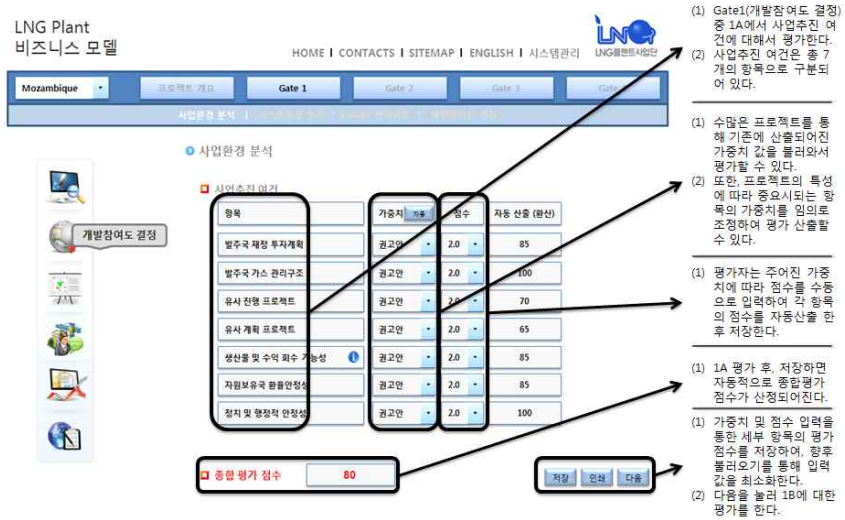


[그림 2.134] 사업환경 분석 평가 알고리즘 적용

이를 토대로 시스템 설계를 진행했으며, GATE 1A 사업환경 분석에 해당하는 시스템 UI 는 아래와 같다.



[그림 2.135] GATE 1A - 사업환경 분석 중 정치제도 안정성 평가



[그림 2.136] GATE 1A - 사업환경 분석 중 사업추진 여건 평가

② GATE 1B : 가스전 특성 분석

가스전 사업의 지속 가능성을 평가하기 위해 본 연구에서는 기존 사례 및 문헌의 분석을 통해 주요 평가 요소를 도출하였으며, 전문가 자문을 통해 가스전 사업의 지속 가능성 관점에서의 평가 모델을 구성하였다. 이를 통해 사업의 지속가능성을 평가하는 데에는 재무적 요인, 기술적 요인 그리고 조직적 요인의 세 가지 분류가 필요함을 도출하였고 이들 요인을 각각 가스전의 특성에 맞추어 재구성 하였다.

- 가스전 특성

가스전 사업을 수행하기 위해서는 대상 가스전에 대한 기술적 분석 및 정의가 필요하다. 그러나 사업 초기 단계에서는 가스전에 대한 정확한 정보나 자료가 존재하지 않으므로, 기 추출된 샘플을(Raw Feed Gas; RFG) 분석하여 가스전에 대한 객관적인 정보를 평가해야 한다.

가스전 고유 특성 평가지표는 아래와 같이 구분하였으며, 각 세부 지표에 대한 편가 산정 기준을 아래와 같이 정립하여 설계에 반영하였다.

· 조성(열량) : 조성은(Components) 가스전에서 추출된 RFG가스에 의해 생산 가능한 상품을 의미하며, 주로 C1, C2, C3, C4, C5 의 비율과 이들을 통해 계산된 예상 열량으로서 평가 할 수 있다. 예상 열량이 3,400,000 MMBTU 이상인 경우를 양질의 가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 2,700,000 MMBTU 이하인 경우를 비양질의 가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

· 예상 매장량 : 해당 광구의 분석을 통해 예상 되어지는 매장량을 평가하는 것으로서 가채 연한 및 사업 지속 기간과 직접적으로 연결되어 지는 지표이다. 광구에 대한 3D 탄성파 및 지형 분석을 활용하게 되며, 분석의 변동성을 상대 비교하기 위해 유사 지형 및 사례를 분석하여 변동성을 반영해야 한다. 예상 매장량이 5 TCF 이상인 경우를 대형가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 0.5 TCF 이하인 경우를 소형 가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

· NGL/Condensate 비율 : 가스전 개발 과정에서 예상되는 추가 비용 및 수익과 직접적으로 연결되어지는 지표이다. 이물질이 많이 포함될 경우에는 이를 처리하기 위해 추가적인 설비 및 비용이 발생되게 되며, Condensate 등 판매 가능한 물질이 많을 경우에는 추가적인 경제성이 확보되는 것을 의미한다. CO2, Sulphur 등 액화플랜트에서 제거해야할 물질이 적고 (15% 이하), Condensate 등 추가 수익원 물질이 많을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 제거물질이 많고(30% 이상) 추가 수익원 물질이 적을 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

· 인프라 접근성 : Upstream과 Downstream 간의 연계성 및 추가 건설비와 직접적으로 연결되어지는 지표이며, 가스전에서 액화 플랜트까지의 Feed gas 수송에서의 어려움 정도를 포함하여 평가해야 한다. 본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 사업수행이 기술적으로 문안함이고 판단될 경우에는 3 (Good)로 평가하고 어려울 경우는 1 (Bad)로 평가하고. 나머지 경우에는 2 (Moderate)로 평가하였다.

- 참여자 안정성

가스전 사업은 장기간의 사업기간동안에 대규모의 자금이 투입되고, 가스전 개발 완료 이후에 매년 일정금액씩 수익이 발생하는 구조이다. 따라서 장기간의 대규모 금융 조달이 가능하도록 공신력 있는 참여자가 필수적이며, 이들을 안정적으로 뒷받침 해줄 금융을 포함하여 평가가 진행되어야 한다.

참여자 안정성 평가지표는 아래와 같이 구분하였으며, 각 세부 지표에 대한 편가 산정 기준을 아래와 같이 정립하여 설계에 반영하였다.

· IOC 지분율 : 가스전 사업 지분 구성에서 공신력 있고, 인지도가 큰 업체의 비율이 높을수록 사업 참여자 간의 신뢰성이 확보될 가능성이 높다. 특히 대형 유/가스전을 많이 보유하고 있는 메이저 IOC 업체의 지분이 높을수록 참여자간의 신뢰성에 대한 리스크가 낮아지게 되는 것이 현실이다. 대부분의 가스전 사업이 후진국 또는 개발도상국에서 이루어지기 때문에 이들 국가의 로컬 기업이나 소규모 기업의 참여가 많은 것 보다는 메이저 IOC 기업이 더 긍정적인 평가를 받을 수 있다. 따라서 지분 참여자의 특성을 반영하여 평가해야 한다. IOC 기업 및 아국 정부 등 공신력 있는 기관의 지분이 높을 경우(70% 이상) 평가를 3 (Good)으로, 로컬 및 비 메이저 기업 등의 지분이 높을 경우(50% 이상) 평가를 1 (Bad)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

· 과거 협력 경험 : 참여자들 간의 신뢰성을 판단하기 위해서는 기존의 사업/비사업 적 관계를 분석하여 반영하는 것이 필요하다. 이를 위해 기존의 사업/비사업적 협력 사례를 분석하고, 타 기업들과의 협력 사례도 가능한 범위에서 조사하여 반영해야 한다. 특히 로컬 정부 및 IOC 와의 협력 경험을 분석하는 것이 중요하다. 본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 기존의 사업/비사업적 경험 및 타 기업들과의 협력 사례를 분석하여 평판도가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 평판도가 나쁠 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 관련 경험이 부족하거나, 보통일 경우에는 2 (Moderate)로 평가하였다.

· 사업수행 경험 : 사업을 리딩하는 업체/정부의 신뢰성을 판단하는 것이 필요하다. 이를 위해 로컬 정부나 리딩 기업이 수행한 사업의 진행상태 및 성과를 분석하여 평가해야 하

였다. 사업 리딩 기관이 수행하는 타 사업의 진행상태 및 성과가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 나쁜 경우가 더 많은 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

· 우호적 투자금 비율 : 가스전 사업은 장기간의 투자가 요구되고, 수익은 미래에 단계적으로 발생하게 된다. 이러한 사업구조를 안정적으로 지탱하기 위해서는 사업 투자금의 안정적인 지원이 필요하다. 따라서 재무적 투자자의 구조를 분석하여 우호적 투자금 비율을 평가해야 한다. 재무적 투자자의 구조를 분석했을 때 정부 투자금, IOC 직접 투자금, 장기 투자금 등 우호적 투자금을 취합하여 비율이 높은 경우 3 (Good)으로 평가하고 비율이 낮을 경우에는 1 (Bad)로 평가하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

- 사업 안정성

사업의 성패는 예상 비용범위 내에서, 기대 수익을 올리는 것임. 그러나 가스전 사업은 장기간의 사업기간과 대규모의 투입금액으로 인해 사업 경험이 부족하다. 따라서 예측과 관리에 많은 노하우와 기술력이 필요하기 때문에, 이러한 계획 및 운영이 가능함을 평가하는 것이 필요하다.

사업 안정성 평가지표는 아래와 같이 구분하였으며, 각 세부 지표에 대한 편가 산정 기준을 아래와 같이 정립하여 설계에 반영하였다.

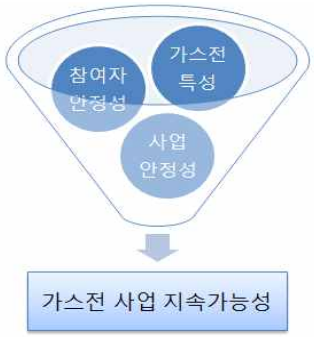
· 개발사업 수행경험 : 가스전은 대규모 자금 투자와 장기간의 사업수행 구조를 가지는 특성을 가지고 있다. 또한 개발사업의 특성 상 많은 리스크와 변동성이 존재한다. 따라서 이러한 특성을 이해하지 못한다면, 사업계획에서부터 어려움을 겪게 되거나 최종 사업성과에 악영향을 미치게 된다. 따라서 과거 개발사업 수행경험, 가스전 사업 참여 경험, 가스전 사업 리딩 경험 등을 평가해야 한다. 본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 기존의 가스전 및 비 가스전 개발 경험 및 성과를 분석하여, 수행경험이 많고 성과가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 수행경험이 없거나 성과가 좋지 않을 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 관련 경험이 부족하거나 성과가 보통일 경우에는 2 (Moderate) 로 평가하였다.

· 전문성 확보 정도 : 가스전 사업은 다양한 전문 지식 및 고유의 라이센스가 요구되는 고도화된 사업이다. 이러한 전문 기술들을 확보하지 못한다면, 사업수행 과정에서 추가적인 지출이나 품질의 문제를 일으킬 수 있으므로 이를 반영해야 한다. 따라서 라이센스 확보정도, EPC 경험 정도 그리고 운영 경험 등 전문성 확보 여부를 평가해야 함. 본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 가스전 관련 전문 기술이나 라이

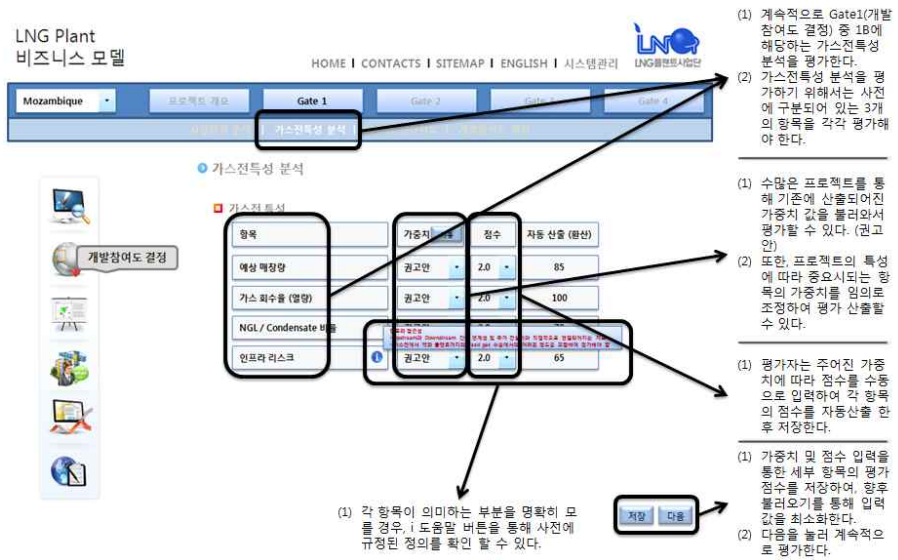
센스가 자체보유이거나(혹은 권리/권한의 확보가 완료) 수행경험이 많을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 권리/권한의 확보가 미흡이나 경험이 부족할 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

· 발주자 리스크 : 발주자는 대게 로컬 정부 혹은 NOC가 역할을 대신하게 된다. 발주자는 사업의 전반적인 진행에 대한 보증을 맡고 있으므로, 발주자의 의향 및 특성을 반영해야 함. 특히 발주자의 기존 사업 중 타절, 사업자 변경, 이유 없는 지연 등 불합리한 사례를 조사해야 한다. 발주자의 기존 사업 진행 현황 및 재무제표, 신용등급 등을 조사하여, 사업자 변경이 잦거나 발주자 원인의 사업 중단 등이 많은 경우에는 평가를 1 (Bad)으로, 발주자 관련 문제가 없는 경우에는 평가를 3 (Good)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.

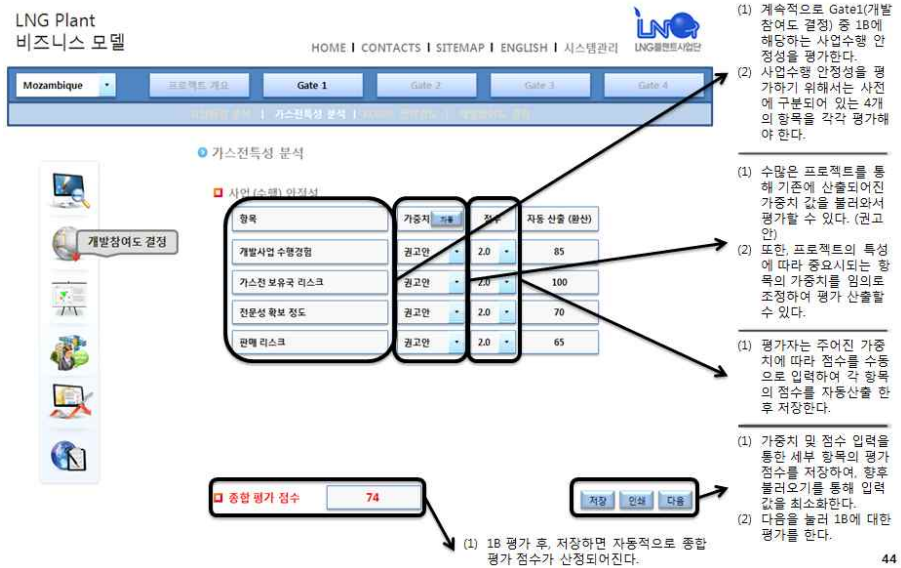
· 판매처 확보 정도 : 가스전은 개발완료(생산 단계) 이전에 생산물의 판매에 대한 계약을 모두 완료하고, 개발 이후에 단계적으로 계약을 이행하게 된다. 그러나 장기간의 사업으로 인해 구매자의 변동이나 국제시장의 변화로 인해 판매계약에 문제가 발생할 수 있으므로 이러한 리스크 요인을 반영해서 평가해야 한다. 본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 판매 계약이 로컬/아국 정부나 사업 참여자들로 구성된 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 구매처가 재무적으로 부실하거나 신뢰성이 미흡할 경우에는 평가를 1 (Bad)로 하고, 나머지는 2 (Moderate)로 평가하였다.



[그림 2.137] 가스전 사업의 지속가능성 평가 모델



[그림 2.138] GATE 1B - 가스전 고유 특성에 대한 분석 평가



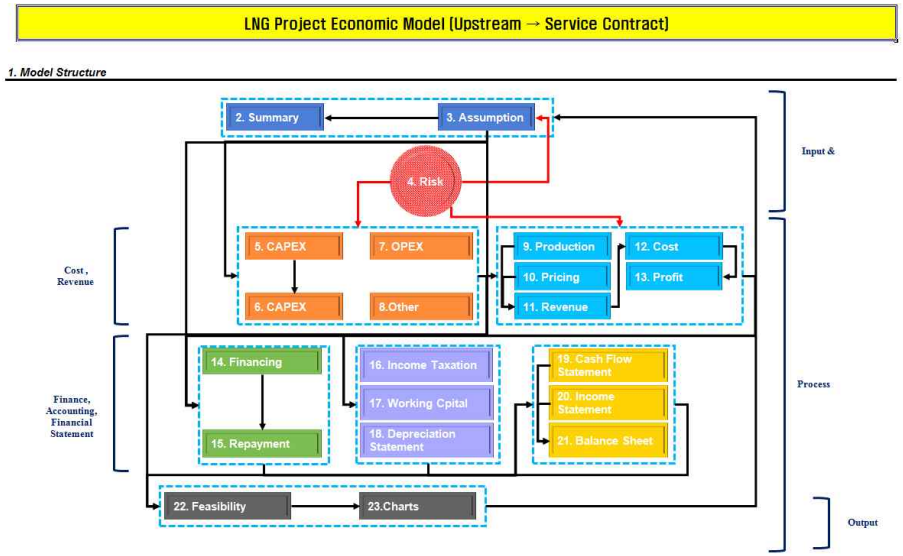
[그림 2.139] GATE 1B - 가스전 특성 분석 중 사업수행 안정성 평가

(나) 사업성 평가 모듈

사업성 평가 모듈에서는 액화기술 및 FPSO 각 요소에 대해서 비교 분석하여 IRR, ROI 등 경제적 관점에서의 평가 결과를 GATE1 (개발참여도) 및 GATE3 (운영참여도) 에 반영하여, 해외 프로젝트 참여시 개발 또는 운영지분 등의 결정에 고려될 수 있도록 하였다.

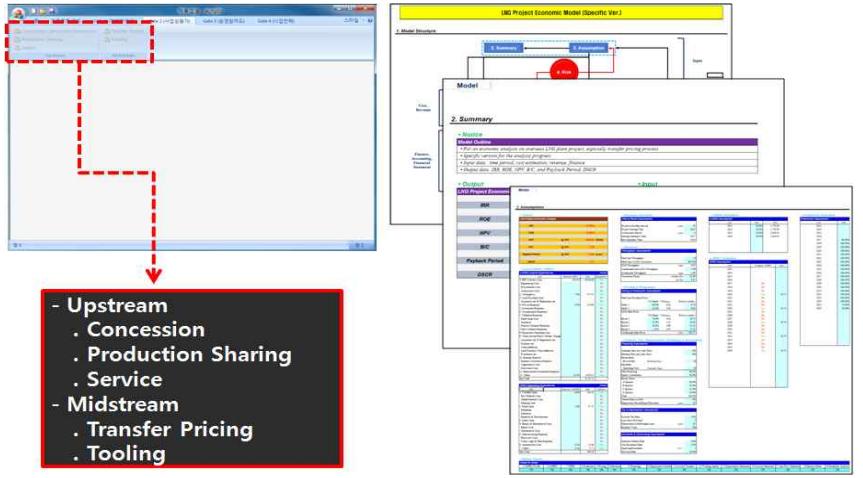
모듈은 CAPEX 및 OPEX 등의 비용자료 뿐만 아니라, 광고 및 시장 등의 수익자료 분석, 시나리오 별 위험 분석을 통한 기술자료를 포함하여 평가하도록 구성하였다. 또한 액화기술 및 FPSO 에서는 기존 현 플랜트 시장의 공정에서 사용하는 C3MR 뿐만 아니라. 현재 본 사업단에서 개발중에 KSMR 에도 적용하여 비교 할 수 있도록 구성하였다.

액화기술 구성요소인 열교환기, 가스터빈 및 냉매압축기 등의 주요기기를 고려하여, 육상 LNG 플랜트 및 해상 FPSO 에도 적용이 가능하도록 고려하여 설계하였다.



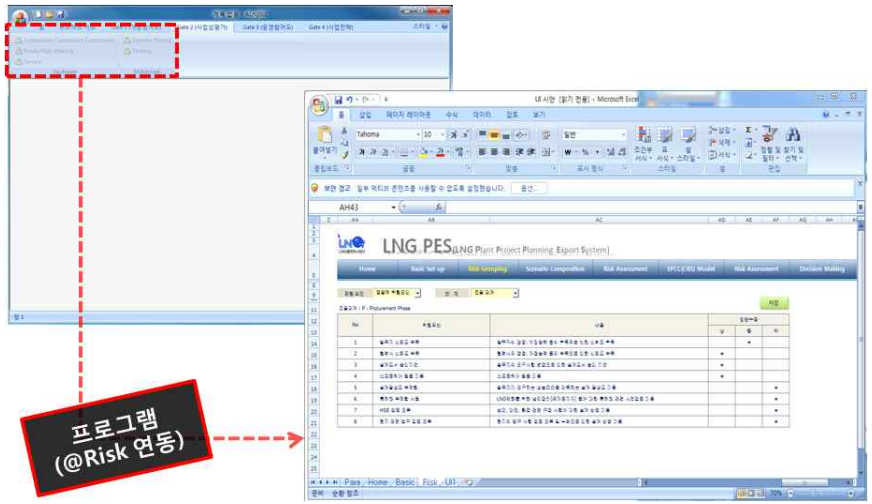
[그림 2.140] GATE2 사업성 평가 모듈의 평가 프로세스

본 사업성 평가 모듈은 계약방식에 따라 Upstream 의 Concession, Production Sharing, Service Contract 3가지로 구분하였으며, Midstream 에서는 Transfer Pricing, Tolling 2가지로 구분하여 총 5개의 계약방식 모두를 지원하도록 되어 있다.



[그림 2.141] Upstream 및 Midstream 알고리즘 적용 UI

또한, 해외 프로젝트 특성상 상황에 따라, @Risk를 적용하여 시뮬레이션으로 향후 가치를 추정할 수 있도록 모듈을 설계하였다. 따라서, 계약방식에 따른 5개의 모델에 @Risk를 적용함으로써 총 10개의 선택 가이드를 제공받도록 되어 있다.

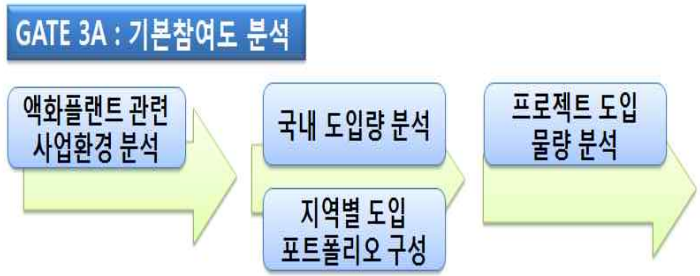


[그림 2.142] GATE2 모듈의 @Risk 적용 UI

(다) 운영참여도 결정 모듈

① GATE 3A : 기본참여도 분석

액화플랜트 운영참여도 중 기본참여도를 결정하기 위해서는 국내에 도입 예정인 물량을 파악하여야한다. 국내 천연가스 소비는 지리적 제한으로 인해 전량을 LNG형태로 수입하고 있으며, 전 세계 LNG 수입 2위를 차지하고 있다. 세계적으로 LNG 소비량이 급격히 증가함에 따라 LNG 가격은 계속해서 증가할 전망이고 LNG 도입경쟁은 심화될 전망이다. 따라서 Gate 3A는 국내 LNG 물량을 안정적으로 도입함과 동시에 최소비용으로 도입을 해야 하며 이를 위해 운영단계에 지분을 참여함으로써 안정적 도입과 도입비용이 운영수익으로 연계되는 기본참여도 모델을 개발하였다.



[그림 2.143] Gate 3A 기본참여도 의사결정 모델 컨셉

- 국내 LNG 도입량 분석

액화플랜트 사업에 참여하는 가장 결정적인 이유는 국내에 안정적으로 LNG 물량을 도입하는 것이다. 장기천연가스 수급계획 및 에너지 관련 외부기관에서 발표한 국내 LNG 수요량을 분석 바탕으로 현재 체결된 계약에 의해 공급 가능한 LNG 물량을 파악함으로써 도입이 요구되는 물량을 파악하였다.

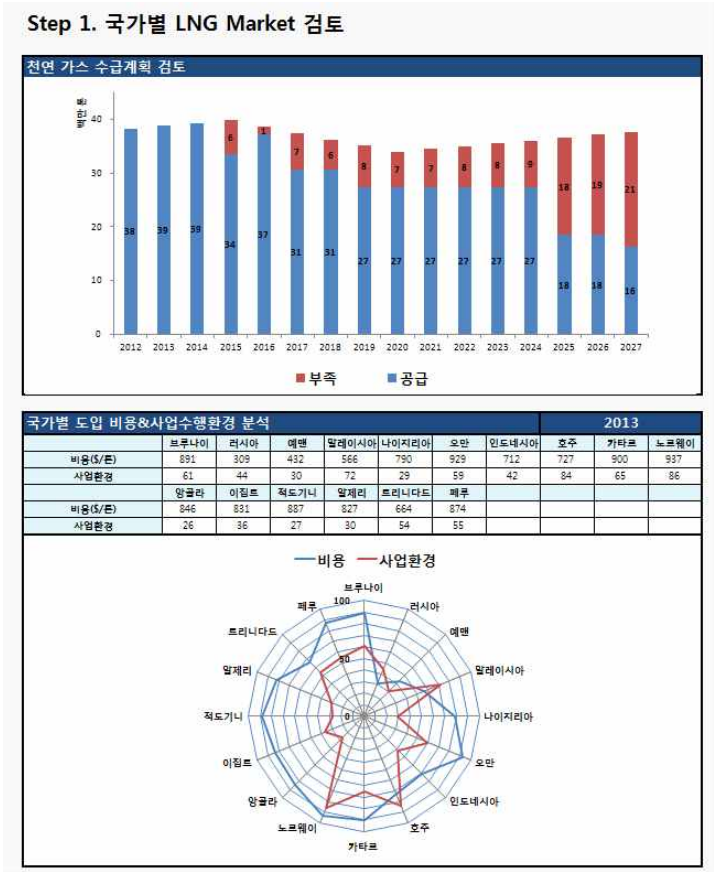
- 지역별 도입 포트폴리오 구성

세계 LNG 수요량이 급격히 증가하고 비전통가스 개발의 경제성이 확보됨에 따라 특정 국가에 다량의 LNG 도입계약을 체결하는 것 보다는 도입을 분산 계약함으로써 세계 정치적·경제적 안정성에 의한 영향을 최소화해야 한다. 이를 위해 지역별 LNG 판매비용과 천연가스 미래 생산량을 동시 고려한 지역별 도입 포트폴리오를 구성하였다.

- 프로젝트 도입물량 분석

운영에 참여하기 앞서 참여 지분율을 결정하기 위해서 국내 도입량과 지역별로 배분된 포트폴리오 물량중에서 특정 프로젝트에서 도입해야 하는 물량을 결정하고, 프로젝트마다 가채매장량, 가채년수가 다르고 또한 지역 의무공급량과 프로젝트에 참여하기 위한 최소 지분율을 분석하여 참여시 합리적인 최소 지분율과 최대 지분율을 도출하는 알고리즘을 개발하였다.

다음은 국내 LNG 도입량 분석, 지역별 도입 포트폴리오 구성 및 프로젝트 도입물량 분석에 필요한 마켓을 검토하기 위한 기존 현황을 시스템에 적용하기 위한 화면 UI로써, 천연가스 수급계획 검토 및 국가별 도입 비용&사업수행환경 분석 결과를 담고 있다. 또한 연도별 국가별 도입 단가를 통해 향후, 수급에 있어 비용 산정이 가능하도록 기존의 도입 단가를 알고리즘으로 적용하였다.



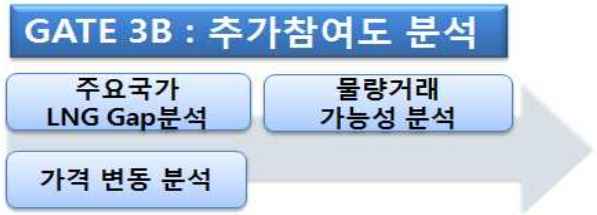
[그림 2.144]GATE3 국가별 LNG Market 검토 UI



[그림 2.145] GATE3 국가별, 연도별 도입 단가 알고리즘 적용 UI

② GATE 3B : 추가참여도 분석

액화플랜트의 운영참여도 중 추가참여도를 결정하기 위해서는 국내에 도입 예정인 물량 외에, 별도로 판매 혹은 거래가 가능한 물량을 산정해야한다. 특히 추가참여도는 기존의 국내의 에너지 관련 공기업이나 민간 기업이 수행하지 못했던 분야로서 에너지 사업에 대한 신 성장 동력 및 미래 수익원으로서의 의의가 있다. 이를 위해 해외 지역 및 국가에 대한 수요 조사 및 판매 가능성을 분석하고, 국제거래가의 가격변동 전망을 통해 추가 참여여부를 결정하는 것을 포함하였다.



[그림 2.146]GATE 3B 추가참여도 의사결정 모델 컨셉

- 주요국가 LNG Gap 분석

액화플랜트 사업에 참여하기 위해서는 LNG 생산 현황에 대한 조사가 필수다. 특히, 참여를 고려중인 액화플랜트 사업의 주변 국가 및 지역에서 개발 계획, 예정, 진행, 완료예정인 프로젝트를 조사하여 전반적인 공급물량을 확인하는 것이 중요하다. 이를 통해 참여 대상국과 주변국 그리고 주요 생산국의 현재 생산물량 및 미래 생산 예정물량을 분석하였다.

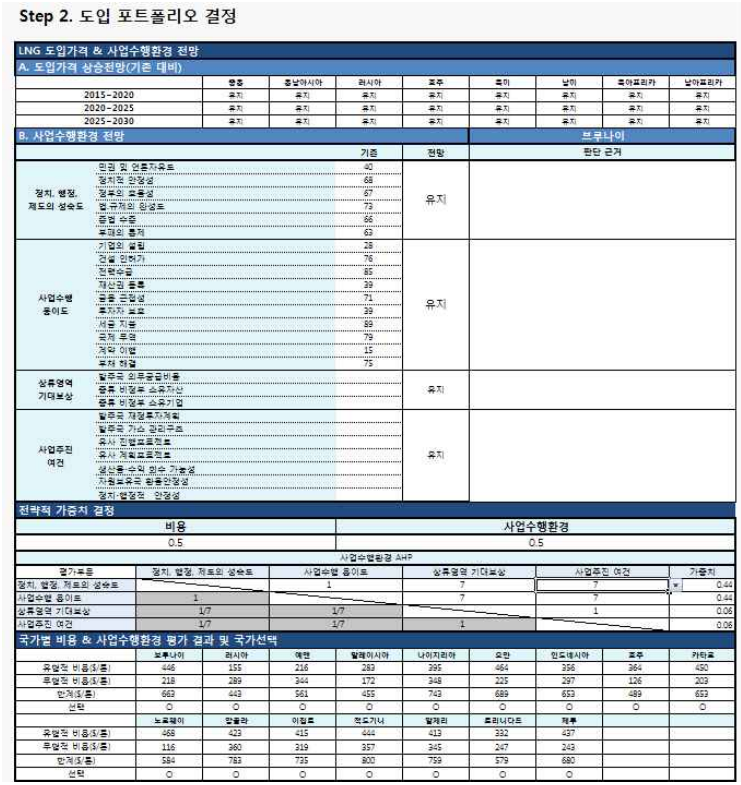
- 물량거래 가능성 분석

액화플랜트 사업에 참여하기 위해서는 LNG 소비 현황에 대한 조사가 필수다. 특히, 참여를 고려중인 액화플랜트 사업의 주변 국가 및 지역의 에너지 소비량을 분석하고, 이중 LNG로 도입이 가능한 부분에 대한 분석이 수행된다. 더하여 지정학적 위치와 물리적 거리의 분석을 통해 LNG로의 거래 가능성을 분석하였다.

- 가격 변동 분석

액화플랜트 사업은 장기간의 계약에 의해 수익이 회수되는 구조이기 때문에 LNG 판매를 위한 가격이 중요하다. 특히 물량 계약은 20~30년간의 장기계약이며, 계약단가는 크게 변화를 줄수가 없기 때문에 계약시점에서의 가격결정이 핵심이다. 따라서 지역별 국가별 연동하는 국제거래가 및 국제유가를 분석하여 추가물량을 확보하는 것이 장기적으로 유지할지를 분석하였다.

앞서 기존현황을 토대로 마켓검토를 진행했으며, 이후에는 주요 국가 LNG Gap 분석, 물량거래 가능성 분석 및 가격 변동 분석을 통해 향후 물량 도입시 기준이 될 금액을 산정할 수 있도록 구성하였다. 여기에서는 GA 알고리즘을 적용하여 현재 도입 물량 대비 가장 최적화된 물량 수급 계획을 제공하도록 하였다.


Step 2. 도입 포트폴리오 결정

LNG 도입가격 & 사업수행환경 전망

A. 도입가격 상승전망(기존 대비)

	중동	중남아시아	러시아	호주	북미	남미	북아프리카	남아프리카
2015~2020	유지	유지	유지	유지	유지	유지	유지	유지
2020~2025	유지	유지	유지	유지	유지	유지	유지	유지
2025~2030	유지	유지	유지	유지	유지	유지	유지	유지

B. 사업수행환경 전망

		기준	전망	브루나이
				판단 근거
정치, 행정, 제도의 성숙도	민원 및 안전지수도	40	유지	
	정치적 안정성	68		
	정부의 효율성	67		
	법규제의 완성도	73		
	환경 규정	66		
	부패의 통제	63		
사업수행 용이도	기업의 설립	28	유지	
	건설 인허가	76		
	전력수급	85		
	재산권 등록	39		
	물품 운반성	71		
	투자자 보호	39		
	세금 지불	89		
	국제 물건	70		
	계약 이행	15		
	부채 처결	75		
상류영역 기대보상	발주국 외투공급비중		유지	
	광물 비정부 소유지상			
	광물 비정부 소유기업			
사업주진 여건	발주국 재정투자계획		유지	
	발주국 가스 관리구조			
	유사 진행프로젝트			
	유사 계획프로젝트			
	생산물 수익 회수 가능성			
	자원보유국 정치안정성			
	정치·법정적 안정성			

전략적 가중치 결정

비용	사업수행환경
0.5	0.5

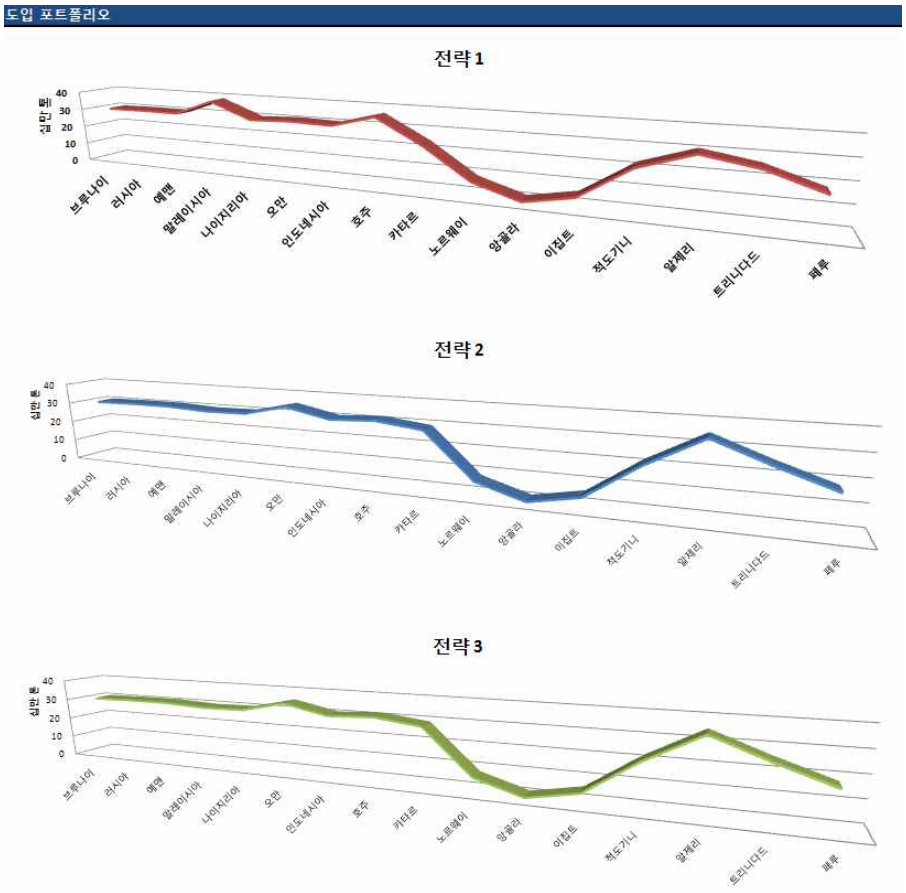
사업수행환경 AHP

평가요소	정치, 법정, 제도의 성숙도	사업수행 용이도	상류영역 기대보상	사업주진 여건	가중치
정치, 법정, 제도의 성숙도		1	7	7	0.44
사업수행 용이도	1		7	7	0.44
상류영역 기대보상	1/7	1/7		1	0.06
사업주진 여건	1/7	1/7	1		0.06

국가별 비용 & 사업수행환경 평가 결과 및 국가선택

	브루나이	러시아	예멘	말레이시아	나이지리아	오만	인도네시아	호주	카타르
유형적 비용($/톤)	446	155	216	283	395	464	356	364	490
무형적 비용($/톤)	218	289	344	172	348	225	297	126	209
합계($/톤)	663	443	561	455	743	689	653	489	699
선택	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	노르웨이	앙골라	이집트	적도기니	말레리	트리니다드	페루		
유형적 비용($/톤)	468	423	415	444	413	332	457		
무형적 비용($/톤)	116	360	319	357	345	247	243		
합계($/톤)	584	783	735	800	759	579	680		
선택	O	O	O	O	O	O	O		

[그림 2.147] GATE3 LNG 도입 포트폴리오 평가 UI



[그림 2.148] GATE3 GA 알고리즘을 통한 수요 대비 공급의 최적화 전략 도출 UI

다. 주요결과 및 시사점

본 연구는 기존의 개략적 경제성평가에 그치던 LNG플랜트 해외사업 평가방식을 개선하여 국가 및 사업환경에 대한 리스크 요소분석과 향후 LNG 시장전망을 과학적인 방식을 통해 고려한 LNG플랜트 해외사업모델을 개발하는데 목적을 가진다.

본 연구는 사업선별 및 사업타당성평가 단계에서 검토되어야 할 사항을 분석하고 독립적으로 활용 가능한 모듈을 구성함. 또한 해외사업모델에서 활용될 변수들은 안정성, 기대성과, 용이성으로 평가하여 선택하였다.

분석영역의 설정을 위해 기존 해외건설 및 LNG산업의 유관 연구문헌을 검토하고, 에너지 산업에 전문성이 높은 시장조사 기관의 분석방법론을 참조하였다. 평가지표의 선정에서는 분석의 객관성, 정확성, 편의성, 지속성을 제고할 수 있도록 공신력 있는 기관의 지표 활용을 가급적 높이고자 하였다. 또한 동시에 의사결정을 수행하는 전문가의 관점을 반영할 수 있는 영역을 확보하여 실무 적용성을 동시에 확보하고자 하였다.

12. LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 및 검증

가. 접근방법

- LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발
- LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 검증

나. 주요내용

(1) LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발

(가) 개발참여도 결정 모듈

개발참여도 결정 모듈은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 둔다. 다음과 같이 두 개의 하부모듈로 구성된다.

① GATE 1A: 사업환경분석

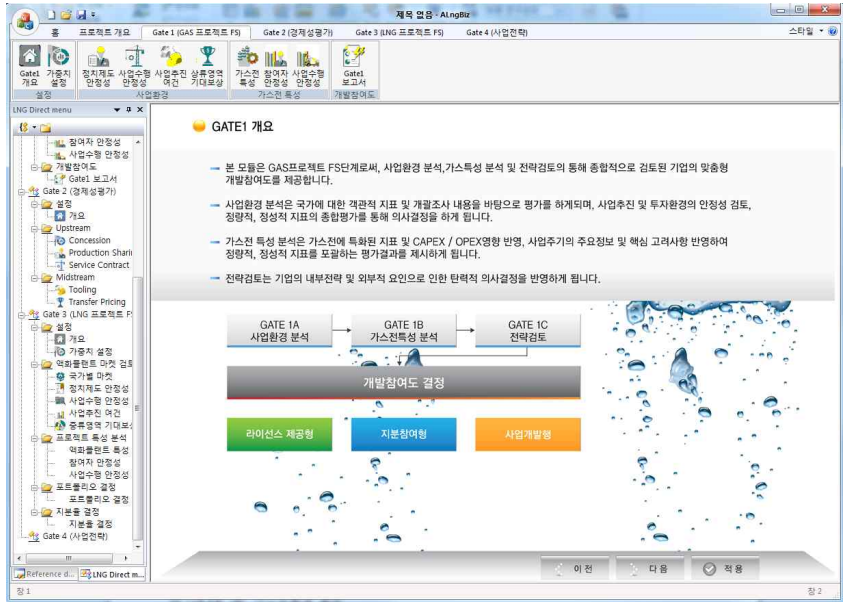
GATE1A의 사업환경 분석은 공통 사업수행지표, LNG산업특성지표, 가스전 특성지표 3가지 지표로 구분하여 도출하였으며 5차년도의 지표 중 하류영역 기대보상 항목을 제거하였고 상류영역 기대보상 및 LNG 관련사업 추진 여건의 유지를 통한 가스 산업에 특화된 평가 지표로 구성하여 총 3개영역 4개 분야 26개 지표를 활용하였다.

이 세부모듈은 어떠한 LNG플랜트 사업에 참여하고자 할 때, 해당 사업이 진행되는 국가의 사업환경을 분석하는데 목적을 두었고, 즉 해당 국가에서 진행되는 모든 프로젝트에 공통적으로 적용되는 요소들 (정부안정성, 사업안정성, Upstream 및 Downstream 기대보상) 등을 시스템에 반영하였다.

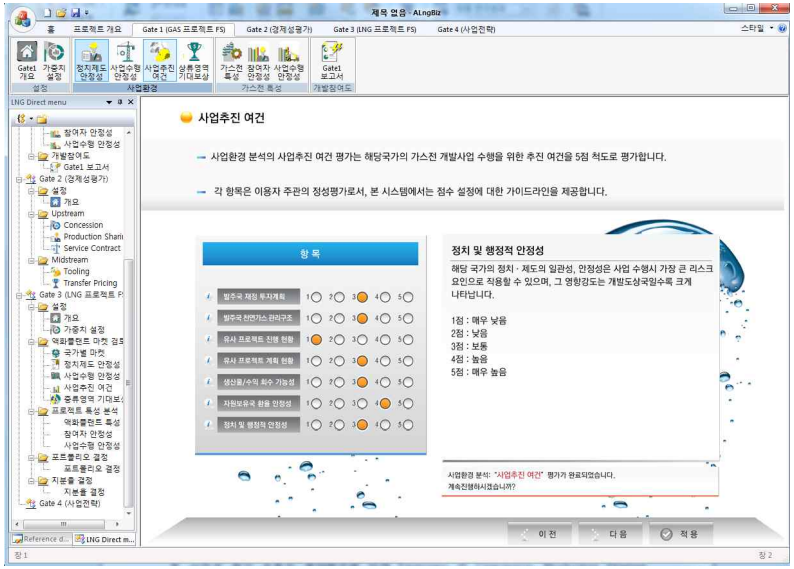
② GATE 1B: 가스전특성 분석

GATE 1A가 사업이 진행되는 국가의 환경요소들을 분석하는 것과 달리, GATE 1B는 특정 사업에 해당되는 사업요소들을 분석하였고, 이는 개별 사업들이 나타내는 고유의 특성 - 프로젝트 안정성, 기술요소 특성, 사업수행 인프라 등을 분석하였으며, 이는 5점 척도를 통해 평가

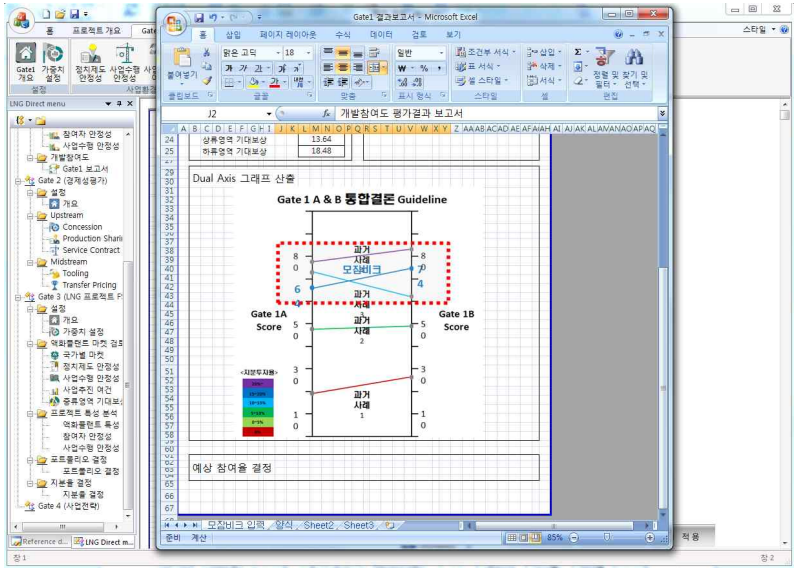
할 수 있도록 구성되었으며, 5점 각 척도에 있어서는 사용자가 명확히 판단할 수 있도록 가이드를 제시하고 있다.



[그림 2.149] GATE1 개발참여도 평가 모듈 개요 화면



[그림 2.150] GATE1A 사업환경 분석 중 사업추진 여건 평가 화면

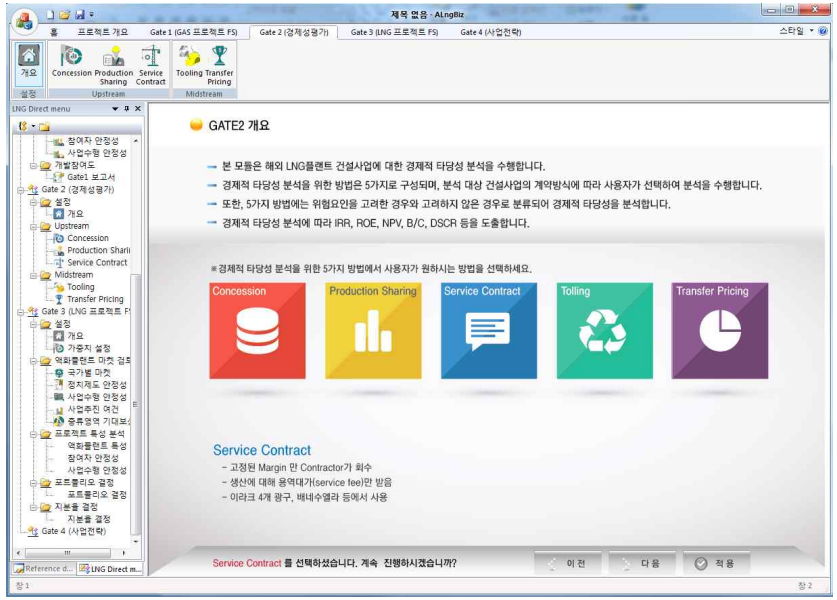


[그림 2.151] GATE1 개발참여도 평가 결과 보고서 출력 화면

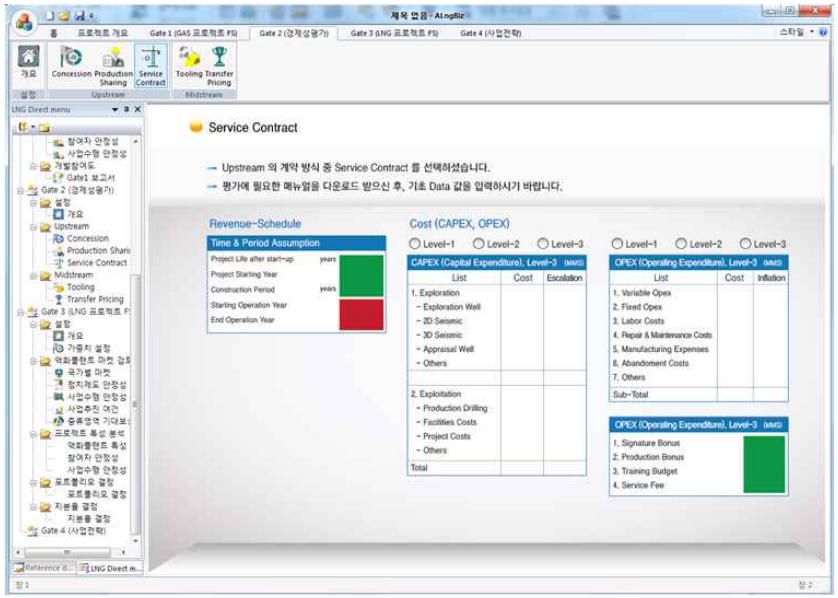
(나) 사업성 평가 모듈

본 사업성 평가 모듈은 계약방식에 따라 Upstream 의 Concession, Production Sharing, Service Contract 3가지로 구분하였으며, Midstream 에서는 Transfer Pricing, Tolling 2가지로 구분하여 총 5개의 계약방식 모두를 지원하도록 되어 있다.

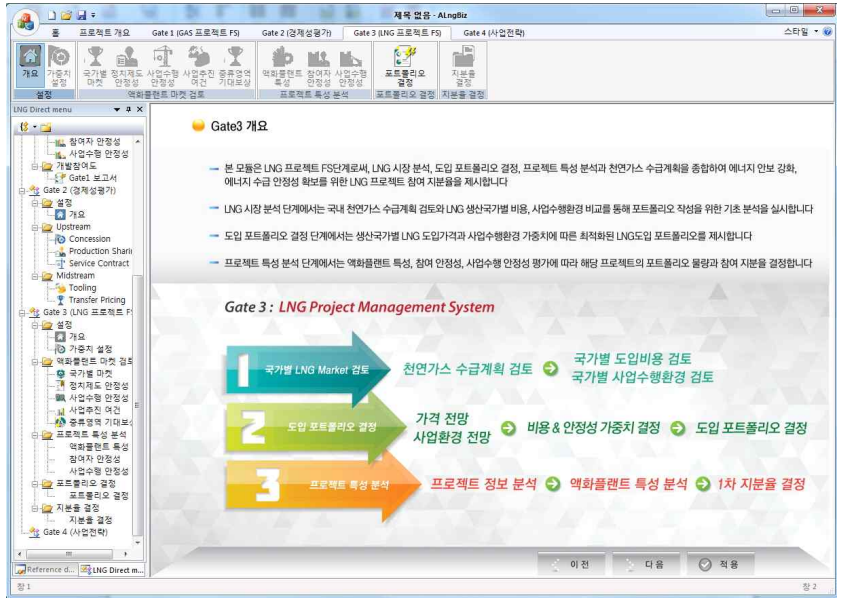
또한, 해외 프로젝트 특성상 상황에 따라, @Risk를 적용하여 시뮬레이션으로 향후 가치를 추정할 수 있도록 모듈을 설계하였다. 따라서 계약방식에 따른 5개의 모델에 @Risk를 적용함으로써 총 10개의 선택 가이드를 제공받도록 되어 있다.



[그림 2.152] GATE2 사업성 평가 모듈 개요 화면



[그림 2.153] GATE2 Input 입력 화면



[그림 2.154] GATE3 운영참여도 평가 모듈 개요 화면

(다) 운영참여도 결정 모듈

액화플랜트의 운영참여도를 결정하기 위해서는 LNG 의 수요와 공급에 대한 분석이 선행되어야 하며, 이에 더하여 천연가스(Natural Gas) 국제 거래가를 함께 고려해야 한다. 그러나 가스공사와 민간 사업자는 국내의 소비전망에 집중하여, 구매계약에 의한 단순 도입이 대부분이다. 이로 인해 해외 액화플랜트 투자 사업에 대한 의사결정 프로세스와 평가방안에 대한 분석이 미흡하다. 따라서, 액화플랜트 사업의 성공가능성을 평가하는데 있어, 국내외 주요 국가의 LNG 수급전망 및 소비전망 그리고 국제거래가의 가격변동 전망은 포함하여 개발하였다.

① GATE 3A: LNG 수급전망

액화플랜트 사업에 참여하기 위해서는 LNG 생산 현황에 대한 조사가 필수였다. 특히, 참여를 고려중인 액화플랜트 사업의 주변 국가 및 지역에서 개발 계획, 예정, 진행, 완료예정인 프로젝트를 조사하여 전반적인 공급물량을 확인하는 것이 중요하다. 이를 통해 참여 대상국과 주변국 그리고 주요 생산국의 현재 생산물량 및 미래 생산 예정물량을 분석하였다.

주요 17개 국가에 대한 2030년까지의 LNG 생산 전망과 소비전망을 분석하여, 국가별/연도별 부족물량에 대한 구체적 분석을 수행하였다<그림 2.155>.

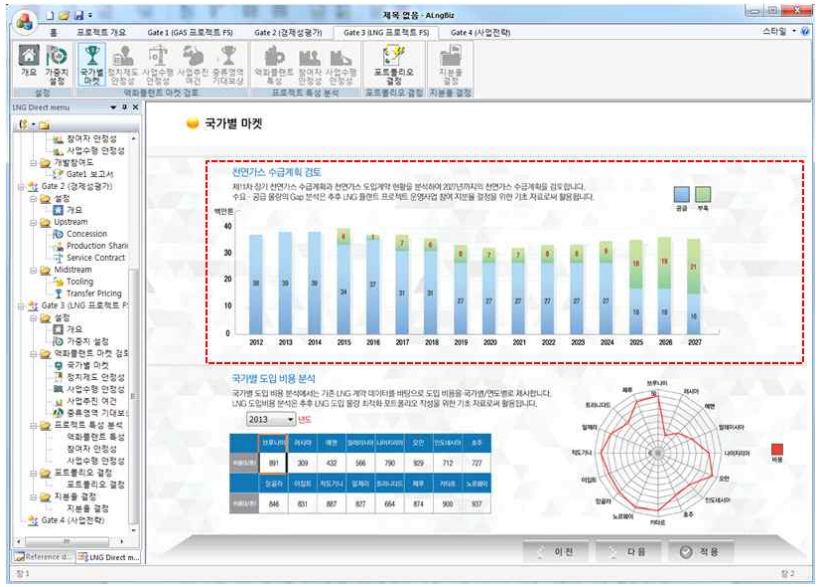
주요 LNG 생산국에 대한 조사와 분석을 통해, 미래의 LNG 생산물량에 대한 증산 계획, 증산 계약현황, 계약내역의 실행현황 그리고 현재 생산현황을 확인하고 이를 기반으로 2030년까지의 생산물량 전망을 분석하여 반영하였다.

주요 LNG 소비국에 대한 조사와 분석을 통해, 미래의 LNG 소비물량에 대한 전망과 도입계획을 확인하여 이를 기반으로 2030년까지의 소비 전망을 반영하였다.



[그림 2.155] 주요 17개 국가에 대한 LNG Gap 분석 현황

다음은 국내 LNG 도입량 분석, 지역별 도입 포트폴리오 구성 및 프로젝트 도입물량 분석에 필요한 마켓을 검토하기 위한 기존 현황을 시스템에 적용한 화면으로써, 천연가스 수급계획 검토 및 국가별 도입 비용&사업수행환경 분석 결과를 담고 있다. 또한 연도별 국가별 도입 단가를 통해 향후, 수급에 있어 비용 산정이 가능하도록 기존의 도입 단가를 알고리즘으로 적용하였다.



[그림 2.156] GATE3 LNG 수급 전망

② GATE 3B: LNG 소비전망

액화플랜트 사업은 원료가스를 기반으로 정제와 재처리 그리고 액화를 통해 상품용 LNG를 생산하는 사업이다. 이에 최종 생산물이 LNG 의 판매 가능성이 사업의 진행 여부에 핵심적인 역할을 하고 있으며, LNG 는 저장 설비 및 송출 설비 그리고 최종 사용자에게까지 전달을 위한 수송 파이프라인이 기본적으로 요구되는 산업이다.

액화플랜트 사업에 참여하기 위해서는 LNG 소비 현황에 대한 조사가 필수이다. 특히, 참여를 고려중인 액화플랜트 사업의 주변 국가 및 지역의 에너지 소비량을 분석하고, 이중 LNG로 도입이 가능한 부분에 대한 분석이 수행되었다. 더하여 지정학적 위치와 물리적 거리의 분석을 통해 LNG로의 거래 가능성을 분석하였다.

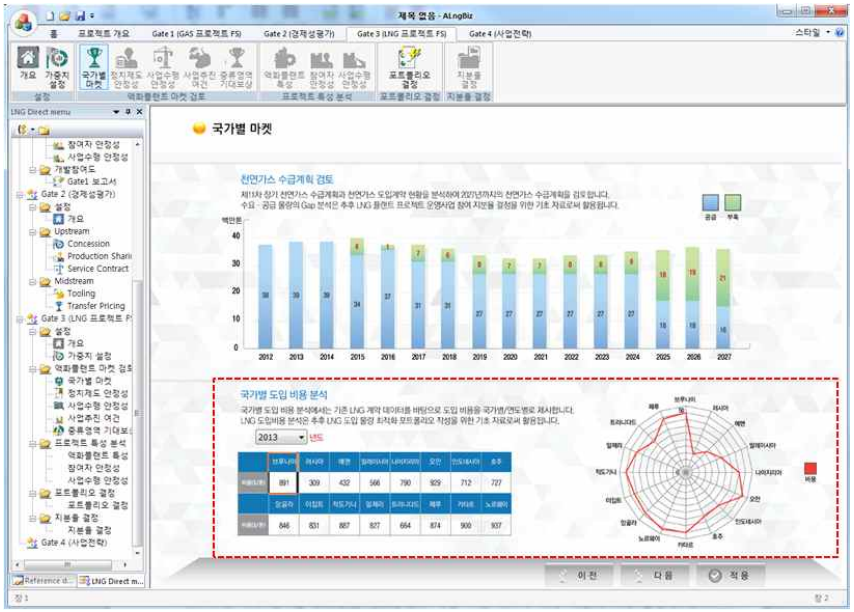
해외지역, 특히 참여를 고려중인 액화플랜트 사업 주변 국가에 대한 직판매 가능 물량에 대해 구체적 분석을 수행하여 개발에 반영하였다.

세계 LNG 시장에서 대규모 물량거래를 통해 Buying Power를 보유한 가스공사 등 주요 에너지 기업에 대해, 중/소규모 에너지 기업이나 LNG 도입역량이 부족한 국가 등에서 공식적으로 요청한 LNG 공급 물량을 분석하였다.

세계 각국의 LNG Terminal 이나 저장탱크 관련 건설 계획, 계약, 수행현황, 물량도입 현황 등을 조사하여 해당 국가의 LNG 도입 경험 및 관련 에너지 기업의 규모를 확인하여 부족물량이나 판매가능 물량을 분석하여, 공급 대비 수급량을 결정할 수 있도록 하였다.



[그림 2.157] 국가별 LNG 물량거래 가능성 확인



[그림 2.158] GATE3 소비전망 및 국가별 도입 물량 / 비용 분석

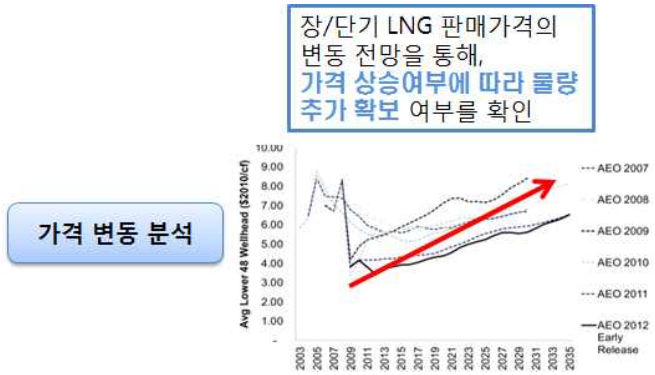
③ GATE 3C: 가격변동 전망

액화플랜트 사업에는 대규모의 건설비용이 최초 2~3년 사이에 모두 투입되고, 최소 20년 정도의 운영기간을 통해 원금 회수 및 수익 확보가 이루어진다. LNG를 판매하는 것이 유일한 수익활동이므로 동일한 물량을 기반으로 최대의 수익을 올리는 것을 목표로 한다. 특히, 국제거래가 등 신뢰 할 수 있는 비용정보를 통해 앞으로 LNG 거래가가 상승할 것으로 예상되면 운영참여 비율을 높이는 의사결정이 가능하며, 반대로 LNG 거래가가 하락할 것으로 예상되면 운영참여 비율을 낮추는 의사결정이 가능하다.

액화플랜트 사업은 장기간의 계약에 의해 수익이 회수되는 구조이기 때문에 LNG 판매를 위한 가격이 중요하다. 특히 물량 계약은 20~30년간의 장기계약이며, 계약단가는 크게 변화를 줄수가 없기 때문에 계약시점에서의 가격결정이 핵심이다. 따라서 지역별 국가별 연동하는 국제거래가 및 국제유가를 분석하여 추가물량을 확보하는 것이 장기적으로 유지할지를 분석하였다.

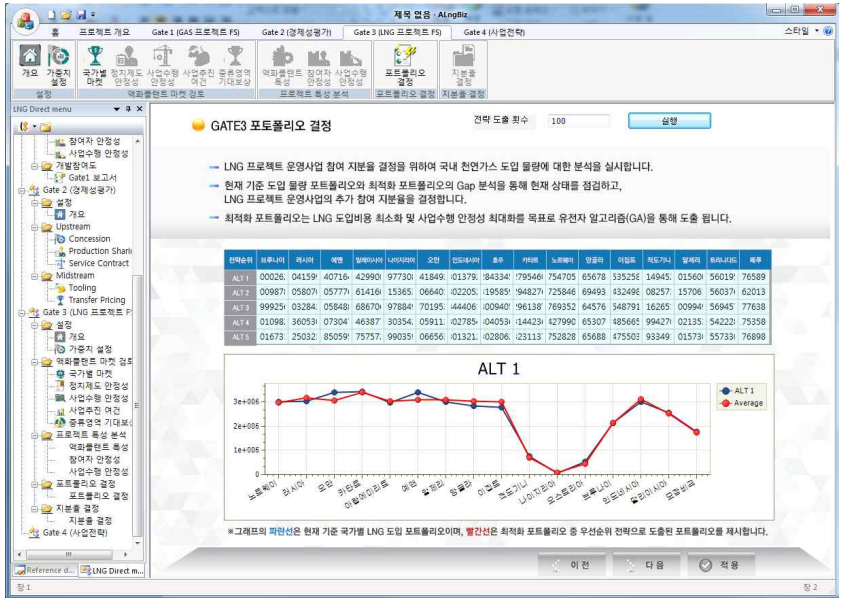
LNG 국제거래 가격 산정 알고리즘 현황을 조사하고, 해당 국제거래가에 대한 트렌트 분석을 통해 장기적 관점에서의 추가참여 적절성을 판단하고, 이를 개발에 반영하였다.

국제 거래가격에 대한 년 단위 혹은 월 단위의 이동 평균방법 등 사용자 니즈에 맞는 기간별 추세분석 방법을 통해 장기적 관점에서의 해당 국제거래가의 변동 전망을 수행하였다. 특히 세계경제 시나리오와 연계하여 보다 객관적 전망이 가능하도록 분석을 수행하였으며, 소비대비 수급 물량의 조절을 위해 최적의 시나리오 전략을 제시하였다.



[그림 2.159] 시나리오별 LNG 국제 거래가 전망

앞서 기존현황을 토대로 마켓검토를 진행했으며, 이후에는 주요 국가 LNG Gap 분석, 물량 거래 가능성 분석 및 가격 변동 분석을 통해 향후 물량 도입시 기준이 될 금액을 산정할 수 있도록 구성하였다. 여기에서는 GA 알고리즘을 적용하여 현재 도입 물량 대비 가장 최적화된 물량 수급 계획을 제공하도록 하였다.



[그림 2.160] GATE3 LNG 가격 변동 전망 및 도입 포트폴리오 결정

(2) LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 검증

개발된 모델의 사용성을 확보하기 위해서는 실무적 검증이 선행되어야 하며, 이를 위해 다수의 사례를 수집하여 실제결과와 모델의 결과를 비교해야한다. Gate 1 모델의 적용성 검토와 과거기반 사례를 통한 합리적인 의사결정 기준을 마련하기 위해 Upstream 단계의 탐사사업과 개발사업의 사례조사를 실시하였다.

(가) 탐사사업

탐사사업은 광구에서 해외자원의 부존을 확인하기 위하여 행하는 지질조사, 지질광상조사,

물리탐사, 사업타당성 조사 등을 말한다. 탐사사업의 사례조사를 위해 1차적으로 지난 10년간 탐사사업에 참여한 사례를 바탕으로 자료를 수집하였으며, 참여사례는 9건으로 동남아시아 지역 및 유라시아 지역을 중심으로 진행했다. 현재 탐사사업을 진행 중인 프로젝트로는 모잠비크 Area 4 사업을 포함하여 4개건의 탐사프로젝트가 있다.

[표 2.29] 탐사단계 참여사례(출처: 가스공사)

프로젝트명	내용
모잠비크 Area 4 탐사사업	• 2007년 탐사가 시작되었으며 10개 탐사정에서 19억 6,000만t 발견 • 2012년까지 10%의 지분을 확보하기 위해 1035억원을 투자 • 매우 성공적인 사업으로 평가되며, 현재까지 지분매각 계획은 없는 것으로 판단 됨
미얀마 A-1/A-3	• 대우인터내셔널을 중심으로 2000년부터 추진. 2004년 A-1광구(쉐)에서 가스전 발견, 2006년 A-3광구(미아)에서 가스전 발견 • 미얀마에서 발견된 가스량은 4.5조 ft3로 역대 최대규모임 • 가스공사의 지분율과 어떠한 역할을 하였는지는 알기 어려움
인니 해상광구(Krueng Meng) 탐사사업	• 15%의 지분율
러시아 서캄차카	• 2005년 석유공사를 중심으로(당시 가스공사 지분 4%) 러시아 국영석유회사인 로스네프트와 공동으로 2003년부터 사업에 참여 • 2008년까지 탐사를 하였으나 원유를 찾는데 실패 • 한국컨소시움이 투자한 금액은 총 3,000억원
동티모르·호주 JPDA	• 2006년 30%의 지분율로 4천 백만불을 투자하여 2010년까지 3공을 시추하였으나 가스가 발견되지 않음.
미얀마 AD-7	• 2008년 대우인터네셔널을 중심으로 컨소시움을 형성해 가스공사는 10% 지분(108억원)으로 탐사사업에 참여 • 광구지역이 미얀마와 방글라데 간의 분쟁지역이었으며 방글라데이아의 탐사활동 저지로 인해 가스공사는 사업성이 없다고 판단하고 컨소시움에서 탈퇴
동티모르 해상광구(E) 탐사사업	• 10%의 지분율로 2007~2008년 3D 탄성파 탐사 실시 • A,B,C,E,H 5개 광구 중 E를 제외하고 철수 • 13년 8월부터 14년 8월까지 탐사 3기 진행중

우즈벡 우준쿠이 탐사	• 한국컨소시움 50%의 지분율 가운데 가스공사는 50%의 지분율 • 2011년 광역 탄성파 탐사작업을 완료하고 2단계 세부 탄성파 탐사단계로 판단됨 • 3단계에서 2공 시추예정
사이프러스 해상 2,3,9광구 탐사사업	• 2012년 5월 입찰하여 20%의 지분율을 보유 • 3년간 탄성파 탐사 진행예정 • 최소 4공 시추예정

(나) 개발 및 생산 사업

개발사업은 해외자원의 부존이 확인된 광구 또는 개발단계에 있는 광구의 권리 취득 및 지분을 매입하거나 상업적 생산을 위한 생산시설과 부대시설 건설 등의 모든 사업을 말한다. 가스공사에서는 주로 지분참여형태로 개발사업에 참여하고 있으며 이라크와 같이 국제입찰참가를 통해 기술서비스 계약을 맺는 형태가 있다. 아래 표는 개발사업에 진출하고 있는 현황을 조사한 내용이다<표 2.30>.

[표 2.30] 개발단계 참여사례(출처: 가스공사)

프로젝트명	내용
캐나다 혼리버/웨스트 컷뱅크 개발 사업	• 엔카나사와 가스공사가 각각 50% 지분으로 참여 • 세일가스, 치밀가스 개발
캐나다 북극권 우미악 광구 개발사업	• 북극권에 위치한 MGM사 소유의 우미악 광구 20%지분 매입 • 천연가스 개발생산
캐나다 코르도바 광구 개발 사업	• 전체 지분 중 CGR사가 소유한 50%의 지분가운데 가스공사는 10%의 지분을 매입 • 세일가스 개발
미얀마 A-1/A-3 개발사업	• 2013년~2038년 생산예정. 대우 인터네셔널을 중심으로 가스공사는 해저배관에 8.5%의 지분과 육상배관에 4.17%의 지분을 보유
인니 DSLNG 프로젝트(상류)	• 생산물분배계약방식으로 계약기간은 1997~2027(30년) • 가스공사는 Tomori E&P Limited 20%지분 중 49%를 매입함

이라크 주바이르 유전 개발·생산 사업	• 기술서비스 계약(25년+5년 연장가능) • 18.75%의 지분율 • 생산량 65억 배럴
이라크 바드라 유전 개발·생산 사업	• 기술서비스 계약(계약기간 20년 + 5년 연장가능) • 생산량 8억 배럴 • 가스공사 지분율 18.75%
이라크 만수리야 가스전 개발·생산사업	• 기술서비스 계약(계약기간 20년 + 5년 연장가능) • 생산량 약 1.68Tcf • 가스공사 지분율 15%
이라크 아카스 가스전 개발·생산사업	• 기술서비스 계약(계약기간 20년 + 5년 연장가능) • 생산량 약 2.1Tcf • 가스공사 지분율 75%
우즈베키스탄 수르길 가스전 개발 및 GAS Chemical	• 천연가스 4.58CM/년, HDPE 38만톤, PP 8만톤 • 가스공사 지분율 22.5%

이를 토대로 본 과업에서 개발한 해외사업모델 통합 패키지 모듈을 아프리카 지역 모잠비크 Area4 project 적용하였으며, 본 보고서에 제시된 GATE1 의 개발참여 지분율 및 GATE 3 A&B 추가참여도 의사결정 모델의 활용성을 확인하기 위해 실제 사례를 통해 샘플 적용을 수행하였다. 해당 프로젝트는 아프리카 지역의 국가에서 수행중인 실제 프로젝트로서, 현재 가스전 개발이 진행되고 있는 상황이다. 액화플랜트 개발 및 실제 참여지분 등에 대한 고려가 아직 미흡한 상황으로 본 분석은 가상의 시나리오를 기반으로 GATE 3B 모델의 활용성을 확인하는 것을 목적으로 하였다.

- 추가 참여여력 분석

A project에서의 예상되는 생산량은 최대 10 MMTPA(Million Metric Ton Per Annual)이며, 이중 자국 공급비율이 50%인 관계로 최대 수출 허용량은 5 MMTPA이다. GATE 3A 분석결과 A project에서 국내에 도입 필요한 물량은 3.2 MMTPA 인관계로, 추가참여여력은 최대 1.8 MMTPA로 분석되었다.

- 물량거래 가능성 분석

국내의 에너지 공기업 및 민간기업에서 요청받은 LNG 공급 대항 물량에 대한 분석을 진행하여, 미국의 Sabine Pass 사례를 확인함. 미국의 Sabine Pass 프로젝트에서는 0.7 MMTPA의 물량을 요청하였다. 다른 사례를 확인하기 어려운 관계로, 물량거래 가능 최대 물량은 0.7 MMTPA로 분석되었다.

- 주변국가 LNG Gap 분석

해외 판매 가능 물량을 확인하기 위해 주요 국가별 LNG Gap을 분석하였으며, 2020년 기준으로 인도는 41 MMTPA, 칠레는 6 MMTPA가 부족한 것으로 분석되었다.

- 주변국가 도입가격 분석

A project에서 생산되는 LNG 의 생산원가 및 판매 가능가격을 분석해본 결과, 최소 판매가격은 5 US$로 확인되었으나 인도와 칠레의 평균 도입가는 이보다 낮은 수준으로, 가격 경쟁력 저하로 인해 해외판매는 불가능 한 것으로 분석되었다.

- GATE 3 A&B 결과

A project의 참여여력을 분석해본 결과 최대 추가 가능 물량은 1.8 MMTPA 로서 충분하나, 추가 참여 가능 물량이 0.7 MMTPA 인 관계로 본 GATE 3B를 통해 제안되는 추가참여 물량은 0.7 MMTPA로 분석되었다.



[그림 2.161] 아프리카 지역 A project 사례 적용 현황

다. 주요결과 및 시사점

지난 기간 동안 국내의 가스공사 및 민간 에너지 기업들은 LNG 국내도입물량 안정화와 자체 사용연료 비용 합리화에 집중하여, 투자사업의 핵심인 수익실현이 미흡하였음. 이를 극복하기 위해서 GATE 3B 액화플랜트 사업 추가참여도 의사결정 모델을 개발하였다.

액화플랜트 사업의 추가참여도 의사 결정을 지원하기 위해 최초 GATE 3B를 주요국가 LNG Gap 분석, 물량거래 가능성 분석, 판매가격 변동성 분석의 세 개 모듈로서 제안하였다. 그러나 이러한 접근은 해당 프로젝트에서의 추가참여 가능성 및 국가/지역별 금액 변동을 고려하지 못하는 문제를 내포하여, 이를 극복하고 보다 정교한 의사결정을 지원하기 위해 추가참여 여력분석, 물량거래 가능성 분석, 주요국가 LNG Gap 분석 그리고 주요국가 도입가격 분석의 네 개 모듈로서 고도화하였다.

이를 통해 LNG 공급요청 물량 및 해당 지역에 대한 판매 가능성 및 주요 국가별 LNG 부족물량 및 판매 가능성을 분석 할 수 있게 하였고, 추가하여 대상 프로젝트의 해외판매 가능물량의 유무를 확인하고 주요 국가의 도입가격 비교분석을 통해 판매 가능성의 실현여부를 확인 할 수 있도록 개발하였다.

제3장

최종 연구성과 및 적용실적

제3장

최종 연구성과 및 적용실적

1절 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축

1. 연구성과 설명

LNG 플랜트 비즈니스 통합 솔루션 개발을 위해 국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사를 통하여 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성과 선진기업의 사업수행 체계 분석 분석하여 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 니즈에 부합하는 업무 프로세스를 정립하고 이를 시스템 개발에 반영하며, 생애주기 단계별 표준 업무 지침을 작성 제공하는 것을 목표로 하였다.

국외의 경우 플랜트를 포함하여 프로젝트 생애주기의 모든 단계에 걸쳐 자동화되고 객관적인 사업관리 통합 환경 구축을 통해 건설 산업 전반의 효율적인 관리를 수행하고 있다. 다만, 설계가 확정되지 않은 Front-end Phase는 사업비 추정 오차가 리스크를 증가시키고 있어, 이에 대한 시나리오 기반 사업계획에 대한 연구개발을 추진하고 있다. 하지만, 국내는 아직 프로젝트 생애주기 규명 및 정보 통합관리 체계 등 매우 열악한 상태로 이에 대한 엔지니어링적 기술 보완이 필요한 상황이다. 또, LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다. LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄 계약하는 방식이 건설 산업의 계약방식과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구성과인 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축에서는 국내 사업관리 엔지니어링 기술을 보완을 위해 선진국 및 국내 주요 엔지니어링 업계의 사업수행 프로세스를 분석하여 EPC 계약 방식(턴키, 일반, 도급, 공사, 등)을 고려하여 단계별 표준 업무 프로세스를 제시하였으며, 해당 업무에 대한 지침을 작성하여 제공함으로써 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 엔지니어링 업무 효율성 및 역량 향상을 견인하였다.

2. 핵심요소기술

가. 표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명

건설사업에 있어서 건설사업관리는 건설산업기본법 제2조제6호에 “건설공사에 관한 기획, 타당성조사, 분석, 설계, 조달, 계약, 시공관리, 감리, 평가, 사후관리 등에 관한 관리업무의 전부 또는 일부를 수행하는 것”이라고 정의하고 있다. 따라서, 이러한 건설사업관리란 사업주를 대신하여 건설사업의 관리를 대행하여 주는 용역을 의미한다. 즉, 계약형태를 통하여 발주자의 전반적인 또는 부분적인 권한을 위임 받아 대리인(Agent) 및 조정자(Coordinator)의 역할을 수행 하면서 Consultants나 CM전문회사가 건설사업관리업무 일체(기획, 설계, 시공/감리, 사후관리)를 적정한 품질을 유지하면서 공기와 공사비를 최적화하여, 발주자에게 주어진 예산(Budget) 내에서 양질의(Quality) 건축물을 적기에 인도(Delivery) 하는 목표를 가지고, 사업관리(조정, 의사전달)를 하고 그 서비스에 대한 보수를 받는 계약 사업을 말한다.

건설사업관리는 기획, 설계에서 시공까지의 전 과정에 대하여 공기(Time), 공사비(Cost), 품질(Quality)의 3요소의 관리를 합성 시킨 근대적 관리 기법으로, 건설업의 전 과정을 통하여 건설 산업을 보다 효율적이고 경제적으로 수행하기 위해서, 각 부문의 전문가들로 구성된 집단의 통합된 관리 기술을 사업주에게 서비스하는 행위이다.

프로젝트의 기획, 설계, 시공의 각 단계의 업무를 하나의 통합된 업무로 처리하여 CM업무를 추진하기 위한 구성원은 사업주, CMr(Construction Manager), A/E(Architect/Engineer)를 포함한다. 이 방식은 전통적인 방식과는 다른 프로젝트 인도 방식의 전문 용역 분야로서 건설공사의 설계와 시공업무 전반을 관리하는 전문적인 용역 업무를 지칭하며, CM의 입장은 발주자(Owner)의 대리인(Agent)으로서 발주자의권익을 최대한 보장하는 것이다.

이러한 건설산업에 있어서 건설사업관리와 LNG 플랜트 공사에서의 건설사업관리는 그 업무나 정의에 있어서 유사하다고 볼 수 있다. 다만, 플랜트산업은 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재, 최종 제품을 제조할 수 있는 설비산업을 의미한다. 플랜트산업은 부가가치가 높은 지식집약형 산업으로서 각종 유발효과가 높고, 제조업과 서비스업의 성격을 동시에 갖고 있는 융합 산업이다. 플랜트 건설의 경우, EPC 발주방식이 일반화되어 있고 일반 건설과 달리, 기술경쟁력과 기자재 구입비용이 경쟁지배 요소가 되고 있다. 또한, 프로젝트 관리 및 통합관리가 사업의 손익과 성패를 좌우하는 산업이다. 플랜트 수출이란 생산설비 또는 공장을 해외에 공급하는 설비 제공 및 제반 건설활동을 말하며, 수출에 따른 국가간 마찰이 적은 편이어서 선진국들의 전략적인 수출방식으로 인식되고 있다.

LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다. LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄계약하는 방식이 건설산업의 계약방식과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서, 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.



[그림 3.1] LNG 플랜트 생애주기에 기반한 사업관리 서비스 범위

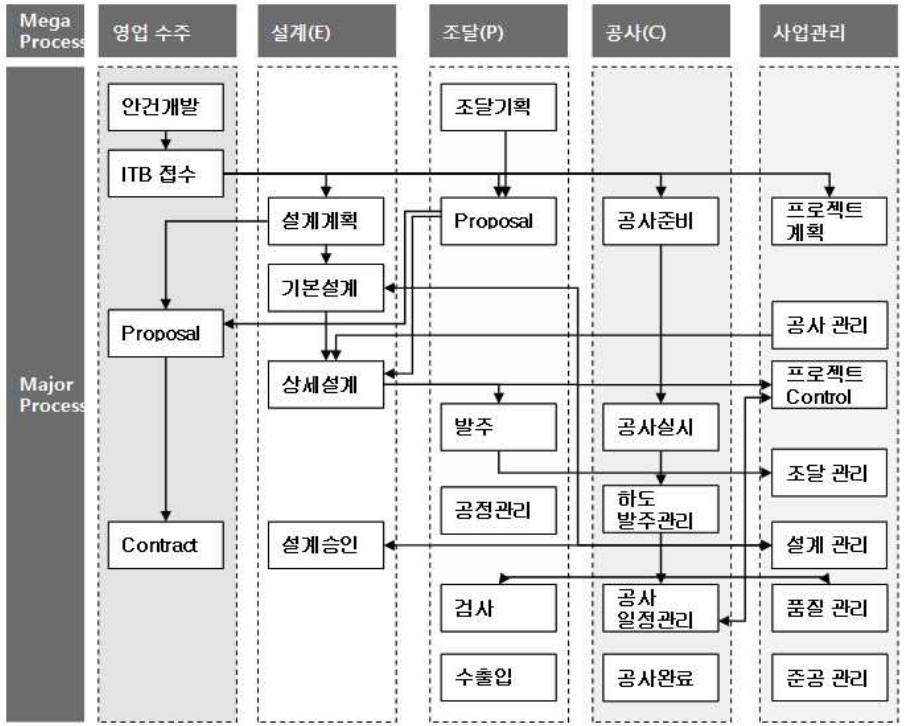
나. LNG 플랜트 데이터 분류체계 정립

수집된 자료는 플랜트 업무 생애주기의 일부 또는 전부로 이를 수행한 경험이 있는 회사를 대상으로 조사·분석한 것이며 생애주기 단계별 프로세스의 현황을 파악한 것이다.

국내 주요 EPC 건설업체를 대상으로 플랜트 단계별 업무 절차를 조사·분석하였다. 수집된 자료는 프로젝트 생애주기의 일부 또는 전부로 생애주기 단계별 프로세스의 현황을 파악한 것이다. 또한, 많은 EPC 건설업체의 업무 프로세스 현황을 조사하였으나, 그 중 플랜트에 초점을 맞추어 플랜트 사업 부서에서의 업무 프로세스에 국한하여 공통사항 및 차별사항으로 구분하여 표준적인 업무 프로세스를 도출하였다. 규명된 표준 업무 프로세스는 본 연구에서 개발된 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 설계에 반영되었다.

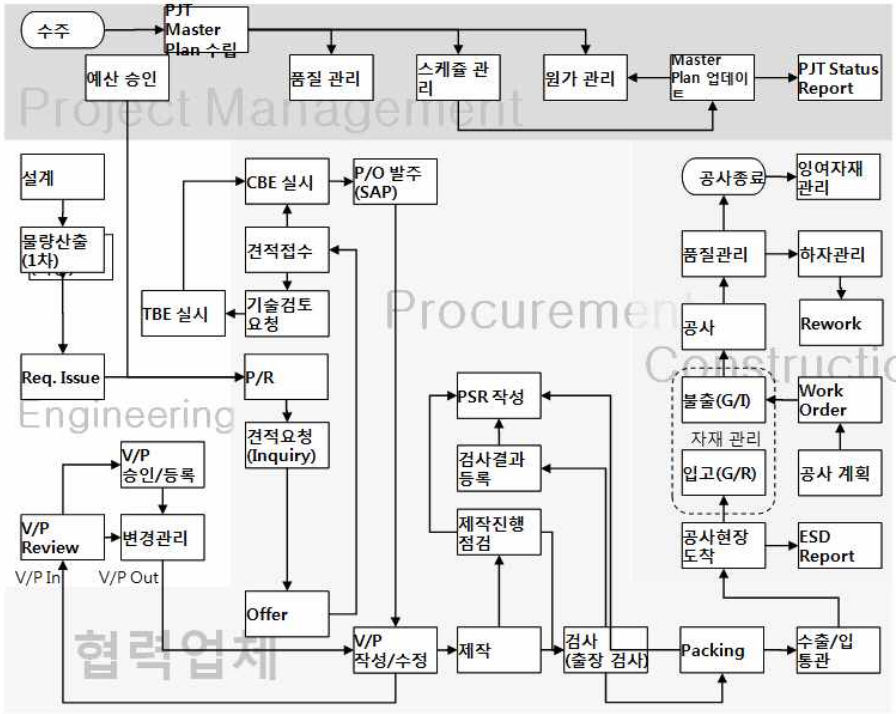
본 절에서, 현황 조사한 업무 프로세스의 분석 결과, 업체 특성의 정책 및 결제 방식에 따라 프로세스의 차이는 있었으나, 해외 플랜트 현장을 보유하고 있는 대형 EPC 업체임에 따라, 큰 틀에서는 영업수주를 포함한 EPC 단계의 프로세스가 대동소이함을 알 수 있었다. 분석 결과

는 다음과 같이 A~C 사로 구분하여 정리하였다.



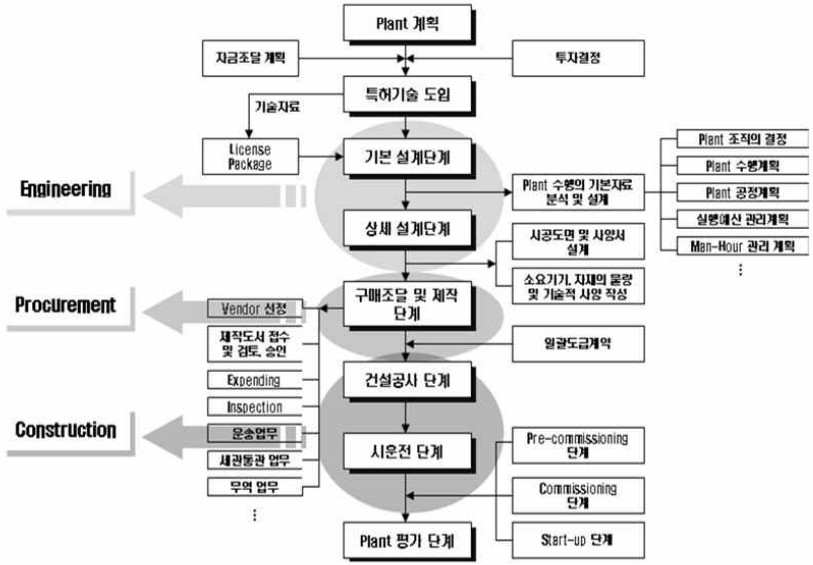
[그림 3.2] 국내 주요 EPC사의 주요 업무 프로세스 현황 자료 (A사)

A사는 많은 해외 플랜트 현장을 수주하고 관리하고 있는 국내 주요 EPC 사 중 하나로 <그림3.2>에서 보는 바와 같이, 업무 흐름에 따라 업무 프로세스를 구분하지 않고, 기능별로 업무 프로세스가 구성되어 있음을 알 수 있다. 이는 프로젝트의 수주부터 EPC 단계 및 사업관리까지 전사적으로 지원을 하며 연관관계가 있음을 의미한다. 그러나 프로세스가 복잡하고, 업무 흐름에 따른 프로세스의 구분이 모호하여 각 업무별 연관관계나 업무 협조에 대한 대처가 미흡할 수 있으며, 정책 변경 및 프로세스 변경 시 빠른 대처가 어려울 수 있다.



[그림 3.3] 국내 주요 EPC사의 주요 업무 프로세스 현황 자료 (B사)

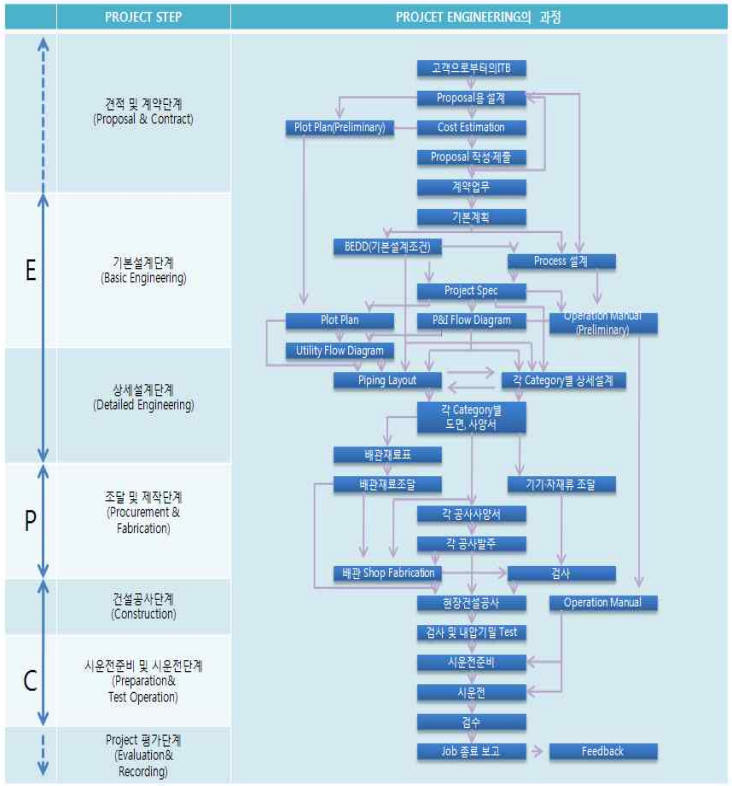
B사의 경우에는 앞선 사례와는 상이하게 협력업체에서 제작하는 자재의 제작, 검사, 포장 및 수출입통관까지의 프로세스를 포함하여 관리하는 사업관리 프로세스를 보유하고 있었다. 따라서 사내의 EPC 업무 프로세스뿐 만 아니라, 설계, 구매조달, 시공에 관련된 각 협력업체들의 프로세스까지도 존재하여 효율적인 협업이 가능하도록 전체 프로세스가 생성되어 있음을 알 수 있다. 그러나 협력업체와의 프로세스에는 주요 설비자재에 대한 부분으로 한정함에 따라 잉여자재의 분석관리가 미흡하며, 설계 변경 시 실시간 정보 공유가 어려운 단점이 있다.



[그림 3.4] 국내 주요 EPC사의 주요 업무 프로세스 현황 자료 (C사)

C사는 앞선 A, B사의 사례와 같은 복잡한 시스템을 지양하고, 사내 업무를 중심으로 간단한 프로세스를 보유하고 있는 특징이 있었다<그림 3.4>. 이는 플랜트 프로젝트의 위치적, 제도적 특성상 변경 가능한 프로세스가 무한적으로 발생하고 있을 뿐만 아니라 설계 또한 지속적으로 변경되어야 함에 따라 신속 유연하게 대처하기 위한 것이다.

국내외 관련 자료 수집 및 분석을 통한 LNG 플랜트 생애주기의 단계별 업무분류체계 분석은 <그림 3.5>과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 3.5] Project Engineering의 과정

(1) 기획단계

기획단계는 발주처, 공사규모, 공사범위, 입찰방식, 입찰일정, 경쟁사 전략 등에 대한 입찰정보 수집 후 입찰 참여 여부에 대한 회의를 통해서 입찰 참여를 결정한 후의 견적, 입찰, 계약 및 사업 준비 단계를 말한다.

계약 후에는 실행 전에 계약자로서 계약적 역무에 대한 충분한 인식과 이를 바탕으로 하는 치밀한 계획의 수립이 요구됨. 사업주가 제시한 업무 범위, 설계기준, Battery Limit 등의 자료나 견적 조건에 따라 입찰 서류 작성 및 견적(Cost Estimation)을 수행하여 사업주에게 제출하게 된다. 이 단계에서는 전체 투자비가 산출되며 사업의 경제적 타당성, 즉 수익성이 확보될 수 있는지를 확인할 수 있다. 입찰에는 가격견적 외에도 계약자가 공급하는 플랜트 설비

의 내용과 기술적 사양, 수행방법 등에 대한 기술적 자료를 서류로 작성하여 제출하여야 한다.

입찰 후 기술적인 평가와 상업적 평가를 거쳐 입찰자가 선정되며, 입찰서의 내용을 명확히 하기 위하여 발주자는 입찰자를 직접 불러 기술적 협상을 실시한 후 계약을 수행함. 계약 후에는 확정된 계약조건, 적용 Specification에 따라 프로젝트를 수행하게 된다.

(2) 설계단계

설계단계는 장치, 구조물, 시스템 등을 제작하기 위해 구상·계획·계산하여 제품의 사양을 사양서 및 도면 등의 문서로 명확히 하는 일련의 활동을 말한다.

설계단계는 타사와의 우위성 확보 및 가격 절감 효과를 가져 올 수 있으며 후속공정에 미치는 영향도가 크다. 기본설계(Basic Engineering) 단계에서는 플랜트 운영에 필요한 기본사항을 결정하며 상세설계(Detail Engineering)의 기준이 설정되고, 상세설계 단계에서는 Site와 Shop의 실제사항을 고려한 건설 및 구매에 필요한 모든 사항을 고려한 설계가 이루어진다.

(3) 구매조달단계

구매조달 단계는 생산에 필요한 기기·자재나 역무를 구입하는 것으로 전체 사업비의 상당부분을 차지하는 중요한 업무이며 프로젝트의 성공적 수행 여부가 결정되는 단계를 말한다.

특히 플랜트의 경우에는 사용되는 모든 물품을 기본적 조달요건인 적기, 적가, 적소, 적정량, 적합품질 등의 조건을 충족시키면서 조달해야 하며, 현장공정계획에 맞추어 입고 및 시공되어야 하기 때문에 Cost, Schedule 및 Quality Control 등 종합적 측면에서 최적의 벤더를 선정해야 한다. 구매조달 단계는 단순히 발주하면 끝나는 것이 아니고 발주후의 Follow Up이 잘 되는지의 여부가 프로젝트 수행에 크게 영향을 미치므로 각각의 벤더와 긴밀한 커뮤니케이션이 요구된다.

(4) 시공 및 시운전 단계

조달한 자재와 노동력에 의하여 실제로 목적물을 완성하는 시공, 설치의 과정으로 작성된 도면이나 공사시방서를 기본으로 하여 품질을 확보해가며 주어진 기간 내에 경제적으로 공사를 완료할 것인지가 주요 과제이다. 따라서 프로젝트 시작부터 충분한 시스템 분석이 이루어져 면밀한 공사 수행계획이 세워져 있어야하며 현장 공사는 이들의 결과로서 원활하게 수행될 수 있을 것이다.

시운전이란 계약서에 규정된 규격의 제품을 설정된 공기 내에 최소비용으로 안전하고 안정된 상태에서 계속적으로 생산 할 수 있도록 건설된 모든 설치물의 운전 상태를 확인, 증명하는 과정으로서 사업수행의 마지막 단계에서 수행되어진다.

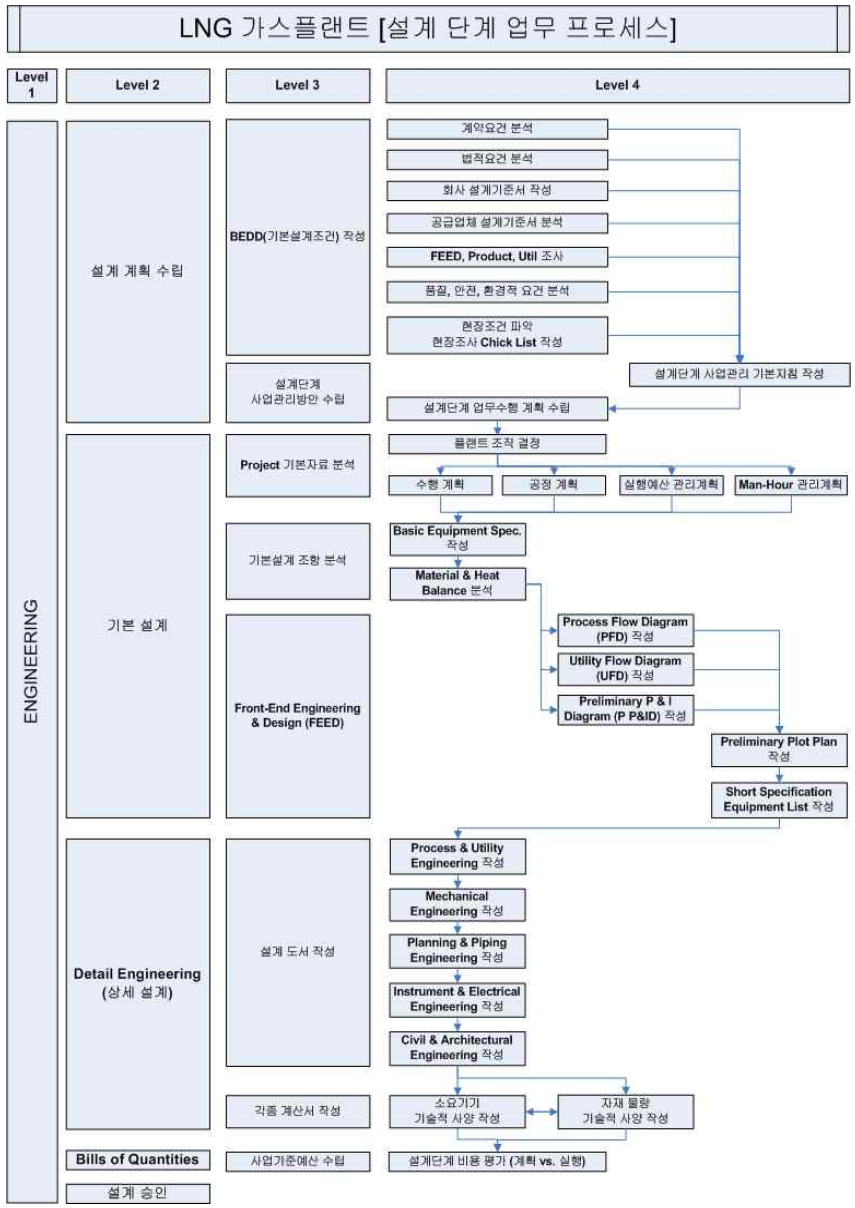
모든 공사가 점검 완료된 시점에서 종합 시운전의 경험이 있는 오퍼레이터에 의해 실시되며, 계약 때 사업주와 결정한 성능을 충분히 발휘할 수 있는지의 여부가 엄밀하게 체크, 확인되며, 이 과정에서 플랜트의 운전 매뉴얼, 기기 취급설명서, 긴급 상황 시 조치법, 유지보수 등 전체 관리안내서가 사업주 측에 제공된다.

다. EPC 단계별 업무 프로세스 정립 및 맵 구축

상기한 EPC 업무분류체계를 기초로 하여 각 업무 액티비티별로 작업의 선후관계를 정립할 필요가 있다. 이는 주로 레벨 4단계를 대상으로 하여 정리하였다. 본 장에서는 설계 단계, 구매조달 단계, 시공 및 시운전 단계의 업무를 대상으로 국내 선도 EPC 기업의 업무를 수집 분석하였으며, 앞 장에서 설명한 업무분류체계에서는 주로 공통 업무를 대상으로 하였으나, 본 부분에서는 상이한 업무 부분에 대해서도 전문가 자문, 현장 실무자 면담 등을 통해 정제하여 기입할 필요가 있는 업무를 추가하여 작성하였다.

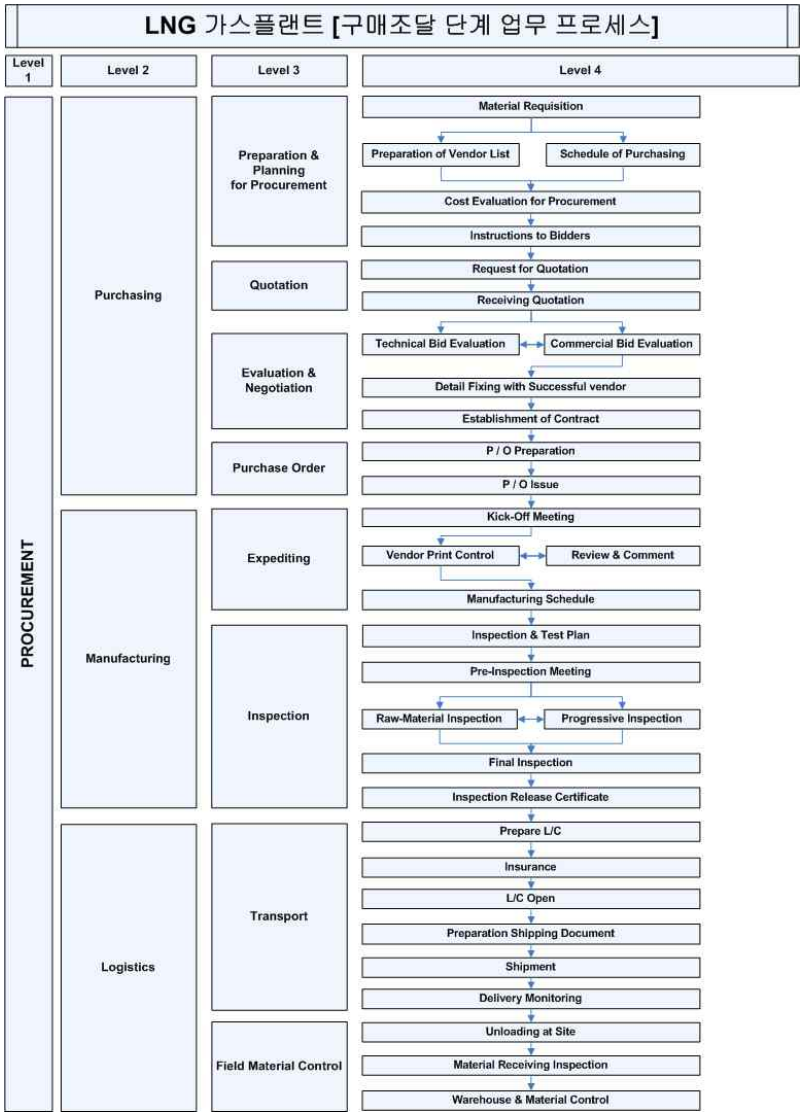
각 EPC 단계는 기본적으로 Level 4까지의 위계를 통해 구분하였으며, Level 2 및 3 는 업무 프로세스 절차에 따라 설정하였으며, Level 4 에서는 Leve 2 ~ 3에서 규명된 절차에 따라 실제 과업을 진행하는 것으로 설정하였다. 따라서 Level 4 에 있는 과업을 화살표에 따라 진행하게 되면 각 EPC 단계의 업무를 최적의 프로세스 단위로 수행하게 되는 것이다.

설계(Engineering) 단계의 주요 업무 프로세스는 다음 그림과 같이 정리하였다.



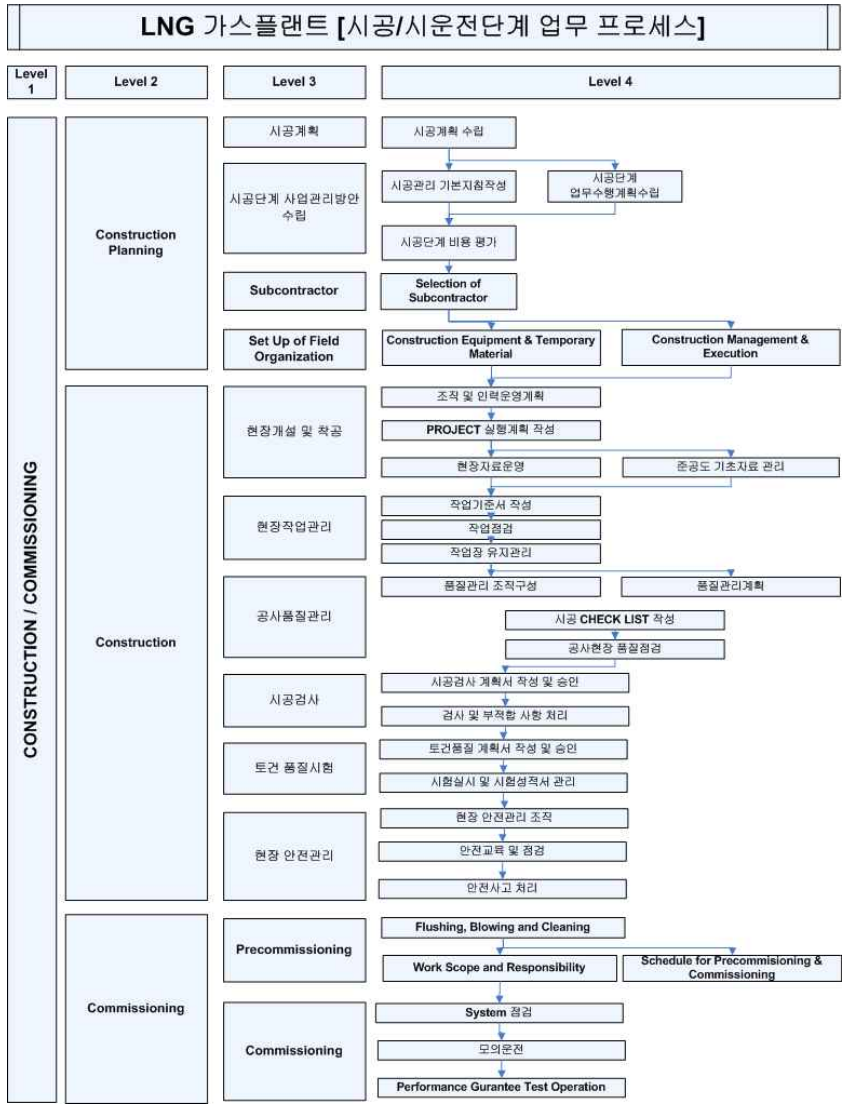
[그림 3.6] 설계단계 업무 프로세스

구매조달(Procurement) 단계의 주요 업무 프로세스는 다음 그림과 같이 정리하였다.



[그림 3.7] 구매조달단계 업무 프로세스

시공 및 시운전 단계의 주요 업무 프로세스는 다음 그림과 같이 정리하였다.



[그림 3.8] 시공/시운전단계 업무 프로세스

라. EPC 단계별 정보지식관리 표준업무지침

해외 LNG플랜트 전 생애주기 동안의 업무 진행 중 발생하는 지식 및 정보의 양은 방대하며, 이는 기존 기업의 전사 업무관리시스템(ERP), 지식관리시스템(KMS) 등에서도 관리하기 위한 노력을 지속해왔다.

본 연구에서는 기존의 사업관리시스템(PMIS) 플랫폼을 활용하되 지식 및 정보관리를 위한 컨텐츠를 개발하고, 이를 전 세계 어느 곳에서나 손쉽게 사용하기 위한 방안을 모색하고 있다. 그 중의 하나로 업무관리 매뉴얼(업무지침) 및 사업관리 매뉴얼, 위험관리 매뉴얼 등 다양한 관리 매뉴얼을 작성하여 제공하게 된다. 이는 기본적인 내용을 수록하고 있으며, 사용자의 편의에 따라 수정 및 보완 등 가감할 수 있도록 개발하여 사용성과 실용성을 제고할 것이다.

3. 주요 연구성과

가. 학술지 게재

논문제목	학술지명	게재일자
해외 LNG Plant 프로젝트 초기 프로세스 분석 및 지식관리 시스템 프로토타입 구축	한국건축시공학회논문집	2009.12

나. 학술발표대회

발표제목	학술대회명	발표일자
Fundamental Investigation of Knowledge Management System for a Plant	ICCEM·ICCPM 2009	2009.05
해외 LNG 플랜트의 시공 전(前)단계 업무 프로세스 분석	한국건설관리학회	2009.11

다. 기술확산 교류

기술확산교류명	기술확산교류 내용	교류일자
LNG 플랜트 전문가 세미나	LNG 플랜트 EPC 단계 업무절차 자문	2009.02
LNG 플랜트 전문가 세미나	LNG 플랜트 기획단계 업무절차 및 모듈 자문	2009.02
Plant 2009 컨퍼런스	LNG 플랜트 연구내용 발표	2009.12
LNG 플랜트 전문가 세미나	LNG 플랜트 기획단계 업무절차 및 모듈 자문	2010.01

라. 특허 출원 및 등록

발명의 명칭	특허증번호	출원/등록일	구분
최적 LNG 플랜트 정보 처리 방법 및 이를 지원하는 단말기	10-2009-0133457	2009.12	출원
LNG 플랜트 지원 시스템 및 이를 지원하는 사용자 인터페이스	10-2009-0133459	2009.12	출원

마. 시작품

주요내용	개발일자
플랜트 기획단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서	2010.02

바. 시제품

주요내용	개발일자
LNG 플랜트 기획관리 표준 업무 모듈	2010.02

아. 홍보

행사명	행사 내용	홍보일자
Cad&Graphics	'플랜트 3D 설계 소프트웨어 Review' 특집기사	2009.05
PLANT E&C	'플랜트 3D 설계 소프트웨어 Review' 특집기사	2009.08

자. 기타저작권

프로그램(S/W)명	등록번호	등록일자
LNG 플랜트 기획관리 표준 업무 모듈	2010-01-189-000477	2010.02

차. 전문인력양성

인력양성명	인력양성내용	인력양성일자
윤나리	석사졸업	2010.02

4. 기술실시 및 적용사례

LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축에 대한 연구는 본 연구의 최종 목표인 LNG 플랜트 비즈니스 통합 솔루션 개발의 기반 연구 성과로 직접적인 기술실시 및 적용사례는 없다. 다만, 본 연구성과 결과물이 시스템 개발의 기본 철학을 제공하고 있어 간접적으로 타 기술실시 및 적용사례들과 연관성을 가지고 있다.

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축 분야는 플랜트 건설 사업관리 전분야의 근간이 되는 기반 핵심 기술로서 최근 들어 플랜트 건설의 수요가 증가하고, 생산성 및 엔지니어링 효율성 측면에서 시장 니즈가 증가하고 있다.

따라서, 이 분야는 직접적인 시장 효과 보다는 이 기술로 인해 파생될 수 있는 타 분야(엔지니어링 설계, 구매조달, 시공, 또는 이들을 연계한 사업관리 시스템 등)와 연계하여 간접적인 시장을 형성할 것으로 판단된다.

2절 LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템 개발

1. 연구성과 설명

LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템은 LNG 플랜트 건설사업관리 엔지니어링 효율성 개선을 위한 도구로 활용되는 기술로서, 앞 절의 기반 연구를 통해 규명된 생애주기 업무프로세스를 효율적이고 체계적으로 수행함으로써 지식정보를 축적하고 재활용하는데 용이하게 하는 기술이다.

선행 연구에서 LNG 플랜트 생애주기 관점에서 사업관리자(PM)의 입장으로 시장과 고객, 그리고 LNG 플랜트 건설업체의 관점에 대한 사업관리 니즈를 분석하였다. 앞 선 조사 연구가 시장의 환경 변화를 고려하여 핵심 관점 별로 니즈를 파악하였다면, 본 절에서는 이를 토대로 사업관리 시스템의 구축이라는 관점으로 시스템 개발 방향에 대한 요구사항을 도출하였다. 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 등 사업수행과 관련된 시스템 세부적인 요구사항은 차후에 상세히 설명하도록 하고, 본 절에서는 거시적인 관점에서 시스템 개발에 요구되는 고려 사항을 중심으로 시스템의 구성과 그 기능에 대하여 정립하였다.

먼저, 앞 선 시장 니즈를 기반으로 사업관리 시스템 구축에 필요한 사항을 정리하면 다음 표 00과 같다. 시장의 관점에서는 외부의 지속적인 가격 하락 요인에 대한 효과적인 대처를 위해 효율성(또는, 생산성) 향상을 업무 절차와 이를 반영한 시스템 구축과, 시스템 관리와 공종별 신속한 업무 처리 및 협업이 가능하도록 공종 및 업무 특성에 따른 유연한 모듈 구성이 가능한 현장 업무 처리 중심의 간소한 시스템 구현, 그리고, 사업관리 위험 및 불확실성을 제거하고 관리 효율을 극대화할 수 있도록 사업관리 노하우(지식, Knowledgement)의 지속적인 축적 및 재활용이 가능한 시스템이 핵심 요구 사항으로 도출되었다.



[그림 3.9] LNG 플랜트 사업관리 시스템 개발 시 요구사항

이와 같은 기본적인 시스템적인 요구사항을 바탕으로 LNG 플랜트의 생애주기 사업관리 시스템의 핵심 기능 구성도를 작도하면 <그림 3.10>과 같다.



[그림 3.10] LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 주요 기능 구성도

LNG 플랜트 생애주기 건설사업관리 요구사항을 적절히 반영한 시스템 설계 기술, EPC 단계별 표준 업무 프로세스에 따른 모듈의 개발기술, 그리고 생애주기 동안 단계별로 축적된 지식정보의 체계적인 DB화 및 재활용 등과 관련 지식 컨텐츠 활용 기술이 핵심이다.

시장 환경 변화에 따른 가장 큰 요구사항 중 하나인 업무 효율성의 향상과 그로 인한 생산비용 절감을 실현하기 위해 LNG 플랜트 생애주기 건설 표준 업무 프로세스를 따르는 시스템의 개발이 우선 필요하다. 그리고, 표준 프로세스를 기준으로 사업 수행을 위한 준비와 실행 단계를 구분하여 일반 관리가 필요한 공통관리 모듈을 구축하고, 공종별 특성을 고려한 사업 시행 단계별 모듈을 순차적으로 개발한다. 그리고, 본 사업에 참여하 있는 타과제의 연구개발 결과물과의 연계 통합을 고려하여 사업 참여 여부를 결정하기 위한 조기 사업성 분석 시스템, 사업시행 및 공정 관리의 핵심인 리스크 관리와 의사결정 모듈간의 유기적인 연계 통합이 가능하도록 가능을 구성하였다.

본 연구성과물은 사용자 요구사항을 11개 항목으로 분석하여 수행기관, 설계, 시공 업체 등 사용 주체와 계약 방식을 고려하여 시스템을 설계하여 개발하였다. 그리고, 생애주기 단계별로 규명된 업무 프로세스를 고려하여 데이터 모델링을 수행하였다. 기획단계 업무 모듈은 본 통합 시스템의 운영을 시작하는 초기 시점에 유용하게 활용될 수 있도록 개발되었다. 업무 프로세스 간의 연계성을 고려하여 설계(E), 구매조달(P), 시공(C) 업무 모듈을 순차적으로 개발하였으며, 업무 경계면에서 데이터 인터페이스와 상호 운용성 검증을 병행하면서 통합 시스템을 구축하였다.

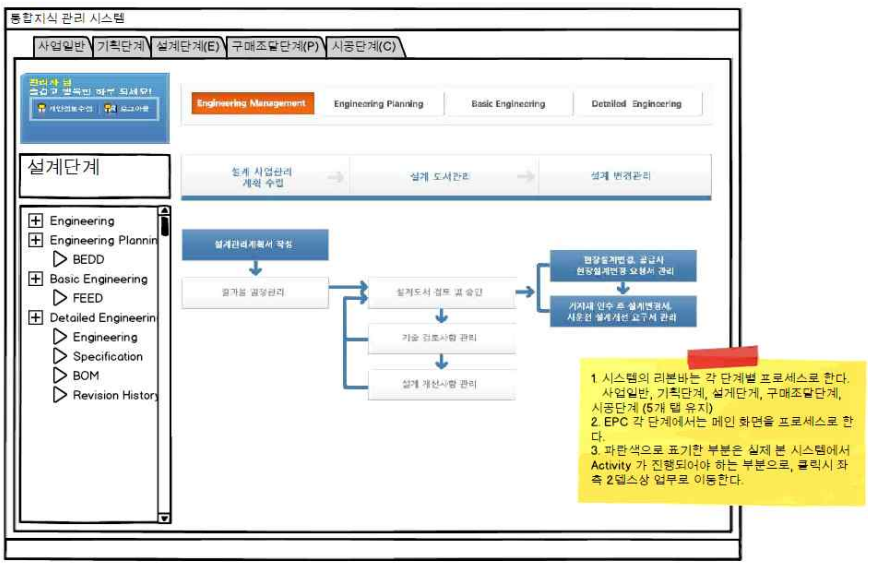
또한, 실제 LNG 플랜트 건설 현장의 특성상 해외 오지의 열악한 전산환경을 감안하여 E, P C 공종별로 사업에 참여하는 다양하고 방대한 엔지니어링 업체들 간의 협업을 원활히 수행할 수 있도록 E, P, C 단계별 독자적인 시스템 운영이 가능하도록 확장과 축소가 용이하도록 업무 모듈을 개발함으로써 산업 및 현장 특성에 맞게 능동적인 시스템 구축이 지원 가능하다.

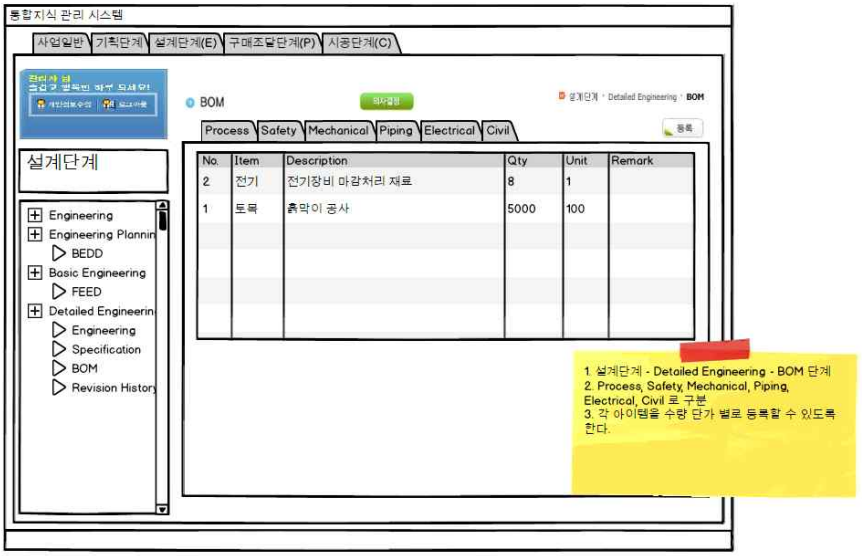
따라서, 본 연구성과물은 LNG 플랜트 생애주기 단계별, 공종별로 현장 특성을 반영한 엔지니어링 업무 편의성 및 현장 적용성을 확보하고 있어 실질적인 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 엔지니어링 업무 효율성 및 역량 향상을 견인하는 역할을 할 것으로 판단된다.

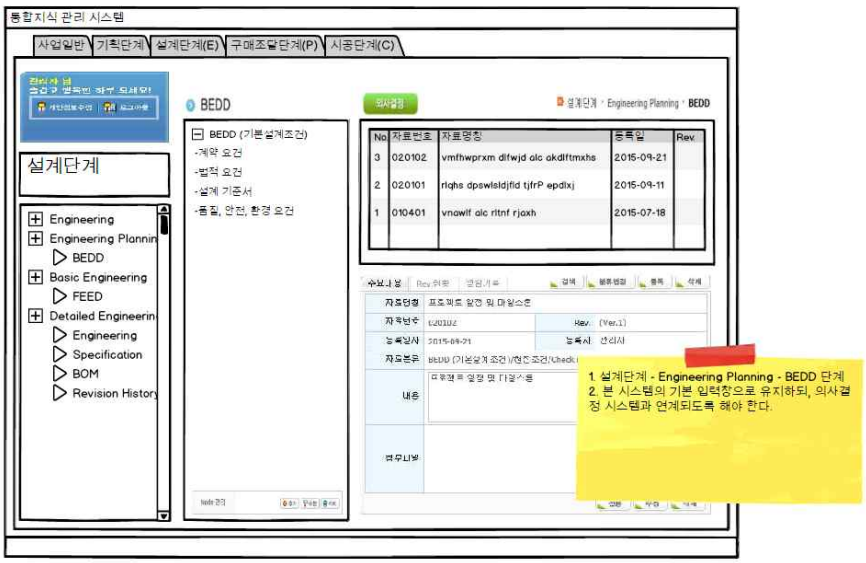
2. 핵심요소기술

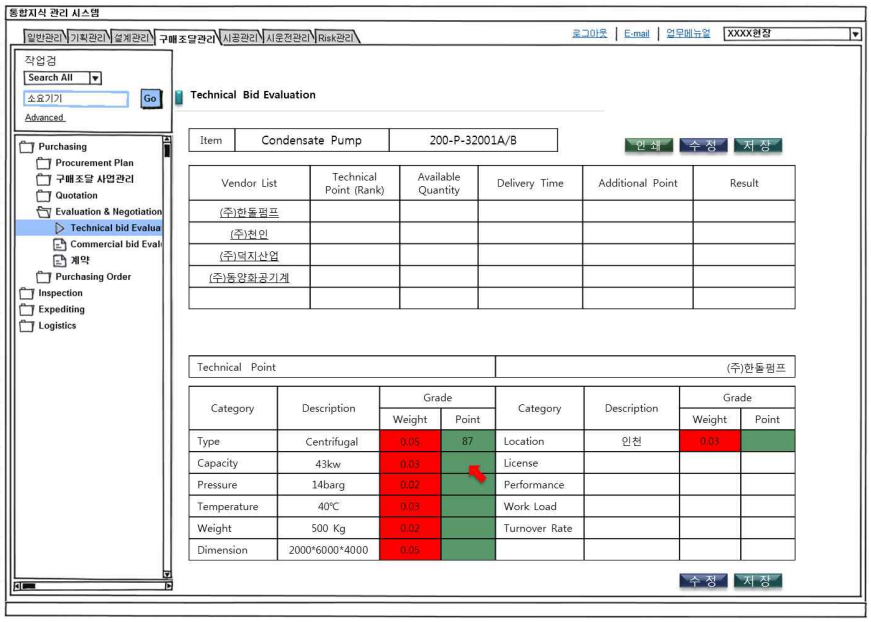
상기의 장에서 작성된 업무분류체계, 업무프로세스, 업무지침 등과 다양한 지식, 정보 컨텐츠를 융합하여 통합지식관리시스템을 개발하기 위해 본 연구에서는 Balsamiq Mockups 프로그램을 사용하여 시스템 UI(User Interface)기본설계를 하였다. 본 프로그램은 국내 일반 SI업체에서 개발 시 의사소통 및 인식성을 제고하기 위해 많이 사용하는 것으로 본 연구에서도 다양한 업역의 참여연구원이 시스템 개발을 위한 의사소통 시 시간과 문서작성 노력을 절약할 수 있었다.

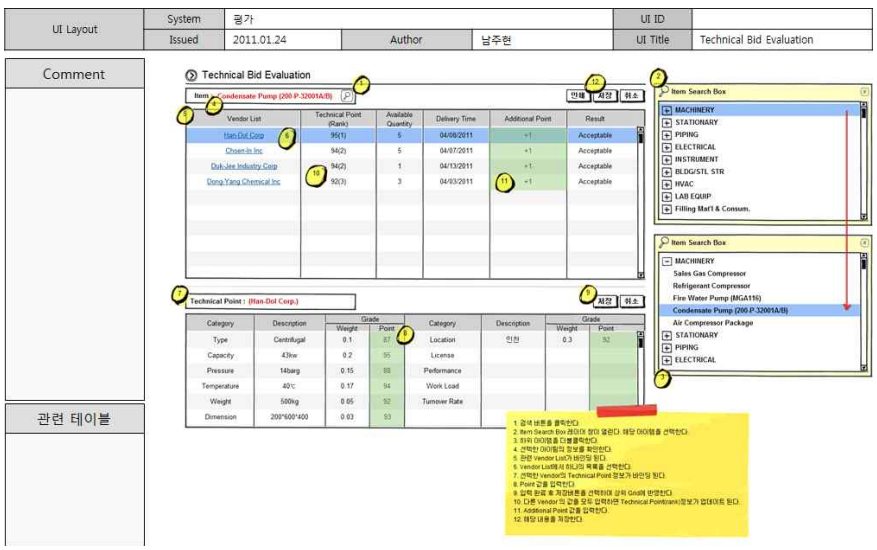
연구성과의 검증을 위해 전문가 자문결과가 반영된 연구성과물(업무분류체계, Process Flow Diagram, Process Map)을 토대로 업무 모듈 샘플을 구축하고, 협동기관 및 위탁기관이 협의하여 이후 생애주기 단계를 작성하였다. 통합지식관리시스템 구축을 위해 Balsamiq Mockups 프로그램 및 Microsoft Power Point를 활용하여 디자인 작업을 선행하였다. 본 보고서에는 플랜트 업무에서 주요 프로세스가 되는 설계, 구매조달, 시공 단계 일부의 내용을 설명하였으며, 화면 설계 및 시스템 개발 관련된 모든 부분은 설계서로 별첨하였다.

구분	개요	구성 UI (User Interface)	설명
설계 단계	설계 단계 초기 화면		- 각 단계별 초기화면에는 업무프로세스를 적용하여 클릭시 해당 엑티비티로 바로가도록 설정하여, 사용자 편의성을 향상시켰음 - 적용한 업무프로세스는 화면구성 및 편의상 분석한 Level 단위로 구분하여 적용하였음

	설계 단계 BOM 화면		- 설계 단계에서 필요한 BOM을 입력하는 화면으로 종류별 및 공종별로 최대한 구분하여 데이터 입력하도록 하였으며, 향후 활용이 편리하도록 하였음 - 본 화면에서는 의사결정과 연관이 있으므로, 의사결정 버튼을 클릭하여 지원시스템으로 연결되도록 하였음

	설계 단계 BEDD 화면		- BEDD 기본설계조건을 입력하는 화면 - BEDD 중에서도 요건별로 구분하여 입력이 가능하도록, 향후 데이터 활용을 위해 편의성을 고려하였음 - 본 화면에서는 의사결정과 연관이 있으므로, 의사결정 버튼을 클릭하여 지원시스템으로 연결되도록 하였음

구매조달 단계	구매조달 단계 Technical Bid Evaluation 화면(1)		- 구매조달단계의 Technical Bid Evaluation 평가의 메인 화면 - 각 Vendor 리스트를 통해 Weight, Point 평가를 하고, 그 결과를 통해 우선순위를 도출하여 최종 PO 발행이 가능하도록 함

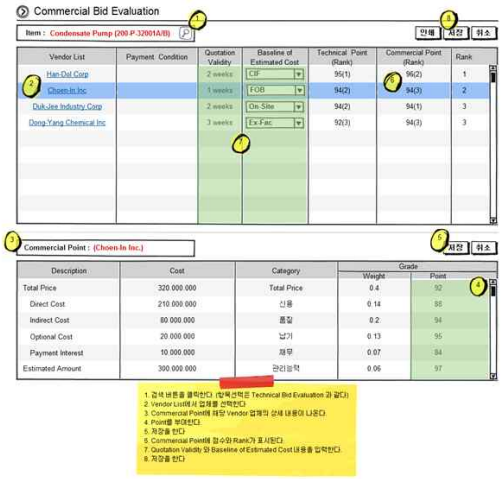
	구매조달 단계 Technical Bid Evaluation 화면(2)		- 구매조달 단계의 Technical Bid Evaluation의 세부 평가 항목의 화면 - Vendor에서 제공한 데이터가 기본적으로 적용되도록 하였으며, 불러오기를 통해 기존 데이터 및 선택했던 자재를 확인할 수 있음

	구매조달 단계 Commercial Bid Evaluation 화면	UI Layout / Comment / 관련 테이블	- 구매조달단계의 Commercial Bid Evaluation 평가의 메인 화면 - 각 Vendor 리스트를 통해 Weight, Point 평가를 하고, 그 결과를 통해 우선순위를 도출하여 최종 PO 발행이 가능하도록 함

UI Layout					
	System	평가		UI ID	
	Issued	2011.01.24	Author 남주현	UI Title	Commercial Bid Evaluation

Comment

관련 테이블

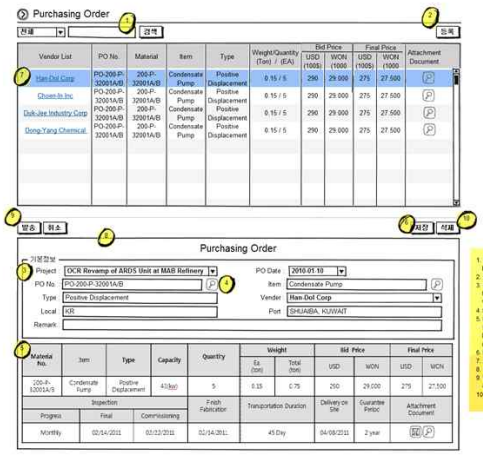


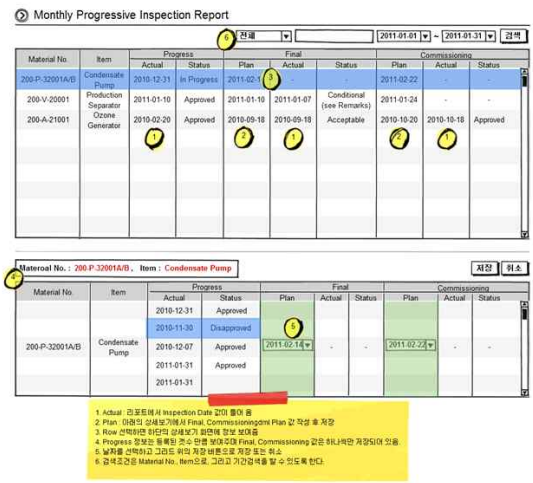
	구매조달 단계 Purchasing Order 화면	UI Layout / Comment / 관련 테이블	- Technical Bid Evaluation 및 Commercial Bid Evaluation을 통해 평가된 자재를 최종 구매를 요청하는 화면 - PO 까지 발행하여, 본 시스템의 다음 단계인 물류관리에서 자재의 운송이력 및 관리가 가능하도록 하였음

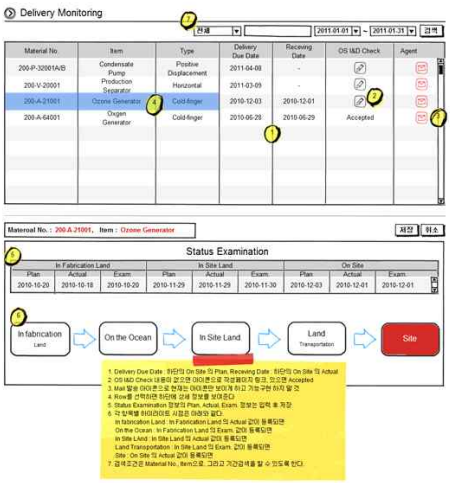
UI Layout					
	System	Purchasing Order		UI ID	
	Issued	2011.01.24	Author 남주현	UI Title	Purchasing Order

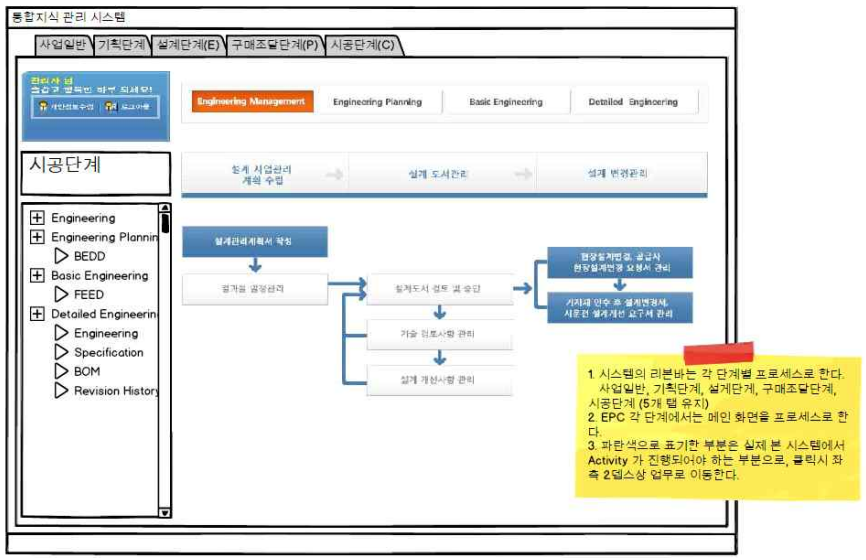
Comment

관련 테이블



	구매조달 단계 Progressive Inspection 화면	UI Layout: System: Progressive Inspection; UI ID: ; Issued: 2011.01.24; Author: 남주현; UI Title: Progressive Inspection Comment 관련 테이블 	- 구매조달 단계의 자재 검수 화면 - TB 및 CB 평가 이후 선택된 자재의 PO 발행에서 자재의 이동전 검수하는 단계로써, 각 자재별로 검사 결과 유무를 리포트로 제공하며, 이와 동시에 향후 물류 운송 계획을 기재하고 있음

	구매조달 단계 Transportation 화면	UI Layout: System: Transportation; UI ID: ; Issued: 2011.01.24; Author: 남주현; UI Title: Transportation Comment 관련 테이블 	- PO를 발행한 이후 단계의 화면으로, 자재의 전반적인 물류관리를 확인할 수 있는 화면 - 본 화면에서 자재의 운송이력 및 관리가 가능하도록 하였음

시공 단계	시공 단계 초기 화면		- 각 단계별 초기화면에는 업무프로세스를 적용하여 클릭시 해당 엑티비티로 바로가도록 설정하여, 사용자 편의성을 향상시켰음 - 적용한 업무프로세스는 화면구성 및 편의상 분석한 Level 단위로 구분하여 적용하였음

	시공 단계 Construction Execution Plan 화면		- 시공 단계의 Construction Execution Plan 으로, 시공에 있어 Revision 관리를 하기 위한 화면임 - 각 선택된 프로젝트의 시공 물량 계획의 입력이 가능하도록 함

표준 업무 모듈은 선별적으로 추출된 업무항목을 토대로 작성되었으며, 이를 통해 업무의 정보연계 및 데이터베이스 간의 정보순환을 Test 하였다.

Balsamiq Mockups 프로그램을 이용해 작성된 업무 모듈의 샘플을 토대로 웹기반의 설계, 구매조달 및 시공단계 표준 업무 모듈을 개발하였다. 설계, 구매조달 및 시공의 각 단계 연계관리를 통해 수행계획, 공정계획, 실행 예산 관리계획 및 인력계획 등을 효율적으로 알 수 있다.

다. LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 기술

대량의 데이터로부터 유용한 정보를 찾기 위한 요구가 증가하면서 메타데이터 및 데이터 마이닝에 대한 관심과 수요가 증가하고 있다(이일엽, 2012). 따라서 본 연구에서는 메타데이터 관리기법을 활용한 데이터 마이닝 기법을 분석하여 통합지식관리시스템의 정보들이 어떻게 생성되어 저장되고 저장된 정보들이 지식으로 변환되어 사용자에게 제공되는 방법을 제시한다.

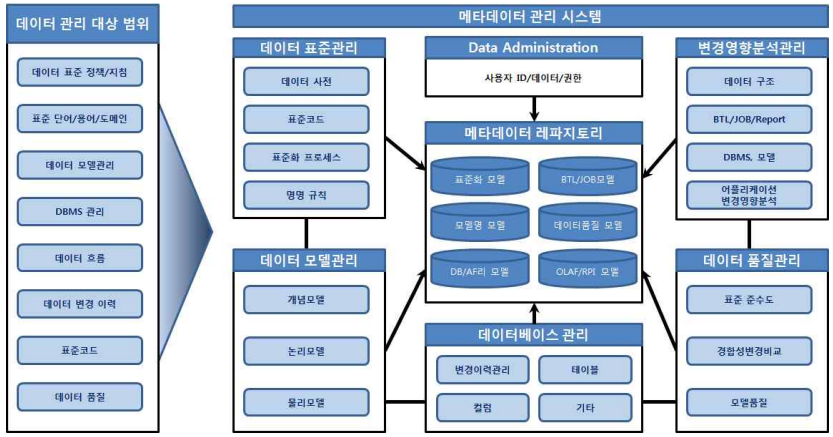
또한, 시맨틱 웹이 대두되면서 온톨로지의 사용이 점차 늘어나고 있다. 동일한 분야에 관한 온톨로지일지라도 구축 방법과 활용형태에 따라 같은 개념이 다른 형태로 표현되거나, 다른 개념이 같은 형태로 표현될 수 있다. 이러한 온톨로지들을 공유하고 재사용하기 위해서는 온톨로지의 매핑이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 상기 메타데이터 및 데이터 마이닝 기법에 대한 분석을 기반으로 온톨로지 모듈을 규명하여 생애주기 단계별 통합지식관리 기법을 구축한다.

최초 시스템에서는 각 사용자별 ID와 ID에 대한 권한을 성정한다. 이에 따라 각 사용자가 업무를 진행하면서 생애주기 단계별 데이터를 입력한다. 입력된 생애주기 단계별 데이터들이 메타데이터 생성프로세스를 통해 메타데이터로 변환되어 통합DB의 메타데이터 레파지토리(저장소)에 저장된다. 저장된 메타데이터들은 생애주기 단계별 데이터 관리 대상 범위에 맞춰 각 메타데이터 모듈에 의해 데이터 표준관리, 데이터 모델관리, 데이터베이스 관리, 변경영향분석 관리, 데이터 품질관리가 이루어진다.

데이터 관리 대상 범위로는 데이터 표준 정책 및 지침, 표준 단어, 용어 및 도메인에 대한 관리, 데이터 모델과 DBMS의 관리, 데이터 흐름 및 데이터 변경 이력, 표준코드 데이터 품질이 포함되어 있다.

이에 대한 데이터 표준관리 항목으로는 데이터 사전, 표준코드, 표준화 프로세스, 명명규칙이 있으며, 데이터 모델관리에서는 개념모델, 논리모델, 물리모델에 이상 유무를 판단한다. 또

한 데이터베이스 관리는 데이터의 변경이력관리, 데이터 테이블 및 컬럼 등을 관리하며, 데이터 품질관리에서는 데이터의 표준 준수도, 경합성변경비교, 모델 품질에 이상이 없는지 관리한다. 마지막으로 변경영향분석관리에서는 데이터 구조, DBMS, 어플리케이션 변경영향분석을 통해 메타데이터를 관리한다.



[그림 3.11] 통합지식관리시스템의 메타데이터 관리 시스템

통합지식관리시스템의 메타데이터 구축을 위해 데이터의 분류체계를 업무수행 단계, 각 단계의 관리분야, 업무번호로 구분하였으며 그 구성은 아래와 같다.

첫 번째로, 플랜트 프로젝트의 사업관리 업무수행 단계별 분류체계는 각 단계의 영문단어 첫 글자로 구성하였다.

ⓐ 설계이전단계 : PD (**P**re-**D**esign)
ⓑ 설 계 단 계 : DE (**De**sign)
ⓒ 구매조달단계 : PR (**P**rocurement)
ⓓ 시 공 단 계 : CO (**Co**nstruction)
ⓔ 시운전 단계 : OM (Operation & Management)

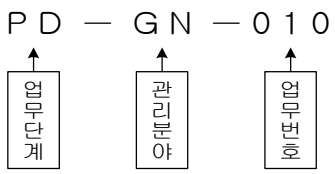
두 번째로, 단계별 관리분야 분류체계는 각 관리분야 영문단어 처음 두 개의 자음으로 구성

하였다.

ⓐ 사업관리일반 : GN (**Gen**eral)
ⓑ 계 약 관 리 : CT (**Con**tract)
ⓒ 사 업 비 관 리 : CS (**Cos**t)
ⓓ 공 정 관 리 : TM (**Tim**e)
ⓔ 설 계 관 리 : DS (**Des**ign)
ⓕ 품 질 관 리 : QL (**Qua**lity)
ⓔ 안 전 관 리 : SF (**Saf**ety)
ⓕ 환 경 관 리 : EN (**En**vironment)

세 번째로, 업무순서를 나타내는 세자리의 숫자는 처음 두자리는 현재 절차서에 수록된 업무들의 수행순서를 나타내고 마지막 숫자는 추후 업무진행상 사이에 추가될 업무에 대해 문서번호를 부여하기 위함이다.

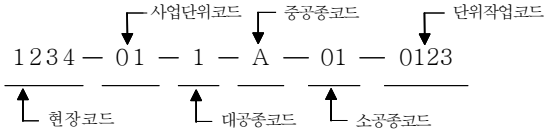
예를 들어, 설계이전단계의 사업관리 일반, 사업수행계획서 검토 및 보완에 대한 문서 코드는 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 문서코드에 적용된 업무단계 및 관리분야를 표시하는 기호는 2개의 알파벳 약자로 구성되어 있다.



- 작업분류체계(Work Breakdown Structure) 수립

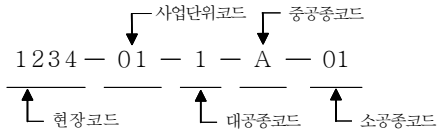
사업관리자는 사업유형, 사업범위, 각 시설의 기능 및 시설별 공종구성에 대하여 분석을 실시하고 자료를 수집한다. 표준시방서의 대/중공종 분류체계를 바탕으로 사업관리자는 중공종까지(건설교통부 표준시방서 참조) 작업분류체계를 개발하며 소공종에 대한 단위작업은 향후 설계자 및 시공자에 의해 분류하게 되고 사업관리자는 이를 검토한다. 사업관리자는 분류기준 설정이 완료되면 전체사업 및 사업단위에서부터 단위작업까지 번호체계기준을 설정하여 번호체계를 구축한다. 사업관리자는 향후 설계자와 시공자가 작성하는 소공종 분류체계와 단위작

업분류체계가 기준에 따라 구축되었는지 검토하고, 분류번호체계의 적정성 여부를 검토한다. 또한, 설계자 또는 시공자가 작업분류체계의 수정을 요청할 경우 검토 및 협의를 거쳐 이를 수정한다. 작업분류번호체계 예시는 다음과 같다.



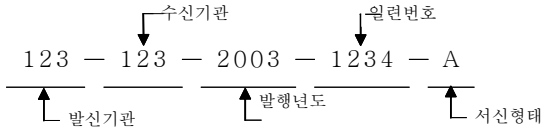
- 사업비분류체계(Cost Breakdown Structure) 수립

사업비분류체계는 작업분류체계 및 번호체계를 따른다. 예시는 다음과 같다.



- 문서분류체계(Document Breakdown Structure) 수립

설계이전단계 사업관리일반 '문서관리체계 수립'(PD-GN-04)에서 언급한 문서의 관리를 위해 건설사업관리자는 분류기준과 번호체계기준을 설정하여 문서분류체계를 구축한다. 분류기준 및 번호체계기준은 수신기관, 발신기관, 발행년도, 일련번호, 서신형태 등을 기준으로 작성한다. 예시는 다음과 같다.



본 과업에서 개발중인 모듈에 온톨로지 기반의 메타데이터 검색기능이 지원 가능하도록 앞 절에서 연구한 내용과 같이 플랜트 프로젝트의 특성을 고려한 분류체계를 정립하였으며, 이를 모듈에 적용하였다.

현재 정보지식관리 모듈에 적용해 놓은 데이터는 실제 현업에서 사용하는 해외 프로젝트의

데이터로 보안을 필요로 하고 있는 상태이며, 현업 실무자의 요구사항을 지속적으로 모니터링 하고, 모듈에 적용해 나갈 예정이며, 지속적인 검증 및 보완을 계획중에 있다.

아래는 정보지식관리 모듈에서 온톨로지 기반의 검색기능을 지원하는 화면이며, 검색어는 Process 로 예를 들어 진행하였다. 그 결과 단순 파일 검색이 아닌, 본 연구에서 정립해 놓은 분류체계에 의해 파일의 속성에 따라 검색이 진행됨을 알 수 있었다.



[그림 3.12] 온톨로지 기반의 지식검색 화면

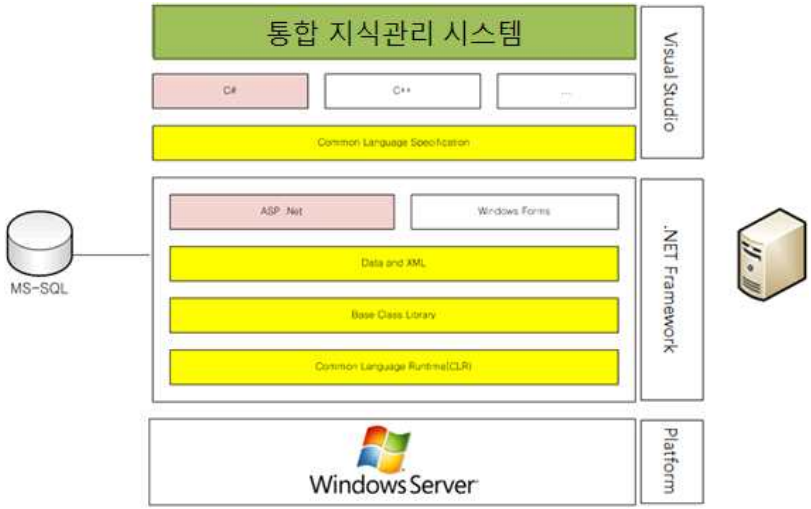


[그림 3.13] 온톨로지 기반의 지식검색 화면 (예시)

라. LNG 플랜트 통합지식관리 시스템

요소기술에 대한 선행 연구 결과를 활용한 효과를 얻기 위해서는 체계적이고 구조화된 시스템의 개발이 필요하며, 건설/플랜트 전문IT 기술을 보유한 1-4세부 주관기관인 한길아이티에서 많은 프로젝트를 수행하면서 쌓아온 노하우를 접목 하였을 때 보다 효과적인 “LNG플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발”을 위한 시스템이 만들어 질수 있을 것으로 기대된다.

통합지식관리 시스템 개발의 시스템은 Windows기반에 .Net Framework을 사용하고, C#개발 언어와 Microsoft의 MS-SQL2005 Database을 사용하여, 통합지식관리 시스템을 위한 소프트웨어를 개발한다.



[그림 3.14] 개발시스템 Framework

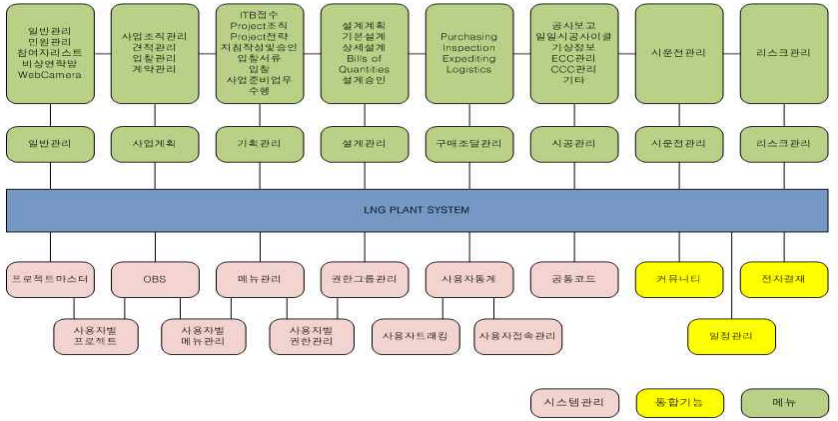
통합지식관리 시스템은 프로젝트 관리, 설계단계(E), 구매조달단계(P), 시공단계(C), 의사결정지원과 같이 5가지로 크게 나누어 구성되었다.

프로젝트관리 기능은 프로젝트의 생성/수정/삭제 기능과, 사용자 관리, 메뉴관리, 권한관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.

설계단계(E) 관리의 경우는 설계단계를 각각의 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 설계계획, 기본설계, 상세설계, Bills of Quantities로 구성하여 데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 정보를 관리 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.

구매조달단계(P) 관리의 경우는 구매조달단계를 각각의 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 Purchasing, Inspection, Expediting, Logistics로 구성하여 데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 정보를 관리 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.

시공단계(C)관리의 경우는 시공단계를 각각의 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 Construction Planning, Construction Mgmt, Equip Materal Mgmt, Commissioning, 시공자료관리로 구성하여 데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 정보를 관리 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.

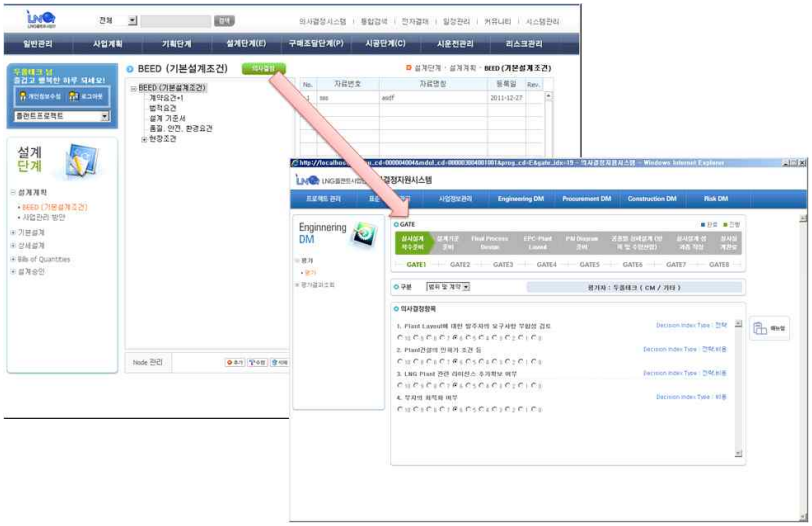


[그림 3.15] 시스템 구성도

통합지식관리 시스템에서 의사결정 지원 시스템과의 통합 연계에 있어서는 각 업무단계별 의사 결정이 필요한 업무에 의사결정버튼을 추가하여 의사결정 버튼을 추가하면 해당 단계의 의사결정 지원 시스템의 평가 화면이 링크처리 되게 구성한다. 표시된 업무지원시스템의 메뉴와 의사결정지원 시스템의 Gate를 연결하여 Gate의 상태표시를 진행이면 녹색으로 오류이면 적색으로 완료이면 청색으로 표시하게 구성하였다.

① 설계단계의 의사결정 지원 시스템 Procurement DM 평가화면 연계

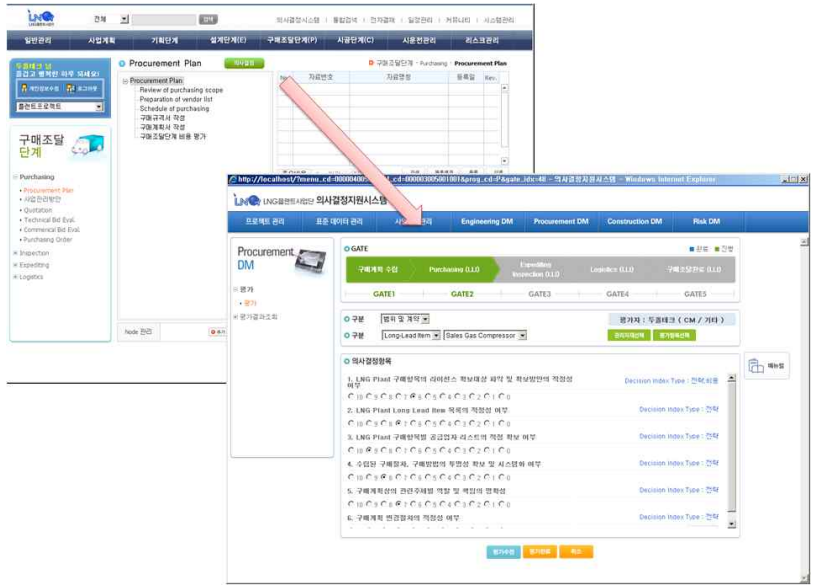
설계단계와 의사결정 지원 시스템의 Engineering DM의 평가화면과 연결하여 각 업무단계의 평가화면과 연결되고 평가 결과를 저장한다.



[그림 3.16] 설계단계에서 의사결정 지원 시스템과의 연계

② 구매조달단계의 의사결정 지원 시스템 Procurement DM 평가화면 연계

구매조달단계와 의사결정 지원 시스템의 Engineering DM의 평가화면과 연결하여 각 업무단계의 평가화면과 연결되고 평가 결과를 저장한다.



[그림 3.17] 구매조달단계와 의사결정 지원 시스템과의 연계

3. 주요 연구성과

가. 학술지 게재

논문제목	학술지명	게재일자
플랜트 프로젝트의 효율적 로지스틱스 업무 프로세스 정립	대한건축학회	2013.05

나. 학술발표대회

발표제목	학술대회명	발표일자
해외 플랜트 프로젝트의 시공 이전 단계 표준 업무 프로세스 구축	대한설비공학회	2010.06
매트릭스 구성을 통한 플랜트 프로젝트 표준 업무지침 구현 방안	한국건설관리학회	2010.11
플랜트 프로젝트의 구매조달단계 입찰평가 시스템 프레임워크 개발	대한설비공학회	2011.07

플랜트 프로젝트 업무정보의 지식화를 위한 데이터마이닝 기법에 관한 연구	대한건축학회	2013.10
플랜트 업무정보관리를 위한 메타데이터 기반 데이터베이스 적용방안	대한건축학회	2013.10
LNG플랜트 생애주기 지식정보 통합기술 연구	한국건설관리학회	2013.11
Process-based Integrated Knowledge Management System Prototype for Plant Project	AEBT 2014 (Advances in Environmental and Bio-Technology)	2014.01

다. 특허 출원 및 등록

발명의 명칭	특허증번호	출원/등록일	구분
LNG 플랜트 업무 프로세스 모델링 방법 및 시스템	10-2011-0014041	2011.02	출원
LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템	10-2011-0014042	2011.02	출원
LNG 플랜트 지원 시스템 및 이를 지원하는 사용자 인터페이스	10-1052585	2011.07	등록
최적 LNG 플랜트 정보 처리 방법 및 이를 지원하는 단말기	10-1069202	2011.09	등록
LNG 플랜트 업무 관리 시스템 및 방법	10-2012-0014305	2012.02	출원
LNG 플랜트 업무 프로세스 모델링 방법 및 시스템	10-1222863	2013.01	등록
플랜트 공정 관리 지원 방법과 이를 지원하는 전자 장치 및 네트워크 시스템	10-2013-0022230	2013.02	출원
LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템	10-1276594	2013.06	등록

라. 현장검증(경험)

현장명	내용	일자
인도네시아 Donggi-Senoro LNG	시스템 설명, 시연 및 적용	2013.01
사우디아라비아 SATORP JUbail #3 Project	시스템 설명, 시연 및 적용	2013.02

마. 기술실시계약

기술실시계약명	실시기관	대상기관	계약체결일
LNG 플랜트 구매조달 단계의 표준 업무 모듈 개발	㈜한길아이티	㈜에이제스트	2013.02

바. 시작품

주요내용	개발일자
플랜트 설계단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서	2011.02
플랜트 구매조달단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서	2011.02
플랜트 시공단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서	2012.02
플랜트 시운전단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서	2012.02

사. 시제품

주요내용	개발일자
LNG 플랜트 설계관리 표준 업무 모듈	2011.02
LNG 플랜트 구매조달관리 표준 업무 모듈	2011.02
LNG 플랜트 시공관리 표준 업무 모듈	2011.03
LNG 플랜트 시운전관리 표준 업무 모듈	2012.02

아. 산학연기술지원

산학연기술지원명	산학연기술지원 내용	지원일자
산학연 기술지원 세미나	표준 업무 모듈의 설계단계 검토	2011.03
산학연 기술지원 세미나	표준 업무 모듈의 구매조달단계 검토	2011.03
산학연 기술지원 세미나	표준 업무 모듈의 시공단계 검토	2011.06
산학연 기술지원 세미나	표준 업무 모듈의 시운전단계 검토	2012.02
산학연 기술지원 세미나	'시스템 개발 현황 소개' 한국수력원자력중앙연구소 방문	2012.12
산학연 기술지원 세미나	'시스템 개발 현황 소개' ETRI 방문	2012.12
산학연 기술지원 세미나	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 세미나	2013.10

자. 기술확산 교류

기술확산교류명	기술확산교류 내용	교류일자
국토해양기술대전	'LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 개발' 성과발표	2010.06
대한설비공학회	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 현황	2011.07
국토교통기술대전	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 발표	2013.07
건설관리학회 추계 세미나	원전 및 LNG 플랜트 CM 연구수행체계 비교 및 트랜드 분석 발표	2013.11

차. 홍보

행사명	행사 내용	홍보일자
플랜트 컨퍼런스 2010	시스템 홍보 부스 참가	2010.12
설비공학회	설비공학회 성과집 이미지 광고	2011.06
건설신문	건설신문 인터뷰	2011.09
Cad&Graphics	'LNG 인수기지(Receiving Terminals) 플랜트 통합 BIM 시스템 개발 방향' 특집기사	2011.12
플랜트 조선 컨퍼런스 2012	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 소개	2013.01
2013 국토해양기술대전	기술이전 체결식	2013.07
2014 국토교통기술대전	국토교통기술대전 부스 참가	2014.05
2015 국토교통기술대전	국토교통기술대전 부스 참가	2015.06

카. 기타저작권

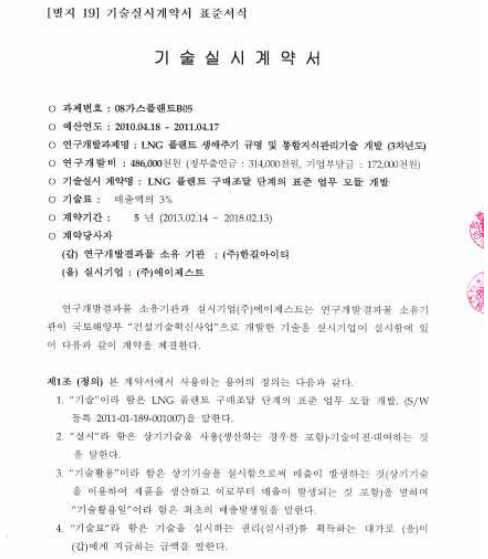
프로그램(S/W)명	등록번호	등록일자
LNG 플랜트 설계관리 표준 업무 모듈	2011-01-189-001008	2011.02
LNG 플랜트 구매조달관리 표준 업무 모듈	2011-01-189-001007	2011.02
LNG 플랜트 시공관리 표준 업무 모듈	2011-01-199-001618	2011.03
LNG 플랜트 시운전관리 표준 업무 모듈	C-2012-003277	2012.02

타. 전문인력양성

인력양성명	인력양성내용	인력양성일자
김재은 연구원	석사졸업	2011.02
탁현우 연구원	석사졸업	2011.02
한동환 연구원	석사졸업	2012.02

4. 기술실시 및 적용사례

본 연구에서 기술개발한 것 중에서 "LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발"의 3차년도(2010.04.18.~2011.04.17.) 주요 결과물인 "설계, 구매조달 및 시공 단계의 표준 업무 모듈 개발" 중 "LNG 플랜트 구매조달 단계의 표준 업무 모듈 개발"을 대상으로 국내업체에 기술실시계약을 1건 실시하였다. 이는 본 절의 LNG 플랜트 EPC 단계별 표준 업무 모듈의 개발 성과품이다.



[별지 19] 기술실시계약서 표준서식

기 술 실 시 계 약 서

○ 과제번호 : 08가스플랜트B05
○ 예산연도 : 2010.04.18 ~ 2011.04.17
○ 연구개발과제명 : LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발 (3차년도)
○ 연구개발비 : 486,000천원 (정부출연금 : 314,000천원, 기업부담금 : 172,000천원)
○ 기술실시 계약명 : LNG 플랜트 구매조달 단계의 표준 업무 모듈 개발
○ 기술료 : 매출액의 3%
○ 계약기간 : 5 년 (2013.02.14 ~ 2018.02.13)
○ 계약당사자
(갑) 연구개발결과물 소유 기관 : (주)한길아이티
(을) 실시기업 : (주)에이제스트

연구개발결과물 소유기관과 실시기업(주)에이제스트는 연구개발결과물 소유기관이 국토해양부 "건설기술혁신사업"으로 개발한 기술을 실시기업이 실시함에 있어 다음과 같이 계약을 체결한다.

제1조 (정의) 본 계약서에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. "기술"이라 함은 LNG 플랜트 구매조달 단계의 표준 업무 모듈 개발, (S/W 등록 2011-01-189-001007)을 말한다.
2. "실시"라 함은 상기기술을 사용(생산하는 경우를 포함)·기술이전·대여하는 것을 말한다.
3. "기술활용"이라 함은 상기기술을 실시함으로써 매출이 발생하는 것(상기기술을 이용하여 제품을 생산하고 이로부터 매출이 발생되는 것 포함)을 말하며 "기술활용일"이라 함은 최초의 매출발생일을 말한다.
4. "기술료"라 함은 기술을 실시하는 권리(실시권)를 획득하는 대가로 (을)이 (갑)에게 지급하는 금액을 말한다.

[그림 3.18] 기술실시계약 계약서

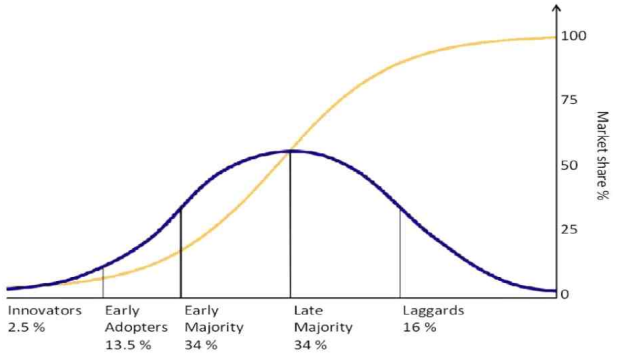
특히, 3차년도의 설계, 구매조달 및 시공 단계의 표준 업무와 관련된 모듈을 각각 지식재산권(S/W등록)으로 보유하고 있으며, 특히 플랜트 프로젝트의 즉성상 주요기기를 포함한 자재는 Long-Lead Item 으로써, 주요기기 및 자재의 수급, 일정 등이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 통합지식관리시스템에서 이를 효율적으로 관리하고 있는 "구매조달 단계의 표준 업무 모듈"을 기술실시 대상으로 선정하여 진행하였다.

현업의 데이터를 입력하여 모듈의 신뢰성을 입증하는 업무가 필요하며, 이를 위해 실시기관에서 보완 개발하는 것으로 진행하였다. 따라서 기술실시 계약 당시 고정기술료가 아닌 보완개발 완료후 향후 매출로 이어질 수 있도록 하여 매출액의 3%를 경상기술료 납부하도록 체결하였다.

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

본 연구성과인 LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템은 최근 들어 플랜트 건설의 수요가 증가하여 생산성 및 엔지니어링 효율성 측면에서 기술 니즈가 강해 시장 확대 가능성이 높다.

기술수용수명주기(Technology Adoption life Cycle, TALC) 모형을 근거로 매출을 추정하였다. 기술수용수명주기 모형에 따라 목표시장의 수요자는 수요층의 특성과 성격에 따라 혁신수용자(Innovator), 조기수용자(Early Adapter), 조기다수수용자(Early Majority), 후기다수수용자(Late Majority), 채용지체자(Laggards)의 5가지 그룹으로 구별되며, 해당기술을 이용한 제품의 수용이 각 그룹별로 <그림 3.19>과 같이 Roggers' Bell Curve 형태의 Adoption Cure를 따를 것이라고 가정하였다.



[그림 3.19] 신기술 채택 곡성(Adoption Curve)
(출처 : Roggers, Everett M(1995)

평가 결과 기술수용주기는 2014년부터 기술이 수용되기 시작하여 1차년도(2014년)는 혁신수용자(Innovator), 2차년도(2015년)는 조기수용자(Early Adapter), 3차년도(2016년)~4차년도(2017년)는 조기다수수용자(Early Majority), 5차년도(2018년)에 후기다수수용자(Late Majority)에 수용되어 평가대상기술 제품의 매출이 본격적으로 발생하는 것으로 예상된다. 6차년도(2019년)에는 채용지체자(Laggards) 수요가 발생하면서 제품수명주기(PLC)상으로 평가대상기술 제품의 수요가 성숙기 최고점에 이를 것으로 전망되었다. 산업통상자원부 제 10~11차 장기 천연가스 수급계획(2013) 등을 참고하여 시장규모를 추정하면 <표 3.1>과 같다.

[표 3.1] LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템 시장규모 및 매출 전망

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
①국내외 시장규모	36,525	36,717	41,404	46,015	51,514	57,669
②연차별 Adoption Curve	2.50%	13.50%	17.00%	17.00%	34.00%	16.00%
③매출액(①×②)	913	5,217	7,366	8,150	17,531	9,235

3절 LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발

1. 연구성과 설명

본 연구성과인 LNG 플랜트 해외사업모델 통합 패키지 시스템은 해외 LNG플랜트 사업선별 및 사업타당성평가 시에 발주국의 사업환경, 국가리스크, LNG시장 전망 등에 대한 고려와 함께 사업전략특성, 최근 시장동향 등 정성적인 정보까지 정량적으로 평가하여 비교 검토하여 LNG 플랜트 개발사업의 참여 여부 혹은 참여할 경우 그 방법에 대한 의사결정을 제공하는 기술이다. 이 패키지 시스템 기술은 LNG 플랜트 가스전 개발참여도 및 운영참여도 결정을 기본으로 한 의사결정을 지원모델과 사업성 평가를 통하여 향후 액화플랜트의 수급을 예상할 시, 단가를 적용하여 예상 시나리오를 제안할 수 있는 모델을 통해 의사결정을 지원하게 된다.

LNG 플랜트 해외사업 추진 시 요구되는 시스템적인 요구사항을 도출하여 다양한 내 외부 환경변화 시나리오에 따른 해외사업 추진 모델을 정립하는 기술과 이들을 패키징하여 현업에서 활용할 수 있는 LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발이 핵심 기술이다.

개발참여도 결정 모듈은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 두고, 사업환경 평가 및 가스전 특성 평가를 통해 해외사업 개발 진출 여부를 판단하는 기술이며, 사업성 평가 모듈은 LNG플랜트에서 활용되는 액화기술(liquefaction)을 검토하고, 액화기술에 따른 개발비용 및 생산이익을 산출하여 비용편익비를 제시하는데 목적을 두었으며, 이는 기존의 개략적 경제성평가를 비용편익분석 관점의 상세분석으로 확장, 발전시킨 형태로 개발하였으며, 운영참여도 결정 모듈은 현재 및 미래의 시장전망을 바탕으로, 개발된 LNG플랜트의 운영과정에 대한 참여도를 결정하는데 목적을 두었으며, 이는 시장전망을 통해 운영단계에서의 적정지분 참여수준을 제시하며, 사업자의 목표 비용편익비(benefit-cost ratio)을 기준으로 이를 달성하기 위한 최소 운영지분을 결정하는 목적으로도 활용할 수 있는 기술이다.

따라서, 본 연구성과물은 해외 가스전 개발 시에 참여 프로젝트를 선별해주고 사업타당성을 근거로 사업참여도를 결정해 줌으로써 LNG 플랜트 해외사업 진출 시 해외 현지의 리스크를 최소화하는 동시에 최적의 사업 참여 전략을 제공하는 기술이다.

2. 핵심요소기술

가. LNG 플랜트 해외사업모델 요구사항 도출 및 시나리오별 모델 정립

플랜트 해외사업을 포함한 모든 해외사업 진출시 대기업은 물론이고, 중소기업도 해외투자를 실행하기 위해서는 불확실성과 위험요소를 사전에 줄이기 위해 노력하고 있다. 이를 위해서는 투자대상국에 대한 연구, 정보수집을 병행하여 타당성조사를 해야 한다.
대개 많은 대기업의 경우 해외 유망한 컨설팅 기업을 통해 해외사업 진출 전략 및 타당성 분석을 진행하여 해외사업 진출 여부를 결정하며, 또한 해외사업이 주력인 기업의 경우에는 자체적으로 전문적은 Tools을 개발하여 적용하고 있는 실정이다.

요구사항을 토대로 해외사업 추진시 시나리오별 모델을 정립하였으며, 개발참여도 결정, 사업성평가, 운영참여도 결정, 사업전략 결정 까지 총 4개의 모델로 구분되며, 해외사업 진출 방향에 따라 각각의 모듈을 독립적으로 사용하여 의사결정함에 있어, 가이드라인을 제시하고자 한다. 각 모듈별 상세 설명은 아래와 같다.



[그림 3.20] 해외사업모델의 모델별 정립

① GATE 1: 개발참여도 결정

개발참여도 결정 모듈은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 둔다. 이는 그림 3.18에 나타난 바와 같이 세 개의 하부모듈로 구성된다.

- GATE 1A: 사업환경분석

GATE1A의 사업환경 분석은 공통 사업수행지표, LNG산업특성지표, 가스전 특성지표 3가지 지표로 구분하여 도출하였으며 5차년도의 지표 중 하류영역 기대보상 항목을 제거하였고 상류영역 기대보상 및 LNG 관련사업 추진 여건의 유지를 통한 가스 산업에 특화된 평가 지표로 구성하여 총 3개영역 4개 분야 26개 지표를 활용하였다.

이 세부모듈은 어떠한 LNG플랜트 사업에 참여하고자 할 때, 해당 사업이 진행되는 국가의 사업환경을 분석하는데 목적을 두었고, 즉 해당 국가에서 진행되는 모든 프로젝트에 공통적으로 적용되는 요소들 - 정부안정성, 사업안정성, Upstream 및 Downstream 기대보상 등을 분석하였다.

- GATE 1B: 가스전특성 분석

GATE 1A가 사업이 진행되는 국가의 환경요소들을 분석하는 것과 달리, GATE 1B는 특정 사업에 해당되는 사업요소들을 분석하였고, 이는 개별 사업들이 나타내는 고유의 특성 - 프로젝트 안정성, 기술요소 특성, 사업수행 인프라 등을 분석하였다.

② GATE 2: 사업성 평가

사업성 평가 모듈은 LNG플랜트에서 활용되는 액화기술(liquefaction)을 검토하고, 액화기술에 따른 개발비용 및 생산이익을 산출하여 비용편익비를 제시하는데 목적을 둠. 이는 기존의 개략적 경제성평가를 비용편익분석 관점의 상세분석으로 확장, 발전시킨 형태이다.

- GATE 2A: 액화기술 검토

LNG플랜트에 적용할 액화기술을 검토하는 세부모듈로서, 액화기술의 기술적 특성 및 적용가능성을 평가하고, C3MR, KSMR 등의 다양한 액화기술별 특성을 고려하여 개발가스전에 적용할 수 있는지 여부를 판단하였다.

- GATE 2B: 개략총개발비용

이 세부모듈은 GATE 2A에서 결정된 액화기술을 적용할 경우 예상되는 총개발비용을 산출하는데 목적을 둔다.

- GATE 2C: 개략총생산이익

이 세부모듈은 GATE 2A에서 결정된 액화기술을 적용할 경우 예상되는 총생산이익을 산출하는데 목적을 두었고, 이는 GATE 2B에서 도출된 총 개발비용과 함께 총 비용편익비(benefit-cost ratio)로 계산되어 사업의 전체적인 타당성을 제시하였다.

③ GATE 3: 운영참여도 결정

운영참여도 결정 모듈은 현재 및 미래의 시장전망을 바탕으로, 개발된 LNG플랜트의 운영과정에 대한 참여도를 결정하는데 목적을 두었다. 이는 시장전망을 통해 운영단계에서의 적정지분 참여수준을 제시하며, 사업자의 목표 비용편익비(benefit-cost ratio)을 기준으로 이를 달성하기 위한 최소 운영지분을 결정하는 목적으로도 활용될 수 있다.

- GATE 3A: LNG 수급전망

향후 LNG 판매의 가능성이 있는 주요 16개국에 대하여 2030년까지의 LNG 공급전망을 제시. 이를 통해 LNG플랜트 개발 후 나타날 수 있는 수요를 예상한다.

- GATE 3B: LNG 소비전망

GATE 3A와 더불어 LNG플랜트 개발 후 생산되는 LNG를 판매가능한 국가들을 평가하는데 목적을 두었고, GATE 3A와 마찬가지로 2030년까지 주요 16개국의 LNG 소비전망을 제시하였다.

- GATE 3C: 가격변동 전망

GATE 3C 는 현재 시점의 수급현황을 기본으로 하여, 향후 수급 대비 소비 물량의 Gap을 최소화 할 수 있도록, GA 알고리즘을 사용하여 최적화된 수급 대안을 찾도록 하고 있다. 이 대안을 통해 향후 가격변동을 예상하도록 하고 있다.

④ GATE 4: 사업전략 결정

사업전략 결정 모듈은 GATE 1부터 GATE 3까지의 결과를 통합하여 최종결과를 제시하는 모듈이다. 이는 액화기술의 특성을 고려하여 분석된 비용편익비에 개발참여도 수준과 운영참여도 수준을 반영함으로서 최종적인 사업투입비용 및 편익을 산출하는데 목적을 둔다.

이는 사업을 진행했을 때 어느 수준의 비용편익이 예상되는지를 제시하며, 또한 이미 개발참여 지분이 결정된 경우 추후 운영단계에서 어느 정도 운영지분을 소유해야 사업자가 바라는 적정 비용편익이 도출될 수 있는지 또한 제시할 수 있다. 또한 각 모듈에서 검토하는 변수들이 변동할 경우 민감도분석을 통해 검토변수의 변화에 따른 시나리오를 제시하여 변수값의 변화에 대비할 수 있도록 제시하였다.

나. LNG 플랜트 해외사업모델 통합 패키지 시스템

① 개발참여도 결정 모듈

개발참여도 결정 모듈은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 둔다. 다음과 같이 두 개의 하부모듈로 구성된다.

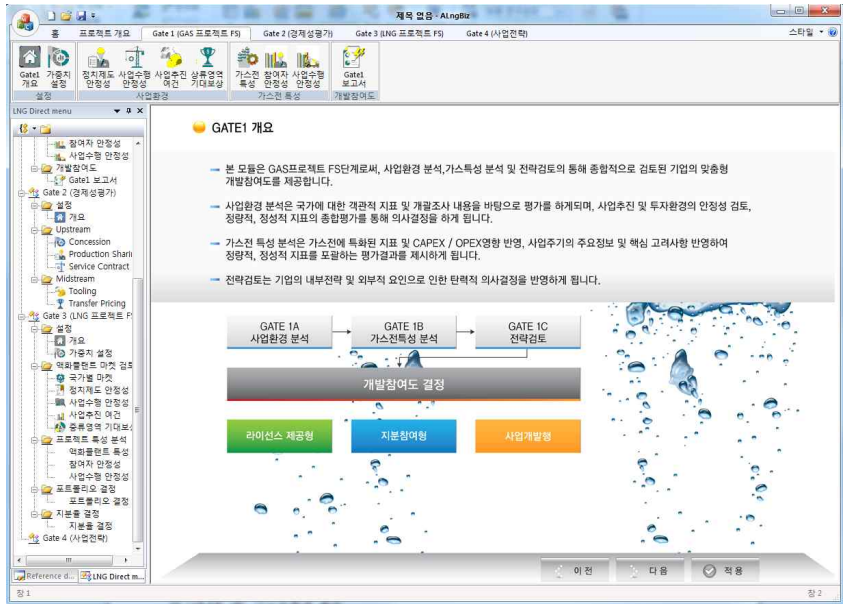
- GATE 1A: 사업환경분석

GATE1A의 사업환경 분석은 공통 사업수행지표, LNG산업특성지표, 가스전 특성지표 3가지 지표로 구분하여 도출하였으며 5차년도의 지표 중 하류영역 기대보상 항목을 제거하였고 상류영역 기대보상 및 LNG 관련사업 추진 여건의 유지를 통한 가스 산업에 특화된 평가 지표로 구성하여 총 3개영역 4개 분야 26개 지표를 활용하였다.

이 세부모듈은 어떠한 LNG플랜트 사업에 참여하고자 할 때, 해당 사업이 진행되는 국가의 사업환경을 분석하는데 목적을 두었고, 즉 해당 국가에서 진행되는 모든 프로젝트에 공통적으로 적용되는 요소들 (정부안정성, 사업안정성, Upstream 및 Downstream 기대보상) 등을 시스템에 반영하였다.

- GATE 1B: 가스전특성 분석

GATE 1A가 사업이 진행되는 국가의 환경요소들을 분석하는 것과 달리, GATE 1B는 특정 사업에 해당되는 사업요소들을 분석하였고, 이는 개별 사업들이 나타내는 고유의 특성 - 프로젝트 안정성, 기술요소 특성, 사업수행 인프라 등을 분석하였으며, 이는 5점 척도를 통해 평가할 수 있도록 구성되었으며, 5점 각 척도에 있어서는 사용자가 명확히 판단할 수 있도록 가이드를 제시하고 있다.

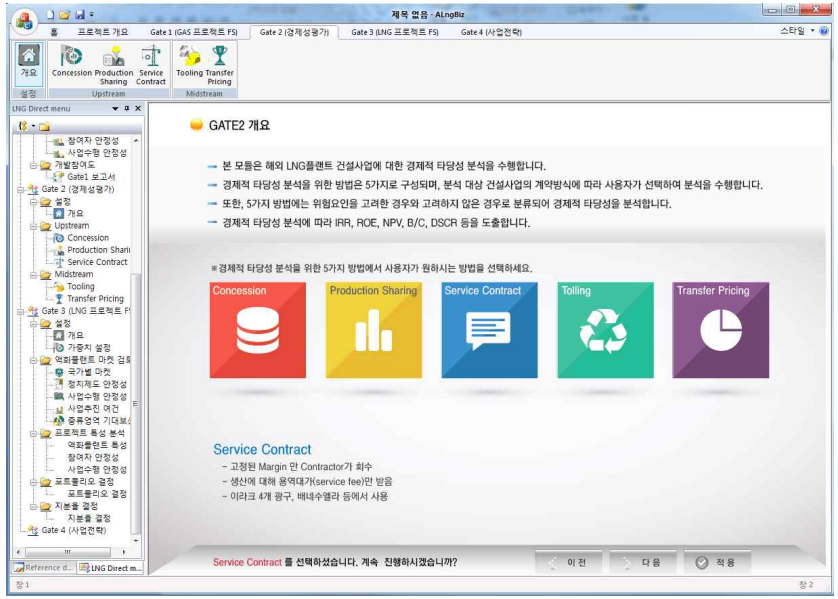


[그림 3.21] GATE1 개발참여도 평가 모듈 개요 화면

② 사업성 평가 모듈

본 사업성 평가 모듈은 계약방식에 따라 Upstream 의 Concession, Production Sharing, Service Contract 3가지로 구분하였으며, Midstream 에서는 Transfer Pricing, Tolling 2가지로 구분하여 총 5개의 계약방식 모두를 지원하도록 되어 있다.

또한, 해외 프로젝트 특성상 상황에 따라, @Risk를 적용하여 시뮬레이션으로 향후 가치를 추정할 수 있도록 모듈을 설계하였다. 따라서 계약방식에 따른 5개의 모델에 @Risk를 적용함으로써 총 10개의 선택 가이드를 제공받도록 되어 있다.



[그림 3.22] GATE2 사업성 평가 모듈 개요 화면

③ 운영참여도 결정 모듈

액화플랜트의 운영참여도를 결정하기 위해서는 LNG 의 수요와 공급에 대한 분석이 선행되어야 하며, 이에 더하여 천연가스(Natural Gas) 국제 거래가를 함께 고려해야 한다. 그러나 가스공사와 민간 사업자는 국내의 소비전망에 집중하여, 구매계약에 의한 단순 도입이 대부분이다. 이로 인해 해외 액화플랜트 투자 사업에 대한 의사결정 프로세스와 평가방안에 대한 분석이 미흡하다. 따라서, 액화플랜트 사업의 성공가능성을 평가하는데 있어, 국내외 주요 국가의 LNG 수급전망 및 소비전망 그리고 국제거래가의 가격변동 전망은 포함하여 개발하였다.

- GATE 3A: LNG 수급전망

액화플랜트 사업에 참여하기 위해서는 LNG 생산 현황에 대한 조사가 필수였다. 특히, 참여를 고려중인 액화플랜트 사업의 주변 국가 및 지역에서 개발 계획, 예정, 진행, 완료예정인 프로젝트를 조사하여 전반적인 공급물량을 확인하는 것이 중요하다. 이를 통해 참여 대상국과 주변국 그리고 주요 생산국의 현재 생산물량 및 미래 생산 예정물량을 분석하였다.

주요 LNG 생산국에 대한 조사와 분석을 통해, 미래의 LNG 생산물량에 대한 증산 계획, 증산 계약현황, 계약내역의 실행현황 그리고 현재 생산현황을 확인하고 이를 기반으로 2030년까지의 생산물량 전망을 분석하여 반영하였다.

- GATE 3B: LNG 소비전망

액화플랜트 사업에 참여하기 위해서는 LNG 소비 현황에 대한 조사가 필수이다. 특히, 참여를 고려중인 액화플랜트 사업의 주변 국가 및 지역의 에너지 소비량을 분석하고, 이중 LNG로 도입이 가능한 부분에 대한 분석이 수행되었다. 더하여 지정학적 위치와 물리적 거리의 분석을 통해 LNG로의 거래 가능성을 분석하였다.

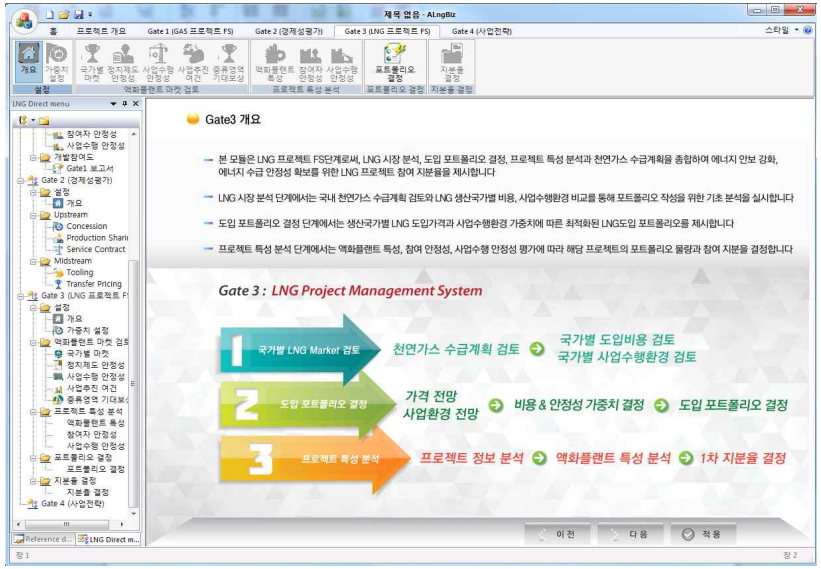
해외지역, 특히 참여를 고려중인 액화플랜트 사업 주변 국가에 대한 직판매 가능 물량에 대해 구체적 분석을 수행하여 개발에 반영하였다.

- GATE 3C: 가격변동 전망

액화플랜트 사업은 장기간의 계약에 의해 수익이 회수되는 구조이기 때문에 LNG 판매를 위한 가격이 중요하다. 특히 물량 계약은 20~30년간의 장기계약이며, 계약단가는 크게 변화를 줄 수가 없기 때문에 계약시점에서의 가격결정이 핵심이다. 따라서 지역별 국가별 연동하는 국제거래가 및 국제유가를 분석하여 추가물량을 확보하는 것이 장기적으로 유지할지를 분석하였다.

LNG 국제거래 가격 산정 알고리즘 현황을 조사하고, 해당 국제거래가에 대한 트렌트 분석을 통해 장기적 관점에서의 추가참여 적절성을 판단하고, 이를 개발에 반영하였다.

국제 거래가격에 대한 년 단위 혹은 월 단위의 이동 평균방법 등 사용자 니즈에 맞는 기간별 추세분석 방법을 통해 장기적 관점에서의 해당 국제거래가의 변동 전망을 수행하였다. 특히 세계경제 시나리오와 연계하여 보다 객관적 전망이 가능하도록 분석을 수행하였으며, 소비대비 수급 물량의 조절을 위해 최적의 시나리오 전략을 제시하였다.



[그림 3.23] GATE3 운영참여도 평가 모듈 개요 화면

3. 주요 연구성과

개발참여도, 평가 사업성 평가, 운영참여도 평가 및 사업전략 모듈을 개발중에 있으며, 현재 10여개 국가에 진출해 있는 사례인 현업 프로젝트의 실무 데이트를 적용하여 신뢰성을 확보하고 있는 중이다. 완료되는 시점에 S/W등록을 추진하여 지식재산권을 확보할 예정이다.

모듈 개발의 핵심기술은 공동 연구기관은 연세대학교 및 중앙대학교에서 국내외 특허를 출원하여 지식재산권을 확보하였으며, 일부 해외 특허의 경우, 특허 등록이 완료되었으며 추가적으로 등록할 예정이다.

가. 시제품

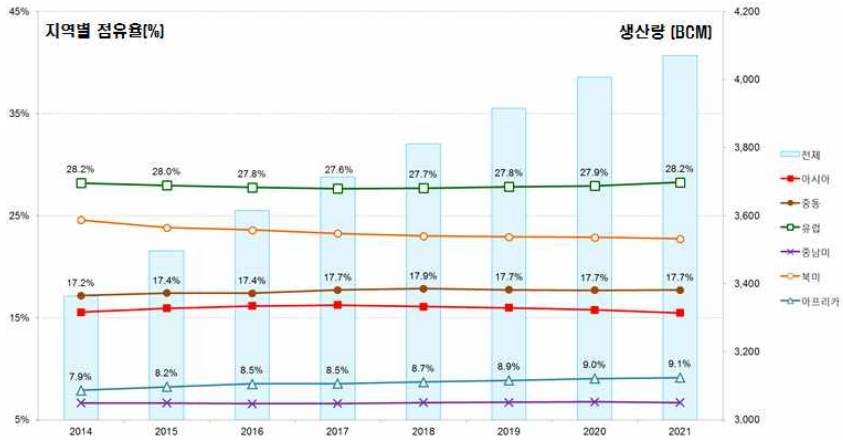
주요내용	개발일자
LNG 플랜트 개발참여도 평가 모듈	2015.10

4. 기술실시 및 적용사례

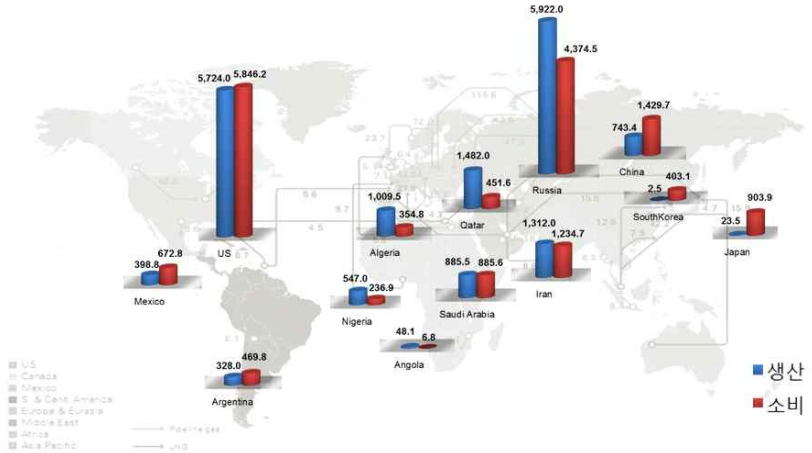
LNG 플랜트 해외사업모델 개발에 대한 연구는 본 연구의 최종 목표인 LNG 플랜트 비즈니스 통합 솔루션 개발의 기반 연구 성과로 직접적인 기술실시 및 적용사례는 없다. 다만, 본 연구성과 결과물이 시스템 개발의 기본 철학을 제공하고 있어 간접적으로 타 기술실시 및 적용사례들과 연관성을 가지고 있다.

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, 2014년 이후의 LNG 생산전망은 <그림 3.24>과 같이 예측된다. 세계 LNG 생산전망은 2014년 약 3,400 BCM에서 연평균 3~4%의 꾸준한 증가하여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4,071 BCM에 달할 것으로 예상된다. 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상되며, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미 생산비중은 점진적 감소로 전망된다.



[그림 3.24] 세계 가스생산 전망 (2014-2021) (출처: Business Monitor International)



[그림 3.25] 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021) (출처: Business Monitor International)

한국, 미국 등 13개 주요 국가별 가스수급 전망은 <그림 3.25>과 같이 우리나라는 일본과 함께 생산량은 거의 없으나 소비량이 크게 나타나며, 중국은 급격한 경제성장에 따라 소비량이 크게 증가할 것으로 예상된다.

이상의 수급전망은 LNG플랜트 건설 후 판매, 즉 다운스트림 (downstream) 단계에서 마케팅 전략수립과 직결되는 요소들로 해외 LNG플랜트 개발사업에 참여하고자 하는 국내기업들은 이러한 정보를 반드시 고려해야 한다.

향후 아프리카 지역의 생산량 증가가 기대되는 한편, 이들 국가에서의 소비는 제한적으로 나타나고 있는 만큼 국내기업들은 아프리카 국가들로의 진출을 검토하는 것이 바람직하다.

제4장

연구 목표 달성 및 효과

제4장

연구 목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

본 연구의 최종 목표는 LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술을 개발하여 업무 생산성을 10% 향상하는데 목적이 있으며, 그 세부 목표는 다음과 같다.

- LNG 플랜트 생애주기 규명 및 프로세스 구축
- LNG 플랜트 생애주기 통합지식관리 시스템 개발
- LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발

위 연구의 최종 및 세부 목표를 달성하였으며, 이를 토대로 기술실시계약 3건을 실시하였다. 뿐만 아니라, 특허 출원, 등록 및 S/W 등록하여 지식재산권을 강화하였다.

1. 정량적 목표 달성도

[표 4.1] 양적성과 달성도

성과지표		최종목표	누적실적	내 용
학술지 게재 논문	비SCI	10	2	· 해외 LNG Plant 프로젝트 초기 프로세스 분석 및 지식관리 시스템 프로토타입 구축, 한국건축시공학회 · 플랜트 프로젝트의 효율적 로지스틱스 업무 프로세스 정립, 대한건축학회
특허출원	출원	2	6	· 최적 LNG 플랜트 정보 처리 방법 및 이를 지원하는 단말기 · LNG 플랜트 지원 시스템 및 이를 지원하는 사용자 인터페이스
	등록	2	4	· LNG 플랜트 지원 시스템 및 이를 지원하는 사용자 인터페이스 · 최적 LNG 플랜트 정보 처리 방법 및 이를 지원하는 단말기 · LNG 플랜트 업무 프로세스 모델링 방법 및 시스템 · LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템
현장검증	경험	2	2	· 시스템 설명/시연 및 적용, 인도네시아 Donggi-Senoro LNG · 시스템 설명/시연 및 적용, 사우디아라비아 SATORP JUbail #3 Project
기술실시계약	건수	2	3	· LNG 플랜트 구매조달 단계의 표준 업무 모듈 개발 · LNG 플랜트 설계 단계의 표준 업무 모듈 개발 · LNG 플랜트 시공 단계의 표준 업무 모듈 개발
전문인력양성		5	4	· 전문인력 양성, 석사 졸업 4인
시작품		5	5	· 플랜트 기획단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 설계단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 구매조달단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 시공단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서 · 플랜트 시운전단계 업무 프로세스 및 방법 등에 대한 표준지침서

시제품		4	5	· LNG 플랜트 기획관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 설계관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 구매조달관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시공관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시운전관리 표준 업무 모듈
학술회의/발표	국내	9	8	· Fundamental Investigation of Knowledge Management System for a Plant, ICCEM ICCPM 2009 · 해외 LNG 플랜트의 시공 전(前)단계 업무 프로세스 분석, 한국건설관리학회 · 해외 플랜트 프로젝트의 시공 이전 단계 표준 업무 프로세스 구축, 대한설비공학회 · 매트릭스 구성을 통한 플랜트 프로젝트 표준 업무지침 구현방안, 한국건설관리학회 · 플랜트 프로젝트의 구매조달단계 입찰평가 시스템 프레임워크 개발, 대한설비공학회 · 플랜트 프로젝트 업무정보의 지식화를 위한 데이터마이닝 기법에 관한 연구, 대한건축학회 · 플랜트 업무정보관리를 위한 메타데이터 기반 데이터베이스 적용방안, 대한건축학회 · LNG플랜트 생애주기 지식정보 통합기술 연구, 한국건설관리학회
	국외		1	· Process-based Integrated Knowledge Management System Prototype for Plant Project, AEBT 2014 (Advances in Environmental and Bio-Technology)
산학연간 기술지원		4	7	· LNG 플랜트 연구내용 발표 · LNG 플랜트 기획단계 업무절차 및 모듈 자문 · 표준 업무 모듈의 설계단계 검토 · 표준 업무 모듈의 구매조달단계 검토 · 표준 업무 모듈의 시공단계 검토

				· 표준 업무 모듈의 시운전단계 검토 · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 세미나
기술확산 교류		5	6	· ‘LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 개발’ 성과발표 · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 현황 · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 발표 · 원전 및 LNG 플랜트 CM 연구수행체계 비교 및 트랜드 분석 발표 · ‘시스템 개발 현황 소개’ 한국수력원자력중앙연구소 방문 · ‘시스템 개발 현황 소개’ ETRI 방문
연구 관련 홍보		4	10	· ‘플랜트 3D 설계 소프트웨어 Review’ 특집기사, Cad&Graphics · ‘플랜트 3D 설계 소프트웨어 Review’ 특집기사, PLANT E&C · 시스템 홍보 부스 참가, 플랜트 컨퍼런스 2010 · 설비공학회 성과집 이미지 광고, 대한설비공학회 논문집 · 건설신문 인터뷰, 건설신문 · ‘LNG 인수기지(Receiving Terminals) 플랜트 통합 BIM 시스템 개발 방향’ 특집기사, Cad&Graphics · LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 소개, 플랜트 컨퍼런스 2012 · 기술이전 체결식, 2013 국토해양기술대전 · 국토교통기술대전 부스 참가, 2014 국토해양기술대전 · 국토교통기술대전 부스 참가, 2015 국토해양기술대전
기타저작권	S/W		5	· LNG 플랜트 기획관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 설계관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 구매조달관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시공관리 표준 업무 모듈 · LNG 플랜트 시운전관리 표준 업무 모듈

2. 정성적 목표 달성도

[표 4.2] 질적성과 달성도

연구내용	연구수행단계	주요연구내용	산출 성과물
EPC 단계 표준 업무 모듈 개발	표준 기반의 LNG 플랜트 생애주기 규명	국내외 LNG 플랜트 생애주기 관리 사례 조사 및 분석 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 특성 분석 선진기업의 LNG 플랜트 생애주기 사업수행 체계 분석 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 니즈 분석	· 설계단계 표준 업무 모듈 (S/W 등록) · 구매조달단계 표준 업무 모듈 (S/W 등록) · 시공단계 표준 업무 모듈 (S/W 등록)
	LNG플랜트 데이터 분류체계 정립	LNG 플랜트 단계별 업무프로세스 현황 조사 및 분석 LNG 플랜트 생애주기 업무분류체계 조사 및 분석 LNG 플랜트 생애주기 사업관리 시스템 도입방안 정립	
	LNG 플랜트 기획단계 상세 업무 프로세스 구축	LNG 플랜트 기획단계 As-is 프로세스 모델 분석 LNG 플랜트 기획단계 상세업무 프로세스 분석 LNG 플랜트 기획단계 업무정의 및 관련정보 분류	
	LNG플랜트 사업관리 요구사항 도출 및 시스템 구성	LNG 플랜트 기획단계 정보 흐름 규명 LNG 플랜트 사업관리 요구사항 도출 및 시스템 구성도 및 기능 정립 LNG 플랜트 개방형 정보표준 기반의 사업관리 데이터 모델링 및 설계 LNG 플랜트 기획단계 표준 업무 모듈 개발	
	EPC 단계별 업무 프로세스 및 맵	LNG 플랜트 EPC 단계별 As-Is 업무프로세스 모델 분석 LNG 플랜트 ECP 단계별 업무분류체계 구축 LNG 플랜트 단계별 업무 프로세스 맵 구축	
	EPC 단계별 업무 모듈 설계	LNG 플랜트 EPC 단계별 사용자 요구사항 조사 및 분석 Balsamiq Mockups을 이용한 ECP 단계별 UI 설계 LNG 플랜트 EPC 표준 업무 모듈 개발	

정보지식 관리 기술 개발	EPC 단계별 정보지식관리 표준업무지침 개발	LNG 플랜트 생애주기 단계별 통합업무 프로세스 구축 LNG 플랜트 생애주기 단계별 표준업무지침 개발	· 표준 업무 프로세스 · 업무표준 지침
	EPC 단계별 정보지식관리 업무 모듈 개발	LNG 플랜트 생애주기 정보지식관리 모듈 프로토타입 개발 모듈별 단위테스트를 통한 검증	· 정보지식관리 기술 분석 보고서
통합지식 관리 시스템 개발	LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 개발	LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 컨텐츠 개발 생애주기 단계별 업무 WBS 체계 보완 및 검증 LNG 플랜트 통합지식관리시스템 프로토타입 개발	· 통합지식관리 모듈 · 시스템 검증 및 상용화 방안 검토 보고서
	LNG 플랜트 통합지식관리 시스템 개발	LNG 플랜트 통합지식관리시스템 개발 LNG 플랜트 통합지식관리시스템 검증 및 상용화 방안 구축	
해외사업 모델 상용화 통합 패키지 개발	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계	LNG 플랜트 해외사업 추진 프로세스 및 의사결정 체계 현황 조사 및 분석 LNG 플랜트 해외사업 추진 시 요구되는 시스템적 요구사항 도출 LNG 플랜트 해외사업 추진 시나리오별 모델 정립 LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 설계	· 개발참여도 모듈 (S/W 등록) · 사업성평가 모듈 (S/W 등록)
	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 및 검증	LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 개발 LNG 플랜트 해외사업모델 상용화 통합 패키지 시스템 검증	· 운영참여도 모듈 (S/W 등록) · 사업전략 모듈 (S/W 등록)

2절 연구개발 성과의 효과

1. 기술적 측면

국내 기업의 LNG 플랜트 지식관리기술을 보유하게 되며, LNG플랜트 사업의 통합정보관리 시스템 및 지식관리시스템을 구축함으로써 업무량 감소 및 건설사업비 5% 절감이 가능하다.

기존 건설사업의 지식관리체계를 바탕으로 정보의 단절, 지식관리 부재, 개별화 등 시스템의 약점을 극복하고 정보, 지식 및 시스템이 통합된 LNG 플랜트 지식관리체계를 구현하여 LNG 플랜트 지식관리기술에 대한 중간진입전략을 수립하였다.

국내에 없는 LNG플랜트 사업개발 및 기획능력을 확충하되, 보다 선진화된 기술을 확보할 수 있도록 시나리오 기반의 체계인 시스템으로 구현하였다.

현재 시공기술 위주의 사업관리에서 벗어나 생애주기 관점에서 계획과 실행이 최적화된 사업관리체계를 구현하여 사업개발, 기획 컨설팅 등 신규분야에 진출할 수 있는 역량을 확보하였다.



[그림 4.1] 연구성과의 기대효과

2. 경제적 측면

2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이 중에서 5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악하였다.

일반적으로 사업관리 비용은 총 건설사업비의 12%정도로 볼 수 있으며, 이를 고려하면, 국내 LNG플랜트 사업관리 시장 규모는 매년 1,200억원~1,800억원의 시장이 형성될 것으로 예측되며, 본 연구를 통해 개발된 기술패키지 시장(전체 사업관리비의 5%정도)의 추정된 시장의 주기적인 업그레이드와 해외시장 진출을 위한 가수요를 고려시에 매년 100억원대의 시장을 형성될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 정책적 측면

LNG 플랜트의 EPC 수행 프로세스 개발 및 시스템 활용의 전문인력 육성 및 확보를 함으로써, 선진국 대비 인프라 수준을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

국내 IT 분야의 강점을 극대화하여, 실용적이며 효과적인 LNG 플랜트 지식관리시스템 분야에서도 국가이미지를 제고하는 효과가 있을 것으로 기대한다.

기반기술 확보를 위한 중복투자 방지를 통하여 LNG 플랜트 사업관리 표준을 확보하고 이를 통해 선진업체가 가진 사업관리 기술에 대응 가능한 기술 확보가 가능토록 시장진입 환경을 조성하고, 국내 업체들이 개별적으로 추진함에 따라 발생되는 비용의 중복을 최소화할 수 있는 효과를 기대한다.

해외 사업 진출을 꾀하는 플랜트 업체를 위한 표준화된 사업관리 수행체계 및 표준을 보급하여 관련 분야의 해외시장 진출 촉진 및 고부가가치 영역을 확대하도록 한다.

제5장

연구성과 활용 및 추가연구 필요성

제5장

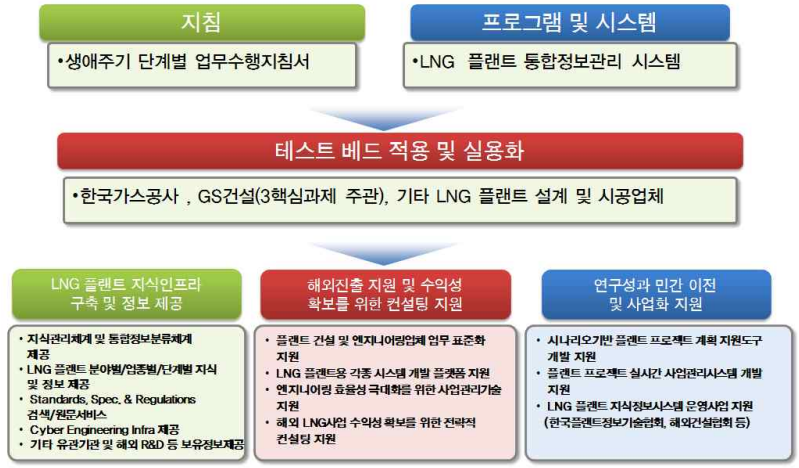
연구성과 활용 및 추가연구 필요성

1절 연구성과 향후 활용방안

본 연구의 주요 성과물은 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계의 업무수행지침서, 사용자 요구사항 조사서, 표준 업무 모듈 등으로 구분할 수 있으며, 이러한 성과물을 기반으로 LNG 플랜트 지식인프라 구축 및 정보제공, 해외진출 지원 및 수익성 확보를 위한 컨설팅 지원, 연구성과 민간 이전 및 사업화 지원 등에 활용할 계획이다.

활용방안의 실제적인 가능성을 높이기 위하여 사업단이 시행할 테스트베드사업에 적용하여 성과평가 및 보완을 지속적으로 수행할 예정이다.

본 연구의 성과물에 대한 활용성을 높이기 위하여, 표준 지침을 작성하여 발간 배포할 수 있도록 기여할 예정이며 LNG 플랜트의 통합 정보간리 및 지식관리시스템 개발을 위한 프로세스를 생애주기 단계별로 최적화하여 모듈별 선별 채택 사용이 가능할 수 있는 방안을 모색할 것이며, 이는 향후 연구 성과가 사업모델로써 상품화 과정을 거쳐 국내외로 보급하는 데에 도움이 될 것이다. 또한, 본 연구와 관련된 각종 지식과 연구개발성과물은 국내외 특허를 출원하여 국가 경제에 기여할 것으로 예측된다.



[그림 5.1] 연구성과의 활용방안

2절 추가연구 필요성

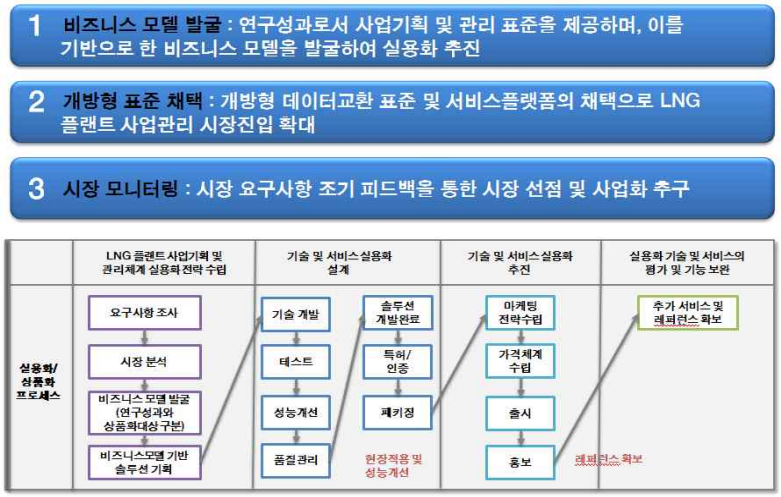
연구성과의 실용화를 위한 추진계획 수립을 위한 기본원칙은 크게 다음과 같이 세가지 방향으로 제시하고자 한다.

본 연구성과로서 제시하고자 하는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준을 토대로 상용화 대상에 대한 니즈조사를 토대로 비즈니스 모델을 발굴하여 체계적인 추진전략을 마련하고자 한다.

제시되는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준은 개발형 데이터교환 표준을 채택토록 하고, 이에 기반으로서 개방형 서비스 플랫폼을 제시하여 LNG 플랜트시장에 대한 체계적이고 손쉬운 진입이 가능토록 한다.

초기 모델링 및 시스템 기획단계에서 시장요구사항에 대한 조기 파악 및 피드백을 시행하여 상용화를 위한 전략수립과 연계하며, 국내외 시장 선정 효과를 확보한다.

연구성과의 실용화 추진계획은 상용화 전략의 수립 및 비즈니스 모델 발굴, 비즈니스 모델에 따른 기술 및 서비스 실용화 설계(현장적용을 통한 성능 개선), 기술 및 서비스 기능에 대한 실용화 및 제품화 추진, 추가서비스 및 참조 레퍼런스 확보를 통한 기능 보완 등 크게 4개의 단계로 추진하고자 한다.



[그림 5.2] 연구성과의 활용 및 실용화 추진계획

참고 문헌

1. International Energy Outlook, 2006, DOE (USA)
2. World Energy Investment Outlook, 2004, 국제에너지기구(IEA)
3. GTL 프로젝트 개발동향과 우리의 참여가능성, 2003, 건설교통부
4. 산업설비 통합수행체제 핵심기술 개발, 2006, 건설교통부
5. 플랜트엔지니어링기술 로드맵, 2005, 산업자원부
6. Capital Project Roadmap, 2004, FIATECH
7. Annual Report, 2005, Technip
8. Annual Report, 2005, Bechtel Corporation
9. Annual Report, 2005, ConocoPhillips Co.
10. Ronald M. Smith, New developments in gas to liquids technologies, 2004, CERI Petrochemical Conference
11. Michael Barclay, Natural gas liquefaction process selection for emerging markets, 2005, 5th Doha Conference on natural Gas
12. Mona J. Molnvik, Statoil-NTNU global watch seminal: gas technology, 2003, SINTEF Energy Research
13. Michael Barclay and Noel Denton, Selecting offshore LNG process, 2005, LNG Journal
14. Bahram Ghaemmaghami, GTL: Progress and Prospects - Study yields generic, coastal-based GTL plant 2001, Oil&Gas Journa
15. Gas to liquids industry development discussion paper, 2001, Industry Science Resources
16. Gas to liquids life cycle assessment synthesis report, 2004, ConocoPhillips and Sasol Chevron and Shell
17. Troy A. Semelsberger, Dimethyl ether as a alternative fuel, 2005, Case Western Reserve University
18. Chris noble, GTL challenges, 2005, Foster Wheeler
19. 플랜트 IT 컨퍼런스 논문집, 2004-2006, 한국플랜트정보기술협회
20. 한국가스공사 카탈로그, 2006, 한국가스공사
21. ITER 카탈로그, 핵융합연구센터
22. LNG 플랜트 기술개발 해외 전문가 초청세미나 자료집
23. Alexander S. Adorjan, 1991, Heat Transfer In LNG Engineering, Hemosphere Publishing Coporation
24. 말레이시아 빈툴루(Bintulu) 액화기지 소개자료

25. A guide to LNG, (www.ferc.gov/industries/LNG.asp)
26. 설비공학 편람-냉동편
27. Tariq Shukri, 2004, LNG technology selection, FosterWheeler
28. GTL 기획자료, 2005, 화학연구원
29. Preliminary screening technology and economic assessment of sybthesis gas to fuels, NREL, 2003.
30. Evaluation Of Liquefied Natural Gas Receiving Terminals For Southern California, University Of California, 2004.
31 Sib Akhtar, Driver selection for LNG compressor, MSE Ltd., 2004.
32 Zuoyi Zhang, Economic potential of modular reactor nuclear power plants, Nuclear Engineering and Design, 2007.
33 Pluto LNG development industry briefing, WOODSIDE, 2006.
34 Arthor J. Kidnay, Fundamental natural gas processing, 2006.
35 4D CAD를 기반으로 한 건설사업관리 시스템 개발, 한국건설기술연구원, 2001
36 SOC 사업관리 모델 개발 연구보고서(최종), 아주대학교, 2000
37 건설프로젝트 관리기술 개발 1단계 최종보고서, 한국건설기술연구원, 1998
38 플랜트 프로젝트 관리체계 표준화 기술개발, 현대건설, 2005
39 해외건설공사 손익발생 원인분석 및 리스크 관리방안 개발, 연세대학교, 2002
40 해외건설공사의 생산성 및 수익성 향상을 위한 Risk Management 시스템 구축 및 웹기반 실무활용지침서 개발, 연세대학교, 2003-2005
41 건설공사 위험인지 체계 및 체크리스트 개발, 연세대학교, 2002
42. 한국 산업설비 건설산업의 경쟁력 분석, EPC Project, 유홍석
43. XML을 이용한 원전 기기 데이터시트 교환에 관한 연구, 조광종, 2004
44. STEP 방법론을 이용한 원자력 플랜트 모델의 공유방안, 한순흥, 2004
45. 원전 적용을 위한 STEP 데이터 모델링 기법에 대한 비교 및 CBD기반의 어플리케이션 프레임워크에 관한 연구, 박찬국, 2004
46. 석유가스와 플랜트 분야의 제품모델 규격 적용지침, 표준협회, 2003
47. Vision 2020, 1999, Construction Industry Institute (http:// construct - institute. org)
48. Plant IT 2003 Conference; Best solutions and Best Practices, 2003, Korea Association of Plant Information Technology
49. NIST homepage, http://cic.nist.gov/plantstep/
50. 건설프로젝트관리기술 개발, 2000, 과학기술부
51. 건설기술혁신사업 5개년 계획, 2003, 건설교통부
52. A guide book of project and program management(P2M) for enterprise innovation, 2004, Japan PMCC
53. 산업설비 중장기 기술기반 확충방안 연구, 2002, 건설교통부
54. 통합건설정보분류체계, 2005, 건설교통부
55. 산업설비공사 일반표준시방서, 1999, 건설교통부
56. 건설표준화 기술개발, 2002, 한국기술연구원
57. California Action Plan, 1973, PDPM
58. CANDU형 발전시스템 교육, 운전지원용 플랜트 해석기 개발, 1994, 과학기술부
59. 컴퓨터 이용 CANDU 설계, 건설 지원 시스템 개발, 1994, (주)대우건설
60. 3D CAD모델을 활용한 월성원자력발전소 운전 및 정비 지원시스템 개발, 1998, (주)한국수력원자력
61. 원자력발전소용 웹기반 가상교육시스템 개발, 2002, 한국전력연구원
62. 국제표준(STEP, ISO 10303/15926) 기반의 석유가스와 플랜트분야의 제품모델규격 적용지침 개발, 2002, (주)대우건설
63. 국제 표준 기반의 원자력 발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발, 2004, 한국전력연구원
64. 플랜트 건설산업 육성방안 관한 연구, 1997, 건설교통부
65. BP Statistical Reviewof World Energy 2007, http://www.bp.com
66. 해외 LNG시장 변화와 시사점, 2004, 이영구
67. 21C를 맞이하는 한국 LNG 산업의 현황 및 고찰, 2001, 박의승
68. BP, Statistical Review of World Energy, 2006
69. Poten & Partners, LNGAS Database, http://www.poten.com
70. Wood Mackenzie, Global LNG Online, http://www.woodmacresearch.com
71. 건설교통부(1997), 플랜트 건설산업 육성방안 연구, 건설교통부
72. 건설교통부(2000), 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화 연구보고서, 건설교통부
73. 건설교통부(2002), 건설기술개발 및 관리등에 관한 운영 규정, 건설교통부
74. 건설교통부(2002), 건설산업기본법 시행규칙 중개정령안, 건설교통부
75. 건설교통부(2003), 건설기술연구개발사업 중장기(2003-2007)계획, 건설교통부
76. 건설교통부(2003), 서울특별시 전문시방서(산업설비공사편), 건설교통부
77. 건설교통부(2004), 2004 건설기술진흥시행계획, 건설교통부
78. 건설교통부(2005), 건설공사 표준품셈 개정 내용, 건설교통부
79. 건설지원담당관실(2003), 산업설비(플랜트)발전방안, 건설교통부
80. 과학기술부(2002), 국가 기술지도 -총론-, 과학기술부
81. 과학기술부(2002), 엔지니어링 해외진출을 위한 실무가이드, 과학기술부
82. 과학기술정책관리연구소(1995), 플랜트 엔지니어링 산업의 현황과 효율적 경영

전략에 관한 연구, 과학기술정책관리연구소
83. 과학기술정책관리연구소(1996), 97' 건설기술 연구개발사업 사전기획 연구, 과학기술정책관리연구소
84. 과학기술정책연구원(2005), 전력산업연구개발사업 중장기 종합계획, 산업자원부
85. 국립환경연구원(1999), 화력발전시설, 국립환경연구원
86. 권영수(2000), 열병합 발전설비의 적용, 설비저널
87. 권오현, 정재호(2004), 건설업체의 사업타당성조사·분석 실태 연구, 한국건설산업연구원
88. 권정순(2000), 배연탈황설비, 설비저널
89. 김명수, 김재영, 권혁진(2000), 건설산업 지식기반 구축방안 연구, 국토연구원
90. 김성기(2004. 11 .30), 에너지 도입 계약시 플랜트 수출과 연계 추진해야, 건설뉴스
91. 김세은, 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보 (http://www.intergraph.co.kr), 한국 인터그래프
92. 김세은 (2004), 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보, 인터그래프코리아㈜
93. 김재수(2004), 메타데이터를 통한 표준정보 유통활성화, KISTI
94. 김종수, 박영기, 1985, 해외건설공사 손실발생 원인조사 및 대상에 관한 연구, 대한건축학회
95. 김종윤(2005), 국가 지식정보 통합검색시스템 오픈, 전자신문
96. 김창규(2002), 우리나라 플랜트 수출 산업의 발전전략, 기계산업
97. 김태형(2004), 대외시장 개방에 따른 플랜트 건설산업의 대응방향, 설기술연구원
98. 김태황, 강민석(2001), 중국 건설시장의 환경 변화와 진출 전략, 한국건설산업연구원
99. 김한힘, 임건순, 선승민, 한승헌(2003), 공정관리 프로그램과 영향도 기법을 통합한 LNG 저장탱크 공사의 공기관리에 관한 사례연구, 대한토목학회
100. 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상 방안, 한양대학교 산업대학원
101. 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상방안, 한양대학교 석사학위논문
102. 김형삼, 1985, 해외건설추진현황과 개선방향의 고찰, 대한토목학회
103. 대림산업주식회사(2000), 지식경영과 e-Business 추진사례, 대림산업주식회사
104. 대림정보통신(2002), Sigma KMS 2000 , 대림정보통신
105. 대림I&S(2002), e-Novator ERP con, 대림I&S
106. 대림I&S(2002), e-Novator series, 대림I&S
107. 대한전기협회 전력기준실(1999), 전력산업기술기준(KEPIC)종합안내서, 대한전기협회 전력기준실
108. 대한토목학회(2002), 해외건설 시장 전망과 활성화 방안, 한국건설산업의 21세기 비전·위기와 기회

109. 동신기술개발주식회사(1997), 건설공사 시행절차 규정 제정연구, 건설교통부
110. 디지털타임스(2000), 한전 KDN-미국 ABB, 발전용 SW 공동 추진, 디지털타임스
111. 라도현 (2000), 한국 건설산업의 국제화 전략에 관한 연구, 전남대학교
112. 매일경제(2005), 대우 시공예측, 美 벡텔보다 낫다, 매일경제 1월 10일자
113. 문경록, 부진을 면치 못하고 있는 해외건설, korea investors service
114. 문성우(2005), 통합분류체계의 실증적 적용을 통한 발주자, 계약자 간 일괄된 건설정보관리, 대한토목학회 Vol. 25 No.1
115. 박광순(2002), 플랜트산업의 여건변화에 따른 제도 개선방안, 기계산업
116. 박광순(2003), 차세대 성장산업으로서의 플랜트산업, 산업연구원
117. 박동순(2001), 한국 해외건설기업의 경쟁우위에 관한 연구, 대전대학교
118. 박종국(2002), 최적의 협업 환경을 제공하는 LG건설의 eWokrs 21 시스템, 기계저널
119. 박찬국(2002), 플랜트 통합 설계시스템 구축을 위하여, 기계저널
120. 박찬국(2003), 해양 석유 및 가스 생산플랜트 PDM, 기계저널
121. 박찬국(2004), 프로세스 및 Oil & Gas 플랜트 분야, 기계저널
122. 박찬식, 이지웅, 조규대(2003), 국내외 해외건설 선진기업 비교 연구, 대한건축학회
123. 박한재(2002), 우리나라 해외건설의 경쟁 우위요인에 관한 연구, 동아대학교
124. 박홍태(2000), 바람직한 공정관리를 위한 환경 조성 방안, 대한토목학회 Vol. 48 No. 6
125. 방사성폐기물처리시설,, 홈페이지 http://nfcf.kaeri.re.kr/rwtf/default.asp,
126. 산업연구원(2002), 플랜트산업의국내외여건변화와제도개선방안, 산업연구원
127. 산업자원부(2002), 해외플랜트 타당성 조사 지원사업관리지침 제정 고시, 산업자원부
128. 삼성SDS(2001), 지식정보통합관리시스템 구축을 위한 제안서, 삼성SDS
129. 삼성SDS, ACUBE, 삼성SDS
130. 삼성SDS, Kwave(The Best Solution for Knowledge Management), 삼성SDS
131. 송정수, 심상훈, 김지윤, 윤기봉(2003), RBI 절차의 석유화학 플랜트 적용에 관한 연구, 대한기계학회논문집
132. 양호용(2002), LPG 저장탱크 대형화 설계연구, 설비저널
133. 에너지관리공단(2004), 소형 열병합발전 운영실태조사, 에너지관리공단
134. 연합뉴스(2004), 두산중공업 담수플랜트 석권, 연합뉴스
135. 연합뉴스(2004), 삼성건설, 기술표준화 개인과외식 교육 도입, 연합뉴스
136. 연합뉴스(2004), 원전용 분산제어시스템 국산화 성공, 연합뉴스
137. 연합뉴스(2004), 조선업계, 미래형 신개념 선박개발 '박차', 연합뉴스 5월 4일자

138. 연합신문(2004), 내달 5일, 동해가스전 준공식 개최, 연합신문
139. 연합신문(2004), 동해가스전 준공 의미와 전망, 연합신문
140. 연합신문(2004), 일본 자가발전 증대 추세, 연합신문
141. 연합신문(2004), 최태원 SK㈜회장, 베트남에 기술수출 제안, 연합신문
142. 오인승(1994), 플랜트 엔지니어링산업의 경영분석과 재무전략에 관한 연구, 한양대학교
143. 오정숙(2001), 국내 KMS 시장 동향, 정보통신산업연구실(kisdi.re.kr)
144. 오해석(2004), 지식강국 건설의 기초는 지식 콘텐츠 구축, 한국데이터베이스진흥센터
145. 와이즈소프트㈜(2003), Enterprise Knowledge Portal, 와이즈소프트㈜
146. 이동욱(2004), ISP 방법론을 활용한 중소전문건설업체의 지식경영전략 및 지식경영시스템 구축, 한양대학교
147. 이동욱 이태식(2002), 지식경영 성공요인 및 장애요인 분석, 건설관리학회
148. 이동희, 곽중민, 김지영, 강인석(2001), 건설공사 업무절차 재서계 기법 연구, 대한토목학회
149. 이배호, 박홍태, 이철규(1997), 공정관리 실태조사를 통한 운영 개선방안, 대한토목학회
150. 이순영, 이종구(2002), 장치산업의 CALS 유효 기술 활용방안, 대한건설설비학회
151. 이응로 (2005), 전력 IT 표준화 '발등의 불', 전자신문
152. 이재규, 이근희(1995), 플랜트엔지니어링 산업의 현황과 효율적 경영 전략에 관한 연구, 한양대학교 산업대학원
153. 이태식(2001), 건설 지식경영(KM)의 활성화 및 효율성 제고를 위한 건설조직문화, 건설관리학회
154. 이태식(2004), 현장형 건설경영을 위한 지식관리 시스템(PMIS, KMS)구축기술, 대한토목학회
155. 이태식, 강재준(1998), 국내 플랜트 건설사업의 설계품질경영사례를 통한 개선방안 연구, 대한토목학회
156. 이태식, 강재준(1998), 국내플랜트건설사업의설계품질경영사례를통한개선방안연구, 대한토목학회논문집
157. 이태식, 강재준(1998), 사례연구를 통한 플랜트건설의 구매 및 시공단계의 품질경영 개선방안 연구, 대한토목학회논문집
158. 이태식, 곽동구, 한충희(1999), 실무용 건설관리시스템 개발을 위한 시공정보분류체계에 관한 연구, 대한토목학회
159. 이태식, 김용천(2001), 건설산업의 효율적 정보관리체계 구축전략, 건설관리학회
160. 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 수행 중 획득된 지식과 시방서와의 통합 시스템, 대한토목학회
161. 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 지식데이터베이스 연계를 통한 시방서 개선방안, 건설관리학회
162. 이태식, 심명섭, 김영현(1999), 국내 대형건설업체의 공정관리 현황 및 개선방안에 관한 연구, 대한토목학회
163. 이태식, 이동욱(2003), 중소건설업체를 위한 지식경영시스템 구축, 대한토목학회
164. 이태식, 이동욱(2004), 지식경영개론, 구미서관
165. 이태식, 이동욱, 배건(2001), 건설산업의 지식정보화 기반을 위한 기초적 고찰, 건설관리학회
166. 이태식, 이동욱, 지상복(2004), 건설 기술문서의공유를 위한 건설기술정보시스템 개발, 대한토목학회
167. 이태식, 정보건(2002), 건설산업 지식평가 방안 연구, 건설관리학회
168. 이태식, 정보건, 장대천, 이진욱(2002), 건설산업 지식 관리를 위한 지식 분류체계 현황 조사, 대한토목학회
169. 이태식, 최재호, 박세진, 김영민(2004), 건설사업관리[CM] 성과측정을 위한 Best Practice별 핵심성공요인 체크리스트 개발, 대한토목학회
170. 이태준, 홍정진(2004), 국가원자력기술지도 작성 방법론, 한국원자력사업협회
171. 이현찬 (2002), 전자상거래 표준화 로드맵, 전자상거래 표준화 통합포럼
172. 이협희(2002), 도시 고형폐기물의 열분해 용융특성, 대한설비공학회
173. 임상택(2004), 디-패스트트랙' 플랜트 공법, 한국경제신문
174. 장현승, 최석인(2004), 세계 플랜트 건설시장 전망과 시사점, 한국플랜트산업협회
175. 전외술, 김영로(2000), 한국 해외건설기업의 경쟁우위 원천에 관한 실증적 연구, 한국생산성학회
176. 전자신문(2003), 플랜트 건설정보화 촉진 방안, 전자신문 4월 14일자
177. 정희식(2001), 건설 내수 부진을 플랜트 수출로 돌파하자, 현대연구소
178. 정희식(2002), 플랜트 산업 환경 변화와 선진기업들의 사업전략, 현대연구소
179. 조규대(2002), 해외건설시장 동향분석을 통한 한국 해외건설의 경쟁력 향상 전략, 중앙대학교 건설대학원
180. ㈜아이리스21, POSEIDON, ㈜아이리스21
181. ㈜온더아이티, The Final Knowledge Portal Solution for e-Business, ㈜온더아이티
182. ㈜창해소프트서비스, KMSbuilder, ㈜창해소프트서비스
183. 최대우, 김우주, 김기녕, 류시철, 이수영, 플랜트 건설분야에서의 작업 물량 추정을 위한 신경회로망 및 사례 기반 복합 방법론의 개발, 한국경영과학회대한산업공학회

184. 최우석(1998), 기업 경영의 필수 요건으로 부각된 PDM, CAD & 그래픽스
185. 최태용(2004), 상수도공사 설계 및 실무, 한국상수도협회
186. 건설관리학회(2003), 국내 CM 활성화를 위한 제도적, 기술적 발전방안 연구 및 CM 평가기법개발을 통한 적용성과 분석, 건설교통부
187. 한국건설기술연구원(1994), 건설정보 분류 표준화 연구, 한국건설기술연구원
188. 한국건설기술연구원(1995), 건설부문 엔지니어링 핵심 공통기반 기술개발 사업을 위한 연구기획 사업, 한국건설기술연구원
189. 한국건설기술연구원(2000), 건설 프로젝트 관리기술 개발, 과학기술부
190. 한국건설기술연구원(2002), 제3차 건설기술진흥기본계획 수립 연구, 건설교통부
191. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발 (III) •전자 문서 표준 부록, 건설교통부
192. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅰ) •전자 문서 표준, 건설교통부
193. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅱ) •전자 문서 표준, 건설교통부
194. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅱ) •전자 문서 표준 부록, 건설교통부
195. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CLA/EC 활성화 대회, 한국 CALS 협회
196. 한국건설기술연구원(2004), 건설 CALS/EC 표준개발을 위한 해외 전문가 초청 워크샵, 한국건설기술연구원
197. 한국건설기술연구원(2004), 산업설비 통합수행체재 핵심기술 개발(Ⅰ)중간보고서, 한국건설교통기술평가원
198. 한국건설기술연구원 건설기술품질센터(2000), 내화구조의 인정 및 관리업무 세부운영지침, 한국건설기술연구원
199. 한국건설산업연구원(1998), 플랜트엔지니어링의 핵심경쟁력 요소-일반건설업체와의 비교를 중심으로, 한국건설산업연구원
200. 한국경제신문(2004), [지역경제 신지도] 울산 : 해양시추선, 플랜트 설계 'KCL', 한국경제신문
201. 한국과학기술기획평가원(2003(2002년 국가연구개발사업 평가자료 공공기술, 한국과학기술기획평가원
202. 한국과학기술정보연구원(2002), 플랜트 시설의 지진 리스크 평가 시스템 개발, 해외과학기술동향 558호
203. 한국도로공사(2003), 21세기 지식경영 리더 한국도로공사 지식관리 시스템, 한국도로공사
204. 한국도로공사(2003), K-way(한국도로공사 지식관리시스템), 한국도로공사

205. 한국도로공사(2003), Standards for Electronic Drawings and Documents(전산설계도서 표준호 체계), 한국도로공사
206. 한국전력공사, 한국표준형 원자력 발전소 울진 3?4호기 사업관리 업무편람, 한국전력공사
207. 한국전력공사 건설관리실(1995), 산업관리 기술정립을 통한 발전소 거설 160) 사업관리 최적화방안 연구, 한국전력공사 건설관리실
208. 한국전력공사 원자력기술실(1996), 원전기술 고도화 추진전략 수립 연구(최종보고서), 한국전력공사 원자력기술실
209. 한국전력기술(2004), 공정관리절차서, 한국전력기술
210. 한국전력기술주식회사, Human Technology Environment, 한국전력기술주식회사
211. 한국전산원(2004), 정보시스템 운영감리 지침에 관한 연구, 한국전산원
212. 한국전산원, 지식관리 기술 및 표준화 방안연구, 한국전산원
213. 한국정보공학㈜, The Leading e-Convergence Enabler (EP를 지향하는 KM솔루션, WiseKeys), 한국정보공학㈜
214. 한국정보통신, Wise keys-KMS, 한국정보통신
215. 한국지능정보시스템학회(2001), 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획 시스템의 개발, 한국지능정보시스템학회
216. 한국IT감리컨설팅(2004), 시설물 - 2008. 03. 시스템 확산 및 기초자료 구축 사업, 한국IT감리컨설팅
217. 한국IT감리컨설팅(2004), 시설물 - 2008. 03. 시스템 확산 및 기초자료 구축 사업 감리, 한국IT감리컨설팅
218. 한순흥, STEP 표준의 일반적인 현황, 과학기술원
219. 한양대학교(1997), 사회기반시설물 평가기술 연구단 연구 계획서, 건설교통부
220. 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실(2001), 동원건설 지식경영 체제구축-2차보고서-, 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실
221. 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실(2001), 동원건설 지식경영 체제구축-3차보고서-, 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실
222. 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터(1998), 프로젝트 정보통합 모델 개발, 과학기술부
223. 한충희, 국찬호, 김선국(2000), 건설분야에서 국내표준과 국제표준의 부합화 방안, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
224. 한충희, 김인한, 이두헌(1997), 웹을 이용한 건설정보의 효율적 활용 방안, 대한건축학회 논문집 Vol.17 No.2
225. 한충희, 김선국, 전영호(2001), 건물 부위요소의 경계조건 규명과 응용사례, 대한건축학회 논문집 Vol.17 No.3

226. 한충희, 김연성, 김선국(2000), 상업시설의 공사실적정보 관리시스템, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
227. 한충희, 김재준, 안병주(1995), 설계 비용 일정 정보 통합에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.11 No.8
228. 한충희, 이군재, 김선국(2000), 건축공사의 공정-원가-자원 통합관리 모델에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
229. 한화S&C, Best of the Best, 한화 S&C
230. 한화S&C, e-Business Innovator, 한화S&C
231. 해외건설협회(2003), 해외 플랜트 건설공사 수익성 제고방안, 해외건설협회
232. 해외건설협회(2005), 현대건설 이라크 복합화력발전소 건설사례소개, 해외건설협회
233. 해외건설협회, 해외건설 년도/규모별 총괄 계약현황(플랜트) 통계, 해외건설협회
234. 해외건설협회 데이터 서비스, http://www.icak.or.kr,
235. 해외과학기술동향 558호(2001), 후지전기, 산업 플랜트 서비스 사업 확대, 해외과학기술동향 558호
236. 해외과학기술동향 558호(2003), 똑똑해지고 있는 플랜트 디자인 소프트 웨어, 해외과학기술동향 558호
237. 현대건설㈜(2005), 교량/송전선로 사업관리 전문가 시스템, 현대건설㈜
238. 현대엔지니어링, http://www.hec.co.kr/,
239. 현재천(1997), 21세기 한국 화학공학, 화공기술, 화공산업의 Vision, 금빛출판사
240. 홍성웅(1995), 일본 건설업체의 해외시장 진입 전략, 한국건설산업연구원
241. 홍은표(2001), 플랜트 엔지니어링 IT 활용 현황 및 전망, ㈜ 세피안 테크놀러지
242. CAD & graphics(2004), 플랜트 IT업계의 리더, 인터그래프코리아, CAD & graphics
243. Castro-Lacouture, D., Skibniewski, M(2005), Quantitative Assessment of Web-Based Construction Management Systems: A Case Study on Rebar Design and Estimation, Information Technology in Architecture, Engineering and Construction
244. Chung, B-Y., Skibniewski, M(2005), Cost-Benefit Analysis of Integrating ERP Systems with Project Management Systems in Construction Firms, 1st International Conferenceon Construction Engineering and Management, Seoul
245. ComTrue KMS(2003), 지식경영의 선두 ComTrue KMS, ComTrue KMS
246. ERP추진실 건설관리팀(2005), 공정 및 시공정보 관리시스템 소개, 한국수력원자력
247. Helmut schuller, Hype or opportunity for complex global projects, Intergraph
248. LG-EDS시스템, Knowledge Enterprise Portal Solution, LG-EDS시스템
249. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2003), Impact of Web-Based Project Management Systems on Construction Claims Processing Procedures,
250. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), "A Model for the Analysis of Success/Failure Factors in Application of Web-Based Project Management Systems in Construction, ASCE Journal of Construction Engineering and Management
251. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Web-Based Construction Project Management Systems: What Makes Them Succeed?, Automation in Construction, Vol. 13, No. 4, Elsevier,
252. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Web-Based Project Management Systems: Survey of Success and Failure Factors, Building Research & Information, Taylor &Francis Group Publishers, London, U.K
253. Nitithamyong, P., Skibniewski, M., Chaturvedi, A(2004), Success and Failure Factors of Web-Based Construction Project Management Systems: Evidence from Case Studies, Information Processing & Management, Pergamon-Elsevier, Oxford
254. PI실 건설관리팀(2004), 원전건설분야 ERP구축개요, 한국수력원자력
255. PI실 건설관리팀(2005), 원전건설관리시스템, 한국수력원자력
256. PI실 건설관리팀(2005), 토건분야 시공관리시스템 소개, 한국수력원자력
257. Ryoo, B.-Y., Skibniewski(2004), e-Portal for Construction Engineers: Korea Example, " under review by Information Systems, Information Systems, Pergamon-Elsevier, Oxford, U.K
258. Ryoo, B-Y., Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Electronic Project Management Information Systems (e-PMIS) for Construction Projects in Developing Countries, CIB W107 Symposium on Globalization and Construction, Bangkok
259. Skibniewski, M. (1991, Information Management System for New Construction Technologies, Construction Management and Economics
260. Skibniewski, M. (2002), Current Research on Web-Based Tools for Construction Project Management, Invited KeynoteLecture, Special Symposium on the 5th Anniversary of Collaborative Research Between Purdue University and Cracow University of Technology, Krakow, Poland
261. Skibniewski, M. (2003), Constructability Analysis and Decision Support,

CONMAT
262. Skibniewski, M. (2003), Making Web-Based Project Management Systems Successful, 2nd International Conference on Construction in the 21st Century
263. Skibniewski, M. (2004), Critical Factors in Assuring Application Success of Web-Based Project Management Systems in Construction, INCITE 2004 Malaysia
264. Skibniewski, M. (2004), Critical Success Factors for Application of Web-Based Project Management Systems, National University of Singapore
265. Skibniewski, M. (2004), Recent Developments in Web-Based Project Management Tools, Hanyang University (Ansan Campus), Seoul, Korea
266. Skibniewski, M. (2004), Statistical Research on Success and Failure of Web-Based Project Management Systems in Construction, Seoul National University, Korea
267. Skibniewski, M. (2004), Utility of Web-Based Project Portals for Construction Applications, National Chiao-Tong University, Hsinchu, Taiwan
268. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Project Management ? Success or Failure?, European Conference on Process and Product Modeling in the Building and Construction Industry, Istanbul Technical University, Turkey,
269. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Project Portals for Engineering Management Collaborations, Universidad Nacional de Cordob. Argentin. November
270. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Tools for Construction Project Management, Taiwan Construction Research Institute, Taipei
271. Skibniewski, M. (2004), World-Wide Web Technologies for Project Management, National CentralUniversity, Jung-li, Taoyuan, Taiwan
272. Skibniewski, M. (2005), Critical Challenges for Information Technology in Construction Engineering and Management, Construction Industry Executive Forum, SAP Corporation, Philadelphia
273. Skibniewski, M. (2005), Information Technology Challenges for the Construction Industry: Integrating Enterprise Resource Planning and Web-Based Project Management, University of Southern Californi. Los Angeles
274. Skibniewski, M., E-Commerce and Web-Based Project Management Technologies for Construction, 4th International Conference on Construction Project

Management: Remaking Construction in the Knowledge-Based Economy,
275. Skibniewski, M., Managing Construction through the Worldwide Web, Mokwon University, Taejon, Korea
276. Skibniewski, M., Nitithamyong(2002), Use of Web Technologies in Construction Project Management: What are the Critical Success/Failure Factors, Information Resources Management Association, Idea Group Publishing
277. Skibniewski, M., Nitithamyong, P(2004), Web-Based Construction Project Management Systems, Construction Bulletin, No. 27, March
278. Skibniewski, M., Zhang, L(2005), Economic Feasibility of Web-Based Project Management Solutions, The International Journal of Construction Management
279. The Top 225 International Contractors, http://www.enr.com, ENR
280. Wright, J., Skibniewski, M(1990), A Graduate Course in Expert Systems Prototype Development, International Journal of Applied Engineering Education, Pergamon Press

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발에 관한 연구"과제(공동과제 "시나리오 기반의 LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17 .

공동연구기관명 : 중앙대학교
공동연구책임자 : 김 용 수
연 구 원 : 박문선, 강현욱, 배성률
〃 : 이승욱, 민병준, 김정목
〃 : 김현규, 원유만, 김민석
〃 : 강민구, 박성욱, 김수환
〃 : 강병태, 지덕근, 장원재

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>08가스플랜트
B05</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2008.12.26
~
2015.12.17</td><td>단 계
구 분</td><td>1,2,3,4,5,6 / 6</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">플랜트 연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">엔지니어링 효율성 개선기술 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>김 용 수</td><td>총 연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 58명
내부 : 28명
외부 : 30명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 1,022 백만원
기업: 백만원
계: 1,022 백만원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">중앙대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 : 해당없음</td><td colspan="2">상대국연구기관명 : 해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>450</td></tr>
</table>

○ **연구 목적**

- 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발
- 해외진출사업 타당성분석 모델 개발

○ **연구 범위**

- 사업계획 전문가 시스템 범위:
  Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning
- 해외진출사업 타당성 분석 모델 범위:
  Planning, Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning, Running

○ **연구 결과**

- 사업계획 전문가 시스템 프로토타입 모델 개발(연구성과 달성도: 100%)
- 사업계획 전문가 시스템 시제품(소프트웨어) 개발(연구성과 달성도: 100%)
- 사업계획 전문가 시스템 사용지침서 개발(연구성과 달성도: 100%)
- 타당성 분석 모델 시제품(Excel Based) 개발(연구성과 달성도: 100%)
- 타당성 분석 모델 사용지침서 개발(연구성과 달성도: 100%)
- 타당성 분석 모델 통합 시스템 개발(연구성과 달성도: 100%)

○ **연구 활용**

- LNG 플랜트 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템으로 활용
- 위험을 고려한 사업비용 관리 시스템으로 활용
- 해외사업진출 시 경제적 타당성 분석을 위한 시스템으로 활용

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	플랜트, 의사결정, 사업타당성, 생애주기비용, 시나리오 기반 사업 계획
	영 어	Plant, Decision making, Feasibility study, Life cycle cost, Scenario based project planing

요 약 문

Ⅰ. 제목

시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발 및 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

■ **연구의 목적**

본 연구는 “제1핵심과제인 LNG플랜트 핵심기반기술 개발”의 “제4세부과제로 엔지니어링 효율성 개선기술 개발을 목적으로 한다. 이에 따라 PLM(Project Life-Cycle Management) 및 글로벌 표준을 접목한 웹기반의 실시간 사업관리와 지식관리시스템을 개발 한다.

따라서 사업관리와 지식관리시스템의 기술개발을 위하여 1-4-2 세부과제인 “시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 및 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발”을 연구목적으로 한다.

■ **연구의 필요성**

국내 LNG플랜트 건설사업의 효율적인 관리를 위한 시스템 개발에 관한 연구가 부족함으로 인하여 본 연구의 수행에 따라 LNG플랜트 건설사업관리에 대한 핵심기술의 개발이 필요하다. 이와 같은 연구의 수행으로 인하여 국내 관련 산업계의 국제적 경쟁력과 해외 LNG 플랜트 건설사업관리의 기술력의 확보를 도모한다.

또한 해외진출사업의 경우 막대한 자원의 조달과 대규모 사업비가 소요됨에 따라 사업초기단계에서 경제적 타당성 분석이 필요하다. 이에 따라 해외진출사업 타당성 분석 모델의 개발을 통하여 사업주에게 발생가능한 경제적 손실에 대하여 사전 예측을 도모한다.

■ **연구의 범위**

-사업계획 전문가 시스템 범위:

Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning

-해외진출사업 타당성 분석 모델 범위:

Planning, Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning, Running

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

■ **사업계획 전문가 시스템 개발 수행내용 및 결과**

연구목적	수행내용	수행결과
사업계획 전문가 시스템 개발	사업계획 전문가 시스템 개발	재무적 사업 타당성 평가 알고리즘 개발 생애주기(EPCC)비용 평가 알고리즘 개발 시나리오 기반 의사결정 및 기초 DB 알고리즘 개발 사업계획 전문가 시스템 사용지침서 개발
	사업계획 전문가 시스템 검증	사업계획 전문가 시스템 품질테스트 사업계획 전문가 시스템 기술완성도 검증

■ **해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 수행내용 및 결과**

연구목적	수행내용	수행결과
해외진출사업 타당성 분석 모델 개발	해외진출사업 타당성 분석 모델 알고리즘 구조화 및 모델 개발	해외진출사업 타당성 분석 모델 알고리즘 구조화 해외진출사업 타당성 분석 모델 알고리즘 개발 해외진출사업 타당성 분석 모델 사용지침서 개발 해외진출사업 타당성 분석 모델 기술완성도 검증

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

■ **사업계획 전문가 시스템 개발 연구성과**

-사업계획 전문가 시스템 프로토타입 모델 개발(연구성과 달성도: 100%)

-사업계획 전문가 시스템 시제품(소프트웨어) 개발(연구성과 달성도: 100%)

-사업계획 전문가 시스템 사용지침서 개발(연구성과 달성도: 100%)

■ **해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 연구성과**

-타당성 분석 모델 시제품(Excel Based) 개발(연구성과 달성도: 100%)

-타당성 분석 모델 사용지침서 개발(연구성과 달성도: 100%)

-타당성 분석 모델 통합 시스템 개발(연구성과 달성도: 100%)

■ 연구성과 적용실적

성과지표		목표건수	달성건수	인정건수	달성율(%)
1	SCI급 학술지 게재 논문(건수)	1	1	1	100
2	비 SCI 학술지 게재 논문(건수)	7	7	7	100
3	국제학술대회 발표	1	3	3	300
4	국내학술대회 발표	10	13	13	130
5	연구개발 관련 홍보	5	7	7	140
6	시제품(소프트웨어) 등록	1	1	1	100
7	시작품(지침서) 개발	1	1	1	100
8	전문인력양성	3	6	6	200
9	기술확산교류	1	3	3	300
10	현장적용	1	1	1	100

V. 연구목표 달성 및 효과

■ LNG 플랜트 사업관리 기반기술 확보: 해외시장에서 점차 확대되는 LNG 플랜트사업에 대한 진출 및 경쟁력 확보를 가능하게 하는 전문적 서비스 영역인 사업계획 및 사업관리 기반기술을 확보한다.

■ 사업관리 효율성 증대를 통한 사업비용 저감: LNG 플랜트해외시장 진출 시 의사결정 지원 및 사전 계획 검토로 리스크 저감 효과와 다양한 데이터획득기술과 효율적인 사업관리로 사업수행상의 재작업을 최소화하고 비용 및 공사기간의 감축을 토대로 실제 사업비용 저감이 기대된다.

■ LNG 플랜트 기반기술 확보를 통한 해외시장 진출 확대: 공사기간, 공사비, 품질 등 3대 사업관리 핵심목표를 달성할 수 있는 사업관리 기반기술을 확보하여 해외시장 진출을 위한 경쟁력 강화 그리고 2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이 중에서5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악된다.

■ 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템: 시나리오 기반의 플랜트 프로젝트 계획 및 개발 지원, LNG 플랜트 사업계획전문가 시스템 개발을 통한 해외사업 진출, 초기 사업개발에 참여를 통한 에너지자원 시장 접근성 강화를 도모한다. 그리고 국내 에너지 수급체계의 안정성을 위해 사업계획부터 국내업체가 참여할 수 있는 시장 확보가 기대된다.

VI. 연구성과 활용계획

“시나리오 기반의 LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템”과 테스트 베드 적용 및 실용화를 통하여 플랜트 기획 및 타당성 평가 기술 확보와 해외사업진출 시 사전 위험평가에 따른 의사결정지원 등에 활용된다.



연구성과 활용계획(방안)

상기 그림과 같은 연구성과의 활용방안으로는 시나리오기반의 사업계획 전문가시스템을 통한 재무적 사업타당성 평가, 생애주기(EPCC)비용 평가, 시나리오 기반 의사결정 등 LNG 플랜트 사업초기 기획 시 기술 확보에 활용된다.

또한 시나리오를 기반한 사업계획 분석을 토대로 기존 선진업체의 초기 사업계획 단계에서 차원 높은 초기 사업계획 단계 분석에 활용하여 기술 개발 완료 후 민간기업이 적극 활용할 수 있도록 국토해양부와 협조 하에 공청회, 홍보전 등을 지속적으로 수행하여 활용성을 향상시킨다.

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1

1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

1. 연구개발의 목적 ····· 1

2. 연구개발의 필요성 ····· 5

가. 사업계획 전문가 시스템 개발 ····· 5

나. 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 ····· 6

2절 연구개발의 범위 및 특징 ····· 7

1. 연구개발의 범위 ····· 7

2. 연구개발의 특징 ····· 8

3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 10

1. 국내외 건설산업 전문가 시스템 활용현황 ····· 10

가. 국내 건설산업 전문가 시스템 활용 현황 ····· 10

나. 국외 건설산업 전문가 시스템 활용 현황 ····· 12

2. 국내외 건설산업 전문가 시스템 구성요소 ····· 19

가. 국내 주요 전문가 시스템 구성요소 벤치마킹 ····· 19

나. 국외 주요 전문가 시스템 구성요소 벤치마킹 ····· 20

3. 사업계획 전문가 시스템 개발을 위한 구성요소 도출 ····· 22

4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 23

1. 플랜트 사업 분야 ····· 23

2. 관련분야 융합 ····· 23

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 24

1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 24

1. 연구수행 전략 ····· 24

가. 연차별 연구 추진 전략 ····· 25

나. 연구 추진 기관의 전략 및 역량 ····· 29

2. 연구수행 방법론 ····· 32
가. 연차별 연구 수행 방법론 ····· 33
나. 연차별 연구 수행 방법 모델 ····· 37
2절 연구수행 내용 및 결과 ····· 43
1. 1차년도 연구수행 내용 및 결과 ····· 43
가. 사업계획 전문가 시스템 개발을 위한 구성요소 도출 ····· 43
나. 사업계획 전문가 시스템 개념설계 ····· 44
2. 2차년도 연구수행 내용 및 결과 ····· 50
가. 시나리오 기반 사업 타당성 평가 모델 설계 ····· 50
나. 위험도 평가 모델 개념설계 ····· 57
다. 시나리오 기반의 위험을 고려한 사업(경제적) 타당성 평가 개념 모듈 ····· 62
3. 3차년도 연구수행 내용 및 결과 ····· 70
가. 생애주기(EPCC) 비용분류체계 및 비용 조사 ····· 70
나. 생애주기(EPCC) 단계의 위험요인 조사 ····· 77
다. 생애주기(EPCC) 단계의 위험요인 평가 개념 설계 ····· 79
라. 생애주기(EPCC) 단계의 위험요인을 고려한 비용변동 범위 분석 ····· 85
4. 4차년도 연구수행 내용 및 결과 ····· 89
가. 의사결정 모듈 개념설계 및 구성 ····· 89
나. 시나리오 구성 및 시나리오별 위험도 평가 ····· 91
다. 시뮬레이션 모델링 ····· 100
5. 5차년도 연구수행 내용 및 결과 ····· 105
가. 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계 ····· 105
나. 사업계획 전문가 시스템 프로토타입 개발 ····· 108
다. 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 ····· 137
6. 6차년도 연구수행 내용 및 결과 ····· 150
가. 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계 확정 ····· 150
나. 해외진출사업 타당성 분석 모델 구조 및 실시설계 확정 ····· 157
3절 연구수행 결과 검증 ····· 173
1. 시스템 테스트 및 사용자 요구사항 반영 ····· 173
2. 전문가 시스템 수정 보완 ····· 178

제3장 최종 연구개발 성과 및 사용지침 ····· 182

1절 사업계획 전문가 시스템 개발 내용 ····· 182

1. 시스템 개발 방법 ····· 182

2. 시스템 개발 세부내용 ····· 183

2절 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 내용 ····· 220

1. 모델 개발 방법 ····· 221

2. 모델 개발 세부내용 ····· 230

3절 주요 연구 성과물 ····· 246

1. 연구 성과물 ····· 246

가. 학술지 게재 SCI(E)급 논문게재 ····· 246

나. 학술지 게재 비SCI(E)급 논문게재 ····· 246

다. 국제학술대회 발표 ····· 246

라. 국내학술대회 발표 ····· 247

마. 기타성과(홍보 및 전문인력 양성) ····· 248

2. 연차별 연구개발 성과물 ····· 249

가. 1차년 연구개발 성과물 ····· 249

나. 2차년 연구개발 성과물 ····· 249

다. 3차년 연구개발 성과물 ····· 250

라. 4차년 연구개발 성과물 ····· 250

마. 5차년 연구개발 성과물 ····· 251

바. 6차년 연구개발 성과물 ····· 251

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 252

1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 252

1. 연구개발 성과지표 달성도 ····· 252

가. 질적 달성도 ····· 252

나. 양적 달성도 ····· 252

2. 연차별 연구성과 달성도 ····· 253

가. 1차년도 연구성과 달성도 ····· 253

나. 2차년도 연구성과 달성도 ····· 253
다. 3차년도 연구성과 달성도 ····· 253
라. 4차년도 연구성과 달성도 ····· 254
마. 5차년도 연구성과 달성도 ····· 254
바. 6차년도 연구성과 달성도 ····· 254
2절 연구개발 성과의 효과분석 ····· 255
1. 기술적 효과분석 ····· 255
2. 경제적 효과분석 ····· 256
3. 정책적 효과분석 ····· 257

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 258
1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 258
2절 추가연구 필요성 ····· 260

참고문헌 ····· 262

[부 록] ····· 274
1. 사업계획 전문가 시스템 사용지침(매뉴얼) ····· 274
2. 해외진출사업 타당성 분석 모델 사용지침(매뉴얼) ····· 274

표 목차

<표 1.3.1> 세부기술별 국외 주요업체 현황 ····· 17
<표 1.3.2> 세계 주요업체 현황 - 솔루션 공급 ····· 18
<표 1.3.3> 세계 주요업체 현황 - 엔지니어링, 사업관리, FEED ····· 18
<표 1.3.4> 프로젝트 단계별 지원시스템 ····· 19
<표 1.3.5> G건설사 사업계획 구성요소 ····· 20
<표 1.3.6> FIATECH의 시나리오 구성요소 ····· 21
<표 1.3.7> 사업계획 전문가 시스템 구성요소 ····· 22
<표 2.1.1> 연구 추진 참여 기관 ····· 24
<표 2.1.2> 연차별 연구 추진 전략 ····· 25
<표 2.2.1> 사업계획 전문가 시스템 구성요소 ····· 43
<표 2.2.2> 계획단계 타당성 분석 구성 요소 ····· 52
<표 2.2.3> 설계단계 타당성 분석 구성 요소 ····· 53
<표 2.2.4> 조달단계 타당성 분석 구성 요소 ····· 53
<표 2.2.5> 시공단계 타당성 분석 구성 요소 ····· 54
<표 2.2.6> 시운전 단계 타당성 분석 구성 요소 ····· 55
<표 2.2.7> EPC 단계별 위험요인 조사 ····· 58
<표 2.2.8> 위험분석 기법 검토 ····· 59
<표 2.2.9> 설계단계 위험요인별 비용 변동률 분석 ····· 65
<표 2.2.10> 조달단계 위험요인별 비용 변동률 분석 ····· 66
<표 2.2.11> 시공단계 위험요인별 비용 변동률 분석 ····· 67
<표 2.2.12> 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 비용 구성항목 도출 ····· 71
<표 2.2.13> 설계단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 ····· 74
<표 2.2.14> 조달단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 ····· 74
<표 2.2.15> 시공단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 ····· 75
<표 2.2.16> 시운전단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 ····· 76
<표 2.2.17> EPCC단계별 위험요인 조사 및 도출 ····· 78
<표 2.2.18> 설계단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석 ····· 80
<표 2.2.19> 조달단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석 ····· 81
<표 2.2.20> 시공단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석 ····· 81
<표 2.2.21> 시운전단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석 ····· 82
<표 2.2.22> 설계단계 위험요인별 비용 변동률 분석 ····· 83
<표 2.2.23> 조달단계 위험요인별 비용 변동률 분석 ····· 83

<표 2.2.24> 시공단계 위험요인별 비용 변동률 분석 ····· 84
<표 2.2.25> 시운전단계 위험요인별 비용 변동률 분석 ····· 84
<표 2.2.26> 설계단계의 비용 입력값 ····· 85
<표 2.2.27> 설계단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 ····· 85
<표 2.2.28> 조달단계의 비용 입력값 ····· 86
<표 2.2.29> 조달단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 ····· 86
<표 2.2.30> 시공단계의 비용 입력값 ····· 86
<표 2.2.31> 시공단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 ····· 87
<표 2.2.32> 시운전단계의 비용 입력값 ····· 87
<표 2.2.33> 시운전단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 ····· 87
<표 2.2.34> 시나리오 구성 주요 반영 요소 내용 ····· 92
<표 2.2.35> 2변수 평가모델의 평가 항목 및 척도 ····· 95
<표 2.2.36> 5변수 평가모델의 평가 항목 및 척도 ····· 96
<표 2.2.37> 5변수 평가모델 등급점수와 가중치의 값 환산 ····· 97
<표 2.2.38> 5변수 평가모델 예시 ····· 97
<표 2.2.39> 시뮬레이션 모델링의 총 사업비 분석결과 ····· 102
<표 2.2.40> 시뮬레이션 모델링의 확률 구간 별 총사업비 분석결과 ····· 103
<표 2.2.41> 해외산업의 고정투자비 ····· 146
<표 2.2.42> 해외산업의 생산 전 비용 ····· 147
<표 2.2.43> 해외산업의 초기 운전 자본 ····· 147
<표 2.2.44> 총 운영관리비 ····· 148
<표 2.2.45> 비용자료 세부사항 ····· 163
<표 2.2.46> Upstream 모델의 대표 Input 변수 ····· 164
<표 2.2.47> Midstream 모델의 대표 Input 변수 ····· 165
<표 2.2.48> Output 데이터의 항목 및 설명 ····· 166
<표 3.2.1> Upstream 계약방식 ····· 221
<표 3.2.2> Midstream 계약방식 ····· 222
<표 3.2.3> 재무제표 필수요소 ····· 224
<표 3.2.4> 정액법과 정률법 ····· 227

그림 목차

[그림 1.1.1] 연구개발 핵심 목적 개념 모델 ····· 1
[그림 1.1.2] 연구개발 목적 ····· 2
[그림 1.2.1] 연구개발의 범위 ····· 7
[그림 1.2.2] 연구개발 시스템의 범위 ····· 8
[그림 1.2.3] 연구개발 전문가 시스템의 특징 ····· 8
[그림 1.3.1] S 건설 PMS 구성도 ····· 10
[그림 1.3.2] H 건설 ERP 구성도 ····· 11
[그림 1.3.3] G 건설 TPMS 구성도 ····· 12
[그림 1.3.4] Flour Daniel사 지능형 통합 FEED 시스템 ····· 14
[그림 1.3.5] ABB사 지능형 통합 FEED 시스템 ····· 14
[그림 1.3.6] JGC사의 EPC System 개념도 ····· 15
[그림 1.3.7] FIATECH의 Sbpp 시스템 구성도 ····· 16
[그림 2.1.1] 협동연구기관-중앙대학교 추진역량 ····· 29
[그림 2.1.2] 시나리오기반의 사업계획전문가시스템개발 업무프로세스 ····· 32
[그림 2.1.3] 1-4세부 연구 체계 업무프로세스 ····· 33
[그림 2.1.4] 시나리오 기반의 재무적 타당성 평가 모듈-2차년 연구 ····· 37
[그림 2.1.5] 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈-3차년 연구 ····· 38
[그림 2.1.6] 시나리오 기반 의사결정 모듈-4차년 연구 ····· 40
[그림 2.1.7] 시나리오 기반 사업계획 전문가 시스템 모듈-5차년 연구 ····· 42
[그림 2.2.1] 사업계획 전문가 시스템 개념설계 ····· 44
[그림 2.2.2] 재무적 및 경제적 고려 요소 ····· 45
[그림 2.2.3] 생애주기 비용 분석 방법 ····· 46
[그림 2.2.4] 주요 계약 유형 및 리스크 발생 요소 ····· 47
[그림 2.2.5] 의사결정 연구 모형 ····· 48
[그림 2.2.6] 입 · 출력 연구 모형 ····· 50
[그림 2.2.7] 사업 타당성 분석 평가 체계 모델 ····· 51
[그림 2.2.8] 위험도 평가 모델 개념 설계 절차 및 방법 ····· 57
[그림 2.2.9] 위험도 평가 모델 개념 설계 ····· 61
[그림 2.2.10] 경제적 타당성 평가 모델 구축 절차 및 방법 ····· 62
[그림 2.2.11] 경제적 타당성 평가 모듈 구축 범위 ····· 63
[그림 2.2.12] 위험요인 조사 및 정립 방법 ····· 64
[그림 2.2.13] 위험요인에 따른 비용 변동률 조사 방법 ····· 64

[그림 2.2.14] 위험요인 비용 변동률에 따른 변동범위 분석 방법 ····· 68
[그림 2.2.15] 확률적 기법에 의해 분석된 결과값 그래프 ····· 69
[그림 2.2.16] 비용분류체계 도출 절차 및 방법 ····· 70
[그림 2.2.17] 비용자료 조사 절차 및 방법 ····· 73
[그림 2.2.18] 생애주기 단계의 위험요인 평가 ····· 77
[그림 2.2.19] EPCC단계의 위험도 평가 개념 설계 및 분석 모델 ····· 79
[그림 2.2.20] LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템 개념설계 ····· 89
[그림 2.2.21] 위험요인을 고려한 시나리오 기반 입찰 의사결정 모델 ····· 90
[그림 2.2.22] 시나리오 구성 주요 반영 요소 ····· 91
[그림 2.2.23]시나리오 구성 반영 요소 및 생애주기 단계별 위험요인 ····· 93
[그림 2.2.24] 2변수 평가 모델 ····· 96
[그림 2.2.25] 5변수 평가 모델 결과 그래프 ····· 98
[그림 2.2.26] 정량 · 정성적 분석을 위한 위험요인 분류 ····· 98
[그림 2.2.27] 정량 · 정성적 위험요인 분석을 통한 비용 변동범위 추정 ····· 99
[그림 2.2.28] 의사결정을 위한 기초자료 DB 구축 계획 ····· 100
[그림 2.2.29] 시뮬레이션 Data 입력 ····· 101
[그림 2.2.30] 시뮬레이션 모델링 종합 ····· 102
[그림 2.2.31] 50%tile의 총사업비 분석 그래프 ····· 104
[그림 2.2.32] 시뮬레이션 모델링을 통한 시나리오 A, B ····· 104
[그림 2.2.33] 사업계획 전문가 시스템의 구조 ····· 105
[그림 2.2.34] 사업계획 전문가 시스템의 실시설계 ····· 107
[그림 2.2.35] 사업계획 전문가 시스템의 체계 ····· 110
[그림 2.2.36] PTF-Main[Excel File] ····· 111
[그림 2.2.37] PTF-20-1 Risk Grouping[Excel File] ····· 112
[그림 2.2.38] PTF-30-1 Scenario Composition[Excel File] ····· 113
[그림 2.2.39] 시나리오 구성의 예시 ····· 113
[그림 2.2.40] PTF-40-1 Risk Assessment(First-1)[Excel File] ····· 114
[그림 2.2.41] PTF-40-1 Risk Assessment(First-2)[Excel File] ····· 115
[그림 2.2.42] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(CBS)[Excel File] ····· 116
[그림 2.2.43] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(Input)[Excel File] ····· 116
[그림 2.2.44] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(Case)[Excel File] ····· 117
[그림 2.2.45] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(Synthesize)[Excel File] ····· 118
[그림 2.2.46] PTF-60-1 Risk Assessment(Qualitative-1)[Excel File] ····· 119
[그림 2.2.47] PTF-60-1 Risk Assessment(Qualitative-2)[Excel File] ····· 119
[그림 2.2.48] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(SC-1)[Excel File] ····· 120

[그림 2.2.49] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(SC-2)[Excel File] ····· 121
[그림 2.2.50] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-1)[Excel File] ····· 122
[그림 2.2.51] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-2)[Excel File] ····· 122
[그림 2.2.52] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-3)[Excel File] ····· 123
[그림 2.2.53] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-4)[Excel File] ····· 124
[그림 2.2.54] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-1)[Excel File] ····· 125
[그림 2.2.55] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-2)[Excel File] ····· 125
[그림 2.2.56] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-3)[Excel File] ····· 126
[그림 2.2.57] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-4)[Excel File] ····· 127
[그림 2.2.58] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-1)[Excel File] ····· 128
[그림 2.2.59] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-2)[Excel File] ····· 128
[그림 2.2.60] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-3)[Excel File] ····· 129
[그림 2.2.61] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-4)[Excel File] ····· 130
[그림 2.2.62] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-5)[Excel File] ····· 130
[그림 2.2.63] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-1)[Excel File] ····· 131
[그림 2.2.64] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-2)[Excel File] ····· 132
[그림 2.2.65] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-3)[Excel File] ····· 133
[그림 2.2.66] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-4)[Excel File] ····· 133
[그림 2.2.67] PTF-70-1 FS Analysis Simulation Modeling[Excel File] ····· 134
[그림 2.2.68] 위험을 고려한 의사결정 개념 모델 ····· 135
[그림 2.2.69] PTF-80-1 Decision Making-1[Excel File] ····· 135
[그림 2.2.70] PTF-80-1 Decision Making-2[Excel File] ····· 136
[그림 2.2.71] Data-Base[Excel File] ····· 137
[그림 2.2.72] 타당성 조사, 타당성 분석, 타당성 검토의 연관성 ····· 138
[그림 2.2.73] 타당성 분석의 절차 ····· 139
[그림 2.2.74] 타당성 분석의 범위 ····· 140
[그림 2.2.75] 타당성 분석 주요 범위의 연관성 ····· 141
[그림 2.2.76] 해외사업의 경제성분석 개요 ····· 141
[그림 2.2.77] 경제성분석 모델 ····· 142
[그림 2.2.78] 경제성분석 모델의 범위 및 영향요소 ····· 143
[그림 2.2.79] 경제성 분석 절차 및 방법 ····· 144
[그림 2.2.80] 경제성 분석 모델 개발안 ····· 145
[그림 2.2.81] 사업계획 전문가 시스템의 개념 ····· 150
[그림 2.2.82] 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 실시설계 수정 ····· 151
[그림 2.2.83] 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 실시설계 확정 ····· 152

[그림 2.2.84] 기존 데이터 표준과의 연동 구축 ····· 155
[그림 2.2.85] 참조자료의 수집 및 통합기초 DB 구축 ····· 156
[그림 2.2.86] 경제적 타당성 평가 모델 기본구조도 ····· 158
[그림 2.2.87] Upstream → PSC 모델의 구조도 ····· 159
[그림 2.2.88] 원가회수 ····· 160
[그림 2.2.89] 수익분배의 예시(R-Factor) ····· 160
[그림 2.2.90] Midstream → Transfer Pricing 모델의 구조도 ····· 161
[그림 2.2.91] GSA(Gas Sales Agreement) ····· 162
[그림 2.2.92] FEED 가스 구매 & 액화가스 판매 ····· 162
[그림 2.2.93] Assumption Sheet 예시 ····· 167
[그림 2.2.94] Feasibility Study Sheet ····· 168
[그림 2.2.95] Risk Sheet ····· 169
[그림 2.2.96] 확률 분포 및 민감도 분석 ····· 169
[그림 2.2.97] Risk 데이터 결과 보고서 ····· 170
[그림 2.3.1] 건설공사 자재관리시스템 ····· 176
[그림 2.3.2] RFID기반 건축마감공사 노무관리 프로토타입 시스템 ····· 177
[그림 2.3.3] 공동주택 신재생 에너지 적용 평가 프로그램 ····· 177
[그림 3.1.1] 모델의 개요화면 ····· 185
[그림 3.1.2] 모델의 소개화면 ····· 186
[그림 3.1.3] 1차 시나리오 구성화면 ····· 187
[그림 3.1.4] 위험요인 분류화면 ····· 187
[그림 3.1.5] 2차 시나리오 구성화면 ····· 188
[그림 3.1.6] 10변수 평가화면 ····· 189
[그림 3.1.7] CBS-EPCC Modelling화면 ····· 190
[그림 3.1.8] CBS Input화면 ····· 192
[그림 3.1.9] CBS Example화면 ····· 193
[그림 3.1.10] CBS Example 프로젝트 기본정보화면 ····· 193
[그림 3.1.11] Simple Prediction -> Data-Expert Based화면 ····· 194
[그림 3.1.12] Cost Item -> Data Based화면 ····· 195
[그림 3.1.13] Cost Item -> Data Based화면 ····· 196
[그림 3.1.14] Cost Item -> Expert Based화면 ····· 197
[그림 3.1.15] Cost Item -> Expert Based화면 ····· 198
[그림 3.1.16] Risk Item -> Data Based화면 ····· 199
[그림 3.1.17] Risk Item -> Data Based화면 ····· 200
[그림 3.1.18] Risk Item -> Data Based화면 ····· 201

[그림 3.1.19] Risk Item -> Expert Based화면 ····· 202
[그림 3.1.20] Risk Item -> Expert Based화면 ····· 203
[그림 3.1.21] Risk Item -> Expert Based화면 ····· 204
[그림 3.1.22] @RISK 메뉴 ····· 205
[그림 3.1.23] SP-DE Simulation Model화면 ····· 206
[그림 3.1.24] CI-D Simulation Model화면 ····· 207
[그림 3.1.25] CI-E Simulation Model화면 ····· 208
[그림 3.1.26] RI-D Simulation Model화면 ····· 209
[그림 3.1.27] RI-E Simulation Model화면 ····· 210
[그림 3.1.28] @RISK Result Summary화면 ····· 211
[그림 3.1.29] 위험을 고려한 의사결정 개념 모델 ····· 212
[그림 3.1.30] Forward Decision Making화면 ····· 213
[그림 3.1.31] Reverse Decision Making화면 ····· 214
[그림 3.1.32] Data Base화면 ····· 215
[그림 3.1.33] 기존 데이터표준과의 연동 및 인터페이스 개념 ····· 217
[그림 3.1.34] 시스템 상에서 DB 검색 ····· 218
[그림 3.2.1] Integrated 모델의 비고려 & 고려 ····· 223
[그림 3.2.2] 재무상태표의 기본 형태 ····· 224
[그림 3.2.3] 포괄손익계산서의 기본형태 ····· 225
[그림 3.2.4] 현금흐름표의 기본 형태 ····· 226
[그림 3.2.5] 감가상각비와 감가상각누계액 ····· 227
[그림 3.2.6] 국세와 지방세 ····· 228
[그림 3.2.7] @RISK를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션 ····· 229
[그림 4.2.1] 연구성과의 기대효과 ····· 255
[그림 5.1.1] 연구성과 활용방안 ····· 259
[그림 5.1.2] 추가연구의 추진 계획 및 필요성 ····· 260

Abstract

Ⅰ. Title of Research

Development of scenario-based project planning expert system and overseas implementation project feasibility analysis model

Ⅱ. Overview of Research and Development Tasks

▪ Purpose of Research

The purpose of this research is to develop technologies for improving engineering efficiency as the 4th detailed task of "Development of core platform technology for LNG plant, the 1st core task". Accordingly, this research intends to develop a system for real-time project management and knowledge management based on a web combining Project Life-Cycle Management(PLM) and global standards.

In this respect, to develop technologies for a project management and knowledge management system, this research aims at "Development of scenario-based project planning expert system and overseas implementation project feasibility analysis model", which is 1-4-2 detailed task.

▪ Necessity of Research

Because of the lack of research on developing a system to efficiently manage domestic LNG plant construction projects, there is a need to develop core technologies for managing LNG plant construction projects under this research. So, this research intends to secure international competitiveness of domestic related industries and technological capabilities of overseas LNG plant construction project management.

As an overseas implementation project requires a vast amount of resources and funds, there is a need to analyze economic feasibility in the early project phases. Thus, based on the development of overseas implementation project feasibility analysis model, this research intends to forecast economic loss that can be incurred by a project owner.

▪ Scope of Research

- Scope of project planning expert system:
  Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning

- Scope of overseas implementation project feasibility analysis model: Planning, Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning, Running

Ⅲ. Contents and Results of Research and Development Implementation

■ Contents and results of implementation of project planning expert system development.

Purpose of research	Contents of implementation	Results of implementation
Project planning expert system development	Project planning expert system development	Development of financial project feasibility evaluation algorithm. Development of EPCC life cycle cost evaluation algorithm. Development of scenario-based decision-making and basic DB algorithm. Development of user guide for project planning expert system
	Project planning expert system testing	Quality test for project planning expert system Technological completion test for project planning expert system

■ Contents and results of overseas implementation project feasibility analysis model development implementation.

Purpose of research	Contents of implementation	Results of implementation
Development of overseas implementation project feasibility analysis model	Structuralization and development of overseas implementation project feasibility analysis model algorithm	Structuralization of overseas implementation project feasibility analysis model algorithm. Development of overseas implementation project feasibility analysis model algorithm. Development of user guide for overseas implementation project feasibility analysis model. Test of technological completion of overseas implementation project feasibility analysis model.

Ⅳ. Final Research Outcomes and their Application Performance

■ Outcomes of project planning expert system development research

- Development of project planning expert system prototype model (achievement of research outcomes: 100%)
- Development of project planning expert system prototype including software (achievement of research outcomes: 100%)
- Development of user guide for project planning expert system (achievement of research outcomes: 100%)

■ Outcomes of overseas implementation project feasibility analysis model development research

- Development of Excel-based prototype of feasibility analysis model (achievement of research outcomes: 100%)
- Development of user guide for feasibility analysis model (achievement of research outcomes: 100%)
- Development of integrated system of feasibility analysis model (achievement of research outcomes: 100%)

■ Performance of Application of Research Outcomes

Outcome index	Target number	Number of achievements	Number of recognitions	Achievement rate (%)
Papers published in SCI level journals (number of cases)	1	1	1	100
Papers published in non-SCI level journals (number of cases)	7	7	7	100
Release in international symposium	1	3	3	300
Release in domestic symposium	10	13	13	130
R&D-related Publicity	5	7	7	140
Registration of prototype (software)	1	1	1	100
Development of prototype (user guide)	1	1	1	100
Nurturing of professional personnel	3	6	6	200
Diffusion and exchange of technology	1	3	3	300
On-site application	1	1	1	100

Ⅴ. Achievement of Research Goal and Ensuing Effects

■ Securing of platform technologies for LNG plant project management: This research aims at securing the platform technologies for project planning and management, as professional service areas which enable the entry into, and secure the competitiveness in, LNG plant projects being gradually expanded in global markets.

■ Reduction of project cost by improving the efficiency of project management: Actual project cost is expected to be reduced based on gaining risk reduction effects through the support of decision-making and review of pre-planning in entering overseas LNG plant construction markets, and minimizing reworks in project implementation and reducing project cost and duration through different data acquisition technologies and efficient project management.

■ Promotion of entry into overseas LNG plant construction markets through the securing of LNG plant platform technologies: This research aims at strengthening the competitiveness for entry into overseas markets by securing project management platform technologies that can achieve 3 core goals in project management for project duration, project cost and project quality.
The amount of demand for LNG plant construction as of 2015 is evaluated at around 20 trillion won considering this demand at a middle level between High case and Low case. Domestic related industries are expected to enter overseas markets valued at about one trillion won per year under the assumption of a 5% share of the overseas markets.

■ This research intends to strengthen scenario-based plant project planning and development support, the entry into overseas markets through the development of LNG plant project planning expert system, and the accessibility to energy markets through participation in initial project development. To secure the stability of domestic energy supply and demand system, domestic related industries are expected to secure the markets where they can participate from the project planning phase.

Ⅵ. Plan to Utilize Research Outcomes

The research outcomes are utilized in planning plants and securing feasibility evaluation technologies through the application and commercialization of "Scenario-based LNG plant project planning expert system" and test bed, and in supporting decision-making under an ex-ante risk evaluation in entering overseas project markets.

The research outcomes are utilized in securing technologies during the initial planning phase of LNG plant construction projects such as financial project feasibility evaluation, EPCC life cycle evaluation and scenario-based decision-making through scenario-based project planning expert system.
There is a need to improve the availability of the research outcomes by continuously carrying out public hearings and publicity activities in cooperation with the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, so that existing advanced companies can utilize the research outcomes for a more sophisticated analysis of the initial project plan in the initial phase of project planning based on an analysis of scenario-based project plan and private companies can actively utilize the research outcomes after completion of technology development.

Contents

Chapter 1 Overview of research and development tasks ····· 1

Section 1 Purpose and necessity of research and development ····· 1

1. Purpose of research and development ····· 1

2. Necessity of research and development ····· 5

A. Development of project planning expert system ····· 5

B. Development of overseas implementation project feasibility analysis model ····· 6

Section 2 Scope and features of research and development ····· 7

1. Scope of research and development ····· 7

2. Features of research and development ····· 8

Section 3 Current status of domestic and foreign technology development in related areas ····· 10

1. Current status of utilization of domestic and foreign construction industry expert system ····· 10

A. Current status of utilization of domestic construction industry expert system 10

B. Current status of utilization of foreign construction industry expert system ··· 12

2. Components of domestic and foreign construction industry expert system 19

A. Benchmark of domestic major expert system components ····· 19

B. Benchmark of foreign major expert system components ····· 20

3. Derivation of components for developing project planning expert system · 22

Section 4 Weight of research and development results in the related area ····· 23

1. Plant project area ····· 23

2. Convergence of related areas ····· 23

Chapter 2 Contents and results of research and development implementation ····· 24

Section 1 Strategies and methodologies for research implementation ····· 24

1. Research implementation strategies ····· 24

A. Annual research implementation strategies ····· 25

B. Strategies and capabilities of research implementation organizations ····· 29

2. Research implementation methodologies ····· 32

A. Annual research implementation methodologies ····· 33
B. Model of annual research implementation methodologies ····· 37
Section 2 Contents and results of research implementation ····· 43
1. Contents and results of the 1st year research implementation ····· 43
A. Derivation of components for developing project planning expert system ····· 43
B. Conceptual design of project planning expert system ····· 33
2. Contents and results of the 2nd year research implementation ····· 50
A. Design of scenario-based project feasibility evaluation model ····· 50
B. Conceptual design of risk assessment model ····· 57
C. Conceptual modules of project (economic) feasibility evaluation considering scenario-based risks ····· 62
3. Contents and results of the 3rd year research implementation ····· 70
A. Cost classification system and cost investigation of EPCC life cycle ····· 70
B. Investigation of risk factors in EPCC life cycle phase ····· 77
C. Conceptual design of risk factor evaluation in EPCC life cycle phase ····· 79
D. Analysis of cost variation range considering risk factors in EPCC life cycle phase ····· 85
4. Contents and results of the 4th year research implementation ····· 89
A. Conceptual design and configuration of decision-making module ····· 89
B. Scenario composition and risk assessment by scenario ····· 91
C. Simulation modeling ····· 100
5. Contents and results of the 5th year research implementation ····· 105
A. Structure and working design of project planning expert system ····· 105
B. Development of project planning expert system prototype ····· 108
C. Development of overseas implementation project feasibility analysis model ··· 137
6. Contents and results of the 6th year research implementation ····· 150
A. Finalization of the structure and working design of project planning expert system ····· 150
B. Finalization of the structure and working design of overseas implementation project feasibility analysis model ····· 158
Section 3 Testing of research implementation results ····· 174
1. System test and reflection of users' requirements ····· 174
2. Correction and complement expert system ····· 179

Chapter 3 Final research and development outcomes and user guide ····· 183
Section 1 Contents of project planning expert system development ····· 183
1. Method for system development ····· 183
2. Detail description for system development ····· 184
Section 2 Contents of overseas implementation project feasibility analysis model development ····· 221
1. Method for model development ····· 222
2. Detail description for model development ····· 231
Section 3 Major research outcomes ····· 247
1. Research outcomes ····· 247
A. Papers published in SCI (E) level journals ····· 247
B. Papers published in non-SCI (E) level journals ····· 247
C. Release in international symposium ····· 247
D. Release in domestic symposium ····· 248
E. Other outcomes (i.e. publicity and nurturing of professional personnel) ····· 248
2. Annual research and development outcomes ····· 250
A. The 1styearresearchanddevelopmentoutcomes ····· 250
B. The 2ndyearresearchanddevelopmentoutcomes ····· 250
C. The 3rdyearresearchanddevelopmentoutcomes ····· 251
D. The 4thyearresearchanddevelopmentoutcomes ····· 251
E. The 5thyearresearchanddevelopmentoutcomes ····· 252
F. The 6thyearresearchanddevelopmentoutcomes ····· 252
Chapter 4 Achievement and effects of research goal ····· 253
Section 1 Achievement of final goal of research and development ····· 253
1. Research and development outcome index achievement ····· 253
A. Qualitative achievement ····· 253
B. Quantitative achievement ····· 253
2. Annual research outcome achievement ····· 254
A. The 1styearresearchoutcomeachievement ····· 254
B. The 2ndyearresearchoutcomeachievement ····· 254

C. The 3rdyearresearchoutcomeachievement ····· 254
D. The 4thyearresearchoutcomeachievement ····· 255
E. The 5thyearresearchoutcomeachievement ····· 255
F. The 6thyearresearchoutcomeachievement ····· 255
Section 2 Analysis of technological effects of research and development outcome ····· 256
1. Analysis of technological effects of research and development outcome ·· 256
2. Analysis of economic effects of research and development outcome ····· 257
3. Analysis of policy effects of research and development outcome ····· 258

Chapter 5 Utilization of research outcome and necessity of additional researches ····· 259
Section 1 Future utilization methods for research outcomes ····· 259
Section 2 Necessity of additional researches ····· 261

References ····· 263

[Appendix] ····· 275
1. User guide (manual) for project planning expert system ····· 275
2. User guide (manual) for overseas implementation project feasibility analysis model ····· 275

Table

<Table 1.3.1> Current status of major domestic companies by detailed technologies ····· 17
<Table 1.3.2> Current status of major foreign companies ····· 18
<Table 1.3.3> Current status of major foreign companies ····· 18
<Table 1.3.4> Support system by project phase ····· 19
<Table 1.3.5> Components of project plan of G construction company ····· 20
<Table 1.3.6> Components of FIATECH's scenario ····· 21
<Table 1.3.7> Components of project planning expert system ····· 22
<Table 2.1.1> Participating organizations in research implementation ····· 24
<Table 2.1.2> Annual research implementation strategies ····· 25
<Table 2.2.1> Components of project planning expert system configuration ····· 43
<Table 2.2.2> Components of feasibility analysis configuration in the planning phase ····· 52
<Table 2.2.3> Components of feasibility analysis configuration in the engineering phase ····· 53
<Table 2.2.4> Components of feasibility analysis configuration in the procurement phase ····· 53
<Table 2.2.5> Components of feasibility analysis configuration in the construction phase ····· 54
<Table 2.2.6> Components of feasibility analysis configuration in the commissioning phase ····· 55
<Table 2.2.7> Investigation of risk factors by EPC phase ····· 58
<Table 2.2.8> Review of risk analysis methods ····· 59
<Table 2.2.9> Analysis of cost variation rate by risk factor in the engineering phase ····· 65
<Table 2.2.10> Analysis of cost variation rate by risk factor in the procurement phase ····· 66
<Table 2.2.11> Analysis of cost variation rate by risk factor in the construction phase ····· 67
<Table 2.2.12> Derivation of cost configuration items in each phase of EPC ····· 71
<Table 2.2.13> Cost data by configuration item of detailed cost in the engineering phase ····· 74
<Table 2.2.14> Cost data by configuration item of detailed cost in the procurement phase ····· 74
<Table 2.2.15> Cost data by configuration item of detailed cost in the construction phase ····· 75
<Table 2.2.16> Cost data by configuration item of detailed cost in the commissioning phase ····· 76
<Table 2.2.17> Investigation and derivation of risk factors by EPCC phase ····· 78
<Table 2.2.18> Analysis of probabilities and impacts of risk factors in the engineering phase ····· 80
<Table 2.2.19> Analysis of probabilities and impacts of risk factors in the procurement phase ····· 81
<Table 2.2.20> Analysis of probabilities and impacts of risk factors in the construction phase ····· 81
<Table 2.2.21> Analysis of probabilities and impacts of risk factors in the commissioning phase ····· 82
<Table 2.2.22> Analysis of cost variation rate by risk factor in the engineering phase ····· 83
<Table 2.2.23> Analysis of cost variation rate by risk factor in the procurement phase ····· 83
<Table 2.2.24> Analysis of cost variation rate by risk factor in the construction phase ····· 84
<Table 2.2.25> Analysis of cost variation rate by risk factor in the commissioning phase ····· 84
<Table 2.2.26> Input value of cost in the engineering phase ····· 85
<Table 2.2.27> Results of probability cost distribution scope analysis in the engineering phase ····· 85

<Table 2.2.28> Input value of cost in the procurement phase ····· 86
<Table 2.2.29> Results of probability cost distribution scope analysis in the procurement phase ····· 86
<Table 2.2.30> Input value of cost in the construction phase ····· 86
<Table 2.2.31> Results of probability cost distribution scope analysis in the construction phase ····· 87
<Table 2.2.32> Input value of cost in the commissioning phase ····· 87
<Table 2.2.33> Results of probability cost distribution scope analysis in the commissioning phase ····· 87
<Table 2.2.34> Contents of major reflection factors for scenario composition ····· 92
<Table 2.2.35> Assessment item and scale for Variable 2 assessment model ····· 95
<Table 2.2.36> Assessment item and scale for Variable 5 assessment model ····· 96
<Table 2.2.37> Conversion of grade score and weighted value for Variable 5 assessment model ····· 97
<Table 2.2.38> Exemplification of Variable 5 assessment model ····· 97
<Table 2.2.39> Analysis results for total project cost of simulation modeling ····· 102
<Table 2.2.40> Analysis results for total project cost by probability interval of simulation modeling ····· 103
<Table 2.2.41> Fixed investment cost in foreign industries ····· 146
<Table 2.2.42> Cost before production in foreign industries ····· 147
<Table 2.2.43> Initial operating cost in foreign industries ····· 147
<Table 2.2.44> Total operation and maintenance cost ····· 148
<Table 2.2.45> Detailed items of cost data ····· 164
<Table 2.2.46> Representative input variables of Upstream model ····· 165
<Table 2.2.47> Representative input variables of Midstream model ····· 166
<Table 2.2.48> Items and explanation of output data ····· 167
<Table 3.2.1> Upstream contract system ····· 222
<Table 3.2.2> Midstream contract system ····· 223
<Table 3.2.3> Essential factor of financial statement ····· 225
<Table 3.2.4> Straight line method and declining balance method ····· 228

Figure

[Figure 1.1.1] Conceptual model of core purpose of research and development ····· 1
[Figure 1.1.2] Purpose of research and development ····· 2
[Figure 1.2.1] Scope of research and development ····· 7
[Figure 1.2.2] Scope of research and development system ····· 8
[Figure 1.2.3] Characteristics of research and development expert system ····· 8
[Figure 1.3.1] Composition diagram of S construction company, PMS ····· 11
[Figure 1.3.2] Composition diagram of H construction company, ERP ····· 11
[Figure 1.3.3] Composition diagram of G construction company, TPMS ····· 12
[Figure 1.3.4] Intelligent integrated FEED system of Flour Daniel construction company ····· 14
[Figure 1.3.5] Intelligent integrated FEED system of ABB construction company ····· 14
[Figure 1.3.6] Conceptual diagram of EPC system of JGC company ····· 15
[Figure 1.3.7] Composition diagram of Sbpp system of FIATECH company ····· 16
[Figure 2.1.1] Cooperative research institute ····· 29
[Figure 2.1.2] Job process for developing scenario-based project planning expert system ····· 32
[Figure 2.1.3] 1-4 Detailed research system job process ····· 33
[Figure 2.1.4] Scenario-based financial feasibility evaluation module - the 2nd year research ····· 37
[Figure 2.1.5] EPCC life cycle cost evaluation module - the 3rd year research ····· 38
[Figure 2.1.6] Scenario-based decision making module - the 4th year research ····· 40
[Figure 2.1.7] Scenario-based project planning expert system module - the 5th year research ····· 42
[Figure 2.2.1] Conceptual design of project planning expert system ····· 44
[Figure 2.2.2] Financial and economic considerations ····· 45
[Figure 2.2.3] Life cycle cost analysis methods ····· 46
[Figure 2.2.4] Major types of contract system and risk factors ····· 47
[Figure 2.2.5] Decision making study model ····· 48
[Figure 2.2.6] Input and output study model ····· 50
[Figure 2.2.7] Project feasibility analysis evaluation system model ····· 51
[Figure 2.2.8] Procedures and methods of conceptual design of risk assessment model ····· 57
[Figure 2.2.9] Conceptual design of risk assessment model ····· 61
[Figure 2.2.10] Procedures and methods for building economic feasibility evaluation model ····· 62
[Figure 2.2.11] Scope of building economic feasibility evaluation module ····· 63
[Figure 2.2.12] Methods for investigating and establishing risk factors ····· 64
[Figure 2.2.13] Methods for investigating cost variation rate according to risk factors ····· 64
[Figure 2.2.14] Methods for analyzing variation range according to risk factor cost variation rate ····· 68
[Figure 2.2.15] Graph of result values analyzed by probability methods ····· 69
[Figure 2.2.16] Procedures and methods for deriving cost classification system ····· 70
[Figure 2.2.17] Procedures and methods for investigating cost data ····· 73

[Figure 2.2.18] Risk factor assessment in life cycle phase ····· 77
[Figure 2.2.19] Conceptual design and analysis model for risk assessment in EPCC phase ····· 79
[Figure 2.2.20] Conceptual design of LNG plant project planning expert system ····· 89
[Figure 2.2.21] Decision-making model for scenario-based bid considering risk factors ····· 90
[Figure 2.2.22] Major reflection factors for scenario composition ····· 91
[Figure 2.2.23] Reflection factors for scenario composition and risk factors by life cycle phase ····· 93
[Figure 2.2.24] Variable 2 evaluation model ····· 96
[Figure 2.2.25] Graph of Variable 5 evaluation model result ····· 98
[Figure 2.2.26] Classification of risk factors for quantitative and qualitative analysis ····· 98
[Figure 2.2.27] Estimation of the range of cost variation through analysis of quantitative and qualitative risk factors ····· 99
[Figure 2.2.28] Basic database construction plan for decision-making ····· 100
[Figure 2.2.29] Input of simulation data ····· 101
[Figure 2.2.30] Synthesis of simulation modeling ····· 102
[Figure 2.2.31] Graph of analyzing total project cost under 50% tile ····· 104
[Figure 2.2.32] Scenario A and B through simulation modeling ····· 104
[Figure 2.2.33] Structure of project planning expert system ····· 105
[Figure 2.2.34] Working design of project planning expert system ····· 107
[Figure 2.2.35] Organization of project planning expert system ····· 110
[Figure 2.2.36] PTF-Main [Excel File] ····· 111
[Figure 2.2.37] PTF-20-1 Risk Grouping [Excel File] ····· 112
[Figure 2.2.38] PTF-30-1 Scenario Composition [Excel File] ····· 113
[Figure 2.2.39] Exemplification of scenario composition ····· 113
[Figure 2.2.40] PTF-40-1 Risk Assessment (First-1)[Excel File] ····· 114
[Figure 2.2.41] PTF-40-1 Risk Assessment (First-2)[Excel File] ····· 115
[Figure 2.2.42] PTF-50-1 EPCC (CBS) Model (CBS)[Excel File] ····· 116
[Figure 2.2.43] PTF-50-1 EPCC (CBS) Model (Input)[Excel File] ····· 116
[Figure 2.2.44] PTF-50-1 EPCC (CBS) Model (Case)[Excel File] ····· 117
[Figure 2.2.45] PTF-50-1 EPCC (CBS) Model (Synthesize)[Excel File] ····· 118
[Figure 2.2.46] PTF-60-1 Risk Assessment (Qualitative-1)[Excel File] ····· 119
[Figure 2.2.47] PTF-60-1 Risk Assessment (Qualitative-2)[Excel File] ····· 119
[Figure 2.2.48] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (SC-1)[Excel File] ····· 120
[Figure 2.2.49] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (SC-2)[Excel File] ····· 121
[Figure 2.2.50] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-S-1)[Excel File] ····· 122
[Figure 2.2.51] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-S-2)[Excel File] ····· 122
[Figure 2.2.52] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-S-3)[Excel File] ····· 123
[Figure 2.2.53] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-S-4)[Excel File] ····· 124
[Figure 2.2.54] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-R-1)[Excel File] ····· 125
[Figure 2.2.55] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-R-2)[Excel File] ····· 125

[Figure 2.2.56] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-R-3)[Excel File] ····· 126
[Figure 2.2.57] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (DC-R-4)[Excel File] ····· 127
[Figure 2.2.58] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-S-1)[Excel File] ····· 128
[Figure 2.2.59] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-S-2)[Excel File] ····· 128
[Figure 2.2.60] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-S-3)[Excel File] ····· 129
[Figure 2.2.61] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-S-4)[Excel File] ····· 130
[Figure 2.2.62] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-S-5)[Excel File] ····· 130
[Figure 2.2.63] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-R-1)[Excel File] ····· 131
[Figure 2.2.64] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-R-2)[Excel File] ····· 132
[Figure 2.2.65] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-R-3)[Excel File] ····· 133
[Figure 2.2.66] PTF-60-2 Risk Assessment (Second) Model (RC-R-4)[Excel File] ····· 133
[Figure 2.2.67] PTF-70-1 FS Analysis Simulation Modeling [Excel File] ····· 134
[Figure 2.2.68] Decision-making concept model considering risks ····· 135
[Figure 2.2.69] PTF-80-1 Decision Making-1[Excel File] ····· 135
[Figure 2.2.70] PTF-80-1 Decision Making-2[Excel File] ····· 136
[Figure 2.2.71] Database [Excel File] ····· 137
[Figure 2.2.72] Relations among feasibility investigation, feasibility analysis and feasibility study ····· 138
[Figure 2.2.73] Procedures of feasibility analysis ····· 139
[Figure 2.2.74] Scope of feasibility analysis ····· 140
[Figure 2.2.75] Relations between major scopes of feasibility analysis ····· 141
[Figure 2.2.76] Overview of economic analysis for foreign projects ····· 141
[Figure 2.2.77] Economic analysis model ····· 142
[Figure 2.2.78] Scope and impacts of economic analysis model ····· 143
[Figure 2.2.79] Procedures and methods of economic analysis ····· 144
[Figure 2.2.80] Draft plan for developing economic analysis model ····· 145
[Figure 2.2.81] Concept of project planning expert system ····· 150
[Figure 2.2.82] Correction in working design of scenario-based project planning expert system ····· 151
[Figure 2.2.83] Finalization of working design of scenario-based project planning expert system ····· 152
[Figure 2.2.84] Construction interlocked with existing data standards ····· 155
[Figure 2.2.85] Basic DB construction for collection and integration of reference data ····· 157
[Figure 2.2.86] Basic structure diagram of economic feasibility evaluation model ····· 159
[Figure 2.2.87] Structure diagram of Upstream → PSC model ····· 160
[Figure 2.2.88] Cost recovery ····· 161
[Figure 2.2.89] Exemplification of profit distributions (R-Factor) ····· 161
[Figure 2.2.90] Structure diagram of Midstream → Transfer Pricing model ····· 162
[Figure 2.2.91] Gas Sales Agreement (GSA) ····· 163
[Figure 2.2.92] Purchase of FEED gas and selling of liquefied gas ····· 163
[Figure 2.2.93] Exemplification of Assumption Sheet ····· 168
[Figure 2.2.94] Feasibility Study Sheet ····· 169

[Figure 2.2.95] Risk Sheet ····· 170
[Figure 2.2.96] Probability distribution and sensitivity analysis ····· 170
[Figure 2.2.97] Risk data result report ····· 171
[Figure 2.3.1] Material management system for construction project ····· 177
[Figure 2.3.2] Labor management system of RFID-based building finishing works ····· 178
[Figure 2.3.3] New and renewable energy application evaluation program for multi-unit dwellings ····· 179
[Figure 3.1.1] Model overview screen ····· 186
[Figure 3.1.2] Model introduction screen ····· 187
[Figure 3.1.3] The 1stscenariocompositionscreen ····· 188
[Figure 3.1.4] Risk factor classification screen ····· 188
[Figure 3.1.5] The 2ndscenariocompositionscreen ····· 189
[Figure 3.1.6] Variable 10 evaluation screen ····· 190
[Figure 3.1.7] CBS-EPCC Modeling screen ····· 191
[Figure 3.1.8] CBS Input screen ····· 193
[Figure 3.1.9] CBS Example screen ····· 194
[Figure 3.1.10] Basic information screen for CBS Example project ····· 194
[Figure 3.1.11] Simple Prediction -> Data-Expert Based Screen ····· 195
[Figure 3.1.12] Cost Item -> Data Based Screen ····· 196
[Figure 3.1.13] Cost Item -> Data Based Screen ····· 197
[Figure 3.1.14] Cost Item -> Expert Based Screen ····· 198
[Figure 3.1.15] Cost Item -> Expert Based Screen ····· 199
[Figure 3.1.16] Risk Item -> Data Based Screen ····· 200
[Figure 3.1.17] Risk Item -> Data Based Screen ····· 201
[Figure 3.1.18] Risk Item -> Data Based Screen ····· 202
[Figure 3.1.19] Risk Item -> Expert Based Screen ····· 203
[Figure 3.1.20] Risk Item -> Expert Based Screen ····· 204
[Figure 3.1.21] Risk Item -> Expert Based Screen ····· 205
[Figure 3.1.22] @RISK menu ····· 206
[Figure 3.1.23] SP-DE Simulation Model Screen ····· 207
[Figure 3.1.24] CI-D Simulation Model Screen ····· 208
[Figure 3.1.25] CI-E Simulation Model Screen ····· 209
[Figure 3.1.26] RI-D Simulation Model Screen ····· 210
[Figure 3.1.27] RI-E Simulation Model Screen ····· 211
[Figure 3.1.28] @RISK Result Summary Screen ····· 212
[Figure 3.1.29] Decision-making concept model considering risks ····· 213
[Figure 3.1.30] Forward Decision Making Screen ····· 214
[Figure 3.1.31] Reverse Decision Making Screen ····· 215
[Figure 3.1.32] Data Base Screen ····· 216
[Figure 3.1.33] Concept of interlocking and interface with existing data standards ····· 218

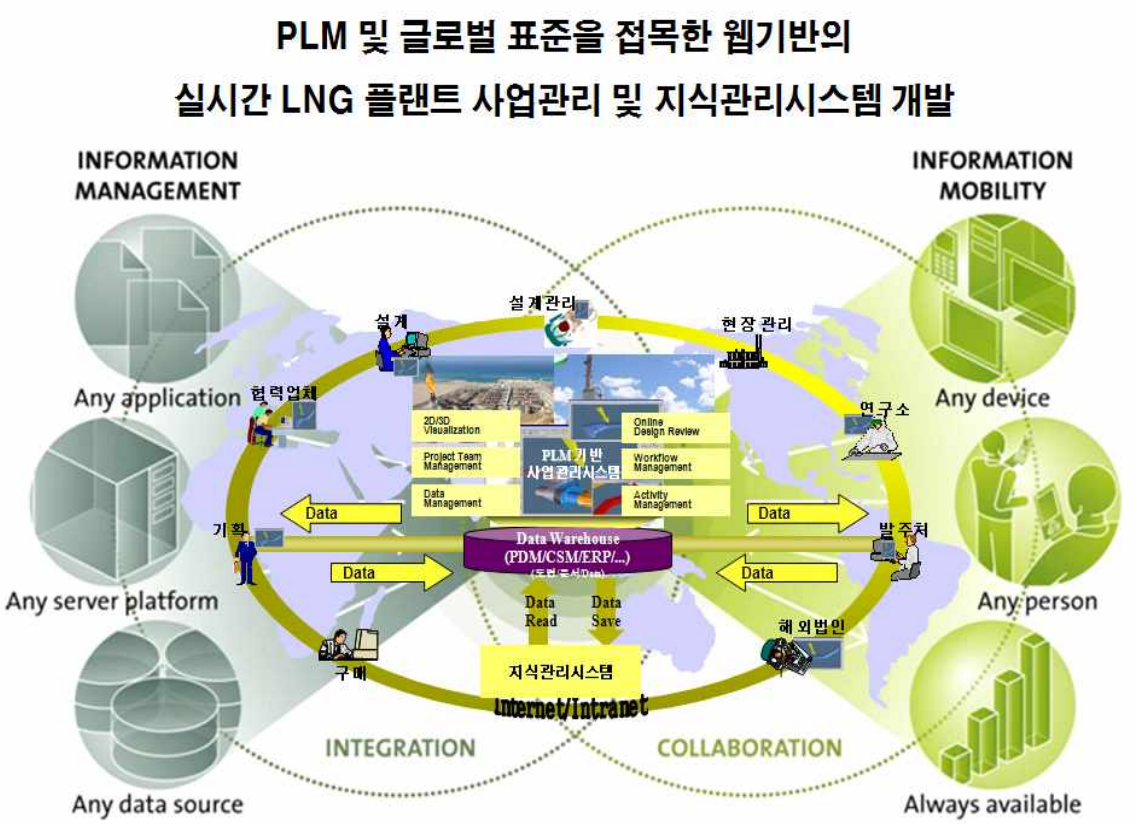
[Figure 3.1.34] DB search on system ····· 219
[Figure 3.2.1] Non-consideration and consideration of integrated model ····· 224
[Figure 3.2.2] Basic form of the statement of financial position ····· 225
[Figure 3.2.3] Basic form of the statement of comprehensive income ····· 226
[Figure 3.2.4] Basic form of the statement of cash flow ····· 227
[Figure 3.2.5] Depreciation and accumulated depreciation ····· 228
[Figure 3.2.6] National tax and local tax ····· 229
[Figure 3.2.7] Monte Carlo simulation using @RISK ····· 230
[Figure 4.2.1] Expected effects of research outcomes ····· 256
[Figure 5.1.1] Methods for utilizing research outcomes ····· 260
[Figure 5.1.2] Plan for and necessity of implementing additional researches ····· 261

제1장 연구개발과제 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 과제는 제1핵심과제인 'LNG플랜트 핵심기반기술 개발'의 제4세부과제인 '엔지니어링 효율성 개선기술 개발' 과제로서 'PLM (Project Life-cycle Management) 및 글로벌 표준을 접목한 웹기반의 실시간 LNG 플랜트 사업관리 및 지식관리시스템의 개발'을 위한 것으로 실용화 사업화를 위주로 하는 핵심기술개발을 목적으로 한다. 이와 같은 목적에 따른 연구 개념 모델은 다음 그림과 같다.



[그림 1.1.1] 연구개발 핵심 목적 개념 모델

1-4-2세부과제의 최종목표는 LNG 플랜트 건설사업을 대상으로 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템과 해외진출사업 타당성분석 모델 개발이다. 이와 같은 연구개발 목적에 따른 세부적인 내용은 다음과 같다.

○ 사업계획 전문가 시스템 개념설계 및 국내외 자료 수집/분석

○ 사업계획 전문가 시스템 실시 설계 및 Prototype 개발

○ 사업계획 전문가 시스템 개발

○ 해외진출사업 타당성분석 모델 개발

○ 사업계획 전문가 시스템 개발 및 사용지침서 개발

○ 해외진출사업 타당성 분석 시스템 개발 및 사용지침서 개발



[그림 1.1.2] 연구개발 목적

상기와 같은 연구개발 최종 목적에 따른 연차별 연구목적을 정리하면 다음과 같다.

1차년도:

○ 국내외플랜트 산업계 전문가 시스템 관련 자료수집

○ 사업계획 전문가 시스템 구성요소 분석

○ 국내외 우수 사례 수집 및 벤치마킹

○ 사업계획 전문가 시스템 개념설계

2차년도

○ 기존제품 검토(기존모델/데이터수집)

○ 사용자 요구사항 조사 및 분석

○ 위험도 평가모델 개념설계

○ 사업타당성 기본 데이터 분석

○ 시나리오 기반 재무적 타당성 평가 모듈 구축

○ 재무적 타당성 평가지침 개발

3차년도

○ 생애주기 분석/자료수집

○ LNG 플랜트 생애주기 비용분류체계 개발

○ 기존제품 검토(기존모델/데이터수집)

○ 사용자 요구사항 조사 및 분석

○ 위험도 평가모델 개념 설계

○ 생애주기비용 데이터 분석 및 기초 DB화

○ 생애주기비용 평가 모듈 구축

○ 생애주기비용 평가 지침 개발

4차년도

○ 선진업체의 연구개발 결과 벤치마킹

○ 사용자 요구사항 조사 및 분석

○ 시나리오 별 위험도 평가 및 Contingency Allowance 반영방안수립

○ 의사결정 데이터 분석 및 기초 DB화

○ 시뮬레이션 모델링 대안 구상

○ 시나리오 기반 의사결정 프로세스 모듈 구축

○ 의사결정모델 활용 지침 개발

5차년도

○ 사업계획 전문가 시스템 구조보완 및 실시 설계

○ 사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발

○ Dummy Test 및 사용자 요구사항 분석

○ 사업계획 전문가 시스템 사용지침 개발

○ 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 1(경제적 타당성 분석)

6차년도

○ 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시 설계 확정

○ 사업계획 전문가 시스템 베타버전 개발 및 Test Bed 및 사용자 요구사항 분석

○ 데이터 연동 및 통합 기초 DB 구축

○ 사업계획 전문가 시스템 사용지침 완성

○ 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 2(경제적 타당성 분석)

연구개발의 목적 설정 근거

본 2세세부과제에서 연구개발 하고자 하는 기술은 전술한 대로 국내에서는 미진한 기술이나 기술 선진국에서는 대부분의 관련 기술이 이미 개발이 종료되었거나 상용화가 완료된 상태에 있는 것으로 판단된다. 따라서 우수사례에 대한 벤치마킹 등을 통한 중간진입전략을 추진해서 연구개발의 성과를 높일 예정이며, 본 2세세부과제에서 개발되는 지침서 등은 개발이 완료되는 즉시 관련 산업계에 제공되어서 활용될 수 있을 것이다.

다만, 본 2세세부과제에서 개발해서 제공하는 지침서 등은 표준적인 성격을 가지고 있어서 이를 활용하고자 하는 기업의 특성 및 내부 규정이나 절차를 반영하여 보다 상세한 지침이나 절차로의 개정 후 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 세세부과제의 연구에 참여한 연구원들은 각 기업체에서 그 성과물을 활용하고자 하는 경우 교육 및 기술지원을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

본 2세세부과제에서 개발되는 모든 소프트웨어는 추후 하나의 시스템으로 통합되고, 이는 Prototype으로 개발된 후 test bed에 대한 적용을 거쳐서 상용화한다. 따라서 2차년도 이후 분야별 적용 및 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 각 세부 모듈 및 지침 개발이 가능하다.

본 2세세부과제는 연구개발의 중복을 피하기 위해서 VR과 3D/4D CAD 기술을 활용한 설계자동화 및 구매자동화를 연구의 대상으로 하지 않는다. 또한 LNG플랜트 건설사업에 특화된 연구개발로 발전소, 소각장등의 다른 유형의 플랜트 건설사업에 대한 직접적인 활용은 어려울 것으로 판단된다. GTL의 경우도 기술적인 상이성 등으로 인해 본 연구개발과제의 직접적인 활용은 어려울 것으로 판단되나, 본 연구과제 초기에 개발하는 LNG 플랜트의 특수성을 고려하면 다른 유형의 플랜트 보다는 활용도가 높을 것으로 판단된다.

2. 연구개발의 필요성

가. 사업계획 전문가 시스템 개발

플랜트 건설사업은 시스템 또는 설비를 대상으로 기획과 타당성 조사, 기본 및 실시설계, 구매·조달, 시공 및 시운전, 운영 및 유지보수 등 전 단계에 걸친 업무를 일괄하여 수행하는 건설분야로 정의된다. 이러한 플랜트 건설사업의 주요 특징은 복잡한 기술 집약형 물적 시스템, 기술 기준서의 산업, 산업설비기술의 역동성, 경험과 노하우가 중요, 고도의 프로젝트 관리기술 요구 등으로 요약할 수 있다. 다른 측면의 플랜트 건설사업의 특성은 다양한 학문과 기술이 결합되어 복잡한 장치를 구성하며, 체계적인 기술기준과 절차서, 경험과 노하우의 축적, 관리기법 등에 의하여 성공 여부가 크게 좌우된다.

국내 플랜트 산업계의 현황을 점검해보면 대형 발전소 건설사업의 경우는 건설사업관리 기술과 종합설계기술, 시공기술, 구매관리기술, 시운전기술 등이 자립되어 있다. 이 대형 발전소 건설사업은 생애주기 최적프로세스가 운영되고 있어 지적소유권 문제만 해결되는 즉시 국제 시장에 진출할 수 있는 국제경쟁력을 확보하고 있다. 그러나 LNG 플랜트의 경우 시공기술은 자립되어 있다고 볼 수 있으나 그 외의 기술은 확보가 미비하여 해외 건설시장에서 경쟁에 필요한 기술개발이 시급한 것으로 판단된다.

해외 LNG 플랜트 건설 시장의 규모는 꾸준히 확대될 것으로 분석되고 있으며 동 플랜트의 건설사업을 수주하여 높은 부가가치를 창출하기 위해서는 지금까지의 시공 위주의 수주가 아닌 EPC 일괄수주가 필요하다. EPC의 일괄수주를 위해서는 건설사업관리 관련 기술의 자립이 필수적인데 본 과제의 수행으로 이를 위한 기반기술을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

중동지역의 경우 고유가에 자극받은 국가들의 가스와 석유화학 등의 시설에 대한 지속적인 투자로 가스플랜트 분야의 수요가 급증할 것으로 예상되며, 아시아를 중심으로 한 개발도상국가의 경제가 지속적으로 성장함에 따라 가스플랜트의 시장은 상당히 확대될 것으로 전망되며 이러한 추세는 상당기간 계속될 것으로 판단된다.

이러한 가스플랜트 시장의 성장은 LNG수요의 증가도 유발했으며 LNG 수요는 연평균 2.3%의 상승을 가질 것으로 예상되며, 2030년에는 현재의 2배 규모의 수요가 창출될 것으로 판단된다. 이에 따라 지속적인 시설투자가 요구될 것으로 전망되며, 기존 생산시설의 보수 및 설비 교체를 위한 시장도 확대될 것으로 판단된다. 특히 아시아-태평양 지역의 43개 플랜트 중 18개가 20년 이상 된 노후설비로 현재도 보수 및 교체를 위한 시장이 증가하고 있어 본 세부과제가 목표로 하는 LNG플랜트 건설사업관리 핵심기술의 확보로 엔지니어링 수행 효율성이 제고될 경우 국내 관련 산업계의 국제경쟁력이 제고되어 해외 LNG플랜트 건설사업의 수주로 수익 확보가 기대된다.

미국 CII(1996)에서는 플랜트 프로젝트에서의 가장 큰 비효율성은 설계 개발 프로세스에서 발생되며, 그 원인은 조달, 시공, 운영 및 - 2008. 03. 프로세스에서 활용될 정보의 부정확성에서 초래되는 것으로 분석하였다. 또한, NIST는 Capital Facilities Industry에서 생애주기(Life-Cycle)를 통해 공유되고 활용되는 정보의 불합리한 운용(Inadequate Interoperability)으로 인한 비용이 $15.8 billion으로 이르는 것으로 분석하였다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 미국 CII 에서는 건설사업 수행 전체 단계에서 유기적으로 통합되고 자동화된 기획, 설계, 관리 환경개발을 위한 사업관리 기반구축 및 핵심 분야의 기술개발을 목표로 대형 산업 프로젝트 관리기술개발 로드맵인 FIATECH (Fully Integrated and Automated Technology)을 구축하고 단계적인 연구를 수행 중에 있다. 이러한 동향에서 알 수 있는 것은 플랜트 건설사업이 지식 및 정보의 집약화로 부가가치를 창출하는 방향으로 전개됨을 알 수 있다.

국내 플랜트 산업계의 현황은 가장 기본이 되는 EPC의 프로세스조차 확립되어 있지 않아서 국제 경쟁력이 취약하며 정보 및 지식집약화는 아직 시작도 못하고 있는 실정이다. 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위해서는 본 과제의 수행으로 최적 프로세스를 개발하여 손실을 막고 사업계획 기술 개발, 건설사업관리 기술 개발, 통합정보 및 지식관리 기술 개발을 수행함으로써 관련 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위한기술기반을 조성해야 할 것이다.

나. 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발

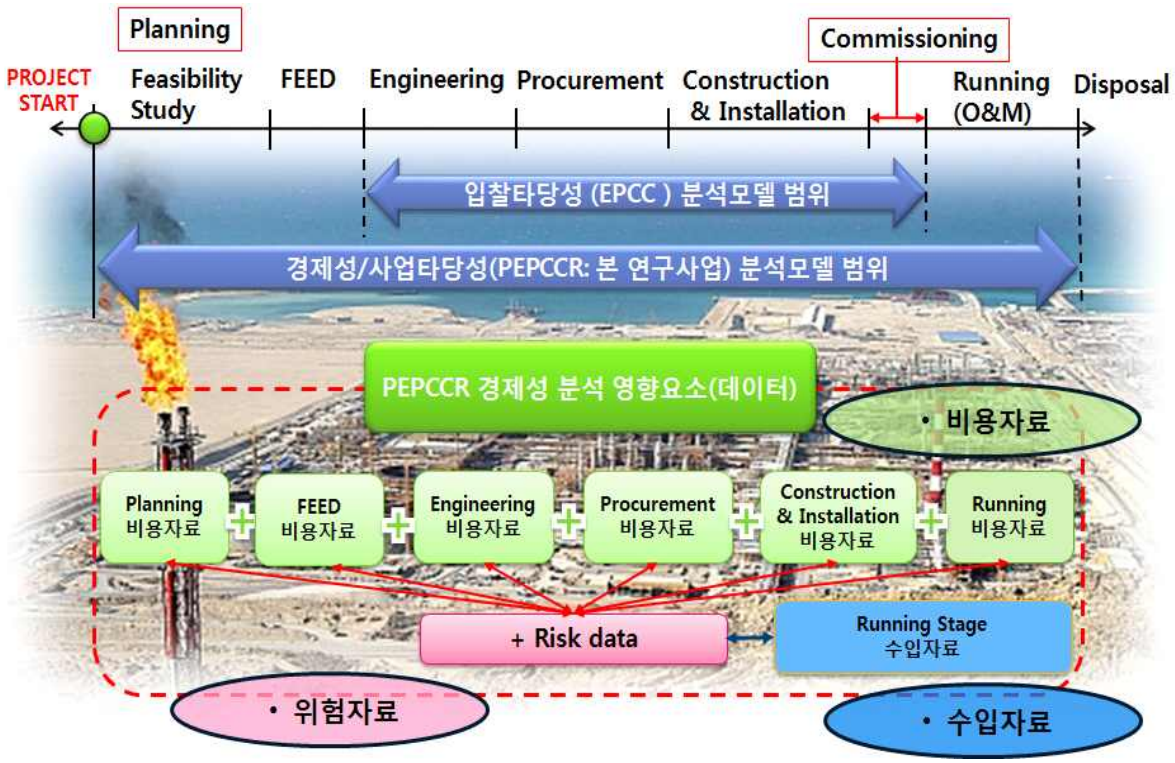
해외진출사업은 막대한 자원의 조달, 대규모의 사업비 소요, 긴 사용시간이 소요되는 사업이다. 따라서 투자에 대한 판단이 잘못 되었을 경우 사업주에게 큰 손실이 발생하며, 계획의 변경 또한 쉽지 않다. 이에 따라 해외진출사업은 초기 단계의 사업에 대한 객관적이고 공정한 타당성 조사로 매우 중요한 분야이다.

상기와 같은 해외진출사업 타당성 분석의 중요성에 따라 본 과업에서는 타당성 분석의 가장 중요 절차인 경제성 분석에 대한 모델을 개발 및 제시한다. 다음의 경제성 분석 모델은 경제성 분석 구성항목 도출, 분석을 위한 기본가정, Risk 분석 방안 등을 포함한 모델이며, 이에 따른 본 모델에서 필요한 비용, 수입, 위험요소에 따른 분석용 자료의 요청 및 조사에 대한 자료를 분석한다.

2절 연구개발의 범위 및 특징

1. 연구개발의 범위

사업계획 전문가 시스템 분석모델 범위는 Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning을 검토하는 모델이고, 해외진출사업 타당성 분석 모델의 범위는 Planning, Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning, Running 이다. 이와 같은 내용의 범위를 도식화하면 다음 그림과 같다.



[그림 1.2.1] 연구개발의 범위

국내 플랜트 건설은 사업계획 및 사업비용 평가를 위한 의사결정 기술이 부족한 상태라 할 수 있다. 현재 각 건설회사들은 현업에서 회사의 특성에 맞게 타당성 분석 및 이와 관련한 유사 시스템을 구축하고 있다. 또한 수주경험이 부족하고 초기 기획 타당성 조사 및 평가, 엔지니어링 정보 및 지식집약화에 필요한 핵심기술 등이 기존 선진업체들에 비해 국제적인 경쟁력에서 기술이 취약하다 할 수 있다.

따라서 본 과업에서는 해외 가스플랜트 건설사업 진출을 위한 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』의 프로토타입을 개발하고자 하며, 이에 대한 시스템 구조는 다음의 그림과 같다.

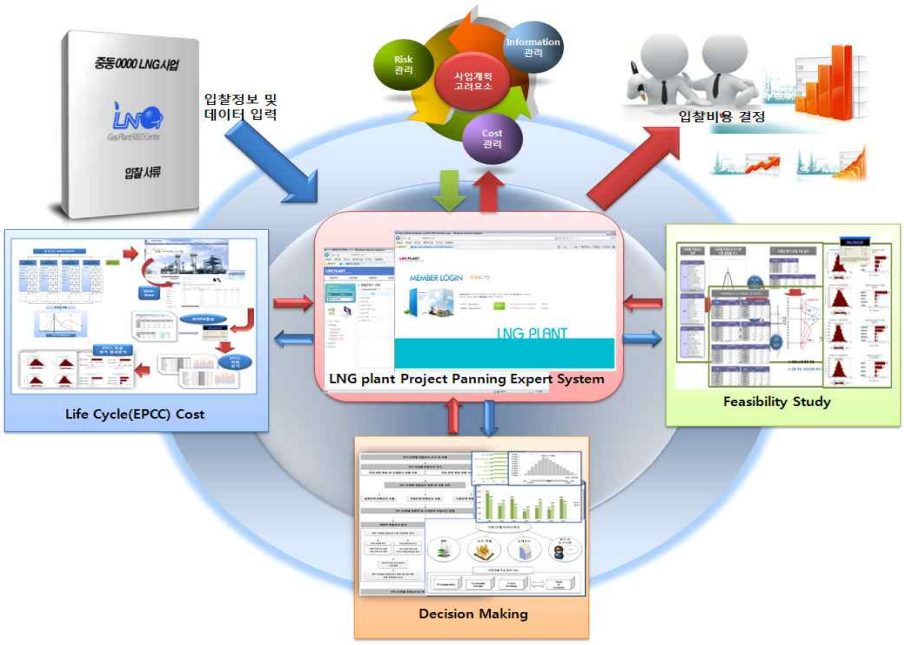


[그림 1.2.2] 연구개발 시스템의 범위

본 과업의 목표는 LNG 플랜트 사업의 기획 및 계획단계에서 타당성 분석과 의사결정 지원을 위한 사업계획 전문가 시스템 개발이며, 이를 위하여 재무적 사업타당성 분석, 생애주기(EPCC)비용 분석 및 의사결정을 모듈의 핵심 구성요소로 한다.

2. 연구개발의 특징

사업계획 전문가 시스템 개발에 따라 이에 대한 사용지침 개발과 사용지침 완성으로 사용자가 이용하기 편한 활용 지침으로 완성할 예정이며, 이에 대한 내용을 그림으로 표현하면 다음의 그림과 같다.



[그림 1.2.3] 연구개발 전문가 시스템의 특징

선진업체 연구개발 사례조사를 통한 벤치마킹, 본 과업인 의사결정 모듈 구성내용 및 사용자 요구사항 조사, 시나리오 구성 및 시나리오 별 위험도 평가, 입찰 타당성 모델링 및 의사결정 기초자료 DB화를 바탕으로 Excel 기반의 @Risk Program을 활용하여 본 과업 결과물인 시나리오 기반 의사결정 모듈을 개발한다. 상기와 같은 본 과업의 결과물인 시나리오 기반 의사결정 모듈과 활용 지침은 추후 타 연구과제와 현업에서 기초자료로써 활용 및 응용 가능할 것으로 판단된다.

본 과업은 현재 LNG 플랜트 사업의 EPCM 프로세스 관리/기술능력 부족에 따른 문제점 해결 방법으로 사업기획 및 계획단계 관리에 대한 생애주기(EPCC)비용 모듈 및 시나리오 기반 의사결정 모듈을 개발하는 것이며, 이를 위하여 생애주기(EPCC) 분석/자료수집 및 생애주기(EPCC) 비용분류체계 개발과 기존제품 검토를 하여 실제 현업에서 실무자들의 면담을 통하여 사용자요구사항 및 분석과 위험도 평가 개념을 도입하여 @Risk를 활용한 Excel 기반의 생애주기(EPCC)비용 평가 Simulation 모듈을 구축하였다. 또한 선진업체의 연구개발 결과 벤치마킹 및 사용자 요구사항을 분석하여 시나리오 구성/시나리오 별 위험도 평가, 입찰 타당성 모델링(시뮬레이션 모델링)을 통하여 시나리오 기반 의사결정 프로세스 모듈을 구축한다.

3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 건설산업 전문가 시스템 활용현황

현재 건설 및 플랜트 산업 전문가 시스템 활용 현황 분석을 통하여 본 과업의 최종 목표인 “시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발”을 위한 개념 설계의 기초자료로 활용하기 위한 분석을 실시하면 다음과 같다.

가. 국내 건설산업 전문가 시스템 활용 현황

(1) ERP(Enterprise Resource Planning)

ERP시스템은 정보기술을 활용한 주문에서 제품출하까지 일련의 Supply Chain과 관리회계, 재무회계, 인사관리를 포함한 기본업무를 지원하는 통합 정보 시스템이며, 기업의 전 부문에 걸쳐 있는 인력, 자금 등의 경영자원을 체계적으로 관리함으로서 생산성을 향상을 위한 시스템으로 활용되고 있다.

(2) CIC(Computer-Integrated Construction)

컴퓨터를 이용하여 설계, 시공, 그리고 유지보수의 통합관리를 위한 건설 산업 관리 시스템이며, 건설 사업의 각 단계에서 정보교환, 공정보고, 공정관리 등의 업무처리를 신속하게 하고, 자재구매, 설계변경 등을 위한 의사결정 속도와 신뢰도를 높일 수 있다.

(3) PMIS(Project Management Information System)

프로젝트 내 주요한 정보의 공유를 통하여 프로젝트 계획 수립 및 실적을 분석하는 시스템이며, 프로젝트에 참여하는 발주처, 설계사, 기자재공급사, 시공사 사이의 정보흐름을 실시간으로 지원하는 체계적인 관리시스템으로 활용하고 있다.

(4) S건설 프로젝트 관리 시스템(PMS)

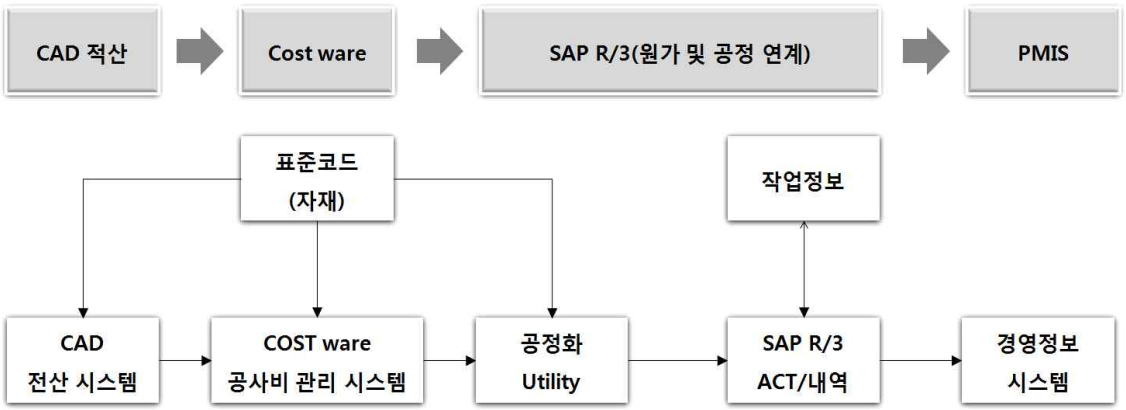
S건설은 PMS EVMS를 기본 모델로 하여 비용 및 공정의 통합관리 기능을 가지고 있다. 또한 통합관리를 위해 CBS(실행내역)를 WBS체계로 편성한 후, 실질적인 작업단위(Work Package)의 공정관리 기능과 연계시켜 착공부터 사용승인까지 일관된 통합관리 단위를 유지하면서 계획대비 실적을 비교 분석하는 시스템으로 활용하고 있다.



[그림 1.3.1] S 건설 PMS 구성도

(5) H건설 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템

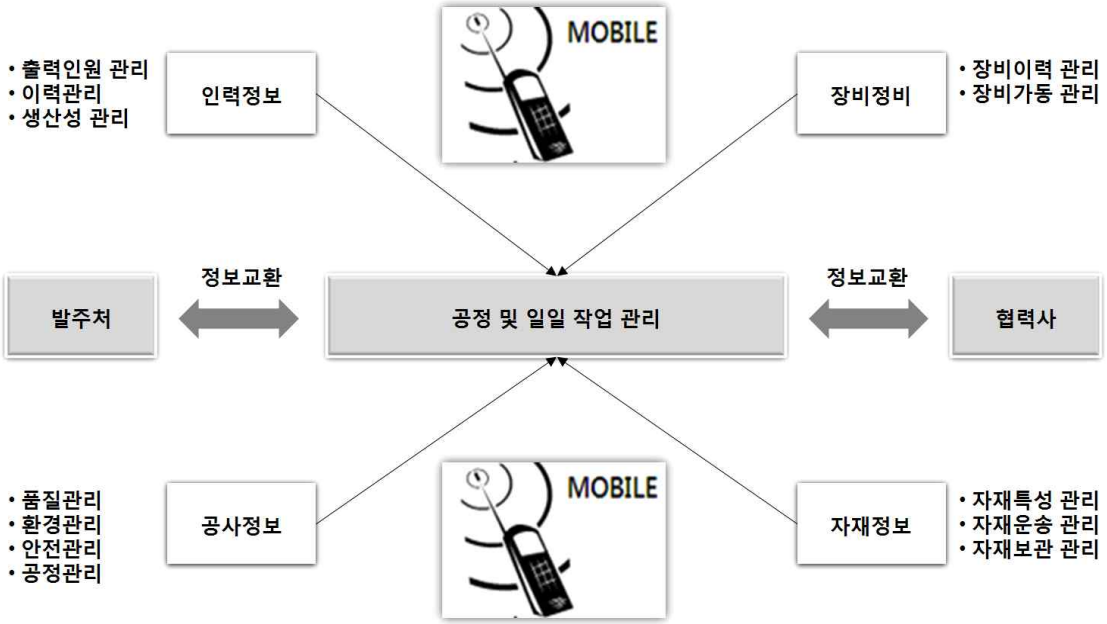
H건설의 ERP 시스템은 프로젝트 비용과 일정에 대한 계획과 실적을 객관적인 기준에 의해 비교 관리가 가능한 EVES를 기본 모델로 하는 통합관리시스템이다. ERP는 도면에서 물량이 산출되는 CAD 적산시스템, 내역 및 예산시스템을 기초로 하여 WBS 및 작업정보를 생성해 주는 공정화 유틸리티시스템으로 구성된다.



[그림 1.3.2] H 건설 ERP 구성도

(6) G건설 TPMS(Total Project Management System)

G건설사에서는 Project management의 핵심인 TRC(Time-Resource-Cost)관리를 중심으로 종합적인 관련 관리 활동을 체계화 하는 개념이다. 협의로는 건설업의 단위 일거리(Task, JOB)의 생산관리 활동 체계에서 광의로는 종합적인 경영관리 활동을 의미하여 다분히 경영전반의 운영체계로 자리하고 있다.



[그림 1.3.3] G 건설 TPMS 구성도

나. 국외 건설산업 전문가 시스템 활용 현황

1999년 미국의 CII(Construction Industry Institute)는 건설비전 2020을 발표하고 프로젝트/플랜트 생애주기의 모든 단계, 모든 프로세스에 걸쳐 고도로 자동화되고 투명하게 통합된 환경을 구축하여 건설 산업 전반의 효율적 관리를 수행하는 FIAPP (Fully Integrated & Automated Project Process) 개념을 제안하였다.

유럽의 경우 미국과 유사한 목표로 1997년 POSC/Caesar 컨소시엄이 결성 되었으며, 현재 산업설비분야의 28개 주요 회사가 참여하여 업무 프로세스의 단순화와 자동화, 사업주 / 설계자 / 시공자 및 공급자 간의 협업 실현을 위해 노력하고 있다. 이러한 건설산업의 효율성 제고를 위한 제안 등이 있은 후 FIAPP 개념의 구현을 위한 다수의 연구개발 단체 및 기구가 창설되었다.

이들 중 최근에 가장 활발한 활동을 보여주고 있는 FIATECH은 프로젝트의 경제적 가치를 극대화하는 것을 목표로 프로젝트 라이프사이클을 통합하고 자동화하는 것을 추진하고 있으며 프로젝트 라이프 사이클의 통합과 자동화를 통해서 시설의 신규 건설과 개조 비용의 8% 절감, 프로젝트 공정의 14% 단축, 보수비용의 5~15% 절감 등을 추구하고 있다. FIATECH은 2007년 발표한 'Capital Project Technology Roadmap Vision'에서 상호 연관 관계를 가진 9가지의 핵심과제를 선정해서 시설의 life cycle 통합과 자동화를 추진하고 있으며 이중 제9과제가 'Life Cycle Data Management & Information Integration'이 제1세세부과제의 연구개발 내용과 같은 맥락이라고 볼 수 있다.

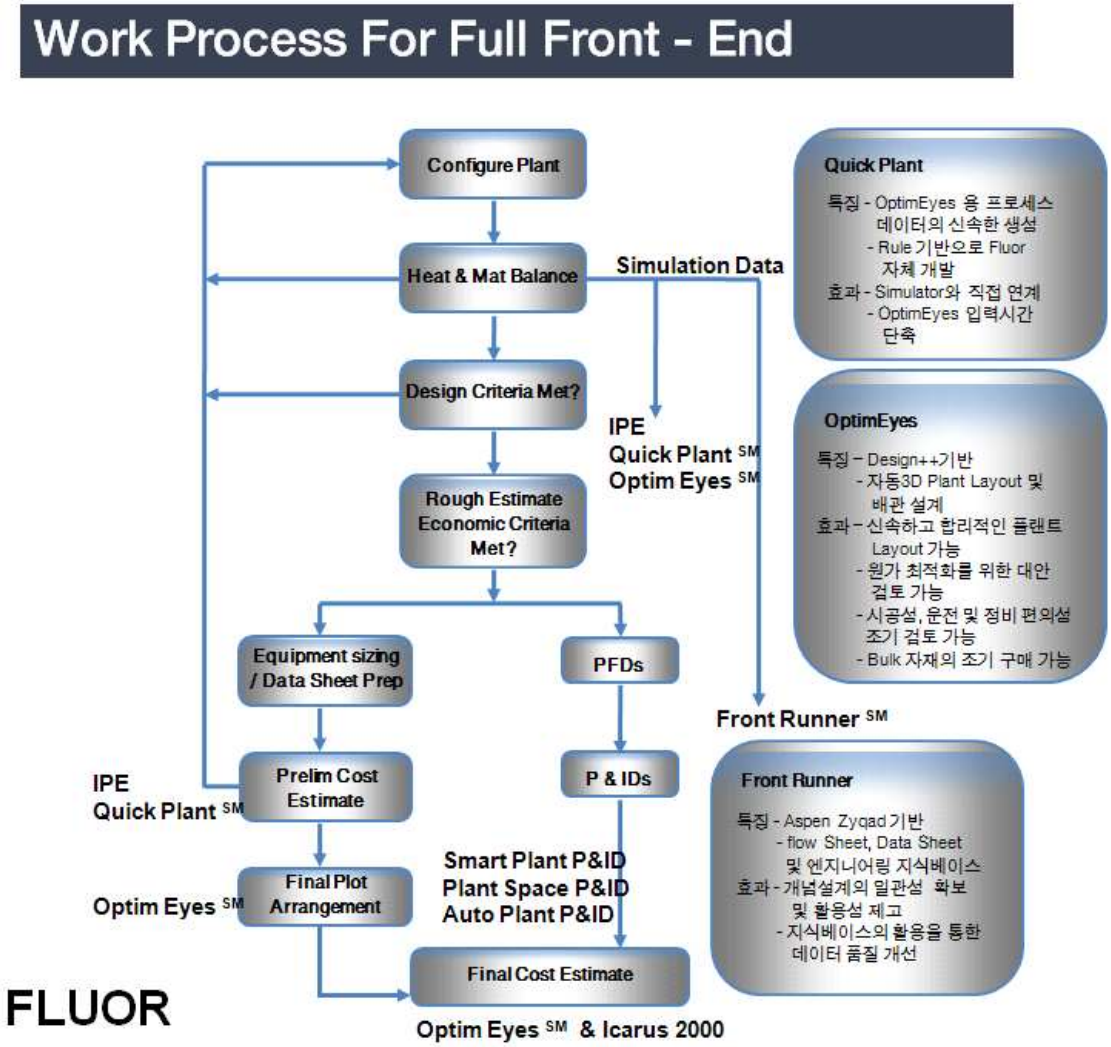
설계가 확정되지 않은 선행단계 (Front-end Phase)에서 플랜트 건설사업의 총 사업비 추정은 추정 예산 대비 프로젝트 종료 시의 총 투입비용의 증감이 최대 + 75% ~ -30%에 달할 정도로 오차가 크며 이로 인한 리스크도 높은 수준이라고 할 수 있다.

LNG 플랜트 건설사업의 타당성은 유가, 국제 금리 변동, 환율, 유가, 입지 및 기반시설, 환경영향, 안전성 등에 민감하여서 이 타당성의 정확한 분석 없이 LNG 생산시설을 신설하거나 확장하는 것은 투자손실을 유발할 위험이 크다고 할 수 있다.

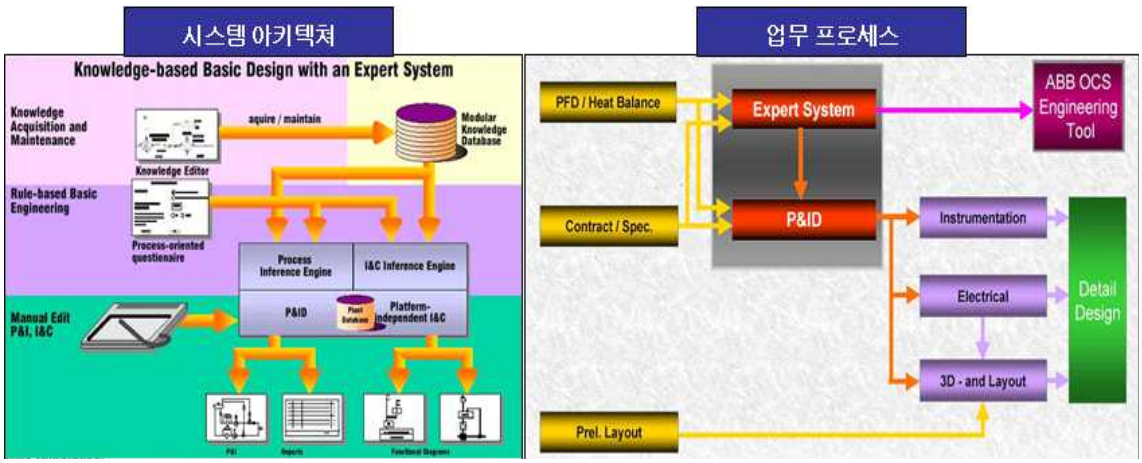
천연가스 보유국들은 이러한 투자 손실을 최소화하고 이윤을 극대화하기 위해서 LNG플랜트의 건설을 착수하기 전에 선행단계의 설계를 확대해서 수행하는 FEED (Front End Engineering and Design) 또는 FEL (Front End Loading)[1]로 명명되는 용역을 발주하여 타당성을 정밀 분석해서 LNG플랜트의 규모, 위치, 착공 시기, 총사업비, 리스크, 예비비 등을 검토한 후 적정시기에 적정 규모의 본 사업을 착수하는 현상을 볼 수 있다.[2]

또한 FIATECH에서는 'Capital Project Technology Roadmap Vision'의 제1 핵심과제로 건설사업의 초기 단계에서 시나리오 기반의 생애주기 비용을 추정하고 타당성을 실시간으로 분석할 수 있는 '시나리오 기반의 사업계획(SbPP: Scenario-based Project Planning)에 대한 연구개발을 추진하고 있으며, SbPP는 향후 설계자동화 시스템과 함께 Flour Daniel사와 ABB사의 Automated FEED 시스템의[3] 기법으로 활용될 것으로 판단된다.

1) 고전적인 플랜트 건설사업에서는 선행단계의 엔지니어링은 개념설계 수준보다 정도가 떨어지는 수준의 설계를 수행하였음.
2) FEED 수행사례 <그림 2.2.1>, <그림 2.2.2> 참조
3) 미국의Flour Daniel사는 Automated FEED 시스템을 활용하여, 짧은 기간에 프로세스 플랜트의 개념설계와 견적을 효과적으로 완료함으로써, 설비투자원가를 줄이고 설계품질을 향상시킴으로써 ROI 및 NPV를 개선함.



[그림 1.3.4] Flour Daniel사 지능형 통합 FEED 시스템

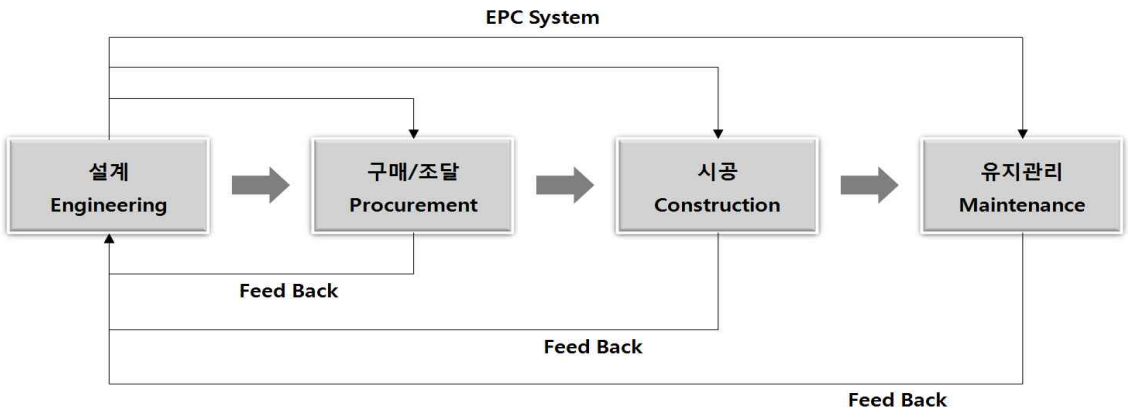


[그림 1.3.5] ABB사 지능형 통합 FEED 시스템

(1) JGC EPCM(Engineering, Procurement, Construction & Maintenance)

일본 JGC사는 EPCM 시스템을 통하여 기획 단계부터 시운전 단계까지의 프로젝트 관리 및 지원 시스템을 독자적인 매니지먼트 체제로 구축하였으며, 플랜트 사업 전반의 Life Cycle 동안 프로젝트 수행, 운전 및 유지보수 등의 서비스를 제공하고 있다.
EPCM시스템은 사업의 설계, 구매, 시공, 유지관리 단계까지 일괄적으로 시스템화 하여 관리하는 플랜트 건설의 전 과정이다. 따라서 EPCM시스템은 검증된 기술력과 시공관리 경험, 사업관리의 노하우 등의 토대가 없으면 추진할 수 없는 분야이다. 일본 JGC사는 고도의 사업수행능력이 요구되는 EPCM시스템을 사업분야에서 가장 최적화된 시스템을 구축하여 사용하고 있다.

사업수행을 위하여 사업의 계획을 수립하고 구매관리의 분석 및 설계를 통하여 시공관리의 기본설계 후 유지관리를 통하여 순차적으로 목표를 향해 나아가는 방식이다. 설계, 구매, 시공, 유지관리 영역에 대한 현업의 요구사항을 우선적으로 파악한 후 상세 설계·분석 과정을 통하여 각 단계별 시스템 구축계획을 수립하고 진행하게 된다.

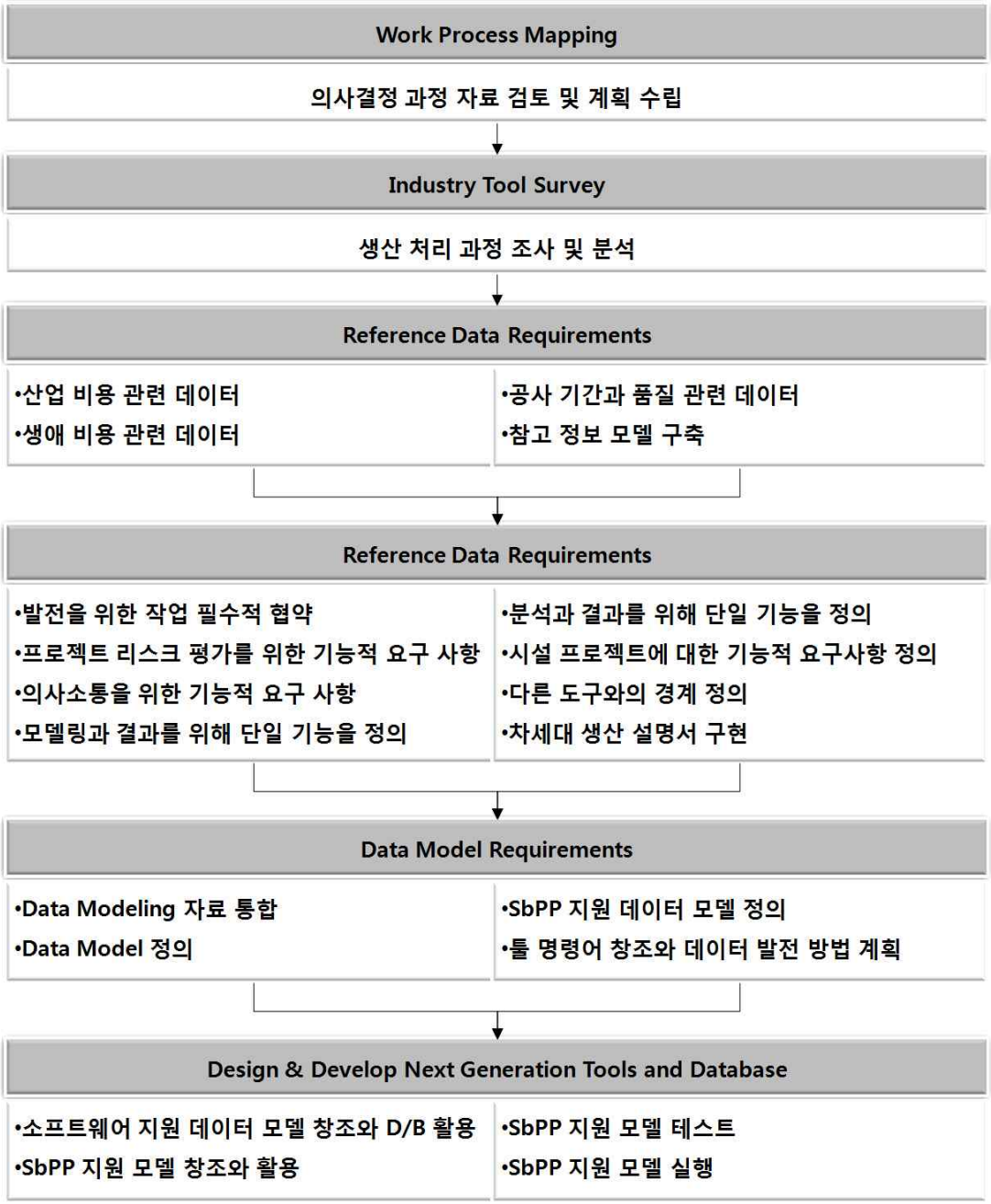


[그림 1.3.6] JGC사의 EPC System 개념도

(2) FIATECH SbPP(Scenario-based Project Planning)

FIATECH의 SbPP시스템은 시나리오별 전략적 대안을 미리 수립하는 경영시스템 기법이다. 이는 기업이 당면한 이슈를 도출하고 이슈별로 의사결정에 영향을 미치는 요소를 추출한다. 그리고 각 요소에 영향을 미치는 변화요인을 선정하고 시나리오들을 조합하여 각각의 대응전략을 수립 후 시나리오들의 전개과정을 검토하는 시스템이다.

상기 기술된 시나리오를 바탕으로 하는 프로젝트의 계획을 FIATECH은 SbPP 시스템을 통하여 프로젝트 계획 및 Life Cycle 동안의 각 단계마다 의사결정시 고려요소와 변수사항들을 프로젝트 계획에 반영할 수 있도록 시스템을 구축하였으며, Capital Project Plan을 위한 서비스를 제공하고 있다.



[그림 1.3.7] FIATECH의 Sbpp 시스템 구성도

(3) 미국방부 FRESH(Force Requirements Expert System)

FRESH는 국방분야의 전문가시스템으로서 미태평양함대의 군사작전수행을 위한 각종 군사지원 규명 및 일정계획 작성을 위해 개발되었다. 이 시스템은 규칙, 제약조건, 개념계층도 등 복합적인 형태로 지식을 표현하고 있으며, 추론은 Generate and Test방법을 택하고 있는 전문가 시스템이다. FRESH 시스템의 특징은 다음과 같다.

첫째 기존 시스템에 대한 확장의 일환으로 개발되었고, Front-end로써 자연어를 이용하여 사용자 인터페이스를 하고 있으며

둘째로 Build a little, test a little, deliver a little 개발전략을 채용했고

셋째로 Knowledge-base와 DB와의 연동화전략을 취하고 있으며

넷째 다양한 분야의 전문가들 사이에 발생할 수 있는 모순점을 해결하기 위해 개발 과정에서 지식기술문서를 이용하였다. 문제해결방법 및 접근방법은 군사작전의 특성에 따라 다르게 하고 있다.

구조화된 작전의 경우에는 과거에 수행된 작전과의 유사성에 근거하여 이들에 관한 자료를 이용하는 방법 등으로 시스템을 개선하여 사용하고 있다. 이와 같이 작전의 구조화 정도, 작전 간의 상호연관성, 작전의 시급성 등에 따라 군사작전을 분류하여 작전수행을 위한 추론방법 및 데이터베이스와의 인터페이스 방식도 군사작전의 특성을 감안하여 사용하고 있다.

(4) 국외 선진 건설회사의 전문가 시스템 현황

국내외 선진 건설회사에서 운용 및 활용되고 있는 전문가 시스템 및 기술수준에 대하여 조사된 내용을 요약하면 다음과 같다.

<표 1.3.1> 세부기술별 국외 주요업체 현황

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
플랜트 솔루션	Bentley(미국)	플랜트 자원관리 솔루션	85%	
Life Cycle Tacking	Goda Software(미국)	Life Cycle Project Management Software Program	85%	
지식관리	ABB 社(미국)	전문가 시스템을 이용한 지식기반 발전소 구축	85%	기기제작, 설계
자동화	FIATECH (미국)	국제공동연구를 위한 컨소시엄으로 국제개방형 표준데이터 모델을 기반으로 한 설계, 구매. 시공의 자동화 추진	85%	
통합 사업관리	Flour Daniel 社(미국)	지능형 통합 FEED(Front End Engineering Design) 시스템 구축	90%	건설사업관리, 종합설계, 견적
EPCM	KBR, Bechtel, Parsons 등	EPCM 수행 능력 보유	90%	건설사업관리, 종합설계
EPCM	CII(미국)	FIAPP 개념 제안	90%	설계, 시공, 유지관리

<표 1.3.2> 세계 주요업체 현황 - 솔루션 공급

업체명		보유 능력	중점 분야
Bently ProjectWise	벤틀리 시스템즈 코리아	- 회사내외의 다양한 부서나, 협력사들과 정보 및 자료를 효율적으로 관리하는 플랜트 자원관리 솔루션 - 플랜트 엔지니어링 정보, 지리정보 및 이와 관련된 문서 관리 지원	- 플랜트 엔지니어링 관리환경
PRIMAVERA	프리마베라 코리아	- 공정 관리 전산 시스템	- 공정관리 솔루션 PRIMAVERA 공급
Goda Software		- Life Cycle Tracking 시스템	- Analyst Pro 공급
Elementool		- Web-based Tracking and Prioritization 시스템	- Bug Tracking 공급
IC Soft		- Productivity Enhancement 시스템	- icTracker 공급

<표 1.3.3> 세계 주요업체 현황 - 엔지니어링, 사업관리, FEED

업체명(국적)	보유 능력	중점 분야
ABB 社(미국)	전문가 시스템을 이용한 지식기반 발전소 구축	기기제작, 설계
FIATECH(미국)	국제공동연구를 위한 컨소시엄으로 국제개방형 표준데이터 모델을 기반으로 한 설계, 구매. 시공의 자동화 추진	
Flour Daniel 社(미국)	지능형 통합 FEED(Front End Engineering Design) 시스템 구축	건설사업관리, 종합설계, 견적
KBR, Bechtel, Parsons 등	EPCM 수행 능력 보유	건설사업관리, 종합설계
CII(미국)	FIAPP 개념 제안	설계, 시공, 유지관리

국내외 기술 및 정책동향, 산업전망 등을 토대로 분석하면 강점과 기회를 극대화하기 위해서는 LNG플랜트 건설사업에 사용할 수 있는 생애주기 통합정보관리시스템의 개발이 필요하며 LNG플랜트 건설시장 진입의 한 방안으로 활용될 수 있는 FEED 수행능력의 확보가 필요한 것으로 판단된다.

2. 국내외 건설산업 전문가 시스템 구성요소

국내외 건설산업에서 활용되고 있는 전문가 시스템의 조사를 통하여 본 연구목적인 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발을 위한 구성요소를 도출하면 다음과 같다.

가. 국내 주요 전문가 시스템 구성요소 벤치마킹

G건설사의 경우 건설/플랜트 사업 수행을 위해 독자적인 프로젝트 매니지먼트 체제를 확립하여 적용하고 있다. 건설/플랜트의 설계부터 자재 조달, 시공, 운용, 유지관리 등 프로젝트 전체 단계에 따라 종합적인 관리를 수행하고 있다. 이러한 관리를 위해 별도의 프로젝트 수행 조직이 구성되며 총책임자인 프로젝트 매니저 그리고 전문 엔지니어 및 각 부문의 스탭으로 분류된다. 이와 같은 G건설사의 건설/플랜트 사업 단계별 세부내용 및 지원 시스템을 내용을 도표화하면 다음과 같다.

<표 1.3.4> 프로젝트 단계별 지원시스템

구 분	세부 내용	지원시스템
기본계획 및 설계	• 프로세스 설계계산 • 프로세스 프로 다이어그램 • 장비, 기기 등의 데이터 시트와 약도 • 배관 및 계장 다이어그램 • 프로젝트 사양서 • 기계 배관도 • 플롯플랜	• 설계업무 지원 시스템 (기본설계업무 지원 시스템)
상세설계	• 기기류 설계계산 • 공사수행 설계계산 • 재료설계 • 도서작성 • 제작도, 시공도 체크	• 상세 설계 지원 시스템 • 업무 지원 시스템
기자재 조달	• 조달업무지원 시스템 • 견적분석 • 제조업자, 협력회사 결정 • 발주 • 검사	• 프로젝트 수행관리 시스템 (Total Project Management System)
건설공사	• 건설업무지원 • 공사계획 • 가설공사 • 현장관리 • 시행 • 시운전 • Start-up	• 프로젝트 수행관리 시스템 (TPMS) • 공사 진행 진도율 검사 시스템

상기 표에서 정리된 G건설사의 프로젝트 단계별 지원 세부내용의 구성에 따라 사업계획 단계별 구성요소를 조사하여 정리하면 사업계획 시 시장분석, 적용기술의 검토, 공동연구개발, 장치구성, 능력검토, 코스트 분석 및 파이낸스 계획, 공적기관과의 조달, 사업전체 계획 수립 등의 내용을 중심으로 하고 있다. 이러한 G건설사의 사업계획 구성요소의 세부내용을 정리하면 다음과 같다.

<표 1.3.5> G건설사 사업계획 구성요소

업무 구분	세부 내용
시장분석	• 사업참여 필요성 • 제품의 수요공급현황 및 전망 • 사업참여의 효과
적용기술의 검토	• 과거 실적 기술 자료와 적용 기술 자료 간의 비교 및 분석 • 선진 기술 도입을 위한 정량적 실험 결과 검토 및 적용
공동연구개발	• 발주국가와 EPC 업체 간의 협력체계 형성을 통한 연구 개발 • 공구별 또는 분할 발주 시 EPC 업체 간의 체계적인 시공관리 연구 개발
장치구성	• 전처리 시설물의 배관 및 저장시설 관리사무소 간의 적절한 구성비 계획 • 시설물 내의 업무 및 이동 동선과 LNG 입·출입 공간의 연관성 검토
능력검토	• EPC 업체의 기존 사례를 통한 사업 수행 능력 검토 • 업무 영역에 따른 인력, 일정, 기술 능력 검토
코스트 분석	• 내부수익률을 계산 하는 등 경제적 타당성을 검토 • 사업비 대비 수익금 간의 상호 비교표 작성 • 초기 시공에 따른 비용과 운용에 따라 발생되는 관리비 계획 검토
프로젝트 파이낸싱	• 사업주 간의 지분 출자 구조와 지분 구조를 계획 및 설정 • 사업비 상환과 자원 수출 금액 간의 연차별 계획 수립
공적기관과의 조달	• 발주국가의 담당 기관과 재무출자자, EPC 업체 간의 업무 효율화 체계수립 • 시설물 구성을 위한 자재의 조달 일정 및 적정 물량 계획 수립. (자체 조달 물량과 수입에 의한 자재 물량 계획 및 확보 방안 수립)
사업전체 플랜 수립	• 사업주(발주국가, 재무 출자자)와 EPC 업체간의 계약 관계 그리고 적정 사업비 조율 • 사업 전체 기간에 따른 공정 진도율 관리 계획과 자재 조달 일정 계획 수립 • 시공 기간 중 발생되는 위험 요소에 대한 방안 수립 • 완공 후 사후 운용기간 중에 발생되는 유지관리 항목 및 비용 계획 수립 • 장기 구매자의 LNG 수출량에 따른 비용의 분할 방법 및 사업비 상환 계획

나. 국외 주요 전문가 시스템 구성요소 벤치마킹

SbPP는 프로젝트의 모든 투자자들의 요구를 최대로 만족시키는 프로젝트 계획에 관한 상호 보완적인 평가서를 제공한다. 즉 사업 수행 계획 절차에 필요한 비용과 일정 그리고 전체 생애주기에 따른 의사결정 내용 등에 요구되는 사항을 제시한다. 시나리오에 입각한 프로젝트 계획이 고려하여야 하는 변수사항은 다음과 같다.

시나리오에 입각한 프로젝트 계획은 수행 과정의 복잡한 업무 연계관계 속에서 필요한 많은 변수들을 포함하고 있다. 이러한 변수는 프로젝트의 특성에 따라 중요도와 발생 여부도 상이하며 시나리오에 입각한 프로젝트 계획 시 고려 변수를 정리하면 다음과 같다.

<표 1.3.6> FIATECH의 시나리오 구성요소

변 수	세부 사항
부지 선정	● 시장위치 ● 원자재 위치 ● 수학적 가능성 - 수입과 지출 ● 정치적 사회적 기후 ● 환경적인 영향 - 폐수, 공기오염, 사회적 요소들 ● 개인적인 위험 - 폭발의 가능성, 독극물 노출 ● 세금 감면 ● 정부의 승인 - 국제적, 국내적, 건물, 배관, 고속도로, 철로, 항공, 항로, 항공기, 환경 ● 인력 - 노동연합, 기술수준 ● 지역 토질, 지하수, 지질학적 특성 ● 기반시설 - 이용 가능한 서비스 - 전기, 전화, 물, 철길, 고속도로 ● 비용 - 에너지비, 건설 및 운영(인건비)
시설 기술	● 기술수준 여부 판단 ● 경쟁적 여부 - 세계수준의 재조업 ● 대안들 - 낭비물 처리, 매각조건, 에너지 소비
프로젝트 전략	● 전후 선적 ● 제품 디자인 ● 건설 - 각 부재의 조합 대 모듈 건설 ● 계약 - 일괄지급 방식, 실비정산 보수가산식 방식, 부가수익 ● 프로젝트 정보 전략 (협동, 작업 흐름, 서류 관리)
출처/획득	● 가공된 장비 ● 부지 재료 ● 필요 인력 ● 원자재 ● 국내 대 국제 자재의 비교 ● 계약 서비스
스케줄	● 시작 시간 ● 도달 능력의 비율
프로젝트 예산	● 자본 ● 자금흐름의 요구사항 및 제약사항
위험분석과 지속적인 계획 그리고 탈출 전략	● 과정/구조기술 ● 수학적 계산 - 제품 양도 여부 ● 경제 위험 (프로젝트의 경제적 상태, 시장 가정 사항) ● 환경적 위험 ● 계약상의 위험
정보 재산	● 정보이전에 대한 내용 요구사항 ● 정보이전(서류, 데이터베이스, 문서 등)에 대한 양식 요구사항 ● 정보기간 동안의 이용가능성과 타이밍
사업 요구사항의 융통성	● 수용능력의 융통성 ● 제품의 융통성 ● 질의 융통성

3. 사업계획 전문가 시스템 개발을 위한 구성요소 도출

국내외 사업계획 전문가 시스템의 구성요소를 바탕으로 사업타당성, Cost 관리, 계약관리, 위험관리의 구성항목을 기준으로 하여 벤치마킹한 내용을 바탕으로 한다. 구성항목의 세부내용을 중심으로 구성요소를 재정립 한 결과 벤치마킹 사례 중 정보관리를 추가 도출할 수 있다. 선행된 세부내용을 정보화 시켜 향후 유사 의사결정시 지원하게 한다. 상기 내용을 정리하여 사업계획 전문가 시스템 구성요소를 도출하면 다음과 같다.

<표 1.3.7> 사업계획 전문가 시스템 구성요소

구성 항목	항목별 세부 내용
사업 타당성	• 시장 위치 및 원자재 위치 • 국내 및 국외 플랜트 시장의 수급동향과 전망 • 자재, 인력, 기반시설, 비용의 적정성 • 국가 및 지역 경제에 미치는 영향 • 사업 수행 기술 능력과 공사기간의 적정성
Cost 관리 (원가/견적관리)	• 자금흐름의 요구사항 및 제약사항 • 투자비 회수 기간과 내부 수익률 분석 • 계약 방식에 따른 기성금 지급 계획 • 시설물 대비 사업비의 적정성 • 발주국가의 경제적 상황 및 위험
계약 관리	• 계약 서비스 및 위험 • EPC 업체 간의 계약 현황 • 시설물 구성 자재와 조달 일정에 따른 계약방식
위험 관리	• 자재 및 공정 진도의 일정에 대한 위험 • 사업 수행 능력에 대한 기술적 위험 • 경제, 정치, 사회적 위험 • 투자 대비 수익성에 대한 위험 • 정부의 정책 변화에 대한 위험 • 시설물 운영 방안에 대한 위험요소 관리
정보 관리	• 플랜트 산업계 프로젝트 및 프로세스 수집 • 참조데이터 요구사항 정립 • 정보모델 구축 • 시나리오 요구사항을 수집 • 의사결정 지원

기존 국내·외 선진업체의 연구개발 사례를 조사하였으며, 사례 분석을 통하여 벤치마킹 주요요소를 도출하였다. 또한, 벤치마킹 요소를 기반으로 추후 개발된 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 주요 구성요소를 도출 및 적용하였다. 상기와 같은 선진업체 연구개발 사례조사 및 벤치마킹 요소는 추후 연구에서의 기초자료로 활용이 가능하다.

4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

1. 플랜트 사업 분야

EPC 플랜트사업의 사업관리분야: 본 연구 결과를 통해 제시된 결과를 LNG가스플랜트 분야 이외의 EPC 플랜트 사업분야 전반에 기술이전을 통해 도입할 경우 각 분야별 EPC 플랜트 관리 사업관리 역량 조기 확보 및 국내 공공 시설물뿐만 아니라 민간 시설에도 기술 커스터마이징 후 도입 가능하다.

구축 데이터의 재활용을 통한 플랜트산업 활성화 정책 지원: 구축 예정인 각종 LNG 가스플랜트 데이터의 활용 고도화가 예상되며, 이를 기반으로 한 관련 산업의 활성화 도모 가능하다. 사업투자 및 사업관리 의사결정을 체계적이고 시스템적으로 할 수 있는 토대를 마련하여 플랜트산업 활성화 정책 지원 가능하다.

2. 관련분야 융합

제조, 기계, 전기, 원자력 등 타 분야에 파급효과 발생: 국내 타 분야 시장에 대한 사업기획, 사업관리 분야의 역량 고도화 가능하며, 해외사업의 경험을 토대로 국내 타 산업분야의 사업관리 역량 글로벌화 추진 가능하다.

IT기술, RFID 기술 등 타 분야 산업 활성화 기대: 본 연구의 종료 시 발생하는 성과물은 기존 사업관리 활동을 실시간 모니터링기반의 첨단 데이터획득기술로 전환할 수 있는 기반이 되며, 관련산업의 활성화를 기대할 수 있다. 또한 RFID 등 새로 개발된 센서들이 상용화되어, 각종 교통 및 물류, 시설물관리 등 다양한 서비스시장이 점차 가시화될 경우, 현재의 가스플랜트를 포함한 EPC 플랜트 전체시장의 확대 추세를 고려하면, 보다 확대된 시장 형성이 가능할 것으로 판단된다.

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구수행 전략

본 세부과제의 추진전략은 국내 우수사례 및 선진국의 현황을 벤치마킹해서 개선상태의 프로세스 모델(To-Be Model)을 설정하고 국내 플랜트 산업계의 현황을 분석하여 개선 전 프로세스를 모델 (As-Is Model)화 해서 As-Is Model을 선진국 수준의 To-Be Model로 신속하게 접근시키는 중간진입전략을 추진한다.

개발될 성과물을 LNG플랜트 해외 수주를 희망하는 기업에 판매 또는 제공함으로써 2015년까지는 관련 산업계의 프로젝트 사업 기획 및 계획 단계의 사업타당성 평가, 생애주기 비용 평가, 의사결정 능력이 관련 기술 선진국의 기업 대비 90% 수준에 도달한다. 또한 본 과제의 수행과정에서 개발된 자료들은 별도 편집 출간할 예정이며 건설기술자 법정교육을 수행하는 교육기관이나 대학과 연계하여 플랜트 건설기술자에 대한 교육과정을 개발 시행함으로써 플랜트 건설기술자의 육성에도 일조한다.

국제적으로 저명한 연구기관과 기술교류를 위한 연구협약을 체결할 계획이며 지속적인 학술발표회 및 세미나 등으로 산학연의 연계체계 구축을 추진함과 동시에 논문발표, 개발된 소프트웨어의 등록 등 연구 성과의 전파 및 활용을 위해 연구를 수행한다.

<표 2.1.1> 연구 추진 참여 기관

과제명			연구기관	연구 책임자	비고 (기관참여유형)
LNG 플랜트 핵심기반기술 개발			한국건설기술연구원	황인주	주관
	엔지니어링 효율성 개선기술 개발		(주)한길아이티	김병진	협동
		LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발	(주)한길아이티	김병진	협동
		LNG 플랜트 생애주기 최적 업무프로세스 및 지식정보관리기술 개발	경희대학교	이준복	위탁
		시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발	중앙대학교	김용수	공동
		위험기반의 사업 및 공정관리기법 개발	한국건설기술연구원	박환표	공동
		수행단계별 위험관리 평가기법 개발	연세대학교	한승헌	공동

단계	연도	협동연구기관	공동연구기관	위탁연구기관
1단계	1차년도 ('08.12.26~'09.04.17)	(주)한길아이티	중앙대학교 한국건설기술연구원	경희대학교 연세대학교
	2차년도 ('09.04.18~'10.04.17)	(주)한길아이티	중앙대학교 한국건설기술연구원 연세대학교	경희대학교
2단계	3차년도 ('10.04.18~'11.04.17)	(주)한길아이티	중앙대학교 한국건설기술연구원 연세대학교	경희대학교
	4차년도 ('11.04.18~'12.04.17)	(주)한길아이티	중앙대학교 한국건설기술연구원 연세대학교 경희대학교	
3단계	5차년도 ('12.04.18~'13.04.17)	(주)한길아이티	중앙대학교 한국건설기술연구원 연세대학교 경희대학교	
	6차년도 ('13.04.18~'15.012.17)	(주)한길아이티	중앙대학교 한국건설기술연구원 연세대학교 경희대학교	

가. 연차별 연구 추진 전략

상기와 같이 구성된 연구 추진 조직 중 1-4-2 세부를 담당하는 중앙대학교의 연차별 연구 추진 전략은 다음과 같다.

<표 2.1.2> 연차별 연구 추진 전략

단계	연도	연구목표	주요연구내용
1단계	1차년도	■ 국내외플랜트 산업계 전문가 시스템 관련 자료수집	- 전문가 시스템 관련 현행 자료 수집 - 현행 기술수준 분석
		■ 사업계획 전문가 시스템 구성요소 분석	- 일반적 전문가 시스템의 구성요소 분석 - FIATECH의 연구결과 벤치마킹 - 산업계의 필요 구성요소 면담조사
		■ 국내외 우수 사례 수집 및 벤치마킹	- 국내 우수사례 수집 / 해외 우수사례 수집 - 사례분석 및 벤치마킹
		■ 사업계획 전문가 시스템 개념설계	- 핵심 모듈 구성 - 사업계획 전문가 시스템 구조 설정 - 업무체계 분석 - 입출력 설계

<표 2.1.2> 연차별 연구 추진 전략(상기 표 계속)

단계	연도	연구목표	주요연구내용
1단계	2차년도	■ 기존제품 검토 (기존모델/데이터수집)	- 타당성 분석 관련 기존 모델/제품 자료 수집 - 기존 모델/제품 자료 분석 - 기존 모델/제품의 장단점 분석 - 기존 시스템에 대한 개선방안 수립 및 실현 가능성 검토
		■ 사용자 요구사항 조사 및 분석	- 면담/설문 조사서 작성 - 관련 기업, 협회 등 설문조사 실시 및 결과분석 - 사용자 요구사항 분석서 작성
		■ 위험도 평가모델 개념설계	- 위험변수 확인 - 위험분석기법 검토 - 위험도 평가모델 개념설계
		■ 사업타당성 기본 데이터 분석	- 필요 자료 확인 및 분석
		■ 시나리오 기반 재무적 타당성 평가 모듈 구축	- 분석에 필요한 데이터 정의 - 재무적 타당성 평가 모델링
		■ 재무적 타당성 평가지침 개발	- 평가시스템의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석
2단계	3차년도	■ 생애주기 분석/자료수집	- LNG 플랜트 생애주기 분석 (사업단내 타 분야 연구결과 활용) - 건설이 종료된 LNG 플랜트의 시공지역, 기간, 총사업비, 사업의 범위, 설비용량 등의 자료 수집 - 설계/엔지니어링 관련 기초비용자료 수집 - 시공 관련 기초비용자료 수집 - 운영유지 관련 기초비용자료 수집
		■ LNG 플랜트 생애주기 비용분류체계 개발	- LNG 플랜트 건설의 개략적인 WBS 조사 - 생애주기비용 분류체계 개발
		■ 기존제품 검토 (기존모델/데이터수집)	- LCC 분석 관련 기존 모델/제품 자료 수집 - 기존 모델/제품 자료 분석 - 기존 모델/제품의 장단점 분석 - 기존 시스템에 대한 개선방안 수립 및 실현가능성 검토
		■ 사용자 요구사항 조사 및 분석	- 면담/설문 조사서 작성 - 관련 기업, 협회 등 설문조사 실시 및 결과분석 - 사용자 요구사항 분석서 작성
		■ 위험도 평가모델 개념 설계	- 위험변수 확인 - 위험분석기법 검토 - 위험도 평가모델 개념설계
		■ 생애주기비용 데이터 분석 및 기초 DB화	- 필요 자료 확인 및 분석 - 데이터 모델링 - 필요 자료의 DB화 방안수립
		■ 생애주기비용 평가 모듈 구축	- Life Cycle Costing 기법에 의한 분석 절차 수립 - 분석에 필요한 데이터 정의 - 생애주기비용 평가 모듈
		■ 생애주기비용 평가 지침 개발	- 평가시스템의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석

<표 2.1.2> 연차별 연구 추진 전략(상기 표 계속)

단계	연도	연구목표	주요연구내용
2단계	4차년도	■ 선진업체의 연구개발 결과 벤치마킹	- 선진업체 또는 이와 유사한 연구개발 사례조사 (예: FIATECH Element 1등) - 연구개발 사례 별 추진 현황 및 성과 분석 - 본 연구에 적용을 위한 세부사항에 대한 벤치마킹
		■ 사용자 요구사항 조사 및 분석	- 면담/설문 조사서 작성 - 관련 기업, 협회 등 설문조사 실시 및 결과분석 - 사용자 요구사항 분석서 작성
		■ 시나리오 별 위험도 평가 및 Contingency Allowance 반영방안수립	- 위험변수 확인 - 위험분석기법 검토 - 시나리오별 정보흐름 및 리스크 분석 모델링 - 위험도 평가시스템과 연계방안 - 의사결정에 활용 가능한 Contingence Allowance 반영방안
		■ 의사결정 데이터 분석 및 기초 DB화	- LNG플랜트의 비용 추정을 위한 산업계 데이터 검토 (단위 생산량 당 투자비, 사고발생율, 신뢰도 등) - 산업계 데이터의 존재 유무 확인 및 산업계 데이터의 획득 및 활용 방안 분석 - LNG플랜트에 대한 산업계의 관련 데이터가 존재하지 않는 경우에 대한 추정방안 수립 - 모델링 및 시뮬레이션 시 참조해야하는 정보 수집 및 분석 (유가, 환율 등) - 참조 데이터의 DB화(획득, 유지, 갱신 방안 수립)
		■ 시뮬레이션 모델링 대안 구상	- 적용 가능한 시뮬레이션 기법 검토 및 선정 - 시뮬레이션 모델링 구상 - 입출력 및 프로세스 설계
		■ 시나리오 기반 의사결정 프로세스 모듈 구축	- LNG 플랜트 Stake Holder 결정 및 Stake Holder들의 관심사항 분석 - LNG플랜트 건설사업의 초기부터 Stake Holder의 의사결정 프로세스 분석 (기 연구결과인 프로세스 맵을 토대로 분석) - 프로세스 별 의사결정 주요변수 발굴 및 분석 - LNG 플랜트 건설사업의 타당성 결정을 위한 의사결정 시나리오 설정 및 시뮬레이션 모듈 - 시뮬레이션 모델링 결과의 분석 및 보완
		■ 의사결정모델 활용 지침 개발	- 의사결정 모델의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석

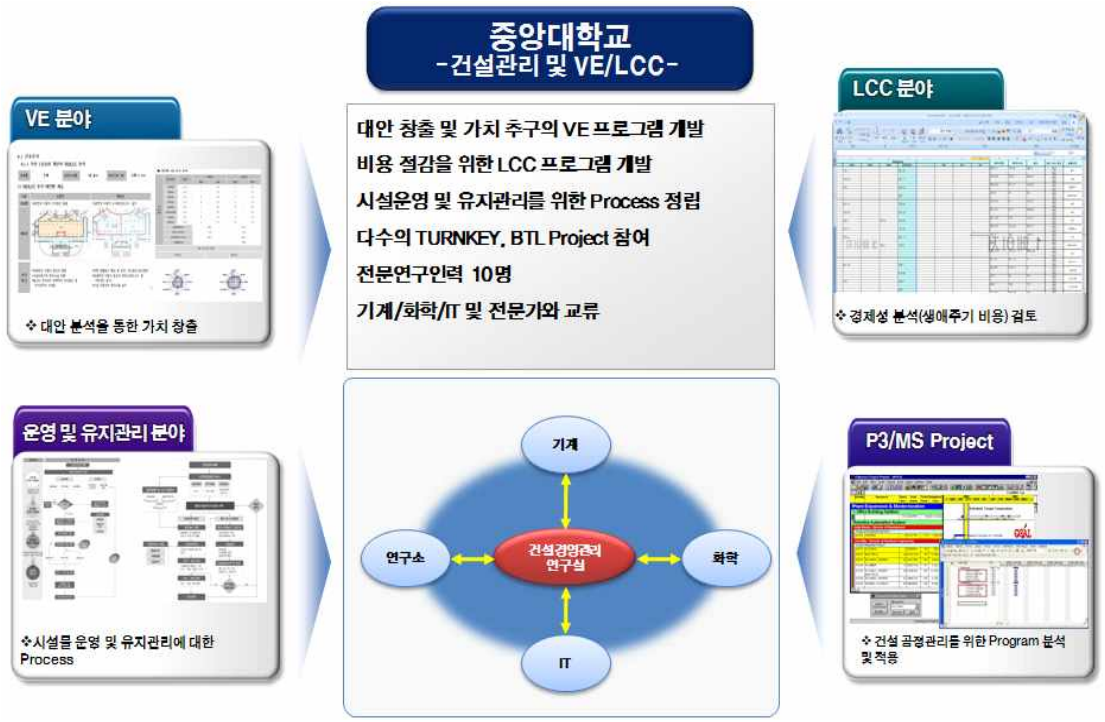
<표 2.1.2> 연차별 연구 추진 전략(상기 표 계속)

단계	연도	연구목표	주요연구내용
3단계	5차년도	■ 사업계획 전문가 시스템 구조보완 및 실시 설계	- 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계 - 시스템의 타당성 및 신뢰성 검토
		■ 사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발	- 사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발 절차 - 시스템 개발 Tool 검토 및 선정 - 사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발
		■ Dummy Test 및 사용자 요구사항 분석	- Dummy Test 실행 및 시스템 수정보완(계속) - 예비 사용자들의 시스템 테스트 및 사용자 요구사항 반영(계속)
		■ 데이터연동 및 통합 기초 DB 구축(계속)	- 기존의 데이터 표준(Excel, MS SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발(계속) - 참조자료의 수집 및 통합 기초 DB화(계속)
		■ 사업계획 전문가 시스템 사용지침 개발	- 사업계획 전문가 시스템의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석
		■ 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 1 (경제적 타당성 분석)	- 타당성분석 개요 및 절차 - 타당성분석 범위 및 내용 - 경제적 타당성 분석 모델 개발 - 분석용 자료 요청 및 조사(계속):비용, 수입, 위험
	6차년도	■ 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시 설계 확정	- 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계 확정 - 시스템의 타당성 및 신뢰성 검토
		■ 사업계획 전문가 시스템 베타버전 개발	- 사업계획 전문가 시스템 베터버전 개발 절차 - 시스템 개발 Tool 검토 및 선정 - 사업계획 전문가 시스템 베터버전 개발
		■ Test Bed 및 사용자 요구사항 분석	- Test Bed 실행 및 시스템 수정보완 - 예비 사용자들의 시스템 테스트 및 사용자 요구사항 반영
		■ 데이터 연동 및 통합 기초 DB 구축	- 기존의 데이터 표준(Excel, MS SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발 - 참조자료의 수집 및 통합 기초 DB화
		■ 사업계획 전문가 시스템 사용지침 완성	- 사업계획 전문가 시스템의 체계 완성 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석
		■ 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 2 (경제적 타당성 분석)	- 경제적 타당성 분석 모델 개발 - 분석용 자료 요청 및 조사(계속):비용, 수입, 위험자료 - 비용·수입 분석 - 모델 테스트, Risk분석, 타당성 분석 종합
		■ 상용화 계획 수립	- Test Bed 적용 후 관련업체들의 기술이전 방안 계획 - 기술의 상용화 계획

나. 연구 추진 기관의 전략 및 역량

제2세세부과제 연구책임자인 중앙대학교 김용수 교수는 건설관리 (Construction Management:이하 CM)를 전공하여 현재 대학 강단에서 학생들에게 CM을 강의하고 있으며, 세부전공으로는 Life Cycle Cost(이하 LCC) 및 Value Engineering(이하 VE) 분야의 논문으로 학위를 받아 VE 및 LCC 분야에 전문가로써 활동하고 있다. 또한 건설경영관리 연구실의 책임자로서 최근 주요수행 연구로는 Turn-key, Build- Transfer -Lease Project의 VE/LCC 분석 및 운영관리에 관한 보고서를 37개 과제 중 21개의 과제를 성공적으로 당선시켰다. 특히 본 연구책임자의 VE/LCC 수행을 통해 확보한 타당성 분석 기법, 비용분석 기법, 다각적인 시나리오 설정 등은 당해 세세부과제의 목표인 LNG Plant에 대한 시나리오 기반의 사업기반계획 전문가 시스템 개발을 성공적으로 수행할 수 있는 기반기술인 것으로 판단된다.

- 제2세세부과제의 협동기관으로 참여하는 중앙대학교 건설경영관리 연구실은 다양한 생애주기비용 분석 및 경제성 검토 등의 분야에서 탁월한 연구실적을 가지고 있으며, 매주 3회 브레인스토밍을 통하여 건설분야의 새로운 시장 개척을 위하여 관련 논문 및 실제 건설 Project를 중심으로 연구하고 있으며, 연구원 및 project 구성원들의 서로 도움이 될 수 있는 파트너로서 사업을 성공적으로 수행할 수 있게 운영하고 있다.



[그림 2.1.1] 협동연구기관-중앙대학교 추진역량

- 중앙대학교는 국가 R&D 사업 등 연구를 효율적으로 운영하기 위하여 연구비 관리 및 행정지원을 위한 종합연구관리시스템을 웹(http://san.cau.ac.kr/)으로 구축하여 효율적인 과제관리 및 운영을 하고 있다.

- 본 세부과제의 제2세세부과제의 공동기관으로 참여하는 중앙대학교 건설경영관리 연구실은 다양한 생애주기비용 분석 및 경제성 검토 등 분야에서 탁월한 연구실적을 가지고 있으며, 매주 3회 브레인스토밍을 통하여 건설분야의 새로운 시장 개척을 위하여 관련 논문 및 실제 건설 Project를 중심으로 연구하고 있으며, 연구원 및 project 구성원들의 서로 도움이 될 수 있는 파트너로서 사업을 성공적으로 수행할 수 있게 운영하고 있다.

- 중앙대 프로젝트 수행실적

년/월	Project 명	수행업무
2006.03	경기대덕고신축공사-BTL	운영관리보고서
2006.04	안동문화예술회관신축공사-BTL	운영관리보고서
2006.06	경주문화예술회관신축공사-BTL	운영관리보고서
2006.07	도장항만신축공사-TURNKEY	VE/LCC분석
2006.08	전라도경전선-BTL	운영관리보고서
2006.08	정도초외4교신축공사-BTL	LCC분석
2006.09	경전선신축공사-BTL	운영관리보고서
2006.09	김해.진해 학교시설신축공사-BTL	LCC분석
2006.10	마산전안초신축공사-BTL	VE/LCC분석
2006.11	목운초외4교신축공사-BTL	LCC분석
2006.11	사랑초외9교신축공사-BTL	LCC분석
2006.12	송리초외4교신축공사-BTL	LCC분석
2006.12	신곡초외3교신축공사-BTL	LCC분석
2007.01	포천.전곡군관사신축공사-BTL	운영관리보고서
2007.01	상주시하수관거정비사업-BTL	VE/LCC분석
2007.02	전농초 외 6개교 신축공사-BTL	운영관리보고서
2007.06	울산과학기술대학교신축공사-BTL	LCC분석
2007.06	원주공군관사신축공사-BTL	운영관리보고서
2007.06	홍천병영시설신축공사-BTL	VE/LCC분석
2007.09	동빙고군관사신축공사-BTL	VE/LCC분석
2007.10	풍산중 외 3개교신축공사-BTL	운영관리보고서
2007.12	서청초외11교신축공사-BTL	VE.LCC분석
2008.02	전주종합경기장사업-TURNKEY	운영관리보고서
2008.05	육군행정학교이전신축사업-TURNKEY	운영관리보고서
2008.06	천안문화예술회관신축공사-BTL	LCC분석
2008.07	대구율하2지구신축공사-BTL	VE/LCC분석
2008.10	송도Posco신사옥신축공사-풍동제어시스템	VE/LCC분석
2008.10	경남문화예술회관 개보수 공사	VE/LCC분석
2008.12	시나리오 기반의 사업계획 전문가시스템 개발(1차년도)	연구보고서
2009.04	시나리오 기반의 사업계획 전문가시스템 개발(2차년도)	연구보고서
2010.04	시나리오 기반의 사업계획 전문가시스템 개발(3차년도)	연구보고서
2010.12	상하수도 시설물의 설계VE 기반 구축 방안	연구보고서
2010.12	지역업체 활성화를 위한 제도개선연구	연구보고서
2011.04	시나리오 기반의 사업계획 전문가시스템 개발(4차년도)	연구보고서
2011.12	핵융합 실증플랜트 부지 배치 설계 개념 모델 개발	연구보고서
2012.04	시나리오 기반의 사업계획 전문가시스템 개발(5차년도)	연구보고서
2012.12	수생태분야 성능 및 비용모델 구축	연구보고서
2012.12	핵융합 실증플랜트 배치 설계개념 개발	연구보고서

- 참여연구기관의 주요연구

구분	연구수행기관	연구실적 및 내용
주요 연구 업적	중앙대학교	LNG 플랜트 건설의 사업계획 전문가시스템 웹 구축방안(한국건설관리학회 2012 정기학술발표대회, 2012년 11월)
		LNG 플랜트 건설사업의 총사업비 예측을 위한 시뮬레이션 모델링(한국건설관리학회 2012 정기학술발표대회, 2012년 11월)
		해외 플랜트 건설사업에 대한 위험요인 도출 및 분석(대한건축학회지, 2012년 05월)
		해외 가스 플랜트 시공단계의 위험요인 모델을 통한 비용 항목별 확률적 비용 변동범위 분석(대한건축학회지, 2012년 01월)
		LNG 플랜트 건설사업의 생애주기(EPCC)비용을 통한 의사결정모델 구축방안(한국건설관리학회 2011 정기학술발표대회, 2011년 11월)
		LNG 플랜트 건설사업을 위한 생애주기(EPCC)비용분석 모델링 및 웹기반 분석 시스템 구축방안(대한설비공학회, 하계학술발표대회, 2011년 07월)
		해외 플랜트 건설사업 비용분류체계 정립 및 비용범위 분석(대한설비공학회, 동계학술발표대회, 2010년 11월)
		해외 플랜트 건설사업 위험요인의 관리항목에 대한 영향도 분석(한국건설관리학회 2010 정기학술발표대회, 2010년 11월)
		해외 플랜트 건설공사의 전문가 시스템 현황 분석 및 개선방안(한국건설관리학회 2010 정기학술발표대회, 2010년 11월)
		해외 플랜트 건설사업의 타당성 분석 문제점 및 개선방안(한국건설관리학회지, 2010년 09월)
		해외 플랜트 건설사업 위험요인을 통한 비용변동범위 분석(대한건축학회지, 2010년 07월)
		매트릭스 평가법을 통한 해외 플랜트 건설사업 위험요인 중요도 분석(대한설비공학회, 하계학술발표대회, 2010년 05월)
		국내 Gas Plant 공사에 대한 보험제도의 문제점분석 및 개선방안에 관한 연구(한국건설관리학회 2009 정기학술대회, 2009년 11월)
		해외플랜트 EPCM업무분야별 문제점 및 개선방안(한국건설관리학회 2009 정기학술대회, 2009년 11월)
		해외플랜트 EPCM업무분야별 문제점 및 원인분석(한국건설관리학회 2009 정기학술대회, 2009년 11월)
		THE STUDY ON THE PROBLEMS OF MARITIME FACILITIES (GAS PLANT)INSURANCE REGULATIONS(ICCEM국제학술대회, 2009년 5월)
		THE RESEARCH ON CONCEPTUAL MODEL OF LNG PLANT PROJECT PLANNING EXPERT SYSTEM(ICCEM국제학술대회, 2009년 5월)

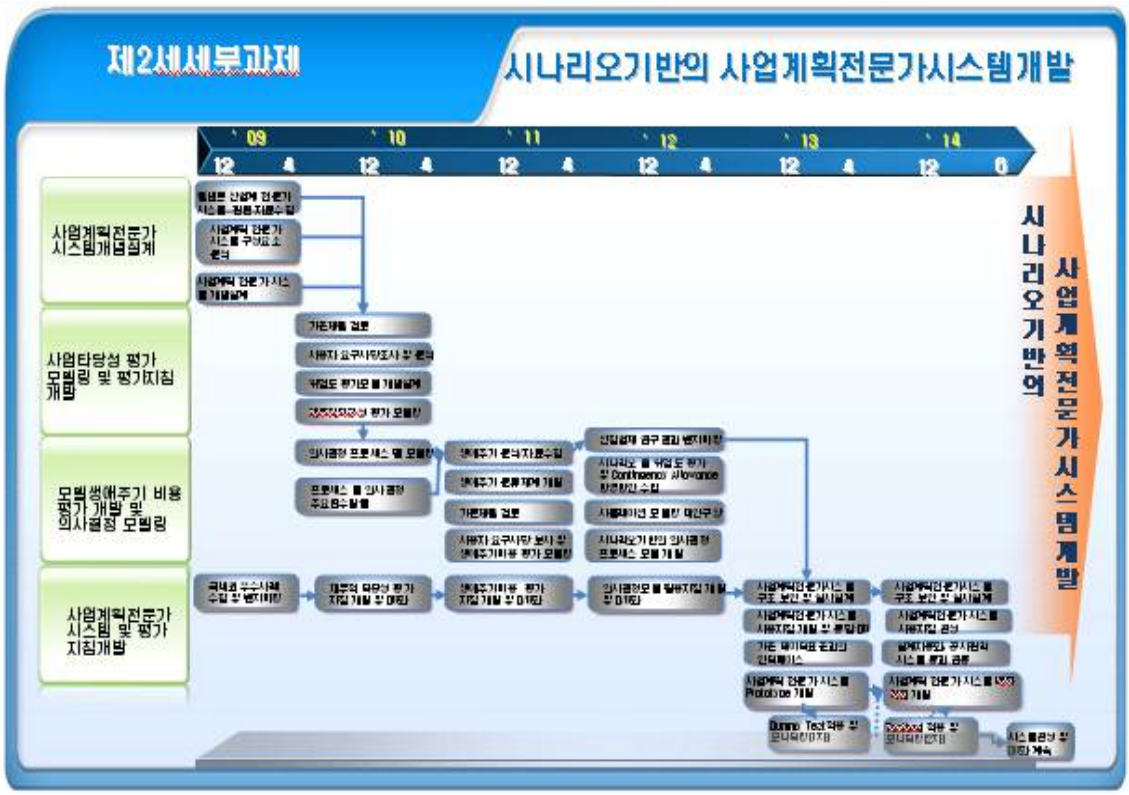
2. 연구수행 방법론

사업계획전문가 시스템 개념설계 : 국내/외 플랜트 산업계 전문가 시스템 관련 자료수집, 사업계획 전문가 시스템 구성요소 분석 및 국내외 우수 사례 수집 및 벤치마킹, 사업계획 전문가 시스템을 개념설계 한다.

재무적 사업타당성 평가 모델링 및 평가지침 개발 : 기존제품 검토 (기존모델/데이터수집), 사용자 요구 사항 조사 및 분석, 위험도 평가모델 개념설계, 참조 데이터 분석 및 DB화 방안수립, 시나리오 기반 재무적 타당성 평가 모델링, 재무적 타당성 평가지침을 개발한다.

생애주기(EPCC)비용 평가 개발 및 시나리오 기반 의사결정 모델링 : LNG플랜트사업의 비용계획을 위한 기존 생애주기 데이터의 자료 수집 및 분석을 통한 생애주기비용분류체계 개발, 기존제품 검토, 위험도 평가모델 개념설계, 생애주기(EPCC)비용 데이터 분석 및 기초 DB화를 통해 생애주기(EPCC)비용 평가 모델링을 개발함 또한 선진업체의 연구개방 결과벤치 마킹, 시나리오 별 위험도평가, 의사결정 데이터 분석 및 기초 DB화 및 시뮬레이션 모델링 대안 구상을 통한 시나리오 기반의 의사결정 프로세스 모델을 개발한다.

시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발 : 사업계획 전문가 시스템을 개발하고, 더미 테스트 및 테스트베드 적용을 통한 시스템 활용성 및 현장 적용성 검토와 각 모델별 통합 DB를 구축한다.



[그림 2.1.2] 시나리오기반의 사업계획전문가시스템개발 업무프로세스

1-4세부의 LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발의 업무프로세스의 세세부별 연관성은 다음의 그림과 같다.



[그림 2.1.3] 1-4세부 연구 체계 업무프로세스

가. 연차별 연구 수행 방법론

- 1차년도 세부 추진계획 및 방법론

번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1	■ 국내외플랜트 산업계 전문가 시스템 관련 자료 수집	- 전문가 시스템 관련 현행 자료 수집 - 현행 기술수준 분석	1개월
2	■ 사업계획 전문가 시스템 구성요소 분석	- 일반적 전문가 시스템의 구성요소 분석 - FIATECH의 연구결과 벤치마킹 - 산업계의 필요 구성요소 면담조사	2개월
3	■ 국내외 우수 사례 수집 및 벤치마킹	- 국내 우수사례 수집 - 해외 우수사례 수집 - 사례분석 및 벤치마킹	1개월
4	■ 사업계획 전문가 시스템 개념설계	- 핵심 모듈 구성 - 사업계획 전문가 시스템 구조 설정 - 업무체계 분석 - 입출력 설계	2개월
5	■ 중간보고서 작성		1개월

- 2차년도 세부 추진계획 및 방법론

번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1	■ 기존제품 검토 (기존모델/데이터수집)	- 타당성 분석 관련 기존 모델/제품 자료 수집 - 기존 모델/제품 자료 분석 - 기존 모델/제품의 장단점 분석 - 기존 시스템에 대한 개선방안 수립 및 실현 가능성 검토	2개월
2	■ 사용자 요구사항 조사 및 분석	- 면담/설문 조사서 작성 - 관련 기업, 협회 등 설문조사 실시 및 결과분석 - 사용자 요구사항 분석서 작성	2개월
3	■ 위험도 평가모델 개념설계	- 위험변수 확인 - 위험분석기법 검토 - 위험도 평가모델 개념설계	2개월
4	■ 사업타당성 데이터 분석	- 필요 자료 확인 및 분석	2개월
5	■ 시나리오 기반 재무적 타당성 평가 모듈 구축	- 분석에 필요한 데이터 정의 - 재무적 타당성 평가 모델링	4개월
6	■ 재무적 타당성 평가지침 개발	- 평가시스템의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석	2개월
7	■ 중간보고서 작성		1개월

- 3차년도 세부 추진계획 및 방법론

번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1	■ 생애주기 분석/자료수집	- LNG 플랜트 생애주기 분석 (사업단내 타 분야 연구결과 활용) - 건설이 종료된 LNG 플랜트의 시공지역, 기간, 총사업비, 사업의 범위, 설비용량 등의 자료 수집 - 설계/엔지니어링 관련 기초비용자료 수집 - 시공 관련 기초비용자료 수집 - 운영유지 관련 기초비용자료 수집	3개월
2	■ LNG 플랜트 생애주기 비용분류체계 개발	- LNG 플랜트 건설의 개략적인 WBS 조사 - 생애주기비용 분류체계 개발	2개월
3	■ 기존제품 검토 (기존모델/데이터수집)	- LCC 분석 관련 기존 모델/제품 자료 수집 - 기존 모델/제품 자료 분석 - 기존 모델/제품의 장단점 분석 - 기존 시스템에 대한 개선방안 수립 및 실현가능성 검토	2개월
4	■ 사용자 요구사항 조사 및 분석	- 면담/설문 조사서 작성 - 관련 기업, 협회 등 설문조사 실시 및 결과분석 - 사용자 요구사항 분석서 작성	2개월
5	■ 위험도 평가모델 개념 설계	- 위험변수 확인 - 위험분석기법 검토 - 위험도 평가모델 개념설계	2개월
6	■ 생애주기비용 데이터 분석 및 기초 DB화	- 필요 자료 확인 및 분석 - 데이터 모델링 - 필요 자료의 DB화 방안수립	2개월
7	■ 생애주기비용 평가 모듈 구축	- Life Cycle Costing 기법에 의한 분석 절차 수립 - 분석에 필요한 데이터 정의 - 생애주기비용 평가 모듈	4개월
8	■ 생애주기비용 평가 지침 개발	- 평가시스템의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석	2개월
9	■ 중간보고서 작성		1개월

- 4차년도 세부 추진계획 및 방법론

번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1	■ 선진업체의 연구개발 결과 벤치마킹	- 선진업체 또는 이와 유사한 연구개발 사례조사 (예: FIATECH Element 1등) - 연구개발 사례 별 추진 현황 및 성과 분석 - 본 연구에 적용을 위한 세부사항에 대한 벤치마킹	3개월
2	■ 사용자 요구사항 조사 및 분석	- 면담/설문 조사서 작성 - 관련 기업, 협회 등 설문조사 실시 및 결과분석 - 사용자 요구사항 분석서 작성	2개월
3	■ 시나리오 별 위험도 평가 및 Contingency Allowance 반영방안수립	- 위험변수 확인 - 위험분석기법 검토 - 시나리오별 정보흐름 및 리스크 분석 모델링 - 위험도 평가시스템과 연계방안 - 의사결정에 활용 가능한 Contingence Allowance 반영방안	2개월
4	■ 의사결정 데이터 분석 및 기초 DB화	- LNG플랜트의 비용 추정을 위한 산업계 데이터 검토 (단위 생산량 당 투자비, 사고발생율, 신뢰도 등) - 산업계 데이터의 존재 유무 확인 및 산업계 데이터의 획득 및 활용 방안 분석 - LNG플랜트에 대한 산업계의 관련 데이터가 존재하지 않는 경우에 대한 추정방안 수립 - 모델링 및 시뮬레이션 시 참조해야하는 정보 수집 및 분석 (유가, 환율 등) - 참조 데이터의 DB화(획득, 유지, 갱신 방안 수립)	4개월
5	■ 시뮬레이션 모델링 대안 구상	- 적용 가능한 시뮬레이션 기법 검토 및 선정 - 시뮬레이션 모델링 구상 - 입출력 및 프로세스 설계	2개월
6	■ 시나리오 기반 의사결정 프로세스 모듈 구축	- LNG 플랜트 Stake Holder 결정 및 Stake Holder들의 관심사항 분석 - LNG플랜트 건설사업의 초기부터 Stake Holder의 의사결정 프로세스 분석 - 프로세스 별 의사결정 주요변수 발굴 및 분석 - LNG 플랜트 건설사업의 타당성 결정을 위한 의사결정 시나리오 설정 및 시뮬레이션 모듈 - 시뮬레이션 모델링 결과의 분석 및 보완	6개월
7	■ 의사결정모델 활용 지침 개발	- 의사결정 모델의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석	2개월
8	■ 중간보고서 작성	- -	1개월

- 5차년도 세부 추진계획 및 방법론

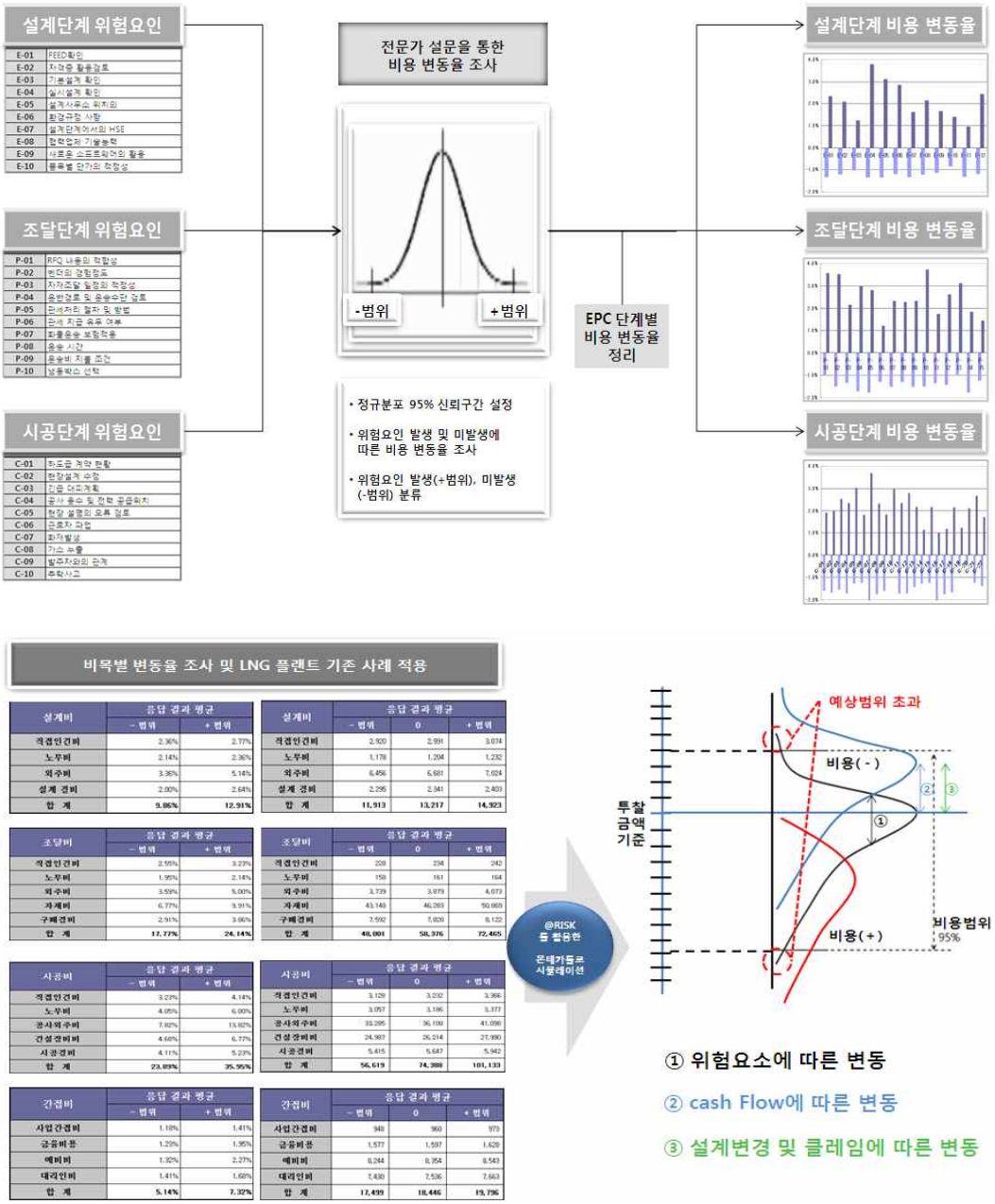
번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1	■ 사업계획 전문가 시스템 구조보완 및 실시 설계	- 사업계획 전문가 시스템 구조보완 - 사업계획 전문가 시스템 실시설계 - 시스템의 타당성 및 신뢰성 검토	2개월
2	■ 사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발	- 사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발절차 수립 - 시스템 운영에 필요한 DB 연동 - 시스템 개발 Tool 검토 및 선정 - 최신 KMS 을 이용한 사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발	8개월
3	■ 기존의 데이터 표준 (Excel, AutoCAD 등) 과의 인터페이스 개발	- 기존의 데이터 표준(Excel, AutoCAD 등)과의 인터페이스 개발 - 설계자동화, 공사관리 시스템 등과의 연동 고려	3개월
4	■ Dummy Test	- Dummy Test 실행 - 결과분석 - 시스템 수정 보완	1개월
5	■ 사용자 요구사항 조사/분석 결과 반영	- 예비 사용자들의 시스템 테스트 - 테스트 결과에 대한 자료수집 및 분석 - 사용자 요구사항 분석결과의 반영	1개월
6	■ 사업계획 전문가 시스템 사용지침 개발	- 사업계획 전문가 시스템의 체계 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석	2개월
7	■ 각 모델별 통합 기초 DB 구축(계속)	- 참조자료의 수집 및 DB화 (계속)	3개월
8	■ 중간보고서 작성		1개월

- 6차년도 세부 추진계획 및 방법론

번호	연구개발내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간
1	■ 사업계획전문가 시스템 베타버전 개발	- 사업계획 전문가 시스템 실시설계 확정 - 시스템의 타당성 및 신뢰성 검토 - 시스템 운영에 필요한 DB 연동 - 최신 KMS 을 이용한 사업계획 전문가 시스템 베타버전 개발 - Dummy Test 실행 및 수정보완	2개월
2	■ 설계자동화, 공사관리 시스템 등과의 연동	- 설계, Engineering 관련 자동화 System 과의 연계 통합시도 - 공사관리 시스템과의 연계 통합시도 - 기존의 데이터 표준(Excel, AutoCAD 등)과의 연계	8개월
3	■ Test Bed 적용 및 시험	- Test Bed를 통한 전체적 기능 구현 - 개별 기능별 문제점 및 보완사항체크 - 기능별 적용결과 보완	3개월
4	■ 사용자 요구사항 조사/분석 결과 반영	- 예비 사용자들의 시스템 테스트 - 테스트 결과에 대한 자료수집 및 분석 - 사용자 요구사항 분석결과의 반영	1개월
5	■ 사업계획 전문가 시스템 사용지침 완성	- 사업계획 전문가 시스템의 체계 완성 - 입력자료 및 입력법 - 출력자료 및 결과해석	1개월
6	■ 상용화 계획 수립	- Test Bed 적용 후 관련업체들에의 개방화 또는 경쟁을 통한 상용화 계획수립	2개월
7	■ 참조자료 DB화 (계속)	- 참조자료의 수집 및 DB화 (계속)	3개월
8	■ 최종보고서 작성		2개월

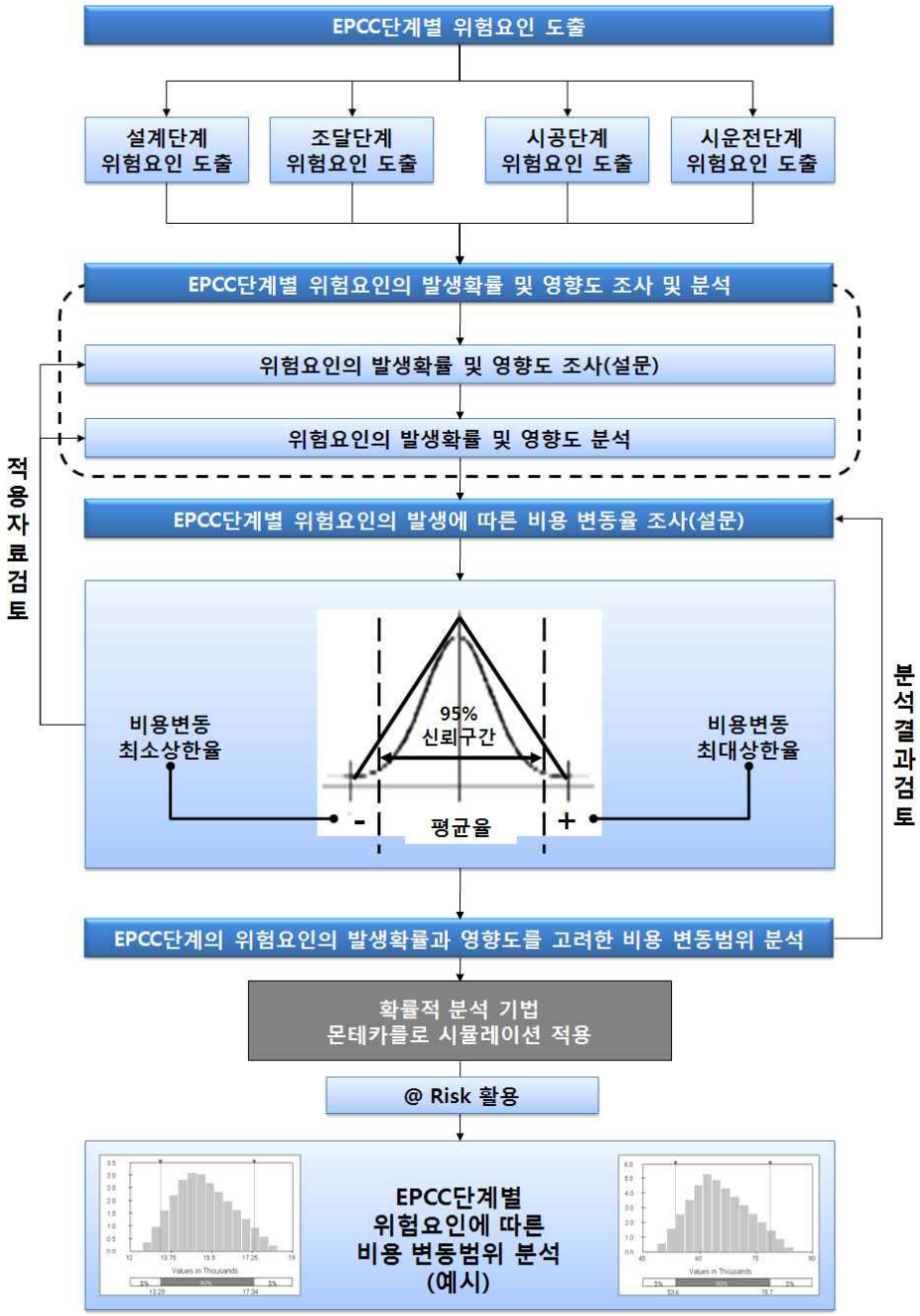
나. 연차별 연구 수행 방법 모델

2차년 시나리오 기반의 재무적 타당성 평가 모듈은 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공(시운전 포함) 단계별로 조사된 위험요인에 대한 비용 변동률을 설문을 통해 조사하였다. 또한, LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 위험요인 발생에 따른 비용의 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 모듈을 구축하였으며, 이에 대한 연구 개발절차를 그림으로 나타내면 다음의 그림과 같다.



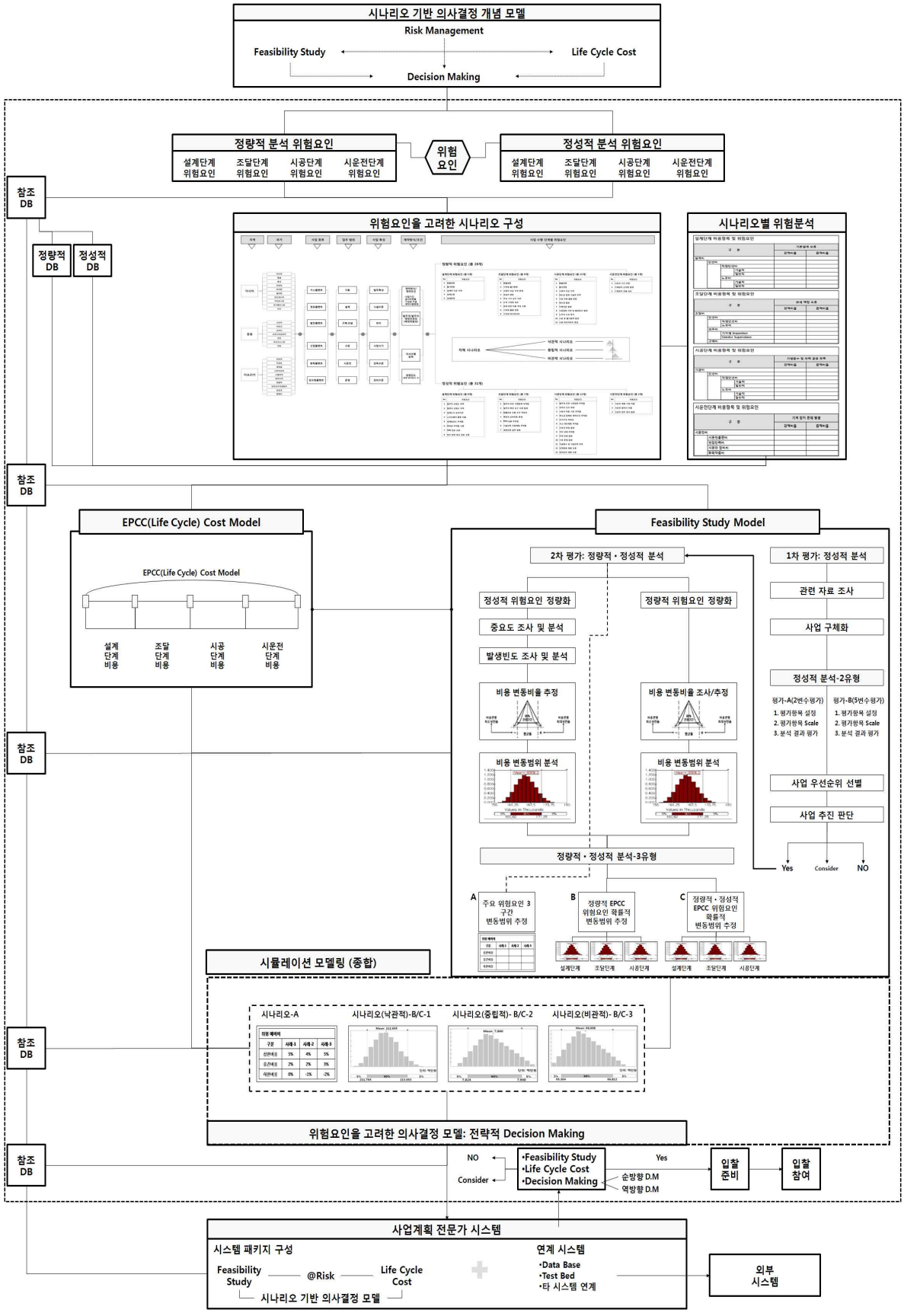
[그림 2.1.4] 시나리오 기반의 재무적 타당성 평가 모듈-2차년 연구

3차년 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈은 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별로 위험요인을 조사하고, 조사된 위험요인에 대해 발생확률 및 영향도를 조사 및 분석한다. 또한, LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 위험요인의 발생확률과 영향도를 고려한 비용 변동범위를 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 모듈을 구축하였으며, 이에 대한 연구 개발절차를 그림으로 나타내면 다음의 그림과 같다.



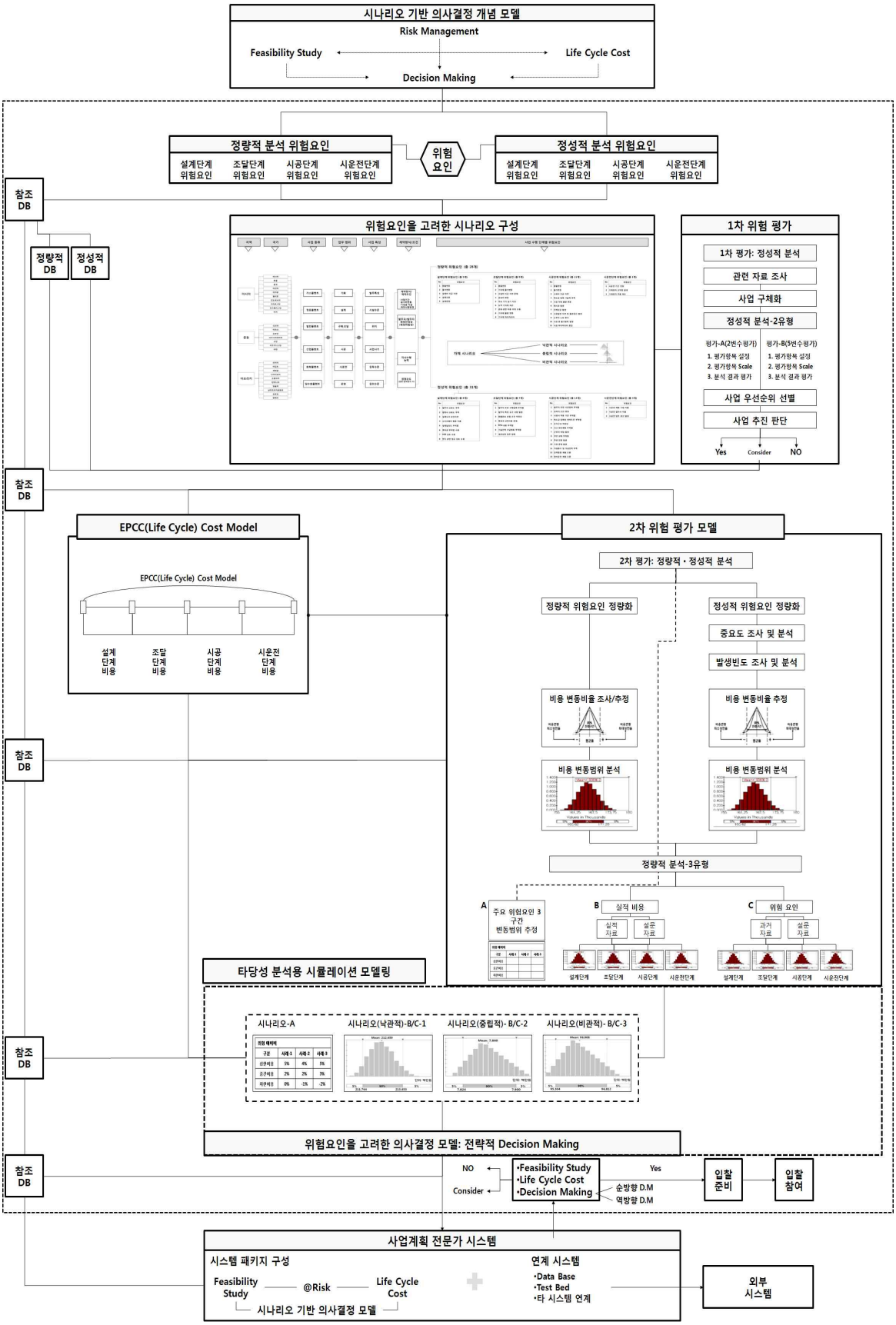
[그림 2.1.5] 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈-3차년 연구

4차년 시나리오 기반 의사결정 모듈(시뮬레이션)은 2차년 및 3차년 연구를 통해 도출된 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 위험요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 구분한다. 구분된 위험요인을 고려하여 시나리오를 구성하며, 정성적 위험요인에 대해 발생확률 및 영향도를 조사 및 분석한다. 또한, 정량적 위험요인은 LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 주요 위험요인 변동범위 추정, 정량적 위험요인 변동범위 추정, 정량/정성 위험요인 변동범위 추정의 3가지 방법으로 위험요인의 발생확률과 영향도를 고려한 비용 변동범위를 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 구축하였고, 위험평가에 대한 의사결정을 할 수 있게 역방향 의사결정 및 순방향 의사결정을 할 수 있게 모듈을 구축하였으며, 이에 대한 연구 개발절차를 그림으로 나타내면 다음의 그림과 같다.



[그림 2.1.6] 시나리오 기반 의사결정 모듈-4차년 연구

상기 2차년도, 3차년도, 4차년도를 통해 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 전년도 연구를 통해 도출된 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 위험요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 구분한다. 구분된 위험요인을 고려하여 시나리오를 구성하며, 1차 위험평가는 정성적 위험요인은 발생확률 및 영향도를 조사 및 분석한다. 또한, 2차 위험평가는 정량적 위험요인을 LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 주요 위험요인 3구간 변동범위를 추정, 실적비용의 실적자료와 설문자료로 변동범위를 추정, 위험요인의 과거자료와 설문자료로 변동범위를 추정하는 5가지 방법으로 비용 변동범위를 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 구축하였고, 위험평가에 대한 의사결정을 할 수 있게 역방향 의사결정 및 순방향 의사결정을 할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 이에 대한 연구 개발절차를 그림으로 나타내면 다음의 그림과 같다.



[그림 2.1.7] 시나리오 기반 사업계획 전문가 시스템 모듈-5차년 연구

2절 연구수행 내용 및 결과

1. 1차년도 연구수행 내용 및 결과

가. 사업계획 전문가 시스템 개발을 위한 구성요소 도출

국내외 사업계획 전문가 시스템의 구성요소를 바탕으로 사업타당성, Cost 관리, 계약관리, 위험관리의 구성항목을 기준으로 하여 벤치마킹한 내용을 바탕으로 한다. 구성항목의 세부내용을 중심으로 구성요소를 재정립 한 결과 벤치마킹 사례 중 정보관리를 추가 도출할 수 있다. 선행된 세부내용을 정보화 시켜 향후 유사 의사결정시 지원하게 한다. 상기 내용을 정리하여 사업계획 전문가 시스템 구성요소를 도출하면 다음과 같다.

<표 2.2.1> 사업계획 전문가 시스템 구성요소

구성 항목	항목별 세부 내용
사업 타당성	• 시장 위치 및 원자재 위치 • 국내 및 국외 플랜트 시장의 수급동향과 전망 • 자재, 인력, 기반시설, 비용의 적정성 • 국가 및 지역 경제에 미치는 영향 • 사업 수행 기술 능력과 공사기간의 적정성
Cost 관리 (원가/견적관리)	• 자금흐름의 요구사항 및 제약사항 • 투자비 회수 기간과 내부 수익률 분석 • 계약 방식에 따른 기성금 지급 계획 • 시설물 대비 사업비의 적정성 • 발주국가의 경제적 상황 및 위험
계약 관리	• 계약 서비스 및 위험 • EPC 업체 간의 계약 현황 • 시설물 구성 자재와 조달 일정에 따른 계약방식
위험 관리	• 자재 및 공정 진도의 일정에 대한 위험 • 사업 수행 능력에 대한 기술적 위험 • 경제, 정치, 사회적 위험 • 투자 대비 수익성에 대한 위험 • 정부의 정책 변화에 대한 위험 • 시설물 운영 방안에 대한 위험요소 관리
정보 관리	• 플랜트 산업계 프로젝트 및 프로세스 수집 • 참조데이터 요구사항 정립 • 정보모델 구축 • 시나리오 요구사항을 수집 • 의사결정 지원

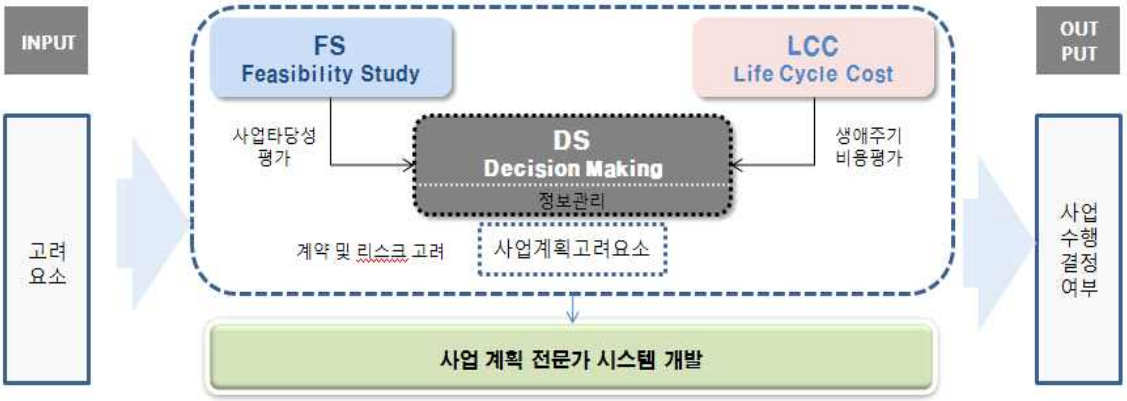
기존 국내·외 선진업체의 연구개발 사례를 조사하였으며, 사례 분석을 통하여 벤치마킹 주요요소를 도출하였다. 또한, 벤치마킹 요소를 기반으로 추후 개발된 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 주요 구성요소를 도출 및 적용하였다. 상기와 같은 선진업체 연구개발 사례조사 및 벤치마킹 요소는 추후 연구에서의 기초자료로 활용이 가능하다.

나. 사업계획 전문가 시스템 개념설계

사업계획 전문가 시스템 개념 설계를 위해 3장에서 분석 및 정리된 내용 중 재무적, 경제적 평가 요소를 반영하여 LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템의 개념 설계를 하면 다음과 같다.

(1) 사업계획 전문가 시스템 구조설정

LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템 구조설정은 사업의 기획단계에서 고려되는 요소를 중심으로 설정하였다. 이렇게 설정된 시스템 구조 요소는 사업타당성, 생애주기비용, 의사결정 시스템으로 구성된다. 또한 설정된 구조 요소는 전문가 시스템의 모듈로써 재구성한다. 사업계획 전문가 시스템의 개념설계로써 각 구성 모듈 간 연관성을 나타낸 것이며, 이렇게 설정된 연구 모형의 구성요소간의 연관성을 구체적으로 연구하여 사업계획 전문가 시스템을 구축하고자 하면 다음과 같다.



[그림 2.2.1] 사업계획 전문가 시스템 개념설계

(2) 핵심 모듈 구성 및 업무체계 분석

사업타당성 평가[4]는 기획단계에서 고려되는 것으로 본 사업의 성공 가능성을 분석 및 평가하기 위한 것이다. 즉 기획단계에서 사업 참여자 간에 재무, 경제, 환경, 정책 등과 같은 고려 사항을 분석하여 본 사업의 추진 여부와 성공 여부에 대한 의사결정이 이루어진다. 이러한 과정에 따라 사업 추진의 타당성 여부를 평가하여 의사결정이 되며, 사업타당성 평가 단계에서 고려되는 중요 항목은 다음과 같다.

- 투자사업에 필요한 시장, 기술, 재무 등의 정보를 제공.
- 각종 투자 사업안에 대한 투자 우선순위 의사결정에 기여.
- 금융기관으로부터 자금지원을 받기 위한 기초자료 제공.

상기와 같은 고려요소를 바탕으로 본 연구의 사업타당성 평가에서는 재무적, 경제적 요소를 중심으로 적용한다. 재무적 평가는 사업의 수행을 위해 필요로 하는 자본금을 뜻하

4) 김용수, Feasibility Study,중앙대학교 건설대학원, 2003

며, 경제적 평가는 투자비 대비 수익의 정도를 뜻하며, 이러한 재무적, 경제적 평가 고려 요소의 세부 항목을 정리하면 아래와 같다.



[그림 2.2.2] 재무적 및 경제적 고려 요소

상기에서 정리된 재무적 및 경제적 고려 요소의 세부 항목에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다.

○ 재무적 평가 요소

사업비 구성 현황 : 발주자와 재무출자자간의 지분 분류 구조형태를 나타낸다.

재무 출자자 구성 : 플랜트 사업의 경우 국가 간의 협동 사업임으로 재무 출자자 구조에 대한 고려가 필요하다. 즉 자국 내의 재무 출자자 외에 타 국에서의 출자 구조인 경우 구성 현황에 대한 고려가 요구된다.

자금 조달 구조 : 자금 조달 구조는 조달된 사업비에 대한 환수 일정을 나타내며, 이러한 환수 일정은 곧 상환 기간과 동시에 고려된다. 또한 생산물 수출 매출액에 따라 환수 금액의 정도를 계획한다.

참여 업체별 재무 현황 : EPC 수행 업체에 대한 재무 현황을 조사 및 파악하여 추후 발생되는 업체의 재무 위험에 대비한다. 즉 시공 기간에 발생되는 EPC 업체의 도산에 대한 위험도를 재무적 수준으로 평가한다.

○ 경제적 평가 요소

장기 구매자 구성 : 장기 구매자는 생산물의 수입국으로 구매량과 기간을 고려한다. 즉 장기 구매자의 구성에 따라 매출액이 추정되며, 그 매출액은 곧 투자비 환수와 연계되기 때문이다.

예상 손익 추정 : 예상 손익은 투자비에 따른 손실액의 추정을 나타내며, 그 손실액은 곧 사업의 성공 여부를 판정한다. 즉 투자비 대비 손실액 분석 및 추정하여 경제적 위험을 관리한다.

투자비 / 수출이익 : 사업 기획 단계에서 결정된 투자비(사업비)와 실제 생산물수출에 따른 이익(매출액)의 비교 정도이다. 이는 투자 수익률을 추정함으로 인해 비용 투입의 유동성을 계획한다.

생산물 수출 기간 추정 : 시설물 완공 후 생산물에 대한 수출 기간의 설정은 곧 자원의 매장량과 밀접한 관계가 있다. 즉 매장량에 따라 수출량을 조절하여 무역 기간을 계획한다.

생애주기 비용 평가[5]는 플랜트 시설물에 대한 생애주기 동안 발생되는 비용을 추정하여 평가하는 것으로, 이는 사업 기획단계에서부터 폐기단계에 걸쳐 발생되는 비용을 추정하는 것이다. 즉 운용단계에서 발생되는 유지관리비용에 대한 추정을 도모한다. 플랜트 사업의 생애주기 비용 분석 과정을 설명하면 다음과 같다.



[그림 2.2.3] 생애주기 비용 분석 방법

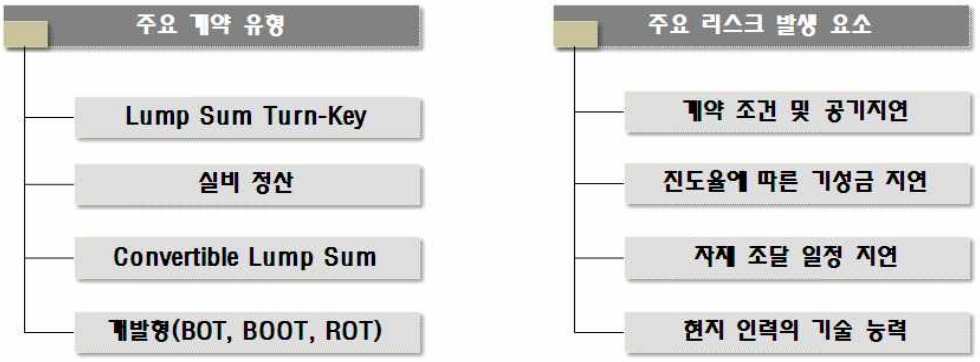
생애주기 비용을 분석하기 위해서는 개산견적기술, 계산기법, 현실적인 가정변수의 설정, 민감도 분석, 리스크 비용 예측 등의 고려 요소가 있음. 그 중 개산견적기술과 계산기법을 설명하면 다음과 같다.

○ 개산견적기술: 비용견적이 정확 할수록 현실적인 대안 분석 및 평가가 가능하며 설계 종료되기 이전 시점에서 분석한다.

○ 계산기법: 동일한 비교시점, 지출시점으로 환산하기 위한 기법으로 현가법, 종가법, 연가법등을 활용한다.

해외 플랜트 사업의 계약유형 및 특징으로는 대가지급방식, 업무범위 방식, 프로젝트 방법에 의한 방식, 계약금액 결정방식에 따라 분류된다. 플랜트의 계약유형은 보통 일괄고정계약방식(Lump Sum Turn Key)으로 하고 있다. 플랜트사업의 주요 계약유형으로 Turn-Key Contract, BOT, BOOT, ROT, Convertible Lump Sum이 있으며, 그 특징을 살펴보면 아래와 같다.

5) 김용수, Life Cycle Costing of Facilities, 중앙대학교



[그림 2.2.4] 주요 계약 유형 및 리스크 발생 요소

○ Turn-Key Contract

Turn-Key Contract는 설계와 시공을 동일조직으로 수행하는 계약 방식으로 프로젝트 생애주기를 기획-설계-구매-시공-시운전-조업-폐기의 7단계로 정의할 때 턴키 계약은 기획-설계-구매-시공-시운전의 5단계를 포함하여 계약되는 방식이다.

○ BOT, BOOT, ROT

사업주(도급자)가 기획-설계-시공-시운전 단계에서 추가하여 소요자금조달 및 완공 후 일정기간 동안 운영까지 책임지는 프로젝트 개발 계약방식이다. 사업주는 설비 또는 시설 운영 수익금에서 투자자금 및 이윤을 회수하고 운영기간이 종료 되면 발주처에 소유권을 이전한다.

○ Convertible Lump Sum

초기에는 실비정산 방식 계약으로 시작하여 물량확정 시기에 정액계약으로 전환하는 방식이다. 최근 프로젝트 대형화와 원자재 가격 상승 및 납기연장, 장비 및 인력부족 등으로 도급자 리스크가 증가함으로써 발생하는 입찰회비 또는 입찰가 상승문제를 해결하는 수단으로 활용된다. 계약기간 중 기자재 구매비용, 건설비용 상승분에 대하여 발주자가 부담하며, 일정수준의 Engineering & Procurement가 진행되면 정액계약으로의 전환협의를 할 수 있다.

플랜트 사업 수행에 따른 위험관리[6][7]는 단계별 부문별로 종합화가 실현되면 가시적인 성과를 거둘 수 있으므로 장기적인 안목으로 체계적으로 접근하는 것이 필요하다. 즉 현장보고, ITB 등 주요 Risk 및 공사비/ 공기에 미치는 영향요소 발굴, 국별 환경, 발주처특성, 성공/실패사례, 공사특성, 특수공법, 자재비 변동, 환율변동 등의 자료구축이 필수적인 요소이다. 2차적으로는 프로젝트 입찰시 Risk 사항 및 대책(공기, 공사비, 영향요소), 견적산출시 Contingency 적용, 공사특성에 대비하고 방안이 제시되어야한다. Risk 관리의 목적은 사업 및 조직의 내외부에 상존하는 위험에 체계적으로 대응, 위험을 동반한 기회를 극대화로 프로젝트 통제를 위한 영향력의 충격을 완화하기 위함이다.

6) 정순영, 해외플랜트운영사업에 적용되는 프로젝트 파이넨스의 리스크경감기법에 대한 연구, 한국플랜트학회, 2007,10
7) 강연웅, "H"사 플랜트 사업본부, 세미나 자료, 2009.02

위험관리는 관리단계별로 기획 및 계약단계, 설계단계, 시공단계, 시운전, 유지보수 단계 등으로 구분할 수 있다. 또한 공기지연, 계약조건 및 계약준수 여부, 발주처와의 관계, 리스크 관리능력, 인력관리, 클레임 및 분쟁관리, 안전 환경 등으로 분류된다. 또한 원유와 가스 개발사업의 주요 위험요소는 정부의 사업권계약에 포함된 매장량위험 및 정치적 위험, 유전의 공사완공위험 및 프로젝트 생산물의 판매와 관련한 시장위험 등이 있다.

사업권을 부여하는 방식은 개발 사업권, 개발 인허가 및 생산물 분배계약 등이 있으며, 사업권계약은 30~40년의 장기계약으로 체결. 사업권계약의 핵심요소는 사업권에 대한 로열티지급 문제로 전체 생산물의 일정비율로 구성된다. 생산물 분배계약방식은 다른 사업권 계약보다 개발자의 권한이나 재량이 적고 개발자가 생산된 생산물에 대하여 법적소유권도 가질 수 없다. 정부가 생산물의 분배비율을 높이기 위하여 로열티 이외도 각종세금을 많이 부과하는 제약 위험이 있다.

기획 및 계약단계의 위험은 사전조사/ 타당성 분석이 과정상 발생되는 결함, 자금 조달 능력 부족, 물가 상승, 세율반영, 환율, 공사비 예측오류, 촉박한 일정, 정보부족, 계약형태 등이 있다.

경제적 위험으로는 대규모 플랜트사업의 경우 EPC계약자입장에서는 대부분 계약이 확정가격 조건부 일괄도급계약방식으로 계약이 체결됨으로 계약체결시점과 공사완공시점까지의 환율, 이자율 및 물가상승 위험이 있다. 또한 경화 수익여부 경화 차입에 대한 회수 여부, 변동금리, 자본시장 동향 등이 있다.

사업 수행에 대한 의사결정은 그 사업의 특성과 위치 그리고 발주처에 따라 변동되며, 플랜트의 경우 경제적, 사회적, 물리적, 정치적, 재무적, 자재 운반거리 등을 기본으로 고려된다. 또한 발주처의 요구사항, 장기구매자, EPC업체의 구성, 사업주의 지분 참여율 등을 고려하여 의사결정이 이루어진다. 플랜트 사업의 의사결정 모델링을 위한 연구 모형은 다음과 같다.



[그림 2.2.5] 의사결정 연구 모형

상기에서 제시한 의사결정 연구모형을 설명하면 다음과 같음. 사업 수행에 대한 의사결정을 위해 먼저 1차적 고려 항목(환경, 재무, 정치, 경제, 물리, 위치, 사회, 거리적 요인)

과 2차적 고려 항목(발주저 요구사항, 사업비 조달 구조, 장기 구매자, 사업비 지분 구조, 자재 조달 구조, EPC 업체 구조)으로 분류된다. 즉 1차적, 2차적 고려 항목은 사업 수행 의사결정에 있어 조사 및 분석되어야 할 항목이다. 이는 LNG 플랜트 건설사업의 특성을 반영한 것으로 발주 국가, 사업 지분 및 출자 구조, LNG의 장기 구매 국가 그리고 전처리 시설 시공 EPC 업체 측면을 고려한 것이다.

1차적, 2차적 고려 항목을 바탕으로 LNG 플랜트 사업 수행을 위한 의사결정을 위해서는 정성적 분석, 정량적 분석, 만족도 분석, 수용도 분석을 통해 결정된다. 이러한 의사결정 분석 방법을 설명하면 다음과 같다.

○ 정성적 분석 및 결정 : 사업 수행을 위한 의사결정 방법 중 정성적 분석은 사업 관련자(발주기관, 재무 투자자, 시공업체, 운용업체 등)들의 주관적 입장에 따른 1차적 결정이다. 이는 유사한 기존 사례를 바탕으로 하여 사업의 실현 가능성을 판단하는 것으로 정량적 데이터를 중심으로 분석하여 결정하기 전의 단계에서 수행된다.

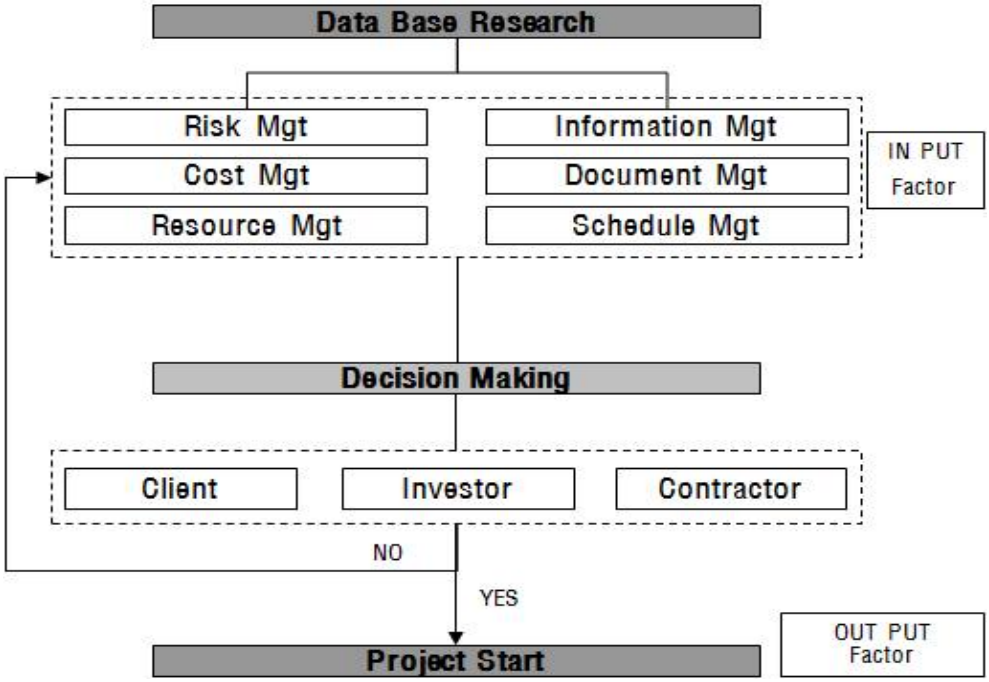
○ 정량적 분석 및 결정 : 사업 수행을 위한 의사결정 방법 중 정량적 분석은 정성적 결정에 따른 데이터 수집 및 분석한다. 이는 사업 수행을 위해 필요한 자금, 인력, 자재 물량, 자재 조달 거리, 현지 인력의 기능도 수준 등을 대상으로 데이터에 의한 정량적 분석이 이루어진다. 즉 LNG 플랜트 건설을 위해 실제적으로 필요한 재무적, 물리적 요소의 기초 데이터에 따라 정량적으로 분석한다.

○ 만족도 분석 결정 : 사업 수행을 위한 의사결정 방법 중 만족도 분석 결정은 정성적 분석 결과와 정량적 분석 결과를 바탕으로 이루어진다. 즉 사업주의 요구사항에 대한 만족도 그리고 EPC 업체의 수익에 대한 만족도를 분석하여 결정하는 것이다. 이는 사업 참여자들 간의 요구사항과 금전적 이익에 대한 만족도에 따라 사업의 원활한 진행을 통한 WIN-WIN 방안을 도출하여 결정한다.

○ 수용도 분석 결정 : 사업 수행을 위한 의사결정 방법 중 수용도 분석 결정은 상기의 의사결정 방법에 대한 사업 참여자의 합의 및 불합의 의견의 정도를 의미한다. 즉 LNG 플랜트의 경우 대형화 건설사업 임에 따라 다수에 의한 집단의 의사결정이 이루어진다. 이에 따라 기획 및 계획 그리고 시공, 운영 단계에서 고려되는 사항에 대한 집단 의사결정의 합리성, 창의성, 현실성, 적절성 결정에 대한 합의 정도 즉 수용도 측면을 고려한다.

(3) 사업계획 전문가 시스템 입력 및 출력 개념설계

플랜트 사업의 전문가 시스템 입출력 설계를 위해 다음과 같은 모형을 제시한다.



[그림 2.2.6] 입 · 출력 연구 모형

상기의 그림에서 나타낸 입출력 설계 모형을 설명하면, 플랜트 건설 사업의 추진 여부에 대한 의사결정을 의해 먼저 기초조사를 통한 데이터를 수집한다. 이렇게 수집된 자료에 따라 IN PUT Factor를 설정한다. IN PUT Factor는 사업의 효율적인 추진을 위해 고려되는 사항으로 추후 사업추진 의사결정에 영향을 미친다.

IN PUT Factor는 Risk, Information, Cost, Document, Resource, Schedule 관리가 주요 대상이다. 조사 및 분석된 데이터를 바탕으로 발주자, 재무출자자, 시공자 간의 사업 추진에 따른 의사결정이 이루어진다. 즉 발주자의 요구사항과 재무출자자와의 환수 일정 그리고 시공자의 기술력, 공사 일정에 대한 의사결정이 이루어진다.

2. 2차년도 연구수행 내용 및 결과

가. 시나리오 기반 사업 타당성 평가 모델 설계

(1) 사업 타당성 분석 평가체계 정립

세계적으로 천연가스의 생산량 증가로 LNG 플랜트 건설사업 발주량이 증가되고 있음에 따라 국내 건설업체의 해외 LNG 플랜트 건설사업 수주가 지속적으로 증가되고 있다. 그러나 사업초기에 해외 LNG 플랜트 건설사업의 특성을 반영한 정량적 타당성 분석이 어려운 실정임으로 이에 대한 보완이 필요하다. 이에 따라 현행 해외 LNG 플랜트 건설사업 수행 시 활용되는 기존의 타당성 분석 모델을 검토하여 사용자 요구사항을 조사한 후 그에 대한 개선 모델을 제시하는 것으로 조사 절차 및 방법은 아래와 같다.



[그림 2.2.7] 사업 타당성 분석 평가 체계 모델

제시된 기존 타당성 분석 모델 검토 및 구성요소 조사 그리고 사용자 요구사항 조사 방법에 대한 세부적인 내용을 설명하면 다음과 같다. 먼저 기존 타당성 분석 모델 검토를 위해 국내 건설사 4곳과 국내 관련 연구기관 4곳 그리고 해외 관련 연구기관 4곳을 선정하였다. 국내 건설사의 경우 해외 LNG 플랜트 사업 수행 실적이 있는 회사이며, 국내 관련 연구기관의 경우 해외 플랜트 건설사업에 대해 전문적으로 연구활동을 수행하고 있다. 또한 국외 관련 연구기관은 해외 건설사업 타당성 분석 시 요구되는 내용과 분석 방법을 제시하였다. 이렇게 선정된 3곳의 조사 대상을 바탕으로 해외 LNG 플랜트 건설사업 타당성 분석 시 고려되는 내용과 구성항목을 조사하였다.

(2) 타당성 분석 관련 기존 모델 및 구성요소 조사

LNG 플랜트 건설사업 타당성 분석 기존 모델의 적용 현황 에 따른 구성 요소 조사를 위해 LNG 플랜트 사업 수행 실적이 있는 국내 건설사와 관련 연구 기관 그리고 연구 문헌을 대상으로 조사한다. LNG 플랜트 사업 타당성 기존 모델 구성 요소 조사를 위해 선정된 국내 건설사 4곳의 경우 LNG 저장 탱크 시설과 파이프라인 그리고 원료 분리 시설에 대한 설계, 조달, 시공 실적을 갖는 회사이며, 국내에 위치한 LNG 인수기지 사업 또한 수행 실적이 있는 회사이다. 이렇게 선정된 국내 건설사 4곳을 대상으로 LNG 플랜트 사업 수행 시 고려되는 타당성 분석 구성 요소를 조사하였다.

또한 플랜트 관련 연구기관과 연구문헌의 경우 국내·외로 분류하여 타당성 분석 기존 모델에 따른 구성요소를 조사하였다. 이렇게 조사된 플랜트 건설사업 타당성 분석 모델의 구성요소를 계획단계, 설계단계, 조달, 시공단계, 시운전로 분류하였으며, 계획단계의 타당성 분석 구성 요소를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.2> 계획단계 타당성 분석 구성 요소

구분	타당성 분석 구성 요소	
계획 단계	• 지반상태 • 부지면적 • 부지특성 • 기반시설현황 • 부지규모 적정성 • 인프라 구조 • 재정 협상 능력 • 총 사업비 재원 • 발주자의 유동성 자금 현황 • 생산물 가격의 적정성 • 과거 비용 추세 자료 • 사업비 초과시 조달 계획 • 환율변동에 따른 공사비 조정 방안 • 사업 수행 계약 조건의 적정성 • 자원량의 매장량과 수출 가능 용량 • 원유지와 공사 대지의 거리 • 사업수행 조직	• 발주자와 관계 • 발주자 능력 • 견적불확실성 • 발주자의 요구조건 • 기술세 • 지적재산 • 정부정책 불일치 • 사업수행 관행 • 공공의견 반영 정도 • 복잡한 법절차 • 분재 중재 • 인플레이션 • 환율 변동 • 관련 산업 경기 전망 • 인프라 구축정도 • 의사소통(언어) • 노동 시장

사업 계획단계의 타당성 구성 요소를 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 계획단계의 경우 사업의 원활한 추진을 위해 고려되는 항목을 중심으로 타당성 분석이 수행된다. 즉 사업 전반에 대한 발주자, 설계사, 시공사 그리고 해당 관련 기관을 중심으로 본 사업의 수행에 대한 타당성을 분석하여 제시한다. 이와 같은 계획단계의 타당성 항목 중 재무적(경제적) 타당성에 대한 분석이 주로 이루어지며, LNG 플랜트의 경우 원료 수급에 따른 판매 계획으로 수급된 원료를 가공하여 판매함으로 인한 수익을 분석하는 것이다. 설계단계의 타당성 분석을 위한 구성요소를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.3> 설계단계 타당성 분석 구성 요소

구분	타당성 분석 구성 요소	
설계 단계	• 기본설계의 적정성 • 실시설계의 적정성 • 수행에 따른 성과 보장 유무 • 기술적인 업무 수행 영역 • 특허권의 유무 • 경쟁력 있는 공사금액 • 견적의 기준 검토 • 소프트웨어 사용 유무 • 품목별 단가의 적정성 • 사업 수행 조직 구성 • 원료 생산 기술 수준 • 측량비의 적정성 • 지질 조사 보고서 검토	• 자금 조달 현황 • 설계 완성도 검토 • 업무 협력조직과의 관계 • 환율변동에 따른 공사비 변동 • 사업 조직 구성 현황 • 발주자의 유동성 자금 현황 • 총 사업비 조달 재원 및 투자 내역 • 설계 완성도 검토 • 사업조직구성 현황 • 설계 범위에 따른 업무의 적정성 • 설계 오류 정도 • 물량 산출 내역의 적정성 • 설계비 투자 내역

설계단계의 타당성 분석 구성 요소를 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 설계단계의 경우 플랜트 시설물의 Design 업무를 중점적으로 수행됨에 따라 기본 및 실시 설계에 대한 적정성 평가가 이루어진다. 또한 플랜트 설계 시 반영되는 품목에 대한 견적 금액의 적정성을 판정하며, 그에 대한 발주자의 자금 능력 그리고 조달 능력을 분석한다. 조달단계의 타당성 분석을 위한 구성요소를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.4> 조달단계 타당성 분석 구성 요소

구분	타당성 분석 구성 요소	
조달 단계	• 자금조달 현황 • 부채비용 현황 • 원료 공급 계획 • 판매관련 기관 현황 • 분야별 담당자 역활 • 기자재 납기 지연 • 대출 금융 금액 • 건설비용 조달 방안 • 건설과정의 예상 투입인원 • 주요 자재 조달 일정 • 현장 자재의 적재 공간 확보 • 기술관련 자격 유무 • 구매 국가의 인구 현황 • 자금 조달 현황 • 부채 비용 현황 • 원료 공급 계획 • 판매관련 기관 현황	• 계약 조건의 적정성 • 협약 내용 이행여부 검토 • 자재 조달 일정의 적정성 • 물류비 지급 일정의 적정성 • 조달 경로 및 교통 수단 검토 • 조달일정 지연 문제 검토 • 화물 운송 보험 가입의 적정성 • 장기 임대 장비의 적정성 • 관세 처리 절차 및 방법 • 자금조달 금액과 부채현황 • 주요 기자재의 규격 조사 • 재무 관련 지표 분석 • 환율변동과 공사비 변동 • 운송장비의 조달 일정 • 자재규격에 따른 운송장비 계획 • 생산물 판매 관련 기관 • 각 분야별 담당자 배정 및 역활

조달단계의 타당성 분석 구성 요소를 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 조달단계의 경우 해외 플랜트 건설 사업의 특성에 따라 중요성이 상대적으로 높은 업무 분야이다. 조달단계의 주요 업무는 설계도면에 제시된 자재의 구매 및 운송 그리고 설치 방법에 대한 조사 업무로 정리된다. 자재조달 업무의 경우 제작 국가와 사업 국가간의 운송거리에 따른 운송방법 계획과 운성 중 발생 가능한 위험요인 조사 그리고 관세에 따른 조달비용의 변동에 대한 분석이 이루어진다. 이러한 협의 과정에서 각 분야별 Vendor의 역량에 따라 구매 조달 업무의 효율성을 이룰 수 있으며, 운송 단계에서 발생 가능한 위험요인을 축소할 수 있는 방안이 모색됨에 따라 결과적으로 비용 절감의 효과를 이룰 수 있다. 시공단계의 타당성 분석을 위한 구성요소를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.5> 시공단계 타당성 분석 구성 요소

구분	타당성 분석 구성 요소	
시공 단계	• 장비의 운전 계획	• 공사비 지급 일정
	• 물량 산출의 적정성	• 공사 기간의 적정성
	• 인력 및 자원 동원 계획	• 시방서 적용 기준 검토
	• 공사기간의 적정성	• 가시설물 설치 장소 검토
	• 공정관리 방법의 적정성	• 노동력 동원 정도 확인
	• 공기단축 방안의 적정성	• 장비 동원 비용의 적정성
	• 하도급 업체의 기술력 수준	• 대지와 작업장의 경로 검토
	• 공사 진척에 따른 정보 공유 방법	• 설계변경에 따른 비용의 적정성
	• 공사 부지 위치 및 주변 현황	• 노동자 파업 예측
	• 건설 및 시운전 일정	• 긴급대피 경로 검토
	• 건설 근로자 자원 조달 현황	• 건설장비 고장에 따른 비용 검토
	• 전문가 활용 계획	• 안전사고 발생 시 응급처치 방법
	• 가시설물의 사용 종류	• 기능공의 기술정도 검토
	• 운송장비의 조달 일정	• 투입 자원에 따른 생산성 검토
	• 주요 기자재의 규격 조사	• 대지와 작업장의 경로 검토
	• 환율변동과 공사비 변동	• 클레임 전담반 구성
	• 현장 자재의 적재 공간 확보	• 공사 부지 위치 및 주변현황
	• 기술관련 자격 유무	• 건설 및 시운전 일정
	• 부채 비용 현황	• 건설 근로자 자원 조달 현황
	• 시공성 향상 방안 계획	• 공정관리 방안의 적정성
	• 판매관련 기관 현황	• 실행율에 따른 기성금 지급 현황

시공단계의 타당성 분석 구성 요소를 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 시공단계에서 요구되는 주요 장비에 대한 구매와 임대 그리고 조달에 대한 업무가 선행되며, 대형 기계

설비의 설치를 위한 양중 장비의 사양 조사에 따른 적정 임대비용 산정이 요구된다. 또한 시공단계에서 요구되는 기술인력과 노무인력에 대한 출력인원을 분석하여 적정 인력비를 산출하며, 국내 파견 인력과 자재 및 기계설비 구매 업체의 파견인력 그리고 기술 및 노무 인력에 대한 분석을 통해 비용이 산정된다.

시공단계의 경우 선행된 설계도면에 의해 시설물을 구체화 하는 단계로써, 설계변경, 자재조달 일정, 인력 계획 그리고 기성금 지급 일정 업무를 중심으로 수행된다. 즉 설계변경 발생에 따른 비용 증감액의 분석과 자재 조달일정 및 시공일정을 연계하여 공사기간의 지연을 예방하며, 기술인력과 노무인력의 효율적 배치와 출력을 통해 원활한 작업에 따른 발주자의 요구성능 달성을 위해 타당성 분석이 수행된다. 시운전단계의 타당성 분석을 위한 구성요소를 정리하면 아래 표 <3.4.7>과 같다.

<표 2.2.6> 시운전 단계 타당성 분석 구성 요소

구분	타당성 분석 구성 요소
시운전 단계	• 시운전 준비에서 혼선 초래여부 • 시운전 과정에서 돌발사태 발생여부 • 시운전 절차서가 확보되지 못해 시운전 진행에 마찰 • 예비 점검 시 기계장치 성능 점검 • Utility 사용조건 확인 • Vendor 및 License 회사의 참여 및 상주 • 시운전에 대한 개런티 정도 • 부품누락, 오작, 파손 등에 대비한 시스템 구축여부 • 시운전 중 Utility 용량 부족

시운전 단계의 타당성 분석 구성 요소를 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 시운전 단계의 경우 시공된 플랜트의 원활한 운전 능력을 시험하는 단계로 하자 발생을 미연에 발견하여 보수 및 보강함으로써, 원활한 운영을 위한 사전 단계이다. 이를 위해 입수되는 원료량과 생산물량을 고려한 용량에 대한 적합성을 판단하며, 기계장치 시설에 대한 성능 점검 및 오작동 여부를 분석하여 보완한다. 또한 최초 설계도면에 의한 부품의 누락과 배관 접합부의 정밀 시공 여부를 검토하며, 효율적인 시설물의 운영 및 유지관리를 위한 관리 시스템을 구축하여 점검한다.

(3) 기존 타당성 분석 모델의 사용자 요구사항 조사

상기에서 조사된 해외 플랜트 기존 타당성 분석 모델의 활용방안과 구성요소 그리고 문제점을 조사 및 분석한 결과를 바탕으로 사용자 요구사항을 조사하였다. 사용자 요구사항 조사는 기존 타당성 분석 모델을 조사하는 과정에서 동시에 면담 형식으로 이루어졌으며, 다양한 사용자 요구사항 중 주요 항목을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 해외 플랜트 특성에 적합한 타당성 분석 항목 도출로써, 이는 다양한 플랜트 분야에 적합한 위험항목을 조사하여 상대적으로 고려의 필요성이 높은 위험항목을 정립하는 것으로, 현재 이론적, 실무적으로 조사된 위험항목에 대한 정립화의 요구사항이다. 이와 같은 요구사항의 반영을 통해 발생 가능성이 상대적으로 높은 위험항목과 비용과 공기에 미치는 영향이 높은 항목으로 분류함으로써, 체계적 위험대응이 가능하다.

둘째, 해외 플랜트 사업의 타당성 분석에 대한 정량적 예측 기법의 개발 및 활용이다. 즉 사업 초기에 발생되는 정성적 문제에 대한 타당성 여부를 정량적으로 분석함으로써, 그 영향정도를 정확한 판단이 이루어질 수 있음에 따라 타당성 분석을 위한 정량적 기법의 개발 및 활용이 요구된다.

셋째, 재무 타당성 분석 TOOL 개발 및 활용의 요구사항은 상기 두 번째 요구사항과 유사한 내용으로 다양한 플랜트 특성을 반영한 정량적 재무 타당성 분석 TOOL 활용이다. 즉 다양한 플랜트 특성을 반영하여 재무적 타당성을 정량적으로 분석함으로써, 발주자 및 사업 참여자 간에 정확한 의사결정의 자료 제공이 용이하다.

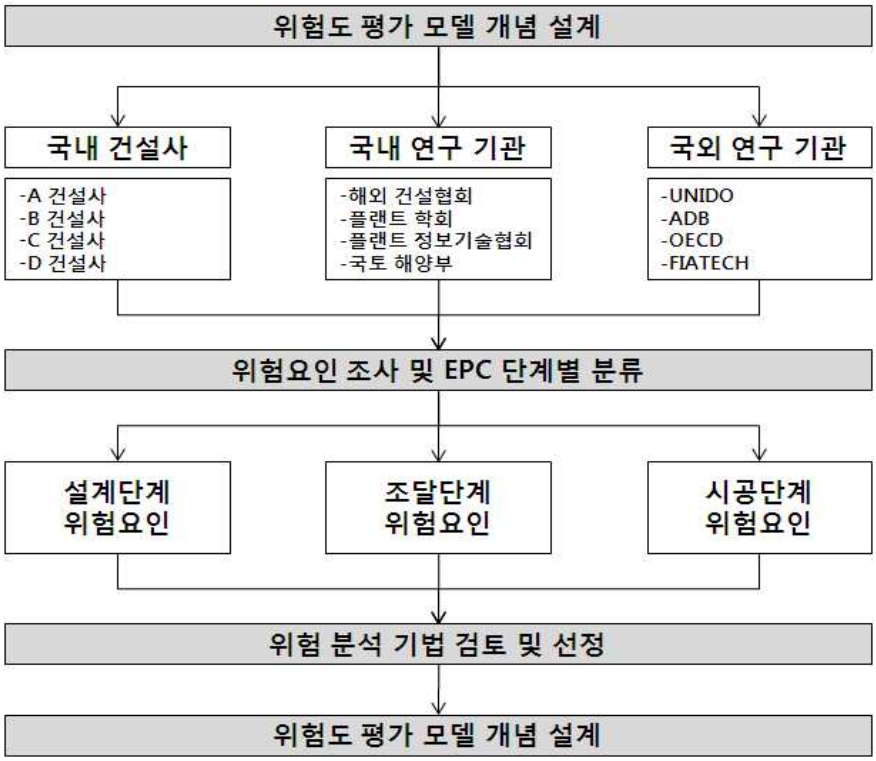
넷째, 위험요인을 고려한 재무 타당성 분석 방법 개발 및 활용으로 사업초기에 발생 가능한 위험요인을 조사 및 분석하여 재무적 영향정도를 정량적으로 분석하는 것이다. 즉 사업 초기에 고려되는 정성적 위험요인에 대해 비용과의 영향 정도를 분석함으로써, 발생에 대한 비용 증감현황을 초기에 파악하여 대응하기 위함이다.

상기와 같이 기존 해외 플랜트 타당성 분석 모델에 대한 사용자 요구 사항을 조사하여 분석하였으며, 이를 바탕으로 위험도 평가 모델과 경제적 타당성 모델 그리고 경제적 타당성 평가 모듈을 구축하여 이에 대한 지침을 개발한다.

나. 위험도 평가 모델 개념설계

(1) 위험변수 조사 및 분석

해외 플랜트 건설사업 수행 시 고려되는 위험요인을 조사하여 설계단계, 조달단계, 시공단계로 분류하여 정리한다. 즉 조사된 해외 플랜트 건설사업 위험요인 중 발생 가능성이 상대적으로 높은 요인을 재검토하여 단계별로 분류한다. 또한 조사된 위험요인을 기반으로 위험도 평가 모델 개념 설계를 한다. 상기와 같은 방법에 따른 절차를 정리하면 아래와 같다.



[그림 2.2.8] 위험도 평가 모델 개념 설계 절차 및 방법

위험요인 조사 및 위험분석 기법 검토 그리고 위험도 평가 개념 설계 절차 및 방법에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다.

먼저 국내 건설사, 국내 연구기관, 국외 연구기관을 대상으로 해외 플랜트 건설사업 시 고려되는 위험요인을 조사한 후 설계단계, 조달단계, 시공단계로 분류하여 위험요인을 정리한다. 이렇게 정리된 위험요인을 대상으로 분석을 위한 기법을 검토하여 분석 기법을 선정한 후 위험도 평가 모델 개념 설계를 제시한다.

상기와 같은 절차와 방법에 따라 조사된 해외 플랜트 건설 사업 수행 시 고려되는 위험요인을 설계단계, 조달단계, 시공단계로 분류하여 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.7> EPC 단계별 위험요인 조사

단계구분	위험 요인 세부 내용	
설 계 단 계	• FEED확인 • 자격증 활용검토 • 기본설계 확인 • 실시설계 확인 • 설계사무소위치의 • 환경규정 사항 • 설계단계에서의 HSE • 협력업체 기술능력 • 새로운 소프트웨어의 활용 • 품목별 단가의 적정성	• 설계도면의 시공 적합성 • 특허권 사용 유무 • 낮은 온도 재료 사용 • 설계도서 오류 검토 • 견적 기준의 적정성 • 계약 조건의 적정성 • 환율변동 • 사업수행 조직의 적정성 • 자금조달 계획의 적정성 • 물량 산출내역의 적정성
조 달 단 계	• RFQ 내용의 적합성 • 벤더의 경험정도 • 자재조달 일정의 적정성 • 운반경로 및 운송수단 검토 • 관세처리 절차 및 방법 • 관세 지급 유무 여부 • 화물운송 보험적용 • 운송 시간 • 운송비 지불 조건 • 냉동박스 선택	• 장기 임대 가설 장비 • 자재 및 설비시설 시장 현황 • 벤더회사의 기술 능력 • 물류비 지급 계획 • 장기임대 기계 설비 • 기술인력 조달 계획 검토 • 납기지연발생 • 수출입 항구 위치의 적정성 • 현장 인력 동원 계획 검토 • 운반물 특수 포장 검토
시 공 단 계	• 하도급 계약 현황 • 현장설계 수정 • 긴급 대피계획 • 공사 용수 및 전력 공급위치 • 현장 설명의 오류 검토 • 근로자 파업 • 화재발생 • 가스 누출 • 발주자와의 관계 • 추락사고 • 운송 중 교통사고 • 기후 • 환율변동	• 인력 동원 계획의 적정성 • 현지 관련 법규 • 클래임 발생 검토 • 물량 산출의 적정성 • 장비 운전 계획의 적정성 • 공사부지 주변 현황 검토 • 하도급 업체의 기술력 검토 • 하도급 업체와 계약조건 검토 • 기성금 지급 일정의 적정성 • 국가행사로 인한 발생 비용 검토 • 치안 유지 검토 • 시방서 적용 기준의 적정성 • 인접수송 시설접근 용이

설계단계, 조달단계, 시공단계별 위험요인은 선정된 3곳(국내 건설사, 국내 연구 기관, 국외 연구 기관)에서 조사된 위험요인을 대상으로 발생 가능성이 상대적으로 높은 요인을 도출하여 정리하였다. 이렇게 정리된 EPC 단계별 위험요인을 살펴보면, 설계단계의 경우 비용에 미치는 위험요인에 비해 일정 및 품질관련 위험요인이 포함되어 있다. 즉 플랜트 시설물 건설을 위한 구체화 단계로써, 전체 일정의 시작임에 따라 세부적인 일정 관리를 위한 요인과 그에 영향을 미치는 위험요인이 포함된다. 그리고 전체 플랜트의 시설물의 최적 설계를 위한 구체화 작업임으로써, 품질 확보에 영향을 미치는 위험요인으로 구성된다.

조달단계 위험요인의 경우 시공단계에서 활용되는 인력 및 자재 그리고 주요 기계설비에 대한 구매 및 조달에 영향을 미치는 위험요인을 포함한다. 즉 조달단계의 경우 일정

과 비용에 상당한 영향을 미침으로 정확한 조달일정에 따른 구매활동이 요구된다. 이에 따라 조달 물량 산출의 정확성이 요구됨에 따라 비용의 유동성에 대한 영향이 크며, 구매 시점과 조달 방법에 따른 세부 일정에 영향을 미친다. 따라서 비용과 품질 그리고 일정에 영향을 미치는 위험요인으로 구성된다.

시공단계 위험요인의 경우 설계된 도면을 구체화(현실화)하는 단계로 조달된 기계설비 및 자재의 설치를 위한 기술 인력 동원 그리고 하도급 업체와의 계약이 수행되는 단계로써, 비용, 일정, 품질, 안전에 대한 위험요인이 포함되어 있다. 즉 기술인력 동원 계획에 따른 기계설비 및 자재의 설치와 하도급 업체의 작업 일정을 계획함으로써, 발주자가 요구한 전체 일정에 목표 달성을 위한 행위가 이루어진다. 이러한 목표 달성을 위한 행위에 따라 발생 가능한 위험요인이 상대적으로 많으며, 특히 인화성 물질 즉 폭발 위험이 상대적으로 큰 천연자원을 활용함으로 안전사고에 대한 위험이 고려된다. 또한 생산물의 원활한 수출을 위해 해안가 주변에 위치함으로 환경오염에 대한 고려가 요구된다.

(2) 위험도 분석기법 검토

상기에서 조사된 EPC 단계별 위험요인을 대상으로 구성된 위험도 평가 모델 개념설계를 위한 분석 기법 검토는 제시된 이론을 바탕으로 검토한다. 즉 위험분석 및 관리를 위한 이론적 내용을 기반으로 하여 고찰 한 후 본 위험도 평가 모델 개념 설계에 적합한 분석 기법을 선정한다.

리스크 분석은 활용 가능한 모든 객관적·계량적 정보자료를 수학적·통계적으로 처리하여 특정 리스크의 발생 가능성과 잠재적 결과를 계량화 시키고 인위적 방법으로 다양한 유형의 리스크 변수를 조작함으로써 미래의 리스크 발생 가능성을 그래프나 확률 등으로 표현하고 그에 따른 잠재적 결과를 재정적·계량적 수치로 제시하는 것이다. 즉 미래에 발생 가능한 위험인자에 대해 확률적 개념에 따른 기법을 고안하여 위험분석에 적용함으로써 사업초기에 발생 가능한 위험요인에 대한 대응을 모색함으로써 체계적인 사업이 수행될 수 있다. 상기와 같은 이론적 방법에 따라 검토된 위험 분석 기법을 정리하면 아래 <표 3.4.9>[8]와 같다.

<표 2.2.8> 위험분석 기법 검토

구 분	분석 기법 세부 내용
몬테카를로 시뮬레이션 (Monte Carlo Simulation)	몬테카를로 시뮬레이션은 확률적 시뮬레이션의 일종으로 모든 리스크 변수는 확률분포로 표현될 수 있다는 것을 기본전제로 한다.

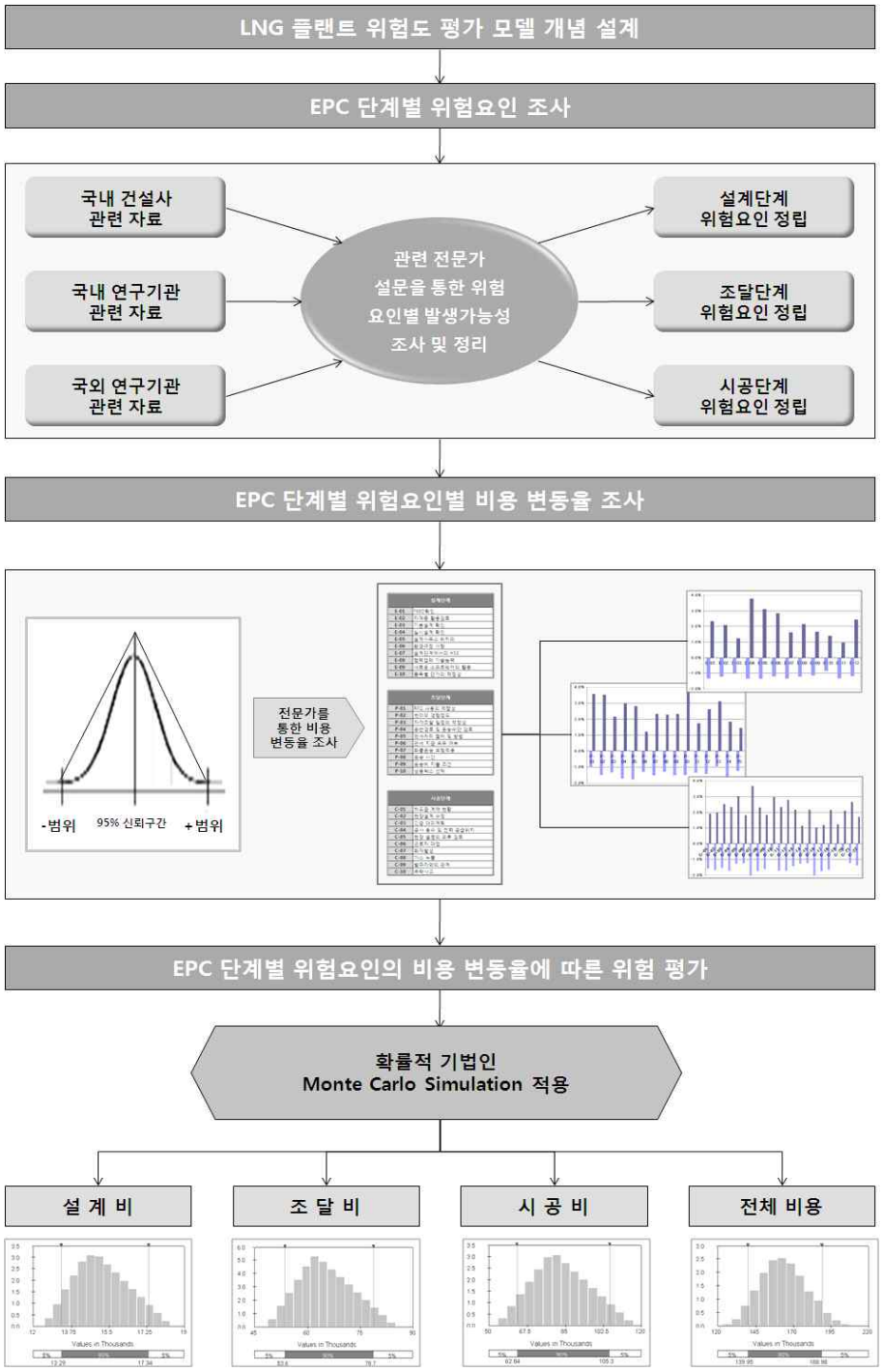
몬테카를로 시뮬레이션은 확률적 시뮬레이션의 일종으로 모든 리스크 변수는 확률분포로 표현될 수 있다는 것을 기본 전체로 한다. 몬테카를로 시뮬레이션으로 불리는 이유는 승수(Winning number)의 선택을 위해 룰렛바퀴를 무작위로 멈추게 하는 것처럼 결과를 얻

8) 건설사업의 리스크관리, 김인호, 경영학박사, 기문당

기 위해 무작위로 선정된 숫자(Random number)를 사용한다. 즉 몬테카를로 시뮬레이션은 대안의 시험과정에서 사용되는 무작위 수치가 요구된다. 무작위 수치는 주사위를 던지는 등 다양한 방법으로 생성될 수 있다. 실제로는 컴퓨터 프로그램을 사용하는 것이 일련의 무작위 수치를 만들어내는 방법이다.

(3) 위험도 평가 모델 개념 설계

해외 플랜트 건설 사업 수행 시 고려되는 위험요인에 대한 평가 모델 개념설계를 위한 절차 및 방법을 정리하면 다음과 같다. 본 연구에서 제시되는 위험도 평가 모델 개념설계는 해외 플랜트 건설 사업 수행 시 고려되는 위험요인을 조사하여 설계단계, 조달단계, 시공단계별로 분류한 후 발생 가능성에 대한 검토를 수행한다. 상기와 같은 방법에 따라 설정된 해외 플랜트 위험도 평가 모델 개념 설계를 도식화하여 정리하면 아래와 같다.

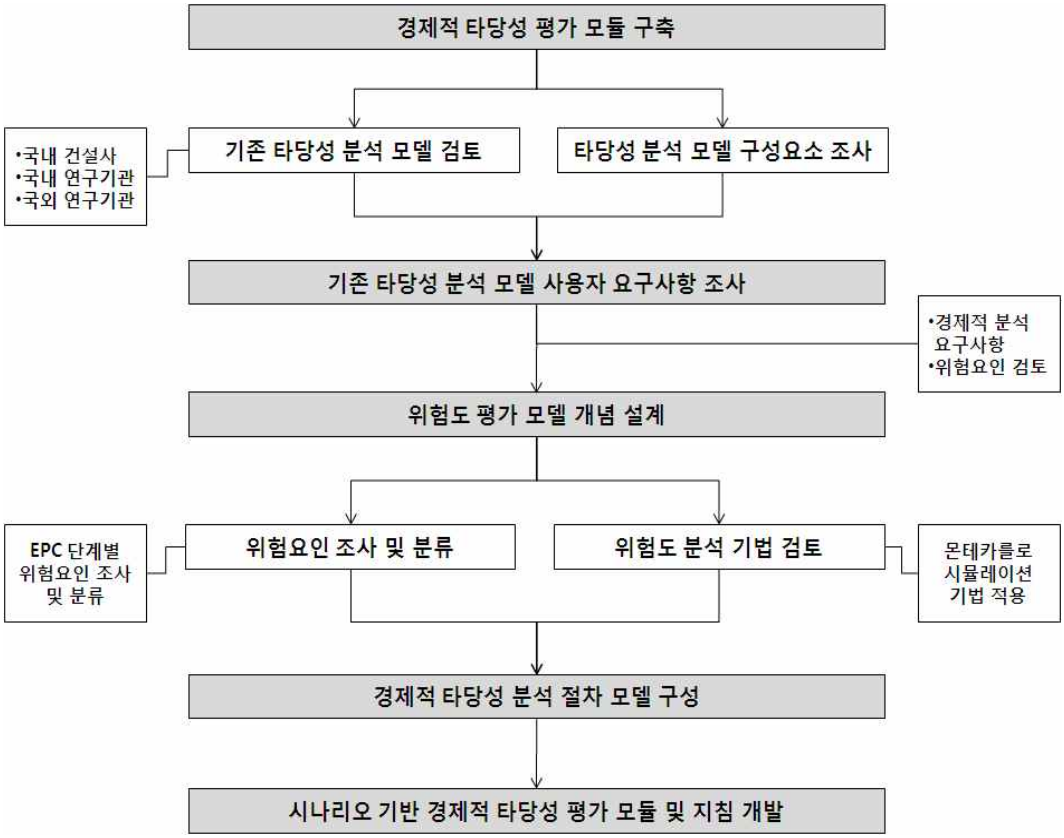


[그림 2.2.9] 위험도 평가 모델 개념 설계

상기와 같은 해외 LNG 플랜트 건설사업 수행 시 고려되는 위험요인에 대한 위험도 평가 모델 개념을 설계하며, 이와 같은 위험요인에 따른 비용 변동률로써, 분석 및 변동범위 분석의 모델의 경우 건설사업 수행 과정에서 발생되는 위험에 대한 비용의 관리 방안을 수립하기 위함이며, 이는 곧 사업 초기단계에서 수행됨으로써, 위험발생에 따른 비용관리 방안의 계획에 유용하다.

다. 시나리오 기반의 위험을 고려한 사업(경제적) 타당성 평가 개념 모듈

LNG 플랜트 건설사업 수행을 위한 시나리오 기반의 경제적 타당성 평가 모듈은 설계, 조달, 시공 단계의 비용을 기반으로 위험요인을 적용하여 타당성을 평가 한다. 즉 설계, 조달, 시공 단계별 발생 가능한 위험요인에 따른 비용의 변동을 분석하는 것으로 본 타당성 평가 모듈을 통하여 사업 초기 단계에서 위험을 고려한 경제적 타당성 평가가 수행된다. 상기와 같은 경제적 타당성 평가 모듈의 절차 및 방법을 정리하면 아래와 같다.

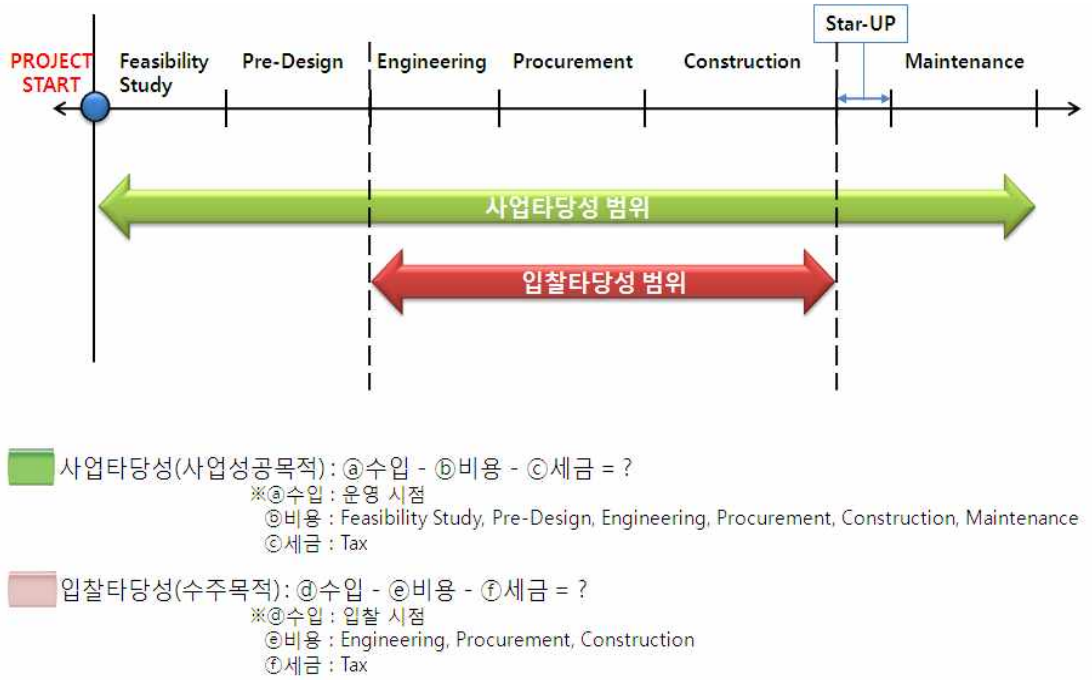


[그림 2.2.10] 경제적 타당성 평가 모델 구축 절차 및 방법

제시된 경제적 타당성 평가 모듈 구축 절차 및 방법을 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 기존 해외 플랜트 경제적 타당성 분석 모델에 대한 조사 및 고찰을 통하여 사용자 요구사항을 조사한 후 문제점과 개선사항을 고찰한다. 이렇게 고찰된 문제점과 개선사항을 반영한 위험도 평가 경제적 타당성 분석 모델을 구성한다. 즉 해외 플랜트 주요 공사 단계의 설계, 조달 및 시공단계에 발생 가능한 위험요인을 조사하여 단계별로 정립한 후 위험요인 발생과 미발생에 따른 비용 영향정도를 조사한다. 여기서 비용 영향정도는 위험요인의 발생과 미발생에 따른 비용 변동률로써, 최종적으로 비용 변동범위를 분석하게 된다.

비용 변동범위 분석을 위한 위험도 분석 기법은 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하며, 본 기법을 활용하여 분석된 내용을 통하여 비용 변동범위를 분석한다.

경제적 타당성 평가 모듈 개념을 기반으로 평가 모델 구축을 위한 범위 설정 내용을 도식화하여 설명하면 아래와 같다.



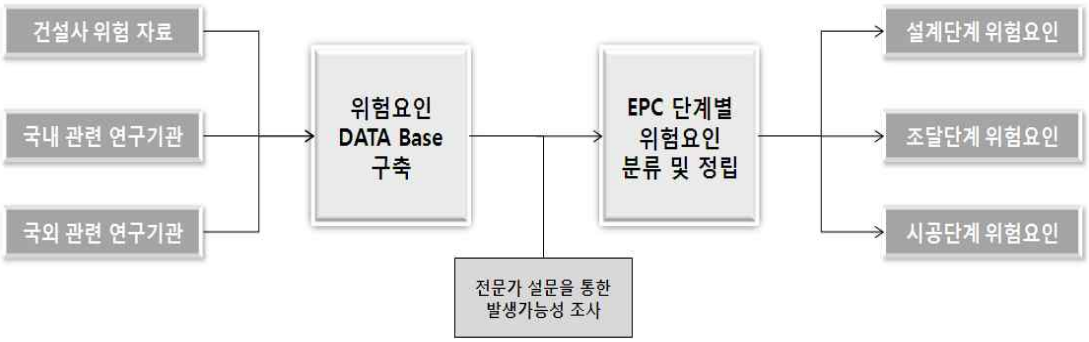
[그림 2.2.11] 경제적 타당성 평가 모듈 구축 범위

설정된 경제적 타당성 평가 모듈 구축 범위에 대한 세부적인 설명은 다음과 같다. LNG 플랜트 건설사업의 경우 기회단계부터 유지관리 단계를 대상으로 사업 타당성 분석이 수행되며, 기획 및 기본 설계단계의 경우 발주국가에서 대부분 수행된다. 즉 원유 매장량과 위치 그리고 육상 플랜트까지의 조달 방안과 같은 타당성 분석은 발주국가에서 자체적으로 수행되며, 이후 설계, 조달, 시공단계의 경우 EPC 전문 업체가 참여하여 타당성 분석을 수행한다.

(1) 설계, 조달, 시공단계별 위험요인 조사 및 정립

입찰 타당성 범위인 설계, 조달, 시공단계에 대한 위험요인 조사를 위해 해외 플랜트 또는 LNG 플랜트 수행 실적이 있는 건설사를 대상으로 관련 자료를 수집하며, 국내·외 관련 연구기관을 통하여 위험요인에 대한 자료를 수집한다.

수집 및 조사된 위험요인을 대상으로 설계, 조달, 시공단계별로 분류한 후 발생 가능성에 대한 전문가 설문조사를 수행하여 주요 위험요인을 도출한다. 상기에서 설명한 설계, 조달, 시공단계별 위험요인의 조사 및 정립 내용을 도식화하여 정리하면 아래와 같다.

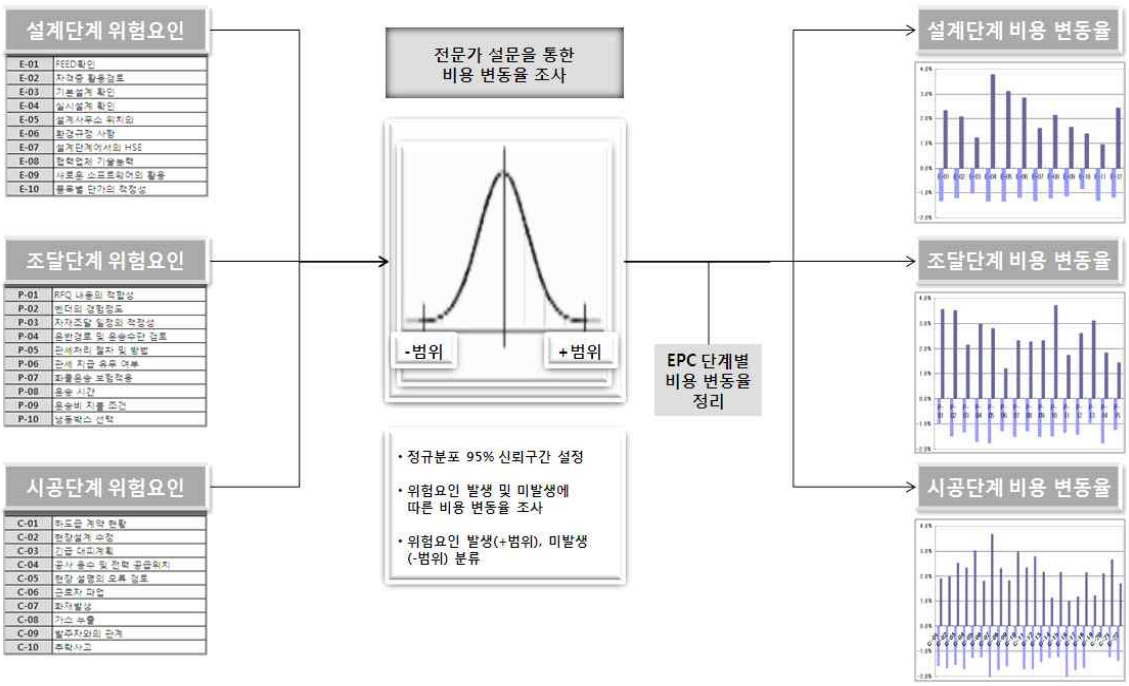


[그림 2.2.12] 위험요인 조사 및 정립 방법

시나리오 기반의 경제적 타당성 분석을 위한 설계, 조달, 시공단계별 위험요인을 조사한다. 이렇게 조사된 단계별 위험요인의 발생과 미발생에 따른 비용 영향정도를 조사를 위해 관련 전문가 설문을 수행한다. 비용 영향정도 조사는 위험요인의 발생과 미발생에 대한 비용의 예상 변동률에 대한 조사이다.

(2) 위험요인에 따른 비용 변동률 조사

LNG 플랜트 설계, 조달, 시공단계별로 조사 및 정립된 위험요인에 대한 비용 변동률을 조사하는 것으로 위험요인의 발생과 미발생에 따른 예상 비용 변동률을 조사하는 것이다. 이를 위해 관련 전문가를 대상으로 설문을 수행하며 설문 방법을 도식화 하여 정리하면 아래와 같다.



[그림 2.2.13] 위험요인에 따른 비용 변동률 조사 방법

설계, 조달, 시공단계별 위험요인에 따른 비용 변동률 조사 방법을 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 설계, 조달 및 시공단계별로 조사된 위험요인에을 기반으로 관련 전문가를 대상으로 비용 변동률을 조사한다. 비용 변동률 조사는 표준정규분포 95%신뢰구간에서 위험요인의 발생과 미발생으로 분류한 후 그에 대한 비용 변동률을 조사한다. 즉 위험요인이 발생되었을 경우 증액되는 비용 변동률과 미발생일 경우 감액되는 비용 변동률을 조사하는 것이다. 이렇게 조사된 비용 변동률을 기반으로 비용 변동범위를 분석하는 것이다.

설계, 조달 및 시공단계별 위험요인에 따른 비용 변동률 조사 시 고려할 점은 절대적인 수치가 아닌 예측치로서, 확률적 수치로 인한 변동범위의 분석이다. 이는 사업초기 단계에 발생가능한 위험요인을 조사하여 이에 대한 비용 변동률을 예측하는 것임으로써, 추정된 비용을 통한 원가 관리의 체계를 수립하기 위함이다. 상기와 같은 방법에 따라 조사된 위험요인별 비용 변동범위 조사 및 분석 결과를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.9> 설계단계 위험요인별 비용 변동률 분석

구분	NO	위험 요인	(-) 구간	(+)구간
설 계 단 계	E-01	FEED확인	-1.23%	1.72%
	E-02	자격증 활용검토	-1.33%	1.07%
	E-03	기본설계 확인	-1.41%	2.07%
	E-04	실시설계 확인	-1.27%	2.20%
	E-05	설계사무소위치의	-0.96%	0.96%
	E-06	환경규정 사항	-0.95%	1.43%
	E-07	설계단계에서의 HSE	-1.02%	1.68%
	E-08	협력업체 기술능력	-1.27%	2.71%
	E-09	새로운 소프트웨어의 활용	-1.07%	1.01%
	E-10	품목별 단가의 적정성	-1.25%	2.53%
	E-11	설계도면의 시공 적합성	-1.43%	2.06%
	E-12	특허권 사용 유무	-1.10%	1.23%
	E-13	낮은 온도 재료 사용	-1.01%	1.10%
	E-14	설계도서 오류 검토	-1.12%	1.56%
	E-15	견적 기준의 적정성	-1.39%	1.87%
	E-16	계약 조건의 적정성	-1.25%	1.93%
	E-17	환율변동	-1.65%	2.32%
	E-18	사업수행 조직의 적정성	-1.26%	1.48%

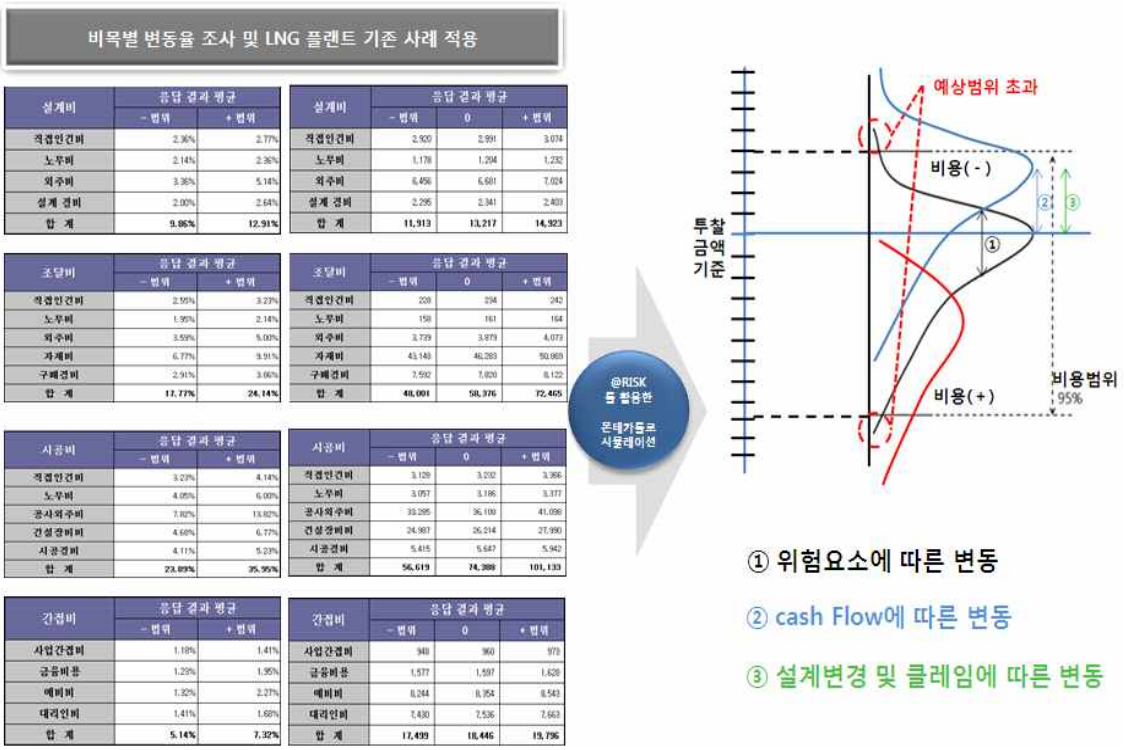
<표 2.2.10> 조달단계 위험요인별 비용 변동률 분석

구분	NO	위험 요인	(-) 구간	(+)구간
조 달 단 계	P-01	RFQ 내용의 적합성	-1.18%	1.70%
	P-02	벤더의 경험정도	-1.00%	1.38%
	P-03	자재조달 일정의 적정성	-1.65%	1.82%
	P-04	운반경로 및 운송수단 검토	-1.59%	1.86%
	P-05	관세처리 절차 및 방법	-0.98%	1.32%
	P-06	관세 지급 유무 여부	-0.97%	1.25%
	P-07	화물운송 보험적용	-0.95%	1.34%
	P-08	운송 시간	-1.50%	2.18%
	P-09	운송비 지불 조건	-1.44%	2.17%
	P-10	냉동박스 선택	-0.90%	1.10%
	P-11	장기 임대 가설 장비	-1.48%	2.25%
	P-12	자재 및 설비시설 시장 현황	-1.54%	2.59%
	P-13	벤더회사의 기술 능력	-1.15%	1.40%
	P-14	물류비 지급 계획	-1.49%	2.27%
	P-15	장기임대 기계 설비	-1.25%	1.22%
	P-16	기술인력 조달 계획 검토	-1.36%	1.60%
	P-17	납기지연발생	-1.42%	2.33%
	P-18	수출입 항구 위치의 적정성	-1.28%	2.02%
	P-19	현장 인력 동원 계획 검토	-1.48%	2.36%
	P-20	운반물 특수 포장 검토	-1.20%	1.41%
	P-21	환율변동에 따른 조달비 검토	-1.45%	1.68%

<표 2.2.11> 시공단계 위험요인별 비용 변동률 분석

구분	NO	위험 요인	(-) 구간	(+)구간
시 공 단 계	C-01	하도급 계약 현황	-1.57%	2.05%
	C-02	현장설계 수정	-1.64%	2.16%
	C-03	긴급 대피계획	-1.11%	1.50%
	C-04	공사 용수 및 전력 공급위치	-1.59%	2.64%
	C-05	현장 설명의 오류 검토	-1.41%	2.05%
	C-06	근로자 파업	-1.61%	1.59%
	C-07	화재발생	-0.57%	1.91%
	C-08	가스 누출	-0.61%	1.77%
	C-09	발주자와의 관계	-1.28%	2.18%
	C-10	추락사고	-0.57%	1.41%
	C-11	운송 중 교통사고	-1.05%	1.43%
	C-12	기후	-0.61%	1.82%
	C-13	환율변동	-1.52%	2.11%
	C-14	인력 동원 계획의 적정성	-1.20%	2.05%
	C-15	현지 관련 법규	-0.59%	1.48%
	C-16	클래임 발생 검토	-1.55%	1.93%
	C-17	물량 산출의 적정성	-1.59%	2.23%
	C-18	장비 운전 계획의 적정성	-1.41%	2.14%
	C-19	공사부지 주변 현황 검토	-1.23%	1.82%
	C-20	하도급 업체의 기술력 검토	-1.50%	2.30%
	C-21	하도급 업체와 계약조건 검토	-1.45%	1.84%
	C-22	기성금 지급 일정의 적정성	-1.89%	2.80%
	C-23	국가행사로 인한 발생 비용 검토	-0.59%	1.63%
	C-24	치안 유지 검토	-1.00%	1.62%
	C-25	시방서 적용 기준의 적정성	-1.32%	1.68%
	C-26	인접수송 시설접근 용이	-1.41%	2.05%

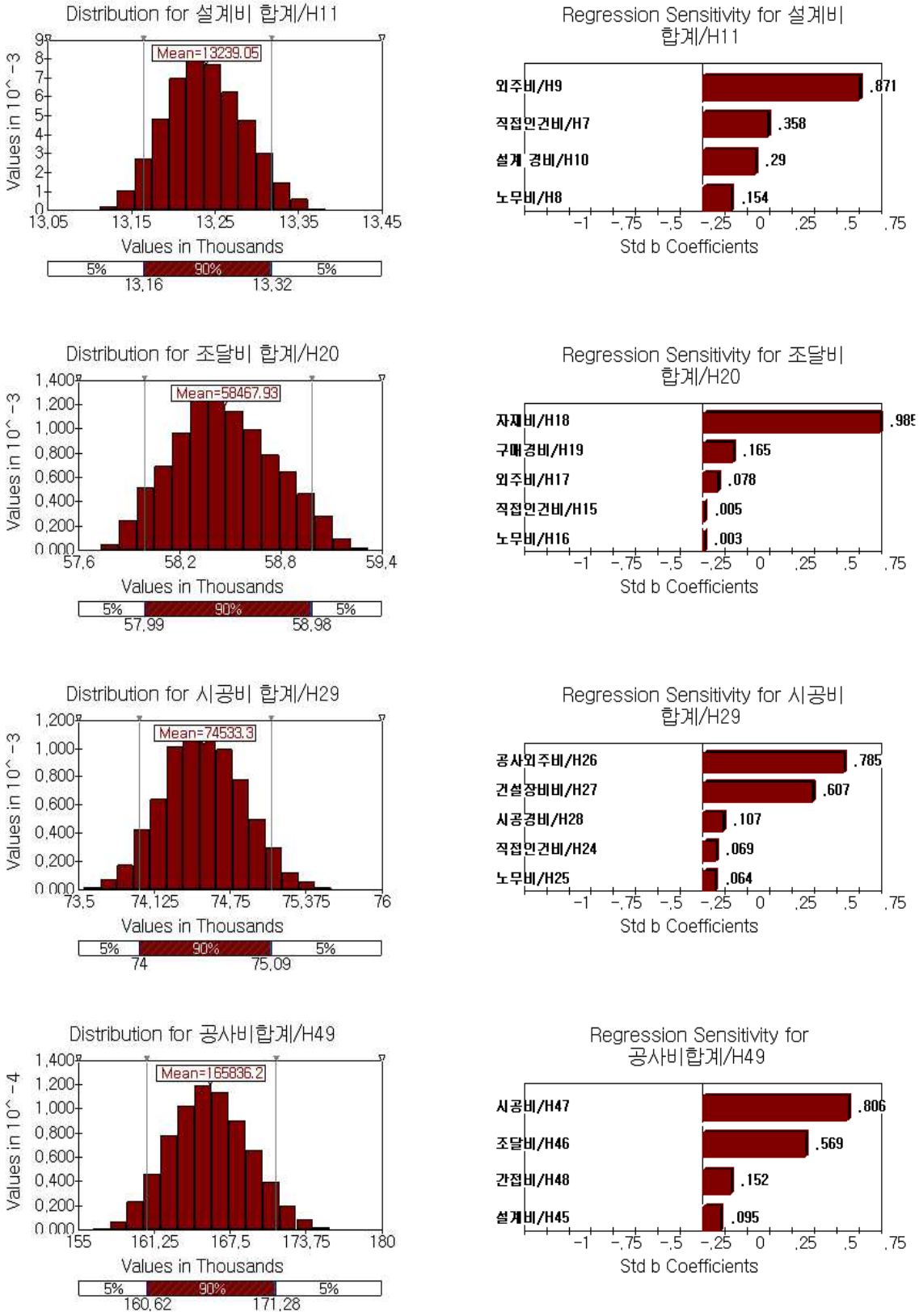
설계, 조달, 시공단계별 위험요인을 대상으로 조사된 비용 변동률을 기반으로 확률적 기법인 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 적용하여 비용 변동범위를 분석 및 추정한다. 상기와 같은 방법을 도식화하여 정리하면 아래와 같다.



[그림 2.2.14] 위험요인 비용 변동률에 따른 변동범위 분석 방법

설계, 조달, 시공단계별 위험요인의 비용 변동률에 따른 변동범위 분석 방법을 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 조사된 위험요인별 비용 변동률의 평균값에 기존 LNG 플랜트 사례의 비용을 조사하여 적용한다. 이렇게 분석된 위험요인별 비용 변동률과 조사된 공사비를 대상으로 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션 적용 시 위험요인 발생에 따라 분석된 +범위의 값과 미발생에 따라 분석된 -범위 값을 대상으로 최댓값과 최솟값을 적용한다.

시뮬레이션 기법 중 Risk Triangular 기법을 활용하여 최솟값과 최댓값을 적용한 후 그에 대한 반복횟수를 설정하여 시뮬레이션을 구동하여 비용 변동범위를 분석한다. 이렇게 분석된 비용변동 범위는 설계, 조달, 시공단계별로 결과값을 도출하며, 세부적으로 각 단계별 세부 비목별 변동범위 또한 분석이 가능하다. 확률적 기법에 의해 분석된 결과값을 그래프로 정리하면 아래와 같다.



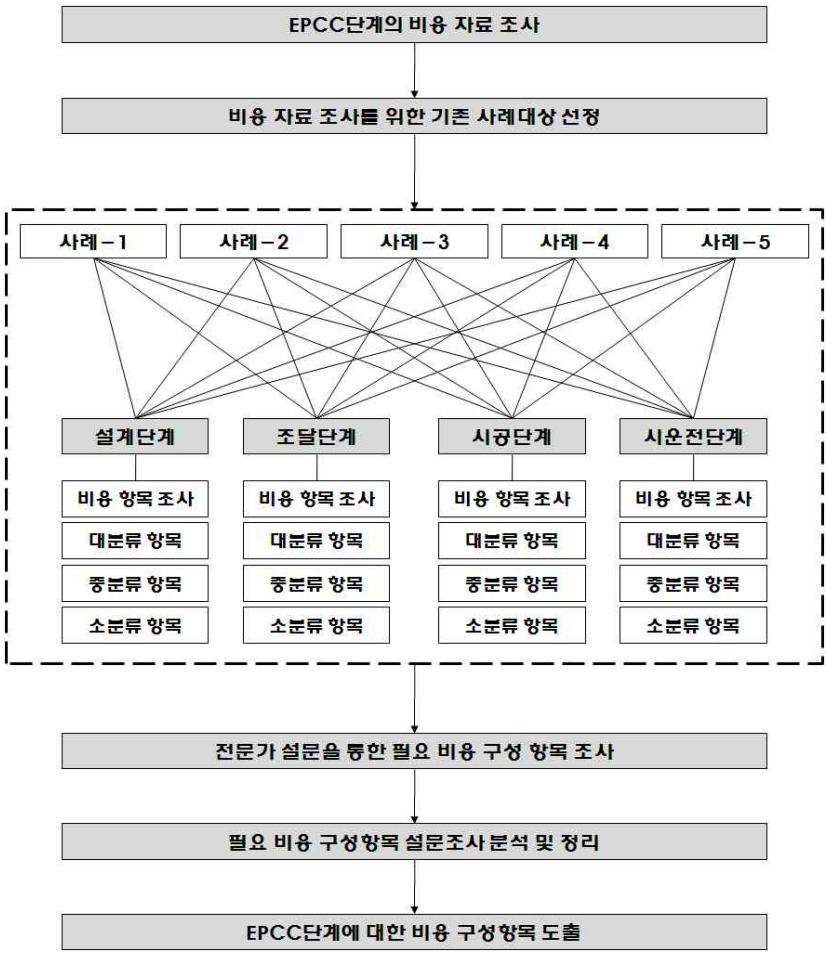
[그림 2.2.15] 확률적 기법에 의해 분석된 결과값 그래프

3. 3차년도 연구수행 내용 및 결과

가. 생애주기(EPCC) 비용분류체계 및 비용 조사

(1) 생애주기(EPCC) 비용분류체계 조사

LNG 플랜트 사업을 대상으로 설계, 조달, 시공, 시운전에 대한 총비용을 조사하였으며, 조사된 내용을 기반으로 각 단계별 비용 구성항목을 세부적으로 추가 조사하여 비용분류체계를 도출한다. 즉 기존 LNG 플랜트 사례대상으로 통하여 대분류 및 중분류에 대한 비용 구성항목을 조사하였으면, 본 절에서는 소분류에 포함되는 세부 비용 구성항목을 조사하여 정리한다. 상기와 같은 목적과 방법에 따른 생애주기(EPCC)단계의 비용 분류체계 조사 및 도출 방법을 정리하면 아래와 같다.



[그림 2.2.16] 비용분류체계 도출 절차 및 방법

전문가(실무자) 면담을 통하여 비용항목을 도출하는 과정에서 필수 비용항목 조사와 추가적인 비용항목이 있는지에 대한 조사가 동시에 이루어진다. 또한 세부 비용항목(소분류)의 비용 책정 시 어떠한 기준으로 책정이 되는지에 대한 근거 내용도 조사하였다. 상기와 같은 방법에 따라 EPCC 단계에 대한 비용분류체계를 정립 및 개발하면, 아래와 같다.

<표 2.2.12> 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 비용 구성항목 도출

대분류	중분류	소분류	적용 내용
설계비	직접인건비		
		본사인건비	• 본사 직원으로 설계 및 사업관리 업무 수행 인력의 인건비
		현장파견인력비	• 본사 직원으로 급여, 상여, 제수당, 퇴직충당금
		관리 인력비	• 본사 관리 인력에 대한 추가 인건비
	파견수당		
		출장비	• 본사 직원으로 항공료, VISA비용 등의 출장 제비용
		근무수당	• 현지 파견된 관리인력의 추가 근무수당
		직책수당	• 현지 파견된 관리인력의 직책에 대한 근무수당
	노무비		
		전임노무비	• 본사 직원으로 기술직 또는 일반직에 대한 비용
		현지노무비	• 현지 고용 인력에 대한 기술직 또는 일반직에 대한 비용
	외주비		
		국내설계외주비	• 국내 설계업체의 용역계약에 대한 외주비
		국외설계외주비	• 국외 설계업체의 용역계약에 대한 외주비
		현지설계외주비	• 시공과정의 현장 설계시 용역계약에 대한 외주비
		현지조사비	• 현지 측량조사, 지질조사, 지장물조사, 보상비 등
		License비	• License Fee, Training Fee 등
	설계경비		
		사업개발비	• 공사 계약전에 발생되는 기획 및 계획을 위한 제반 비용
		프로그램사용료	• 업무 관련 Soft 사용료, 유지비 등
		감독관지원비	• 사무실 임대료, 비품구입비, 식대, 차량지원비 등
조달비	직접인건비		
		본사인건비	• 본사 직원으로 기계 및 자재 구매 인원에 대한 인건비
		현장파견인력비	• 본사 직원으로 현장 파견되어 구매 인원에 대한 인건비
	노무비		
		전임노무비	• 본사 직원으로 기술직 또는 일반직에 대한 비용
		현지노무비	• 현지 고용 인력에 대한 기술직 또는 일반직에 대한 비용
	외주비		
		자재 Inspection	• 주요 기자재 검사 인력을 위한 용역업체 외주비
		Vendor	• 주요 기자재 구매 및 검토 인력을 위한 용역업체 외주비
	자재구매비		
		기계설비자재비	• 기계설비 자재 구매에 소요되는 비용
		배관설비자재비	• 배관설비 자재 구매에 소요되는 비용
		전기설비자재비	• 전기설비 자재 구매에 소요되는 비용
		보온설비자재비	• 보온설비 자재 구매에 소요되는 비용
		C&I설비자재비	• C&I설비 자재 구매에 소요되는 비용
		철구조물자재비	• 철구조물 자재 구매에 소요되는 비용
		소방설비자재비	• 소방설비 자재 구매에 소요되는 비용
		토목자재비	• 토목 자재 구매에 소요되는 비용
		건축자재비	• 건축 자재 구매에 소요되는 비용
		도장자재비	• 도장 자재 구매에 소요되는 비용
		촉매재 및 화공약품비	• 촉매재 및 화공약품비 구매에 소요되는 비용
	구매경비		
		해상운송비	• 주요 기자재의 해외 조달에 소요되는 비용
		내륙운송비	• 자국내의 기자재 조달에 소요되는 비용
		운송보험료	• 해외 및 내륙 운송에 대한 보험료
		통관제비용	• 관제, 통관수수료 등
		출장비	• 기자재 구매를 위한 국내 및 해외 출장비
		환변동보험료	• 환율변동에 대한 보상 보험료

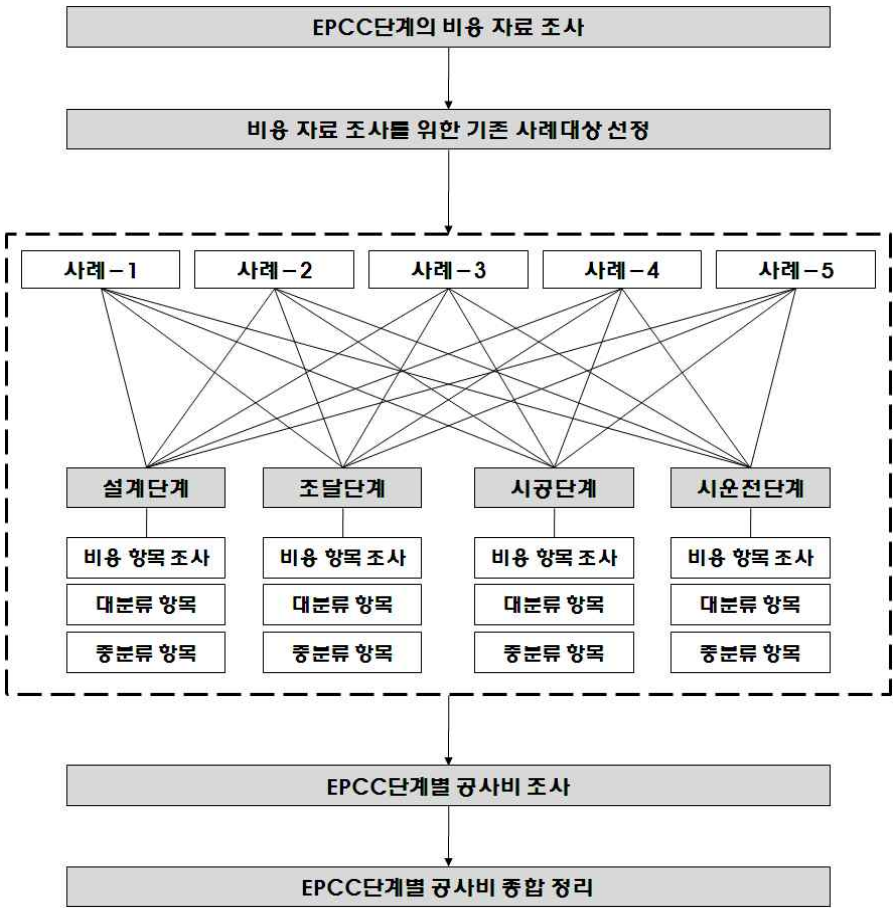
<표 2.2.12> 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 비용 구성항목 도출(상기 표 계속)

대분류	중분류	소분류	적용 내용
시공비	직접인건비		
		본사인건비	• 본사 직원으로 시공관리 인원에 대한 인건비
		현장파견인력비	• 본사 직원으로 파견 되어 시공관리 인원에 대한 인건비
	현장파견수당		
		출장비	• 본사 직원으로 항공료, VISA비용 등의 출장 제비용
		근무수당	• 현지 파견된 관리인력의 추가 근무수당
		직책수당	• 현지 파견된 관리인력의 직책에 대한 근무수당
	노무비		
		전임노무비	• 본사 직원으로 기술직 또는 일반직에 대한 비용
		현지노무비	• 현지 고용 인력에 대한 기술직 또는 일반직에 대한 비용
	외주비		
		기계설비외주비	• 기계설비 시공에 대한 용역업체 외주비
		배관설비외주비	• 배관설비 시공에 대한 용역업체 외주비
		전기설비외주비	• 전기설비 시공에 대한 용역업체 외주비
		보온설비외주비	• 보온설비 시공에 대한 용역업체 외주비
		C&I설비외주비	• C&I설비 시공에 대한 용역업체 외주비
		철구조물외주비	• 철구조물 시공에 대한 용역업체 외주비
		소방설비외주비	• 소방설비 시공에 대한 용역업체 외주비
		토목외주비	• 토목 시공에 대한 용역업체 외주비
		건축외주비	• 건축 시공에 대한 용역업체 외주비
		도장외주비	• 도장 시공에 대한 용역업체 외주비
		비파괴검사	• 비파괴검사에 대한 용역업체 외주비
	시공경비		
		출장비	• 관리 인력의 국외 출장에 대한 비용
		환변동보험료	• 시공중 발생되는 환율변동에 대한 보험료
시운전비	시운전비		
		시운전훈련비	• 시운전 훈련에 소요되는 제반 비용
		전담인력비	• 시운전 전담인력에 대한 인건비
		시운전 장비비	• 시운전시 사용되는 장비에 대한 임대 및 구매비
		화학약품비	• 생산물 공정을 위해 사용되는 화학 약품비

LNG 플랜트 5곳의 사례를 대상으로 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 비용자료 조사를 통하여 평균 공사비 분석 및 비율을 분석하였으며, 이를 바탕으로 비용분류체계에 대한 정립의 필요성이 있다. 따라서 사례분석의 비용 자료 조사를 통해 비용분류체계를 조사하였으며, 전문가 의 설문조사를 바탕으로 생애주기(EPCC)의 각 단계별 비용분류체계를 정립하였다. 또한 상기와 같이 생애주기(EPCC) 단계별 비용분류체계 정립의 결과를 반영하여 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈의 기초자료로 활용이 가능하다.

(2) 생애주기(EPCC) 비용 조사

해외 LNG 플랜트 건설사업의 설계(Engineering)단계, 조달(Procurement)단계, 시공(Construction)단계, 시운전(Commissioning)단계를 중심으로 비용 자료를 조사하며,. 비용 자료는 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 총공사비를 의미하며, 총공사비를 구성하는 비용 항목에 대한 조사를 동시에 수행한다. 즉 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 총공사비의 구성항목은 현재 해외 LNG 플랜트 건설사업에 적용된 국내 건설사의 내역서를 대상으로 조사하였다. 상기와 같은 목적과 방법에 따른 단계별 비용 자료 조사 절차를 정리하면 아래와 같다.



[그림 2.2.17] 비용자료 조사 절차 및 방법

생애주기(EPCC) 단계의 비용분류체계에서 정립된 LNG 플랜트 건설사업 시 작성되는 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 공사비 세부분류항목에 대한 실제 비용을 조사하였다. 이렇게 조사된 세부분류항목별 비용은 위험을 고려한 EPCC단계의 비용 분석 모델링의 기초자료에 적용된다. 조사된 단계별 세부분류항목에 따른 비용은 선정된 사례대상 5곳에서 조사된 내용이다.

설계단계의 항목별 비용 자료에서는 사례대상 5곳에서 조사된 설계단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료를 조사하였으며, 이를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.13> 설계단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 (단위: 백만원)

대분류	중분류	소분류	사례-1	사례-2	사례-3	사례-4	사례-5
설계비	직접인건비	본사인건비	2,577	1,962	2,052	1,916	1,850
		현장파견인력비	2,255	1,717	1,796	1,676	1,619
		관리 인력비	1,611	1,226	1,283	1,197	1,156
	합 계		6,443	4,906	5,131	4,790	4,625
	파견수당	출장비	116	81	92	93	97
		근무수당	170	119	135	137	142
		직책수당	255	178	203	205	214
	합 계		541	378	431	436	453
	노무비	전임노무비	1,163	943	907	740	688
		현지노무비	775	629	604	493	459
	합 계		1,939	1,572	1,511	1,233	1,147
	외주비	국내설계외주비	2,333	2,243	2,154	1,758	1,633
		국외설계외주비	2,612	2,512	2,412	1,969	1,829
		현지설계외주비	2,053	1,974	1,895	1,547	1,437
		현지조사비	1,306	1,256	1,206	984	915
		License비	1,026	987	948	773	719
	합 계		9,330	8,972	8,615	7,031	6,532
	설계경비	사업개발비	719	692	664	542	503
		프로그램사용료	1,406	1,353	1,298	1,059	984
		감독관지원비	1,145	1,101	1,056	862	801
	합 계		3,270	3,145	3,018	2,463	2,287
설계비 합계			21,523	18,973	18,705	15,952	15,044

조달단계의 항목별 비용 자료에서는 사례대상 5곳에서 조사된 조달단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료를 조사하였으며, 이를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.14> 조달단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 (단위: 백만원)

대분류	중분류	소분류	사례-1	사례-2	사례-3	사례-4	사례-5
조달비	직접인건비	본사인건비	178	178	170	134	125
		현장파견인력비	145	145	139	109	102
	합 계		323	323	309	243	227
	노무비	전임노무비	136	130	125	95	94
		현지노무비	91	87	83	64	63
	합 계		227	217	209	159	157
	외주비	자재Inspection	3,990	3,124	3,000	2,448	2,273
		Vendor	2,446	1,915	1,839	1,501	1,393
	합 계		6,436	5,039	4,839	3,949	3,666

<표 2.2.14> 조달단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 (단위: 백만원)

대분류	중분류	소분류	사례-1	사례-2	사례-3	사례-4	사례-5
조달비	자재구매비	기계설비자재비	7,715	7,248	6,960	8,679	8,277
		배관설비자재비	8,230	7,731	7,424	9,258	8,829
		전기설비자재비	7,201	6,765	6,496	8,100	7,725
		보온설비자재비	4,115	3,866	3,712	4,629	4,414
		C&I설비자재비	3,600	3,382	3,248	4,050	3,863
		철구조물자재비	4,115	3,866	3,712	4,629	4,414
		소방설비자재비	2,057	1,933	1,856	2,314	2,207
		토목자재비	4,629	4,349	4,176	5,207	4,966
		건축자재비	4,115	3,866	3,712	4,629	4,414
		도장자재비	2,057	1,933	1,856	2,314	2,207
		화공약품비	3,600	3,382	3,248	4,050	3,863
	합 계		51,436	48,320	46,401	57,860	55,181
	구매경비	해상운송비	5,242	5,041	4,841	3,949	3,670
		내륙운송비	1,856	1,785	1,714	1,399	1,300
		운송보험료	1,201	1,155	1,109	905	841
		통관제비용	764	735	706	576	535
		출장비	546	525	504	411	382
		환변동보험료	1,310	1,260	1,210	987	917
	합 계		10,920	10,502	10,084	8,227	7,645
조달비 합계			69,342	64,400	61,842	70,439	66,876

시공단계의 항목별 비용 자료에서는 사례대상 5곳에서 조사된 시공단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료를 조사하였으며, 이를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.15> 시공단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 (단위: 백만원)

대분류	중분류	소분류	사례-1	사례-2	사례-3	사례-4	사례-5
시공비	직접인건비	본사인건비	2,483	2,387	2,293	1,871	1,737
		현장파견인력비	2,031	1,953	1,876	1,531	1,421
	합 계		4,514	4,340	4,168	3,401	3,158
	현장파견수당	출장비	55	53	51	41	38
		근무수당	81	77	74	61	56
		직책수당	121	116	112	91	85
		현지불수당	110	106	101	83	77
	합 계		366	352	338	276	256
	노무비	전임노무비	2,448	2,354	2,259	1,843	1,714
		현지노무비	2,003	1,926	1,848	1,508	1,402
	합 계		4,450	4,280	4,107	3,352	3,116

<표 2.2.15> 시공단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 (단위: 백만원)

대분류	중분류	소분류	사례-1	사례-2	사례-3	사례-4	사례-5
시공비	외주비	기계설비외주비	12,696	10,823	13,453	11,805	11,287
		배관설비외주비	13,542	11,544	14,350	12,591	12,040
		전기설비외주비	11,849	10,101	12,556	11,018	10,535
		보온설비외주비	6,771	5,772	7,175	6,296	6,020
		C&I설비외주비	5,925	5,051	6,278	5,509	5,267
		철구조물외주비	6,771	5,772	7,175	6,296	6,020
		소방설비외주비	3,386	2,886	3,587	3,148	3,010
		토목외주비	7,617	6,494	8,072	7,083	6,772
		건축외주비	6,771	5,772	7,175	6,296	6,020
		도장외주비	3,386	2,886	3,587	3,148	3,010
		비파괴검사	5,925	5,051	6,278	5,509	5,267
	합 계		84,638	72,152	89,686	78,697	75,249
		출장비	3,016	2,764	2,786	2,273	2,112
		환변동보험료	2,699	2,473	2,493	2,034	1,890
	합 계		5,715	5,236	5,279	4,307	4,002
시공비 합계			99,683	86,361	103,579	90,033	85,781

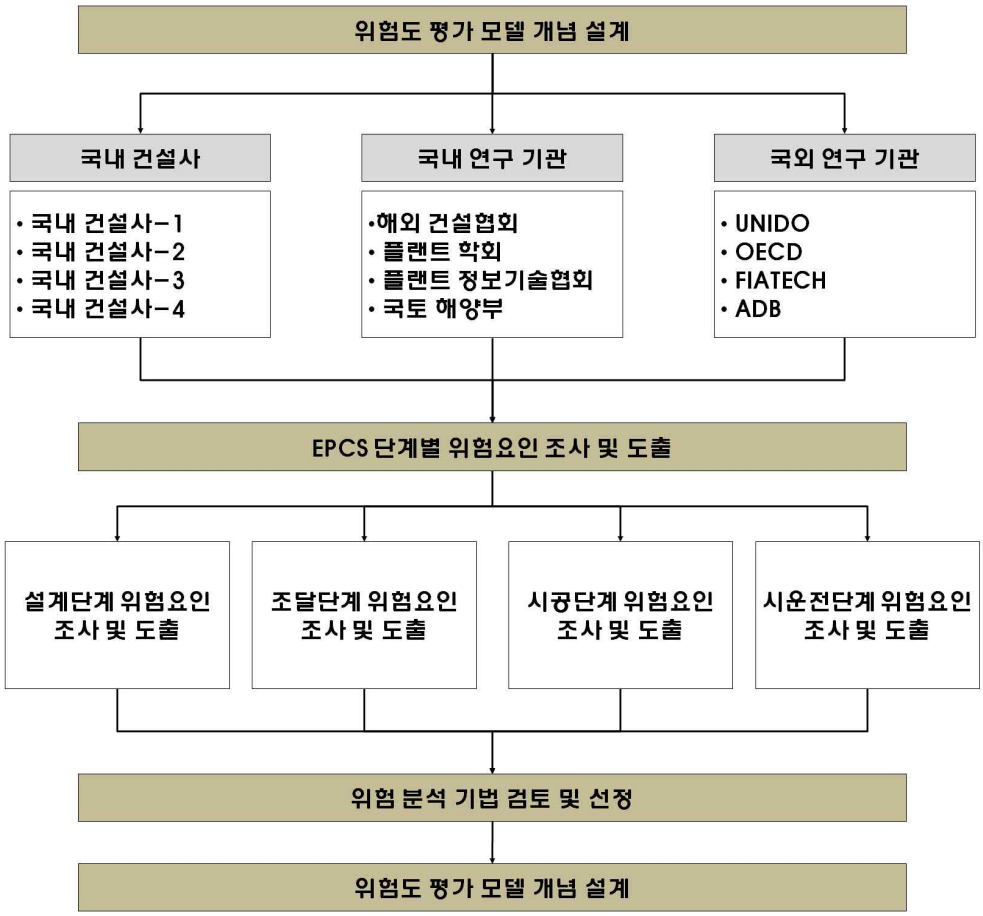
시운전단계의 항목별 비용 자료에서는 사례대상 5곳에서 조사된 시운전단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료를 조사하였으며, 이를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.16> 시운전단계의 세부 비용 구성항목별 비용 자료 (단위: 백만원)

대분류	중분류	소분류	사례-1	사례-2	사례-3	사례-4	사례-5
시운전비	시운전비	시운전훈련비	653	628	603	492	433
		전담인력비	292	281	270	220	194
		시운전 장비비	464	446	428	349	308
		화학약품비	309	297	285	233	205
	시운전비 합계		1,718	1,652	1,586	1,294	1,140

나. 생애주기(EPCC) 단계의 위험요인 조사

해외 플랜트 건설사업 수행 시 고려되는 위험요인을 조사하여 설계단계, 조달단계, 시공단계, 시운전단계로 분류하여 정리하였다. 즉 조사된 해외 플랜트 건설사업 위험요인 중 발생 가능성이 상대적으로 높은 요인을 재검토하여 단계별로 분류한다. 상기와 같은 방법에 따른 절차를 정리하면 아래와 같다.



[그림 2.2.18] 생애주기 단계의 위험요인 평가

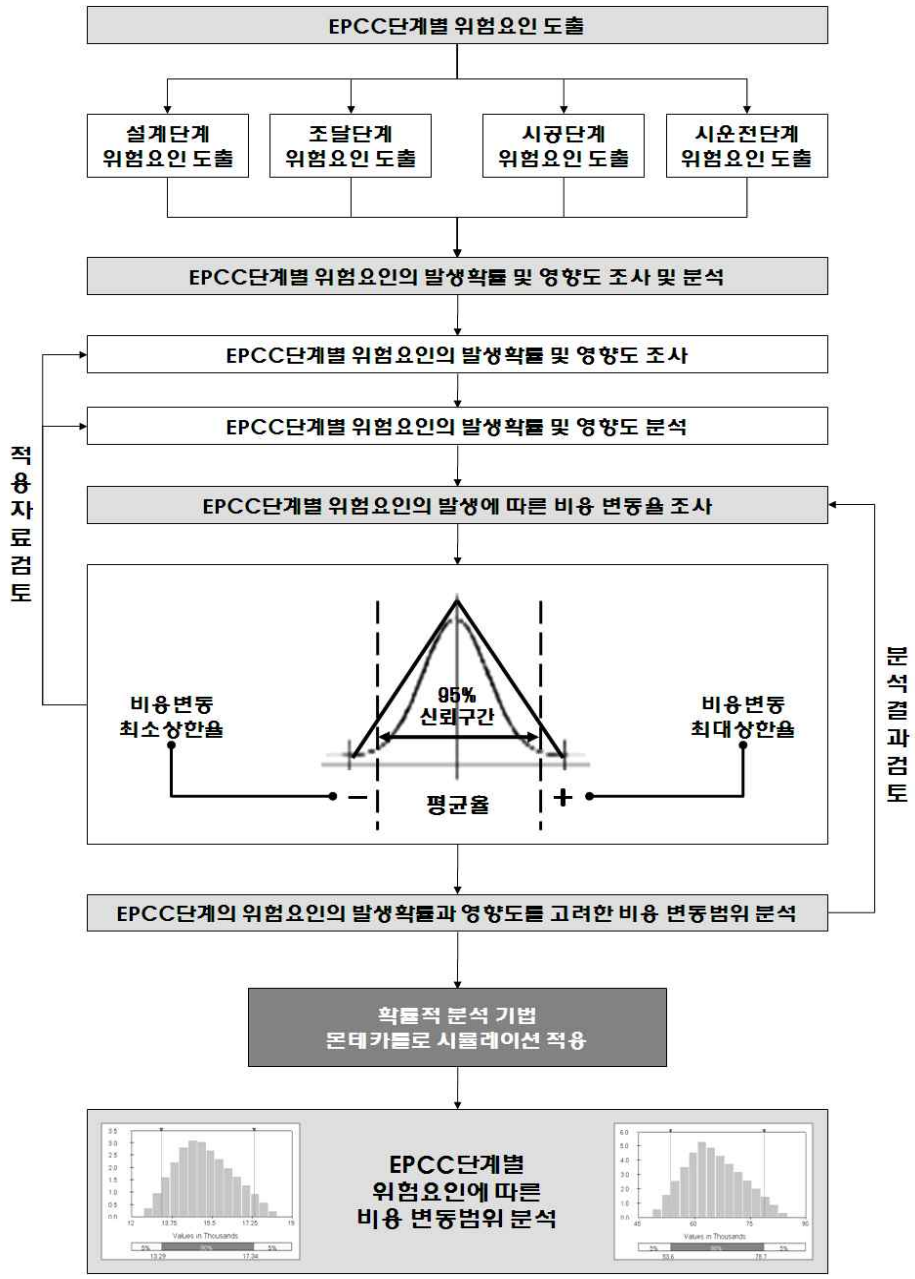
상기 그림에서 정리된 위험요인 조사 및 위험분석 기법 검토 그리고 위험도 평가 개념 설계 절차 및 방법에 대한 세부적인 내용은 다음과 같다. 먼저 국내 건설사, 국내 연구기관, 국외 연구기관을 대상으로 해외 플랜트 건설사업 시 고려되는 위험요인을 조사한 후 설계단계, 조달단계, 시공단계로 분류하여 위험요인을 정리하였다. 이렇게 정리된 위험요인을 대상으로 분석을 위한 기법을 검토하여 분석 기법을 선정 한 후 위험도 평가 모델 개념 설계를 제시한다. 상기와 같은 절차와 방법에 따라 조사된 해외 플랜트 건설 사업 수행 시 고려되는 위험요인을 설계단계, 조달단계, 시공단계로 분류하여 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.17> EPCC단계별 위험요인 조사 및 도출

설계단계	위험요인	설계단계	위험요인
E-01	• 자격증 활용 미검토	E-11	• 특허권 사용 미검토
E-02	• 기본설계 미흡	E-12	• 낮은 온도재료 미사용
E-03	• 실시설계 미흡	E-13	• 설계도서의 오류
E-04	• 설계사무소 위치 부적합	E-14	• 견적 기준의 부정확성
E-05	• 환경규정 사항 부적합	E-15	• 계약 조건의 불명확
E-06	• 설계단계에서의 HSE 미흡	E-16	• 예상치 못한 환율변동
E-07	• 협력업체 기술능력 부족	E-17	• 사업수행 조직구성 미흡
E-08	• 새로운 소프트웨어의 활용 미숙	E-18	• 자금조달 계획의 불확실성
E-09	• 품목별 단가의 변동	E-19	• 물량 산출내역의 부정확성
E-10	• 설계도면의 시공 난해성	-	-
조달단계	**위험요인**	**조달단계**	**위험요인**
P-01	• RFQ 내용의 미흡	P-11	• 장기 임대 가설장비 계획변경
P-02	• 밴더의 경험부족	P-12	• 자재 및 설비시설 시장변동
P-03	• 자재조달 일정지연	P-13	• 물류비 지급 계획 지연/변경
P-04	• 운반경로 및 운송수단 변경	P-14	• 장기임대 기계 설비계획 미흡
P-05	• 관세처리 지연 및 분쟁	P-15	• 기술인력 조달 계획 지연/변경
P-06	• 관세 지급 유무 미검토	P-16	• 납기지연 발생
P-07	• 화물운송 무보험	P-17	• 수출입 항구 위치선정 실패
P-08	• 운송 시간 지연	P-18	• 현장 인력 동원계획 변경
P-09	• 운송비 지불 계약조건 불명확성	P-19	• 운반물 특수 포장 불량
P-10	• 부적합 냉동박스 선택	P-20	• 환율변동에 따른 조달비 변동
시공단계	**위험요인**	**시공단계**	**위험요인**
C-01	• 하도급 계약 변경 및 해약	C-16	• 클레임 발생
C-02	• 현장설계 수정	C-17	• 물량 산출의 오류
C-03	• 긴급 대피계획 미흡	C-18	• 장비 운전 계획의 지연 및 변경
C-04	• 가설용수 및 전력 공급 부적합	C-19	• 공사부지 주변 현황 부적합
C-05	• 현장 설명의 오류	C-20	• 하도급 업체의 기술력 부족
C-06	• 근로자 파업	C-21	• 하도급 업체와 계약조건 불명확성
C-07	• 화재발생	C-22	• 기성금 지급 일정의 지연
C-08	• 가스 누출	C-23	• 국가행사로 인한 비용 발생
C-09	• 발주자와의 관계 개선 미흡	C-24	• 치안 유지 실패
C-10	• 추락사고	C-25	• 시방서 적용 기준 불이행
C-11	• 운송 중 교통사고	C-26	• 인접수송 시설 접근성 부족
C-12	• 기후 (무더운 날씨, 폭우)	C-27	• 잦은 설계 사양 변경
C-13	• 환율변동	C-28	• 현지 인력의 기술 교육 부족
C-14	• 인력 동원 계획의 지연 및 변경	C-29	• 발주처의 기성금 지급 지연
C-15	• 현지 관련 법규 위반	C-30	• 기계설비 사양 변경
시운전단계	**위험요인**	**시운전단계**	**위험요인**
C-01	• 시운전 준비에서 혼선 초래여부	C-05	• 시운전에 대한 개런티 정도
C-02	• 시운전 과정에서 돌발사태 발생여부	C-06	• 파손 등에 대비한 시스템 구축여부
C-03	• 시운전 절차서 미흡	C-07	• 시운전 중 Utility 용량 부족
C-04	• Utility 사용조건 확인미흡	-	-

다. 생애주기(EPCC) 단계의 위험요인 평가 개념 설계

해외 LNG 플랜트 건설사업에 대한 위험도 평가 모델 개념 설계를 세부적으로 설명하면 다음과 같다. 위험도 평가 모델은 설계, 조달, 시공, 시운전단계별로 고려되는 위험요인을 조사한 후 그 위험요인의 발생확률과 영향도를 조사 및 평가한다. 즉 각 단계별 위험요인이 건설사업 수행 과정에서 발생될 확률은 어느 정도 이며, 발생되었을 경우 비용에 미치는 영향도에 대하 평가 하는 것이다. 이렇게 조사 및 평가된 위험요인의 발생확률과 비용 영향도를 기반으로 공사비의 변동범위를 분석하는 것이다.



[그림 2.2.19] EPCC단계의 위험도 평가 개념 설계 및 분석 모델

비용 영향도에 따른 공사비의 변동범위 분석은 해외 LNG 플랜트 건설사업 수행 시 발생되는 위험요인에 대해 최소 하한 영향율과 최대 상한 영향률을 조사하여 반영하여 삼각형 분포를 적용하여 확률적 분석을 수행함. 확률적 분석에 의해 수행된 비용 변동범위는 위험요인이 발생될 경우의 최소 하한율과 최대 상한율을 통하여 적정 변동범위를 분석하기 위함이다. 이와 같이 설계, 조달, 시공, 시운전 단계에서 고려되는 위험요인과 위험요인에 대한 영향도 및 발생확률을 분석하며, 이를 기반으로 각 단계별 위험요인이 비용에 미치는 영향정도를 정량적으로 분석한다. 즉 위험발생과 비용의 상관관계를 변동범위로 추정하는 방법이다.

(1) 생애주기 단계의 위험요인 발생확률 및 영향도 분석

설계, 조달, 시공, 시운전 단계별로 조사된 위험요인을 고려한 생애주기(EPCC)단계의 비용 모델링의 개념은 다음과 같다. 먼저 조사된 각 단계별 위험요인의 발생확률과 영향도를 조사한다. 즉 상기에서 제시된 생애주기(EPCC) 단계의 위험도 평가 개념 설계와 연계하여 비용 분석 모델링을 구성하는 것으로 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 위험요인을 고려하여 비용을 분석한다.

LNG 플랜트 건설사업 수행 시 발생되는 위험요인에 따른 비용 현황을 평균으로 설정한 후 평균 이상으로 위험요인이 발생되었을 경우의 비용이 변동되는 최대 상한율과 평균 이하로 위험요인이 발생되었을 경우의 최소 하한율을 조사하여 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 확률적 비용 변동 분포도를 분석한다. 도출된 설계단계의 위험요인을 대상으로 전문가 설문을 통하여 조사된 발생확률과 영향도를 분석한다. 도출된 위험요인의 발생가능성과 발생되었을 경우 비용에 미치는 영향 정도에 대한 분석을 위한 것으로써, 내용을 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.18> 설계단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석

설계단계	위험요인	발생확률	영향도
E-01	• 자격증 활용 미검토	14%	3
E-02	• 기본설계 미흡	41%	8
E-03	• 실시설계 미흡	51%	6
E-04	• 설계사무소 위치 부적합	14%	3
E-05	• 환경규정 사항 부적합	18%	4
E-06	• 설계단계에서의 HSE 미흡	24%	7
E-07	• 협력업체 기술능력 부족	47%	9
E-08	• 새로운 소프트웨어의 활용 미숙	15%	7
E-09	• 품목별 단가의 변동	56%	8
E-10	• 설계도면의 시공 난해성	37%	7
E-11	• 특허권 사용 미검토	15%	4
E-12	• 낮은 온도재료 미사용	10%	6
E-13	• 설계도서의 오류	33%	8
E-14	• 견적 기준의 부정확성	42%	9
E-15	• 계약 조건의 불명확	23%	8
E-16	• 예상치 못한 환율변동	56%	9
E-17	• 사업수행 조직구성 미흡	23%	7
E-18	• 자금조달 계획의 불확실성	32%	8
E-19	• 물량 산출내역의 부정확성	47%	9

도출된 조달단계의 위험요인을 대상으로 전문가 설문을 통하여 조사된 발생확률과 영향도를 분석한다. 즉 도출된 위험요인의 발생가능성과 발생되었을 경우 비용에 미치는 영향 정도에 대한 분석을 위한 것으로써, 분석된 내용을 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.19> 조달단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석

조달단계	위험요인	발생확률	영향도
P-01	• RFQ 내용의 미흡	26%	6
P-02	• 밴더의 경험부족	41%	7
P-03	• 자재조달 일정지연	61%	8
P-04	• 운반경로 및 운송수단 변경	45%	7
P-05	• 관세처리 지연 및 분쟁	31%	5
P-06	• 관세 지급 유무 미검토	36%	6
P-07	• 화물운송 무보험	36%	7
P-08	• 운송 시간 지연	62%	8
P-09	• 운송비 지불 계약조건 불명확성	30%	7
P-10	• 부적합 냉동박스 선택	41%	4
P-11	• 장기 임대 가설장비 계획변경	26%	8
P-12	• 자재 및 설비시설 시장변동	50%	8
P-13	• 물류비 지급 계획 지연/변경	61%	9
P-14	• 장기임대 기계 설비계획 미흡	36%	8
P-15	• 기술인력 조달 계획 지연/변경	46%	8
P-16	• 납기지연 발생	56%	8
P-17	• 수출입 항구 위치선정 부적합	16%	5
P-18	• 현장 인력 동원계획 변경	46%	7
P-19	• 운반물 특수 포장 불량	10%	5
P-20	• 환율변동에 따른 조달비 변동	61%	9

도출된 시공단계의 위험요인을 대상으로 전문가 설문을 통하여 조사된 발생확률과 영향도를 분석한다. 즉 도출된 위험요인의 발생가능성과 발생되었을 경우 비용에 미치는 영향 정도에 대한 분석을 위한 것으로써, 분석된 내용을 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.20> 시공단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석

시공단계	위험요인	발생확률	영향도
C-01	• 하도급 계약 변경 및 해약	46%	7
C-02	• 현장설계 수정	61%	7
C-03	• 긴급 대피계획 미흡	21%	8
C-04	• 가설용수 및 전력 공급 부적합	55%	7
C-05	• 현장 설명의 오류	46%	6
C-06	• 근로자 파업	61%	9
C-07	• 화재발생	40%	8
C-08	• 가스 누출	46%	8
C-09	• 발주자와의 관계 개선 미흡	25%	7
C-10	• 추락사고	31%	8

<표 2.2.20> 시공단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석

시공단계	위험요인	발생확률	영향도
C-11	• 운송 중 교통사고	36%	7
C-12	• 기후 (무더운 날씨, 폭우)	50%	5
C-13	• 환율변동	71%	9
C-14	• 인력 동원 계획의 지연 및 변경	66%	6
C-15	• 현지 관련 법규 위반	51%	6
C-16	• 클레임 발생	51%	8
C-17	• 물량 산출의 오류	56%	7
C-18	• 장비 운전 계획의 지연 및 변경	56%	7
C-19	• 공사부지 주변 현황 부적합	36%	6
C-20	• 하도급 업체의 기술력 부족	61%	9
C-21	• 하도급 업체와 계약조건 불명확성	51%	7
C-22	• 기성금 지급 일정의 지연	66%	7
C-23	• 국가행사로 인한 비용 발생	30%	6
C-24	• 치안 유지 실패	30%	8
C-25	• 시방서 적용 기준 불이행	61%	5
C-26	• 인접수송 시설 접근성 부족	55%	5
C-27	• 잦은 설계 사양 변경	66%	8
C-28	• 현지 인력의 기술 교육 부족	70%	6
C-29	• 발주처의 기성금 지급 지연	71%	9
C-30	• 기계설비 사양 변경	65%	8

도출된 시운전단계의 위험요인을 대상으로 전문가 설문을 통하여 조사된 발생확률과 영향도를 분석한다. 즉 도출된 위험요인의 발생가능성과 발생되었을 경우 비용에 미치는 영향 정도에 대한 분석을 위한 것으로써, 분석된 내용을 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.21> 시운전단계 위험요인의 발생확률 및 영향도 분석

시운전	위험요인	발생확률	영향도
C-01	• 시운전 준비에서 혼선 초래여부	55%	8
C-02	• 시운전 과정에서 돌발사태 발생여부	41%	9
C-03	• 시운전 절차서 미흡	70%	6
C-04	• Utility 사용조건 확인미흡	71%	6
C-05	• 시운전에 대한 개런티 정도	56%	7
C-06	• 파손 등에 대비한 시스템 구축여부	71%	7
C-07	• 시운전 중 Utility 용량 부족	60%	7

(2) 생애주기 단계의 중요 위험요인 비용 변동비율 분석

설계, 조달, 시공단계별 위험요인에 따른 비용 변동률 조사 시 고려할 점은 절대적인 수치가 아닌 예측치로써, 확률적 수치로 인한 변동범위의 분석이다. 이는 사업초기 단계에 발생가능한 위험요인을 조사하여 이에 대한 비용 변동률을 예측하는 것임으로써, 추정된 비용을 통한 원가 관리의 체계를 수립하기 위함이다. 상기와 같은 방법에 따라 조사된 위험요인별 비용 변동범위 조사 및 분석 결과를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.22> 설계단계 위험요인별 비용 변동률 분석

구분	NO	위험 요인	(-) 구간	(+)구간
설 계 단 계	E-01	FEED확인	-1.23%	1.72%
	E-02	자격증 활용검토	-1.33%	1.07%
	E-03	기본설계 확인	-1.41%	2.07%
	E-04	실시설계 확인	-1.27%	2.20%
	E-05	설계사무소위치의	-0.96%	0.96%
	E-06	환경규정 사항	-0.95%	1.43%
	E-07	설계단계에서의 HSE	-1.02%	1.68%
	E-08	협력업체 기술능력	-1.27%	2.71%
	E-09	새로운 소프트웨어의 활용	-1.07%	1.01%
	E-10	품목별 단가의 적정성	-1.25%	2.53%
	E-11	설계도면의 시공 적합성	-1.43%	2.06%
	E-12	특허권 사용 유무	-1.10%	1.23%
	E-13	낮은 온도 재료 사용	-1.01%	1.10%
	E-14	설계도서 오류 검토	-1.12%	1.56%
	E-15	견적 기준의 적정성	-1.39%	1.87%
	E-16	계약 조건의 적정성	-1.25%	1.93%
	E-17	환율변동	-1.65%	2.32%
	E-18	사업수행 조직의 적정성	-1.26%	1.48%

<표 2.2.23> 조달단계 위험요인별 비용 변동률 분석

구분	NO	위험 요인	(-) 구간	(+)구간
조 달 단 계	P-01	RFQ 내용의 적합성	-1.18%	1.70%
	P-02	벤더의 경험정도	-1.00%	1.38%
	P-03	자재조달 일정의 적정성	-1.65%	1.82%
	P-04	운반경로 및 운송수단 검토	-1.59%	1.86%
	P-05	관세처리 절차 및 방법	-0.98%	1.32%
	P-06	관세 지급 유무 여부	-0.97%	1.25%
	P-07	화물운송 보험적용	-0.95%	1.34%
	P-08	운송 시간	-1.50%	2.18%
	P-09	운송비 지불 조건	-1.44%	2.17%
	P-10	냉동박스 선택	-0.90%	1.10%
	P-11	장기 임대 가설 장비	-1.48%	2.25%
	P-12	자재 및 설비시설 시장 현황	-1.54%	2.59%
	P-13	벤더회사의 기술 능력	-1.15%	1.40%
	P-14	물류비 지급 계획	-1.49%	2.27%
	P-15	장기임대 기계 설비	-1.25%	1.22%
	P-16	기술인력 조달 계획 검토	-1.36%	1.60%
	P-17	납기지연발생	-1.42%	2.33%
	P-18	수출입 항구 위치의 적정성	-1.28%	2.02%
	P-19	현장 인력 동원 계획 검토	-1.48%	2.36%
	P-20	운반물 특수 포장 검토	-1.20%	1.41%
	P-21	환율변동에 따른 조달비 검토	-1.45%	1.68%

<표 2.2.24> 시공단계 위험요인별 비용 변동률 분석

구분	NO	위험 요인	(-) 구간	(+)구간
시 공 단 계	C-01	하도급 계약 현황	-1.57%	2.05%
	C-02	현장설계 수정	-1.64%	2.16%
	C-03	긴급 대피계획	-1.11%	1.50%
	C-04	공사 용수 및 전력 공급위치	-1.59%	2.64%
	C-05	현장 설명의 오류 검토	-1.41%	2.05%
	C-06	근로자 파업	-1.61%	1.59%
	C-07	화재발생	-0.57%	1.91%
	C-08	가스 누출	-0.61%	1.77%
	C-09	발주자와의 관계	-1.28%	2.18%
	C-10	추락사고	-0.57%	1.41%
	C-11	운송 중 교통사고	-1.05%	1.43%
	C-12	기후	-0.61%	1.82%
	C-13	환율변동	-1.52%	2.11%
	C-14	인력 동원 계획의 적정성	-1.20%	2.05%
	C-15	현지 관련 법규	-0.59%	1.48%
	C-16	클래임 발생 검토	-1.55%	1.93%
	C-17	물량 산출의 적정성	-1.59%	2.23%
	C-18	장비 운전 계획의 적정성	-1.41%	2.14%
	C-19	공사부지 주변 현황 검토	-1.23%	1.82%
	C-20	하도급 업체의 기술력 검토	-1.50%	2.30%
	C-21	하도급 업체와 계약조건 검토	-1.45%	1.84%
	C-22	기성금 지급 일정의 적정성	-1.89%	2.80%
	C-23	국가행사로 인한 발생 비용 검토	-0.59%	1.63%
	C-24	치안 유지 검토	-1.00%	1.62%
	C-25	시방서 적용 기준의 적정성	-1.32%	1.68%
	C-26	인접수송 시설접근 용이	-1.41%	2.05%

<표 2.2.25> 시운전단계 위험요인별 비용 변동률 분석

구분	NO	위험 요인	(-) 구간	(+)구간
시 공 단 계	C-01	시운전 준비에서 혼선 초래여부	-1.57%	2.05%
	C-02	시운전 과정에서 돌발사태 발생여부	-1.64%	2.16%
	C-03	시운전 절차서 미흡	-1.11%	1.50%
	C-04	Utility 사용조건 확인미흡	-1.59%	2.64%
	C-05	시운전에 대한 개런티 정도	-1.41%	2.05%
	C-06	파손 등에 대비한 시스템 구축여부	-1.61%	1.59%
	C-07	시운전 중 Utility 용량 부족	-0.57%	1.91%

라. 생애주기(EPCC) 단계의 위험요인을 고려한 비용변동 범위 분석

설계단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률적 변동범위 분석 내용은 다음과 같으며, 확률적 분석을 위한 입력값을 정리하면 아래와 같다.

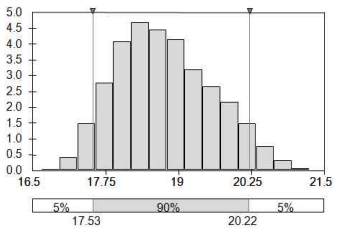
<표 2.2.26> 설계단계의 비용 입력값 (단위: 천원)

대분류	중분류	공사비용	비용 변동 범위		
			하한비용	기준비용	상한비용
설계비	직접인건비	5,178,616	4,608,968	5,178,616	5,729,185
	파견수당	639,700	607,715	639,700	684,479
	노무비	1,480,196	1,322,049	1,480,196	1,702,225
	외주비	8,096,059	6,975,394	8,096,059	10,686,798
	설계경비	2,836,885	2,751,779	2,836,885	2,990,674
합 계		18,231,456	16,265,905	18,231,456	21,793,361

설계단계를 구성하는 비용항목별 분석 내용을 바탕으로 확률적 분석기법을 적용하여 분포범위를 분석하였다. 즉 설계단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률변동범위(분포범위)를 모델링하는 것으로 결과를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.27> 설계단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 (단위: 백만원)

구 분	최소비용	최대비용	평균비용	5%	95%	분포 범위 그래프
직접인건비	4,617	5,724	5,172	4,788	5,553	
파견수당	608	684	644	619	671	
노무비	1,322	1,701	1,501	1,377	1,637	
외주비	6,984	10,659	8,586	7,431	9,993	
설계경비	2,753	2,990	2,860	2,784	2,948	
합계	16,662	21,250	18,764	17,530	20,216	



조달단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률적 변동범위 분석 내용은 다음과 같으며, 확률적 분석을 위한 입력값을 정리하면 아래와 같다.

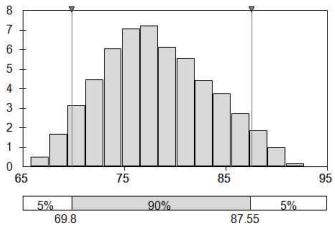
<표 2.2.28> 조달단계의 비용 입력값 (단위: 천원)

대분류	중분류	공사비용	비용 변동 범위		
			하한비용	기준비용	상한비용
조달비	직접인건비	2,284,961	2,094,167	2,284,961	2,603,713
	노무비	3,193,745	2,939,843	3,193,745	3,589,770
	외주비	4,785,889	4,068,005	4,785,889	6,460,949
	구매비	56,084,344	45,989,162	56,084,344	71,787,960
	구매경비	9,475,611	9,096,587	9,475,611	10,134,166
합 계		75,824,550	64,187,764	75,824,550	94,576,559

조달단계를 구성하는 비용항목별 분석 내용을 바탕으로 확률적 분석기법을 적용하여 분포범위를 분석하였다. 즉 조달단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률적 변동범위(분포범위)를 모델링하는 것으로 결과를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.29> 조달단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 (단위: 백만원)

구 분	최소비용	최대비용	평균비용	5%	95%	분포 범위 그래프
직접인건비	2,096	2,600	2,328	2,164	2,514	
노무비	2,942	3,588	3,241	3,031	3,477	
외주비	4,075	6,443	5,105	4,361	6,013	
구매비	46,045	71,603	57,954	49,596	67,285	
구매경비	9,099	10,131	9,569	9,237	9,949	
조달비합계	65,816	92,718	78,197	69,801	87,546	



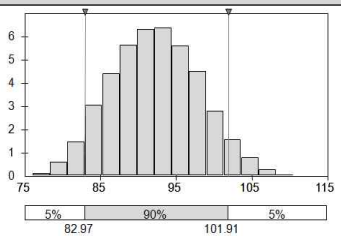
시공단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률적 변동범위 분석 내용은 다음과 같으며, 확률적 분석을 위한 입력값을 정리하면 [표 19]와 같다.

<표 2.2.30> 시공단계의 비용 입력값 (단위: 천원)

대분류	중분류	공사비용	비용 변동 범위		
			하한비용	기준비용	상한비용
시공비	직접인건비	3,916,391	3,514,308	3,916,391	4,490,795
	노무비	3,861,002	3,320,461	3,861,002	4,637,063
	공사외주비	43,839,493	32,777,328	43,839,493	57,415,123
	건설장비비	31,765,525	26,524,213	31,765,525	40,098,681
	시공경비	6,816,444	6,466,533	6,816,444	7,352,671
합 계		90,198,855	72,602,844	90,198,855	113,994,332

시공단계를 구성하는 비용항목별 분석 내용을 바탕으로 확률적 분석기법을 적용하여 분포범위를 분석하였다. 즉 시공단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률적 변동범위(분포범위)를 모델링하는 것으로 결과를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.31> 시공단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 (단위: 백만원)

구 분	최소비용	최대비용	평균비용	5%	95%	분포 범위 그래프
직접인건비	3,519	4,484	3,974	3,654	4,323	
노무비	3,327	4,629	3,939	3,509	4,411	
공사외주비	32,911	57,353	44,677	36,468	53,322	
건설장비비	26,577	40,014	32,796	28,410	37,719	
시공경비	6,472	7,347	6,879	6,591	7,199	
시공비합계	76,097	110,506	92,265	82,965	101,911	

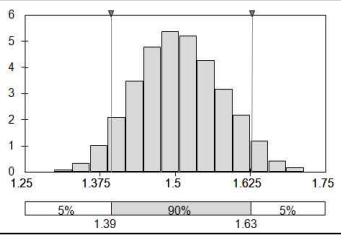
시운전단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률적 변동범위 분석 내용은 다음과 같으며, 확률적 분석을 위한 입력값을 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.32> 시운전단계의 비용 입력값 (단위: 천원)

대분류	중분류	공사비용	비용 변동 범위		
			하한비용	기준비용	상한비용
시공비	직접인건비	3,916,391	3,514,308	3,916,391	4,490,795
	노무비	3,861,002	3,320,461	3,861,002	4,637,063
	공사외주비	43,839,493	32,777,328	43,839,493	57,415,123
	건설장비비	31,765,525	26,524,213	31,765,525	40,098,681
	시공경비	6,816,444	6,466,533	6,816,444	7,352,671
합 계		90,198,855	72,602,844	90,198,855	113,994,332

시운전단계를 구성하는 비용항목별 분석 내용을 바탕으로 확률적 분석기법을 적용하여 분포범위를 분석하였다. 즉 시운전단계에서 고려되는 위험요인의 비용 영향도에 따른 확률적 변동범위(분포범위)를 모델링하는 것으로 결과를 정리하면 아래와 같다.

<표 2.2.33> 시운전단계의 확률적 비용 분포범위 분석 결과 (단위: 백만원)

구 분	최소비용	최대비용	평균비용	5%	95%	분포 범위 그래프
훈련비	319	489	400	343	461	
노무비	382	533	455	404	509	
장비비	533	789	652	568	745	
시운전합계	1,300	1,744	1,508	1,394	1,628	

국내 플랜트 산업에서 실제 활용하고 있는 생애주기(EPCC) 단계의 비용 자료를 조사하였으며, 이를 바탕으로 위험요인별 발생확률 및 영향도를 분석 및 도출하였으며, 위험요인을 고려한 생애주기(EPCC) 단계 비용 모델링을 실시하였으며, 상기와 같은 현업 실제 데이터의 활용은 본 연구에서 구축될 모듈에서 비용분석 및 평가의 오류를 저감시킬 시킬 수 있는 참조자료 활용이 가능하다.

생애주기(EPCC) 비용분류체계 정립의 활용과 기존제품의 단점, 실제사용자의 요구사항 반영, 위험도 평가 개념설계, 실제 현업 데이터를 바탕으로 Excel 기반의 @Risk Program을 활용하여 본 연구의 결과물인 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈을 구축하였으며, 본 모듈의 사용자를 위한 평가지침을 개발하였다. 또한 상기와 같은 본 연구의 결과물인 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈과 평가지침은 추후 타 연구 과제나 현업에서 기초자료의 활용 및 응용 가능하다.

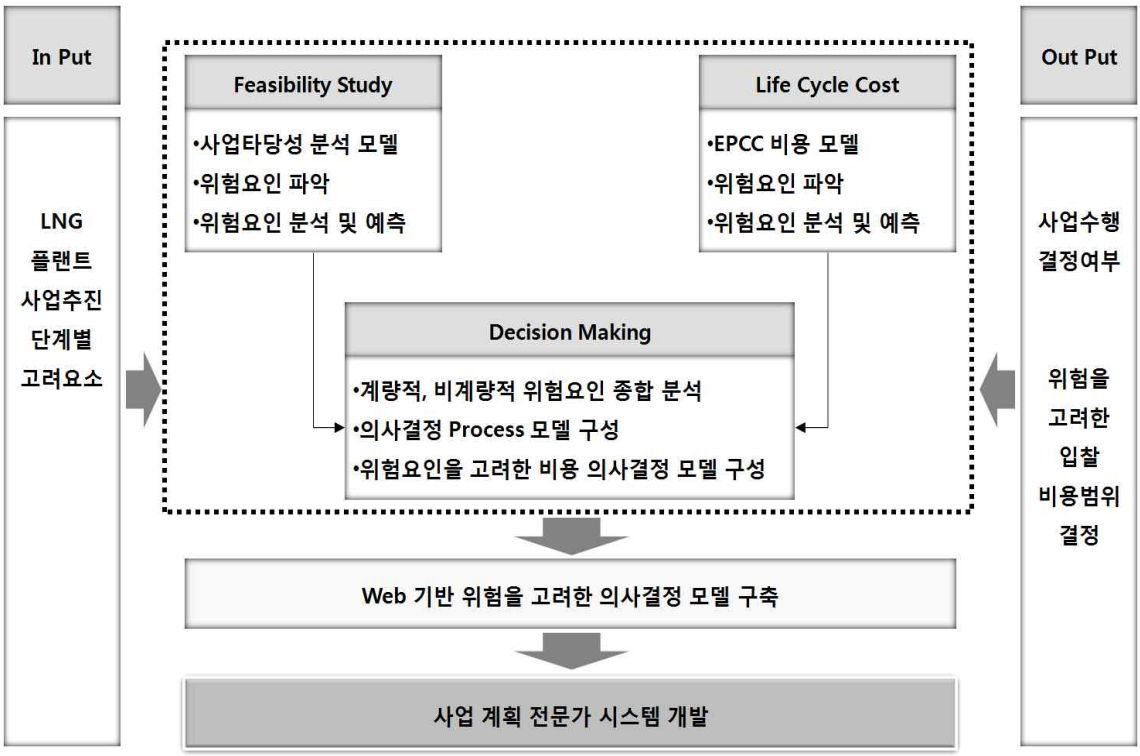
4. 4차년도 연구수행 내용 및 결과

가. 의사결정 모듈 개념설계 및 구성

(1) 의사결정 모듈 개념설계

LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템 개발을 위한 의사결정 모듈의 구성요소는 사업기획 및 계획 단계에서 고려되는 요소를 중심으로 설정하였다. 이때 설정된 구성요소는 크게 재무적 사업 타당성분석(Feasibility Study), 생애주기(EPCC)비용 평가, 시나리오 기반 의사결정(시뮬레이션)(Decision Making)으로 분류된다.

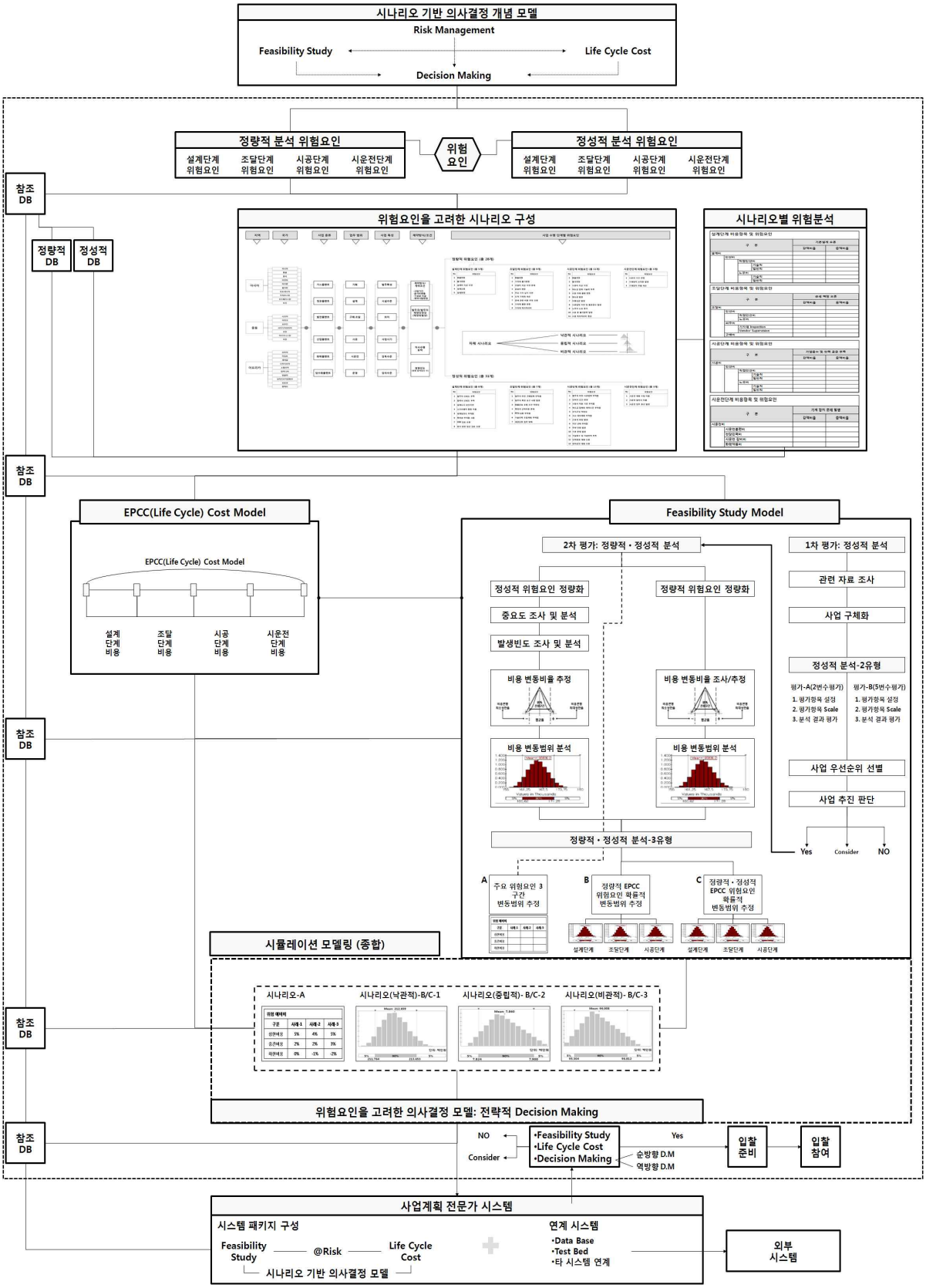
시나리오 기반 의사결정 모듈을 추후 5차년, 6차년 연구에서 웹기반 시스템과 연계하여 구축하면 LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템이 되며, 의사결정 모듈의 구성요소 및 사업계획 전문가 시스템의 상관관계를 도식화하여 정리하면 다음 그림 7-1과 같다.



[그림 2.2.20] LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템 개념설계

(2) 의사결정 모듈 구성

LNG 플랜트 사업 기획 및 계획단계에서 타당성 분석 및 의사결정 지원을 위한 전문가 시스템 개발을 위하여 재무적 사업타당성 분석, 생애주기(EPCC)비용분석 및 의사결정 시스템을 핵심 구성요소로 구성하며, 이를 그림으로 나타내면 다음의 그림 7-2와 같다.



[그림 2.2.21] 위험요인을 고려한 시나리오 기반 입찰 의사결정 모델

의사결정 모듈은 정량적 요인을 고려한 모델과 정성적 요인을 고려한 모델로 두 가지 측면을 고려하여 분석을 수행한다. 정량적 요인은 타당성분석과 생애주기(EPCC)비용분석을 활용하여 LNG 플랜트 사업에 대한 정량적인 분석을 수행한다. 정성적 요인의 경우 당해 사업의 지니는 특성 즉 기술적, 환경적, 정책적 요인 및 자사와 경쟁사의 입찰전략 등의 정성적인 요소들을 통합하여 LNG 플랜트 사업 수행 시 주요 쟁점사항을 도출한다.

LNG플랜트 사업 정의, 개요 및 Risk 등이 포함된 시나리오에 따라 다르게 설정된다. 이후 정량적 요인을 고려한 타당성 및 생애주기(EPCC) 비용 평가 모듈 분석결과와 정성적 요인 분석 결과를 종합분석 실시한다. 상기와 같은 일련은 추후 연구에서 사업계획 전문가 시스템으로 구현되며, 이를 통해 LNG 플랜트 사업 참여하는 건설업체에게 사업수행결정 여부, 입찰비용 결정 등의 의사결정을 지원하는 정보를 제공한다.

나. 시나리오 구성 및 시나리오별 위험도 평가

(1) 시나리오 구성 개요

시나리오(Scenario)는 미래에 일어 날 수 있는 다수의 발생가능 한 상황에 대해 예측하는 기법으로 본 과업에서는 해외 LNG 플랜트 사업에 대한 사업수행여부 및 입찰비용 등의 의사결정 지원을 위한 시나리오를 구성하였다.

이를 위하여 기존 수행된 해외 LNG 플랜트 건설사업의 현업 실적자료들을 수집하여 주요 쟁점사항 및 전문가 인터뷰 및 설문을 통하여 주요 사항들을 도출하였고, 객관성 확보를 위해 확률분석 시뮬레이션 기법 등과 비교 검토하여 본 과업에 적합한 시나리오를 구성하였다. 상기와 같은 시나리오 구성 주요 반영 요소를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



[그림 2.2.22] 시나리오 구성 주요 반영 요소

상기의 그림에서 보는바와 같이 구분은 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/계약조건에 따라서 세부 내용이 달라지며, 구분된 내용에 따라 시나리오를 전개 할

수 있다. 구성된 시나리오의 세부 내용을 표로 나타내면 다음과 같다.

<표 2.2.34> 시나리오 구성 주요 반영 요소 내용

구 분	세 부 내 용
지역	• 아시아 • 중동 • 아프리카
국가	• 이시아-몽골, 중국, 러시아, 미얀마, 타이완, 필리핀, 인도네시아, 카자흐스탄, 우즈베키스탄, 터키 • 중동-시리아, 이라크, 요르단, 사우디아라비아, 오만, 아프카니스탄, 이란, 예멘 • 아프리카 - 리비아, 이집트, 세네갈, 나이지리아, 소말리아, 탄자니아, 앙골라, 남아프리카공화국, 모로코, 알제리
사업종류	• 가스플랜트 • 정유플랜트 • 발전플랜트 • 산업플랜트 • 화학플랜트 • 해수담수화플랜트
업무범위	• 기획 • 설계 • 구매/조달 • 시공 • 시운전 • 운영
사업특성	• 발주특성 • 시설수준 • 위치 • 사업시기 • 감독수준 • 감리수준
계약방식/ 계약조건	• 계약방식/계약조건 • 발주국/발주자 재정 안정성 • 자사 수행능력 • 경쟁강도(입찰 참여 회사 수)

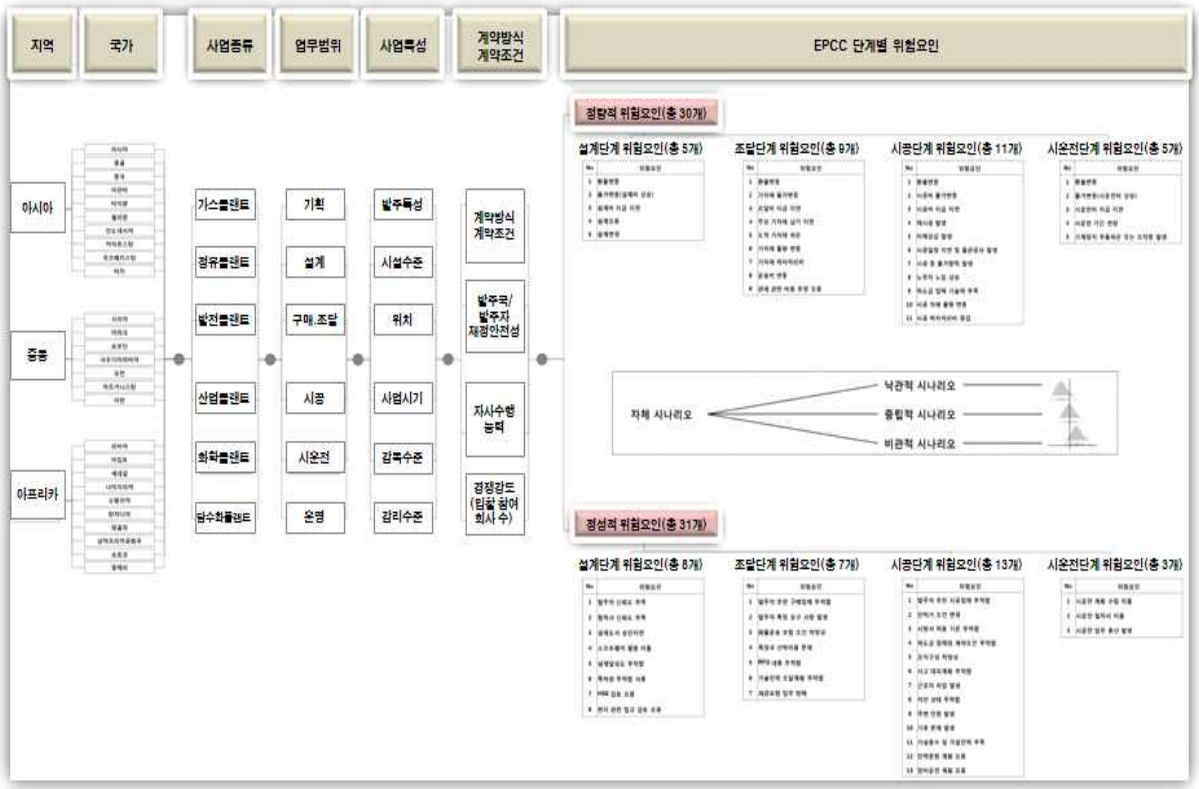
시나리오 주요 구성에 따른 생애주기(Engineering, Procurement, Construction, Commissioning: 이하 EPCC) 단계 별 위험요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 분류하여 자체 시나리오로 구성될 수 있도록 구축하였다.

(2) 시나리오별 위험도 평가

시나리오 구성 주요 반영 요소 및 생애주기(EPCC) 단계 별 위험 요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 분류하여 설계단계, 구매/조달단계, 시공단계, 시운전단계로

구분하였으며, 또한 구성된 시나리오는 자체적인 시나리오로 낙관적 시나리오(입찰 및 수주 가능성 높음), 중립적 시나리오(입찰 및 수주 가능성 고려), 비관적 시나리오로(입찰 및 수주 가능성 낮음) 구성할 수 있다.

본 과업에서는 시나리오 모델에서 구성된 위험요인을 생애주기(EPCC) 각 단계 별로 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 구분하여 위험도를 평가한다. 이를 위하여 해외 LNG 플랜트 건설사업의 총사업비를 실제 현업에서 활용하고 있는 자료와 전문가의 인터뷰 및 설문을 통하여 위험요인 별 분석을 실시하였다.



[그림 2.2.23]시나리오 구성 반영 요소 및 생애주기 단계별 위험요인

설계, 조달, 시공, 시운전 단계의 위험요인을 바탕으로 정량적 분석을 위한 위험요인과 정성적 분석을 위한 위험요인 분류하였으며, 이렇게 분류된 정량적 분석을 위한 위험요인과 정성적 분석을 위한 위험요인을 대상으로 정량적 분석과 정성적 분석을 수행한다. 정량적 분석과 정성적 분석에 대한 정의는 다음과 같다.

위험평가 모델 중 정량적 분석 방법은 설계, 조달, 시공, 시운전 단계 별로 조사된 위험요인 중 비용으로 환산되기 용이한 요인을 선별한다. 이렇게 선별된 설계, 조달, 시공 및 시운전 단계별 위험요인을 대상으로 해당되는 위험요인이 현재의 평균보다 영향이 낮게 발생되거나, 영향이 높게 발생되었을 경우에 대한 비용 변동률(비용 증감률)을 조사한다. 이렇

게 조사된 위험요인의 비용 변동률을 통하여 위험요인이 미치는 영향에 따른 비용 변동범위를 분석한다. 비용 변동범위 분석은 확률적 기법인(Monte Carlo Simulation)을 활용하여 분석한다.

설계, 조달, 시공, 시운전 단계 별 정량적 위험요인의 비용 변동범위 분석은 현재 상태를 기준으로 위험요인이 현재 상태보다 많이 발생되었을 경우의 비용에 미치는 영향정도와 현재 상태보다 적게 발생되었을 경우의 비용에 미치는 영향정도를 비용 변동률로 조사 및 평가한다. 이렇게 위험요인별로 조사된 비용 변동률에 과거 사례 공사비를 적용하여 비용 변동범위를 분석한 후 확률적 기법을 활용하여 확률적 비용 변동범위를 분석한다.

위험평가 모델 중 정성적 분석 방법은 설계, 조달, 시공, 시운전 단계 별로 조사된 위험요인 중 비용으로 환산되어 분석하기 어려운 요인을 선별한다. 이렇게 선별된 설계, 조달, 시공, 시운전 단계 별 위험요인을 비용 변동률을 통하여 위험요인이 미치는 영향에 따른 비용 변동범위를 분석한다. 비용 변동범위 분석은 확률적 기법인(Monte Carlo Simulation)을 활용하여 분석한다.

설계, 조달, 시공, 시운전 단계 별 정성적 위험요인의 중요도 평가는 사업초기 기획단계에서 우선시 고려되는 위험요인을 분석하기 위함이며, 발생도 평가는 과거 사례를 고려하여 해외 가스 플랜트 사업 수행에서 빈번힌 발생된 위험요인을 평가하기 위함이다. 즉 설계, 조달, 시공, 시운전 단계 별로 분석된 위험요인의 중요도 평가에 따른 발생도 평가를 통하여 서로의 연관성을 비교하기 위함이다.

○ 정성적 분석(2변수 평가모델 제시)

시나리오 별 위험도 평가를 통하여 입찰 타당성 모델링에서는 정성적 분석을 2변수 평가모델로 입찰 참여를 분석 및 결정한다. 해외 LNG 플랜트 건설사업의 입찰 참여를 위하여 수익성과 안정성(위험성)을 상호 비교 평가하는 방법이다.

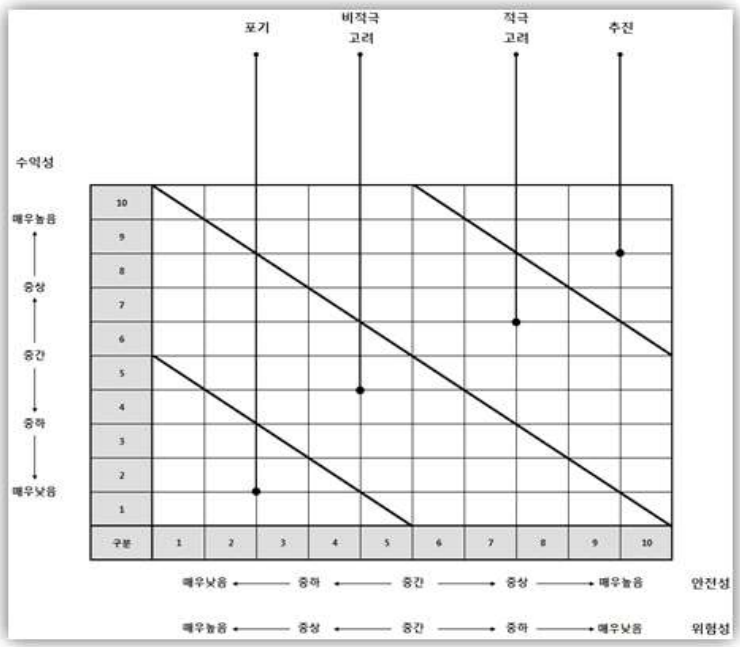
<표 2.2.35> 2변수 평가모델의 평가 항목 및 척도

평가 항목	수익성	-사업 수행에 따른 지출비용 대비 수익 평가
	안정성	-사업 수행에 따른 위험성에 대한 평가

평가 척도	수익성	매우낮음 1-2	중하(낮음) 3-4	중간(보통) 5-6	중상(높음) 7-8	매우높음 9-10
	평가기준 (수익률)	0%-2%	2%-4%	4%-6%	6%-8%	8%-10%
	안전성	매우낮음 1-2	중하(낮음) 3-4	중간(보통) 5-6	중상(높음) 7-8	매우높음 9-10
	평가기준 (예상안전/위험 정도)	매우낮음	중하	중간	중상	매우높음

평가항목은 수익성과 안전성으로 분류되며, 수익성은 사업 수행에 따른 지출비용 대비 수익을 평가하게 되고 안전성(위험성)은 사업수행에 따른 위험성에 대한 평가를 하는 것이다.

평가척도는 수익성이 매우낮음 일 경우 1-2점으로 평가기준은 수익률로 0%-2%를 나타내고, 안전성이 매우낮음 일 경우 1-2점으로 평가기준은 예상안전/위험정도로 매우낮음을 나타내며, 수익성이 중하(낮음) 일 경우 3-4점으로 평가기준은 수익률로 2%-4%를 나타내고, 안전성이 중하(낮음) 일 경우 3-4점으로 평가기준은 예상안전/위험정도로 중하를 나타내며, 수익성이 중간(보통) 일 경우 5-6점으로 평가기준은 수익률로 4%-6%를 나타내고, 안전성이 중간(보통) 일 경우 5-6점으로 평가기준은 예상안전/위험정도로 중간을 나타내며, 수익성이 중상(높음) 일 경우 7-8점으로 평가기준은 수익률로 6%-8%를 나타내고, 안전성이 중상(높음) 일 경우 7-8점으로 평가기준은 예상안전/위험정도로 중상을 나타내며, 수익성이 매우높음 일 경우 9-10점으로 평가기준은 수익률로 8%-10%를 나타내고, 안전성이 매우높음 일 경우 9-10점으로 평가기준은 예상안전/위험정도로 매우높음을 나타낸다.



[그림 2.2.24] 2변수 평가 모델

수익성과 안전성(위험성)을 해당하는 곳에 찍으면 사업의 추진, 적극고려, 비적극고려, 포기로 사업의 참여 여부를 판단 할 수 있다.

○ 정성적 분석(5변수 평가모델 제시)

시나리오 별 위험도 평가를 통하여 입찰 타당성 모델링에서는 정성적 분석을 5변수 평가모델로 입찰 참여를 분석 및 결정한다. 해외 LNG 플랜트 건설사업의 입찰 참여를 위하여 수익성 1개 요소와 안정성(위험성) 4개 요소를 비교 평가하는 방법이다.

<표 2.2.36> 5변수 평가모델의 평가 항목 및 척도

평가 항목	**수익성**	수익성(가중치 60%)	-사업 수행에 따른 지출비용 대비 수익 평가
	안정성	계약방식/계약조건 위험성(가중치 10%)	-사업 수행에 따른 계약방식 및 계약조건에 대한 위험성평가
		발주국/발주자 재정 위협 안정성(가중치 10%)	-사업 수행에 따른 발주국 및 발주자의 재정 위험성 평가
		자사 수행능력 위험 (가중치 10%)	-사업 수행에 따른 입찰 참여 회사의 재무능력과 기술능력 평가
		경쟁강도 위험(참여 회사 수)(가중치 10%)	-사업 수행을 위한 입찰 참여 회사 수 평가

평가 척도	**가중치**	평가항목 별 가중치는 상대적인 중요도를 평가하는 것이며, 총 100%를 기준으로 함				
	등급	매우낮음 1-2	중하 3-4	중간 5-6	중상 7-8	매우높음 9-10

평가항목은 2변수 평가모델과 같이 수익성과 안전성으로 분류되지만, 5변수 평가 모델에서는 수익성은 사업 수행에 따른 지출비용 대비수익을 평가하여 가중치를 60%를 차지하만 안전성(위험성)은 총 40%로 세분류되어 계약방식/계약조건 위험에 따라 가중치를 10% 차지하고, 발주국/발주자 재정 위협 안정성에 따라 가중치 10%를 차지하고, 자사 수행능력 위험에 따라 가중치 10% 차지하고, 경쟁강도 위험(참여회사 수)에 따라 가중치 10%를 차지한다. 평가 척도는 가중치를 산정한 후에 등급에 따라 매우낮음은 1-2 점, 중하는 3-4점, 중간은 5-6점, 중상은 7-8점, 매우높음은 9-10점으로 가중치와 곱하여 점수를 산정하게 된다.

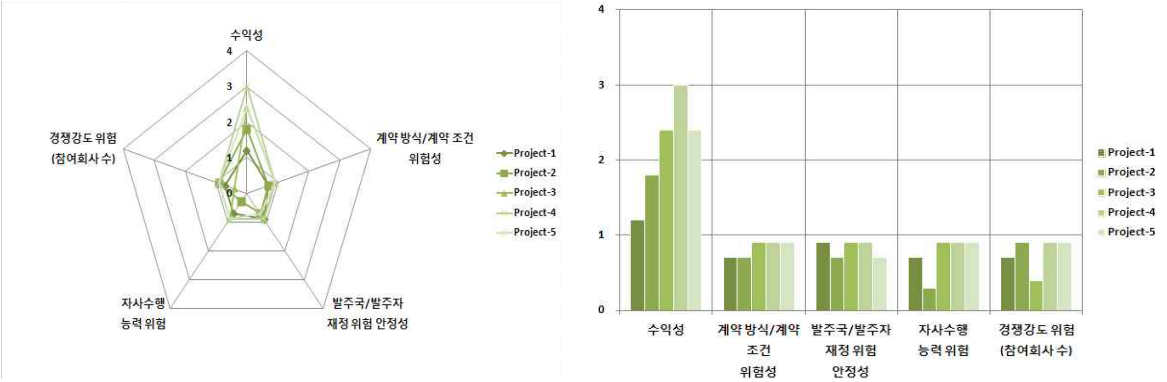
<표 2.2.37> 5변수 평가모델 등급점수와 가중치의 값 환산

구분	백분위 점수	백분율%	평가
평가 결과 범위	0% ←→ 25%	25%	포기
	25% ←→ 50%	50%	비적극고려
	50% ←→ 75%	75%	적극고려
	75% ←→ 100%	100%	추진

수익성과 안전성(위험성)을 가중치로 환산하여 최종 점수를 산정하게 되면, 백분율 0%-25%는 사업포기, 백분율 25%-50%는 비적극고려, 백분율 50%-75%는 적극고려, 백분율 75%-100%는 사업추진으로 사업의 참여 여부를 판단 할 수 있다.

<표 2.2.38> 5변수 평가모델 예시

구분		수익성	안전성(위험성)				합계	백분위 점수	평가
			계약방식/ 계약조건 위험성	발주국/ 발주자 재정위험 안정성	자사수행 능력위험	경쟁강도 위험(참여 회사 수)			
가중치(예시)		60%	10%	10%	10%	10%	100%	100%	
Project -1	등급	2.0	7.0	9.0	7.0	7.0	4.2	42%	비적극고려
	점수	1.2	0.7	0.9	0.7	0.7			
Project -2	등급	3.0	7.0	7.0	3.0	9.0	4.4	44%	비적극고려
	점수	1.8	0.7	0.7	0.3	0.9			
Project -3	등급	4.0	9.0	9.0	9.0	4.0	5.5	55%	적극고려
	점수	2.4	0.9	0.9	0.9	0.4			
Project -4	등급	5.0	9.0	9.0	9.0	9.0	6.6	66%	적극고려
	점수	3.0	0.9	0.9	0.9	0.9			
Project -5	등급	4.0	9.0	7.0	9.0	9.0	5.8	58%	적극고려
	점수	2.4	0.9	0.7	0.9	0.9			

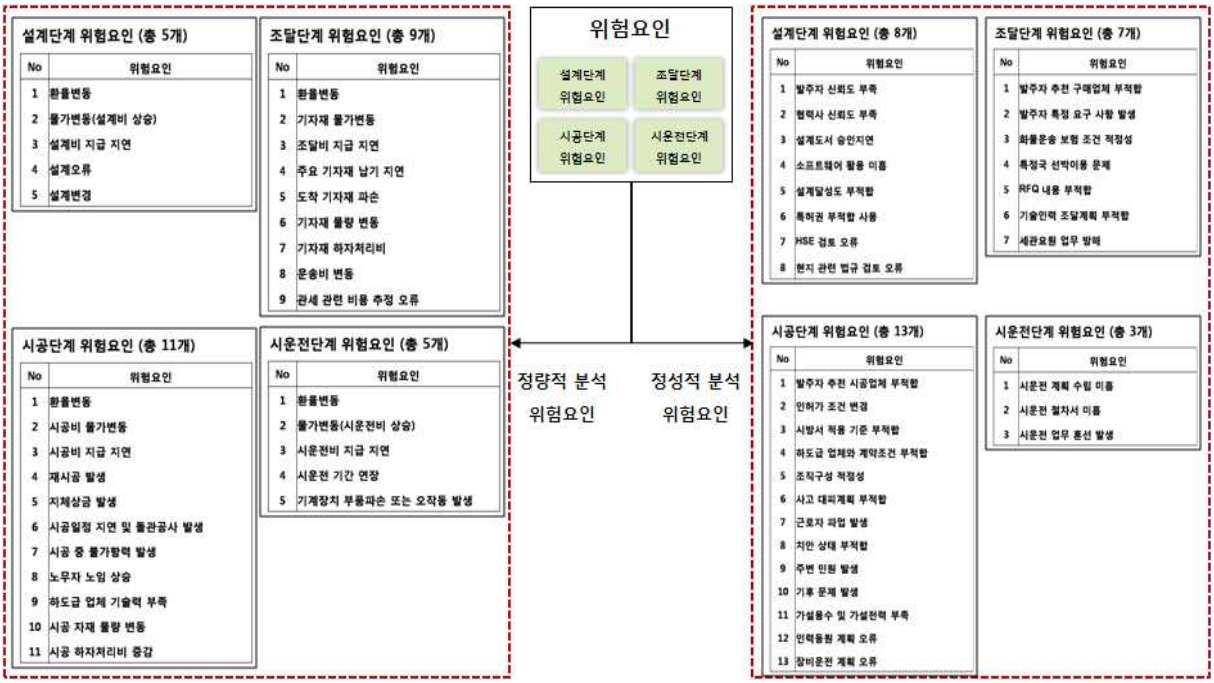


[그림 2.2.25] 5변수 평가 모델 결과 그래프

○ 정량 · 정성적 분석

- 정량 · 정성적 분석을 위한 위험요인 분류

정량 · 정성적 분석을 위한 위험요인 분류는 상기 시나리오 구성 내용에서 “표 8-2 시나리오 구성주요 반영 요소에 따른 생애주기(EPCC) 단계별 위험요인 구분”과 같이 정량적 위험요소와 정성적 위험요소를 분류하였으며, 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



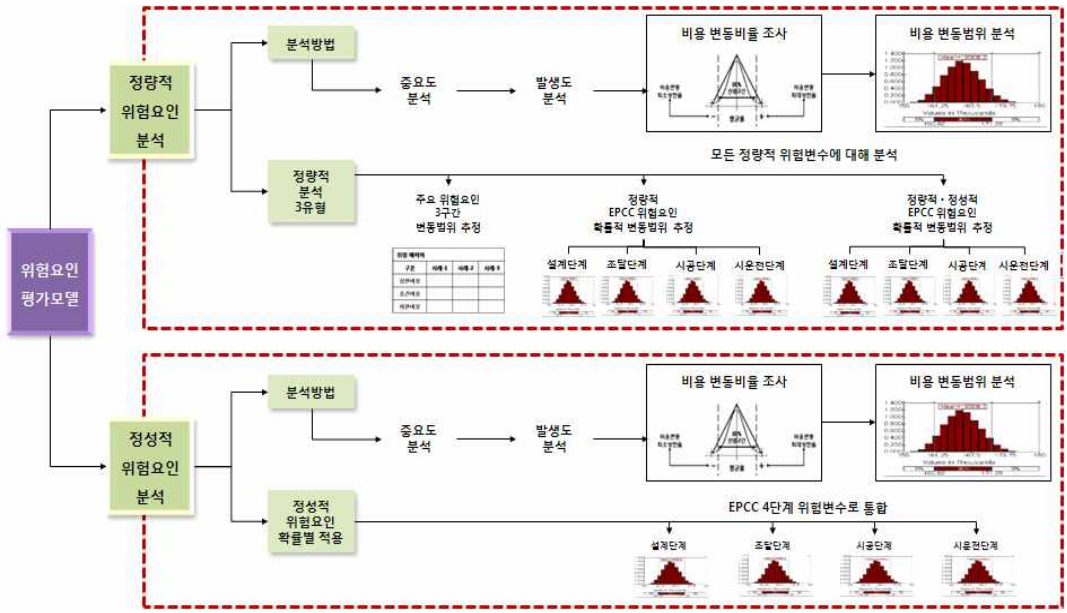
[그림 2.2.26] 정량 · 정성적 분석을 위한 위험요인 분류

- 정량 · 정성적 위험요인 및 비용변동 범위 추정

정량 · 정성적 분석을 위한 위험요인 분류에 따라서 정량 · 정성적 생애주기(EPCC) 단계의 위험 요인을 고려한 비용변동 범위를 추정할 수 있으며, 그 내용은 다음과

같다. 정량적 위험요인 분석은 중요도와 발생도를 분석하기 위해 현업의 데이터 및 전문가 설문을 통하여 모든 정량적인 위험요인에 대해 비용 변동 비율 및 범위를 조사 및 분석하게 되고, 판단은 정량적 분석 3유형으로 도출할 수 있다. 이에 대한 내용은 첫째, 주요 위험요인 3구간 변동범위 추청으로 사례에 대한 상한비용, 중간비용 하한비용을 주청할 수 있다. 둘째, 정량적 생애주기(EPCC) 위험요인을 각 단계별로 확률적 변동범위를 추정할 수 있다. 셋째, 정량적 · 정성적 생애주기(EPCC) 위험요인을 각 단계별로 확률적 변동범위를 추정 할 수 있다.

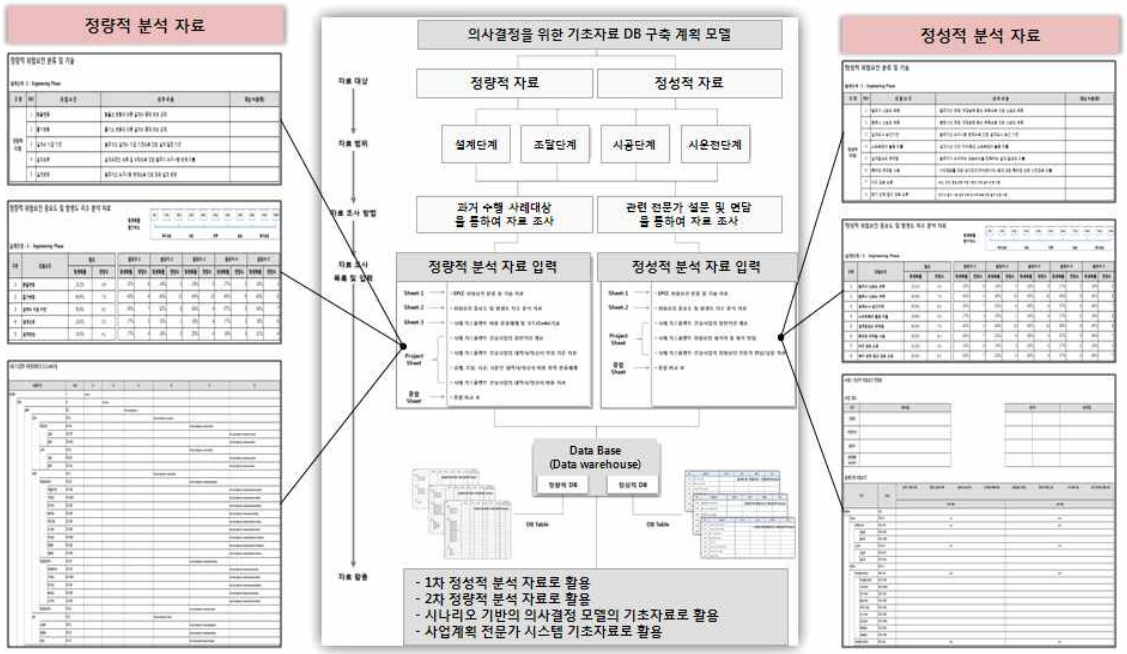
정성적 위험요인 분석은 중요도와 발생도를 분석하기 위해 전문가 설문을 통하여 모든 정성적인 위험요인에 대해 비용 변동 비율 및 범위를 조사 및 분석하게 되고, 판단은 정성적 위험요인의 확률적 적용에 의해서 도출하게 되며, 생애주기(EPCC) 각 단계별 위험변수로 통합을 하게 된다. 상기와 같은 내용을 그림으로 표현하게 되면, 다음과 같다.



[그림 2.2.27] 정량 · 정성적 위험요인 분석을 통한 비용 변동범위 추정

○ 의사결정 기초 DB 모델

건설사업은 수많은 계획 데이터와 비용 데이터 등이 혼재 한다고 할 수 있다. 더욱이 플랜트 건설사업은 타 건설과는 다른 공정의 특수성이 있으며, 그중 LNG 플랜트 사업은 의사결정을 위해서 공정, 시간, 비용, 품질 등의 많은 자료를 내포하고 있다고 할 수 있다. 따라서 본 과업에서는 사업참여를 위한 입찰비용 추정 및 의사결정 과정상에서 도출되는 정량적 자료와 정성적 자료들에 대한 기초자료 DB를 구축하였다. 이에 대한 내용을 그림으로 표현하면 다음과 같다.



[그림 2.2.28] 의사결정을 위한 기초자료 DB 구축 계획

의사결정을 위한 기초자료 DB는 정량적인 자료와 정성적인 자료를 대상으로 하고 생애주기(EPCC) 단계별 범위로 각각 분류되며, 정량적과 정성적인 데이터의 조사 방법은 다음과 같다.

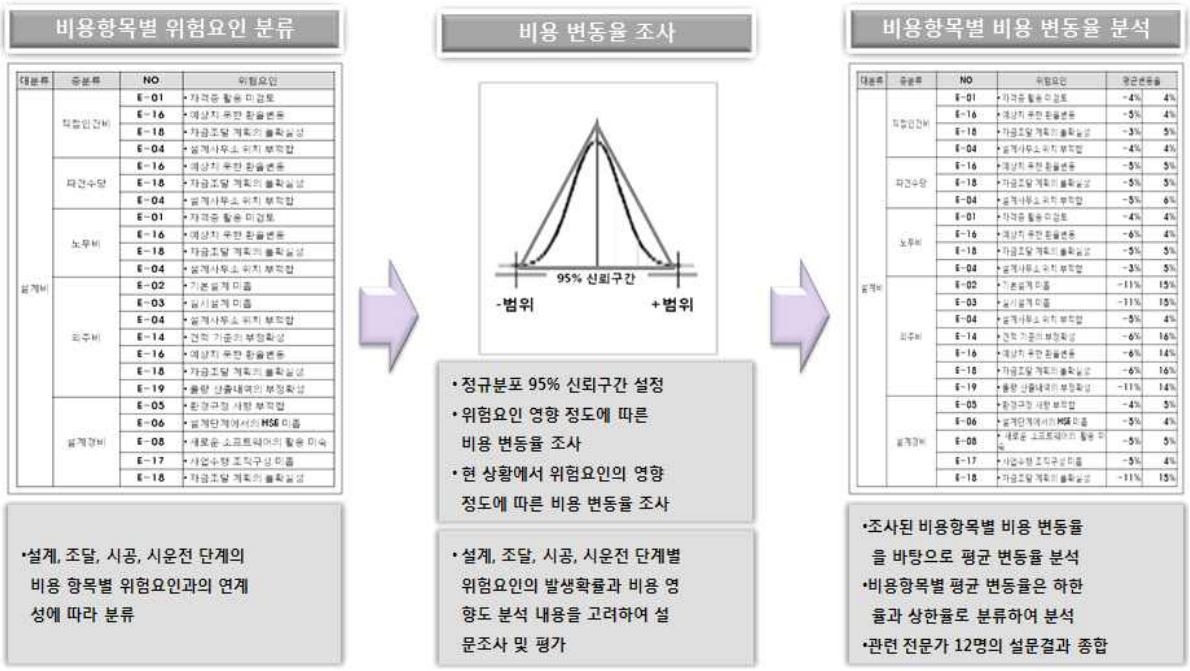
정량적 DB는 해외 LNG 플랜트의 과거 수행사례대상을 통하여 자료를 조사하게 되고, 정량적 분석 자료를 Excel 기반으로 자료조사 목록을 입력하게 된다. 자료 입력은 첫째, 생애주기(EPCC) 위험요인 분류 및 기술자료, 둘째, 위험요인 중요도 및 발생지수 분석자료, 셋째, 사례 LNG 플랜트 비률 분류체계 및 코드 기술, 넷째, 프로젝트 분석자료(개요, 내역/정산서 작성 기준자료, 설계/구매조달/시공/시운전 비용항목 분류체계, 내역/정산서 비용자료), 다섯째, 상기를 종합하는 종합비교로 구성된다.

다. 시뮬레이션 모델링

정량, 정성 위험요인을 포함한 비용추정 상의 의사결정을 위해 비용 시뮬레이션 데이터 입력과 의사결정을 위한 시뮬레이션 모델링을 종합하여 비용 분석결과를 도출할 수 있도록 연구를 수행하였다.

(1) 시뮬레이션 Data 입력

시나리오 구성에 따른 시나리오 별 위험도 평가와 정성적 위험, 정략적 위험 분석의 입찰 타당성 모델링을 통하여 의사결정 기초자료 DB화를 구축 후 최종적으로 생애주기(EPCC) 단계별 비용 변동률 시뮬레이션 모델링을 실시하게 되며, 이를 그림으로 나타내면 다음의 그림과 같다.

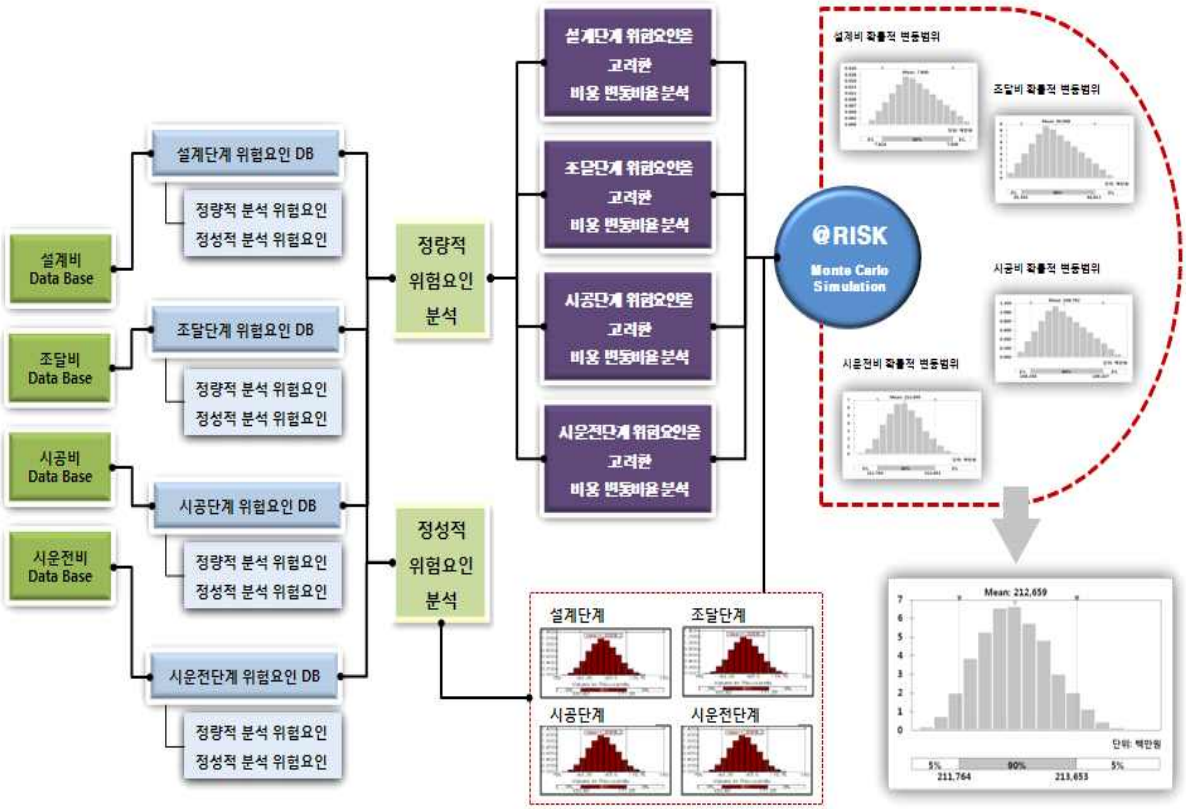


[그림 2.2.29] 시뮬레이션 Data 입력

시뮬레이션 Data 입력을 위해 첫째, 생애주기(EPCC) 비용 항목 별 위험요인을 설계, 구매/조달, 시공, 시운전 단계별로 분류한다. 둘째, 생애주기(EPCC) 단계별 비용 변동률을 조사하게 되며, 이때 정규분포 95% 신뢰구간을 설정하여 위험요인 영향 정도에 따름 비용 변동률과 현재 상황에서 위험요인의 영향 정도에 따른 비용 변동률을 조사하고 평가하게 된다. 셋째, 상기를 바탕으로 생애주기(EPCC) 비용항목별 비용 변동률을 분석하게 되는데 생애주기(EPCC) 비용 항목별 평균 변동률은 하한율과 상한율로 분류하여 분석한다.

(2) 시뮬레이션 모델링 종합

시뮬레이션 모델링은 생애주기(EPCC) 단계 별 위험요인 DB를 정량적 위험과 정성적 위험으로 구분하고 최종적으로는 정량 및 정성 위험을 모두 포함하여 총사업비를 예측할 수 있도록 구축하였다. 이는 최종적으로는 Excel 기반의 @Risk 통하여 설계단계, 구매/조달단계, 시공단계, 시운전단계로 종합하여 총사업비를 확률적으로 최소비용, 평균비용, 최대비용을 분석하게 된다. 이에 대한 내용을 그림으로 나타내면 다음의 그림 10-2와 같다.



[그림 2.2.30] 시뮬레이션 모델링 종합

<표 2.2.39> 시뮬레이션 모델링의 총 사업비 분석결과(예시)

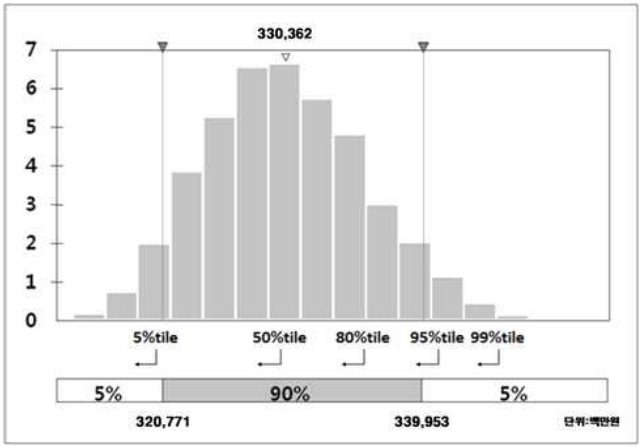
구분	최소비용(원)	평균비용(원)	최대비용(원)	비고
직접비	211,684,543,773	217,047,709,621	222,410,875,469	설계비, 조달비, 시공비, 시운전비 총합
간접비	108,607,543,773	113,298,026,454	117,988,509,134	
금융비용	396,012,079	460,726,830	525,441,580	
세금	82,601,683	88,618,508	94,635,334	
이익 --->				목표이익률별 목표이익 고려
총 사업비	320,770,701,309	330,895,081,413	341,019,461,517	

시뮬레이션 모델링 비용은 최소비용, 평균비용, 최대비용으로 직접비, 간접비, 금융비용, 세금을 구할 수 있으며, 이를 총합한 총사업비로도 비용 예측이 가능하다. 또한 확률 구간별 총사업비를 분석 할 수 있는데, 이를 표로 나타내면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

<표 2.2.40> 시뮬레이션 모델링의 확률 구간 별 총사업비 분석결과(예시)

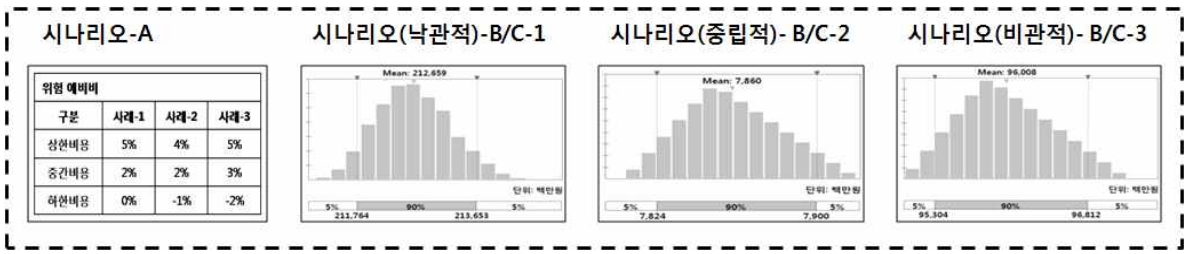
구분 (%tile)	직접비 (원)	간접비 (원)	금융비용 (원)	세금 (원)	총 사업비(원)
5%	211,684,543,773	108,607,543,773	396,012,079	83,203,365	**320,771,302,991**
10%	212,249,087,547	109,101,278,792	402,824,158	83,805,048	321,836,995,545
15%	212,813,631,320	109,595,013,811	409,636,237	84,406,730	322,902,688,099
20%	213,378,175,094	110,088,748,830	416,448,316	85,008,413	323,968,380,653
25%	213,942,718,867	110,582,483,849	423,260,395	85,610,095	325,034,073,207
30%	214,507,262,641	111,076,218,868	430,072,474	86,211,778	326,099,765,761
35%	215,071,806,414	111,569,953,887	436,884,553	86,813,461	327,165,458,315
40%	215,636,350,188	112,063,688,906	443,696,632	87,415,143	328,231,150,869
45%	216,200,893,961	112,557,423,925	450,508,711	88,016,826	329,296,843,423
50%	216,765,437,735	113,051,158,944	457,320,790	88,618,508	**330,362,535,977**
55%	217,329,981,508	113,544,893,963	464,132,869	89,220,191	331,428,228,531
60%	217,894,525,282	114,038,628,982	470,944,948	89,821,873	332,493,921,085
65%	218,459,069,055	114,532,364,001	477,757,027	90,423,556	333,559,613,639
70%	219,023,612,829	115,026,099,020	484,569,106	91,025,239	334,625,306,193
75%	219,588,156,602	115,519,834,039	491,381,185	91,626,921	335,690,998,747
80%	220,152,700,376	116,013,569,058	498,193,264	92,228,604	336,756,691,301
85%	220,717,244,149	116,507,304,077	505,005,343	92,830,286	337,822,383,855
90%	221,281,787,922	117,001,039,096	511,817,422	93,431,969	338,888,076,409
95%	221,846,331,696	117,494,774,115	518,629,501	94,033,652	**339,953,768,963**
99%	222,410,875,469	117,988,509,134	525,441,580	94,635,334	341,019,461,517

시뮬레이션 모델링에 의한 확률 군간 별 총사업비 분석을 통하여 %tile 별 총사업비를 예측할 수 있다. 예를 들어 5%tile에 대한 총사업비는 320,771,302,991원, 50%tile에 대한 총사업비는 330,362,535,977원, 95%tile에 대한 총사업비는 339,953,768,963원으로 비용을 추정할 수 있으며, 이에 대한 그래프를 표현하면 다음과 같다.



[그림 2.2.31] 50%tile의 총사업비 분석 그래프

시뮬레이션 모델링을 통하여 최종적으로 형성되는 시나리오는 A와 B 두 가지의 형태로 도출할 수 있으며, 그 내용은 다음과 같다. 첫째, 시나리오 A는 주요 위험요인 3구간 변동범위 추정으로 위험에 따른 예비비 분석이다. 이는 여러 사례들의 총사업비 자료를 비교하고 @Risk를 통해 상한비용, 중간비용, 하한비용을 예측하는 시나리오이다. 둘째, 시나리오 B는 정량적 · 정성적 생애주기(EPCC) 위험요인을 각 단계별로 확률적 변동범위를 추정하는 분석이다. 이는 정량적 · 정성적 위험요인의 확률적 변동범위를 @Risk를 통해 낙관적 시나리오, 중립적 시나리오 및 비관적 시나리오의 세 가지 유형으로 예측하는 시나리오이다. 상기와 같은 내용을 그림으로 나타내면 다음과 같다.



[그림 2.2.32] 시뮬레이션 모델링을 통한 시나리오 A, B

시나리오 구성 및 시나리오 별 위험도 평가와 입찰타당성 모델링에 따른 시뮬레이션을 위해 데이터 입력 방법 개발 및 제시와 현업 활용 자료와 사례를 통하여 총사업비에 대한 시뮬레이션 종합과 이에 대한 비용 추정 및 결과에 따른 시나리오 도출 구성 및 방법을 제시하였다. 상기와 같은 현업 데이터를 활용한 시뮬레이션 모델링은 본 과업에서 구축될 의사결정 모델의 오류를 저감 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

5. 5차년도 연구수행 내용 및 결과

가. 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계

(1) 사업계획 전문가 시스템 구조

국내 플랜트 건설은 사업계획 및 사업비용 평가를 위한 의사결정 기술이 부족한 상태라 할 수 있다. 현재 각 건설회사들은 현업에서 회사의 특성에 맞게 타당성 분석 및 이와 관련한 유사 시스템을 구축하고 있다. 또한 수주경험이 부족하고 초기 기획 타당성 조사 및 평가, 엔지니어링 정보 및 지식집약화에 필요한 핵심기술 등이 기존 선진업체들에 비해 국제적인 경쟁력에서 기술이 취약하다 할 수 있다. 따라서 본 과업에서는 해외 가스플랜트 건설사업 진출을 위한 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 프로토타입을 개발하고자 하며, 이에 대한 시스템 구조는 다음과 같다.



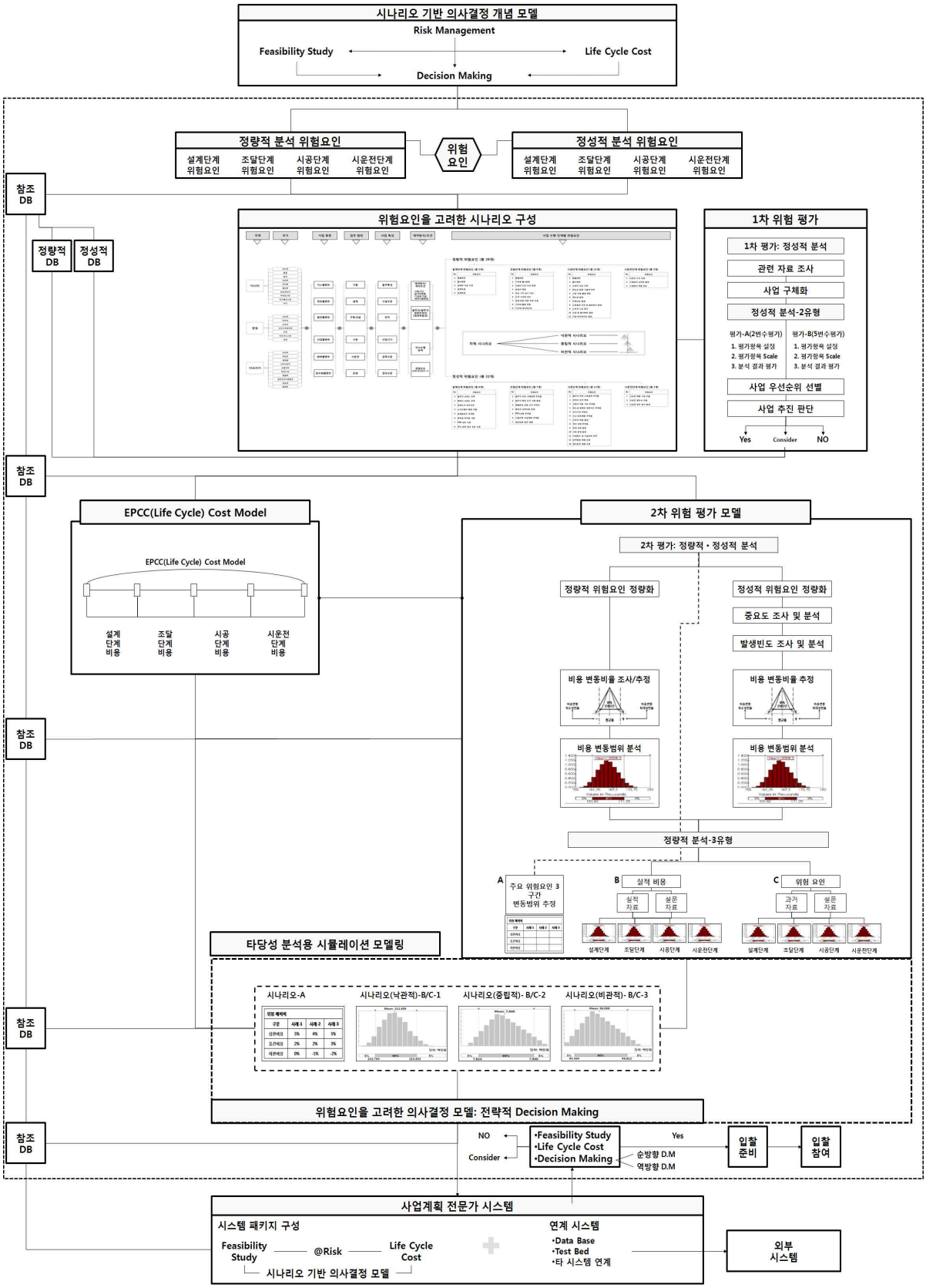
[그림 2.2.33] 사업계획 전문가 시스템의 구조

본 과업의 목표는 LNG 플랜트 사업의 기획 및 계획단계에서 타당성 분석 및 의사결정 지원을 위한 사업계획 전문가 시스템 개발이다. 이를 위하여 재무적 사업타당성 분석, 생애주기(EPCC)비용 분석 및 의사결정을 모듈의 핵심 구성요소로 하였다. 사업계획 전문가 시스템의 실시 설계를 제시하면, 다음과 같다.

(2) 사업계획 전문가 시스템 실시설계

LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템의 구조에 따른 실시설계는 다음과 같다. 첫째, 위험요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 설계단계, 조달단계, 시공단계, 시운전단계 별로 구분한다. 이렇게 구분된 위험은 참조데이터로 저장된다. 둘째, 정량적 위험 및 정성적 위험으로 구분된 데이터를 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/조건, 사업수행시기 별로 시나리오를 구성하게 된다. 이렇게 구성된 시나리오를 설계, 조달, 시공, 시운전 각 단계별로 감액비용과 증액비용으로 위험을 분석하게 된다. 셋째, 상기의 시나리오 구성 및 시나리오 별 위험도 분석을 통하여 수익성과 안정성을 평가요소로 2변수 평가 및 5

변수 평가로 1차 위험 평가를 실시하게 된다. 넷째, 정성적 분석은 위험요인의 중요도 및 발생도를 분석하며, 정량적 분석은 확률적 기법인 몬테카를로시뮬레이션의 @Risk를 통하여 2차 위험평가를 실시하게 된다. 이렇게 분석된 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 정량적 분석 데이터는 참조데이터로 저장된다. 넷째, 상기에서 분석된 정량적·정성적 분석을 통하여 시나리오 별 시뮬레이션 모델링을 수행한다. 이렇게 분석된 시나리오는 낙관, 중립, 비관의 결과를 도출할 수 있다. 마지막으로 상기의 과정을 통하여 도출된 결과 값을 최종적으로 순방향 및 역방향 의사결정을 통하여 최종적인 입찰여부를 의사결정하게 된다. 이와 같은 내용을 기반으로 구성된 사업계획 전문가 시스템 실시설계는 다음과 같다.



[그림 2.2.34] 사업계획 전문가 시스템의 실시설계

LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템은 시나리오 구성, 리스크 분석, 생애주기(EPCC) 비용 분석, 재무적 사업타당성을 통하여 시뮬레이션 모델링 후 의사결정을 할 수 있게 구성되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

첫째, 시나리오 구성 기능은 기존 및 새로운 프로젝트의 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약 방식/조건 및 기타로 각 구성별로 시나리오를 생성하게 되며, 이에 대한 데이터를 생성/수정/저장하는 기능으로 구성되었다.

둘째, 리스크에 대한 기능은 기존 및 새로운 프로젝트의 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계별 위험분류(정량·정성)와 위험분석(정량·정성)에 대한 데이터를 생성/수정/저장하는 기능으로 구성되었다.

셋째, 생애주기(EPCC) 비용 분류 기능은 기존 및 새로운 프로젝트의 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계별 비용분류체계에 대한 데이터를 생성/수정/저장하는 기능으로 구성되었다.

넷째, 재무적 사업타당성 평가 기능은 기존 및 새로운 프로젝트의 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계별 위험 및 비용을정성적 위험 평가를 실시하고, 주요요인 3구간 변동범위 추정과 @Risk를 통하여 실적비용의 변동 범위 추정(설문자료, 실적자료), 위엄요인의 변동 범위 추정(설문자료, 과거자료)의 정량적 위험 평가를 실시하는 기능으로 구성되었다.

다섯째, 시뮬레이션 모델링 기능은 상기의 시나리오 구성, 리스크 분류 및 분석, 생애주기(EPCC) 비용 분류, 재무적 사업타당성 평가 과정을 통하여 낙관적 시나리오, 중립적 시나리오 비관적 시나리오를 도출하는 기능으로 구성되었다.

여섯째, 의사결정 기능은 상기의 모든 분석과정과 @Risk를 통하여 분석된 사업비용 정보를 프로젝트의 특성 및 본사의 상황에 맞게 순방향 의사결정 및 역방향 의사결정으로 최종 입찰참여 결정을 판단하는 기능으로 구성되었다.

나. 사업계획 전문가 시스템 프로토타입 개발

(1) 사업계획 전문가 시스템 체계

LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템의 체계는 다음과 같다.

첫째, 리스크 분석은 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계 별로 정량 및 정성 위험요소를 생성/수정/저장 할 수 있다.

둘째, 시나리오 구성은 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/조건, 사업 수행시기를 1차 시나리오를 구성으로 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계 별로 2차 시나리오로 생성/수정/저장 할 수 있다.

셋째, 1차 위험 평가는 2변수 및 5변수에 따라 수익성 및 안전성을 생성/수정/저장 할 수 있다.

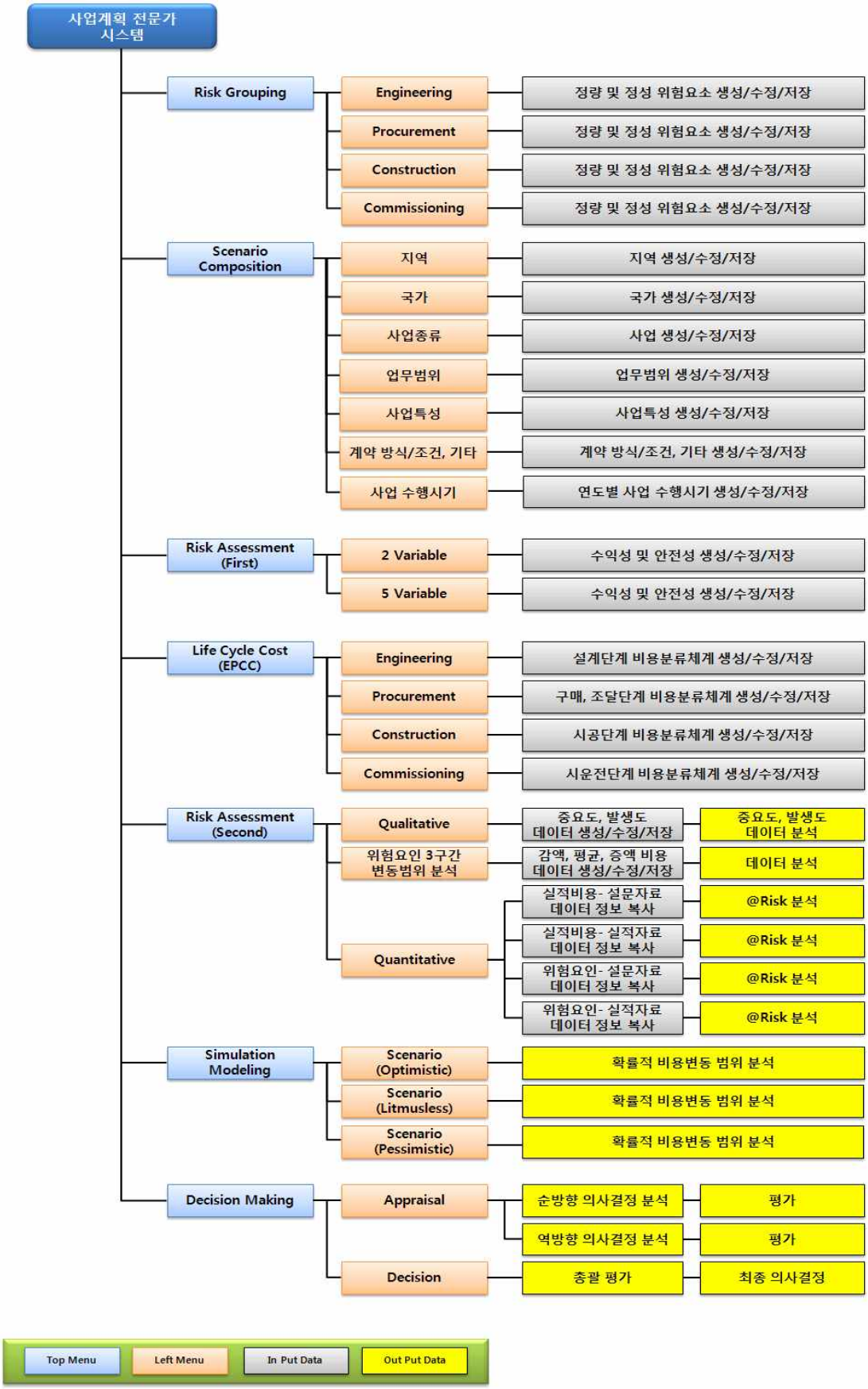
넷째, 생애주기(EPCC)비용 모델은 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning)의 각 단계 별로 비용분류체계를 생성/수정/저장 할 수 있다.

다섯째, 2차 위험 평가는 정성적 위험 분석에서 중요도 및 발생도 데이터를 생성/수정/저장 하여 데이터를 분석할 수 있다. 위험요인 3구간 변동범위 분석에서 감액하한, 평균, 증액상한 비용 데이터를 생성/수정/저장 하여 데이터를 분석할 수 있다. 정량적 위험분석에서 실적비용-설문자료, 실적비용-실적자료, 위험요인-설문자료, 위험요인 과거자료 분석은 각 분류에 따라 데이터를 생성/수정/저장 하여 @Risk를 통해 분석할 수 있다.

여섯째, 시뮬레이션 모델링은 @Risk를 통해 분석된 결과를 시나리오에 따라서 낙관적, 중립적, 비관적으로 각각 확률적 비용 변동범위를 분석 할 수 있다.

일곱째, 의사결정은 시뮬레이션 모델링을 통해 분석된 결과들로 순방향 및 역방향 의사결정을 분석할 수 있는 기능으로 구성되어 있다.

또한 시스템 관리자 기능은 신규 프로젝트 및 기존 프로젝트의 생성 및 관리와 데이터를 관리하는 모듈로 구성되어 있다. 또한 실무자 관리 기능은 사용자가 LNG 플랜트 건설사업 비용정보를 생성 및 분석/평가 후 최종 입찰참여 결정을 판단하는 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 확인하는 모듈로 구성되어 있으며, 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

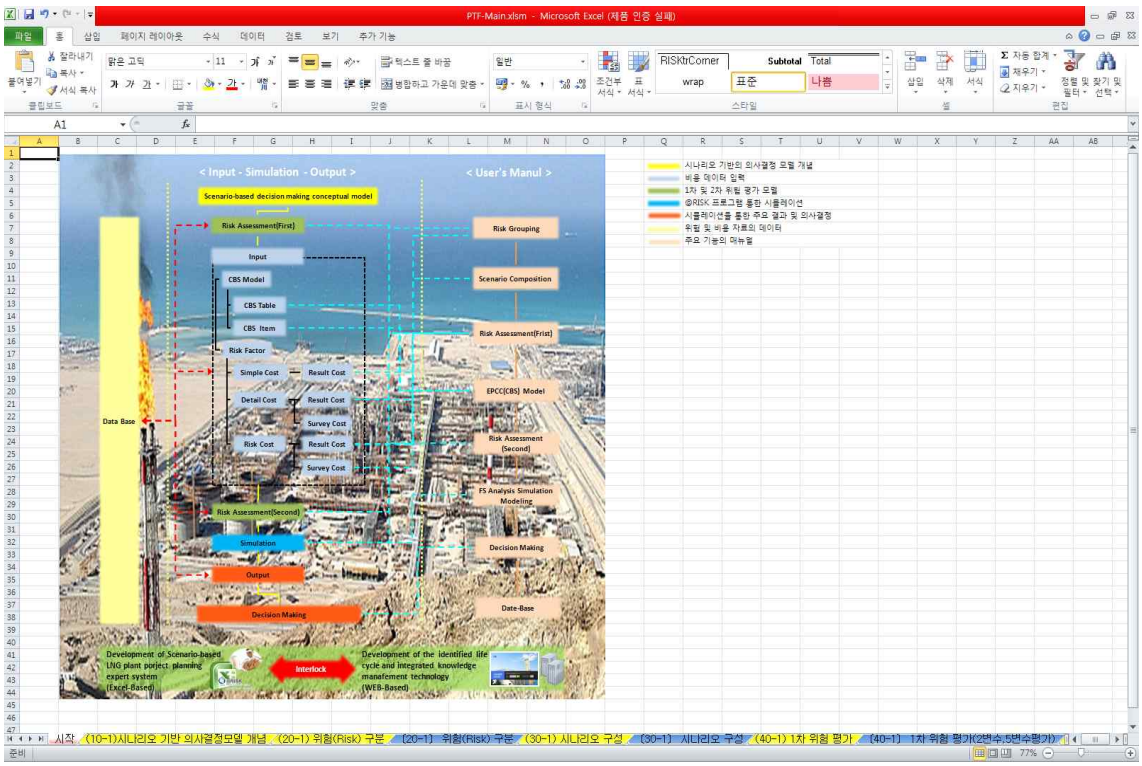


[그림 2.2.35] 사업계획 전문가 시스템의 체계

(2) 사업계획 전문가 시스템 구성 내용

본 과업의 사업계획 전문가 시스템 프로토타입은 엑셀기반의 @Risk를 Add-in 하여 개발된 시스템이다. 시스템의 모든 체계는 엑셀로 이루어져 있으며, 2차 위험평가에서 @Risk를 활용해서 총공사비 대비 감액하한비용과 증액상한비용을 위험을 고려하여 분석하게 개발되었다. 본 시스템과 관련된 엑셀 파일은 메인, 리스크 구분, 시나리오 구성, 1차 위험평가, 2차 위험평가-정성적 분석, 2차 위험평가-정량적 분석(주요요인 3구간 변동 추정), 2차 위험평가-정량적 분석(실적비용의 변동추정-설문자료), 2차 위험평가-정량적 분석(실적비용의 변동추정-실적자료), 2차 위험평가-정량적 분석(위험요인의 변동추정-설문자료), 2차 위험평가-정량적 분석(위험요인의 변동추정-과거자료), 타당성 분석용 시뮬레이션, 의사결정, 데이터베이스로 구성되어 있다. 상기와 관련된 엑셀파일에 대해 설명하면 다음과 같다.

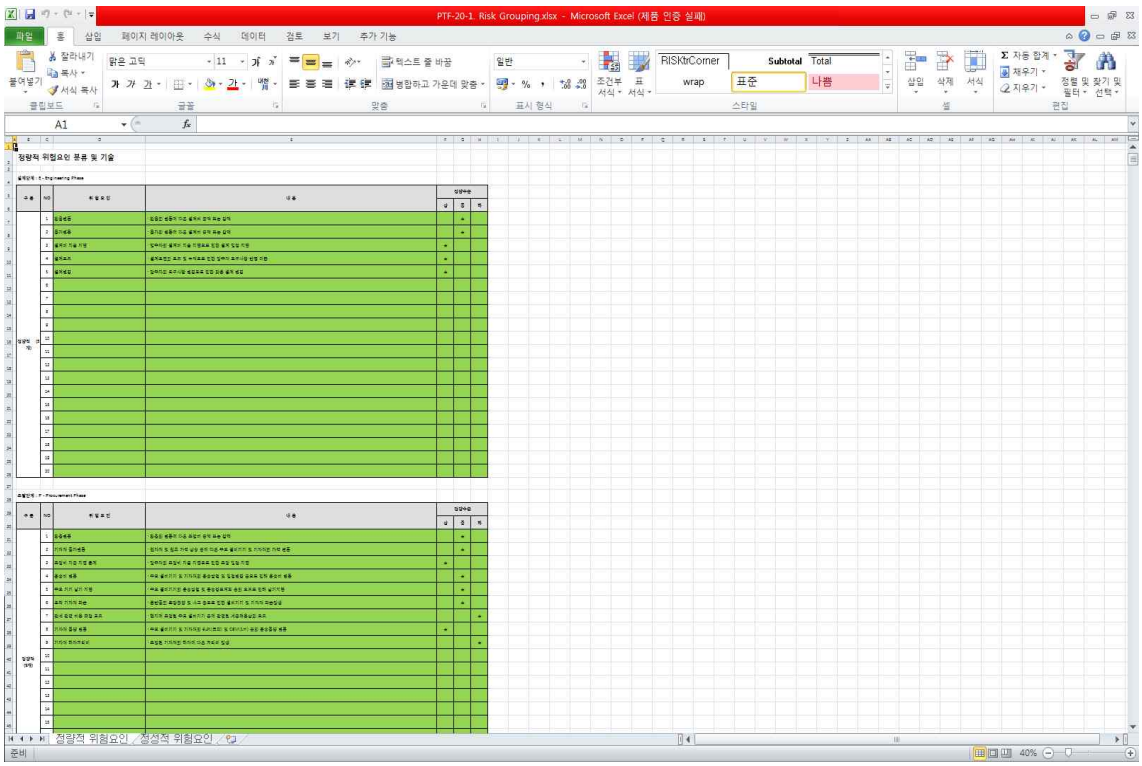
메인은 리스크, 시나리오, 1차 위험평가, 2차 위험평가, 시뮬레이션 결과, 분석 결과 그래프, 의사결정, DB의 입력 및 결과물들만을 종합하는 파일로써 하위 엑셀파일은 존재하지 않는다. 메인파일에서 구성된 주요 시트는 시작, 시나리오 기반 의사결정모델 개념, 위험요인구분, 시나리오 구성, 1차 위험평가, 생애주기(EPCC)비용 모델, 2차 평가 정성-정성적 분석, 2차 위험평가-정량적 분석, 타당성 분석용 시뮬레이션 결과, 의사결정 데이터베이스로 구성된다. 상기와 같이 구축된 메인 파일의 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.36] PTF-Main[Excel File]

메인 파일은 Input(입력)-Simulation(실행)-Output(결과)의 항목을 클릭하면, 해당 시트로 연동이 되어 데이터를 데이터 입역, 시뮬레이션 실행, 결과도출을 실행 할 수 있다. 또한 User's Manual의 항목을 클릭하면, 본 과업에서 개발한 해당 시트 논리의 설명을 살펴볼 수 있게 구축되었다.

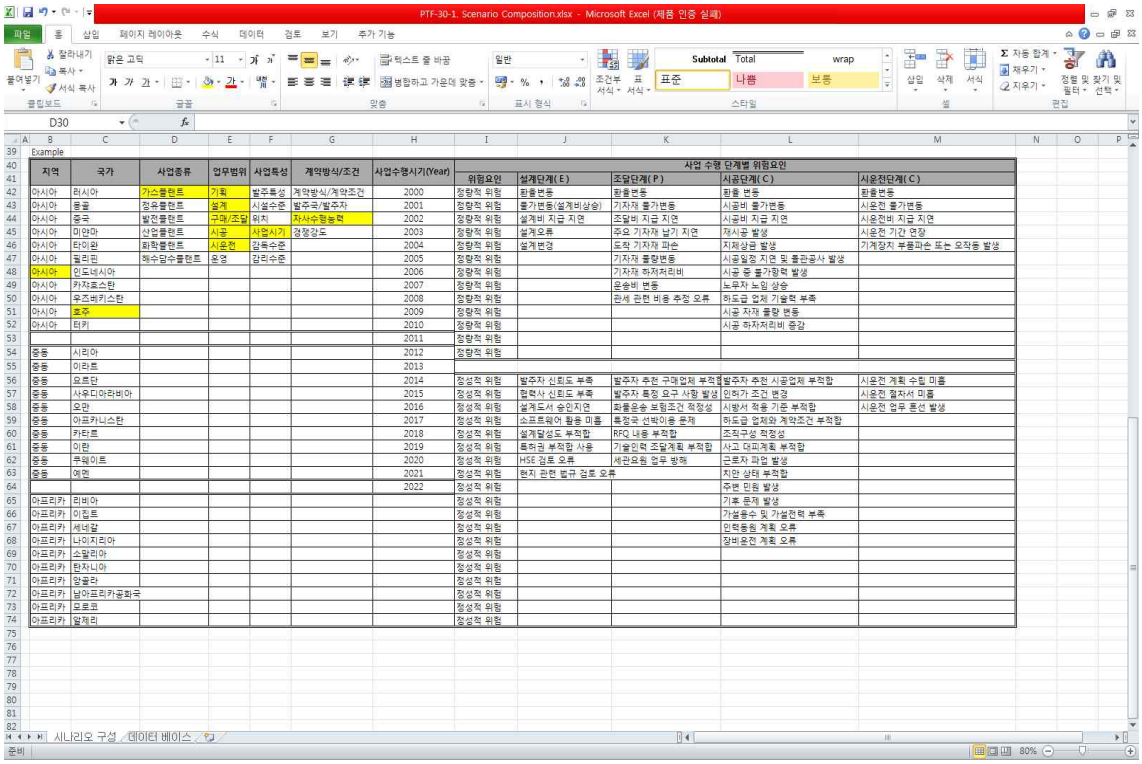
리스크 구분은 건설의 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning) 단계 별로 위험을 조사하여 정량적 위험 및 정성적 위험으로 구분한다. 리스크 구분 파일에서 구성된 주요 시트는 정량적 위험요인, 정성적 위험요인으로 구성된다. 상기와 같이 구축된 리스크 구분 파일의 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.37] PTF-20-1 Risk Grouping[Excel File]

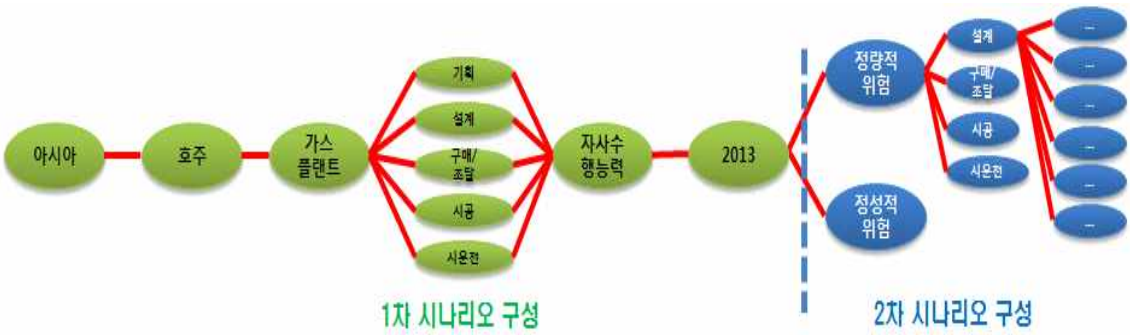
리스크 구분 파일은 각각 정량적 위험요인과 정성적 위험요인을 구분하여 입력할 수 있게 되어 있으며, 향후 리스크 데이터의 확장성을 고려하여 공란을 두어 추가로 리스크 요인을 생성할 수 있게 구축되었다.

시나리오 구성은 의사결정 나무(Decision Tree)의 이론을 이용하여 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식 조건, 사업수행 시기를 1차 시나리오로 구성하고, 건설의 설계, 구매/조달, 시공, 시운전 단계별 로 조사된 위험을 2차 시나리오로 구성하게 되며, 이에 대한 시나리오 구성 파일에서 구성된 주요 시트는 시나리오 구성, 데이터베이스로 구성된다. 상기와 같이 구축된 리스크 구분 파일의 엑셀화면은 다음과 같다.



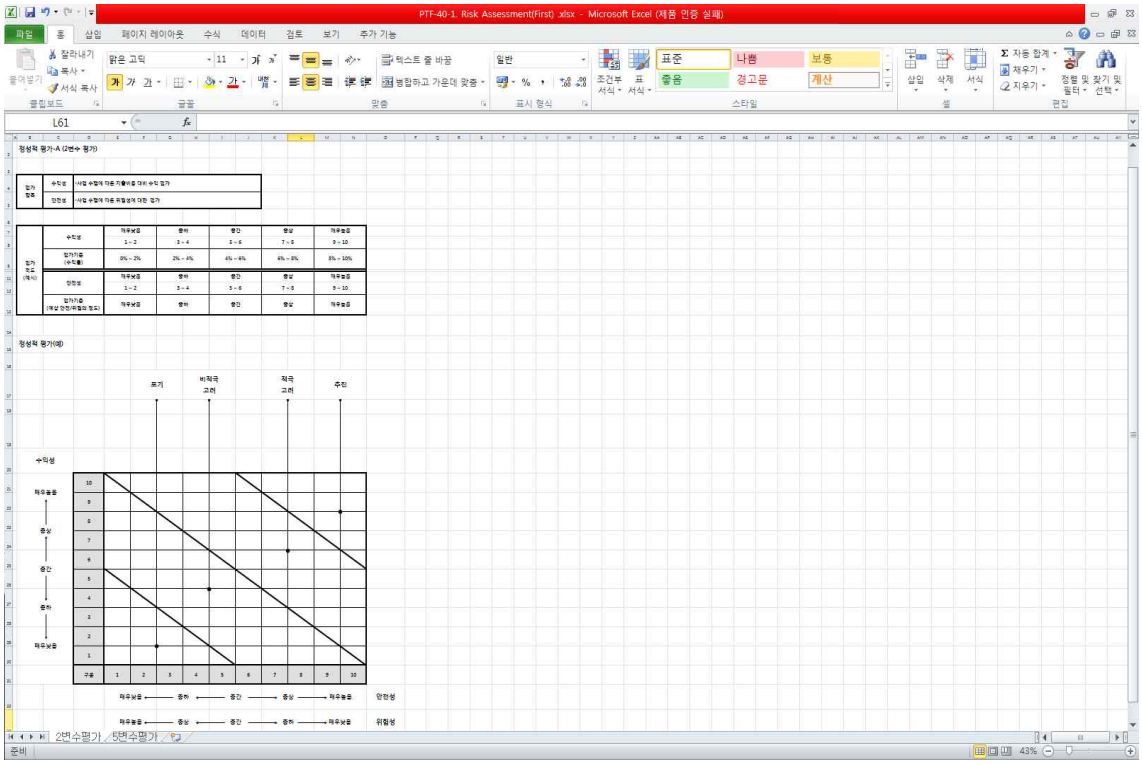
[그림 2.2.38] PTF-30-1 Scenario Composition[Excel File]

시나리오 구성 파일은 1차 시나리오 구성 및 2차 시나리오 구성으로 해당 요소를 선택할 수 있게 되어 있으며, 향후 데이터베이스화를 위해 데이터베이스 시트를 삽입하여 구축되었다. 또한 시나리오 구성에 대한 예시를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



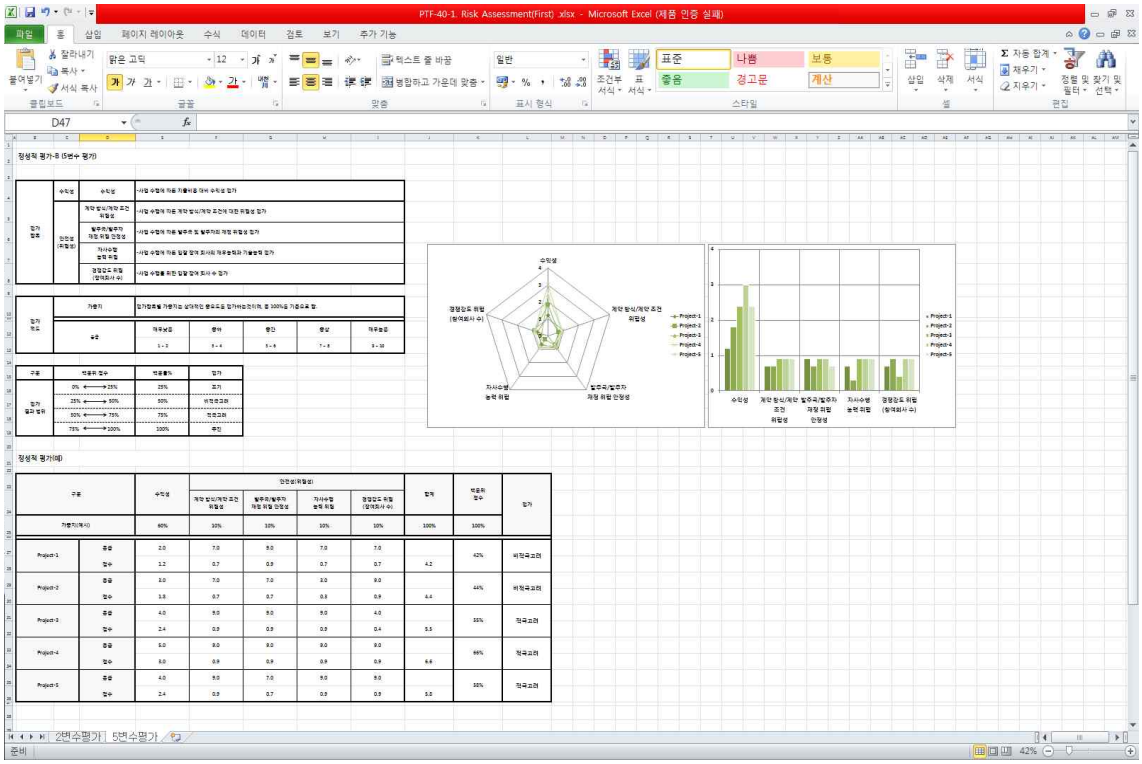
[그림 2.2.39] 시나리오 구성의 예시

1차 위험평가는 위험 요인 중 수익성과 안전성을 평가 요소로 2변수 평가 및 5변수 평가로 구분된다. 1차 위험평가 파일에서 구성된 주요 시트는 2변수 평가, 5변수 평가로 구성된다. 상기와 같이 구축된 1차 위험평가 중 2변수 평가는 수익성으로 사업 수행에 따른 지출비용 대비 수익을 평가하고, 안전성은 사업 수행에 따른 위험성에 대한 평가를 척도로 위험을 평가하는 방법으로 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.40] PTF-40-1 Risk Assessment(First-1)[Excel File]

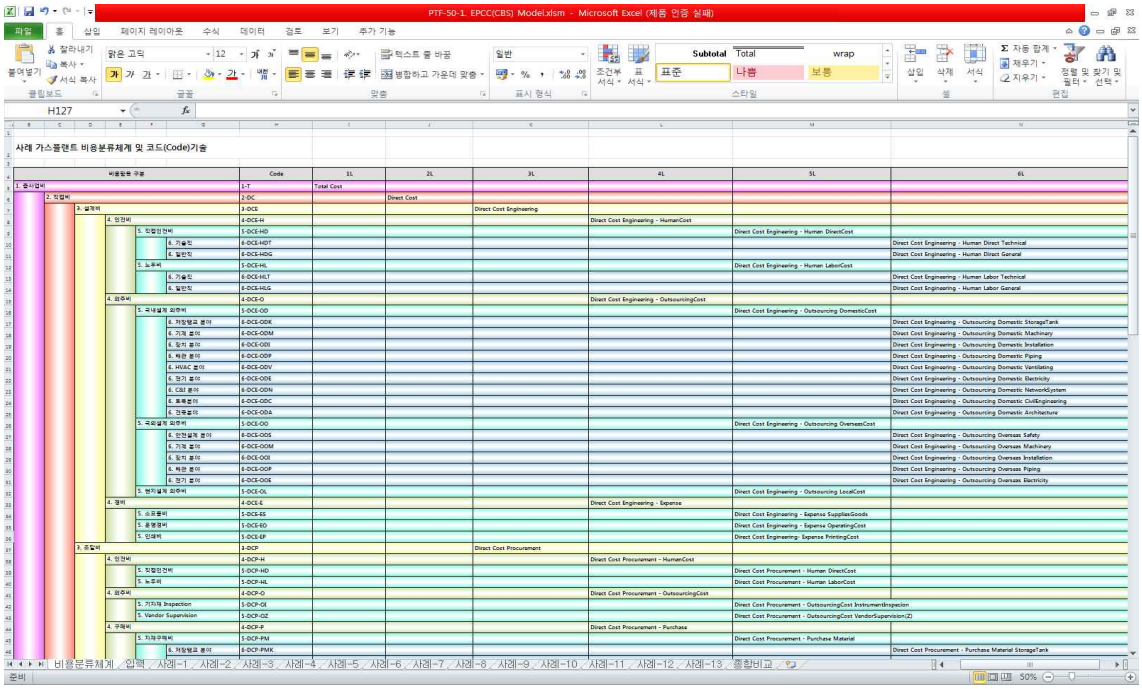
1차 위험평가 중 5변수 평가는 수익성으로 사업 수행에 따른 지출비용 대비 수익을 평가하고, 안전성은 계약방식/계약조건 위험, 발주국/발주자 재정위험, 자사수행능력 위험, 경쟁강도(참여회사 수) 위험에 따른 위험성에 대한 평가를 척도로 위험을 평가하는 방법으로 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.41] PTF-40-1 Risk Assessment(First-2)[Excel File]

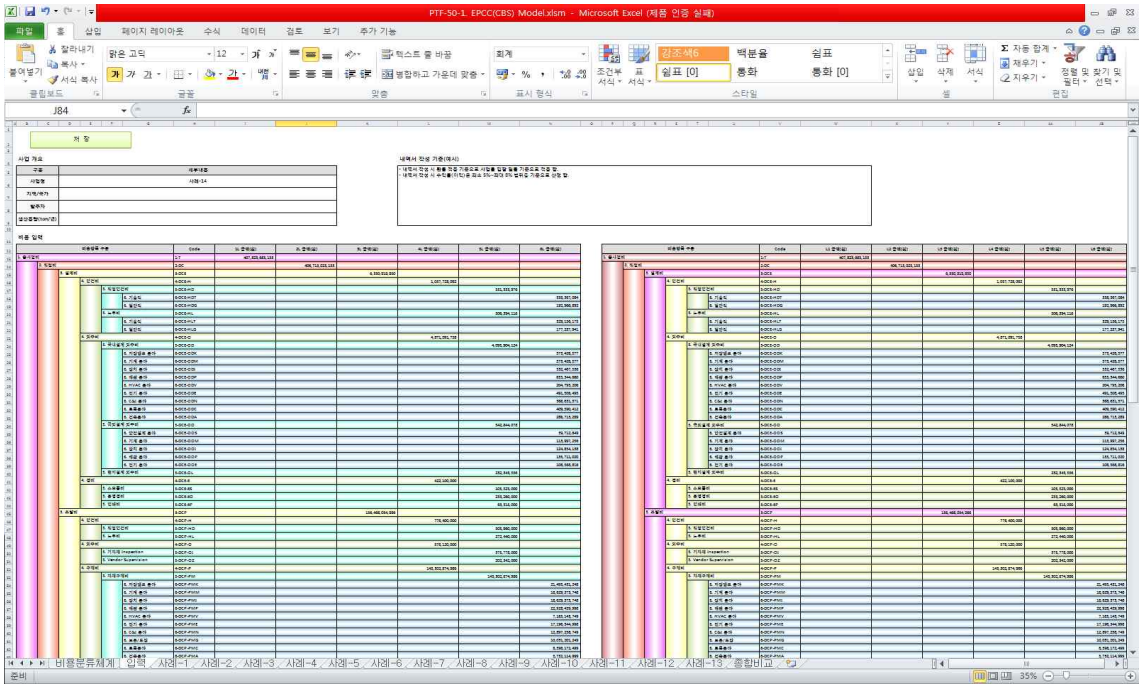
1차 위험평가 파일은 각각 수익성과 안전성을 위험요인으로 구분하여 2변수 및 5변수 평가를 할 수 있게 구축되었다.

생애주기(EPCC)비용 모델은 비용분류체계(Cost Break-down Structure:이하CBS)로 사례마다 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning) 단계 별로 비용분류체계를 개발 및 코드화하여 입력 및 저장하여 종합 비교를 하게 되며, 또한 CBS는 DB에 저장된다. 상기와 같이 구축된 생애주기(EPCC)비용 모델 파일의 첫 번째 시트는 비용분류체계로 비용항목 구분에 따라 총 6 Level로 비용 항목을 구분하였으며, Level 별 각 항목은 다음과 같다. 첫째, 1 Level은 모든 비용을 포함하는 총사업비(Total Cost : T)로 구성되어 있다. 2 Level은 직접비(Direct Cost : DC)와 간접비(Overhead Cost : OC), 금융비용(Financing Cost : FC), 세금(Tax : TA), 이익(Profit : PR)로 구성되어 있다. 3 Level은 직접비(DC)에서 설계비(Direct Cost Engineering : DCE), 구매/조달비(Direct Cost Procurement : DCF), 시공비(Direct Cost Construction : DCC), 시운전비(Direct Cost Commissioning : DCS)로 구성되어 있으며, 간접비(OC)에서 사업본부간접비(Overhead Cost Head-office : OCH), 일반관리비(Overhead Cost General-administrative : OCG), 대리인비(Overhead Cost Agency : OCA)로 구성되어 있다. 4 Level - 6 Leve은 설계비(DCE), 구매/조달비(DCF), 시공비(DCC), 시운전비(DCS)로 세부내용이 구성되어 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



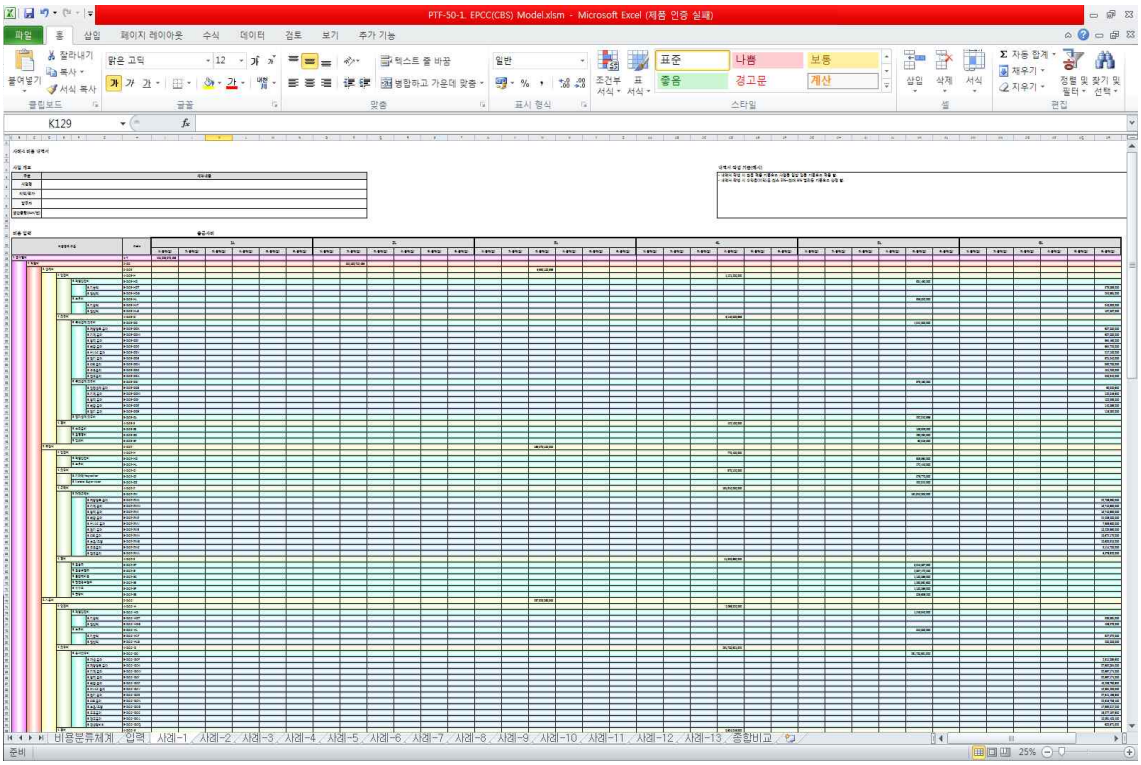
[그림 2.2.42] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(CBS)[Excel File]

생애주기(EPCC)비용 모델 파일의 두 번째 시트는 입력으로 상기에서 제시된 6 Level의 CBS를 비용항목별로 입력하여 사례비용을 저장할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



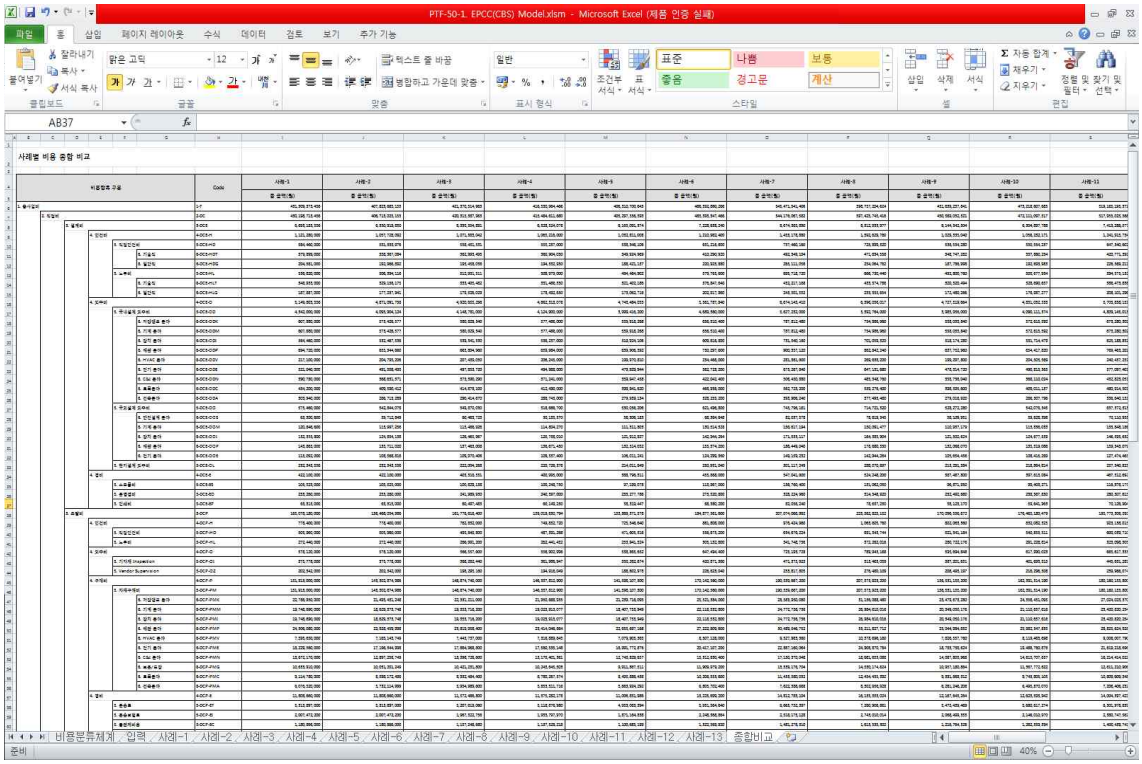
[그림 2.2.43] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(Input)[Excel File]

생애주기(EPCC)비용 모델 파일의 세 번째 시트는 사례로 상기의 입력을 통하여 각각의 사례별로 CBS 데이터를 각 레벨 별로 및 종합으로 저장할 수 있고, 이를 종합할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.44] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(Case)[Excel File]

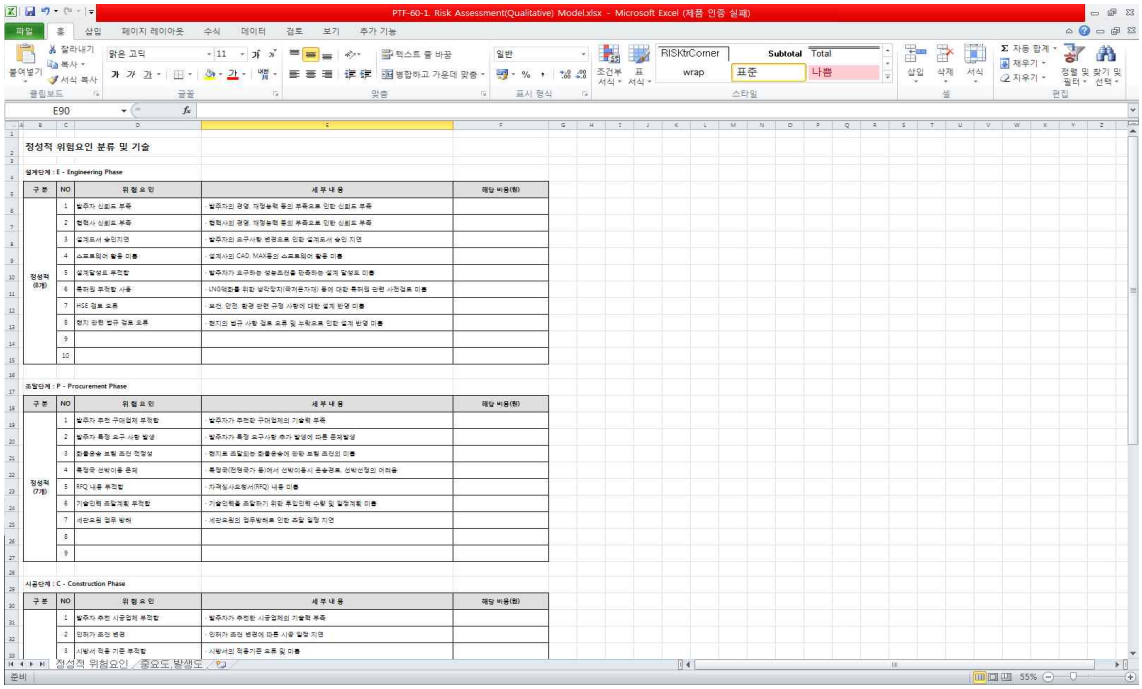
생애주기(EPCC)비용 모델 파일의 네 번째 시트는 종합으로 상기의 각각의 사례별 CBS 데이터를 종합하여, 이를 저장할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.45] PTF-50-1 EPCC(CBS) Model(Synthesize)[Excel File]

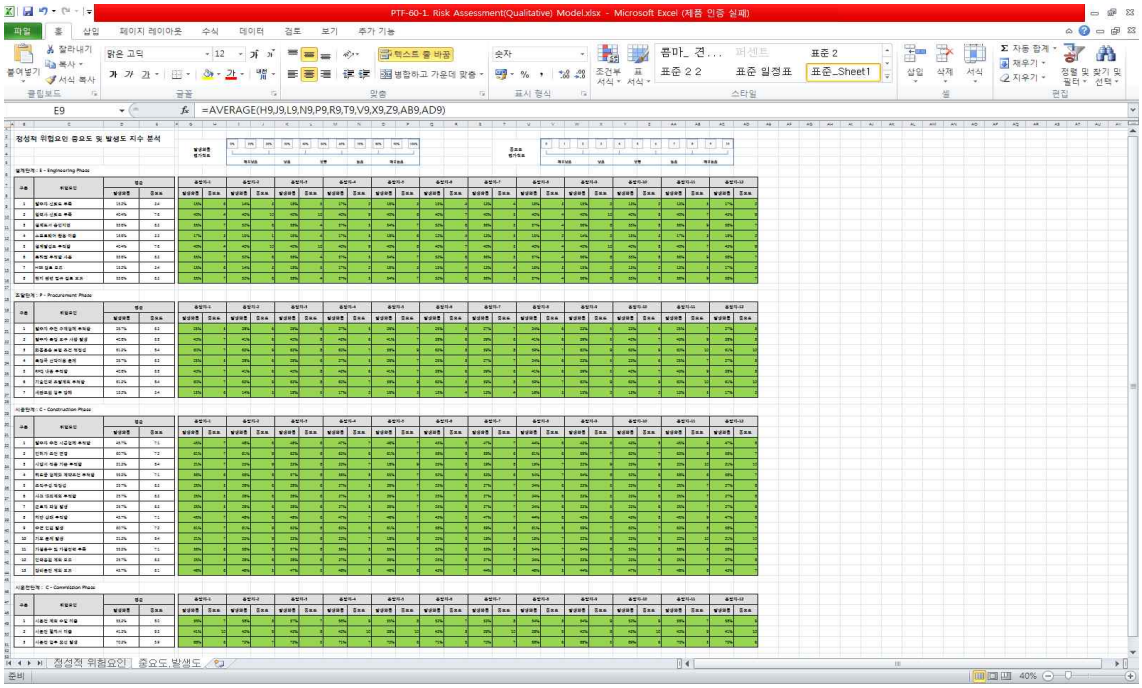
생애주기(EPCC)비용 모델 파일은 본 과업에서 제시한 CBS를 통하여 각각의 사례별로 비용데이터를 생성 및 저장하여 데이터베이스의 기본 자료로 활용할 수 있게 구축되었다.

2차 위험평가 모델 중 주요 위험요인 3구간 변동범위 모델은 정성적 위험요인의 중요도 지수 및 발생도 지수를 설문형식을 통하여 분석 및 평가할 수 있게 구분된다. 2차 위험평가 모델 중 주요 위험요인 3구간 변동범위 모델은 파일에서 구성된 주요 시트는 정성적 위험요인, 중요도 및 발생도 시트로 구성된다. 상기와 같이 구축된 정성적 위험요인은 정량적 위험요인을 제외하여 나온 주요 위험요인 결과를 중심으로 데이터화 되고, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.46] PTF-60-1 Risk Assessment(Qualitative-1)[Excel File]

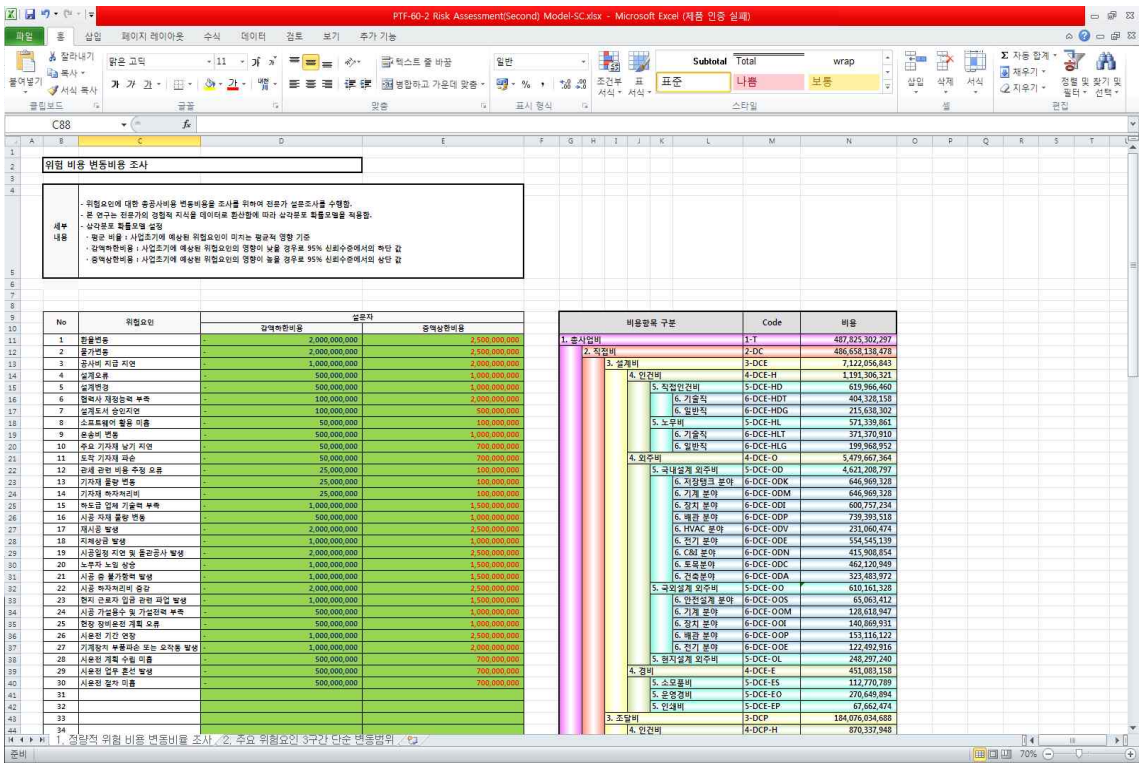
정성적 위험요인을 통하여 정성적 위험요인의 중요도 지수 및 발생도 지수를 전문가 설문을 통하여 평균으로 도출하여 정성적 위험요인을 평가하며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.47] PTF-60-1 Risk Assessment(Qualitative-2)[Excel File]

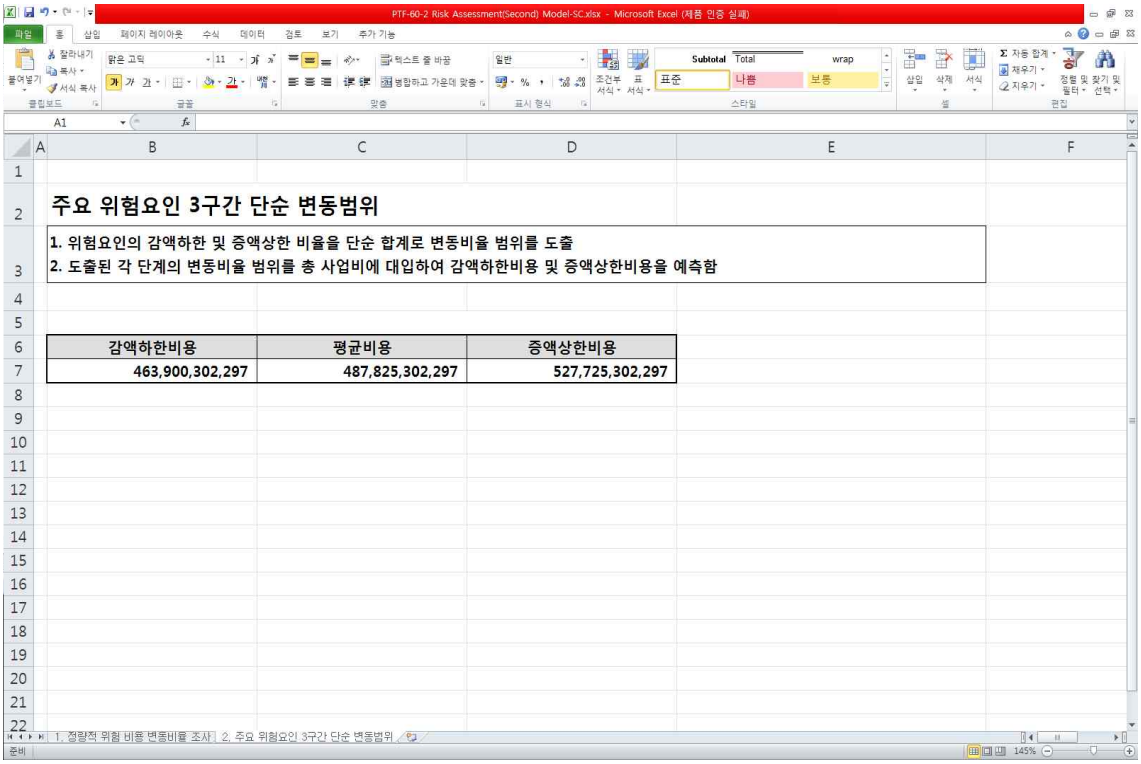
정성적 위험요인 평가 모델 파일은 정량적 위험요인을 제외한 정성적 위험요인에 대해 중요도 지수 및 발생도 지수를 평가하여 정성적 위험요인을 수치적으로 평가할 수 있게 구축되었다.

2차 위험평가 모델 중 주요 위험요인 3구간 변동범위 추정 방법은 정량적 위험요인을 3구간으로 평균비용을 중심으로 감액하한비용 및 증액상한비용을 전문가가 직접 추정하여 분석 및 평가할 수 있게 구분된다. 2차 위험평가 모델 중 주요 3구간 변동범위 추정 파일에서 구성된 주요 시트는 정량적 위험 비용 변동비율 조사, 주요 위험요인 3구간 단순변동범위 시트로 구성된다. 상기와 같이 구축된 정량적 위험 비용 변동비율 조사는 총사업비를 평균으로 감액하한비용과 증액상한비용을 입력할 수 있게 되어있으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.48] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(SC-1)[Excel File]

정량적 위험 비용 변동비율 조사를 통해 총공사비를 평균으로 감액하한비용 및 증액상한비용을 분석할 수 있으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



주요 위험요인 3구간 단순 변동범위

1. 위험요인의 감액하한 및 증액상한 비율을 단순 합계로 변동비율 범위를 도출
2. 도출된 각 단계의 변동비율 범위를 총 사업비에 대입하여 감액하한비용 및 증액상한비용을 예측함

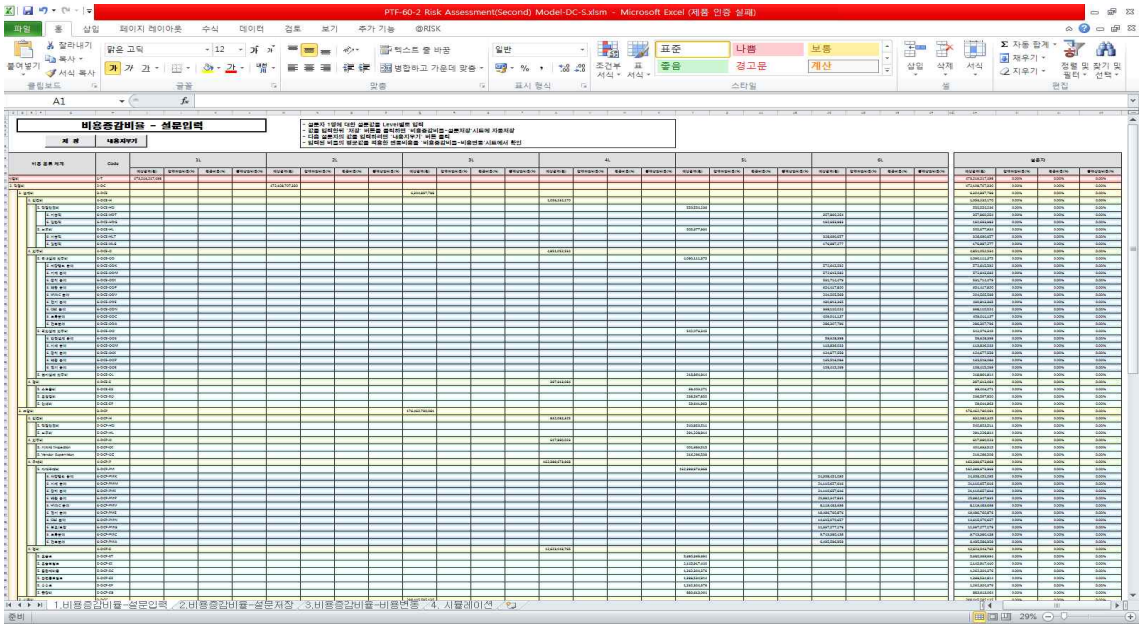
감액하한비용	평균비용	증액상한비용
463,900,302,297	487,825,302,297	527,725,302,297

[그림 2.2.49] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(SC-2)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 주요 위험요인 3구간 변동범위 추정 방법은 위험요인별로 감액하한비용 및 증액상한비용을 예측하여, 이를 총합하고 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다.

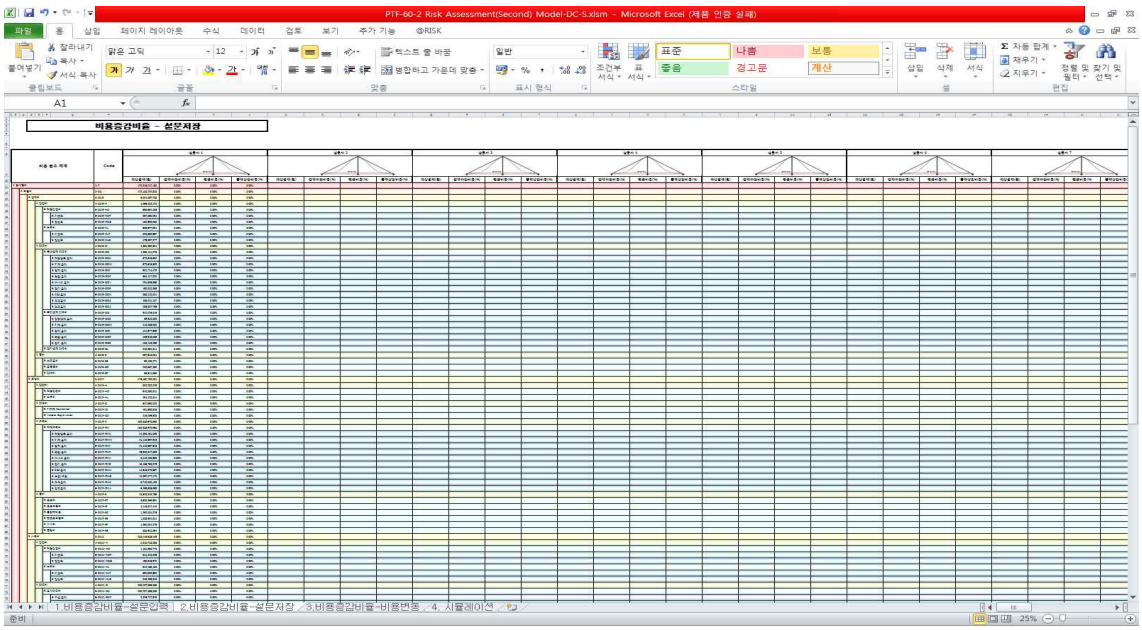
2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비율을 %로 설문하고 비용증감비율을 비용으로 환산한다. 또한 평균비용을 중심으로 감액하한비용 및 증액상한비용을 삼각분포[9]로 @Risk 분석 및 평가하여 시뮬레이션 할 수 있게 구분된다. 2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일에서 구성된 주요 시트는 비용증감비율-설문입력, 비용증감비율-설문저장, 비용증감비율-비용변동, 시뮬레이션 시트로 구성된다. 상기와 같이 구축된 비용증감비율-설문입력은 CBS의 각 항목별 평균비율을 %로 설문하여 비용증감비율 평균비율로 감액하한비율과 증액상한비율을 입력할 수 있게 되어있으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.

9) 일반적으로 다수의 데이터를 이용할 수 있다면 통계분석으로 정규분포 또는 로그정규분포를 결정할 수 있다. 그러나 데이터가 거의 없어 전문가의 경험을 토대로 추정데이터를 제시하는 경우에는 균등분포 또는 삼각분포를 적용 할 수 있다. 안상전. 아주대학교. 2005



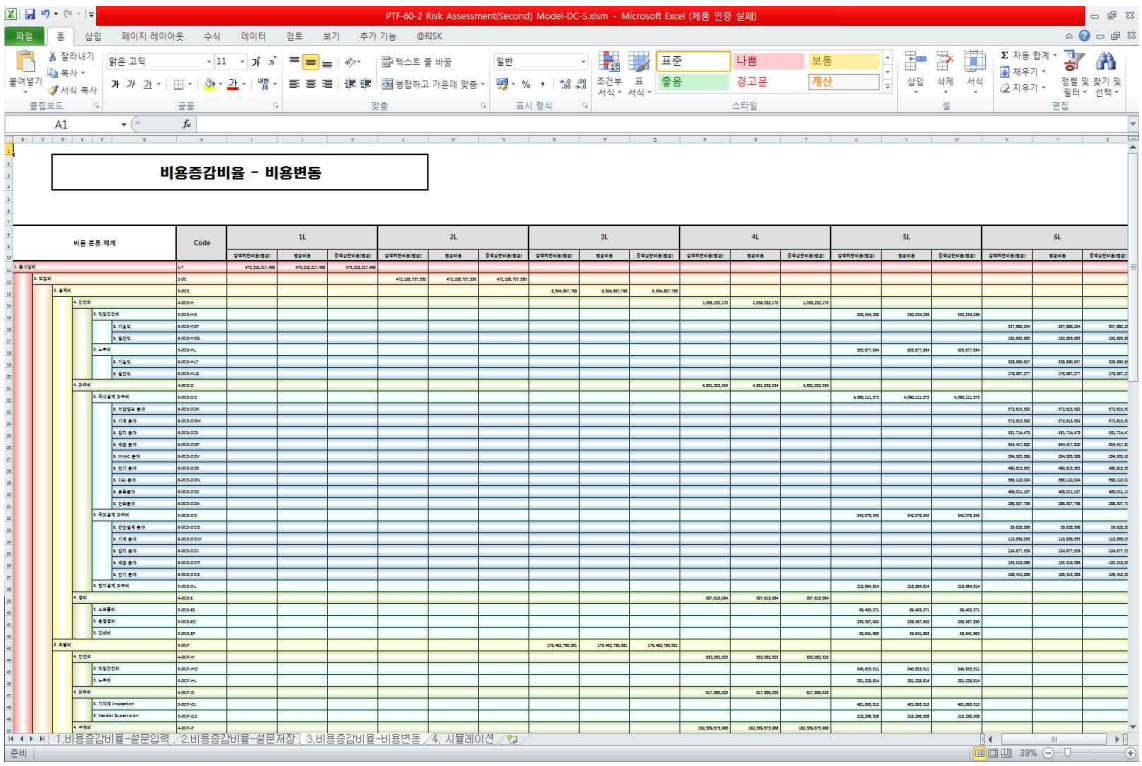
[그림 2.2.50] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-1)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 두 번째 시트는 비용증감비율-설문저장으로 상기에서 제시된 CBS의 각 항목별 평균비율을 %로 설문하여 비용증감비율 평균비율로 감액하한비율과 증액상한비율을 삼각분포로 적용하여 저장할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



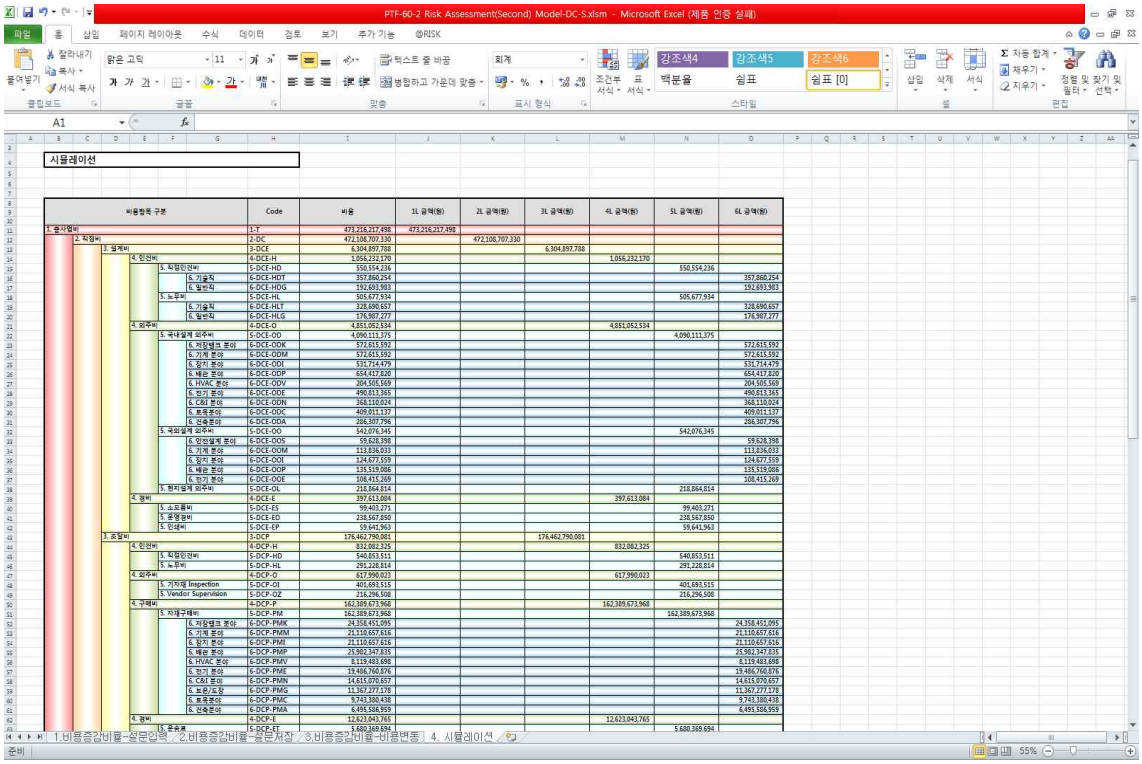
[그림 2.2.51] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-2)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 세 번째 시트는 비용증감비율-비용변동으로 상기에서 제시된 평균 및 비용증감비율을 비용으로 환산하여 감액하한비용과 증액상한비용으로 환산할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.52] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-3)[Excel File]

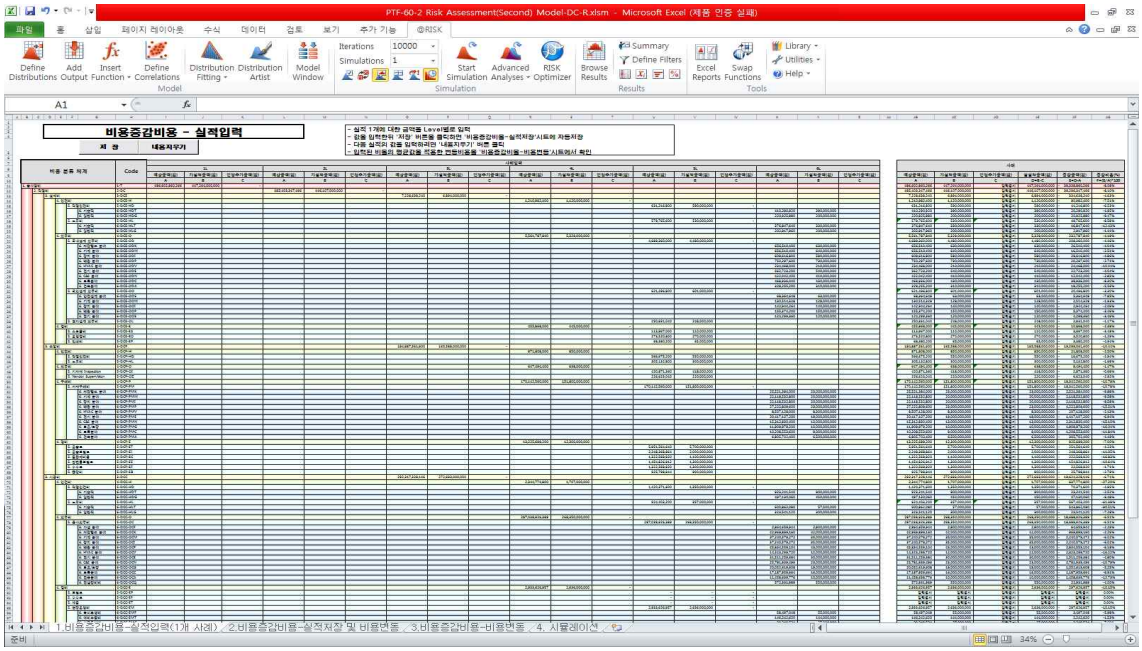
2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 네 번째 시트는 시뮬레이션으로 상기의 과정을 통해 분석된 평균 비용 및 감액하한비용과 증액상한비용을 삼각분포로 적용하여 @Risk를 통해 분석할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.53] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-S-4)[Excel File]

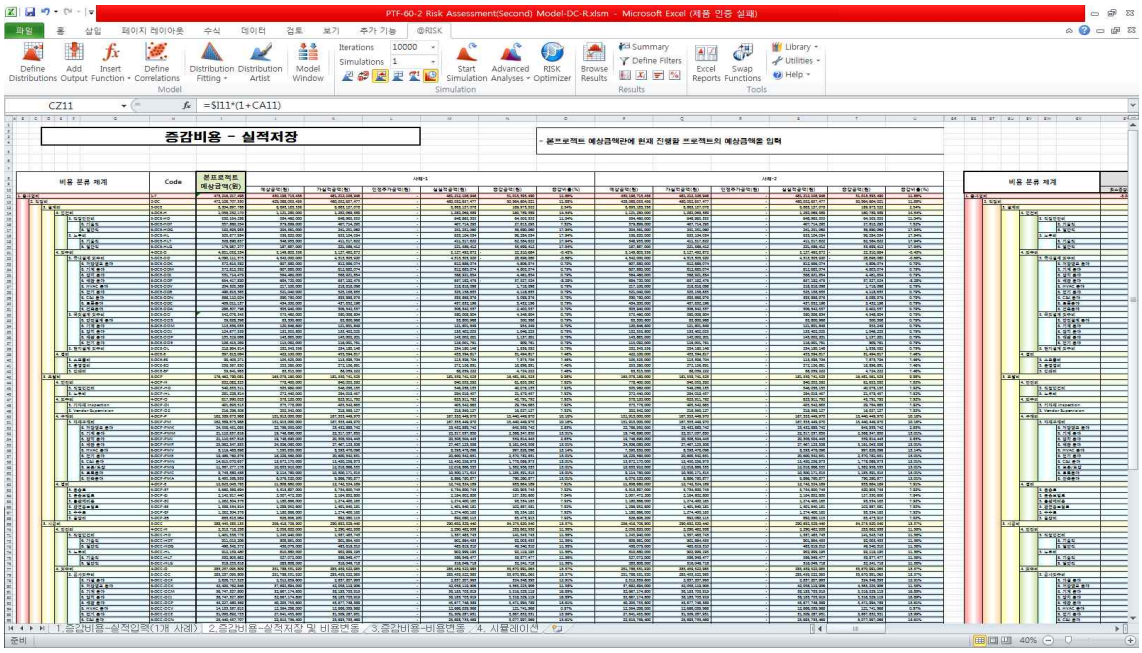
2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비율을 %로 설문하여 비용증감비율을 비용으로 환산하여 평균비용을 중심으로 감액하한비용 및 증액상한비용을 삼각분포로 적용하여 @Risk를 통해 분석 및 평가하여 시뮬레이션을 수행하고 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다.

2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 실적자료로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비용을 실적자료를 활용하여 평균비용을 중심으로 감액하한비용 및 증액상한비용을 삼각분포로 @Risk 분석 및 평가하고 시뮬레이션 할 수 있게 구분된다. 2차 위험평가 모델 중 실적비용으로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일에서 구성된 주요 시트는 증감비용-실적입력, 증감비용-실적저장 및 비용변동, 증감비용-비용변동, 시뮬레이션 시트로 구성된다. 상기와 같이 구축된 증감비용-실적입력은 CBS의 각 항목별 평균비용을 실적으로 하여 평균비용을 중심으로 감액하한비용과 증액상한비용을 입력 및 저장 할 수 있게 되어있으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



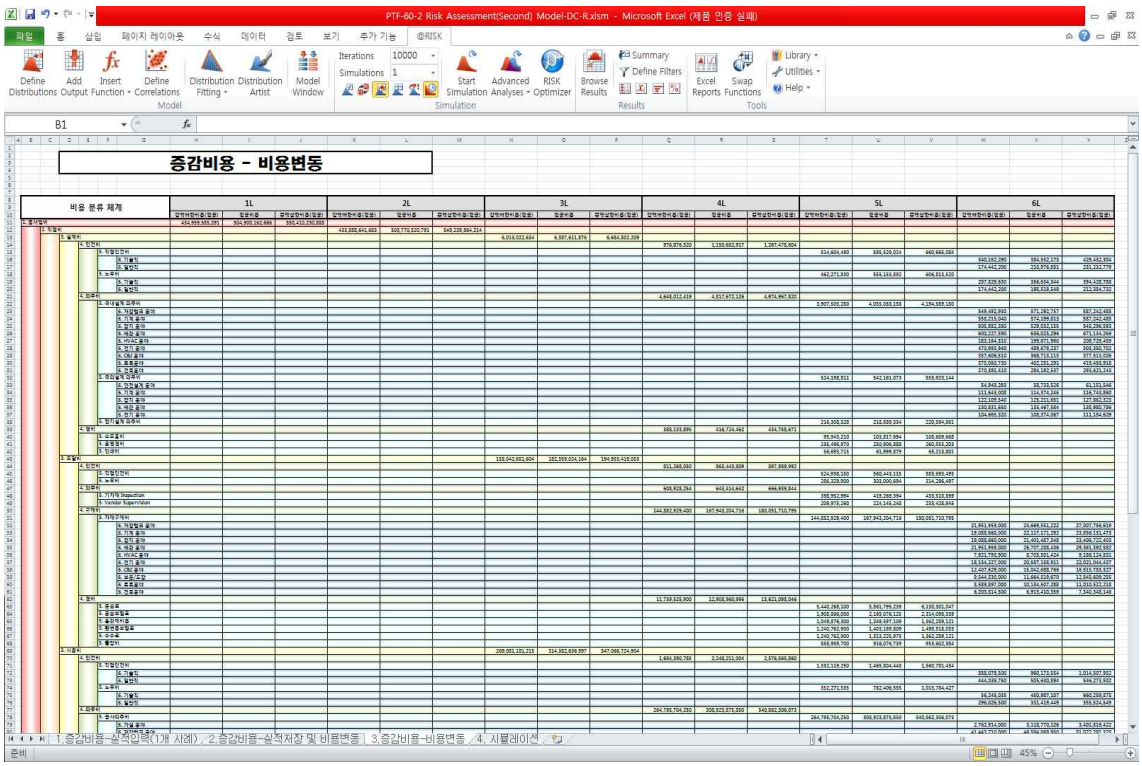
[그림 2.2.54] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-1)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 실적비용으로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 두 번째 시트는 증감비용-실적저장 및 비용변동으로 상기에서 제시된 CBS의 각 항목별 평균비용을 실적으로 하여 증감비용의 평균비용으로 감액하한비용과 증액상한비용을 사례별로 실적 저장할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



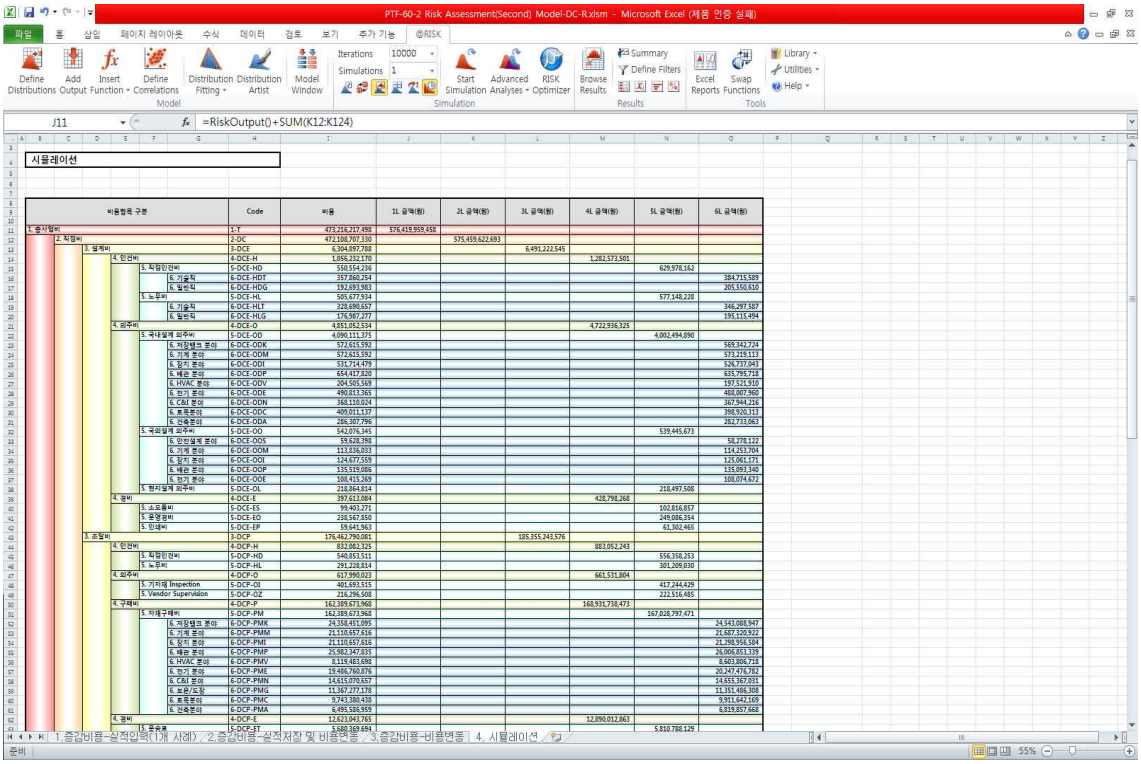
[그림 2.2.55] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-2)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 실적비용으로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 세 번째 시트는 증감비율-비용변동으로 상기에서 제시된 평균 및 비용증감비용을 각 사례의 값을 평균비용으로 환산할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.56] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-3)[Excel File]

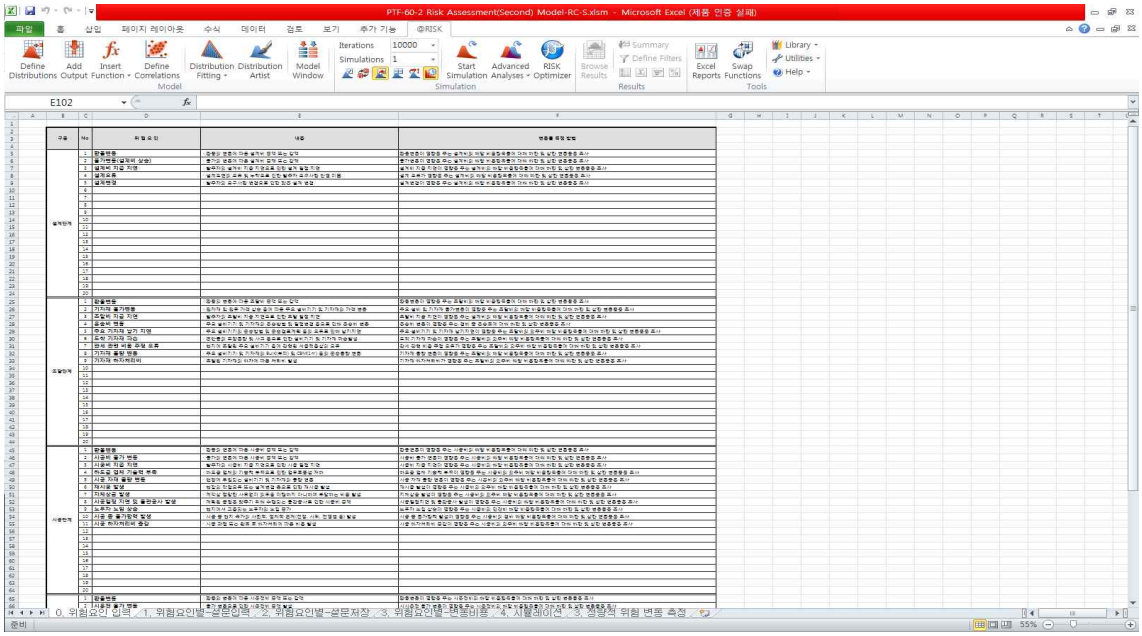
2차 위험평가 모델 중 실적비용으로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 네 번째 시트는 시뮬레이션으로 상기의 과정을 통해 분석된 평균 비용 및 감액하한비용과 증액상한비용을 삼각분포로 적용하여 @Risk를 통해 분석 할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.57] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(DC-R-4)[Excel File]

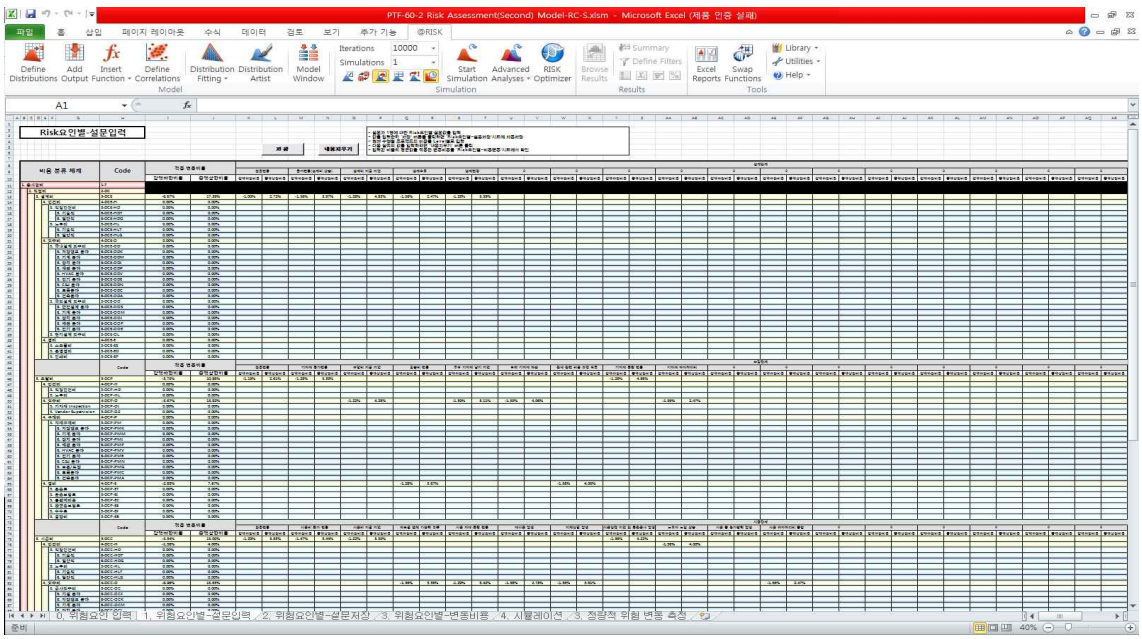
2차 위험평가 모델 중 실적비용으로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비용을 실적으로 하여 평균비용을 중심으로 감액하한비용과 증액상한비용을 @Risk로 분석 및 평가하고 시뮬레이션을 수행하여 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다.

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목에 정량적 위험요인에 따른 증감비율을 %로 설문하고, 이를 평균 %로 도출한다. 또한 CBS 각 비용을 중심으로 감액하한비용 및 증액상한비용으로 비용 환산 후 삼각분포로 @Risk 분석 및 평가하여 시뮬레이션 할 수 있게 구분된다. 2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 파일에서 구성된 주요 시트는 위험요인 입력, 위험요인별-설문입력, 위험요인별-설문저장, 위험요인별-비용변동, 시뮬레이션 시트로 구성된다. 상기와 같이 구축된 위험요인 입력은 건설의 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning) 단계 별로 정량적 위험요인에 따른 변동률의 측정 방법을 제시하였으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



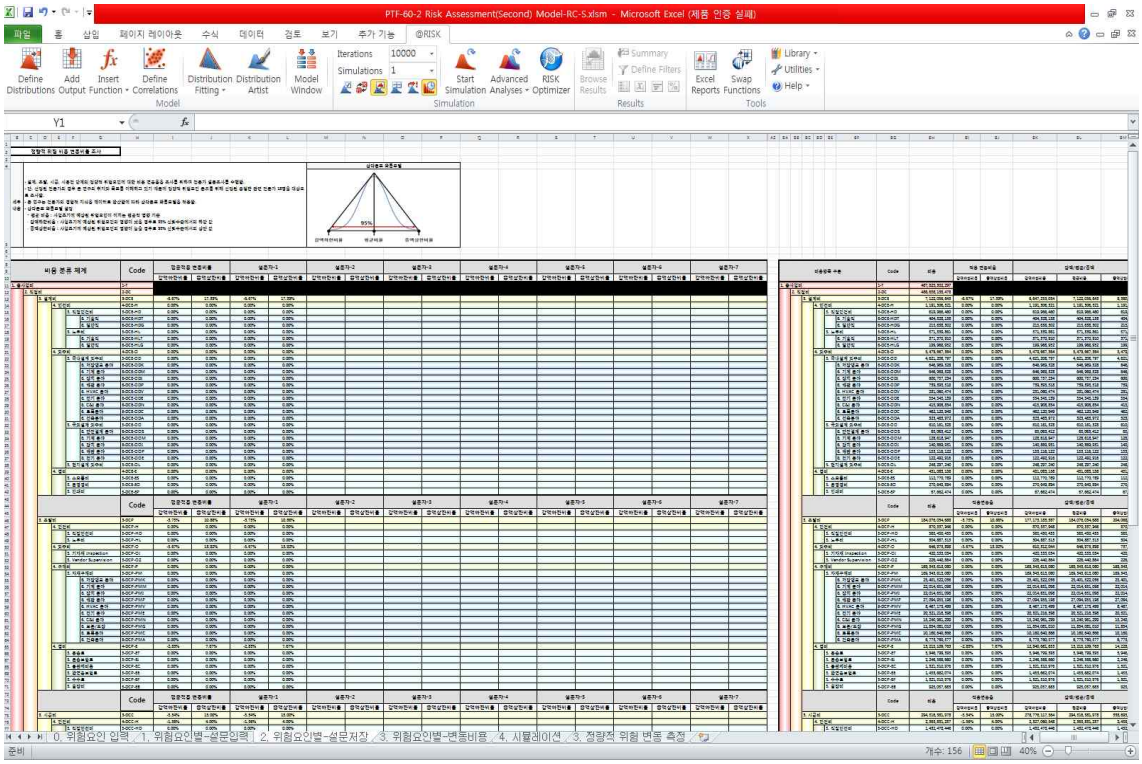
[그림 2.2.58] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-1)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 파일의 두 번째 시트는 위험요인별-설문입력으로 6 Level에 따른 CBS의 각 항목에 정량적 위험요인을 대입하여 감액하한비율 및 증액상한비율을 %로 설문하고 평균으로 도출 후에 비용증감비율을 저장할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



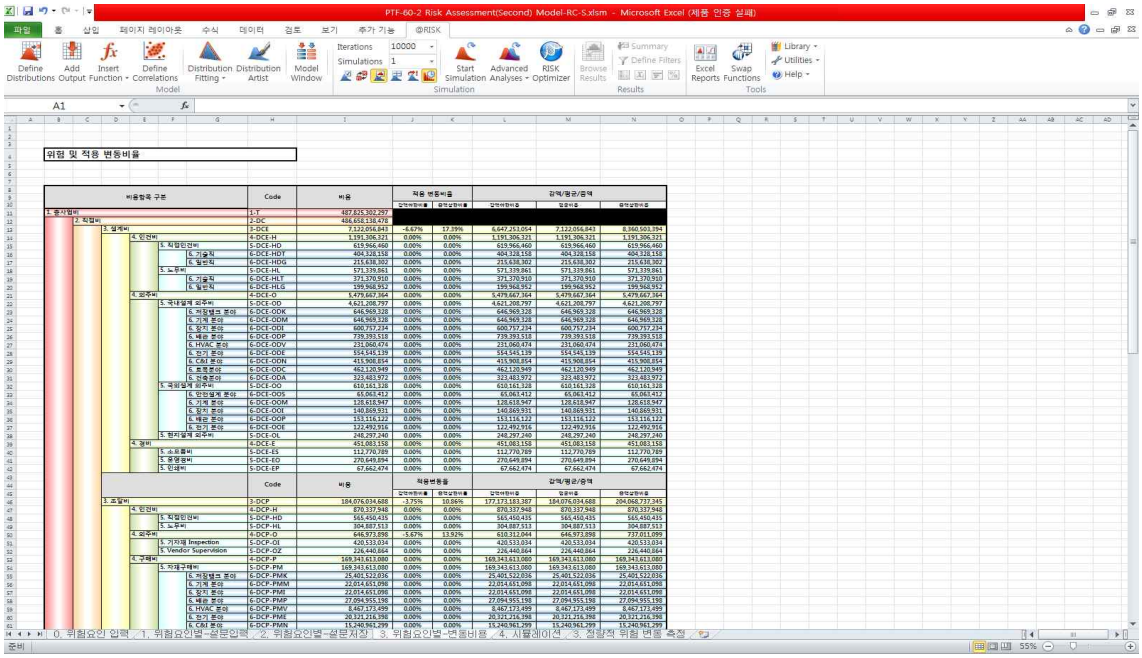
[그림 2.2.59] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-2)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 파일의 세 번째 시트는 위험요인별-설문저장으로 상기의 설문입력의 비용증감비율을 삼각분포로 적용하여 저장하고, 설문자별 비율을 평균으로 도출할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



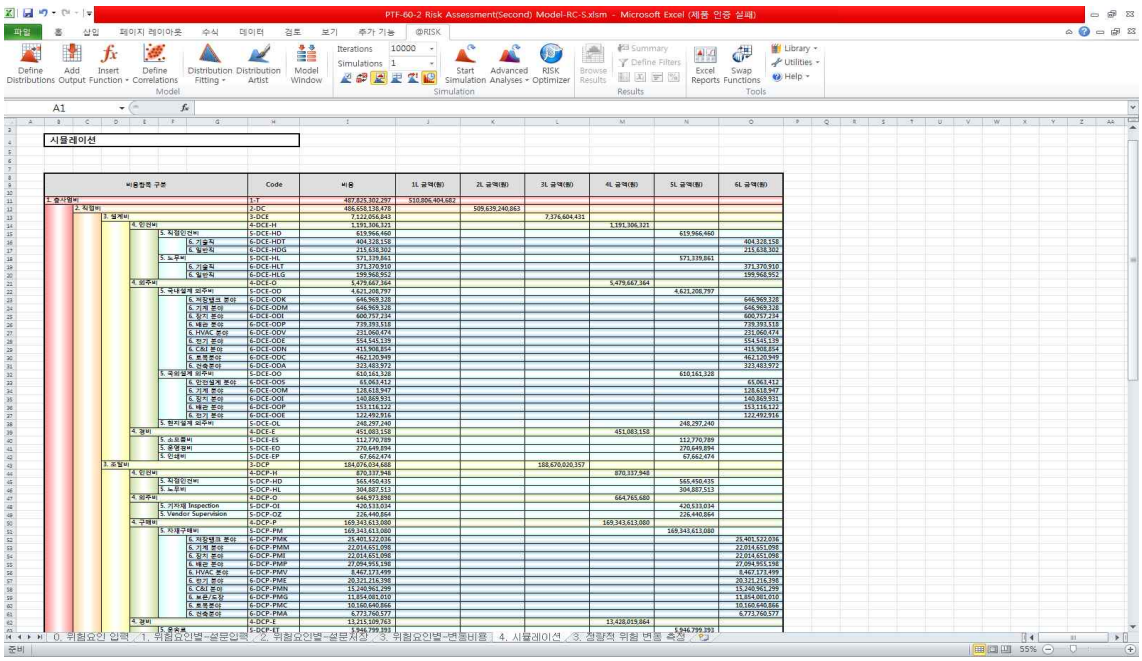
[그림 2.2.60] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-3)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 파일의 네 번째 시트는 위험요인별-비용변동으로 상기에서 제시된 감액하한비율 및 증액상한비율을 비용으로 환산하여 감액하한비용과 증액상한비용으로 환산할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.61] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-4)[Excel File]

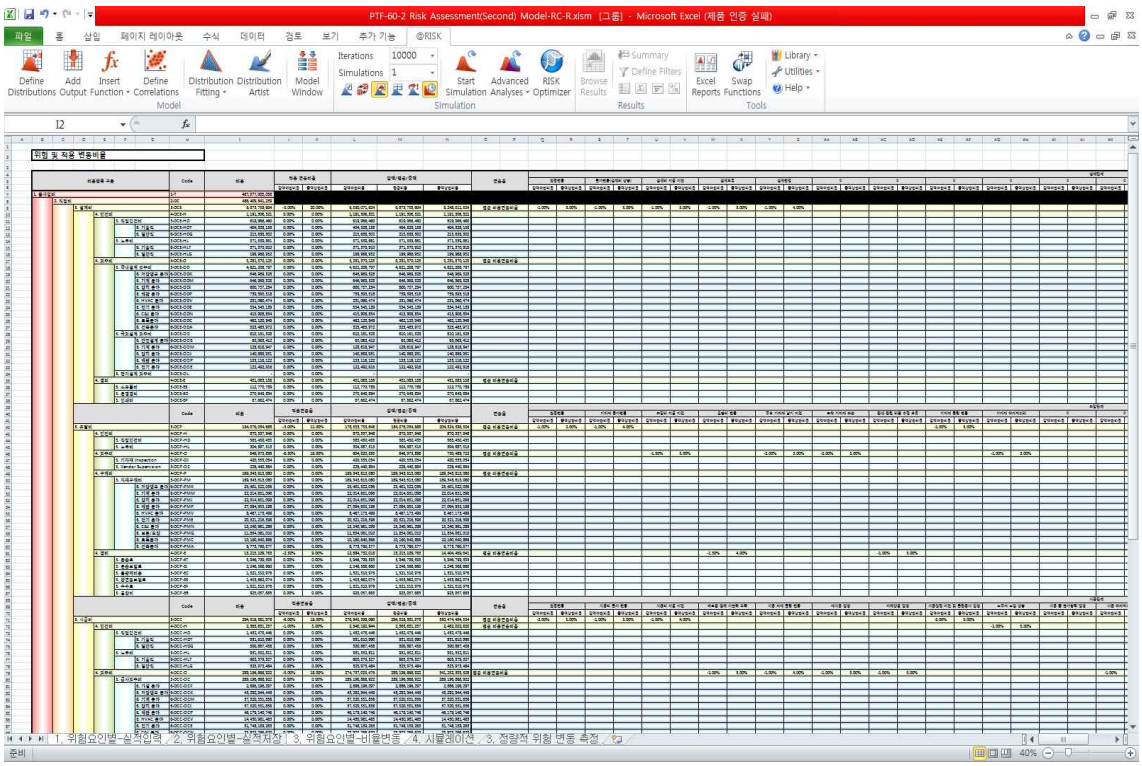
2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 파일의 네 번째 시트는 시뮬레이션으로 상기의 과정을 통해 분석된 평균 비용 및 감액하한비용과 증액상한비용을 삼각분포로 적용하여 @Risk를 통해 분석 할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.62] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-S-5)[Excel File]

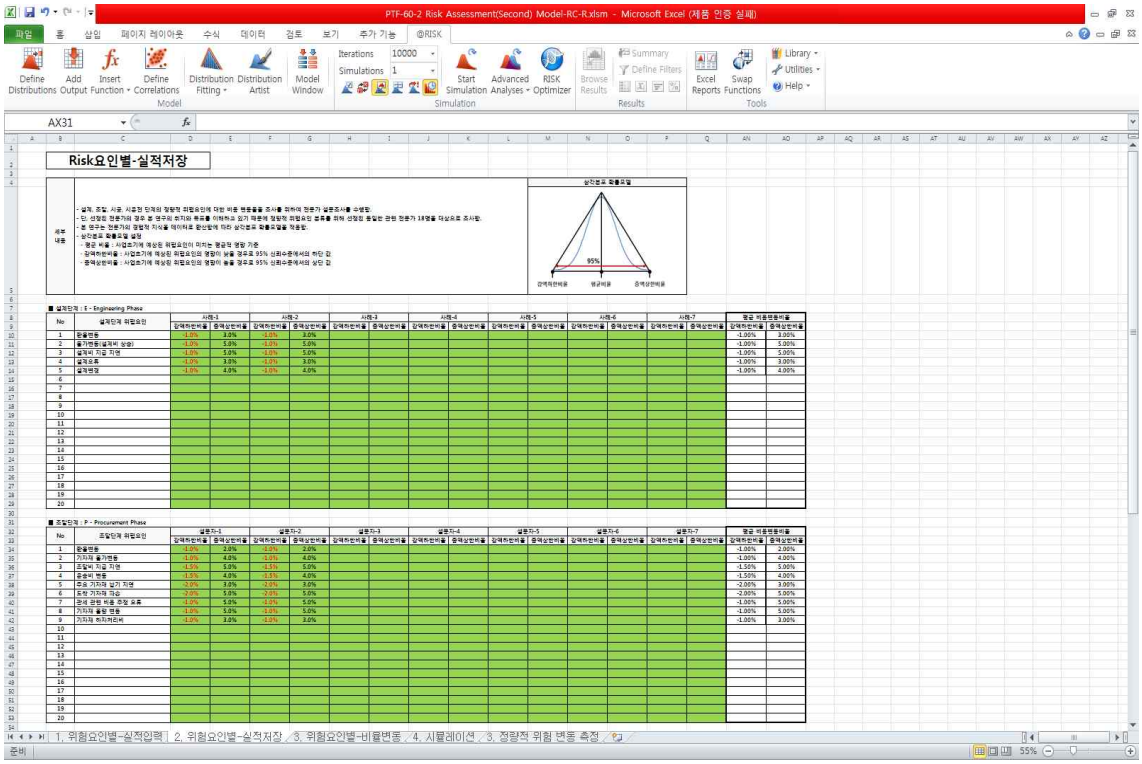
2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목에 정량적 위험요인을 대입하여 증감비율을 %로 설문하고, 이를 평균 %로 도출한다. 또한 CBS 각 비용을 중심으로 감액하한비용 및 증액상한비용으로 비용 환산하고, 이를 삼각분포로 적용하여 @Risk를 통해 분석 및 평가하여 시뮬레이션을 수행하고 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다.

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비율을 과거자료를 활용하여 평균비용을 중심으로 감액하한비율 및 증액상한비율을 삼각분포로 @Risk 분석 및 평가하고 시뮬레이션 할 수 있게 구분된다. 2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일에서 구성된 주요 시트는 위험요인별-실적입력, 위험요인별-실적저장, 위험요인별-비율변동, 시뮬레이션 시트로 구성된다. 상기와 같이 구축된 위험요인별-실적입력은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목에 정량적 위험요인을 대입하여 감액하한비율 및 증액상한비율을 %로 과거 비용증감비율을 평균으로 도출 후에 비용증감비율을 저장할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



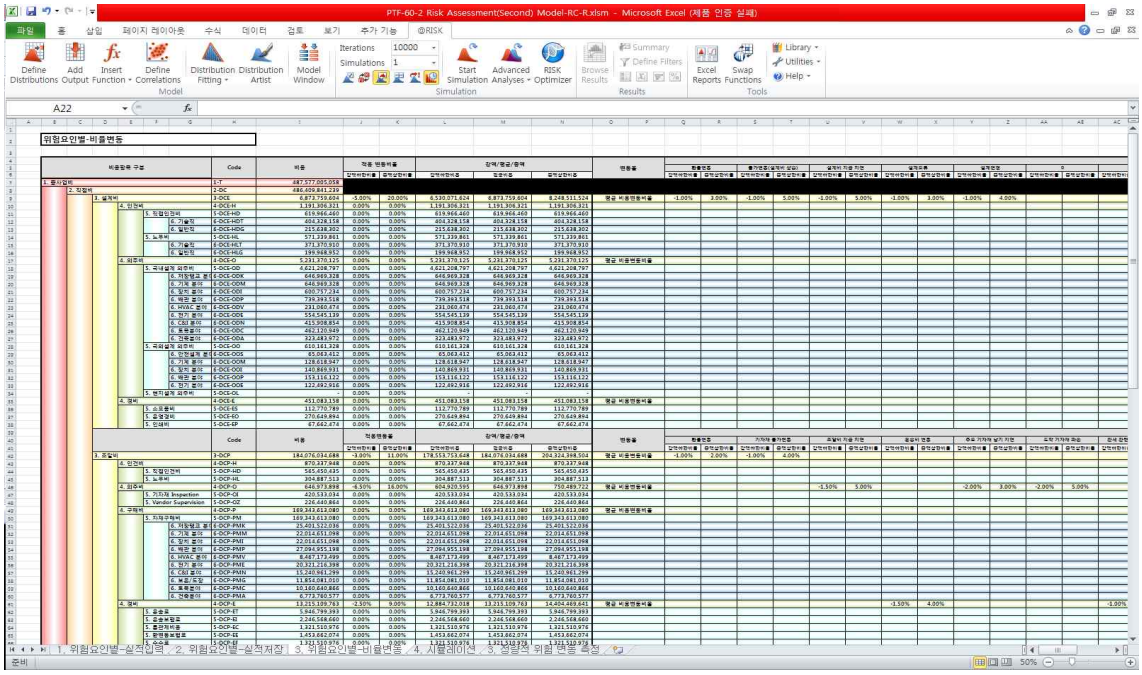
[그림 2.2.63] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-1)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 두 번째 시트는 위험요인별-실적저장으로 상기의 설문입력의 비용증감비율을 삼각분포로 저장하고, 설문자별 비율을 평균으로 도출할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



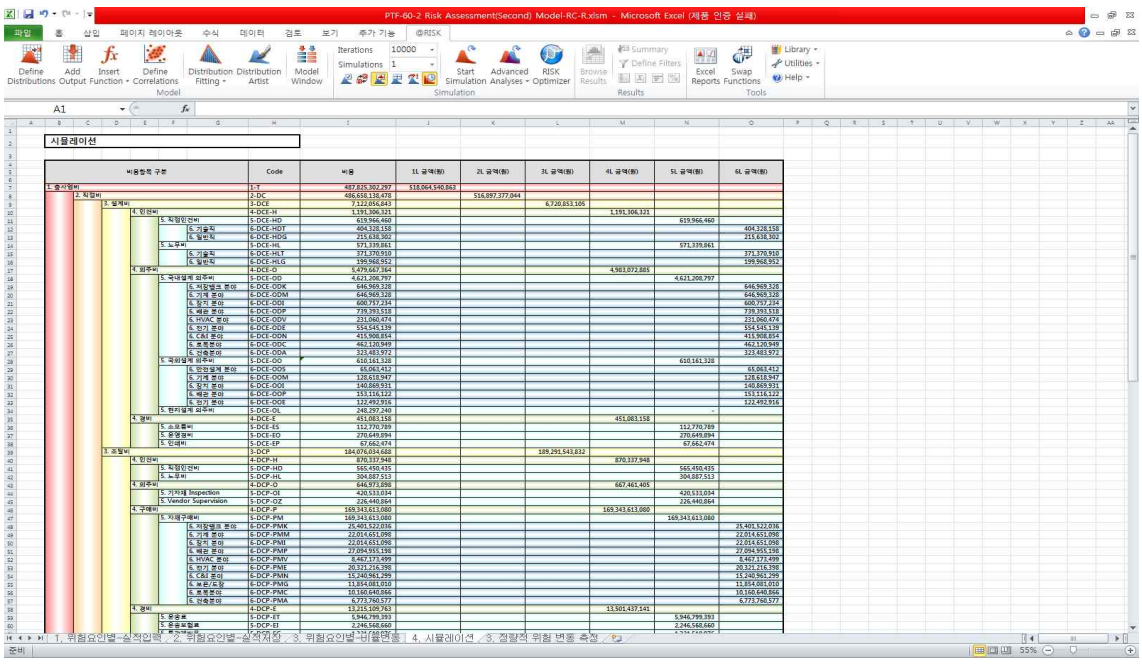
[그림 2.2.64] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-2)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 세 번째 시트는 증감비율-비용변동으로 상기에서 제시된 평균 및 비용증감비용을 각 사례의 값을 평균비용으로 환산할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.65] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-3)[Excel File]

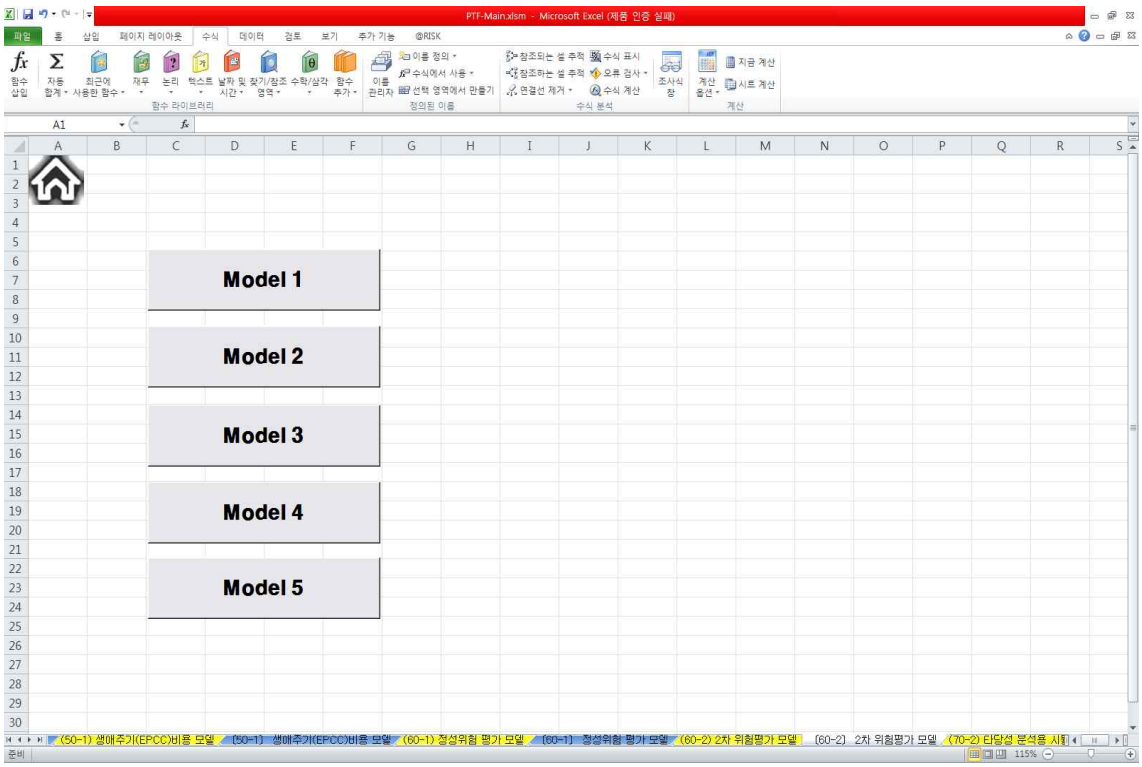
2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일의 네 번째 시트는 시뮬레이션으로 상기의 과정을 통해 분석된 평균 비용 및 감액하한비용과 증액상한비용을 삼각분포로 적용하여 @Risk를 통해 분석 할 수 있도록 구축되었으며, 이에 대한 엑셀화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.66] PTF-60-2 Risk Assessment(Second) Model(RC-R-4)[Excel File]

2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 방법은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비율을 과거자료를 활용하여 평균비용을 중심으로 감액하한비율 및 증액상한비율을 삼각분포로 적용하여 @Risk를 통해 분석 및 평가하고 시뮬레이션을 수행하여 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다.

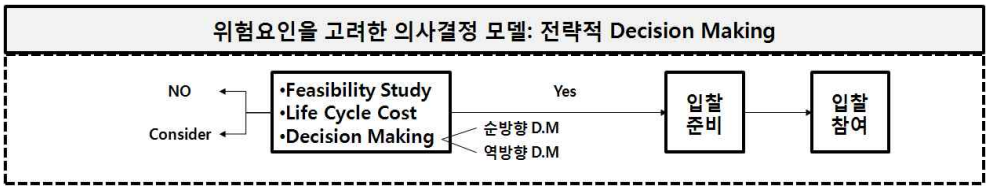
타당성 분석용 시뮬레이션 모델링은 2차 위험평가의 다섯 가지 주요요인 3구간 변동 추정, 정량적 분석의 실적비용의 변동추정-설문자료, 실적비용의 변동추정-실적자료, 위험요인의 변동추정-설문자료, 위험요인의 변동추정-과거자료 방법으로 구성된다. 해당 항목을 선택하면, 선택한 모델로 연동이 되어 시뮬레이션을 실행할 수 있도록 구축하였으며, 이는 다음과 같다.



[그림 2.2.67] PTF-70-1 FS Analysis Simulation Modeling[Excel File]

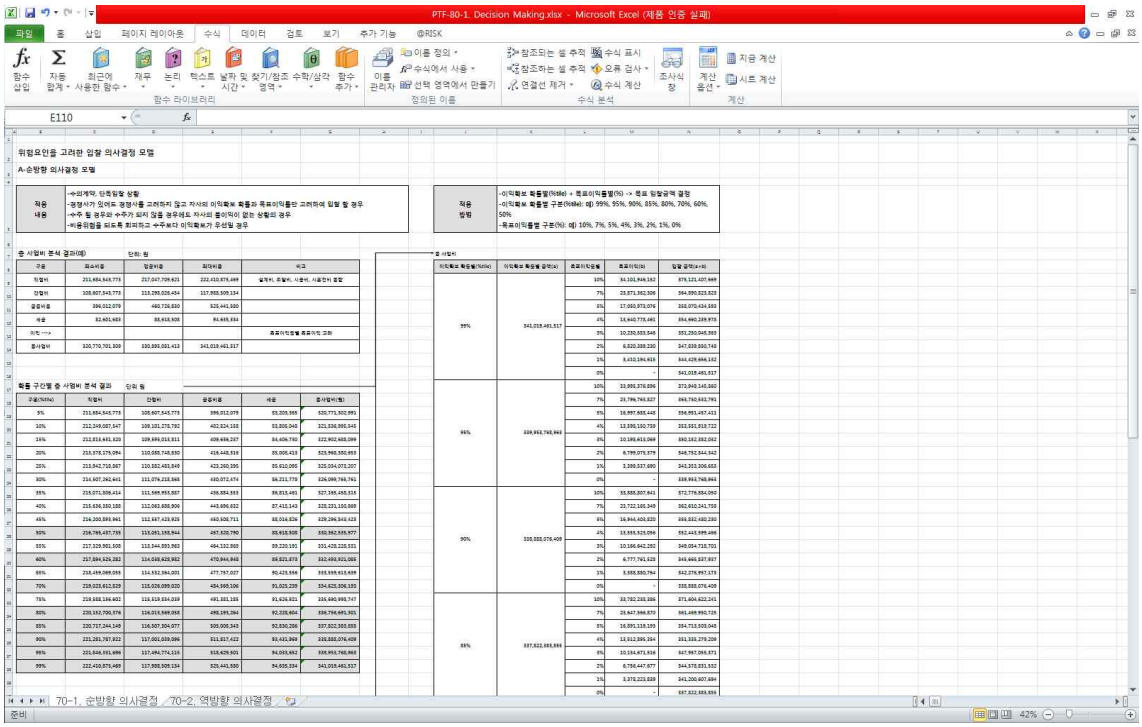
@Risk를 활용한 타당성 분석용 시뮬레이션을 하기 위해 해당 항목을 쉽게 선택하여 총사업비 분석 및 평가 할 수 있게 구축되었다.

의사결정은 @Risk를 실행하여 분석된 결과를 바탕으로 위험요인을 고려한 입찰 의사결정 모델(순방향 의사결정 및 역방향 의사결정)의 판단에 의해서 입찰 여부를 최종 결정하여 판단하며, 이를 그림으로 간단히 나타내면, 다음과 같다.



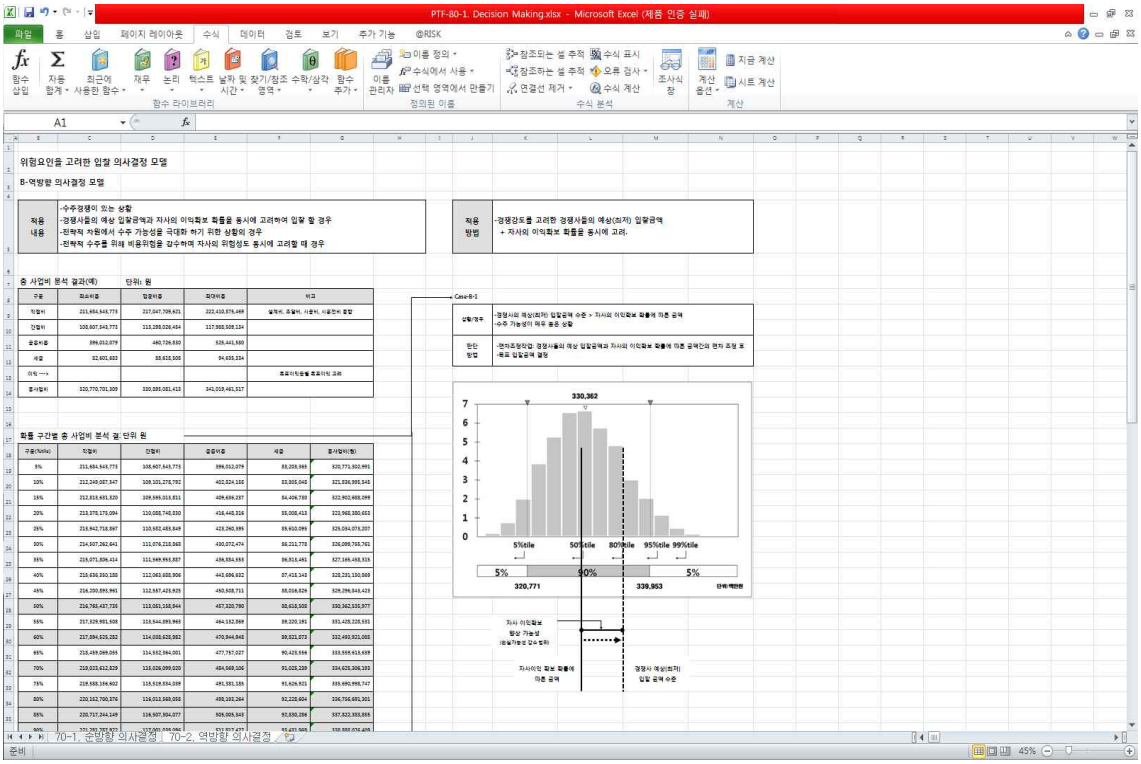
[그림 2.2.68] 위험을 고려한 의사결정 개념 모델

의사결정 파일에서 구성된 주요 시트는 순방향 의사결정, 역방향 의사결정으로 구성된다. 상기와 같이 구축된 순방향 의사결정에 대한 엑셀 화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.69] PTF-80-1 Decision Making-1[Excel File]

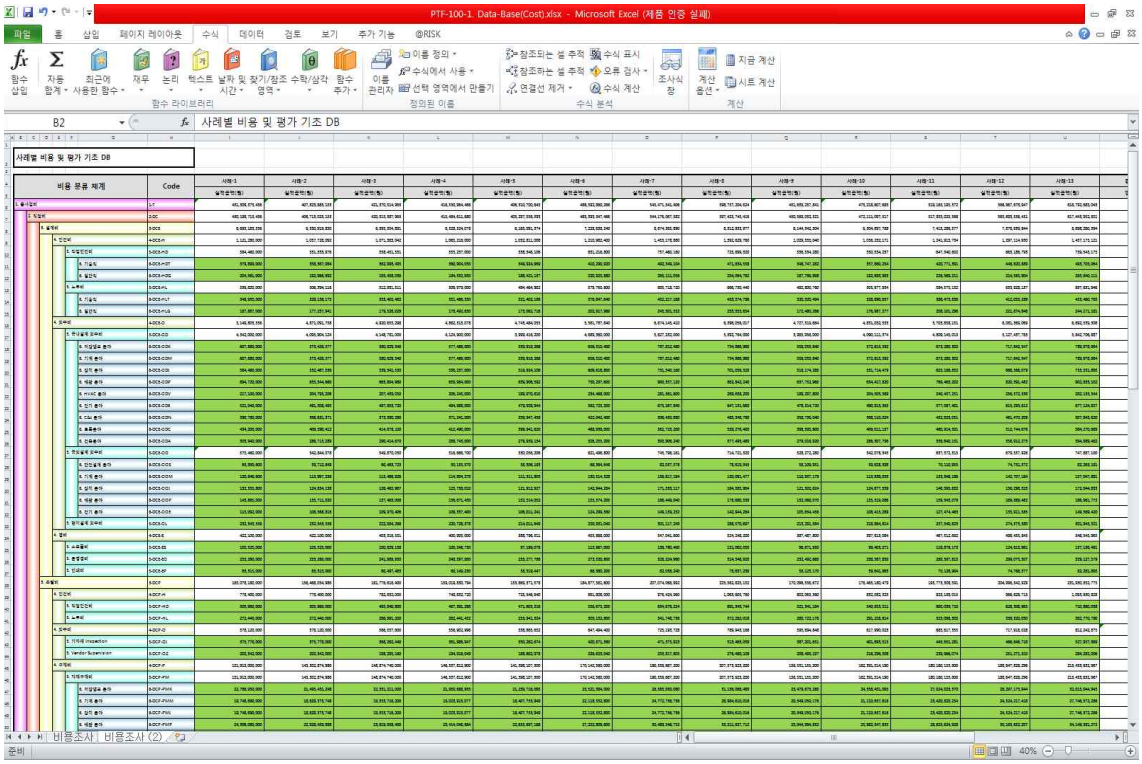
순방향 의사결정은 순방향 의사결정 모델은 수의계약 및 단독입찰 상황, 경쟁사가 있어도 경쟁사를 고려하지 않고 자사의 이익확보 확률과 목표 이익률만 고려하여 입찰하는 경우, 또는 수주될 경우와 수주되지 않을 때에도 자사의 불이익이 발생하지 않는 경우, 비용위험을 되도록 회피하고 수주보다 이익확보가 우선일 경우에 활용된다. 또한 총사업비 분석을 통해 확률구간 별 총사업비 분석 값 도출을 통하여 원하는 총사업비 이익확보율 별(%tile)로 이익확보 확률별 금액과 목표 이익률에 따른 목표이익을 합산하여 입찰금액을 산출할 수 있다. 또한 이익확보율 별(%tile) 목표 이익률에 따른 입참 금액을 선택하여 입찰에 참여를 할 수 있도록 시스템으로 구축 되었다. 역방향 의사결정에 대한 엑셀 화면은 다음과 같다.



[그림 2.2.70] PTF-80-1 Decision Making-2[Excel File]

역방향 의사결정은 수주 경쟁이 있는 상황, 경쟁사들의 예상입찰 금액과 자사의 이익확보 확률을 동시에 고려하여 입찰하는 경우, 또는 전략적 차원에서 수주 가능성을 극대화 하기 위한 상황의 경우, 전략적 수주를 위해 비용 위험을 감수하며 자사의 위험성도 동시에 고려할 경우에 활용 된다. 또한 역방향 의사결정은 총사업비 분석, 확률구간 별 총사업비 분석, 총사업비 이익확보율 별(%tile) 입찰금액 분석 도출과정이 순방향 의사결정과 동일하지만, 이후 역방향 의사결정은 두 가지의 상황으로 분류하여 의사결정을 할 수 있도록 시스템으로 구축되었다.

데이터베이스는 비용정보와 위험요소, 시나리오 등을 저장 및 관리하도록 구성된다. 데이터베이스는 MS-SQL을 활용하여 추후 사업에서 입력 및 결과들에 대한 피드백이 가능하도록 구축하였으며, 이는 다음과 같다.



[그림 2.2.71] Data-Base[Excel File]

사용자가 쉽게 빠르게 데이터를 활용 가능하도록 사업계획 전문가 시스템 프로토타입에 Add-in하여 구축하였다.

기존 1단계 및 2단계의 결과물인 시나리오 기반 재무적 사업타당성 모듈, 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈, 시나리오 기반 의사결정 모듈을 바탕으로 사업계획 전문가 시스템 프로토타입 개발 절차와 시스템 개발을 위한 Tool 검토 및 선정을 거쳐 사업계획 전문가 시스템 프로토타입을 엑셀 Add-in 프로그램인 @Risk를 통하여 개발하였다.

상기와 같은 사업계획 전문가 시스템 프로토타입 개발 절차와 시스템 개발을 위한 Tool 검토 및 선정은 추후 6차년의 사업계획 전문가 시스템 완성을 위한 기본 자료로 계속 활용 될 것이다.

다. 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발

(1) 모델 개요

해외진출사업은 막대한 자원의 조달, 대규모의 사업비 소요, 긴 사용시간이 소요되는 사업이다. 따라서 투자에 대한 판단이 잘못 되었을 경우 사업주에게 큰 손실이 발생하며, 계획의 변경 또한 쉽지 않다. 이에 따라 해외진출사업은 초기 단계의 사업에 대한 객관적이고 공정한 타당성 조사로 매우 중요한 분야이다.

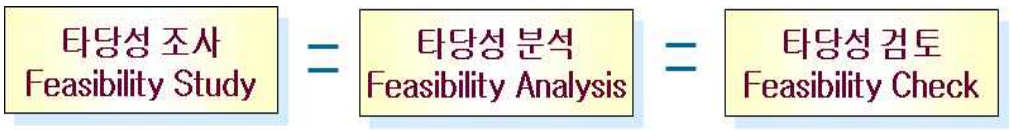
상기와 같은 해외진출사업 타당성 분석의 중요성에 따라 본 과업에서는 타당성 분석의 가장 중요 절차인 경제성 분석에 대한 모델을 개발 및 제시하였다. 다음의 경제성 분석 모델은 경제성 분석 구성항목 도출, 분석을 위한 기본가정, Risk 분석 방안 등을 포함한 모

델이다. 이에 따른 본 모델에서 필요한 비용, 수입, 위험요소에 따른 분석용 자료의 요청 및 조사에 대한 자료를 분석하였다.

(2) 타당성 분석 개요 및 절차

○ 타당성 분석 개요

타당성 분석이란 시설물 건설(공공시설건설, 플랜트건설, 부동산개발 등)에 대한 투자의사 결정 시 투자여부의 판단 및 최적 대안을 찾기 위해 여러 대안들에 대한 적합성(타당성), 성공(실현) 가능성 또는 생존성에 대한 종합적인 분석 및 검토이다. (환경, 시장, 기술, 경제성 등에 관한 종합적 관점)



[그림 2.2.72] 타당성 조사, 타당성 분석, 타당성 검토의 연관성

또한, 타당성 분석은 미래에 예상되는 제반 경제성 가정을 전제로 관련된 모든 요소의 상호관계를 고려하여 특정 건설사업의 성공 가능성을 조사 분석하는 일련의 과정이다. (경제성 분석을 중심으로 한 관점)

○ 타당성 분석 절차

타당성 분석은 사업개요 및 분석목표, 환경·시장·기술 등의 분석, 사업기본계획 및 사업모델 개발, 경제적 타당성분석 및 기타 타당성 분석, Risk 분석, 그리고 타당성 분석 종합 및 제언의 절차를 통해 이루어진다. 이러한 타당성 분석의 일반적인 절차는 다음과 같다.



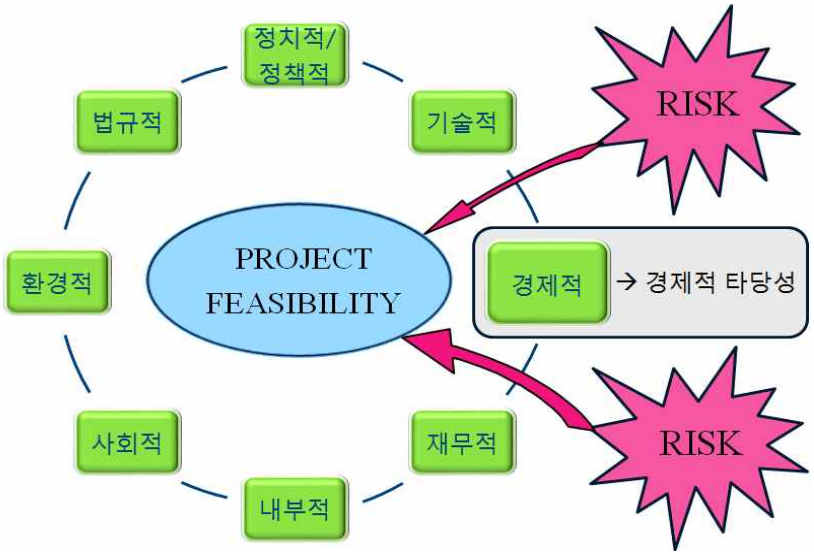
[그림 2.2.73] 타당성 분석의 절차

타당성 분석은 사업의 개요 및 분석 목표 확인으로부터 시작된다. 이와 같이 확인된 사업에 대하여 환경(경제, 정책, 금융), 시장(국내외 수요) 및 기술(적용기술)에 대한 분석을 실시한다.

분석으로 수집된 자료들을 통해 시나리오 기반 매트릭스 사업모델 및 사업 모델 별 진입시나리오를 구성한다. 모델을 통하여 타당성 분석의 범위 및 내용을 제시하고 경제성 타당성 분석(사업성 평가지표 : PP, IV, NPV, B/C, IRR, Break-Even, etc) 및 경제성을 제외한 기타 타당성 분석(정치/정책적, 법규적, 기술적, 사회적, 환경적, 재무적, 내부적 등등)을 수행한다. 타당성 분석을 한 자료들을 통하여 Risk파악 및 분석을 실시하고, Risk 대응방안 및 경제성 향상 등을 위한 전략을 수립한다. 이와 같이 수집된 자료들을 통하여 타당성분석 종합 및 의사결정 제언을 실시한다.

(3) 타당성 분석 범위 및 내용

타당성 분석의 범위는 정치적/정책적, 법규적, 환경적, 사회적, 내부적, 재무적, 경제적, 기술적 타당성 분석 등에 위험요인을 고려하는 것으로 나눌 수 있고 이러한 타당성 분석의 범위는 다음과 같다.



[그림 2.2.74] 타당성 분석의 범위

타당성 분석 범위에 대한 검토를 나타낸 그림이다. 정치적/정책적, 기술적, 경제적, 재무적, 내부적, 사회적, 환경적, 법규적 등의 다양한 형태로 각종 제약 조건들에 대한 실현 가능성을 분석 및 평가를 한다. 경제적 분석이 가장 중요시 되고, 사업에서 고려될 수 있는 위험요인에 대해서도 검토를 수행해야 한다. 이러한 사업타당성분석의 주요 범위는 환경분석, 시장분석, 기술분석, 경제성분석, 위험분석 등으로 나눌 수 있으며, 이와 같은 고려사항은 다음과 같다.

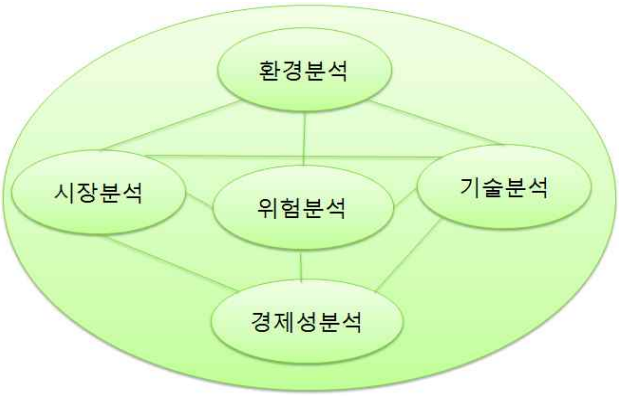
첫째, 환경분석(Environment Analysis)은 프로젝트 추진을 위해서는 프로젝트를 둘러싸고 있는 정치, 사회, 문화, 자연환경 등에 대한 분석을 하여 사업에 미치는 영향을 파악하고 부정적인 요소는 사전에 대책을 세워야 한다.

둘째, 시장분석(market Analysis)은 사업의 최우선 당면 과제는 제품의 생산과 판매에 있기 때문에 STP 분석에 의하여 매출량을 추정하고 제조원가와 경쟁가 가격을 고려하여 단가를 예측하여 매출액을 산출한다.

셋째, 기술분석(Technical Analysis)은 시장분석에 의하여 확인된 목표 제품을 생산하기 위하여 생산 기술을 결정하고 이에 따른 설비리스트, 총 투자비, 제조원가 등을 산정한다.

넷째, 경제성분석(Economic Analysis)은 기술분석에서 확인한 총 투자비를 조달하기 위한 자본 구조를 결정하고 관련된 자본비용을 계산하며 예상 손익계산서, 대차대조표 및 현금 흐름표를 구한 다음 이를 이용하여 순현가(NPV : Net Present Value), 내부수익률(IRR : Internal Rate of Return) 및 회수기간 (Payback Year)를 구하여 프로젝트를 평가를 한다. 위험분석(Risk Analysis)은 앞에서 가정한 여러 변수 중에 사업의 수익성에 큰 영향을 미치는 주요 위험변수들 (매출액(Sales Revenue), 제조원가(Operation Cost), 고정투자비(Fixed Cost) 등)의 변동에 의한 수익성 분석을 통하여 투자에 대한 판단 및 위험요인들에 대한 Contingency Plan을 세운다.

이러한 사업타당성분석의 주요 범위 및 내용인 환경분석, 시장분석, 기술분석, 경제성분석, 위험분석은 고려해야할 사항은 다르지만 항목별로 서로 다른 항목들과 연관성을 갖으며, 이는 다음과 같다.



[그림 2.2.75] 타당성 분석 주요 범위의 연관성

사업타당성분석에서 주요 범위/내용인 환경분석, 시장분석, 위험분석, 기술분석, 경제성분석은 상호 긴밀한 연관관계를 가지고 있음을 확인할 수 있다.

(4) 경제적 타당성 분석 모델

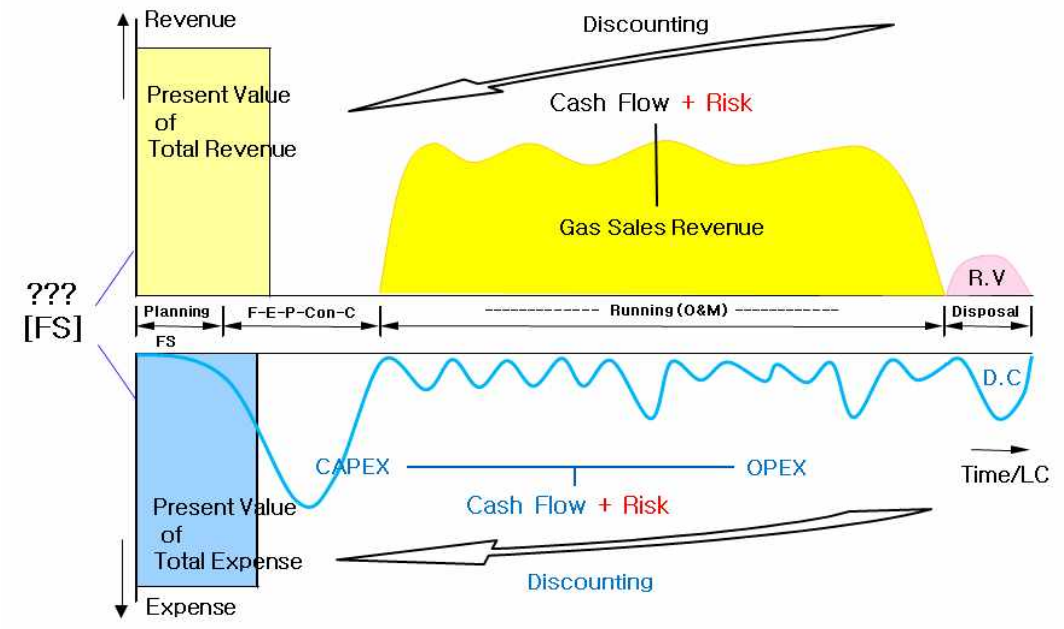
본 과업에서는 사업타당성 분석의 주요범위인 환경분석, 시장분석, 기술분석, 경제성분석 및 위험분석을 종합하기 위하여 가장 중심적인 역할 및 결론을 내는 역할을 수행하는 경제성분석으로 통합하여 진행한다. 이러한 경제성분석을 통하여 위험을 고려할 수 있는 분석모델을 개발하여 경제성 평가를 진행한다.



[그림 2.2.76] 해외사업의 경제성분석 개요

해외사업에 대한 경제성분석의 개요이다. 플랜트투자를 통하여 투자이익을 기대하고, 여기에 따른 수익은 비용 및 세금에서 제외한 순수한 이익을 뜻한다. 모든 요소들은 각각의 위험요인을 고려하여 경제성분석을 수행한다.

경제성분석은 프로젝트의 투자와 운영에 필요한 지출비용과 프로젝트 완성 후 얻을 수 있는 수입에 대하여 투자이익을 조사 및 분석하는 과정이다. 경제성분석을 객관적이고 공정하게 하기 위하여 각 단계마다 고려될 수 있는 위험 요소에 대해 검토를 수행하며, 미래에 사용될 금액을 인플레이션을 예측하여 현재의 비용으로 산출한다. 다음의 그림 2.2.77은 프로젝트의 경제성분석을 수행하는 모델이다.

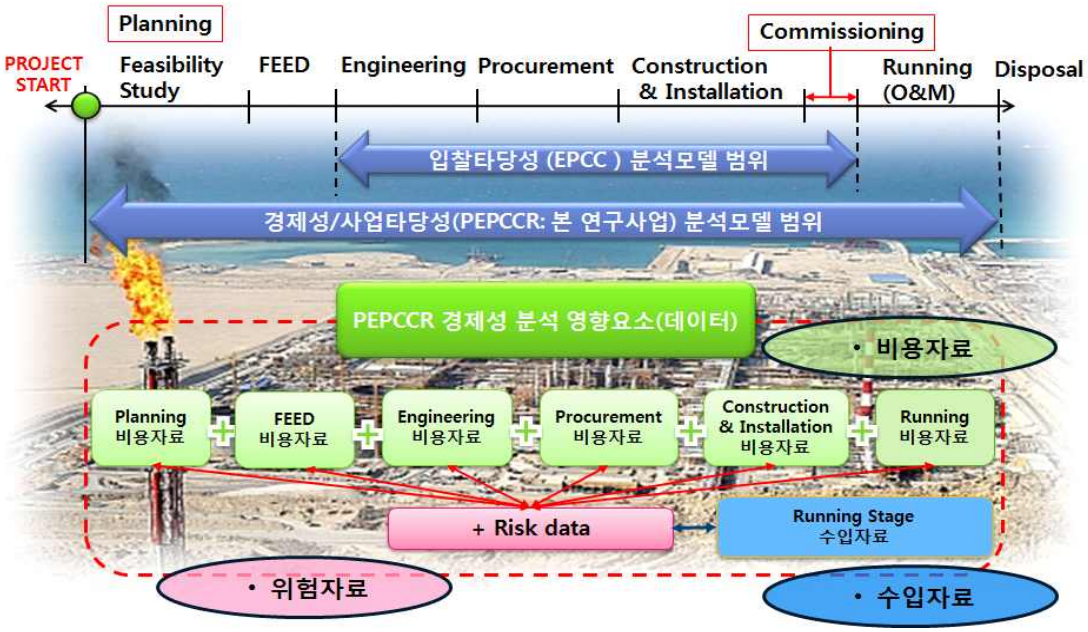


[그림 2.2.77] 경제성분석 모델

경제성분석 모델의 목표는 투자에 대한 판단 수립 및 이윤극대화 방안을 확대하는 것이다. 이를 위해 투자이익에 대한 평가, 수입 및 비용의 고려요소 파악, 세금에 대한 분석이 필요하다.

○ 경제성분석 모델의 범위 및 영향요소

경제성분석 모델은 입찰타당성(EPCC) 분석모델과 경제성/사업타당성(PEPCCR) 분석모델로 나눌 수 있다. 또한 경제성/사업타당성(PEPCCR) 모델은 비용자료, 수입자료, 위험자료에 의하여 영향을 받는다. 이러한 경제성분석 모델의 범위 및 영향요소는 다음과 같다.



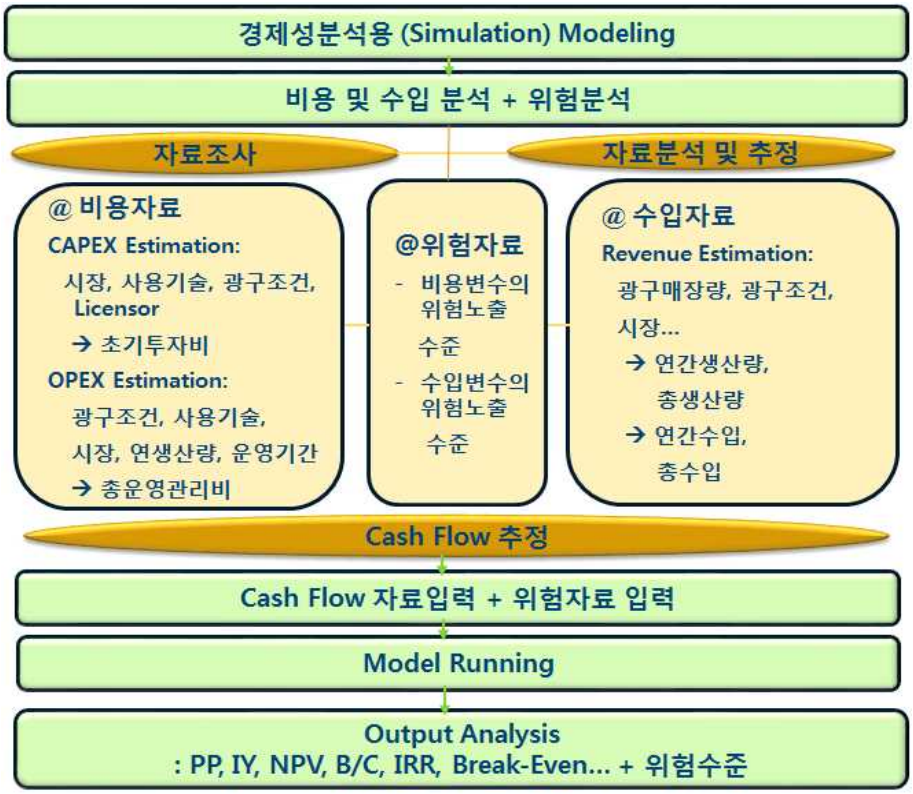
[그림 2.2.78] 경제성분석 모델의 범위 및 영향요소

입찰타당성(EPCC) 분석모델과 경제성/사업타당성(PEPCCR) 분석모델을 확인할 수 있다. 입찰 타당성(EPCC) 분석모델 범위는 Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning을 검토하는 모델이고, 경제성/사업타당성(PEPCCR) 분석모델은 Planning, Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning, Running을 검토하는 모델이다. 본 해외연구사업의 경제성 분석은 경제성/사업타당성(PEPCCR) 분석모델을 통하여 수행된다.

PEPCCR 경제성 분석을 위하여 비용자료, 수입자료 및 위험자료가 필요하다. 비용자료로는 Planning, Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning, Running 단계에 필요한 비용을 산출하는 자료이다. 수입자료는 Running 단계에서 산업을 통하여 얻을 수 있는 이득에 대하여 산출하는 자료이다. 위험자료는 Planning, Engineering, Procurement, Construction & Installation, Commissioning, Running 단계에서 비용 및 수입에 영향을 미칠 수 있는 위험요인에 대하여 조사한 자료이다. 이러한 비용자료, 수입자료 및 위험자료들은 프로젝트의 투자이익을 예측하는데 사용한다.

○ 경제성분석 절차 및 방법

본 과업에서 사용될 경제성 분석의 절차는 비용·수입·위험 분석과 Cash Flow 분석으로 진행된다. 이러한 경제성분석의 절차 및 방법은 다음과 같다.



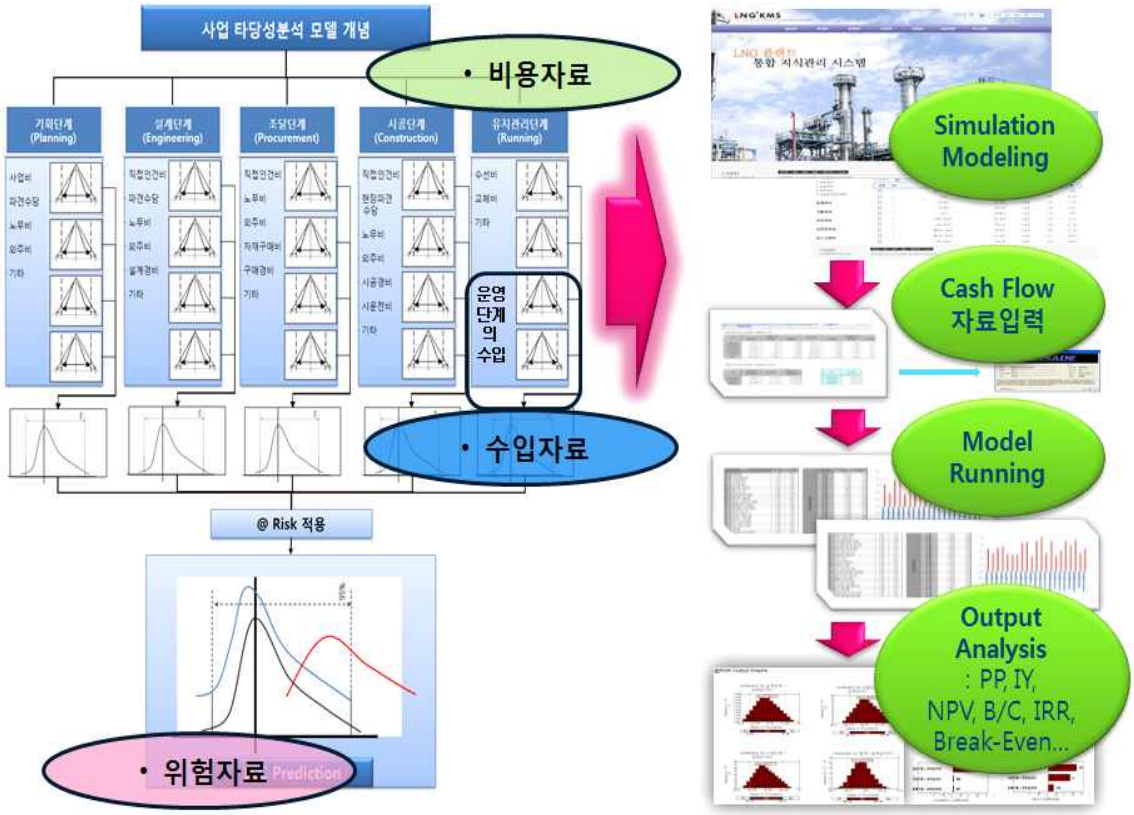
[그림 2.2.79] 경제성 분석 절차 및 방법

해외산업모델의 경제성 분석 절차 및 방법을 나타낸 것이다. 경제성 분석을 위하여 비용자료, 수입자료, 위험자료를 분석한다. 비용자료는 초기투자비(CAPEX)에서 시장, 사용기술, 광구조건, Licensor등을 분석하고, 총 운영관리비(OPEX)에서 광구조건, 사용기술, 시장, 연생산량, 운영기간 등을 분석한다. 수입자료는 광구매장량, 광구조건, 시장 등을 통하여 연간생산량 및 총생산량, 연간수입 및 총수입을 분석한다. 위험자료는 비용변수의 위험노출 수준 및 수입변수의 위험노출 수준을 분석한다.

분석된 자료를 통하여 Cash Flow 자료 및 위험자료을 입력하여 모델을 실행한다. 다음과 같이 입력된 자료는 투자이익을 판단하기 위하여 PP, IY, NPV, B/C, IRR, Break-Even등의 방법에 위험수준을 고려하여 경제성 분석을 수행한다.

○ 경제성분석 모델 개발안 : 위험을 고려한 (Simulation) Model

본 과업의 위험 요소를 고려한 경제성분석 모델의 개발안은 비용·수입·위험자료들을 통한 Simulation Modeling을 통하여 Cash Flow자료를 입력하여 Model Running을 시행하여 Output Analysis를 수행한다. 이러한 Model의 개발안은 다음과 같다.



[그림 2.2.80] 경제성 분석 모델 개발안

기획단계, 설계단계, 조달단계, 시공단계, 시운전단계, 유지관리단계의 비용자료 및 운영단계에서의 수입자료에 대한 위험요인을 @Risk 프로그램에 적용하여 확률적인 분포로 분석한다. 이와 같은 확률적인 분포로 수집된 자료를 Simulation Modeling을 통하여 경제성 분석을 수행한다. Cash Flow 자료입력을 통하여 투자가 시작되는 지점부터 운영 및 관리가 되는 지점까지의 현금의 흐름을 예측하고, 모델을 작동시켜 정규분포 형태로 나타낸다. 다음과 같이 분석된 자료는 PP, IY, NPV, B/C, IRR, Break-Even등을 통하여 투자이익을 평가하는 자료로 사용한다.

- 총 투자비 내역 (CAPEX Estimation)

투자비는 고정 투자비, 생산 전 비용, 공장 건설 중에 발생하는 건설 중 이자, 초기 운전자본 등으로 구분 할 수 있다.

해외산업의 고정투자비는 건물 및 기계에 대한 고정투자비를 말하며, 해외 프로젝트, 토목부분, 건물부분, 생산시설 부분으로 나눌 수 있다. 분석용 자료 요청 및 조사를 수행할 자료는 다음과 같다.

<표 2.2.41> 해외산업의 고정투자비

분 류	구 분	용 도	내 용
해외 프로젝트	공장부지	-	생산시설 및 부속시설이 들어설 부지 구입비용
	부지정리 토목 및 건축비	-	부지정리 및 지내력 보강을 위한 파일공사, 기계 및 건물 기초공사 및 구조물이나 건물 동 공사
	기계·설비비	-	전처리, 주공정, 제품포장, 저장, 환경방자시설, 유틸리티 설비, 운전 장비, 테스트 및 시험장비
	해상 및 육상 운송비	-	구매품 해상운송 및 현지 내륙운송
	관세 및 통관 제비용	-	건설용 반입 기자재 관세 및 통관
	현지 건설비	-	현지 공장건설
	테스트 및 시운전비	-	공장 설치 후 생산설비 테스트 및 시운전
토목	부지 정리	공장 부지 정리	공장의 기계나 건물을 세우기 위해 토지를 정리
	파일일 워크	지반 보강	기계나 건물을 위한 지반보강을 위한 보강파일 작업
	기초공사	구조물기초	기계나 건물이 들어 앉을 자리에 대한 기초 구축물
건물	공장동	제품생산	생산시설
	공장 부속동	생산지원	시험실, 품질관리, 유틸리티(전기, 용수, 스팀 등), 유지보수, R&D
	창고	보관	원재료 보관 및 완제품 저장
	여가시설	복리후생	기숙사, 식당, 오락
	사무동	사무시설	관리사무실
생산시설	원료반입	원료이송	원부자재를 생산공정에 투입하기 전에, 투입요구 사양에 맞게 세척, 규격이나 기타 물리·화학적 처리
	생산	제품생산	원부자재를 온도, 압력을 맞추거나 조립하여 제품생산
	포장 및 저장	포장 및 저장	생산된 제품의 포장과 완제품 보관
	유틸리티	공장 가동	전기, 용수, 스팀, 압축공기 등 생산에 필요한 시설
	공해방지	공해 물질 저감	수질, 대기, 소음, 공장 내 분진, 소음. 악취, 진동 등에 대한 방지시설

해외산업의 생산 전 비용은 생산 전까지 소요되는 타당성조사비, 회사설립비, 엔지니어링 및 설계비, 회사설립비, 주식발행비, 교육훈련비, 사무실 임대료 및 집기비품과 같은 비용을 포함한다. 분석용 자료 요청 및 조사를 수행할 자료는 다음과 같다.

<표 2.2.42> 해외산업의 생산 전 비용

구 분	내 용
사업관리	프로젝트 매니지먼트 비용
기술도입비	기술도입에 따른 총비용
엔지니어링 및 설계비	기본설계 및 상세설계 총비용
회사설립비	회사 등기비 및 설립 비용
주식발행비	주식 발행비 및 외부차입 관련 비용
교육훈련비	기능공 및 엔지니어 훈련비
사무실 임대료 및 집기비품	사무실 임대 및 사무용품, 승용차, 소모품
(건설 중 이자)	건설중에 외부차압에 따라 발생하는 이자, 별도처리 가능

해외산업의 초기 운전 자본은 원부자재, 첨가제, 연료, 공장소모품, 사무용 소모품 등의 초기 재고와 관련되어 있다. 분석용 자료 요청 및 조사를 수행할 자료는 다음과 같다.

<표 2.2.43> 해외산업의 초기 운전 자본

구 분	내 용	대 상
원부자재	생산에 필요한 원자재 및 부자재	농수산물, 철광석, 원목, 산업재, PP, PE 등
첨가제	생산에 부가적으로 사용되는 화공약품	Sulphuric Acid, Antiform Agent, Descaling Agent 등
연료	보일러나 히터연료	석탄. 벙커, C유, 경유 등
공장 소모품	공장운영에 쓰이는 소모품	윤활유. 예비폼, 연마재, 기계청소걸레 등
사무용 소모품	사무용 소모용 자재	토너 리본 복사지 등

- 총 운영관리비 내역 (OPEX Estimation)

시설물을 통한 생산, 운영 및 관리 등에 필요한 비용이다. 이와 같은 비용의 조사 및 분석을 하기 위해 요청하는 자료는 광구조건, 사용기술, 시장, 연생산량, 운영기간 등이 있다.

<표 2.2.44> 총 운영관리비

구 분	내 용	비 고
직접재료비	직접 투입되는 재료비	
직접노무비	직접 투입되는 노무비	생산직원 노무비 등
생산/제조 간접비 (생산/제조 경비)	직접재료비와 직접노무비를 제외한 생산비	감가상각비, 수도광열비. 전력비 등
수선유지비	시설물 및 부속품의 교체, 수선 등의 비용	교체비, 수선비, 유지관리비 등
기타 비용	기타 생산 및 운영관리에 필요한 내용	세금, 자본비용 등

- 수입자료

수입자료 조사 분석을 위하여 광구 및 시장에 대한 기술 자료를 입수한다. 광구의 위치, 조건, 광구의 규모/.매장량, 연생산량(물리적 연생산량), 운영기간, 총생산량(물리적 총생산량)에 대한 분석용 자료를 요청하고 조사한다. 생산/제조 원가추정, 판매 단가, 연가 생산량 및 판매수입, 운영기간 동안의 총생산량 및 총수입에 대하여 요청 및 조사를 하고, 필요 생산규모를 결정 및 설비규모 결정에 대한 분석을 수행한다.

- 위험자료

위험자료 조사 분석을 위하여 기술성으로부터 기술 자료를 입수하고 시나리오별 위험분석을 실시한 후 총 위험의 평가를 수행한다. 기술성으로부터는 지역적 위험요인 및 평가치, 국가적 위험요인 및 평가치, 사업종류에 따른 위험요인 및 평가치, 업무범위에 따른 위험요인 및 평가치, 사업특성에 따른 위험요인 및 평가치, EPCC 단계별 위험요인 및 평가치에 대한 자료를 요청하여 분석한다. 기술성으로 입수한 자료를 중심으로 비용변수의 위험노출수준 및 수입변수의 위험노출 수준에 대한 분석을 수행한다. 상기와 같은 과정을 거쳐 총 위험의 평가를 실시한다.

해외진출산업의 타당성 분석 모델을 만들기 위한 절차로서 타당성 분석에 대한 개요 및 절차, 범위 및 내용에 대하여 검토하였다. 또한 타당성 분석 중 가장 중요한 요소인 경제성 분석을 위한 의사결정 기준에 대하여 조사하였으며, 경제성 분석 모델의 범위 및 영향요소를 파악하였다. 따라서 본 모델의 절차 및 방법에 대한 방향을 설정할 수 있었고, 위험을 고려한 경제성 분석 모델 개발안을 제시할 수 있었다. 이에 따라 비용·수입·위험에 대하여 조사 분석 및 요청해야할 자료들에 대하여 검토할 수 있었다.

본 년도의 연구에 따라 다음 년도의 연구에는 본격적인 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발을 진행 할 것이다. 경제성 타당성 분석 모델 개발을 완성 및 Package화 할 것이며, 본 과업에서 제시한 비용·수입·위험에 대한 조사 분석 및 요청을 완료하여 자료에 대한

분석을 수행하고, Cash Flow에 대입하여 결과를 예측할 것이다. 다음과 같이 수집된 결과를 모델 테스트, Risk 분석, 타당성 분석 종합 및 제언을 통하여 객관성 및 공정성을 증가할 것이다.

타당성 분석은 본질적으로 사업초기 단계에 있어서 사업의 미래에 대한 예측을 수행하는 방법이므로 수많은 불확정 요인들을 포함하고 있다. 따라서 타당성 분석은 매우 어렵고 복잡한 과정이라 할 수 있다. 이와 같은 타당성 분석에 대하여 각 기관 및 단체들은 과거의 프로젝트에서 쌓아온 경험에 의한 타당성 분석을 실시하고 있다. 본 과업은 해외진출사업의 타당성 분석뿐만 아니라 다음과 같이 서로 다르게 수행되고 있는 타당성 분석에 대하여 기준적인 모델을 제시함으로서 그 의미가 있다.

6. 6차년도 연구수행 내용 및 결과

가. 사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계 확정

(1) 전문가 시스템 구조 및 실시설계 확정 모델

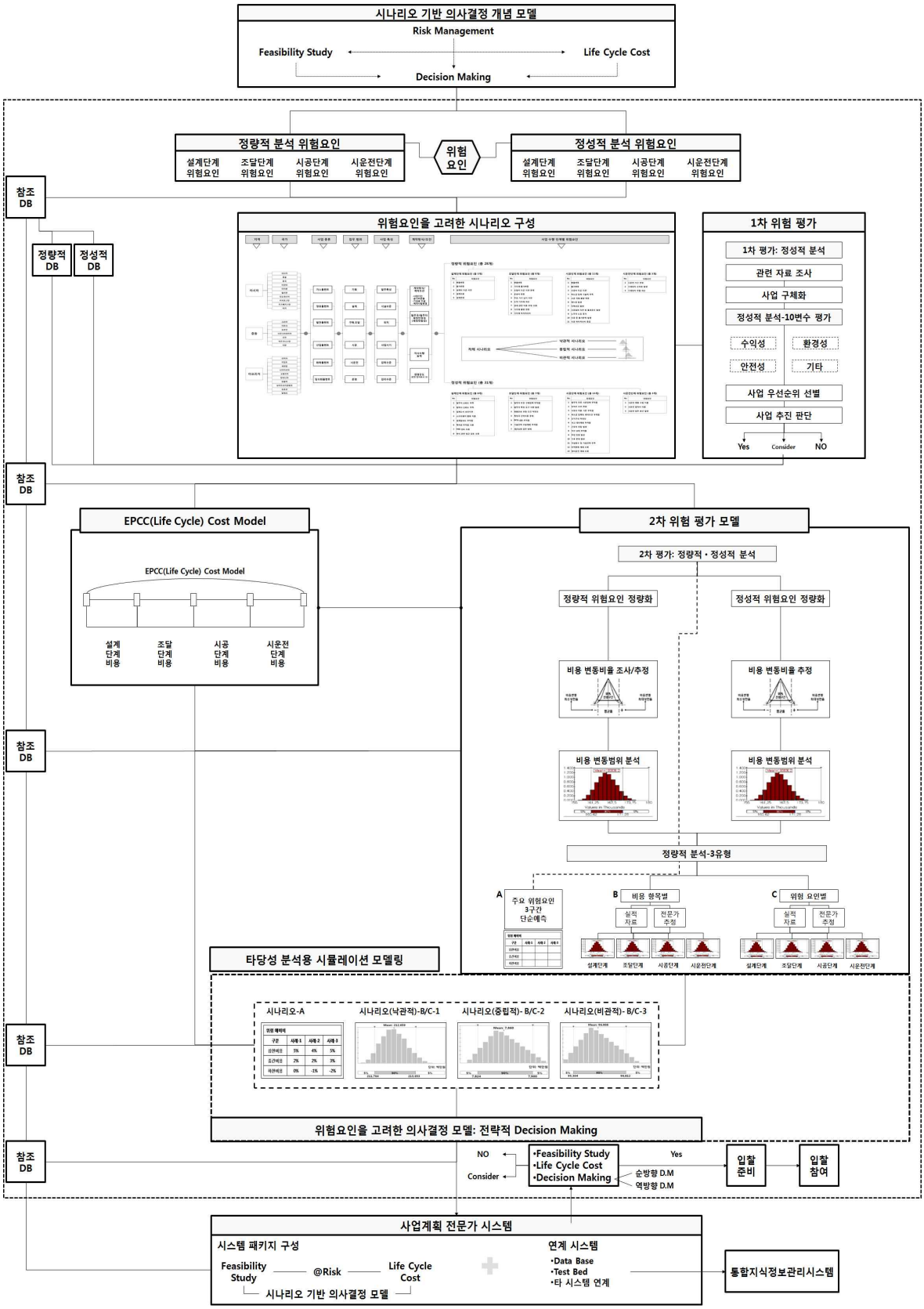
본 과업의 1단계 및 2단계를 통하여 도출된 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 재무적 사업타당성 평가 모듈, 생애주기(Engineering, Procurement, Construction, Commissioning, 이하:EPCC)비용 평가 모듈, 의사결정 모듈로 구성되었다. 상기의 구성요소에 따라 해외 가스플랜트 건설사업 진출을 위한 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전을 개발하고자 하며, 이에 대한 시스템의 개념은 다음의 그림 2.2.81과 같다.



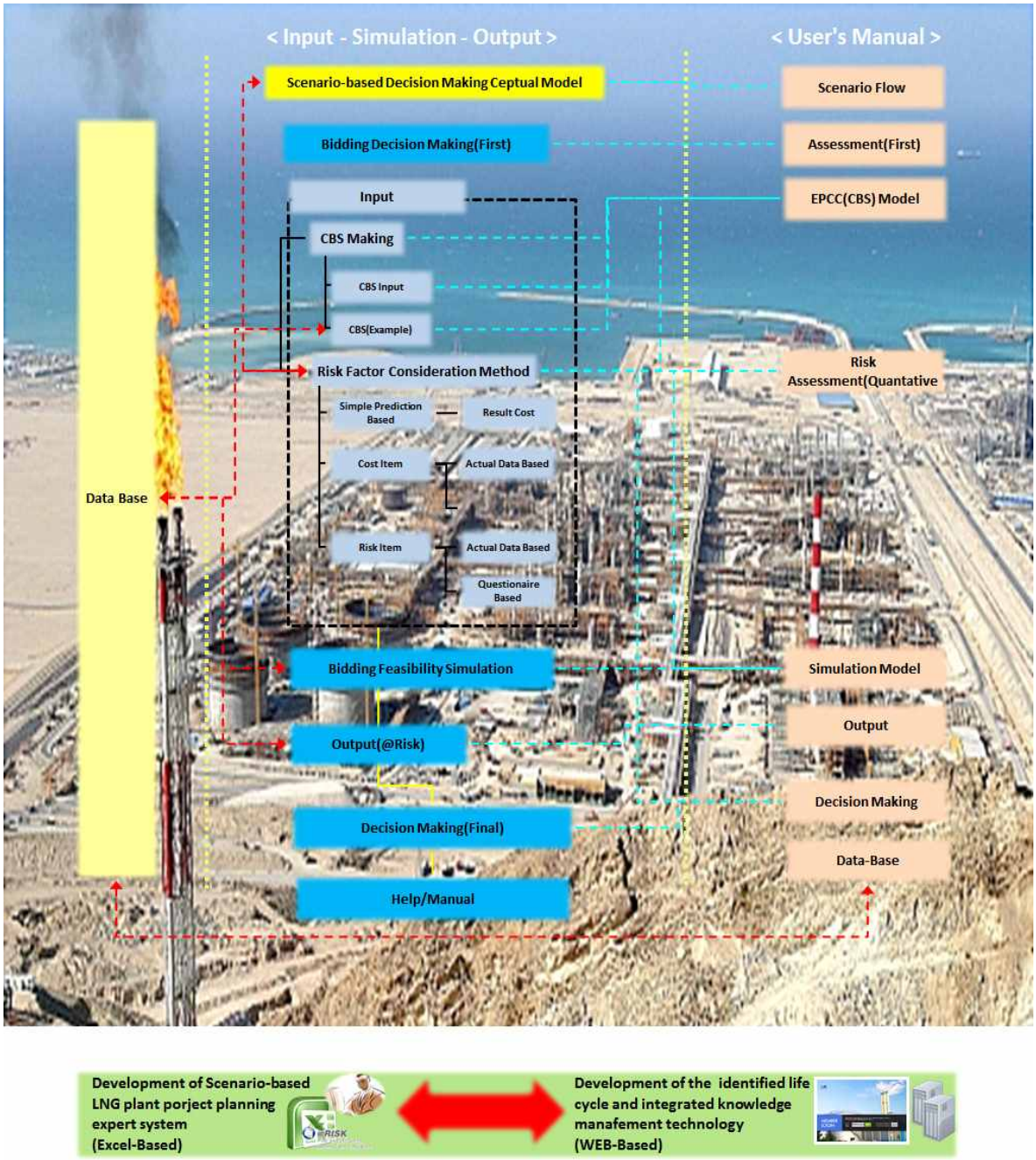
[그림 2.2.81] 사업계획 전문가 시스템의 개념

본 과업의 목표는 LNG 플랜트 사업의 기획 및 계획단계에서 타당성 분석 및 의사결정 지원을 위한 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 개발이다. 상기와 같은 연구내용에 따라 5차년도의 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』프로토타입에서 제시한 실시 설계를 수정 보완하면, 다음과 같다.

『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』의 실시설계 확정을 설명하면 다음과 같다. 본 과업의 시스템은 시나리오 구성, 입찰 참여여부 평가, 생애주기(EPCC) 비용 분석, 위험 평가, 시뮬레이션 모델링, 입찰 타당성/전략 의사결정, 데이터베이스를 구성으로 하고 있다. 상기 구성요소에 따라서 시스템 상에서 입력, 시뮬레이션 실행, 결과 도출을 수행할 수 있다. 또한 본 과업의 결과물인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 주관기관의 웹 기반 통합지식정보관리시스템에 연계되어 통합 될 예정이다.



[그림 2.2.82] 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 실시설계 수정



[그림 2.2.83] 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템의 실시설계 확정

본 과업의 시스템은 통합지식정보관리시스템의 .NET Framework의 MS-SQL 2005 Database를 사용하여 Visual Basic for Application(이하:VBA) 개발 언어 및 Excel, @RISK 등의 개발 도구를 바탕으로 LNG 플랜트 총사업비 분석 및 입찰여부의 의사결정 지원을 위한 소프트웨어를 개발하였다.

『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 시나리오 구성, 입찰 참여여부 평가, 생애주기(EPCC)비용 분석, 재무적 사업타당성을 통하여 @RISK 시뮬레이션 모델링 후 의사결정을 할 수 있게 구성되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

첫째, 시나리오 구성(Scenario Composition)은 기존 및 새로운 프로젝트의 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약 방식/조건, 사업수행시기를 단순 선택하여 1차 시나리오를 생성하게 되며, 이에 대한 데이터를 생성/수정/저장하는 기능으로 구성되었다. 또한, 위험요인에 대해 기존 및 새로운 프로젝트의 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계별 위험 요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 분류하여 2차 시나리오를 생성하게 된다. 위험분석(정량·정성)에 대한 데이터는 추가/삭제/저장하는 기능으로 구성되었다.

둘째, 입찰 참여여부 평가(Bidding Participation Evaluation)는 프로젝트의 수익, 안전(위험), 환경, 기타 요인에 대해 가중치에 따른 등급을 계산하여 평가하게 되며, 이에 대한 데이터를 추가/삭제/저장하는 기능으로 구성되었다.

셋째, 생애주기(EPCC) 비용 분석(CBS-EPCC Modelling)은 기존 및 새로운 프로젝트의 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계별 비용분류체계에 대한 데이터를 추가/삭제/저장하는 기능으로 구성되었다.

넷째, 재무적 사업타당성 평가(Risk Assessment Option)은 기존 및 새로운 프로젝트의 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계별 위험과 비용을 정성적 및 정량적으로 위험평가를 실시할 수 있도록 @RISK를 통하여 주요 위험요인 3구간 단순예측, 비용항목의 비용변동 범위 추정(설문자료 기반, 전문가추정 기반), 위험요인의 변동 범위 추정(설문자료 기반, 전문가추정 기반)으로 위험 평가를 실시하는 기능으로 구성되었다.

다섯째, 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)은 상기의 시나리오 구성, 입찰 참여여부 평가, 생애주기(EPCC) 비용 분석, 재무적 사업타당성 평가 과정을 통하여 낙관적 시나리오, 중립적 시나리오 비관적 시나리오를 도출하는 기능으로 구성되었다.

여섯째, 입찰 타당성/전략 의사결정(Bidding Feasibility/Strategy Decision Making)은 상기의 모든 분석과정과 @RISK를 통하여 분석된 정보를 프로젝트의 특성 및 본사의 상황에 맞게 순방향 의사결정 및 역방향 의사결정으로 최종 입찰참여 결정을 판단하는 기능으로 구성되었다.

(2) 데이터 연동 및 통합 기초 데이터베이스 구축 모델

건설사업은 초기 사업 기획 및 계획 시부터 수많은 정량적 데이터와 정성적 데이터들이 혼재한다 할 수 있다. 따라서 본 과업에서는 기존 데이터 표준들과의 연동한 인터페이스 개발과 사업 수행 시 발생하는 자료들의 기초 DB화를 제시하였다.

본 절에서는 데이터 연동 및 통합 기초 DB구축을 위해 기존 데이터 표준과의 연동 및 인터페이스 개발을 통해 참조자료의 수집 및 통합 기초 DB화를 구축 및 개발하였다.

(3) 기존 데이터 표준(Excel, MS-SQL 등)과의 연동 구축

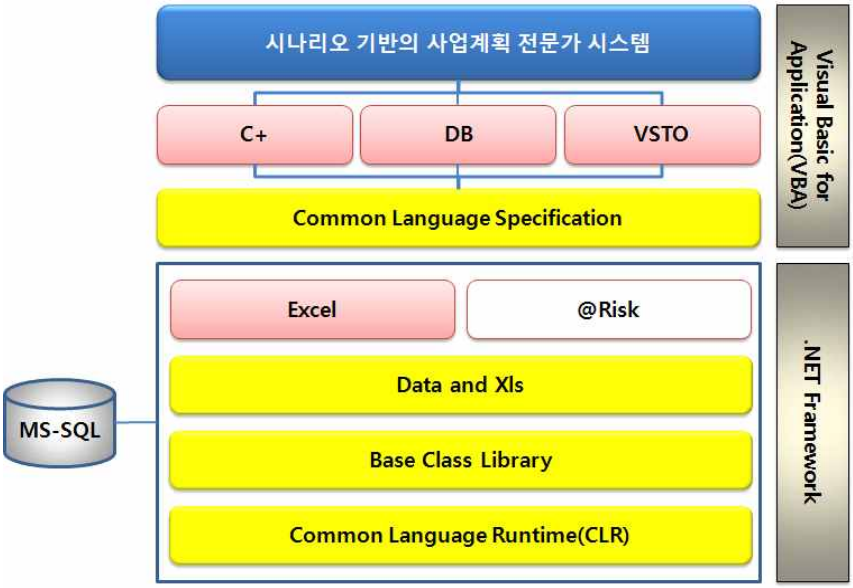
현재 통상적으로 플랜트 관련 건설회사에서의 비용 예측 및 관리를 엑셀을 활용하여 시스템화 하고 있기 때문에, 본 과업인 사업계획 전문가 시스템 프로토타입도 여러가지 프로그램 Tool을 활용하여 개발 할 수 있다. 하지만 기존 사용자들을 고려해 시스템의 사용성 및 편리성을 위해 엑셀과 DB 호환 및 연동이 뛰어난 MS-SQL을 활용하여 시스템으로

개발하였으며, 엑셀과 MS-SQL을 간단히 설명하면 다음과 같다.

엑셀은 미국의 컴퓨터 소프트웨어 회사인 마이크로소프트사(MS)에서 개발한 윈도우 환경의 스프레드시트 프로그램이다. 퍼스널컴퓨터(personal computer)와 매킨토시(Macintosh) 컴퓨터용의 스프레드시트(spread sheet) 프로그램이다. 스프레드시트란 여러 가지 도표 형태의 양식에 계산, 표기되는 사무업무를 자동으로 하는 표계산 프로그램으로 계산기와 계산용지 등이 통합되어 연산 및 표를 작성하고 그래프를 그리는 소프트웨어를 말한다. 윈도우 환경에서 많은 스프레드시트를 연결하고 통합하여 여러 가지 도형과 그래프 등을 작성할 수 있다. 엑셀은 윈도우 환경에서 사용자의 그래픽 환경을 제공하는데 스프레드시트 기능을 비롯해 매크로, 그래픽, 데이터베이스 기능과 지도·차트 작성 등 통합 문서작성에 필요한 기능도 제공한다. 표계산과 그래프, 매크로 등을 하나의 소프트웨어에서 다룰 수 있는 최초의 통합형 표계산 소프트웨어이다. 1985년에 초기 버전을 개발한 뒤 잇따라 성능을 향상하여 정밀하며 최고의 기능을 지닌 통합 문서작성 도구이다. 윈도우의 그래픽 환경에서 수식작성과 계산이 편리해 기업의 세무계산 보고서나 학교의 성적관리 및 가계부 등에 광범위하게 활용된다. 수식으로 계산하는 표인 시트에 행과 열의 개념을 더해 최소 단위인 셀들의 내용을 함수로써 자동 계산하는 방식의 스프레드시트 응용프로그램이다.

MS-SQL도 역시 회사인 마이크로소프트(MS)에서 개발한 프로그래밍 언어로 각종 자료를 저장하는 데이터베이스(DB) 서버를 관리하는데 쓰이는 언어를 뜻한다. MS-SQL 서버는 SQL에 기반해 MS가 개발한 데이터베이스 서버이다. 웹사이트 운영 시 혹은 시스템 운영 시 필요한 수천만 건의 데이터가 저장돼 있다. 또 데이터 사이의 관계를 관리하고 이용자의 인터넷 검색 기능을 지원한다. MS는 1992년 윈도NT에서 운용되는 SQL서버 1.0판을 시장에 내놓았고 매년 이를 업데이트해 발표하고 있다. 리눅스 계열 프로그램은 소스 코드를 공개해 비교적 패치 파일을 작성하는 것이 용이하다.

LNG 플랜트 건설사업은 성공적인 사업수주 의사결정을 위해 공정, 시간, 비용, 품질 등의 많은 데이터를 내포하고 있다고 할 수 있다. 따라서 본 과업에서는 사업수주를 위해 입찰비용 추정에서 발생하는 정량적 및 정성적 자료들에 대한 DB를 구축하고자 함이다. 이를 위해 기존 데이터 표준의 Excel, MS-SQL 등과 연동 및 인터페이스를 개발하고자 하며, 이를 그림으로 나타내면 다음의 그림과 같다.



[그림 2.2.84] 기존 데이터 표준과의 연동 구축

『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 추후 주관기관에서 개발 중인 통합지식정보관리시스템과 연동 및 사용이 가능하도록 .Net Framework의 MS-SQL을 사용하여 통합 기초 DB를 구축하였다. 이를 위해 컴퓨터 개발 프로그램인 C+, DB, VSTO의 Tool을 통해서 기존 데이터 표준과의 연동 가능한 인터페이스로 개발하였다.

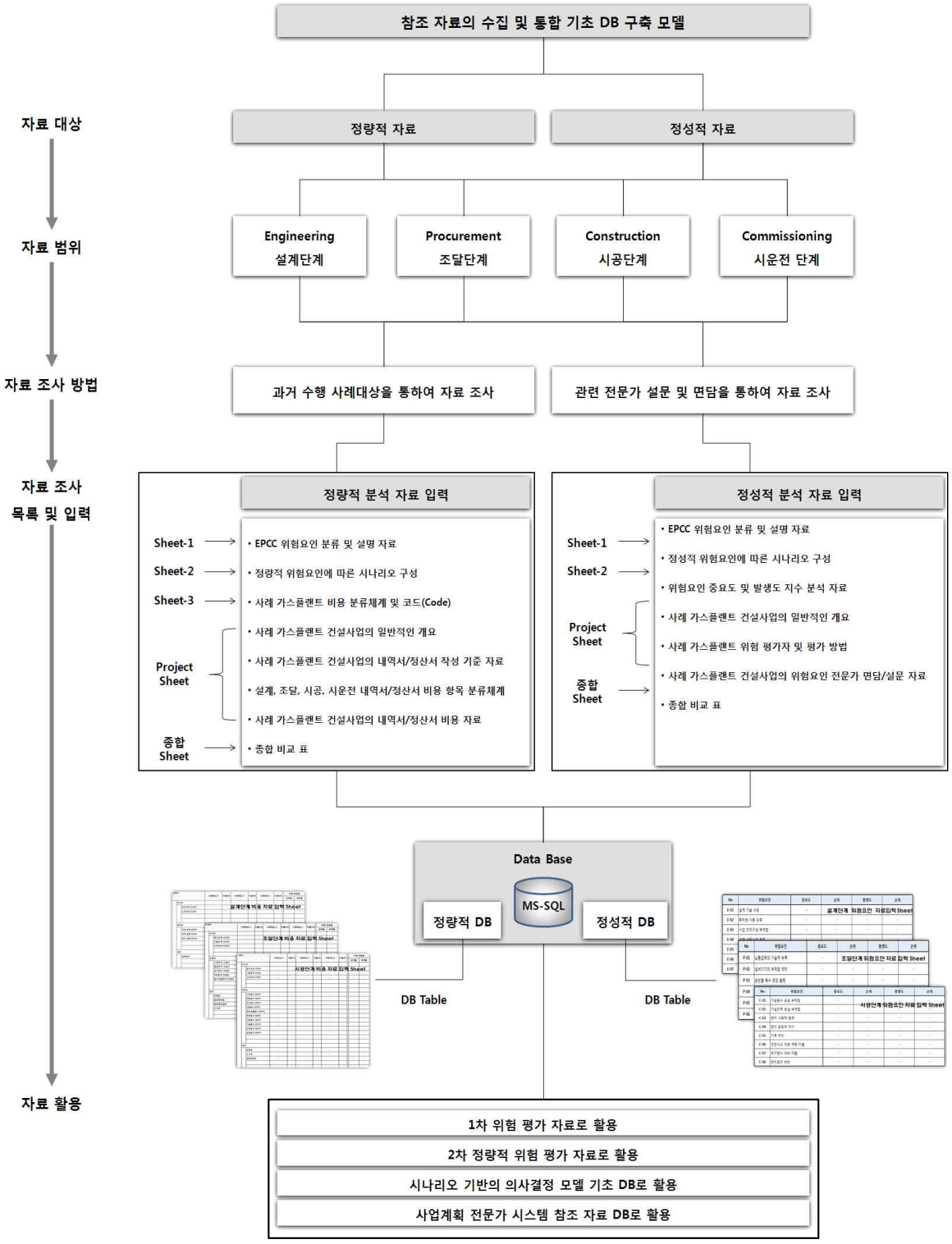
(4) 참조자료의 수집 및 통합기초 데이터베이스 구축

데이터베이스는 업무처리를 위해 다수의 응용 시스템 또는 다수의 사용자들이 공용으로 사용하기 위해 통합, 저장된 시스템의 자료의 집합을 의미한다. 데이터베이스의 특징은 계속적인 변화(항상 최신의 정보를 유지할 수 있도록 삽입, 삭제, 갱신이 이루어짐)와 동시공유(여러 사용자가 동시에 접근하여 이용), 실시간 접근성(질의에 대해 실시간 처리 및 응답), 업무에 의함 참조(데이터의 물리적 주소나 위치에 의하지 않고 사용자가 요구하는 데이터 내용으로 검색)가 가능하다는 것이다. 데이터베이스는 개체(Entity), 속성(Attribute), 관계(Relation)를 구성요소로 만들어진다.

데이터베이스 관리 시스템은 기존 파일 시스템의 문제점인 데이터의 중복성과 종속성 등의 문제를 최소화하기 위해 개발되었으며, 사용자와 데이터 간의 중계 역할을 수행한다. 데이터베이스의 내용은 정의, 조작, 제어(관리)할 수 있도록 함으로써 모든 사용자나 응용 프로그램들이 데이터베이스를 공유할 수 있도록 관리 운영해 주는 소프트웨어를 뜻한다. 데이터베이스와 관련하여 Access, dBASE, MS-SQL, Oracle 등의 관리 시스템이 있지만, 본 과업과 관련해서는 주관기관에서 개발 중인 통합사업관리시스템이 MS-SQL을 사용하고 있기 때문에 통합에 대한 편리성을 위해 MS-SQL을 이용하여 통합기초 DB를 구축하였다.

단순 파일관리 시스템의 중복성 및 종속선 등의 문제를 최소화하기 위해 본 과업은 데이터베이스 관리 시스템으로 DB를 개발하였다. 사업계획 전문가 시스템 프로토타입에서

수집되는 데이터는 시나리오에 따른 위험자료, 비용자료, 의사결정 자료, 설문 및 면담 자료, @RISK를 통한 분석결과 자료 등으로 이를 참조자료로 활용할 수 있다. 따라서 상기와 같은 참조자료의 추후 유사사례 사업진행 시 원활히 사용 가능하도록 통합기초 DB를 구축하였으며, 이는 다음의 그림과 같다.



[그림 2.2.85] 참조자료의 수집 및 통합기초 DB 구축

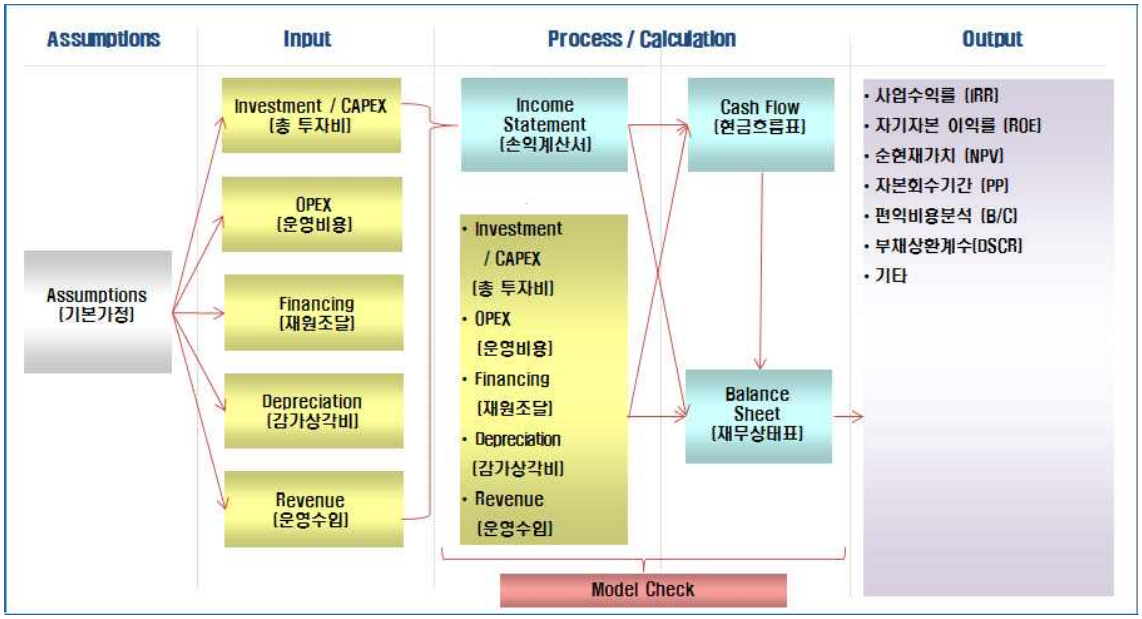
상기의 그림에서 보는바와 같이 참조자료의 수집 및 이를 활용한 기초 DB는 다음과 같다. 첫째, 자료의 대상은 위험자료, 비용자료, 의사결정 자료, 설문 및 면담 자료, @RISK를 통한 분석결과 자료를 분류하여 정량적 자료와 정성적 자료를 대상으로 한다. 둘째, 자료의 범위는 LNG 플랜트 건설의 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning)의 각 단계 별로 범위를 한정한다. 셋째, 자료의 조사방법은 과거 플랜트 사업의 수행 실적 사례를 통한 조사와 플랜트 관련 전문가의 면담 및 설문을 통하여 조사를 수행할 수 있다. 넷째, 자료 조사를 통하여 데이터 입력은 정량적 자료의 경우 생애주기(EPCC) 위험의 분류 자료, 정량적 위험요인에 따른 시나리오 구성 자료, 사례 플랜트의 비용 및 비용분류체계 자료, 비용분류체계 코드 자료, 사례 플랜트의 의사결정 자료 등을 입력 데이터로 활용 가능하다. 정성적 자료의 경우 생애주기(EPCC) 위험의 분류 자료, 정성적 위험요인에 따른 시나리오 구성 자료, 사례 플랜트의 정성적 위험요인의 중요도 및 발생도 지수 자료, 사례 플랜트의 전문가 면담 및 설문 자료 등을 데이터로 입력 가능하다. 다섯째, 상기와 같은 데이터베이스는 1차 위험 평가자료, 2차 정량적 위험 평가자료, 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 참조자료로 활용된다.

본 과업인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입 개발을 위해 기존 데이터 표준인 Excel과 데이터 연동 및 관리를 위한 MS-SQL을 활용하여 인터페이스를 개발하였다. 또한 데이터베이스와 관련하여 Access, dBASE, MS-SQL, Oracle 등의 관리시스템이 있지만, 본 과업과 관련해서는 주관기관에서 개발 중인 통합지식정보관리시스템이 MS-SQL을 사용하고 있기 때문에 통합에 대한 편리성을 위해 MS-SQL을 이용하여 통합기초 DB를 구축하였다.

상기와 같은 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입과 관련된 기존 데이터 표준(Excel, MS-SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발과 참조자료의 수집 및 통합 기초 DB화는 추후 6차년의 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 에서 완성을 위한 계속된 자료로 활용 될 것이며, 또한 유사 사례 연구기초자료로 활용한다.

나. 해외진출사업 타당성 분석 모델 구조 및 실시설계 확정

본 경제적 타당성 분석 모델을 개발하기 위하여 기본적인 가정을 설정하고 Input 데이터를 입력하여, 계산과정을 수행하여 Output 데이터를 도출해냈다. 다음과 같은 경제적 타당성 분석 모델의 기본 구조도는 다음과 같다.



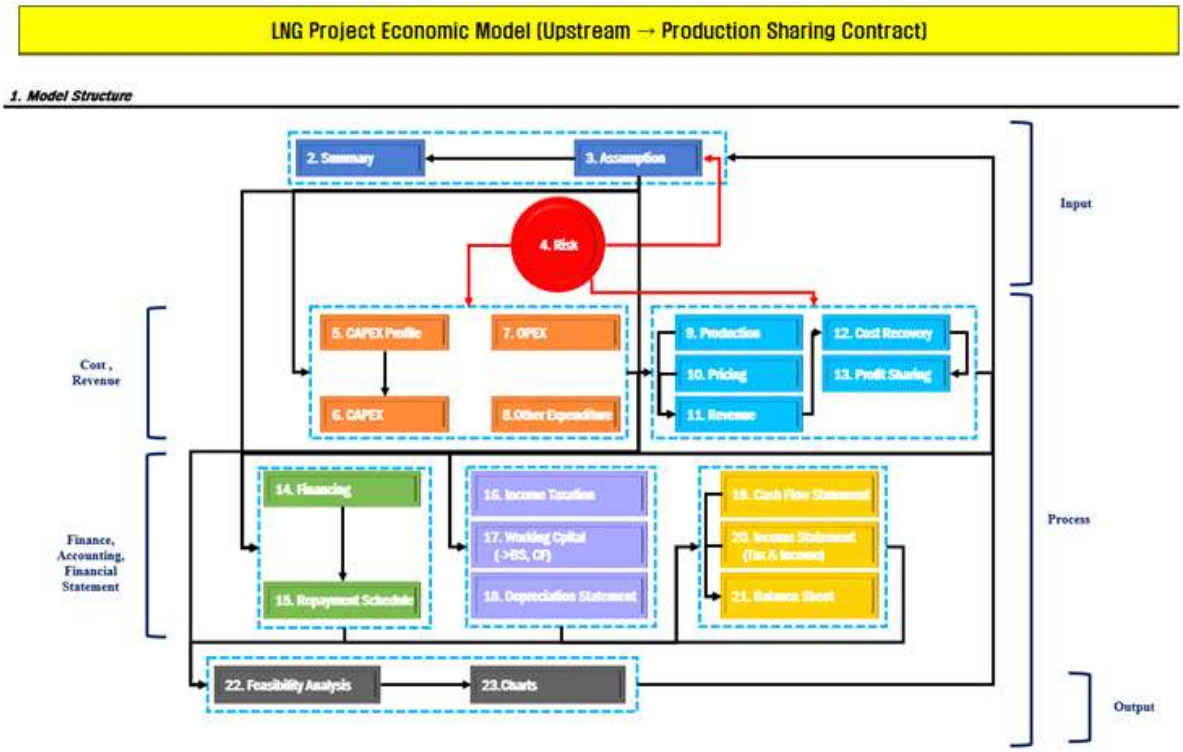
[그림 2.2.86] 경제적 타당성 평가 모델 기본구조도

경제적 타당성 평가 모델 기본구조도를 나타낸 그림임. 경제적 타당성 평가 모델 기본구조도의 세부사항은 다음과 같다.

기본가정에서는 모델에 포함되어야 할 필수적인 요소들에 대하여 설명하는 부분이다. Input에서는 모델에 입력되어야 할 데이터들을 모아 놓은 부분이다. 총 투자비, 운영비용, 재원조달, 감가상각비, 운영수입, 등 5가지 부분으로 나눌 수 있다. 계산과정에서는 Input에서 입력된 데이터(총 투자비, 총 운영비용, 재원조달, 감가상각비, 운영수입 등)를 계산하고 재무제표로 만들어 분석한다. 이러한 과정을 수행하면서 각 단계 마다 모델을 검토하여 예상치 못한 오류에 대비한다. Output에서는 사업수익률(IRR), 자기자본이익률(ROE), 순현재가치(NPV), 자본회수기간(PP), 편익비용분석(B/C), 부채상환계수(DSCR), 기타 등에 대하여 경제적으로 타당한가를 결정한다.

경제성 평가 모델 예시 1(Upstream → PSC)

본 경제적 타당성 분석 모델의 Upstream 부분 중에 가장 대표적인 PSC(Production Sharing Contract) 계약 모델에 대한 예시는 다음과 같다. 모델의 구조도는 Upstream → PSC 모델의 구조도를 나타낸 그림이다.

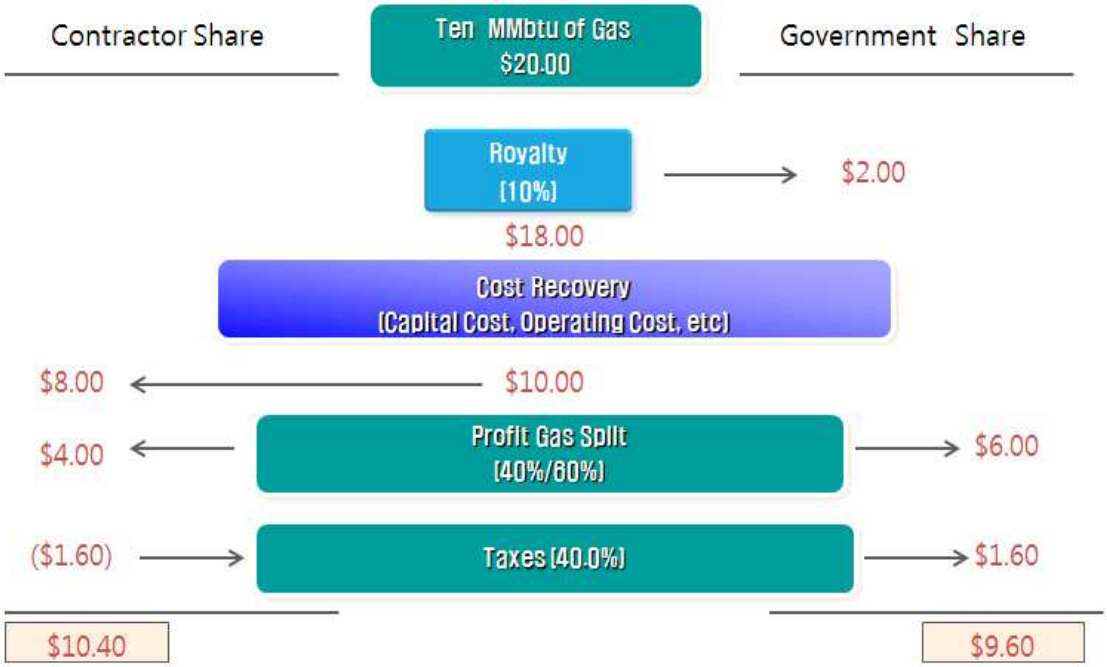


[그림 2.2.87] Upstream → PSC 모델의 구조도

Upstream → PSC 모델의 구조도이다. Input, Process, Output 부분으로 나누어져있다. Input 부분은 모델에 대하여 전체적으로 요약을 하고, 가정 사항, 위험 요인에 대해 입력한다. Process 부분은 크게 5가지 부분으로 나누어져있는데, 비용 부분은 총 투자비용, 총 운영비용, 기타 비용이 있고, 수익 부분에서는 생산량, 가격, 수익, 원가회수, 생산물 분배가 있으며, 재정 부분에서는 재원조달, 상환 일정이 있으며, 회계부분에서는 세금, 운전자본, 감가상각이 있으며, 재무제표 부분에서는 현금흐름표, 손익계산서, 재무상태표가 있다. Output 부분에서는 경제적 타당성 분석 수행 및 차트로 나타낸다.

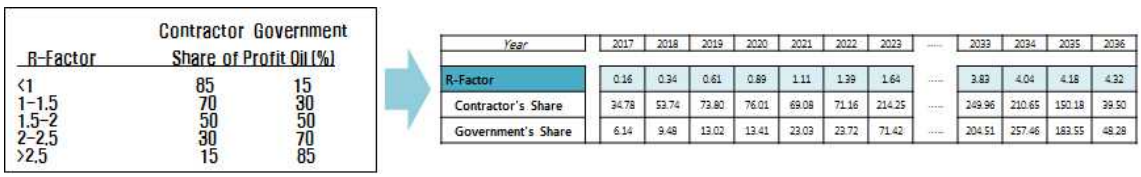
원가회수 & 수익 분배

Upstream → PSC 분야에서 가장 중점적으로 다루어야 할 사항은 원가회수와 생산물 분배 부분이다. 원가회수 및 수익 분배는 계약서에 표기된 사항을 따른다. 다음의 그림은 원가회수의 예시이다.



[그림 2.2.88] 원가회수

먼저 Royalty를 정부쪽에 주어지고, 원가회수를 통하여 계약자에게 회수한다. 그 후에 수익 분배를 통해 개발사와 정부쪽은 수익을 나누고, 마지막으로 개발사는 벌어들인 수익에 대하여 법인세를 낸다. 다음의 그림은 수익 분배를 하는 그림이다.



R-Factor	Contractor Share of Profit Oil (%)	Government Share of Profit Oil (%)
<1	85	15
1-1.5	70	30
1.5-2	50	50
2-2.5	30	70
>2.5	15	85

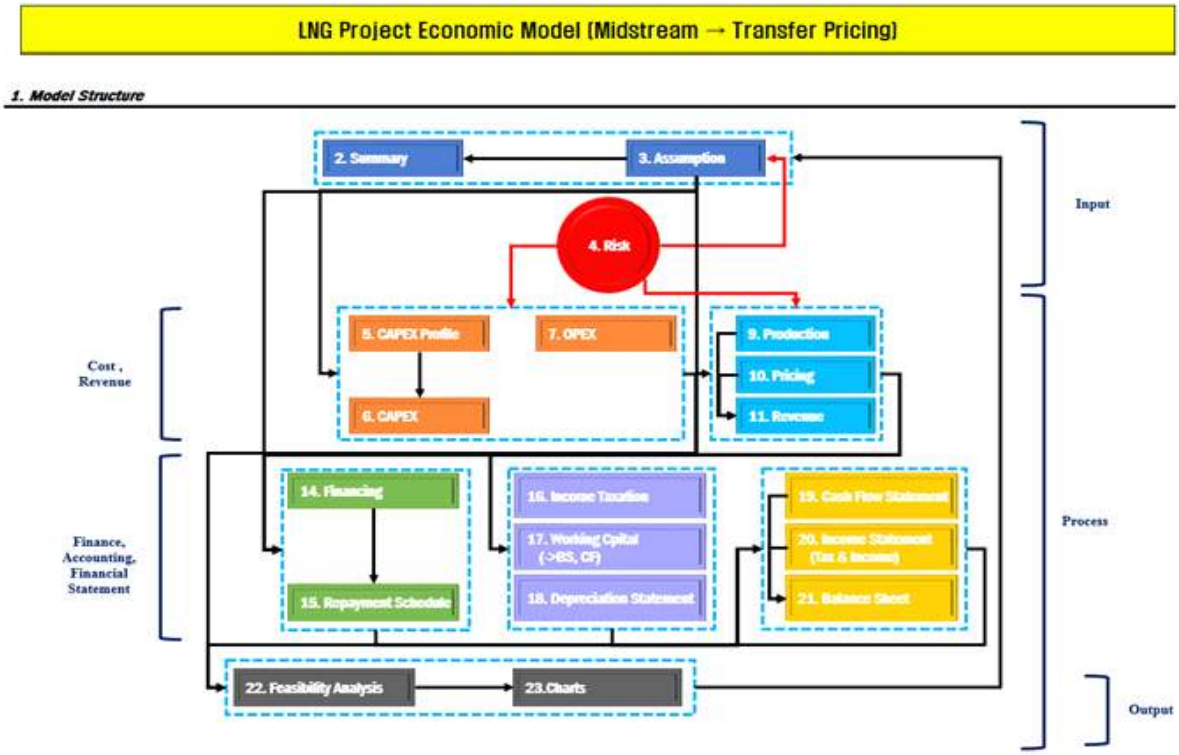
Year	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	.....	2033	2034	2035	2036
R-Factor	0.16	0.34	0.61	0.89	1.11	1.39	1.64	.....	3.83	4.04	4.18	4.32
Contractor's Share	34.78	53.74	73.80	76.01	69.08	71.16	214.25	.....	249.96	210.65	150.18	39.50
Government's Share	6.14	9.48	13.02	13.41	23.03	23.72	71.42	.....	204.51	257.46	183.55	48.28

[그림 2.2.89] 수익분배의 예시(R-Factor)

R-Factor를 이용한 수익 분배를 하는 그림이다. R-Factor는 개발사가 얻은 누적 수익을 개발사가 지출한 누적 비용으로 나누어 준 값이다. 다음과 같이 수익 분배는 프로젝트 이익에 따라 다를 수 있다.

경제성 평가 모델 예시 2(Midstream → Transfer Pricing)

본 경제적 타당성 분석 모델의 Upstream 부분 중에 가장 대표적인 PSC(Production Sharing Contract) 계약 모델에 대한 예시는 다음과 같다. 모델의 구조도는 Upstream → PSC 모델의 구조도를 나타낸 그림이다.

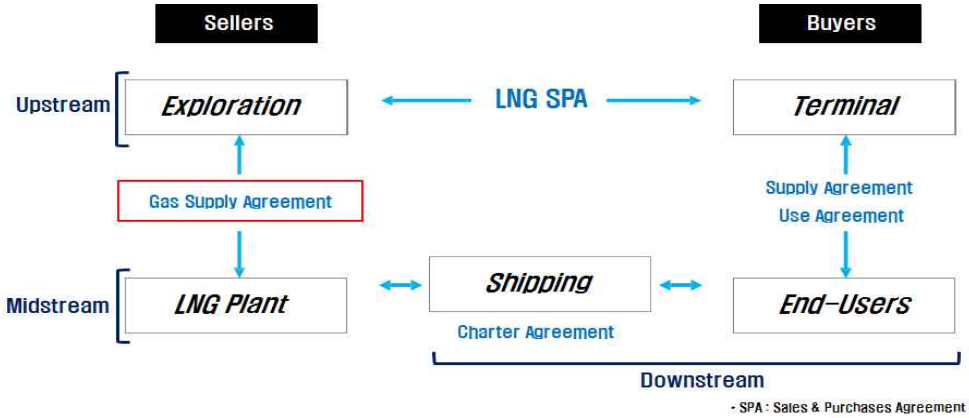


[그림 2.2.90] Midstream → Transfer Pricing 모델의 구조도

Midstream → Transfer Pricing 모델의 구조도임. Input, Process, Output 부분으로 나누어져있다. Input 부분은 모델에 대하여 전체적으로 요약을 하고, 가정 사항, 위험 요인에 대해 입력한다. Process 부분은 크게 5가지 부분으로 나누어져있는데, 비용 부분은 총 투자비용, 총 운영비용, 기타 비용이 있고, 수익 부분에서는 생산량, 가격, 수익이 있으며, 재정 부분에서는 재원조달, 상환 일정이 있으며, 회계부분에서는 세금, 운전자본, 감가상각이 있으며, 재무제표 부분에서는 현금흐름표, 손익계산서, 재무상태표가 있다. Output 부분에서는 경제적 타당성 분석 수행 및 차트로 나타낸다.

GSA(Gas Sales Agreement)

GSA(Gas Sales Agreement)는 가스 플랜트 계약 방식 중 가장 많이 사용 되는 방법 중 하나인 Transfer Pricing 계약방식에서의 핵심적인 부분이다. 가스 소유권을 Upstream에서 Midstream으로 이전하는 방법으로 Midstream 개발자가 판매자가 되는 계약이다. 다음의 그림은 GSA에 대한 도식화된 그림이다.



[그림 2.2.91] GSA(Gas Sales Agreement)

GSA는 가스 소유권을 Upstream 계약자로부터 Midstream 계약자가 인도받게 되는 계약이다. 따라서 가스 판매에 대한 Risk 역시 Upstream에서 Midstream으로 전가된다. 모델에서도 판매 금액 이외에 FEED 가스의 구매 비용도 고려해야 한다. 다음의 그림은 모델에서 사용되는 FEED 가스 구매 비용과 액화 가스의 판매에 대한 예시이다.

• Pricing & Production

Pricing & Production Assumption			
Feed Gas Purchase Price			
	Vol Share	Vol(*mtpa*)	Price (*$/MMBtu*)
Seller 1	80.0%	8.00	7.12
Seller 2	20.0%	2.00	7.25
LNG Sales Price			
	Vol Share	Vol(*mtpa*)	Price (*$/MMBtu*)
Buyer 1	70.0%	6.20	13.12
Buyer 2	15.0%	1.33	13.01
Buyer 3	10.0%	0.89	12.98
Buyer 4	5.0%	0.44	13.21
Condensate Sales Price		*$/bbl*	105.49

[그림 2.2.92] FEED 가스 구매 & 액화가스 판매

GSA에 따른 FEED 가스 구입비용과 액화 가스 판매비용을 동시에 고려하였다. 해외진출사업의 경제적 타당성 분석 모델을 위하여 비용, 수입, 위험자료의 조사 및 요청이 필요하다. 다음은 분석용 자료 조사 및 요청에 대한 세부사항이다.

비용자료

비용자료는 총 투자비(CAPEX)와 총 운영관리비(OPEX)와 함께 시장분석, 기술분석에 대한 분석 및 평가를 수행하여야 한다. 다음의 표는 비용자료의 분석 및 평가에 대한 세부사항이다.

<표 2.2.45> 비용자료 세부사항

구분	내용
총 투자비 (CAPEX)	• 해외사업의 고정투자비 : 해외프로젝트, 토목, 건축, 생산시설 • 생산 전 비용 : 사업관리, 기술 도입비, 엔지니어링 설계비, 회사설립비, 주식발행비, 교육훈련비, 사무실 임대료 및 집기비품, 건설 중 이자 • 초기 운전 자본 : 원부자재, 첨가재, 연료, 공장 소모품, 사무용 소모품
총 운영관리비 (OPEX)	직접재료비, 직접노무비, 생산/제조 간접비, 수선유지비, 기타
시장분석	시장규모, 시장의 차별성, 시장구조의 특징, 경쟁기업, 표적시장, 시장동향, 성공요인, 등
기술분석	육상 LNG 플랜트, 해상 LNG 플랜트, 액화기술(C3MR, KSMR, Cascade, DMR, SMR, 등)

수입자료

수입자료는 광구 및 시장에 대한 기술 자료 및 광구의 위치, 조건, 광구의 규모/매장량, 연생산량, 운영기간, 총생산량, 생산/제조 원가 추정, 판매 단가, 연간 생산량 및 판매수입, 운영기간 동안의 총생산량 및 총수입에 대한 분석용 자료를 요청하고 조사하였다.

위험자료

위험자료는 기술성으로부터 자료를 입수하고, 시나리오별로 위험분석을 실시한 후에 총 위험의 평가를 수행한다. 또한 지역, 국가, 사업종류별 위험요인 및 평가치에 대한 자료를 요청하여 분석하였다.

비용 · 수입 분석

해외진출사업 경제적 타당성 분석 모델의 비용 및 수입 분석을 위하여 Input 데이터의 도출과, Output 데이터의 산정이 필요하다. 따라서 Upstream의 모델과 Midstream의 모델에 사용되는 Input 변수를 정리해 보았으며, 각각의 Output에 대하여 검토하였다.

Input 데이터 정리 (Upstream)

다음은 해외진출사업 경제적 타당성 분석 모델 중 Upstream 분야에 해당하는 대표적인 Input 변수를 정리하였다. Upstream 분야의 대표적인 Input 변수는 다음의 표와 같다.

<표 2.2.46> Upstream 모델의 대표 Input 변수

<table>
<tr><th colspan="3">투자비</th><th colspan="3">운영관리비</th><th rowspan="2">재원조달
+ 세금</th><th rowspan="2">감가상각비</th><th rowspan="2">운영수입</th></tr>
<tr><th>Lv.1</th><th>Lv.2</th><th>Lv.3</th><th>Lv.1</th><th>Lv.2</th><th>Lv.3</th></tr>
<tr><td rowspan="10">총 투자비</td><td rowspan="5">탐사비</td><td>Well 탐사</td><td rowspan="10">총
운영관리비</td><td rowspan="4">고정
운영관리비</td><td>원부자재비</td><td>불변가격
기준일</td><td>잔존가치</td><td>공사 시작
년도</td></tr>
<tr><td>2D
Seismic</td><td>첨가재료비</td><td>기간산정</td><td>감가상각
내용연수</td><td>공사 기간</td></tr>
<tr><td>3D
Seismic</td><td>수송비</td><td>물가상승률</td><td rowspan="9"></td><td>연 생산량</td></tr>
<tr><td>Well 평가</td><td rowspan="3">변동
운영관리비</td><td>마케팅
비용</td><td>자기자본
비율</td><td>운영기간</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>보험비</td><td>재원조달
투입
Schedule</td><td>총 생산량</td></tr>
<tr><td rowspan="5">개발비</td><td>천공비</td><td>연구비</td><td>차입금 차입</td><td>연간 생산량</td></tr>
<tr><td>시설비</td><td colspan="2">인건비</td><td>차입금
상환조건</td><td>판매 수입</td></tr>
<tr><td>공사비</td><td rowspan="2">수선유지비</td><td>교체비</td><td>차입금
예치기간</td><td>전환계수</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>수선비</td><td>할인율</td><td>기타</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3"></td><td rowspan="2">생산/제조
경비</td><td>전력비</td><td>법인세율</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>수도광열비</td><td>손실의 순연</td></tr>
<tr><td colspan="2">폐기처리비</td><td>운전자본
산정 자료</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="2">기타</td><td>기타</td><td></td><td></td></tr>
</table>

투자비, 운영관리비, 재원조달 + 세금, 감가상각비, 운영수입, 등으로 Input 데이터를 나누었다. Upstream 분야는 Midstream 분야보다 상대적으로 얻을 수 있는 자료가 적기 때문에 변수의 수를 최소화 하는데 목표를 세웠다. 따라서 Upstream 부분의 변수는 적게는 20개에서 많게는 50개까지 늘어날 수 있다. 사용자의 입력 데이터 확보에 따라 입력할 수 있게 개발하였다. 필수적인 요소 중에 모르는 부분은 Default화하여 모델 작동의 오류가 발생하지 않도록 개발하였다.

Input 데이터 정리 (Midstream)

다음은 해외진출사업 경제적 타당성 분석 모델 중 Midstream 분야에 해당하는 대표적인 Input 변수를 정리하였다. Midstream 분야의 대표적인 Input 변수는 다음과 같다.

<표 2.2.47> Midstream 모델의 대표 Input 변수

투자비			운영관리비			재원조달 + 세금	감가상각비	운영수입
Lv.1	Lv.2	Lv.3	Lv.1	Lv.2	Lv.3			
총 투자비	조사비		총 운영관리비	고정 운영관리비	원부자재비	불변가격 기준일	잔존가치	공사 시작 년도
	설계비				첨가재료비	기간산정	감가상각 내용연수	공사 기간
	조달비				수송비	물가상승률		연 생산량
	공사비	공사비 지급 Schedule		변동 운영관리비	마케팅 비용	자기자본 비율		운영기간
		연체이자 여부			보험비	재원조달 투입 Schedule		총 생산량
		감리비			연구비	차입금 차입		연간 생산량
	토지비	토지매입비 금액		인건비		차입금 상환조건		판매 수입
		지급 Schedule		수선유지비	교체비	차입금 예치기간		전환계수
		토지매입 완료일			수선비	할인율		기타
		취득세		생산/제조 경비	전력비	법인세율		
		등록세			수도광열비	손실의 순연		
	보상비			폐기처리비		운전자본 산정 자료		
	부대비	감리, 각종 영향 평가		기타		기타		
		보험료						
		금융부대비						
	운영설계비							
	제세공과금							
	영업준비금	개업비						
		창업신주비						
	물가변동비							
	재원조달비							
	대체투자비							
	제비용	각종 조사비 및 용역비						
		시행사운영비						
		업무집행비						
	제세공과금	취득세						
		등록세						
		재산세						
		부가가치세						
		기부채납부가세						
		보유세						
		각종 공과금						
	기타							

Upstream 분야와 동일한 카테고리로 분류될 수 있으나, 투자비 분야에서 Input 데이터를 세분화시켰다. 따라서 적게는 20개에서 많게는 70개 변수의 입력시킬 수 있다. 입력변수의 Default화도 Upstream 모델과 동일하다.

Output 데이터 산정

상기와 같은 Input 데이터를 통하여 모델에 입력한 후에 계산과정을 거쳐 Output 데이터를 산정했다. Output 데이터는 총 6가지로 구성되어 있고, 그 세부항목을 살펴보면 다음의 표와 같다.

<표 2.2.48> Output 데이터의 항목 및 설명

구분	항목	설명
1	IRR (Internal Rate of Return)	투자로 지출되는 현금의 현재가치와 그 투자로 유입되는 미래 현금유입액의 현재가치가 동일하게 되는 수익률
2	ROE (Return of Equity)	주주의 자본을 사용해 어느 정도의 이익을 올리고 있는가를 나타낸 것으로, 주주지분에 대한 운용효율을 나타내는 지표
3	NPV (Net Present Value)	투자로부터 얻어지는 현금 유입의 현재가치에서 현금 유출의 현재가치를 차감한 금액으로서, 효율적인 사업선정을 위한 방법 중 하나임
4	B/C (Benefit / Cost)	비용의 현재가치에 대한 편익의 현재가치의 비율로서, 비용편익분석에서 사업대안의 비교를 위한 기준 중 하나임
5	PP (Payback Period)	투자에서 소요된 자금을 그 투자로부터 발생하는 현금흐름으로부터 모두 회수하는데 걸리는 시간임
6	DSCR (Debt Service Coverage Ratio)	금융권에서 PF를 통하여 자금에 대한 상환금 대비 지불능력으로 일정 시점에서의 누적 수입을 같은 시점에서의 누적 이자 및 원금 상환분으로 나누어 준 값임

Output 데이터는 6가지로 도출하였음. 도출된 Output 데이터의 세부사항은 다음과 같다.

· IRR의 경우 자기자본조달비용과의 비교를 통해 산정할 수 있다.

· NPV의 경우 사업의 규모를 알 수 있다.

· ROE의 경우 주주들의 순 이익에 대하여 알 수 있다.

· B/C의 경우 전체 비용과 수익를 현재가치로 비교할 수 있다.

· PP의 경우 투자된 현금을 회수하는데 걸리는 시간을 알 수 있다.

· DSCR의 경우 은행이 대출금 상환 가능성에 대하여 알 수 있다.

모델 테스트, Risk 분석, 타당성 분석 종합

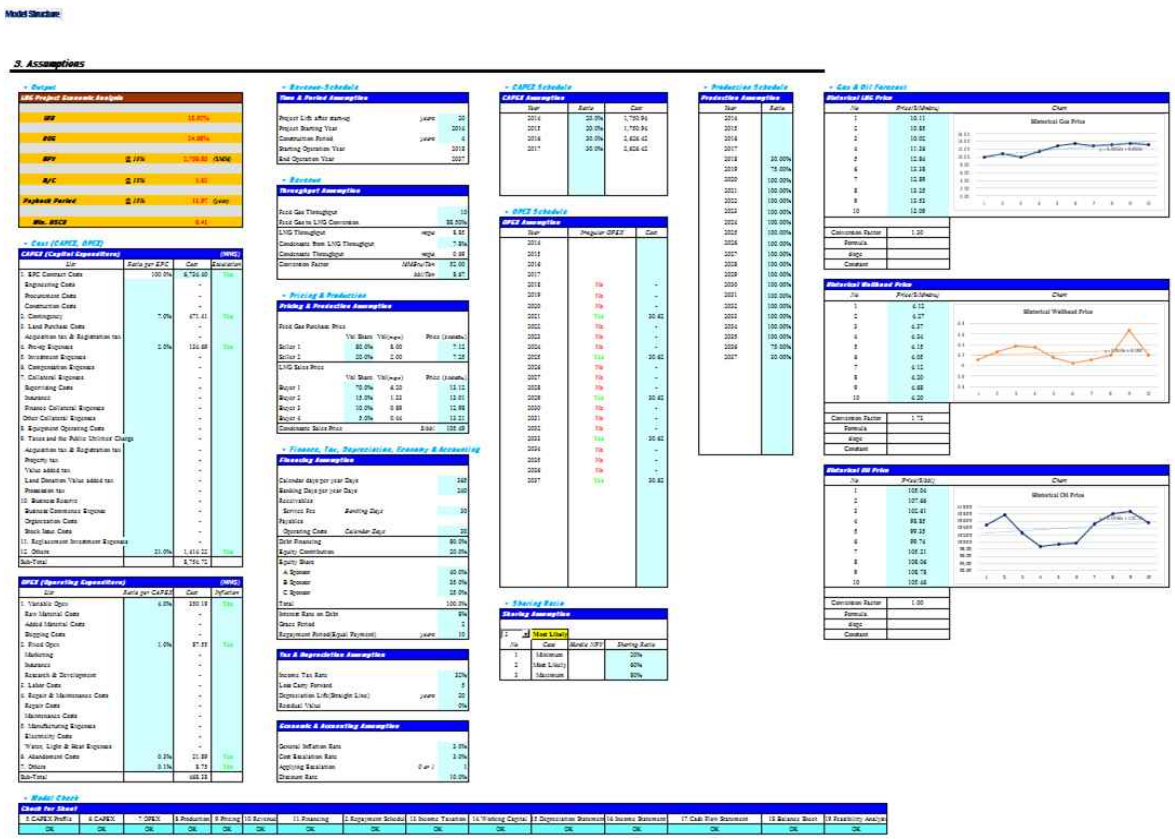
상기와 같은 이론 및 자료들을 통하여 개발된 모델을 검토가 필요하다. 따라서 모델 테스트, Risk 분석 및 타당성 분석 종합을 수행하였다.

모델 테스트

모델 테스트를 위해 입력을 수행하는 Assumption Sheet와 출력을 수행하는 Feasibility Study Sheet의 항목을 분석하였다. 예시는 Midstream의 Transfer Pricing 모델이다.

Assumption Sheet

Assumption Sheet는 상기의 비용 및 수익 분석에서 수행한 Input 데이터를 입력하여 계산을 담당하는 Sheet 및 출력을 담당하는 Sheet에 기초 데이터가 된다. Sheet의 세부사항은 다음의 그림과 같다.

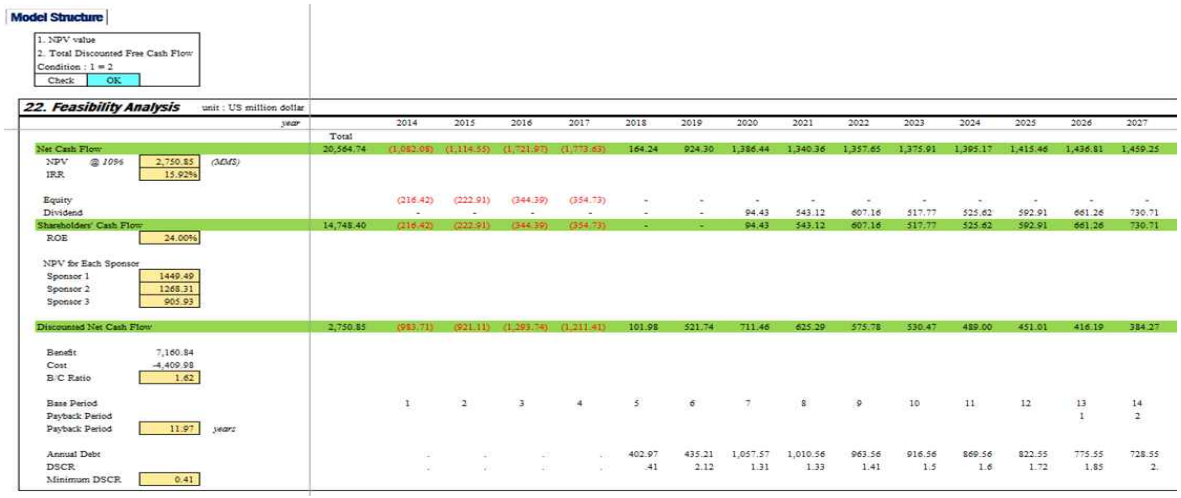


[그림 2.2.93] Assumption Sheet 예시

Assumption Sheet는 입력을 할 수 있는 파란 셀과 결과를 보여주는 흰색 셀로 나눌 수 있다. 또한 입력 값의 신뢰성을 위하여 실제로 사용되는 유가의 변동을 회귀 식으로 나타낸 부분이 있으며, 모델의 검토를 위해 Model Check를 수행하였다.

Feasibility Study Sheet

Feasibility Study Sheet는 Input Sheet와 계산 Sheet에서 수행된 결과를 출력해주는 Sheet이다. 즉, Feasibility Study Sheet에서는 상기의 비용 및 수입 분석에서 수행된 Output 데이터를 산정하는 Sheet이다. Feasibility Study Sheet는 다음의 그림과 같다.



[그림 2.2.94] Feasibility Study Sheet

분석된 Feasibility Study Sheet는 Output 데이터와 마찬가지로 6가지(IRR, ROE, NPV, B/C, PP, DSCR)로 나눌 수 있다. 각각의 도출되는 세부과정은 다음과 같다. Net Cash Flow를 바탕으로 하여 NPV와 IRR을 도출할 수 있다. NPV는 프로젝트의 수행 기간 전체에 대하여 지정된 할인율을 통하여 구한다. IRR은 프로젝트 수행 기간 전체에 대하여 내부수익률을 구한다..

자기자본과 배당을 통하여 ROE를 구할 수 있다. 초기에 투자한 자기자본을 비용으로 보고, 이후에 들어오는 배당금을 수익이라 하였을 때, 자기자본과 배당금의 합을 NPV 함수를 이용하여 구한다.

Discounted Net Cash Flow를 통하여 B/C, PP, DSCR을 구할 수 있다. B/C는 Discounted Net Cash Flow 중 비용 부분을 더한 값과 수입 부분을 더한 값으로 나누어 두 가지 사항에 대한 비율을 구한다. PP는 프로젝트 시작하는 년도와 이익이 시작되는 년도를 비교하여 구한다. DSCR은 갚아야 할 빚과 실제 수익을 비교하여 구한다.

Risk 분석

Risk 분석은 상기의 이론에서 언급 하였듯이 모델의 Risk Sheet를 통하여 분석된다. 분석 방법은 @RISK를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션이며, 결정론적인 값이 아닌 확률론적인 값을 산출하는 것을 목표로 한다. 또한, @RISK를 통한 시뮬레이션으로 민감도 분석 및 결과 보고서를 도출할 수 있다. 다음은 Risk Sheet를 통한 Risk 분석 및 @RISK를 이용한 모델의 결과 값이다. 예시는 Midstream의 Transfer Pricing 모델이다.

Risk Sheet

Risk Sheet는 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하기 위한 Raw 데이터들을 모아 놓은 Sheet이다. 이 부분에서 각각의 항목들에 대하여 변동 범위를 산정하고, 그에 따른 사항들에 대한 범위를 구한다. 다음의 그림과 Risk Sheet이다.

4. Risk

- **Risk Application**

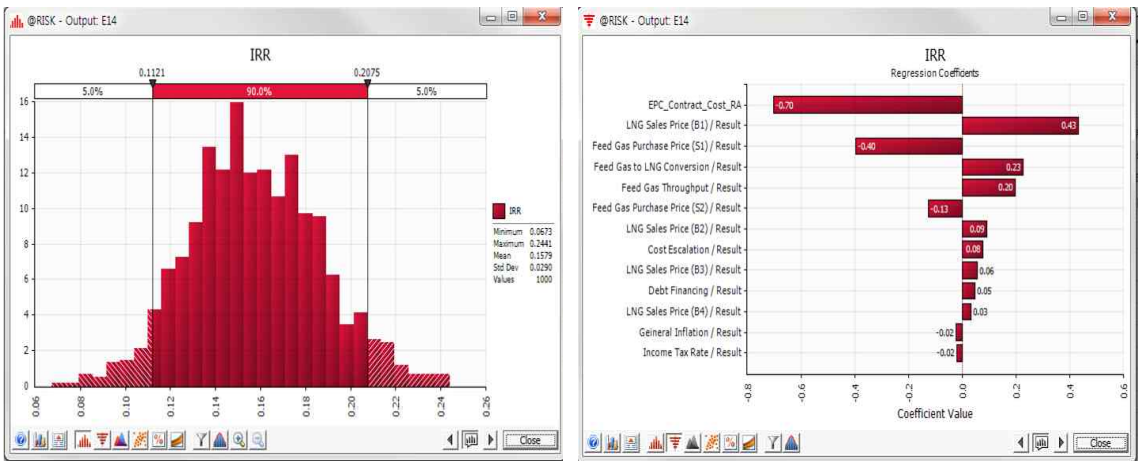
Factors	Flaction Range			Cost Range			Result
	Min	ML	Max	Min	ML	Max	
EPC Contract Cost	65%	100%	135%	4377.36	6734.4	9091.44	6734.40
Feed Gas Throughput	90%	100%	110%	9.00	10	11.00	10.00
Feed Gas to LNG Conversion	95%	100%	105%	84.27%	88.70%	93.14%	88.70%
Feed Gas Purchase Price (S1)	80%	100%	120%	5.70	7.12	8.54	7.12
Feed Gas Purchase Price (S2)	80%	100%	130%	5.79	7.24	9.41	7.36
LNG Sales Price (B1)	80%	100%	110%	10.66	13.32	14.65	13.10
LNG Sales Price (B2)	80%	100%	110%	10.49	13.11	14.42	12.89
LNG Sales Price (B3)	80%	100%	110%	10.78	13.47	14.82	13.25
LNG Sales Price (B4)	80%	100%	110%	10.82	13.52	14.87	13.29
Debt Financing	50%	100%	150%	30.00%	60.00%	90.00%	60.00%
Interest Rate on Debt	95%	100%	105%	7.60%	8.00%	8.40%	8.00%
Income Tax Rate	95%	100%	105%	30.40%	32.00%	33.60%	32.00%
Geineral Inflation	80%	100%	120%	2.40%	3.00%	3.60%	3.00%
Cost Escalation	70%	100%	130%	2.10%	3.00%	3.90%	3.00%
Discount Rate	90%	100%	110%	9.00%	10.00%	11.00%	10.00%

[그림 2.2.95] Risk Sheet

Risk Sheet를 통하여 구해진 변동 범위는 Feasibility Study Sheet에서 Output 데이터들에 대하여 n번의 시뮬레이션을 수행하였다.

모델 Simulation (@RISK 적용)

모델에 n번의 시뮬레이션을 수행하면서 모델의 IRR과 같은 Output 데이터를 확률 분포화로 만들 수 있다. IRR 값의 범위를 확률론적인 방법으로 표현함으로써, 모델의 정확성 및 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 민감도 분석을 통하여 어느 항목이 가장 Output 데이터에 영향을 많이 미치는지 알 수 있다. 다음의 그림 148은 모델을 n번 시뮬레이션 했을 경우에 Output 데이터의 확률 분포로 나타낸 부분과 민감도 분석에 대한 그림이다.

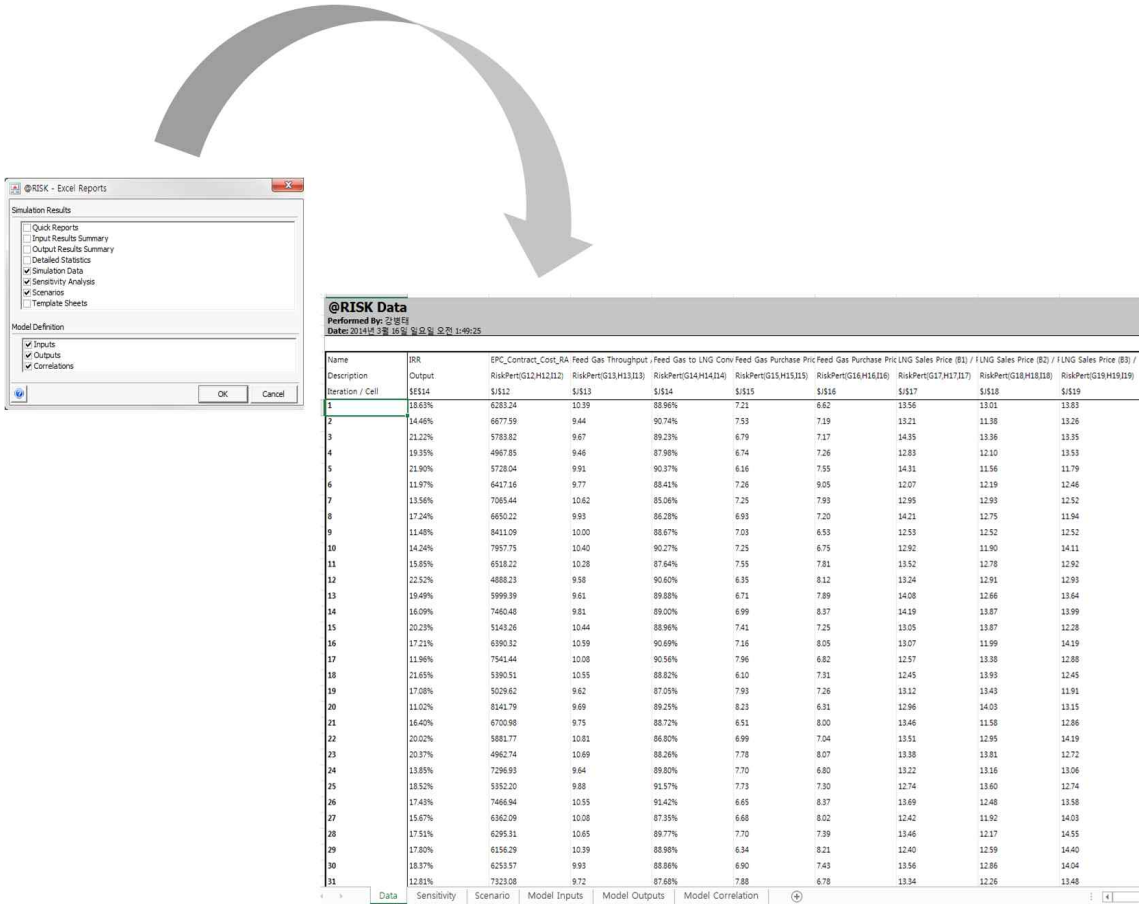


[그림 2.2.96] 확률 분포 및 민감도 분석

모델의 Output 데이터를 확률 분포화 시켰으며, 민감도 분석을 수행하였다. 먼저, Output 데이터의 확률 분포를 함으로써 Output 데이터를 신뢰구간으로 표현할 수 있다. 이러한 신뢰구간은 사용자가 임의로 조정할 수 있다. 또한, 목표 IRR이 될 수 있는 부분을 확률론적으로 제시할 수 있다. 가령, IRR이 13%이하일 확률과 IRR이 15%이상일 확률을 최소 IRR 및 최대 IRR을 선택한 후 입력하여 알아볼 수 있다. 또한 Output 데이터에 미치는 영향정도를 민감도 분석을 통하여 알아볼 수 있다. 이러한 민감도 분석은 회귀분석이나 상관관계 분석을 통하여 알아볼 수 있다. 상기의 Risk Sheet 부분에서 입력된 사항들에 대하여 어느 사항이 가장 큰 영향을 주는지 분석할 수 있다. 다음과 같이 @RISK 사용을 통하여 모델의 객관성 및 신뢰성을 높일 수 있으며, 비용 항목 및 세부 항목들이 Output 데이터에 적용하는 영향 정도도 알아볼 수 있다.

결과 보고서

결과 보고서는 Risk Sheet를 이용하여 Output 데이터를 확률론적으로 변환시킨 후에, 민감도 분석 등을 수행한 한 것에 대한 시뮬레이션 자료 및 모델 자료에 대해 정리한 것이다. 다음의 그림 149는 Risk 분석에 따른 결과 보고서이다.



[그림 2.2.97] Risk 데이터 결과 보고서

Risk 데이터 결과 보고서는 시뮬레이션 자료 및 모델의 자료를 정리한 것으로, 세부 사항을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 시뮬레이션 자료는 간략 보고서, Input 결과 요약, Output 데이터 요약, 세부 통계, 시뮬레이션 데이터, 민감도 분석, 시나리오 등이 있으며 본 항목들에 대하여 선택하여 결과 보고서로 사용할 수 있다. 또한 모델 자료 정리로는 Inputs, Outputs, 그리고 Correlations들로 구성되어 있다. 이러한 자료들을 선택하여 결과 보고서를 작성할 수 있다. 구성 항목들은 각각 하나의 Sheet로 구성된다.

타당성 분석 종합

해외진출사업 경제적 타당성 분석 모델은 타당성 분석, LNG 플랜트, 회계 및 세무, 위험분석 등을 통하여 만든 모델이다. 이에 따라 Upstream 분야 3개의 모델과 Midstream 분야의 2개의 모델로 나누어 해외진출사업의 경제적 타당성을 분석한다. 분석하는 방법으로는 Upstream 분야 20~50개의 Input 데이터, Midstream 분야 20~70개의 데이터를 이용하여 6개의 Output을 도출한다.

의사결정은 Promoting, Considering, Renouncing, 등 세 가지 지표로 구분 된다.

Promoting의 경우 프로젝트의 수행이 추천되는 것이며, Considering 같은 경우 프로젝트의 수행이 재고되어야 하는 것이며, Renouncing 같은 경우 프로젝트의 수행이 중지되어야 하는 사항이다. 판단지표는 Output 데이터인 NPV, B/C, IRR, PP, ROE, DSCR, 등으로 의사결정을 수행한다.

지표의 구분 범위는 판단지표 6개를 통하여 구분함. 지표의 구분 범위는 프로젝트별로 다를 수가 있으며, 이는 정량적인 위험요인 뿐만 아니라 정성적인 위험요인이 포함된 수치이어야 한다. 가령 IRR의 경우 무위험, 무위험 수익률, 사업의 위험, 시장위험 프리미엄, 국가위험 프리미엄과 같은 수치들이 표현되어야 한다. 다음과 같은 6개의 판단지표(Output 데이터)가 지표의 구분 범위를 나누고, 사용자가 추진하려는 프로젝트의 의사결정을 내릴 수 있게 도움을 줄 수 있다.

상기와 같은 과정을 통하여 해외진출사업의 경제적 타당성 분석 모델을 개발한다. 주요 결과 및 시사점의 세부사항을 정리해 보면 다음과 같다.

경제성 개발 모델 개발을 위하여 4가지 이론(타당성 분석, LNG 플랜트, 회계 및 세무, 위험분석)에 대하여 고찰한다. 경제적 타당성 분석에 대한 전반적인 개념을 타당성 분석 이론을 통하여 확립하였고, 해외진출사업의 범위를 LNG 플랜트 이론에서 확립하였고, 모델에 사용될 재무적인 지식을 회계 및 세무 이론에서 확립하였고, 모델의 신뢰성 및 정확성을 높이기 위해 위험분석 이론을 확립하였다. 다음의 4가지 이론을 통하여 LNG 플랜트 Upstream 모델 3가지(Concession, Production Sharing Contract, Service Contract)와 Midstream 모델 2가지(Tolling, Transfer Pricing)을 개발하였다.

개발된 모델을 이용하기 위해서 비용, 수입 및 위험에 관한 자료는 지속적으로 모으고 있다. 모델에 삽입될 Input 데이터는 상대적으로 자료를 구하기 어렵고, 프로젝트 상의 돌발적인 상황이 많은 Upstream의 경우 20~50개를 사용하며, 상대적으로 자료를 구하기 쉽고, 프로젝트 상의 돌발적인 상황이 적은 Midstream의 경우 20~70개의 변수를 사용한다. 변수는 투자비, 운영관리비, 재원조달 + 세금, 감가상각비, 수입 등 5가지로 나누어 분류할 수 있다. 이러한 Input 데이터를 통한 Output 데이터는 IRR, ROE, NPV, B/C, PP, DSCR 등 6가지로 분류할 수 있다.

다음과 같이 개발된 모델을 테스트하기 위하여 입력 셀에 입력을 한 후에 결과를 도출하는 작업을 수행 하였다. 또한 위험요인을 고려하기 위하여 @RISK를 사용하여 Output 데이터를 결정론적인 방법이 아닌 확률론적인 방법으로 전환하였다. 이와 같이 나온 자료는 사용자가 의사결정을 하는데 사용 할 수 있다.

상기와 같이 개발된 모델은 해외진출사업의 의사결정 하는데 있어서 경제적 타당성 부분을 고려하는데 도움을 줄 것이라 판단된다. 하지만 다음의 경제적 타당성 분석은 정량적인 분석으로서 정확한 정성적인 분석이 수행된 후에 분석이 수행되어야 한다. 따라서 위험요인과 Output 데이터의 지표범위에 정성적인 부분을 수행한 부분과의 연계를 수행하여 의사결정에 보다 정확한 자료를 제공해야 한다.

3절 연구수행 결과 검증

1. 시스템 테스트 및 사용자 요구사항 반영

현재 국내 플랜트 건설 현업에서는 일부 회사들 사이에서 자체적으로 개발한 시스템으로 건설공사 관리를 실행하는 회사들이 있지만 확률적 공사비 추정을 위한 시스템을 개발 및 활용하는 사례는 극소수이다. 따라서 본 과업의 최종 결과물인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 개발로 현업에서 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들을 상대로 개발 중 시스템을 테스트 하였고, 이에 대한 사용자 요구사항 결과는 다음과 같다.

본 과업 시스템처럼 프로젝트 수주 이전 단계에서 사업비를 예측 및 추정하는 Tool, 방법이 존재하는지 여부

보 기	응답자 수	비 율 (%)
① 존재	2	20%
② 미존재	8	80%

상기와 같이 본 과업의 시스템을 시현 및 사용해 본 결과 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들은 프로젝트 수주 이전 단계에서 사업비를 예측 및 추정하는 Tool, 방법이 존재하고 있다고 응답한 사람은 2명 20%이고, 미존재 한다고 응답한 사람은 8명 80%인 것으로 응답하였다. 이에 대한 인터뷰내용 및 사용자 요구사항을 간단히 정리해 보면 다음과 같다. 타당성 분석 및 비용 예측관리와 관련하여 본사 시스템으로 구축하지 않았고, 또한 회사의 고위급 소수의 의사 결정권자들이 자체 Excel로 비용을 추정한다고 응답한다. 또한 본 과업 시스템의 기본적인 로직 및 내용은 현업에서도 충분히 참고할 만 하다고 판단하고 있으며, 본 과업 시스템처럼 여러 가지 방법론을 적용한 시스템이 필요하다고 요구하였다.

테스트 해본 사업계획 전문가 시스템 프로토타입으로 사업비를 추정 및 분석하는 Tool로 현업에서 활용이 가능한가?

보 기	응답자 수	비 율 (%)
① 활용 가능	4	80%
② 활용 불가능	1	80%

상기와 같이 본 과업의 시스템 프로토타입을 테스트 해본 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들은 확률적 공사비 추정 및 분석을 위한 Tool로 현업에서 적극 활용이 가능 80%, 활용 불가능이 10% 인 것으로 분석되었다.

본 과업 시스템에서 제공하는 CBS(Cost Breakdown Structure)의 사용성 및 활용성 여부		
보 기	응답자 수	비 율 (%)
① 적용가능	40	40%
② 적용 불가능	60	60%

상기와 같이 본 과업의 시스템을 시현 및 사용해 본 결과 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들은 본 과업 시스템에서 제공하는 CBS를 적용가능하다고 응답한 사람은 4명 40%이고, 적용 불가능 하다고 응답한 사람은 6명 60%인 것으로 조사되었다. 이에 대한 인터뷰 내용 및 사용자 요구사항을 간단히 정리해 보면 다음과 같다. CBS는 발주자의 특성 및 프로젝트의 특성에 따라 변하기가 쉽기 때문에 표준화된 CBS를 제공하는 것은 적용 불가능하다고 응답하였다. 또한 본 과업 시스템의 CBS와 관련한 논리 및 내용은 현업에서도 충분히 참고할 만하지만 사용자가 직접 CBS 비용항목을 수정 및 삭제 할 수 있도록 시스템 수정이 필요하다고 요구하였다.

본 과업 시스템은 Web-Based가 아닌 Excel-Based Stand-Alone의 시스템임. 이에 대한 본 과업 시스템 사용성 및 활용성 여부		
보 기	응답자 수	비 율 (%)
① 편리	10	100%
② 불편	0	0%

상기와 같이 본 과업의 시스템을 시현 및 사용해 본 결과 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들은 본 과업 시스템의 Excel Based Stand-Alone 형식의 시스템 사용성 및 활용성 여부에 편리하다고 응답한 사람은 10명 100%이고, 불편하다고 응답한 사람은 0명 0%인 것으로 조사되었다. 이에 대한 인터뷰내용 및 사용자 요구사항을 간단히 정리해 보면 다음과 같다.

Web-Based 시스템은 대부분의 해외 인터넷 환경이 한국처럼 발전되지 않아 기본적으로는 사용하기 쉽지 않다고 응답하였다. 또한 플랜트 현장 자체가 오지에 건설되는 경우가 많아 인터넷을 사용하기에는 불편한 점이 많다고 응답하였다. 본 과업 시스템의 Excel Based Stand-Alone 현업에서도 충분히 참고할 만하고 발주자가 아닌 EPC기업 관점이라면 특히 Stand-Alone 형식의 시스템이 필요하다고 요구하였다.

본 과업 시스템에서 리스크를 고려한 입찰 타당성을 예측 방법의 적절성 여부		
보 기	응답자 수	비 율 (%)
① 적절	9	90%
② 부적절	1	10%

상기와 같이 본 과업의 시스템을 시현 및 사용해 본 결과 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들은 본 과업 시스템에서 리스크를 고려한 입찰 타당성 예측 방법의 적절성 여부에서 적절하다고 응답한 사람은 9명 90%이고, 부적절하다고 응답한 사람은 1명 10%인 것으로 응답하였다. 이에 대한 인터뷰내용 및 사용자 요구사항을 간단히 정리해 보면 다음과 같다. 현재 소수의 EPC 기업에서는 플랜트 사업을 수행하면서 적자를 보는 기업들이 생기고 있으며, 이는 입찰과정 중 어떤 리스크들이 존재하고 있는지의 여부는 심각하게 고려하고 있지 않은 결과라고 응답하였다. 또한 저가 수주 경쟁은 플랜트 업계에서 리스크 관리를 못하고 있는 대표적인 사례라고 응답하였다. 본 과업 시스템의 정량 및 정성 위험을 구분 및 고려하여 입찰 타당성을 분석하는 방법은 현업에서도 필수적으로 참고할 만하고 EPC기업 관점이라면 당연히 필요하다고 요구하였다.

본 과업 시스템의 추가 요구사항
요구사항
시스템 상의 표준화는 불필요, 본사 시스템과 연동성 고려

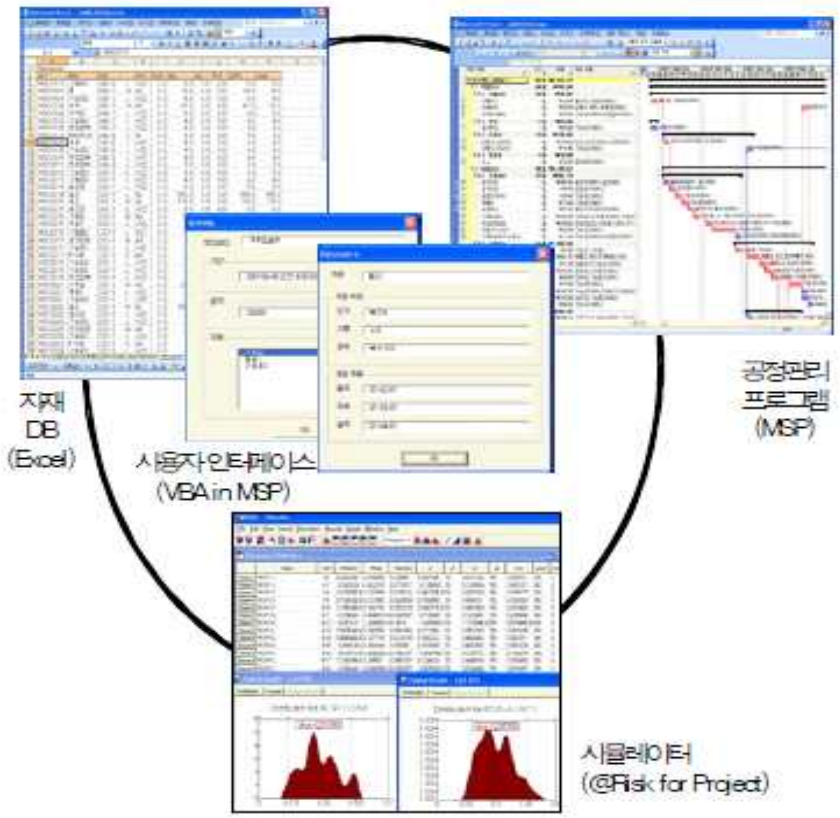
상기와 같이 본 과업의 시스템을 테스트 해본 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들의 추가적인 요구사항은 다음과 같이 응답하였다. 첫째, 본 과업 시스템 상에서 위험요인, 입찰 참여여부 평가, CBS 모델링 등은 프로젝트 특성 및 발주자 특성에 따라 변화 가능성이 존재함으로 표준화되어 제공할 필요는 없다. 둘째, Excel-Based Stand-Alone 형식의 시스템을 본사 Web-Based 시스템과 어떤 방법으로 연동시킬지에 대한 고려가 필요하다. 따라서 본 과업에서는 시스템은 상기의 예비 사용자들의 시스템 테스트를 통하여 사용자 요구사항을 반영하여 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』을 베타버전으로 개발하였다.

본 과업에서 개발한 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』베타버전을 현업에서 활용 시 논리의 오류 및 현장 적용성 검증을 위해 Test Bed를 실시하였다. Test Bed 실시로 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 상에서 존재하고 있는 논리의 오류를 수정 및 보완하였다. 또한 현업에서 입찰비용 업무를 담당하고 있는 실무자들을 상대로 개발 중 시스템을 테스트 하여 사용자들의 요구사항을 조사 및 반영하였다.

(2) 전문가 시스템 타당성 및 신뢰성 검토

현재 국내 해외 플랜트 EPC 건설회사의 경우 PMIS(Project Management Information System), EVMS(Earned Value Management System), ERP(Enterprise Resource Planning), CIC(Computer Integrated Construction) 등을 이용하여 사업관리 부분에 국한적으로 시스템을 사용하고 있다. 따라서 본 과업에서 구축된 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』의 주요 Tool인 Excel, @RISK, VBA 등의 소프트웨어를 활용하여 구축된 시스템을 조사하여 본 과업 개발 시스템의 타당성 및 신뢰성을 검토해 보고자 함이다.

첫째, 『건설공사 자재관리시스템』은 Microsoft Project(이하: MSP)와 @RISK for Project, VBA를 활용하여 건설공사 시 공급사슬의 중요한 부분을 차지하는 자재를 중심으로 공급사슬관리를 지원하는 프로토타입 시스템을 구축하였다.

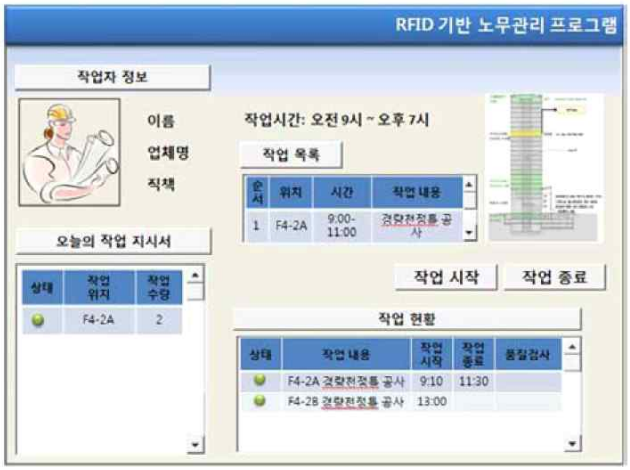


[그림 2.3.1] 건설공사 자재관리시스템

건설공사 자재관리시스템은 건설공사 프로젝트를 중심으로 형성된 공급사슬 업무 네트워크의 모든 참여자가 상호협력을 통하여 자재, 인력, 장비, 서비스, 정보, 자금 등의 흐름을 통합하고 최적화하여 프로젝트를 성공적으로 완성하기 위한 협력적 공사 계획 및 관리 시스템을 개발하였다.

둘째, 『RFID기반 건축마감공사 노무관리 프로토타입』 시스템은 Microsoft Excel

과 VBA를 활용하여 건축마감공사 시 현장 노무관리에 필요한 정보를 실시간으로 제공하여 관리자의 주요 의사결정을 지원하여 관리자의 업무생산성 및 작업자의 작업생산성 향상을 위한 실시간 노무관리 시스템을 구축하였다.



[그림 2.3.2] RFID기반 건축마감공사 노무관리 프로토타입 시스템

RFID기반 건축마감공사 노무관리 프로토타입 시스템은 건축마감공사에서 노무자 정보를 이름, 소속업체, 직위 등을 포함하며 일일 공정표에 따른 작업지시사항 및 작업 목록 현황을 입력하게 된다. 또한 노무자별 실시간 위치가 도면상에 나타나므로 일일 공정표대로 작업을 제 위치에서 수행하고 있는 지 여부와 투입인원을 확인할 수 있도록 시스템을 개발하였다.

셋째, 『공동주택 신재생 에너지 적용 평가 프로그램』은 Microsoft Excel과 VBA를 활용하여 공동주택에 신재생 에너지 적용을 계획하는데 있어 재생 에너지 공급 의무량을 산정하고 적용 가능한 신재생 에너지 용량 및 우선순위에 따른 신재생 에너지 대안의 선정이 가능한 프로그램을 구축하였다.



[그림 2.3.3] 공동주택 신재생 에너지 적용 평가 프로그램

공동주택 신재생 에너지 적용 평가 프로그램은 공동주택 단지를 대상으로 신재생 에너지를 적용할 때 대상 건물의 신재생 공급 의무량을 파악하고, 이를 달성하기 위한 설계 대안 중 건물에 적합한 대안을 선정할 수 있는 신재생 적용 프로세스 평가 프로그램을 구축하였다.

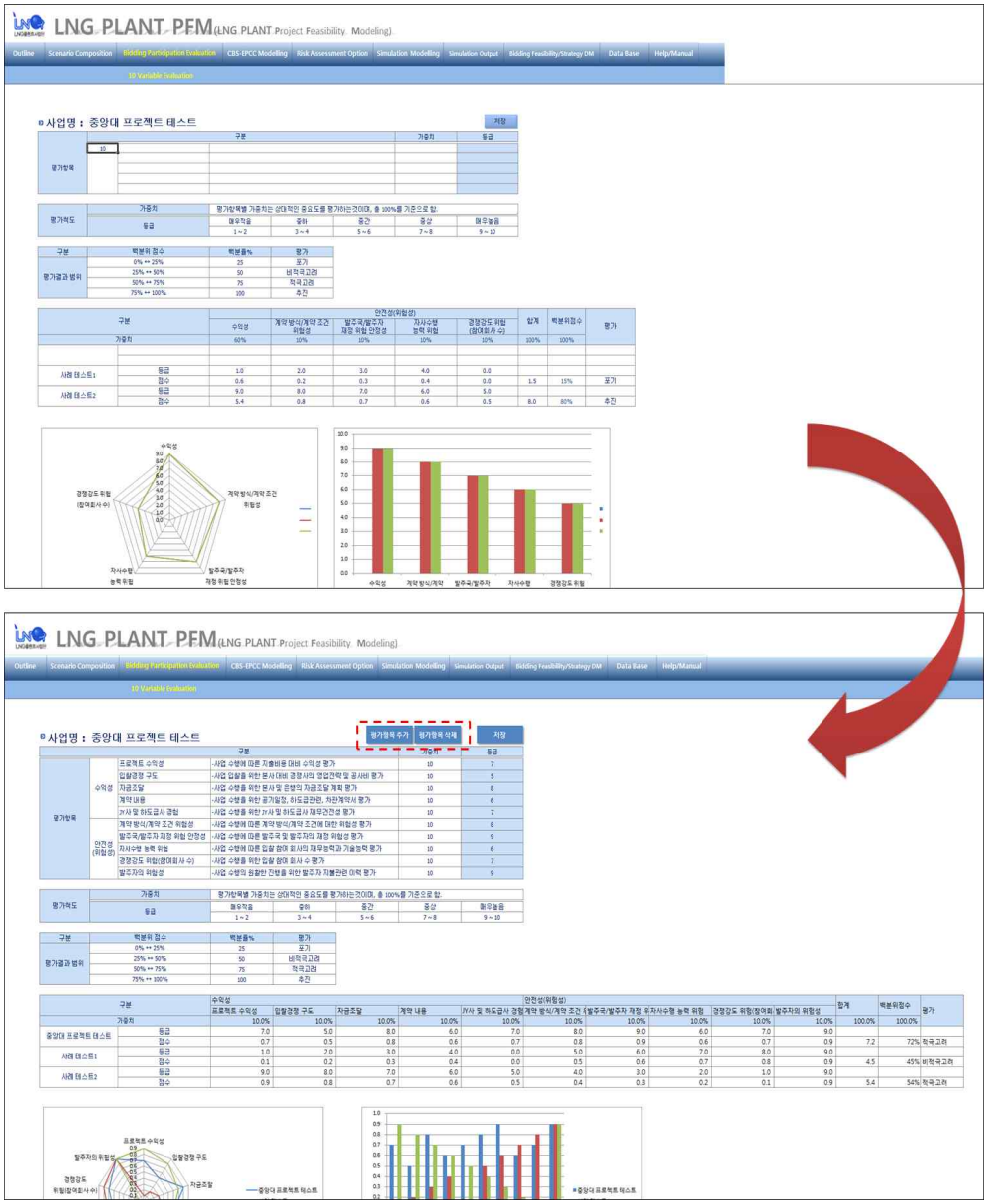
상기의 시스템들을 통하여 현재 건축 및 건설업계에서는 @RISK, Excel, VBA 등의 Tool을 통하여 별도의 Stand-Alone 시스템을 개발 및 활용하고 자재관리, 노무관리, 에너지 관리 등을 수행하고 있다. 하지만 사업비 추정 및 사업 타당성 평가에 관련한 시스템 활용은 미진한 상태라 할 수 있다. 따라서 본 과업인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 상기의 사례들과 같이 @RISK, Excel, VBA 소프트웨어를 활용하여 총사업비 및 EPCC 단계별 비용을 예측하는 시스템으로 개발하고자 한다.

기존 1단계(1차년도, 2차년도) 및 2단계(3차년도, 4차년도), 3단계(5차년도)에서 도출된 연구 주요 결과들을 바탕으로 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』의 구조를 완성하였으며, 시스템의 구조를 통하여 본 과업 시스템의 실시설계를 확정 및 이를 제시하였다. 또한 본 과업의 최종 결과물인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』을 위해 건축 및 건설분야에서 @RISK, Excel, VBA 소프트웨어를 활용하여 시스템으로 개발된 사례를 통하여 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』의 타당성 및 신뢰성을 검토하였다.

2. 전문가 시스템 수정 보완

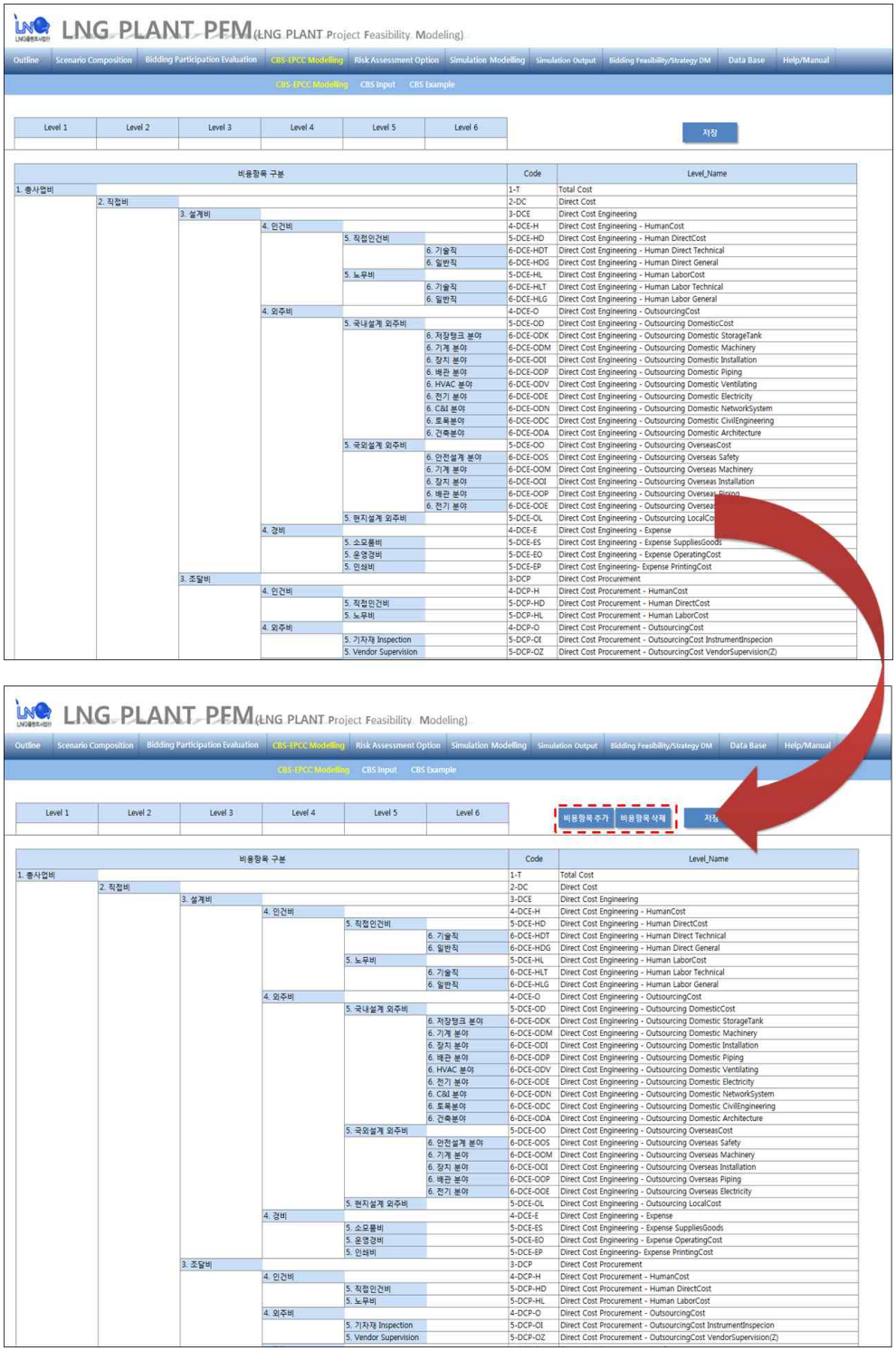
본 과업에서 연구 및 진행된 논리로 총 다섯 가지의 방법으로 첫째, 주요 위험요인 3구간 단순예측, 둘째, 비용항목에 따른 비용변동 범위를 설문자료로 추정, 셋째, 비용항목에 따른 비용변동 범위를 전문가 설문에 의한 추정, 넷째, 위험요인에 따른 비용변동 범위를 설문자료로 추정, 다섯째, 위험요인에 따른 비용변동 범위를 전문가 설문에 의한 추정으로 분석하는 시뮬레이션을 구축하여 정량적 위험요인에 따른 위험평가 모델을 개발하였다. 따라서 본 과제인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』의 추후 현업에서 활용 시 논리의 오류 및 현장 적용성 검증을 위해 Test Bed를 실시하였으며, 이는 다음과 같다.

첫째, 입찰 참여여부 평가(Bidding Participation Evaluation)에서는 현업에서 현재 사용하고 있는 방법이 본 과업 시스템과 상이하여 관련 전문가를 통하여 시스템 상의 논리의 오류 및 현장 적용성의 Test Bed를 실행하였으며, 이는 다음과 같다.



입찰 참여여부 평가는 수익성과 안전성(위험성)을 바탕으로 10변수를 본 시스템에서 확정되어 제공하였지만, 현업에서는 더 많은 변수가 고려되어야 한다. 따라서 수익성, 안전성(위험성), 환경성, 기타 등으로 더 많은 변수의 입찰 참여여부 평가가 가능하도록 사용자가 직접 평가 항목을 수정 및 삭제 할 수 있도록 수정 및 보완하였다.

둘째, 생애주기(EPCC) 비용 분석(CBS-EPCC Modelling)에서는 현업에서 현재 사용하고 있는 CBS 형식 및 종류가 본 과업 시스템과 상이하여 관련 전문가를 통하여 시스템 상의 논리의 오류 및 현장 적용성의 Test Bed를 실행하였으며, 이는 다음과 같다.



생애주기(EPCC) 비용 분석(CBS- EPCC Modelling)은 CBS를 1Level부터 6Level까지 세분화하여 본 시스템에서 확정되어 제공하였지만, 현업에서는 프로젝트의 특성, 발주자의 요구, 본사 특성에 따라서 비용분류체계가 동일하지 않고 상이하여 이를 고려하여야 한다. 따라서 기존 본 과업에서 제공되는 CBS의 각 Level 별로 비용항목을 추가 및 삭제가 가능하도록 사용자가 직접 CBS 비용항목을 수정 및 삭제 할 수 있도록 수정 및 보완하였다.

셋째, 사업타당성 평가(Risk Assessment Option)에서는 현업에서 현재 사용하고 있는 입찰 타당성 예측은 본 과업 시스템과 같이 @RISK를 통하여 주요 위험요인 3구간 단순 예측, 비용항목의 비용 변동 범위 추정(설문자료 기반, 전문가추정 기반), 위험요인의 변동 범위 추정(설문자료 기반, 전문가추정 기반)의 정략적 위험 평가 방법론을 적용하지 못하고 있다. 따라서 관련 전문가를 통하여 본 과업 시스템의 현장 적용성의 Test Bed를 실행한 결과 매우 활용성이 높고 확률적 분석이 가능하여 매우 유용하게 사용 될 수 있을 것이라 평가를 받았다.

제3장 최종 연구개발 성과 및 사용지침

1절 사업계획 전문가 시스템 개발 내용

본 과업은 3단계 6차년도에서 제시하는 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』개발이 최종 목표이다. 이를 위해 2차년도 시나리오 기반의 재무적 타당성 평가 모듈 구축, 3차년도 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈, 4차년도 시나리오 기반 의사결정 모듈(시뮬레이션)을 연구 및 구축하였으며, 이를 바탕으로 5차년도 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입을 구축하였다. 상기의 1 단계, 2단계 및 3단계 부분에서 진행된 연구를 통해서 시스템의 수정/보완 및 개발을 수행하였다. 상기와 같이 2차년, 3차년, 4차년, 5차년도 연구를 통해 진행된 개발 방법을 설명하면 다음과 같다.

1. 시스템 개발 방법

첫째, 2차년 시나리오 기반의 재무적 타당성 평가 모듈은 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공(시운전 포함) 단계별로 조사된 위험요인에 대한 비용 변동률을 설문을 통해 조사하였다. 또한, LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고, 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 위험요인 발생에 따른 비용의 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 모듈을 구축하였다.

둘째, 3차년 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈은 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별로 위험요인을 조사하고, 조사된 위험요인에 대해 발생확률 및 영향도를 조사 및 분석한다. 또한, LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 위험요인의 발생확률과 영향도를 고려한 비용 변동범위를 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 모듈을 구축하였다.

셋째, 4차년 시나리오 기반 의사결정 모듈(시뮬레이션)은 2차년 및 3차년 연구를 통해 도출된 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 위험요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 구분하였다. 구분된 위험요인을 고려하여 시나리오를 구성하였으며, 정성적 위험요인에 대해 발생확률 및 영향도를 조사 및 분석한다. 또한, 정량적 위험요인은 LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 주요 위험요인 변동범위 추정, 정량적 위험요인 변동범위 추정, 정량/정성 위험요인 변동범위 추정의 3가지 방법으로 위험요인의 발생확률과 영향도를 고려한 비용 변동범위를 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 구축하였고, 위험평가에 대한 의사결정을 할 수 있게 역방향 의사결정 및 순방향 의사결정을 할 수 있게 모듈을 구축하였다.

넷째, 5차년 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 전단계 연구를 통해 도출된 LNG 플랜트 공사의 설계, 조달, 시공, 시운전 단계별 위험요인을 정량적 위험요인과 정성적 위험요인으로 구분한다. 구분된 위험요인을 고려하여 시나리오를 구성하며, 1

차 위험평가는 정성적 위험요인은 발생확률 및 영향도를 조사 및 분석한다. 또한, 2차 위험평가는 정량적 위험요인을 LNG 플랜트 사례비용을 조사하여 위험요인을 대입하고 확률적 기법인 몬테카를로 시뮬레이션의 @RISK를 통하여 주요 위험요인 3구간 변동범위를 추정, 실적비용의 실적자료와 설문자료로 변동범위를 추정, 위험요인의 과거자료와 설문자료로 변동범위를 추정하는 5가지 방법으로 비용 변동범위를 감액하한비용과 증액상한비용으로 시뮬레이션 할 수 있게 구축하였고, 위험평가에 대한 의사결정을 할 수 있게 역방향 의사결정 및 순방향 의사결정을 할 수 있는 시스템을 개발하였다.

다섯째, 6차년 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 5차년도 연구를 통해 개발된 프로토타입을 바탕으로 VBA를 적용하여 시스템을 개발하였다. 시스템의 주요 내용은 시스템에 대한 소개 및 개요가 있고, 시나리오 구성에서는 단순정보 입력 및 선택하여 1차 시나리오를 구성할 수 있다. 또한 설계, 구매/조달, 시공, 시운전의 각 단계별 위험 요인을 정량 및 정성 위험요인으로 분류하여 2차 시나리오를 구성할 수 있다. 입찰 참여여부 평가에서는 수익, 안전(위험), 환경, 기타 요인들에 대한 가중치 계산을 실행하여 입찰 참여에 대한 개략적인 평가를 수행할 수 있다.

생애주기(EPCC) 비용 분석에서는 해당 프로젝트의 특성에 맞게 CBS를 설계, 구매/조달, 시공, 시운전 단계로 구성할 수 있으며, 해당 항목에 대한 비용을 입력 할 수 있다. 재무적 사업타당성 평가에서는 전 단계에서 수행한 시나리오에 따른 위험요인 구분-입찰 참여여부 평가-생애주기(EPCC) 비용 분석을 바탕으로 @RISK를 통하여 주요 위험요인 3구간 단순예측 방법, 비용항목의 비용 변동 범위 추정(설문자료 기반, 전문가추정 기반) 방법, 위험요인의 변동 범위 추정(설문자료 기반, 전문가추정 기반) 방법을 선택하여 시뮬레이션을 수행 할 수 있게 시스템을 구축하였다. 입찰타당성/전략 의사결정에서는 상기의 모든 분석과정을 통해 분석된 결과물을 통해 순방향 의사결정 및 역방향 의사결정을 수행할 수 있는 시스템을 구축하였다.

2. 시스템 개발 세부내용

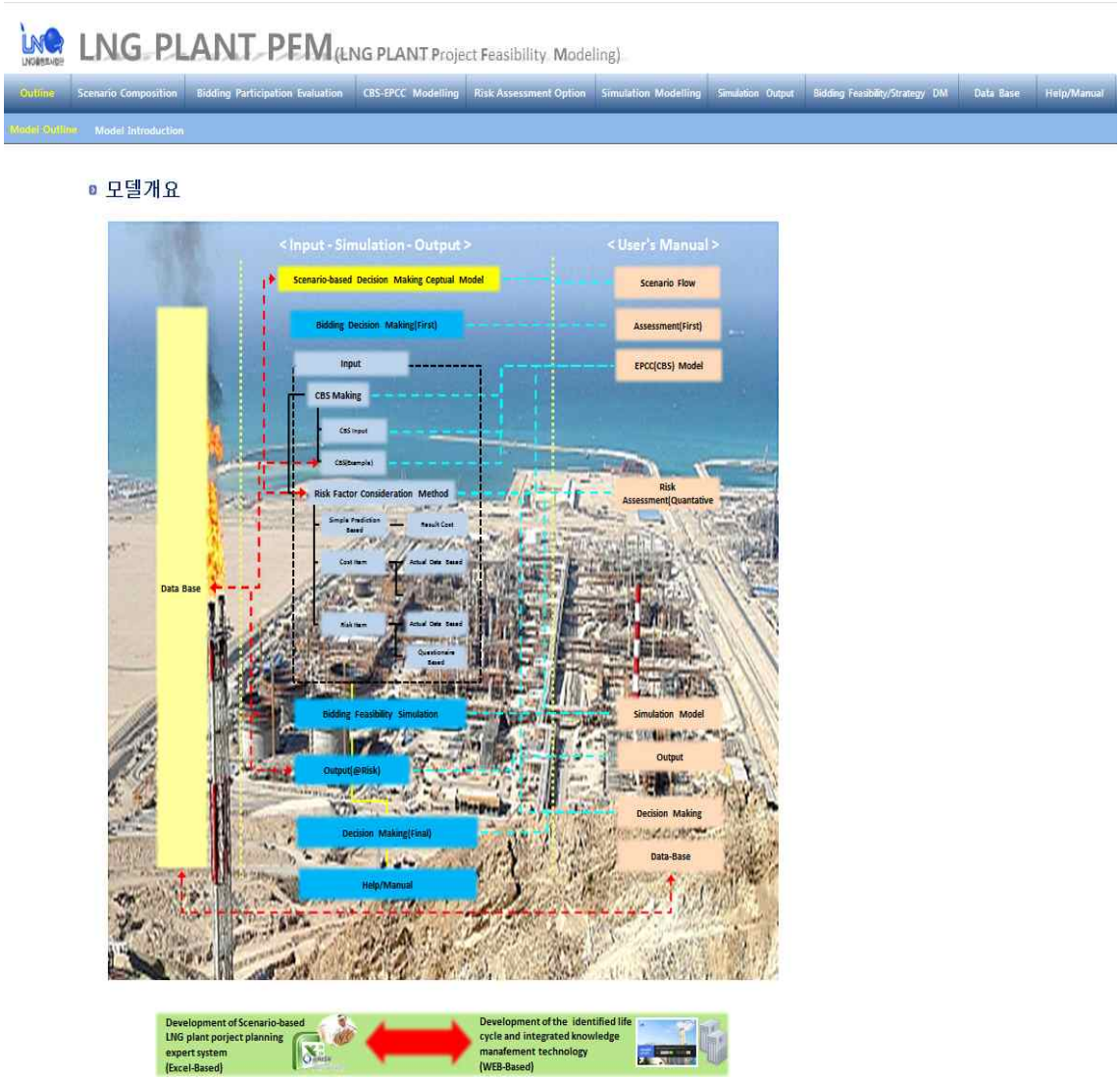
본 과업의 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 엑셀을 기반으로 @RISK와 VBA를 이용하여 개발된 시스템이다. 시스템의 체계는 엑셀로 구성하여 2차 위험평가에서 @RISK를 이용하여 총공사비 대비 95%tile 범위 내 하한비용과 95%tile 범위 내 상한비용을 위험요인을 고려하여 분석하게 구성되었다. 또한 VBA를 활용하여 본 과업의 3단계 5차년도의 연구결과물인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입 전체과정을 단순조작으로 분석하게 개발되었다. 또한 엑셀을 기반으로 제작하였으나 설정에 따라 엑셀의 리본메뉴를 표시하여 엑셀처럼 사용하거나 엑셀의 리본메뉴를 표시하지 않고 별개의 프로그램처럼 사용이 가능하도록 구축하였다.

본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 다수의 엑셀파일로써 메인, 리스크 구분, 시나리오구성, 1차 위험평가-정량적 분석(주요요인 3구간 변동 추정), 2차 위험평가-정량적 분석(실적비용의 변동추정-설문자료), 2차 위험평가

-정량적 분석(실적비용의 변동추정-실적자료), 2차 위험평가-정량적 분석(위험 요인의 변동추정-설문자료), 2차 위험평가-정량적 분석(위험요인의 변동추정-과거자료), 타당성 분석용 시뮬레이션, 의사결정, 데이터베이스로 구성되어 있다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 5차년도의 연구성과를 시스템화하여 한 개에 엑셀파일로 제작된 시스템으로써 개요(Outline), 시나리오 구성(Scenario Composition), 입찰 참여 평가(Bidding Participation Evaluation), 비용분류체계-EPCC 모델링(CBS-EPCC Modelling), 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option), 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling), 시뮬레이션 결과(Simulation Output), 입찰 타당성/전략 의사결정(Bidding Feasibility/Strategy DM), 데이터베이스(Data Base), 도움말/설명서(Help/Manual)의 항목으로 구성되어 있다.

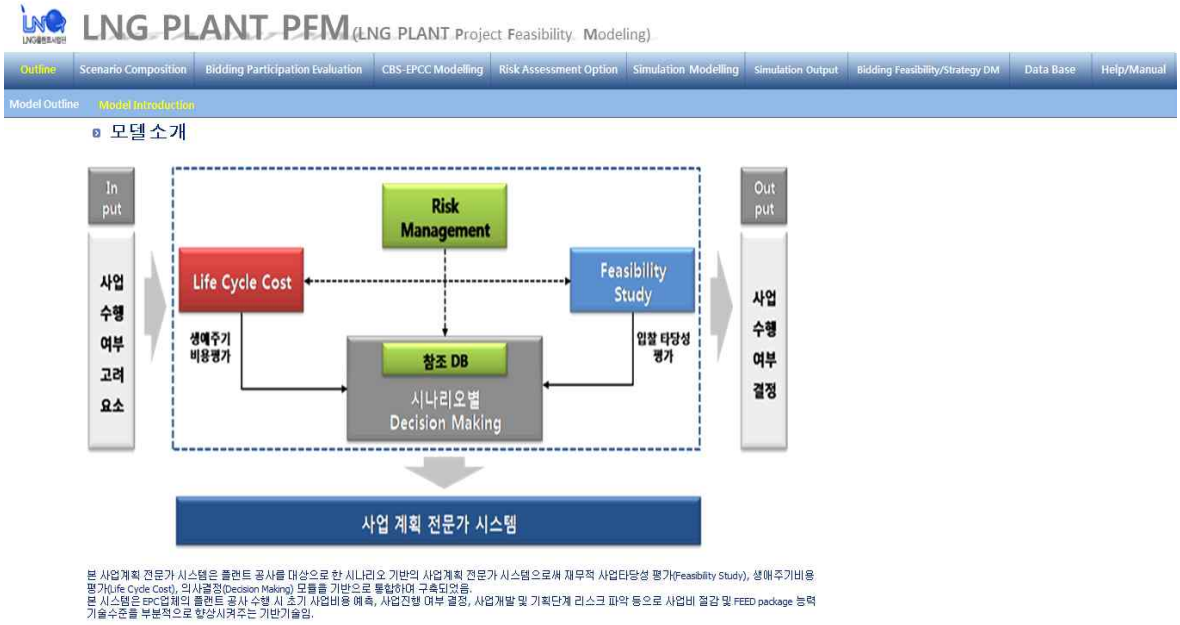
본 과업 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입의 내용을 모두 포함하도록 제작되었으며 전문가의 자문을 통해 추가로 항목을 구성하였다. 상기와 같은 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전의 상세내용을 정리하면 다음과 같다.

개요(Outline)는 5차년도 연구결과인 시스템의 기초적인 로직을 제공하는 단계로써 모델의 개요(Model Outline), 모델의 소개(Model Introduction)의 세부항목으로 구성되어 있다. 모델의 개요(Model Outline)화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.1] 모델의 개요화면

모델의 개요는 시스템의 전체적인 구성 및 프로세스를 파악할 수 있도록 구성되어 있다. 시스템의 프로세스는 시나리오 구성, 비용분류체계 설정, 위험요인 분류, 10변수 평가, 위험요인 분석, 시뮬레이션, 입찰 타당성/전략 의사결정의 순서로 진행되며 모든 사항은 데이터베이스에 저장되어 추후 열람이 가능하다. 모델의 소개(Model Introduction)화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.2] 모델의 소개화면

모델의 소개는 시스템의 논리를 파악 할 수 있도록 구성되어 있다. 본 사업계획 전문가 시스템의 대상은 플랜트 공사로써 재무적 사업타당성 평가(Feasibility Study), 생애주기 비용 평가(Life Cycle Cost), 의사결정(Decision Making) 모듈을 기반으로 구축되었다. 또한, EPC 업체의 플랜트 공사 수행 시 초기 사업비용 예측, 사업진행 여부 결정, 사업개발 및 기획단계 위험요인 파악 등으로 사업비 절감 및 FEED Package 능력기술수준을 부분적으로 향상시켜주는 기반기술이다.

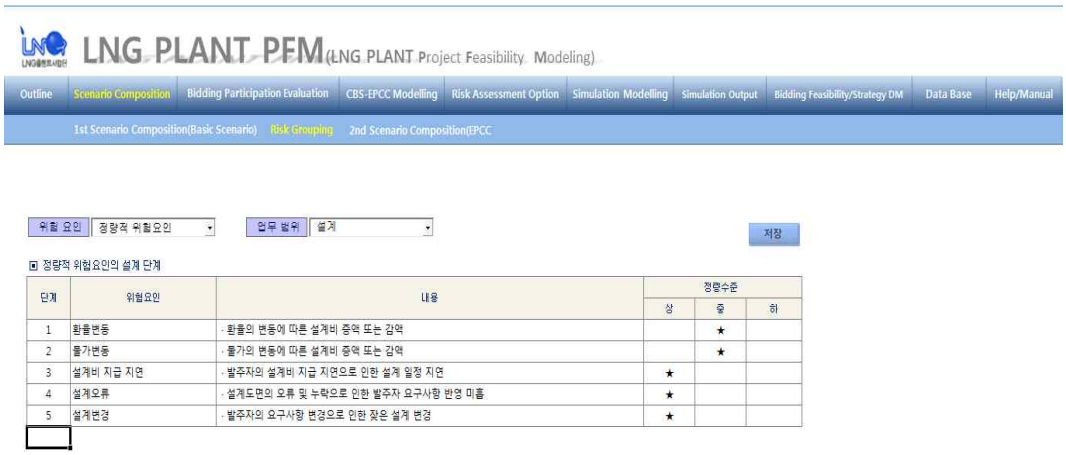
시나리오 구성(Scenario Composition)은 1차 시나리오 구성(1st Scenario Composition(Basic Scenario)), 위험요인 분류(Risk Grouping), 2차 시나리오 구성(2nd Scenario Composition(EPCC Scenario))으로 구성되어 있다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입에서는 시나리오 구성과 위험요인 구분을 별도의 파일로 구축하였다. 반면 본 과업의 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전에서는 의사결정 나무(Decision Tree)의 이론을 이용하여 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식 조건, 사업수행 시기를 구성한 1차 시나리오, 건설의 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning) 단계별로 위험요인을 조사하여 정량적 위험 및 정성적 위험으로 구분한 리스크 구분, 건설의 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning) 단계별로 조사된 위험을 구성한 2차 시나리오를 통합하여 한 개의 항목으로 구성되었다. 상기와 같이 구성된 시나리오 구성(Scenario Composition)의 세부사항은 다음과 같다.

1차 시나리오 구성(1st Scenario Composition(Basic Scenario))화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.3] 1차 시나리오 구성화면

1차 시나리오 구성은 사업의 기본적인 정보를 입력하도록 구성되어 있다. 입력하는 정보는 사업명, 사업수행 지역 및 국가, 사업 종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/조건, 사업수행시기로 구성된다. 입력된 정보는 저장버튼을 클릭하여 DB에 저장할 수 있으며 필요한 경우 불러오기 버튼을 클릭하여 DB에 저장된 정보를 확인 가능하다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입에서는 1차 시나리오를 단순히 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/조건, 사업수행시기 등을 알아볼 수 있도록 색을 변경하는 방식으로 구성하였으나, 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전에서는 VBA 및 MS SQL을 이용하여 리스트박스로 지역, 국가, 사업종류, 계약방식/조건을 선택하고 체크박스로 업무범위를 설정 가능하게 구축하였다. 위험요인 분류(Risk Grouping)화면은 다음과 같음.



[그림 3.1.4] 위험요인 분류화면

위험요인 분류는 1차 시나리오 구성에서 입력한 사업의 기본정보를 바탕으로 건설의 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning)의 업무범위에 해당되는 위험요인을 관리할 수 있도록 구성되어 있다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입에서는 위험요인의 확장을 고려하여 공란으로 구성하였으나 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 VBA를 이용하여 현재 표시된 위험요인 하단에 숫자를 기입하면 위험요인을 추가하여 다음단계에 연동되도록 구축 되었다. 위험요인은 기본적으로 제공되는 항목 외에 사용자가 필요한 위험요인을 추가하거나 삭제할 수 있다. 사용자의 필요에 따라 구성된 위험요인은 정량적인 수준을 평가하게 된다. 업무범위에 해당되는 위험요인의 구성이 종료되면 저장버튼을 클릭하여 DB에 저장되며 위험요인의 평가단계에 적용된다. 2차 시나리오 구성(2nd Scenario Composition(EPCC Scenario))화면은 다음과 같다.



▫ 사업명 : 중앙대 프로젝트 테스트

지역	국가	사업종류	업무범위	사업특성	계약방식/조건	사업수행시기	사업 수행 단계별 위험요인				
							위험요인	설계	구매/조달	시공	시운전
아시아	호주	산업플랜트	기획	감리수준	자사수행능력	2014	정량적 위험요인	환율변동	환율변동	환율변동	환율변동
			설계					물가변동	기자재 물가변동	물가변동	시운전 물가변동
			구매/조달					설계비 지급 지연	조달비 지급 지연	시공비 지급 지연	시운전비 지급 지연
			시공					설계오류	운송비 변동	하도급 업체 기술력 부족	시운전 기간 연장
			시운전					설계변경	주요 기기 납기 지연	시공 자재 물량 변동	기계장치 부품파손 또는 오작동 발생
			운영						도착 기자재 파손	재시공 발생	
									관세 관련 비용 추정 오류	자체상금 발생	
									기자재 물량 변동	시공일정 지연 및 돌관공사 발생	
									기자재 하자처리비	노무자 노임 증가	
										시공 중 불가항력 발생	
										시공 하자처리비 증감	
							정성적 위험요인	발주자 추천 구매업체 부적합	발주자 추천 시공업체 부적합	시운전 계획 수립 미흡	발주자 신뢰도 부족
								발주자 특정 요구 사항 발생	인허가 조건 변경	시운전 절차서 미흡	협력사 신뢰도 부족
								화물운송 보험 조건 적정성	시방서 적용 기준 부적합	시운전 업무 혼선 발생	설계도서 승인지연
								특정국 선박이용 문제	하도급 업체와 계약조건 부적합		소프트웨어 활용 미흡
								RFQ 내용 부적합	조직구성 적정성		설계달성도 부적합
								기술인력 조달계획 부적합	사고 대피계획 부적합		특허권 부적합 사용
								세관요원 업무 방해	근로자 파업 발생		HSE 검토 오류
									치안 상태 부적합		현지 관련 법규 검토 오류
									주변 민원 발생		
									기후 문제 발생		
									가설용수 및 가설전력 부족		
									인력동원 계획 오류		
									장비운전 계획 오류		

[그림 3.1.5] 2차 시나리오 구성화면

2차 시나리오 구성은 건설의 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning) 단계별로 조사된 위험요인을 바탕으로 구성되어 있다. 2차 시나리오는 1차 시나리오 구성에서 입력한 정보와 위험요인 분류에서 구성된 위험요인을 정리하여 확인할 수 있도록 구성되어 있다. 사용자는 정리된 2차 시나리오를 확인하여 프로젝트의 일반적인 정보와 고려해야 하는 위험요인에 대해 검토할 수 있도록 구성되어 있다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입에서는 위험요인 구분에서 추가되는 위험요인을 반영하기 위해 공란을 마련하였으나

3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 VBA를 이용하여 위험요인의 항목에 따라 위험요인을 표시할 공간을 생성하도록 구축하였다.

입찰 참여 평가(Bidding Participation Evaluation)는 수익성, 안전성과 관련된 10변수를 바탕으로 프로젝트의 수행여부를 개략적으로 판단할 수 있도록 구성되어 있다. 10변수 평가(10 Variable Evaluation)화면은 다음과 같다.



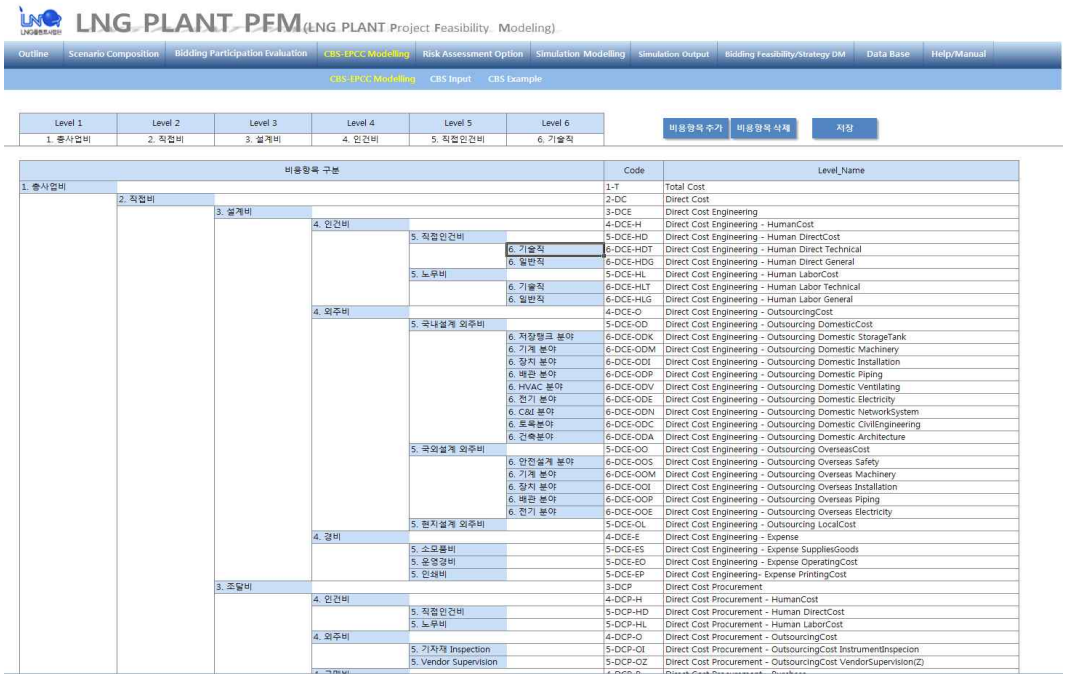
[그림 3.1.6] 10변수 평가화면

10변수 평가는 수익성과 안전성에 관련된 10가지 항목을 기본으로 가중치와 등급을 바탕으로 사업진행 여부를 간략하게 판단할 수 있도록 구성하였다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입에서는 수익성과 안전성을 평가 요소로 2변수 평가 및 5변수 평가로 구성하였으나 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 현업에 종사하는 실무자의 자문을 통하여 2변수 평가 및 5변수 평가를 10변수 평가로 통합하고 변수를 조절 가능하게 구축하여 사용자의 상황에 맞는 평가를 수행할 수 있도록 구축하였다. 10변수 평가에서 기본적으로 제공되는 변수는 프로젝트 수익성, 입찰경쟁 구도, 자금조달, 계약내용, JV사 및 하도급사 경험의 수익성 항목과 계약 방식/계약 조건 위험성, 발주국/발주자 재정 위험 안정성, 자사수행 능력 위험, 경쟁강도 위험(참여회사 수), 발주자의 위험성의 안전성 항목으로 구성되어 있다.

상기 변수들은 다수의 국내 업체의 자료를 바탕으로 공통적으로 고려하는 항목으로 구성하였다. 사용자는 상기의 10가지 변수를 기본으로 추가로 고려하고자 하는 변수를 추가할 수 있으며, 불필요한 변수는 삭제가 가능하도록 구성하였다. 변수의 구성이 종료되면 사

용자는 변수의 가중치를 입력하게 된다. 가중치는 상대적인 중요도를 평가하는 것으로 가중치의 총합은 100이 되어야 한다. 100이 되지 않을 경우 오류 메시지를 출력하게 된다. 가중치를 설정한 후 사용자는 입력한 변수를 평가하여야 한다. 변수 평가는 해당하는 변수가 프로젝트를 수행함에 있어 유리한 정도를 10점 척도로 진행한다. 이때 1~2점은 매우작음, 3~4점은 중하, 5~6점은 중간, 7~8점은 중상, 9~10점은 매우 높음으로 평가하게 된다. 평가가 완료되면 변수의 평가 점수에 가중치를 곱한 값의 총합을 백분위 점수로 환산한다. 도출된 백분위 점수에 따라 프로젝트의 사업진행 여부를 판단한다. 평가결과 범위는 포기(0%~25%), 비적극고려(25%~50%), 적극고려(50%~75%), 추진(75%~100%)으로 구분되어 사용자가 사업진행의 여부를 판단할 수 있는 자료로 사용된다. 평가결과 도출시 현재 진행하고 있는 프로젝트와 동일한 지역, 국가, 사업대상으로 설정한 유사한 프로젝트를 표시하여 비교해 봄으로써 원활한 의사결정을 할 수 있다. 또한 변수에 대한 평가결과를 도식화 하여 영향정도를 쉽게 파악할 수 있도록 구성한다.

비용분류체계-EPCC 모델링(CBS-EPCC Modelling)은 프로젝트의 비용항목체계(Cost Break-down Structure:이하 CBS)를 구성하는 단계로써 CBS-EPCC Modelling, CBS Input, CBS Example의 항목으로 구성되어 있다. 상기와 같은 비용분류체계-EPCC 모델링(CBS-EPCC Modelling)의 세부사항은 다음과 같다. CBS-EPCC Modelling화면은 다음과 같다.

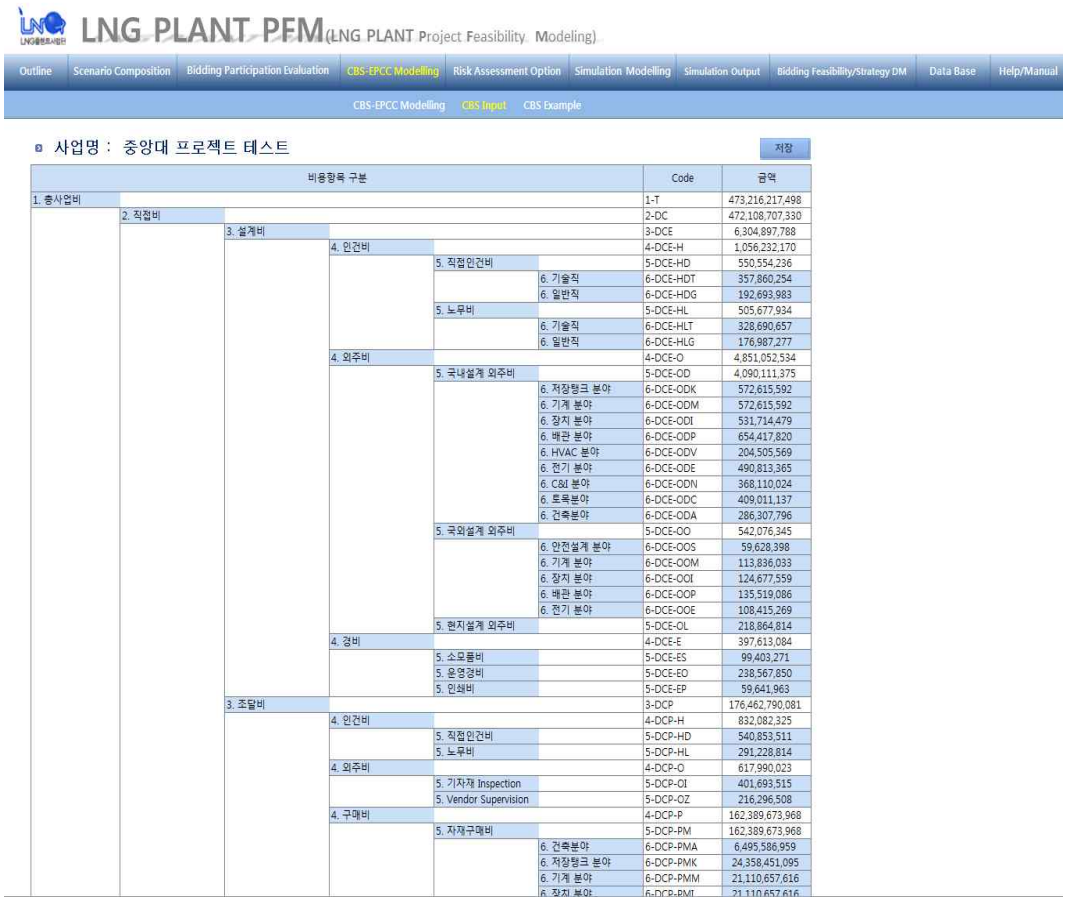


[그림 3.1.7] CBS-EPCC Modelling화면

CBS-EPCC Modelling단계에서는 사용자가 프로젝트의 특성에 적합한 설계(Engineering), 구매/조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전(Commissioning) 단계별

로 비용분류체계를 구성할 수 있도록 제작되었다. 제공되는 비용항목은 1~5차년도 연구수행 결과로써 국내 건설사의 비용자료를 바탕으로 플랜트사업의 비용분류체계를 구성 및 코드화 한다. 비용항목체계는 비용항목 구분에 따라 총 6개의 Level로 비용항목을 구분하였으며, Level 별 각 항목은 다음과 같다. Level 1은 모든 비용을 포함하는 총사업비(Total Cost : T)로 구성되어 있다. Level 2는 직접비(Direct Cost : DC), 간접비(Overhead Cost : OC), 금융비용(Financing Cost : FC), 세금(Tax : TA), 이익(Profit : PR)로 구성되어 있다. 3 Level은 직접비(DC)에서 설계비(Direct Cost Engineering : DCE), 구매/조달비(Direct Cost Procurement : DCF), 시공비(Direct Cost Construction : DCC), 시운전비(Direct Cost Commissioning : DCS)로 구성되어 있으며, 간접비(OC)에서 사업본부간접비(Overhead Cost Head-office : OCH), 일반관리비(Overhead Cost General-administrative : OCG), 대리인비(Overhead Cost Agency : OCA)로 구성되어 있음. 4 Level - 6 Leve은 설계비(DCE), 구매/조달비(DCF), 시공비(DCC), 시운전비(DCS)로 세부내용이 구성되어 구축되었다.

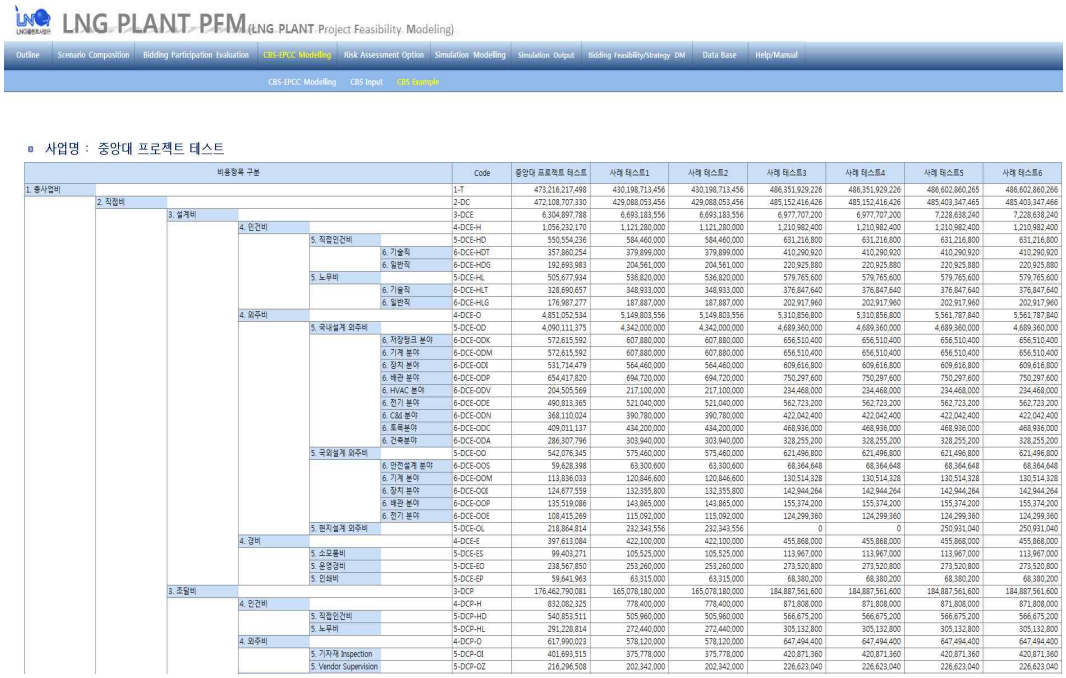
또한 모든 비용항목은 해당되는 Level과 동일한 개수의 코드를 할당하였다. 본과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 CBS 항목의 일반항목을 제시하였으나 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 사용자가 기본적으로 제공되는 비용항목에 원하는 비용항목을 추가하거나 불필요한 비용항목을 삭제하여 프로젝트에 적합한 비용분류체계를 구성할 수 있다. 비용항목의 추가 및 삭제 시 현재 작업하고 있는 항목을 한눈에 파악할 수 있도록 상단에 현재 커서가 위치하고 있는 비용항목을 Level별로 표시하도록 구성한다. CBS-EPCC Modelling 단계에서 저장버튼을 클릭하면 현재까지 구성한 비용분류체계를 DB에 저장하고 CBS Input 단계를 통해 비용을 입력하게 된다. CBS Input화면은 다음과 같다.



비용항목 구분						Code	금액
1. 총사업비						1-T	473,216,217,498
	2. 직접비					2-DC	472,108,707,330
		3. 설계비				3-DCE	6,304,897,788
			4. 인건비			4-DCE-H	1,056,232,170
				5. 직접인건비		5-DCE-HD	550,554,236
					6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254
					6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983
				5. 노무비		5-DCE-HL	505,677,934
					6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657
					6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277
			4. 외주비			4-DCE-O	4,851,052,534
				5. 국내설계 외주비		5-DCE-OD	4,090,111,375
					6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592
					6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592
					6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479
					6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820
					6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569
					6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365
					6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024
					6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137
					6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796
				5. 국외설계 외주비		5-DCE-OO	542,076,345
					6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398
					6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033
					6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559
					6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086
					6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269
				5. 현지설계 외주비		5-DCE-OL	218,864,814
			4. 경비			4-DCE-E	397,613,084
				5. 소모품비		5-DCE-ES	99,403,271
				5. 운영경비		5-DCE-EO	238,567,850
				5. 인쇄비		5-DCE-EP	59,641,963
		3. 조달비				3-DCP	176,462,790,081
			4. 인건비			4-DCP-H	832,082,325
				5. 직접인건비		5-DCP-HD	540,853,511
				5. 노무비		5-DCP-HL	291,228,814
			4. 외주비			4-DCP-O	617,990,023
				5. 기자재 Inspection		5-DCP-OI	401,693,515
				5. Vendor Supervision		5-DCP-OZ	216,296,508
			4. 구매비			4-DCP-P	162,389,673,968
				5. 자재구매비		5-DCP-PM	162,389,673,968
					6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959
					6. 저장탱크 분야	6-DCP-PMK	24,358,451,095
					6. 기계 분야	6-DCP-PMM	21,110,657,616
					6. 장치 분야	6-DCP-PMI	21,110,657,616

[그림 3.1.8] CBS Input화면

CBS Input은 CBS-EPCC Modelling에서 사용자가 구성한 비용분류체계에 프로젝트의 예상비용을 입력하는 단계이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 CBS 구성항목에 비용을 입력하여 동일한 Excel 파일에 저장하도록 구성하였으나 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 MS SQL을 사용하여 DB에 CBS구성항목별 비용을 저장하도록 구성하였다. 사용자는 비용항목 중 최하위 Level에 비용을 입력하면 상위 Level의 비용을 계산해주게 된다. 비용항목을 입력한 후 저장버튼을 클릭하여 DB에 저장할 수 있다. DB에 저장된 비용분류체계 및 비용은 현재 프로젝트의 정보에 연결되어 저장되고, Scenario Composition에서 원하는 프로젝트를 불러오면 DB에 저장된 값을 불러오도록 구성된다. CBS Example화면은 다음과 같다.

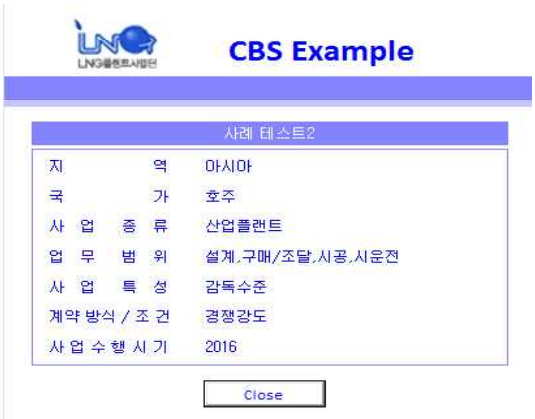


비용항목 구분	Code	중앙대 프로젝트 테스트	사례 테스트1	사례 테스트2	사례 테스트3	사례 테스트4	사례 테스트5	사례 테스트6
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	430,198,713,456	430,198,713,456	486,351,929,226	486,351,929,226	486,602,860,265	486,602,860,266
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330	429,088,053,456	429,088,053,456	485,152,416,426	485,152,416,426	485,403,347,465	485,403,347,466
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788	6,693,183,556	6,693,183,556	6,977,707,200	6,977,707,200	7,228,638,240	7,228,638,240
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170	1,121,280,000	1,121,280,000	1,210,982,400	1,210,982,400	1,210,982,400	1,210,982,400
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236	584,460,000	584,460,000	631,216,800	631,216,800	631,216,800	631,216,800
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254	379,899,000	379,899,000	410,290,920	410,290,920	410,290,920	410,290,920
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983	204,561,000	204,561,000	220,925,880	220,925,880	220,925,880	220,925,880
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934	536,820,000	536,820,000	579,765,600	579,765,600	579,765,600	579,765,600
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657	348,933,000	348,933,000	376,847,640	376,847,640	376,847,640	376,847,640
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277	187,887,000	187,887,000	202,917,960	202,917,960	202,917,960	202,917,960
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534	5,149,803,556	5,149,803,556	5,310,856,800	5,310,856,800	5,561,787,840	5,561,787,840
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375	4,342,000,000	4,342,000,000	4,689,360,000	4,689,360,000	4,689,360,000	4,689,360,000
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592	607,880,000	607,880,000	656,510,400	656,510,400	656,510,400	656,510,400
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592	607,880,000	607,880,000	656,510,400	656,510,400	656,510,400	656,510,400
6. 장치 분야	6-DCE-ODE	531,714,479	564,460,000	564,460,000	609,616,800	609,616,800	609,616,800	609,616,800
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820	694,720,000	694,720,000	750,297,600	750,297,600	750,297,600	750,297,600
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569	217,100,000	217,100,000	234,468,000	234,468,000	234,468,000	234,468,000
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365	521,040,000	521,040,000	562,723,200	562,723,200	562,723,200	562,723,200
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024	390,780,000	390,780,000	422,042,400	422,042,400	422,042,400	422,042,400
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137	434,200,000	434,200,000	468,936,000	468,936,000	468,936,000	468,936,000
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796	303,940,000	303,940,000	328,255,200	328,255,200	328,255,200	328,255,200
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345	575,460,000	575,460,000	621,496,800	621,496,800	621,496,800	621,496,800
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398	63,300,600	63,300,600	68,364,648	68,364,648	68,364,648	68,364,648
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033	120,846,600	120,846,600	130,514,328	130,514,328	130,514,328	130,514,328
6. 장치 분야	6-DCE-OOE	124,677,559	132,355,800	132,355,800	142,944,264	142,944,264	142,944,264	142,944,264
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086	143,865,000	143,865,000	155,374,200	155,374,200	155,374,200	155,374,200
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269	115,092,000	115,092,000	124,299,360	124,299,360	124,299,360	124,299,360
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814	232,343,556	232,343,556	0	0	250,931,040	250,931,040
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084	422,100,000	422,100,000	455,868,000	455,868,000	455,868,000	455,868,000
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271	105,525,000	105,525,000	113,967,000	113,967,000	113,967,000	113,967,000
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850	253,260,000	253,260,000	273,520,800	273,520,800	273,520,800	273,520,800
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963	63,315,000	63,315,000	68,380,200	68,380,200	68,380,200	68,380,200
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081	165,078,180,000	165,078,180,000	184,887,561,600	184,887,561,600	184,887,561,600	184,887,561,600
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325	778,400,000	778,400,000	871,808,000	871,808,000	871,808,000	871,808,000
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511	505,960,000	505,960,000	566,675,200	566,675,200	566,675,200	566,675,200
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814	272,440,000	272,440,000	305,132,800	305,132,800	305,132,800	305,132,800
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023	578,120,000	578,120,000	647,494,400	647,494,400	647,494,400	647,494,400
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515	375,778,000	375,778,000	420,871,360	420,871,360	420,871,360	420,871,360
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508	202,342,000	202,342,000	226,623,040	226,623,040	226,623,040	226,623,040

[그림 3.1.9] CBS Example화면

CBS Example은 본 프로젝트와 관련된 수행된 사례 프로젝트와 비용을 비교해 볼 수 있도록 구성되어 있다. 본 프로젝트와 관련된 수행된 사례 프로젝트는 본 프로젝트와 지역, 국가, 사업대상이 동일한 항목으로써 DB에 저장된 사례 프로젝트에서 검색하여 제시하도록 구성되어 있다.

사례 프로젝트는 본 프로젝트와 유사한 비용을 가지고 있으므로, 사용자는 수행된 사례 프로젝트와 본 프로젝트의 비용을 비교해 봄으로써 비용이 타당하게 책정되었는지 확인할 수 있다. 사례로 제시된 프로젝트의 이름을 클릭하면 프로젝트의 기본적인 정보를 확인 가능하도록 팝업 메시지를 출력한다. 프로젝트 기본정보 팝업 메시지는 다음과 같다.

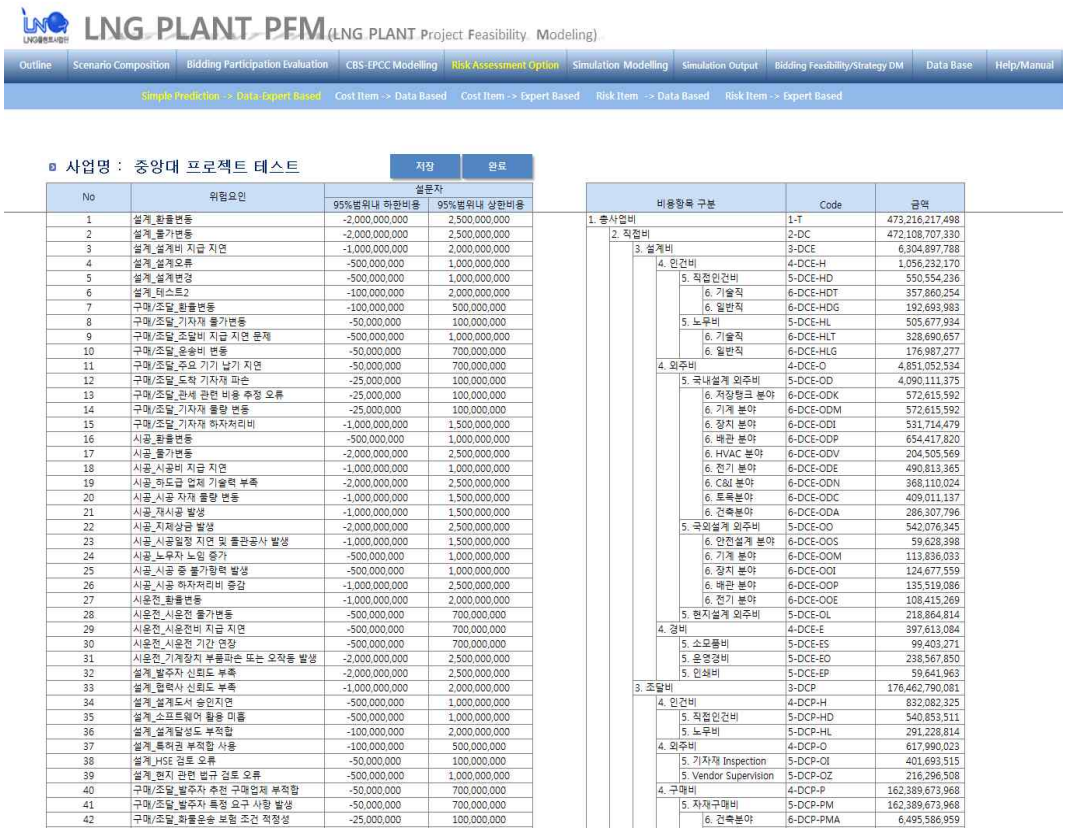


[그림 3.1.10] CBS Example 프로젝트 기본정보화면

팝업메시지는 프로젝트명, 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/조건, 사업수행시기의 항목으로 구성된다.

위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)은 @RISK를 이용한 위험요인 평가를 수행하기 위한 기초 설정을 위한 단계임. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가를 5개의 파일로 분할하여 계산하도록 구축하였으나 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 1개에 파일에 구성되고 5개의 항목을 위험요인 평가 설정에서 통합적으로 설정하도록 구축되었다. 위험요인 평가 설정은 Simple Prediction -> Data-Expert Based, Cost Item -> Data Based, Cost Item -> Expert Based, Risk Item -> Data Based, Risk Item -> Expert Based의 항목으로 구성되어 있다. 상기와 같이 구성된 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 세부사항은 다음과 같다.

Simple Prediction -> Data-Expert Based는 정량적 위험요인을 3구간으로 평균비용을 중심으로 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용을 사용자가 직접 추정하여 분석 및 평가할 수 있게 구성된 모듈로써, 5차년도 연구 성과인 2차 위험평가 모델 중 주요 위험요인 3구간 변동범위 추정 방법을 시스템화 한 항목이다. Simple Prediction -> Data-Expert Based화면은 다음과 같다.



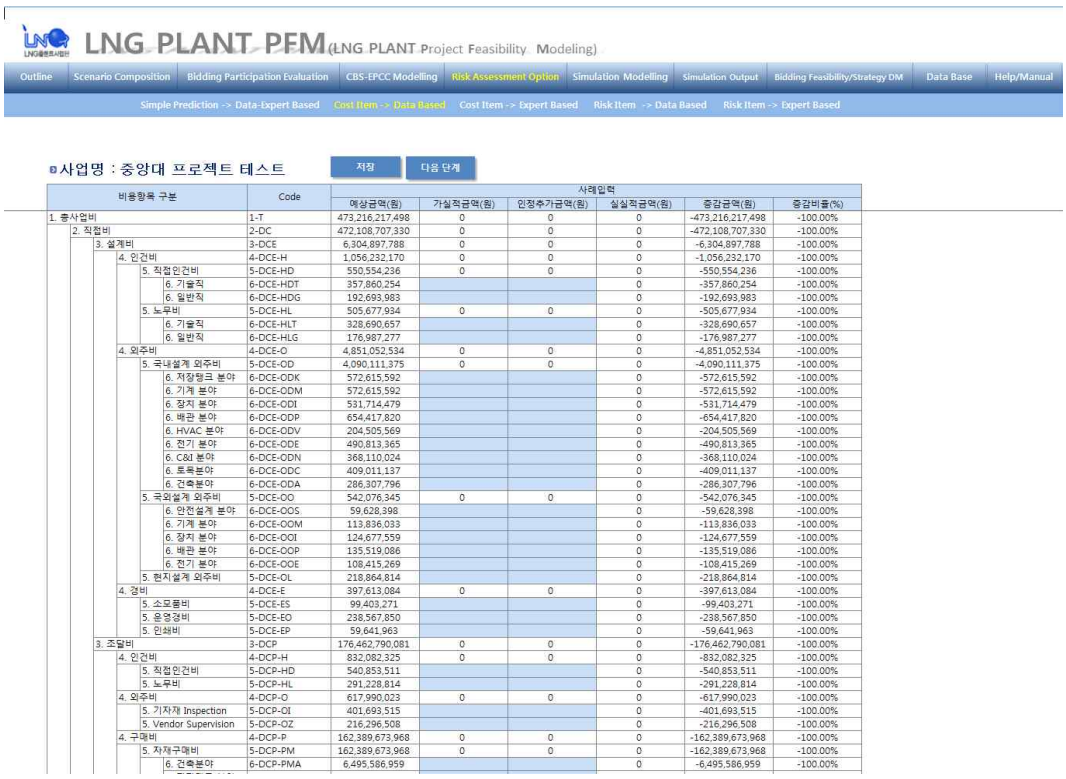
No	위험요인	설문자	
		95%범위내 하한비용	95%범위내 상한비용
1	설계_환율변동	-2,000,000,000	2,500,000,000
2	설계_물가변동	-2,000,000,000	2,500,000,000
3	설계_설계비 지급 지연	-1,000,000,000	2,000,000,000
4	설계_설계오류	-500,000,000	1,000,000,000
5	설계_설계변경	-500,000,000	1,000,000,000
6	설계_테스트2	-100,000,000	2,000,000,000
7	구매/조달_환율변동	-100,000,000	500,000,000
8	구매/조달_기자재 물가변동	-50,000,000	100,000,000
9	구매/조달_조달비 지급 지연 문제	-500,000,000	1,000,000,000
10	구매/조달_운송비 변동	-50,000,000	700,000,000
11	구매/조달_주요 기기 납기 지연	-50,000,000	700,000,000
12	구매/조달_도착 기자재 파손	-25,000,000	100,000,000
13	구매/조달_관세 관련 비용 추정 오류	-25,000,000	100,000,000
14	구매/조달_기자재 물량 변동	-25,000,000	100,000,000
15	구매/조달_기자재 하자처리비	-1,000,000,000	1,500,000,000
16	시공_환율변동	-500,000,000	1,000,000,000
17	시공_물가변동	-2,000,000,000	2,500,000,000
18	시공_시공비 지급 지연	-1,000,000,000	1,000,000,000
19	시공_하도급 업체 기술력 부족	-2,000,000,000	2,500,000,000
20	시공_시공 자재 물량 변동	-1,000,000,000	1,500,000,000
21	시공_재시공 발생	-1,000,000,000	1,500,000,000
22	시공_지체상금 발생	-2,000,000,000	2,500,000,000
23	시공_시공일정 지연 및 돌관공사 발생	-1,000,000,000	1,500,000,000
24	시공_노무자 노임 증가	-500,000,000	1,000,000,000
25	시공_시공 중 물가항력 발생	-500,000,000	1,000,000,000
26	시공_시공 하자처리비 증감	-1,000,000,000	2,500,000,000
27	시운전_환율변동	-1,000,000,000	2,000,000,000
28	시운전_시운전 물가변동	-500,000,000	700,000,000
29	시운전_시운전비 지급 지연	-500,000,000	700,000,000
30	시운전_시운전 기간 연장	-500,000,000	700,000,000
31	시운전_기계장치 부품파손 또는 오작동 발생	-2,000,000,000	2,500,000,000
32	설계_발주자 신뢰도 부족	-2,000,000,000	2,500,000,000
33	설계_협력사 신뢰도 부족	-1,000,000,000	2,000,000,000
34	설계_설계도서 승인지연	-500,000,000	1,000,000,000
35	설계_소프트웨어 활용 미흡	-500,000,000	1,000,000,000
36	설계_설계달성도 부적합	-100,000,000	2,000,000,000
37	설계_특허권 부적합 사용	-100,000,000	500,000,000
38	설계_HSE 검토 오류	-50,000,000	100,000,000
39	설계_현지 관련 법규 검토 오류	-500,000,000	1,000,000,000
40	구매/조달_발주자 추천 구매업체 부적합	-50,000,000	700,000,000
41	구매/조달_발주자 특정 요구 사항 발생	-50,000,000	700,000,000
42	구매/조달_화물운송 보험 조건 적정성	-25,000,000	100,000,000

비용항목 구분	Code	금액
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959

[그림 3.1.11] Simple Prediction -> Data-Expert Based화면

Simple Prediction -> Data-Expert Based는 위험요인에 대한 95%tile 범위 내 하한비용과 95%tile 범위 내 상한비용을 입력하여 위험요인이 총사업비에 영향을 미치는 정도를 고려하는 방법이다. 위험요인은 Risk Grouping의 위험요인 전체항목을 표시하고 업무범위를 동시에 표기하여 다수의 단계에 동시에 고려되는 위험요인을 구분할 수 있다. 사용자는 위험요인이 총사업비에 영향을 미치는 정도를 개략적으로 예측하여 입력해야 한다. 고려되지 않은 위험요인은 기타 위험요인으로 종합적으로 고려하여 예상치 못한 위험에 대비하기 위한 예비비로 사용 가능하도록 설정된다. 화면의 비용분류체계는 CBS-EPCC Modelling 및 CBS Input에서 입력한 비용을 표시하도록 제작된다. 저장버튼을 클릭하면 사용자가 입력한 위험요인별 95%tile 범위 내 하한비용과 95%tile 범위 내 상한비용을 DB에 저장한다. 완료버튼을 클릭하면 시뮬레이션을 위한 단계가 표시된다.

Cost Item -> Data Based는 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비용을 기존에 수행된 사례를 바탕으로 비용의 증감비율을 계산하여 사업비의 변동범위를 계산하는 방법이다. 이는 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입의 2차 위험평가 모델 중 실적비용으로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위를 추정하는 파일이며 증감비용-실적입력, 증감비용-실적저잘 및 비용변동, 증감비용-비용변동, 시뮬레이션 시트로 구성되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Cost Iem -> Data Based로 구성되었다. Cost Item -> Data Based화면은 2단계로 구분되며 첫 번째 화면은 다음과 같다.

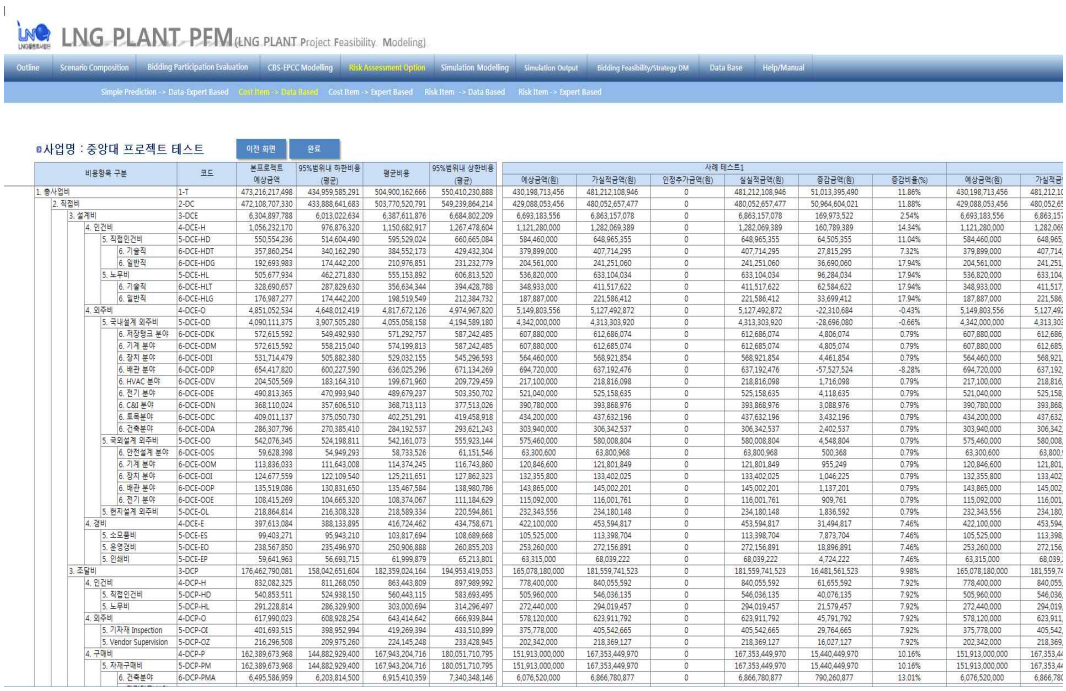


비용항목 구분	Code	사례입력					
		예상금액(원)	가실적금액(원)	인정추가금액(원)	실실적금액(원)	증감금액(원)	증감비율(%)
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	0	0	0	-473,216,217,498	-100.00%
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330	0	0	0	-472,108,707,330	-100.00%
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788	0	0	0	-6,304,897,788	-100.00%
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170	0	0	0	-1,056,232,170	-100.00%
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236	0	0	0	-550,554,236	-100.00%
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254			0	-357,860,254	-100.00%
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983			0	-192,693,983	-100.00%
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934	0	0	0	-505,677,934	-100.00%
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657			0	-328,690,657	-100.00%
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277			0	-176,987,277	-100.00%
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534	0	0	0	-4,851,052,534	-100.00%
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375	0	0	0	-4,090,111,375	-100.00%
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592			0	-572,615,592	-100.00%
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592			0	-572,615,592	-100.00%
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479			0	-531,714,479	-100.00%
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820			0	-654,417,820	-100.00%
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569			0	-204,505,569	-100.00%
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365			0	-490,813,365	-100.00%
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024			0	-368,110,024	-100.00%
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137			0	-409,011,137	-100.00%
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796			0	-286,307,796	-100.00%
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345	0	0	0	-542,076,345	-100.00%
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398			0	-59,628,398	-100.00%
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033			0	-113,836,033	-100.00%
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559			0	-124,677,559	-100.00%
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086			0	-135,519,086	-100.00%
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269			0	-108,415,269	-100.00%
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814			0	-218,864,814	-100.00%
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084	0	0	0	-397,613,084	-100.00%
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271			0	-99,403,271	-100.00%
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850			0	-238,567,850	-100.00%
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963			0	-59,641,963	-100.00%
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081	0	0	0	-176,462,790,081	-100.00%
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325	0	0	0	-832,082,325	-100.00%
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511			0	-540,853,511	-100.00%
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814			0	-291,228,814	-100.00%
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023	0	0	0	-617,990,023	-100.00%
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515			0	-401,693,515	-100.00%
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508			0	-216,296,508	-100.00%
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968	0	0	0	-162,389,673,968	-100.00%
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968	0	0	0	-162,389,673,968	-100.00%
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959			0	-6,495,586,959	-100.00%

[그림 3.1.12] Cost Item -> Data Based화면

Cost item -> Data Based의 첫 번째는 기존에 수행된 사례를 바탕으로 비용의 증감비율을 계산하여 사업비의 변동범위를 계산하는 방법이다. CBS 가실적금액과 인정추가금액을 계산하여 실실적금액, 증감금액, 증감비율을 계산하는 단계로써 사용자는 가실적금액, 인정추가금액을 입력해야 한다.

가실적금액은 공사에 필요한 비용을 입력하고, 인정추가금액은 설계변경 등으로 인해 발주자가 인정하는 금액을 입력함. 입력한 가실적금액과 인정추가금액을 합하여 실실적금액을 계산된다. 증감금액은 실실적금액과 본 프로젝트의 예상금액을 비교하여 계산하고, 본 프로젝트의 비용대비 증감비율을 계산한다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 계산된 증감비율을 동일한 엑셀파일에 저장하도록 구성하였으나 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 저장버튼을 클릭하면 DB에 저장하고 다음단계버튼을 클릭하면 사례와 비교하기 위한 단계로 이동하게 구성된다. 두 번째 화면은 다음과 같다.

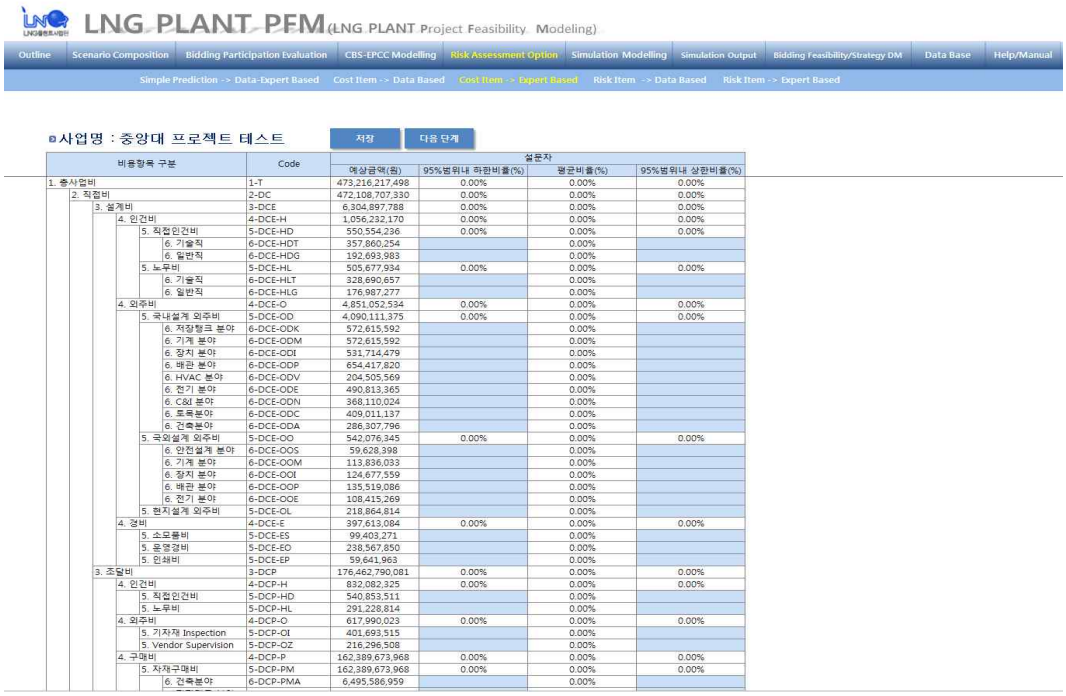


[그림 3.1.13] Cost Item -> Data Based화면

Cost Item -> Data Based의 두 번째는 첫 번째에서 입력한 자료를 바탕으로 본 프로젝트와 관련된 수행된 사례 프로젝트의 비용과 비교할 수 있도록 구성된다. 본 프로젝트와 관련된 수행된 사례 프로젝트는 본 프로젝트와 지역, 국가, 사업대상이 동일한 항목으로써 DB에 저장된 사례 프로젝트에서 검색하여 제시하도록 구성되어 있다. 사례 프로젝트는 본 프로젝트와 유사한 비용을 가지고 있으므로, 사용자는 수행된 사례 프로젝트와 본 프로젝트의 비용을 비교해 봄으로써 비용이 타당하게 책정되었는지 확인할 수 있다. 본 프로젝트의

비용을 검토하고 수정할 사항이 발생하면 이전 화면 버튼을 클릭하여 Cost Item -> Data Based의 첫 번째로 이동하여 원하는 항목의 수정이 가능하다. 수행된 사례 프로젝트와 비교 및 검토가 완료되면 완료버튼을 클릭하여 시뮬레이션을 위한 단계로 이동하도록 구성된다.

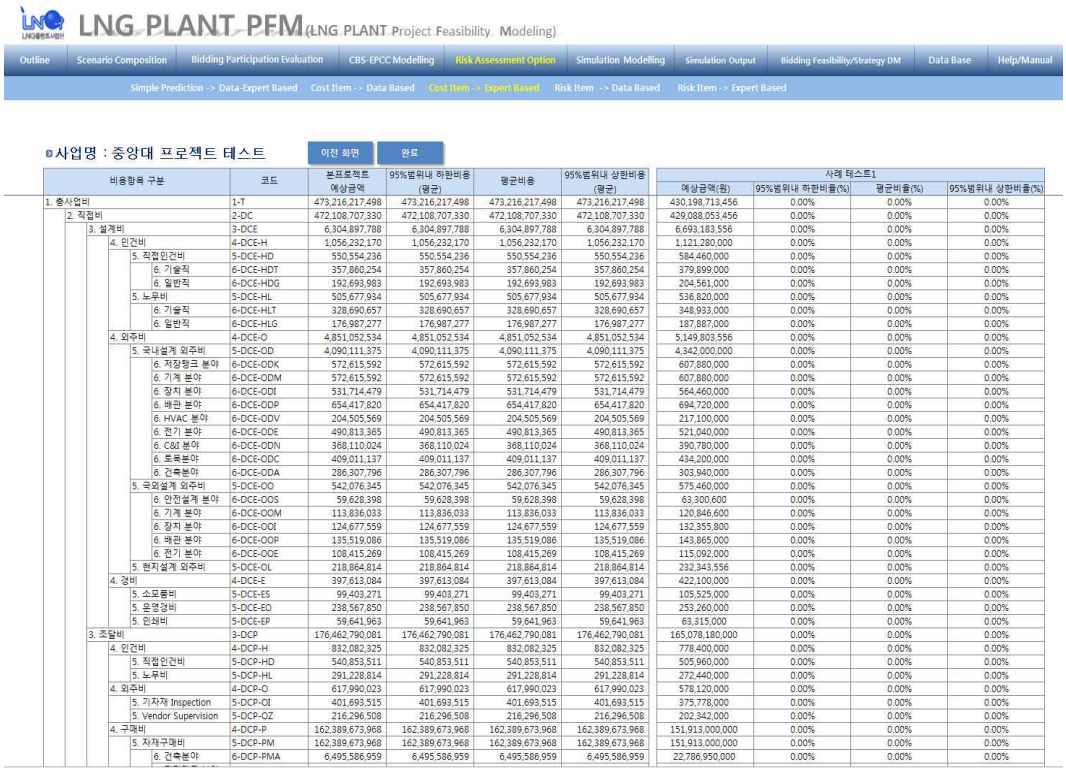
Cost Item -> Expert Based는 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율을 %로 설문하고 비용으로 환산한다. 또한 본 프로젝트 예상비용을 중심으로 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용을 @RISK로 분석 및 평가하는 방법이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 비용증감비율-설문입력, 비용증감비율-설문저장, 비용증감비율-비용변동, 시뮬레이션 시트로 구성되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Cost Item -> Expert Based로 구성되었다. Cost Item -> Expert Based는 2단계로 구분되며 첫 번째 화면은 다음과 같다.



비용항목 구분	Code	설문자			
		예상금액(원)	95%범위내 하한비율(%)	평균비율(%)	95%범위내 상한비율(%)
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	0.00%	0.00%	0.00%
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330	0.00%	0.00%	0.00%
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788	0.00%	0.00%	0.00%
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170	0.00%	0.00%	0.00%
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236	0.00%	0.00%	0.00%
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254		0.00%	
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983		0.00%	
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934	0.00%	0.00%	0.00%
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657		0.00%	
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277		0.00%	
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534	0.00%	0.00%	0.00%
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375	0.00%	0.00%	0.00%
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592		0.00%	
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592		0.00%	
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479		0.00%	
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820		0.00%	
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569		0.00%	
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365		0.00%	
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024		0.00%	
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137		0.00%	
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796		0.00%	
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345	0.00%	0.00%	0.00%
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398		0.00%	
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033		0.00%	
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559		0.00%	
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086		0.00%	
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269		0.00%	
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814		0.00%	
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084	0.00%	0.00%	0.00%
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271		0.00%	
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850		0.00%	
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963		0.00%	
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081	0.00%	0.00%	0.00%
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325	0.00%	0.00%	0.00%
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511		0.00%	
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814		0.00%	
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023	0.00%	0.00%	0.00%
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515		0.00%	
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508		0.00%	
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968	0.00%	0.00%	0.00%
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968	0.00%	0.00%	0.00%
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959		0.00%	

[그림 3.1.14] Cost Item -> Expert Based화면

Cost Item -> Expert Based의 첫 번째는 설문조사를 바탕으로 총사업비의 변동범위를 도출하는 방법이다. 사용자는 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율을 설문조사를 수행하여 입력해야 한다. 사용자가 비율을 입력 시 CBS의 모든 Level의 비율을 설문조사 및 입력해야 한다. 저장버튼을 클릭하면 1명의 설문자에 대한 설문결과가 DB에 저장된다. 다음단계 버튼을 클릭하면 Cost Item -> Expert Based의 두 번째로 이동하도록 구성된다. Cost Item -> Expert Based 두 번째 화면은 다음과 같다.

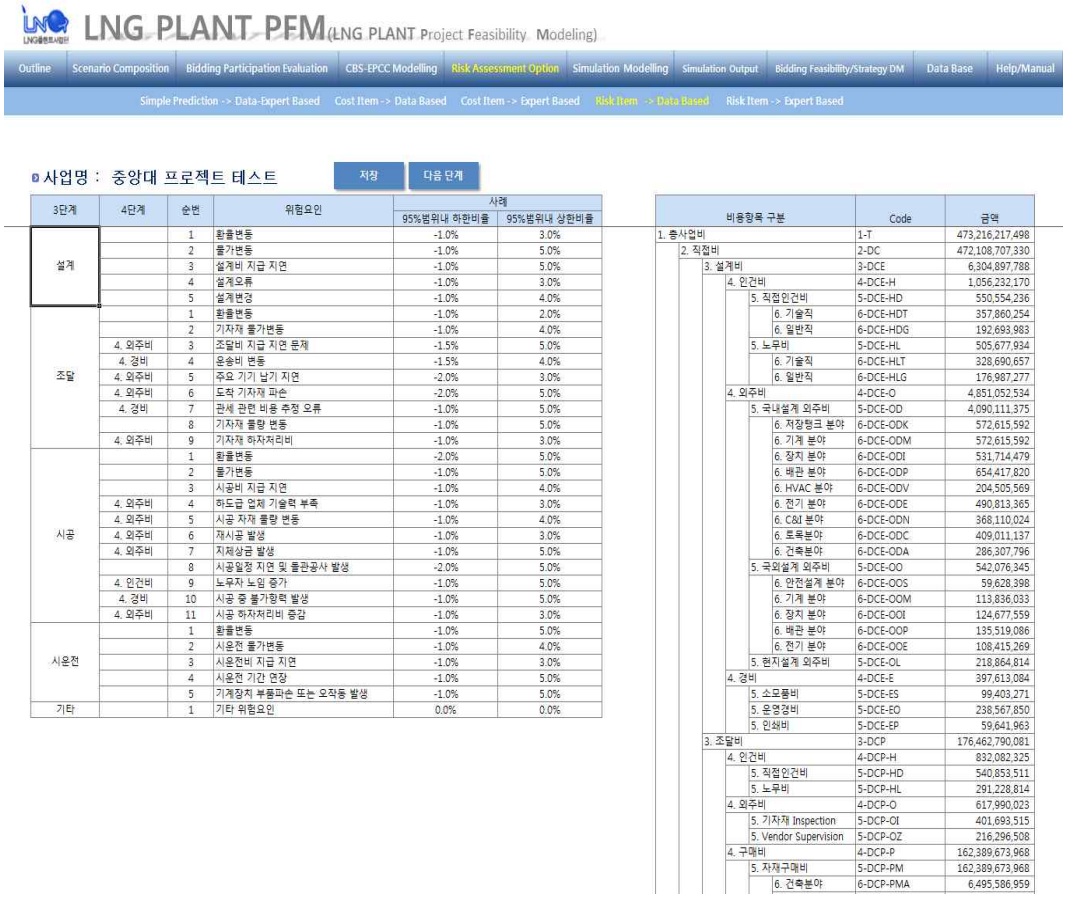


비용항목 구분	코드	본프로젝트 예상금액	95%범위내 하한비용 (평균)	평균비용	95%범위내 상한비용 (평균)	사례 테스트1 예상금액(원)	95%범위내 하한비율(%)	평균비율(%)	95%범위내 상한비율(%)
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	473,216,217,498	473,216,217,498	473,216,217,498	430,198,713,456	0.00%	0.00%	0.00%
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330	472,108,707,330	472,108,707,330	472,108,707,330	429,088,053,456	0.00%	0.00%	0.00%
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788	6,304,897,788	6,304,897,788	6,304,897,788	6,693,183,556	0.00%	0.00%	0.00%
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170	1,056,232,170	1,056,232,170	1,056,232,170	1,121,280,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236	550,554,236	550,554,236	550,554,236	584,460,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254	357,860,254	357,860,254	357,860,254	379,899,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983	192,693,983	192,693,983	192,693,983	204,561,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934	505,677,934	505,677,934	505,677,934	536,820,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657	328,690,657	328,690,657	328,690,657	348,933,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277	176,987,277	176,987,277	176,987,277	187,887,000	0.00%	0.00%	0.00%
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534	4,851,052,534	4,851,052,534	4,851,052,534	5,149,803,556	0.00%	0.00%	0.00%
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375	4,090,111,375	4,090,111,375	4,090,111,375	4,342,000,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592	572,615,592	572,615,592	572,615,592	607,880,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592	572,615,592	572,615,592	572,615,592	607,880,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479	531,714,479	531,714,479	531,714,479	564,460,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820	654,417,820	654,417,820	654,417,820	694,720,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569	204,505,569	204,505,569	204,505,569	217,100,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365	490,813,365	490,813,365	490,813,365	521,040,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024	368,110,024	368,110,024	368,110,024	390,780,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137	409,011,137	409,011,137	409,011,137	434,200,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796	286,307,796	286,307,796	286,307,796	303,940,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345	542,076,345	542,076,345	542,076,345	575,460,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398	59,628,398	59,628,398	59,628,398	63,300,600	0.00%	0.00%	0.00%
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033	113,836,033	113,836,033	113,836,033	120,846,600	0.00%	0.00%	0.00%
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559	124,677,559	124,677,559	124,677,559	132,355,800	0.00%	0.00%	0.00%
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086	135,519,086	135,519,086	135,519,086	143,865,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269	108,415,269	108,415,269	108,415,269	115,092,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814	218,864,814	218,864,814	218,864,814	232,343,556	0.00%	0.00%	0.00%
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084	397,613,084	397,613,084	397,613,084	422,100,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271	99,403,271	99,403,271	99,403,271	105,525,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850	238,567,850	238,567,850	238,567,850	253,260,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963	59,641,963	59,641,963	59,641,963	63,315,000	0.00%	0.00%	0.00%
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081	176,462,790,081	176,462,790,081	176,462,790,081	165,078,180,000	0.00%	0.00%	0.00%
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325	832,082,325	832,082,325	832,082,325	778,400,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511	540,853,511	540,853,511	540,853,511	505,960,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814	291,228,814	291,228,814	291,228,814	272,440,000	0.00%	0.00%	0.00%
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023	617,990,023	617,990,023	617,990,023	578,120,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515	401,693,515	401,693,515	401,693,515	375,778,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508	216,296,508	216,296,508	216,296,508	202,342,000	0.00%	0.00%	0.00%
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968	162,389,673,968	162,389,673,968	162,389,673,968	151,913,000,000	0.00%	0.00%	0.00%
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968	162,389,673,968	162,389,673,968	162,389,673,968	151,913,000,000	0.00%	0.00%	0.00%
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959	6,495,586,959	6,495,586,959	6,495,586,959	22,786,950,000	0.00%	0.00%	0.00%

[그림 3.1.15] Cost Item -> Expert Based화면

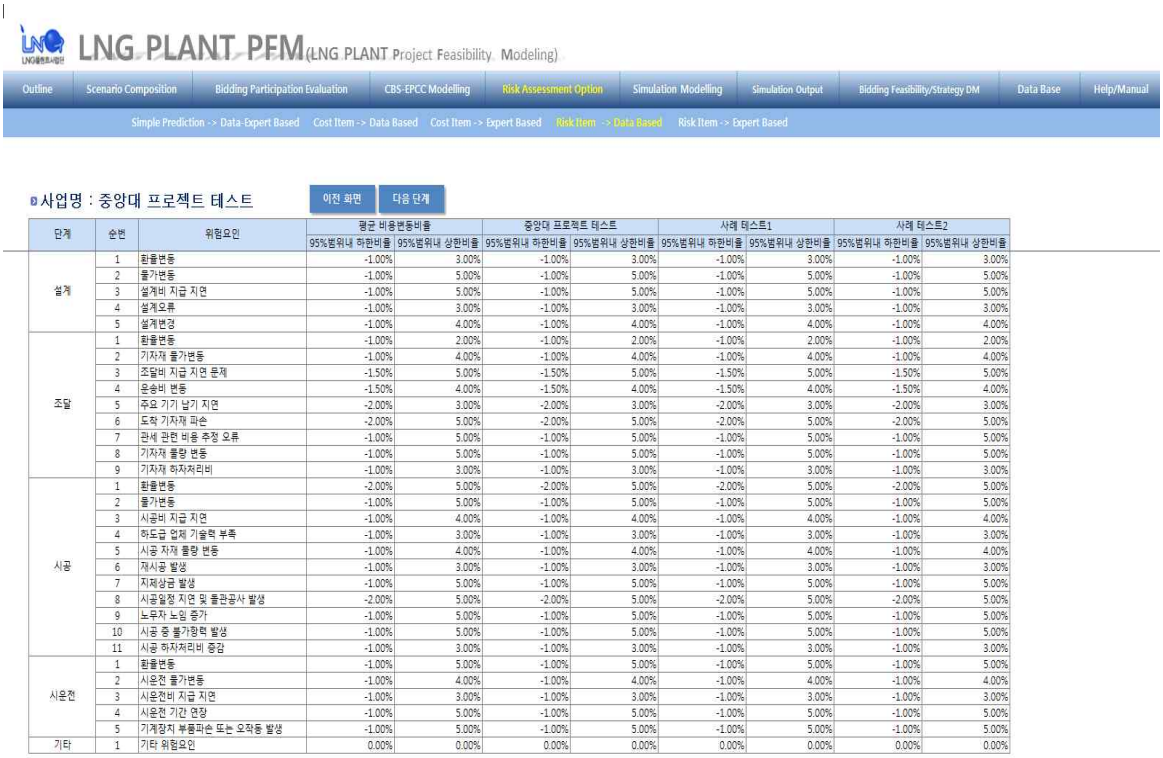
Cost Item -> Expert Based의 두 번째는 사례와 비교할 수 있도록 구성된다. Cost Item -> Expert Based 첫 번째에서 입력한 설문자 1인의 설문결과는 DB에 저장되어 동일한 사례의 설문 결과값의 평균을 계산한다. 계산된 평균비율을 바탕으로 본 프로젝트의 예상금액에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용, 95%tile 범위 내 상한비용을 계산하도록 구성되었다. 또한 본 프로젝트와 지역, 국가, 사업대상이 동일한 수행된 사례 프로젝트의 평균비율을 제시하여 본 프로젝트에서 적용된 비용이 적절한지 판단 가능하게 구성된다. 검토를 완료한 사용자는 완료버튼을 클릭하여 시뮬레이션을 위한 단계로 이동하도록 구성된다.

Risk Item -> Data Based는 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비율을 수행된 사례 프로젝트의 자료를 활용하여 평균비용을 중심으로 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율을 @RISK 분석 및 평가하는 방법이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 파일로써 위험요인별-실적입력, 위험요인별-실적저장, 위험요인별 비율변동, 시뮬레이션 시트로 구성되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Risk Item -> Data Based로 구성되었음. Risk Item -> Data Based는 3단계로 구분되며 첫 번째 화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.16] Risk Item -> Data Based화면

Risk Item -> Data Based 첫 번째는 위험요인을 바탕으로 95%tile 범위 내 하한비율, 95%tile 범위 내 상한비율을 입력하여 총사업비의 변동범위를 도출하는 방법이다. 기본구성은 본 프로젝트의 업무범위에 해당하는 위험요인을 업무범위로 구분하여 제시하고 비용분류체계 및 사업비를 참조할 수 있도록 구성된다. 사용자는 95%tile 범위 내 하한비율, 95%tile 범위 내 상한비율을 입력하고, 위험요인의 비율이 적용될 Level을 Level 3, Level 4의 항목 중 선택하게 구성된다. Level 4 하단을 클릭하면 해당되는 Level 3의 Level 4항목이 표시된다. 종합 또는 공란으로 설정하면 Level 3 전체에 적용되며, 항목을 선택하면 선택한 Level 4항목에 적용되도록 구성하였다. 저장버튼을 클릭하면 위험요인에 대한 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율이 DB에 저장되고, 다음단계 버튼을 클릭하면 Risk Item -> Data Based의 두 번째가 나타나도록 구성하였다. Risk Item -> Data Based의 두 번째 화면은 다음과 같다.

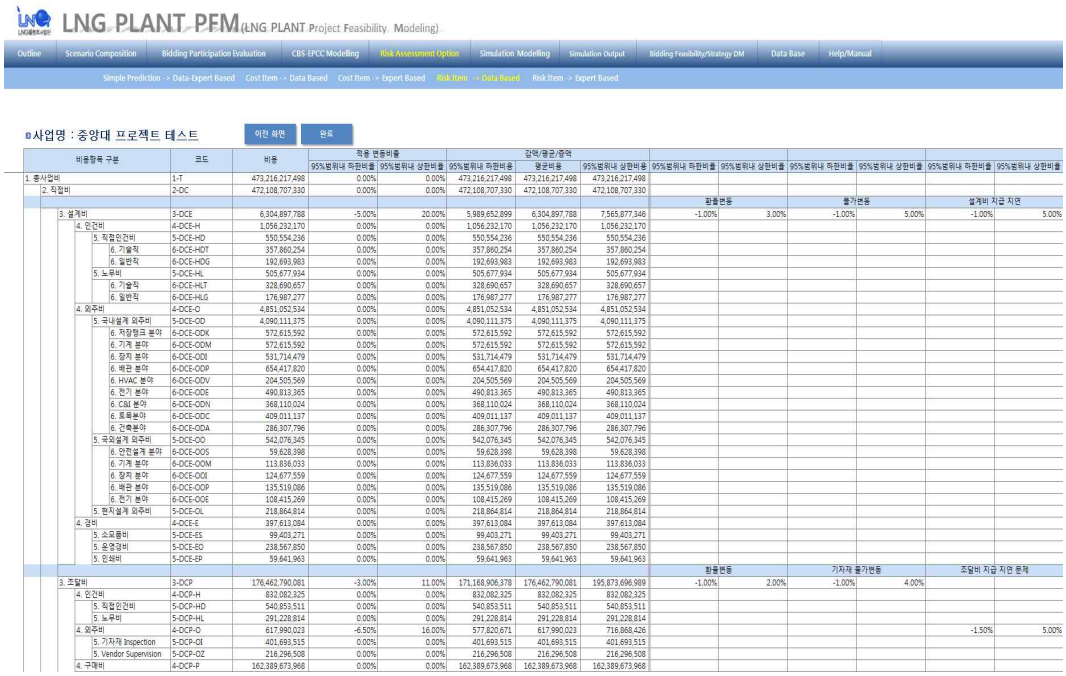


단계	순번	위험요인	평균 비용변동비율		중앙대 프로젝트 테스트		사례 테스트1		사례 테스트2	
			95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율
설계	1	환율변동	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	2	물가변동	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	3	설계비 지급 지연	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	4	설계오류	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	5	설계변경	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%
조달	1	환율변동	-1.00%	2.00%	-1.00%	2.00%	-1.00%	2.00%	-1.00%	2.00%
	2	기자재 물가변동	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%
	3	조달비 지급 지연 문제	-1.50%	5.00%	-1.50%	5.00%	-1.50%	5.00%	-1.50%	5.00%
	4	운송비 변동	-1.50%	4.00%	-1.50%	4.00%	-1.50%	4.00%	-1.50%	4.00%
	5	주요 기기 납기 지연	-2.00%	3.00%	-2.00%	3.00%	-2.00%	3.00%	-2.00%	3.00%
	6	도착 기자재 파손	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%
	7	관세 관련 비용 추정 오류	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	8	기자재 물량 변동	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	9	기자재 하자처리비	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
시공	1	환율변동	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%
	2	물가변동	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	3	시공비 지급 지연	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%
	4	하도급 업체 기술력 부족	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	5	시공 자재 물량 변동	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%
	6	재시공 발생	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	7	지체상금 발생	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	8	시공일정 지연 및 돌관공사 발생	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%
	9	노무자 노임 증가	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	10	시공 중 물가상력 발생	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	11	시공 하자처리비 증감	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
시운전	1	환율변동	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	2	시운전 물가변동	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%
	3	시운전비 지급 지연	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	4	시운전 기간 연장	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	5	기계장치 부품파손 또는 오작동 발생	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
기타	1	기타 위험요인	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

[그림 3.1.17] Risk Item -> Data Based화면

Risk Item -> Data Based 두 번째 화면은 본 프로젝트의 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율과 수행된 사례 프로젝트의 변동비율의 평균을 계산하여 평균 비용변동비율을 계산하도록 구성된다.

본 프로젝트의 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율을 수행된 사례 프로젝트의 변동비율과 비교하여 검토하고 수정사항이 발생하면 이전화면 버튼을 클릭하여 입력한 값을 수정 가능하다. 평균비용변동비율은 본 프로젝트와 지역, 국가, 사업대상이 동일한 프로젝트의 변동비율을 바탕으로 평균값을 도출한 것으로 수행된 사례 프로젝트의 수가 많을수록 정확한 변동비율을 도출할 수 있도록 구성된다. 다음단계 버튼을 누르면 위험요인을 CBS항목에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용을 도출하는 단계로 이동하도록 구성한다. Risk Item -> Data Based 세 번째 화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.18] Risk Item -> Data Based화면

Risk Item -> Data Based의 세 번째 화면은 위험요인을 CBS항목에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용을 도출하는 단계이다. 첫 번째 화면에서 설정한 위험요인 적용단계에 따라 본 프로젝트의 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용과 수행된 사례 프로젝트의 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용의 평균값을 CBS의 Level 3 또는 Level 4에 적용하도록 구성된다. 적용 변동비율을 본 프로젝트의 예상비용에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용을 계산한다. 수정할 사항이 발생하면 이전화면 버튼을 클릭하여 수정이 가능하다. 완료버튼을 클릭하면 시뮬레이션을 위한 단계로 이동하도록 구성된다.

Risk Item -> Expert Based는 6 Level에 따른 CBS의 각 항목에 정량적 위험요인에 따른 증감비율을 %로 설문하고, 이를 평균 %로 도출한다. 또한 CBS 각 비용을 중심으로 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용으로 비용 환산 후 삼각분포로 @RISK 분석 및 평가하여 시뮬레이션 할 수 있게 구성된다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 파일로 구성되었으며 위험요인 입력, 위험요인별-설문입력, 위험요인별-설문저장, 위험요인별-비용변동, 시뮬레이션 시트로 구성되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Risk Item -> Expert Based로 구성되었다. Risk Item -> Expert Based의 첫 번째 화면은 다음과 같다.

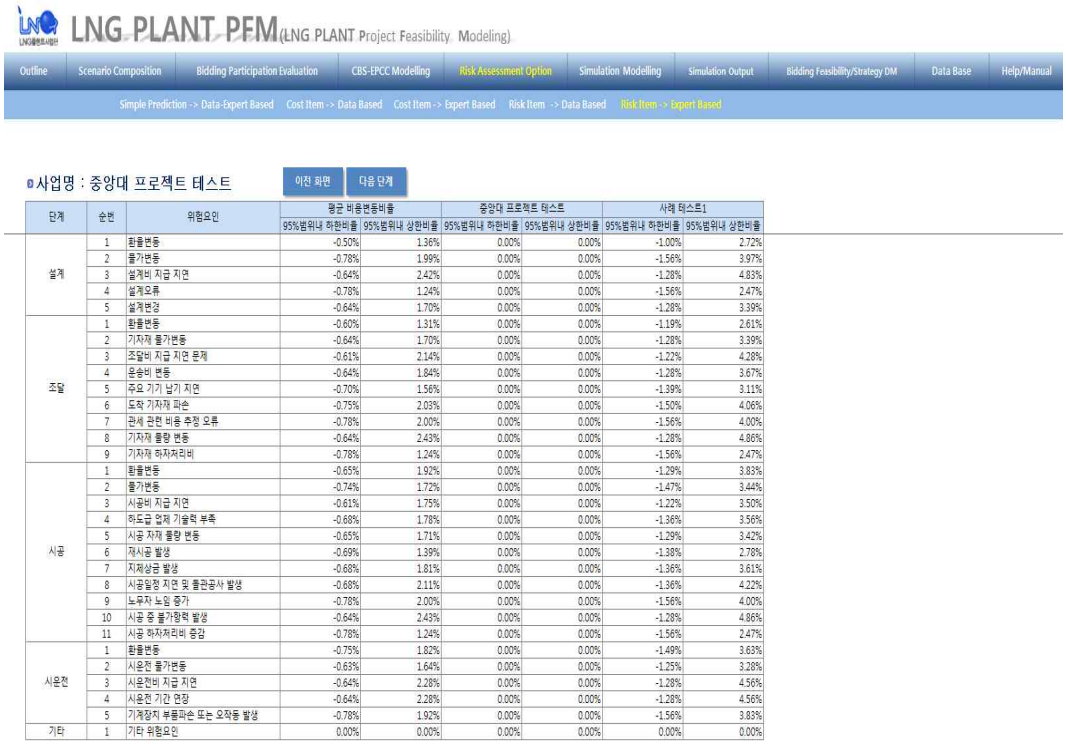


3단계	4단계	순번	위험요인	사례	
				95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율
설계		1	환율변동	-1.0%	3.0%
		2	물가변동	-1.0%	5.0%
		3	설계비 지급 지연	-1.0%	5.0%
		4	설계오류	-1.0%	3.0%
		5	설계변경	-1.0%	4.0%
조달		1	환율변동	-1.0%	2.0%
		2	기자재 물가변동	-1.0%	4.0%
	4. 외주비	3	조달비 지급 지연 문제	-1.5%	5.0%
	4. 경비	4	운송비 변동	-1.5%	4.0%
	4. 외주비	5	주요 기기 납기 지연	-2.0%	3.0%
	4. 외주비	6	도착 기자재 파손	-2.0%	5.0%
	4. 경비	7	관세 관련 비용 추정 오류	-1.0%	5.0%
		8	기자재 물량 변동	-1.0%	5.0%
	4. 외주비	9	기자재 하자처리비	-1.0%	3.0%
시공		1	환율변동	-2.0%	5.0%
		2	물가변동	-1.0%	5.0%
		3	시공비 지급 지연	-1.0%	4.0%
	4. 외주비	4	하도급 업체 기술력 부족	-1.0%	3.0%
	4. 외주비	5	시공 자재 물량 변동	-1.0%	4.0%
	4. 외주비	6	재시공 발생	-1.0%	3.0%
	4. 외주비	7	지체상금 발생	-1.0%	5.0%
		8	시공일정 지연 및 돌관공사 발생	-2.0%	5.0%
	4. 인건비	9	노무자 노임 증가	-1.0%	5.0%
	4. 경비	10	시공 중 물가상승 발생	-1.0%	5.0%
	4. 외주비	11	시공 하자처리비 증감	-1.0%	3.0%
시운전		1	환율변동	-1.0%	5.0%
		2	시운전 물가변동	-1.0%	4.0%
		3	시운전비 지급 지연	-1.0%	3.0%
		4	시운전 기간 연장	-1.0%	5.0%
		5	기계장치 부품파손 또는 오작동 발생	-1.0%	5.0%
기타		1	기타 위험요인	0.0%	0.0%

비용항목 구분	Code	금액
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959

[그림 3.1.19] Risk Item -> Expert Based화면

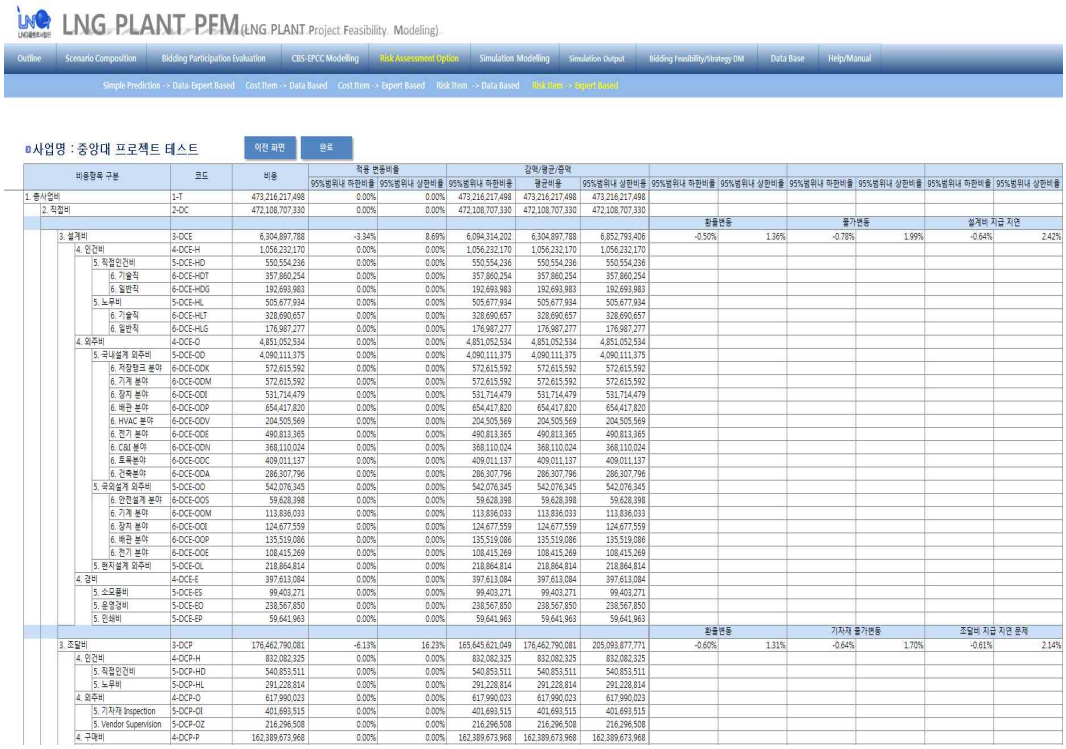
Risk Item -> Expert Based 첫 번째 화면은 6 Level에 따른 CBS의 각 항목에 정량적 위험요인을 대입하여 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율을 %로 설문하고 이를 입력하여 저장하도록 구성되었다. 사용자는 95%tile 범위 내 하한비율, 95%tile 범위 내 상한비율을 입력하고, 위험요인의 비율이 적용될 Level을 Level 3, Level 4의 항목 중 선택하게 구성된다. Level 4 하단을 클릭하면 해당되는 Level 3의 Level 4항목이 표시됨. 종합 또는 공란으로 설정하면 Level 3 전체에 적용되며, 항목을 선택하면 선택한 Level 4항목에 적용되도록 구성하였다. 저장버튼을 클릭하면 위험요인에 대한 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율이 DB에 저장되고, 다음단계 버튼을 클릭하면 Risk Item -> Expert Based 두 번째 단계로 이동하도록 구성되었다. Risk Item -> Expert Based 두 번째 화면은 다음과 같다.



단계	순번	위험요인	평균 비용변동비율		중앙대 프로젝트 테스트		사례 테스트1	
			95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율
설계	1	환율변동	-0.50%	1.36%	0.00%	0.00%	-1.00%	2.72%
	2	물가변동	-0.78%	1.99%	0.00%	0.00%	-1.56%	3.97%
	3	설계비 지급 지연	-0.64%	2.42%	0.00%	0.00%	-1.28%	4.83%
	4	설계오류	-0.78%	1.24%	0.00%	0.00%	-1.56%	2.47%
	5	설계변경	-0.64%	1.70%	0.00%	0.00%	-1.28%	3.39%
조달	1	환율변동	-0.60%	1.31%	0.00%	0.00%	-1.19%	2.61%
	2	기자재 물가변동	-0.64%	1.70%	0.00%	0.00%	-1.28%	3.39%
	3	조달비 지급 지연 문제	-0.61%	2.14%	0.00%	0.00%	-1.22%	4.28%
	4	운송비 변동	-0.64%	1.84%	0.00%	0.00%	-1.28%	3.67%
	5	주요 기기 납기 지연	-0.70%	1.56%	0.00%	0.00%	-1.39%	3.11%
	6	도착 기자재 파손	-0.75%	2.03%	0.00%	0.00%	-1.50%	4.06%
	7	관세 관련 비용 추정 오류	-0.78%	2.00%	0.00%	0.00%	-1.56%	4.00%
	8	기자재 물량 변동	-0.64%	2.43%	0.00%	0.00%	-1.28%	4.86%
	9	기자재 하자처리비	-0.78%	1.24%	0.00%	0.00%	-1.56%	2.47%
시공	1	환율변동	-0.65%	1.92%	0.00%	0.00%	-1.29%	3.83%
	2	물가변동	-0.74%	1.72%	0.00%	0.00%	-1.47%	3.44%
	3	시공비 지급 지연	-0.61%	1.75%	0.00%	0.00%	-1.22%	3.50%
	4	하도급 업체 기술력 부족	-0.68%	1.78%	0.00%	0.00%	-1.36%	3.56%
	5	시공 자재 물량 변동	-0.65%	1.71%	0.00%	0.00%	-1.29%	3.42%
	6	재시공 발생	-0.69%	1.39%	0.00%	0.00%	-1.38%	2.78%
	7	지체상금 발생	-0.68%	1.81%	0.00%	0.00%	-1.36%	3.61%
	8	시공일정 지연 및 돌관공사 발생	-0.68%	2.11%	0.00%	0.00%	-1.36%	4.22%
	9	노무자 노임 증가	-0.78%	2.00%	0.00%	0.00%	-1.56%	4.00%
	10	시공 중 물가상승 발생	-0.64%	2.43%	0.00%	0.00%	-1.28%	4.86%
	11	시공 하자처리비 증감	-0.78%	1.24%	0.00%	0.00%	-1.56%	2.47%
시운전	1	환율변동	-0.75%	1.82%	0.00%	0.00%	-1.49%	3.63%
	2	시운전 물가변동	-0.63%	1.64%	0.00%	0.00%	-1.25%	3.28%
	3	시운전비 지급 지연	-0.64%	2.28%	0.00%	0.00%	-1.28%	4.56%
	4	시운전 기간 연장	-0.64%	2.28%	0.00%	0.00%	-1.28%	4.56%
	5	기계장치 부품파손 또는 오작동 발생	-0.78%	1.92%	0.00%	0.00%	-1.56%	3.83%
기타	1	기타 위험요인	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

[그림 3.1.20] Risk Item -> Expert Based화면

Risk Item -> Expert Based 두 번째 화면은 Cost Item -> Expert Based 첫 번째에서 입력한 설문자 1인의 설문결과는 DB에 저장되어 동일한 사례의 설문 결과값의 평균을 계산한다. 계산된 평균비율을 바탕으로 본 프로젝트의 예상금액에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용, 95%tile 범위 내 상한비용을 계산하도록 구성되었다. 또한 본 프로젝트와 지역, 국가, 사업대상이 동일한 수행된 사례 프로젝트의 평균비율을 제시하여 본 프로젝트에서 적용된 비용이 적절한지 판단 가능하게 구성된다. 수정할 사항이 발생하면 이전화면 버튼을 클릭하여 수정이 가능하다. 완료버튼을 클릭하면 시뮬레이션을 위한 단계로 이동하도록 구성된다. Risk Item -> Expert Based 세 번째 화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.21] Risk Item -> Expert Based화면

Risk Item -> Expert Based 세 번째 화면은 위험요인을 CBS항목에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용을 도출하는 단계이다. 첫 번째 화면에서 설정한 위험요인 적용단계에 따라 본 프로젝트의 95%tile 범위 내 하한비율 및 95%tile 범위 내 상한비율 설문조사 결과의 평균값을 CBS의 Level 3 또는 Level 4에 적용하도록 구성된다. 적용 변동비율을 본 프로젝트의 예상비용에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용 및 95%tile 범위 내 상한비용을 계산한다. 수정할 사항이 발생하면 이전화면 버튼을 클릭하여 수정이 가능하다. 완료버튼을 클릭하면 시뮬레이션을 위한 단계로 이동하도록 구성된다.

시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)에서 입력한 Simple Prediction -> Data-Expert Based, Cost Item -> Data Based, Cost Item -> Expert Based, Risk Item -> Data Based, Risk Item -> Expert Based의 데이터를 바탕으로 총사업비의 변동범위을 얻기 위하여 삼각분포를 적용한 @RISK 분석 및 평가를 수행하도록 구성되었다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가에 시뮬레이션 시트를 구성하여 시뮬레이션을 실행하도록 구성하였다. 또한 타당성 분석용 시뮬레이션 모델링파일을 구성하여 5가지 방법의 시뮬레이션 시트로 연동하여 시뮬레이션을 실행할 수 있도록 구성하였다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 1개의 통합적인 모델로 구성하여 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)에서 입력한 데이터를 DB에 저장하고 이를 시뮬레이션에 활용하도록 구성하였다. 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)에

서는 @RISK를 활용하여 총사업비의 변동범위를 얻기 위하여 삼각분포를 적용한 분석 및 평가를 수행하게 된다.

본 과업의 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 엑셀을 기반으로 제작하였으나 설정에 따라 엑셀의 리본메뉴를 표시하여 엑셀처럼 사용하거나 엑셀의 리본메뉴를 표시하지 않고 별개의 프로그램처럼 사용이 가능하도록 구축하였다. 엑셀의 리본메뉴를 표시하지 않고 별개의 프로그램처럼 사용할 경우 리본메뉴에 포함된 @RISK의 메뉴를 사용할 수 없다. 따라서 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 @RISK의 메뉴와 동일한 기능을 수행할 수 있는 메뉴를 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)에 VBA를 이용하여 구성하였다. 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)에 구성된 @RISK 메뉴는 다음과 같다.



[그림 3.1.22] @RISK 메뉴

@RISK 메뉴는 엑셀의 @RISK 리본메뉴와 동일한 아이콘을 사용하였고 VBA를 이용하여 동일한 기능을 수행하도록 구성하였다. 첫 번째 아이콘은 @RISK를 실행하는 아이콘으로써 클릭하면 @RISK의 설치경로를 찾아 실행할 수 있도록 구성된다. 두 번째 아이콘인 Define Distributions은 변동범위를 분석 및 평가하기 위해 분포를 설정하는 기능을 수행하도록 구성된다. 세 번째 아이콘인 Add Output은 시뮬레이션의 분석대상으로 설정할 항목을 지정하는 기능을 수행하도록 구성된다. 네 번째 아이콘인 Simulation Settings는 시뮬레이션을 수행하기 위한 전반적인 설정을 수행하도록 구성된다. 다섯 번째 아이콘인 Start Simulation은 변동범위를 분석 및 평가하기 위한 시뮬레이션을 실행하는 기능을 수행하도록 구성된다. 마지막 아이콘인 Excel Reports는 @RISK를 이용한 변동범위를 분석 및 평가하기 위한 시뮬레이션의 결과값을 엑셀로 출력하는 기능을 수행하도록 구성된다. 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가하기 위한 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)은 SP-DE Simulation Model, CI-D Simulation Model, CI-E Simulation Model, RI-D Simulation Model, RI-E Simulation Model로 구성되었다. 상기와 같이 구성된 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)의 세부사항은 다음과 같다.

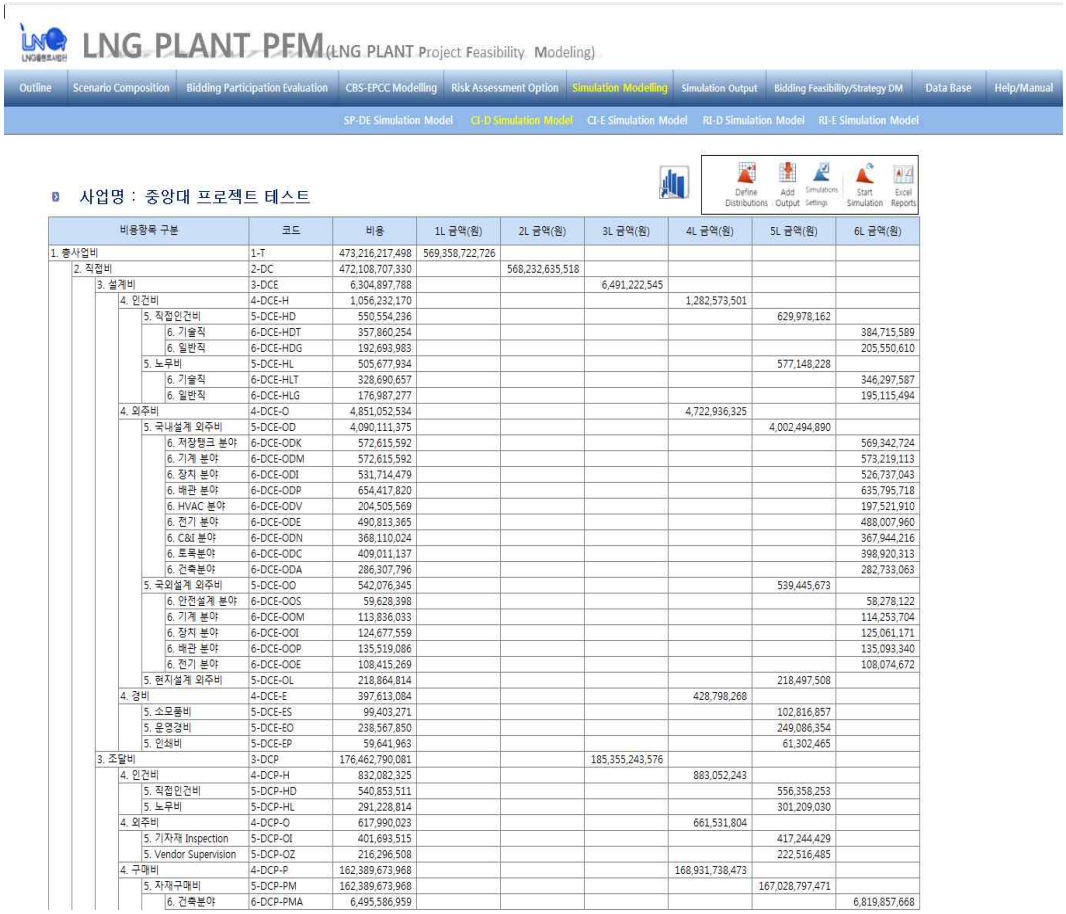
SP-DE Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Simple Prediction -> Data-Expert Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 실행하는 단계임. SP-DE Simulation Model의 화면은 다음의 그림 109와 같다.



[그림 3.1.23] SP-DE Simulation Model화면

SP-DE Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Simple Prediction -> Data-Expert Based에서 입력한 데이터로 95%tile 범위 내 하한비용, 평균비용, 95%tile 범위 내 상한비용을 도출한다. 또한 삼각분포에 적용하고 @RISK를 이용하여 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가하는 단계이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 주요 위험요인 3구간 변동범위 추정 방법을 이용하여 정량적 위험 비용 변동비율 설문조사를 통해 총공사비를 평균으로 감액하한비용 및 증액상한비용을 분석하고 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Simple Prediction -> Data-Expert Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 삼각분포에 적용하여 @RISK를 이용한 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가할 수 있도록 구성되었다.

CI-D Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Cost Item -> Data Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 실행하는 단계이다. CI-D Simulation Model의 화면은 다음과 같다.



비용항목 구분	코드	비용	1L 금액(원)	2L 금액(원)	3L 금액(원)	4L 금액(원)	5L 금액(원)	6L 금액(원)
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	569,358,722,726					
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330		568,232,635,518				
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788			6,491,222,545			
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170				1,282,573,501		
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236					629,978,162	
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254						384,715,589
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983						205,550,610
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934					577,148,228	
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657						346,297,587
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277						195,115,494
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534				4,722,936,325		
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375					4,002,494,890	
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592						569,342,724
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592						573,219,113
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479						526,737,043
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820						635,795,718
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569						197,521,910
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365						488,007,960
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024						367,944,216
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137						398,920,313
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796						282,733,063
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345					539,445,673	
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398						58,278,122
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033						114,253,704
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559						125,061,171
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086						135,093,340
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269						108,074,672
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814					218,497,508	
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084				428,798,268		
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271					102,816,857	
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850					249,086,354	
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963					61,302,465	
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081			185,355,243,576			
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325				883,052,243		
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511					556,358,253	
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814					301,209,030	
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023				661,531,804		
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515					417,244,429	
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508					222,516,485	
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968				168,931,738,473		
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968					167,028,797,471	
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959						6,819,857,668

[그림 3.1.24] CI-D Simulation Model화면

CI-D Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Cost Item -> Data Based에서 입력한 데이터로 95%tile 범위 내 하한비용, 평균비용, 95%tile 범위 내 상한비용을 도출한다. 또한 삼각분포에 적용하고 @RISK를 이용하여 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가하는 단계이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 실적자료로 감액하한비용 및 증액상한비용을 삼각분포로 @RISK 분석 및 평가하고 시뮬레이션 할 수 있게 구성되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Cost Item -> Data Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 삼각분포에 적용하여 @RISK를 이용한 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가할 수 있도록 구성되었다.

CI-E Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Cost Item -> Expert Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 실행하는 단계이다. CI-E Simulation Model의 화면은 다음과 같다.

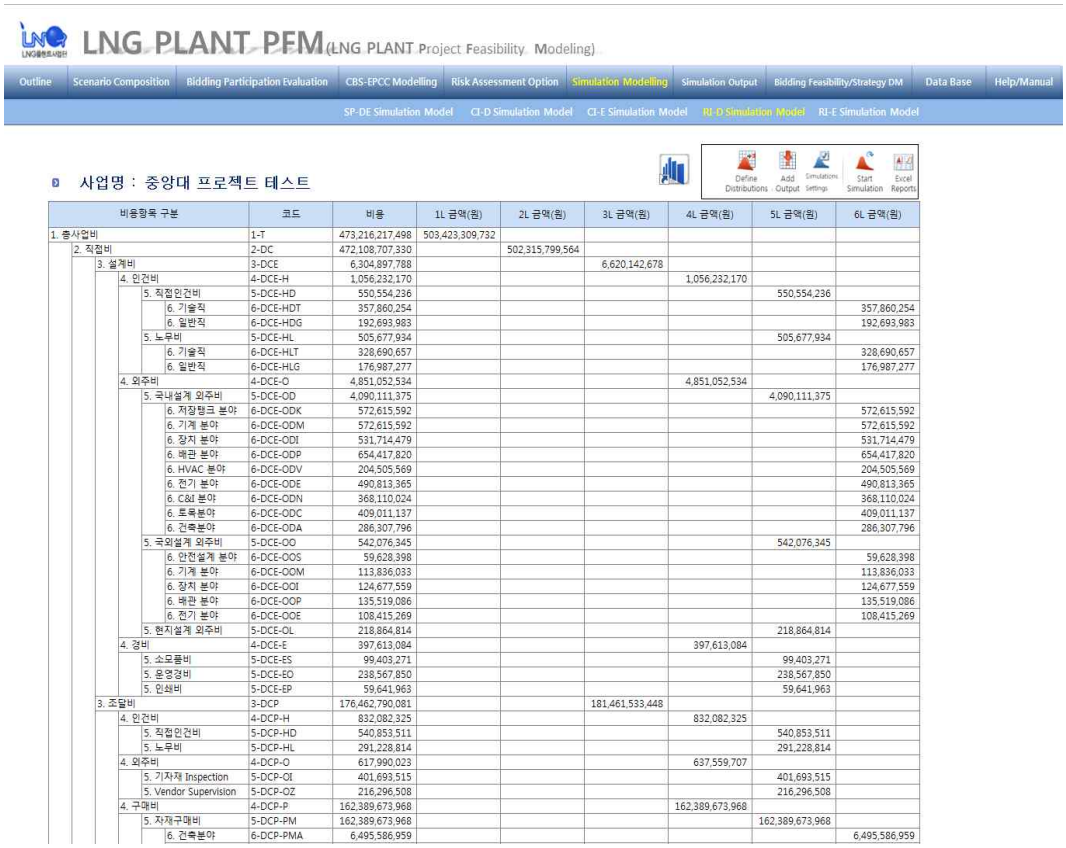


비용항목 구분	코드	비용	1L 금액(원)	2L 금액(원)	3L 금액(원)	4L 금액(원)	5L 금액(원)	6L 금액(원)
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	473,216,217,498					
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330		472,108,707,330				
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788			6,304,897,788			
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170				1,056,232,170		
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236					550,554,236	
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254						357,860,254
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983						192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934					505,677,934	
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657						328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277						176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534				4,851,052,534		
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375					4,090,111,375	
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592						572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592						572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479						531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820						654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569						204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365						490,813,365
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024						368,110,024
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137						409,011,137
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796						286,307,796
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345					542,076,345	
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398						59,628,398
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033						113,836,033
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559						124,677,559
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086						135,519,086
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269						108,415,269
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814					218,864,814	
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084				397,613,084		
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271					99,403,271	
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850					238,567,850	
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963					59,641,963	
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081			176,462,790,081			
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325				832,082,325		
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511					540,853,511	
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814					291,228,814	
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023				617,990,023		
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515					401,693,515	
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508					216,296,508	
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968				162,389,673,968		
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968					162,389,673,968	
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959						6,495,586,959

[그림 3.1.25] CI-E Simulation Model화면

CI-E Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Cost Item -> Expert Based에서 입력한 데이터로 95%tile 범위 내 하한비용, 평균비용, 95%tile 범위 내 상한비용을 도출한다. 또한 삼각분포에 적용하고 @RISK를 이용하여 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가하는 단계이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 실적비용의 비용증감비율 설문자료로 감액하한비용 및 증액상한비용을 삼각분포로 @RISK 분석 및 평가하고 시뮬레이션 할 수 있게 구성되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Cost Item -> Expert Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 삼각분포에 적용하여 @RISK를 이용한 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가 할 수 있도록 구성되었다.

RI-D Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Risk Item -> Data Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 실행하는 단계이다. RI-D Simulation Model의 화면은 다음과 같다.

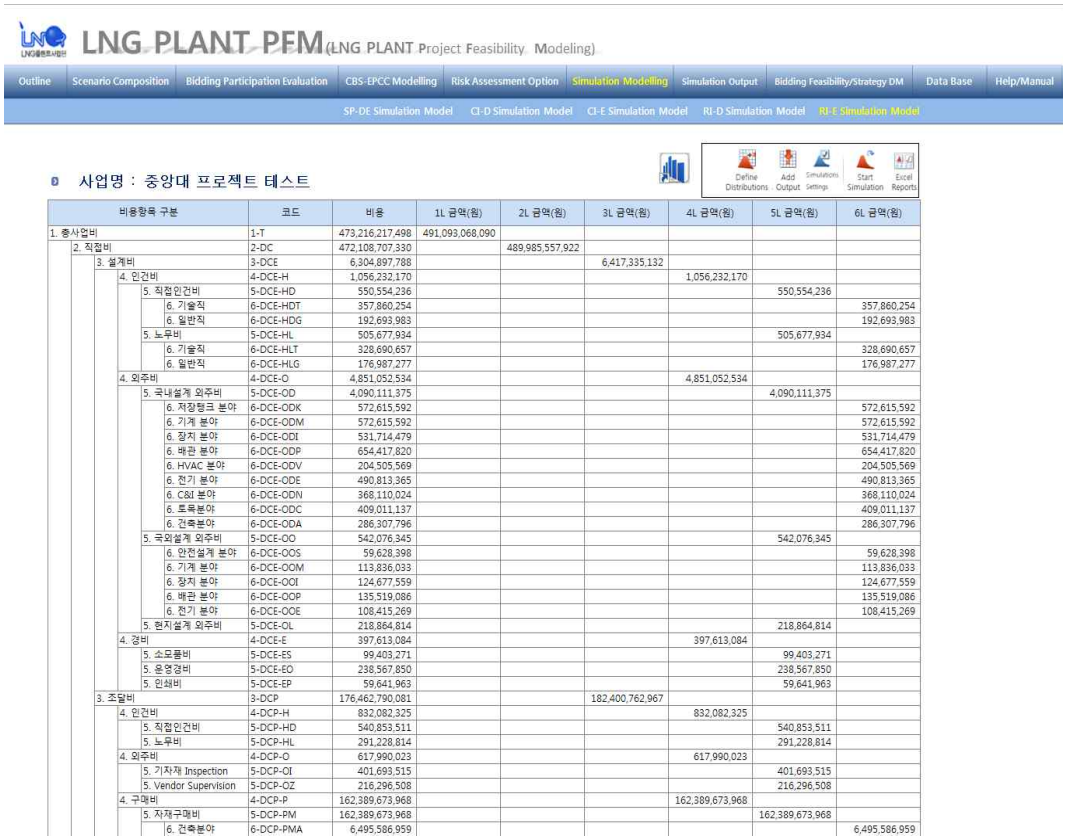


비용항목 구분	코드	비용	1L 금액(원)	2L 금액(원)	3L 금액(원)	4L 금액(원)	5L 금액(원)	6L 금액(원)
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	503,423,309,732					
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330		502,315,799,564				
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788			6,620,142,678			
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170				1,056,232,170		
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236					550,554,236	
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254						357,860,254
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983						192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934					505,677,934	
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657						328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277						176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534				4,851,052,534		
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375					4,090,111,375	
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592						572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592						572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479						531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820						654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569						204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365						490,813,365
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024						368,110,024
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137						409,011,137
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796						286,307,796
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345					542,076,345	
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398						59,628,398
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033						113,836,033
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559						124,677,559
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086						135,519,086
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269						108,415,269
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814					218,864,814	
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084				397,613,084		
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271					99,403,271	
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850					238,567,850	
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963					59,641,963	
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081			181,461,533,448			
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325				832,082,325		
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511					540,853,511	
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814					291,228,814	
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023				637,559,707		
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515					401,693,515	
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508					216,296,508	
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968				162,389,673,968		
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968					162,389,673,968	
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959						6,495,586,959

[그림 3.1.26] RI-D Simulation Model화면

RI-D Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Risk Item -> Data Based에서 입력한 데이터로 95%tile 범위 내 하한비율, 평균비율, 95%tile 범위 내 상한비율을 도출한다. 도출한 비율을 본 프로젝트 예상비용에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용, 평균비용, 95%tile 범위 내 상한비용을 도출한다. 또한 삼각분포에 적용하고 @RISK를 이용하여 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가하는 단계이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 과거 비용증감비율로 감액하한비용 및 증액상한비용의 변동범위 추정 방법으로 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 평균비율을 과거자료를 활용하여 평균비용을 중심으로 감액하한비율 및 증액상한비율을 삼각분포로 적용하여 @RISK를 이용하여 분석 및 평가하고 시뮬레이션을 수행하여 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Risk Item -> Data Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 삼각분포에 적용하여 @RISK를 이용한 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가 할 수 있도록 구성되었다.

RI-E Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Risk Item -> Expert Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 시뮬레이션을 실행하는 단계이다. RI-E Simulation Model의 화면은 다음과 같다.



비용항목 구분	코드	비용	1L 금액(원)	2L 금액(원)	3L 금액(원)	4L 금액(원)	5L 금액(원)	6L 금액(원)
1. 총사업비	1-T	473,216,217,498	491,093,068,090					
2. 직접비	2-DC	472,108,707,330		489,985,557,922				
3. 설계비	3-DCE	6,304,897,788			6,417,335,132			
4. 인건비	4-DCE-H	1,056,232,170				1,056,232,170		
5. 직접인건비	5-DCE-HD	550,554,236					550,554,236	
6. 기술직	6-DCE-HDT	357,860,254						357,860,254
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983						192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934					505,677,934	
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657						328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277						176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534				4,851,052,534		
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375					4,090,111,375	
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592						572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592						572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479						531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820						654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569						204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365						490,813,365
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024						368,110,024
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137						409,011,137
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796						286,307,796
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345					542,076,345	
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398						59,628,398
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033						113,836,033
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559						124,677,559
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086						135,519,086
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269						108,415,269
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814					218,864,814	
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084				397,613,084		
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271					99,403,271	
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850					238,567,850	
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963					59,641,963	
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081			182,400,762,967			
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325				832,082,325		
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511					540,853,511	
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814					291,228,814	
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023				617,990,023		
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515					401,693,515	
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508					216,296,508	
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968				162,389,673,968		
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968					162,389,673,968	
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959						6,495,586,959

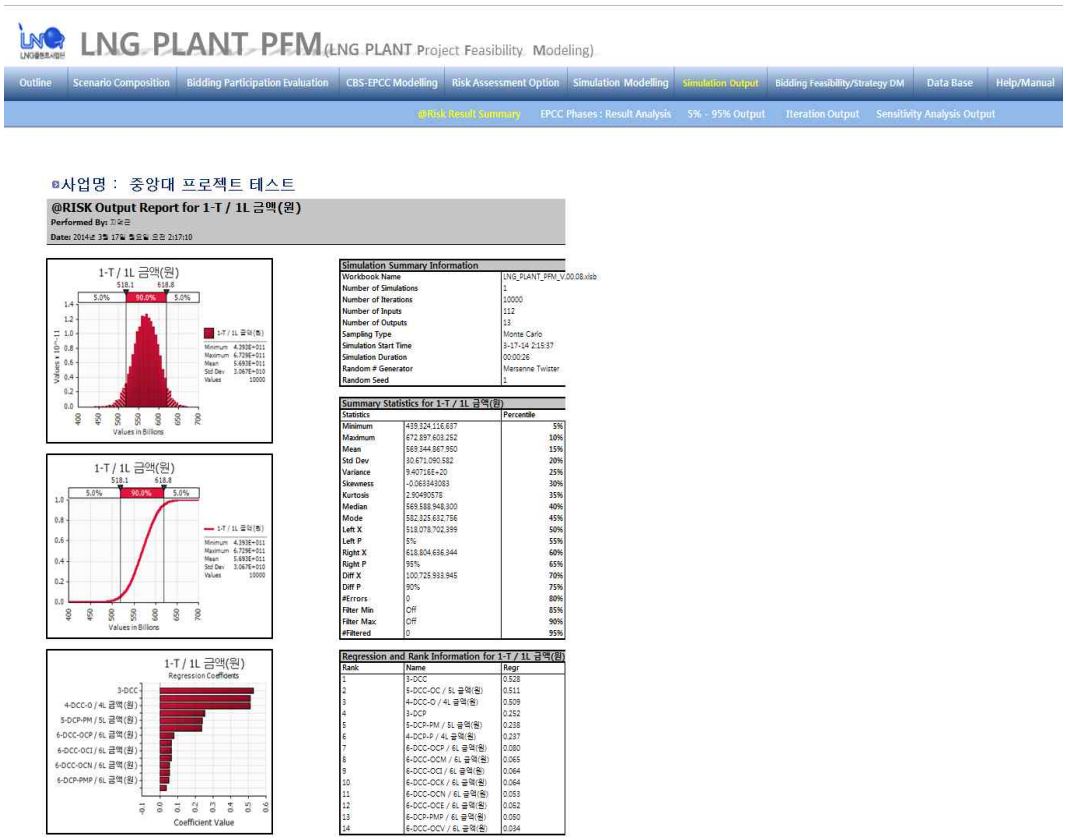
[그림 3.1.27] RI-E Simulation Model화면

RI-E Simulation Model은 위험요인 평가 설정(Risk Assessment Option)의 Risk Item -> Expert Based에서 입력한 데이터로 95%tile 범위 내 하한비율, 평균비율, 95%tile 범위 내 상한비율을 도출한다. 도출한 비율을 본 프로젝트 예상비용에 적용하여 95%tile 범위 내 하한비용, 평균비용, 95%tile 범위 내 상한비용을 도출한다. 또한 삼각분포에 적용하고 @RISK를 이용하여 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가하는 단계이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 2차 위험평가 모델 중 정량적 위험요인의 비용증감비율을 설문자료로 감액하한비율 및 증액상한비율의 변동범위 추정 방법으로 6 Level에 따른 CBS의 각 항목별 비용을 설문조사를 활용하여 평균비용을 중심으로 감액하한비용 및 증액상한비용으로 비용 환산하고, 이를 삼각분포로 적용하여 @RISK를 이용하여 분석 및 평가하고 시뮬레이션을 수행하여 총사업비를 평가할 수 있게 구축되었다. 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 Risk Item -> Expert Based에서 입력한 데이터를 바탕으로 삼각분포에 적용하여 @RISK를 이용한 총사업비의 변동범위를 분석 및 평가 할 수 있도록 구성되었다.

시뮬레이션 결과(Simulation Output)은 시뮬레이션 모델링(Simulation Modelling)에서 분석한 결과값을 표시하는 단계이다. 본 과업의 3단계 5차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입은 시뮬레이션의 결과를 별로도 정리하지 않았다. 3

단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전은 시뮬레이션의 결과를 정리하여 표시함으로써 총사업비의 변동에 대한 자세한 결과를 확인 가능하도록 구성하였다. 시뮬레이션 결과(Simulation Output)은 @RISK Result Summary, EPCC Phases : Result Analysis, 5% - 95% Output, Iteration Output, Sensitivity Analysis Output의 항목으로 구성되었다.

@RISK Result Summary는 총사업비의 변동범위에 대한 결과값을 요약 및 정리하는 단계로 구성되었다. @RISK Result Summary의 화면은 다음과 같다.

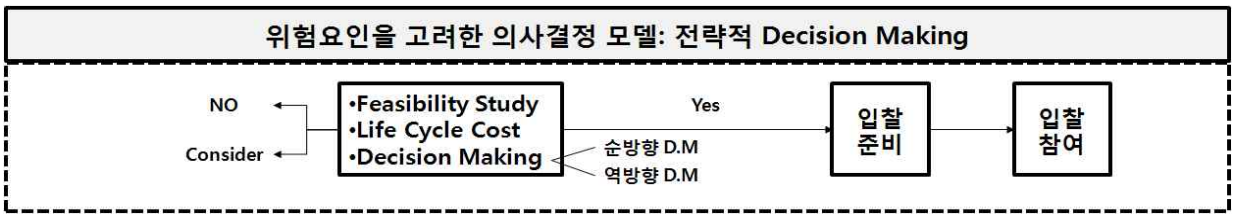


[그림 3.1.28] @RISK Result Summary화면

@RISK Result Summary는 총사업비의 변동범위, 변동범위의 누적, 민감도 분석결과를 그래프로 출력하고, 시뮬레이션의 요약정보, 총사업비 변동범위의 분포정보, 민감도 분석결과를 출력하도록 구성되었다. 총사업비의 변동범위 그래프는 정규분포의 형태, 변동범위의 누적그래프는 곡선의 형태, 민감도 분석결과 그래프는 막대그래프의 형태로 나타난다. 시뮬레이션의 요약정보는 시뮬레이션의 횟수, 반복횟수, 입력값의 개수, 결과값의 개수, 난수생성방법 등의 항목으로 구성되었다. 총사업비 변동범위의 분포정보는 최솟값, 최댓값, 평균, 표준편차, 분산, 왜도, 5%tile~95%tile값 등의 항목으로 구성되었다. 민감도 분석결과는 총사업비에 영향을 미치는 정도를 가장 높은 항목부터 14개 항목을 표시하도록 구성되었다. 상기와

같은 정보를 통해 사용자가 총사업비의 변동범위에 대한 결과값을 파악할 수 있도록 구성되었다.

입찰 타당성/전략 의사결정(Bidding Feasibility/Strategy DM)은 상기의 과정을 통해 총사업비의 변동범위비용을 @RISK를 실행하여 분석한 결과를 바탕으로 위험요인을 고려한 입찰 타당성 및 전략을 의사결정하기 위한 단계이다. 사용자는 입찰 의사결정 모델(순방향 의사결정 및 역방향 의사결정)의 판단에 의해서 입찰 여부를 최종 결정하여 판단하며 이를 도식화면 다음과 같다.



[그림 3.1.29] 위험을 고려한 의사결정 개념 모델

입찰 타당성/전략 의사결정(Bidding Feasibility/Strategy DM)은 Forward Decision Making, Reverse Decision Making의 항목으로 구성되어 있다.

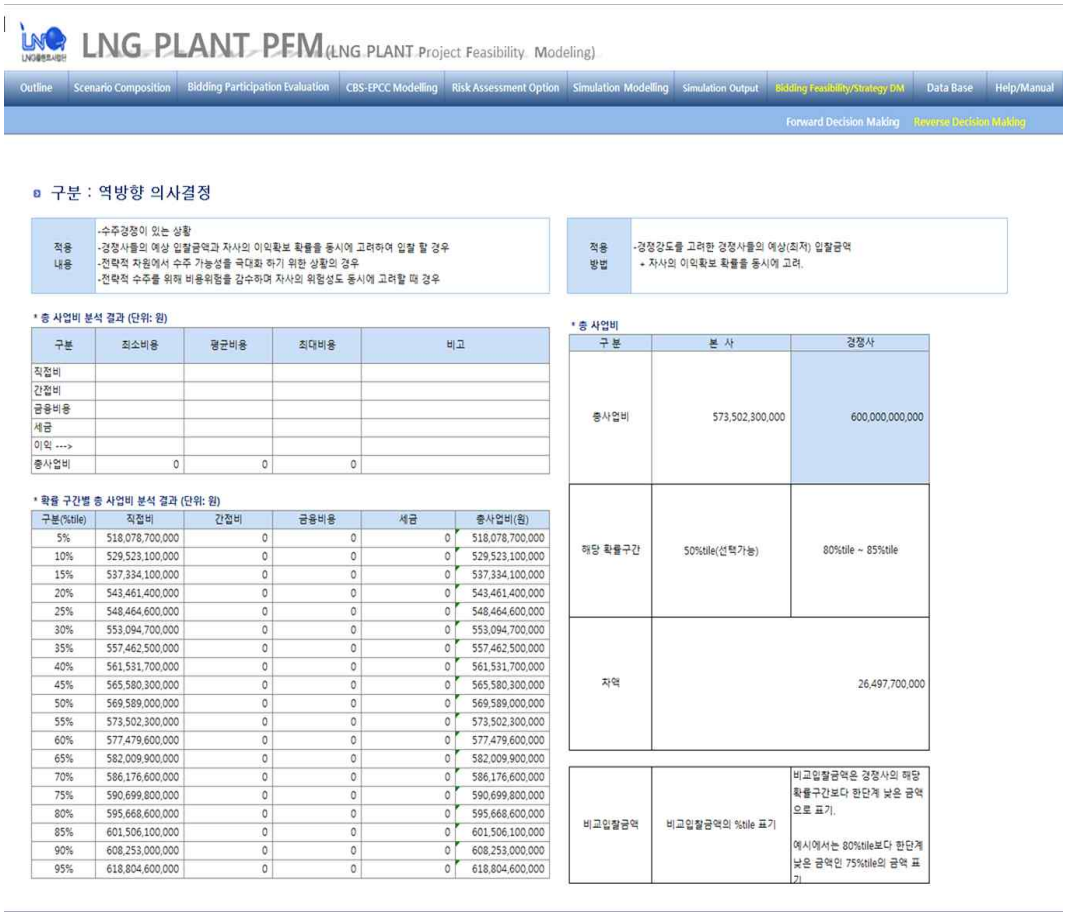
Forward Decision Making은 수의계약이나 단독입찰 상황, 경쟁사가 있으나 경쟁사를 고려하지 않고 자사의 이익확보 확률과 목표이익률만 고려하여 입찰할 경우, 수주될 경우와 수주가 되지 않을 경우에도 자사의 불이익이 없는 상황, 비용위험을 되도록 회피하고 수주보다 이익확보가 우선일 경우에 사용하는 단계이다. Forward Decision Making의 화면은 다음의 그림 30과 같다.



[그림 3.1.30] Forward Decision Making화면

Forward Decision Making은 수의계약 및 단독입찰 상황, 경쟁사가 있어도 경쟁사를 고려하지 않고 자사의 이익확보 확률과 목표 이익률만 고려하여 입찰하는 경우, 또는 수주될 경우와 수주되지 않을 때에도 자사의 불이익이 발생하지 않는 경우, 비용 위험을 되도록 회피하고 수주보다 이익확보가 우선일 경우에 활용된다. 또한 총사업비 분석을 통해 확률구간별 총사업비 분석 값 도출을 통하여 원하는 총사업비 Percentile별로 Percentile금액과 목표이익률에 따른 목표이익을 합산하여 입찰금액을 산출할 수 있도록 구성하였다.

Reverse Decision Making은 수주경쟁이 있는 상황, 경쟁사들의 예상 입찰금액과 자사의 이익확보 확률을 동시에 고려하여 입찰 할 경우, 전략적 차원에서 수주 가능성을 극대화하기 위한 상황의 경우, 전략적 수주를 위해 비용위험을 감수하며 자사의 위험성도 동시에 고려할 경우 사용하는 단계이다. Reverse Decision Making의 화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.31] Reverse Decision Making화면

Reverse Decision Making은 수주 경쟁이 있는 상황, 경쟁사들의 예상입찰 금액과 자사의 이익확보 확률을 동시에 고려하여 입찰하는 경우, 또는 전략적 차원에서 수주 가능성을 극대화하기 위한 상황의 경우, 전략적 수주를 위해 비용 위험을 감수하며 자사의 위험성도 동시에 고려할 경우에 활용되도록 구성된다.

데이터베이스(Data Base)는 비용정보, 위험요인, 시나리오 등 본 과업의 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전의 모든 정보를 프로젝트 단위로 구분하여 저장 및 관리할 수 있도록 구성된 단계이다. 데이터베이스(Data Base)의 화면은 다음과 같다.



[그림 3.1.32] Data Base화면

데이터베이스(Data Base)는 MS-SQL을 이용하여 구축된 DB에 저장된 정보를 검색하여 확인 및 관리하도록 구성되었다. 사용자가 검색하고자 하는 프로젝트의 사업명을 선택하면 DB에 저장된 정보를 검색하여 해당 프로젝트의 사업명, 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/조건, 사업수행시기의 일반적인 정보와 CBS 구성항목 및 비용, 의사결정 결과를 표시하도록 구성되었다. 사용자는 과거에 진행된 사례의 구성을 살펴보고 본 프로젝트를 진행할 경우 참고자료로 활용할 수 있다.

도움말/설명서(Help/Manual)는 3단계 6차년도 연구성과인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 베타버전의 전반적인 구성 및 기능에 대한 도움말과 간단한 사용법을 참고할 수 있도록 구성된 단계이다. 도움말/설명서(Help/Manual)을 클릭하면 도움말 및 간단한 사용법이 수록된 PDF파일이 열리도록 구성되었다.

3단계 5차년도에서는 기존 1단계 및 2단계의 결과물인 시나리오 기반 재무적 사업타당성 모듈, 생애주기(EPCC)비용 평가 모듈, 시나리오 기반 의사결정 모듈을 바탕으로 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 프로토타입 개발 절차와 시스템 개발을 위한 Tool 검토 및 선정을 거쳐 사업계획 전문가 시스템 프로토타입을 엑셀 Add-in 프로그램인 @RISK를 통하여 개발하였다. 또한 이를 바탕으로 3단계 6차년도에서는 5차년도에 구축된 프로토타입을 VBA를 활용하여 Excel Based Stand-Alone 시스템으로 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』베타버전을 개발하였다.

본 과업에서 제시하고 있는 시스템은 건설사업은 초기 사업 기획 및 계획 시부터 발생하는 수많은 사업개요, 비용, 위험, 의사결정, 등의 정량적 데이터와 정성적 데이터들에 대해 MS-SQL을 통해 자료들의 기초 DB화를 제시하였다. 본 절에서는 데이터 연동 및 통합 기초 DB구축을 위해 기존 데이터 표준(Excel, MS-SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발을 통해 참조자료의 수집 및 통합 기초 DB화를 구축 및 개발하였다.

기존의 데이터 표준(Excel, MS SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발

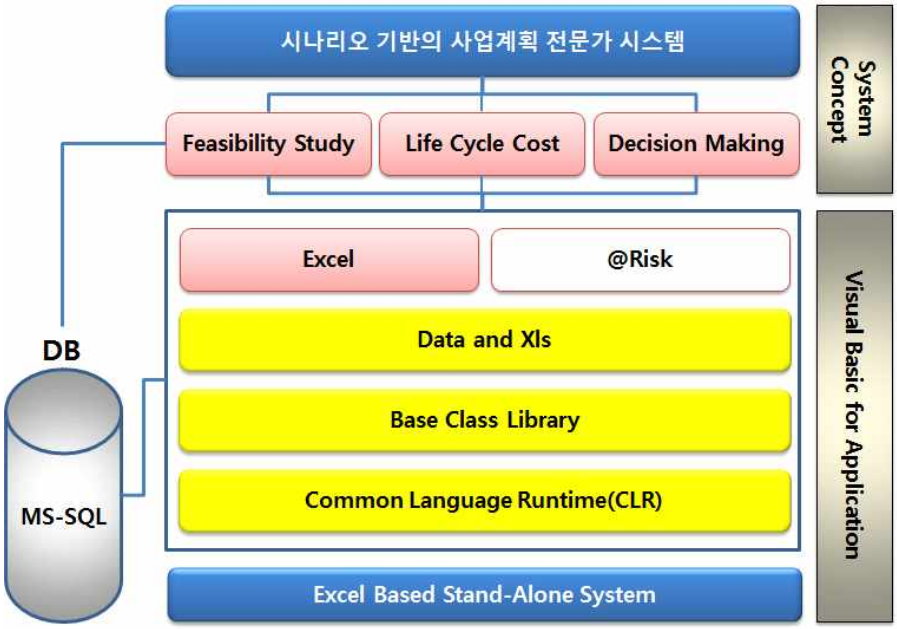
플랜트 관련 EPC 건설회사에서의 입찰과 관련한 타당성 분석 및 비용 예측, 의사결정 등의 사업관리를 엑셀을 활용하여 사용하고 있다. 본 과업인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』도 Web-Based, 기타 여러 가지 프로그램 Tool을 활용하여 개발 할 수 있다. 하지만 기존 사용자들을 고려해 시스템의 사용성 및 편리성을 고려하고, Excel Based Stand-Alone 형식으로 개발하고자 하며, 이를 위해 엑셀 DB 호환 및 연동이 뛰어난 MS-SQL을 활용하여 시스템으로 개발하였으며, 엑셀과 VBA, MS-SQL을 간단히 설명하면 다음과 같다.

엑셀은 미국의 컴퓨터 소프트웨어 회사인 마이크로소프트사(MS)에서 개발한 윈도 환경의 스프레드시트(Spread Sheet) 프로그램이다. 퍼스널컴퓨터(Personal Computer)와 매킨토시(Macintosh) 컴퓨터용의 스프레드시트 프로그램이다. 스프레드시트란 여러 가지 도표 형태의 양식에 계산, 표기되는 사무업무를 자동으로 하는 표계산 프로그램으로 계산기와 계산용지 등이 통합되어 연산 및 표를 작성하고 그래프를 그리는 소프트웨어를 말한다. 윈도 환경에서 많은 스프레드시트를 연결하고 통합하여 여러 가지 도형과 그래프 등을 작성할 수 있다. 엑셀은 윈도 환경에서 사용자의 그래픽 환경을 제공하는데 스프레드시트 기능을 비롯해 매크로, 그래픽, 데이터베이스 기능과 지도·차트 작성 등 통합 문서작성에 필요한 기능도 제공한다. 표계산과 그래프, 매크로 등을 하나의 소프트웨어에서 다룰 수 있는 최초의 통합형 표계산 소프트웨어이다.

VBA도 마이크로소프트(MS)에서 개발한 프로그램 도구이다. Excel 상에서 VBA 프로그램 언어를 이용한 개발환경이 제공되기 때문에 보다 수준 높은 작업의 자동화, 통계, 자동화 계산, 연구 프로그램 제작 및 다양한 Graphical User Interface의 제작이 가능한 장점이 있다. 또한 VBA를 이용하면 C나 포트란을 컴퓨터에 설치하지 않고도 비교적으로 복잡한 프로그램 및 시스템을 개발 할 수 있어 교육, 산업계, 프로젝트 관리, 연구 등에 다양하게 활용이 가능하다.

MS-SQL도 역시 마이크로소프트(MS)에서 개발한 프로그램이다. 각종 자료를 저장하는 데이터베이스(DB) 서버를 관리하는데 쓰이는 언어를 뜻한다. MS-SQL서버는 SQL에 기반해 MS가 개발한 데이터베이스 서버이다. 웹사이트 운영 시 혹은 시스템 운영 시 필요한 수천만 건의 데이터가 저장돼 있다. 또 데이터 사이의 관계를 관리하고 이용자의 인터넷 검색 기능을 지원한다. MS는 1992년 윈도NT에서 운용되는 SQL서버 1.0판을 시장에 내놓았고 매년 이를 업데이트해 발표하고 있다.

상기와 같이 본 과업 시스템은 기존의 데이터 표준(Excel, MS SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발을 위해 엑셀, VBA, MS SQL을 활용하였다. LNG 플랜트 건설사업은 일반적인 건축 및 토목시설에 비해 성공적인 사업수주 의사결정을 위해 더 복잡한 공정, 시간, 비용, 품질 등의 대량의 데이터를 내포하고 있다고 할 수 있다. 따라서 본 과업에서는 사업수주를 위해 입찰비용 추정에서 발생하는 비용, CBS, 위험요인 등 정량적 및 정성적 자료들에 대한 DB를 구축하고자 함이다. 이를 위해 기존 데이터 표준의 Excel, MS-SQL 등과 연동 및 인터페이스를 개발하고자 하며, 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



[그림 3.1.33] 기존 데이터표준과의 연동 및 인터페이스 개념

『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』은 추후 주관기관에서 개발 중인 통합지식정보관리시스템과 연동 및 사용이 가능하도록 MS-SQL을 사용하여 통합기초 DB를 구축하였다. 이를 위해 컴퓨터 개발 프로그램인 VBA를 통해서 기존 데이터 표준과의 연동 가능한 인터페이스로 개발하였다.

참조자료의 수집 및 통합 기초 DB화를 위한 데이터베이스는 업무처리를 위해 다수의 응용 시스템 또는 다수의 사용자들이 공용으로 사용하기 위해 통합, 저장된 시스템의 자료의 집합을 의미한다. 데이터베이스의 특징은 계속적인 변화(항상 최신의 정보를 유지할 수 있도록 삽입, 삭제, 갱신이 이루어짐)와 동시공유(여러 사용자가 동시에 접근하여 이용), 실시간 접근성(질의에 대해 실시간 처리 및 응답), 업무에 의함 참조(데이터의 물리적 주소나 위치에 의하지 않고 사용자가 요구하는 데이터 내용으로 검색)가 가능하다는 것이다. 데이터베이스는 개체(Entity), 속성(Attribute), 관계(Relation)를 구성요소로 만들어진다.

데이터베이스 관리 시스템은 기존 파일 시스템의 문제점인 데이터의 중복성과 종속성 등의 문제를 최소화하기 위해 개발되었으며, 사용자와 데이터 간의 중계 역할을 수행한다. 데이터베이스의 내용은 정의, 조작, 제어(관리)할 수 있도록 함으로써 모든 사용자나 응용 프로그램들이 데이터베이스를 공유할 수 있도록 관리 운영해 주는 소프트웨어를 뜻한다. 데이터베이스와 관련하여 Access, dBASE, MS-SQL, Oracle 등의 관리시스템이 있지만, 본 과업과 관련해서는 주관기관에서 개발 중인 Web-Based 시스템인 통합지식정보관리시스템이 MS-SQL을 사용하고 있기 때문에 본 과업에서도 통합에 대한 편리성 및 호환성을 위해 MS-SQL을 이용하여 통합기초 DB를 구축하였다.

『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』에서 수집되는 데이터는 시나리오에 따른 위험자료, 비용자료, 비용분류체계, 의사결정 자료, 설문 자료, @RISK를 통한 분석결과 자료 등으로 이를 추후 사업 진행을 위한 참조자료로 활용할 수 있다. 따라서 상기와 같은 참조자료의 추후 유사사례 사업진행 시 원활히 사용 가능하도록 통합기초 DB를 구축하였고, 또한 이와 관련하여 시스템 상에서 관련자료를 검색 할 수 있도록 개발하였다. 이는 다음과 같다.



[그림 3.1.34] 시스템 상에서 DB 검색

시나리오 기반의 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 상에서 데이터베이스를 검색 할 수 있도록 하였으며, 이에 대한 내용은 다음과 같다. 첫째, 기본적인 사업개요를 검색할 수 있으며, 이는 사업명, 지역, 국가, 사업종류, 업무범위, 사업특성, 계약방식/조건, 사업수행시기의 간단한 개요를 볼 수 있다. 둘째, 사업 결과에 따른 의사결정 결과를 검색

할 수 있으며, 이는 사업 진행 결과에 따른 의사결정 내용으로 순방향 의사결정 또는 역방향 의사결정 결과들을 볼 수 있다. 셋째, 상기의 사업의 개요 및 의사결정 결과 검색과 함께 해당 프로젝트의 CBS와 비용을 검색할 수 있으며, 이는 해당 프로젝트의 비용분류체계와 항목별 비용을 볼 수 있다.

본 과업인 『시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템』 개발을 위해 기존 3단계 5차년도 연구 내용을 바탕으로 MS-SQL을 활용하여 인터페이스를 개발하였다. 또한 데이터베이스와 관련하여 주관기관에서 개발 중인 통합지식정보관리시스템이 MS-SQL을 사용하고 있기 때문에 통합에 대한 편리성 및 호환성을 위해 MS-SQL을 이용하여 통합기초 DB를 구축하였다.

2절 해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 내용

타당성 분석이란 종합적인 관점으로는 시설물 건설에 대한 투자의사결정 시 투자여부의 판단 및 최적대안을 찾기 위해 여러 대안들에 대한 적합성, 성공 가능성에 대한 종합적인 분석 및 검토 행위를 뜻하며, 경제성을 중심으로는 미래에 예상되는 경제적 가정을 전제로 관련된 모든 요소의 상호관계를 고려하여 건설사업의 성공 가능성을 조사 분석하는 일련의 과정이다.

순현가법 (NPV: Net Present Value Method)

NPV(순현가)란 특정 사업으로부터 얻은 모든 수익의 현재가치에서 소요된 총비용의 현재 가치를 차감한 것을 말한다. 이를 이용한 투자의 경제성 평가법이 순현가법이다. 단일 투자안에서는 순현가가 양(+)인 투자안의 경제적 타당성이 있는 것으로 추정하여 활용한다. 복수 투자안에서는 순현가가 클수록 유리한 투자안임을 확인할 수 있다. 장점으로는 화폐의 시간적 가치를 반영하는 것이고, 현재 특별한 단점이 발견되지 않았다. 거의 대부분의 경제성 평가에 있어서 필수적으로 사용되는 방법이다.

$$NPV = \sum (PV of\ All\ Benefits) - \sum (PV of\ All\ Costs)$$

편익비용비율(B/C Ratio: Benefit / Cost Ratio)

B/C Ratio(편익비용비율)란 특정 사업으로부터 얻은 모든 수익의 현재가치를 소요된 총비용의 현재가치로 나눈 것이다. 이를 이용한 투자의 경제성 평가법이 편익비용분석임. 단일 투자안에서는 경제성 분석에 많이 사용되며, B/C Ratio가 1 이상인 투자안의 경제성 타당성이 있는 것으로 추정하여 활용한다. 복수 투자안에서는 B/C Ratio가 클수록 유리한 투자임을 확인할 수 있다. 장점으로는 화폐의 시간적 가치를 반영하는 것이고, 단점은 사업기간이 고려되지 않아 복수 투자안의 선택 시는 주의가 요망된다. 즉, 복수 투자안의 경우에 상호 배타적일 시 의사결정에 사용 되서는 안 되며, 참고자료로만 이용해야 한다.

$$B/C Ratio = \frac{\sum (PV of\ All\ Benefits)}{\sum (PV of\ All\ Costs)}$$

내부수익률법(IRR: Internal Rate of Return Method)

IRR(내부수익율)은 특정 사업의 NPV를 0으로 만드는 할인율을 말한다. 이를 이용한 투자의 경제성 평가법이 내부수익율법이다. 단일 투자안에서는 최저필수 수익률과의 비교에 의해 결정되고, 기본적으로 IRR이 은행금리보다 높으면 경제적 타당성이 있는 것으로 추정한다. 복수 투자안에서는 IRR이 클수록 유리한 투자안임을 확인할 수 있다. 장점으로는 화폐의 시간적 가치를 반영하는 것이고, 단점은 IRR 계산 시 많은 반복 계산이 필요하다는 점과 복수의 IRR이 나올 수 있어 결과가 모호하거나 잘 못된 결정을 유도할 수 있다는 점이

있다. 거의 대부분의 경제성 평가에 있어 사용되지만, 이론상의 문제점을 알아야 하며 복수 투자안시 주의가 요구된다. 상기와 같은 내용을 기반으로 타당성 분석 모델의 개발 방법을 설명하면 다음과 같다.

1. 모델 개발 방법

LNG Chain은 총 3단계로 나눌 수 있음. 먼저 Upstream에서는 개발 및 탐사를 수행하고, Midstream에서는 가스의 액화를 수행하고, Downstream에서는 수송 및 배분을 담당한다. 각 부분과 본 연구와의 관련성은 다음과 같다. Upstream은 초기 광구투자부터 검토해야 될 필요가 있을 때 분석해야 하므로 본 연구에 적합하다고 할 수 있다. 하지만 Upstream 분야는 예외성이 많으므로 상세수준은 못 되어도 일정 수준의 정확성 및 최적 지분율 판단은 가능해야 한다. Midstream 분야는 본 연구의 핵심적인 부분으로써 액화 플랜트에 대한 경제적 타당성 분석이 필수적이며, 공사 금액을 각 Level별로 세분화시키는 작업 또한 필요하다.

Upstream의 계약 방식은 Concession, Production Sharing Contract, Service Contract 등 3가지 분야로 나눌 수 있다. 각 계약 방식에 대한 특징은 다음과 같다.

<표 3.2.1> Upstream 계약방식

계약방식	세부 내용
Concession	- Royalty(정부에 대한 보상, 자원자체에 대한 세금) + Tax - 자원 보유 정부와 협상하여 생산물에 대한 권리를 소유 - 정부의 광구 분양을 낙찰받아 개발 - Shale 가스 천공 지역에 사용
Production Sharing Contract	- Royalty + Tax (Tax라는 말 대신 PSC 계약에 의한 생산물 분배 방식으로 회수) - 생산물 분배 방식 : R-Factor, IRR Factor - 세제 영향 등 덜 받고 해당 정부와 계약을 통해 체결 - 사이프러스, 모잠비크 등에서 사용
Service Contract	- 고정된 마진만 Contractor가 회수 - 생산에 대해 용역대가(service fee)만 받음 - Midstream의 Tolling과 같은 개념 - Risk가 적음 (이익도 적음) - 이라크 4개 광구, 배네수엘라 등에서 사용

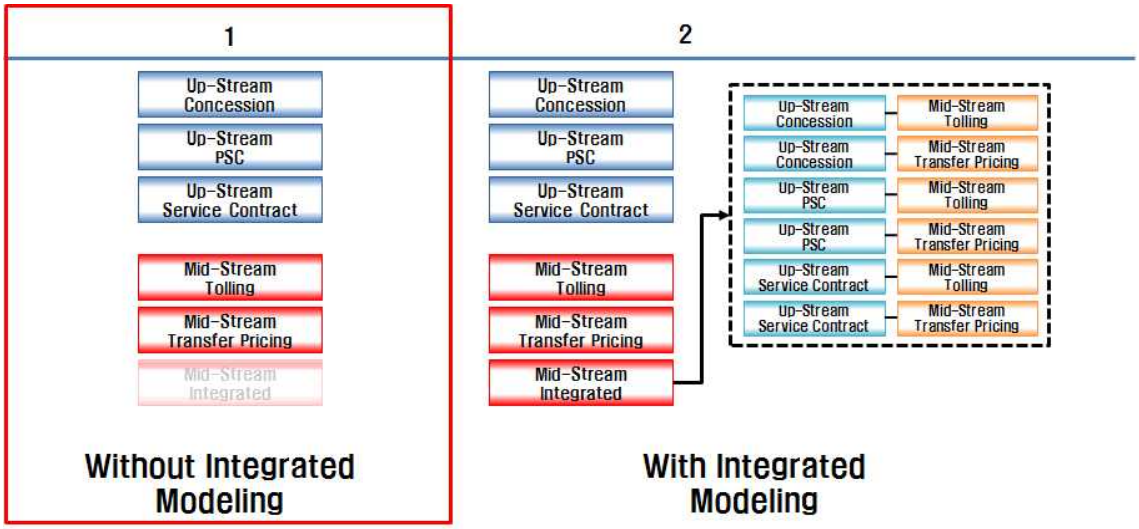
Midstream의 계약 방식은 Tolling, Transfer Pricing, Integrated 등 3가지 분야로 나눌 수 있다. 각 계약 방식에 대한 특징은 다음과 같다.

<표 3.2.2> Midstream 계약방식

계약방식	세부 내용
Tolling	- LNG 액화 플랜트 건설에 대한 Toll Fee만 받는 구조 - 운영료만 받기 때문에 가스 가격에 대한 위험이 없음 - 규모/Plant Capacity 결정 : 가스 총량, 시장 여건 고려 - 원료가스 판매가 없음
Transfer Pricing	- Profit Center Model(이득이 Main Sponsor) - 가스 소유권이 GSA에 의해 Midstream으로 이전 - Midstream이 판매자가 됨 - Upstream 측에서는 판매가에 대한 Risk가 없음 - 현실적으로 가장 많이 사용 됨
Integrated	- Up(개발, 탐사, 생산) + Mid (액화) - Up과 Mid의 모든 이익을 모두 소유 (High Risk 사업) - Up과 Mid에 모두 계량기가 붙어 있음 - Up과 Mid의 특성 모두 고려 Up : 매년 투자금이 들어감 Mid : 한 번 지어놓으면 중간에 약간의 수선비만 필요

Upstream과 Midstream의 계약방식에 대한 그림 및 해설을 알아보았음. Upstream은 Concession, Production Sharing Contract, Service Contract, 등 3가지 계약방식이 있었고, Midstream은 Tolling, Transfer Pricing, Integrated, 등 3가지 계약방식이 있었다. 이러한 계약 방식들에 따라 본 연구에서 다루는 경제적 타당성 분석 모델은 각 계약 방식마다 개발되어져야 한다. 그러나 Integrated 모델의 경우 Upstream과 Midstream을 합친 모델이다.

LNG 플랜트 사업에서 Upstream과 Midstream을 합하여도 지분이 그대로 가는 경우가 없고, 중간에 계량기가 붙으므로 각각을 별개로 보는 효과를 가질 수 있다. 또한 사용자가 혼동이 올 수 있다는 단점이 있다. 다음의 그림은 Integrated를 고려하지 않는 방법과 고려하는 방법에 대한 그림이다.



[그림 3.2.1] Integrated 모델의 비고려 & 고려

Integrated를 고려하지 않게 된다면 5개의 모델 개발로 진행할 수 있고, Integrated를 고려하게 되면 모델의 개수가 11개의 모델을 개발해야 되는 것을 나타낸다. 모델의 개수를 단순화시키기 위해서 Integrated를 포함하지 않는 방향을 선택하였다. 따라서 Upstream 분야의 3가지 모델과 Midstream 분야의 2가지 모델 개발을 본 연구의 경제적 타당성 분석의 범위로 산정하였다.

회계 및 세무

본 해외진출사업의 경제적 타당성 분석 모델을 만들기 위하여 회계 및 세무 부분이 필요하다. 특히, 현금흐름표를 통하여 수익의 유무를 알 수 있으며, 감가상각을 통하여 시설물의 가치 하락을 측정해야 한다. 또한, 경제적 타당성 분석을 수행할 때 세금이 큰 영향을 미치므로 여기에 대한 분석도 필요하다.

재무제표의 개요

재무제표는 현행기준 IFRS에 맞추어 매년 개정되는 연결 재무제표를 사용한다. 현재 사용되는 연결 재무제표의 요소로는 재무상태표, 포괄손익계산서, 자본변동표, 현금흐름표, 주석 등이 있다. 다음의 표는 현행 기준 재무제표와 과거의 재무제표와의 비교이다.

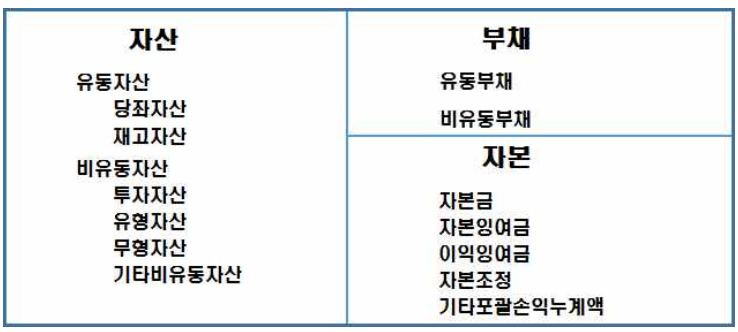
<표 3.2.3> 재무제표 필수요소

과거				현재('09.3~) - 금융감독원			
현행 회계기준 K-GAAP				한국채택 국제 회계기준 K-IFRS			
과거 세무				IFRS에 맞추어 매년 개정			
개별 재무제표 (Separate Financial Sheets)				연결 재무제표 (Consolidated Financial Sheets)			
	국문	영문	비고		국문	영문	비고
1	대차대조표	Balance Sheet		1	재무상태표	Statement of Financial Position	O
2	손익계산서	Income Statement		2	포괄손익계산서	Statement of Comprehensive Income	O
3	자본변동표	Statement of Changes in Equity		3	자본변동표	Statement of Changes in Equity	
4	현금흐름표	Cash Flow		4	현금흐름표	Cash Flow	O
5	주석	Foot Note		5	주석 (이익잉여금 처분 계산서 및 결손금처리 계산서)	Foot Note	
6	이익잉여금처분 계산서 및 결손금 처리 계산서	Suplus Appropriation Statement & Statement of Disposition of Deficit					

상기의 재무제표 필수요소 중 본 과업에 필요한 재무상태표, 포괄손익계산서, 현금흐름표를 경제적 타당성 분석 모델에 사용하겠다.

재무상태표 (Statement of Financial Position)

재무상태표란 특정시점 현재 기업이 보유하고 있는 자산(경제적 자원)과 부채(경제적 의무), 자본의 잔액에 대한 정보를 보고하는 보고서를 뜻 한다. 다음의 그림은 재무상태표의 기본적인 형태이다.



[그림 3.2.2] 재무상태표의 기본 형태

재무상태표의 기본적인 형태를 나타내었다. 재무상태표의 계정항목은 크게 자산, 부채, 자본으로 나눌 수 있으며, 부채와 자본의 합이 자산이 되어야 올바른 형태의 재무상태표라 할 수 있다.

자산은 과거 사건의 결과로 현재 기업이 통제하고 있고, 미래 경제적 효익이 유입될 것으로 기대되는 자원을 말한다. 1년 이내 현금으로 바꿀 수 있는 유동자산과, 1년 이내 현금으로 바꿀 수 없는 비유동 자산으로 이루어져 있다. 또한, 유동자산에는 현금화하기 쉬운 당좌자산과 판매라는 과정을 통해 현금화 하는 재고자산으로 나눌 수 있으며, 비유동자산은 기업 여유자금을 활용하여 투자 수익을 획득하는 투자자산과 형태가 있는 유형자산과 형태가 없는 무형자산으로 나눌 수 있다.

부채는 과거 사건에 의해 발생했으며, 미래 경제적 효익이 내재된 자원의 유출됨으로써 이행될 것으로 기대되는 현재의 의무를 말한다. 단기에 갚아야 할 유동부채와, 1년 이내 갚지 않아도 되는 비유동부채로 나눌 수 있다.

자본은 기업 실체의 자산 총액에서 부채 총액을 차감한 잔여금액을 뜻 하며 순 자산이라고도 할 수 있다. 자본금의 경우에는 법인의 경우 납입 자본금, 보통주 자본금과 우선주 자본금이 있으며, 자본 거래로 인하여 발생한 초과수익인 자본잉여금과 기업 영업활동을 통해 발생한 이익잉여금이 있다.

포괄손익계산서 (Statement of Comprehensive Income)

포괄손익계산서는 일정기간 동안 발생한 수익과 비용을 보고하는 재무제표를 말하며, 기업의 경영성과에 대한 정보를 제공하고, 현재의 자원을 이용하여 미래 현금을 창출할 수 있는 능력을 판단하는 지표로 활용이 가능하다. 다음의 그림은 포괄손익계산서의 기본적인 형태이다.



[그림 3.2.3] 포괄손익계산서의 기본형태

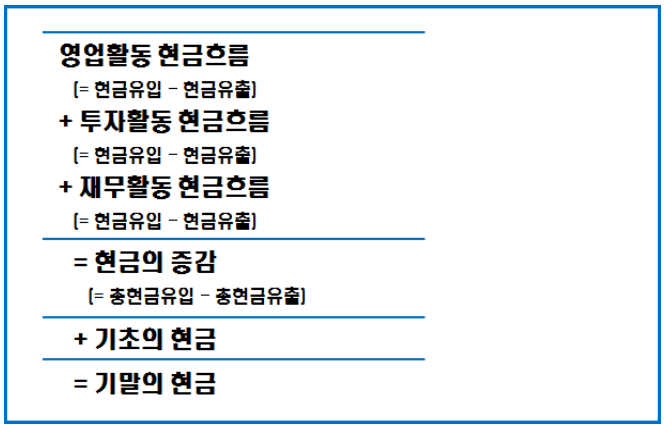
포괄손익계산서는 매출액, 매출총이익, 영업이익, 법인세차감전순이익, 당기순이익 등에 대하여 알아볼 수 있는 재무제표의 한 부분이다. 매출액에서 매출원가를 차감할 경우 매출총이익이 되며, 매출총이익에서 판매비 및 일반관리비를 차감할 경우 영업이익이 되며, 영업이익에서 영업외수익 및 영업외비용을 차감할 경우 법인세차감전순이익이 되며, 법인세

차감전순이익에서 법인세를 차감할 경우 당기순이익이 된다. 포괄손익계산서의 계정항목을 살펴보면 다음과 같다.

매출원가는 매출을 위해 희생된 원가를 뜻한다. 판매비 및 일반관리비는 경영, 영업을 위해 지출되고 소비되는 비용을 뜻한다. 영업외수익은 영업과 관계없이 발생한 수익을 뜻하고, 영업외비용은 영업과 관계없이 발생한 비용을 뜻한다. 법인세는 법인의 소득을 과세대상으로 법인에게 부과하는 조세를 뜻한다. 당기순이익은 일정기간(해당기간)의 순이익이며 포괄손익계산서의 최종 결과물이 된다.

현금흐름표 (Cash Flow)

현금흐름표는 장기간 동안의 기업의 현금흐름을 나타내는 표로써 현금의 변동내용을 명확하게 보고하기 위하여 당해 회계기간에 속하는 현금의 유입과 유출내용을 적정하게 표시해야 한다. 현금흐름표의 기본적인 형태는 다음의 그림과 같다.



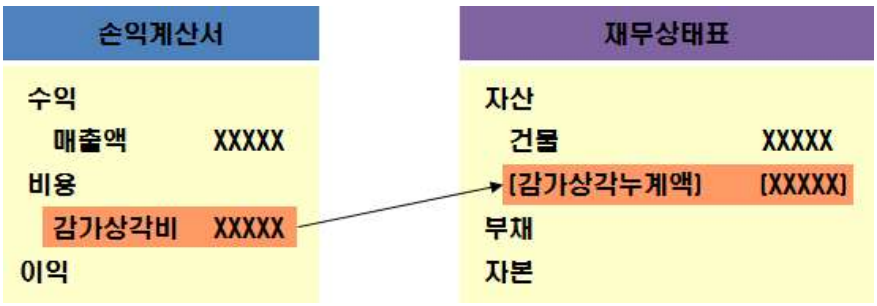
[그림 3.2.4] 현금흐름표의 기본 형태

현금흐름표의 기본 형태를 나타내었다. 현금흐름표는 현금이 어떻게 창출되어 어디에 얼마만큼 쓰였는가를 보여주는 표로써 영업활동의 현금흐름, 투자활동의 현금흐름, 재무활동의 현금흐름을 통하여 현금의 증감을 측정한 후에 기초의 현금을 더하여 기말의 현금을 도출한다. 현금흐름표의 계정항목을 설명하면 다음과 같다.

영업활동 현금흐름은 영업에서 창출된 현금을 계산한 다음 여기에 개별보고 항목을 가감하여 계산한다. 투자활동 현금흐름은 기업활동을 수행하기 위해 필요한 자원을 취득하고 처분하는 활동에 따른 현금흐름이다. 재무활동의 현금흐름은 기업의 투자활동과 영업활동에 필요한 자금의 조달과 연관된 활동에 따른 현금흐름이다.

감가상각의 의미 및 재무제표에 적용

감가상각이란 자산 가치 중 감소되는 것으로 추정되는 가액을 수익창출에 기여하는 기간 동안 체계적이고 합리적인 방법으로 배분하여 비용으로 인식하는 과정을 의미한다. 이러한 감가상각을 재무제표에 적용하면 다음과 같다.



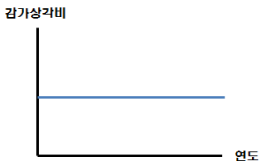
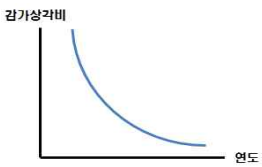
[그림 3.2.5] 감가상각비와 감가상각누계액

감가상각은 손익계산서에 비용으로 들어가며, 재무상태표에는 자산의 감가상각누계액으로 계산된다.

정액법과 정률법

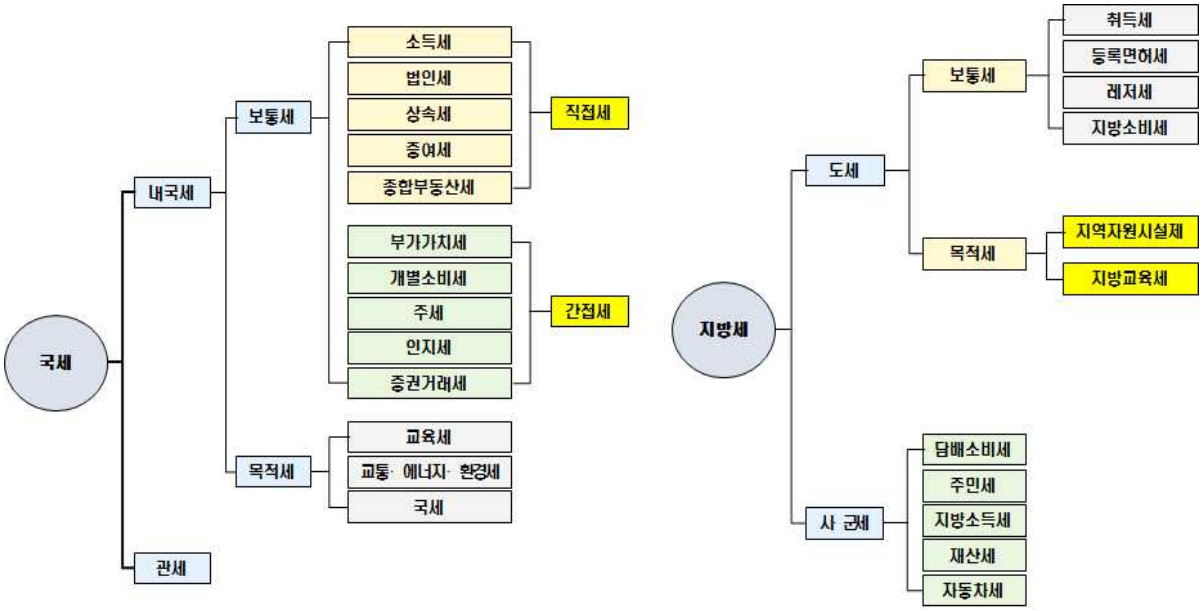
감가상각의 방법은 크게 정액법과 정률법으로 나눌 수 있는데 그 세부내용을 살펴보면, 다음과 같다.

<표 3.2.4> 정액법과 정률법

정액법		- 유형자산의 가치 감소가 시간의 경과에 비례하여 발생하는 것으로 가정하여 감가상각 대상금액을 내용연수 동안 균등하게 나누어, 매년 동일한 금액을 상각하는 방법 - 감가상각비는 매년 일정한 금액이 되므로 정액법이라 함 - 정액법을 적용하여 감가상각비를 계산하기 위해서는 먼저 취득원가에서 잔존가치를 차감하여 감가상각대상금액을 계산해야 함
정률법		- 매년도 초의 장부금액에 정률을 곱하여 당해 연도 감가상각비를 계산하는 방법 - 취득원가와 잔존가치를 활용하여 감가상각률을 계산한 후, 각 연도의 감가상각비는 매년도 초장부가액에서 상각률을 곱하여 계산함. - 감가상각비는 매년 다른 결과가 나오게 됨.

세금

세금은 나라마다 세법이 다르기 때문에 국제 세법 기준으로 고려해야 한다. 금융 입장에서도 매우 중요하며, 프로젝트 경제성에도 큰 영향을 미치는 부분이다. 세금은 크게 국세와 지방세 두 가지로 나눌 수 있다.



[그림 3.2.6] 국세와 지방세

국세와 지방세에 대한 도식화이다. 국세 및 지방세에 대한 개괄적인 설명은 다음과 같다.

국세는 중앙정부에서 부과 및 징수하는 세금으로서 내국세와 관세로 구분할 수 있으며, 국세청에서 담당한다. 관세는 외국으로부터 물품을 수입할 때 부과하는 세금으로 관세청에서 담당한다. 내국세는 국내에서 사람이나 물품에 대해 부과하는 세금으로 징수 목적에 따른 보통세와 목적세로 구분한다. 직접세와 간접세는 납세의무자와 납세자가 동일할 경우 직접세로 간주하며, 동일하지 않을 경우에는 간접세로 간주한다. 지방세의 경우 지역의 공공서비스 제공을 위한 재원으로 사용되며 징수 주체가 지방자치단체나 지방정부이다.

위험요인 분석

본 해외진출사업의 경제적 타당성 분석 모델의 신뢰성 및 정확성을 높이기 위해서는 위험요인에 대한 고려가 필요하다. 위험요인을 고려할 경우 결정론적인 모델이 아닌 확률론적인 모델을 제시할 수 있다. 위험요인은 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 사용 할 것이고, @RISK 프로그램을 이용하여 구현 할 것이다.

몬테카를로 시뮬레이션

몬테카를로 시뮬레이션은 모나코의 유명한 도박 도시에서 유래된 명칭이다. 프로세스 변동의 효과를 측정하기 위해 확률 변수를 이용하는 방법으로서 랜덤 표본을 이용하는 모의실험이며, 난수를 이용하는 방법임. 몬테카를로 시뮬레이션은 실행에 앞서 의사결정을 평가하는데 경제적이고, 시스템에서 중요한 구상요소를 제시할 수 있지만, 결과가 입력 값의 정확성에 대해 민감하며, 엑셀에 모델을 구축할 수 없다면 @RISK, Crystal Ball등의 프로그램을 사용해야 하는 번거로움이 있다.

@RISK 프로그램 이용

위험 요인을 고려한 경제적 타당성 분석 모델 개발을 위해 몬테카를로 시뮬레이션

기법의 엑셀 Add-in 프로그램 검토를 수행하였다. @RISK 프로그램은 Crystal Ball로 구축된 모델을 @RISK 프로그램 내에서 자동 변환이 가능하고, Crystal Ball에 비해 더 많은 확률 분포를 선택할 수 있으며, 주요 세부 기능을 더 면밀하게 분석할 수 있으므로, 본 해외진출사업 모델에 더 적합하다 할 수 있다. 다음의 그림은 @RISK를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션의 프로세스이다.



[그림 3.2.7] @RISK를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션

@RISK를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션을 나타낸 것이다. Input 데이터를 통하여 @RISK를 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 Output 데이터를 도출해 내는 과정이다. 다음은 @RISK를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션에 대한 개괄적인 설명이다. Input 데이터를 확률분포로 변환시킨다. @RISK를 이용하여 함수와 수식을 이용하여 모델을 구축한 후에 모델의 반복 횟수를 지정한다. Output 데이터로 Input 데이터들의 확률론적인 분포, 민감도 분석, 산점도 등을 확인할 수 있다.

타당성 분석 모델 개발은 LNG 플랜트, 회계 및 세무, 리스크 분석에 대한 이론들에 의하여 경제적 타당성 분석의 개발에 대하여 검토해 보았다. 다음의 이론들을 통한 본 해외진출사업의 경제적 타당성 분석 모델 개발의 주안점으로는 다음과 같다.

- 사업 단계별 Feasibility Study가 가능하도록 개발(정밀도 수준 차별)
  즉, 입력 변수를 Default화하여 단계별로 선택적 사용 가능한 모델
- 의사결정에 융통성 있게 활용할 수 있는 모델(Specific → Generic)
- 모델의 큰 분야부터 우선적으로 완성 후 상세 사항은 지속적으로 개발
- 전체 프레임워크 우선 구성 후 지속적으로 세부사항 보완
- 탐사 및 액화를 포함한 개발자 관점의 모델 개발
- 추후 개발될 KSMR, FPSO에 적용하기 위한 구상

상기와 같은 주안점들을 중점으로 본 해외진출사업 경제적 타당성 분석의 개발을 수행하였다.

2. 모델 개발 세부내용

❑ 모델의 목적

- LNG 플랜트 중 Midstream 부분의 Transfer Pricing 계약 프로젝트의 경제적 타당성 평가를 수행
- 대규모 LNG 플랜트 사업에서 경제적 타당성 평가를 수행하여 프로젝트 진행 전 수익 및 손해 파악
- 경제적 타당성 평가 모델에 위험요인을 고려하여 확률론적 의사결정을 수행

❑ 모델의 일반 사항

- 모델의 계산 구조
  - ○ 모델의 사용자가 변수를 직접 입력
  - ○ 모델에서 자원조달, 회계, 재무제표 부분을 자동 계산
  - ○ 모델의 계산과정을 통해 주요 결과 변수 도출
  - ○ 모델 사용자의 정보에 따라 Level 설정 및, Default 설정 가능

- 모델의 구동
  - ○ 모델은 Excel 기반 하에 개발되었으므로, 반드시 사용자는 Excel 프로그램이 설치되어 있어야 함
  - ○ 모델은 Excel상의 다양한 수식과 함수, 매크로를 활용
  - ○ 모델을 정상적으로 작동하기 위하여 @Risk Add-in이 필요

- 모델 내의 사용자 입력 및 선택 기능 영역
  - ○ 하늘색 음영 영역은 사용자가 직접 입력
  - ○ 하얀색 부분은 이미 계산이 된 부분으로써, 개발자 및 모델의 숙련자 이외에는 수정 하지 않는 것을 권장
  - ○ 콤보 상자는 사용자가 목록에서 선택
  - ○ 매크로 버튼은 사용자가 해당 버튼을 눌러서 실행

- 모델의 정밀도 및 반복성
  - ○ 모델에 유효성 검사를 실시하여 모델의 오류가 나지 않게 하며, 정밀도를 높임
  - ○ 모델의 정상적인 작동을 위하여 모델 구동 전에 엑셀 메뉴의 파일-수식-계산 옵션에서 통합문서 계산을 수동으로 설정하며, 반복 계산 사용에 체크를 하고, 최대 반복 횟수는 100회, 변화 한도 값은 0.0001로 하여 오차를 최소화
- 모델의 시트 내용 구성
  - ○ 모델은 총 21개의 시트로 구성

○ 각 시트 간에 계산이 연결되어 있으므로, 시트에 오류가 생길 경우 연결된 모든 시트에 오류가 발생

○ 시트 1은 모델의 전반적인 구조 표시

○ 시트 2~4은 모델의 입·출력 변수 표시하며 모델에서 오직 이 부분만 고칠 수 있음

○ 시트 5~21은 모델의 계산을 담당하며 입력 할 수 있는 부분이 없음

○ 시트 22~23은 모델의 출력 변수 표시하며 입력 할 수 있는 부분이 없음

Feasibility Study Model Sheet Structure

구 분	Upstream		
	Concession	Production Sharing Contract	Service Contract
1. Model Structure	1. Model Structure	1. Model Structure	1. Model Structure
2. Summary	2. Summary	2. Summary	2. Summary
3. Assumption	3. Assumption	3. Assumption	3. Assumption
4. Risk	4. Not Necessary	4. Not Necessary	4. Not Necessary
5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile
6. CAPEX	6. CAPEX	6. CAPEX	6. CAPEX
7. OPEX	7. OPEX	7. OPEX	7. OPEX
8. Other Expenditures	8. Other Expenditures	8. Other Expenditures	8. Other Expenditures
9. Production	9. Production	9. Production	9. Production
10. Pricing	10. Pricing	10. Pricing	10. Pricing
11. Revenue	11. Revenue	11. Revenue	11. Revenue
12. Cost Recovery	12. Not Necessary	12. Cost Recovery	12. Cost Recovery
13. Profit Sharing	13. Not Necessary	13. Profit Sharing	13. Profit Sharing
14. Financing	14. Financing	14. Financing	14. Financing
15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule
16. Income Taxation	16. Income Taxation	16. Income Taxation	16. Income Taxation
17. Working Capital	17. Working Capital	17. Working Capital	17. Working Capital
18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement
19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement
20. Income Statement	20. Income Statement	20. Income Statement	20. Income Statement
21. Balance Sheet	21. Balance Sheet	21. Balance Sheet	21. Balance Sheet
22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis
23. Charts	23. Charts	23. Charts	23. Charts

구 분	Midstream	
	Tolling	Transfer Pricing
1. Model Structure	1. Model Structure	1. Model Structure
2. Summary	2. Summary	2. Summary
3. Assumption	3. Assumption	3. Assumption
4. Risk	4. Not Necessary	4. Not Necessary
5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile
6. CAPEX	6. CAPEX	6. CAPEX
7. OPEX	7. OPEX	7. OPEX
8. Other Expenditures	8. Not Necessary	8. Not Necessary
9. Production	9. Production	9. Production
10. Pricing	10. Pricing	10. Pricing
11. Revenue	11. Revenue	11. Revenue
12. Cost Recovery	12. Not Necessary	12. Not Necessary
13. Profit Sharing	13. Not Necessary	13. Not Necessary
14. Financing	14. Financing	14. Financing
15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule
16. Income Taxation	16. Income Taxation	16. Income Taxation
17. Working Capital	17. Working Capital	17. Working Capital
18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement
19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement
20. Income Statement	20. Income Statement	20. Income Statement
21. Balance Sheet	21. Balance Sheet	21. Balance Sheet
22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis
23. Charts	23. Charts	23. Charts

Feasibility Study + Risk Model Sheet Structure

구 분	Upstream		
	Concession	Production Sharing Contract	Service Contract
1. Model Structure	1. Model Structure	1. Model Structure	1. Model Structure
2. Summary	2. Summary	2. Summary	2. Summary
3. Assumption	3. Assumption	3. Assumption	3. Assumption
4. Risk	4. Risk	4. Risk	4. Risk
5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile
6. CAPEX	6. CAPEX	6. CAPEX	6. CAPEX
7. OPEX	7. OPEX	7. OPEX	7. OPEX
8. Other Expenditures	8. Other Expenditures	8. Other Expenditures	8. Other Expenditures
9. Production	9. Production	9. Production	9. Production
10. Pricing	10. Pricing	10. Pricing	10. Pricing
11. Revenue	11. Revenue	11. Revenue	11. Revenue
12. Cost Recovery	12. Not Necessary	12. Cost Recovery	12. Cost Recovery
13. Profit Sharing	13. Not Necessary	13. Profit Sharing	13. Profit Sharing
14. Financing	14. Financing	14. Financing	14. Financing
15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule
16. Income Taxation	16. Income Taxation	16. Income Taxation	16. Income Taxation
17. Working Capital	17. Working Capital	17. Working Capital	17. Working Capital
18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement
19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement
20. Income Statement	20. Income Statement	20. Income Statement	20. Income Statement
21. Balance Sheet	21. Balance Sheet	21. Balance Sheet	21. Balance Sheet
22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis
23. Charts	23. Charts	23. Charts	23. Charts

구 분	Midstream	
	Tolling	Transfer Pricing
1. Model Structure	1. Model Structure	1. Model Structure
2. Summary	2. Summary	2. Summary
3. Assumption	3. Assumption	3. Assumption
4. Risk	4. Risk	4. Risk
5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile	5. CAPEX Profile
6. CAPEX	6. CAPEX	6. CAPEX
7. OPEX	7. OPEX	7. OPEX
8. Other Expenditures	8. Not Necessary	8. Not Necessary
9. Production	9. Production	9. Production
10. Pricing	10. Pricing	10. Pricing
11. Revenue	11. Revenue	11. Revenue
12. Cost Recovery	12. Not Necessary	12. Not Necessary
13. Profit Sharing	13. Not Necessary	13. Not Necessary
14. Financing	14. Financing	14. Financing
15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule	15. Repayment Schedule
16. Income Taxation	16. Income Taxation	16. Income Taxation
17. Working Capital	17. Working Capital	17. Working Capital
18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement	18. Depreciation Statement
19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement	19. Cash Flow Statement
20. Income Statement	20. Income Statement	20. Income Statement
21. Balance Sheet	21. Balance Sheet	21. Balance Sheet
22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis	22. Feasibility Analysis
23. Charts	23. Charts	23. Charts

❑ 용어설명

- **Model Structure**
  - 모델의 전반적인 구조를 나타내는 시트
  - 하이퍼 링크를 통하여 각각의 시트로 이동이 가능
  - 시트간의 상관관계를 화살표를 통하여 알 수 있음

- **Summary**
  - 모델의 주요 입출력 변수를 간단하게 나타낸 시트
  - Notice : 모델이 적용되는 부분, 버전, 입력 변수, 출력 변수에 대해 나타냄
  - Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타냄
  - Input : 입력 변수 중에 주요한 요소만을 다룸
    (공사 기간, 지분, 금액, 수익, 가격, 회계, 등)

- **Assumption**
  - 모델의 주요 변수를 입력할 수 있는 시트
  - Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타냄
  - Input : 최소 20 ~ 최대 50의 변수를 입력 할 수 있음
  - CAPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
  - OPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
  - Revenue, Production, Cost Recovery, Profit Sharing, Factor, Pricing, Finance, 등의 변수에 대한 입력이 필수
  - 유가 상승을 고려한 가격 예측이 가능하도록 개발

- **Risk**
  - @Risk 사용 시 활성화
  - Fluctuation Range (Min, Ml, Max) : 변동범위의 최소, 최빈, 최대
  - Variable Range (Min, Ml, Max) : 변수의 최소, 최빈, 최대
  - Risk의 적용 가능 변수 :
    CAPEX Level 1 (1개), CAPEX Level 2 (12개), CAPEX Level 3 (24개),
    OPEX Level 1 (1개), OPEX Level 2 (6개), OPEX Level 3 (12개), Revenue (3개), Pricing (7개),
    Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting (6개)
  - 입력을 수행하면 3.Assumption 시트의 일부 변수들(Risk 적용 변수)은 입력이 4.Risk 시트에서만 가능

- **CAPEX Profile**
  - 초기 투자비용의 투자 비율을 나타낸 시트
  - 초기 투자비용의 투자 비율을 통한 초기 투자비용의 전체적인 Timeline을 확인 할 수 있음

● CAPEX

- 초기 투자비용의 Timeline
- 3.Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
- Level 1 변수 (1개) : CAPEX
- Level 2 변수 (2개) : 1. Exploration, 2. Exploitation
- Level 3 변수 (9개) : 1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others

● OPEX

- 초기 투자비용의 Timeline
- 3.Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
- Level 1 변수 (2개) : OPEX, Irregular OPEX
- Level 2 변수 (5개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others, Irregular OPEX
- Level 3 변수 (8개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others, Irregular OPEX

● Other Expenditures

- 기타 비용의 Timeline
- Signature Bonus는 첫 해에 일괄 지급
- Production Bonus, Training Fee, Service Fee는 연도별 분할 지급

● Production

- 생산량의 Timeline
- 생산 비율에 따라 Wellhead Gas 판매량, Condensate 판매량에 대한 연도별 가정사항이 나타남
- Wellhead Gas 판매량은 생산 비율과 Wellhead Gas 구매자 지분에 따라 달라짐
- Condensate 판매량은 LNG 처리 비율에 따라 달라짐

● Pricing

- 가격 변동의 Timeline
- Wellhead Gas 판매 가격, Condensate 판매 가격에 대한 연도 별 가정사항이 나타남
- Wellhead Gas 판매 가격은 Wellhead Gas 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐
- Condensate 판매 가격은 Oil 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐

- **Revenue**
  - 수익의 Timeline
  - (Wellhead Gas 판매 수익 + Condensate 판매 수익)을 통해 총 수익을 도출
  - Wellhead Gas 판매 비용은 (Wellhead Gas Production * Wellhead Gas Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
  - Condensate 판매 비용은 (Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산

- **Cost Recovery**
  - 원가회수의 Timeline
  - Royalty를 적용한 수익 도출
  - 3.Assumption에서 제시된 값을 통하여 Cost Recovery Capacity 도출
  - Cost Recovery Capacity와 소요 비용에서 Cost Recovery 누적액 차의 최소 값을 원가회수 금액으로 선택
  - Revenue after Royalty에서 Cost Recovery 값의 차를 통하여 Before Profit Gas Split을 도출

- **Profit Sharing**
  - 수익금 분할의 Timeline
  - R Factor : 누적 수익을 누적 비용으로 나누어 R Factor를 도출 한 후, 3.Assumption에서 가정한 값을 기준으로 Contractor Share와 Government Share를 지정
  - IRR Factor : 누적 IRR을 도출 한 후, 3.Assumption에서 가정한 값을 기준으로 Contractor Share와 Government Share를 지정
  - Contractor Share와 Government Share는 3.Assumption에서 지정된 Factor 값을 통해 선정

- **Financing**
  - 재원 조달의 Timeline
  - 예치 기간에 의하여 재원 조달을 공사 이전과 이후로 나눌 수 있음
  - 건설 도중에 발생되는 이자를 더하여 정확한 재원 조달 금액을 알 수 있음
  - 재원을 자본금과 대출금으로 구분 하여 나타냄

- **Repayment Schedule**
  - 상환 금액의 Timeline
  - 대출금에 대한 총 금액을 실제 필요한 금액과 이자의 합으로 나누어 나타냄
  - 각 연도 별 개시잔액과 결산잔고를 나누어 나타냄
  - 공사가 끝난 후의 대출금에 대한 이자를 나타냄
  - 원리금 균등 상환 방법을 통하여 연도별 상환되는 금액과 그 총액을 나타냄

- **Income Taxation**
  - 소득세의 Timeline
  - 총 수익과 총 운영관리 비용을 통하여 순 운영소득을 구함
  - 순 운영소득에서 감가상각과 이자비용을 고려하여 과세소득을 구함
  - 과세소득에서 손실을 고려한 과세이득을 구함
  - 과세이득에서 법인세율에 따른 소득세를 구함

- **Working Capital**
  - 운전 자본의 Timeline
  - 1달간의 이익과 지출의 차이를 운전 자본이라 고려함
  - 운전 자본은 유동 자산의 일부로 재무상태표에서 계산 됨
  - 운전 자본의 차액은 현금 흐름표에서 지출로 계산 됨

- **Depreciation Statement**
  - 감가 상각의 Timeline
  - 정액법, 정률법 모두를 나타냄
  - 정액법, 정률법 중 3.Assumption 시트에서 선택된 한 가지 방법을 통하여 나머지 시트를 계산
  - 감가 상각액을 통하여 손익계산서를 도출
  - 누적 감가 상각액을 통하여 재무상태표를 도출

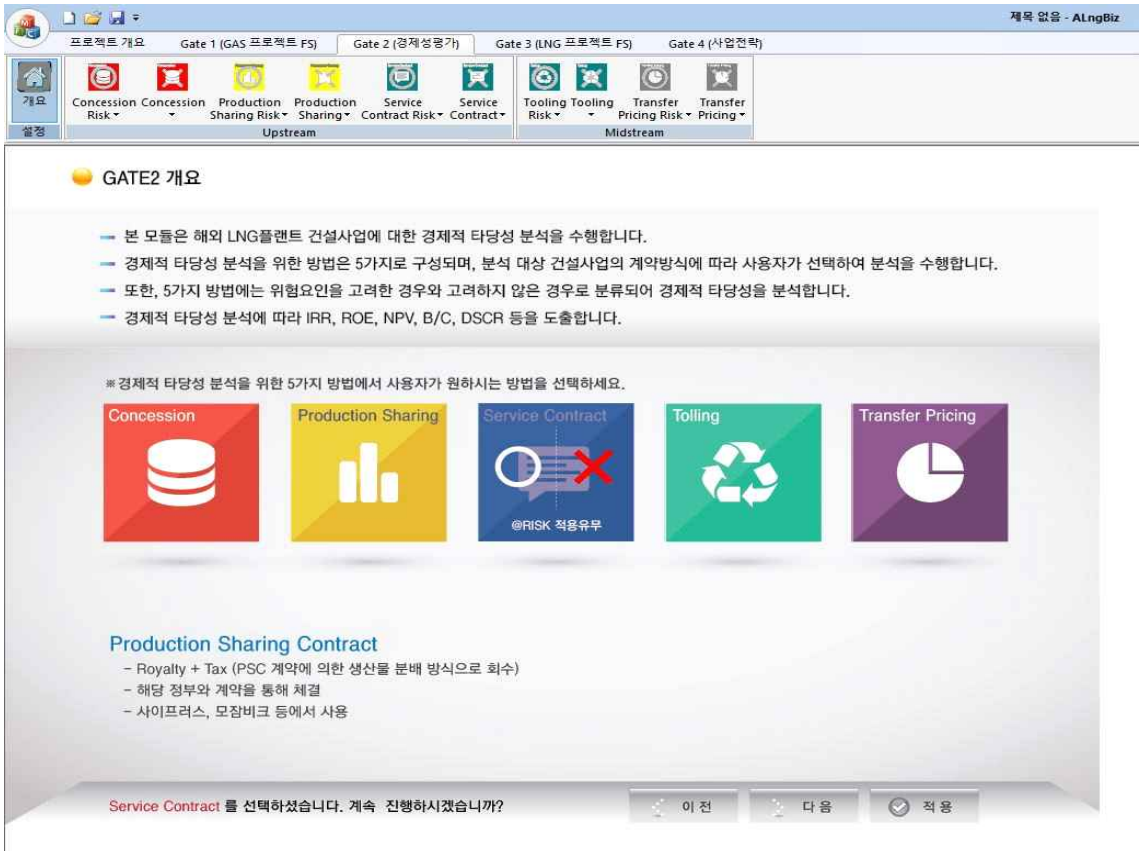
- **Cash Flow Statement**
  - 현금 흐름표의 Timeline
  - 수익, 총 초기투자비, 총 운영관리비, 세금, 운전자본 등을 계산하여 순 현금흐름표 도출
  - 순 현금 흐름표에 이자와 상환 금액을 계산하여 투자자의 현금 흐름표를 도출
  - 투자자의 현금 흐름표와 누적 캐시포지션, 순 수익과 유보 이익을 통하여 배당금 도출
  - 배당금을 통하여 캐시포지션, 누적 캐시포지션을 도출

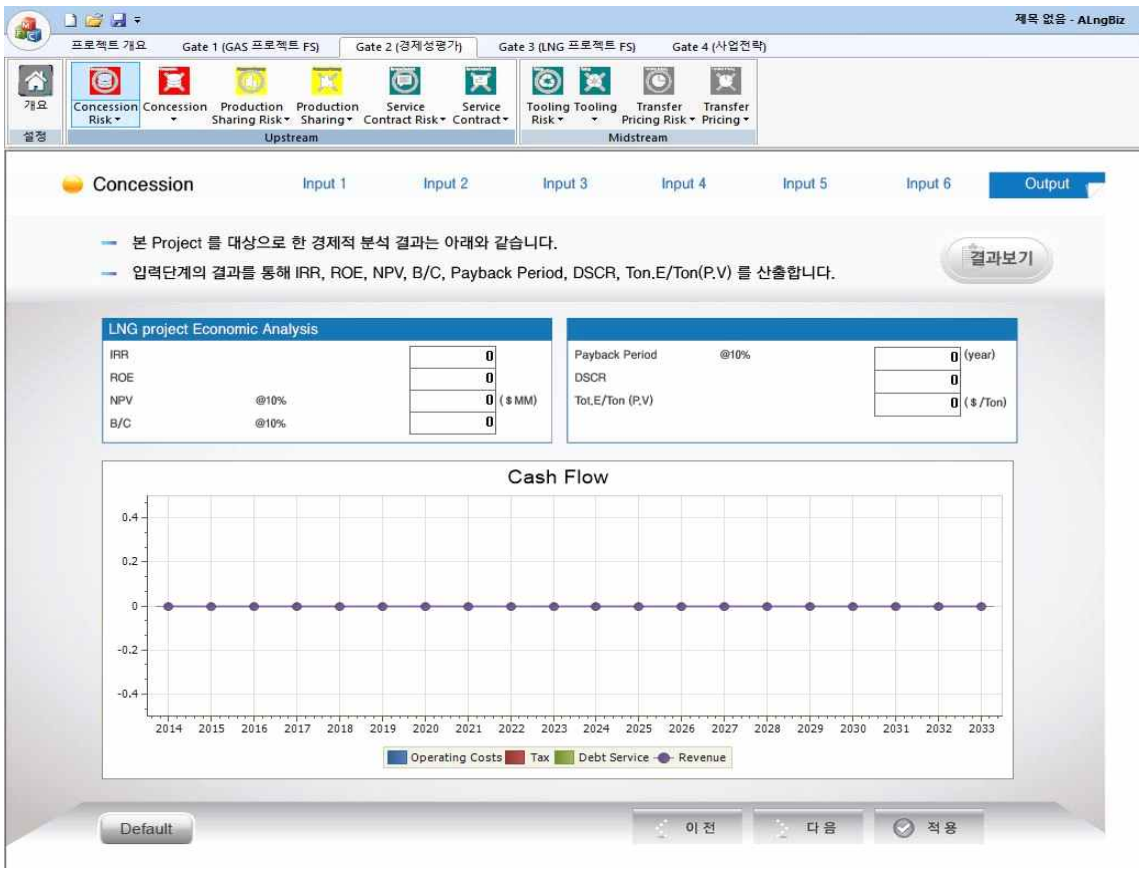
- **Income Statement**
  - 손익 계산서의 Timeline
  - 총 수익, 운영 비용을 계산 하여 운영 수익을 도출
  - 운영 수익, 감가상각을 계산 하여 순 운영 수익을 도출
  - 순 운영 수익, 이자를 계산 하여 소득세 지출 전 수익을 도출
  - 소득세 지출 전 수익, 소득세를 계산 하여 순 수익을 도출
  - 순 수익, 배당금을 계산 하여 유보 이익을 도출

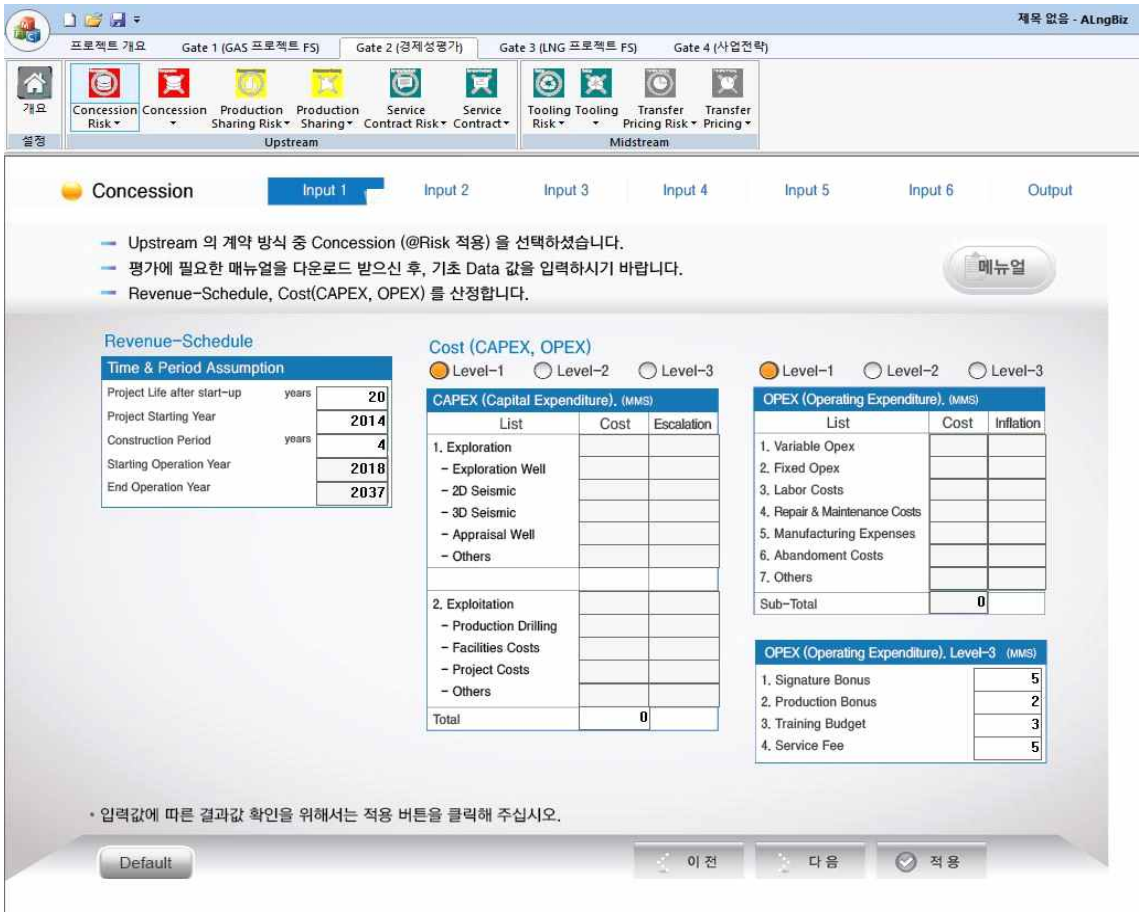
- **Balance Sheet**
  - 재무 상태표의 Timeline
  - 자산 = 유동자산 (운전자본 + 캐시포지션) + 고정자산 (총 투자비용 - 감가상각 누적액)
  - 부채 = 단기부채 (세금) + 장기부채 (결산잔고)
  - 자본 = 투자자 자본 + 유보이익
  - 자산 = 부채 + 자본

- **Feasibility Analysis**
  - 모델의 주요 Output 도출
  - Net Cash Flow를 통하여 NPV, IRR 도출
  - Shareholder Cash Flow를 통하여 ROE 도출
  - Discounted Net Cash Flow를 통하여 B/C Ratio, Payback Period 도출
  - Annual Debt을 통하여 Minimum DSCR 도출

- **Charts**
  - 주요 데이터를 차트화
  - Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate의 가격
  - Production : Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량
  - CAPEX & OPEX : 총 투자 비용, 총 운영관리 비용
  - Funding Requirement & Debt Service : 필요한 자본, 대출 자본
  - Equity & Dividends : 투입 자본, 배당금
  - Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표


제목 없음 - ALngBiz
프로젝트 개요
Gate 1 (GAS 프로젝트 FS)
Gate 2 (경제성평가)
Gate 3 (LNG 프로젝트 FS)
Gate 4 (사업전략)
개요
설정
Concession Risk
Concession
Production Sharing Risk
Production Sharing
Service Contract Risk
Service Contract
Upstream
Tooling Risk
Tooling
Transfer Pricing Risk
Transfer Pricing
Midstream
GATE2 개요
본 모듈은 해외 LNG플랜트 건설사업에 대한 경제적 타당성 분석을 수행합니다.
경제적 타당성 분석을 위한 방법은 5가지로 구성되며, 분석 대상 건설사업의 계약방식에 따라 사용자가 선택하여 분석을 수행합니다.
또한, 5가지 방법에는 위험요인을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우로 분류되어 경제적 타당성을 분석합니다.
경제적 타당성 분석에 따라 IRR, ROE, NPV, B/C, DSCR 등을 도출합니다.
※경제적 타당성 분석을 위한 5가지 방법에서 사용자가 원하시는 방법을 선택하세요.
Concession
Production Sharing
Service Contract
@RISK 적용유무
Tolling
Transfer Pricing
Production Sharing Contract
- Royalty + Tax (PSC 계약에 의한 생산물 분배 방식으로 회수)
- 해당 정부와 계약을 통해 체결
- 사이프러스, 모잠비크 등에서 사용
Service Contract 를 선택하셨습니다. 계속 진행하시겠습니까?
이 전
다 음
적 용


제목 없음 - ALngBiz
프로젝트 개요
Gate 1 (GAS 프로젝트 FS)
Gate 2 (경제성평가)
Gate 3 (LNG 프로젝트 FS)
Gate 4 (사업전략)
개요
설정
Concession Risk
Concession
Production Sharing Risk
Production Sharing
Service Contract Risk
Service Contract
Upstream
Tooling Risk
Tooling
Transfer Pricing Risk
Transfer Pricing
Midstream
Concession
Input 1
Input 2
Input 3
Input 4
Input 5
Input 6
Output
본 Project 를 대상으로 한 경제적 분석 결과는 아래와 같습니다.
입력단계의 결과를 통해 IRR, ROE, NPV, B/C, Payback Period, DSCR, Ton.E/Ton(P.V) 를 산출합니다.
결과보기
LNG project Economic Analysis
IRR
ROE
NPV @10% ($MM)
B/C @10%
Payback Period @10% (year)
DSCR
Tot.E/Ton (P.V) ($/Ton)
Cash Flow
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033
Operating Costs
Tax
Debt Service
Revenue
Default
이 전
다 음
적 용



• Revenue-Schedule

1. project life after start-up: 공사 완료 후 운영/유지관리 기간
2. project starting year: 사업시작 시점
3. construction period: 공사기간
4. starting operation year: 공사완료 후 운영/유지관리 시작 시점
5. end operation year: 운영/유지관리 종료 시점

• Cost(CAPEX)

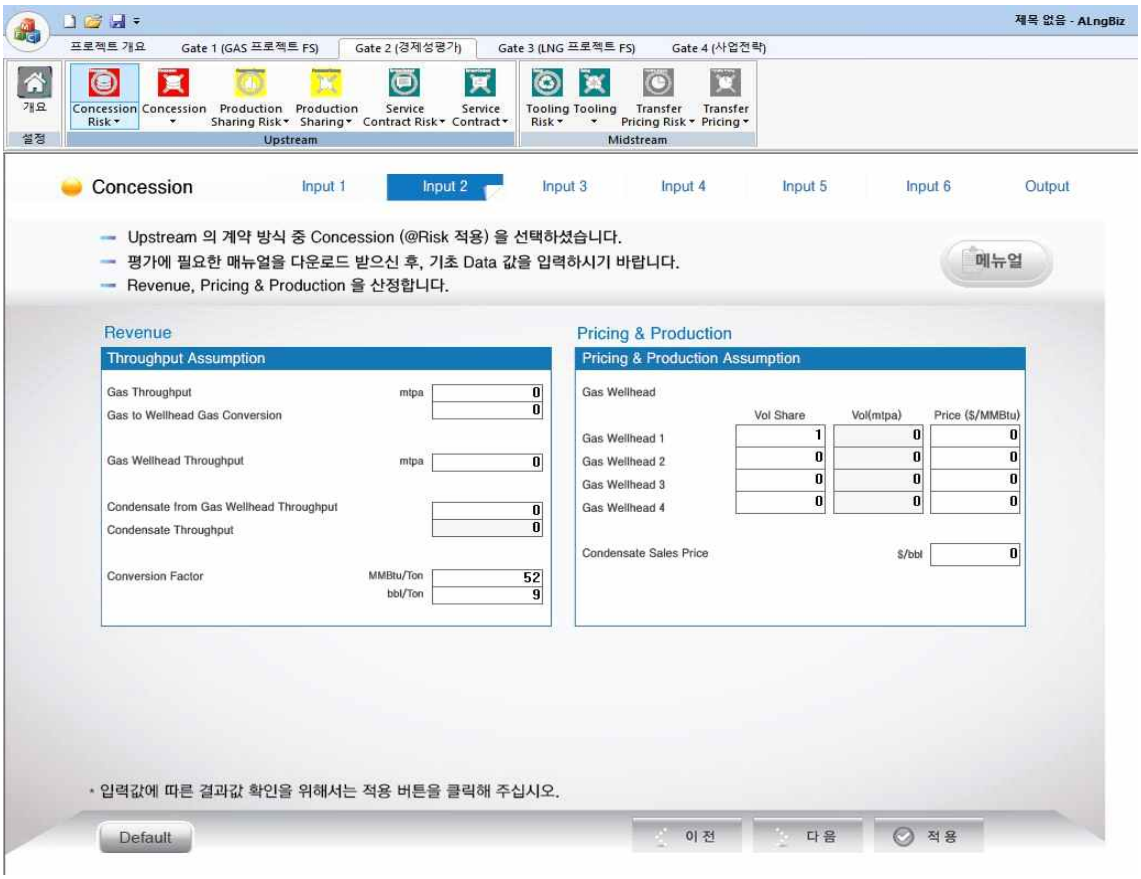
1. exploration: 조사 비용
   1.1 exploration well: 가스정(井) 조사 비용
   1.2 2D seismic: 2D 설계 비용
   1.3 3D seismic: 3D 설계 비용
   1.4 appraisal well: 가스정(井) 평가 비용
   1.5 other: 기타 비용
2. exploitation: 개발 비용
   2.1 production drilling: 천공 비용
   2.2 facilities costs: 시설 비용
   2.3. project costs: 프로젝트 비용
   2.4 others: 기타 비용

• Cost(OPEX)

1. variable opex: 변동운영관리비용
2. fixed opex: 고정운영관리비용
3. labor costs: 인건비용
4. repair & maintenance costs: 수선유지비용
5. manufacturing expenses: 생산제조경비용
6. abandoment costs: 폐기처리비용
7. others: 기타비용

• Other Expenditures

1. signature bonus: 계약금(생산물분배협정, 서비스제공계약)
2. production bonus: 생산 보너스
3. trainning budget: 운영 교육비
4. service fee: 수수료

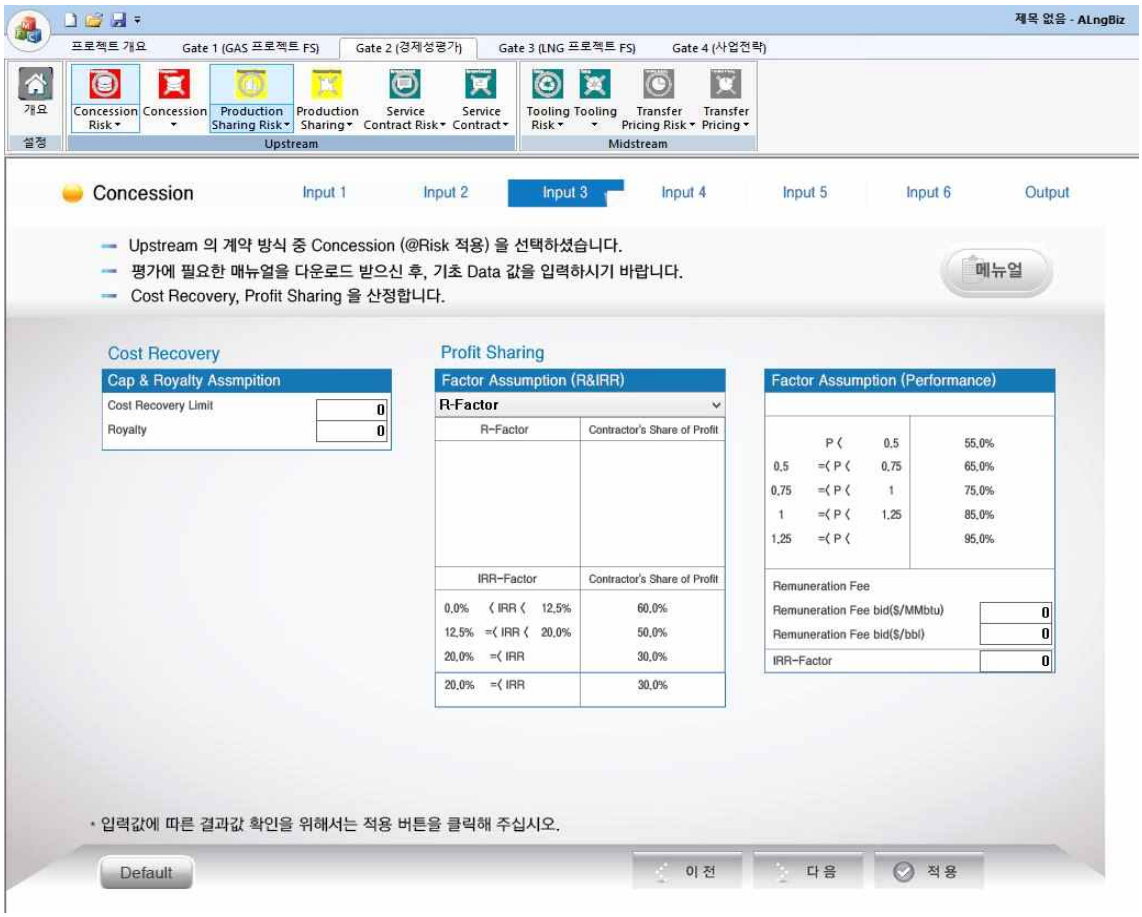


• Revenue

1. gas throughput: 가스처리량
2. gas to wellhead gas conversion: 가스 중 Wellhead Gas로 변환 비율
3. gas wellhead throughput: Wellhead Gas 처리량
4. codensate from gas wellhead throughput: 가스 중 Condensate로 변환되는 비율
5. codensate throughput: condensate 처리량
6. conversion factor (MMBtu/Ton): 환산계수 (Ton을 MMBtu로)
7. conversion bbl/Ton: 환산계수 (Ton을 bbl로)

• Pricing and Production

1. sales fee: 판매비용
2. gas wellhead 1: Gas Wellhead 판매자 1 (비율, 생산량, 가격)
3. gas wellhead 2: Gas Wellhead 판매자 2 (비율, 생산량, 가격)
4. gas wellhead 3: Gas Wellhead 판매자 3 (비율, 생산량, 가격)
5. gas wellhead 4: Gas Wellhead 판매자 4 (비율, 생산량, 가격)
6. condensate sales price: Condensate 판매비용



• Cost Recovery

1. cost recovery limit: 원가회수 비율
2. royalty: 사용료 비율

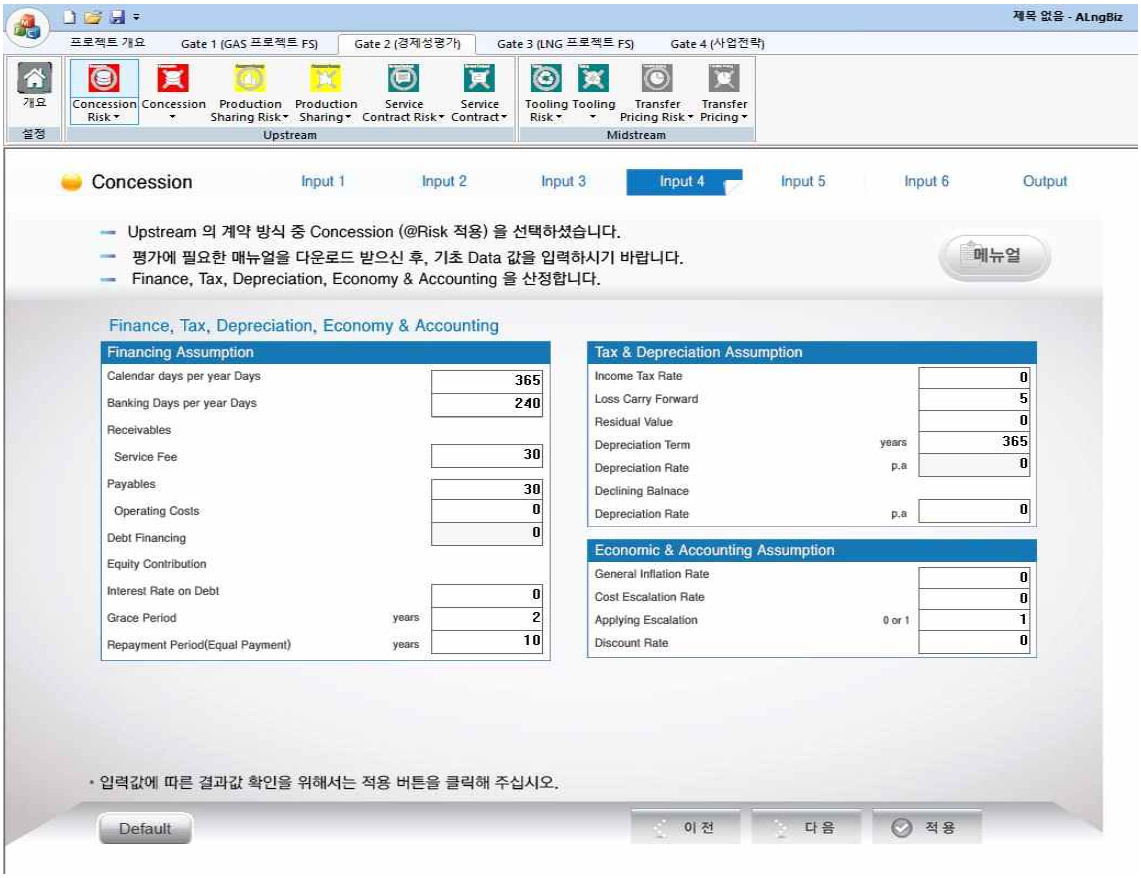
• Profit Sharing

※ R-Factor: 이윤분배 당시까지 개발사가 얻은 누적 수익 / 이윤분배 당시까지 개발사가 지출한 누적 비용

※ IRR-Factor: 이윤분배 당시까지 내부수익률

• Factor Assumption

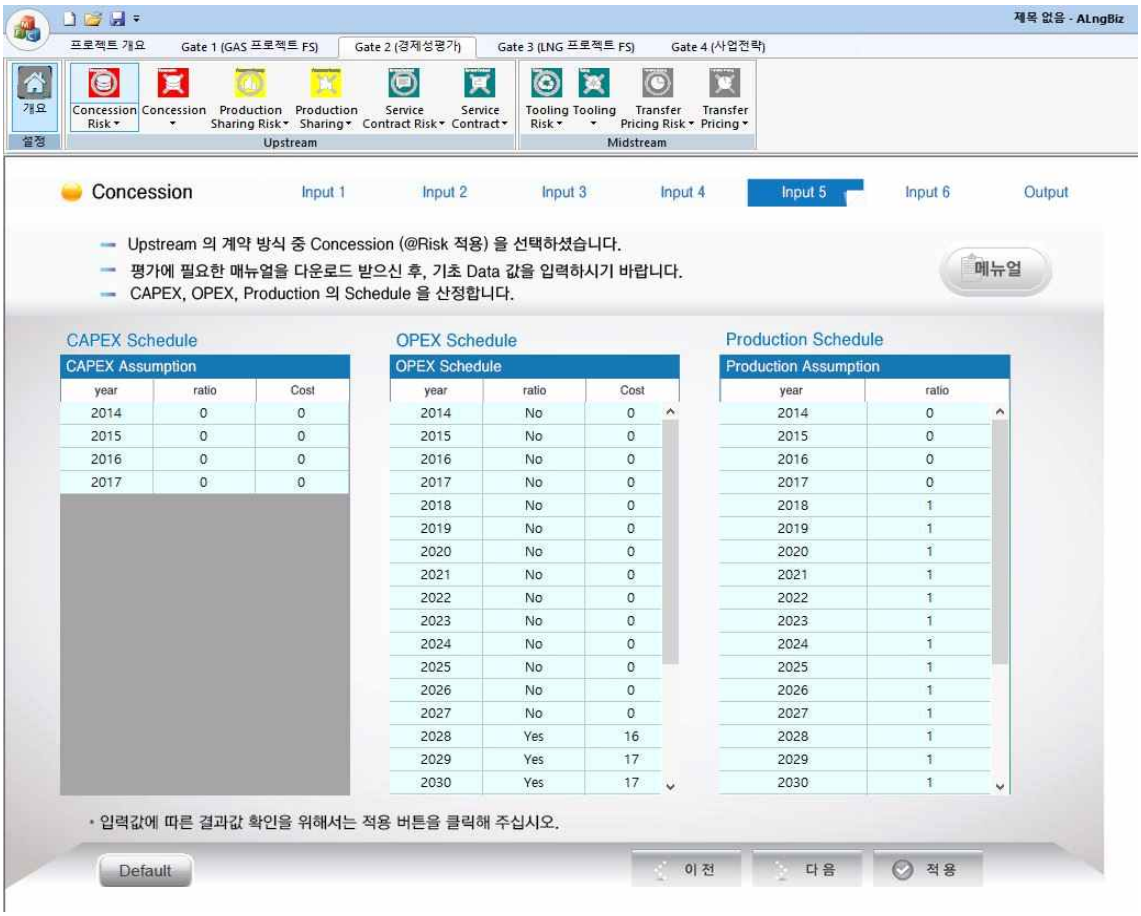
1. remuneration fee bid: 계약 수수료
2. state participation fee: 분담금 비율



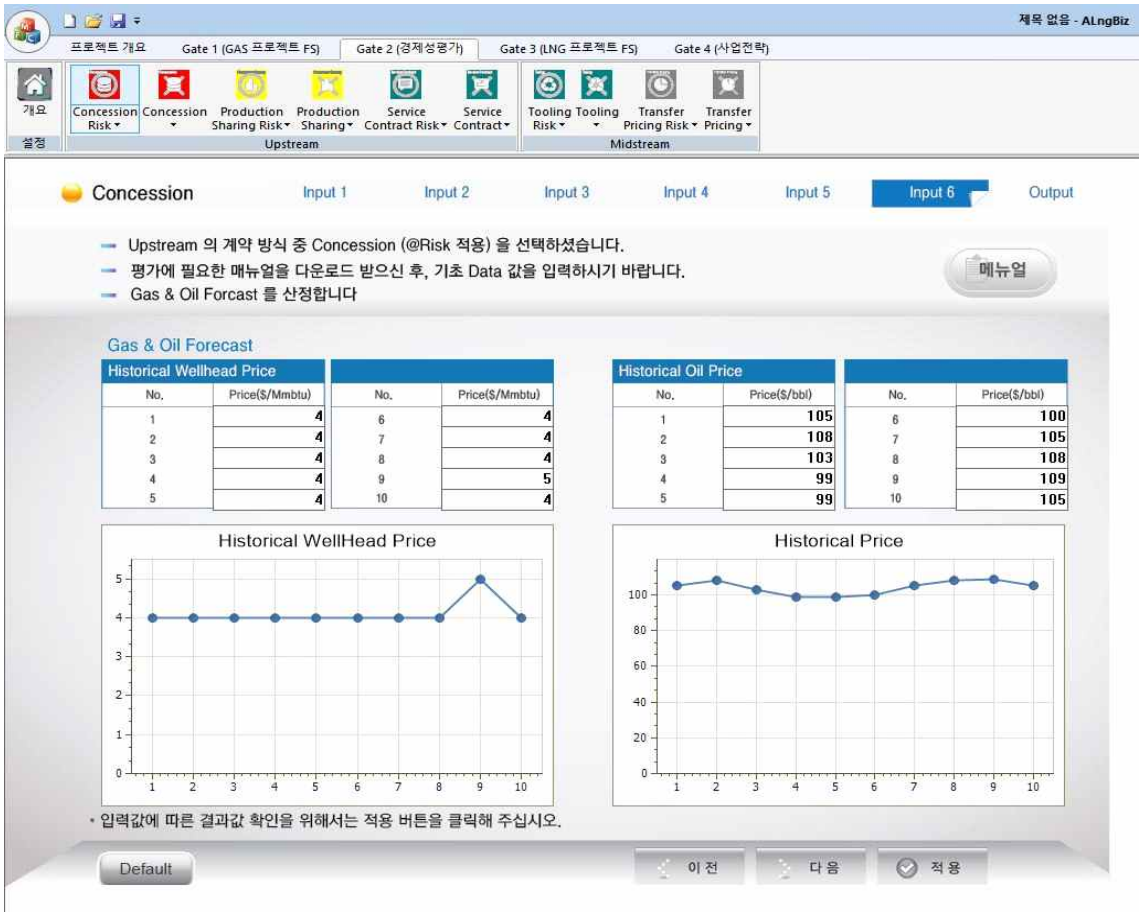
- **Finance Assumption**
  1. calendar days per year days: 1년 중 달력에 표시된 모든 날
  2. banking days per year days: 1년 중 은행이 운영하는 모든 날
  3. receivables: 미수금
  4. services fee: Gas Sales Fee. 또는 Gas Sales & Remuneration Fee.
  5. payables: 미납금
  6. operating costs: 운영비용
  7. debt financing: 부채
  8. equity contribution: 자본
  9. interest rate on debt: 부채에 대한 이자
  10. grace period: 예치기간
  11. repayment period(equal payment): 상환 기간 (원리금 균등 상환)

- **Tax and Depreciation Assumption**
  1. income tax rate: 법인세
  2. loss carry forward: 손실의 순연
  3. residual value: 잔존가치
  4. depreciation method: 감가상각 방법 (정액법, 정률법)
  5. straight line: 정액법
  6. depreciation term: 감가상각 기간
  7. depreciation rate: 감가상각 비율
  8. declining balance: 정률법
  9. depreciation rate: 감가상각 비율

• **Economic and Accounting Assumption**
  1. general inflation rate: 인플레이션
  2. cost escalation rate: 물가상승률
  3. applying escalation: 물가상승률 고려 여부
  4. discount rate: 할인율



• **CAPEX Schedule: 연도별 CAPEX 비율**
• **OPEX Schedule: 연도별 OPEX 비용**
• **Production Schedule: 연도별 생산물 비율**



- historical wellhead price:1~10 Wellhead Gas 예측
- historical oil price:1~10 Oil 예측

3절 주요 연구 성과물

1. 연구 성과물

가. 학술지 게재 SCI(E)급 논문게재

구분	논문제목	학술지명	ISSN	저자명	게재 일자
국외	Analysis of the Probabilistic Cost Variation Ranges According to the Effect of Core Quantitative Risk Factors for an Overseas Plant Project	KSCE Journal of Civil Engineering	1226-7988	강현욱 외 1명	2016 게제 예정

나. 학술지 게재 비SCI(E)급 논문게재

해당기관	논문제목	학술지명	ISSN	저자명	게재 일자
국내	해외 플랜트 건설사업 위험요인을 통한 비용 변동범위 분석	대한건축학회	1226-9107	강현욱 외 1명	2010.07
국내	해외 플랜트 건설사업의 타당성 분석 문제점 및 개선방안	한국건설관리학회	2005-6095	김용수 외 2명	2010.09
국내	해외 가스 플랜트 시공단계의 위험요인 모델을 통한 비용 항목별 확률적 비용 변동범위 분석	대한건축학회	1226-9107	강현욱 외 3명	2012.01
국내	해외 플랜트 건설사업에 대한 위험요인 도출 및 분석	대한건축학회	1226-9107	강현욱 외 3명	2012.05
국내	LNG Plant 사업의 사업계획 전문가 시스템 프로토타입 개발	한국건설관리학회	1229-7534	박문선 외 1명	2013.04
국내	해외 LNG 플랜트 운영관리단계의 정성적 위험요인 분석	대한건축학회	1226-9107	지덕근 외 2명	2014.09
국내	해외 가스 플랜트 건설사업의 위험요인을 고려한 비용분석 모델에 관한 연구	대한건축학회	1226-9107	박문선 외 1명	2015.03

다. 국제학술대회 발표

발표제목	학술대회명	발표일자
The Research on Conceptual Model of LNG Plant Project Planning Expert System	ICCEM-ICCPM 2009	2009.05
The Study on the Problems of Maritime Facilities(Gas Plant) Insurance Regulations	ICCEM-ICCPM 2009	2009.05
A Presentation of a Cost Classification System for Gas Plant Construction Projects	ICCEPM 2015(발표예정)	2015.10

라. 국내학술대회 발표

발표제목	학술대회명	발표일자
국내 Gas Plant 공사에 대한 보험제도의 문제점 및 개선방안	한국건설관리학회 2009 정기학술발표대회	2009.11
해외플랜트 EPCM 업무분야별 문제점 및 원인분석	한국건설관리학회 2009 정기학술발표대회	2009.11
해외플랜트 EPCM 업무분야별 문제점 및 개선방안	한국건설관리학회 2009 정기학술발표대회	2009.11
매트릭스 평가법을 통한 해외 플랜트 건설사업 위험요인 중요도 분석	대한설비공학회 2010 학술발표대회	2010.06
해외 플랜트 건설공사의 전문가 시스템 현황 분석 및 개선방안	한국건설관리학회 2010 정기학술발표대회	2010.11
해외 플랜트 건설사업 위험요인의 관리항목에 대한 영향도 분석	한국건설관리학회 2010 정기학술발표대회	2010.11
해외 플랜트 건설사업 비용분류체계 정립 및 비용범위 분석	대한설비공학회 2010 동계학술발표대회	2010.11
LNG 플랜트 건설사업을 위한 생애주기(EPCC)비용분석 모델링 및 웹기반 분석 시스템 구축방안	대한설비공학회 2011 하계학술발표대회	2011.07
LNG 플랜트 건설사업의 생애주기(EPCC)비용을 통한 의사결정모델 구축방안	한국건설관리학회 2011 정기학술발표대회	2012.11
LNG 플랜트 건설사업의 총 사업비 예측을 위한 시뮬레이션 모델링	한국건설관리학회 2012정기학술발표대회	2012.11
LNG 플랜트 건설의 사업계획 전문가시스템 웹 구축방안	한국건설관리학회 2012정기학술발표대회	2012.11
가스플랜트 건설사업에 있어서 위험을 고려한 총공사비 예측방안	한국건설관리학회 2013정기학술발표대회	2013.11
퍼지 및 몬테카를로시뮬레이션 기법을 활용한 가스 플랜트 건설사업의 입찰타당성 분석 방안	한국건설관리학회 2014정기학술발표대회	2014.11

마. 기타성과(홍보 및 전문인력 양성)

성과구분	내용
연구개발 관련 홍보	-LNG 플랜트 전문가 세미나(2009.02.04.) 1, 총괄, 1,2,3 핵심과제 구성 소개 2. 1-4세부 연구과제 내용 검토 3. Project Managment for LNG Plant Construction
연구개발 관련 홍보	-LNG 플랜트 전문가 세미나(2009.02.14) 1. 플랜트 M/EPCC 프로세스에 대한 이해 2. WBS Level 3까지 필요 3. 한 곳의 플랜트 현장을 Target화 하여 현장조사 및 주요 기본사항 파악
연구개발 관련 홍보	-간행물 발간(2009.12) 한국건설관리학회 정기저널 홍보, LNG Plant 시업의 시나리오 기반 사업타당성 평가모듈 및 평가지침 개발, 제10권 제6호(통권 제52호)
연구개발 관련 홍보	-LNG 플랜트 사업 타당성 관련 전문가 초청 세미나(1-4-2 연구관련)(2010.01.16.) LNG 플랜트 사업 타당성 관련 전문가 강의
연구개발 관련 홍보	-간행물 발간(2010.12) 한국건설관리학회 정기저널 홍보, LNG Plant 시업의 생애주기비용 평가모듈 및 평가지침 개발, 제11권 제6호(통권 제58호)
연구개발 관련 홍보	-간행물 발간(2011.10) 서울특별시에서 발간하는 월간 기술정보지에 "가스플랜트의 세계와 건설경쟁력"이란 주제로 칼럼에 본 연구와 관련된 내용 홍보
연구개발 관련 홍보	-행사참여(2014.10) 2014 플랜트 융합기술 컨퍼런스, 가스 플랜트 건설사업의 총공사비 예측 시뮬레이션 기술(주제발표)
전문인력양성	-배성률(중앙대학교 일반대학원 석사학위, 2010.02) 해외 LNG플랜트 사업타당성 구성요소 도출 및 중요도 분석에 관한 연구
전문인력양성	-김현규(중앙대학교 일반대학원 석사학위, 2010.08) 확률적 기법을 이용한 해외 LNG플랜트 건설사업의 위험요인에 따른 비용 변동범위 분석
전문인력양성	-김정목(중앙대학교 일반대학원 석사학위, 2011.08) 해외 LNG 플랜트 건설사업의 EPC 단계별 위험요인에 따른 비용 및 공사기간 변동범위 분석
전문인력양성	-원유만(중앙대학교 일반대학원 석사학위, 2012.02) 해외 가스 플랜트 조달 및 시공단계의 위험요인 도출을 통한 확률적 비용 변동범위 분석
전문인력양성	-강민구(중앙대학교 일반대학원 석사학위, 2012.08) 해외 LNG 플랜트 건설사업의 위험요인을 고려한 확률적 비용 변동비율 범위 분석
전문인력양성	-김민석(중앙대학교 일반대학원 석사학위, 2012.08) 해외 플랜트 건설사업에 대한 정량적 및 정성적 위험분석
기술확산교류	-Plant 2009 Conference 행사 참여(2009.12.11) LNG플랜트 공사 입찰 타당성분석 모델링(주제발표)
기술확산교류	-Plant 2010 Conference 행사 참여(2010.12.17) LNG 플랜트 사업 생애주기(EPCC) 비용 분석 모델링(주제발표)
기술확산교류	-건설전문가 초청 세미나 주최9(2012.01.28.) LNG 플랜트 사업비 및 의사결정 관련 전문가 초청 세미나
현장적용	-해외 플랜트 현장의 실무자들을 대상으로 시스템 시연 및 현업데이터 적용(2014.01.06.-2014.01.09.) 1. 태국(라용) - 포스코엔지니어링 PTTGC PJT(화공플랜트) 본 과업 결과물(시스템)의 현업 실무자들을 통한 시스템 시연, 현업 데이터(비용 등)의 시스템 적용 2. 필리핀(클락) - 대림산업 Petron Refinery Master Plan Phase 2(정유플랜트) 본 과업 결과물(시스템)의 현업 실무자들을 통한 시스템 시연, 현업 데이터(비용 등)의 시스템 적용

2. 연차별 연구개발 성과물

가. 1차년 연구개발 성과물

연구 목표	추진 일정	연구 수행			성과물
		연구 내용	연구 성과 내용		
사업계획 전문가 시스템 개념설계 및 국내외 자료 수집/분석	2008.12 ~ 2009.06	국내외플랜트 산업계 전문가 시스템 관련 자료수집	전문가 시스템 관련 현행 자료 수집	완료	국내외플랜트 산업계 전문가 시스템 관련 자료 보고서
			현행 기술수준 분석	완료	
		사업계획전문가시스템 구성요소 분석	일반적 전문가 시스템의 구성요소 분석	완료	사업계획전문가시스템 구성요소 분석 보고서
			FIATECH의 연구결과 벤치마킹	완료	
			산업계의 필요 구성요소 면담조사	완료	
		국내외우수사례수집 및 벤치마킹	국내 우수사례 수집	완료	국내외우수사례수집 및 벤치마킹 보고서
			해외 우수사례 수집	완료	
			사례분석및벤치마킹	완료	
		사업계획전문가시스템 개념설계	핵심 모듈 구성	완료	사업계획전문가시스템 개념설계 보고서
			사업계획 전문가 시스템 구조 설정	완료	
			업무체계 분석	완료	
			입출력 설계	완료	
합 계				100%	

나. 2차년 연구개발 성과물

연구 목표	추진 일정	연구 수행			성과물
		연구 내용	연구 성과 내용		
시나리오 기반 재무적 사업타당성 평가 모듈 및 평가지침 개발	2009.06 ~ 2010.06	기존 타당성 분석모델 검토 및 시용자 요구사항 조사	사업 타당성 분석 평가체계 정립	완료	기존 타당성 분석 모델 검토 및 사용자 요구사항 조사 보고서
			타당성 분석 관련 기존 모델 및 구성요소 조사	완료	
			기존 타당성 분석 모델의 사용자 요구사항 조사	완료	
		위험도 평가 모델 개념설계	위험변수 보사 및 분석	완료	위험도 평가모델 개념설계 보고서
			위험도 분석기법 검토	완료	
			위험도 평가모델 개념설계	완료	
		사업타당성기본데이터분석	재무적 타당성 기본 절차 모델 구성	완료	사업타당성 기본 데이터 분석 보고서
			재무적 타당성 분석 단계별 세부 내용	완료	
		시나리오기반재무적 타당성 평가 모듈 구축	재무적 타당성 평가 모듈 개념 정리	완료	시나리오기반재무적 타당성 평가 모듈
			재무적 타당성 평가 모듈 구축	완료	
		재무적 타당성 평가 모듈 지침 개발	평재무적 타당성 평가 모듈 지침서	완료	재무적 타당성 평가 모듈 지침 개발 보고서
합 계				100%	

다. 3차년 연구개발 성과물

연구 목표	추진 일정	연구 수행			성과물
		연구 내용	연구 성과 내용		
생애주기 (EPCC)비용 평가 모듈 및 평가지침 개발	2010.06 ~ 2011.06	생애주기(EPCC) 단계의 비용자료 및 비용분류 체계 정립	생애주기(EPCC) 단계의 비용자료 조사	완료	생애주기(EPCC) 단계의 비용자료 및 비용분류체계 정립 보고서
			생애주기(EPCC) 단계의 비용분류 체계 조사	완료	
			전문가 설문조사 및 비용분류체계 조사	완료	
		생애주기(EPCC) 단계의 비용 분석 제품 및 사용자 요구사항 조사	생애주기(EPCC) 단계의 비용 분석 제품 조사	완료	생애주기(EPCC) 단계의 비용 분석 제품 및 사용자 요구사항 조사 보고서
			생애주기(EPCC) 단계의 비용분석 제품의 사용자 요구사항 조사	완료	
		생애주기(EPCC) 단계의 위험도 평가 개념설계	생애주기(EPCC) 단계별 위험요인 조사	완료	생애주기(EPCC) 단계의 위험도 평가 개념설계 보고서
			위험돈 분석 기법 조사 및 검토	완료	
			위험도 평가모델 개념설계	완료	
		생애주기(EPCC) 단계의 항목별 비용자료 조사 및 분석 모델링	생애주기(EPCC) 단계의 항목별 비용 자료 조사	완료	생애주기(EPCC) 단계의 항목별 비용자료 조사 및 분석 모델링 보고서
			생애주기(EPCC) 단계의 위험 요인별 발생 확률 및 영향도 분석	완료	
			위험요인을 고려한 생애주기(EPCC) 단계 비용 모델링	완료	
		생애주기(EPCC) 단계의 비용 평가 모듈 구축 및 평가지침 개발	생애주기(EPCC) 단계의 비용평가 모듈 구축	완료	생애주기비용 평가 모듈 및 평가지침 보고서
			생애주기(EPCC) 단계의 비용평가 모듈 평가지침 개발	완료	
합 계				100%	

라. 4차년 연구개발 성과물

연구 목표	추진 일정	연구 수행			성과물
		연구 내용	연구 성과 내용		
시나리오 기반 의사결정 모듈 (시뮬레이션) 및 참조데이터 기초 DB화	2011.06 ~ 2012.06	선진업체 연구개발 사례조사를 통한 벤치마킹	선진업체 연구개발 사례조사	완료	선진업체 연구개발 사례조사를 통한 벤치마킹 보고서
			국내·외 우수사례 벤치마킹 구성요소 도출	완료	
		의사결정 모듈 구성내용 및 사용자 요구사항 조사	의사결정 모듈 개념설계 및 구성내용	완료	의사결정 모듈 구성내용 및 사용자 요구사항 조사 보고서
			사용자 요구사항 조사	완료	
		시나리오 구성 및 시나리오별 위험도 평가	시나리오 구성 개요	완료	시나리오 구성 및 시나리오 별 위험도 평가 보고서
			시나리오 구성 내용	완료	
			시나리오 별 위험도 평가 개요	완료	
			시나리오 별 위험도 평가 방법	완료	
		입찰 타당성 모델링 및 의사결정 기초자료 DB화	정성적 분석	완료	입찰 타당성 모델링 및 의사결정 기초자료 DB화 보고서
			정량 · 정성적 분석	완료	
			의사결정 기초 DB모델	완료	
			비용분류체계 Code화	완료	
		시뮬레이션 모델링	시뮬레이션 Data 입력	완료	시뮬레이션 모델링 보고서
			시뮬레이션 모델링 종합	완료	
		시나리오 기반 의사결정 모듈 및 활용지침 개발	위험요인을 고려한 입찰 의사결정 모델(순방향)	완료	시나리오 기반 의사결정 프로세스 모듈 및 활용지침 보고서
			위험요인을 고려한 입찰 의사결정 모델(역방향)	완료	
			활용지침 개발	완료	
합 계				100%	

마. 5차년 연구개발 성과물

연구 목표	추진 일정	연구 수행			성과물
		연구 내용	연구 성과 내용		
사업계획. 전문가 시스템 실시설계 및 프로토타입 개발 (해외진출사업 타당성분석 모델 개발 1)	2012.06 ~ 2013.06	사업계획전문가시스템 구조보완 및 실시 설계	사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계	완료	사업계획전문가 시스템 구조보완 및 실시 설계 보고서
			시스템의 타당성 및 신뢰성 검토	완료	
		사업계획전문가시스템 Prototype 개발	사업계획전문가시스템Prototype 개발절차	완료	사업계획 전문가 시스템 Prototype (Excel Tool)
			시스템 개발 Tool 검토 및 선정	완료	
			사업계획 전문가 시스템 Prototype 개발	완료	
		Dummy Test 및 사용자 요구사항 분석	Dummy Test 실행 및 시스템 수정보완(계속)	완료	Dummy Test 및 사용자 요구사항 보고서
			예비 사용자들의 시스템 테스트 및 사용자 요구사항 반영(계속)	완료	
		데이터연동 및 통합 기초 DB 구축(계속)	기존의 데이터 표준 (Excel, MS SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발(계속)	완료	데이터연동 및 통합 기초 DB 보고서
			참조자료의 수집 및 통합 기초 DB화(계속)	완료	
		사업계획전문가시스템 사용지침 개발	사업계획 전문가 시스템의 체계	완료	사업계획전문가 시스템 사용지침 보고서
			입력자료 및 입력법	완료	
			출력자료 및 결과해석	완료	
		해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 1 (경제적 타당성 분석)	타당성분석 개요 및 절차	완료	해외진출사업 타당성 분석 모델 보고서
			타당성분석 범위 및 내용	완료	
			경제적 타당성 분석 모델 개발	완료	
			분석용 자료 요청 및 조사	완료	
합 계				100%	

바. 6차년 연구개발 성과물

연구 목표	추진 일정	연구 수행			성과물
		연구 내용	연구 성과 내용		
사업계획 전문가 시스템 개발 (해외진출사업 타당성분석 모델 개발 2)	2013.06 ~ 2015.12	사업계획전문가시스템 구조 및 실시 설계 확정	사업계획 전문가 시스템 구조 및 실시설계 확정	완료	사업계획 전문가 시스템 구조보완 및 실시설계확정 보고서
			시스템의 타당성 및 신뢰성 검토	완료	
		사업계획전문가시스템 베타버젼 개발	사업계획 전문가 시스템 베터버젼 개발 절차	완료	사업계획 전문가 시스템 Prototype (Excel based Stand-Alone System)
			시스템 개발 Tool 검토 및 선정	완료	
			사업계획 전문가 시스템 베터버젼 개발	98%	
		TestBed및사용자 요구사항 분석	Test Bed 실행 및 시스템 수정 보완	완료	Test Bed 및 사용자 요구사항 보고서
			예비 사용자들의 시스템 테스트 및 사용자 요구사항 반영	완료	
		데이터연동및통합기초 DB 구축	기존의 데이터 표준 (Excel, MS SQL 등)과의 연동 및 인터페이스 개발	완료	데이터연동 및 통합 기초 DB 보고서
			참조자료의 수집 및 통합 기초 DB 화	완료	
		사업계획전문가시스템 사용지침 완성	사업계획 전문가 시스템의 체계 완성	99%	사업계획 전문가 시스템 사용지침 완성본 보고서
			입력자료 및 입력법	99%	
			출력자료 및 결과해석	99%	
		해외진출사업 타당성 분석 모델 개발 2 (경제적 타당성 분석)	경제적 타당성 분석 모델 개발	완료	해외진출사업 타당성 분석 모델 (Excel Tool)
			분석용 자료 요청 및 조사 (계속):비용, 수입, 위험자료	완료	
			비용·수입 분석	99%	
			모델 테스트, Risk분석, 타당성 분석 종합	98%	
		상용화 계획 수립	Test Bed 적용 후 관련업체들의 기술이전 방안 계획	98%	상용화 계획 보고서
			기술의 상용화 계획	98%	
합 계				100%	

제4장 연구목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 연구개발 성과지표 달성도

가. 질적 달성도

핵심성과 (연구목표)		단위성과 (주요연구내용)	성과검증 기준						가중치
			질적 성과지표		목표수준		측정방법	검증방법	
					목표치	달성치			
1	사업계획 전문가 시스템 개발	사업계획 전문가 시스템 개발	①	재무적 사업 타당성 평가 알고리즘 개발	100	100	시스템 확인, 보고서 검토	시작품 (소프트웨어), 단계실적 보고서 확인	18
			②	생애주기(EPCC)비용 평가 알고리즘 개발	100	100			18
			③	시나리오 기반 의사결정 및 기초 DB 알고리즘 개발	100	100			15
			④	사업계획 전문가 시스템 사용지침서 개발	100	100	지침서 확인	시제품 (지침서)	5
		사업계획 전문가 시스템 검증	①	사업계획 전문가 시스템 품질 테스트	100	100	전문가 검증	전문가검증 평가 보고서	3
			②	사업계획 전문가 시스템 기술완성도 검증	100	100	검증 보고서	보고서 확인	3
2	해외진출 사업 타당성 분석 모델 구축	해외 진출사업 타당성 분석 모델 구축	①	해외진출사업 타당성 분석 알고리즘 개발	100	100	분석 모델	시작품 (소프트웨어), 단계실적 보고서 확인	35
			②	해외진출사업 타당성 분석 모델 사용지침서 개발	100	100	지침서 확인	시제품 (지침서)	5
									100

나. 양적 달성도

성과지표		목표건수	달성건수	인정건수	달성율(%)	가중치
1	SCI급 학술지 게재 논문(건수)	1	1	1	100	15
2	비 SCI 학술지 게재 논문(건수)	7	7	7	100	25
3	국제학술대회 발표	1	3	3	300	5
4	국내학술대회 발표	10	13	13	130	15
5	연구개발 관련 홍보	5	7	7	140	5
6	시제품(소프트웨어) 등록	1	1	1	100	15
7	시작품(지침서) 개발	1	1	1	100	5
8	전문인력양성	3	6	6	200	5
9	기술확산교류	1	3	3	300	5
10	현장적용	1	1	1	100	5
						100

2. 연차별 연구성과 달성도

가. 1차년도 연구성과 달성도

질적 목표	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	기관
							목표치	측정방법	검증방법		
	1	시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발	2-1	시스템의 주요 모듈 개발	①	개념설계 달성도	100	개념설계= 시스템/각 모듈	개념설계 구축 달성량	100%	중앙 대학교
	계									100%	
양적 목표	사업연계지표				성과지표				목표치	가중치	기관
					학술회의 발표논문				1건	50%	중앙대
					연구개발 관련 홍보				1건	50%	중앙대
	계									100%	

나. 2차년도 연구성과 달성도

질적 목표	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	기관
							목표치	측정방법	검증방법		
	1	시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발	2-2	사업타당성 평가 모듈 개발	①	모듈구축 달성도	100	모듈화 달성도 = 모듈화 / 모듈구동 지침서 작성 건수	모듈 구축 달성량 지침서 작성수량	100%	중앙 대학교
	계									100%	
양적 목표	사업연계지표				성과지표				목표치	가중치	기관
					학술회의 발표논문				2건	40%	중앙대
					학술지 게재 논문(국내)				1건	40%	중앙대
					연구개발 관련 홍보				1건	20%	중앙대
	계									100%	

다. 3차년도 연구성과 달성도

질적 목표	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	기관
							목표치	측정방법	검증방법		
	1	시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발	2-3	생애주기(EPCC)비용 평가 모듈 개발	①	모듈구축 달성도	100	모듈화 달성도 = 모듈화 / 모듈구동 지침서 작성 건수	모듈 구축 달성량 지침서 작성수량	100%	중앙 대학교
	계									100%	
양적 목표	사업연계지표				성과지표				목표치	가중치	기관
					학술회의 발표논문				2건	40%	중앙대
					학술지 게재 논문(국내)				1건	40%	중앙대
					연구개발 관련 홍보				1건	20%	중앙대
	계									100%	

라. 4차년도 연구성과 달성도

질적 목표	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	기관
							목표치	측정방법	검증방법		
	1	시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발	2-4	시나리오 기반 의사결정 모듈 개발	①	모듈구축 달성도	100	모듈화 달성도 = 모듈화 / 모듈구동 지침서 작성 건수	모듈 구축 달성량 지침서 작성수량	100%	중앙대학교
	계									100%	

양적 목표	사업연계지표	성과지표	목표치	가중치	기관
		학술회의 발표논문	2건	40%	중앙대
		학술지 게재 논문(국내)	1건	40%	중앙대
		연구개발 관련 홍보	1건	20%	중앙대
	계			100%	

마. 5차년도 연구성과 달성도

질적 목표	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	기관
							목표치	측정방법	검증방법		
	1	시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발	2-5	사업계획 전문가 시스템 프로토타입 개발	①	시스템구축 달성도	100	모듈화 달성도 = 모듈화 / 모듈구동 지침서 작성 건수	모듈 구축 달성량 지침서 작성수량	100%	중앙대학교
	계									100%	

양적 목표	사업연계지표	성과지표	목표치	가중치	기관
		학술회의 발표논문	2건	30%	중앙대
		SCI급 학술지 게재 논문	1건	30%	중앙대
		학술지 게재 논문(국내)	1건	40%	중앙대
		연구개발 관련 홍보	1건	10%	중앙대
	계			100%	

바. 6차년도 연구성과 달성도

질적 목표	과제명		성과목표		성과지표		성과검증 기준			가중치	기관
							목표치	측정방법	검증방법		
	1	시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발	2-6	사업계획 전문가 시스템 및 해외진출사업 타당성 분석 모델	①	시스템(모듈)구축 달성도	100	시스템(모듈화) 달성도 = 시스템(모듈화) / 시스템(모듈)구동 DB 달성도 = DB화 / 전체DB	시스템(모듈) 구축 달성량 DB 구축 달성량	100%	중앙대학교
	계									100%	

양적 목표	사업연계지표	성과지표	목표치	가중치	기관
		학술회의 발표논문	1건	10%	중앙대
		학술지 게재 논문(국내)	3건	30%	중앙대
		인력양성	1건	10%	중앙대
		시제품(소프트웨어) 등록	1건	30%	중앙대
		시작품(지침서) 개발	1건	10%	중앙대
		현장적용	1건	10%	중앙대
	계			100%	

2절 연구개발 성과의 효과분석

1. 기술적 효과분석

국내 기업의 LNG 플랜트 사업관리기술을 보유하게 되며, 가스플랜트 사업의 통합정보관리시스템 및 지식관리시스템을 구축함으로써 업무량 감소 및 건설사업비 5% 절감이 가능하다. 기존 건설사업의 사업관리체계를 바탕으로 정보의 단절, 지식관리 부재, 개별화 등 시스템의 약점을 극복하고 정보, 지식 및 시스템이 통합된 LNG 플랜트 사업관리체계를 구현하여 LNG 플랜트 사업관리기술에 대한 중간진입전략을 수립한다.

국내에 부족한 LNG플랜트 사업개발 및 기획능력을 확충하되, 보다 선진화된 기술을 확보할 수 있도록 시나리오 기반의 체계인 시스템으로 구현한다. 현재 시공기술 위주의 사업관리에서 벗어나 생애주기 관점에서 계획과 실행이 최적화된 사업관리체계를 구현하여 사업개발, 기획 컨설팅 등 신규분야에 진출할 수 있는 역량을 확보한다.



[그림 4.2.1] 연구성과의 기대효과

o LNG 플랜트 사업관리 기반기술 확보: 해외시장에서 점차 확대되는 LNG 플랜트사업에 대한 진출 및 경쟁력 확보를 가능하게 하는 전문적 서비스 영역인 사업계획 및 사업관리 기반기술을 확보한다.

o 사업관리 효율성 증대를 통한 사업비용 10% 저감: LNG 플랜트해외시장 진출 시 의사결정 지원 및 사전 계획 검토로 리스크 저감 효과와 다양한 데이터획득기술과 효율적인 사업관리로 사업수행상의 재작업을 최소화하고 비용 및 공사기간의 감축을 토대로 실제 사업비용 저감을 기대한다.

2. 경제적 효과분석

중동지역의 경우 고유가에 자극받은 국가들의 가스와 석유화학 등의 시설에 대한 지속적인 투자로 가스플랜트 분야의 수요가 급증할 것으로 예상되며, 아시아를 중심으로 한 개발도상국가의 경제가 지속적으로 성장함에 따라 가스플랜트의 시장은 상당히 확대될 것으로 판단된다.

가스플랜트 시장의 성장은 LNG수요의 증가도 유발했으며 LNG수요는 연평균 2.3%의 상승을 가질 것으로 예상되며, 2030년에는 현재의 2배 규모의 수요가 창출될 것으로 판단된다. 이에 따라 지속적인 시설투자가 요구될 것으로 전망되며, 기존 생산시설의 보수 및 설비 교체를 위한 시장도 확대될 것으로 판단된다.

특히 아시아-태평양 지역의 43개 플랜트 중 18개가 20년 이상 된 노후설비로 현재도 보수 및 교체를 위한 시장이 증가하고 있어 본 세부과제가 목표로 하는 LNG플랜트 건설사업 관리 핵심기술의 확보로 엔지니어링 수행 효율성이 제고될 경우 국내 관련 산업계의 국제경쟁력이 제고되어 해외 LNG플랜트 건설사업의 수주로 수익 확보가 기대된다.

2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이 중에서 5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악된다.

일반적으로 사업관리 비용은 총 건설사업비의 12%정도로 볼 수 있으며, 이를 고려하면, 국내 LNG플랜트 사업관리 시장 규모는 매년 1,200억원~1,800억원의 시장이 형성될 것으로 예측되며, 본 연구를 통해 개발된 기술패키지 시장(전체 사업관리비의 5%정도)의 추정된 시장의 주기적인 업그레이드와 해외시장 진출을 위한 가수요를 고려 시에 매년 100억원대의 시장을 형성될 수 있을 것으로 판단된다.

o LNG 플랜트 기반기술 확보를 통한 해외시장 진출 확대: 공사기간, 공사비, 품질 등 3대 사업관리 핵심목표를 달성할 수 있는 사업관리 기반기술을 확보하여 해외시장 진출을 위한 경쟁력 강화 그리고 2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이 중에서5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악된다.

o 시나리오 기반의 사업계획 전문가시스템: LNG플랜트 해외진출 시 의사결정 지원 및 사전 계획 검토로 리스크를 저감시키며 수익성확보를 위한 계획 컨설팅 활용수단으로 기대된다.

또한 시나리오 기반의 플랜트 프로젝트 계획 및 개발 지원과 LNG 플랜트 사업계획전문가 시스템 개발을 통한 해외사업 진출을 도모하며, 초기 사업개발(기획 등)에 참여를 통한 에너지자원 시장 접근성 강화를 도모한다. 그리고 국내 에너지 수급체계의 안정성을 위해 사업계획부터 국내업체가 참여할 수 있는 기반을 조성하고, 이를 에너지 수급시장 확보와 연계하여 시장 선정효과 기대된다.

3. 정책적 효과분석

o EPC 플랜트사업의 사업관리 분야: 본 연구 결과를 통해 제시된 결과를 EPC 플랜트사업의 사업관리분야에 기술이전을 통해 도입할 경우 타 플랜트시장 중간진입 효과 발생 예상되며, 커스터마이징을 통해서 정부의 공공 플랜트사업 기획 및 의사결정 지원을 위한 로직 및 기초 자료 제공 이 가능하다.

o 가스플랜트 사업과의 연계방안: 가스플랜트 사업의 데이터 표준과 데이터웨어하우스의 제공, 사업관리 기본로직을 제공하여 가스플랜트 사업단의 정보처리 및 정보관리 기반을 제공한다. 또한 연구 결과 제시될 표준(안)을 바탕으로 국토해양부가 추진하는 해외사업 지원체계 구축의 일환으로 표준화기술의 채택방안을 포함할 수 있다. 민간기업의 참여를 위한 정보의 제공으로 다양한 IT기술 및 계획을 신속하게 융합하는 효과가 창출된다.

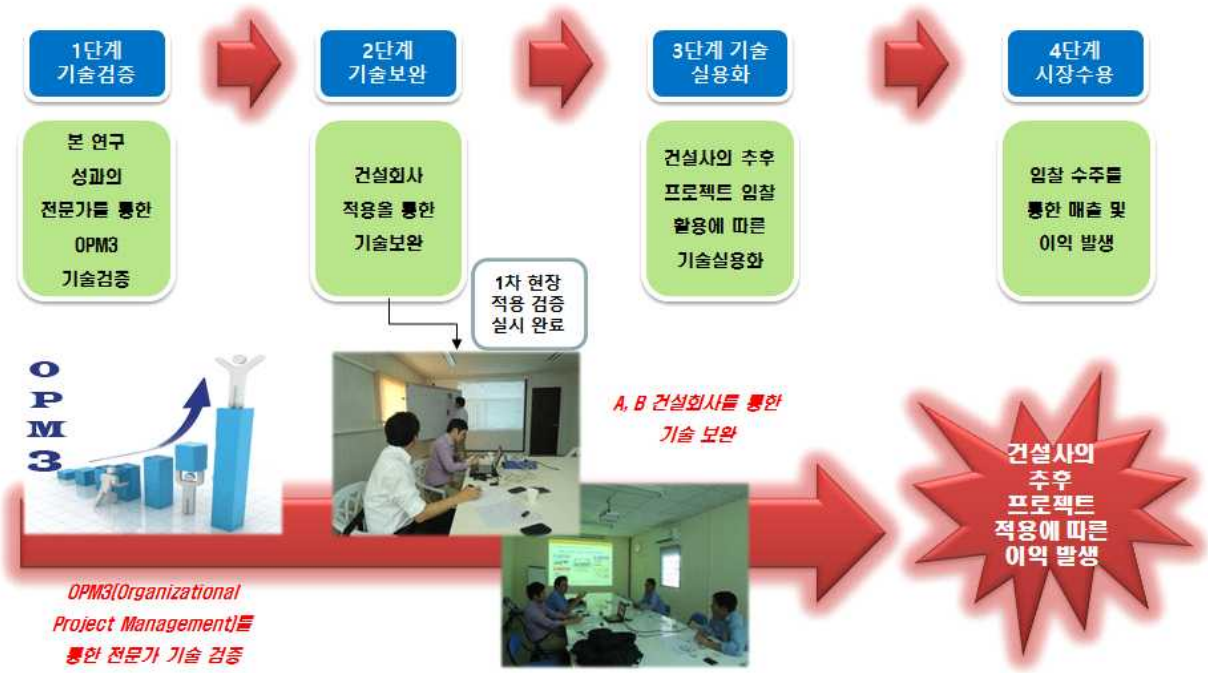
o 홍보방안: 국내외 세미나, 논문, 학술회의 등을 통한 연구 내용에 대한 발표, 플랜트 사업관리 전문가들에 대한 홍보 및 교육을 통한 사업관리의 중요성 홍보, 신문, 방송 등에 연구개발 중간 산출물에 대한 지속적인 홍보를 통한 기술적용 효과가 창출된다.

o 활용방안: 기술 개발 완료 후 민간기업이 적극 활용할 수 있도록 국토해양부와 협조하에 공청회, 홍보전 등을 지속적으로 수행하며, 관련 기술 표준화 및 관련 법 개정 협의회 참여를 통하여 국내 플랜트 사업에 기술 개발 내용을 홍보하고, 이를 통한 원가절감 및 신뢰성 있는 기술개발에 대한 효과가 창출된다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1절 연구성과 향후 활용방안

본 연구의 성과물에 대한 아래와 같은 절차 및 방법에 따라 성과물의 활용 가능성을 향상하였으며, 활용계획의 구체성과 실현가능성을 향상하였다.



기술검증 및 보완	실용화 추진 단계(마케팅)	시장수용 단계
• 사업계획 전문가 시스템 - 사업관리역량평가(OPM3)를 통한 기술 검증 - 현장적용(1회 이상) 추진 - 피드백 사항 보완 및 수정	• 사업계획 전문가 시스템 - 해외 사용성을 위한 Stand-Alone 시스템의 경량화 - 해외진출 건설회사 입찰 적용 및 추진 - 건설회사 적용을 통한 기술 보완 및 실용화	• 사업계획 전문가 시스템 - 사용 기업에 맞도록 시스템 수용 - 실용화협의체를 통한 파워 유저 양성 - 국내 건설회사 및 한국가스공사의 LNG 프로젝트 입찰 적용
• 해외진출사업 타당성 분석 모델 - 실제 프로젝트 수행 사례 적용을 통한 기술 검증 - 현장시험적용(1회 이상) 추진 - 피드백 사항 보완 및 수정	• 해외진출사업 타당성 분석 모델 - 해외 사용성을 위한 Stand-Alone 시스템의 경량화 -한국가스공사 등 입찰 적용 및추진 - 한국가스공사 등 적용을 통한 기술 보완 및 실용화	- 사용 기업에 맞도록 시스템 수용 - 실용화협의체를 통한 파워 유저 양성 - 한국가스공사 해외LNG사업 추진 시 적용

본 연구의 성과물은 재무적 사업타당성 평가, 생애주기(EPCC)비용 평가, 의사결정 모듈 및 지침서로 볼 수 있으며, 상기에서 서술한 결과를 토대로 “시나리오 기반의 LNG 플랜트 사업계획 전문가 시스템”으로 통합 및 개발하여 LNG 플랜트 기획 및 타당성 평가기술 확보를 통하여 LNG 플랜트 해외 진출 시 계획리스크 사전 감소와 의사결정지원 등에 활용할 계획이다. 또한, 활용방안의 실제적인 가능성을 높이기 위하여 사업단이 시행할 테스트베드사업에 적극 활용할 예정이다.



[그림 5.1.1] 연구성과 활용방안

상기 그림과 같은 연구성과의 활용방안으로는 시나리오기반의 사업계획 전문가시스템을 통한 재무적 사업타당성 평가, 생애주기(EPCC)비용 평가, 시나리오 기반 의사결정 등 LNG 플랜트 사업초기 기획 시 기술 확보 및 활용한다. 또한 시나리오를 기반한 사업계획 분석을 토대로 기존 선진업체의 초기 사업계획 단계에서 차원 높은 초기 사업계획 단계 분석에 활용하여 기술 개발 완료 후 민간기업이 적극 활용할 수 있도록 국토해양부와 협조 하에 공청회, 홍보전 등을 지속적으로 수행하여 활용성을 향상시킨다.

본 연구의 성과물에 대한 활용성을 높이기 위하여, 연구성과를 담은 책자를 제작 배포하고, 가스플랜트의 사업관리시스템은 사업모델로서 상품화 과정을 거쳐 국내외로 보급하는 것이 필요하다.

연구성과의 실용화를 위한 추진계획 수립을 위한 기본원칙은 크게 다음과 같이 세 가지 방향으로 제시하고자 함이다.

본 연구성과로서 제시하고자 하는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준을 토대로 상용화 대상에 대한 니즈조사를 토대로 비즈니스 모델을 발굴하여 체계적인 추진 전략을 마련한다.

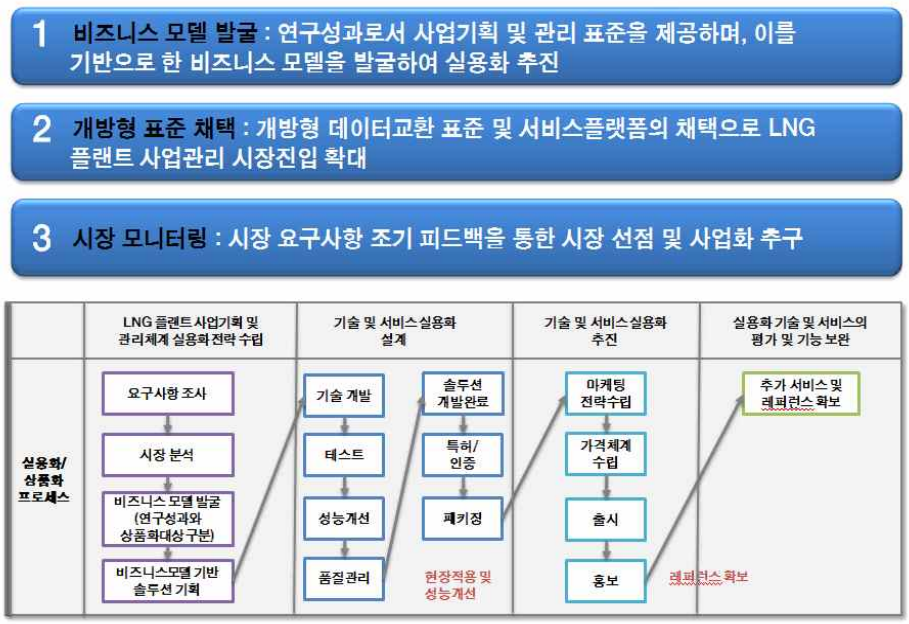
제시되는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준은 개발형 데이터교환 표준을 채택토록 하고, 이에 기반으로서 개발형 서비스 플랫폼을 제시하여 LNG 플랜트시장에 대한 체계적이고 손쉬운 진입이 가능토록 한다.

초기 모델링 및 시스템 기획단계에서 시장요구사항에 대한 조기 파악 및 피드백을 시행하여 상용화를 위한 전략수립과 연계하며, 국내외 시장 선정 효과를 확보한다.

연구성과의 실용화 추진계획은 상용화 전략의 수립 및 비즈니스 모델 발굴, 비즈니스 모델에 따른 기술 및 서비스 실용화 설계(현장적용을 통한 성능 개선), 기술 및 서비스 기능에 대한 실용화 및 제품화 추진, 추가서비스 및 참조 레퍼런스 확보를 통한 기능 보완 등을 추진하고자 한다.

2절 추가연구 필요성

본 연구와 관련 후속연구개발의 전망으로는 사업관리분야의 첨단기술 융합을 통한 실시간 모니터링 기술 연구, 본 연구를 통해 제시된 결과를 토대로 성과 검토를 통해 다양한 데이터획득기술을 발굴하여 추가적용하고, 비교연구를 수행할 수 있다. 또한 RFID 등 다양한 데이터 확보기술은 개발과 함께 사업관리시스템에 모듈화 할 수 있는 방안에 대한 연구 수행 가능하다.



[그림 5.1.2] 추가연구의 추진 계획 및 필요성

연구성과의 활용 및 추가연구에 따른 실용화에 대한 추진 계획에 대한 중요 고려요소는 다음과 같다. 시나리오기반의 사업계획 전문가시스템을 통한 사업타당성 평가, 생애주기비용 평가, 의사결정 등 LNG 플랜트 사업초기 기획 시 기술 확보 및 활용, 시나리오를 기반한 사업계획 분석을 토대로 기존 선진업체의 초기 사업계획 단계에서 차원 높은 초기 사업계획 단계 분석에 활용, 기술 개발 완료 후 민간기업이 적극 활용할 수 있도록 국토해양부와 협조하에 공청회, 홍보전 등을 지속적으로 수행하며, 관련 기술 표준화 및 관련 법 개정 협의회 참여하여 시스템의 고도화를 추진한다.

사업관리조직의 가상화 구현 연구는 향후 사업관리 조직은 현장과 본사, 설계팀과 구매팀 등 다양한 조직이 가상의 네트워크 공간에서 상호 정보를 교환하고, 지식을 관리하며, 사업관리 정보를 획득하여 이를 의사결정에 활용할 수 있는 가상조직 연구와 연계될 수 있다. 또한 기술 및 서비스 표준안 연구로는 공공부분과 민간부분을 연결할 수 있는 표준안과 기술전략에 대한 연구도 필요하다.

참고문헌

1. International Energy Outlook, 2006, DOE (USA)
2. World Energy Investment Outlook, 2004, 국제에너지기구(IEA)
3. GTL 프로젝트 개발동향과 우리의 참여가능성, 2003, 건설교통부
4. 산업설비 통합수행체제 핵심기술 개발, 2006, 건설교통부
5. 플랜트엔지니어링기술 로드맵, 2005, 산업자원부
6. Capital Project Roadmap, 2004, FIATECH
7. Annual Report, 2005, Technip
8. Annual Report, 2005, Bechtel Corporation
9. Annual Report, 2005, ConocoPhillips Co.
10. Ronald M. Smith, New developments in gas to liquids technologies, 2004, CERI Petrochemical Conference
11. Michael Barclay, Natural gas liquefaction process selection for emerging markets, 2005, 5th Doha Conference on natural Gas
12. Mona J. Molnvik, Statoil-NTNU global watch seminal: gas technology, 2003, SINTEF Energy Research
13. Michael Barclay and Noel Denton, Selecting offshore LNG process, 2005, LNG Journal
14. Bahram Ghaemmaghami, GTL: Progress and Prospects - Study yields generic, coastal-based GTL plant 2001, Oil&Gas Journa
15. Gas to liquids industry development discussion paper, 2001, Industry Science Resources
16. Gas to liquids life cycle assessment synthesis report, 2004, ConocoPhillips and Sasol Chevron and Shell
17. Troy A. Semelsberger, Dimethyl ether as a alternative fuel, 2005, Case Western Reserve University
18. Chris noble, GTL challenges, 2005, Foster Wheeler
19. 플랜트 IT 컨퍼런스 논문집, 2004-2006, 한국플랜트정보기술협회
20. 한국가스공사 카탈로그, 2006, 한국가스공사
21. ITER 카탈로그, 핵융합연구센터
22. LNG 플랜트 기술개발 해외 전문가 초청세미나 자료집
23. Alexander S. Adorjan, 1991, Heat Transfer In LNG Engineering, Hemosphere Publishing Coporation
24. 말레이시아 빈툴루(Bintulu) 액화기지 소개자료

25. A guide to LNG, (www.ferc.gov/industries/LNG.asp)
26. 설비공학 편람-냉동편
27. Tariq Shukri, 2004, LNG technology selection, FosterWheeler
28. GTL 기획자료, 2005, 화학연구원
29. Preliminary screening technology and economic assessment of sybthesis gas to fuels, NREL, 2003.
30. Evaluation Of Liquefied Natural Gas Receiving Terminals For Southern California, University Of California, 2004.
31 Sib Akhtar, Driver selection for LNG compressor, MSE Ltd., 2004.
32 Zuoyi Zhang, Economic potential of modular reactor nuclear power plants, Nuclear Engineering and Design, 2007.
33 Pluto LNG development industry briefing, WOODSIDE, 2006.
34 Arthor J. Kidnay, Fundamental natural gas processing, 2006.
35 4D CAD를 기반으로 한 건설사업관리 시스템 개발, 한국건설기술연구원, 2001
36 SOC 사업관리 모델 개발 연구보고서(최종), 아주대학교, 2000
37 건설프로젝트 관리기술 개발 1단계 최종보고서, 한국건설기술연구원, 1998
38 플랜트 프로젝트 관리체계 표준화 기술개발, 현대건설, 2005
39 해외건설공사 손익발생 원인분석 및 리스크 관리방안 개발, 연세대학교, 2002
40 해외건설공사의 생산성 및 수익성 향상을 위한 Risk Management 시스템 구축 및 웹기반 실무활용지침서 개발, 연세대학교, 2003-2005
41 건설공사 위험인지 체계 및 체크리스트 개발, 연세대학교, 2002
42. 한국 산업설비 건설산업의 경쟁력 분석, EPC Project, 유홍석
43. XML을 이용한 원전 기기 데이터시트 교환에 관한 연구, 조광종, 2004
44. STEP 방법론을 이용한 원자력 플랜트 모델의 공유방안, 한순흥, 2004
45. 원전 적용을 위한 STEP 데이터 모델링 기법에 대한 비교 및 CBD기반의 어플리케이션 프레임워크에 관한 연구, 박찬국, 2004
46. 석유가스와 플랜트 분야의 제품모델 규격 적용지침, 표준협회, 2003
47. Vision 2020, 1999, Construction Industry Institute (http:// construct - institute. org)
48. Plant IT 2003 Conference; Best solutions and Best Practices, 2003, Korea Association of Plant Information Technology
49. NIST homepage, http://cic.nist.gov/plantstep/
50. 건설프로젝트관리기술 개발, 2000, 과학기술부
51. 건설기술혁신사업 5개년 계획, 2003, 건설교통부
52. A guide book of project and program management(P2M) for enterprise innovation, 2004, Japan PMCC

53. 산업설비 중장기 기술기반 확충방안 연구, 2002, 건설교통부
54. 통합건설정보분류체계, 2005, 건설교통부
55. 산업설비공사 일반표준시방서, 1999, 건설교통부
56. 건설표준화 기술개발, 2002, 한국기술연구원
57. California Action Plan, 1973, PDPM
58. CANDU형 발전시스템 교육, 운전지원용 플랜트 해석기 개발, 1994, 과학기술부
59. 컴퓨터 이용 CANDU 설계, 건설 지원 시스템 개발, 1994, (주)대우건설
60. 3D CAD모델을 활용한 월성원자력발전소 운전 및 정비 지원시스템 개발, 1998, (주)한국수력원자력
61. 원자력발전소용 웹기반 가상교육시스템 개발, 2002, 한국전력연구원
62. 국제표준(STEP, ISO 10303/15926) 기반의 석유가스와 플랜트분야의 제품모델규격 적용지침 개발, 2002, (주)대우건설
63. 국제 표준 기반의 원자력 발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발, 2004, 한국전력연구원
64. 플랜트 건설산업 육성방안 관한 연구, 1997, 건설교통부
65. BP Statistical Reviewof World Energy 2007, http://www.bp.com
66. 해외 LNG시장 변화와 시사점, 2004, 이영구
67. 21C를 맞이하는 한국 LNG 산업의 현황 및 고찰, 2001, 박의승
68. BP, Statistical Review of World Energy, 2006
69. Poten & Partners, LNGAS Database, http://www.poten.com
70. Wood Mackenzie, Global LNG Online, http://www.woodmacresearch.com
71. 건설교통부(1997), 플랜트 건설산업 육성방안 연구, 건설교통부
72. 건설교통부(2000), 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화 연구보고서, 건설교통부
73. 건설교통부(2002), 건설기술개발 및 관리등에 관한 운영 규정, 건설교통부
74. 건설교통부(2002), 건설산업기본법 시행규칙 중개정령안, 건설교통부
75. 건설교통부(2003), 건설기술연구개발사업 중장기(2003-2007)계획, 건설교통부
76. 건설교통부(2003), 서울특별시 전문시방서(산업설비공사편), 건설교통부
77. 건설교통부(2004), 2004 건설기술진흥시행계획, 건설교통부
78. 건설교통부(2005), 건설공사 표준품셈 개정 내용, 건설교통부
79. 건설지원담당관실(2003), 산업설비(플랜트)발전방안, 건설교통부
80. 과학기술부(2002), 국가 기술지도 -총론-, 과학기술부
81. 과학기술부(2002), 엔지니어링 해외진출을 위한 실무가이드, 과학기술부
82. 과학기술정책관리연구소(1995), 플랜트 엔지니어링 산업의 현황과 효율적 경영 전략에 관한 연구, 과학기술정책관리연구소
83. 과학기술정책관리연구소(1996), 97′ 건설기술 연구개발사업 사전기획 연구, 과학기술정책관리연구소

84. 과학기술정책연구원(2005), 전력산업연구개발사업 중장기 종합계획, 산업자원부
85. 국립환경연구원(1999), 화력발전시설, 국립환경연구원
86. 권영수(2000), 열병합 발전설비의 적용, 설비저널
87. 권오현, 정재호(2004), 건설업체의 사업타당성조사·분석 실태 연구, 한국건설산업연구원
88. 권정순(2000), 배연탈황설비, 설비저널
89. 김명수, 김재영, 권혁진(2000), 건설산업 지식기반 구축방안 연구, 국토연구원
90. 김성기(2004. 11 .30), 에너지 도입 계약시 플랜트 수출과 연계 추진해야, 건설뉴스
91. 김세은, 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보 (http://www.intergraph. co.kr), 한국 인터그래프
92. 김세은 (2004), 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보, 인터그래프코리아㈜
93. 김재수(2004), 메타데이터를 통한 표준정보 유통활성화, KISTI
94. 김종수, 박영기, 1985, 해외건설공사 손실발생 원인조사 및 대상에 관한 연구, 대한건축학회
95. 김종윤(2005), 국가 지식정보 통합검색시스템 오픈, 전자신문
96. 김창규(2002), 우리나라 플랜트 수출 산업의 발전전략, 기계산업
97. 김태형(2004), 대외시장 개방에 따른 플랜트 건설산업의 대응방향, 설기술연구원
98. 김태황, 강민석(2001), 중국 건설시장의 환경 변화와 진출 전략, 한국건설산업연구원
99. 김한힘, 임건순, 선승민, 한승헌(2003), 공정관리 프로그램과 영향도 기법을 통합한 LNG 저장탱크 공사의 공기관리에 관한 사례연구, 대한토목학회
100. 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상 방안, 한양대학교 산업대학원
101. 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상방안, 한양대학교 석사학위논문
102. 김형삼, 1985, 해외건설추진현황과 개선방향의 고찰, 대한토목학회
103. 대림산업주식회사(2000), 지식경영과 e-Business 추진사례, 대림산업주식회사
104. 대림정보통신(2002), Sigma KMS 2000 , 대림정보통신
105. 대림I&S(2002), e-Novator ERP con, 대림I&S
106. 대림I&S(2002), e-Novator series, 대림I&S
107. 대한전기협회 전력기준실(1999), 전력산업기술기준(KEPIC)종합안내서, 대한전기협회 전력기준실
108. 대한토목학회(2002), 해외건설 시장 전망과 활성화 방안, 한국건설산업의 21세기 비전·위기와 기회
109. 동신기술개발주식회사(1997), 건설공사 시행절차 규정 제정연구, 건설교통부
110. 디지털타임스(2000), 한전 KDN-미국 ABB, 발전용 SW 공동 추진, 디지털타임스
111. 라도현 (2000), 한국 건설산업의 국제화 전략에 관한 연구, 전남대학교
112. 매일경제(2005), 대우 시공예측, 美 벡텔보다 낫다, 매일경제 1월 10일자
113. 문경록, 부진을 면치 못하고 있는 해외건설, korea investors service
114. 문성우(2005), 통합분류체계의 실증적 적용을 통한 발주자, 계약자 간 일괄된 건설정보

관리, 대한토목학회 Vol. 25 No.1
115. 박광순(2002), 플랜트산업의 여건변화에 따른 제도 개선방안, 기계산업
116. 박광순(2003), 차세대 성장산업으로서의 플랜트산업, 산업연구원
117. 박동순(2001), 한국 해외건설기업의 경쟁우위에 관한 연구, 대전대학교
118. 박종국(2002), 최적의 협업 환경을 제공하는 LG건설의 eWokrs 21 시스템, 기계저널
119. 박찬국(2002), 플랜트 통합 설계시스템 구축을 위하여, 기계저널
120. 박찬국(2003), 해양 석유 및 가스 생산플랜트 PDM, 기계저널
121. 박찬국(2004), 프로세스 및 Oil & Gas 플랜트 분야, 기계저널
122. 박찬식, 이지웅, 조규대(2003), 국내외 해외건설 선진기업 비교 연구, 대한건축학회
123. 박한재(2002), 우리나라 해외건설의 경쟁 우위요인에 관한 연구, 동아대학교
124. 박홍태(2000), 바람직한 공정관리를 위한 환경 조성 방안, 대한토목학회 Vol. 48 No. 6
125. 방사성폐기물처리시설, 홈페이지 http://nfcf.kaeri.re.kr/rwtf/default. asp,
126. 산업연구원(2002), 플랜트산업의국내외여건변화와제도개선방안, 산업연구원
127. 산업자원부(2002), 해외플랜트 타당성 조사 지원사업관리지침 제정 고시, 산업자원부
128. 삼성SDS(2001), 지식정보통합관리시스템 구축을 위한 제안서, 삼성SDS
129. 삼성SDS, ACUBE, 삼성SDS
130. 삼성SDS, Kwave(The Best Solution for Knowledge Management), 삼성SDS
131. 송정수, 심상훈, 김지윤, 윤기봉(2003), RBI 절차의 석유화학 플랜트 적용에 관한 연구, 대한기계학회논문집
132. 양호용(2002), LPG 저장탱크 대형화 설계연구, 설비저널
133. 에너지관리공단(2004), 소형 열병합발전 운영실태조사, 에너지관리공단
134. 연합뉴스(2004), 두산중공업 담수플랜트 석권, 연합뉴스
135. 연합뉴스(2004), 삼성건설, 기술표준화 개인과외식 교육 도입, 연합뉴스
136. 연합뉴스(2004), 원전용 분산제어시스템 국산화 성공, 연합뉴스
137. 연합뉴스(2004), 조선업계, 미래형 신개념 선박개발 '박차', 연합뉴스 5월 4일자
138. 연합신문(2004), 내달 5일, 동해가스전 준공식 개최, 연합신문
139. 연합신문(2004), 동해가스전 준공 의미와 전망, 연합신문
140. 연합신문(2004), 일본 자가발전 증대 추세, 연합신문
141. 연합신문(2004), 최태원 SK㈜회장, 베트남에 기술수출 제안, 연합신문
142. 오인승(1994), 플랜트 엔지니어링산업의 경영분석과 재무전략에 관한 연구, 한양대학교
143. 오정숙(2001), 국내 KMS 시장 동향, 정보통신산업연구실(kisdi.re.kr)
144. 오해석(2004), 지식강국 건설의 기초는 지식 콘텐츠 구축, 한국데이터베이스진흥센터
145. 와이즈소프트㈜(2003), Enterprise Knowledge Portal, 와이즈소프트㈜
146. 이동욱(2004), ISP 방법론을 활용한 중소전문건설업체의 지식경영전략 및 지식경영 시스템 구축, 한양대학교

147. 이동욱 이태식(2002), 지식경영 성공요인 및 장애요인 분석, 건설관리학회
148. 이동희, 곽중민, 김지영, 강인석(2001), 건설공사 업무절차 재서계 기법 연구, 대한토목학회
149. 이배호, 박홍태, 이철규(1997), 공정관리 실태조사를 통한 운영 개선방안, 대한토목학회
150. 이순영, 이종구(2002), 장치산업의 CALS 유효 기술 활용방안, 대한건설설비학회
151. 이응로 (2005), 전력 IT 표준화 '발등의 불', 전자신문
152. 이재규, 이근희(1995), 플랜트엔지니어링 산업의 현황과 효율적 경영 전략에 관한 연구, 한양대학교 산업대학원
153. 이태식(2001), 건설 지식경영(KM)의 활성화 및 효율성 제고를 위한 건설조직문화, 건설관리학회
154. 이태식(2004), 현장형 건설경영을 위한 지식관리 시스템(PMIS, KMS)구축기술, 대한토목학회
155. 이태식, 강재준(1998), 국내 플랜트 건설사업의 설계품질경영사례를 통한 개선방안 연구, 대한토목학회
156. 이태식, 강재준(1998), 국내플랜트건설사업의설계품질경영사례를통한개선방안연구, 대한토목학회논문집
157. 이태식, 강재준(1998), 사례연구를 통한 플랜트건설의 구매 및 시공단계의 품질경영 개선방안 연구, 대한토목학회논문집
158. 이태식, 곽동구, 한충희(1999), 실무용 건설관리시스템 개발을 위한 시공정보분류체계에 관한 연구, 대한토목학회
159. 이태식, 김용천(2001), 건설산업의 효율적 정보관리체계 구축전략, 건설관리학회
160. 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 수행 중 획득된 지식과 시방서와의 통합 시스템, 대한토목학회
161. 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 지식데이터베이스 연계를 통한 시방서 개선 방안, 건설관리학회
162. 이태식, 심명섭, 김영현(1999), 국내 대형건설업체의 공정관리 현황 및 개선방안에 관한 연구, 대한토목학회
163. 이태식, 이동욱(2003), 중소건설업체를 위한 지식경영시스템 구축, 대한토목학회
164. 이태식, 이동욱(2004), 지식경영개론, 구미서관
165. 이태식, 이동욱, 배건(2001), 건설산업의 지식정보화 기반을 위한 기초적 고찰, 건설관리학회
166. 이태식, 이동욱, 지상복(2004), 건설 기술문서의공유를 위한 건설기술정보시스템 개발, 대한토목학회
167. 이태식, 정보건(2002), 건설산업 지식평가 방안 연구, 건설관리학회
168. 이태식, 정보건, 장대천, 이진욱(2002), 건설산업 지식 관리를 위한 지식 분류체계 현황 조사, 대한토목학회

169. 이태식, 최재호, 박세진, 김영민(2004), 건설사업관리[CM] 성과측정을 위한 Best Practice별 핵심성공요인 체크리스트 개발, 대한토목학회
170. 이태준, 홍정진(2004), 국가원자력기술지도 작성 방법론, 한국원자력사업협회
171. 이현찬 (2002), 전자상거래 표준화 로드맵, 전자상거래 표준화 통합포럼
172. 이협희(2002), 도시 고형폐기물의 열분해 용융특성, 대한설비공학회
173. 임상택(2004), 디-패스트트랙′ 플랜트 공법, 한국경제신문
174. 장현승, 최석인(2004), 세계 플랜트 건설시장 전망과 시사점, 한국플랜트산업협회
175. 전외술, 김영로(2000), 한국 해외건설기업의 경쟁우위 원천에 관한 실증적 연구, 한국생산성학회
176. 전자신문(2003), 플랜트 건설정보화 촉진 방안, 전자신문 4월 14일자
177. 정희식(2001), 건설 내수 부진을 플랜트 수출로 돌파하자, 현대연구소
178. 정희식(2002), 플랜트 산업 환경 변화와 선진기업들의 사업전략, 현대연구소
179. 조규대(2002), 해외건설시장 동향분석을 통한 한국 해외건설의 경쟁력 향상 전략, 중앙대학교 건설대학원
180. ㈜아이리스21, POSEIDON, ㈜아이리스21
181. ㈜온더아이티, The Final Knowledge Portal Solution for e-Business, ㈜온더아이티
182. ㈜창해소프트서비스, KMSbuilder, ㈜창해소프트서비스
183. 최대우, 김우주, 김기넝, 류시철, 이수영, 플랜트 건설분야에서의 작업 물량 추정을 위한 신경회로망 및 사례 기반 복합 방법론의 개발, 한국경영과학회대한산업공학회
184. 최우석(1998), 기업 경영의 필수 요건으로 부각된 PDM, CAD & 그래픽스
185. 최태용(2004), 상수도공사 설계 및 실무, 한국상수도협회
186. 건설관리학회(2003), 국내 CM 활성화를 위한 제도적, 기술적 발전방안 연구 및 CM 평가기법개발을 통한 적용성과 분석, 건설교통부
187. 한국건설기술연구원(1994), 건설정보 분류 표준화 연구, 한국건설기술연구원
188. 한국건설기술연구원(1995), 건설부문 엔지니어링 핵심 공통기반 기술개발 사업을 위한 연구기획 사업, 한국건설기술연구원
189. 한국건설기술연구원(2000), 건설 프로젝트 관리기술 개발, 과학기술부
190. 한국건설기술연구원(2002), 제3차 건설기술진흥기본계획 수립 연구, 건설교통부
191. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발 (Ⅲ) ･ 전자 문서 표준 부록, 건설교통부
192. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅰ) ･ 전자 문서 표준, 건설교통부
193. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅱ) ･ 전자 문서 표준, 건설교통부
194. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅱ) ･ 전자 문서 표준 부록,

건설교통부
195. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CLA/EC 활성화 대회, 한국 CALS 협회
196. 한국건설기술연구원(2004), 건설 CALS/EC 표준개발을 위한 해외 전문가 초청 워크샵, 한국건설기술연구원
197. 한국건설기술연구원(2004), 산업설비 통합수행체재 핵심기술 개발(Ⅰ)중간보고서, 한국건설교통기술평가원
198. 한국건설기술연구원 건설기술품질센터(2000), 내화구조의 인정 및 관리업무 세부운영지침, 한국건설기술연구원
199. 한국건설산업연구원(1998), 플랜트엔지니어링의 핵심경쟁력 요소-일반건설업체와의 비교를 중심으로, 한국건설산업연구원
200. 한국경제신문(2004), [지역경제 신지도] 울산 : 해양시추선, 플랜트 설계 'KCL', 한국경제신문
201. 한국과학기술기획평가원(2003(2002년 국가연구개발사업 평가자료 공공기술, 한국과학기술기획평가원
202. 한국과학기술정보연구원(2002), 플랜트 시설의 지진 리스크 평가 시스템 개발, 해외과학기술동향 558호
203. 한국도로공사(2003), 21세기 지식경영 리더 한국도로공사 지식관리 시스템, 한국도로공사
204. 한국도로공사(2003), K-way(한국도로공사 지식관리시스템), 한국도로공사
205. 한국도로공사(2003), Standards for Electronic Drawings and Documents (전산설계도서 표준호 체계), 한국도로공사
206. 한국전력공사, 한국표준형 원자력 발전소 울진 3?4호기 사업관리 업무편람, 한국전력공사
207. 한국전력공사 건설관리실(1995), 산업관리 기술정립을 통한 발전소 거설 160) 사업관리 최적화방안 연구, 한국전력공사 건설관리실
208. 한국전력공사 원자력기술실(1996), 원전기술 고도화 추진전략 수립 연구(최종보고서), 한국전력공사 원자력기술실
209. 한국전력기술(2004), 공정관리절차서, 한국전력기술
210. 한국전력기술주식회사, Human Technology Environment, 한국전력기술주식회사
211. 한국전산원(2004), 정보시스템 운영감리 지침에 관한 연구, 한국전산원
212. 한국전산원, 지식관리 기술 및 표준화 방안연구, 한국전산원
213. 한국정보공학㈜, The Leading e-Convergence Enabler (EP를 지향하는 KM솔루션, WiseKeys), 한국정보공학㈜
214. 한국정보통신, Wise keys-KMS, 한국정보통신
215. 한국지능정보시스템학회(2001), 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획 시스템의 개발, 한국지능정보시스템학회
216. 한국IT감리컨설팅(2004), 시설물 - 2008. 03. 시스템 확산 및 기초자료 구축사업,

한국IT감리컨설팅
217. 한국IT감리컨설팅(2004), 시설물 - 2008. 03. 시스템 확산 및 기초자료 구축사업 감리, 한국IT감리컨설팅
218. 한순흥, STEP 표준의 일반적인 현황, 과학기술원
219. 한양대학교(1997), 사회기반시설물 평가기술 연구단 연구 계획서, 건설교통부
220. 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실(2001), 동원건설 지식경영 체제구축-2차보고서-, 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실
221. 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실(2001), 동원건설 지식경영 체제구축-3차보고서-, 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실
222. 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터(1998), 프로젝트 정보통합 모델 개발, 과학기술부
223. 한충희, 국찬호, 김선국(2000), 건설분야에서 국내표준과 국제표준의 부합화 방안, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
224. 한충희, 김인한, 이두헌(1997), 웹을 이용한 건설정보의 효율적 활용 방안, 대한건축학회 논문집 Vol.17 No.2
225. 한충희, 김선국, 전영호(2001), 건물 부위요소의 경계조건 규명과 응용사례, 대한건축학회 논문집 Vol.17 No.3
226. 한충희, 김연성, 김선국(2000), 상업시설의 공사실적정보 관리시스템, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
227. 한충희, 김재준, 안병주(1995), 설계 비용 일정 정보 통합에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.11 No.8
228. 한충희, 이군재, 김선국(2000), 건축공사의 공정-원가-자원 통합관리 모델에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
229. 한화S&C, Best of the Best, 한화 S&C
230. 한화S&C, e-Business Innovator, 한화S&C
231. 해외건설협회(2003), 해외 플랜트 건설공사 수익성 제고방안, 해외건설협회
232. 해외건설협회(2005), 현대건설 이라크 복합화력발전소 건설사례소개, 해외건설협회
233. 해외건설협회, 해외건설 년도/규모별 총괄 계약현황(플랜트) 통계, 해외건설협회
234. 해외건설협회 데이터 서비스, http://www.icak.or.kr,
235. 해외과학기술동향 558호(2001), 후지전기, 산업 플랜트 서비스 사업 확대, 해외과학기술동향 558호
236. 해외과학기술동향 558호(2003), 똑똑해지고 있는 플랜트 디자인 소프트 웨어, 해외과학기술동향 558호
237. 현대건설㈜(2005), 교량/송전선로 사업관리 전문가 시스템, 현대건설㈜
238. 현대엔지니어링, http://www.hec.co.kr/,
239. 현재천(1997), 21세기 한국 화학공학, 화공기술, 화공산업의 Vision, 금빛출판사

240. 홍성웅(1995), 일본 건설업체의 해외시장 진입 전략, 한국건설산업연구원
241. 홍은표(2001), 플랜트 엔지니어링 IT 활용 현황 및 전망, ㈜ 세피안 테크놀러지
242. CAD & graphics(2004), 플랜트 IT업계의 리더, 인터그래프코리아, CAD & graphics
243. Castro-Lacouture, D., Skibniewski, M(2005), Quantitative Assessment of Web-Based Construction Management Systems: A Case Study on Rebar Design and Estimation, Information Technology in Architecture, Engineering and Construction
244. Chung, B-Y., Skibniewski, M(2005), Cost-Benefit Analysis of Integrating ERP Systems with Project Management Systems in Construction Firms, 1st International Conferenceon Construction Engineering and Management, Seoul
245. ComTrue KMS(2003), 지식경영의 선두 ComTrue KMS, ComTrue KMS
246. ERP추진실 건설관리팀(2005), 공정 및 시공정보 관리시스템 소개, 한국수력원자력
247. Helmut schuller, Hype or opportunity for complex global projects, Intergraph
248. LG-EDS시스템, Knowledge Enterprise Portal Solution, LG-EDS시스템
249. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2003), Impact of Web-Based Project Management Systems on Construction Claims Processing Procedures,
250. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), “A Model for the Analysis of Success/Failure Factors in Application of Web-Based Project Management Systems in Construction, ASCE Journal of Construction Engineering and Management
251. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Web-Based Construction Project Management Systems: What Makes Them Succeed?, Automation in Construction, Vol. 13, No. 4, Elsevier,
252. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Web-Based Project Management Systems: Survey of Success and Failure Factors, Building Research & Information, Taylor &Francis Group Publishers, London, U.K
253. Nitithamyong, P., Skibniewski, M., Chaturvedi, A(2004), Success and Failure Factors of Web-Based Construction Project Management Systems: Evidence from Case Studies, Information Processing & Management, Pergamon-Elsevier, Oxford
254. PI실 건설관리팀(2004), 원전건설분야 ERP구축개요, 한국수력원자력
255. PI실 건설관리팀(2005), 원전건설관리시스템, 한국수력원자력
256. PI실 건설관리팀(2005), 토건분야 시공관리시스템 소개, 한국수력원자력
257. Ryoo, B.-Y., Skibniewski(2004), e-Portal for Construction Engineers: Korea Example, ”under review by Information Systems, Information Systems, Pergamon-Elsevier, Oxford, U.K
258. Ryoo, B-Y., Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Electronic Project Management Information Systems (e-PMIS) for Construction Projects in Developing Countries,

CIB W107 Symposium on Globalization and Construction, Bangkok
259. Skibniewski, M. (1991, Information Management System for New Construction Technologies, Construction Management and Economics
260. Skibniewski, M. (2002), Current Research on Web-Based Tools for Construction Project Management, Invited KeynoteLecture, Special Symposium on the 5th Anniversary of Collaborative Research Between Purdue University and Cracow University of Technology, Krakow, Poland
261. Skibniewski, M. (2003), Constructability Analysis and Decision Support, CONMAT
262. Skibniewski, M. (2003), Making Web-Based Project Management Systems Successful, 2nd International Conference on Construction in the 21st Century
263. Skibniewski, M. (2004), Critical Factors in Assuring Application Success of Web-Based Project Management Systems in Construction, INCITE 2004 Malaysia
264. Skibniewski, M. (2004), Critical Success Factors for Application of Web-Based Project Management Systems, National University of Singapore
265. Skibniewski, M. (2004), Recent Developments in Web-Based Project Management Tools, Hanyang University (Ansan Campus), Seoul, Korea
266. Skibniewski, M. (2004), Statistical Research on Success and Failure of Web-Based Project Management Systems in Construction, Seoul National University, Korea
267. Skibniewski, M. (2004), Utility of Web-Based Project Portals for Construction Applications, National Chiao-Tong University, Hsinchu, Taiwan
268. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Project Management ? Success or Failure?, European Conference on Process and Product Modeling in the Building and Construction Industry, Istanbul Technical University, Turkey,
269. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Project Portals for Engineering Management Collaborations, Universidad Nacional de Cordob. Argentin. November
270. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Tools for Construction Project Management, Taiwan Construction Research Institute, Taipei
271. Skibniewski, M. (2004), World-Wide Web Technologies for Project Management, National CentralUniversity, Jung-li, Taoyuan, Taiwan
272. Skibniewski, M. (2005), Critical Challenges for Information Technology in Construction Engineering and Management, Construction Industry Executive Forum, SAP Corporation, Philadelphia
273. Skibniewski, M. (2005), Information Technology Challenges for the Construction Industry: Integrating Enterprise Resource Planning and Web-Based Project Management, University of Southern Californi. Los Angeles

274. Skibniewski, M., E-Commerce and Web-Based Project Management Technologies for Construction, 4th International Conference on Construction Project Management: Remaking Construction in the Knowledge-Based Economy,
275. Skibniewski, M., Managing Construction through the Worldwide Web, Mokwon University, Taejon, Korea
276. Skibniewski, M., Nitithamyong(2002), Use of Web Technologies in Construction Project Management: What are the Critical Success/Failure Factors, Information Resources Management Association, Idea Group Publishing
277. Skibniewski, M., Nitithamyong, P(2004), Web-Based Construction Project Management Systems, Construction Bulletin, No. 27, March
278. Skibniewski, M., Zhang, L(2005), Economic Feasibility of Web-Based Project Management Solutions, The International Journal of Construction Management
279. The Top 225 International Contractors, http://www.enr.com, ENR
280. Wright, J., Skibniewski, M(1990), A Graduate Course in Expert Systems Prototype Development, International Journal of Applied Engineering Education, Pergamon Press

[부 록]

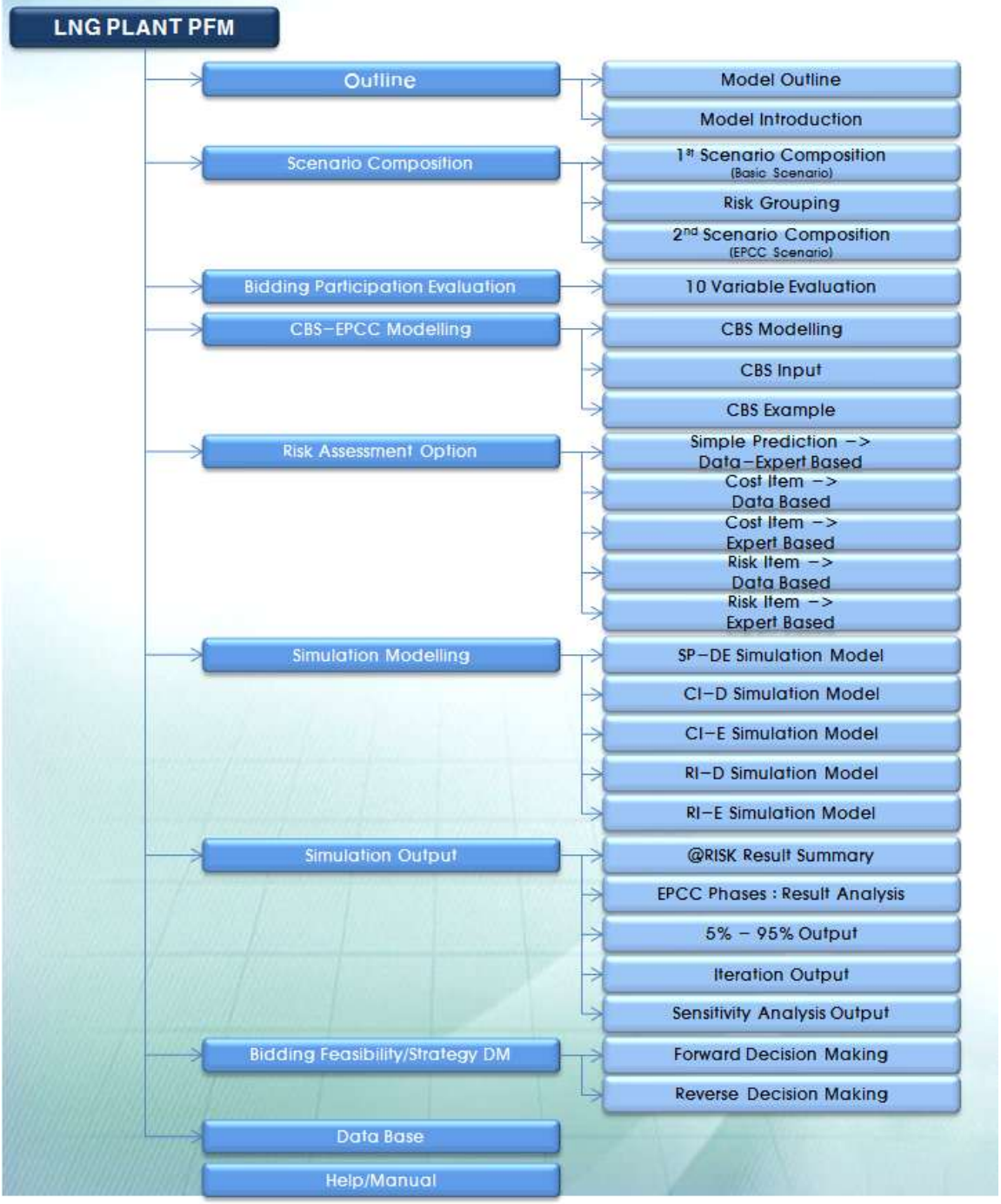
1. 사업계획 전문가 시스템 사용지침(매뉴얼)

2. 해외진출사업 타당성 분석 모델 사용지침(매뉴얼)

[부 록] 1. 사업계획 전문가 시스템 사용지침(매뉴얼)

시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템
(LNG PLANT Project Feasibility Modelling)

도움말/사용 설명서



1. Outline
  1.1 Model Outline
  1.2 Model Introduction
2. Scenario Composition
  2.1 1st Scenario Composition (Basic Scenario)
  2.2 Risk Grouping
  2.3 2nd Scenario Composition (EPCC Scenario)
3. Bidding Participation Evaluation
  3.1 10 Variable Evaluation
4. CBS-EPCC Modeling
  4.1 CBS Modelling
  4.2 CBS Input
  4.3 CBS Example
5. Risk Assessment Option 및 Simulation Modelling
  5.1 Simple Prediction -> Data-Expert Based
  5.2 Cost Item -> Data Based
  5.3 Cost Item -> Expert Based
  5.4 Risk Item -> Data Based
  5.5 Risk Item -> Expert Based
6. Simulation Output
  6.1 @risk Result Summary
  6.2 EPCC Phases : Result Analysis
  6.3 5% - 95% Output
  6.4 Iteration Output
  6.5 Sensitivity Analysis Output
7. Bidding Feasibility/Strategy DM
  7.1 Forward Decision Making
  7.2 Reverse Decision Making
8. Data Base
9. Help/Manual

1. Outline

Outline은 시스템의 기초적인 로직을 제공하는 단계로써 Model Outline, Model Introduction의 메뉴로 구성되어 있다. 각 메뉴에 따른 세부 내용은 다음과 같다.

1.1 Model Outline

Model Outline은 시스템의 전체적인 구성 및 프로세스를 파악 할 수 있도록 구성되어 있으며, 화면구성은 다음 그림 1과 같다.

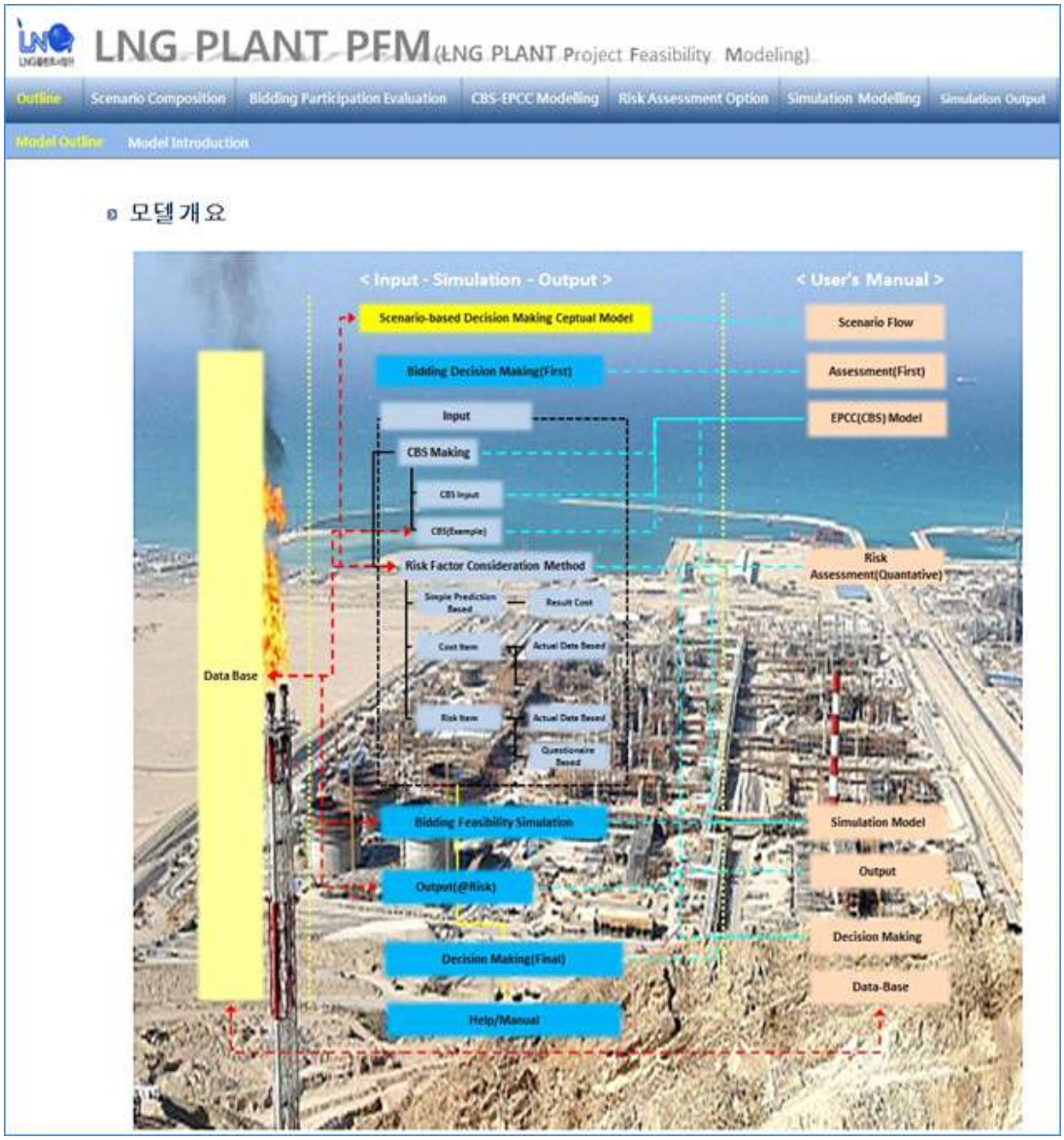


그림 1. Model Outline

상기 그림 1에서 보는바와 같이 시스템은 시나리오 구성, 위험요인 분류, 10변수 평가, 비용분류체계 설정, 위험요인 분석, 시뮬레이션, 입찰 타당성/전략 의사결정의 순서로 진행되며, 모든 사항은 Database에 저장되어 추후 열람이 가능하다는 것을 나타낸다.

1.2 Model Introduction

Model Introduction은 시스템의 논리를 파악할 수 있도록 구성하였으며, 화면구성은 다음 그림 2와 같다.

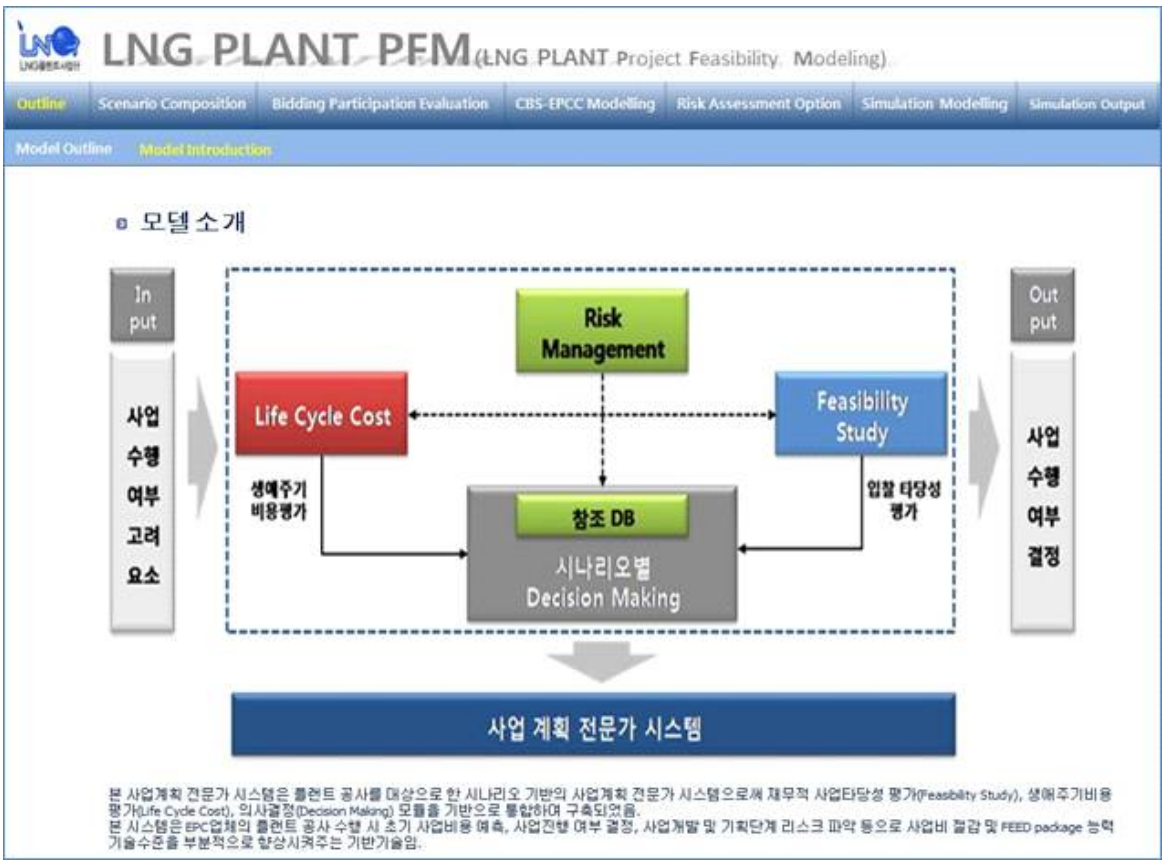


그림 2. Model Introduction

상기 그림 2에서 보는바와 같이 시스템은 플랜트 공사를 대상으로 재무적 사업타당성 평가, 생애주기비용 평가, 시나리오별 의사결정 모듈을 기반으로 구축되었다. 따라서 EPC 업체의 플랜트 공사 수행 시 초기 사업비용 예측, 사업진행 여부 결정, 사업개발 및 기획단계 위험요인 파악 등으로 사업비 절감 및 FEED Package 능력기술수준 등에 이용가능 하다.

2. Scenario Composition

Scenario Composition은 시나리오를 설정하고 위험요인을 설정하는 단계로써 1st Scenario Composition, Risk Grouping, 2nd Scenario Composition의 메뉴로 구성되어 있다. 각 메뉴에 따른 세부사항은 다음과 같다.

2.1 1st Scenario Composition (Basic Scenario)

1st Scenario Composition는 수행하고자 하는 사업의 기본정보를 입력하는 단계로써, 직접 입력하거나 Database에 입력되어 있는 정보를 불러올 수 있다. 화면구성은 다음 그림 3과 같다.



그림 3. 1st Scenario Composition (Basic Scenario)

상기 그림 3에서 보는바와 같이 1st Scenario Composition는 사업의 기본정보를 입력할 수 있도록 구성되어 있으며, 불러오기 버튼을 클릭하여 기존에 입력되어 있던 정보를 불러올 수 있다. 사업명을 입력하고 드롭다운 목록에서 지역을 선택하면 국가입력란에 드롭다운 형식으로 해당지역에 속한 국가명이 표시되어 선택하도록 구성되었다. 사업종류를 선택하고 업무범위를 클릭하면 팝업창이 표시된다. 표시된 팝업창의 화면은 다음 그림 4와 같다.



그림 4. 1st Scenario Composition_업무범위선택

상기 그림 4과 같이 업무범위 선택은 프로젝트의 전체 업무범위를 선택할 수 있도록 구성되어 있으며 다중선택이 가능하고 체크박스에 체크하면 전체 업무범위가 선택된다. 또한 사업특성, 계약방식/조건, 사업 수행시기는 드롭다운박스를 이용하여 선택이 가능하도록 구성되었다. 입력이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 Database에 저장하게 된다. 불러오기를 클릭하면 Database에 저장된 프로젝트를 불러올 수 있다. 해당 화면은 다음 그림 5와 같다

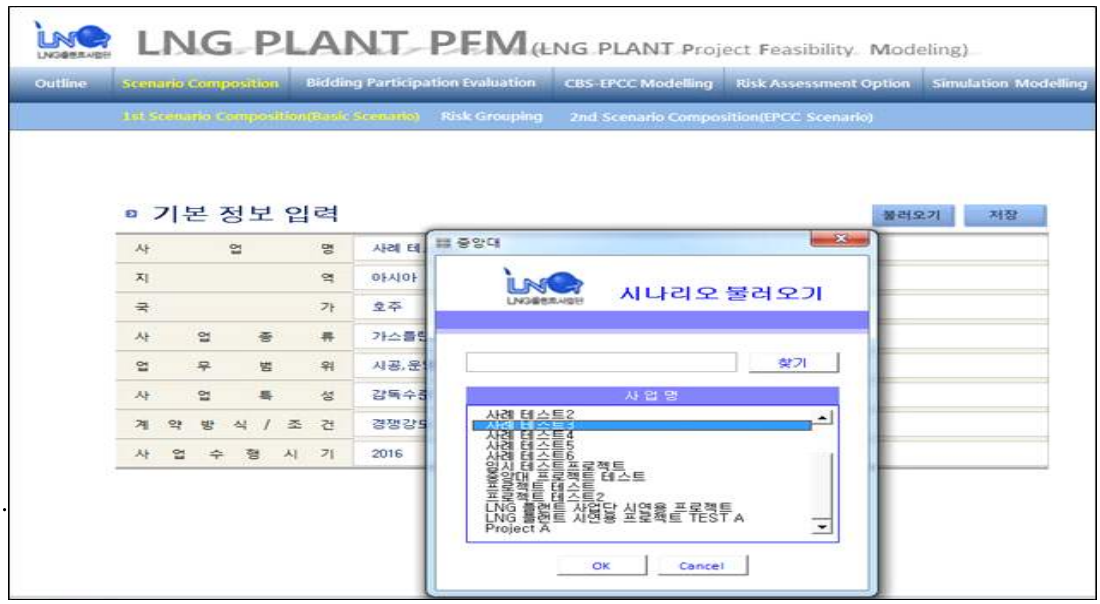


그림 5. 1st Scenario Composition_시나리오 불러오기

2.2 Risk Grouping

Risk Grouping은 시나리오 선택에 따른 위험요인을 구성하는 단계로써, 1st Scenario Composition에서 입력한 업무범위에 해당되는 위험요인을 입력하도록 구성되어 있다. Risk Grouping의 화면은 다음 그림 6과 같다.

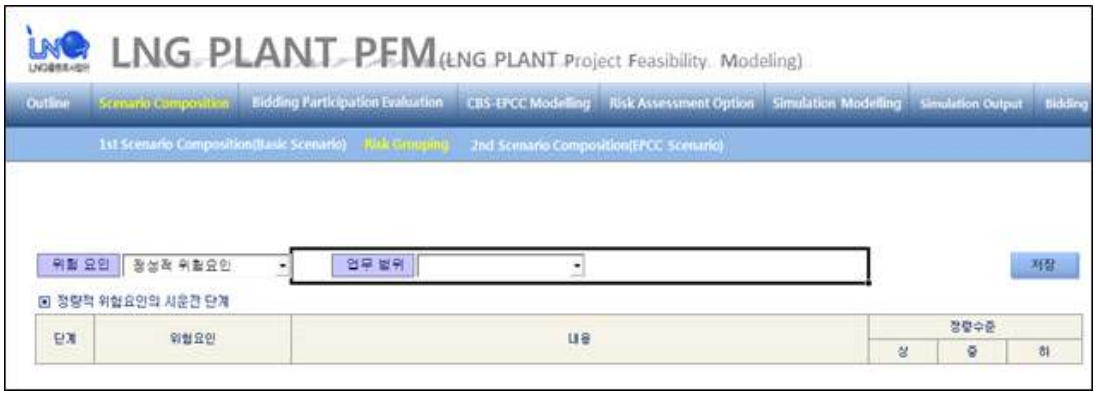


그림 6. Risk Grouping

상기 그림 6에서 보는바와 같이 Risk Grouping은 1st Scenario Composition에서 입력한 업무범위에 해당되는 위험요인을 정성적, 정량적 위험요인으로 구분하여 업무범위별로 설정하도록 구성되어 있다. 드롭다운 버튼을 클릭하여 정성적, 정량적 위험요인을 선택하고 업무범위를 설정하면 해당되는 위험요인이 표시된다. 이때 표시되는 위험요인은 기본적으로 제공되는 위험요인이며 추가 또는 삭제가 가능하다. 위험요인을 추가하려면 단계열의 최하단 빈칸에 숫자를 입력하면 위험요인, 내용, 정량수준을 입력하는 공간이 생성된다. 위험요인을 삭제하려면 원하는 항목의 숫자를 지우면 해당 위험요인이 삭제된다. 정량수준에 대한 평가는 선택할 수 있으며 상, 중, 하를 클릭 시 선택한 곳에 ★ 표시가 생성된다. 위험요인의 추가/삭제 및 정량수준 평가 화면은 다음 그림 7, 그림 8과 같다.

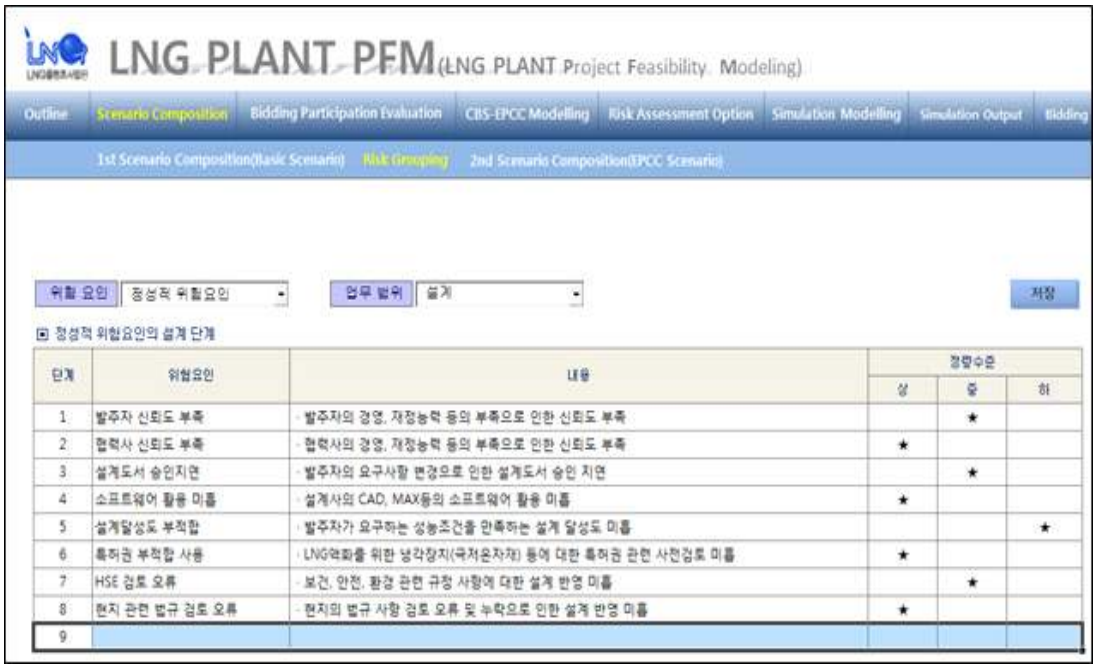


그림 7. Risk Grouping_위험요인 추가/삭제

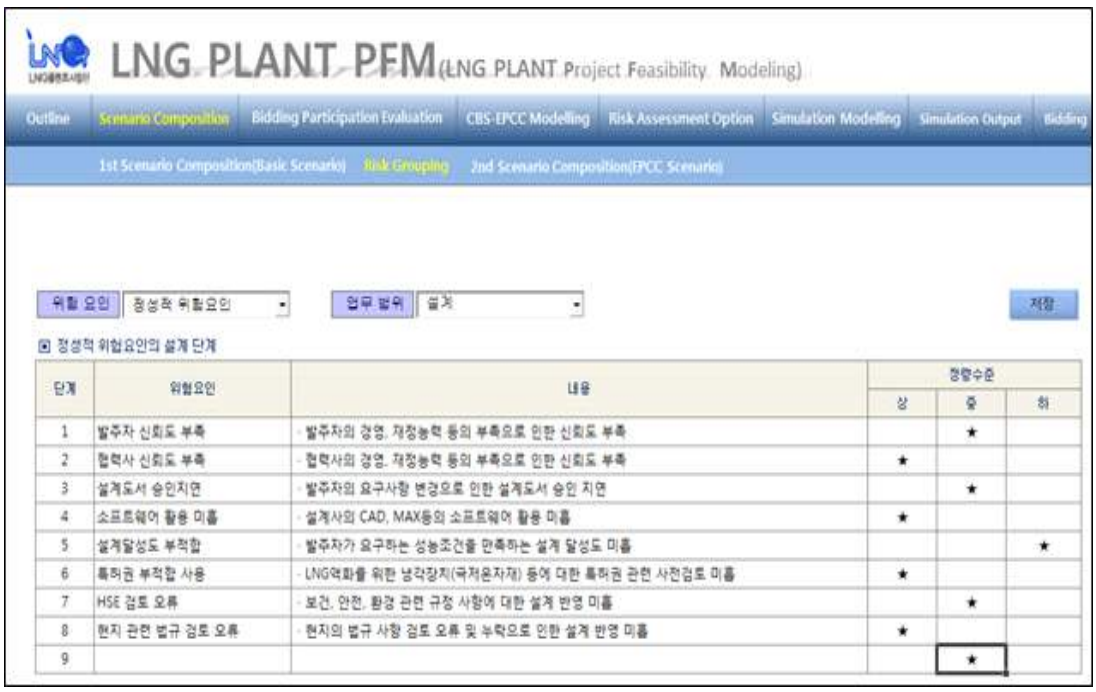


그림 8. Risk Grouping_정량적 수준 평가

2.3 2nd Scenario Composition (EPCC Scenario)

2nd Scenario Composition은 1st Scenario Composition에서 입력한 사업의 기본정보와 Risk Grouping에서 설정한 위험요인을 정리하여 보여주는 단계로써, Risk Grouping의 화면은 다음 그림 9와 같다.

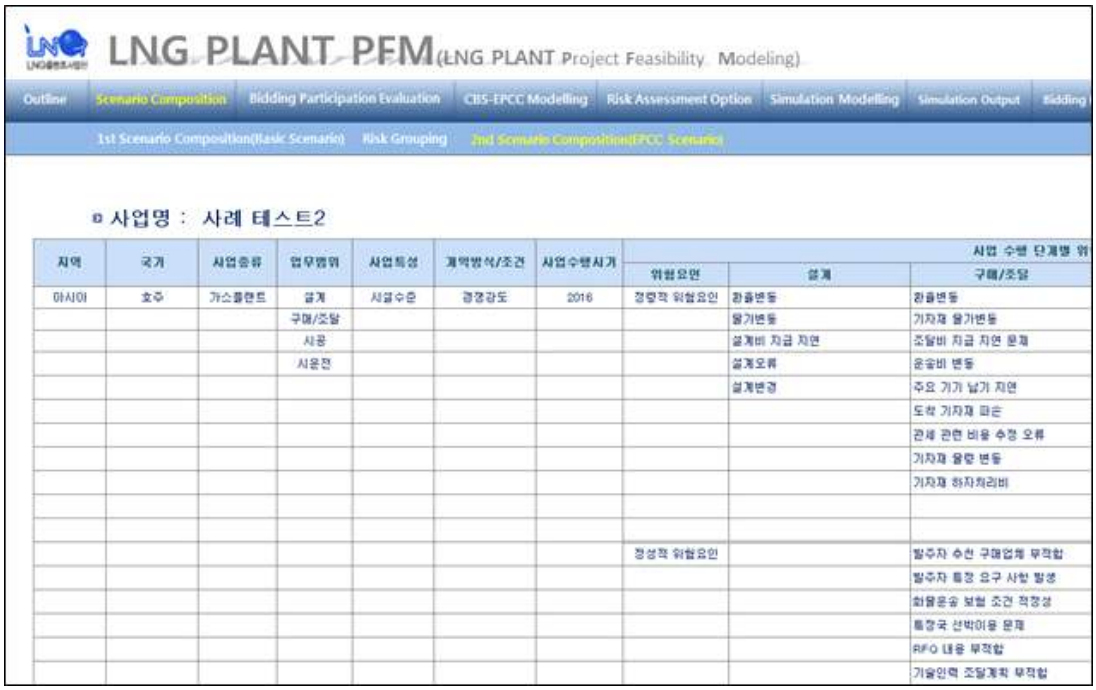


그림 9. 2nd Scenario Composition (EPCC Scenario)

상기 그림 9에서 보는바와 같이 2nd Scenario Composition은 왼쪽에 1st Scenario Composition에서 입력한 사업의 기본정보를 표시하고, 오른쪽에 Risk Grouping에서 입력한 위험요인을 표시한다. 위험요인은 정량적 위험요인과 정성적 위험요인을 분류하고, 업무범위별로 나누어 표시한다. 2nd Scenario Composition에서는 결과를 수정할 수 없도록 구성되었다.

3. Bidding Participation Evaluation

Bidding Participation Evaluation은 정확한 평가를 진행하기 이전에 입찰 참여 여부에 대한 평가를 진행하는 단계로써 10 Variable Evaluation의 세부항목으로 구성되어 있다.

3.1 10 Variable Evaluation

10 Variable Evaluation은 수익성과 안전성에 관련된 10개의 변수를 평가하여 입찰 참여의 여부를 결정할 수 있도록 구성되어 있으며, 10 Variable Evaluation의 화면은 다음 그림 10과 같다.

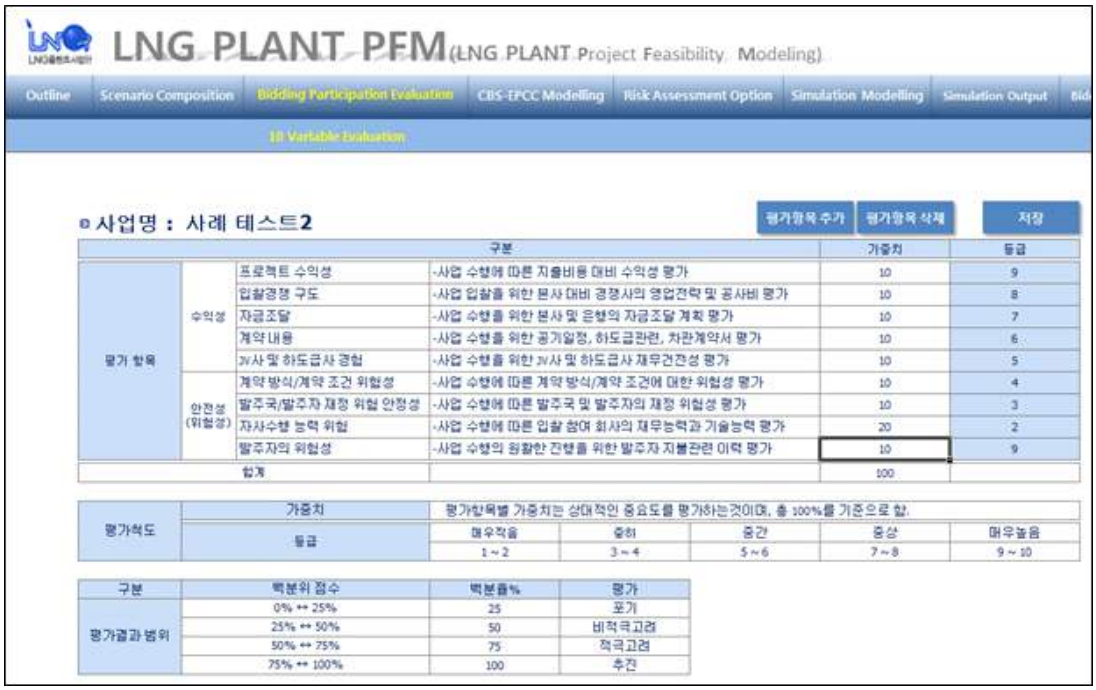


그림 10. 10 Variable Evaluation

상기 그림 10에서 보는바와 같이 10 Variable Evaluation은 수익성과 안전성에 관련된 10가지 변수에 가중치와 등급을 입력하도록 구성되었다. 이때 가중치는 100이 되어야 하며, 가중치가 100이 되지 않으면 다음 그림 11과 같이 메시지가 표시된다.



그림 11. 10 Variable Evaluation_가중치 오류 메시지

등급은 10점 척도로 구성되어 있으며, 입력된 등급은 가중치와 곱하여 평가결과를 도출한다. 평가항목은 추가 또는 삭제할 수 있도록 구성되었다. 평가항목 추가 버튼을 클릭하면 평가항목이 추가되고, 평가항목 삭제 버튼을 클릭하면 평가항목이 삭제된다. 평가항목 설정 후 가중치와 등급의 입력이 완료되고 저장버튼을 클릭하면 다음 그림 12와 같이 저장확인 메시지가 출력된다.



그림 12. 10 Variable Evaluation_저장확인 메시지

상기 그림 12에서 보는바와 같이 출력된 저장확인 메시지에서 확인버튼을 클릭하면 Database에 저장된 사례를 현재 프로젝트와 비교할 수 있도록 적용사례(사업) 선택 화면이 출력된다. 출력된 적용사례(사업) 선택 화면은 다음 그림 13과 같다.

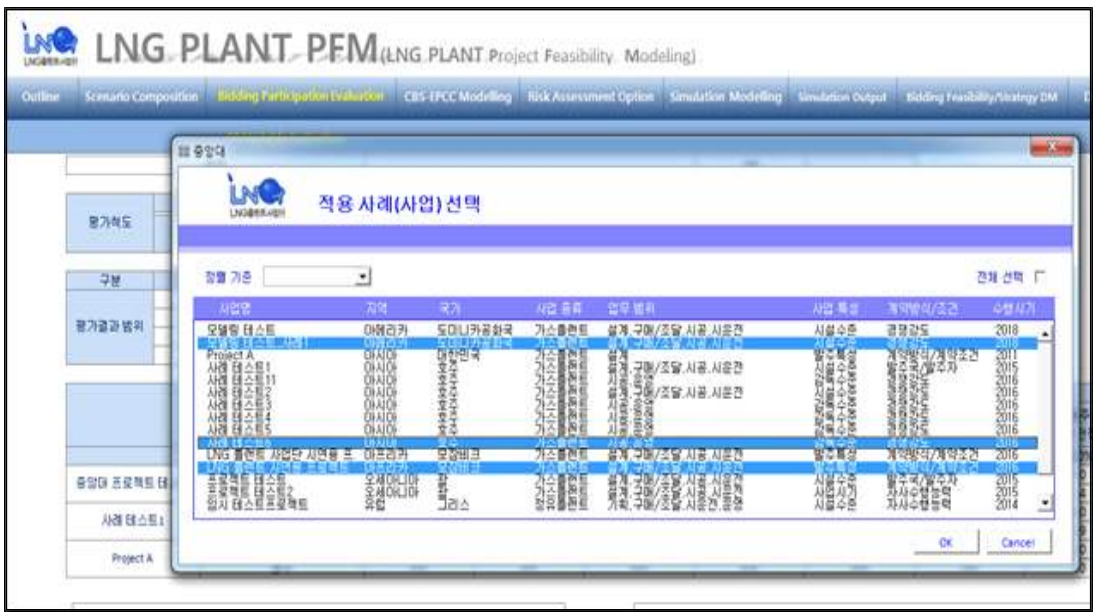


그림 13. 10 Variable Evaluation_적용사례(사업) 선택 화면

상기 그림 13에서 보는바와 같이 적용사례는 Database에 저장되어 있는 모든 사례가 표시되며, 사업의 기본정보가 표시되도록 구성되었다. 적용사례는 복수선택이 가능하고 우측 상단에 전체 선택 체크박스에 체크하면 Database에 저장된 모든 사례가 선택된다. OK버튼을 클릭하면 현재 프로젝트와 적용사례에 대한 10 Variable Evaluation 평가 결과의 비교 평가표가 생성된다. 생성된 비교 평가표는 다음 그림 14와 같다.

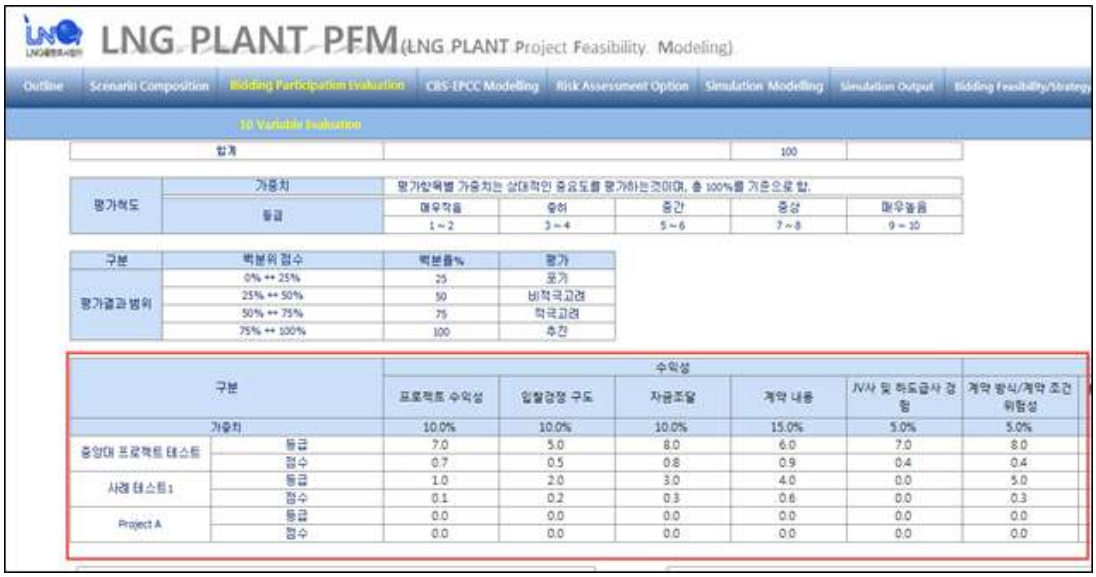


그림 14. 10 Variable Evaluation_비교평가표

적용사례(사업) 선택화면에서 Cancel 버튼을 클릭하면 현재 프로젝트의 10 Variable Evaluation 평가 결과만 생성된다. 생성된 적용사례 미선택시 화면은 다음 그림 15와 같다.

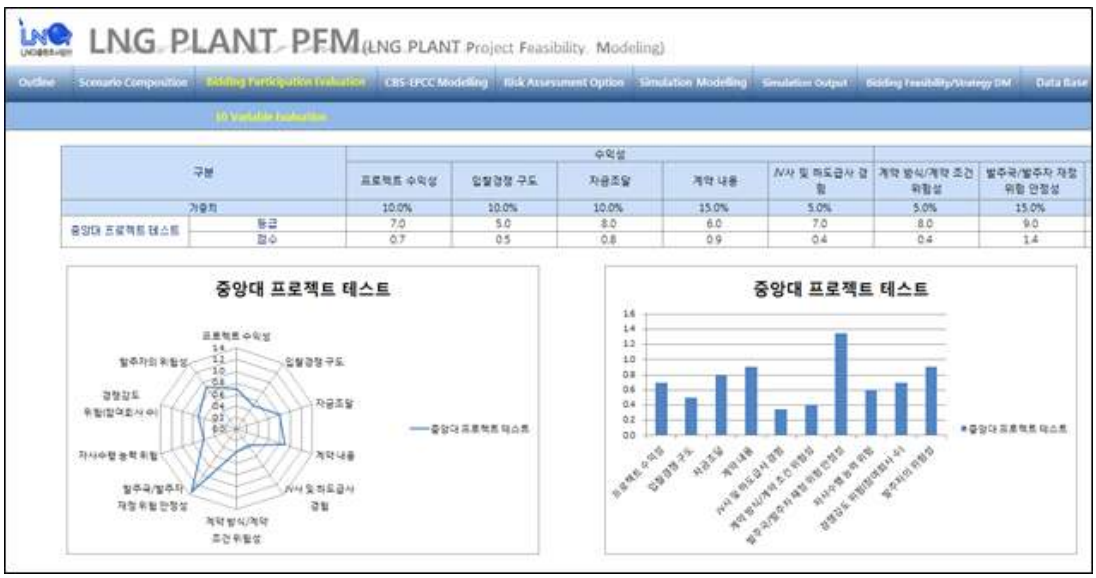


그림 15. 10 Variable Evaluation_적용사례 미선택시 화면

4. CBS-EPCC Modelling

CBS-EPCC 모델링은 프로젝트에 적합한 비용항목을 구성하는 단계로써, CBS-EPCC Modelling, CBS Input, CBS Example의 세부항목으로 구성되어 있다. 각 항목에 대한 세부사항은 다음과 같다.

4.1 CBS-EPCC Modelling

CBS-EPCC Modelling은 프로젝트에 따른 비용항목을 구성하는 단계로써 CBS-EPCC Modelling 화면은 다음 그림 16과 같다.



그림 16. CBS-EPCC Modelling

상기 그림 16에서 보는바와 같이 CBS-EPCC Modelling은 비용항목을 Level 1부터 Level 6으로 구분하여 구성하게 된다. 기본적으로 제공되는 항목에 프로젝트에 특성에 맞는 비용항목을 추가 또는 삭제할 수 있도록 구성하였다. 비용항목을 추가 또는 삭제하기 위해 비용항목에 색상이 있는 항목을 선택한 후 비용항목 추가 버튼을 클릭하면 추가되고, 비용항목 삭제 버튼을 누르면 삭제된다. 이때 비용항목 추가 버튼을 클릭하면 선택된 항목의 Level에 비용항목이 추가된다. 비용항목을 추가한 후 비용항목 이름, Code, Level Name은 사용자가 입력해야 한다. 비용항목 구성 작업 중 현재 작업하고 있는 단계는 상단에 요약하여 표시하게 된다. 표시되는 비용항목 요약정보는 다음 그림 17과 같다.



그림 17. CBS-EPCC Modelling_비용항목 요약

상기 그림 17에서 보는바와 같이 비용항목을 선택하면 해당하는 비용항목의 요약된 정보를 확인할 수 있으며, 요약정보에서 드롭다운을 이용하여 Level을 선택하면 해당하는 비용항목으로 이동하도록 구성되었다. 드롭다운을 이용한 Level 선택 화면은 다음 그림 18과 같다.



그림 18. CBS-EPCC Modelling_Level 선택 화면

상기 그림 18에서 보는바와 같이 Level을 드롭다운을 이용하여 선택하면 해당되는 비용항목으로 이동하게 된다. 비용항목 구성이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 비용항목을 Database에 저장한다.

4.2 CBS Input

CBS Input은 CBS-EPCC Modelling에서 구성된 비용항목에 대해 금액을 입력하는 단계이다. CBS Input의 화면은 다음 그림 19와 같다.



그림 19. CBS Input

상기 그림 19에서 보는바와 같이 CBS Input은 색상이 있는 부분인 최하위 단계의 비용을 입력하면 색상이 없는 부분인 상위 단계의 비용은 자동으로 계산되도록 구성되었다. 비용의 입력이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 사업비용을 Database에 저장한다.

4.3 CBS Example

CBS Example은 CBS Input에서 입력한 비용에 대한 결과를 보여주는 단계이다. CBS Example의 화면은 다음 그림 20과 같다.



그림 20. CBS Example

상기 그림 20에서 보는바와 같이 CBS Example은 현재 프로젝트의 비용항목을 표시하며 Database에 저장된 프로젝트의 비용과 비교할 수 있도록 구성되었다. CBS Example을 선택시 현재 Database에 저장된 프로젝트 중 비교대상 프로젝트를 선택할 수 있는 적용사례(사업) 선택 화면이 출력된다. 출력된 적용사례(사업) 선택 화면은 다음 그림 21과 같다.

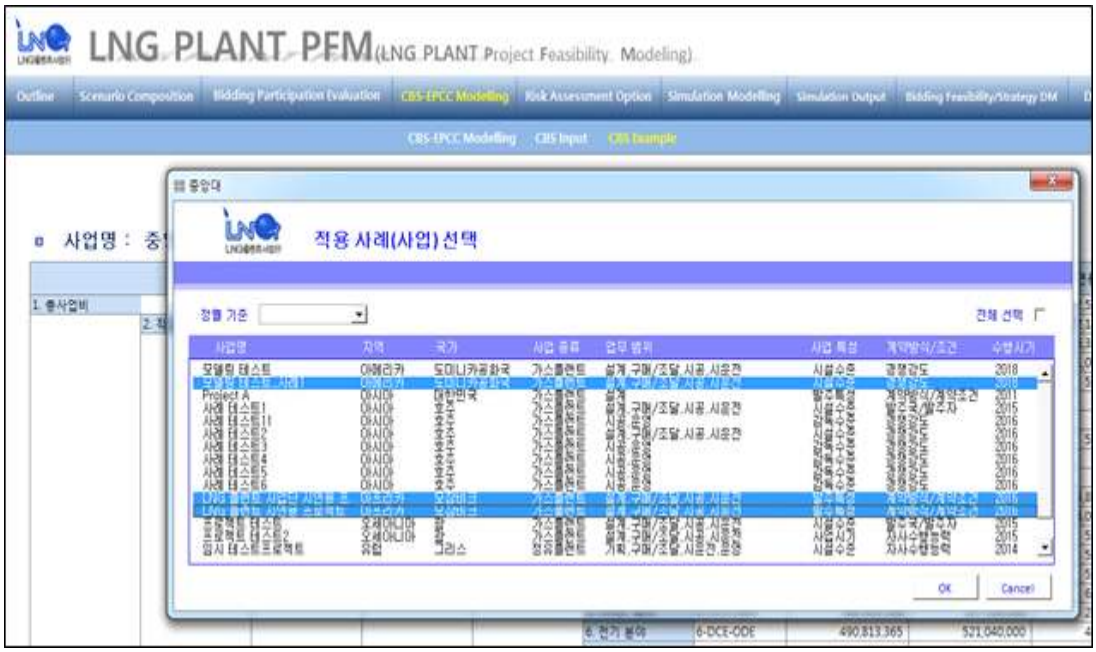


그림 21. CBS Example_적용사례(사업) 선택 화면

상기 그림 21에서 보는바와 같이 적용사례는 Database에 저장되어 있는 모든 사례가 표시되며, 사업의 기본정보가 표시되도록 구성되었다. 적용사례는 복수선택이 가능하고 우측 상단에 전체 선택 체크박스에 체크하면 Database에 저장된 모든 사례가 선택된다. OK버튼을 클릭하면 현재 프로젝트와 적용사례에 대한 비용항목 비교표가 생성된다. 생성된 비용항목 비교표는 다음 그림 22와 같다.



그림 22. CBS Example_비용항목 비교표

상기 그림 22에서 보는바와 같이 비용항목 비교표는 선택된 모든 프로젝트의 비용항목을 모두 표시하고 현재 프로젝트에서 구성하지 않은 비용항목의 비용은 0으로 표시된다. 사용자는

선택한 적용사례와 현재 프로젝트의 비용을 비교함으로써 비용이 타당하게 책정되었는지 확인할 수 있다. 적용사례(사업) 선택 화면에서 Cancel 버튼을 클릭하면 현재 프로젝트의 비용항목과 비용만이 표시되며 생성된 적용항목 미선택시 화면은 다음 그림 23과 같다.



그림 23. CBS Example_적용사례 미선택시 화면

상기 그림 23에서 보는바와 같이 적용사례(사업) 선택 화면에서 Cancel 버튼을 클릭하면 현재 프로젝트의 비용항목과 비용만이 표시되도록 구성되었다.

5. Risk Assessment Option 및 Simulation Modelling

Risk Assessment Option은 @RISK를 이용한 위험요인 평가를 수행하기 위한 기초 설정을 위한 단계로써 Simulation Modelling와 연동된다. 연동되는 Risk Assessment Option과 Simulation Modelling을 정리하면 다음 표 1과 같다.

표 1. Risk Assessment Option 과 Simulation Modelling 세부메뉴 연동

Risk Assessment Option 세부메뉴	Simulation Modelling 세부메뉴
Simple Prediction -> Data-Expert Based	SP-DE Simulation Model
Cost Item -> Data Based	CI-D Simulation Model
Cost Item -> Expert Based	CI-E Simulation Model
Risk Item -> Data Based	RI-D Simulation Model
Risk Item -> Expert Based	RI-E Simulation Model

상기 표 1에서 보는바와 같이 Risk Assessment Option은 Simple Prediction -> Data-Expert Based, Cost Item -> Data Based, Cost Item -> Expert Based, Risk Item

-> Data Based, Risk Item -> Expert Based의 세부항목으로 구성되어 있으며, Simulation Modelling과 연동된다. 상기와 같이 구성된 Risk Assessment Option과 Simulation Modelling연동의 세부사항은 다음과 같다.

5.1 Simple Prediction -> Data-Expert Based

Simple Prediction -> Data-Expert Based는 위험요인을 95%tile 범위 내 하한비용, 평균비용, 95%tile 범위 내 상한비용의 3구간으로 추정하여 분석 및 평가 할 수 있게 구성되었다. Simple Prediction -> Data-Expert Based 화면 구성은 다음 그림 24와 같다.



그림 24. Simple Prediction -> Data-Expert Based

상기 그림 24에서 보는바와 같이 Simple Prediction -> Data-Expert Based는 사용자가 설문결과에 따라 95% 범위 내 하한비용과 95% 범위 내 상한비용을 입력한다. 이때 95% 범위 내 하한비용은 음수값을, 95% 범위 내 상한비용은 양수값을 입력한다. 입력이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 Database에 저장하고, 시뮬레이션 버튼을 클릭한다. 시뮬레이션을 클릭하면 Simulation Modelling의 SP-DE Simulation Model로 이동하게 된다. SP-DE Simulation Modelling 화면은 다음 그림 25와 같다.



그림 25. SP-DE Simulation Modelling

상기 그림 25에서 보는바와 같이 SP-DE Simulation Modelling은 주요위험요인에 대한 3구간 단순 변동범위를 시뮬레이션 할 수 있도록 구성되었다. 이때 @RISK 프로그램이 실행되어 있지 않은 경우 #NAME? 오류가 발생한다. 아이콘을 클릭하면 @RISK 프로그램을 실행할 수 있는 창이 표시된다. @RISK 프로그램 실행화면은 다음 그림 26과 같다.

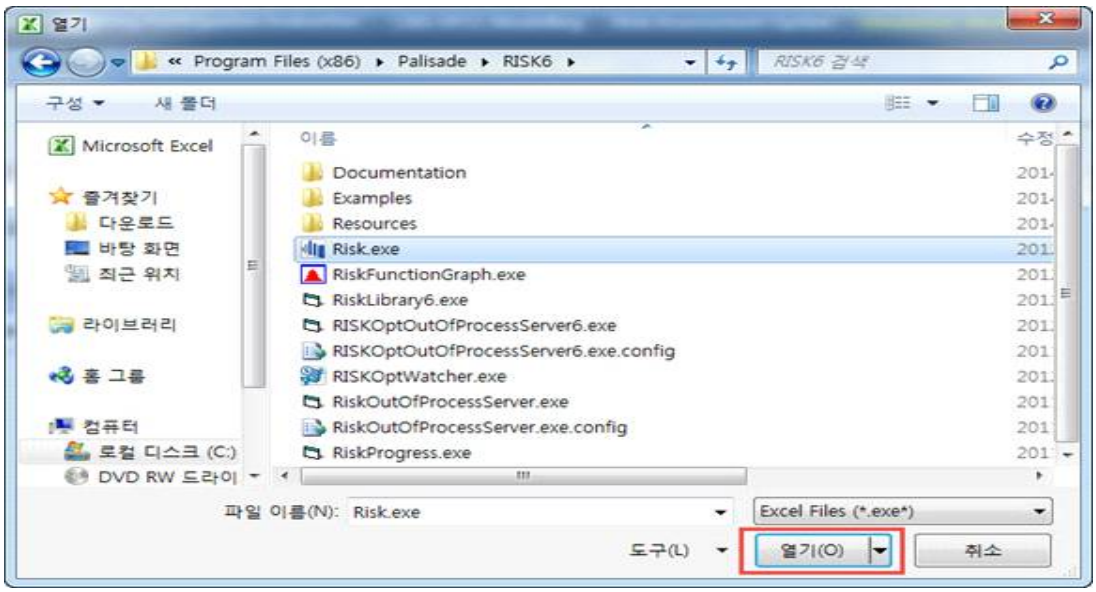


그림 26. @RISK 프로그램 실행화면

상기 그림 26과 같이 @RISK가 설치된 폴더에서 실행파일을 지정한 후 열기 버튼을 클릭하면 @RISK가 실행된다. @RISK를 실행하면 그림 25의 #NAME? 오류가 해결된다. @RISK 프로그램을 실행 후 화면은 다음 그림 27과 같다.



그림 27. @RISK 프로그램 실행 후 화면

상기 그림 27에서 보는바와 같이 @RISK 프로그램을 실행한 후에는 @RISK 아이콘을 사용 가능하다. @RISK 아이콘은 Define Distributions, Add Output, Simulation Setting, Start Simulation, Excel Reports로 구성되어 있으며, 각 아이콘의 세부사항은 다음과 같다.

① Define Distributions

Define Distributions는 사용하고자 하는 분포를 결정할 수 있는 아이콘으로써 실행한 화면은 다음 그림 28과 같다.

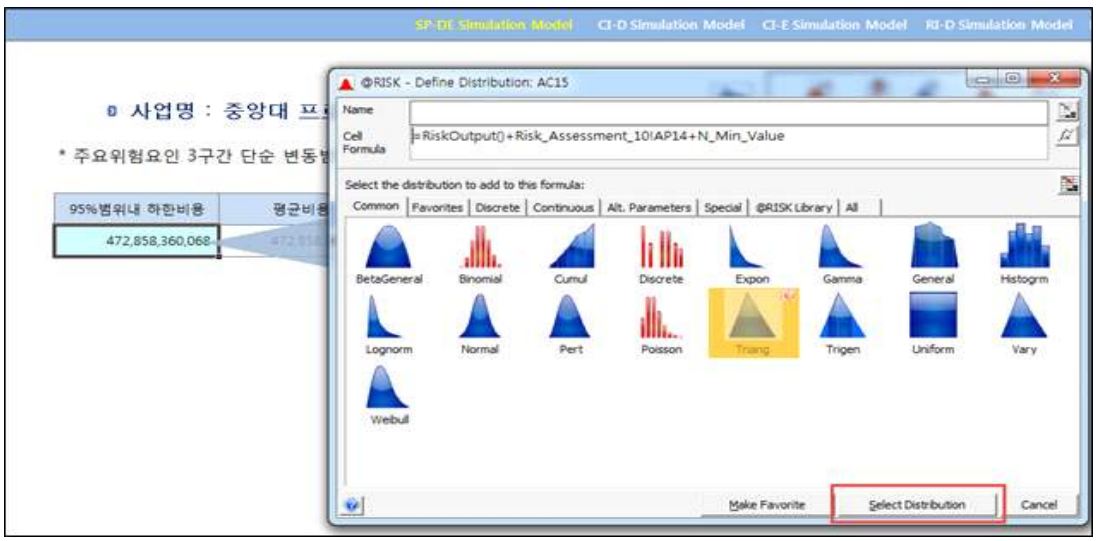


그림 28. Define Distributions 실행 화면

상기 그림 28에서 보는바와 같이 Define Distributions 아이콘을 실행하면 사용가능한 확률분포가 표시된다. 기본값은 삼각분포이며 Triang으로 표기된다. 분포를 결정하면 Select

Distribution 버튼을 클릭하면 분포의 세부사항을 설정할 수 있다. 분포의 세부사항을 설정하는 화면은 다음 그림 29와 같다.

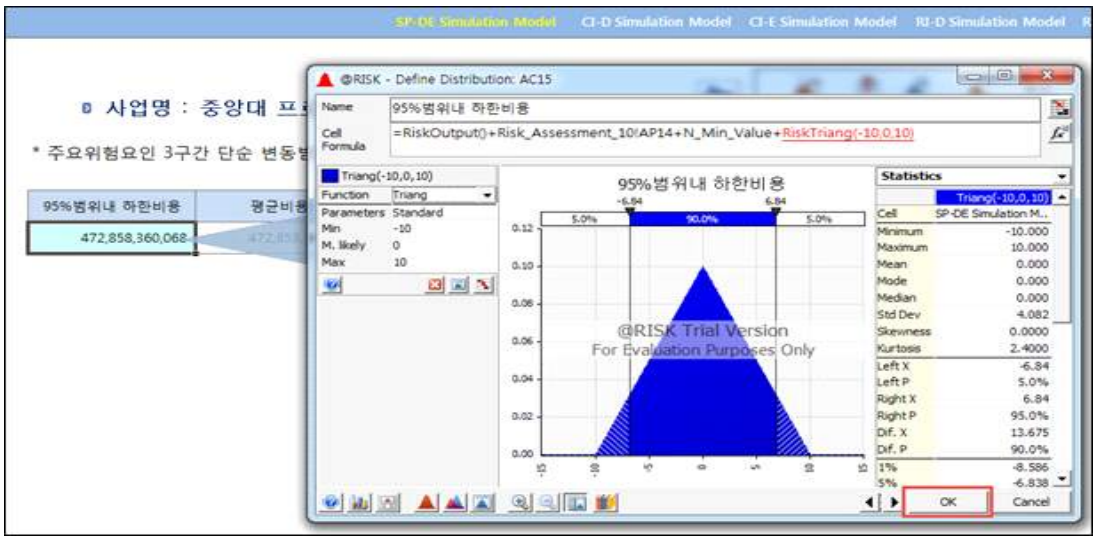


그림 29. 분포의 세부사항 설정 화면

상기 그림 29에서 보는바와 같이 분포의 세부사항은 최소값, 중간값, 최대값을 지정하도록 되어 있다. 설정이 완료되면 OK버튼을 클릭한다.

② Add Output

Add Output은 변동범위를 예측하고자 하는 결과셀을 지정할 수 있는 아이콘으로써 실행한 화면은 다음 그림 30과 같다.



그림 30. Add Output 실행 화면

상기 그림 30에서 보는바와 같이 Add Output을 실행하면 선택된 셀을 결과셀로 지정할 수 있도록 표시된다. OK버튼을 클릭하면 결과셀 지정이 완료된다.

③ Simulation Settings

Simulation Settings는 수행하고자 하는 시뮬레이션의 설정을 변경할 수 있는 아이콘으로써, 실행한 화면은 다음 그림 31과 같다.

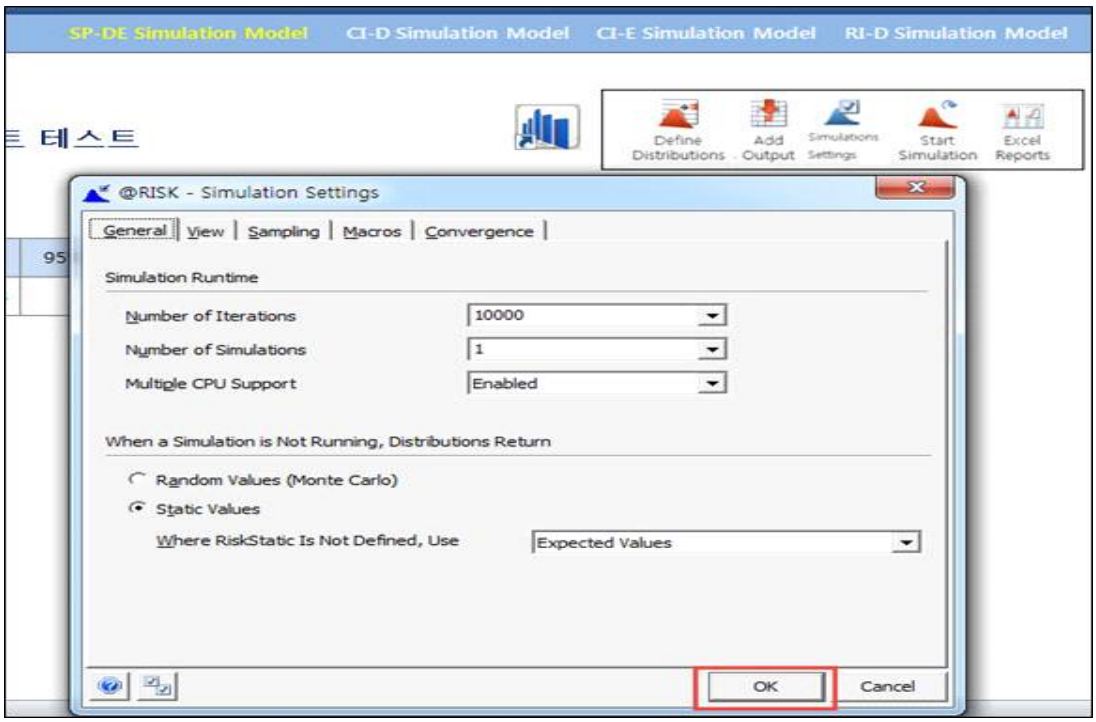


그림 31. Simulation Settings 실행 화면

상기 그림 31에서 보는바와 같이 Simulation Settings는 5가지 항목으로 구성되어 있으며, 프로그램의 기능을 수행하기 위한 설정은 기본값으로 지정되어 있다. 설정이 완료되면 OK 버튼을 클릭한다.

④ Start Simulations

Start Simulations는 시뮬레이션을 실행하기 위한 아이콘으로써 실행한 화면은 다음 그림 32와 같다.

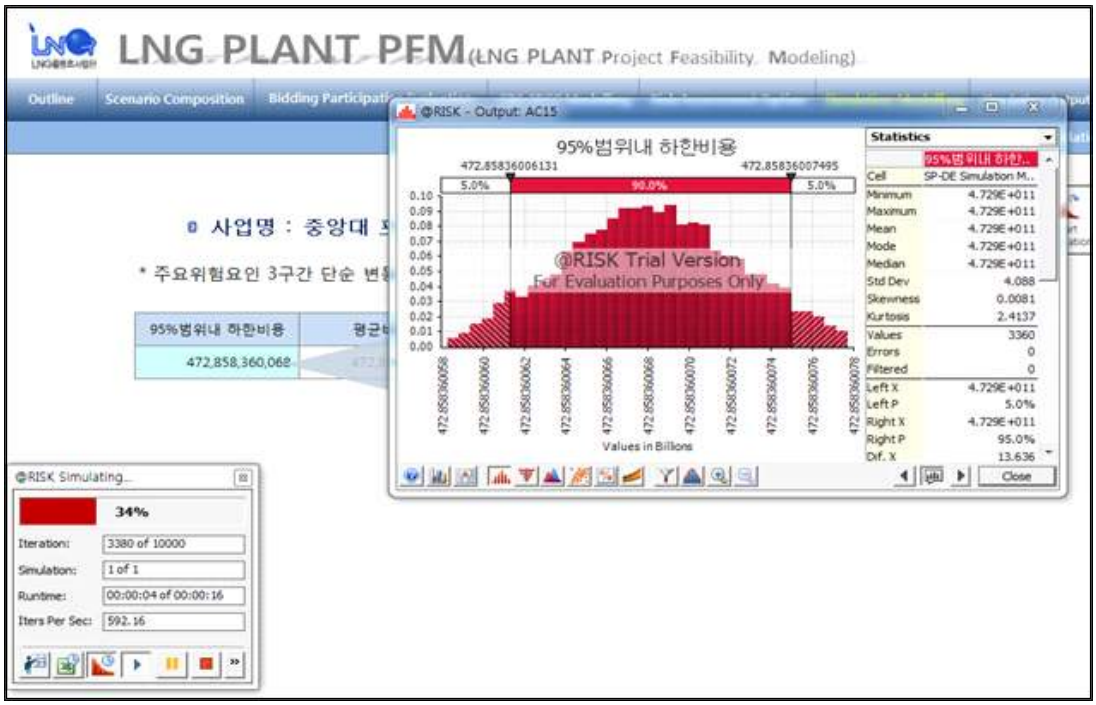


그림 31. Start Simulation 실행 화면

상기 그림 31에서 보는바와 같이 Start Simulation을 실행하면 설정한 정보를 바탕으로 시뮬레이션을 수행한다. 좌측하단에 진행상황이 표시되며 100%가 되면 완료된다. 시뮬레이션이 완료되면 설정한 분포를 기준으로 결과값이 도출된다. 도출된 결과 화면은 다음 그림 32와 같다.

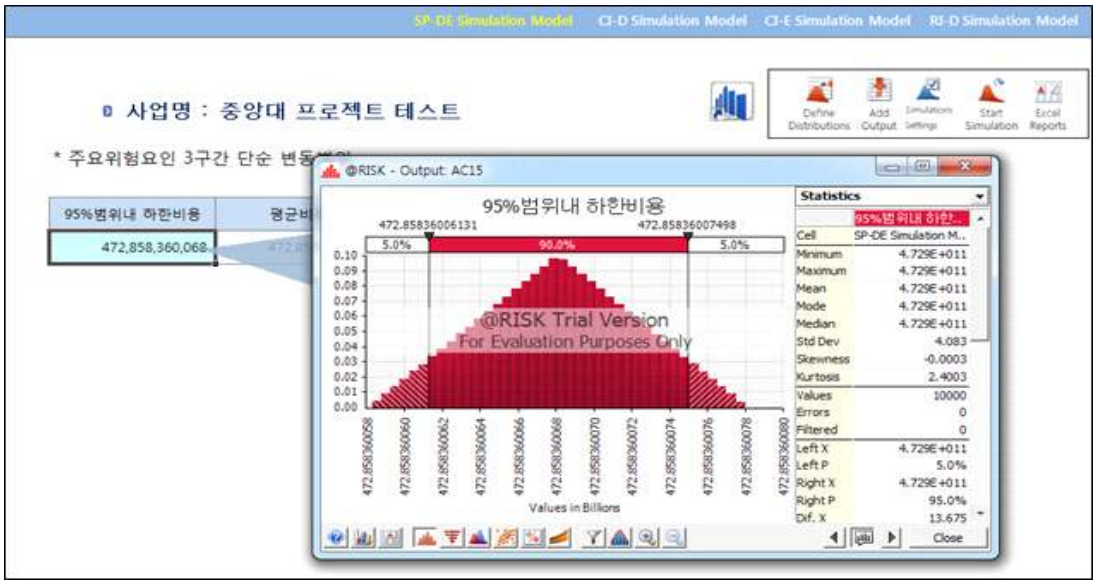


그림 32. 시뮬레이션 완료 화면

상기 그림 32에서 보는바와 같이 시뮬레이션 결과를 확인하고 Close 버튼을 클릭하여 창을 닫는다.

⑤ Excel Reports

Excel Report는 시뮬레이션의 결과값을 출력하기 위한 아이콘으로써, 실행한 화면은 다음 그림 33과 같다.

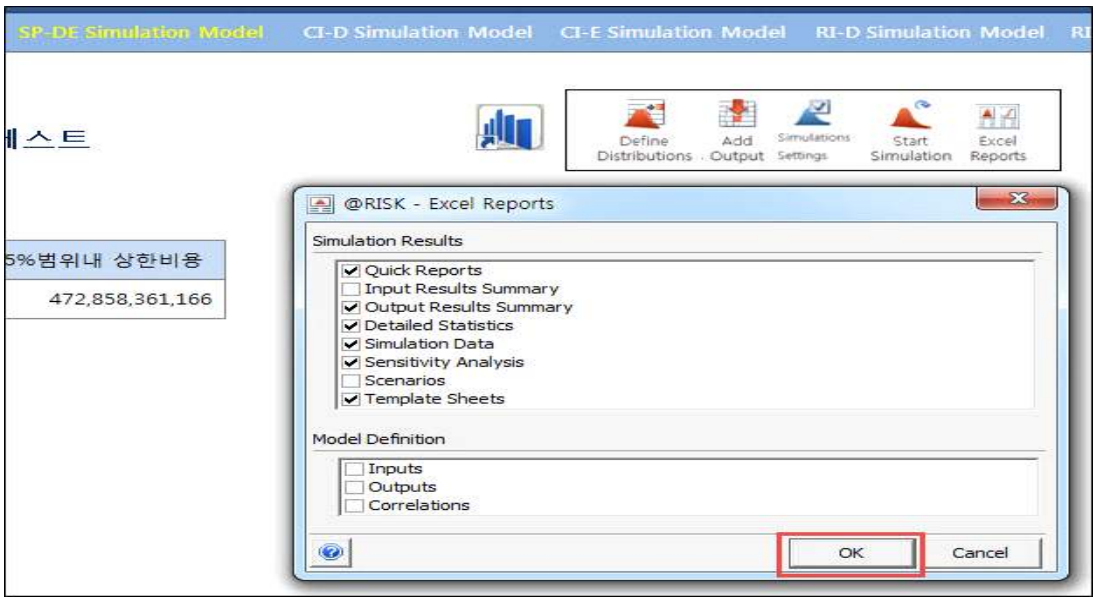
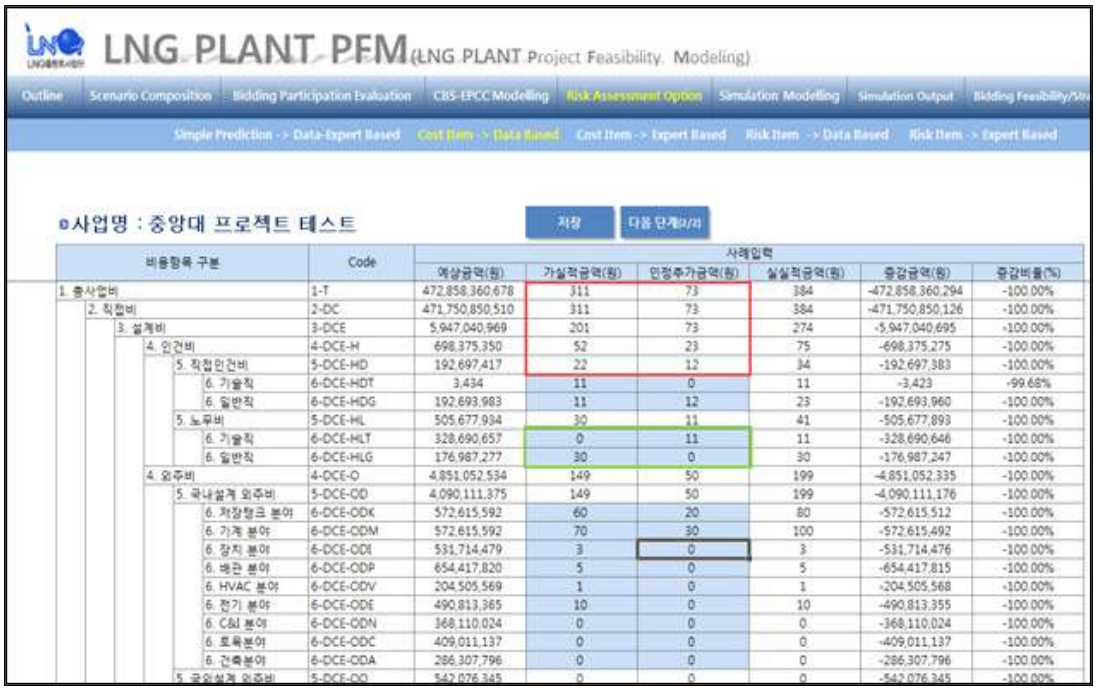


그림 33. Excel Reports 실행 화면

상기 그림 33에서 보는바와 같이 Excel Reports를 실행하면 원하는 결과값을 선택할 수 있는 창이 표시된다. 본 프로그램에서 사용되는 결과값은 Quick Reports, Output Results Summary, Detailed Statistics, Sensitivity Analysis, Template Sheet의 5가지로써 기본값으로 설정되어 있다. OK버튼을 클릭하면 Excel Reports가 출력되며 Simulation Output에서 확인할 수 있다.

5.2 Cost Item -> Data Based

Cost Item -> Data Based는 CBS의 각 항목별 평균비용을 기존에 수행된 사례를 바탕으로 증감비율을 계산하여 사업비의 변동범위를 계산하는 방법이다. Cost Item -> Data Based의 화면구성은 다음 그림 34와 같다.



비용항목 구분	Code	사례입력					
		예상금액(원)	가실적금액(원)	인정추가금액(원)	실실적금액(원)	증감금액(원)	증감비율(%)
1. 총사업비	1-T	472,858,360,678	311	73	384	-472,858,360,294	-100.00%
2. 직접비	2-DC	471,750,850,510	311	73	384	-471,750,850,126	-100.00%
3. 설계비	3-DCE	5,947,040,969	201	73	274	-5,947,040,695	-100.00%
4. 인건비	4-DCE-H	698,375,350	52	23	75	-698,375,275	-100.00%
5. 직접인건비	5-DCE-HD	192,697,417	22	12	34	-192,697,383	-100.00%
6. 기술직	6-DCE-HDT	3,434	11	0	11	-3,423	-99.68%
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983	11	12	23	-192,693,960	-100.00%
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934	30	11	41	-505,677,893	-100.00%
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657	0	11	11	-328,690,646	-100.00%
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277	30	0	30	-176,987,247	-100.00%
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534	149	50	199	-4,851,052,335	-100.00%
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375	149	50	199	-4,090,111,176	-100.00%
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592	60	20	80	-572,615,512	-100.00%
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592	70	30	100	-572,615,492	-100.00%
6. 장치 분야	6-DCE-ODE	531,714,479	3	0	3	-531,714,476	-100.00%
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820	5	0	5	-654,417,815	-100.00%
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569	1	0	1	-204,505,568	-100.00%
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365	10	0	10	-490,813,355	-100.00%
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024	0	0	0	-368,110,024	-100.00%
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137	0	0	0	-409,011,137	-100.00%
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796	0	0	0	-286,307,796	-100.00%
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345	0	0	0	-542,076,345	-100.00%

그림 34. Cost Item -> Data Based 화면

상기 그림 34에서 보는바와 같이 Cost Item -> Data Based는 실적자료를 기반으로 한 사업비의 변동범위를 계산하는 방법이다. 녹색테두리로 표시된 부분과 같이 색상이 있는 부분은 입력이 가능하며, 적색테두리로 표시된 부분과 같이 색상이 없는 부분은 자동으로 계산되는 부분이다. 사용자는 예상되는 실적금액인 가실적금액과 발주자의 요구에 따른 설계변경에서 발생되는 인정추가금액을 입력할 수 있다. 입력이 완료되면 자동적으로 가실적 금액과 인정추가금액을 합산하여 실실적금액이 계산되고, CBS Input에서 입력한 사업비와의 차액인 증감금액이 계산된다. 계산된 증감금액을 바탕으로 증감비율을 계산하게 된다. 저장버튼을 클릭하면 Database에 저장되며, 다음단계(2/2)버튼을 클릭하면 적용사례(사업)을 선택할 수 있는 화면이 표시된다. 표시된 적용사례(사업) 선택화면은 다음 그림 35와 같다.

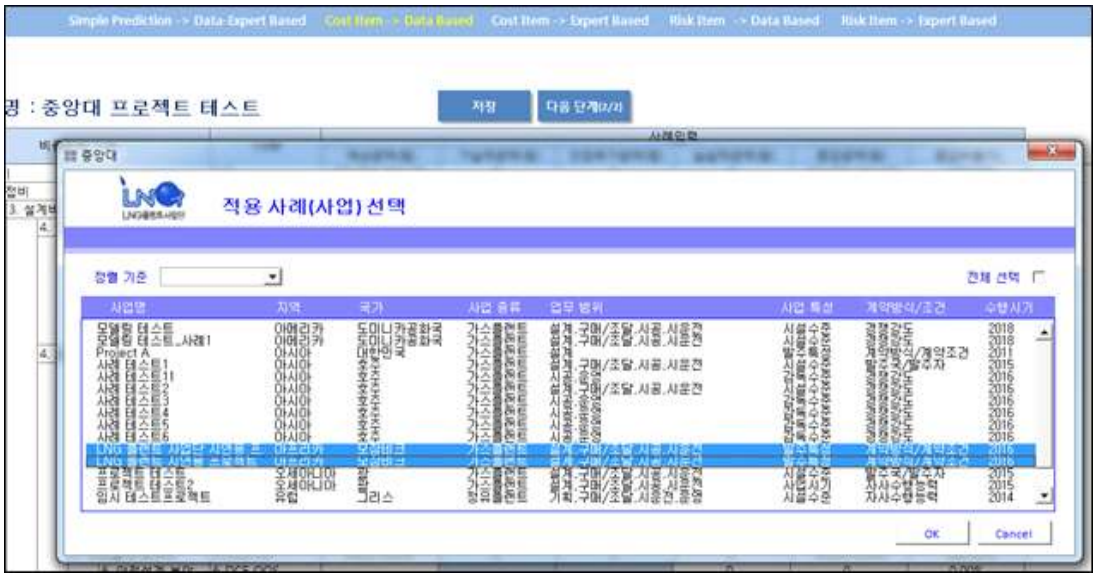


그림 35. Cost Item -> Data Based_적용사례(사업) 선택 화면

상기 그림 35에서 보는바와 같이 적용사례(사업) 선택 화면에서 적용할 사례를 선택한 뒤 OK버튼을 클릭하면 선택한 사업의 CBS에 따른 비용의 평균이 계산되어 현재 프로젝트의 95% 범위 내 하한비용과, 95% 범위 내 상한비용이 도출된다. 하한비용 및 상한비용이 도출된 화면은 다음 그림 36과 같다.



그림 36. Cost Item -> Data Based_하한비용 및 상한비용 도출 결과

상기 그림 36에서 보는바와 같이 OK버튼을 클릭하면 적용사례(사업) 선택 화면에서 선택한 사례의 평균값을 바탕으로 95% 범위 내 하한비용과 95% 범위 내 상한비용이 계산된다. 시뮬레이션 버튼을 클릭하면 Simulation Modelling의 CI-D Simulation Model 화면으로 이동한다. CI-D Simulation Model의 화면 구성은 다음 그림 37과 같다.



그림 37. CI-D Simulation Model 화면

상기 그림 37에서 보는바와 같이 CI-D Simulation Model은 Cost Item -> Data Based에서 계산된 95% 범위 내 하한비용, 평균비용, 95% 범위 내 상한비용을 바탕으로 삼각분포를 적용하여 구성되어 있다. 시뮬레이션을 수행하는 절차는 다음과 같다. 변동범위를 확인하고자 하는 비용항목을 선택한 뒤 Add Output아이콘을 클릭한다. Simulation Settings아이콘 클릭하여 시뮬레이션에 관련된 설정 후 Start Simulation아이콘을 클릭하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션이 완료되면 Excel Reports아이콘을 클릭하여 결과값을 출력한다.

5.3 Cost Item -> Expert Based

Cost Item -> Expert Based는 설문조사를 바탕으로 사업비의 변동범위를 도출하는 방법이다. Cost Item -> Expert Based의 화면 구성은 다음 그림 38과 같다.



그림 38. Cost Item -> Expert Based 화면

상기 그림 38에서 보는바와 같이 Cost Item -> Expert Based는 CBS의 각 항목별 변동비율을 %로 설문하여 입력한다. 또한 현재 프로젝트의 예상비용을 중심으로 95% 범위 내 하한비용 및 95% 범위 내 상한비용을 확률분포로 분석 및 평가하는 방법이다. 녹색테두리로 표시된 부분과 같이 색상이 있는 부분은 설문값을 입력하고, 적색테두리로 표시된 부분과 같이 색상이 없는 부분은 자동으로 계산되는 부분이다. 사용자는 설문자 1명에 대한 설문값을 색상이 있는 부분에 입력하고 저장버튼을 클릭하여 Database에 저장한다. 모든 설문자에 대한 설문값의 입력을 완료한 후 다음단계(2/2)버튼을 클릭하면 설문값의 평균값이 계산된다. 계산된 설문값이 표시된 화면은 다음 그림 39과 같다.

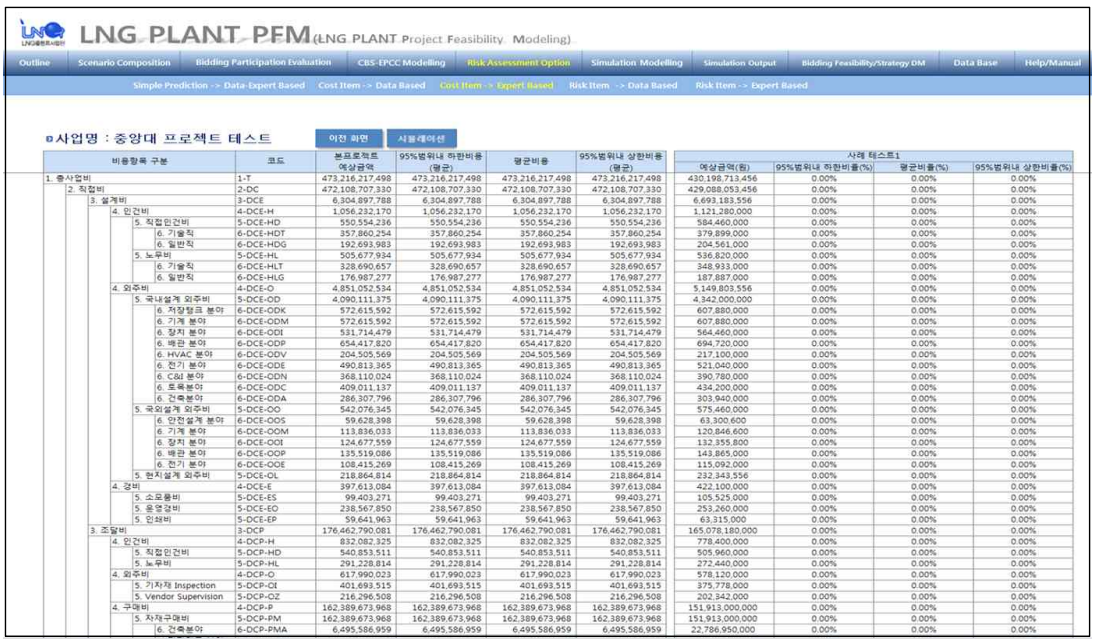
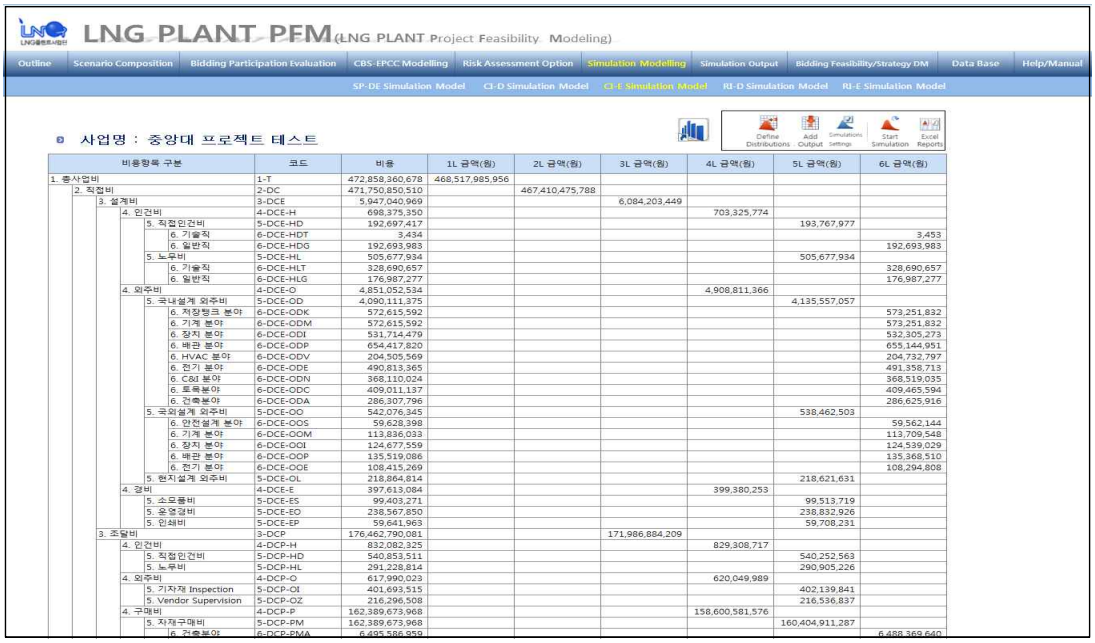


그림 39. Cost Item -> Expert Based_설문값 종합

상기 그림 39에서 보는바와 같이 설문값 종합에서는 입력된 설문값의 평균값을 바탕으로 현재 프로젝트의 95% 범위 내 하한비용, 평균비용, 95% 범위 내 상한비용을 계산한다. 시뮬레이션 버튼을 클릭하면 Simulation Modelling의 CI-E Simulation Model로 이동한다. CI-E Simulation Model의 화면은 다음 그림 40과 같다.



비용항목 구분	코드	비율	1L 금액(원)	2L 금액(원)	3L 금액(원)	4L 금액(원)	5L 금액(원)	6L 금액(원)
1. 총사업비	1-T	472,858,360,678	468,517,985,956					
2. 직접비	2-DC	471,750,850,510		467,410,475,788				
3. 설계비	3-DCE	5,947,040,969			6,084,203,449			
4. 인건비	4-DCE-H	698,375,350				703,325,774		
5. 직접인건비	5-DCE-HD	192,697,417					193,767,977	
6. 기술직	6-DCE-HDT	3,434						3,453
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983						192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934					505,677,934	
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657						328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277						176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534				4,908,811,366		
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375					4,135,557,057	
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592						573,251,832
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592						573,251,832
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479						532,305,273
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820						655,144,951
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569						204,732,797
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365						491,358,713
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024						368,519,035
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137						409,465,594
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796						286,625,916
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345					538,462,503	
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398						59,562,144
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033						113,709,548
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559						124,539,029
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086						135,368,510
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269						108,294,808
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814					218,621,631	
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084				399,380,253		
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271					99,513,719	
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850					238,832,926	
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963					59,708,231	
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081			171,986,884,209			
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325				829,308,717		
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511					540,252,563	
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814					290,905,226	
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023				620,049,989		
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515					402,139,841	
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508					216,536,837	
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968				158,600,581,576		
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968					160,404,911,287	
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959						6,488,369,640

그림 40. CI-E Simulation Model

상기 그림40에서 보는바와 같이 CI-E Simulation Model은 Cost Item -> Expert Based에서 계산된 95% 범위 내 하한비용, 평균비용, 95% 범위 내 상한비용을 바탕으로 삼각분포를 적용하여 구성되어 있다. 시뮬레이션을 수행하는 절차는 다음과 같다. 변동범위를 확인하고자 하는 비용항목을 선택한 뒤 Add Output아이콘을 클릭한다. Simulation Settings아이콘 클릭하여 시뮬레이션에 관련된 설정 후 Start Simulation아이콘을 클릭하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션이 완료되면 Excel Reports아이콘을 클릭하여 결과값을 출력한다.

5.4 Risk Item -> Data Based

Risk Item -> Data Based는 위험요인이 영향을 미치는 CBS의 각 항목별 평균 비율을 수행된 사례 프로젝트의 자료를 활용하여 확률분포로 분석 및 평가하는 방법이다. Risk Item -> Data Based의 화면 구성은 다음 그림 41과 같다.



그림 41. Risk Item -> Data Based

상기 그림 41에서 보는바와 같이 Risk Item -> Data Based는 기존에 수행된 사례 프로젝트의 자료를 활용하여 95% 범위 내 하한비율과 95% 범위 내 상한비율을 계산하여 비용에 적용하는 방법이다. 위험요인을 적용하기 위해 위험요인이 적용될 단계를 설정한다. 4단계의 드롭다운을 클릭하면 상위 3단계에 해당하는 4단계 항목이 표시된다. 사용자는 표시된 단계를 선택하여 특정 항목에 위험요인에 의한 변동비율을 적용하거나, 종합 또는 빈칸으로 설정하여 3단계 전체에 적용이 가능하도록 구성되었다. 적용할 단계의 지정이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 Database에 저장한다. 다음단계(2/3) 버튼을 클릭하면 적용사례(사업)을 선택할 수 있는 화면이 표시된다. 표시된 적용사례(사업) 선택 화면은 다음 그림 42와 같다.



그림 42. Risk Item -> Data Based_적용사례(사업) 선택 화면

상기 그림 42에서 보는바와 같이 적용사례(사업) 선택 화면에서 적용할 사례를 선택한 뒤 OK버튼을 클릭하면 선택한 사업의 CBS에 따른 비율의 평균이 계산되어 현재 프로젝트의 95% 범위 내 하한비율과, 95% 범위 내 상한비율이 도출된다. 하한비율과 상한비율이 도출된 화면은 다음 그림 43과 같다.



그림 43. Risk Item -> Data Based_하한비율 및 상한비율 도출 결과

상기 그림 43에서 보는바와 같이 OK버튼을 클릭하면 적용사례(사업) 선택 화면에서 선택한 사례의 평균값을 바탕으로 95% 범위 내 하한비율과 95% 범위 내 상한비율이 계산된다. 다음단계(3/3) 버튼을 클릭하면 계산된 하한비율과 상한비율을 현재 프로젝트 사업비에 적용하여 95% 범위 내 하한비용과 95% 범위 내 상한비용을 도출한다. 하한비용과 상한비용이 도출된 화면은 다음 그림 44와 같다.



비용항목 구분	코드	비용	적용 변동비율		값/평균/중앙		
			95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비용	평균비용	95%범위내 상한비용
1. 총사업비	1-T	472,858,360,678	0.00%	0.00%	472,858,360,678	472,858,360,678	472,858,360,678
2. 직접비	2-DC	471,750,850,510	0.00%	0.00%	471,750,850,510	471,750,850,510	471,750,850,510
3. 설계비	3-DCE	5,947,040,969	0.00%	0.00%	5,947,040,969	5,947,040,969	5,947,040,969
4. 인건비	4-DCE-H	698,375,350	0.00%	0.00%	698,375,350	698,375,350	698,375,350
5. 직접인건비	5-DCE-HD	192,697,417	0.00%	0.00%	192,697,417	192,697,417	192,697,417
6. 기술직	6-DCE-HDT	3,434	0.00%	0.00%	3,434	3,434	3,434
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983	0.00%	0.00%	192,693,983	192,693,983	192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934	0.00%	0.00%	505,677,934	505,677,934	505,677,934
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657	0.00%	0.00%	328,690,657	328,690,657	328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277	0.00%	0.00%	176,987,277	176,987,277	176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534	0.00%	0.00%	4,851,052,534	4,851,052,534	4,851,052,534
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375	0.00%	0.00%	4,090,111,375	4,090,111,375	4,090,111,375
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592	0.00%	0.00%	572,615,592	572,615,592	572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592	0.00%	0.00%	572,615,592	572,615,592	572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODE	531,714,479	0.00%	0.00%	531,714,479	531,714,479	531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820	0.00%	0.00%	654,417,820	654,417,820	654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569	0.00%	0.00%	204,505,569	204,505,569	204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365	0.00%	0.00%	490,813,365	490,813,365	490,813,365

그림 44. Risk Item -> Data Based_하한비용 및 상한비용 도출 결과

상기 그림 44에서 보는바와 같이 도출된 하한비용 및 상한비용은 Risk Item -> Data Based에서 설정한 위험요인 적용단계에 적용된다. 시뮬레이션 버튼을 클릭하면 RI-D Simulation Model로 이동한다. RI-D Simulation Model의 화면 구성은 다음 그림 45와 같다.



비용항목 구분	코드	비용	1L 금액(원)	2L 금액(원)	3L 금액(원)	4L 금액(원)	5L 금액(원)	6L 금액(원)
1. 총사업비	1-T	472,858,360,678	472,858,360,678					
2. 직접비	2-DC	471,750,850,510		471,750,850,510				
3. 설계비	3-DCE	5,947,040,969			5,947,040,969			
4. 인건비	4-DCE-H	698,375,350				698,375,350		
5. 직접인건비	5-DCE-HD	192,697,417					192,697,417	
6. 기술직	6-DCE-HDT	3,434						3,434
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983						192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934					505,677,934	
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657						328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277						176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534				4,851,052,534		
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375					4,090,111,375	
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592						572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592						572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODE	531,714,479						531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820						654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569						204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365						490,813,365
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024						368,110,024

그림 45. RI-D Simulation Model

상기 그림 45에서 보는바와 같이 RI-D Simulation Model은 Risk Item -> Data Based에서 계산된 95% 범위 내 하한비용, 평균비용, 95% 범위 내 상한비용을 바탕으로 삼각분포를 적용하여 구성되어 있다. 시뮬레이션을 수행하는 절차는 다음과 같다. 변동범위를 확인하고자 하는 비용항목을 선택한 뒤 Add Output아이콘을 클릭한다. Simulation Settings아이콘 클릭하여 시뮬레이션에 관련된 설정 후 Start Simulation아이콘을 클릭하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션이 완료되면 Excel Reports아이콘을 클릭하여 결과값을 출력한다.

5.5 Risk Item -> Expert Based

Risk Item -> Expert Based는 설문조사를 바탕으로 사업비의 변동범위를 도출하는 방법이다. Risk Item -> Expert Based의 화면 구성은 다음 그림 46과 같다.



그림 46. Risk Item -> Expert Based

상기 그림 46에서 보는바와 같이 Risk Item -> Expert Based는 CBS의 각 항목별 변동비율을 %로 설문하여 입력한다. 또한 현재 프로젝트의 예상비용을 중심으로 95% 범위 내 하한비용 및 95% 범위 내 상한비용을 확률분포로 분석 및 평가하는 방법이다. 위험요인을 적용하기 위해 위험요인이 적용될 단계를 설정한다. 4단계의 드롭다운을 클릭하면 상위 3단계에 해당하는 4단계 항목이 표시된다. 사용자는 표시된 단계를 선택하여 특정 항목에 위험요인에 의한 변동비율을 적용하거나, 종합 또는 빈칸으로 설정하여 3단계 전체에 적용이 가능하도록 구성되었다. 사용자는 설문자 1명에 대한 설문값을 입력하고 저장버튼을 클릭하여 Database에 저장한다. 모든 설문자에 대한 설문값의 입력을 완료한 후 다음단계(2/3)버튼을 클릭하면 설문값의 평균값이 계산된다. 계산된 설문값이 표시된 화면은 다음 그림 47과 같다.



단계	순번	위험요인	평균 비용변동비율		중앙대 프로젝트 테스트_1	
			95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율
설계	1	환율변동	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	2	물가변동	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	3	설계비 지급 지연	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	4	설계오류	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	5	설계변경	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%
조달	1	환율변동	-1.00%	2.00%	-1.00%	2.00%
	2	기자재 물가변동	-1.00%	4.00%	-1.00%	4.00%
	3	조달비 지급 지연 문제	-1.50%	5.00%	-1.50%	5.00%
	4	운송비 변동	-1.50%	4.00%	-1.50%	4.00%
	5	주요 기기 납기 지연	-2.00%	3.00%	-2.00%	3.00%
	6	도착 기자재 파손	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%
	7	관세 관련 비용 추정 오류	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	8	기자재 물량 변동	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%
	9	기자재 하자처리비	-1.00%	3.00%	-1.00%	3.00%
	1	환율변동	-2.00%	5.00%	-2.00%	5.00%
	2	물가변동	-1.00%	5.00%	-1.00%	5.00%

그림 47. Risk Item -> Expert Based_설문값 종합

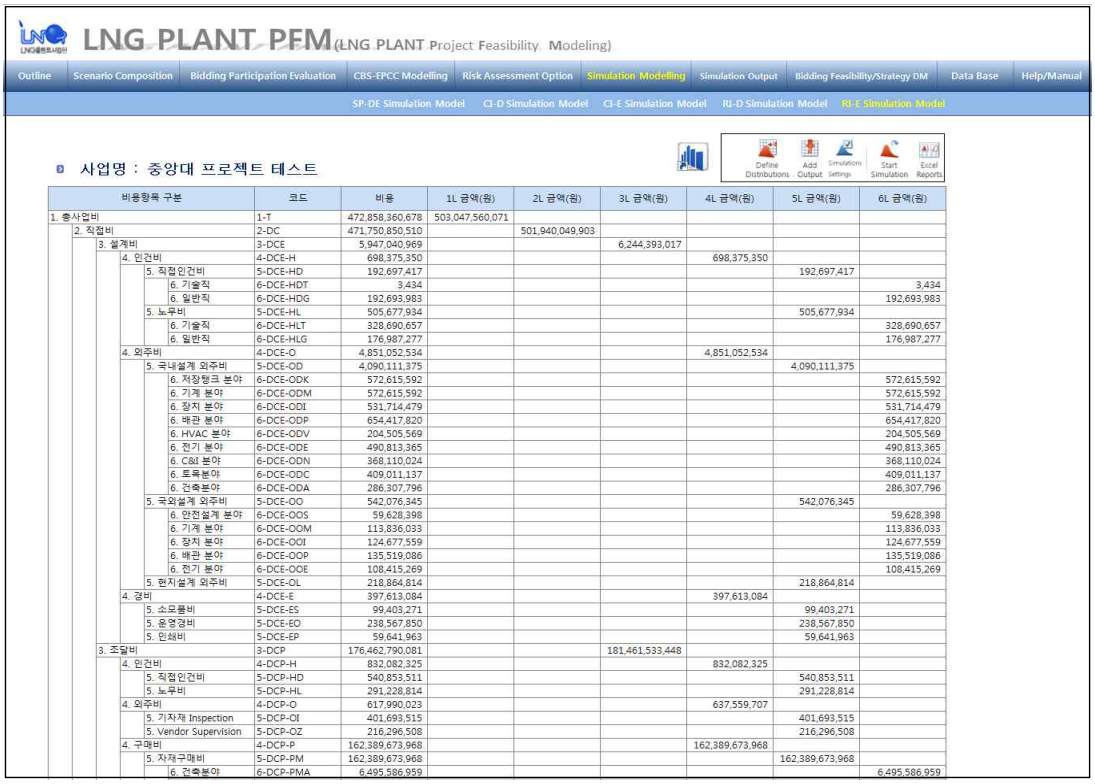
상기 그림 47에서 보는바와 같이 설문값 종합에서는 입력된 설문값의 평균값을 바탕으로 현재 프로젝트의 95% 범위 내 하한비율, 평균비율, 95% 범위 내 상한비율을 계산한다. 다음단계(3/3) 버튼을 클릭하면 계산된 하한비율, 평균비율, 상한비율을 현재 프로젝트에 비용에 적용하여 95% 범위 내 하한비용, 평균비용, 95% 범위 내 상한비용을 계산한다. 하한비용, 평균비용, 상한비용을 계산하면 다음 그림 48과 같다.



비용항목 구분	코드	비용	적용 변동비율		감액/평균/증액		
			95%범위내 하한비율	95%범위내 상한비율	95%범위내 하한비용	평균비용	95%범위내 상한비용
1. 총사업비	1-T	472,858,360,678	0.00%	0.00%	472,858,360,678	472,858,360,678	472,858,360,678
2. 직접비	2-DC	471,750,850,510	0.00%	0.00%	471,750,850,510	471,750,850,510	471,750,850,510
3. 설계비	3-DCE	5,947,040,969	0.00%	0.00%	5,947,040,969	5,947,040,969	5,947,040,969
4. 인건비	4-DCE-H	698,375,350	0.00%	0.00%	698,375,350	698,375,350	698,375,350
5. 직접인건비	5-DCE-HD	192,697,417	0.00%	0.00%	192,697,417	192,697,417	192,697,417
6. 기술직	6-DCE-HDT	3,434	0.00%	0.00%	3,434	3,434	3,434
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983	0.00%	0.00%	192,693,983	192,693,983	192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934	0.00%	0.00%	505,677,934	505,677,934	505,677,934
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657	0.00%	0.00%	328,690,657	328,690,657	328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277	0.00%	0.00%	176,987,277	176,987,277	176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534	0.00%	0.00%	4,851,052,534	4,851,052,534	4,851,052,534
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375	0.00%	0.00%	4,090,111,375	4,090,111,375	4,090,111,375
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592	0.00%	0.00%	572,615,592	572,615,592	572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592	0.00%	0.00%	572,615,592	572,615,592	572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODE	531,714,479	0.00%	0.00%	531,714,479	531,714,479	531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820	0.00%	0.00%	654,417,820	654,417,820	654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569	0.00%	0.00%	204,505,569	204,505,569	204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365	0.00%	0.00%	490,813,365	490,813,365	490,813,365

그림 48. Risk Item -> Expert Based_설문값 종합

상기 그림 47에서 보는바와 같이 도출된 하한비용 및 상한비용은 Risk Item -> Expert Based에서 설정한 위험요인 적용단계에 적용된다. 시뮬레이션 버튼을 클릭하면 RI-E Simulation Model로 이동한다. RI-E Simulation Model의 화면 구성은 다음 그림 49과 같다.



비용항목 구분	코드	비용	1L 금액(원)	2L 금액(원)	3L 금액(원)	4L 금액(원)	5L 금액(원)	6L 금액(원)
1. 총사업비	1-T	472,858,360,678	503,047,560,071					
2. 직접비	2-DC	471,750,850,510		501,940,049,903				
3. 설계비	3-DCE	5,947,040,969			6,244,393,017			
4. 인건비	4-DCE-H	698,375,350				698,375,350		
5. 직접인건비	5-DCE-HD	192,697,417					192,697,417	
6. 기술직	6-DCE-HDT	3,434						3,434
6. 일반직	6-DCE-HDG	192,693,983						192,693,983
5. 노무비	5-DCE-HL	505,677,934					505,677,934	
6. 기술직	6-DCE-HLT	328,690,657						328,690,657
6. 일반직	6-DCE-HLG	176,987,277						176,987,277
4. 외주비	4-DCE-O	4,851,052,534				4,851,052,534		
5. 국내설계 외주비	5-DCE-OD	4,090,111,375					4,090,111,375	
6. 저장탱크 분야	6-DCE-ODK	572,615,592						572,615,592
6. 기계 분야	6-DCE-ODM	572,615,592						572,615,592
6. 장치 분야	6-DCE-ODI	531,714,479						531,714,479
6. 배관 분야	6-DCE-ODP	654,417,820						654,417,820
6. HVAC 분야	6-DCE-ODV	204,505,569						204,505,569
6. 전기 분야	6-DCE-ODE	490,813,365						490,813,365
6. C&I 분야	6-DCE-ODN	368,110,024						368,110,024
6. 토목분야	6-DCE-ODC	409,011,137						409,011,137
6. 건축분야	6-DCE-ODA	286,307,796						286,307,796
5. 국외설계 외주비	5-DCE-OO	542,076,345					542,076,345	
6. 안전설계 분야	6-DCE-OOS	59,628,398						59,628,398
6. 기계 분야	6-DCE-OOM	113,836,033						113,836,033
6. 장치 분야	6-DCE-OOI	124,677,559						124,677,559
6. 배관 분야	6-DCE-OOP	135,519,086						135,519,086
6. 전기 분야	6-DCE-OOE	108,415,269						108,415,269
5. 현지설계 외주비	5-DCE-OL	218,864,814					218,864,814	
4. 경비	4-DCE-E	397,613,084				397,613,084		
5. 소모품비	5-DCE-ES	99,403,271					99,403,271	
5. 운영경비	5-DCE-EO	238,567,850					238,567,850	
5. 인쇄비	5-DCE-EP	59,641,963					59,641,963	
3. 조달비	3-DCP	176,462,790,081			181,461,533,448			
4. 인건비	4-DCP-H	832,082,325				832,082,325		
5. 직접인건비	5-DCP-HD	540,853,511					540,853,511	
5. 노무비	5-DCP-HL	291,228,814					291,228,814	
4. 외주비	4-DCP-O	617,990,023				637,559,707		
5. 기자재 Inspection	5-DCP-OI	401,693,515					401,693,515	
5. Vendor Supervision	5-DCP-OZ	216,296,508					216,296,508	
4. 구매비	4-DCP-P	162,389,673,968				162,389,673,968		
5. 자재구매비	5-DCP-PM	162,389,673,968					162,389,673,968	
6. 건축분야	6-DCP-PMA	6,495,586,959						6,495,586,959

그림 49. RI-E Simulation Model

상기 그림 49에서 보는바와 같이 RI-E Simulation Model은 Risk Item -> Expert Based에서 계산된 95% 범위 내 하한비용, 평균비용, 95% 범위 내 상한비용을 바탕으로 삼각분포를 적용하여 구성되어 있다. 시뮬레이션을 수행하는 절차는 다음과 같다. 변동범위를 확인하고자 하는 비용항목을 선택한 뒤 Add Output아이콘을 클릭한다. Simulation Settings아이콘 클릭하여 시뮬레이션에 관련된 설정 후 Start Simulation아이콘을 클릭하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션이 완료되면 Excel Reports아이콘을 클릭하여 결과값을 출력한다.

6. Simulation Output

Simulation Output은 Simulation Modelling에서 수행된 시뮬레이션의 결과값을 확인하는 단계이다. Simulation Output은 @Risk Result Summary, 5% - 95% Output, EPCC Phases : Result Analysis, Iteration Output, Sensitivity Analysis Output의 세부항목으로 구성되어 있으며, 이에 따른 세부사항은 다음과 같다.

6.1 @Risk Result Summary

@Risk Result Summary는 시뮬레이션을 수행한 결과의 요약을 보여주는 메뉴이다. @Risk Result Summary의 화면 구성은 다음 그림 50과 같다.

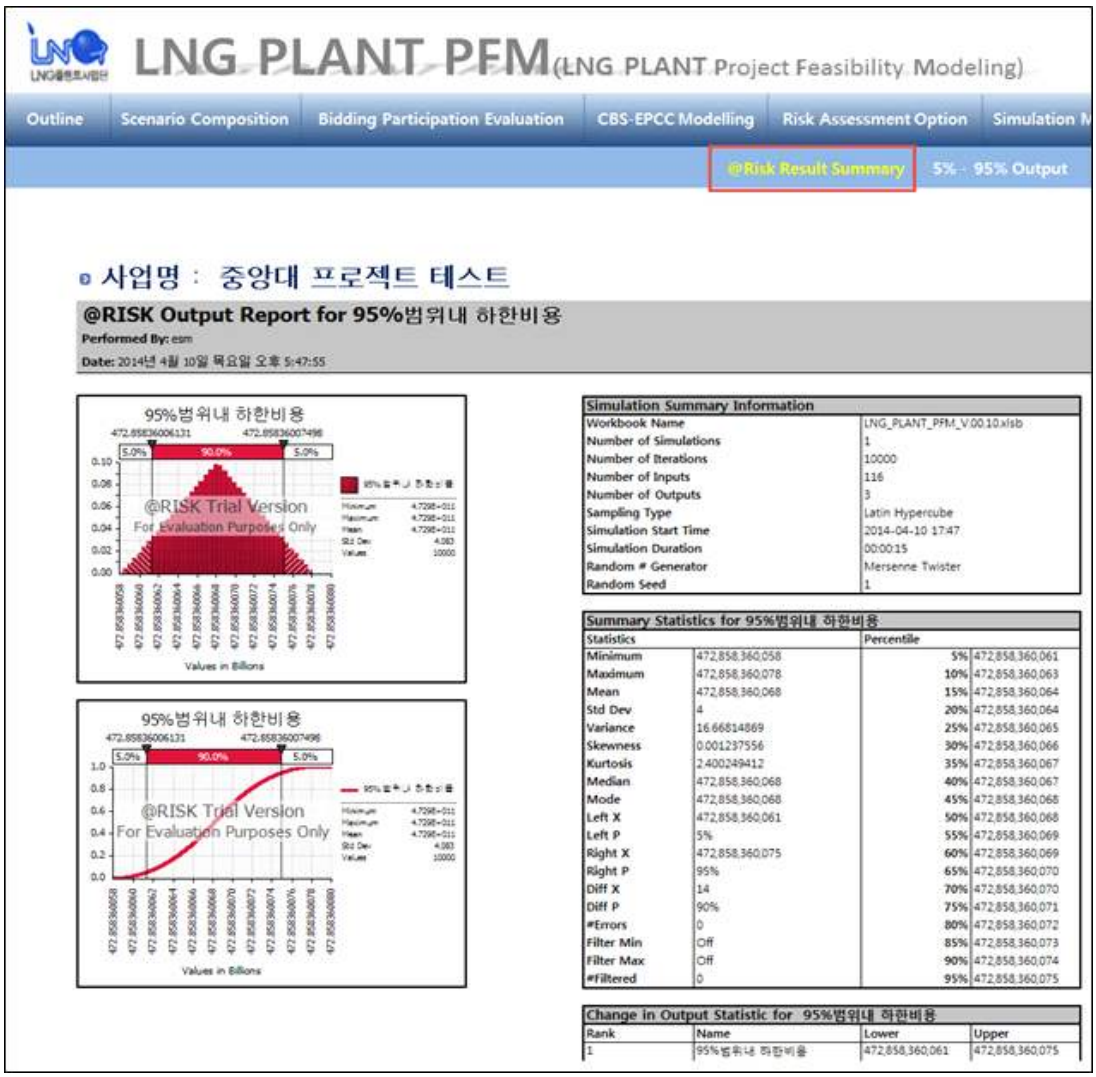


그림 50. @Risk Result Summary

상기 그림 50에서 보는바와 같이 @Risk Result Summary는 수행한 시뮬레이션에 대한 분포 그래프, 누적그래프, 시뮬레이션 설정 정보, 분포 및 Percentile값 요약, 민감도 분석 결과의 정보가 포함되어 있다.

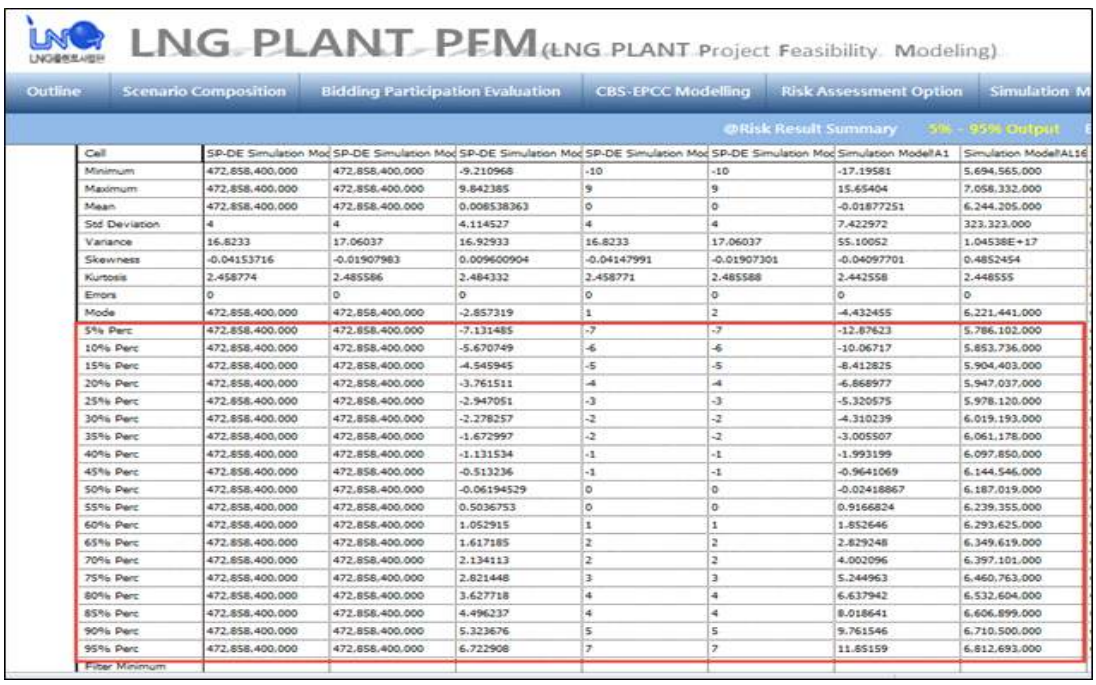
6.2 5% - 95% Output

5% - 95% Output은 시뮬레이션 결과 중 Percentile 결과값을 확인할 수 있는 메뉴이다. 5% - 95% Output의 화면구성은 다음 그림 51과 같다.



그림 51. 5% - 95% Output

상기 그림 51에서 보는바와 같이 5% - 95% Output은 사업비에 대한 분포의 최소값, 최대값, 평균값, 표준편차. Percentile 등의 결과값이 도출된다. 이중 Percentile 결과값은 다음 그림 52와 같다.



Cell	SP-DE Simulation Mo	SP-DE Simulation Mo	SP-DE Simulation Mo	SP-DE Simulation Mo	SP-DE Simulation Mo	Simulation ModelA1	Simulation ModelA16
Minimum	472,858,400,000	472,858,400,000	-9.210968	-10	-10	-17.19581	5.694,565,000
Maximum	472,858,400,000	472,858,400,000	9.842385	9	9	15.65404	7.058,332,000
Mean	472,858,400,000	472,858,400,000	0.008538363	0	0	-0.01877251	6.244,205,000
Std Deviation	4	4	4.114527	4	4	7.422972	323,323,000
Variance	16.8233	17.06037	16.92933	16.8233	17.06037	55.10052	1.04538E+17
Skewness	-0.04153716	-0.01907983	0.009600904	-0.04147991	-0.01907301	-0.04097701	0.4852454
Kurtosis	2.458774	2.485586	2.484332	2.458771	2.485588	2.442558	2.448555
Errors	0	0	0	0	0	0	0
Mode	472,858,400,000	472,858,400,000	-2.857319	1	2	-4.432455	6.221,441,000
5% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-7.131485	-7	-7	-12.87623	5.786,102,000
10% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-5.670749	-6	-6	-10.06717	5.853,736,000
15% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-4.545945	-5	-5	-8.412825	5.904,403,000
20% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-3.761511	-4	-4	-6.868977	5.947,037,000
25% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-2.947051	-3	-3	-5.320575	5.978,120,000
30% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-2.278257	-2	-2	-4.310239	6.019,193,000
35% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-1.672997	-2	-2	-3.005507	6.061,178,000
40% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-1.131534	-1	-1	-1.993199	6.097,850,000
45% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-0.513236	-1	-1	-0.9641069	6.144,546,000
50% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	-0.06194529	0	0	-0.02418867	6.187,019,000
55% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	0.5036753	0	0	0.9166824	6.239,355,000
60% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	1.052915	1	1	1.852646	6.293,625,000
65% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	1.617185	2	2	2.829248	6.349,619,000
70% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	2.134113	2	2	4.002096	6.397,101,000
75% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	2.821448	3	3	5.244963	6.460,763,000
80% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	3.627718	4	4	6.637942	6.532,604,000
85% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	4.496237	4	4	8.018641	6.606,899,000
90% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	5.323676	5	5	9.761546	6.710,500,000
95% Perc	472,858,400,000	472,858,400,000	6.722908	7	7	11.85159	6.812,693,000
Filter Minimum							

그림 52. 5% - 95% Output_Percentile 결과값

6.3 EPCC Phases : Result Analysis

EPCC Phases : Result Analysis는 시뮬레이션 결과 중 EPCC에 대한 확률분포 요약결과를 확인할 수 있는 메뉴이다. EPCC Phases : Result Analysis의 화면 구성은 다음 그림 53과 같다.

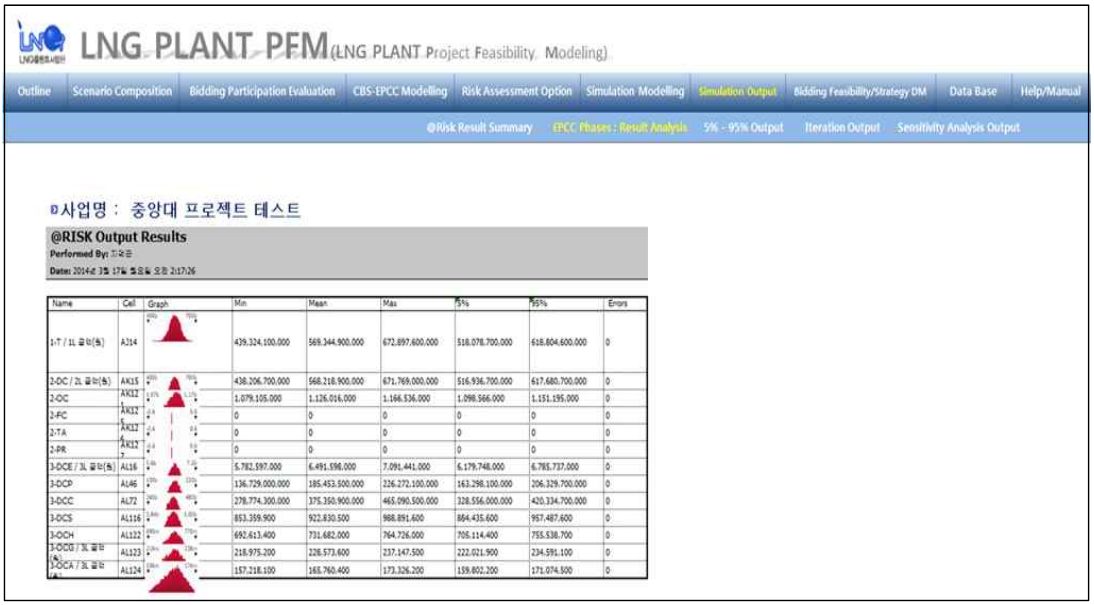


그림 53. EPCC Phases : Result Analysis

상기 그림 53에서 보는바와 같이 EPCC Phases : Result Analysis는 Simulation Modelling에서 Add Output 아이콘을 이용하여 설정한 EPCC단계별로 확률분포 결과값을 그래프, 최소값, 평균값, 최대값, 5%tile, 95%tile으로 요약하여 표시한다. 사용자는 이를 통해 EPCC단계의 변동비용을 확인할 수 있다.

6.4 Iteration Output

Iteration Output은 시뮬레이션 반복횟수에 따른 CBS항목의 결과값을 확인할 수 있는 메뉴이다.. Iteration Output의 화면 구성은 다음 그림 54와 같다.

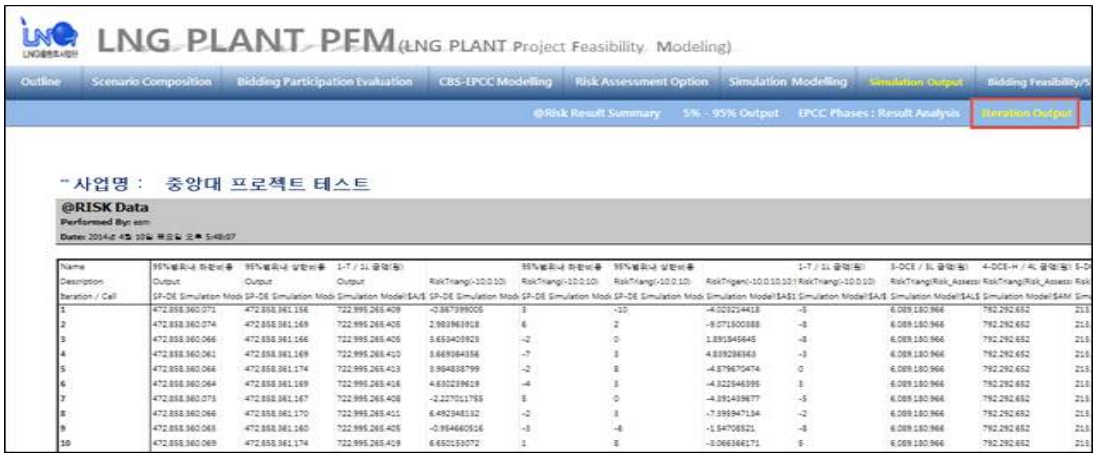


그림 54. Iteration Output

상기 그림 54에서 보는바와 같이 Iteration Output은 사용자가 설정한 반복횟수에 따라 시뮬레이션 결과값을 표시하도록 구성되었다. 상기와 같이 구성된 Iteration Output은 사용자가 시뮬레이션이 제대로 수행되었는지 확인할 수 있는 참고자료이다.

6.5 Sensitivity Analysis Output

Sensitivity Analysis Output은 총사업비의 변동에 영향을 크게 주는 비용항목을 순위별로 표시하도록 구성된 메뉴이다. Sensitivity Analysis Output의 화면구성은 다음 그림 55와 같다.

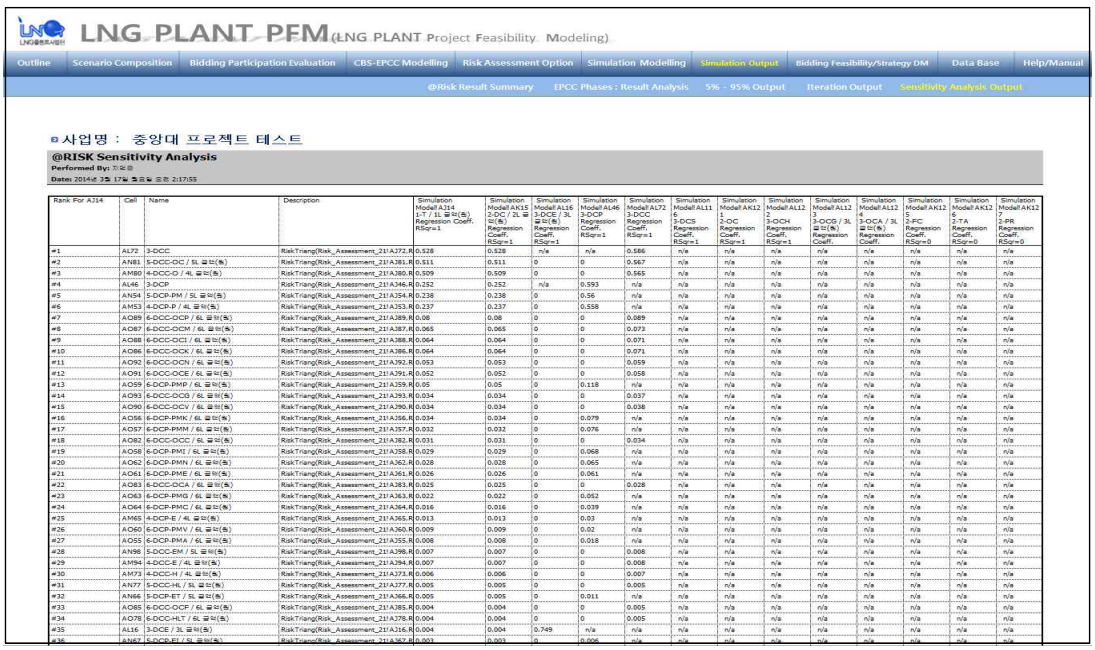


그림 55. Sensitivity Analysis Output

상기 그림 55에서 보는바와 같이 Sensitivity Analysis Output은 총사업비의 확률적 변동범위비용에 영향을 주는 비용항목의 순위를 측정하여 표시한다. 따라서 사용자는 Sensitivity Analysis Output의 상위순위 비용항목을 관리하여 비용변동을 통제할 수 있다.

7. Bidding Feasibility/Strategy DM

Bidding Feasibility/Strategy DM은 상기의 과정을 통해 분석된 총사업비의 변동범위를 바탕으로 위험요인을 고려한 입찰 타당성 및 전략을 의사결정하기 위한 단계이다. 사용자는 입찰의사결정 모델의 결과를 바탕으로 입찰여부를 최종판단할 수 있다. Bidding Feasibility/Strategy DM은 Forward Decision Making, Reverse Decision Making의 세부항목으로 구성되어 있으며, 세부사항은 다음과 같다.

7.1 Forward Decision Making

Forward Decision Making은 수의계약이나 단독입찰 상황, 경쟁사가 있으나 경쟁사를 고려하지 않고 자사의 이익확보 확률과 목표이익률만 고려하여 입찰할 경우, 수주될 경우와 수주가 되지 않을 경우에도 자사의 불이익이 없는 상황, 비용위험을 되도록 회피하고 수주보다 이익확보가 우선일 경우 사용하는 메뉴이다. Forward Decision Making의 구성 화면은 다음 그림 56과 같다.

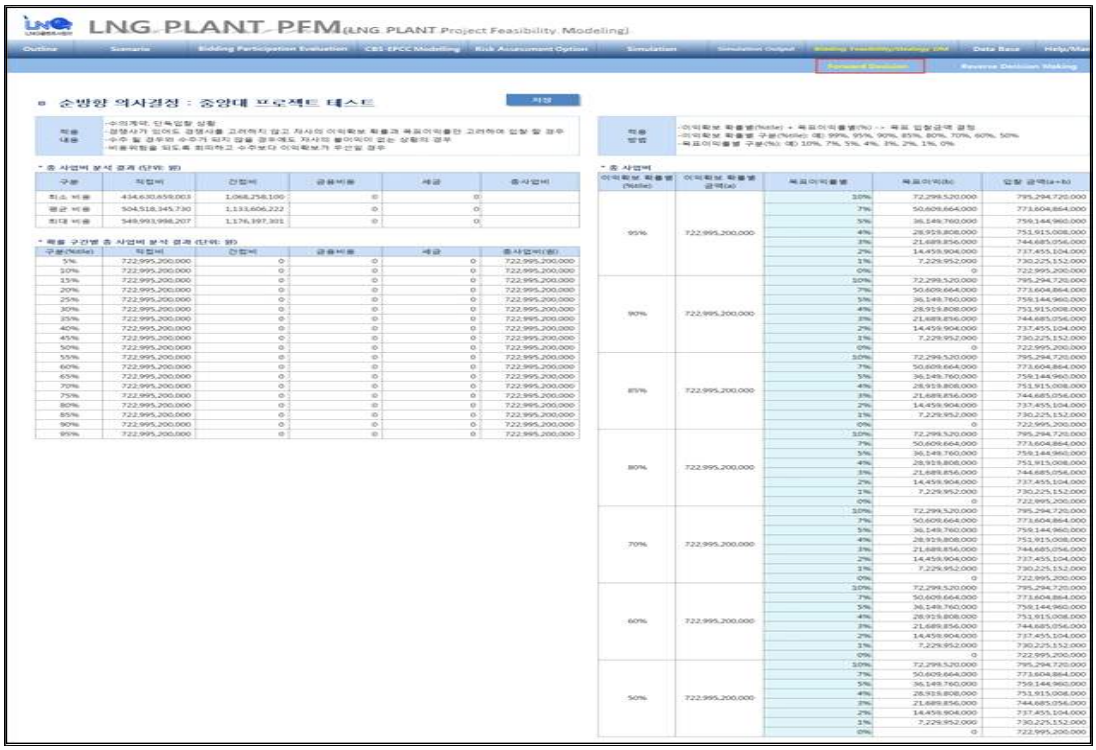


그림 56. Forward Decision Making

상기 그림 56에서 보는바와 같이 Forward Decision Making은 시뮬레이션을 통해 분석된 Percentile 결과값을 이익을 확보할 수 있는 확률별 금액으로 도출하고 사용자가 입력한 목표이익률을 계산하여 입찰금액을 도출하도록 구성되어 있다. 사용자는 회사의 목표이익률을 색상이 있는 부분에 입력하면 목표이익과 입찰금액은 자동으로 계산하게 된다. 입찰금액 확인이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 Database에 저장한다.

7.2 Reverse Decision Making

Reverse Decision Making은 수주경쟁이 있는 상황, 경쟁사들의 예상 입찰금액과 자사의 이익확보 확률을 동시에 고려하여 입찰 할 경우, 전략적 차원에서 수주 가능성을 극대화하기 위한 상황의 경우, 전략적 수주를 위해 비용위험을 감수하여 자사의 위험성도 동시에 고려할 경우 사용하는 메뉴이다. Reverse Decision Making의 화면 구성은 다음 그림57과 같다.

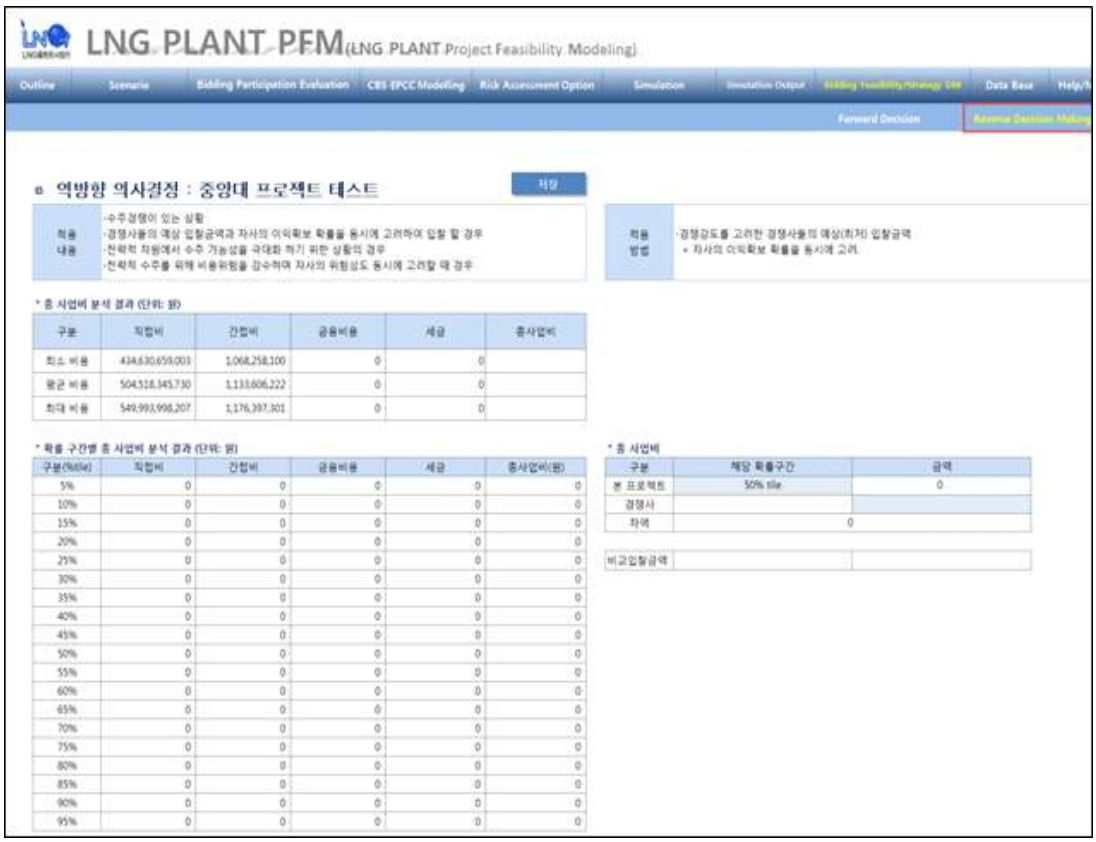


그림 57. Reverse Decision Making

상기 그림 57에서 보는바와 같이 Reverse Decision Making은 현재 프로젝트의 금액과 경쟁사의 금액을 비교하여 비교입찰금액을 결정하도록 구성되었다. 현재 프로젝트의 해당 확률구간은 드롭다운으로 선택할 수 있으며 드롭다운 화면 구성은 다음 그림 58과 같다.

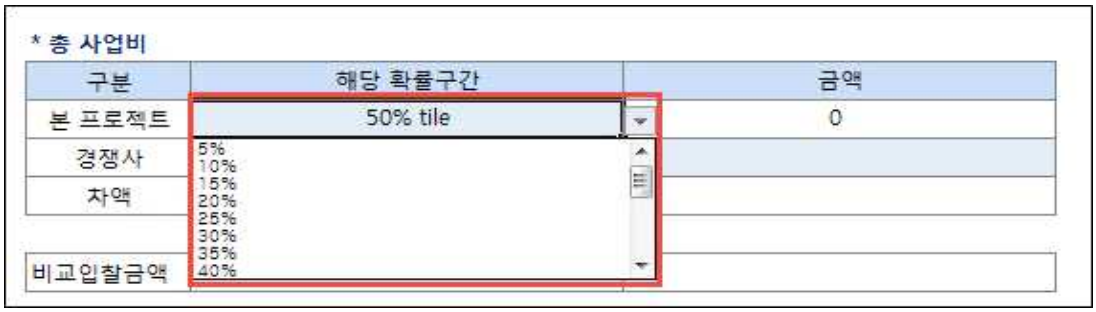


그림 58. Reverse Decision Making_해당 확률구간

상기 그림 58에서 보는바와 같이 해당 확률구간은 시뮬레이션 결과값을 바탕으로 5% tile부터 95%tile 구간에서 선택할 수 있다. 해당 확률구간을 선택하면 확률 구간별 총사업비 분석결과의 구분에 해당하는 총사업비의 금액이 표시된다. 또한 경쟁사의 금액을 입력하면 확률구간별 총사업비 분석결과에서 해당 확률구간이 표시된다. 경쟁사의 금액까지 입력이 완료되면 경쟁사의 총사업비의 해당 확률구간보다 한 단계 적은 확률구간의 금액이 비교입찰금액으로 산정된다. 입찰금액 확인이 완료되면 저장버튼을 클릭하여 Database에 저장한다.

8. Data Base

Data Base는 이전 수행된 프로젝트의 시나리오, 의사결정, 비용정보 등을 프로젝트 단위로 구분하여 저장 및 관리할 수 있도록 구성된 메뉴이다. Data Base의 화면 구성은 다음 그림 59와 같다.

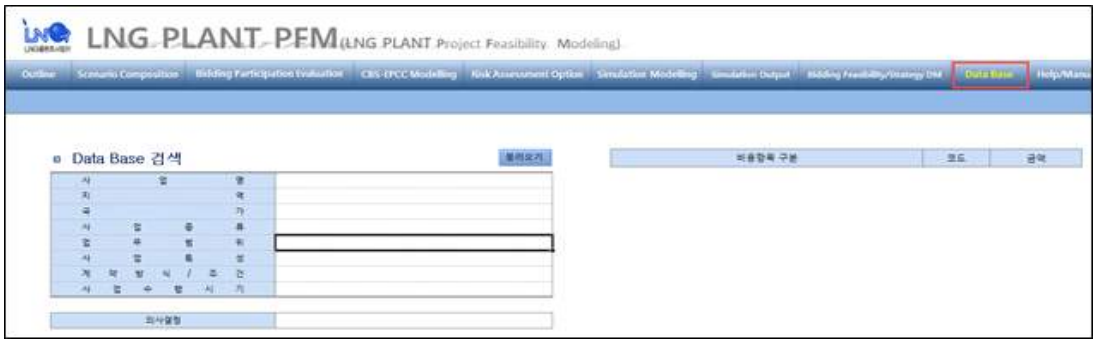


그림 59. Data Base 화면 구성

상기 그림 59에서 보는바와 같이 Data Base는 저장된 프로젝트의 정보를 조회하여 참조할 수 있도록 구성되었다. 프로젝트를 선택하려면 불러오기 버튼을 클릭한다. Data Base 검색 화면은 다음 그림 60과 같다.

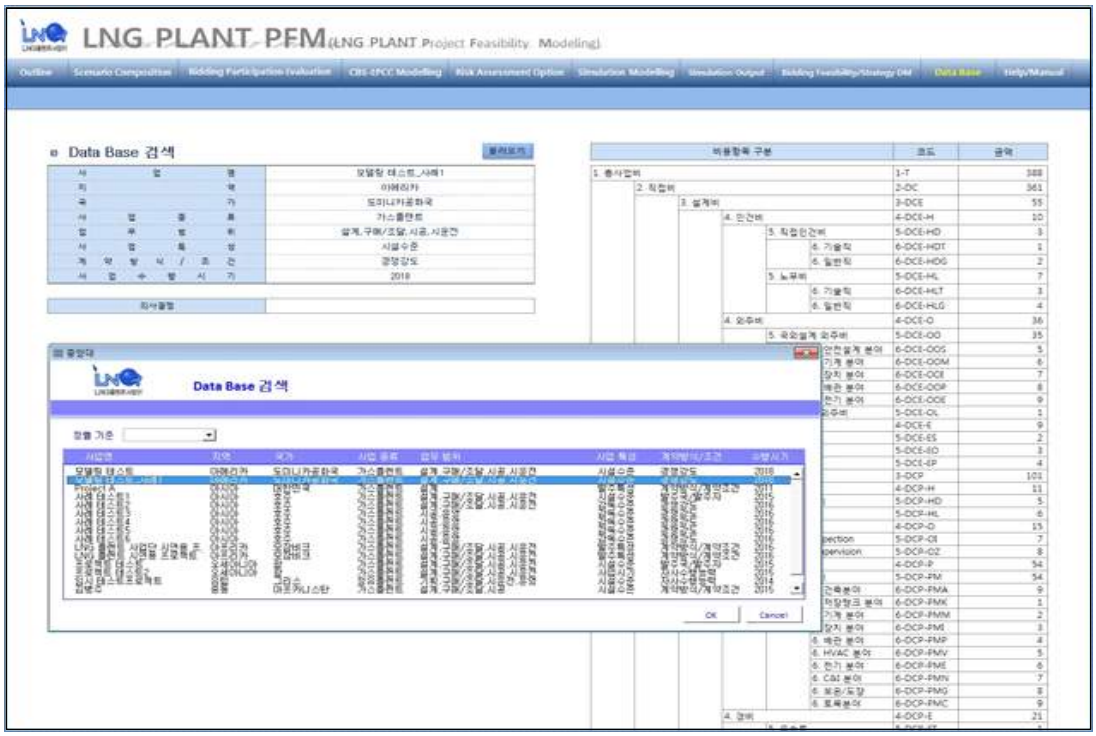


그림 60. Data Base_Data Base 검색

상기 그림 60에서 보는바와 같이 Data Base 검색에서는 Database에 저장된 프로젝트가 모두 표시된다. 하나의 프로젝트만 선택이 가능하며 조회하고자 하는 프로젝트를 선택하고 OK 버튼을 클릭한다. OK버튼을 클릭하면 조회하고자 하는 프로젝트의 시나리오, 의사결정, 비용정보가 표시되며, 의사결정 방법을 선택할 수 있다. 의사결정을 선택하는 화면은 다음 그림 61과 같다.

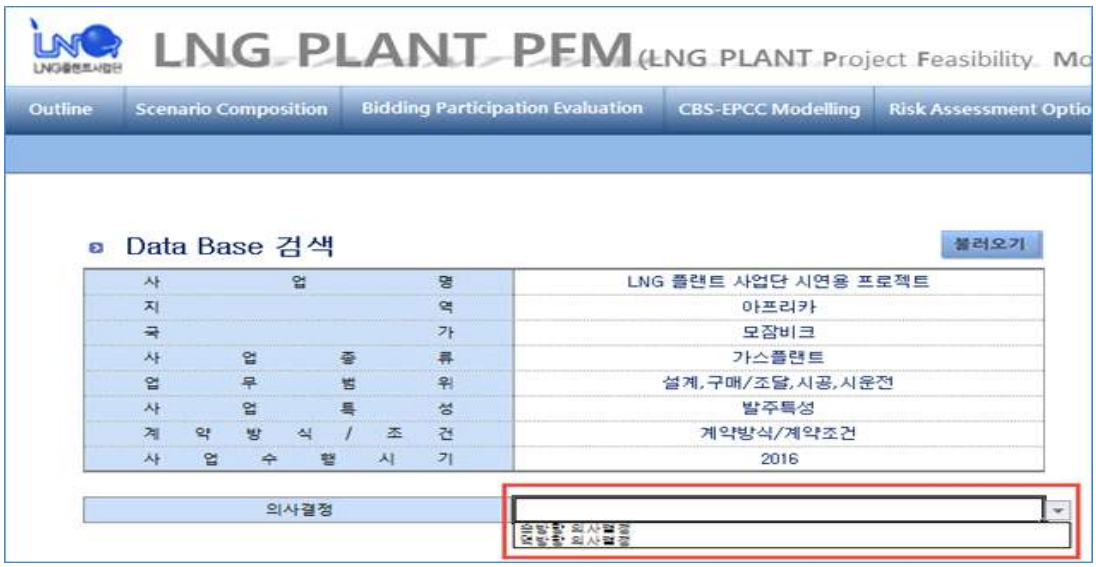


그림 61. Data Base_의사결정 선택

상기 그림 61에서 보는바와 같이 의사결정 방법은 드롭다운으로 선택이 가능하고 선택하면 해당하는 의사결정 결과가 표시된다.

9. Help/Manual

Help/Manual 메뉴를 선택하면 본 도움말 및 매뉴얼이 표시된다.

[부 록] 2. 해외진출사업 타당성 분석 모델 사용지침(매뉴얼)

해외사업모델 경제적 타당성 평가 모델(Manual)

- Logic -

- ❑ 타당성 분석
- ❑ LNG 플랜트
- ❑ 회계 및 세무
- ❑ 위험요인 분석

❑ 타당성 분석

- 종합적인 관점의 타당성 분석은 시설물 건설에 대한 투자의사결정 시 투자여부의 판단 및 최적대안을 찾기 위해 여러 대안들에 대한 적합성, 성공 가능성에 대한 종합적인 분석 및 검토 행위
- 경제성을 중심의 타당성 분석은 미래에 예상되는 경제적 가정을 전제로 관련된 모든 요소의 상호관계를 고려하여 건설사업의 성공 가능성을 조사 분석하는 일련의 과정임
- 타당성 분석의 범위
  - ○ 타당성 분석은 정치/정책, 법규, 환경, 사회, 내부, 재무, 경제, 기술, 등과 같은 다양한 측면에서 고려되어 수행되어야 하며, 사업에서 발생할 수 있는 위험요인 또한 고려해야 한다. 다음의 그림의 프로젝트의 타당성 분석의 범위에 대한 도식화임

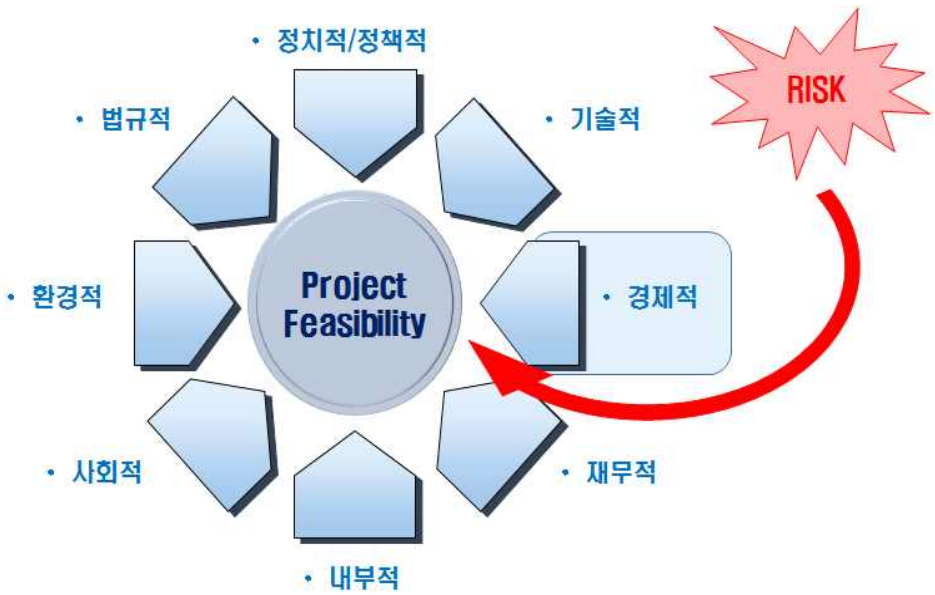


그림.1 타당성 분석의 범위

  - ○ 상기의 그림 1은 타당성 분석의 범위에 대하여 나타낸 그림이임. 이와 같이 타당성 분석은 정치적/정책적, 법규적, 환경적, 사회적, 내부적, 재무적, 경제적, 기술적인 요소 등 다양한 측면으로 고려해야 함.
  - ○ 이러한 타당성 분석 중에서도 경제적 타당성 분석은 가장 중요시 됨. 발주처 입장에서 프로젝트의 성공 여부에 있어서 금전적인 이득 및 손해가 크게 작용되기 때문임. 따라서 경제적 타당성 분석의 결과에 따라 프로젝트의 수행 여부가 좌우됨.
  - ○ 또한, 경제적 타당성 분석을 수행할 시에 중요한 점은 미래에 대한 불확실성을 포함하여 수익 및 손실 정도를 파악해야 하는 것 임. 이러한 위험요인을 고려하여, 경제적 타당성 분석 모델의 신뢰성 및 정확성을 증진시킬 수 있음.

● 타당성 분석 절차

○ 타당성 분석은 사업개요 및 분석목표, 환경·시장·기술 등의 분석, 사업기본계획 및 사업모델 개발, 경제적 타당성분석 및 기타 타당성 분석, Risk 분석, 그리고 타당성 분석 종합 및 제언의 절차를 통해 이루어진다. 이러한 타당성 분석의 일반적인 절차는 다음과 같음.

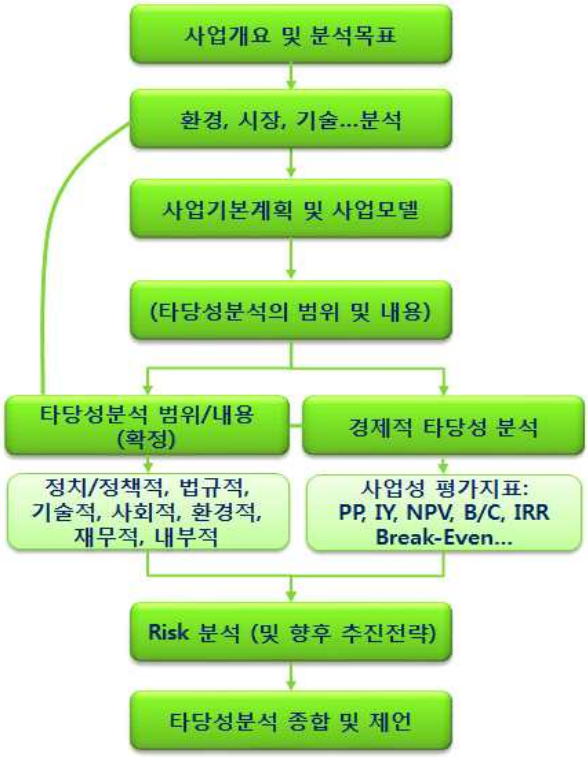


그림.2 타당성 분석의 절차

○ 상기의 그림 2와 같이 타당성 분석은 사업의 개요 및 분석 목표 확인으로부터 시작된다. 이와 같이 확인된 사업에 대하여 환경(경제, 정책, 금융), 시장(국내외 수요) 및 기술(적용기술)에 대한 분석을 실시함.

○ 분석으로 수집된 자료들을 통해 시나리오 기반 매트릭스 사업모델 및 사업 모델 별 진입시나리오를 구성함.

○ 모델을 통하여 타당성 분석의 범위 및 내용을 제시하고 경제성 타당성 분석(사업성 평가지표 : PP, IV, NPV, B/C, IRR, Break-Even, etc) 및 경제성을 제외한 기타 타당성 분석(정치/정책적, 법규적, 기술적, 사회적, 환경적, 재무적, 내부적 등등)을 수행함.

○ 타당성 분석을 한 자료들을 통하여 Risk파악 및 분석을 실시하고, Risk 대응방안 및 경제성 향상 등을 위한 전략을 수립함. 이와 같이 수집된 자료들을 통하여 타당성분석 종합 및 의사결정 제언을 실시함.

❑ LNG 플랜트

- 본 해외진출사업에 해당하는 LNG(Liquefied Natural Gas) 플랜트의 범위를 산정하고, 계약 방식에 대한 고찰을 수행함.
- LNG 플랜트 범위
  - ○ LNG 플랜트는 Upstream, Midstream, 그리고 Downstream으로 구분할 수 있다. 다음은 LNG Chain에 대한 그림임.

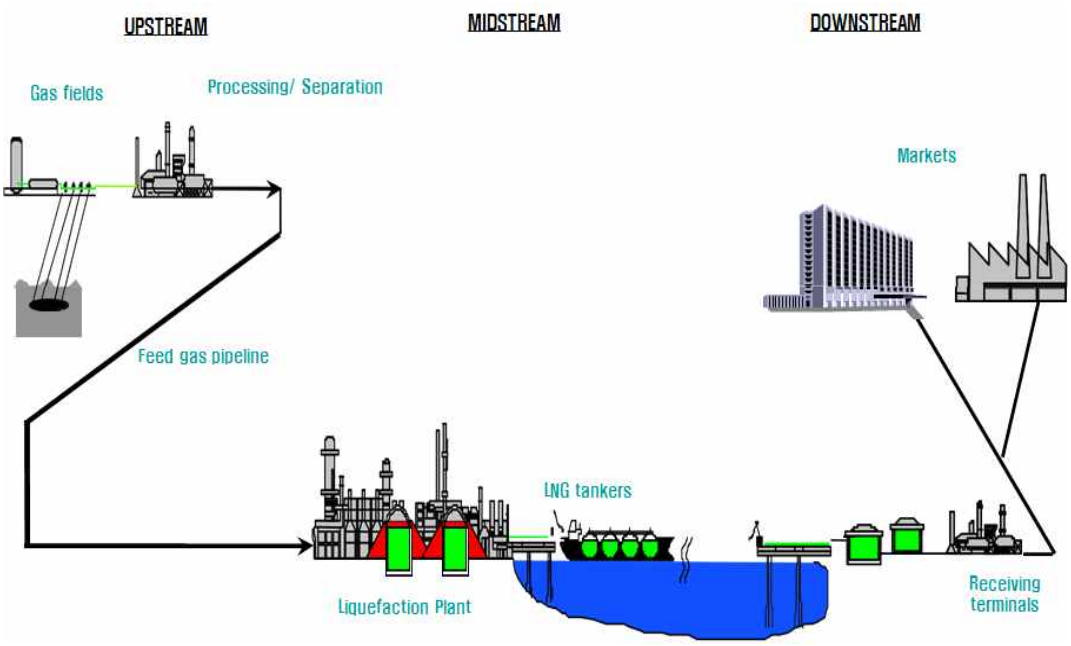


그림.2 LNG Chain

  - ○ 상기의 그림 2와 같이 LNG Chain은 총 3단계로 나눌 수 있음. 먼저 Upstream에서는 개발 및 탐사를 수행하고, Midstream에서는 가스의 액화를 수행하고, Downstream에서는 수송 및 배분을 담당한다. 각 부분과 본 연구와의 관련성은 다음과 같음.
  - ○ Upstream은 초기 광구투자부터 검토해야 될 필요가 있을 때 분석해야 하므로 본 연구에 적합하다고 할 수 있음. 하지만 Upstream 분야는 예외성이 많으므로 상세수준은 못 되어도 일정 수준의 정확성 및 최적 지분율 판단은 가능해야 함.
  - ○ Midstream 분야는 본 연구의 핵심적인 부분으로써 액화 플랜트에 대한 경제적 타당성 분석이 필수적이며, 공사 금액을 각 level별로 세분화시키는 작업 또한 필요하함.
  - ○ Downstream 분야는 본 연구와 관계가 없으므로 제외시킴.

● LNG 플랜트 계약 방식

○ 종류 : Concession, Production Sharing Contract, Service Contract

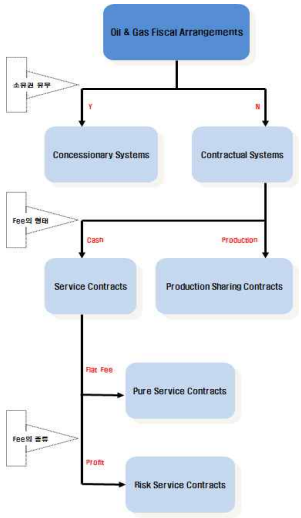
계약방식	그림	해설
Concession		- Royalty(정부에 대한 보상, 자원자체에 대한 세금) + Tax - 자원 보유 정부와 협상하여 생산물에 대한 권리를 소유 - 정부의 광구 분양을 낙찰받아 개발 - Shale 가스 천공 지역에 사용
Production Sharing Contract		- Royalty + Tax (Tax라는 말 대신 PSC 계약에 의한 생산물 분배 방식으로 회수) - 생산물 분배 방식 : R-Factor, IRR Factor - 세제 영향 등 덜 받고 해당 정부와 계약을 통해 체결 - 사이프러스, 모잠비크 등에서 사용
Service Contract		- 고정된 마진만 Contractor가 회수 - 생산에 대해 용역대가(service fee)만 받음 - Midstream의 Tolling과 같은 개념 - Risk가 적음 (이익도 적음) - 이라크 4개 광구, 배네수엘라 등에서 사용

표.1 Upstream 계약방식

● Midstream의 계약 방식

○ 종류 : Tolling, Transfer Pricing, Integrated

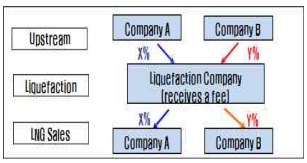
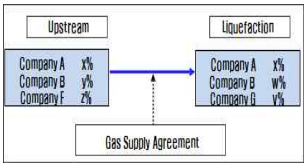
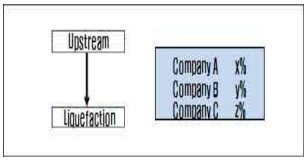
계약방식	그림	해설
Tolling		- LNG 액화 플랜트 건설에 대한 Toll Fee만 받는 구조 - 운영료만 받기 때문에 가스 가격에 대한 위험이 없음 - 규모/Plant Capacity 결정 : 가스 총량, 시장 여건 고려 - 원료가스 판매가 없음
Transfer Pricing		- Profit Center Model(이득이 Main Sponsor) - 가스 소유권이 GSA에 의해 Midstream으로 이전 - Midstream이 판매자가 됨 - Upstream 측에서는 판매가에 대한 Risk가 없음 - 현실적으로 가장 많이 사용 됨
Integrated		- Up(개발, 탐사, 생산) + Mid (액화) - Up과 Mid의 모든 이익을 모두 소유 (High Risk 사업) - Up과 Mid에 모두 계량기가 붙어 있음 - Up과 Mid의 특성 모두 고려 Up : 매년 투자금이 들어감 Mid : 한 번 지어놓으면 중간에 약간의 수선비만 필요

표.2 Midstream 계약방식

● 경제적 타당성 분석 모델 범위

○ Upstream의 계약방식의 종류는 Concession, Production Sharing Contract, Service Contract, 등 총 3가지 방식

○ Midstream의 계약방식의 종류는 Tolling, Transfer Pricing, Integrated, 등 총 3가지 방식

○ 이러한 계약 방식들에 따라 본 연구에서 다루는 경제적 타당성 분석 모델은 각 계약 방식마다 개발되어져야 함.

○ 이 중 Integrated 모델의 경우 Upstream과 Midstream을 합친 모델이며, LNG 플랜트 사업에서 Upstream과 Midstream을 합하여도 지분이 그대로 가는 경우가 없고, 중간에 계량기가 붙으므로 각각을 별개로 보는 효과를 가질 수 있음. 또한 사용자가 혼동이 올 수 있다는 단점이 있음.

○ 다음 그림 3은 Integrated를 고려하지 않는 방법과 고려하는 방법에 대한 그림임.

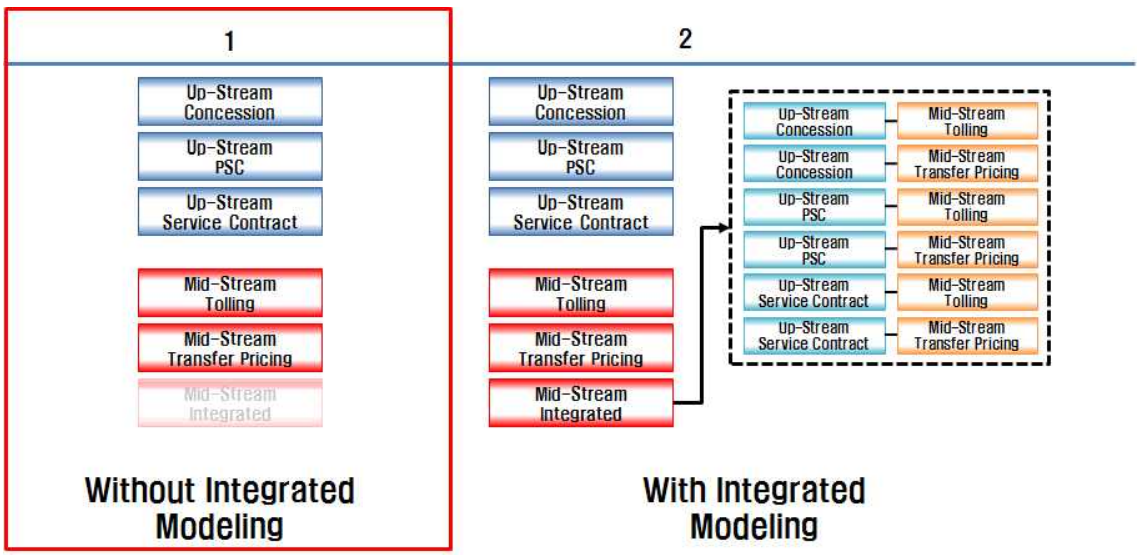


그림.3 Integrated 모델의 비고려 & 고려

○ 상기의 그림 3은 Integrated를 고려하지 않게 된다면 5개의 모델 개발로 진행할 수 있고, Integrated를 고려하게 되면 모델의 개수가 11개의 모델을 개발해야 되는 것을 나타낸냄. 모델의 개수를 단순화시키기 위해서 Integrated를 포함하지 않는 방향을 선택하였음.

○ 따라서 Upstream 분야의 3가지 모델과 Midstream 분야의 2가지 모델 개발을 본 연구의 경제적 타당성 분석의 범위로 산정하였음.

❑ 회계 및 세무

- 본 해외진출사업의 경제적 타당성 분석 모델을 만들기 위하여 회계 및 세무 부분이 필요하함.
- 특히, 재무제표를 통하여 수익의 유무, 회사의 자금 사정, 세금의 적용등을 알 수 있으며, 감가상각을 통하여 시설물의 가치 하락을 측정할 수 있음.
- 재무제표
  - ○ 재무제표는 현행기준 IFRS에 맞추어 매년 개정되는 연결 재무제표를 사용함.
  - ○ 현재 사용되는 연결 재무제표의 요소로는 재무상태표, 포괄손익계산서, 자본변동표, 현금흐름표, 주석 등이 있음.
  - ○ 다음은 현행 기준 재무제표와 과거의 재무제표와의 비교임.

과거				현재('09.3~) - 금융감독원			
현행 회계기준 K-GAAP				한국채택 국제 회계기준 K-IFRS			
과거 세무				IFRS에 맞추어 매년 개정			
개별 재무제표 (Separate Financial Sheets)				연결 재무제표 (Consolidated Financial Sheets)			
	국문	영문	비고		국문	영문	비고
1	대차대조표	Balance Sheet		1	재무상태표	Statement of Financial Position	O
2	손익계산서	Income Statement		2	포괄손익계산서	Statement of Comprehensive Income	O
3	자본변동표	Statement of Changes in Equity		3	자본변동표	Statement of Changes in Equity	
4	현금흐름표	Cash Flow		4	현금흐름표	Cash Flow	O
5	주석	Foot Note		5	주석 (이익잉여금 처분 계산서 및 결손금처리 계산서)	Foot Note	
6	이익잉여금처분 계산서 및 결손금 처리 계산서	Suplus Appropriation Statement & Statement of Disposition of Deficit					

표.3 재무제표 필수요소

  - ○ 상기의 표 3에서 제시하고 있는 재무제표 필수요소 중 본 연구에 필요한 재무상태표, 포괄손익계산서, 현금흐름표를 경제적 타당성 분석 모델에 사용하겠음.
- 감가상각
  - ○ 감가상각이란 자산 가치 중 감소되는 것으로 추정되는 가액을 수익창출에 기여하는 기간 동안 체계적이고 합리적인 방법으로 배분하여 비용으로 인식하는 과정을 의미한함. 이러한 감가상각을 재무제표에 적용하면 다음과 같음.



그림.4 감가상각비와 감가상각누계액

○ 상기의 그림 4와 같이 감가상각은 손익계산서에 비용으로 들어가며, 재무상태표에는 자산의 감가상각누계액으로 계산됨.

○ 감가상각의 방법은 크게 정액법과 정률법으로 나눌 수 있는데 그 세부내용을 살펴보면 다음 표와 같음.

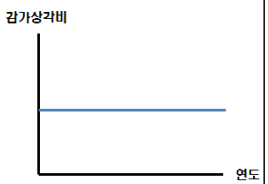
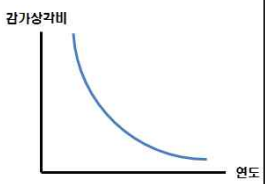
정액법		- 유형자산의 가치 감소가 시간의 경과에 비례하여 발생하는 것으로 가정하여 감가상각 대상금액을 내용연수 동안 균등하게 나누어, 매년 동일한 금액을 상각하는 방법 - 감가상각비는 매년 일정한 금액이 되므로 정액법이라 함 - 정액법을 적용하여 감가상각비를 계산하기 위해서는 먼저 취득원가에서 잔존가치를 차감하여 감가상각대상금액을 계산해야 함
정률법		- 매년도 초의 장부금액에 정률을 곱하여 당해 연도 감가상각비를 계산하는 방법 - 취득원가와 잔존가치를 활용하여 감가상각률을 계산한 후, 각 연도의 감가상각비는 매년도 초장부가액에서 상각률을 곱하여 계산함. - 감가상각비는 매년 다른 결과가 나오게 됨.

표.4 정액법과 정률법

○ 상기의 표4와 같은 감가상각 방법에 따라 프로젝트의 경제성이 달라질 수 있으므로 이에 대한 고려가 경제적 타당성 평가 모델에서 필요함.

❑ 위험요인 분석

- 본 해외진출사업의 경제적 타당성 분석 모델의 신뢰성 및 정확성을 높이기 위해서는 위험요인에 대한 고려가 필요함.
- 위험요인을 고려할 경우 결정론적인 모델이 아닌 확률론적인 모델을 제시할 수 있음.
- 위험요인 분석 방법은 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 사용 할 것이고, @Risk 프로그램을 이용하여 구현 할 것임.

● 몬테카를로 시뮬레이션

○ 몬테카를로 시뮬레이션은 모나코의 유명한 도박 도시에서 유래된 명칭임.

○ 프로세스 변동의 효과를 측정하기 위해 확률 변수를 이용하는 방법으로서 랜덤 표본을 이용하는 모의실험이며, 난수를 이용하는 방법임.

○ 다음은 몬테카를로 시뮬레이션의 프로세스임.

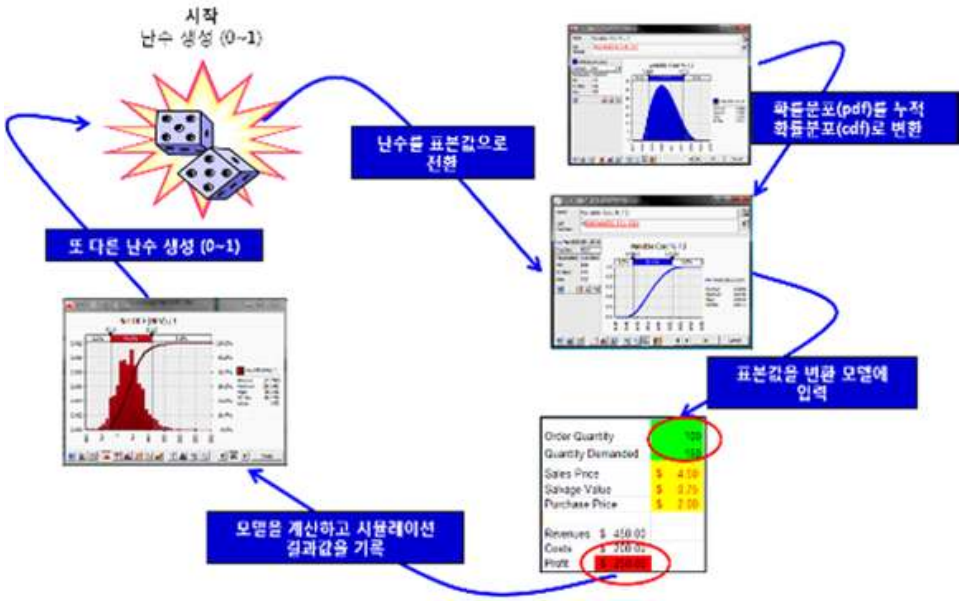


그림.5 몬테카를로 시뮬레이션 프로세스

○ 상기와 같은 몬테카를로 시뮬레이션은 실행에 앞서 의사결정을 평가하는데 경제적이고, 시스템에서 중요한 구상요소를 제시할 수 있음.

○ 하지만 결과가 입력 값의 정확성에 대해 민감하며, 엑셀에 모델을 구축할 수 없다면 @Risk, Crystal Ball등의 프로그램을 사용해야 하는 번거로움이 있음.

● @Risk 프로그램 이용

○ 위험 요인을 고려한 경제적 타당성 분석 모델 개발을 위해 몬테카를로 시뮬레이션 기법의 엑셀 Add-on 프로그램 검토를 수행하였음.

○ @Risk 프로그램은 Crystal Ball로 구축된 모델을 @Risk 프로그램 내에서 자동 변환이 가능하고, Crystal Ball에 비해 더 많은 확률 분포를 선택할 수 있으며, 주요 세부 기능을 더 면밀하게 분석할 수 있으므로, 본 해외진출사업 모델에 더 적합하다 할 수 있음.

○ 다음은 @Risk를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션의 프로세스임.



그림.6 @Risk를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션

○ 상기의 그림 6은 @Risk를 이용한 몬테카를로 시뮬레이션을 나타낸 것으로, Input 데이터를 통하여 @Risk를 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 Output 데이터를 도출해 내는 과정임.

해외사업모델 경제적 타당성 평가 모델(Manual)

- Outline -

- ❑ 모델의 목적
- ❑ 모델의 활용범위
- ❑ 모델의 일반 사항
- ❑ 모델의 Input & Output

❑ 모델의 목적

- LNG 플랜트 중 Midstream 부분의 Transfer Pricing 계약 프로젝트의 경제적 타당성 평가를 수행
- 대규모 LNG 플랜트 사업에서 경제적 타당성 평가를 수행하여 프로젝트 진행 전 수익 및 손해 파악
- 경제적 타당성 평가 모델에 위험요인을 고려하여 확률론적 의사결정을 수행

❑ 모델의 일반 사항

- 모델의 계산 구조
  - ○ 모델의 사용자가 변수를 직접 입력
  - ○ 모델에서 자원조달, 회계, 재무제표 부분을 자동 계산
  - ○ 모델의 계산과정을 통해 주요 결과 변수 도출
  - ○ 모델 사용자의 정보에 따라 Level 설정 및, Default 설정 가능
- 모델의 구동
  - ○ 모델은 Excel 기반 하에 개발되었으므로, 반드시 사용자는 Excel 프로그램이 설치되어 있어야 함
  - ○ 모델은 Excel상의 다양한 수식과 함수, 매크로를 활용
  - ○ 모델을 정상적으로 작동하기 위하여 @Risk Add-in이 필요
- 모델 내의 사용자 입력 및 선택 기능 영역
  - ○ 하늘색 음영 영역은 사용자가 직접 입력
  - ○ 하얀색 부분은 이미 계산이 된 부분으로써, 개발자 및 모델의 숙련자 이외에는 수정하지 않는 것을 권장
  - ○ 콤보 상자는 사용자가 목록에서 선택
  - ○ 매크로 버튼은 사용자가 해당 버튼을 눌러서 실행
- 모델의 정밀도 및 반복성
  - ○ 모델에 유효성 검사를 실시하여 모델의 오류가 나지 않게 하며, 정밀도를 높임
  - ○ 모델의 정상적인 작동을 위하여 모델 구동 전에 엑셀 메뉴의 파일-수식-계산옵션에서 통합문서 계산을 수동으로 설정하며, 반복 계산 사용에 체크를 하고, 최대 반복 횟수는 100회, 변화 한도 값은 0.0001로 하여 오차를 최소화
- 모델의 시트 내용 구성
  - ○ 모델은 총 21개의 시트로 구성
  - ○ 각 시트 간에 계산이 연결되어 있으므로, 시트에 오류가 생길 경우 연결된 모든 시트에 오류가 발생

○ 시트 1은 모델의 전반적인 구조 표시

○ 시트 2~4은 모델의 입·출력 변수 표시하며 모델에서 오직 이 부분만 고칠 수 있다.

○ 시트 5~21은 모델의 계산을 담당하며 입력 할 수 있는 부분이 없다.

○ 시트 22~23은 모델의 출력 변수 표시하며 입력 할 수 있는 부분이 없다.

❑ 모델의 입·출력 변수

● 모델의 입력 변수

○ Midstream → Transfer Pricing의 입력 변수

<table>
<tr><th colspan="3">투자비</th><th colspan="3">운영관리비</th><th>재원조달
+ 세금</th><th>감가상각비</th><th>운영수입</th></tr>
<tr><th>Lv.1</th><th>Lv.2</th><th>Lv.3</th><th>Lv.1</th><th>Lv.2</th><th>Lv.3</th><th></th><th></th><th></th></tr>
<tr><td rowspan="28">총 투자비</td><td colspan="2">조사비</td><td rowspan="28">총
운영관리비</td><td rowspan="3">고정
운영관리비</td><td>원부자재비</td><td>불변가격
기준일</td><td>잔존가치</td><td>공사 시작
년도</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계비</td><td>첨가재료비</td><td>기간산정</td><td rowspan="2">감가상각
내용연수</td><td>공사 기간</td></tr>
<tr><td colspan="2">조달비</td><td>수송비</td><td>물가상승률</td><td>연 생산량</td></tr>
<tr><td rowspan="3">공사비</td><td>공사비 지급
Schedule</td><td rowspan="5">변동
운영관리비</td><td>마케팅
비용</td><td>자기자본
비율</td><td>운영기간</td></tr>
<tr><td>연체이자 여부</td><td>보험비</td><td>재원조달
투입
Schedule</td><td>총 생산량</td></tr>
<tr><td>감리비</td><td>연구비</td><td>차입금 차입</td><td>연간 생산량</td></tr>
<tr><td rowspan="4">토지비</td><td>토지매입비
금액</td><td colspan="2">인건비</td><td>차입금
상환조건</td><td>판매 수입</td></tr>
<tr><td>지급 Schedule</td><td rowspan="2">수선유지비</td><td>교체비</td><td>차입금
예치기간</td><td>전환계수</td></tr>
<tr><td>토지매입
완료일</td><td>수선비</td><td>할인율</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>취득세</td><td>생산/제조
경비</td><td>전력비</td><td>법인세율</td><td></td></tr>
<tr><td>등록세</td><td>수도광열비</td><td>손실의 순연</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">보상비</td><td colspan="2">폐기처리비</td><td>운전자본
산정 자료</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">부대비</td><td>감리, 각종
영향 평가</td><td colspan="2">기타</td><td>기타</td><td></td></tr>
<tr><td>보험료</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>금융부대비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">운영설계비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">제세공과금</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">영업준비금</td><td>개업비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>창업신주비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">물가변동비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">재원조달비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">대체투자비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">제비용</td><td>각종 조사비 및
용역비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>시행사운영비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>업무집행비</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="8">제세공과금</td><td>취득세</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>등록세</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>재산세</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>부가가치세</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>기부채납부가세</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>보유세</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>각종 공과금</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">기타</td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
</table>

표.5 Midstream 모델의 대표 Input 변수

○ 모델의 입력 변수는 크게 투자비, 운영관리비, 재원조달 + 세금, 감가상각비, 운영수입으로 나눌 수 있음.

○ 이 중 투자비 및 운영관리비는 Level을 나누어서 최소 20개부터 최대 70개의 변수로 모델을 구동할 수 있게 개발

● 모델의 Output

○ 상기의 입력 변수를 모델에 입력 한 후에 계산과정을 거쳐 출력 변수를 도출

No.	항목	설명
1	IRR (Internal Rate of Return)	- 투자로 지출되는 현금의 현재가치와 그 투자로 유입되는 미래 현금유입액의 현재가치가 동일하게 되는 수익률
2	ROE (Return of Equity)	- 주주의 자본을 사용해 어느 정도의 이익을 올리고 있는가를 나타낸 것으로, 주주지분에 대한 운용효율을 나타내는 지표
3	NPV (Net Present Value)	- 투자로부터 얻어지는 현금 유입의 현재가치에서 현금 유출의 현재가치를 차감한 금액으로서, 효율적인 사업선정을 위한 방법 중 하나임
4	B/C (Benefit / Cost)	- 비용의 현재가치에 대한 편익의 현재가치의 비율로서, 비용편익분석에서 사업대안의 비교를 위한 기준 중 하나임
5	PP (Payback Period)	- 투자에서 소요된 자금을 그 투자로부터 발생하는 현금흐름으로부터 모두 회수하는데 걸리는 시간임
6	DSCR (Debt Service Coverage Ratio)	- 금융권에서 PF를 통하여 자금에 대한 상환금 대비 지불능력으로 일정 시점에서의 누적 수입을 같은 시점에서의 누적 이자 및 원금 상환분으로 나누어 준 값임

표.6 Output 데이터의 항목 및 설명

○ IRR의 경우 자기자본조달비용과의 비교를 통해 산정할 수 있음.

○ NPV의 경우 사업의 규모를 알 수 있음

○ ROE의 경우 주주들의 순 이익에 대하여 알 수 있음

○ B/C의 경우 전체 비용과 수익를 현재가치로 비교할 수 있음

○ PP의 경우 투자된 현금을 회수하는데 걸리는 시간을 알 수 있음

○ DSCR의 경우 은행이 대출금 상환 가능성에 대하여 알 수 있음

해외사업모델 경제적 타당성 평가 모델(Manual)

- Upstream : Concession -

- ❑ Model Structure
- ❑ Input & Output Sheets
- ❑ Process Sheets
- ❑ Output Sheets
- ❑ Risk Analysis

❑ Model Structure

● 1.Model Structure

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 전반적인 구조를 나타내는 시트
  - 23개의 시트를 Input & Output 부분, Process 부분, Output 부분으로 구조를 나타냄.
  - Process 부분은 Cost, Revenue, Finance, Accounting, Financial Statement 의 부분으로 나눌 수 있음.
  - 하이퍼 링크를 통하여 각각의 시트로 이동이 가능
  - 활성화 된 시트와 활성화 되지 않은 시트를 구분 할 수 있음
  - 시트간의 상관관계를 화살표를 통하여 알 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 02.Summary : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Structure 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Model Structure 하이퍼 링크
  - 05.CAPEX Profile : Model Structure 하이퍼 링크
  - 06.CAPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 07.OPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 08.Other Expenditures : Model Structure 하이퍼 링크
  - 09.Production : Model Structure 하이퍼 링크
  - 10.Pricing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 11.Revenue : Model Structure 하이퍼 링크
  - 12.Cost Recovery : Model Structure 하이퍼 링크
  - 13.Profit Sharing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 14.Financing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 15.Repayment Schedule : Model Structure 하이퍼 링크
  - 16.Income Taxation : Model Structure 하이퍼 링크
  - 17.Working Capital : Model Structure 하이퍼 링크
  - 18.Depreciation Statement : Model Structure 하이퍼 링크

- 19.Cash Flow Statement : Model Structure 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : Model Structure 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : Model Structure 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : Model Structure 하이퍼 링크
- 23.Charts : Model Structure 하이퍼 링크

• Output
- 02.Summary : 02.Summary 하이퍼 링크
- 03.Assumption : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : 04.Risk 하이퍼 링크
- 05.CAPEX Profile : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
- 06.CAPEX : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 07.OPEX : 07.OPEX 하이퍼 링크
- 08.Other Expenditures : 08.Other Expenditures 하이퍼 링크
- 09.Production : 09.Production 하이퍼 링크
- 10.Pricing : 10.Pricing 하이퍼 링크
- 11.Revenue : 11.Revenue 하이퍼 링크
- 12.Cost Recovery : 12.Cost Recovery 하이퍼 링크
- 13.Profit Sharing : 13.Profit Sharing 하이퍼 링크
- 14.Financing : 14.Financing 하이퍼 링크
- 15.Repayment Schedule : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 16.Income Taxation : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
- 17.Working Capital : 17.Working Capital 하이퍼 링크
- 18.Depreciation Statement : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 19.Cash Flow Statement : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 23.Charts : 23.Charts 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (Model Structure)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트에서 연결

• Hyperlink (Model Outline)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트로 연결

❑ Input & Output Sheets

● 2.Summary

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 주요 입출력 변수를 간단하게 나타낸 시트
  - Notice : 모델이 적용되는 부분, 버전, 입력 변수, 출력 변수에 대해 나타낸다.
  - Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타낸다.
  - Input : 입력 변수 중에 주요한 요소만을 다룸 (공사 기간, 지분, 금액, 수익, 가격, 회계, 등)
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 02.Summary 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Input Variables
  - 22.Feasibility Analysis : Output Variables
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 02.Summary 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Input Variables : 모델의 주요 입력 변수
  - Time Period → Project Starting Year : 3.Assumption에서 'Project_Starting_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Time Period → Starting Operation Year : 3.Assumption에서 'Starting_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Time Period → End Operation Year : 3.Assumption에서 'End_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Cost Estimation → CAPEX : 3.Assumption 시트의 총 공사비
  - Cost Estimation → OPEX : 3.Assumption 시트의 1년 운영관리비
  - Revenue → Gas Wellhead Throughput : 전체 Gas 처리량에 전환율을 곱하여 표현

- Revenue → Gas Wellhead Sales Price : 3.Assumption에서 'Gas_Wellhead Price 1~4'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Debt Financing : 3.Assumption에서 'Debt_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Income Tax Rate : 3.Assumption에서 'Tax_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Depreciation Method : 3.Assumption에서 컨트롤 박스에서 지정된 값을 통하여 정액법 또는 정률법으로 표현
- Finance → General Inflation Rate : 3.Assumption에서 'Inflation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Cost Estimation Rate : 3.Assumption에서 'Escalation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Discount Rate : 3.Assumption에서 'Discount_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현

• Output Variables : 모델의 주요 출력 변수
- IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
- ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
- NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
- B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
- Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
- $/Ton : 22.Feasibility Analysis에서 'Dollar_per_Ton'라고 정의된 값에 의해 표현

● 3.Assumption

ㅇ 개요

• 주요역할
- 모델의 주요 변수를 입력할 수 있는 시트
- Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타낸다.
- Input : 최소 20 ~ 최대 50의 변수를 입력 할 수 있음
- CAPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- OPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능

- Revenue, Production, Cost Recovery, Profit Sharing, Factor, Pricing, Finance, 등의 변수에 대한 입력이 필수적임
- 유가 상승을 고려한 가격 예측이 가능하도록 개발

• 입력 가능 여부
- 입력이 가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
- 05.CAPEX Profile : Model Check
- 06.CAPEX : Model Check
- 07.OPEX : Model Check
- 08.Other Expenditures : Model Check
- 09.Production : Model Check
- 10.Pricing : Model Check
- 11.Revenue : Model Check
- 14.Financing : Model Check
- 15.Repayment Schedule : Model Check
- 16.Income Taxation : Model Check
- 17.Working Capital : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Model Check
- 19.Cash Flow Statement : Model Check
- 20.Income Statement : Model Check
- 21.Balance Sheet : Model Check
- 22.Feasibility Analysis : Model Check, Output Variables

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
- 05.CAPEX Profile : Year, CAPEX Schedule
- 06.CAPEX : Year, CAPEX & Economic Assumption
- 07.OPEX : Year, OPEX & Economic Assumption
- 08.Other Expenditures : Year, Other Expenditures Assumption
- 09.Production : Year, Production Assumption

- 10.Pricing : Year, Pricing Assumption
- 11.Revenue : Year, Sharing Ratio, Throughput Assumption
- 14.Financing : Year, Financing Assumption
- 15.Repayment Schedule : Year, Financing Assumption
- 16.Income Taxation : Year, Financing & Tax Assumption
- 17.Working Capital : Year, Financing Assumption
- 18.Depreciation Statement : Year, Depreciation Assumption
- 19.Cash Flow Statement : Year
- 20.Income Statement : Year, Financing Assumption
- 21.Balance Sheet : Year
- 22.Feasibility Analysis : Year, Economic Assumption
- 23.Charts : Year

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 03.Assumption 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Model Check : 해당 시트의 오류 판단
  - 05.CAPEX Profile ~ 22.Feasibility Analysis 까지 모델을 검산 하여 옳게 계산되면 'OK', 오류가 발견 되면 'ERROR'로 표현
- Output : 모델의 주요 출력 변수
  - IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
  - ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
  - NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
  - B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
  - $/Ton : 22.Feasibility Analysis에서 'Dollar_per_Ton'라고 정의된 값에 의해 표현
- Revenue-Schedule : 프로젝트의 주요 사건의 시기 및 기간 입력
  - Project Life after start-up : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing,

15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)

- Project Starting Year : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Construction Period : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Starting Operation Year : Construction Period + Project Starting Year (10.Pricing, 14.Financing, 15.Repayment Statement, 18.Depreciation Statement, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- End Operation Year : Starting Operation Year + Project Life after start-up - 1 (10.Pricing, 14.Financing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Finance, Tax, Depreciation : 자원조달, 세금, 감가상각 등에 대한 변수

- Calendar days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Banking Days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Receivables → Service Fee : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Payables → Operating Costs : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Debt Financing : 입력변수 (2.Summary, 15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Equity Contribution : 1- Debt Financing (2.Summary, 14.Financing 시트에 참조)
- Interest Rate on Debt : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Grace Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Repayment Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Income Tax Rate : 입력변수 (16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)

- Loss Carry Forward : 입력변수 (20.Income Statement 시트에 참조)
- Residual Value : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Depreciation Method : 스크롤을 통해 선택 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Term : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Rate : 1 / Depreciation Life (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Declining Balance → Depreciation Rate : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)

• Economy, Accounting : 경제, 회계에 대한 변수
- General Inflation Rate : 입력변수 (2.Summary, 7.OPEX 시트에 참조)
- Cost Escalation Rate : 입력변수 (2.Summary, 6.CAPEX 시트에 참조)
- Applying Escalation : 0 또는 1의 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)
- Discount Rate : 입력변수 (2.Summary, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Cost (CAPEX, OPEX) : Level1부터 3까지 총 초기투자비용 및 총 운영관리비용을 간단하게 계산하거나, 세분화시켜 계산할 수 있도록 함
- CAPEX Level 1 : 입력변수 (변수 1개 : CAPEX) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 2 : 입력변수 (변수 2개 : 1. Exploration, 2. Exploitation) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 3 : 입력변수 (변수 9개: 1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others) (6.CAPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 1 : 입력변수 (변수 2개 : OPEX, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 2 : 입력변수 (변수 5개 : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 3 : 입력변수 (변수 8개 :1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

• Revenue : 수익을 계산하기 위한 Gas Wellhead, Condensate의 생산량 가정치를 입력
- Gas Throughput : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)

- Gas to Wellhead Conversion : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Throughput : Gas Throughput * Gas to Wellhead Conversion (9.Production 시트에 참조)
- Condensate from Gas Wellhead Throughput : 입력변수
- Condensate Throughput : Gas Wellhead Throughput * Condensate from Gas Wellhead Throughput (9.Production 시트에 참조)
- Conversion Factor : 입력변수 (11.Revenue 시트에 참조)

• Pricing & Production : 수익을 계산하기 위한 Gas Wellhead, Condensate의 가격 가정치를 입력
- Gas Wellhead Vol.Share 1 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 1 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 1 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 1 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 2 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 2 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 2 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 2 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 3 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 3 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 3 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 3 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 4 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 4 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 4 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 4 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Condensate Sales Price : 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)

• CAPEX Schedule : 총 공사금액의 연도별 조달 금액을 나타냄
- Year : Project Start Year, Construction Period를 이용, 공사 기간 동안의 년도만을 표현
- Ratio : 입력변수 (5.CAPEX Profile 시트에 참조)
- Cost : 전체 공사 비용 x Ratio (5.CAPEX Profile 시트에 참조)

• OPEX Schedule : 운영 기간 동안에 불규칙적으로 발생할 수 있는 금액을 나타냄
- Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을

표현

- Irregular OPEX : Irregular OPEX가 있을시 'Yes', 없을시 'No'
- Cost : 입력변수 (7.OPEX 시트에 참조)

- Production Schedule : 연도별 가스 처리량을 비율을 통하여 나타냄
  - Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
  - Ratio : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Gas & Oil Forecast : 미래의 가스 가격에 대한 신뢰성을 위하여 Wellhead Gas, Oil의 최근 가격을 입력하고, 추세식을 도출하여 본 모델의 가격 산출에 사용
  - Historical Wellhead Price → Chart : 입력변수
  - Historical Wellhead Price → Slope : Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Wellhead Price → Revised Constant 1 : Feed Gas Purchase Price Seller 1 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Wellhead Price → Revised Constant 2 : Feed Gas Purchase Price Seller 2 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Oil Price → Chart : 입력변수
  - Historical Oil Price → Slope : Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Oil Price → Revised Constant : Condensate Sales Price - Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Other Expenditures : 총 초기투자비용과 총 운영관리비용 외에 필요한 비용을 나타냄
  - Signature Bonus : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
  - Production Bonus : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
  - Training Budget : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
  - Service Fee : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)

❑ Process Sheets

● 5. CAPEX Profile

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 나타낸 시트
  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 통한 초기 투자 비용의 전체적인 Timeline을 확인 할 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, CAPEX Schedule
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 06.CAPEX : CAPEX Outflow (%)

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 05.CAPEX Profile 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- CAPEX Outflow (%) (03.Assumption 시트를 참조, 06.CAPEX 시트에 참조)
  - 각 연도별 CAPEX 분배 %
- CAPEX Outflow
  - CAPEX Outflow (%) * Total CAPEX
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Accumulated CAPEX Outflow (%)의 최종 값, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 6. CAPEX

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있다.
  - Level 1 변수 (1개) : CAPEX

- Level 2 변수 (2개) : 1. Exploration, 2. Exploitation
- Level 3 변수 (9개) : 1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, CAPEX & Economic Assumption
- 05.CAPEX Profile : CAPEX Outflow(%)

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 14.Financing : Total CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Total CAPEX
- 19.Cash Flow Statement : Total CAPEX
- 22.Feasibility Analysis : Total CAPEX
- 23.Charts : Total CAPEX

○ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 06.CAPEX 버튼을 통하여 01.Model structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• CAPEX Level-1 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-1을 선택
- Level 1 변수 (1개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-2 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-2을 선택
- Level 2 변수 (2개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-3 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-3을 선택
- Level 3 변수 (9개) * CAPEX Outflow (%)

• Total CAPEX (14.Financing, 15.Repayment Schedule, 19.Cash Flow Statement,

22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조, 03.Assumption 시트를 참조)

- CAPEX 구성요소들의 합

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : CAPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 CAPEX의 합
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 7. OPEX

○ 개요

• 주요역할

- 초기 투자비용의 Timeline
- 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있다.
- Level 1 변수 (2개) : OPEX, Irregular OPEX
- Level 2 변수 (5개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others, Irregular OPEX
- Level 3 변수 (8개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others, Irregular OPEX

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 07.OPEX 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, OPEX & Economic Assumption

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 16.Income Taxation : Total OPEX
- 17.Working Capital : Total OPEX
- 19.Cash Flow Statement : Total OPEX
- 20.Income Statement : Total OPEX
- 22.Feasibility Analysis : Total OPEX
- 23.Charts : Total OPEX

○ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 07.OPEX 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• OPEX Level-1 (03.Assumption 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-1을 선택
- Level 1 변수 (1개), Irregular OPEX

• OPEX Level-2 (03.Assumption 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-2을 선택
- Level 2 변수 (5개), Irregular OPEX

• OPEX Level-3 (03.Assumption 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-3을 선택
- Level 3 변수 (8개), Irregular OPEX

• Total OPEX (12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조, 03.Assumption 시트를 참조)
- OPEX 구성요소들의 합

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : OPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 OPEX의 합
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 8. Other Expenditures

○ 개요

• 주요역할
- 기타 비용의 Timeline
- Signature Bonus는 첫 해에 일괄 지급
- Production Bonus, Training Fee, Service Fee는 연도별 분할 지급

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 08.Other Expenditures 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Other Expenditures, Economic Assumption

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check

- 14.Financing : Other Expenditures in Operating Year
- 15.Repayment Schedule : Other Expenditures in Operating Year
- 16.Income Taxation : Other Expenditures in Operating Year
- 17.Working Capital : Other Expenditures in Operating Year
- 19.Cash Flow Statement : Total Other Expenditures
- 20.Income Statement : Other Expenditures in Operating Year
- 22.Feasibility Analysis : Total Other Expenditures
- 13.Charts : Total Other Expenditures

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 08.Other Expenditures 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 08.Other Expenditures 시트로 연결
- Other Expenditures (in Construction Years)
  - Signature Bonus : 프로젝트 첫 해 지급
- Other Expenditures (in Operating Years)
  - Production Bonus, Training Fee, Service Fee : 연도별 지급
- Total Expenditures
  - Other Expenditures (in Construction Years) + Other Expenditures (in Operating Years)
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Other Expenditures 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 Other Expenditures 의 합
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 9. Production

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 생산량의 Timeline
  - 생산 비율에 따라 Wellhead Gas 판매량, Condensate 판매량에 대한 연도 별 가정 사항이 나타남
  - Wellhead Gas 판매량은 생산 비율과 Wellhead Gas 구매자 지분에 따라 달라짐
  - Condensate 판매량은 LNG 처리 비율에 따라 달라짐
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 09.Production 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Production Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 11.Revenue : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 13.Profit Sharing : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 23.Charts : Wellhead Gas, Condensate Production

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 09.Production 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Ratio (03.Assumption 시트를 참조)
  - Production에 대한 Timeline
- Gas Wellhead Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 13.Profit Sharing, 23.Charts 시트에 참조)
  - Gas Wellhead : Production Ratio * Gas Throughput
  - Gas Wellhead 1 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 1
  - Gas Wellhead 2 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 2
  - Gas Wellhead 3 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 3
  - Gas Wellhead 4 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 4
- Condensate Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 13.Profit Sharing, 23.Charts 시트에 참조)
  - Production Ratio * Condensate Throughput
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : 전체 가스 용량 비율, Con 2 = 100%
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 10. Pricing

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 가격 변동의 Timeline

- Wellhead Gas 판매 가격, Condensate 판매 가격에 대한 연도 별 가정 사항이 나타난남
- Wellhead Gas 판매 가격은 Wellhead Gas 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐
- Condensate 판매 가격은 Oil 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라진다.

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 10.Pricing 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Pricing Assumption

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 11.Revenue : Wellhead Gas, Condensate Pricing
- 23.Charts : Wellhead Gas, Condensate Pricing

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 10.Pricing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Feed Gas Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 1 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 1
- Gas Wellhead Price 2 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 2
- Gas Wellhead Price 3 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 3
- Gas Wellhead Price 4 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 4

• Condensate Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
- Oil Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Oil Price

Revised Constant

- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Feed Gas 생산량에서 판매자가 차지하는 비율, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 11. Revenue

○ 개요

- 주요역할
  - 수익의 Timeline
  - (Wellhead Gas 판매 수익 + Condensate 판매 수익)을 통해 총 수익을 도출
  - Wellhead Gas 판매 비용은 (Wellhead Gas Production * Wellhead Gas Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
  - Condensate 판매 비용은 (Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 11.Revenue 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Throughput Assumption
  - 09.Production : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 10.Pricing : Wellhead Gas, Condensate Pricing
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check

○ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 11.Revenue 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Wellhead Gas Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)
  - Wellhead Gas Turnover 1 : Gas Production 1 * Gas Pricing 1 * Conversion Factor
  - Wellhead Gas Turnover 2 : Gas Production 2 * Gas Pricing 2 * Conversion

Factor

- Wellhead Gas Turnover 3 : Gas Production 3 * Gas Pricing 3 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover 4 : Gas Production 4 * Gas Pricing 4 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover-Sub Total : Wellhead Gas Turnover 1 + Wellhead Gas Turnover 2 + Wellhead Gas Turnover 3 + Wellhead Gas Turnover 4

• Condensate Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)

- Condensate Sales Price Turnover : Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor

• Total Revenue (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)

- Wellhead Gas Turnover + Condensate Turnover

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Revenue 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 Revenue의 합
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 14. Financing

○ 개요

• 주요역할

- 재원 조달의 Timeline
- 예치 기간에 의하여 재원 조달을 공사 이전과 이후로 나눌 수 있다.
- 건설 도중에 발생되는 이자를 더하여 정확한 재원 조달 금액을 알 수 있다.
- 재원을 자본금과 대출금으로 구분 하여 나타냄

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 14.Financing 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Funding Requirement
- 21.Balance Sheet : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 22.Feasibility Analysis : Equity
- 23.Charts : Equity, Funding Requirement

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 14.Financing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Funding Requirement (23.Charts 시트에 참조, 15.Repayment Schedule 시트를 참조)
  - Funding Requirement : Funding Requirement (Before Operating) + Funding Requirement (After Operating)
  - Funding Requirement (Before Operating) : Total CAPEX + Interest during construction
  - Funding Requirement (After Operating) : Drawdown - Qualified capital expenditure - Interest during construction
- Accumulated Assets (21.Balance Sheet 시트에 참조)
  - Funding Requirement의 누적액
- Equity (3.Assumption, 6.CAPEX 시트를 참조, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조
  - Equity : Total CAPEX * Equity Ratio
  - Accumulated Equity : Equity의 누적액
- Capex not Financed yet
  - Funding Requirement - Equity
- Funding Schedule
  - Equity + Capex not Financed yet
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Funding Requirement, Con 2 : Funding Schedule
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 15. Repayment Schedule

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 상환 금액의 Timeline

- 대출금에 대한 총 금액을 실제 필요한 금액과 이자의 합으로 나누어 나타낸다.
- 각 연도 별 개시잔액과 결산잔고를 나누어 나타낸다.
- 공사가 끝난 후의 대출금에 대한 이자를 나타낸다.
- 원리금 균등 상환 방법을 통하여 연도별 상환되는 금액과 그 총액을 나타낸다.

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 14.Financing : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure
- 16.Income Taxation : Interest
- 19.Cash Flow Statement : Interest, Repayment
- 20.Income Statement : Interest
- 21.Balance Sheet : Closing Balance
- 22.Feasibility Analysis : Interest, Repayment
- 23.Charts : Interest, Repayment

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 15.Repayment Schedule 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Opening & Closing Balance (21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Opening Balance : 이전 연도 Closing Balance
- Closing Balance : Opening Balance + Drawdown + Repayment

• Drawdown (3.Assumption 시트를 참조, 14.Financing 시트에 참조)
- Qualified capital expenditure : Total CAPEX * Debt Ratio
- Interest during construction : Opening Balance * Interest Rate
- Drawdown : Qualified capital expenditure + Interest during construction +

Interest during grace period

- Debt Service Available Period (3.Assumption 시트를 참조)
  - Repayment 해당 연도를 1로 표시 (그 외는 0)
- Interest (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)
  - Opening Balance * Interest Rate
- Repayment
  - Carry Forward Debt Service : 상환금액이 수익보다 많을 시에 다음 년도로 이월되는 금액
  - Repayment : 각 연도별 상환 금액 (원리금 균등 상환)
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Opening Balance, Con 2 : Closing Balance
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 16. Income Taxation

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 소득세의 Timeline
  - 총 수익과 총 운영관리 비용을 통하여 순 운영소득을 구한다.
  - 순 운영소득에서 감가상각과 이자비용을 고려하여 과세소득을 구한다.
  - 과세소득에서 손실을 고려한 과세이득을 구한다.
  - 과세이득에서 법인세율에 따른 소득세를 구한다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing & Tax Assumption
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 11.Revenue : Total Revenue
  - 15.Repayment Schedule : Interest
  - 18.Depreciation Statement : Depreciation
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Model Check
- 20.Income Statement : Tax

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 16.Income Taxation 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Operating Income (7.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Total Revenue : 해당 연도 총 수익
  - Operating Costs : 해당 연도 총 운영관리 비용
  - Operating Income : Total Revenue - Operating Costs
- Taxable Income (15.Repayment Schedule, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
  - Fiscal Depreciation : 해당 연도 감가상각 금액
  - Interest Expenses : 해당 연도 이자 금액
  - Operating Income - Fiscal Depreciation - Interest Expenses
- Loss
  - Loss Incurred : 해당 연도 Taxable Income과 0의 최솟값
  - Loss Written off :
  - Cumulative Loss :
- Taxable Profit
  - (Taxable Income - Loss Written off, 0)의 최댓값
- Taxable Profit (3.Assumption 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)
  - Taxable Profit * Income Tax
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Taxable Profit * Tax Rate, Con 2 : Tax
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 17. Working Capital

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 운전 자본의 Timeline
  - 1달간의 이익과 지출의 차이를 운전 자본이라 고려한다.
  - 운전 자본은 유동 자산의 일부로 재무상태표에서 계산 된다.
  - 운전 자본의 차액은 현금 흐름표에서 지출로 계산 된다.
- 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 17.Working Capital 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 11.Revenue : Total Revenue
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Change in Working Capital
  - 21.Balance Sheet : Net Working Capital

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 17.Working Capital 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Receivables (3.Assumption, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Selling Fee : Total Revenue * (Banking days per month days / Banking days per year days)
- Payables (3.Assumption, 7.OPEX 시트를 참조)
  - Operating Costs : Total OPEX * (Calendar days per month days / Calendar days per year days)
- Working Capital (19.Cash Flow Statement 시트에 참조)
  - Net Working Capital : Selling Fee - Operating Costs
  - Change in Working Capital : 당해 연도 Net Working Capital - 이전 연도 Net Working Capital
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Service Fee - Operating Costs, Con 2 : Net Working Capital
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 18. Depreciation Statement

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 감가 상각의 Timeline

- 정액법, 정률법 모두를 나타낸다.
- 정액법, 정률법 중 3.Assumption 시트에서 선택된 한 가지 방법을 통하여 나머지 시트를 계산
- 감가 상각액을 통하여 손익계산서를 도출
- 누적 감가 상각액을 통하여 재무상태표를 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Depreciation Assumption
- 14.Financing : Funding Requirement

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 16.Income Taxation : Depreciation
- 20.Income Statement : Depreciation
- 21.Balance Sheet : Accumulated Depreciation

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 18.Depreciation Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Straight Line (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
- Residual Value : 잔존가치 비율
- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Straight Line (Depreciation) (3.Assumption 시트를 참조)
- Depreciation : Total Funding Requirement * (1-Residual Value)
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Year) + Depreciation (Present Year)

• Declining Balance (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of

Assets (Last Year)

- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Declining Balance (Depreciation)

- Depreciation : Gross Block of Depreciation Assets *
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Years) + Depreciation (Present Year)

• Depreciation (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)

- Depreciation : Straight Line과 Declining Balance 중 Depreciation Method를 선택
- Accumulated Depreciation : Depreciation의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : 감가상각 방법이 정액법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정액법, Con 2 : 감가상각 방법이 정률법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정률법
- Condition 1 or Condition 2 = OK → "OK", Condition 1 or Condition 2 = ERROR → "ERROR"

● 19. Cash Flow Statement

ㅇ 개요

• 주요역할

- 현금 흐름표의 Timeline
- 수익, 총 초기투자비, 총 운영관리비, 세금, 운전자본 등을 계산하여 순 현금 흐름표 도출
- 순 현금 흐름표에 이자와 상환 금액을 계산하여 투자자의 현금 흐름표를 도출
- 투자자의 현금 흐름표와 누적 캐시포지션, 순 수익과 유보 이익을 통하여 배당금 도출
- 배당금을 통하여 캐시포지션, 누적 캐시포지션을 도출

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year

- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 07.OPEX : Total OPEX
- 11.Revenue : Total Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 17.Working Capital : Change in Working Capital
- 20.Income Statement : Tax

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 15.Repayment Schedule : Net Cash Flow
- 20.Income Statement : Dividend
- 21.Balance Sheet : Cash Position
- 22.Feasibility Analysis : Net Cash Flow
- 23.Charts : Net Cash Flow

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 19.Cash Flow Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Net Cash Flow (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue, 17.Working Capital, 20.Income Statement 시트를 참조, 15.Repayment Schedule, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조)
- Revenue : Total Revenue
- CAPEX : Total CAPEX
- OPEX : Total OPEX
- Tax : 이전년도 Tax
- Working Capital Requirement : Working Capital Requirement
- Net Cash Flow : Revenue - CAPEX - OPEX - Tax - Working Capital Requirement
- Accumulated Net Cash Flow : Net Cash Flow의 누적 금액

• Net Cash Flow Shareholders (15.Repayment Schedule 시트를 참조, 23.Charts 시트에 참조)
- Interest : Debt에 대한 이자
- Repayment : Repayment Timeline

- Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow - Interest - Repayment
- Accumulated Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow Available for Shareholders 누적 금액

• Dividends (3.Assumption, 20.Income Statement 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)

• Cash Position (3.Assumption 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Change in Cash : Net Cash Flow Available for Shareholders + Dividends
- Accumulated Cash Position : Change in Cash의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Net Cash Flow - Interest - Repayment, Con 2 : Net Cash Flow Available for Shareholders
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 20. Income Statement

○ 개요

• 주요역할
- 손익 계산서의 Timeline
- 총 수익, 운영 비용을 계산 하여 운영 수익을 도출
- 운영 수익, 감가상각을 계산 하여 순 운영 수익을 도출
- 순 운영 수익, 이자를 계산 하여 소득세 지출 전 수익을 도출
- 소득세 지출 전 수익, 소득세를 계산 하여 순 수익을 도출
- 순 수익, 배당금을 계산 하여 유보 이익을 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 07.OPEX : Total OPEX
- 11.Revenue : Total Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest
- 16.Income Taxation : Tax
- 18.Depreciation Statement : Depreciation

- 19.Cash Flow Statement : Dividend

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 19.Cash Flow Statement : Tax
- 21.Balance Sheet : Tax, Accumulated Retaining Earning
- 22.Feasibility Analysis : Dividend

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 20.Income Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Loss (3.Assumption, 7.OPEX, 11.Revenue, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)

- Loss Carry Forward : 손실의 순연
- Loss : (Total Revenue - Total OPEX - Depreciation)과 0의 최솟값 + 이전 년도 과세소득과 0의 최솟값의 합

• Operating Income (07.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)

- Total Revenue : Total Revenue
- Operating Costs : Total OPEX
- Operating Income : Total Revenue - Operating Costs

• Net Operating Income (18.Depreciation Statement 시트를 참조)

- Fiscal Depreciation : Depreciation 금액
- Net Operating Income : Operating Income - Fiscal Depreciation

• Net Income (15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation 시트를 참조, 22.Feasibility Anlaysis 시트에 참조)

- Interest Expenses : Interest for debt
- Income Before Income Taxes : Net Operating Income - Interest Expenses
- Tax : Income Tax
- Net Income : Income Before Income Taxes - Tax

• Retaining Earning (19.Cash Flow Statement 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)

- Dividends : Dividends for shareholders
- Retained Earning : Net Income - Dividends
- Accumulated Retained Earning : Retained Earning의 누적 금액

- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Taxable Income * Tax Rate, Con 2 : Tax
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 21. Balance Sheet

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 재무 상태표의 Timeline
  - 자산 = 유동자산 (운전자본 + 캐시포지션) + 고정자산 (총 투자비용 - 감가상각 누적액)
  - 부채 = 단기부채 (세금) + 장기부채 (결산잔고)
  - 자본 = 투자자 자본 + 유보이익
  - 자산 = 부채 + 자본
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year
  - 14.Financing : Accumulated Assets, Accumulated Equity
  - 15.Repayment Schedule : Closing Balance
  - 17.Working Capital : Net Working Capital
  - 18.Depreciation Statement : Accumulated Depreciation
  - 19.Cash Flow Statement : Cash Position
  - 20.Income Statement : Tax, Accumulated Retaining Earning
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 21.Balance Sheet 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Assets (3.Assumption, 14.Financing, 17.Working Capital, 18.Depreciation Sheet, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)

- Working Capital : 운전자본
- Cash Position : 현금 유동성
- Current Asset : Working Capital - Cash Position
- Gross Fixed Asset : 총 고정자산
- Accumulated Depreciation : 감가상각
- Net Fixed Assets : Gross Fixed Asset - Accumulated Depreciation
- Total Assets : Current Asset + Net Fixed Assets

• Liability (.Assumption, 15.Repayment Schedule, 20.Income Statement 시트를 참조)
- Current Liabilities : 단기 부채
- Long term Liabilities : 장기 부채
- Total Liabilities : Current Liabilities + Long term Liabilities

• Equity
- Shareholder's Equity : 투자자의 자본
- Accumulated Retained Earning : 누적 잉여금
- Total Equity : Shareholder's Equity + Accumulated Retained Earning

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Total Assets, Con 2 : Total Liabilities + Total Equity
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

❑ Output Sheets

● 22. Feasibility Analysis

○ 개요

• 주요역할
- 모델의 주요 Output 도출
- Net Cash Flow를 통하여 NPV, IRR 도출
- Shareholder Cash Flow를 통하여 ROE 도출
- Discounted Net Cash Flow를 통하여 B/C Ratio, Payback Period 도출
- Annual Debt을 통하여 Minimum DSCR 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Year, Economic Assumption
- 14.Financing : Equity
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
- 20.Income Statement : Dividend

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 02.Summary : Output Variables
- 03.Assumption : Model Check, Output Variables

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 22.Feasibility Analysis 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• NPV, IRR (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Net Cash Flow : 프로젝트의 현금흐름
- NPV : 프로젝트의 비용 및 수익을 현재가치법으로 계산
- IRR :프로젝트의 비용 및 수익을 내부수익률 기법으로 계산

• ROE (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 14.Financing, 20.Income Statement 시트를 참조)
- Equity : 프로젝트에 투입된 자본
- Dividend : 프로젝트 투자자들에게 주어지는 배당금
- Shareholder's Cash Flow : Equity + Dividend
- ROE : 프로젝트 투자자들의 내부수익률

• B/C Ratio (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 3.Assumption 시트를 참조)
- Discounted Net Cash Flow : 할인율이 고려된 현금흐름표
- Benefit : 프로젝트의 총 수익을 현재가치로 표현
- Cost : 프로젝트의 총 비용을 현재가치로 표현
- B/C Ratio : Benefit / -Costs

• Payback Period (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)
- Base Period : 프로젝트의 진행 기간
- Payback Period : 프로젝트의 원금이 회수가 완료된 기간
- Payback Period : Base Period에서 Payback Period가 감안된 연도

- Minimum DSCR, $/Ton (3.Assumption, 15.Repayment Schedule 시트를 참조, 2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)
  - Annual Debt : Interest + Repayment
  - DSCR : Net Cash Flow / Annual Debt
  - Minimum DSCR : DSCR 값 중 최솟값
  - $/Ton : (Total CAPEX + Total OPEX + Total Other Expenditures) / Total Production
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : NPV value, Con 2 : Total Discounted Fee Cash Flow
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 23. Charts

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 주요 데이터를 차트화
  - Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate의 가격
  - Production : Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량
  - CAPEX & OPEX : 총 투자 비용, 총 운영관리 비용
  - Funding Requirement & Debt Service : 필요한 자본, 대출 자본
  - Equity & Dividends : 투입 자본, 배당금
  - Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 23.Charts 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 09.Production : Feed Gas, LNG, Condensate Production
  - 10.Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing
  - 11.Revenue : Total Revenue
  - 14.Financing : Equity, Funding Requirement
  - 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment

- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Pricing (9.Pricing 시트를 참조)

- Feed Gas 가격 (Seller 1, Seller 2)
- LNG 가격 (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
- Condensate의 가격

• Production (10.Production 시트를 참조)

- Feed Gas 생산량 (MMBtu) (Seller 1, Seller 2)
- LNG 생산량 (MMBtu) (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
- Condensate의 생산량 (bbl)

• CAPEX & OPEX (6.CAPEX, 7.OPEX 시트를 참조)

- CAPEX : Total CAPEX
- OPEX : Total OPEX

• Funding Requirement & Debt Service (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)

- Funding Requirement : Funding Requirement
- Debt Service : Repayment : Interest + Repayment

• Equity & Dividends (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)

- Equity : Equity
- Dividend : Dividend

• Cash Flow (19.Cash Flow Statement 시트를 참조)

- Net Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

❑ Risk Analysis

● 4. Risk

ㅇ 개요

- 주요역할
  - @Risk 사용 시 활성화
  - Fluctuation Range (Min, Ml, Max) : 변동범위의 최소, 최빈, 최대
  - Variable Range (Min, Ml, Max) : 변수의 최소, 최빈, 최대
  - Risk의 적용 가능 변수 : CAPEX Level 1 (1개), CAPEX Level 2 (22개), CAPEX Level 3 (9개), OPEX Level 1 (1개), OPEX Level 2 (4개), OPEX Level 3 (7개), Revenue (3개), Pricing (5개), Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting (6개)
  - Risk 분야를 고려하여 결정론적인 결과를 확률론적으로 변환
- 입력 가능 여부
  - 입력이 가능한 시트
  - 입력을 수행하면 3.Assumption 시트의 일부 변수들(Risk 적용 변수)은 입력이 4.Risk 시트에서만 가능

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 4.Risk 하이퍼 링크
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Risk 적용된 변수
  - 22.Feasibility Analysis : Output Variable 시뮬레이션

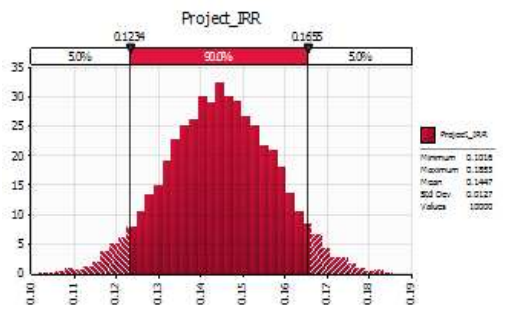
ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 04.Risk 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Fluctuation Range
  - CAPEX Level 1 : 변수 1개(CAPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - CAPEX Level 2 : 변수 2개(1. Exploration, 2. Exploitation에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - CAPEX Level 3 : 변수 9개(1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling,

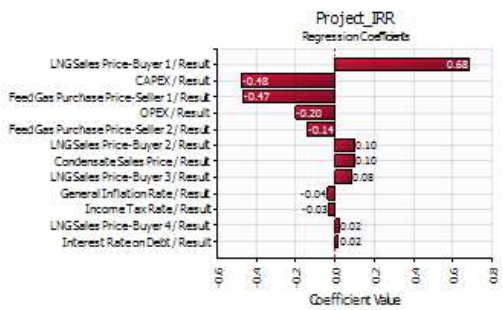
Facilities Costs, Project Costs, Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위

- OPEX Level 1 : 변수 1개(OPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 2 : 변수 4개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 3 : 변수 7개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Revenue : 변수 3개(Gas Throughput, Gas to Wellhead Conversion, Condensate from Gas Wellhead Throughput)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Pricing : 변수 5개(Gas Wellhead Price 1, Gas Wellhead Price 2, Gas Wellhead Price 3, Gas Wellhead Price 4, Condensate Sales Price)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting : 변수 6개(Debt Financing, Interest Rate on Debt, Income Tax Rate, General Inflation Rate, Cost Escalation Rate, Discount Rate)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- 최빈값은 100%

- Variable Range
  - MI 값은 직접 입력 (03.Assumption 시트의 입력 값과 같음)
  - Min = Fluctuation Range (Min) * MI Value
  - Man = Fluctuation Range (Max) * MI Value
- Result (03.Assumption 시트에 참조)
  - 03.Assumption 시트의 해당 변수 부분에 참조
- Simulation : Output Variables 마다 시뮬레이션 수행 (22.Feasibility Analysis 시트에 참조)



Probability Density Function



Sensitive Analysis

해외사업모델 경제적 타당성 평가 모델(Manual)

- Upstream : Production Sharing Contract -

- ❑ Model Structure
- ❑ Input & Output Sheets
- ❑ Process Sheets
- ❑ Output Sheets
- ❑ Risk Analysis

❑ Model Structure

● 1.Model Structure

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 전반적인 구조를 나타내는 시트
  - 23개의 시트를 Input & Output 부분, Process 부분, Output 부분으로 구조를 나타냄
  - Process 부분은 Cost, Revenue, Finance, Accounting, Financial Statement 의 부분으로 나눌 수 있음
  - 하이퍼 링크를 통하여 각각의 시트로 이동이 가능
  - 활성화 된 시트와 활성화 되지 않은 시트를 구분 할 수 있음
  - 시트간의 상관관계를 화살표를 통하여 알 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 02.Summary : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Structure 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Model Structure 하이퍼 링크
  - 05.CAPEX Profile : Model Structure 하이퍼 링크
  - 06.CAPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 07.OPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 08.Other Expenditures : Model Structure 하이퍼 링크
  - 09.Production : Model Structure 하이퍼 링크
  - 10.Pricing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 11.Revenue : Model Structure 하이퍼 링크
  - 12.Cost Recovery : Model Structure 하이퍼 링크
  - 13.Profit Sharing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 14.Financing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 15.Repayment Schedule : Model Structure 하이퍼 링크
  - 16.Income Taxation : Model Structure 하이퍼 링크
  - 17.Working Capital : Model Structure 하이퍼 링크
  - 18.Depreciation Statement : Model Structure 하이퍼 링크

- 19.Cash Flow Statement : Model Structure 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : Model Structure 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : Model Structure 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : Model Structure 하이퍼 링크
- 23.Charts : Model Structure 하이퍼 링크

• Output
- 02.Summary : 02.Summary 하이퍼 링크
- 03.Assumption : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : 04.Risk 하이퍼 링크
- 05.CAPEX Profile : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
- 06.CAPEX : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 07.OPEX : 07.OPEX 하이퍼 링크
- 08.Other Expenditures : 08.Other Expenditures 하이퍼 링크
- 09.Production : 09.Production 하이퍼 링크
- 10.Pricing : 10.Pricing 하이퍼 링크
- 11.Revenue : 11.Revenue 하이퍼 링크
- 12.Cost Recovery : 12.Cost Recovery 하이퍼 링크
- 13.Profit Sharing : 13.Profit Sharing 하이퍼 링크
- 14.Financing : 14.Financing 하이퍼 링크
- 15.Repayment Schedule : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 16.Income Taxation : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
- 17.Working Capital : 17.Working Capital 하이퍼 링크
- 18.Depreciation Statement : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 19.Cash Flow Statement : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 23.Charts : 23.Charts 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (Model Structure)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트에서 연결

• Hyperlink (Model Outline)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트로 연결

❑ Input & Output Sheets

● 2.Summary

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 주요 입출력 변수를 간단하게 나타낸 시트
  - Notice : 모델이 적용되는 부분, 버전, 입력 변수, 출력 변수에 대해 나타냄
  - Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타낸냄
  - Input : 입력 변수 중에 주요한 요소만을 다룸 (공사 기간, 지분, 금액, 수익, 가격, 회계, 등)
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 02.Summary 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Input Variables
  - 22.Feasibility Analysis : Output Variables
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 02.Summary 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Input Variables : 모델의 주요 입력 변수
  - Time Period → Project Starting Year : 3.Assumption에서 'Project_Starting_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Time Period → Starting Operation Year : 3.Assumption에서 'Starting_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Time Period → End Operation Year : 3.Assumption에서 'End_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Cost Estimation → CAPEX : 3.Assumption 시트의 총 공사비
  - Cost Estimation → OPEX : 3.Assumption 시트의 1년 운영관리비
  - Revenue → Gas Wellhead Throughput : 전체 Gas 처리량에 전환율을 곱하여 표현

- Revenue → Gas Wellhead Sales Price : 3.Assumption에서 'Gas_Wellhead Price 1~4'라고 정의된 값에 의해 표현
- Cost Recovery → Cost Recovery Limit : 3.Assumption에서 'Cap_Cost_Recovery"라고 정의된 값에 의해 표현
- Profit Sharing : 3.Assumption에서 Profit Sharing 방법에 따라 표현
- Factor Assumption → Remuneration Fee : 3.Assumption에서 "Remuneration_Fee" 라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Debt Financing : 3.Assumption에서 'Debt_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Income Tax Rate : 3.Assumption에서 'Tax_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Depreciation Method : 3.Assumption에서 컨트롤 박스에서 지정된 값을 통하여 정액법 또는 정률법으로 표현
- Finance → General Inflation Rate : 3.Assumption에서 'Inflation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Cost Estimation Rate : 3.Assumption에서 'Escalation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Discount Rate : 3.Assumption에서 'Discount_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현

• Output Variables : 모델의 주요 출력 변수
- IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
- ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
- NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
- B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
- Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
- $/Ton : 22.Feasibility Analysis에서 'Dollar_per_Ton'라고 정의된 값에 의해 표현

● 3.Assumption

○ 개요

• 주요역할
- 모델의 주요 변수를 입력할 수 있는 시트

- Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타냄
- Input : 최소 20 ~ 최대 50의 변수를 입력 할 수 있음
- CAPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- OPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- Revenue, Production, Cost Recovery, Profit Sharing, Factor, Pricing, Finance, 등의 변수에 대한 입력이 필수적임
- 유가 상승을 고려한 가격 예측이 가능하도록 개발

• 입력 가능 여부
- 입력이 가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
- 05.CAPEX Profile : Model Check
- 06.CAPEX : Model Check
- 07.OPEX : Model Check
- 08.Other Expenditures : Model Check
- 09.Production : Model Check
- 10.Pricing : Model Check
- 11.Revenue : Model Check
- 12.Cost Recovery : Model Check
- 13.Profit Sharing : Model Check
- 14.Financing : Model Check
- 15.Repayment Schedule : Model Check
- 16.Income Taxation : Model Check
- 17.Working Capital : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Model Check
- 19.Cash Flow Statement : Model Check
- 20.Income Statement : Model Check
- 21.Balance Sheet : Model Check
- 22.Feasibility Analysis : Model Check, Output Variables

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

- 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
- 05.CAPEX Profile : Year, CAPEX Schedule
- 06.CAPEX : Year, CAPEX & Economic Assumption
- 07.OPEX : Year, OPEX & Economic Assumption
- 08.Other Expenditures : Year, Other Expenditures Assumption
- 09.Production : Year, Production Assumption
- 10.Pricing : Year, Pricing Assumption
- 11.Revenue : Year, Sharing Ratio, Throughput Assumption
- 12.Cost Recovery : Year, Cost Recovery
- 13.Profit Sharing : Year, Profit Sharing
- 14.Financing : Year, Financing Assumption
- 15.Repayment Schedule : Year, Financing Assumption
- 16.Income Taxation : Year, Financing & Tax Assumption
- 17.Working Capital : Year, Financing Assumption
- 18.Depreciation Statement : Year, Depreciation Assumption
- 19.Cash Flow Statement : Year
- 20.Income Statement : Year, Financing Assumption
- 21.Balance Sheet : Year
- 22.Feasibility Analysis : Year, Economic Assumption
- 23.Charts : Year

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 03.Assumption 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Model Check : 해당 시트의 오류 판단
  - 05.CAPEX Profile ~ 22.Feasibility Analysis 까지 모델을 검산 하여 옳게 계산되면 'OK', 오류가 발견 되면 'ERROR'로 표현
- Output : 모델의 주요 출력 변수
  - IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
  - ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
  - NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
  - B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에

의해 표현

- Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
- $/Ton : 22.Feasibility Analysis에서 'Dollar_per_Ton'라고 정의된 값에 의해 표현

• Revenue-Schedule : 프로젝트의 주요 사건의 시기 및 기간 입력

- Project Life after start-up : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Project Starting Year : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Construction Period : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Starting Operation Year : Construction Period + Project Starting Year (10.Pricing, 14.Financing, 15.Repayment Statement, 18.Depreciation Statement, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- End Operation Year : Starting Operation Year + Project Life after start-up - 1 (10.Pricing, 14.Financing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Finance, Tax, Depreciation : 자원조달, 세금, 감가상각 등에 대한 변수

- Calendar days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Banking Days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Receivables → Service Fee : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Payables → Operating Costs : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)

- Debt Financing : 입력변수 (2.Summary, 15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Equity Contribution : 1- Debt Financing (2.Summary, 14.Financing 시트에 참조)
- Interest Rate on Debt : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Grace Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Repayment Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Income Tax Rate : 입력변수 (16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Loss Carry Forward : 입력변수 (20.Income Statement 시트에 참조)
- Residual Value : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Depreciation Method : 스크롤을 통해 선택 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Term : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Rate : 1 / Depreciation Life (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Declining Balance → Depreciation Rate : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)

• Economy, Accounting : 경제, 회계에 대한 변수
- General Inflation Rate : 입력변수 (2.Summary, 7.OPEX 시트에 참조)
- Cost Escalation Rate : 입력변수 (2.Summary, 6.CAPEX 시트에 참조)
- Applying Escalation : 0 또는 1의 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)
- Discount Rate : 입력변수 (2.Summary, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Cost (CAPEX, OPEX) : Level1부터 3까지 총 초기투자비용 및 총 운영관리비용을 간단하게 계산하거나, 세분화시켜 계산할 수 있도록 함
- CAPEX Level 1 : 입력변수 (변수 1개 : CAPEX) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 2 : 입력변수 (변수 2개 : 1. Exploration, 2. Exploitation) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 3 : 입력변수 (변수 9개: 1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others) (6.CAPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 1 : 입력변수 (변수 2개 : OPEX, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

- OPEX Level 2 : 입력변수 (변수 5개 : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 3 : 입력변수 (변수 8개 :1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

• Revenue : 수익을 계산하기 위한 Gas Wellhead, Condensate의 생산량 가정치를 입력
- Gas Throughput : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Gas to Wellhead Conversion : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Throughput : Gas Throughput * Gas to Wellhead Conversion (9.Production 시트에 참조)
- Condensate from Gas Wellhead Throughput : 입력변수
- Condensate Throughput : Gas Wellhead Throughput * Condensate from Gas Wellhead Throughput (9.Production 시트에 참조)
- Conversion Factor : 입력변수 (11.Revenue 시트에 참조)

• Pricing & Production : 수익을 계산하기 위한 Gas Wellhead, Condensate의 가격 가정치를 입력
- Gas Wellhead Vol.Share 1 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 1 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 1 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 1 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 2 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 2 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 2 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 2 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 3 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 3 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 3 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 3 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 4 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 4 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 4 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 4 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)

- Condensate Sales Price : 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)

- CAPEX Schedule : 총 공사금액의 연도별 조달 금액을 나타냄
  - Year : Project Start Year, Construction Period를 이용, 공사 기간 동안의 년도만을 표현
  - Ratio : 입력변수 (5.CAPEX Profile 시트에 참조)
  - Cost : 전체 공사 비용 x Ratio (5.CAPEX Profile 시트에 참조)
- OPEX Schedule : 운영 기간 동안에 불규칙적으로 발생할 수 있는 금액을 나타냄
  - Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
  - Irregular OPEX : Irregular OPEX가 있을시 'Yes', 없을시 'No'
  - Cost : 입력변수 (7.OPEX 시트에 참조)
- Production Schedule : 연도별 가스 처리량을 비율을 통하여 나타냄
  - Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
  - Ratio : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Gas & Oil Forecast : 미래의 가스 가격에 대한 신뢰성을 위하여 Wellhead Gas, Oil의 최근 가격을 입력하고, 추세식을 도출하여 본 모델의 가격 산출에 사용
  - Historical Wellhead Price → Chart : 입력변수
  - Historical Wellhead Price → Slope : Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Wellhead Price → Revised Constant 1 : Feed Gas Purchase Price Seller 1 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Wellhead Price → Revised Constant 2 : Feed Gas Purchase Price Seller 2 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Oil Price → Chart : 입력변수
  - Historical Oil Price → Slope : Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
  - Historical Oil Price → Revised Constant : Condensate Sales Price - Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Other Expenditures : 총 초기투자비용과 총 운영관리비용 외에 필요한 비용을 나타냄

- Signature Bonus : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
- Production Bonus : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
- Training Budget : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
- Service Fee : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)

• Cost Recovery : 원가회수에 필요한 조건을 나타냄
- Cost Recovery Limit : 입력변수 (12.Cost Recovery 시트에 참조)
- Royalty : 입력변수 (12.Cost Recovery 시트에 참조)

• Profit Sharing : 수익금 분할에 필요한 조건인 R-Factor, IRR-Factor, 등에 대하여 나타냄
- R-Factor : '총 수익/총 비용'을 산출한 값으로 이에 따라 시행사가 받는 금액이 달라짐, 스크롤을 통하여 R-Factor와 IRR-Factor을 선택할 수 있음 (13.Profit Sharing 시트에 참조)
- IRR-Factor : 'IRR'을 산출한 값으로 이에 따라 시행사가 받는 금액이 달라짐, 스크롤을 통하여 R-Factor와 IRR-Factor을 선택할 수 있음 (13.Profit Sharing 시트에 참조)

❑ Process Sheets

● 5. CAPEX Profile

○ 개요

• 주요역할
- 초기 투자 비용의 투자 비율을 나타낸 시트
- 초기 투자 비용의 투자 비율을 통한 초기 투자 비용의 전체적인 Timeline을 확인 할 수 있음

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, CAPEX Schedule

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 06.CAPEX : CAPEX Outflow (%)

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 05.CAPEX Profile 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- CAPEX Outflow (%) (03.Assumption 시트를 참조, 06.CAPEX 시트에 참조)
  - 각 연도별 CAPEX 분배 %
- CAPEX Outflow
  - CAPEX Outflow (%) * Total CAPEX
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Accumulated CAPEX Outflow (%)의 최종 값, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 6. CAPEX

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
  - Level 1 변수 (1개) : CAPEX
  - Level 2 변수 (2개) : 1. Exploration, 2. Exploitation
  - Level 3 변수 (9개) : 1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 06.CAPEX 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, CAPEX & Economic Assumption
  - 05.CAPEX Profile : CAPEX Outflow(%)
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 12.Cost Recovery : Total CAPEX
  - 14.Financing : Total CAPEX
  - 15.Repayment Schedule : Total CAPEX

- 19.Cash Flow Statement : Total CAPEX
- 22.Feasibility Analysis : Total CAPEX
- 23.Charts : Total CAPEX

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 06.CAPEX 버튼을 통하여 01.Model structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- CAPEX Level-1 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-1을 선택
  - Level 1 변수 (1개) * CAPEX Outflow (%)
- CAPEX Level-2 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-2을 선택
  - Level 2 변수 (2개) * CAPEX Outflow (%)
- CAPEX Level-3 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-3을 선택
  - Level 3 변수 (9개) * CAPEX Outflow (%)
- Total CAPEX (12.Cost Recovery, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 19.Cash Flow Statement, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조, 03.Assumption 시트를 참조)
  - CAPEX 구성요소들의 합
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : CAPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 CAPEX의 합
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 7. OPEX

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
  - Level 1 변수 (2개) : OPEX, Irregular OPEX
  - Level 2 변수 (5개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others, Irregular OPEX
  - Level 3 변수 (8개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment

Costs, 7. Others, Irregular OPEX

- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 07.OPEX 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, OPEX & Economic Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 12.Cost Recovery : Total OPEX
  - 13.Profit Sharing : Total OPEX
  - 16.Income Taxation : Total OPEX
  - 17.Working Capital : Total OPEX
  - 19.Cash Flow Statement : Total OPEX
  - 20.Income Statement : Total OPEX
  - 22.Feasibility Analysis : Total OPEX
  - 23.Charts : Total OPEX

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 07.OPEX 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- OPEX Level-1 (03.Assumption 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-1을 선택
  - Level 1 변수 (1개), Irregular OPEX
- OPEX Level-2 (03.Assumption 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-2을 선택
  - Level 2 변수 (5개), Irregular OPEX
- OPEX Level-3 (03.Assumption 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-3을 선택
  - Level 3 변수 (8개), Irregular OPEX
- Total OPEX (12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility

Analysis, 23.Charts 시트에 참조, 03.Assumption 시트를 참조)

- OPEX 구성요소들의 합

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : OPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 OPEX의 합
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 8. Other Expenditures

○ 개요

• 주요역할

- 기타 비용의 Timeline
- Signature Bonus는 첫 해에 일괄 지급
- Production Bonus, Training Fee, Service Fee는 연도별 분할 지급

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 08.Other Expenditures 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Other Expenditures, Economic Assumption

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 12.Cost Recovery : Total Other Expenditures
- 13.Profit Sharing : Other Expenditures in Operating Year
- 14.Financing : Other Expenditures in Operating Year
- 15.Repayment Schedule : Other Expenditures in Operating Year
- 16.Income Taxation : Other Expenditures in Operating Year
- 17.Working Capital : Other Expenditures in Operating Year
- 19.Cash Flow Statement : Total Other Expenditures
- 20.Income Statement : Other Expenditures in Operating Year
- 22.Feasibility Analysis : Total Other Expenditures
- 13.Charts : Total Other Expenditures

○ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 08.Other Expenditures 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결

- Model Structure 버튼을 통하여 08.Other Expenditures 시트로 연결

• Other Expenditures (in Construction Years)

- Signature Bonus : 프로젝트 첫 해 지급

• Other Expenditures (in Operating Years)

- Production Bonus, Training Fee, Service Fee : 연도별 지급

• Total Expenditures

- Other Expenditures (in Construction Years) + Other Expenditures (in Operating Years)

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Other Expenditures 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 Other Expenditures 의 합

- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 9. Production

○ 개요

• 주요역할

- 생산량의 Timeline

- 생산 비율에 따라 Wellhead Gas 판매량, Condensate 판매량에 대한 연도 별 가정 사항이 나타냄

- Wellhead Gas 판매량은 생산 비율과 Wellhead Gas 구매자 지분에 따라 달라짐

- Condensate 판매량은 LNG 처리 비율에 따라 달라짐

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 09.Production 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Year, Production Assumption

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Model Check

- 11.Revenue : Wellhead Gas, Condensate Production

- 13.Profit Sharing : Wellhead Gas, Condensate Production

- 23.Charts : Wellhead Gas, Condensate Production

○ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 09.Production 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Ratio (03.Assumption 시트를 참조)
  - Production에 대한 Timeline
- Gas Wellhead Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 13.Profit Sharing, 23.Charts 시트에 참조)
  - Gas Wellhead : Production Ratio * Gas Throughput
  - Gas Wellhead 1 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 1
  - Gas Wellhead 2 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 2
  - Gas Wellhead 3 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 3
  - Gas Wellhead 4 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 4
- Condensate Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 13.Profit Sharing, 23.Charts 시트에 참조)
  - Production Ratio * Condensate Throughput
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : 전체 가스 용량 비율, Con 2 = 100%
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 10. Pricing

○ 개요

- 주요역할
  - 가격 변동의 Timeline
  - Wellhead Gas 판매 가격, Condensate 판매 가격에 대한 연도 별 가정 사항이 나타남
  - Wellhead Gas 판매 가격은 Wellhead Gas 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐
  - Condensate 판매 가격은 Oil 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 10.Pricing 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Pricing Assumption

- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 11.Revenue : Wellhead Gas, Condensate Pricing
  - 23.Charts : Wellhead Gas, Condensate Pricing

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 10.Pricing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Feed Gas Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - Gas Wellhead Price 1 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 1
  - Gas Wellhead Price 2 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 2
  - Gas Wellhead Price 3 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 3
  - Gas Wellhead Price 4 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 4
- Condensate Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - Oil Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Oil Price Revised Constant
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Feed Gas 생산량에서 판매자가 차지하는 비율, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 11. Revenue

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 수익의 Timeline
  - (Wellhead Gas 판매 수익 + Condensate 판매 수익)을 통해 총 수익을 도출
  - Wellhead Gas 판매 비용은 (Wellhead Gas Production * Wellhead Gas Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산

- Condensate 판매 비용은 (Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 11.Revenue 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Throughput Assumption
- 09.Production : Wellhead Gas, Condensate Production
- 10.Pricing : Wellhead Gas, Condensate Pricing

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 12.Cost Recovery : Total Revenue

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 11.Revenue 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Wellhead Gas Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)

- Wellhead Gas Turnover 1 : Gas Production 1 * Gas Pricing 1 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover 2 : Gas Production 2 * Gas Pricing 2 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover 3 : Gas Production 3 * Gas Pricing 3 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover 4 : Gas Production 4 * Gas Pricing 4 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover-Sub Total : Wellhead Gas Turnover 1 + Wellhead Gas Turnover 2 + Wellhead Gas Turnover 3 + Wellhead Gas Turnover 4

• Condensate Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)

- Condensate Sales Price Turnover : Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor

- Total Revenue (12.Cost Recovery 시트에 참조)
  - Wellhead Gas Turnover + Condensate Turnover
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Revenue 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 Revenue의 합
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 12. Cost Recovery

○ 개요

- 주요역할
  - 원가회수의 Timeline
  - Royalty를 적용한 수익 도출
  - 3.Assumption에서 제시된 값을 통하여 Cost Recovery Capacity 도출
  - Cost Recovery Capacity와 소요 비용에서 Cost Recovery 누적액 차의 최소 값을 원가 회수 금액으로 선택
  - Revenue after Royalty에서 Cost Recovery 값의 차를 통하여 Before Profit Gas Split을 도출
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 12.Cost Recovery 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Cost Recovery
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 08.Other Expenditures : Total Expenditures
  - 11.Revenue : Total Revenue
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 13.Profit Sharing : Before Profit Gas Split
  - 16.Income Taxation : Cost Recovery
  - 17.Working Capital : Cost Recovery
  - 19.Cash Flow Statement : Cost Recovery
  - 20.Income Statement : Cost Recovery

- 23.Charts : Cost Recovery

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 12.Cost Recovery 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 12.Cost Recovery 시트로 연결
- Royalty (03.Assumption, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Revenue after Royalty : Total Revenue * Royalty
- Recovery Cap (03.Assumption 시트를 참조)
  - Revenue after Royalty * Cost Recovery Limit
- Incurred Cost (06.CAPEX, 07.OPEX, 08.Other Expenditures 시트를 참조)
  - Incurred Cost = Total CAPEX + Total OPEX + Other Expenditures
- Cost Recovery (16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
  - Recovery after Royalty와 Incurred Costs-Cost Recovery 누적액의 최솟값
- Before Profit Gas Split (13.Profit Sharing 시트에 참조)
  - Revenue after Royalty - Cost Recovery
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Revenue after Royalty - Cost Recovery, Con 2 : Before Profit Gas Split
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 13. Profit Sharing

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 수익금 분할의 Timeline
  - R Factor : 누적 수익을 누적 비용으로 나누어 R Factor를 도출 한 후, 3.Assumption에서 가정한 값을 기준으로 Contractor Share와 Government Share를 지정
  - IRR Factor : 누적 IRR을 도출 한 후, 3.Assumption에서 가정한 값을 기준으로 Contractor Share와 Government Share를 지정
  - Contractor Share와 Government Share는 3.Assumption에서 지정된 Factor 값을 통해 선정
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 12.Cost Recovery 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Profit Sharing
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 08.Other Expenditures : Total Expenditures
  - 09.Production : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 12.Cost Recovery : Before Profit Gas Split
  - 22.Feasibility Analysis : Free Cash Flow
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 16.Income Taxation : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 17.Working Capital : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 19.Cash Flow Statement : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 20.Income Statement : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 23.Charts : Contractor Share, Remuneration Fee

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 13.Profit Sharing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 13.Profit Sharing 시트로 연결
- R-Factor (03.Assumption, 06.CAPEX, 07.OPEX, 08.Other Expenditures 시트를 참조)
  - R Factor : 누적 수익 / 누적 비용
  - Contractor Share : R Factor를 비교하여 3.Assumption에서 가정한 값을 채택
- IRR-Factor (03.Assumption, 22.Feasibility Analysis 시트를 참조)
  - IRR Factor : 22.Feasibility Analysis의 Free Cash Flow의 IRR Factor 값을 도출
  - Contractor Share : IRR Factor를 비교하여 3.Assumption에서 가정한 값을 채택
- Contractor & Government Share (16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
  - Profit Share =1 → Contractor Share & Government Share = R-Factor

- Profit Share =2 → Contractor Share & Government Share = IRR-Factor

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Government's Share (R-Factor) = Government's Share, Con 2 : Government's Share (IRR-Factor) = Government's Share
- Con 1 or Con 2 = OK → "OK", Con 1 or Con 2 = ERROR → "ERROR"

● 14. Financing

ㅇ 개요

• 주요역할

- 재원 조달의 Timeline
- 예치 기간에 의하여 재원 조달을 공사 이전과 이후로 나눌 수 있음
- 건설 도중에 발생되는 이자를 더하여 정확한 재원 조달 금액을 알 수 있음
- 재원을 자본금과 대출금으로 구분 하여 나타냄

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 14.Financing 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Funding Requirement
- 21.Balance Sheet : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 22.Feasibility Analysis : Equity
- 23.Charts : Equity, Funding Requirement

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 14.Financing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Funding Requirement (23.Charts 시트에 참조, 15.Repayment Schedule 시트를 참조)

- Funding Requirement : Funding Requirement (Before Operating) + Funding Requirement (After Operating)
- Funding Requirement (Before Operating) : Total CAPEX + Interest during construction
- Funding Requirement (After Operating) : Drawdown - Qualified capital expenditure - Interest during construction

• Accumulated Assets (21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Funding Requirement의 누적액

• Equity (3.Assumption, 6.CAPEX 시트를 참조, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조
- Equity : Total CAPEX * Equity Ratio
- Accumulated Equity : Equity의 누적액

• Capex not Financed yet
- Funding Requirement - Equity

• Funding Schedule
- Equity + Capex not Financed yet

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Funding Requirement, Con 2 : Funding Schedule
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 15. Repayment Schedule

○ 개요

• 주요역할
- 상환 금액의 Timeline
- 대출금에 대한 총 금액을 실제 필요한 금액과 이자의 합으로 나누어 나타냄
- 각 연도 별 개시잔액과 결산잔고를 나누어 나타냄
- 공사가 끝난 후의 대출금에 대한 이자를 나타냄
- 원리금 균등 상환 방법을 통하여 연도별 상환되는 금액과 그 총액을 나타냄

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption

- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 14.Financing : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure
- 16.Income Taxation : Interest
- 19.Cash Flow Statement : Interest, Repayment
- 20.Income Statement : Interest
- 21.Balance Sheet : Closing Balance
- 22.Feasibility Analysis : Interest, Repayment
- 23.Charts : Interest, Repayment

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 15.Repayment Schedule 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Opening & Closing Balance (21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Opening Balance : 이전 연도 Closing Balance
- Closing Balance : Opening Balance + Drawdown + Repayment

• Drawdown (3.Assumption 시트를 참조, 14.Financing 시트에 참조)
- Qualified capital expenditure : Total CAPEX * Debt Ratio
- Interest during construction : Opening Balance * Interest Rate
- Drawdown : Qualified capital expenditure + Interest during construction + Interest during grace period

• Debt Service Available Period (3.Assumption 시트를 참조)
- Repayment 해당 연도를 1로 표시 (그 외는 0)

• Interest (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)
- Opening Balance * Interest Rate

• Repayment
- Carry Forward Debt Service : 상환금액이 수익보다 많을 시에 다음 년도로 이월되는 금액
- Repayment : 각 연도별 상환 금액 (원리금 균등 상환)

- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Opening Balance, Con 2 : Closing Balance
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 16. Income Taxation

○ 개요

- 주요역할
  - 소득세의 Timeline
  - 총 수익과 총 운영관리 비용을 통하여 순 운영소득을 구함
  - 순 운영소득에서 감가상각과 이자비용을 고려하여 과세소득을 구함
  - 과세소득에서 손실을 고려한 과세이득을 구함
  - 과세이득에서 법인세율에 따른 소득세를 구함
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing & Tax Assumption
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 11.Revenue : Total Revenue
  - 15.Repayment Schedule : Interest
  - 18.Depreciation Statement : Depreciation
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 20.Income Statement : Tax

○ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 16.Income Taxation 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Operating Income (7.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Total Revenue : 해당 연도 총 수익
  - Operating Costs : 해당 연도 총 운영관리 비용
  - Operating Income : Total Revenue - Operating Costs

- Taxable Income (15.Repayment Schedule, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
  - Fiscal Depreciation : 해당 연도 감가상각 금액
  - Interest Expenses : 해당 연도 이자 금액
  - Operating Income - Fiscal Depreciation - Interest Expenses
- Loss
  - Loss Incurred : 해당 연도 Taxable Income과 0의 최솟값
  - Loss Written off :
  - Cumulative Loss :
- Taxable Profit
  - (Taxable Income - Loss Written off, 0)의 최댓값
- Taxable Profit (3.Assumption 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)
  - Taxable Profit * Income Tax
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Taxable Profit * Tax Rate, Con 2 : Tax
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 17. Working Capital

○ 개요

- 주요역할
  - 운전 자본의 Timeline
  - 1달간의 이익과 지출의 차이를 운전 자본이라 고려함
  - 운전 자본은 유동 자산의 일부로 재무상태표에서 계산 됨
  - 운전 자본의 차액은 현금 흐름표에서 지출로 계산 됨
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 17.Working Capital 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 11.Revenue : Total Revenue
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Model Check
- 19.Cash Flow Statement : Change in Working Capital
- 21.Balance Sheet : Net Working Capital

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 17.Working Capital 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Receivables (3.Assumption, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Selling Fee : Total Revenue * (Banking days per month days / Banking days per year days)
- Payables (3.Assumption, 7.OPEX 시트를 참조)
  - Operating Costs : Total OPEX * (Calendar days per month days / Calendar days per year days)
- Working Capital (19.Cash Flow Statement 시트에 참조)
  - Net Working Capital : Selling Fee - Operating Costs
  - Change in Working Capital : 당해 연도 Net Working Capital - 이전 연도 Net Working Capital
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Service Fee - Operating Costs, Con 2 : Net Working Capital
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 18. Depreciation Statement

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 감가 상각의 Timeline
  - 정액법, 정률법 모두를 나타낸냄
  - 정액법, 정률법 중 3.Assumption 시트에서 선택된 한 가지 방법을 통하여 나머지 시트를 계산
  - 감가 상각액을 통하여 손익계산서를 도출
  - 누적 감가 상각액을 통하여 재무상태표를 도출
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input

- 01.Model Structure : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Depreciation Assumption
- 14.Financing : Funding Requirement

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 16.Income Taxation : Depreciation
- 20.Income Statement : Depreciation
- 21.Balance Sheet : Accumulated Depreciation

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 18.Depreciation Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Straight Line (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
- Residual Value : 잔존가치 비율
- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Straight Line (Depreciation) (3.Assumption 시트를 참조)
- Depreciation : Total Funding Requirement * (1-Residual Value)
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Year) + Depreciation (Present Year)

• Declining Balance (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Declining Balance (Depreciation)
- Depreciation : Gross Block of Depreciation Assets *
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Years) + Depreciation (Present Year)

• Depreciation (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Depreciation : Straight Line과 Declining Balance 중 Depreciation Method를 선택

- Accumulated Depreciation : Depreciation의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : 감가상각 방법이 정액법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정액법, Con 2 : 감가상각 방법이 정률법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정률법
- Condition 1 or Condition 2 = OK → "OK", Condition 1 or Condition 2 = ERROR → "ERROR"

● 19. Cash Flow Statement

○ 개요

• 주요역할

- 현금 흐름표의 Timeline
- 수익, 총 초기투자비, 총 운영관리비, 세금, 운전자본 등을 계산하여 순 현금 흐름표 도출
- 순 현금 흐름표에 이자와 상환 금액을 계산하여 투자자의 현금 흐름표를 도출
- 투자자의 현금 흐름표와 누적 캐시포지션, 순 수익과 유보 이익을 통하여 배당금 도출
- 배당금을 통하여 캐시포지션, 누적 캐시포지션을 도출

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year
- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 07.OPEX : Total OPEX
- 11.Revenue : Total Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 17.Working Capital : Change in Working Capital
- 20.Income Statement : Tax

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 15.Repayment Schedule : Net Cash Flow

- 20.Income Statement : Dividend
- 21.Balance Sheet : Cash Position
- 22.Feasibility Analysis : Net Cash Flow
- 23.Charts : Net Cash Flow

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 19.Cash Flow Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Net Cash Flow (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue, 17.Working Capital, 20.Income Statement 시트를 참조, 15.Repayment Schedule, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조)
  - Revenue : Total Revenue
  - CAPEX : Total CAPEX
  - OPEX : Total OPEX
  - Tax : 이전년도 Tax
  - Working Capital Requirement : Working Capital Requirement
  - Net Cash Flow : Revenue - CAPEX - OPEX - Tax - Working Capital Requirement
  - Accumulated Net Cash Flow : Net Cash Flow의 누적 금액
- Net Cash Flow Shareholders (15.Repayment Schedule 시트를 참조, 23.Charts 시트에 참조)
  - Interest : Debt에 대한 이자
  - Repayment : Repayment Timeline
  - Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow - Interest - Repayment
  - Accumulated Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow Available for Shareholders 누적 금액
- Dividends (3.Assumption, 20.Income Statement 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Cash Position (3.Assumption 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
  - Change in Cash : Net Cash Flow Available for Shareholders + Dividends
  - Accumulated Cash Position : Change in Cash의 누적 금액
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Net Cash Flow - Interest - Repayment, Con 2 : Net Cash Flow Available for Shareholders
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 20. Income Statement

○ 개요

- 주요역할
  - 손익 계산서의 Timeline
  - 총 수익, 운영 비용을 계산 하여 운영 수익을 도출
  - 운영 수익, 감가상각을 계산 하여 순 운영 수익을 도출
  - 순 운영 수익, 이자를 계산 하여 소득세 지출 전 수익을 도출
  - 소득세 지출 전 수익, 소득세를 계산 하여 순 수익을 도출
  - 순 수익, 배당금을 계산 하여 유보 이익을 도출
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 20.Income Statement 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 11.Revenue : Total Revenue
  - 15.Repayment Schedule : Interest
  - 16.Income Taxation : Tax
  - 18.Depreciation Statement : Depreciation
  - 19.Cash Flow Statement : Dividend
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Tax
  - 21.Balance Sheet : Tax, Accumulated Retaining Earning
  - 22.Feasibility Analysis : Dividend

○ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 20.Income Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결

- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Loss (3.Assumption, 7.OPEX, 11.Revenue, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)

- Loss Carry Forward : 손실의 순연
- Loss : (Total Revenue - Total OPEX - Depreciation)과 0의 최솟값 + 이전 년도 과세소득과 0의 최솟값의 합

• Operating Income (07.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)

- Total Revenue : Total Revenue
- Operating Costs : Total OPEX
- Operating Income : Total Revenue - Operating Costs

• Net Operating Income (18.Depreciation Statement 시트를 참조)

- Fiscal Depreciation : Depreciation 금액
- Net Operating Income : Operating Income - Fiscal Depreciation

• Net Income (15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation 시트를 참조, 22.Feasibility Anlaysis 시트에 참조)

- Interest Expenses : Interest for debt
- Income Before Income Taxes : Net Operating Income - Interest Expenses
- Tax : Income Tax
- Net Income : Income Before Income Taxes - Tax

• Retaining Earning (19.Cash Flow Statement 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)

- Dividends : Dividends for shareholders
- Retained Earning : Net Income - Dividends
- Accumulated Retained Earning : Retained Earning의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Taxable Income * Tax Rate, Con 2 : Tax
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 21. Balance Sheet

○ 개요

• 주요역할

- 재무 상태표의 Timeline
- 자산 = 유동자산 (운전자본 + 캐시포지션) + 고정자산 (총 투자비용 - 감가상각 누적액)

- 부채 = 단기부채 (세금) + 장기부채 (결산잔고)
- 자본 = 투자자 자본 + 유보이익
- 자산 = 부채 + 자본

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year
- 14.Financing : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 15.Repayment Schedule : Closing Balance
- 17.Working Capital : Net Working Capital
- 18.Depreciation Statement : Accumulated Depreciation
- 19.Cash Flow Statement : Cash Position
- 20.Income Statement : Tax, Accumulated Retaining Earning

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 21.Balance Sheet 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Assets (3.Assumption, 14.Financing, 17.Working Capital, 18.Depreciation Sheet, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Working Capital : 운전자본
- Cash Position : 현금 유동성
- Current Asset : Working Capital - Cash Position
- Gross Fixed Asset : 총 고정자산
- Accumulated Depreciation : 감가상각
- Net Fixed Assets : Gross Fixed Asset - Accumulated Depreciation
- Total Assets : Current Asset + Net Fixed Assets

• Liability (.Assumption, 15.Repayment Schedule, 20.Income Statement 시트를 참조)

- Current Liabilities : 단기 부채
- Long term Liabilities : 장기 부채
- Total Liabilities : Current Liabilities + Long term Liabilities

• Equity
- Shareholder's Equity : 투자자의 자본
- Accumulated Retained Earning : 누적 잉여금
- Total Equity : Shareholder's Equity + Accumulated Retained Earning

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Total Assets, Con 2 : Total Liabilities + Total Equity
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

❑ Output Sheets

● 22. Feasibility Analysis

○ 개요

• 주요역할
- 모델의 주요 Output 도출
- Net Cash Flow를 통하여 NPV, IRR 도출
- Shareholder Cash Flow를 통하여 ROE 도출
- Discounted Net Cash Flow를 통하여 B/C Ratio, Payback Period 도출
- Annual Debt을 통하여 Minimum DSCR 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Economic Assumption
- 14.Financing : Equity
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
- 20.Income Statement : Dividend

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 02.Summary : Output Variables

- 03.Assumption : Model Check, Output Variables

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 22.Feasibility Analysis 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- NPV, IRR (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Net Cash Flow : 프로젝트의 현금흐름
  - NPV : 프로젝트의 비용 및 수익을 현재가치법으로 계산
  - IRR :프로젝트의 비용 및 수익을 내부수익률 기법으로 계산
- ROE (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 14.Financing, 20.Income Statement 시트를 참조)
  - Equity : 프로젝트에 투입된 자본
  - Dividend : 프로젝트 투자자들에게 주어지는 배당금
  - Shareholder's Cash Flow : Equity + Dividend
  - ROE : 프로젝트 투자자들의 내부수익률
- B/C Ratio (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 3.Assumption 시트를 참조)
  - Discounted Net Cash Flow : 할인율이 고려된 현금흐름표
  - Benefit : 프로젝트의 총 수익을 현재가치로 표현
  - Cost : 프로젝트의 총 비용을 현재가치로 표현
  - B/C Ratio : Benefit / -Costs
- Payback Period (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)
  - Base Period : 프로젝트의 진행 기간
  - Payback Period : 프로젝트의 원금이 회수가 완료된 기간
  - Payback Period : Base Period에서 Payback Period가 감안된 연도
- Minimum DSCR, $/Ton (3.Assumption, 15.Repayment Schedule 시트를 참조, 2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)
  - Annual Debt : Interest + Repayment
  - DSCR : Net Cash Flow / Annual Debt
  - Minimum DSCR : DSCR 값 중 최솟값
  - $/Ton : (Total CAPEX + Total OPEX + Total Other Expenditures) / Total Production
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : NPV value, Con 2 : Total Discounted Fee Cash Flow
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 23. Charts

○ 개요

- 주요역할
  - 주요 데이터를 차트화
  - Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate의 가격
  - Production : Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량
  - CAPEX & OPEX : 총 투자 비용, 총 운영관리 비용
  - Funding Requirement & Debt Service : 필요한 자본, 대출 자본
  - Equity & Dividends : 투입 자본, 배당금
  - Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 23.Charts 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 09.Production : Feed Gas, LNG, Condensate Production
  - 10.Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing
  - 11.Revenue : Total Revenue
  - 14.Financing : Equity, Funding Requirement
  - 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
  - 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

○ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Pricing (9.Pricing 시트를 참조)

- Feed Gas 가격 (Seller 1, Seller 2)
- LNG 가격 (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
- Condensate의 가격

• Production (10.Production 시트를 참조)
- Feed Gas 생산량 (MMBtu) (Seller 1, Seller 2)
- LNG 생산량 (MMBtu) (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
- Condensate의 생산량 (bbl)

• CAPEX & OPEX (6.CAPEX, 7.OPEX 시트를 참조)
- CAPEX : Total CAPEX
- OPEX : Total OPEX

• Funding Requirement & Debt Service (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Funding Requirement : Funding Requirement
- Debt Service : Repayment : Interest + Repayment

• Equity & Dividends (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Equity : Equity
- Dividend : Dividend

• Cash Flow (19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Net Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

❑ Risk Analysis

● 4. Risk

ㅇ **개요**

• 주요역할
- @Risk 사용 시 활성화
- Fluctuation Range (Min, Ml, Max) : 변동범위의 최소, 최빈, 최대
- Variable Range (Min, Ml, Max) : 변수의 최소, 최빈, 최대
- Risk의 적용 가능 변수 : CAPEX Level 1 (1개), CAPEX Level 2 (22개), CAPEX Level 3 (9개), OPEX Level 1 (1개), OPEX Level 2 (4개), OPEX

Level 3 (7개), Revenue (3개), Pricing (5개), Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting (6개)

- Risk 분야를 고려하여 결정론적인 결과를 확률론적으로 변환

• 입력 가능 여부

- 입력이 가능한 시트
- 입력을 수행하면 3.Assumption 시트의 일부 변수들(Risk 적용 변수)은 입력이 4.Risk 시트에서만 가능

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 4.Risk 하이퍼 링크

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Risk 적용된 변수
- 22.Feasibility Analysis : Output Variable 시뮬레이션

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

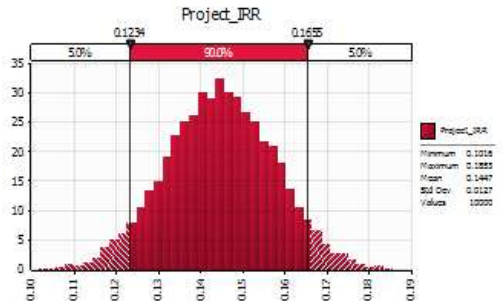
- 04.Risk 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Fluctuation Range

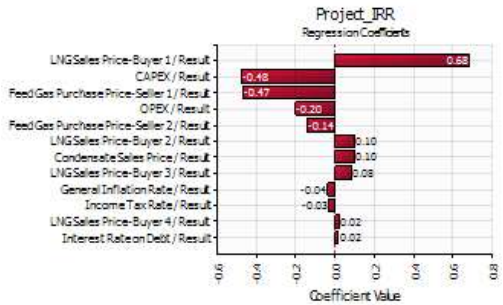
- CAPEX Level 1 : 변수 1개(CAPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- CAPEX Level 2 : 변수 2개(1. Exploration, 2. Exploitation에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- CAPEX Level 3 : 변수 9개(1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 1 : 변수 1개(OPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 2 : 변수 4개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 3 : 변수 7개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Revenue : 변수 3개(Gas Throughput, Gas to Wellhead Conversion, Condensate from Gas Wellhead Throughput)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위

- Pricing : 변수 5개(Gas Wellhead Price 1, Gas Wellhead Price 2, Gas Wellhead Price 3, Gas Wellhead Price 4, Condensate Sales Price)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting : 변수 6개(Debt Financing, Interest Rate on Debt, Income Tax Rate, General Inflation Rate, Cost Escalation Rate, Discount Rate)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- 최빈값은 100%

- Variable Range
  - MI 값은 직접 입력 (03.Assumption 시트의 입력 값과 같음)
  - Min = Fluctuation Range (Min) * MI Value
  - Man = Fluctuation Range (Max) * MI Value
- Result (03.Assumption 시트에 참조)
  - 03.Assumption 시트의 해당 변수 부분에 참조
- Simulation : Output Variables 마다 시뮬레이션 수행 (22.Feasibility Analysis 시트에 참조)



Probability Density Function



Sensitive Analysis

해외사업모델 경제적 타당성 평가 모델(Manual)

- Upstream : Service Contract -

- ❑ Model Structure
- ❑ Input & Output Sheets
- ❑ Process Sheets
- ❑ Output Sheets
- ❑ Risk Analysis

❑ Model Structure

● 1.Model Structure

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 전반적인 구조를 나타내는 시트
  - 23개의 시트를 Input & Output 부분, Process 부분, Output 부분으로 구조를 나타낸다.
  - Process 부분은 Cost, Revenue, Finance, Accounting, Financial Statement 의 부분으로 나눌 수 있다.
  - 하이퍼 링크를 통하여 각각의 시트로 이동이 가능
  - 활성화 된 시트와 활성화 되지 않은 시트를 구분 할 수 있다.
  - 시트간의 상관관계를 화살표를 통하여 알 수 있다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 02.Summary : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Structure 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Model Structure 하이퍼 링크
  - 05.CAPEX Profile : Model Structure 하이퍼 링크
  - 06.CAPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 07.OPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 08.Other Expenditures : Model Structure 하이퍼 링크
  - 09.Production : Model Structure 하이퍼 링크
  - 10.Pricing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 11.Revenue : Model Structure 하이퍼 링크
  - 12.Cost Recovery : Model Structure 하이퍼 링크
  - 13.Profit Sharing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 14.Financing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 15.Repayment Schedule : Model Structure 하이퍼 링크
  - 16.Income Taxation : Model Structure 하이퍼 링크
  - 17.Working Capital : Model Structure 하이퍼 링크
  - 18.Depreciation Statement : Model Structure 하이퍼 링크

- 19.Cash Flow Statement : Model Structure 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : Model Structure 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : Model Structure 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : Model Structure 하이퍼 링크
- 23.Charts : Model Structure 하이퍼 링크

• Output
- 02.Summary : 02.Summary 하이퍼 링크
- 03.Assumption : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : 04.Risk 하이퍼 링크
- 05.CAPEX Profile : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
- 06.CAPEX : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 07.OPEX : 07.OPEX 하이퍼 링크
- 08.Other Expenditures : 08.Other Expenditures 하이퍼 링크
- 09.Production : 09.Production 하이퍼 링크
- 10.Pricing : 10.Pricing 하이퍼 링크
- 11.Revenue : 11.Revenue 하이퍼 링크
- 12.Cost Recovery : 12.Cost Recovery 하이퍼 링크
- 13.Profit Sharing : 13.Profit Sharing 하이퍼 링크
- 14.Financing : 14.Financing 하이퍼 링크
- 15.Repayment Schedule : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 16.Income Taxation : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
- 17.Working Capital : 17.Working Capital 하이퍼 링크
- 18.Depreciation Statement : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 19.Cash Flow Statement : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 23.Charts : 23.Charts 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (Model Structure)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트에서 연결

• Hyperlink (Model Outline)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트로 연결

❑ Input & Output Sheets

● 2.Summary

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 주요 입출력 변수를 간단하게 나타낸 시트
  - Notice : 모델이 적용되는 부분, 버전, 입력 변수, 출력 변수에 대해 나타낸다.
  - Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타낸다.
  - Input : 입력 변수 중에 주요한 요소만을 다룸 (공사 기간, 지분, 금액, 수익, 가격, 회계, 등)
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 02.Summary 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Input Variables
  - 22.Feasibility Analysis : Output Variables
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 02.Summary 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Input Variables : 모델의 주요 입력 변수
  - Time Period → Project Starting Year : 3.Assumption에서 'Project_Starting_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Time Period → Starting Operation Year : 3.Assumption에서 'Starting_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Time Period → End Operation Year : 3.Assumption에서 'End_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Cost Estimation → CAPEX : 3.Assumption 시트의 총 공사비
  - Cost Estimation → OPEX : 3.Assumption 시트의 1년 운영관리비
  - Revenue → Gas Wellhead Throughput : 전체 Gas 처리량에 전환율을 곱하여 표현

- Revenue → Gas Wellhead Sales Price : 3.Assumption에서 'Gas_Wellhead Price 1~4'라고 정의된 값에 의해 표현
- Cost Recovery → Cost Recovery Limit : 3.Assumption에서 'Cap_Cost_Recovery"라고 정의된 값에 의해 표현
- Profit Sharing : 3.Assumption에서 Profit Sharing 방법에 따라 표현
- Factor Assumption → Remuneration Fee : 3.Assumption에서 "Remuneration_Fee" 라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Debt Financing : 3.Assumption에서 'Debt_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Income Tax Rate : 3.Assumption에서 'Tax_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Depreciation Method : 3.Assumption에서 컨트롤 박스에서 지정된 값을 통하여 정액법 또는 정률법으로 표현
- Finance → General Inflation Rate : 3.Assumption에서 'Inflation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Cost Estimation Rate : 3.Assumption에서 'Escalation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Discount Rate : 3.Assumption에서 'Discount_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현

• Output Variables : 모델의 주요 출력 변수
- IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
- ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
- NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
- B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
- Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
- $/Ton : 22.Feasibility Analysis에서 'Dollar_per_Ton'라고 정의된 값에 의해 표현

● 3.Assumption

○ 개요

• 주요역할

- 모델의 주요 변수를 입력할 수 있는 시트
- Output : 총 7가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타낸다.
- Input : 최소 20 ~ 최대 50의 변수를 입력 할 수 있다.
- CAPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- OPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- Revenue, Production, Cost Recovery, Profit Sharing, Factor, Pricing, Finance, 등의 변수에 대한 입력이 필수적이다.
- 유가 상승을 고려한 가격 예측이 가능하도록 개발

• 입력 가능 여부
- 입력이 가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
- 05.CAPEX Profile : Model Check
- 06.CAPEX : Model Check
- 07.OPEX : Model Check
- 08.Other Expenditures : Model Check
- 09.Production : Model Check
- 10.Pricing : Model Check
- 11.Revenue : Model Check
- 12.Cost Recovery : Model Check
- 13.Profit Sharing : Model Check
- 14.Financing : Model Check
- 15.Repayment Schedule : Model Check
- 16.Income Taxation : Model Check
- 17.Working Capital : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Model Check
- 19.Cash Flow Statement : Model Check
- 20.Income Statement : Model Check
- 21.Balance Sheet : Model Check
- 22.Feasibility Analysis : Model Check, Output Variables

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
- 05.CAPEX Profile : Year, CAPEX Schedule
- 06.CAPEX : Year, CAPEX & Economic Assumption
- 07.OPEX : Year, OPEX & Economic Assumption
- 08.Other Expenditures : Year, Other Expenditures Assumption
- 09.Production : Year, Production Assumption
- 10.Pricing : Year, Pricing Assumption
- 11.Revenue : Year, Sharing Ratio, Throughput Assumption
- 12.Cost Recovery : Year, Cost Recovery
- 13.Profit Sharing : Year, Profit Sharing
- 14.Financing : Year, Financing Assumption
- 15.Repayment Schedule : Year, Financing Assumption
- 16.Income Taxation : Year, Financing & Tax Assumption
- 17.Working Capital : Year, Financing Assumption
- 18.Depreciation Statement : Year, Depreciation Assumption
- 19.Cash Flow Statement : Year
- 20.Income Statement : Year, Financing Assumption
- 21.Balance Sheet : Year
- 22.Feasibility Analysis : Year, Economic Assumption
- 23.Charts : Year

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 03.Assumption 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Model Check : 해당 시트의 오류 판단
  - 05.CAPEX Profile ~ 22.Feasibility Analysis 까지 모델을 검산 하여 옳게 계산되면 'OK', 오류가 발견 되면 'ERROR'로 표현
- Output : 모델의 주요 출력 변수
  - IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
  - ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
  - NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
  - B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현

- Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
- Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
- $/Ton : 22.Feasibility Analysis에서 'Dollar_per_Ton'라고 정의된 값에 의해 표현

• Revenue-Schedule : 프로젝트의 주요 사건의 시기 및 기간 입력
- Project Life after start-up : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Project Starting Year : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Construction Period : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 8.Other Expenditures, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
- Starting Operation Year : Construction Period + Project Starting Year (10.Pricing, 14.Financing, 15.Repayment Statement, 18.Depreciation Statement, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- End Operation Year : Starting Operation Year + Project Life after start-up - 1 (10.Pricing, 14.Financing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Finance, Tax, Depreciation : 자원조달, 세금, 감가상각 등에 대한 변수
- Calendar days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)

- Banking Days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Receivables → Service Fee : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Payables → Operating Costs : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Debt Financing : 입력변수 (2.Summary, 15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Equity Contribution : 1- Debt Financing (2.Summary, 14.Financing 시트에 참조)
- Interest Rate on Debt : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Grace Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Repayment Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Income Tax Rate : 입력변수 (16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Loss Carry Forward : 입력변수 (20.Income Statement 시트에 참조)
- Residual Value : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Depreciation Method : 스크롤을 통해 선택 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Term : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Rate : 1 / Depreciation Life (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Declining Balance → Depreciation Rate : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)

• Economy, Accounting : 경제, 회계에 대한 변수
- General Inflation Rate : 입력변수 (2.Summary, 7.OPEX 시트에 참조)
- Cost Escalation Rate : 입력변수 (2.Summary, 6.CAPEX 시트에 참조)
- Applying Escalation : 0 또는 1의 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)
- Discount Rate : 입력변수 (2.Summary, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Cost (CAPEX, OPEX) : Level1부터 3까지 총 초기투자비용 및 총 운영관리비용을 간단하게 계산하거나, 세분화시켜 계산할 수 있도록 함
- CAPEX Level 1 : 입력변수 (변수 1개 : CAPEX) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 2 : 입력변수 (변수 2개 : 1. Exploration, 2. Exploitation) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 3 : 입력변수 (변수 9개: 1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production

Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others) (6.CAPEX 시트에 참조)

- OPEX Level 1 : 입력변수 (변수 2개 : OPEX, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 2 : 입력변수 (변수 5개 : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 3 : 입력변수 (변수 8개 :1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

• Revenue : 수익을 계산하기 위한 Gas Wellhead, Condensate의 생산량 가정치를 입력

- Gas Throughput : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Gas to Wellhead Conversion : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Throughput : Gas Throughput * Gas to Wellhead Conversion (9.Production 시트에 참조)
- Condensate from Gas Wellhead Throughput : 입력변수
- Condensate Throughput : Gas Wellhead Throughput * Condensate from Gas Wellhead Throughput (9.Production 시트에 참조)
- Conversion Factor : 입력변수 (11.Revenue 시트에 참조)

• Pricing & Production : 수익을 계산하기 위한 Gas Wellhead, Condensate의 가격 가정치를 입력

- Gas Wellhead Vol.Share 1 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 1 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 1 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 1 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 2 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 2 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 2 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 2 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 3 : 입력변수
- Gas Wellhead Vol 3 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 3 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 3 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Gas Wellhead Vol.Share 4 : 입력변수

- Gas Wellhead Vol 4 : Gas Wellhead Throughput * Gas Wellhead Vol.Share 4 (9.Production 시트에 참조)
- Gas Wellhead Price 4 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Condensate Sales Price : 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)

• CAPEX Schedule : 총 공사금액의 연도별 조달 금액을 나타냄
- Year : Project Start Year, Construction Period를 이용, 공사 기간 동안의 년도만을 표현
- Ratio : 입력변수 (5.CAPEX Profile 시트에 참조)
- Cost : 전체 공사 비용 x Ratio (5.CAPEX Profile 시트에 참조)

• OPEX Schedule : 운영 기간 동안에 불규칙적으로 발생할 수 있는 금액을 나타냄
- Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
- Irregular OPEX : Irregular OPEX가 있을시 'Yes', 없을시 'No'
- Cost : 입력변수 (7.OPEX 시트에 참조)

• Production Schedule : 연도별 가스 처리량을 비율을 통하여 나타냄
- Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
- Ratio : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)

• Gas & Oil Forecast : 미래의 가스 가격에 대한 신뢰성을 위하여 Wellhead Gas, Oil의 최근 가격을 입력하고, 추세식을 도출하여 본 모델의 가격 산출에 사용
- Historical Wellhead Price → Chart : 입력변수
- Historical Wellhead Price → Slope : Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Historical Wellhead Price → Revised Constant 1 : Feed Gas Purchase Price Seller 1 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Historical Wellhead Price → Revised Constant 2 : Feed Gas Purchase Price Seller 2 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Historical Oil Price → Chart : 입력변수
- Historical Oil Price → Slope : Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Historical Oil Price → Revised Constant : Condensate Sales Price -

Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Other Expenditures : 총 초기투자비용과 총 운영관리비용 외에 필요한 비용을 나타냄
  - Signature Bonus : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
  - Production Bonus : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
  - Training Budget : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
  - Service Fee : 입력변수 (8.Other Expenditures 시트에 참조)
- Cost Recovery : 원가회수에 필요한 조건을 나타냄
  - Cost Recovery Limit : 입력변수 (12.Cost Recovery 시트에 참조)
  - Royalty : 입력변수 (12.Cost Recovery 시트에 참조)
- Profit Sharing : 수익금 분할에 필요한 조건인 R-Factor, IRR-Factor, Performance Factor 등에 대하여 나타낸다.
  - R-Factor : '총 수익/총 비용'을 산출한 값으로 이에 따라 시행사가 받는 금액이 달라짐, 스크롤을 통하여 R-Factor와 IRR-Factor을 선택할 수 있다.(13.Profit Sharing 시트에 참조)
  - IRR-Factor : 'IRR'을 산출한 값으로 이에 따라 시행사가 받는 금액이 달라짐, 스크롤을 통하여 R-Factor와 IRR-Factor을 선택할 수 있다. (13.Profit Sharing 시트에 참조)
  - Performance Factor : 'Performance' 참여 비율에 따라 시행사가 받는 금액이 달라진다. (13.Profit Sharing 시트에 참조)
  - Remuneration Fee Bid($/MMbtu) : 입력변수
  - Remuneration Fee Bid($/bbl) : Remuneration Fee Bid($/MMbtu) * Conversion Factor (MMBtu/Ton) / Conversion Factor (bbl/Ton)
  - State Participation Fee : 입력변수

❑ Process Sheets

● 5. CAPEX Profile

○ 개요

- 주요역할
  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 나타낸 시트
  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 통한 초기 투자 비용의 전체적인 Timeline을 확인 할 수 있음
- 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, CAPEX Schedule
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 06.CAPEX : CAPEX Outflow (%)

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 05.CAPEX Profile 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- CAPEX Outflow (%) (03.Assumption 시트를 참조, 06.CAPEX 시트에 참조)
  - 각 연도별 CAPEX 분배 %
- CAPEX Outflow
  - CAPEX Outflow (%) * Total CAPEX
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Accumulated CAPEX Outflow (%)의 최종 값, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 6. CAPEX

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있다.
  - Level 1 변수 (1개) : CAPEX
  - Level 2 변수 (2개) : 1. Exploration, 2. Exploitation
  - Level 3 변수 (9개) : 1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input

- 01.Model Structure : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, CAPEX & Economic Assumption
- 05.CAPEX Profile : CAPEX Outflow(%)

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 12.Cost Recovery : Total CAPEX
- 14.Financing : Total CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Total CAPEX
- 19.Cash Flow Statement : Total CAPEX
- 22.Feasibility Analysis : Total CAPEX
- 23.Charts : Total CAPEX

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 06.CAPEX 버튼을 통하여 01.Model structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• CAPEX Level-1 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-1을 선택
- Level 1 변수 (1개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-2 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-2을 선택
- Level 2 변수 (2개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-3 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-3을 선택
- Level 3 변수 (9개) * CAPEX Outflow (%)

• Total CAPEX (12.Cost Recovery, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 19.Cash Flow Statement, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조, 03.Assumption 시트를 참조)
- CAPEX 구성요소들의 합

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : CAPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 CAPEX의 합
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 7. OPEX

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
  - Level 1 변수 (2개) : OPEX, Irregular OPEX
  - Level 2 변수 (5개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others, Irregular OPEX
  - Level 3 변수 (8개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others, Irregular OPEX
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 07.OPEX 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, OPEX & Economic Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 12.Cost Recovery : Total OPEX
  - 13.Profit Sharing : Total OPEX
  - 16.Income Taxation : Total OPEX
  - 17.Working Capital : Total OPEX
  - 19.Cash Flow Statement : Total OPEX
  - 20.Income Statement : Total OPEX
  - 22.Feasibility Analysis : Total OPEX
  - 23.Charts : Total OPEX

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 07.OPEX 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- OPEX Level-1 (03.Assumption 시트를 참조)

- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-1을 선택
- Level 1 변수 (1개), Irregular OPEX

• OPEX Level-2 (03.Assumption 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-2을 선택
- Level 2 변수 (5개), Irregular OPEX

• OPEX Level-3 (03.Assumption 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-3을 선택
- Level 3 변수 (8개), Irregular OPEX

• Total OPEX (12.Cost Recovery, 13.Profit Sharing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조, 03.Assumption 시트를 참조)
- OPEX 구성요소들의 합

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : OPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 OPEX의 합
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 8. Other Expenditures

○ 개요

• 주요역할
- 기타 비용의 Timeline
- Signature Bonus는 첫 해에 일괄 지급
- Production Bonus, Training Fee, Service Fee는 연도별 분할 지급

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 08.Other Expenditures 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Other Expenditures, Economic Assumption

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 12.Cost Recovery : Total Other Expenditures
- 13.Profit Sharing : Other Expenditures in Operating Year
- 14.Financing : Other Expenditures in Operating Year

- 15.Repayment Schedule : Other Expenditures in Operating Year
- 16.Income Taxation : Other Expenditures in Operating Year
- 17.Working Capital : Other Expenditures in Operating Year
- 19.Cash Flow Statement : Total Other Expenditures
- 20.Income Statement : Other Expenditures in Operating Year
- 22.Feasibility Analysis : Total Other Expenditures
- 13.Charts : Total Other Expenditures

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 08.Other Expenditures 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 08.Other Expenditures 시트로 연결
- Other Expenditures (in Construction Years)
  - Signature Bonus : 프로젝트 첫 해 지급
- Other Expenditures (in Operating Years)
  - Production Bonus, Training Fee, Service Fee : 연도별 지급
- Total Expenditures
  - Other Expenditures (in Construction Years) + Other Expenditures (in Operating Years)
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Other Expenditures 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 Other Expenditures 의 합
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 9. Production

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 생산량의 Timeline
  - 생산 비율에 따라 Wellhead Gas 판매량, Condensate 판매량에 대한 연도 별 가정 사항이 나타남
  - Wellhead Gas 판매량은 생산 비율과 Wellhead Gas 구매자 지분에 따라 달라짐
  - Condensate 판매량은 LNG 처리 비율에 따라 달라진다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 09.Production 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Production Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 11.Revenue : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 13.Profit Sharing : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 23.Charts : Wellhead Gas, Condensate Production

○ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 09.Production 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Ratio (03.Assumption 시트를 참조)
  - Production에 대한 Timeline
- Gas Wellhead Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 13.Profit Sharing, 23.Charts 시트에 참조)
  - Gas Wellhead : Production Ratio * Gas Throughput
  - Gas Wellhead 1 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 1
  - Gas Wellhead 2 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 2
  - Gas Wellhead 3 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 3
  - Gas Wellhead 4 : Production Ratio * Gas Wellhead Vol. 4
- Condensate Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 13.Profit Sharing, 23.Charts 시트에 참조)
  - Production Ratio * Condensate Throughput
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : 전체 가스 용량 비율, Con 2 = 100%
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 10. Pricing

○ **개요**

- 주요역할
  - 가격 변동의 Timeline
  - Wellhead Gas 판매 가격, Condensate 판매 가격에 대한 연도 별 가정 사항이

나타남

- Wellhead Gas 판매 가격은 Wellhead Gas 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐.
- Condensate 판매 가격은 Oil 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 10.Pricing 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Pricing Assumption

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 11.Revenue : Wellhead Gas, Condensate Pricing
- 23.Charts : Wellhead Gas, Condensate Pricing

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 10.Pricing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Feed Gas Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)

- Gas Wellhead Price 1 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 1
- Gas Wellhead Price 2 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 2
- Gas Wellhead Price 3 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 3
- Gas Wellhead Price 4 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 4

• Condensate Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)

- Oil Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Oil Price Revised Constant

- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Feed Gas 생산량에서 판매자가 차지하는 비율, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 11. Revenue

○ 개요

- 주요역할
  - 수익의 Timeline
  - (Wellhead Gas 판매 수익 + Condensate 판매 수익)을 통해 총 수익을 도출
  - Wellhead Gas 판매 비용은 (Wellhead Gas Production * Wellhead Gas Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
  - Condensate 판매 비용은 (Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 11.Revenue 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Throughput Assumption
  - 09.Production : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 10.Pricing : Wellhead Gas, Condensate Pricing
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 12.Cost Recovery : Total Revenue

○ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 11.Revenue 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Wellhead Gas Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)
  - Wellhead Gas Turnover 1 : Gas Production 1 * Gas Pricing 1 * Conversion Factor
  - Wellhead Gas Turnover 2 : Gas Production 2 * Gas Pricing 2 * Conversion

Factor

- Wellhead Gas Turnover 3 : Gas Production 3 * Gas Pricing 3 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover 4 : Gas Production 4 * Gas Pricing 4 * Conversion Factor
- Wellhead Gas Turnover-Sub Total : Wellhead Gas Turnover 1 + Wellhead Gas Turnover 2 + Wellhead Gas Turnover 3 + Wellhead Gas Turnover 4

- Condensate Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)
  - Condensate Sales Price Turnover : Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor
- Total Revenue (12.Cost Recovery 시트에 참조)
  - Wellhead Gas Turnover + Condensate Turnover
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Revenue 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 Revenue의 합
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 12. Cost Recovery

○ 개요

- 주요역할
  - 원가회수의 Timeline
  - Royalty를 적용한 수익 도출
  - 3.Assumption에서 제시된 값을 통하여 Cost Recovery Capacity 도출
  - Cost Recovery Capacity와 소요 비용에서 Cost Recovery 누적액 차의 최소 값을 원가 회수 금액으로 선택
  - Revenue after Royalty에서 Cost Recovery 값의 차를 통하여 Before Profit Gas Split을 도출
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 12.Cost Recovery 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Cost Recovery
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 07.OPEX : Total OPEX

- 08.Other Expenditures : Total Expenditures
- 11.Revenue : Total Revenue

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 13.Profit Sharing : Before Profit Gas Split
- 16.Income Taxation : Cost Recovery
- 17.Working Capital : Cost Recovery
- 19.Cash Flow Statement : Cost Recovery
- 20.Income Statement : Cost Recovery
- 23.Charts : Cost Recovery

○ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 12.Cost Recovery 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 12.Cost Recovery 시트로 연결

• Royalty (03.Assumption, 11.Revenue 시트를 참조)
- Revenue after Royalty : Total Revenue * Royalty

• Recovery Cap (03.Assumption 시트를 참조)
- Revenue after Royalty * Cost Recovery Limit

• Incurred Cost (06.CAPEX, 07.OPEX, 08.Other Expenditures 시트를 참조)
- Incurred Cost = Total CAPEX + Total OPEX + Other Expenditures

• Cost Recovery (16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
- Recovery after Royalty와 Incurred Costs-Cost Recovery 누적액의 최솟값

• Before Profit Gas Split (13.Profit Sharing 시트에 참조)
- Revenue after Royalty - Cost Recovery

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Revenue after Royalty - Cost Recovery, Con 2 : Before Profit Gas Split
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 13. Profit Sharing

○ 개요

• 주요역할

- 수익금 분할의 Timeline

- R Factor : 누적 수익을 누적 비용으로 나누어 R Factor를 도출 한 후, 3.Assumption에서 가정한 값을 기준으로 Contractor Share와 Government Share를 지정

- IRR Factor : 누적 IRR을 도출 한 후, 3.Assumption에서 가정한 값을 기준으로 Contractor Share와 Government Share를 지정

- Contractor Share와 Government Share는 3.Assumption에서 지정된 Factor 값을 통해 선정

- Remuneration Fee는 Performance Factor를 이용하여 먼저 Remuneration Fee to be paid를 도출

- Remuneration Fee to be paid에서 State Participation Fee를 빼서 Net Remuneration Fee를 도출

- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 12.Cost Recovery 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Profit Sharing
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 08.Other Expenditures : Total Expenditures
  - 09.Production : Wellhead Gas, Condensate Production
  - 12.Cost Recovery : Before Profit Gas Split
  - 22.Feasibility Analysis : Free Cash Flow
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 16.Income Taxation : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 17.Working Capital : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 19.Cash Flow Statement : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 20.Income Statement : Contractor Share, Remuneration Fee
  - 23.Charts : Contractor Share, Remuneration Fee

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 13.Profit Sharing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 13.Profit Sharing 시트로 연결
- R-Factor (03.Assumption, 06.CAPEX, 07.OPEX, 08.Other Expenditures 시트를 참조)
  - R Factor : 누적 수익 / 누적 비용
  - Contractor Share : R Factor를 비교하여 3.Assumption에서 가정한 값을 채택
- IRR-Factor (03.Assumption, 22.Feasibility Analysis 시트를 참조)
  - IRR Factor : 22.Feasibility Analysis의 Free Cash Flow의 IRR Factor 값을 도출
  - Contractor Share : IRR Factor를 비교하여 3.Assumption에서 가정한 값을 채택
- Contractor & Government Share (16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
  - Profit Share =1 → Contractor Share & Government Share = R-Factor
  - Profit Share =2 → Contractor Share & Government Share = IRR-Factor
- Remuneration Fee (03.Assumption, 09.Production 시트를 참조)
  - Performance Factor : Production Ratio를 비교하여 3.Assumption에서 가정한 값을 채택
  - Remuneration Fee to be paid = PF * (RF bid * Production * Conversion Factor)
- Net Remuneration Fee (16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
  - Remuneration Fee to be paid - State Participation Fee
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Government's Share (R-Factor) = Government's Share, Con 2 : Government's Share (IRR-Factor) = Government's Share
  - Con 1 or Con 2 = OK → "OK", Con 1 or Con 2 = ERROR → "ERROR"

● 14. Financing

○ 개요

- 주요역할
  - 재원 조달의 Timeline
  - 예치 기간에 의하여 재원 조달을 공사 이전과 이후로 나눌 수 있다.
  - 건설 도중에 발생되는 이자를 더하여 정확한 재원 조달 금액을 알 수 있다.

- 재원을 자본금과 대출금으로 구분 하여 나타낸다.

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 14.Financing 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Funding Requirement
- 21.Balance Sheet : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 22.Feasibility Analysis : Equity
- 23.Charts : Equity, Funding Requirement

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 14.Financing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Funding Requirement (23.Charts 시트에 참조, 15.Repayment Schedule 시트를 참조)

- Funding Requirement : Funding Requirement (Before Operating) + Funding Requirement (After Operating)
- Funding Requirement (Before Operating) : Total CAPEX + Interest during construction
- Funding Requirement (After Operating) : Drawdown - Qualified capital expenditure - Interest during construction

• Accumulated Assets (21.Balance Sheet 시트에 참조)

- Funding Requirement의 누적액

• Equity (3.Assumption, 6.CAPEX 시트를 참조, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조

- Equity : Total CAPEX * Equity Ratio

- Accumulated Equity : Equity의 누적액

- Capex not Financed yet
  - Funding Requirement - Equity
- Funding Schedule
  - Equity + Capex not Financed yet
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Funding Requirement, Con 2 : Funding Schedule
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 15. Repayment Schedule

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 상환 금액의 Timeline
  - 대출금에 대한 총 금액을 실제 필요한 금액과 이자의 합으로 나누어 나타낸다.
  - 각 연도 별 개시잔액과 결산잔고를 나누어 나타낸다.
  - 공사가 끝난 후의 대출금에 대한 이자를 나타낸다.
  - 원리금 균등 상환 방법을 통하여 연도별 상환되는 금액과 그 총액을 나타낸다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 14.Financing : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure
  - 16.Income Taxation : Interest
  - 19.Cash Flow Statement : Interest, Repayment
  - 20.Income Statement : Interest
  - 21.Balance Sheet : Closing Balance
  - 22.Feasibility Analysis : Interest, Repayment

- 23.Charts : Interest, Repayment

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 15.Repayment Schedule 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Opening & Closing Balance (21.Balance Sheet 시트에 참조)
  - Opening Balance : 이전 연도 Closing Balance
  - Closing Balance : Opening Balance + Drawdown + Repayment
- Drawdown (3.Assumption 시트를 참조, 14.Financing 시트에 참조)
  - Qualified capital expenditure : Total CAPEX * Debt Ratio
  - Interest during construction : Opening Balance * Interest Rate
  - Drawdown : Qualified capital expenditure + Interest during construction + Interest during grace period
- Debt Service Available Period (3.Assumption 시트를 참조)
  - Repayment 해당 연도를 1로 표시 (그 외는 0)
- Interest (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)
  - Opening Balance * Interest Rate
- Repayment
  - Carry Forward Debt Service : 상환금액이 수익보다 많을 시에 다음 년도로 이월되는 금액
  - Repayment : 각 연도별 상환 금액 (원리금 균등 상환)
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Opening Balance, Con 2 : Closing Balance
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 16. Income Taxation

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 소득세의 Timeline
  - 총 수익과 총 운영관리 비용을 통하여 순 운영소득을 구함
  - 순 운영소득에서 감가상각과 이자비용을 고려하여 과세소득을 구함
  - 과세소득에서 손실을 고려한 과세이득을 구함
  - 과세이득에서 법인세율에 따른 소득세를 구함

- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing & Tax Assumption
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 11.Revenue : Total Revenue
  - 15.Repayment Schedule : Interest
  - 18.Depreciation Statement : Depreciation
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 20.Income Statement : Tax

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 16.Income Taxation 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Operating Income (7.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Total Revenue : 해당 연도 총 수익
  - Operating Costs : 해당 연도 총 운영관리 비용
  - Operating Income : Total Revenue - Operating Costs
- Taxable Income (15.Repayment Schedule, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
  - Fiscal Depreciation : 해당 연도 감가상각 금액
  - Interest Expenses : 해당 연도 이자 금액
  - Operating Income - Fiscal Depreciation - Interest Expenses
- Loss
  - Loss Incurred : 해당 연도 Taxable Income과 0의 최솟값
  - Loss Written off :
  - Cumulative Loss :
- Taxable Profit
  - (Taxable Income - Loss Written off, 0)의 최댓값

- Taxable Profit (3.Assumption 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)
  - Taxable Profit * Income Tax
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Taxable Profit * Tax Rate, Con 2 : Tax
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 17. Working Capital

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 운전 자본의 Timeline
  - 1달간의 이익과 지출의 차이를 운전 자본이라 고려한다.
  - 운전 자본은 유동 자산의 일부로 재무상태표에서 계산 된다.
  - 운전 자본의 차액은 현금 흐름표에서 지출로 계산 된다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 17.Working Capital 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 11.Revenue : Total Revenue
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Change in Working Capital
  - 21.Balance Sheet : Net Working Capital

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 17.Working Capital 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Receivables (3.Assumption, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Selling Fee : Total Revenue * (Banking days per month days / Banking days per year days)
- Payables (3.Assumption, 7.OPEX 시트를 참조)

- Operating Costs : Total OPEX * (Calendar days per month days / Calendar days per year days)

- Working Capital (19.Cash Flow Statement 시트에 참조)
  - Net Working Capital : Selling Fee - Operating Costs
  - Change in Working Capital : 당해 연도 Net Working Capital - 이전 연도 Net Working Capital
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Service Fee - Operating Costs, Con 2 : Net Working Capital
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 18. Depreciation Statement

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 감가 상각의 Timeline
  - 정액법, 정률법 모두를 나타낸다.
  - 정액법, 정률법 중 3.Assumption 시트에서 선택된 한 가지 방법을 통하여 나머지 시트를 계산
  - 감가 상각액을 통하여 손익계산서를 도출
  - 누적 감가 상각액을 통하여 재무상태표를 도출
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Depreciation Assumption
  - 14.Financing : Funding Requirement
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 16.Income Taxation : Depreciation
  - 20.Income Statement : Depreciation
  - 21.Balance Sheet : Accumulated Depreciation

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 18.Depreciation Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Straight Line (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
- Residual Value : 잔존가치 비율
- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Straight Line (Depreciation) (3.Assumption 시트를 참조)
- Depreciation : Total Funding Requirement * (1-Residual Value)
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Year) + Depreciation (Present Year)

• Declining Balance (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Declining Balance (Depreciation)
- Depreciation : Gross Block of Depreciation Assets *
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Years) + Depreciation (Present Year)

• Depreciation (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Depreciation : Straight Line과 Declining Balance 중 Depreciation Method를 선택
- Accumulated Depreciation : Depreciation의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : 감가상각 방법이 정액법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정액법, Con 2 : 감가상각 방법이 정률법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정률법
- Condition 1 or Condition 2 = OK → “OK”, Condition 1 or Condition 2 = ERROR → “ERROR”

● 19. Cash Flow Statement

ㅇ 개요

• 주요역할

- 현금 흐름표의 Timeline
- 수익, 총 초기투자비, 총 운영관리비, 세금, 운전자본 등을 계산하여 순 현금 흐름표 도출
- 순 현금 흐름표에 이자와 상환 금액을 계산하여 투자자의 현금 흐름표를 도출
- 투자자의 현금 흐름표와 누적 캐시포지션, 순 수익과 유보 이익을 통하여 배당금 도출
- 배당금을 통하여 캐시포지션, 누적 캐시포지션을 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year
- 06.CAPEX : Total CAPEX
- 07.OPEX : Total OPEX
- 11.Revenue : Total Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 17.Working Capital : Change in Working Capital
- 20.Income Statement : Tax

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 15.Repayment Schedule : Net Cash Flow
- 20.Income Statement : Dividend
- 21.Balance Sheet : Cash Position
- 22.Feasibility Analysis : Net Cash Flow
- 23.Charts : Net Cash Flow

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 19.Cash Flow Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Net Cash Flow (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue, 17.Working Capital, 20.Income Statement 시트를 참조, 15.Repayment Schedule, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts

시트에 참조)

- Revenue : Total Revenue
- CAPEX : Total CAPEX
- OPEX : Total OPEX
- Tax : 이전년도 Tax
- Working Capital Requirement : Working Capital Requirement
- Net Cash Flow : Revenue - CAPEX - OPEX - Tax - Working Capital Requirement
- Accumulated Net Cash Flow : Net Cash Flow의 누적 금액

• Net Cash Flow Shareholders (15.Repayment Schedule 시트를 참조, 23.Charts 시트에 참조)

- Interest : Debt에 대한 이자
- Repayment : Repayment Timeline
- Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow - Interest - Repayment
- Accumulated Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow Available for Shareholders 누적 금액

• Dividends (3.Assumption, 20.Income Statement 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)

-

-

• Cash Position (3.Assumption 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)

- Change in Cash : Net Cash Flow Available for Shareholders + Dividends
- Accumulated Cash Position : Change in Cash의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Net Cash Flow - Interest - Repayment, Con 2 : Net Cash Flow Available for Shareholders
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 20. Income Statement

○ 개요

• 주요역할

- 손익 계산서의 Timeline
- 총 수익, 운영 비용을 계산 하여 운영 수익을 도출

- 운영 수익, 감가상각을 계산 하여 순 운영 수익을 도출
- 순 운영 수익, 이자를 계산 하여 소득세 지출 전 수익을 도출
- 소득세 지출 전 수익, 소득세를 계산 하여 순 수익을 도출
- 순 수익, 배당금을 계산 하여 유보 이익을 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 07.OPEX : Total OPEX
- 11.Revenue : Total Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest
- 16.Income Taxation : Tax
- 18.Depreciation Statement : Depreciation
- 19.Cash Flow Statement : Dividend

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 19.Cash Flow Statement : Tax
- 21.Balance Sheet : Tax, Accumulated Retaining Earning
- 22.Feasibility Analysis : Dividend

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 20.Income Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Loss (3.Assumption, 7.OPEX, 11.Revenue, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
- Loss Carry Forward : 손실의 순연
- Loss : (Total Revenue - Total OPEX - Depreciation)과 0의 최솟값 + 이전 년도 과세소득과 0의 최솟값의 합

• Operating Income (07.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
- Total Revenue : Total Revenue

- Operating Costs : Total OPEX
- Operating Income : Total Revenue - Operating Costs

• Net Operating Income (18.Depreciation Statement 시트를 참조)
- Fiscal Depreciation : Depreciation 금액
- Net Operating Income : Operating Income - Fiscal Depreciation

• Net Income (15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation 시트를 참조, 22.Feasibility Anlaysis 시트에 참조)
- Interest Expenses : Interest for debt
- Income Before Income Taxes : Net Operating Income - Interest Expenses
- Tax : Income Tax
- Net Income : Income Before Income Taxes - Tax

• Retaining Earning (19.Cash Flow Statement 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Dividends : Dividends for shareholders
- Retained Earning : Net Income - Dividends
- Accumulated Retained Earning : Retained Earning의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Taxable Income * Tax Rate, Con 2 : Tax
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 21. Balance Sheet

ㅇ 개요

• 주요역할
- 재무 상태표의 Timeline
- 자산 = 유동자산 (운전자본 + 캐시포지션) + 고정자산 (총 투자비용 - 감가상각 누적액)
- 부채 = 단기부채 (세금) + 장기부채 (결산잔고)
- 자본 = 투자자 자본 + 유보이익
- 자산 = 부채 + 자본

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year
- 14.Financing : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 15.Repayment Schedule : Closing Balance
- 17.Working Capital : Net Working Capital
- 18.Depreciation Statement : Accumulated Depreciation
- 19.Cash Flow Statement : Cash Position
- 20.Income Statement : Tax, Accumulated Retaining Earning

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 21.Balance Sheet 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Assets (3.Assumption, 14.Financing, 17.Working Capital, 18.Depreciation Sheet, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Working Capital : 운전자본
- Cash Position : 현금 유동성
- Current Asset : Working Capital - Cash Position
- Gross Fixed Asset : 총 고정자산
- Accumulated Depreciation : 감가상각
- Net Fixed Assets : Gross Fixed Asset - Accumulated Depreciation
- Total Assets : Current Asset + Net Fixed Assets

• Liability (.Assumption, 15.Repayment Schedule, 20.Income Statement 시트를 참조)
- Current Liabilities : 단기 부채
- Long term Liabilities : 장기 부채
- Total Liabilities : Current Liabilities + Long term Liabilities

• Equity
- Shareholder's Equity : 투자자의 자본
- Accumulated Retained Earning : 누적 잉여금
- Total Equity : Shareholder's Equity + Accumulated Retained Earning

- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Total Assets, Con 2 : Total Liabilities + Total Equity
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

❑ Output Sheets

● 22. Feasibility Analysis

○ 개요

- 주요역할
  - 모델의 주요 Output 도출
  - Net Cash Flow를 통하여 NPV, IRR 도출
  - Shareholder Cash Flow를 통하여 ROE 도출
  - Discounted Net Cash Flow를 통하여 B/C Ratio, Payback Period 도출
  - Annual Debt을 통하여 Minimum DSCR 도출
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Economic Assumption
  - 14.Financing : Equity
  - 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
  - 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
  - 20.Income Statement : Dividend
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 02.Summary : Output Variables
  - 03.Assumption : Model Check, Output Variables

○ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 22.Feasibility Analysis 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- NPV, IRR (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)

- Net Cash Flow : 프로젝트의 현금흐름
- NPV : 프로젝트의 비용 및 수익을 현재가치법으로 계산
- IRR :프로젝트의 비용 및 수익을 내부수익률 기법으로 계산

• ROE (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 14.Financing, 20.Income Statement 시트를 참조)
- Equity : 프로젝트에 투입된 자본
- Dividend : 프로젝트 투자자들에게 주어지는 배당금
- Shareholder's Cash Flow : Equity + Dividend
- ROE : 프로젝트 투자자들의 내부수익률

• B/C Ratio (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 3.Assumption 시트를 참조)
- Discounted Net Cash Flow : 할인율이 고려된 현금흐름표
- Benefit : 프로젝트의 총 수익을 현재가치로 표현
- Cost : 프로젝트의 총 비용을 현재가치로 표현
- B/C Ratio : Benefit / -Costs

• Payback Period (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)
- Base Period : 프로젝트의 진행 기간
- Payback Period : 프로젝트의 원금이 회수가 완료된 기간
- Payback Period : Base Period에서 Payback Period가 감안된 연도

• Minimum DSCR, $/Ton (3.Assumption, 15.Repayment Schedule 시트를 참조, 2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)
- Annual Debt : Interest + Repayment
- DSCR : Net Cash Flow / Annual Debt
- Minimum DSCR : DSCR 값 중 최솟값
- $/Ton : (Total CAPEX + Total OPEX + Total Other Expenditures) / Total Production

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : NPV value, Con 2 : Total Discounted Fee Cash Flow
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 23. Charts

○ 개요

• 주요역할
- 주요 데이터를 차트화
- Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate의 가격

- Production : Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량
- CAPEX & OPEX : 총 투자 비용, 총 운영관리 비용
- Funding Requirement & Debt Service : 필요한 자본, 대출 자본
- Equity & Dividends : 투입 자본, 배당금
- Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

• 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
  - 01.Model Structure : 23.Charts 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year
  - 06.CAPEX : Total CAPEX
  - 07.OPEX : Total OPEX
  - 09.Production : Feed Gas, LNG, Condensate Production
  - 10.Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing
  - 11.Revenue : Total Revenue
  - 14.Financing : Equity, Funding Requirement
  - 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
  - 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow

• Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Pricing (9.Pricing 시트를 참조)
  - Feed Gas 가격 (Seller 1, Seller 2)
  - LNG 가격 (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
  - Condensate의 가격

• Production (10.Production 시트를 참조)
  - Feed Gas 생산량 (MMBtu) (Seller 1, Seller 2)
  - LNG 생산량 (MMBtu) (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
  - Condensate의 생산량 (bbl)

- CAPEX & OPEX (6.CAPEX, 7.OPEX 시트를 참조)
  - CAPEX : Total CAPEX
  - OPEX : Total OPEX
- Funding Requirement & Debt Service (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Funding Requirement : Funding Requirement
  - Debt Service : Repayment : Interest + Repayment
- Equity & Dividends (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Equity : Equity
  - Dividend : Dividend
- Cash Flow (19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Net Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

❑ Risk Analysis

● 4. Risk

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - @Risk 사용 시 활성화
  - Fluctuation Range (Min, Ml, Max) : 변동범위의 최소, 최빈, 최대
  - Variable Range (Min, Ml, Max) : 변수의 최소, 최빈, 최대
  - Risk의 적용 가능 변수 : CAPEX Level 1 (1개), CAPEX Level 2 (22개), CAPEX Level 3 (9개), OPEX Level 1 (1개), OPEX Level 2 (4개), OPEX Level 3 (7개), Revenue (3개), Pricing (5개), Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting (6개)
  - Risk 분야를 고려하여 결정론적인 결과를 확률론적으로 변환
- 입력 가능 여부
  - 입력이 가능한 시트
  - 입력을 수행하면 3.Assumption 시트의 일부 변수들(Risk 적용 변수)은 입력이

4.Risk 시트에서만 가능

ㅇ **타 시트와 관계**

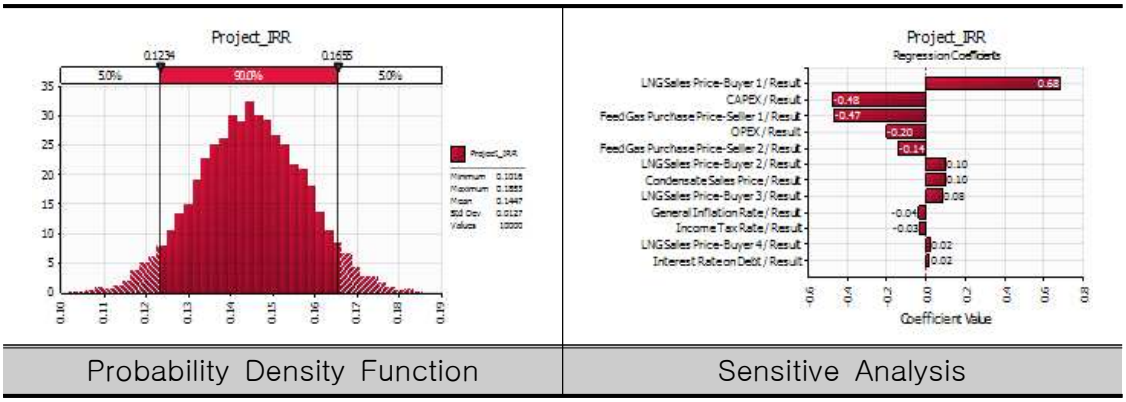
- Input
  - 01.Model Structure : 4.Risk 하이퍼 링크
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Risk 적용된 변수
  - 22.Feasibility Analysis : Output Variable 시뮬레이션

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 04.Risk 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Fluctuation Range
  - CAPEX Level 1 : 변수 1개(CAPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - CAPEX Level 2 : 변수 2개(1. Exploration, 2. Exploitation에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - CAPEX Level 3 : 변수 9개(1. Exploration → Exploration Well, 2D Seismic, 3D Seismic, Appraisal Well, Others, 2. Exploitation → Production Drilling, Facilities Costs, Project Costs, Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - OPEX Level 1 : 변수 1개(OPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - OPEX Level 2 : 변수 4개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Abandonment Costs, 4. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - OPEX Level 3 : 변수 7개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, 7. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - Revenue : 변수 3개(Gas Throughput, Gas to Wellhead Conversion, Condensate from Gas Wellhead Throughput)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - Pricing : 변수 5개(Gas Wellhead Price 1, Gas Wellhead Price 2, Gas Wellhead Price 3, Gas Wellhead Price 4, Condensate Sales Price)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting : 변수 6개(Debt Financing, Interest Rate on Debt, Income Tax Rate, General Inflation Rate, Cost Escalation Rate, Discount Rate)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위

- 최빈값은 100%

- Variable Range
  - Ml 값은 직접 입력 (03.Assumption 시트의 입력 값과 같음)
  - Min = Fluctuation Range (Min) * Ml Value
  - Man = Fluctuation Range (Max) * Ml Value
- Result (03.Assumption 시트에 참조)
  - 03.Assumption 시트의 해당 변수 부분에 참조
- Simulation : Output Variables 마다 시뮬레이션 수행 (22.Feasibility Analysis 시트에 참조)



Probability Density Function	Sensitive Analysis

해외사업모델 경제적 타당성 평가 모델(Manual)

- Midstream : Tolling -

- ❑ Model Structure
- ❑ Input & Output Sheets
- ❑ Process Sheets
- ❑ Output Sheets
- ❑ Risk Analysis

❑ Model Structure

● 1.Model Structure

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 전반적인 구조를 나타내는 시트
  - 23개의 시트를 Input & Output 부분, Process 부분, Output 부분으로 구조를 나타냄
  - Process 부분은 Cost, Revenue, Finance, Accounting, Financial Statement 의 부분으로 나눌 수 있음
  - 하이퍼 링크를 통하여 각각의 시트로 이동이 가능
  - 활성화 된 시트와 활성화 되지 않은 시트를 구분 할 수 있음
  - 시트간의 상관관계를 화살표를 통하여 알 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 02.Summary : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Structure 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Model Structure 하이퍼 링크
  - 05.CAPEX Profile : Model Structure 하이퍼 링크
  - 06.CAPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 07.OPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 09.Production : Model Structure 하이퍼 링크
  - 10.Pricing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 11.Revenue : Model Structure 하이퍼 링크
  - 14.Financing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 15.Repayment Schedule : Model Structure 하이퍼 링크
  - 16.Income Taxation : Model Structure 하이퍼 링크
  - 17.Working Capital : Model Structure 하이퍼 링크
  - 18.Depreciation Statement : Model Structure 하이퍼 링크
  - 19.Cash Flow Statement : Model Structure 하이퍼 링크
  - 20.Income Statement : Model Structure 하이퍼 링크
  - 21.Balance Sheet : Model Structure 하이퍼 링크

- 22.Feasibility Analysis : Model Structure 하이퍼 링크
- 23.Charts : Model Structure 하이퍼 링크

• Output
- 02.Summary : 02.Summary 하이퍼 링크
- 03.Assumption : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : 04.Risk 하이퍼 링크
- 05.CAPEX Profile : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
- 06.CAPEX : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 07.OPEX : 07.OPEX 하이퍼 링크
- 09.Production : 09.Production 하이퍼 링크
- 10.Pricing : 10.Pricing 하이퍼 링크
- 11.Revenue : 11.Revenue 하이퍼 링크
- 14.Financing : 14.Financing 하이퍼 링크
- 15.Repayment Schedule : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 16.Income Taxation : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
- 17.Working Capital : 17.Working Capital 하이퍼 링크
- 18.Depreciation Statement : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 19.Cash Flow Statement : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 23.Charts : 23.Charts 하이퍼 링크

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink (Model Structure)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트에서 연결

• Hyperlink (Model Outline)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트로 연결

❑ Input & Output Sheets

● 2.Summary

ㅇ **개요**

• 주요역할
- 모델의 주요 입출력 변수를 간단하게 나타낸 시트

- Notice : 모델이 적용되는 부분, 버전, 입력 변수, 출력 변수에 대해 나타냄
- Output : 총 6가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타냄
- Input : 입력 변수 중에 주요한 요소만을 다룸 (공사 기간, 지분, 금액, 수익, 가격, 회계, 등)

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 02.Summary 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Input Variables
- 22.Feasibility Analysis : Output Variables

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 02.Summary 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Input Variables : 모델의 주요 입력 변수
- Time Period → Project Starting Year : 3.Assumption에서 'Project_Starting_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
- Time Period → Starting Operation Year : 3.Assumption에서 'Starting_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
- Time Period → End Operation Year : 3.Assumption에서 'End_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
- Sharing → Ratio : 3.Assumption 시트에서 컨트롤 박스로 지정된 값을 통하여 표현
- Cost Estimation → CAPEX : 3.Assumption 시트의 총 공사비에 지분율을 곱하여 표현
- Cost Estimation → OPEX : 3.Assumption 시트의 1년 운영관리비에 지분율을 곱하여 표현
- Revenue → LNG Throughput : 3.Assumption 시트에서 전체 LNG 처리량 표현
- Revenue → Service Fee : 3.Assumption에서 'Consumer 1~4'라고 정의된 값에 의해 표현

- Finance → Debt Financing : 3.Assumption에서 'Debt_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Income Tax Rate : 3.Assumption에서 'Tax_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Depreciation Method : 3.Assumption에서 컨트롤 박스에서 지정된 값을 통하여 정액법 또는 정률법으로 표현
- Finance → General Inflation Rate : 3.Assumption에서 'Inflation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Cost Estimation Rate : 3.Assumption에서 'Escalation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Discount Rate : 3.Assumption에서 'Discount_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현

• Output Variables : 모델의 주요 출력 변수
- IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
- ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
- NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
- B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
- Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현

● 3.Assumption

ㅇ 개요

• 주요역할
- 모델의 주요 변수를 입력할 수 있는 시트
- Output : 총 6가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타냄
- Input : 최소 20 ~ 최대 70의 변수를 입력 할 수 있다.
- CAPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- OPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- Revenue, Production, Pricing, Finance, 등의 변수에 대한 입력이 필수적이다.

• 입력 가능 여부
- 입력이 가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 03.Assumption 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
  - 05.CAPEX Profile : Model Check
  - 06.CAPEX : Model Check
  - 07.OPEX : Model Check
  - 09.Production : Model Check
  - 10.Pricing : Model Check
  - 11.Revenue : Model Check
  - 14.Financing : Model Check
  - 15.Repayment Schedule : Model Check
  - 16.Income Taxation : Model Check
  - 17.Working Capital : Model Check
  - 18.Depreciation Statement : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Model Check
  - 20.Income Statement : Model Check
  - 21.Balance Sheet : Model Check
  - 22.Feasibility Analysis : Model Check, Output Variables
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
  - 05.CAPEX Profile : Year, CAPEX Schedule
  - 06.CAPEX : Year, Sharing Ratio, CAPEX & Economic Assumption
  - 07.OPEX : Year, Sharing Ratio, OPEX & Economic Assumption
  - 09.Production : Year, Production Assumption
  - 10.Pricing : Year, Pricing Assumption
  - 11.Revenue : Year, Sharing Ratio, Throughput Assumption
  - 14.Financing : Year, Financing Assumption
  - 15.Repayment Schedule : Year, Financing Assumption
  - 16.Income Taxation : Year, Financing & Tax Assumption
  - 17.Working Capital : Year, Financing Assumption
  - 18.Depreciation Statement : Year, Depreciation Assumption
  - 19.Cash Flow Statement : Year

- 20.Income Statement : Year, Financing Assumption
- 21.Balance Sheet : Year
- 22.Feasibility Analysis : Year, Economic Assumption
- 23.Charts : Year

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 03.Assumption 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Model Check : 해당 시트의 오류 판단
  - 05.CAPEX Profile ~ 22.Feasibility Analysis 까지 모델을 검산 하여 옳게 계산되면 'OK', 오류가 발견 되면 'ERROR'로 표현
- Output : 모델의 주요 출력 변수
  - IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
  - ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
  - NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
  - B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
- Revenue-Schedule : 프로젝트의 주요 사건의 시기 및 기간 입력
  - Project Life after start-up : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
  - Project Starting Year : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
  - Construction Period : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule,

16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)

- Starting Operation Year : Construction Period + Project Starting Year (10.Pricing, 14.Financing, 15.Repayment Statement, 18.Depreciation Statement, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- End Operation Year : Starting Operation Year + Project Life after start-up - 1 (10.Pricing, 14.Financing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Sharing Ratio : 지분율을 스크롤 박스를 통해서 최소, 최빈, 최대의 경우를 선택
- Minimum : 입력변수 (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue 시트에 참조)
- Most Likely : 입력변수 (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue 시트에 참조)
- Maximum : 입력변수 (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue 시트에 참조)

• Finance, Tax, Depreciation : 자원조달, 세금, 감가상각 등에 대한 변수
- Calendar days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Banking Days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Receivables → Service Fee : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Payables → Operating Costs : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Debt Financing : 입력변수 (2.Summary, 15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Equity Contribution : 1- Debt Financing (2.Summary, 14.Financing 시트에 참조)
- Interest Rate on Debt : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Grace Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Repayment Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Income Tax Rate : 입력변수 (16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Loss Carry Forward : 입력변수 (20.Income Statement 시트에 참조)
- Residual Value : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Depreciation Method : 스크롤을 통해 선택 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Term : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)

- Straight Line → Depreciation Rate : 1 / Depreciation Life (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Declining Balance → Depreciation Rate : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)

• Economy, Accounting : 경제, 회계에 대한 변수
- General Inflation Rate : 입력변수 (2.Summary, 7.OPEX 시트에 참조)
- Cost Escalation Rate : 입력변수 (2.Summary, 6.CAPEX 시트에 참조)
- Applying Escalation : 0 또는 1의 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)
- Discount Rate : 입력변수 (2.Summary, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Cost (CAPEX, OPEX) : Level1부터 3까지 총 초기투자비용 및 총 운영관리비용을 간단하게 계산하거나, 세분화시켜 계산할 수 있도록 한다.
- CAPEX Level 1 : 입력변수 (변수 1개 : CAPEX) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 2 : 입력변수 (변수 12개 : 1. EPC Contract Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses, 7. Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, 10. Business Reserve, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 3 : 입력변수 (변수 24개: 1. EPC Contract Costs, Engineering Costs, Procurement Costs, Construction Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, Acquisition tax & Registration tax, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses,7. Collateral Expenses, Supervising Costs, Insurance, Finance Collateral Expenses, Other Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, Acquisition tax & Registration tax, Property tax, Value added tax, Land Donation Value added tax, Possession tax, 10. Business Reserve, Business Commence Expense, Organization Costs, Stock Issue Costs, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others) (6.CAPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 1 : 입력변수 (변수 2개 : OPEX, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 2 : 입력변수 (변수 7개 : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

- OPEX Level 3 : 입력변수 (변수 13개 : 1. Variable OPEX, Raw Material Costs, Added Material Costs, Shipping Costs, 2. Fixed Opex, Marketing Insurance, Research & Development, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, Repair Costs, Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, Electricity Costs, Water, Light & Heat Expenses, 6. Abandonment Costs, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

- Revenue : 수익을 계산하기 위한 Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량 가정치를 입력
  - Feed Gas Throughput : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
  - Feed Gas to LNG Conversion : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
  - LNG Throughput : Feed Gas Throughput * Feed Gas to LNG Conversion (9.Production 시트에 참조)
  - Conversion Factor : 입력변수 (11.Revenue 시트에 참조)
- Pricing & Production : 수익을 계산하기 위한 Service Fee의 가격 가정치를 입력
  - Service Fee Vol.Share-Consumer 1 : 입력변수
  - Service Fee Vol-Consumer 1 : LNG Throughput * Service Fee Vol.Share-Consumer 1 (9.Production 시트에 참조)
  - Service Fee-Consumer 1 : 입력변수 (2.Summary, 10.Pricing 시트에 참조)
  - Service Fee Vol.Share-Consumer 2 : 입력변수
  - Service Fee Vol-Consumer 2 : LNG Throughput * Service Fee Vol.Share-Consumer 1 (9.Production 시트에 참조)
  - Service Fee-Consumer 2 : 입력변수 (2.Summary, 10.Pricing 시트에 참조)
  - Service Fee Vol.Share-Consumer 3 : 입력변수
  - Service Fee Vol-Consumer 3 : LNG Throughput * Service Fee Vol.Share-Consumer 3 (9.Production 시트에 참조)
  - Service Fee-Consumer 3 : 입력변수 (2.Summary, 10.Pricing 시트에 참조)
  - Service Fee Vol.Share-Consumer 4 : 입력변수
  - Service Fee Vol-Consumer 4 : LNG Throughput * Service Fee Vol.Share-Consumer 4 (9.Production 시트에 참조)
  - Service Fee-Consumer 4 : 입력변수 (2.Summary, 10.Pricing 시트에 참조)
- CAPEX Schedule : 총 공사금액의 연도별 조달 금액을 나타냄
  - Year : Project Start Year, Construction Period를 이용, 공사 기간 동안의 년도만을 표현

- Ratio : 입력변수 (5.CAPEX Profile 시트에 참조)
- Cost : 전체 공사 비용 x Ratio (5.CAPEX Profile 시트에 참조)

- OPEX Schedule : 운영 기간 동안에 불규칙적으로 발생할 수 있는 금액을 나타냄
  - Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
  - Irregular OPEX : Irregular OPEX가 있을시 'Yes', 없을시 'No'
  - Cost : 입력변수 (7.OPEX 시트에 참조)
- Production Schedule : 연도별 가스 처리량을 비율을 통하여 나타냄
  - Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
  - Ratio : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)

❑ Process Sheets

● 5. CAPEX Profile

○ 개요

- 주요역할
  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 나타낸 시트
  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 통한 초기 투자 비용의 전체적인 Timeline을 확인 할 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, CAPEX Schedule
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 06.CAPEX : CAPEX Outflow (%)

○ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 05.CAPEX Profile 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

- CAPEX Outflow (%) (03.Assumption 시트를 참조, 06.CAPEX 시트에 참조)
  - 각 연도별 CAPEX 분배 %
- CAPEX Outflow
  - CAPEX Outflow (%) * Total CAPEX
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Accumulated CAPEX Outflow (%)의 최종 값, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 6. CAPEX

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있다.
  - Level 1 변수 (1개) : CAPEX
  - Level 2 변수 (12개) : 1. EPC Contract Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses, 7. Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, 10. Business Reserve, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others
  - Level 3 변수 (24개) : 1. EPC Contract Costs, Engineering Costs, Procurement Costs, Construction Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, Acquisition tax & Registration tax, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses,7. Collateral Expenses, Supervising Costs, Insurance, Finance Collateral Expenses, Other Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, Acquisition tax & Registration tax, Property tax, Value added tax, Land Donation Value added tax, Possession tax, 10. Business Reserve, Business Commence Expense, Organization Costs, Stock Issue Costs, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others
  - Sharing CAPEX를 통해서 총 초기 투자비용 중 차지하고 있는 지분에 대한 투자비용을 알 수 있다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input

- 01.Model Structure : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Sharing Ratio, CAPEX & Economic Assumption
- 05.CAPEX Profile : CAPEX Outflow(%)

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 14.Financing : Sharing CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Sharing CAPEX
- 19.Cash Flow Statement : Sharing CAPEX
- 23.Charts : Sharing CAPEX

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 06.CAPEX 버튼을 통하여 01.Model structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• CAPEX Level-1 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-1을 선택
- Level 1 변수 (1개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-2 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-2을 선택
- Level 2 변수 (12개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-3 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-3을 선택
- Level 3 변수 (24개) * CAPEX Outflow (%)

• Total CAPEX (03.Assumption 시트를 참조)
- CAPEX 구성요소들의 합

• Sharing CAPEX (03.Assumption 시트를 참조, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 19.Cash Flow Statement, 23.Charts 시트에 참조)
- Total CAPEX * Sharing Ratio

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : CAPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 CAPEX의 합
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 7. OPEX

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
  - Level 1 변수 (2개) : OPEX, Irregular OPEX
  - Level 2 변수 (7개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, Irregular OPEX
  - Level 3 변수 (13개) : 1. Variable OPEX, Raw Material Costs, Added Material Costs, Shipping Costs, 2. Fixed Opex, Marketing Insurance, Research & Development, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, Repair Costs, Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, Electricity Costs, Water, Light & Heat Expenses, 6. Abandonment Costs, Irregular OPEX
  - Sharing OPEX를 통해서 총 운영관리비용 중 차지하고 있는 지분에 대한 운영관리비용을 알 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 07.OPEX 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Sharing Ratio, OPEX & Economic Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 16.Income Taxation : Sharing OPEX
  - 17.Working Capital : Sharing OPEX
  - 19.Cash Flow Statement : Sharing OPEX
  - 20.Income Statement : Sharing OPEX
  - 23.Charts : Sharing OPEX

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 07.OPEX 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- OPEX Level-1 (03.Assumption 시트를 참조)

- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-1을 선택
- Level 1 변수 (1개), Irregular OPEX

• OPEX Level-2 (03.Assumption 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-2을 선택
- Level 2 변수 (6개), Irregular OPEX

• OPEX Level-3 (03.Assumption 시트를 참조)
- 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-3을 선택
- Level 3 변수 (12개), Irregular OPEX

• Total OPEX
- OPEX 구성요소들의 합

• Sharing OPEX (03.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
- Total OPEX * Sharing Ratio

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : OPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 OPEX의 합
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 9. Production

○ 개요

• 주요역할
- 생산량의 Timeline
- 생산 비율에 따른 연도 별 가정 사항이 나타난다.
- 플랜트 사용량은 생산 비율과 지분에 따라 달라진다.

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 09.Production 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Production Assumption

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 11.Revenue : Consumer Production
- 23.Charts : Consumer Production

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 09.Production 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Ratio (03.Assumption 시트를 참조)
  - Production에 대한 Timeline
- LNG Consumer (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - Consumer 1 : Production Ratio * Service Fee Vol-Consumer 1
  - Consumer 2 : Production Ratio * Service Fee Vol-Consumer 2
  - Consumer 3 : Production Ratio * Service Fee Vol-Consumer 3
  - Consumer 4 : Production Ratio * Service Fee Vol-Consumer 4
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Consumer들이 차지하는 비율, Con 2 : 100%
  - Con 1 = 100% → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 ≠ 100% → “ERROR”

● 10. Pricing

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 가격 변동의 Timeline
  - Service Fee에 대한 연도 별 가정 사항이 나타난다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 10.Pricing 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Pricing Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 11.Revenue : Service Fee
  - 23.Charts : Service Fee

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 10.Pricing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Service Fee (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
- Consumer 1 : Service Fee 1 * (1+Cost Escalation)
- Consumer 2 : Service Fee 2 * (1+Cost Escalation)
- Consumer 3 : Service Fee 3 * (1+Cost Escalation)
- Consumer 4 : Service Fee 4 * (1+Cost Escalation)
- Escalation이 적용 되지 않으면 Cost Escalation 값은 0

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Consumer들이 차지하는 비율, Con 2 : 100%
- Con 1 = 100% → "OK", Con 1 ≠ Con 2 ≠ 100% → "ERROR"

● 11. Revenue

ㅇ 개요

• 주요역할
- 수익의 Timeline
- 시설 이용료를 통해 총 수익을 도출
- 시설 이용료는 (Consumer Production * Service Fee * Conversion Factor)을 통해 계산
- Sharing Revenue를 통해서 총 수익 중 차지하고 있는 지분에 대한 수익을 알 수 있다.

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 11.Revenue 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Sharing Ratio, Throughput Assumption
- 09.Production : Consumer Production
- 10.Pricing : Service Fee

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 16.Income Taxation : Sharing Revenue
- 17.Working Capital : Sharing Revenue

- 19.Cash Flow Statement : Sharing Revenue
- 20.Income Statement : Sharing Revenue
- 23.Charts : Sharing Revenue

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 11.Revenue 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Turnover (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)
  - Consumer 1 : Consumer 1 Production * Service Fee 1 * Conversion Factor
  - Consumer 2 : Consumer 2 Production * Service Fee 2 * Conversion Factor
  - Consumer 3 : Consumer 3 Production * Service Fee 3 * Conversion Factor
  - Consumer 4 : Consumer 4 Production * Service Fee 4 * Conversion Factor
- Total Revenue
  - Consumer 1 Turnover +Consumer 2 Turnover + Consumer 3 Turnover + Consumer 4 Turnover
- Sharing Revenue (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
  - Total Revenue * Sharing Ratio
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Revenue 전체 합, Con 2 : 연도 별 Revenue의 합
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 14. Financing

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 재원 조달의 Timeline
  - 예치 기간에 의하여 재원 조달을 공사 이전과 이후로 나눌 수 있다.
  - 건설 도중에 발생되는 이자를 더하여 정확한 재원 조달 금액을 알 수 있다.
  - 재원을 자본금과 대출금으로 구분 하여 나타낸다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 14.Financing 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 06.CAPEX : Sharing CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Funding Requirement
- 21.Balance Sheet : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 22.Feasibility Analysis : Equity
- 23.Charts : Equity, Funding Requirement

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 14.Financing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Funding Requirement (23.Charts 시트에 참조, 15.Repayment Schedule 시트를 참조)
- Funding Requirement : Funding Requirement (Before Operating) + Funding Requirement (After Operating)
- Funding Requirement (Before Operating) : Sharing CAPEX + Interest during construction
- Funding Requirement (After Operating) : Drawdown - Qualified capital expenditure - Interest during construction

• Accumulated Assets (21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Funding Requirement의 누적액

• Equity (3.Assumption, 6.CAPEX 시트를 참조, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조
- Equity : CAPEX Sharing * Equity Ratio
- Accumulated Equity : Equity의 누적액

• Capex not Financed yet
- Funding Requirement - Equity

• Funding Schedule
- Equity + Capex not Financed yet

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Funding Requirement, Con 2 : Funding Schedule
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 15. Repayment Schedule

○ 개요

- 주요역할
  - 상환 금액의 Timeline
  - 대출금에 대한 총 금액을 실제 필요한 금액과 이자의 합으로 나누어 나타낸다.
  - 각 연도 별 개시잔액과 결산잔고를 나누어 나타낸다.
  - 공사가 끝난 후의 대출금에 대한 이자를 나타낸다.
  - 원리금 균등 상환 방법을 통하여 연도별 상환되는 금액과 그 총액을 나타낸다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 06.CAPEX : Sharing CAPEX
  - 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 14.Financing : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure
  - 16.Income Taxation : Interest
  - 19.Cash Flow Statement : Interest, Repayment
  - 20.Income Statement : Interest
  - 21.Balance Sheet : Closing Balance
  - 22.Feasibility Analysis : Interest, Repayment
  - 23.Charts : Interest, Repayment

○ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 15.Repayment Schedule 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Opening & Closing Balance (21.Balance Sheet 시트에 참조)

- Opening Balance : 이전 연도 Closing Balance
- Closing Balance : Opening Balance + Drawdown + Repayment

• Drawdown (3.Assumption 시트를 참조, 14.Financing 시트에 참조)
- Qualified capital expenditure : CAPEX Sharing * Debt Ratio
- Interest during construction : Opening Balance * Interest Rate
- Drawdown : Qualified capital expenditure + Interest during construction + Interest during grace period

• Debt Service Available Period (3.Assumption 시트를 참조)
- Repayment 해당 연도를 1로 표시 (그 외는 0)

• Interest (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)
- Opening Balance * Interest Rate

• Repayment
- Carry Forward Debt Service : 상환금액이 수익보다 많을 시에 다음 년도로 이월되는 금액
- Repayment : 각 연도별 상환 금액 (원리금 균등 상환)

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Opening Balance, Con 2 : Closing Balance
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 16. Income Taxation

○ 개요

• 주요역할
- 소득세의 Timeline
- 총 수익과 총 운영관리 비용을 통하여 순 운영소득을 구한다.
- 순 운영소득에서 감가상각과 이자비용을 고려하여 과세소득을 구한다.
- 과세소득에서 손실을 고려한 과세이득을 구한다.
- 과세이득에서 법인세율에 따른 소득세를 구한다.

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing & Tax Assumption

- 07.OPEX : Sharing OPEX
- 11.Revenue : Sharing Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest
- 18.Depreciation Statement : Depreciation

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 20.Income Statement : Tax

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 16.Income Taxation 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Operating Income (7.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
- Total Revenue : 해당 연도 총 수익
- Operating Costs : 해당 연도 총 운영관리 비용
- Operating Income : Total Revenue - Operating Costs

• Taxable Income (15.Repayment Schedule, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
- Fiscal Depreciation : 해당 연도 감가상각 금액
- Interest Expenses : 해당 연도 이자 금액
- Operating Income - Fiscal Depreciation - Interest Expenses

• Loss
- Loss Incurred : 해당 연도 Taxable Income과 0의 최솟값
- Loss Written off :
- Cumulative Loss :

• Taxable Profit
- (Taxable Income - Loss Written off, 0)의 최댓값

• Taxable Profit (3.Assumption 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Taxable Profit * Income Tax

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Taxable Profit * Tax Rate, Con 2 : Tax
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 17. Working Capital

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 운전 자본의 Timeline
  - 1달간의 이익과 지출의 차이를 운전 자본이라 고려한다.
  - 운전 자본은 유동 자산의 일부로 재무상태표에서 계산 된다.
  - 운전 자본의 차액은 현금 흐름표에서 지출로 계산 된다.
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 17.Working Capital 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 07.OPEX : Sharing OPEX
  - 11.Revenue : Sharing Revenue
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Change in Working Capital
  - 21.Balance Sheet : Net Working Capital

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 17.Working Capital 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Receivables (3.Assumption, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Selling Fee : Sharing Revenue * (Banking days per month days / Banking days per year days)
- Payables (3.Assumption, 7.OPEX 시트를 참조)
  - Operating Costs : Sharing OPEX * (Calendar days per month days / Calendar days per year days)
- Working Capital (19.Cash Flow Statement 시트에 참조)
  - Net Working Capital : Selling Fee - Operating Costs
  - Change in Working Capital : 당해 연도 Net Working Capital - 이전 연도

Net Working Capital

- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Service Fee - Operating Costs, Con 2 : Net Working Capital
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 18. Depreciation Statement

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 감가 상각의 Timeline
  - 정액법, 정률법 모두를 나타낸다.
  - 정액법, 정률법 중 3.Assumption 시트에서 선택된 한 가지 방법을 통하여 나머지 시트를 계산
  - 감가 상각액을 통하여 손익계산서를 도출
  - 누적 감가 상각액을 통하여 재무상태표를 도출
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Depreciation Assumption
  - 14.Financing : Funding Requirement
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 16.Income Taxation : Depreciation
  - 20.Income Statement : Depreciation
  - 21.Balance Sheet : Accumulated Depreciation

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 18.Depreciation Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Straight Line (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
  - Residual Value : 잔존가치 비율
  - Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of

Assets (Last Year)

- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Straight Line (Depreciation) (3.Assumption 시트를 참조)

- Depreciation : Total Funding Requirement * (1-Residual Value)
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Year) + Depreciation (Present Year)

• Declining Balance (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)

- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Declining Balance (Depreciation)

- Depreciation : Gross Block of Depreciation Assets *
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Years) + Depreciation (Present Year)

• Depreciation (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)

- Depreciation : Straight Line과 Declining Balance 중 Depreciation Method를 선택
- Accumulated Depreciation : Depreciation의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : 감가상각 방법이 정액법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정액법, Con 2 : 감가상각 방법이 정률법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정률법
- Condition 1 or Condition 2 = OK → “OK”, Condition 1 or Condition 2 = ERROR → “ERROR”

● 19. Cash Flow Statement

ㅇ 개요

• 주요역할

- 현금 흐름표의 Timeline
- 수익, 총 초기투자비, 총 운영관리비, 세금, 운전자본 등을 계산하여 순 현금 흐름표 도출
- 순 현금 흐름표에 이자와 상환 금액을 계산하여 투자자의 현금 흐름표를 도출
- 투자자의 현금 흐름표와 누적 캐시포지션, 순 수익과 유보 이익을 통하여 배당

금 도출

- 배당금을 통하여 캐시포지션, 누적 캐시포지션을 도출

- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year
  - 06.CAPEX : Sharing CAPEX
  - 07.OPEX : Sharing OPEX
  - 11.Revenue : Sharing Revenue
  - 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
  - 17.Working Capital : Change in Working Capital
  - 20.Income Statement : Tax
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 15.Repayment Schedule : Net Cash Flow
  - 20.Income Statement : Dividend
  - 21.Balance Sheet : Cash Position
  - 22.Feasibility Analysis : Net Cash Flow
  - 23.Charts : Net Cash Flow

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 19.Cash Flow Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Net Cash Flow (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue, 17.Working Capital, 20.Income Statement 시트를 참조, 15.Repayment Schedule, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조)
  - Revenue : Sharing Revenue
  - CAPEX : Sharing CAPEX
  - OPEX : Sharing OPEX
  - Tax : 이전년도 Tax

- Working Capital Requirement : Working Capital Requirement
- Net Cash Flow : Revenue - CAPEX - OPEX - Tax - Working Capital Requirement
- Accumulated Net Cash Flow : Net Cash Flow의 누적 금액

• Net Cash Flow Shareholders (15.Repayment Schedule 시트를 참조, 23.Charts 시트에 참조)
- Interest : Debt에 대한 이자
- Repayment : Repayment Timeline
- Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow - Interest - Repayment
- Accumulated Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow Available for Shareholders 누적 금액

• Dividends (3.Assumption, 20.Income Statement 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)

• Cash Position (3.Assumption 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Change in Cash : Net Cash Flow Available for Shareholders + Dividends
- Accumulated Cash Position : Change in Cash의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Net Cash Flow - Interest - Repayment, Con 2 : Net Cash Flow Available for Shareholders
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 20. Income Statement

ㅇ 개요

• 주요역할
- 손익 계산서의 Timeline
- 총 수익, 운영 비용을 계산 하여 운영 수익을 도출
- 운영 수익, 감가상각을 계산 하여 순 운영 수익을 도출
- 순 운영 수익, 이자를 계산 하여 소득세 지출 전 수익을 도출
- 소득세 지출 전 수익, 소득세를 계산 하여 순 수익을 도출
- 순 수익, 배당금을 계산 하여 유보 이익을 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 20.Income Statement 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 07.OPEX : Sharing OPEX
  - 11.Revenue : Sharing Revenue
  - 15.Repayment Schedule : Interest
  - 16.Income Taxation : Tax
  - 18.Depreciation Statement : Depreciation
  - 19.Cash Flow Statement : Dividend
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Tax
  - 21.Balance Sheet : Tax, Accumulated Retaining Earning
  - 22.Feasibility Analysis : Dividend

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 20.Income Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Loss (3.Assumption, 7.OPEX, 11.Revenue, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
  - Loss Carry Forward : 손실의 순연
  - Loss : (Sharing Revenue - Sharing OPEX - Depreciation)과 0의 최솟값 + 이전 년도 과세소득과 0의 최솟값의 합
- Operating Income (07.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Total Revenue : Sharing Revenue
  - Operating Costs : Sharing OPEX
  - Operating Income : Total Revenue - Operating Costs
- Net Operating Income (18.Depreciation Statement 시트를 참조)
  - Fiscal Depreciation : Depreciation 금액
  - Net Operating Income : Operating Income - Fiscal Depreciation
- Net Income (15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation 시트를 참조, 22.Feasibility Anlaysis 시트에 참조)

- Interest Expenses : Interest for debt
- Income Before Income Taxes : Net Operating Income - Interest Expenses
- Tax : Income Tax
- Net Income : Income Before Income Taxes - Tax

• Retaining Earning (19.Cash Flow Statement 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)

- Dividends : Dividends for shareholders
- Retained Earning : Net Income - Dividends
- Accumulated Retained Earning : Retained Earning의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Taxable Income * Tax Rate, Con 2 : Tax
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 21. Balance Sheet

ㅇ 개요

• 주요역할

- 재무 상태표의 Timeline
- 자산 = 유동자산 (운전자본 + 캐시포지션) + 고정자산 (총 투자비용 - 감가상각 누적액)
- 부채 = 단기부채 (세금) + 장기부채 (결산잔고)
- 자본 = 투자자 자본 + 유보이익
- 자산 = 부채 + 자본

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year
- 14.Financing : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 15.Repayment Schedule : Closing Balance
- 17.Working Capital : Net Working Capital
- 18.Depreciation Statement : Accumulated Depreciation
- 19.Cash Flow Statement : Cash Position
- 20.Income Statement : Tax, Accumulated Retaining Earning

- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 21.Balance Sheet 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Assets (3.Assumption, 14.Financing, 17.Working Capital, 18.Depreciation Sheet, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Working Capital : 운전자본
  - Cash Position : 현금 유동성
  - Current Asset : Working Capital - Cash Position
  - Gross Fixed Asset : 총 고정자산
  - Accumulated Depreciation : 감가상각
  - Net Fixed Assets : Gross Fixed Asset - Accumulated Depreciation
  - Total Assets : Current Asset + Net Fixed Assets
- Liability (.Assumption, 15.Repayment Schedule, 20.Income Statement 시트를 참조)
  - Current Liabilities : 단기 부채
  - Long term Liabilities : 장기 부채
  - Total Liabilities : Current Liabilities + Long term Liabilities
- Equity
  - Shareholder's Equity : 투자자의 자본
  - Accumulated Retained Earning : 누적 잉여금
  - Total Equity : Shareholder's Equity + Accumulated Retained Earning
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Total Assets, Con 2 : Total Liabilities + Total Equity
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

❑ Output Sheets

● 22. Feasibility Analysis

ㅇ **개요**

- 주요역할

- 모델의 주요 Output 도출
- Net Cash Flow를 통하여 NPV, IRR 도출
- Shareholder Cash Flow를 통하여 ROE 도출
- Discounted Net Cash Flow를 통하여 B/C Ratio, Payback Period 도출
- Annual Debt을 통하여 Minimum DSCR 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Economic Assumption
- 14.Financing : Equity
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
- 20.Income Statement : Dividend

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 02.Summary : Output Variables
- 03.Assumption : Model Check, Output Variables

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 22.Feasibility Analysis 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• NPV, IRR (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Net Cash Flow : 프로젝트의 현금흐름
- NPV : 프로젝트의 비용 및 수익을 현재가치법으로 계산
- IRR :프로젝트의 비용 및 수익을 내부수익률 기법으로 계산

• ROE (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 14.Financing, 20.Income Statement 시트를 참조)
- Equity : 프로젝트에 투입된 자본
- Dividend : 프로젝트 투자자들에게 주어지는 배당금
- Shareholder's Cash Flow : Equity + Dividend

- ROE : 프로젝트 투자자들의 내부수익률

• B/C Ratio (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 3.Assumption 시트를 참조)

- Discounted Net Cash Flow : 할인율이 고려된 현금흐름표
- Benefit : 프로젝트의 총 수익을 현재가치로 표현
- Cost : 프로젝트의 총 비용을 현재가치로 표현
- B/C Ratio : Benefit / -Costs

• Payback Period (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)

- Base Period : 프로젝트의 진행 기간
- Payback Period : 프로젝트의 원금이 회수가 완료된 기간
- Payback Period : Base Period에서 Payback Period가 감안된 연도

• Minimum DSCR (3.Assumption, 15.Repayment Schedule 시트를 참조, 2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)

- Annual Debt : Interest + Repayment
- DSCR : Net Cash Flow / Annual Debt
- Minimum DSCR : DSCR 값 중 최솟값

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : NPV value, Con 2 : Total Discounted Fee Cash Flow
- Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 23. Charts

ㅇ 개요

• 주요역할

- 주요 데이터를 차트화
- Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate의 가격
- Production : Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량
- CAPEX & OPEX : 총 투자 비용, 총 운영관리 비용
- Funding Requirement & Debt Service : 필요한 자본, 대출 자본
- Equity & Dividends : 투입 자본, 배당금
- Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 23.Charts 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Year
- 06.CAPEX : Sharing CAPEX
- 07.OPEX : Sharing OPEX
- 09.Production : Feed Gas, LNG, Condensate Production
- 10.Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing
- 11.Revenue : Sharing Revenue
- 14.Financing : Equity, Funding Requirement
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Pricing (9.Pricing 시트를 참조)
- 플랜트 시설 사용 비용 (Consumer 1, Consumer 2, Consumer 3, Consumer 4)

• Production (10.Production 시트를 참조)
- LNG 생산량 (MMBtu) (Consumer 1, Consumer 2, Consumer 3, Consumer 4)

• CAPEX & OPEX (6.CAPEX, 7.OPEX 시트를 참조)
- CAPEX : Sharing CAPEX
- OPEX : Sharing OPEX

• Funding Requirement & Debt Service (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Funding Requirement : Funding Requirement
- Debt Service : Repayment : Interest + Repayment

• Equity & Dividends (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Equity : Equity
- Dividend : Dividend

• Cash Flow (19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Net Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

❑ Risk Analysis

● 4. Risk

○ 개요

- 주요역할
  - @Risk 사용 시 활성화
  - Fluctuation Range (Min, Ml, Max) : 변동범위의 최소, 최빈, 최대
  - Variable Range (Min, Ml, Max) : 변수의 최소, 최빈, 최대
  - Risk의 적용 가능 변수 : CAPEX Level 1 (1개), CAPEX Level 2 (12개), CAPEX Level 3 (24개), OPEX Level 1 (1개), OPEX Level 2 (6개), OPEX Level 3 (12개), Revenue (3개), Pricing (7개), Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting (6개)
  - Risk 분야를 고려하여 결정론적인 결과를 확률론적으로 변환
- 입력 가능 여부
  - 입력이 가능한 시트
  - 입력을 수행하면 3.Assumption 시트의 일부 변수들(Risk 적용 변수)은 입력이 4.Risk 시트에서만 가능

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 4.Risk 하이퍼 링크
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Risk 적용된 변수
  - 22.Feasibility Analysis : Output Variable 시뮬레이션

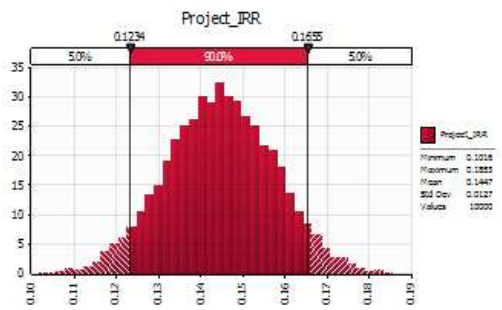
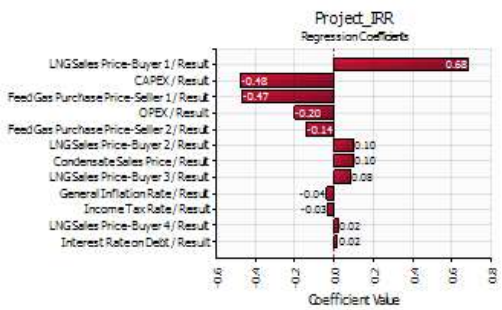
○ 세부 로직

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 04.Risk 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Fluctuation Range
  - CAPEX Level 1 : 변수 1개(CAPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - CAPEX Level 2 : 변수 12개(1. EPC Contract Costs, 2. Contingency, 3. Land

Purchase Costs, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses, 7. Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, 10. Business Reserve, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위

- CAPEX Level 3 : 변수 24개(1. EPC Contract Costs, Engineering Costs, Procurement Costs, Construction Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, Acquisition tax & Registration tax, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses,7. Collateral Expenses, Supervising Costs, Insurance, Finance Collateral Expenses, Other Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, Acquisition tax & Registration tax, Property tax, Value added tax, Land Donation Value added tax, Possession tax, 10. Business Reserve, Business Commence Expense, Organization Costs, Stock Issue Costs, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Other)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 1 : 변수 1개(OPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 2 : 변수 6개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 3 : 변수 12개(1. Variable OPEX, Raw Material Costs, Added Material Costs, Shipping Costs, 2. Fixed Opex, Marketing Insurance, Research & Development, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, Repair Costs, Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, Electricity Costs, Water, Light & Heat Expenses, 6. Abandonment Costs)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Revenue : 변수 3개(Feed Gas Throughput, Feed Gas to LNG Conversion, Condensate from LNG Throughput)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Pricing : 변수 7개(Feed Gas Purchase Price-Seller 1, Feed Gas Purchase Price-Seller 2, LNG Sales Price-Buyer 1, LNG Sales Price-Buyer 2, LNG Sales Price-Buyer 3, LNG Sales Price-Buyer 4, Condensate Sales Price)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting : 변수 6개(Debt Financing, Interest Rate on Debt, Income Tax Rate, General Inflation Rate, Cost Escalation Rate, Discount Rate)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- 최빈값은 100%

- Variable Range
  - Ml 값은 직접 입력 (03.Assumption 시트의 입력 값과 같음)
  - Min = Fluctuation Range (Min) * Ml Value
  - Man = Fluctuation Range (Max) * Ml Value
- Result (03.Assumption 시트에 참조)
  - 03.Assumption 시트의 해당 변수 부분에 참조
- Simulation : Output Variables 마다 시뮬레이션 수행 (22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

	
Probability Density Function	Sensitive Analysis

해외사업모델 경제적 타당성 평가 모델(Manual)

- Midstream : Transfer Pricing -

- ❑ Model Structure
- ❑ Input & Output Sheets
- ❑ Process Sheets
- ❑ Output Sheets
- ❑ Risk Analysis

❑ Model Structure

● 1.Model Structure

ㅇ 개요

- 주요역할
  - 모델의 전반적인 구조를 나타내는 시트
  - 23개의 시트를 Input & Output 부분, Process 부분, Output 부분으로 구조를 나타냄
  - Process 부분은 Cost, Revenue, Finance, Accounting, Financial Statement 의 부분으로 나눌 수 있음
  - 하이퍼 링크를 통하여 각각의 시트로 이동이 가능
  - 활성화 된 시트와 활성화 되지 않은 시트를 구분 할 수 있음
  - 시트간의 상관관계를 화살표를 통하여 알 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 02.Summary : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Structure 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Model Structure 하이퍼 링크
  - 05.CAPEX Profile : Model Structure 하이퍼 링크
  - 06.CAPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 07.OPEX : Model Structure 하이퍼 링크
  - 09.Production : Model Structure 하이퍼 링크
  - 10.Pricing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 11.Revenue : Model Structure 하이퍼 링크
  - 14.Financing : Model Structure 하이퍼 링크
  - 15.Repayment Schedule : Model Structure 하이퍼 링크
  - 16.Income Taxation : Model Structure 하이퍼 링크
  - 17.Working Capital : Model Structure 하이퍼 링크
  - 18.Depreciation Statement : Model Structure 하이퍼 링크
  - 19.Cash Flow Statement : Model Structure 하이퍼 링크
  - 20.Income Statement : Model Structure 하이퍼 링크
  - 21.Balance Sheet : Model Structure 하이퍼 링크

- 22.Feasibility Analysis : Model Structure 하이퍼 링크
- 23.Charts : Model Structure 하이퍼 링크

• Output
- 02.Summary : 02.Summary 하이퍼 링크
- 03.Assumption : 03.Assumption 하이퍼 링크
- 04.Risk : 04.Risk 하이퍼 링크
- 05.CAPEX Profile : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크
- 06.CAPEX : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 07.OPEX : 07.OPEX 하이퍼 링크
- 09.Production : 09.Production 하이퍼 링크
- 10.Pricing : 10.Pricing 하이퍼 링크
- 11.Revenue : 11.Revenue 하이퍼 링크
- 14.Financing : 14.Financing 하이퍼 링크
- 15.Repayment Schedule : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 16.Income Taxation : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
- 17.Working Capital : 17.Working Capital 하이퍼 링크
- 18.Depreciation Statement : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 19.Cash Flow Statement : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크
- 20.Income Statement : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 21.Balance Sheet : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 22.Feasibility Analysis : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 23.Charts : 23.Charts 하이퍼 링크

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink (Model Structure)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트에서 연결

• Hyperlink (Model Outline)
- 02.Summary ~ 23.Charts 까지 다른 시트로 연결

❑ Input & Output Sheets

● 2.Summary

ㅇ **개요**

• 주요역할
- 모델의 주요 입출력 변수를 간단하게 나타낸 시트

- Notice : 모델이 적용되는 부분, 버전, 입력 변수, 출력 변수에 대해 나타냄
- Output : 총 6가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타냄
- Input : 입력 변수 중에 주요한 요소만을 다룸 (공사 기간, 지분, 금액, 수익, 가격, 회계, 등)

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 02.Summary 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Input Variables
- 22.Feasibility Analysis : Output Variables

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 02.Summary 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Input Variables : 모델의 주요 입력 변수
- Time Period → Project Starting Year : 3.Assumption에서 'Project_Starting_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
- Time Period → Starting Operation Year : 3.Assumption에서 'Starting_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
- Time Period → End Operation Year : 3.Assumption에서 'End_Operation_Year'라고 정의된 값에 의해 표현
- Sharing → Ratio : 3.Assumption 시트에서 컨트롤 박스로 지정된 값을 통하여 표현
- Cost Estimation → CAPEX : 3.Assumption 시트의 총 공사비에 지분율을 곱하여 표현
- Cost Estimation → OPEX : 3.Assumption 시트의 1년 운영관리비에 지분율을 곱하여 표현
- Revenue → Feed Gas Throughput : 전체 Feed Gas 처리량에 전환율을 곱하여 표현
- Revenue → LNG Sales Price : 3.Assumption에서 'LSP_Buyer1~4'라고 정의된

값에 의해 표현

- Finance → Debt Financing : 3.Assumption에서 'Debt_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Income Tax Rate : 3.Assumption에서 'Tax_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Depreciation Method : 3.Assumption에서 컨트롤 박스에서 지정된 값을 통하여 정액법 또는 정률법으로 표현
- Finance → General Inflation Rate : 3.Assumption에서 'Inflation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Cost Estimation Rate : 3.Assumption에서 'Escalation_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현
- Finance → Discount Rate : 3.Assumption에서 'Discount_Rate'라고 정의된 값에 의해 표현

• Output Variables : 모델의 주요 출력 변수

- IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
- ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
- NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
- B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
- Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
- Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현

● 3.Assumption

ㅇ 개요

• 주요역할

- 모델의 주요 변수를 입력할 수 있는 시트
- Output : 총 6가지 부분으로 타당성 분석을 통한 모델의 결과를 나타냄
- Input : 최소 20 ~ 최대 70의 변수를 입력 할 수 있음
- CAPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- OPEX 변수를 LEVEL 1-3으로 나누어 입력이 가능
- Revenue, Production, Pricing, Finance, 등의 변수에 대한 입력이 필수적임
- 유가 상승을 고려한 가격 예측이 가능하도록 개발

• 입력 가능 여부

- 입력이 가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 03.Assumption 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
  - 05.CAPEX Profile : Model Check
  - 06.CAPEX : Model Check
  - 07.OPEX : Model Check
  - 09.Production : Model Check
  - 10.Pricing : Model Check
  - 11.Revenue : Model Check
  - 14.Financing : Model Check
  - 15.Repayment Schedule : Model Check
  - 16.Income Taxation : Model Check
  - 17.Working Capital : Model Check
  - 18.Depreciation Statement : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Model Check
  - 20.Income Statement : Model Check
  - 21.Balance Sheet : Model Check
  - 22.Feasibility Analysis : Model Check, Output Variables
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 04.Risk : Risk Analysis에서 설명
  - 05.CAPEX Profile : Year, CAPEX Schedule
  - 06.CAPEX : Year, Sharing Ratio, CAPEX & Economic Assumption
  - 07.OPEX : Year, Sharing Ratio, OPEX & Economic Assumption
  - 09.Production : Year, Production Assumption
  - 10.Pricing : Year, Pricing Assumption
  - 11.Revenue : Year, Sharing Ratio, Throughput Assumption
  - 14.Financing : Year, Financing Assumption
  - 15.Repayment Schedule : Year, Financing Assumption
  - 16.Income Taxation : Year, Financing & Tax Assumption
  - 17.Working Capital : Year, Financing Assumption
  - 18.Depreciation Statement : Year, Depreciation Assumption

- 19.Cash Flow Statement : Year
- 20.Income Statement : Year, Financing Assumption
- 21.Balance Sheet : Year
- 22.Feasibility Analysis : Year, Economic Assumption
- 23.Charts : Year

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 03.Assumption 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Model Check : 해당 시트의 오류 판단
  - 05.CAPEX Profile ~ 22.Feasibility Analysis 까지 모델을 검산 하여 옳게 계산되면 'OK', 오류가 발견 되면 'ERROR'로 표현
- Output : 모델의 주요 출력 변수
  - IRR : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_IRR'라고 정의된 값에 의해 표현
  - ROE : 22.Feasibility Analysis에서 'Project_ROE'라고 정의된 값에 의해 표현
  - NPV : 22.Feasibility Analysis에서 'NPV'라고 정의된 값에 의해 표현
  - B/C : 22.Feasibility Analysis에서 'BC_Ratio'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Payback Period : 22.Feasibility Analysis에서 'Payback_Period'라고 정의된 값에 의해 표현
  - Min.DSCR : 22.Feasibility Analysis에서 'Min_DSCR'라고 정의된 값에 의해 표현
- Revenue-Schedule : 프로젝트의 주요 사건의 시기 및 기간 입력
  - Project Life after start-up : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
  - Project Starting Year : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX, 9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)
  - Construction Period : 입력변수 (5.CAPEX Profile, 6.CAPEX, 7.OPEX,

9.Production, 10.Pricing, 11.Revenue, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasiblity Analysis, 23.Chart 시트에 참조)

- Starting Operation Year : Construction Period + Project Starting Year (10.Pricing, 14.Financing, 15.Repayment Statement, 18.Depreciation Statement, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- End Operation Year : Starting Operation Year + Project Life after start-up - 1 (10.Pricing, 14.Financing, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 18.Depreciation Statement, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Sharing Ratio : 지분율을 스크롤 박스를 통해서 최소, 최빈, 최대의 경우를 선택
- Minimum : 입력변수 (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue 시트에 참조)
- Most Likely : 입력변수 (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue 시트에 참조)
- Maximum : 입력변수 (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue 시트에 참조)

• Finance, Tax, Depreciation : 자원조달, 세금, 감가상각 등에 대한 변수
- Calendar days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Banking Days per year Days : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Receivables → Service Fee : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Payables → Operating Costs : 입력변수 (17.Working Capital 시트에 참조)
- Debt Financing : 입력변수 (2.Summary, 15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Equity Contribution : 1- Debt Financing (2.Summary, 14.Financing 시트에 참조)
- Interest Rate on Debt : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Grace Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Repayment Period : 입력변수 (15.Repayment Schedule 시트에 참조)
- Income Tax Rate : 입력변수 (16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Loss Carry Forward : 입력변수 (20.Income Statement 시트에 참조)
- Residual Value : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Depreciation Method : 스크롤을 통해 선택 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Straight Line → Depreciation Term : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시

트에 참조)

- Straight Line → Depreciation Rate : 1 / Depreciation Life (18.Depreciation Statement 시트에 참조)
- Declining Balance → Depreciation Rate : 입력변수 (18.Depreciation Statement 시트에 참조)

• Economy, Accounting : 경제, 회계에 대한 변수

- General Inflation Rate : 입력변수 (2.Summary, 7.OPEX 시트에 참조)
- Cost Escalation Rate : 입력변수 (2.Summary, 6.CAPEX 시트에 참조)
- Applying Escalation : 0 또는 1의 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)
- Discount Rate : 입력변수 (2.Summary, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

• Cost (CAPEX, OPEX) : Level1부터 3까지 총 초기투자비용 및 총 운영관리비용을 간단하게 계산하거나, 세분화시켜 계산할 수 있도록 함

- CAPEX Level 1 : 입력변수 (변수 1개 : CAPEX) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 2 : 입력변수 (변수 12개 : 1. EPC Contract Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses, 7. Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, 10. Business Reserve, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others) (6.CAPEX 시트에 참조)
- CAPEX Level 3 : 입력변수 (변수 24개: 1. EPC Contract Costs, Engineering Costs, Procurement Costs, Construction Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, Acquisition tax & Registration tax, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses,7. Collateral Expenses, Supervising Costs, Insurance, Finance Collateral Expenses, Other Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, Acquisition tax & Registration tax, Property tax, Value added tax, Land Donation Value added tax, Possession tax, 10. Business Reserve, Business Commence Expense, Organization Costs, Stock Issue Costs, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others) (6.CAPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 1 : 입력변수 (변수 2개 : OPEX, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)
- OPEX Level 2 : 입력변수 (변수 7개 : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6.

Abandonment Costs, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

- OPEX Level 3 : 입력변수 (변수 13개 : 1. Variable OPEX, Raw Material Costs, Added Material Costs, Shipping Costs, 2. Fixed Opex, Marketing Insurance, Research & Development, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, Repair Costs, Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, Electricity Costs, Water, Light & Heat Expenses, 6. Abandonment Costs, Irregular OPEX) (7.OPEX 시트에 참조)

• Revenue : 수익을 계산하기 위한 Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량 가정치를 입력

- Feed Gas Throughput : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- Feed Gas to LNG Conversion : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)
- LNG Throughput : Feed Gas Throughput * Feed Gas to LNG Conversion (9.Production 시트에 참조)
- Condensate from LNG Throughput : 입력변수
- Condensate Throughput : Feed Gas Throughput * Condensate from LNG Throughput (9.Production 시트에 참조)
- Conversion Factor : 입력변수 (11.Revenue 시트에 참조)

• Pricing & Production : 수익을 계산하기 위한 Feed Gas, LNG, Condensate의 가격 가정치를 입력

- Feed Gas Purchase Vol.Share-Seller 1 : 입력변수
- Feed Gas Purchase Vol-Seller 1 : Feed Gas Throughput * Feed Gas Purchase Vol.Share-Seller 1 (9.Production 시트에 참조)
- Feed Gas Purchase Price-Seller 1 : 입력변수
- Feed Gas Purchase Vol.Share-Seller 2 : 입력변수
- Feed Gas Purchase Vol-Seller 2 : Feed Gas Throughput * Feed Gas Purchase Vol.Share-Seller 2 (9.Production 시트에 참조)
- Feed Gas Purchase Price-Seller 2 : 입력변수
- LNG Sales Vol.Share-Buyer 1 : 입력변수
- LNG Sales Vol-Buyer 1 : LNG Throughput * LNG Sales Vol.Share-Buyer 1 (9.Production 시트에 참조)
- LNG Sales Price-Buyer 1 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- LNG Sales Vol.Share-Buyer 2 : 입력변수
- LNG Sales Vol-Buyer 2 : LNG Throughput * LNG Sales Vol.Share-Buyer 2

(9.Production 시트에 참조)

- LNG Sales Price-Buyer 2 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- LNG Sales Vol.Share-Buyer 3 : 입력변수
- LNG Sales Vol-Buyer 3 : LNG Throughput * LNG Sales Vol.Share-Buyer 3 (9.Production 시트에 참조)
- LNG Sales Price-Buyer 3 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- LNG Sales Vol.Share-Buyer 4 : 입력변수
- LNG Sales Vol-Buyer 4 : LNG Throughput * LNG Sales Vol.Share-Buyer 4 (9.Production 시트에 참조)
- LNG Sales Price-Buyer 4 : 입력변수 (2.Summary 시트에 참조)
- Condensate Sales Price : 입력변수 (10.Pricing 시트에 참조)

• CAPEX Schedule : 총 공사금액의 연도별 조달 금액을 나타냄

- Year : Project Start Year, Construction Period를 이용, 공사 기간 동안의 년도만을 표현
- Ratio : 입력변수 (5.CAPEX Profile 시트에 참조)
- Cost : 전체 공사 비용 x Ratio (5.CAPEX Profile 시트에 참조)

• OPEX Schedule : 운영 기간 동안에 불규칙적으로 발생할 수 있는 금액을 나타냄

- Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
- Irregular OPEX : Irregular OPEX가 있을시 'Yes', 없을시 'No'
- Cost : 입력변수 (7.OPEX 시트에 참조)

• Production Schedule : 연도별 가스 처리량을 비율을 통하여 나타냄

- Year : Project Life after start-up + Construction Period 보다 작은 년도만을 표현
- Ratio : 입력변수 (9.Production 시트에 참조)

• Gas & Oil Forecast : 미래의 가스 가격에 대한 신뢰성을 위하여 LNG, Wellhead Gas, Oil의 최근 가격을 입력하고, 추세식을 도출하여 본 모델의 가격 산출에 사용

- Historical LNG Price → Chart : 입력변수
- Historical LNG Price → Slope : Historical LNG Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Historical LNG Price → Revised Constant 1 : LNG Sales Pricing Buyer 1 - Historical LNG Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)
- Historical LNG Price → Revised Constant 2 : LNG Sales Pricing Buyer 2 -

Historical LNG Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Historical LNG Price → Revised Constant 3 : LNG Sales Pricing Buyer 3 - Historical LNG Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Historical LNG Price → Revised Constant 4 : LNG Sales Pricing Buyer 4 - Historical LNG Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Historical Wellhead Price → Chart : 입력변수

- Historical Wellhead Price → Slope : Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Historical Wellhead Price → Revised Constant 1 : Feed Gas Purchase Price Seller 1 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Historical Wellhead Price → Revised Constant 2 : Feed Gas Purchase Price Seller 2 - Historical Wellhead Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Historical Oil Price → Chart : 입력변수

- Historical Oil Price → Slope : Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

- Historical Oil Price → Revised Constant : Condensate Sales Price - Historical Oil Price Chart 추세식의 기울기 (10.Pricing 시트에 참조)

❑ Process Sheets

● 5. CAPEX Profile

○ 개요

- 주요역할

  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 나타낸 시트

  - 초기 투자 비용의 투자 비율을 통한 초기 투자 비용의 전체적인 Timeline을 확인 할 수 있음

- 입력 가능 여부

  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input

  - 01.Model Structure : 05.CAPEX Profile 하이퍼 링크

  - 03.Assumption : Year, CAPEX Schedule

- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 06.CAPEX : CAPEX Outflow (%)

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 05.CAPEX Profile 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- CAPEX Outflow (%) (03.Assumption 시트를 참조, 06.CAPEX 시트에 참조)
  - 각 연도별 CAPEX 분배 %
- CAPEX Outflow
  - CAPEX Outflow (%) * Total CAPEX
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Accumulated CAPEX Outflow (%)의 최종 값, Con 2 : 100%
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 6. CAPEX

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
  - Level 1 변수 (1개) : CAPEX
  - Level 2 변수 (12개) : 1. EPC Contract Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses, 7. Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, 10. Business Reserve, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others
  - Level 3 변수 (24개) : 1. EPC Contract Costs, Engineering Costs, Procurement Costs, Construction Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, Acquisition tax & Registration tax, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses,7. Collateral Expenses, Supervising Costs, Insurance, Finance Collateral Expenses, Other Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, Acquisition tax & Registration tax, Property tax, Value added tax, Land Donation Value added tax, Possession tax, 10. Business Reserve, Business Commence Expense,

Organization Costs, Stock Issue Costs, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others

- Sharing CAPEX를 통해서 총 초기 투자비용 중 차지하고 있는 지분에 대한 투자비용을 알 수 있음

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 06.CAPEX 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Sharing Ratio, CAPEX & Economic Assumption
- 05.CAPEX Profile : CAPEX Outflow(%)

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 14.Financing : Sharing CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Sharing CAPEX
- 19.Cash Flow Statement : Sharing CAPEX
- 23.Charts : Sharing CAPEX

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 06.CAPEX 버튼을 통하여 01.Model structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• CAPEX Level-1 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)

- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-1을 선택
- Level 1 변수 (1개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-2 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)

- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-2을 선택
- Level 2 변수 (12개) * CAPEX Outflow (%)

• CAPEX Level-3 (03.Assumption, 05.CAPEX Profile 시트를 참조)

- 03.Assumption 시트에서 CAPEX Level-3을 선택
- Level 3 변수 (24개) * CAPEX Outflow (%)

• Total CAPEX (03.Assumption 시트를 참조)

- CAPEX 구성요소들의 합

- Sharing CAPEX (03.Assumption 시트를 참조, 14.Financing, 15.Repayment Schedule, 19.Cash Flow Statement, 23.Charts 시트에 참조)
  - Total CAPEX * Sharing Ratio
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : CAPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 CAPEX의 합
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 7. OPEX

○ 개요

- 주요역할
  - 초기 투자비용의 Timeline
  - 3. Assumption 시트에서 LEVEL을 1-3 까지 설정하여 변수를 조정할 수 있음
  - Level 1 변수 (2개) : OPEX, Irregular OPEX
  - Level 2 변수 (7개) : 1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs, Irregular OPEX
  - Level 3 변수 (13개) : 1. Variable OPEX, Raw Material Costs, Added Material Costs, Shipping Costs, 2. Fixed Opex, Marketing Insurance, Research & Development, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, Repair Costs, Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, Electricity Costs, Water, Light & Heat Expenses, 6. Abandonment Costs, Irregular OPEX
  - Sharing OPEX를 통해서 총 운영관리비용 중 차지하고 있는 지분에 대한 운영관리비용을 알 수 있음
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 07.OPEX 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Sharing Ratio, OPEX & Economic Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 16.Income Taxation : Sharing OPEX
  - 17.Working Capital : Sharing OPEX

- 19.Cash Flow Statement : Sharing OPEX
- 20.Income Statement : Sharing OPEX
- 23.Charts : Sharing OPEX

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 07.OPEX 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- OPEX Level-1 (03.Assumption 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-1을 선택
  - Level 1 변수 (1개), Irregular OPEX
- OPEX Level-2 (03.Assumption 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-2을 선택
  - Level 2 변수 (6개), Irregular OPEX
- OPEX Level-3 (03.Assumption 시트를 참조)
  - 03.Assumption 시트에서 OPEX Level-3을 선택
  - Level 3 변수 (12개), Irregular OPEX
- Total OPEX
  - OPEX 구성요소들의 합
- Sharing OPEX (03.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 17.Working Capital, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)
  - Total OPEX * Sharing Ratio
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : OPEX 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 OPEX의 합
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 9. Production

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 생산량의 Timeline
  - 생산 비율에 따라 Feed Gas 공급량, LNG 판매량, Condensate 판매량에 대한 연도 별 가정 사항이 나타남
  - Feed Gas 공급량은 생산 비율과 Feed Gas 판매자 지분에 따라 달라짐
  - LNG 판매량은 생산 비율과 LNG 구매자 지분에 따라 달라짐
  - Condensate 판매량은 LNG 처리 비율에 따라 달라짐

- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 09.Production 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Production Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 11.Revenue : Feed Gas, LNG, Condensate Production
  - 23.Charts : Feed Gas, LNG, Condensate Production

ㅇ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 09.Production 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Ratio (03.Assumption 시트를 참조)
  - Production에 대한 Timeline
- Feed Gas Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - Feed Gas : Production Ratio * Feed Gas Throughput
  - Feed Gas-Seller 1 : Production Ratio * Feed Gas Purchase Vol-Seller 1
  - Feed Gas-Seller 2 : Production Ratio * Feed Gas Purchase Vol-Seller 2
- LNG Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - LNG : Production Ratio * LNG Throughput
  - LNG-Buyer 1 : Production Ratio * LNG Sales Price Vol-Buyer 1
  - LNG-Buyer 2 : Production Ratio * LNG Sales Price Vol-Buyer 2
  - LNG-Buyer 3 : Production Ratio * LNG Sales Price Vol-Buyer 3
  - LNG-Buyer 4 : Production Ratio * LNG Sales Price Vol-Buyer 4
- Condensate Production (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - Production Ratio * Condensate Throughput
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Feed Gas 생산량에서 판매자가 차지하는 비율, Con 2 : LNG 생산량에서 구매자가 차지하는 비율
- Con 1 = Con 2 = 100% → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 ≠ 100% → “ERROR”

● 10. Pricing

○ 개요

- 주요역할
  - 가격 변동의 Timeline
  - Feed Gas 구매 가격, LNG 판매 가격, Condensate 판매 가격에 대한 연도 별 가정 사항이 나타남
  - Feed Gas 구매 가격은 Wellhead Gas 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐
  - LNG 판매 가격은 LNG 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐
  - Condensate 판매 가격은 Oil 변동 추세식의 기울기와 상수에 따라 달라짐
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 10.Pricing 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Pricing Assumption
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 11.Revenue : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing
  - 23.Charts : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing

○ 세부 로직

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 10.Pricing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Feed Gas Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - Feed Gas Purchase Price-Seller 1 : Wellhead Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 1
  - Feed Gas Purchase Price-Seller 2 : Wellhead Price Slope * (Applied Year -

Starting Operation Year +1) + Wellhead Price Revised Constant 2

- LNG Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - LNG Sales Price-Buyer 1 : LNG Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + LNG Price Revised Constant 1
  - LNG Sales Price-Buyer 2 : LNG Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + LNG Price Revised Constant 2
  - LNG Sales Price-Buyer 3 : LNG Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + LNG Price Revised Constant 3
  - LNG Sales Price-Buyer 4 : LNG Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + LNG Price Revised Constant 4
- Condensate Purchase Price (03.Assumption 시트를 참조, 11.Revenue, 23.Charts 시트에 참조)
  - Oil Price Slope * (Applied Year - Starting Operation Year +1) + Oil Price Revised Constant
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Feed Gas 생산량에서 판매자가 차지하는 비율, Con 2 : LNG 생산량에서 구매자가 차지하는 비율
  - Con 1 = Con 2 = 100% → "OK", Con 1 ≠ Con 2 ≠ 100% → "ERROR"

● 11. Revenue

○ 개요

- 주요역할
  - 수익의 Timeline
  - (LNG 판매 수익 + Condensate 판매 수익 - Feed Gas 구매 비용)을 통해 총 수익을 도출
  - Feed Gas 구매 비용은 (Feed Gas Production * Feed Gas Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
  - LNG 판매 비용은 (LNG Production * LNG Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
  - Condensate 판매 비용은 (Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor)을 통해 계산
  - Sharing Revenue를 통해서 총 수익 중 차지하고 있는 지분에 대한 수익을 알 수 있음

- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 11.Revenue 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Sharing Ratio, Throughput Assumption
  - 09.Production : Feed Gas, LNG, Condensate Production
  - 10.Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 16.Income Taxation : Sharing Revenue
  - 17.Working Capital : Sharing Revenue
  - 19.Cash Flow Statement : Sharing Revenue
  - 20.Income Statement : Sharing Revenue
  - 23.Charts : Sharing Revenue

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 11.Revenue 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Feed Gas Expense (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)
  - Feed Gas Turnover-Seller 1 : Seller 1 Production * Seller 1 Pricing * Conversion Factor
  - Feed Gas Turnover-Seller 2 : Seller 2 Production * Seller 2 Pricing * Conversion Factor
  - Feed Gas Turnover-Sub Total : Feed Gas Turnover-Seller 1 + Feed Gas Turnover-Seller 2
- LNG Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)
  - LNG Sales Turnover-Buyer 1 : Buyer 1 Production * Buyer 1 Pricing * Conversion Factor
  - LNG Sales Turnover-Buyer 2 : Buyer 2 Production * Buyer 2 Pricing * Conversion Factor
  - LNG Sales Turnover-Buyer 3 : Buyer 3 Production * Buyer 3 Pricing *

Conversion Factor

- LNG Sales Turnover-Buyer 4 : Buyer 4 Production * Buyer 4 Pricing * Conversion Factor
- LNG Sales Turnover-Sub Total : LNG Sales Turnover-Buyer 1 + LNG Sales Turnover-Buyer 2 + LNG Sales Turnover-Buyer 3 + LNG Sales Turnover-Buyer 4

• Condensate Sales Revenue (3.Assumption, 9.Production, 10.Pricing 시트를 참조)

- Condensate Sales Price Turnover : Condensate Production * Condensate Pricing * Conversion Factor

• Total Revenue

- LNG Turnover + Condensate Turnover - Feed Gas Turnover

• Sharing Revenue (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 23.Charts 시트에 참조)

- Total Revenue * Sharing Ratio

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Revenue 구성 항목들의 전체 합, Con 2 : 연도 별 Revenue의 합
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 14. Financing

ㅇ 개요

• 주요역할

- 재원 조달의 Timeline
- 예치 기간에 의하여 재원 조달을 공사 이전과 이후로 나눌 수 있음
- 건설 도중에 발생되는 이자를 더하여 정확한 재원 조달 금액을 알 수 있음
- 재원을 자본금과 대출금으로 구분 하여 나타냄

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 14.Financing 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 06.CAPEX : Sharing CAPEX
- 15.Repayment Schedule : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 18.Depreciation Statement : Funding Requirement
- 21.Balance Sheet : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 22.Feasibility Analysis : Equity
- 23.Charts : Equity, Funding Requirement

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 14.Financing 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Funding Requirement (23.Charts 시트에 참조, 15.Repayment Schedule 시트를 참조)
  - Funding Requirement : Funding Requirement (Before Operating) + Funding Requirement (After Operating)
  - Funding Requirement (Before Operating) : Sharing CAPEX + Interest during construction
  - Funding Requirement (After Operating) : Drawdown - Qualified capital expenditure - Interest during construction
- Accumulated Assets (21.Balance Sheet 시트에 참조)
  - Funding Requirement의 누적액
- Equity (3.Assumption, 6.CAPEX 시트를 참조, 21.Balance Sheet, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조
  - Equity : CAPEX Sharing * Equity Ratio
  - Accumulated Equity : Equity의 누적액
- Capex not Financed yet
  - Funding Requirement - Equity
- Funding Schedule
  - Equity + Capex not Financed yet
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Funding Requirement, Con 2 : Funding Schedule
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 15. Repayment Schedule

ㅇ **개요**

- 주요역할

- 상환 금액의 Timeline
- 대출금에 대한 총 금액을 실제 필요한 금액과 이자의 합으로 나누어 나타냄
- 각 연도 별 개시잔액과 결산잔고를 나누어 나타냄
- 공사가 끝난 후의 대출금에 대한 이자를 나타냄
- 원리금 균등 상환 방법을 통하여 연도별 상환되는 금액과 그 총액을 나타냄

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 15.Repayment Schedule 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 06.CAPEX : Sharing CAPEX
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 14.Financing : Drawdown, IDC, Qualified capital expenditure
- 16.Income Taxation : Interest
- 19.Cash Flow Statement : Interest, Repayment
- 20.Income Statement : Interest
- 21.Balance Sheet : Closing Balance
- 22.Feasibility Analysis : Interest, Repayment
- 23.Charts : Interest, Repayment

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink (01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 15.Repayment Schedule 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Opening & Closing Balance (21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Opening Balance : 이전 연도 Closing Balance
- Closing Balance : Opening Balance + Drawdown + Repayment

• Drawdown (3.Assumption 시트를 참조, 14.Financing 시트에 참조)
- Qualified capital expenditure : CAPEX Sharing * Debt Ratio
- Interest during construction : Opening Balance * Interest Rate

- Drawdown : Qualified capital expenditure + Interest during construction + Interest during grace period

- Debt Service Available Period (3.Assumption 시트를 참조)
  - Repayment 해당 연도를 1로 표시 (그 외는 0)
- Interest (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 19.Cash Flow Statement, 20.Income Statement, 22.Feasibility Analysis 시트에 참조)
  - Opening Balance * Interest Rate
- Repayment
  - Carry Forward Debt Service : 상환금액이 수익보다 많을 시에 다음 년도로 이월되는 금액
  - Repayment : 각 연도별 상환 금액 (원리금 균등 상환)
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Opening Balance, Con 2 : Closing Balance
  - Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 16. Income Taxation

○ 개요

- 주요역할
  - 소득세의 Timeline
  - 총 수익과 총 운영관리 비용을 통하여 순 운영소득을 구함
  - 순 운영소득에서 감가상각과 이자비용을 고려하여 과세소득을 구함
  - 과세소득에서 손실을 고려한 과세이득을 구함
  - 과세이득에서 법인세율에 따른 소득세를 구함
- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

- Input
  - 01.Model Structure : 16.Income Taxation 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing & Tax Assumption
  - 07.OPEX : Sharing OPEX
  - 11.Revenue : Sharing Revenue
  - 15.Repayment Schedule : Interest
  - 18.Depreciation Statement : Depreciation
- Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 20.Income Statement : Tax

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 16.Income Taxation 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Operating Income (7.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Total Revenue : 해당 연도 총 수익
  - Operating Costs : 해당 연도 총 운영관리 비용
  - Operating Income : Total Revenue - Operating Costs
- Taxable Income (15.Repayment Schedule, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
  - Fiscal Depreciation : 해당 연도 감가상각 금액
  - Interest Expenses : 해당 연도 이자 금액
  - Operating Income - Fiscal Depreciation - Interest Expenses
- Loss
  - Loss Incurred : 해당 연도 Taxable Income과 0의 최솟값
  - Loss Written off :
  - Cumulative Loss :
- Taxable Profit
  - (Taxable Income - Loss Written off, 0)의 최댓값
- Taxable Profit (3.Assumption 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)
  - Taxable Profit * Income Tax
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Taxable Profit * Tax Rate, Con 2 : Tax
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 17. Working Capital

ㅇ **개요**

- 주요역할
  - 운전 자본의 Timeline
  - 1달간의 이익과 지출의 차이를 운전 자본이라 고려함
  - 운전 자본은 유동 자산의 일부로 재무상태표에서 계산 됨
  - 운전 자본의 차액은 현금 흐름표에서 지출로 계산 됨

- 입력 가능 여부
  - 입력이 불가능한 시트

ㅇ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 17.Working Capital 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Year, Financing Assumption
  - 07.OPEX : Sharing OPEX
  - 11.Revenue : Sharing Revenue
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Model Check
  - 19.Cash Flow Statement : Change in Working Capital
  - 21.Balance Sheet : Net Working Capital

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 17.Working Capital 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Receivables (3.Assumption, 11.Revenue 시트를 참조)
  - Selling Fee : Sharing Revenue * (Banking days per month days / Banking days per year days)
- Payables (3.Assumption, 7.OPEX 시트를 참조)
  - Operating Costs : Sharing OPEX * (Calendar days per month days / Calendar days per year days)
- Working Capital (19.Cash Flow Statement 시트에 참조)
  - Net Working Capital : Selling Fee - Operating Costs
  - Change in Working Capital : 당해 연도 Net Working Capital - 이전 연도 Net Working Capital
- Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
  - Con 1 : Service Fee - Operating Costs, Con 2 : Net Working Capital
  - Con 1 = Con 2 → “OK”, Con 1 ≠ Con 2 → “ERROR”

● 18. Depreciation Statement

ㅇ **개요**

- 주요역할

- 감가 상각의 Timeline
- 정액법, 정률법 모두를 나타냄
- 정액법, 정률법 중 3.Assumption 시트에서 선택된 한 가지 방법을 통하여 나머지 시트를 계산
- 감가 상각액을 통하여 손익계산서를 도출
- 누적 감가 상각액을 통하여 재무상태표를 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 18.Depreciation Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Depreciation Assumption
- 14.Financing : Funding Requirement

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 16.Income Taxation : Depreciation
- 20.Income Statement : Depreciation
- 21.Balance Sheet : Accumulated Depreciation

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 18.Depreciation Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Straight Line (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)
- Residual Value : 잔존가치 비율
- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Straight Line (Depreciation) (3.Assumption 시트를 참조)
- Depreciation : Total Funding Requirement * (1-Residual Value)
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Year) + Depreciation (Present Year)

• Declining Balance (Asset) (3.Assumption, 14.Financing 시트를 참조)

- Gross Block of Depreciation Assets : Funding Requirement - Net Block of Assets (Last Year)
- Net Block of Assets : Gross Block of Depreciation Assets - Depreciation

• Declining Balance (Depreciation)
- Depreciation : Gross Block of Depreciation Assets *
- Accumulated Depreciation : Depreciation (Last Years) + Depreciation (Present Year)

• Depreciation (3.Assumption 시트를 참조, 16.Income Taxation, 20.Income Statement 시트에 참조)
- Depreciation : Straight Line과 Declining Balance 중 Depreciation Method를 선택
- Accumulated Depreciation : Depreciation의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : 감가상각 방법이 정액법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정액법, Con 2 : 감가상각 방법이 정률법을 선택하였을 때, 최종 감가상각 방법이 정률법
- Condition 1 or Condition 2 = OK → "OK", Condition 1 or Condition 2 = ERROR → "ERROR"

● 19. Cash Flow Statement

ㅇ 개요

• 주요역할
- 현금 흐름표의 Timeline
- 수익, 총 초기투자비, 총 운영관리비, 세금, 운전자본 등을 계산하여 순 현금 흐름표 도출
- 순 현금 흐름표에 이자와 상환 금액을 계산하여 투자자의 현금 흐름표를 도출
- 투자자의 현금 흐름표와 누적 캐시포지션, 순 수익과 유보 이익을 통하여 배당금 도출
- 배당금을 통하여 캐시포지션, 누적 캐시포지션을 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 19.Cash Flow Statement 하이퍼 링크

- 03.Assumption : Year
- 06.CAPEX : Sharing CAPEX
- 07.OPEX : Sharing OPEX
- 11.Revenue : Sharing Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 17.Working Capital : Change in Working Capital
- 20.Income Statement : Tax

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 15.Repayment Schedule : Net Cash Flow
- 20.Income Statement : Dividend
- 21.Balance Sheet : Cash Position
- 22.Feasibility Analysis : Net Cash Flow
- 23.Charts : Net Cash Flow

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 19.Cash Flow Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Net Cash Flow (6.CAPEX, 7.OPEX, 11.Revenue, 17.Working Capital, 20.Income Statement 시트를 참조, 15.Repayment Schedule, 22.Feasibility Analysis, 23.Charts 시트에 참조)
- Revenue : Sharing Revenue
- CAPEX : Sharing CAPEX
- OPEX : Sharing OPEX
- Tax : 이전년도 Tax
- Working Capital Requirement : Working Capital Requirement
- Net Cash Flow : Revenue - CAPEX - OPEX - Tax - Working Capital Requirement
- Accumulated Net Cash Flow : Net Cash Flow의 누적 금액

• Net Cash Flow Shareholders (15.Repayment Schedule 시트를 참조, 23.Charts 시트에 참조)
- Interest : Debt에 대한 이자

- Repayment : Repayment Timeline
- Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow - Interest - Repayment
- Accumulated Net Cash Flow Available for Shareholders : Net Cash Flow Available for Shareholders 누적 금액

• Dividends (3.Assumption, 20.Income Statement 시트를 참조, 20.Income Statement 시트에 참조)

• Cash Position (3.Assumption 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Change in Cash : Net Cash Flow Available for Shareholders + Dividends
- Accumulated Cash Position : Change in Cash의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)
- Con 1 : Net Cash Flow - Interest - Repayment, Con 2 : Net Cash Flow Available for Shareholders
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 20. Income Statement

○ 개요

• 주요역할
- 손익 계산서의 Timeline
- 총 수익, 운영 비용을 계산 하여 운영 수익을 도출
- 운영 수익, 감가상각을 계산 하여 순 운영 수익을 도출
- 순 운영 수익, 이자를 계산 하여 소득세 지출 전 수익을 도출
- 소득세 지출 전 수익, 소득세를 계산 하여 순 수익을 도출
- 순 수익, 배당금을 계산 하여 유보 이익을 도출

• 입력 가능 여부
- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input
- 01.Model Structure : 20.Income Statement 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Financing Assumption
- 07.OPEX : Sharing OPEX
- 11.Revenue : Sharing Revenue
- 15.Repayment Schedule : Interest
- 16.Income Taxation : Tax

- 18.Depreciation Statement : Depreciation
- 19.Cash Flow Statement : Dividend

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check
- 19.Cash Flow Statement : Tax
- 21.Balance Sheet : Tax, Accumulated Retaining Earning
- 22.Feasibility Analysis : Dividend

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 20.Income Statement 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Loss (3.Assumption, 7.OPEX, 11.Revenue, 18.Depreciation Statement 시트를 참조)
- Loss Carry Forward : 손실의 순연
- Loss : (Sharing Revenue - Sharing OPEX - Depreciation)과 0의 최솟값 + 이전 년도 과세소득과 0의 최솟값의 합

• Operating Income (07.OPEX, 11.Revenue 시트를 참조)
- Total Revenue : Sharing Revenue
- Operating Costs : Sharing OPEX
- Operating Income : Total Revenue - Operating Costs

• Net Operating Income (18.Depreciation Statement 시트를 참조)
- Fiscal Depreciation : Depreciation 금액
- Net Operating Income : Operating Income - Fiscal Depreciation

• Net Income (15.Repayment Schedule, 16.Income Taxation 시트를 참조, 22.Feasibility Anlaysis 시트에 참조)
- Interest Expenses : Interest for debt
- Income Before Income Taxes : Net Operating Income - Interest Expenses
- Tax : Income Tax
- Net Income : Income Before Income Taxes - Tax

• Retaining Earning (19.Cash Flow Statement 시트를 참조, 21.Balance Sheet 시트에 참조)
- Dividends : Dividends for shareholders
- Retained Earning : Net Income - Dividends

- Accumulated Retained Earning : Retained Earning의 누적 금액

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Taxable Income * Tax Rate, Con 2 : Tax
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 21. Balance Sheet

ㅇ 개요

• 주요역할

- 재무 상태표의 Timeline
- 자산 = 유동자산 (운전자본 + 캐시포지션) + 고정자산 (총 투자비용 - 감가상각 누적액)
- 부채 = 단기부채 (세금) + 장기부채 (결산잔고)
- 자본 = 투자자 자본 + 유보이익
- 자산 = 부채 + 자본

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 21.Balance Sheet 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year
- 14.Financing : Accumulated Assets, Accumulated Equity
- 15.Repayment Schedule : Closing Balance
- 17.Working Capital : Net Working Capital
- 18.Depreciation Statement : Accumulated Depreciation
- 19.Cash Flow Statement : Cash Position
- 20.Income Statement : Tax, Accumulated Retaining Earning

• Output

- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Model Check

ㅇ 세부 로직

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)

- 21.Balance Sheet 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• Assets (3.Assumption, 14.Financing, 17.Working Capital, 18.Depreciation Sheet,

19.Cash Flow Statement 시트를 참조)

- Working Capital : 운전자본
- Cash Position : 현금 유동성
- Current Asset : Working Capital - Cash Position
- Gross Fixed Asset : 총 고정자산
- Accumulated Depreciation : 감가상각
- Net Fixed Assets : Gross Fixed Asset - Accumulated Depreciation
- Total Assets : Current Asset + Net Fixed Assets

• Liability (.Assumption, 15.Repayment Schedule, 20.Income Statement 시트를 참조)

- Current Liabilities : 단기 부채
- Long term Liabilities : 장기 부채
- Total Liabilities : Current Liabilities + Long term Liabilities

• Equity

- Shareholder's Equity : 투자자의 자본
- Accumulated Retained Earning : 누적 잉여금
- Total Equity : Shareholder's Equity + Accumulated Retained Earning

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : Total Assets, Con 2 : Total Liabilities + Total Equity
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

❑ Output Sheets

● 22. Feasibility Analysis

○ 개요

• 주요역할

- 모델의 주요 Output 도출
- Net Cash Flow를 통하여 NPV, IRR 도출
- Shareholder Cash Flow를 통하여 ROE 도출
- Discounted Net Cash Flow를 통하여 B/C Ratio, Payback Period 도출
- Annual Debt을 통하여 Minimum DSCR 도출

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

○ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 22.Feasibility Analysis 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year, Economic Assumption
- 14.Financing : Equity
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow
- 20.Income Statement : Dividend

• Output
- 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
- 02.Summary : Output Variables
- 03.Assumption : Model Check, Output Variables

ㅇ **세부 로직**

• Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
- 22.Feasibility Analysis 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
- Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

• NPV, IRR (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
- Net Cash Flow : 프로젝트의 현금흐름
- NPV : 프로젝트의 비용 및 수익을 현재가치법으로 계산
- IRR :프로젝트의 비용 및 수익을 내부수익률 기법으로 계산

• ROE (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 14.Financing, 20.Income Statement 시트를 참조)
- Equity : 프로젝트에 투입된 자본
- Dividend : 프로젝트 투자자들에게 주어지는 배당금
- Shareholder's Cash Flow : Equity + Dividend
- ROE : 프로젝트 투자자들의 내부수익률

• B/C Ratio (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조, 3.Assumption 시트를 참조)
- Discounted Net Cash Flow : 할인율이 고려된 현금흐름표
- Benefit : 프로젝트의 총 수익을 현재가치로 표현
- Cost : 프로젝트의 총 비용을 현재가치로 표현
- B/C Ratio : Benefit / -Costs

• Payback Period (2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)
- Base Period : 프로젝트의 진행 기간
- Payback Period : 프로젝트의 원금이 회수가 완료된 기간

- Payback Period : Base Period에서 Payback Period가 감안된 연도

• Minimum DSCR (3.Assumption, 15.Repayment Schedule 시트를 참조, 2.Summary, 3.Assumption 시트에 참조)

- Annual Debt : Interest + Repayment
- DSCR : Net Cash Flow / Annual Debt
- Minimum DSCR : DSCR 값 중 최솟값

• Model Check : Condition 1, Condition 2 비교 (03.Assumption 시트에 참조)

- Con 1 : NPV value, Con 2 : Total Discounted Fee Cash Flow
- Con 1 = Con 2 → "OK", Con 1 ≠ Con 2 → "ERROR"

● 23. Charts

ㅇ 개요

• 주요역할

- 주요 데이터를 차트화
- Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate의 가격
- Production : Feed Gas, LNG, Condensate의 생산량
- CAPEX & OPEX : 총 투자 비용, 총 운영관리 비용
- Funding Requirement & Debt Service : 필요한 자본, 대출 자본
- Equity & Dividends : 투입 자본, 배당금
- Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

• 입력 가능 여부

- 입력이 불가능한 시트

ㅇ 타 시트와 관계

• Input

- 01.Model Structure : 23.Charts 하이퍼 링크
- 03.Assumption : Year
- 06.CAPEX : Sharing CAPEX
- 07.OPEX : Sharing OPEX
- 09.Production : Feed Gas, LNG, Condensate Production
- 10.Pricing : Feed Gas, LNG, Condensate Pricing
- 11.Revenue : Sharing Revenue
- 14.Financing : Equity, Funding Requirement
- 15.Repayment Schedule : Interest, Repayment
- 19.Cash Flow Statement : Net Cash Flow

- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Pricing (9.Pricing 시트를 참조)
  - Feed Gas 가격 (Seller 1, Seller 2)
  - LNG 가격 (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
  - Condensate의 가격
- Production (10.Production 시트를 참조)
  - Feed Gas 생산량 (MMBtu) (Seller 1, Seller 2)
  - LNG 생산량 (MMBtu) (Buyer 1, Buyer 2, Buyer 3, Buyer 4)
  - Condensate의 생산량 (bbl)
- CAPEX & OPEX (6.CAPEX, 7.OPEX 시트를 참조)
  - CAPEX : Sharing CAPEX
  - OPEX : Sharing OPEX
- Funding Requirement & Debt Service (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Funding Requirement : Funding Requirement
  - Debt Service : Repayment : Interest + Repayment
- Equity & Dividends (14.Financing, 19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Equity : Equity
  - Dividend : Dividend
- Cash Flow (19.Cash Flow Statement 시트를 참조)
  - Net Cash Flow : 프로젝트 현금흐름표

ㅇ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 23.Charts 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결

❑ Risk Analysis

● 4. Risk

○ **개요**

- 주요역할
  - @Risk 사용 시 활성화
  - Fluctuation Range (Min, Ml, Max) : 변동범위의 최소, 최빈, 최대
  - Variable Range (Min, Ml, Max) : 변수의 최소, 최빈, 최대
  - Risk의 적용 가능 변수 : CAPEX Level 1 (1개), CAPEX Level 2 (12개), CAPEX Level 3 (24개), OPEX Level 1 (1개), OPEX Level 2 (6개), OPEX Level 3 (12개), Revenue (3개), Pricing (7개), Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting (6개)
  - Risk 분야를 고려하여 결정론적인 결과를 확률론적으로 변환
- 입력 가능 여부
  - 입력이 가능한 시트
  - 입력을 수행하면 3.Assumption 시트의 일부 변수들(Risk 적용 변수)은 입력이 4.Risk 시트에서만 가능

○ **타 시트와 관계**

- Input
  - 01.Model Structure : 4.Risk 하이퍼 링크
- Output
  - 01.Model Structure : Model Structure 하이퍼 링크
  - 03.Assumption : Risk 적용된 변수
  - 22.Feasibility Analysis : Output Variable 시뮬레이션

○ **세부 로직**

- Hyperlink(01.Model Structure 시트에 참조, 01.Model Structure 시트를 참조)
  - 04.Risk 버튼을 통하여 01.Model Structure로부터 연결
  - Model Structure 버튼을 통하여 01.Model Structure 시트로 연결
- Fluctuation Range
  - CAPEX Level 1 : 변수 1개(CAPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - CAPEX Level 2 : 변수 12개(1. EPC Contract Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses, 7. Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, 10. Business Reserve, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Others)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
  - CAPEX Level 3 : 변수 24개(1. EPC Contract Costs, Engineering Costs,

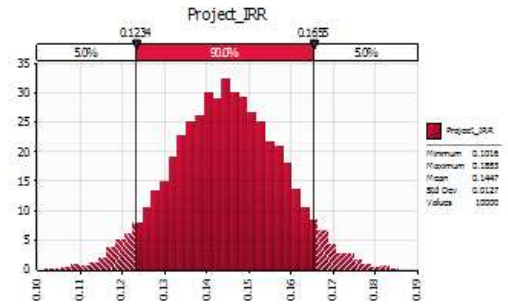
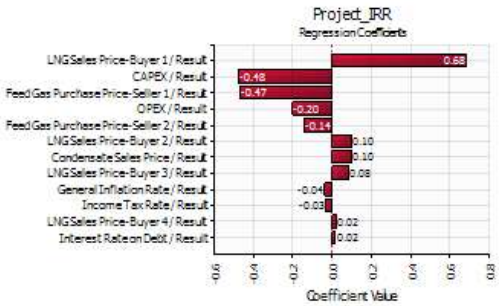
Procurement Costs, Construction Costs, 2. Contingency, 3. Land Purchase Costs, Acquisition tax & Registration tax, 4. Pre-op Expenses, 5. Investment Expenses, 6. Compensation Expenses,7. Collateral Expenses, Supervising Costs, Insurance, Finance Collateral Expenses, Other Collateral Expenses, 8. Equipment Operating Costs, 9. Taxes and the Public Utilities' Charge, Acquisition tax & Registration tax, Property tax, Value added tax, Land Donation Value added tax, Possession tax, 10. Business Reserve, Business Commence Expense, Organization Costs, Stock Issue Costs, 11. Replacement Investment Expenses, 12. Other)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위

- OPEX Level 1 : 변수 1개(OPEX)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 2 : 변수 6개(1. Variable OPEX, 2. Fixed OPEX, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, 6. Abandonment Costs)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- OPEX Level 3 : 변수 12개(1. Variable OPEX, Raw Material Costs, Added Material Costs, Shipping Costs, 2. Fixed Opex, Marketing Insurance, Research & Development, 3. Labor Costs, 4. Repair & Maintenance Costs, Repair Costs, Maintenance Costs, 5. Manufacturing Expenses, Electricity Costs, Water, Light & Heat Expenses, 6. Abandonment Costs)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Revenue : 변수 3개(Feed Gas Throughput, Feed Gas to LNG Conversion, Condensate from LNG Throughput)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Pricing : 변수 7개(Feed Gas Purchase Price-Seller 1, Feed Gas Purchase Price-Seller 2, LNG Sales Price-Buyer 1, LNG Sales Price-Buyer 2, LNG Sales Price-Buyer 3, LNG Sales Price-Buyer 4, Condensate Sales Price)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- Finance, Tax, Depreciation, Economy & Accounting : 변수 6개(Debt Financing, Interest Rate on Debt, Income Tax Rate, General Inflation Rate, Cost Escalation Rate, Discount Rate)에 대한 최소, 최빈, 최대 변동 범위
- 최빈값은 100%

- Variable Range
  - Ml 값은 직접 입력 (03.Assumption 시트의 입력 값과 같음)
  - Min = Fluctuation Range (Min) * Ml Value
  - Max = Fluctuation Range (Max) * Ml Value
- Result (03.Assumption 시트에 참조)

- 03.Assumption 시트의 해당 변수 부분에 참조

- Simulation : Output Variables 마다 시뮬레이션 수행 (22.Feasibility Analysis 시트에 참조)

	
Probability Density Function	Sensitive Analysis

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발에 관한 연구"과제(공동과제 "위험기반의 사업 및 공정관리 기법 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17 .

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원
공동연구책임자 : 박 환 표
연 구 원 : 이교선, 이영호, 진경호
" : 한재구, 한예령, 윤영주

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>08가스플랜트
B05</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.04.18.~
2015.12.17</td><td>단 계 구 분</td><td>3단계/
3단계</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">플랜트기술고도화사업
가스플랜트사업단</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">가스플랜트사업단-LNG 플랜트 핵심기반기술 개발
LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">위험기반의 사업 및 공정관리기법 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>박환표</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 7명
내부 : 3명
외부 : 4명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 636,500천원
기업 : 500,000천원
계 : 1,136,500천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설기술연구원
건설정책연구소</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)한길아이티,
신성종합건축사사무소(주)
(주)무영아멕스건축사사무소
(주)대흥종합엔지니어링
동신기술개발(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">본 공동과제가 속한 1핵심, 1-4세부 과제는 LNG 플랜트 사업의 생산성 향상 및 건설사업비 절감을 통한 해외시장 진출능력 및 국제경쟁력 향상으로 제시하고, 이를 달성하기 위한 목표임. 따라서, LNG 플랜트 생애주기에 대한 최적 프로세스 개발, 통합지식관리시스템 개발, 사업계획 전문가 시스템 개발, 사업관리 및 리스크 관리 능력 제고 등을 통해 LNG 플랜트 엔지니어링 생산성이 10% 향상된 지식관리 및 사업관리체계를 개발하고자 함.
본 연구과제의 최종 성과물 및 목표는 IT기반의 통합사업관리체계 구축을 통한 사업관리 업무량 10% 감소로, 세부목표는 다음과 같음.
• LNG 플랜트 사업관리 추진방향 수립
• 사업관리의 의사결정지원체계 구축
• 위험기반의 설계/구매조달/시공단계의 의사결정지원모듈 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">LNG플랜트, EPC, 사업관리시스템, 의사결정모델,
의사결정지원</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">LNG Plant, EPC, Project Management System,
Decision Making Model, Decision Making Support</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

- 1핵심과제명 : LNG 플랜트 핵심 기반기술 개발
- 4세부과제명 : LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발
- 공동 과제명 : 위험기반의 사업 및 공정관리 기법 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요(목적, 필요성, 범위 등을 기술)

플랜트 건설사업은 시스템 또는 설비를 대상으로 기획과 타당성 조사, 기본 및 실시설계, 구매·조달, 시공 및 시운전, 운영 및 유지보수 등 전 단계에 걸친 업무를 일괄하여 수행하는 건설분야 임. 이러한 플랜트 건설사업의 주요 특징은 복잡한 기술 집약형 물적 시스템, 기술 기준서의 산업, 산업설비기술의 역동성, 고도의 프로젝트 관리기술 요구 등으로 요약할 수 있음. 국내 플랜트 산업계의 현황은 대형 발전소 건설사업의 경우 건설사업관리 기술과 종합설계기술, 시공기술, 구매관리기술, 시운전기술 등이 자립되어 있음. 반면 LNG 플랜트의 경우 시공기술은 자립되어 있다고 볼 수 있으나 그 외의 기술은 확보가 미비하여 해외 건설시장에서 경쟁에 필요한 기술개발이 시급함.

특히, 해외 LNG 플랜트 건설 시장의 규모가 꾸준히 확대되는 시점에서 수주제고 및 높은 부가가치 창출을 위해서는 지금까지의 시공 위주의 수주가 아닌 EPC 일괄수주가 필요함. 또한 EPC의 일괄수주를 위해서는 건설사업관리 관련 기술의 자립이 필수적인데 본 과제의 수행으로 이를 위한 기반기술을 확보할 수 있음.

본 공동과제에서 연구하고자 하는 기술은 국내에서는 미진한 기술이나 기술 선진국에서는 대부분의 관련 기술이 이미 개발이 종료되었거나 상용화가 완료된 상태에 있음. 따라서 LNG 플랜트 사업의 생산성 향상 및 건설사업비 절감을 통한 해외시장 진출능력 및 국제경쟁력을 향상시키고, 이를 달성하기 위한 목표로서 LNG 플랜트 생애주기에 대한 최적 프로세스 개발, 통합지식 및 정보관리시스템 개발, 사업계획 전문가 시스템 개발, 사업관리 및 리스크 관리 능력 제고 등을 통해 LNG 플랜트 엔지니어링 생산성이 10% 향상된 지식관리 및 사업관리체계를 개발하고자 함

본 연구과제의 최종 성과물 및 목표는 IT기반의 통합사업관리체계 구축을 통한 사업관리 업무량 10% 감소로, 다음과 같이 세부목표를 설정하여 연구를 추진하고자 함.

- LNG 플랜트 사업관리 추진방향 수립
- 사업관리의 의사결정지원체계 구축
- 위험기반의 설계/구매조달/시공단계의 의사결정지원모듈 개발

연차별 연구목표 및 범위는 다음과 같음.

연도	연구목표	주요연구내용
1 차년 (1단계)	■ LNG 플랜트 사업특성 규명	- LNG 플랜트 사업관리 관련 문헌 조사·분석
		- LNG 플랜트 건설사업의 발주 및 수행현황 조사 - 각 사업별 사업유형(공정처리기법, 지리적 위치 등 고려) 조사 - LNG 플랜트 건설사업의 사업적 특성 정의 및 타 건설사업과 차이점 분석
		- 선진업체 LNG 플랜트 사업수행체계 관련 자료 수집 및 분석 - 선진업체별 사업수행체계의 공통사항과 차이점 분석
		- 국내외 리스크관리 연구동향·사례 조사 - 선진기관 플랜트 리스크 관리기법 검토 - 가스플랜트 사업특성 파악 및 분석
		- 국내 건설사업 PMIS 사용 현황 조사 - LNG 플랜트 PMIS와 일반 건설사업 PMIS 기능 비교 - 선진업체의 LNG 플랜트 PMIS 기능 비교
	■ LNG 플랜트 사업관리의 니즈 분석 및 PLM 기반의 사업관리 추진방향 수립	- LNG 플랜트 사업관리의 요구사항 조사 및 분석
		- PLM 기반의 사업관리 추진방향 마련 - LNG 플랜트 관련전문가의 의견수렴
2 차년 (1단계)	■ PLM 프로세스별 사업관리 요소 정의	- 선진업체의 LNG 플랜트 사업관리절차서 및 관리매뉴얼 수집 - 국내외 건설사업의 프로세스별 사업관리요소 파악 - 선진외국의 사업관리 절차서, 매뉴얼 분석을 통한 PLM 단계/업무별 사업관리 요소 정의
	■ PLM 단계/업무별 의사결정항목 결정	- 확률적 분석모형을 활용한 의사결정방법 현황 파악 - LNG 플랜트 공정 및 사업관리 의사결정항목 정의 - 의사결정항목별 의사결정방법 파악 - 시스템적 의사결정체계 구현을 위한 분석모형 결정
	■ 사업관리의 의사결정지원체계 도출	- LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 구축
3 차년 (2단계)	■ 설계단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	- 설계단계의 공정계획 운영현황 조사 - 설계단계의 공정계획 분석
		- 설계단계의 사업관리 체크리스트 조사·분석 - 설계단계의 사업관리 매뉴얼 마련
	■ 설계단계의 의사결정지원 모듈(설계관리) 개발	- LNG 플랜트 설계관리 프로그램 활용 현황 분석 - 설계관리 프로그램간 특성 및 성능 비교 - 설계관리 프로그램 데이터 입출력 Data 체계분석 - 설계단계의 의사결정항목 도출 - 설계단계의 의사결정 로직 개발 - LNG 플랜트의 의사결정지원을 위한 설계관리모듈 개발

연도	연구목표	주요연구내용
	■ 설계단계 모듈의 현장적용성 평가	- 설계단계 모듈의 현장적용성 평가
4 차년 (2단계)	■ 구매조달단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	- 구매조달단계의 공정계획 운영현황 조사 - 구매조달단계의 공정계획 분석
		- 구매조달단계의 사업관리 체크리스트 조사·분석 - 구매조달단계의 사업관리 매뉴얼 마련
	■ 구매조달단계의 의사결정지원 모듈(vendor관리) 개발	- LNG 플랜트 벤더관리 프로그램 활용 현황 분석 - 벤더관리 프로그램간 특성 및 성능 비교 - 벤더관리 프로그램 데이터 입출력 Data 체계분석 - 구매조달단계의 의사결정항목 도출 - 구매조달단계의 의사결정 로직 개발 - LNG 플랜트의 의사결정지원을 위한 벤더관리모듈 개발
	■ 구매조달단계 모듈의 현장적용성 평가	- 구매조달단계 모듈의 현장적용성 평가
5 차년 (3단계)	■ 시공단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	- 시공단계의 공정계획 운영현황 조사 - 시공단계의 공정계획 분석
		- 시공단계의 사업관리 체크리스트 조사·분석 - 시공단계의 사업관리 매뉴얼 마련
	■ 시공단계의 의사결정지원 모듈 개발	- 기존 LNG 플랜트 공정관리프로그램 활용 현황 분석 - 공정관리 프로그램간 특성 및 성능 비교 - 공정관리프로그램 데이터 입출력 Data 체계분석 - 웹기반 LNG 플랜트 사업관리시스템 구현을 위한 공정관리 기본모듈 개발 - 상용 공정관리프로그램 연계모듈 개발
	■ 시공단계의 현장적용성 평가	- 사업단의 시범사업 시행을 위한 시뮬레이션 검토 - 모니터링 절차 및 방법 결정 - Testbed를 통한 부분적 기능 구현의 적정성 검토 - 개별 기능별 문제점 파악 및 보완사항 발굴
6 차년 (3단계)	■ 리스크 기반의 통합의사결정지원 모듈 개발 및 현장적용성 평가	- LNG 플랜트 리스크기반의 통합의사결정지원 모듈 개발 - 시스템 검증 및 보완
		- 전문가를 활용한 시뮬레이션 분석 및 이용자 사용성 개선도출, 시스템 보완 - 시스템이용 매뉴얼 등 활용방안 마련
	■ 의사결정지원 모듈 상용화 검토	- 기술가치평가 등을 통한 의사결정지원 모듈의 상용화를 위한 분석

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과(연구수행과정, 연구수행결과 등을 기술)

연도	연구목표	주요 연구 수행내용 및 결과
1차년도 (1단계)	■ LNG 플랜트 사업특성 규명	▪ LNG 플랜트 산업구조 및 시장현황 조사·분석 ▪ 선진업체의 LNG 플랜트 LNG사업수행체계 비교·분석 ▪ 국내외 19여개의 리스크 관련 국내연구문헌 조사, 28개의 리스크 관련 국외연구문헌 조사, 기존연구의 문제점 및 발전 방향 도출 ▪ 5개 국내기업 리스크관리 현황 분석, 4개 국외 선진기업 리스크관리 현황 분석, 기업들의 리스크 관리 문제점 및 발전방향 도출 ▪ 국내 건설업체의 PMIS 적용현황 조사·분석, 플랜트사업의 PMIS 적용관리항목 도출
	■ LNG 플랜트 사업관리의 니즈 분석 및 PLM기반의 사업관리 추진 방향 수립	▪ LNG 플랜트 사업관리의 니즈 분석 ▪ PLM 기반의 사업관리 추진방향 수립 - LNG 플랜트 사업관리의 의사결정항목을 기술적인 측면과 관리적인 측면으로 구분하여 도출 - 사업관리의 니즈분석을 통한 추진방향 수립
2차년도 (1단계)	■ PLM 프로세스별 사업관리 요소 정의	▪ 국내 플랜트 건설사업의 사업관리요소 파악 - 연구동향 조사를 중심으로 각종 산업플랜트 분야 건설사업관리 요소 조사, 분석 ▪ 선진외국의 사업관리요소 파악 - 미국 PMI, CMAA의 건설사업관리요소 파악 ▪ LNG 가스플랜트의 건설사업관리 요소 선정 - 국내외 동향조사를 바탕으로 LNG플랜트 전문가의 자문 및 의견수렴을 통한 건설사업관리 항목선정 ▪ 의사결정방법 현황파악
	■ PLM 단계/업무별 의사결정항목 결정	▪ LNG 가스플랜트 공정 및 사업관리 의사결정 항목 정의 - 앞서 선정된 LNG 가스플랜트의 건설사업관리요소를 바탕으로 전문가 자문을 통한 의사결정 주요 항목 선정 ▪ 의사결정 항목정의에 따른 의사결정방법 결정
	■ 사업관리의 의사결정지원체계 도출	▪ 사업관리 의사결정 지원체계 검토 - 각 단계별 및 사업관리업무별 의사결정 고려항목과 공통적인 고려항목을 도출 - LNG 플랜트공사의 사업관리를 효율적으로 운영하기 위하여 의사결정 지원체계 전체 Framework 제시
3차년도 (2단계)	■ 설계단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	▪ 설계단계 공정계획 조사, 분석 및 설계관리 주요항목 도출, 사업관리매뉴얼 구성체계 확립 및 매뉴얼 작성

연도	연구목표	주요 연구 수행내용 및 결과
	■ 설계단계의 의사결정지원 모듈(설계관리) 개발	▪ 설계관리 프로그램 현황조사 및 분석 ▪ Stag-Gate모델을 활용한 설계단계 의사결정 지원모듈 시작품개발 ▪ S/W등록 2건, 국내특허출원 1건
	■ 설계단계 모듈의 현장적용성 평가	▪ 설계단계 모듈에 대한 점검결과 기능개선 요소 도출
4차년도 (2단계)	■ 구매조달단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	▪ 구매조달단계 공정계획 조사, 분석 및 구매조달관리 주요항목 도출, 사업관리매뉴얼 구성체계 확립 및 매뉴얼 작성
	■ 구매조달단계의 의사결정지원 모듈(vendor관리) 개발	▪ 벤더관리, 구매조달관리 프로그램 현황조사 및 분석 ▪ Stag-Gate모델을 활용한 구매조달단계 의사결정지원모듈 시작품개발 ▪ S/W등록 2건, 해외(미국)특허출원 1건
	■ 구매조달단계 모듈의 현장적용성 평가	▪ 구매조달단계 모듈에 대한 점검결과 기능개선 요소 도출
5차년도 (3단계)	■ 시공단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	▪ 시공단계 공정계획 조사, 분석 및 시공관리 주요항목 도출, 사업관리매뉴얼 구성체계 확립 및 매뉴얼 작성
	■ 시공단계의 의사결정지원 모듈 개발	▪ 시공관리, 공정관리 프로그램 현황조사 및 분석 ▪ Stag-Gate모델을 활용한 시공단계 의사결정지원모듈 시작품개발 ▪ S/W등록 2건, 특허출원 1건, 기술이전 1건
	■ 시공단계의 현장적용성 평가	▪ S/W 품질검증 방법 조사, 분석 ▪ EPC 단계별 통합의사결정지원모듈 구축(6차년도 목표)에 대비한 계획 수립
6차년도 (3단계)	■ 통합 의사결정지원 모듈 개발 및 현장적용성 평가	▪ EPC 통합의사결정지원 모듈 시작품 개발 ▪ 시스템 검증 및 보완 ▪ 이용자 및 관리자 매뉴얼 개발 ▪ 미국 출장을 통한 현장적용성 평가 ▪ 특허출원 1건, 특허등록 2건 ▪ SCIE - 2건, 국내논문 - 2건 ▪ (추진중)-기술이전 1건, S/W등록 2건
	■ 의사결정지원 모듈 상용화 검토	▪ 기술가치 평가실시 ▪ 상용화전략 수립

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

1. LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축

1.1 연구성과

의사결정지원체계의 정의는 경영자가 자료와 분석모델을 사용하여 비정형적인 문제해결을 할 수 있도록 컴퓨터를 사용하여 만든 체계로 경영정보체계처럼 미리 규정된 원칙에 따라 작동하는 것이 아니라 의사 결정자와의 상호작용을 통해 만족스러운 해결방안을 찾을 수 있도록 정보를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

LNG 플랜트공사는 현장이 해외에 있고, 토목 및 건축공사와 LNG 플랜트공사가 복합적으로 수행되기 때문에 사업관리를 수행하는데 많은 어려움이 있고, 사업을 성공적으로 수행하기 위해서는 각 단계별 및 사업관리업무별 리스크 등의 발생으로 인한 의사결정을 수행해야할 사항 등이 많이 발생하기 때문에, 무엇보다도 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계 구축이 필요하다.

따라서 본 연구는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계의 정의를 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위하여 각 사업관리 단계별(계약 및 설계단계, 구매 및 조달단계, 시공단계) 및 업무별로 전체 사업관리자와 각 단계별 사업관리자가 의사결정을 하는데 도움을 주는 체계로 정의하였다.

특히 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계를 구축하기 위하여, LNG 플랜트공사의 사업관리 요소를 파악하였고, 이러한 사업관리 요소는 LNG 플랜트공사의 설계 및 구매조달 및 시공단계에서 경험이 있는 전문가를 대상으로 검증하였다. 사업관리의 요소와 관리항목은 일반 플랜트공사와 토목 및 건축공사의 사업관리업무 등 관련자료를 분석하여 LNG 플랜트공사에 맞게 단계 및 업무를 수정하여 제시하였다.

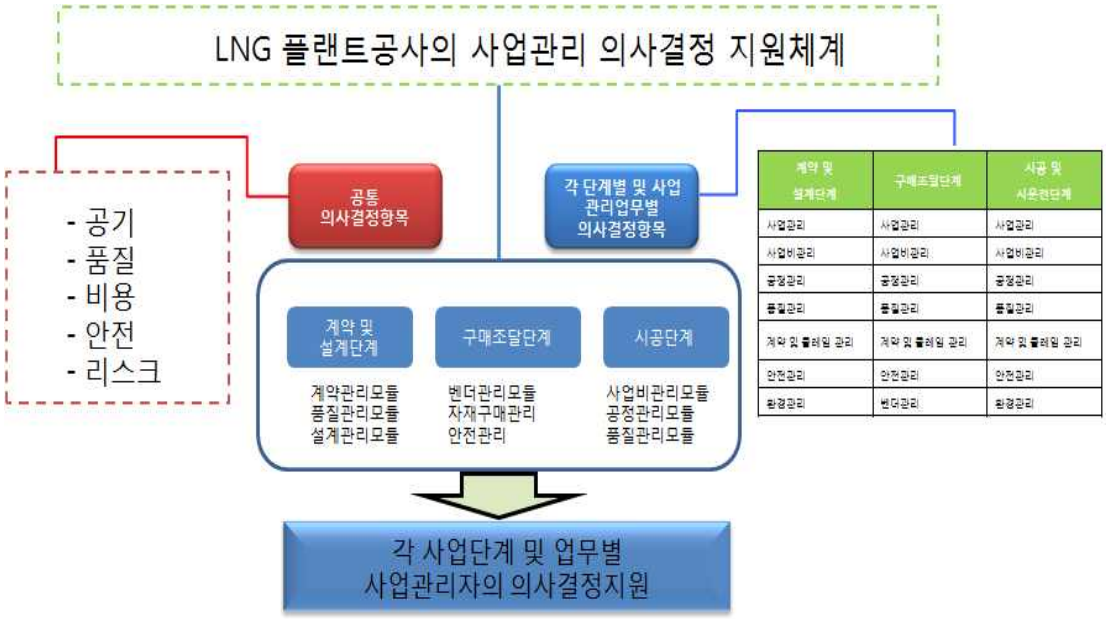
가. 의사결정지원체계

본 연구는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계를 구축하기 위하여, LNG 플랜트공사의 사업관리 요소를 파악하였고, 이러한 사업관리 요소는 LNG 플랜트공사의 설계 및 구매조달 및 시공단계에서 경험이 있는 전문가를 대상으로 검증하였다. 사업관리의 요소와 관리항목은 일반 플랜트공사와 토목 및 건축공사의 사업관리업무 등 관련자료를 분석하여 LNG 플랜트공사에 맞게 단계 및 업무를 수정하여 제시하였다.

본 연구에서는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계의 정의를 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위하여 각 사업관리 단계별(계약 및 설계단계, 구매 및 조

달단계, 시공단계) 및 업무별로 전체 사업관리자와 각 단계별 사업관리자가 의사결정을 하는데 도움을 주는 체계로 정의하고자 한다.

LNG 플랜트공사 사업관리 의사결정지원체계의 전체 프레임은 다음 그림과 같이 구성할 수가 있다. LNG 플랜트공사는 일반 토목 및 건축공사에 비하여 구매조달단계의 비중이 크고, 리스크 요인이 높은 것이 특징이기 때문에, 사업관리의 의사결정을 지원하는 체계가 필요하다. LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정을 추진하기 위하여 의사결정의 고려항목을 공통사항과 각 단계의 사업관리업무의 항목으로 구분하여 결정하는 구조를 제안하였다. 특히, 공통적인 의사결정을 위한 고려항목은 LNG 플랜트공사의 사업을 성공적으로 수행하기 위하여 공사기간(공정), 고품질의 성과물 확보(품질관리), 적정 사업비 확보(비용), 사업의 안전(안전관리), 사업의 리스크 최소화(리스크) 등으로 구분하여 운영이 필요하다.



<그림 요약1> LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계

또한, 사업관리자가 각 사업단계별로 사업관리업무 내의 의사결정을 하는데, 주요 인자를 고려한 의사결정지원을 하는데 도움을 주는 체계 구축이 무엇보다도 중요하다. 특히 이러한 의사결정지원체계는 각 단계별 사업관리업무를 효율적으로 운영하기 위하여 프로세스상에서 나타나는 문제점과 의사결정 고려항목들을 도출하여 제안함으로써, 전체 사업프로젝트의 사업관리자 뿐만 아니라, 각 단계별 사업관리자가 사업을 올바로 결정할 수 있는 의사결정지원이 가능할 것으로 판단된다. 특히, LNG 플랜트공사는 해외에 현장이 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구는 LNG 플랜트 공사의 사업관리 의사결정지원체계를 기반으로 각 사업단계별 의사결정지원모듈을 연차별로 구축하여 6차년도에는 통합적으로 운영할 수 있는 의사결정지원체계를 구축하는 것을 제안하였다.

나. LNG 플랜트공사의 사업관리 요소 도출

본 연구는 국내외 사례조사 결과를 바탕으로 국내 7개의 대형건설사 및 엔지니어링회사의 LNG 플랜트 경험이 있는 관련 전문가 11명을 대상으로 자문 및 협의를 거쳐 EPC 수행단계에 따라 총 9개의 LNG 플랜트의 건설사업관리 요소를 선정하였다. 선정된 항목은 사업관리, 설계관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약 및 클레임관리, 안전관리, 환경관리, 리스크관리로 구분된다.

LNG 플랜트 사업관리에 대한 위험기반의 의사결정 지원체계를 갖추기 위해서는 앞서 선정한 LNG 플랜트 사업관리업무 항목에 대한 중요도 평가를 통하여 의사결정을 하는데 있어서 우선 고려해야할 사업관리 항목을 도출하는 것이 필요하다.

본 연구는 LNG 플랜트 생애주기별 사업관리업무의 중요도를 도출하였고, 이는 의사결정을 하는데 있어서 우선 고려해야 할 항목으로 판단된다.

조사결과 계약 및 설계단계에서는 사업관리, 리스크관리, 설계관리 업무 순으로, 구매 및 조달단계에서는 사업관리, 계약 및 클레임관리, 리스크관리 업무 순으로, 시공 및 시운전단계에서는 사업관리, 공정관리, 리스크관리 업무 순으로 중요도가 높은 것으로 조사되었으며 생애주기 전반에 걸쳐 환경관리업무가 상대적으로 중요도가 낮게 평가되었다.

<표 요약1> 사업관리항목 및 세부항목별 중요도 조사결과

계약 및 설계단계		구매 및 조달단계		시공 및 시운전단계	
사업관리	②프로젝트계약관리	사업관리	②자재구매계획수립	사업관리	①현장목표관리 ⑧시운전 및 교육
설계관리	②설계계획수립	계약/클레임관리	①구매계약	공정관리	②공종별 세부공종표 운영 ③공종별 시공계획 수립 ④시공, 공정관리 및 점검
리스크관리	①기본설계 리스크관리	리스크관리	②핵심기자재 납기지연, 재하청에 따른 품질저하 등의 리스크관리	리스크관리	③공기관리 장애요인 리스크관리

이러한 조사결과는 연구수행 시 각 EPC 단계별로 의사결정 대상 중요항목으로

선정된 사업관리 항목에 대해서 세부업무에 대한 정의와 관련 리스크를 분석하고 이를 기반으로 한 의사결정 지원모듈을 제공하고자 한다.

1.2 주요 학술적 및 기술적 성과

가. 학술적 성과

LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축의 학술적 성과는 아래와 같다.

- LNG 플랜트사업관리요소 도출 및 중요도 평가, 한국건축시공학회 춘계학술발표대회, 2010. 05
- LNG 플랜트의 사업관리 의사결정 지원체계, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2010. 06
- LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 구조화방안, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2011. 07

나. 기술적 성과

특허 등 기술적 성과는 해당사항 없다.

1.4 기술실시 및 적용사례

LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축은 의사결정지원 모델과 시스템 개발을 하는데 기초 연구성과로 특허 및 S/W 등의 기술실시 및 적용사례는 없다.

2. LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원시스템

2.1 연구성과

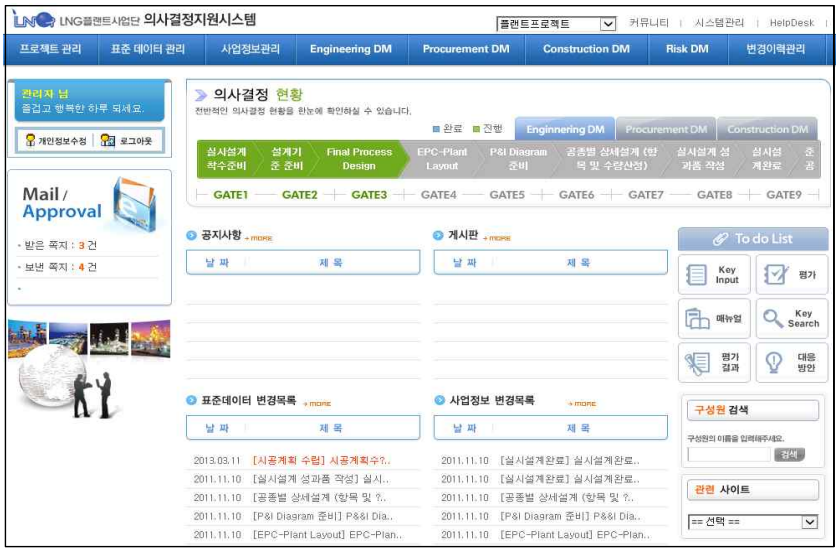
LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 LNG플랜트 건설시장에 국내 건설업체가 진출하기 위한 핵심적인 기술로서 시장, 발주자의 니즈를 충족시키고 경쟁력을 갖출 수 있는 독자적인 사업관리기법의 확보를 위한 핵심적인 요소이다.

본 연구는 의사결정지원시스템을 개발하기 위하여, LNG 플랜트 의사결정지원체계의 계층구조와 의사결정지원모델을 설계단계, 구매조달단계, 시공단계로 구분하여 의

사결정지원체계와 모델을 구축하고, 이를 기반으로 시스템을 개발하였다.

LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템은 LNG사업의 특성이 반복적인 사업이 아닌 해당국의 특성, 부지특성, 핵심공정의 특수성 등을 고려한 비반복적이고 개발 위주의 사업을 관리하기 위하여 Robert G. Cooper가 1986년 최초로 성공적인 상품 개발활동을 수행하기 위해 개발하고, R&D사업관리에 많이 활용되는 Stage-Gate 모델을 적용하여 개발하였다.

Stage는 LNG 사업관리활동(Activity)와 사업관리결과의 분석(Analysis)활동으로 구성되며 이를 토대로 각 단계별로 결과물(Deliverables)을 도출하는 세부단계를 말하며, Gate는 사업관리 의사결정기준, 또는 사업관리성과 평가/검증기준(Criteria)을 통해 결과물을 검토하고 각 단계별 성과(Stage Output)로 확정하고 그에 따른 대응활동으로서 다음 단계(업무)로 진행할지, 중단할지, 또는 보류하거나 재작업을 할지를 결정하는 지점을 말한다. 따라서 본 연구는 설계, 구매조달, 시공단계의 스테이지 게이트 모델을 구축하고, 이를 기반으로 리스크를 고려한 의사결정지원모듈과 시스템을 개발하였고, 전체적인 의사결정지원시스템 개념도는 아래 그림과 같다.

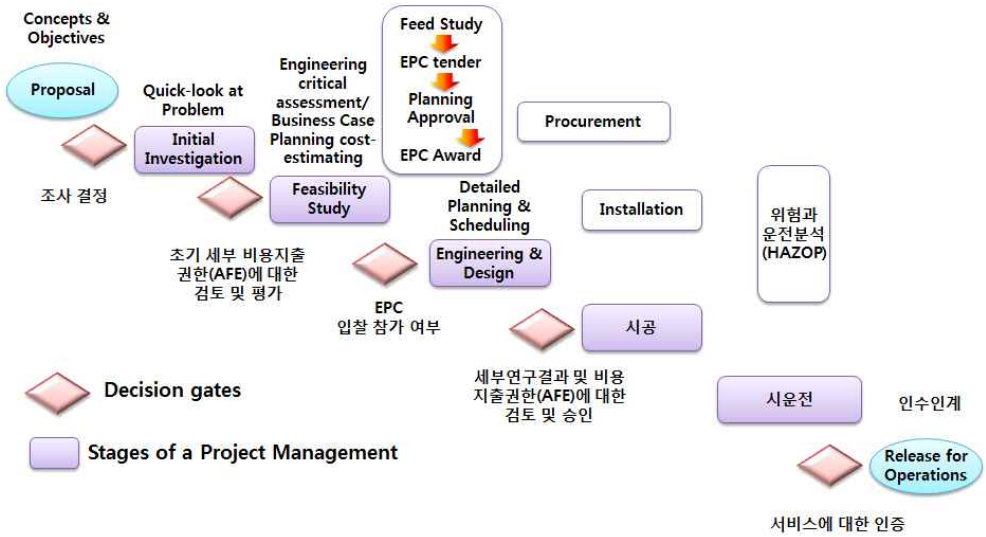


<그림 요약2> 의사결정지원시스템 주요 화면

가. 의사결정지원체계의 계층구조

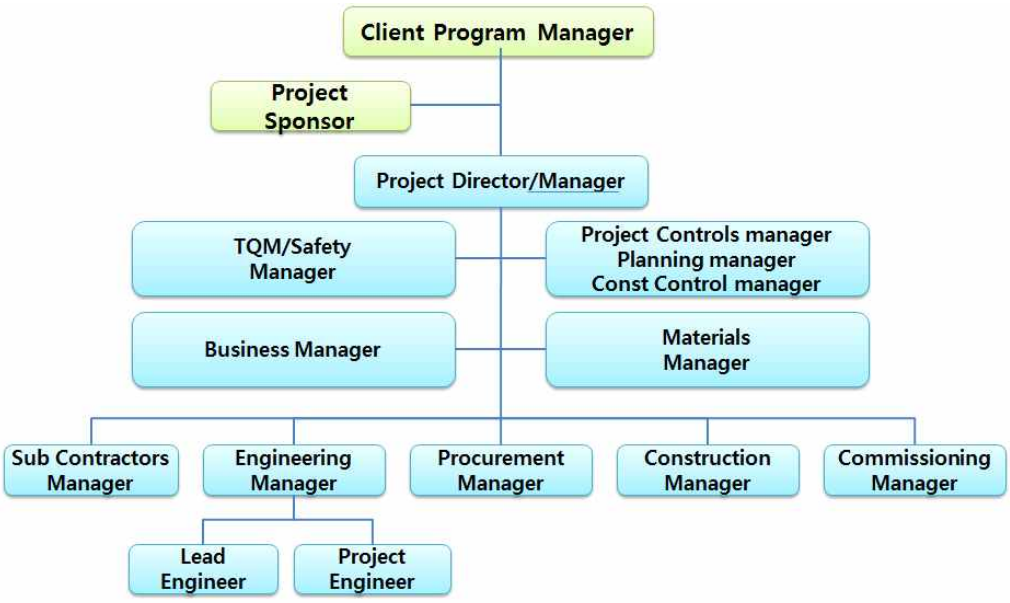
다음 그림은 LNG 플랜트사업의 전체 단계를 Gerald B. Greenwald가 표현한 것으로 사업관리활동에 있어서 핵심적인 의사결정항목이 LNG 플랜트사업의 비용지출 권한(Authorization For Expenditure, AFE)에 대한 검토 및 평가, 승인의 과정임을 보여주고 있다.[1)]

1) Gerald B. Greenwald, Liquefied Natural Gas: Developing and Financing International Energy Project,1998



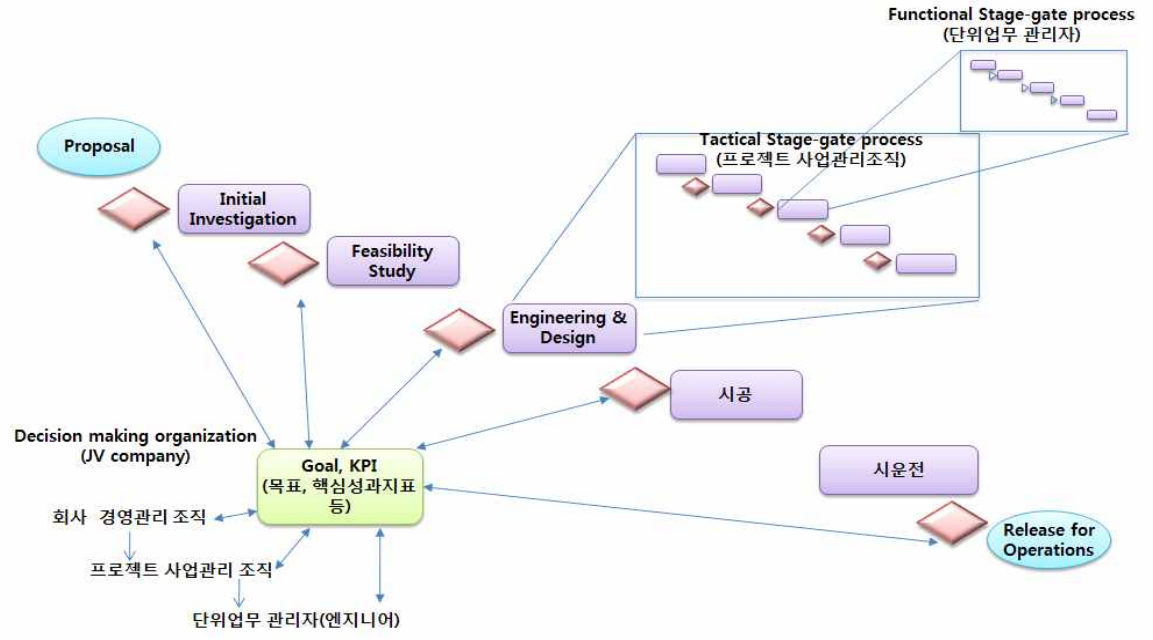
<그림 요약3> LNG 플랜트 pre-FEED, FEED, EPC단계별 사업관리에 대한 Stage-gate model

이러한 Stage-Gate모델과 결합되는 EPC업체의 프로젝트 조직체계는 다음과 같다.



<그림 요약4> LNG 플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계

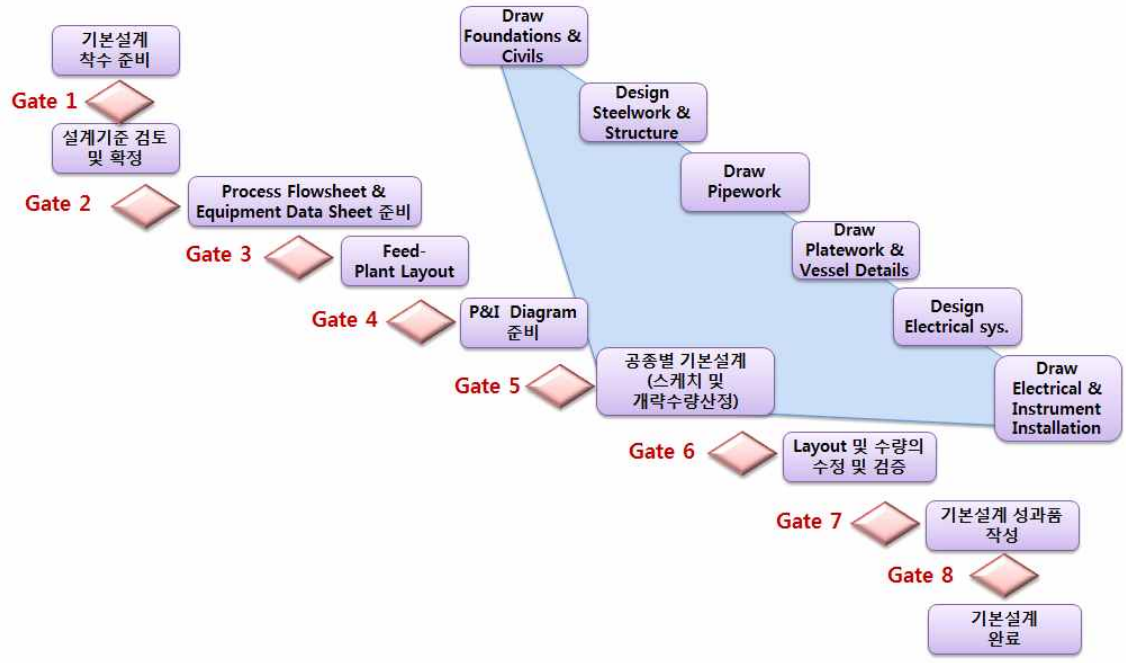
LNG 플랜트사업에 있어서 의사결정지원체계는 사업관리자 조직이 해당 LNG사업 수행에 관한 전략적 의사결정을 수행하며, 부문별 사업관리자 조직이 전술적 의사결정, 그 하위 엔지니어들이 단위업무별 의사결정활동을 수행하는 것으로 제시하고자 한다.



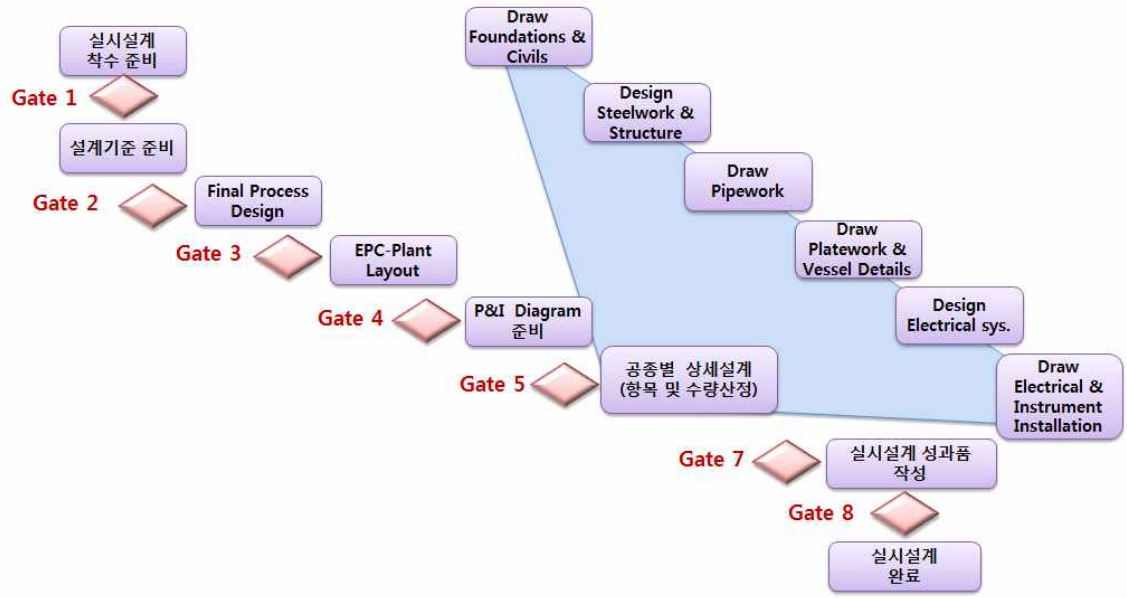
<그림 요약5> LNG 플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계와 의사결정의 계층구조

나. 설계·구매조달·시공단계의 의사결정지원모듈

설계단계의 경우 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하기 위해 우선적으로 진행한 것은 사업관리단계를 총괄적으로 점검하는 시점별로 프로세스를 구매 및 조달 프로세스를 제외하고 다음 그림과 같이 구분한다. 이러한 단계는 의사결정을 위한 체크포인트로서 EPC단계에 해당하는 상세설계단계를 중심으로 설계관리의 의사결정지원체계를 구축하고자 한다.

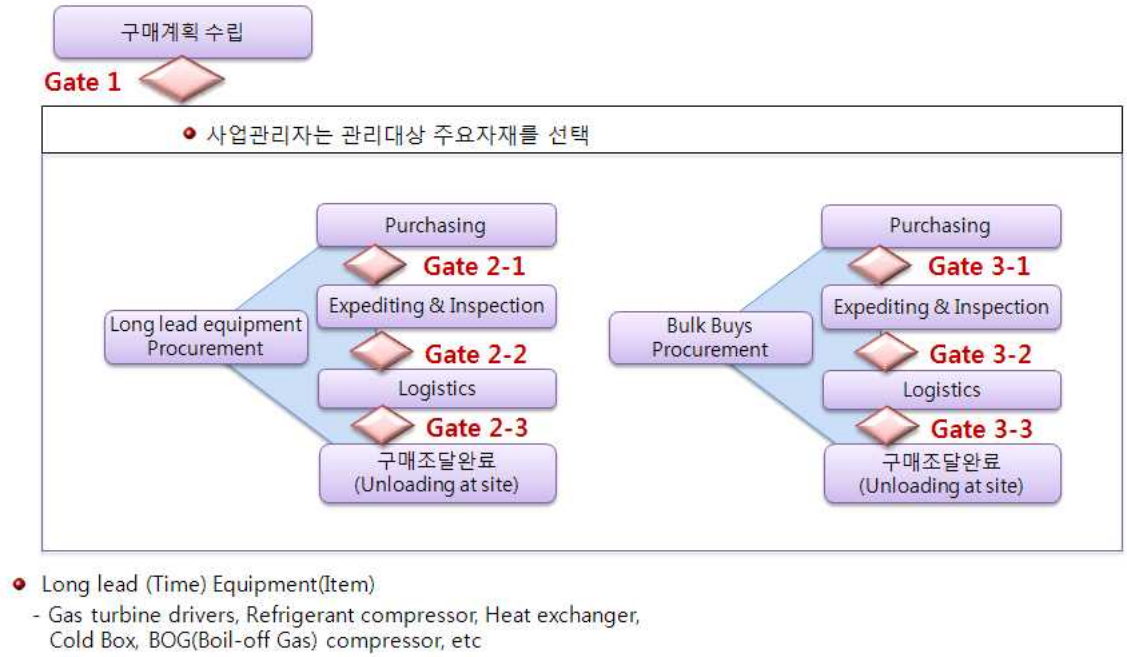


<그림 요약6> LNG 플랜트사업의 기본설계(FEED)단계의 Stage-Gate Process Model



<그림 요약7> LNG 플랜트 실시설계(Engineering)단계의 Stage-Gate Process Model

구매조달단계의 경우 설계-시공과정 중에 구매조달과 관련된 행위가 발생하며 중요자재 등 자재의 종류와 시공과정에 따라 구매시기 및 절차에 차이가 발생하므로, 이를 감안하여 구매계획수립과 모든 구매가 완료되는 구매계약완료를 제외하고 주요자재와 벌크형 자재로 구분하여 Stage-Gate Process Model을 수립하였다.



<그림 요약8> 구매조달 단계의 Stage-Gate Process Model

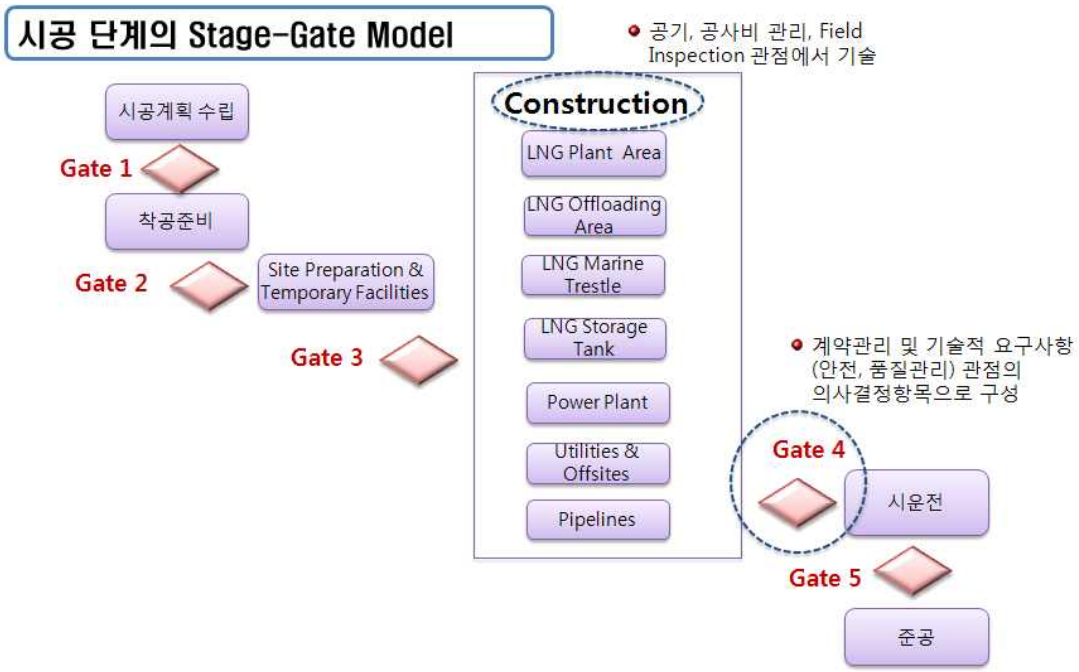
시공단계의 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하기 위해서 다른 단계와 구분되는 시공단계 의사결정의 특성 파악과 이를 토대로 Stage-Gate 모델의 적용성을 강화하는 방안이 우선적으로 검토하였다.

<표 요약2> 시공단계 LNG 플랜트 사업관리 의사결정의 특성

- 시공기간이 장시간 소요되고 공기·공사비·품질 등 관리활동 측면의 의사결정이 요구된다.
- 공사수행과정상의 의사결정기준은 Go-No go Criteria 위주의 판별기준이 적용된다.
- 공사수행과정상의 계량적 평가(Scored Criteria)는 세부적인 과정에서 의사결정에서는 필요할 수 있으나, 다음 단계인 시운전으로 넘어가기 위한 의사결정에서는 불필요

이를 토대로 시공단계를 다음 그림과 같이 시공계획 수립, 착공준비, 부지 준비 및 가시설물 설치, 시공, 시운전, 준공의 6개의 Stage로 구분하였다. 각 Stage별 Gate는 설계, 구매 및 조달 단계와 동일하나, 현장시공(Construction)단계는 장시간

이 소요되는 과정에서 의사결정지원모듈이 지원해주어야 할 관점을 공기 및 공사비 관리, 현장 Inspection 활동 지원의 관점에서 제시하도록 모델을 제시하였다. 현장 시공단계는 일반적인 LNG 플랜트 건설사업의 관리기준공정표를 토대로 LNG Plant, Offloading Area, Marine Trestle, Storage Tank, Pipeline, 그리고 부속시설물로서 Power Plant, 관리동, 헬리포트 등 Utilities & Offsites의 7개의 Area로 구분하여 사업관리 활동을 사업관리자가 수행할 수 있도록 구성하였다.

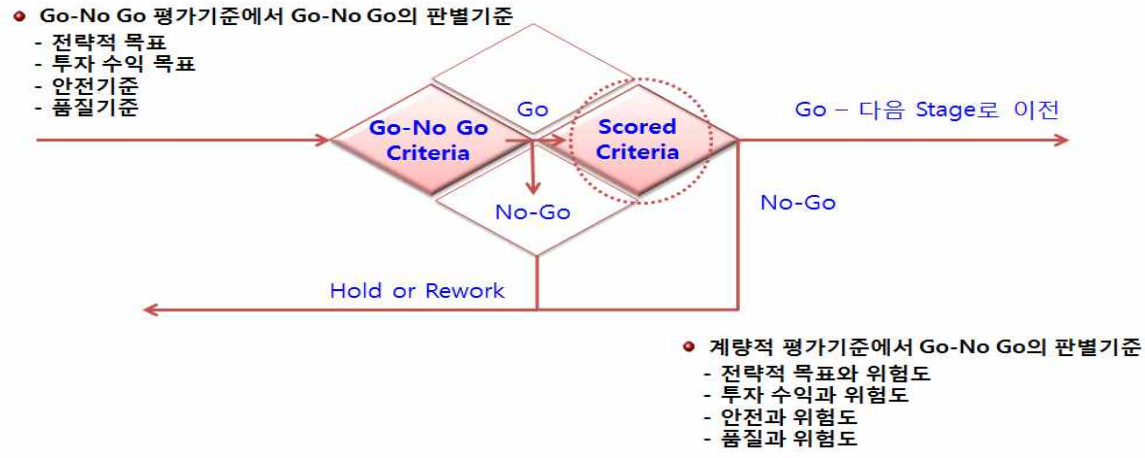


<그림 요약9> 시공단계의 Stage-Gate Process Model

이에 따라 Gate 1, Gate 2, Gate 3는 기존의 LNG 플랜트사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직을 활용하여 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 투자수익목표 부합성, 안전기준 및 품질기준에 대한 부합성을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성하였다. 그러나 Gate 4와 Gate 5는 기존의 의사결정 로직 중 Go-No Go Criteria만을 활용하여 시설물에 관한 계약 요구조건의 부합여부를 체크리스트 형태로 운영하는 의사결정 로직으로 적용하였다.

LNG 플랜트사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직은 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 투자수익목표 부합성, 안전기준 및 품질기준에 대한 부합성을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도

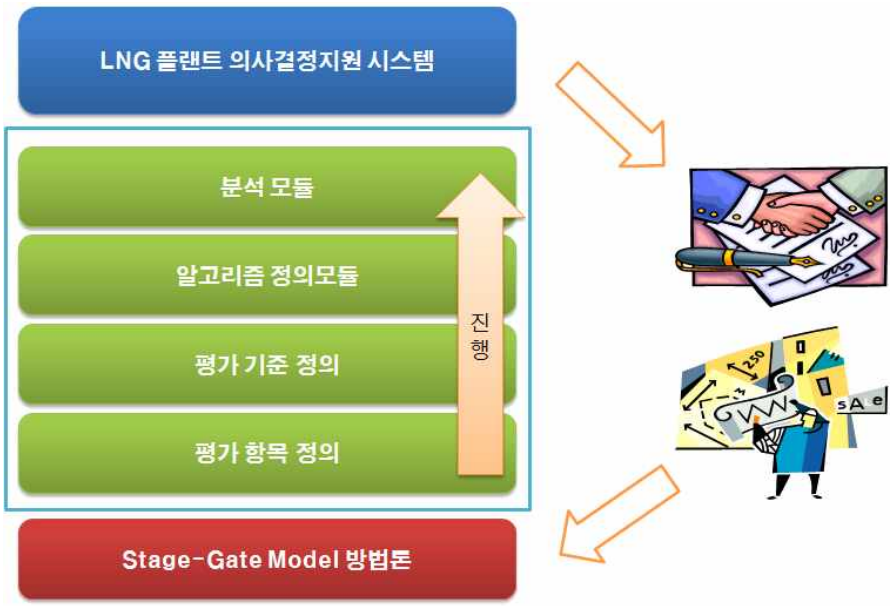
록 구성한다.



<그림 요약10> LNG 플랜트 EPC사업의 Stage-Gate Model의 Gate상의 의사결정로직 개념

다. 설계·구매조달·시공단계의 의사결정지원시스템

LNG 플랜트사업 의사결정지원체계를 토대로 의사결정지원모듈을 다음과 같이 개발하였으며, 기술은 EPC단계 통합 의사결정지원모듈 중심으로 설명하였다.



<그림 요약11> LNG 플랜트 의사결정지원모듈 Framework

LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 의사결정 평가기준을 생성하는 사전 모듈과 평가기준에 대한 정량적 평가를 위한 알고리즘 정의모듈, 실제적인 정량적 분석을 수행하는 계산모듈, 평가결과의 시각적 표현을 하는 UI로 구성되어 의사결정지원을 소프트웨어로 구성한다.

전체 시스템의 구성은 평가항목 정의 모듈, 평가기준 정의 모듈, 분석 알고리즘 정의모듈, 분석 모듈과 향후 타 시스템과의 연계가능성을 고려한 정보연계 기능 개발 등으로 구성한다. 개발된 모듈을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

<표 요약3> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 모듈 구성

구성모듈	세부내용
의사결정지원 평가항목 정의모듈	평가항목 도출에 의한 시스템화는 EPC단계의 Gate, Gate별 Category, Category별 평가항목을 생성하고, 생성된 평가항목에 따른 Risk, 대응방안을 사용자가 정의 할 수 있는 기능을 개발한다.
의사결정지원 평가기준 정의 모듈	의사결정지원 평가항목에 대한 정의를 통해 다양한 평가기준에 대한 정량적 분석을 위한 입력 방법, 기준 설정 기능 등을 개발한다.
의사결정지원 분석 알고리즘 모듈	의사결정지원에 필요한 평가 분석을 위한 분석 알고리즘 기능을 구현하고, 이를 최적화하여 분석 결과에 대한 다양한 검증 방법을 적용하여 알고리즘 모듈을 개발한다.
사용자 인터페이스 모듈	분석 알고리즘 모듈에 의해 분석된 결과를 사용자 인터페이스에 표현을 하며, 표현된 인터페이스는 최소의 입력과 의사결정지원체계에 맞는 사용자의 편의성을 고려한 직관적이고 쉽도록 개발한다.
변경이력관리모듈	EPC단계의 Gate, Gate별 시방서, 설계도서, 자재 등의 변경이 발생하면 대상 Stage, CO대상, 처리상태, 변경 내용, 처리 결과의 자료를 생성/수정/저장한다.
모바일 웹시스템 기능	모바일 기기의 작은 화면에서도 의사결정 평가결과 조회가 가능하도록 평가결과의 조회 화면을 별도로 구성하고, 다양한 모바일 환경에 대응 할 수 있도록 표준 웹 기술을 이용한 모바일 웹 시스템을 구축한다.

통합 모듈은 2단계(3・4차년도)에 개발한 설계, 구매조달단계의 모듈과 5차년도에 개발한 시공단계 모듈 등 LNG 플랜트 사업 EPC 전단계의 의사결정을 지원하기 위해 메인화면을 구성하였다. 의사결정자가 복수의 프로젝트를 관리하기 위해, 프로젝트를 선택할 수 있는 기능과 해당 프로젝트의 의사결정 현황을 시각적으로 파악할 수 있도록 메인화면의 중앙에 배치를 하고, 다양한 정보의 접근이 쉽도록 중앙부에 공지사항, 게시판 및 정보의 변경사항을 목록으로 표현하였다.

프로젝트관리 기능은 프로젝트의 신규 생성, 수정, 삭제 기능과 사용자 관리, 메뉴 관리, 권한관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.



<그림 요약12> 메인 화면



<그림 요약13> 프로젝트 관리

2.2 주요 학술적 및 기술적 성과

가. 학술적 성과

LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템의 학술적 성과는 아래와 같다.

- 플랜트 건설공사의 벤더관리 발전방향 기초연구, 한국건축시공학회 학술·기술논문발표회 논문집, 2011. 11
- LNG 플랜트 공사의 PMIS 개발방향에 관한 기초연구, 한국건축시공학회 학술·기술논문발표회 논문집, 2013. 05

- 플랜트공사의 구매조달관리를 위한 의사결정지원 모델 개발방향, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2013. 11
- LNG 공사의 건설사업관리 의사결정지원모델 개발, 한국건설관리학회 논문집, 2014. 05
- 수익접근법을 활용한 LNG 플랜트공사의 의사결정지원시스템 기술가치 평가, 한국건설관리학회 논문집, 2014. 07
- An International Competitiveness Evaluation Model in the Global Construction industry, KSCE, 2014. 8
- Development of Korean Code System for Construction Specifications and Design Standards, KSCE, 2015. 9

나. 기술적 성과

LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템의 기술적 성과는 아래와 같다.

(1) 국내외 특허출원

- (10-2011-0115900) 액화천연가스 플랜트사업의 사업관리를 위한 의사결정지원방법 및 시스템
- (10-2013-0015439) LNG 플랜트의 구매조달시 의사결정지원시스템
- (10-2014-0029975) 모바일 디바이스를 활용한 플랜트 건설사업의 각 공정단계 관리 및 의사결정지원방법 및 시스템
- DECISION SUPPORT METHOD AND SYSTEM FOR PROJECT MANAGEMENT OF LIQUEFIED NATURAL GAS PLANT

(2) 국내외 특허등록

- (제10-1286024호) 액화천연가스 플랜트사업의 사업관리를 위한 의사결정지원방법 및 시스템
- (제10-1471583호) LNG 플랜트의 구매조달시 의사결정지원 시스템

(3) S/W 등록

- (2011-01-189-004439) LNG 플랜트 설계단계 사업관리기반의 의사결정지원시스템
- (2011-01-189-004420) LNG 플랜트 설계단계 리스크 기반의 의사결정지원시스템
- (C-2012-007335) LNG 플랜트 구매조달단계 사업관리 기반의 의사결정지원시스템

- (C-2012-007336) LNG 플랜트 구매조달단계 리스크 기반의 의사결정지원시스템
- (C-2013-008905) LNG 플랜트 시공단계 사업관리기반의 의사결정지원시스템
- (C-2013-008904) LNG 플랜트 시공단계 리스크 기반의 의사결정지원시스템

2.3 기술실시 및 적용사례

가. 기술이전 실시

본 연구에서 기술개발한 것 중에서 “설계단계 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원 기법”에 대한 기술을 대상으로 국내업체에 기술실시계약을 1건 실시하였다.



기 술 실 시 계 약 서

<그림 요약14> 기술이전 계약서(샘플)

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

1. 연구개발 최종목표 달성도

본 연구의 최종목표는 위험기반의 각 단계별 의사결정 지원모듈을 개발하여 사업관리 업무량을 10%로 감소하는데 있고, 그 세부목표는 다음과 같다

- LNG 플랜트 사업관리 추진방향 수립
- 사업관리의 의사결정지원체계 구축
- 위험기반의 설계/구매조달/시공단계의 의사결정지원모듈 개발

상기 연구의 최종목표를 100% 달성하여, 기술 개발성과에 대하여 기술이전을 실시하였다. 특히 LNG 플랜트 건설공사의 의사결정지원모듈과 시스템을 개발하여 특허출원 및 등록과 S/W 등록을 하였다.

또한 기술개발한 성과는 가치를 평가하여, 민간 기업에게 기술이전시 활용할 수 있는 가이드를 작성하였고, 이는 기술의 우수성과 권리성 및 경제성 등을 평가하여 최종목표를 달성하였다.

특히, 본 연구에서 개발된 성과의 검증을 위하여 LNG 플랜트 전문가를 대상으로 LNG 플랜트 공사 수행시 본 개발시스템을 활용할 경우의 효과 등을 정성적 평가를 통하여 입증하였다.

<표 요약4> 연구개발의 양적성과 목표 대비 실적

성과지표			최종목표	누적실적	비고	최종달성률
학술지게재논문	SCI	국내	2	2	KSCE(대한토목학회), An International Competitiveness Evaluation Model in the Global Construction Industry KSCE(대한토목학회), Development of Korean Code System for Construction Specifications and Design Standards	100.0%
	비SCI	국내	2	2	1.한국건설관리학회논문집,LNG공사의건설사업관리의사결정지원모델개발 2.한국건설관리학회논문집,수익접근법을활용한LNG플랜트공사의의사결정지원시스템기술가치평가	100.0%

성과지표			최종 목표	누적 실적	비고	최종달성률
특허 출원	출원	국내	4	3	1.(10-2011-0115900)액화천연가스플랜트사업의사업관리를위한의사결정지원방법및시스템 2.(10-2013-0015439)LNG플랜트의구매조달시의사결정지원시스템 3..(10-2014-0029975)모바일디바이스를활용한플랜트건설사업의각공정단계관리및의사결정지원방법및시스템	100.0%
		국외	0	1	DECISION SUPPORT METHOD AND SYSTEM FOR PROJECT MANAGEMENT OF LIQUEFIED NATURAL GAS PLANT	
	등록	국내	0	2	(제10-1286024호)액화천연가스플랜트사업의사업관리를위한의사결정지원방법및시스템 (제10-1471583호)LNG플랜트의구매조달시의사결정지원시스템	100.0%
기술실시계약(기술료)	건수		1	1	㈜두올테크, 설계단계 LNG플랜트 사업관리 의사결정지원기법	100.0%
	백만원		30	12		40.0%
시작품			2	4	LNG플랜트설계단계의사결정지원모듈시작품구축 LNG플랜트구매조달단계의사결정지원모듈시작품구축 LNG플랜트시공단계의사결정지원모듈시작품구축 LNG플랜트EPC단계통합의사결정지원모듈시작품구축	200.0%
학술회의/발표	국내		5	6	1.한국건축시공학회춘계학술발표대회,LNG플랜트사업관리요소도출및중요도평가 2.대한설비공학회하계학술발표대회,LNG플랜트의사업관리의사결정지원체계 3.대한설비공학회하계학술발표대회,LNG플랜트사업관리의사결정지원체계구조화방안 4.한국건축시공학회추계학술발표대회,플랜트건설공사의벤더관리발전방향기초연구 5.한국건축시공학회춘계학술발표대회,LNG플랜트공사의PMIS개발방향기초연구	120.0%

성과지표		최종 목표	누적 실적	비고	최종달성률
				6.한국건설관리학회정기학술발표대회,플랜트공사의구매조달관리를위한의사결정지원모델개발방향	
산학연간 기술지원		3	2	㈜두올테크, 설계단계 LNG플랜트 사업관리 의사결정지원기법 기술이전에 따른 1, 2차 기술지원자문	66.7%
기술확산 교류		5	4	1.리스크메니지먼트시스템구축세미나 2.LNGProcess의이해 3.플랜트사업의의사결정방법 4.LNG플랜트EPC단계별의사결정지원시스템 기술가치평가세미나	80.0%
산학연 협력 활동		3	3	1.플랜트구매조달관리전문가세미나 2.도시재생사업단I-PgMIS벤치마킹세미나 3.플랜트PMIS및BIM적용사례전문가세미나	100.0%
연구 관련 홍보		6	5	1.(건설BRIEF)기고,LNG가스플랜트의사업관리개발방향 2.(2010플랜트컨퍼런스)발표,스테이지게이트모델을활용한LNG플랜트사업의의사결정지원체계구축방안 3.(LNG플랜트컨퍼런스2013),포스터전시 4.(CAD&Graphics)기고,LNG플랜트공사를위한EPC단계별의사결정지원시스템구축사례 5.(가스안전)기고,위험기반의의사결정지원체계및시스템구축	83.3%
기타 저작권	디자인,S/W 등	2	6	1.(2011-01-189-004439)LNG플랜트설계단계 사업관리기반의의사결정지원시스템 2.(2011-01-189-004420)LNG플랜트설계단계 리스크기반의의사결정지원시스템 3.(C-2012-007335)LNG플랜트구매조달단계 사업관리기반의의사결정지원시스템 4.(C-2012-007336)LNG플랜트구매조달단계 리스크기반의의사결정지원시스템 5.(C-2013-008905)LNG플랜트시공단계사업관리기반의의사결정지원시스템 6.(C-2013-008904)LNG플랜트시공단계리스크기반의의사결정지원시스템	300.0%

<표 요약5> 연구개발의 질적성과 목표 대비 실적

연구내용	연구수행 단계별 내용	추진성과 내용	산출 성과물	최종 달성률 (%)
1) EPC 단계별 의사결정지원 시스템 개발	사업관리 의사결정지원체계 도출	업무별 의사결정항목 정의	사업관리 의사결정지원체계 구축 보고서(1단계 보고서)	100
		의사결정방법 조사		
		의사결정지원체계 구축		
	설계단계 의사결정지원모듈 개발	설계단계 스테이지 게이트 모델 수립	설계단계 의사결정지원모듈 시작품 특허출원(2건) 특허등록(1건) S/W등록(2건) 기술이전(1건)	100
		설계단계 의사결정지원모듈 설계		
		설계단계 의사결정지원모듈 구축		
	구매조달단계 의사결정지원모듈 개발	구매조달단계 스테이지 게이트 모델 수립	구매조달단계의 사결정지원모듈 시작품 특허출원(1건) 특허등록(1건) S/W등록(2건)	100
		구매조달단계 의사결정지원모듈 설계		
		구매조달단계 의사결정지원모듈 구축		
	시공단계 의사결정지원모듈개발	시공단계 스테이지게이트 모델 수립	설계단계의사결정지원모듈시작품 S/W등록(2건)	100
		시공단계 의사결정지원모듈 설계		
		시공단계 의사결정지원모듈 구축		
	통합 의사결정지원모듈 개발	EPC단계 스테이지게이트 모델 수립	통합의사결정지원모듈시작품 특허출원(1건) S/W등록(2건)	100
		EPC단계 의사결정지원모듈 설계		

연구내용	연구수행 단계별 내용	추진성과 내용	산출 성과물	최종 달성률 (%)
		EPC단계 의사결정지원모듈 구축		
2) EPC 단계별 사업관리매뉴얼 개발	LNG플랜트 사업특성 규명 및 니즈분석	사업특성규명	LNG플랜트 사업특성 규명 및 니즈분석 보고서(1단계보고서)	100
		사업수행체계 분석		
		사업관리 요구사항 분석		
	프로세스별 사업관리 요소 정의	설계단계 사업관리요소 정의	LNG플랜트 EPC 단계별 사업관리요소 정의 보고서(1,2단계보고서)	100
		구매조달단계 사업관리 요소정의		
		시공단계 사업관리 요소정의		
	설계단계 사업관리매뉴얼 개발	공정계획 운영현황조사	설계단계 매뉴얼	100
		체크리스트 조사		
		사업관리매뉴얼 마련		
	구매조달단계 사업관리매뉴얼 개발	공정계획 운영현황조사	구매조달단계 매뉴얼	100
		체크리스트 조사		
		사업관리매뉴얼 마련		
	시공단계 사업관리매뉴얼 개발	공정계획 운영현황조사	시공단계 매뉴얼	100
		체크리스트 조사		
		사업관리매뉴얼 마련		
3) EPC 단계별 공정관리 및 프로그램 활용현황, PMIS기능비교 조사, 분석, 의사결정지원 시스템	설계, 구매조달, 시공단계별(설계관리, 공정관리등) 프로그램활용 현황 조사	설계단계 프로그램 활용현황 조사	LNG플랜트 EPC 단계별 관리 프로그램 활용현황조사 보고서	100
		구매조달단계 프로그램 활용현황 조사		
		시공단계 프로그램 활용현황 조사		
	PMIS 기능비교 조사, 분석	IT기술 적용현황 조사	LNG플랜트 PMIS 적용방향보고서	100
		PMIS 기능분석		

연구내용	연구수행 단계별 내용	추진성과 내용	산출 성과물	최종 달성률 (%)
상용화검토(분석)		PMIS 적용방향 수립		
	기술가치평가 적용방향 기초조사	모듈 검증방법조사	모듈검증및품질평가방법조사보고서 기술가치평가적용방향조사보고서	100
		모듈 품질테스트방법조사		
		기술가치평가적용 방향조사		
	통합의사결정지원모듈의 현장적용성 검토	현장적용성 검토방법 및 계획 수립	현장적용성 검토보고서, 통합의사결정지원모듈의 이용자매뉴얼	100
		현장적용성 검토 및 보완		
		이용자 매뉴얼 개발		
	의사결정지원모듈의 상용화 검토	상용화 방법론수립	상용화전략수립 방법론, 기술가치 평가, 상용화전략 보고서	100
		기술가치 평가		
		상용화분석		

2. 연구개발 성과의 기술적 효과분석

본 연구개발 성과의 기술적 효과분석은 기술동향과의 부합성, 기술수명, 기술의 차별성, 대체 기술의 출현가능성, 기술의 확장 가능성 등 5가지 측면에서 분석하였다.

(1) 기술동향과의 부합성

본 연구에서 개발한 기술은 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공하기 위한 것이다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC(설계, 조달 및 시공) 사업관리에서 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공하기 위한 것이다.

이를 통해 신청기술은 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정 지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있다.

또한, LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 지원 기법을 설계단계에서 향후 구매조달 및 시공단계까지 확대함으로써, LNG 플랜트의 EPC 사업의 사업관리에 필요한 EPC 전반의 의사결정지원 시스템의 개발에 활용될 수 있으며, 또한, 사업관리 매뉴얼 작성, LNG 플랜트 사업관리자 양성 등에 활용될 수 있다.

LNG 해양플랜트 FEED 엔지니어링 역량 확보는 크게 개념 설계, 공정 설계, 안전시스템 설계, 관련 위험도 평가 및 제어 기술로 대별된다. 이들 분야는 막대한 중요성에도 불구하고 국내 역량이 매우 미흡한 실정이다. 향후 이들 분야에 집중적인 기술 개발이 필수적이다. 특히, Risk 평가 및 제어에 관한 시험분석과 정량적 평가 기술이 부족하여 해외 엔지니어링 업체에 의존하고 있으므로 FEED역량을 확보하기 위하여 시험평가를 위한 핵심원천기술의 확보와 시설의 확충이 시급한 실정이다.

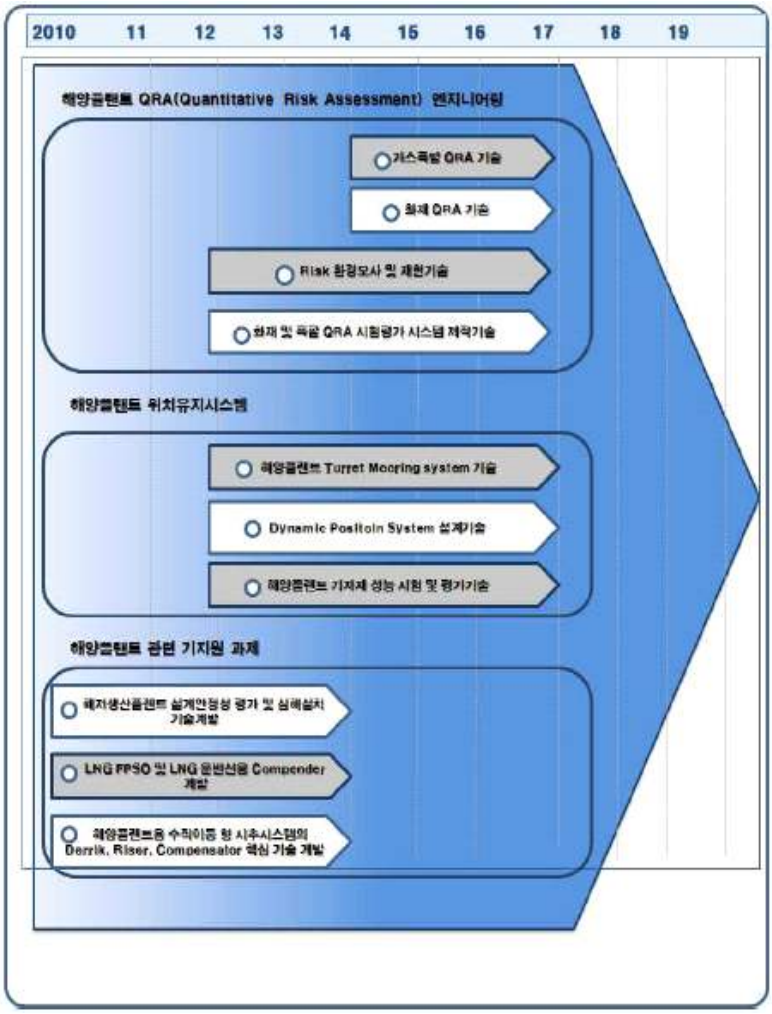
따라서 신청기술은 이러한 LNG 플랜트 엔지니어링 기술개발 발전에 부합하는 기

술인 것으로 판단된다.

(2) 기술수명

기술 로드맵에서 해양플랜트 분야에서는 기술개발이 시급하고 그 파급효과가 높은 분야가 기자재 분야와 엔지니어링 분야로 판단되어 엔지니어링 기술과 다수의 기자재 개발을 중심으로 하는 2011년 핵심주력 제품군을 기술 자립형 플랜트로 선정하였다.

따라서 LNG 플랜트 엔지니어링에 적용되는 신청기술의 기술 수명은 연구개발이 활발히 지원되어 성장되는 성장기에 있는 것으로 판단된다.



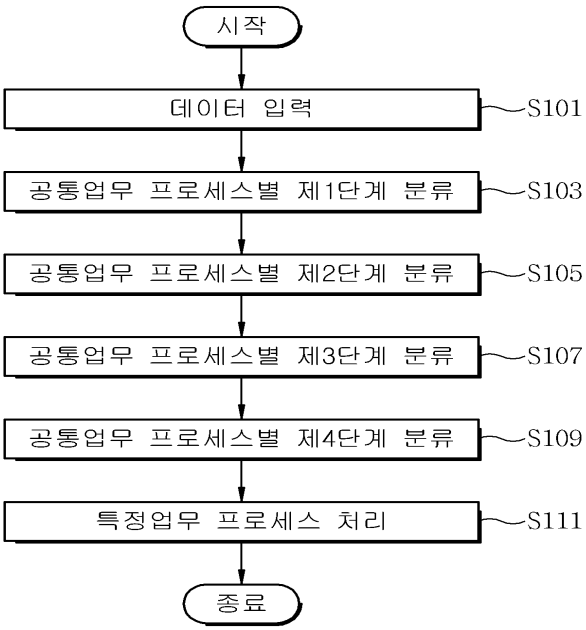
<그림 요약15> 해양 플랜트 기술 로드맵

자료 : 산업통상자원부, “산업기술로드맵”, 2011

(3) 기술의 차별성

가. 기존 LNG 플랜트 업무 프로세스와의 차별성

기존에 이용되고 있는 LNG 플랜트 업무 프로세스 관련 기술과 비교할 때 신청기술은 다음과 같은 점에서 경쟁력을 가지고 있는 것으로 판단된다.



<그림 요약16> 한길아이티 L N G 플랜트
업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템
(특허출원 제2011-0014042호)

한길아이티 L N G 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템은 LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화에 관한 것으로, 이러한 본 발명은 복수의 LNG 플랜트 관련 EPC 전체 정보들을 입력하는 단계, 상기 복수의 LNG 플랜트 관련 EPC 전체 정보들을 기획, 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 관련 정보로 대구분하고, 사전 저장되고 표준화된 명칭에 따라 각 대구분된 업무 프로세스를 세부 단계의 업무 구분, 업무 수행 구분, 세부 업무 수행 구분으로 분류하는 분류 단계, 상기 각 업무 프로세스들의 공통적인 업무 프로세스들을 도출하고, 도출된 업무 프로세스들을 상기 표준화된 명칭에 적용 및 정렬하는 단계를 포함하는 LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법의 구성을 개시한다.

이에 대비해 신청기술은 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정지원체계를 사업 수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있는, LNG 플랜트 사업

의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공한다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC(설계, 조달 및 시공) 사업관리에서 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공한다.

따라서 신청기술은 기존 기술과 비교할 때 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정 지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있다.

또한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 지원 기법을 설계 단계에서 향후 구매조달 및 시공단계까지 확대함으로써, LNG 플랜트의 EPC 사업의 사업관리에 필요한 EPC 전반의 의사결정지원 시스템의 개발에 활용될 수 있으며, 사업관리 매뉴얼 작성, LNG 플랜트 사업관리자 양성 등에 활용될 수 있다.

따라서 신청기술은 기존 기술과 대비되는 차별성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

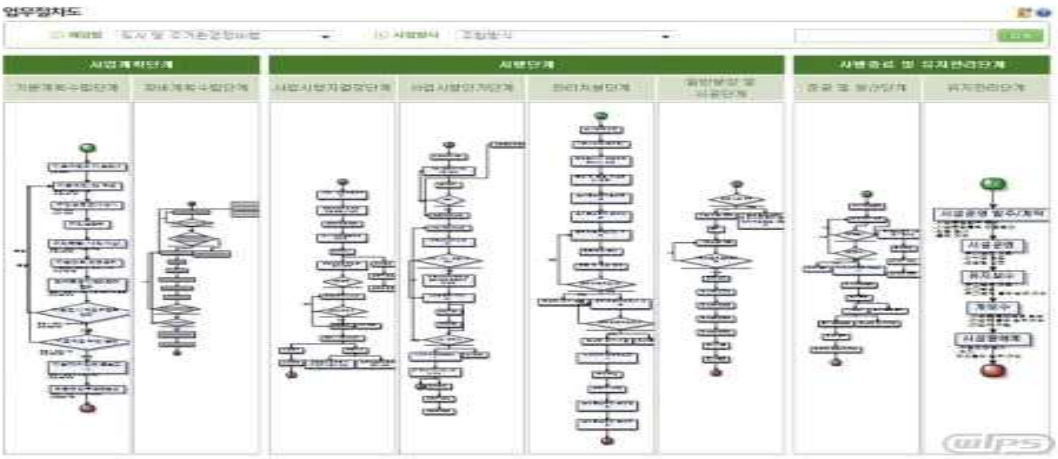
<표 요약6> 해양 플랜트 엔지니어링 국내 기술 수준

구분	핵심성능지표	현재수준	중간요구수준	최종요구수준
해양 플랜트 QRA 엔지니어링	위험도 평가기법	CFD+FEA	CFD+FEA+실증시험 결과	위험도평가 기법개발 + 표준화
	가스누출량(Kg)/ 누출환경인자	0~1	20~100	200~300
	Risk 제어 및 관리기술의 완성도(%)	60	80	100
	환경모사 및 재현기술 정	확정론적 시나리오	확률론적 시나리오	모든 발생가능 시나리오
	대형구조물 실증시험장치 구성율(%)	0% 재료시험수준	50% 설계완료	100% 장치제작

자료 : 산업통상자원부, “산업기술로드맵”, 2011

나. 일반 의사결정시스템과의 차별성

LNG 플랜트 분야 이외에서 이용되고 있는 Stage Gate 모델 프로세스가 적용된 의사결정시스템 기술과 비교할 때 신청기술은 다음과 같은 점에서 경쟁력을 가지고 있는 것으로 판단된다.



<그림 요약17> 광운대학교 도시재생사업을 위한 의사결정시스템
(특허출원 제2010-0015760호)

광운대학교에 연구개발한 도시재생사업을 위한 의사결정시스템은 도시환경정비사업의 시행주체(발주자)가 사업 초기단계 및 진행단계에서 진행할 사항과 주요 관리사항 및 도시재생사업과 관련한 각종 자료, 타 사업의 선례 등을 한눈에 파악할 수 있도록 통신망을 통해 제공하고, 시행주체가 도시재생사업시행 각 단계에서 입력내용에 따라 사업을 시행할 수 있도록 한 도시재생사업을 위한 의사결정시스템에 관한 것이다.

이를 위해 통신망을 통해 단말기와 연결되며, 도시재생사업의 진행에 있어서 필요한 준비사항과 조치사항을 발생하고, 발생된 준비사항과 조치사항의 진행 및 업무의 확인기능, 그리고 각 단계별로 검토가 요구되는 지점으로서 게이트(Gate)의 지정정보 및 주요 의사결정지점(CDP)에 대한 정보를 제공하는 도시재생사업 관리서버, '사업계획'-'시행'-'시행종료 및 유지관리' 단계의 순서 정보를 가지며, '도시 및 주거환경 정비법'에 따른 도시재생사업의 시행절차, 세부시행절차별 행정적인 규제 및 관련법, 사업시행관련 분쟁 자료가 저장되고, 상기 관리서버의 제어에 따라 저장된 자료가 갱신되는 데이터베이스 및 통신망을 통해 도시재생사업 관리서버에 접속 로그인하여 도시재생사업의 진행에 있어서 필요한 준비사항과 조치사항을 확인하며, 발생된 준비사항과 조치사항의 진행상태 그리고 완료된 업무의 확인기능 및 각 단계별로 민관협력적인 구도에서 검토가 요구되는 지점으로서 게이트(Gate) 및 주요 의사결정지점(CDP)를 확인할 수 있도록 하는 하나 이상의 단말기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이에 대비해 신청기술은 LNG 플랜트 사업에서의 사업관리 의사결정지원체계에 관한 것으로 LNG 플랜트 건설사업은 기획, 설계, 구매 및 조달, 시공 및 시운전, 운영 및 유지보수 등 전 단계에 걸친 업무를 일괄하여 수행하는 사업으로서, 해당사

업에 진출하기 위해서는 공정기술을 포함한 설계기술 및 시공기술 뿐만 아니라 해당 사업과 관련한 체계적인 기술 기준과 절차에서부터 시공 경험과 노하우의 축적, 관리기법 등의 확보가 필수적이다.

그리고 이러한 LNG 플랜트 사업의 프로세스 및 위험도 평가체계 정립, LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리, 통합 표준데이터 컨버터 등은 국내에서도 정보분류체계, EPC 프로세스 개발 착수, 부분 개발완료 및 상용화 단계로서, 국내의 기술수준은 미국, EU, 일본 등의 주요 선진국 보다 50~70% 수준에 불과하며, 국내기업 중 다수의 후발주자 혹은 중견기업들은 체계화된 지식관리시스템을 가지고 있지 못하거나 일부 기능만을 구비한 시스템을 보유 중에 있으므로, 기업들의 경쟁력 향상에 도움이 될 수 있는 의사결정 지원 시스템의 개발이 필요한 실정이다.

이에 신청기술은 이와 같은 LNG 플랜트 사업에 특화되어 LNG 플랜트 사업의 EPC(설계, 조달 및 시공) 사업관리에서 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공할 수 있다.

따라서 신청기술은 기존 기술과 비교할 때 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정 지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있다.

또한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 지원 기법을 설계 단계에서 향후 구매조달 및 시공단계까지 확대함으로써, LNG 플랜트의 EPC 사업의 사업관리에 필요한 EPC 전반의 의사결정지원 시스템의 개발에 활용될 수 있으며, 또한, 사업관리 매뉴얼 작성, LNG 플랜트 사업관리자 양성 등에 활용될 수 있다.

따라서 신청기술은 LNG 플랜트 사업에 적합한 Stage Gate 모델을 적용한 의사결정 지원 시스템으로 광운대학교의 도시재생사업을 위한 의사결정시스템과는 기술적 차별성을 가지는 것으로 판단된다.

(4) 대체 기술의 출현 가능성

한국공개특허 제2010-0015760호에는 도시재생사업을 위한 의사결정시스템에 관한 것으로, 도시재생사업과 관련하여 준비단계에서부터 사업완료까지 모든 준비사항과 인허가 사항, 진행상황, 관련부서와의 협의일정 등을 관리서버에 입력한 후 관리서버의 지시에 의하여 진행함으로써 도시재생사업을 투명하게 처리할 수 있도록 하는 기술에 대해 게재되어 있다.

이를 위해 통신망을 통해 도시재생사업 관리서버에 접속 로그인하여 도시재생사업의 진행에 있어서 필요한 준비사항과 조치사항을 확인하며, 발생된 준비사항과 조치사항의 진행상태 그리고 완료된 업무의 확인기능 및 각 단계별로 민관협력적인 구도에서 검토가 요구되는 지점으로서 게이트(Gate) 및 주요 의사결정지점(CDP)을 확인할 수 있도록 하는 하나 이상의 단말기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이와 같이 신청기술의 주요 특징부인 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원하는 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델은 다른 기술 분야에서 사용되고 있는 기술로 이와 같은 기술을 신청기술 분야에 접목하는 대체 기술은 출현 가능성이 있는 것으로 판단된다.

다만, 신청기술은 이와 같은 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 시스템에 대하여 특허권을 확보하고 있는 상태이며 이와 같은 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 시스템을 구현하기 위해서는 노하우가 많이 필요한 사항이므로 대체 기술이 출현하여도 신청기술의 지위는 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

(5) 기술의 확장 가능성

신청기술은 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 시스템에 관한 것으로 현재까지는 LNG 플랜트 사업에 국한되어 있지만 이와 같은 신청기술은 LNG 플랜트 사업뿐만 아니라 Oil & Gas, 정유/석유화학 플랜트 분야, 발전/신재생 플랜트 분야, 해양 플랜트 분야, 수자원 플랜트 분야 및 환경 플랜트 분야에도 접목이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 신청기술의 확장 가능성은 높은 것으로 판단된다. 다만 신청기술의 이와 같은 플랜트 산업 전반에 적용을 위해서는 각각의 플랜트 사업 별로 특허권을 확보하여 배타적인 지위를 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<표 요약7> 플랜트 엔지니어링 산업의 분류

분류	정의
Oil&Gas/ 정유/석유화학	오일 및 가스의 탐사, 채굴, 저장, 수송 관련 플랜트(원유, LNG, BTL, GTL, DME, CTL, Gas To Hydrate, Oil Sand 플랜트 포함)를 위주로 하고 원유를 정제(정유)하거나 석유제품 및 천연가스를 원료로 하여 석유화학제품을 제조 및 생산하는 플랜트
발전/신재생	중유, 가스, 석탄. 원자력 등을 원료로 하여 전기에너지를 생산하는 플랜트(신재생에너지, IGCC, IGFC 등 포함)
해양	해양의 석유, 가스 등의 자원을 시추하거나 생산된 에너지 자원을 저장, 처리, 하역하는 해상 및 해저 설비 플랜트
수자원	수자원 공급, 해수담수화, 수자원 재이용 등 수자원 생산관련 플랜트
환경	대기오염 정화, 하·폐수 처리, 폐기물 무해화 및 자원화를 포함한 환경관련 플랜트

자료 : 산업통상자원부, "산업기술로드맵", 2011

3. 연구개발 성과의 경제적 효과분석

본 연구는 연구개발 성과의 기술 가치를 금액으로 환산하기 위하여 수익접근법을 적용하였으며, 다음과 같은 가정을 통하여 가치평가를 수행하였다.

기술가치 평가는 "LNG 플랜트 EPC 단계별 위험기반의 의사결정지원시스템" 에 대하여 특허기술의 가치를 금액으로 산정하여, 기술실시계약 시 합리적이고 객관적인 기술거래 기준가격을 제시할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 본 평가방법은 수익접근법에 기반을 둔 기술가치평가로 평가대상기술의 기술성, 권리성, 시장성을 기반으로 기술가치추정의 주요 평가요소인 기술의 경제적 수명(예상 수익기간) 추정, 경제적 이익흐름 추정(시장규모, 매출추정, 원가추정, 예상 자본적 지출, 순 운전자본 추정 등), 사업위험 분석에 따른 할인율 추정, 기술기여도 등을 산출하여, 최종 기술 평가금액을 제시하였다.

평가대상기술은 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원해 주는 시스템으로 "LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템"을 목표시장으로 한다.

평가대상기술은 LNG 플랜트 사업관리 영역에 IT기술이 접목된 융합기술로 표준산업분류상 "응용소프트웨어 개발 및 공급업(J582)"에 해당되지만, 전방산업에 해당하는 LNG 플랜트 시장의 수요영향을 많이 받는 산업적 특성을 보이고 있다. 주요 수요처는 평가대상기술이 속한 산업의 전방산업에 해당하는 LNG 플랜트 엔지니어

링 업체가 주 수요처가 될 것으로 예상되며, 그 외 사업관리 측면을 보다 확장할 경우 CM/PM 전문업체 또는 토목/건축 설계 분야로 그 수요가 확대 가능할 것으로 기대된다.

최근 국내외 LNG 플랜트 프로젝트는 거의 TURN-KEY로 엔지니어링사(EPC)에 발주하는 추세여서 TURN-KEY 수행능력이 플랜트 엔지니어링 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있는 중요한 요인이 되고 있다. 본 기술제품은 사업관리기법에 있어서 구조화된 의사결정지원체계를 구축하는 핵심적인 항목으로 부족한 사업관리 역량을 보완하고 발주자, 사업관리자 및 시공자의 사업목표를 만족시키기 위한 시스템으로 LNG 플랜트 엔지니어링 업체를 대상으로 하고 있다. 하지만 현재 LNG 플랜트 엔지니어링 업계에서는 몇몇의 대형 엔지니어링 업체가 사업관리시스템을 개발, 적용하고 있지만 아직 그 성과에 대한 분석결과가 구체적으로 공개되지 않고 있으며, 개별기업 단위의 시스템으로 개발되었기 때문에 전체 플랜트 산업으로 확산되는 속도가 매우 느리다. 최근 건설공사의 사업정보관리를 보다 효율적으로 수행하고 원할 때마다 사업진행상황을 파악하고자 하는 발주자의 욕구 때문에 발주처에서는 건설사업관리자에게 PMIS의 개발 및 운용을 요구하는 경우가 많아 건설사업관리방식을 적용하는 건설사업에서는 건설사업 정보관리시스템을 구축하여 적용하는 사례가 증가하고 있다는 점에서 본 기술제품의 수요가능성은 매우 높을 것으로 판단된다.

본 평가에서는 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 기술시장분석 내용을 토대로 기술이 적용될 신규 사업에 대한 매출액을 추정하였다. 매출액 추정은 매출액 추정방법과 내·외부 전문가의 의견 등을 참조하여 사업주체의 시장의 경쟁구조와 시장지위 확보 가능성 등으로 분석하여 시장점유율을 추정하였으며, 산업에 대한 향후 기대되는 성장률을 이용한 실무편법 등에 의한 방법으로 매출액을 산출하였다.

본 기술의 경제적인 수명기간은 인용특허수명지수(CLT)를 활용하여 6년으로 도출되었다. 본 기술이 제품화 되어 매출을 발생시키는 시점은 2014년부터 2019년까지로 추정되었으며, 잔존가치는 고려하지 않는다.

해당 기술수명 기간 동안 창출 가능한 잉여현금흐름(FCF) 합계액(사업가치)은 할인율 16.34%를 반영하여 현재가치로 환산할 경우 512백만 원이 산출되었고, 해당 사업가치에 산업기술요소법을 통해 구해진 기술기여도 44.39%를 적용한 결과 기술가치는 227백만 원으로 도출되었다.

<표 요약8> 기술가치 산정표

(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
여유현금흐름	△250	△1,140	△282	229	△2,153	6,531
현가계수	0.8595	0.7388	0.6351	0.5459	0.4692	0.4033
현재가치	△215	△843	△179	125	△1,010	2,634
현재가치 합계	512					
기술기여도	44.39%					
기술가치	227					

4. 연구개발 성과의 정책적 효과분석

우리나라의 건설산업은 경제성장과 고용창출을 주도해 온 산업으로 SOC, 주택 등 국내 인프라 확충에 크게 기여하여 왔다. 또한 중동국가들의 석유화학·발전 등의 플랜트 건설과 개도국들의 인프라 투자확대 등이 지속적으로 증가하여 해외건설 수주는 지속적으로 성장하여 2013년도에 652억 달러를 달성하여 국가 경제에 한 축을 담당하고 있다. 특히 세부 공종별로 보면 산업설비 플랜트가 전체 수주액 중에서 약 61%를 차지하고 있을 정도로 비중이 높은 실정이다. 이러한 플랜트 중심의 해외 진출은 당분간 지속적으로 나타날 것으로 예상된다.

그러나 플랜트 사업은 대부분 해외에서 건설공사가 추진되고, 대형·복합사업으로 인하여 국내 건설공사보다는 다양한 위험이 존재하고, 이러한 위험을 회피하고 사업을 성공적으로 추진하기 위해서는 사업관리자의 역할과 의사결정이 매우 중요하다. 지난 해 문제 제기된 위험을 고려하지 않은 무분별한 해외건설사업 투자로 인한 해외사업의 수익성 문제가 발생하였다.

따라서 각 건설기업은 위험관리 지원체계 구축을 통해 해외건설 산업이 내실있게 성장할 수 있도록 다각적인 지원방안을 추진할 필요가 있다. 즉 해외사업 진출에 있어서도 사업성을 고려한 수주가 필요하고, 국내 업체끼리의 경쟁은 지양할 필요가 있다. 각 건설기업뿐만 아니라 국가에서도 대형 해외건설의 경우는 적극적인 지원과 위험기반의 사업평가 체계와 사업관리 체계 구축이 필요하다.

따라서 본 연구는 LNG 플랜트공사를 위한 위험기반의 의사결정지원체계와 시스템 개발하였다. 특히, 연구성과는 스테이지 게이트 모델 방법론을 활용한 LNG 플랜트공사의 건설사업관리를 위한 위험기반의 의사결정지원 모델을 구축하고 이를 시스템으로 개발한 것이다. 이 시스템은 EPC 단계별로 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지

원함으로써 플랜트 사업관리 역량을 보완하고 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는 효과가 있을 것으로 기대한다.

향후에는 LNG 플랜트 분야 이외의 타 플랜트 공사 분야에도 의사결정지원체계를 활용하여, 본 시스템을 확장·적용할 수 있을 것이다. 특히 상기 시스템은 중소 건설설업체의 해외진출을 위한 사업관리체계 구축에도 활용될 것으로 기대된다. 특히 LNG 플랜트 건설공사의 각 공사단계별 리스크 요인을 고려한 사업관리 의사결정지원모델은 국내 플랜트 건설기업이 성공적인 사업수행을 하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 각 플랜트 건설공사의 리스크 고려한 사업관리매뉴얼이 국내 기업이 글로벌 건설경쟁력을 확보하는데 중요한 역할을 할 것으로 예측된다.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

1. 연구성과의 향후 활용방안

본 연구의 성과물은 LNG 플랜트 EPC 단계별 의사결정지원시스템으로써 LNG 플랜트 프로젝트의 해외진출 지원 및 수익성 확보를 위한 컨설팅 지원, 연구성과 민간 이전 및 사업화 지원 등에 활용할 계획이다. 특히 본 연구성과물의 실제적인 실무활용을 극대화하기 위하여 민간기업에 기술이전 등을 수행하고, 현재 기술실시 계약을 1건 추진하였으며, 1건을 추가로 추진 중에 있다. 이를 위하여 기술가치평가를 실시하였으며 상용화 전략을 수립하였다.

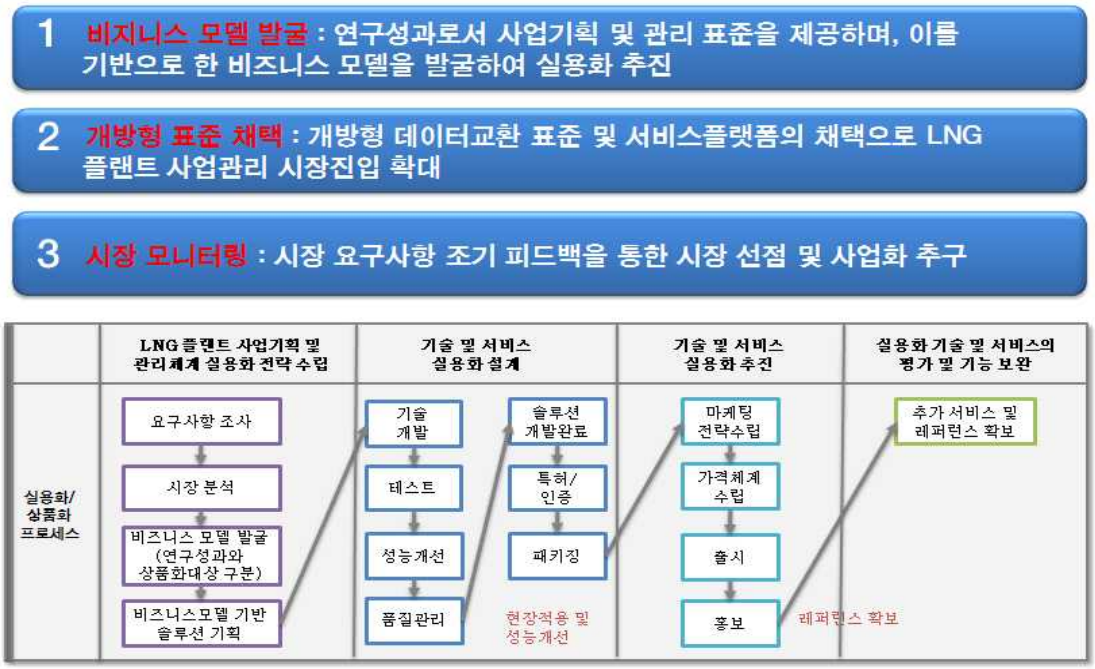
본 연구의 성과물에 대한 활용성을 높이기 위하여, 연구성과를 담은 책자를 제작 배포하고, LNG 플랜트 의사결정지원시스템은 사업모델로서 상품화 과정을 거쳐 국내외 보급을 목표로 하고 있다. 특히 연구성과의 실용화를 위한 추진계획 수립을 위한 기본원칙은 크게 다음과 같이 세가지 방향으로 제시하였다.

첫째, 본 연구성과로서 제시하고자 하는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준을 토대로 상용화 대상에 대한 니즈조사를 토대로 비즈니스 모델을 발굴하여 체계적인 추진전략을 마련한다.

둘째, 관리체계 표준은 개발형 데이터교환 표준을 채택토록 하고, 이에 기반으로서 개발형 서비스 플랫폼을 제시하여 LNG 플랜트시장에 대한 체계적이고 손쉬운 진입이 가능토록 한다.

셋째, 초기 모델링 및 시스템 기획단계에서 시장요구사항에 대한 조기 파악 및 피드백을 시행하여 상용화를 위한 전략수립과 연계하며, 국내외 시장 선정 효과를 확보한다.

넷째, 연구성과의 실용화 추진계획은 상용화 전략의 수립 및 비즈니스 모델 발굴, 비즈니스 모델에 따른 기술 및 서비스 실용화 설계(현장적용을 통한 성능 개선), 기술 및 서비스 기능에 대한 실용화 및 제품화 추진, 추가서비스 및 참조 레퍼런스 확보를 통한 기능 보완 등 크게 4개의 단계로 추진하고자 한다.



<그림 요약18> 연구성과의 활용 및 실용화 추진계획

2. 추가연구 필요성

LNG 플랜트 건설공사는 대부분 해외에서 추진되기 때문에 그 어느 사업보다도 글로벌화된 기술개발을 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 LNG 플랜트 건설공사의 의사결정지원 시스템은 해외사업의 리스크를 각 단계별로 고려한 사업관리를 함으로써, 사업의 리스크를 해소하고 사업을 성공적으로 추진할 수 있을 것이다.

이러한 상기 연구 뿐만 아니라, LNG 플랜트 건설공사의 핵심기술을 확보하기 위해서는 아래와 같은 추가 기술개발도 무엇보다도 우선적으로 추진될 필요가 있다.

- LNG 플랜트공사의 모듈화 기술개발
- LNG 플랜트공사의 생산성 측정모델 기술개발
- 드론을 활용한 LNG 플랜트 건설공사의 안전관리 기술개발
- LNG 플랜트 공사의 공정과 안전 통합관리 기술개발

SUMMARY

Ⅰ. Title

- 1 Core Task : Development of LNG Plant Core Technology
- 4 Detailed Tasks : Development of LNG Business Integration Solution
- Joint Task : Risk-based Project & Process Management Technique Development

Ⅱ. Overview of the R&D Task

The final deliverable and goal of this research and development is to reduce the workload of project management (10%) by building an IT-based, integrated project management system. The following goals are set in detail to conduct the study.

- Establishment of the direction for LNG plant project management
- Building a decision-making support system for project management
- Development of decision-making support modules for risk-based design/purchase & procurement/construction & installation stage

The main study goals and scope per year are as described below.

<Table S_1> Main Study Goals and Scope per Year

Year	Main Study Goals & Scope
1st Year (Phase 1)	■ Investigation of LNG plant project characteristics
	■ Analysis of LNG plant project management needs & establishment of the direction of PLM-based project management
2nd Year (Phase 1)	■ Definition of project management factors per PLM process
	■ Determination of decision-making items per PLM stage/work
	■ Deduction of decision-making support system for project management
3rd Year (Phase 2)	■ Analysis of process planning at the design stage & development of project management manual
	■ Development of decision-making support module (design management) at the design stage
	■ Evaluation of field applicability of the design stage module
4th Year (Phase 2)	■ Analysis of process planning at the purchase/procurement stage & development of project management manual
	■ Development of decision-making support module (vendor management) at the purchase/procurement stage
	■ Evaluation of field applicability of the purchase/procurement stage module
5th Year (Phase 3)	■ Analysis of processing planning at the construction/installation stage & development of project management manual
	■ Development of decision-making support module at the construction/installation stage
	■ Evaluation of field applicability of the construction/installation stage module
6th Year (Phase 3)	■ Development of risk-based, integrated decision-making support module & evaluation of field applicability
	■ Review on commercialization of the decision-making support modules

Ⅲ. Description of the Research and Development Tasks & Results

1. Building a Decision-Making Support System for LNG Plant Project Management

Decision-Making Support System is defined as a computerized system for the management to solve non-programmed problems using data and analysis models. It does not operate in accordance with the predefined principles like management information system, instead it aims to provide information that leads to satisfying solutions based on the interaction with decision-makers.

There are many difficulties in implementing project management since the site of LNG plant project is located in foreign countries, and the civil and construction works are executed in combination of the LNG plant project. For a successful project completion, there are a lot of decision-making items to be considered, including risk per stage and project management task. Thus, it is necessary, first of all, to build a project management decision-making support system for LNG plant project.

Consequently, the study defined a project management decision-making support system for LNG plant project as a system that assists all project managers and each project manager of a given stage for decision-making per project management stage (contracting and design stage, purchase and procurement stage, and construction and installation stage) and per work.

In particular, to build a project management decision-making support system for LNG plant project, project management factors of LNG plant project were identified and such factors were verified with the experts experienced in stages of design, purchase and procurement, and construction/installation. When it comes to the project management factors and management items, relevant data such as the project management tasks of general plant project and civil and construction works were analyzed, and the stages and works were modified and proposed according to the LNG plant project.

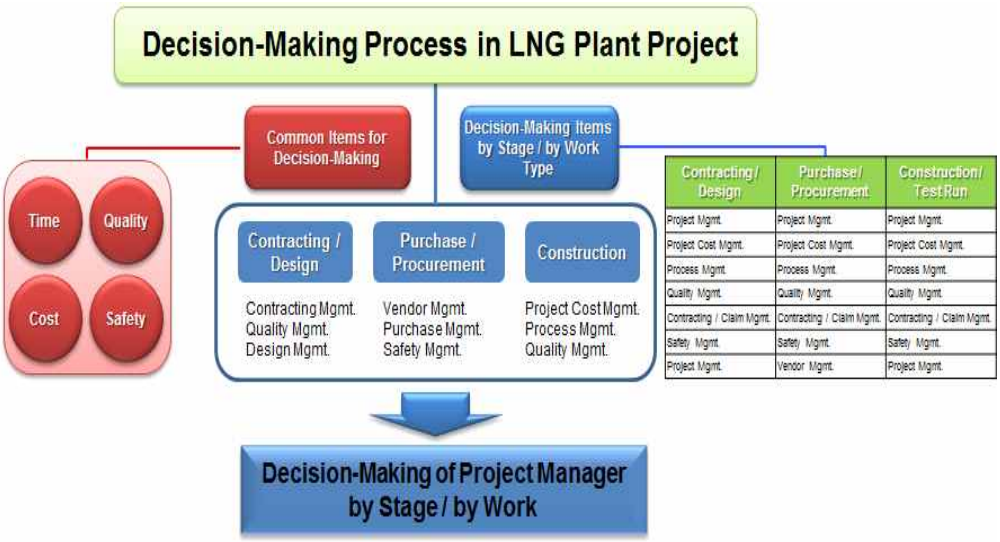
(1) Decision-Making Support System

To build a project management decision-making support system of LNG plant project, the study identified project management factors of LNG plant project, and such factors were verified with the experts experienced in stages of design, purchase and procurement, and construction/installation. When it comes to the

project management factors and management items, relevant data such as the project management tasks of general plant project and civil and construction works were analyzed, and the stages and works were modified and proposed according to the LNG plant project.

The study defined a project management decision-making support system for LNG plant project as a system that assists all project managers and each project manager of a given stage for decision-making per project management stage (contracting and design stage, purchase and procurement stage, and construction/installation stage) and per work.

The overall frame of project management decision-making support system for LNG plant project can be composed of as shown in the figure below. Unlike the general civil and construction works, the purchase and procurement stage has a greater importance in LNG plant project and there is a high risk in LNG plant project, so a system that supports decision-making of project management is required. For decision-making of LNG plant project management, common items for decision-making and decision-making items by stage and by work type were separately defined and proposed. Especially, the common items for decision-making need to be implemented separately by construction time (process), securing qualitative deliverable (quality control), ensuring suitable amount of project cost (cost), project safety (safety) and minimized project risk (risk).



<Figure S_1> Decision-Making Process in LNG Plant Project

In addition, it is important above all things to build a decision-making support

system taking into consideration of main factors, so as to assist project managers in making a decision within the work type per project stage. For an efficient operation of project management work per stage, the issues that are generated in the process and decision-making items should be identified and proposed, so that the project manager of each stage can make a suitable decision for the given project. Moreover, since the construction site of LNG plant project is located in a foreign country, it can be said that risk management and purchase/procurement management are more important than the project management of construction work.

Thus, the study built a decision-making support module for each stage per year based on the project management decision-making support system of LNG plant project, and proposed a decision-making support system that can be operated in integration in the sixth year.

(2) Deduction of Project Management Factors in LNG Plant Project

The study chose 9 construction project management factors of LNG plants in total according to EPC stages in consultation and discussion with 11 relevant experts with experiences in LNG plant projects of 7 large construction firms and engineering companies in Korea based on the domestic and overseas case studies. The chosen items are classified into project management, design management, project cost management, process management, quality management (control), contracting and claim management, safety management, environment management and risk management.

To come up with a risk-based decision-making support system for management of LNG plant projects, project management items that need to be prioritized for decision-making should be identified by evaluating the importance of LNG plant project management items chosen in advance.

The study drew the importance of project management work for each life cycle of LNG plant, and it is believed that those items need to be first considered in decision-making.

The order of importance was revealed for each stage. Project management, risk management and design management are important in the contracting and design stage, project management, contracting & claim management and risk management in the purchase and procurement stage, and project management, process management and risk management in the construction/installation and trial run stage. Environment management was assessed to have a relatively low importance throughout the whole life cycle.

The result above is applied to define the detailed work of each project management item chosen as a critical decision-making item per EPC stage, analyze related risks and provide decision-making support modules based on this.

2. LNG Plant Project Management Decision-Making Support System

LNG Plant Project Management Decision-Making Support System is a core technology for local construction companies to enter LNG plant construction markets. It is a key element to secure an independent project management method to meet the client's needs and have competitiveness.

The study divided the hierarchical structure of decision-making support system and decision-making support model into design stage, purchase and procurement stage and construction/installation stage to develop a decision-making support system and model.

The decision-making support system of LNG plant project based on EPC stages was first developed by Robert G. Cooper to implement successful goods development activities in 1986, and it was to manage non-repetitive, mostly development, projects in consideration of the target country's conditions, site characteristics and distinct characteristics of critical process, instead of the projects with repetitive LNG project characteristics. It was developed in application of Stage-Gate model that is widely used in R&D project management.

'Stage' is comprised of LNG project management activity (Activity) and analyses of project management results (Analysis), and it refers to a detailed stage that generates 'Deliverables' of each stage. 'Gate' indicates a point when deciding to proceed to the next stage (work), stop or postpone the current stage (work), or redo the work after the deliverable is reviewed based on the decision-making standard or project management performance evaluation/verification criteria (Criteria) and Stage Output is confirmed. Therefore, the study built stage gate models of design, purchase & procurement and construction/installation stages, and developed decision-making support modules and system in consideration of risk based on the stage gate models.

(1) Hierarchical Structure of Decision-Making Support System

The organization of project managers makes strategic decisions in relation to the implementation of LNG plant project, each project manager of the related work makes tactical decisions and sub engineers makes decisions for each unit

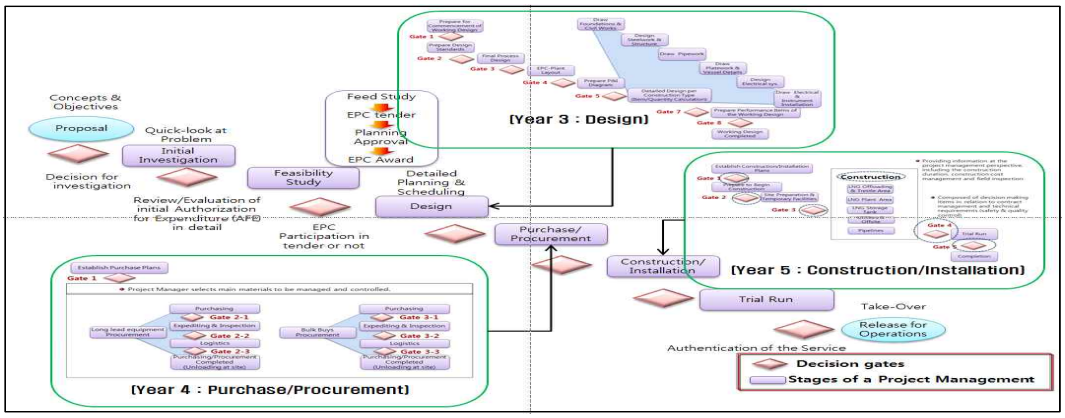
work

(2) Decision-Making Support Module of Design·Purchase/Procurement·Construction/Installation Stage

For development of a decision-making support module for the project design stage, it is divided into points when overall investigation of the project management stages is performed, excluding the purchase and procurement process, as shown in the figure below. Such stages are the checkpoints for decision-making, and it is to build a decision-making support system of design management based on the detailed design stage included in the EPC stage.

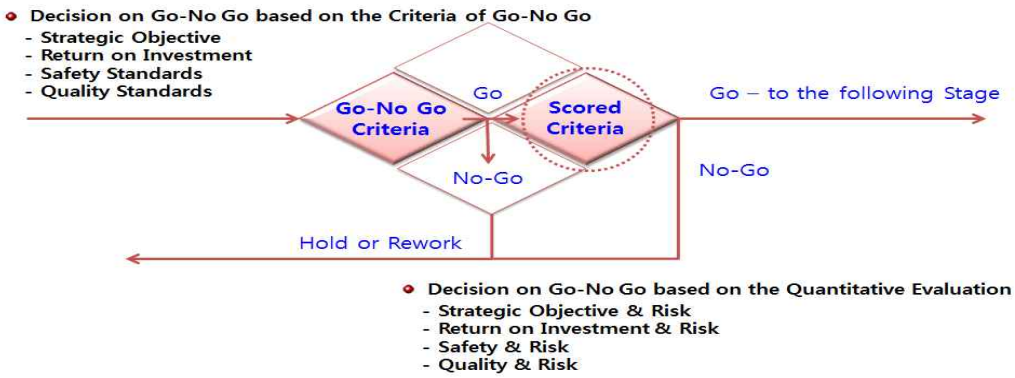
In case of the purchase and procurement stage, activities related to purchasing and procurement occur during the design-construction/installation process, which leads to differences in purchase point and procedure depending on the material type and construction process. In consideration of this, a purchase plan is set, and materials are divided into main and bulk to establish a Stage-Gate Process Model, excluding the completion of purchase contract when all purchases are completed.

When it comes to the construction/installation stage, it is divided into 6 Stages - establishment of construction/installation plans, preparation to begin construction, site preparation and temporary facilities, construction/installation, trial run and completion. Gate for each Stage is the same as that in the design and purchase/procurement stages, but when it comes to the Construction stage, a model in consideration of the construction time, cost management and support of site inspection activities is proposed for a decision-making support module during the process that requires a lot of time. The Construction stage divides the project site into 7 Areas based on the progress schedule of general LNG plant construction projects - LNG Plant, Offloading Area, Marine Trestle, Storage Tank, Pipeline, Power Plant as an attached facility, and Utilities & Offsites like administration building and heliport, so that project managers can conduct project management activities.



<Figure S_2> LNG Plant Project Process & Stage-Gate Model per EPC Stage (Park, Hwanpyo, 2014)

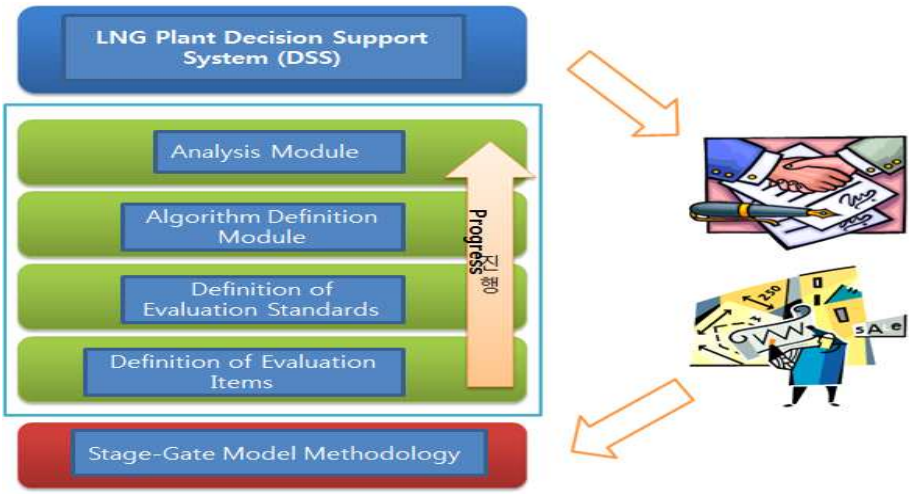
Decision-making logic for the decision-making support system of LNG plant projects forms Gate Review Factor based on the conformance with strategic objective, return on investment, safety standards and quality standards, which are the core decision-making evaluation items, and they are divided into Scored Subgate based on Go-No Go Sub Gate, risk and management score, to perform decision-making.



<Figure S_3> The Concept of Decision-Making Logic of the Stage-Gate Model Gate of LNG Plant EPC Projects (Chin, Kyungho, 2011)

(3) Decision-Making Support System of Design· Purchase/Procurement· Construction/Installation Stage

The following decision-making support module was developed based on the LNG Plant Decision Support System(DSS), and the technology was described focused on the EPC stage integrated decision-making support module.



<Figure S_4> LNG Plant: Decision-Making Support Module Framework

The whole system is composed of a(n) module for evaluation item definition, module for definition of evaluation criteria, module for definition of analysis algorithm, analysis module and development of information link function considering future link with other systems. The developed modules are described in detail as follows.

<Table S_2> Modules of LNG Plant Project Management DSS

Module	Details
Module for definition of decision-making support evaluation items	Systematization based on the identification of evaluation items creates Gate per EP stage, Category per Gate and evaluation items per Category, and the Risk in relation to the created evaluation items and response plans that are user-defined are developed.
Module for definition of decision-making support evaluation criteria	Input method, standard setting and other functions for quantitative analysis of various evaluation criteria are developed by defining the decision-making support evaluation items.
Module for decision-making support analysis algorithm	It is to implement an analysis algorithm function for evaluation analyses that are required for decision-making support, and it is optimized to apply a wide range of authentication methods to analysis results, to develop an algorithm module.
User Interface Module	The result analyzed through analysis algorithm module is expressed in user interface, and the expressed interface should be intuitive and simple in consideration of users' convenience with minimized input and that meets the decision-making support system.
Change History Management Module	When the Gate of EPC stage, specifications, design drawings and materials per Gate change, the data of target Stage, CO, status, description of change(s) and results are created/modified/saved.
Mobile Web System Function	A screen display for evaluation result search is created so that such search is possible from a small screen of mobile devices, and a mobile web system is implemented using standard web technologies to respond to various mobile environments.

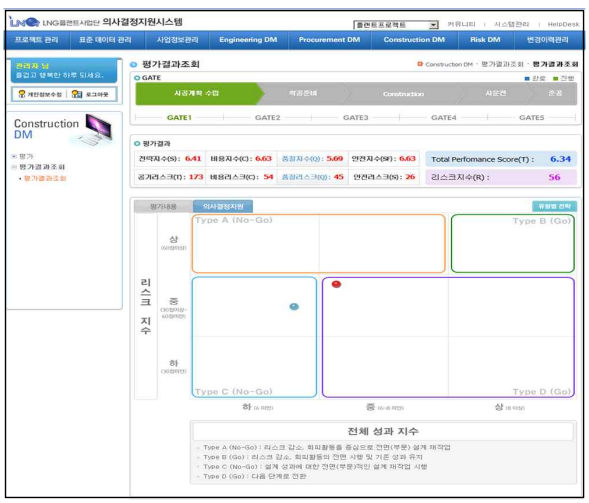
The integrated module is composed of main screen to support decision-making of all EPC stages of LNG plant projects, including the module of design and

purchase/procurement stage developed in the 2nd phase (3rd~4th year) and the module of construction/installation stage developed in the 5th year. For decision-makers to manage multiple projects, a function to choose projects and the status of decision-making of the chosen project are arranged in the center of the main screen for visual identification. Also, the notice from the center, any changes to the bulletin board and information are expressed in a list for easier access to diverse information.

Project management functions consist of creation, modification and deletion of projects, as well as management of decision-making support system, like user management, menu management and authorization management. They are mostly functions used by system operators, not general users.



<Figure S_5> Main Menu Screen



<Figure S_6> Improved Search on Evaluation Result

Ⅳ. Conclusion

The final objective of this study is to develop a risk-based, decision-making support module for each stage to reduce the workload of project management (10%) and the detailed goals are as described below.

- Establishment of the direction for LNG plant project management
- Building a decision-making support system for project management
- Development of decision-making support modules for risk-based design/purchase & procurement/construction & installation stage

The final objective of the study has been fully achieved and the technology development output was transferred. In particular, the decision-making support modules and system of LNG plant construction projects were developed, and its patent application and registration as well as S/W registration were completed.

In addition, the value of technological development was assessed to create a guideline that can be used by private firms upon technological transfer, and technological excellence, patent rights and economic feasibility were evaluated to accomplish the final objective.

To verify the output developed in the study, LNG plant experts were invited for quantitative analyses. For instance, the experts expressed their views on the effects of applying the developed system to LNG plant projects.

Since most LNG plant construction projects are implemented in foreign countries, it requires a global technological development more than any other project. Thus, the decision-making support system of LNG plant projects developed in the study can be applied to overseas projects in consideration of the risk per stage to successfully implement the projects as eliminating the risk.

CONTENTS

Chapter 1 Summary of R&D Tasks ····· 1
Section 1. Purpose & Necessity of R&D ····· 1
Section 2. Scope of R&D ····· 4
Section 3. Domestic/Overseas Technological Development ····· 7
1. Domestic Technological & Industrial Trend ····· 7
2. Overseas Technological & Industrial Trend ····· 18
3. Implications & Conclusion ····· 23
Section 4. R&D Result Positioned in the Related Area ····· 24

Chapter 2 Description of R&D and its Results ····· 26
Section 1 Implementation Strategy & Methodology ····· 26
Section 2 Procedure & Details ····· 29
1. Study Objective (Goal) & Details per Year ····· 29
2. Study Procedure & Details per Year ····· 31
Section 3 Study Results & Verification ····· 33
1. Analysis of LNG Plant Project Management Needs & Establishment of the Direction for PLM-based Project Management ····· 33
2. Definition of LNG Plant Project Management Factors & Determination of Decision-Making Items ····· 41
3. Deduction of Project Management Decision-Making Support System ····· 69
4. Analysis of Risk Management Conditions & Development of Risk Management System ····· 72
5. Analysis of Process Planning at the Design · Purchase/Procurement · Construction/Installation Stage & Development of Project Management Manual ····· 86
6. Investigation on Application of Design, Purchase/Procurement and Construction/Installation Programs ····· 134
7. Development of Decision-Making Support Modules of Design, Purchase/Procurement and Construction/Installation Stage ····· 164
8. Evaluation on Field Applicability of Decision-Making Support Module ···· 199
9. Review on Commercialization of Integrated Decision-Making Support Module ····· 221

Chapter 3 Final R&D Output & Application ····· 249
Section 1 Building LNG Plant Project Management DSS ····· 249
1. Description of the Output ····· 249
2. Core Element Technology ····· 249
3. Main R&D Output ····· 259
4. Technology Implementation & Application Cases ····· 259
5. Domestic/Overseas Market Prospect of Technological Development ···· 259
Section 2 EPC Stage DSS for LNG Plant Projects ····· 260
1. Description of the Output ····· 260
2. Core Element Technology ····· 261
3. Main R&D Output ····· 295
4. Technology Implementation & Application Cases ····· 297
5. Domestic/Overseas Market Prospect of Technological Development ····· 297

Chapter 4 Achievement of Objective & Effects ····· 301
Section 1 Achievement of R&D Final Objective (Goal) ····· 301
Section 2 Analysis on Technological Effects of the Output ····· 307
1. Conformance with Technological Trend ····· 307
2. Technology Life Cycle ····· 308
3. Distinctiveness of the Technology ····· 309
4. Possibility of Alternative Technologies ····· 313
5. Extensibility of the Technology ····· 313
Section 3 Analysis on Economical Effects of the R&D Output ····· 315
Section 4 Analysis on Political Effects of the R&D Output ····· 317

Chapter 5 Application of the Output & Necessity of Additional Studies ····· 318
Section 1 Application of the R&D Output ····· 318
Section 2 Necessity of Additional Studies ····· 319

References ····· 320

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 1
1절. 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1
2절. 연구개발의 범위 ····· 4
3절. 국내외 기술개발 현황 ····· 7
1. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 7
2. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 18
3. 시사점 및 결론 ····· 23
4절. 연구개발 결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 24

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 26
제1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 26
제2절 연구수행 과정 및 내용 ····· 29
1. 연차별 연구목표 및 내용 ····· 29
2. 연차별 연구수행 과정 및 내용 ····· 31
제3절 연구수행 결과 및 검증 ····· 33
1. LNG 플랜트 사업관리의 니즈분석 및 PLM기반의 사업관리 추진방향 수립 ····· 33
2. LNG 플랜트 사업관리 요소 정의 및 의사결정 항목결정 ····· 41
3. 사업관리 의사결정 지원체계 도출 ····· 69
4. 리스크 관리 현황 분석 및 리스크 관리 체계 개발 ····· 72
5. 설계·구매조달·시공 단계의 공정계획 분석 및 사업관리매뉴얼 개발 ····· 86
6. 설계 및 구매조달, 시공관리 프로그램 활용현황 조사 ····· 134
7. 설계 및 구매조달, 시공단계의 의사결정지원모듈 개발 ····· 164
8. 의사결정지원 모듈의 현장적용성 평가 ····· 199
9. 통합 의사결정지원 모듈의 상용화검토 ····· 221

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 249
1절 LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축 ····· 249
1. 연구성과 설명 ····· 249

2. 핵심요소기술 ····· 249
3. 주요 연구성과 ····· 259
4. 기술실시 및 적용사례 ····· 259
5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 259
2절 LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템 ····· 260
1. 연구성과 설명 ····· 260
2. 핵심요소기술 ····· 261
3. 주요 연구성과 ····· 295
4. 기술실시 및 적용사례 ····· 297
5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 297

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 301
1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 301
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 307
1. 기술동향과의 부합성 ····· 307
2. 기술수명 ····· 308
3. 기술의 차별성 ····· 309
4. 대체 기술의 출현 가능성 ····· 313
5. 기술의 확장 가능성 ····· 313
3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 315
4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 317

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 318
1절 연구성과의 향후 활용방안 ····· 318
2절 추가연구 필요성 ····· 319

참고문헌 ····· 320

표 목 차

<표 1-1> 세부기술별 국내 주요업체 현황 ····· 7
<표 1-2> 국내기술개발 수준 ····· 7
<표 1-3> 국내 플랜트 산업계의 LNG 플랜트 관련 해외 공사 수주실적 ····· 18
<표 1-4> 해외업체의 주요 보유기술 현황 ····· 21
<표 1-5> 지역별 LNG수요 예측 ····· 22
<표 1-6> 기술개발의 수준 ····· 25

<표 2-1> 연차별 주요 연구목표 및 내용 ····· 29
<표 2-2> 연차별 연구수행 내용 ····· 31
<표 2-3> 산업설비의 세부공종별 계약금액 및 건수(1969-2009년 2월) ····· 34
<표 2-4> LNG 건설사업의 주요 계약방법 ····· 39
<표 2-5> 산업플랜트의 EPC 수행단계별 사업관리 업무절차 ····· 41
<표 2-6> PMBOK의 사업관리 요소 ····· 44
<표 2-7> CMAA의 건설사업관리 서비스표준 ····· 46
<표 2-8> LNG 플랜트 건설사업관리 요소 ····· 48
<표 2-9> 사업관리항목별 중요도 조사결과 : 계약 및 설계단계 ····· 56
<표 2-10> 사업관리항목별 중요도 조사결과 : 구매 및 조달단계 ····· 57
<표 2-11> 사업관리항목별 중요도 조사결과 : 시공 및 시운전단계 ····· 58
<표 2-12> 사업관리 세부항목별 중요도 조사결과 : 계약 및 설계단계 ····· 59
<표 2-13> 사업관리 세부항목별 중요도 조사결과 : 구매 및 조달단계 ····· 61
<표 2-14> 사업관리 세부항목별 중요도 조사결과 : 시공 및 시운전단계 ····· 62
<표 2-15> 사업관리항목 및 세부항목별 중요도 조사결과 ····· 66
<표 2-16> 정성적 의사결정지원기법의 유형 ····· 67
<표 2-17> 정량적 의사결정지원기법의 유형 ····· 67
<표 2-18> 다기준 의사결정기법별 기본가정 및 공리체계 비교 ····· 68
<표 2-19> 플랜트 사업의 개괄적인 전단계 리스크 요인 ····· 74
<표 2-20> LNG 플랜트 사업의 수행단계별 리스크 요인 분류 ····· 80
<표 2-21> 리스크 인자 정의서(예시) ····· 82
<표 2-22> EPC 단계별 설계관리 세부항목 ····· 87
<표 2-23> 설계단계의 설계관리 주요 항목 ····· 87

<표 2-24> 공정관리기법의 특성 ····· 89
<표 2-25> 설계단계 공정표 ····· 90
<표 2-26> 구매조달 단계의 주요관리 항목 ····· 94
<표 2-27> 플랜트 공정표의 특성 ····· 96
<표 2-28> 공정표의 사용주체 및 운영목적 ····· 97
<표 2-29> 시공단계 공정표의 종류(1) ····· 100
<표 2-30> 시공단계 공정표의 종류(2) ····· 101
<표 2-31> 시운전 단계 공정표의 종류 ····· 102
<표 2-32> 진도관리의 체크사항 ····· 104
<표 2-33> 시운전 단계의 단위 작업 달성도 설정의 예 ····· 105
<표 2-34> 설계단계별 설계관리 체크리스트 주요 항목 ····· 107
<표 2-35> 구매조달 단계의 주요 고려사항(체크리스트 포함) ····· 108
<표 2-36> 시공계획 수립 시 주요 고려사항(체크리스트) ····· 112
<표 2-37> 공사 진도관리 방식 ····· 114
<표 2-38> 협력업체 관리시 유의사항 ····· 115
<표 2-39> 사업관리매뉴얼 사례조사 ····· 118
<표 2-40> 설계관리매뉴얼 사례조사 ····· 119
<표 2-41> LNG 플랜트 EPC 단계별 건설사업관리 요소 ····· 119
<표 2-42> 사업관리매뉴얼 문서코드 예시 ····· 126
<표 2-43> 사업관리 매뉴얼 상단표 구성(예시) ····· 126
<표 2-44> 사업관리매뉴얼 세부목차의 구성체계 ····· 127
<표 2-45> 설계단계의 사업관리매뉴얼(예시) ····· 128
<표 2-46> 구매조달단계의 사업관리매뉴얼(예시) ····· 129
<표 2-47> 시공단계의 사업관리매뉴얼(예시) ····· 130
<표 2-48> 플랜트 분야에서 활용되고 있는 상용 CAD 프로그램 현황 ····· 136
<표 2-49> 플랜트 분야에서 활용되고 있는 상용 CAE 프로그램 현황 ····· 137
<표 2-50> 설계/엔지니어링 관리 프로그램 사례 ····· 138
<표 2-51> 플랜트 정보화 관련 국제 표준 ····· 142
<표 2-52> 벤더관리 프로그램 사례 ····· 145
<표 2-53> 주요 공정관리 소프트웨어의 특징 ····· 149
<표 2-54> 공정관리 프로그램 장단점 ····· 155
<표 2-55> 공정관리 프로그램 기능 비교 분석 ····· 156
<표 2-56> 건설 프로젝트에서 활용되는 4D 프로그램 및 특성 ····· 158

<표 2-57> 4D tool 장단점 ····· 159
<표 2-58> 상업용 4d software 기술적 비교 ····· 160
<표 2-59> 공정관리 참고 자료, 분석자료 ····· 161
<표 2-60> 플랜트 정보화 관련 국제 표준 ····· 162
<표 2-61> 시공단계 LNG 플랜트 사업관리 의사결정의 특성 ····· 170
<표 2-62> LNG 플랜트 사업관리 의사결정 항목 ····· 172
<표 2-63> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 모듈 구성 ····· 176
<표 2-64> 소프트웨어 품질관리 단계 및 활동 ····· 200
<표 2-65> 소프트웨어 품질의 종류 ····· 200
<표 2-66> 주요 개발단계별 산출물 목록의 예 ····· 201
<표 2-67> 관리/지원 산출물 목록의 예 ····· 202
<표 2-68> 소프트웨어 테스트 단계 ····· 203
<표 2-69> 테스트관련 항목설명 ····· 205
<표 2-70> 통합테스트 관련 항목설명 ····· 207
<표 2-71> 현장적용성 평가 Sheet ····· 208
<표 2-72> 전문가별 평가 결과 ····· 210
<표 2-73> 산출물 평가 기준표 ····· 214
<표 2-74> 수준 평가 기준표 ····· 215
<표 2-75> 시스템 검증을 위한 전문가 면담 Sheet ····· 216
<표 2-76> 평가 점수 종합 결과 ····· 218
<표 2-77> 기술의 경제적 수명 정량화 모델 Ⅱ ····· 223
<표 2-78> 기술수명영향요인 ····· 224
<표 2-79> 법적보호기간 적용 경제적 수명 ····· 225
<표 2-80> 인용특허수명지수 ····· 225
<표 2-81> 기술수명 영향요인 ····· 226
<표 2-82> 평가대상기술의 경제적 수명 추정 결과 ····· 227
<표 2-83> LNG 공급설비 투자계획(단위:억원) ····· 228
<표 2-84> 국내(내수) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망) ····· 229
<표 2-85> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망 ····· 229
<표 2-86> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망 ····· 229
<표 2-87> 추정매출액) ····· 229
<표 2-88> 평가대상기술의 매출 추정 ····· 229
<표 2-89> 여유현금흐름 산식 ····· 230

<표 2-90> 여유현금흐름 추정 ····· 230
<표 2-91> 할인율 산식 ····· 231
<표 2-92> 기술사업화 평점과 위험 프리미엄 ····· 232
<표 2-93> 할인율 추정 결과 ····· 233
<표 2-94> 기술기여도 산식 ····· 233
<표 2-95> 개별기술강도 및 기술기여도 ····· 234
<표 2-96> 기술가치금액 ····· 234
<표 2-97> 기술가치 산정표 ····· 235
<표 2-98> BMO Model의 사업매력도 평가항목 ····· 238
<표 2-99> LNG플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 ····· 238
<표 2-100> 매출가능성 평가척도 ····· 238
<표 2-101> 이익가능성 평가척도 ····· 239
<표 2-102> 시장성장률 평가척도 ····· 239
<표 2-103> 선발기업과 예상 진입기업의 대응력 강도 평가척도 ····· 239
<표 2-104> 상품서비스의 수명 평가척도 ····· 240
<표 2-105> 특허 및 상표에 의한 방어가능성 평가척도 ····· 240
<표 2-106> 위험분산도 평가척도 ····· 240
<표 2-107> 업계재구축 가능성 평가척도 ····· 241
<표 2-108> 특별한 사회적 상황 평가척도 ····· 241
<표 2-109> 사업화 요건 및 사업 확대 전략 ····· 242

<표 3-1> LNG 플랜트 건설사업관리 요소 ····· 252
<표 3-2> 사업관리항목 및 세부항목별 중요도 조사결과 ····· 258
<표 3-3> 시공단계 LNG 플랜트 사업관리 의사결정의 특성 ····· 267
<표 3-4> LNG 플랜트 사업관리 의사결정 항목 ····· 270
<표 3-5> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 모듈 구성 ····· 275
<표 3-6> LNG 공급설비 투자계획 ····· 298
<표 3-7> 국내(내수) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망 ····· 299
<표 3-8> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망 ····· 299
<표 3-9> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망 ····· 299
<표 3-10> 추정매출액 ····· 299

<표 4-1> 연구개발의 양적성과 목표 대비 실적 ····· 301

<표 4-2> 연구개발의 질적성과 목표 대비 실적 ····· 304
<표 4-3> 해양 플랜트 엔지니어링 국내 기술 수준 ····· 310
<표 4-4> 플랜트 엔지니어링 산업의 분류 ····· 314
<표 4-5> 기술가치 산정표 ····· 316

그 림 목 차

<그림 1-1> 세계 천연가스 시장 시설 투자 수요 변화 전망 ····· 2
<그림 1-2> 세계 천연가스 수요 및 전망 ····· 2
<그림 1-3> NIST 연구 조사 보고서(2004. 8) ····· 3
<그림 1-4> LNG 플랜트 생애주기에 기반한 사업관리 서비스 범위 ····· 4
<그림 1-5> “엔지니어링 효율성 개선기술 개발” 연구의 비전 ····· 5
<그림 1-6> Web 등 가상공간을 활용한 사업관리를 통한 비용 등 감소효과 ····· 5
<그림 1-7> 1-4세부 연구과제 가치사슬 ····· 6
<그림 1-8> S사 플랜트 PMIS의 기능 구성도 ····· 8
<그림 1-9> S사 플랜트 PMIS 메인화면 ····· 9
<그림 1-10> S사 플랜트 PMIS 일반 기능 ····· 9
<그림 1-11> S사 플랜트 PMIS 문서관리 기능 ····· 10
<그림 1-12> S사 플랜트 PMIS 설계관리 기능 ····· 10
<그림 1-13> S사 구매조달 프로세스 및 지원 시스템과의 연관관계 ····· 11
<그림 1-14> S사 플랜트 PMIS 구매관리 기능 ····· 11
<그림 1-15> S사 플랜트 PMIS 시공관리 기능 ····· 12
<그림 1-16> 공정관리 업무 프로세스 ····· 12
<그림 1-17> S사 플랜트 PMIS 공정관리 기능 ····· 13
<그림 1-18> Risk 관리 업무 프로세스 ····· 13
<그림 1-19> D사 플랜트 PMIS의 로그인 페이지 ····· 14
<그림 1-20> D사 플랜트 PMIS의 Information 기능 ····· 15
<그림 1-21> D사 플랜트 PMIS의 Correspondence 기능 ····· 15
<그림 1-22> D사 플랜트 PMIS의 Correspondence 기능 ····· 15
<그림 1-23> D사 플랜트 PMIS의 FMC 기능 ····· 16
<그림 1-24> 플랜트 생애주기 단계별 주요 기술개발 동향 ····· 19
<그림 1-25> Automated FEED 시스템 - Flour Daniel사 사례 ····· 21
<그림 1-26> Automated FEED System - ABB 사 사례 ····· 22
<그림 1-27> SWOT 분석 ····· 24

<그림 2-1> 세부과제 범위 및 목표 ····· 26
<그림 2-2> 세부과제별 TRM ····· 26

<그림 2-3> 주요 연구 프로세스 ····· 27
<그림 2-4> 연차별 주요연구 성과물 ····· 27
<그림 2-5> 연구수행 전략 ····· 28
<그림 2-6> LNG 플랜트 건설사업의 가치사슬 ····· 33
<그림 2-7> LNG 수요와 LNG 플랜트건설 수요 예측 ····· 34
<그림 2-8> LNG 플랜트 생애주기에 기반한 사업관리 서비스 범위 ····· 37
<그림 2-9> LNG 플랜트사업의 사업 및 공정관리 핵심 니즈 ····· 38
<그림 2-10> 의사결정항목 정의 도출방법 ····· 55
<그림 2-11> 일반적인 의사결정 프로세스 ····· 66
<그림 2-12> 플랜트공사의 단계별 업무흐름 ····· 69
<그림 2-13> LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계 ····· 71
<그림 2-14> LNG 플랜트 및 건설 리스크관리 발전과정 ····· 72
<그림 2-15> ICRAM 리스크 관리 체계 (Hastak and Shaked, 2000) ····· 82
<그림 2-16> FIRMS 리스크 관리 체계 (해외건설협회 및 연세대학교, 2005) ····· 83
<그림 2-17> LNG 플랜트 단계별 리스크 관리 체계 ····· 83
<그림 2-18> 공정계획 및 관리절차 ····· 91
<그림 2-19> 플랜트 프로젝트의 구매 조달 프로세스 ····· 93
<그림 2-20> 공정관리의 프로세스 ····· 95
<그림 2-21> 플랜트 산업의 공정표간 연계성 ····· 97
<그림 2-22> 공정관리의 관련 업무 영역 ····· 98
<그림 2-23> 시공단계의 공정표 체계 ····· 99
<그림 2-24> 시공단계의 공정표와 타 단계의 공정표간 연계성 ····· 100
<그림 2-25> 프로젝트의 일정관리 절차 ····· 102
<그림 2-26> 시공단계의 공정관리 절차 ····· 103
<그림 2-27> 시공단계의 시공공정별 달성도 도출 프로세스 ····· 104
<그림 2-28> 시공단계 공정표의 예(1)(G사 프로젝트 공정표 사례, 2008) ····· 105
<그림 2-29> 시공단계 공정표의 예(2)(G사 프로젝트 공정표 사례, 2008) ····· 106
<그림 2-30> 시공단계의 현장 개설의 절차 ····· 110
<그림 2-31> 시공 계획의 수립 절차도 ····· 111
<그림 2-32> 사업관리매뉴얼의 구성체계 및 작성방법 개념도 ····· 127
<그림 2-33> 설계단계에서 활용되는 프로그램 구성 ····· 135
<그림 2-34> 기존 플랜트 엔지니어링 분야의 업무 및 시스템 적용 분야 ····· 135
<그림 2-35> PLM의 정의 ····· 139

<그림 2-36> 플랜트 설계 정보의 구조 ····· 141
<그림 2-37> 플랜트 프로세스에서의 정보 분절 ····· 141
<그림 2-38> 산업 데이터 표준을 이용한 엔지니어링 데이터의 교환 ····· 142
<그림 2-39> 기존 플랜트 기업의 시스템 구성의 예[JGC 사례] ····· 143
<그림 2-40> 플랜트 프로젝트의 자재관리 시스템의 구조와 정보 흐름 ····· 144
<그림 2-41> 통합 플랜트 프로젝트 시스템의 구성사례 (Fluor Corporation) ···· 147
<그림 2-42> Primavera(P3) ····· 148
<그림 2-43> MS Project ····· 148
<그림 2-44> Primavera / Project Management (P6) ····· 151
<그림 2-45> neo Plan ····· 152
<그림 2-46> ez-PERT ····· 153
<그림 2-47> PlanMate ····· 154
<그림 2-48> Nex-Pert ····· 154
<그림 2-49> 4D CAD 및 nCAD의 활용 ····· 157
<그림 2-50> DB 기반 공정관리 프로세스의 예 ····· 161
<그림 2-51> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 개발의 필요성 ····· 165
<그림 2-52> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 관리영역 ····· 165
<그림 2-53> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계의 계층적 구조 ····· 166
<그림 2-54> Robert G. Cooper의 R&D사업에 대한 Stage-gate model ····· 167
<그림 2-55> LNG플랜트 pre-FEED, FEED, EPC단계별 사업관리에 대한 Stage-gate model ····· 167
<그림 2-56> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계 ····· 168
<그림 2-57> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계와 의사결정의 계층구조 ····· 168
<그림 2-58> LNG플랜트사업의 기본설계(FEED)단계의 Stage-Gate Process Model ····· 169
<그림 2-59> LNG플랜트 실시설계(Engineering)단계의 Stage-Gate Process Model ····· 169
<그림 2-60> 구매조달 단계의 Stage-Gate Process Model ····· 170
<그림 2-61> 시공단계의 Stage-Gate Process Model ····· 171
<그림 2-62> LNG플랜트 EPC사업의 Stage-Gate Model의 Gate상의 의사결정로직 개념 ····· 172
<그림 2-63> Gate의 의사결정기준(예시) ····· 173
<그림 2-64> 각 단계별 Stage-Gate모델과 변경관리를 결합한 통합의사결정지원체계의 개념도 ····· 174
<그림 2-65> 변경관리 모듈 구축을 위한 프로세스 모델 ····· 175
<그림 2-66> LNG 플랜트 의사결정지원모듈 Framework ····· 176
<그림 2-67> 개발시스템 Framework ····· 177
<그림 2-68> 시스템구성도 ····· 178

<그림 2-69> 모듈 구성도 ····· 179
<그림 2-70> 시스템관리 설계(Logical) ····· 180
<그림 2-71> 표준데이터관리 설계(Logical) ····· 180
<그림 2-72> 사업정보관리 설계(Logical) ····· 181
<그림 2-73> 평가/결과조회 설계(Logical) ····· 181
<그림 2-74> 표준리스크관리 설계(Logical) ····· 182
<그림 2-75> 사업정보 리스크관리 설계(Logical) ····· 182
<그림 2-76> 평가/결과조회 설계(Logical) ····· 183
<그림 2-77> 메인 화면 ····· 184
<그림 2-78> 프로젝트 관리 ····· 184
<그림 2-79> 표준 프로세스 관리 ····· 185
<그림 2-80> 표준 Goal(범위) 관리 ····· 185
<그림 2-81> 표준 평가항목 관리 ····· 186
<그림 2-82> 표준 매뉴얼 관리 ····· 186
<그림 2-83> 표준 대응방법 관리 ····· 186
<그림 2-84> 표준 리스크 관리의 세부단계 관리 ····· 187
<그림 2-85> 표준리스크관리의 리스크 요인 관리 ····· 187
<그림 2-86> 평가 ····· 188
<그림 2-87> 평가결과조회 ····· 188
<그림 2-88> Pre-Stage 평가 ····· 189
<그림 2-89> On-Stage 평가 ····· 189
<그림 2-90> 평가결과 조회 ····· 189
<그림 2-91> 사용자관리 ····· 190
<그림 2-92> 권한관리 ····· 190
<그림 2-93> 시공단계 공정관리 ····· 191
<그림 2-94> 시공단계 Inspection ····· 191
<그림 2-95> 변경이력관리화면 ····· 192
<그림 2-96> 변경이력 정보등록 ····· 193
<그림 2-97> 변경이력 정보 화면에서 리스크 정보 조회 ····· 193
<그림 2-98> 평가결과 조회 개선 ····· 194
<그림 2-99> 모바일 환경에서 로그인 및 EPC단계 선택 화면 ····· 195
<그림 2-100> 모바일 환경에서 평가결과 표시화면 ····· 195
<그림 2-101> 모바일 환경에서 평가내용에 따른 대응방법 표시화면 ····· 196

<그림 2-102> 모바일 환경에서 리스크 지수 표시화면 ····· 196
<그림 2-103> 이용자 매뉴얼(예시) ····· 197
<그림 2-104> 단위테스트 결과(1) ····· 206
<그림 2-105> 단위테스트 결과(2) ····· 206
<그림 2-106> 통합테스트 결과 ····· 207
<그림 2-107> 1-4세부의 연구목표 ····· 213
<그림 2-108> 시스템 검증 프로세스 ····· 213
<그림 2-109> 검증 프로세스 세부 1단계 ····· 214
<그림 2-110> 검증 프로세스 세부 2단계 ····· 217
<그림 2-111> 검증 프로세스 세부 3단계 ····· 218
<그림 2-112> 프로젝트 관리 평가 점수 (As-Is) ····· 218
<그림 2-113> 프로젝트 관리 평가 점수 (To-Be) ····· 219
<그림 2-114> 수익접근법에 의한 LNG 플랜트 EPC 단계 통합의사결정지원 시스템 기술가치평가 절차 ····· 221
<그림 2-115> 신기술 채택 곡선(Adoption Curve) ····· 228
<그림 2-116> BM 특허의 정의 ····· 237
<그림 2-117> 사업매력도 평가 결과 ····· 242

<그림 3-1> 플랜트공사의 단계별 업무흐름 ····· 250
<그림 3-2> LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계 ····· 251
<그림 3-3> 의사결정지원시스템 주요 화면 ····· 260
<그림 3-4> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 개발의 필요성 ····· 261
<그림 3-5> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 관리영역 ····· 262
<그림 3-6> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계의 계층적 구조 ····· 262
<그림 3-7> Robert G. Cooper의 R&D사업에 대한 Stage-gate model ····· 263
<그림 3-8> LNG플랜트 pre-FEED, FEED, EPC단계별 사업관리에 대한 Stage-gate model ····· 264
<그림 3-9> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계 ····· 264
<그림 3-10> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계와 의사결정의 계층구조 ····· 265
<그림 3-11> LNG플랜트사업의 기본설계(FEED)단계의 Stage-Gate Process Model ····· 266
<그림 3-12> LNG플랜트 실시설계(Engineering)단계의 Stage-Gate Process Model ····· 266
<그림 3-13> 구매조달 단계의 Stage-Gate Process Model ····· 267
<그림 3-14> 시공단계의 Stage-Gate Process Model ····· 268
<그림 3-15> LNG플랜트 EPC사업의 Stage-Gate Model의 Gate상의 의사결정로직 개념 ····· 269
<그림 3-16> LNG 플랜트 EPC계약에서 Plant Layout 업무에 관한 사업관리 의사결정 항목 ····· 271

<그림 3-17> 시공단계의 Gate 의사결정기준(예시) ····· 271
<그림 3-18> 각 단계별 Stage-Gate모델과 변경관리를 결합한 통합의사결정지원체계의 개념도 ····· 272
<그림 3-19> 변경관리 모듈 구축을 위한 프로세스 모델 ····· 273
<그림 3-20> LNG 플랜트 의사결정지원모듈 Framework ····· 274
<그림 3-21> 개발시스템 Framework ····· 276
<그림 3-22> 시스템구성도 ····· 277
<그림 3-23> 모듈 구성도 ····· 278
<그림 3-24> 시스템관리 설계(Logical) ····· 279
<그림 3-25> 표준데이터관리 설계(Logical) ····· 279
<그림 3-26> 사업정보관리 설계(Logical) ····· 280
<그림 3-27> 평가/결과조회 설계(Logical) ····· 280
<그림 3-28> 표준리스크관리 설계(Logical) ····· 281
<그림 3-29> 사업정보 리스크관리 설계(Logical) ····· 281
<그림 3-30> 평가/결과조회 설계(Logical) ····· 282
<그림 3-31> 메인 화면 ····· 283
<그림 3-32> 프로젝트 관리 ····· 283
<그림 3-33> 표준 프로세스 관리 ····· 284
<그림 3-34> 표준 Goal(범위) 관리 ····· 284
<그림 3-35> 표준 평가항목 관리 ····· 284
<그림 3-36> 표준 매뉴얼 관리 ····· 285
<그림 3-37> 표준 대응방법 관리 ····· 285
<그림 3-38> 표준 리스크 관리의 세부단계 관리 ····· 285
<그림 3-39> 표준리스크관리의 리스크 요인 관리 ····· 286
<그림 3-40> 평가 ····· 286
<그림 3-41> 평가결과조회 ····· 287
<그림 3-42> Pre-Stage 평가 ····· 287
<그림 3-43> On-Stage 평가 ····· 288
<그림 3-44> 평가결과 조회 ····· 288
<그림 3-45> 사용자관리 ····· 289
<그림 3-46> 권한관리 ····· 289
<그림 3-47> 시공단계 공정관리 ····· 290
<그림 3-48> 시공단계 Inspection ····· 290
<그림 3-49> 변경이력관리화면 ····· 291

<그림 3-50> 변경이력 정보등록 ····· 291
<그림 3-51> 변경이력 정보 화면에서 리스크 정보 조회 ····· 292
<그림 3-52> 평가결과 조회 개선 ····· 292
<그림 3-53> 모바일 환경에서 로그인 및 EPC단계 선택 화면 ····· 293
<그림 3-54> 모바일 환경에서 평가결과 표시화면 ····· 293
<그림 3-55> 모바일 환경에서 평가내용에 따른 대응방법 표시화면 ····· 294
<그림 3-56> 모바일 환경에서 리스크 지수 표시화면 ····· 294
<그림 3-57> 이용자 매뉴얼(예시) ····· 295
<그림 3-58> 기술이전 계약서(샘플) ····· 297
<그림 3-59> 신기술 채택 곡선(Adoption Curve) ····· 298

<그림 4-1> 해양 플랜트 기술 로드맵 ····· 308
<그림 4-2> 한길아이티 ＬＮＧ 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템 ·· 309
<그림 4-3> 광운대학교 도시재생사업을 위한 의사결정시스템 ····· 311

<그림 5-1> 연구성과의 활용 및 실용화 추진계획 ····· 319

제1장 연구개발과제의 개요

1절. 연구개발의 목적 및 필요성

본 1핵심과제 제4세부과제의 비전은 LNG 플랜트 사업의 생산성 향상 및 건설사업비 절감을 통한 해외시장 진출능력 및 국제경쟁력 향상으로 제시하고, 이를 달성하기 위한 목표로서 LNG플랜트 생애주기에 대한 최적 프로세스 개발, 통합지식 및 정보관리 시스템개발, 사업계획 전문가 시스템의 개발, 사업관리 및 리스크관리 능력 제고 등을 통해서 제1핵심과제의 목표인 집적도 10% 개선된 모듈러 통합계통개발에 필요한 LNG 플랜트 엔지니어링 생산성이 10% 향상된 지식관리 및 사업관리 체계를 개발하고자 한다.

본 연구과제의 최종 성과물 및 목표는 IT기반의 통합사업관리체계 구축을 통한 사업관리 업무량 10% 감소로, 다음과 같이 세부목표를 설정하여 연구를 추진하고자 한다.

- LNG 플랜트 사업관리 추진방향 수립
- 사업관리의 의사결정지원체계 구축
- 위험기반의 설계/구매조달/시공단계의 의사결정지원모듈 개발

본 연구개발의 필요성 및 중요성은 다음과 같다.

가. 기술적 측면

플랜트 건설사업은 시스템 또는 설비를 대상으로 기획과 타당성 조사, 기본 및 실시설계, 구매·조달, 시공 및 시운전, 운영 및 유지보수 등 전 단계에 걸친 업무를 일괄하여 수행하는 건설분야로 정의된다. 이러한 플랜트 건설사업의 주요 특징은 복잡한 기술 집약형 물적 시스템, 기술 기준서의 산업, 산업설비기술의 역동성, 경험과 노하우가 중요, 고도의 프로젝트 관리기술 요구 등으로 요약할 수 있다. 다른 측면의 플랜트 건설사업의 특성은 다양한 학문과 기술이 결합되어 복잡한 장치를 구성하며, 체계적인 기술기준과 절차서, 경험과 노하우의 축적, 관리기법 등에 의하여 성공 여부가 크게 좌우된다.

국내 플랜트 산업계의 현황을 점검해보면 대형 발전소 건설사업의 경우는 건설사업관리 기술과 종합설계기술, 시공기술, 구매관리기술, 시운전기술 등이 자립되어 있다. 이 대형발전소 건설사업은 생애주기 최적프로세스가 운영되고 있어 지적소유권 문제만 해결되면 즉시 국제 시장에 진출할 수 있는 국제경쟁력을 확보하고 있다. 그러나 LNG 플랜트의 경우 시공기술은 자립되어 있다고 볼 수 있으나 그 외의

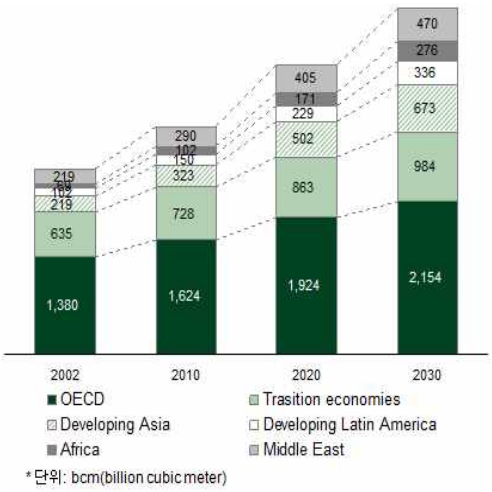
기술은 확보가 미비하여 해외 건설시장에서 경쟁에 필요한 기술개발이 시급한 것으로 판단된다.

해외 LNG 플랜트 건설 시장의 규모는 꾸준히 확대될 것으로 분석되고 있으며 동 플랜트의 건설사업을 수주하여 높은 부가가치를 창출하기 위해서는 지금까지의 시공 위주의 수주가 아닌 EPC 일괄수주가 필요하다. EPC의 일괄수주를 위해서는 건설사업관리 관련 기술의 자립이 필수적인데 본 과제의 수행으로 이를 위한 기반기술을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

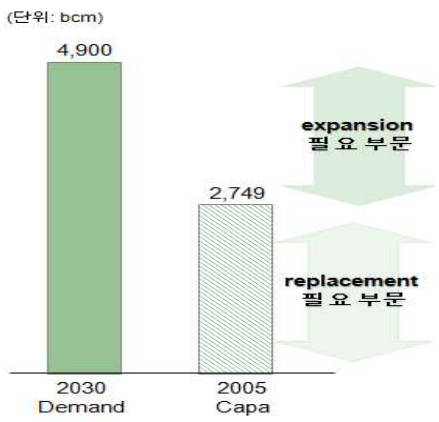
나. 경제·산업적 측면

중동지역의 경우 고유가에 자극받은 국가들의 가스와 석유화학 등의 시설에 대한 지속적인 투자로 가스플랜트 분야의 수요가 급증할 것으로 예상되며, 아시아를 중심으로 한 개발도상국가의 경제가 지속적으로 성장함에 따라 가스플랜트의 시장은 상당히 확대될 것으로 전망되며 이러한 추세는 상당기간 계속될 것으로 판단된다.

이러한 가스플랜트 시장의 성장은 LNG수요의 증가도 유발했으며 LNG 수요는 연평균 2.3%의 상승을 가질 것으로 예상되며, 2030년에는 현재의 2배 규모의 수요가 창출될 것으로 판단된다. 이에 따라 지속적인 시설투자가 요구될 것으로 전망되며, 기존 생산시설의 보수 및 설비 교체를 위한 시장도 확대될 것으로 판단된다. 특히 아시아-태평양 지역의 43개 플랜트 중 18개가 20년 이상 된 노후설비로 현재도 보수 및 교체를 위한 시장이 증가하고 있어 본 세부과제가 목표로 하는 LNG플랜트 건설사업관리 핵심기술의 확보로 엔지니어링 수행 효율성이 제고될 경우 국내 관련 산업계의 국제경쟁력이 제고되어 해외 LNG플랜트 건설사업의 수주로 수익 확보가 기대된다.



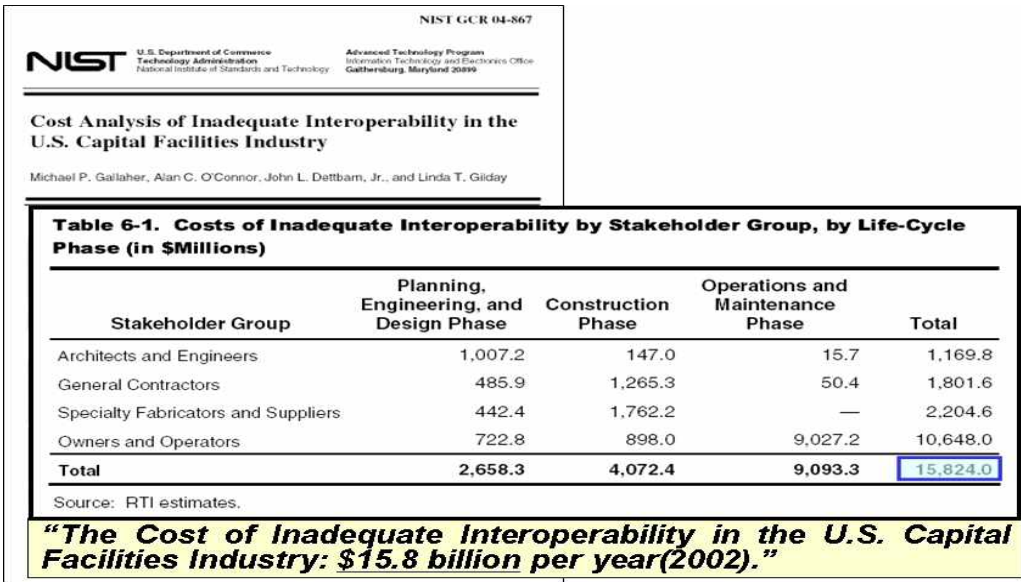
<그림 1-1> 세계 천연가스 시장 시설 투자 수요 변화 전망



<그림 1-2> 세계 천연가스 수요 및 전망

미국 CII(1996)에서는 플랜트 프로젝트에서의 가장 큰 비효율성은 설계 개발 프로

세스에서 발생되며, 그 원인은 조달, 시공, 운영 및 프로세스에서 활용될 정보의 부정확성에서 초래되는 것으로 분석하였다. 또한, NIST는 Capital Facilities Industry에서 생애주기(Life-Cycle)를 통해 공유되고 활용되는 정보의 불합리한 운용(Inadequate Interoperability)으로 인한 비용이 $15.8 billion으로 이르는 것으로 분석하였다.



NIST GCR 04-867

NIST U.S. Department of Commerce Technology Administration National Institute of Standards and Technology — Advanced Technology Program Information Technology and Electronics Office Gaithersburg, Maryland 20899

Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry

Michael P. Gallaher, Alan C. O'Connor, John L. Dettbarn, Jr., and Linda T. Gilday

Table 6-1. Costs of Inadequate Interoperability by Stakeholder Group, by Life-Cycle Phase (in $Millions)

Stakeholder Group	Planning, Engineering, and Design Phase	Construction Phase	Operations and Maintenance Phase	Total
Architects and Engineers	1,007.2	147.0	15.7	1,169.8
General Contractors	485.9	1,265.3	50.4	1,801.6
Specialty Fabricators and Suppliers	442.4	1,762.2	—	2,204.6
Owners and Operators	722.8	898.0	9,027.2	10,648.0
Total	**2,658.3**	**4,072.4**	**9,093.3**	15,824.0

Source: RTI estimates.

"The Cost of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry: $15.8 billion per year(2002)."

<그림 1-3> NIST 연구 조사 보고서(2004. 8)

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 미국 CII 에서는 건설사업 수행 전체 단계에서 유기적으로 통합되고 자동화된 기획, 설계, 관리 환경개발을 위한 사업관리 기반구축 및 핵심 분야의 기술개발을 목표로 대형 산업 프로젝트 관리기술개발 로드맵인 FIATECH (Fully Integrated and Automated Technology)을 구축하고 단계적인 연구를 수행 중에 있다. 이러한 동향에서 알 수 있는 것은 플랜트 건설사업이 지식 및 정보의 집약화로 부가가치를 창출하는 방향으로 전개됨을 알 수 있다.

국내 플랜트 산업계의 현황은 가장 기본이 되는 EPC의 프로세스조차 확립되어 있지 않아서 국제 경쟁력이 취약하며 정보 및 지식집약화는 아직 시작도 못하고 있는 실정이다. 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위해서는 본 과제의 수행으로 최적 프로세스를 개발해서 유사한 유형의 손실을 막고 사업계획 기술 개발, 건설사업관리 기술 개발, 통합정보 및 지식관리 기술 개발을 수행함으로써 관련 산업의 지속적 성장 및 고부가가치 확보를 위한 기술기반을 조성해야 할 것이다.

2절. 연구개발의 범위

본 과제는 가스플랜트 사업단의 제1핵심과제인 'LNG플랜트 핵심기반기술 개발'의 제4세부과제인 '엔지니어링 효율성 개선기술 개발' 과제로서 LNG가스플랜트사업의 계약부터 운영이전까지의 프로세스에 대해서 사업관리업무를 효율적으로 수행하기 위한 매뉴얼 및 위험기반의 의사결정지원 모듈을 개발하기 위한 것으로 EPC업체가 가격경쟁이 치열한 LNG 플랜트 시장에서 생산성 확보 및 시장 진입을 위한 핵심적으로 확보해야 할 요소기술이다.

현재 국내 LNG건설경험이 전무한 현실에서 PLM기반의 엔니지어링 생산성 개선기술을 개념적인 수준에서 접근하고 있으며, 기술수준도 일반적인 사업관리 요소기술 측면에서 60~70%정도로 추정되고 있다. 주요한 사업관리 핵심기술의 범위는 통합관리, 역무 및 요구사항관리, 일정 및 공정관리, 원가관리, 품질관리, 인적자원관리, 정보 및 커뮤니케이션 관리, 위험관리, 구매관리의 일반적인 건설사업관리 활동과 함께 자산관리(Asset Management) 전략과의 결합하는 범위를 제시하고 있다.

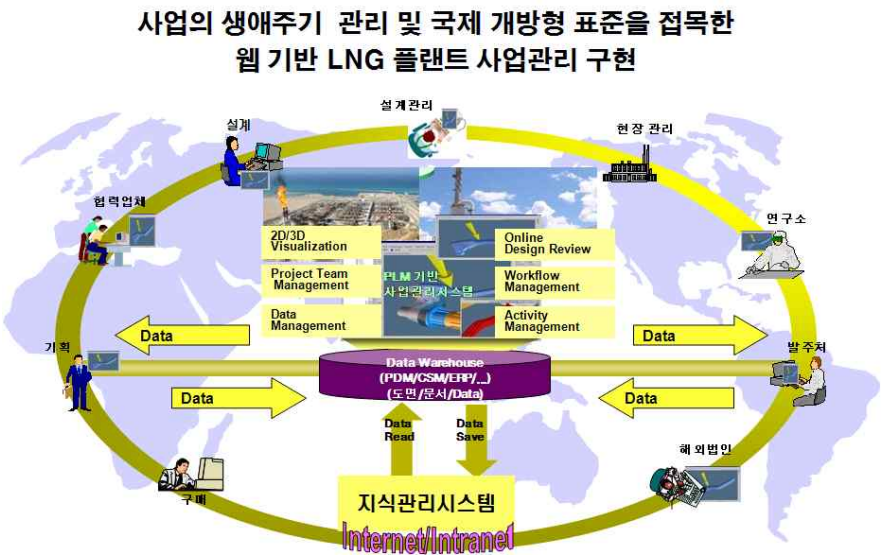
특히 LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다. LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄계약하는 방식이 건설산업의 계약방식과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서, 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.



<그림 1-4> LNG 플랜트 생애주기에 기반한 사업관리 서비스 범위

본 과제는 엔지니어링 효율성 개선을 위한 핵심기반기술을 개발하는 과제로서 아래 그림에 도식화된 'PLM (Plant Life-cycle Management) 및 글로벌 표준을 접목

한 웹기반의 실시간 LNG 플랜트 사업관리모듈의 개발'을 비전으로 제시하였다.



<그림 1-5> "엔지니어링 효율성 개선기술 개발" 연구의 비전

본 과제에서 제시된 EPC업체의 생산성 및 엔지니어링 효율성 향상을 위한 도구로서 개발예정인 사업관리메뉴얼과 사업관리모듈은 궁극적으로 웹기반의 가상 사업관리기능을 확보하여 LNG플랜트 건설공사 현장과 사업관리조직(발주자 및 EPC업체 등)이 내부 전문인력과 현장인력과 정보공유와 실시간 의사결정활동을 지원하는 형태로 발전할 것이다.

이러한 발전방향은 외국의 사례에서도 사업수행기간의 단축과 재설계, 재시공 등의 비용의 축소를 통한 사업비절감에 기여하게 되며, 궁극적으로 EPC업체의 경쟁력 강화와 시장 진출의 기반이 될 것으로 예측된다.

예를 들면, 미국 Penn State 대학의 연구결과에 의하면, IT기술과 웹기반 시스템 구축을 통한 가상공간내의 협업을 통한 사업관리 성과에서 EPC업체의 설계비용의 감소(평균 10%), 설계 및 전체 사업수행기간의 단축(평균 5%) 등을 제시하고 있다.

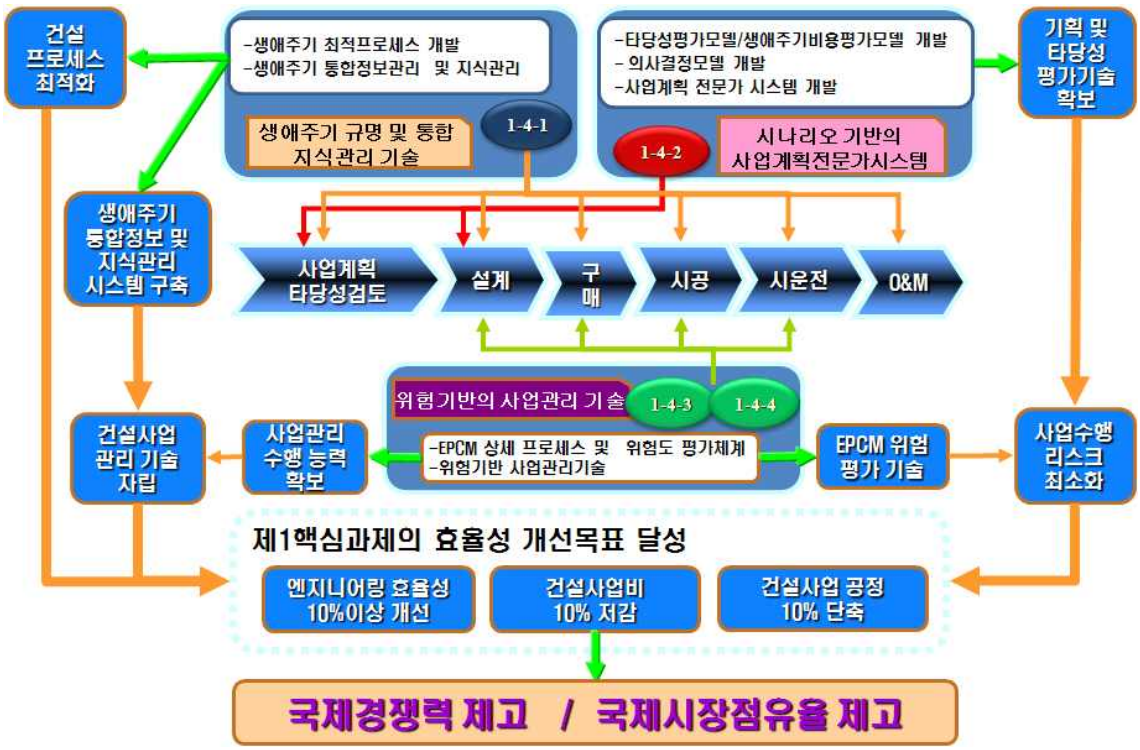
	OWNER					EPC				
	more than 10% increase	0-10% increase	Same	0-10% reduction	more than 10% reduction	more than 10% increase	0-10% increase	Same	0-10% reduction	more than 10% reduction
ENGINEERING COST	7.1	0	7.1	35.7	50.0	0	3.8	7.6	42.3	46.1
CONSTRUCTION COST	0	7.1	71.4	14.2	7.1	0	0	79.1	20.8	0
ENGINEERING TIME	0	7.1	57.1	28.5	7.1	4.0	28.0	40.0	20.0	8.0
OVERALL PROJECT DELIVERY TIME	0	14.2	57.1	28.5	0	0	4.0	60.0	32.0	4.0
ENGINEERING QUALITY	7.1	14.2	57.1	21.4	0	4.0	8.0	72.0	16.0	0
CONSTRUCTION QUALITY	0	21.4	64.2	14.2	0	4.1	16.6	79.1	0	0

<그림 1-6> Web 등 가상공간을 활용한 사업관리를 통한 비용 등 감소효과

또한, 미국 CII의 연구결과에 따르면, EPC사업의 현장 Rework이 총공사비의 4% 이내로 축소되면, 총공사비는 약 1.5% 감소효과를 나타내는 것으로 제시하고 있다 (참고로 Rework의 비중은 총 공사비의 최대 25%까지 차지하는 것으로 파악)

한편 1-4세부의 각 세세부별 주요기술 및 상관관계는 다음 그림과 같다.

- (1-4-1) LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리기술 개발
- (1-4-2) 시나리오 기반의 사업계획 전문가 시스템 개발
- (1-4-3) 위험기반의 사업 및 공정관리기법 개발
- (1-4-4) 수행단계별 위험관리 평가기법 개발



<그림 1-7> 1-4세부 연구과제 가치사슬

3절. 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

가. 국내 기술개발 현황

본 연구과제에서 추진하고자 하는 엔지니어링 효율성 개선기술의 세세부과제에 대한 국내 기술현황은 선진국이 추구하고자 하는 플랜트 건설사업의 생애주기 규명 및 정보의 통합관리 기술, 지능통합형 FEED 시스템 개발 등과 비교 시 매우 열악한 상태인 것으로 판단된다.

국내 주요업체별 기술보유 현황 및 기술개발 수준은 다음 표와 같다.

<표 1-1> 세부기술별 국내 주요업체 현황

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허
가스 플랜트 설계,시공능력	현대엔지니어링	가스플랜트 설계
	삼성엔지니어링	가스플랜트 설계
	GS건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
	SK건설	가스플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전
	한국 수력원자력(주)	원자력발전소 건설사업관리, 사업계획 수립, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지
	한국전력기술(주)	건설사업관리체제 개발 및 운영, 원자력발전소 A/E
	한국가스공사	LNG 저장시설 사업관리, 사업계획 수립 및 EPC 총괄
	중부발전(주) 등	화력발전소 건설사업관리, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지, 폐쇄

<표 1-2> 국내기술개발 수준

세부기술	현재 기술수준		
	기술수준 (%)	기술격차 (년)	비고
EPC 수행 프로세스 및 위험도 평가체계 정립	70%	2	성숙
위험도 기반 사업 및 공정관리시스템 개발	70%	2	성숙
LNG 플랜트 의사결정 모델링	50%	3	도입
LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리	50%	3	도입
통합표준데이터 컨버터	60%	3	도입
시나리오 기반의 사업계획 시스템	50%	3	도입
위험기반의 사업관리 및 공정관리 시스템 개발	50%	3	도입

한편 효율적인 사업관리를 위하여 최근 많이 사용하고 있는 Project Management Information System(PMIS) 기술에 대해서 국내 대표적인 EPC사의 PMIS 구축 사례를 고찰하고, 시사점을 분석하였으며 그 주요 결과는 다음과 같다.

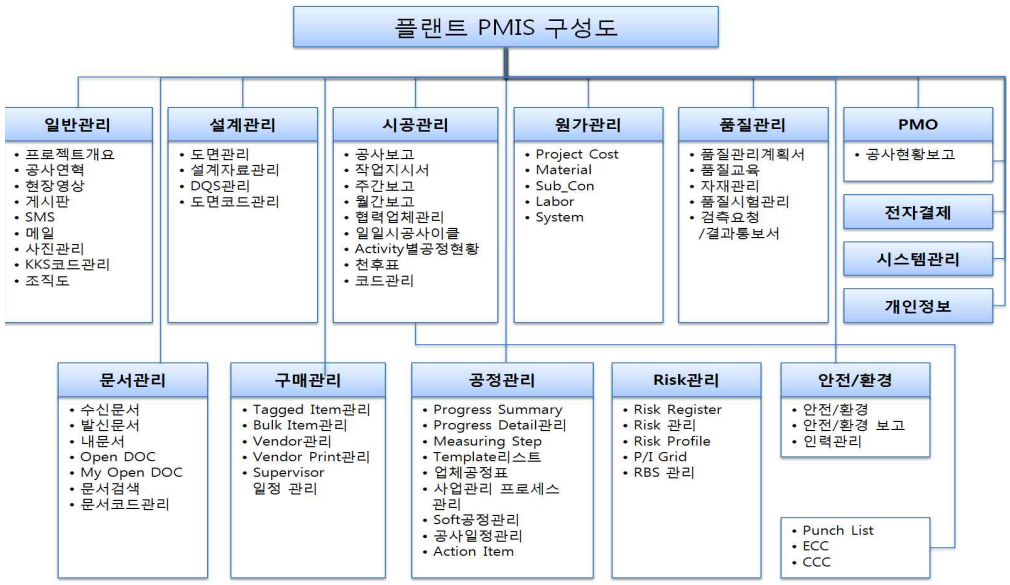
분석 결과, 플랜트 PMIS 또한 건설분야에서 활용되고 있는 기능과 유사한 형태를 가지고 있으며, 주로 협업 및 정보공유를 위해 활용되고 있음을 알 수 있었다. 추가적으로, 기존 건축 프로젝트에서 활용되고 있는 PMIS와 차별되는 기능으로는 조달 관리가 특화되어져 있고, Risk Management 등 기능이 건축분야에서 보다 적극적으로 활용되고 있음을 알 수 있었다. 국내 플랜트 PMIS의 경우, Engineering 솔루션과 달리, 아직까지 건축 PMIS와 크게 차별화되지 못하고 있는 상태이나, 점차 플랜트의 특성을 반영하고 있는 추세이기 때문에, 플랜트 산업의 프로세스 및 특성 반영을 통한 PMIS의 진화가 예상된다.

대표적인 EPC사의 PMIS 구축 사례에 대한 상세내용은 다음과 같다.

(1) S 사 플랜트 PMIS 구축 사례 [전사 PMIS 구축 사례]

EPC 프로젝트의 효율적 관리를 위해, 각 부서에서 수행하는 업무를 시스템에 반영한 PMIS로, 프로젝트 관리, 구매현황/진도 관리, 설계 진도관리, 시공/시운전 관리 등을 수행하는 각 부서 간에 정보를 공유하여 프로젝트 통합관리를 위한 도구로 활용 가능하도록 구축하였다.

시스템의 구성은 아래 PMIS 기능도에 나타난 바와 같이, 일반관리, 문서관리, 설계 관리 등의 10개의 기본 모듈과 시스템 운영을 위한 시스템 관리 및 S사에 진행하는 플랜트 프로젝트의 전체 현황 보고/관리를 위한 PMO(Project Management Office) 등의 부가기능으로 구성되어져 있다.



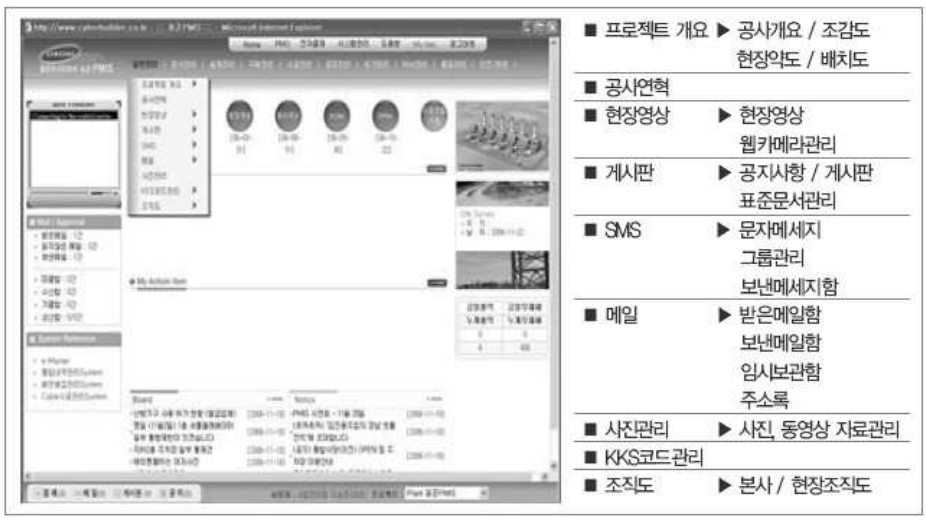
<그림 1-8> S사 플랜트 PMIS의 기능 구성도

S사 플랜트 PMIS의 각 기능별 상세 설명 및 주요 화면은 아래와 같다.

- 일반 관리 : 프로젝트 관련 기본정보를 제공하고, 구성원간의 Communication과 Collaboration 지원을 위해 기본적으로 제공되는 메일, SMS, 메신저, 웹카메라, 사진관리, 조직도 등의 기능으로 구성됨. 또한 플랜트 프로젝트의 코드인 KKS를 손쉽게 검색할 수 있는 기능을 포함하고 있음.



<그림 1-9> S사 플랜트 PMIS 메인화면



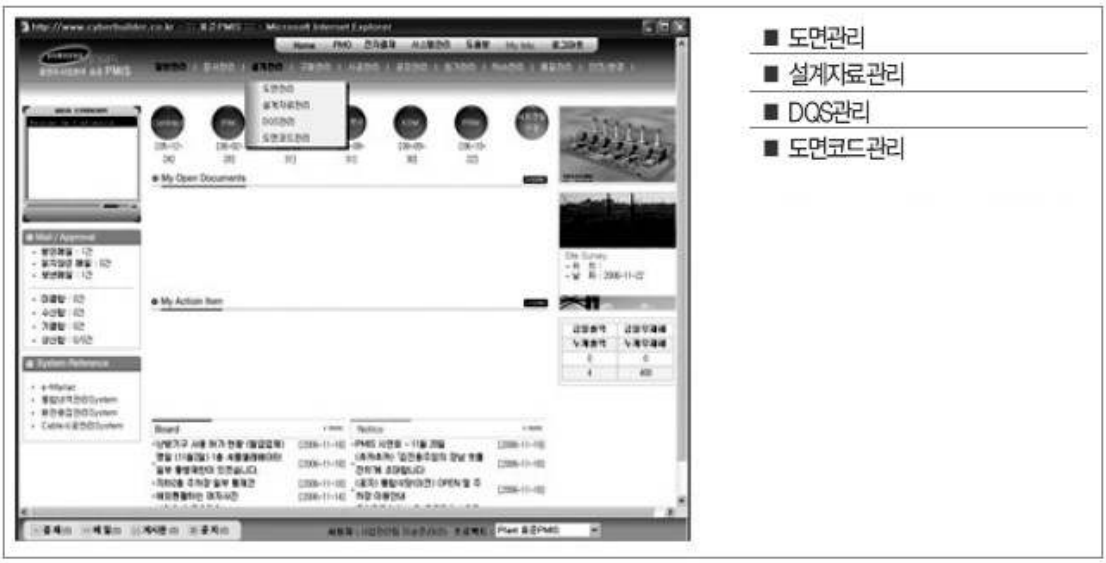
<그림 1-10> S사 플랜트 PMIS 일반 기능

- 문서 관리 : 프로젝트의 참여주체 (발주처/콘소시움, 파트너/설계사/협력업체 등) 간 수발신 문서의 체계적 관리를 위한 Open Document 현황 자동 viewing, 책임자별 Warning을 통한 사전 처리 기능, 그리고 분류체계별 문서자료 관리를 지원하여 문서 검색 및 프로젝트 종료 후 준공도서 별도 작성 업무 간소화 가능 기능 제공



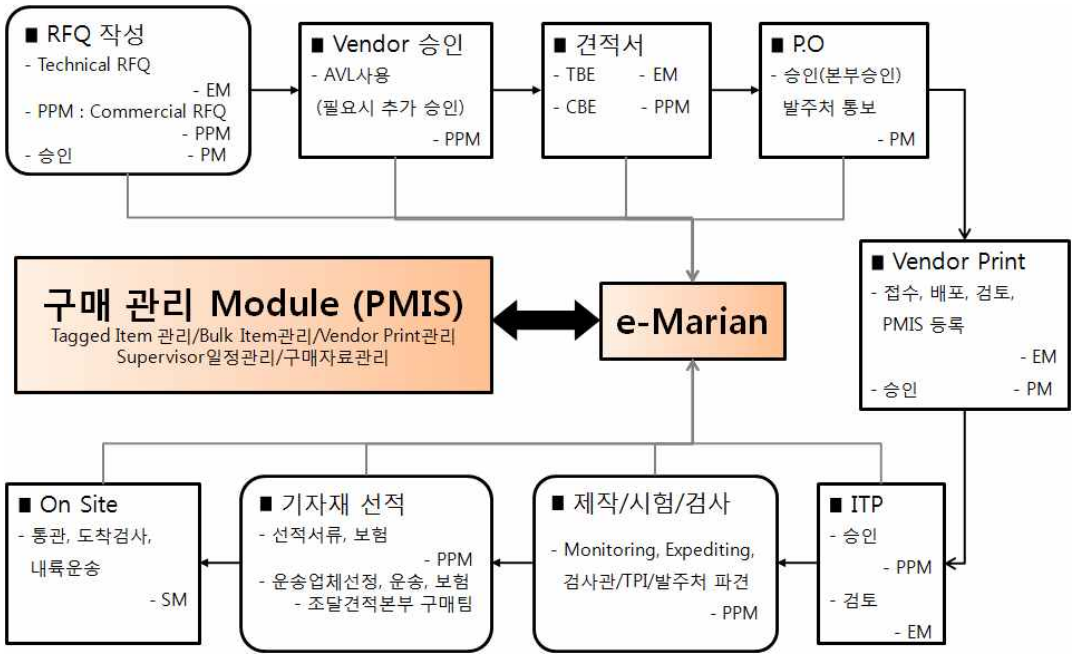
<그림 1-11> S사 플랜트 PMIS 문서관리 기능

- 설계 관리 : 도면 작성 단계(IFA, AFC 등)별 계획/실적 진도 현황 관리, 각 도면별 Revision 관리 및 Comment 기능 (DQS : Design Query Sheet), 수발/신 문서 연계 및 도면 viewer를 통한 도면 검토 및 Mark-up 기능 제공



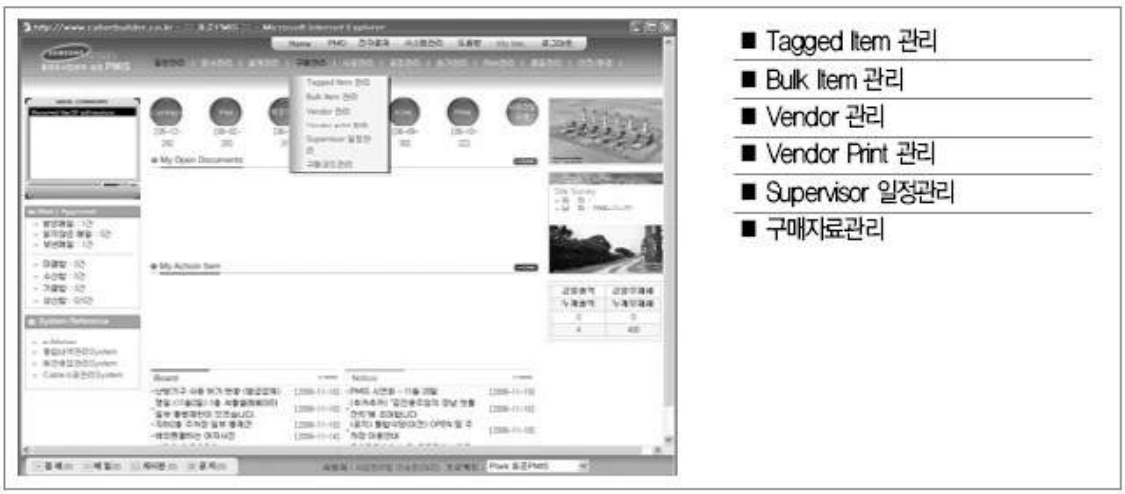
<그림 1-12> S사 플랜트 PMIS 설계관리 기능

- 구매 관리 : 발생 가능한 Risk 감소를 위해 Tagged Item 및 Bulk Item에 대한 구매 실적 현황 Monitoring, S사 사내의 구매관리 시스템 (e-Marian)과 연계하여 관련 부서와의 중보 업무 최소화, Vendor 관리, Vendor print 관리, Super visor 일정관리 및 구매 자료 관리 기능 제공



<그림 1-13> S사 구매조달 프로세스 및 지원 시스템과의 연관관계

(출처 : 플랜트 EPC 프로젝트 관리를 위한 PMIS 구축 및 활용, 이영곤)



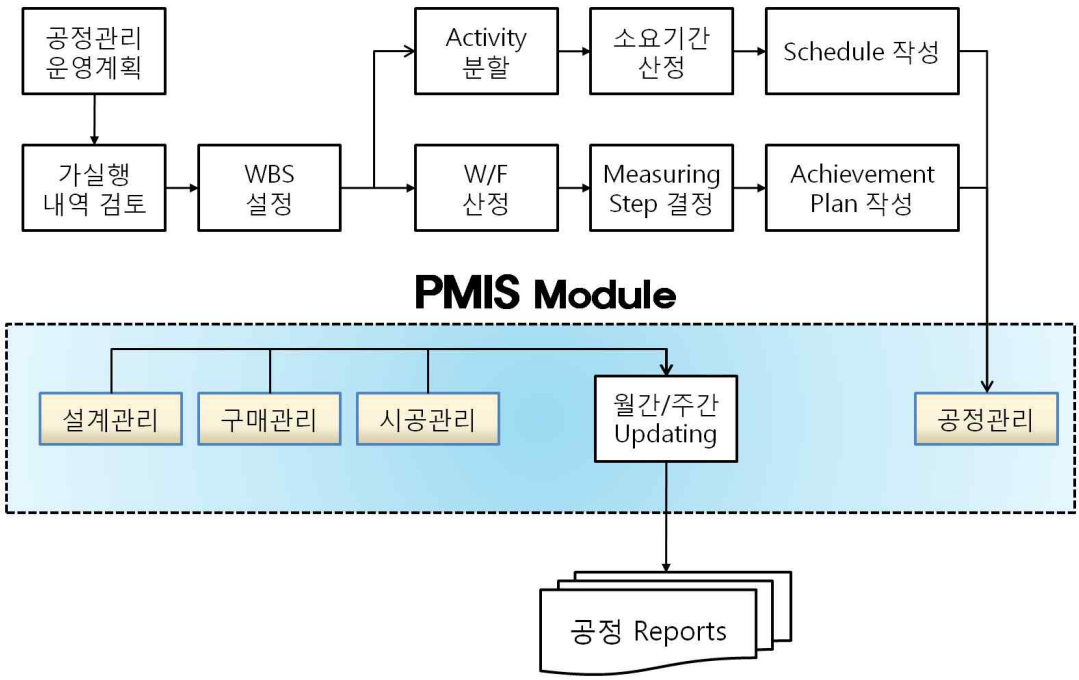
<그림 1-14> S사 플랜트 PMIS 구매관리 기능

- 시공 관리 : 공종별/협력업체별 작업일보관리, 실적 물량 기반 진도 관리, 주간/월간보고, 일일시공사이클, Activity별 공정현황 관리 등의 기능 제공. 또한 Punch List, ECC(Erection Clerance Certificate), CCC(Commissioning Clearance Certificate), PTW(Permit To Work) 등의 기능 제공을 통해 시운전 관리가 가능하도록 기능 구현



<그림 1-15> S사 플랜트 PMIS 시공관리 기능

- 공정관리 : WBS 구성, 프로젝트 전 단계에 대한 Weight Factor 부여 기능, EPC 프로세스와 연계한 프로젝트 공정 현황 Monitoring 기능 제공. 또한 설계 Soft 공정 현황 관리 및 담당자별 처리 업무 관리를 위한 Action Item 관리 기능을 제공하여 업무 일정관리가 가능하도록 구성되어져 있음.



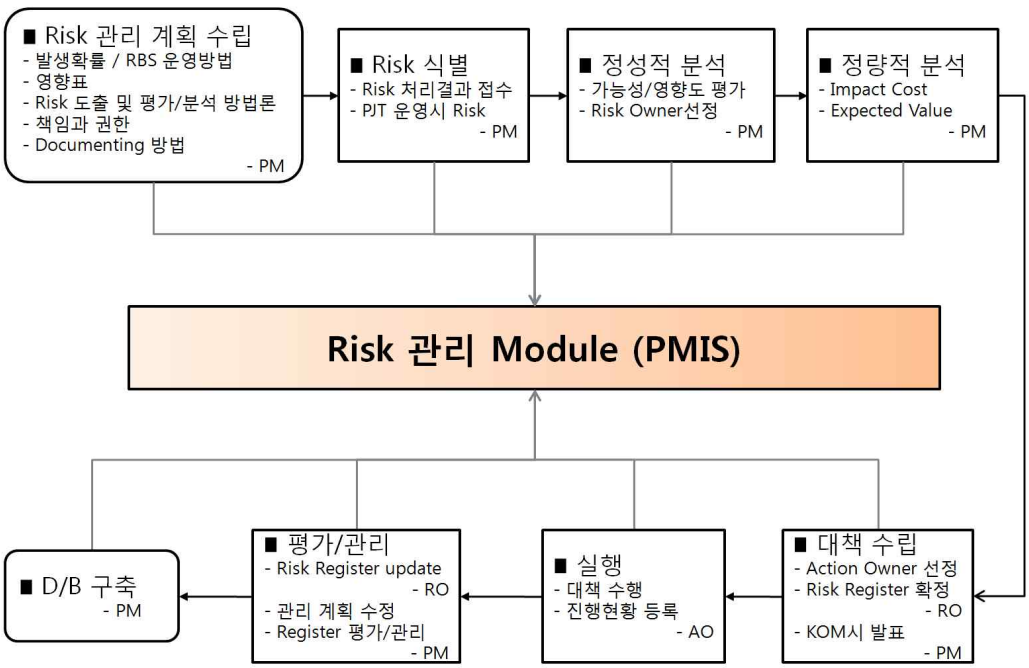
<그림 1-16> 공정관리 업무 프로세스



<그림 1-17> S사 플랜트 PMIS 공정관리 기능

- 원가관리 : 원가/자재/외주/노무관리로 구성된 해외 손익관리 시스템과 연계하여 사용할 수 있도록 기능 제공. 향후 EPC 특성에 적합한 기능 보완 예정.

- Risk 관리 : 발생 예상 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석, 평가, 관리를 위해 Risk Register를 작성하고, Risk별 Risk Owner, Action Owner를 지정하여 대처 방안 수립 및 Risk 관리가 가능하도록 시스템 구축. Delk사(국외사례)의 Risk 관리 모듈과 유사.



<그림 1-18> Risk 관리 업무 프로세스

- 품질관리 : S사의 전사 표준 PMIS의 품질관리 기능을 활용하여, 전사 품질 기준에 부합한 품질관리 Tool (품질관리계획서, 품질시험관리, 검측요청 등)을 제공하고 있음.

- 안전/환경 관리 : 전사의 안전/환경 관리 기준에 부합한 안전/환경 관리 Tool (안전관리계획서, 무재해현황, 안전관리비, 인력관리[RFID 기반 노무관리] 등)을 제공

- 시스템 관리 : PMIS 운영을 위한 필요한 PMO (Project Management Office) 기능, 시스템 관리(프로젝트 관리, 권한 부여 등), 전자결재, My Info (개인 정보 및 영어/한국어 설정) 등의 기능 제공

(2) D사 플랜트 PMIS 사례 [해외 단위 프로젝트, 문서 및 Procurement 관리 위주]

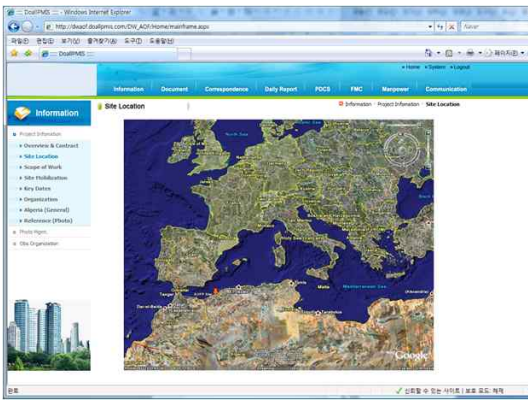
D사의 A 플랜트 Project PMIS는 해외에서 수행되는 프로젝트 현황 관리를 위한 것으로, 프로젝트 현황 관리, 문서관리, 협업을 위한 Correspondence, 작업 일보관리, PDCS (웹하드 기능), 조달관리를 위한 FMC (Field Material Control), RFID 기반의 노무관리 (Manpower) 및 일반 협업을 위한 communication으로 구성되어져 있다.



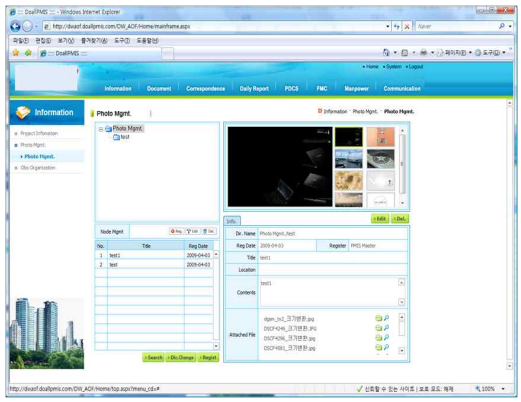
<그림 1-19> D사 플랜트 PMIS의 로그인 페이지

D사의 PMIS의 상세 내용은 아래와 같다.

- Information : Information은 프로젝트의 일반 정보관리 (Overview & Contract, Site Location, Scope of Work, Site Mobilization, Key Dates, Organization, 해당 지역 정보 등), 사진 정보관리 및 사용자/사업 조직 등록 관리를 위한 OBS Organization의 기능을 제공



[Information-Site map]

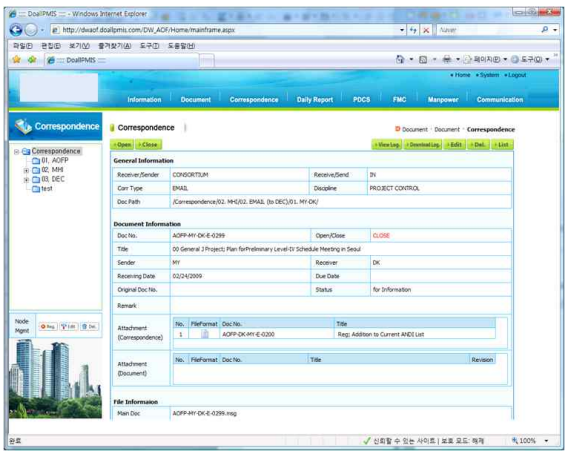


[Information-Photo Mgt.]

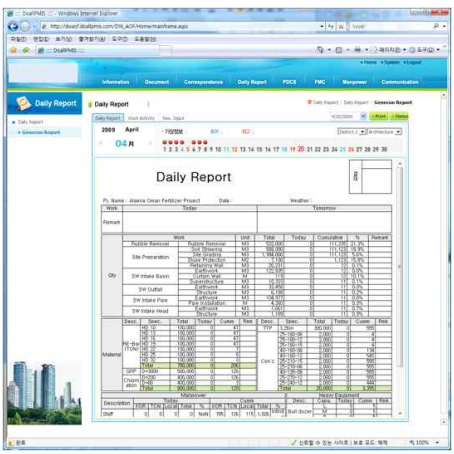
<그림 1-20> D사 플랜트 PMIS의 Information 기능

- Document : 프로젝트의 다양한 문서 관리를 위한 기능으로 프로젝트 문서 양식 관리, Transmittal 관리, Reference 관리 등의 기능 제공

- Correspondence : 관련 주제별 업무 진행 관리를 위한 MOM (Minute of Meeting) 기능을 제공하며, 각 MOM별 작업 Item의 완료 여부 추적 기능 제공.
- Daily Report : 공사 작업 일보 관리 기능 제공, 업무 결재 프로세스 지원 및 협업업체별, 공종별 집계 및 분석 등 세부 기능 지원



<그림 1-21> D사 플랜트 PMIS의 Correspondence 기능



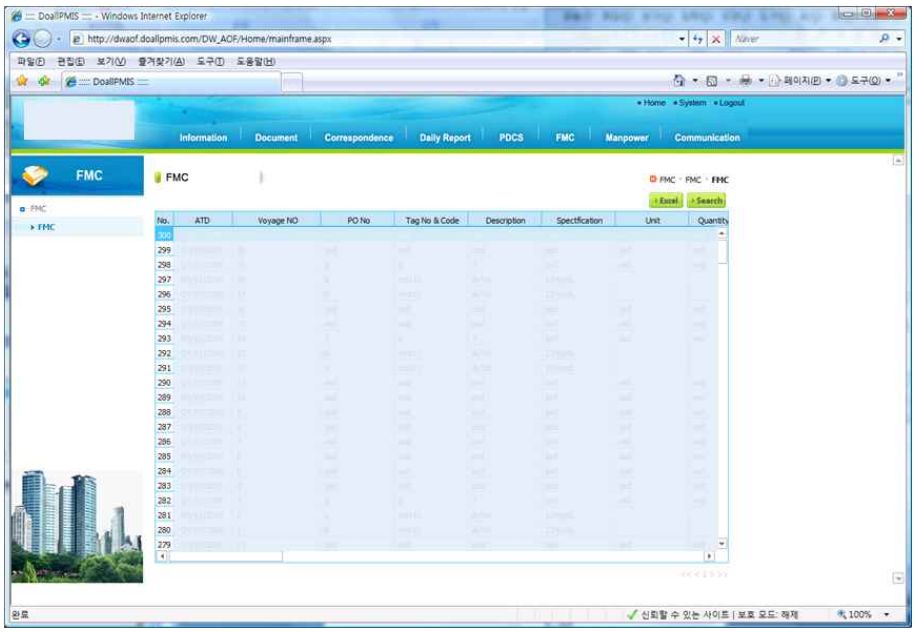
<그림 1-22> D사 플랜트 PMIS의 Correspondence 기능

- PCDS : 프로젝트용 파일 관리를 위한 웹하드 기능 제공

- FMC : 조달 관리를 위해 Voyage No, PO No, Tag NO & Code 별로 조달 과정의 모니터링을 할 수 있도록 시스템 구현됨. 또한 해당 단계와 관련된 데이터의 그룹 등록을 위해 Excel 기반의 데이터 입력기와 협력사에서 들어온 자재 조달 정보를 효과적으로 관리하기 위한 별도의 C/S 모듈을 포함하고 있음.

- Manpower : RFID와 연동한 노무자 관리, 노무자의 인건비 계산을 위한 기초 데이터 제공 등의 기능 제공

- Communication : 메일, 게시판, 공지 사항 등의 일반 관리 기능 제공



<그림 1-23> D사 플랜트 PMIS의 FMC 기능

나. 국내 시장 동향

국내 LNG 수요의 증가는 산업분야의 수요 증가에 따른 것인데 유가를 포함한 제반비용 및 안정성 측면에서 LNG가 석유 보다 유리하여 산업부문의 연료 대체 및 소비량 증가가 지속되어 도시가스의 산업분야에서 중장기적으로 연 평균 8% 수준의 급격한 수요증가세가 예상된다.

2006년 집계된 국내 플랜트 건설 산업계의 해외 진출은 33개 국가에 64개 업체가 진출하여 총 100건의 공사를 수주했으며 이러한 수주 추이는 국제적인 LNG수요의 지속적인 증가에 따라서 꾸준한 증가가 예상되며 국내의 관련 산업체가 LNG 플랜트 관련 기반기술을 확보할 경우는 급증할 수도 있을 것으로 판단된다. 그러나 국

내 플랜트 산업계의 LNG플랜트를 포함한 해외 건설사업 수행내역을 살펴보면 거의 전부가 하청 또는 원청이라고 하더라도 LNG플랜트 전체 공사의 제한된 일부만을 수행한 것을 파악할 수 있으며 부가가치가 상대적으로 높은 일괄발주 방식의 LNG 플랜트의 EPC 수행실적은 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 엔지니어링 효율성 개선기술의 개발로 생애주기 최적프로세스 개발, 생애주기 통합정보관리 및 지식관리, 사업계획 전문가 시스템 개발, 건설사업관리기술 개발 등이 완료되면 국내 플랜트 분야의 모든 엔지니어링사 및 건설사가 본 연구과제 성과물의 고객이 될 것으로 판단된다.

<표 1-3> 국내 플랜트 산업계의 LNG 플랜트 관련 해외 공사 수주실적

국가	업체	공사명	발주처	계약금액(단위:천불)		공기
				기간금액	최종금액	
33개 국가	64개 업체	총 100건 공사 (신규 71건)	84개 발주처	24,289,638		
나이지리아	대우건설	NLNG 트레인 6차 - 토목, 기계, 전기 및 계장설치	NIGERIA LNG LTD	8,974	149,931	2005/04/01 2007/05/01
나이지리아	대우건설	바란/우비에 석유·가스 통합개발 프로젝트	쉘 석유개발회사	41,581	945,984	2006/01/12 2009/07/20
나이지리아	대우건설	스왐프 지역 가스 포집을 위한 구경 24인치 가스 배관망 설계/구매/시공 프로젝트	나이지리아 아집 석유회사	1,184	99,677	2004/10/01 2006/09/30
나이지리아	석원산업 (하청)	NLNG 트레인 6차 - 토목, 기계, 전기 및 계장설치(배관설치)	원청:대우건설	-20	5,450	2005/12/15 2007/08/31
러시아	금화PSC (하청)	사할린 II LNG 플랜트 기전설치 공사((Pipe Prefabrication Works))	원청:대우건설	427	6,730	2004/12/01 2008/06/30
러시아	대우건설	사할린 II LNG 플랜트 기전설치 공사	사할린에너지투자 공사	16,837	146,620	2004/09/01 2007/10/31
러시아	마빈시스템 (하청)	SEIC 가스 강압기지 #2 Construction Package(Administration 빌딩의 HVAC자동제어 공사)	원청:풍림산업	19	208	2007/08/15 2008/10/31
멕시코	경동세라텍 (하청)	만사니요 LNG 저장탱크 건설공사(LNG Tank Insulation Work)	원청:삼성ENG	13,100		2009/01/05 2011/06/15
멕시코	삼성ENG	만사니요 LNG 저장탱크 건설공사	멕시코 국영 전력공사(CFE)	629,686		2008/08/05 2011/09/01
사우디	GS건설	마니파 가스 시설 프로젝트	사우디 아람코	500,999		2008/08/13 2011/05/15

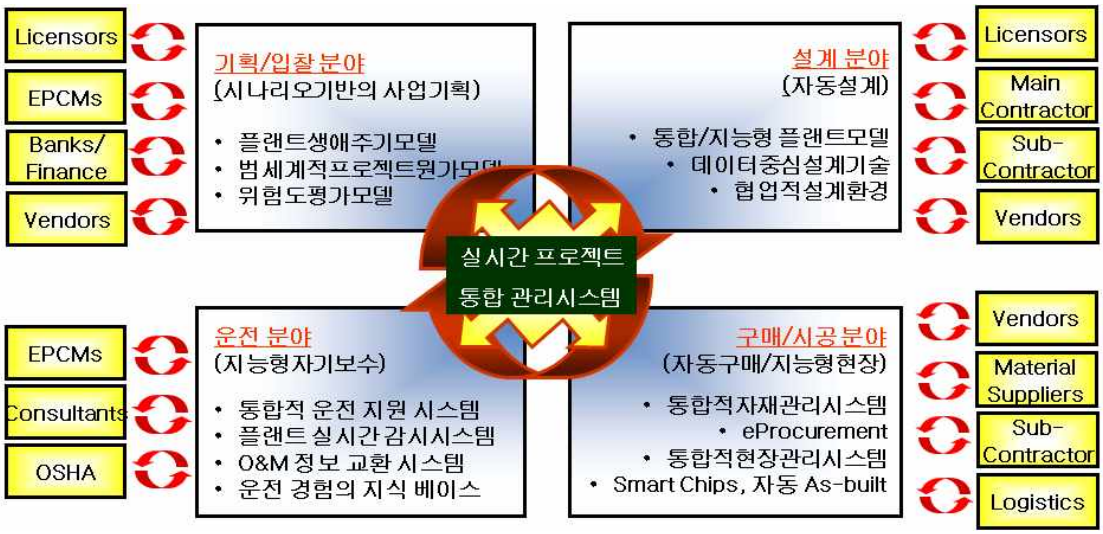
국가	업체	공사명	발주처	계약금액(단위:천불)		공기
				기간금액	최종금액	
이란	대림산업	사우스파 가스전 개발 6-8차	페트로파스	33,415	303,163	2003/06/01 2007/07/31
인니	현대건설	수반 2단계 가스개발공사	ConocoPhilips Indonesia	617	96,381	2004/07/31 2007/02/28
인니	현대 중공업	시시 누비 가스전 1단계 개발 - 해저배관망공사	Total E&P Indonesia	7,862	94,013	2005/08/11 2007/12/07
중국	언딘 (하청)	상해 LNG Pipeline 부설공사 (수중공사 부문)	원청:현대중공업	653		2008/08/21 2008/10/25
중국	현대 중공업	상해 LNG Pipeline 부설공사	상해액화천연가스(LNG)유한공사	82,471		2008/01/05 2008/11/30
카타르	우림 플랜트 (하청)	Pearl GTL 프로젝트(가스처리공사)	원청:현대중공업	-196	5,588	2007/09/01 2010/02/05
쿠웨이트	SK건설	제 4 가스분류 설비공사	국영정유회사	694,915		2007/12/31 2011/02/28
태국	대우ENG	MTT 프로판/부탄 저장탱크 건설공사	Map Ta Phut Tank Terminal Co. Ltd.	43,263		2008/07/14 2010/06/15
태국	홍해기술 (하청)	6차 가스분리 플랜트 프로젝트 (배관공사, 철골설치공사, 기계설치공사)	원청:삼성ENG	6,354		2008/08/31 2009/11/30

주) 출처:해외건설정보서비스(www.icak.or.kr)

2. 국외 기술 및 산업 동향

가. 국외 기술동향

선진외국에서는 플랜트 생애주기 프로세스에 걸쳐 고도로 자동화되고 유연하게 통합된 환경을 구축하여 프로젝트 효율을 획기적으로 개선하기 위한 노력을 다양하게 진행하고 있다. 기획 단계에서는 생애주기와 위험도 등을 고려한 다양한 시나리오에 기반한 사업기획, 설계단계에서는 국제표준 등을 활용하여 정보의 재활용도 극대화, 협업의 강화를 통한 자동설계, 구매 및 시공분야에서는 구매의 자동화 및 효율화, 현장관리의 시스템화, 지능화를 꾀하고, 운전시에는 실시간 감시 및 지능형 보수체계를 갖추는 생애주기 통합형 플랜트 사업관리 및 지식관리체계를 구축하고 있다.



<그림 1-24> 플랜트 생애주기 단계별 주요 기술개발 동향

1999년 미국의 CII (Construction Industry Institute)는 건설비전 2020을 발표하고 프로젝트/플랜트 생애주기의 모든 단계, 모든 프로세스에 걸쳐 고도로 자동화되고 투명하게 통합된 환경을 구축하여 건설산업 전반의 효율적 관리를 수행하는 FIAPP (Fully Integrated & Automated Project Process) 개념을 제안하였다. 유럽의 경우 미국과 유사한 목표로 1997년 POSC/Caesar 컨소시엄이 결성되었으며, 현재 산업설비분야의 28개 주요 회사가 참여하여 업무 프로세스의 단순화와 자동화, 사업주/설계자/시공자 및 공급자 간의 협업 실현을 위해 노력하고 있다. 이러한 건설산업의 효율성 제고를 위한 제안 등이 있은 후 FIAPP 개념의 구현을 위한 다수의 연구개발 단체 및 기구가 창설되었다. 이들 중 최근에 가장 활발한 활동을 보여주고 있는 FIATECH은 프로젝트의 경제적 가치를 극대화하는 것을 목표로 프로젝트 라이프 사이클을 통합하고 자동화하는 것을 추진하고 있으며 프로젝트 라이프 사이클의 통합과 자동화를 통해서 시설의 신규 건설과 개조 비용의 8% 절감, 프로젝트 공정의 14% 단축, 보수비용의 5~15% 절감 등을 추구하고 있다. FIATECH은 2007년 발표한 'Capital Project Technology Roadmap Vision'에서 상호 연관관계를 가진 9가지의 핵심과제를 선정해서 시설의 life cycle 통합과 자동화를 추진하고 있으며 이중 제9과제가 'Life Cycle Data Management & Information Integration'이 제1세세부과제의 연구개발 내용과 같은 맥락이라고 볼 수 있다.

설계가 확정되지 않은 선행단계 (Front-end Phase)에서 플랜트 건설사업의 총 사업비 추정은 추정 예산 대비 프로젝트 종료 시의 총 투입비용의 증감이 최대 +75%~-30%에 달할 정도로 오차가 크며 이로 인한 리스크도 높은 수준 이라고 할 수 있다. LNG 플랜트 건설사업의 타당성은 유가, 국제 금리 변동, 환율, 유가, 입지 및 기반시설, 환경영향. 안전성 등에 민감하여서 이 타당성의 정확한 분석없이 LNG 생산시설을 신설하거나 확장하는 것은 투자손실을 유발할 위험이 크다고 할 수 있

다. 천연가스 보유국들은 이러한 투자 손실을 최소화하고 이윤을 극대화하기 위해서 LNG플랜트의 건설을 착수하기 전에 선행단계의 설계를 확대해서 수행하는 FEED(Front End Engineering and Design) 또는 FEL(Front End Loading)[2]로 명명되는 용역을 발주하여 타당성을 정밀 분석해서 LNG플랜트의 규모, 위치, 착공 시기, 총사업비, 리스크, 예비비 등을 검토한 후 적정시기에 적정 규모의 본 사업을 착수하는 현상을 볼 수 있다[3]. 또한 FIATECH에서는 'Capital Project Technology Roadmap Vision'의 제1 핵심과제로 건설사업의 초기 단계에서 시나리오 기반의 생애주기 비용을 추정하고 타당성을 실시간으로 분석할 수 있는 '시나리오 기반의 사업계획 (SbPP: Scenario-based Project Planning'에 대한 연구개발을 추진하고 있다. 이러한 국제적인 추이에서 볼 때 SbPP는 향후 설계자동화 시스템과 함께 Flour Daniel사와 ABB사의 Automated FEED 시스템의[4] 타당성 분석의 기법으로 활용될 것으로 판단된다.

개략견적 결과의 정확도 측면에서, 프로젝트 초기에 예측되는 사업비 혹은 공사비는 프로젝트 초기 단계의 부족한 견적정보에 의존하며, 이 때 예상되는 오차율은 일정하지 않으나, 기획초기 단계인 경우는 +50% 이상의 오차가 발생할 수 있다는 것이 그로 예상하고 있으며, +40～-10%로 예상한 경우도 있다(Peurifoy and Oberlender, 1989). 이와 같이, 과거 실적 데이터의 부족 및 견적자의 부적절한 판단 등으로 개략견적의 오차율은 현저히 떨어지는 것이 사실임 하지만, 그럼에도 불구하고, 기본적인 개략견적기법에 확률적, 통계적 응용기법과 리스크 관리 등을 함께 접목 분석함으로써 견적결과의 오차율을 줄이려는 많은 노력이 있어 왔다. 또한 다양한 응용기법과 이론을 접목시킴으로써 견적결과의 정확도를 향상시키고자 하는 노력 외에도, 여러 가지 보정 계수를 개발하고 적용함으로써 실적자료에 근거한 개략견적의 정확도를 제고하는 노력도 계속되어 왔다.

미국의 Flour Daniel사는 지능형 통합 FEED(Front End Engineering and Design) 시스템을 활용하여, 짧은 기간에 프로세스 플랜트의 개념 설계와 견적을 효과적으로 완료함으로써, 설비투자 원가를 줄이고 설계 품질을 향상시킴에 따라 ROI(Return On Investment) 및 NPV(Net Present Value)를 개선함 다국적 기업인 ABB사에서는 전문가 시스템을 이용한 지식 기반의 발전소(600개 프로젝트의 실적자료, 50만개 문서를 통한 300개의 지식기반 마련) 기본 설계 시스템을 활용하여 기본설계 원가를 30%이상 절감하고, 설계 품질을 향상시킨 것으로 알려졌다.

관련 해외업체의 주요 보유기술 현황은 다음과 같다.

---

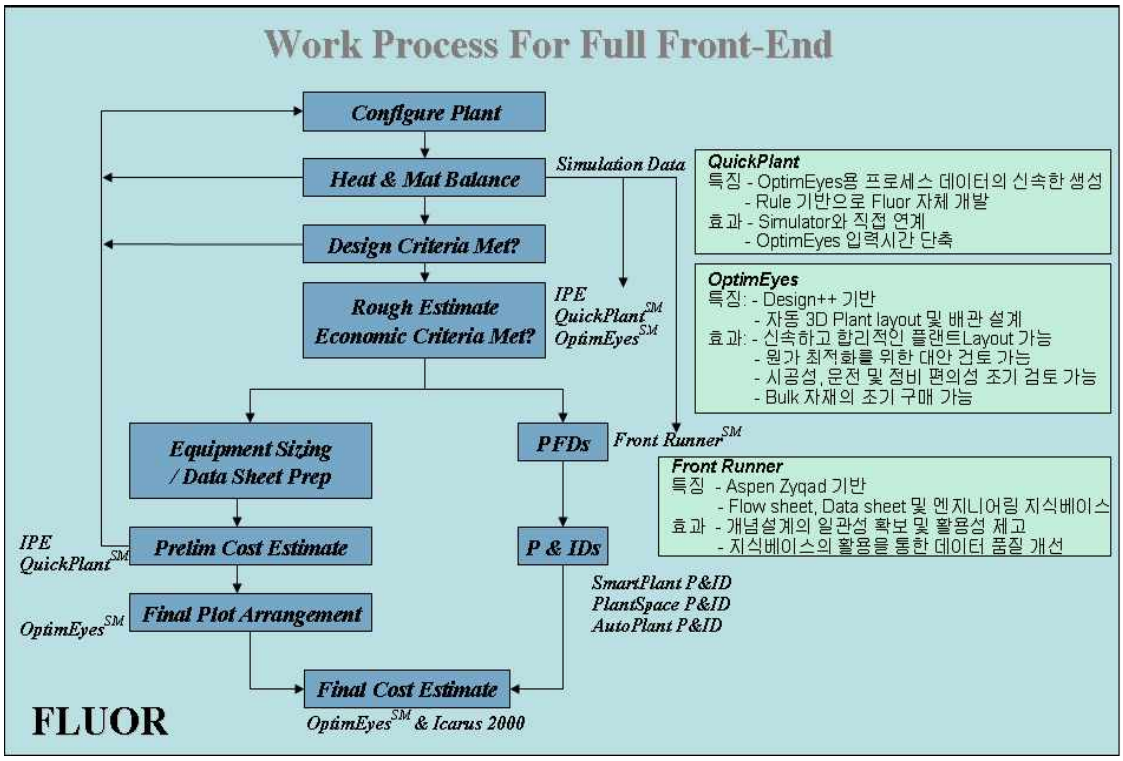
2) 고전적인 플랜트 건설사업에서는 선행단계의 엔지니어링은 개념설계 수준보다 정도가 떨어지는 수준의 설계를 수행하였음.

3) FEED 수행사례 <그림 1-18>, <그림 1-19> 참조

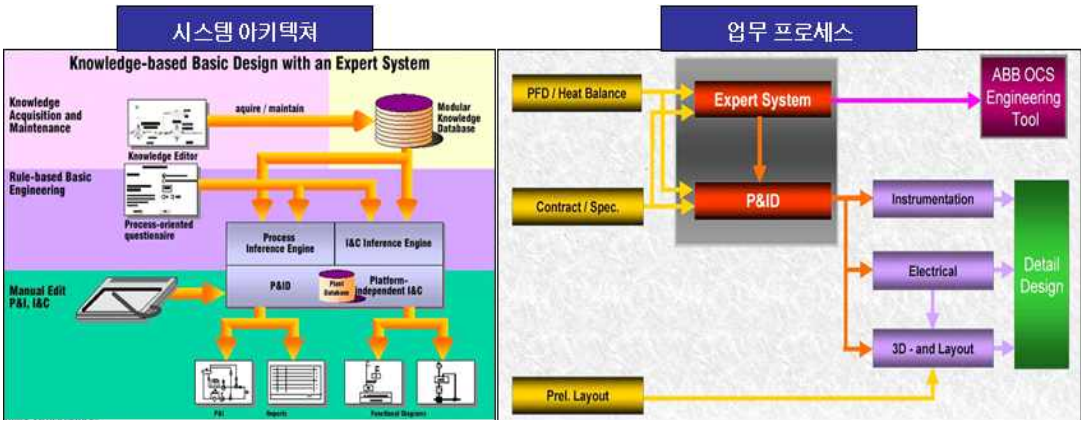
4) 미국의Flour Daniel사는 Automated FEED(Front End Engineering Design) 시스템을 활용하여, 짧은 기간에 프로세스 플랜트의 개념설계와 견적을 효과적으로 완료함으로써, 설비투자원가를 줄이고 설계품질을 향상시킴으로써 ROI(Return On Investment) 및 NPV(Net Present Value)를 개선함.

<표 1-4> 해외업체의 주요 보유기술 현황

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허
솔루션 공급	Bently ProjectWise	회사내외의 다양한 부서나, 협력사들과 정보 및 자료를 효율적으로 관리하는 플랜트 자원관리 솔루션 플랜트 엔지니어링 정보, 지리정보 및 이와 관련된 문서 관리 지원
	PRIMAVERA	공정 관리 전산 시스템
	Goda Software	Life Cycle Tracking 시스템
	Elementool	Web-based Tracking and Prioritization 시스템
	IC Soft	Productivity Enhancement 시스템
엔지니어링 사업관리 FEED	ABB 社(미국)	전문가 시스템을 이용한 지식기반 발전소 구축
	FIATECH (미국)	국제공동연구를 위한 컨소시엄으로 국제개방형 표준데이터 모델을 기반으로 한 설계, 구매. 시공의 자동화 추진
	Flour Daniel 社(미국)	지능형 통합 FEED(Front End Engineering Design) 시스템 구축
	KBR, Bechtel, Parsons 등	EPC 수행 능력 보유
	CII(미국)	FIAPP 개념 제안



<그림 1-25> Automated FEED 시스템 - Flour Daniel사 사례



<그림 1-26> Automated FEED System - ABB 사 사례

나. 국외 시장동향

석유가스저널(OGJ 2002)에서 발표된 수요전망에 따르면, 2020년의 전세계 LNG 수요는 2002년의 2.4~3.5배에 달하는 3.6억㎥~5.2억㎥에 이를 것으로 전망된다. 세계 LNG 수요 전망을 다음 표에서 보면 전세계 LNG 수요는 지속적으로 증가할 것이며 아시아 태평양 LNG 수요분이 타 지역보다 근소하나마 빠르게 증가할 것으로 예측하고 있다.

<표 1-5> 지역별 LNG수요 예측

구분	2002	2010	2015	2020
전세계 LNG수요	149	245~320	298~428	363~521
아시아 태평양 LNG수요	104	136~184	165~246	201~300
대서양지역수요(잔여분)	44	109~136	133~182	161~221
아·태지역 수요증가	+2	+34~+82	+29~+82	+36~+53
대서양지역 수요증가	+3	+68~+95	+24~+46	+29~+39

주) Collen Taylor Sen, Oil & Gas Journal, Aug.12, 2002

Oil & Gas Journal (2002)에 발표된 수요전망에 따르면, 2020년의 전세계 LNG 수요는 2002년의 2.4~3.5배에 달하는 3.6억m3~5.2억m3에 이를 것으로 전망하고 있다. LNG 플랜트의 수요는 2004년 1억3000만톤 에서 2010년 2억5000만톤으로 늘어나고, 천연가스 전체에서 차지하는 비중도 7%에서 11%로 높아질 전망이다. 2003년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2008년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400~1200/TPA으로 예상됨에 따라, LNG 플랜트의 건설 수요 투자비용을 분석해보면, 2015년 연간 10조원에서 연간 30조원 수준으로 예측된다. 따라서, 평균적으

로 2015년 경에는 연간 20조원의 LNG 플랜트 건설비용이 투자될 것으로 예측할 수 있다.

이러한 추이를 감안할 때 본 연구과제의 성과물은 해외시장에서도 판매될 수 있을 것으로 판단되나 기술 유출 등을 감안하여 국내업체에 대한 공급만으로 국한하는 것에 대해서 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다. 국내 건설업체가 해외 LNG 플랜트 건설의 EPC 일괄계약을 수주 시는 총 사업비의 2% 수준에 본 과제로 개발한 성과물을 기반으로 한 기술 패키지로 상품화할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 시사점 및 결론

국내외 기술개발 현황을 고려해 볼 때 본 연구를 통하여 국내에 없는 LNG플랜트 사업개발 및 기획능력을 확충하고, 시공기술 위주의 사업관리에서 벗어나 생애주기 관점에서 계획과 실행이 최적화된 사업관리체계를 구현하여 사업개발, 기획 컨설팅 등 신규분야에 진출할 수 있는 역량을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

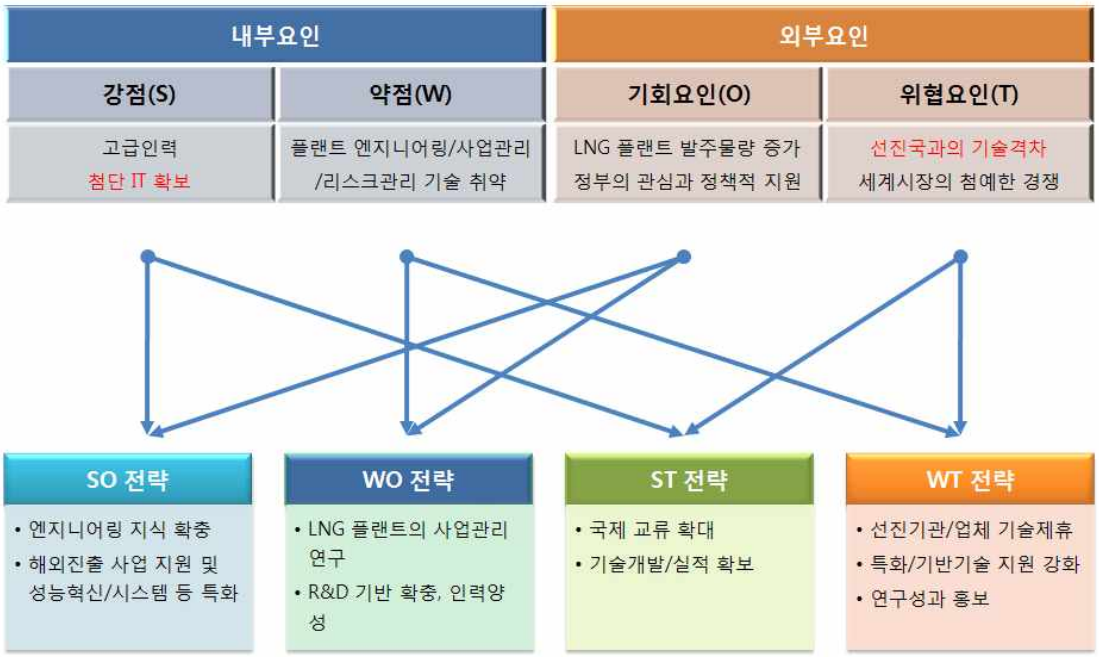
또한 2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간 정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이 중에서 5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악된다.

일반적으로 사업관리 비용은 총 건설사업비의 12%정도로 볼 수 있으며, 이를 고려하면, 국내 LNG플랜트 사업관리 시장 규모는 매년 1,200억원~1,800억원의 시장이 형성될 것으로 예측되며, 본 연구를 통해 개발된 기술패키지 시장(전체 사업관리비의 5%정도)의 추정된 시장의 주기적인 업그레이드와 해외시장 진출을 위한 가수요를 고려시에 매년 100억원대의 시장을 형성될 수 있을 것이다.

따라서 LNG 플랜트의 EPC 수행 프로세스 개발 및 시스템 활용의 전문인력 육성 및 확보를 함으로써, 선진국 대비 인프라 수준을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

4절. 연구개발 결과가 관련분야에서 차지하는 위치

국내외 기술 및 정책동향, 산업전망 등을 토대로 분석하면 강점과 기회를 극대화하기 위해서는 LNG플랜트 건설사업에 바로 사용할 수 있는 생애주기 통합정보관리 시스템의 개발이 필요하며 LNG플랜트 건설시장 진입의 한 방안으로 활용될 수 있는 FEED 수행능력의 확보가 필요하다.



<그림 1-27> SWOT 분석

이러한 SWOT분석에서는 선진기술의 벤치마킹과 국제협력 증진을 통한 중간진입 전략의 추진과 국제경쟁력 확보를 위한 엔지니어링 효율성 개선, LNG 플랜트 건설사업의 공정 단축 및 총사업비의 저감이 전략적 필요로 요구된다.

WO분석과 WT의 분석에서는 우리나라 관련 산업계의 취약점을 보완하기 위한 LNG 플랜트의 최적 생애주기 프로세스의 개발과 이를 구현할 수 있는 통합정보관리 시스템의 개발과 건설사업 수행에 수반되는 위험도를 완화할 수 있는 리스크 기반의 공정관리 및 사업관리 기술 개발의 전략적인 필요성이 추가로 요구되고 있다.

이러한 SWOT분석을 토대로 본 연구과제에서 개발하고자 하는 LNG플랜트 EPC 단계별 위험기반의 의사결정지원시스템에 대한 기술수준은 앞서 전술한 국내 기술수준을 토대로 개발완료 시 도달 가능한 기술수준으로 정리하였다.

특히, EPC 프로세스 조차 제대로 정립되어 있지 않은 국내 기술수준 및 현황을 감안할 때 현재 LNG 플랜트 관련 기술수준은 선진국 대비 50% 수준인 것으로 판단되며, 기술개발이 완료되는 시점에서 90%까지 기술수준을 높이고 선진국과의 경쟁 또는 기술의 성숙단계로 진입할 수 있을 것으로 사료된다.

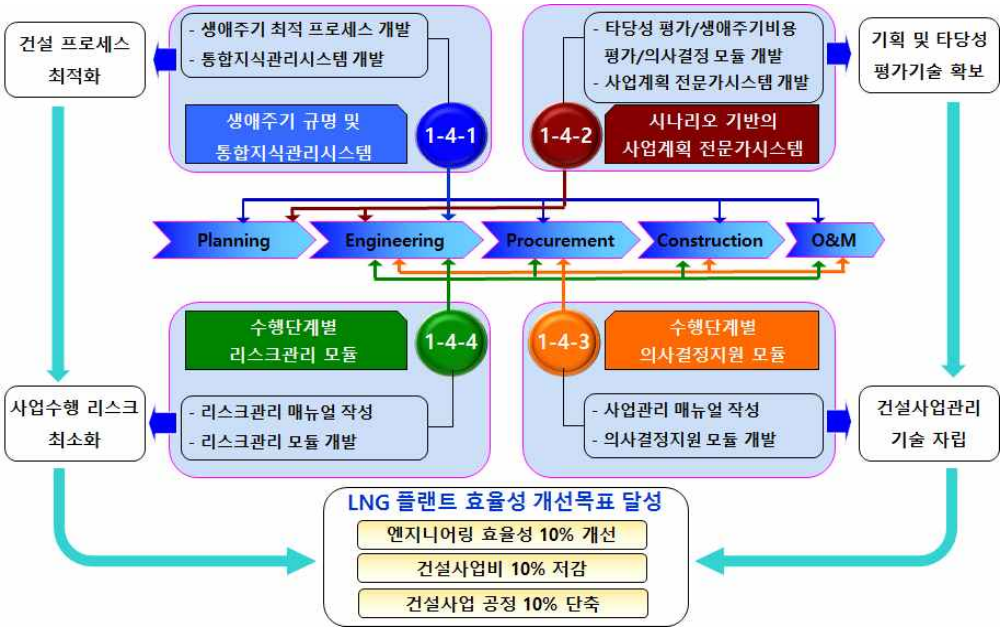
<표 1-6> 기술개발의 수준

세부기술	현재 기술수준			기술개발 완료시 국내 기술수준		
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	비고
EPC 수행 프로세스 및 위험도 평가체계 정립	70%	2	성숙	90%	0	경쟁
LNG 플랜트 의사결정 모델링	50%	3	도입	80%	1	성숙
LNG 플랜트 의사결정 지원시스템	50%	3	도입	90%	1	성숙

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

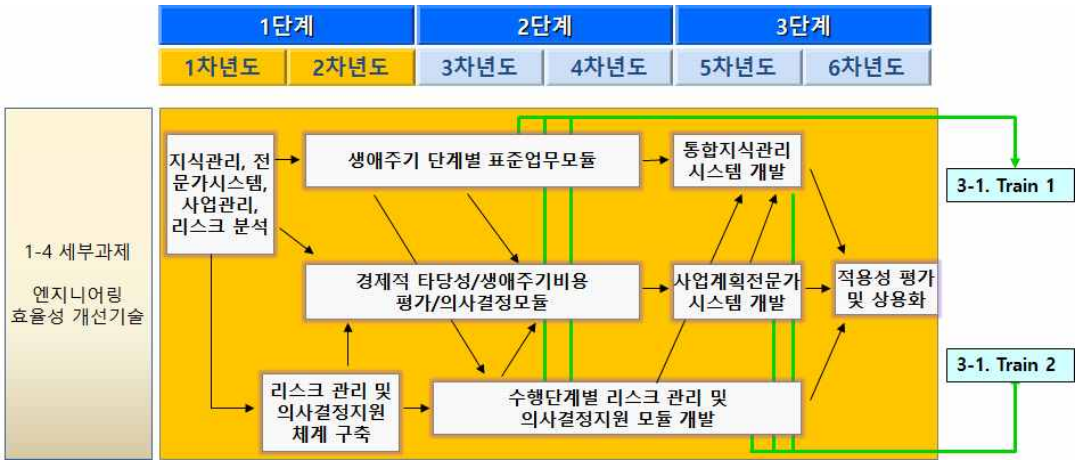
제1절 연구수행 전략 및 방법론

본 1-4세부의 주요 목표인 엔지니어링 효율성 개선기술 개발을 달성하기 위하여 총 4개의 세세부 과제로 구성이 되며, 각 과제별 연구성과 달성을 통하여 최종 목표를 달성한다.



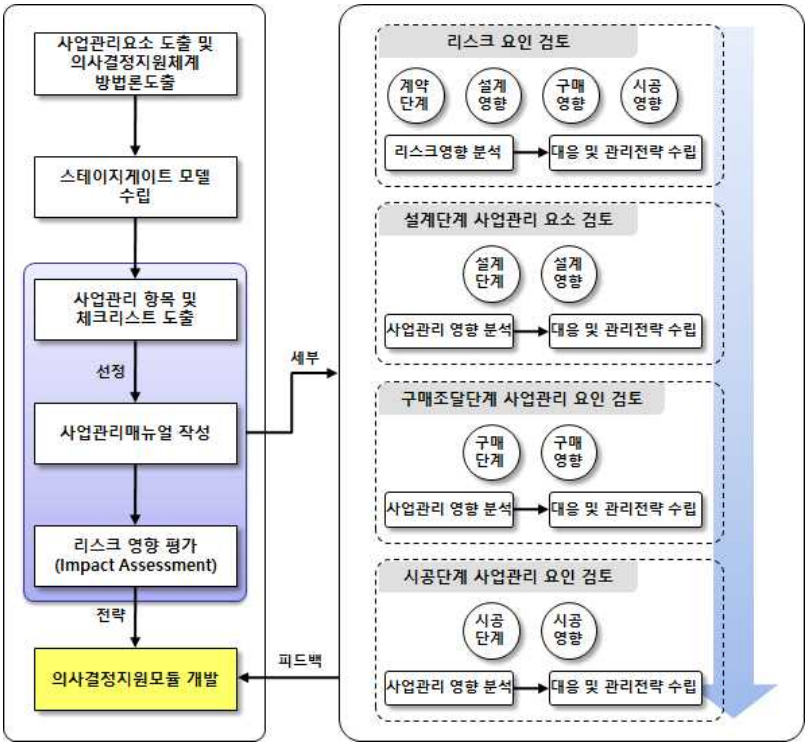
<그림 2-1> 세부과제 범위 및 목표

최종목표 달성을 위한 연차별 각 세세부과제의 상관관계는 다음과 같다.



<그림 2-2> 세부과제별 TRM

본 연구는 3세세부 과제로써 위험기반의 의사결정지원 시스템 구축을 최종 목표로 하고 있다. 이를 달성하기 위한 주요 연구 프로세스 및 연차별 연구 성과물은 다음과 같다.



<그림 2-3> 주요 연구 프로세스



<그림 2-4> 연차별 주요연구 성과물

본 연구의 주요 목표인 위험기반의 의사결정지원 시스템을 개발하기 위한 연구수행 전략 및 방법론은 다음과 같다.



<그림 2-5> 연구수행 전략

제2절 연구수행 과정 및 내용

1. 연차별 연구목표 및 내용

<표 2-1> 연차별 주요 연구목표 및 내용

연도	연구목표	주요연구내용
1 차년 (1단계)	■ LNG 플랜트 사업특성 규명	- LNG 플랜트 사업관리 관련 문헌 조사·분석
		- LNG 플랜트 건설사업의 발주 및 수행현황 조사 - 각 사업별 사업유형(공정처리기법, 지리적 위치 등 고려) 조사 - LNG 플랜트 건설사업의 사업적 특성 정의 및 타 건설사업과 차이점 분석
		- 선진업체 LNG 플랜트 사업수행체계 관련 자료 수집 및 분석 - 선진업체별 사업수행체계의 공통사항과 차이점 분석
		- 국내외 리스크관리 연구동향·사례 조사 - 선진기관 플랜트 리스크 관리기법 검토 - 가스플랜트 사업특성 파악 및 분석
		- 국내 건설사업 PMIS 사용 현황 조사 - LNG 플랜트 PMIS와 일반 건설사업 PMIS 기능 비교 - 선진업체의 LNG 플랜트 PMIS 기능 비교
	■ LNG 플랜트 사업관리의 니즈 분석 및 PLM기반의 사업관리 추진방향 수립	- LNG 플랜트 사업관리의 요구사항 조사 및 분석
		- PLM 기반의 사업관리 추진방향 마련 - LNG 플랜트 관련전문가의 의견수렴
2 차년 (1단계)	■ PLM 프로세스별 사업관리 요소 정의	- 선진업체의 LNG 플랜트 사업관리절차서 및 관리매뉴얼 수집 - 국내외 건설사업의 프로세스별 사업관리요소 파악 - 선진외국의 사업관리 절차서, 매뉴얼 분석을 통한 PLM 단계/업무별 사업관리 요소 정의
	■ PLM 단계/업무별 의사결정항목 결정	- 확률적 분석모형을 활용한 의사결정방법 현황 파악 - LNG 플랜트 공정 및 사업관리 의사결정항목 정의 - 의사결정항목별 의사결정방법 파악 - 시스템적 의사결정체계 구현을 위한 분석모형 결정
	■ 사업관리의 의사결정지원체계 도출	- LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 구축
3 차년 (2단계)	■ 설계단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	- 설계단계의 공정계획 운영현황 조사 - 설계단계의 공정계획 분석
		- 설계단계의 사업관리 체크리스트 조사·분석 - 설계단계의 사업관리 매뉴얼 마련

연도	연구목표	주요연구내용
	■ 설계단계의 의사결정지원 모듈(설계관리) 개발	- LNG 플랜트 설계관리 프로그램 활용 현황 분석 - 설계관리 프로그램간 특성 및 성능 비교 - 설계관리 프로그램 데이터 입출력 Data 체계분석 - 설계단계의 의사결정항목 도출 - 설계단계의 의사결정 로직 개발 - LNG 플랜트의 의사결정지원을 위한 설계관리모듈 개발
	■ 설계단계 모듈의 현장적용성 평가	- 설계단계 모듈의 현장적용성 평가
4 차년 (2단계)	■ 구매조달단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	- 구매조달단계의 공정계획 운영현황 조사 - 구매조달단계의 공정계획 분석
		- 구매조달단계의 사업관리 체크리스트 조사·분석 - 구매조달단계의 사업관리 매뉴얼 마련
	■ 구매조달단계의 의사결정지원 모듈(vendor관리) 개발	- LNG 플랜트 벤더관리 프로그램 활용 현황 분석 - 벤더관리 프로그램간 특성 및 성능 비교 - 벤더관리 프로그램 데이터 입출력 Data 체계분석 - 구매조달단계의 의사결정항목 도출 - 구매조달단계의 의사결정 로직 개발 - LNG 플랜트의 의사결정지원을 위한 벤더관리모듈 개발
	■ 구매조달단계 모듈의 현장적용성 평가	- 구매조달단계 모듈의 현장적용성 평가
5 차년 (3단계)	■ 시공단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	- 시공단계의 공정계획 운영현황 조사 - 시공단계의 공정계획 분석
		- 시공단계의 사업관리 체크리스트 조사·분석 - 시공단계의 사업관리 매뉴얼 마련
	■ 시공단계의 의사결정지원 모듈 개발	- 기존 LNG 플랜트 공정관리프로그램 활용 현황 분석 - 공정관리 프로그램간 특성 및 성능 비교 - 공정관리프로그램 데이터 입출력 Data 체계분석 - 웹기반 LNG 플랜트 사업관리시스템 구현을 위한 공정관리 기본모듈 개발 - 상용 공정관리프로그램 연계모듈 개발
	■ 시공단계의 현장적용성 평가	- 사업단의 시범사업 시행을 위한 시뮬레이션 검토 - 모니터링 절차 및 방법 결정 - Testbed를 통한 부분적 기능 구현의 적정성 검토 - 개별 기능별 문제점 파악 및 보완사항 발굴
6 차년 (3단계)	■ 리스크 기반의 통합의사결정지원 모듈 개발 및 현장적용성 평가	- LNG 플랜트 리스크기반의 통합의사결정지원 모듈 개발 - 시스템 검증 및 보완
		- 전문가를 활용한 시뮬레이션 분석 및 이용자 사용성 개선도출, 시스템 보완 - 시스템이용 매뉴얼 등 활용방안 마련
	■ 의사결정지원 모듈 상용화 검토	- 기술가치평가 등을 통한 의사결정지원 모듈의 상용화를 위한 분석

2. 연차별 연구수행 과정 및 내용

<표 2-2> 연차별 연구수행 내용

연도	연구목표	주요 연구내용
1차년도 (1단계)	■ LNG 플랜트 사업특성 규명	▪ LNG 플랜트 산업구조 및 시장현황 조사·분석 ▪ 선진업체의 LNG 플랜트 LNG사업수행체계 비교·분석 ▪ 국내외 19여개의 리스크 관련 국내연구문헌 조사, 28개의 리스크 관련 국외연구문헌 조사, 기존연구의 문제점 및 발전 방향 도출 ▪ 5개 국내기업 리스크관리 현황 분석, 4개 국외 선진기업 리스크관리 현황 분석, 기업들의 리스크관리 문제점 및 발전방향 도출 ▪ 국내 건설업체의 PMIS 적용현황 조사·분석, 플랜트사업의 PMIS 적용관리항목 도출
	■ LNG 플랜트 사업관리의 니즈 분석 및 PLM기반의 사업관리 추진 방향 수립	▪ LNG 플랜트 사업관리의 니즈 분석 ▪ PLM 기반의 사업관리 추진방향 수립 - LNG 플랜트 사업관리의 의사결정항목을 기술적인 측면과 관리적인 측면으로 구분하여 도출 - 사업관리의 니즈분석을 통한 추진방향 수립
2차년도 (1단계)	■ PLM 프로세스별 사업관리 요소 정의	▪ 국내 플랜트 건설사업의 사업관리요소 파악 - 연구동향 조사를 중심으로 각종 산업플랜트분야 건설사업관리 요소 조사, 분석 ▪ 선진외국의 사업관리요소 파악 - 미국 PMI, CMAA의 건설사업관리요소 파악 ▪ LNG 가스플랜트의 건설사업관리 요소 선정 - 국내외 동향조사를 바탕으로 LNG플랜트 전문가의 자문 및 의견수렴을 통한 건설사업관리 항목선정 ▪ 의사결정방법 현황파악
	■ PLM 단계/업무별 의사결정항목 결정	▪ LNG 가스플랜트 공정 및 사업관리 의사결정항목 정의 - 앞서 선정된 LNG 가스플랜트의 건설사업관리요소를 바탕으로 전문가 자문을 통한 의사결정 주요 항목 선정 ▪ 의사결정 항목정의에 따른 의사결정방법 결정
	■ 사업관리의 의사결정지원체계 도출	▪ 사업관리 의사결정 지원체계 검토 - 각 단계별 및 사업관리업무별 의사결정 고려항목과 공통적인 고려항목을 도출 - LNG 플랜트공사의 사업관리를 효율적으로 운영하기 위하여 의사결정 지원체계 전체 Framework 제시
3차년도 (2단계)	■ 설계단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	▪ 설계단계 공정계획 조사, 분석 및 설계관리 주요 항목 도출, 사업관리매뉴얼 구성체계 확립 및 매뉴얼 작성

연도	연구목표	주요 연구내용
	■ 설계단계의 의사결정지원 모듈(설계관리) 개발	▪ 설계관리 프로그램 현황조사 및 분석 ▪ Stag-Gate모델을 활용한 설계단계 의사결정지원 모듈 시작품개발 ▪ S/W등록 2건, 국내특허출원 1건
	■ 설계단계 모듈의 현장적용성 평가	▪ 설계단계 모듈에 대한 점검결과 기능개선 요소 도출
4차년도 (2단계)	■ 구매조달단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	▪ 구매조달단계 공정계획 조사, 분석 및 구매조달관리 주요항목 도출, 사업관리매뉴얼 구성체계 확립 및 매뉴얼 작성
	■ 구매조달단계의 의사결정지원 모듈(vendor관리) 개발	▪ 벤더관리, 구매조달관리 프로그램 현황조사 및 분석 ▪ Stag-Gate모델을 활용한 구매조달단계 의사결정지원모듈 시작품개발 ▪ S/W등록 2건, 해외(미국)특허출원 1건
	■ 구매조달단계 모듈의 현장적용성 평가	▪ 구매조달단계 모듈에 대한 점검결과 기능개선 요소 도출
5차년도 (3단계)	■ 시공단계의 공정계획 분석 및 사업관리 매뉴얼 개발	▪ 시공단계 공정계획 조사, 분석 및 시공관리 주요항목 도출, 사업관리매뉴얼 구성체계 확립 및 매뉴얼 작성
	■ 시공단계의 의사결정지원 모듈 개발	▪ 시공관리, 공정관리 프로그램 현황조사 및 분석 ▪ Stag-Gate모델을 활용한 시공단계 의사결정지원 모듈 시작품개발 ▪ S/W등록 2건, 특허출원 1건, 기술이전 1건
	■ 시공단계의 현장적용성 평가	▪ S/W 품질검증 방법 조사, 분석 ▪ EPC 단계별 통합의사결정지원모듈 구축(6차년도 목표)에 대비한 계획 수립
6차년도 (3단계)	■ 통합 의사결정지원 모듈 개발 및 현장적용성 평가	▪ EPC 통합의사결정지원 모듈 시작품 개발 ▪ 시스템 검증 및 보완 ▪ 이용자 및 관리자 매뉴얼 개발 ▪ 미국 출장을 통한 현장적용성 평가 ▪ 특허출원 1건, 특허등록 2건 ▪ SCIE - 2건, 국내논문 - 2건 ▪ (추진중)-기술이전 1건, S/W등록 2건
	■ 의사결정지원 모듈 상용화 검토	▪ 기술가치 평가실시 ▪ 상용화전략 수립

제3절 연구수행 결과 및 검증

1. LNG 플랜트 사업관리의 니즈분석 및 PLM기반의 사업관리 추진방향 수립

(1) LNG 플랜트 사업특성 분석

천연가스는 천연으로 생산되는 메탄을 주성분으로 한 가연성 가스를 말함. 또한 이것을 액화하여 용적을 감소한 후 대량수송 혹은 대량저장이 가능토록 한 것을 액화천연가스 또는 LNG(Liquefied Natural Gas)라 한다.

LNG 플랜트사업은 다음 그림과 같이 가스탐사 및 생산, 물리적인 액화 및 화학적인 전환공정, 수송, 저장 등의 가치사슬로 구성되며, 주로 천연가스를 액체원료나 연료로 전환하는 장치를 중심으로 액화공정(초저온 액화) 및 FEED 패키지, 제어·운영, 건설수행 등 EPC 기술을 대상으로 하고 있다.

전형적으로 가스채굴설비(Upstream Facilities), 파이프라인(Pipeline), 액화플랜트(Liquefaction Plant), LNG 선적 및 운송(LNG Shipping), LNG 인수(LNG receiving), 가스화 작업(Re-gasfication), 에너지 생산시설 및 분배 네트워크로 구성된다.



<그림 2-6> LNG 플랜트 건설사업의 가치사슬

국내 가스플랜트의 경우 해외 산유국에서 생산된 자원을 해상으로 운반하여 저장 및 정제시설에 비축한 후 에너지 사용지로 보급하고 있다. 충남 서산의 9개 지역에서 가스를 정제 또는 비축기지를 구축하고 있다.

우리나라의 해외수주실적을 분석해 보면, 플랜트 건설이 1,243억불로 전체수주액의 41%를 차지하여 주력 부문으로 확실히 자리매김하고 있다. '70~'80년대까지 주력 공종이던 토목과 건축공종은 각각 740억불과 888억불로 54%를 차지하고 있으며, 2000년대 전후로 중국 등 후발주자와의 가격경쟁에 고전하며 수주가 저조했으나 지난 해부터 초고층빌딩, 항만, 터널, 교량 등 고난도 공사를 중심으로 수주가 다시

증가하고 있다.

국내 플랜트(산업설비)의 수주액(1969-2009년) 중에서 가스처리시설이 계약금액과 계약건수에서 차지하는 비중은 11.7%, 6.7%를 차지하고 있어, 아직까지는 플랜트 전체분야에서 가스플랜트 분야의 수주실적이 미약한 수준이다.

<표 2-3> 산업설비의 세부공종별 계약금액 및 건수(1969-2009년 2월)

(단위 : 백만불)

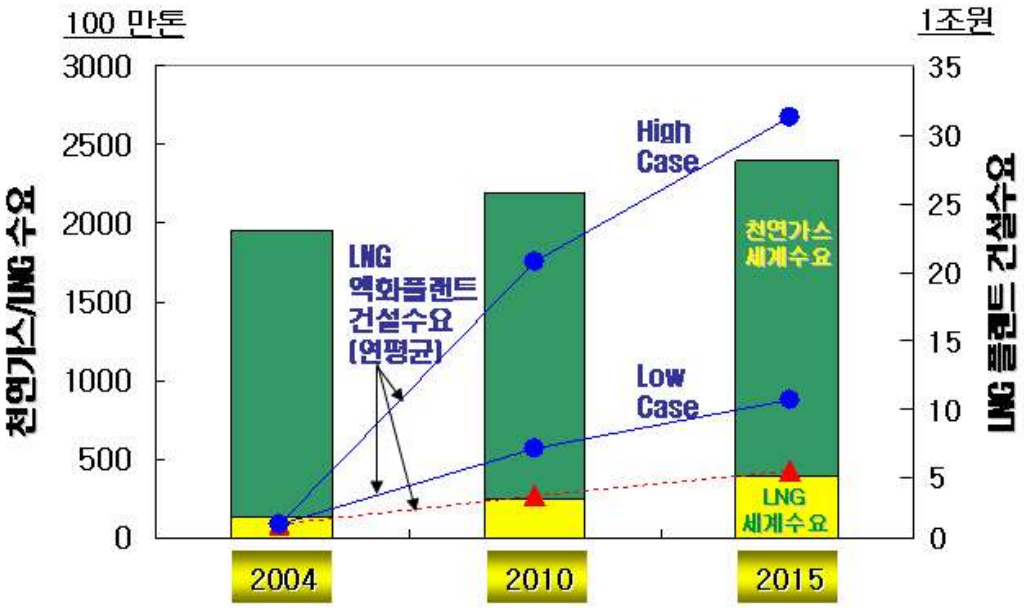
구분		합 계	발전소	화학 공장	정유 공장	가스 처리시설	담수화 시설	기타
총 계	금액	125,157	31,372	22,367	15,827	14,626	8,823	32,142
	건수	1,116	166	153	77	75	51	594

※ 출처 : 해외건설종합서비스, 해외건설협회 자료

LNG 플랜트의 수요는 2004년 1억3000만톤 에서 2010년 2억5000만톤으로 늘어나고, 천연가스 전체에서 차지하는 비중도 7%에서 11%로 높아질 전망이다.

2003년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2008년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400~1200/TPA으로 예상됨에 따라, LNG 플랜트의 건설 수요 투자비용을 분석해보면, 2015년 연간 10조원에서 연간 30조원 수준으로 예측된다.

따라서, 평균적으로 2015년 경에는 연간 20조원의 LNG 플랜트 건설비용이 투자될 것으로 예측할 수 있다.



<그림 2-7> LNG 수요와 LNG 플랜트건설 수요 예측

이러한 추이를 감안할 때 본 연구과제의 성과물은 해외시장에서도 판매될 수 있을 것으로 판단되나 기술 유출 등을 감안하여 국내업체에 대한 공급만으로 국한하는 것에 대해서 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

국내 건설업체가 해외 LNG 플랜트 건설의 EPC 일괄계약을 수주 시는 총 사업비의 2% 수준에 본 과제로 개발한 성과물을 기반으로 한 기술 패키지로 상품화할 수 있을 것으로 판단된다.

플랜트 수출과 관련하여 이루어지는 계약방식에는 턴키(turn-key)방식이 있는데, 이는 플랜트 발주자가 플랜트를 제조·공급하는 자에게 사업에 대한 타당성 조사에서부터 고도로 축적된 기술을 시스템적으로 제공하는 엔지니어링, 생산에 필요한 단위기계와 장치에 대한 제작 및 구매·공급, 구조물과 건축물 건설, 기계적으로 종합된 공장의 시험운전에 이르기까지 각종 공장건설 업무를 수행하게 하는 것이다.

(2) 선진업체의 LNG 플랜트 사업수행체계 조사・분석

세계 LNG 플랜트 시장은 선두 그룹과 그 뒤를 추격하는 후미 그룹이 있음. 선두에는 JGC/KBR, Chiyoda, Bechtel 및 Technip 등이 있고 그 뒤로는 Snamprogetti, Linde 및 TEC 등이 있다. LNG 플랜트는 첨단 고부가가치 분야라 프로젝트의 규모가 평균 10억불이 넘는 대형 프로젝트이기 때문에 기술 선진국들의 각축장이다. 선두기업들은 후발참여자의 시장진입을 극히 경계하며 기술이전을 하지 않고 과점하고 있다.

2위 그룹들은 메이저가 되기 위하여 각종 프로젝트에 선두그룹과 같이 프로젝트에 공동으로 참여하기를 원하나 선진그룹들은 후발주자들이 경쟁우위를 갖는 지역국가에 주공정이 아니라 유틸리티(Utility)나 오프사이트(Offsite) 정도만 참여시키고 있다. 1위그룹은 이 분야의 1인자인 JGC/KBR 합작 팀이다. 이들은 전 세계 시장의 50% 이상의 점유율을 가지고 있으며 지역적으로 동남아 및 아프리카 시장을 주 활동무대로 하고 있다. 2위는 전 세계 시장점유율을 30% 정도 차지하고 있는 Chiyoda로 러시아 및 카타르에서 두각을 나타내고 있다.

Phillips의 OCP 기술을 독점적으로 사용하고 있는 Bechtel사는 시장점유율이 약 10% 정도이며 Trinidad, 이집트 및 적도기니 등의 수의계약 프로젝트 위주로 참여하고 있다. 시작이 제일 늦은 Technip은 자국의 TOTAL 프로젝트에 참여하여 나이지리아, 카타르, 예멘 등지에서 꾸준히 LNG 프로젝트에 참여하고 있다.

2위 그룹으로는 이탈리아의 Snamprogetti, 독일의 Linde 및 일본의 TEC 등을 들 수 있다. 단독 수행경험이 없는 Snamprogetti는 모회사인 ENI 투자 프로젝트를 위주로 참여하면서 실적을 축적하고 있다. 한편 Linde는 Statoil사와 공동 개발한 MFCP 기술로 노르웨이의 스노빗 LNG 플랜트를 수행 중에 있고 이란 NIOC LNG 프로젝트에 EPC로 참여할 예정으로 있다. Linde는 계약사가 극저온 관련기술을 보

유하고 있어 선두그룹으로 진출할 가능성이 가장 크다. TEC는 단독수행 경험이 없어 러시아 지역의 지역적 우위성을 바탕으로 Chiyoda와 공동으로 사할린 LNG플랜트에 참여하고 있다.

(3) 사업관리의 범위 및 니즈분석

건설사업에 있어서 건설사업관리는 건설산업기본법 제2조제6호에 “건설공사에 관한 기획, 타당성조사, 분석, 설계, 조달, 계약, 시공관리, 감리, 평가, 사후관리 등에 관한 관리업무의 전부 또는 일부를 수행하는 것”이라고 정의하고 있다. 따라서, 이러한 건설사업관리란 사업주를 대신하여 건설사업의 관리를 대행하여 주는 용역을 의미한다. 즉, 계약형태를 통하여 발주자의 전반적인 또는 부분적인 권한을 위임 받아 대리인(Agent) 및 조정자(Coordinator)의 역할을 수행 하면서 Consultants나 CM 전문회사가 건설사업관리업무 일체(기획, 설계, 시공/감리, 사후관리)를 적정한 품질을 유지하면서 공기와 공사비를 최적화하여, 발주자에게 주어진 예산(Budget) 내에서 양질의(Quality) 건축물을 적기에 인도(Delivery) 하는 목표를 가지고, 사업관리(조정, 의사전달)를 하고 그 서비스에 대한 보수를 받는 계약 사업을 말한다.

건설사업관리는 기획, 설계에서 시공까지의 전 과정에 대하여 공기(Time), 공사비(Cost), 품질(Quality)의 3요소의 관리를 합성 시킨 근대적 관리 기법으로, 건설업의 전 과정을 통하여 건설 산업을 보다 효율적이고 경제적으로 수행하기 위해서, 각 부문의 전문가들로 구성된 집단의 통합된 관리 기술을 사업주에게 서비스하는 행위이다.

프로젝트의 기획, 설계, 시공의 각 단계의 업무를 하나의 통합된 업무로 처리하여 CM업무를 추진하기 위한 구성원은 사업주, CMr(Construction Manager), A/E(Architect/Engineer)를 포함한다. 이 방식은 전통적인 방식과는 다른 프로젝트 인도 방식의 전문 용역 분야로서 건설 공사의 설계와 시공업무 전반을 관리하는 전문적인 용역 업무를 지칭하며, CM의 입장은 발주자(Owner)의 대리인(Agent)으로서 발주자의권익을 최대한 보장하는 것이다.

이러한 건설산업에 있어서 건설사업관리와 LNG 플랜트 공사에서의 건설사업관리는 그 업무나 정의에 있어서 유사하다고 볼 수 있다. 다만, 플랜트산업은 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재, 최종 제품을 제조할 수 있는 설비산업을 의미한다. 플랜트산업은 부가가치가 높은 지식집약형 산업으로서 각종 유발효과가 높고, 제조업과 서비스업의 성격을 동시에 갖고 있는 융합 산업이다. 플랜트 건설의 경우, EPC 발주방식이 일반화되어 있고 일반 건설과 달리, 기술경쟁력과 기자재 구입비용이 경쟁지배 요소가 되고 있다. 또한, 프로젝트 관리 및 통합관리가 사업의 손익과 성패를 좌우하는 산업이다. 플랜트 수출이란 생산설비 또는 공장을 해외에 공급하는 설비 제공 및 제반 건설활동을 말하며, 수출에 따른 국가간 마찰이 적은 편이

어서 선진국들의 전략적인 수출방식으로 인식되고 있다.

LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다. LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄계약하는 방식이 건설산업의 계약방식과는 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서, 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.



<그림 2-8> LNG 플랜트 생애주기에 기반한 사업관리 서비스 범위

LNG 플랜트 사업에서 사업 및 공정관리 니즈는 기존시장 중간진입 전략을 효과적으로 수행하기 위한 전략을 수립할 수 있는 토대가 되며, 이를 위해서는 LNG 플랜트사업에 대한 환경변화 추세를 토대로 LNG 프로젝트 관리자의 입장에서 사업 및 공정관리의 핵심니즈를 도출할 필요가 있다. 다음은 일반적인 LNG 프로젝트 관리자의 역할이다.

- LNG 프로젝트에서 회사의 투자에 대한 조사
- 플랜트 개발에서 회사와 조인트벤처 파트너간의 협력관계 조성
- LNG 프로젝트의 작업 흐름에 대한 검토 및 보고
- 회사의 이익에 부합하는 모든 측면에서 대한 의사결정 지원
- LNG 프로젝트와 관련된 모든 상업적 계약에 대한 입력정보 제공
- LNG 프로젝트 관련 규정(시방서, 설계기준 등)과 해법 제공

LNG 플랜트 사업관리자(PM)의 입장에서 시장과 고객, 그리고 LNG 플랜트 건설업체를 입장에서 시장환경의 변화를 바라보면 생산가격, 이익실현, 경쟁력 확보 및 고객가치 관리의 관점에서 사업 및 공정관리 니즈가 도출될 수 있다. 본 연구에서는 이러한 핵심관점에서부터 다음 그림과 같이 건설비용 최소화, 생산성 향상(분석 및 검증), 공기단축을 통한 생산시점의 단축, 투자자본의 조기회수, 사업관리 노하우

확보, 구매조달능력 확보, 위험 최소화 및 불확실성 제거, 공정관리 효율성 극대화 등을 도출하였다



<그림 2-9> LNG 플랜트사업의 사업 및 공정관리 핵심 니즈

(4) LNG 플랜트 건설사업관리 관련 의사결정사항

기술적 사항[5]을 검토해 보면 다음과 같다. 트레인 용량과 저장탱크 크기 결정간의 상관관계는 의사결정에 있어서 핵심사항으로서 트레인 생산용량은 LNG저장공간의 적정성에 따라 영향을 미친다. 예를 들어 개별 트레인의 생산용량이 초기 건설된 플랜트는 0.5~1백만 톤정도 였지만, LNG 저장탱크 용량이 40,000 평방미터에서 200,000평방미터로 확대됨에 따라 최근 시공중인 트레인 용량은 1~5백만 톤정도로 확대되는 추세이다.

액화트레인의 크기는 단위 생산비용의 감소를 통한 경제성 확보를 위해 지속적으로 확대되어 옴에 따라 트레인 크기 최적화(Train Size Optimization)도 매우 중요한 기술적 의사결정요소이다.

현재 가장 큰 트레인 용량은 연간 5~8백만 톤(MTPA)정도이며, 이러한 대용량 플랜트는 존재하는 표준기술을 활용하여 물리적인 한계까지 냉동압축기(Refrigerant Compressors)와 터빈 드라이버로 압력을 가해야 한다. 트레인의 크기가 증가함에 따라 장치의 기계적 신뢰성과 관련한 위험은 증가한다.

압축기 드라이버(Compressor Drivers)의 선정도 기술적 의사결정의 중요사항이다. 오래된 많은 액화플랜트는 냉동압축기를 운전하기 위하여 스팀 터빈을 사용하

5) Nexant, LNG : The Expanding Horizons of Liquefaction Technology and Project Execution Strategies

였다. 이 타입은 다양한 능력 및 스피드 범위에서 이용되고 있으며, 쉽게 냉동압축기에 적용할 수 있다.

보다 새로운 플랜트는 스팀 발생기 및 보일러 공급용 용수처리시설 등의 제거를 통해 투자비용 감소 목적으로 산업용 가스터빈 드라이버들이 채택되고 있다. 산업용 가스터빈의 폭넓은 채택은 신뢰성이 충분히 제공될 수 있기에 가능하다. 그러나, 가스터빈은 문제가 있다. 최근에는 전기 모터를 사용하는 것에 관심을 가지고 있다.

순수냉동 프로세스, 혼합냉동 프로세스, Mixed와 Pure refrigerant steams 등 액화기술의 검토도 중요 요소는 다음과 같다.

- 순수냉동 프로세스 : Optimized Cascade
- 혼합냉동 프로세스 : Dual Mixed Refrgerant, Multiple Mixed Refrigerant, Mixed Refrigerant with Propane Pre-Cooling and Nitrogen Sub-cooling
- Mixed와 Pure refrigerant steams

관리적 사항을 검토해 보면, 첫째 새로운 프로젝트 시행 전략[6]을 선정한다. 설계 및 프로젝트 관리 서비스, 숙련된 노동자, 설비, 자재 및 원자재의 부족문제는 프로젝트 시행에 있어서 중대한 영향을 미치고 있다. 이에 따라 EPC 프로젝트의 계약 및 시행방법에 있어서 다른 대안적인 전략을 찾고 있다.

대안적인 EPC 프로젝트의 계약 및 시행방법(어떠한 계약방법을 선택하는가도 매우 중요하다.

<표 2-4> LNG 건설사업의 주요 계약방법

▪ Lump-sum turnkey bids
▪ Cost reimbursable bids
▪ Cost reimbursable with bonus/penalty
▪ Bid cost reimbursable front-end with conversion to open book lump sum
▪ Negotiated Awards
▪ EPC Management

둘째, 프로젝트 개발 방법론에 대한 검토이다. 관련 당사자의 요구와 프로젝트의 목표에 부합하는 전략 마련, 성공적인 프로젝트 수행을 반복해나갈 수 있는 템플릿 확보, 새로운 기술 적용의 이점과 학습효과가 융합된 개념 및 접근방법론에 대한 채택 등 검토가 필요하다.

6) Nexant, LNG : The Expanding Horizons of Liquefaction Technology and Project Execution Strategies

(5) 주요결과 및 시사점

LNG 플랜트 건설공사 현장은 해외에 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있으며 LNG 플랜트 공사의 특성상 EPC로 일괄계약하는 방식이 건설산업의 계약방식과는 차이가 있다. 따라서, 건설사업관리의 기법을 LNG 플랜트 사업에 적용하기 위해서는 EPC 계약방식측면을 고려하여 사업관리를 추진해야할 것으로 판단된다.

2. LNG 플랜트 사업관리 요소 정의 및 의사결정 항목결정

(1) 국내 플랜트 건설산업의 사업관리 요소 파악

국내 플랜트 건설산업의 사업관리 요소를 파악하기 위하여 국내 대형건설사 4곳의 업무절차서 수집 및 업무절차서 관련 연구동향을 조사하였다. 특히, 최근 수행된 플랜트 프로젝트 표준화기술개발(주관 : 현대건설(주), R&D/05건설핵심 D01-01, 2007.12)의 연구결과를 통하여 기존 국내 플랜트 건설산업의 사업관리 요소를 파악하는데 기초자료로써 활용하였다. 이는 국내 플랜트 건설을 수행한 경험이 있는 대형건설사들이 사업관리 업무절차서 관련 자료를 대외비로 하고 있어 관련자료 획득에 한계가 있으며, 가장 최근에 조사된 플랜트 관련 사업관리 업무절차서 비교연구이기 때문이다.

조사결과 국내 건설사들의 경우 표준화, 국제화된 사업관리 업무절차서로써 부족함이 있는 것으로 나타났다. 특히 전체 업무간 연계성 및 중점관리요소의 파악이 어려우며, 일부의 경우 양이 매우 방대하여 현장적용성이 떨어지는 것으로 조사되었다.

한편, 관련 연구동향에서 조사된 일반 산업플랜트의 EPC 수행단계별 사업관리 업무절차의 경우 사업관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약/클레임관리, 안전관리, 환경관리 등 7개의 주요 사업관리 요소로 정의하고 있으며 각 사업관리 요소는 EPC 수행 단계별로 각각의 상세 업무를 정의하였다. 특징은 설계관리, 리스크관리 등에 관해서는 별도로 정의하고 있지 않으며 사업관리분야에 일부 포함하고 있는 것으로 분석되었다. 그러나 일반적인 산업플랜트에 있어서의 EPC 수행단계별 업무절차에 관한 정리로써 본 연구의 대상인 LNG 플랜트의 특성에 맞는 사업관리 업무절차서로 활용하기에는 미흡한 것으로 나타났다.

다음은 상기의 국내 선행연구에서 제시하고 있는 산업플랜트의 EPC 수행단계별 사업관리 업무절차서의 내용을 정리한 것이다.[7)]

<표 2-5> 산업플랜트의 EPC 수행단계별 사업관리 업무절차

구분	계획 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
사업관리	프로젝트 조직구성 프로젝트 분류체계 수립 문서관리체계 수립 기록관리체계 수립 운영성과 검토체계 수립 프로젝트 목표관리 사업타당성 분석	구매조달 절차수립 자재 구입사양 계획 자재견적서 제출 자재구매업무 자재 구매조달 협력업체선정 자재관리책임자 선정	현장사무실설치 및 착공 시공관련회의 시공사양서작성 시공상세도 검토 시공계획수립 현장목표관리 시공관리정보시스템 운용

7) 현대건설(주), 플랜트 프로젝트 표준화기술개발, 건설교통부(한국건설교통기술평가원), P556, P613,650, 2007

구분	계획 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
	분야간 설계검토회의 설계계획수립 설계기준서 작성 설계업무절차 설계계산서 작성 설계도서 접수 및 개정관리 설계검토 설계시공성 검토 설계협력업체 수행도평가 프로젝트 정보교환체계수립 인허가 계획수립 및 수행관리 프로젝트 리스크관리	자재납기변경관리 자재 모니터링 업무 불용 및 잉여자재 폐기매각관리	프로젝트평가 시공관련 문서 및 자료관리 시공단계 보고서 작성 및 기록보관 시운전 및 교육 준공계획수립 준공검사 사후평가 기술검토의견서 작성 준공도면 작성 및 관리 시설물 인수인계 건설사업관련 문서 인수인계 유지관리 방침 및 계획수립 유지관리 지침서 작성 프로젝트 완료보고
사업비 관리	사업비 타당성조사 사업비산정 및 검토 원가관리 비용 및 견적관리 기설계획수립 및 관리 사업 및 공사비 예산작성 선실행예산편성 본실행예산편성 실행예산변경관리 공사비산정 및 예산편성 프로젝트 견적 프로젝트 실행계획 수립	자재원가 및 실행예산 변경관리 자재대금지급	공사비경향분석 기성검사 공사비 대안분석 실행기성관리 기성 및 준공금 관리 준공정산 현장안전관리비 사용실적관리 현장환경관리비 사용실적관리 현장경비 사용실적 관리
공정 관리	프로젝트 일정관리기준 설정 프로젝트 기본공정표 작성 및 관리 프로젝트 공정계획 검토 설계일정관리	구매조달 일정수립 자재구매계약 일정관리 자재제작 공정관리 자재지급 공정관리	공종별 세부공정표 검토 공종별 세부공정표 운영 공종별 시공계획수립 시공 공정관리 및 진도점검 시공분야별 관리기준 공정표 작성 공종별 시공관리 공정만회대책 수립 및 이행 공사진도 점검 공사기간 연장 공정회의 운영
품질	품질관리계획수립	자재품질관리 계획	품질조정회의 운영

구분	계획 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
품질관리	품질관리의 목표와 범위설정 품질관리시방서 작성 및 관리	자재 공급원 승인 자재검사 및 입출고관리 자재 상주관리업무 기자재 납품관리 기계제작 승인 자재 부적합품 관리 자재 검측장비 관리 자재 공급업체 수행도 및 품질평가 현장 공급자재 관리 건설자재검사 관리	품질감사자 자격부여 및 관리 현장품질교육 시공 품질관리 지침서 검토 검축 및 시험 품질결함사항 조치 부적합 시정 및 예방조치 하자관리 처리 및 기술협력
계약/클레임 관리	계약방법결정 입찰 및 계약절차 수립 입찰공고 및 현장설명 계약관리 계약변경 설계자선정 설계용역계약 설계용역관리	구매계약 구매계약 사후관리 자재공급업체 부도관리 및 후속조치 물품구매(소액구매) 물품구매(수의계약) 물품구매(입찰)	공사중지 명령 계약이행 지체대응 클레임 대책 클레임관리(일반) 클레임관리(공사비) 공사관련 협력업체 계약 물가변동에 따른 계약금액 조정 설계변공에 따른 계약금액 조정 시공단계 설계변경 검토 및 관리
안전관리	안전관리계획 및 규정수립 안전요구사항 및 지침작성 잠재적 위험요소 검토 안전관리비 책정	구매조달 안전관리비 책정 구매조달관련 안전 요구사항 및 지침작성	건설현장 안전조직체계 검토 현장안전 점검 무재해운동추진 안전관리이행감독 안전조정회의 운영 안전교육훈련 안전관리문서 관리 안전관리자 배치 안전보건 회의 안전장구 및 시설물 관리 안전진단 및 정기점검 안전활동 모니터링 안전검사
환경관리	환경관리기본계획 수립 잠재적 환경위험요소 파악 및 결정 환경영향 평가 교통, 재해영향 평가 환경영향 평가 협의 이행		환경조직체계 검토 환경관리계획 시행감독 환경관리문서 관리 친환경 활동 관리 환경교육 환경비상사태 계획 및 훈련

구분	계획 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
			환경오염측정 및 모니터링 비산먼지관리 소음 및 진동관리 수질관리 오수처리관리 지하수관리 폐기물관리 환경클레임 분석 및 대응 환경민원관리

(2) 선진 외국의 사업관리 요소 파악

미국의 경우 프로젝트의 효율적인 관리를 위하여 많은 연구가 진행중에 있으며, 특히 PMI에서 제정한 PMBOK(Project Management Body Of Knowledge)과 CMAA(Construction Management Association of America)의 건설사업관리 서비스 표준은 합리적이고 효율적인 프로젝트 관리를 위한 기반으로 평가받고 있다.

우선, PMBOK의 기본 구성은 프로젝트의 관리를 이해하는데 있어 기본 구조를 제공하는 프로젝트 관리 프레임워크(project management framework)와 프로젝트 관리지식과 실무를 프로세스 측면에서 9개의 지식영역으로 구분하여 기술하는 프로젝트 관리지식 영역(knowledge area) 등 크게 두개의 부분으로 구성되어 있다. 특히 프로젝트 관리지식 영역의 경우 프로젝트 관리에 필요한 지식과 실무로서 9가지 핵심분야를 구분하고 있으며 각 프로세스의 수행에 필요한 정보(input)와 최종 결과물(output), 각종 관리기법을 소개하고 있다. 이러한 9개의 주요구성 및 단위업무는 다음과 같다.

<표 2-6> PMBOK의 사업관리 요소

사업관리 요소	주요구성	단위업무
프로젝트 통합관리	프로젝트관리 프로세스 그룹내의 다양한 프로세스들과 프로젝트 관리활동을 식별, 정의, 결합, 통합, 조정하는데 필요한 프로세스와 활동이 포함	프로젝트 계획개발 프로젝트 계획실행 통합변경 관리
프로젝트 역무관리	프로젝트를 성공적으로 완료하기 위해 프로젝트가 필요로 하는 모든 작업이 포함되었는지 여부와 불필요한 작업은 없었는지 확인하는데 필요한	프로젝트시작 역무계획 역무정의 역무확인검증

사업관리 요소	주요구성	단위업무
	절차들로 구성	역무변경관리
프로젝트 공정관리	프로젝트를 적시에 완료하는데 필요한 절차들로 구성	공종정의, 공종순서, 공기예측, 공정개발, 공정관리
프로젝트 비용관리	승인된 예산안에서 프로젝트를 완료하기 위해 원가에 대해 계획, 산정, 예산수립, 통제하는 절차로 구성	자원계획 견적, 예산편성 비용관리
프로젝트 품질관리	프로젝트의 요구사항을 만족시키기 위해 품질정책, 목표, 책임을 결정하는 수행조직의 활동에 대한 절차로 구성	품질관리 계획 품질보증 품질관리
프로젝트 인적자원관리	프로젝트 팀을 구성하고 관리하는 절차로 구성되어 있으며 본 항목에는 프로젝트 팀원의 역할과 책임에 대한 범위 등과 관련된 절차로 구성	조직의 계획 직원 조달 프로젝트 팀구성, 개발, 관리
프로젝트 의사전달관리	프로젝트 정보를 적절한 시간에 적절하게 생성, 수집, 배포, 저장, 수정 및 처분하는데 필요한 절차로 구성	의사전달계획 정보 배포 이행성과 보고 행정관리 종료
프로젝트 위험관리	긍정적인 위험의 발생가능성 및 영향력을 증대시키고, 부정적인 위험의 발생 가능성 및 영향력은 감소시키는 것을 목적으로 하는 프로젝트에 대한 위험관리계획, 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 절차로 구성	위험관리계획 위험식별 정성적 위험분석 정량적 위험분석 위험 대응계획 위험 현황파악(모니터링)
프로젝트 구매/조달관리	수행조직 외부에서의 상품과 서비스를 확보하기 위해 필요한 절차를 다루며 프로젝트 수행에 반드시 필요한 물품이나 서비스를 구매하고 조달하는 것이며, 언제・어떻게・무엇을・얼마에 구매하고 언제 물품이나 제화가 필요한지에 대한 절차로 구성	조달계획 구매 및 견적요청 공급업체 선정 계약집행관리 계약종료

최근 PMI에서는 건설산업분야의 특수성을 반영하여 상기의 9가지 사업관리요소 이외에 다음의 4가지 요소를 추가하여 건설분야 사업관리요소를 별도로 제시하였다.

- 프로젝트 안전관리
- 프로젝트 환경관리
- 프로젝트 재무관리
- 프로젝트 클레임관리

미국 건설사업관리협회(CMAA)가 제정한 건설사업관리서비스 표준은 건설사업관리 업무범위를 건설공사의 생애주기를 기준으로 공사계획단계, 설계단계, 구매조달단계, 시공단계, 완공 후 단계 등 5단계로 구분하고 있으며, 이를 대상으로 사업관리요소를 프로젝트관리, 원가관리, 공정관리, 품질관리, 프로젝트 행정 및 계약관리, 안전관리 등 6개로 구분하고 있다.

다음은 CMAA의 건설사업관리 서비스표준에 관한 내용이다.

<표 2-7> CMAA의 건설사업관리 서비스표준

구분	계획단계	설계단계	구매조달단계	시공단계	완공후단계
프로젝트 관리	프로젝트조직 사업관리계획서 프로젝트수행절차서 계획단계사전회의 경영정보시스템	설계도서 검토 계약서, 일반조건 및 특별조건 검토 공공관련업무 금융조달 회의 원가관리 일정관리 공사중서비스행위	입찰 및 계약절차 회의	현장가설물 조정 회의 공정관리 예산 및 사업비관리 기설지불요청 계약변경 클레임관리 품질관리 지급자재, 장비 도면관리 기록관리 관리보고	문서취합
원가관리	프로젝트공사예산 대안비용분석	견적,원가관리업무 사업비입증 기본설계견적	추가사항 견적 입찰분석과 협상	기설계획 설계변경관리 대안검토	최종공사비보고

구분	계획단계	설계단계	구매조달단계	시공단계	완공후단계
		설계중, 최종설계 도서 견적 가치분석 비용감시와 보고		공사비클레임대비	
공정관리	주공정계획 관리점 공정계획	주공정표 유지관리 설계일정 관리점 공정표 유지관리 시공일정 여유시간 관리	시공자의 시공공정표관리	시공공정표/주공정표 공사진도점검 공기연장,영향분석 공정만회 클레임검토	입주계획
품질관리	발주자의 목적설정 업무범위검토 품질관리조직구성 품질관리계획	설계절차서 문서관리 설계도서검토 설계기준변경 품질관리, 보증 프로젝트 견적 시공성검토 가치분석 공사기간산정 시공검사요구사항 품질관리시방서 사용성검토 프로젝트 금융 프로젝트 검토회의 보고서	조달계획 입찰안내 및 광고 입찰자선정 입찰안내서 입찰전회의 제안서기준 및 개찰 낙찰전회의 낙찰자통보	시공전회의 시공계획 및 공정표작성 검사 및 시험 보고서 및 품질기록관리 설계변경 문서관리 및 배포 부적합품 관리 기성관리 최종검토, 문서 및 펀치목록 입주편리 실질준공 최종준공	품질관리평가 최종보고서, 권고사항
프로젝트 행정 및 계약관리	의사전달절차서	설계진도 관리 설계검토 회의 설계공정보고 비용보고	입찰자자격 입찰자명부 작성 입찰참여홍보 입찰공고 및 광고 입찰서류 배포 입찰질의 회신 추가사항 입찰전회의	시공전회의 발주자지급자재 협의 허가,보험,보증 등 현장협의 절차 현장회의 품질관련 업무 부적합 사항	유지관리지침 및 매뉴얼 여유자재 및 보증보험 최종인허가 입주 및 가동 준공금지급 계약만료

구분	계획단계	설계단계	구매조달단계	시공단계	완공후단계
			개찰 및 평가 입찰완료후 면담 공사계약 착공지시 공정관련 보고서 사업비관련 보고서 자금조달관련 보고	안전관리 설계변경 보고 회계업무 현금흐름 보고 기성고지급 시공단계보고 특별사항에 대한 보고 특별보고서유지 클레임진행 설계도서 유지관리	시공자유지보수관리 최종보고서
안전관리	안전관리주체 안전관리 조직구성 안전관리자 고려	(Pre-bid phase) 계약요구사항과 선정기준 안전프로그램 입찰전회의 비상사태에 대한 협조체계	(Pre-construction phase) 안전관련보고사항 인허가기관 시공전회의	계약자 안전요구 및 승인사항 안전관련회의 안전관리위원회 안전점검 월간보고 CM안전훈련	

(3) LNG 가스플랜트의 건설사업관리 요소 선정

상기의 국내외 사례조사 결과를 바탕으로 국내 7개의 대형건설사 및 엔지니어링 회사의 LNG 플랜트 경험이 있는 관련 전문가 11명을 대상으로 자문 및 협의를 거쳐 EPC 수행단계에 따라 총 9개의 LNG 플랜트의 건설사업관리 요소를 선정하였다.

선정된 항목은 사업관리, 설계관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약 및 클레임관리, 안전관리, 환경관리, 리스크관리로 구분된다.

또한 본 연구에서는 사업생애주기를 기반으로 하되, 계약이후의 단계를 전제로 계약 및 설계단계, 구매 및 조달단계, 시공 및 시운전단계로 구분하여 각각의 단계별로 사업관리 요소의 세부항목을 선정하였다.

선정된 각 단계별 사업관리요소는 다음과 같다.

<표 2-8> LNG 플랜트 건설사업관리 요소

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
사업관리	정의	프로젝트 사업조직을 구성하고 사업의 계획 및 관리방법, 사업의 수행절차를 구성하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	프로젝트 수행을 위한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무의 관리를 위해 필요한 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 시운전을 위해 필요한 시공절차 및 계약 내용에 따라 착공에서부터 프로젝트 준공 및 유지관리 단계까지 원활한 프로젝트 수행을 위해 필요한 업무 및 업무절차
	세부항목	①프로젝트 조직구성 ②프로젝트 계약관리 ③문서관리체계 수립 ④기록관리체계 수립 ⑤프로젝트 목표관리 ⑥프로젝트 정보교환체계 수립 ⑦인허가 계획수립 및 수행관리	①구매조달 절차 수립 ②자재 구매계획 수립 ③자재 관리책임자 선정 ④자재 모니터링 업무 ⑤자재시험 및 운송관리계획 수립 ⑥Spare part 공급계획 수립 ⑦Specal tool 공급계획 수립	①현장사무실 개설 및 착공 ②시공관련회의 ③현장목표관리 ④시공관리정보시스템 운영 ⑤프로젝트 평가 ⑥시공관련 문서 및 자료관리 ⑦시공단계 보고서 작성 및 기록보관 ⑧시운전 및 교육 ⑨준공계획 수립 ⑩준공검사 ⑪사후평가 ⑫기술검토의견서 작성 ⑬시설물 인수, 인계 ⑭건설사업관련문서 인수인계 ⑮유지관리 방침 및 계획 수립 ⑯유지관리 지침서 작성 ⑰프로젝트 완료보고
설계관리	정의	설계계획을 수립하고 설계기준검토, 설계업무절차 수립 및 설계검토회의를 수행하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	내역서 및 자재구매 사양서를 작성하며 자재공급업체 선정과 자재관리에 필요한 업무 및 업무절차	시방서를 작성하고 시공상세도를 검토하며 준공도면 작성 및 관리를 하는데 필요한 업무 및 업무절차
	세부항	①분야간 설계검토회의 ②설계계획 수립 ③설계기준서 작성	①설계구매 내역서 작성 ②자재구매 사양서 작성 ③자재 제작도면/설계서	①시방서 작성 ②시공상세도 검토 ③시공성 검토

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
	목	④설계업무절차 ⑤설계계산서 작성 ⑥설계도서 작성 및 개정관리 ⑦설계검토 ⑧설계시공성 검토 ⑨설계협력업체 수행도 평가	작성 ④자재구매조달 공급업체 선정 ⑤불용 및 잉여자재관리	④설계변경도서 작성 및 관리 ⑤준공도서 작성 및 관리
사업비관리	정의	프로젝트의 원가관리 및 예산편성, 그리고 효율적인 사업비 집행계획을 수립하는데 필요한 업무 및 업무절차	승인된 예산안에서 프로젝트를 완료하기 위해 필요한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무 수행에 필요한 사업비관리 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 유지관리를 위해 필요한 공사비를 계획하고 산정하며 시공 및 시운전 단계의 사업비집행 및 변경에 대한 업무 및 업무절차
	세부항목	①원가관리 ②비용 및 견적관리 ③기성계획 수립 및 관리 ④사업 및 공사비 예산 작성 ⑤선실행예산편성 ⑥본실행예산편성 ⑦공사비 산정 및 예산 편성 ⑧프로젝트 견적 ⑨프로젝트 실행계획 수립	①자재원가 및 실행예산 변경관리 ②자재 대금지급관리	①공사비경향분석 ②기성검사 ③공사비 대안분석 ④실행기성관리 ⑤기성 및 준공금 관리 ⑥준공정산 ⑦현장품질관리비 사용실적관리 ⑧현장안전관리비 사용실적관리 ⑨현장환경관리 사용실적관리 ⑩현장경비 사용실적관리 ⑪공사원가보고서 작성
공정관리	정의	프로젝트의 진행상황을 모니터링하고 평가하기 위해 기준이 되는 프로젝트 공정계획 수립을 위해 필요한 업무 및 업무절차	구매조달단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 시운전을 위해 공사일정 및 공종을 계획하고 변경하는 시공 및 유지관리단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
	세부항목	①프로젝트 일정관리기준 설정 ②프로젝트 공정표작성 및 관리 ③프로젝트 공정계획 검토 ④설계일정관리	①구매조달 일정 수립 ②자재 구매계약 일정관리 ③자재 제작 공정관리 ④자재 지급 공정관리 ⑥핵심자재 Long Lead Item 상세일정 검토	①공종별 세부공정표 검토 ②공종별 세부공정표 운영 ③공종별 시공계획 수립 ④시공 공정관리 및 진도점검 ⑤시공분야별 관리기준 공정표 작성 ⑥공종별 시공관리 ⑦공정만회대책 수립 및 이행 ⑧공사진도 점검 ⑨공사기간 연장 ⑩공정회의 운영
품질관리	정의	계획단계에서 프로젝트가 수행해야 할 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등의 결정에 필요한 업무 및 업무절차	프로젝트 수행에 필요한 건설자재의 품질요구사항을 만족시키기 위해 품질계획, 품질보증, 품질통제 등과 관련된 업무 및 업무절차	시공 및 시운전단계에서의 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등을 결정하며 품질보증 및 품질통제를 위한 업무 및 업무절차
	세부항목	①품질관리계획 및 절차수립 ②품질관리의 목표와 범위 설정 ③품질관리 시방서 작성 및 관리	①자재 품질관리 계획 ②자재 공급원 승인 ③자재 검사 및 입출고 관리 ④자재 상주관리업무 ⑤기자재 납품관리 ⑥기계제작 승인 ⑦자재 부적합품 관리 ⑧자재 검측장비 관리 ⑨자재 공급업체 수행도 및 품질평가 ⑩현장 공급자재관리 ⑪건설자재 검사관리	①품질조정회의 운영 ②품질검사자 자격부여 및 관리 ③현장품질교육 및 훈련 ④시공 품질관리 지침서 검토 ⑤검측 및 시험 ⑥현장기자재 관리 ⑦품질경향분석 및 관리 ⑧부적합사항 시정 및 예방조치 ⑨하자관리 처리 및 기술협력
계	정	프로젝트에 대한 계약/클	프로젝트의 수행에 필요한	공사수행 및 시운전에 대

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
계약/클레임관리	의	레임방법 및 절차선정, 계약/클레임관리 및 식별, 이에 대한 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행등과 관련된 업무 및 업무절차	자재 및 물품에 대한 계약/클레임방법 및 절차선정, 계약/클레임관리에 대한 업무 및 업무절차	한 계약 방법 및 절차선정, 계약관리에 대한 주요 업무와 클레임과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①계약방법 결정 ②입찰 및 계약절차 수립 ③입찰공고 및 현장설명 ④계약관리 ⑤계약변경 ⑥설계자 선정 ⑦설계용역계약 ⑧설계용역관리	①구매계약 ②구매계약 사후관리 ③자재 공급업체 부도관리 및 후속조치 ④물품구매(소액구매) ⑤물품구매(수의계약) ⑥물품구매(입찰)	①공사중지명령 ②계약이행 지체대응 ③클레임 대책 ④클레임 관리(일반) ⑤클레임 관리(공사비) ⑥공사관련 협력업체계약 ⑦물가변동에 따른 계약금액 조정 ⑧설계변동에 따른 계약금액 조정 ⑨시공단계 설계변경 검토 및 관리
안전관리	정의	프로젝트 수행 전반에 대한 안전관리계획, 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차	프로젝트에 관련된 구매조달 과정에서의 안전관리계획에 맞는 안전관리 이행과 관련된 업무 및 업무절차	시공 및 시운전과정에서의 안전관리활동과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①안전관리계획 및 규정 수립 ②안전요구사항 및 지침 작성 ③잠재적 위험요소 검토 ④안전관리비 책정	①구매조달 안전관리비 책정 ②구매조달관련 안전요구사항 및 지침 작성	①건설현장 안전조직체계 검토 ②현장안전점검 ③무재해운동추진 ④안전관리 이행감독 ⑤안전조정회의 운영 ⑥안전교육훈련 ⑦안전관리 문서관리 ⑧안전관리자 배치 ⑨안전보건회의

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
				⑩안전장구 및 시설물 관리 ⑪안전진단 및 정기점검 ⑫안전활동 및 모니터링 ⑬안전감사
환경관리	정의	프로젝트 계획 및 설계단계에서의 환경관리계획 및 이행과 관련된 업무 및 업무절차	구매조달 품목에 대한 환경영향 검토 등과 관련된 업무 및 업무절차	시공단계에서의 환경관리 수행 및 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①환경관리 기본계획 수립 ②잠재적 환경위험요소 파악 및 결정 ③환경영향평가 ④교통, 재해 영향평가 ⑤환경영향평가 협의 이행	①구매조달 품목 환경영향 검토 ②환경관련 물품 구매·조달관리	①환경조직체계 검토 ②환경관리계획 시행감독 ③환경관리 문서관리 ④친환경 활동관리 ⑤환경교육 ⑥환경비상사태계획 및 훈련 ⑦환경오염 측정 및 모니터링 ⑧비산먼지관리 ⑨소음 및 진동관리 ⑩수질관리 ⑪오수처리관리 ⑫지하수관리 ⑬폐기물 관리 ⑭환경클레임 분석 및 대응 ⑮환경민원관리
리스크관	정의	계획 및 설계단계에서 발생 이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각	구매 및 조달단계에서 발생이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리	시공단계에서 발생이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
리		리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차
	세부항목	①기본설계 리스크관리 ②기계 및 설비설계 리스크관리 ③배관설계 리스크관리 ④전기설계 리스크관리 ⑤건축설계 리스크관리 ⑥토목설계 리스크관리	①공급자선정지연, 원자재 가격 상승 등에 대한 리스크관리 ②핵심기자재 납기지연, 재하청에 따른 품질저하 등의 리스크관리 ③운송지연, 운송과정 중 기자재 손상 등의 리스크관리 ④현장 기자재 성능 부적합, 기자재 불량 등의 리스크관리 ⑤인터페이스 관리	①노무인력 리스크관리 ②공사대금지급 리스크관리 ③공기관리 장애요인 리스크관리 ④시공안전 장애요인 리스크관리 ⑤시운전 결험요인 관리 ⑥협력업체 리스크 관리

(4) LNG 가스플랜트 공정 및 사업관리 의사결정 항목 정의

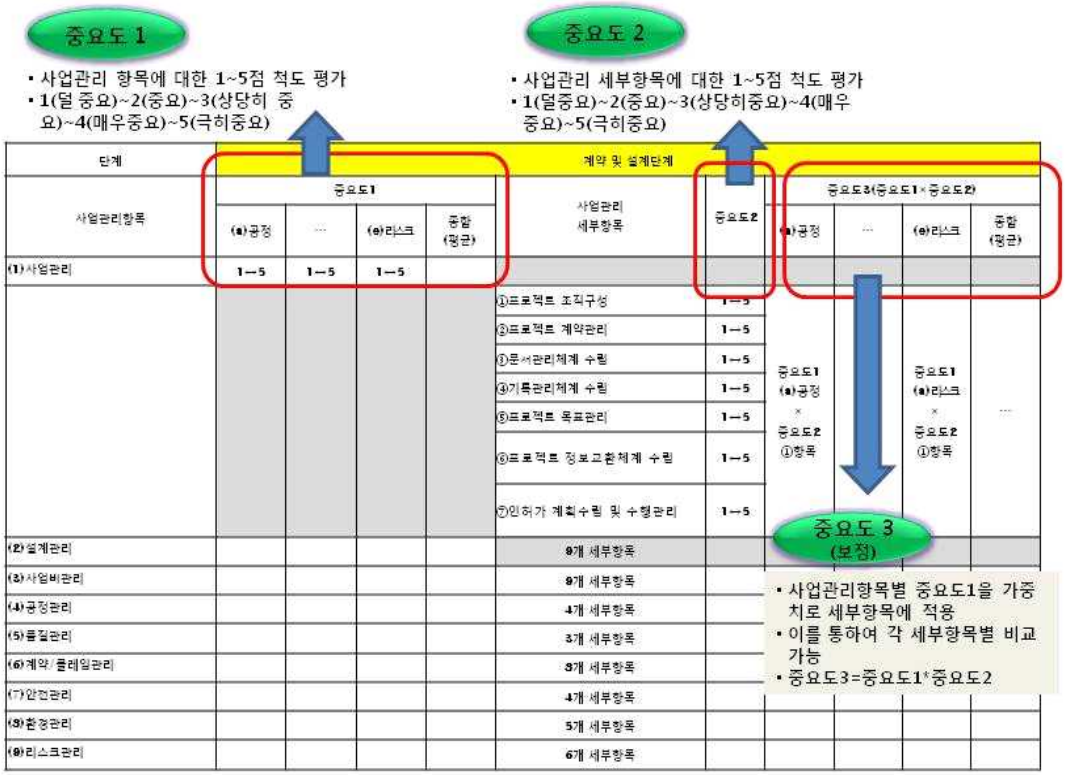
LNG 플랜트 사업관리에 대한 위험기반의 의사결정을 지원체계를 갖추기 위해서는 앞서 선정한 LNG 플랜트 사업관리업무 항목에 대한 중요도 평가를 통하여 의사결정을 하는데 있어서 우선 고려해야할 사업관리 항목을 도출하는 것이 필요하다. 이를 통하여 도출된 사업관리 항목에 대해서 우선 고려해야 할 의사결정 항목으로 정의하고자 하며, 이를 대상으로 의사결정 방법을 결정하고자 한다. 또한 차년도 연구수행 시 각 EPC 단계별로 의사결정 대상 중요항목으로 선정된 사업관리 항목에 대해서 세부업무에 대한 정의와 관련 리스크를 분석하고 이를 기반으로 한 의사결정 지원모듈을 제공하고자 한다.

이러한 중요도를 평가하기 위한 방법으로 LNG 플랜트 사업관리 항목별로 1~5점 척도로 중요도를 평가하고 각 사업관리 세부항목에 대해서도 1~5점의 중요도를 평가하여 이를 종합한 중요도 평가방법을 택하였다. 이때 프로젝트에 영향을 미치는 공정, 품질, 안전, 사업비, 리스크 요소 등의 영향요인에 대하여 사업관리업무별로 미치는 영향 정도를 중요도로 결정하고 이를 사업관리 세부업무별 중요도 평가시

가중치로써 활용하고자 하는 것이다. 즉, 사업관리 항목별 중요도를 가중치로 활용하고 각각의 세부항목에 대한 중요도의 비중과 곱하여 이를 최종 중요도로 결정하는 것이다.

이는 향후 LNG 플랜트의 프로젝트 성격에 따라서 지배적으로 작용하는 영향요인이 발생 할 경우 이를 우선 고려함으로써 리스크를 기반으로 한 의사결정에 활용하고자 함이다.

다음은 이러한 방법론을 정리하여 도식화 한 것이다.



<그림 2-10> 의사결정항목 정의 도출방법

관련분야 전문가 12인을 대상으로 조사를 실시하였으며 각각의 중요도 값은 각 전문가들이 1~5점 척도로 평가한 점수를 평균한 값이다.

우선, 9개의 사업관리항목에 대해 1)계약 및 설계단계, 2)구매 및 조달단계, 3) 시공 및 시운전단계에 따라 각각의 중요도를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2-9> 사업관리항목별 중요도 조사결과 : 계약 및 설계단계

구분	정의	중요도1					종합
		공정	품질	사업비	안전	리스크	
(1) 사업관리	프로젝트 사업조직을 구성하고 사업의 계획 및 관리방법, 사업의 수행절차를 구성하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	4.2	2.8	4.6	2.2	4.2	3.60
(2) 설계관리	설계계획을 수립하고 설계기준검토, 설계업무절차 수립 및 설계검토회의를 수행하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	4.2	3.6	4.0	2.4	3.4	3.53
(3) 사업비관리	프로젝트의 원가관리 및 예산편성, 그리고 효율적인 사업비 집행계획을 수립하는데 필요한 업무 및 업무절차	3.6	2.8	4.8	2.2	3.9	3.44
(4) 공정관리	프로젝트의 진행상황을 모니터링하고 평가하기 위해 기준이 되는 프로젝트 공정계획 수립을 위해 필요한 업무 및 업무절차	4.8	3.2	3.7	2.2	3.4	3.47
(5) 품질관리	계획단계에서 프로젝트가 수행해야 할 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등의 결정에 필요한 업무 및 업무절차	3.0	4.6	3.2	2.3	3.1	3.24
(6) 계약/클레임관리	프로젝트에 대한 계약/클레임방법 및 절차선정, 계약/클레임관리 및 식별, 이에 대한 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행등과 관련된 업무 및 업무절차	3.2	2.7	4.1	2.6	4.2	3.36
(7) 안전관리	프로젝트 수행 전반에 대한 안전관리 계획, 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차	2.2	2.4	3.0	4.7	3.2	3.11
(8) 환경관리	프로젝트 계획 및 설계단계에서의 환경관리계획 및 이행과 관련된 업무 및 업무절차	2.3	2.7	2.9	2.9	3.3	2.82
(9) 리스크관리	계획 및 설계단계에서 발생 이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	3.6	2.8	3.9	2.8	4.8	3.56

<표 2-10> 사업관리항목별 중요도 조사결과 : 구매 및 조달단계

구분	정의	중요도1					종합
		공정	품질	사업비	안전	리스크	
(1) 사업관리	프로젝트 수행을 위한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무의 관리를 위해 필요한 업무 및 업무절차	4.1	3.1	4.1	2.1	3.6	3.40
(2) 설계관리	내역서 및 자재구매 사양서를 작성하며 자재공급업체 선정과 자재관리에 필요한 업무 및 업무절차	3.9	3.9	3.7	2.2	2.9	3.31
(3) 사업비관리	승인된 예산안에서 프로젝트를 완료하기 위해 필요한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무 수행에 필요한 사업비관리 업무 및 업무절차	3.6	2.9	4.6	2.1	3.4	3.31
(4) 공정관리	구매조달단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차	4.7	3.4	3.6	2.0	2.8	3.29
(5) 품질관리	프로젝트 수행에 필요한 건설자재의 품질요구사항을 만족시키기 위해 품질계획, 품질보증, 품질통제 등과 관련된 업무 및 업무절차	3.1	4.3	3.3	2.1	2.9	3.16
(6) 계약/클레임관리	프로젝트의 수행에 필요한 자재 및 물품에 대한 계약/클레임방법 및 절차 선정, 계약/클레임관리에 대한 업무 및 업무절차	3.4	2.9	4.4	2.2	4.0	3.40
(7) 안전관리	프로젝트에 관련된 구매조달 과정에서의 안전관리 계획에 맞는 안전관리 이행과 관련된 업무 및 업무절차	2.4	2.9	3.2	3.3	3.1	3.00
(8) 환경관리	구매조달 품목에 대한 환경영향 검토 등과 관련된 업무 및 업무절차	2.3	2.2	2.9	2.8	2.8	2.60
(9) 리스크관리	구매 및 조달단계에서 발생이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	3.2	2.9	4.1	2.3	4.2	3.36

<표 2-11> 사업관리항목별 중요도 조사결과 : 시공 및 시운전단계

구분	정의	중요도1					종합
		공정	품질	사업비	안전	리스크	
(1) 사업관리	효율적인 시공 및 시운전을 위해 필요한 시공절차 및 계약 내용에 따라 착공에서부터 프로젝트 준공 및 유지관리 단계까지 원활한 프로젝트 수행을 위해 필요한 업무 및 업무절차	4.3	3.4	4.9	3.0	3.7	3.87
(2) 설계관리	시방서를 작성하고 시공상세도를 검토하며 준공도면 작성 및 관리를 하는데 필요한 업무 및 업무절차	3.9	4.0	3.8	2.9	3.1	3.53
(3) 사업비관리	효율적인 시공 및 유지관리를 위해 필요한 공사비를 계획하고 산정하며 시공 및 시운전 단계의 사업비집행 및 변경에 대한 업무 및 업무절차	3.9	3.3	4.7	3.0	3.7	3.71
(4) 공정관리	효율적인 시공 및 시운전을 위해 공사일정 및 공종을 계획하고 변경하는 시공 및 유지관리단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차	5.0	3.4	3.8	2.9	3.9	3.80
(5) 품질관리	시공 및 시운전단계에서의 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등을 결정하며 품질보증 및 품질통제를 위한 업무 및 업무절차	3.3	4.9	3.4	2.6	2.9	3.42
(6) 계약/클레임관리	공사수행 및 시운전에 대한 계약 방법 및 절차선정, 계약관리에 대한 주요 업무와 클레임과 관련된 업무 및 업무절차	3.9	3.1	4.3	2.8	4.3	3.69
(7) 안전관리	시공 및 시운전과정에서의 안전관리 활동과 관련된 업무 및 업무절차	2.8	2.6	2.9	4.9	3.7	3.36
(8) 환경관리	시공단계에서의 환경관리 수행 및 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차	2.8	2.4	3.1	3.3	3.0	2.93
(9) 리스크관리	시공단계에서 발생이 예상 되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	4.0	3.2	3.9	3.0	4.8	3.78

조사결과 계약 및 설계단계에서는 사업관리, 리스크관리, 설계관리 업무 순으로, 구매 및 조달단계에서는 사업관리, 계약 및 클레임관리, 리스크관리 업무 순으로, 시공 및 시운전단계에서는 사업관리, 공정관리, 리스크관리 업무 순으로 중요도가 높은 것으로 조사되었으며 생애주기 전반에 걸쳐 환경관리업무가 상대적으로 중요도가 낮게 평가되었다.

상기와 같이 생애주기별 각 사업관리항목에 대하여 영향을 미치는 5가지 요소에

대한 각각의 중요도를 평가하고, 이를 평균하여 종합적인 중요도를 도출하였다. 이렇게 도출된 중요도를 중요도 1로 구분하여, 각 사업관리 세부항목별로 도출될 중요도2에 비중으로써 역할을 하는 것이다. 또한 세부항목별로 공정측면, 품질측면, 사업비측면, 안전측면, 리스크측면의 영향요인에 따른 중요도를 확인할 경우 각각의 중요도1에 대한 영향요인들을 비중으로 사용하면 된다.

다음은 생애주기별로 상기 9가지의 사업관리항목에 대한 세부항목별 중요도2의 조사결과이다.

<표 2-12> 사업관리 세부항목별 중요도 조사결과 : 계약 및 설계단계

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
(1) 사업관리	①프로젝트 조직구성	4.3	18.3	12.0	19.7	9.6	18.3	15.6
	②프로젝트 계약관리	4.4	18.8	12.3	20.2	9.9	18.8	16.0
	③문서관리체계 수립	3.2	13.6	9.0	14.7	7.2	13.6	11.6
	④기록관리체계 수립	3.0	12.7	8.3	13.7	6.7	12.7	10.8
	⑤프로젝트 목표관리	3.9	16.4	10.8	17.7	8.6	16.4	14.0
	⑥프로젝트 정보교환체계 수립	3.0	12.7	8.3	13.7	6.7	12.7	10.8
	⑦인허가 계획수립 및 수행관리	3.0	12.7	8.3	13.7	6.7	12.7	10.8
(2) 설계관리	①분야간 설계검토회의	3.9	16.4	13.8	15.6	9.5	13.4	13.7
	②설계계획 수립	4.1	17.4	14.6	16.4	10.0	14.2	14.5
	③설계기준서 작성	3.8	16.0	13.4	15.1	9.2	13.0	13.3
	④설계업무절차	3.2	13.6	11.5	12.9	7.9	11.1	11.4
	⑤설계계산서 작성	3.8	16.0	13.4	15.1	9.2	13.0	13.3
	⑥설계도서 작성 및 개정관리	3.3	14.1	11.9	13.3	8.1	11.5	11.8
	⑦설계검토	4.0	16.9	14.2	16.0	9.8	13.8	14.1
	⑧설계시공성 검토	3.3	14.1	11.9	13.3	8.1	11.5	11.8
	⑨설계협력업체 수행도 평가	2.9	12.2	10.3	11.6	7.1	10.0	10.2
(3) 사업비 관리	①원가관리	4.4	15.8	12.3	21.2	9.9	17.3	15.3
	②비용 및 견적관리	3.3	11.9	9.3	15.9	7.4	13.0	11.5
	③기성계획 수립 및 관리	3.6	12.6	9.9	17.0	7.9	13.8	12.2
	④사업 및 공사비 예산 작성	4.3	15.4	12.0	20.7	9.6	16.9	14.9
	⑤선실행예산편성	3.7	13.0	10.2	17.5	8.1	14.3	12.6
	⑥본실행예산편성	3.9	13.8	10.8	18.6	8.6	15.1	13.4
	⑦공사비 산정 및 예산 편성	4.0	14.2	11.1	19.1	8.9	15.6	13.8
	⑧프로젝트 견적	3.9	13.8	10.8	18.6	8.6	15.1	13.4

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
	⑨프로젝트 실행계획 수립	3.8	13.4	10.5	18.0	8.4	14.7	13.0
(4) 공정관리	①프로젝트 일정관리기준 설정	4.0	19.1	12.9	14.7	8.9	13.8	13.9
	②프로젝트 공정표작성 및 관리	4.3	20.7	14.0	15.9	9.6	14.9	15.0
	③프로젝트 공정계획 검토	3.8	18.0	12.2	13.9	8.4	13.0	13.1
	④설계일정관리	3.4	16.5	11.1	12.6	7.7	11.9	11.9
(5) 품질관리	①품질관리계획 및 절차수립	4.0	12.0	18.2	12.9	9.3	12.4	13.0
	②품질관리의 목표와 범위설정	3.4	10.3	15.7	11.1	8.0	10.7	11.2
	③품질관리 시방서 작성 및 관리	3.8	11.3	17.2	12.2	8.8	11.8	12.3
(6) 계약/클레임관리	①계약방법 결정	4.0	12.9	10.7	16.4	10.2	16.9	13.4
	②입찰 및 계약절차 수립	3.2	10.4	8.6	13.2	8.2	13.6	10.8
	③입찰공고 및 현장설명	3.0	9.7	8.0	12.3	7.7	12.7	10.1
	④계약관리	4.1	13.2	11.0	16.9	10.5	17.4	13.8
	⑤계약변경	3.8	12.2	10.1	15.5	9.7	16.0	12.7
	⑥설계자 선정	3.8	12.2	10.1	15.5	9.7	16.0	12.7
	⑦설계용역계약	3.4	11.1	9.2	14.2	8.8	14.5	11.6
	⑧설계용역관리	2.9	9.3	7.7	11.9	7.4	12.2	9.7
(7) 안전관리	①안전관리계획 및 규정 수립	4.0	8.9	9.8	12.0	18.7	12.9	12.4
	②안전요구사항 및 지침 작성	4.0	8.9	9.8	12.0	18.7	12.9	12.4
	③잠재적 위험요소 검토	3.7	8.1	9.0	11.0	17.1	11.8	11.4
	④안전관리비 책정	2.9	6.4	7.1	8.7	13.5	9.3	9.0
(8) 환경관리	①환경관리 기본계획 수립	3.8	8.8	10.1	10.9	10.9	12.6	10.7
	②잠재적 환경위험요소 파악 및 결정	3.8	8.8	10.1	10.9	10.9	12.6	10.7
	③환경영향평가	3.6	8.3	9.5	10.3	10.3	11.9	10.0
	④교통, 재해 영향평가	3.3	7.8	8.9	9.6	9.6	11.1	9.4
	⑤환경영향평가 협의 이행	3.6	8.3	9.5	10.3	10.3	11.9	10.0
(9) 리스크 관리	①기본설계 리스크관리	4.1	14.6	11.4	16.0	11.4	19.6	14.6
	②기계 및 설비설계 리스크관리	4.0	14.2	11.1	15.6	11.1	19.1	14.2
	③배관설계 리스크관리	3.8	13.4	10.5	14.7	10.5	18.0	13.4
	④전기설계 리스크관리	3.6	12.6	9.9	13.8	9.9	17.0	12.6
	⑤건축설계 리스크관리	3.6	12.6	9.9	13.8	9.9	17.0	12.6
	⑥토목설계 리스크관리	3.8	13.4	10.5	14.7	10.5	18.0	13.4

<표 2-13> 사업관리 세부항목별 중요도 조사결과 : 구매 및 조달단계

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
(1) 사업관리	①구매조달 절차 수립	3.9	16.0	12.1	16.0	8.2	13.8	13.2
	②자재 구매계획 수립	4.4	18.3	13.8	18.3	9.4	15.8	15.1
	③자재 관리책임자 선정	3.6	14.6	11.1	14.6	7.5	12.6	12.1
	④자재 모니터링 업무	4.0	16.4	12.4	16.4	8.4	14.2	13.6
	⑤자재시험 및 운송관리계획수립	3.3	13.7	10.4	13.7	7.0	11.9	11.3
	⑥Spare part 공급계획 수립	3.1	12.8	9.7	12.8	6.6	11.1	10.6
	⑦Specal tool 공급계획 수립	3.0	12.3	9.3	12.3	6.3	10.7	10.2
(2) 설계관리	①설계구매 내역서 작성	3.6	13.8	13.8	13.0	7.9	10.3	11.8
	②자재구매 사양서 작성	4.4	17.3	17.3	16.3	9.9	12.8	14.7
	③자재 제작도면/설계서 작성	3.8	14.7	14.7	13.9	8.4	10.9	12.5
	④자재구매조달 공급업체선정	4.0	15.6	15.6	14.7	8.9	11.6	13.2
	⑤불용 및 잉여자재관리	3.1	12.1	12.1	11.4	6.9	9.0	10.3
(3) 사업비관리	①자재원가 및 실행예산 변경관리	4.2	15.0	12.2	19.2	8.9	14.5	14.0
	②자재 대금지급관리	3.4	12.2	10.0	15.7	7.3	11.9	11.4
(4) 공정관리	①구매조달 일정 수립	4.3	15.4	12.5	19.7	9.1	14.9	14.3
	②자재 구매계약 일정관리	3.7	13.0	10.6	16.7	7.7	12.6	12.1
	③자재 제작 공정관리	4.2	15.0	12.2	19.2	8.9	14.5	14.0
	④자재 지급 공정관리	4.0	14.2	11.6	18.2	8.4	13.8	13.2
	⑥핵심자재 Long Lead Item 상세일정 검토	4.2	15.0	12.2	19.2	8.9	14.5	14.0
(5) 품질관리	①자재 품질관리 계획	4.0	12.4	17.3	13.3	8.4	11.6	12.6
	②자재 공급원 승인	3.0	9.3	13.0	10.0	6.3	8.7	9.5
	③자재 검사 및 입출고 관리	3.7	11.4	15.9	12.2	7.7	10.6	11.6
	④자재 상주관리업무	2.9	9.0	12.5	9.6	6.1	8.3	9.1
	⑤기자재 납품관리	3.4	10.7	14.9	11.5	7.3	10.0	10.9
	⑥기계제작 승인	3.6	11.1	15.4	11.9	7.5	10.3	11.2
	⑦자재 부적합품 관리	3.6	11.1	15.4	11.9	7.5	10.3	11.2
	⑧자재 검측장비 관리	2.9	9.0	12.5	9.6	6.1	8.3	9.1
	⑨자재 공급업체 수행도 및 품질평가	3.1	9.7	13.5	10.4	6.6	9.0	9.8
	⑩현장 공급자재관리	3.9	12.1	16.9	13.0	8.2	11.2	12.3
	⑪건설자재 검사관리	3.2	10.0	14.0	10.7	6.8	9.3	10.2
(6) 계약/클	①구매계약	4.4	15.3	12.8	19.8	9.9	17.8	15.1
	②구매계약 사후관리	3.9	13.4	11.2	17.3	8.6	15.6	13.2
	③자재 공급업체 부도관리 및	3.8	13.0	10.9	16.8	8.4	15.1	12.8

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
레임관리	후속조치							
	④물품구매(소액구매)	2.7	9.2	7.7	11.9	5.9	10.7	9.1
	⑤물품구매(수의계약)	3.1	10.7	9.0	13.8	6.9	12.4	10.6
	⑥물품구매(입찰)	3.7	12.6	10.6	16.3	8.1	14.7	12.5
(7) 안전관리	①구매조달 안전관리비 책정	3.0	7.3	8.7	9.7	10.0	9.3	9.0
	②구매조달관련 안전요구사항 및 지침 작성	3.3	8.1	9.6	10.7	11.1	10.4	10.0
(8) 환경관리	①구매조달 품목 환경영향 검토	3.1	7.6	9.0	10.0	10.4	9.7	9.3
	②환경관련 물품 구매·조달관리	2.8	6.8	8.0	9.0	9.3	8.6	8.3
(9) 리스크 관리	①공급자선정지연, 원자재가격 상승 등에 대한 리스크관리	4.4	14.3	12.8	18.3	10.4	18.8	14.9
	②핵심기자재 납기지연, 재하청에 따른 품질저하 등의 리스크관리	4.6	14.7	13.2	18.7	10.6	19.2	15.3
	③운송지연, 운송과정 중 기자재 손상 등의 리스크관리	4.1	13.2	11.9	16.9	9.6	17.4	13.8
	④현장 기자재 성능 부적합, 기자재 불량 등의 리스크관리	4.2	13.6	12.2	17.4	9.9	17.8	14.2
	⑤인터페이스 관리	3.9	12.5	11.2	16.0	9.1	16.4	13.0

<표 2-14> 사업관리 세부항목별 중요도 조사결과 : 시공 및 시운전단계

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
(1) 사업관리	①현장사무실 개설 및 착공	3.4	14.9	11.9	16.8	10.3	12.6	13.3
	②시공관련회의	3.2	14.0	11.1	15.8	9.7	11.8	12.5
	③현장목표관리	4.0	17.3	13.8	19.6	12.0	14.7	15.5
	④시공관리정보시스템 운영	3.7	15.9	12.6	17.9	11.0	13.4	14.2
	⑤프로젝트 평가	3.1	13.5	10.7	15.2	9.3	11.4	12.0
	⑥시공관련 문서 및 자료관리	3.6	15.4	12.2	17.4	10.7	13.0	13.7
	⑦시공단계 보고서 작성 및 기록보관	3.2	14.0	11.1	15.8	9.7	11.8	12.5
	⑧시운전 및 교육	4.0	17.3	13.8	19.6	12.0	14.7	15.5
	⑨준공계획 수립	3.7	15.9	12.6	17.9	11.0	13.4	14.2
	⑩준공검사	3.4	14.9	11.9	16.8	10.3	12.6	13.3
	⑪사후평가	3.1	13.5	10.7	15.2	9.3	11.4	12.0
	⑫기술검토의견서 작성	3.6	15.4	12.2	17.4	10.7	13.0	13.7

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
	⑬시설물 인수, 인계	3.6	15.4	12.2	17.4	10.7	13.0	13.7
	⑭건설사업관련문서 인수 인계	3.2	14.0	11.1	15.8	9.7	11.8	12.5
	⑮유지관리 방침 및 계획 수립	3.3	14.4	11.5	16.3	10.0	12.2	12.9
	① 6유지관리 지침서 작성	3.3	14.4	11.5	16.3	10.0	12.2	12.9
	① 7프로젝트 완료보고	3.3	14.4	11.5	16.3	10.0	12.2	12.9
(2) 설계관리	①시방서 작성	3.7	14.3	14.7	13.9	10.6	11.4	13.0
	②시공상세도 검토	3.8	14.7	15.1	14.3	10.9	11.8	13.3
	③시공성 검토	3.9	15.1	15.6	14.7	11.2	12.1	13.7
	④설계변경도서 작성 및 관리	4.0	15.6	16.0	15.1	11.6	12.4	14.1
	⑤준공도서 작성 및 관리	3.8	14.7	15.1	14.3	10.9	11.8	13.3
(3) 사업비 관리	①공사비경향분석	3.6	13.8	11.9	16.6	10.7	13.0	13.2
	②기성검사	3.6	13.8	11.9	16.6	10.7	13.0	13.2
	③공사비 대안분석	3.7	14.3	12.2	17.1	11.0	13.4	13.6
	④실행기성관리	4.3	16.9	14.4	20.2	13.0	15.9	16.1
	⑤기성 및 준공금 관리	4.2	16.4	14.1	19.7	12.7	15.5	15.7
	⑥준공정산	4.2	16.4	14.1	19.7	12.7	15.5	15.7
	⑦현장품질관리비 사용실적관리	3.2	12.5	10.7	15.0	9.7	11.8	12.0
	⑧현장안전관리비 사용실적관리	3.2	12.5	10.7	15.0	9.7	11.8	12.0
	⑨현장환경관리 사용실적관리	3.0	11.7	10.0	14.0	9.0	11.0	11.1
	⑩현장경비 사용실적관리	3.1	12.1	10.4	14.5	9.3	11.4	11.5
	⑪공사원가보고서 작성	4.0	15.6	13.3	18.7	12.0	14.7	14.8
(4) 공정관리	①공종별 세부공정표 검토	4.1	20.6	14.2	15.5	11.9	16.0	15.6
	②공종별 세부공정표 운영	4.2	21.1	14.5	16.0	12.2	16.4	16.0
	③공종별 시공계획 수립	4.2	21.1	14.5	16.0	12.2	16.4	16.0
	④시공 공정관리 및 진도점검	4.2	21.1	14.5	16.0	12.2	16.4	16.0
	⑤시공분야별 관리기준 공정표 작성	3.9	19.4	13.4	14.7	11.2	15.1	14.8
	⑥공종별 시공관리	3.6	17.8	12.2	13.4	10.3	13.8	13.5
	⑦공정만회대책 수립 및 이행	4.1	20.6	14.2	15.5	11.9	16.0	15.6
	⑧공사진도 점검	3.8	18.9	13.0	14.3	10.9	14.7	14.4
	⑨공사기간 연장	3.4	17.2	11.9	13.0	10.0	13.4	13.1
	⑩공정회의 운영	3.0	15.0	10.3	11.3	8.7	11.7	11.4
(5)	①품질조정회의 운영	3.4	11.5	16.8	11.9	8.8	10.0	11.8

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
품질관리	②품질검사자 자격부여 및 관리	3.2	10.7	15.8	11.1	8.2	9.3	11.0
	③현장품질교육 및 훈련	3.4	11.5	16.8	11.9	8.8	10.0	11.8
	④시공 품질관리 지침서 검토	3.7	12.2	17.9	12.6	9.4	10.6	12.5
	⑤검측 및 시험	3.7	12.2	17.9	12.6	9.4	10.6	12.5
	⑥현장기자재 관리	3.4	11.5	16.8	11.9	8.8	10.0	11.8
	⑦품질경향분석 및 관리	3.3	11.1	16.3	11.5	8.5	9.6	11.4
	⑧부적합사항 시정 및 예방조치	4.1	13.7	20.1	14.2	10.5	11.9	14.1
	⑨하자관리 처리 및 기술협력	3.9	13.0	19.0	13.4	9.9	11.2	13.3
(6) 계약/클레임관리	①공사중지명령	3.6	13.8	11.1	15.4	9.9	15.4	13.1
	②계약이행 지체대응	3.6	13.8	11.1	15.4	9.9	15.4	13.1
	③클레임 대책	4.1	16.0	12.8	17.8	11.4	17.8	15.2
	④클레임 관리(일반)	3.7	14.3	11.4	15.9	10.2	15.9	13.5
	⑤클레임 관리(공사비)	4.2	16.4	13.1	18.3	11.7	18.3	15.6
	⑥공사관련 협력업체계약	3.7	14.3	11.4	15.9	10.2	15.9	13.5
	⑦물가변동에 따른 계약금액 조정	4.0	15.6	12.4	17.3	11.1	17.3	14.8
	⑧설계변동에 따른 계약금액 조정	4.2	16.4	13.1	18.3	11.7	18.3	15.6
	⑨시공단계 설계변경 검토 및 관리	4.0	15.6	12.4	17.3	11.1	17.3	14.8
(7) 안전관리	①건설현장 안전조직체계 검토	3.8	10.5	9.7	10.9	18.5	13.9	12.7
	②현장안전점검	4.4	12.3	11.4	12.8	21.7	16.3	14.9
	③무재해운동추진	3.7	10.2	9.4	10.6	17.9	13.4	12.3
	④안전관리 이행감독	4.0	11.1	10.2	11.6	19.6	14.7	13.4
	⑤안전조정회의 운영	3.6	9.9	9.1	10.3	17.4	13.0	11.9
	⑥안전교육훈련	4.0	11.1	10.2	11.6	19.6	14.7	13.4
	⑦안전관리 문서관리	3.3	9.3	8.5	9.6	16.3	12.2	11.2
	⑧안전관리자 배치	4.4	12.3	11.4	12.8	21.7	16.3	14.9
	⑨안전보건회의	3.6	9.9	9.1	10.3	17.4	13.0	11.9
	⑩안전장구 및 시설물 관리	3.7	10.2	9.4	10.6	17.9	13.4	12.3
	⑪안전진단 및 정기점검	3.9	10.8	9.9	11.2	19.0	14.3	13.0
	⑫안전활동 및 모니터링	4.2	11.7	10.8	12.2	20.6	15.5	14.2
	⑬안전감사	3.7	10.2	9.4	10.6	17.9	13.4	12.3
(8)	①환경조직체계 검토	3.3	9.3	8.1	10.4	11.1	10.0	9.8

사업관리 항목	세부항목	중요도 2	중요도3(중요도1*중요도2)					
			공정	품질	사업비	안전	리스크	종합
환경관리	②환경관리계획 시행감독	3.7	10.2	9.0	11.4	12.2	11.0	10.8
	③환경관리 문서관리	2.9	8.0	7.1	9.0	9.6	8.7	8.5
	④친환경 활동관리	3.2	9.0	7.9	10.0	10.7	9.7	9.5
	⑤환경교육	3.1	8.6	7.6	9.7	10.4	9.3	9.1
	⑥환경비상사태계획 및 훈련	3.1	8.6	7.6	9.7	10.4	9.3	9.1
	⑦환경오염 측정 및 모니터링	3.6	9.9	8.7	11.1	11.9	10.7	10.4
	⑧비산먼지관리	4.1	11.4	10.0	12.8	13.7	12.3	12.1
	⑨소음 및 진동관리	4.1	11.4	10.0	12.8	13.7	12.3	12.1
	⑩수질관리	3.9	10.8	9.5	12.1	13.0	11.7	11.4
	⑪오수처리관리	3.9	10.8	9.5	12.1	13.0	11.7	11.4
	⑫지하수관리	3.3	9.3	8.1	10.4	11.1	10.0	9.8
	⑬폐기물 관리	4.2	11.7	10.3	13.1	14.1	12.7	12.4
	⑭환경클레임 분석 및 대응	3.9	10.8	9.5	12.1	13.0	11.7	11.4
	⑮환경민원관리	4.6	12.7	11.1	14.2	15.2	13.7	13.4
(9) 리스크관리	①노무인력 리스크관리	3.9	15.6	12.5	15.1	11.7	18.6	14.7
	②공사대금지급 리스크관리	4.2	16.9	13.6	16.4	12.7	20.2	16.0
	③공기관리 장애요인 리스크관리	4.3	17.3	14.0	16.9	13.0	20.7	16.4
	④시공안전 장애요인 리스크관리	4.0	16.0	12.9	15.6	12.0	19.1	15.1
	⑤시운전 결험요인 관리	4.0	16.0	12.9	15.6	12.0	19.1	15.1
	⑥협력업체 리스크 관리	3.8	15.1	12.2	14.7	11.3	18.0	14.3

조사결과 상기 생애주기별 사업관리업무 중 중요도가 높게 나타난 사업관리업무를 중심으로 각각의 세부업무에 대한 중요도3의 결과는 다음과 같다.

<표 2-15> 사업관리항목 및 세부항목별 중요도 조사결과

계약 및 설계단계		구매 및 조달단계		시공 및 시운전단계	
사업관리	②프로젝트계약관리	사업관리	②자재구매계획수립	사업관리	①현장목표관리 ⑧시운전 및 교육
설계관리	②설계계획수립	계약/클레임관리	①구매계약	공정관리	②공종별 세부공종표 운영 ③공종별 시공계획 수립 ④시공, 공정관리 및 점검
리스크관리	①기본설계 리스크관리	리스크관리	② 핵심기자재 납기지연, 재하청에 따른 품질저하 등의 리스크관리	리스크관리	③공기관리 장애요인 리스크관리

상기와 같이 LNG 플랜트 생애주기별 사업관리업무의 중요도를 도출하였다. 상기에서 도출된 항목을 중심으로 의사결정을 하는데 있어서 우선 고려해야 할 항목을 도출하였다.

(5) 의사결정방법 현황 파악

의사결정은 바람직한 상태 등 목표를 달성하기 위하여 하나 이상의 대안들 중에서 최적의 해를 선택하는 의식적인 과정이다. 따라서 의사결정은 의사결정자의 이익을 극대화하고 손실을 극소화하는 방향으로 행동한다. 행동의사결정이 어려운 이유는 문제구조의 복잡성, 불확실성, 다양한 선택 기준 등과 함께 평가자의 가치관, 지식 및 경험수준에 따라 다양성을 보이기 때문이다. 일반적인 의사결정의 과정은 다음과 같다.



<그림 2-11> 일반적인 의사결정 프로세스

의사결정을 지원하는 기법은 개인과 집단, 계량 및 비계량, 객관 및 주관 등 다양하게 구분될 수 있으나, 본 연구에서는 정성적 기법과 정량적 기법으로 구분하고자 하였다.

다음은 정성적 기법으로 파악되고 있는 89개 기법과 정량적 기법으로 파악되는 45개 기법을 나타낸 표이다. 정성적 기법으로 대표적인 것은 균형성과지표기법(Balanced Score Card), 브레인스토밍(Brainstorming), 인과관계 다이어그램(Cause-Effect Diagram), 간트차트 및 마일스톤 차트(Gantt & Milestone Chart), 패널합의(Panel Consensus), 델파이기법(Delphi Method) 등이 있다.

<표 2-16> 정성적 의사결정지원기법의 유형

▪ 균형성과지표기법 (Balanced Score Card)	▪ 목표지향기법 (Goal Orientation Analysis)	▪ 가치나무기법 (Value Tree Analysis)	▪ 위험 분석 (Risk Analysis)
▪ 이차원 그리드기법 (Two dimensional grids)	▪ 창의적 평가기법 (Creative Evaluation)	▪ 세분화 메트릭스 (Decomposable Matrices)	▪ 간트 차트 (Gantt Chart)
▪ 델파이 기법 (Delphi Method)	▪ 가정 표면화 기법 (Assumption Surfacing)	▪ 노력/성과표 기법 (Pay-off Matix)	▪ 마일스톤 차트 (Milestone Chart)
▪ 가중치 평가기법 (weighting system)	▪ 명목그룹기법 (Nominal Group Tech)	▪ 유추기법 (Analogy)	▪ 가설 검정 (Hypothesis Testing)
▪ 브레인스토밍 기법 (Brainstorming)	▪ 전자투표기법 (Electronic surfacing)	▪ 다차원 분석 (Dimensional Analysis)	▪ 악마의 옹호자 기법 (Devil's Advocates)
▪ 인지기법 (Appreciation Analysis)	▪ 체크리스트 기법 (Checklist)	▪ 입력/출력 기법 (Input/output Analysis)	▪ (실행)체크리스트 ((implementation) Checklist)
▪ 드릴다운 기법 (Drill Down Analysis)	▪ CM기법 (Consensus Mapping)	▪ 잠재적 문제 분석법 (Potential Problem Analysis)	▪ 그리드 분석 (Grid Analysis)
▪ 인과관계 다이어그램 (Cause-Effect Diagram)	▪ 형태학기법 (Morphology)	▪ 패널동의 기법 (Panel Consensus)	▪ 시나리오 분석 (Scenario Planning)

정량적 분석기법에는 의사결정나무기법(Decision Tree Analysis), 비용/이익 분석(Cost/Benefit Analysis), PERT/CPM, 시뮬레이션 기법, T-검정, AHP기법(Analysis Hierarchy Process), 마코프 분석(Markov Analysis) 등이 있다.

<표 2-17> 정량적 의사결정지원기법의 유형

▪ 의사결정나무기법 (Decision Tree Analysis)	▪ 비용/이익 분석 (Cost/Benefit Analysis)	▪ 계층분석기법(AHP) (Analysis Hierarchy Process),	▪ 마코프 분석 (Markov Analysis)
▪ 파레토기법 (Pareto Analysis)	▪ 비선형 계획법 (Non-linear Programming)	▪ 시계열 분해법 (Time multidimensional scaling)	▪ 민감도 분석 (Sensitive Analysis)
▪ 기술적 분석 기법 (Descriptive Analysis)	▪ 시뮬레이션 기법 (Simulation)	▪ 균등교환기법 (Even Swap)	▪ 게임이론 (Game Theory)
▪ 선형계획법 (linear Programming)	▪ 의사결정 대차대조표 기법 (Decision Balance Sheet)	▪ 네트워크 모형 (Neteork Model)	▪ 판별 분석 (Discrimination Analysis)
▪ 목표계획법 (Goal Programming)	▪ 대기행렬 모형 (Queuing Models)	▪ Gap 분석 (Gap Analysis)	▪ 요인 분석 (Factor Analysis)
▪ 회귀분석 (Regression Analysis)	▪ 정수계획법 (Integer Programming)	▪ 신뢰성 분석 (Reliability Analysis)	▪ 상관분석 (Correlation)
▪ 독립성 검정 (Independence Test)	▪ 이동평균법 (moving average method)	▪ 카이제곱 검정 (Chi-squre test)	▪ 군집분석 (Cluster Analysis)

최근에 많이 활용되는 의사결정기법은 다기준 의사결정기법인 AHP기법과 인공지능(artificial Intelligence)나 퍼지이론을 활용한 기법 등이 있으며, 최근의 경향은 한 기지 기법만 활용하는 것이 아니라 다양한 기법을 혼합하여 각각의 방법간의 장단점을 보완하는 방향으로 움직이고 있다.

다기준 의사결정방법은 다양한 방안들과 기준들을 포괄적으로 분석하여 최적의 의사결정을 지원하는 방법으로 여러개의 대안과 기준을 가지고 있는 문제에 적용하기 적합한 방법이다. 하지만 문제 구성시에 의사결정자의 주관적인 판단이 개입될 여기가 있고 사용되는 기준의 선택에 따라 문제의 해가 변경될 수 있다는 단점이 있다. 다음은 다기준 의사결정기법 중 다속성 효용이론(MAUT), 계층화 분석과정(AHP), PROMETHEE의 세가지 방법을 비교한 것이다.

<표 2-18> 다기준 의사결정기법별 기본가정 및 공리체계 비교

구분	MAUT	AHP	PROMETHEE
선호함수 형태	수학적 함수 형태로 표현	평가자의 주관적 판단에 의존	수학적 함수형태로 표현
가중치 결정방법	사전연구 및 의견수렴을 통하여 평가기준별 가중치 결정	이원비교행렬에 기초하여 아이겐벨류 방법을 이용하여 도출	사전연구 및 의견수렴을 통하여 평가기준별 가중치 결정
비교대안의 평가방법	비교대안별 기대효용 산출	평가자의 주관적 판단에 의존한 이원비교 수행	내부 알고리즘에 의한 수치적 이원비교 수행
평가순위 부여방법	각 대안의 기대효용 값 크기 순서로 결정	평가기준의 가중치와 평가지눈별 선호도의 가중합 크기 순서로 결정	순위선호방법을 이용하여 평가순위 결정
의사결정문제의 계층 구조화	의사결정나무에 의한 문제의 분해 및 구조화	평가기준의 계층구조화	모형에 반영되어 있지 않음

3. 사업관리 의사결정 지원체계 도출

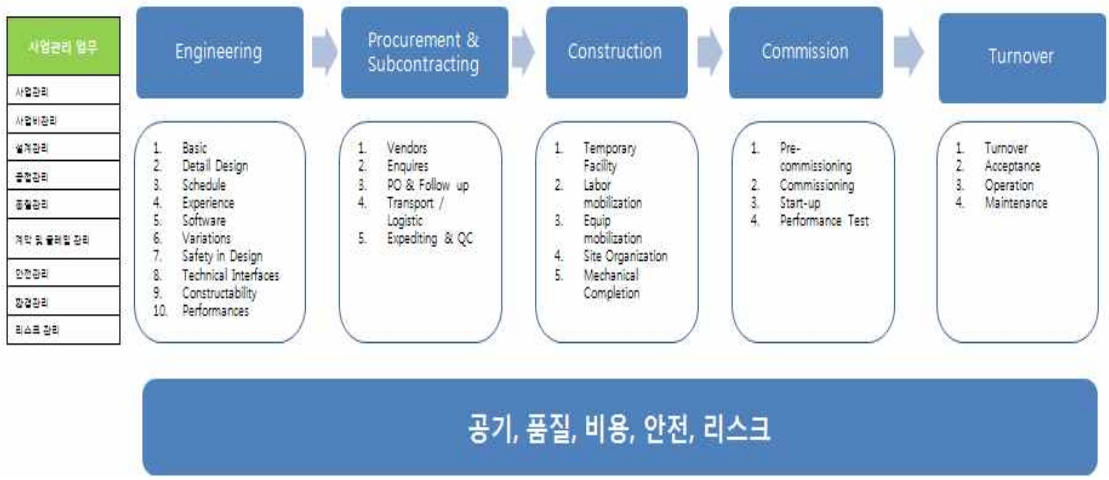
(1) 사업관리 의사결정 지원체계 구축

사전에 의하면, 의사결정지원체계의 정의는 경영자가 자료와 분석모델을 사용하여 비정형적인 문제해결을 할 수 있도록 컴퓨터를 사용하여 만든 체계로 경영정보체계처럼 미리 규정된 원칙에 따라 작동하는 것이 아니라 의사 결정자와의 상호작용을 통해 만족스러운 해결 방안을 찾을 수 있도록 정보를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

의사결정에 유용한 정보를 제공하기 위해서는 보다 분석적이고 다양한 정보가 제공되어야 한다(김락상, 2002). MIS(Management Information System)나 KMS(Knowledge Management System) 등 각종 전산화 시스템이 개발되면서 많은 기업들이 다량의 데이터를 축적할 수 있게 되었지만, 이러한 데이터들이 시스템 내에서 사용되는 것 외에 특별한 부가가치를 창출해내지 못하는 것으로 평가받고 있고, 이에 데이터를 효과적으로 사용하여 의사결정에 유용하게 활용할 수 있는 방안이 모색되어 의사결정지원기술이 필요하게 되었다.(이종국 2004)

특히, LNG 플랜트공사는 현장이 해외에 있고, 토목 및 건축공사와 LNG 플랜트 공사가 복합적으로 수행되기 때문에 사업관리를 수행하는데 많은 어려움이 있고, 특히 사업를 성공적으로 수행하기 위해서는 각 단계별 및 사업관리업무별 리스크 등의 발생으로 인한 의사결정을 수행해야할 사항 등이 많이 발생하기 때문에, 무엇보다도 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계 구축이 필요하다.

플랜트 EPC 공사의 경우, 원칙적으로 설계, 구매 및 하청계약, 시공, 시운전, 공사인계의 순서로 업무가 진행되고 있으며, 각 활동은 다음 그림과 같은 세부 활동으로 구성된다. 그러나 Fast Track 공사에서는 설계, 구매, 시공이 중첩되어 시공되기도 한다.



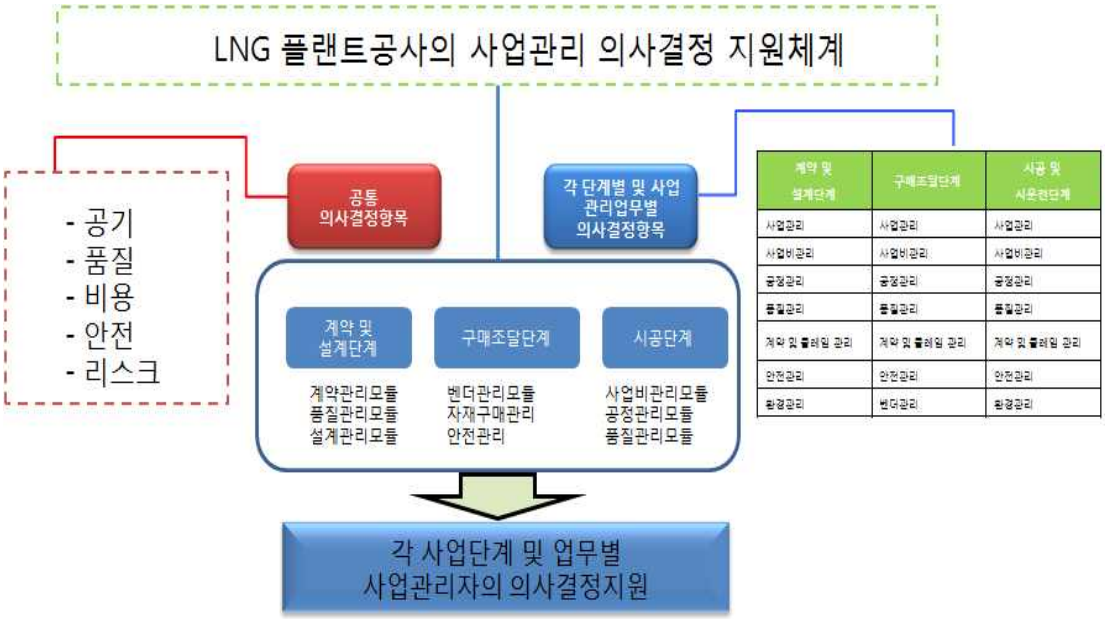
<그림 2-12> 플랜트공사의 단계별 업무흐름

따라서 본 연구는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계를 구축하기 위하여, LNG 플랜트공사의 사업관리 요소를 파악하였고, 이러한 사업관리 요소는 LNG 플랜트공사의 설계 및 구매조달 및 시공단계에서 경험이 있는 전문가를 대상으로 검증하였다. 사업관리의 요소와 관리항목은 일반 플랜트공사와 토목 및 건축공사의 사업관리업무 등 관련자료를 분석하여 LNG 플랜트공사에 맞게 단계 및 업무를 수정하여 제시하였다.

본 연구에서는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계의 정의를 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위하여 각 사업관리 단계별(계약 및 설계단계, 구매 및 조달단계, 시공단계) 및 업무별로 전체 사업관리자와 각 단계별 사업관리자가 의사결정을 하는데 도움을 주는 체계로 정의하고자 한다.

LNG 플랜트공사 사업관리 의사결정지원체계의 전체 프레임은 다음 그림과 같이 구성할 수가 있다. LNG 플랜트공사는 일반 토목 및 건축공사에 비하여 구매조달단계의 비중이 크고, 리스크 요인이 높은 것이 특징이기 때문에, 사업관리의 의사결정을 지원하는 체계가 필요하다. LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정을 추진하기 위하여 의사결정의 고려항목을 공통사항과 각 단계의 사업관리업무의 항목으로 구분하여 결정하는 구조를 제안하였다. 특히, 공통적인 의사결정을 위한 고려항목은 LNG 플랜트공사의 사업을 성공적으로 수행하기 위하여 공사기간(공정), 고품질의 성과물 확보(품질관리), 적정 사업비 확보(비용), 사업의 안전(안전관리), 사업의 리스크 최소화(리스크) 등으로 구분하여 운영이 필요하다.

또한, 사업관리자가 각 사업단계별로 사업관리업무 내의 의사결정을 하는데, 주요인자를 고려한 의사결정지원을 하는데 도움을 주는 체계 구축이 무엇보다도 중요하다. 이러한 LNG 플랜트 공사의 사업관리 의사결정지원체계를 기반으로 각 사업단계별 의사결정지원모듈을 연차별로 구축하여 6차년도에는 통합적으로 운영할 수 있는 의사결정지원체계를 구축하는 것을 제안한다.



<그림 2-13> LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계

(2) 주요결과 및 시사점

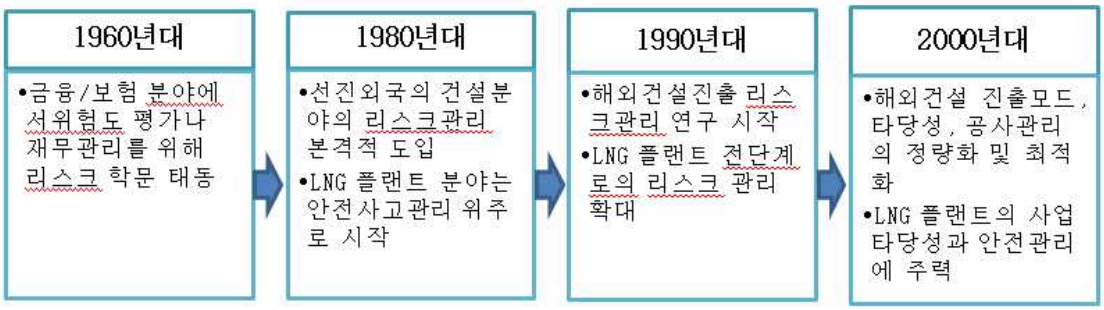
본 연구는 LNG 플랜트공사의 전체 의사결정지원체계를 제안하였고, 특히, 사업의 성공적인 추진을 위하여 공통적인 의사결정 고려항목과 각 단계별 사업관리업무의 의사결정항목을 별도로 구분하여 제안하였다.

이러한 의사결정지원체계는 각 단계별 사업관리업무를 효율적으로 운영하기 위하여 프로세스상에서 나타나는 문제점과 의사결정 고려항목들을 도출하여 제안함으로써, 전체 사업프로젝트의 사업관리자 뿐만 아니라, 각 단계별 사업관리자가 사업을 올바로 결정할 수 있는 의사결정지원이 가능할 것으로 판단된다. 특히, LNG 플랜트공사는 해외에 현장이 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다.

4. 리스크 관리 현황 분석 및 리스크 관리 체계 개발

(1) 국내외 리스크관리 연구문헌 분석

LNG 플랜트의 리스크 평가에 관한 연구는 두 가지 관점에서 분석되어질 수 있다. 하나는 일반 건설업 관점에서 바라보는 견적, 입찰, 계약단계 / 구매조달 / 시공 및 시운전의 일반적인 관점의 리스크 연구이며 다른 하나는 LNG 플랜트 사업 또는 플랜트사업의 특수적인 문제를 다루는 리스크에 관한 연구이다.



<그림 2-14> LNG 플랜트 및 건설 리스크관리 발전과정

해외에서 리스크에 관한 학문적 연구는 1960년대 금융, 증권, 보험을 중심으로 경영학에서 시작되어 위험도 평가나 재무관리를 위해서 시작되어짐. 건설 분야에 있어서의 리스크관리는 1980년대부터 안전사고, 원가상승, 공기지연 등을 중심으로 시작되었으며 1990년대 후반 이후 신규시장 진출, 입찰의사결정, 사업타당성 분석 등으로 범위가 확대되고 있다.

해외에서 LNG플랜트에 관련된 리스크 분야 연구는 1980년 전후 LNG누출에 대한 확률과 피해크기에 관한 연구로 시작되어 최근에는 LNG플랜트의 계획, 설계, 시공, 운영단계로 확대되어 가고 있으며 특히 시장분석 및 운영단계에 안전관리 시스템에 초점이 맞추어지고 있다.

국내의 경우는 보험 및 재무 분야를 중심으로 1980년대 후반에 리스크에 대한 관심이 고조되기 시작하였고 건설 분야에서도 1990년대 후반에 이러서야 시작되었으며 2000년대 이후 계획단계 및 공사단계에 리스크 인자 분석 및 평가방법에 관한 연구가 중심이 되고 있다. 또한 LNG플랜트의 리스크에 관한 국내 연구는 2000년 전후로 가스공급 안전에 대한 리스크 연구가 주류를 이루고 있다.

국내의 연구문헌은 총 17편을 분석하였으며 주로 건설업의 일반 리스크에 관한 연구가 대부분이었으며 주로 리스크 인자파악에 초점이 맞추어져 있었음. LNG관련 리스크 문헌은 주로 안전에 관계된 리스크 해석이었다.

국외의 연구문헌은 총 28편이 분석되었으며 일반건설에 관한 것과 LNG산업에 관련된 다양한 리스크 문헌이 분석되었다. 리스크 인자파악에 초점이 맞추어져 있었

을 뿐 아니라 관리체계에 대한 연구도 있었으며 공사수행 단계별 리스크에 대한 연구도 수행되어있다. 전반적으로 국내보다 앞서가 있었지만 아직 미흡한 부분도 있었다.

(2) 선진기관 플랜트 리스크 관리현황 조사

국내 건설기업들은 IMF 이후에 내실위주의 경영전략과 해외건설사업 추진을 위한 여건의 악화에 대처하기 위해 대형 기업들을 중심으로 리스크 관리 기반에 프로젝트 수행 전략을 모색하고 있다.

국내 A 기업은 수주활동 초기와 입찰참여 과정에서 발생가능성이 낮거나 간과하기 쉬운 손실 원인들을 집중적으로 검토함으로써 잠재적인 저가수주를 방지하고 리스크의 사전예측과 동시에 피해를 최소화할 수 있는 대처방안 수립에도 주력한 것으로 조사된다.

국내 B 기업의 경우 해외건설사업 추진의 문제점을 밝혀내고 체계적인 관리 시스템을 구축하고자 외부 컨설팅 업체에 의뢰한 결과, 지난 수차례 사업수행의 적자가 프로젝트 수주 단계에서의 리스크 규명 및 분석이 치밀하지 못했던 데 기인했다는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 진단에 따라 B사는 전사적 차원의 리스크 관리를 위해 독립적인 조직을 신설하고, 수주영업 단계부터 프로젝트 유형에 따라 적절한 체크리스트를 활용함으로써 악성공사를 사전에 차단하는 절차를 수립하였다.

국내 C 기업의 경우 원래 리스크 대응전략 수립과 예비비 산정 등에 대하여 PM의 경험과 주관에 크게 의존하였으나, PM의 역량에 따라 큰 편차가 발생하는 단점을 보완하고 전사적인 전략과의 일관성을 유지하기 위해 심사팀을 신설하였다. 심사팀은 PM 선정 전 까지 리스크관리 프로세스 모니터링, Recommendation, 동기부여 및 수주 지원업무를 담당하면서 프로젝트 수주 초기에 리스크관리의 기본적인 방향을 수립하게 되며, PM 선정 이후의 리스크 대응은 PM에게 일임하고 있다.

이와 같이 일부기업들이 리스크 관리를 위한 시스템과 조직을 도입하고 있으나 리스크를 평가하는 방법에 있어서는 체크리스트에 기반 한 초보적인 수준이며 거의 대부분의 기업들을 이러한 관리체계를 가지고 있지도 않다.

독일의 Hochtief 사는 사업추진상의 문제점을 신속하게 파악하고 평가하기 위한 툴로서 리스크 관리시스템을 구축하였는데, 이를 사업관리에 있어서 중요한 수단으로 활용하면서 리스크에 대한 조기 경고 및 모니터링 시스템의 신빙성과 그의 유용성에 대해 지속적인 점검과 조절이 이루어지고 있다. Hochtief사의 리스크관리 지침서는 모든 리스크를 식별하여 각각의 리스크에 대한 발생확률과 함께 예측되는 손실에 대해 정량적인 예측 값을 제공하고 있으며 시장 리스크, 운영 리스크, 재정적 리스크, 정치적 리스크 등 주요 리스크에 대하여 기본적이고 실제적인 대응방안을 제시하고 있다.

Royal Dutch Shell사는 이사회(Board)에서 하나의 통합된 프레임으로 리스크관리를 직접관할하고 있다. 이러한 리스크 관리 프레임은 실제 경영을 하기 위함이 아니라 발생할 수 있는 실패요소를 사전에 제거하기 위함이며 유일한 방법을 제시하는 것이 아니라 합리적인 방안들을 제시하는 것을 목표로 한다. 리스크 관리 프레임은 크게 3가지로 구성되는데 Foundation에서는 이 이사회의 목적, 원칙, 범위를 정의하고 Organization에서는 모든 경영활동에 있어서 법적인 문제점을 검토하며 각 세부 프로세스에 대하여 어떻게 배치하고, 전략을 수행하고, 계획하고 성과를 모니터링 할 것인가를 결정한다.

(3) 플랜트 사업의 전단계 리스크 요인 개괄 분석

플랜트사업 리스크 인자를 도출하기 위한 방법을 설정한다. 국내외 연구문헌 및 국내외 선진기관의 리스크 인자를 분석하여 개괄적인 플랜트 리스크를 도출함. 이는 차년도 LNG플랜트 리스크 프레임 구축과 단계별 리스크 상호관계를 파악하는데 기초가 될 것이다.

<표 2-19> 플랜트 사업의 개괄적인 전단계 리스크 요인

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
계약 단계	- 서문 • 계약주체, 계약일자 • 계약체결목적, 용어정의, 업무범위 - 설명조항(Whereas Clause) • 계약체결의 목적 및 배경 - 정의(Definition)조항 • 계약에서 반복적으로 사용되는 중요한 용어 • 일반적인 개념이 불문명한 용어 - 업무범위(Work scope) - 계약금액 • 계약금액에 포함되는 부분과 그렇지 않은 부분에 대한 명시 • 계약금액에 조정에 대한 관계 규정의 명시 • 장기공사에 대한 물가상승에 대한 보상과 책임 - 지불조건 • 선수금 금액 및 지급방법 • 기성의 종류 : 월 기성, 마일스톤(Milestone Payment) 등 • 기성 확인절차 및 지급방법 • 지급통화 : 현지와, 미화, 유로화 비율 • 유보금 지급시기 - 이행보증금(Performance Bond) • 금액 및 제출시기

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• 유효기간 및 조건 • 유보금과의 상관관계 : 유보금 또는 P-Bond 중에서 선택을 유도 - 공사감독과 현장감독 • 공사감독과 현장감독이 별도로 존재시 업무구분 - 공사의 착공, 준공, 지연 • 착공시기(Mobilization 기간과 구분), 현장부지확보책임, • 준공기간 및 공기연장 • 야간 및 휴일작업금지 여부와 예외조항 • 지연 배상금 : Penalty와 LD의 효력과 한도 명시 - 공정표와 기자재 목록 • 공사감독의 승인을 받은 공정표나 기자재목록에 발주처의 임의 변경여부 - 공사 중 시공자 의무 • 고용에 대한 규정 : 교체, 해고 등 • Watching and Lighting • 사고에 대한 책임소재 및 보상규정 - Material과 Workmanship • 기자재 Sample에 대한 비용 책임주체 • 발주처 요구에 의한 Test 비용 책임주체 - 공사의 변경, 추가, 설계변경 등에 대한 규정 - 공사 중 공사품질 검측에 대한 추가 비용 책임 규정 - 공사 중단에 조건과 책임 • 발주자 임의공사 중단의 인정범위 및 보상범위 - 준공공사 • 검사기간 및 검사주체 • 단계별 준공검사 가능여부 - 하자보수 • 하자보수기간 • 하자보수 보증 예외조항 - 불가항력(Force Majeure)에 대한 규정 - 계약해지(Termination) • 발주처의 임의 해지 규정과 보상 • 시공사의 Default시의 규정과 보상
설계 단계	- 설계환경 • 기상조건 불확실성 • 토질조건 불확실성 - 기본설계 • 라이센스 취득 및 관리 • PFD(Process flow diagram) 구축 • Material balance

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• Instrument process data sheet • Equipment data sheet • Utility balance - 기계 및 설비설계 • 발주자의 요구사항 검토 • 라이센스 패키지 검토 • 기계장치들과 파이프 라인간의 결합부위에 대한 고려 • 설계 기계의 구매 가능성 - 배관설계 • 설계 배관의 안전도 • 설계 배관의 구매 가능성 - 전기설계의 상세설계 • 전기용량 검토 및 부하관리 설계 • LIGHTING, POWER PLAN, COMMUNICATION SYSTEM • 구매, 조달 가능성 - 토목건축의 상세설계 • 지반시설 설계 • 시공기준, 설계기준의 검토
구매조달 단계	- 조달업체 P/Q • 일반정보 : 설립년도, 회사조직, 생산설비, 생산능력 • 재무정보 : 매출, 재무건전도, 영업이익률, 부채비율 • 과거실적 : 주요수행공사, 납품실적, 당사 납품실적 • 인증관련 : ISO등 인증여부, QA,QC 프로그램 확보여부 • 발주자에 대한 인지도 - 조달업체 경제성 평가 • 세금, 관세, Packaging costs, 운송비용, 보험, 부속품 등을 모두 고려한 직접비 평가 • 공사하청, 임차, 구입의 경제성 평가 • 검측 및 관리비용 포함한 직접비 산출 • 물가상승, 세금변화, 환률 등의 변동성 평가 • 조달업체의 조달 지연시 영향 평가 • 조달업체 파산시 책임관련 규정 - 조달업체와의 계약관련 • 세금, 관세에 관한 규정 • 선물, 옵션, 등에 대한 규정 • 물가상승, 세금변화, 환률 등에 대한 리스크 분배 계약 • 여유분, 부속분에 대한 재고 여부 • 보증, 지체보상금에 규정 - 조달업체관리 • 사업초기 단계 구매조달 계획

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• 표준 구매절차 및 문건 구비 • 표준 구매절차 관리 • Change Order Management • Filing Back-Charges/Claims • 정기검측 • 조달업체의 성과측정방법 • 조달업체의 성과기록 및 데이터 관리
시공단계	- 노무인력 가용성 • 현지인 인력조달 가능성 • 제3국인 인력조달 가능성 • 이동, 교통, 숙박 수단 • 음식, 건강, 응급, 여가 • 근무일과 휴일 - 노무인력 기술력 • 노동력의 숙련도 • 현지인의 고용과 훈련 • 제3국인별 생산성 평가 및 인력네트워크 확보 • 본사와 현장의 인력배치 계획 - 기후 및 날씨 - 시공인허가 • 발파에 대한 허가 • 해당지역 식생의 변형 • 기존 도로 굴착 • 시공을 위한 일시적인 교통통제에 대한 승인 • 중량이동 인허가 • 폐기물 처리 허용 범위 - 공사 대금지급 • 통화문제 : 기성과 하도 및 인력에 대한 인건비 지급의 통화 종류 • 대금지급방식 및 지급주기 • 현금흐름 • 예비비 - 공기관리 장애 요인 • 설계오류 및 시공자의 설계 감독능력 • 공기 부족에 대한 대비책 • Contingency에 대한 공정 관리 능력 • 품질관리 능역 - 시공안전 • 위험물관리 • 추락예방 계획

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• 약물검사 • 응급조치 계획 및 절차 • 안전수칙 완수시 인센티브 - 커뮤니케이션 • 의사소통을 위한 기반확보 : 인터넷, 문서 • 인터넷 전송속도, 전화연결 • 현장의 전산장비수준 • 언어의 차이
시운전 단계	- 시운전 계획 • 주요공정 납기일에 지장 없는 계획 여부 • 각 공정별 시운전이 계획일과 일치 여부 • 시운전에 필요한 임시시설에 대한 비용과 장소 확보 여부 • 기자재 구매현황 확인 • 시운전에 불합격한 사항에 대한 처리 여부 - 사전작업 • 시공으로부터 위임된 각 공정들의 이행 여부 • 세부 공정별 인수인계 확인 (시공 -> 시운전) • 시운전을 위한 임시시설 및 기타 제반사항들의 이행 여부 • 각공정의 기자재 목록 확인 • 시운전 전용 공정표가 작성 여부 - 탐사, 생산 • Gas 와 Liquid 의 분리 정도 여부 • Fouling 관리 여부 • Uncertainty of feed stock property - 전처리, 액화 • Acid gas treatment 여부 • Dehydration & Mercury Removal 여부 (sieve 성능) • Batch Process 여부 • Vibration of large rotating machine • Cracking of cryogenic component • High temperature around gas turbine - 수송 • Connect & disconnect operation • Pipe installation - 저장, 공급 • Connect & disconnect operation • Spillage • Leakage from LNG tank - 총괄 • BOP(balance of plant) 시운전

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• Constructability at site • Quality of product • Delivery schedule • Consequence on plant performance

(4) 기존 연구문헌의 수행단계별 리스크 인자 및 분류

Hastak 및 Shaked (2000)는 해외건설공사의 전 단계 리스크 관리를 위한 17개 분야 73개의 리스크 인자를 도출하고, 이를 그 수준에 따라 Macro level, Market level, Project level로 구분하였다.

영국 토목학회 (ICE, 2000)는 프로젝트 관리를 위한 리스크 관리체계 RAMP를 통해 건설공사의 전 단계 리스크 인자를 제시하였다. 이는 Political, Business, Economic, Project, Natural, Financial의 총 6개 분류로 이루어져 있으며 리스크로 인한 공사비의 영향을 상세하게 고려도록 구성되어 있다.

미국 CII(Construction Industry Institute) 역시 해외건설공사의 리스크 관리를 위한 계약~운영의 전 단계를 포괄하는 리스크 분류체계(IPRA: International Project Risk Assessment, 2003)를 제시하였는데, 이는 Commercial, Country, Facilities, Production & Operation의 4개 대분류로 구성되어 있으며 이하 14개 상세 분류, 총 82개 인자로 구성하였다.

해외건설협회 및 연세대학교 (2005)는 해외건설공사의 수익성 향상을 위한 64개의 리스크 인자를 도출하고, 진출국 및 발주처 여건, 수주 및 입찰 정보, 프로젝트 계약 특성 및 환경, 조직 구성원 및 관계, 시공 및 관리 능력의 5개 부문으로 구성하였다.

캘리포니아 교통국 (OSPMI, 2007)은 공공공사 발주를 위해 계약, 설계, 시공 단계의 핵심 성공인자를 도출하고 이와 연계된 Design, External Environmental, Organizational, Project management, Right of way, Construction, Engineering service의 8개 부문 140개 리스크 인자를 도출하였다.

(5) 건설기업의 리스크 인자 및 분류

국내 A건설사는 자사 공사수행사례 및 계약서 등 내부자료 검토를 통해 토목건축공종의 리스크 요인 및 관리 방안을 수립하였다. 이는 공사관련 정보 및 여건, 관리 및 기술, 시장환경의 3개 부문으로 구성되어 있다.

B 건설사의 플랜트사업본부는 플랜트 건설공사를 위한 독자적인 리스크 인자를 도출하고 이를 관리하기 위한 업무 담당자를 구체적으로 정의해 놓았다. 리스크 인

자는 일반 사항과 특수 사항으로 나뉘며, 일반 사항은 해당국 정치사회적 특성 및 기후 등의 일반 정보, 경제 정보, 기타 시공관련 정보로 구성되어 있으며, 특수 사항은 현장조건 체크사항, 임시시설 계획, 각종 단가 등이 있다.

C 건설사는 해외건설공사 리스크관리를 위한 수행단계별 체크리스트를 구성하여 정보입수, 참가결정, 견적, 입찰, 계약, 시공준비, 시공관리, 준공의 총 8개 수행단계의 체크리스트를 구축하였다.

(6) LNG 플랜트 리스크 분류체계

대부분의 기존 리스크관리 연구문헌 및 건설사의 리스크 관리 체계는 사업의 전 단계를 다루고 있다. 또한 기존 리스크 분류 및 요인들은 독립적인 리스크 관리에 초점을 두고 개발되어 사업관리와의 연계성이 낮은 특징을 보인다.

본 연구과제의 LNG 플랜트사업 수행단계별 리스크 요인은 전 단계를 다루며 위험기반의 사업관리를 지원하기 위해 구성되었으므로, 계약, 설계, 구매 및 조달, 시공 및 시운전 각 단계에서 사업관리 측면의 주요 항목 - 사업관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약 및 클레임관리, 안전관리, 환경관리 - 으로 구성하였다.

<표 2-20> LNG 플랜트 사업의 수행단계별 리스크 요인 분류

수행단계별 리스크 분류 체계	
I. 계약 단계	II.C. 공정 관리
I.A. 사업 관리	II.C01. 공기
I.A01. 진출국 특성	II.D. 품질 관리
I.A02. 제도적 특성	II.D01. 품질
I.A03. 정치적 특성	II.D02. 조달
I.A04. 발주처 특성	II.D03. LNG 관련 라이센스
I.A05. 시공능력	II.D04. LNG 관련 자재 및 장비
I.A06. 설계관리	II.D05. LNG 관련 시공능력
I.A07. 본사와의 연계	II.E. 계약 및 클레임 관리
I.A08. 현장소장 능력	II.E01. 공사 특성
I.A09. 노무관리	II.E02. 계약 조건
I.A10. 직원 인사관리	II.F. 안전 관리
I.A11. JV, 컨소시엄 업체 능력	II.F01. 안전
I.A12. 현지 협력업체	II.G. 환경 관리
I.B. 사업비 관리	II.G01. 환경 관리
I.B01. 공사비	
I.C. 공정 관리	**III. 구매 및 조달 단계**
I.C01. 공기	III.A. 사업 관리
I.D. 품질 관리	III.A01. 제도적 특성
I.D01. 성능	III.A02. 발주처 특성
I.D02. 조달	III.A03. 설계 관리
I.D03. LNG 관련 라이센스	III.A04. 본사와의 연계
I.D04. LNG 특화 자재 및 장비	III.A05. 현장소장 능력
I.D05. LNG 분야 시공능력	III.A06. 직원 인사관리
I.E. 계약 및 클레임 관리	III.A07. JV, 컨소시엄 업체 능력

수행단계별 리스크 분류 체계	
I.E01. 공사 특성 I.E02. 계약요인 I.E03. 입찰요인 I.E04. 기후 및 날씨 I.F. 안전 관리 I.F01. 안전 I.G. 환경 관리 I.G01. 환경 관리 **II. 설계 단계** II.A. 사업 관리 II.A01. 발주처 특성 II.A02. 시공 관리 II.A03. 설계 관리 II.A04. 본사와의 연계 II.A05. 현장소장 능력 II.A06. 직원 인사관리 II.A07. JV, 컨소시엄 업체 설계 II.A08. 현지 협력업체 II.B. 사업비 관리 II.B01. 공사비 IV.A05. 본사와의 연계 IV.A06. 현장소장 능력 IV.A07. 노무 관리 IV.A08. 직원 인사관리 IV.A09. JV, 컨소시엄 업체 능력 IV.A10. 현지 협력 업체 IV.B. 사업비 관리 IV.B01. 공사비 IV.C. 공정관리 IV.C01. 공기 IV.D. 품질관리 IV.D01. 품질	III.A08. 현지 협력업체 III.B. 사업비 관리 III.B01. 공사비 관리 III.C. 공정 관리 III.C01. 공기 III.D. 품질 관리 III.D01. 품질 III.D02. 조달 III.D03. LNG 관련 자재 및 장비 III.D04. LNG 관련 시공능력 III.E. 계약 및 클레임 관리 III.E01. 계약 요인 III.F. 안전 관리 III.F01. 안전 **IV. 시공 및 시운전 단계** IV.A. 사업 관리 IV.A01. 진출국 특성 IV.A02. 제도적 특성 IV.A03. 발주처 특성 IV.A04. 설계 관리 IV.D02. 조달 IV.D03. LNG 관련 라이센스 IV.D04. LNG 관련 자재 및 장비 IV.D05. LNG 관련 시공 능력 IV.E. 계약 및 클레임 관리 IV.E01. 공사 특성 IV.E02. 계약 요인 IV.E03. 기후 및 날씨 IV.F. 안전 관리 IF.D01. 안전 IV.G. 환경 관리 IV.G01. 환경

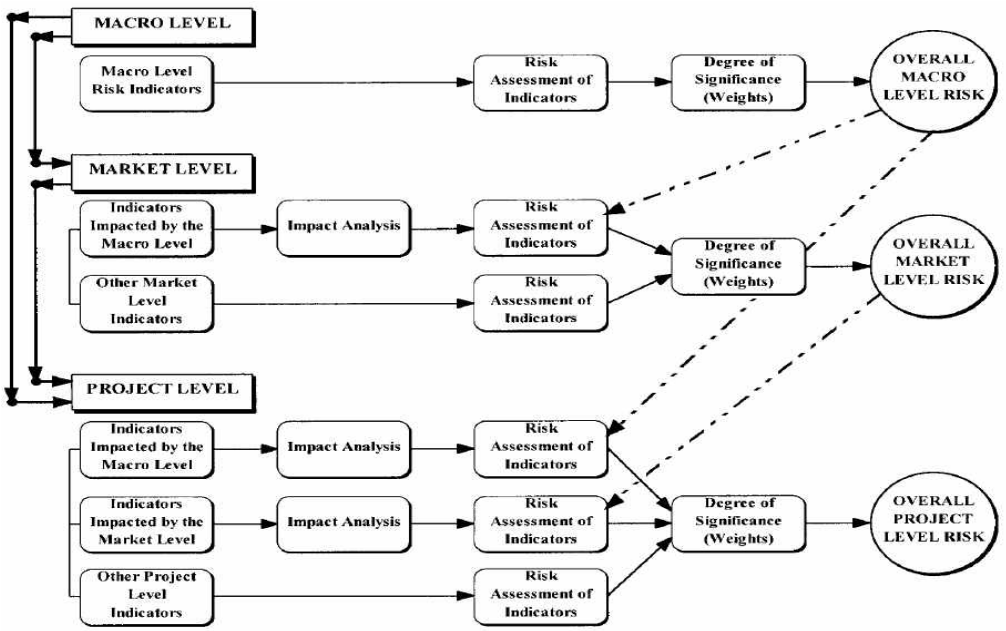
위와 같은 리스크 인자 분류 체계에 따라 정의된 개별 리스크 인자에 대해 아래와 같은 형태의 리스크 인자 정의서를 구성하였다.

<표 2-21> 리스크 인자 정의서(예시)

I.계약단계 > I.E.계약 및 클레임 관리 > I.E01.공사 특성	
코드: I.E01.03	발주국의 Local Content 활용 요구
플랜트 공사의 경우 대부분의 국가에서 자국 산업 보호와 경제 부양을 위해 전체 공사에 대해 일정부분 이상을 해당국에서 생산하거나, 관련이 있는 자재, 장비, 노무인력을 사용하도록 요구하고 있음 그러나 진출국 특성에 따라 해당국 인력의 시공 품질 및 기술 수준이 낮아 전체 플랜트 공사의 생산성 및 품질 저하를 유발할 수 있는 위험이 있으며, 이는 재시공 및 공기 지연 등으로 사업 수익성 저하의 원인이 될 수 있음 따라서 현지의 자재 및 장비, 인원의 가용 여부 및 수급을 사전에 확인하여 Local Content의 활용 범위 및 정도를 확인해야 함	
관련 리스크	I.A12.01. 현지 협력 업체의 기술능력 부족 II.A08.02. 현지 협력 업체의 기술능력 반영 III.A06.01. 현지 벤더의 조달능력 IV.A10.01. 현지 협력 업체의 시공능력

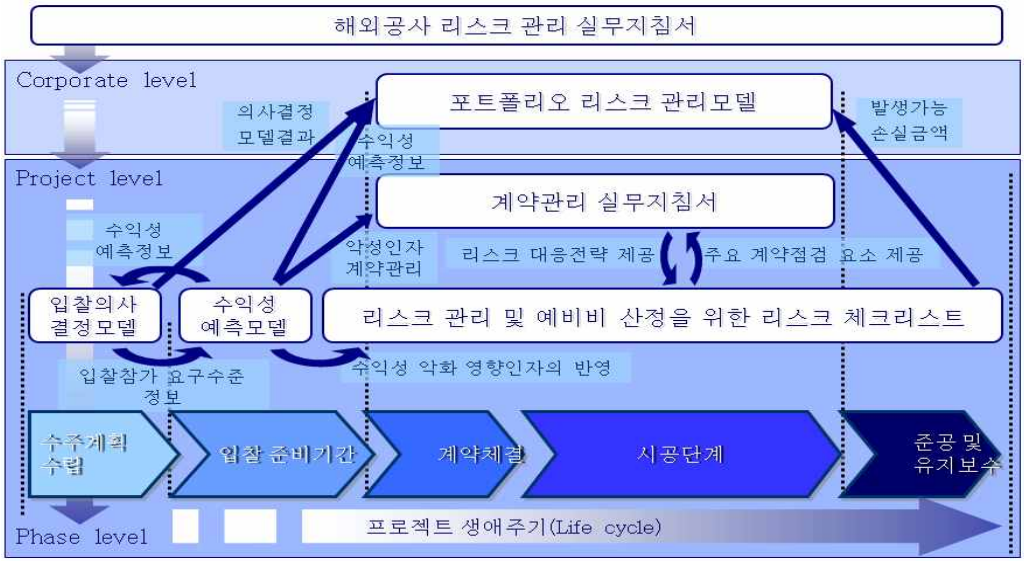
(7) 수행단계별 리스크관리 체계

Hastak 및 Shaked (2000)는 해외건설공사의 리스크 관리를 Macro level, Market level, Project level로 구분하고 각 수준에서 고려 가능한 리스크의 영향관계를 고려하기 위한 체계를 제시하였다.



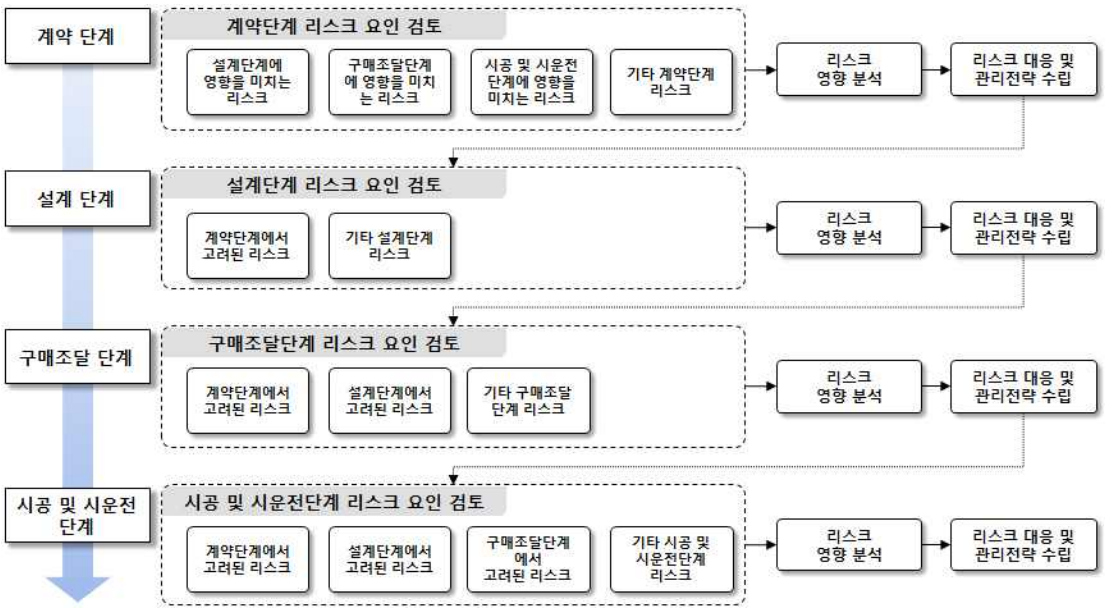
<그림 2-15> ICRAM 리스크 관리 체계 (Hastak and Shaked, 2000)

해외건설협회 및 연세대학교 (2005)가 구축한 FIRMS는 리스크 관리에 기반한 입찰의사결정모형, 수익성 예측모델, 체크리스트 등을 포함하는 해외건설공사 리스크 관리 체계를 구축하였다.



<그림 2-16> FIRMS 리스크 관리 체계 (해외건설협회 및 연세대학교, 2005)

본 연구는 LNG 플랜트 사업의 전 생애주기를 계약 단계, 설계 단계, 구매조달 단계, 시공 및 시운전 단계로 나누어 다루며, 또한 계약 단계에서 고려 가능한 리스크 인자의 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계로의 영향을 고려하고, 각 수행단계 간의 영향을 고려하기 위해 아래 그림과 같이 리스크 관리 체계를 구성하였다.



<그림 2-17> LNG 플랜트 단계별 리스크 관리 체계

(8) 계약단계와 단계별 리스크 연계

본 연구는 계약단계 리스크 인자의 각 수행단계 리스크에의 영향 및 연계를 고려하기 위해 리스크 인자 정의서에 연계를 고려해야 하는 리스크 인자를 포함하도록 구성하였다.

(9) 소결 및 시사점

국내 연구의 문제점은 첫째, 건설업의 일반적인 리스크에 대한 연구는 LNG 플랜트의 특수성을 잘 반영하지 못한다는 점 둘째, LNG 플랜트의 특수성에 관한 연구는 주로 안전관리에만 초점이 맞추어져 있음. 셋째, LNG 플랜트의 설계, 구매조달, 시공, 시운전을 위한 리스크 관리 연구는 매우 미흡하다.

해외에서의 리스크 관련 연구는 국내 문헌보다는 상당히 앞서 있다. 특히 일반 건설 리스크 이외에 플랜트 요소기술(구매조달, 시운전, 안전)에 대한 연구문헌도 일부 있었다. 하지만 해외논문 역시 LNG플랜트 만을 위한 리스크 관리 연구나, 단계별 리스크 분석이거나, 공정관리에 초점이 맞추어진 리스크 연구는 부족하였다.

그럼에도 불구하고 리스크를 관리하는 현재의 기술(정성적 분석, 주관의 객관화, 체크리스트 등)현황과 수준을 파악할 수 있었으며 당해연도 연구에서 리스크 관리 프레임의 기술적 기초를 확인할 수 있었다.

국내기업에서도 주요 대기업을 중심으로 리스크관리 체계를 구축하고 있으나 조직의 구성이 전사적이거나 별도체계가 아닌 겸임시스템이 대부분이며 일부 기업에서 RM(Risk Management)팀을 별도로 두어 리스크 관리를 시행하고 있다.

해외 주요 플랜트 기업의 경우 회사마다 특색이 조금씩 다른데 전사적이거나, 정량적인 평가를 중시하거나 현장에까지의 적용 등에 힘쓰고 있다. 특히, 내부적으로 리스크 관리 체계나 기준을 마련한 곳이 많다. 본 연구에서는 각 기업들의 리스크 관리 체계의 장점을 취합하고 LNG사업의 특성을 반영하여 차년도 연구부터 최적화된 리스크 관리체계를 구축하는데 반영하였다.

플랜트 사업의 개괄적인 리스크 인자와 토목건축사업의 리스크 인자를 비교하여 서로간의 차이점을 파악할 수 있었으며 플랜트 사업의 특성을 반영할 수 있는 개괄적인 리스크 관리 체계가 도출되었다. 이는 LNG 리스크 관리체계의 프레임을 작성하는데 매우 유용할 것으로 판단된다.

이는 수행단계별 리스크 인자 분석 및 리스크관리 체계 개발과 설계, 구매 및 조달, 시공 단계 분야에 연계된다.

기존의 국내외 건설 리스크 관리체계는 일반 건설공사를 대상으로 하고 있어 LNG 플랜트의 특수성을 잘 반영하지 못하고 있으며, 사업관리와 연계되지 못하고 독립적인 리스크 분석에의 활용만을 목적으로 하고 있어 체크리스트 등 단순한 관리에만 그치는 경향을 보인다.

본 연구에서 구축한 LNG 플랜트 사업의 수행단계별 리스크 인자는 공동연구기관의 위험기반의 사업관리를 지원을 극대화하기 위해 사업관리항목과 리스크 분류 항목을 일치하였으며, 각 분류 내에서 LNG 플랜트 건설공사의 특수성을 반영하고자 하였다.

또한 본 연구는 계약단계 리스크 인자의 각 수행단계에의 영향을 고려하여 연계분석 가능한 인자를 검토함으로써, 실질적이고 지속적인 위험기반의 사업관리를 지원하기 위한 기반을 구축하였다.

이는 설계, 구매 및 조달단계 시공단계에 연계된다.

5. 설계·구매조달·시공 단계의 공정계획 분석 및 사업관리매뉴얼 개발

가. 개요

본 연구에서는 설계·구매조달 단계의 공정계획을 분석하고 사업관리 매뉴얼을 개발하기 위하여 다음과 같은 업무를 수행하였다.

○ 설계단계의 공정계획 조사 · 분석
- 설계단계의 공정계획 운영현황 조사
- 설계단계의 공정분석

○ 구매·조달단계의 공정계획 조사 · 분석
- 구매·조달단계의 공정계획 운영현황 조사
- 구매·조달단계의 공정분석

○ 시공단계의 공정계획 조사 · 분석
- 시공단계의 공정계획 운영현황 조사
- 시공단계의 공정분석

○ 설계·구매조달·시공단계의 사업관리 매뉴얼 개발
- 사업관리 체크리스트 조사·분석
- 사업관리 매뉴얼 마련

나. 수행내용 및 결과

(1) 설계단계의 공정계획 조사 · 분석

플랜트의 생애주기 중, 설계단계는 프로젝트의 목표인 플랜트의 성능과 기능을 달성하면서, 경제적이고 구체적인 system과 시설을 정의하는 plant engineering을 수행하는 단계이다. 이러한 설계단계를 효율적으로 수행하기 위한 설계관리는 설계단계의 조직, 공정, 문서, 품질, 비용, 리스크를 효과적으로 관리하기 위한 행위이다. 본 연구에서는 2차년도에 도출한 LNG 플랜트의 건설사업관리 중 설계관리에 대하여 EPC 단계를 다음과 같이 도출하였다.

<표 2-22> EPC 단계별 설계관리 세부항목

구분	계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
정의	설계계획을 수립하고 설계기준검토, 설계업무절차 수립 및 설계검토회의를 수행하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	내역서 및 자재구매 사양서를 작성하며 자재공급업체 선정과 자재관리에 필요한 업무 및 업무절차	시방서를 작성하고 시공상세도를 검토하며 준공도면 작성 및 관리를 하는데 필요한 업무 및 업무절차
세부항목	①분야간 설계검토회의 ②설계계획 수립 ③설계기준서 작성 ④설계업무절차 ⑤설계계산서 작성 ⑥설계도서 작성 및 개정관리 ⑦설계검토 ⑧설계시공성 검토 ⑨설계협력업체 수행도 평가	①설계구매 내역서 작성 ②자재구매 사양서 작성 ③자재 제작도면/설계서 작성 ④자재구매조달 공급업체 선정 ⑤불용 및 잉여자재관리	①시방서 작성 ②시공상세도 검토 ③시공성 검토 ④설계변경도서 작성 및 관리 ⑤준공도서 작성 및 관리

아울러 설계단계에 대한 주요관리항목을 상세히 정리하면 다음과 같다.

<표 2-23> 설계단계의 설계관리 주요 항목

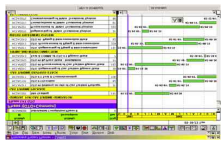
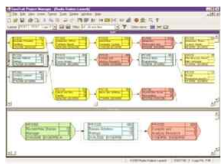
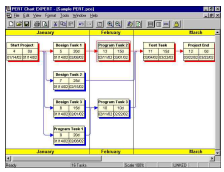
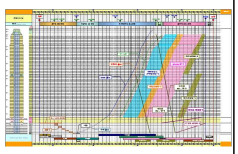
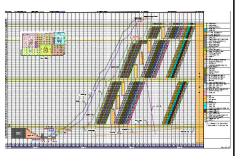
관리 분야	주요 관리 항목	
조직 관리	- 파견 대응 요원관리 - 파견 외주 요원관리	- 조직 관리 - M/H 관리 - 요원 안전관리
공정 관리	- 설계 진도관리 - Interface 관리	- Schedule 계획, 수정 관리 - Manpower Mobilization 관리 - 외주 Work Load 관리
문서 관리	- 접수, 배포, 보관 관리 - 출도관리	- 인허가 승인신청관리 - Filing 검색관리

관리 분야	주요 관리 항목	
	- 변경·수정 관리 - Status 관리	- 완성도서 관리 - 법규·규격관리 - 기술자료 관리
설계품질 관리	- 사양·성능 관리 - 신뢰성·안전성 관리 - 환경대책 관리 - 조사·승인 관리 - 제작물 기술 책임관리	- 설계 Interface 관리 - Claim, 부적합관리 - 표준화 관리 - 품질향상 관리 - 품질기록 관리 - Feedback 관리
비용 관리	- 생산성 관리 - 경제성 관리 - Change Order 관리	- Total Life Cost 관리 - 설계 M/H 관리 - B/M, B/Q 관리 - 비용 절감 대책 관리
리스크 관리	- 고객 요구 리스크 관리 - 사이트 상황 리스크 관리 - J/V Partner 리스크 관리	- 신기술 리스크 관리 - 공기지연 리스크 관리 - 구입품 품질 리스크 관리 - 외주 Vendor 리스크 관리

이러한 설계단계의 주요관리 항목 중 공정관리는 크게 계획(Scheduling)과 관리(Schedule Control)의 두 단계로 구분하기도 하며, 관리의 측면에서는 Time Schedule Control, Resource Schedule Control, Productivity Control(Performance Control)에 초점을 맞추어 프로젝트를 운영한다.

Schedule 관리의 목적은 주어진 기간 내에 유익한 Resource를 활용하여 Project를 성공적으로 완성시키기 위해 작업을 진행해 나가는 과정을 종합적으로 관리하는 활동이다. 일반적으로 공정관리에서 사용되는 기법은 건설산업 또는 타 산업에 걸쳐 Gantte Chart, PERT, CPM, LOB 등의 공동적인 요소를 활용하고 있다. 하지만 이러한 공정관리 기법은 공정관리가 수행되는 프로젝트의 특성, 프로젝트의 시점, 수행 주체, 관리의 주요 포인트 등에 따라 상이한 체계와 내용으로 수행되어진다. LNG플랜트 산업의 공정관리 또한 타산업과 유사한 공정관리 기법을 적용하고 있으나, 엔지니어링 단계의 경우는 설계 단계를 중심으로 공정계획을 수립하여 관리되어지고 있으며, 특히 다양한 주체 및 분야간의 공동작업으로 설계 프로세스가 운영된다는 측면에서 설계진도, interface, schedule 계획 및 수정, Manpower의 Mobilization, 외주 work load 등의 관리에 초점을 맞추어 진행되고 있다.

<표 2-24> 공정관리기법의 특성

구분	주요 내용	공정표의 예
Gantt	- 작성이 간단하고, 이해하기 쉽고, 공사 진도 집계가 용이 - 작업상호간 연관관계 표시가 불명확하고, 총 사업기간 산정이 불가능함 - 일정변경에 따른 대응 난이 및 원인분석이 불명확함 - 종류 : 단순, 연결, 모니터링, 분할로 구분됨	
CPM	- 프로젝트의 주공정 작업과 비주공정 작업에 대한 여유시간 및 총 완료시간에 관련된 정보를 도출할 수 있는 매우 효과적인 공정관리 기법 - 각 작업간의 전후 관계 및 일정의 효율적 관리 가능 - 공기 단축, 자원 관리와 통합 운용 가능 - 작업 수가 많아지면 관리가 복잡해지고, 전문 관리자 필요	
PERT	- 공사 조건이 명확하지 않아서 공사 목표의 달성이 불확실한 경우, 통계 기법을 활용하여 소요되는 시간을 난관, 비관, 최다 빈도로 구분하여 관리하는 기법 - 새로운 사업의 완성일자에 관한 추정 및 확률 분포 제시 및 도식적이고 수학적 모형을 제공함 - 일정 계산이 복잡하고, 공기단축에 대한 기법이 존재하지 않는 단점이 있음	
LOB (Line of Balance)	- 반복되는 단위작업(Units) 프로젝트에 적용시 유리 (고속도로, 초고층, 터널 등) - 작업의 생산성(Production Rate)과 공기를 그래프 형태로 표시 - 작업 진행상의 오류와 향후 공정상 병목현상(Bottlenecks)의 사전예측 가능	
TACT	- 일본 대성건설 시공관리방법(TASCOM) 중 현장관리 중심의 공정관리 기법 - 반복작업의 추종간격 최소화, 동일 시공속도 유지로 공정간 Lead Time 최소화 - 현장 협력업체의 의견을 최대한 반영하여 작업량과 작업조를 통한 작업속도 조절	

한편, 공정표는 일반적으로, 기본(총괄) 공정표 (Project Milestone Schedule)/분야별 종합 공정표(Summary Schedule), 관리 기준 공정표 (Integrated Project Schedule), 작업 시행(계약자 상세) 공정표 (working Schedule)로 구분하고 있다.

이를 설계단계로 국한하여 살펴보면 다음과 같다.

<표 2-25> 설계단계 공정표

구분	범위/ 목적	기능
설계 종합 공정표 (Engineering Summary Schedule)	설계 분야를 설계 역무별, 설비별, 계통별로 분류하여, Activity의 수행 계획 및 상관관계 표시	▪ 설계 관련 공정표 중 가장 상위 Level ▪ 실무 부서장 및 설계사책임자의 관리용 ▪ 설계분야 기준 공정표 (Master Schedule) ▪ 계통 또는 기술분야 중심의 단위 작업으로 구분 ▪ 설계 분야 전체의 계획, 현황, 예측 가능 ▪ 설계/구매 관리 기준 공정표 작성 기준 제시
설계 관리 기준 공정표 (Engineering Integrated Project Schedule)	설계 분야를 Area/System별로 단위 작업을 분류하여, 설계단위 작업의 수행 계획 및 시공관리 기준 공정표와의 상호 연계 관계 표시	▪ 설계 업무간 상관관계, 공정 현황 파악 ▪ 설계업무를 수행하는 부서간의 연계관계를 제공하는 상세지침 ▪ 설계시행 공정표 작성 기준 제시
설계 시행 공정표 (Engineering Working Schedule)	설계분야의 업무를 실질적으로 관리하기 위해 설계사와 맞추어 작성 운영하는 공정표, 설계 결과물의 관리 기준점(control point)별 상세한 공정현황 파악, 적기에 설계 결과물을 제공	▪ 설계 역무 수행 세부 일정 제시 ▪ 설계 역무의 진도율 산정, 성과 분석 및 예측 자료 ▪ 설계분야에 대한 공정 및 진도 현황의 근거 ▪ 시공정보관리 시스템과 연계되어 관련 정보 제공 ▪ A/E 업무 수행 진도율 보고

공정계획을 기반으로 한 공정 control은 프로젝트의 제반 활동을 관리하는 통제 기능을 의미하며, 작업 지시, Monitoring, Data 수집, Critical Path/Milestone 등의 체크, 공정 만회대책, 공정 업데이트 등의 제반 관리 활동 모두를 포함한다. LNG 플랜트 진도분석의 경우는 진도 또는 기성고를 수치화하여 파악하는 것으로, 설계단계의 경우는 측정대상이 되는 Man-hour나 기능공 수 보다는 물리적으로 파악이 용이한 도면의 매수의 측정이 용이하다. 또한 공정률 계산은 설계 역무별 관리 기준점(control point)의 기성치 (earned value)를 기준으로 작성되며, 이때 인력 기준에 따라 가중치를 부여하기도 한다.

LNG플랜트 설계단계의 공정관리를 위한 고려사항 및 특징을 정리하면 다음과 같다.

① Design Philosophy 및 체계 수립

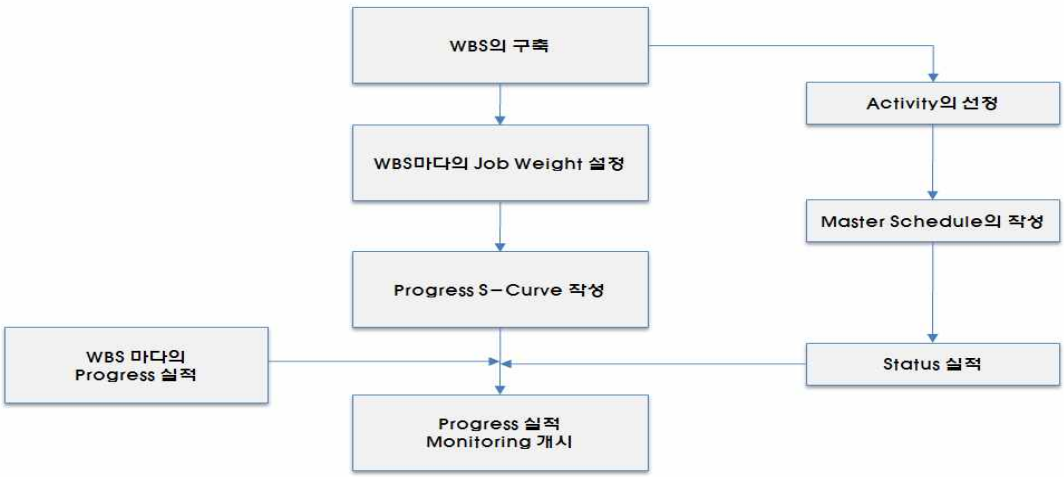
Design Philosophy는 신뢰성, 안전성, 제작 용이성, 보수관리 용이성, 경제성, 시공성, 운전 조작성 등을 고려하여 수립하며, 설계의 통일성 유지를 위해 아래의 항목을 고려하여야 한다.

- 적용법규 및 기준, Site 조건, 원료수입, 제품출하조건, utility 조건, 배치 조건, 환경대책, 안전대책, 설계 요령, 설계 유의점

설계단계의 공정계획 및 관리를 위해서는 Design Philosophy 뿐만 아니라 Control 체계를 설정하기 위한 Engineering WBS(Work Breakdown Structure)를 구축하여야 하며, 이때 업무의 수행 체계뿐만 아니라 공정률 산정 및 관리 기준을 동시에 고려하여야 한다.

② Engineering Schedule

Engineering Schedule은 아래 그림과 같이, WBS 체계에 맞고 Milestone Schedule에 적합한 상세 Work Schedule을 수립하여야 한다. 이 단계의 schedule이 master schedule에 포함되어 모든 작업의 기본이 되는 일정계획이 되며, 향후 Progress 관리의 기준이 된다.



<그림 2-18> 공정계획 및 관리절차

③ Engineering Control

Engineering Control은 수립된 공정계획을 바탕으로 진도 및 실적 모니터링을 수행하는 단계로 다음 사항에 유의하여 관리를 수행한다.

- Monitoring 계획 : Engineering activity의 진도를 모니터링하기 위해서는 Engineering WBS를 기초로 구축한 Engineering Schedule과 WBS 마다 설정한 Job weight에 따라 진도관리용 (Progress Monitoring) 계획의 Progress

Curve(S-Curve)를 목표치로 작성하는 것이 필요하다.

- 실적 모니터링 : Engineering Phase에서 Progress Monitoring은 우선 DWG, Spec, M/R 등 각종 설계 Document류의 Monitoring 대상 항목에 대하여 각각의 Document Index 마다 계획일과 실적일의 실적분석을 실시한다.
- 도면의 각 항목 Monitoring에 대해서는 관리 Point를 설정하여 Monitor하는 것이 적합하며, 그 진도 Status 상황을 상세하게 파악하는 것이 필요하다.

④ 설계관리의 유의사항

LNG플랜트의 설계단계는 다양한 관련 주체 및 엔지니어들이 관여되기 때문에 Engineering Interface Control과 문서관리에 대한 세밀한 관리가 요구되며, 각 분야 관리의 주요 사항은 다음과 같다.

- Engineering Interface Control : Project 수행 상의 Interface는 크게 고객, 관공서, sub-contractor 등으로 구성되는 대외 interface와, Contractor 내부의 Interface가 존재하며, Engineering 활동에서 고객이나 Vendor와의 대외적인 interface 뿐만 아니라 project team, 건설현장, 관계부서 또는 Engineering 내부 기능 간의 내부적 interface의 성공적인 control은 성공적인 프로젝트 수행을 위한 key point 이다.

- Engineering Interface 관리에서 주요 조정 대상 항목은 아래와 같다.
  설계 기본 조건, 설계 concept, 설계요원, 조직, 설계담당 범위, 설계상세 공정, 실행 예산, 설계품질, 필요정보의 연락, 설계진도 상황, 설계 변경 등

- 특히, Engineering 기능간의 Interface control은 분야 간 필요 정보를 적합한 시간 내에 전달할 수 있느냐가 중요하며, 전달 시점 관리에 따라 schedule, cost에 크게 영향을 끼친다. 또한 필요 정보가 누락될 경우, 설계 품질에서 큰 문제가 발생할 수도 있다.

- 또한 효과적인 인터페이스 관리를 위해서는 문서관리(Document Control)는 매우 중요하며, 특히 Engineering 단계에서 다른 단계 사이, 관계부서 사이, 고객, 컨소시엄 간, sub contractor 간, Vendor 간 등의 각기 다른 주체간의 연락, 조정, 지시, 승인, 보고 등을 적시에 실시하는 것이 중요하며, 체계화된 문서관리체계가 요구된다.

- 문서 관리를 구성하는 주요 작업은 다음과 같다.
  관리기준의 책정, 관리계획의 작성, 실적의 정확하고 시기적절한 파악, 보고 및 독촉 처리

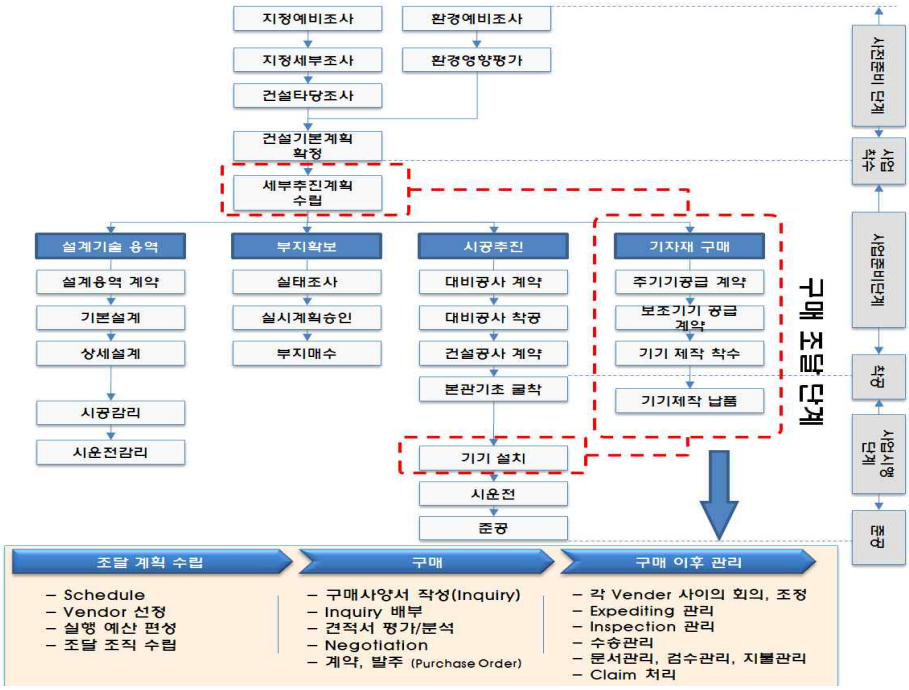
(2) 구매조달 단계의 공정계획 조사 · 분석

조달(Procurement)이란 생산에 필요한 기기·자재나 역무를 구입하는 것으로, 적절한 품질, 적정한 수량의 기기·자재를 적정한 시기에 적정한 가격으로 공급자에게서 구입하여 적정한 장소에 납품하는 행위를 의미한다. 이러한 플랜트 프로젝트에서 조달 업무의 특성은 다음과 같다.

- 필요로 하는 기기·자재를 외부에 의존
- 조달량/조달 기종의 변동이 심함
- 파급효과가 큼
- 파급 업종이 많음
- 서류 작성이 중요함
- 국제성이 강함

따라서 효과적인 조달을 하기 위해서는 용도에 적합한 품목 구입, 납기에 맞는 품목 구입, 우량 Vendor로부터 품목 구입, 적절한 수송 수단 수배, 구매 비용 최소화 등이 중요하며, 일반적으로 플랜트 자재 관리의 일환으로 진행된다.

플랜트 구매조달의 프로세스는 아래 그림과 같이, 크게 조달 계획 수립, 구매업무 수행, 구매 이후의 관리로 구분할 수 있다.



<그림 2-19> 플랜트 프로젝트의 구매 조달 프로세스

이러한 플랜트 구매조달단계의 주요 관리부문을 정리하면 다음 표와 같다.

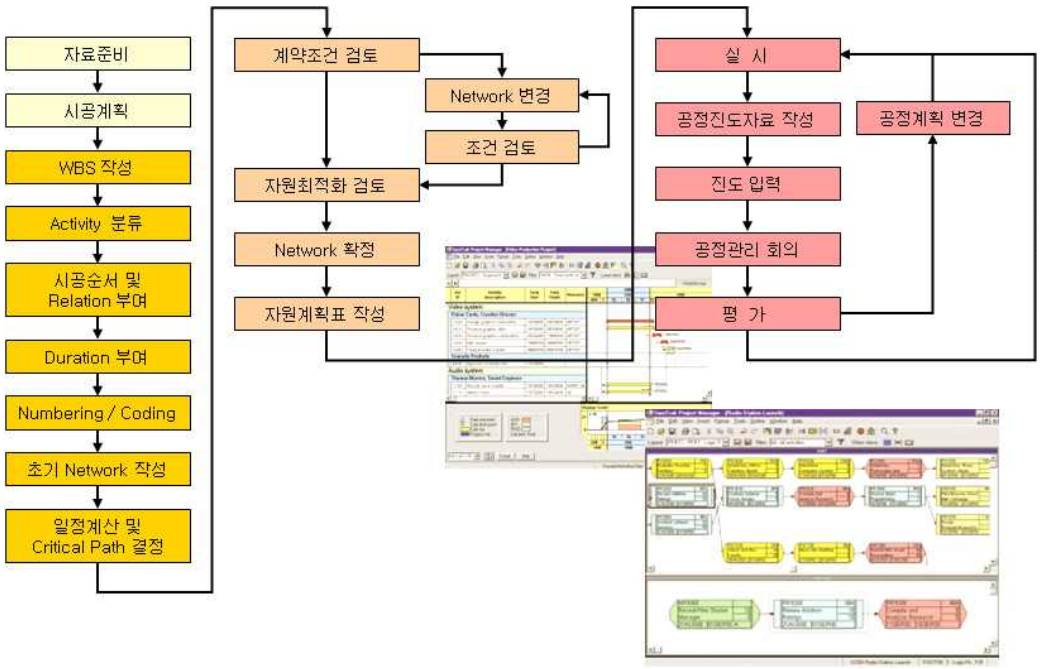
<표 2-26> 구매조달 단계의 주요관리 항목

구분	설명
각종 장표 관리	- 사내용 / 사외용 장표의 관리 - 장표의 양식 및 기입 내용의 통일 및 정보의 품질 관리
Inquiry, P.O 관리	- Inquiry에 기재되는 Item No.나 상품, 수량, 예산 등의 Data 처리 - 발주업체, 지불 조건, 납기 등의 주문 조건 관리 - 조달 단계의 Status 관리 - 예산 관리 등
Schedule 관리	- 조달 Schedule 관리 - 납기 관리 - 검사 관리 - 지불 예산 관리 등
물류 관리	- 공정관리와 연계하여 상세한 물류 정보 처리 - 선적 계획, 포장 계획 및 예산 관리 등과 연계함
Vendor 정보관리	- 주문서나 지불업무에 사용되는 vendor의 정보 관리 - 과거 거래 실적 또는 claim 실적 등의 관리를 통한 vendor list 작성 및 vendor 선정에 활용
비용 데이터 관리	- 각종 cost 정보 관리 - 견적 평가 시, 비용 데이터 활용 - 프로젝트 proposal 또는 Engineering 시 활용
Risk 관리	- 조달 단계의 Risk 관리 ○ Cost 관련 Risk : 선행 발주, 조기발주, spec, scope 등 발주 조건의 명확화, 발주 시 가격 수정 방법 결정 등에 대한 사항 반영 ○ 기술 Risk : 발주 기자재의 기능 만족 여부 또는 파손 가능성에 대한 리스크 관리 ○ 납기 Risk : 납기 지연에 따른 리스크 관리 ○ 기타 Risk : Vendor의 도산, 환율 변동, 소송, Supervisor 리스크 등의 관리

한편, 플랜트 수행단계는 일반적으로 Plant 계획, 특허기술 도입, 기본설계, 상세설계, 구매조달 및 제작, 시공, 시운전, Plant 평가의 순으로 진행되고 있으며, 플랜트 공정관리의 절차는 플랜트 사업을 수행하는 모든 공사 사업관리 중 공정관리 대상이 되는 업무나 행위를 설정대상으로 프로젝트의 특성, 프로젝트의 시점, 시행주체, 관리의 주요 포인트 등에 따라 상이한 체계와 내용으로 수행되어진다. 특히 플랜트 엔지니어링은 '시스템산업', '지식집약산업', '인재중심', '수주산업'으로 원가구성의 50~60%를 자재 구매(Procurement)가 차지하는 특징을 가지고 있고, 현장에서 일어나는 문제의 대부분은 모든 분야(자재비/인건비 등)의 가격 상승이 원인이 되고 있다. 따라서, 자재의 납기일에 따라 공기(Critical Path)가 결정되며, 납기일은 대부

분 Vender가 결정하고 있는 실정으로 자재(구매/조달) 단계의 효과적인 공정관리가 필요한 실정이다.

공정관리는 예정된 공기 내에 프로젝트를 완성하기 위하여 인적자원과 자재 및 기계/설비를 경제적으로 운영하고 최소비용으로 최대효과를 얻기 위해 작업 방법의 개선, 작업일정 계획의 수립 및 통제, 작업에 필요한 자원의 투입 및 할당 계획을 수립하고 관리하는 과정을 포함한다. 플랜트 산업의 공정관리의 전반적 사항은 아래의 그림과 같이 건설 산업의 공정관리의 제반 이론과 거의 유사하다.



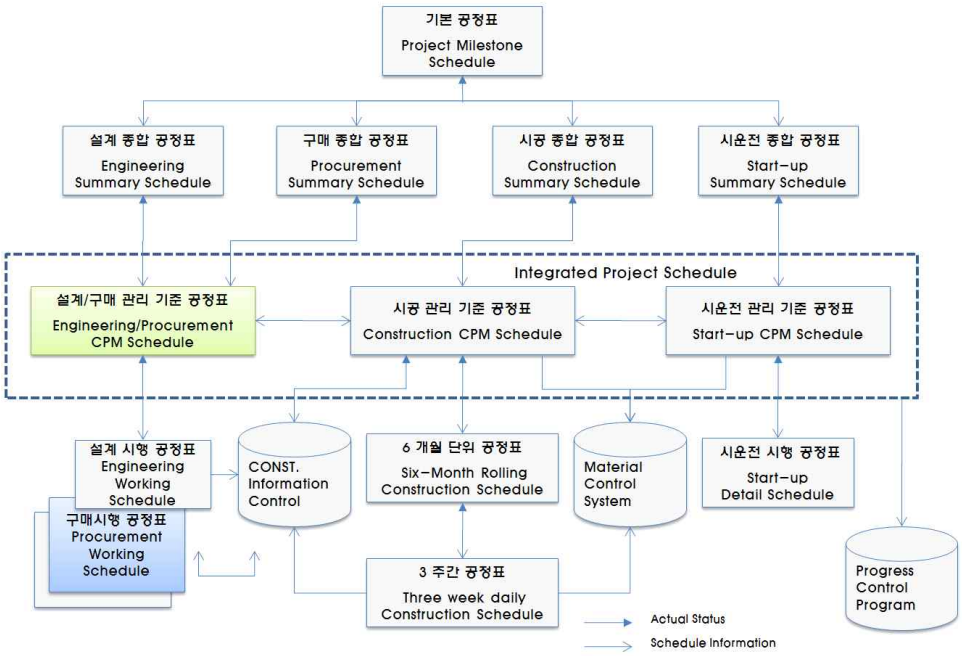
<그림 2-20> 공정관리의 프로세스

하지만 플랜트 프로젝트가 가지는 산업적 특성에 따라 아래와 같이, 공정표의 종류 등의 차이가 존재한다.

<표 2-27> 플랜트 공정표의 특성

구분	특성
Proposed Project Schedule(PPS)	새로운 Project 수주 계약을 위해 입찰 시에 작성하여 사업주에게 전달한 공정표로, 발주자가 계획하고 있는 프로젝트 기간 내에 공사 수행 완료를 위해 contractor가 프로젝트에 대해 분석하고 계획한 내용을 담고 있으며, 향후 공정 계획은 기초 근거가 됨
Project Master Schedule(PMS)	프로젝트의 수행과 관리의 기본이 되는 공정표로, 설계/구매 조달/시공/유지관리에 이르는 전 단계에 대한 종합 공정으로 주요 Activity나 Milestone은 모두 포함되어있어야 함. 사업주와 합의 통해 확정되며, 자금/인력/자재 등 모든 계획의 기초가 됨
Front-end Schedule(FES)	프로젝트 시작 시점에서 Project Master Schedule이 작성되는 초기 일정 기간 까지 만을 대상으로 Key Activity의 일정 계획을 수립한 공정표로, 초기단계의 많은 주요 업무를 적기에 완료하기 위한 것으로, task를 list up하여 담당자와 완료 목표일을 정하여 간이식으로 수립
Project Control Schedule(PCS)	프로젝트의 WBS를 기초로 Activity를 분해하여 작성함. Milestone을 준수하도록 설정하며, 각 Activity의 상호관계를 고려하여 설계/조달/시공의 각 단계별로 상세히 작성되기도 하며, EPC 모두를 포함할 경우 800~2,000개 정도의 Activity 분할이 적절함
Detailed Construction /Commissioning Schedule(DCS)	PCS에서 Construction과 Commissioning 작업의 Activity에 대해 상세한 분해가 필요한 경우 작성되며(Activity, Area 분할 등), 해당 작업의 설계가 70~80% 완료된 시점 또는 해당 공사 시작 시점의 3~4개월 전까지 작성되는 것이 바람직함
Task control Schedule(TCS)	PCS 또는 DCS의 공정 일자를 기초로 작업/분야 레벨에서의 각 work item에 대한 완료 목표를 성정하기 위해 작성됨. TCS는 해당 작업 또는 분야의 Key Person에 의해 작성되고 일반적으로 Checklist 또는 Bar chart 형식으로 작성됨
Project Summary Schedule(PSS)	공정 관리의 주요한 의사결정 Point를 나타내기 위해, 설계, 조달, 시공 단계별 공정을 요약하고, 주요한 Milestone을 표시한 공정표로, 프로젝트의 시작 단계에서 proposal schedule에 의해 작성되고, project master schedule이 완성되기까지는 전체 schedule의 기본이 됨. Master schedule이 작성된 후에는 이것을 요약하여 PSS가 작성됨
Control Index	Project Control Schedule 및 Detailed Work Schedule을 기본으로 문서 작성 상황, 기기 Bulk Material의 제작/조달 상황 등의 현황의 추적 및 파악을 하는 table로, Drawing Control Index, Equipment Control Index, Material Control Index 등이 작성 관리 됨
Punch List	설계 업무의 종료 시점 및 Project의 종료로 Turn over 시점에서 잔여 작업에 대한 보다 상세한 작업 관리 및 일정 목표를 달성하기 위해 사용되며, List 형식에 일정 계획이 들어가 있음
Fragment Schedule	Fragmented Logic Network Schedule의 약어로, 중점관리를 목적으로 특정 영역에 대한 Network 형식의 schedule임. 관리 레벨의 보고용으로서 Project Summary Schedule과 병용됨

이러한 공정표의 위계와 관련 데이터간의 연관 관계를 도식화하면 아래 그림과 같다.



<그림 2-21> 플랜트 산업의 공정표간 연계성

다음 표는 공정표의 위계에 따른 사용 주체 및 운영 목적을 정리한 것이다.

<표 2-28> 공정표의 사용주체 및 운영목적

구분	사용 주체	운영 목적	사례
기본(총괄) 공정표	공사경영진, 대외기관	차추별, 공구별 일정관리	프로젝트 마일스톤 스케줄
분야별 종합 공정표	중간관리층	공구별 주요시설별 일정관리	설계 종합공정표 구매 종합 공정표 시공 종합 공정표
관리 기준 공정표	공정관리자	주요시설별 공종별 일정관리	설계/구매 관리 기준 공정표 시공관리 기준 공정표 시운전 관리 기준 공정표
작업 시행 (계약자 상세) 공정표	계약자 (협력업체)	설계, 조달, 시공 일정관리	설계시행 고정표 주기기 공급 시행 공정표 (NSSS&T/G Suplier Detail Schedule) 보조기기 구매 시행 공정표 (BOP Procurement Detail Schedule) 시공시행 공정표

(3) 시공단계의 공정계획 조사·분석

공정관리의 목적은 주어진 기간 내에 유익한 Resource를 활용하여 Project를 성공적으로 완성시키기 위해 작업을 진행해 나가는 과정을 종합적으로 관리하는 활동이다. 일반적으로 LNG 플랜트 수행단계는 Plant 계획, 기본설계, 상세설계, 구매조달 및 제작, 시공, 시운전, 운영 및 평가의 순으로 진행되고 있으며, 시공단계의 공정관리는 시공계획에 기초하여 시공의 안전, 시공품질 확보, 공사비 절감의 전제하에 공정을 계획하고 통제하는 방법과 이를 위한 활동을 의미하고 있다.

LNG 플랜트 공정관리는 일반 건설공사와는 달리 프로젝트관리(Project Management), 공정(Process), 배관(Piping), 기계장치(Mechanical), 토건(Civil, Structure and Architecture), 계장(Instrumentation & Controls), 전기(Electrical)등 다양한 기술적인 요소가 결합하고 구성하는 공정 activity가 많다는 특성을 가지고 있어 매우 중요한 관리활동이지만, LNG 플랜트 산업의 폐쇄적인 특성과 기업의 경쟁력 및 노하우 유지 측면에서 상세 내용에 대한 공개는 제대로 이루어지고 있지 않는 것이 현실이다.

따라서 본 연구에서는 LNG 플랜트 시공단계의 공정관리 현황을 살펴보기 위해 플랜트 공정관리의 일반 사항과 시공단계의 공정관리 특이성 및 주요 고려 사항을 고찰한 결과를 제시하는데 초점을 맞추었다.

(가) 시공단계 공정관리 현황

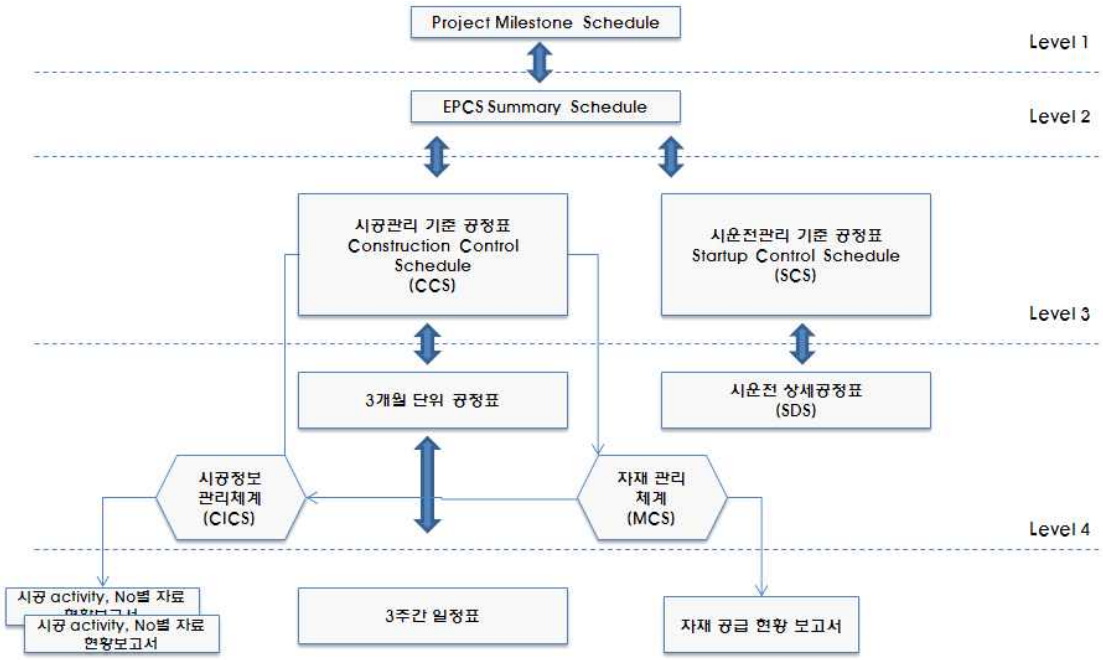
공정관리는 공사의 기본자원인 자재, 장비, 인력, 자금을 가장 효율적으로 배치 운영하여 프로젝트 일정내 최소의 비용으로 최대의 관리 효과를 내는 종합 공사 관리 수단으로써 작업방법의 개선과 작업 일정계획의 수립 및 합리적인 자원관리를 하여 프로젝트를 성공리에 완성하게 하는 공사관리의 총체적인 과정을 의미하며, 시공단계의 공정관리는 아래의 그림과 같이 사업관리, 사업비 관리, 계약 클레임 관리, 안전관리 등의 다양한 영역과 연계하여 수행되어지고 있다.

사업관리	사업비 관리	일정관리	사업관리	계약 클레임관리	안전관리
▪ 가설계획 ▪ 공사참여자 조정 ▪ 착공준비 ▪ 자금자재관리 ▪ 주요기자재관리 ▪ 인수인계절차관리	▪ 대안분석 ▪ 설계변경관리 ▪ 기설계획수립 관리 ▪ 공사비 관리	▪ 공사기간 연장 및 영향분석 ▪ 공사진도 점검 ▪ 만회공정계획	▪ 계약금액의 조정 ▪ 계약이행 및 해제 ▪ 분쟁의 해결 ▪ 검사,감독,대가지급 ▪ 공사하자관리 ▪ 부정당업체 제재 ▪ 클레임 대비 ▪ 클레임 대책	▪ 사전시공회의 ▪ 변경사항 영향검토 ▪ 시공계획 및 공정계획수립 ▪ 검측 및 시행 ▪ 품질결함사항 조치 ▪ 준공검사 및 편차리스트 ▪ 실질준공 ▪ 최종준공 ▪ 보고서작성 및 기록보관	▪ 안전조치 체계검토 ▪ 안전관리 시행감독 ▪ 안전관리 제출물 검토 ▪ 안전검사 ▪ 안전관리문서 관리

<그림 2-22> 공정관리의 관련 업무 영역

※ 출처 : 국토해양부 (2006), '플랜트 프로젝트 관리체계표준화 기술 개발' 연차보고서

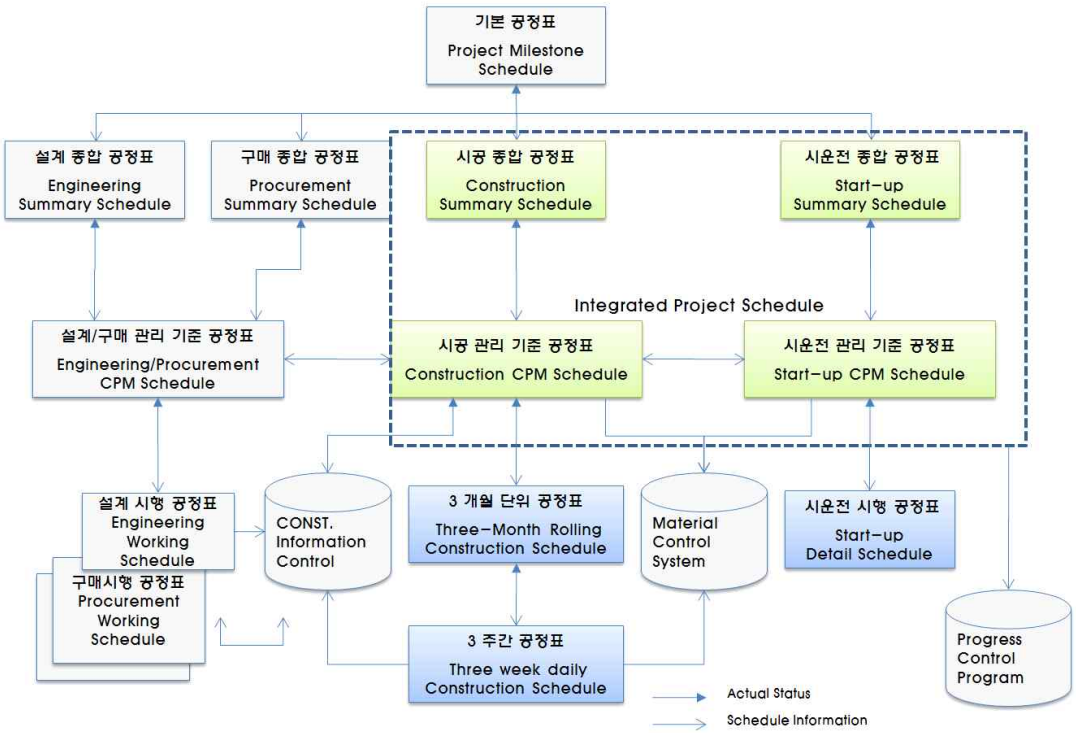
다음 그림은 플랜트 프로젝트의 시공단계에서 활용되고 있는 공정표의 위계를 나타낸 것으로, 초기 단계의 주 관리점 공정표(Milestone Schedule), 요약공정표(EPCS Summary Schedule)에서 시공자 관리기준공정표를 작성하고 실제 시공을 위한 공정표를 작성하는 순서로 작성된다.



<그림 2-23> 시공단계의 공정표 체계

※ 출처 : 한국수력원자력주식회사(2003), 신고리 원자력 1,2호기 공정관리 절차서

이러한 공정표들은 각 수준별로 시공정보, 자재정보 등과 연계성을 가지며 체계적인 관리활동이 이루어지는데, 각 공정표들의 위계와 관련 데이터간의 연관 관계를 도식화하면 아래 그림과 같다.



<그림 2-24> 시공단계의 공정표와 타 단계의 공정표간 연계성

※ 출처 : 한국수력원자력주식회사(2003), 신고리 원자력 1,2호기 공정관리 절차서

공정표는 각 수준별로 사용주체와 운영목적을 달리하는데, 사용주체는 플랜트사업 발주자와 경영진, 프로젝트 관리기능을 수행하는 중간관리자, 공정관리자, 그리고 협력업체를 포함한 계약자로 구분되고 각 주체별 역할에 따라 운영목적을 달리한다. 다음 표는 공정표의 위계에 따른 시공단계와 관련된 공정표의 사용 주체 및 운영 목적을 구분하여 정리한 것이다.

<표 2-29> 시공단계 공정표의 종류(1)

구분	사용 주체	운영 목적
기본(총괄) 공정표	공사경영진, 대외기관	공구별 일정관리
시공 종합 공정표 시운전 종합 공정표	중간관리층	공구별 주요시설별 일정관리
시공관리 기준 공정표 시운전 관리 기준 공정표	공정관리자	주요시설별 공종별 일정관리
시공시행 공정표 시운전 시행 공정표	계약자 (협력업체)	설계, 조달, 시공 일정관리

앞서 설명한 공정표의 위계를 본 보고서가 다루고 있는 시공단계로 국한하여 살펴보면 아래 표와 같다.

<표 2-30> 시공단계 공정표의 종류(2)

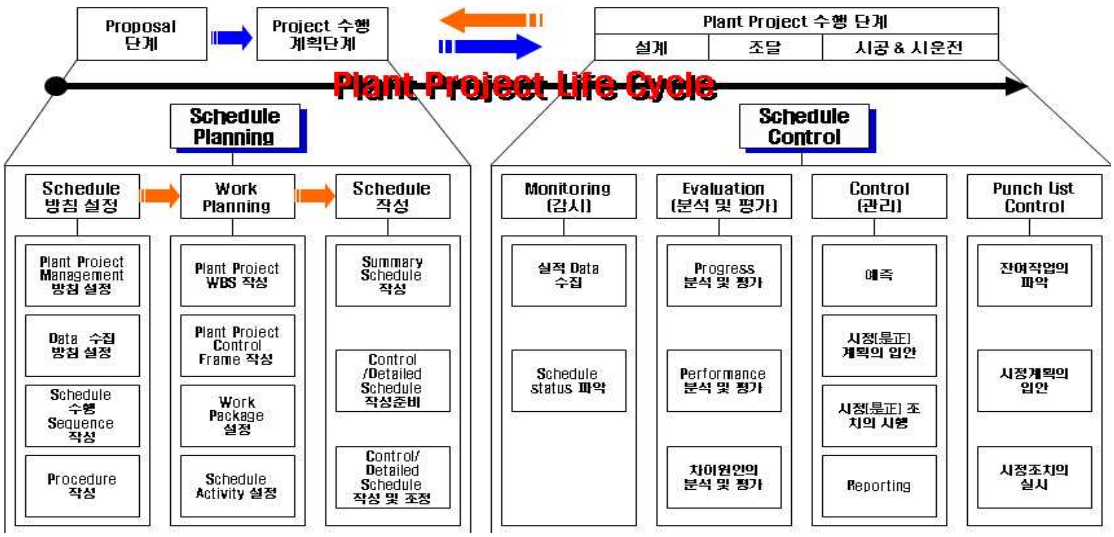
구분	범위/ 목적	기능
시공 종합 공정표 (Construction Summary Schedule)	시공분야를 호기별, 건물별, 설비별로 분류 단위 작업의 수행계획 및 상관관계 표시 기본 공정표의 계획일자와 조건 내에서 작성	▪ 시공관련 공정표 중 가장 상위 Level ▪ 실무 부서장의 관리용 ▪ 시공분야 기준 공정표 (Master schedule) ▪ 건물/설비 중심의 단위 작업으로 구분 ▪ 시공분야 전체의 계획, 현황, 예측 가능 ▪ 주요 주기기, 보조 기기 및 설계자료의 현장 인도 일정 제시 ▪ 시공 관리 기준 공정표 작성 기준 제시
시공 관리 기준 공정표 (Construction Integrated Project Schedule)	시공 단위 작업의 수행계획 및 설계/구매, 시운전관리 기준 공정표와의 상호 연계관계 표시	▪ 공정현황 파악뿐만 아니라, 관련 단위 작업의 영향 분석 가능 ▪ 시공 공정 관리 기본 도구 ▪ 시공 현황 및 예측 기능 ▪ 시공정보 관리에 기본 자료 제공 ▪ 자재관리에 기본 자료 제공
시공 시행 공정표 (Construction Working Schedule)	시공분야별 시공단위 작업을 세부 시공단계로 구분하여 운영되는 공정표로 시공 투입 인력, 주요 장비, 자재 지급 현황 및 물동량 관리에 사용	▪ 시공 업무 수행 세부 일정 제시 ▪ 진도율 산정, 성과분석 및 예측 자료 ▪ 공사감독의 공사계획 대비 실적 분석용 ▪ 시공사 업무 수행 진도보고 ▪ 시공사 업무 수행 인력, 자재, 장비 계획 기준

그리고 다음 표는 시운전 단계에서의 공정표의 위계별 주요 사항을 정리한 것이다.

<표 2-31> 시운전 단계 공정표의 종류

구분	범위/ 목적	기능
시운전 종합 공정표 (Start up Summary Schedule)	시운전분야를 호기별, 건물별, 설비별로 분류 단위 작업의 수행계획 및 상관관계 표시 기본 공정표의 계획 일자와 조건 내에서 작성	▪ 시운전 관련 공정표 중 가장 상위 Level ▪ 실무 부서장의 관리용 ▪ 시운전 분야 기준 공정표 (Master schedule) ▪ 계통 중심의 단위 작업으로 구분 ▪ 시운전 분야 전체의 계획, 현황, 예측 가능 ▪ 시운전 관리 기준 공정표 작성 기준 제시
시운전 관리 기준 공정표 (Start up Integrated Project Schedule)	시운전 단위 작업의 수행 계획 및 시공관리 기준 공정표와 상관관계를 표시	▪ 공정현황 파악뿐만 아니라, 관련 단위 작업의 영향 분석 가능 ▪ 시운전 공정 관리 기본 도구 ▪ 시운전 현황 및 예측 기능 ▪ 시공정보 관리 기준 공정표와의 상호연계 및 계통 단위 작업 영향 분석 ▪ 시운전 시행 공정표 작성기준 제시
시운전 시행 공정표 (Start up Working Schedule)	시운전 분야를 각 계통별, 단위 작업별 세부 시운전 단계로 구분하여 운영되는 공정표로, 상세한 시운전 공정현황 파악을 목적으로 함	▪ 시운전 업무 수행 세부 일정 제시 ▪ 진도율 산정, 성과분석 및 예측 자료 ▪ 시운전 업무 수행 진도보고

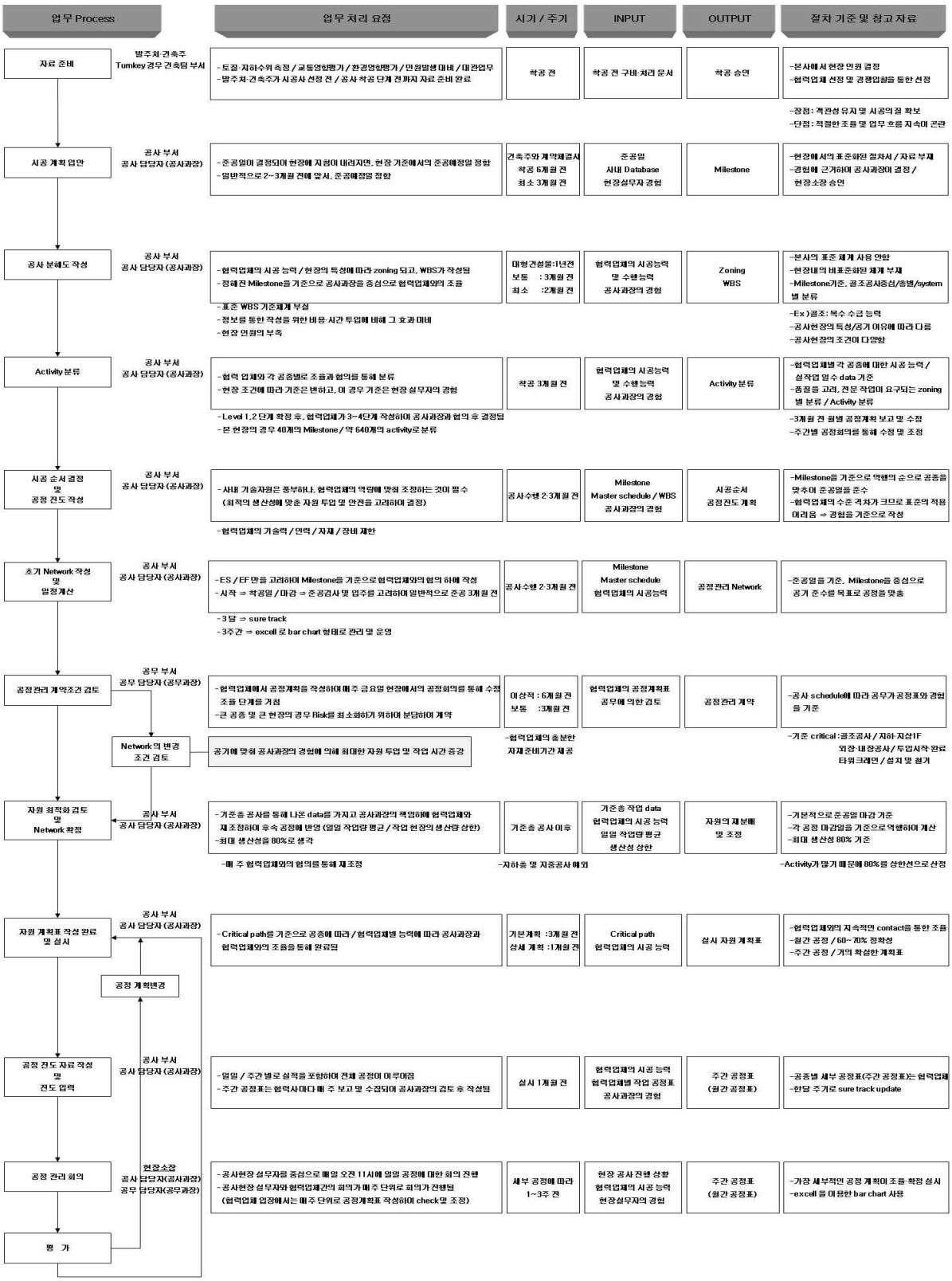
다음 그림은 LNG 플랜트 공정관리의 전반적 사항을 도식화 한 것이다.



<그림 2-25> 프로젝트의 일정관리 절차

※ 출처 : 국토해양부 (2006), '플랜트 프로젝트 관리체계표준화 기술 개발' 연차보고서

아래의 그림은 일반적인 시공 회사가 시공단계에서 공정관리를 수행하는 것을 세분화하여 도식화 한 것이다.



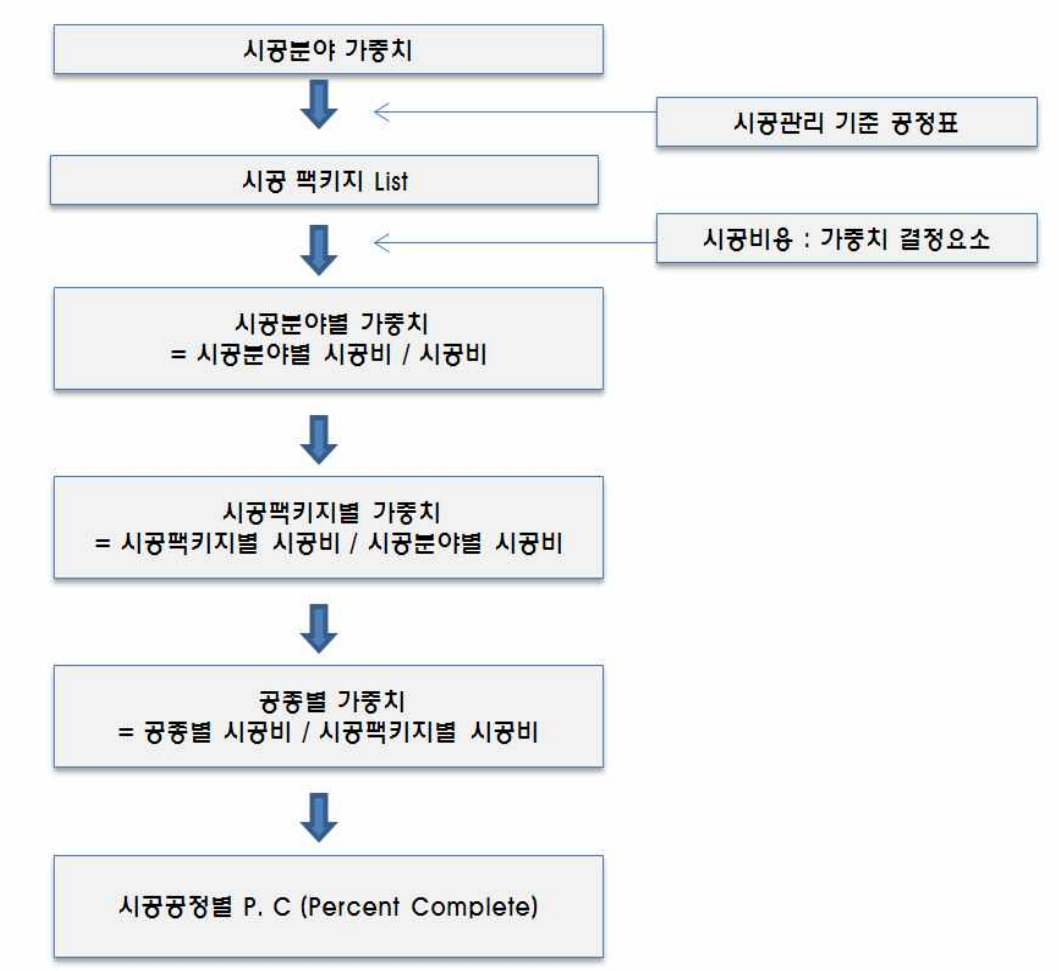
<그림 2-26> 시공단계의 공정관리 절차

다음으로 시공 및 시운전 단계의 진도관리는 다음 표에 나타난 바와 같이, 물리적 공사량 또는 투입 인력 등을 고려하여 진도를 체크하는 형태로 진행되고 있다.

<표 2-32> 진도관리의 체크사항

구분	체크 사항
Construction	물리적 공사량 건설 M/H의 소비
시운전	인력 및 기능상의 중요도

다음 그림은 시공분야의 공정률 산정을 위한 가중치 설정의 프로세스의 예를 도식화 한 것이고, 아래의 표는 시운전 단계의 단위 작업 달성도 계산을 위해 설정된 단계별 달성도의 예를 나타낸 것이다.



<그림 2-27> 시공단계의 시공공정별 달성도 도출 프로세스

<표 2-33> 시운전 단계의 단위 작업 달성도 설정의 예

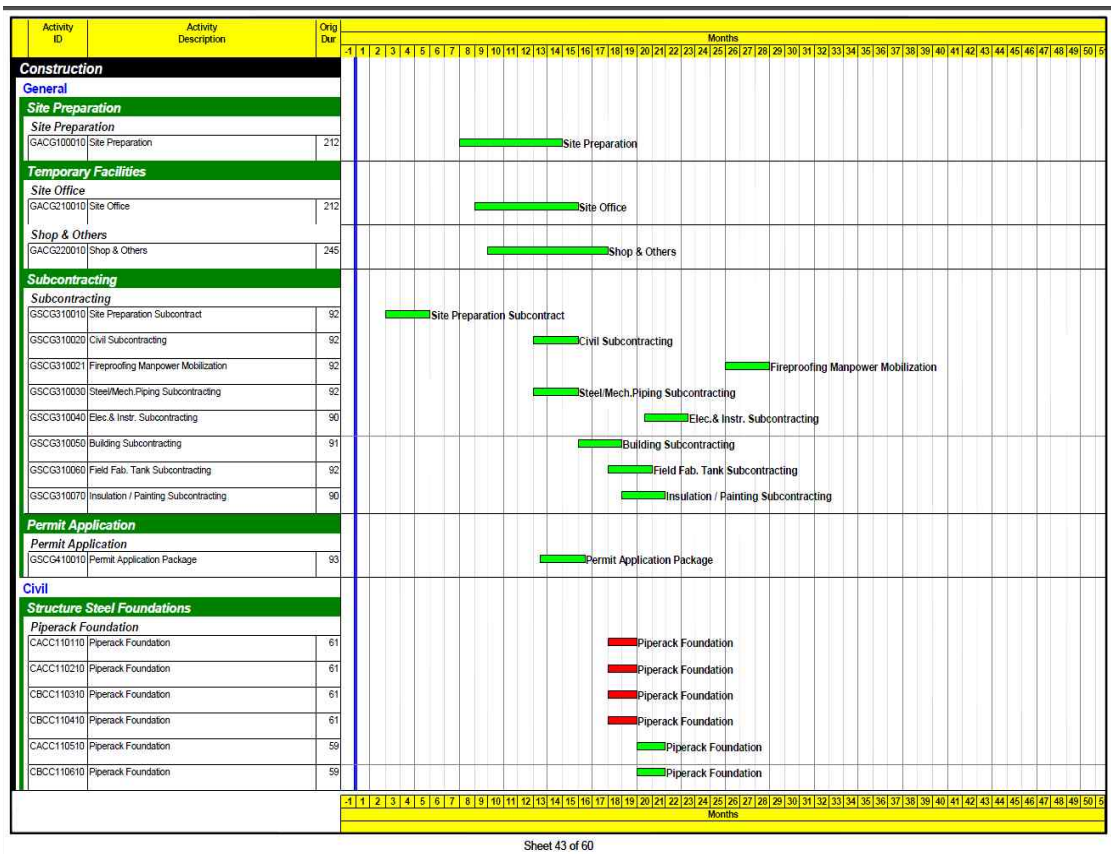
업무 수행 단계	P.C(Percent Complete)(%)
Start-up T/O	10
Pre-Requisite Phase 1	30
Pre-Requisite Phase 2	75
Pre-Operation	85
Pre-Operation Cold/Hot Test	95
Plant T/O	100

※ (출처) 한국수력원자력주식회사(2003), 신고리 원자력 1,2호기 공정관리 절차서

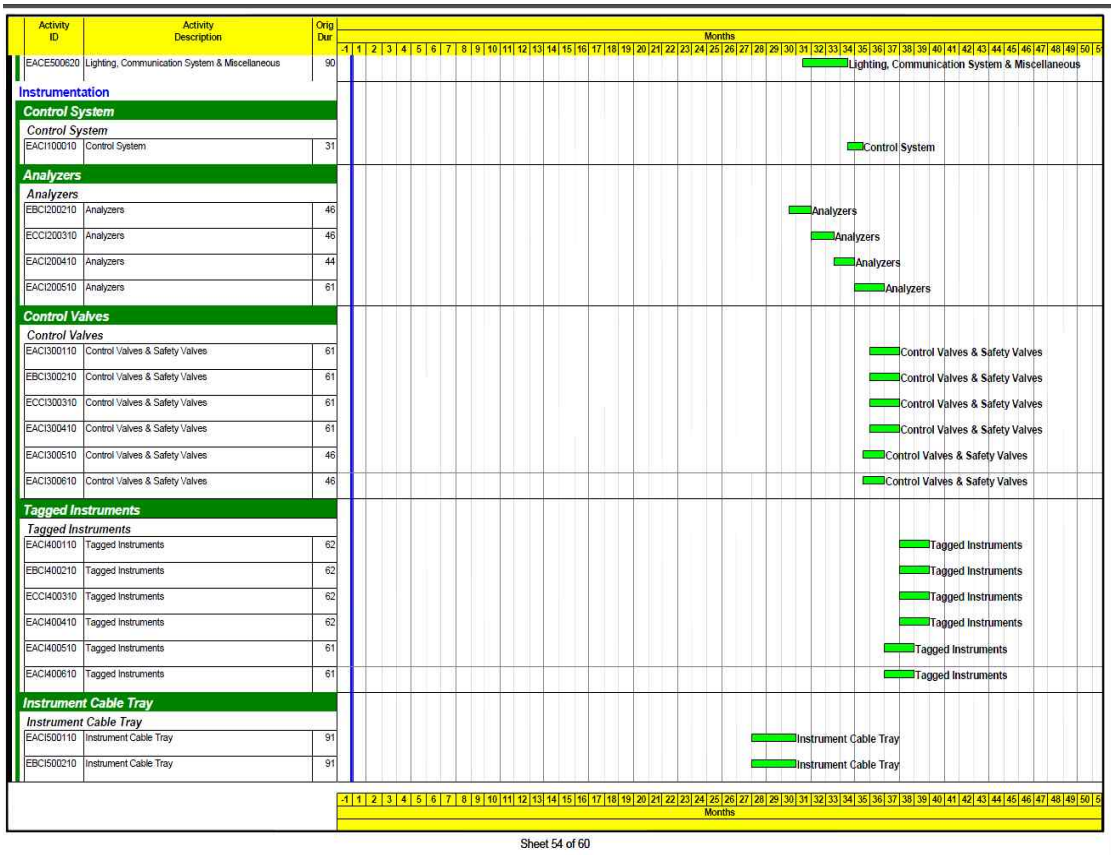
(나) 시공단계 공정계획 운영 사례 고찰

일반적으로 플랜트 프로젝트에서는 공정관리 소프트웨어의 활용도가 매우 높고, CPM의 효율적인 관리와 발주처의 요구에 따라서 사용하고 있는데, 국내에서는 MS-Project를 국외에서는 데이터의 호환성이 높은 P3를 주로 사용하고 있는 것으로 나타났다.

다음 그림은 G사의 시공단계의 공정표의 예이다.



<그림 2-28> 시공단계 공정표의 예(1)(G사 프로젝트 공정표 사례, 2008)



<그림 2-29> 시공단계 공정표의 예(2)(G사 프로젝트 공정표 사례, 2008)

공정관리의 운영은 개별 현장당 1~2명 정도의 공정관리 전문 인력이 투입되며, 공정관리를 위해 투입되는 비용은 전체 사업비의 1~2%를 차지하는 것으로 조사되었다. 그리고 LNG 플랜트 프로젝트는 일반 건축/토목 프로젝트와 달리 사용되는 자재의 종류와 그 공종이 매우 많고 복잡하여 종합적인 사업관리가 필요하며, 공정관리 또한 해당 분야별 위계를 가지고 운영되는 것으로 조사되었다.

또한, 공정계획 및 관리 시 기자재 납기가 가장 크게 고려해야 할 사항으로, 실제로 LNG 플랜트 프로젝트 수행 시 공기단축의 가장 주요한 요인으로 '자재의 구매 및 조달 업무의 효적인 운용'으로 나타났으며, 그 다음이 '업체와의 원활한 커뮤니케이션'으로 나타났다.

LNG 플랜트 공정관리에 있어서 중요한 요소는 각 공종(토목, 건축, 기계 등)간의 간섭을 최소화하여 공종 사이에 생기는 낭비시간(lose time)을 최소화 하는 것으로 공종간의 인터페이스관리가 프로젝트의 성패를 좌우하는 것으로 나타났으며, 또한 세부적인 공종은 그 양이 너무 방대하여 Area별 혹은 파이프 라인별로 나누어 Fast Track기법으로 공정을 관리하는 것으로 조사되었다.

공정관리의 기본이 되는 각 공종별 공기산정은 공정계획을 담당하는 실무자의 경험을 바탕으로 계산되며, 이와 같은 생산성 데이터와 프로젝트 정보들은 대부분 각 회사별로 데이터베이스화 되어 다른 프로젝트에 활용되고 있다.

(4) 설계, 구매・조달, 시공단계의 관리요소(체크리스트)

일반적으로 설계가 진행되는 과정에서 수행해야 할 주요 설계관리 업무로 설계검토 업무가 있으며 이를 위하여 설계검토 계획 및 체크리스트를 작성하여야 한다. 설계검토 과정을 통해서 설계단계 사업관리의 적정성을 검토, 수정하며 주요 항목별 의사결정과정을 통하여 성공적 사업수행을 추진할 수 있는 기반이 될 수 있다. 이러한 설계검토업무는 '설계검토팀 구성→설계검토방법 결정→설계검토계획서 작성→설계검토 체크리스트 작성→분야별 설계검토 실시 및 검토의견서 작성→ 검토등급부여 및 검토결과 처리(통보 및 조정, 해결, 결정)→검토보고서 작성 및 보고→검토의견 반영여부 확인' 등의 순서로 진행된다. 특히 설계검토 시 검토대상의 시공성, 시설사양 및 구조검토, 설계 오류 및 불명확한 부분의 명시 등 설계검토를 위한 체크리스트 작성이 매우 중요하다.

설계단계별로 검토해야 할 주요 체크리스트 항목을 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2-34> 설계단계별 설계관리 체크리스트 주요 항목

단계	주요 항목
공통사항	설계입력사항의 적절성 설계요건, 설계기준, 설계입찰서류 검토 설계인터페이스사항 검토 유지보수의 용이성 설계도서의 문서번호체계 검토 유사 프로젝트 경험 반영 자재 물량의 적정수준 시공자와 시공성검토
기본설계	기본계획 및 기본설계에 필요한 설계기준의 적용 관련법규 등에서 규정하는 시설기준에 대한 적정성 검토 시설규모, 배치, 형태의 적정성 각 공종별 과잉설계여부 평가 및 비용절감 방안 검토 예산대비 시설기준의 수준(등급, 기술기준 등) 설계기능향상을 위한 관련문서, 정보 건축, 토목, 전기, 기계, 소방 등 각 공종간 적정성 검토 시공성 검토 설계의 경제성 등 검토 누락, 오류, 상호 모순되는 사항의 검토 선정된 기본설계도서의 사후 활용시설의 타당성 및 수익성 검토
실시설계	설계기준 대비 시설기능 및 규모 적정성 공사비의 적정성 검토 측량 및 현장조건, 지반상태, 재료 등에 대한 검토 설계 인터페이스 사항 (설계단계 설계관리 설계인터페이스 관리 시공성 검토 설계의 경제성 등 검토 계약문서, 발주자 의견, 이전에 시행된 모든 설계검토의견 등의 반영여부 설계도서 누락, 오류, 상호 모순되는 사항의 검토 시설물의 사후 활성화 대책수립 및 성과물 제출 검토

또한 구매조달 단계의 경우 조달부문, 업체검증, 업체선정 등이 매우 중요한 요소로써 주요 고려사항을 정리하면 다음과 같다.

<표 2-35> 구매조달 단계의 주요 고려사항(체크리스트 포함)

구분	주요 고려사항
설계	- 자재의 Spec / 소요 자재 집계의 적정성 검토
구매	- 견적서 평가 및 발주 업체 선정의 적정성 검토 (업체 선정 평가는 견적 가격 + 제작 장소 + 과거 실적 + 품질 보증에 대한 대응 등 여러 가지 요소 고려)
납기	- 발주된 자재의 납기 관리 : Grade를 설정하여 발주업체, 제작자와 접촉하면서 공정계획 대로 제작인 진행되는지와 공정계획 변경에 따른 협의(발주업체, 제작자 등) - 공정 변경에 따른 지시 및 납기 변경 내용에 대한 관계자(특히 공사현장) 통지 확인
검사 (Inspection)	- 제작업체에 대한 검사 및 감독(정해진 방법의 준수, 규격, 성능 확보 여부 감시 등) - Inspection schedule에 대한 진도 관리 - 납기 변경 예상 시, 납기 관리기능자(Expeditor)에게 신속한 정보 제공
프로젝트 관리	- 제작 중 기술적, 비용적, 공기적 영향을 미치는 상황 발생 시, 이에 대한 신속한 관계자 협의 대책 수립
수송	- 납품되는 자재가 적절히 운송되도록 자재의 납품 또는 반입 시기에 맞추어 선박주선, 선적 서류 준비 등의 업무 수행 및 조정 - 효과적 수송 관리를 위한 현지의 수송로 상황 파악, 현지 수송업체의 조사, 현지 수송 시의 장해 제거 업무 등의 수행
통관	- 현지에서 통관업무 담당 - 현지 도착 자재의 지연 방지 및 현장 인도를 위한 공사 관계자와의 협업
보관	- 현장에 납품된 자재를 사용 시점까지 보관, 관리함 - 자재의 파손/훼손 등을 고려한 정비 및 재고 관리 수행 - 잉여자재, 발주상황, 선적상황, 대체가능품 등의 파악 및 관리 수행 - 자재의 수배, 도촉, 의뢰 등의 업무 수행
현지구매	- 긴급품 또는 수입 금지 품목, 현지 조달 품목의 현지 구매 수행
수입검사	- 본사에서 구매하여 납품된 자재의 재확인 - 부적합 또는 파손/부족 자재에 대한 본사 연락 및 긴급 조치

LNG 플랜트 분야의 시공단계는 설계, 조달의 후속업무로서 설계업무를 통해 구체화되고, 플랜트의 구성요소들을 사전 제작한 결과물들을 토대로 프로젝트의 최종 목표물을 구현하기 위한 시공 및 조립공종을 수행하는 단계이다. 시공단계의 업무는 플랜트 시설의 제작, 설치, 정비 등 건설공사에 대한 계획(Planning)과 통제(Controlling) 활동을 의미하며, 정해진 기간에 계획된 비용으로 요구하는 품질과 성능을 가진 플랜트를 건설하기 위한 다양한 관리활동을 수행하는 것을 의미한다. 이를 위해서는 계약의 이행을 위한 Cost Control, Schedule Control, Quality Control이 대단히 중요하며 각 관리 항목은 상호 관련성을 가지고 있기 때문에 시공관리에 대한 전반적 이해가 필요하다.

본 연구에서 다루고 있는 LNG 플랜트 시공관리 부분은 시공계획 및 실행 상황의 추적 평가와 그에 따른 시정조치를 포함하는 일련의 관리활동에 대한 전반적 사항을 다루고 있으며, 주요 항목으로 공정관리, 품질관리, 노무관리, 협력업체 관리, 자재관리, 장비관리, 안전관리 등을 들 수 있다.

① 시공단계의 주요 관리 항목

시공관리는 시설의 제작, 설치, 정비 등에 대한 계획과 통제 활동을 수행하는 것으로 주요 관리항목은 다음과 같다.

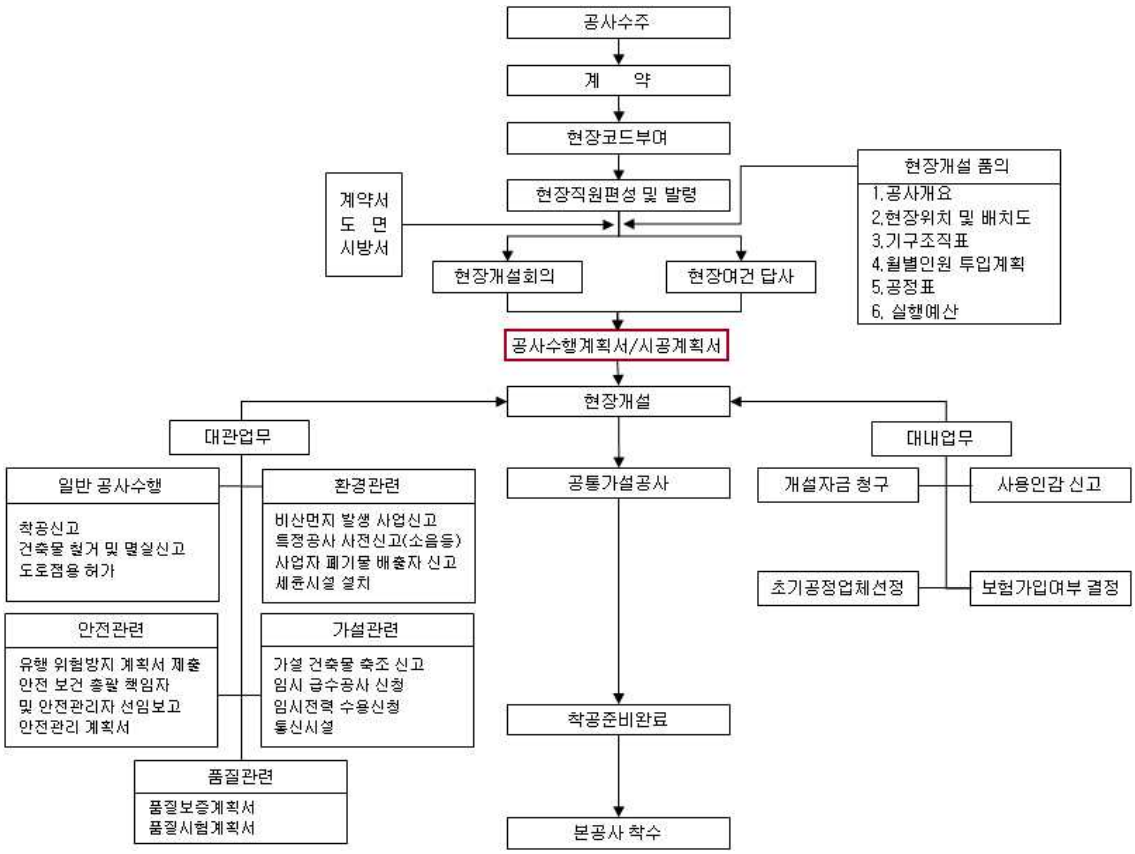
- 현장관리조직의 계획 및 편성
- 공사 발주계획
- 노무자 조달계획
- 공정계획 및 관리
- 실행 예산관리 (비용관리)
- 가설계획
- 건설장비 사용 계획 및 관리
- 공법관리
- 품질관리
- 노무관리
- 협력업체 관리
- 안전 및 환경관리
- 자재관리 (조달)

시공관리의 관리항목은 프로젝트 규모, 현지입지 조건, 공사내용, 공기 등에 따라 프로젝트의 요구에 적합한 공사계획 수립하고 있다. 그리고 효과적인 시공관리를 위해서는 체계적인 공사계획을 기반으로 공사의 수행 현황을 모니터링 하여 분석하고, 이에 대한 시정조치를 신속히 할 수 있는 체계를 수립하여 시공을 수행하고 있다.

② 시공계획

시공계획의 수립은 프로젝트 전체 계획의 수립 완료와 동시에 시작하여, 프로젝트의 진행에 따라 보다 구체적인 시공계획이 점진적으로 작성되며, 프로젝트의 공사목적, 공사조건에 따라 비용, 공정, 품질의 시공관리 3대 요소를 종합적으로 최적화하는 형태로 이루어진다.

다음 그림은 시공현장의 개설 과정을 도식화 한 것으로 현장 개설 이전에 시공계획이 우선적으로 이루어짐을 보여주고 있다.



<그림 2-30> 시공단계의 현장 개설의 절차

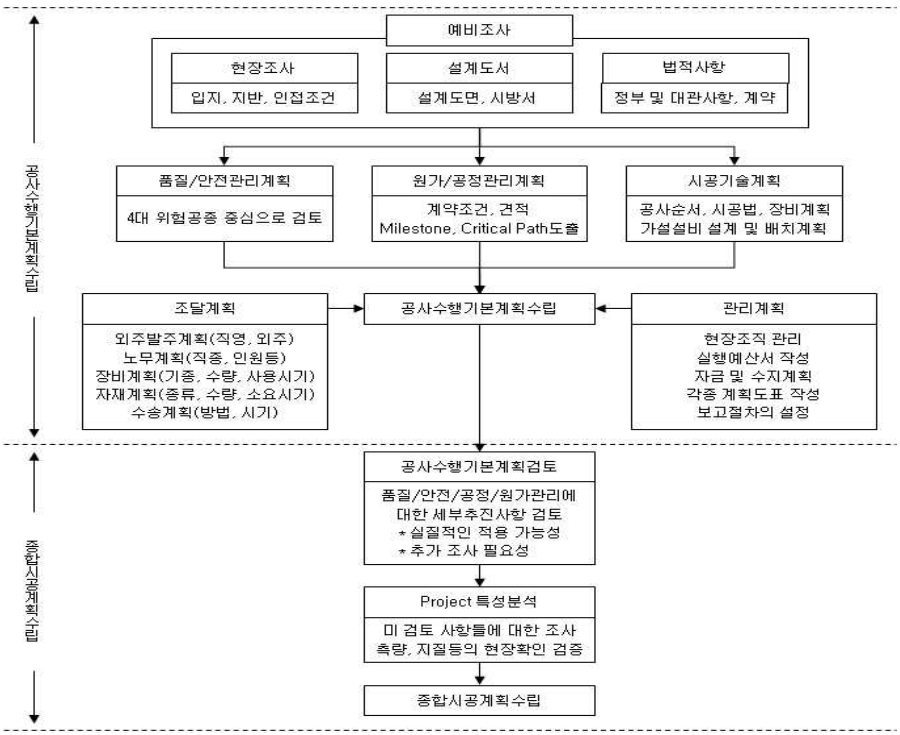
시공계획의 목적은 경제적 시공에 의한 공사비 절감, 효율적 공사 진행에 의한 적정 공기확보 및 공기단축, 시설물의 품질확보, 안전시공의 확보, 공사현장 주변 환경과의 조화 유지, 공사의 감독/통제 및 조치계획을 수립하기 위한 것이다.

이러한 시공계획의 효과적 수립을 위한 고려 사항은 다음과 같다.

- 발주자의 의향 및 요구조건
- 발주자, 협력업체 등과의 협조 및 조정체계 구축 및 유지
- 철저한 현지조사 및 입지 분석

- 공사의 특성
- 공사운영 방침(현장조직, 장비, 수배, 하도급 및 외주)
- 시공자의 능력 또는 경험
- 시공방법(현지 여건에 적합한 공법 채택, 주요 공정에 대한 공법과 시공 공정)
- 계약서, 시방서, 설계도서 등의 충분한 검토 및 숙지
- 전체 일정계획
- 안전을 고려한 품질의 확보 및 경제성 추구
- 전용성, 내구성 기타 적절한 자재의 선정(조달방식, 가설 자재 등)
- 공사용 기계, 장비의 효과적 활용 및 운전비 절감
- 재료, 노무의 파악에 의한 계약방법의 검토
- 본사와 현장간의 원활한 커뮤니케이션 체계 구축
- 리스크 파악 및 이에 대한 실시간 대응 체계 구축

다음 그림은 시공계획의 수립 절차를 도식화한 것으로, 예비조사 내용을 기반으로, 품질/안전, 원가/공정, 시공기술, 조달, 관리 계획 등을 고려하여 공사수행 기본계획이 수립되고, 이러한 공사수행기본 계획의 검토 및 프로젝트 특성 분석을 통해 종합시공 계획이 수립되는 과정을 보여준다.



<그림 2-31> 시공 계획의 수립 절차도

그리고 이러한 시공계획의 수립 과정을 거치면서, 시공방법, 공사 스케줄, 가설계획, 현장관리조직, 비용 관리조직, 품질관리 계획, 하도급업체 선정 및 노무 계획, 자재 계획, 장비계획, 수송계획, 안전/환경 관리 계획 등이 수립된다.

다음 표는 LNG 플랜트 시공계획 수립 중 국외 프로젝트의 수행 시 주의가 필요한 현장조사와 현장관리 조직에 관한 주요 고려사항을 정리한 것이다.

<표 2-36> 시공계획 수립 시 주요 고려사항(체크리스트)

구분	특성	관리항목
현장 조사 (Site Survey)	- LNG 플랜트 공사는 국내뿐만 아니라, 국외 공사가 많음 - 현지사정과 조건에 대한 정확한 파악이 필수적임	1)자연조건: 기후, 부지, 지질, 지형 등 2)설치조건: 가설조건, 통신연락 수단, 급수, 전력 공급 등 3)수송조건: 항만사정, 통관, 내륙 운송, 감독/관청, 도로법규 등 4)현지조달: 건설기자재 조달 현황, 건설장비 현황, 시공업체 현황 등 5)노동시장조건: 취업 제한, 근로조건, 임금수준, 수급능력, 노동조합 현황, 노사 관행, 안전/보건 기준 등 6)사회/정치정세 : 정치, 경제, 치안, 교통 수단 등 7)법규: 법률, 수입통관, 세무, 환경 등의 제 법규정 8)문화 : 문화, 습관, 관습 등
현장 관리 조직	- 현장조직은 프로젝트의 규모, 종류, 내용, 계약 형태 등에 따라 편성이 상이함 - 효과적 시공 관리를 위해서는 공통관리 요소를 중심으로 조직의 역할 분장 및 최적의 조직 구성이 필요함	1) 관리/통솔 분야 - CMr (Construction Manager) - Construction Superintendent - Area Superintendent - Discipline Supervising Manager - Supervisor 2) 계획/통제분야 - Control Manager, Schedule Controller, Cost Controller 3) 현장 설계 & 관리 - Field Engineering Manager, Field Engineer 4) 자재 관리 - Field Material Manager, Field Material Controller - Warehouse Keeper, Local Purchaser 5) 품질 관리 - Quality Control Manager, Quality Controller - Field Inspector 6) 안전관리 - Field Safety Manager, Field Safety Supervisor 7) 지원/관리 부문 - Field Document Controller, General Affair - Accountant, Labor Controller, Administrator, Medical Staff 8) 시운전 및 교육훈련 - Start-up Operation Manager - Operator Training Engineer - Start-up Engineer

※ 출처 : 유홍석 편저(2001), 플랜트산업의 프로젝트 매니지먼트, 플랜트협의회

③ LNG 플랜트 공정계획 및 관리 일반

○ 공정계획

공정계획은 프로젝트의 가설공사에서 플랜트 건설을 완료할 때까지의 시공 순서를 수립하고 자원의 배분을 계획하는 것이다.

시공단계의 공정표는 크게 Master Schedule과 상세 Schedule로 구분한다.

계약 후 조기에 작성되는 Master Schedule은 목표 공기 중에 현장개설, 가설공사의 실시, 기초공사의 착수, 수송개시, 기자재의 반입, 설치, 조립개시, 검사, 시운전 개시 등 주요한 Milestone을 표시함과 동시에 기성계획과 자원의 투입 예정 수량을 정하며, 발주처의 승인을 받아 시공을 수행한다. 상세 공정은 Master Schedule(기본 공정표)이 발주처에서 승인된 후에 작성하는 것으로 작업 배치 계획, 작업 순서의 설정, 자원의 산출, 기간 설정 등을 고려하여 작성된다.

그리고 공정 진도를 정략적으로 측정/관리/분석하기 위해 수립된 각 Activity별로 수량 목표 공정율 측정을 설정한다. 공정계획의 표시 방법으로는 Gantte Chart, PERT, CPM 등 여러 가지가 사용되며, 특히 공정상의 주공정(Critical Path)의 파악을 위해 CPM 방법이 많이 적용된다.

○ 공정관리

공정관리(Construction Schedule Control)은 건설공사를 공기 내에서 가장 경제적으로 완성하기 위하여, 공사진도 현황을 파악하고, 계획 대비 조정과 관리를 수행하는 것을 의미한다. 공정관리 중 공기 지연이 발생할 경우, 문제점의 지적, 대책 수립 및 이후 단계의 일정 예측 등을 수행함으로써 공사의 수행계획에 맞추어 공사가 진행되도록 통제하는 것이 필요하며, 이를 진도관리(Construction Progress Control)라고 한다.

다음 표는 공사 진도관리(기성 산정) 방식을 정리한 것이다.

<표 2-37> 공사 진도관리 방식

분류	측정방식	측정대상
Thomas 와 Mathews (1986)의 측정방법	실 작업진도 측정	작업물량(내역)
	추정 진도 측정	작업현황
	달성진도 측정	일정시점의 작업완료여부
CII(1987)의 측정방법	완료물량 측정	작업물량(내역)
	진행단계별 측정	진행단계별 작업현황
	시작/완료 구분에 의한 측정	작업의 시작, 완료
	추정에 의한 측정	작업현황
	공사비 비율에 의한 측정	-
	가중치에 의한 측정	세부작업단위의 완료 또는 진행율
Fleming와 Koppleman (1996)	Weighted Milestones	작업 또는 상위 Activity 의 Milestone[한달 정도의 상위 Level)
	Fixed Formula by Task	작업의 완료(0-100) 또는 작업의 시작 및 완료(50-50)
	Percent Complete Estimates	작업현황
	Percent Complete & Milestones Gates	작업 중 Milestone 및 작업현황
	Earned Standards	-
	Apportioned Relationships to Discrete Work	-
	Level of Effort	작업시간

진도 계산은 전체 진도현황을 파악하는데 필요하나, 실제로 공정의 진척을 모니터링하고, 전체의 지연이 발생되지 않도록 하기 위해서는 타 공사에 비해 여유 시간이 없는 Critical Path 상에 있는 공사의 진척상황을 중심으로 진도관리를 하는 것이 중요하다. 또한 공사의 진도 측정 뿐만 아니라, 투입한 Manpower(노무량)과 대비한 생산성의 측정이 필요하며, 계획 생산성에 대한 실적 평가를 통하여 공사의 진도를 측정하고, 문제 요소를 조기에 파악하는 것이 성공적인 공정관리를 위한 주요 관리 요소이다.

④ 기타 시공관리 현황

○ 노무관리

노무관리(Labor Control)는 건설현장에서 노무자의 적기 투입, 노동능률(생산성) 향상, 도덕적 형사적 문제 해결 등의 인간적 측면, 그리고 노사관계 등에 관한 관리활동을 의미하며, 고용, 처우, 근태, 작업 관리 등을 수행한다. 특히, LNG 플랜트의 경우와 같이 해외 건설공사가 많은 경우, 현지에서 고용하는 노무자는 국민성, 습

관, 노동관행 등이 국내와 다르고, 노무관리에 대해서도 국내와 상이한 여러 가지 제약사항이 있기 때문에 이를 주의하여 관리하여야 한다.

시공 현장의 노무관리는 협력업체에 의해 고용되는 경우와, 직영으로 고용되는 경우가 있다.

작업조직의 편성은 국적, 인종, 출신지, 종교 등을 고려하는 것이 중요하며, 작업수행 관리 시, 공사 지연이 발생하지 않도록 필요 작업의 지시와 근무 태도의 체크, 능력 및 생산성 평가가 이루어져야 한다.

노무자의 기술관리는 시방서, 도면을 이해하여 지시한 품질요구를 만족하는 지에 대한 교육 및 지도가 필요하며, 이를 위해서는 공사감독(Foreman)의 책임과 권한을 명확히 하고, 이를 정확하게 파악하여 시공단계를 수행하고 있다.

효과적인 작업관리를 위하여 직종/능력별 작업, 인수, 시간 및 작업 실적에 대한 작업일보 기입이 필요하며, 감독자 또한 작업진도를 파악하기 위하여 실적 기록표나 문제점 기록서, 그리고 이에 대한 개선 지시를 위한 개별 작업지시서 등을 작업관리용 문서를 사용하고 있다.

○ 협력업체 관리

협력업체 관리(Subcontractor Control)은 협력업체의 선정과 계약 및 관리에 관한 사항으로, 특히 계약에 초점을 맞추어 관리를 수행하고 있다.

다음 표는 협력업체 관리 시 유의사항을 정리한 것이다.

<표 2-38> 협력업체 관리시 유의사항

구분	유의 사항
협력업체 계약	- 명확한 계약 조건 제시 - 상세한 도면/시방서 및 B/M(Bill of Material), B/Q(Bill of Quantity)를 제시 - 기술 및 작업 관리 면에서 신뢰도록 높은 업체 선정
협력업체 대상 현장 관리	- 노무자의 동원 실적 관리 - 공사진척도(기성고) 파악 - 생산성 평가 - 기술 지도 - 품질관리 - 안전관리

협력업체가 고용한 노무자의 노무관리는 협력업체의 의해 시행됨으로 협력업체의 책임자를 경유한 간접관리가 일반적이나, 국가에 따라 법률적으로 시공사가 협력업체의 고용인에 대한 최종 책임을 지도록 규정하는 경우는 직영의 경우와 동일한 작업관리를 수행하고 있다.

또한 외국업체의 경우, 문제 발생 시 클레임(Claim)을 제기하기 때문에, 작업 지시는 문서에 의해 실시하고 있다. 일반적으로 시공사 측은 작업지시서를, 협력업체는 작업일보를 제출하며, 이 이외에 중요한 협의사항에 대해서는 회의록 등을 작성하여 관계자의 확인을 받아 공사를 수행한다.

○ 자재관리

자재관리(Material Control)은 필요한 기기/자재를 필요한 시기에 조달할 수 있도록 자재계획에 의한 조달, 보관, 불출, 운반 등의 관리를 의미한다.

자재관리는 공사일정에 따라 적기에 품질기준에 합치하는 자재를 필요한 수량만큼 필요로 하는 장소에 가장 경제적으로 공급하는 것을 목표로 하며, 시공계획과 시방서에 따라 자재의 품목, 규격, 품질, 운반, 전용 등을 검토하여 가장 경제적인 조달이 되도록 계획을 수립하여 수행한다.

건설 현장의 자재관리의 주요 업무 내용은 다음과 같다.

- 현지조달자재에 대한 발주
- 자재의 필요수량 및 반입예정수량과 시기 파악
- 현지 항구에서의 통관, 내륙운송에 대한 현황 파악 및 수행관리
- 창고, 옥외 야적장(stock yard) 등에 대한 기자재의 보관, 정비, 경비
- 자재 검수/수입 수행
- 자재입고 일보 작성 및 공사부서에 신속한 정보 제공
- 정기적 자재 입출고, 재고 현황 보고서 작성
- 재고관리(Inventory Control) 실시
- 진도 현황 파악을 통한 부족 자재 예측 및 전용자재계획 등의 검토와 필요 조치 수행
- 잉여 자재관리 및 처분

자재관리는 건설공사의 schedule 달성을 위해 가장 중요한 관리 대상의 하나이며, 공사계획에 따른 자재 확보가 가장 중요하기 때문에 예상소요자재 수량과 시기 파악을 통한 현지조달 또는 본사 조달에 대한 독촉, 조정 등의 업무가 적극적으로 수행하고 있다. 또한 자재관리는 창고관리를 중심으로 한 입/출고관리 뿐만 아니라 불출 이후에도 공사현장에서의 분실, 혼용, 손실, 열화, 파손 등의 문제가 발생하기 쉽고, 소운반이 수시로 일어나기 때문에 치밀한 검토와 수행을 통해 현장 비용의 절감을 위해 노력하고 있다.

○ 시공 장비관리

시공현장에서는 많은 장비를 이용하게 되고, 이들의 가동/운영 관리는 공사수행의

진도 뿐만 아니라 공사비에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 효과적인 시공을 위해서는 장비투입계획과 작업순서계획의 치밀한 수립과 관리가 필요하다.

장비관리(Construction Equipment Control)는 장비의 선정, 운전 및 유지관리를 업무 내용으로 하며, 효과적 장비 선정을 위해서는 경제적 요인(공사의 성질과 수량, 임차료, 운전경비 등), 장비의 용량 및 장비의 기능 등을 고려하고 있다.

또한 장비의 유지관리 시에는 정기정비, 일상정비, 윤활 관리 및 타이어 관리 등이 필요하며, 운전원의 관리(기량을 갖춘 운전원의 확보, 운전원의 공사내용 및 작업 목표에 대한 교육, 근로의욕 고취 등)와 운전 기록관리(운전일지, 정비보고, 운전일보, 장비 이력부 등) 등을 수행하고 있다.

○ 품질관리

품질관리는 프로젝트 전체의 품질보증방침(Quality Assurance Policy)에 의거하여, 건설현장의 Quality Control Manager를 두고 현장에서 목적하는 LNG 플랜트를 계약된 도면/시방서 등에 따라 완성하는 형태로 수행되어진다.

품질관리는 품질관리 조직 내에 Inspector를 두어 전 공사 현장의 모든 작업을 순회 점검/확인하기도 하나, 공사수행자들이 자율적으로 품질관리를 수행하는 시스템 절차를 작성하여 시행하기도 한다.

Q/C 조직 요원들은 각 작업자들의 Q/C 활동상황과 기록을 수시로 확인하고 점검하며, 중요한 품질확인 대상작업과 필수 확인점(Hold Point)을 미리 설정하여, 공사수행자에게 제시하고, 해당 작업이 수행될 때 Q/C 조직요원의 입회, 확인하는 방법으로 수행하여 투입 인력의 최소화와 작업 대기시간을 최소화하는 형태로 관리를 수행한다.

○ 안전관리

안전관리는 각 국가별로 근로기준법, 노동안전위생법 등이 적용되기 때문에 공사계획 수립 시, 안전관리의 수행 및 관리체계를 확립하여 조직체계, 절차, 방법, 양식 등을 작성하고, 모든 작업원의 철저한 교육 시행을 통해 수행되어진다.

안전사고 발생 시 금전적 손실 뿐만 아니라, 공기지연, 형사적 처벌 등의 문제 발생이 우려되기 때문에 전 관리자의 인식 뿐만 아니라, 모든 관리자들의 직무에 맞게 안전위생관리의 책임 직무를 겸직하도록 하고 있으며, 모든 작업원에 대한 교육과 감독 및 이에 대한 이행여부, 현황에 대한 파악 및 독려, 그리고 시정 조치의 업무를 수행하고 있다.

재해 발생률 등에 의한 안전도 평가, 기록, 유지를 수행하고 있으며, 현장별 평가 또는 협력업체에 대한 안전도 측정/평가를 인센티브와 연결시킴으로써 자율적인 안전위생관리의 성과 제고를 위한 노력을 하고 있고, 각 공사 현장마다 안전위생관리 기술표준을 제정하여 홍보 및 교육하고 있다.

(5) 설계, 구매・조달, 시공단계의 사업관리 매뉴얼 개발

국내 LNG 및 산업플랜트 건설경험이 있는 건설사의 사업관리매뉴얼 및 해외 사업관리매뉴얼 사례를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2-39> 사업관리매뉴얼 사례조사

구분	주요관리항목	비고
국내 (산업플랜트)	사업관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약/클레임관리, 안전관리, 환경관리	설계관리,리스크관리, 구매조달관리는 별도항목이 아닌 일부내용에 포함
PMBOK	통합관리, 역무관리, 공정관리, 비용관리, 품질관리, 인적자원관리, 의사전달관리, 위험관리, 구매/조달관리, 안전관리, 환경관리, 재무관리, 클레임관리	건설분야에 한해 안전관리, 환경관리, 재무관리, 클레임관리추가
CMAA	프로젝트관리, 원가관리, 공정관리, 품질관리, 프로젝트 행정 및 계약관리, 안전관리	생애주기를 기준으로 분류

한편, 국내 LNG 및 산업플랜트 건설경험이 있는 건설사를 대상으로 설계관리매뉴얼을 조사한 결과는 다음 표와 같으며 일부는 별도의 설계관리매뉴얼을 갖추고 있지 않고 사업관리매뉴얼 속에 일부 조항으로 담고 있는 경우도 있었다.

또한 구매조달관리의 경우도 별도의 단계로 구분하여 나누지 않고, 계약관리 ・ 공정관리 ・ 설계관리 ・ 품질관리 등의 항목에 구매조달에 해당되는 항목을 분산하여 담고 있는 경우가 대부분이다. 이는 구매조달의 행위가 설계와 시공단계에 걸쳐 지속적으로 발생하는 행위이기 때문이다.

<표 2-40> 설계관리매뉴얼 사례조사

구분	주요관리항목	비고
A사	설계진행과정관리, 설계 interface관리, 설계 VE관리, 설계시공성 검토, 설계변경관리	(공통 구성체계) - 전체목차 - 문서번호 - 개정번호 - 사업관리단계 - 목적 또는 개요 - 일반사항 또는 적용범위 - 각 관리대상 주요항목별 설명 : 조직, 업무분장, 업무처리 절차 등
B사	설계계획, 설계진행관리, 설계도서검토, 설계도서승인절차, 설계인터페이스관리, 설계조정회의, 설계시공성검토, 설계VE, 인·허가 확인	
C사	설계및개발계획, 설계인터페이스관리, 설계입력관리, 설계출력관리, 설계검토, 설계검증, 설계변경, 설계유효성 확인	

상기의 사례조사와 선행연구를 통하여 국내 7개의 대형건설사 및 엔지니어링회사의 LNG 플랜트 경험이 있는 관련 전문가 11명을 대상으로 자문 및 협의를 거쳐 설계, 구매·조달, 시공단계에 대한 총 9개의 LNG 플랜트의 건설사업관리 요소를 선정하였다. 선정된 항목은 사업관리, 설계관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약 및 클레임관리, 안전관리, 환경관리, 리스크관리로 구분된다. 선정된 각 단계별 사업관리요소는 다음 표와 같다.

<표 2-41> LNG 플랜트 EPC 단계별 건설사업관리 요소

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
사업관리	정의	프로젝트 사업조직을 구성하고 사업의 계획 및 관리방법, 사업의 수행절차를 구성하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	프로젝트 수행을 위한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무의 관리를 위해 필요한 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 시운전을 위해 필요한 시공절차 및 계약 내용에 따라 착공에서부터 프로젝트 준공 및 유지관리 단계까지 원활한 프로젝트 수행을 위해 필요한 업무 및 업무절차
	세부항목	①프로젝트 조직구성 ②프로젝트 계약관리 ③문서관리체계 수립 ④기록관리체계 수립 ⑤프로젝트 목표관리 ⑥프로젝트 정보교환체계 수	①구매조달 절차 수립 ②자재 구매계획 수립 ③자재 관리책임자 선정 ④자재 모니터링 업무 ⑤자재시험 및 운송관리계획	①현장사무실 개설 및 착공 ②시공관련회의 ③현장목표관리 ④시공관리정보시스템 운영 ⑤프로젝트 평가 ⑥시공관련 문서 및 자료관

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
		립 ⑦인허가 계획수립 및 수행관리	수립 ⑥Spare part 공급계획 수립 ⑦Specal tool 공급계획 수립	리 ⑦시공단계 보고서 작성 및 기록보관 ⑧시운전 및 교육 ⑨준공계획 수립 ⑩준공검사 ⑪사후평가 ⑫기술검토의견서 작성 ⑬시설물 인수, 인계 ⑭건설사업관련문서 인수인계 ⑮유지관리 방침 및 계획수립 ⑯유지관리 지침서 작성 ⑰프로젝트 완료보고
설계관리	정의	설계계획을 수립하고 설계기준검토, 설계업무절차 수립 및 설계검토회의를 수행하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	내역서 및 자재구매 사양서를 작성하며 자재공급업체 선정과 자재관리에 필요한 업무 및 업무절차	시방서를 작성하고 시공상세도를 검토하며 준공도면 작성 및 관리를 하는데 필요한 업무 및 업무절차
	세부항목	①분야간 설계검토회의 ②설계계획 수립 ③설계기준서 작성 ④설계업무절차 ⑤설계계산서 작성 ⑥설계도서 작성 및 개정관리 ⑦설계검토 ⑧설계시공성 검토 ⑨설계협력업체 수행도 평가	①설계구매 내역서 작성 ②자재구매 사양서 작성 ③자재 제작도면/설계서 작성 ④자재구매조달 공급업체 선정 ⑤불용 및 잉여자재관리	①시방서 작성 ②시공상세도 검토 ③시공성 검토 ④설계변경도서 작성 및 관리 ⑤준공도서 작성 및 관리
사업비관리	정의	프로젝트의 원가관리 및 예산편성, 그리고 효율적인 사업비 집행계획을 수립하는데 필요한 업무 및 업무절차	승인된 예산안에서 프로젝트를 완료하기 위해 필요한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무 수행에 필요한 사업비관리 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 유지관리를 위해 필요한 공사비를 계획하고 산정하며 시공 및 시운전 단계의 사업비집행 및 변경에 대한 업무 및 업무절차

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
공정관리	세부항목	①원가관리 ②비용 및 견적관리 ③기성계획 수립 및 관리 ④사업 및 공사비 예산 작성 ⑤선실행예산편성 ⑥본실행예산편성 ⑦공사비 산정 및 예산 편성 ⑧프로젝트 견적 ⑨프로젝트 실행계획 수립	①자재원가 및 실행예산 변경관리 ②자재 대금지급관리	①공사비경향분석 ②기성검사 ③공사비 대안분석 ④실행기성관리 ⑤기성 및 준공금 관리 ⑥준공정산 ⑦현장품질관리비 사용실적관리 ⑧현장안전관리비 사용실적관리 ⑨현장환경관리 사용실적관리 ⑩현장경비 사용실적관리 ⑪공사원가보고서 작성
	정의	프로젝트의 진행상황을 모니터링하고 평가하기 위해 기준이 되는 프로젝트 공정계획 수립을 위해 필요한 업무 및 업무절차	구매조달단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 시운전을 위해 공사일정 및 공종을 계획하고 변경하는 시공 및 유지관리단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차
	세부항목	①프로젝트 일정관리기준 설정 ②프로젝트 공정표작성 및 관리 ③프로젝트 공정계획 검토 ④설계일정관리	①구매조달 일정 수립 ②자재 구매계약 일정관리 ③자재 제작 공정관리 ④자재 지급 공정관리 ⑥핵심자재 Long Lead Item 상세일정 검토	①공종별 세부공정표 검토 ②공종별 세부공정표 운영 ③공종별 시공계획 수립 ④시공 공정관리 및 진도점검 ⑤시공분야별 관리기준 공정표 작성 ⑥공종별 시공관리 ⑦공정만회대책 수립 및 이행 ⑧공사진도 점검 ⑨공사기간 연장 ⑩공정회의 운영

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
품질관리	정의	계획단계에서 프로젝트가 수행해야 할 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등의 결정에 필요한 업무 및 업무절차	프로젝트 수행에 필요한 건설자재의 품질요구사항을 만족시키기 위해 품질계획, 품질보증, 품질통제 등과 관련된 업무 및 업무절차	시공 및 시운전단계에서의 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등을 결정하며 품질보증 및 품질통제를 위한 업무 및 업무절차
	세부항목	①품질관리계획 및 절차수립 ②품질관리의 목표와 범위 설정 ③품질관리 시방서 작성 및 관리	①자재 품질관리 계획 ②자재 공급원 승인 ③자재 검사 및 입출고 관리 ④자재 상주관리업무 ⑤기자재 납품관리 ⑥기계제작 승인 ⑦자재 부적합품 관리 ⑧자재 검측장비 관리 ⑨자재 공급업체 수행도 및 품질평가 ⑩현장 공급자재관리 ⑪건설자재 검사관리	①품질조정회의 운영 ②품질검사자 자격부여 및 관리 ③현장품질교육 및 훈련 ④시공 품질관리 지침서 검토 ⑤검측 및 시험 ⑥현장기자재 관리 ⑦품질경향분석 및 관리 ⑧부적합사항 시정 및 예방조치 ⑨하자관리 처리 및 기술협력
계약/클레임관리	정의	프로젝트에 대한 계약/클레임방법 및 절차선정, 계약/클레임관리 및 식별, 이에 대한 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행등과 관련된 업무 및 업무절차	프로젝트의 수행에 필요한 자재 및 물품에 대한 계약/클레임방법 및 절차선정, 계약/클레임관리에 대한 업무 및 업무절차	공사수행 및 시운전에 대한 계약 방법 및 절차선정, 계약관리에 대한 주요 업무와 클레임과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①계약방법 결정 ②입찰 및 계약절차 수립 ③입찰공고 및 현장설명 ④계약관리 ⑤계약변경 ⑥설계자 선정 ⑦설계용역계약 ⑧설계용역관리	①구매계약 ②구매계약 사후관리 ③자재 공급업체 부도관리 및 후속조치 ④물품구매(소액구매) ⑤물품구매(수의계약) ⑥물품구매(입찰)	①공사중지명령 ②계약이행 지체대응 ③클레임 대책 ④클레임 관리(일반) ⑤클레임 관리(공사비) ⑥공사관련 협력업체계약 ⑦물가변동에 따른 계약금액 조정

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
				⑧설계변동에 따른 계약금액 조정 ⑨시공단계 설계변경 검토 및 관리
안전관리	정의	프로젝트 수행 전반에 대한 안전관리계획, 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차	프로젝트에 관련된 구매조달 과정에서의 안전관리계획에 맞는 안전관리 이행과 관련된 업무 및 업무절차	시공 및 시운전과정에서의 안전관리활동과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①안전관리계획 및 규정 수립 ②안전요구사항 및 지침 작성 ③잠재적 위험요소 검토 ④안전관리비 책정	①구매조달 안전관리비 책정 ②구매조달관련 안전요구사항 및 지침 작성	①건설현장 안전조직체계 검토 ②현장안전점검 ③무재해운동추진 ④안전관리 이행감독 ⑤안전조정회의 운영 ⑥안전교육훈련 ⑦안전관리 문서관리 ⑧안전관리자 배치 ⑨안전보건회의 ⑩안전장구 및 시설물 관리 ⑪안전진단 및 정기점검 ⑫안전활동 및 모니터링 ⑬안전감사
환경관리	정의	프로젝트 계획 및 설계단계에서의 환경관리계획 및 이행과 관련된 업무 및 업무절차	구매조달 품목에 대한 환경영향 검토 등과 관련된 업무 및 업무절차	시공단계에서의 환경관리 수행 및 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항	①환경관리 기본계획 수립 ②잠재적 환경위험요소 파악 및 결정	①구매조달 품목 환경영향 검토 ②환경관련 물품 구매・조	①환경조직체계 검토 ②환경관리계획 시행감독 ③환경관리 문서관리

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
	목	③환경영향평가 ④교통, 재해 영향평가 ⑤환경영향평가 협의 이행	달관리	④친환경 활동관리 ⑤환경교육 ⑥환경비상사태계획 및 훈련 ⑦환경오염 측정 및 모니터링 ⑧비산먼지관리 ⑨소음 및 진동관리 ⑩수질관리 ⑪오수처리관리 ⑫지하수관리 ⑬폐기물 관리 ⑭환경클레임 분석 및 대응 ⑮환경민원관리
리스크관리	정의	계획 및 설계단계에서 발생 이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	구매 및 조달단계에서 발생이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	시공단계에서 발생이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차
	세부항목	①기본설계 리스크관리 ②기계 및 설비설계 리스크관리 ③배관설계 리스크관리 ④전기설계 리스크관리 ⑤건축설계 리스크관리 ⑥토목설계 리스크관리	①공급자선정지연, 원자재 가격 상승 등에 대한 리스크관리 ②핵심기자재 납기지연, 재하청에 따른 품질저하 등의 리스크관리 ③운송지연, 운송과정 중 기자재 손상 등의 리스크관리	①노무인력 리스크관리 ②공사대금지급 리스크관리 ③공기관리 장애요인 리스크관리 ④시공안전 장애요인 리스크관리 ⑤시운전 결험요인 관리 ⑥협력업체 리스크 관리

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
			④현장 기자재 성능 부적합, 기자재 불량 등의 리스크관리 ⑤인터페이스 관리	

상기 자료 조사를 바탕으로 LNG 플랜트 EPC단계별 사업관리매뉴얼의 기본구성 체계 수립 및 목차수립 등을 구성하고 설계, 구매조달, 시공단계의 사업관리매뉴얼을 마련하였다.

우선 매뉴얼의 구성은 설계단계, 구매 및 조달단계, 시공단계 등 3단계로 구성되었고, 각 단계별로 사업관리일반, 계약관리, 사업비관리, 공정관리, 설계 관리, 품질관리, 안전관리, 환경관리, 리스크 관리 등 9개 관리분야로 구성하였다.

한편, 설계단계에서 기본설계단계와 실시설계단계의 업무내용이나 절차면에서 많은 연관성을 가지고 있고 중복되는 내용이 많아 이를 구분하지 않고 설계단계로 통합하였다.

본 연구의 대상인 LNG 플랜트공사는 설계시공 분리발주 방식이기 때문에 시공단계 이전에 시공사 선정 등 계약관련 업무가 중요하므로 계약단계를 추가하였다. 또한 현재 사회적으로 많은 관심을 보이고 있는 환경관리 분야와 리스크 관리분야를 추가하여 9개의 관리분야로 구성하였다.

본 사업관리매뉴얼은 다음과 같은 기준으로 사업단계를 구분하였다.

① 설계단계 : 설계자와 계약시점 이후부터

② 구매 및 조달단계 : 설계자의 설계도서 납품기준일(설계준공 기준일) 이후부터

③ 시공단계 : 시공자의 착공계 제출 이후부터

본 사업관리매뉴얼의 문서번호체계는 업무단계, 관리분야, 업무번호로 구성되며 사업관리일반의 사업수행계획서 검토 및 보완에 대한 문서코드의 예시는 다음과 같다.

<표 2-42> 사업관리매뉴얼 문서코드 예시

시공 — 사업 — 10		
업 무 단 계	관 리 분 야	업 무 번 호

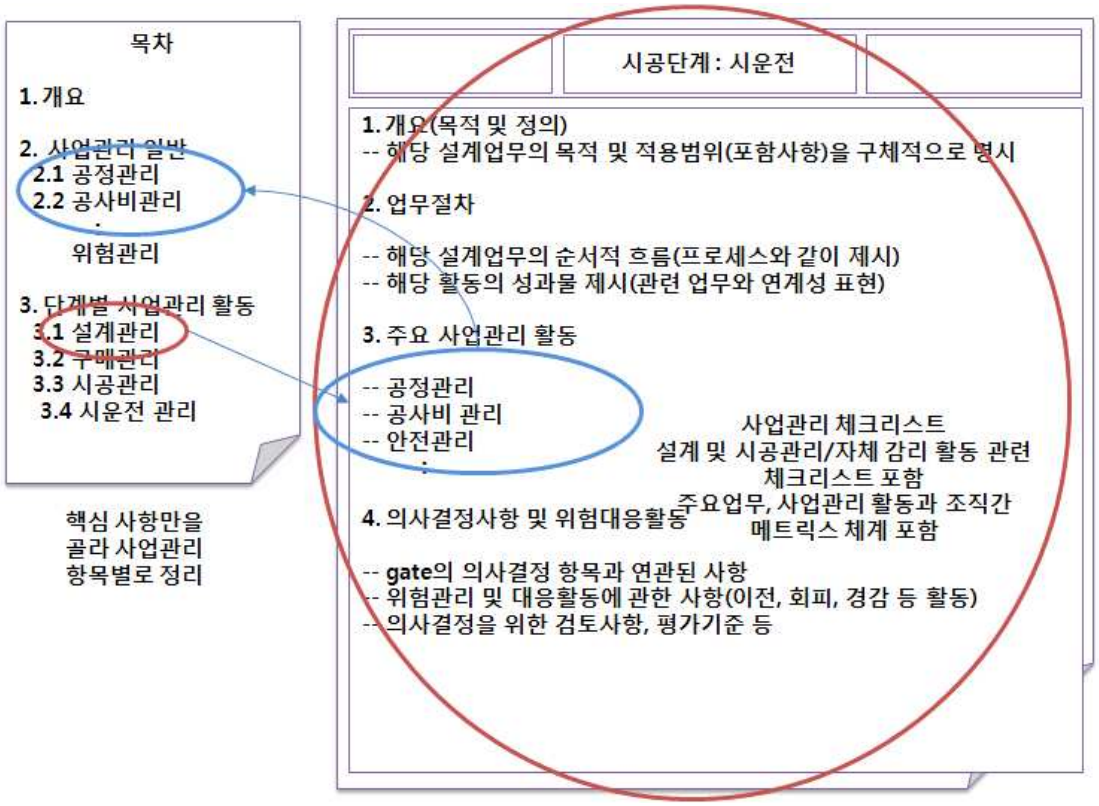
<표 2-43> 사업관리 매뉴얼 상단표 구성(예시)

LNG 가스 플랜트	건설사업관리절차서		문 서 번 호	CM-설계-10
			개정번호/일자	0 / 00. 00. 00
	설계단계	6. 게약,클레임관리	페 이 지	126 /

위 표는 사업관리매뉴얼의 해당업무를 나타내기 위한 것으로 각 내용은 다음과 같다.

① 건설사업관리 업무수행 단계 표시.
② 업무에 대한 관리분야 표시.
③ 사업관리책임자의 수행업무 표시.
④ 사업관리책임자의 업무가 어느 단계의 어떤 관리분야에 몇 번째 업무인지 쉽게 알아 볼 수 있도록 번호화.
⑤ 제정된 날짜와 추후 개정한 날짜를 기입하되 최종 개정일 기입.
⑥ 개정된 횟수를 기입.
⑦ 해당업무의 페이지 표시.

사업관리메뉴얼의 작성은 각 업무단계별 활동 및 의사결정사항 등 세부사항을 먼저 작성한 후에 이를 토대로 LNG플랜트 사업의 일반적인 사업관리 지식을 정리하고자 하였다. 따라서 사업관리메뉴얼의 전체적인 체계는 LNG사업의 개요, 사업관리 일반, 단계별 사업관리활동으로 크게 구분하고자 한다.



<그림 2-32> 사업관리매뉴얼의 구성체계 및 작성방법 개념도

사업관리매뉴얼의 세부 목차는 다음과 같이 구성하고자 하였다.

<표 2-44> 사업관리매뉴얼 세부목차의 구성체계

x. 업무명 x.1 개 요 : - 업무의 목적 및 적용범위와 주요 활동에 대한 포함사항, 용어의 정의 등을 제시 x.2 업무절차 : - 사업관리자가 수행해야 할 업무를 절차적, 기능적으로 설명. x.3 주요 사업관리활동: - 해당 업무별로 주요 사업관리 활동을 9개의 사업관리 요소별로 제시. x.4 의사결정사항 및 대응활동 : - 사업관리자를 위한 의사결정 체크리스트와 도출된 결과를 토대로 한 대응활동 등을 구체적으로 기술

이러한 구성체계를 바탕으로 작성된 설계단계 및 구매조달관리의 사업관리매뉴얼은 다음과 같이 작성된다.

<표 2-45> 설계단계의 사업관리매뉴얼(예시)

LNG 가스 플랜트	건설사업관리매뉴얼		문 서 번 호	CM-실시설계-4
			개정번호/일자	0 /00. 00. 00
	Ⅳ.설계단계	EPC Plant layout	페 이 지	128 /

1. EPC-Plant layout 개요

1.1 EPC Plant layout업무의 정의

EPC Plant Layout은 EPC계약을 위한 발주준비단계에서 상세화된 설비를 바탕으로 FEED 단계에서 제시된 Plant Layout을 개선하고 위험평가를 재시행하며, 실제 설비와 상세 부지정보 및 조건을 활용하여 Plant Layout의 최종 설계성과물을 도출하는 업무이다.

* FEED단계의 Plant Layout :
일반적인 LNG Plant 프로세스 설비로 가정한 위험분석(risk assessment) 결과와 국제적 표준 및 회사 표준, 시스템적 검토에 의한 Plant Layout의 상세 개선

1.2 사업관리 목적

사업관리책임자가 Plant Layout을 통해 천연가스 자원의 액화경로와 Plant 설비 및 작업자 간에 가장 효과적이고 경제적인 연계관계가 이루어지도록 LNG Plant 설비의 구성요소가 통합적으로 배치되고 경로가 계획되도록 업무를 관리하고 성과를 파악하기 위한 절차이다.

1.3 적용범위

사업관리책임자가 실시설계단계에서 배치되는 LNG 플랜트 설비들간의 생산부지 면적과 프로세스, 산출물간에 최적화된 관계를 검토하는 업무를 수행하는데 적용한다.

2. EPC-Plant layout 업무 수행절차

2.1 EPC Plant layout 업무프로세스 및 내용



< EPC Plant Layout업무의 수행절차>

<표 2-46> 구매조달단계의 사업관리매뉴얼(예시)

LNG 가스 플랜트	건설사업관리매뉴얼		문 서 번 호	CM-구매조달-4
			개정번호/일자	0 /00. 00. 00
	Ⅳ.구매조달단계	구매조달 계획수립	페 이 지	129 /

1. 구매계획 수립 개요

1.1 구매계획 수립 업무의 정의

LNG 플랜트 설비에 대한 구매계획 수립업무는 실질적인 구매활동이 시작하기 전에 설비, 자재, 서비스의 구매, 공급(판매)업자 선정방법(how vendors will be chosen), 계약방법what kind(s) of contract(s) will be used, 공급(판매)업자 관리방법how vendors will be managed, 관련주체별 역할 및 책임에 관한 계획을 수립하는 업무이다. 이 업무는 구매와 관련한 정보를 EPC 관련주체들에게 제공하게 된다.

1.2 구매계획 수립의 목적

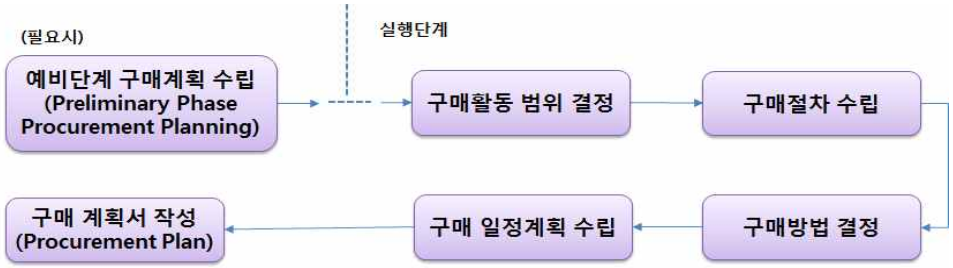
사업관리자는 구매관리자(Project Procurement Manager)가 EPC계약의 범위에 포함된 설비, 자재, 서비스의 구매를 언제, 누구에게, 어떻게 할 것인가를 제시하여 구매활동에 있어서 기술적인 사항과 상업적인 사항들에 대한 인터페이스가 효과적이고 효율적으로 구현되어 있는지를 검토하고 확인하는 절차이다. 이 업무에서 사업관리자는 구매관리자가 수행하는 모든 구매활동에 관한 계획, 조정 및 실행이 사업 전체 수행계획과 제대로 인터페이스가 이루어지는지를 파악하여야 한다.

1.3 적용범위

사업관리자는 실시설계단계에서 확정된 설비, 자재의 리스트와 전체 사업공정계획의 결과를 토대로 LNG 플랜트 시공에 필요한 설비, 자재, 서비스들이 전체 사업계획, 설계팀 등 기술적 사항들과 최적화된 인터페이스관계를 구축하고 있는지를 검토하는 업무를 수행하는데 적용한다.

2. EPC 구매계획 수립 업무 수행절차

2.1 EPC 구매계획 수립 업무프로세스 및 내용



< LNG Plant 구매계획 수립업무의 수행절차>

<표 2-47> 시공단계의 사업관리매뉴얼(예시)

LNG 플랜트	건설사업관리매뉴얼		문 서 번 호	CM-구매-1
			개정번호/일자	0 / 00. 00. 00
	Ⅲ.시공단계	시운전	페 이 지	130 /

1. 시운전 개요

1.1 시운전 업무의 정의

LNG 플랜트 시운전(commissioning) 업무는 시운전준비(Pre-commissioning)가 완료된 후 원료를 공급하여 운전교범 및 절차에 따라 각 시설물들을 차례로 가동하여 이들의 성능이 요구된 설계기준에 부합 되는지를 조정, 확인하는 시험 운전 과정을 말하며 모의운전, 초기운전 (Initial Start-up) 및 성능보장 시험운전 등이 포함된다.

1.2 사업관리의 목적

사업관리책임자가 계약서에 규정된 규격의 제품이 설정된 공기 내에 최소비용으로 안전하고 안정된 상태에서 계속적으로 생산 할 수 있도록 건설된 모든 설치물의 운전 상태를 파악하고 확인하기 위한 절차이다.

1.3 적용범위

사업관리책임자가 기계적 준공(Mechanical Completion), 시운전(Commissioning), 모의운전(Mock Operation), 초기운전(Initial Start-up), 성능보장시험(Performance Guarantee Test), 운전(Operation)과 관련된 각종 업무조정, 교육, 계획수립 및 조정, 매뉴얼구축 등을 검토하고 확인하는 업무를 수행하는데 적용한다.

2. 시운전 업무 수행절차

2.1 시운전 업무프로세스 및 내용



< LNG Plant 시운전업무의 수행절차>

2.1.1 시운전계획 수립

사업관리책임자는 계약서를 검토하여 시운전에 대한 제약조건의 확인, 성능보증의 내용, 시운전 기간 등을 확인하고 파악하여 계획수립 시 이를 고려한다. 특히 시운전 계획수립시 최종목표인 성능보장시험의 계측항목, 측정 및 분석방법, 계기오차, 측정시기 및 횟수, 배치인원, 시원전 소요예산 산정 등의 계획을 수립하며, 이를 바탕으로 고객에게 사전설명과 협의를 진행한다.

2.1.2 시운전 절차서 수립

시운전 절차서 수립은 시운전 준비와 시운전 단계에 이루어지는 각종 시험의 종류, 방법, 순서, 운전법, 각종 시험업무 간 인터페이스 등에 관한 절차를 수립하고 매뉴얼을 만드는 것이다.

2.1.3 시운전 준비(Pre-Commissioning)

시운전 준비는 설계도서, 규격, 시방서 등에 준하여 설치된 각종 기기장치, 배관의 세정 및 세척작업, 기밀시험, Purging 작업, 전기 System의 Wiring 및 Megger test, Motor Run-in test, 계장의 Calibration 및 Loop test, Logic check, 회전기기의 Alignment 및 Mechanical Run-in test 등을 포함한 업무이다.

2.1.4 모의운전(Mock Operation), 초기운전(Initial Start-up)

모의운전은 원료를 투입하여 시운전을 실시하기 이전에 물, 공기, 질소, 스팀 등을 이용하여 수행하는 운전이다.

초기운전은 Process raw material을 공정에 투입하여 Plant 시설물들을 차례로 가동하여 100% 부하 운전 상태에서 제반조건이 설계기준에 부합되는가를 확인하는 운전단계를 말한다.

2.1.5 성능보장시험(Performance Guarantee Test)

성능보장시험은 시운전이 안정 상태에 도달하면 system이나 공정에 대해 제품 규격, 품질 및 생산용량, 원료 및 Utility 소요량 등이 계약서 및 설계 조건에 부합되는 지를 확인하는 시험 운전을 말한다.

2.1.6 시운전 보고서 작성

사업관리책임자는 시운전 활동을 통해 나온 성과물을 상세하게 보고서로 작성하여 제출하여야 한다.

다. 주요결과 및 시사점

플랜트 설계관리는 설계단계의 조직, 공정, 문서, 품질, 비용, 리스크를 효과적으로 관리하기 위한 행위로, 개념설계, 예비설계, 기본설계, 상세설계, 제작설계로 구분되며, 조직관리/ 공정관리 / 문서관리 / 설계품질 관리 / 비용관리 / 리스크관리 등을 중심으로 관리가 이루어짐을 알 수 있었다. 또한 기본설계, 전체 공정관리 및 품질관리는 대기업이 수행하고, 상세설계는 중소 설계업체가 담당하는 분업화된 구조로 설계단계가 운영됨을 알 수 있었으며, 해외의 경우는 3D 설계를 기반으로 설계단계의 모든 기능이 통합화되는 추세에 있음을 알 수 있었다. 다음으로 공정관리 현황을 살펴본 결과, 공정관리에 관한 일반 사항은 건축, 토목 등의 타 시설물과 유사한 방식으로 공정관리가 이루어짐을 알 수 있었으며, H 공사의 사례와 같이 제반 이론에서 제시된 공정관리 체계가 반영되고 있다는 사실이 확인되었다. 또한 설계단계의 실제 공정표 및 업무 수행 방식을 조사한 결과, 설계업무를 수행하는 조직 또는 협력업체별 관리를 위해 업무 분장 체계를 기반으로 업무를 수행하고 있고, 이를 기반으로 WBS를 구축하여 관리가 되고 있음을 알 수 있었다.

구매조달관리의 경우 자재관리와 연계되어져 있으며, 주로 외부 Vendor의 선정 및 관리 업무의 성격을 가지고 있다. 특히 구매조달 업무의 효율화를 위해 정보화가 이루어지고 있으며, 조달계획, 구매, 구매 후 관리 업무 전체의 효율화를 위한 노력이 이루어지 있다. 구매조달단계의 공정관리는 설계단계에서 수립된 계획을 기반으로, 공사 진행을 위해 필요한 구매계획, 업체선정, 구매조달과정관리 등을 주요 내용으로 하고 있으며, 공정표의 관리 레벨에 따라 관리의 세밀도가 차이가 난다.

시공(시운전 포함)단계의 공정관리는 시공계획에 기초하여 시공의 안전, 품질의 확보, 공사비 저감의 전제하에 공정을 계획하고 통제하는 형태로 수행되고 있으며, 관리 기법과 절차는 타 건설분야의 공정관리 방식과 유사한 형태를 가지고 있다. 또한 공정관리는 일반 건설공사와는 달리 프로젝트관리(Project Management), 공정(Process), 배관(Piping), 기계장치(Mechanical), 토건(Civil, Structure and Architecture), 계장(Instrumentation & Controls), 전기(Electrical) 등 다양한 기술적인 요소가 결합한 공정 activity가 많다는 특성을 가지고 있으며, 공정계획 또한 기술적 요소를 기반으로 WBS를 구성하여 관리를 수행하고 있다.

현업의 시공단계 공정관리는 공정관리 소프트웨어를 사용하여 관리되고 있으며, 각 공종별 시공에 대한 WBS 및 Activity 수립 및 이에 대한 체계적 관리를 진행하고 있다. LNG플랜트 분야의 시공단계는 설계, 조달의 후속업무로서 프로젝트의 최종 목표물을 구현하는 단계로, 플랜트 시설의 제작, 설치, 정비 등 건설공사에 대한 계획(Planning)과 통제(Controlling) 활동을 수행하고 있다.

LNG 플랜트 프로젝트의 시공관리는 Cost Control, Schedule Control, Quality Control 등 다양한 관리가 이루어지고 있으며, 각 항목은 상호 연관성을 가지고 이루어지고 있다. LNG플랜트 분야의 시공관리는 해외 프로젝트가 증가함에 따라 해

외 시공관리를 위한 해외의 현지 현황, 기술 등에 대한 다양한 고려와 관리 기술을 적용하고 있다.

한편, 국내외 다양한 사업관리매뉴얼의 조사, 분석과 설계, 구매조달관리 체크리스트분석 등을 통하여 사업관리매뉴얼에 대한 형태, 구성체계, 범위 및 내용에 대하여 정의하였으며 이를 기준으로 설계, 구매조달단계 사업관리매뉴얼을 구성하였다.

6. 설계 및 구매조달, 시공관리 프로그램 활용현황 조사

가. 개요

본 연구에서는 설계·구매조달 단계의 의사결정지원모듈을 개발하기 위한 사전단계로 다음과 같음 업무를 수행하였다.

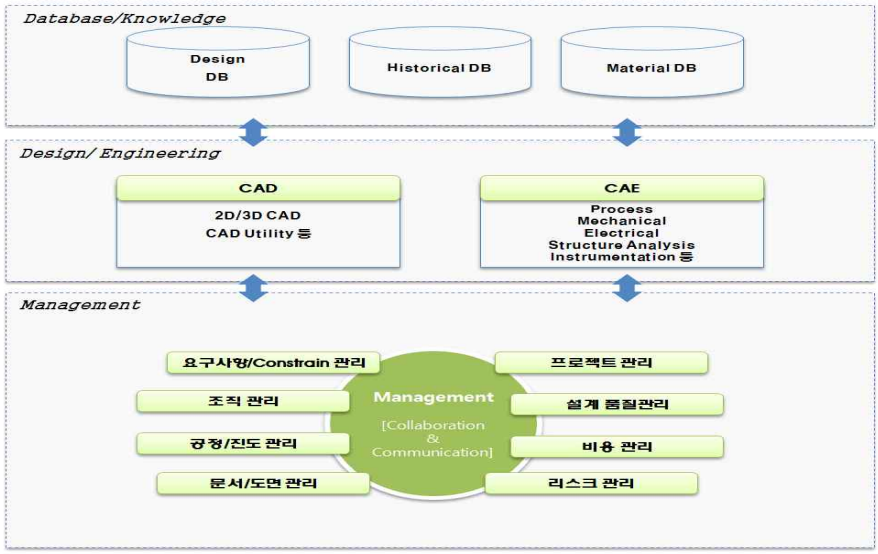
○ 설계, 구매조달(벤더), 시공관리 프로그램 활용현황 조사·분석
- 프로그램 활용현황 분석
- 프로그램간 특성 및 성능비교
- 프로그램 데이터 입출력 및 체계분석

나. 수행내용 및 결과

(1) 설계관리 프로그램 활용현황 조사·분석

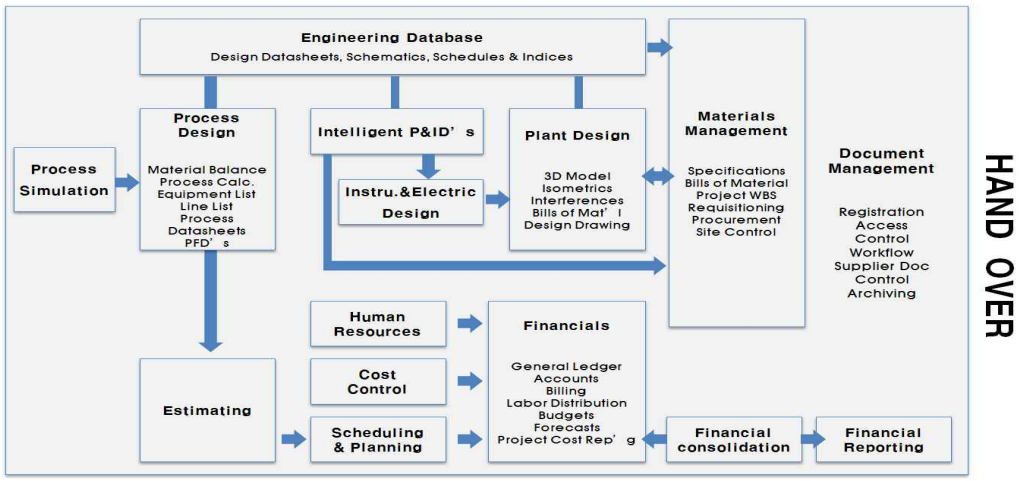
설계관리는 설계 성과물이 작성되는 프로세스와 투입되는 각종 자원, 성과물 자체의 품질을 관리하기 위한 제반 활동으로, 발주자의 요구사항 만족, 의사결정 효율성 향상, 설계에 대한 평가를 통한 가치 향상, 각종 분석을 통한 최적 설계, 리스크 및 설계 변경의 최소화 등의 목적으로 수행·관리되어진다. 설계관리 프로그램은 이러한 설계관리를 효율적으로 수행하기 위한 시스템으로, 다양한 조직 또는 기업에서 필요에 따라 다양한 형태로 활용되고 있다. 설계관리 시스템의 구조 또는 구성에 대해서는 여러 가지 정의가 가능하나, 여러 기관 또는 업체 등에서 활용되고 있는 시스템들을 살펴보면 아래 그림과 같이 구성된다.

설계관리 프로그램은 크게 설계 및 다양한 엔지니어링 업무를 수행하는 CAD/CAE, 설계과정의 의사결정 및 협업을 지원하는 관리 시스템, 그리고 기존의 설계 자료/템플릿 또는 데이터를 저장 및 관리하는 데이터베이스 등이 활용되고 있다. 최근 건설산업의 전반에 걸쳐 이러한 설계관리 또는 프로젝트 전체 관리와 관련된 다양한 시스템을 통합하려는 노력이 계속되고 있으며, 이러한 사례의 하나로 제조업을 중심으로 PDM (Product Data Mangement) 또는 PLM(Product Life-cycle Management)과 같이 설계에서 생산에 이르는 전체 데이터의 통합관리 지원시스템 등의 활용이 모색되고 있다.



<그림 2-33> 설계단계에서 활용되는 프로그램 구성

한편, PDMS (Plant Design Management System)은 앞서 설명한 설계관리 시스템과 유사한 구성을 가지나, 플랜트의 특성을 반영하여 주로 3D를 기반으로, 다양한 사용 주체 및 분야에 걸쳐, 아래 그림의 플랜트 프로세스 등을 운영하기 위한 엔지니어 중심의 소프트웨어로 구성된다.



<그림 2-34> 기존 플랜트 엔지니어링 분야의 업무 및 시스템 적용 분야

플랜트 산업의 엔지니어링 분야에서 사용되는 시스템의 사례를 살펴보면Front-End Engineering을 위한 프로그램, Engineering Database, Integrated 3D Plant Design 프로그램들과 프로젝트 전반에 걸쳐 활용되는 Project Document Management (도면/문서 관리) Project Management 시스템 등이 활용됨을 알 수 있다.

국내 기업의 경우 해외 플랜트 공사 비중이 점차 증가하고 프로젝트의 대형화에 따라 프로젝트 관리 및 수행에 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 어려움을 해결하고자 설계, 조달, 시공 및 사업관리에 여러 소프트웨어를 접목시키려는 공감대가 커

지고 있는 실정이다. 최근 IT 기술을 프로젝트에 적용시키면서 프로젝트 사업경쟁력의 제고 효과를 보고 있으며, 다양한 상용 또는 자체 개발 프로그램을 활용하여 설계관리를 추진하고 있는 실정이나 Management 영역보다는 CAD, CAE 영역의 IT 활용이 보다 활발하다.

다음은 LNG플랜트를 포함한 플랜트 설계관리 프로그램들의 현황과 특성을 CAD/CAE, Management 시스템, PLM과 같은 통합시스템으로 구분하여 조사 · 분석하였다.

① CAD/CAE

CAD 분야의 소프트웨어는 플랜트의 설계, 설계 관련 데이터의 관리 및 운영 및 토탈 엔지니어링 등의 업무 분야에 적용되는 솔루션이다. 지원되는 정보의 차원 또는 기능에 따라 2D, 3D, 엔지니어링 통합 솔루션 및 CAD 데이터와 연동한 Visualization, 간섭체크, 도면 자동화 등의 업무를 지원하는 CAD Utility 로 구분할 수 있다.

<표 2-48> 플랜트 분야에서 활용되고 있는 상용 CAD 프로그램 현황

분류	구분	상용 소프트웨어 명	특징
CAD	종합 CAD	Bentley Solution	건축, 플랜트, 엔지니어링 관리 토털 솔루션
		Intergraph Solution Process, Power & Marine	토털 솔루션
		Microstaion	범용 CAD 프로그램
		PLANT-4D	데이터 중심의 플랜트 디자인 소프트웨어
		Plant Space Design Series	플랜트 설계, 관리 , 운영 프로그램
	2D	AutoCAD	2D Drawing 도고, CAD의 De fecto 표준으로 적용되고 있음(dwg)
		Smart Plant P&ID	데이터 운용 솔루션 71
		SmartSketch	엔지니어링 2D 소프트웨어
	3D	Autodesk Architectural Desktop	객체 기반의 2D/3D 건축설계 지원 툴
		Autodesk Inventor Professional	전기 및 기계 엔지니어를 위한 전문 응용 프로그램
		AutoPLANT	플랜트 설계 및 모델링 프로그램, Plant Design Workgroup 기계장치 3D 모델링 지원
		CATIA V5 Equipment and Systems Engineering Solutions	플랜트 설계 및 모델링 솔루션
		e-Steel+	통합 철구조 설계 시스템
		PDS	종합 플랜트 설계 전용 소프트웨어
		SmartPlant 3D	엔지니어링 디자인 솔루션
		SupportModeler	전기 엔지니어링 작업 소프트웨어
	CAD Utility	e-Clash Review	비주얼라이제이션 환경에서의 Clash Item 관리 시스템
		GTX Series	스캔 파일 제어할 수 있는 R2V 솔루션
		MathCAD	수치 해석 및 데이터 분석 소프트웨어
		PlantWAVE	도면 자동화 시스템
		SmartPlant Review	비주얼라이제이션 전문 소프트웨어
		VectorDraw DWG	파일 표준화 뷰어
		Walkinside	3차원 가상현실 시뮬레이션 소프트웨어

CAE 솔루션은 전기 계장, 공정(비용, 프로세스, 화학공정, 공정 모사 등), 기계 해석(압력, 열 교환 등), 전기(전력과도해석, 전기엔지니어링 등), 배관 (배관응력, 변위, 파이핑, ISO, P&ID 설계, 배관도면 자동화, 네트워크 배관 유체 해석 등) 및 구조 (2D/3D 구조 해석, 다중 물리현상 모델링, 지질암반 분석, 기초설계 자동화, 구조 부재 설계 등) 분야 등에서 활용되는 소프트웨어로, 단순한 형상 정보를 넘어선 엔지니어링 업무 및 프로세스를 지원하고 있다.

<표 2-49> 플랜트 분야에서 활용되고 있는 상용 CAE 프로그램 현황

분류	구분	상용 소프트웨어 명	특징
CAE	계장	INtools	전기계장 전용 소프트웨어
	공정 (비용, 프로세스, 생산 공정 등)	Aspen Icarus	가격 시뮬레이션 평가 툴
		Aspen Plus	프로세스 시뮬레이션 패키지
		Aspen Zyqad	엔지니어링 패키지 생성 및 관리 툴
		CHEMCAD	화학공정 개발 및 분석 설계전용
		HYSYS	다이나믹 시뮬레이션 운용 공정 모사 프로그램
		CADWorx P&ID	프로세스 & 기구 다이어그램 설계 툴
	기계	4D-Mecanical	공정관리 및 해석 소프트웨어
		COMPRESS	압력용기 및 열교환기 설계전용
	전기	ETAP	전문가를 위한 전력계통 과도 해석 프로그램
		GATECYCLE	발전설비 설계전용
		SmartPlant Electrical	전기 엔지니어링 작업 소프트웨어
	배관/설비	AutoPIPE	배관응력, 변위 계산 프로그램
		CADian Piping	파이핑, ISO, P&ID 설계 프로그램
		e-Draw	설계도면자동화시스템
		PIPENET	네트워크 배관유체해석 및 설계용 프로그램
		CADWorx PIPE	배관설계용 소프트웨어
		CAESAR II	파이프 응력 해석 프로그램
		TANK	탱크 설계 및 해석
	구조	Bentley AutoPLANT Structural	오토캐드 기반 모델링, 구조 프로그램
		Bentley Structural	3D 구조 분야 솔루션
		FEMLAB	다중물리현상모델링
		FRACMAN	지질암반 분석적용 소프트웨어
		GTSTRUDL	범용 구조해석 프로그램
		iAFES Foundation	통합 기초 설계 자동화 시스템
		MIDAS/Gen	범용 구조해석 및 최적설계용 통합 시스템
		MIDAS/Set	구조부재 설계 프로그램
		STAAD.Pro	플랜트 전용 구조 해석 프로그램

② Engineering/Design Management

플랜트 분야에서 활용되고 있는 설계/엔지니어링 관리 프로그램은 설계관리 프로그램이라는 명칭으로 명명되는 시스템과, 공정/비용 등의 분야별로 명명된 프로그램, 그리고 PMIS 등과 같은 전체 프로젝트 관리 시스템의 일부로 구축되어 사용되고 있는 프로그램들이 존재하고 있다. 다음은 국내외에서 활용되고 있는 설계/엔지

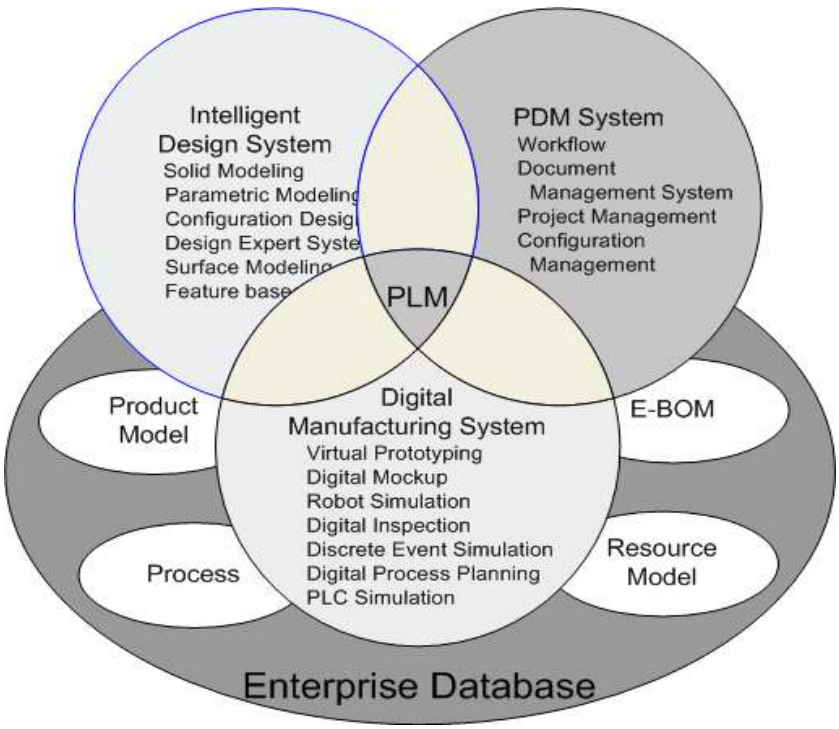
니어링 관리 프로그램을 정리한 것이다.

<표 2-50> 설계/엔지니어링 관리 프로그램 사례

구분	사례 명	특성
설계 관리	Token Co.	▪ 설계 업무에 관한 정보를 집중관리 ▪ 설계 감리, 설계도서 관리, 적산 데이터 관리, 외주관리 등
	Dassault System/SmarTeam	▪ 정보통합, 프로세스통합, 조직 및 비즈니스 통합 솔루션)
	Bentley/Projectwise	▪ 건축, 플랜트, 엔지니어링 관리 토털 솔루션 ▪ 업무절차와 솔루션의 통합관리 ▪ 확장 가능한 운영환경 제공 ▪ 기술관리 자료 시스템에 의해 관리되는 사용자 중심의 환경 제공 ▪ 문서 및 정보의 보안관리
	Autodesk/ Buzzsaw	▪ 프로젝트 관리 및 협업 솔루션
	AVEVA	▪ PDMS : Plant 전용 3D CAD 솔루션 ▪ 자체 DB 사용 ▪ 즉각적인 간섭체크 가능
PMIS	S 사	▪ 전사 PMIS 구축 ▪ 도면관리/ 설계자료관리 ▪ DQS(Design Query Sheet)관리/ 도면코드관리
	Project Net	▪ 전반 관리업무 지원 정보시스템
도면 검토 및 관리	Adobe Acrobat Professiornal	▪ 전문 애플리케이션으로 만든 기술 및 디자인 문서 공유
	ArtView	▪ 간편한 이미지 뷰어
	Autodesk DWF Composer	▪ 설계 검토 응용프로그램
	AutoManager Series	▪ 엔지니어링 EDM 솔루션
	Bentley Navigator	▪ 대용량 모델 뷰잉 프로그램
	Bentley Publisher	▪ 엔지니어링 문서 관리 프로그램
	Brava! Desktop	▪ 도면/문서 통합뷰어 및 배포도구
	Digital InterPlot	▪ 출력 자동화 및 관리 프로그램
	Directa	▪ 문서, 도면관리 소프트웨어
	VisMokup (EDS사)	▪ 3차원 모델의 단면도 실시간 작성 ▪ 간섭체크 및 선택파일의 주변 파트의 간섭체크
	AECVIZ	▪ 작업과정에서 e-mail 기능 제공 ▪ 데이터쉬트 등의 타 문서에 3D정보의 포함
	WITNESS VR	▪ 움직임에 따른 Volume과 경로 표현 ▪ 설계 혹은 조립 시 필요한 공간 가시화
	SamartPlant Review (Intergraph사)	▪ 충돌탐지기능 제공 ▪ 다수 사용자 동시 모델 검토 기능 제공
	Walkinside (VRcontext사)	▪ 중력을 포함한 시뮬레이션 기능 ▪ 아바타를 사용한 네비게이션 기능 ▪ Key Map에서 경로 설정을 통한 이동화면 제공 ▪ Tag의 삽입 [실 사진과 도면의 링크]
공정/ 진도 관리	Primavera Planner	▪ CPM 기반의 공정관리 소프트웨어 ▪ 다중 접속 및 협업 기능 제공
	MS Project	▪ CPM 기반 공정관리 소프트웨어

③ PLM/PDM

PLM은 EDM(Electronic Document Management, 전자문서관리)을 모태로, 엔지니어링 데이터 관리, 워크플로우, C/S(Client/Server) 시스템의 개념이 추가되어 1990년대에 등장한 PDM(Product Data Mangement)와 라이프사이클 지원, 실시간 동시 협업, 시각화, 전자상거래를 포함한 PDMⅡ(Product Development Management)를 거쳐, 개발/활용되기 시작한 시스템으로 지능형 설계 시스템, 디지털 가상생산 시스템, PDM 시스템으로 구성된다. PLM은 아래 그림과 같이 제품 라이프사이클을 따라서 데이터와 프로세스 등의 제품을 관리하는 포괄적인 개념으로써 PDM 영역과 CPD 영역으로 구분된다. PDM 영역은 협업 및 전통적으로 데이터를 관리하는 부분이며, CPD 영역은 제품 데이터를 생성하고(CAD/CAM/CAE) 설계와 라이프사이클 어플리케이션의 통합을 추구하는 부분이다.



<그림 2-35> PLM의 정의

PLM/PDM과 같은 시스템에서 제공하고 있는 설계관리와 관련된 내용은 다음과 같다.

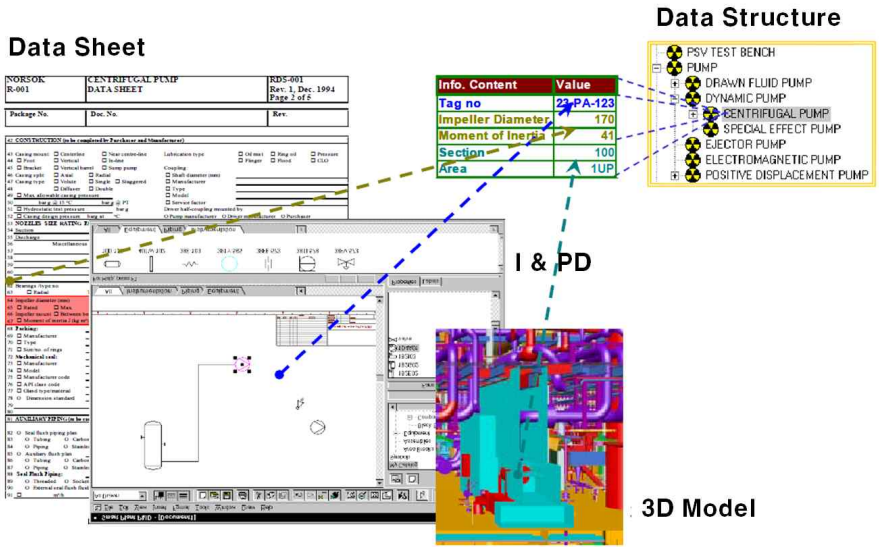
- 도면 및 모델 관리 : 각 제품 또는 부품의 도면, 3차원 모델 정보를 PBS, ZBS, WBS와 연관관계(Link, Association)를 맺음으로써 동시에 참조할 수 있도록 제공하며, 또한 도면 및 3차원 모델의 개정을 관리함으로써 설계 변경 정보를 제공한다.
- 사업관리 (Program & Poject management) : 설계 프로젝트의 일정, 투

입 인원, 산출물 일정, 산출물을 정의함으로써 설계 프로젝트의 품질을 유지하는 기능 제공한다.

- Data Vault 관리 : 설계 산출물로 나오는 기술 검토 문서, 사양서, 해석 문서, 도면 등의 정보를 유일한 정보로써 Data Base에 저장하고 제공한다. Data Base에 저장된 data들은 사용자의 요구에 의해서 다양한 포맷으로 전달이 되며, 이런 정보들은 미리 Data Vault에 저장이 될 때, 그 속성 값들을 지니고 있게 된다.
- Workflow 관리(Workflow & Process Management) : 설계작업 및 변경 등의 업무 프로세스를 flow chart 형태로 모델링하고, 각 업무 process에 산출물, 업무 일정, 관련 문서, 업무 수행자를 지정함으로써 설계업무가 수행되도록 시스템을 통해 관리하는 기능을 제공한다.
- 설계변경 관리(Engineering Change Management) : BOM, ITEM, Part의 설계 변경은 불가피하게 발생하며, 각 설계변경 업무 프로세스 및 개정 사항을 관리할 수 있도록 기능을 제공하며, 설계변경을 공지(Engineering Change Notice)를 통하여 설계 변경 결과가 반영되도록 한다.
- CAD 및 System Integration : 설계 소프트웨어(CAD, 성능 해석)등과 PDM은 interface를 통해 정보를 공유하며, interface가 제공되지 않는 경우에는 neutral data를 EDI (electronic data interface) 또는 DB 통합을 통해 작업하는 것을 지원한다.

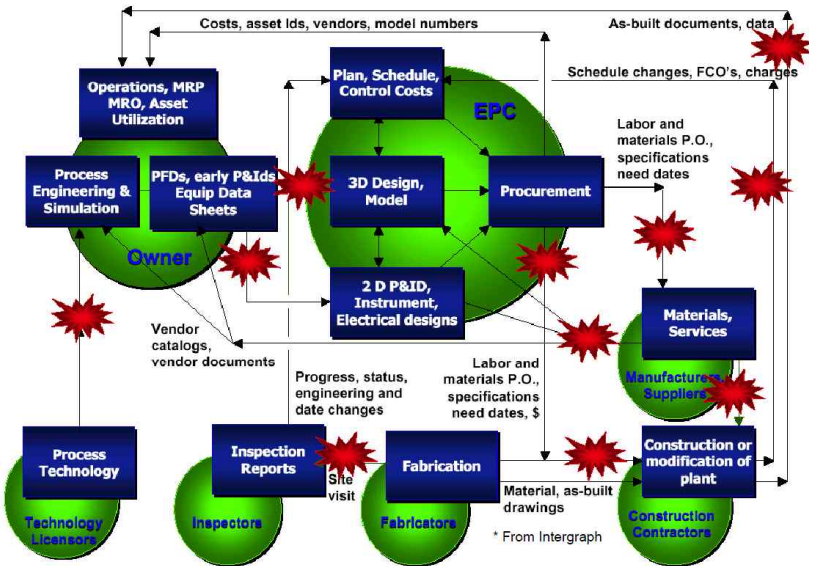
다음은 플랜트 설계관리 프로그램을 중심으로, 플랜트 산업의 데이터 정보 관리 체계를 조사・분석하였다.

플랜트 설계관리 프로그램의 데이터는 아래 그림과 같이 data의 위계에 따른 상호 관련성을 가지고 관리되고 있다.



<그림 2-36> 플랜트 설계 정보의 구조

또한 데이터의 관리 및 전달과 같이 이종 시스템간의 정보 공유의 방식에서는 DWG 등과 같은 de-facto 표준을 포함한 자체 파일의 양식을 사용하며, management 시스템의 경우, 별도 DB Manager를 활용한 데이터의 공유 방식들을 사용하고 있다. 하지만 이러한 프로그램 vendor사의 파일 또는 data 포맷에 의한 정보의 교환 및 관리는 아래 그림과 같은 호환성 문제를 유발하고 있다.



<그림 2-37> 플랜트 프로세스에서의 정보 분절

이를 해결하기 위해, 아래 표와 같이 플랜트에 대한 국제 표준을 지정하여 활용하고 있다. 이러한 표준 정보의 활용은 기업 내부의 서로 다른 부문들 간의 데이터 공유나 외부 협력 기업들과의 데이터 공유를 위해서 국제 표준을 활용하여 공유의

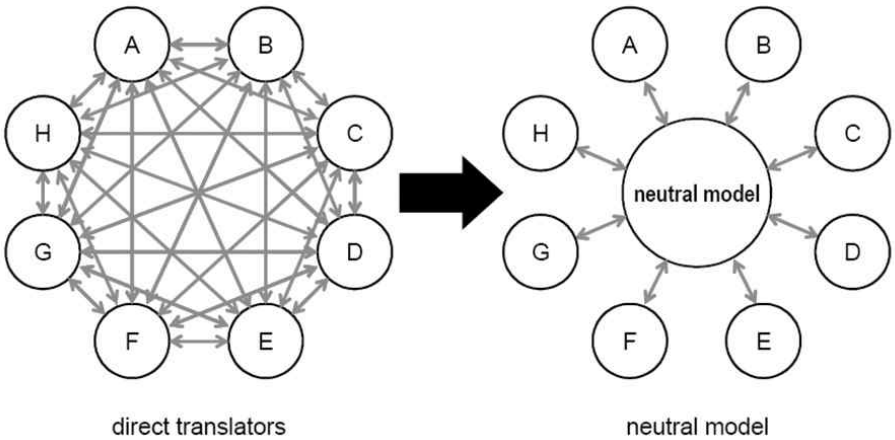
문제를 해결한다는 측면에서 의의가 있다.

<표 2-51> 플랜트 정보화 관련 국제 표준

구분	특징
ISO 10303 STEP	▪ 플랜트 데이터 모델 표준 ▪ AP 221 : Plant schematics (P&ID) ▪ AP 227 : Plant spatial data (3D Model) ▪ AP 231 : Process design (PFD)
IOS 15926 POSC/CAESAR	▪ 석유 및 가스 생산 설비의 생애주기 데이터 통합 표준
EPRI NP-5159S	▪ 발전소의 통합적 CAE applications를 위한 지침
XML	▪ aecXML, plantXML, pdXML 등 인터넷을 통한 플랜트 데이터 교류를 위한 표준
CII FIAPP/FIATECH (Fully Integrated Application for Project Processes)	▪ Owner/Operator Forum을 통한 프로젝트 통합 정보화 모델 제시

플랜트 생애주기 업무에 참여하는 조직들 간에 엔지니어링 정보는 일반적으로 전자파일, 응용 시스템에 종속적인 고유 데이터, 응용 시스템에 독립적인 중립 데이터의 형태로 공유된다. 이때, 전달된 데이터를 이종 시스템에 활용할 경우 직접 번역 방식과 간접 번역 방식으로 구분하여 데이터를 관리 또는 활용하게 된다.

- 직접 번역 방법 : 입력 시스템 데이터를 출력 시스템 데이터로 바로 변환한다.
- 간접 번역 방법 : 산업 데이터 표준을 거쳐서 변환, 아래 그림에서와 같이 직접 번역 방법과 비교하여, 요구되는 번역기의 수가 작다는 장점이 있다.



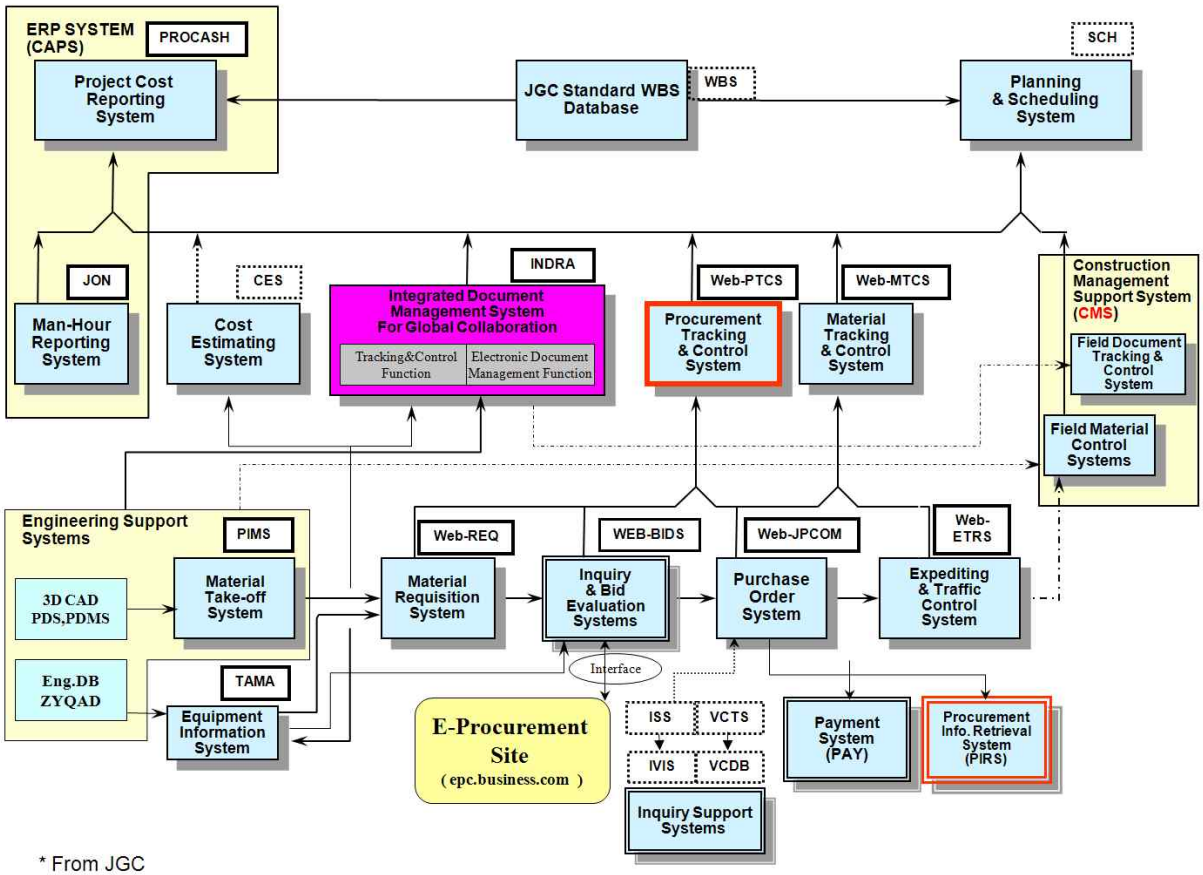
<그림 2-38> 산업 데이터 표준을 이용한 엔지니어링 데이터의 교환

최근 이러한 표준 중립 데이터 체계의 활용은 전통적인 엔지니어링 시스템들 간의 데이터 교환을 넘어서, 전사적 관점의 데이터 공유 프레임워크로 활용하려는 시도가 이뤄지고 있으며, 점차 활용이 확대되고 있는 추세에 있다.

(2) 구매조달(벤더)관리 프로그램 활용현황 조사・분석

① 벤더관리 프로그램 개요

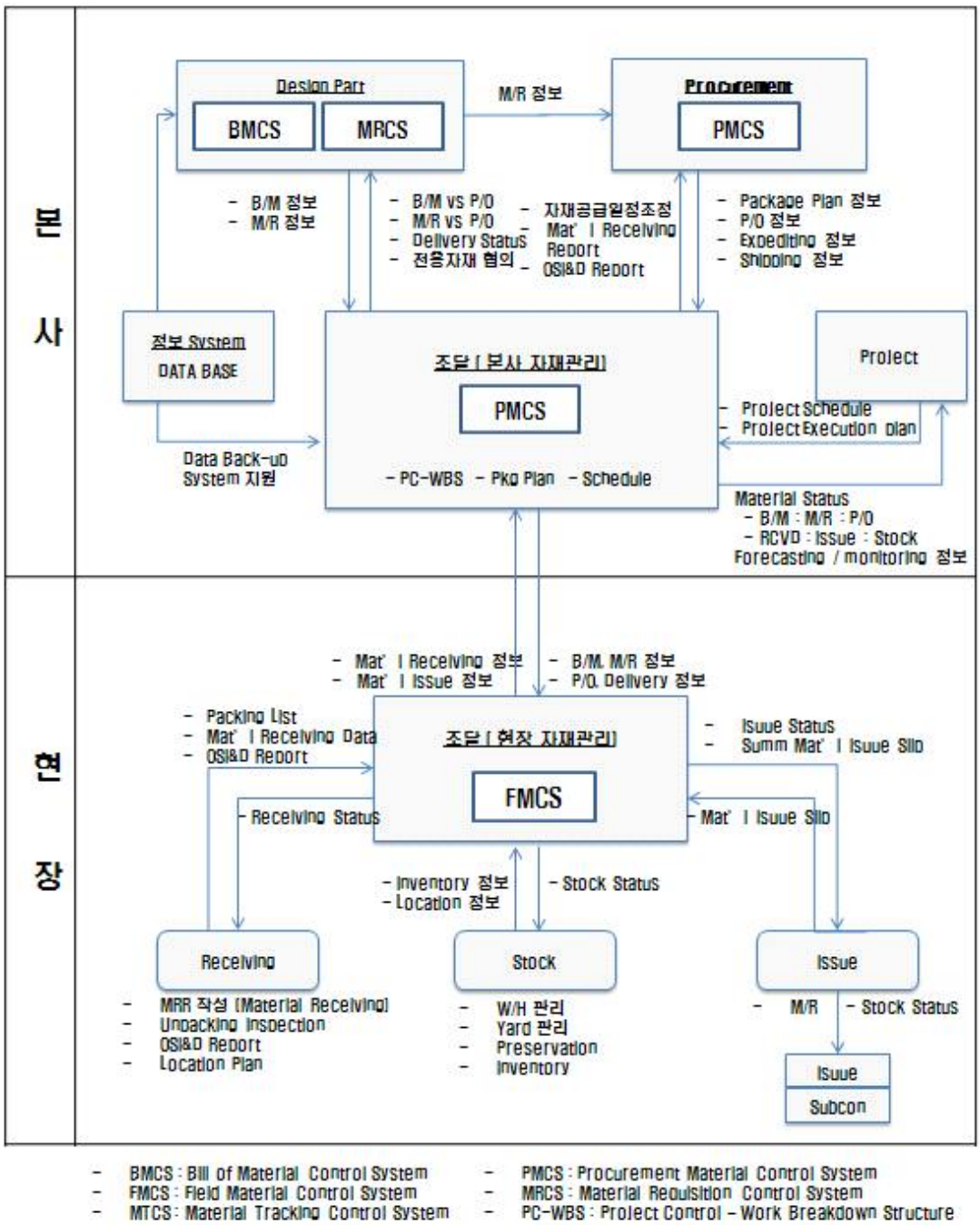
일반적으로 플랜트 산업에서 벤더관리는 아래 그림에 나타난 것과 같은 전체 플랜트 프로젝트 수행을 위한 시스템 구조 중 Material Management의 세부 기능 또는 Procurement 관리와 연관된 것으로, 구매조달을 위한 벤더의 정보관리, 벤더의 평가를 위한 제반 정보관리, 구매조달을 위한 RFQ 작성, Vendor 평가 및 승인, 견적서 확인, P. O 발송, Vendor List 작성, 발주자 승인, 제작/ 시험 / 검사, 기자재 선적 및 관리, On-Site의 업무 수행 등을 다루고 있다.



<그림 2-39> 기존 플랜트 기업의 시스템 구성의 예[JGC 사례]

다음 그림은 플랜트 프로젝트의 구매조달 단계에서, 본사와 현장 간 정보의 흐름

과 시스템의 구조를 도식화한 것이다.



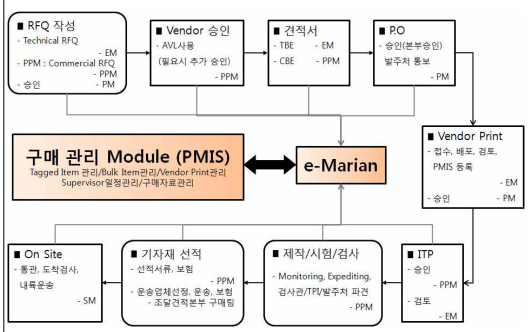
<그림 2-40> 플랜트 프로젝트의 자재관리 시스템의 구조와 정보 흐름

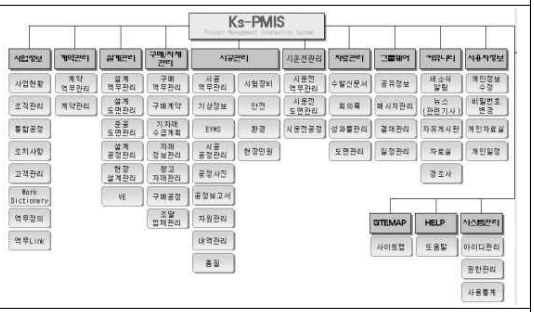
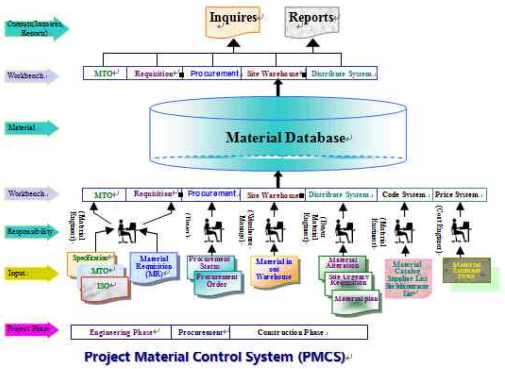
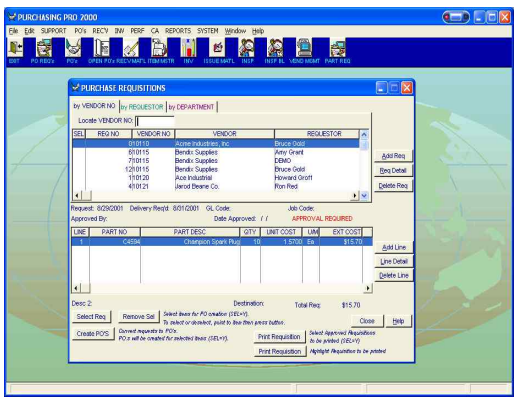
② 벤더관리 프로그램 사례

본 기술 조사에서는 국내·외 기술조사를 통하여, 플랜트 프로젝트의 구매조달 단계에서 효과적인 자재조달 또는 협력업체 조달을 위해 사용되는 벤더 관리 시스템의 사례를 조사 분석하였다. 플랜트 회사에서 사용되고 있는 시스템은 크게 전사적

으로 해당 부분을 개발하여 사용하는 경우와 프로젝트 기반의 PMIS의 일환으로 개발하여 활용하는 경우가 있으며, 본 기술 조사를 통해 조사된 세부 내용은 다음과 같다.

<표 2-52> 벤더관리 프로그램 사례

구분	특징	비고
A사	시스템의 구성은 벤더관리를 위한 정보 입력 모듈과 입력된 정보를 조회하여 활용하는 모듈로 구성되어져 있음 시스템의 세부 기능을 살펴보면, 부적격 업체의 제한을 위해 벤더 정보, 거래 가능정보, 신용 등급, 제재/교육 현황 정보, 제작 수행 능력 평가 정보 등을 입력할 수 있게 구성되어져 있고, 이러한 정보를 바탕으로 조회 시스템을 통해 주요 핵심품목에 대한 제작 수행능력 평가 정보, 종업원 수, 공장 현황, 보유설비 정보, 품질등급 현황 등의 정보를 활용할 수 있음.	
S사	S사의 벤더관리 모듈은 전사 PMIS와 연동하여 구매/조달 관리를 효율화를 위해 활용될 수 있도록 개발된 시스템임. 주요특징은 발생 가능한 Risk 감소를 위해 Tagged Item 및 Bulk Item에 대한 구매 실적 현황 Monitoring, S사 사내의 구매관리 시스템(e-Marian)과 연계하여 관련 부서와의 중보 업무 최소화, Vendor 관리, Vendor print 관리, Super visor 일정관리 및 구매 자료 관리 기능을 제공한다는 특성을 가짐	
D사	D사 는 특정 프로젝트의 PMIS의 일부 기능으로 구매 조달 관리와 Vender 관리를 구현하여 사용하고 있음. D 사에서 구축한 Vender 관리는 구매/조달관리와 병행하여 구축되어져 있으며, 각 단계별 발생되는 문서 위주의 관리가 진행되고 있음을 알 수 있음. 단, D 사와 같이 특정 프로젝트를 대상으로 Vender 관리를 수행하는 경우, Vender의 등록·관리에 초점이 맞추어져 있음.	

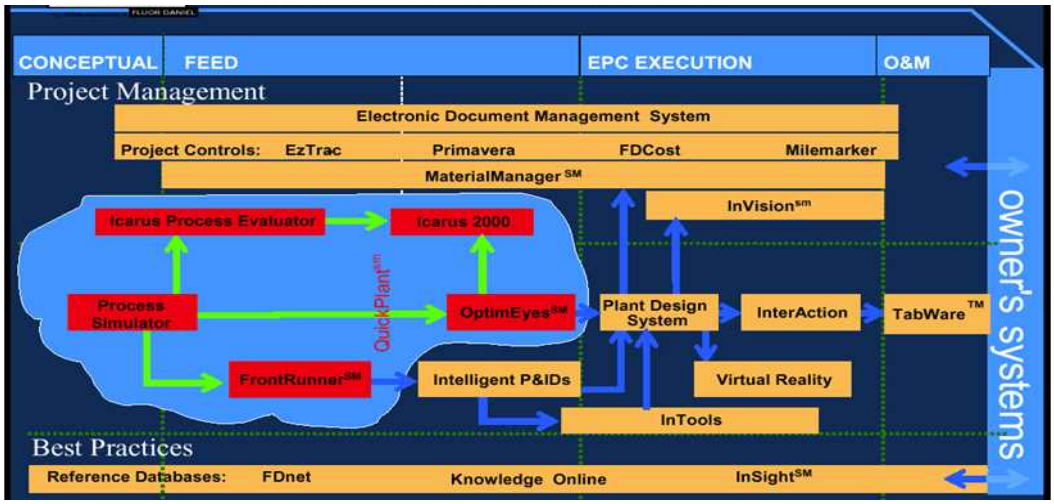
구분	특징	비고
K사	K 사례는 한국전력기술의 CM부문과 국내 S IT 업체의 공동 개발된 시스템으로, PMIS의 일부 기능으로 Vendor 관리를 구현함. 좌측 그림은 Ks-PMIS의 기능도를 도식화한 것으로, Vendor 관리는 구매/자재관리의 세부 기능인 조달업체 관리로 구현되어져 있음.	
AVEVA	AVEVA Plant는 플랜트 프로젝트의 엔지니어링, 설계 및 설계관리, 시공 등 프로젝트 전반에 관한 토털 솔루션을 제공하고 있는 소프트웨어로, 세부 모듈 중 VPRM Workbench의 세부 기능으로 Material Management 기능을 제공하고 있음. 해당 시스템은 자재의 구매조달 단계에 초점을 맞추어 기능이 구현되어 있으며, Vendor 관리 보다는 해당 단계의 Vendor가 생성한 문서 관리를 지원할 수 있도록 기능을 제공하고 있음	 
Integraph사	Smart Plant Materials는 Integraph사의 플랜트 관리 솔루션 중, 자재 및 조달 관리를 위한 기능으로 Quantification, Supplier Management, Inquiry Cycle and Purchasing, Expediting, Inspection and Logistics, Progress Measurement, Inventory and Warehouse Management 등의 기능을 제공함. 이 중 Supplier Management는 본 조사의 Vendor 관리와 유사 기능으로, 관련된 Supplier의 기존 수행 결과 검색, 사전 품질 경가를 통한 업체 선정 지원, Vendor 정보 및 순위 등에 대한 정보 제공 등의 기능을 제공함.	
BDR Systems, Inc.	Purchasing Pro 2000은 구매, vender 관리 및 Rating을 위한 시스템으로 다음과 같은 기능을 제공함. PO Approval Feature,PO Request System Audit Trail of Data,Inventory Control Multiple Warehouse Support Purchase Order System Email Requests, Purchase Orders Pick List System Supplier History and Performance Corrective Action System Cycle Count Inventory Correction Simple to Use, Affordable	

③ 벤더관리 프로그램의 특성 비교

앞 서 살펴본 국내·외 벤더관리 프로그램은 구매·조달 단계에서 자재 또는 협력업체의 효과적 관리를 지원하기 위하여 벤더 정보, 거래 가능정보, 신용 등급, 제재/교육현황 정보, 제작 수행능력 평가정보 등을 입력·관리함으로써 보다 효율적인 벤더의 수급을 지원하고 있다.

Vendor 관리 시스템은 크게, 독립적인 Vendor 관리 시스템으로 개발된 경우와 PMIS 등의 일부 기능으로 구현된 사례로 구분되어지며, 전자는 Vendor의 관리뿐만 아니라 평가 등을 통해 문제점이 있는 vendor의 참여를 제한하는데 초점이 맞추어져 있고, 후자는 Vendor의 평가 보다는 구매·조달과 관련된 다른 기능에서 Vendor 리스트 등을 활용하는데 초점이 맞추어 시스템이 개발·적용되고 있음을 알 수 있었다.

그리고 해외의 경우와는 달리 국내의 경우 아직까지 자재관리 등과 같은 유관 분야와의 통합 프로세스 보다는 단위 시스템으로 개발·적용된 사례가 많아 이에 대한 개선이 필요한 것으로 나타났다.



<그림 2-41> 통합 플랜트 프로젝트 시스템의 구성사례 (Fluor Corporation)

따라서 벤더관리는 Material control과의 연계성 확보뿐만 아니라, 전체 시스템과의 통합 방향으로 발전될 필요가 있다.

(3) 시공관리 프로그램 활용현황 조사·분석

일반적으로 모든 플랜트 산업에서는 산업의 특성인 짧은 공기와 막대한 비용 투입이라는 특성을 반영한 효과적 프로젝트 수행을 위해, E-P-C의 각 단계 또는 전체를 대상으로 다양한 소프트웨어를 사용하고 있으며, 시공단계의 공정관리 또한 소프트웨어를 활용한 계획 및 관리를 수행하고 있다.

본 연구에서는 시공단계의 공정관리 프로그램은 시공단계 뿐만 아니라 플랜트 산업 전반에 걸쳐 공정관리를 위해 활용되고 있는 소프트웨어로서 공정관리 프로그램의 개요, 관련 프로그램의 활용 현황을 고찰하여, 특성 및 성능을 조사하였다.

또한 LNG플랜트 시공단계의 공정관리 프로그램의 이해와 향후 개선을 위하여, 데이터 입출력 체계를 조사 및 분석을 통해 관리 데이터의 종류와 방식을 제시하였다.

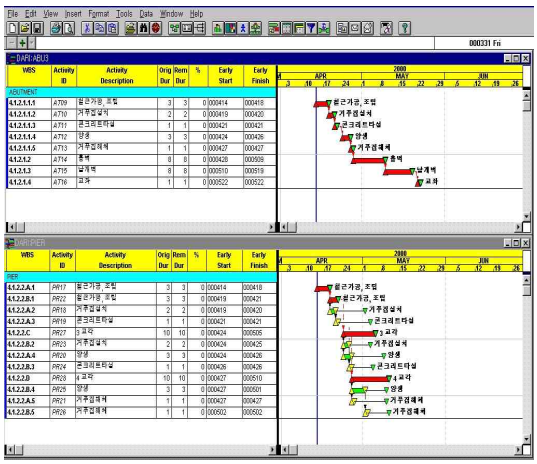
(가) 공정관리 프로그램 특성 및 성능비교

① 공정관리 프로그램의 사용 현황

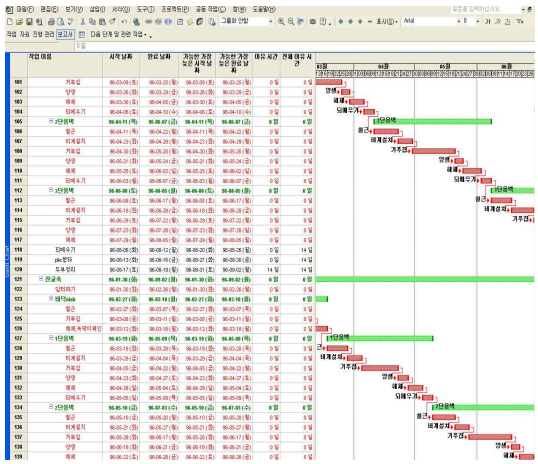
현재 LNG 플랜트 프로젝트를 수행하는 국내외 업체들은 발주자의 요구에 따른 프로젝트 전반의 공정관리를 컴퓨터 기반의 공정관리 시스템을 운영하고 있다.

공정관리 시스템의 운영은 일정관리, 원가관리, 자원관리 등의 프로젝트관리를 통합하는 관리 형태이기 때문에 발주자 측에서의 공정관리 자료(4D CAD, PMIS 등)의 요구는 LNG 플랜트 건설업체들의 필수적인 기본요건이 되고 있다.

현재 국내외 플랜트 프로젝트의 공정관리 시스템의 대표적인 것으로는 Primavera의 P3와 Microsoft사의 MS Project가 활용되고 있다.



<그림 2-42> Primavera(P3)



<그림 2-43> MS Project

공정관리 시스템은 프로젝트 전 생애주기에 걸쳐 각종 일정정보, 비용정보, 공종

정보, 자원정보 등을 해당 공종에 적용함으로써 프로젝트에 예상되는 각종 프로젝트 관리 자료를 확보하고 관리한다.

확보된 자료는 실제 프로젝트 진행과정과 비교하여 계획 대비 실적의 평가와 분석에 활용되며, 실제적인 프로젝트의 평가 도구로 활용되고 있다.

이러한 활용도구로서의 공정관리 시스템은 현재 국내외 대규모 플랜트 프로젝트에 적용되고 있으며, 플랜트 프로젝트 계약단계나 기획단계에서 필수적인 항목으로 적용되고 있다.

② 주요 공정관리 프로그램 소개

국내외 플랜트 산업에서 활용되고 있는 공정관리 소프트웨어는 다음의 표와 같으며, 주로 Primavera와 Ms Project를 사용하고 있다.

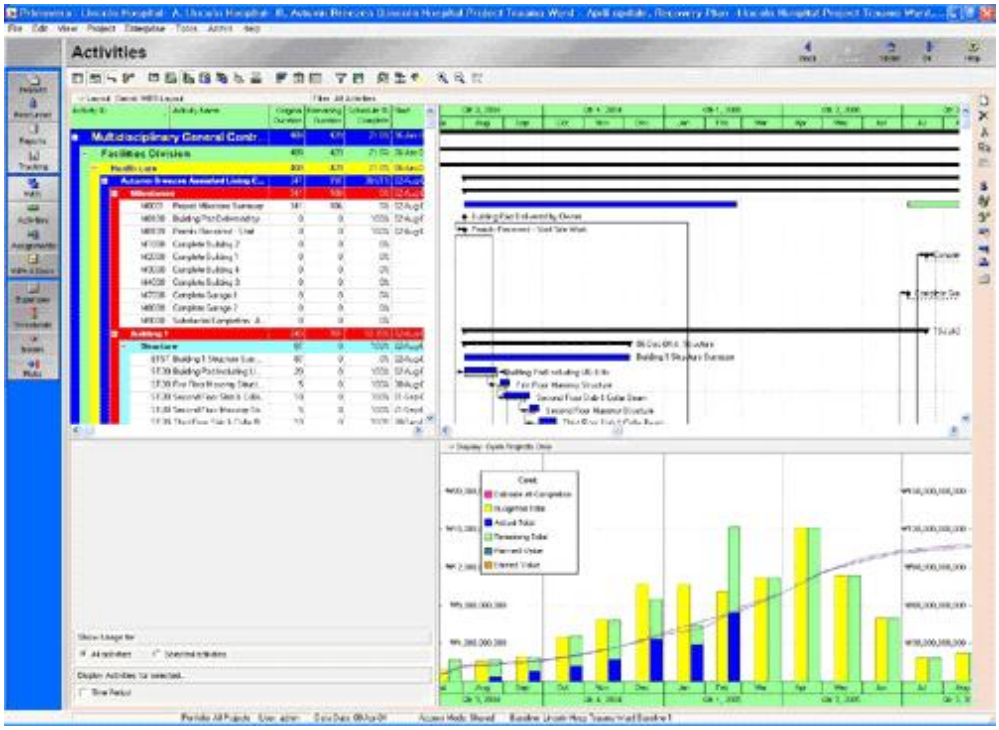
<표 2-53> 주요 공정관리 소프트웨어의 특징

공정관리 소프트웨어	주요 특징
Primavera Project Management (P6)	미국 Primavera사에서 개발된 프로젝트 관리 소프트웨어로서 상대적으로 고가임에도 불구하고 많은 해외현장에서 널리 이용되고 있다. 웹 연동 및 SURE-TRAK과의 데이터 연동이 가능함
SURE TRAK	미국 Primavera사에서 개발된 프로젝트 관리 소프트웨어로서 P3와 호환이 가능한 장점이 있음
neoPLAN	PERT/CPM 기법에 근거하여 프로젝트 진행상의 시간, 비용 및 자원을 관리해 주는 범용 프로젝트 관리 소프트웨어로 ADM 및 PDM 방식의 네트워크를 지원함.
MS-PROJECT	Microsoft Project는 프로젝트관리를 전사적 차원에서 가능하게 해 주는 전사적 프로젝트 & 자원관리 솔루션으로 프로젝트 일정계획 관리 및 자원 관리 또한 프로젝트를 진행하면서 발생되는 주요 이슈 및 위험관리 등을 지원함
NEX-PERT	국내 최초로 개발된 프로젝트 관리 소프트웨어로서 PERT/CPM 분석을 기반으로 하는 프로젝트 일정, 비용, 진도, 기성관리 등 프로젝트관리 핵심기능과 국내 건설공사의 관리요구가 최대한 반영되어 국내의 대규모 공사에 많이 쓰이고 있음
ez-PERT PERT/CPM	국내에서 개발된 공정관리 프로그램으로 PERT/CPM 분석을 기반으로 일정, 비용, 진도 등의 관리 기능을 제공하고 있으며, PMIS 등과 연계한 웹 기반 관리 기능을 제공하고 있음
PLAN MATE	본사와 지사, 현장을 연결하는 네트워크 시스템의 지원으로 어디서든 동시에 데이터를 조회하고 작업이 가능하며 PMIS 버전의 경우 기존 ERP와 연동하여 웹상에서 작업이 가능함
Artemis 7	여러 가지 운영환경을 지원하는 국외 프로그램으로 자체 DBMS 및 4세대 언어 지원을 통한 다양한 기능을 제공함. 단 전문가 수준의 사용성으로 사용이 어려우며, 고가라는 단점을 가짐

다음은 위의 표에서 설명한 각 프로그램의 특성을 요약한 것이다.

■ Primavera / Project Management (P6)

- Primavera / Project Management는 CPM 기법을 기반으로 Scheduler 혹은 공정관리자가 Project의 일정계획을 수립하고, Resource의 배치 및 Cost에 관한 정보를 관리하는 프로그램으로, 사용자 등록, 권한 수정의 기능을 가지고 있음. (PERT 및 Bar chart 적용 가능)
- Primavera / Project Management는 다수 사용자가 다수의 Project를 관리할 수 있는 기능을 제공하며, Project 계층구조, Role과 Skill에 중점을 둔 Resource Scheduling, 실적 Data 기록, 수정 가능한 화면구성, 사용자 정의 데이터 등의 각종 기능을 지원하고 있음.
- Project 운영에 관련된 모든 기본적인 Data를 구성하며, 무제한 Project 구성과 함께 Enterprise Project Structure(EPS), Activity, Baseline, Resource, Work Breakdown Structure(WBS), Organizational Breakdown Structures(OBS), user-defined code등 각종 코드 구성이 가능하고 critical-path-method(CPM) scheduling과 resource leveling을 지원함.
- Project Management는 각종 data의 종류에 따라 최적의 입출력 기능을 수행할 수 있도록 각각의 Interface가 구성되어 있으며, 아래 그림과 같이 Project, Resource, Tracking, WBS, Activity, Assignment 등의 Interface를 제공하고 있으며, 이외의 데이터들을 위한 각종 POP UP 창을 지원하고 있음.
- 또한 효과적인 프로젝트 공정관리를 위해 WBS와 OBS 외에 Project code, Resource code, Activity code, Cost Account 등의 다양한 code를 지원하고 있으며, 이를 통해 Project나 Resource, Activity, Resource Assignment 등의 Project의 기본적인 데이터들을 다른 시각으로 분석할 수 있음.
- 기본 기능으로 Calendar, Constraint등이 있으며, 추가 기능으로 Document, Threshold, Issue, Risk 등의 기능을 제공하여, 공사관리 전반에 프로그램을 적용할 수 있도록 시스템이 구성되어져 있음.

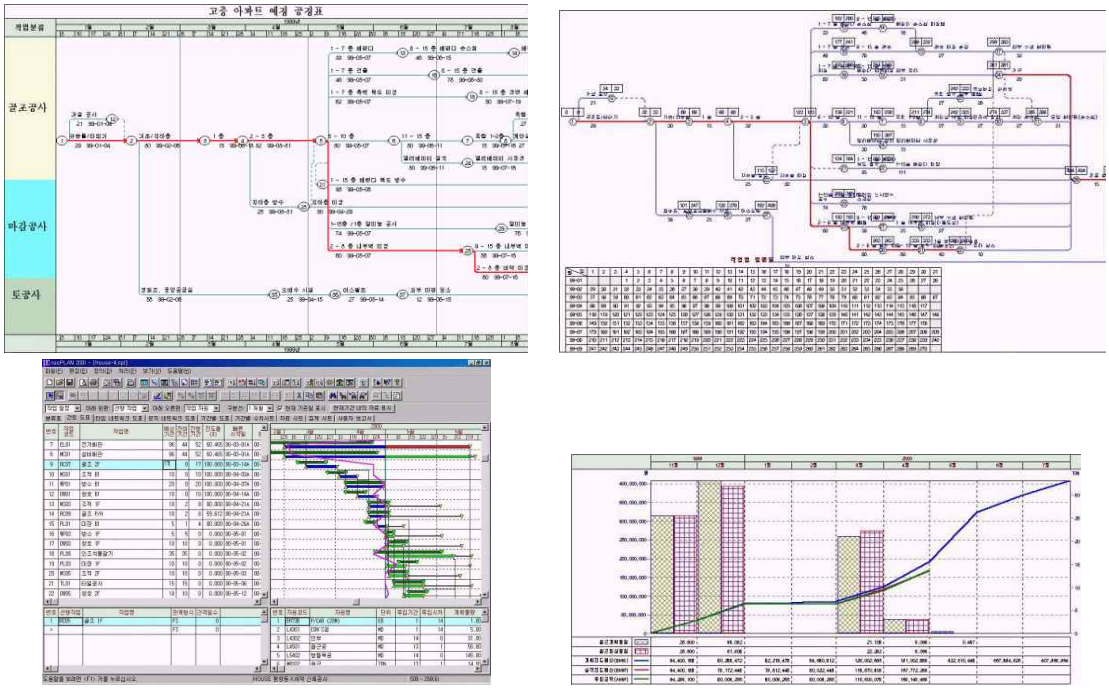


<그림 2-44> Primavera / Project Management (P6)

※ 출처 : http://www.p3ec.com/product_primavera.html

■ neo Plan

- PERT/CPM(Program Evaluation and Review Technique / Critical Path Method) 이론에 근거해서 프로젝트 진행상의 시간, 비용 및 자원을 효율적으로 관리해 주는 전문 프로젝트 관리 소프트웨어임.
- 일정과 비용을 연계 분석하여 프로젝트 예산의 절감이나 과투입, 프로젝트 기간의 단축이나 지연을 평가할 수 있으며, 여러 각도로 처리된 집계 자료를 통하여 좀 더 효율적인 관리를 할 수 있음



<그림 2-45> neo Plan

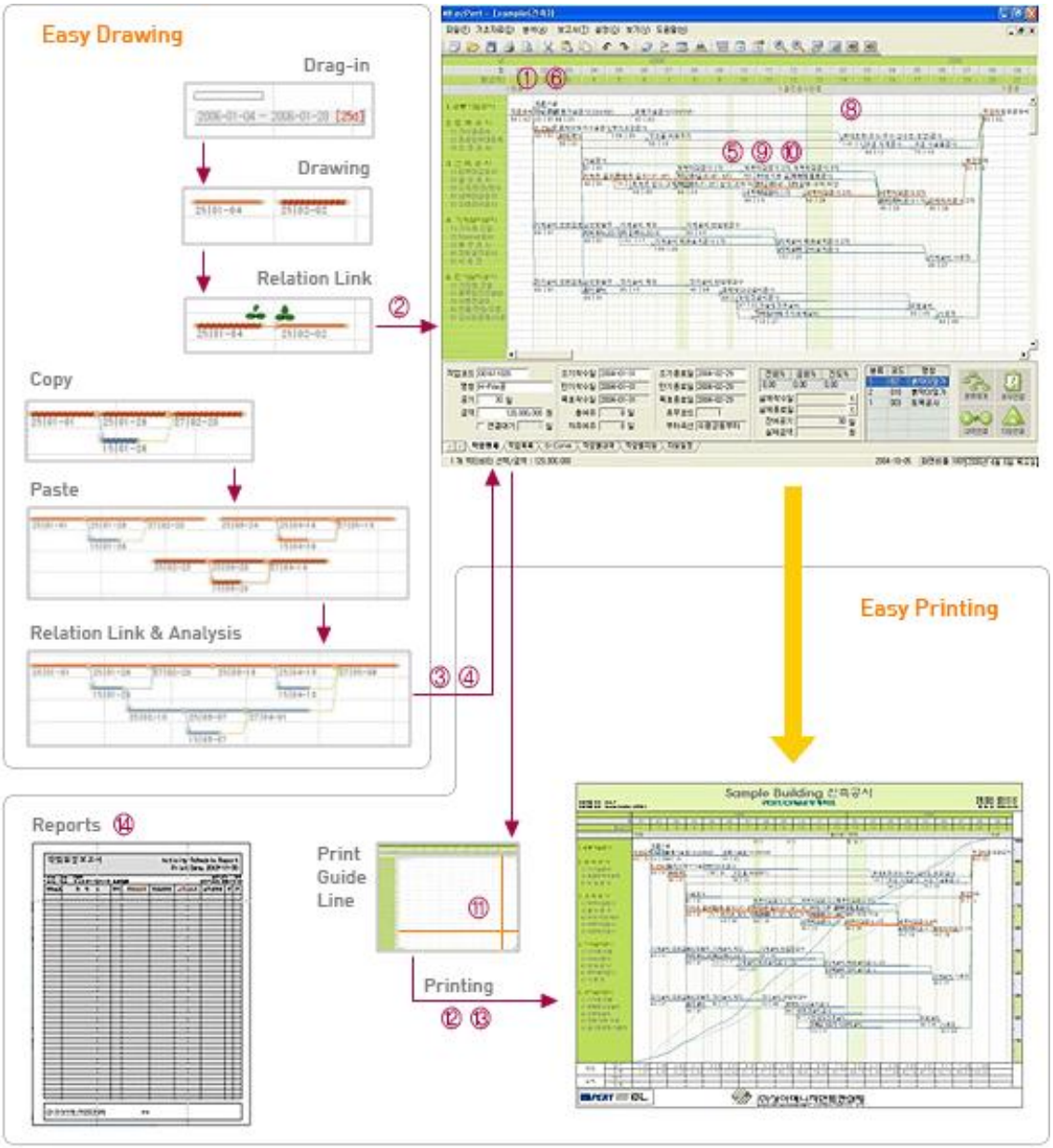
※ 출처 : http://www.hnpsoft.com

■ Ms Project

- 바차트 및 CPM 기법 기반의 공정관리 솔루션으로 MS Office 제품과의 다양한 호환성을 제공함.
- 건설 전문 솔루션 보다는 프로젝트 기반의 모든 산업에 적용 가능한 형태로 시스템이 제공되며, 일정관리 중심의 공정관리에 많이 적용됨.

■ ez-PERT

- ez-PERT는 국내에서 개발된 PERT/CPM 기법을 기반으로 공정관리 툴로, PC(standalone) 버전과 C/S web용을 지원함.
- 또한 WBS, CBS, OBS 등의 코드체계를 통한 손쉬운 공정계획과 진도관리가 가능하며, 보할 개념의 기성관리를 통한 EV(Earned Value)관리를 지원하고 있음.
- 단, 사용이 편리한 만큼, 복잡한 공정관리의 기능이 생략되어져 있고, 대형 프로젝트에서의 사용은 미비한 편임.

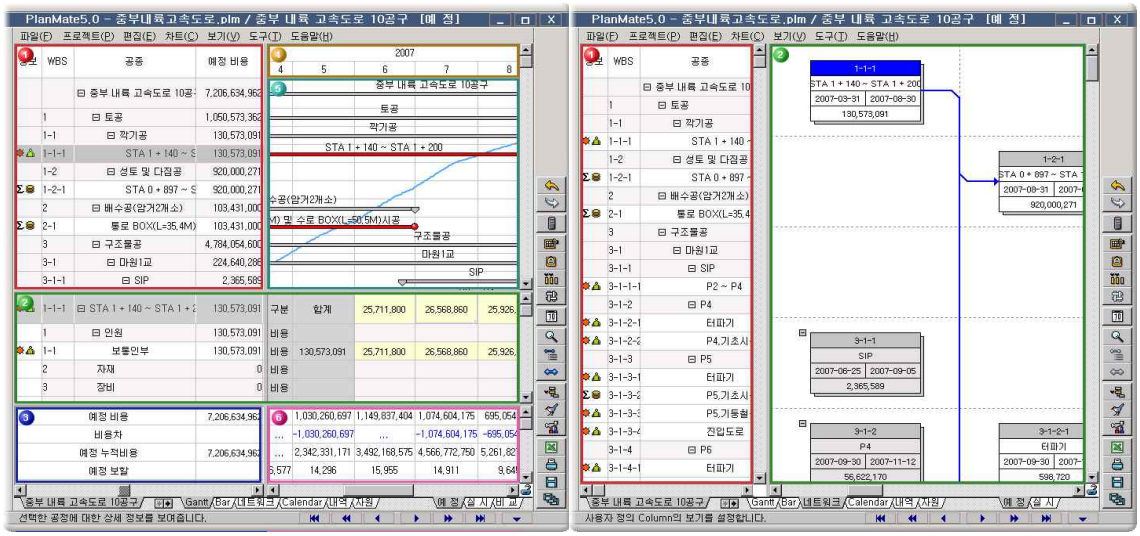


<그림 2-46> ez-PERT

※ 출처 : http://www.sangah.com/Sangah_Home/contents/sub2/sub2_6_4.htm

■ 플랜메이트

- 플랜메이트 또한 칸트 및 네트워크 기반의 공정관리 기능을 제공하는 솔루션으로, 사용자 편의성을 강조한 프로그램임.
- CBS를 WBS에 할당하여 내역 산출 및 EVMS 관리가 가능하며, 공정 분할, 마일스톤 등의 방법을 이용한 다양한 프로젝트 관리 기능을 제공함.

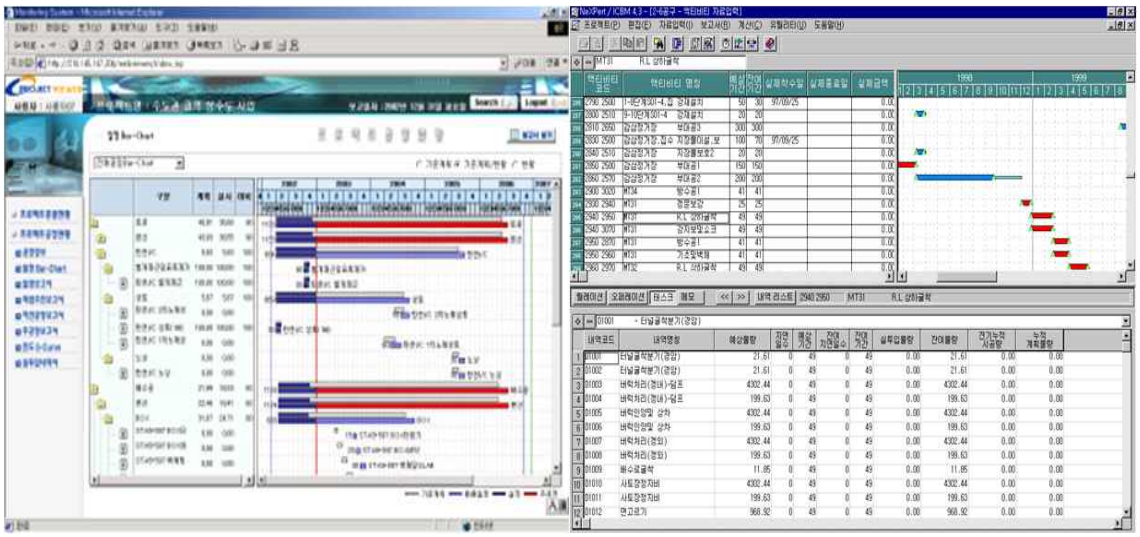


<그림 2-47> PlanMate

※ 출처 : http://www.planmate.com/PlanMate/PlanMate/PlanMate_ScreenShot.aspx

■ Nex-Pert

- 국내에서 개발된 공정관리 프로그램으로 PERT/CPM 분석을 기반으로 일정, 비용, 진도 등의 관리 기능을 제공하고 있음.
- PMIS 등과 연계한 웹 기반 관리기능을 제공하고 있음



<그림 2-48> Nex-Pert

※ 출처 : http://www.kkprotech.com

(나) 공정관리 프로그램 장단점 분석

앞서 소개한 국내에서 주로 활용되고 있는 P3, Ms-Project, Nex-Pert, Artemis 7

은 기본적으로 다음과 같은 공통적 기능들을 지니고 있으며, 각각의 프로그램의 장단점을 분석해 보면 다음 표와 같다.

<표 2-54> 공정관리 프로그램 장단점

구 분	장 점	단 점
Primavera	• 자원/ 공사비 분석 기능 우수 • 다양한 보고서 출력 기능 • 작업분류 Code 다양 • 공정표 그래픽 표현 우수 • 작업 추가•삭제용이	• 가격고가 • 전문가 수준의 기능 많아 숙달에 시간 • 소 요
Ms-Project	• 사용방법 용이함 • 월간/중간 공정표 작성에 적합 • 가격 저렴	• 자원/공사비 분석기능 미흡 • 보고서 출력 종류 제한적
Nex-Pert	• 횡선식 공정표로 다수작을 1장에 표현 가능 • 공정표상에 보할 S-Curve를 OverlAP 표현 가능 • 국산 S/W로 관발주 공사 표현 방식 만족	• 횡선식 공정표 작업에 많은 시간 소요 • 횡선식 공정표상에 작업 추가/삭제/ 편집 시 시간 과다 소요 • 사용법 다소 불편 • 가격 비교적 고가
Artemis 7	• 여러 가지 운영환경을 지원하는 다양한 제품군 • 자체 DBMS 및 4세대 언어 지원	• 전문가 수준 요구 • 가격 고가

Primavera 프로그램의 경우 기존 공정관리 소프트웨어보다 세부적이고 다양한 프로젝트 관리 기능을 보유하고 있으며, 대형공사에 많이 이용된다. 컴퓨터 요구 사향이 대체로 높고 전문적 기능들이 많고 복잡하여 효율적인 구동을 위해서는 숙달에 시간을 요하며 국내적용에 있어서 기능면에서도 다소 제한적인 요소를 내포하고 있다.

Ms-Project는 익숙한 Microsoft Office군에 속에 포함된 패키지로 이용에 있어서도 단순한 화면구성과 기본적인 기능들을 모두 아이콘화 하여 기초적인 지식을 쉽게 습득할 수 있다. 다만 대규모 프로젝트 적용을 위해서는 부가적인 소프트웨어의 추가가 필요하며 프레젠테이션 기능에 있어 약하지만 디테일한 공정표 작성에 적합하고 기타 Microsoft 호환이 가능하여 국내에서도 많이 이용되고 있다.

Nex-Pert는 국내에서 개발한 공정관리 소프트웨어로 기본사항들은 외국 소프트웨어의 형식을 따르고 있지만 국내 건설현장에 적용을 고려하여 프로그램을 구성하였으므로 관 발주공사 표현방식을 만족시킬 수 있다.

Primavera, Ms-Project, Nex-Pert, Artemis 7의 공통사항은 네트워크 체계에서 현장과 본사 간, 현장과 현장 간, 심지어 현장과 해외 현장이나 지사에까지 실시간

으로 정보교환이 가능하도록 한 점을 들 수 있으며, 입•출력되는 데이터들도 유사 데이터베이스 관련 소프트웨어, AutoCAD 등과 호환 가능하여 업무체계의 간소화, 시간, 경비 등 많은 비용•시간적 문제점을 해결 할 수 있다.

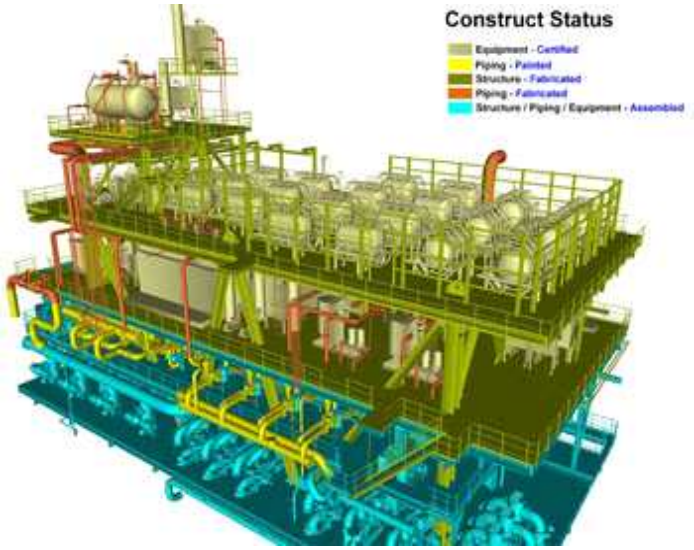
다음 표는 주요 공정관리 프로그램의 기능 비교 사항을 정리한 것이다.

<표 2-55> 공정관리 프로그램 기능 비교 분석

기능/구분	Primavera	Ms-Project	Nex-Pert	Artemis 7
Critical Path 분석	Y	Y	Y	Y
Multiple Project 여부 (가능 프로젝트 수)	Y (20)	Y (제한없음)		
Activity 수	제한없음		10,000	10,000
Activity 코드	20		10자리	제한 없음
task의 수	100,000	제한없음	30,000	
WBS체계 분류단계	20	제한없음	16	제한없음
네트워크 체계			IJ, PJ 방식 채택	
Supported database	ODBC	MS Access, Oracle, dBASE, FoxPro, ODBC		Oracle, SQL-Sever
Supports OLE	Y	Y		
Application program-ming Interface	Y	Y	Y	
Programming language	Y	Y		
웹기반 지원	N	N		Y

(다) 4D CAD 및 nCAD의 활용

LNG 플랜트 산업의 공정관리는 기존의 CPM 기법 등을 활용한 다양한 공정관리 프로그램뿐만 아니라 3D 데이터와 공정을 연계한 4D 기반의 공정 관리 또는 5D 기반의 일정/비용 통합관리의 형태로 발전하고 있다. 이는 LNG플랜트뿐만 아니라, 최근 건설산업에서 이슈화되고 있는 BIM의 적용 확장과 동일한 형태이며, 플랜트 산업의 경우, 토목 및 건축분야보다 빠르게 진행되고 있다.



<그림 2-49> 4D CAD 및 nCAD의 활용

※ 출처 : http://www.bentley.com

플랜트 산업에서 4D CAD 및 nCAD의 활용의 이유는 다음과 같다.

- 다양한 공정프로세스와 배관작업에 따른 시공시 발생되는 간섭현상의 확인 및 그에 따른 방지(처리) 가능
- 좁은 공간에서 복잡하게 진행되는 설치작업들의 작업 공간 확보를 위한 작업간 우선순위 설정 가능
- 시공간섭 체크(플랜트공사에는 많은 간섭현상이 발생함. 대부분의 간섭현상 체킹은 3D도구를 이용하여 하고 있으며, GS, 삼성 등에서는 인터그라프사 PDMS 시스템을 이용하여 시공 전에 간섭현상을 검증)
- 공간작업성(시공성) 체크(배관 세부작업까지 간섭체크가 가능하고, 각 부위 작업공간확보가 필요한 경우에도 간섭현상 체크를 위한 3D도면이 나오면 경험적으로 판단 가능)
- 작업 우선순위 설정 가능

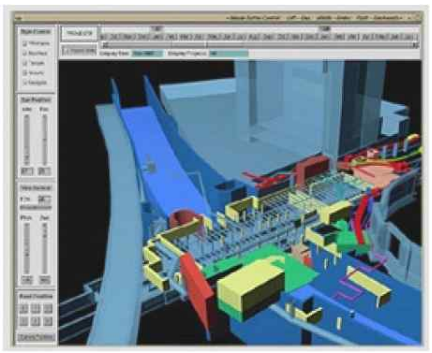
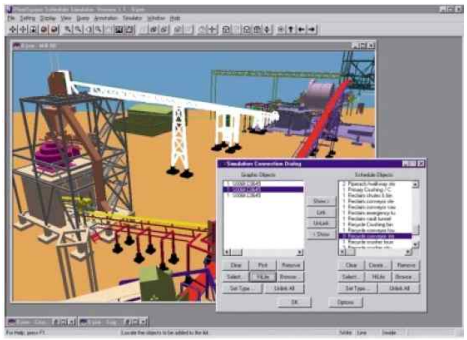
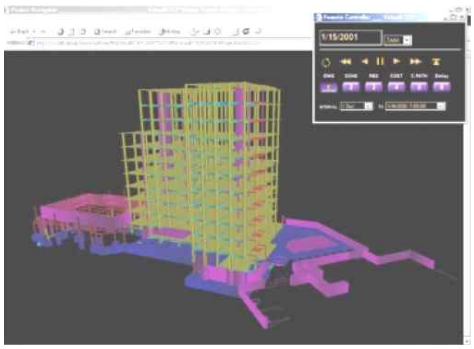
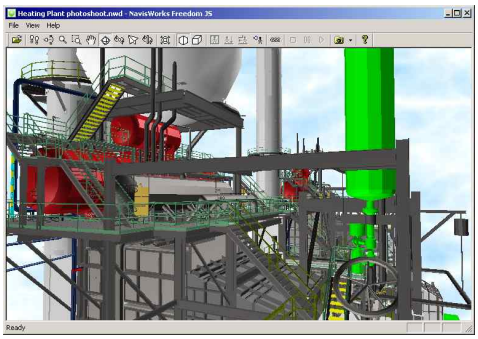
다음의 표는 건설산업에서 사용되고 주요 4D CAD의 종류와 특성을 정리한 것이다.

<표 2-56> 건설 프로젝트에서 활용되는 4D 프로그램 및 특성

프로그램 명	특성
Common Point 4D	- AutoCAD의 dwg나 dxf 포맷에서 생성 되어진 3D IFC의 모델을 지원 - 공정정보는 Primavera 와 Microsoft Project와 연계됨 - 설계와 시공을 전문적인 검토를 가능하게 하고 웹상이나 컴퓨터상에서 관련된 환경에서 세부적인 단계로 3D 모델과 시공프로세스를 조합할 수 있는 기능을 가지고 있음. - 사용들은 효과적으로 커뮤니케이션이 가능하고 계획과 프로젝트의 범위와 공정분석을 쉽게 해줌
SmartPlant Review	- 발전/화공 플랜트와 같이 복잡하면서도 규모가 큰 플랜트의 3D 모델에 대한 검토와 분석에 유용하게 사용될 수 있는 강력한 대화식 시각화 프로그램임. - 엔지니어링 단계에서부터 설계, 건설, 유지/보수에 이르기까지 플랜트의 전 공정에서 이 프로그램만을 통해서 모든 시각화 기능을 구현할 수 있음. - 정보 전달이 명확하고 용이하며, 확장성과 유연성이 뛰어나고 공간적인 제약이 없어 이동 중에도 사용이 가능하여, 사무실에서 멀리 떨어진 곳에서도 플랜트의 전체 모델과 이와 관련된 자료를 직접 시각화하여 확인할 수 있음.
FourdDviz	- 3D 시뮬레이션과 시간차원의 이용하기 위해 Balfour Technologies에서 개발. - 보스턴 로간 공항에 3D와 4D시각화를 위한 목적으로 개발되었으며 항공과 교통 센터 등의 다양한 프로젝트에 적용됨. - 사용자가 개인컴퓨터와 인터넷(www)을 통해 4D 시뮬레이션을 할 수 있으며, 운영자에 의해 운행 할 수 있는 실제적 환경을 제공함.
Schedule Simulation	- Jacobus Technology가 개발한 Plantspace Schedule Simulator로부터 출발함. - 프로젝트의 활동과 3D CAD data를 연계를 가능케 하며, 프로젝트 각 활동들을 시뮬레이션하기 위한 real-time animation을 제공함. - 시공과정에 시뮬레이션을 위한 다양한 CAD를 데이터를 받아들이며 공정 데이터는 Primavera와 Microsoft Project와 호환됨.
Project Navigator	- VirtualSTEP에서 개발 - 시공공정과 시뮬레이션을 나타내기 위한 기본 객체의 AutoCAD와 시공정보를 연계하는 응용 방식을 가지고 있음. - 인터넷 익스플로러 브라우저를 이용 할 수 있음. - CPM 엔진을 이용하여 critical path를 분석 할 수 있음. - 사용자는 자원과 비용을 입력하여 프로젝트과정을 쉽게 관찰 가능하고, 특정 시점의 특정 과정의 상태를 보여주는 기능을 가지고 있음.
Naviswork TimeLiner	- 3D모델을 신속한 4D 비쥬얼레이션을 위해 공정관리 소프트웨어와 연결시켜 줄 수 있음 - 타임라이너는 Clash Detective와 연계되어 사용되어지고, 시간과 공간을 조합한 체크 및 사이트와 워크플로우의 계획을 향상 시킴.
Vico software, Vico office	- 세계 최초의 Full 5D 프로그램 - 견적을 위한 Estimator, 공정관리를 위한 control, 비용 대안 분석을 위한 cost explore 등의 소프트웨어의 결합 형태로 시스템이 구동됨. - 4D를 위한 control은 Primavera 및 MS Project와 연계 가능함

다음 표는 4D simulation tool에 대한 장단점과 특징을 분석한 것이다.

<표 2-57> 4D tool 장단점

프로그램	FourdDviz	Schedule Simulation
예시		
특징	• 웹기반의 시뮬레이션 • Real time environment 제공 • 특정 부위에 대한 시뮬레이션 기능	• Open Database Connectivity (ODBC) 옵션 제공 • 3D graphic simulations - Bentley Enterprise Navigator 3D • environment - OLE2 Automation으로 연계
Tool	• Schedule Engine과 Critical path 분석 기능 포함하지 않음 • CPM 패키지와 시각화툴의 연계 없음	• CPA Engine 불포함으로 인한 일정 외 정보와의 연계성 약함
프로그램	Project Navigator	Naviswork TimeLiner
예시		
특징	• 데이터와 시뮬레이션 툴의 이용 간편화 • CPA Engine 로 인한 일정 외 정보와의 연계성 강화 - 비용과 자원정보 연계가능	• 각종 3D 캐드와의 호환성이 높음 - PSD, PDMS, Archicad, 3DsMAX, Autocad, SoildWorks, STEP • 스트레오(입체) 뷰잉 가능
Tool	• 특정시간에 대한 시각화의 불완전성	• Primavera / MS 프로젝트 / Asta 와 연결가능

※ 출처 : 국토해양부(2009), 가상건설시스템 개발 연구단 연차보고서

다음 표는 4D simulation tool에 대한 기술적 사항을 비교하여 정리한 것이다.

<표 2-58> 상업용 4d software 기술적 비교

Name	Stand-alone package	Formalized PBS-WBS linking	Type of CAD data required	IFC com-pliant	Planning soft-ware sup-ported	Web enabled	Real time updates of task 3D model	Real time navi-gation of 3D envi-ronment
Common Point 4D	Yes	NO	AutoCAD, VRML	Yes	MS Project Primavera	NO	YES	YES
SmartPlant Review	Yes	NO	VR 3D ob-jencts (VRML)	NO	MS Project Primavera	NO	YES	NO
Bentley Schedule Simulator	Yes	NO	Microstation	NO	Primavera	NO	NO	NO
Project Navigator	Yes	NO	VR 3D ob-jencts (VRML)	NO	None	YES	NO	YES
FourDviz	Yes	NO	3D CAD data (DXF)	NO	None	NO	YES	YES
Naviswork TimeLiner	Yes	NO	Microstation	NO	MS Project	NO	NO	YES
Graphisoft Constructor	Yes	NO	3D CAD data (DXF)	NO	MS Project Primavera	NO	NO	YES

※ 출처 : 국토해양부(2009), 가상건설시스템 개발 연구단 연차보고서

(라) 데이터 입출력체계 비교

LNG 플랜트 산업의 공정관리 프로그램의 데이터 체계는 일반적인 공정관리에서 다루는 WBS, CBS, PBS, OBS 등의 관리체계를 포함한 데이터 관리체계를 가지고 있다.

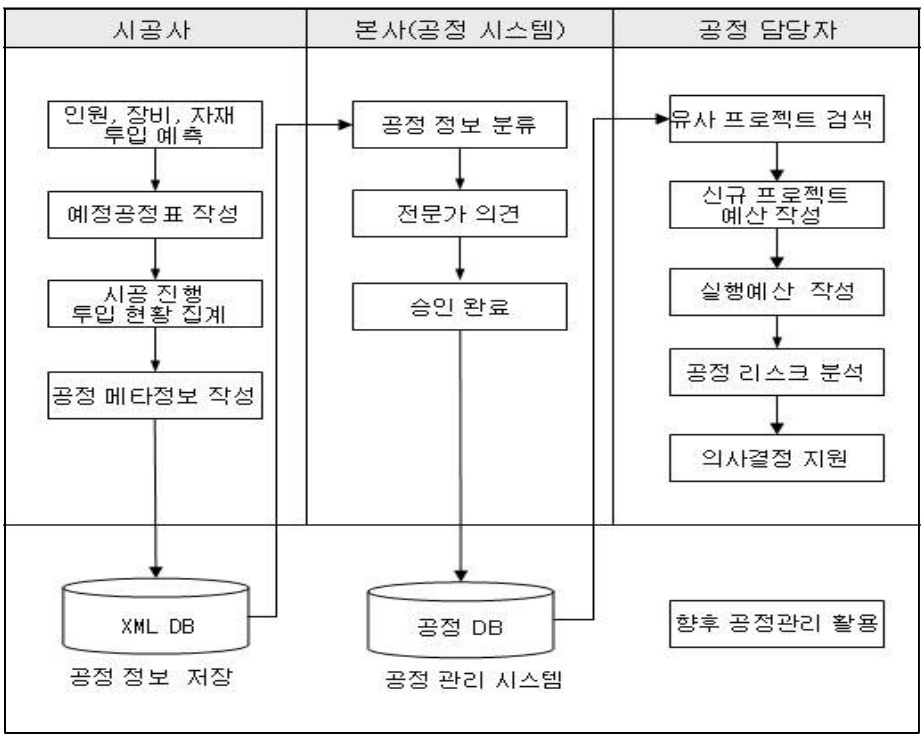
하지만 앞서 설명한 바와 같이, 공정관리 프로그램으로 많이 활용되고 있는 Primavera나 Ms Project와 같은 경우, 타 공정관리 프로그램들에서 연계를 지원하고 있으나 전체 시스템간의 정보 연계가 완벽하지는 않은 상태에 있다.

다음은 공정관리와 관련된 데이터를 종류별로 구분하여 정리한 것이다.

<표 2-59> 공정관리 참고 자료, 분석자료

구분	내용
공정관리 참고자료	작업체계 (Work Breakdown Structure)
	작업목록 (Activity List, 또는 Work Package List)
	공정표 작성 기준 (Requirements, Constraints and/or Assumptions)
	자원투입계획 및 투입현황 (Resource schedule &input status)
	유사공사 공정자료
	기타 공정관리 자료 등
분석자료	(업무별) 공정진도 측정 자료 (Progress measurement data sheet)
	일정변경 (원인) 자료 (Time Change Request)
	공정분석결과 (Progress/Scheduling/Result/Report)

또한 다음의 그림과 같이 PMIS, 원가관리, ERP 등의 시스템과의 연계를 통한 통합 업무 프로세스를 구축하고자 할 경우, 몇몇 경우를 제외하고는 별도의 커스트마이징을 통해 시스템 간 연계를 하여야하는 문제점을 가지고 있다.



<그림 2-50> DB 기반 공정관리 프로세스의 예

※ 출처 : 국토해양부 (2006), '플랜트 프로젝트 관리체계표준화 기술 개발' 연차보고서

이를 해결하기 위해, 다음 표와 같이 플랜트에 대한 국제 표준을 지정하여 활용을 시도하고 있으나, 국내 산업에서의 활용 빈도는 미약한 상태에 있다.

<표 2-60> 플랜트 정보화 관련 국제 표준

관련 표준	주요 특징
ISO 10303 STEP	플랜트 데이터 모델 표준 AP 221 : Plant schematics (P&ID) AP 227 : Plant spatial data (3D Model) AP 231 : Process design (PFD)
IOS 15926 POSC/CAESAR	석유 및 가스 생산 설비의 생애주기 데이터 통합 표준
EPRI NP-5159S	발전소의 통합적 CAE applications를 위한 지침
XML	aecXML, plantXML, pdXML 등 인터넷을 통한 플랜트 데이터 교류를 위한 표준
CII FIAPP/FIATECH (Fully Integrated Application for Project Processes)	Owner/Operator Forum을 통한 프로젝트 통합 정보화 모델 제시

※ 출처 : 문두환, 플랜트 산업의 데이터 표준 및 응용, 한국플랜트 학회, The Plant Journal, V.5, N3, 2009.09

다. 주요결과 및 시사점

LNG플랜트를 포함한 플랜트 산업의 Engineering 단계에서의 설계관리 시스템의 현황 및 주요 시스템의 특징, 그리고 데이터 관리 현황을 파악한 결과, 설계관리 시스템은 일반적으로 요구사항/제약조건관리, 프로젝트 관리, 조직관리, 설계 품질관리, 공정/진도관리, 비용관리, 문서/도면 관리, 리스크 관리 등을 포함하는 관리 시스템과 설계 및 엔지니어링에 직접적으로 사용되고 있는 CAD/CAE 시스템, 그리고 설계 관련 데이터, 실적 데이터, 자재 등의 데이터를 관리하는 데이터베이스 또는 지식관리의 영역으로 구분되어 운영됨을 알 수 있었다. 또한 외국 선진 기업을 중심으로 설계 단계뿐만 아니라, 플랜트 프로젝트의 전체 생애주기에 관련된 시스템을 통합 관리하고자 하는 시도가 이루어져, PDM(Product Data Management) 또는 PLM(Product Life-cycle Management)의 도입 등을 모색하고 있음을 알 수 있었다. 특히, 관리시스템의 경우는 사내 조직뿐만 아니라 사외의 관련 조직과의 협업 및 정보 교환으로 확장이 점차 증가하고 있음에 따라 이종간 시스템의 데이터 관리를 위해 STEP을 중심으로 국제 표준의 도입을 통한 정보 호환성 및 활용성 향상이 모색되고 있음을 알 수 있었다.

구매조달 관리의 경우, 적절한 품질, 적정한 수량의 기기·자재를 적정한 시기에 적정한 가격으로 공급자에게서 구입하여 적정한 장소에 납품하기 위하여 각 단계별 관리 절차와 조직에 의해 체계적인 업무가 수행되고 있음을 알 수 있었으며, 자재관리와 연계되어져 주로 외부 Vendor의 선정 및 관리업무의 성격을 가지고 있다. 또한 구매조달 관리의 공정관리의 경우는 구매에 관한 단위 공종별로 구매를 위한 WBS와 Activity를 설정 후 전산화된 시스템을 이용한 공정관리가 진행되고 있다. 구매조달 단계의 벤더관리 및 구매조달 프로그램은 전사적 차원의 구축 또는 프로젝트 차원의 구축의 사례들이 있었으며, 설계단계를 포함한 전체 통합시스템으로 구축되려는 추세에 있는 것으로 조사되었다.

시공단계의 공정관리 분야에서는 이미 다양한 공정관리 프로그램이 적용되고 있으며, 특히 국외의 경우는 Primavera가 국내의 경우는 Ms Project가 대다수 사용되고 있는 것으로 조사되었다. 그리고 효과적인 시공단계의 운영 및 공정관리를 위하여 4D 및 nD CAD가 공정관리와 연계되어 활용되고 있음을 알 수 있었다. LNG 플랜트 공정관리 분야의 정보는 상호 관련성을 가지고 있으나, 아직까지는 통합된 정보 체계는 구성하지 못하고 있으며, 특히 공정 프로그램과 다른 관리 프로그램과의 통합 프로세스를 구축하고자 하는 경우 별도의 커스터마이징이 필요한 것으로 조사되었다. 따라서 효과적인 업무 수행 및 관리를 위해서는 국제 표준의 채택 등의 데이터 호환성 유지, 데이터 베이스의 구축, 그리고 해당 정보의 효과적 운영을 위한 기준 정보 정의 등에 대한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

7. 설계 및 구매조달, 시공단계의 의사결정지원모듈 개발

가. 개요

본 연구에서는 설계·구매조달 단계의 의사결정지원모듈을 개발하기 위하여 다음과 같은 업무를 수행하였다.

○ 설계, 구매조달, 시공단계의 의사결정지원모듈 개발
- 의사결정 항목 도출
- 의사결정 로직 개발
- 의사결정지원 모듈 개발

나. 수행내용 및 결과

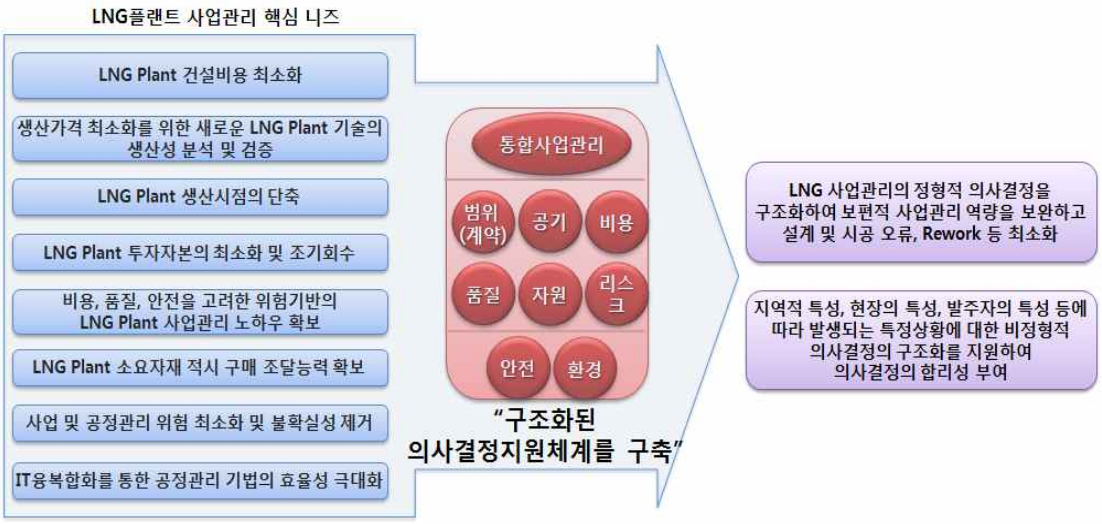
(1) 의사결정지원체계의 구조화

LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 LNG플랜트 건설시장에 국내 건설업체가 진출하기 위한 핵심적인 기술로서 시장, 발주자의 니즈를 충족시키고 경쟁력을 갖출 수 있는 독자적인 사업관리기법의 확보를 위한 핵심적인 요소이다. 특히, 사업관리 의사결정지원체계는 사업관리기법에 있어서 구조화된 의사결정지원체계를 구축하는 핵심적인 항목으로 부족한 사업관리 역량을 보완하고 발주자, 사업관리자 및 시공자의 사업목표 및 가스플랜트사업에 관한 니즈를 만족시키는 역할을 수행하며, 이를 통해 부족한 경험을 보완할 수 있는 체계이다.

본 연구에서 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하는 것은 다음과 같은 두 가지 목적을 가지고 있다.

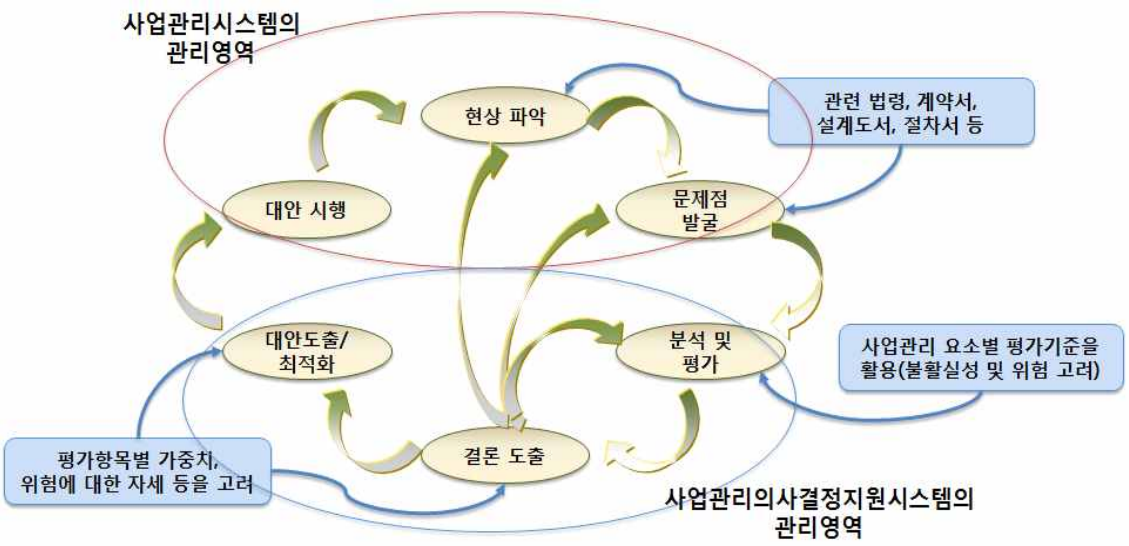
① LNG 사업관리의 정형적 의사결정을 구조화하여 보편적 사업관리 역량을 보완하고 설계 및 시공 오류, Rework 등 최소화

② 지역적 특성, 현장의 특성, 발주자의 특성 등에 따라 발생되는 특정 상황에 대한 비정형적 의사결정의 구조화를 지원하여 의사결정의 합리성 부여



<그림 2-51> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 개발의 필요성

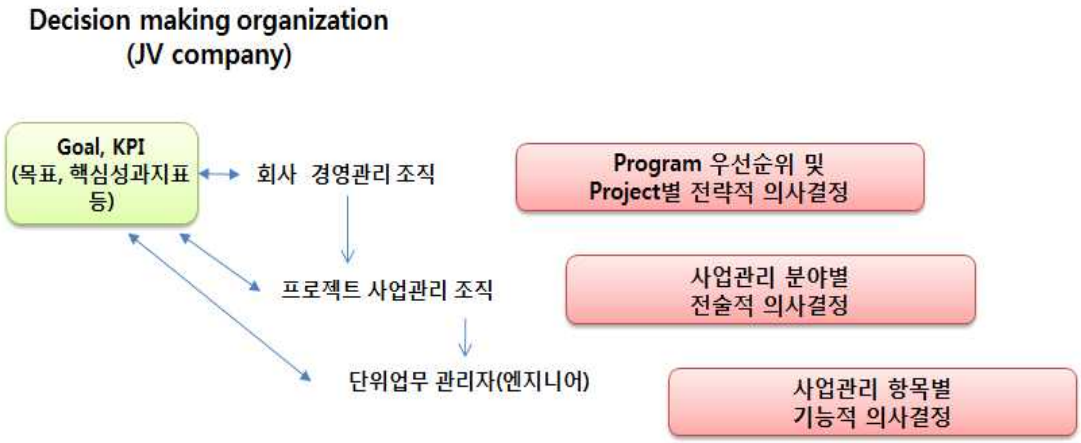
본 연구에서 개발되는 사업관리 의사결정지원체계는 사업수행과정의 논리적인 의사결정구조, 절차와 결합하여 구조화된 체계로 대안을 도출하고 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현하고자 한다. 따라서 의사결정지원시스템의 관리영역은 사업관리 요소별 평가기준을 도출하고 분석 및 평가결과를 활용하여 사업관리 활동에 있어서 불확실성과 위험을 최소화하는 것이며, 평가항목별 가중치, 위험도 지수 등을 토대로 위험에 대한 접근방식에 따라 다양한 대안의 도출 및 최적화를 꾀하고자 한다.



<그림 2-52> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 관리영역

LNG 사업관리 의사결정지원체계는 사업관리조직의 계층적 구조와 연계하여

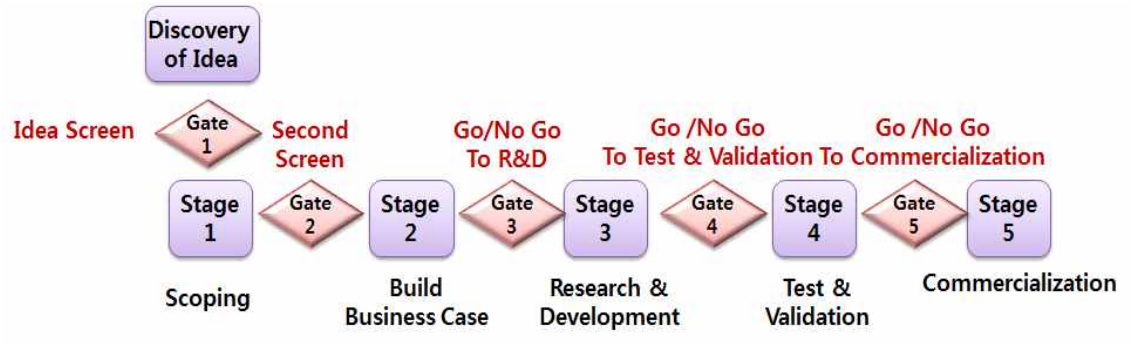
LNG사업의 전략적 목표, 핵심성과지표 등을 토대로 EPC회사의 경영관리조직에게 있어서는 Program 우선순위 및 Project별 전략적 의사결정을 지원하고, 프로젝트 사업관리조직에 있어서는 사업관리 분야별 전술적 의사결정을 지원하며, 단위업무(Work Package 수준) 관리자인 엔지니어에게는 사업관리 항목별 기능적 의사결정을 지원한다.



<그림 2-53> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계의 계층적 구조

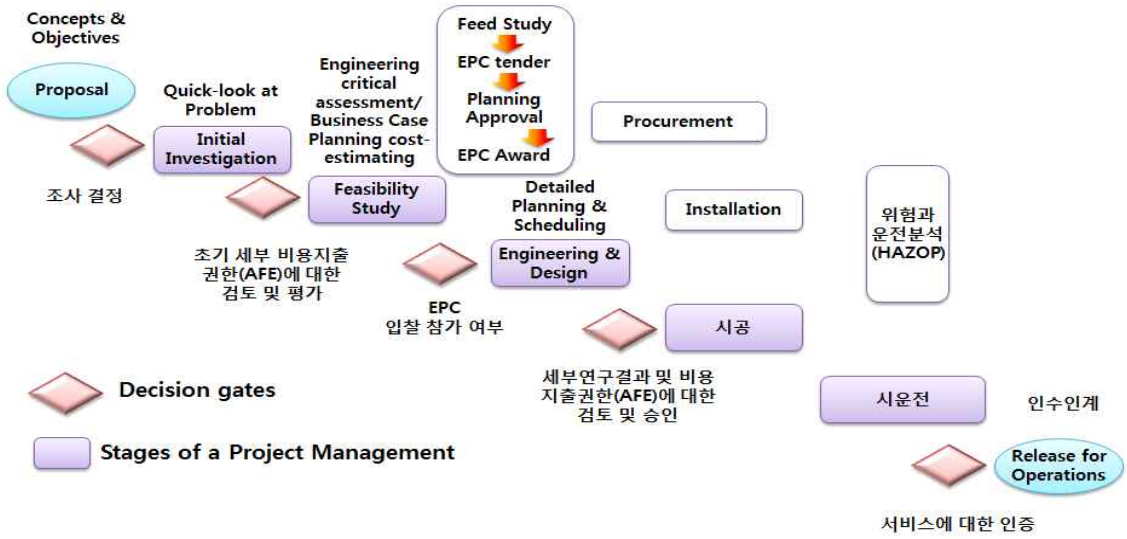
사업관리 의사결정지원체계의 개발에 있어서 본 연구에서는 LNG사업의 특성이 반복적인 사업이 아닌 해당국의 특성, 부지특성, 핵심공정의 특수성 등을 고려한 비반복적이고 개발 위주의 사업으로 규정하고, Robert G. Cooper가 1986년 최초로 성공적인 상품 개발활동을 수행하기 위해 개발하고, R&D 사업관리에 많이 활용되는 Stage-Gate 모델을 활용하고자 한다. Stage는 LNG사업관리활동(Activity)와 사업관리결과의 분석(Analysis)활동으로 구성되며 이를 토대로 각 단계별로 결과물(Deliverables)을 도출하는 세부단계를 말하며, Gate는 사업관리 의사결정기준, 또는 사업관리성과 평가/검증기준(Criteria)을 통해 결과물을 검토하고 각 단계별 성과(Stage Output)로 확정하고 그에 따른 대응활동으로서 다음 단계(업무)로 진행할지, 중단할지, 또는 보류하거나 재작업을 할지를 결정하는 지점을 말한다.[8)]

8) http://www.prod-dev.com/stage-gate.php 참조



<그림 2-54> Robert G. Cooper의 R&D사업에 대한 Stage-gate model

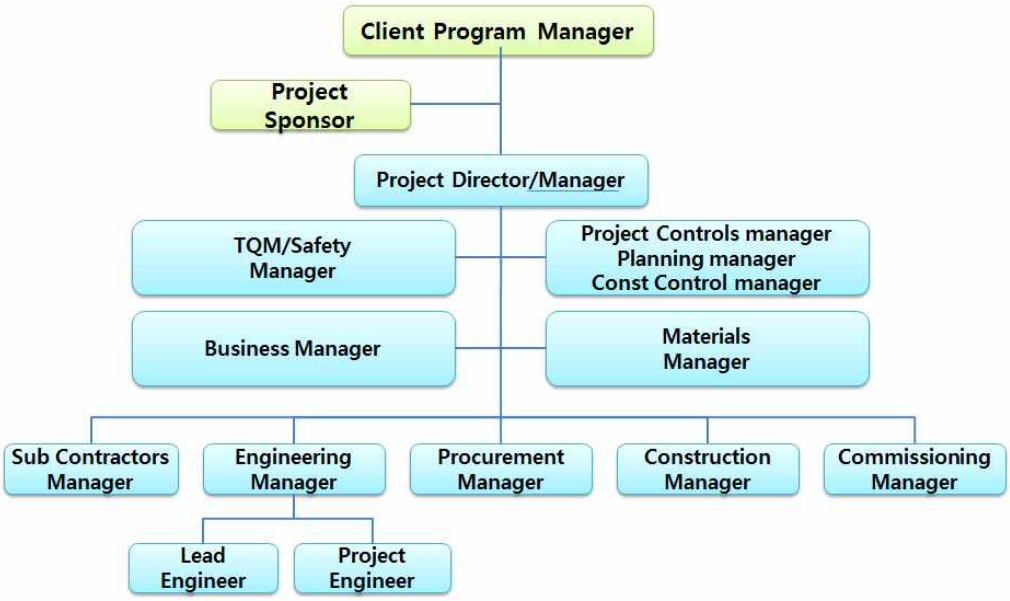
다음 그림은 LNG 플랜트사업의 전체 단계를 Gerald B. Greenwald가 표현한 것으로 사업관리활동에 있어서 핵심적인 의사결정항목이 LNG플랜트사업의 비용지출권한(Authorization For Expenditure, AFE)에 대한 검토 및 평가, 승인의 과정임을 보여주고 있다.[9)]



<그림 2-55> LNG플랜트 pre-FEED, FEED, EPC단계별 사업관리에 대한 Stage-gate model

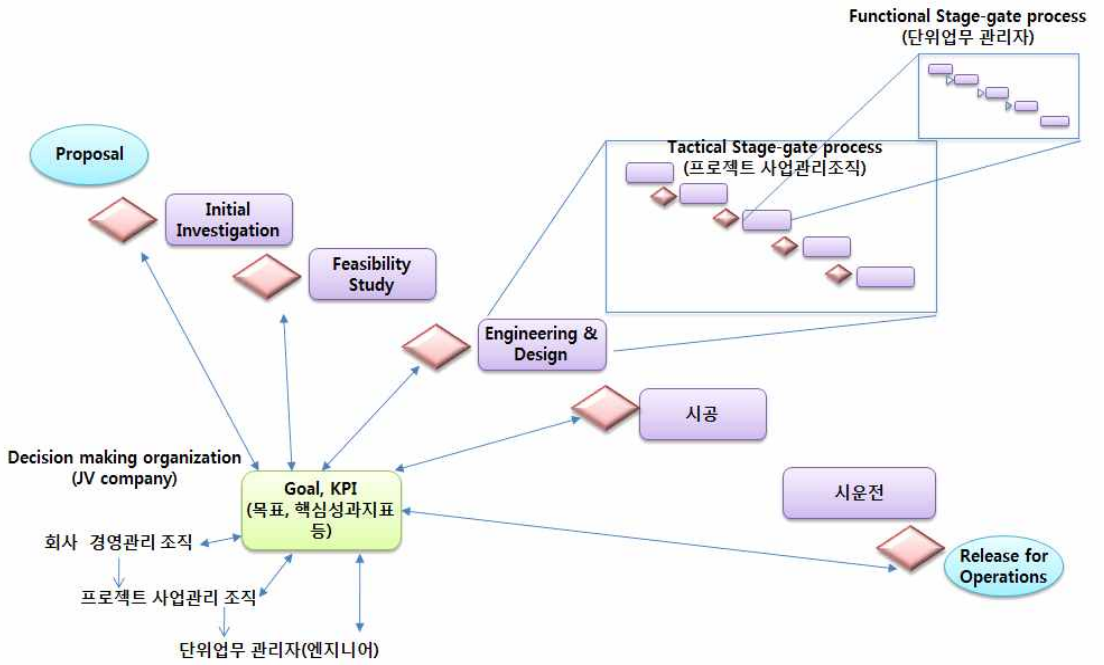
이러한 Stage-Gate모델과 결합되는 EPC업체의 프로젝트 조직체계는 다음과 같다.

9) Gerald B. Greenwald, Liquefied Natural Gas: Developing and Financing International Energy Project,1998



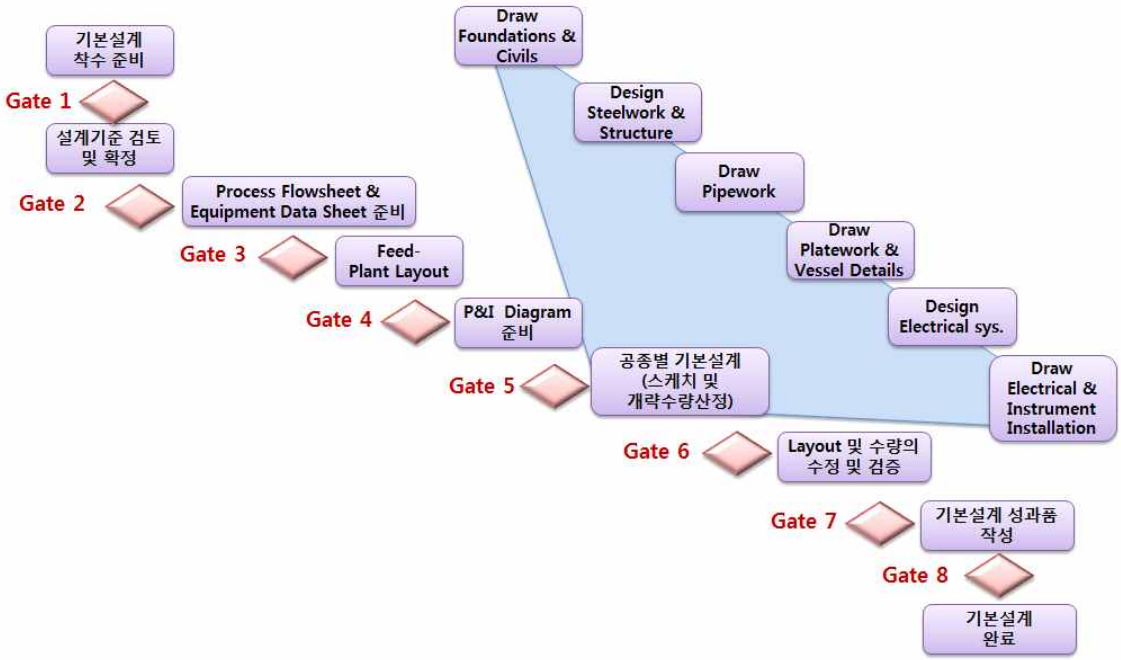
<그림 2-56> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계

LNG 플랜트사업에 있어서 의사결정지원체계는 사업관리자 조직이 해당 LNG사업 수행에 관한 전략적 의사결정을 수행하며, 부문별 사업관리자 조직이 전술적 의사결정, 그 하위 엔지니어들이 단위업무별 의사결정활동을 수행하는 것으로 제시하고자 한다.

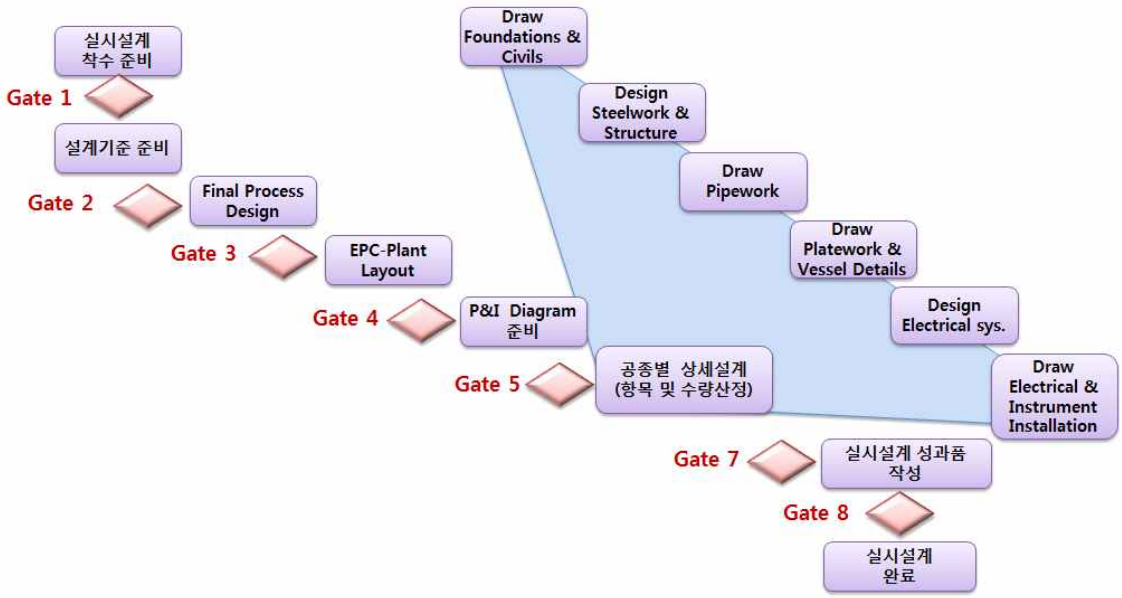


<그림 2-57> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계와 의사결정의 계층구조

설계단계의 경우 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하기 위해 우선적으로 진행한 것은 사업관리단계를 총괄적으로 점검하는 시점별로 프로세스를 구매 및 조달 프로세스를 제외하고 다음 그림과 같이 구분한다. 이러한 단계는 의사결정을 위한 체크포인트로서 EPC단계에 해당하는 상세설계단계를 중심으로 설계관리의 의사결정지원체계를 구축하고자 한다.

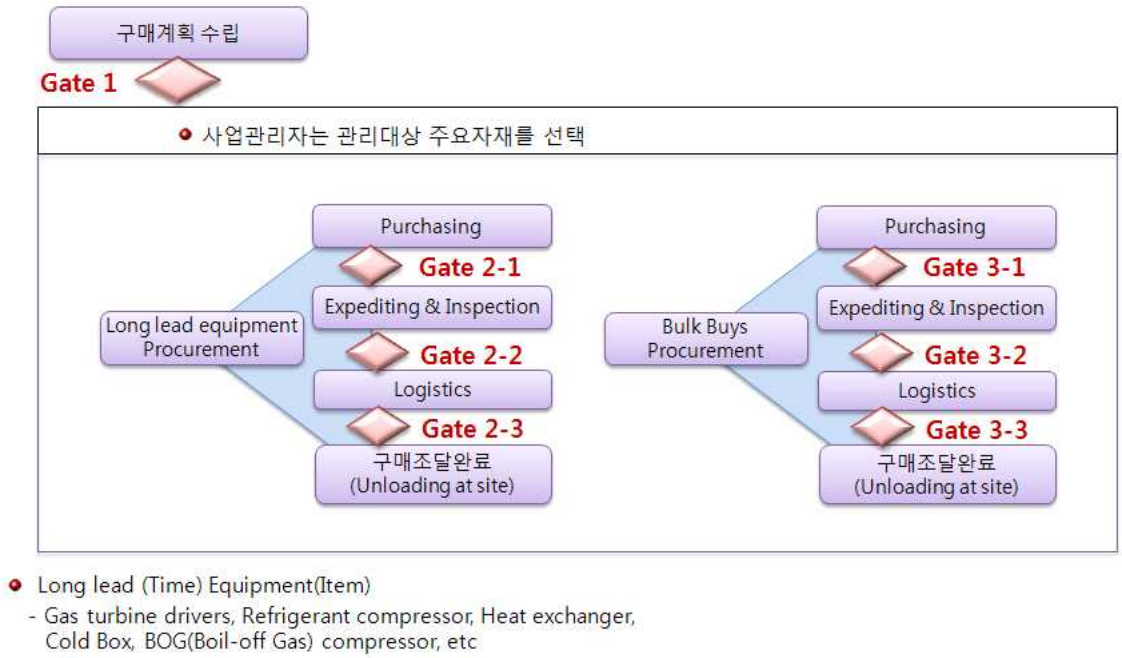


<그림 2-58> LNG플랜트사업의 기본설계(FEED)단계의 Stage-Gate Process Model



<그림 2-59> LNG플랜트 실시설계(Engineering)단계의 Stage-Gate Process Model

구매조달단계의 경우 설계-시공과정 중에 구매조달과 관련된 행위가 발생하며 중요자재 등 자재의 종류와 시공과정에 따라 구매시기 및 절차에 차이가 발생하므로, 이를 감안하여 구매계획수립과 모든 구매가 완료되는 구매계약완료를 제외하고 주요자재와 벌크형 자재로 구분하여 Stage-Gate Process Model을 수립하였다.



<그림 2-60> 구매조달 단계의 Stage-Gate Process Model

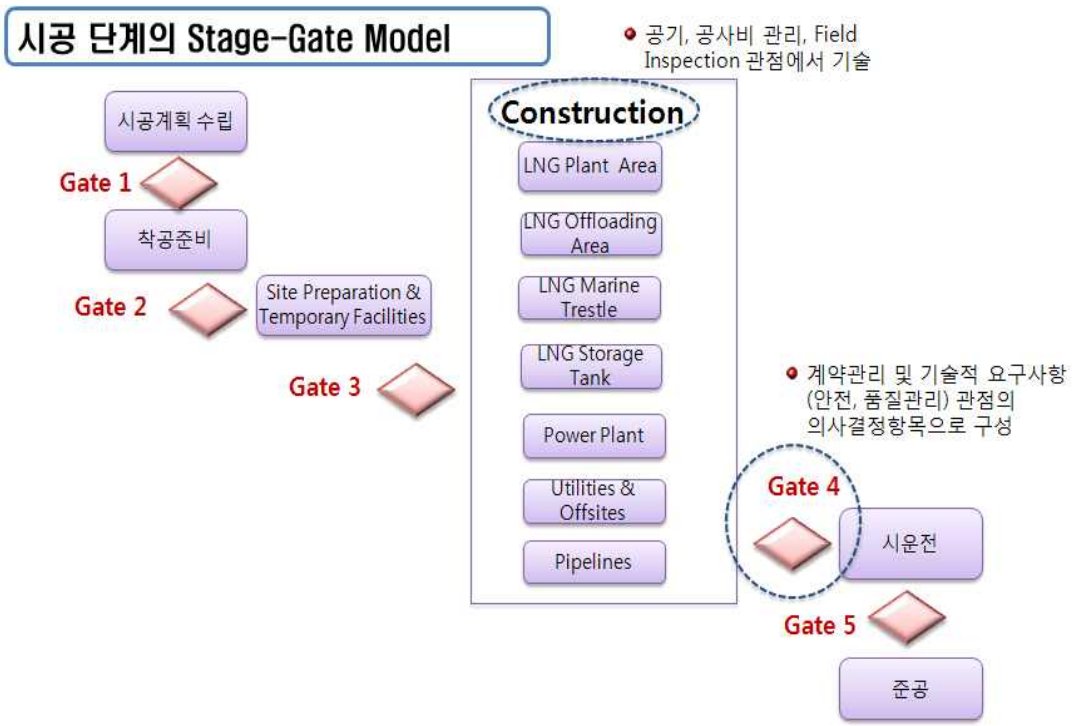
시공단계의 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하기 위해서 다른 단계와 구분되는 시공단계 의사결정의 특성 파악과 이를 토대로 Stage-Gate 모델의 적용성을 강화하는 방안이 우선적으로 검토하였다.

<표 2-61> 시공단계 LNG 플랜트 사업관리 의사결정의 특성

▪ 시공기간이 장시간 소요되고 공기·공사비·품질 등 관리활동 측면의 의사결정이 요구된다. ▪ 공사수행과정상의 의사결정기준은 Go-No go Criteria 위주의 판별기준이 적용된다. ▪ 공사수행과정상의 계량적 평가(Scored Criteria)는 세부적인 과정에서 의사결정에서는 필요할 수 있으나, 다음 단계인 시운전으로 넘어가기 위한 의사결정에서는 불필요

이를 토대로 시공단계를 다음 그림과 같이 시공계획 수립, 착공준비, 부지 준비 및 가시설물 설치, 시공, 시운전, 준공의 6개의 Stage로 구분하였다. 각 Stage별 Gate는 설계, 구매 및 조달 단계와 동일하나, 현장시공(Construction)단계는 장시간이 소요되는 과정에서 의사결정지원모듈이 지원해주어야 할 관점을 공기 및 공사비

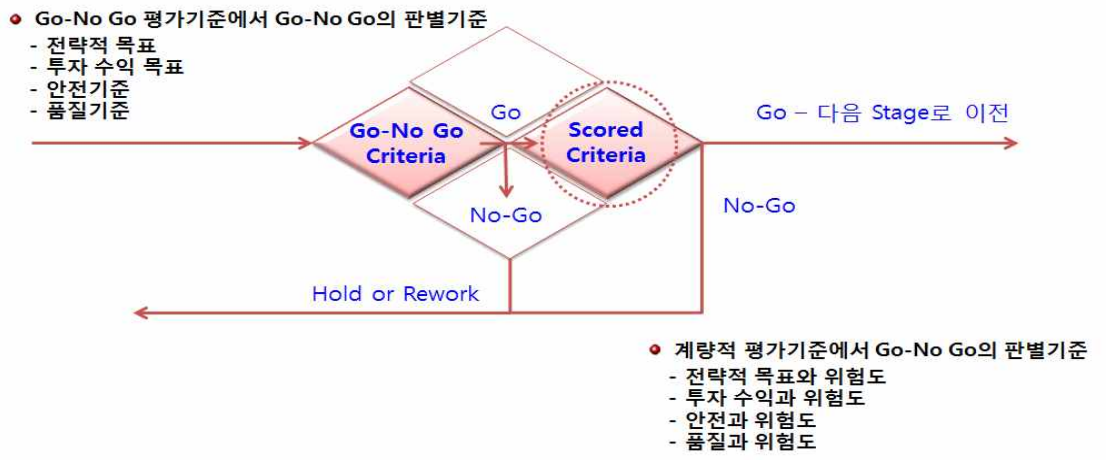
관리, 현장 Inspection 활동 지원의 관점에서 제시하도록 모델을 제시하였다. 현장 시공단계는 일반적인 LNG 플랜트 건설사업의 관리기준공정표를 토대로 LNG Plant, Offloading Area, Marine Trestle, Storage Tank, Pipeline, 그리고 부속시설물로서 Power Plant, 관리동, 헬리포트 등 Utilities & Offsites의 7개의 Area로 구분하여 사업관리 활동을 사업관리자가 수행할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-61> 시공단계의 Stage-Gate Process Model

이에 따라 Gate 1, Gate 2, Gate 3는 기존의 LNG 플랜트사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직을 활용하여 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 투자수익목표 부합성, 안전기준 및 품질기준에 대한 부합성을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성하였다. 그러나 Gate 4와 Gate 5는 기존의 의사결정 로직 중 Go-No Go Criteria만을 활용하여 시설물에 관한 계약 요구조건의 부합여부를 체크리스트 형태로 운영하는 의사결정 로직으로 적용하였다.

LNG 플랜트사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직은 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 투자수익목표 부합성, 안전기준 및 품질기준에 대한 부합성을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성한다.



<그림 2-62> LNG플랜트 EPC사업의 Stage-Gate Model의 Gate상의 의사결정로직 개념

LNG 플랜트 사업의 핵심적인 의사결정항목은 크게 범위(Scope), 공기 및 공사비(Value for Money), 사업통합관리(Project Integration), 기술적 타당성 및 부합성(Technology Requirement)으로 구분하고 세부 의사결정항목을 제시한다.

<표 2-62> LNG 플랜트 사업관리 의사결정 항목

Category	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목
1.범위(계약)	발주자 및 EPC회사의 전략적 목표 완수 및 계약 이행	- 계약범위의 적정성 - LNG플랜트 부지의 적합성 및 최적화 여부 - 발주자 요구사항 부합성 - 라이선스 확보 여부
2. 공기 및 공사비	위험최소화에 기반한 투자효율성 극대화	- 공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) - 공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) - 수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간등)
3. 아웃소싱 및 협업관리	투자효율성 극대화 및 EPC회사 역량 확보를 전제로 우수 협력업체 확보	- 아웃소싱 타당성 - 현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 - 지속적인 EPC역량 강화 가능성
4. 기술적 요구사항(안전, 품질 위주)	안전, 품질등 기술적 요구사항에 부합하고 타당성(실현가능성) 강화	- 핵심공정 및 적용기술의 타당성 - 핵심공정 및 적용기술의 실현가능성 - 핵심공정 및 적용기술의 불확실성 - 안전기준 등 기술적 요구사항 부합성

위와 같은 사업관리항목을 토대로 세부 의사결정 단계별(Check Point)별로 세부적인 평가기준을 제시하고 이에 대한 계량적 평가가 가능하도록 제시한다.

다음은 각 단계별 Gate에 대한 Go-No Go의 평가기준과 의사결정항목을 표현한 것이다. Go-No Go 기준은 계약관리, 품질과 안전에 관한 의사결정항목만 반영되도록 하였다.

구분	목표	의사결정항목(프로젝트별 선택적 사항)	Go-No Go 기준 여부	Decision Index Type	Score
1.범위 및 계약	공기지연 및 공사비 증가를 방지하면서 발주자의 요구조건에 맞게 확정된 계약상의 범위를 수행하고, 계획된 프로젝트 목표를 완수(전략적 요인을 포함)	1. 계약범위 반영의 적정성 여부	O	S, C	
		2. 발주자의 요구사항 부합성 검토	O	S	
		3. LNG Plant 관련 라이선스 추가확보 여부		S, C	
		4. LNG 건설사업의 실적 확보		S, C	
		5. LNG 건설사업의 전문인력 양성		C	
2. 공기	계획된 공사기간에 부합	1. 일정계획과의 부합정도		C	
		2. Material & module transport 최소경로의 적합성		SF. C	
		3. 건설인력 공급의 적시성		C	
3. 공사비	계획된 공사비에 부합	1. 자금투입계획과 부합정도		C	
		2. 자금조달계획과 부합정도		C	
		3. 공사비 절감활동의 적정성		C	
4.품질	해당 시설물의 품질적 요구수준에 부합	1. 성능시방서의 요구조건 및 시공상세도면에 대한 부합정도	O	S, Q	
		2. Inspection 항목에 대한 적합성	O	Q	
		3. LNG 천연가스 등 재료의 이동을 위한 간격의 유지 여부	O	Q	
		4. 기존 설비, 시설물과의 연계성에 대한 요구조건	O	S, Q	
		5. LNG 플랜트의 운용 편의성(Operability)	O	S, Q	
		6. LNG 플랜트의 유지관리 편의성(maintainability)	O	Q	
		7. 플랜트 운영자를 위한 충분한 작업여건 제공 여부	O	S, Q	
		8. 운영을 위한 이동경로시간의 최소화 여부	O	S, Q	
5.안전	NFPA 59A 의 요구조건과 발주자의 특별 요구조건에 부합	1. 액화 천연가스 생산, 저장, 취급에 관한 기준인 NFPA 59A와의 부합성	O	SF	
		2. 가연성 재료, 독성 가스 등의 유출방지설비 및 방류둑의 구축여부	O	SF	
		3. 다양한 현장활동에 대한 위험요소의 제거 및 최소화 여부	O	SF	
		4. 응급상황에서 대응활동의 접근성 및 운영인력의 탈출 가능성	O	SF	
		5. LNG 부지의 보안성 확보 여부	O	SF	
6.환경	환경 위해요소의 유출방지 기능의 구축	1. LNG 천연원료의 유출 방지를 위한 적절한 설비의 구축 여부		SF	
		2. 환경 위해 폐기물의 유출 방지를 위한 적절한 설비의 구축 여부		SF	

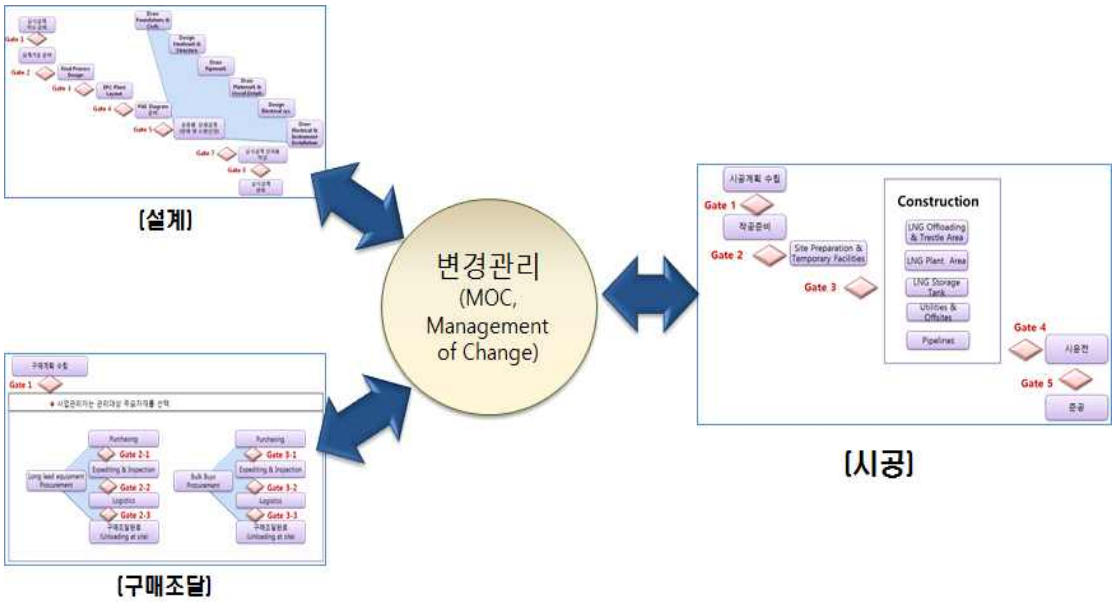
전략지수(S)
비용지수(C)
품질지수(Q)
안전지수(SF)

<그림 2-63> Gate의 의사결정기준(예시)

한편, 본 연구는 1단계 및 2단계 연구를 통하여 설계, 구매조달 단계의 의사결정지원모듈을 구축하였다. 3단계에서는 시공단계의 의사결정지원모듈을 포함한 EPC 각 단계별 의사결정지원모듈을 통합하는 개념을 적용하여, 통합의사결정지원모듈을 구축하였다.

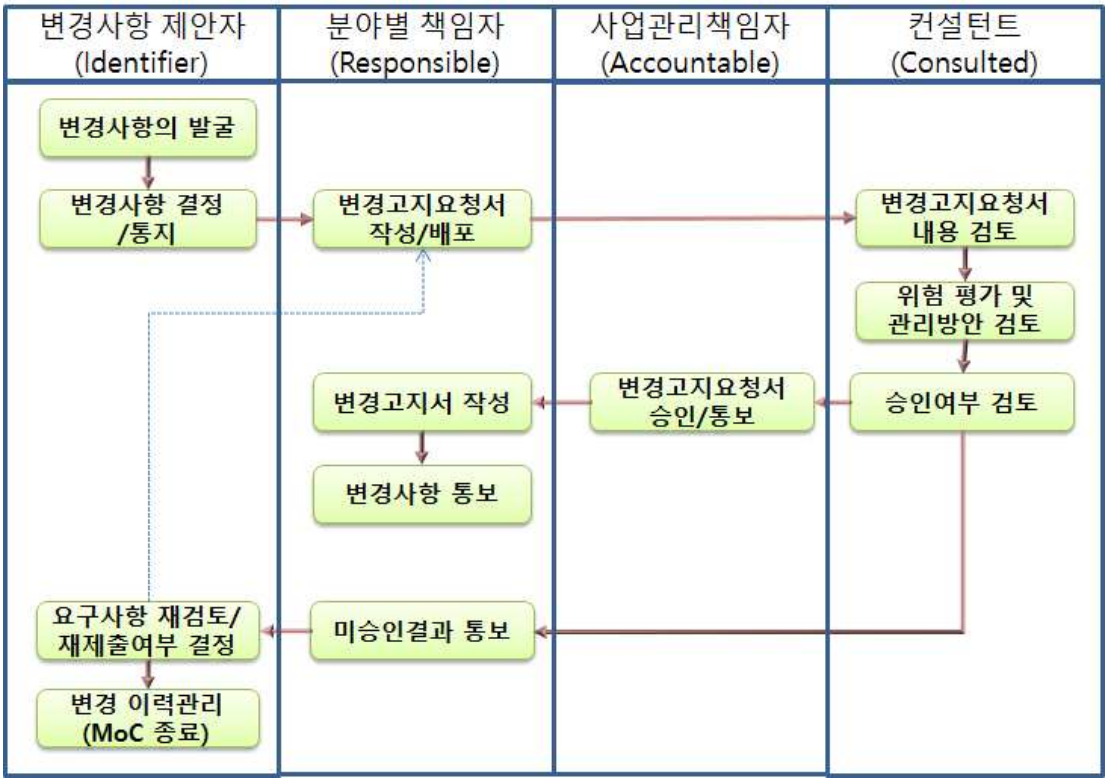
의사결정지원모듈의 통합개념은 LNG 플랜트 건설사업을 수행하는 과정에서 발생되는 개별 프로젝트 수준의 각 단계별, 또는 각 Stage별 인터페이스와 변경에 관한 이슈들을 다른 단계, 다른 Stage에 반영하는 프로젝트 변경관리 거버넌스(Project Management of Change Governance)를 구축하는 것으로 규정하였다. 이처럼 통합의사결정지원개념을 프로젝트 변경관리 개념으로 규정한 이유는 먼저 LNG플랜트 건설사업의 특성이 동시공학적 특성을 가지고 있어 설계, 구매 및 조달, 시공단계가 순차적인 흐름과 동시병행적인 흐름이 공존하고 있기 때문이다. 순차적인 흐름은 이미 각 단계별 의사결정모듈을 통해 구현하였으므로 남아 있는 동시병행적인 흐름

을 각 단계, 각 Stage의 통합개념으로 해결하고자 한 것이다. 두 번째로 LNG플랜트 건설공사는 대형공사(Mega Project)로서 자재, 장비, 설계도면 등 문서의 변경뿐만 아니라, 조직, 조달경로, 시공프로세스 등에 있어서 다양한 변경요인들이 다른 일반 건설공사보다 빈발하고 있기 때문이다. 마지막으로 변경에 대한 이슈가 다른 단계, 다른 Stage에 영향을 미칠 뿐만 아니라 각 단계별 의사결정결과에도 변경이 발생될 수 있기 때문이다.



<그림 2-64> 각 단계별 Stage-Gate모델과 변경관리를 결합한
통합의사결정지원체계의 개념도

이에 따라 본 연구에서는 각 단계별, 각 Stage별 변경관리 활동을 LNG플랜트 건설공사의 의사결정지원과정과 연계시키고자 인터페이스 관리를 포함한 변경관리 모듈을 구현하였으며, 그 모듈 개발을 위한 프로세스모델은 다음과 같다. 이 프로세스는 변경사항의 발굴, 변경사항의 적정성 검토, 결정된 변경사항의 반영의 과정으로 제시하였다.

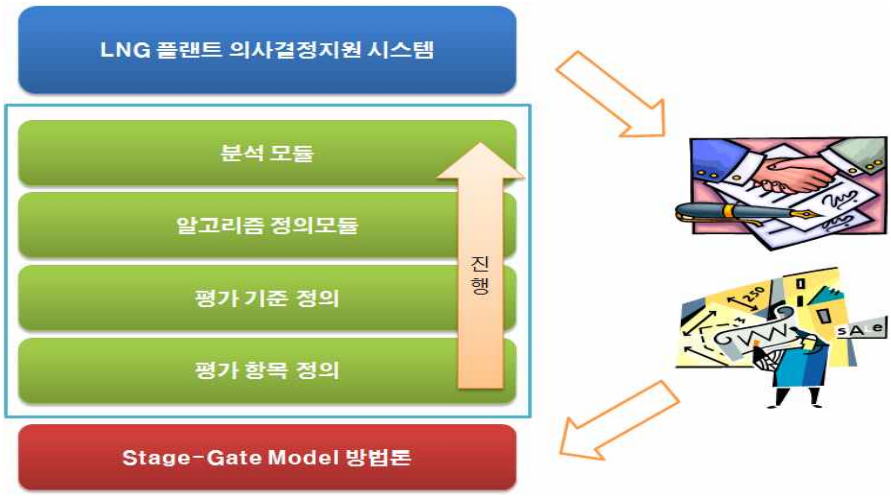


<그림 2-65> 변경관리 모듈 구축을 위한 프로세스 모델

그리고 변경관리 내용에 대한 이력관리를 수행하여 단일 프로젝트 내에서 변경활동에 대한 내용과 결과, 책임, 그리고 다양한 영향 등을 파악할 뿐만 아니라 다른 LNG프로젝트의 수행에 필요한 지식을 축적할 수 있도록 매뉴얼에 반영할 수 있는 기반을 구축하고자 하였다.

(2) LNG플랜트 의사결정지원모듈 개발

지금까지 도출된 LNG 플랜트사업 의사결정지원체계를 토대로 의사결정지원모듈을 다음과 같이 개발하였으며, 기술은 EPC단계 통합 의사결정지원모듈 중심으로 설명하였다.



<그림 2-66> LNG 플랜트 의사결정지원모듈 Framework

LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 의사결정 평가기준을 생성하는 사전 모듈과 평가기준에 대한 정량적 평가를 위한 알고리즘 정의모듈, 실제적인 정량적 분석을 수행하는 계산모듈, 평가결과의 시각적 표현을 하는 UI로 구성되어 의사결정지원을 소프트웨어로 구성한다.

전체 시스템의 구성은 평가항목 정의 모듈, 평가기준 정의 모듈, 분석 알고리즘 정의모듈, 분석 모듈과 향후 타 시스템과의 연계가능성을 고려한 정보연계 기능 개발 등으로 구성한다.

<표 2-63> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 모듈 구성

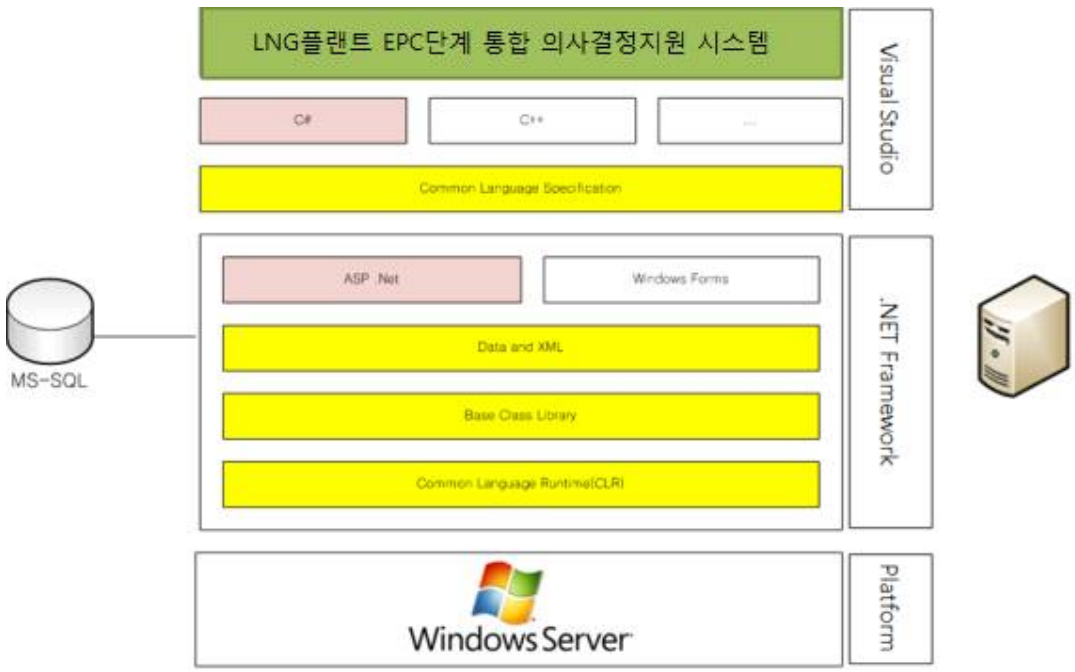
구성모듈	세부내용
의사결정지원 평가항목 정의모듈	평가항목 도출에 의한 시스템화는 EPC단계의 Gate, Gate별 Category, Category별 평가항목을 생성하고, 생성된 평가항목에 따른 Risk, 대응방안을 사용자가 정의 할 수 있는 기능을 개발한다.
의사결정지원 평가기준 정의 모듈	의사결정지원 평가항목에 대한 정의를 통해 다양한 평가기준에 대한 정량적 분석을 위한 입력 방법, 기준 설정 기능 등을 개발한다.
의사결정지원 분석 알고리즘 모듈	의사결정지원에 필요한 평가 분석을 위한 분석 알고리즘 기능을 구현하고, 이를 최적화하여 분석 결과에 대한 다양한 검증 방법을 적용하여 알고리즘 모듈을 개발한다.
사용자 인터페이스 모듈	분석 알고리즘 모듈에 의해 분석된 결과를 사용자 인터페이스에 표현을 하며, 표현된 인터페이스는 최소의 입력과 의사결정 지원체계에 맞는 사용자의 편의성을 고려한 직관적이고 쉽도록 개발한다.
변경이력관리모듈	EPC단계의 Gate, Gate별 시방서, 설계도서, 자재 등의 변경이 발생하면 대상 Stage, CO대상, 처리상태, 변경 내용, 처리 결과의 자료를 생성/수정/저장한다.
모바일 웹시스템 기능	모바일 기기의 작은 화면에서도 의사결정 평가결과 조회가 가능하도록 평가결과의 조회 화면을 별도로 구성하고, 다양한 모바일 환경에 대응 할 수 있도록 표준 웹 기술을 이용한 모바일 웹 시스템을 구축한다.

개발된 모듈을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

우선 '시스템개요→시스템설계→시스템개발'의 순서로 설명하였으며, 시스템설계는 '시스템 구성, 모듈 구성, 데이터베이스 설계, 화면설계'에 대하여 설명하고, 시스템 개발은 '메인화면, 프로젝트관리, 표준데이터관리, 사업정보관리, Engineering DM(Decision Making), Risk DM(Decision Making), 시스템관리'에 관하여 설명하였다.

① 시스템개요

LNG 플랜트 시공단계 및 EPC단계 통합 의사결정지원모듈 시작품 개발의 시스템은 Windows기반에 .Net Framework을 사용하고, C#개발 언어와 Microsoft의 MS-SQL2005 Database을 사용하여, LNG 플랜트 의사결정지원을 위한 소프트웨어를 개발하였다.



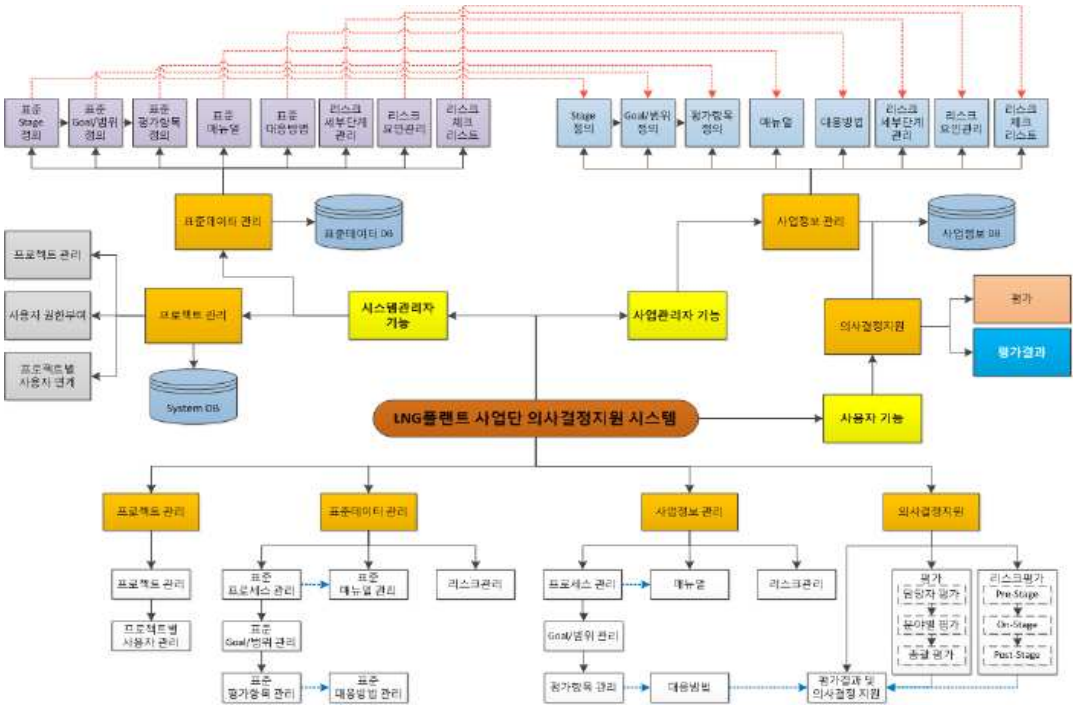
<그림 2-67> 개발시스템 Framework

Window Server Platform 기반에 .NET Framework를 사용하였으며, ASP.Net을 활용하여, Web기반의 WebForm과 Web Service을 활용하여, 다양한 위치의 다양한 사람들이 Collaboration이 가능한 시스템을 개발하였다.

② 시스템 설계

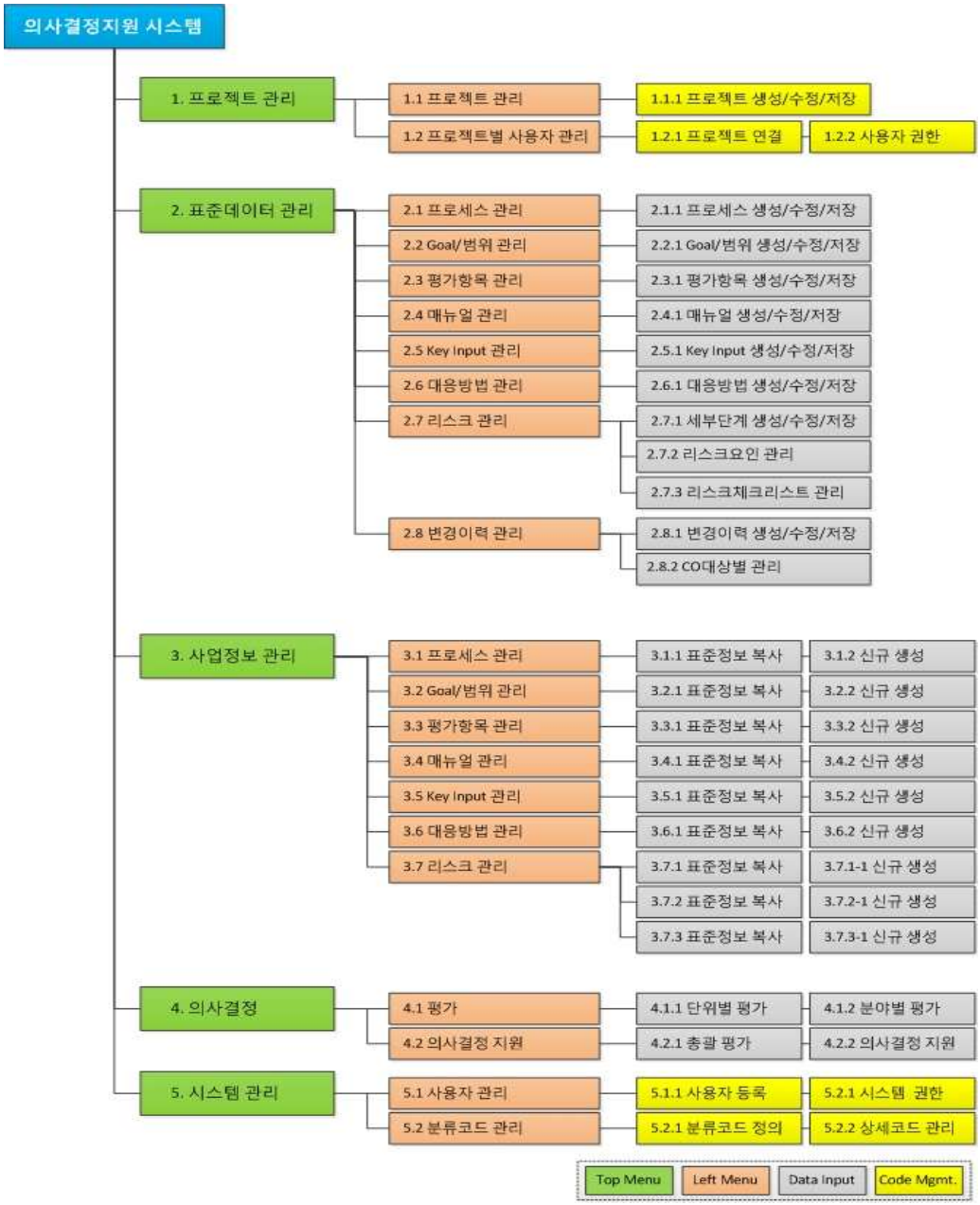
- 시스템 구성 : 시스템은 프로젝트 관리, 표준데이터 관리, 사업정보관리, 의사결정지원과 같이 4가지로 크게 나누어 구성되었다.

- 프로젝트관리 기능은 프로젝트의 생성/수정/삭제 기능과, 사용자 관리, 메뉴 관리, 권한관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.
- 표준데이터관리의 경우는 다수의 프로젝트를 관리하는 총괄 관리자가 주로 사용하는 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 의사결정을 위한 평가기준, 평가방법을 표준으로 생성하여 프로젝트 관리자가 표준데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 해당 프로젝트의 기능을 구성 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.
- 사업정보관리는 표준데이터관리에서 생성된 표준데이터를 복사하여 수정/삭제하거나, 사업정보에서 신규로 생성할 수 있도록 하여, 해당 프로젝트의 평가기준을 생성하는 기능과 해당 프로젝트만의 특징적인 항목을 추가/수정/삭제할 수 있는 기능으로 구성하였다.
- 의사결정지원 기능은 평가기능과 평가결과에 따른 Gate 이동에 대한 판단을 하는 기능으로 구성되었다.



<그림 2-68> 시스템구성도

- 모듈 구성 : 시스템은 총괄 시스템과 프로젝트 시스템으로 나눠진다. 총괄시스템은 프로젝트의 생성 및 관리와 표준데이터를 관리하는 모듈로 구성되며, 프로젝트 시스템은 프로젝트의 권한자가 사업정보 관리를 생성 및 관리, 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 확인하는 모듈로 구성되어 있다.

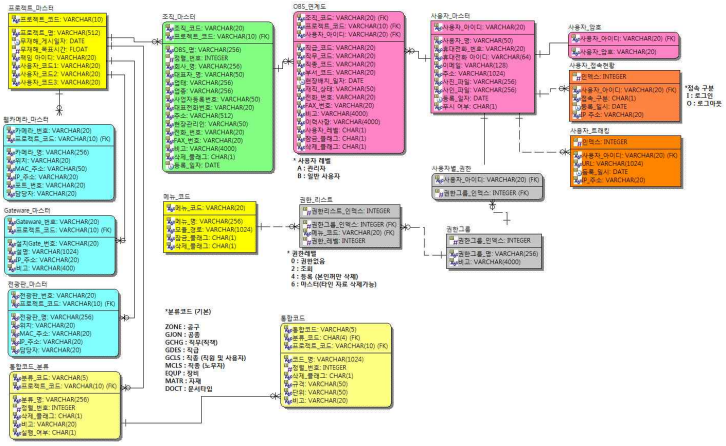


<그림 2-69> 모듈 구성도

- 데이터베이스 설계 : LNG 플랜트 EPC단계 통합 의사결정지원 모듈의 데이터베이스 구조는 표준 데이터 관리부분과 각 프로젝트별 사업정보 관리부분 및 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 관리하는 부분으로 나누어져 있다. 프로젝트 관리는 다수 프로젝트를 수용하고, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 참여를 수용할 수 있는 구조로 구성하였다.

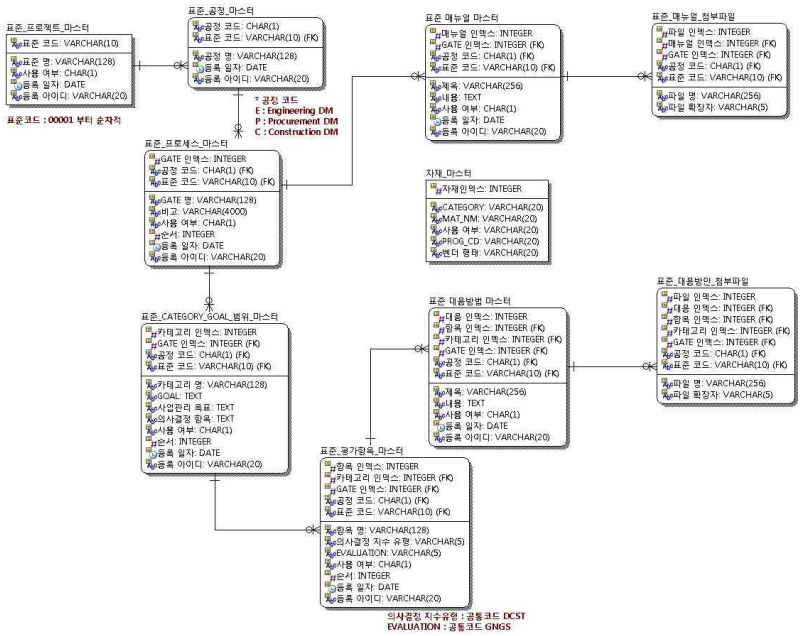
■ 프로젝트관리 및 시스템관리 : 프로젝트 관리는 다수의 프로젝트를 수용할 수 있는 구조로, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 각각 다른 권한을 가

질 수 있는 구조로 구성하였다. 시스템관리는 사용자별로 3단계 메뉴까지의 권한을 부여할 수 있으며, LNG 플랜트 EPC단계 통합 의사결정지원 시스템에서 사용되는 공통 정보는 코드화 하여 통합관리 될 수 있도록 구성하였다.



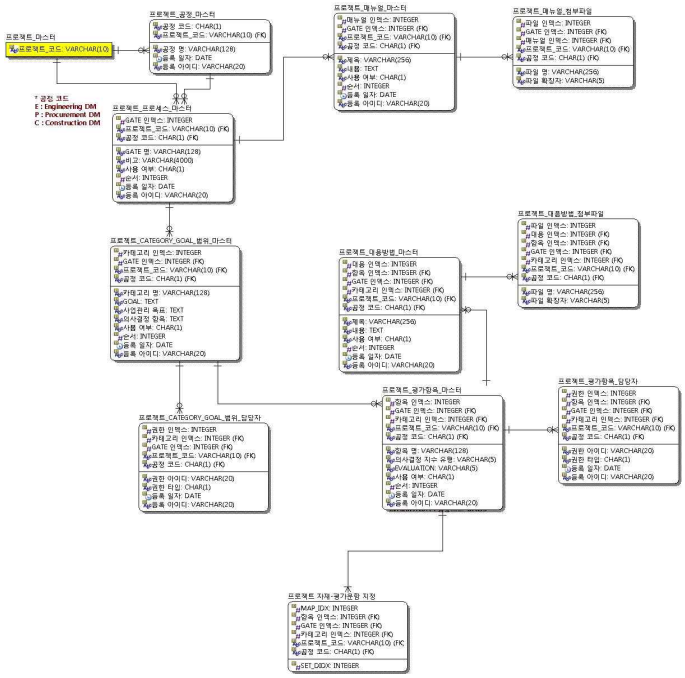
<그림 2-70> 시스템관리 설계(Logical)

■ 표준데이터관리 : 시스템에서 프로젝트별 사용자에게 표준으로 제공되는 표준 데이터가 관리되며, 표준 데이터도 프로젝트의 형태별로 관리될 수 있도록 구성하였다.



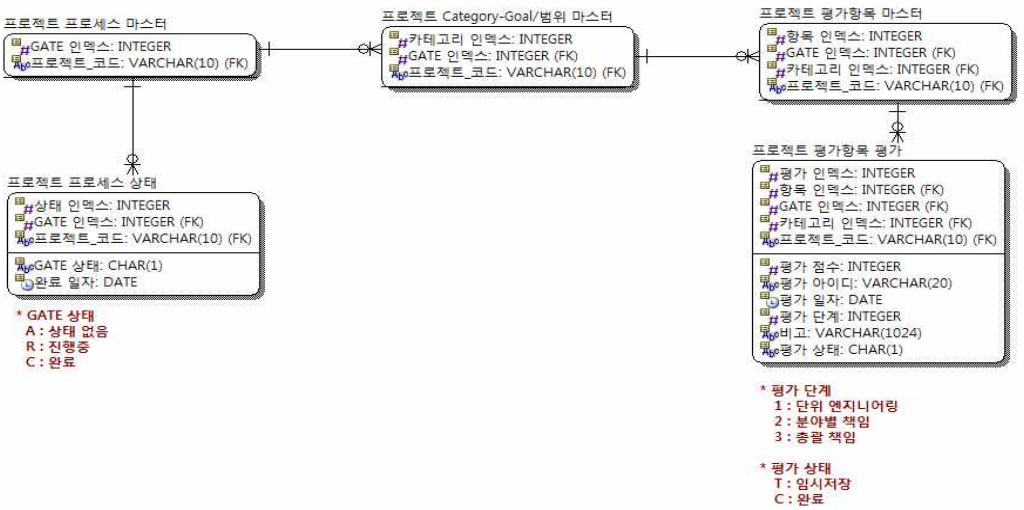
<그림 2-71> 표준데이터관리 설계(Logical)

■ 사업정보관리 : 사용자가 각 프로젝트에 맞게 사업정보를 구성하는 것으로, 표준 데이터 관리의 정보를 복사하여 사용하지만, 생성/수정/삭제를 독립적으로 관리할 수 있도록 구성하였다.



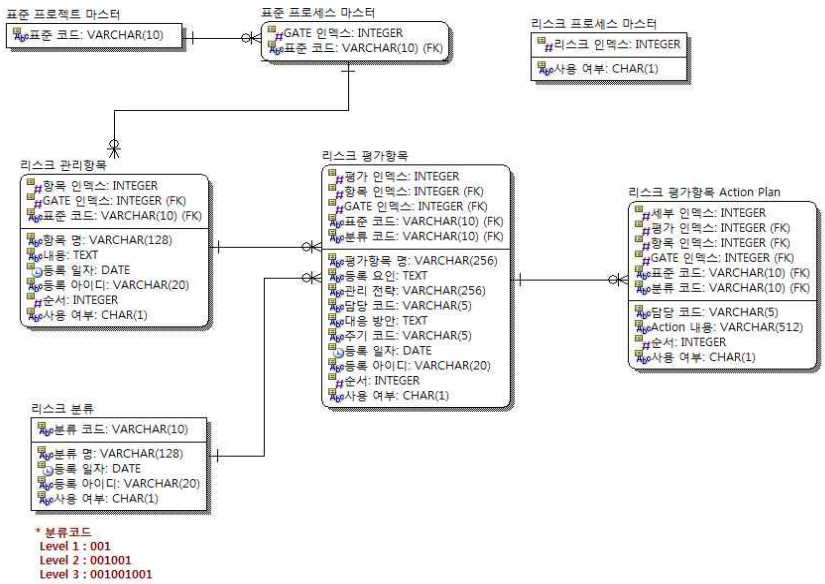
<그림 2-72> 사업정보관리 설계(Logical)

■ 평가 : Category 또는 평가항목별 평가 권한자가 해당 평가내용을 평가할 수 있으며, 프로젝트의 책임자의 평가 및 평가완료로 Gate를 진행여부를 판단할 수 있도록 구성하였다.



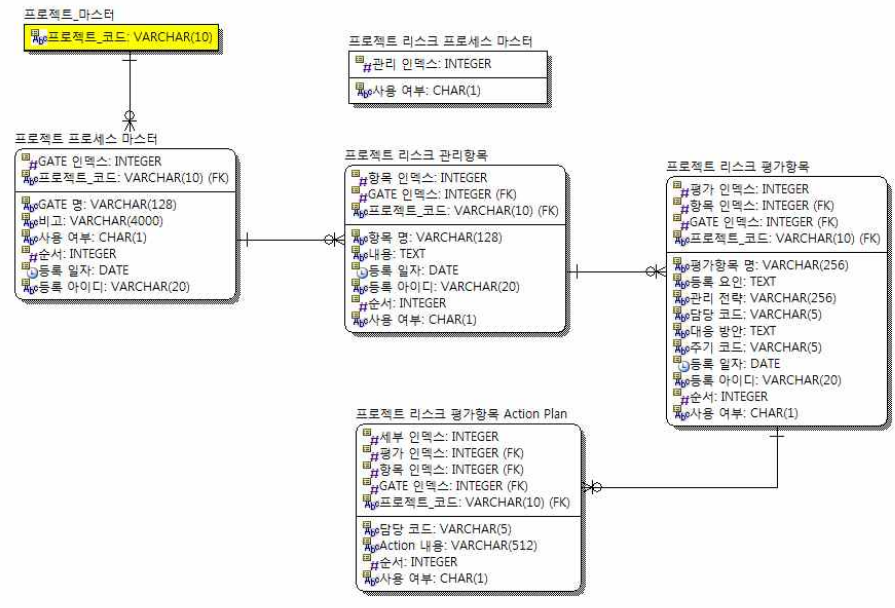
<그림 2-73> 평가/결과조회 설계(Logical)

■ 표준리스크관리 : 시스템에서 프로젝트별 사용자에게 표준으로 제공되는 표준 리스크 관리의 데이터가 관리되며, 표준 리스크 관리 데이터도 프로젝트의 형태별로 관리될 수 있도록 구성하였다.



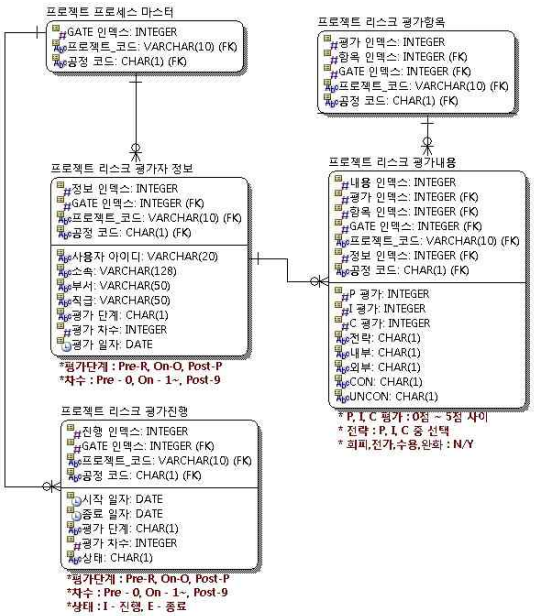
<그림 2-74> 표준리스크관리 설계(Logical)

■ 사업정보리스크관리 : 사용자가 각 프로젝트에 맞게 사업정보를 구성하는 것으로, 표준 리스크 관리의 정보를 복사하여 사용하지만, 생성/수정/삭제를 독립적으로 관리할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-75> 사업정보 리스크관리 설계(Logical)

■ 평가 : Pre-Stage, On-Stage, Post-Stage 별로 권한자가 해당 평가 항목을 평가할 수 있으며, 리스크관리자의 평가 진행 및 관리에 따라 평가가 진행되고, 평가 내용은 평가 결과 화면에서 확인할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-76> 평가/결과조회 설계(Logical)

- 화면설계 : 화면설계는 표준 데이터 관리, 사업정보 관리, 의사결정지원으로 크게 3가지로 구성되어 있다. 표준 데이터 관리는 LNG 플랜트 시공단계 의사결정 지원시스템의 관리자가 주로 사용하는 화면으로 구성되며, 사업정보 관리와 의사결정지원은 프로젝트 관리자 또는 사용자가 사용하는 화면으로 구분되어 구성하였다.

■ 표준데이터관리 : 프로젝트 형태별 표준 데이터를 관리하는 화면으로 LNG 플랜트 시공단계 의사결정 지원시스템의 관리자가 사용하는 Gate, Category, 평가항목의 정의와 매뉴얼, Key Input의 표준 데이터 관리와 평가항목별 대응방법을 관리하는 화면으로 구성하였다.

■ 사업정보관리 : 프로젝트별 사업정보를 관리하는 화면으로 LNG 플랜트 시공단계 의사결정 지원시스템에 프로젝트를 개설 후 프로젝트 관리자 또는 사용자가 Gate, Category, 평가항목의 정의와 매뉴얼, Key Input의 데이터 관리와 평가항목별 대응방법을 관리하는 화면으로 구성된다.

■ 변경이력관리 : LNG플랜트 EPC단계 통합 의사결정지원 시스템에서 EPC단계의 Gate, Gate별 시방서, 설계도서, 자재 등의 변경이 발생하면 대상 Stage, CO대상, 처리상태, 변경 내용, 처리 결과의 자료를 생성/수정/저장한다.

③ 시스템 개발

- 메인화면 : 통합 모듈은 2단계(3·4차년도)에 개발한 설계, 구매조달단계의 모듈과 5차년도에 개발한 시공단계 모듈 등 LNG 플랜트 사업 EPC 전단계의 의사결정을 지원하기 위해 메인화면을 구성하였다. 의사결정자가 복수의 프로젝트를 관리하기 위해, 프로젝트를 선택할 수 있는 기능과 해당 프로젝트의 의사결정 현황을 시각적으로 파악할 수 있도록 메인화면의 중앙에 배치를 하고, 다양한 정보의 접근이 쉽도록 중앙부에 공지사항, 게시판 및 정보의 변경사항을 목록으로 표현하였다.

- 프로젝트관리 : 프로젝트관리 기능은 프로젝트의 신규 생성, 수정. 삭제 기능과 사용자 관리, 메뉴관리, 권한관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.

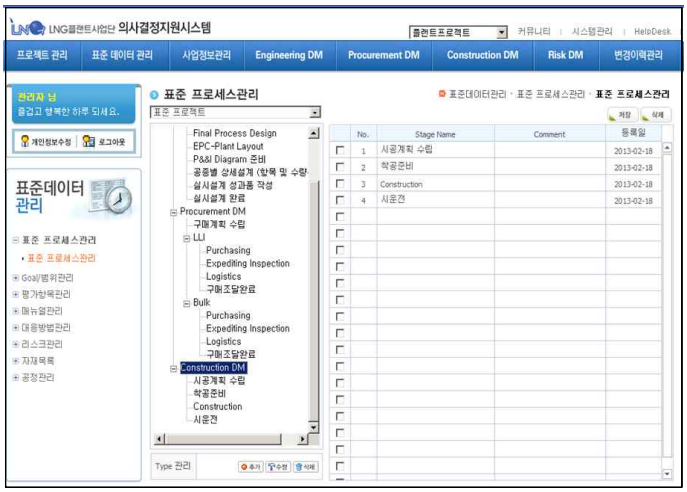


<그림 2-77> 메인 화면



<그림 2-78> 프로젝트 관리

- 표준데이터관리 : 시스템 운영자가 주로 사용하는 영역으로 평가항목의 정보를 프로젝트 형식별로 관리하거나 의사결정을 위한 평가기준, 방법을 표준으로 생성하여 사용자가 표준데이터를 활용하여, 쉽게 프로젝트의 의사결정지원 기능을 생성할 수 있도록 기능을 구성하였다.



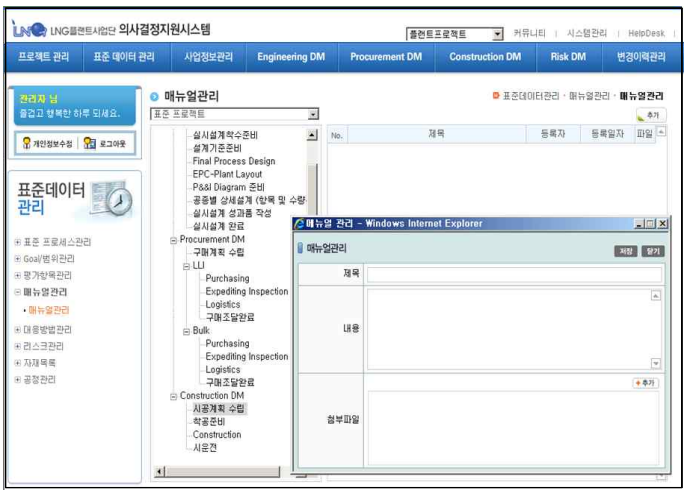
<그림 2-79> 표준 프로세스 관리



<그림 2-80> 표준 Goal(범위) 관리



<그림 2-81> 표준 평가항목 관리



<그림 2-82> 표준 매뉴얼 관리



<그림 2-83> 표준 대응방법 관리



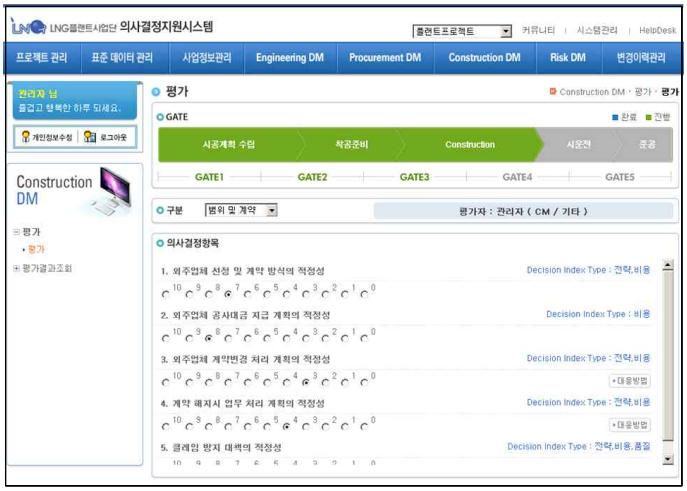
<그림 2-84> 표준 리스크 관리의 세부단계 관리



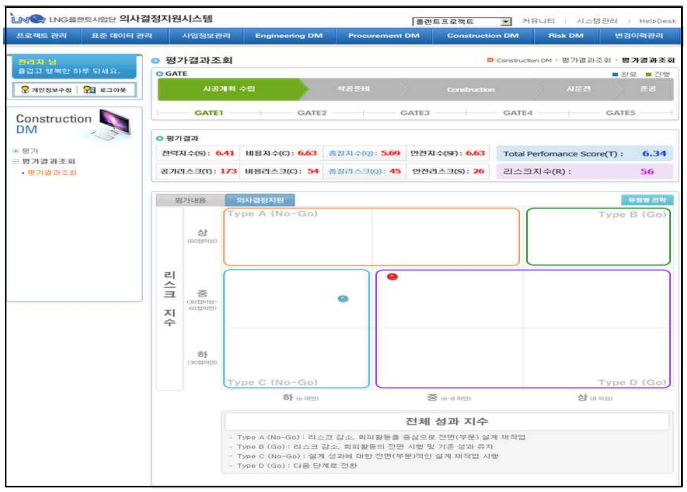
<그림 2-85> 표준리스크관리의 리스크 요인 관리

- 사업정보관리 :프로젝트 관리자, 사용자가 주로 사용하는 영역으로 평가항목의 정보를 프로젝트 형식별로 관리하거나 의사결정을 위한 평가기준, 방법을 표준으로 생성하여 사용자가 표준데이터를 활용하여, 쉽게 프로젝트의 의사결정지원 기능을 생성할 수 있도록 기능을 구성하였다.(전반적인 화면구성은 표준데이터관리 화면과 유사)

- Engineering/Procurement/Construction DM(Decision Making) : 의사결정지원의 평가는 단위 엔지니어의 권한이 부여된 항목에 대한 평가와 분야별 책임자의 담당 Category별 평가 완료 후 프로젝트의 총괄 책임자가 최종평가를 하며, 평가가 종료되면 해당 Gate의 의사결정 지원정보를 확인할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-86> 평가



<그림 2-87> 평가결과조회

- Risk DM(Decision Making) : 리스크관리의 평가는 Pre-Stage 평가 후 도출된 리스크 요인 항목을 On-Stage에서 차수별로 평가가 재 진행되며, On-Stage 평가 종료 후 Post-Stage에서 On-Stage 리스크 요인 항목을 제외한 Pre-Stage 평가 항목을 재평가 후 평가가 종료되는 단계로 구성하였다. 평가가 종료되면 해당 Gate의 평가결과 및 평가내용을 확인할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-88> Pre-Stage 평가



<그림 2-89> On-Stage 평가



<그림 2-90> 평가결과 조회

- 시스템관리 : 시스템의 사용자를 등록, 수정 및 사용자의 메뉴 및 모듈별 권한을 부여할 수 있으며, 시스템에서 공통적으로 사용되는 코드 등의 데이터는 유지관리가 편리하도록 공통코드로 집중 관리할 수 있도록 구성하였다.



<그림 2-91> 사용자관리



<그림 2-92> 권한관리

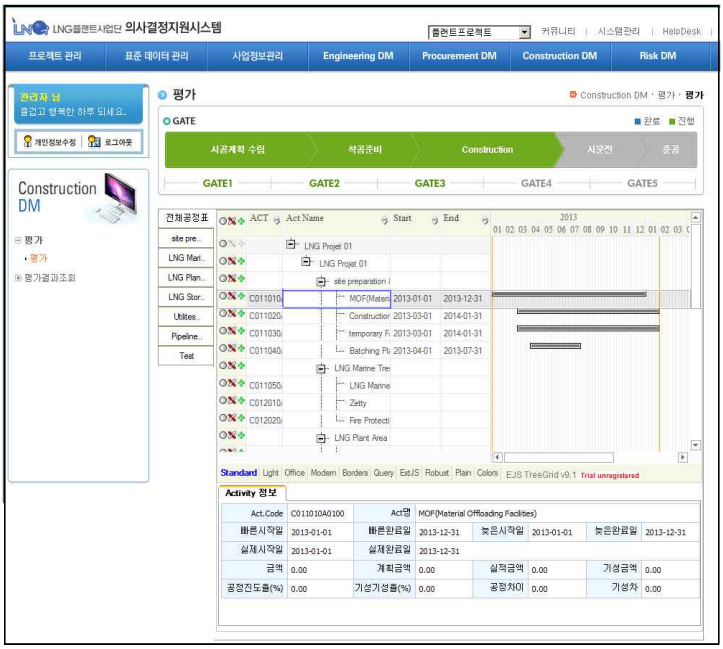
④ 기능 고도화

본 EPC단계 통합 의사결정지원모듈을 구축하면서 기 구축된 설계단계, 구매조달단계, 시공단계의 의사결정지원모듈과 비교하여 다음과 같이 기능을 고도화 하였다.

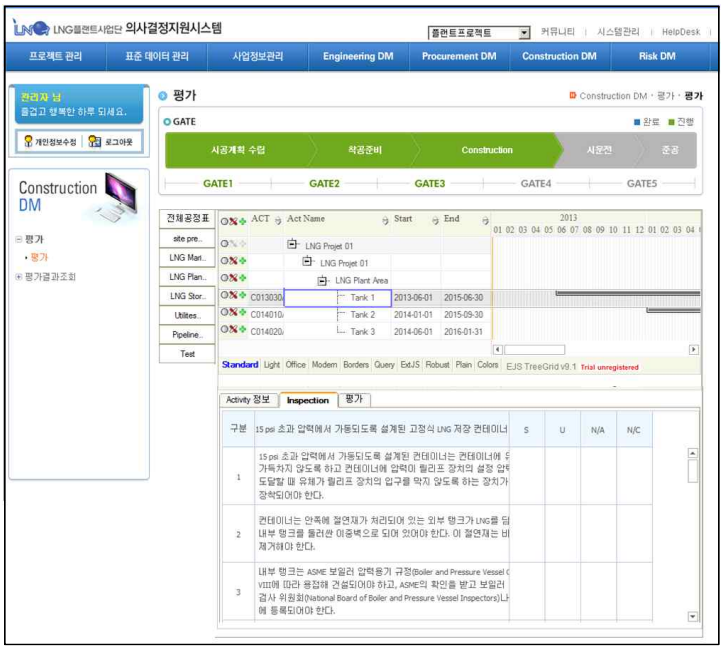
- 의사결정지원 모듈의 알고리즘 개선 및 기능 고도화

■ 프로세스 통합관리 : 설계단계 의사결정 지원을 위한 프로세스 관리와 시공 단계 의사결정 지원을 위한 프로세스 관리, Goal, 평가항목 관리를 하나

의 통합된 시스템에서 이루어 질 수 있도록 시스템을 구성하였다. 특히, 시공단계의 경우 공정관리별로 Inspection, 평가 할 수 있다.



<그림 2-93> 시공단계 공정관리

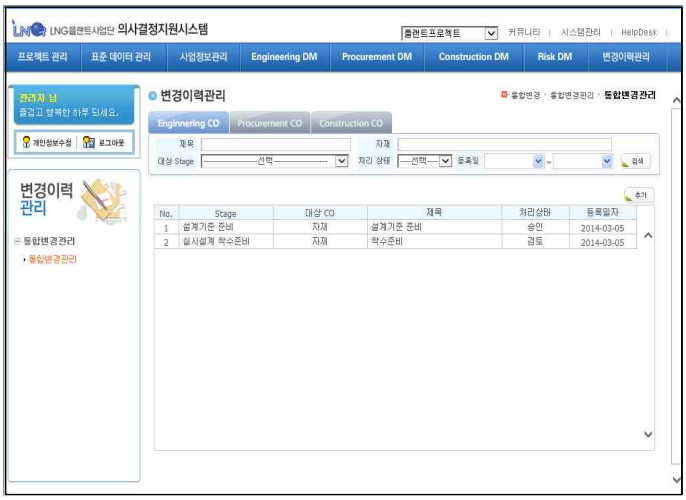


<그림 2-94> 시공단계 Inspection

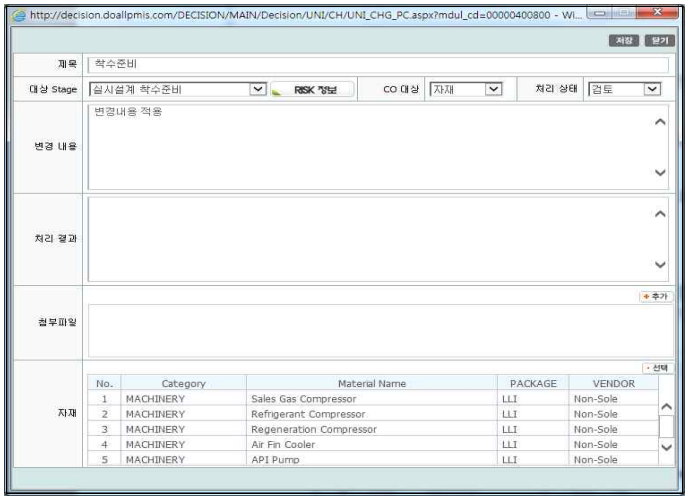
■ 리스크관리 : 리스크 관리 역시 설계단계와 시공 단계를 통합된 환경에서 관리할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

■ 리스크DM : TOPSIS를 적용하여 평가자들마다 다른 평가 수치의 분포 편차에 영향을 받지 않고 보다 객관적으로 각 리스크 요인에 대한 평가를 수행할 수 있다.

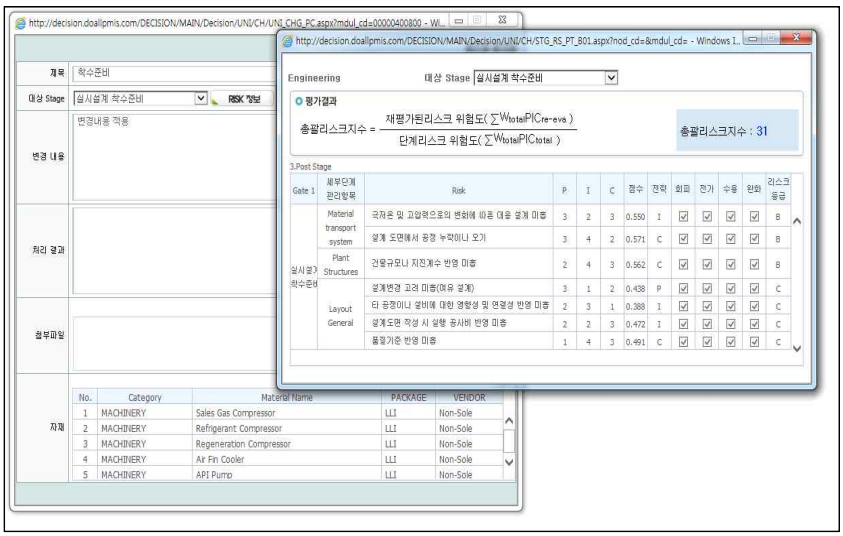
■ 변경이력관리 : EPC단계의 Gate, Gate별 시방서, 설계도서, 자재 등의 변경내용에 관하여 이 발생하면 대상 Stage, CO대상, 처리상태, 변경 내용, 처리 결과의 자료를 생성/수정/저장 한다. 변경이력 관리 화면에서는 EPC단계별 대상 Stage, 처리상태, 자재로 검색이 가능하고 각각의 변경이력 정보를 등록한다. CO대상은 설계서, 시방서, 자재로 구분하여 입력이 가능하고 자재의 경우 각 스테이지별 1개의 주요 자재에 대한 복수의 세부자재를 선택하여, 변경관리를 할 수 있고 해당 자료를 따로 검색이 가능하다. 동일 항목에 대하여 반복 변경이 발생할 경우, 새로운 변경이력관리로써 입력되어 동일 항목에 대한 새로운 이력이 생성된다. 처리 상태는 검토, 승인, 반영중, 반영완료에 구분되고 '메뉴별' 권한부여를 통하여 접근에 제한이 가능하다. 변경이력 정보의 내용의 조회와 동시에 대상 Stage의 리스크 정보의 조회도 가능하다.



<그림 2-95> 변경이력관리화면



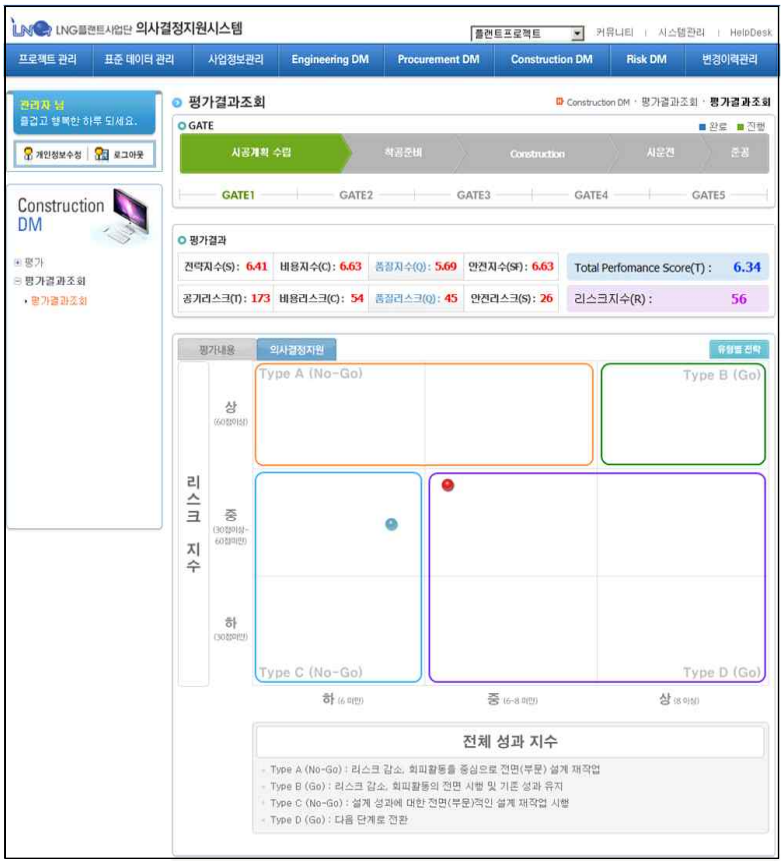
<그림 2-96> 변경이력 정보등록



<그림 2-97> 변경이력 정보 화면에서 리스크 정보 조회

- 사용자 인터페이스 개선 및 시각적 기능 고도화 : 분석 알고리즘 모듈에 의해 분석된 결과를 시각화하는 기능을 고도화 하고, 사용자 평가 인터페이스를 개선하여 사용자 편의성을 높이고 입력을 최소화 하도록 개선

- 모바일 환경을 고려한 시스템 기능 확장 : 의사결정 평가 또는 평가결과 조회와 같은 의사결정지원시스템의 주요 기능의 모바일 환경에서의 접근 및 활용을 가능케 함으로써 의사결정 시간 단축 및 검토환경을 개선할 수 있도록 시스템 기능을 구현



<그림 2-98> 평가결과 조회 개선

- 모바일 기능을 고려한 시스템 기능 확장 : 의사결정 평가 또는 평가결과 조회와 같은 의사결정지원시스템의 주요 기능의 모바일 환경에서의 접근 및 활용을 가능케 함으로써 의사결정 시간 단축 및 검토환경을 개선할 수 있도록 시스템 기능을 구현하였다. 모바일 기기의 작은 화면에서도 의사결정 평가와 평가결과 조회가 가능하도록 평가와 조회 화면을 별도로 구성하고, 다양한 모바일 환경에 대응 할 수 있도록 표준 웹 기술을 이용한 모바일 웹 시스템을 구축하였다



<그림 2-99> 모바일 환경에서 로그인 및 EPC단계 선택 화면



<그림 2-100> 모바일 환경에서 평가결과 표시화면



<그림 2-101> 모바일 환경에서 평가내용에 따른 대응방법 표시화면

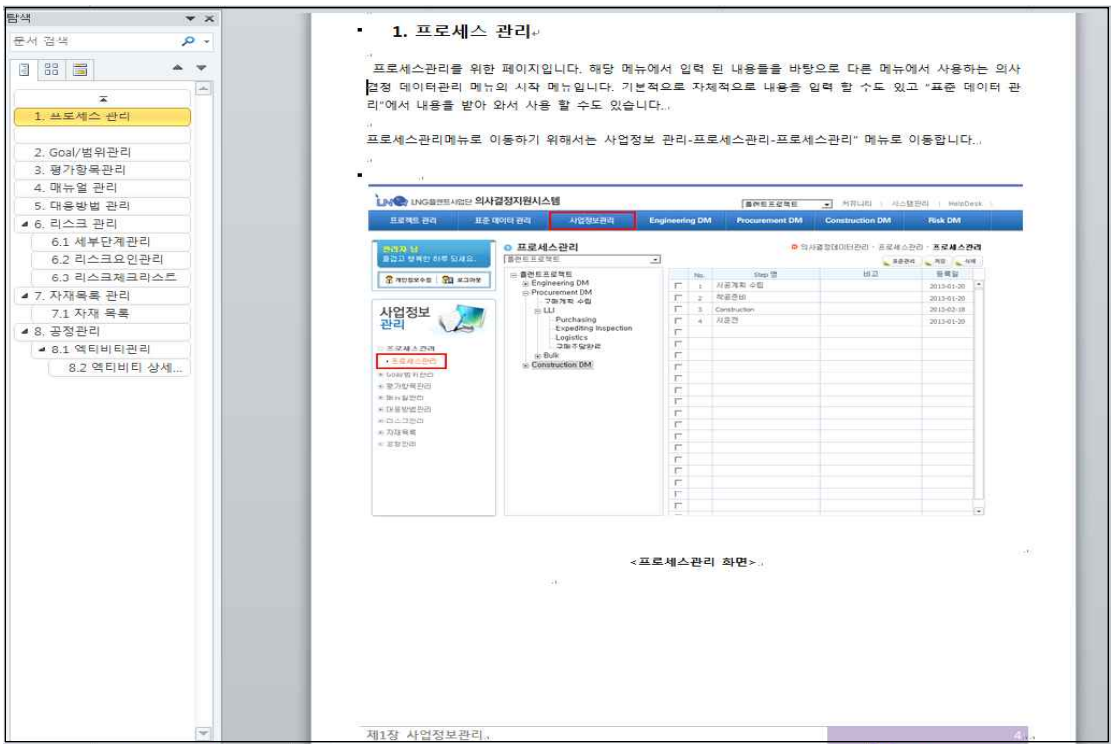


<그림 2-102> 모바일 환경에서 리스크 지수 표시화면

상기와 같이 개발한 LNG 플랜트 시공단계를 포함한 EPC단계별 의사결정지원모듈에 대하여, 이용자의 활용성을 높이기 위한 방법으로 시스템 이용 매뉴얼을 개발

하였다.

매뉴얼은 크게 사용자매뉴얼과 운영자매뉴얼로 나뉘며 각 매뉴얼별로 각각의 목적에 맞게 그림과 상세한 설명을 덧붙여 표현함으로써 이용자의 이해도를 높일 수 있도록 하였다. 또한 설명의 흐름은 모듈의 주요 메뉴에 따라 순차적으로 설명을 하였다. 다음은 이용자매뉴얼에 대한 예시이다.



<그림 2-103> 이용자 매뉴얼(예시)

다. 주요결과 및 시사점

LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 LNG 사업관리의 정형적 의사결정을 구조화하여 보편적 사업관리 역량을 보완하고 설계 및 시공 오류, Rework 등을 최소화하고 특정상황에 대한 비정형적 의사결정의 구조화를 지원하여 의사결정의 합리성 부여하는 두가지 목적으로 추진하며, 이를 위해 사업관리조직의 계층적 구조와 연계하여 LNG사업의 전략적 목표, 핵심성과지표 등을 토대로 EPC회사의 경영관리조직에게 있어서는 Program 우선순위 및 Project별 전략적 의사결정을 지원하고, 프로젝트 사업관리조직에 있어서는 사업관리 분야별 전술적 의사결정을 지원하며, 단위업무(Work Package 수준) 관리자인 엔지니어에게는 사업관리 항목별 기능적 의사결정을 지원하는 체계를 구축하고자 하였다.

본 연구에서 설계단계의 경우 EPC계약의 실시설계 단계를 착수준비, 설계기준 준

비, Process Design, Plant Layout, P&I 다이어그램 작성, 공종별 상세설계, 실시설계 성과품 작성의 7개 단계로 구분하였고, 구매조달 단계에서는 주요자재와 벌크자재로 자재를 구분하고 구매계획수립과 구매계약완료를 공통업무로 분류하고 자재의 유형에 따라 4단계의 Stage-Gate Model을 제시하으며, 시공단계에서는 시공계획수립, 착공준비, Site Preparation & Temporary Facility, 시공, 시운전, 준공 의 6개 단계로 구분하고, 해당 단계에서 다음 단계를 진행하기 위해서는 의사결정활동을 위한 Gate를 활용하는 Stage-Gate Model 기반의 의사결정지원체계를 제시하고 이를 시스템으로 구축하였다.

또한, 설계, 구매조달, 시공단계의 의사결정지원모듈을 통합하여 통합 의사결정지원모듈을 구축하였다. 통합의사결정지원모듈의 가장 핵심적인 사항은 설계-구매조달-시공단계 간의 상호 연관성을 갖을 수 있도록 각 단계의 주요 Stage별로 각종 변경 사항이 발생할 경우 발생한 Stage와 이와 연관있는 Stage를 기록하고, 변경내용 및 처리결과, 설계단계의 설계서(설계도면, 시방서 등) 반영여부, 구매조달단계의 주요자재 변경여부 등에 대한 변경이력을 관리하도록 하는 것이 핵심이다. 이러한 변경이력 관리를 통하여 기 수행한 Stage에서의 의사결정을 재고할 필요할 있을 경우, 사업관리자의 판단에 따라 의사결정 과정을 재반복하여 수행할 수 있으며, 이때 각 Stage별로 기존의 리스크 및 사업관리 관점의 체크리스트에 의한 평가결과 점수를 참고하여, 변경된 항목을 기준으로 새로운 의사결정을 하기위한 평가를 실시 할 수 있도록 구조화하였다.

한편, LNG 플랜트사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직은 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 투자수익목표 부합성, 안전기준 및 품질기준에 대한 부합성을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성한다. LNG 플랜트 사업의 핵심적인 의사결정항목은 크게 범위(Scope), 공기 및 공사비(Value for Money), 사업통합관리(Project Integration), 기술적 타당성 및 부합성(Technology Requirement)으로 구분하고 세부 의사결정항목을 제시하였으며, 이를 토대로 각 단계별 Gate Review factor를 도출하여 의사결정항목에 대한 평가체계를 구성하였다.

도출된 의사결정지원체계는 의사결정지원모듈 개발에 활용하여 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 의사결정 평가기준을 생성하는 사전모듈과 평가기준에 대한 정량적 평가를 위한 알고리즘 정의모듈, 실제적인 정량적 분석을 수행하는 계산모듈, 평가결과의 시각적 표현을 하는 UI로 구성되어 의사결정지원을 소프트웨어로 구성하도록 틀을 제공하였다.

또한 이용자매뉴얼 및 관리자매뉴얼을 제공함으로써 본 모듈을 사용하는 각 주체로 하여금 손쉽게 시스템을 활용할 수 있는 기반을 마련하였다.

8. 의사결정지원 모듈의 현장적용성 평가

가. 개요

본 연구에서는 EPC단계를 포함한 통합의사결정지원 모듈의 시스템검증 및 현장적용성 평가를 위하여 다음과 같은 업무를 수행하였다.

○ 시스템 검증 및 보완
- 소프트웨어 품질평가 방법 조사, 분석
- 시스템 검증결과 및 보완

○ 현장적용성 평가
- 전문가를 활용한 현장적용성 평가결과

○ 시스템의 기술완성도 검증
- OPM3 기법을 활용한 시스템의 객관화 및 검증

나. 수행내용 및 결과

(1) 시스템 검증 및 보완

본 연구에서는 LNG 플랜트 EPC 단계별 의사결정 모듈(시스템)의 성공적 개발과 6차년도 목표인 상용화를 위하여, 개발된 시스템의 체계적 검증 및 평가 방법론을 수립하였다.

- 개발 기술의 검증/평가 방법론 : 개발된 기술의 검증을 위해 개발 기술의 완성도 평가에 관한 전반적인 사항을 조사하였으며, 개발 기술이 소프트웨어로 최종 결과물이 도출된다는 측면에서 소프트웨어 분야에서 채택하고 있는 품질평가 방법론을 중심으로 조사하였음. 이러한 소프트웨어 품질 검증 방법은 전문 소프트웨어 개발 업체의 도움을 받아 자료조사를 실시하였음.

(가) 소프트웨어 품질관리의 개요

S/W 품질관리 정의는 품질목표, 정책, 책임을 결정하고, 품질 시스템 내에서 품질기획, 품질보증, 품질관리, 품질개선 등을 통한총괄적인 경영기능으로, 일정하의 조건아래에 최저비용으로 가급적 최량품질의 제품을 획득할 수 있도록 생산 활동을 통계 숫자에 의하여 관리 통제하는 경영관리 방식을 말한다.

S/W 품질관리 목적은 다음과 같다.

- 기술지원에 대한 평가: 적합한 산정기준, 소프트웨어 품질예측
- 자원에 대한 평가 : 적합한 자원 및 비용의 산정
- 프로세스에 대한 평가: SDLC(Soft ware Development Life Cycle) 프로세스 통제
- 제품에 대한 평가 : 인수시험, 산출물 평가, 타제품과의 비교

S/W 품질관리의 요소는 다음과 같다.

- 운용측면 : 정확성, 신뢰성, 효율성, 확장성, 사용용이성, 무결성, 유지보수성
- 수정측면 : 유지보수성, 이식성
- 적응측면 : 시험성, 재사용성, 상호 운영성, 유지성

<표 2-64> 소프트웨어 품질관리 단계 및 활동

단계	내용	활동
계획단계 (품질계획수립)	적용할 품질의 표준을 식별하고 적용할 방법을 결정하는 활동	품질시스템 요구사항 파악, 품질보증절차 파악, 품질통제절차파악, 운영절차정의, 품질관리체크리스트 작성, 품질관리 계획 작성
실행단계 (품질보증활동)	소프트웨어 제품과 요구사항이 일치하는지의 검토를 제3자의 입장에서 수행	프로젝트 산출물 검토, 품질사고 예방조치 강구, 프로젝트 절차 검토, 고객의 초기검도 및 피드백 요구
통제단계 (품질통제활동)	소프트웨어의 개발, 운영, 유지보수에 있어 자체적으로 품질활동을 수행	품질결과 모니터, 계획된 품질수준과의 차이분석, 수정계획수립, 수정활동의 문서화 및 계획의 최신상태유지

※ 출처 : 지식경제부(2012), 글로벌 건설 IT 산업생태계 조성을 위한 개방형 BIM통합 솔루션 개발,(별첨) 품질관리 계획서

<표 2-65> 소프트웨어 품질의 종류

구분	제품 관점	프로세스 관점
특징	제품측정, 제품검증, 제품확인	소프트웨어 프로세스 향상과 심사
방법	기능성, 신뢰성, 사용성, 효율성, 유지보수성, 이식성 평가	프로세스(절차)준수여부 평가
표준	SO/IEC9126,14598,12119 25000 SQuaRE	ISO 9000, ISO/IEC 12207, SPICE, CMM, CMMI
장점	▪ 모든 종류의 소프트웨어에 적용 ▪ 전문적 판단의 객관화	▪ 많은 종류의 제품에 적용 ▪ 검사기간이 짧고 인증비용 절감
단점	▪ 전수시험의 비용 및 시간소모 ▪ 최신 소프트웨어 평가가 어려움	▪ 상대적으로 품질을 보증 못함 ▪ 혁신적 소프트웨어에는 적용 곤란

※ 출처 :한국정보통신기술협회(2006), 소프트웨어 품질평가 프레임워크 개발에 관한 연구, 최종연구보고서

(나) 소프트웨어 개발단계와 품질관리

S/W의 품질관리는 제품 관점과 프로세스 관점에서 이루어진다. 또한 시스템의 개발 단계인 분석, 설계, 개발, 구현 및 시험 단계별로 각 산출물에 대한 철저한 관리와 이를 관리/지원하기 위한 계획, 통제, 위험관리, 요구사항 관리, 검토, 형상관리, 측정 및 분석 등의 행위로 이루어지게 된다.

다음 표는 기존 사례를 예로, 개발단계별 업무 수행 및 성공적 S/W 개발을 위한 산출물 목록을 나타낸 것이다.

<표 2-66> 주요 개발단계별 산출물 목록의 예

개발 단계	산출물	설명
분석 SRS (Software Requirement Specification)	· 인터뷰결과서(SRS) · 액티비티(SRS) · 유스케이스정의서(SRS) · 요구사항정의서(SRS)	· SRS는 개발 시스템의 요구사항을 정의하는 문서를 기술한다. 인터뷰결과서에 기반을 두고 요구사항정의서를 작성한다. · 요구사항정의서를 통해 시스템 적용 여부를 확정한다.
설계 SAS (Software Architecture Specification) SIS (Software Interface Specification) SDS (Software Development Specification)	· SW 아키텍처(SAS) · SW 인터페이스(SIS) · 화면설계서(SDS) · 화면목록(SDS) · 인터페이스클래스(SDS) · 시퀀스(SDS) · 클래스(SDS) · 패키지구조(SDS) · 트랜잭션정의서(SDS) · 데이터코드정의서(SDS) · 데이터코드목록(SDS) · 테이블정의서(SDS) · 테이블목록(SDS) · ERD(물리)(SDS)	· SAS는 S/W구조 및 S/W 전체적인 흐름을 기술한다. · SIS는 S/W간 Data정의 및 흐름을 명시한다. · SDS는 S/W의 화면설계에 관한 정의, S/W 구조 및 동작흐름 그리고 Data흐름 및 Data 정의서를 포함하는 내용이다. SDS 는 SRS에 기술된 모든 내용을 포함하고 있어야 하며 SRS 변동 시 적용하여야 한다.
개발 STS (Software Test Specification)	· 소스코드 · 단위테스트 결과서 · 개발자용(STS) · 통합테스트 결과서 · (개발자용)(STS)	· 설계된 내용에 따라 제품의 기능을 구현하고 개발자가 단위테스트 및 통합테스트를 진행한다.
구현	· 사용자매뉴얼 · 운영매뉴얼 · 교육교재 · 교육결과서 · 시범운영계획서 · 시범운영일지	· 개발을 통하여 제품의 기능을 구현하고 개발제품을 토대로 매뉴얼 등을 작성하고 시범운영에 관한 일련의 사항을 준비한다.
시험	· 단위테스트케이스 · 단위테스트결과 · 통합테스트케이스 · 통합테스트결과	· 구현제품에 관한 프로그램 테스트 및 통합 테스트를 실시한다

※ 출처 : 지식경제부(2012), 글로벌 건설 IT 산업생태계 조성을 위한 개방형 BIM통합 솔루션 개발,(별첨) 품질관리 계획서

다음 표는 소프트웨어의 관리 및 지원을 위한 산출물 목록을 나타낸 것이다.

<표 2-67> 관리/지원 산출물 목록의 예

구분	산출물	설명
계획	품질보증계획서 작성	WBS(Work Breakdown Structure), 요구사항, 형상, 품질을 관리
통제	이슈위험관리대장 주간업무보고서	프로젝트에서 발생하는 이슈를 관리. 매주 주간업무보고서를 작성하여 진척을 파악하고 시정조치를 수행
위험관리	이슈위험관리대장	프로젝트에서 발생할 수 있는 위험을 등급 별로 관리하여 위험 완화 및 대처 계획을 관리.
요구사항 관리	요구사항 추적율 보고서	요구사항 추적 기준에 따라 추적율을 관리하고 정기적으로 추적율 보고서를 기반으로 추적 상황을 파악.
검토	결함보고서	코딩규칙 점검 및 도구를 활용하여 수행하고 결함보고서를 기반으로 필요한 결함 해결을 수행.
형상관리	변경요청서 CCB(Configuration Control Board)회의록	형상항목을 정의하고 형상감사 및 상태보고 등을 수행. 변경 발생 시 변경요청서를 기반으로 CCB회의록을 기록.
측정 및 분석	측정분석보고서	프로젝트에서 측정이 필요한 데이터를 취합하여 분석하고 필요한 시정조치를 수행.

※ 출처 : 국토해양부(2010), 가상건설시스템 개발 연구단 연차보고서

상기 표에 나타난 바와 같이, 소프트웨어의 품질관리 활동은 계획단계에서 계획서를 작성하고, 설계 및 개발 단계에서 각 단계별 산출물과 관리/지원을 위한 통제, 위험, 요구사항, 검토 및 형상 관리를 수행하며, 시험 단계에서 단위 테스트와 종합 테스트를 통해 계획된 제품의 품질을 검증하는 형태로 이루어진다.

즉, LNG 플랜트 EPC 단계별 의사결정 지원 모듈(시스템)의 S/W적 검증은 초기 설계 및 개발 단계에서 산출물 및 관리/지원 행위에 대한 철저한 수행을 기반으로 프로젝트를 수행하고, 개발이 완료된 이후에는 당초 설계된 바와 같이, 시스템의 품질이 확보되었는지에 대한 철저한 테스트가 필요하다.

(다) 소프트웨어 테스트 방법

앞 서 살펴본 소프트웨어의 품질관리 방법 중, 개발된 결과물의 상용화 이전에 수행할 제품의 테스트에 관한 방법론을 살펴보면 다음과 같다.

① S/W 테스트 개요

S/W 테스트의 목적은 다음과 같다.

- 분석 단계에서 도출한 현업 요구사항 및 설계 사양을 시스템이 만족 시키는지를 검증함.
- 프로그램들 간의 인터페이스가 설계 사양대로 이루어져 기능이 정상적으로 수행되고 있는지 검증함.
- 기능 수행후의 결과가 사전에 예상되어 작성된 수치 데이터와 일치하는지를 검증함.(불일치 시 원인 도출)
- 개발된 시스템과 기존 시스템의 인터페이스가 정확하게 되는지 검증함.
- 기능 수행 시 또는 산출물의 결과에 포함된 결함을 파악하여 제거함.

소프트웨어 테스트 단계는 소프트웨어 개발주기에 따라 분류하는 통상적 단계를 기준으로 테스트 단계를 정의하면 다음 표와 같다.

<표 2-68> 소프트웨어 테스트 단계

단계	정의	주체
단위테스트	하나의 소프트웨어 모듈이 정상적으로 그 기능을 수행하는지의 여부를 테스트하는 최소 수준의 테스트이다.	개발팀
통합테스트	어플리케이션의 데이터 및 업무 기능의 인터페이스가 정상적으로 작동하는 지에 중점을 두어 테스트를 실시한다.	설계 담당
시스템테스트	모듈들이 하나의 시스템으로 동작하게 되면서 시스템의 성능과 관련된 고객의 요구 사항이 완벽하게 수행하는지의 여부를 테스트한다.	개발팀 (인프라)
인수테스트	고객이 검수를 위해 본 시스템이 고객의 요구 사항이 완벽하게 수행하는 지의 여부를 고객이 테스트 한다. 고객이 제시하는 인수 절차에 따라 인수 테스트를 시행한다.	연구진 및 소프트웨어 사용자

※ 출처 : 국토해양부(2010), 가상건설시스템 개발 연구단 연차보고서

테스트 환경은 다음과 같다.
- 단위 테스트는 개발 서버에서 테스트를 수행함
- 단위 테스트의 테스트 데이터는 일부 전환 데이터를 사용하거나 개발자가 직접 테스트를 위해 데이터를 생성하여 테스트 실시함
- 통합/시스템/인수 테스트는 운영 서버에서 테스트를 수행함
- 통합 테스트의 테스트 데이터는 전환 데이터를 사용하거나 시나리오에 따른 테스트 케이스 데이터를 기준으로 테스트를 실시함

테스트 일정은 단위, 통합, 시스템, 인수, 오픈 테스트로 구분하여 테스트를 수행하며, 일정은 시스템의 규모와 상용화 시점을 고려하여 일정을 계획한다.

소프트웨어 테스트 시 주의 사항은 다음과 같다.

- 테스트 케이스 설계 시 기대되는 결과도 정의함
- 가능한 개발자는 자신의 프로그램을 테스트하지 않음
- 테스트 결과를 철저히 검토
- 부당하거나, 예기치 않은 입력에 대해서도 테스트 실시
- 기대한 대로 수행하는가와 기대하지 않은 대로 수행하는지도 점검
- 테스트 케이스를 상세히 기록할 것
- 오류가 없을 것으로 기대하지 말 것
- 오류가 발생한 곳에 다른 오류가 발생할 확률이 높음
- 테스트 인력은 사전에 적합한 인력을 선별하여 테스트에 지장이 없도록 할 것

본 연구에서는 상기와 같이 6차년도 상용화 목표에 앞서 소프트웨어 품질평가 및 검증에 관한 방법론을 조사하였다. 이를 토대로 시공단계를 포함한 통합의사결정지원 모듈의 시스템 평가를 실시하였으며, 주요 테스트는 크게 단위테스트와 통합테스트를 실시하였다.

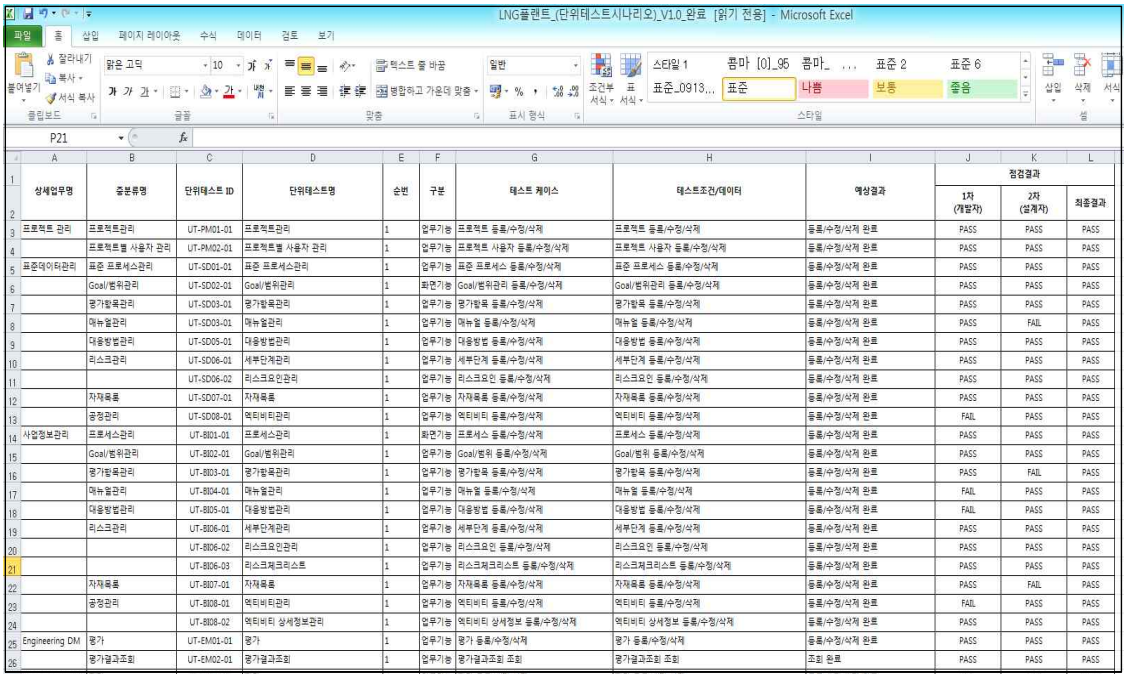
단위테스트를 수행하기 위한 조건은 다음과 같다.

- 완벽한 테스트란 불가능하고 오류 없는 프로그램이란 없기 때문에 어떻게 하면 시험조건을 잘 설계하여 오류의 수를 줄이느냐 하는데 있음.
- 단위시험 항목별로 필요한 입력자료 및 예상결과는 적절히 기록
- 정상적인 경우와 마찬가지로 비정상적인 조건과 경로를 테스트하는 케이스도 포함되어야 함(Invalid 데이터도 포함 할 것)
- 시스템이 제대로 작동되지 않도록 (failure) 만드는 테스트케이스도 작성 (예외상황을 표현한 테스트케이스도 포함 할것)
- 생성된 테스트케이스 수가 너무 많거나 또는 너무 적지 않도록 기술
- 모든 테스트 케이스는 입력과 예상결과가 함께 기술
- 테스트 대상이 명확하게 기술(중분류명, 화면명 등)
- 테스트 케이스를 보고 테스트를 수행할 수 있을 정도로 상세히 기술

<표 2-69> 테스트관련 항목설명

<table>
<tr><th>No</th><th>항목명</th><th>항 목 설 명</th><th>예제</th><th>필수</th></tr>
<tr><td>1</td><td>상세업무명</td><td>테스트 대상 상세업무명을 기술한다(상세 업무코드 참조)
<table>
<tr><th>한글명</th><th>영문명</th><th>코드</th></tr>
<tr><td>프로젝트관리</td><td>Project Management</td><td>PM</td></tr>
<tr><td>표준 데이터 관리</td><td>Standard Data Management</td><td>SD</td></tr>
<tr><td>사업정보관리</td><td>Business Information Management</td><td>BI</td></tr>
<tr><td>Engineering DM</td><td>Engineering DM</td><td>EM</td></tr>
<tr><td>Procurement DM</td><td>Procurement DM</td><td>PM</td></tr>
<tr><td>Construction DM</td><td>Construction DM</td><td>CM</td></tr>
<tr><td>Risk DM</td><td>Risk DM</td><td>RM</td></tr>
<tr><td>변경이력관리</td><td>Change Order</td><td>CO</td></tr>
<tr><td>커뮤니티</td><td>Community</td><td>CM</td></tr>
<tr><td>시스템 관리</td><td>System Management</td><td>SM</td></tr>
</table></td><td>표준데이터관리</td><td>필수</td></tr>
<tr><td>2</td><td>중분류명</td><td>서브 시스템를 구성하는 업무를 그룹핑한 업무명칭</td><td>표준프세스관리</td><td>필수</td></tr>
<tr><td>3</td><td>단위테스트ID</td><td>단위 테스트 식별번호</td><td>UT-PM01-01</td><td>필수</td></tr>
<tr><td>4</td><td>단위테스트명</td><td>단위 테스트 케이스 구분 명칭</td><td></td><td>필수</td></tr>
<tr><td>5</td><td>순번</td><td>테스트 조건을 구분하는 일련번호</td><td>“1,2, ~ n”</td><td>필수</td></tr>
<tr><td>6</td><td>구분</td><td>테스트 하려는 목적</td><td>“화면기능”,”업무기능”,”성능”</td><td>선택</td></tr>
<tr><td>7</td><td>테스트케이스</td><td>테스트단위조건과테스트조건을처리하기위한절차를순서대로기술한다.
복잡도에따라시험CASE별로ValidationCheck및테스트흐름을기술한다.</td><td></td><td>필수</td></tr>
<tr><td>8</td><td>테스트조건/데이터</td><td>테스트 단위 조건에 필요한 데이터를 기술한다</td><td>일괄자료등록 성공 후 실시</td><td>필수</td></tr>
<tr><td>9</td><td>예상결과</td><td>테스트절차에따른예상결과를기술한다.
-예상결과는정상적으로처리되는데이터로해당프로그램의전부를기술하는것이아니라중요하거나대표적인Field를기준으로기술한다</td><td>“정상등록”</td><td>필수</td></tr>
<tr><td>10</td><td>점검결과</td><td>각시험조건의절차에따라테스트시테스트결과내용을기술한다.
-필요에따라테스트일자,담당자등이추가될수있다.</td><td>PASS</td><td>필수</td></tr>
</table>

상기와 같은 전제조건을 토대로 단위테스트를 실시하였으며, 그 수행결과는 다음과 같다.



LNG플랜트_(단위테스트시나리오)_V1.0_완료 [읽기 전용] - Microsoft Excel

P21

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	상세업무명	중분류명	단위테스트 ID	단위테스트명	순번	구분	테스트 케이스	테스트조건/데이터	예상결과	점검결과		
2										1차 (개발자)	2차 (설계자)	최종결과
3	프로젝트 관리	프로젝트관리	UT-PM01-01	프로젝트관리	1	업무기능	프로젝트 등록/수정/삭제	프로젝트 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
4		프로젝트별 사용자 관리	UT-PM02-01	프로젝트별 사용자 관리	1	업무기능	프로젝트 사용자 등록/수정/삭제	프로젝트 사용자 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
5	표준데이터관리	표준 프로세스관리	UT-SD01-01	표준 프로세스관리	1	업무기능	표준 프로세스 등록/수정/삭제	표준 프로세스 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
6		Goal/범위관리	UT-SD02-01	Goal/범위관리	1	화면기능	Goal/범위관리 등록/수정/삭제	Goal/범위관리 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
7		평가항목관리	UT-SD03-01	평가항목관리	1	업무기능	평가항목 등록/수정/삭제	평가항목 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
8		매뉴얼관리	UT-SD03-01	매뉴얼관리	1	업무기능	매뉴얼 등록/수정/삭제	매뉴얼 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	FAIL	PASS
9		대응방법관리	UT-SD05-01	대응방법관리	1	업무기능	대응방법 등록/수정/삭제	대응방법 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
10		리스크관리	UT-SD06-01	세부단계관리	1	업무기능	세부단계 등록/수정/삭제	세부단계 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
11			UT-SD06-02	리스크요인관리	1	업무기능	리스크요인 등록/수정/삭제	리스크요인 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
12		자재목록	UT-SD07-01	자재목록	1	업무기능	자재목록 등록/수정/삭제	자재목록 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
13		공정관리	UT-SD08-01	엑티비티관리	1	업무기능	엑티비티 등록/수정/삭제	엑티비티 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	FAIL	PASS	PASS
14	사업정보관리	프로세스관리	UT-BI01-01	프로세스관리	1	화면기능	프로세스 등록/수정/삭제	프로세스 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
15		Goal/범위관리	UT-BI02-01	Goal/범위관리	1	업무기능	Goal/범위 등록/수정/삭제	Goal/범위 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
16		평가항목관리	UT-BI03-01	평가항목관리	1	업무기능	평가항목 등록/수정/삭제	평가항목 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	FAIL	PASS
17		매뉴얼관리	UT-BI04-01	매뉴얼관리	1	업무기능	매뉴얼 등록/수정/삭제	매뉴얼 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	FAIL	PASS	PASS
18		대응방법관리	UT-BI05-01	대응방법관리	1	업무기능	대응방법 등록/수정/삭제	대응방법 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	FAIL	PASS	PASS
19		리스크관리	UT-BI06-01	세부단계관리	1	업무기능	세부단계 등록/수정/삭제	세부단계 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
20			UT-BI06-02	리스크요인관리	1	업무기능	리스크요인 등록/수정/삭제	리스크요인 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
21			UT-BI06-03	리스크체크리스트	1	업무기능	리스크체크리스트 등록/수정/삭제	리스크체크리스트 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
22		자재목록	UT-BI07-01	자재목록	1	업무기능	자재목록 등록/수정/삭제	자재목록 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	FAIL	PASS
23		공정관리	UT-BI08-01	엑티비티관리	1	업무기능	엑티비티 등록/수정/삭제	엑티비티 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	FAIL	PASS	PASS
24			UT-BI08-02	엑티비티 상세정보관리	1	업무기능	엑티비티 상세정보 등록/수정/삭제	엑티비티 상세정보 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
25	Engineering DM	평가	UT-EM01-01	평가	1	업무기능	평가 등록/수정/삭제	평가 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
26		평가결과조회	UT-EM02-01	평가결과조회	1	업무기능	평가결과조회 조회	평가결과조회 조회	조회 완료	PASS	PASS	PASS

<그림 2-104> 단위테스트 결과(1)

E	F	G	H	I	J	K	L
순번	구분	테스트 케이스	테스트조건/데이터	예상결과	점검결과		
					1차 (개발자)	2차 (설계자)	최종결과
1	업무기능	프로젝트 등록/수정/삭제	프로젝트 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	프로젝트 사용자 등록/수정/삭제	프로젝트 사용자 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	표준 프로세스 등록/수정/삭제	표준 프로세스 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	화면기능	Goal/범위관리 등록/수정/삭제	Goal/범위관리 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	평가항목 등록/수정/삭제	평가항목 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	매뉴얼 등록/수정/삭제	매뉴얼 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	FAIL	PASS
1	업무기능	대응방법 등록/수정/삭제	대응방법 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	세부단계 등록/수정/삭제	세부단계 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	리스크요인 등록/수정/삭제	리스크요인 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	자재목록 등록/수정/삭제	자재목록 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	엑티비티 등록/수정/삭제	엑티비티 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	FAIL	PASS	PASS
1	화면기능	프로세스 등록/수정/삭제	프로세스 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	Goal/범위 등록/수정/삭제	Goal/범위 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	PASS	PASS
1	업무기능	평가항목 등록/수정/삭제	평가항목 등록/수정/삭제	등록/수정/삭제 완료	PASS	FAIL	PASS

<그림 2-105> 단위테스트 결과(2)

단위테스트를 수행한 후 통합테스트를 실시하였으며 조건은 다음과 같다.

- 시험대상이 되는 시스템의 범위를 전체적으로 볼 수 있도록 하기 위함.
- 통합시험단위 및 순서를 결정하기 위함.
- 정상적인 경우와 마찬가지로 비정상적인 조건과 경로를 테스트하는 케이스도 포함되어야 한다(Invalid 데이터도 포함 할 것)
- 시스템이 제대로 작동되지 않도록 (failure) 만드는 테스트케이스도 작성한다(예외상황을 표현한 테스트케이스도 포함 할 것)
- 생성된 테스트케이스 수가 너무 많거나 또는 너무 적지 않도록 기술
- 모든 테스트 케이스는 입력과 예상결과가 함께 기술

· 테스트 대상이 명확하게 기술(중분류명, 화면명 등)
· 테스트 케이스를 보고 테스트를 수행할 수 있을 정도로 상세히 기술

<표 2-70> 통합테스트 관련 항목설명

No	항목명	항 목 설 명	예제	필수
1	통합테스트 ID	통합 테스트 식별번호	IT-SPS-01	필수
2	통합테스트명	통합 테스트 케이스 구분 명칭		필수
3	순번	테스트 조건을 구분하는 일련번호	“1,2 ~ n”	필수
4	테스트 케이스	테스트 하려는 목적	회사이름	선택
5	테스트조건 /데이터	테스트 단위 조건에 필요한 데이터를 기술한다	일괄자료등록 성공 후 실시	필수
6	예상결과	테스트절차에따른예상결과를기술한다. -예상결과는정상적으로처리되는데이터로해당 프로그램의전부를기술하는것이아니라중요하거나대표적인Field를기준으로기술한다	“정상등록”	필수
7	실행결과	각시험조건의절차에따라테스트시테스트결과 내용을기술한다. -필요에따라테스트일자,담당자등이추가될수 있다.	PASS	필수

상기와 같은 전제조건을 토대로 통합테스트를 실시하였으며, 그 수행결과는 다음과 같다.


LNG플랜트_(통합테스트시나리오)_V1.0_완료 [제한된 보기] - Microsoft Excel

제한된 보기 이 파일은 인터넷 위치에서 가져온 것이며 안전하지 않을 수 있습니다. 자세한 내용을 보려면 클릭하십시오. 편집 사용(E)

F36

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	통합테스트 ID	통합테스트명	순번	테스트 케이스	테스트조건/데이터	예상결과	실행결과	비고
2	IT-SPS-01	사업정보관리	1	프로세스관리	프로세스의 수정 및 등록	정상등록	PASS	
3			2	Goal/범위관리	Goal/범위의 수정 및 등록	정상등록	PASS	
4			3	평가항목관리	평가항목의 수정 및 등록	정상로그인	PASS	
5			4	매뉴얼 관리	매뉴얼 등록 및 수정 , 다운로드	정상다운로드	PASS	
6			5	대응방법관리	대응방법 등록	정상등록	PASS	
7			6	리스크관리	세부단계 /리스크요인 자료 입력 및 수정 , 조회	정상등록	PASS	
8			7	자재목록 관리	자재 목록 내용 등록	정상등록	PASS	
9			8	공정관리	액티비티 등록 및 수정	정상등록	PASS	
10	IT-SPS-02	의사결정지원	1	평가	책임자 평가점수/평가항목지정자 점수 입력	정상등록	PASS	
11			2	평가결과조회	책임자 평가점수 등록/의사결정지원 확인	정상등록/조회	PASS	
12			3	리스크평가	책임자 평가 항목 점수 입력	정상등록	PASS	
13			4	리스크평가결과조회	리스크평가결과 조회	정상조회	PASS	
14	IT-SPS-03	커뮤니티	1	공지사항	자료 입력 , 수정 및 삭제	정상등록	PASS	
15			2	게시판	자료 입력 , 수정 및 삭제	정상다운로드	PASS	
16			3	개인정보	개인정보 등록 , 비밀번호 변경	정상조회	PASS	
17			4	FAQ	자료 입력 , 수정 및 삭제	정상등록	PASS	
18	IT-SPS-04	프로젝트관리	1	프로젝트관리	프로젝트 등록 및 수정	정상조회	PASS	
19			2	프로젝트별사용자관리	프로젝트 사용자 등록	정상등록	PASS	
20	IT-SPS-05	표준데이터관리	1	표준프로세스관리	프로세스의 수정 및 등록	정상조회	PASS	
21			2	Goal/범위관리	Goal/범위의 수정 및 등록	정상등록	PASS	
22			3	평가항목관리	평가항목의 수정 및 등록	정상등록	PASS	
23			4	매뉴얼 관리	매뉴얼 등록 및 수정 , 조회	정상조회	PASS	
24			5	대응방법관리	대응방법 등록	정상등록	PASS	
25			6	리스크관리	세부단계 /리스크요인 자료 입력 및 수정 , 조회	정상조회	PASS	
26			8	공정관리	액티비티 등록 및 수정	정상등록	PASS	
27	IT-SPS-06	시스템관리	1	OBS관리	OBS 등록 , OBS 사용 코드 등록 및 수정	정상조회	PASS	
28			2	프로젝트마스터	프로젝트 등록, 프로젝스 사용자 등록	정상등록	PASS	
29			3	권한관리	권한그룹,사영자별,메뉴별 권한 관리 및 조회	정상등록	PASS	
30			4	공통코드관리	코드 등록 및 수정	정상등록	PASS	

<그림 2-106> 통합테스트 결과

단위테스트 및 통합테스트 결과 전반적으로 테스트 대상 소프트웨어의 기능 및 성능이 양호하여 기업에서 도입하여 사용하는데 큰 문제가 없는 것으로 검증되었으며, 기본적인 기능 외에 각각의 소프트웨어가 가지고 있는 특징을 잘 파악하여 실 구축 시 활용할 수 있고 실제 현장에 맞추어 추가적인 설정은 필요하다.

(2) 현장적용성 평가

LNG플랜트를 포함하여 사업관리 등 관련분야 전문가를 활용하여 본 연구에서 개발한 시스템의 현장적용성을 평가하였다. 평가방식은 현장적용성 평가와 관련된 질의서를 작성하였으며, 이를 토대로 본 연구에서 개발한 시스템에 대한 충분한 설명과 시연을 들은 전문가가 5점 척도로 각 평가항목별로 평가를 실시하였다. 다음 표는 평가양식이다.

<표 2-71> 현장적용성 평가 Sheet

평가 항목	5점 척도					점수	의견
	1	2	3	4	5		
(1) 스테이지 게이트 모델의 적정성	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 전혀 맞지 않으며 새로운 모델을 수립해야 한다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 맞지 않으며 아주 큰 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하나 일부 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하나, 최소한의 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 매우 적정하며 보완할 필요는 없다		
(2) 시스템 필요성	프로젝트를 수행하는데 있어서 도움이 되지 않으므로 매우 불필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 미미한 도움은 되나 불필요 하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 약간의 도움은 될 것 같다.	프로젝트를 수행하는데 많은 도움이 되며, 필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 큰 도움이되며 매우 필요하다		
(3) 시스템 완성도	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 보통이다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 높다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 높다		
(4) 시스템 사용성	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 다소 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 보통수준이다.	프로젝트에 당장 사용하기에는 단순하고 쉽다	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 단순하고 쉽다		
(5) 대체 기술	유사한 해결책을 제시하는 많은 대체 기술이 존재한다.	몇 가지의 대체 기술이 존재하여 동일한 해결책을 제시한다.	대체 기술이 존재하지만, 사업부는 이 기술을 채용할 것이다.	몇 가지 대체 기술이 존재하지만, 핵심기술은 대체 기술이 없다.	이 분야에 있어서는 오늘날 대체 기술이 존재하지 않는다.		
(6) 기술의 복잡성	기술 적용이 쉽고 회피설계도 쉽다	대부분의 기술이 쉽고 회피하기도 쉽다		기술이 어느 정도는 회피하기 어려울 정도로 복잡하다	기술이 복잡하여 회피설계가 어렵다		
(7) 차별화	이 기술은 시장에서의 위치에 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서의 위치에 약간 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격을 받도록 보장하지는 못할 것이다.	이 기술은 약간 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.		
(8) 전략적	해당 기술이 기술적 리더쉽을	해당 기술이 기술적 리더쉽을		해당 기술이 리더쉽 향상에	해당 기술이 리더쉽을 제공해		

평가 항목	5점 척도					점수	의견
	1	2	3	4	5		
지위	제공하지 못한다.	향상시키지는 못할 것이다.		도움을 준다.	줄 것이다.		
(9) 지역적 적용성	세계 시장에서의 판매가 보장되어 있지 않다.	특정 지역에서는 판매가 보장되어 있지 않다.		특정 지역에서는 경쟁을 차단할 수 있다.	유일한 소스로서, 세계시장에서 경쟁을 차단할 수 있다.		
(10) 기술가치의 소멸 가능성	이 기술은 2년 이내에 쓸모없게 될 것이다.	이 기술은 2~5년 내에 쓸모없게 될 것이다.	계속되는 기술지원으로, 기술의 수명주기는 이슈가 아니다.	이 기술의 수명은 5~10년으로 추정된다.	이 기술의 수명은 10년 이상으로 추정된다.		

우선 평가에 앞서, 전문가들에게 의사결정지원시스템에 관한 구조와 활용방법 등에 관하여 상세히 설명을 하였으며, 상호 질의응답을 통하여 이해도를 공유한 후 설문조사를 통하여 현장적용성에 관한 검토를 실시하였다. 본 조사는 미국 출장을 통하여 수행하였으며, CII(Construction Industry Institute), KOGAS AMERICA, Ankor E&P Holding Corp 등의 기관에 재직중인 전문가를 통하여 실시하였다. 다음은 주요 평가결과를 요약, 정리한 것이다.

· 시스템의 완성도는 높으나 사용자가 효율적으로 시스템을 사용하기 위해서는 각 모듈마다 필요한 정보를 즉각적으로 참고할 수 있도록 용어의 정의, 각 모듈의 실행매뉴얼을 하이퍼링크를 통해 연동시킬 필요성이 있음.

· 시스템의 완성도에 비해서 시스템 내용의 설명에 있어 전문적인 용어나 알파벳 약어가 너무 많아 사용자들에 대한 충분한 교육이 이루어지지 않으면 현장에서 당장 사용하기는 쉽지 않은 것으로 판단.

· 시스템 사용자에 대한 정보접근의 제한을 위한 사용자 계층화 필요. 시스템 사용자에 따라서 공유할 정보와 제한할 정보의 범위구분이 불명확하여 이에 대한 보완 필요. 특히 평가항목과 리스크 항목에 있어서 제한적 접근이 이루어질 수 있도록 시스템 로그인시 사용자를 계층화하여 각기 다른 수준의 시스템 사용이 가능할 수 있도록 보완필요.

· 정량화된 사업관리지수와 리스크지수를 통한 의사결정유형을 제시하고 있으나 개별지수 값들이 어느 정도 수준인지를 판단할 수 있도록 개별지수들에 대해서도 그래프 등을 이용해 시각화하여 제시하면 사용자의 이해수준을 향상 시킬 수 있을 것으로 판단.

· 사업의 진행 및 시간추이에 따른 사업관리와 리스크 평가결과의 변화를 사후

에 추적할 수 있는 기능과 리스크 관리 항목의 추가, 삭제 및 수준의 변경 등과 같은 시스템 내용의 갱신을 추적할 수 있는 로그기록 기능들이 추가되면 향후 유사사업의 수행시 참고할 수 있는 자료를 생산할 수 있을 것으로 판단 (GO-No Go를 위해 프로젝트 관리자가 각 지수별 가중치를 변경하는 경우에도 변경내용과 사유에 대한 이력관리도 필요)

· 의사결정지원 시스템은 현장적용 시 실무적으로 활용성이 클 것으로 예상되며, 현재 프로젝트 관리자가 경험적으로 알고 있는 부분을 본 시스템을 보조도구로 활용한다면 가치가 클 것임.

· 리스크 중요도 순서로 시스템에서 구현가능하나 가장 중요한 리스크를 도출하여 현장의 리스크 대응방안이 도출되면 좋을 것 같음

· EPC 공사는 2년 후에나 설계단계가 끝나고 변경관리가 추가되어 있었으면 함.(통합의사결정지원시스템에 변경관리 추가)

10개의 질문항목에 대하여 5점 척도로 전문가들이 평가한 결과를 보면, 전반적으로 4~5점대의 긍정적인 평가를 하였으며, 특히 시스템의 필요성과 완성도, 사용성에서 높게 평가하였다.

<표 2-72> 전문가별 평가 결과

LNG플랜트 EPC 단계별 위험기반의 의사결정지원시스템 전문가 평가 SHEET

1. 평가자 이름 : 윤성민
2. 평가자 소속 : Construction Industry Institute
3. 평가자 경력 : ① 5~10년 ② 11~15년 ③ 16~20년 ④ 20년 이상
4. 평가 : 붙임 1, 2의 시스템 설명 및 동영상을 보고 아래 9개 항목에 대해서 5점 척도로 점수를 평가. 평가 점수와 관련한 의견은 점수 옆 의견란에 기재.

평가 항목	5점 척도					점수	의견
	1	2	3	4	5		
(1) 스테이지 게이트 모델의 적정성	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 전혀 맞지 않으며 새로운 모델을 수립해야 한다.	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 맞지 않으며 아주 큰 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하나 일부 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하나, 최소한의 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 매우 적정하며 보완할 필요는 없다	5	EPC 단계별 스테이지 게일트 모델이 구체적으로 세부화되어 있어서 리스크를 체계적이고 순차적으로 평가하여 의사결정에 충분이 반영할 수 있을 것으로 판단됨
(2) 시스템 필요성	프로젝트를 수행하는데 있어서 도움이 되지 않으므로 매우 불필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 미미한 도움은 되나 불필요 하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 약간의 도움은 될 것 같다.	프로젝트를 수행하는데 있어서 많은 도움이 되며, 필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 큰 도움이되며 매우 필요하다	5	프로젝트 수행에 있어서 각 단계별 세부 요소들의 세부실행사항에 대해 핵심관리항목과 그에 대한 관리전략을 제공하고 있는 기존 시스템의 부재로 인해 기존 경험에 의하거나 부족한 정보에 근거한 의사결정을 할 수 있는 시스템의 수요가 있어 왔음
(3) 시스템 완성도	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 보통이다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 높다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 높다	4	시스템의 완성도는 상당히 높으나 사용자가 효율적으로 시스템을 사용하기 위해서는 각 모듈마다 필요한 정보를 즉각적으로 참고할 수 있도록 용어의 정의, 각 모듈의 설명매뉴얼을 하이퍼링크를 통해 연동시킬 필요성이 있어 보임.

평가 항목	5점 척도					점수	의견
	1	2	3	4	5		
(4) 시스템 사용성	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 다소 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 보통수준이다.	프로젝트에 당장 사용하기에는 단순하고 쉽다	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 단순하고 쉽다	3	시스템의 완성도에 비해서 시스템 내용의 설명에 있어 전문적인 용어나 영어단어와 알파벳 약어가 너무 많아 사용자들에 대한 충분한 교육이 이루어지지 않으면 현장에서 당장 사용하는 것이 쉽지 않을 것으로 판단됨.
(5) 대체 기술	유사한 애플적을 제시하는 많은 대체 기술이 존재한다.	몇 가지의 대체 기술이 존재하여 명일한 애플적을 제시한다.	대체 기술이 존재하지만, 사업부는 이 기술을 채용할 것이다.	몇 가지 대체 기술이 존재하지만, 핵심기술은 대체 기술이 없다.	이 분야에 있어서는 오늘날 대체 기술이 존재하지 않는다.	5	EPC 단계별 세부실시항목에 대한 리스크요인을 규명하고 관리전략을 제시하며 이를 정량화하고 있는 대체기술이 존재하기 쉽지 않음.
(6) 기술의 복잡성	기술 적용이 쉽고 외피설계도 쉽다	대부분의 기술이 쉽고 외피하기도 쉽다		기술이 어느 정도는 외피하기 어려울 정도로 복잡하다	기술이 복잡하여 외피설계가 어렵다	4	리스크요인을 정량화하여 각 부분별 지수와 프로젝트 전체의 통합지수를 도출하는 알고리즘이 특록하여 외피설계가 어려울 것으로 판단됨.
(7) 차별화	이 기술은 시장에서의 위치에 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서의 위치에 약간 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격을 받도록 보장하지는 못할 것이다.	이 기술은 약간 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.	4	
(8) 전략적 지원	해당 기술이 기술적 리더쉽을 제공하지 못한다.	해당 기술이 기술적 리더쉽을 상당시키지는 못 할 것이다.		해당 기술이 리더쉽 향상에 도움을 준다.	해당 기술이 리더쉽을 제공해 줄 것이다.	5	
(9) 지역적 적용성	세계 시장에서의 판매가 보장되어 있지 않다.	특정 지역에서는 판매가 보장되어 있지 않다.		특정 지역에서는 경쟁을 차단할 수 있다.	유일한 소스로서, 세계시장에서 경쟁을 차단할 수 있다.	4	
(10) 기술가치의 소멸 가능성	이 기술은 2년 이내에 쓸모없게 될 것이다.	이 기술은 2~5년 내에 쓸모없게 될 것이다.	계속되는 기술지원으로 기술의 수명주기는 이슈가 아니다.	이 기술의 수명은 5~10년으로 추정된다.	이 기술의 수명은 10년 이상으로 추정된다.	3	

5. 기타의견 : 본 시스템 개발과 관련하여 수정, 보완 및 개선할 점 등에 관한 의견이 있을 경우

1. 시스템 사용자에 따른 정보접근의 제한을 위한 사용자 계층화 필요

본 시스템이 LNG 플랜트사업단의 구성원들이 모두 사용하는 시스템이라고 한다면 시스템 사용자에 따라서 공유할 정보와 제한할 정보의 범위구분이 불명확하여 이에 대한 보완이 필요할 것으로 판단됨. 특히 평가항목과 리스크항목에 있어서 제한적인 접근이 이루어질 수 있도록 시스템 로그인시 사용자를 계층화하여 각기 다른 수준의 시스템 사용이 가능할 수 있도록 보완할 필요가 있을 것으로 판단됨.

2. 사용자 편의성 증대를 위한 제언

1) 각 관리 항목에 대한 설명에 있어서 영어를 사용해야 하는 고유명사가 아닌 이상 되도록 한글로 작성하도록 하고 필요한 경우, 영어를 괄호 안에 병기할 필요가 있음.

2) 영어 약어 (예: P, I, C, 대응방안 T, 리스크등급 C 등)의 많이 사용되고 있어 사용자가 시스템 사용에 있어 충분한 이해가 힘들 것으로 판단됨. 특히, 대응방안과 리스크 등급 등을 영어 알파벳으로 사용함으로써 그 의미를 이해하기 어렵기 때문에 이를 위해서 별로의 하이퍼링크를 이용하여 해당 대응방안과 리스크등급을 부연 설명할 수 있는 기능을 추가해야 할 것으로 판단됨. 또한, 각 PIC의 점수들이 어느 정도인지를 참고할 수 있는 설명이 없어 이해가 쉽지 않음

3) 정량화한 사업관리지수와 리스크지수를 통한 의사결정유형을 제시하고 있으나 개별지수 값들이 어느 정도수준인지를 판단할 수 있도록 개별지수들에 대해서도 그래프 등을 이용해 시각화하여 제시하면 사용자의 이해수준으로 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨.

4) 사업의 진행 및 시간 추이에 따른 사업관리와 리스크 평가결과의 변화를 사후에 추적할 수 있는 기능과 리스크 항목의 추가, 삭제 및 수준의 변경 등과 같은 시스템 내용의 갱신을 추적할 수 있는 로그기록 기능들이 추가되면 향후 유사사업의 수행시 참고할 수 있는 자료를 생산할 수 있을 것으로 판단됨.

붙임 1. 시스템 설명자료 1부

2. 시스템 시연 동영상

< 감 사 합 니 다>

LNG플랜트 EPC 단계별 위험기반의 의사결정지원시스템 전문가 평가 SHEET

1. 평가자 이름 : 김보영
2. 평가자 소속 : KOGAS America
3. 평가자 경력 : ① 5~10년 ② 11~15년 ③ 16~20년 ④ 20년 이상
4. 평가 : 붙임 1, 2의 시스템 설명 및 동영상을 보고 아래 9개 항목에 대해서 5점 척도로 점수를 평가, 평가 점수와 관련한 의견은 점수 옆 의견란에 기재.

평가 항목	5점 척도					점수	의견
	1	2	3	4	5		
(1) 스테이지 게이트 모델의 적정성	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 전혀 맞지 않으며 새로운 모델을 수립해야 한다.	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 맞지 않으며 아주 큰 보완이 필요하다.	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하나 일부 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하나, 최소한의 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 매우 적정하며 보완할 필요는 없다	3	
(2) 시스템 필요성	프로젝트를 수행하는데 있어서 도움이 되지 않으므로 매우 불필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 미미한 도움은 되나 불필요 하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 약간의 도움은 될 것 같다.	프로젝트를 수행하는데 많은 도움이 되며, 필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 큰 도움이되며 매우 필요하다	3	
(3) 시스템 완성도	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 보통이다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 높다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 높다	3	
(4) 시스템 사용성	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 다소 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 보통수준이다.	프로젝트에 당장 사용하기에는 단순하고 쉽다	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 단순하고 쉽다	3	
(5) 대체 기술	유사한 해결책을 제시하는 많은 대체 기술이 존재한다.	몇 가지의 대체 기술이 존재하여 통일한 해결책을 제시한다.	대체 기술이 존재하지만, 사업부는 이 기술을 채용할 것이다.	몇 가지 대체 기술이 존재하지만, 핵심기술은 대체 기술이 없다.	이 분야에 있어서는 오늘날 대체 기술이 존재하지 않는다.	3	
(6) 기술의 복잡성	기술 적용이 쉽고 회피설계도 쉽다	대부분의 기술이 쉽고 회피하기도 쉽다		기술이 어느 정도는 회피하기 어려울 정도로 복잡하다	기술이 복잡하여 회피설계가 어렵다	3	
(7) 차별화	이 기술은 시장에서의 위치에 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서의 위치에 약간 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격을 받도록 보장하지는 못할 것이다.	이 기술은 약간 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.	3	
(8) 전략적 지위	해당 기술이 기술적 리더쉽을 제공하지 못한다.	해당 기술이 기술적 리더쉽을 향상시키지는 못 할 것이다.		해당 기술이 리더쉽 향상에 도움을 준다.	해당 기술이 리더쉽을 제공해 줄 것이다.	4	
(9) 지역적 적용성	세계 시장에서의 판매가 보장되어 있지 않다.	특정 지역에서는 판매가 보장되어 있지 않다.		특정 지역에서는 경쟁을 차단할 수 있다.	유일한 소스로서, 세계시장에서 경쟁을 차단할 수 있다.		질의 내용을 잘 파악하지 못하겠음
(10) 기술가치의 소멸 가능성	이 기술은 2년 이내에 쓸모없게 될 것이다.	이 기술은 2~5년 내에 쓸모없게 될 것이다.	계속되는 기술지원으로, 기술의 수명주기는 이슈가 아니다.	이 기술의 수명은 5~10년으로 추정된다.	이 기술의 수명은 10년 이상으로 추정된다.	3	

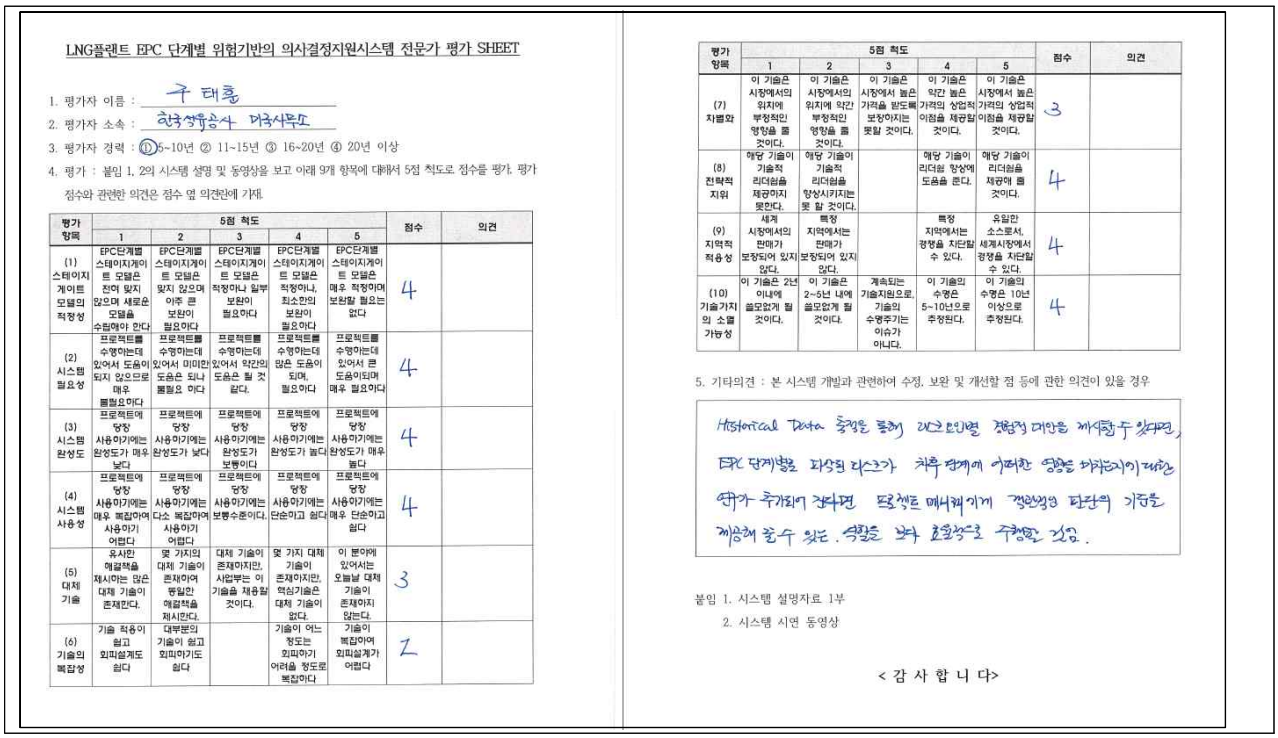
5. 기타의견 : 본 시스템 개발과 관련하여 수정, 보완 및 개선할 점 등에 관한 의견이 있을 경우

기술 부문에 대해서는 전반적으로 평균에 해당하는 3점을 부여 하였으며, (9)은 질의 내용을 정확히 파악하지 못한 관계로 점수를 부여 하지 않았음

붙임 1. 시스템 설명자료 1부

2. 시스템 시연 동영상

< 감 사 합 니 다>



LNG플랜트 EPC 단계별 위험기반의 의사결정지원시스템 전문가 평가 SHEET

1. 평가자 이름 : 구 태홍
2. 평가자 소속 : 한국생산기술연구원 미래사목모
3. 평가자 경력 : ①5~10년 ② 11~15년 ③ 16~20년 ④ 20년 이상
4. 평가 : 붙임 1, 2의 시스템 설명 및 동영상을 보고 아래 9개 항목에 대해서 5점 척도로 점수를 평가. 평가 점수와 관련한 의견은 점수 옆 의견란에 기재.

평가 항목	5점 척도					점수	의견
	1	2	3	4	5		
(1) 스테이지 게이트 모델의 적정성	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 전혀 맞지 않으며 새로운 모델을 수립해야 한다.	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 맞지 않으며 아주 큰 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하나 일부 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 적정하며, 최소한의 보완이 필요하다	EPC단계별 스테이지게이트 모델은 매우 적정하며 보완할 필요는 없다	4	
(2) 시스템 필요성	프로젝트를 수행하는데 있어서 도움이 되지 않으므로 매우 불필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 미미한 도움은 되나 불필요 하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 약간의 도움은 될 것 같다.	프로젝트를 수행하는데 많은 도움이 되며, 필요하다	프로젝트를 수행하는데 있어서 큰 도움이되며 매우 필요하다	4	
(3) 시스템 완성도	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 낮다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 보통이다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 높다	프로젝트에 당장 사용하기에는 완성도가 매우 높다	4	
(4) 시스템 사용성	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 다소 복잡하여 사용하기 어렵다	프로젝트에 당장 사용하기에는 보통수준이다.	프로젝트에 당장 사용하기에는 단순하고 쉽다	프로젝트에 당장 사용하기에는 매우 단순하고 쉽다	4	
(5) 대체 기술	유사한 해결책을 제시하는 많은 대체 기술이 존재한다.	몇 가지의 대체 기술이 존재하여 뚜렷한 해결책을 제시한다.	대체 기술이 존재하지만, 사업부는 이 기술을 채용할 것이다.	몇 가지 대체 기술이 존재하지만, 적신기술은 대체 기술이 없다.	이 분야에 있어서는 오늘날 대체 기술이 존재하지 않는다.	3	
(6) 기술의 복잡성	기술 적용이 쉽고 외피설계도 쉽다	대부분의 기술이 쉽고 외피하기도 쉽다		기술이 어느 정도는 외피하기 어려울 정도로 복잡하다	기술이 복잡하여 외피설계가 어렵다	2	

평가 항목	5점 척도					점수	의견
	1	2	3	4	5		
(7) 차별화	이 기술은 시장에서의 위치에 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서의 위치에 약간 부정적인 영향을 줄 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격을 받도록 보장하지는 못할 것이다.	이 기술은 약간 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.	이 기술은 시장에서 높은 가격의 상업적 이점을 제공할 것이다.	3	
(8) 전략적 지위	해당 기술이 기술적 리더쉽을 제공하지 못한다.	해당 기술이 기술적 리더쉽을 향상시키지는 못 할 것이다.		해당 기술이 리더쉽 향상에 도움을 준다.	해당 기술이 리더쉽을 제공해 줄 것이다.	4	
(9) 지역적 적용성	세계 시장에서의 판매가 보장되어 있지 않다.	특정 지역에서는 판매가 보장되어 있지 않다.		특정 지역에서는 경쟁을 지탱할 수 있다.	유일한 소스로서, 세계시장에서 경쟁을 지탱할 수 있다.	4	
(10) 기술가치의 소멸 가능성	이 기술은 2년 이내에 쓸모없게 될 것이다.	이 기술은 2~5년 내에 쓸모없게 될 것이다.	계속되는 기술지원으로 기술의 수명주기는 이슈가 아니다.	이 기술의 수명은 5~10년으로 추정된다.	이 기술의 수명은 10년 이상으로 추정된다.	4	

5. 기타의견 : 본 시스템 개발과 관련하여 수정, 보완 및 개선할 점 등에 관한 의견이 있을 경우

Historical Data 축적을 통해 리스크별 정량적 대안을 제시할 수 있다면, EPC 단계별로 파악된 리스크가 최초 계획에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 추가되어 진다면 프로젝트 매니저에게 정량적인 판단의 기준을 제공해 줄수 있는 .성능은 보다 효율성으로 수행할 것임.

붙임 1. 시스템 설명자료 1부
2. 시스템 시연 동영상

< 감 사 합 니 다>

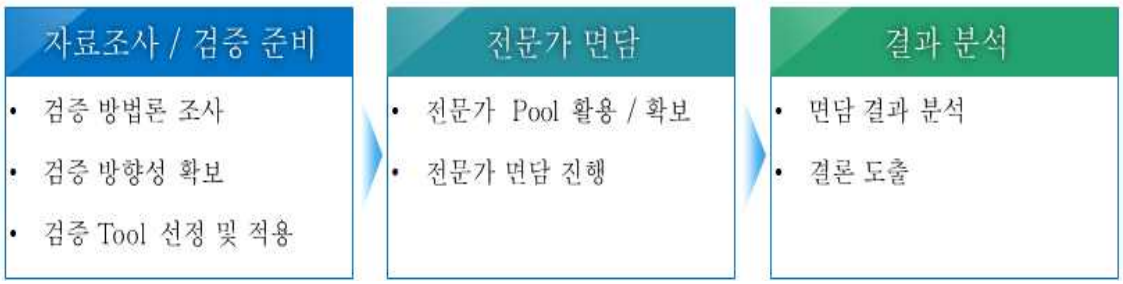
(3) 시스템 기술완성도 검증

본 연구의 최종성과물은 “LNG 플랜트 EPC단계별 위험기반의 의사결정지원 모듈 개발”이며 이는 1-4세부 전체 목표인 “LNG 플랜트 통합지식관리 시스템” 의 한 모듈로써 구성되어 있다. 또한 통합지식관리 시스템은 “LNG 플랜트 엔지니어링 생산성 10%” 향상을 목표로 개발되었으며, 목표 달성을 위해 아래 그림과 같은 프로세스로 시스템 검증을 진행하였다. 한편, 통합지식관리시스템에 대한 검증을 통하여 이를 구성하고 있는 의사결정지원모듈과 사업타당성평가모듈 등을 함께 검증하는 방법으로 진행하였다.

- 자료조사 / 검증 준비
- 전문가 면담
- 결과 분석



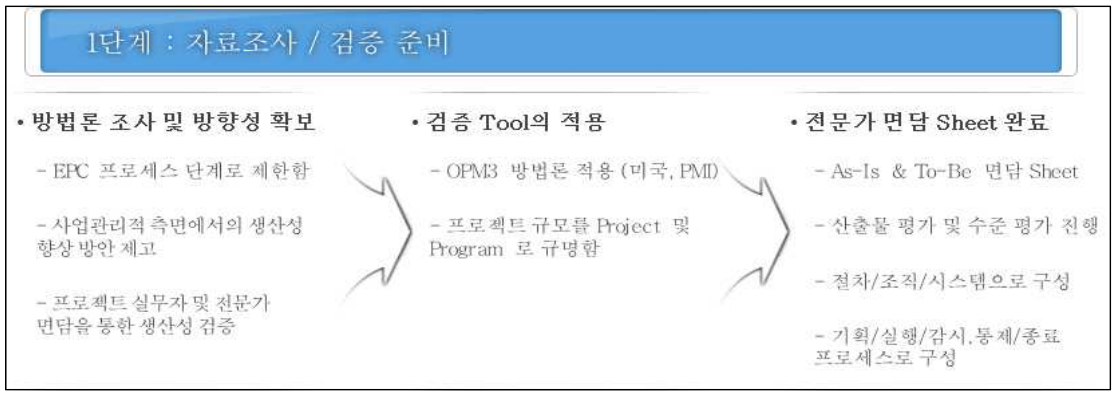
<그림 2-107> 1-4세부의 연구목표



<그림 2-108> 시스템 검증 프로세스

① 자료조사 / 검증 준비

프로젝트의 사업 및 지식관리의 생산성은 측정함에 있어 정성적인 분야로써, 플랜트 프로젝트의 설계 시간 단축, 공정의 정확도, 공기 단축, 압축기의 효율성 향상 등과 같이 특화된 요소를 추출하고, 이를 정량적으로 측정하는 방법과는 차이를 보인다. 따라서 본 시스템은 플랜트 프로젝트의 설계, 구매조달 및 시공단계를 포함한 공정상의 생산성 향상이 아닌, 각 프로세스 단계에서 행해지는 사업 및 지식관리 측면에서의 생산성 증대 방안에 초점을 맞추었다. 이 같은 관리적 측면을 대상으로 정성적인 영역을 정량적으로 평가하는 방법이 미국 PMI(Project Management Instisute)에서 착안하여 사용하는 OPM3(Organizational Project Managmene Maturity Model)가 대표적이다. 이를 활용하여 진행한 검증 프로세스의 1단계는 아래와 같다.



<그림 2-109> 검증 프로세스 세부 1단계

본 통합지식관리 시스템의 생산성 향상의 정도를 측정하기 위해 OPM3를 분석하였으며, 그중에서도 Self Assessment Questions을 통해 프로젝트 실무자 및 전문가 면담 Sheet를 작성하였다. OPM3에서는 프로젝트의 규모에 따라 관리 영역을 Portfolio, Projects, Programs 로 구분되어 있었다. Portfolio의 경우 컨소시엄을 이루는 대단위 프로젝트에 해당되는 규모이기 때문에, 본 시스템의 평가는 Portfolio를 제외하고, Projects 와 Programs 수준에서 진행하였으며, 분석 결과 이에 해당하는 문항을 위주로 추출 및 정리하였다. 그리고 Projects 와 Programs에서 Self Assessment Questions을 통해 산출물 평가와 수준 평가로 구분하여 진행하였다.

산출물 평가를 위한 항목은 OPM3에서 제시한 보유(Standardize), 적용(Measure), 수준(Control) 및 지속 개선(Continuously Improve) 에 맞추어 면담 Sheet를 작성하였으며, 평가 기준에 따라 5점 척도로 하고 그 세부 기준은 다음 표와 같다.

<표 2-73> 산출물 평가 기준표

구분	산출물 평가 기준				
	1점	2점	3점	4점	5점
보유 : 지침, 절차서 및 시스템의 보유 여부	미구축	-	일부 구축	-	구축
적용 : 관련 시스템의 적용 여부	미적용	부분적용 또는 임시적용	전체적으로 적용하고 있으나, 일관성 유지가 안 됨	모든 프로젝트에 적용	모든 프로젝트에 일관성을 유지하며 적용
수준 : 시스템 적용의 정도	사용에 부적절한 수준	다소 부적절 또는 개략적으로 사용하는 수준	적용은 가능하나, 용이하게 사용하기 곤란한 수준	적용 범위는 적정하나 개선이 필요한 수준	표든 프로젝트에 완벽하게 적용되는 수준
지속개선 : 현 시스템의 개선 필요성	전체적인 개선이 필요	개선할 부분이 많음	부분적 개선이 필요	지속적인 개선이 필요	개선 불필요

또한, 수준 평가는 위에서 제시한 산출물 평가 기준에 비추어볼 때 측정이 불가능한, 즉 평가가 불가능한 항목이나 향후 보완이 필요한 항목으로 판단되는 부분에 적용하였으며, 조직과 이행단계의 감시 및 통제, 종료가 이에 해당된다. 수준 평가로 진행되는 부분 또한 마찬가지로 5점 척도로 진행하며 세부 기준은 다음 표와 같다.

<표 2-74> 수준 평가 기준표

수준 평가 기준				
1점	2점	3점	4점	5점
매우 미흡산 상태 (매우 부족)	미흡한 상태 (부족)	일반 (보통)	일정 수준에 도달 (만족)	상당한 수준에 도달 (매우 만족)

전문가 면담 Sheet 의 프로세스 그룹은 통합지식관리 시스템의 전반적인 부분과 프로젝트 수행의 기획, 실행, 감시 및 통제, 종료로 세부적인 부분으로 구분하였다.

통합지식관리 시스템에 대한 평가로써 절차(지침/규정), 조직 및 전산시스템이 전반적인 평가 항목에 포함되며, 프로젝트 수행에는 프로세스 단계별로 동일하게 사업기획, 업무프로세스 절차, 리스크 의사결정으로 구분하였다.

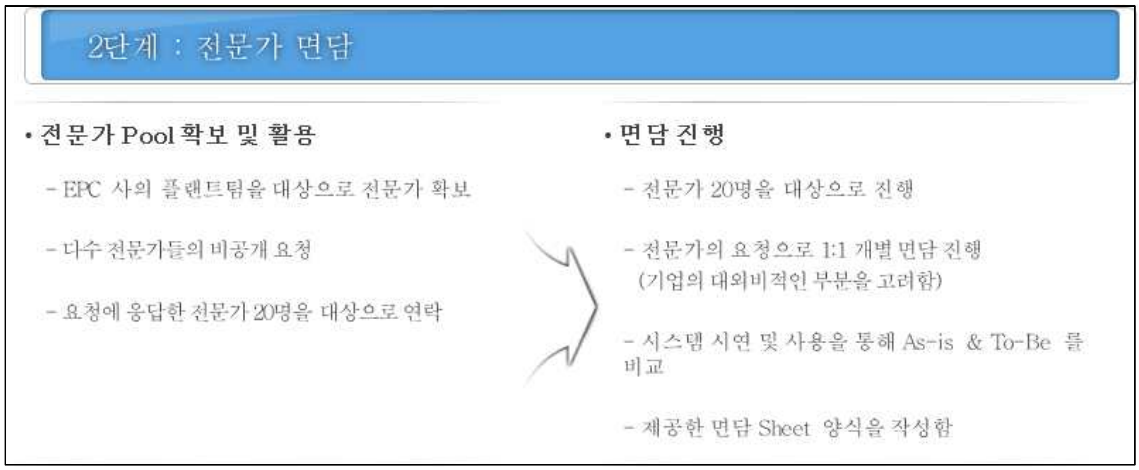
산출물 평가의 경우에는 보유, 적용, 수준 및 지속개선으로 나누어 평가를 하며, 평가 점수도 개별로 존재한다. 이를 산술평균에 적용하고, 각 소계의 점수를 환산하여 평가별 항목 평균을 산출한다. 이러한 산출물 평가 및 수준 평가 기준을 적용한 전문가 면담 Sheet는 아래 표와 같으며, 현행 시스템을 대상으로 한 As-Is 와 본 과제의 성과물인 통합지식관리시스템을 적용한 To-Be 로 구분하였다.

<표 2-75> 시스템 검증을 위한 전문가 면담 Sheet

프로세스그룹		분석 항목	점검 항목 (Checklist)	산출물 평가					수준평가
				보유	적용	수준	지속 개선	소계	소계
LNG플랜트 통합지식관리시스템		절차 (지침/규정)	-사업기획 및 개발관련 절차 및 지침 / 규정 -사업발주 정보의 수집 및 관리 체계 -사업개발 대상 사업의 타당성 평가 기준 및 방법 -수주대상 사업 선정을 위한 기준 -사업비 예측 방법						
		조 직	-사업기획, 설계, 구매조달, 시공, 시운전 업무 수행을 위한 전담조직						
			-사업개발 또는 Proposal 작성을 위한 전담조직 -사업관리(리스크 관리 등)을 위한 전담조직						
		전산시스템	-사업 기획관리 전산 시스템 -EPCC 업무관리 전산 시스템 -리스크 및 의사결정관리 전산 시스템						
이행	기획 (Planning)	사업기획	-사업개발 정보 수집 및 분석 -타당성 평가 및 사업비 예측						
			-사업정보의 정량화 분석 및 결과 도출						
		업무프로세스	-사업추진 EPCC 프로세스 및 절차						
			-사업관리 프로세스 및 절차						
		리스크 의사결정	-리스크 평가 및 분석						
			-의사결정 평가 및 분석						
	실행 (Execution)	사업기획	-사업개발 정보 수집 및 분석 -타당성 평가 및 사업비 예측						
			-사업정보의 정량화 분석 및 결과 도출						
		업무프로세스	-사업추진 EPCC 프로세스 및 절차						
			-사업관리 프로세스 및 절차						
		리스크 의사결정	-리스크 평가 및 분석						
			-의사결정 평가 및 분석						
	감시 및 통제 (Monitoring/ Control)	사업기획	-사업개발 정보 수집 및 분석 -타당성 평가 및 사업비 예측						
			-사업정보의 정량화 분석 및 결과 도출						
		업무프로세스	-사업추진 EPCC 프로세스 및 절차						
			-사업관리 프로세스 및 절차						
		리스크 의사결정	-리스크 평가 및 분석						
			-의사결정 평가 및 분석						
	종료 (Closing)	사업기획	-사업기획 단계 조직, 프로세스, 시스템						
		업무프로세스	-EPCC 수행 단계 조직, 프로세스, 시스템						
		리스크 의사결정	-사업관리 단계 조직, 프로세스, 시스템						

② 전문가 면담

검증 프로세스의 2단계로 현업에서 프로젝트를 진행 및 관리하고 있는 각 분야의 실무 담당자 및 전문가를 면담하였다. 개발 시스템에 있어 검증의 신뢰성을 확보하고, 생산성 향상의 밑바탕이 되는 부분이다. 한편, EPC 사의 실무자 및 전문가를 확보는 과정에서 플랜트 산업의 특성상 정보가 곧 그 분야의 경쟁력임을 감안하면 현실적으로 공개적인 자료의 조사나 취득이 매우 어려운 것이 현실이었다. 자료의 접근 또한 대외비 수준의 보안을 요구하는 사항인 만큼 EPC 사의 전문가가 한자리에 모여 시연과 동시에 면담을 진행할 수 없었다. 따라서 실무 담당자 및 전문가의 동의를 얻어 요청에 응답한 전문가 20명을 대상으로 인터뷰를 진행하였다.

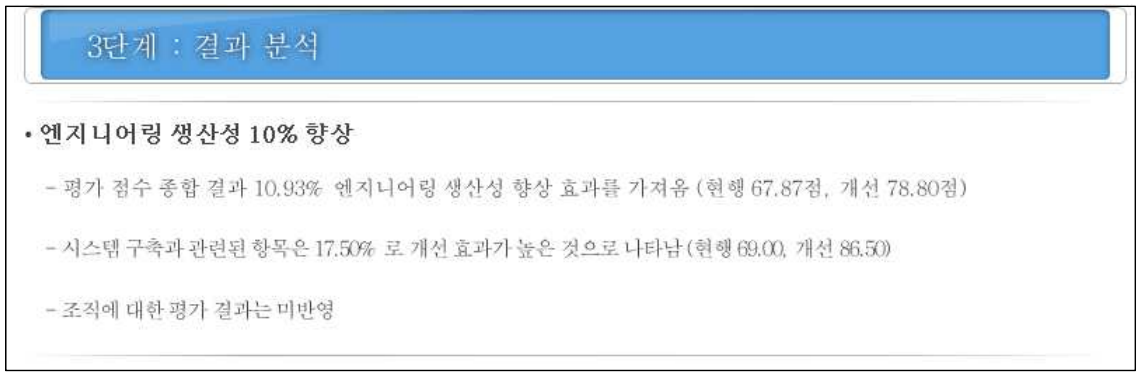


<그림 2-110> 검증 프로세스 세부 2단계

시스템의 기능 설명 및 시스템의 시연 후 앞서 제시한 “시스템 검증을 위한 전문가 Sheet”을 As-Is 및 To-Be 로 나누어 동일한 항목으로 평가를 진행하였다.

③ 결과 분석

면담을 진행한 각 EPC 사의 프로젝트 실무자 및 전문가 20명의 인터뷰 내용을 토대로 본 최종성과물인 통합지식관리시스템의 사용시 효율성의 정도를 측정하고 결과를 분석하였다. 본 면담의 Sheet 항목은 프로젝트를 효율적으로 관리하는 척도가 되는 항목이며, 이는 곧 프로젝트의 생산성 향상에 직접적으로 영향을 주는 부분이라고 할 수 있다.



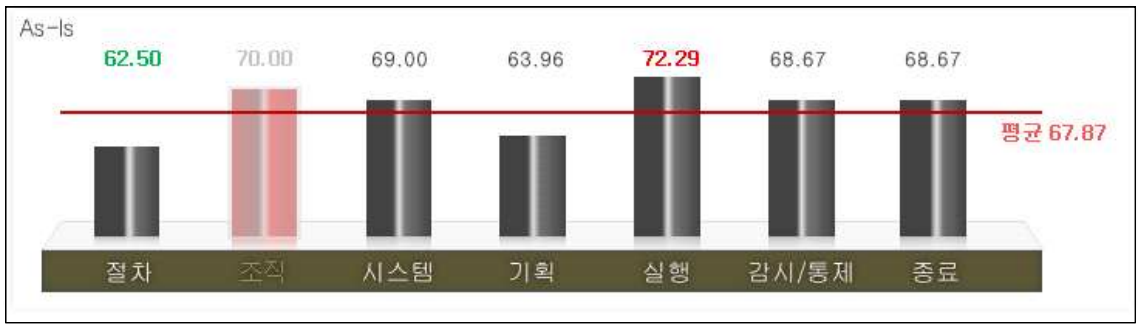
<그림 2-111> 검증 프로세스 세부 3단계

기존에 사용하던 프로젝트 관리 방식 대비 본 시스템 사용의 효율성을 비교 분석한 결과는 다음과 같다. 아래의 표와 같이, 기존의 방식대로 프로젝트를 관리할 경우 67.87점인 반면, 본 시스템으로 관리했을 경우 78.80점을 확보한 것을 알 수 있다. 따라서 각 분야별 평가 점수를 종합해 보면 10.93% 향상된 것으로 확인하였다.

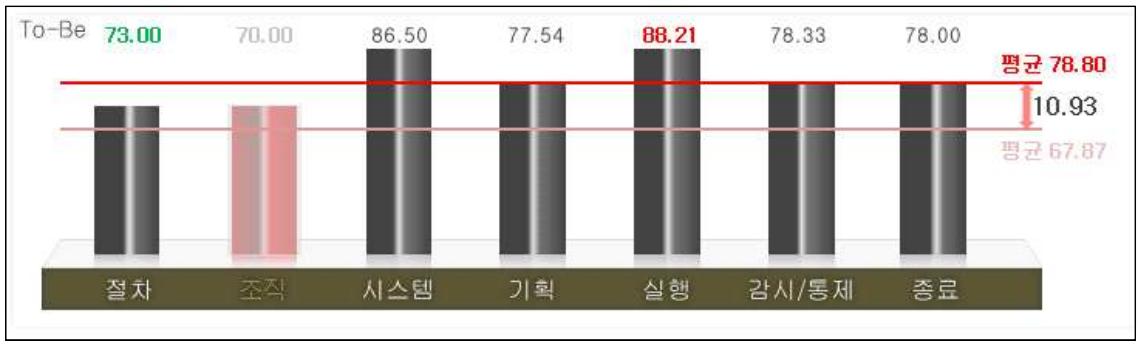
<표 2-76> 평가 점수 종합 결과

구분	프로세스 경영(BPM)			이행				분야 종합
	절차	조직	전산시스템	기획	실행	감시/통제	종료	
As-Is	62.50	70.00	69.00	63.96	72.29	68.67	68.67	67.87
To-Be	73.00	70.00	86.50	77.54	88.21	78.33	78.00	78.80

조직영역은 평가에서 제외시킨 항목으로 “LNG 플랜트 통합지식관리시스템”은 인력 및 조직의 변화를 꾀하기에는 불가능한 요소가 많음으로, 본 평가는 절차/프로세스 및 시스템/정보로 범위를 한정하여 점수를 고정하고 평가에 반영하지는 않았다.



<그림 2-112> 프로젝트 관리 평가 점수 (As-Is)



<그림 2-113> 프로젝트 관리 평가 점수 (To-Be)

총 7개 영역으로 구분하여 진행된 결과를 분석해 보면, As-Is 의 전산시스템 영역이 69점으로 평균 점수 이상이며, 평가한 7개 영역 대비 평균 이상의 높은 점수를 받은 것을 알 수 있다. 실행 영역은 75.29로 가장 잘 관리되고 있는 영역으로 볼 수 있다. 이런 항목은 다른 항목에 비해 상대적으로 관리가 잘되고 있음을 의미한다.

To-Be를 비추어 볼 때 전산시스템 영역은 86.50 점으로 각 영역별 As-Is & To-Be 간 차이가 가장 높은 것을 알 수 있다. 또한 실행은 88.21점으로 가장 높은 점수를 부여받았다. 이는 기존에도 잘 관리되고 있으나, 본 시스템을 활용할 시 보다 효과적인 프로젝트 관리가 이루어 질수 있음으로 판단할 수 있다.

반면 가장 낮은 점수는 As-Is, To-Be 모두 절차 영역에서 나타났다. 이는 프로젝트 진행시 필요한 지침, 규정, 관리체계 등이 포함되며, 보유, 적용, 수준 및 지속개선 모두 낮은 점수를 받아 평균 또한 최하위점을 보유하였다. 본 시스템에서 절차서를 4회에 걸쳐 전문가 피드백을 받으며 개정하였으나, 아직까지도 부족한 부분이 있음을 의미하며, 향후에도 지속적인 보완이 필요할 것으로 판단된다

다. 주요결과 및 시사점

본 연구를 통하여 구축된 EPC단계를 포함한 통합의사결정지원모듈에 대한 현장적용성 평가는 크게 시스템검증과 이용자평가 측면에서 실시하였다. 시스템 검증은 S/W 전문가에 의한 시스템 평가를 실시하였고, 이용자 평가는 LNG플랜트를 포함한 관련분야 실무전문가에 의한 현장적용성 평가 체크리스트를 통하여 실시하였다. 특히, 시스템 검증의 경우 다양한 평가방법론과 검증에 관하여 사전 기초조사를 실시하여 그 결과물을 정리하였다.

우선, 시스템 평가와 관련하여 단위테스트 및 통합테스트를 실시하였으며, 그 결과 전반적으로 테스트 대상 소프트웨어의 기능 및 성능이 양호하여 기업에서 도입하여 사용하는데 큰 문제가 없는 것으로 검증되었다.

또한, 현장적용성 평가 체크리스크를 통한 평가결과는 다양한 개선점과 보완점을 도출할 수 있었으며, 특히 5점 척도로 진행된 평가결과 전반적으로 4~5점대의 긍정적인 평가를 하였으며, 특히 시스템의 필요성과 완성도, 사용성에서 높게 평가하였다.

향후, 상기에서 도출된 개선점 및 보완점 등을 반영하여, 보다 안정적이고 현장적용성이 높은 시스템이 될 수 있도록 수정, 보완할 예정이다.

9. 통합 의사결정지원 모듈의 상용화검토

가. 개요

본 연구에서는 통합 의사결정지원모듈의 상용활 검토를 위하여 다음과 같은 업무를 수행하였다.

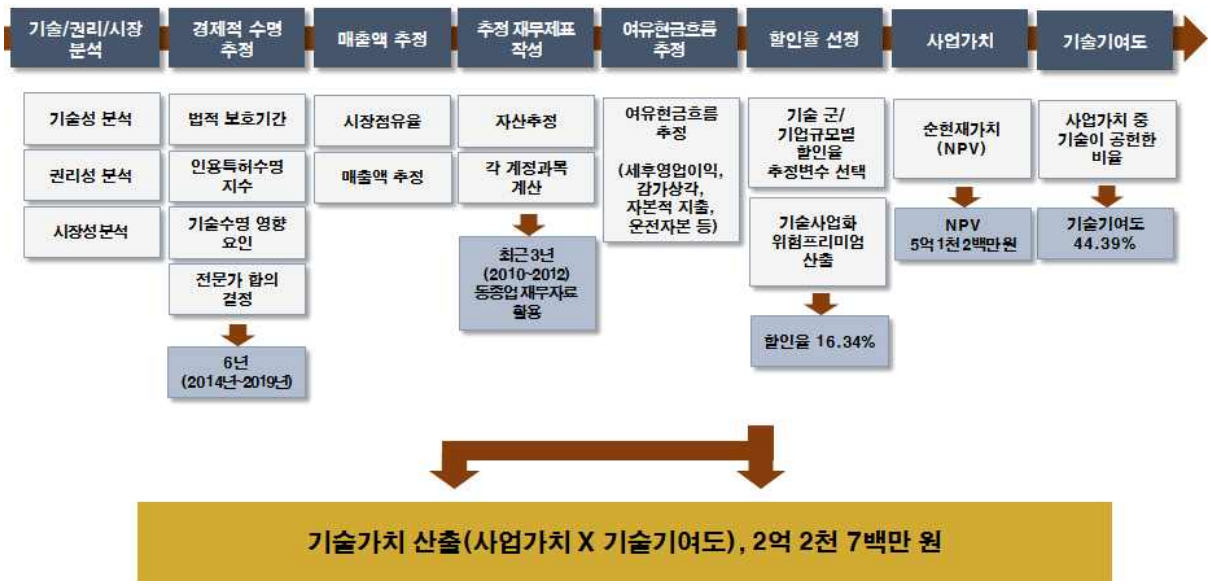
○의사결정지원모듈의 상용화 검토
- 기술가치평가 실시
- 상용화 전략 수립

나. 수행내용 및 결과

(1) 기술가치 평가 실시

본 연구에서는 LNG 플랜트 EPC 단계 통합의사결정지원 시스템의 성공적 개발과 6차년도 목표인 상용화 검토를 위하여, 관련분야 전문기관에 의뢰하여 기술가치평가를 실시하였다.

기술가치평가 실시 절차 및 주요 결과는 다음과 같다.



<그림 2-114> 수익접근법에 의한 LNG 플랜트 EPC 단계 통합의사결정지원 시스템 기술가치평가 절차

(가) 평가가정

본 평가에서는 기술의 가치를 금액으로 환산하기 위하여 수익접근법을 적용하였

으며, 다음과 같은 가정을 통하여 가치평가가 이루어졌다.

- 사업주체 : 평가대상기술의 사업주체는 국내 응용소프트웨어 개발 또는 공급업체를 대상으로 하여 평가를 진행하였다.
- 기술의 경제적 수명 : 평가대상기술의 경제적 수명은 산업통상자원부 기술가치평가 실무가이드(2011.12) “기술수명 영향요인에 의한 경제적 수명 정량화 모델Ⅱ”에 의해 6년을 적용하였다.
- 여유현금흐름 추정 : 평가대상기술의 사업화 주체가 없어 현금흐름 요소의 일부 또는 모두를 추정하기 어려우므로, 동종 업계의 표준재무정보를 활용하여 현금흐름을 추정하였다.
- 할인율 : 평가대상기술에 적용되는 할인율은 자기자본비용과 타인자본비용을 가중 평균한 가중평균자본비용(WACC)으로, 본 평가에서는 “업종별 할인율 산출표”와 “기술 사업화 평점과 위험프리미엄”을 참조하여 16.34%를 적용하였다.

(나) 주요변수 산정내역

① 기술가치평가 산식

기술가치평가 기본모형은 다음과 같은 수익접근법 기반의 산식을 이용하며, 특정한 기술의 가치는 기술의 경제적 수명기간 동안 미래의 여유현금흐름을 추정하여 얻어진다. 여기서, t는 년 수, n은 기술의 경제적 수명, FCF는 여유현금흐름, r은 할인율을 의미한다.

$$\text{기술의 가치} = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} \times \text{기술기여도}$$

② 기술의 경제적 수명

기술의 경제적 수명은 어떤 기술자산을 이용함으로써 이익이 산출되는 기간을 뜻하는 것으로 기술 자산을 이용함으로써 더 이상 이익이 발생하지 않게 되는 시점, 또는 다른 기술자산을 이용함으로써 보다 큰 이익을 산출할 수 있게 되는 시점을 의미하기도 하며, 사용 가능 횟수와는 다른 개념이다.

기술가치평가에서 기술수명을 고려할 경우에는 관련 기술이 이용되는 시장의 존재와 시장의 성장에 따른 기술의 지속적인 필요성을 전제하여 기술수명을 추정하게 되며, 기술의 진입 장벽, 특허권의 존속기간, 대체기술의 출현 가능성, 경쟁업체의 유사 내지 개선기술 개발동향, 제품의 수명주기 및 수요시장의 특성 등을 종합적으로 고려하여 산정한다.

산업통상자원부는 국가 차원의 신뢰성 있는 기술가치평가 표준모형을 개발하기 위하여 기술보증기금을 사업주관기관으로 선정하여 “기술이전·사업화기반구축사업

(과제명 : 기술평가기법 개발 및 보급)"을 수행하였으며, 동 사업에서 제시한 기술의 경제적 수명 추정방법은 인용특허수명(CLT) 지수[10] 통계를 활용하되, ① 기술수명 영향요인에 의한 경제적 수명 정량화 모델 I과 ② 기술수명 영향요인에 의한 경제적 수명 정량화 모델 II의 2가지 모델을 제시하고 있다.[11] 본 연구에서는 '② 기술수명 영향요인에 의한 경제적 수명 정량화 모델 II'를 적용하였으며, 모델의 주요 내용은 다음과 같다.

기술의 경제적 수명 정량화 모델 II는 CLT 지수를 기반으로 보간법과 경제적 수명 영향요인에 대한 획득 값을 이용하여 기술의 경제적 수명을 추정하는 방법이다. 개별기술의 경제적 수명 기본 값은 CLT 지수의 Q2를 중심으로 기술수명 영향요인 점수 결과에 따라 아래로 Q1, 위로 Q3 또는 20년(특허권의 권리보호기간)까지 선형적 증가 모형을 적용한다. 기술수명 영향요인은 AHP 분석결과를 반영하여 주요 요인(기술요인, 시장요인) 10개에 대해 가중치를 고려한 최종 Scoring Model을 이용하였다.

<표 2-77> 기술의 경제적 수명 정량화 모델 II

개별기술의 경제적 수명(ELT: Economic Life Time) = f(CLT 지수, 기술요인, 시장요인) = Q2 + (Q3 − Q2)[(획득값 − 기준값)/(최대값 − 기준값)], if 획득값≧기준값 (또는) = Q1 + (Q2 − Q1)[(획득값 − 최소값)/(기준값 − 최소값)], if 획득값<기준값
● 소수점은 반올림 처리 ● 최대값 : 100%, 최소값 : 20%, 기준값 : 60%를 초기값으로 설정 ● 획득값 : 백분율로 환산
수익추정기간(특허기술의 경우) (i) 수익추정기간 = 특허권의 잔존 권리기간 if 개별기술의 경제적 수명 > 특허권의 잔존 권리기간 (ii) 수익추정기간 = 개별기술의 경제적 수명 if 개별기술의 경제적 수명 < 특허권의 잔존 권리기간

10) 동 지수를 활용한 기술수명은 인용특허를 추출하여 인용된 특허가 등록되어 공표된 날짜를 기준으로 연차별 인용 빈도수를 측정하며, 인용기간을 인용특허의 수명으로 정의함. 즉, 기술수명이 길수록 인용기간이 긴 인용특허가 많고, 기술수명이 짧을수록 인용기간이 짧은 특허가 많다는 전제하에서 추정하는 방법.

11) "기술가치평가 실무가이드", 산업통상자원부(기술보증기금), 2011. 12.

<표 2-78> 기술수명영향요인

구분	영향요인	내용	가중치	평가
기술요인	대체기술 출현 가능성	대상기술을 대체하는 기술이 출현할 가능성이 낮은 정도	5	5점 척도(매우낮음 1~매우높음 5)
	기술적 우월성	대상기술이 핵심기술, 원천기술에 가까운 정도	7	
	유사 경쟁기술 존재(수)	유사 경쟁기술이 상대적으로 적은 정도	4	
	모방 난이도	기술수준의 고도성 또는 복잡성으로 인해 모방이 어려운 정도	3	
	권리강도	기술의 권리범위 및 영향력의 정도	3	
시장요인	시장집중도(주도기업 존재)	대상기술 실시하는 기업이 시장을 주도하는 기업 또는 몇 개의 기업에 집중되는 정도(참조:CR지수[12])	4	
	시장경쟁의 변화	시장에서의 경쟁 정도의 변화가 적어 안정적인 정도	4	
	시장경쟁강도	경쟁기업 또는 경쟁제품 수가 적어 시장경쟁이 치열하지 않은 정도	4	
	예상 시장점유율	시장에서의 점유율 또는 침투율이 높을 가능성	4	
	신제품 출현빈도	관련 시장(업종)에 있어서 신제품 출현이 적은 정도	3	
획득 값(점수) : (점수 합계)/205점 x 100				

본 평가에서는 지식경제부 기술가치평가 실무가이드(2011. 12) 중 “기술의 경제적 수명 정량화 모델 Ⅱ”를 적용하여 평가대상기술의 경제적 수명을 추정하였다. 평가대상기술은 2014년부터 매출이 발생할 것으로 예상하며, 기술수명(CLT)에 별도로 상용화 기간을 추가 고려하였다.

- 산업재산권 법적 보호기간

특허권의 존속기간은 『특허법 제88조 1항』에 따르면, 특허출원일로부터 20년으로 규정하고 있다. 따라서 평가대상기술의 경제적 수명을 평가기준일인 2013년 11월 24일을 기준으로 특허권의 법적 보호기간을 적용하여 산출해 보면 아래 표와 같다.

12) 시장집중도 비율(Concentrate Ratio) : 특정산업 또는 시장에서 시장구조가 경쟁적인지 독점적인지를 알아보는 대표지표로, 특정산업 또는 시장에서 기업들의 시장집중도(시장지배율)를 측정하는 지표임. CR은 상위 기업들의 시장점유율 합계를 의미하며, CR1, CR2, CR3, CR4 등으로 표시하는데, 점유율 1위 기업의 시장점유율을 CR1이라 하고, 1위와 2위의 시장점유율을 합한 것을 CR2, 1~3위의 시장점유율을 합한 것을 CR3, 1~4위의 시장점유율을 합한 것을 CR4라고 함. 통상 상위 3개 기업의 시장점유율 집계를 통해 경쟁적 시장인지, 독과점 시장인지를 판별하는데, CR1이 50% 이상이면 독점(Monopoly), CR2가 75% 이상이면 복점(Duopoly), CR3가 75% 이상이면 과점(Oligopoly)으로 해석함. 한편, CR4가 40% 이상이면 경쟁적 시장, 90% 이상이면 독점적 시장으로 판단하기도 함.

<표 2-79> 법적보호기간 적용 경제적 수명

출원번호	기술의 명칭	출원일	존속기한	잔존기간 (경제적 수명)
2011-0115900	액화천연가스 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원시스템	2011.11.08	2031.11.08	18년
2013-0015439	LNG 플랜트의 구매조달시 의사결정지원 시스템	2013.02.13	2033.02.13	19년 4개월

※출처 : 평가기준일 2013.11.24

- 인용특허수명(CLT) 지수

평가대상기술과 유사한 국내특허 국내 인용특허수명지수(Cited-Patent Life Time)로 경제적 수명을 산출한 결과는 아래 표와 같다. 본 평가대상기술의 IPC 코드에 대응하는 USPC 코드는 “G06Q 50/06→CLASS 705 : Data processing : financial, business practice, management, or cost/price determination”로 조사되었고 평균값(7.2년), 중앙값(Q2)(5년), Q1(3년), Q3(9년)으로 나타났다.

<표 2-80> 인용특허수명지수

IPC	USPC	기술명	평균	Q1	중앙값 (Q2)	Q3
G06Q 50/06	705	Data processing : financial, business practice, management, or cost/price determination	7.2	3	5	9

※ 출처 : http://www.uspto.gov/web/patents/classification/international/ipc/ipc8/ipc_concordance/ipcsel.htm

- 기술수명 영향요인

아래 표는 기술수명 영향요인에 대한 평가지표에 따라 평가한 결과 영향요인 점수 획득 값은 65점이다.

<표 2-81> 기술수명 영향요인

구분	영향요인	가중치	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음	가중합
			1	2	3	4	5	
기술 요인	대체기술 출현 가능성	5			■			15
	기술적 우월성	7				■		28
	유사 경쟁기술 존재(수)	4					■	20
	모방 난이도	3			■			9
	권리강도	3			■			9
시장 요인	시장집중도(주도기업 존재)	4			■			8
	시장경쟁의 변화	4		■				8
	시장경쟁강도	4			■			12
	예상 시장점유율	4			■			12
	신제품 출현빈도	3			■			9
획득 값(점수)			(134)/205점 x 100 = 65점					134

- 경제적 수명 추정결과

기술의 경제적 수명 정량화 모델 Ⅱ는 CLT 분포의 대표 값으로 Q2를 고려하고, 최댓값으로 Q3을, 최솟값으로 Q1을 설정하고, 기술수명 영향요인의 평가결과가 기준 값 60% 이상이면 기술의 경제적 수명은 Q3과 Q2 사이에서 결정되고, 만약 기술수명 영향요인의 평가결과가 기준 값 60% 이하면 기술의 경제적 수명은 Q1과 Q2 사이에서 결정된다.

평가대상기술의 기술수명영향요인 평가결과는 65점으로 기준 값 이하로 Q1과 Q2를 적용하여 기술의 경제적 수명을 추정한 결과, 6년으로 산출되었으며, 평가대상기술이 속한 LNG 플랜트 사업관리시스템의 기술시장동향 추세와 경쟁기술 출현 가능성 등을 고려하여 전문가 합의를 거쳐 최종 기술의 경제적 유효수명 기간을 6년으로 결정하였다.

산출된 기술의 경제적 수명을 수익접근법에 적용하기 위해 현금흐름 추정기간을 산출하는 데는 대상기술의 사업화에 따른 초기 사업화 투자기간 즉, 매출이 이루어지기 전의 자본적 지출이 이루어지는 기간을 별도로 고려해야 한다. 평가대상기술은 2014년부터 본격적으로 양산할 계획인바 본 평가에서는 현금흐름 추정기간에 상용화 기간을 고려하여, 산출된 기술의 경제적 유효수명 6년('14~'19)을 현금흐름 추정기간으로 적용하였다.

<표 2-82> 평가대상기술의 경제적 수명 추정 결과

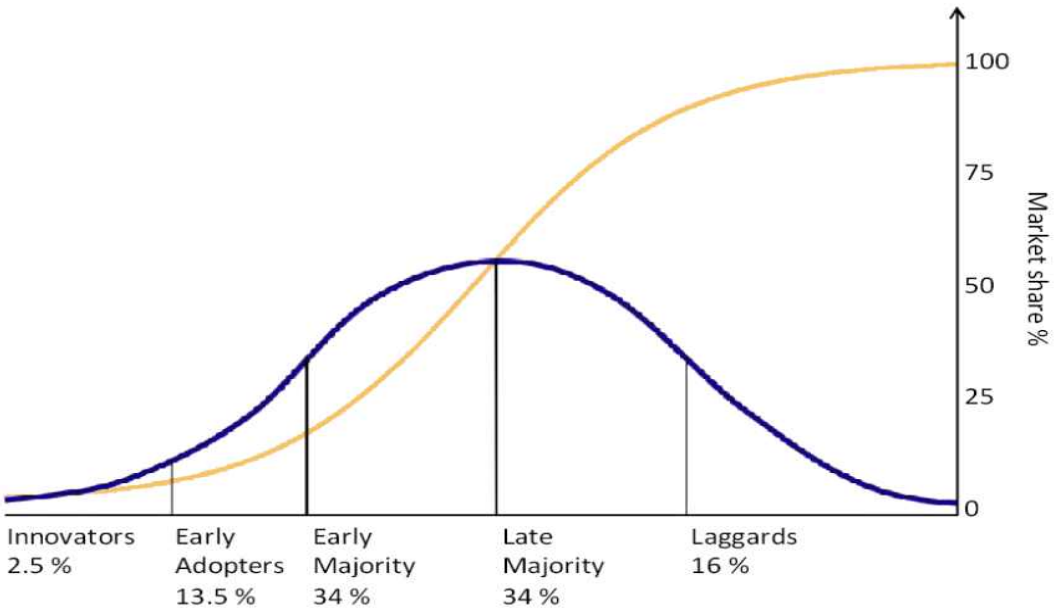
단계		추정 결과
1단계	인용특허수명지수 산출	CLT 705 : Q1(3년), Q2(5년)
2단계	기술수명영향요인 평가	영향요인 점수결과 획득 값 65, 기준 값은 60
3단계	기술의 경제적 수명 적용기간 결정	대상기술의 경제적 수명 = Q1 + (Q2 – Q1)[(획득값 – 최소값)/ (기준값 – 최소값)], if 획득값 ≧ 기준값 = 3+(5-3)x(65-60)/(100-60)=5.5(년)≒6(년)
4단계	기술의 경제적 유효수명 결정	기술의 경제적 수명 적용기간(5년)을 유효수명으로 적용 – 기술의 경제적 수명 적용기간(5년) 〈법적 잔존기간(20년)
		LNG 플랜트 사업관리시스템의 기술시장동향 추세와 경쟁기술의 출현 가능성 등을 고려, 전문가 합의를 거쳐 기술의 경제적 유효수명 기간을 6년으로 산출
5단계	현금흐름 추정기간 결정	6년, 2014년부터 상용화 가능

③ 매출액 추정

- 매출액 추정 근거

평가대상기술은 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템에 관한 기술로 LNG 플랜트 사업관리(CM/PM) 내 의사결정을 지원해주는 “LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템”을 목표시장으로 한다.

매출 추정은 기술수용수명주기(Technology Adoption life Cycle, TALC) 모형을 근거로 추정하였다. 즉 기술수용수명주기 모형에 따라 목표시장의 수요자는 수요층의 특성과 성격에 따라 혁신수용자(Innovator), 조기수용자(Early Adapter), 조기다수수용자(Early Majority), 후기다수수용자(Late Majority), 채용지체자(Laggards)의 5가지 그룹으로 구별되며, 해당기술을 이용한 제품의 수용이 각 그룹별로 아래 그림과 같이 Roggers′ Bell Curve 형태의 Adoption Cure를 따를 것이라고 가정하여 시장점유율을 추정하였다.



<그림 2-115> 신기술 채택 곡선(Adoption Curve)

※출처 : Roggers, Everett M(1995)

평가대상기술 제품의 기술수용주기는 2014년부터 기술이 수용되기 시작하여 1차년도(2014년)는 혁신수용자(Innovator), 2차년도(2015년)는 조기수용자(Early Adapter), 3차년도(2016년)~4차년도(2017년)는 조기다수수용자(Early Majority), 5차년도(2018년)에 후기다수수용자(Late Majority)에 수용되어 평가대상기술 제품의 매출이 본격적으로 발생하는 것으로 예상하였다. 6차년도(2019년)에는 채용지체자(Laggards) 수요가 발생하면서 제품수명주기(PLC)상으로 평가대상기술 제품의 수요가 성숙기 최고점에 이를 것으로 전망하였다.

평가대상기술의 매출액은 국내외 "LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템" 시장규모를 추정(산업통상자원부 제10~11차 장기 천연가스 수급계획(2013) 등 참조)하여 Adotion Curve상 비율 값을 반영하여 시장점유율을 추정하였으며, 그 결과는 아래 표와 같다.

<표 2-83> LNG 공급설비 투자계획(단위:억원)

구 분	'10~'11	'12~'14	'15~'17	'18~'20	'21~'23	'24~'27	계('12~'27)
생산설비	16,306	26,133	18,688	667	120	-	45,608
공급배관	13,684	26,359	8,423	-	-	-	34,782
계	29,990	52,492	27,111	667	120	-	80,390

자료 : 산업통상자원부, "제 10~11차 장기천연가스 수급계획" 2013
주) 생산설비 : 저장설비, 부두설비, 기화송출설비

<표 2-84> 국내(내수) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
①LNG 플랜트 설비 내수시장	1,749,733	903,700	903,700	903,700	22,233	22,233
②CM/PM 비중(%)	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%
③의사결정 PMIS 비중(%)	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
④국내 시장규모(①×②×③)	3,727	1,925	1,925	1,925	47	47

<표 2-85> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망(단위: 백만 달러)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
①해외 플랜트 수주액	71,960	73,975	76,046	78,175	80,364	82,615
②오일&가스 비중(%)	18.67%	20.33%	22.14%	24.11%	26.26%	28.60%
③CM/PM 비중(%)	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%
④의사결정 PMIS 비중(%)	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
⑤해외 시장규모(①×②×③×④)	29	32	36	40	45	50

<표 2-86> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
해외 시장규모	32,798	36,717	41,404	46,015	51,514	57,669

<표 2-87> 추정매출액(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
①국내외 시장규모	36,525	36,717	41,404	46,015	51,514	57,669
②Adoption Curve(연차별)	2.50%	13.50%	17.00%	17.00%	34.00%	16.00%
③매출액(①×②)	913	5,217	7,366	8,150	17,531	9,235

- 매출액 추정 결과

아래의 표는 위와 같은 흐름에 의해 산출된 매출액에 대한 추정자료를 나타내는 표이다.

<표 2-88> 평가대상기술의 매출 추정(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
추정 매출액	913	5,217	7,366	8,150	17,531	9,235

④ 여유현금흐름 추정

여유현금흐름 추정을 위한 모든 현금흐름 요소의 추정은 개별기술과 개별기업의 특성을 반영하기 위해 직접 추정을 우선으로 고려하여야 하나, 본 평가에서는 한국은행 기업경영분석 “응용소프트웨어 개발 및 공급업(J582)”의 최근 3년(2009년~2011년)의 재무자료를 활용하여 현금흐름 요소를 추정하였다.

기업이 영업활동을 유지 또는 확대하면서도 자유롭게 사용이 가능한 현금인 여유현금흐름은 세후영업이익에 감가상각비를 더하고 자본적 지출 비용과 운전자본의 증감액을 각각 차감하여 산출한다. 2019년까지 여유현금흐름의 합계액은 2,935백만원으로 산출되었다.

<표 2-89> 여유현금흐름 산식

$$\text{여유현금흐름} = EBIT \times (1-t) + Dep - NWC - CE$$

여기서, $EBIT$: 영업이익

t : 법인세율

Dep : 감가상각비 및 무형자산상각비

NWC : 순 운전자본 증감액

CE : 유형자산 및 무형자산 증감액

즉, 여유현금흐름 = [매출액－매출원가－판매비와 관리비 등] × (1－법인세율) + [감가상각비＋무형자산상각비] － [매출채권증가액＋재고자산증가액＋선급비용증가액 등－매입채무증가액－미지급법인세증가액－기타유동부채증가액 등] － [유형자산증가액＋무형자산증가액－유형자산감소액－무형자산감소액]

본 평가에서 영업이익은 매출액 추정에서 매출원가 및 판관비를 차감하여 산출하였고, 세후영업이익, 감가상각비 및 자본적 지출, 운전자본 증감의 재무자료는 평가대상기업의 재무정보를 적용하였으며, 최종적인 여유현금흐름은 아래 표에 나타냈다.

<표 2-90> 여유현금흐름 추정(단위: 백만 원)

구 분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
세후영업이익(A)	61	326	451	496	1,042	559
감가상각비등(B)	9	52	73	81	174	91
자본적 지출 (C)	207	986	540	251	2,211	△1,710
운전자본 증감(D)	113	532	265	97	1,159	△1,025
투자액 회수(E)						3,146
여유현금흐름(F) (F=A+B-C-D+E)	△250	△1,140	△282	229	△2,153	6,531

⑤ 할인율 추정

할인율은 신청기술을 이용한 사업의 위험을 산정하는 것으로, 통상 할인율에는 자기자본비용과 타인자본비용을 가중 평균한 가중평균자본비용(WACC : Weighted Average Cost of Capital)이 가장 널리 사용된다. 상장기업의 WACC은 자본시장에서 수집된 최근 시계열 정보에 의하여 산출이 가능하나, 중소기업의 경우 WACC 산출이 불가능하므로 대용 값을 사용하여야 한다. 최근 지식경제부 기술가치평가 실무가이드(2011. 12)에서는 할인율 수준에 영향을 미치는 핵심위험 요인의 구성을 명확히 하고, 대상기술과 직접 연관된 기술 및 시장의 잠재적 위험을 평가하기 위하여 중소기업의 WACC 모형을 다음과 같이 개선하였다.

<표 2-91> 할인율 산식

중소기업 할인율 WACC = (자기자본비용 × 자기자본비율) + (타인자본비용 × 타인자본비율 × (1 - 법인세율))
■ 자기자본비용 = 상장기업 CAPM+사업화 위험프리미엄+안정성 위험프리미엄+규모프리미엄
■ 타인자본비용 = 상장기업 타인자본비용 + 추가위험 스프레드
■ 자기자본구성비 = $\frac{E}{(E+D)}$, 타인자본구성비 = $\frac{D}{(E+D)}$
여기서, E, D는 각각 대차대조표상의 자기자본과 타인자본을 나타낸다.

WACC 할인율 평가에서 모든 프리미엄(사업화 위험프리미엄 + 안정성 위험프리미엄 + 규모프리미엄)을 포함하여 산출하였다. 평가대상기술의 할인율은 다음과 같은 절차에 의해 추정하였다.

첫째, 표준산업분류상 “응용소프트웨어 개발 및 공급업(J582)”에 해당하는 CAPM, 안정성 위험프리미엄, 규모 위험프리미엄, 타인자본비용, 자기자본비율 등을 선정하였다.

둘째, 기술사업화 위험수준 평가는 기술전문가(기술성 분석), 특허전문가(권리성 분석), 시장전문가(시장성 분석)가 공동으로 기술사업화 위험 체크리스트를 이용하여 대상기술의 사업화 위험수준을 평가 항목별 평점을 부여한 후, 연관된 위험프리미엄을 아래 표에서 선정하였다.

셋째, 표준산업분류상 “응용소프트웨어 개발 및 공급업(J582)”에 해당하는 자기자본비용과 타인자본비용을 산출한 후 자기자본비율과 타인자본비율을 가중값으로 하여 WACC를 산출하였다. 즉, 자기자본비용은 56%이고 타인자본비용은 14.48%이며, 법인세가 22%(주민세 포함)일 때 가중평균자본비용(WACC)은 16.34%로 추정된다.

<표 2-92> 기술사업화 평점과 위험 프리미엄

구분	평가항목	평가결과	평점
기술위험	기술 우수성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4
	기술 경쟁성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4.5
	기술 모방 용이성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4
	기술 사업화 환경	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4
	권리의 안정성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4.5
시장 및 사업위험	시장 성장성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4
	시장 경쟁성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	3.5
	시장진입 가능성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	3
	생산 용이성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4.5
	수익성 및 안정성	1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 ⓔ ⓓ ⓒ ⓑ ⓐ	4
종합평점	40점		
위험프리미엄	4.88%		

※ 각 항목별로 기술과 시장, 사업 관점에서 대상기술의 사업화 위험 수준을 평가한 것으로, 5점 척도로 매우우수(5점), 우수(4점), 보통(3점), 미흡(2점), 매우 미흡(1점)으로 평가함

- 기술 우수성 : 시장에서 경쟁기술의 존재 여부 및 정도를 파악하고, 경쟁기술 대비 차별적 우위성을 분석한 결과에 근거하여 위험수준 결정
- 기술 경쟁성 : 유사 또는 관련 기술간 경쟁이 해당기술의 가치에 긍정적 혹은 부정적 영향을 미치는지 여부를 판단하여 위험 수준을 결정
- 기술 모방 용이성 : 기술적인 모방이 어려워서 기술보유자만이 전용할 수 있는지, 아니면 모방이 쉬운지 여부를 판단하여 위험수준을 결정
- 권리의 안정성 : 대상기술과 연관된 특허 풀에 대한 권리들의 법적 안정성의 정도를 분석한 후 위험수준을 결정
- 시장 성장성 : 대상기술이 적용될 시장의 향후 성장가능성에 대한 분석 결과를 근거하여 위험수준 평가
- 시장 경쟁성 : 대상기술 목표시장의 구조, 지배자의 유형, 독과점 여부, 경쟁제품의 과다 여부 등을 고려하여 경쟁정도를 분석한후 위험수준 평가
- 시장진입 가능성 : 대상기술 목표시장에 진입하기 위해서 필요한 핵심 요소들 중 규모 경제, 비용우위성, 영업망 등 경쟁요소, 규제나 정책, 제도 등과 같은 외생적 요소에 의한 영향 등을 분석한 후 위험수준을 평가
- 생산 용이성 : 제품을 생산함에 있어 필요한 설비 중 기존 설비 및 신규 설비의 활용 가능 범우와 대상기술을 사업화함에 있어 필요한 원부자재 조달 및 수급의 안정성에 대해서 분석 한 후 위험수준을 평가함
- 수익성 및 안정성 : 해당 시장에서 연관 경쟁업체들의 최근 5년간 수익성 수준과 안정성을 분석한 후 위험수준을 평가

<표 2-93> 할인율 추정 결과

자기자본비용	CAPM	기술사업화 위험프리미엄	안정성 위험프리미엄	규모 프리미엄	합계
	10.42%	4.88%	3.00%	2.00%	20.3
타인자본비용	14.48%				
자기자본비율	0.56				
WACC	16.34% [20.3 X 0.56 + (14.48 X 0.44) X (1-0.22)]				

⑥ 기술기여도 추정

기술기여도란 원칙적으로 사업 가치와 같이 영업주체가 창출한 수익에서 기술원천이 기여한 바를 나타낸다. 즉, 기술가치의 배분이나 기여율을 나타내는 기술기여도는 기술가치 산출 식 $\sum_{t=1}^{n} \frac{FCF_t}{(1+r)^t}$ 로부터 기술기여 부분을 Factoring -out 하는 요소로서, 무형자산 중에서 기술자산이 경제적 이익에 기여한 부분을 의미한다. 본 모형은 산업기술요소 지수와 개별기술강도 지수의 곱으로 정의하는 기술요소법을 근간으로 하여 산출한다.

<표 2-94> 기술기여도 산식

기술기여도 = 산업기술요소 × 개별기술강도 여기서, 산업기술요소 = 최대실현 무형자산가치비율 × 평균기술자산비율 무형자산가치 = 기업시장가치(시가총액) - 순 자산가치 (= 자산가치총액 - 부채총액) 무형자산 가치비율 = 무형자산가치 / 기업시장가치(시가총액) 기술자산비율 = 연구개발비 / (연구개발비+광고선전비+교육훈련비)
기술기여도 = 산업기술요소 × 개별기술강도 = { 최대무형자산가치비율 × 평균기술자산가치비율 } × 개별기술강도

■ 산업기술요소: 64.8%로 평가

평가대상기술의 산업기술요소는 기술의 공헌도가 산업별로 다르다는 가정 하에 이를 계량적으로 측정하는 요소이며, 산업별 최대실현 무형자산 가치비율과 산업별

평균 자산비율의 곱으로 구한다. 대상기술은 응용소프트웨어 개발 및 공급업(J582)에 해당하므로 64.8%를 적용하였다.

■ 개별기술강도: 68.5점으로 평가

개별기술강도는 기술성에 1점, 사업성에 1점의 가중치를 부여하여 계산되며, 평가대상기술의 개별기술강도는 68.5점으로 나타났고, 응용소프트웨어 개발 및 공급업(J582) 업종의 산업기술요소 64.8%를 고려한 기술기여도는 아래 표에서와 같이 44.39%로 산출되었다.

<표 2-95> 개별기술강도 및 기술기여도

기술기여도 = 산업기술요소 × 개별기술강도	
산업기술요소(%)	64.8%
개별기술강도	68.5
최종 기술기여도(%)	44.39%

⑥ 기술가치 금액

기술기여도를 고려한 기술가치 금액은 여유현금흐름의 현재가치의 합계금액 936백만 원에 위 표에서의 기술기여도를 곱하여 다음 산식에 의하여 227백만 원으로 결정되었다.

<표 2-96> 기술가치금액

$$\text{기술의 가치} = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCF_t}{(1+r)^t} \times \text{기술기여도}$$

= 여유현금흐름 현재가치 합(사업가치) × 기술기여도

= 512백만 원 × 44.39%

= 227백만 원

(다) 기술가치평가 결과

상기의 평가 가정들을 토대로 수익접근법에 의한 기술가치평가를 수행하였다. 그 결과 아래 평가대상기술에 대한 기술가치 산출표와 같이 최종 기술평가금액은 227백만 원으로 산정되었다.

<표 2-97> 기술가치 산정표(단위: 백만 원)

구 분		2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	합 계
매출액		913	5,217	7,366	8,150	17,531	9,235	
	매출원가	410	2,342	3,307	3,659	7,872	4,146	
	판매관리비	435	2,485	3,509	3,883	8,352	4,399	
	영업이익	68	389	549	608	1,308	689	
세후영업이익(A)		61	326	451	496	1,042	559	
감가상각비등(B)		9	52	73	81	174	91	
자본적 지출(C)		207	986	540	251	2,211	△1,710	
운전자본증감(D)		113	532	265	97	1,159	△1,025	
투자액회수(E)							3,146	
여유현금흐름(F) (F=A+B-C-D+E)		△250	△1,140	△282	229	△2,153	6,531	
현가계수(G)		0.8595	0.7388	0.6351	0.5459	0.4692	0.4033	
현재가치(H) (H=F×G)		△215	△843	△179	125	△1,010	2,634	512
기술기여도(I)								44.39%
기술가치(J) (J=∑H×I)								227

※ 평가기준일 2013.11.24.

(2) 상용화 전략 수립

기술가치평가 실시 과정에서 기술성, 권리성, 시장성 등을 분석하였으며 이를 토대로 'LNG플랜트 EPC통합 의사결정지원모듈'의 상용화 전략을 다음과 같이 수립하였다.

(가) 지식재산(IP) 강화전략

본 연구에서 개발한 기술의 기술성 및 특허성에 대한 평가 결과 '스테이지 게이트 모델을 적용한 LNG플랜트 EPC단계별 위험기반의 의사결정지원 모듈'은 기술을 선도하고 있어유사 기술이 거의 개발되어 있지 않은 기술성 및 권리성이 매우 우수한 기술인 것으로 기술가치평가결과가 도출되었다.

즉, LNG 플랜트 사업에서 사업관리를 지원하는 지원모듈에 관한 기술이 일부 공개되어 있지만 대부분이 설계관리 및 공정관리와 같은 기술적인 측면에서 플랜트 사업관리를 지원하는 시스템에 관한 것으로 본 기술과 차이점이 있으며 일부 특허문헌을 통해 스테이지 게이트 모델을 적용한 사업관리 시스템에 대해서 공개되어 있지만 이와 같은 기술도 도시재생사업을 위한 의사결정지원 시스템에 관한 것으로 LNG 플랜트를 대상으로 하는 기술과는 차이점이 있다.

따라서 본 연구의 기술은 우수한 기술성 및 권리성을 견고히 유지하면서 상용화 또는 기술이전을 용이하게 이룰 수 있도록 노하우 관리 전략, 특허 포트폴리오 구축 및 해외출원 전략이 추가적으로 필요하다. 즉, 향후 상용화 또는 기술이전시 기술만 이전되거나 기술은 실제로 이전되지 않고 특허권 양도 또는 특허라이센스만 이루어지는 형태가 아닌 기술과 권리가 동시에 이전되는 하이브리드형 기술이전 또는 상용화가 될 가능성이 매우 높을 것으로 보인다. 이와 같은 하이브리드형 기술이전 또는 상용화시에는 노하우 관리 및 이전이 매우 중요한 요소로 작용되기 때문에 노하우 유지 관리 전략이 필요하다.

다음으로 특허포트폴리오 구축 전략으로 신청기술은 핵심기술인 액화천연가스 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템(한국등록특허 제10-1286024호) 및 LNG 플랜트의 구매조달시 의사결정 지원 시스템(한국특허출원 제2013-0015439)에 대해서는 권리를 확보하거나 특허출원을 완료한 상태이다. 그리고 이와 같은 핵심기술의 요소기술로 볼 수 있는 컴퓨터 프로그램에 대해서도 6건을 등록하여 권리를 확보하고 있는 상태이다. 따라서 핵심기술의 파생기술 및 응용기술에 대해서 추가적인 권리확보가 이루어진다면 권리성을 견고하게 유지할 수 있는 특허포트폴리오가 확보될 수 있을 것이다.

즉, 현재 LNG 플랜트에 대해서 확보되어 기술을 Oil/Gas, 수자원 플랜트 및 환경 플랜트와 같은 부분으로 응용분야를 확대하여 확대된 응용기술에 대하여 추가적인 권리를 확보하는 것이 필요하다.

또한, 핵심기술의 파생기술인 사용자 및 제공자 입장에서의 인터페이스 환경을 제공하는 기술 및 플랜트 구축 사례, 지표 설정 등에 대한 파생기술 확보가 추가적으로 필요한데, 이와 같은 핵심기술의 사용자 및 제공자 입장에서의 인터페이스 환경 관련 파생기술 확보는 비즈니스 모델 (Business Model) 특허로 권리를 확보하는 것이 바람직하다.

비즈니스 모델 (Business Model)은 기업 업무, 제품 및 서비스의 전달 방법, 이윤을 창출하는 방법을 나타내는 모형, 기업이 지속적으로 이윤을 창출하기 위해 제품 및 서비스를 생산하고 관리하며 판매하는 방법을 표현한 모델로 비즈니스 모델 발명은 영업 방법 등 사업 아이디어를 컴퓨터, 인터넷 등의 정보통신기술을 이용하여 구현한 새로운 비즈니스 시스템 또는 방법을 말한다.

따라서 이와 같은 비즈니스 모델 (Business Model) 특허에 대한 권리 확보는 신청기술의 상용화를 위한 효과적인 전략이다.



<그림 2-116> BM 특허의 정의

평가대상기술의 사업화 성공률 제고를 위해 사업타당성분석을 위해 기술경쟁력, 시장경쟁력 등에 대해 조사 분석을 진행하였고, 조사 결과를 바탕으로 사업매력도 평가를 실시하였다. 평가 결과를 토대로 기술 사업화 전략 수립을 위한 방향성을 제언하고자 하며 또한, 공공기술 이전을 위한 마케팅전략을 제시하도록 한다.

(나) 기술 사업매력도 평가

사업매력도평가는 간단하면서도 실용적인 수량적 평가기법으로 객관화 도모에 유용한 BMO(Bruce Menifeld-Ohe) 분석에 의해 평가대상기술의 사업매력도를 평가하였다. 사업매력도는 6개의 항목으로 구성되어 있으며, 각 항목마다 10점씩 총 60점이 만점으로, 여기서 35점 이상을 획득하면 그 아이템은 사업진입의 매력이 있는 것으로 판단할 수 있으며, 점수가 낮은 항목에 대해서는 시장경쟁력을 확보하기 위한 방안을 제시하여 사업진입 매력도를 높일 수 있도록 한다.

평가 내용은 아래 표에서 보는 바와 같이 △매출이익가능성 △성장가능성 △경쟁상황 △위험분산도 △업계 재구축 가능성 △특별한 사회적 상황 평가 항목에 따라 평가점수를 부여한다.

<표 2-98> BMO Model의 사업매력도 평가항목

평가항목		세부 항목
사업 매력도 (60점)	매출이익가능성	사업개시 5년 후의 추정시장규모 (5점)
		이익 가능성(해당 세분류 산업의 매출영업이익률) (5점)
	성장가능성	시장 진입 후 5년간의 추정 시장성장률 (10점)
	경쟁상황	선발기업과 예상 진입 기업의 대응력 강도 (4점)
		상품/서비스의 수명 (3점)
		특허 및 상표에 의한 방어 가능성 (3점)
	위험분산도	세분 시장 또는 응용분야의 다양성 (10점)
	업계 재구축 가능성	강력한 선발기업이 구축한 시장구조를 타파할 가능성 (10점)
	특별한 사회적 상황	정치적, 공정거래상, 사회 환경적 우대 등 (10점)

사업매력도 평가항목에 따라 평가를 실시하면 다음과 같다.

① 매출, 이익 가능성 (7점)

LNG플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모는 2014년 365억 2,500만 원에서 2019년에는 576억 6,900만 원으로 시장규모가 형성될 것으로 전망된다.

<표 2-99> LNG플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
시장규모	36,525	36,717	41,404	46,015	51,514	57,669

본 기술과 유사한 업종의 매출영업이익률을 살펴보기 위해, 한국은행 경제통계시스템 사업별 기업경영분석자료를 분석한 결과, 평가대상기술의 S/W 분야가 속한 '응용소프트웨어 개발 및 공급업'의 매출영업이익률은 2010년 7.5%, 2011년 7.6%, 2012년 7.3% 수준으로 국내 기업들의 평균 영업이익률 4.5% 대비 높은 수준인 것으로 평가된다. 수요 산업(LNG플랜트)의 성장가능성을 반영하여 지속적인 시장 성장으로 해당 산업의 수요 증가로 매출액은 증가할 것으로 보인다.

<표 2-100> 매출가능성 평가척도

구분	5점	4점	3점	2점	1점
시장규모	1,000억 원 이상	500~999억 원	100~499억 원	10~99억 원	10억 원 미만

주) 사업개시 5년 후의 추정시장 규모

<표 2-101> 이익가능성 평가척도

구분	5점	4점	3점	2점	1점
매출액 영업이익률	13%이상	9~12%	5~8%	1~4%	1%이하

② 성장 가능성 (5점)

2012년 세계 경기 침체 및 중동지역의 정세불안과 발주지연에도 불구하고 고유가 지속에 따른 투자 확대, 산업발전 수요에 따른 해양, 오일&가스 부문 수주 확대에 힘입어 해외 플랜트 수주액이 증가할 것으로 보이며, 2014년부터 2019년까지 CAGR은 9.6%에 이를 것으로 전망된다.

<표 2-102> 시장성장률 평가척도

구분	10점	7점	5점	0점
시장성장률	20% 이상	14~19%	10~13%	9% 이하

주) 향후 5년간 시장성장률

③ 경쟁상황 (7점)

현재 국내 EPC업체에서 사용하고 있는 EPC 사업관리시스템의 핵심기술의 경우 자체 인-하우스 소프트웨어 형태로 개발하여 사용하고 외부에 공개하지 않고 있다. 따라서 국내 건설업체의 경우 대부분 개발된 사용 소프트웨어를 단순 도입하여 활용하는데 그치고 있어 제작되는 콘텐츠의 품질이 크게 제약받고 있는 실정이다. 따라서 프로젝트별 맞춤화된 S/W를 판매하거나 Plug-in S/W 판매하는 방식으로 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

<표 2-103> 선발기업과 예상 진입기업의 대응력 강도 평가척도

구분	4점	3점	2점	1점	0점
대응력 강도	선발기업 없고, 예상진입자 없음	약 한편	중간	강한편	선발기업 석권

본 기술은 2014년부터 본격적으로 양산할 계획인바 본 평가에서는 현금흐름 추정기간에 상용화 기간을 고려하여 산출된 기술의 경제적 유효수명은 6년('14~'19)으로 추정되었다.

<표 2-104> 상품서비스의 수명 평가척도

구분	3점	2점	1점
상품서비스의 수명	5년 이상	3년 정도	3년 이하

LNG플랜트 EPC단계별 의사결정지원시스템 기술은 한국건설기술연구원이 독자적으로 가지고 있는 원천 기술로, 타 S/W와 특허 분쟁이 일어날 확률은 희박할 것으로 보인다.

<표 2-105> 특허 및 상표에 의한 방어가능성 평가척도

구분	3점	1~2점	0점
특허 및 상표에 의한 방어가능성	강력한 특허, 상표 보유	크로스 라이센스 가능	노하우, 지적재산권 없는 경우

④ 위험분산도 (4점)

본 기술의 적용 시장의 LNG플랜트 사업관리를 지원하기 위한 의사결정지원시스템이다. 따라서 현재 기술적 특징을 살펴보면 LNG플랜트에 한정되어 있기 때문에 사업 리스크가 높은 것으로 나타났다. 따라서 LNG플랜트에 한정하기 보다는 의사결정지원시스템 알고리즘을 통해 맞춤화 컨설팅을 해주거나, 추가 Oil/Gas, 수자원 플랜트 및 환경 플랜트와 같은 부분으로 응용분야를 확대하여 사업위험도를 분산시키는 방안이 필요하다.

<표 2-106> 위험분산도 평가척도

구분	10점	8점	6점	4점	2점
위험분산도	5종류	4종류	3종류	2종류	1종류

⑤ 업계 재구축가능성 (5점)

본 기술이 기존의 주요 상용 패키지 소프트웨어와 연동될 수 있는 플러그인 형태로 개발된다면 수준 높은 인-하우스 소프트웨어의 구현 및 상품화가 가능할 것으로 기대된다. 기존 기술에 상용화를 추진하기 위한 기술적 요인들이 부합된다면 우수한 기술력을 바탕으로 효과적인 마케팅 전략을 통한 시장접근으로 현재의 시장구도를 재구축할 수 있는 여지가 상당부분 있다고 판단된다.

<표 2-107> 업계재구축 가능성 평가척도

구분	경쟁 상황	점수
업계재구축 가능성	혁신적 기술로 업계 재구축의 달성 가능성 매우 높음 강력한 선발기업이 구축한 시장구조를 타파할 가능성이 높음	10점
	제품 또는 판매형태에 혁신을 초래할 가능성이 있음	5점
	상품의 단순개량 형태의 시장 진입 유형임	2점

⑥ 특별한 사회적 상황 (7점)

LNG 플랜트 부문은 국제유가의 상승 및 에너지 수요의 증가로 중동지역을 비롯한 아시아, 아프리카 일부 지역에서 지속적인 발주가 이루어지고 있으며, 시장성장이 높아질 것으로 기대되고 있다. LNG 플랜트 산업은 건설, 토목, 기계, 전기, 화학 등 다양한 분야의 전문가가 모여 구현하는 복합 프로젝트 성격을 가지면 점차 복잡화, 전문화, 대형화되고 있다. 일반적으로 EPC 일괄수주가 이루어지고 있는 경우가 많으며, 이에 따라 제조 및 처리공정에 따른 다양한 라이센스 관리 및 기술력 확보가 핵심이 된다. 또한, 기획, 설계, 구매, 조달, 시공 단계와 같은 생애주기 전반의 사업관리가 프로젝트 성공의 관건이 되고 있다.

하지만 현재 건설사업관리시스템(PMIS)은 사업정보의 단순한 저장과 관리에 대한 단순한 일일보고, 결재 역할, 자재의 반입/반출 자동기록, 정보 공유 등의 역할만 하는 수준인 것으로 조사되었다.

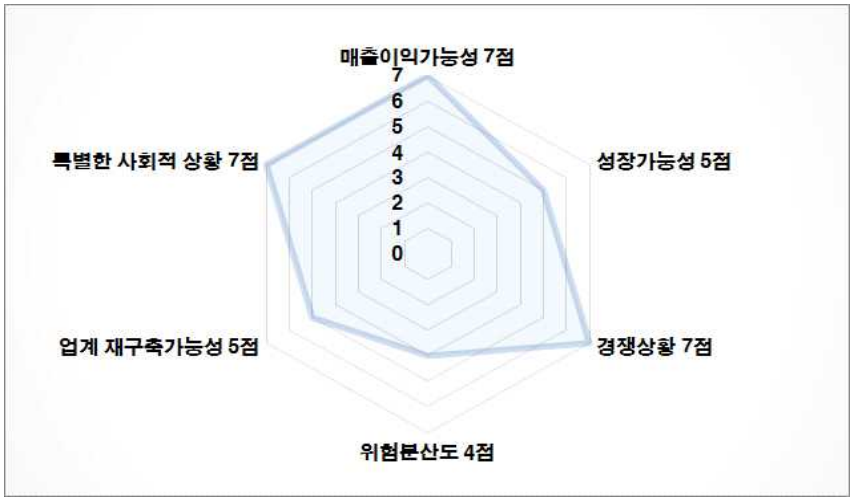
반면, LNG플랜트 사업관리 의사결정지원모듈은 발주자 또는 위임계약에 의한 건설관리자의 사업목표에 부합하는 적절한 시설계획, 사업기간, 사업비용, 그리고 품질을 성취하기 위하여 사업에 참여하는 다수 조직의 활동을 합리적으로 계획(Planning)하고, 지휘(Control), 총괄(Administration)하는 기능의 의사결정을 지원하는 시스템으로 수요기관의 요구를 반영한 기술이다.

<표 2-108> 특별한 사회적 상황 평가척도

구분	**경쟁 상황**	**점수**
특별한 사회적 상황	정치적, 공정거래상, 사회환경적 문제로 우대사항 있음	6~10점
	특별한 우대 및 마찰사항 없음	5점
	수출입 마찰, 환경오염, 인력부족 등 사회적 마찰이 있음	0~4점

이상의 BMO 평가기준의 사업매력도 평가를 통한 'LNG플랜트 EPC단계별 위험기반의 의사결정지원시스템' 기술은 총 35점으로 사업매력도가 상당히 있는 것으로 판단된다. 세부 평가 항목 중 특히 성장 가능성, 특별한 사회적 상황 등이 긍정적으로 평가되었으며, 위험분산도와 업계 재구축 가능성에서 낮은 점수를 획득하였다. 따라서 상기 제시된 내용을 기반으로 해당 항목을 보안할 수 있는 세부 방안이 마

련되어야 할 것으로 보인다.



<그림 2-117> 사업매력도 평가 결과

■ (리스크 분산) 평가대상기술은 현재 LNG플랜트에 한정되어 있기 때문에 사업 리스크가 높은 것으로 나타났다. 따라서 LNG플랜트에 한정하기 보다는 의사결정지원시스템 알고리즘을 통해 맞춤화 컨설팅을 해주거나, 추가 Oil/Gas, 수자원 플랜트 및 환경 플랜트와 같은 부분으로 응용분야를 확대하여 사업위험도를 분산시키는 방안이 필요하다.

■ (업계 재구축 방안) 일반적으로 S/W 산업 특성상 사용자가 특정 S/W 제품에 익숙해지면 기존 서비스를 지속하려고 하는 경향이 있어, 후속기업이 선진 S/W 시장 진출에 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 기술 상용화 성공을 위해서는 아래와 같은 사업화 요건과 확대 전략을 구축해야 할 것으로 판단된다.

<표 2-109> 사업화 요건 및 사업 확대 전략

사업화 요건	○ 기존 S/W 대비 기능 효율 및 비용절감 효과 입증 ○ 프로젝트별 컨설팅 ○ 기능별 S/W Plug-in
사업화 확대 전략	○ 다양한 환경에서의 성능 테스트를 통한 기술입증 ○ 실제 사용자들에게 User Study를 이용하여, 소비자들의 인식정도 및 체감 정도 분석을 통해 제품 성능 입증 ○ 사용자가 모든 기능을 쉽게 조작 가능하게 함 ○ 평가대상기술을 통한 사업관리 효율 증대 및 비용절감효과 입증자료 제공을 통한 품질홍보 ○ 해외시장의 경우 상당한 유통망을 구축하고 있는 국내외 업체와의 협력 관계 구축으로 신규시장 진출 ○ S/W의 불법 배포를 막기 위한 암호화 및 복제 방지기법

(다) 기술 이전을 위한 마케팅 전략

기술이전 전략은 잠재고객에게 본 기술의 성능/효과 등을 제안하는 방법으로서, 판촉활동 수행의 핵심이 되는 수행계획이다. 크게 매스 커뮤니케이션, 세일즈 프로모션, 퍼스널 세일링으로 나누어 진행한다.

① 매스 커뮤니케이션

판촉 메시지와 정보를 일방적인 방법을 통해 기술수요자에 전달하는 간접적인 커뮤니케이션 전략으로서, 특정 타깃을 정하지 않고 공개매체를 활용하여 기술을 판촉하는 방법이다.

■ 기술광고

- 국내 LNG플랜트 사업은 대부분 대기업으로 특정사업자를 대상으로 진행되는 경향을 나타내고 있으므로, 일반 기술광고에는 부적합
- 건설 또는 플랜트산업 업체들의 방문이 이루어지는 관련 협회 홈페이지를 활용한 배너광고를 중심으로 온라인 기술광고 전략 추진 필요
- 온라인 배너광고는 일반적인 기술광고와는 달리 구매자의 클릭을 유도해야 하므로, 배너 구성시 기술의 특장점을 강조한 기술 타이틀을 활용하여 배너 구성

■ 온라인 마켓

- 기술을 판매하기 위한 온라인 마켓은 타 온라인 마켓과 달리 별도의 수수료를 지불하지 않고 무료로 사용할 수 있으며, 특히 국내 기술이전 활성화를 위하여 국가에서 운영하는 마켓이 존재함
- 또한, 기술이전과 관련된 온라인 마켓의 선두주자가 명확하지 않으므로 국가기관(or 공공 성격의 기관)에서 운영하는 온라인 마켓을 중심으로 진행
- 민간기관에서 운영하는 온라인 기술 마켓의 경우 다수의 사이트보다는 소수의 사이트에서만 공개함으로써 기술의 희소성을 향상시킴
- 또한, LNG플랜트 EPC 관련기업들이 기술적인 관심을 해결하기 위하여 방문할 수 있는 기술공급자(한국건설기술연구원)의 홈페이지를 통해서도 기술을 공개함으로써, 방문자의 신뢰도를 높이고 직접적인 구매접촉을 유도할 수 있음

② 세일즈 프로모션

인적판매, 광고, 홍보를 제외한 기술 수요자의 구매 효율을 자극하는 마케팅 활동으로서, 단기간의 활동을 통하여 기술의 장점을 홍보하는 활동을 수행한다.

■ 다이렉트 메일(DM, Direct Mail)

- DM은 사전에 파악된 고객정보를 보유하고 있을 때, 가장 효과적으로 판촉활동을 수행할 수 있는 수단이지만, 다수의 업체의 DM 판촉으로 인하여 스팸으로 분류될 가능성이 높으므로, 보조수단으로만 활용
- 기술 도입 관점에서의 이점 및 기술적인 강점을 내세워 기업 자체적으로 해결할 수 없는 과제에 대한 솔루션 제공이라는 관점에서 제작

■ 건설 또는 플랜트 관련행사 참여

- 건설 또는 플랜트 관련 행사에 참여하여 기술 홍보

③ 퍼스널 세일링

인적 네트워크를 중심으로 판촉활동을 수행하는 전략으로서, 전문 기술거래 기관의 네트워크를 활용하는 1:1 타깃 마케팅과 기술공급기관의 네트워크를 활용하는 네트워크기업 인적 판매로 나누어 추진한다.

■ 1:1 타깃 마케팅

- 전담 기술마케터의 배정을 통하여, 본 기술에 대한 이해도를 향상시켜 관련 타깃기업의 담당자를 대상으로 적극적으로 기술을 소개하고, 기술상담의 장으로 이끌어내는 활동 추진

(라) 기술사업화 모델

① 기술이전 사업화 모델

기술에 대한 사업화 능력 또는 계획이 있는 기업에서 한국건설기술연구원의 기술을 이전받아 기술에 대한 사업화를 통해 수익을 창출하는 모델이다.

기술의 개발 콘셉트, 기술적 내용, 연구 노트 등 기술을 발명자가 구현할 수 있는 수준의 상세한 내용을 기업으로 전수하고 기업을 해당 기술을 적용한 사업을 진행하는 것이다. 수요기업은 기술의 전수 대가로 전체 기술료를 선급과 경상기술료로 나눠서 지급할 수 있어, 기술의 사업화 이전에 부담할 수 있는 리스크를 최소화할 수 있다. 이전된 기술을 가지고 기업은 LNG플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 개별 판매 또는 컨설팅을 통해 수익을 창출한다. 더 나아가 기술이전 계약관계를 통상실시권이 아닌 독점적으로 권리를 행사할 수 있는 전용실시권의 계약으로 타 기업에서 유사한 방법으로 LNG플랜트 사업관리 의사결정지원시스템을 사용할 경우, 특허침해 여부를 판단하여 사용 중지 및 특허침해소송을 통해 당 기술을 국내에서 독점적으로 사용할 수 있다.

기술이전을 통해 사업화를 진행하는 방법은 본 기술의 사업화가 가장 빠르게 진

행될 수 있는 방법에 해당한다. 기술에 대한 사업화 성공 확신이 부족하다고 생각되는 경우, 통상실시권을 통해 기술을 이전받고 추후 재계약을 추진하여 전용실시권 설정으로 독점적 권리확보도 기업의 리스크를 줄이는 하나의 방법이다.

② 공동연구 사업화 모델

본 기술이 수요기업의 니즈에 부합하지 않을 경우 기업은 원천기술의 보유기관인 우리(1-4-3세부, 한국건설기술연구원)를 통해 기술을 보완하여 원하는 기술을 개발한 이후에 기술을 이전받아 사업화를 할 수도 있다. 그러기 위해서는 기업에서는 정확한 사업화 모델과 기술스펙을 제시하여야 하고, 우리는 보유한 원천기술을 기초로 기업이 원하는 기술에 대한 기술개발을 기업과 같이 공동으로 추진할 수 있다.

개발이 완료된 기술에 대한 기업은 기술이전 계약을 체결하여 기술의 전체 내용과 특허사용권을 획득하고 우리에게 기술료를 지급하게 된다. 기술계약 방법은 통상실시권, 전용실시권, 기술양도 등 다양한 방법을 상호간에 협의하여 결정할 수 있다.

이러한 방법은 추가기술개발에 대한 다소 시간이 소요되고 추가연구개발 및 기술이전에 비용이 추가되는 단점이 있으나, 기업은 우리의 기술력을 최대한 활용할 수 있으며 기업의 니즈에 정확히 부합되는 기술을 이전받아 사업할 수 있는 장점이 있다. 이후에 이전받은 기술을 활용하여 수익이 발생되는 금액에 대해서는 우리와의 계약관계에 따라 수익의 일부분을 로열티로 제공할 수 있다.

③ 연구소기업 설립 모델

“연구소기업”이라 함은 법률에서 정하는 설립주체가 단독 또는 공동으로 자신이 보유한 기술을 직접 사업화하기 위하여 자본금 가운데 20퍼센트 이상을 출자하여 설립하는 기업을 말한다. 설립주체는 공공기관(국립연구기관, 정부출연연구기관, 학교, 전문생산기술연구소 등), 산학협력기술지주회사, 신기술창업전문회사 등이다.

연구소 설립 유형은 크게 3가지 형태로 구성되며, 합작투자형, 기존기업 기술출자형, 신규창업형 등으로 나뉜다.

- 합작투자형 : 연구기관과 기존기업이 기술과 현금 등을 공동출자 하여 새로운 기업을 설립하는 형태
- 기존기업 기술출자형 : 연구기관이 기존기업에 기술 등을 현물출자하여 기존 기업을 연구소기업으로 전환하는 형태
- 신규창업형 : 연구기관과 신규창업자가 기술과 현금 등을 공동출자하여 새로운 기업을 설립하는 형태

다. 주요결과 및 시사점

본 연구를 통하여 구축된 의사결정지원모듈에 관하여 기술가치평가를 실시하였다.

평가방법은 수익접근법에 기반을 둔 기술가치평가로 평가대상기술의 기술성, 권리성, 시장성을 기반으로 기술가치추정의 주요 평가요소인 기술의 경제적 수명(예상수익기간) 추정, 경제적 이익흐름 추정(시장규모, 매출추정, 원가추정, 예상 자본적 지출, 순 운전자본 추정 등), 사업위험 분석에 따른 할인율 추정, 기술기여도 등을 산출하여, 최종 기술 평가금액을 제시하였다.

주요 수요처는 본 기술이 속한 LNG 플랜트 엔지니어링 업체가 주 수요처가 될 것으로 예상되며, 그 외 사업관리 측면을 보다 확장할 경우 CM/PM 전문업체 또는 토목/건축 설계 분야로 그 수요가 확대 가능할 것으로 기대된다.

최근 국내외 LNG 플랜트 프로젝트는 거의 턴키로 엔지니어링사(EPC)에 발주하는 추세여서 턴키 수행능력이 플랜트 엔지니어링 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있는 중요한 요인이 되고 있다. 본 기술은 사업관리기법에 있어서 구조화된 의사결정지원체계를 구축하는 핵심적인 항목으로 부족한 사업관리 역량을 보완하고 발주자, 사업관리자 및 시공자의 사업목표를 만족시키기 위한 시스템으로 LNG 플랜트 엔지니어링업체를 대상으로 하고 있다. 하지만 현재 LNG 플랜트 엔지니어링 업계에서는 몇몇의 대형 엔지니어링 업체가 사업관리시스템을 개발, 적용하고 있지만 아직 그 성과에 대한 분석결과가 구체적으로 공개되지 않고 있으며, 개별기업 단위의 시스템으로 개발되었기 때문에 전체 플랜트 산업으로 확산되는 속도가 매우 느리다. 최근 건설공사의 사업정보관리를 보다 효율적으로 수행하고 원할 때마다 사업진행상황을 파악하고자 하는 발주자의 욕구 때문에 발주처에서는 건설사업관리자에게 PMIS의 개발 및 운용을 요구하는 경우가 많아 건설사업관리방식을 적용하는 건설사업에서는 건설사업 정보관리시스템을 구축하여 적용하는 사례가 증가하고 있다는 점에서 본 기술제품의 수요가능성은 매우 높을 것으로 판단된다.

기술가치평가를 수행함에 있어서 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 기술시장분석 내용을 토대로 기술이 적용될 신규 사업에 대한 매출액을 추정하였다. 매출액 추정은 매출액 추정방법과 내·외부 전문가의 의견 등을 참조하여 사업주체의 시장의 경쟁구조와 시장지위 확보 가능성 등으로 분석하여 시장점유율을 추정하였으며, 산업에 대한 향후 기대되는 성장률을 이용한 실무편법 등에 의한 방법으로 매출액을 산출하였다.

또한 경제적인 수명기간은 인용특허수명지수(CLT)를 활용하여 6년으로 도출되었다. 본 기술이 제품화 되어 매출을 발생시키는 시점은 2014년부터 2019년까지로 추정되었으며, 잔존가치는 고려하지 않았다.

아울러, 기술수명 기간 동안 창출 가능한 잉여현금흐름(FCF) 합계액(사업가치)은 할인율 16.34%를 반영하여 현재가치로 환산할 경우 512백만 원이 산출되었고, 해당 사업가치에 산업기술요소법을 통해 구해진 기술기여도 44.39%를 적용한 결과 기술

가치는 227백만 원으로 도출되었다.

이러한 기술가치평가 결과를 토대로 상용화전략과 특허보완 전략을 수립하였으며, 특허보완 전략을 기초로 추가 특허출원 1건을 실시하였고, 기술가치평가 금액을 토대로 현재 기술이전을 추가로 추진 중에 있다.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1절 LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축

1. 연구성과 설명

의사결정지원체계의 정의는 경영자가 자료와 분석모델을 사용하여 비정형적인 문제해결을 할 수 있도록 컴퓨터를 사용하여 만든 체계로 경영정보체계처럼 미리 규정된 원칙에 따라 작동하는 것이 아니라 의사 결정자와의 상호작용을 통해 만족스러운 해결방안을 찾을 수 있도록 정보를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

LNG 플랜트공사는 현장이 해외에 있고, 토목 및 건축공사와 LNG 플랜트공사가 복합적으로 수행되기 때문에 사업관리를 수행하는데 많은 어려움이 있고, 사업을 성공적으로 수행하기 위해서는 각 단계별 및 사업관리업무별 리스크 등의 발생으로 인한 의사결정을 수행해야할 사항 등이 많이 발생하기 때문에, 무엇보다도 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계 구축이 필요하다.

따라서 본 연구는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계의 정의를 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위하여 각 사업관리 단계별(계약 및 설계단계, 구매 및 조달단계, 시공단계) 및 업무별로 전체 사업관리자와 각 단계별 사업관리자가 의사결정을 하는데 도움을 주는 체계로 정의하였다.

특히 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계를 구축하기 위하여, LNG 플랜트공사의 사업관리 요소를 파악하였고, 이러한 사업관리 요소는 LNG 플랜트공사의 설계 및 구매조달 및 시공단계에서 경험이 있는 전문가를 대상으로 검증하였다. 사업관리의 요소와 관리항목은 일반 플랜트공사와 토목 및 건축공사의 사업관리업무 등 관련자료를 분석하여 LNG 플랜트공사에 맞게 단계 및 업무를 수정하여 제시하였다.

2. 핵심요소기술

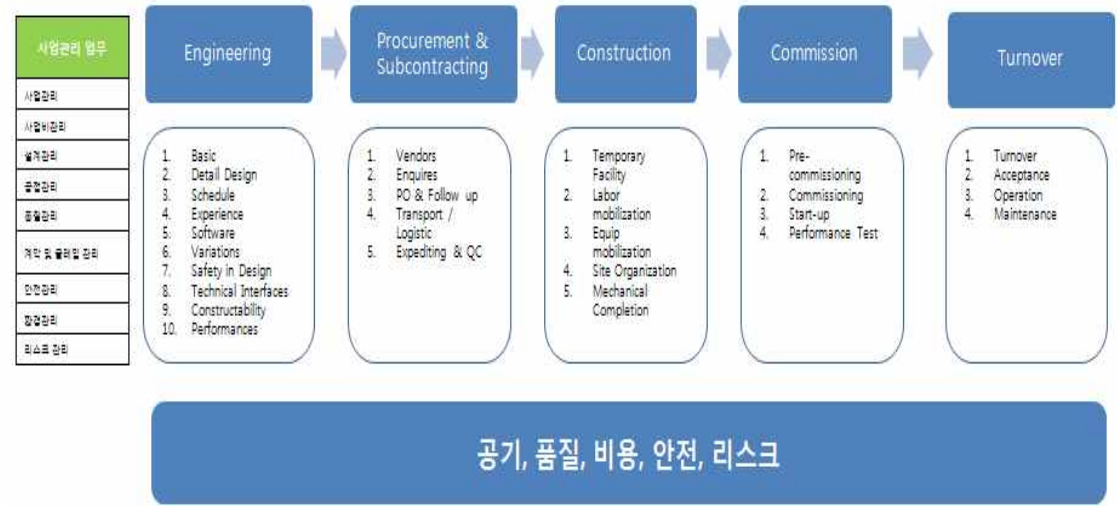
가. 의사결정지원체계

의사결정에 유용한 정보를 제공하기 위해서는 보다 분석적이고 다양한 정보가 제공되어야 한다(김락상, 2002). MIS(Management Information System)나 KMS(Knowledge Management System) 등 각종 전산화 시스템이 개발되면서 많은 기업들이 다량의 데이터를 축적할 수 있게 되었지만, 이러한 데이터들이 시스템 내에서 사용되는 것 외에 특별한 부가가치를 창출해내지 못하는 것으로 평가받고 있

고, 이에 데이터를 효과적으로 사용하여 의사결정에 유용하게 활용할 수 있는 방안이 모색되어 의사결정지원기술이 필요하게 되었다.(이종국 2004)

특히, LNG 플랜트공사는 현장이 해외에 있고, 토목 및 건축공사와 LNG 플랜트공사가 복합적으로 수행되기 때문에 사업관리를 수행하는데 많은 어려움이 있고, 특히 사업을 성공적으로 수행하기 위해서는 각 단계별 및 사업관리업무별 리스크 등의 발생으로 인한 의사결정을 수행해야할 사항 등이 많이 발생하기 때문에, 무엇보다도 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계 구축이 필요하다.

플랜트 EPC 공사의 경우, 원칙적으로 설계, 구매 및 하청계약, 시공, 시운전, 공사인계의 순서로 업무가 진행되고 있으며, 각 활동은 다음 그림과 같은 세부 활동으로 구성된다. 그러나 Fast Track 공사에서는 설계, 구매, 시공이 중첩되어 시공되기도 한다.



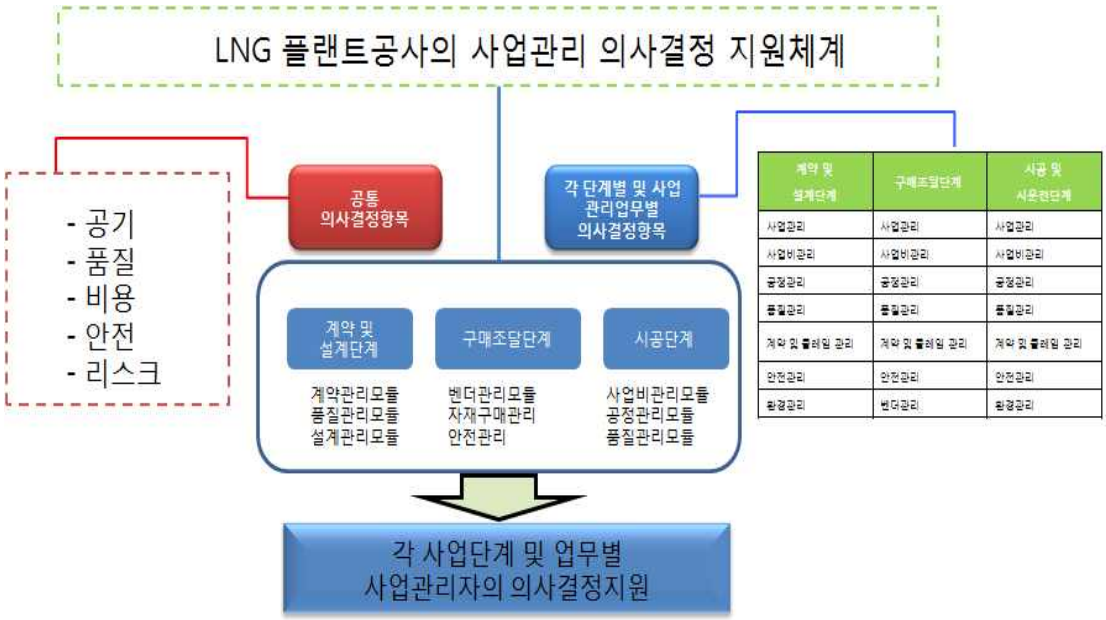
<그림 3-1> 플랜트공사의 단계별 업무흐름

따라서 본 연구는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계를 구축하기 위하여, LNG 플랜트공사의 사업관리 요소를 파악하였고, 이러한 사업관리 요소는 LNG 플랜트공사의 설계 및 구매조달 및 시공단계에서 경험이 있는 전문가를 대상으로 검증하였다. 사업관리의 요소와 관리항목은 일반 플랜트공사와 토목 및 건축공사의 사업관리업무 등 관련자료를 분석하여 LNG 플랜트공사에 맞게 단계 및 업무를 수정하여 제시하였다.

본 연구에서는 LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정지원체계의 정의를 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위하여 각 사업관리 단계별(계약 및 설계단계, 구매 및 조달단계, 시공단계) 및 업무별로 전체 사업관리자와 각 단계별 사업관리자가 의사결정을 하는데 도움을 주는 체계로 정의하고자 한다.

LNG 플랜트공사 사업관리 의사결정지원체계의 전체 프레임은 다음 그림과 같이 구성할 수가 있다. LNG 플랜트공사는 일반 토목 및 건축공사에 비하여 구매조달단계의 비중이 크고, 리스크 요인이 높은 것이 특징이기 때문에, 사업관리의 의사결정을 지원하는 체계가 필요하다. LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정을 추진하기

위하여 의사결정의 고려항목을 공통사항과 각 단계의 사업관리업무의 항목으로 구분하여 결정하는 구조를 제안하였다. 특히, 공통적인 의사결정을 위한 고려항목은 LNG 플랜트공사의 사업을 성공적으로 수행하기 위하여 공사기간(공정), 고품질의 성과물 확보(품질관리), 적정 사업비 확보(비용), 사업의 안전(안전관리), 사업의 리스크 최소화(리스크) 등으로 구분하여 운영이 필요하다.



<그림 3-2> LNG 플랜트공사의 사업관리 의사결정 지원체계

또한, 사업관리자가 각 사업단계별로 사업관리업무 내의 의사결정을 하는데, 주요 인자를 고려한 의사결정지원을 하는데 도움을 주는 체계 구축이 무엇보다도 중요하다. 특히 이러한 의사결정지원체계는 각 단계별 사업관리업무를 효율적으로 운영하기 위하여 프로세스상에서 나타나는 문제점과 의사결정 고려항목들을 도출하여 제안함으로써, 전체 사업프로젝트의 사업관리자 뿐만 아니라, 각 단계별 사업관리자가 사업을 올바로 결정할 수 있는 의사결정지원이 가능할 것으로 판단된다. 특히, LNG 플랜트공사는 해외에 현장이 있기 때문에, 사업관리에 있어서 리스크관리, 구매조달관리 등이 건설업의 사업관리보다도 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구는 LNG 플랜트 공사의 사업관리 의사결정지원체계를 기반으로 각 사업단계별 의사결정지원모듈을 연차별로 구축하여 6차년도에는 통합적으로 운영할 수 있는 의사결정지원체계를 구축하는 것을 제안하였다.

나. LNG 플랜트공사의 사업관리 요소 도출

본 연구는 국내외 사례조사 결과를 바탕으로 국내 7개의 대형건설사 및 엔지니어링회사의 LNG 플랜트 경험이 있는 관련 전문가 11명을 대상으로 자문 및 협의를 거쳐 EPC 수행단계에 따라 총 9개의 LNG 플랜트의 건설사업관리 요소를 선정하였

다. 선정된 항목은 사업관리, 설계관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약 및 클레임관리, 안전관리, 환경관리, 리스크관리로 구분된다.

또한 본 연구에서는 사업생애주기를 기반으로 하되, 계약이후의 단계를 전제로 계약 및 설계단계, 구매 및 조달단계, 시공 및 시운전단계로 구분하여 각각의 단계별로 사업관리 요소의 세부항목을 선정하였다. 선정된 각 단계별 사업관리요소는 다음과 같다.

<표 3-1> LNG 플랜트 건설사업관리 요소

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
사업관리	정의	프로젝트 사업조직을 구성하고 사업의 계획 및 관리방법, 사업의 수행절차를 구성하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	프로젝트 수행을 위한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무의 관리를 위해 필요한 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 시운전을 위해 필요한 시공절차 및 계약 내용에 따라 착공에서부터 프로젝트 준공 및 유지관리 단계까지 원활한 프로젝트 수행을 위해 필요한 업무 및 업무절차
	세부항목	①프로젝트 조직구성 ②프로젝트 계약관리 ③문서관리체계 수립 ④기록관리체계 수립 ⑤프로젝트 목표관리 ⑥프로젝트 정보교환체계 수립 ⑦인허가 계획수립 및 수행관리	①구매조달 절차 수립 ②자재 구매계획 수립 ③자재 관리책임자 선정 ④자재 모니터링 업무 ⑤자재시험 및 운송관리계획 수립 ⑥Spare part 공급계획 수립 ⑦Specal tool 공급계획 수립	①현장사무실 개설 및 착공 ②시공관련회의 ③현장목표관리 ④시공관리정보시스템 운영 ⑤프로젝트 평가 ⑥시공관련 문서 및 자료관리 ⑦시공단계 보고서 작성 및 기록보관 ⑧시운전 및 교육 ⑨준공계획 수립 ⑩준공검사 ⑪사후평가 ⑫기술검토의견서 작성 ⑬시설물 인수, 인계 ⑭건설사업관련문서 인수 인계 ⑮유지관리 방침 및 계획 수립 ⑯유지관리 지침서 작성 ⑰프로젝트 완료보고
설계	정의	설계계획을 수립하고 설계기준검토, 설계업무절차 수립 및 설계검토회의를 수	내역서 및 자재구매 사양서를 작성하며 자재공급업체 선정과 자재관리에 필	시방서를 작성하고 시공상세도를 검토하며 준공도면 작성 및 관리를 하는데 필

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
관리		행하고 관리하는데 필요한 업무 및 업무절차	요한 업무 및 업무절차	요한 업무 및 업무절차
	세부항목	①분야간 설계검토회의 ②설계계획 수립 ③설계기준서 작성 ④설계업무절차 ⑤설계계산서 작성 ⑥설계도서 작성 및 개정관리 ⑦설계검토 ⑧설계시공성 검토 ⑨설계협력업체 수행도 평가	①설계구매 내역서 작성 ②자재구매 사양서 작성 ③자재 제작도면/설계서 작성 ④자재구매조달 공급업체 선정 ⑤불용 및 잉여자재관리	①시방서 작성 ②시공상세도 검토 ③시공성 검토 ④설계변경도서 작성 및 관리 ⑤준공도서 작성 및 관리
사업비관리	정의	프로젝트의 원가관리 및 예산편성, 그리고 효율적인 사업비 집행계획을 수립하는데 필요한 업무 및 업무절차	승인된 예산안에서 프로젝트를 완료하기 위해 필요한 물품 및 기자재의 구매 및 조달업무 수행에 필요한 사업비관리 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 유지관리를 위해 필요한 공사비를 계획하고 산정하며 시공 및 시운전 단계의 사업비집행 및 변경에 대한 업무 및 업무절차
	세부항목	①원가관리 ②비용 및 견적관리 ③기성계획 수립 및 관리 ④사업 및 공사비 예산 작성 ⑤선실행예산편성 ⑥본실행예산편성 ⑦공사비 산정 및 예산 편성 ⑧프로젝트 견적 ⑨프로젝트 실행계획 수립	①자재원가 및 실행예산 변경관리 ②자재 대금지급관리	①공사비경향분석 ②기성검사 ③공사비 대안분석 ④실행기성관리 ⑤기성 및 준공금 관리 ⑥준공정산 ⑦현장품질관리비 사용실적관리 ⑧현장안전관리비 사용실적관리 ⑨현장환경관리 사용실적관리 ⑩현장경비 사용실적관리

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
				⑪공사원가보고서 작성
공정관리	정의	프로젝트의 진행상황을 모니터링하고 평가하기 위해 기준이 되는 프로젝트 공정계획 수립을 위해 필요한 업무 및 업무절차	구매조달단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차	효율적인 시공 및 시운전을 위해 공사일정 및 공종을 계획하고 변경하는 시공 및 유지관리단계에서 필요한 일정 및 공정관리에 대한 업무 및 업무절차
	세부항목	①프로젝트 일정관리기준 설정 ②프로젝트 공정표작성 및 관리 ③프로젝트 공정계획 검토 ④설계일정관리	①구매조달 일정 수립 ②자재 구매계약 일정관리 ③자재 제작 공정관리 ④자재 지급 공정관리 ⑥핵심자재 Long Lead Item 상세일정 검토	①공종별 세부공정표 검토 ②공종별 세부공정표 운영 ③공종별 시공계획 수립 ④시공 공정관리 및 진도점검 ⑤시공분야별 관리기준 공정표 작성 ⑥공종별 시공관리 ⑦공정만회대책 수립 및 이행 ⑧공사진도 점검 ⑨공사기간 연장 ⑩공정회의 운영
품질관리	정의	계획단계에서 프로젝트가 수행해야 할 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등의 결정에 필요한 업무 및 업무절차	프로젝트 수행에 필요한 건설자재의 품질요구사항을 만족시키기 위해 품질계획, 품질보증, 품질통제 등과 관련된 업무 및 업무절차	시공 및 시운전단계에서의 요구사항을 만족시키기 위한 품질정책, 목표, 책임 등을 결정하며 품질보증 및 품질통제를 위한 업무 및 업무절차
	세부항목	①품질관리계획 및 절차수립 ②품질관리의 목표와 범위설정 ③품질관리 시방서 작성 및 관리	①자재 품질관리 계획 ②자재 공급원 승인 ③자재 검사 및 입출고 관리 ④자재 상주관리업무 ⑤기자재 납품관리 ⑥기계제작 승인 ⑦자재 부적합품 관리	①품질조정회의 운영 ②품질검사자 자격부여 및 관리 ③현장품질교육 및 훈련 ④시공 품질관리 지침서 검토 ⑤검측 및 시험 ⑥현장기자재 관리

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
			⑧자재 검측장비 관리 ⑨자재 공급업체 수행도 및 품질평가 ⑩현장 공급자재관리 ⑪건설자재 검사관리	⑦품질경향분석 및 관리 ⑧부적합사항 시정 및 예방조치 ⑨하자관리 처리 및 기술협력
계약/클레임관리	정의	프로젝트에 대한 계약/클레임방법 및 절차선정, 계약/클레임관리 및 식별, 이에 대한 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행등과 관련된 업무 및 업무절차	프로젝트의 수행에 필요한 자재 및 물품에 대한 계약/클레임방법 및 절차선정, 계약/클레임관리에 대한 업무 및 업무절차	공사수행 및 시운전에 대한 계약 방법 및 절차선정, 계약관리에 대한 주요 업무와 클레임과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①계약방법 결정 ②입찰 및 계약절차 수립 ③입찰공고 및 현장설명 ④계약관리 ⑤계약변경 ⑥설계자 선정 ⑦설계용역계약 ⑧설계용역관리	①구매계약 ②구매계약 사후관리 ③자재 공급업체 부도관리 및 후속조치 ④물품구매(소액구매) ⑤물품구매(수의계약) ⑥물품구매(입찰)	①공사중지명령 ②계약이행 지체대응 ③클레임 대책 ④클레임 관리(일반) ⑤클레임 관리(공사비) ⑥공사관련 협력업체계약 ⑦물가변동에 따른 계약금액 조정 ⑧설계변동에 따른 계약금액 조정 ⑨시공단계 설계변경 검토 및 관리
안전관리	정의	프로젝트 수행 전반에 대한 안전관리계획, 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차	프로젝트에 관련된 구매조달 과정에서의 안전관리 계획에 맞는 안전관리 이행과 관련된 업무 및 업무절차	시공 및 시운전과정에서의 안전관리활동과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①안전관리계획 및 규정 수립 ②안전요구사항 및 지침 작성	①구매조달 안전관리비 책정 ②구매조달관련 안전요구사항 및 지침 작성	①건설현장 안전조직체계 검토 ②현장안전점검 ③무재해운동추진

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
		③잠재적 위험요소 검토 ④안전관리비 책정		④안전관리 이행감독 ⑤안전조정회의 운영 ⑥안전교육훈련 ⑦안전관리 문서관리 ⑧안전관리자 배치 ⑨안전보건회의 ⑩안전장구 및 시설물 관리 ⑪안전진단 및 정기점검 ⑫안전활동 및 모니터링 ⑬안전감사
환경관리	정의	프로젝트 계획 및 설계단계에서의 환경관리계획 및 이행과 관련된 업무 및 업무절차	구매조달 품목에 대한 환경영향 검토 등과 관련된 업무 및 업무절차	시공단계에서의 환경관리 수행 및 식별, 분석, 대응, 감시 및 통제의 수행과 관련된 업무 및 업무절차
	세부항목	①환경관리 기본계획 수립 ②잠재적 환경위험요소 파악 및 결정 ③환경영향평가 ④교통, 재해 영향평가 ⑤환경영향평가 협의 이행	①구매조달 품목 환경영향 검토 ②환경관련 물품 구매·조달관리	①환경조직체계 검토 ②환경관리계획 시행감독 ③환경관리 문서관리 ④친환경 활동관리 ⑤환경교육 ⑥환경비상사태계획 및 훈련 ⑦환경오염 측정 및 모니터링 ⑧비산먼지관리 ⑨소음 및 진동관리 ⑩수질관리 ⑪오수처리관리 ⑫지하수관리 ⑬폐기물 관리 ⑭환경클레임 분석 및 대응

구분		계약 및 설계단계	구매 및 조달단계	시공 및 시운전단계
				⑮환경민원관리
리스크관리	정의	계획 및 설계단계에서 발생 이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	구매 및 조달단계에서 발생이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차	시공단계에서 발생이 예상되는 위협 및 기회 요인에 대한 식별, 분석/평가, 관리를 위한 리스크 목록을 작성하고 각 리스크에 대한 리스크 주체와 행위주체를 지정, 대처방안을 수립하고 관리할 수 있는 관련업무 및 업무절차
	세부항목	①기본설계 리스크관리 ②기계 및 설비설계 리스크관리 ③배관설계 리스크관리 ④전기설계 리스크관리 ⑤건축설계 리스크관리 ⑥토목설계 리스크관리	①공급자선정지연, 원자재가격 상승 등에 대한 리스크관리 ②핵심기자재 납기지연, 재하청에 따른 품질저하 등의 리스크관리 ③운송지연, 운송과정 중 기자재 손상 등의 리스크관리 ④현장 기자재 성능 부적합, 기자재 불량 등의 리스크관리 ⑤인터페이스 관리	①노무인력 리스크관리 ②공사대금지급 리스크관리 ③공기관리 장애요인 리스크관리 ④시공안전 장애요인 리스크관리 ⑤시운전 결험요인 관리 ⑥협력업체 리스크 관리

LNG 플랜트 사업관리에 대한 위험기반의 의사결정 지원체계를 갖추기 위해서는 앞서 선정한 LNG 플랜트 사업관리업무 항목에 대한 중요도 평가를 통하여 의사결정을 하는데 있어서 우선 고려해야할 사업관리 항목을 도출하는 것이 필요하다.

본 연구는 LNG 플랜트 생애주기별 사업관리업무의 중요도를 도출하였고, 이는 의사결정을 하는데 있어서 우선 고려해야 할 항목으로 판단된다.

조사결과 계약 및 설계단계에서는 사업관리, 리스크관리, 설계관리 업무 순으로, 구매 및 조달단계에서는 사업관리, 계약 및 클레임관리, 리스크관리 업무 순으로, 시공 및 시운전단계에서는 사업관리, 공정관리, 리스크관리 업무 순으로 중요도가 높은 것으로 조사되었으며 생애주기 전반에 걸쳐 환경관리업무가 상대적으로 중요

도가 낮게 평가되었다.

<표 3-2> 사업관리항목 및 세부항목별 중요도 조사결과

계약 및 설계단계		구매 및 조달단계		시공 및 시운전단계	
사업관리	②프로젝트계약관리	사업관리	②자재구매계획수립	사업관리	①현장목표관리 ⑧시운전 및 교육
설계관리	②설계계획수립	계약/클레임관리	①구매계약	공정관리	②공종별 세부공종표 운영 ③공종별 시공계획 수립 ④시공, 공정관리 및 점검
리스크관리	①기본설계 리스크관리	리스크관리	② 핵심 기자재 납기지연, 재하청에 따른 품질저하 등의 리스크관리	리스크관리	③공기관리 장애요인 리스크관리

이러한 조사결과는 연구수행 시 각 EPC 단계별로 의사결정 대상 중요항목으로 선정된 사업관리 항목에 대해서 세부업무에 대한 정의와 관련 리스크를 분석하고 이를 기반으로 한 의사결정 지원모듈을 제공하고자 한다.

3. 주요 연구성과

가. 학술적 성과

LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축의 학술적 성과는 아래와 같다.

- LNG플랜트사업관리요소 도출 및 중요도 평가, 한국건축시공학회 춘계학술발표대회, 2010. 05
- LNG 플랜트의 사업관리 의사결정 지원체계, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2010. 06
- LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 구조화방안, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2011. 07

나. 기술적 성과

특허 등 기술적 성과는 해당사항 없다.

4. 기술실시 및 적용사례

LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축은 의사결정지원 모델과 시스템 개발을 하는데 기초 연구성과로 특허 및 S/W 등의 기술실시 및 적용사례는 없다.

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

LNG 플랜트 사업관리 의사결정 지원체계 구축은 의사결정지원 모델과 시스템 개발을 하는데 기초 연구성과로 국내외 시장전망은 없다. 향후 본 연구에서 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 개발로 인한 국내외 시장전망에서 구체적으로 제시하였다.

2절 LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템

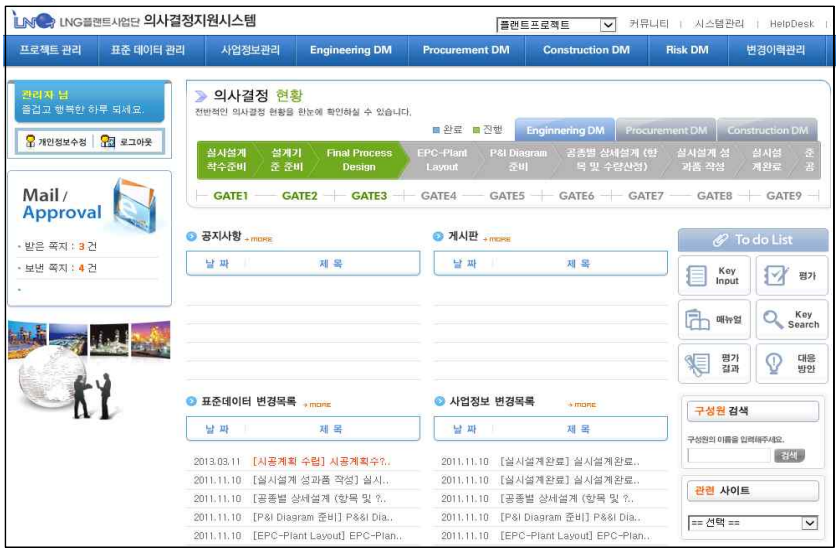
1. 연구성과 설명

LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 LNG플랜트 건설시장에 국내 건설업체가 진출하기 위한 핵심적인 기술로서 시장, 발주자의 니즈를 충족시키고 경쟁력을 갖출 수 있는 독자적인 사업관리기법의 확보를 위한 핵심적인 요소이다.

본 연구는 의사결정지원시스템을 개발하기 위하여, LNG 플랜트 의사결정지원체계의 계층구조와 의사결정지원모델을 설계단계, 구매조달단계, 시공단계로 구분하여 의사결정지원체계와 모델을 구축하고, 이를 기반으로 시스템을 개발하였다.

LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템은 LNG사업의 특성이 반복적인 사업이 아닌 해당국의 특성, 부지특성, 핵심공정의 특수성 등을 고려한 비반복적이고 개발 위주의 사업을 관리하기 위하여 Robert G. Cooper가 1986년 최초로 성공적인 상품 개발활동을 수행하기 위해 개발하고, R&D사업관리에 많이 활용되는 Stage-Gate 모델을 적용하여 개발하였다.

Stage는 LNG 사업관리활동(Activity)와 사업관리결과의 분석(Analysis)활동으로 구성되며 이를 토대로 각 단계별로 결과물(Deliverables)을 도출하는 세부단계를 말하며, Gate는 사업관리 의사결정기준, 또는 사업관리성과 평가/검증기준(Criteria)을 통해 결과물을 검토하고 각 단계별 성과(Stage Output)로 확정하고 그에 따른 대응활동으로서 다음 단계(업무)로 진행할지, 중단할지, 또는 보류하거나 재작업을 할지를 결정하는 지점을 말한다. 따라서 본 연구는 설계, 구매조달, 시공단계의 스테이지게이트 모델을 구축하고, 이를 기반으로 리스크를 고려한 의사결정지원모듈과 시스템을 개발하였고, 전체적인 의사결정지원시스템 개념도는 아래 그림과 같다.



<그림 3-3> 의사결정지원시스템 주요 화면

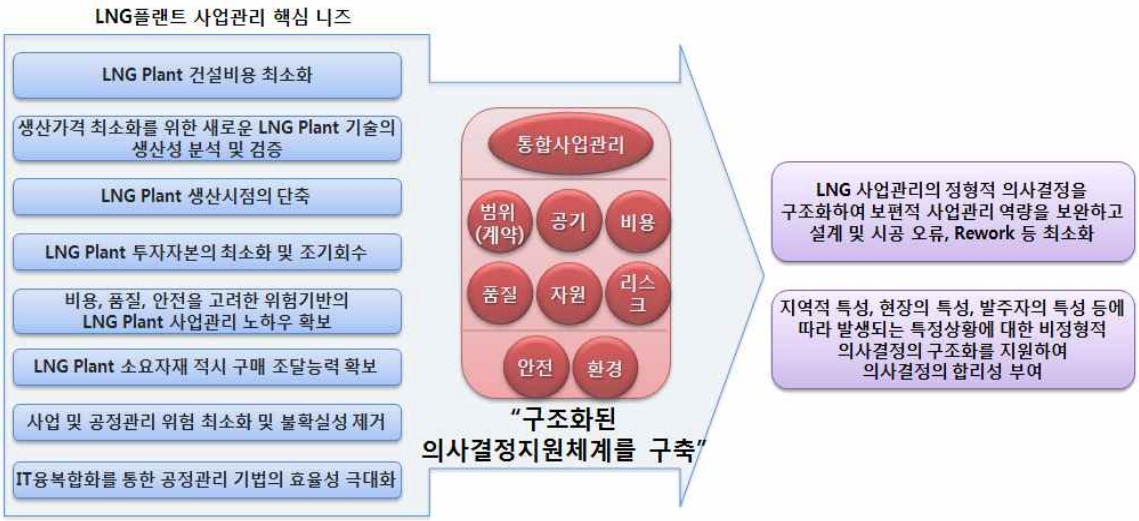
2. 핵심요소기술

가. 의사결정지원체계의 계층구조

사업관리 의사결정지원체계는 사업관리기법에 있어서 구조화된 의사결정지원체계를 구축하는 핵심적인 항목으로 부족한 사업관리 역량을 보완하고 발주자, 사업관리자 및 시공자의 사업목표 및 가스플랜트사업에 관한 니즈를 만족시키는 역할을 수행하며, 이를 통해 부족한 경험을 보완할 수 있는 체계이다. 본 연구에서 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하는 것은 다음과 같은 두 가지 목적을 가지고 있다.

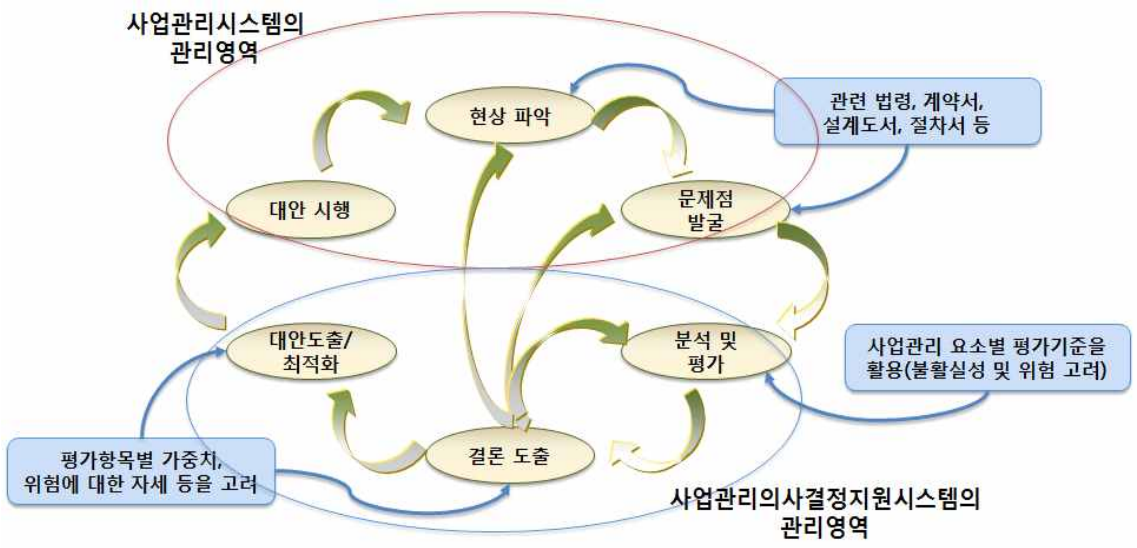
① LNG 사업관리의 정형적 의사결정을 구조화하여 보편적 사업관리 역량을 보완하고 설계 및 시공 오류, Rework 등 최소화

② 지역적 특성, 현장의 특성, 발주자의 특성 등에 따라 발생되는 특정 상황에 대한 비정형적 의사결정의 구조화를 지원하여 의사결정의 합리성 부여



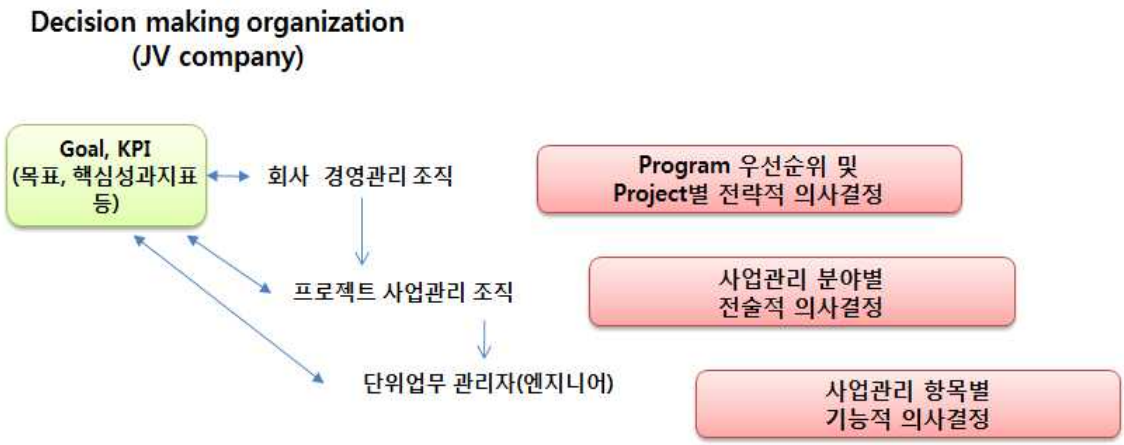
<그림 3-4> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 개발의 필요성

본 연구에서 개발되는 사업관리 의사결정지원체계는 사업수행과정의 논리적인 의사결정구조, 절차와 결합하여 구조화된 체계로 대안을 도출하고 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현하고자 한다. 따라서 의사결정지원시스템의 관리영역은 사업관리 요소별 평가기준을 도출하고 분석 및 평가결과를 활용하여 사업관리 활동에 있어서 불확실성과 위험을 최소화하는 것이며, 평가항목별 가중치, 위험도 지수 등을 토대로 위험에 대한 접근방식에 따라 다양한 대안의 도출 및 최적화를 꾀하고자 한다.



<그림 3-5> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 관리영역

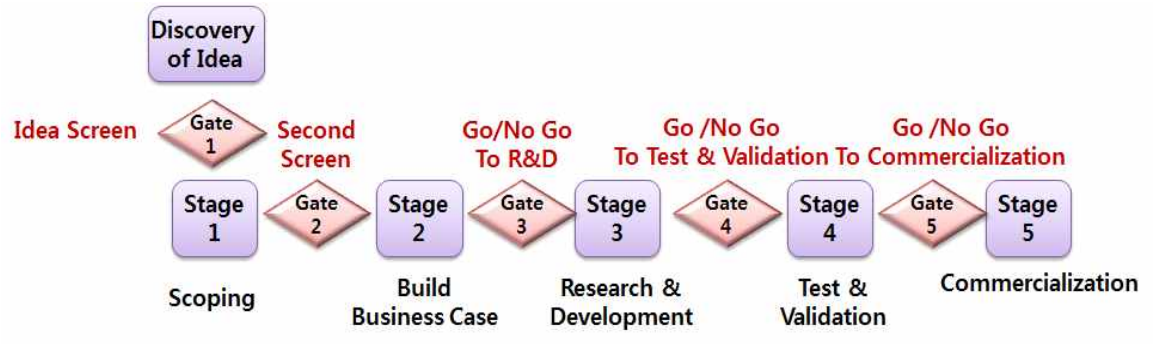
LNG 사업관리 의사결정지원체계는 사업관리조직의 계층적 구조와 연계하여 LNG사업의 전략적 목표, 핵심성과지표 등을 토대로 EPC회사의 경영관리조직에게 있어서는 Program 우선순위 및 Project별 전략적 의사결정을 지원하고, 프로젝트 사업관리조직에 있어서는 사업관리 분야별 전술적 의사결정을 지원하며, 단위업무(Work Package 수준) 관리자인 엔지니어에게는 사업관리 항목별 기능적 의사결정을 지원한다.



<그림 3-6> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계의 계층적 구조

사업관리 의사결정지원체계의 개발에 있어서 본 연구에서는 LNG사업의 특성이 반복적인 사업이 아닌 해당국의 특성, 부지특성, 핵심공정의 특수성 등을 고려한 비반복적이고 개발 위주의 사업으로 규정하고, Robert G. Cooper가 1986년 최초로 성

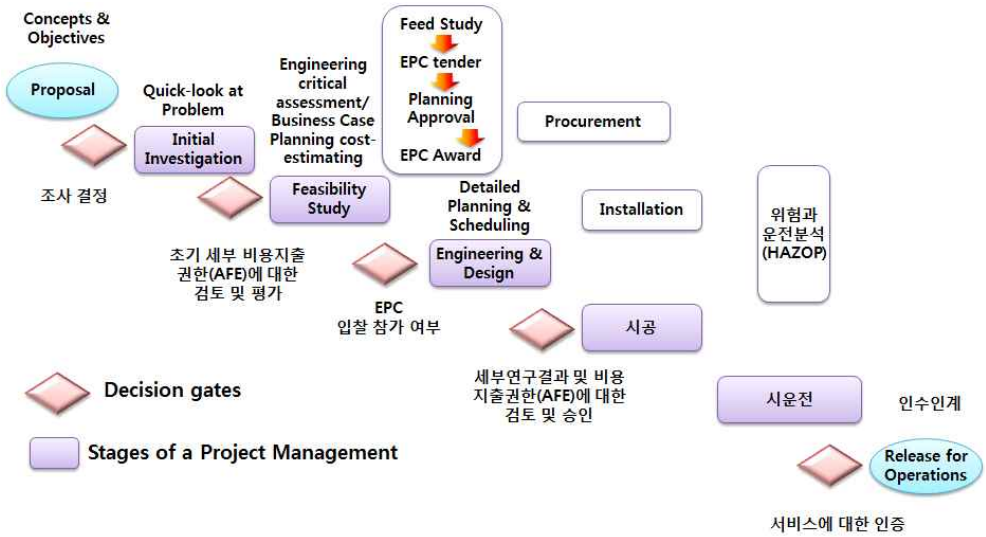
공적인 상품 개발활동을 수행하기 위해 개발하고, R&D사업관리에 많이 활용되는 Stage-Gate 모델을 활용하고자 한다. Stage는 LNG사업관리활동(Activity)와 사업관리결과의 분석(Analysis)활동으로 구성되며 이를 토대로 각 단계별로 결과물(Deliverables)을 도출하는 세부단계를 말하며, Gate는 사업관리 의사결정기준, 또는 사업관리성과 평가/검증기준(Criteria)을 통해 결과물을 검토하고 각 단계별 성과(Stage Output)로 확정하고 그에 따른 대응활동으로서 다음 단계(업무)로 진행할지, 중단할지, 또는 보류하거나 재작업을 할지를 결정하는 지점을 말한다.[13]



<그림 3-7> Robert G. Cooper의 R&D사업에 대한 Stage-gate model

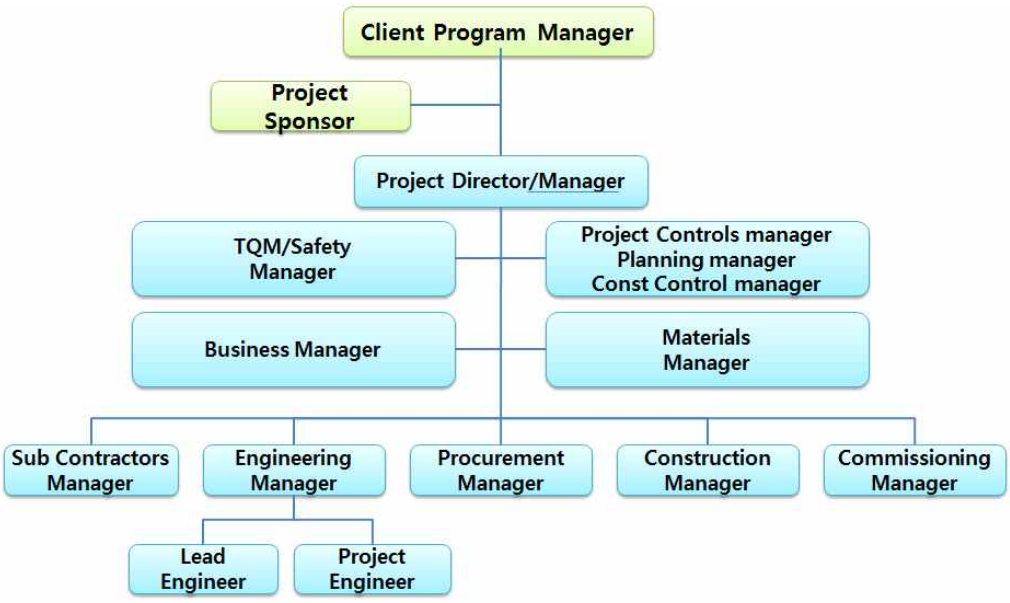
다음 그림은 LNG 플랜트사업의 전체 단계를 Gerald B. Greenwald가 표현한 것으로 사업관리활동에 있어서 핵심적인 의사결정항목이 LNG플랜트사업의 비용지출권한(Authorization For Expenditure, AFE)에 대한 검토 및 평가, 승인의 과정임을 보여주고 있다.[14]

13) http://www.prod-dev.com/stage-gate.php 참조
14) Gerald B. Greenwald, Liquefied Natural Gas: Developing and Financing International Energy Project,1998



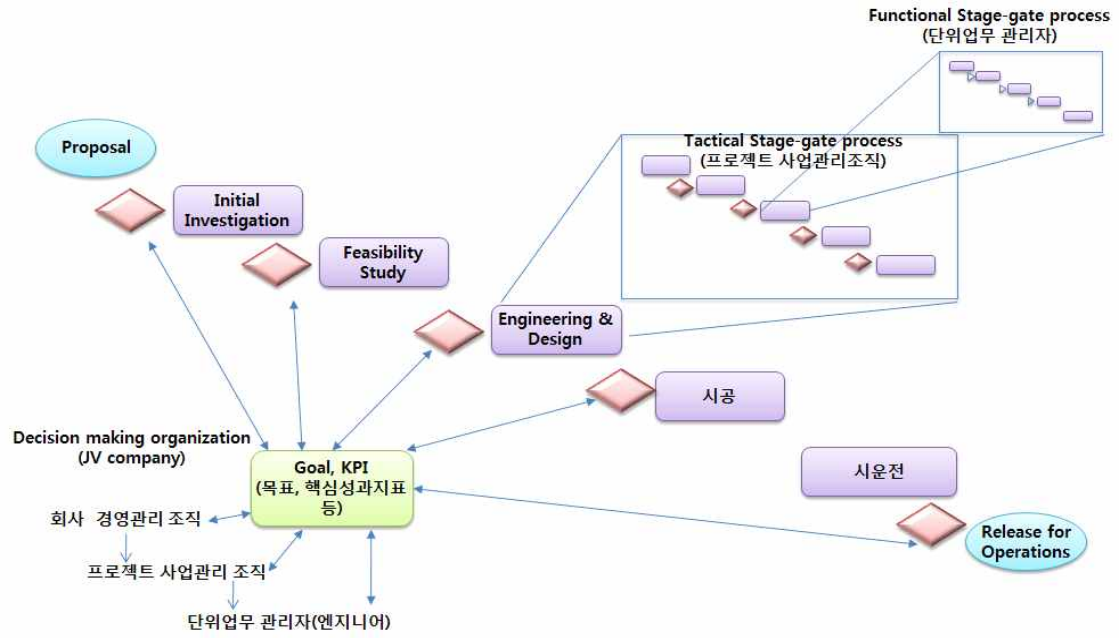
<그림 3-8> LNG플랜트 pre-FEED, FEED, EPC단계별 사업관리에 대한 Stage-gate model

이러한 Stage-Gate모델과 결합되는 EPC업체의 프로젝트 조직체계는 다음과 같다.



<그림 3-9> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계

LNG 플랜트사업에 있어서 의사결정지원체계는 사업관리자 조직이 해당 LNG사업 수행에 관한 전략적 의사결정을 수행하며, 부문별 사업관리자 조직이 전술적 의사결정, 그 하위 엔지니어들이 단위업무별 의사결정활동을 수행하는 것으로 제시하고자 한다.

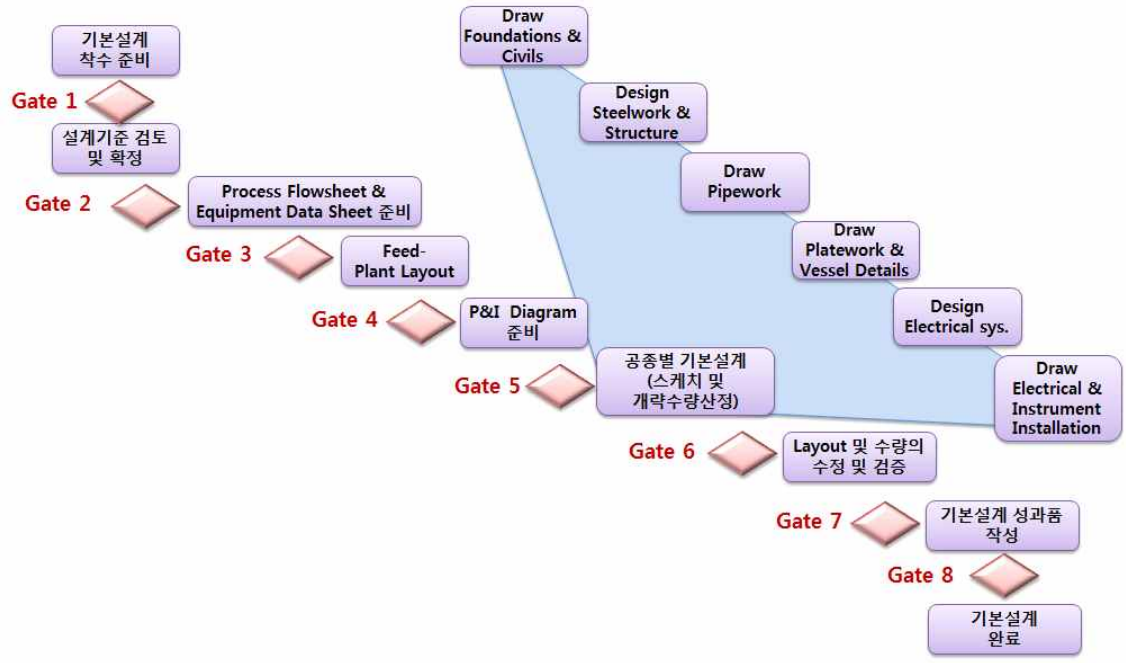


<그림 3-10> LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계와 의사결정의 계층구조

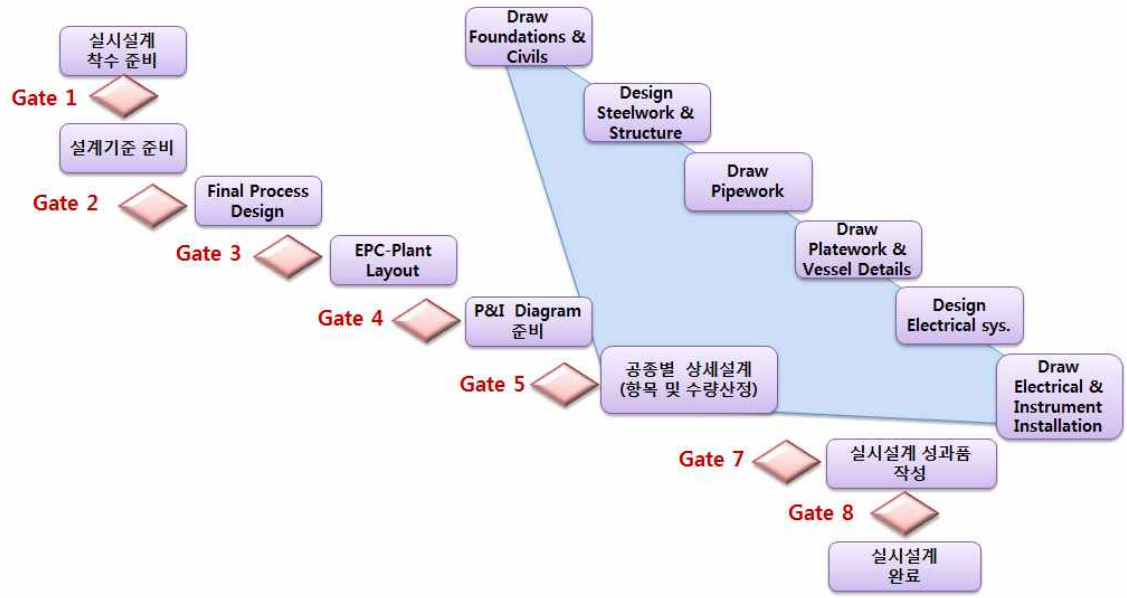
나. 설계·구매조달·시공단계의 의사결정지원모듈

(1) 의사결정지원모델

설계단계의 경우 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하기 위해 우선적으로 진행한 것은 사업관리단계를 총괄적으로 점검하는 시점별로 프로세스를 구매 및 조달 프로세스를 제외하고 다음 그림과 같이 구분한다. 이러한 단계는 의사결정을 위한 체크포인트로서 EPC단계에 해당하는 상세설계단계를 중심으로 설계관리의 의사결정지원체계를 구축하고자 한다.

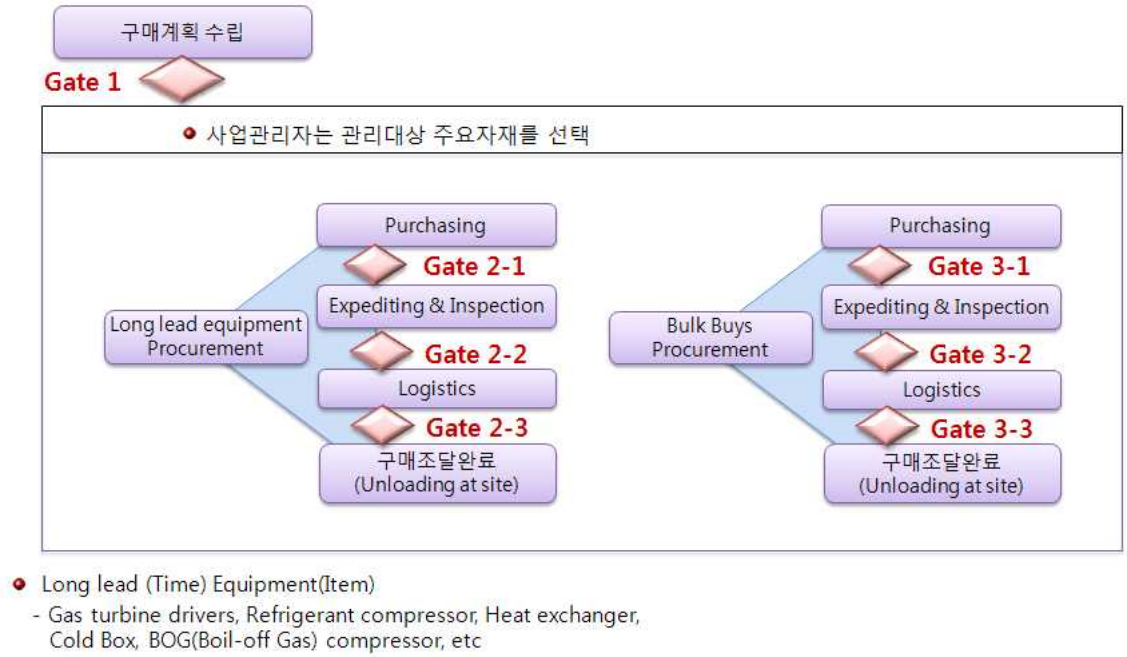


<그림 3-11> LNG플랜트사업의 기본설계(FEED)단계의 Stage-Gate Process Model



<그림 3-12> LNG플랜트 실시설계(Engineering)단계의 Stage-Gate Process Model

구매조달단계의 경우 설계-시공과정 중에 구매조달과 관련된 행위가 발생하며 중요자재 등 자재의 종류와 시공과정에 따라 구매시기 및 절차에 차이가 발생하므로, 이를 감안하여 구매계획수립과 모든 구매가 완료되는 구매계약완료를 제외하고 주요자재와 벌크형 자재로 구분하여 Stage-Gate Process Model을 수립하였다.



<그림 3-13> 구매조달 단계의 Stage-Gate Process Model

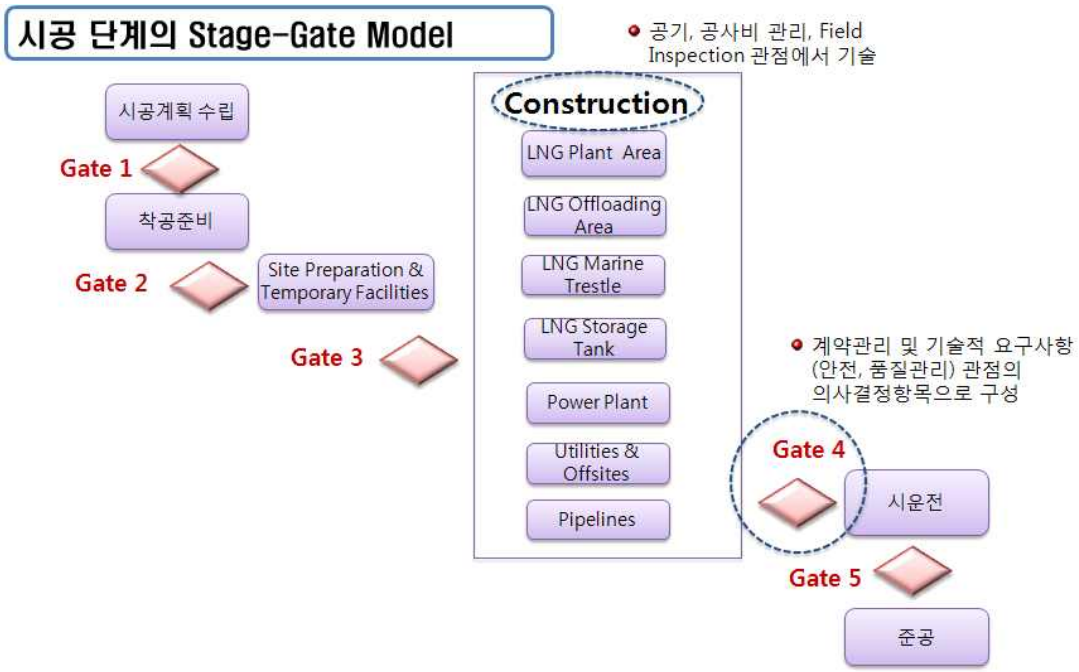
시공단계의 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하기 위해서 다른 단계와 구분되는 시공단계 의사결정의 특성 파악과 이를 토대로 Stage-Gate 모델의 적용성을 강화하는 방안이 우선적으로 검토하였다.

<표 3-3> 시공단계 LNG 플랜트 사업관리 의사결정의 특성

▪ 시공기간이 장시간 소요되고 공기·공사비·품질 등 관리활동 측면의 의사결정이 요구된다. ▪ 공사수행과정상의 의사결정기준은 Go-No go Criteria 위주의 판별기준이 적용된다. ▪ 공사수행과정상의 계량적 평가(Scored Criteria)는 세부적인 과정에서 의사결정에서는 필요할 수 있으나, 다음 단계인 시운전으로 넘어가기 위한 의사결정에서는 불필요

이를 토대로 시공단계를 다음 그림과 같이 시공계획 수립, 착공준비, 부지 준비 및 가시설물 설치, 시공, 시운전, 준공의 6개의 Stage로 구분하였다. 각 Stage별 Gate는 설계, 구매 및 조달 단계와 동일하나, 현장시공(Construction)단계는 장시간

이 소요되는 과정에서 의사결정지원모듈이 지원해주어야 할 관점을 공기 및 공사비 관리, 현장 Inspection 활동 지원의 관점에서 제시하도록 모델을 제시하였다. 현장 시공단계는 일반적인 LNG 플랜트 건설사업의 관리기준공정표를 토대로 LNG Plant, Offloading Area, Marine Trestle, Storage Tank, Pipeline, 그리고 부속시설물로서 Power Plant, 관리동, 헬리포트 등 Utilities & Offsites의 7개의 Area로 구분하여 사업관리 활동을 사업관리자가 수행할 수 있도록 구성하였다.

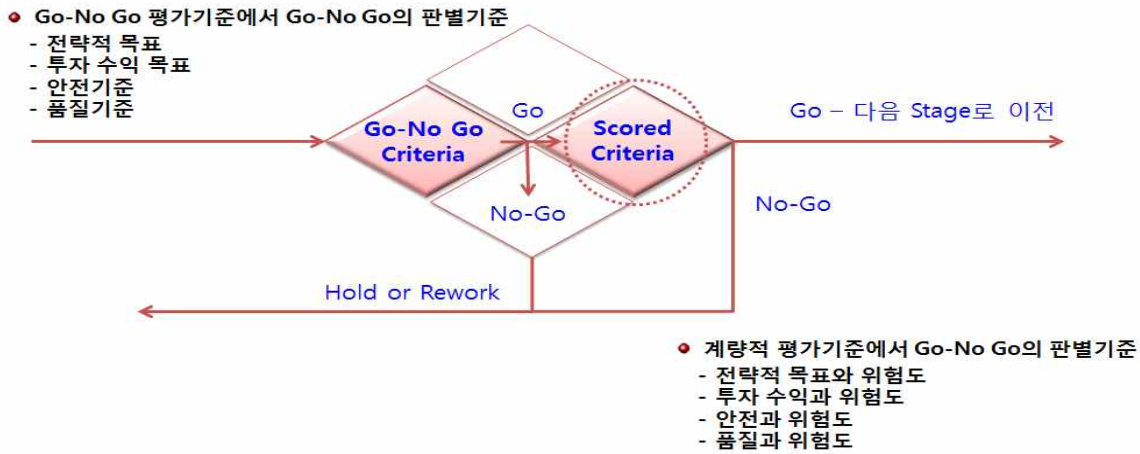


<그림 3-14> 시공단계의 Stage-Gate Process Model

이에 따라 Gate 1, Gate 2, Gate 3는 기존의 LNG 플랜트사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직을 활용하여 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 투자수익목표 부합성, 안전기준 및 품질기준에 대한 부합성을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성하였다. 그러나 Gate 4와 Gate 5는 기존의 의사결정 로직 중 Go-No Go Criteria만을 활용하여 시설물에 관한 계약 요구조건의 부합여부를 체크리스트 형태로 운영하는 의사결정 로직으로 적용하였다.

(2) 의사결정지원 로직

LNG 플랜트사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직은 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 투자수익목표 부합성, 안전기준 및 품질기준에 대한 부합성을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성한다.



<그림 3-15> LNG플랜트 EPC사업의 Stage-Gate Model의 Gate상의 의사결정로직 개념

LNG 플랜트 사업의 핵심적인 의사결정항목은 크게 범위(Scope), 공기 및 공사비(Value for Money), 사업통합관리(Project Integration), 기술적 타당성 및 부합성(Technology Requirement)으로 구분하고 세부 의사결정항목을 제시한다.

<표 3-4> LNG 플랜트 사업관리 의사결정 항목

Category	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목
1.범위(계약)	발주자 및 EPC회사의 전략적 목표 완수 및 계약 이행	- 계약범위의 적정성 - LNG플랜트 부지의 적합성 및 최적화 여부 - 발주자 요구사항 부합성 - 라이선스 확보 여부
2. 공기 및 공사비	위험최소화에 기반한 투자효율성 극대화	- 공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) - 공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) - 수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간등)
3. 아웃소싱 및 협업관리	투자효율성 극대화 및 EPC회사 역량 확보를 전제로 우수 협력업체 확보	- 아웃소싱 타당성 - 현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 - 지속적인 EPC역량 강화 가능성
4. 기술적 요구사항(안전, 품질 위주)	안전, 품질등 기술적 요구사항에 부합하고 타당성(실현가능성) 강화	- 핵심공정 및 적용기술의 타당성 - 핵심공정 및 적용기술의 실현가능성 - 핵심공정 및 적용기술의 불확실성 - 안전기준 등 기술적 요구사항 부합성

위와 같은 사업관리항목을 토대로 세부 의사결정 단계별(Check Point)별로 세부적인 평가기준을 제시하고 이에 대한 계량적 평가가 가능하도록 제시한다. 다음은 각 단계별 Gate에 대한 Go-No Go의 평가기준과 의사결정항목을 표현한 것이다. Go-No Go 기준은 계약관리, 품질과 안전에 관한 의사결정항목만 반영되도록 하였다.

다음 그림은 LNG 플랜트 EPC사업자의 설계 업무 중 EPC-Plant Layout와 시공단계의 평가항목을 제시한 Gate Review factor이다.

Category	Goal	Key inputs	Evaluation Criteria	Evaluation (yes or no 등)
1. 범위	▪ 공기지연 및 공사비 증가를 방지하기 위해 발주자의 요구조건에 맞게 계약상의 범위를 block Plan과 Layout 도면에 반영하여 확정	• Process Flow sheet • Equipment Data Sheet • Vendor Drawings • Material Transport Systems • 이전 Layout Data • Item별 설계 Data 표준	▪ 최적화된 부지면적 산정여부	Score
			▪ 인간공학적인 부지설계 여부	Score
			▪ 운영을 위한 이동경로시간	Score
			▪ Plant 운영건물의 위치	Score
			▪ Plant건설의 인허가 조건 등	Go-No Go (Score)
2. 공기	▪ 타당성검토결과와 Process Design 결과,, 핵심 입력요소들을 토대로 정확성(±10% 이내) 높은 공사기간을 개략 산정		▪ Material transport 경로 최소화	Score
			▪ 안전 위해요소의 제거	Go-No Go (Score)
			▪ 중간 자재적치장 위치의 적정성	Score
3. 공사비	▪ 타당성검토결과와 Process Design 결과,, 핵심 입력요소들을 토대로 정확성(±20% 이내) 높은 공사비를 개략 산정		▪ 중간 자재적치장 위치의 적정성	Score
			▪ 공사중 이동경로의 적정성	Score
			▪ 벌개제근, 굴착 등 토공 비용 최소화 여부(토공의 비중 정도)	Score
:	:	:	:	

<그림 3-16> LNG 플랜트 EPC계약에서 Plant Layout 업무에 관한 사업관리 의사결정 항목

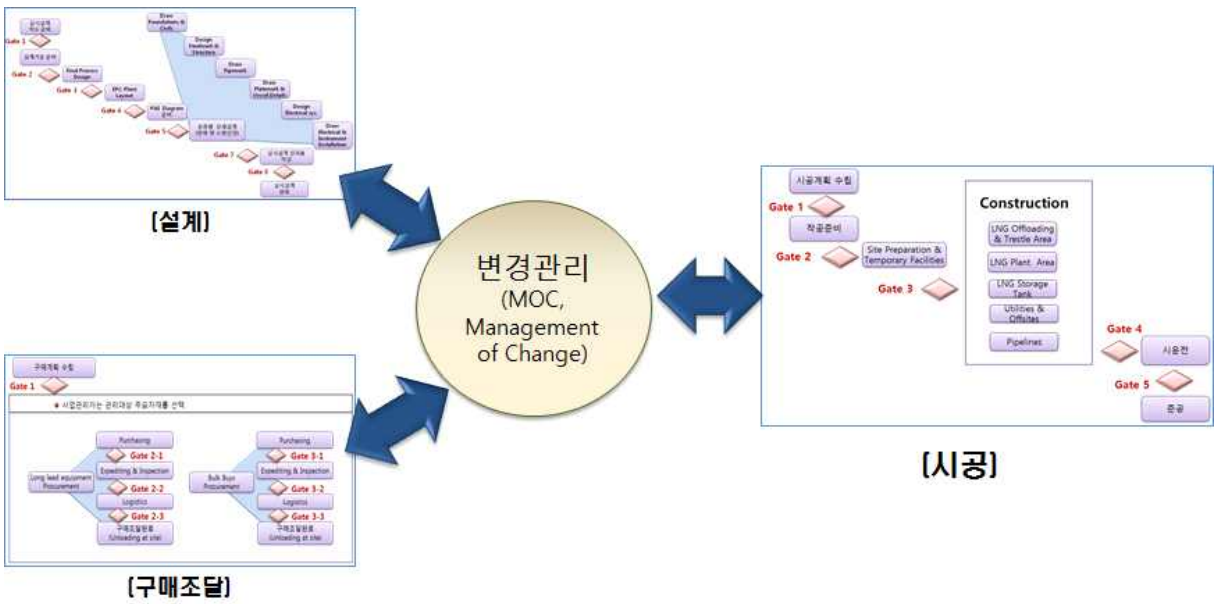
구분	목표	의사결정항목(프로젝트별 선택적 사항)	Go-No Go 기준 여부	Decision Index Type	Score
1.범위 및 계약	공기지연 및 공사비 증가를 방지하면서 발주자의 요구조건에 맞게 확정된 계약상의 범위를 수행하고, 계획된 프로젝트 목표를 완수(전략적 요인을 포함)	1. 계약범위 반영의 적정성 여부	O	S, C	
		2. 발주자의 요구사항 부합성 검토	O	S	
		3. LNG Plant 관련 라이선스 추가확보 여부		S, C	
		4. LNG 건설사업의 실적 확보		S, C	
		5. LNG 건설사업의 전문인력 양성		C	
2. 공기	계획된 공사기간에 부합	1. 일정계획과의 부합정도		C	
		2. Material & module transport 최소경로의 적합성		SF. C	
		3. 건설인력 공급의 적시성		C	
3. 공사비	계획된 공사비에 부합	1. 자금투입계획과 부합정도		C	
		2. 자금조달계획과 부합정도		C	
		3. 공사비 절감활동의 적정성		C	
4.품질	해당 시설물의 품질적 요구수준에 부합	1. 성능시방서의 요구조건 및 시공상세도면에 대한 부합정도	O	S, Q	
		2. Inspection 항목에 대한 적합성	O	Q	
		3. LNG 천연가스 등 재료의 이동을 위한 간격의 유지 여부	O	Q	
		4. 기존 설비, 시설물과의 연계성에 대한 요구조건	O	S, Q	
		5. LNG 플랜트의 운용 편의성(Operability)	O	S, Q	
		6. LNG 플랜트의 유지관리 편의성(maintainability)	O	Q	
		7. 플랜트 운영자를 위한 충분한 작업여건 제공 여부	O	S, Q	
		8. 운영을 위한 이동경로시간의 최소화 여부	O	S, Q	
5.안전	NFPA 59A 의 요구조건과 발주자의 특별 요구조건에 부합	1. 액화 천연가스 생산, 저장, 취급에 관한 기준인 NFPA 59A와의 부합성	O	SF	
		2. 가연성 재료, 독성 가스 등의 유출방지설비 및 방류둑의 구축여부	O	SF	
		3. 다양한 현장활동에 대한 위험요소의 제거 및 최소화 여부	O	SF	
		4. 응급상황에서 대응활동의 접근성 및 운영인력의 탈출 가능성	O	SF	
		5. LNG 부지의 보안성 확보 여부	O	SF	
6.환경	환경 위해요소의 유출방지 기능의 구축	1. LNG 천연원료의 유출 방지를 위한 적절한 설비의 구축 여부		SF	
		2. 환경 위해 폐기물의 유출 방지를 위한 적절한 설비의 구축 여부		SF	

전략지수(S)
비용지수(C)
품질지수(Q)
안전지수(SF)

<그림 3-17> 시공단계의 Gate 의사결정기준(예시)

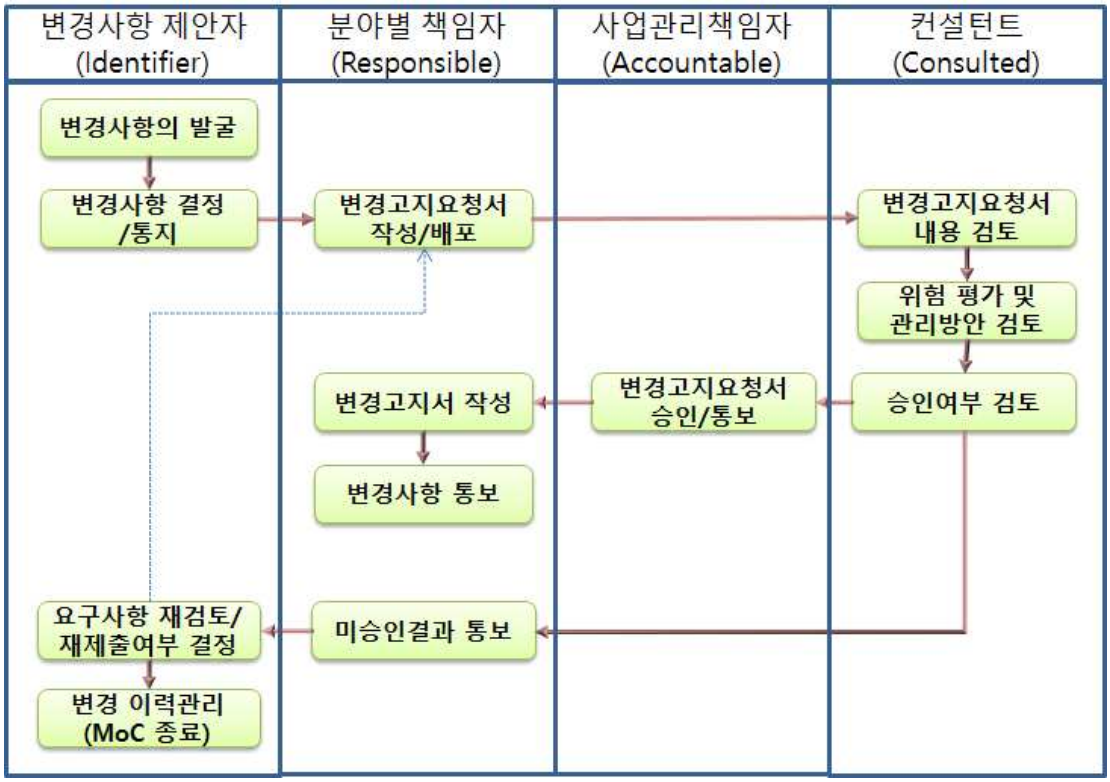
한편, 본 연구는 선행연구인 1단계 및 2단계 연구를 통하여 설계, 구매조달 단계의 의사결정지원모듈을 구축하였다. 3단계에서는 앞에서 개발된 시공단계의 의사결정지원모듈을 포함한 EPC 각 단계별 의사결정지원모듈을 통합하는 개념을 적용하여, 통합의사결정지원모듈을 구축하였다.

의사결정지원모듈의 통합개념은 LNG 플랜트 건설사업을 수행하는 과정에서 발생되는 개별 프로젝트 수준의 각 단계별, 또는 각 Stage별 인터페이스와 변경에 관한 이슈들을 다른 단계, 다른 Stage에 반영하는 프로젝트 변경관리 거버넌스(Project Management of Change Governance)를 구축하는 것으로 규정하였다. 이처럼 통합의사결정지원개념을 프로젝트 변경관리 개념으로 규정한 이유는 먼저 LNG플랜트 건설사업의 특성이 동시공학적 특성을 가지고 있어 설계, 구매 및 조달, 시공단계가 순차적인 흐름과 동시병행적인 흐름이 공존하고 있기 때문이다. 순차적인 흐름은 이미 각 단계별 의사결정모듈을 통해 구현하였으므로 남아 있는 동시병행적인 흐름을 각 단계, 각 Stage의 통합개념으로 해결하고자 한 것이다. 두 번째로 LNG플랜트 건설공사는 대형공사(Mega Project)로서 자재, 장비, 설계도면 등 문서의 변경뿐만 아니라, 조직, 조달경로, 시공프로세스 등에 있어서 다양한 변경요인들이 다른 일반 건설공사보다 빈발하고 있기 때문이다. 마지막으로 변경에 대한 이슈가 다른 단계, 다른 Stage에 영향을 미칠 뿐만 아니라 각 단계별 의사결정결과에도 변경이 발생될 수 있기 때문이다.



<그림 3-18> 각 단계별 Stage-Gate모델과 변경관리를 결합한 통합의사결정지원체계의 개념도

이에 따라 본 연구에서는 각 단계별, 각 Stage별 변경관리 활동을 LNG플랜트 건설공사의 의사결정지원과정과 연계시키고자 인터페이스 관리를 포함한 변경관리 모듈을 구현하였으며, 그 모듈 개발을 위한 프로세스모델은 다음과 같다. 이 프로세스는 변경사항의 발굴, 변경사항의 적정성 검토, 결정된 변경사항의 반영의 과정으로 제시하였다.



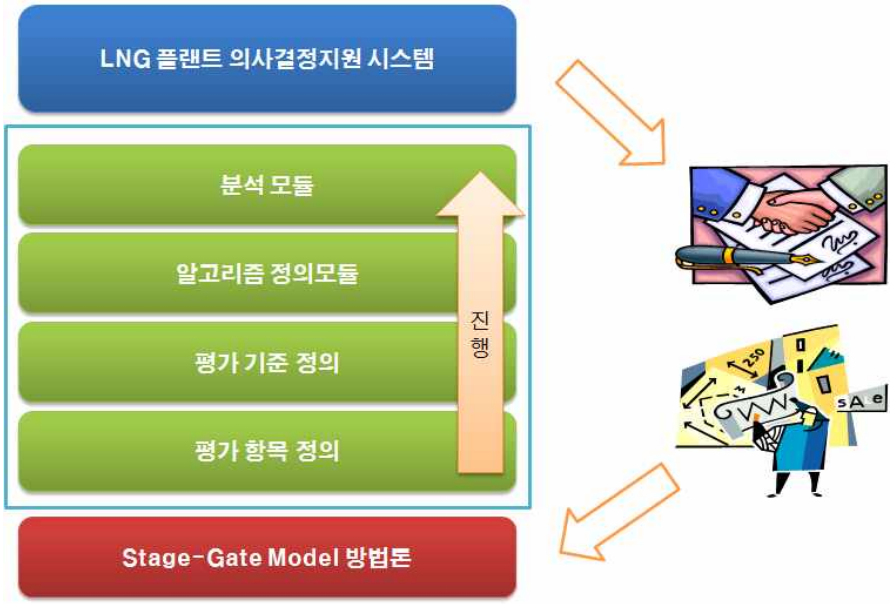
<그림 3-19> 변경관리 모듈 구축을 위한 프로세스 모델

그리고 변경관리 내용에 대한 이력관리를 수행하여 단일 프로젝트 내에서 변경활동에 대한 내용과 결과, 책임, 그리고 다양한 영향 등을 파악할 뿐만 아니라 다른 LNG프로젝트의 수행에 필요한 지식을 축적할 수 있도록 매뉴얼에 반영할 수 있는 기반을 구축하고자 하였다.

다. 설계·구매조달·시공단계의 의사결정지원시스템

(1) 의사결정지원모듈 프레임워크

LNG 플랜트사업 의사결정지원체계를 토대로 의사결정지원모듈을 다음과 같이 개발하였으며, 기술은 EPC단계 통합 의사결정지원모듈 중심으로 설명하였다.



<그림 3-20> LNG 플랜트 의사결정지원모듈 Framework

LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템은 의사결정 평가기준을 생성하는 사전모듈과 평가기준에 대한 정량적 평가를 위한 알고리즘 정의모듈, 실제적인 정량적 분석을 수행하는 계산모듈, 평가결과의 시각적 표현을 하는 UI로 구성되어 의사결정지원을 소프트웨어로 구성한다.

(2) 의사결정지원시스템 구성

전체 시스템의 구성은 평가항목 정의 모듈, 평가기준 정의 모듈, 분석 알고리즘 정의모듈, 분석 모듈과 향후 타 시스템과의 연계가능성을 고려한 정보연계 기능 개발 등으로 구성한다. 개발된 모듈을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

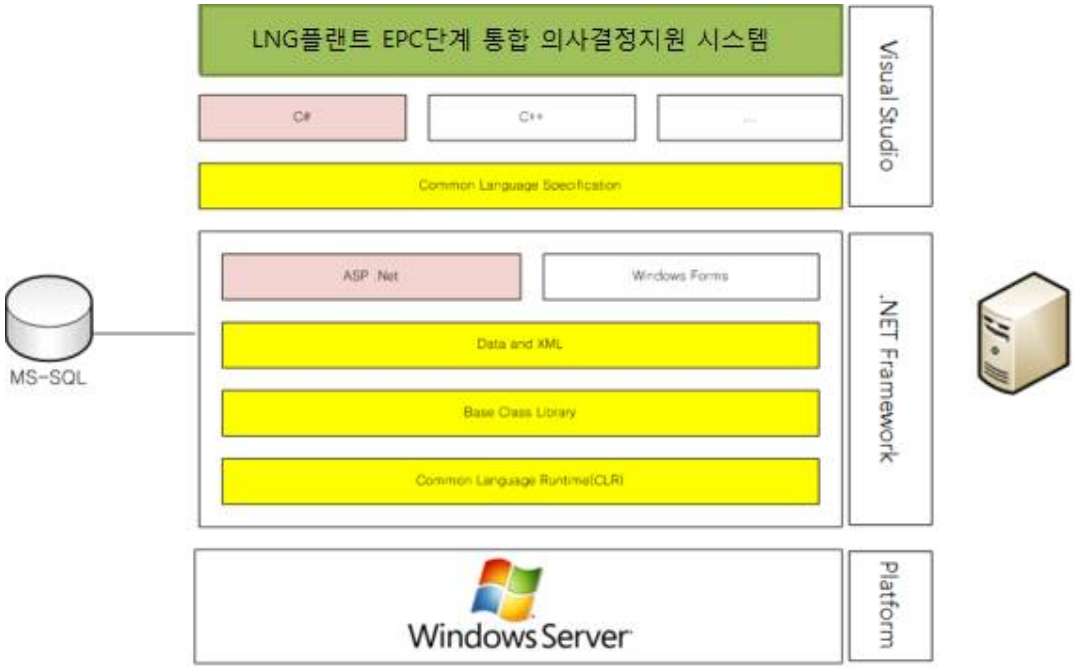
<표 3-5> LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 모듈 구성

구성모듈	세부내용
의사결정지원 평가항목 정의모듈	평가항목 도출에 의한 시스템화는 EPC단계의 Gate, Gate별 Category, Category별 평가항목을 생성하고, 생성된 평가항목에 따른 Risk, 대응방안을 사용자가 정의 할 수 있는 기능을 개발한다.
의사결정지원 평가기준 정의 모듈	의사결정지원 평가항목에 대한 정의를 통해 다양한 평가기준에 대한 정량적 분석을 위한 입력 방법, 기준 설정 기능 등을 개발한다.
의사결정지원 분석 알고리즘 모듈	의사결정지원에 필요한 평가 분석을 위한 분석 알고리즘 기능을 구현하고, 이를 최적화하여 분석 결과에 대한 다양한 검증 방법을 적용하여 알고리즘 모듈을 개발한다.
사용자 인터페이스 모듈	분석 알고리즘 모듈에 의해 분석된 결과를 사용자 인터페이스에 표현을 하며, 표현된 인터페이스는 최소의 입력과 의사결정지원체계에 맞는 사용자의 편의성을 고려한 직관적이고 쉽도록 개발한다.
변경이력관리모듈	EPC단계의 Gate, Gate별 시방서, 설계도서, 자재 등의 변경이 발생하면 대상 Stage, CO대상, 처리상태, 변경 내용, 처리 결과의 자료를 생성/수정/저장한다.
모바일 웹시스템 기능	모바일 기기의 작은 화면에서도 의사결정 평가결과 조회가 가능하도록 평가결과의 조회 화면을 별도로 구성하고, 다양한 모바일 환경에 대응 할 수 있도록 표준 웹 기술을 이용한 모바일 웹 시스템을 구축한다.

우선 '시스템개요→시스템설계→시스템개발'의 순서로 설명하였으며, 시스템설계는 '시스템 구성, 모듈 구성, 데이터베이스 설계, 화면설계'에 대하여 설명하고, 시스템 개발은 '메인화면, 프로젝트관리, 표준데이터관리, 사업정보관리, Engineering DM(Decision Making), Risk DM(Decision Making), 시스템관리'에 관하여 설명하였다.

(가) 시스템 개요

LNG 플랜트 시공단계 및 EPC단계 통합 의사결정지원모듈 시작품 개발의 시스템은 Windows기반에 .Net Framework을 사용하고, C#개발 언어와 Microsoft의 MS-SQL2005 Database을 사용하여, LNG 플랜트 의사결정지원을 위한 소프트웨어를 개발하였다.



<그림 3-21> 개발시스템 Framework

Window Server Platform 기반에 .NET Framework를 사용하였으며, ASP.Net을 활용하여, Web기반의 WebForm과 Web Service을 활용하여, 다양한 위치의 다양한 사람들이 Collaboration이 가능한 시스템을 개발하였다.

(나) 시스템 설계

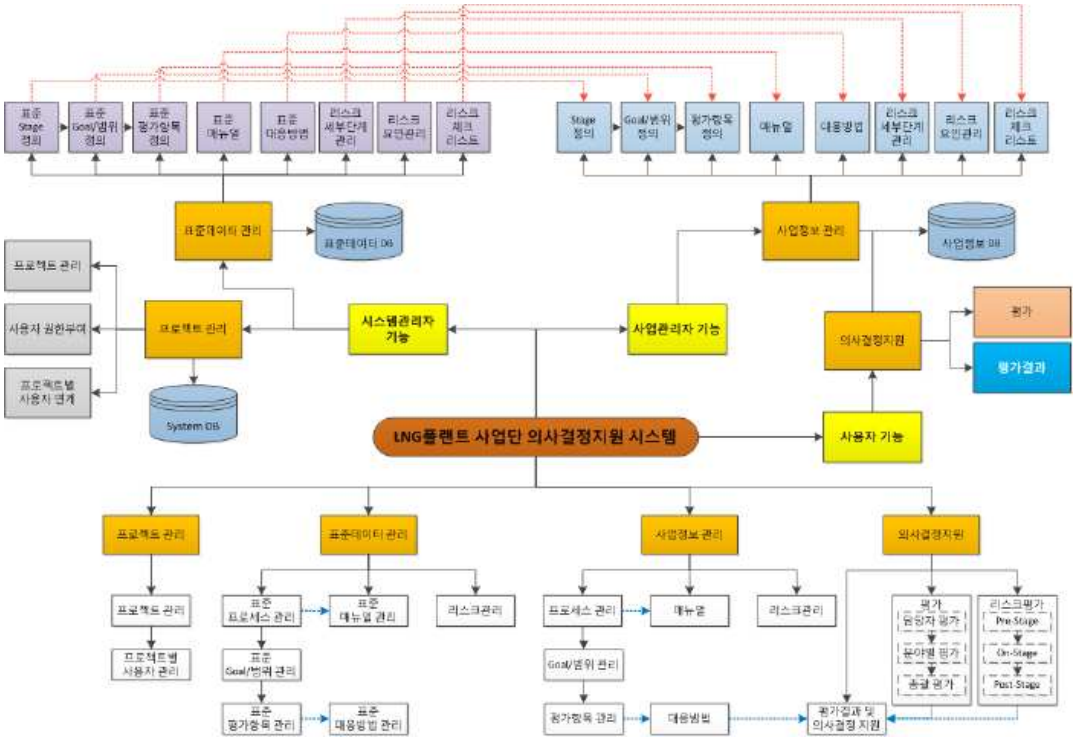
시스템은 프로젝트 관리, 표준데이터 관리, 사업정보관리, 의사결정지원과 같이 4가지로 크게 나누어 구성되었다.

프로젝트관리 기능은 프로젝트의 생성/수정/삭제 기능과, 사용자 관리, 메뉴관리, 권한관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.

표준데이터관리의 경우는 다수의 프로젝트를 관리하는 총괄 관리자가 주로 사용하는 영역으로 정보의 생성/수정/삭제와 의사결정을 위한 평가기준, 평가방법을 표준으로 생성하여 프로젝트 관리자가 표준데이터를 활용하여, 쉽고 편리하게 해당 프로젝트의 기능을 구성 할 수 있도록 하는 기능을 구성하였다.

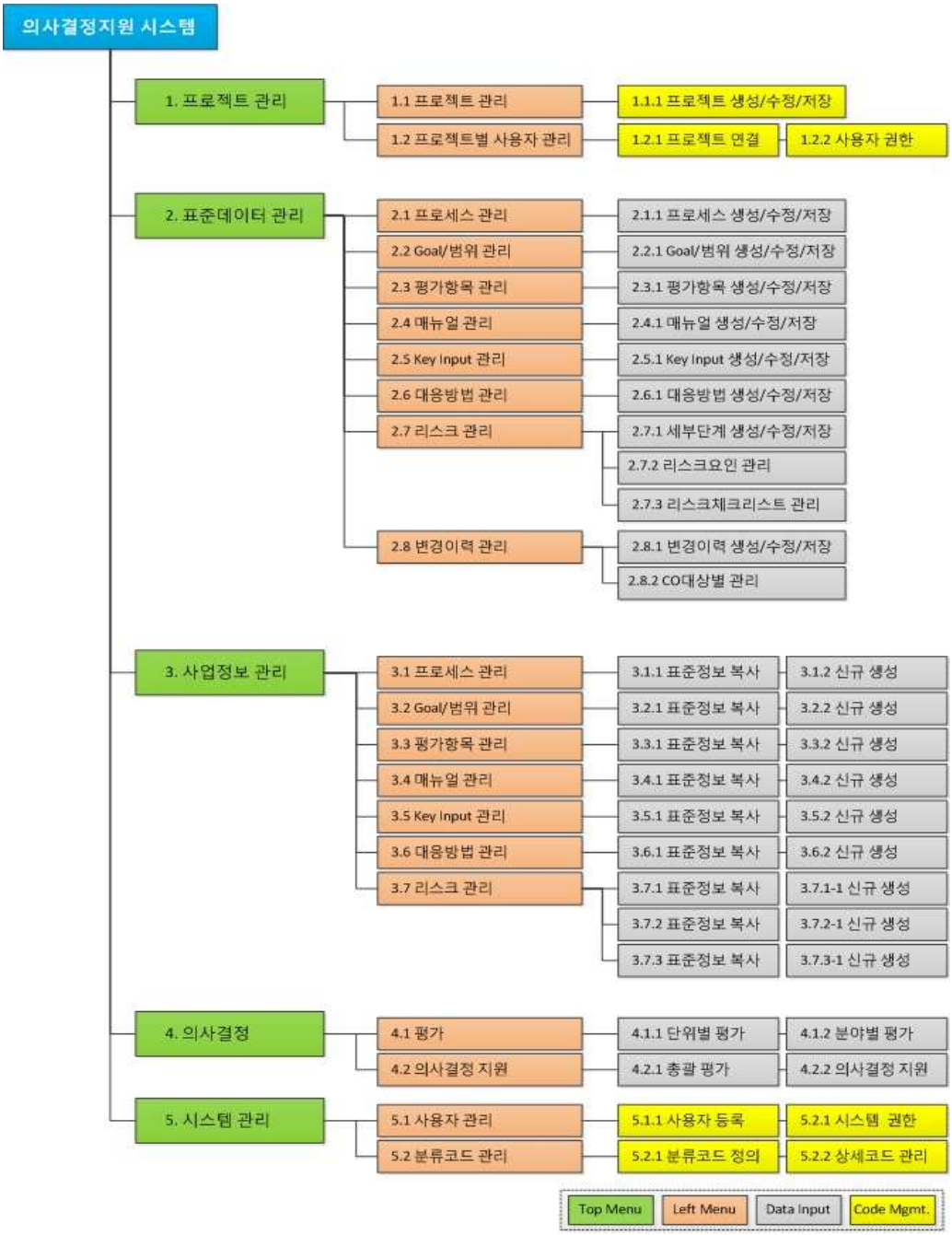
사업정보관리는 표준데이터관리에서 생성된 표준데이터를 복사하여 수정/삭제하거나, 사업정보에서 신규로 생성할 수 있도록 하여, 해당 프로젝트의 평가기준을 생성하는 기능과 해당 프로젝트만의 특징적인 항목을 추가/수정/삭제할 수 있는 기능으로 구성하였다.

의사결정지원 기능은 평가기능과 평가결과에 따른 Gate 이동에 대한 판단을 하는 기능으로 구성되었다.



<그림 3-22> 시스템구성도

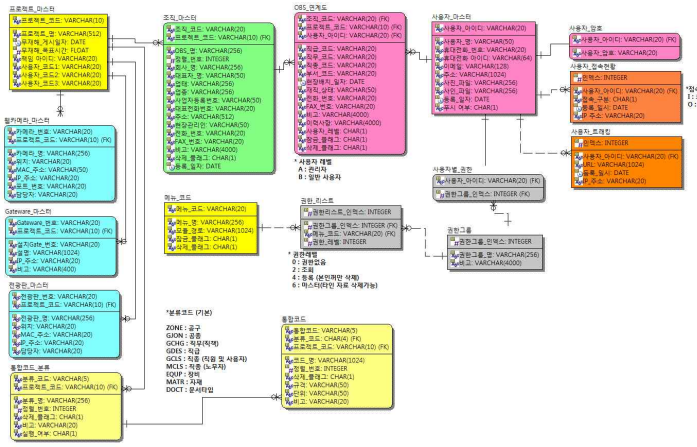
시스템은 총괄 시스템과 프로젝트 시스템으로 나눠진다. 총괄시스템은 프로젝트의 생성 및 관리와 표준데이터를 관리하는 모듈로 구성되며, 프로젝트 시스템은 프로젝트의 권한자가 사업정보 관리를 생성 및 관리, 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 확인하는 모듈로 구성되어 있다.



<그림 3-23> 모듈 구성도

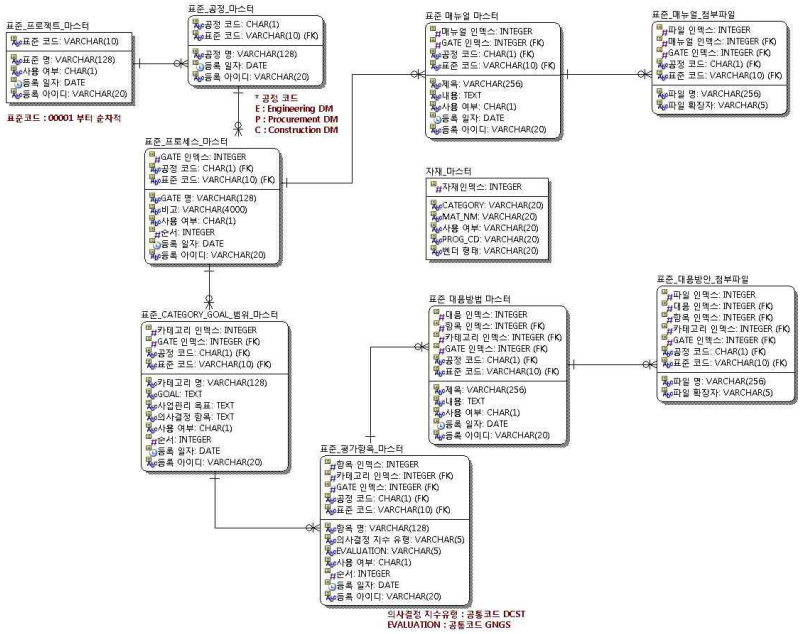
LNG 플랜트 EPC단계 통합 의사결정지원 모듈의 데이터베이스 구조는 표준 데이터 관리부분과 각 프로젝트별 사업정보 관리부분 및 의사결정을 위한 평가와 평가결과를 관리하는 부분으로 나누어져 있다. 프로젝트 관리는 다수 프로젝트를 수용하고, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 참여를 수용할 수 있는 구조로 구성하였다.

프로젝트 관리는 다수의 프로젝트를 수용할 수 있는 구조로, 사용자별로 하나 이상의 프로젝트에 각각 다른 권한을 가질 수 있는 구조로 구성하였다. 시스템관리는 사용자별로 3단계 메뉴까지의 권한을 부여할 수 있으며, LNG 플랜트 EPC단계 통합 의사결정지원 시스템에서 사용되는 공통 정보는 코드화 하여 통합관리 될 수 있도록 구성하였다.



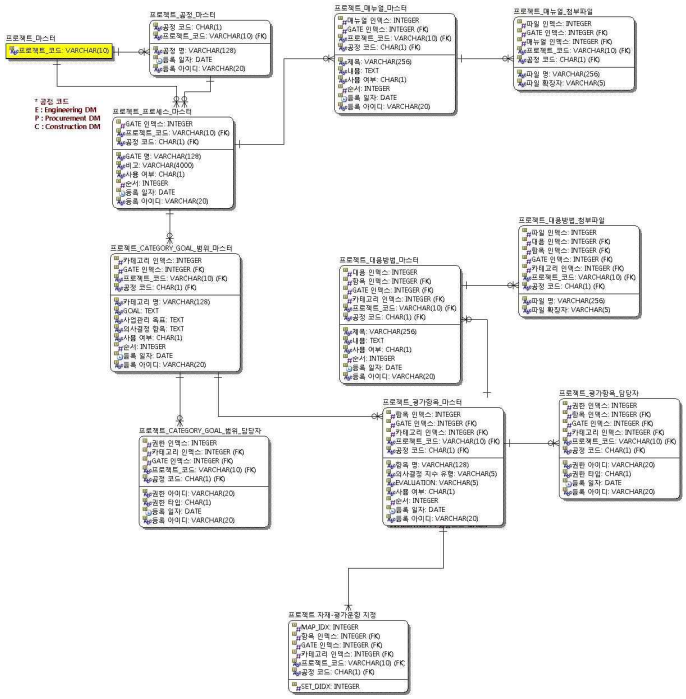
<그림 3-24> 시스템관리 설계(Logical)

시스템에서 프로젝트별 사용자에게 표준으로 제공되는 표준 데이터가 관리되며, 표준 데이터도 프로젝트의 형태별로 관리될 수 있도록 구성하였다.



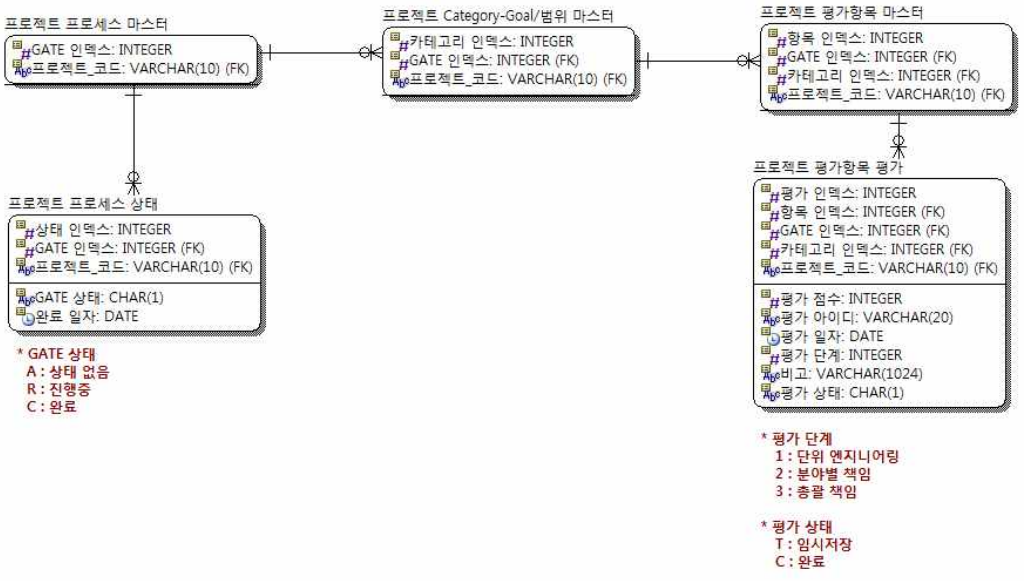
<그림 3-25> 표준데이터관리 설계(Logical)

사용자가 각 프로젝트에 맞게 사업정보를 구성하는 것으로, 표준 데이터 관리의 정보를 복사하여 사용하지만, 생성/수정/삭제를 독립적으로 관리할 수 있도록 구성하였다.



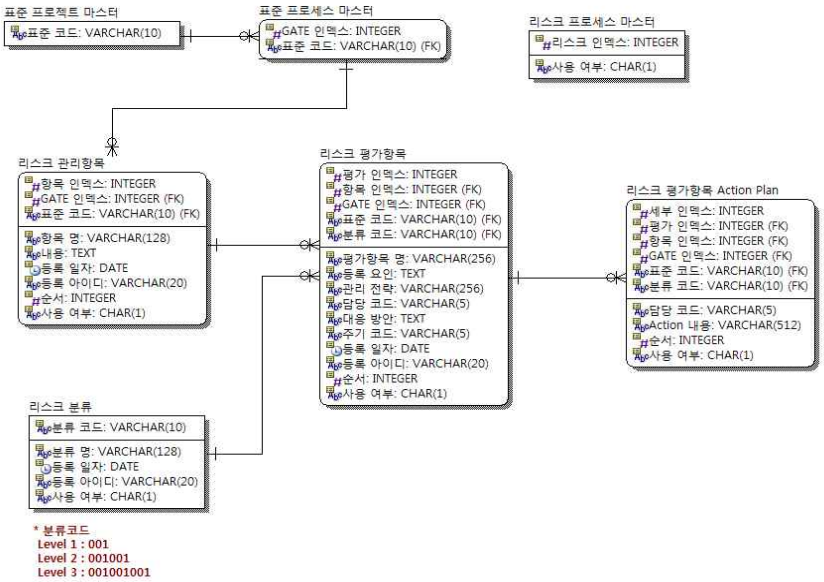
<그림 3-26> 사업정보관리 설계(Logical)

Category 또는 평가항목별 평가 권한자가 해당 평가내용을 평가할 수 있으며, 프로젝트의 책임자의 평가 및 평가완료로 Gate를 진행여부를 판단할 수 있도록 구성하였다.



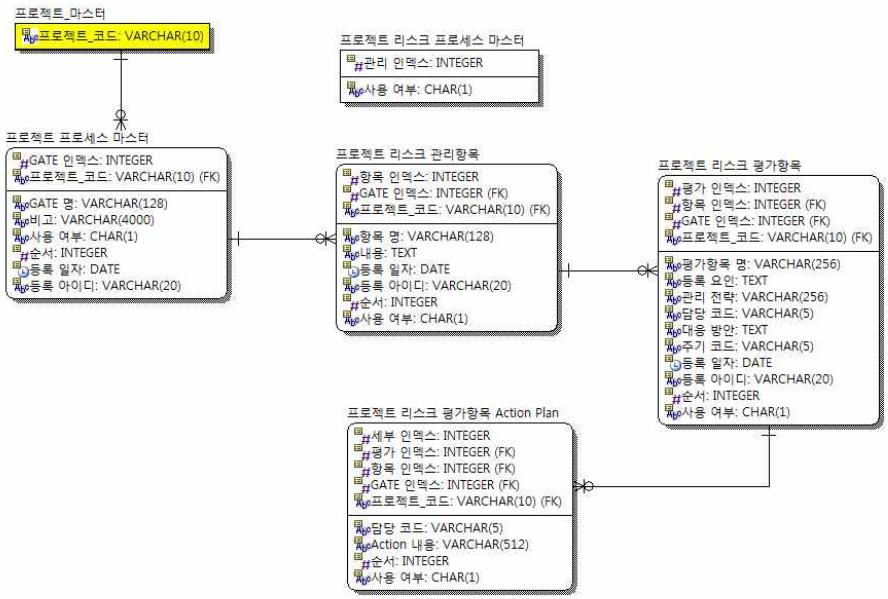
<그림 3-27> 평가/결과조회 설계(Logical)

시스템에서 프로젝트별 사용자에게 표준으로 제공되는 표준 리스크 관리의 데이터가 관리되며, 표준 리스크 관리 데이터도 프로젝트의 형태별로 관리될 수 있도록 구성하였다.



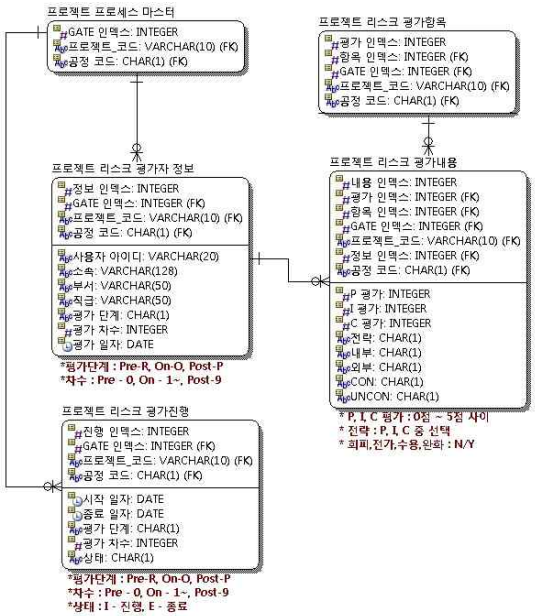
<그림 3-28> 표준리스크관리 설계(Logical)

사용자가 각 프로젝트에 맞게 사업정보를 구성하는 것으로, 표준 리스크 관리의 정보를 복사하여 사용하지만, 생성/수정/삭제를 독립적으로 관리할 수 있도록 구성하였다.



<그림 3-29> 사업정보 리스크관리 설계(Logical)

Pre-Stage, On-Stage, Post-Stage 별로 권한자가 해당 평가 항목을 평가할 수 있으며, 리스크관리자의 평가 진행 및 관리에 따라 평가가 진행되고, 평가 내용은 평가 결과 화면에서 확인할 수 있도록 구성하였다.



<그림 3-30> 평가/결과조회 설계(Logical)

화면설계는 표준 데이터 관리, 사업정보 관리, 의사결정지원으로 크게 3가지로 구성되어 있다. 표준 데이터 관리는 LNG 플랜트 시공단계 의사결정 지원시스템의 관리자가 주로 사용하는 화면으로 구성되며, 사업정보 관리와 의사결정지원은 프로젝트 관리자 또는 사용자가 사용하는 화면으로 구분되어 구성하였다.

프로젝트 형태별 표준 데이터를 관리하는 화면으로 LNG 플랜트 시공단계 의사결정 지원시스템의 관리자가 사용하는 Gate, Category, 평가항목의 정의와 매뉴얼, Key Input의 표준 데이터 관리와 평가항목별 대응방법을 관리하는 화면으로 구성하였다.

프로젝트별 사업정보를 관리하는 화면으로 LNG 플랜트 시공단계 의사결정 지원시스템에 프로젝트를 개설 후 프로젝트 관리자 또는 사용자가 Gate, Category, 평가항목의 정의와 매뉴얼, Key Input의 데이터 관리와 평가항목별 대응방법을 관리하는 화면으로 구성된다.

LNG플랜트 EPC단계 통합 의사결정지원 시스템에서 EPC단계의 Gate, Gate별 시방서, 설계도서, 자재 등의 변경이 발생하면 대상 Stage, CO대상, 처리상태, 변경내용, 처리 결과의 자료를 생성/수정/저장한다.

(다) 시스템 개발

통합 모듈은 2단계(3·4차년도)에 개발한 설계, 구매조달단계의 모듈과 5차년도에 개발한 시공단계 모듈 등 LNG 플랜트 사업 EPC 전단계의 의사결정을 지원하기 위해 메인화면을 구성하였다. 의사결정자가 복수의 프로젝트를 관리하기 위해, 프로젝트를 선택할 수 있는 기능과 해당 프로젝트의 의사결정 현황을 시각적으로 파악할 수 있도록 메인화면의 중앙에 배치를 하고, 다양한 정보의 접근이 쉽도록 중앙부에 공지사항, 게시판 및 정보의 변경사항을 목록으로 표현하였다.

프로젝트관리 기능은 프로젝트의 신규 생성, 수정, 삭제 기능과 사용자 관리, 메뉴관리, 권한관리와 같이 의사결정지원 시스템의 관리 영역을 다루는 기능으로 일반 사용자가 아닌 시스템 운영자가 주로 사용하는 기능으로 구성하였다.



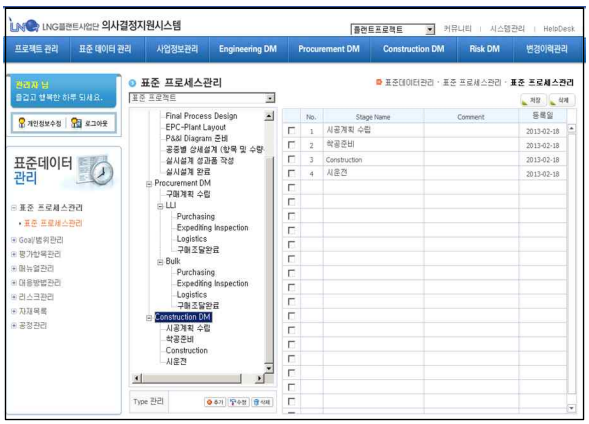
<그림 3-31> 메인 화면



<그림 3-32> 프로젝트 관리

시스템 운영자가 주로 사용하는 영역으로 평가항목의 정보를 프로젝트 형식별로 관리하거나 의사결정을 위한 평가기준, 방법을 표준으로 생성하여 사용자가 표준데이터를 활용하여, 쉽게 프로젝트의 의사결정지원 기능을 생성할 수 있도록 기능을

구성하였다.



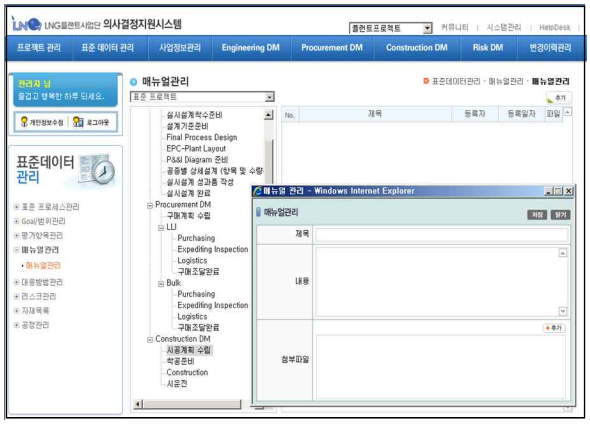
<그림 3-33> 표준 프로세스 관리



<그림 3-34> 표준 Goal(범위) 관리



<그림 3-35> 표준 평가항목 관리



<그림 3-36> 표준 매뉴얼 관리



<그림 3-37> 표준 대응방법 관리



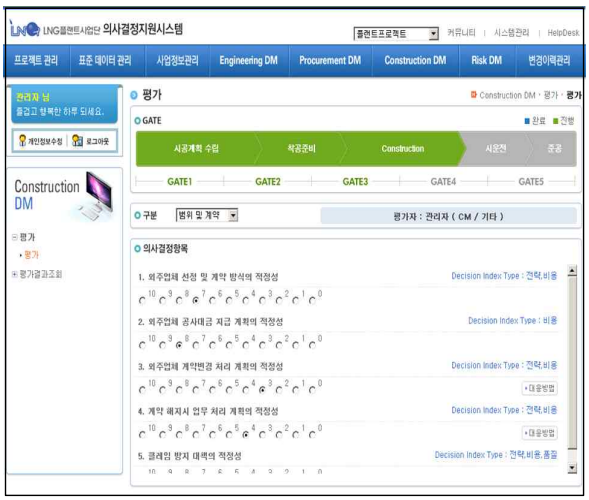
<그림 3-38> 표준 리스크 관리의 세부단계 관리



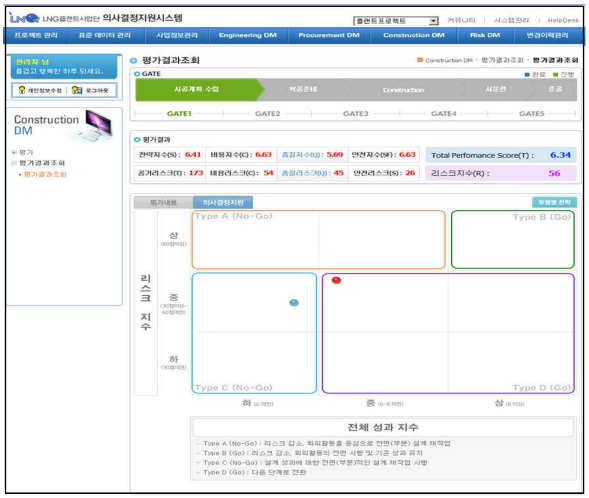
<그림 3-39> 표준리스크관리의 리스크 요인 관리

프로젝트 관리자, 사용자가 주로 사용하는 영역으로 평가항목의 정보를 프로젝트 형식별로 관리하거나 의사결정을 위한 평가기준, 방법을 표준으로 생성하여 사용자가 표준데이터를 활용하여, 쉽게 프로젝트의 의사결정지원 기능을 생성할 수 있도록 기능을 구성하였다.

Engineering/Procurement/Construction DM(Decision Making) : 의사결정지원의 평가는 단위 엔지니어의 권한이 부여된 항목에 대한 평가와 분야별 책임자의 담당 Category별 평가 완료 후 프로젝트의 총괄 책임자가 최종평가를 하며, 평가가 종료되면 해당 Gate의 의사결정 지원정보를 확인할 수 있도록 구성하였다.



<그림 3-40> 평가



<그림 3-41> 평가결과조회

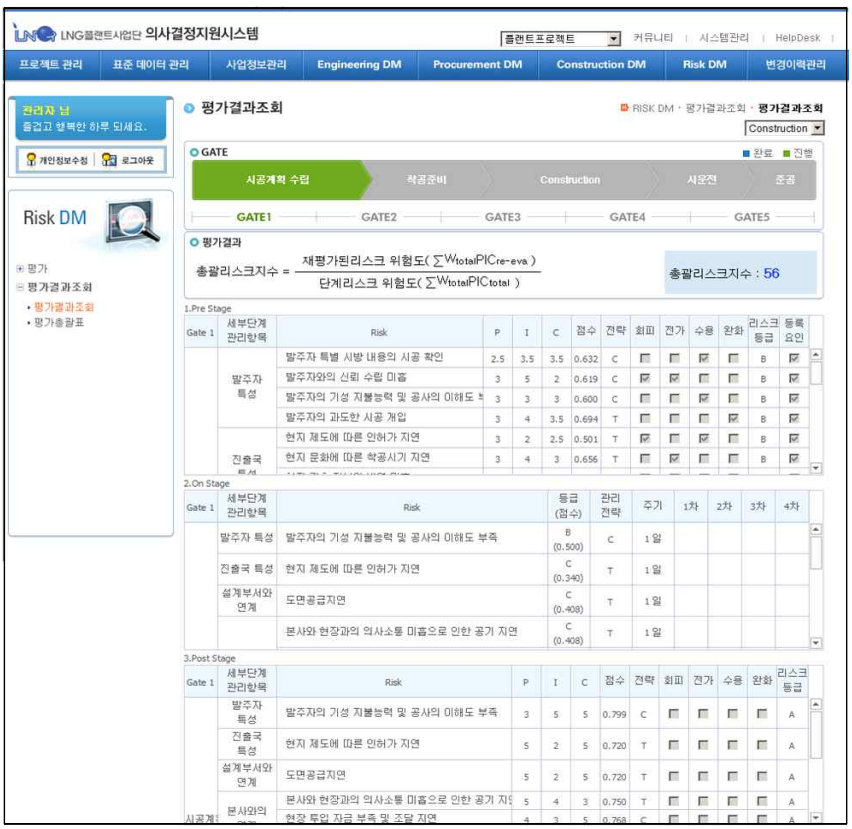
리스크관리의 평가는 Pre-Stage 평가 후 도출된 리스크 요인 항목을 On-Stage에서 차수별로 평가가 재 진행되며, On-Stage 평가 종료 후 Post-Stage에서 On-Stage 리스크 요인 항목을 제외한 Pre-Stage 평가 항목을 재평가 후 평가가 종료되는 단계로 구성하였다. 평가가 종료되면 해당 Gate의 평가결과 및 평가내용을 확인할 수 있도록 구성하였다.



<그림 3-42> Pre-Stage 평가



<그림 3-43> On-Stage 평가

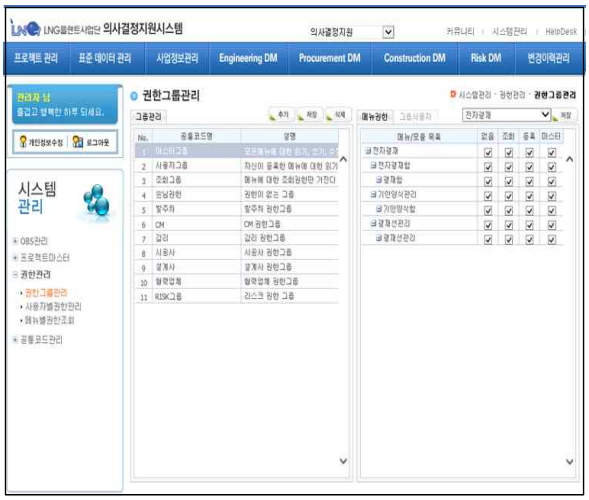


<그림 3-44> 평가결과 조회

시스템의 사용자를 등록, 수정 및 사용자의 메뉴 및 모듈별 권한을 부여할 수 있으며, 시스템에서 공통적으로 사용되는 코드 등의 데이터는 유지관리가 편리하도록 공통코드로 집중 관리할 수 있도록 구성하였다.



<그림 3-45> 사용자관리

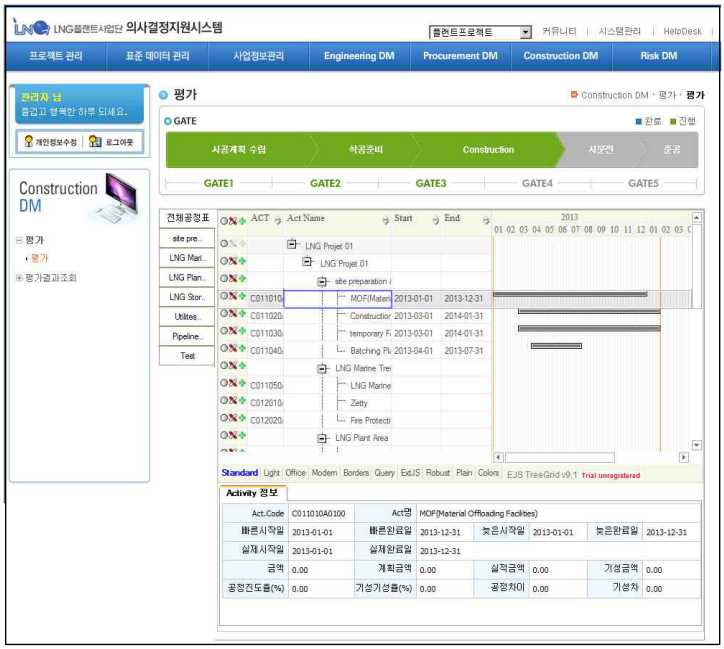


<그림 3-46> 권한관리

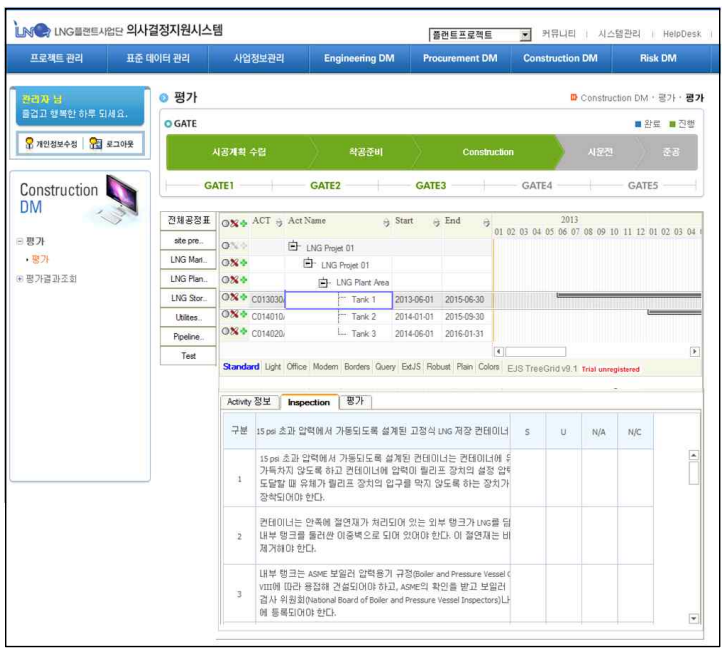
(라) 시스템 기능 고도화

본 EPC단계 통합 의사결정지원모듈을 구축하면서 기 구축된 설계단계, 구매조달단계, 시공단계의 의사결정지원모듈과 비교하여 다음과 같이 기능을 고도화 하였다.

설계단계 의사결정 지원을 위한 프로세스 관리와 시공 단계 의사결정 지원을 위한 프로세스 관리, Goal, 평가항목 관리를 하나의 통합된 시스템에서 이루어 질 수 있도록 시스템을 구성하였다. 특히, 시공단계의 경우 공정관리별로 Inspection, 평가할 수 있다.



<그림 3-47> 시공단계 공정관리

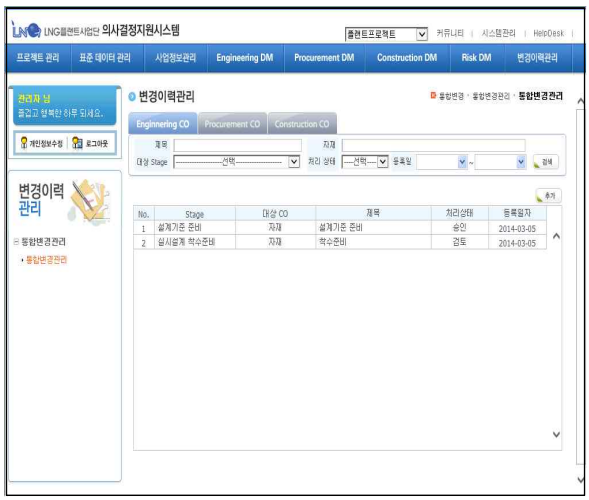


<그림 3-48> 시공단계 Inspection

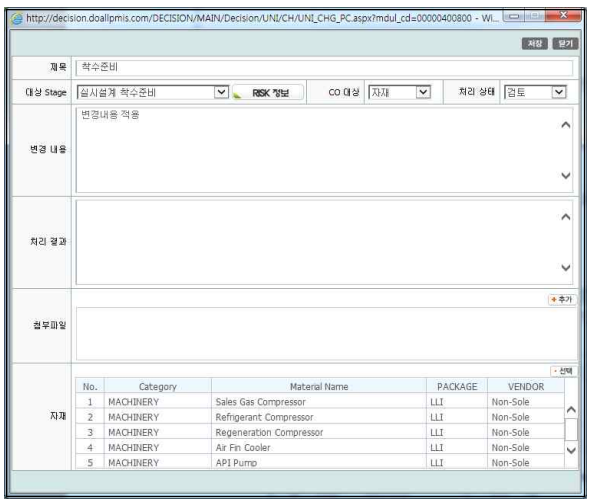
리스크 관리는 설계단계와 시공 단계를 통합된 환경에서 관리할 수 있도록 시스템을 구성하였고, TOPSIS를 적용하여 평가자들마다 다른 평가 수치의 분포 편차에 영향을 받지 않고 보다 객관적으로 각 리스크 요인에 대한 평가를 수행할 수 있다.

변경이력관리는 EPC단계의 Gate, Gate별 시방서, 설계도서, 자재 등의 변경 내용에 관하여 이 발생하면 대상 Stage, CO대상, 처리상태, 변경 내용, 처리 결과의 자료를 생성/수정/저장 한다. 변경이력 관리 화면에서는 EPC단계별 대상 Stage, 처리

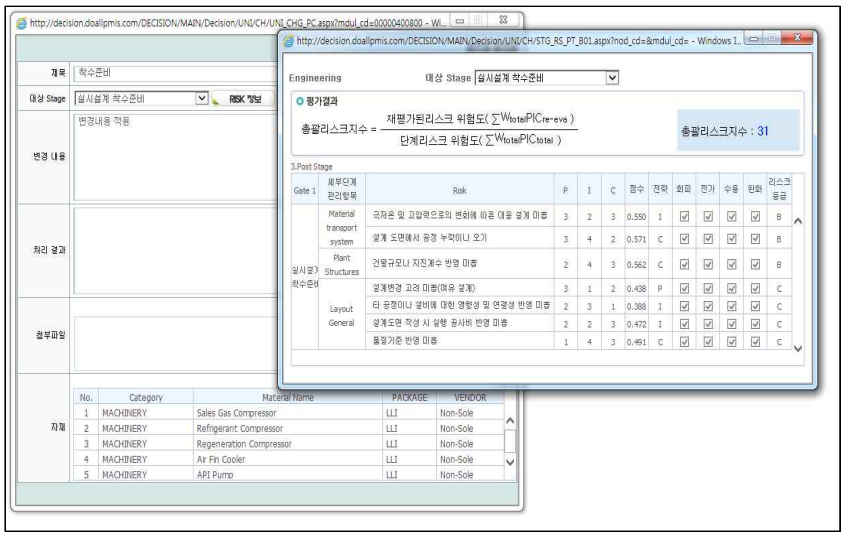
상태, 자재로 검색이 가능하고 각각의 변경이력 정보를 등록한다. CO대상은 설계서, 시방서, 자재로 구분하여 입력이 가능하고 자재의 경우 각 스테이지별 1개의 주요 자재에 대한 복수의 세부자재를 선택하여, 변경관리를 할 수 있고 해당 자료를 따로 검색이 가능하다. 동일 항목에 대하여 반복 변경이 발생할 경우, 새로운 변경이력관리로써 입력되어 동일 항목에 대한 새로운 이력이 생성된다. 처리 상태는 검토, 승인, 반영중, 반영완료에 구분되고 '메뉴별' 권한부여를 통하여 접근에 제한이 가능하다. 변경이력 정보의 내용의 조회와 동시에 대상 Stage의 리스크 정보의 조회도 가능하다.



<그림 3-49> 변경이력관리화면

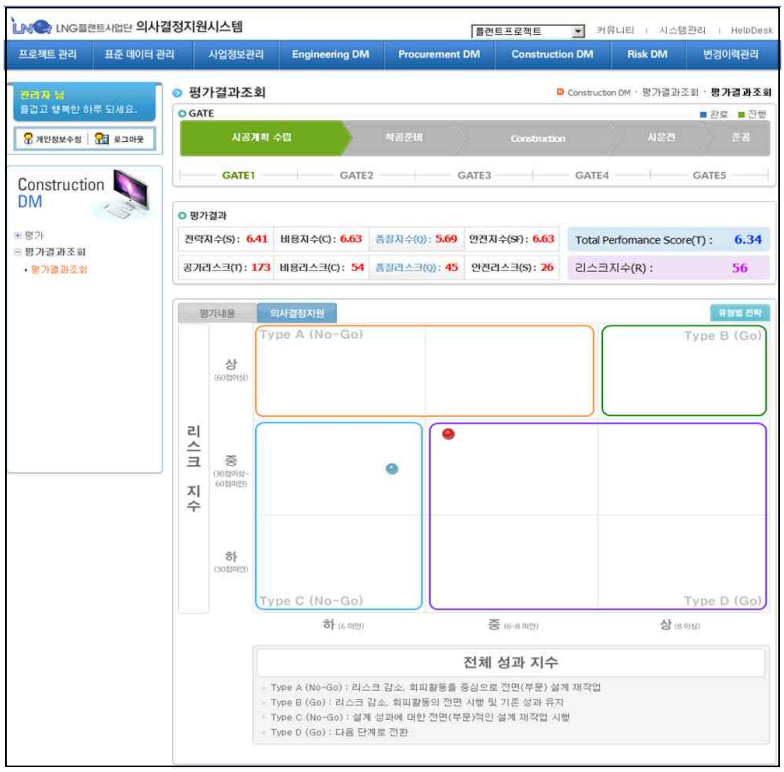


<그림 3-50> 변경이력 정보등록



<그림 3-51> 변경이력 정보 화면에서 리스크 정보 조회

분석 알고리즘 모듈에 의해 분석된 결과를 시각화하는 기능을 고도화 하고, 사용자 평가 인터페이스를 개선하여 사용자 편의성을 높이고 입력을 최소화 하도록 개선하였다. 또한 의사결정 평가 또는 평가결과 조회와 같은 의사결정지원시스템의 주요 기능의 모바일 환경에서의 접근 및 활용을 가능케 함으로써 의사결정 시간 단축 및 검토환경을 개선할 수 있도록 시스템 기능을 구현하였다.



<그림 3-52> 평가결과 조회 개선

의사결정 평가 또는 평가결과 조회와 같은 의사결정지원시스템의 주요 기능의 모바일 환경에서의 접근 및 활용을 가능케 함으로써 의사결정 시간 단축 및 검토환경을 개선할 수 있도록 시스템 기능을 구현하였다. 모바일 기기의 작은 화면에서도 의사결정 평가와 평가결과 조회가 가능하도록 평가와 조회 화면을 별도로 구성하고, 다양한 모바일 환경에 대응 할 수 있도록 표준 웹 기술을 이용한 모바일 웹 시스템을 구축하였다.



<그림 3-53> 모바일 환경에서 로그인 및 EPC단계 선택 화면



<그림 3-54> 모바일 환경에서 평가결과 표시화면



<그림 3-55> 모바일 환경에서 평가내용에 따른 대응방법 표시화면

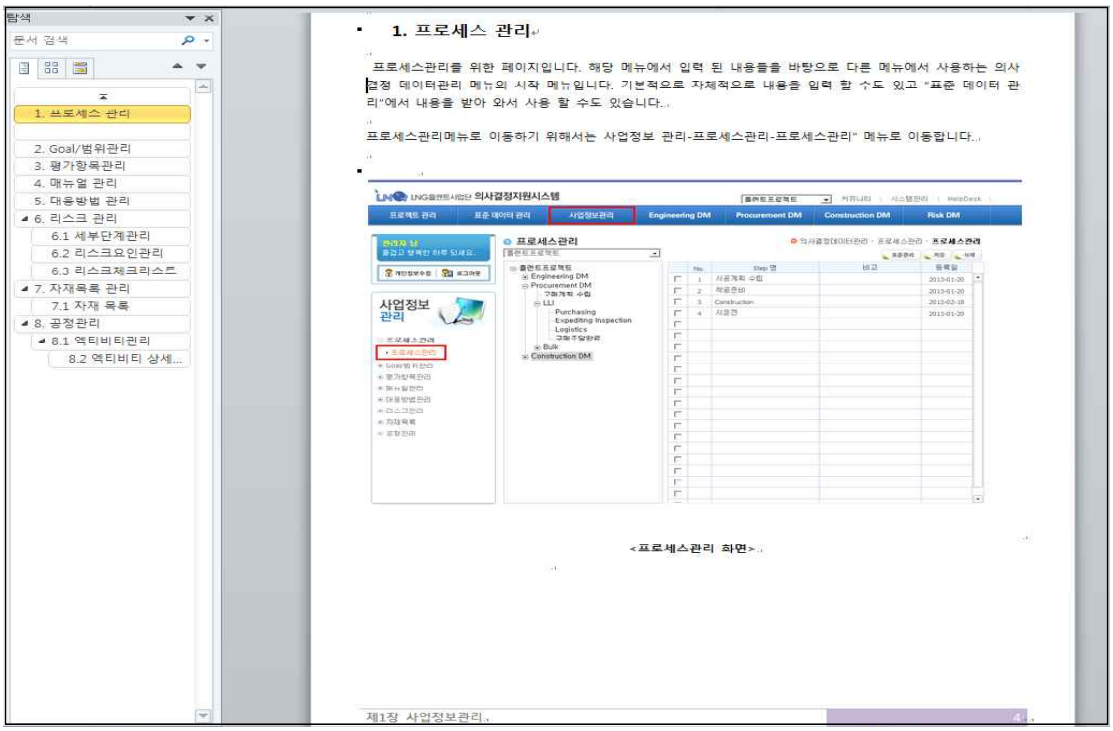


<그림 3-56> 모바일 환경에서 리스크 지수 표시화면

상기와 같이 개발한 LNG 플랜트 시공단계를 포함한 EPC단계별 의사결정지원모듈에 대하여, 이용자의 활용성을 높이기 위한 방법으로 시스템 이용 매뉴얼을 개발

하였다.

매뉴얼은 크게 사용자매뉴얼과 운영자매뉴얼로 나뉘며 각 매뉴얼별로 각각의 목적에 맞게 그림과 상세한 설명을 덧붙여 표현함으로써 이용자의 이해도를 높일 수 있도록 하였다. 또한 설명의 흐름은 모듈의 주요 메뉴에 따라 순차적으로 설명을 하였다. 다음은 이용자매뉴얼에 대한 예시이다.



<그림 3-57> 이용자 매뉴얼(예시)

3. 주요 연구성과

가. 학술적 성과

LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템의 학술적 성과는 아래와 같다.

- 플랜트 건설공사의 벤더관리 발전방향 기초연구, 한국건축시공학회 학술·기술논문발표회 논문집, 2011. 11
- LNG 플랜트 공사의 PMIS 개발방향에 관한 기초연구, 한국건축시공학회 학술·기술논문발표회 논문집, 2013. 05
- 플랜트공사의 구매조달관리를 위한 의사결정지원 모델 개발방향, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2013. 11
- LNG 공사의 건설사업관리 의사결정지원모델 개발, 한국건설관리학회 논문집, 2014. 05

- 수익접근법을 활용한 LNG 플랜트공사의 의사결정지원시스템 기술가치 평가, 한국건설관리학회 논문집, 2014. 07
- An International Competitiveness Evaluation Model in the Global Construction industry, KSCE, 2014. 8
- Development of Korean Code System for Construction Specifications and Design Standards, KSCE, 2015. 9

나. 기술적 성과

LNG 플랜트공사의 EPC단계 의사결정지원시스템의 기술적 성과는 아래와 같다.

(1) 국내외 특허출원

- (10-2011-0115900)액화천연가스플랜트사업의 사업관리를 위한 의사결정지원방법 및 시스템
- (10-2013-0015439)LNG플랜트의 구매조달시 의사결정지원시스템
- (10-2014-0029975)모바일 디바이스를 활용한 플랜트 건설사업의 각 공정단계관리 및 의사결정지원방법 및 시스템
- DECISION SUPPORT METHOD AND SYSTEM FOR PROJECT MANAGEMENT OF LIQUEFIED NATURAL GAS PLANT

(2) 국내외 특허등록

- (제10-1286024호) 액화천연가스플랜트사업의 사업관리를 위한 의사결정지원방법 및 시스템
- (제10-1471583호) LNG플랜트의 구매조달시 의사결정지원 시스템

(3) S/W 등록

- (2011-01-189-004439)LNG플랜트 설계단계 사업관리기반의 의사결정지원시스템
- (2011-01-189-004420)LNG플랜트 설계단계 리스크 기반의 의사결정지원시스템
- (C-2012-007335)LNG플랜트 구매조달단계 사업관리 기반의 의사결정지원시스템
- (C-2012-007336)LNG플랜트 구매조달단계 리스크 기반의 의사결정지원시스템
- (C-2013-008905)LNG플랜트 시공단계 사업관리기반의 의사결정지원시스템
- (C-2013-008904)LNG플랜트 시공단계 리스크 기반의 의사결정지원시스템

4. 기술실시 및 적용사례

가. 기술이전 실시

본 연구에서 기술개발한 것 중에서 “설계단계 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원 기법”에 대한 기술을 대상으로 국내업체에 기술실시계약을 1건 실시하였다.



기 술 실 시 계 약 서

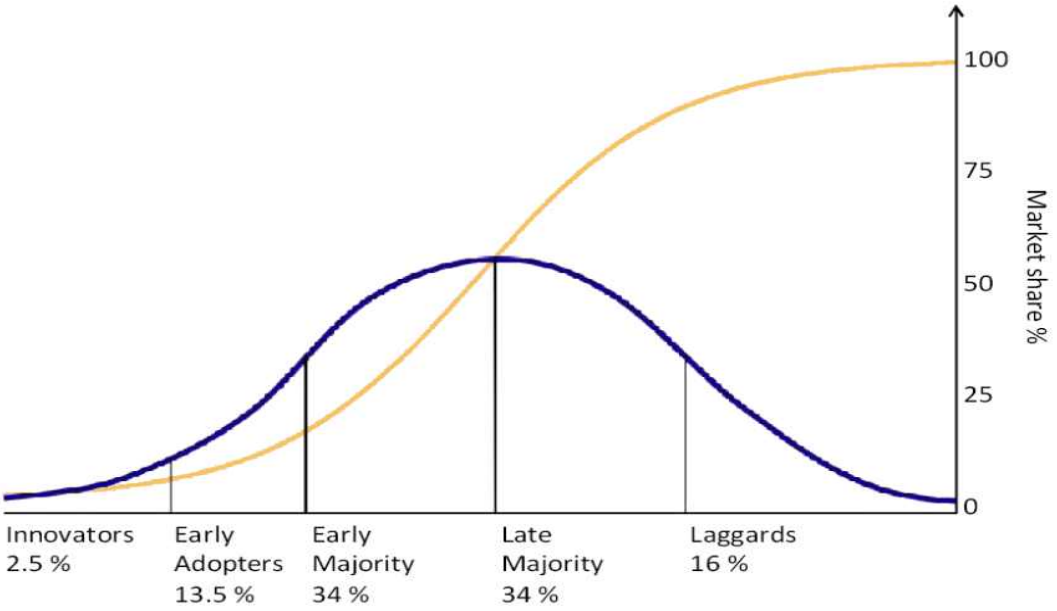
<그림 3-58> 기술이전 계약서(샘플)

5. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

본 연구에서 기술개발한 “LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템에 관한 기술”을 대상으로 국내외 시장 전망을 하였다. 특히 LNG 플랜트 사업관리(CM/PM) 내 의사결정을 지원해주는 “LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템”을 목표시장으로 하였다.

매출 추정은 기술수용수명주기(Technology Adoption life Cycle, TALC) 모형을 근거로 추정하였다. 즉 기술수용수명주기 모형에 따라 목표시장의 수요자는 수요층의 특성과 성격에 따라 혁신수용자(Innovator), 조기수용자(Early Adapter), 조기다수수용자(Early Majority), 후기다수수용자(Late Majority), 채용지체자(Laggards)의 5가지 그룹으로 구별되며, 해당기술을 이용한 제품의 수용이 각 그룹별로 아래 그림과 같이 Roggers′ Bell Curve 형태의 Adoption Cure를 따를 것이라고 가정하여

시장점유율을 추정하였다.



<그림 3-59> 신기술 채택 곡선(Adoption Curve)

자료 : Roggers, Everett M(1995)

평가대상기술 제품의 기술수용주기는 2014년부터 기술이 수용되기 시작하여 1차년도(2014년)는 혁신수용자(Innovator), 2차년도(2015년)는 조기수용자(Early Adapter), 3차년도(2016년)~4차년도(2017년)는 조기다수수용자(Early Majority), 5차년도(2018년)에 후기다수수용자(Late Majority)에 수용되어 평가대상기술 제품의 매출이 본격적으로 발생하는 것으로 예상하였다. 6차년도(2019년)에는 채용지체자(Laggards) 수요가 발생하면서 제품수명주기(PLC)상으로 평가대상기술 제품의 수요가 성숙기 최고점에 이를 것으로 전망하였다.

평가대상기술의 매출액은 국내외 “LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템” 시장규모를 추정(산업통상자원부 제10~11차 장기 천연가스 수급계획(2013) 등 참조)하여 Adotion Curve상 비율 값을 반영하여 시장점유율을 추정하였으며, 그 결과는 아래 표와 같다.

<표 3-6> LNG 공급설비 투자계획(단위:억원)

구 분	’10~‘11	’12～’14	’15～’17	’18～’20	’21～’23	’24～’27	계(‘12~’27)
생산설비	16,306	26,133	18,688	667	120	-	45,608
공급배관	13,684	26,359	8,423	-	-	-	34,782
계	29,990	52,492	27,111	667	120	-	80,390

자료 : 산업통상자원부, “제 10~11차 장기천연가스 수급계획” 2013

주) 생산설비 : 저장설비, 부두설비, 기화송출설비

<표 3-7> 국내(내수) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망

(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
①LNG 플랜트 설비 내수시장	1,749,733	903,700	903,700	903,700	22,233	22,233
②CM/PM 비중(%)	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%
③의사결정 PMIS 비중(%)	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
④국내 시장규모(①×②×③)	3,727	1,925	1,925	1,925	47	47

<표 3-8> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망

(단위: 백만 달러)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
①해외 플랜트 수주액	71,960	73,975	76,046	78,175	80,364	82,615
②오일&가스 비중(%)	18.67%	20.33%	22.14%	24.11%	26.26%	28.60%
③CM/PM 비중(%)	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%	7.10%
④의사결정 PMIS 비중(%)	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
⑤해외 시장규모(①×②×③×④)	29	32	36	40	45	50

<표 3-9> 해외(수출) LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템 시장규모 전망

(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
해외 시장규모	32,798	36,717	41,404	46,015	51,514	57,669

매출액 추정 결과, 아래 표와 같다.

<표 3-10> 추정매출액(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
①국내외 시장규모	36,525	36,717	41,404	46,015	51,514	57,669
②Adoption Curve(연차별)	2.50%	13.50%	17.00%	17.00%	34.00%	16.00%
③매출액(①×②)	913	5,217	7,366	8,150	17,531	9,235

제4장 연구목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

본 연구의 최종목표는 위험기반의 각 단계별 의사결정 지원모듈을 개발하여 사업관리 업무량을 10%로 감소하는데 있고, 그 세부목표는 다음과 같다

- LNG 플랜트 사업관리 추진방향 수립
- 사업관리의 의사결정지원체계 구축
- 위험기반의 설계/구매조달/시공단계의 의사결정지원모듈 개발

상기 연구의 최종목표를 100% 달성하여, 기술 개발성과에 대하여 기술이전을 실시하였다. 특히 LNG 플랜트 건설공사의 의사결정지원모듈과 시스템을 개발하여 특허출원 및 등록과 S/W 등록을 하였다.

또한 기술개발한 성과는 가치를 평가하여, 민간 기업에게 기술이전시 활용할 수 있는 가이드를 작성하였고, 이는 기술의 우수성과 권리성 및 경제성 등을 평가하여 최종목표를 달성하였다.

특히, 본 연구에서 개발된 성과의 검증을 위하여 LNG 플랜트 전문가를 대상으로 LNG 플랜트 공사 수행시 본 개발시스템을 활용할 경우의 효과 등을 정성적 평가를 통하여 입증하였다.

<표 4-1> 연구개발의 양적성과 목표 대비 실적

성과지표			최종목표	누적실적	비고	최종달성률
학술지게재논문	SCI	국내	2	2	KSCE(대한토목학회), An International Competitiveness Evaluation Model in the Global Construction Industry KSCE(대한토목학회), Development of Korean Code System for Construction Specifications and Design Standards	100.0%
	비SCI	국내	2	2	1.한국건설관리학회논문집,LNG공사의건설사업관리의사결정지원모델개발 2.한국건설관리학회논문집,수익접근법을활용	100.0%

성과지표			최종 목표	누적 실적	비고	최종달성률
					한LNG플랜트공사의의사결정지원시스템기술가치평가	
특허출원	출원	국내	4	3	1.(10-2011-0115900)액화천연가스플랜트사업의사업관리를위한의사결정지원방법및시스템 2.(10-2013-0015439)LNG플랜트의구매조달시의사결정지원시스템 3..(10-2014-0029975)모바일디바이스를활용한플랜트건설사업의각공정단계관리및의사결정지원방법및시스템	100.0%
		국외	0	1	DECISION SUPPORT METHOD AND SYSTEM FOR PROJECT MANAGEMENT OF LIQUEFIED NATURAL GAS PLANT	
	등록	국내	0	2	(제10-1286024호)액화천연가스플랜트사업의사업관리를위한의사결정지원방법및시스템 (제10-1471583호)LNG플랜트의구매조달시의사결정지원시스템	100.0%
기술실시계약(기술료)	건수		1	1	㈜두올테크, 설계단계 LNG플랜트 사업관리 의사결정지원기법	100.0%
	백만원		30	12		40.0%
시작품			2	4	LNG플랜트설계단계의사결정지원모듈시작품구축 LNG플랜트구매조달단계의사결정지원모듈시작품구축 LNG플랜트시공단계의사결정지원모듈시작품구축 LNG플랜트EPC단계통합의사결정지원모듈시작품구축	200.0%
학술회의/발표	국내		5	6	1.한국건축시공학회춘계학술발표대회,LNG플랜트사업관리요소도출및중요도평가 2.대한설비공학회하계학술발표대회,LNG플랜트의사업관리의사결정지원체계 3.대한설비공학회하계학술발표대회,LNG플랜트사업관리의사결정지원체계구조화방안 4.한국건축시공학회추계학술발표대회,플랜트건설공사의벤더관리발전방향기초연구 5.한국건축시공학회춘계학술발표대회,LNG플	120.0%

성과지표		최종 목표	누적 실적	비고	최종달성률
				랜트공사의PMIS개발방향기초연구 6.한국건설관리학회정기학술발표대회,플랜트공사의구매조달관리를위한의사결정지원모델개발방향	
산학연간 기술지원		3	2	㈜두올테크, 설계단계 LNG플랜트 사업관리 의사결정지원기법 기술이전에 따른 1, 2차 기술지원자문	66.7%
기술확산 교류		5	4	1.리스크메니지먼트시스템구축세미나 2.LNGProcess의이해 3.플랜트사업의의사결정방법 4.LNG플랜트EPC단계별의사결정지원시스템 기술가치평가세미나	80.0%
산학연 협력 활동		3	3	1.플랜트구매조달관리전문가세미나 2.도시재생사업단I-PgMIS벤치마킹세미나 3.플랜트PMIS및BIM적용사례전문가세미나	100.0%
연구 관련 홍보		6	5	1.(건설BRIEF)기고,LNG가스플랜트의사업관리개발방향 2.(2010플랜트컨퍼런스)발표,스테이지게이트모델을활용한LNG플랜트사업의의사결정지원체계구축방안 3.(LNG플랜트컨퍼런스2013),포스터전시 4.(CAD&Graphics)기고,LNG플랜트공사를위한EPC단계별의사결정지원시스템구축사례 5.(가스안전)기고,위험기반의의사결정지원체계및시스템구축	83.3%
기타 저작권	디자인,S/W 등	2	6	1.(2011-01-189-004439)LNG플랜트설계단계 사업관리기반의의사결정지원시스템 2.(2011-01-189-004420)LNG플랜트설계단계 리스크기반의의사결정지원시스템 3.(C-2012-007335)LNG플랜트구매조달단계 사업관리기반의의사결정지원시스템 4.(C-2012-007336)LNG플랜트구매조달단계 리스크기반의의사결정지원시스템 5.(C-2013-008905)LNG플랜트시공단계사업 관리기반의의사결정지원시스템 6.(C-2013-008904)LNG플랜트시공단계리스크기반의의사결정지원시스템	300.0%

<표 4-2> 연구개발의 질적성과 목표 대비 실적

연구내용	연구수행 단계별 내용	추진성과 내용	산출 성과물	최종 달성률 (%)
1) EPC 단계별 의사결정지원 시스템 개발	사업관리 의사결정지원체계 도출	업무별 의사결정항목 정의	사업관리 의사결정지원체계 구축 보고서(1단계 보고서)	100
		의사결정방법 조사		
		의사결정지원체계 구축		
	설계단계 의사결정지원모듈 개발	설계단계 스테이지 게이트 모델 수립	설계단계 의사결정지원모듈 시작품 특허출원(2건) 특허등록(1건) S/W등록(2건) 기술이전(1건)	100
		설계단계 의사결정지원모듈 설계		
		설계단계 의사결정지원모듈 구축		
	구매조달단계 의사결정지원모듈 개발	구매조달단계 스테이지 게이트 모델 수립	구매조달단계의 사결정지원모듈 시작품 특허출원(1건) 특허등록(1건) S/W등록(2건)	100
		구매조달단계 의사결정지원모듈 설계		
		구매조달단계 의사결정지원모듈 구축		
	시공단계 의사결정지원모듈개발	시공단계 스테이지게이트 모델 수립	설계단계의사결정지원모듈시작품 S/W등록(2건)	100
		시공단계 의사결정지원모듈 설계		
		시공단계 의사결정지원모듈 구축		
	통합 의사결정지원모듈 개발	EPC단계 스테이지게이트 모델 수립	통합의사결정지원모듈시작품 특허출원(1건) S/W등록(2건)	100
		EPC단계 의사결정지원모듈 설계		

연구내용	연구수행 단계별 내용	추진성과 내용	산출 성과물	최종 달성률 (%)
		EPC단계 의사결정지원모듈 구축		
2) EPC 단계별 사업관리매뉴얼 개발	LNG플랜트 사업특성 규명 및 니즈분석	사업특성규명	LNG플랜트 사업특성 규명 및 니즈분석 보고서(1단계보고서)	100
		사업수행체계 분석		
		사업관리 요구사항 분석		
	프로세스별 사업관리 요소 정의	설계단계 사업관리요소 정의	LNG플랜트 EPC 단계별 사업관리요소 정의 보고서(1,2단계보고서)	100
		구매조달단계 사업관리 요소정의		
		시공단계 사업관리 요소정의		
	설계단계 사업관리매뉴얼 개발	공정계획 운영현황조사	설계단계 매뉴얼	100
		체크리스트 조사		
		사업관리매뉴얼 마련		
	구매조달단계 사업관리매뉴얼 개발	공정계획 운영현황조사	구매조달단계 매뉴얼	100
		체크리스트 조사		
		사업관리매뉴얼 마련		
	시공단계 사업관리매뉴얼 개발	공정계획 운영현황조사	시공단계 매뉴얼	100
		체크리스트 조사		
		사업관리매뉴얼 마련		
3) EPC 단계별 공정관리 및 프로그램 활용현황, PMIS기능비교 조사, 분석, 의사결정지원 시스템	설계, 구매조달, 시공단계별(설계관리, 공정관리등) 프로그램활용 현황 조사	설계단계 프로그램 활용현황 조사	LNG플랜트 EPC 단계별 관리 프로그램 활용현황조사 보고서	100
		구매조달단계 프로그램 활용현황 조사		
		시공단계 프로그램 활용현황 조사		
	PMIS 기능비교 조사, 분석	IT기술 적용현황 조사	LNG플랜트 PMIS 적용방향보고서	100
		PMIS 기능분석		

연구내용	연구수행 단계별 내용	추진성과 내용	산출 성과물	최종 달성률 (%)
상용화검토(분석)		PMIS 적용방향 수립		
	기술가치평가 적용방향 기초조사	모듈 검증방법조사	모듈검증및품질 평가방법조사보고서 기술가치평가적용방향조사보고서	100
		모듈 품질테스트방법조사		
		기술가치평가적용 방향조사		
	통합의사결정지원모듈의 현장적용성 검토	현장적용성 검토방법 및 계획 수립	현장적용성 검토보고서, 통합의사결정지원모듈의 이용자매뉴얼	100
		현장적용성 검토 및 보완		
		이용자 매뉴얼 개발		
	의사결정지원모듈의 상용화 검토	상용화 방법론수립	상용화전략수립 방법론, 기술가치 평가, 상용화전략 보고서	100
		기술가치 평가		
		상용화분석		

2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

본 연구개발 성과의 기술적 효과분석은 기술동향과의 부합성, 기술수명, 기술의 차별성, 대체 기술의 출현가능성, 기술의 확장 가능성 등 5가지 측면에서 분석하였다.

1. 기술동향과의 부합성

본 연구에서 개발한 기술은 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공하기 위한 것이다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC(설계, 조달 및 시공) 사업관리에서 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공하기 위한 것이다.

이를 통해 신청기술은 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정 지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있다.

또한, LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 지원 기법을 설계단계에서 향후 구매조달 및 시공단계까지 확대함으로써, LNG 플랜트의 EPC 사업의 사업관리에 필요한 EPC 전반의 의사결정지원 시스템의 개발에 활용될 수 있으며, 또한, 사업관리 매뉴얼 작성, LNG 플랜트 사업관리자 양성 등에 활용될 수 있다.

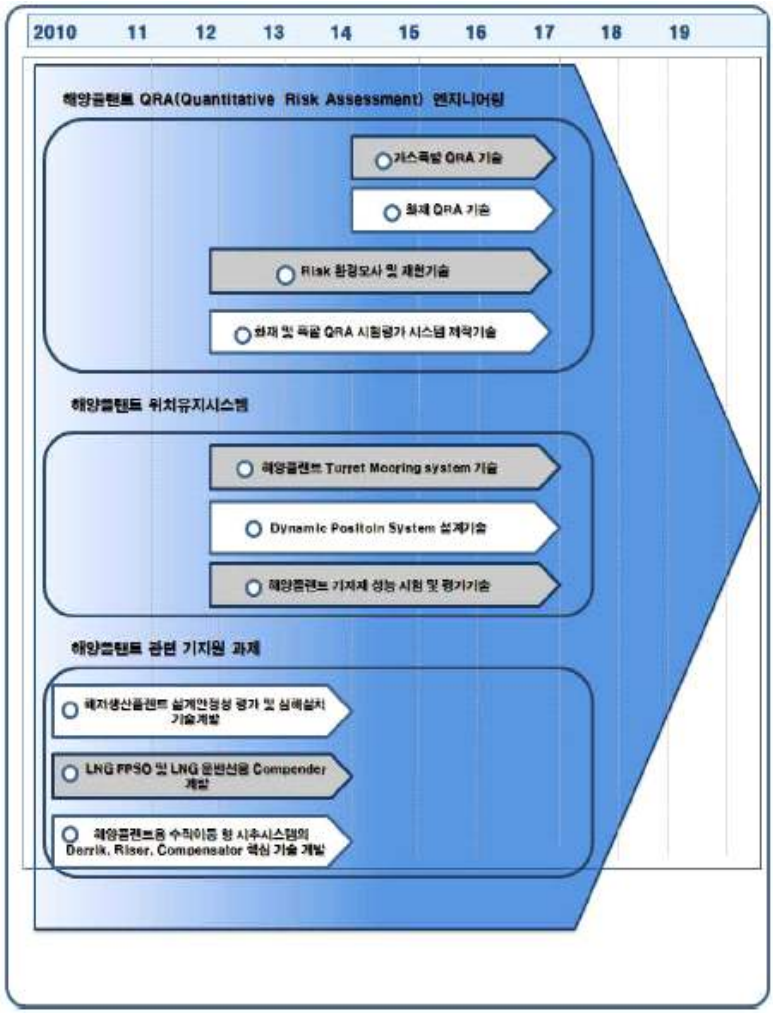
LNG 해양플랜트 FEED 엔지니어링 역량 확보는 크게 개념 설계, 공정 설계, 안전시스템 설계, 관련 위험도 평가 및 제어 기술로 대별된다. 이들 분야는 막대한 중요성에도 불구하고 국내 역량이 매우 미흡한 실정이다. 향후 이들 분야에 집중적인 기술 개발이 필수적이다. 특히, Risk 평가 및 제어에 관한 시험분석과 정량적 평가 기술이 부족하여 해외 엔지니어링 업체에 의존하고 있으므로 FEED역량을 확보하기 위하여 시험평가를 위한 핵심원천기술의 확보와 시설의 확충이 시급한 실정이다.

따라서 신청기술은 이러한 LNG 플랜트 엔지니어링 기술개발 발전에 부합하는 기술인 것으로 판단된다.

2. 기술수명

기술 로드맵에서 해양플랜트 분야에서는 기술개발이 시급하고 그 파급효과가 높은 분야가 기자재 분야와 엔지니어링 분야로 판단되어 엔지니어링 기술과 다수의 기자재 개발을 중심으로 하는 2011년 핵심주력 제품군을 기술 자립형 플랜트로 선정하였다.

따라서 LNG 플랜트 엔지니어링에 적용되는 신청기술의 기술 수명은 연구개발이 활발히 지원되어 성장되는 성장기에 있는 것으로 판단된다.



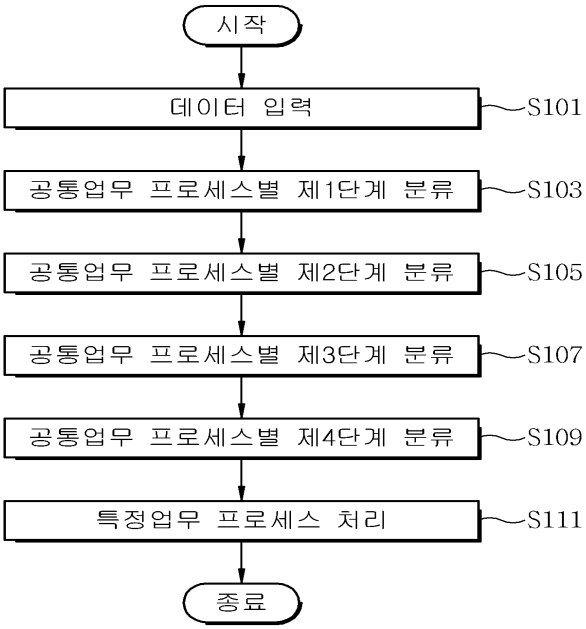
<그림 4-1> 해양 플랜트 기술 로드맵

자료 : 산업통상자원부, “산업기술로드맵”, 2011

3. 기술의 차별성

가. 기존 LNG 플랜트 업무 프로세스와의 차별성

기존에 이용되고 있는 LNG 플랜트 업무 프로세스 관련 기술과 비교할 때 신청기술은 다음과 같은 점에서 경쟁력을 가지고 있는 것으로 판단된다.



<그림 4-2> 한길아이티 L N G 플랜트 업무
프로세스 표준화 방법 및 시스템
(특허출원 제2011-0014042호)

한길아이티 L N G 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법 및 시스템은 LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화에 관한 것으로, 이러한 본 발명은 복수의 LNG 플랜트 관련 EPC 전체 정보들을 입력하는 단계, 상기 복수의 LNG 플랜트 관련 EPC 전체 정보들을 기획, 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 관련 정보로 대구분하고, 사전 저장되고 표준화된 명칭에 따라 각 대구분된 업무 프로세스를 세부 단계의 업무 구분, 업무 수행 구분, 세부 업무 수행 구분으로 분류하는 분류 단계, 상기 각 업무 프로세스들의 공통적인 업무 프로세스들을 도출하고, 도출된 업무 프로세스들을 상기 표준화된 명칭에 적용 및 정렬하는 단계를 포함하는 LNG 플랜트 업무 프로세스 표준화 방법의 구성을 개시한다.

이에 대비해 신청기술은 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정지원체계를 사업 수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안

을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공한다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC(설계, 조달 및 시공) 사업관리에서 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공한다.

따라서 신청기술은 기존 기술과 비교할 때 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정 지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있다.

또한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 지원 기법을 설계 단계에서 향후 구매조달 및 시공단계까지 확대함으로써, LNG 플랜트의 EPC 사업의 사업관리에 필요한 EPC 전반의 의사결정지원 시스템의 개발에 활용될 수 있으며, 사업관리 매뉴얼 작성, LNG 플랜트 사업관리자 양성 등에 활용될 수 있다.
따라서 신청기술은 기존 기술과 대비되는 차별성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

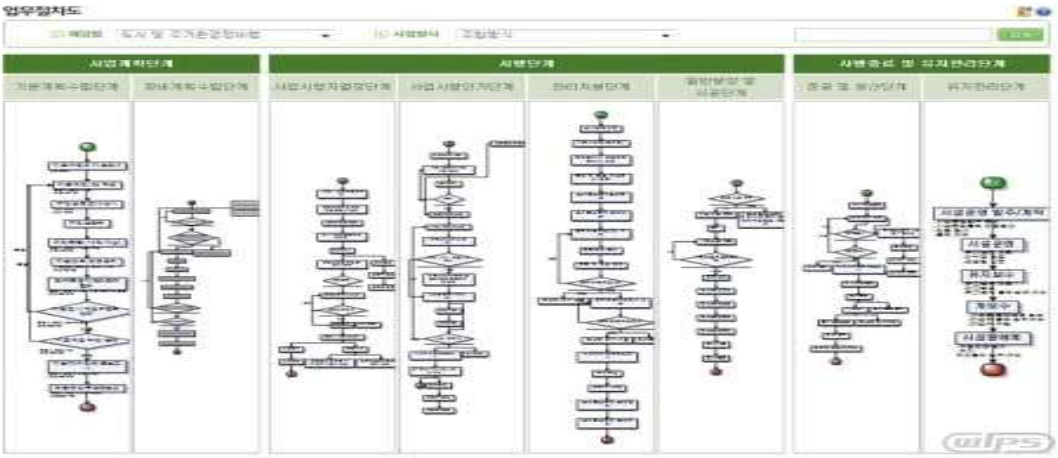
<표 4-3> 해양 플랜트 엔지니어링 국내 기술 수준

구분	핵심성능지표	현재수준	중간요구수준	최종요구수준
해양 플랜트 QRA 엔지니어링	위험도 평가기법	CFD+FEA	CFD+FEA+실증시험 결과	위험도평가 기법개발 + 표준화
	가스누출량(Kg)/ 누출환경인자	0~1	20~100	200~300
	Risk 제어 및 관리기술의 완성도(%)	60	80	100
	환경모사 및 재현기술 정	확정론적 시나리오	확률론적 시나리오	모든 발생가능 시나리오
	대형구조물 실증시험장치 구성율(%)	0% 재료시험수준	50% 설계완료	100% 장치제작

자료 : 산업통상자원부, “산업기술로드맵”, 2011

나. 일반 의사결정시스템과의 차별성

LNG 플랜트 분야 이외에서 이용되고 있는 Stage Gate 모델 프로세스가 적용된 의사결정시스템 기술과 비교할 때 신청기술은 다음과 같은 점에서 경쟁력을 가지고 있는 것으로 판단된다.



<그림 4-3> 광운대학교 도시재생사업을 위한 의사결정시스템
(특허출원 제2010-0015760호)

광운대학교에 연구개발한 도시재생사업을 위한 의사결정시스템은 도시환경정비사업의 시행주체(발주자)가 사업 초기단계 및 진행단계에서 진행할 사항과 주요 관리사항 및 도시재생사업과 관련한 각종 자료, 타 사업의 선례 등을 한눈에 파악할 수 있도록 통신망을 통해 제공하고, 시행주체가 도시재생사업시행 각 단계에서 입력내용에 따라 사업을 시행할 수 있도록 한 도시재생사업을 위한 의사결정시스템에 관한 것이다.

이를 위해 통신망을 통해 단말기와 연결되며, 도시재생사업의 진행에 있어서 필요한 준비사항과 조치사항을 발생하고, 발생된 준비사항과 조치사항의 진행 및 업무의 확인기능, 그리고 각 단계별로 검토가 요구되는 지점으로서 게이트(Gate)의 지정정보 및 주요 의사결정지점(CDP)에 대한 정보를 제공하는 도시재생사업 관리서버, '사업계획'-'시행'-'시행종료 및 유지관리' 단계의 순서 정보를 가지며, '도시 및 주거환경 정비법'에 따른 도시재생사업의 시행절차, 세부시행절차별 행정적인 규제 및 관련법, 사업시행관련 분쟁 자료가 저장되고, 상기 관리서버의 제어에 따라 저장된 자료가 갱신되는 데이터베이스 및 통신망을 통해 도시재생사업 관리서버에 접속 로그인하여 도시재생사업의 진행에 있어서 필요한 준비사항과 조치사항을 확인하며, 발생된 준비사항과 조치사항의 진행상태 그리고 완료된 업무의 확인기능 및 각 단계별로 민관협력적인 구도에서 검토가 요구되는 지점으로서 게이트(Gate) 및 주요

의사결정지점(CDP)를 확인할 수 있도록 하는 하나 이상의 단말기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이에 대비해 신청기술은 LNG 플랜트 사업에서의 사업관리 의사결정지원체계에 관한 것으로 LNG 플랜트 건설사업은 기획, 설계, 구매 및 조달, 시공 및 시운전, 운영 및 유지보수 등 전 단계에 걸친 업무를 일괄하여 수행하는 사업으로서, 해당사업에 진출하기 위해서는 공정기술을 포함한 설계기술 및 시공기술 뿐만 아니라 해당 사업과 관련한 체계적인 기술 기준과 절차에서부터 시공 경험과 노하우의 축적, 관리기법 등의 확보가 필수적이다.

그리고 이러한 LNG 플랜트 사업의 프로세스 및 위험도 평가체계 정립, LNG 플랜트 생애주기 규명 및 통합지식관리, 통합 표준데이터 컨버터 등은 국내에서도 정보분류체계, EPC 프로세스 개발 착수, 부분 개발완료 및 상용화 단계로서, 국내의 기술수준은 미국, EU, 일본 등의 주요 선진국 보다 50~70% 수준에 불과하며, 국내기업 중 다수의 후발주자 혹은 중견기업들은 체계화된 지식관리시스템을 가지고 있지 못하거나 일부 기능만을 구비한 시스템을 보유 중에 있으므로, 기업들의 경쟁력 향상에 도움이 될 수 있는 의사결정 지원 시스템의 개발이 필요한 실정이다.

이에 신청기술은 이와 같은 LNG 플랜트 사업에 특화되어 LNG 플랜트 사업의 EPC(설계, 조달 및 시공) 사업관리에서 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는, LNG 플랜트 사업의 사업관리를 위한 의사결정 지원 시스템을 제공할 수 있다.

따라서 신청기술은 기존 기술과 비교할 때 LNG 플랜트 사업의 사업관리 의사결정 지원체계를 사업수행 과정의 논리적인 의사결정구조와 절차를 결합함으로써, 구조화된 체계로 대안을 도출하고, 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현할 수 있다.

그리고 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써, 보편적 사업관리 역량을 보완하고, 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있다.

또한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 지원 기법을 설계 단계에서 향후 구매조달 및 시공단계까지 확대함으로써, LNG 플랜트의 EPC 사업의 사업관리에 필요한 EPC 전반의 의사결정지원 시스템의 개발에 활용될 수 있으며, 또한, 사업관리 매뉴얼 작성, LNG 플랜트 사업관리자 양성 등에 활용될 수 있다.

따라서 신청기술은 LNG 플랜트 사업에 적합한 Stage Gate 모델을 적용한 의사결정 지원 시스템으로 광운대학교의 도시재생사업을 위한 의사결정시스템과는 기술적 차별성을 가지는 것으로 판단된다.

4. 대체 기술의 출현 가능성

한국공개특허 제2010-0015760호에는 도시재생사업을 위한 의사결정시스템에 관한 것으로, 도시재생사업과 관련하여 준비단계에서부터 사업완료까지 모든 준비사항과 인허가 사항, 진행상황, 관련부서와의 협의일정 등을 관리서버에 입력한 후 관리서버의 지시에 의하여 진행함으로써 도시재생사업을 투명하게 처리할 수 있도록 하는 기술에 대해 게재되어 있다.

이를 위해 통신망을 통해 도시재생사업 관리서버에 접속 로그인하여 도시재생사업의 진행에 있어서 필요한 준비사항과 조치사항을 확인하며, 발생된 준비사항과 조치사항의 진행상태 그리고 완료된 업무의 확인기능 및 각 단계별로 민관협력적인 구도에서 검토가 요구되는 지점으로서 게이트(Gate) 및 주요 의사결정지점(CDP)을 확인할 수 있도록 하는 하나 이상의 단말기를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이와 같이 신청기술의 주요 특징부인 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원하는 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델은 다른 기술 분야에서 사용되고 있는 기술로 이와 같은 기술을 신청기술 분야에 접목하는 대체 기술은 출현 가능성이 있는 것으로 판단된다.

다만, 신청기술은 이와 같은 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 시스템에 대하여 특허권을 확보하고 있는 상태이며 이와 같은 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용한 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 시스템을 구현하기 위해서는 노하우가 많이 필요한 사항이므로 대체 기술이 출현하여도 신청기술의 지위는 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 기술의 확장 가능성

신청기술은 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위한 의사결정 시스템에 관한 것으로 현재까지는 LNG 플랜트 사업에 국한되어 있지만 이와 같은 신청기술은 LNG 플랜트 사업뿐만 아니라 Oil & Gas, 정유/석유화학 플랜트 분야, 발전/신재생 플랜트 분야, 해양 플랜트 분야, 수자원 플랜트 분야 및 환경 플랜트 분야에도 접목이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 신청기술의 확장 가능성은 높은 것으로 판단된다. 다만 신청기술의 이와 같은 플랜트 산업 전반에 적용을 위해서는 각각의 플랜트 사업 별로 특허권을 확보하여 배타적인 지위를 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<표 4-4> 플랜트 엔지니어링 산업의 분류

분류	정의
Oil&Gas/ 정유/석유화학	오일 및 가스의 탐사, 채굴, 저장, 수송 관련 플랜트(원유, LNG, BTL, GTL, DME, CTL, Gas To Hydrate, Oil Sand 플랜트 포함)를 위주로 하고 원유를 정제(정유)하거나 석유제품 및 천연가스를 원료로 하여 석유화학제품을 제조 및 생산하는 플랜트
발전/신재생	중유, 가스, 석탄. 원자력 등을 원료로 하여 전기에너지를 생산하는 플랜트(신재생에너지, IGCC, IGFC 등 포함)
해양	해양의 석유, 가스 등의 자원을 시추하거나 생산된 에너지 자원을 저장, 처리, 하역하는 해상 및 해저 설비 플랜트
수자원	수자원 공급, 해수담수화, 수자원 재이용 등 수자원 생산관련 플랜트
환경	대기오염 정화, 하·폐수 처리, 폐기물 무해화 및 자원화를 포함한 환경관련 플랜트

자료 : 산업통상자원부, "산업기술로드맵", 2011

3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

본 연구는 연구개발 성과의 기술 가치를 금액으로 환산하기 위하여 수익접근법을 적용하였으며, 다음과 같은 가정을 통하여 가치평가를 수행하였다.

기술가치 평가는 “LNG플랜트 EPC단계별 위험기반의 의사결정지원시스템” 에 대하여 특허기술의 가치를 금액으로 산정하여, 기술실시계약 시 합리적이고 객관적인 기술거래 기준가격을 제시할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 본 평가방법은 수익접근법에 기반을 둔 기술가치평가로 평가대상기술의 기술성, 권리성, 시장성을 기반으로 기술가치추정의 주요 평가요소인 기술의 경제적 수명(예상 수익기간) 추정, 경제적 이익흐름 추정(시장규모, 매출추정, 원가추정, 예상 자본적 지출, 순 운전자본 추정 등), 사업위험 분석에 따른 할인율 추정, 기술기여도 등을 산출하여, 최종 기술 평가금액을 제시하였다.

평가대상기술은 LNG 플랜트 사업의 EPC 사업관리를 위해 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원해 주는 시스템으로 “LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템”을 목표시장으로 한다.

평가대상기술은 LNG 플랜트 사업관리 영역에 IT기술이 접목된 융합기술로 표준산업분류상 “응용소프트웨어 개발 및 공급업(J582)”에 해당되지만, 전방산업에 해당하는 LNG 플랜트 시장의 수요영향을 많이 받는 산업적 특성을 보이고 있다. 주요 수요처는 평가대상기술이 속한 산업의 전방산업에 해당하는 LNG 플랜트 엔지니어링 업체가 주 수요처가 될 것으로 예상되며, 그 외 사업관리 측면을 보다 확장할 경우 CM/PM 전문업체 또는 토목/건축 설계 분야로 그 수요가 확대 가능할 것으로 기대된다.

최근 국내외 LNG 플랜트 프로젝트는 거의 TURN-KEY로 엔지니어링사(EPC)에 발주하는 추세여서 TURN-KEY 수행능력이 플랜트 엔지니어링 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있는 중요한 요인이 되고 있다. 본 기술제품은 사업관리기법에 있어서 구조화된 의사결정지원체계를 구축하는 핵심적인 항목으로 부족한 사업관리 역량을 보완하고 발주자, 사업관리자 및 시공자의 사업목표를 만족시키기 위한 시스템으로 LNG 플랜트 엔지니어링 업체를 대상으로 하고 있다. 하지만 현재 LNG 플랜트 엔지니어링 업계에서는 몇몇의 대형 엔지니어링 업체가 사업관리시스템을 개발, 적용하고 있지만 아직 그 성과에 대한 분석결과가 구체적으로 공개되지 않고 있으며, 개별기업 단위의 시스템으로 개발되었기 때문에 전체 플랜트 산업으로 확산되는 속도가 매우 느리다. 최근 건설공사의 사업정보관리를 보다 효율적으로 수행하고 원할 때마다 사업진행상황을 파악하고자 하는 발주자의 욕구 때문에 발주처에서는 건설사업관리자에게 PMIS의 개발 및 운용을 요구하는 경우가 많아 건설사

업관리방식을 적용하는 건설사업에서는 건설사업 정보관리시스템을 구축하여 적용하는 사례가 증가하고 있다는 점에서 본 기술제품의 수요가능성은 매우 높을 것으로 판단된다.

본 평가에서는 LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원시스템의 기술시장분석 내용을 토대로 기술이 적용될 신규 사업에 대한 매출액을 추정하였다. 매출액 추정은 매출액 추정방법과 내·외부 전문가의 의견 등을 참조하여 사업주체의 시장의 경쟁구조와 시장지위 확보 가능성 등으로 분석하여 시장점유율을 추정하였으며, 산업에 대한 향후 기대되는 성장률을 이용한 실무편법 등에 의한 방법으로 매출액을 산출하였다.

본 기술의 경제적인 수명기간은 인용특허수명지수(CLT)를 활용하여 6년으로 도출되었다. 본 기술이 제품화 되어 매출을 발생시키는 시점은 2014년부터 2019년까지로 추정되었으며, 잔존가치는 고려하지 않는다.

해당 기술수명 기간 동안 창출 가능한 잉여현금흐름(FCF) 합계액(사업가치)은 할인율 16.34%를 반영하여 현재가치로 환산할 경우 512백만 원이 산출되었고, 해당 사업가치에 산업기술요소법을 통해 구해진 기술기여도 44.39%를 적용한 결과 기술가치는 227백만 원으로 도출되었다.

<표 4-5> 기술가치 산정표

(단위: 백만 원)

구분	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
여유현금흐름	△250	△1,140	△282	229	△2,153	6,531
현가계수	0.8595	0.7388	0.6351	0.5459	0.4692	0.4033
현재가치	△215	△843	△179	125	△1,010	2,634
현재가치 합계	512					
기술기여도	44.39%					
기술가치	227					

4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

우리나라의 건설산업은 경제성장과 고용창출을 주도해 온 산업으로 SOC, 주택 등 국내 인프라 확충에 크게 기여하여 왔다. 또한 중동국가들의 석유화학·발전 등의 플랜트 건설과 개도국들의 인프라 투자확대 등이 지속적으로 증가하여 해외건설 수주는 지속적으로 성장하여 2013년도에 652억 달러를 달성하여 국가 경제에 한 축을 담당하고 있다. 특히 세부 공종별로 보면 산업설비 플랜트가 전체 수주액 중에서 약 61%를 차지하고 있을 정도로 비중이 높은 실정이다. 이러한 플랜트 중심의 해외 진출은 당분간 지속적으로 나타날 것으로 예상된다.

그러나 플랜트 사업은 대부분 해외에서 건설공사가 추진되고, 대형·복합사업으로 인하여 국내 건설공사보다는 다양한 위험이 존재하고, 이러한 위험을 회피하고 사업을 성공적으로 추진하기 위해서는 사업관리자의 역할과 의사결정이 매우 중요하다. 지난 해 문제 제기된 위험을 고려하지 않은 무분별한 해외건설사업 투자로 인한 해외사업의 수익성 문제가 발생하였다.

따라서 각 건설기업은 위험관리 지원체계 구축을 통해 해외건설 산업이 내실있게 성장할 수 있도록 다각적인 지원방안을 추진할 필요가 있다. 즉 해외사업 진출에 있어서도 사업성을 고려한 수주가 필요하고, 국내 업체끼리의 경쟁은 지양할 필요가 있다. 각 건설기업뿐만 아니라 국가에서도 대형 해외건설의 경우는 적극적인 지원과 위험기반의 사업평가 체계와 사업관리 체계 구축이 필요하다.

따라서 본 연구는 LNG 플랜트공사를 위한 위험기반의 의사결정지원체계와 시스템을 개발하였다. 특히, 연구성과는 스테이지 게이트 모델 방법론을 활용한 LNG 플랜트공사의 건설사업관리를 위한 위험기반의 의사결정지원 모델을 구축하고 이를 시스템으로 개발한 것이다. 이 시스템은 EPC 단계별로 의사결정이 필요한 시점을 게이트(Gate)로 규정한 스테이지-게이트(Stage-Gate) 모델을 적용하여 의사결정을 지원함으로써 플랜트 사업관리 역량을 보완하고 설계 및 시공 오류, 재작업 등을 최소화할 수 있는 효과가 있을 것으로 기대한다.

향후에는 LNG 플랜트 분야 이외의 타 플랜트 공사 분야에도 의사결정지원체계를 활용하여, 본 시스템을 확장·적용할 수 있을 것이다. 특히 상기 시스템은 중소 건설설업체의 해외진출을 위한 사업관리체계 구축에도 활용될 것으로 기대된다. 특히 LNG 플랜트 건설공사의 각 공사단계별 리스크 요인을 고려한 사업관리 의사결정지원모델은 국내 플랜트 건설기업이 성공적인 사업수행을 하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 각 플랜트 건설공사의 리스크 고려한 사업관리매뉴얼이 국내 기업이 글로벌 건설경쟁력을 확보하는데 중요한 역할을 할 것으로 예측된다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1절 연구성과의 향후 활용방안

본 연구의 성과물은 LNG 플랜트 EPC 단계별 의사결정지원시스템으로써 LNG 플랜트 프로젝트의 해외진출 지원 및 수익성 확보를 위한 컨설팅 지원, 연구성과 민간 이전 및 사업화 지원 등에 활용할 계획이다. 특히 본 연구성과물의 실제적인 실무활용을 극대화하기 위하여 민간기업에 기술이전 등을 수행하고, 현재 기술실시 계약을 1건 추진하였으며, 1건을 추가로 추진 중에 있다. 이를 위하여 기술가치평가를 실시하였으며 상용화 전략을 수립하였다.

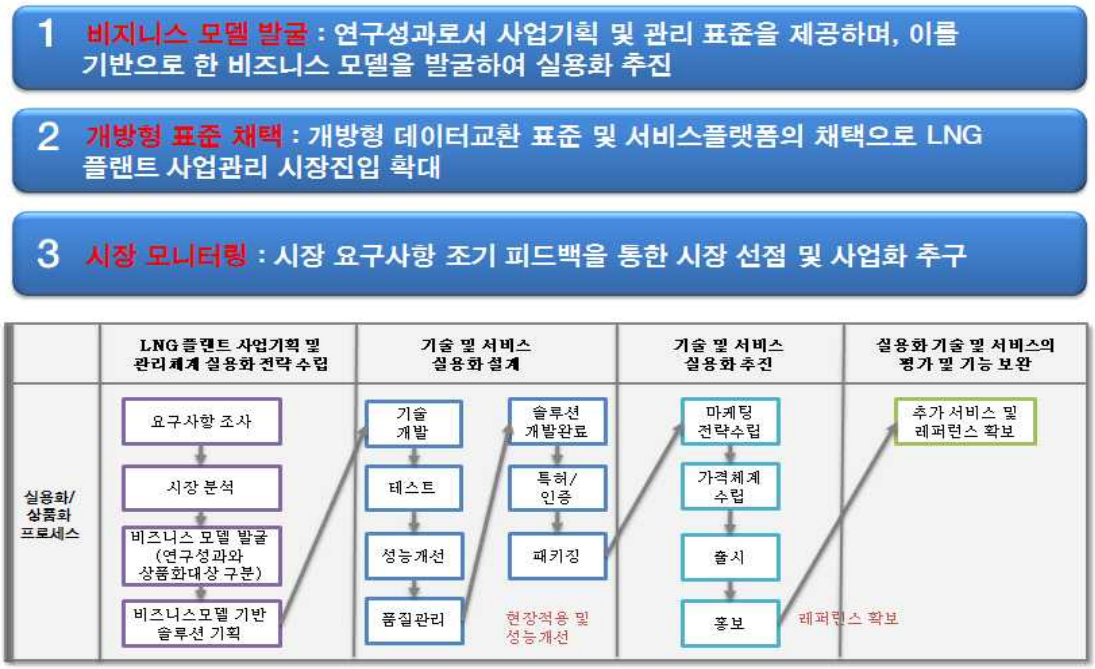
본 연구의 성과물에 대한 활용성을 높이기 위하여, 연구성과를 담은 책자를 제작 배포하고, LNG 플랜트 의사결정지원시스템은 사업모델로서 상품화 과정을 거쳐 국내외 보급을 목표로 하고 있다. 특히 연구성과의 실용화를 위한 추진계획 수립을 위한 기본원칙은 크게 다음과 같이 세가지 방향으로 제시하였다.

첫째, 본 연구성과로서 제시하고자 하는 사업기획 및 관리체계 관련 표준, 지식관리체계 표준을 토대로 상용화 대상에 대한 니즈조사를 토대로 비즈니스 모델을 발굴하여 체계적인 추진전략을 마련한다.

둘째, 관리체계 표준은 개발형 데이터교환 표준을 채택토록 하고, 이에 기반으로서 개발형 서비스 플랫폼을 제시하여 LNG 플랜트시장에 대한 체계적이고 손쉬운 진입이 가능토록 한다.

셋째, 초기 모델링 및 시스템 기획단계에서 시장요구사항에 대한 조기 파악 및 피드백을 시행하여 상용화를 위한 전략수립과 연계하며, 국내외 시장 선정 효과를 확보한다.

넷째, 연구성과의 실용화 추진계획은 상용화 전략의 수립 및 비즈니스 모델 발굴, 비즈니스 모델에 따른 기술 및 서비스 실용화 설계(현장적용을 통한 성능 개선), 기술 및 서비스 기능에 대한 실용화 및 제품화 추진, 추가서비스 및 참조 레퍼런스 확보를 통한 기능 보완 등 크게 4개의 단계로 추진하고자 한다.



<그림 5-1> 연구성과의 활용 및 실용화 추진계획

2절 추가연구 필요성

LNG 플랜트 건설공사는 대부분 해외에서 추진되기 때문에 그 어느 사업보다도 글로벌화된 기술개발을 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 LNG 플랜트 건설공사의 의사결정지원 시스템은 해외사업의 리스크를 각 단계별로 고려한 사업관리를 함으로써, 사업의 리스크를 해소하고 사업을 성공적으로 추진할 수 있을 것이다.

이러한 상기 연구 뿐만 아니라, LNG 플랜트 건설공사의 핵심기술을 확보하기 위해서는 아래와 같은 추가 기술개발도 무엇보다도 우선적으로 추진될 필요가 있다.

- LNG 플랜트공사의 모듈화 기술개발
- LNG 플랜트공사의 생산성 측정모델 기술개발
- 드론을 활용한 LNG 플랜트 건설공사의 안전관리 기술개발
- LNG 플랜트 공사의 공정과 안전 통합관리 기술개발

참고문헌

1) 문정호 외, 건설산업의 PMIS 개발 현황과 발전방안, 한국건설산업연구원, 2003. 2
2) 이현수 외, 건설회사 PMIS 평가 및 발전 전략체계 연구, 한국건설산업연구원, 2005. 4
3) 김주형, 도시재생사업을 지원하는 지능형 종합사업관리시스템, 건축, 2008. 8
4) 이영곤, 플랜트 PMIS의 현업 적용성 향상, 삼성건설, 2007
5) 이승헌, 구매조달 및 자재관리시스템 요구사항 분석을 통한 개발방향 제시, 석사학위논문, 경희대, 2007.2
6) 원서경 외, 해외 플랜트 프로젝트 구매조달 시스템 구축을 위한 프로세스 분석, 대한건축학회논문집, 2008.2
7) 최철호, IT기술을 활용한 현장프로세스 혁신Site Process Innovation, 세미나자료, 2006.3
8) 한국가스연맹, “세계 LNG 산업의 성장속도를 가늠해본다”, 2007 봄호
9) 한원희, “세계 LNG 시장 수급 전망”, 가스산업
10) 한국가스연맹, “세계 LNG 산업의 성장속도를 가늠해본다”, 2007 봄호
11) 정의종 외, “플랜트 엔지니어링 중장기 기술개발 로드맵 연구”, 한국플랜트학회, 2005. 12
12) 강인석, 이승렬 (2004) 공기 및 공사비 위험도의 가중치를 적용한 건설공사 리스크 관리기법 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 24, No. 2-D, pp. 229-238
13) 강연웅, 김진홍, 장진구, 한승헌, 채명진, 김한힘, 김두연, 염상민, 박상혁, 구태훈, 윤성민, 진의재, 정도영, 남하나 (2005) 해외공사의 생산성 및 수익성 향상을 위한 RISK MANAGEMENT 시스템 구축 및 웹기반의 실무지침서 개발, 건설교통부 한국건설교통기술평가원 건설기술기반구축사업 보고서
14) 고재선, 김효 (2003) 천연가스 공급설비에 대한 기기신뢰도 분석 및 위험성 평가, 한국화재소방학회, 제17권, 제1호
15) 김두연 (2005) 해외건설공사의 리스크 분석에 기초한 수익성 예측모델에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문
16) 김상철, 박찬정, 윤준선 (2004) 리스크 관리를 통한 프로젝트 타당성 검토방안에 대한 연구, 한국건설관리학회논문집, Vol. 5, No. 3, pp. 97-105
17) 김선국, 박지훈, 서상욱 (2005) 지식관리시스템을 이용한 건축물의 공정리스크 대응방안, 대한건축학회논문집(구조계), Vol. 21, No. 1, pp. 155-162
18) 김창학, 강인석, 이배호 (1998) 리스크 평가를 통한 입찰참가여부의 판단모형에 관한 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 18, No. 1-6, pp. 901-909

19) 서석원, 김재준, 김경래 (2002) 건설공사의 최적 리스크 대응방안 선정을 위한 의사결정 모델, 대한건축학회논문집(구조계), Vol. 18, No. 8, pp. 115-122
20) 신규호, 김재준 (2002) 국내개발사업 사전기획단계에서의 효율적 리스크 관리를 위한 리스크 인자 중요도에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, Vol. 3, No. 2, pp. 75-86
21) 안성훈, 이영남, 조호규 (2008) 해외 플랜트 공사 리스크 평가 방안 및 적용에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, Vol. 9, No. 1, pp. 134-142
22) 원서경, 강민우, 이준복, 김선구, 한충희 (2008) 해외플랜트 프로젝트 구매조달 시스템 구축을 위한 프로세스 분석, 대한건축학회, Vol. 24, No. 2, pp. 113-120
23) 이동운, 김영수 (2003) 건설 프로젝트의 코스트 리스크 분석방법론에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, Vol. 4, No. 4, pp. 201-211
24) 이상엽, 손재호, 유영훈, 한충희(2008) 플랜트사업 설계사례의 체크리스크기반 평가모델에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, Vol. 9, No. 3, pp. 146-152
25) 장서일, 김태옥 (2003) 가스공급기지에서 공정 위험성 평가에 의한 최적 안전관리 투자수준 결정, Journal of Korean Institude of Gas, Vol. 7, No. 3
26) 전보현, 정헌섭 (1996) 유전 및 가스전에서 투자위험도를 고려한 경제성 평가 모델, 한국자원공학회지, Vol. 33, pp. 61-74
27) 정병화, 정영식 (2001) 건설공사의 리스크 인자 분석 및 경감에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, Vol. 2, No. 4, pp. 62-68
28) 한승헌, 이영, 김형진, 옥종호 (2001) 대형건설업체의 해외건설공사 포트폴리오 리스크 관리에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, Vol. 2, No. 2, pp. 68-80
29) 한승헌, 선승민, 류호동 (2003) 해외건설사업의 수익성 영향인자 분석에 관한 연구, 대한토목학회논문집, Vol. 23, No. 2-D, pp. 235-247
30) 황지선, 이찬식 (2004) 퍼지이론을 이용한 초기 건설공사의 리스크 관리방법, 한국건설관리학회논문집, Vol. 5, No. 2, pp. 136-143
31) 플랜트 프로젝트 표준화기술 개발, 현대건설(주), 건설교통부, 2007
32) 산업통상자원부, “산업기술로드맵”, 2011
33) 산업통상자원부, “제 10~11차 장기천연가스 수급계획” 2013
34) Gerald B. Greenwald, Liquefied Natural Gas: Developing and Financing International Energy Project,1998
35) 박환표, 한재구, 진경호, 플랜트 건설공사의 벤더관리 발전방향 기초연구, 한국건축시공학회 학술. 기술논문발표회 논문집, 2011. 11
36) 박환표, 한재구, 진경호, LNG 플랜트 공사의 PMIS 개발방향에 관한 기초연구,

한국건축시공학회 학술. 기술논문발표회 논문집, 2013. 05
37) 박환표, 한재구, 진경호, 플랜트공사의 구매조달관리를 위한 의사결정지원 모델 개발방향, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2013. 11
38) 박환표, 한재구, 진경호, LNG 공사의 건설사업관리 의사결정지원모델 개발, 한국건설관리학회 논문집, 2014. 05
39) 박환표, 한재구, 진경호, 수익접근법을 활용한 LNG 플랜트공사의 의사결정지원 시스템 기술가치 평가, 한국건설관리학회 논문집, 2014. 07
40) Hwanpyo Park, Jaegoo Han, An International Competitiveness Evaluation Model in the Global Construction industry, KSCE, 2014. 8
41) Hwanpyo Park, Development of Korean Code System for Construction Specifications and Design Standards, KSCE, 2015. 9

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 플랜트기술고도화사업 가스플랜트사업단의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 플랜트기술고도화사업 가스플랜트사업단의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발에 관한 연구"과제(공동과제 "LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리기법 개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015 . 12 . 17 .

공동연구기관명 : 연세대학교
공동연구책임자 : 한 승 헌
연 구 원 : 정우영, 정호영, 이강욱
" : 박희대, 장우식, 홍화욱
" : 이용욱, 최석진, 민병수
" : 양해범, 유현우, 이재범
" : 이상구, 이중기, 유기원
" : 박찬영

보 고 서 요 약 서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>08가스플랜트B05</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2008.12.26. ~
2015.12.17</td><td>단 계 구 분</td><td>(3단계)/
(3 단 계)</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">플랜트 연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연 구 과 제 명</td><td>핵심과제명</td><td colspan="4">LNG 플랜트 핵심 기반기술 개발</td></tr>
<tr><td>협동과제명</td><td colspan="4">LNG 비즈니스 통합 솔루션 개발</td></tr>
<tr><td>공동과제명</td><td colspan="4">LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리 기법 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>한승헌</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 16명
내부 : 16명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
930,000천원
기업 : 천원
계 :
930,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">연세대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">LNG 플랜트 EPC 단계의 위험관리 기법 개발
- 리스크 관리 연구문헌 및 현황 분석
- 수행단계별 리스크 관리 체계개발
- 설계단계의 리스크 관리 모듈 개발
- 구매조달단계의 리스크 관리 모듈 개발
- 시공단계의 리스크 관리 모듈 개발
- 통합 리스크 관리 모듈 개발

LNG 플랜트 해외사업 모델 개발
- 주요 진출지역 선정 및 시장전망 평가
- 해외사업 진출전략 및 비즈니스 모델 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">LNG플랜트, 리스크 관리, 공정관리, 의사결정모델, 사업관리, 시스템</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">LNG Plant Risk Management, Schedule Management,
Decision Model, Project management system</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리 기법 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

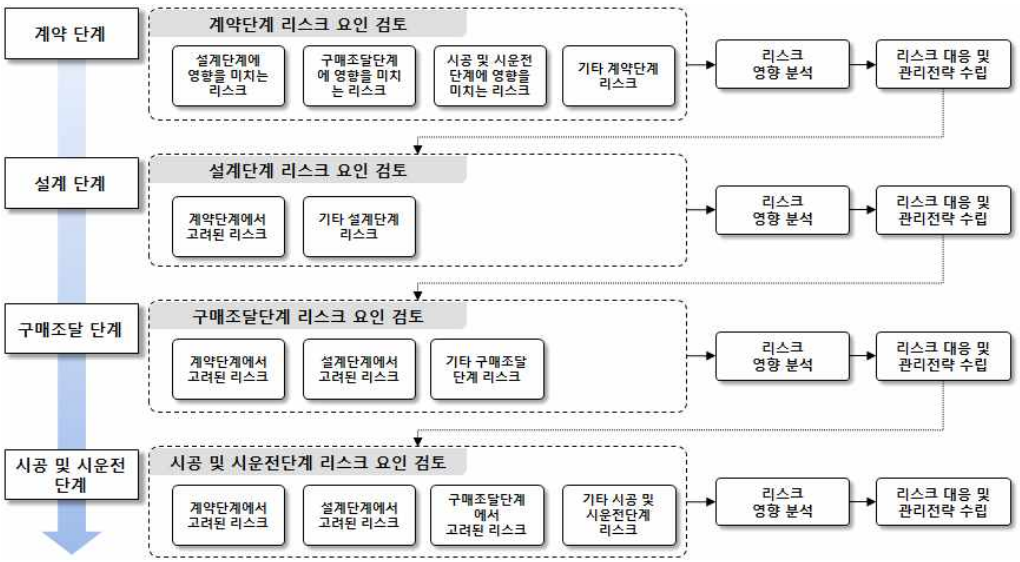
국내 EPC 업체 관점에서 해외 LNG 플랜트 건설 사업 EPC 진출 확대 및 사업성과 향상을 위해 LNG 플랜트 생애 주기에 대한 사업 관리 및 리스크 관리 모듈을 개발하고, 사업 초기 단계에서의 제한적 정보를 바탕으로 좋은 사업기회를 선별할 수 있도록 해외사업 진출전략 및 비즈니스 모델을 개발한다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

(1) LNG 플랜트 EPC 단계의 위험관리 기법 개발

- 수행단계별 리스크 관리 체계 개발

LNG 플랜트 사업의 전 생애주기를 계약 단계, 설계 단계, 구매조달 단계, 시공 및 시운전 단계로 나누어 다루며, 또한 계약 단계에서 고려 가능한 리스크 인자의 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계로의 영향을 고려하고, 각 수행단계 간의 영향을 고려하기 위해 아래 그림과 같이 리스크 관리 체계를 구성하였다.



- 설계단계의 리스크 관리 모듈 개발

국내외 리스크 관련 연구문헌 분석 및 전문가 자문 실시하여 리스크를 도출하고 LNG플랜트 특성을 고려하기 위하여 사업관리 및 설계관리 관점의 리스크 요인 도출하였다. 또한 기존 리스크 중요도 분석 기법 고찰을 통하여 PIC기법을 개발하여

LNG 플랜트 사업에 적합한 리스크 중요도 분석 기법을 제시하였다.

- 구매조달 단계의 리스크 관리모듈개발

국내외 리스크 관련 연구문헌 분석 및 전문가 자문 실시하여 리스크를 도출하고 구매계획수립, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 단계로 구분하여 리스크를 분류하여 중요도를 평가하고자 하였다. 또한 리스크의 우선순위 도출을 위하여 TOPSIS기법을 적용하여 정량적인 우선순위 평가기법을 도입하였다.

- 시공 및 시운전 단계의 리스크 관리 모듈 개발

LNG플랜트 사업의 시공 및 시운전 단계에 집중하여 공기, 공사비, 품질, 안전 등 사업관리를 위한 리스크 요인과 액화프로세스, 저장탱크, 열교환기 등 세부 AREA 별 기술적 관리 요소를 도출하였다. 또한 이들 리스크 요인에 대한 전문가 검증 및 설문을 수행하였으며, 개별 리스크 요인에 대한 중요도를 도출하였다.

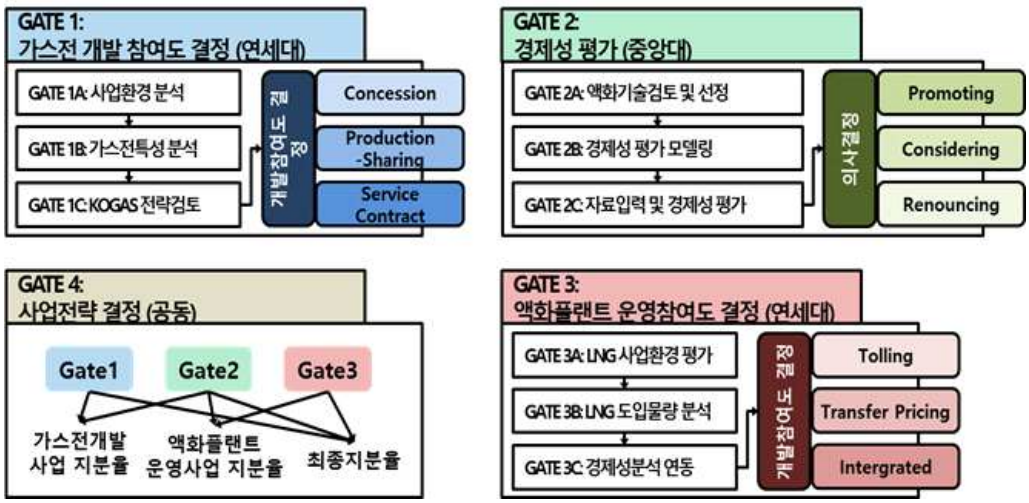
- 통합 리스크 관리 모듈 개발

기존의 리스크 분류체계를 이용하여 설계단계의 특정 리스크가 구매조달, 시공 단계의 어떤 리스크에 영향을 미치는지, 구매조달 단계의 특정 리스크가 시공 단계의 어떤 리스크에 직접적인 영향을 미치는지 평가하고자 하였다. 또한, 영향도 분석 결과를 토대로 각 분류에 대한 특성을 가장 잘 드러내고 큰 영향도를 가지는 핵심리스크 인자 2개를 선정하는 작업을 추가적으로 진행하였다.

(2) LNG 플랜트 해외사업모델 개발

- 해외사업 비즈니스 모델 프레임워크 개발

LNG플랜트 사업의 사업선별(screening study) 및 사업타당성검토(feasibility study) 단계에서 활용될 수 있는 해외사업모델을 개발하는데 목적을 둔다.



- 해외사업 진출전략 및 비즈니스 모델 개발

해외사업모델은 총 4가지의 모듈이 순차적으로 적용됨으로서 활용되며, 각각의 모듈은 자체적인 소결론을 도출하도록 구성된다. 이와 같은 구성은 다음과 같은 장점을 갖는다. 먼저 upstream에서의 개발지분과 downstream에서의 운영지분을 구분함으로서 사업과정 및 목적에 맞는 단계별 분석이 가능하다. 또한 기존의 비용편익비 분석 기능을 유지함으로서 과거 업무수준과의 연결성을 확보하는 한편, 비용부분의 개발참여도 부문에서 국가리스크, 사업특성 등과 같은 사업환경 정보와 편익부분의 운영참여도 부문에서 세계 LNG 수급 및 소비전망 등과 같은 시장정보를 추가적으로 고려함으로서 기존의 사업분석 방식을 기반으로 한 기능확대를 꾀하였다. 마지막으로 현재 본 사업단을 통해 개발 중인 액화기술(KSMR), FPSO 등의 신기술을 해외에 적용하기 위하여, 추후 해당 기술이 개발되었을 경우 그와 관련된 일부 모듈만 추가적으로 개발하여 현행 모델에 바로 적용할 수 있도록 구성하였다.

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

(1) 주요 연구 성과

	목표	실적
국외논문	1	2
국내논문	5	6
특허출원	1	6
특허등록	0	3
인력양성	5	5
국제학술대회	5	8
국내학술대회	1	18

S U M M A R Y

Ⅰ. Title

Development of the Overseas Business Model of the LNG Plant & Integrated Risk management system

Ⅱ. Research Outline

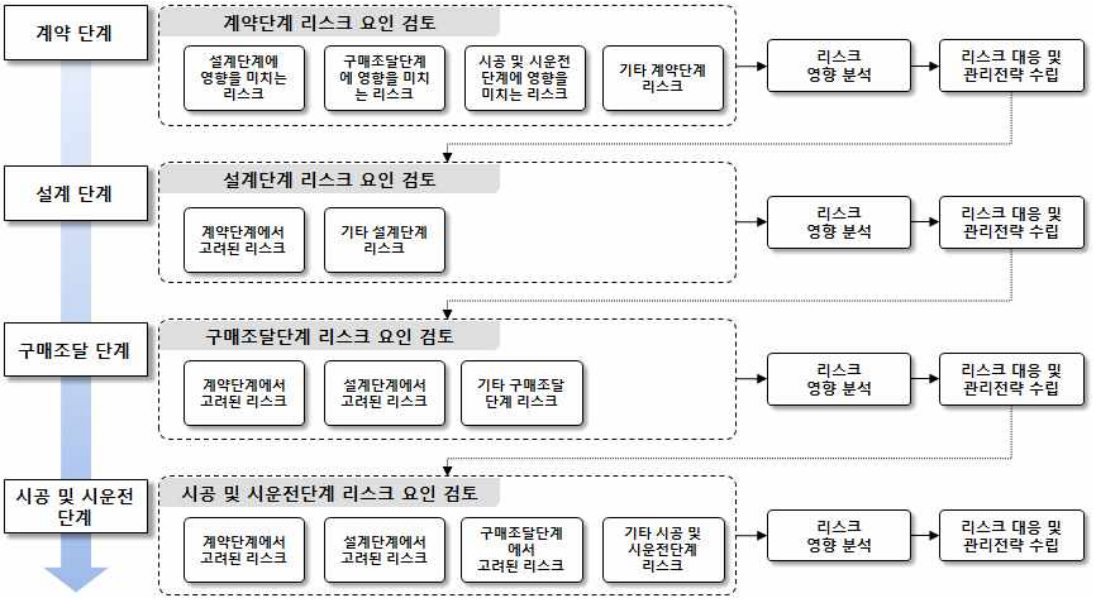
Develop the project and risk management system for life-cycle of the LNG plant in order to expand the entrance of the overseas LNG Plant construction projects and the performance of the projects for Korea's EPC companies. In addition, develop the entry strategies into overseas market and business model to select the good opportunities based on the limited information in the early stage of the project.

Ⅲ. Research Performance & Results

(1) Development of the EPC risk management system of the LNG Plant Projects

- Development the risk management system for each stage of the project

In this section, the life-cycle of the LNG plant is divided into contract, design, procurement, construction and commissioning stages. The risk management system is composed as below in order to consider design of the risk factors that can be considered in contract phase, effects that come from contract phase to procurement, construction and commissioning phases, effects between the each phase.



- Development the risk management system at the design phase

In this section, risk factors with respect to project management and design management are drawn through the literature reviews and interviews with the experts in order to consider the characteristics of the LNG plant

- Development the risk management system at the procurement phase

In this section, risk factors are drawn through the literature reviews and interviews with the experts. The risk factors are divided into establishing consumers plan, purchasing, expediting, inspection, logistics and evaluated the importance. The TOPSIS approach which is quantitative method is applied to decide the order of the priority of the risk factors.

- Development the risk management system at the construction & commissioning phase

In this section, the risk factors focused on the construction and commissioning phase for the project management such as duration, construction cost, quality, safety and technical management factors with respect to detail areas like liquefaction process, storage tank, heat exchanger are drawn.

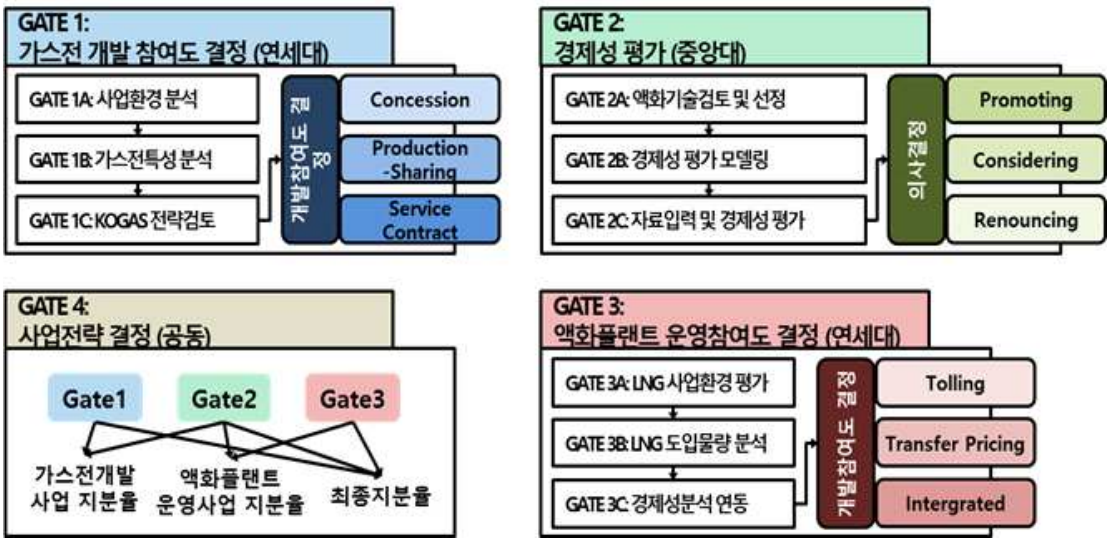
- Development the integrated risk management system

In this section, using the early risk classification system, the direct effects that come from the design phase to procurement and construction phases and from procurement phase to construction phase are considered. Additionally, based on the analysis of impact, the critical risk factors are selected which reflect the characteristics of the classification.

(2) Development of the overseas business model of the LNG Plant

- Framework for overseas business model

The objective of this section is the developing the overseas business model which can be used in the screening study and feasibility study stage of the LNG plant projects.



- Strategies for overseas business and overseas business model

The overseas business model is utilized as four modules are applied gradually and each module has its own conclusion. This composition of the model has the several advantages. First, as this model classifies the development stakes of the upstream phase and the operation stakes of the downstream phase, the analysis for the appropriate stage of the projects and purpose can be possible. Second, it can secure the connection with the level of the past work as keeps the cost/benefit ratio analysis function and it

contains additional information. In the cost sector, this model considers the project environment information such as the national risk, characteristics of the project. In the operation involvement part of the benefit sector, it considers market information such as world LNG supply and consumption outlook. Through considering additional information, it can achieve the in-depth project analysis based on the existing method of the project analysis. Last, to apply the new technologies which is in the development stage by this research management team for overseas market, one can easily use this model thereby just adding the new part of the module.

Ⅳ. Final research performance & application results

	Objective	Performance
International Journal	1	2
Domestic Journal	5	6
Patent application	1	6
Registration of a patenet	0	3
Manpower training	5	5
International Conference	5	8
Demestic Conference	1	18

C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction ····· 7
1. Objectives & Necessities ····· 7
2. Technical Development Status of the research area ····· 11

Chapter 2. Research Performance & Results ····· 20
1. Strategy & Methodology ····· 20
2. Research Process ····· 25
3. Results and Verification ····· 345

Chapter 3. Final Achievement & Application Results ····· 349
1. Individual Achievement ····· 349
1.1 Explanation of the achievement ····· 349
1.2 Major achievement ····· 356
1.3 Outlook of the market of the research area ····· 362

Chapter 4. Achievement & Impact ····· 363
1. Goal achievement of the research ····· 363
2. Analysis of the technical effects ····· 364
3. Analysis of the economic effects ····· 365
4. Analysis of the policy effects ····· 366

Chapter 5. Application & Further Study ····· 368
1. Applications of the research accomplishments ····· 368
2. Necessities of the further studies ····· 370

References ····· 371

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 7
1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 7
2절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 11

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 20
1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 20
2절 연구수행과정 및 내용 ····· 25
3절 연구수행결과 및 결과의 검증 방법 등 ····· 345

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 349
1절 개별 연구성과명 ····· 349
1. 개별 연구성과 설명 ····· 349
2. 주요 연구성과 ····· 356
3. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 362

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 363
1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 363
2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 364
3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 365
4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 366

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 368
1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 368
2절 추가연구 필요성 등 ····· 370

참고문헌 ····· 371

1장 연구개발과제 개요

1절 연구개발의 목적 및 필요성

가. 연구개발의 목적



그림 5. LNG플랜트 사업개발 프로세스

LNG플랜트 개발사업에 참여하는 기업 관점에서 일반적인 LNG플랜트 개발사업은 사업선별(screening study), 사업타당성검토(feasibility study), Pre-FEED 및 FEED, 엔지니어링, 구매조달, 시공(이상 EPC), 운영(operation)의 순서로 진행된다. 이들 중 Pre-FEED에서부터 운영단계까지는 사업추진이 결정된 이후의 단계로서 사업선별 및 사업타당성검토 단계에서 선정된 사업을 효율적으로 운영하기 위한 리스크 평가가 이루어진다. 이 단계의 리스크 관리는 EPC 프로젝트 사업 수행시 발생 가능한 리스크에 대한 분석과 예측을 통한 조기 대응을 통해 공사비 변동성을 줄이고, 사업 수행 효율을 높여, 사업 성과를 증대하는 것에 그 목적이 있다.

또한, LNG플랜트 사업을 개발하기 위하여서는 사업선별 및 사업타당성검토와 같은 초기단계의 연구가 요구된다. 이 단계는 다양한 시장정보와 사업환경을 고려하여, 신규로 진행될 LNG플랜트 사업에 대한 사업성 및 타당성을 평가하는데 목적을 둔다. Pre-FEED 이후 단계에 대한 기존의 연구가 이미 전략이 결정된 사업을 관리하기 위한 관리관점의 연구였다면, 이 단계는 사업의 상세사항이 결정되지 않고 사업참여 여부 또한 결정되지 않은 초기단계에서 거시적인 사업성을 평가하여 좋은 사업기회를 선별하고자 하는 기회관점의 연구라 할 수 있다. 이 단계에서는 사업초기로서 매우 제한된 정보를 바탕으로 사업리스크를 평가하며, 세계 LNG산업의 변화추세, 사업이 진행될 국가의 특성, 개별사업의 고유특성 등을 널리 고려하여야 한다.

이에 따라 본 연구에서는 (1) LNG 플랜트 EPC 단계의 리스크 관리체계를 개발하고, (2) LNG플랜트 사업의 타당성검토(feasibility study) 단계에서 활용될 수 있는 해외사업모델을 개발하는데 목적을 둔다.

나. 연구 개발의 필요성

(1) 세계 천연 가스 생산 전망

LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, 2014년 이후의 LNG 생산전망은 그림 2과 같이 예측된다. 세계적인 LNG 생산전망은 2014년 약 3400 BCM에서 연평균 약 3~4%대의 꾸준한 증가세를 보여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4071 BCM에 달할 것으로 예상된다.

반면 그림 2의 꺾은선 그래프로 나타내어지는 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상된다. 이를 좀 더 자세히 살펴보면, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미의 생산비중은 점진적으로 감소할 것으로 예상된다. 반면 자원부국이 많은 중동과 동남아시아 지역의 국가들은 각각 17%, 15% 대의 생산비중을 유지할 것으로 보이며, 최근 개발이 활발히 진행 중인 아프리카 국가들의 생산비중은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 국내기업들은 성장전망이 밝은 아프리카 지역과 지리적 접근성이 좋은 아시아 지역으로의 진출을 추진해보는 것이 바람직하다 할 수 있다.

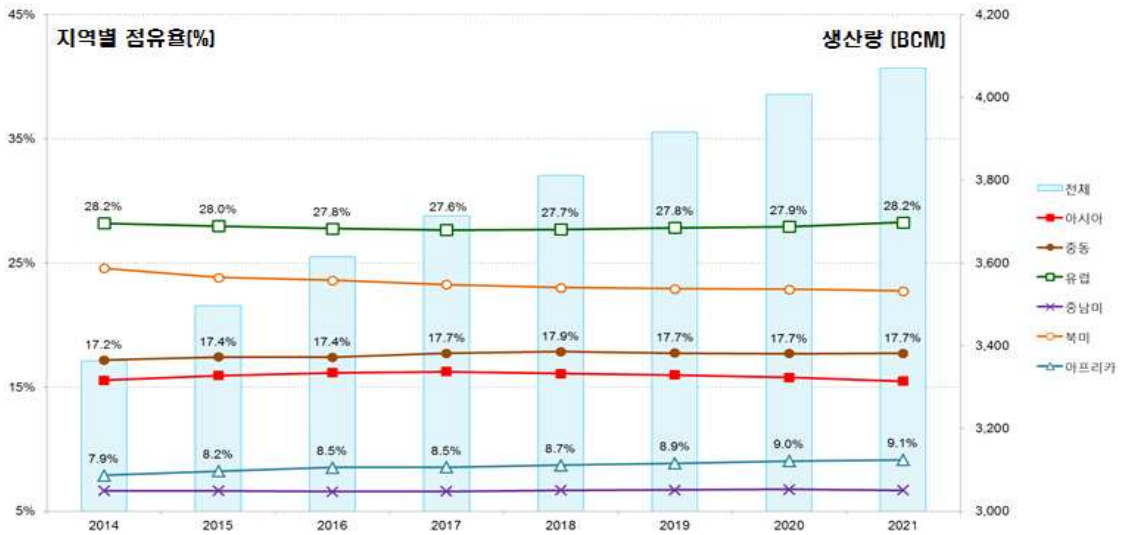


그림 6. 세계 천연가스 생산 전망 (2014~2021) (Business Monitor International)

(2) 세계 천연가스 소비 전망

세계 천연가스 생산량의 증가 추세와 함께 천연가스 소비량도 가파르게 증가하는 추세에 있다. 2012년 기준, 전 세계의 천연가스 소비량은 2987.1(백만톤)으로 조사되었으며, 이를 지역별로 구분하면 유럽&유라시아 32.6%, 북미 27.5%로 두 지역에서 절반 이상의 천연가스를 소비하고 있는 것으로 나타났다. 아시아는 2012년 기준으로 18.8%의 천연가스를 소비하고 있으나, 중국·인도의 성장과 함께 천연가스 소비량도 점차 증가하여 2035년에는 전체 천연가스 소비량의 26.6%를 차지하여 전체 지역 중 가장 많은 천연가스를 소비할 것으로 예상되었다.

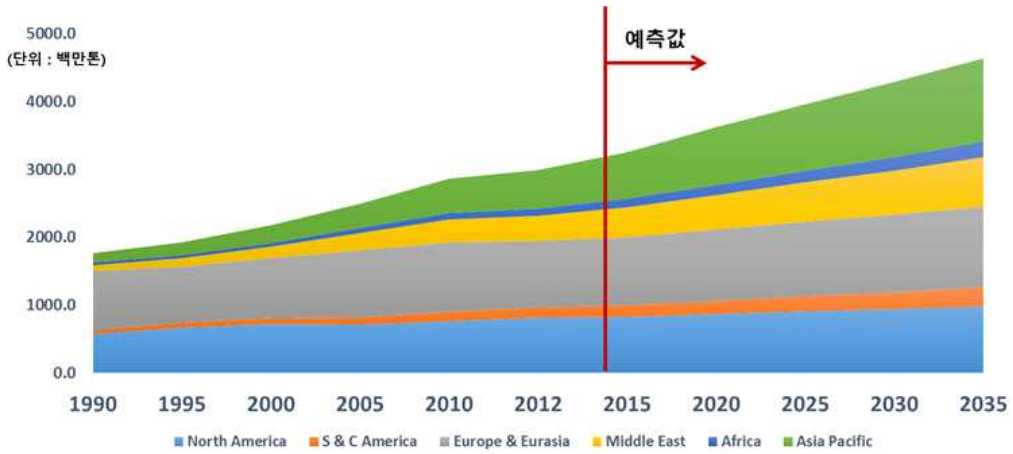


그림 7. 세계 천연가스 소비 전망

(3) 에너지 관련 건설 시장 전망

천연가스 생산·소비량 전망 및 주요 국가별 수급 전망으로 미루어 보았을 때, 천연가스 수요·공급 물량의 증가 추세에 따라 가스전 개발 사업 및 액화 플랜트 건설 사업도 꾸준히 발주될 것으로 예상할 수 있다. Global Insight(2014)에 따르면, 2014년 전 세계 에너지 관련 건설 투자 규모는 $1549.5 Billion로 분석되었으며, 연평균 10~15%의 증가 추세를 보이고 있다. 이러한 추세로 보았을 때, 2028년에는 현재의 약 3배 규모인 $4528.7 Billion에 이를 것으로 예상되며, 이러한 성장세는 전체 건설 시장 및 다른 공종의 투자 규모와 비교하였을 때도 높은 수치이다.

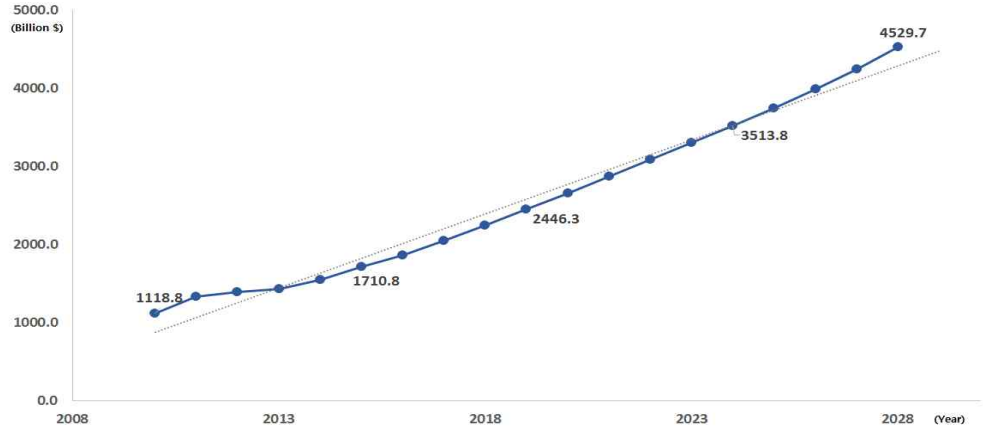


그림 8. 에너지 관련 건설 투자 규모 추이 (Global Insight, 2014)

또한, Global Insight(2014)는 비전통자원 개발, 에너지 안보 이슈 등 에너지 관련 건설 투자를 유발하는 동인(거시경제 요인) 역시 매년 증가 추세를 보일 것으로 예상하여 에너지 관련 건설 투자 규모의 성장은 지속될 것으로 전망되었다.

표 1. 에너지 관련 건설 투자 동인(Global Insight, 2014)

연도	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028
에너지 투자 동인 (변화율, %)	3.02	3.58	3.40	3.37	3.26	3.21	3.12	3.10

(4) 소결

위와 같은 거시 경제 흐름에 따라 두 가지 연구 개발의 방향성 및 필요성이 도출

(1) 국내 EPC 업체 관점에서 해외 LNG 플랜트 건설 사업 EPC 진출 확대 및 사업성과 향상을 위한 연구 : LNG 플랜트 생애 주기에 대한 사업 관리 및 리스크 관리 역량 향상을 통해 EPC 프로젝트 수행 시 사업비 변동성 감소가 가능하며, 엔지니어링 효율성 제고에 기여할 수 있음

(2) 에너지 기업 관점에서 해외 가스전 개발 사업 및 LNG 플랜트 운영사업 참여를 위한 사업 타당성 검토 체계 개발 연구 : 진출지역에 대한 시장조건 분석, 경쟁요소 분석 등 외부적인 분석, 진출하고자 하는 기업의 기술적, 상업적 역량분석 등 내부적인 분석을 포함하는 타당성 검토 체계 개발을 통해 해외 가스전 개발 사업 및 플랜트 운영 사업 진출 방안 모색

2절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내기술 및 산업동향

(1) 플랜트 분야 산업동향

해외건설 통계를 바탕으로 2005년부터 2014년까지 10년간 해외건설 수주비중을 분석한 결과 토목 13.5%, 건축 14.2%, 플랜트 68.6%, 전기 1.8%, 통신 2.0%, 용역 1.7%로 플랜트 분야가 압도적인 비중을 차지. 또한 지역별로 수주비중을 분석한 결과 중동 56.5%, 아시아 28.5%, 태평양·북미 4%, 유럽 1.5%, 아프리카 3.5%, 중남미 6.0% 로 중동이 절반 이상의 비중을 차지함. 이는 중동지역에서의 고유가 지속에 따른 투자확대, 산업발전 수요로 Oil&Gas, 발전 플랜트의 동반 성장과 국내 EPC기업들의 적극적인 진출로 작용한 결과이다.

그러나, 중국 및 인도 건설업체들의 저가공세와 엔저를 기반으로 중동시장에 재진출하는 일본의 건설기업을 비롯하여 유로화 약세로 가격경쟁력이 높아진 유럽 건설업체들과의 과열경쟁 중동 플랜트 산업에서 국내 건설업체들의 입지는 줄어들고 있음. 대표적인 사례로 국내 플랜트 업체들이 입찰에 대거 참여했음에도 불구하고 사우디아라비아의 ‘쿠라이스 유전 확장사업’과 이라크의 ‘나씨리야 원유 저장탱크 사업’은 각각 유럽업체와 중국업체가 수주한 바 있다.

따라서, 중동의 화공 플랜트 분야에서 해양 및 극지지역에서의 Oil&Gas 플랜트 분야로 이동을 북미를 비롯한 유럽, 중국 등 국가 차원에서 지원하고 있음. 이러한 플랜트 산업의 변화 추세로서 모듈러 공법은 비용절감을 비롯하여 공기단축, 외화가득률 향상 등의 측면에서 활용의 필요성이 검토되고 있다.

표 2. 국내 기업 현황

세부기술	업체명	사업 영역	최고기술 보유기관	비고
EPCM	현대엔지니어링	가스플랜트 설계	상세설계 85%	
	삼성엔지니어링	가스플랜트 설계	상세설계 85%	
	GS건설	플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전	상세설계 85%	오일샌드 기 진출
	SK건설	플랜트 설계, 구매, 시공, 시운전	상세설계 85%	오일샌드 기 진출
	한국수력원자력(주)	원자력발전소 건설사업관리, 사업계획 수 립, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지	상세설계 85%	
	한국전력기술(주)	건설사업관리체제 개발 및 운영, 원자력발 전소 A/E	상세설계 85%	
	한국가스공사	LNG 저장시설 사업관리, 사업계획 수립 및 EPC 총괄	상세설계 85%	
	중부발전(주) 등	화력발전소 건설사업관리, 구매/계약관리, 시운전, 운전 및 보수유지, 폐쇄	상세설계 85%	
C	국내 플랜트 엔지니어링 업체 및 건설업체 다수	LNG 플랜트 시공 및 시공관리, 제한된 설계 수행	시공능력 85%	

(2) 사업관리 분야 산업동향

사업관리 기술의 중요성에도 불구, 국내기업의 해당 기술경쟁력은 미국·유럽 선진 업체와 비교해 가장 뒤처지고 있어 역량 개선이 시급한 실정임. 국내 프로젝트 기획, 사업성 분석, 설계관리, 시공성 분석, 사업계획 등은 선진국의 60% 수준임. 현재 국내기업의 사업관리 역량 경쟁력은 미국, 유럽 등 선진건설업체와 비교해 약 72% 수준으로 건설 전반의 경쟁력 평균인 78%에 미치지 못하는 수준이며, 설계, 시공, 가격 경쟁력 등 다른 영역보다 경쟁력이 낮은 것으로 조사됨. 인천공항 기본설계는 Bechtel(미), 인천대교, IGD 플랜트, 버즈두바이 초고층빌딩 기본설계/구조설계는 각각 ARUP(영), FLOUR(미), SOM(미)이 수행하는 등 미국, 유럽의 선진업체들이 핵심 기술분야를 독점하고 있다.

국내 일부 대기업에 한하여 자체적인 리스크 관리체계를 구축/운영하고 있으며, 건설기업의 리스크 관리는 대부분 사업 생애주기 중 입찰 단계에 초점을 두고 있으며, 생애주기기반 또는 전사차원의 통합적 리스크 평가관련 연구는 미흡한 상황이다.

표 3. 주요 국내 건설 기업의 리스크 평가 모델 운영 현황

구분	A기업	B기업	C기업	D기업
리스크 전담부서 보유현황	전사 및 플랜트 본부 내 조직보유	사업부 밖 전사차원 조직 보유	플랜트본부 내 조직 보유	없음
리스크 평가 모델	기업 자체모델	기업 자체모델	기업 자체모델	구축 예정
사업 생애주기 중 적용단계	ITB 전·후 단계 중심	ITB 전·후 단계 중심	ITB 전·후 단계 중심	-
평가 및 적용 방법	리스크 강도 산정 후 전문가 의견 반영(정성적 평가 중심)	리스크 강도 산정 후 전문가 의견과 함께 비용으로 추정	리스크 요인 도출 후 견적에 소극적으로 반영	-
모델 개선 의지	강함	강함	강함	강함

건설기업에서 실무적으로 활용하는 리스크 관리는 대부분이 체크리스트 유형을 택하고 있어 성과 예측이나 프로젝트 전체적 관점, 기업 전사적 관점에서의 리스크 평가 및 관리가 불가능한 한계를 갖고 있다.

2. 국외기술 및 산업 동향

(1) 국외 기술 동향

1999년 미국의 CII (Construction Industry Institute)는 건설비젼 2020을 발표하고 프로젝트/플랜트 생애주기의 모든 단계, 모든 프로세스에 걸쳐 고도로 자동화되고 투명하게 통합된 환경을 구축하여 건설 산업 전반의 효율적 관리를 수행하는 FIAPP (Fully Integrated & Automated Project Process) 개념을 제안하였다.

유럽의 경우 미국과 유사한 목표로 1997년 POSC/Caesar 컨소시엄이 결성 되었으며, 현재 산업설비분야의 28개 주요 회사가 참여하여 업무 프로세스의 단순화와 자동화, 사업주/ 설계자 / 시공자 및 공급자 간의 협업 실현을 위해 노력하고 있다.

이러한 건설산업의 효율성 제고를 위한 제안 등이 있은 후 FIAPP 개념의 구현을 위한 다수의 연구개발 단체 및 기구가 창설 되었다. 이들 중 최근에 가장 활발한 활동을 보여주고 있는 FIATECH은 프로젝트의 경제적 가치를 극대화하는 것을 목표로 프로젝트 라이프사이클을 통합하고 자동화하는 것을 추진하고 있으며 프로젝트 라이프 사이클의 통합과 자동화를 통해서 시설의 신규 건설과 개조 비용의 8% 절감, 프로젝트 공정의 14% 단축, 보수비용의 5 ~ 15% 절감 등을 추구하고 있다.

FIATECH은 2007년 발표한 'Capital Project Technology Roadmap Vision'에서 상호 연관관계를 가진 9가지의 핵심과제를 선정해서 시설의 life cycle 통합과 자동화를 추진하고 있으며 이중 제9과제가 'Life Cycle Data Management & Information Integration'이 제1세세부과제의 연구개발 내용과 같은 맥락이라고 볼 수 있다.

설계가 확정되지 않은 선행단계 (Front-end Phase)에서 플랜트 건설사업의 총 사업비 추정은 추정 예산 대비 프로젝트 종료 시의 총 투입비용의 증감이 최대 + 75% ~ - 30%에 달할 정도로 오차가 크며 이로 인한 리스크도 높은 수준 이라고 할 수 있다.

또한 FIATECH에서는 'Capital Project Technology Roadmap Vision'의 제1 핵심과제로 건설사업의 초기 단계에서 시나리오 기반의 생애주기 비용을 추정하고 타당성을 실시간으로 분석할 수 있는 '시나리오 기반의 사업계획 (SbPP: Scenario-based Project Planning'에 대한 연구개발을 추진하고 있다. 이러한 국제적인 추이에서 볼 때 SbPP는 향후 설계자동화 시스템과 함께 Flour Daniel사와 ABB사의 Automated FEED 시스템의 타당성 분석의 기법으로 활용될 것으로 판단한다.

개략견적 결과의 정확도 측면에서, 프로젝트 초기에 예측되는 사업비 혹은 공사비는 프로젝트 초기 단계의 부족한 견적정보에 의존하며, 이 때 예상되는 오차율은 일정하지 않으나, 기획초기 단계인 경우는 +50% 이상의 오차가 발생할 수 있다는 것이 그로 예상하고 있으며, +40~-10%로 예상한 경우도 있다 (Peurifoy and Oberlender, 1989).

이와 같이, 과거 실적 데이터의 부족 및 견적자의 부적절한 판단 등으로 개략견적의 오차율은 현저히 떨어지는 것이 사실임 하지만, 그럼에도 불구하고, 기본적인 개략견적기법에 확률적, 통계적 응용기법과 리스크 관리 등을 함께 접목 분석함으로써 견적결과의 오차율을 줄이려는 많은 노력이 있어 왔다. 또한 다양한 응를 향상시키고자 하는 노력 외에도, 여러 가지 보정 계수를 개발하고 적용함으로써 실적자료에 근거한 개략견적의 정확도를 제고하는 노력도 계속되어 왔다.

셰일가스 개발과 관련하여 미국은 '90년대부터 미국 바넷(Barnett) 지구에서 Cheasapeake, XTO, Devon 등 독립에너지기업을 중심으로 개발을 추진하여 2000년대부터 미국 전역을 대상으로 셰일가스 개발이 가능해졌다. 셰일가스 개발시장의 장애요인으로서는 식수원 오염, 토지훼손, 수자원부족 등이 있으며 EPA에서는 2012년 말 비전통가스 환경규제 초안을 발표하고 2014년에 최종안을 확정하려고 하고 있다. 규제안에 따라 향후 시장확대의 기술적인 제약이 발생할 수 있다.

표 4. 시스템 엔지니어링 관련 해외 특허 현황

검색DB	키워드	특허 내용	연도
Google Patents	Construction management + Overseas	Managing and securing construction and rental equipment	2009
	Construction management + Overseas	Materials management system and method	2009
	Construction management + Overseas	Procurement data management system	2006
	International Construction + Risk management	Construction Industry Risk Management Clearinghouse	2009
	International Construction + Risk management	Construction payment management system and method with budget reconciliation features	2009

해외의 특허는 해외건설 (Overseas, International construction) 관련 키워드로 검색

이 되나, 세부 내용을 살펴보면 해외건설의 특성이나 차별성의 반영이 미흡하다. 해외의 특허도 정부 지원체계나 비즈니스 전략과 관련된 특허는 부족하며 자재의 관리나 기존 관리정보의 활용과 특허가 자주 나타난다. 해외건설 관련 특허는 대부분이 사업관리나 리스크 관련한 관리에 집중되어 있으며, 공사수행단계에 한정되어 사업계획이나 마케팅 관련 특허가 미흡하다. 해외건설의 리스크 관련 특허는 시공 및 비용 관리에 집중되었으며, 건설관리 관련 특허는 웹기반의 시스템에 집중하고 있다.

사업관리와 리스크 관리 관련 특허가 대부분인 것은 지원체계, 비즈니스전략 부분의 특허 출원이 어려운 것에서 기인하며 비즈니스전략 부분의 특허는 개별 기업이나 공종에 따라 차별화가 되어야 하는 특성이 있어 특허 출원에 어려움이 있다.

표 5. 해외 관련 기술 동향

세부기술	업체명(국적)	보유 기술 또는 특허	기술 수준	비고
솔루션 공급	Bently ProjectWise	- 회사내외의 다양한 부서나, 협력사들과 정보 및 자료를 효율적으로 관리하는 플랜트 자원관리 솔루션 - 플랜트 엔지니어링 정보, 지리정보 및 이와 관련된 문서 관리 지원	100%	
	PRIMAVERA	- 공정 관리 전산 시스템	100%	
	Goda Software	- Life Cycle Tracking 시스템	100%	
	Elementool	- Web-based Tracking and Prioritization 시스템	100%	
	IC Soft	-Productivity Enhancement 시스템	100%	
엔지니어링, 사업관리, FEED	ABB 社(미국)	- 전문가 시스템을 이용한 지식기반 발전소 구축	100%	
	FIATECH	- 국제공동연구를 위한 컨소시엄으로 국제개방형 표준데이터 모델을 기반으로 한 설계, 구매. 시공의 자동화 추진	100%	
	Flour Daniel 社(미국)	- 지능형 통합 FEED(Front End Engineering Design) 시스템 구축	100%	
	KBR, Bechtel, Parsons 등	- EPCM 수행 능력 보유	100%	
	CII(미국)	- FIAPP 개념 제안	90%	

미국의 Flour Daniel사는 지능형 통합 FEED(Front End Engineering and Design) 시스템을 활용하여, 짧은 기간에 프로세스 플랜트의 개념 설계와 견적을 효과적으로 완료함으로써, 설비투자 원가를 줄이고 설계 품질을 향상시킴에 따라 ROI(Return On Investment) 및 NPV(Net Present Value)를 개선함 다국적 기업인 ABB사에서는 전문가 시스템을 이용한 지식 기반의 발전소(600개 프로젝트의 실적자료, 50만개 문서를 통한 300개의 지식기반 마련) 기본 설계 시스템을 활용하여 기본설계 원가를 30%이상 절감하고, 설계 품질을 향상시킨 것으로 알려졌다.

해외건설관련 해외의 특허도 사업관리부분과 리스크 관리 부분에 한정되고 있으나 국내 특허와 달리 해외의 특허에서는 자재 및 장비의 효율적인 관리에 대한 내용이 자주 나타난다. 해외의 특허는 해외건설관련 주제에 한정된 연구보다는 전반적인 건설 산업에 적용 가능한 연구가 주를 이룬다.

(2) 사업관리 분야 산업동향

선진기업들은 해외건설사업 수행을 위해 전사적으로 예방적 리스크 관리체계를 구축하고, 이를 바탕으로 한 사업 의사결정을 수행하고 있음. Hochtief AG는 본사와 자회사 및 지사 간의 기업네트워크를 바탕으로 리스크 조기경보체계를 운영하고 있으며, 모든 자회사 및 지사를 통해 일 년에 세 번, 각종 리스크 인자를 검토하고 예측하며, 이를 그룹 차원의 수준에서 취합하고 있음. 이 단계에서 검토되는 리스크는 발생가능성, 잠재적 영향수준 등의 항목을 통해 정량적으로 평가되며, 이후 Risk Management Steering Committee를 통해 매니지먼트 차원에서 논의된다. Committee는 모든 사업부와 자회사의 대표들로 구성되어 각 사업부처의 측면에서 리스크 인자들을 검토하며, 이에 대한 대응방안을 모색하는데 목적을 두고 전사적인 관점에서 검토된 리스크 인자들과 그 대응방안들은 이사회 (Executive board) 를 통해 최종적으로 검토되어 적용되고 있다.



그림 9. Hochtief 社의 해외공사 리스크 조기경보체계 (Hochtief annual report, 2010~2015)

Skanska AB는 기업 내 SRA라는 리스크 전담부서를 운영하는데, 이 부서는 입찰 전 Core Competency Matrix라는 우수사업 선별모델과 Operational Risk Assessment라는 운영리스크 사전평가 체계를 활용하여 매달 50여개의 사업을 평가한다. 평가결과는 각 사업부와 SRA, 이사회를 통해 단계별로 검토되며, 입찰참가여부와 입찰가격의 결정기준으로 활용되고 있다.

Skanska AB는 이러한 조직적인 리스크 관리체계를 사업 이전의 타당성분석 및 입찰전략수립 단계에서 활용함에서 더 나아가 시공 및 사업완료 단계에서도 꾸준히 리스크 검토사항을 피드백함. 이를 통해 Skanska AB는 리스크 평가뿐만 아니라 평가된 리스크에 대한 대응방안을 모색하는데 많은 노력을 기울이며, 각각의 리스크에 대한 지식전달체계를 구축하여 리스크 관리를 위한 지식을 축적해나가고 있다.

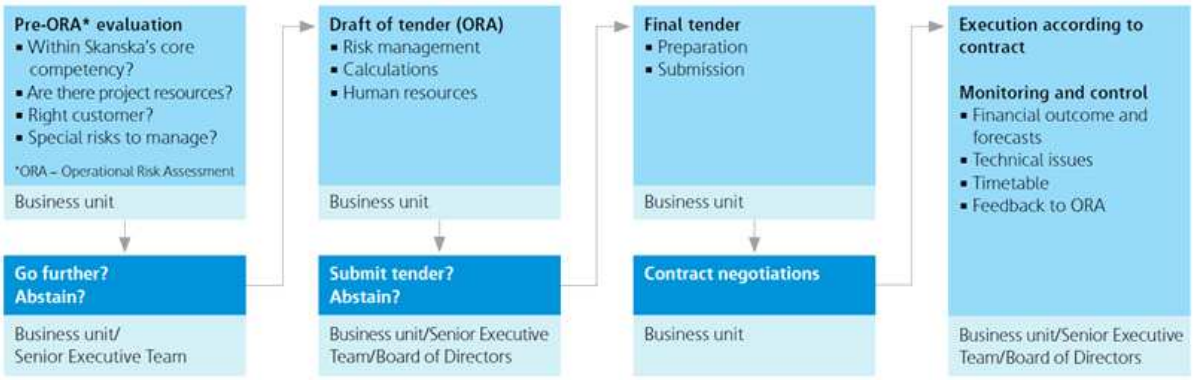


그림 10. Skanska 社의 해외공사 전주기 사업관리 및 의사결정 체계
(Skanska annual report, 2010~2015)

2000년대 중반부터 Skanska AB는 다양한 사업관리 기능을 강화하였는데, 대표적 사례로 무결점 제도(Zero defects)가 있음. 무결점제도 도입을 통하여 품질관리의 수준을 향상시켰으며, 초기단계에서의 사업관리기능을 강조하여 사업과정에서 나타나는 낭비를 최소화하였고, BIM (Building Information Modeling) 과 같은 사업관리 신기술을 적극적으로 도입하여 다수의 턴키사업 성공적으로 진행하고 있다.

2장 연구개발 수행 내용 및 결과

1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구개발 최종 목표

가. 주요 연구 목표

(1) LNG 플랜트 EPC 단계의 위험관리 기법 개발
- 리스크 관리 연구문헌 및 현황분석
- 수행단계별 리스크 관리 체계 개발
- 설계단계의 리스크 관리 모듈 개발
- 구매조달 단계의 리스크 관리모듈개발
- 시공 및 시운전 단계의 리스크 관리 모듈 개발
- 통합 리스크 관리 모듈 개발

(2) LNG 플랜트 해외사업모델 개발
- 해외사업 비즈니스 모델 프레임워크 개발
- 해외사업 진출전략 및 비즈니스 모델 개발

나. 최종목표의 성격과 설정 근거

(1) LNG 플랜트 EPC 단계의 위험관리 기법 개발
본 세부과제에서 연구개발 하고자 하는 기술은 선진국에서는 대부분의 관련 기술이 이미 개발이 종료되었거나 상용화가 완료된 상태
→ 우수사례 벤치마킹 등을 통한 중간진입전략을 추진하여 개발이 완료되는 즉시 활용 가능 하도록 개발

다만, 본 세부과제에서 개발해서 제공하는 지침서 등은 표준적인 성격을 가지므로 기업의 특성 및 내부 규정이나 절차를 반영하여 보다 상세한 지침이나 절차로의 개정 후 활용할 수 있을 것으로 기대

세부과제의 연구에 참여한 연구원들은 각 기업체에서 그 성과물을 활용하고자 하는 경우 교육 및 기술지원을 수행할 수 있을 것으로 판단

본 세부과제는 연구개발의 중복을 피하기 위해서 VR과 3D/4D CAD 기술을 활용한 설계자동화 및 구매자동화를 연구 대상에서 제외

또한 LNG플랜트 건설사업에 특화된 연구개발로 발전소, 소각장 등의 다른 유형의 플랜트 건설사업에 활용은 어려울 것으로 판단

GTL의 경우도 기술적인 상이성 등으로 인해 본 연구개발과제의 직접적인 활용은 어려울 것으로 판단되나 본 연구과제 초기에 개발하는 LNG 플랜트의 생애주기 규명 및 생애주기별 최적 프로세스의 개발 등은 다른 유형의 플랜트 보다는 활용도가 높을 것으로 판단

Flour Daniel과 ABB가 목표로 하고 있는 효율성 30%제고와 생애주기비용 30%까지는 어려울 것으로 판단되나 건설사업의 생애주기 별 프로세스의 개선으로 본 세부과제에서 제시한 엔지니어링 생산성 10% 향상, 총 건설사업비 10% 저감, 건설기간의 10%는 충분히 달성할 수 있을 것으로 기대

(2) LNG 플랜트 해외사업모델 개발

해외사업을 위한 비즈니스모델 개발은 가장 먼저 진출지역을 선정하는 것부터 시작하며, 따라서 본 연구에서는 전세계 지역별 가스매장량을 조사

·가스시장관련 전문시장조사기관에서 발표된 보고서를 기초로 하여 각 지역별 가스매장량 및 가스전 개발계획, 가스소비량 예상치 등을 통해 각 지역 및 국가의 가스플랜트 사업전망을 예측

각 지역별 가스관련 시장의 전망을 통해 주요 가스시장 및 국내기업의 진출유망지역을 선정하여 국내기업들의 해외진출 전략 초안을 수립하기에 앞서 우선적으로 사업타당성이 가장 높은 지역에 집중

·이를 위하여 각 지역별 가스매장량 및 개발전망을 살펴봄은 물론, 가스전의 컴포넌트(component) 구성을 파악하여 국내기술로 진출이 가능한 지역인지를 먼저 판단하는 과정

선정된 가스플랜트 진출유망지역에 대하여 상세 시장분석을 실시하여 진출 전략을 수립하기 위한 과정으로서 해당 시장의 가스플랜트 현황(시설수, 건설연도 등)과 함께

계획 또는 발주중인 가스플랜트 사업의 정보를 취득하여 각 시장별 진출가능성과 전략적 우선순위를 결정

주요 진출지역 선정 및 시장전망 평가 연구의 마지막 단계로서 진출유망지역에서 국내기업들과 경쟁할 가능성이 있는 주요 경쟁기업들에 대하여 분석
해당 지역의 현지기업(local company) 뿐만 아니라 제3지역에서 해당 지역으로의 진입가능성을 나타내는 선진기업들에 대한 분석 병행
·기본적으로 경쟁기업의 가스관련 기술, 라이선스 등에 대한 기술적(technical) 분석과 함께 경쟁기업의 과거실적, 재무적 경쟁력, 전략적 움직임 등에 대한 상업적(commercial) 분석으로 구분

해외사업 진출전략은 국내기업이 해외 가스플랜트 시장에 진출하는 과정에서 결정해야하는 진출지역, 진출방법, 업무순서 등에 대한 내용을 포함
이는 진출지역에 대한 시장조건 분석, 경쟁요소 분석 등 외부적인 분석, 진출하고자 하는 기업의 기술적, 상업적 역량분석 등 내부적인 분석을 포함
· 이를 통하여 국내기업들은 해외 가스플랜트 시장에 대한 진출방안을 모색

본 연구의 마지막 단계에서는 해외사업 진출전략을 보다 구체화시켜 비즈니스 모델을 개발
비즈니스 모델은 해외사업 진출전략을 진출방식에 따라 세분화하여 구성

- 기술제휴형사업 : 기술적 특장점을 통해 해외진출 초기에 참여
- 사업참여형사업 : 직접 사업지분에 참여하여 엔지니어링/자재조달/시공 중 일부 또는 전체에 참여
- 개발형사업 : 사업개발 및 기획부터 일부 운영까지 가스플랜트 사업 전주기에 참여
- 본 연구에서는 각 비즈니스 모델에 대하여 진출전략을 구분하고, 각 전략의 시행을 위하여 요구되는 컨소시엄 구성방안, 자본투자방안, 기술제휴방안 등에 대한 분석 및 제시를 목표로 함

다. 연차별 세부추진계획 및 방법

(1) LNG 플랜트 EPC 단계의 위험관리 기법 개발

연차	연구 목표	주요 activity
1차년도	리스크 관리 연구문헌 및 현황 분석	LNG플랜트 사업특성 정의 및 리스크 관리 연구동향 및 사례조사
		선진기관의 플랜트 리스크 관리기법 검토
2차년도	LNG 플랜트 리스크 관리 프레임 워크 개발	LNG 플랜트 단계별 리스크 특수성 분석
		LNG 플랜트 단계별 리스크 관리 프레임워크 개발
		계약단계에 의한 사업관리 리스크 연계분석
		계약단계의 리스크 요인 및 중요도 분석
3차년도	설계 단계의 리스크 관리 모듈개발	설계단계의 리스크 요인 및 중요도 분석
		설계단계의 리스크 평가관리 모듈개발
		설계단계의 리스크 대응방안 수립
		리스크 관리모듈의 Test-bed 적용 및 평가
4차년도	구매조달 단계의 리스크 관리 모듈 개발	구매조달단계의 리스크 요인 및 중요도 분석
		구매조달단계의 리스크 관리모듈 개발
		구매조달단계의 리스크 대응방안 수립
5차년도	시공 단계의 리스크 관리 모듈 개발	시공 및 시운전단계의 리스크 요인 및 중요도 분석
		시공 및 시운전단계의 리스크 관리모듈 개발
		시공 및 시운전단계의 리스크 대응방안 수립
6차년도	통합 리스크 관리 시스템 개발	리스크 관리 모듈의 Test-bed 적용 및 평가 후 수정 및 보완
		사업관리 시스템 의사결정시스템과 연계
		리스크 기반의 사업관리시스템 개발 지원

(2) LNG 플랜트 해외사업모델 개발

연차	연구 목표	주요 activity
5차년도	주요 진출지역 선정 및 시장전망 평가	전세계 지역별 가스매장량 조사 및 지출유망지역 선정
		주요 가스시장의 가스플랜트 시장전망 분석
		주요 경쟁기업 기술적, 상업적 경쟁수준 분석
6차년도	해외사업 진출전략 및 비즈니스 모델 개발	해외 가스플랜트 사업 비즈니스모델 개발
		비즈니스모델 별 진출전략 도출

2. 연구개발 추진전략

가. 연구개발 추진체계

본 세부과제의 추진전략은 국내 우수사례 및 선진국의 현황을 벤치마킹해서 개선상태의 프로세스 모델(To-Be Model)을 설정하고 국내 플랜트 산업계의 현황을 분석하여 개선 전 프로세스를 모델 (As-Is Model)화 해서 As-Is Model을 선진국 수준의 To-Be Model로 신속하게 접근시키는 중간진입전략을 추진

4세세부 LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리기법 개발 과제는 최종적으로 LNG 플랜트사업의 생애주기 비용 평가, 초기투자 및 유지관리비용 평가를 통한 경제성 평가 모델의 도출과 위험도 기반의 공정관리를 통한 사업기획, 타당성 평가 시스템의 기초자료로의 활용을 목표로 함

1-1-3과 1-4-4 모두 위험성 요소를 평가의 내용을 포함하고 있으나, 1-1-3은 플랜트의 운전 전/후 및 유지관리 단계를 대상으로 하며, 설비의 비파괴 검사를 위한 코드 기반의 위험성 평가가 목적

반면, 1-4-4의 경우 LNG플랜트의 설계, 구매조달, 시공 단계를 그 대상으로 하고 있으며, 공사수행 과정에서 발생할 수 있는 “사업관리 측면의 리스크”를 효율적으로 관리하기 위한 위험성 평가에 목적을 두고 있다는 점에서 두 연구 간에 차별성이 존재

나. 연구개발 추진 계획 및 방법

본 Project의 성과물이 최근 해외 플랜트 사업의 수주 증가에 대응하기 위해서는 국내에만 한정된 시스템 개발이 아닌 보다 Global한 시스템이 되어야 하며, 이를 위해서는 국내 자료만으로는 절대적으로 부족하므로 국제적 사례 및 자료가 절실하게 필요로 함

그러므로 외국에서 지식관리시스템에 많은 연구를 한 연구진을 본 연구에 참여 혹은 전문가 자문단으로 위촉하여 국제적인 지식관리시스템의 개발사례와 자료에 대한 연구를 국제공동연구개발로 추진하고자 하며, 더 나아가 본 프로젝트 수행을 통하여 국내외 연구진들이 상호 교류를 통하여 연구의 Synergy를 배가시킬 수 있다고 사료됨

2절 연구수행 과정 및 내용

1. 수행 단계별 리스크 관리 체계 개발

○ 리스크 관리 현황 분석 및 리스크 관리 체계 개발

가. 접근법

(1) 리스크 관리 연구문헌 및 현황분석
- 국내외 리스크 관리 연구문헌 분석
- 최근 리스크 관리 연구문헌 검토 및 시사점 분석

(2) 선진기관 플랜트 리스크 관리현황 조사
- 국내외 선진기업들의 리스크 관리 기술 동향 분석
- 최근 리스크 관리 기술 검토 및 시사점 분석

(3) 플랜트 사업의 전단계 리스크 요인 개괄 분석
- 문헌조사를 통한 플랜트 사업 단계별 특성분석
- 문헌조사와 전문가인터뷰를 통한 플랜트 사업단계별 리스크요인 분석

(4) 수행단계별 리스크 인자 분석
- 국내외 리스크 요인 분류체계 연구문헌 분석
- 문헌조사 및 전문가 인터뷰를 통한 플랜트 특성 검토

(5) 수행단계별 리스크 관리 체계 개발
- 국내외 리스크 관리 체계 연구문헌 분석
- 위험기반 사업관리 지원이 가능한 리스크 관리 체계 분석
- 계약단계와 단계별 사업관리 리스크 연계분석

나. 수행 내용 및 결과

(1) 국내외 리스크 관리 연구문헌 분석

LNG 플랜트의 리스크 평가에 관한 연구는 두 가지 관점에서 분석되어질 수 있다. 하나는 일반 건설업 관점에서 바라보는 견적, 입찰, 계약단계 / 구매조달 / 시공 및 시운전의 일반적인 관점의 리스크 연구이며 다른 하나는 LNG 플랜트 사업 또는 플랜트사업의 특수적인 문제를 다루는 리스크에 관한 연구이다.

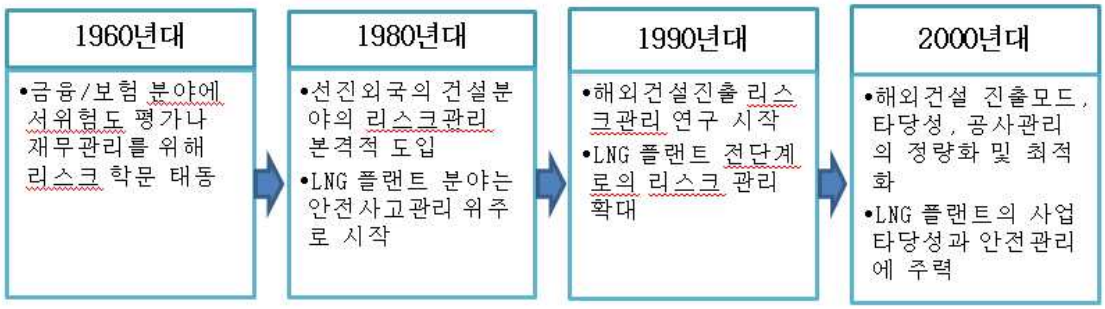


그림 11. LNG 플랜트 및 건설 리스크 관리 발전과정

해외에서 리스크에 관한 학문적 연구는 1960년대 금융, 증권, 보험을 중심으로 경영학에서 시작되어 위험도 평가나 재무관리를 위해서 시작되어짐. 건설 분야에 있어서의 리스크 관리는 1980년대부터 안전사고, 원가상승, 공기지연 등을 중심으로 시작되었으며 1990년대 후반 이후 신규시장 진출, 입찰의사결정, 사업타당성 분석 등으로 범위가 확대되고 있다.

해외에서 LNG플랜트에 관련된 리스크 분야 연구는 1980년 전후 LNG누출에 대한 확률과 피해크기에 관한 연구로 시작되어 최근에는 LNG플랜트의 계획, 설계, 시공, 운영단계로 확대되어 가고 있으며 특히 시장분석 및 운영단계에 안전관리 시스템에 초점이 맞추어지고 있다.

국내의 경우는 보험 및 재무 분야를 중심으로 1980년대 후반에 리스크에 대한 관심이 고조되기 시작하였고 건설 분야에서도 1990년대 후반에 이러서야 시작되었으며 2000년대 이후 계획단계 및 공사단계에 리스크 인자 분석 및 평가방법에 관한 연구가 중심이 되고 있다. 또한 LNG플랜트의 리스크에 관한 국내 연구는 2000년 전후로 가스공급 안전에 대한 리스크 연구가 주류를 이루고 있다.

국내의 연구문헌은 총 17편을 분석하였으며 주로 건설업의 일반 리스크에 관한 연구가 대부분이었으며 주로 리스크 인자파악에 초점이 맞추어져 있었음. LNG관련 리

스크 문헌은 주로 안전에 관계된 리스크 해석이었다.

국외의 연구문헌은 총 28편이 분석되었으며 일반건설에 관한 것과 LNG산업에 관련된 다양한 리스크 문헌이 분석되었다. 리스크 인자파악에 초점이 맞추어져 있었을 뿐 아니라 관리체계에 대한 연구도 있었으며 공사수행 단계별 리스크에 대한 연구도 수행되어있다. 전반적으로 국내보다 앞서가 있었지만 아직 미흡한 부분도 있었다.

(2) 선진기관 플랜트 리스크 관리현황 조사

국내 건설기업들은 IMF 이후에 내실위주의 경영전략과 해외건설사업 추진을 위한 여건의 악화에 대처하기 위해 대형 기업들을 중심으로 리스크 관리 기반에 프로젝트 수행 전략을 모색하고 있다.

국내 A 기업은 수주활동 초기와 입찰참여 과정에서 발생가능성이 낮거나 간과하기 쉬운 손실 원인들을 집중적으로 검토함으로써 잠재적인 저가수주를 방지하고 리스크의 사전예측과 동시에 피해를 최소화할 수 있는 대처방안 수립에도 주력한 것으로 조사된다.

국내 B 기업의 경우 해외건설사업 추진의 문제점을 밝혀내고 체계적인 관리 시스템을 구축하고자 외부 컨설팅 업체에 의뢰한 결과, 지난 수차례 사업수행의 적자가 프로젝트 수주 단계에서의 리스크 규명 및 분석이 치밀하지 못했던 데 기인했다는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 진단에 따라 B사는 전사적 차원의 리스크 관리를 위해 독립적인 조직을 신설하고, 수주영업 단계부터 프로젝트 유형에 따라 적절한 체크리스트를 활용함으로써 악성공사를 사전에 차단하는 절차를 수립하였다.

국내 C 기업의 경우 원래 리스크 대응전략 수립과 예비비 산정 등에 대하여 PM의 경험과 주관에 크게 의존하였으나, PM의 역량에 따라 큰 편차가 발생하는 단점을 보완하고 전사적인 전략과의 일관성을 유지하기 위해 심사팀을 신설하였다. 심사팀은 PM 선정 전 까지 리스크 관리 프로세스 모니터링, Recommendation, 동기부여 및 수주 지원업무를 담당하면서 프로젝트 수주 초기에 리스크 관리의 기본적인 방향을 수립하게 되며, PM 선정 이후의 리스크 대응은 PM에게 일임하고 있다.

이와 같이 일부기업들이 리스크 관리를 위한 시스템과 조직을 도입하고 있으나 리스크를 평가하는 방법에 있어서는 체크리스트에 기반 한 초보적인 수준이며 거의 대부분의 기업들을 이러한 관리체계를 가지고 있지도 않다.

독일의 Hochtief 사는 사업추진상의 문제점을 신속하게 파악하고 평가하기 위한 툴로서 리스크 관리시스템을 구축하였는데, 이를 사업관리에 있어서 중요한 수단으로

활용하면서 리스크에 대한 조기 경고 및 모니터링 시스템의 신빙성과 그의 유용성에 대해 지속적인 점검과 조절이 이루어지고 있다. Hochtief사의 리스크 관리 지침서는 모든 리스크를 식별하여 각각의 리스크에 대한 발생확률과 함께 예측되는 손실에 대해 정량적인 예측 값을 제공하고 있으며 시장 리스크, 운영 리스크, 재정적 리스크, 정치적 리스크 등 주요 리스크에 대하여 기본적이고 실제적인 대응방안을 제시하고 있다.

Royal Dutch Shell사는 이사회(Board)에서 하나의 통합된 프레임으로 리스크 관리를 직접관할하고 있다. 이러한 리스크 관리 프레임은 실제 경영을 하기 위함이 아니라 발생할 수 있는 실패요소를 사전에 제거하기 위함이며 유일한 방법을 제시하는 것이 아니라 합리적인 방안들을 제시하는 것을 목표로 한다. 리스크 관리 프레임은 크게 3가지로 구성되는데 Foundation에서는 이 이사회의 목적, 원칙, 범위를 정의하고 Organization에서는 모든 경영활동에 있어서 법적인 문제점을 검토하며 각 세부 프로세스에 대하여 어떻게 배치하고, 전략을 수행하고, 계획하고 성과를 모니터링 할 것인가를 결정한다.

(3) 플랜트 사업의 전단계 리스크 요인 개괄 분석

플랜트사업 리스크 인자를 도출하기 위한 방법을 설정한다. 국내외 연구문헌 및 국내외 선진기관의 리스크 인자를 분석하여 개괄적인 플랜트 리스크를 도출함. 이는 차년도 LNG플랜트 리스크 프레임 구축과 단계별 리스크 상호관계를 파악하는데 기초가 될 것이다.

표 8. 플랜트 사업의 개괄적인 전단계 리스크 요인

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
계약 단계	- 서문 • 계약주체, 계약일자 • 계약체결목적, 용어정의, 업무범위 - 설명조항(Whereas Clause) • 계약체결의 목적 및 배경 - 정의(Definition)조항 • 계약에서 반복적으로 사용되는 중요한 용어 • 일반적인 개념이 불문명한 용어 - 업무범위(Work scope) - 계약금액 • 계약금액에 포함되는 부분과 그렇지 않은 부분에 대한 명시

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• 계약금액에 조정에 대한 관계 규정의 명시 • 장기공사에 대한 물가상승에 대한 보상과 책임 - 지불조건 • 선수금 금액 및 지급방법 • 기성의 종류 : 월 기성, 마일스톤(Milestone Payment) 등 • 기성 확인절차 및 지급방법 • 지급통화 : 현지와, 미화, 유로화 비율 • 유보금 지급시기 - 이행보증금(Performance Bond) • 금액 및 제출시기 • 유효기간 및 조건 • 유보금과의 상관관계 : 유보금 또는 P-Bond 중에서 선택을 유도 - 공사감독과 현장감독 • 공사감독과 현장감독이 별도로 존재시 업무구분 - 공사의 착공, 준공, 지연 • 착공시기(Mobilization 기간과 구분), 현장부지확보책임, • 준공기간 및 공기연장 • 야간 및 휴일작업금지 여부와 예외조항 • 지연 배상금 : Penalty와 LD의 효력과 한도 명시 - 공정표와 기자재 목록 • 공사감독의 승인을 받은 공정표나 기자재목록에 발주처의 임의 변경 여부 - 공사 중 시공자 의무 • 고용에 대한 규정 : 교체, 해고 등 • Watching and Lighting • 사고에 대한 책임소재 및 보상규정 - Material과 Workmanship • 기자재 Sample에 대한 비용 책임주체 • 발주처 요구에 의한 Test 비용 책임주체 - 공사의 변경, 추가, 설계변경 등에 대한 규정 - 공사 중 공사품질 검측에 대한 추가 비용 책임 규정 - 공사 중단에 조건과 책임 • 발주자 임의공사 중단의 인정범위 및 보상범위 - 준공공사 • 검사기간 및 검사주체 • 단계별 준공검사 가능여부 - 하자보수 • 하자보수기간 • 하자보수 보증 예외조항 - 불가항력(Force Majeure)에 대한 규정 - 계약해지(Termination)

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• 발주처의 임의 해지 규정과 보상 • 시공사의 Default시의 규정과 보상
설계 단계	- 설계환경 • 기상조건 불확실성 • 토질조건 불확실성 - 기본설계 • 라이센스 취득 및 관리 • PFD(Process flow diagram) 구축 • Material balance • Instrument process data sheet • Equipment data sheet • Utility balance - 기계 및 설비설계 • 발주자의 요구사항 검토 • 라이센스 패키지 검토 • 기계장치들과 파이프 라인간의 결합부위에 대한 고려 • 설계 기계의 구매 가능성 - 배관설계 • 설계 배관의 안전도 • 설계 배관의 구매 가능성 - 전기설계의 상세설계 • 전기용량 검토 및 부하관리 설계 • LIGHTING, POWER PLAN, COMMUNICATION SYSTEM • 구매, 조달 가능성 - 토목건축의 상세설계 • 지반시설 설계 • 시공기준, 설계기준의 검토
구매조달 단계	- 조달업체 P/Q • 일반정보 : 설립년도, 회사조직, 생산설비, 생산능력 • 재무정보 : 매출, 재무건전도, 영업이익률, 부채비율

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	• 과거실적 : 주요수행공사, 납품실적, 당사 납품실적 • 인증관련 : ISO등 인증여부, QA,QC 프로그램 확보여부 • 발주자에 대한 인지도 - 조달업체 경제성 평가 • 세금, 관세, Packaging costs, 운송비용, 보험, 부속품 등을 모두 고려한 직접비 평가 • 공사하청, 임차, 구입의 경제성 평가 • 검측 및 관리비용 포함한 직접비 산출 • 물가상승, 세금변화, 환률 등의 변동성 평가 • 조달업체의 조달 지연시 영향 평가 • 조달업체 파산시 책임관련 규정 - 조달업체와의 계약관련 • 세금, 관세에 관한 규정 • 선물, 옵션, 등에 대한 규정 • 물가상승, 세금변화, 환률 등에 대한 리스크 분배 계약 • 여유분, 부속분에 대한 재고 여부 • 보증, 지체보상금에 규정 - 조달업체관리 • 사업초기 단계 구매조달 계획 • 표준 구매절차 및 문건 구비 • 표준 구매절차 관리 • Change Order Management • Filing Back-Charges/Claims • 정기검측 • 조달업체의 성과측정방법 • 조달업체의 성과기록 및 데이터 관리
시공단계	- 노무인력 가용성 • 현지인 인력조달 가능성 • 제3국인 인력조달 가능성 • 이동, 교통, 숙박 수단 • 음식, 건강, 응급, 여가 • 근무일과 휴일 - 노무인력 기술력 • 노동력의 숙련도 • 현지인의 고용과 훈련 • 제3국인별 생산성 평가 및 인력네트워크 확보 • 본사와 현장의 인력배치 계획

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	- 기후 및 날씨 - 시공인허가 • 발파에 대한 허가 • 해당지역 식생의 변형 • 기존 도로 굴착 • 시공을 위한 일시적인 교통통제에 대한 승인 • 중량이동 인허가 • 폐기물 처리 허용 범위 - 공사 대금지급 • 통화문제 : 기성과 하도 및 인력에 대한 인건비 지급의 통화 종류 • 대금지급방식 및 지급주기 • 현금흐름 • 예비비 - 공기관리 장애 요인 • 설계오류 및 시공자의 설계 감독능력 • 공기 부족에 대한 대비책 • Contingency에 대한 공정 관리 능력 • 품질관리 능역 - 시공안전 • 위험물관리 • 추락예방 계획 • 약물검사 • 응급조치 계획 및 절차 • 안전수칙 완수시 인센티브 - 커뮤니케이션 • 의사소통을 위한 기반확보 : 인터넷, 문서 • 인터넷 전송속도, 전화연결 • 현장의 전산장비수준 • 언어의 차이
시운전 단계	- 시운전 계획 • 주요공정 납기일에 지장 없는 계획 여부 • 각 공정별 시운전이 계획일과 일치 여부 • 시운전에 필요한 임시시설에 대한 비용과 장소 확보 여부 • 기자재 구매현황 확인 • 시운전에 불합격한 사항에 대한 처리 여부

수행단계	리스크 내용 및 세부 인자
	- 사전작업 • 시공으로부터 위임된 각 공정들의 이행 여부 • 세부 공정별 인수인계 확인 (시공 -> 시운전) • 시운전을 위한 임시시설 및 기타 제반사항들의 이행 여부 • 각공정의 기자재 목록 확인 • 시운전 전용 공정표가 작성 여부 - 탐사, 생산 • Gas 와 Liquid 의 분리 정도 여부 • Fouling 관리 여부 • Uncertainty of feed stock property - 전처리, 액화 • Acid gas treatment 여부 • Dehydration & Mercury Removal 여부 (sieve 성능) • Batch Process 여부 • Vibration of large rotating machine • Cracking of cryogenic component • High temperature around gas turbine - 수송 • Connect & disconnect operation • Pipe installation - 저장, 공급 • Connect & disconnect operation • Spillage • Leakage from LNG tank - 총괄 • BOP(balance of plant) 시운전 • Constructability at site • Quality of product • Delivery schedule • Consequence on plant performance

(3) 건설기업의 리스크 인자 및 분류

국내 A건설사는 자사 공사수행사례 및 계약서 등 내부자료 검토를 통해 토목건축 공종의 리스크 요인 및 관리 방안을 수립하였다. 이는 공사관련 정보 및 여건, 관리 및 기술, 시장환경의 3개 부문으로 구성되어 있다.

B 건설사의 플랜트사업본부는 플랜트 건설공사를 위한 독자적인 리스크 인자를 도출하고 이를 관리하기 위한 업무 담당자를 구체적으로 정의해 놓았다. 리스크 인자는 일반 사항과 특수 사항으로 나뉘며, 일반 사항은 해당국 정치사회적 특성 및 기후 등의 일반 정보, 경제 정보, 기타 시공관련 정보로 구성되어 있으며, 특수 사항은 현장 조건 체크사항, 임시시설 계획, 각종 단가 등이 있다.

C 건설사는 해외건설공사 리스크 관리를 위한 수행단계별 체크리스트를 구성하여 정보입수, 참가결정, 견적, 입찰, 계약, 시공준비, 시공관리, 준공의 총 8개 수행단계의 체크리스트를 구축하였다.

(4) LNG 플랜트 리스크 분류 체계

대부분의 기존 리스크 관리 연구문헌 및 건설사의 리스크 관리 체계는 사업의 전 단계를 다루고 있다. 또한 기존 리스크 분류 및 요인들은 독립적인 리스크 관리에 초점을 두고 개발되어 사업관리와의 연계성이 낮은 특징을 보인다.

본 연구과제의 LNG 플랜트사업 수행단계별 리스크 요인은 전 단계를 다루며 위험기반의 사업관리를 지원하기 위해 구성되었으므로, 계약, 설계, 구매 및 조달, 시공 및 시운전 각 단계에서 사업관리 측면의 주요 항목 - 사업관리, 사업비관리, 공정관리, 품질관리, 계약 및 클레임관리, 안전관리, 환경관리 - 으로 구성하였다.

표 9. LNG 플랜트 사업의 수행단계별 리스크 요인 분류

수행단계별 리스크 분류 체계	
I. 계약 단계	II.C. 공정 관리
I.A. 사업 관리	II.C01. 공기
I.A01. 진출국 특성	II.D. 품질 관리
I.A02. 제도적 특성	II.D01. 품질
I.A03. 정치적 특성	II.D02. 조달
I.A04. 발주처 특성	II.D03. LNG 관련 라이센스
I.A05. 시공능력	II.D04. LNG 관련 자재 및 장비
I.A06. 설계관리	II.D05. LNG 관련 시공능력
I.A07. 본사와의 연계	II.E. 계약 및 클레임 관리
I.A08. 현장소장 능력	II.E01. 공사 특성
I.A09. 노무관리	II.E02. 계약 조건
I.A10. 직원 인사관리	II.F. 안전 관리
I.A11. JV, 컨소시엄 업체 능력	II.F01. 안전
I.A12. 현지 협력업체	II.G. 환경 관리
I.B. 사업비 관리	II.G01. 환경 관리

수행단계별 리스크 분류 체계	
I.B01. 공사비	
I.C. 공정 관리	
I.C01. 공기	
I.D. 품질 관리	
I.D01. 성능	
I.D02. 조달	
I.D03. LNG 관련 라이센스	
I.D04. LNG 특화 자재 및 장비	
I.D05. LNG 분야 시공능력	
I.E. 계약 및 클레임 관리	
I.E01. 공사 특성	
I.E02. 계약요인	
I.E03. 입찰요인	
I.E04. 기후 및 날씨	
I.F. 안전 관리	
I.F01. 안전	
I.G. 환경 관리	
I.G01. 환경 관리	
II. 설계 단계	**III. 구매 및 조달 단계**
II.A. 사업 관리	III.A. 사업 관리
II.A01. 발주처 특성	III.A01. 제도적 특성
II.A02. 시공 관리	III.A02. 발주처 특성
II.A03. 설계 관리	III.A03. 설계 관리
II.A04. 본사와의 연계	III.A04. 본사와의 연계
II.A05. 현장소장 능력	III.A05. 현장소장 능력
II.A06. 직원 인사관리	III.A06. 직원 인사관리
II.A07. JV, 컨소시엄 업체 설계	III.A07. JV, 컨소시엄 업체 능력
II.A08. 현지 협력업체	III.A08. 현지 협력업체
II.B. 사업비 관리	III.B. 사업비 관리
II.B01. 공사비	III.B01. 공사비 관리
IV.A05. 본사와의 연계	III.C. 공정 관리
IV.A06. 현장소장 능력	III.C01. 공기
IV.A07. 노무 관리	III.D. 품질 관리
IV.A08. 직원 인사관리	III.D01. 품질
IV.A09. JV, 컨소시엄 업체 능력	III.D02. 조달
IV.A10. 현지 협력 업체	III.D03. LNG 관련 자재 및 장비
IV.B. 사업비 관리	III.D04. LNG 관련 시공능력
IV.B01. 공사비	III.E. 계약 및 클레임 관리
	III.E01. 계약 요인
	III.F. 안전 관리
	III.F01. 안전
	IV. 시공 및 시운전 단계
	IV.A. 사업 관리
	IV.A01. 진출국 특성
	IV.A02. 제도적 특성
	IV.A03. 발주처 특성
	IV.A04. 설계 관리
	IV.D02. 조달
	IV.D03. LNG 관련 라이센스
	IV.D04. LNG 관련 자재 및 장비
	IV.D05. LNG 관련 시공 능력
	IV.E. 계약 및 클레임 관리
	IV.E01. 공사 특성
	IV.E02. 계약 요인
	IV.E03. 기후 및 날씨

수행단계별 리스크 분류 체계	
IV.C. 공정관리 IV.C01. 공기 IV.D. 품질관리 IV.D01. 품질	IV.F. 안전 관리 IF.D01. 안전 IV.G. 환경 관리 IV.G01. 환경

위와 같은 리스크 인자 분류 체계에 따라 정의된 개별 리스크 인자에 대해 아래와 같은 형태의 리스크 인자 정의서를 구성하였다. 본 보고서에는 지면상 1개 인자의 정의서를 포함하였으며, 추후 부록으로 첨부될 예정이다.

I.계약단계 > I.E.계약 및 클레임 관리 > I.E01.공사 특성	
코드: I.E01.03	발주국의 Local Content 활용 요구
플랜트 공사의 경우 대부분의 국가에서 자국 산업 보호와 경제 부양을 위해 전체 공사에 대해 일정부분 이상을 해당국에서 생산하거나, 관련이 있는 자재, 장비, 노무인력을 사용하도록 요구하고 있음 그러나 진출국 특성에 따라 해당국 인력의 시공 품질 및 기술 수준이 낮아 전체 플랜트 공사의 생산성 및 품질 저하를 유발할 수 있는 위험이 있으며, 이는 재시공 및 공기 지연 등으로 사업 수익성 저하의 원인이 될 수 있음 따라서 현지의 자재 및 장비, 인원의 가용 여부 및 수급을 사전에 확인하여 Local Content의 활용 범위 및 정도를 확인해야 함	
관련 리스크	I.A12.01. 현지 협력 업체의 기술능력 부족 II.A08.02. 현지 협력 업체의 기술능력 반영 III.A06.01. 현지 벤더의 조달능력 IV.A10.01. 현지 협력 업체의 시공능력

(5) 수행단계별 리스크 관리 체계

본 연구는 LNG 플랜트 사업의 전 생애주기를 계약 단계, 설계 단계, 구매조달 단계, 시공 및 시운전 단계로 나누어 다루며, 또한 계약 단계에서 고려 가능한 리스크 인자의 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계로의 영향을 고려하고, 각 수행단계 간의 영향을 고려하기 위해 아래 그림과 같이 리스크 관리 체계를 구성하였다.

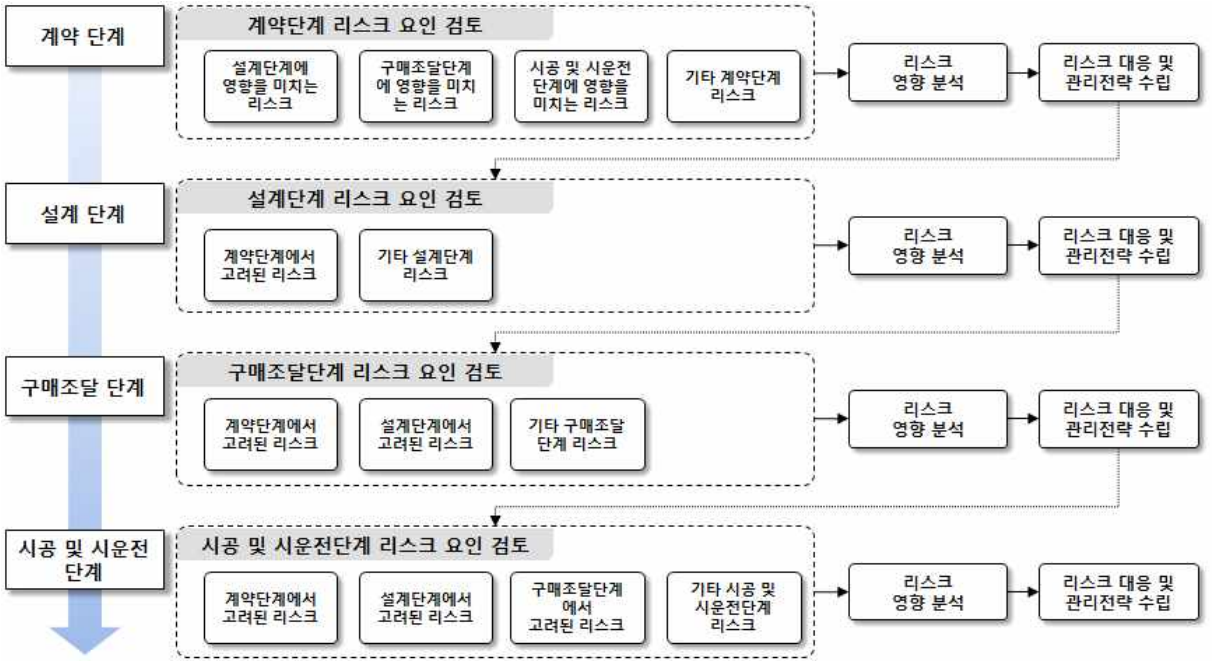


그림 12. LNG 플랜트 단계별 리스크 관리 체계

(6) 계약단계와 단계별 리스크 연계

본 연구는 계약단계 리스크 인자의 각 수행단계 리스크에 영향 및 연계를 고려하기 위해 리스크 인자 정의서에 연계를 고려해야 하는 리스크 인자를 포함하도록 구성하였다.

다. 소결 및 시사점

국내 연구의 문제점은 첫째, 건설업의 일반적인 리스크에 대한 연구는 LNG 플랜트의 특수성을 잘 반영하지 못한다는 점 둘째, LNG 플랜트의 특수성에 관한 연구는 주로 안전관리에만 초점이 맞추어져 있음. 셋째, LNG 플랜트의 설계, 구매조달, 시공, 시운전을 위한 리스크 관리 연구는 매우 미흡하다.

해외에서의 리스크 관련 연구는 국내 문헌보다는 상당히 앞서 있다. 특히 일반 건설 리스크 이외에 플랜트 요소기술(구매조달, 시운전, 안전)에 대한 연구문헌도 일부 있었다. 하지만 해외논문 역시 LNG플랜트만을 위한 리스크 관리 연구나, 단계별 리스크 분석이거나, 공정관리에 초점이 맞추어진 리스크 연구는 부족하였다.

그럼에도 불구하고 리스크를 관리하는 현재의 기술(정성적 분석, 주관의 객관화, 체크리스트 등)현황과 수준을 파악할 수 있었으며 당해연도 연구에서 리스크 관리 프레임의 기술적 기초를 확인할 수 있었다.

국내기업에서도 주요 대기업을 중심으로 리스크 관리 체계를 구축하고 있으나 조직

의 구성이 전사적이거나 별도체계가 아닌 겸임시스템이 대부분이며 일부 기업에서 RM(Risk Management)팀을 별도로 두어 리스크 관리를 시행하고 있다.

해외 주요 플랜트 기업의 경우 회사마다 특색이 조금씩 다른데 전사적이거나, 정량적인 평가를 중시하거나 현장에까지의 적용 등에 힘쓰고 있다. 특히, 내부적으로 리스크 관리 체계나 기준을 마련한 곳이 많다. 본 연구에서는 각 기업들의 리스크 관리 체계의 장점을 취합하고 LNG사업의 특성을 반영하여 차년도 연구부터 최적화된 리스크 관리체계를 구축하는데 반영할 것이다.

플랜트 사업의 개괄적인 리스크 인자와 토목건축사업의 리스크 인자를 비교하여 서로간의 차이점을 파악할 수 있었으며 플랜트 사업의 특성을 반영할 수 있는 개괄적인 리스크 관리 체계가 도출되었다. 이는 차년도 LNG 리스크 관리체계의 프레임을 작성하는데 매우 유용할 것으로 판단된다.

이는 1단계 2차년도 연구내용 중 수행단계별 리스크 인자 분석 및 리스크 관리 체계 개발에 연계되었으며, 또한 2단계 3, 4차년도 설계, 구매 및 조달, 3단계 5차년도 시공 및 시운전 단계 분야에 연계 예정이다.

기존의 국내외 건설 리스크 관리체계는 일반 건설공사를 대상으로 하고 있어 LNG 플랜트의 특수성을 잘 반영하지 못하고 있으며, 사업관리와 연계되지 못하고 독립적인 리스크 분석에의 활용만을 목적으로 하고 있어 체크리스트 등 단순한 관리에만 그치는 경향을 보인다.

본 연구에서 구축한 LNG 플랜트 사업의 수행단계별 리스크 인자는 공동연구기관의 위험기반의 사업관리를 지원을 극대화하기 위해 사업관리항목과 리스크 분류 항목을 일치하였으며, 각 분류 내에서 LNG 플랜트 건설공사의 특수성을 반영하고자 하였다.

또한 본 연구는 계약단계 리스크 인자의 각 수행단계에의 영향을 고려하여 연계분석 가능한 인자를 검토함으로써, 실질적이고 지속적인 위험기반의 사업관리를 지원하기 위한 기반을 구축하였다.

이는 2단계 3, 4차년도 설계, 구매 및 조달단계, 3단계 5차년도 시공 및 시운전 단계 분야에 연계 예정이다.

2. 설계 단계의 리스크 관리 모듈 개발

○ 수행 단계별 리스크 관리 체계 개발

가. 개요

최근 국제 유가의 상승, 에너지 수요의 증가, 친환경 건설에 대한 관심의 증가로 시장 규모가 확대되고 있는 해외 LNG 플랜트사업의 수익률 안정을 위해 설계단계의 리스크를 규명하고, 이를 보다 합리적으로 평가하기 위한 방법을 제시함.

국내외 리스크 관련 연구문헌 분석 및 전문가 자문 실시하여 리스크를 도출하고 LNG플랜트 특성을 고려하기 위하여 사업관리 및 설계관리 관점의 리스크 요인 도출하였다. 또한 기존 리스크 중요도 분석 기법 고찰을 통하여 PIC기법을 개발하여 LNG 플랜트 사업에 적합한 리스크 중요도 분석 기법을 제시함.

나. 수행내용 및 결과

(1) 설계 단계의 리스크 요인 도출

LNG 플랜트의 설계단계 리스크 요인은 건설사업 관점에서 발생가능한 일반적인 사업관리 관점의 리스크 요인과 LNG 플랜트 사업의 기술적인 문제를 다루는 설계관리 관점의 리스크 요인으로 분류할 수 있음.

사업관리 관점의 리스크 요인을 도출하기 위해서는 기존 국내외 문헌에서 제시하고 있는 일반건설사업 및 플랜트 사업의 설계단계 관련 문헌의 고찰 및 건설 기업의 플랜트 사업 리스크 관리 자료를 분석하였음. 이를 바탕으로 노출빈도가 높은 리스크 요인을 도출하였으며, 플랜트 건설 경력 10년 이상의 전문가 자문을 실시하여 리스크 요인을 수정하였음. 특히 LNG 플랜트 설계단계에서는 LNG 플랜트 프로세스의 핵심이라고 할 수 있는 라이센스의 확보 및 자재 및 장비의 특성이 설계에 미치는 영향이 크므로 사업관리 관점에서 핵심요인으로 제시하여 LNG 플랜트 사업의 특수성을 반영하고자 하였음. 이를 바탕으로 사업관리 관점의 리스크는 설계단계의 리스크 관리 목적에 따라 대분류와 중분류 항목으로 선정하였으며, 이에 따라 세부 리스크 요인도 재분류함.

일반 사업관리 관점의 리스크 요인 외에 LNG플랜트 사업의 특성을 반영하기 위해서는 LNG 플랜트 사업에 특화된 리스크를 도출해야할 필요가 있음. 이에 설계관리 관점의 리스크 요인을 도출하기 위해서 실제 플랜트 현장의 자료 및 개별 기업의 설

계 리스크 관리 사례, 플랜트 설계 관련 문헌을 수집하였음. 이를 바탕으로 LNG 플랜트 사업의 설계단계를 구성하는 주요 분야를 크게 기본설계와 상세설계로 구분하고, 기본설계는 다시 FEED와 액화프로세스로 구분하였음. 또한, 상세설계는 공통요인, 기계, 배관, 설비, 전기, 토목·건축 등 플랜트 사업의 설계단계를 구성하는 주요 분야로 분류하여 리스크 요인을 도출함. 또한 실제 전문가의 경험을 반영하기 위하여 전문가 5인의 자문을 실시하였음. 이를 통해 도출된 리스크의 적합성을 확인하고 실무에서 중요하게 인식되는 리스크 요인을 추가적으로 제시하였음.

최종적으로 현장에서 근무하는 경력 20년 이상의 전문가 2인과 추가 인터뷰를 실시하여 본 연구에서 제시한 리스크분류체계와 리스크 요인의 적합성, 적용성을 검증하였음.

표 10. 설계 단계의 리스크 요인

구분	대분류	중분류	세부 리스크 요인 (요인번호)
사업 관리 관점	해당국 및 발주처 관리	공사특성	- 발주자 특별 시방 반영(1) - 발주자 제공 자료와 실제 현장상황과의 괴리(2)
		발주처 특징	- 발주자 설계 개입(3)
	계약 및 클레임 관리	계약요인	- 발주자가 요구한 기술의 라이센스 확보(4)
		라이선스 (LNG관련)	- 액화설계 도면의 라이센스 반영 미흡(5) - 설계도면에 발주자 요구반영 미흡(6) - 라리센서의 승인지연(7) - 설계도면에 라이센스나 로열티 추가 가능성(8)
		자재 및 장비 (LNG관련)	- 설계도면에 극저온 자재 반영 미흡(9) - 설계도면에 특수부품 반영 미흡(10) - 설계도면에 진출국 기후 및 날씨 반영 미흡(11)
		시공능력 (LNG관련)	- LNG 프로세스에 시공성 반영 미흡(12) - 설계 도면에 연결성 반영 미흡(13)
	공기 및 공사비 관리	공기	- 계약 공기 반영한 설계도면 작성(14) - 설계 도면의 fast track 지원 미흡(detail 설계 미흡)(15)
		공사비	- 설계도면 작성시 실행 공사비 반영 미흡(16)
	아웃 소싱	시공관리	- 설계에 시공성 반영 미흡(17)

	및 협업 관리	설계관리	- 재설계 및 추가설계(물량변동)(18) - 경험이나 교훈 미반영(19) - 현장정보 반영 미흡(20)
		본사와의 연계	- 본사의 동종 공사 경험 반영(21) - 본사의 기술능력 반영(22)
		현장소장 능력	- 직원의 동종 공사 경험 반영(25) - 직원의 기술능력 반영(26)
		직원 인사능력	- 현지 협력업체의 동종 공사 경험 반영(27) - 현지 협력 업체의 기술능력 반영(28)
		JV, 컨소시업 업체 능력	- JV, 컨소시험 업체와의 공동 설계(29)
		안전	- 설계에 안전기준 반영 미흡(30)
		품질	- 설계에 품질기준 반영 미흡(31)
		조달	- 설계에 조달기준 반영 미흡(32)
		환경	- 설계에 환경기준 반영 미흡(33)
설계 관리 관점	Basic Design	FEED	- Process Flow Diagram의 기본 사양 및 각 기기사양 오류(34) - Material Balance와 PDF 간의 비일치(35) - Material Balance와 필요 Stream 및 Data 누락(36) - FEED의 현장조건 반영 미흡(37) - 설비 운영의 안정성 고려 미흡(38) - 고장 등을 고려한 예비설계 미흡(39) - 확장 등을 고려한 연결성 반영 미흡(40)
		액화 프로세스	- 공정에서의 액화 온도 유지 미흡(41) - 프로세스의 설계 요구시방 미흡(42)
	공통 요인	공통 요인	- Code 및 Spec의 적합성 준수 미흡(43) - 타 공정이나 설비에 대한 영향성 및 연결성 반영 미흡(44) - 절대공사기간 확보의 적정성(45)
	Detail Design	Mechanical	- 각 기계 장치들과 타 라인과의 연결성 설계 반영 미흡(46) - 기계 장비용량의 적정성 및 적기 설계 미흡(47)
		Piping	- 온도 및 압력변화에 따른 대응 설계 미흡(48) - 배관자재 적기공긍 및 타 공정과의 연계성 반영 미흡(49)

		Instrument	- 각종 측정 기기의 위치 및 연결성 설계 반영 미흡(50) - 계장 설비의 이용성 반영 미흡(51)
		Bectrical	- 유도장애 해소를 위한 설계 미흡(52) - 전력 수전 및 배전 설계 미흡(53)
		Civil & Architectural	- 중량물 조건 설계 반영 미흡(54) - 건물규모나 지진계수 반영 미흡(55)
		극저온 자재 및 장비	- 적기 공급 가능성 반영 미흡(56) - 타 설비와의 연결성 반영 미흡(57)

(2) 리스크 요인의 중요도 분석

건설공사의 리스크를 평가하기 위해서 확률과 영향강도를 고려한 PI matrix가 일반적으로 사용되고 있음. 이러한 PI matrix는 다양한 리스크를 하나의 좌표평면에 나타냄으로써 리스크 수준을 쉽게 비교할 수 있다는 장점이 있으나, 매트릭스의 대칭구조로 인해 발생확률과 영향강도가 서로 반대인 리스크의 경우에도 리스크 수준은 동일하게 평가되어 리스크의 우선순위를 결정하기 어렵다는 단점이 있음.

LNG 플랜트는 공종의 복잡성과 다양성으로 인해 일반 건설공사에 비해 세밀한 리스크평가가 필요하므로 리스크 우선순위를 결정함에 있어 기존의 PI matrix를 적용하는데 한계가 있음. 또한 최근의 해외 LNG 플랜트의 경향이 더욱 복잡하고 복합 화된 기술이나, 관리를 요구하므로 이를 반영한 우선순위 결정 방법이 요구됨. 이에 LNG 플랜트 사업에서 “리스크 해결 과정의 어려움이나 복잡성을 종합적으로 분석한 조정 불확실정도”의 개념으로 조정지수 (Coordination index)라는 기준을 적용하였으며, 그 기준을 다음과 같이 정의함.

- 리스크를 해결하는데 필요한 관련 공종의 수
- 리스크와 관련된 전문가의 수
- 리스크의 해결 경험도
- 리스크 관련 지식의 정도

위와 같이 정의한 조정지수를 바탕으로 리스별 상대적 우선순위는 다음 식을 통해 도출함.

$$\text{리스크의 상대적 우선순위} = \sqrt{P^2 + I^2 + C^2} \qquad (1)$$

식(1)을 바탕으로 한 삼축 평가체계는 이축(PI) 방법이 구분하지 못하는 매트릭스상 대칭구조에 있는 리스크를 조정지수(CI)의 차이를 통해 구분할 수 있다는 장점을 지님.

또한 정량적 평가항목인 확률 및 영향강도에 정성적인 평가를 반영한 조정지수를 도입하여 정량 및 정성의 균형을 맞추고 세분화된 리스크 특성별 자원배분을 가능케 함.

다. 주요 결과 및 시사점

설계단계의 리스크를 일반적인 건설 사업에서 발생 가능한 사업 관리적 관점과 LNG플랜트 사업의 설계단계의 특성을 반영할 수 있는 설계 관리적 관점에서 도출하였음.

세부적으로 살펴보면 사업 관리적 리스크는 4개 대분류, 11개 중분류의 총 46개의 리스크 요인을 도출하였음. 또한, 설계 관리적 리스크는 2개 대분류, 7개 중분류의 총 36개의 리스크 요인을 도출하였음.

위와 같이 도출된 리스크의 우선순위를 평가하고자 기존의 확률 및 영향강도에 리스크를 평가하는데 필요한 참여자 수를 기준으로 평가하는 조정지수 (Coordination Index)를 적용한 PIC 평가체계를 제시하였음. 이를 통해 LNG 플랜트 사업의 복잡성과 다양성을 반영하고자 하였으며, 기존의 정량적 평가에 정성적 개념을 도입하였음.

○ 설계 단계의 리스크 평가관리 모듈 개발

가. 개요

기존의 우선순위 평가기법인 PI기법의 한계를 보완하고자 조정지수(C)를 추가한 PIC 우선순위 평가기법을 기반으로 한 설계단계 평가 모듈을 개발하였다. 따라서 설계 단계 초기에 관리 할 수 있는 리스크 체크리스트를 도출하고 리스크 위험도 평가를 통한 리스크 평가방법을 적용하여 설계 세부 단계에서 다음단계 진행시의 리스크 평가 방안을 제시.

나. 수행내용 및 결과

(1) 설계 단계의 리스크 평가 및 관리를 위한 모듈 개발

설계단계 리스크를 평가하고 관리하기 위해서는 설계 단계에서의 주요 체크 포인트나, 설계 세부 관리 단위의 파악이 필요함. 또한 설계 세부관리 단위 별 특성 파악 및 이를 바탕으로 한 리스크 평가 모듈을 개발해야 함.

설계 단계를 세분화 하고, 각 세분화된 단계의 특성을 파악하여 주요 관리요인을 도출해야 함. 각 세분화 단계에서 도출된 주요 관리요인으로 프레임을 세우고, 연구개발 1단계에서 제시된 설계단계 리스크 이용하여, 주요 관리요인 별 리스크 프레임에 차용되어야 함.

표 11. 리스크 평가 및 관리를 위한 체크 리스크

세부 단계 관리 항목	가중치 (W)	리스크 요인	PIC		리스크 평가		리스크 위험도 (W*PIC점수)
			점수	요인	PASS	FAIL	

표 11은 리스크 평가 및 관리를 위한 체크 리스트를 나타낸 것임. 각 세부단계는 각각의 특성이 다를 수 있고, 또한 리스크를 바라보는 관점도 다를 수 있음. 따라서 각 세부 단계의 특성을 사전에 파악하여 “세부단계 관리항목”으로서 체크리스트에 작성함. 가중치는 세부단계 관리항목의 중요도에 차등을 주기 위해 사용됨.

이후 연구개발 1단계의 리스크 풀에서 관련이 있는 항목을 차용함. 연구개발 1단계에서 분석된 리스크 들은 각각 PIC점수와 주요 영향요인을 함께 차용해야 함. 이렇게 작성된 체크리스트를 각 세부단계가 종료되는 시점에서 평가함. 세부단계 초기에 작

성된 체크 리스트는 PIC 점수에 따라 우선순위를 가짐. 또한 PIC 중 주요 영향 요인을 확인 할 수 있으므로, 진행 과정에서 PIC 각각의 특성에 맞는 리스크 대응 및 관리가 가능함.

표 12. 체크리스트 작성 예시

Gate4	세부단계 관리항목	가중치	Risk	PIC		리스크 평가		리스크 위험도
				점수	주요인	PASS	FAIL	
Layout	Mechanical equipment	0.4	- 설계 도면에 LNG 관련 특수부품 반영 미흡 - 각종 측정 기기의 위치 및 연결성 설계 반영 미흡	4.578 4.933	I C	√ √		1.831 1.973
	Material transport system	0.3	- 설계 도면에 LNG 관련 극저온 자재 반영 미흡 - 극저온 및 고압력으로의 변화에 따른 대응 설계 미흡 - 설계 도면에서 공정 누락이나 오기 - Material Balance와 PFD간의 비일치	3.898 4.900 4.500 4.236	I I P C	√ √	 √ √ 	....
	Plant Structures	0.1	- 건물규모나 지진계수 반영 미흡 - 현장 조건 반영 미흡 - 중량물 조건 설계 반영 미흡	5.015 4.198 4.992	I C C	√ √	 √ 	...
	Layout General	0.2	- 설계변경 고려 미흡(여유 설계) - 타 공정이나 설비에 대한 영향성 및 연결성 반영 미흡 - 설계도면 작성 시 실행 공사비 반영 미흡 - 설계 도면에 시공성 반영 미흡 - Noise/Safety requirements - Code 및 Spec 준수 미흡 - 현장 접근성 반영 미흡	.....	.....	...	...	...

표 12는 리스크 평가관리를 위한 체크리스트의 작성 예시임. 각 세부 단계의 마지막 단계에서“리스크 평가” 항목에 PASS 나 FAIL 에 체크를 하여 리스크 요인의 해결 정도를 확인함. 이후 FAIL 된 리스크의 수준을 파악하여 이후 단계에서의 리스크 체크리스트에 다시 추가되어 관리되어야 함. 리스크 위험도는 세부단계 관리항목의 가중치에 리스크의 PIC 점수를 곱하여 나타냄. 또한 해당 세부 단계의 총괄 리스크 평가를 위해서는 세부단계 리스크 총괄 점수가 요구됨.

$$\text{총괄 리스크 지수}_{\text{기본설계 } i\text{단계}} = \frac{PASS\text{된 리스크 위험도}(\Sigma W_{pass} \Pi C_{pass})}{\text{단계 리스크 위험도}(\Sigma W_{total} \Pi C_{total})} \times 100 \quad (1)$$

식 1 의 총괄 리스크 지수는 해당 세부 단계의 리스크 관리 정도를 나타낸 것으로, 지수가 낮을수록 세부단계 초기에 인식된 리스크가 제대로 해결되지 않았음을 나타냄. 총괄 리스크 지수는 다음 세부단계를 진행할 때 전 세부단계의 리스크를 얼마나 고려해야 하는지에 대한 정도를 나타냄. 총괄 리스크 지수가 80 이상인 경우에는 전반적으로 리스크 관리가 잘 되었다고 판단 할 수 있으며, 60이하인 경우에는 리스크 관리가 제대로 되지 않은 것으로 판단 할 수 있음.

추후 테스트 베드 적용 시, 1차 테스트 베드에서 설계 세부 단계별 체크리스트를 적용해 보고 적용성 검토 및 프로세스 수정 보완을 진행하고, 2차 테스트 베드에서 실제적인 적용이 가능하도록 연구를 진행할 예정임.

다. 주요 결과 및 시사점

연구 개발 1단계에서 수행하여 얻은 결과인 LNG 플랜트 설계단계 리스크 요인 및 PIC를 이용한 우선순위 평가기법을 바탕으로 설계단계의 리스크를 평가하고 관리 할 수 있는 모듈을 개발 함. 본 모듈을 설계단계의 초기에 각 단계의 특징 및 주요 관리 사항 그리고 리스크 요인을 제시하여, 단계 수행과정에서 주요 리스크를 대응하고 관리하는데 도움이 될 것으로 판단됨. 또한 세부단계의 종료시점에 리스크 관리의 성공 여부를 판단하여, 이후 단계를 위한 경보 및 이전 단계에서 관리 되지 않은 리스크를 제시해 줄 수 있음. 본 모듈은 설계단계를 큰 틀에서 평가와, 세부단계로 나누어 평가할 수 있는 유연한 리스크 평가 및 관리 모듈로서 의미가 있음.

○ 설계 단계의 리스크 대응 방안 수립

가. 개요

리스크 도출 및 중요도 평가를 통하여 리스크 평가관리 모듈이 개발되면 각 리스크의 특성을 파악하고 리스크별 대응방안을 수립하였다. 문헌조사와 건설기업 자료 분석을 통한 리스크 대응 방법을 도출하고 PIC분석을 통한 관리 전략을 제시하고 전문가 자문과 인터뷰를 통하여 적합성을 검증.

나. 수행내용 및 결과

(1) 설계 단계의 리스크 대응 방안 수립

연구개발 1단계와 2단계를 통해 도출된 LNG 플랜트의 리스크 요인과 이들을 평가 및 관리하는 모듈과 함께 개별 리스크에 대한 대응방안을 수립하고, 관리하는 전략을 세우는 것이 필요함. 리스크를 대응하기 위한 방법으로 회피, 전가, 완화, 수용의 네 가지 방안이 사용 가능함. 그리고 대응이후의 지속적인 리스크 관리를 위해 연구개발 1단계에서 제시된 PIC 우선순위 평가방법을 이용하여, 각 PIC 영향 요소의 영향정도를 파악하여 개별 관리전략을 세우는 것이 필요함.

리스크의 대응 및 관리의 목적은 가능한 한 리스크의 부정적인 영향을 제거하고, 리스크에 대한 통제력을 증가시켜 사업관리에 있어 비용 및 일정의 영향을 최소화하는 것임. 리스크의 대응은 대응 전략의 수립과 대응 전략의 할당이라는 두 가지 방향으로 제시될 수 있음. 대응 전략은 크게 리스크 회피, 리스크 감소, 리스크 보유, 리스크 전가의 4가지 방법으로 구분될 수 있음.

- 리스크의 회피 : 리스크를 다루는 직접적인 방법으로 리스크와 관련된 활동을 회피하여 리스크를 처리함.
- 리스크의 감소 : 리스크가 발생할 경우 확률 및 영향강도, 조정지수를 감소시킴
- 리스크의 보유 : 회피하거나 전가할 수 없는 리스크를 감수함.
- 리스크의 전가 : 적절한 계약을 통해 리스크의 잠재요인을 제 3자에게 떠넘기거나 공유함.

위의 4가지 전략에 기초하여 사업 관리적 관점 및 설계관리 관점의 개별 리스크

요인별 대응방안을 제시하였으며, 추후 전문가 자문을 실시하여 대응방안을 수정·보완하고자 함.

이러한 리스크 요인 별 대응방안은 PIC평가체계에 의한 우선순위 도출 후에 이루어지며 추가적으로 해당리스크 별 확률, 영향강도, 조정지수의 영향정도를 평가하고 각각의 특성에 맞는 대응 전략을 제시.

- P(발생확률) : 발생확률이 높은 수준으로 나타난 경우 상시모니터링 시스템을 가동하여 리스크의 발생 여부를 확인 할 수 있게 하며, 상시모니터링이 불가능할 경우 주기적인 모니터링 시스템을 통한 리스크의 발생여부를 확인함.
- I(영향강도) : 영향강도가 높은 수준으로 나타난 경우 리스크의 감소를 위해 노력하되, 발생된 경우 참여자 각자가 합리적으로 받아들일 수 있는 정도의 리스크 수준으로 나누어 책임을 지도록 사전에 합의함.
- C(조정지수) : 조정지수가 높은 수준으로 나타난 경우 이러한 리스크는 발생확률과 영향강도가 낮다 하더라도 해결하기 위해 여러 공종의 참여자가 관련되거나 해결을 하기 위한 절차가 복잡하여 책임소재의 불분명으로 인한 공기지연, 공사비 증가의 가능성이 높음. 따라서 이러한 리스크의 경우 공종별 참여자를 포함하는 Task Force 팀을 구성하여, 협의 하에 해결방안을 강구해야 함.

다. 주요 결과 및 시사점

설계 단계 초기에서 사업 관리적 관점 및 설계 관리적 관점의 리스크별 회피, 감소, 보유, 전가의 대응방안을 제시함. 또한 추가적으로 확률, 영향강도, 조정지수의 특성을 반영한 보다 구체적인 관리전략을 제시함. 이는 사용자가 설계단계 초기에 노출된 리스크를 적절하게 대응 할 수 있도록 의사결정을 위한 레퍼런스로의 의미가 있음. 그리고 각각의 리스크를 한 번의 대응이 아닌 설계단계 전반에 걸쳐 관리하거나 모니터링 할 수 있는 관리전략을 제시하였다는 의미가 있음.

3. 구매조달 단계의 리스크 관리 모듈 개발

○ 수행 단계별 리스크 관리 체계 개발

가. 개요

최근 해외건설의 수주가 활발해 지면서 구매조달단계의 중요성이 강조되고 있다. 특히 대형화와 복잡성이 큰 LNG플랜트 사업에서는 구매조달이 강조되고 있다. 본 연구에서는 구매조달단계의 리스크를 규명하고, 이를 보다 합리적으로 평가하기 위한 방법을 제시함.

국내외 리스크 관련 연구문헌 분석 및 전문가 자문 실시하여 리스크를 도출하고 구매계획수립, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 단계로 구분하여 리스크를 분류하여 중요도를 평가하고자 하였다. 또한 리스크의 우선순위 도출을 위하여 TOPSIS기법을 적용하여 정량적인 우선순위 평가기법을 도입하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 구매조달단계의 리스크 요인 도출

LNG 플랜트의 구매조달단계 리스크 요인은 구매계획수립에서부터 자재의 운송까지의 절차에서 발생 가능한 리스크 요인과 함께 LNG 플랜트 특성의 리스크를 도출하여 구매계획수립, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 단계로 구매조달관점의 리스크 요인으로 분류할 수 있음.

LNG플랜트의 구매조달단계에서 국내 건설기업의 경험부족과 사업관리 관점의 리스크 요인을 도출하기 위해서는 첫째로, 기존 국내외 문헌에서 제시하고 있는 일반건설사업 및 플랜트 사업의 구매조달단계 관련 문헌의 고찰 및 건설 기업의 플랜트 사업 리스크 관리 자료를 분석하였음. 이를 바탕으로 노출빈도가 높은 리스크 요인을 도출하였으며, 해외 LNG플랜트 현장의 실무자와의 인터뷰 및 해외현장 구매조달의 전문가 자문을 실시하여 리스크 요인을 수정하였음. 특히 LNG 플랜트 구매조달단계에서의 특징이라고 할 수 있는 Long lead equipment와 Bulk items으로 구분하여 구매계획 수립 단계, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 단계에 대하여 리스크를 구분하여 LNG 플랜트 사업의 특수성을 반영하고자 하였음. 또한 구매조달단계에서 특히 중요한 계약관련 리스크 도출하기위해 실제 해외건설 계약 전문가의 자문을 실시하였음. 이를 통해 도출된 리스크의 적합성을 확인하고 실무에서 중요하

게 인식되는 리스크 요인을 추가적으로 제시하였음.

표 13. 구매조달단계의 리스크 요인

대분류	리스크 요인
발주자 특성	- 부적합한 자금지급 방법
	- 벤더선정과정에서의 발주자의 과도한 개입
	- Vendor 결정시 발주자 요구 기술 반영 미흡
해당국 여건	- 진출국의 기후 및 날씨에 따른 구매조달 지연
	- 웨이버 품목 등 현지 법령 확인 미흡
계약 요인	- 계약 도서의 불일치
	- 자재 및 장비에 대한 현지의 규제 및 인허가 사항
공사비 관리	- 자재 및 장비 가격 산정에서 실행 공사비 반영 미흡
	- 실행예산 책정 부적절
	- 자금부족 및 지연
	- 금액 및 납기 문제로 인한 설계변경
	- 단가산정 오류
	- 견적도서의 불일치 및 견적수정오류
	- 환율변동에 따른 대응 미흡
	- 원자재 가격 변동에 따른 대응 미흡
	- 구매조달 물품에 대한 관세 및 보험 미흡
	- 입고품 보관 장소 불확실
공기관리	- 자재 및 장비의 구매조달 일정 관리 미흡
	- 운반선의 초과정박 구금지체
	- LNG관련 주기자재 (Critical Equipment)의 납기 지연
	- 운송 및 진입 계획 수립 지연
	- 제작업체의 선적예상 일정(Shipping Sch) 부정확
	- ROS(Required On Site) DATE 미 준수
	- 인수/인계서 미 작성 및 지연
	- 대형 벌크 운반선 수배 및 예약 지연
	- 자재 및 장비 조달 일정과 시공 일정과의 연계
	- 특수 부품 설치 일정에 따른 구매조달 관리 미흡
	- 비규격 자재(over weight/size) 운송 계획 수립 미흡

	- 비규격 자재(over weight/size) 입고 계획 수립 미흡
	- 선적통관 서류 지연
	- 제작업체 기술서류 접수 지연 및 발주자 검토 지적사항 지연
설계 부서와 연계	- 설계 Code & Standard 적용 미비
	- 설계정보 Updating 미비
	- 설계 주기기 요구조건 만족여부 평가
	- 설계와 자재사양 불일치
	- 설계능력 수행경험 부족
	- 제작도 작성 오류
	- 설계도서 작성일정 지연
	- 구매조달에서의 공종별 분리 작업 특성 반영 미흡
본사와 연계	- 본사의 구매조달 경험 미흡
	- 본사와 벤더의 업무 경험 미흡
현장소장 능력	- 소장의 구매조달 경험 미흡
	- 소장의 벤더와의 업무 경험 미흡

(2) 리스크 요인의 중요도 분석

건설공사의 리스크를 평가하기 위해서 확률과 영향강도를 고려한 PI matrix가 일반적으로 사용되고 있음. 이러한 PI matrix는 다양한 리스크를 하나의 좌표평면에 나타냄으로써 리스크 수준을 쉽게 비교할 수 있다는 장점이 있으나, 매트릭스의 대칭구조로 인해 발생확률과 영향강도가 서로 반대인 리스크의 경우에도 리스크 수준은 동일하게 평가되어 리스크의 우선순위를 결정하기 어렵다는 단점이 있음.

LNG 플랜트는 공종의 복잡성과 다양성으로 인해 일반 건설공사에 비해 세밀한 리스크평가가 필요하므로 리스크 우선순위를 결정함에 있어 기존의 PI matrix를 적용하는데 한계가 있음. 이에 LNG 플랜트 사업에서 해당 공종의 복잡성과 리스크를 해결하는데 필요한 참여자수를 기준으로 조정지수 (Coordination index)라는 기준을 적용하였으며, 그 기준을 다음과 같이 정의함.

- 리스크를 해결하는데 필요한 관련 공종의 수
- 리스크와 관련된 전문가의 수
- 리스크의 해결 경험도
- 리스크 관련 지식의 정도

위와 같이 정의한 조정지수를 바탕으로 리스별 상대적 우선순위는 다 기준 의사결정 방법인 TOPSIS이 사용되었으며 다수의 기준을 바탕으로 유한개의 대안들을 평가하여 각 대안들의 우선순위를 결정함.

TOPSIS의 기본적인 개념은 이상적인 최상의 대안(Positive Ideal Solution, PIS)은 고려되는 대안의 최상의 값과 가장 가까운 거리에 위치하고, 이상적인 최악의 대안(Negative Ideal Solution, NIS)은 고려되는 대안 중 가장 나쁜 값에서 가장 가까운 거리에 위치한다는 개념.

TOPSIS를 이용한 상대적 우선순위 도출방법은 다음과 같은 단계를 통해 도출함.

- 1단계 : 리스크의 단위를 정규화.
- 2단계 : 리스크의 이상해(Positive Ideal Solution, PIS)와 부이상해(Negative Ideal Solution, NIS)를 도출하고 유클리드 거리(Euclidean distance)의 개념을 사용하여 거리계산.
- 3단계 : 리스크별 상대적 근접도 계수Closeness Coefficient, CC)를 계산하여 리스크의 등급분류함. 이상적인 해에 가까울수록 근접도 계수는 1에 가까우며, 이상적인 해에서 멀수록 0에 가깝다.

최종적으로 근접도 계수가 큰 순서대로 리스크의 우선순위를 결정하며 계수에 따른 리스크 관리 대상 분류를 함.

위 식을 바탕으로 한 삼축 평가체계는 이축(PI) 방법이 구분하지 못하는 매트릭스상 대칭구조에 있는 리스크를 조정지수(CI)의 차이를 통해 구분할 수 있다는 장점을 지님. 또한 정량적 평가항목인 확률 및 영향강도에 정성적인 평가를 반영한 조정지수를 도입하여 정량 및 정성의 균형을 맞추고 세분화된 리스크 특성별 자원배분을 가능케 함. 마지막으로 TOPSIS 모델을 이용하여 객관적이고 체계적인 평가기법을 제시하여 리스크의 중요도 분석에 보다 현실적인 접근이 가능토록 함.

(3) TOPSIS 방법의 정당성

비율/선형 가중치 방법은 가장 전통적인 방식으로 가장 중요하다고 생각되는 기준에 가장 큰 가중치를 부여하는 방식으로 누구나 손쉽게 사용할 수 있고 이해하기 쉬워 실무 적용성이 높은 장점이 있음.

TOPSIS의 비율/선형 가중치 기법은 전문가에 의존하는 객관성확보에 취약한 단점이 있지만, 타 기법들에 비해 불확실성의 반영, 적용성, 정량적 기준 고려, 정성적 기준 고려의 장점을 가지고 있으며 기본적으로 거리의 개념을 활용하기 때문에 상대적으로 계산과정과 평가가 간단하다는 장점이 있어 실무활용도가 높음.

건설 산업에서의 TOPSIS모델의 적용은 일반 제조업 분야에서는 널리 활용되어 왔지만 아직 건설 분야의 적용 사례는 미흡한 실정이나 리스크 평가 모델 선택, 발주방법 선택 등의 연구가 진행되어 왔음.

다. 주요결과 및 시사점

구매조달단계의 리스크를 일반적인 건설 사업에서 발생 가능한 구매조달관점과 LNG 플랜트 구매조달단계에서의 특징이라고 할 수 있는 Long lead equipment와 Bulk items으로의 구분을 반영 할 수 있도록 하였으며, LNG 액화 공정의 구매조달과 관련하여 Sole vendor 여부 또한 반영하여 각각 다른 리스크 특성을 가질 수 있도록 개발 함.

리스크는 총 89개 항목으로 이루어져 있으며, 이들은 4개의 중분류 항목으로 구분되며, 다시 11개 세부 항목으로 구분됨. 따라서 구매조달의 특성인 리드타임과 Sole vendor 여부에 따라 11개 세부항목이 각각 다르게 적용됨. 이를 통해 리스크 적용 특성이 달라지며, LNG 플랜트 특성 및 구매조달의 다양성을 반영 할 수 있게 함.

위와 같이 도출된 리스크의 우선순위를 평가하고자 기존의 확률 및 영향강도에 리스크를 평가하는데 필요한 참여자 수를 기준으로 평가하는 조정지수 (Coordination Index)를 적용한 PIC 평가체계를 제시하고 TOPSIS를 통한 평가방법을 사용하였음. 이를 통해 LNG 플랜트 사업의 복잡성과 다양성을 반영하고자 하였으며, 기존의 정량적 평가에 정성적 개념을 도입하였음.

○ 구매조달 단계의 리스크 평가관리 모듈

가. 개요

TOPSIS기법을 적용한 PIC 우선순위 평가기법을 기반으로 한 구매조달단계 평가관리 모듈을 개발하고자 하였다. 따라서 구매조달 단계에서 리스크를 관리 할 수 있는 리스크 체크리스트를 도출하고 리스크의 특성에 따른 분류 및 CTQ 영향도를 파악하여 관리방향을 제시하는 리스크 평가관리 모듈을 개발.

나. 수행내용 및 결과

(1) 구매조달단계 리스크 평가 및 관리를 위한 모듈 개발

구매조달단계 리스크를 평가하고 관리하기 위해서는 구매조달단계에서의 주요 체크포인트나, Long lead equipment와 Bulk items를 구분한 세부 관리 단위의 파악이 필요함. 또한 구매계획 수립 단계, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 단계 별 특성 파악 및 이를 바탕으로 한 리스크 평가 모듈을 개발해야 함.

구매조달단계를 세분화 하고, 각 세분화된 단계의 특성을 파악하여 주요 관리요인을 도출해야 함. 각 세분화 단계에서 도출된 주요 관리요인으로 프레임을 세우고, 주요 관리요인 별 리스크 프레임에 차용되어야 함.

표 14. 리스크 평가 및 관리를 위한 체크 리스크

Gate	세부 단계 관리 항목	리스크 요인	PIC	리스크 등급	리스크 성격				관리 방향	등록 여부
			점수		내부	외부	Con	Un-Con		

표 14는 리스크 평가 및 관리를 위한 체크 리스트를 나타낸 것임. 각 세부단계는 각각의 특성이 다를 수 있고, 또한 리스크를 바라보는 관점도 다를 수 있음. 따라서 각 세부 단계의 특성을 사전에 파악하여 “세부단계 관리항목”으로서 체크리스트에 작성함. 연구개발 1단계에서 분석된 리스크들은 각각 PIC점수와 주요 영향요인을 함께 차용해야 함. 이렇게 작성된 체크리스트를 각 세부단계가 종료되는 시점에서 평가함. 세부단계 초기에 작성된 체크 리스트는 PIC 점수에 따라 우선순위를 가짐. 또한 관리대상이 되는 리스크 요인은 CTQ(Cost, Time, Quality)에 미치는 영향을 확인 할 수

있으므로, 진행 과정에서 CTQ 각각의 특성에 맞는 리스크 대응 및 관리가 가능 함.

표 15. 체크리스트 작성 예시

Gate 1	세부단계 관리항목	Risk	PIC 점수	리스크 등급	리스크 성격				주요 대응 방향	등록 여부
					내부	외부	Con	Un-Con		
구매 계획 수립	구매 계획서 작성	-In-House Data 부정확	0.709	A	√		√		C	√
		-자재/장비 적정 수급량 예측 오류	0.605	B	√		√		Q	√
		-자재/장비투입시기예측오류	0.348	C	√		√		C	
		-구매조달물품에대한 관세 및 보험미흡	0.481	C	√		√		C	
		-자금부족 및 지연	0.621	B	√			√	C	√
		-실행예산책정 부적절	0.354	C	√		√		C	

표 는 리스크 평가관리를 위한 체크리스트의 작성 예시임. 각 세부 단계의 마지막 단계에서 “리스크 평가” 항목에 PIC점수로 리스크 등급을 분류하여 리스크 등록여부를 결정하고 리스크 요인의 해결 정도를 확인함. 이후 관리대상인 리스크의 수준을 파악하여 이후 단계에서의 리스크 체크리스트에 다시 추가되어 관리되어야 함. 리스크 위험도는 세부단계 관리항목의 가중치에 리스크의 PIC 점수를 곱하여 나타냄. 또한 해당 세부 단계의 총괄 리스크 평가를 위해서는 세부단계 리스크 총괄 점수가 요구됨.

총괄 리스크 지수(식 1)는 해당 세부 단계의 리스크 관리 정도를 나타낸 것으로, 지수가 낮을수록 세부단계 초기에 인식된 리스크가 제대로 해결되어 위험도가 낮아진 것을 나타냄. 각 stage 별 최소 기준을 설정하고, gate에서 평가를 진행 하며, 총괄 리스크 지수는 다음 세부단계를 진행할 때 전 세부단계의 리스크를 얼마나 고려해야 하는지에 대한 정도를 의미(총괄 리스크 지수의 최소 기준은 전문가 자문을 통해 수정될 예정임).

$$\text{총괄리스크지수}_{\text{구매조달 } i\text{단계}} = \frac{\text{재평가된 리스크 위험도}(\Sigma C_{residual})}{\text{단계 리스크 위험도}(\Sigma C_{initial})} \times 100 \qquad (1)$$

- Step 1 : Registration Factor Management (RFM, 등록 요인 관리) : Stage 별 도출된 리스크는 각 Stage의 특성에 따라 다른 리스크 요인에 비해 상대적인 중요도가 높아 해당 Stage에서 필수적으로 고려해야 되는 리스크 요인과 상대적으로 중요도가 낮은 리스크 요인으로 분류할 수 있음(체크리스트 항목 중 “등록요인”부분에 PIC 점수가 높게 도출되어 리스크 등급이 높은(A,B 등급) 리스크 요인 입력, stage 특성에 따라 필수 요인이 없을 수 있음). 이러한 분류체계를 기반으로 1단계 리스크 관리 모듈 (RFM, 등록 요인 관리)에서는 등록 요인에 대해서만 평가 및 관리를 진행하고, 등록 요인에 대해서 리스크의 특성을 2가지 기준(내부/외부, Control/Un-control)로 구분하고 이를 다시 주요대응 방향(비용, 공기, 품질)을 설정하여, 관리 담당 및 대응방안을 제시하여 주기적으로 모니터링하고 PIC 점수를 재평가 수행. 리스크 관리의 주기는 해당 리스크 요인을 해결하는데 소요되는 시간에 따라 일이나 주 단위가 될 수 있으며, 재 수행 과정에서 주요 대응 방향에 따른 대응방법을 선택하여 리스크 관리를 진행하고, 각 리스크 요인의 PIC 특성을 확인하여 특성별 관리 전략을 통해 PIC 점수가 일정이상 하락할 때까지 등록 요인에 대한 관리를 진행. 재평가 과정에서 모든 관리 주기 및 일정이 완료된 경우, 2단계 총괄 리스크평가를 진행.
- Step 2 : Overall Risk Evaluation (ORA, 총괄 리스크 평가) : 1단계 리스크 평가 이후 필수리스크 요인인 등록 요인을 포함한 전체 리스크 요인에 대한 리스크 위험도를 결정. 리스크 위험도를 측정하기 위해서 앞에서 설명한 총괄 리스크 지수를 사용하며,(식 (1) 참조). 총괄 리스크 지수는 초기 PIC 점수 대비 필수 요인에 대한 리스크 관리 후의 재평가 된 PIC 점수의 비율로 나타낼 수 있음. 이를 통해 총괄 리스크 지수를 계산하여, 각 stage에서 요구하는 최소 기준의 충족 여부를 확인하고 리스크 관리의 성공 정도를 확인 가능.

총괄 리스크 지수가 30 점 이하인 경우에는 전반적으로 리스크 관리가 잘 되었다고 판단 할 수 있으며, 60 점 이상인 경우에는 리스크 관리가 제대로 되지 않은 것으로 판단 할 수 있음.

다. 주요결과 및 시사점

연구 개발 1 단계에서 수행하여 얻은 결과인 LNG 플랜트 구매조달단계 리스크 요인 을 PIC 및 TOPSIS를 이용한 우선순위 평가기법을 바탕으로 구매조달단계의 리스크를 평가하고 관리 할 수 있는 모듈을 개발 함. 본 모듈을 구매조달의 구매계획 수립, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 각 단계의 특징 및 주요 관리사항 그리고 리스크 요인을 제시하여, 단계 수행과정에서 주요 리스크를 대응하고 관리하는데 도움이 될 것으로 판단됨. 또한 세부단계의 종료시점에 리스크 관리의 성공여부를 판단하여, 이후 단계를 위한 경보 및 이전 단계에서 관리 되지 않은 리스크를 제시해 줄 수 있음. 본 모듈은 구매조달단계를 큰 틀에서 평가와, 세부단계로 나누어 평가 할 수 있는 유연한 리스크 평가 및 관리 모듈로서 의미가 있음.

○ 구매조달 단계의 리스크 대응방안 수립

가. 개요

구매조달단계의 리스크 도출 및 중요도 평가를 통하여 주요 관리대상 리스크에 대하여 각 리스크의 특성을 파악하고 리스크별 대응방안을 수립하였다. 문헌조사와 건설기업 자료 분석을 통한 리스크 대응 방안을 도출하고 리스크 특성을 내부적/외부적, Control/Uncontrol로 구분하여 CTQ(Cost, Time, Quality)중 주요 요인과 관련한 리스크 대응전략 제시하였다. 마지막으로 현장 실무자 및 전문가를 통하여 대응방안의 적합성을 검증함.

나. 수행내용 및 결과

(1) 리스크 우선순위를 고려한 대응방안 수립

연구개발 1단계와 2단계의 결과를 바탕으로 PIC 점수에 따라 우선순위가 결정되면, 추가적으로 해당 리스크별 CTQ 점수를 통하여 각각의 특성에 맞는 리스크 대응 및 관리가 필요함.

CTQ는 본 연구를 통해 도출 된 리스크를 대상으로 구매조달과 해외건설에 특화된 전문가들의 설문을 기반으로, 각 리스크별 주요 영향 인자를 확인 할 수 있게 도와줌.

리스크의 대응 및 관리의 목적은 가능한 리스크의 부정적인 영향을 제거하고, 리스크에 대한 통제력을 증가시켜 사업관리에 있어 비용 및 일정, 품질의 영향을 최소화하는 것임. 리스크의 대응은 대응 전략의 수립과 대응 전략의 할당이라는 두 가지 방향으로 제시될 수 있음. 대응 전략은 크게 리스크의 특성을 내부적 요인/외부적 요인, Control/Un-control 로 구분하여 제시될 수 있음.

- 내부적 요인 : 리스크가 해당조직이나, 부서의 내부적 요인에 의해 발생한 경우를 의미하며, 이에 대응하기 위해서는 내부적인 문제 요소를 파악하여 리스크를 처리함.
- 외부적 요인 : 리스크가 외부 조직이나, 관련 기업에 의해 발생한 경우를 의미하며, 이에 대응하기 위해서는 외부적인 문제 요소를 파악하여 리스크를 처리함.
- Control : 리스크에 대한 관리와 예측이 가능한 경우를 의미하여, 해당 리

스크와 관련된 조직이나, 담당자가 효과적인 관리를 통해 발생 가능성을 낮추거나, 리스크의 영향도를 최소화 할 수 있음.

- Un-control : 리스크에 대한 예측은 어느 정도 가능하나 이에 대한 대응이나 관리에 한계를 가지는 경우를 의미하여, 해당 리스크와 관련된 조직이나, 담당자가 효과적인 관리를 진행하더라도 불가항력적으로 발생하는 리스크로서 이러한 리스크는 발생 시 영향도를 최소화 할 수 있도록 해야 함.

위의 4가지 리스크 특성에 기초하여 구매계획 수립, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 각 단계별로 개별 리스크 요인에 대하여 대응방안을 제시하였으며, 추후 전문가 자문을 실시하여 대응방안을 수정·보완하고자 함.

이러한 리스크 요인 별 대응방안은 PIC평가체계에 의한 우선순위 도출 후에 이루어지며 추가적으로 해당리스크 별 비용측면 영향도(Cost impact), 공기측면 영향도(Time impact), 품질측면 영향도(Quality impact)를 평가하고 각각의 특성에 맞는 대응 전략을 제시.

- 비용측면 영향도 : 해당 리스크가 비용측면에 미치는 영향 정도가 높은 수준으로 나타난 경우 리스크 총괄 담당자로서 공사비 담당자를 지정하고 공기대비 공사비의 내역을 수정하고 추가적인 피해가 일어나지 않도록 Task Force 팀을 구성하여, 협의 하에 해결방안을 강구해야 함.
- 공기측면 영향도 : 해당 리스크가 공기측면에 미치는 영향 정도가 높은 수준으로 나타난 경우 현장 구매 담당자 및 본사 구매 담당자를 지정하여 일정에 대한 종합적인 검토가 필요하며, 외부적 영향 요인과 Un-control 한 요인을 확인하여 각각 합리적으로 받아들일 수 있는 정도의 리스크 수준으로 나누어 책임을 지도록 사전에 합의함.
- 품질측면 영향도 : 해당 리스크가 품질측면에 미치는 영향 정도가 높은 수준으로 나타난 경우 현장 품질관리 담당자와 본사 품질관리 담당자를 지정하여 Inspection 및 Logistics 단계에 대한 종합적인 검토가 필요함. 이후 문제점을 분석

하여 내부적 영향 요인과 control 한 요인에 대한 관리 감독을 강화하고, 외부적 영향요인과 Un-control 한 요인을 확인하여 공급자에 대한 추가적인 관리 감독 및 각각 합리적으로 받아들일 수 있는 정도의 리스크 수준으로 나누어 책임을 지도록 사전에 합의함.

다. 주요결과 및 시사점

구매조달단계에서 구매계획 수립, Purchasing, Expediting, Inspection, Logistics의 각 단계의 리스크 별 특성을 내부적 요인/외부적 요인, Control/Un-control 로 구분하여 대응방안을 제시함. 또한 추가적으로 비용측면 영향도(Cost impact), 공기측면 영향도(Time impact), 품질측면 영향도(Quality impact)를 반영한 보다 구체적인 관리전략을 제시함. 이는 사용자가 구매조달단계에 노출된 리스크를 적절하게 대응할 수 있도록 의사결정을 위한 레퍼런스로의 의미가 있음. 그리고 각각의 리스크를 한 번의 대응이 아닌 구매조달단계 전반에 걸쳐 관리하거나 모니터링 할 수 있는 관리전략을 제시하였다는 의미가 있음.

4. 시공 및 시운전 단계의 리스크 관리 모듈 개발

○ 시공 및 시운전 단계의 리스크 요인 및 중요도 분석

가. 개요

시공 및 시운전 단계는 LNG 플랜트 사업에서 실제적인 목적물을 건설하는 단계이다. 또한 성공적인 건설은 적은 원가(Cost saving), 요구된 품질(Required quality), 공기 단축(Schedule reduction), 안전시공(Safer work) 그리고 안정적인 운영(Steady operation)을 목표로 하고 있다[1]. 그러나 대부분의 LNG 플랜트 사업이 최소한의 공기를 요구하고 있어, 설계와 시공을 병행하는 패스트 트랙(Fast-track)이 일반화 되었다. 그러나 패스트 트랙은 미완성의 설계 도서를 바탕으로 시공이 이루어지기 때문에 시공과정에서 재작업이나 설계변경의 잠재요소가 많이 있으며, 특히 설계도서간의 충돌이나 시공순서 및 작업공간이 중첩이 되는 경우가 비일비재 하다. 더욱이 LNG플랜트는 수많은 파이프와 기기들이 연결이 되고, 각종 중량물과 설치물이 필요한 공정으로, 시공 및 시운전 단계에서 이들의 연결 및 조정(Coordination)이 핵심적으로 관리되어야 한다. 특히 요구된 품질을 맞추는 것은 타협 할 수 없는 불변사항이기 때문에 일정 및 시공 관리를 진행하는 과정에서 품질에 위협이 될 만한 요소와 문제점을 사전에 발견하고 대응하는 것이 사업의 성과와 밀접하게 연결되어 있다.

본 절에서는 LNG플랜트 사업의 시공 및 시운전 단계에 집중하여 공기, 공사비, 품질, 안전 등 사업관리를 위한 리스크 요인과 액화프로세스, 저장탱크, 열교환기 등 세부 AREA 별 기술적 관리 요소를 도출하였다. 또한 이들 리스크 요인에 대한 전문가 검증 및 설문을 수행하였으며, 개별 리스크 요인에 대한 중요도를 도출하였다. 다수의 전문가가 참여한 중요도 설문은 TOPSIS 방법론을 활용하여 정량화를 수행하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 사업관리적 리스크 요인

1) 리스크 요인 도출

LNG 플랜트의 시공 및 시운전 단계 리스크 요인은 시공계획 수립, 착공준비, 현장

1) 이해광, 2008, “정유 플랜트 프로젝트의 시공성 검토 방안에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문.

및 가시설 준비, Construction, 시운전단계까지 발생 가능한 리스크 요인으로 분류할 수 있다. LNG 플랜트의 시공 및 시운전단계의 사업관리적 리스크 요인을 도출하기 위해서는 첫째로, 기존 국내외 문헌에서 제시하고 있는 일반건설사업 및 플랜트 사업의 시공단계 관련 문헌의 고찰 및 건설 기업의 플랜트 사업 리스크 관리 자료를 분석하였다. 이를 바탕으로 노출빈도가 높은 리스크 요인을 도출하였으며, 해외 LNG플랜트 현장의 실무자와의 인터뷰 및 시공단계 전문가 자문을 실시하여 리스크 요인을 수정하였다.

표 16. 사업관리적 리스크 요인

수준	Level 1	Level 2	Level 3	순번
시공및 시운전 단계	해당국및 발주처 관리	발주자 특성	• 발주자 특별 시방 내용의 시공 확인	1
			• 발주자와의 신뢰 수립 미흡	2
			• 발주자의 기성 지불능력 및 공사의 이해도 부족	3
			• 발주자의 과도한 시공 개입	4
		진출국 특성	• 현지 제도에 따른 인허가 지연	5
			• 현지 문화에 따른 착공시기 지연	6
			• 현지 기후 정보의 반영 미흡	7
			• 진출국의 정국불안과 사회적 혼란으로 인한 지연	8
	협업관리	설계 부서와 연계	• 도면공급지연	9
			• 설계 변경으로 인한 클레임 발생	10
			• E&C 간 업무 누락 및 중복	11
			• 시공자의 실무지식 설계 반영 미흡	12
			• 시공자의 상세도면, 시방서 파악 미흡	13
		본사와의 연계	• 본사와 현장과의 의사소통 미흡으로 인한 공기 지연	14
			• 본사와 발주자와의 의사소통 미흡으로 인한 공기 지연	15
			• 현장 투입 자금 부족 및 조달 지연	16
			• 부적절한 관리조직 편성	17
			• 민원발생 및 클레임처리 미흡	18
			• 서류, 문서화 작업의 (기록유지 등) 지연 및 미흡	19

		노무관리	• 현지 협력 업체와의 의사소통 미흡	20
			• 직원의 동종공사 시공 경험 부족	21
			• 직원의 기술 능력 반영 미흡	22
			• JV, 컨소시엄 업체의 시공 및 관리 능력 미흡	23
			• 현장 파견 인원의 잦은 변동	24
	현장관리	현장소장의 능력	• 소장의 동종공사 시공 경험 부족	25
			• 소장의 기술 능력 반영미흡	26
			• 소장의 현지 인력 및 발주자와의 의사소통 미흡	27
		자재 및 장비관리	• 견적 Data와 실제 Data의 격차 발생	28
			• 자재 및 장비 가격 증가	29
			• 시공중 추가 자재 및 장비 발생	30
		환경관리	• 민원관리(노동쟁의)미흡	31
			• 환경 관리 시설 부족	32
		현장여건	• 불합리한 현장 배치 계획 (차량 진입로 및 자재저장 등)	33
			•인접공구 등 선행공사의 지연	34
		안전관리	• 연결부위 누출 대비 미흡	35
			• 현장 내 화재 및 사고 관리 미흡	36
	생산관리	시공능력	• 작업순서 및 인터페이스 파악 미흡	37
			• 적절한 시공공법 적용 및 파악 미흡	38
			• 자재 및 장비 조달 방식 파악 및 관리 미흡	39
			• LNG 공정의 시공 불확실성 (저장탱크 용접순서 등)	40
			• 현지의 기후 및 날씨를 반영한 시공의 변동성 고려 미흡	41
			• 설계 전제조건과 현장 상황의 괴리	42
			• 불완전한 상세 설계로 인한 현장에서의 잦은 도면 수정	43
			• VENDOR 설계 및 제작능력 미흡	44
			• VENDOR 오제작 및 불량발생	45
			• 보관 및 관리 미흡으로 인한 주요 자재 및 장비의 부식	46
		품질관리	• 시공 완료된 공정의 성능 불확실성	47

			• 연결 부위의 품질 불확실성	48
	공기및 공사비 관리	공사비	• 실행 공사비 관리 미흡	49
			• 물가/환율 변동에 따른 대응 미흡	50
		공기	• 전체 공기 반영한 실 시공 일정 관리 미흡	51
			• 공사 지연 및 중단으로 인한 공기 불확실성	52
			• 설계와 구매조달을 반영한 실제 시공 관리 미흡	53
	시운전관리	시운전	• 시운전 일정 및 관리 미흡	54
			• VALVE SEAT 이상으로 인한 시운전 지연	55
			• COMMISIONING 요원의 MANUAL 미숙지	56
			• COMMISIONING 요원의 OPERATION 경험 부족	57
			• 시공 완료된 공정의 성능 문제 발생	58

2) 리스크 분류체계 개발

시공 및 시운전 단계의 리스크를 분류하기 위해서 리스크 분류체계를 개발하였다. 총 6개의 대분류와 15개의 중분류로 나누어 분류체계를 제시하여 총 58개의 세부리스크를 분류하였다. 세부 내용 및 분류체계는 표 1과 같다.

(2) 기술적 리스크 요인

1) 리스크 요인 도출

LNG 플랜트 사업의 특수성을 반영하기 위해서 LNG 플랜트 시공단계에서 나타나는 기술적 리스크 요인을 도출하고자 하였다. 국내외 문헌의 고찰 및 리스크 관련 자료를 분석하고, 실제 해외 LNG 플랜트 현장을 방문하여 시공 실무자의 자문을 실시하였다. 이를 통해 실무에서 중요하게 인식되는 기술적 리스크 요인을 추가적으로 도출하여 총 50개의 기술적 리스크 요인을 도출하였다.

표 17. 기술적 리스크 요인

번호	기술적 리스크 요인
1	• 계측 장비의 불완전한 시공(켈리브레이션, 고장 등)
2	• 압력 기기의 불완전한 시공(결함, 설치오류 등)

3	• 극저온 기기의 불완전한 시공
4	• AREA 간 연결 시 라이센서 시방 미고려
5	• 현장 조성시 중량물 조건 반영 미흡
6	• 케이블 설치 시 유도 전력 및 시공간섭 고려 미흡
7	• 고압/극저온 파이프의 용접 관리 미흡
8	• 고압/극저온 자재 및 장비에 대한 검수 미흡
9	• Long lead time 자재 및 장비에 대한 여유수량 확보 미흡
10	• AREA 별 성능 테스트 시 주요 변동사항 관리 미흡
11	• 시공 결과물 별 설계 요구성능 검토 미흡
12	• PROCESS 내부 클리닝 미흡
13	• AREA 별 성능 테스트 시 설계 시방 및 표준 절차 활용 미흡
14	• 중량물 설치시 주변 구조물 변위 고려 미흡
15	• 회전/진동 장비 및 자재 설치시 변위 고려 미흡
16	•계측/조명/필터등주기적유지보수필요사항에대한편의성고려미흡
17	• 케이블 풀링 시 단락/손상/벤딩 등 피해요인 관리 미흡
18	• 시공 중 현장 변동에 따른 수정사항 관리 미흡
19	• 자재 및 장비 관리 및 입불출상의 절차 및 검수 미흡
20	• 시공에 요구되는 특수 공구 및 장비 조달 미흡
21	• 구조물 시공시 파이프라인 이동 및 장비 설치 공간 고려 미흡
22	• 구조물 시공시 지반 및 중량물 조건 반영 미흡
23	• 현지 기온과 PROCESS 내부 온도의 차이에 의한 변동성 반영 미흡
24	• DCS 설치시 계측장비와의 연결 유효성 및 작동 신뢰성 검토 미흡
25	• 부식/훼손 방지를 위한 코팅 등 보호 작업 미흡
26	• 구매한 장비의 안전율 반영한 요구성능 확보 미흡
27	• 액화 설비 설치시 라이센서 및 설계 시방 반영 미흡
28	• 주요 장비 설치시 설계 시방 및 발주자 요구사항 반영 미흡
29	• 암전류/과부족전류 등 전류 안정화 검토 미흡
30	• 파이프랙 설치시 내부 설치 자재및 장비에 대한 변동성 반영 미흡
31	• 용접/콘크리트타설 등 날씨에 민감 작업의 시방조건 반영 미흡
32	• 패스트 트랙 적용시 설계 변경에 따른 시공 및 구매조달 일정 변동성 반영 미흡
33	• 설계 변경/오류에 따른 자재 및 장비 변동성 반영 미흡
34	• PROCESS 및 기기의 보온 작업 미흡
35	• BULK 자재 등 기본 자재 및 장비에 대한 성능검토 미흡

36	• 지하 매설물 및 구조물에 시공시 지하수/우수배수 등의 고려 미흡
37	• 시공 후 성능검사를 위한 체계적인 절차서 및 지식 관리 미흡
38	• 설치위치 별 자재 및 장비의 규격 및 품질 검토 미흡
39	• Pre-assemble/Module 화된 자재/장비 시공 시 연결 및 성능 관리 미흡
40	• Package item 에 대한 요구 성능 및 여유 자재 확보 미흡
41	• 자재/장비 별 현장 Inspection 절차서 수립 및 관리 미흡
42	• Module/Area 별 성능 검증 절차서 수립 및 관리 미흡
43	• Over size/weight 기기의 설치 및 이동 과정에서의 훼손/파손등 관리 미흡
44	• 시공 후 커미셔닝을 위한 CHEMICAL 클리닝 절차 및 관리 미흡
45	• 종합 커미셔닝을 위한 절차 및 가동용 전원 미흡
46	• 컴프레서 및 펌프 시운전을 위한 절차 및 필요 자원 확보 미흡
47	• Leaking 테스트를 위한 절차 및 필요 자원 확보 미흡
48	• 시운전 검증을 위한 전문인력 및 예비/특수 부품 확보 미흡
49	• 시공중 변동 사항 및 시운전 이력 및 특이사항 관리 도서 미흡
50	• 운영을 위한 예비 자재 부품 및 특수 공구 관리 미흡

(3) 리스크 중요도 평가

1) 검증 및 설문

시공 및 시운전 단계의 리스크 검증 및 중요도 평가를 위해 설문을 실시하였다. 중요도 평가는 삼축(PIC) 평가로 이루어졌다. 각 세부 리스크 요인은 발생빈도, 영향강도, 조정지수의 평가기준을 바탕으로 5점 리커트 척도를 이용하였다.

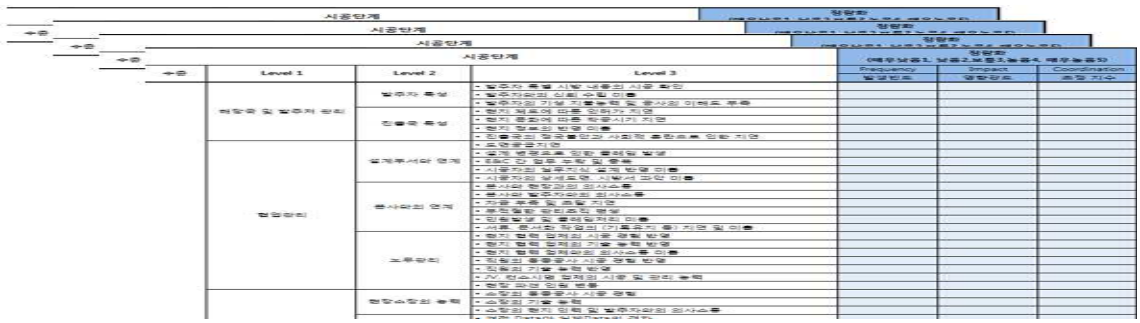


그림 13. 시공 및 시운전 단계의 리스크 중요도 평가

2) TOPSIS방법의 정당성

비율/선형 가중치 방법은 가장 전통적인 방식으로 가장 중요하다고 생각되는 기준에 가장 큰 가중치를 부여하는 방식으로 누구나 손쉽게 사용할 수 있고 이해하기 쉬

워 실무 적용성이 높은 장점이 있다.

세부 평가 지표를 다수의 전문가가 평가한 주관적/객관적 결과를 통합하여 최적의 해를 찾는 방법론으로서 다변수, 다 평가자를 통해 0~1 사이의 고유의 값으로서 계산해준다.

TOPSIS의 비율/선형 가중치 기법은 전문가에 의존하는 객관성확보에 취약한 단점이 있지만, 타 기법들에 비해 불확실성의 반영, 적용성, 정량적 기준 고려, 정성적 기준 고려의 장점을 가지고 있으며 기본적으로 거리의 개념을 활용하기 때문에 상대적으로 계산과정과 평가가 간단하다는 장점이 있어 실무활용도가 높음.

건설산업에서의 TOPSIS모델의 적용은 일반 제조업 분야에서는 널리 활용되어 왔지만 아직 건설 분야의 적용 사례는 미흡한 실정이나 리스크 평가 모델 선택, 발주방법 선택 등의 연구가 진행되어 왔음.

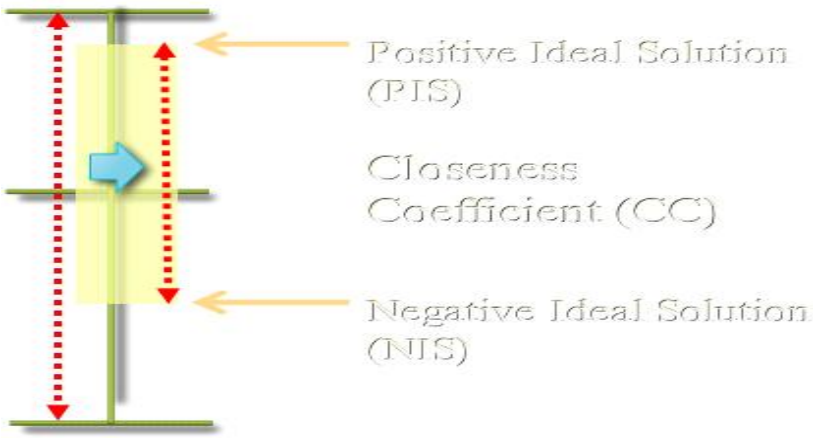


그림 14. TOPSIS를 통한 평가결과의 최적값 산정

다. 주요결과 및 시사점

시공 및 시운전 단계의 리스크를 사업 관리적 리스크와 기술적 리스크로 나누어 도출하였다. 사업 관리적 리스크는 총 58개 항목으로 이루어져 있으며, 이들은 6개의 중분류 항목으로 구분되며, 다시 15개 세부 항목으로 구분된다. 50개의 기술적 리스크를 추가로 도출하여 총 108개의 리스크 요인을 도출하였다. 이들 리스크 요인에 대한 전문가 검증 및 설문을 수행하였으며, 개별 리스크 요인에 대한 중요도를 도출하였다. 다수의 전문가가 참여한 중요도 설문은 TOPSIS 방법론을 활용하여 정량화를 수행하였다.

○ 시공 및 시운전 단계의 리스크 평가관리 모듈 개발

가. 개요

시공 및 시운전 단계는 “시공”을 위한 물리적 시간에 대한 관리가 중요하다. 특히 LNG플랜트 사업은 계약 및 설계의 지연, 구매조달의 불확실성, 국제 시장의 변동 등으로 인해 시공 및 시운전 단계를 위한 절대공기가 부족하고, 시공 단계에서는 사업 초반의 불완전 요소나 문제점이 실제적으로 발현되기 때문에 보다 전문적인 관리가 필요하다. 또한 시공 단계는 각 업무나 작업구간이 타 단계에 비해 상대적으로 장기간이 소요되며, 구매조달 등과는 달리 지속적인 참여가 필요하다.

본 절에서는 시공 및 시운전 단계를 위한 맞춤형 리스크 평가관리 모듈을 개발하였다. 우선 시공 및 시운전 단계를 시공계획 수립, 착공준비, 부지정리 및 가시설 준비, 건설, 시운전의 총 5 단계로 구분하여 사업관리적 리스크를 재분배 하였으며, 건설 스테이지(Construction Stage)를 다시 AREA로 구분하여 각 AREA의 특성에 기반한 기술적 리스크를 배치하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 시공 및 시운전 단계 구분

1) 단계별 특성 분석

시공계획 수립 단계 : 시공계획을 수립하는 단계에서는 공기 및 공사비 관련 계약조건을 기반으로 설계 성과물이 제공하는 시공 순서 및 시방, 구매조달 관련 제약사항을 전반적으로 고려한 계획이 수립 되어야 한다. 따라서 조건들 간의 충돌이나 업무간의 중첩이 발생하지 않는 범위 내에서 최대한 합리적인 일정 및 공사비 사용 계획을 수립해야 한다.

착공준비 단계 : 건설을 위한 인허가와 설계도서, 하도급 계약 도서 등 착공을 위한 제반 조건을 준비하는 단계이다. 현장인력 배치 및 Mobilization 관련 준비에 대한 철저한 확인이 필요하다.

현장 및 가시설 준비 단계 : 현장의 실제적인 준비를 하는 단계로서, 현장 유지를 위한 기본 기자재와 숙소 등 기초 시설을 준비한다. 초기 정착 인원을 소화 할 수 있을 정도의 기본 시설량이 요구되며, 시공을 위한 기초 조사와 현장 컨디션을 충분히 확인해야 한다.

건설 단계 : 실제적인 건설 단계로서, 주어진 시공계획아래 계약 요구 성능을 만족시키는 것을 목표로 실행하는 단계이다. 특히 건설 단계는 시공 및 시운전 단계에서 대부분의 기간과 목적물의 완성을 맡고 있는 단계로서, 세부 AREA 별 특성에 따라 관리요인과 방법에 차이가 많아 철저한 대비가 필요하다.

건설 단계를 건설 목적물을 세분화하여 관리하고 있으며, 대체로 LNG Plant Area, LNG Offloading Area, LNG Marine Trestle, LNG Storage Tank, Power Plant, Utilities & Offsites, Pipelines 으로 구분 할 수 있다.

시운전 단계 : LNG 플랜트의 최종 성능 및 완성도를 평가 및 검증하는 단계이다. 해당 단계 이후에는 발주자에게 모든 권리와 권한, 책임이 이전되기 때문에, 발주자는 시운전 단계를 주의 깊게 주시하고 있다.

시운전 단계는 시운전 프로세스 관리와 성능평가 관리로 구분 할 수 있다.

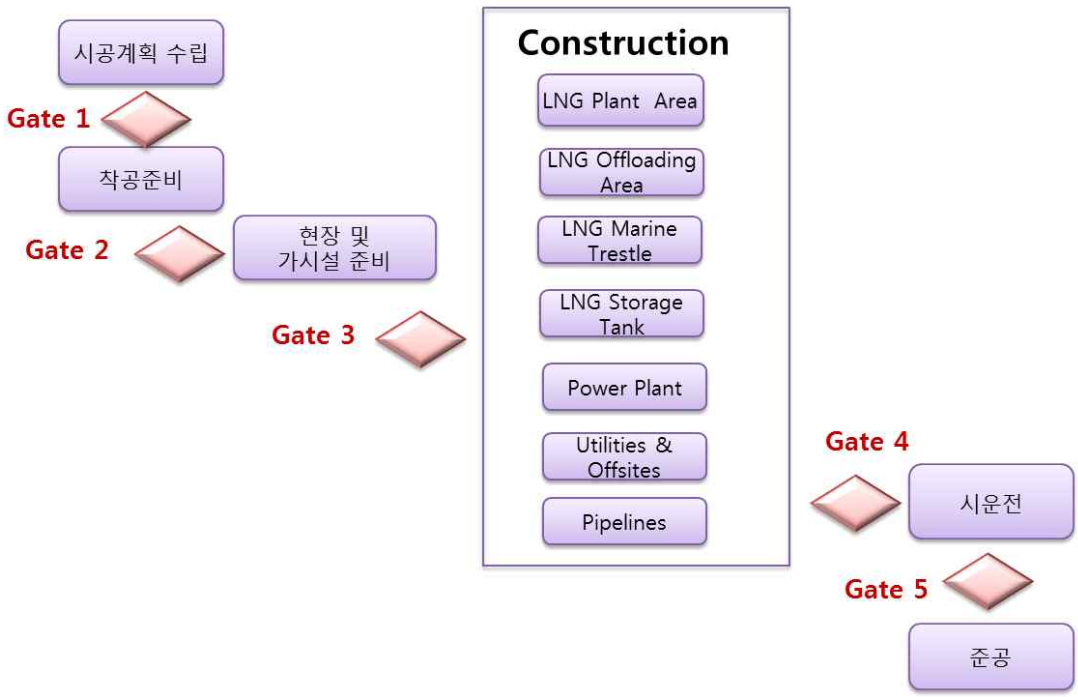


그림 15. 시공 및 시운전 단계의 Stage-Gate 모델

2) Stage별 리스크 요인

건설계획 수립 단계 : 사업관리 관점 58개 리스크를 그림 3의 시공 및 시운전 단계의 Stage-Gate 모델에 적용한 결과, '발주자의 시공관련 특별시방 확인"을 포함하여 총 22개의 리스크 요인이 확인 되었다.

착공준비 단계 : 사업관리 관점 58개 리스크를 그림 3의 시공 및 시운전 단계의 Stage-Gate 모델에 적용한 결과, '현장 투입 자금 부족 및 조달지연"을 포함하여 총 25개의 리스크 요인이 확인 되었다.

현장 및 가시설 준비 단계 : 사업관리 관점 58개 리스크를 그림 3의 시공 및 시운전 단계의 Stage-Gate 모델에 적용한 결과, "E&C 간의 업무 누락 및 중복"을 포함하여 총 21개의 리스크 요인이 확인 되었다.

건설 단계 : 사업관리 관점 58개 리스크를 그림 3의 시공 및 시운전 단계의 Stage-Gate 모델에 적용한 결과, '현지 협력업체와의 의사소통 미흡"을 포함하여 총 46개의 리스크 요인이 확인 되었다.

시운전 단계 : 사업관리 관점 58개 리스크를 그림 3의 시공 및 시운전 단계의 Stage-Gate 모델에 적용한 결과, '시공 완료된 공정의 성능문제 발생"을 포함하여 총 22개의 리스크 요인이 확인 되었다.

표 18. 사업 관리적 리스크 요인의 Stage 구분

Level 3	시공계획 수립	착공준비	현장준비 /가시설	시공	시운전
	gate1	gate2	gate3	gate4	gate5
• 발주자의 시공관련 특별시방 확인	0	0	0	0	0
• 발주자와의 신뢰 수립 미흡	0				
• 발주자의 기성 지불능력 및 공사의 이해도 부족	0	0	0	0	0
• 발주자의 과도한 시공 개입	0	0	0	0	0
• 현지 제도에 따른 인허가 지연	0	0	0	0	0
• 현지 문화에 따른 착공시기 지연	0	0	0	0	0
• 현지 기후 정보의 반영 미흡	0	0	0	0	0
• 진출국의 정국불안과 사회적 혼란으로 인한 지연	0	0	0	0	0
• 도면공급지연	0	0	0	0	
• 설계 변경으로 인한 클레임 발생		0	0	0	
• E&C 간 업무 누락 및 중복		0	0	0	
• 시공자의 실무지식 설계 반영 미흡		0	0	0	
• 시공자의 상세도면, 시방서 파악 미흡		0	0	0	0

• 본사와 현장과의 의사소통 미흡으로 인한 공기 지연	0	0			
• 본사와 발주자와의 의사소통 미흡으로 인한 공기 지연	0	0			
• 현장 투입 자금 부족 및 조달 지연	0	0			
• 부적절한 관리조직 편성	0	0			
• 민원발생 및 클레임처리 미흡	0	0			
• 서류, 문서화 작업의 (기록유지 등) 지연 및 미흡	0	0			
• 현지 협력 업체와의 의사소통 미흡				0	
• 직원의 동종공사 시공 경험 부족				0	
• 직원의 기술 능력 반영 미흡				0	
• JV, 컨소시엄 업체의 시공 및 관리 능력 미흡				0	
• 현장 파견 인원의 잦은 변동				0	
• 소장의 동종공사 시공 경험 부족				0	
• 소장의 기술 능력 반영미흡				0	
• 소장의 현지 인력 및 발주자와의 의사소통 미흡				0	
• 견적 Data와 실제 Data의 격차 발생			0	0	
• 자재 및 장비 가격 증가			0	0	
• 시공중 추가 자재 및 장비 발생				0	
•민원관리(노동쟁의)미흡	0	0	0	0	0
• 환경 관리 시설 부족	0	0	0	0	0
• 불합리한 현장 배치 계획 (차량 진입로 및 자재저장 등)				0	
•인접공구등 선행 공사의 지연				0	
• 연결부위 누출 대비 미흡				0	0
• 현장 내 화재 및 사고 관리 미흡		0	0	0	0
• 작업순서 및 인터페이스 파악 미흡				0	
• 적절한 시공공법 적용 및 파악 미흡				0	
• 자재 및 장비 조달 방식 파악 및 관리 미흡				0	
• LNG 공정의 시공 불확실성 (저장탱크				0	

용접순서 등)					
• 현지의 기후 및 날씨를 반영한 시공의 변동성 고려 미흡	0	0	0	0	
• 설계 전제조건과 현장 상황의 괴리				0	
• 불완전한 상세 설계로 인한 현장에서의 잦은 도면 수정				0	
• VENDOR 설계 및 제작능력 미흡				0	
• VENDOR 오 제작 및 불량발생				0	
• 보관 및 관리 미흡으 로 인한 주요 자재 및 장비의 부식				0	
• 시공 완료된 공정의 성능 불확실성				0	0
• 연결 부위의 품질 불확실성				0	0
• 실행 공사비 관리 미흡				0	
• 물가/환율 변동에 따른 대응 미흡				0	
• 전체 공기 반영한 실 시공 일정 관리 미흡	0	0	0	0	0
• 공사 지연 및 중단으로 인한 공기 불확실성	0	0	0	0	0
• 설계와 구매조달을 반영한 실제 시공 관리 미흡	0	0	0	0	0
• 시운전 일정 및 관리 미흡	0				0
• VALVE SEAT 이상으로 인한 시운전 지연					0
• COMMISIONING 요원의 MANUAL 미숙지					0
• COMMISIONING 요원의 OPERATION 경험 부족					0
• 시공 완료된 공정의 성능 문제 발생					0
소계	**22**	**25**	**21**	**46**	**22**

(2) 기술적 리스크 요인의 세분화

1) 리스크 특성 분석

Foundation : LNG 플랜트 건설과정에서 기초가 되는 지반, 기초, Site Layout 등을 통칭하는 것으로 각종 기자재 및 장비, 저장탱크 등의 하중과 위치를 담당하는 것으로 정의 할 수 있다.

기술적 관점의 50개 리스크를 Foundation 의 특성에 적용해 본 결과, '현장 조성시 중량물 조건 반영 미흡"을 포함하여 총 22개의 리스크 요인이 확인 되었다.

Structure : LNG 플랜트 액화 프로세스의 골격 및 각종 기자재 및 장비가 지탱하게 될 구조를 담당하는 것으로 정의 할 수 있다.

기술적 관점의 50개 리스크를 Structure 의 특성에 적용해 본 결과, '계측장비의 불완전한 시공(켈리브레이션, 고장 등)"을 포함하여 총 34개의 리스크 요인이 확인 되었다.

Facility : 액화 설비, 파이프라인 등 Foundation 이나 Structure 에 부착되거나 올려질 기기나 장비를 담당하는 것으로 정의 할 수 있다.

기술적 관점의 50개 리스크를 Facility 의 특성에 적용해 본 결과, "고압/극저온 자재 및 장비에 대한 검수 미흡"을 포함하여 총 38개의 리스크 요인이 확인 되었다.

표 19. 기술적 리스크의 특성 구분

번호	기술적 리스크 요인	구분		
		Foundation	Structure	Facility
1	• 계측 장비의 불완전한 시공(켈리브레이션, 고장 등)		0	
2	• 압력 기기의 불완전한 시공(결함, 설치오류 등)		0	
3	• 극저온 기기의 불완전한 시공		0	
4	• AREA 간 연결 시 라이센서 시방 미고려			0
5	• 현장 조성시 중량물 조건 반영 미흡	0		
6	• 케이블 설치 시 유도 전력 및 시공간섭 고려 미흡			0
7	• 고압/극저온 파이프의 용접 관리 미흡			0
8	• 고압/극저온 자재 및 장비에 대한 검수 미흡			0
9	• Long lead time 자재 및 장비에 대한 여유수량 확보 미흡	0	0	0
10	• AREA 별 성능 테스트 시 주요 변동사항 관리 미흡	0	0	0
11	• 시공 결과물 별 설계 요구성능 검토 미흡	0	0	0
12	• PROCESS 내부 클리닝 미흡		0	
13	• AREA 별 성능 테스트 시 설계 시방 및 표준 절차 활용 미흡	0	0	0

14	• 중량물 설치시 주변 구조물 변위 고려 미흡	0	0	0
15	• 회전/진동 장비 및 자재 설치시 변위 고려 미흡	0		
16	•계측/조명/필터등주기적유지보수필요사항에대한편의성 고려미흡			0
17	• 케이블 풀링 시 단락/손상/벤딩 등 피해요인 관리 미흡			0
18	• 시공 중 현장 변동에 따른 수정사항 관리 미흡	0	0	0
19	• 자재 및 장비 관리 및 입불출상의 절차 및 검수 미흡	0	0	0
20	• 시공에 요구되는 특수 공구 및 장비 조달 미흡	0	0	
21	• 구조물 시공시 파이프라인 이동 및 장비 설치 공간 고려 미흡	0		0
22	• 구조물 시공시 지반 및 중량물 조건 반영 미흡	0		
23	• 현지 기온과 PROCESS 내부 온도의 차이에 의한 변동성 반영 미흡		0	
24	• DCS 설치시 계측장비와의 연결 유효성 및 작동 신뢰성 검토 미흡			0
25	• 부식/훼손 방지를 위한 코팅 등 보호 작업 미흡		0	0
26	• 구매한 장비의 안전율 반영한 요구성능 확보 미흡		0	0
27	• 액화 설비 설치시 라이센서 및 설계 시방 반영 미흡	0	0	0
28	• 주요 장비 설치시 설계 시방 및 발주자 요구사항 반영 미흡	0	0	0
29	• 암전류/과부족전류 등 전류 안정화 검토 미흡			0
30	• 파이프랙 설치시 내부 설치 자재및 장비에 대한 변동성 반영 미흡		0	0
31	• 용접/콘크리트타설 등 날씨에 민감 작업의 시방조건 반영 미흡	0	0	0
32	• 패스트 트랙 적용시 설계 변경에 따른 시공 및 구매조달 일정 변동성 반영 미흡	0	0	0
33	• • 설계 변경/오류에 따른 자재 및 장비 변동성 반영 미흡	0	0	0
34	• PROCESS 및 기기의 보온 작업 미흡		0	
35	• BULK 자재 등 기본 자재 및 장비에 대한 성능검토 미흡	0	0	0
36	• 지하 매설물 및 구조물에 시공시 지하수/우수배수 등의 고려 미흡	0	0	0

37	• 시공 후 성능검사를 위한 체계적인 절차서 및 지식 관리 미흡	0	0	0
38	• 설치위치 별 자재 및 장비의 규격 및 품질 검토 미흡		0	0
39	• Pre-assemble/Module 화된 자재/장비 시공 시 연결 및 성능 관리 미흡			0
40	• Package item 에 대한 요구성능 및 여유 자재 확보 미흡	0	0	0
41	• 자재/장비 별 현장 Inspection 절차서 수립 및 관리 미흡		0	0
42	• Module/Area 별 성능 검증 절차서 수립 및 관리 미흡		0	0
43	• Over size/weight 기기의 설치 및 이동 과정에서의 훼손/파손등 관리 미흡		0	
44	• 시공 후 커미셔닝을 위한 CHEMICAL 클리닝 절차 및 관리 미흡		0	
45	• 종합 커미셔닝을 위한 절차 및 가동용 전원 미흡			0
46	• 컴프레서 및 펌프 시운전을 위한 절차 및 필요 자원 확보 미흡		0	0
47	• Leaking 테스트를 위한 절차 및 필요 자원 확보 미흡			0
48	• 시운전 검증을 위한 전문인력 및 예비/특수 부품 확보 미흡			0
49	• 시공중 변동 사항 및 시운전 이력 및 특이사항 관리 도서 미흡	0	0	0
50	• 운영을 위한 예비 자재 부품 및 특수 공구 관리 미흡		0	0
소계		22	34	38

2) Area 별 리스크 요인

LNG Plant Area : Foundation, Structure 가 요구되는 영역으로 기술적 리스크 38개가 필요하다.

LNG Off-loading Area : Foundation, Facility 가 요구되는 영역으로 기술적 리스 42개가 필요하다.

LNG Marine Trestle : Foundation, Structure, Facility 모두가 요구되는 영역으로 기술적 리스크 50개 전부가 필요하다.

LNG Storage Tank : Foundation, Structure, Facility 모두가 요구되는 영역으로 기술적 리스크 50개 전부가 필요하다.

Power Plant : Foundation, Structure, Facility 모두가 요구되는 영역으로 기술적

리스크 50개 전부가 필요하다.

Utilities & Offsites : Foundation, Facility 가 요구되는 영역으로 기술적 리스크 42개가 필요하다.

Pipelines : Structure, Facility 가 요구되는 영역으로 기술적 리스크 47개가 필요하다.

3) 리스크 평가 모듈

총괄 리스크 지수(수식 1)는 해당 세부 단계의 리스크 관리 정도를 나타낸 것으로, 지수가 낮을수록 세부단계 초기에 인식된 리스크가 제대로 해결되어 위험도가 낮아진 것을 나타냄. 각 stage 별 최소 기준을 설정하고, gate에서 평가를 진행 하며, 총괄 리스크 지수는 다음 세부단계를 진행할 때 전 세부단계의 리스크를 얼마나 고려해야 하는지에 대한 정도를 의미(총괄 리스크 지수의 최소 기준은 전문가 자문을 통해 수정될 예정임).

$$\text{총괄리스크지수}_{\text{구매조달 } i\text{단계}} = \frac{\text{재평가된 리스크 위험도}(\Sigma C_{residual})}{\text{단계 리스크 위험도}(\Sigma C_{initial})} \times 100 \qquad (1)$$

Step 1 : Registration Factor Management (RFM, 등록 요인 관리) : Stage 별 도출된 리스크는 각 Stage의 특성에 따라 다른 리스크 요인에 비해 상대적인 중요도가 높아 해당 Stage에서 필수적으로 고려해야 되는 리스크 요인과 상대적으로 중요도가 낮은 리스크 요인으로 분류할 수 있음(체크리스트 항목 중 “등록요인”부분에 PIC 점수가 높게 도출되어 리스크 등급이 높은 (A,B 등급) 리스크 요인 입력, stage 특성에 따라 필수 요인이 없을 수 있음). 이러한 분류체계를 기반으로 1단계 리스크 관리 모듈(RFM, 등록 요인 관리)에서는 등록 요인에 대해서만 평가 및 관리를 진행하고, 등록 요인에 대해서 리스크의 특성을 2가지 기준(내부/외부, Control/Un-control)로 구분하고 이를 다시 주요대응 방향(비용, 공기, 품질)을 설정하여, 관리 담당 및 대응방안을 제시하여 주기적으로 모니터링하고 PIC 점수를 재평가 수행. 리스크 관리의 주기는 해당 리스크 요인을 해결하는데 소요되는 시간에 따라 일이나 주 단위가 될 수 있으며, 재 수행 과정에서 주요 대응 방향에 따른 대응방법을 선택하여 리스크

관리를 진행하고, 각 리스크 요인의 PIC 특성을 확인하여 특성별 관리 전략을 통해 PIC 점수가 일정이상 하락할 때까지 등록 요인에 대한 관리를 진행. 재평가 과정에서 모든 관리 주기 및 일정이 완료된 경우, 2단계 총괄 리스크평가를 진행.

Step 2 : Overall Risk Evaluation (ORA, 총괄 리스크 평가) : 1단계 리스크 평가 이후 필수 리스크 요인인 등록 요인을 포함한 전체 리스크 요인에 대한 리스크 위험도를 결정. 리스크 위험도를 측정하기 위해서 앞에서 설명한 총괄 리스크 지수를 사용하며,(식 (1) 참조). 총괄 리스크 지수는 초기 PIC 점수 대비 필수 요인에 대한 리스크 관리 후의 재평가 된 PIC 점수의 비율로 나타낼 수 있음. 이를 통해 총괄 리스크 지수를 계산하여, 각 stage에서 요구하는 최소 기준의 충족 여부를 확인하고 리스크 관리의 성공정도를 확인 가능.

총괄 리스크 지수가 30 점 이하인 경우에는 전반적으로 리스크 관리가 잘 되었다고 판단 할 수 있으며, 60 점 이상인 경우에는 리스크 관리가 제대로 되지 않은 것으로 판단 할 수 있음.

다. 주요결과 및 시사점

시공 및 시운전 단계를 시공계획 수립, 착공준비, 부지정리 및 가시설 준비, 건설, 시운전의 총5 단계로 구분하여 각 단계를 정의하였으며, 이후 사업 관리적 리스크를 단계의 특성에 맞추어 재분배 하였다.

또한 건설 스테이지(Construction Stage)를 다시 AREA로 구분하여 각 AREA의 특성에 기반한 기술적 리스크를 배치하였다. 기술적 리스크를 배치하는 과정에서 리스크를 Foundation, Structure, Facility로 나누어 정의하였으며, 이를 바탕으로 AREA 별 특성이나 사용자의 관점에 따른 리스크의 탄력적 적용이 가능하게 하였다.

마지막으로 지난 차 년도에서 개발된 리스크 평가모듈을 적용함으로서, 시스템 개발을 위한 통일성을 유지하였다.

○ 시공 및 시운전 단계의 리스크 대응 방안 수립

가. 개요

이전 절에서 시공 및 시운전 단계에서 발생되는 리스크를 크게 사업 관리적 리스크와 기술적 리스크로 구분하였다. 리스크는 사업의 성과에 영향을 미치게 되는데, 성과는 크게 공기, 공사비, 성능(품질)로 구분된다.

시공과정 중에 발생하는 리스크는 대부분 공기 및 공사비의 변동을 야기하게 되며, 효과적인 리스크 평가관리 체계를 통해 그 여파를 최소화 하거나 미연에 방지하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 시운전 과정 중에 발생하는 리스크는 대부분 성능 및 품질의 저하나 미흡으로 나타나기 때문에 각 문제점의 원인과 해결방안을 도출 할 수 있도록 도와주는 것을 목표로 하고 있다.

본 절에서는 리스크 대응방안을 수립하기 위해, 시공단계와 시운전 단계의 목표를 구분하였다. 또한 이들 목표를 바탕으로 문제 발생 시 원인과 해결방안을 보다 구체화 할 수 있도록 지원하는 방안을 개발하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 시공 단계

1) 시공 단계의 목표

시공단계는 계약, 설계, 구매조달 단계에서 수행되었던 결과물을 기반으로 실제적인 목적물을 구체화 하는 단계이다. 따라서 계약 조건과 설계도서 그리고 구매조달 기기 등을 종합하여 주어진 일정과 공기에 맞추어 건설을 하는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 현실에서는 시공을 위해 주어진 일정과 공기가 달성하기 어려운 경우가 많으며, 이전 단계의 결과물 또한 확정되지 않거나 문제점을 내재한 채로 진행되는 경우가 다수이다. 이에 시공 단계는 이들 불확실성과 문제점을 최소화 하는 것을 목표로 리스크를 평가관리 해야 한다.

계약서에 명시된 요구 성능, 공기, 공사비, 발주자 요구사항 등에 대한 반영이 필요하다. 설계 도서에 명시된 시방조건, 스펙조건(Specification), 연결(Linkage) 등에 대한 반영이 필요하다. 구매조달 계약서에 명시된 물류 조건, 구성품(Package), 일정, 검수 조건(Inspection) 등에 대한 반영이 필요하다.

시공 단계에서의 리스크 평가는 시공 단계를 효과적으로 마무리 하는 것을 목표로

하고 있으며, 특히 사업 관리적 리스크는 시공단계까지를 목표한다. 사업 관리적 리스크는 이후 단계인 시운전단계에서 활용될 여지가 부족하다. 그러나 기술적 리스크는 이후 단계에서 원인 분석을 위한 활용도구로서 사용 될 수 있다.

사업 관리적 리스크는 시공완료를 목표로 하고 있으며, 시공 과정에서 발생 가능한 프로세스 간섭, 안전, 절차 등을 중점적으로 관리한다.

기술적 리스크는 시공완료 및 완료후의 문제점 검증에 도움이 될 수 있으므로 해당 리스크에 대한 지속적인 관리 및 기록이 필요하다

(2) 시공 단계의 리스크 대응 방안

시공과정에서 발생하는 리스크는 현장내부의 문제점이 대부분이며, 외부적 요인으로 발주자 간섭과 물류의 불확실성이 제일 크다고 할 수 있다. 이들 리스크는 사업의 공기연장과 공사비 증액을 발생시키며, 의사결정자는 공기와 공사비를 합리적 수준에서 조율해야 한다.

리스크의 대응 및 관리의 목적은 가능한 한 리스크의 부정적인 영향을 제거하고, 리스크에 대한 통제력을 증가시켜 사업관리에 있어 비용 및 일정의 영향을 최소화하 한다. 리스크의 대응은 대응 전략의 수립과 대응 전략의 할당이라는 두 가지 방향으로 제시될 수 있으며, 대응 전략은 크게 리스크 회피, 리스크 감소, 리스크 보유, 리스크 전가의 4가지 방법으로 구분될 수 있다.

- 리스크의 회피 : 리스크를 다루는 직접적인 방법으로 리스크와 관련된 활동을 회피하여 리스크를 처리한다.
- 리스크의 감소 : 리스크가 발생할 경우 확률 및 영향강도, 조정지수를 감소시킨다.
- 리스크의 보유 : 회피하거나 전가할 수 없는 리스크를 감수한다.
- 리스크의 전가 : 적절한 계약을 통해 리스크의 잠재요인을 제 3자에게 떠넘기거나 공유한다.

위의 4가지 전략에 기초하여 사업 관리적 관점 및 기술적 관점의 개별 리스크 요인별 대응방안을 제시하였으며, 추후 전문가 자문을 실시하여 대응방안을 수정·보완하고자 한다.

이러한 리스크 요인 별 대응방안은 PIC평가체계에 의한 우선순위 도출 후에 이루

어지며 추가적으로 해당 리스크 별 확률, 영향강도, 조정지수의 영향정도를 평가하고 각각의 특성에 맞는 대응 전략을 제시한다.

- P(발생확률) : 발생확률이 높은 수준으로 나타난 경우 상시모니터링 시스템을 가동하여 리스크의 발생 여부를 확인 할 수 있게 하며, 상시모니터링이 불가능할 경우 주기적인 모니터링 시스템을 통한 리스크의 발생여부를 확인한다.
- I(영향강도) : 영향강도가 높은 수준으로 나타난 경우 리스크의 감소를 위해 노력하되, 발생된 경우 참여자 각자가 합리적으로 받아들일 수 있는 정도의 리스크 수준으로 나누어 책임을 지도록 사전에 합의한다.
- C(조정지수) : 조정지수가 높은 수준으로 나타난 경우 이러한 리스크는 발생확률과 영향강도가 낮다 하더라도 해결하기 위해 여러 공종의 참여자가 관련되거나 해결을 하기 위한 절차가 복잡하여 책임소재의 불분명으로 인한 공기지연, 공사비 증가의 가능성이 높음. 따라서 이러한 리스크의 경우 공종별 참여자를 포함하는 Task Force 팀을 구성하여, 협의 하에 해결방안을 강구해야 한다.

(3) 시운전 단계

1) 시운전 단계의 목표

시운전 단계의 리스크 관리는 크게 시운전 프로세스 관리 와 기기별/AREA별 성능평가 관리로 나눌 수 있다. 따라서 시운전 단계의 목표 또한 두 가지로 나누어 볼 수 있으나, 궁극적인 목표는 안정적인 시스템과 요구 성능 구현의 검증이다.

- 시운전 프로세스 관리 : 시운전은 운영단계에서의 생산업무 및 위험 요인을 사전에 발견하고 재발방지책을 수립하는 것을 목표로 하고 있다.
- 성능평가 관리 : 시운전은 개별 시운전과 종합 시운전으로 나뉘며, 개별 시운전의 경우 각각의 기기나 AREA 별로 요구 성능이나 기계적 결함을 찾는 것을 목표로 한다. 반면에 종합 시운전은 전체 공정을 통해 요구된 효율과 생산물이 안

정적으로 생산되는지를 검증하는 것을 목표로 한다.

2) 시운전 단계의 리스크 대응 방안

시운전의 개별 목표에 따라 리스크 대응방안도 달라진다. 우선 시운전 프로세스 관리의 리스크는 시운전 단계에 한정하여 절차적/방법론적으로 문제점이나 오류가 발생하지 않도록 관리 하는 것이며, 성능평가관리는 요구 성능이 미흡한 기기나 AREA에 대해 시공단계와 시운전 단계의 리스크를 통해 원인 분석 및 후속 조치를 하도록 지원하는 것이다. 시운전 단계의 리스크는 이후의 단계로 전가하거나 미룰 수 없으므로, 해당 단계 안에서 모두 해결해야 한다.

- 시운전 프로세스 관리 : 시운전 단계의 절차 및 방법론 수행 과정에서 오류나 미적용 사항을 방지하기 위한 과정으로서, 관련 리스크 발생 시 시운전 절차를 중지하고, 오류사항 수정 및 재작업을 수행하여야 한다. 또한 절차적으로 문제가 발생 시 이를 기록하고 후속 작업내용을 추적관리 해야 한다. 해당 리스크들은 시운전 단계 내부에서만 작동하는 리스크로서 시운전 프로세스 관리 과정에서 모두 적용 및 해결되어야 한다.
- 성능평가 관리 : 성능평가 관리는 시운전 검증 과정에서 각 기기나 AREA 혹은 전체 프로세스에서 계약 요구 성능이나 설계 성능에 부합하지 못할 경우에 집중적으로 관리되어야 할 리스크 요인이다. 성능평가 관리 관련 리스크는 기술적 리스크를 기반으로 구성되어 있으므로 특정 기기나 AREA에서 불확실한 성능이 도출될 경우, 원인이 되는 주요 구성이나 작업과정을 추적해 주는 기능을 한다. 기술적 리스크는 각 기기나 AREA 별로 주요 작업이나 특수 공종에 대한 해결정도를 나타내고 있으므로, 시공 단계에서의 기술적 리스크 평가 결과를 해당 기기 및 AREA의 성능평가 결과와 연계하여, 위험도가 높았던 리스크 관련 작업부터 재점검 혹은 재시공해야 한다.

다. 주요결과 및 시사점

리스크 대응방안의 수립을 위해 시공 및 시운전 단계를 세부화 하여 목표를 설정하였으며, 목표에 맞추어 리스크 대응 방안을 수립하였다. 우선 시공 및 시운전 단계를 시공단계와 시운전 단계로 구분하였으며, 시운전 단계를 다시 시운전 프로세스 관리와 성능평가 관리로 구체화 하여 각각의 목표 및 대응방안을 수립하였다.

시공 단계의 리스크는 사업 관리적 리스크를 통해 시공단계 내부의 리스크를 대응하였으며, 리스크 회피, 감소, 보유, 전가의 기본 관리 방안에 PIC 평가체계를 활용한 대응전략을 활용하였다.

시운전 단계의 리스크는 시운전 프로세스 관리를 통해 최종적인 리스크 대응을 수행하도록 하였으며, 성능평가 관리를 통해 성능 불확실성 발생 시 기술적 리스크를 활용한 대응이 가능하도록 하였다.

○ 시공성 평가관리 모듈 개발

가. 개요

건설 시공 생산의 비효율성은 기본적으로 설계와 시공이 별개로 여겨져 오면서 건설 프로젝트의 각 단계의 원활한 의사소통 및 협조가 어려운 구조에 의해 발생되었다. 기존의 계약방법에서 설계와 시공이 분리되어 프로젝트의 각 단계를 통합하여 서로의 정보를 공유하는데 어려움이 있고 팀워크를 저해시킬 뿐만 아니라 자신의 권리만을 주장하게 되는 문제가 야기되었다. 이러한 건설 프로젝트의 각 프로세스의 분리로 인한 문제점에 대응하기 위한 개념으로 시공성이 등장하였다.

초기 시공성 개념은 각각의 프로젝트의 계획, 자원조달, 합리적 설계, 품질관리에 국한되었지만 최근에는 시공성의 개념이 프로젝트의 전체 생애주기로 확대되어 기획, 설계, 구매조달, 시공, 유지관리 등 건설프로젝트의 각 단계가 효과적으로 통합하여 시공단계에서 시공법의 변경, 재작업을 최소화하고 안전한 시공과 함께 품질을 향상시킬 수 있도록 시공지식과 경험을 적용하는 것으로 정의되고 있다. 이에 설계 단계 및 시공 단계에 대하여 시공성에 영향을 주는 요소에 대해 구조방정식 모델을 활용하여 시공성 평가관리 모듈을 개발하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 연구 방법론

1) 설문 조사

건설 프로젝트의 실무자를 대상으로 설문조사를 실시하여 시공성 영향요소에 대한 설계, 시공, 본사지원 분야의 실무 종사자들의 설문을 수집하였다. 설계 및 시공단계에서 시공성에 직접적으로 영향을 주는 설계, 시공, 본사지원 직무의 종사자들을 주 대상으로 하였으며 일부 감리 등 발주처 부서 종사자도 포함하였다. 설문지를 통한 조사방법은 선정된 요소들의 시공성 영향정도를 리커트(Likert) 등간척도를 이용하여 최고점수를 7점, 최저점수를 1점으로 설정하였다. 이를 통해 실무 전문가들이 참여한 건설 프로젝트에 대하여 각 영향요소의 만족도와 시공성 영향정도를 리커트 척도로 평가하도록 하였다.

2) 구조방정식

구조방정식 모델은 구성 개념들 간에 어떠한 원인, 결과가 존재할 때 인과구조 분석을 통하여 그들의 관계를 설명하는 분석으로 잠재변수들 간의 상호관계를 파악할 수 있다. 그러나 잠재변수는 추상적으로 이론적인 특성을 지니고 있으므로 정량적인 분석을 위해서는 추상적 잠재변수를 정량적으로 관찰할 측정지표를 통해 가설적 인과관계를 밝혀내야 한다. 잠재변수들 간의 이론적 인과관계와 측정지표를 통해 경험적 인과관계를 분석할 수 있도록 개발된 통계적 방법이 구조방정식 모델이다. 구조방정식 모델의 특징은 다음과 같다.

- 종속변수와 독립변수에 대해 측정오차를 고려할 수 있다.
- 잠재변수를 포함하는 모델을 구축할 수 있으며 잠재변수에 다수의 측정지표를 적용할 수 있다.
- 복잡한 이론적 구조에 대하여 쉽게 분석이 가능하다.
- 모델의 표현방법과 수정이 용이하여 대체적 가설이나 모델의 비교를 통해 어느 것이 우월한가를 검정하는데 적합하다.
- 모델을 단계적으로 수정해 갈 수 있으므로 모델의 개량이 용이하다.
- 기존의 다변량분석에서 다루고 있는 거의 모든 분석기법을 하위모델로 포괄한다.

구조방정식 모델이 측정 오차에 대한 고려가 가능하고, 설계, 시공, 본사지원 분야의 참여자들 간의 상호작용 및 각 영향요소들이 건설 프로젝트의 시공성에 미치는 직·간접적인 효과의 추정을 통해 거시적인 관점에서의 인과관계를 규명하는데 적합하다고 판단된다.

구조방정식 모델은 기존의 탐색적인 요인분석보다 강력한 확인요인분석을 할 수 있으며 요인과 변수사이의 관계성을 구체화하는데 도움을 줄 수 있다. 구조방정식 연구절차는 다음과 같은 단계로 진행된다.

- 1단계 : 문제인식
- 2단계 : 연구모형과 연구가설 개발
- 3단계 : 경로도 구축
- 4단계 : 입력유형의 선택

- 5단계 : 모형의 분석 및 적합도 평가
- 6단계 : 모형의 해석
- 7단계 : 최종모형 선택

3) 연구 결과

시공성에 관한 기존 문헌고찰과 해외건설 프로젝트의 실무 전문가 자문을 통해 도출한 시공성 영향요소 및 측정항목을 통하여 8개의 잠재변수 및 34개의 측정변수를 설정하여 시공성 영향요소들의 영향관계를 나타내는 연구모형을 도출하였다. 이후 확인요인분석을 통해서 요인계수의 점수가 낮은 변수 9개를 제거한 결과, 전체 25개의 변수를 구조방정식의 측정변수로 사용하여 모델을 구성하였다. 최종 선정된 8개 잠재변수 및 25개 측정변수는 다음과 같다.

표 20. 확인요인분석을 통한 최종 잠재변수 및 측정변수

잠재변수	No	측정지표	기호
설계의 복잡성 (D1)	1	재료의 표준화, 규격화 반영미흡	D11
	2	발주처의 무리한 설계기준 및 기술요구	D12
	3	시공작업의반복/단순화고려미흡	D13
설계의 정확성 (D2)	4	불합리한 배치계획 (Utilityfacility등)	D21
	5	실행공사비반영미흡	D22
	6	부적절한 장비/자재설계적용	D23
	7	설계 오류로 인한 재설계 (단위불일치,결함,누락등)	D24
설계-시공간의 Interaction (D3)	8	진출국의현장조건의고려(지질등사전조사)미흡	D31
	9	시공자의 실무지식 설계 반영 미흡	D32
	10	시공자의 상세도면, 시방서 파악 미흡	D33
생산관리 (C1)	11	적절한 시공공법 적용 및 파악 미흡	C11
	12	작업순서 및 인터페이스 파악 미흡	C12
	13	자재 및 장비 조달방식 파악 및 관리 미흡	C13
현장관리 (C2)	14	불합리한 현장 배치 계획	C22
	15	진출국의 열악한 인프라 시설(전원, 용수, 통신 등)	C24
	16	안전관리(안전설비 및 사고관리) 미흡	C25
협업관리	17	협력(현지)업체의 시공 및 기술능력 부족	C32

(C3)	18	현지 노무의 생산성 및 의사소통 능력 부족	C33
본사연계 및 기타업무 (A1)	19	부적절한 관리조직 편성	A12
	20	물가/환율 조사 및 대응 미흡	A13
	21	민원발생 및 클레임처리 미흡	A14
	22	서류, 문서화 작업의(기록유지 등) 지연 및 미흡	A15
진출국/ 발주처 여건 (A2)	23	진출국의 제도(인허가) 특성 고려 미흡	A21
	24	진출국의 문화 특성에 따른 시공의 변동성 미흡	A22
	25	진출국의 정국불안과 사회적 혼란으로 인한 지연	A24

위의 결과를 바탕으로 최초 구조방정식 모델을 구성하였다. 기본적으로는 시공의 용이성, 품질확보 측면에서의 시공성은 시공단계에서 직접적인 영향을 받지만 설계와 본사지원 업무는 간접적으로 시공성에 영향을 준다는 가정 하에 각 잠재변수별 직·간접적인 영향정도를 분석하기 위하여 연구의 모형을 설정하였다. 해외건설 프로젝트의 시공성 평가를 위한 구조방정식 모델은 각종 문헌고찰 및 전문가 자문을 통하여 인과관계를 구성하였으나, 실제로 이러한 연구모델이 설문조사를 통해 수집된 데이터를 통해 검증되는지를 판단하는 과정이 필요하다. 기존 구조방정식 연구논문 및 통계이론 문헌을 통하여 일반적으로 사용되는 적합도 지수를 적합도 판단에 활용하였다. 최초 구조방정식 모델의 적합도 결과는 다음과 같다.

표 21. 최초 구조방정식 모델의 적합도 결과

적합도 지수	적합도 기준값	최초 구조방정식 모델	만족여부
CMIN/DF	2이하	2.381	X
RMR	0.08이하	0.132	X
GFI	0.9이상	0.675	X
CFI	0.9이상	0.745	X
IFI	0.9이상	0.750	X
RMSEA	0.1이하	0.097	X

구조방정식 모델의 적합도를 향상시키는 방법은 수정지수를 통하여 오차간 공분산을 설정하거나 요인적재량의 통계적 유의성을 기준으로 측정모델을 수정하는 방법이 있으며 경로를 새롭게 추가하거나 기존 경로를 삭제하여 적합도를 향상시킬 수 있다. 이의 네가지 방법을 모두 검토하여 단계적으로 적합도를 향상 시켰다.

적합도 향상과정을 통해 도출된 구조방정식 모델의 경우 총 6개의 적합도 지수에서 GFI와 RMR의 적합도 지수가 기준값보다 다소 낮게 나타났지만 나머지 다른 적합도 지수를 모두 만족시켰다. 최종 구조방정식 모델은 다음과 같다.

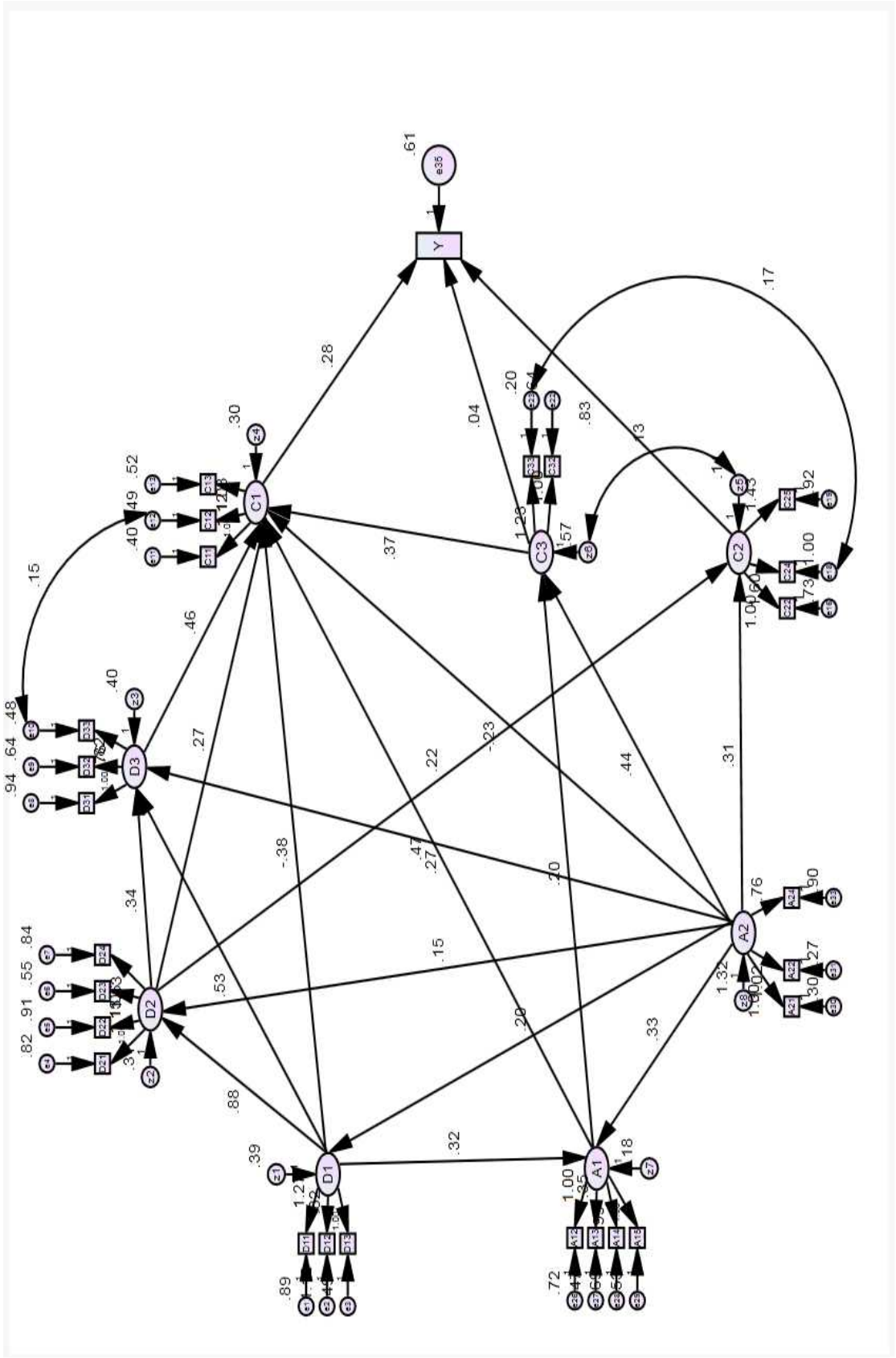


그림 16. 최종의 구조방정식 모델

구조방정식 모델은 시공성에 대하여 각 잠재변수의 직접효과와 간접효과를 구분하여 분석할 수 있다. 직접효과(direct effect)는 잠재변수가 종속변수인 해외건설 프로젝트의 시공성에 직접 연결된 경우에 해당하는 직접 영향효과를 의미하며, 간접효과(indirect effect)는 종속변수에 직접 연결되어 있지는 않지만 다른 잠재변수를 통해 간접적으로 연결되는 변수를 의미한다. 전체효과(total effect)는 직접효과와 간접효과의 합으로 표시되어 나타난다. 잠재변수별 총 효과와 직접효과, 간접효과는 다음과 같다.

표 22. 시공성에 미치는 영향 요약

잠재변수	Total effect	Direct effect	Indirect effect
설계의 복잡성	.260	0	.260
설계의 정확성	.262	0	.262
설계-시공간의 Interaction	.282	.223	.059
생산관리	.113	.113	0
현장관리	.301	.328	-.027
협업관리	.202	.148	.054
본사연계 및 기타업무	.033	0	.033
진출국/발주처 여건	.500	0	.500

시공성에 미치는 직접효과는 시공단계와 관련된 잠재변수와 '설계-시공간의 Interaction'에서 나타났으며 현장관리, '설계-시공간의 Interaction', 협업관리, 생산관리 순으로 영향정도가 크게 분석되었다. 간접효과로는 진출국/발주처 여건이 가장 크게 나타났으며 이는 설계단계와 시공단계의 전 과정에서 가장 많은 잠재변수에게 간접적으로 영향을 주는 것으로 해석할 수 있다. 최종 구조방정식 모델을 통한 잠재변수별 시공성 영향강도의 총효과를 살펴보면 '진출국/발주처 여건'이 가장 크게 나타났으며 '현장관리', '설계-시공간의 Interaction'순으로 나타났다.

결과에 대하여 자문을 받은 결과 시공성과 관련한 잠재변수들의 우선순위는 의미가 있으며 국내건설 프로젝트와 달리 해외건설 프로젝트는 진출하려는 해당국가의 환경에 의하여 프로젝트의 성패가 크게 차이난다고 한다.

구조방정식 모델에서는 잠재변수와 측정변수 간의 인과관계를 경로계수를 통해 파악할 수 있다. 표준화 경로계수(standardized path coefficient)를 이용하면 경로의

크기를 직접적으로 비교할 수 있으며 AMOS 분석 툴에서는 standardized Regression Weights로 제시된다.

표 23. 표준화된 인과계수(Standardized Regression Weights)

잠재변수와 측정변수의 경로	Estimate
재료의 표준화, 규격화 반영미흡 ← 설계의 복잡성	.676
발주처의 무리한 설계기준 및 기술요구 ← 설계의 복잡성	.457
시공 작업의 반복/단순화고려미흡 ← 설계의 복잡성	.690
불합리한 배치계획 (Utility facility등) ← 설계의 정확성	.696
실행공사비반영미흡 ← 설계의 정확성	.695
부적절한 장비/자재설계적용 ← 설계의 정확성	.793
설계 오류로 인한 재설계 (단위 불일치, 결함, 누락 등) ← 설계의 정확성	.735
진출국의현장조건의고려(지질등사전조사)미흡 ← 설계-시공간의 Interaction	.717
시공자의 실무지식 설계 반영 미흡 ← 설계-시공간의 Interaction	.706
시공자의 상세도면, 시방서파악 미흡 ← 설계-시공간의 Interaction	.753
적절한 시공공법 적용 및 파악 미흡 ← 생산관리	.823
작업순서 및 인터페이스 파악 미흡 ← 생산관리	.811
자재 및 장비 조달방식 파악 및 관리 미흡 ← 생산관리	.821
불합리한 현장 배치 계획 ← 현장관리	.583
진출국의 열악한 인프라 시설(전원, 용수, 통신 등) ← 현장관리	.713
안전관리(안전설비 및 사고관리) 미흡 ← 현장관리	.678
협력(현지)업체의 시공 및 기술능력 부족 ← 협업관리	.791
현지 노무의 생산성 및 의사소통 능력 부족 ← 협업관리	.912
부적절한 관리조직 편성 ← 본사연계 및 기타업무	.604
물가/환율 조사 및 대응 미흡 ← 본사연계 및 기타업무	.790
민원발생 및 클레임처리 미흡 ← 본사연계 및 기타업무	.620
서류, 문서화 작업의(기록유지 등) 지연 및 미흡 ← 본사연계 및 기타업무	.765
진출국의 제도(인허가) 특성 고려 미흡 ← 진출국/발주처 여건	.903
진출국의 문화 특성에 따른 시공의 변동성 미흡 ← 진출국/발주처 여건	.916
진출국의 정국불안과 사회적 혼란으로 인한 지연 ← 진출국/발주처 여건	.673

다. 주요결과 및 시사점

시공성 개념을 도입하여 건설 프로젝트에서의 시공성 평가모델을 개발하고자 하였다. 설계단계와 시공단계에 각 단계별 시공성에 영향을 미치는 요소들을 도출하였으며 설계와 시공단계에서의 시공성 영향요소의 직·간접적인 영향정도를 통하여 인과관계를 살펴보았다. 구조방정식 모델의 직·간접적인 영향강도를 확인하고 측정변수의 인과계수를 통하여 세부항목을 고려한 진출 전략 및 대응방안을 수립하면 시공성 향상을 위한 가장 효과적인 전략을 제시할 수 있으며, 비용절감, 공기단축과 같은 성공적인 프로젝트 수행에 기여할 수 있다.

5. 단계별 통합 리스크 관리 기법 개발

○ 통합 리스크 관리 모듈 개발

가. 개요

LNG 플랜트 공사의 특성 중 하나는 단계별 연관성이 높다는 것이다. 하지만 대부분의 리스크와 관련된 연구들이 단계 간의 연관성 보다는 각 단계 자체의 리스크 요인에 대한 분석을 위주로 이루어졌다. 각 단계별 리스크 요인을 분석하고 이에 대응하는 해결방안을 제시하는 것에서 그치는 것이 아니라 개별 단계에서 발생하는 위험요인이 다음 단계에는 어떤 영향을 미치는지 알 수 있다면 예방적 차원의 리스크 관리 방안을 수립할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 LNG 플랜트 공사의 단계를 설계, 구매조달, 시공의 3단계로 나누고 LNG 플랜트 공사의 리스크 인자들을 3단계, 17개의 분류체계로 나누고 각 단계 간의 리스크 인자들의 상호관계를 분석하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 통합적 리스크 관리의 필요성

LNG플랜트 공사는 EPC나 턴키발주가 많아 각 단계간의 연관성이 높다. 따라서 설계, 구매조달, 시공단계에서 발생되는 위험요인 분석에 관한 연구가 요구된다. 하지만 기존의 연구들은 LNG플랜트 공사의 특정 단계에 대해서만 연구가 진행되었거나, 모든 단계를 고려했더라도 단계간의 영향을 고려하지 못하였다. 앞서 말했듯이 플랜트 공사는 각 단계간의 연관성이 높아 선·후행 관계에 근거하여 인과관계를 파악한다면 리스크 대응뿐만 아니라 예방차원의 리스크 관리를 해나갈 수 있을 것이라 기대된다.

(2) 통합적 리스크 관리 모듈 프레임워크

기존의 리스크 요인들을 공통적인 특성에 따라 중분류로 통합하는 작업을 진행하여 3단계 17개의 분류(R1~R17)로 나타내었다. 이 리스크 분류체계를 이용하여 설계단계의 특정 리스크가 구매조달, 시공 단계의 어떤 리스크에 영향을 미치는지, 구매조달 단계의 특정 리스크가 시공 단계의 어떤 리스크에 직접적인 영향을 미치는지 평가하고자 하였다. 다만, 각 수행단계별 중분류를 대상으로 리스크가 갖는 공통적인 특성만을 고려하였기 때문에, 동일한 수행단계 내에서의 각 분류간의 선·후행 관계를 분석

하고 인과관계를 정의하는 것은 충분한 의미를 갖지 못한다고 판단하여 고려하지 않았다. 또한, 영향도 분석 결과를 토대로 각 분류에 대한 특성을 가장 잘 드러내고 큰 영향도를 가지는 핵심리스크 인자 2개를 선정하는 작업을 추가적으로 진행하였다.

(3) 리스크 점수 산정 방식



그림 17 리스크 점수 산정 시스템

해외 플랜트 사업 전문가를 대상으로 해당 리스크 요인에 대한 P(probability, 발생확률), I(impact, 영향강도), C(coordination, 조정지수)에 대해 5점 척도로 평가

- 계산식 : $\sqrt{P^2+I^2+C^2}$

위의 식을 통해 계산된 리스크 점수가 0 ~ 1 사이의 상대적인 값을 갖도록 표준화하여 4가지 등급으로 표현 (A:매우높음, B:높음, C:보통, D:낮음)

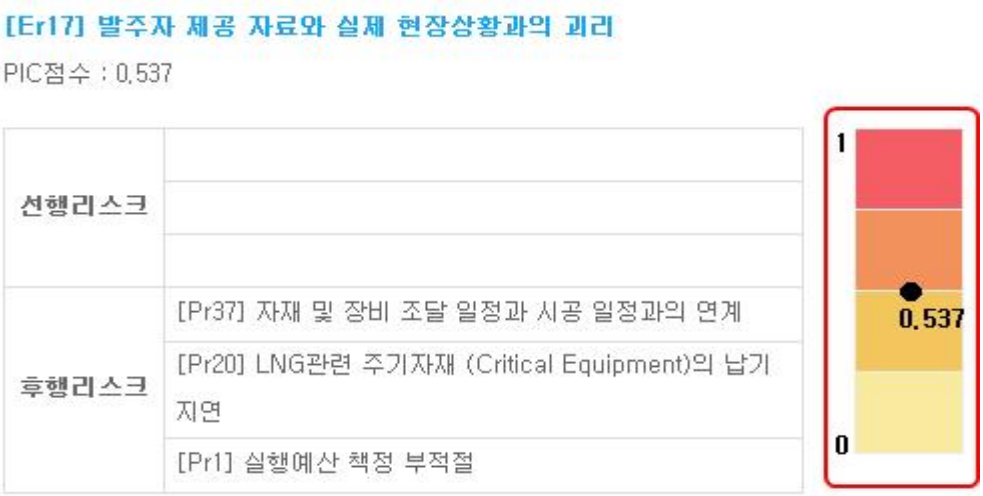


그림 18 리스크 점수 표준화 결과(4가지 등급)

(4) 영향관계 평가

설계, 구매조달, 시공 단계의 16가지 리스크 대분류를 대상으로 경로분석 실시하였으며, 결과는 아래와 같음

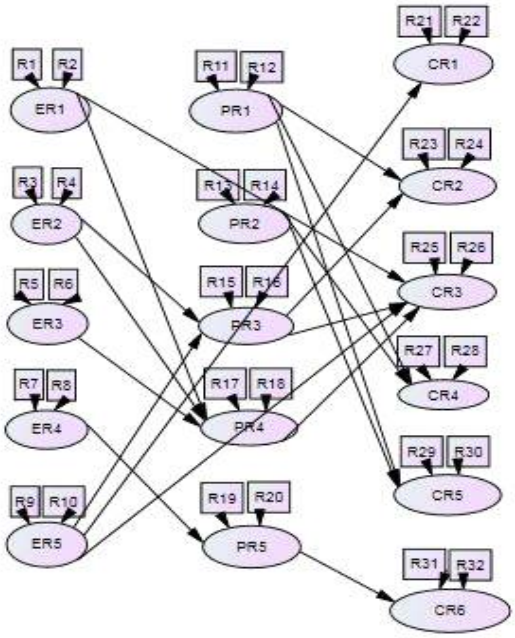


그림 19 리스크 대분류 기준 경로분석

위와 같은 연결 중 통계적 유의성을 만족하는 연결은 아래와 같음

표 24. 영향관계 평가

설계		구매조달		시공	경로계수
계약 및 클레임 관리	→	계약 및 클레임 관리	→		0.093
기본 설계		계약 및 클레임 관리			0.269
		계약 및 클레임 관리		생산관리	0.415
		계약 및 클레임 관리		현장관리	0.359
해당국 및 발주처 관리		공기 및 공사비 관리			0.148
계약 및 클레임 관리		공기 및 공사비 관리			0.13
공기 및 공사비 관리		공기 및 공사비 관리			0.169
		공기 및 공사비 관리		공기 및 공사비 관리	0.207
		공기 및 공사비 관리		협업관리	0.154
기본 설계		자재 및 장비 관리			0.301
		자재 및 장비 관리		시운전관리	0.477
		해당국 및 발주처 관리		공기 및 공사비 관리	0.237
		해당국 및 발주처 관리		생산관리	0.483
		해당국 및 발주처 관리		현장관리	0.446
협업관리		협업관리			0.49
		협업관리		협업관리	0.202
해당국 및 발주처 관리				공기 및 공사비 관리	0.11
기본설계				공기 및 공사비 관리	0.287

위에서 구한 경로계수와 대분류 내의 리스크 요인들의 PIC점수 표준화 값(전체 요인 내 표준화 값과 다름)을 바탕으로 상호관계를 정량화

(ex. 리스크 요인 r1과 r5의 영향강도 계산 과정)



그림 20 리스크 요인의 영향강도 계산 과정

위와 같은 방식으로 상호관계를 평가하여 시스템 상에서는 아래와 같이 구현하였으며 많은 연결 관계 중 상호관계 점수 상위 3개의 항목만을 표현

설계				구매조달				시공				
코	요인	표준	경로계	코	요인	표준	경로계	코	요인	표준	경로계	값
Er01	설계 도면의 특수 부품 반영 미흡	0.39	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.4758
Er03	설계 도면의 LNG 공정 프로세스 시공성 반영 미흡	0.70	0.169	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.7721
Er04	설계 도면에 절연 이나 유도장애 해소를 위한 반영 미흡	0.20	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.327
Er05	설계 도면의 극저온 자재 반영 미흡	0.02	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.2117
Er06	현장 정보의 반영 미흡(토질정보)	0.44	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.5141
Er08	계약 공기 반영한 설계도면 작성	0.86	0.169	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.8656
Er09	설계도면 작성시 실행 공사비 반영 미흡	0.68	0.169	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.7594
Er11	설계 도면의 FAST TRACK 지원 미흡(DETAIL 설계 미흡)	0.31	0.169	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.4461
Er12	안전 기준 반영한 설계도면 작성	0.37	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.4608
Er13	설계 도면의 공종별 분리 작업을 고려한 연결성 반영 미흡	0.11	0.169	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.2803
Er14	설계의 시공성 확보 미흡	0.06	0.169	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.2425
Er15	액화 설계 도면의 라이선스 반영 미흡	0.31	0.13	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.3828
Er16	발주자 특별 시방 반영	0.96	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.8543
Er17	발주자 제공 자료와 실제 현장상황과의 괴리	0.90	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.8288
Er18	발주자의 설계 개입	0.90	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.8283
Er19	품질 기준 반영한 설계도면 작성	0.64	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.6653
Er20	발주자가 요구한 기술의 라이선스 확보	0.96	0.13	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.7952
Er21	설계 도면의 발주자 요구 기술 반영 미흡	0.56	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.6034
Er22	조달 기준 반영한 설계도면 작성	0.51	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.5633
Er23	설계 도면에 환경 기준 반영 미흡	0.47	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.5335
Er24	설계 도면에 라이선스나 로열티 추가 가능성(탱크 등)	0.25	0.13	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.345
Er25	설계 도면의 진출국 기후 및 날씨 반영 미흡	0.13	0.148	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.2776
Er26	재설계 및 추가설계(물량변동)	0.87	0.169	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.87
Er37	라이센서의 도면 승인 지연(성능보장)	0.28	0.13	Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94						0.3631
				Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94	0.207	Cr62	공사 지연 및 중단으로 인한 공기 불확실성	0.93		0.9594
				Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94	0.154	Cr09	설계 변경으로 인한 클레임 발생	0.98		0.8821
				Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94	0.207	Cr63	전체 공기 반영한 실 시공 일정 관리	0.72		0.878
				Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94	0.154	Cr20	현지 협력 업체의 기술 능력 반영	0.94		0.8645
				Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94	0.154	Cr21	현지 협력 업체의 시공 경험 반영	0.93		0.859
				Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94	0.154	Cr22	현지 협력 업체와의 의사소통 미흡	0.92		0.8526
				Pr01	실행예산 책정 부적절	0.94	0.154	Cr27	소장의 현지 인력 및 발주자와의 의사소통	0.75		0.7578

그림 21 리스크 상호관계 평가 시스템 예시

6. 해외사업모델 프레임워크 개발

○ LNG 플랜트 해외사업모델 개발

가. 개요

(1) 세계 가스생산 전망

LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, 2014년 이후의 LNG 생산전망은 그림 1과 같이 예측된다. 세계적인 LNG 생산전망은 2014년 약 3400 BCM에서 연평균 약 3~4%대의 꾸준한 증가세를 보여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4071 BCM에 달할 것으로 예상된다.

반면 그림 1의 꺾은선 그래프로 나타내어지는 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상된다. 이를 좀더 자세히 살펴보면, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미의 생산비중은 점진적으로 감소할 것으로 예상된다. 반면 자원부국이 많은 중동과 동남아시아 지역의 국가들은 각각 17%, 15% 대의 생산비중을 유지할 것으로 보이며, 최근 개발이 활발히 진행 중인 아프리카 국가들의 생산비중은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 국내기업들은 성장전망이 밝은 아프리카 지역과 지리적 접근성이 좋은 아시아 지역으로의 진출을 추진해보는 것이 바람직하다 할 수 있다.

(2) 주요 국가별 가스수급 전망

한국, 미국 등 13개 주요 국가별 가스수급 전망은 그림 2와 같다. 국가별 막대그래프에서 좌측 막대는 생산전망을, 우측 막대는 소비전망을 나타내며, 각 값은 2014년부터 2021년까지의 총합을 나타낸다. 우리나라는 일본과 함께 생산량은 거의 없으나 소비량이 크게 나타나며, 중국은 급격한 경제성장에 따라 소비량이 크게 증가할 것으로 예상한다. 반면 최대 LNG생산국인 러시아와 카타르는 앞으로도 가스생산량을 지속적으로 늘려 세계적인 주요공급처로 자리매김할 것으로 보이며, 알제리, 나이지리아, 앙골라, 사우디아라비아, 이란 등 아프리카 및 중동의 자원부국들도 생산을 늘릴 것으로 보인다. 이상의 수급전망은 LNG플랜트 건설 후 판매, 즉 다운스트림(downstream) 단계에서 마케팅 전략수립과 직결되는 요소들로 해외 LNG플랜트 개

발사업에 참여하고자 하는 국내기업들은 이러한 정보를 반드시 고려하여야 한다. 향후 아프리카 지역의 생산량 증가가 기대되는 한편, 이들 국가에서의 소비는 제한적으로 나타나고 있는 만큼 국내기업들은 아프리카 국가들로의 진출을 검토하는 것이 바람직하다.



그림 22. 세계 가스생산 전망 (2014-2021) (Business Monitor International)

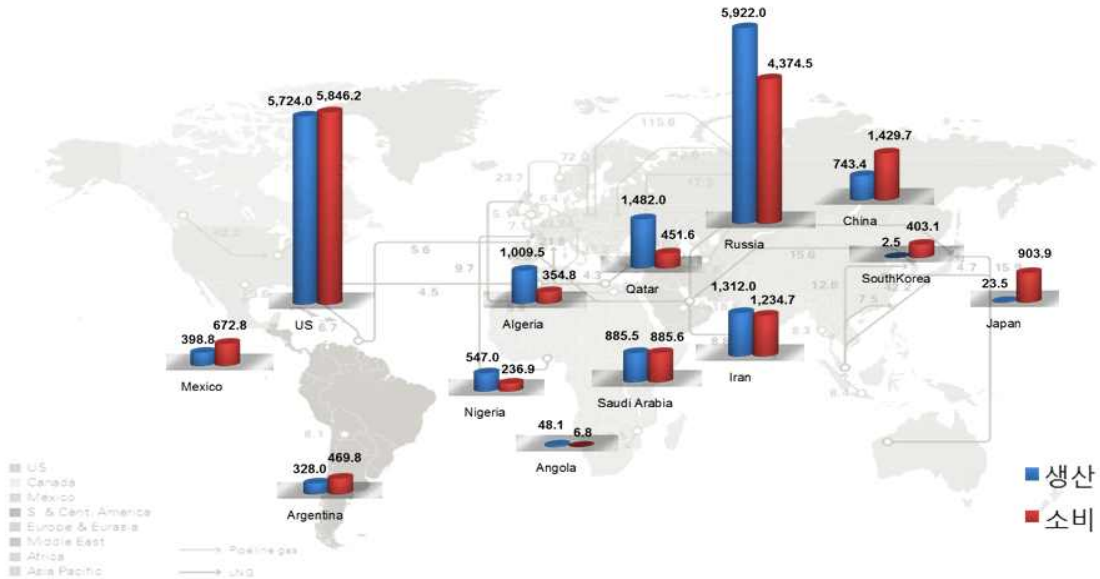


그림 23. 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021)
(Business Monitor International)

(3) 세계 가스거래 현황

세계 가스거래 현황은 그림 20과 같다. 그림 상 붉은 선은 파이프라인을 통한 육상 공급을, 파란 선은 선박을 통한 해상공급을 나타낸다. 유럽 및 북미 지역의 선진국들은 주로 파이프라인을 통해 가스를 공급받는데, 이는 이들 국가들이 안정적인 대량공급방식을 이미 갖추고 있으므로 신규 가스공급망을 구축할 필요성이 떨어짐을 나타낸다. 반면 아시아, 중동, 아프리카 지역은 선박을 통한 공급이 주로 진행되는데, 이는 파이프라인 방식에 비해 유동적인 공급망으로서 신규 해외진출을 구상하는 국내기업들의 진출이 가능하다 할 수 있다.

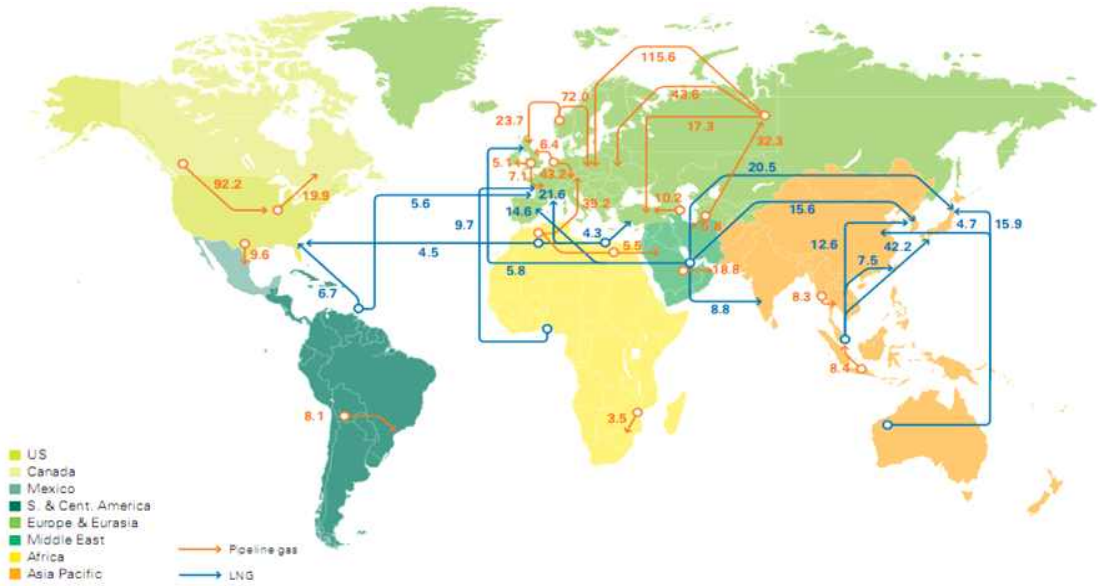


그림 24. 세계 가스거래 현황 (출처: British Petroleum)

(4) LNG 플랜트 해외사업모델 개발의 필요성



그림 25. LNG플랜트 사업개발 프로세스

LNG플랜트 개발사업에 참여하는 기업 관점에서 일반적인 LNG플랜트 개발사업은 사업선별(screening study), 사업타당성검토(feasibility study), Pre-FEED 및 FEED, 엔지니어링, 구매조달, 시공(이상 EPC), 운영(operation)의 순서로 진행된다.

이들 중 Pre-FEED에서부터 운영단계까지는 사업추진이 결정된 이후의 단계로서 사업선별 및 사업타당성검토 단계에서 선정된 사업을 효율적으로 운영하기 위한 리스크 평가가 이루어진다. 이와 관련된 연구는 본 과제의 1차년도부터 현재까지 진행하고 있는 LNG플랜트 생애주기별 리스크 평가연구로 진행되어 왔다. 이 단계에서의 리스크 분석은 앞선 단계에서 도출된 사업전략을 바탕으로 상세 리스크 인자를 평가하고, 사업진행이 진행됨에 따라 리스크 평가결과 및 실제 발생결과를 업데이트하고 추가 관리하는 것을 목적으로 한다.

그러나 LNG플랜트 사업을 개발하기 위하여서는 사업선별 및 사업타당성검토와 같은 초기단계의 연구가 추가적으로 요구된다. 이 단계는 다양한 시장정보와 사업환경을 고려하여, 신규로 진행될 LNG플랜트 사업에 대한 사업성 및 타당성을 평가하는데 목적을 둔다. Pre-FEED 이후 단계에 대한 기존의 연구가 이미 전략이 결정된 사업을 관리하기 위한 관리관점의 연구였다면, 이 단계는 사업의 상세사항이 결정되지 않고 사업참여 여부 또한 결정되지 않은 초기단계에서 거시적인 사업성을 평가하여 좋은 사업기회를 선별하고자 하는 기회관점의 연구라 할 수 있다. 이 단계에서는 사업초기로서 매우 제한된 정보를 바탕으로 사업리스크를 평가하며, 세계 LNG산업의 변화추세, 사업이 진행될 국가의 특성, 개별사업의 고유특성 등을 널리 고려하여야 한다. 또한 이 단계에서의 사업전략 수립 및 리스크 평가는 Pre-FEED 이후 단계에서의 그것과 달리 사업의 안정성과 함께 기업이 감내할 수 있는 적정수준의 리스크 수준을 평가하는 것이 필요한데, 이는 이 단계에서의 지나친 안정전략은 자칫 사업기회를 놓쳐 그 어떤 사업도 진행할 수 없게 만드는 결과를 낼 수 있기 때문이다.

이에 따라 본 연구에서는 LNG플랜트 사업의 사업선별(screening study) 및 사업타당성검토(feasibility study) 단계에서 활용될 수 있는 해외사업모델을 개발하는데 목적을 둔다.

(4) 현행 해외사업 사업선별 및 타당성 평가 방식

현행 해외 LNG플랜트 사업선별 및 사업타당성평가 방식은 현금흐름, 인플레이션 등을 고려한 개략적 경제성평가에 집중되어 있으며, 경제성 요소와 가스가격 변동에 따른 비용편익비(benefit-cost ratio) 분석에 그치는 것으로 파악된다. 또한 현재도 LNG시장 동향에 대한 평가가 이루어지고는 있으나 일반적으로 공개된 공공정보를 요약하는데 그치며, 해당 정보를 사업성 평가에 반영하는 방식이 부족한 것으로 평가된다. 이는 발주국의 사업환경, 국가리스크, LNG시장 전망 등에 대한 고려가 충분치

않음을 나타내며, 이에 따라 본 연구를 통해 사업전략특성, 최근 시장동향 등 정성적인 정보들을 정량적으로 평가, 비교, 검토할 수 있는 방식의 개발이 요구된다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 해외사업모델 구성목표

본 연구는 해외 LNG플랜트 사업에서 활용할 수 있는 해외사업모델을 개발하는데 목적을 두며, 이 모델은 사업선별 및 사업타당성평가에 주된 목적을 갖는다. 이와 같은 목적을 위하여 본 연구진은 사업선별 및 사업타당성평가 단계에서 검토되어야 할 사항을 다음과 같이 구분하였다.

- 개발참여도 검토 : 개발참여도는 LNG플랜트의 계획, 엔지니어링, 시공 등의 개발단계, 즉 upstream 단계에서 얼마나 적극적으로 사업에 참여할지를 나타낸다. 이는 특정 LNG플랜트 개발사업에 참여하는 것이 얼마나 매력적인지에 따라, 관련 라이선스만을 제공하는 라이선스 제공형, 일정 지분만큼 자본을 투자하는 지분참여형, 직접 사업전체를 총괄하여 개발하는 사업개발형 등으로 구분되며, 일반적으로 라이선스 제공형에서 사업개발형으로 갈수록 자본투자와 사업참여도가 높아 더욱 적극적인 형태로 평가된다.

- 사업성 평가 : 사업성 평가는 upstream 단계에서 요구되는 비용(cost)과 downstream 단계에서 기대되는 편익(benefit)을 기준으로 비용편익비(benefit-cost ratio)를 산출하여 진행된다. 이 단계에서 고려되는 요소들은 사업의 특성에 따라 다양하게 나타날 수 있으나, 기본적으로 LNG플랜트에 적용되는 액화기술의 특성에 따라 비용과 편익이 크게 달라지므로 적용될 액화기술의 특성을 정확히 파악, 결정하는 것이 중요하다.

- 운영참여도 : 개발참여도가 upstream 단계에서의 참여수준 정도를 나타낸다면, 운영참여도는 downstream 단계에서의 참여수준 정도를 나타낸다. LNG플랜트 사업의 downstream은 건설/개발된 LNG플랜트를 통해 LNG를 생산, 공급하는 과정으로서 운영참여도는 생산된 LNG의 소유지분을 나타낸다. 이는 개발참여도에서 결정된 참여지분과 동일한 경우(integrated)와 upstream과 downstream (liquefaction plant)의 소유주가 다른 경우(transfer pricing, tolling)로 구분될 수 있다.

본 연구에서는 이상의 검토사항들을 각각 독립적인 모듈로 구성하였으며, 이는 그림 5의 LNG플랜트 해외사업모델 구성으로 나타난다. 이는 British Petroleum, Shell 등과 같은 가스분야 전문기업, Business Monitor International, IHS Global Insight 등의 시장조사 전문기관, Oil & Gas Journal, Oil & Gas Financial Journal 등의 전문학술지의 자료를 검토하여 구성되었으며, 한국가스공사의 LNG사업기술팀, 전략사업팀, 해외배관사업팀, 연구개발원 등의 전문가들을 대상으로한 인터뷰를 통해 보완되었다.

해외사업모델은 총 4가지의 모듈이 순차적으로 적용됨으로서 활용되며, 각각의 모듈은 자체적인 소결론을 도출하도록 구성된다. 이와 같은 구성은 다음과 같은 장점을 갖는다. 먼저 upstream에서의 개발지분과 downstream에서의 운영지분을 구분함으로서 사업과정 및 목적에 맞는 단계별 분석이 가능하다. 또한 기존의 비용편익비 분석 기능을 유지함으로서 과거 업무수준과의 연결성을 확보하는 한편, 비용부분의 개발참여도 부문에서 국가리스크, 사업특성 등과 같은 사업환경 정보와 편익부분의 운영참여도 부문에서 세계 LNG 수급 및 소비전망 등과 같은 시장정보를 추가적으로 고려함으로서 기존의 사업분석 방식을 기반으로 한 기능확대를 꾀하였다. 마지막으로 현재 본 사업단을 통해 개발 중인 액화기술(KSMR), FPSO 등의 신기술을 해외에 적용하기 위하여, 추후 해당 기술이 개발되었을 경우 그와 관련된 일부 모듈만 추가적으로 개발하여 현행 모델에 바로 적용할 수 있도록 구성하였다.

해외사업모델의 각 모듈별 상세설명은 다음과 같다:

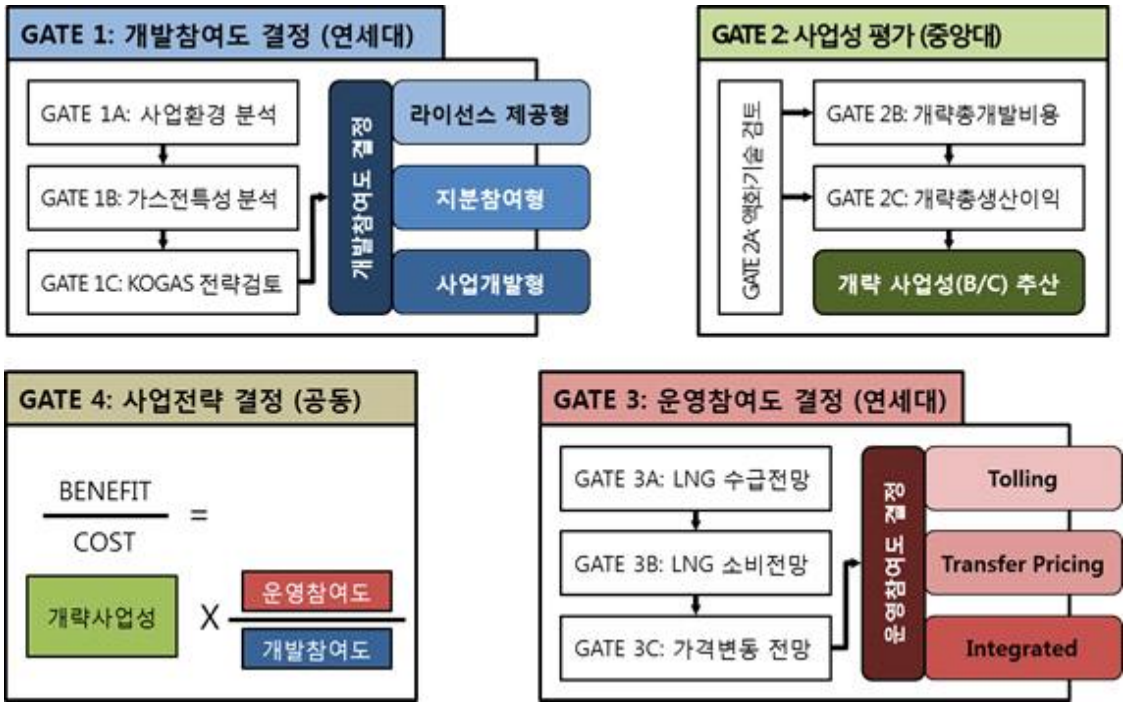


그림 26. LNG플랜트 해외사업모델 구성

해외사업모델에서 활용될 각 변수들은 다음과 같은 기준으로 선택되었다.

- 안정성 : 해외사업을 평가함에 있어 사업의 불확실성이 크면 리스크가 높은 것으로 판단할 수 있다. 이에 본 연구에서는 불확실성을 바탕으로 사업의 안정성을 평가하여 사업평가의 가장 기본적인 기준으로 활용하였다.
- 기대성과 : 사업의 안정성이 충분히 확보되더라도, 해당 사업의 진행을 통해 기대되는 성과의 크기가 작으면 사업을 추진하기 위한 타당성이 떨어진다 할 수 있다. 사업의 기대성과는 대표적으로 가스전 규모, 생산되는 가스의 질 등 사업자체의 특성에 의해서도 좌우될 수 있다.
- 용이성 : 사업이 안정적이고 기대성과가 높다하더라도 해당 사업을 진행하기 어려우면 해당 사업에 대한 참여가 꺼려질 수 있다.

각 모듈(GATE)별 변수는 다음 장에서 자세히 서술될 것이다.

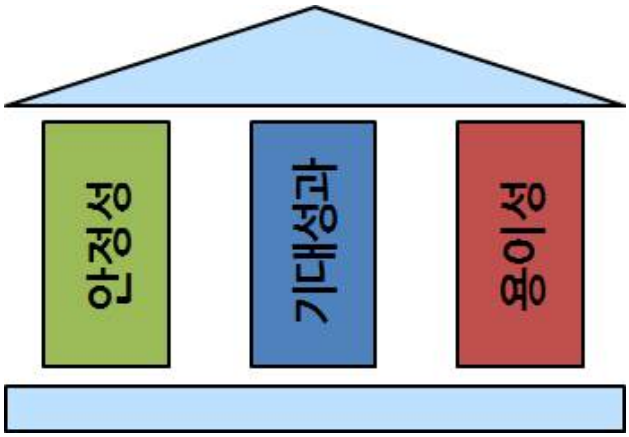


그림 27. 해외 LNG플랜트 평가기준

(2) Gate 1 : 개발 참여도 결정

GATE 1: 개발참여도 결정 모듈은 사업초기 현지조사를 충분히 할 수 없는 여건에서 사업추진 및 투자환경의 안정성, 기대성과, 용이성을 검토하는데 목적을 둔다. 이는 그림 5에 나타난 바와 같이 세 개의 하부모듈로 구성된다.

- GATE 1A : 사업환경분석

  이 세부모듈은 어떠한 LNG플랜트 사업에 참여하고자 할 때, 해당 사업이 진행되는 국가의 사업환경을 분석하는데 목적을 둔다. 즉 해당국가에서 진행되는 모든 프로젝트에 공통적으로 적용되는 요소들–정부안정성, 사업안정성, Upstream 및 Downstream 기대보상 등–을 분석한다.

- GATE 1B : 가스전특성 분석

  GATE 1A가 어떤 사업이 진행되는 국가의 환경요소들을 분석하는 것과 달리, GATE 1B는 특정 사업에 해당되는 사업요소들을 분석한다. 즉 개별 사업들이 나타내는 고유의 특성–프로젝트 안정성, 기술요소 특성, 사업수행 인프라 등–을 분석한다.

- GATE 1C : KOGAS 전략검토

  이 세부모듈은 해외 LNG플랜트 개발사업이 해당사업의 환경조건, 특성조건으로만 결정되는 것이 아니라, 정부의 제한, 사업참여자의 기업전략, 기타 관련기업의 제한 등 다양한 외부요소들의 영향을 받음을 고려하는 모듈이다. 이 모듈에서는

사업진행에 영향을 미치는 다양한 변수들을 정성적으로 판단한다.

(3) GATE 2: 사업성 평가

GATE 2: 사업성 평가 모듈은 LNG플랜트에서 활용되는 액화기술(liquefaction)을 검토하고, 액화기술에 따른 개발비용 및 생산이익을 산출하여 비용편익비를 제시하는데 목적을 둔다. 이는 기존의 개략적 경제성평가를 비용편익분석 관점의 상세분석으로 확장, 발전시킨 형태이다.

- GATE 2A : 액화기술 검토

  LNG플랜트에 적용할 액화기술을 검토하는 세부모듈로서, 액화기술의 기술적 특성 및 적용가능성을 평가한다. C3MR, KSMR 등의 다양한 액화기술별 특성을 고려하여 개발가스전에 적용할 수 있는지 여부를 판단한다.

- GATE 2B : 개략총개발비용

  이 세부모듈은 GATE 2A에서 결정된 액화기술을 적용할 경우 예상되는 총개발비용을 산출하는데 목적을 둔다.

- GATE 2C : 개략총생산이익

  이 세부모듈은 GATE 2A에서 결정된 액화기술을 적용할 경우 예상되는 총생산이익을 산출하는데 목적을 둔다. 이는 GATE 2B에서 도출된 총개발비용과 함께 총 비용편익비(benefit-cost ratio)로 계산되어 사업의 전체적인 타당성을 제시한다.

(4) GATE 3: 운영참여도 결정

GATE 3: 운영참여도 결정 모듈은 현재 및 미래의 시장전망을 바탕으로, 개발된 LNG플랜트의 운영과정에 대한 참여도를 결정하는데 목적을 둔다. 이는 시장전망을 통해 운영단계에서의 적정지분 참여수준을 제시하며, 사업자의 목표 비용·편익 비(benefit-cost ratio)을 기준으로 이를 달성하기 위한 최소 운영지분을 결정하는 목적으로도 활용될 수 있다.

- GATE 3A : LNG 수급전망

이 세부모듈은 향후 LNG 판매의 가능성이 있는 주요 16개국에 대하여 2030년까지의 LNG 공급전망을 제시한다. 이를 통해 LNG플랜트 개발 후 나타날 수 있는 수요를 예상할 수 있다.

- GATE 3B : LNG 소비전망

이 세부모듈은 GATE 3A와 더불어 LNG플랜트 개발 후 생산되는 LNG를 판매가능한 국가들을 평가하는데 목적을 둔다. GATE 3A와 마찬가지로 2030년까지 주요 16개국의 LNG 소비전망을 제시한다.

- GATE 3C: 가격변동 전망

(5) GATE 4: 사업전략 결정

GATE 4: 사업전략 결정 모듈은 GATE 1부터 GATE 3까지의 결과를 통합하여 최종결과를 제시하는 모듈이다. 이는 액화기술의 특성을 고려하여 분석된 비용편익비에 개발참여도 수준과 운영참여도 수준을 반영함으로서 최종적인 사업투입비용 및 편익을 산출하는데 목적을 둔다. 이는 사업을 진행했을 때 어느 수준의 비용편익이 예상되는지를 제시하며, 또한 이미 개발참여 지분이 결정된 경우 추후 운영단계에서 어느 정도 운영지분을 소유해야 사업자가 바라는 적정 비용편익이 도출될 수 있는지 또한 제시할 수 있다. 또한 각 모듈에서 검토하는 변수들이 변동할 경우 민감도분석을 통해 검토변수의 변화에 따른 시나리오를 제시하여 변수값의 변화에 대비할 수 있도록 제시한다.

다. 주요 결과 및 시사점

본 연구는 기존의 개략적 경제성평가에 그치던 LNG플랜트 해외사업 평가방식을 개선하여 국가 및 사업 환경에 대한 리스크 요소분석과 향후 LNG 시장전망을 과학적인 방식을 통해 고려한 LNG플랜트 해외사업모델을 개발하는데 목적을 가진다. 이를 위해 본 연구에서는 4단계의 GATE, 즉 4개의 모듈을 가진 해외사업모델을 구성하였으며, 이는 해외사업 추진 시 고려되어야 할 다양한 사업 환경 및 사업특성 요소들을 고려하여 실무성을 높이도록 개발되었다. 현재 연세대학교에서 GATE 1: 개발참여도 결정 모듈을, 중앙대학교에서 GATE 2: 사업성 평가 모듈을 개발 중이며,

GATE 1에 대한 상세한 설명은 다음 장에서 서술되었다. GATE 2에 대한 설명은 중앙대학교의 보고서를 참조하기 바란다.

○ Gate 1A

가. 개요

해외 LNG 플랜트 개발사업의 진출의 개발참여도 의사결정을 위한 첫 단계인 사업환경 분석은 진출여부를 고려중인 가스전 프로젝트(이하 프로젝트)의 조성 등 상세여건을 검토하기 이전에 거시적 관점에서 진출국의 특성 및 사업 여건을 분석하여 국내기업의 진출 및 투자의 적합성을 판단하고 그 여부에 따른 적절한 대응전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용하는 데에 그 목적이 있다.

기존의 해외시장 사업 환경 분석과 관련한 연구들은 1) 주로 건설사업 시공자 관점에 초점을 두어 투자 및 개발 영역의 반영이 미흡하였으며, 2) 사업의 성과 저하의 원인이 될 수 있는 리스크 규명을 우선순위로 두어 기회(opportunity) 및 기대되는 보상(expected reward) 측면에 대한 고려는 부족한 양상을 보이고, 3) 객관적이고 신뢰성 있는 지표 및 자료를 활용하기보다 전문가·실무자의 직관적·주관적 판단에 의존하는 경우가 많아, 4) 평가기법으로 체크리스트 또는 확률-영향 평가를 활용하여 상대적 수준 이외에 절대적 수준의 판단에는 적용한계가 있다는 특성을 갖는다.

해외 LNG플랜트 사업의 안정적 수행을 위해서는 발주국의 정치, 경제 등 제도적 여건과 사회적 안정성, 해당국 시장에서 외국기업의 비즈니스 수행의 안정성, 그리고 에너지 및 LNG 산업의 성공 기회에 대한 측면을 검토해야 한다. 따라서 본 연구는 이를 검토하기 위한 분석 영역을 정의하고, 분석결과의 객관성·신뢰성 확보를 위해 객관적 데이터 활용을 극대화하고자 하였다.

또한 평가체계 활용의 지속성 및 지식 축적 효과를 제고하기 위해 표준화된 평가방법론을 제시하고 의사결정을 위한 가이드라인 초안을 제시하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 기존 연구의 분석기준 검토

건설 산업의 해외진출을 위한 사업 환경 분석 연구는 대개 리스크 인자의 도출 및 평가와 관련한 연구가 대부분으로, 건설 프로젝트 시공자 관점의 접근이 주를 이루었

기에 사업 정의(project definition)가 이뤄진 이후에 초점을 두고 진행되었다.

기존의 연구는 진출국 사업 환경을 정치, 경제, 제도 등으로 구분하거나(Han and Diekmann, 2001[2] 등), 진출국가 및 발주자를 통합하여(Han et al. 2007[3]; Ozorhon et al. 2007[4] 등) 이들 영역과 관련한 리스크를 분석한 연구가 주류를 이루었다. 또한 자재 및 장비 등의 Logistics의 용이성과 관련한 요소도 포함되었다.

이와 같은 사업 환경 요소는 대부분 리스크 인자의 선별 및 체크리스트를 통한 분석을 적용하였으며, 설계자 및 시공자 관점의 요소에 집중되어 투자자 및 개발자 관점의 요소(세금 및 투자보호 등) 반영 등에는 미흡한 경향을 보였다.

LNG 및 플랜트 산업 영역의 학술적 연구들은 일반 해외사업 연구보다 산업 특성에 따른 환경 및 기술적 리스크 등을 고려하였으나, 보상(reward) 측면에 대한 고려가 부족하고 여전히 개발 보다는 시공 및 EPC 관점의 연구가 많은 경향을 보였다.

구체적으로 프로젝트 경제성 평가에서 매장량, 생산량, 투자비 및 운영비, 가스가격 등을 고려하거나(전보현 및 정헌섭, 1996)[5] 대규모 사업의 복합성에 따른 사업 참여자 간의 관계를 반영한 리스크 평가 및 의사결정 모델을 제안하는 등(강병태 및 김용수, 2012[6]; Castilo 및 Dorao, 2011[7] 등) 자원 산업의 특성을 고려하는 양상을 보였다.

한편, 안성훈 등(2008)[8]은 해외 플랜트 프로젝트 리스크의 평가에 있어 세금·관세, 정치, 법, 문화 등 진출국 관련 요소와 발주자특성, 시장의 경제적 특성 및 조달여건 등 사업 환경을 고려하였으나, 확률-영향도 매트릭스 기반의 주관적 평가체계를 활용하여 정확성 및 신뢰성의 제약이 있다는 한계를 가진다.

한편, 국제 시장조사 전문기관인 Business Monitor International(BMI)은 해외 석유 및 천연가스 시장의 분석에 있어 국가 및 산업 차원의 보상 개념을 제시하고 있는데, 특히 산업 차원의 보상 파악에 있어서는 '비정부 소유 기업의 유무(또는 수)', '정부소

2) Han, S. H. and J. E. Diekmann (2001). "Approaches for Making Risk-Based Go/No-Go Decision for International Projects." Journal of Construction Engineering and Management 127(4): 300-308.

3) Han, S. H., et al. (2007). "Predicting Profit Performance for Selecting Candidate International Construction Projects." Journal of Construction Engineering and Management 133(6): 425-436.

4) Ozorhon, B., et al. (2007). "Effect of host country and project conditions in international construction joint ventures." International Journal of Project Management 25(8): 799-806.

5) 전보현, 정헌섭 (1996) 유전 및 가스전에서 투자위험도를 고려한 경제성 평가 모델, 한국자원공학회지, 제33호, 61-74

6) 강병태, 김용수 (2012) AHP기법을 활용한 해외 플랜트 사업의 정성적 위험요인 평가, 한국건설관리학회 전국 대학생 학술발표대회 논문집

7) Castilo L. and Dorao Carlos (2011) Decision-making on Liquefied Natural Gas (LNG) projects using game theory, IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making, 60-66.

8) 안성훈, 이영남, 조호규 (2008) 해외 플랜트 공사 리스크 평가 방안 및 적용에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제1호, 134-142

유 자산의 비율' 등의 지표를 활용하여 민간사업자의 시장진입 및 비즈니스의 보상을 평가하고 있다.

(2) 사업 환경 분석영역 설정

진출국 정치·제도의 거시적 안정성 : LNG 개발 사업은 통상 수십 년의 장기간 사업이므로 진출국 정치·제도의 성숙도 및 법규·제도의 안정성, 정부효율성 및 부패 등 거시적 측면의 검토가 필수적이다.

일반적인 사업 수행 안정성 : 진출국에서의 투자 및 사업의 개시, 사업 운영상의 안정성을 평가하기 위하여 행정절차의 특성, 재산 및 투자의 보호, 세금 및 계약준수 등의 특성에 대한 고려가 필요하다.

LNG산업 사업수행 안정성 : LNG 산업에 특화된 고려 항목으로, 가스사업의 영역을 상류와 하류로 구분하여 기대보상[9] 수준 (expected rewards)을 파악해야 하며, 또한 현지의 유사 프로젝트 진행·계획 현황과 산업정책, 투자전망 등으로부터 사업추진의 여건을 파악할 필요가 있다.

위와 같이 설정한 사업 환경 분석 영역을 그 범위 및 특성에 따라 정리하면 그림 7과 같다.



그림 28. 사업 환경 분석의 범위 및 개요

(3) 영역별 지표 설정

앞에서 제시한 분석영역을 기초로, 각 영역별로 진출국을 평가하기 위한 지표를 선

9) 일반적으로 보상(reward)은 리스크과 함께 맞물려 '득과실' 또는 '위험과 보상'으로 활용되는 개념으로, 본 연구에서는 '위험을 감수하고 사업을 추진하여 확보할 수 있는 성과'의 잠재성을 판단하기 위한 기준으로 도입하였다.

정하였다. 분석결과의 신뢰성을 제고하고, 평가에 따른 업무 부담을 최소화하기 위하여 공신력 있는 기관의 정기 발행 지표 도입을 우선하였으며, 적절한 기존 지표가 없는 경우 석유 및 천연가스 등 에너지 시장조사 전문기관인 Business Monitor International, PFC Energy 등의 조사방법론을 참조하여 설정하였다.

세계통치지표[10] (Worldwide Governance Indicator: WGI) : 세계은행(World Bank)에서 공동으로 발간하는 지표이다. 세계은행은 각 국가의 개발과정에 참여할 수 있도록 보장하는 제도 및 체제가 경제성장에 있어 갖는 중요성을 인식, 매년 이 지표를 발표하고 있다. 총 6가지 평가항목에 대해 -2.5 (취약)에서 +2.5 (우수) 로 정량적 평가를 실시하고 있으며 그 상세 내용은 다음과 같다.

- 민권 및 언론자유도 (voice and accountability)
- 정치적 안정성 (political stability and absence of violence)
- 정부의 효율성 (government effectiveness)
- 법·규제의 완성도 (regulatory quality)
- 준법 수준 (rule of law)
- 부패의 통제 (control of corruption)

사업 환경지표[11] (Doing Business Indicator: DBI) : 세계은행과 국제금융공사(International Finance Corporation: IFC)가 공동으로 발표하는 사업 환경지표는 185개국의 사업 용이성을 나타내는 지표로, 각국의 기업 활동 관련 법 규정에 대한 평가를 기초로 하여 주재국의 현 기업환경과 타국과의 상대적 수준을 평가하는 데 유용한 것으로 평가된다. 총 10가지 항목에 대한 개별적 평가 및 순위, 그리고 종합 순위를 제공하고 있는데, 평가방법은 각 지표의 특성에 따라 행정적 절차의 단계, 처리에 소요되는 기간 및 비용, 세율, 그리고 스케일(1-10) 점수 등으로 측정하며, 지표의 내용은 다음과 같다.

- 기업의 설립 (starting a business)
- 건설 인허가 (dealing with construction permits)

10) The World Bank Group, "Worldwide Governance Indicators" http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.asp <2013-02-12>
11) The World Bank Group, "Doing Business, measuring business regulations" http://www.doingbusiness.org/ <2013-02-12>

- 전력 수급 (getting electricity)
- 재산권 등록 (registering property)
- 금융 근접성 (getting credit) : 차입의 용이성
- 투자자 보호 (protecting investors)
- 세금 지불 (paying taxes)
- 국제 무역 (trading across borders)
- 계약 이행 (enforcing contracts)
- 부채 해결 (resolving insolvency)

위에서 제시한 항목들은 평가기준이 서로 상이하여 국가 간 상대비교는 가능하나 절대적 수준의 판단이 어렵다는 단점을 가지는데, 10개 항목의 종합 순위를 나타내는 사업용이 순위(ease of doing business rank) 역시 동일한 특성을 갖는다. 세계은행은 이 단점을 보완하기 위해 가장 사업이 용이한(best performance) 국가와의 점수 격차를 나타내는 거리값(distance to frontier: DF)을 함께 제공하고 있다.

상류(upstream) 영역 기대보상 평가지표 : 상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다. 6개 지표의 상세 내용은 다음과 같다.

- 천연가스 매장량
- 천연가스 연평균 생산량
- 천연가스 최대 생산량
- 천연가스 생산량의 성장률
- 상류 비정부 소유자산 비율
- 상류 비정부 소유기업 비율

사업추진 여건 평가지표 : LNG사업의 지속 및 산업 성장을 위해서는 발주국 정부의 에너지 관련 정책(투자 및 육성정책 등)과 정부부처의 지배구조(administrative

agency structure)에 대한 검토가 필요하다. 또한 현지에 검토하고자 하는 사업과 유사한 프로젝트가 진행 중이거나 계획되어 있는지에 따라 향후 사업추진의 용이 및 편의성을 참조할 수 있다. 선정된 4개의 평가지표는 다음과 같다.

- 발주국 정부의 재정투자계획
- 발주국 정부의 천연가스 관리구조
- 현지 진행 중인 유사 프로젝트 현황
- 현지 계획 중인 유사 프로젝트 현황

정량적 평가를 위한 분석방법론

본 연구는 지표별 축적(scale)의 상이 및 이에서 비롯되는 의사결정 활용성 저하를 예방하기 위하여 영역별 및 종합적 정량적 평가 기준을 설정하였다. 이를 위해 각 영역별 점수의 소계가 100점 만점이 되도록 구성하였으며, 5개 영역별 점수의 총합도 100점 만점으로 산출되도록 구성하였다. 그 상세 절차 및 방법은 다음과 같다.

(1) 사업 환경 영역별 점수 산정

사업 환경 본 연구는 지표별 축적(scale)의 상이 및 이에서 비롯되는 의사결정 활용성 저하를 보완하기 위하여 다음과 같은 영역별 정량화 보정을 적용한다.
정치·제도 안정성(Governance)은 세계은행에서 발표하는 WGI의 6개 지표를 활용한다. 각 지표는 (-)2.5에서 (+)2.5의 값을 갖는 절대적 지표로, 선형 비례를 거쳐 쉽게 0~100의 점수로 변환할 수 있다. 변환된 값은 (식 1)과 같이 산술평균을 통해 최종 정치·제도 안정성 지표를 산정한다.

$$x_g = \sum_{i=1}^{6} \frac{1}{6} x_{gi} \qquad (1)$$

여기서, x_g = 정치·제도 안정성 지표 (governance indicator), ($i = 1, 2, \cdots 6$)

사업수행 안정성(Business)은 세계은행에서 발표하는 DBI의 10개 지표를 활용하되, 상대비교 뿐 아니라 절대수준의 판단이 가능하도록 DF값(0~100의 값을 가진다)을 그대로 활용한다. 10개 세부지표의 비중은 동일하게 적용하는 것으로 가정한다.

상류영역 기대보상(Upstream reward)은 산업 차원의 보상 가중치를 75%, 국가 차원의 보상 가중치를 25%로 설정하고 각 세부영역 내의 지표는 동등한 세부가중치를 갖도록 설정하여(예: 상류영역 산업차원 보상지표는 4개이므로 75% ÷ 4 = 18.75%) 합산) 산정하도록 한다. 생산량 및 비율에 따른 점수 평가는 등간척도(interval scale) 법을 적용하며, 척도는 추후 보완 예정이다.

하류영역 기대보상(Downstream reward)도 상류영역 기대보상과 마찬가지로, 산업 차원의 보상 가중치를 75%, 국가 차원의 보상 가중치를 25%로 하여 합산한다. 수요 및 수급, 비정부 소유비율 등에 따른 점수 역시 등간척도(interval scale)법을 적용하되, 각 항목별 점수부여를 위한 척도는 추후 보완 예정이다.

사업추진 여건(Present condition)은 전문가의 정성적 평가가 필요한 항목으로, 정성적 평가에 따른 점수 부여 기준은 추후 보완 예정이다. 사업추진 여건의 영역 점수 합계를 위해서는 투자계획 및 지배구조 등 정부 차원의 세부지표에 60%, 유사 프로젝트 현황 세부지표에 40%의 가중치를 부여하여 합산하도록 한다.

(2) 사업환경 영역별 점수의 종합

사업환경 평가를 구성하는 5개 영역별 점수의 종합은 (식 2)와 같이 각 영역이 동일한 비중을 갖는 것으로 가정하여 산술평균하여 산정한다.

$$x_t = \frac{1}{5} \times (x_g + x_b + x_u + x_d + x_p) \qquad (2)$$

x_t = 사업환경 지표 (total indicator)

x_g = 정치·제도 안정성 지표 (governance indicator)

x_b = 사업수행 안정성 지표 (business indicator)

x_u = 상류영역 기대보상 지표 (upstream reward indicator)

x_d = 하류영역 기대보상 지표 (downstream reward indicator)

x_p = 사업추진 여건 지표 (present condition indicator)

단, 사업환경 평가의 종합은 추후 한국가스공사 및 산업계 전문가 인터뷰를 통해 영역별 중요도를 산정함으로써 (식 3)과 같은 가중평균 산정방식으로의 보완이 가능하다.

$$x_t = \sum_{i=g}^{p} w_i x_i \quad (w_i = \text{5개 영역별 가중치}) \qquad (3)$$

표 25. 사업환경 분석의 평가 지표 및 정량화 기준

분류	지표	측정방법/단위	정량화	가중치
정치·제도 안정성 (6)	민권 및 언론자유도	세계은행의 설문 및 전문가 평가, -2.5 ~ +2.5	0 ~ 100 표준화	16.67%
	정치적 안정성			16.67%
	정부의 효율성			16.67%
	법·규제의 완성도			16.67%
	준법 수준			16.67%
	부패의 통제			16.67%
사업수행 안정성 (10)	기업의 설립	지표별 최우수 국가와의 격차정도(거리), 0 ~ 100	그대로 활용	10%
	건설 인허가			10%
	전력 수급			10%
	재산권 등록			10%
	금융 근접성			10%
	투자자 보호			10%
	세금 지불			10%
	국제 무역			10%
	계약 이행			10%
	부채 해결			10%
상류영역 기대보상 (6)	천연가스 매장량	TCM	등간척도(interval scale) 활용, 0 ~ 100 점수화	18.75%
	천연가스 연평균 생산량	TCM/년		18.75%
	천연가스 최대 생산량	TCM/년		18.75%
	천연가스 생산 성장률	%		18.75%
	상류 비정부 소유자산 비율	%		12.5%
	상류 비정부 소유기업 비율	%		12.5%
하류영역 기대보상 (5)	현지 천연가스 연간 수요	TCM/년	상동	25%
	현지 천연가스 수요 성장률	%		25%
	현지 천연가스 수급률	%		25%
	하류 비정부 소유자산 비율	%		12.5%
	하류 비정부 소유기업 비율	%		12.5%
사업추진 여건 (4)	발주국 재정투자계획	정성적 평가	상동	30%
	발주국 천연가스 관리구조	정성적 평가		30%
	현지 유사프로젝트 진행현황	개수		20%
	현지 유사프로젝트 계획현황	개수		20%
소계	31개 지표			산술평균

다. 주요 결과 및 시사점

본 연구는 해외 LNG플랜트 사업 진출의사결정을 위한 첫 번째 절차로 사업 환경 검토를 위한 분석영역을 정의하고 관련 지표의 선정, 의사결정을 위한 정량화 방법론을 제시하였다.

분석영역의 설정을 위해 기존 해외건설 및 LNG산업의 유관 연구문헌을 검토하고, 에너지 산업에 전문성이 높은 시장조사 기관의 분석방법론을 참조하였다. 평가지표의 선정에서는 분석의 객관성, 정확성, 편의성, 지속성을 제고할 수 있도록 공신력 있는 기관의 지표 활용을 가급적 높이고자 하였다. 또한 동시에 의사결정을 수행하는 전문가의 관점을 반영할 수 있는 영역을 확보하여 실무 적용성을 동시에 확보하고자 하였다.

본 연구는 추후 종합적 점수산정 방법의 보완 및 일부 지표의 항목별 점수부여 기준 설정과 관련한 추가 연구를 수행할 예정이며, 이를 통해 평가모델의 완결성 및 신뢰성을 개선할 수 있을 것이다. 또한 상대비교가 아닌 절대적 평가가 가능한 평가체계 구축으로 인해 추후 평가 반복에 따라 분석결과가 축적되어 분석의 신뢰성이 점차 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

○ Gate 1B

가. 개요

가스전에 대한 합리적이고 정량적인 평가는 잠재 투자자의 관심과 기존 투자자의 안정성을 확보하는데 있어 가장 효과적인 방법이다. 특히 대규모의 자금이 소요되고 장기간동안 수익이 발생하지 않는 사업초기 단계에서는(가스전 탐사 등) 참여자 간의 갈등이나 자금 조달에 대한 불확실성으로 인해 사업이 좌초되는 경우가 많은 것이 특징이다. 또한, 프로젝트의 진행 중에 참여하게 되는 신규 사업자의 경우 해당 프로젝트의 지분을 인수하는 과정에서 많은 평가를 통해 가치를 산정하게 된다. 그러나 명확한 가치산정 및 평가 체계의 부재로 인해 대부분의 경우 예상 매장량 및 가격 변동성만을 고려한 단순한 재무적 평가를 수행하고 있다. 그러나 이러한 평가는 사업이 완료될 것을 가정 사항으로 둔 것으로서, 프로젝트의 진행이나 운영과정에서의 리스크나 변동성을 고려하는 것이 어려운 것이 현실이다.

따라서 본 절에서는 프로젝트의 합리적 평가과정 중에서, 가스전 자체에 집중하여 사업 초기단계에서 획득 가능한 정보를 바탕으로 사업의 가치를 평가하기 위한 방법론을 개발하였다. 특히 기존의 단순 재무평가 관점을 벗어나 가스전의 기술적 특성, 사업 참여자의 안정성 그리고 사업 안정성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 각각 4개씩 총 12개의 세부 평가 지표를 도출하였으며, 개별 지표의 가중치를 사용자가 입력하여 평가결과를 정량적 스케일로 표현 할 수 있도록 하였다. 또한 정성적 지표와 정량적 지표의 결합을 위해 Fuzzy-TOPSIS 방법론을 활용하였다.

나. 수행내용 및 결과

- 가스전 평가 모델 개요

(1) 가스전 사업의 지속가능성 개념

가치평가의 필요성 : 2010년 기준 전 세계 유/가스전 거래현황을 살펴보면 총 294건에 179.4 Bil. US$로 거대화 되었으며, 특히 북미 지역에서 총 거래량의 57%가 이루어져 주요 시장으로 부상하였다(표 1). 이러한 배경에는 북미 지역 중 미국의 기여도가 상당한 것으로 분석되었다. 일반적으로 미국은 정치, 경제적으로 안정된 국가로서 공개시장과 거래소의 발달로 인해 사업수행 관련 리스크가 대부분 확인된 시장으

로 인식되기 때문이다[12]. 따라서 가스전의 가치를 평가하는데 있어 재무적인 관점 외에도 가스전 자체의 특성과 사업을 진행하는 참여자에 대한 평가도 포함되어야 할 것이다.

가스전 사업은 일반적으로 Upstream 이라는 용어로 표현되기도 하며, 가스플랜트 및 저장/수송 등으로 표현되는 Downstream 과 연결되어 진행되는 사업이다. 따라서 가스전의 조성 및 특성에 따라 Downstream 의 적용기술, 용량, 생산물의 품질, 재무적 타당성 등이 변화하게 된다.

그러나 기존의 가스전의 가치 평가는 운영단계에서의 생산품이 주요한 요인으로 고려되었기 때문에, 가스전 계획단계에서부터 플랜트 건설까지의 변동성 고려가 어려웠다. 특히, 표 1에서처럼 전 세계적으로 유/가스전을 거래하는 사례가 늘어나고 거래금액 또한 대형화 되면서, 가스전 자체의 가치를 평가하는 방법론에 대한 요구가 늘어나고 있다[13].

표 26. 전 세계 유/가스전 거래 현황(2010년 기준; Goodisman, 2011)

구분	계약 수 (건)	계약 금액 (Bil. US$)	비율 (%)
북미	210	101.9	57
남미	16	32.2	18
아시아/태평양	18	18.3	10
구 소련 지역	10	13.2	7
유럽	19	7.2	4
아프리카	21	6.6	4
합계	**294**	**179.4**	**100**

(2) 가스전 사업의 지속가능성 평가 모델

평가 모델 : 가스전 사업의 지속 가능성을 평가하기 위해 본 연구에서는 기존 사례 및 문헌의 분석을 통해 주요 평가 요소를 도출하였으며, 전문가 자문을 통해 가스전

12) 신승헌, 박희원, 임종세, 2012, "미국의 지역별 생산 유·가스전 가치평가의 특성요소 분석", 한국지구시스템공학회지, Vol. 49, No. 3, pp. 309-318

13) Goodisman, A., 2011, "Merger, Acquisition & Divestment Trends in the International & U.S. Arena," Presentation Material, Proceedings of IPAA & TIPRO conference, Houston, U.S.A., January 12.

사업의 지속 가능성 관점에서의 평가 모델을 구성하였다. 이를 통해 사업의 지속가능성을 평가하는 데에는 재무적 요인, 기술적 요인 그리고 조직적 요인의 세 가지 분류가 필요함을 도출하였고 이들 요인을 각각 가스전의 특성에 맞추어 재구성 하였다(그림 8).

가스전 특성 : 가스전 사업을 수행하기 위해서는 대상 가스전에 대한 기술적 분석 및 정의가 필요하다. 그러나 사업 초기 단계에서는 가스전에 대한 정확한 정보나 자료가 존재하지 않으므로, 기 추출된 샘플을(Raw Feed Gas; RFG) 분석하여 가스전에 대한 객관적인 정보를 평가해야 한다.

참여자 안정성 : 가스전 사업은 장기간의 사업기간동안에 대규모의 자금이 투입되고, 가스전 개발 완료 이후에 매년 일정금액씩 수익이 발생하는 구조이다. 따라서 장기간의 대규모 금융 조달이 가능하도록 공신력 있는 참여자가 필수적이며, 이들을 안정적으로 뒷받침 해줄 금융을 포함하여 평가가 진행되어야 한다.

사업 안정성 : 사업의 성패는 예상 비용범위 내에서, 기대 수익을 올리는 것이다. 그러나 가스전 사업은 장기간의 사업기간과 대규모의 투입금액으로 인해 사업 경험이 부족하다. 따라서 예측과 관리에 많은 노하우와 기술력이 필요하기 때문에, 이러한 계획 및 운영이 가능함을 평가하는 것이 필요하다.

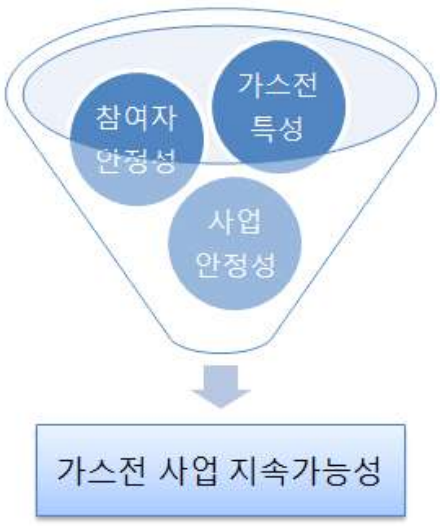


그림 29. 가스전 사업의 지속가능성 평가 모델

(3) 정량화 방법론

정량적 가이드라인이 제시된 지표의 경우에는, 각 기준에 따라 평가를 진행 할 수 있다. 정성적 지표의 경우에는 다수 평가자의 전문적 직관과 경험을 바탕으로 3점 리커트 척도(Likert Scale) 로 측정이 가능하다. 또한 평가자의 지식 획득 정도에 따라 5점 이상의 리커트 척도로도 변경이 가능하며, 각 기준별 가이드라인도 사용자가 사업 특성에 맞추어 변경이 가능하다.

평가 모델 (Fuzzy-TOPSIS방법의 정당성) : 비율/선형 가중치 방법은 가장 전통적인 방식으로 가장 중요하다고 생각되는 기준에 가장 큰 가중치를 부여하는 방식으로 누구나 손쉽게 사용할 수 있고 이해하기 쉬워 실무 적용성이 높은 장점이 있다.
세부 평가 지표를 다수의 전문가가 평가한 주관적/객관적 결과를 통합하여 최적의 해를 찾는 방법론으로서 다변수, 다평가자를 통해 지속가능성 평가 3대 기준을 0~1 사이의 고유의 값으로서 계산해준다(그림 26).

이후 가스전 사업 지속가능성을 확인하기 위해 평가자는 3대 기준(가스전 특성, 참여자 안정성, 사업 안정성)에 대한 가중치를 설정하고, Fuzzy-TOPSIS 결과를 입력하여 최종 평가를 완료 한다.

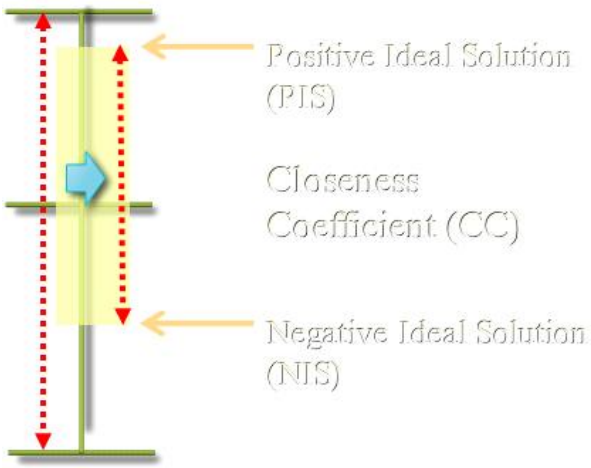


그림 30. TOPSIS를 통한 평가결과의 최적값 산정

- 가스전 특성 분석

(1) 가스전 특성의 특징

제한된 정보 및 높은 변동성 : 가스전의 성격 및 규모 등을 확인하고 검증하기 위

해서는 다양한 정보와 분석이 필요하다. 그러나 가스전을 탐사하고 계획하는 단계는 사업의 극 초기 단계로서 이러한 정보의 확보가 어려우며, 획득한 정보에 있어서도 정확성을 보장하기 어렵다. 또한 가스전의 탐사는 드넓은 광구 가운데 최대 수십 기 정도의 시추를 통해 샘플을 기반으로 분석을 진행하게 된다. 또한 지형적 탐사 및 각종 통계기법을 활용하여 예상 매장량 및 가채연한 등을 계산하기 때문에 이러한 결과물에 대한 변동성이 매우 크다.

가스전을 분석하기 위해서는 다양한 변수 들이 존재하고 있으나, 주요 변수를 도출하여 변동성을 최소화 하는 것이 중요하다. 결과적으로 가스전의 조성(열량), 예상 매장량, NGL/Condensate 그리고 인프라 접근성의 네 가지 세부 지표를 선정하였다.
이들 지표는 각각의 특성에 따라 정량 및 정성의 결과를 나타내고 있으므로, 이를 통합하여 종합평가를 위해 Fuzzy-TOPSIS 를 활용하여 독립된 값으로서 활용 할 수 있도록 하였다.

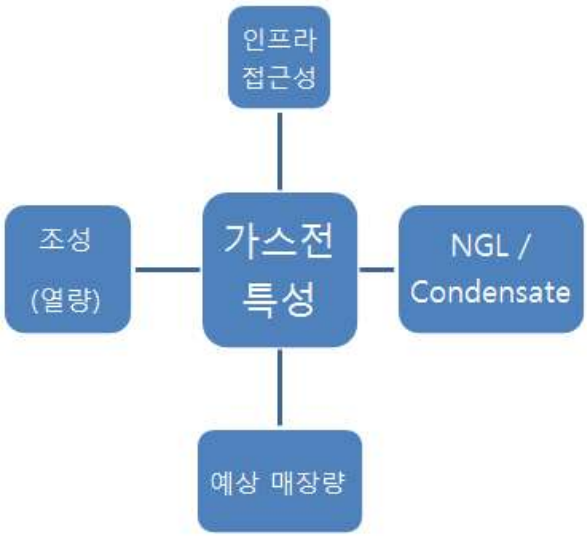


그림 31. 가스전 특성 분석모듈

(2) 가스전 특성 세부 평가 지표

조성(열량) : 조성은(Components) 가스전에서 추출된 RFG가스에 의해 생산 가능한 상품을 의미하며, 주로 C1, C2, C3, C4, C5 의 비율과 이들을 통해 계산된 예상 열량으로서 평가 할 수 있다.

예상 열량이 3,400,000 MMBTU 이상인 경우를 양질의 가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 2,700,000 MMBTU 이하인 경우를 비양질의 가

스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

예상 매장량 : 해당 광구의 분석을 통해 예상 되어지는 매장량을 평가하는 것으로서 가채 연한 및 사업 지속 기간과 직접적으로 연결되어 지는 지표이다. 광구에 대한 3D 탄성파 및 지형 분석을 활용하게 되며, 분석의 변동성을 상대 비교하기 위해 유사 지형 및 사례를 분석하여 변동성을 반영해야 한다.

예상 매장량이 5 TCF 이상인 경우를 대형가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 0.5 TCF 이하인 경우를 소형 가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

NGL/Condensate 비율 : 가스전 개발 과정에서 예상되는 추가 비용 및 수익과 직접적으로 연결되어지는 지표 이다. 이물질이 많이 포함될 경우에는 이를 처리하기 위해 추가적인 설비 및 비용이 발생되게 되며, Condensate 등 판매 가능한 물질이 많을 경우에는 추가적인 경제성이 확보된다.

CO2, Sulphur 등 액화플랜트에서 제거해야할 물질이 적고(15% 이하), Condensate 등 추가 수익원 물질이 많을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 제거물질이 많고(30% 이상) 추가 수익원 물질이 적을 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

인프라 접근성 : Upstream과 Downstream 간의 연계성 및 추가 건설비와 직접적으로 연결되어지는 지표이며, 가스전에서 액화 플랜트까지의 Feed gas 수송에서의 어려움 정도를 포함하여 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 사업수행이 기술적으로 문안하다고 판단될 경우에는 3 (Good)로 평가하고 어려울 경우는 1 (Bad)로 평가한다. 나머지 경우에는 2 (Moderate)로 평가한다.

- 참여자 안정성 분석

(1) 참여자 안정성의 특징

참여자간의 장기적 신뢰관계 구축 : 가스전 사업은 실패확률이 높고, 대규모의 비용이 발생하는 고위험의 사업이다. 또한 수익발생 시점까지 장기간이 소요되고, 수익 또한 매년 일정 금액씩 발생하게 된다. 따라서 이러한 가스전 사업의 특성에서 참여자의 안정적인 참여 및 지속적인 투자는 필수적이다.

참여자들이 안정적인 조직구조를 형성하기 위해서는 재무적 투자자를 포함한 참여자간의 장기적인 신뢰 구축이 중요하다. 사업구조의 신뢰성을 평가하기 위해서는 다양한 변수가 가능하나, 결과적으로 에너지 메이저 기업인 IOC 의 사업 지분율, 참여자 간의 과거 협력 경험, 개발 사업 경험 그리고 우호적 투자 비율을 선정하였다.
이들 지표는 각각의 특성에 따라 정량 및 정성의 결과를 나타내고 있으므로, 이를 통합하여 종합평가를 위해 Fuzzy-TOPSIS 를 활용하여 독립된 값으로서 활용 할 수 있도록 하였다.



그림 32. 참여자 안정성 분석모듈

(2) 참여자 안정성 세부 평가 지표

IOC 지분율 : 가스전 사업 지분 구성에서 공신력 있고, 인지도가 큰 업체의 비율이 높을수록 사업 참여자 간의 신뢰성이 확보될 가능성이 높다. 특히 대형 유/가스전을 많이 보유하고 있는 메이저 IOC 업체의 지분이 높을수록 참여자간의 신뢰성에 대한 리스크가 낮아지게 되는 것이 현실이다. 대부분의 가스전 사업이 후진국 또는 개발도상국에서 이루어지기 때문에 이들 국가의 로컬 기업이나 소규모 기업의 참여가 많은 것 보다는 메이저 IOC 기업이 더 긍정적인 평가를 받을 수 있다. 따라서 지분 참여자의 특성을 반영하여 평가해야 한다.

IOC 기업 및 아국 정부 등 공신력 있는 기관의 지분이 높을 경우(70% 이상) 평가를 3 (Good)으로, 로컬 및 비 메이저 기업 등의 지분이 높을 경우(50% 이상) 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

과거 협력 경험 : 참여자들 간의 신뢰성을 판단하기 위해서는 기존의 사업/비사업적 관계를 분석하여 반영하는 것이 필요하다. 이를 위해 기존의 사업/비사업적 협력 사례를 분석하고, 타 기업들과의 협력 사례도 가능한 범위에서 조사하여 반영해야 한다. 특히 로컬 정부 및 IOC 와의 협력 경험을 분석하는 것이 중요하다

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 기존의 사업/비사업적 경험 및 타 기업들과의 협력 사례를 분석하여 평판도가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 평판도가 나쁠 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 관련 경험이 부족하거나, 보통일 경우에는 2 (Moderate)로 평가한다.

사업수행 경험 : 사업을 리딩하는 업체/정부의 신뢰성을 판단하는 것이 필요하다. 이를 위해 로컬 정부나 리딩 기업이 수행한 사업의 진행상태 및 성과를 분석하여 평가해야 한다.

사업 리딩 기관이 수행하는 타 사업의 진행상태 및 성과가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 나쁜 경우가 더 많은 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

우호적 투자금 비율 : 가스전 사업은 장기간의 투자가 요구되고, 수익은 미래에 단계적으로 발생하게 된다. 이러한 사업구조를 안정적으로 지탱하기 위해서는 사업 투자금의 안정적인 지원이 필요하다. 따라서 재무적 투자자의 구조를 분석하여 우호적 투자금 비율을 평가해야 한다.

재무적 투자자의 구조를 분석했을 때 정부 투자금, IOC 직접 투자금, 장기 투자금 등 우호적 투자금을 취합하여 비율이 높을 경우에는 3 (Good)으로 평가하고 비율이 낮을 경우에는 1 (Bad)로 평가한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

- 사업 안정성 분석

(1) 사업안정성의 특징

개발사업 경험정도 및 발주자 리스크 : 가스전 사업은 장기간의 사업기간이 요구되고, 천연가스 판매 계약이 사업초기에 이루어진 후 매년 단계적인 계약이행이 필요하다는 특성을 가지고 있다. 이러한 개발사업의 특성을 이해하고, 발주자의 안정적인 지원을 받을수 있도록 하는 것이 중요하다. 따라서 리딩 기관 및 발주자의 개발사업 경험정도를 분석하고, 발주자의 사업 중단이나 타절 등 무리한 요구 등에 대한 발주자 리스크를 반영해서 평가해야 한다.

사업의 안정성을 확보하기 위해서는 사업 참여자 모두 장기적인 관점에서의 투자 및 관리가 필수적이다. 또한 사업 변동, 유가, 발주자 변동 등 긴 사업기간으로 인한 다양한 외부적/내부적 변수의 영향이 크게 발생하므로 이러한 변수를 잘 관리할수 있는 경험과 지식을 평가하는 것이 필요하다. 다양한 평가가 가능하나 결과적으로 개발사업 수행경험, 전문성 확보정도, 발주자 리스크 그리고 판매처 확보정도를 선정하였다.

이들 지표는 각각의 특성에 따라 정량 및 정성의 결과를 나타내고 있으므로, 이를 통합하여 종합평가를 위해 Fuzzy-TOPSIS 를 활용하여 독립된 값으로서 활용 할 수 있도록 하였다.

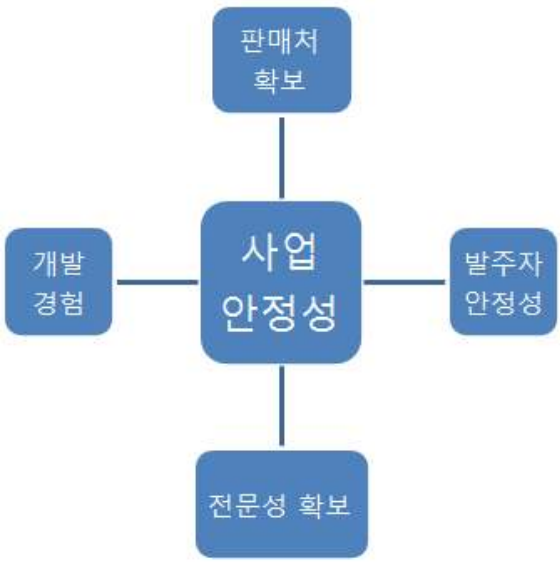


그림 33. 사업 안정성 분석모듈

(2) 사업 안정성 세부 평가 지표

개발사업 수행경험 : 가스전은 대규모 자금 투자와 장기간의 사업수행 구조를 가지는 특성을 가지고 있다. 또한 개발사업의 특성 상 많은 리스크와 변동성이 존재한다. 따라서 이러한 특성을 이해하지 못한다면, 사업계획에서부터 어려움을 겪게 되거나 최종 사업성과에 악영향을 미치게 된다. 따라서 과거 개발사업 수행경험, 가스전 사업 참여 경험, 가스전 사업 리딩 경험 등을 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 기존의 가스전 및 비 가스전 개발 경험 및 성과를 분석하여, 수행경험이 많고 성과가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 수행경험이 없거나 성과가 좋지 않을 경우에는

평가를 1 (Bad)로 한다. 관련 경험이 부족하거나 성과가 보통일 경우에는 2 (Moderate) 로 평가한다.

전문성 확보 정도 : 가스전 사업은 다양한 전문 지식 및 고유의 라이센스가 요구되는 고도화된 사업이다. 이러한 전문 기술들을 확보하지 못한다면, 사업수행 과정에서 추가적인 지출이나 품질의 문제를 일으킬 수 있으므로 이를 반영해야 한다. 따라서 라이센스 확보정도, EPC 경험 정도 그리고 운영 경험 등 전문성 확보 여부를 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 가스전 관련 전문 기술이나 라이센스가 자체보유이거나(혹은 권리/권한의 확보가 완료) 수행경험이 많을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 권리/권한의 확보가 미흡이나 경험이 부족할 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

발주자 리스크 : 발주자는 대게 로컬 정부 혹은 NOC가 역할을 대신하게 된다. 발주자는 사업의 전반적인 진행에 대한 보증을 맡고 있으므로, 발주자의 의향 및 특성을 반영해야 한다. 특히 발주자의 기존 사업 중 타절, 사업자 변경, 이유없는 지연 등 불합리한 사례를 조사해야 한다.

발주자의 기존 사업 진행 현황 및 재무제표, 신용등급 등을 조사하여, 사업자 변경이 잦거나 발주자 원인의 사업 중단 등이 많은 경우에는 평가를 1 (Bad)으로, 발주자 관련 문제가 없는 경우에는 평가를 3 (Good)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

판매처 확보 정도 : 가스전은 개발완료(생산 단계) 이전에 생산물의 판매에 대한 계약을 모두 완료하고, 개발 이후에 단계적으로 계약을 이행한다. 그러나 장기간의 사업으로 인해 구매자의 변동이나 국제시장의 변화로 인해 판매계약에 문제가 발생할 수 있으므로 이러한 리스크 요인을 반영해서 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 판매 계약이 로컬/아국 정부나 사업 참여자들로 구성된 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 구매처가 재무적으로 부실하거나 신뢰성이 미흡할 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

다. 주요 결과 및 시사점

가스전 사업의 지속가능성을 평가하기 위해서 가스전 특성, 참여자 안정성 그리고

사업 안정성의 3대 분류기준을 도출하였으며, 이를 평가하기 위한 세부평가 요인으로 조성, IOC 지분율, 발주자 리스크 등 총 12개의 세부 평가 요인을 개발 하였다. 또한 각 세부 요인별로 평가 방안을 제시하였으며, 특히 정량적인 구분이 가능한 지표의 경우에는 특정화된 값을 통해 가이드라인을 제시하였다.

개발된 12개 세부지표과 Fuzzy-TOPSIS 방법론을 활용하여, 가스전 사업의 지속 가능성을 평가 할 수 있는 프레임워크를 개발하였다. 이를 통해 정량/정성의 평가 요인을 다수의 전문가가 평가하고, 다시 최적화된 하나의 결과값으로 표현 할 수 있도록 하였다.

이들 기준은 기존의 사업성 평가인 재무적 관점의 평가와는 차별화된 평가모델로서 가스전의 기술적, 재무적, 조직적 리스크를 종합적으로 평가하였다. 또한 평가 결과를 도출 하는 과정에서 다수의 전문가가 참여 할 수 있도록 구성하였으며, 이들의 평가 결과를 하나의 값으로 표현 할 수 있게 하였다.

○ Gate 3A

가. 개요

해외 LNG 플랜트 개발사업의 진출의 개발참여도 의사결정을 위한 첫 단계인 사업 환경 분석은 진출여부를 고려중인 가스전 프로젝트(이하 프로젝트)의 조성 등 상세 여건을 검토하기 이전에 거시적 관점에서 진출국의 특성 및 사업 여건을 분석하여 국내기업의 진출 및 투자의 적합성을 판단하고 그 여부에 따른 적절한 대응전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용하는 데에 그 목적이 있다.

기존의 해외시장 사업 환경 분석과 관련한 연구들은 1) 주로 건설사업 시공자 관점에 초점을 두어 투자 및 개발 영역의 반영이 미흡하였으며, 2) 사업의 성과 저하의 원인이 될 수 있는 리스크 규명을 우선순위로 두어 기회(opportunity) 및 기대되는 보상(expected reward) 측면에 대한 고려는 부족한 양상을 보이고, 3) 객관적이고 신뢰성 있는 지표 및 자료를 활용하기보다 전문가·실무자의 직관적·주관적 판단에 의존하는 경우가 많아, 4) 평가기법으로 체크리스트 또는 확률-영향 평가를 활용하여 상대적 수준 이외에 절대적 수준의 판단에는 적용한계가 있다는 특성을 갖는다.

해외 LNG플랜트 사업의 안정적 수행을 위해서는 발주국의 정치, 경제 등 제도적 여건과 사회적 안정성, 해당국 시장에서 외국기업의 비즈니스 수행의 안정성, 그리고 에너지 및 LNG 산업의 성공 기회에 대한 측면을 검토해야 한다. 따라서 본 연구는 이를 검토하기 위한 분석 영역을 정의하고, 분석결과의 객관성·신뢰성 확보를 위해 객관적 데이터 활용을 극대화하고자 하였다.

또한 평가체계 활용의 지속성 및 지식 축적 효과를 제고하기 위해 표준화된 평가방법론을 제시하고 의사결정을 위한 가이드라인 초안을 제시하였다.

나. 수행내용 및 결과

- LNG 도입물량 도출을 위한 분석 기준

본 연구는 국내로의 LNG 도입물량 최적화 분석을 위한 거시적 관점에서의 핵심 고려요인에 대한 도출을 목표로 하였으며, 천연가스 액화플랜트 프로젝트의 지분참여를 기반으로 분석을 진행하는 것으로 연구의 범위를 한정하였다. 이를 위해 기존문헌과 전문가 자문을 활용하여, 기존의 도입방법에 대한 분석을 진행하여 문제점을 도출

하고자 한다. 이후, 내부와 외부적 관점을 고려한 거시적 관점에서의 핵심요인을 제안하고자 한다.

(1) 기존 연구의 분석기준 검토

건설 산업의 해외진출을 위한 사업 환경 분석 연구는 대개 리스크 인자의 도출 및 평가와 관련한 연구가 대부분으로, 건설 프로젝트 시공자 관점의 접근이 주를 이루었기에 사업 정의(project definition)이 이뤄진 이후에 초점을 두고 진행되었다.

기존의 연구는 진출국 사업 환경을 정치, 경제, 제도 등으로 구분하거나(Han and Diekmann, 2001[14] 등), 진출국가 및 발주자를 통합하여(Han et al. 2007[15]; Ozorhon et al. 2007[16] 등) 이들 영역과 관련한 리스크를 분석한 연구가 주류를 이루었다. 또한 자재 및 장비 등의 Logistics의 용이성과 관련한 요소도 포함되었다.

이와 같은 사업환경 요소는 대부분 리스크 인자의 선별 및 체크리스트를 통한 분석을 적용하였으며, 설계자 및 시공자 관점의 요소에 집중되어 투자자 및 개발자 관점의 요소(세금 및 투자보호 등) 반영 등에는 미흡한 경향을 보였다.

LNG 및 플랜트 산업 영역의 학술적 연구들은 일반 해외사업 연구보다 산업 특성에 따른 환경 및 기술적 리스크 등을 고려하였으나, 보상(reward) 측면에 대한 고려가 부족하고 여전히 개발 보다는 시공 및 EPC 관점의 연구가 많은 경향을 보였다.

구체적으로 프로젝트 경제성 평가에서 매장량, 생산량, 투자비 및 운영비, 가스가격 등을 고려하거나(전보현 및 정헌섭, 1996)[17] 대규모 사업의 복합성에 따른 사업참여자 간의 관계를 반영한 리스크 평가 및 의사결정 모델을 제안하는 등(강병태 및 김용수, 2012[18]; Castilo 및 Dorao, 2011[19] 등) 자원 산업의 특성을 고려하는 양상을 보였다.

한편, 안성훈 등(2008)[20]은 해외 플랜트 프로젝트 리스크의 평가에 있어 세금·관

14) Han, S. H. and J. E. Diekmann (2001). "Approaches for Making Risk-Based Go/No-Go Decision for International Projects." Journal of Construction Engineering and Management 127(4): 300-308.

15) Han, S. H., et al. (2007). "Predicting Profit Performance for Selecting Candidate International Construction Projects." Journal of Construction Engineering and Management 133(6): 425-436.

16) Ozorhon, B., et al. (2007). "Effect of host country and project conditions in international construction joint ventures." International Journal of Project Management 25(8): 799-806.

17) 전보현, 정헌섭 (1996) 유전 및 가스전에서 투자위험도를 고려한 경제성 평가 모델, 한국자원공학회지, 제33호, 61-74

18) 강병태, 김용수 (2012) AHP기법을 활용한 해외 플랜트 사업의 정성적 위험요인 평가, 한국건설관리학회 전국 대학생 학술발표대회 논문집

19) Castilo L. and Dorao Carlos (2011) Decision-making on Liquefied Natural Gas (LNG) projects using game theory, IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making, 60-66.

20) 안성훈, 이영남, 조호규 (2008) 해외 플랜트 공사 리스크 평가 방안 및 적용에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제1호, 134-142

세, 정치, 법,문화 등 진출국 관련 요소와 발주자특성, 시장의 경제적 특성 및 조달여건 등 사업환경을 고려하였으나, 확률-영향도 매트릭스 기반의 주관적 평가체계를 활용하여 정확성 및 신뢰성의 제약이 있다는 한계를 가진다.

한편, 국제 시장조사 전문기관인 Business Monitor International(BMI)은 해외 석유 및 천연가스 시장의 분석에 있어 국가 및 산업 차원의 보상 개념을 제시하고 있는데, 특히 산업 차원의 보상 파악에 있어서는 '비정부 소유 기업의 유무(또는 수)', '정부소유 자산의 비율' 등의 지표를 활용하여 민간사업자의 시장진입 및 비즈니스의 보상을 평가하고 있다.

(2) 사업환경 분석영역 설정

진출국 정치·제도의 거시적 안정성 : LNG 개발사업은 통상 수십 년의 장기간 사업이므로 진출국 정치·제도의 성숙도 및 법규·제도의 안정성, 정부효율성 및 부패 등 거시적 측면의 검토가 필수적이다.

일반적인 사업 수행 안정성 : 진출국에서의 투자 및 사업의 개시, 사업 운영상의 안정성을 평가하기 위하여 행정절차의 특성, 재산 및 투자의 보호, 세금 및 계약준수 등의 특성에 대한 고려가 필요하다.

LNG산업 사업수행 안정성 : LNG 산업에 특화된 고려 항목으로, 가스사업의 영역을 중류영역의 기대보상[21] 수준 (expected rewards)을 파악해야 하며, 또한 현지의 유사 프로젝트 진행·계획 현황과 산업정책, 투자전망 등으로부터 사업추진의 여건을 파악할 필요가 있다.

위와 같이 설정한 사업환경 분석 영역을 그 범위 및 특성에 따라 정리하면 그림 7과 같다.

(3) 영역별 지표 설정

앞에서 제시한 분석영역을 기초로, 각 영역별로 진출국을 평가하기 위한 지표를 선정하였다. 분석결과의 신뢰성을 제고하고, 평가에 따른 업무부담을 최소화하기 위하여 공신력 있는 기관의 정기 발행 지표 도입을 우선하였으며, 적절한 기존 지표가 없는 경우 석유 및 천연가스 등 에너지 시장조사 전문기관인 Business Monitor International, PFC Energy 등의 조사방법론을 참조하여 설정하였다.

21) 일반적으로 보상(reward)은 리스크과 함께 맞물려 '득과실' 또는 '위험과 보상'으로 활용되는 개념으로, 본 연구에서는 '위험을 감수하고 사업을 추진하여 확보할 수 있는 성과'의 잠재성을 판단하기 위한 기준으로 도입하였다.

세계통치지표[22] (Worldwide Governance Indicator: WGI) : 세계은행(World Bank)에서 공동으로 발간하는 지표이다. 세계은행은 각 국가의 개발과정에 참여할 수 있도록 보장하는 제도 및 체제가 경제성장에 있어 갖는 중요성을 인식, 매년 이 지표를 발표하고 있다. 총 6가지 평가항목에 대해 -2.5 (취약)에서 +2.5 (우수) 로 정량적 평가를 실시하고 있으며 그 상세 내용은 다음과 같다.

- 민권 및 언론자유도 (voice and accountability)
- 정치적 안정성 (political stability and absence of violence)
- 정부의 효율성 (government effectiveness)
- 법·규제의 완성도 (regulatory quality)
- 준법 수준 (rule of law)
- 부패의 통제 (control of corruption)

사업환경지표[23] (Doing Business Indicator: DBI) : 세계은행과 국제금융공사 (International Finance Corporation: IFC)가 공동으로 발표하는 사업환경지표는 185개국의 사업 용이성을 나타내는 지표로, 각국의 기업활동 관련 법규정에 대한 평가를 기초로 하여 주재국의 현 기업환경과 타국과의 상대적 수준을 평가하는 데 유용한 것으로 평가된다. 총 10가지 항목에 대한 개별적 평가 및 순위, 그리고 종합 순위를 제공하고 있는데, 평가방법은 각 지표의 특성에 따라 행정적 절차의 단계, 처리에 소요되는 기간 및 비용, 세율, 그리고 스케일(1-10) 점수 등으로 측정하며, 지표의 내용은 다음과 같다.

- 기업의 설립 (starting a business)
- 건설 인허가 (dealing with construction permits)
- 전력 수급 (getting electricity)
- 재산권 등록 (registering property)
- 금융 근접성 (getting credit) : 차입의 용이성
- 투자자 보호 (protecting investors)

22) The World Bank Group, “Worldwide Governance Indicators” http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.asp <2013-02-12>
23) The World Bank Group, “Doing Business, measuring business regulations” http://www.doingbusiness.org/ <2013-02-12>

- 세금 지불 (paying taxes)
- 국제 무역 (trading across borders)
- 계약 이행 (enforcing contracts)
- 부채 해결 (resolving insolvency)

위에서 제시한 항목들은 평가기준이 서로 상이하여 국가간 상대비교는 가능하나 절대적 수준의 판단이 어렵다는 단점을 가지는데, 10개 항목의 종합 순위를 나타내는 사업용이 순위(ease of doing business rank) 역시 동일한 특성을 갖는다. 세계은행은 이 단점을 보완하기 위해 가장 사업이 용이한(best performance) 국가와의 점수 격차를 나타내는 거리값(distance to frontier: DF)을 함께 제공하고 있다.

중류(upstream) 영역 기대보상 평가지표 : 중류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다. 6개 지표의 상세 내용은 다음과 같다.

- 발주국 의무 공급 비율
- 천연가스 연평균 생산량
- 천연가스 최대 생산량
- 천연가스 생산량의 성장률
- 중류 비정부 소유자산 비율
- 중류 비정부 소유기업 비율

사업추진 여건 평가지표 : LNG사업의 지속 및 산업 성장을 위해서는 발주국 정부의 에너지 관련 정책(투자 및 육성정책 등)과 정부부처의 지배구조(administrative agency structure)에 대한 검토가 필요하다. 또한 현지에 검토하고자 하는 사업과 유사한 프로젝트가 진행중이거나 계획되어 있는지에 따라 향후 사업추진의 용이 및 편의성을 참조할 수 있다. 선정된 4개의 평가지표는 다음과 같다.

- 발주국 정부의 재정투자계획
- 발주국 정부의 천연가스 관리구조
- 현지 진행중인 유사 프로젝트 현황
- 현지 계획중인 유사 프로젝트 현황

- 정량적 평가를 위한 분석방법론

본 연구는 지표별 축적(scale)의 상이 및 이에서 비롯되는 의사결정 활용성 저하를 예방하기 위하여 영역별 및 종합적 정량적 평가 기준을 설정하였다. 이를 위해 각 영역별 점수의 소계가 100점 만점이 되도록 구성하였으며, 5개 영역별 점수의 총합도 100점 만점으로 산출되도록 구성하였다. 그 상세 절차 및 방법은 다음과 같다.

(1) 사업환경 영역별 점수 산정

사업환경 본 연구는 지표별 축적(scale)의 상이 및 이에서 비롯되는 의사결정 활용성 저하를 보완하기 위하여 다음과 같은 영역별 정량화 보정을 적용한다.

정치·제도 안정성(Governance)은 세계은행에서 발표하는 WGI의 6개 지표를 활용한다. 각 지표는 (-)2.5에서 (+)2.5의 값을 갖는 절대적 지표로, 선형 비례를 거쳐 쉽게 0~100의 점수로 변환할 수 있다. 변환된 값은 (식 1)과 같이 산술평균을 통해 최종 정치·제도 안정성 지표를 산정한다.

$$x_g = \sum_{i=1}^{6} \frac{1}{6} x_{gi} \qquad (1)$$

여기서, x_g = 정치·제도 안정성 지표 (governance indicator), $(i = 1, 2, \cdots 6)$

사업수행 안정성(Business)은 세계은행에서 발표하는 DBI의 10개 지표를 활용하되, 상대비교 뿐 아니라 절대수준의 판단이 가능하도록 DF값(0~100의 값을 가진다)을 그대로 활용한다. 10개 세부지표의 비중은 동일하게 적용하는 것으로 가정한다.

상류영역 기대보상(Upstream reward)은 산업 차원의 보상 가중치를 75%, 국가 차원의 보상 가중치를 25%로 설정하고 각 세부영역 내의 지표는 동등한 세부가중치를 갖도록 설정하여(예: 상류영역 산업차원 보상지표는 4개이므로 75% ÷ 4 = 18.75%) 합산) 산정하도록 한다. 생산량 및 비율에 따른 점수 평가는 등간척도(interval scale) 법을 적용하며, 척도는 추후 보완 예정이다.

사업추진 여건(Present condition)은 전문가의 정성적 평가가 필요한 항목으로, 정성적 평가에 따른 점수 부여 기준은 추후 보완 예정이다. 사업추진 여건의 영역 점수 합계를 위해서는 투자계획 및 지배구조 등 정부 차원의 세부지표에 60%, 유사 프로젝트 현황 세부지표에 40%의 가중치를 부여하여 합산하도록 한다.

(2) 사업환경 영역별 점수의 종합

사업환경 평가를 구성하는 5개 영역별 점수의 종합은 (식 2)와 같이 각 영역이 동일한 비중을 갖는 것으로 가정하여 산술평균하여 산정한다.

$$x_t = \frac{1}{5} \times (x_g + x_b + x_u + x_d) \quad (2)$$

x_t = 사업환경 지표 (total indicator)

x_g = 정치·제도 안정성 지표 (governance indicator)

x_b = 사업수행 안정성 지표 (business indicator)

x_u = 상류영역 기대보상 지표 (upstream reward indicator)

x_d = 사업추진 여건 지표 (present condition indicator)

단, 사업환경 평가의 종합은 추후 한국가스공사 및 산업계 전문가 인터뷰를 통해 영역별 중요도를 산정함으로써 (식 3)과 같은 가중평균 산정방식으로의 보완이 가능하다.

$$x_t = \sum_{i=g}^{p} w_i x_i \ (w_i = \text{5개 영역별 가중치}) \quad (3)$$

표 27. 사업환경 분석의 평가 지표 및 정량화 기준

분류	지표	측정방법/단위	정량화	가중치
정치·제도 안정성 (6)	민권 및 언론자유도	세계은행의 설문 및 전문가 평가, -2.5 ~ +2.5	0 ~ 100 표준화	16.67%
	정치적 안정성			16.67%
	정부의 효율성			16.67%
	법·규제의 완성도			16.67%
	준법 수준			16.67%
	부패의 통제			16.67%
사업수행 안정성 (10)	기업의 설립	지표별 최우수 국가와의 격차정도(거리), 0 ~ 100	그대로 활용	10%
	건설 인허가			10%
	전력 수급			10%
	재산권 등록			10%
	금융 근접성			10%
	투자자 보호			10%
	세금 지불			10%
	국제 무역			10%
	계약 이행			10%
	부채 해결			10%
중류영역 기대보상 (6)	발주국 의무 공급 비율	TCM	등간척도(interval scale) 활용, 0 ~ 100 점수화	18.75%
	천연가스 연평균 생산량	TCM/년		18.75%
	천연가스 최대 생산량	TCM/년		18.75%
	천연가스 생산 성장률	%		18.75%
	중류 비정부 소유자산 비율	%		12.5%
	중류 비정부 소유기업 비율	%		12.5%
사업추진 여건 (7)	발주국 재정투자계획	정성적 평가	상동	14.3%
	발주국 천연가스 관리구조	정성적 평가		14.3%
	현지 유사프로젝트 진행현황	개수		14.3%
	현지 유사프로젝트 계획현황	개수		14.3%
	생산물 수익 회수 가능성	정성적 평가		14.3%
	자원보유국 환율 안정성	%		14.3%
	정치 및 행정적 안정성	정성적 평가		14.3%
소계	29개 지표			산술평균

- 가스전 특성 분석

(1) 가스전 특성의 특징

제한된 정보 및 높은 변동성 : 가스전의 성격 및 규모 등을 확인하고 검증하기 위해서는 다양한 정보와 분석이 필요하다. 그러나 가스전을 탐사하고 계획하는 단계는 사업의 극 초기 단계로서 이러한 정보의 확보가 어려우며, 획득한 정보에 있어서도 정확성을 보장하기 어렵다. 또한 가스전의 탐사는 드넓은 광구 가운데 최대 수십 기 정도의 시추를 통해 샘플을 기반으로 분석을 진행하게 된다. 또한 지형적 탐사 및 각종 통계기법을 활용하여 예상 매장량 및 가채연한 등을 계산하기 때문에 이러한 결과물에 대한 변동성이 매우 크다.

가스전을 분석하기 위해서는 다양한 변수 들이 존재하고 있으나, 주요 변수를 도출하여 변동성을 최소화 하는 것이 중요하다. 결과적으로 가스전의 조성(열량), 예상 매장량, NGL/Condensate 그리고 인프라 접근성의 네 가지 세부 지표를 선정하였다.
이들 지표는 각각의 특성에 따라 정량 및 정성의 결과를 나타내고 있으므로, 이를 통합하여 종합평가를 위해 Fuzzy-TOPSIS 를 활용하여 독립된 값으로서 활용 할 수 있도록 하였다.

(2) 가스전 특성 세부 평가 지표

조성(열량) : 조성은(Components) 가스전에서 추출된 RFG가스에 의해 생산 가능한 상품을 의미하며, 주로 C1, C2, C3, C4, C5 의 비율과 이들을 통해 계산된 예상 열량으로서 평가 할 수 있다.

예상 열량이 3,400,000 MMBTU 이상인 경우를 양질의 가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 2,700,000 MMBTU 이하인 경우를 비양질의 가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

예상 매장량 : 해당 광구의 분석을 통해 예상 되어지는 매장량을 평가하는 것으로서 가채 연한 및 사업 지속 기간과 직접적으로 연결되어 지는 지표이다. 광구에 대한 3D 탄성파 및 지형 분석을 활용하게 되며, 분석의 변동성을 상대 비교하기 위해 유사 지형 및 사례를 분석하여 변동성을 반영해야 한다.

예상 매장량이 5 TCF 이상인 경우를 대형가스전으로 정의하며 이러한 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 0.5 TCF 이하인 경우를 소형 가스전으로 정의하며 이러한 경

우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

NGL/Condensate 비율 : 가스전 개발 과정에서 예상되는 추가 비용 및 수익과 직접적으로 연결되어지는 지표 이다. 이물질이 많이 포함될 경우에는 이를 처리하기 위해 추가적인 설비 및 비용이 발생되게 되며, Condensate 등 판매 가능한 물질이 많을 경우에는 추가적인 경제성이 확보된다.

CO2, Sulphur 등 액화플랜트에서 제거해야할 물질이 적고(15% 이하), Condensate 등 추가 수익원 물질이 많을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 제거물질이 많고(30% 이상) 추가 수익원 물질이 적을 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

인프라 접근성 : Updtream과 Downstream 간의 연계성 및 추가 건설비와 직접적으로 연결되어지는 지표이며, 가스전에서 액화 플랜트까지의 Feed gas 수송에서의 어려움 정도를 포함하여 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 사업수행이 기술적으로 문안하다고 판단될 경우에는 3 (Good)로 평가하고 어려울 경우는 1 (Bad)로 평가한다. 나머지 경우에는 2 (Moderate)로 평가한다.

(2) 가스전 사업의 지속가능성 평가 모델

평가 모델 : 가스전 사업의 지속 가능성을 평가하기 위해 본 연구에서는 기존 사례 및 문헌의 분석을 통해 주요 평가 요소를 도출하였으며, 전문가 자문을 통해 가스전 사업의 지속 가능성 관점에서의 평가 모델을 구성하였다. 이를 통해 사업의 지속가능성을 평가하는 데에는 재무적 요인, 기술적 요인 그리고 조직적 요인의 세 가지 분류가 필요함을 도출하였고 이들 요인을 각각 가스전의 특성에 맞추어 재구성 하였다(그림 8).

가스전 특성 : 가스전 사업을 수행하기 위해서는 대상 가스전에 대한 기술적 분석 및 정의가 필요하다. 그러나 사업 초기 단계에서는 가스전에 대한 정확한 정보나 자료가 존재하지 않으므로, 기 추출된 샘플을(Raw Feed Gas; RFG) 분석하여 가스전에 대한 객관적인 정보를 평가해야 한다.

참여자 안정성 : 가스전 사업은 장기간의 사업기간동안에 대규모의 자금이 투입되고, 가스전 개발 완료 이후에 매년 일정금액씩 수익이 발생하는 구조이다. 따라서 장기간의 대규모 금융 조달이 가능하도록 공신력 있는 참여자가 필수적이며, 이들을 안정적으로 뒷받침 해줄 금융을 포함하여 평가가 진행되어야 한다.

사업 안정성 : 사업의 성패는 예상 비용범위 내에서, 기대 수익을 올리는 것이다. 그러나 가스전 사업은 장기간의 사업기간과 대규모의 투입금액으로 인해 사업 경험이 부족하다. 따라서 예측과 관리에 많은 노하우와 기술력이 필요하기 때문에, 이러한 계획 및 운영이 가능함을 평가하는 것이 필요하다.

(3) 정량화 방법론

정량적 가이드라인이 제시된 지표의 경우에는, 각 기준에 따라 평가를 진행 할 수 있다. 정성적 지표의 경우에는 다수 평가자의 전문적 직관과 경험을 바탕으로 3점 리커트 척도(Likert Scale) 로 측정이 가능하다. 또한 평가자의 지식 획득 정도에 따라 5점 이상의 리커트 척도로도 변경이 가능하며, 각 기준별 가이드라인도 사용자가 사업 특성에 맞추어 변경이 가능하다.

평가 모델 (Fuzzy-TOPSIS방법의 정당성) : 비율/선형 가중치 방법은 가장 전통적인 방식으로 가장 중요하다고 생각되는 기준에 가장 큰 가중치를 부여하는 방식으로 누구나 손쉽게 사용할 수 있고 이해하기 쉬워 실무 적용성이 높은 장점이 있다.
세부 평가 지표를 다수의 전문가가 평가한 주관적/객관적 결과를 통합하여 최적의 해를 찾는 방법론으로서 다변수, 다평가자를 통해 지속가능성 평가 3대 기준을 0~1 사이의 고유의 값으로서 계산해준다(그림 9).

이후 가스전 사업 지속가능성을 확인하기 위해 평가자는 3대 기준(가스전 특성, 참여자 안정성, 사업 안정성)에 대한 가중치를 설정하고, Fuzzy-TOPSIS 결과를 입력하여 최종 평가를 완료 한다.

- 참여자 안정성 분석

(1) 참여자 안정성의 특징

참여자간의 장기적 신뢰관계 구축 : 가스전 사업은 실패확률이 높고, 대규모의 비용이 발생하는 고위험의 사업이다. 또한 수익발생 시점까지 장기간이 소요되고, 수익 또한 매년 일정 금액씩 발생하게 된다. 따라서 이러한 가스전 사업의 특성에서 참여자의 안정적인 참여 및 지속적인 투자는 필수적이다.

참여자들이 안정적인 조직구조를 형성하기 위해서는 재무적 투자자를 포함한 참여자간의 장기적인 신뢰 구축이 중요하다. 사업구조의 신뢰성을 평가하기 위해서는 다양한 변수가 가능하나, 결과적으로 에너지 메이저 기업인 IOC 의 사업 지분율, 참여

자 간의 과거 협력 경험, 개발 사업 경험 그리고 우호적 투자 비율을 선정하였다.

이들 지표는 각각의 특성에 따라 정량 및 정성의 결과를 나타내고 있으므로, 이를 통합하여 종합평가를 위해 Fuzzy-TOPSIS 를 활용하여 독립된 값으로서 활용 할 수 있도록 하였다.

(2) 참여자 안정성 세부 평가 지표

IOC 지분율 : 가스전 사업 지분 구성에서 공신력 있고, 인지도가 큰 업체의 비율이 높을수록 사업 참여자 간의 신뢰성이 확보될 가능성이 높다. 특히 대형 유/가스전을 많이 보유하고 있는 메이저 IOC 업체의 지분이 높을수록 참여자간의 신뢰성에 대한 리스크가 낮아지게 되는 것이 현실이다. 대부분의 가스전 사업이 후진국 또는 개발도상국에서 이루어지기 때문에 이들 국가의 로컬 기업이나 소규모 기업의 참여가 많은 것 보다는 메이저 IOC 기업이 더 긍정적인 평가를 받을 수 있다. 따라서 지분 참여자의 특성을 반영하여 평가해야 한다.

IOC 기업 및 아국 정부 등 공신력 있는 기관의 지분이 높을 경우(70% 이상) 평가를 3 (Good)으로, 로컬 및 비 메이저 기업 등의 지분이 높을 경우(50% 이상) 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

과거 협력 경험 : 참여자들 간의 신뢰성을 판단하기 위해서는 기존의 사업/비사업적 관계를 분석하여 반영하는 것이 필요하다. 이를 위해 기존의 사업/비사업적 협력 사례를 분석하고, 타 기업들과의 협력 사례도 가능한 범위에서 조사하여 반영해야 한다. 특히 로컬 정부 및 IOC 와의 협력 경험을 분석하는 것이 중요하다

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 기존의 사업/비사업적 경험 및 타 기업들과의 협력 사례를 분석하여 평판도가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 평판도가 나쁠 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 관련 경험이 부족하거나, 보통일 경우에는 2 (Moderate)로 평가한다.

사업수행 경험 : 사업을 리딩하는 업체/정부의 신뢰성을 판단하는 것이 필요하다. 이를 위해 로컬 정부나 리딩 기업이 수행한 사업의 진행상태 및 성과를 분석하여 평가해야 한다.

사업 리딩 기관이 수행하는 타 사업의 진행상태 및 성과가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 나쁜 경우가 더 많은 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

우호적 투자금 비율 : 가스전 사업은 장기간의 투자가 요구되고, 수익은 미래에 단

계적으로 발생하게 된다. 이러한 사업구조를 안정적으로 지탱하기 위해서는 사업 투자금의 안정적인 지원이 필요하다. 따라서 재무적 투자자의 구조를 분석하여 우호적 투자금 비율을 평가해야 한다.

재무적 투자자의 구조를 분석했을 때 정부 투자금, IOC 직접 투자금, 장기 투자금 등 우호적 투자금을 취합하여 비율이 높을 경우에는 3 (Good)으로 평가하고 비율이 낮을 경우에는 1 (Bad)로 평가한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

- 사업 안정성 분석

(1) 사업안정성의 특징

개발사업 경험정도 및 발주자 리스크 : 가스전 사업은 장기간의 사업기간이 요구되고, 천연가스 판매 계약이 사업초기에 이루어진 후 매년 단계적인 계약이행이 필요하다는 특성을 가지고 있다. 이러한 개발사업의 특성을 이해하고, 발주자의 안정적인 지원을 받을수 있도록 하는 것이 중요하다. 따라서 리딩 기관 및 발주자의 개발사업 경험정도를 분석하고, 발주자의 사업 중단이나 타절 등 무리한 요구 등에 대한 발주자 리스크를 반영해서 평가해야 한다.

사업의 안정성을 확보하기 위해서는 사업 참여자 모두 장기적인 관점에서의 투자 및 관리가 필수적이다. 또한 사업 변동, 유가, 발주자 변동 등 긴 사업기간으로 인한 다양한 외부적/내부적 변수의 영향이 크게 발생하므로 이러한 변수를 잘 관리할수 있는 경험과 지식을 평가하는 것이 필요하다. 다양한 평가가 가능하나 결과적으로 개발사업 수행경험, 전문성 확보정도, 발주자 리스크 그리고 판매처 확보정도를 선정하였다.

이들 지표는 각각의 특성에 따라 정량 및 정성의 결과를 나타내고 있으므로, 이를 통합하여 종합평가를 위해 Fuzzy-TOPSIS 를 활용하여 독립된 값으로서 활용 할 수 있도록 하였다.

(2) 사업 안정성 세부 평가 지표

개발사업 수행경험 : 가스전은 대규모 자금 투자와 장기간의 사업수행 구조를 가지는 특성을 가지고 있다. 또한 개발사업의 특성 상 많은 리스크와 변동성이 존재한다. 따라서 이러한 특성을 이해하지 못한다면, 사업계획에서부터 어려움을 겪게 되거나 최종 사업성과에 악영향을 미치게 된다. 따라서 과거 개발사업 수행경험, 가스전 사업

참여 경험, 가스전 사업 리딩 경험 등을 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 기존의 가스전 및 비 가스전 개발 경험 및 성과를 분석하여, 수행경험이 많고 성과가 좋을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 수행경험이 없거나 성과가 좋지 않을 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 관련 경험이 부족하거나 성과가 보통일 경우에는 2 (Moderate) 로 평가한다.

전문성 확보 정도 : 가스전 사업은 다양한 전문 지식 및 고유의 라이센스가 요구되는 고도화된 사업이다. 이러한 전문 기술들을 확보하지 못한다면, 사업수행 과정에서 추가적인 지출이나 품질의 문제를 일으킬 수 있으므로 이를 반영해야 한다. 따라서 라이센스 확보정도, EPC 경험 정도 그리고 운영 경험 등 전문성 확보 여부를 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 가스전 관련 전문 기술이나 라이센스가 자체보유이거나(혹은 권리/권한의 확보가 완료) 수행경험이 많을 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 권리/권한의 확보가 미흡이나 경험이 부족할 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

발주자 리스크 : 발주자는 대게 로컬 정부 혹은 NOC가 역할을 대신하게 된다. 발주자는 사업의 전반적인 진행에 대한 보증을 맡고 있으므로, 발주자의 의향 및 특성을 반영해야 한다. 특히 발주자의 기존 사업 중 타절, 사업자 변경, 이유없는 지연 등 불합리한 사례를 조사해야 한다.

발주자의 기존 사업 진행 현황 및 재무제표, 신용등급 등을 조사하여, 사업자 변경이 잦거나 발주자 원인의 사업 중단 등이 많은 경우에는 평가를 1 (Bad)으로, 발주자 관련 문제가 없는 경우에는 평가를 3 (Good)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

판매처 확보 정도 : 가스전은 개발완료(생산 단계) 이전에 생산물의 판매에 대한 계약을 모두 완료하고, 개발 이후에 단계적으로 계약을 이행한다. 그러나 장기간의 사업으로 인해 구매자의 변동이나 국제시장의 변화로 인해 판매계약에 문제가 발생할 수 있으므로 이러한 리스크 요인을 반영해서 평가해야 한다.

본 지표는 정량적인 접근이 어려운 지표로서, 평가자의 직관과 경험을 바탕으로 판매 계약이 로컬/아국 정부나 사업 참여자들로 구성된 경우에는 평가를 3 (Good)으로, 구매처가 재무적으로 부실하거나 신뢰성이 미흡할 경우에는 평가를 1 (Bad)로 한다. 나머지는 2 (Moderate)로 평가한다.

다. 주요 결과 및 시사점

본 연구는 해외 LNG플랜트 사업 진출의사결정을 위한 첫 번째 절차로 사업환경 검토를 위한 분석영역을 정의하고 관련 지표의 선정, 의사결정을 위한 정량화 방법론을 제시하였다.

분석영역의 설정을 위해 기존 해외건설 및 LNG산업의 유관 연구문헌을 검토하고, 에너지 산업에 전문성이 높은 시장조사 기관의 분석방법론을 참조하였다. 평가지표의 선정에서는 분석의 객관성, 정확성, 편의성, 지속성을 제고할 수 있도록 공신력 있는 기관의 지표 활용을 가급적 높이고자 하였다. 또한 동시에 의사결정을 수행하는 전문가의 관점을 반영할 수 있는 영역을 확보하여 실무 적용성을 동시에 확보하고자 하였다.

본 연구는 추후 종합적 점수산정 방법의 보완 및 일부 지표의 항목별 점수부여 기준 설정과 관련한 추가 연구를 수행할 예정이며, 이를 통해 평가모델의 완결성 및 신뢰성을 개선할 수 있을 것이다. 또한 상대비교가 아닌 절대적 평가가 가능한 평가체계 구축으로 인해 추후 평가 반복에 따라 분석결과가 축적되어 분석의 신뢰성이 점차 향상될 수 있을 것으로 기대된다.

가스전 사업의 지속가능성을 평가하기 위해서 가스전 특성, 참여자 안정성 그리고 사업 안정성의 3대 분류기준을 도출하였으며, 이를 평가하기 위한 세부평가 요인으로 조성, IOC 지분율, 발주자 리스크 등 총 12개의 세부 평가 요인을 개발 하였다. 또한 각 세부 요인별로 평가 방안을 제시하였으며, 특히 정량적인 구분이 가능한 지표의 경우에는 특정화된 값을 통해 가이드라인을 제시하였다.

개발된 12개 세부지표과 Fuzzy-TOPSIS 방법론을 활용하여, 가스전 사업의 지속가능성을 평가 할 수 있는 프레임워크를 개발하였다. 이를 통해 정량/정성의 평가 요인을 다수의 전문가가 평가하고, 다시 최적화된 하나의 결과값으로 표현 할 수 있도록 하였다.

이들 기준은 기존의 사업성 평가인 재무적 관점의 평가와는 차별화된 평가모델로서 가스전의 기술적, 재무적, 조직적 리스크를 종합적으로 평가하였다. 또한 평가 결과를 도출 하는 과정에서 다수의 전문가가 참여 할 수 있도록 구성하였으며, 이들의 평가결과를 하나의 값으로 표현 할 수 있게 하였다.

○ Gate 3B

가. 개요

나. 수행내용 및 결과

- LNG 도입물량 분석의 필요성

세계천연가스 시장에서 동아시아 지역의 국가들이 물량의 대부분을 소비하고 있으며, 특히 우리나라와, 일본, 중국 등이 주요 소비국으로 부상하였다(장우식 외, 2013). 일반적으로 특정 수요자가 소비의 상당부분을 차지할 경우 구매자의 교섭력(Bargaining Power of Buyer)이 큰 영향력을 가지는 것으로 알려져 있으나, 에너지 산업(특히 가스산업)에는 이러한 일반론이 통하지 않고 있다. 이는 판매자의 수가 한정되어 있고, 자원의 거래가 특정 소수에게 집중되어 있다는 특징이 반영될 결과라 할 수 있다. 우리나라의 평균 LNG(Liquefied Natural Gas) 도입 가격은 14.72달러로 같은 동아시아 지역의 타 국가나, 세계 평균과로 큰 차이가 있다(한국은행, 2013). 도입물량의 성격으로 나누어 보면 대부분의 물량이 단순 도입에 그치고 있으며, 극소수의 물량만이 액화플랜트 프로젝트 등에 투자개발을 통하고 있다. 이러한 도입구조는 시장에 개방된 자원만을 활용이 가능하게 되어, 자산투자 및 도입 포트폴리오 관점에서 불리한 결과와 필연적으로 연결되고 있다.

이를 극복하기 위해 국내에서도 도입물량의 최적화를 위한 연구가 수행되고 있으나 대부분의 연구가 단순 도입 물량만을 고려하고 있으며(이남기, 2013), 고도화된 연구조차도 해상운송의 위험 등 수요자 내부적인 관점에서의 연구에 집중되어 있다(배덕순, 2009). 그러나 해외의 자원을 확보하고 타 국가와의 경쟁에서 우위를 점하기 위한 전략, 국가 간의 관계와 액화플랜트 프로젝트 투자에 기반 한 물량확보 등과 관련된 사례분석과 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 LNG 도입물량을 분석하기 위한 고려요인을 조사하여, 액화플랜트의 사업 참여와 도입 포트폴리오의 의사결정을 지원 할 수 있는 핵심요인을 제안하고자 하였다.

- LNG 도입물량 분석 프레임워크

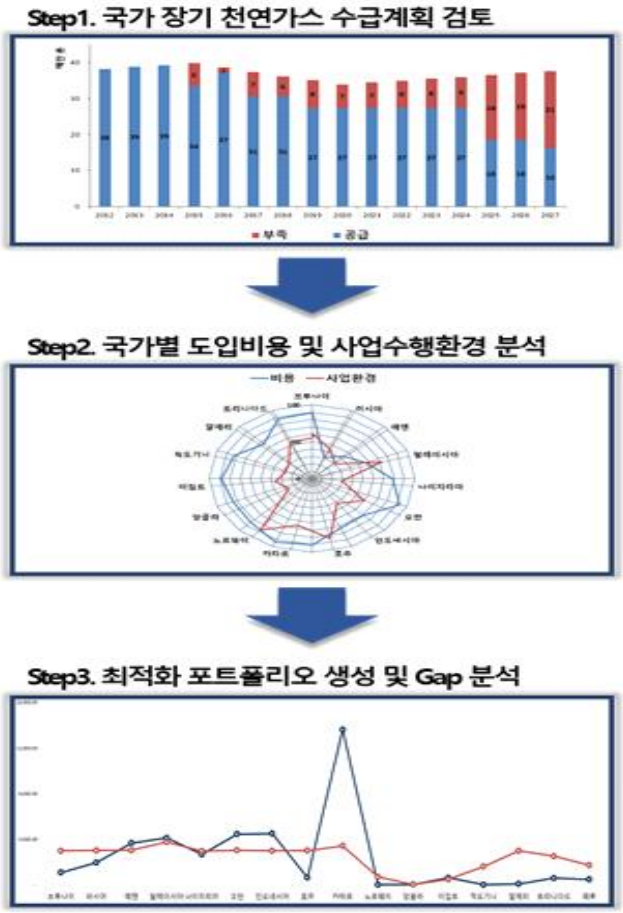


그림 34. LNG 도입물량 분석 프레임워크

LNG 도입 물량 분석 프레임워크는 3단계로 구성된다.

- Step 1 : 국가 장기 천연가스 수급 계획 검토
- Step 2 : 국가별 도입비용 및 사업수행환경 분석
- Step 3 : 최적화 포트폴리오 생성 및 Gap 분석

첫 번째 단계인 국가 장기 천연가스 수급 계획 검토에서는 제11차 장기 천연가스 수급계획과 천연가스 도입계약 현황을 분석하여 2027년까지의 천연가스 수급계획을 검토한다. 수요·공급 물량의 Gap 분석은 추후 LNG 플랜트 프로젝트 운영사업 참여 지분율 결정을 위한 기초 자료로써 활용된

두 번째 단계인 국가별 도입비용 및 사업수행환경 분석은 국가별 도입 비용 분석에서는 기존 LNG 계약 데이터를 바탕으로 도입 비용을 국가별/연도별로 제시합니다. LNG 도입비용 분석은 추후 LNG 도입 물량 최적화 포트폴리오 작성을 위한 기초 자료로써 활용됩니다.

세 번째 단계인 최적화 포트폴리오 생성 및 Gap 분석에서는 현재 기준 도입 물량 포트폴리오와 최적화 포트폴리오의 Gap 분석을 통해 현재 상태를 점검하고, LNG 프로젝트 운영사업의 추가 참여 지분율을 결정합니다. 최적화 포트폴리오는 LNG 도입 비용 최소화 및 사업수행 안정성 최대화를 목표로 유전자 알고리즘(GA)을 통해 도출됩니다. 그래프의 파란선은 현재 기준 국가별 LNG 도입 포트폴리오이며, 빨간선은 최적화 포트폴리오 중 우선순위 전략으로 도출된 포트폴리오를 제시합니다.

다. 주요 결과 및 시사점

○ Gate 4

Gate4는 Gate1(가스전 개발 사업 FS), Gate2(경제성평가), Gate3(LNG 플랜트 운영사업 FS)의 분석 결과를 종합하여 최종 프로젝트 참여 의사결정을 지원

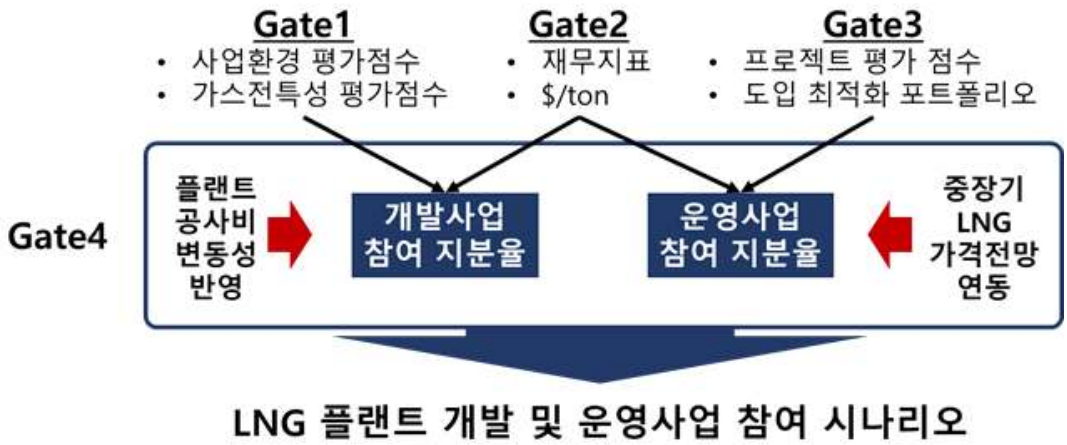


그림 35. Gate 4 개요

- Gate1 + Gate2 : 가스전 개발사업의 국가/프로젝트 평가 결과와 계약방식에 따른 경제성평가 결과를 종합하여 최적의 참여 지분율 및 계약방식을 추천
- Gate3 + Gate2 : LNG 프로젝트 운영사업의 국가/프로젝트 평가 결과와 도입물량 포트폴리오 검토, 계약방식에 따른 경제성 평가 결과를 종합하여 최적의 참여 지분율 및 계약방식을 추천

7. 해외사업모델 진출전략 및 비즈니스 모델 알고리즘 개발

○ 해외 LNG 플랜트 진출전략 및 비즈니스 모델

가. 개요

해외사업모델 구축을 위해서는 해외 세계 천연 가스 시장 현황 파악이 우선시 되어야 한다. 본 장에서는 세계 천연 가스 생산 및 소비 전망에 대한 분석과 함께 진출 가능성이 큰 시장에 대한 예측을 실시하였다. 주요 국가별 가스수급 전망 분석을 통해 downstream 단계에서의 마케팅 전략수립을 위한 기본 조사를 실시하였으며, 세계 가스거래 현황을 통해 신규 가스 공급망 구축 필요성에 대한 조사를 바탕으로 해외진출가능성을 평가하였다. 마지막으로 에너지 관련 건설 시장의 전망과 국가별 LNG 생산 현황에 대한 조사를 통해 해외사업모델 진출 전략을 수립하기 위한 기본 데이터 분석을 실시하였다.

나. 수행내용 및 결과

(1) 세계 천연 가스 생산 전망

LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, 2014년 이후의 LNG 생산전망은 그림 1과 같이 예측된다. 세계적인 LNG 생산전망은 2014년 약 3400 BCM에서 연평균 약 3~4%대의 꾸준한 증가세를 보여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4071 BCM에 달할 것으로 예상된다.

반면 그림 1의 꺾은선 그래프로 나타내어지는 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상된다. 이를 좀더 자세히 살펴보면, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미의 생산비중은 점진적으로 감소할 것으로 예상된다. 반면 자원부국이 많은 중동과 동남아시아 지역의 국가들은 각각 17%, 15% 대의 생산비중을 유지할 것으로 보이며, 최근 개발이 활발히 진행 중인 아프리카 국가들의 생산비중은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 국내기업들은 성장전망이 밝은 아프리카 지역과 지리적 접근성이 좋은 아시아 지역으로의 진출을 추진해보는 것이 바람직하다 할 수 있다.

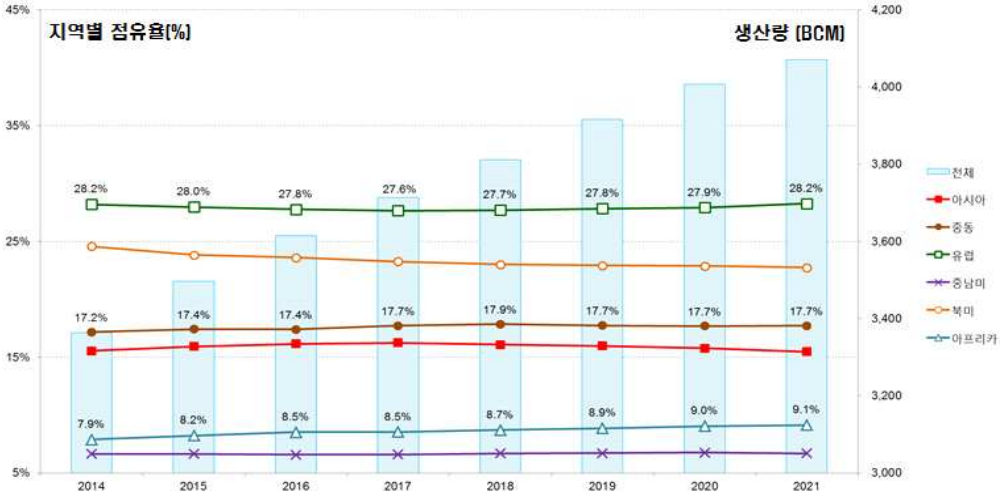


그림 36. 세계 천연가스 생산 전망 (2014~2021) (Business Monitor International)

(2) 세계 천연가스 소비 전망

세계 천연가스 생산량의 증가 추세와 함께 천연가스 소비량도 가파르게 증가하는 추세에 있다. 2012년 기준, 전 세계의 천연가스 소비량은 2987.1(백만톤)으로 조사되었으며, 이를 지역별로 구분하면 유럽&유라시아 32.6%, 북미 27.5%로 두 지역에서 절반 이상의 천연가스를 소비하고 있는 것으로 나타났다. 아시아는 2012년 기준으로 18.8%의 천연가스를 소비하고 있으나, 중국·인도의 성장과 함께 천연가스 소비량도 점차 증가하여 2035년에는 전체 천연가스 소비량의 26.6%를 차지하여 전체 지역 중 가장 많은 천연가스를 소비할 것으로 예상되었다.

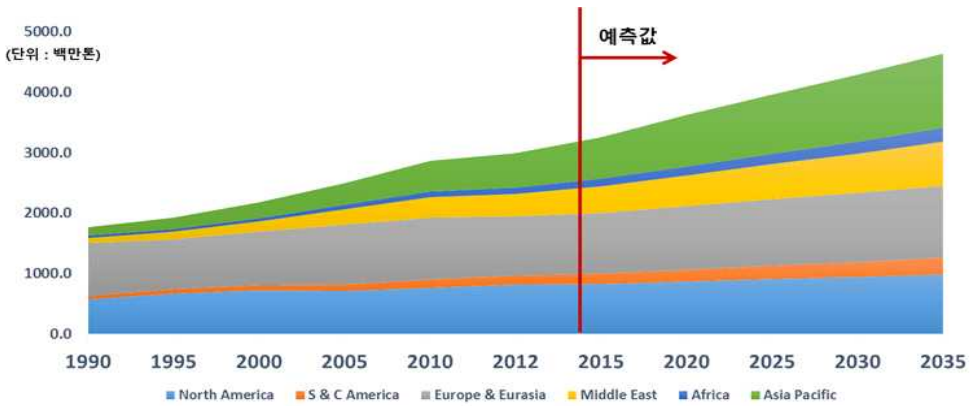


그림 37. 세계 천연가스 소비 전망 (Business Monitor International)

(3) 주요 국가별 가스수급 전망

한국, 미국 등 13개 주요 국가별 가스수급 전망은 그림 2와 같다. 국가별 막대그래프에서 좌측 막대는 생산전망을, 우측 막대는 소비전망을 나타내며, 각 값은 2014년부터 2021년까지의 총합을 나타낸다. 우리나라는 일본과 함께 생산량은 거의 없으나 소비량이 크게 나타나며, 중국은 급격한 경제성장에 따라 소비량이 크게 증가할 것으로 예상한다. 반면 최대 LNG생산국인 러시아와 카타르는 앞으로도 가스생산량을 지속적으로 늘려 세계적인 주요공급처로 자리매김할 것으로 보이며, 알제리, 나이지리아, 앙골라, 사우디 아라비아, 이란 등 아프리카 및 중동의 자원부국들도 생산을 늘릴 것으로 보인다. 이상의 수급전망은 LNG플랜트 건설 후 판매, 즉 다운스트림(downstream) 단계에서 마케팅 전략수립과 직결되는 요소들로 해외 LNG플랜트 개발사업에 참여하고자 하는 국내기업들은 이러한 정보를 반드시 고려하여야 한다. 향후 아프리카 지역의 생산량 증가가 기대되는 한편, 이들 국가에서의 소비는 제한적으로 나타나고 있는 만큼 국내기업들은 아프리카 국가들로의 진출을 검토하는 것이 바람직하다.

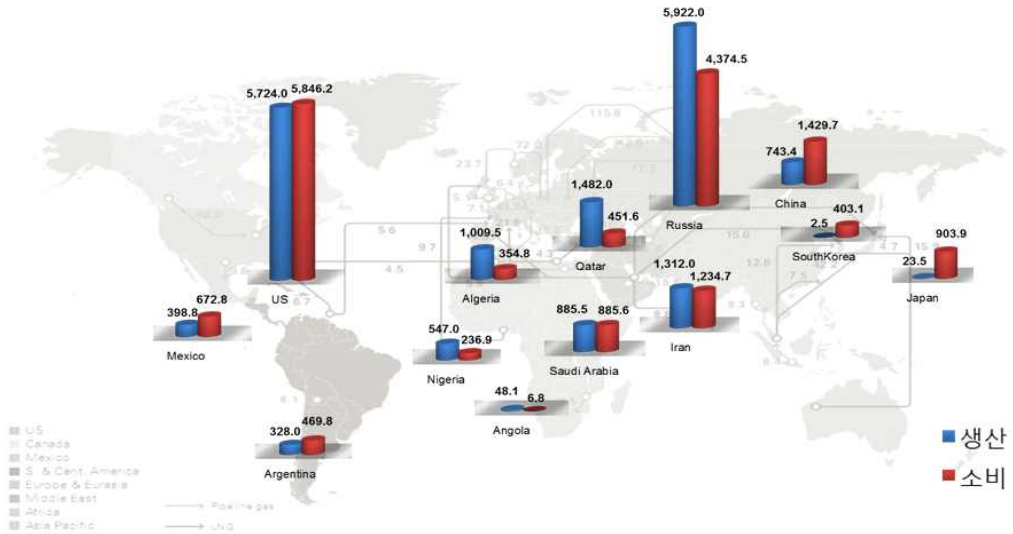


그림 38. 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021) (Business Monitor International)

(4) 세계 가스거래 현황

세계 가스거래 현황은 그림 3과 같다. 그림 상 붉은 선은 파이프라인을 통한 육상공급을, 파란 선은 선박을 통한 해상공급을 나타낸다. 유럽 및 북미 지역의 선진국들은 주로 파이프라인을 통해 가스를 공급받는데, 이는 이들 국가들이 안정적인 대량공급방식을 이미 갖추고 있으므로 신규 가스공급망을 구축할 필요성이 떨어짐을 나타낸다. 반면 아시아, 중동, 아프리카 지역은 선박을 통한 공급이 주로 진행되는데, 이는

파이프라인 방식에 비해 유동적인 공급망으로서 신규 해외진출을 구상하는 국내기업들의 진출이 가능하다 할 수 있다.

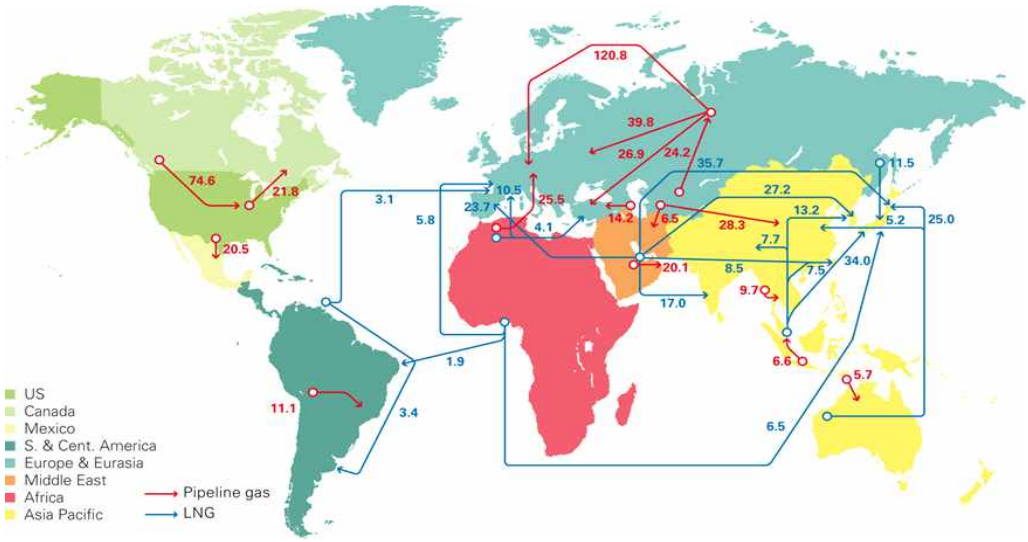


그림 39. 세계 천연가스 이동 경로

(5) 에너지 관련 건설 시장 전망

천연가스 생산·소비량 전망 및 주요 국가별 수급 전망으로 미루어 보았을 때, 천연가스 수요·공급 물량의 증가 추세에 따라 가스전 개발 사업 및 액화 플랜트 건설 사업도 꾸준히 발주될 것으로 예상할 수 있다. Global Insight(2014)에 따르면, 2014년 전 세계 에너지 관련 건설 투자 규모는 $1549.5 Billion로 분석되었으며, 연평균 10~15%의 증가 추세를 보이고 있다. 이러한 추세로 보았을 때, 2028년에는 현재의 약 3배 규모인 $4528.7 Billion에 이를 것으로 예상되며, 이러한 성장세는 전체 건설 시장 및 다른 공종의 투자 규모와 비교하였을 때도 높은 수치이다.

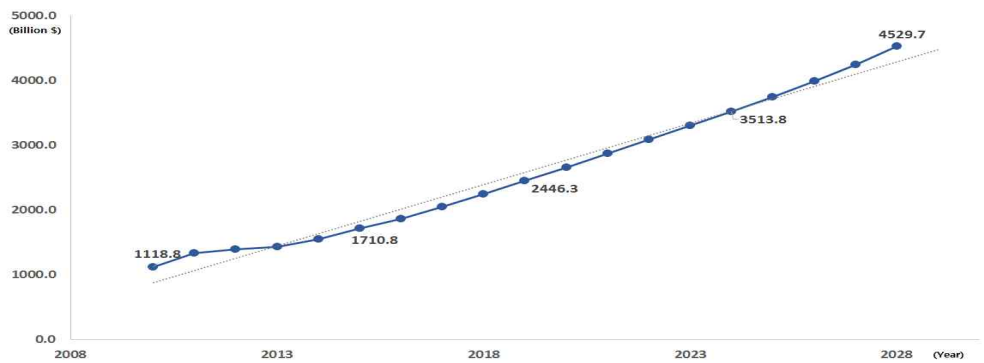


그림 40. 에너지 관련 건설 투자 규모 추이 (Business Monitor International)

또한, Global Insight(2014)는 비전통자원 개발, 에너지 안보 이슈 등 에너지 관련 건설 투자를 유발하는 동인(거시경제 요인) 역시 매년 증가 추세를 보일 것으로 예상하여 에너지 관련 건설 투자 규모의 성장은 지속될 것으로 전망하였다.

표 29. 에너지 관련 건설 투자 동인

연도	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028
에너지 투자 동인 (변화율, %)	3.02	3.58	3.40	3.37	3.26	3.21	3.12	3.10

(5) 국가별 LNG 생산 현황

국가별 LNG 생산 현황을 살펴보면 아래의 그래프와 같다. 2014년 현재 LNG 액화 플랜트 설비 보유 여부를 기준으로 구분한 LNG 생산 국가는 전 세계 20개국이며 총 생산량은 연간 408BCM에 달한다. 국가별 생산량 순위를 살펴보면 카타르가 104.1BCM으로 세계에서 가장 많은 LNG를 생산하고 있으며, 다음으로는 인도네시아(49.14BCM), 말레이시아(34.70BCM), 호주(32.81BCM), 알제리(32.13BCM) 순이었다.

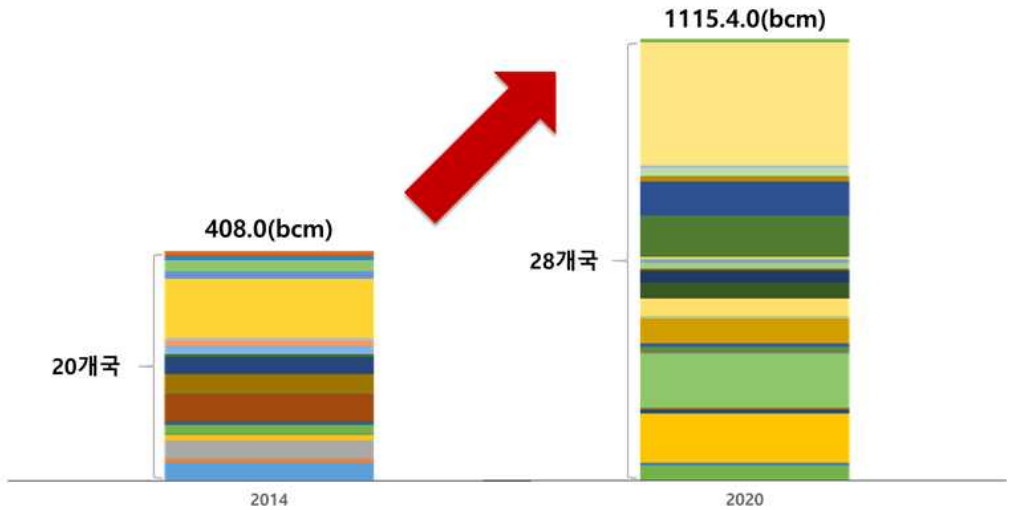


그림 41. 국가별 LNG 생산량 비교 (2014 vs 2020) (Global Insight, 2014)

현재 계획(승인, 입찰, 건설)중에 있는 액화 플랜트를 포함하여 2020년의 LNG 생산량을 예측해보면 2014년과 비교했을 때 큰 변화가 나타나는 것을 알 수 있다. LNG

생산국은 20개에서 28개로 증가하며, 총 생산량은 연간 1115.4BCM으로 2014년의 두 배 이상을 기록할 것으로 예상된다. 국가별로 생산량 순위를 살펴보면 미국이 309.92BCM으로 LNG 생산량 1위를 차지하게 되며, 그 뒤를 캐나다(134.73BCM), 호주(124.34BCM), 카타르(104.1BCM), 러시아(86.0BCM)가 잇게 된다. 미국과 캐나다의 생산량 증가는 비전통자원(셰일가스 등) 개발 붐으로 인한 결과이며, 이로 인해 전통적으로 많은 생산량을 보이던 중동지역의 국가들이 상대적으로 적은 비중을 차지하게 된다.

○ 해외시장 진출을 위한 시장조사 분석

1. 가스전 / 액화플랜트 세계 시장 개황

(1) 세계 천연 가스 생산 전망

LNG에 대한 세계적인 소비수요가 증가하고 있는 가운데, 2014년 이후의 LNG 생산전망은 그림 1과 같이 예측된다. 세계적인 LNG 생산전망은 2014년 약 3400 BCM에서 연평균 약 3~4%대의 꾸준한 증가세를 보여, 2021년에는 2014년에 비해 약 25% 증가한 4071 BCM에 달할 것으로 예상된다.

반면 그림 1의 꺾은선 그래프로 나타내어지는 지역별 생산비중은 2021년까지 급격한 변화를 보이지 않을 것으로 예상된다. 이를 좀더 자세히 살펴보면, 러시아 등을 중심으로 파이프라인을 통해 공급되는 유럽의 생산비중은 28%대에서 큰 변화를 나타내지 않을 것으로 보이는 반면, 북미의 생산비중은 점진적으로 감소할 것으로 예상된다. 반면 자원부국이 많은 중동과 동남아시아 지역의 국가들은 각각 17%, 15% 대의 생산비중을 유지할 것으로 보이며, 최근 개발이 활발히 진행 중인 아프리카 국가들의 생산비중은 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 국내기업들은 성장전망이 밝은 아프리카 지역과 지리적 접근성이 좋은 아시아 지역으로의 진출을 추진해보는 것이 바람직하다 할 수 있다.

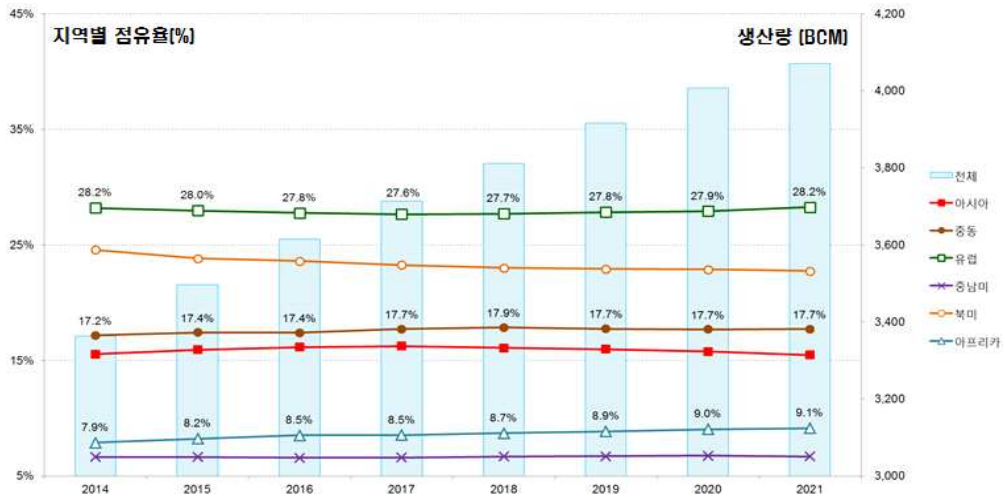


그림 42. 세계 천연가스 생산 전망 (2014~2021) (Business Monitor International)

(2) 세계 천연가스 소비 전망

세계 천연가스 생산량의 증가 추세와 함께 천연가스 소비량도 가파르게 증가하는 추세에 있다. 2012년 기준, 전 세계의 천연가스 소비량은 2987.1(백만톤)으로 조사되었으며, 이를 지역별로 구분하면 유럽&유라시아 32.6%, 북미 27.5%로 두 지역에서 절반 이상의 천연가스를 소비하고 있는 것으로 나타났다. 아시아는 2012년 기준으로 18.8%의 천연가스를 소비하고 있으나, 중국·인도의 성장과 함께 천연가스 소비량도 점차 증가하여 2035년에는 전체 천연가스 소비량의 26.6%를 차지하여 전체 지역 중 가장 많은 천연가스를 소비할 것으로 예상되었다.

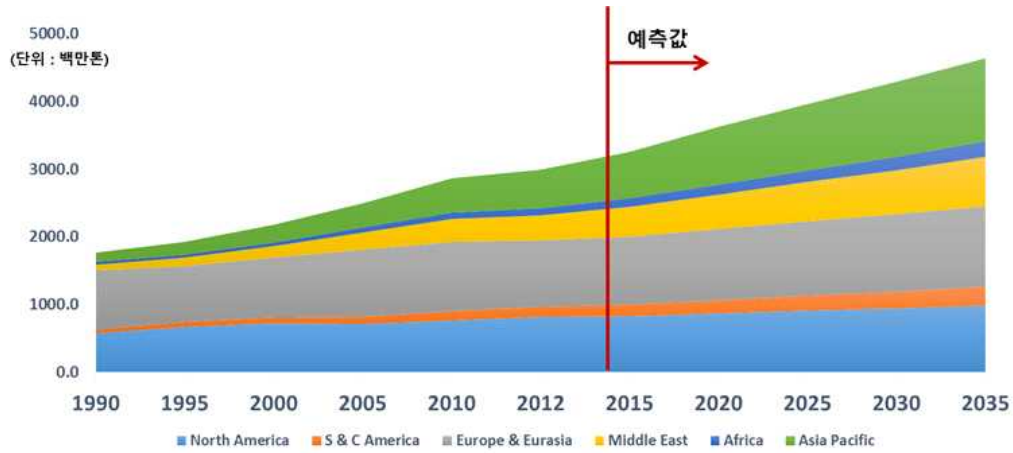


그림 43. 세계 천연가스 소비 전망 (Business Monitor International)

(3) 주요 국가별 가스수급 전망

한국, 미국 등 13개 주요 국가별 가스수급 전망은 그림 2와 같다. 국가별 막대그래프에서 좌측 막대는 생산전망을, 우측 막대는 소비전망을 나타내며, 각 값은 2014년부터 2021년까지의 총합을 나타낸다. 우리나라는 일본과 함께 생산량은 거의 없으나 소비량이 크게 나타나며, 중국은 급격한 경제성장에 따라 소비량이 크게 증가할 것으로 예상한다. 반면 최대 LNG생산국인 러시아와 카타르는 앞으로도 가스생산량을 지속적으로 늘려 세계적인 주요공급처로 자리매김할 것으로 보이며, 알제리, 나이지리아, 앙골라, 사우디 아라비아, 이란 등 아프리카 및 중동의 자원부국들도 생산을 늘릴 것으로 보인다. 이상의 수급전망은 LNG플랜트 건설 후 판매, 즉 다운스트림(downstream) 단계에서 마케팅 전략수립과 직결되는 요소들로 해외 LNG플랜트 개발사업에 참여하고자 하는 국내기업들은 이러한 정보를 반드시 고려하여야 한다. 향후 아프리카 지역의 생산량 증가가 기대되는 한편, 이들 국가에서의 소비는 제한적으로 나타나고 있는 만큼 국내기업들은 아프리카 국가들로의 진출을 검토하는 것이 바

람직하다.

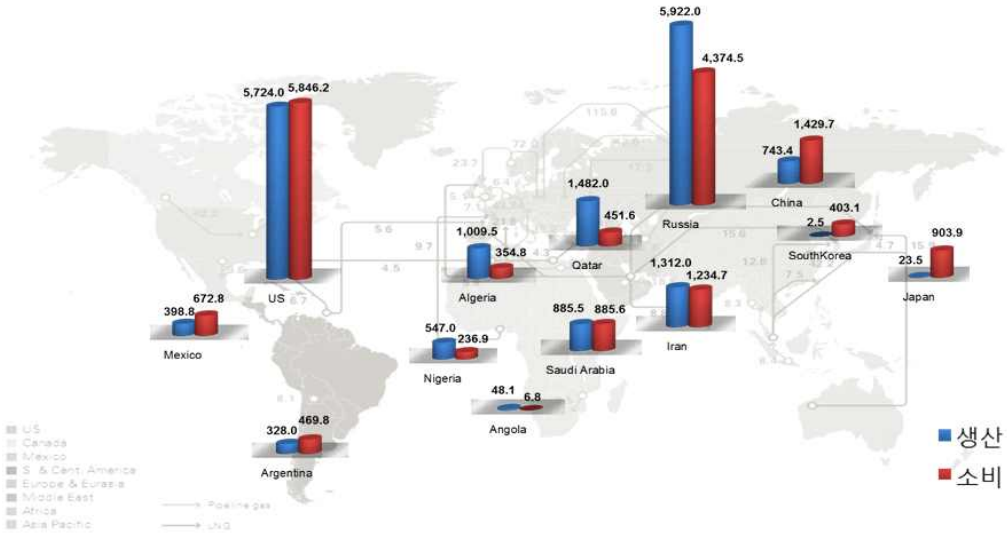


그림 44. 주요 국가별 가스수급 전망 (2014-2021)

(Business Monitor International)

(4) 세계 가스거래 현황

세계 가스거래 현황은 그림 3과 같다. 그림 상 붉은 선은 파이프라인을 통한 육상 공급을, 파란 선은 선박을 통한 해상공급을 나타낸다. 유럽 및 북미 지역의 선진국들은 주로 파이프라인을 통해 가스를 공급받는데, 이는 이들 국가들이 안정적인 대량공급방식을 이미 갖추고 있으므로 신규 가스공급망을 구축할 필요성이 떨어짐을 나타낸다. 반면 아시아, 중동, 아프리카 지역은 선박을 통한 공급이 주로 진행되는데, 이는 파이프라인 방식에 비해 유동적인 공급망으로서 신규 해외진출을 구상하는 국내기업들의 진출이 가능하다 할 수 있다.

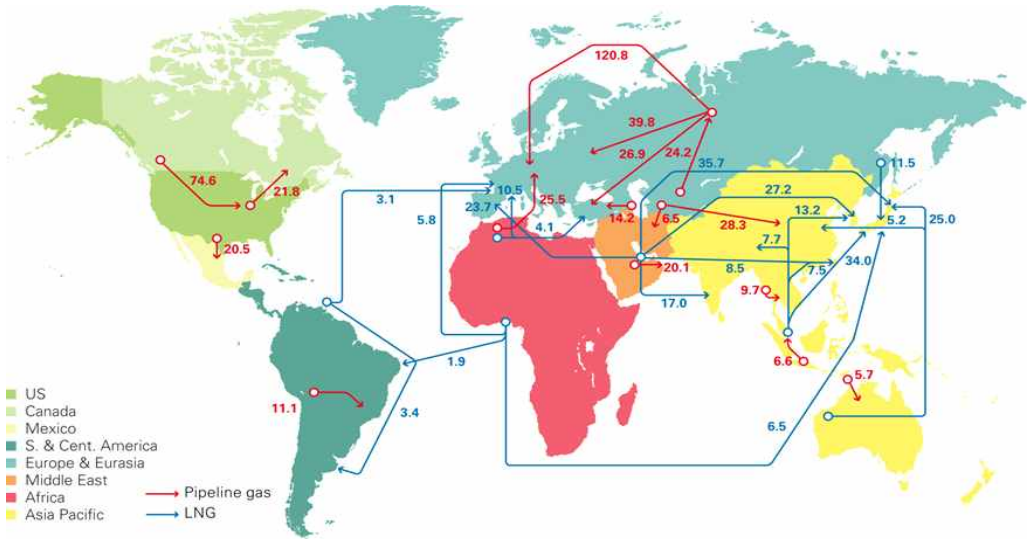


그림 45. 세계 천연가스 이동 경로

(5) 에너지 관련 건설 시장 전망

천연가스 생산·소비량 전망 및 주요 국가별 수급 전망으로 미루어 보았을 때, 천연가스 수요·공급 물량의 증가 추세에 따라 가스전 개발 사업 및 액화 플랜트 건설 사업도 꾸준히 발주될 것으로 예상할 수 있다. Global Insight(2014)에 따르면, 2014년 전 세계 에너지 관련 건설 투자 규모는 $1549.5 Billion로 분석되었으며, 연평균 10~15%의 증가 추세를 보이고 있다. 이러한 추세로 보았을 때, 2028년에는 현재의 약 3배 규모인 $4528.7 Billion에 이를 것으로 예상되며, 이러한 성장세는 전체 건설 시장 및 다른 공종의 투자 규모와 비교하였을 때도 높은 수치이다.

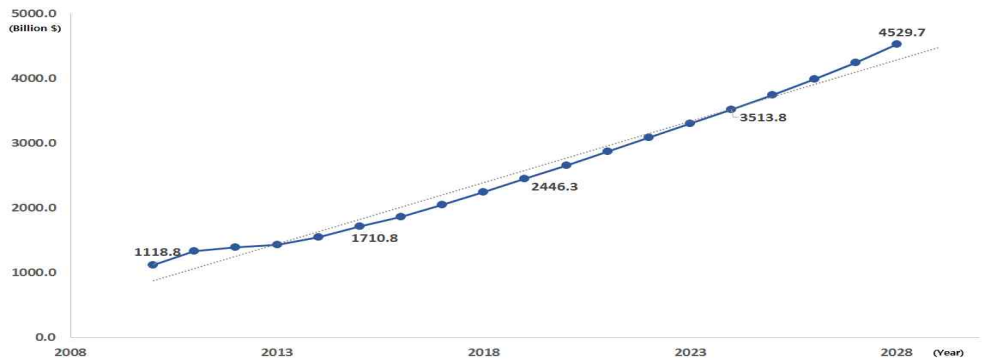


그림 46. 에너지 관련 건설 투자 규모 추이 (Business Monitor International)

또한, Global Insight(2014)는 비전통자원 개발, 에너지 안보 이슈 등 에너지 관련 건설 투자를 유발하는 동인(거시경제 요인) 역시 매년 증가 추세를 보일 것으로 예상하여 에너지 관련 건설 투자 규모의 성장은 지속될 것으로 전망하였다.

1. 천연가스 공급

(2) 국가별 LNG 생산현황

국가별 LNG 생산 현황을 살펴보면 아래의 그래프와 같다. 2014년 현재 LNG 액화 플랜트 설비 보유 여부를 기준으로 구분한 LNG 생산 국가는 전 세계 20개국이며 총 생산량은 연간 408BCM에 달한다. 국가별 생산량 순위를 살펴보면 카타르가 104.1BCM으로 세계에서 가장 많은 LNG를 생산하고 있으며, 다음으로는 인도네시아(49.14BCM), 말레이시아(34.70BCM), 호주(32.81BCM), 알제리(32.13BCM) 순이었다.

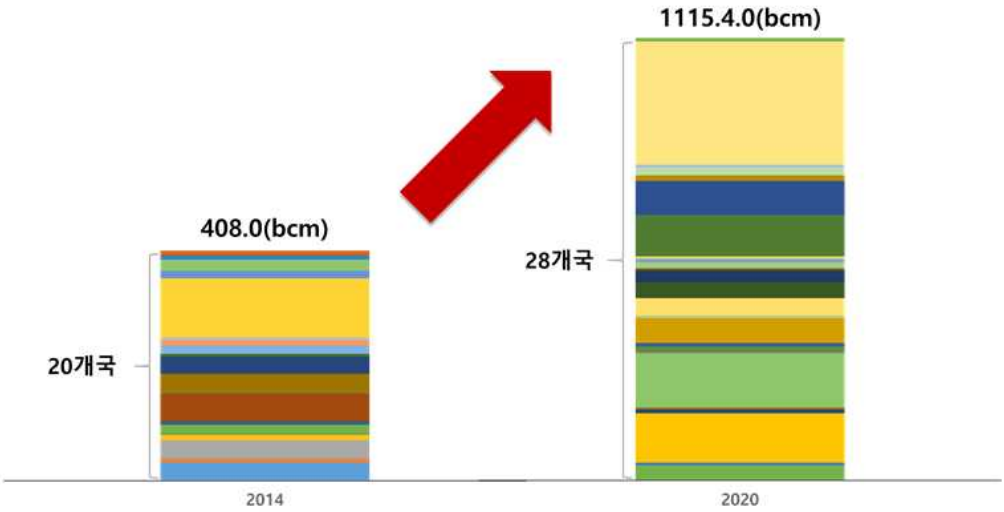


그림 47. 국가별 LNG 생산량 비교 (2014 vs 2020) (Global Insight, 2014)

현재 계획(승인, 입찰, 건설)중에 있는 액화 플랜트를 포함하여 2020년의 LNG 생산량을 예측해보면 2014년과 비교했을 때 큰 변화가 나타나는 것을 알 수 있다. LNG 생산국은 20개에서 28개로 증가하며, 총 생산량은 연간 1115.4BCM으로 2014년의 두 배 이상을 기록할 것으로 예상된다. 국가별로 생산량 순위를 살펴보면 미국이 309.92BCM으로 LNG 생산량 1위를 차지하게 되며, 그 뒤를 캐나다(134.73BCM), 호주(124.34BCM), 카타르(104.1BCM), 러시아(86.0BCM)가 잇게 된다. 미국과 캐나다의 생산량 증가는 비전통자원(셰일가스 등) 개발 붐으로 인한 결과이며, 이로 인해 전통적으로 많은 생산량을 보이던 중동지역의 국가들이 상대적으로 적은 비중을 차지하게 된다.

표 29. LNG 생산량 Top5 국가 (2014 vs 2020)

2014	국가	생산량	2020	국가	생산량
1	카타르	104.1	1	미국	309.92
2	인도네시아	49.14	2	캐나다	134.73
3	말레이시아	34.70	3	호주	124.34
4	호주	32.81	4	카타르	104.1
5	알제리	32.13	5	러시아	86.0

2. 천연가스 수요

(1) 국가별 천연가스 소비량

주요 국가별 천연가스 소비량 전망은 아래의 표와 같다.

표 30. 주요 국가별 천연가스 소비량 전망

(단위 : mmtpa)	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
중국	15	21	29	39	50	59	68	78	87	97
일본	88	73	68	74	78	83	86	87	86	85
한국	37	39	40	41	43	44	45	47	48	50
대만	13	13	14	15	16	17	18	19	20	21
인도	14	16	19	24	31	34	36	39	42	45
태국	1	2	3	4	6	6	6	7	7	8
싱가폴	0	2	2	3	3	4	5	5	6	6
말레이시아	0	1	2	3	4	5	5	5	5	6
인도네시아	1	2	4	5	6	7	7	7	7	8
베트남	0	0	0	2	3	4	4	5	6	6
방글라데시	0	0	0	0	2	4	4	5	5	6
쿠웨이트	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5
아랍에미레이트	1	2	2	4	5	5	5	5	5	6
아르헨티나	4	4	5	6	8	8	8	9	9	10
칠레	3	3	4	5	6	6	6	7	7	8
브라질	3	3	4	4	5	5	6	6	7	8
합계	182	184	199	232	270	295	313	336	352	375

기존 천연가스 도입물량으로 수위를 다투던 한국과 일본에 더불어, 새롭게 떠오르는 중국·인도까지 아시아 국가들이 전 세계 소비량의 70% 이상을 소비할 것으로 전망하고 있다.

2. 가스전 / 액화플랜트 지역별 프로젝트 현황

가. Upstream Project

전 세계의 천연가스 프로젝트의 개수는 452개이며 이중 IOC가 참여하는 개수는 48개, IOC Major가 참여하는 개수는 132개, NOGC는 91개, Utilities는 36개이다.

전 세계의 천연가스 프로젝트에서 IOC Major가 차지하고 있는 비율은 29.2% 이다. 이는 9개의 Global Contractors이 전 세계 천연가스 프로젝트의 상당수를 차지하고 있다는 것을 보여준다.

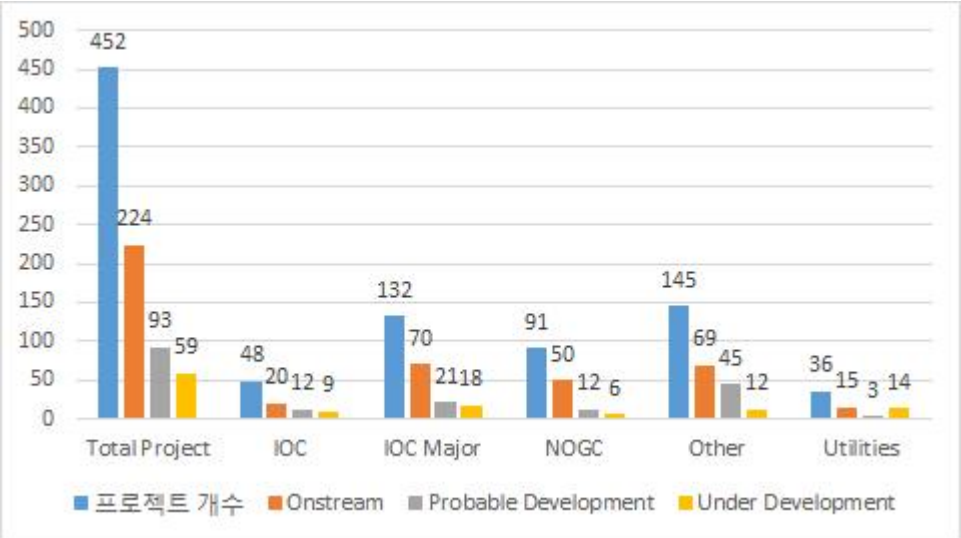


그림 48. 전 세계 천연가스 프로젝트의 개수 (Enerdata, 2014)

프로젝트의 개별 회사별 지분참여율은 전체 평균 33%이고 IOC, IOC major, NOGC, Other, Utilities 모두 평균 34%를 넘지 않는 지분참여율을 보여주고 있다. 이는 평균적으로 1개의 프로젝트에 약 3개 회사의 지분 분배를 보여준다.

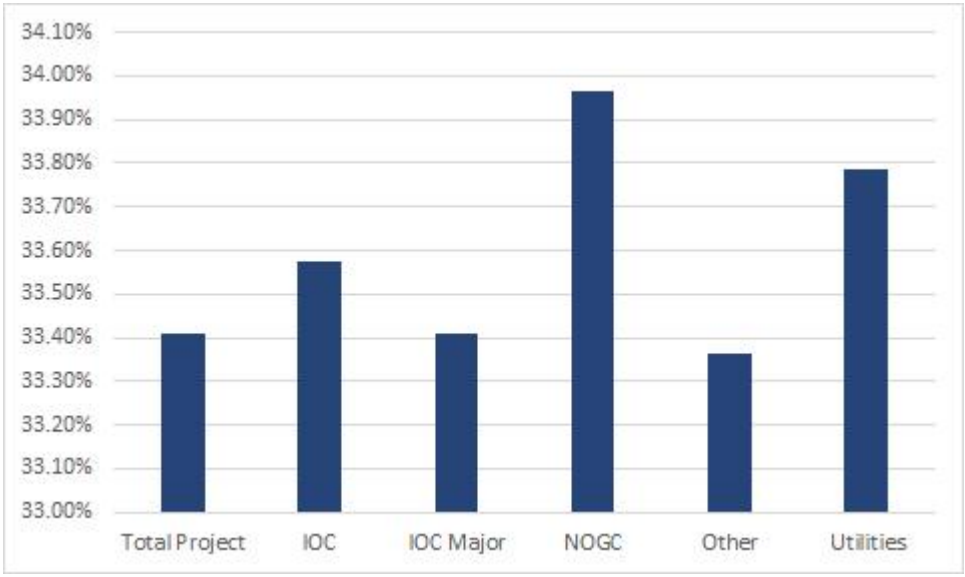


그림 49. 회사 종류별 프로젝트 지분 참여율 (Enerdata, 2014)

100% 단독으로 프로젝트에 참여하는 전체 프로젝트의 개수는 43개로 나타났으며 NOGC가 22개의 프로젝트에 단독으로 참여하는 업체로 나타났다.

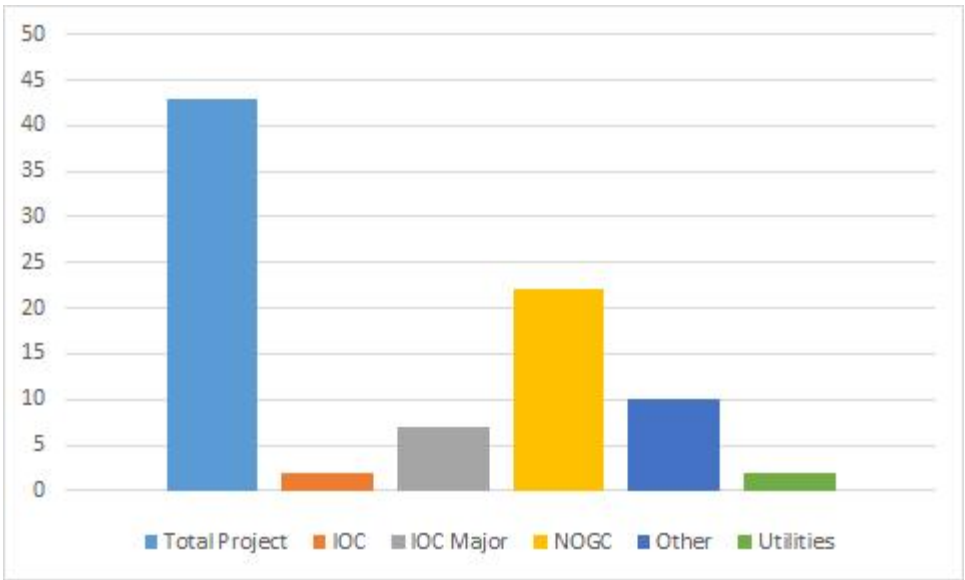


그림 50 회사 종류별 단독 프로젝트 개수 (Enerdata, 2014)

나. Liquefaction Project

현재 전 세계 20개국에서 가동 중인 LNG 프로젝트의 개수는 84개이며 연 평균 408BCM의 LNG를 생산중이다. 또한, 계획(건설 중, 입찰, 승인)중인 프로젝트의 수

는 100개로 2020년에는 연평균 1115.4BCM의 LNG가 생산될 예정이다.

이와 같은 급격한 성장의 원인 중 첫 번째로는 셰일가스로 인한 북미 지역의 생산량 확대를 들 수가 있다.

미국과 캐나다의 연 평균 LNG 생산량은 2014년 현재 없는 것으로 조사되었지만, 2020년에는 북미 지역의 두 국가의 41개 프로젝트에서 전체 LNG 생산량의 40%를 생산해낼 것으로 예측되고 있다. 이 값은 현재 계획 중인 프로젝트를 대상으로 분석되었지만 추후 상황에 따라 더 늘어날 가능성도 있다.

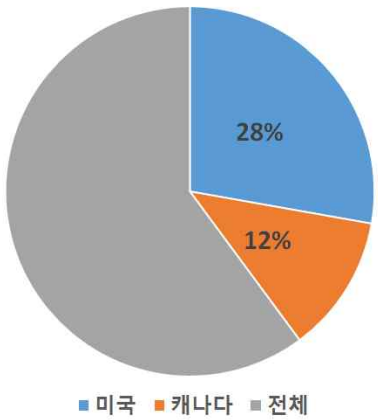


그림 51. 전체 대비 미국, 캐나다 LNG 생산량 (Enerdata, 2014)

두 번째는 러시아의 생산량 확대이다. 러시아는 2014년 기준 연평균 약 13BCM의 LNG만을 생산하고 있지만, 역시 2020년까지 지속적으로 가동 프로젝트 수를 증가시켜, 86BCM까지 약 6배의 생산량을 확대시킬 전망이다.

또한, 현재 84개 프로젝트에 참여중인 기업의 수는 121개社로 Major IOC, NOC, 일반 IOC로 구성되어 있으며, 합자회사를 통한 프로젝트 지분 참여도 활발하게 이루어지고 있다. 단일 기업의 프로젝트 참여 지분과 해당 프로젝트 생산 용량을 통해 도출한 LNG 점유율 순위 상위 10개社는 아래와 같다.

표 31.

순위	기업명
1	Qatar Petroleum
2	Shell
3	NNPC
4	ExxonMobil
5	Sonatrach
6	Petronas
7	Chevron
8	Total
9	BG Group
10	BP

카타르의 대표적인 NOC Qatar Petroleum이 LNG 점유 순위 1위를 차지했으며, 그 밑으로는 Shell, NNPC, ExxonMobil이 뒤를 이었다. 상위 10개사는 NOC가 3개, Major IOC가 7개로 구성되었다. 분석결과 이들은 자원을 보유한 국가의 NOC와 LNG 관련 핵심기술 및 풍부한 사업경험을 갖춘 IOC가 합작하여 프로젝트를 주도하고 나머지 일반 IOC들은 상대적으로 작은 지분 참여를 통해 프로젝트에 참여하고 있는 것으로 나타났다.

3. CSF(핵심성공요인) 기반 LNG 생산국 평가

가. CSF(핵심성공요인) 지표 설정 및 평가 방법론

(1) 기존 연구의 분석기준 검토

건설산업의 해외진출을 위한 사업환경 분석 연구는 대개 리스크 인자의 도출 및 평가와 관련한 연구가 대부분으로, 건설 프로젝트 시공자 관점의 접근이 주를 이루었기에 사업 정의(project definition)이 이뤄진 이후에 초점을 두고 진행되었다.

기존의 연구는 진출국 사업환경을 정치, 경제, 제도 등으로 구분하거나(Han and Diekmann, 2001[24] 등), 진출국가 및 발주자를 통합하여(Han et al. 2007[25]; Ozorhon et al. 2007[26] 등) 이들 영역과 관련한 리스크를 분석한 연구가 주류를 이루었다. 또한 자재 및 장비 등의 Logistics의 용이성과 관련한 요소도 포함되었다.

이와 같은 사업환경 요소는 대부분 리스크 인자의 선별 및 체크리스트를 통한 분석을 적용하였으며, 설계자 및 시공자 관점의 요소에 집중되어 투자자 및 개발자 관점의 요소(세금 및 투자보호 등) 반영 등에는 미흡한 경향을 보였다.

LNG 및 플랜트 산업 영역의 학술적 연구들은 일반 해외사업 연구보다 산업 특성에 따른 환경 및 기술적 리스크 등을 고려하였으나, 보상(reward) 측면에 대한 고려가 부족하고 여전히 개발 보다는 시공 및 EPC 관점의 연구가 많은 경향을 보였다.

구체적으로 프로젝트 경제성 평가에서 매장량, 생산량, 투자비 및 운영비, 가스가격 등을 고려하거나(전보현 및 정헌섭, 1996)[27] 대규모 사업의 복합성에 따른 사업참여자 간의 관계를 반영한 리스크 평가 및 의사결정 모델을 제안하는 등(강병태 및 김용수, 2012[28]; Castilo 및 Dorao, 2011[29] 등) 자원 산업의 특성을 고려하는 양상을 보였다.

한편, 안성훈 등(2008)[30]은 해외 플랜트 프로젝트 리스크의 평가에 있어 세금·관

---

24) Han, S. H. and J. E. Diekmann (2001). "Approaches for Making Risk-Based Go/No-Go Decision for International Projects." Journal of Construction Engineering and Management 127(4): 300-308.

25) Han, S. H., et al. (2007). "Predicting Profit Performance for Selecting Candidate International Construction Projects." Journal of Construction Engineering and Management 133(6): 425-436.

26) Ozorhon, B., et al. (2007). "Effect of host country and project conditions in international construction joint ventures." International Journal of Project Management 25(8): 799-806.

27) 전보현, 정헌섭 (1996) 유전 및 가스전에서 투자위험도를 고려한 경제성 평가 모델, 한국자원공학회지, 제33호, 61-74

28) 강병태, 김용수 (2012) AHP기법을 활용한 해외 플랜트 사업의 정성적 위험요인 평가, 한국건설관리학회 전국 대학생 학술발표대회 논문집

29) Castilo L. and Dorao Carlos (2011) Decision-making on Liquefied Natural Gas (LNG) projects using game theory, IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making, 60-66.

30) 안성훈, 이영남, 조호규 (2008) 해외 플랜트 공사 리스크 평가 방안 및 적용에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 제9권 제1호, 134-142

세, 정치, 법,문화 등 진출국 관련 요소와 발주자특성, 시장의 경제적 특성 및 조달여건 등 사업환경을 고려하였으나, 확률-영향도 매트릭스 기반의 주관적 평가체계를 활용하여 정확성 및 신뢰성의 제약이 있다는 한계를 가진다.

한편, 국제 시장조사 전문기관인 Business Monitor International(BMI)은 해외 석유 및 천연가스 시장의 분석에 있어 국가 및 산업 차원의 보상 개념을 제시하고 있는데, 특히 산업 차원의 보상 파악에 있어서는 '비정부 소유 기업의 유무(또는 수)', '정부소유 자산의 비율' 등의 지표를 활용하여 민간사업자의 시장진입 및 비즈니스의 보상을 평가하고 있다.

(2) 사업환경 분석영역 설정

진출국 정치·제도의 거시적 안정성 : LNG 개발사업은 통상 수십 년의 장기간 사업이므로 진출국 정치·제도의 성숙도 및 법규·제도의 안정성, 정부효율성 및 부패 등 거시적 측면의 검토가 필수적이다.

일반적인 사업 수행 안정성 : 진출국에서의 투자 및 사업의 개시, 사업 운영상의 안정성을 평가하기 위하여 행정절차의 특성, 재산 및 투자의 보호, 세금 및 계약준수 등의 특성에 대한 고려가 필요하다.

LNG산업 사업수행 안정성 : LNG 산업에 특화된 고려 항목으로, 가스사업의 영역을 상류와 하류로 구분하여 기대보상[31] 수준 (expected rewards)을 파악해야 하며, 또한 현지의 유사 프로젝트 진행·계획 현황과 산업정책, 투자전망 등으로부터 사업추진의 여건을 파악할 필요가 있다.

위와 같이 설정한 사업환경 분석 영역을 그 범위 및 특성에 따라 정리하면 그림 7과 같다.

31) 일반적으로 보상(reward)은 리스크과 함께 맞물려 '득과실' 또는 '위험과 보상'으로 활용되는 개념으로, 본 연구에서는 '위험을 감수하고 사업을 추진하여 확보할 수 있는 성과'의 잠재성을 판단하기 위한 기준으로 도입하였다.



그림 48. 사업환경 분석의 범위 및 개요

(3) 영역별 지표 설정

앞에서 제시한 분석영역을 기초로, 각 영역별로 진출국을 평가하기 위한 지표를 선정하였다. 분석결과의 신뢰성을 제고하고, 평가에 따른 업무부담을 최소화하기 위하여 공신력 있는 기관의 정기 발행 지표 도입을 우선하였으며, 적절한 기존 지표가 없는 경우 석유 및 천연가스 등 에너지 시장조사 전문기관인 Business Monitor International, PFC Energy 등의 조사방법론을 참조하여 설정하였다.

세계통치지표[32] (Worldwide Governance Indicator: WGI) : 세계은행(World Bank)에서 공동으로 발간하는 지표이다. 세계은행은 각 국가의 개발과정에 참여할 수 있도록 보장하는 제도 및 체제가 경제성장에 있어 갖는 중요성을 인식, 매년 이 지표를 발표하고 있다. 총 6가지 평가항목에 대해 -2.5 (취약)에서 +2.5 (우수) 로 정량적 평가를 실시하고 있으며 그 상세 내용은 다음과 같다.

- 민권 및 언론자유도 (voice and accountability)
- 정치적 안정성 (political stability and absence of violence)
- 정부의 효율성 (government effectiveness)
- 법·규제의 완성도 (regulatory quality)
- 준법 수준 (rule of law)
- 부패의 통제 (control of corruption)

32) The World Bank Group, “Worldwide Governance Indicators” http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.asp <2013-02-12>

사업환경지표[33] (Doing Business Indicator: DBI) : 세계은행과 국제금융공사(International Finance Corporation: IFC)가 공동으로 발표하는 사업환경지표는 185개국의 사업 용이성을 나타내는 지표로, 각국의 기업활동 관련 법규정에 대한 평가를 기초로 하여 주재국의 현 기업환경과 타국과의 상대적 수준을 평가하는 데 유용한 것으로 평가된다. 총 10가지 항목에 대한 개별적 평가 및 순위, 그리고 종합 순위를 제공하고 있는데, 평가방법은 각 지표의 특성에 따라 행정적 절차의 단계, 처리에 소요되는 기간 및 비용, 세율, 그리고 스케일(1-10) 점수 등으로 측정하며, 지표의 내용은 다음과 같다.

- 기업의 설립 (starting a business)
- 건설 인허가 (dealing with construction permits)
- 전력 수급 (getting electricity)
- 재산권 등록 (registering property)
- 금융 근접성 (getting credit) : 차입의 용이성
- 투자자 보호 (protecting investors)
- 세금 지불 (paying taxes)
- 국제 무역 (trading across borders)
- 계약 이행 (enforcing contracts)
- 부채 해결 (resolving insolvency)

위에서 제시한 항목들은 평가기준이 서로 상이하여 국가간 상대비교는 가능하나 절대적 수준의 판단이 어렵다는 단점을 가지는데, 10개 항목의 종합 순위를 나타내는 사업용이 순위(ease of doing business rank) 역시 동일한 특성을 갖는다. 세계은행은 이 단점을 보완하기 위해 가장 사업이 용이한(best performance) 국가와의 점수 격차를 나타내는 거리값(distance to frontier: DF)을 함께 제공하고 있다.

상류(upstream) 영역 기대보상 평가지표 : 상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되

33) The World Bank Group, “Doing Business, measuring business regulations” http://www.doingbusiness.org/ <2013-02-12>

었다. 6개 지표의 상세 내용은 다음과 같다.

- 천연가스 매장량
- 천연가스 연평균 생산량
- 천연가스 최대 생산량
- 천연가스 생산량의 성장률
- 상류 비정부 소유자산 비율
- 상류 비정부 소유기업 비율

사업추진 여건 평가지표 : LNG사업의 지속 및 산업 성장을 위해서는 발주국 정부의 에너지 관련 정책(투자 및 육성정책 등)과 정부부처의 지배구조(administrative agency structure)에 대한 검토가 필요하다. 또한 현지에 검토하고자 하는 사업과 유사한 프로젝트가 진행중이거나 계획되어 있는지에 따라 향후 사업추진의 용이 및 편의성을 참조할 수 있다. 선정된 4개의 평가지표는 다음과 같다.

- 발주국 정부의 재정투자계획
- 발주국 정부의 천연가스 관리구조
- 현지 진행중인 유사 프로젝트 현황
- 현지 계획중인 유사 프로젝트 현황

바) 표 32. 사업환경 분석의 평가 지표 및 정량화 기준

분류	지표	측정방법/단위	정량화	가중치
정치·제도 안정성 (6)	민권 및 언론자유도	세계은행의 설문 및 전문가 평가, -2.5 ~ +2.5	0 ~ 100 표준화	16.67%
	정치적 안정성			16.67%
	정부의 효율성			16.67%
	법·규제의 완성도			16.67%
	준법 수준			16.67%
	부패의 통제			16.67%
사업수행 안정성 (10)	기업의 설립	지표별 최우수 국가와의 격차정도(거리), 0 ~ 100	그대로 활용	10%
	건설 인허가			10%
	전력수급			10%
	재산권 등록			10%
	금융 근접성			10%
	투자자 보호			10%
	세금 지불			10%

	국제 무역			10%
	계약 이행			10%
	부채 해결			10%
상류영역 기대보상 (6)	발주국 천연가스 매장량	TCM	등간척도(interval scale) 활용, 0 ~ 100 점수화	18.75%
	상류 비정부 소유자산 비율	TCM/년		18.75%
	상류 비정부 소유기업 비율	TCM/년		18.75%
	발주국 재정투자계획	%		18.75%
	발주국 천연가스 관리구조	%		12.5%
	생산물 수익회수가능성	%		12.5%
하류영역 기대보상 (5)	정치 행정적 안정성	TCM/년	상동	25%
	자원보유국 환율 안정성	%		25%
	현지 유사프로젝트 진행현황	%		25%
	현지 유사프로젝트 계획현황	%		12.5%
	가) 하류 비정부 소유기업 비율	%		12.5%
사업추진 여건 (4)	나) 발주국 재정투자계획	정성적 평가	상동	30%
	다) 발주국 천연가스 관리구조	정성적 평가		30%
	라) 현지 유사프로젝트 진행현황	개수		20%
	마) 현지 유사프로젝트 계획현황	개수		20%
소계	31개 지표			산술평균

나. 진출 대상 관심국가 평가(유럽)

1) 러시아

- 러시아 국가 개요

Oil&Gas Journal에 따르면 러시아는 2015년 1월 천연 가스 총 매장량 1,688TCF로 세계에서 가장 큰 천연 가스 매장지역이며, 두 번째로 큰 dry natural gas 생산국이다. 대부분의 천연 가스는 West Siberia에 위치하고 있으며, Yamburg, Urengoy, Medvezhye 지역도 러시아 천연 가스 매장 지역의 큰 비중을 차지한다.

러시아 주에서 운영하는 Gazprom은 Novatek나 LUKoil과 같은 회사들의 성장에도 불구하고 2013년 러시아의 총 천연 가스 생산 중 73%를 차지하며 여전히 러시아의

upstream 천연 가스 sector를 지배하고 있다. Gazprom의 upstream 부분의 지배적인 비중은 pipeline gas 수출에 있어 법적 독점권이 적용되기 때문이다.

Oil Sector와 마찬가지로 천연 가스 sector에서도 많은 정부의 각 부처들과 법적 기관이 연루되어 있다. Natural Resources and Environment 부처는 field licenses를 발행하며, license agreement를 항상 모니터하며 환경 규제를 어겼을 시 벌금을 부과한다. Energy 부처는 일반적인 에너지 정책을 개발하고 시행하며 LNG 해외 수출의 감독을 담당한다. Finance 부처는 탄화수소 추출과 수출세에 대한 책임이 있으며 Economic Development는 관세를 감독한다.

2014년 러시아의 천연 가스 생산량 7.1TCF 중 거의 90%가 pipeline을 통해 유럽으로 수출되었으며, 독일, 이탈리아, 터키, 우크라이나가 수출 대상국 중 대부분을 차지한다. 그 이외의 천연 가스는 LNG 형태로 아시아로 수출되었다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	48.7 BCM
LNG 생산량(연)	12.96 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	2
LNG 프로젝트 수 (계획)	6

러시아는 현재 (2013년 기준) 48,700 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 2개의 LNG 프로젝트에서 연간 12.96 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 6개로 앞으로 생산량이 증가할 전망이다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 34. 러시아의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Sakhalin 2 LNG - train 1	Prigorodnoye	Operational	Sakhalin Energy	6.48
Sakhalin 2 LNG - train 2	Prigorodnoye	Operational	Sakhalin Energy	6.48
Yamal LNG	Yamal peninsula	Approved	Novatek	22.28
Sakhalin Rosneft	Sakhalin	Planned	Rosneft	6.75
Leningrad LNG	Leningrad	Planned	Gazprom	13.50
Pechora LNG	Indiga	Planned	CH-Oil&Gaz (Altech Group)	3.51
Sakhalin 2 LNG - train 3	Prigorodnoye	Planned	Sakhalin Energy	6.75
Vladivostok	Vladivostok	Planned	Gazprom	20.25
Baltic LNG	Primorsk	Cancelled	Gazprom	6.75
Shtokman - train 1	Teriberka	Cancelled	Gazprom	10.13
Shtokman - train 2	Teriberka	Cancelled	Gazprom	10.13
Shtokman - train 3	Teriberka	Cancelled	Gazprom	20.25

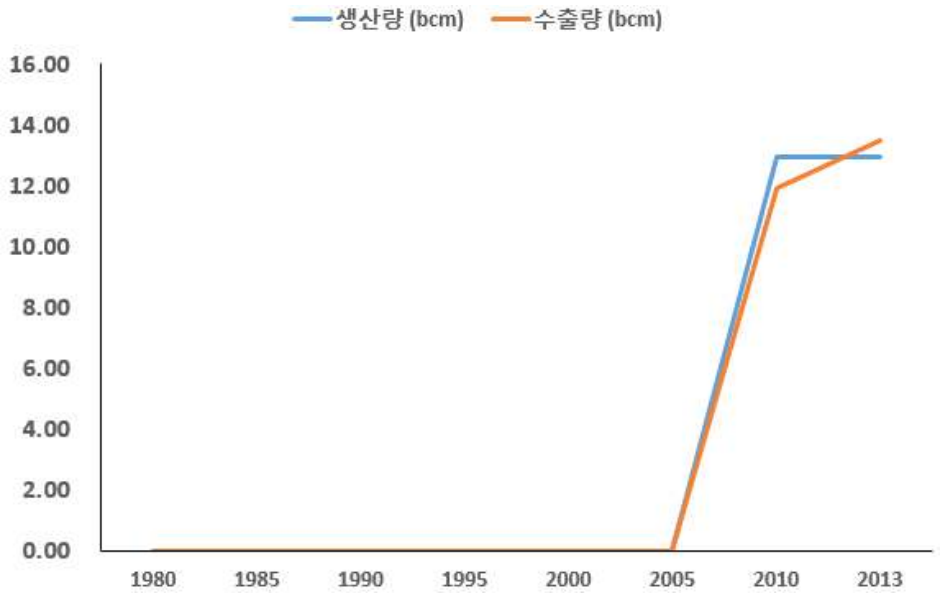


그림 53. 러시아의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-1.01
	정치적 안정성	-0.75
	정부의 효율성	-0.36
	법·규제의 완성도	-0.37
	준법 수준	-0.78
	부패의 통제	-0.99
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	85.91
	건설 인허가	43.02
	전력수급	65.45
	재산권 등록	87.39
	금융 근접성	50
	투자자 보호	46.67
	세금 지불	75.33
	국제 무역	47.1
	계약 이행	73.22
	부채 해결	45.38
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	5점(48.7TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	3점(52.4%)
	상류 비정부 소유기업 비율	4점(64%)
사업추진	발주국 재정투자계획	3점

여건	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	5점(20% 미만)
	정치 행정적 안정성	-0.71
	자원보유국 환율 안정성	1점 저 : 0.01410 고 : 0.03664
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(2개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	3점(6개)
총점	55.00점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 러시아는 평균 -0.71점으로 가스 매장 국가 34개국 중 23위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 러시아는 감소하는 추세를 보이다 2006년을 기점으로 -0.8~-1.0 사이의 값을 나타내고 있으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 낮게 나타났다.(34개국 중 26위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 러시아의 경우 이 지표의 값은 2013년 -0.75를 기록하였다. 2004년을 기점으로 변동성은 있으나 꾸준히 증가하는 추세이다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 러시아의 경우 해당 지표의 국가 순위가 가장 높게 나타났다.(19위)

법·규제의 완성도는 -0.37로 큰 변동의 폭 없이 유지되고 있으며, 국민의 준법수준의 경우 조금씩 증가하여 -0.78의 값을 나타내고 있다.

부패의 통제정도 2010년 이후 꾸준히 증가하여 -0.99의 값을 가지며, 변동의 차이는 있다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 러시아의 천연가스 매장량은 48.7TCF으로 5점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국가에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 러시아에서 진행 중인 프로젝트는 전부 비정부 소유 기업에서 진행하고 있다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 52.4%와 64%로 각 항목에서 3점과 4점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

러시아는 현재 액화 플랜트 프로젝트 2개가 운영 중이며, 승인된 프로젝트 1건, 계획 단계의 프로젝트 5건 등 총 6건의 프로젝트가 계획 중에 있다. 해당국가에서 기수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를

간접적으로 평가할 수 있다. 러시아는 진행 중인 프로젝트는 2건으로 이 부분에서는 1점으로 평가받았으나, 계획 중인 프로젝트가 6건으로 3점으로 평가받았다. 이는 러시아가 현재 프로젝트를 많이 수행하고 있지는 않으나 향후 천연가스 관련 사업의 발전 가능성이 크다는 것을 알 수 있는 항목이다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 러시아는 2014년 러시아의 천연 가스 생산량 7.1TCF 중 거의 90%가 pipeline을 통해 유럽으로 수출되었으며, 독일, 이탈리아, 터키, 우크라이나가 수출 대상국 중 대부분을 차지한다. 그 이외의 천연 가스는 LNG 형태로 아시아로 수출되었다. 따라서 본 항목에 대한 평가는 5점으로 나타났다.

최근 5년 동안의 환율 변화율은 159.86%로 매우 변동이 심한 것으로 나타났다.

2) 키프러스

- Cyprus 국가 개요

2014 년 3 월 현재 키프로스는 석유와 천연 가스의 매장량을 정확하게 증명하지 못했다. 그러나 최근 키프로스의 앞바다를 탐사하면서 발견한 자원과, 천연 가스는 이 섬나라의 에너지 부문을 대폭 바꿀 수 있다. 미국 지질 조사국에 의해 추정된 바에 따르면 키프로스의 엄청난 규모의 레반트 분지에 석유 17억 배럴과 천연 가스 122 입방 피트 (Tcf)가 매장되어 있는 것으로 추정된다.

2011년, 미국 회사 Noble Energy는 키프로스 심해 block 12 부근의 영토에 아프로디테 필드를 발견하고, 천연 가스가 5 Tcf 정도 매장되어 있음을 발견하였다. 키프로스의 심해 부근에 대한 입찰은 2012년 말이므로 해당 영역에 대한 상세한 탐사는 가까운 시일내에 시작할 것으로 결론을 내렸다.

2014년 Vasilikos의 남쪽 해안에 첫 번재 단계의 석유 운송 항구를 건설하기로 결정하였다. 이것은 키프로스를 에너지허브로 개발한 노력의 한 부분으로 이 계획은 심해로부터 천연가스를 공급할 수 있는 Vasilikos 지역에 액화천연가스 시설을 건설하는 것을 포함하고 있다. 만약 완성 된다면 이 액화천연가스 시설은 또한 동지중해의 어떤 장소든 연결 할 수 있을 것이다. 키프로스 심해지역의 추가적인 부피나 레반트 분지의 지역은 아마도 Vasilikos의 경제적 성장을 이루며 액화천연가스 터미널로 개발하게 될 것이다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	122,000 BCM
LNG 생산량(연)	0 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	1

키프로스는 현재(2013년 기준) 60,000 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 현재 가동 중인 LNG 프로젝트가 없으므로 액화천연가스의 생산량은 없고 1개의 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중이다.

표 37. 키프로스의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Cyprus LNG	Vassilikos	Planned	Delek Group	6.75

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	0.97
	정치적 안정성	0.52
	정부의 효율성	1.35
	법·규제의 완성도	0.91
	준법 수준	1
	부패의 통제	1.24
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	87.95
	건설 인허가	61.71
	전력수급	54.37
	재산권 등록	62.76
	금융 근접성	68.75
	투자자 보호	63.33
	세금 지불	78.23
	국제 무역	81.22
	계약 이행	51.09
	부채 해결	74.64
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점 (3.71 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	5점 (100%)
	상류 비정부 소유기업 비율	5점 (100%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	3점 (계획있음)
	발주국 천연가스 관리구조	1점(나쁨)
	생산물 수익회수가능성	1점(100%)
	정치 행정적 안정성	0.9983
	자원보유국 환율 안정성	3점 저: 1.04954 고: 1.48426
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점 (0개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (1개)

총점	65.15점

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 키프로스는 평균 0.998점으로 가스 매장 국가 34개국 중 5위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 키프로스는 2010년 1.02에서 2013년 0.97의 수준으로 점점 떨어지고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 5위로 나타났다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 키프로스의 경우 이 지표의 값은 전년 0.62에 대비하여 2013년 0.52를 기록하였다. 해당 지표의 국가 순위는 8위를 보였다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 가장 낮은 순위를 보인다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 키프로스의 경우 2013년 1.35의 수치로 2010년 1.53 이후로 떨어지는 추세를 나타냈다. 또한 지표의 국가 순위가 5위로 나타났다.

법·규제의 완성도는 2010년 이후로 0.91 ~ 1.43을 유지하고 있으며 2013년 0.91을 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 국가 순위도 7위로 비교적 낮은 수준으로 평가된다.

준법 수준에서 해당 지표는 1.0 ~ 1.2을 유지하고 있으며 2013년 1.0을 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 6위로 나타났다.

부패의 통제정도에서 해당 지표는 2010년 1.0을 기록한 이후 점차 증가하는 추세를 보이고 있으며 2013년 1.24의 값을 보이고 있다. 국가 순위는 6위에 해당하는 값으로 평가되었다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보 상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유 비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 키프로스의 천연가스 매장량은 3.71 TCM으로 4점을 받았다.

키프로스는 현재 건설 프로젝트 1건을 운영하고 있다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 키프로스는 현지 유사프로젝트 계획현황은 1개로 1점을 받았다. 이는 키프로스가 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량은 부족하지만 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 앞으로 크다는 것을 알 수 있는 항목이다.

키프로스에서 진행 중인 프로젝트는 100% NOC에서 담당하고 있으며 소유 자산도 100%를 나타내고 있다. 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 5점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 높은 것으로 판단할 수 있다.

다. 진출 대상 관심국가 평가(아시아)

1) 말레이시아

- 말레이시아 국가 개요

말레이시아는 카타르 다음으로 세계에서 두 번째로 큰 액화 천연가스 수출국이다(2013년). OGJ(Oil&Gas Journal)에 따르면, 말레이시아는 2014년 1월을 기준으로 총 83TCF(Trillion Cubic Feet) 천연 가스를 보유하고 있으며, 이는 아시아 태평양 지역의 천연 가스 보유국 중 세 번째로 큰 규모이다. 말레이시아의 천연 가스 매장량의 반 이상은 동쪽 지역, 그 중에서도 Sarawak 주 연안에 매장되어 있다.

말레이시아 천연 가스 사업은 80% 이상이 정부 주도하에 운영되고 있다. 말레이시아 정부 소유의 Pertronas는 upstream 천연 가스 사업을 독점하고 있을 뿐 아니라, downstream 천연 가스 사업과 LNG 무역에서도 중요한 역할을 하고 있다. 대부분의 천연 가스 생산은 Petronas와 합작한 해외 기업들에 의해서 운영되는 PSAs가 담당하고 있다. Shell(IOC 회사 중 하나)는 가장 큰 가스 생산회사이며 말레이시아 deepwater 분야의 개발에 중요한 역할을 담당하고 있다.

지난 20년간 말레이시아의 천연 가스 생산량이 지속적으로 증가되어 2012년 2.3TCF에 이르렀다. 그와 함께 국내 천연 가스 소비량도 함께 증가하여 2013년에 1.1TCF이 되었고, 이는 생산량의 거의 50%에 해당하는 양이다. FGE(에너지 컨설턴트)에 따르면 말레이시아 천연 가스 소비량은 플랜트 부문이 전체 소비량의 약 51%를 차지하며 산업 부분이 33%를 차지한다.

플랜트 부문의 천연 가스 수요(특히 Peninsular 말레이시아)와 산업 부문의 발전에 있어 천연 가스 수요는 점점 늘어날 것으로 전망된다. 국내 천연 가스 수요가 증가함에 따라 말레이시아 정부는 액화 가스 저장소에 대한 투자를 늘려나갈 것이다. 말레이시아 내의 천연 가스 탐사와 개발 활동은 주로 Sarawak과 Sabah 연안 지역을 따라 진행될 것이다. 장기적인 관점에서 말레이시아는 고농도의 이산화탄소와 황을 포함한 가스 분야와 deepwater 분야를 발전시키기 위한 higher level의 투자와 기술 개발에 투자할 것으로 전망된다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	2,350 BCM
LNG 생산량(연)	34.70 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	9
LNG 프로젝트 수 (계획)	5

말레이시아는 현재(2013년 기준) 2,350,000 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 9개의 LNG 프로젝트에서 연간 34.7 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 5개의 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중으로 2020년 까지 연 생산량이 약 50BCM 수준까지 증가할 전망이다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 40. 말레이시아의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
MLNG Satu - train 1	Bintulu	Operational	Malaysia LNG	3.78
MLNG Satu - train 2	Bintulu	Operational	Malaysia LNG	3.78
MLNG Satu - train 3	Bintulu	Operational	Malaysia LNG	3.78
MLNG Dua - train 4	Bintulu	Operational	Malaysia LNG Dua	3.65
MLNG Dua - train 5	Bintulu	Operational	Malaysia LNG Dua	3.65
MLNG Dua - train 6	Bintulu	Operational	Malaysia LNG Dua	3.65
MLNG Tiga - train 7	Bintulu	Operational	Malaysia LNG Tiga	5.20
MLNG Tiga - train 8	Bintulu	Operational	Malaysia LNG Tiga	5.20
MLNG Dua - debottlenecking	Bintulu	Operational	Malaysia LNG Dua	2.03
Kanowit	Bintulu	Under construction	Petronas	1.62

MARLIN (Bintulu Re-Liquefaction)	Bintulu	Bid process	Petronas	0.68
Petronas LNG 9	Bintulu	Under construction	Petronas	4.86
Malaysia FLNG	Rotan	Bid process	Petronas	2.03
Perak LNG	Tanjung Hantu	Approved	Perak BN	8.70

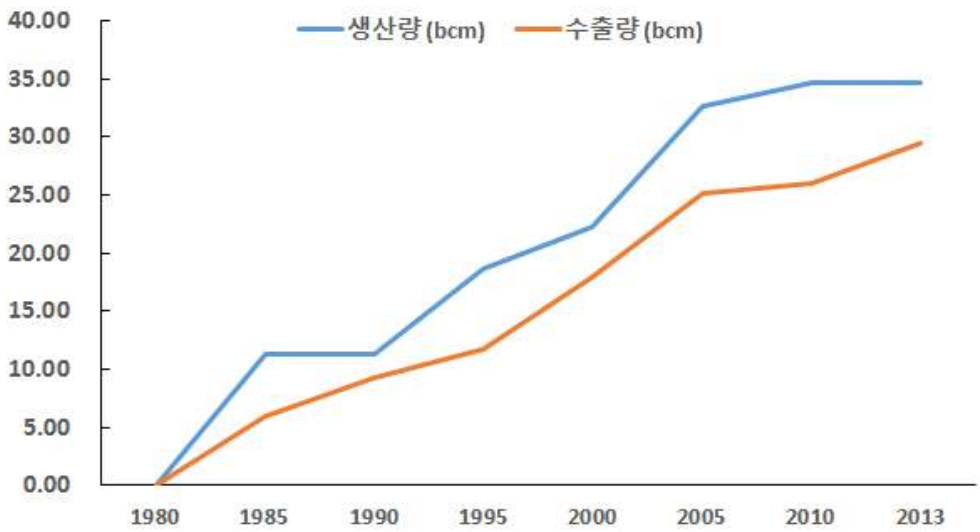


그림 54. 말레이시아의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.32
	정치적 안정성	0.05
	정부의 효율성	1.1
	법·규제의 완성도	0.62
	준법 수준	0.48
	부패의 통제	0.41
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	94.31
	건설 인허가	78.09
	전력수급	84.4
	재산권 등록	79.53
	금융 근접성	100
	투자자 보호	86.67
	세금 지불	82.38
	국제 무역	89.27
	계약 이행	72.2
	부채 해결	51.84
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점 (2.35 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점 (14.64%)
	상류 비정부 소유기업 비율	2점 (20%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	5점 (계획 많음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점 (보통)
	생산물 수익회수가능성	4점 (높음)
	정치 행정적 안정성	0.39
	자원보유국 환율 안정성	3점 저 : 2.937 고 : 4.458
	현지 유사프로젝트 진행현황	3점 (9개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	3점 (5개)
총점	68.59점	

본 연구를 통해 개발된 해외사업모델 국가평가 프레임워크를 활용하여 말레이시아에 대한 평가를 진행하였다. 말레이시아는 총점 68.6점으로 본 보고서에서 대상으로 하는 23개국 중 4위를 차지한 것으로 나타났다. 평가 기준 및 결과에 대한 자세한 설

명은 아래와 같다.

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 말레이시아는 평균 2.34점으로 가스 매장 국가 34개국 중 10위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 말레이시아는 지속적으로 -0.6 ~ -0.4 수준을 나타내고 있으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 18위로 가장 낮게 나타났다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 말레이시아의 경우 이 지표의 값은 2013년 0.05를 기록하였다. 그러나 지난 몇 년간의 평가 결과와 비교해 보았을 때 큰 폭의 변동을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 말레이시아의 경우 해당 지표의 국가 순위가 8위로 가장 높게 나타났다.

법·규제의 완성도, 국민의 준법수준의 경우 꾸준하게 0.5를 기준으로 큰 변동 없이 유지되어 왔으며, 해당 지표의 순위도 11위로 비교적 높은 수준으로 평가된다.

부패의 통제정도 2010년 이후 꾸준히 증가하여 0.41의 값을 가지며, 이는 34개국 중 10위에 해당하는 값으로 타 항목에 비해 비교적 높은 수준으로 평가 되었다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 말레이시아의 천연가스 매장량은 2.35TCM으로 4점을 받았다.

말레이시아는 현재 operational 상태의 프로젝트 9개와 입찰 프로젝트 2건, 건설 프로젝트 2건, 승인 프로젝트 1건의 프로젝트를 운영하고 있다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 말레이시아는 두 지표 모두 3점으로 평가받았으며, 이는 말레이시아가 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 평균 이상이며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성이 크다는 것을 알 수 있는 항목이다.

말레이시아에서 진행 중인 프로젝트는 79.5% 가 NOC에서 담당하고 있으며, 입찰, 건설, 승인 중인 프로젝트 5개 가운데 4개 프로젝트가 100% NOC인 Petronas에서 담당하고 있어 NOC와 IOC의 비중이 상당히 큰 것으로 나타난다. 사업 수행 시 해외기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 85.36%와 80%로 각 항목에서 1점과 2점을 받았다.

2) 중국

- China 국가 개요

중국은 세계에서 에너지의 생산과 소비를 이끌며 빠르게 경제의 성장을 이룬 국가이다. 특히 빠르게 증가하는 석유 및 기타 연료에 대한 에너지 수요는 중국을 세계 에너지 시장에서 영향력이 있는 국가로 만들었다.

지난 몇 년간 중국은 글로벌에너지수요에서 상위 순위로 올라갔다. 2011년 중국은 가장 큰 글로벌 에너지 사용국가가 되었고 미국에 이어 세계에서 두 번째로 석유를 많이 사용하는 국가이다. 중국은 1990년대 초까지 순 석유 수출 국가였다. 그리고 2009년 세계에서 두 번째로 원유를 많이 수입하고 석유 제품을 생산하는 국가가 되었다. EIA(Energy Information Administration) 보고서에 따르면 중국은 2013년 말 석유와 다른 에너지 생산에서 미국에 이어 세계에서 가장 큰 국가가 되었는데 이는 중국의 석유 소비량이 크게 증가했기 때문이다. 또한 중국의 석유 소비는 2014년에 세계 석유 소비에 약 43%를 차지할 정도로 성장했다. 최근 지난 몇 년간 중국의 석유 소비 증가율은 감소했지만, 2015년 EIA 프로젝트 는 중국의 글로벌 석유 1/4 이상을 차지할 것이라고 추정한다. 중국의 천연가스는 지난 10년간 급격하게 증가해왔다. 또한 파이프라인을 통한 천연가스와 액화천연가스의 수입을 늘이기 위하여 노력해왔다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	3,100 BCM
LNG 생산량(연)	1.45 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	2
LNG 프로젝트 수 (계획)	1

중국은 현재(2013년 기준) 3,100 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정된다. 2개의 LNG 프로젝트에서 연간 1.45 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 1개의 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중이다. 프로젝트 세부사항은 다음 표와 같다.

표 43. 중국의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Erdos Huixin Dazhou	Erdos	Operational	Xingxing Energy	0.37
Ningxia	Yinchuan	Operational	Ningxia Hanas NG	1.08
Fengzhen	Fengzhen	Approved	Fengzhen Wanjie Gas	0.48

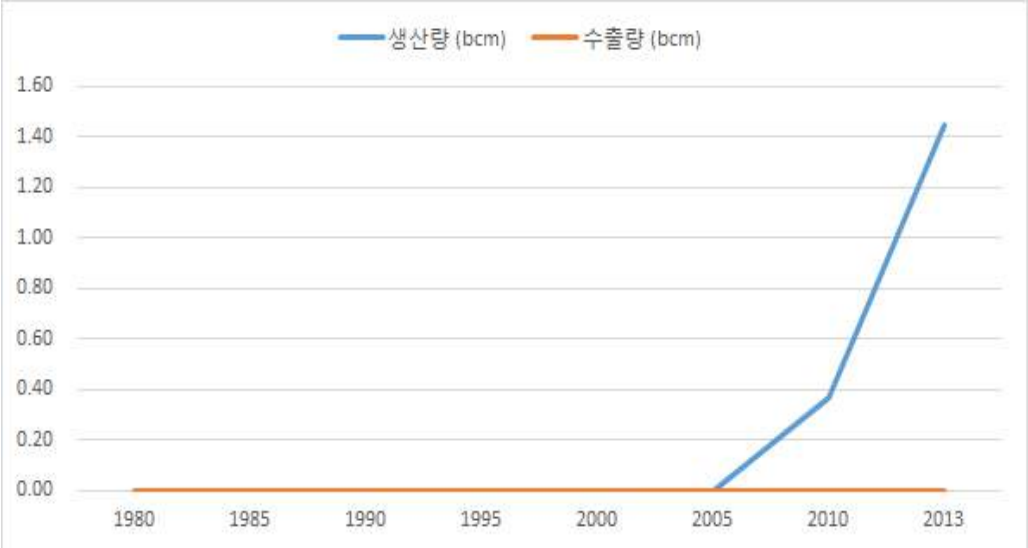


그림 55. 중국의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-1.58
	정치적 안정성	-0.55
	정부의 효율성	-0.03
	법·규제의 완성도	-0.31
	준법 수준	-0.46
	부패의 통제	-0.35
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	67.38
	건설 인허가	48.32
	전력수급	67.05
	재산권 등록	80.66
	금융 근접성	62.5
	투자자 보호	50
	세금 지불	61.14
	국제 무역	70.77
	계약 이행	69.15
	부채 해결	38.1
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점 (3.1 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점 (0%)
	상류 비정부 소유기업 비율	1점 (0%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	5점 (계획많음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	1점(100%)
	정치 행정적 안정성	-0.55
	자원보유국 환율 안정성	5점 저: 0.14950 고: 0.16546
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점 (2개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (1개)
총점	51.10점	

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 중국은 평균 -0.55점으로 가스 매장 국가 34개국 중 20위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 중국은 2010년 -1.63에서 2013년 -1.58의 수준으로 점점 상승하고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 32위로 나타났다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목에서 가장 낮은 순위이다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 중국의 경우 이 지표의 값은 2010년 -0.66을 기록하고 있으며 점차 상승하여 2013년 -0.55를 기록하였다. 해당 지표의 국가 순위는 22위를 보였다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 중국의 경우 2013년 -0.03의 수치로 전년에 대비해 -0.04의 값이 떨어졌다. 또한 지표의 국가 순위가 15위로 나타났다.

법·규제의 완성도는 2010년 -0.22에서 꾸준히 떨어져 2013년 -0.31를 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 국가 순위는 18위로 비교적 낮은 수준으로 평가된다.

준법 수준에서 해당 지표는 -0.5 ~ -0.3을 유지하고 있으며 2013년 -0.46을 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 16위로 나타났다.

부패의 통제정도에서 해당 지표는 2010년 -0.60에서 꾸준히 감소하여 2013년 -0.35를 기록하고 있으며 국가 순위는 14위에 해당하는 값으로 평가되었다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 가장 높은 순위이다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지

표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 중국의 천연가스 매장량은 3.1 TCM으로 4점을 받았다.

중국은 현재 operational 상태의 프로젝트 2개를 운영하고 있다. 해당국가에서 기수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 중국은 현지 유사프로젝트 진행현황에서 2개로 1점을 받았고 계획현황은 1개로 1점을 받았다. 이는 중국이 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 떨어지며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 앞으로 크지 않다는 것을 알 수 있는 항목이다.

중국에서 진행 중인 프로젝트는 100% IOC에서 담당하고 있으며 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 1점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 낮은 것으로 판단할 수 있다.

3) 파푸아뉴기니

- 파푸아뉴기니 국가 개요

2010년 3월에 발표한 2030년까지의 전략 계획 <Papua New Guinea Development Strategic Plan 2010-2030>에 따르면 파푸아뉴기니의 원유 생산량은 감소하는 추세를 보이고 있어 그 대체 수입원으로 정부는 LNG 프로젝트를 중시하고 있다.

파푸아뉴기니에서는 가스 수요가 부족해 가스 산업이 육성되지 않고 있다. 현재의 가스 생산은 Hides 가스전을 중심으로 소량의 가스가 생산되고 있을 뿐이며, 그 가스는 Enga 주의 Poegera 금 광산에 전력을 공급하는 Tagari 발전소용으로 공급되고 있다. 향후 생산되는 천연가스 이용에 관하여, 정부는 대부분을 수출하고 자국 내 천연 가스 이용은 주로 발전 산업, 석유화학 산업에 치중할 계획이다.

파푸아뉴기니의 석유 및 천연가스 개발에 관한 법률은 1998년에 시행된 Oil&Gas Act에 기초하고 있으며, 2003년에는 적극적인 외국자본 도입을 위해 주로 세제상에서의 우대제도를 추가한 개정 석유가스 법을 시행하고 있다.

2012년 초 현재, 파푸아뉴기니의 천연가스 확인매장량은 전년도와 같은 수준인 442BCM으로 과거 10년간에 걸쳐 보합 상태가 지속되고 있다. 2011년 천연가스 생산량은 0.10BCM이었으며, 현재 Oil Search가 소유주인 Hides 가스전을 중심으로 천연가스 생산이 이루어지고 있다.

파푸아뉴기니는 인구가 많지 않고 각지에 분산되어 있어 에너지 수요가 매우 낮은 등의 이유로 인프라가 거의 정부되어 있지 않아 천연 가스의 매장량은 풍부하지만 아직 국내 시장은 미개척 시대에 있다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	0.227 BCM
LNG 생산량(연)	0.00 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	2
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

파푸아뉴기니는 현재 (2013년 기준) 227 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으

로 추정 된다. 2개의 LNG 프로젝트에서 연간 0.00 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 없다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 46. 파푸아뉴기니의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
PNG LNG - train 1	Port Moresby	Operational	ExxonMobil	4.66
PNG LNG - train 2	Port Moresby	Operational	ExxonMobil	4.66

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	0.02
	정치적 안정성	-0.52
	정부의 효율성	-0.71
	법·규제의 완성도	-0.52
	준법 수준	-0.98
	부패의 통제	-1.04
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	78.04
	건설 인허가	60.92
	전력수급	86.32
	재산권 등록	73.33
	금융 근접성	56.25
	투자자 보호	56.67
	세금 지불	65.15
	국제 무역	59.62
	계약 이행	28.8
	부채 해결	24.91
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점(0.227TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	5점(80%)
	상류 비정부 소유기업 비율	3점(57%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(동결)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	3점(20~50%)

	정치 행정적 안정성	-0.625
	자원보유국 환율 안정성	3점 저 : 0.34040 고 : 0.49485
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(2개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(동결)
총점	**50.48점**	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 파푸아뉴기니는 평균 -0.625점으로 가스 매장 국가 34개국 중 22위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 파푸아뉴기니는 지표의 변동이 컸다. 2005년을 기점으로 값이 증가하면서 2007년 정점을 찍은 뒤 다시 -값으로 감소하는 추세를 보이다 2013년 다시 0보다 큰 값으로 회복되었으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 높게 나타났다.(34개국 중 11위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 파푸아뉴기니의 경우 이 지표의 값은 2013년 -0.52를 기록하였다. 해당 지표의 값은 지속적으로 감소하는 추세를 보이다 2010년을 기준으로 조금씩 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 파푸아뉴기니의 경우 해당 지표의 국가 순위가 가장 높게 나타났다.(8위)

법·규제의 완성도의 경우 2009년부터 -0.5 수준으로 큰 변동 없이 유지되어 왔으며, 국민의 준법수준 역시 -0.8 ~ -1.0사이의 값을 나타내고 있다.

부패의 통제정도 2010년 이후 꾸준히 증가하여 -1.04의 값을 가지며, 정치 제도의

안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 낮은 것으로 나타났다(34개국 중 27위).

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유 비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 파푸아뉴기니의 천연가스 매장량은 0.227TCM으로 3점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 파푸아뉴기니에서 진행 중인 프로젝트는 약 20% 가 PNG(Papua New Guinea) 정부에 의해 진행되고 있으며, 동결 상태이지만 계획 중이던 프로젝트 역시 NOC의 비중이 매우 작은 것으로 나타난다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유 자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 80%와 57%로 각 항목에서 5점과 3점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

파푸아뉴기니는 현재 액화 플랜트 프로젝트 2개가 운영 중이며, 계획 중이던 프로젝트 4개가 동결되었다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 파푸아뉴기니는 두 지표 모두 1점으로 평가받았으며, 계획 중 이었던 프로젝트 4개 모두 동결된 것으로 미루어보아 파푸아뉴기니의 천연가스 관련 사업 수행의 안정성이 낮다는 것을 알 수 있는 항목이다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 파푸아뉴기니는 천연 가스 매장량은 풍부하지만 아직 국내 시장 개발의 미흡으로 인하여 자국내 에너지에 대한 수요가 비교적 적은 편이나 향후 원유 생산량 감소에 따른 천연 가스 수요에 대한 증가를 예측할 수 있어 생산물 수익회수가능성은 3점으로 평가하였다.

최근 5년 동안의 환율 변화율은 45.37%로 비교적 변동성이 심한 것으로 나타났다.

4) 호주

- Australia 국가 개요

호주는 화석연료를 포함하여 우라늄의 매장량이 풍부한 국가이다. OECD(Organization for Economic Cooperation and Development)에 속한 국가 중 70% 이상을 에너지 생산에서 수익을 올리고 있는 나라이다. 호주는 2011년 세계에서 두 번째로 많은 석탄을 수출하였고 2012년 세계에서 세 번째로 액화 천연 가스를 수출하는 나라이다.

호주는 상당량의 석유를 수출하는 국가이면서 동시에 원유와 정제된 석유 제품을 수입하는 국가이다. Hydrocarbon 수출은 2011년 총 상품 수출의 23%를 차지하고 있으며 우라늄은 약 31% 가량이 매장되어 있는 것으로 추정된다. 또한 호주의 정치적 안정성과 투명한 규제 구조, 상당한 탄소에너지 매장량, 지리적 이점의 이유로 외국 투자자들에게 상당히 매력적인 국가로 평가되고 있다. 또한 2020년 말까지 호주는 글로벌 LNG 시장의 새로운 강자로 부상할 것이 확실해 보이지만, 위축되고 있는 투자 심리는 호주 천연가스 산업의 성장 모멘텀을 약화시키는 주요 요인으로 지목하고 있다. 수요에 미치지 못하는 국내 생산으로 말미암아, 호주는 석유 정제품의 수입 비중 확대라는 쉽지 않은 문제와도 직면하게 될 것이라고 전망한다.

노후 유전의 원유 생산량 감소를 대체할 만큼의 신규 유전 발굴이 목격되지 않는 바, 2020년까지 호주의 원유 및 기타 액체 연료 생산량이 지속적인 하락세를 나타낼 것으로 예상하고 있다. 그러나, Canning Basin 인근의 해양 유전 개발이 구체적인 성과로 이어질 경우, 2018년 이후 호주의 석유 생산량이 현재 전망을 상회할 가능성도 있는 것으로 판단한다. 새로운 LNG 수출 설비가 본격 가동에 들어감에 따라, 2015년부터 2018년까지 호주의 천연가스 생산이 큰 폭의 증가세를 나타낼 것으로 전망한다. 하지만, 막대한 개발 비용과 주요 산지인 서부와 북부에서 동부 수출 지역까지의 수송 문제가 투자 심리 위축으로 이어지면서, 2018년 이후 호주의 천연가스 생산 증가율이 점차 둔화될 것으로 전망하고 있다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	4,300 BCM
LNG 생산량(연)	32.81 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	7
LNG 프로젝트 수 (계획)	15

호주는 현재(2013년 기준) 4,300 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정된다. 7개의 LNG 프로젝트에서 연간 32.81 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 15개의 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중이다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 49. 호주의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
NWS - train 1	Karratha	Operational	North West Shelf venture	3.38
NWS - train 2	Karratha	Operational	North West Shelf venture	3.38
NWS - train 3	Karratha	Operational	North West Shelf venture	3.38
NWS - train 4	Karratha	Operational	North West Shelf venture	5.94
Darwin LNG	Darwin	Operational	ConocoPhillips	5.00
NWS - train 5	Karratha	Operational	North West Shelf venture	5.94
Pluto LNG train 1	Dampier	Operational	Woodside	5.81
Queensland Curtis LNG-1	Curtis Island	Under construction	BG Group	5.74
Gorgon LNG - trains 1 - 2 - 3	Barrow Island	Under construction	Chevron	21.06

Gladstone - train 1	Curtis Island	Under construction	Santos	5.27
Australia Pacific LNG - trains 1 - 2	Curtis Island	Under construction	APLNG	12.15
Queensland Curtis LNG-2	Curtis Island	Under construction	BG Group	5.74
Wheatstone-1	Ashburton North	Under construction	Chevron	6.01
Gladstone - train 2	Curtis Island	Under construction	Santos	5.27
Ichthys - trains 1 - 2	Darwin	Under construction	Inpex	11.34
Wheatstone-2	Ashburton North	Under construction	Chevron	6.01
Prelude	Browse basin	Under construction	Shell	4.86
Scarborough FLNG	Scarborough	Approved	ExxonMobil	8.10
Greater Sunrise	Timor Sea	Planned	Woodside	5.40
Browse	James Price Point	Planned	Woodside	16.20
Tassie Shoal	Timor Sea	Frozen	Methanol Australia	4.05
Pluto LNG train 2	Dampier	Cancelled	Woodside	5.81
Bonaparte LNG	Bonaparte Basin, Timor Sea	Frozen	GDF Suez	3.24

Arrow Energy LNG - train 1	Curtis Island	Frozen	Arrow Energy	5.40
Flex LNG Australia	-	Cancelled	Flex LNG	2.03
Metgasco Brisbane	Brisbane	Cancelled	Metcasco	4.05
Fisherman Landing (Kimberley LNG Project)	James Price Point	Frozen	LNG Ltd.	2.03
Abbot Point LNG-train 1-2	Abbot Point	Planned	Energy World Corporation	1.35
Queensland Curtis LNG-3	Curtis Island	Frozen	BG Group	5.74
Abbot Point LNG-train 3-4	Abbot Point	Planned	Energy World Corporation	1.35
Southern Cross LNG	Curtis Island	Cancelled	Southern Cross LNG	0.95
Sun LNG	Curtis Island	Cancelled	Sun LNG	0.68
Arrow Energy LNG - train 4	Curtis Island	Frozen	Arrow Energy	6.75
Arrow Energy LNG - train 3	Curtis Island	Frozen	Arrow Energy	6.75
Arrow Energy LNG - train 2	Curtis Island	Frozen	Arrow Energy	5.40
Newcastle	Newcastle	Cancelled	Santos	1.35
Gorgon LNG - train 4	Barrow Island	Frozen	Chevron	7.02

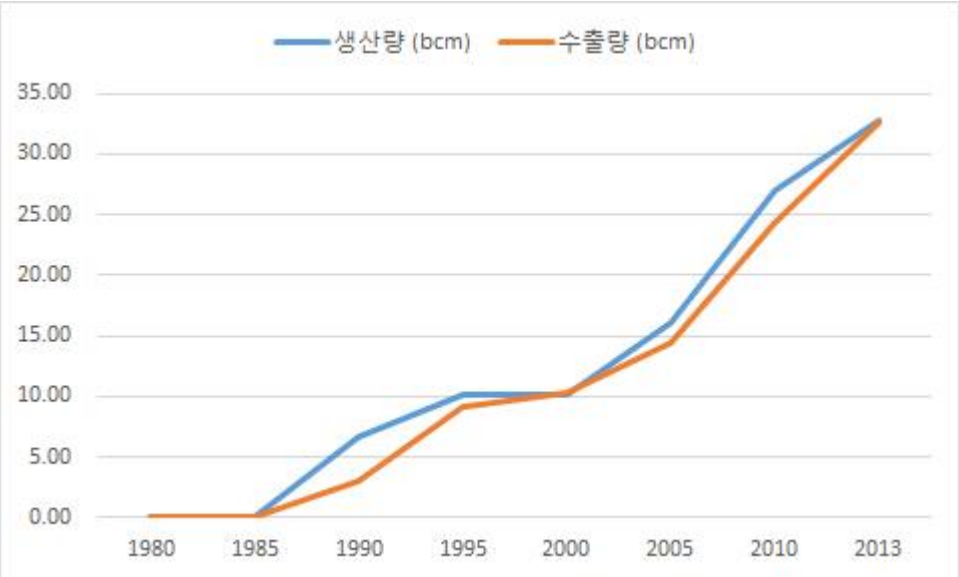


그림 56. 호주의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	1.44
	정치적 안정성	1.02
	정부의 효율성	1.62
	법·규제의 완성도	1.79
	준법 수준	1.75
	부패의 통제	1.76
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	95.9
	건설 인허가	85.41
	전력수급	78.57
	재산권 등록	77.64
	금융 근접성	93.75
	투자자 보호	56.67
	세금 지불	78.69
	국제 무역	78.28
	계약 이행	76.28
	부채 해결	86.14
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점 (4.3 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	3점 (46.53%)
	상류 비정부 소유기업 비율	2점 (38.36%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	5점 (계획있음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점 (보통)
	생산물 수익회수가능성	5점(0.75%)
	정치 행정적 안정성	1.56
	자원보유국 환율 안정성	3점 저: 0.69115 고: 1.10321
	현지 유사프로젝트 진행현황	5점 (17개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (4개)
총점	76.78점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야

에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 호주는 평균 1.56점으로 가스 매장 국가 34개국 중 3위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 호주는 최근 3년도의 평가점수를 보면 2010년 1.44에서 2012년까지 1.50으로 평가되었지만 2013년 1.44로 평가되며, 안정적으로 유지되고 있음을 알 수 있다. 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 3위로 높은 순위를 기록하고 있음을 알 수 있다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 호주의 경우 2013년 1.02의 수치로 최근 년도의 추세를 살펴보면 0 이상의 높은 값을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 국가 순위는 6위를 기록하고 있다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목에서 가장 낮은 순위를 나타낸다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로 호주의 경우 2013년 1.62의 수치로 최근 년도의 추세를 살펴보면 1.6 ~ 1.7 의 안정된 수치를 기록하고 있는 것으로 나타났다. 또한 지표의 국가 순위는 3위로 매우 높은 순위를 나타냈다.
법·규제의 완성도는 2010년 이후로 1.69를 기록한 이후로 2011년 1.85로 소폭 상승했으며 2013년에는 1.79를 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 국가 순위는 1위로 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 제일 높은 순위로 평가되었다.

준법 수준에서 해당 지표는 1.7이상을 유지하고 있으며 2013년 1.75를 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 2위로 매우 높은 순위를 나타났다.
부패의 통제정도에서 해당 지표는 2010년 2.04를 기록하였으며 이후 점차 떨어져 2013년 1.76으로 평가되었다. 또한 국가 순위는 3위에 해당하는 값으로 매우 높은 순위로 평가되었다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 호주의 천연가스 매장량은 4.3 TCM으로 4점을 받았다.

호주는 현재 operational 상태의 프로젝트 7개와 건설 프로젝트 10건을 운영하고 있다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 호주는 현지 유사프로젝트 진행현황에서 17개로 5점을 받았고 계획현황은 4개로 1점을 받았다. 이는 호주가 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 평균 이상이며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 크다는 것을 알 수 있는 항목이다.

호주에서 진행 중인 프로젝트는 38.36% NOC에서 담당하고 있으며 Chevron, Shell 등 메이저 기업에서 수행하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 NOC에서 소유하고 있는 자산의 비율은 46.53%를 나타내었다. 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 각각 3점과 2점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 높고 주요 메이저 기업이 주로 참여하고 있는 것으로 판단할 수 있다.

라. 진출 대상 관심국가 평가(중동)

1) 아랍에미리트

- 아랍에미리트(UAE) 국가 개요

UAE는 약 215TCF 의 천연 가스가 매장되어 있으며, 이는 세계에서 7번째로 큰 규모이다. 천연 가스가 많이 매장되어있는 나라임에도 불구하고 UAE는 2008년 천연 가스의 주요한 수입국이었다. 그 원인으로는 : (1) UAE가 EOR 기술의 일환으로 2012년 천연 가스 생산량의 30%를 다시 oil fields로 주사(reinjected). (2) 정부의 비효율적이고 급속한 electricity grid의 증대가 천연 가스 시설로부터 생산되는 전기에 의존하기 때문이다.

천연 가스에 대한 수요 증가를 충족시키기 위하여 지난 몇 년 동안 UAE는 Dolphin Gas Project의 pipeline을 통해 카타르로부터 천연 가스를 수입했다. 카타르로 부터의 수입 이외에도 두바이와 아부다비와 LNG trading을 계약하였다 두바이로부터 수입하고 아부다비로 수출하는 형태이다. UAE는 GECF의 회원국이다.
UAE의 천연가스는 상대적으로 황의 비율이 높으며 이는 부식성이 높으며 또 추출하는 것을 어렵게 한다. 몇 십년동안 UAE는 oil 매장지역으로부터 천연 가스 추출을 광범위하고 황을 천연 가스와 분리해야 하기 때문에 비싼 undertake 방식으로 진행하기보다는 flared 방식으로 진행했다. 황이 많은 천연 가스를 수출하는 것이 기술적으로 매우 어렵기 때문에 UAE에 매장된 천연 가스를 발굴하는 것에 많은 제약이 잇었으나, 기술의 발전과 함께 UAE의 천연 가스에 대한 수요가 늘어남에 따라 카타르로부터 천연 가스를 수입하는 것의 대안으로 자국의 천연 가스 추출은 매우 매혹적인 대안이다.

UAE는 2008년 천연 가스 수입국이 되었다. UAE의 천연 가스 소비는 2004년과 2013년 사이에 1.4TCF에서 2.4TCF로 매년 평균 6%씩 상승했으며, 이에 따라 국내 천연 가스 생산만으로는 자국 내 천연 가스 수요를 충족하는 것이 어려워졌다. 천연 가스 수입량은 2003년 7BCF였으나 지속적으로 증가하여 2013년에는 685BCF가 된 반면, 수출량은 20BCF에서 284BCF로 증가하여 상대적으로 적은 폭의 성장을 보였다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	48.7 BCM
LNG 생산량(연)	7.43 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	2
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

UAE는 현재 (2013년 기준) 48,700 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 2개의 프로젝트에서 연간 7.43 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 없다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 52. UAE의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Das Island - train 1-2	Das Island	Operational	Operational	3.38
Das Island - train 3	Das Island	Operational	Operational	4.05

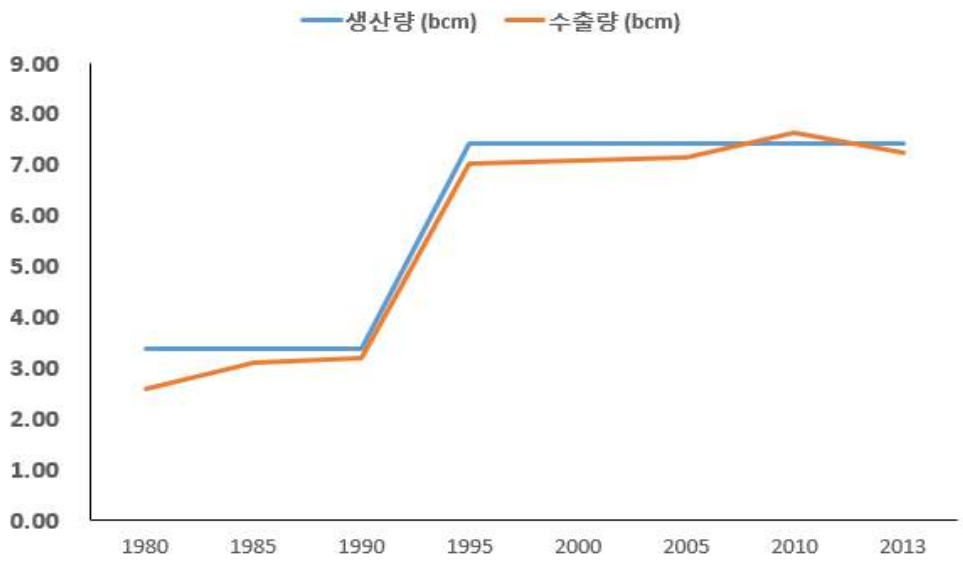


그림 57. UAE의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-1.03
	정치적 안정성	0.92
	정부의 효율성	1.17
	법·규제의 완성도	0.78
	준법 수준	0.64
	부패의 통제	1.29
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	88.66
	건설 인허가	89.67
	전력수급	97.42
	재산권 등록	95.4
	금융 근접성	56.25
	투자자 보호	50
	세금 지불	98.88
	국제 무역	90.14
	계약 이행	48.59
	부채 해결	31.09
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점(2.25TCF)
	상류 비정부 소유자산 비율	2점(30%)
	상류 비정부 소유기업 비율	4점(75%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(계획 없음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	1점(50% 이상)
	정치 행정적 안정성	0.628
	자원보유국 환율 안정성	5점 저 : 0.27222 고 : 0.27248
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(2개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(계획 없음)
총점	62.46점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 아랍에미리트는 평균 0.628점으로 가스 매장 국가 34개국 중 8위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. UAE는 과거부터 계속적으로 감소하고 있으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 낮게 나타났다.(34개국 중 27위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표이다. UAE의 경우 두 지표의 값 모두 꾸준히 증가하였으며, 특히 정부의 효율성 항목에서는 지표의 값이 2003년 이후 0.61 상승했다. 두 지표 모두 상위 순위에 랭크되어 있다.(각 6위, 7위)

법·규제의 완성도와 국민의 준법수준은 감소하는 추세를 보이고 있으나, UAE는 다른 국가의 지표에 비해 높은 값을 가지며 두 지표 모두 전체 순위 중 7위에 속한다. 부패의 통제정도 꾸준히 증가하여 2013년 본 항목의 지표는 1.29이며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 높은 것으로 나타났다(34개국 중 4위).

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표

이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, UAE의 천연가스 매장량은 2.25TCM으로 4점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. UAE에서 현재 운영 중인 프로젝트 2건 모두 ADNOC(AbuDhabi National Oil Company)가 차지하는 비중이 70%로 가장 크다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 30%와 75%로 각 항목에서 2점과 4점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

UAE는 현재 액화 플랜트 프로젝트 2개가 운영 중이며, 계획 중인 프로젝트는 없다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. UAE는 두 지표 모두 1점으로 평가받았다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. UAE의 경우 국내에서 생산되는 천연 가스 양만으로는 천연 가스의 수요를 만족시키기 어려우며 천연 가스 수입량이 증가하고 있다. 따라서 본 항목에 대해 1점으로 평가하였다.
최근 5년 동안의 환율 변화율은 0.0955%%로 매우 안정한 것으로 나타났다.

2) 예멘

- 예맨 국가 개요

Oil&Gas Journal에 따르면 2014년 1월 예맨의 매장량은 16.9TCF이다. 예맨 정부에 따르면 천연 가스가 많이 매장되어 있는 지역 중 하나는 탄화수소가 풍부한 Marib-Jawf 지역이며, 이 지역에는 대략 18TCF의 천연 가스가 땅에(recoverable) 매장되어 있다.

2009년까지 예맨은 Oil 추출을 위해 생산된 거의 대부분의 천연 가스를 reinject했다. 2009년 예맨의 LNG 시설이 open했으며, 예맨 정부는 국내·외적으로 oil fields에서 dry natural gas 부분으로 전용했다. 2009년 예맨의 자국 내 천연 가스 수요는 많지 않았으나, 현재 석유 공급을 줄이고 많은 분야(특히 power generation 분야)에서 천연 가스의 소비를 증가하려고 계획 중이다.

2009년까지 예맨의 자국 내 천연 가스 소비량은 없었기 때문에 예맨은 천연 가스 수입국이 아니었다. 2009년 이래로 예맨의 천연 가스 소비량이 점차 증가하기 시작했으나 천연 가스 수출량의 증가만큼 빠르지는 않았다. 예맨은 2013년에 330BCF의 LNG를 수출했으며, 이는 2010년의 수출량이 34BCF 였던 것에 비해 매우 큰 증가를 나타낸다. IHS Global Insight에 따르면 예맨 LNG는 2013년 global LNG 양의 약 3%를 차지한다. (Yemen LNG provided approximately 3% of 2013 global LNG volumes.)

Oil 인프라 시설과 마찬가지로 예맨의 천연 가스 시설물(특히 배관pipelines)도 많은 공격을 받고 있다. 2012년 Yemen LNG는 국가 천연 가스 시스템에 대한 수 많은 공격으로 인하여 6개월 동안 중단상태였다. 2013년 더 많은 공격이 있었으나, 생산량과 수출량에는 크게 영향을 미치지 못했다. 그러나 militants는 2013년 9월 예맨의 서부 지역에 위치한 450 메가와트의 gas-fired 파워 플랜트를 중지할 것을 명령했으며 이로 인하여 예맨의 전기 공급이 부족해진 실정이다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	0.479 BCM
LNG 생산량(연)	9.05 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	2
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

예맨은 현재 (2013년 기준) 479 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정된다. 2개의 LNG 프로젝트에서 연간 9.05 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 없다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 55. 예맨의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Yemen LNG - train 1	Balhaf	Operational	Yemen LNG	4.52
Yemen LNG - train 2	Balhaf	Operational	Yemen LNG	4.52

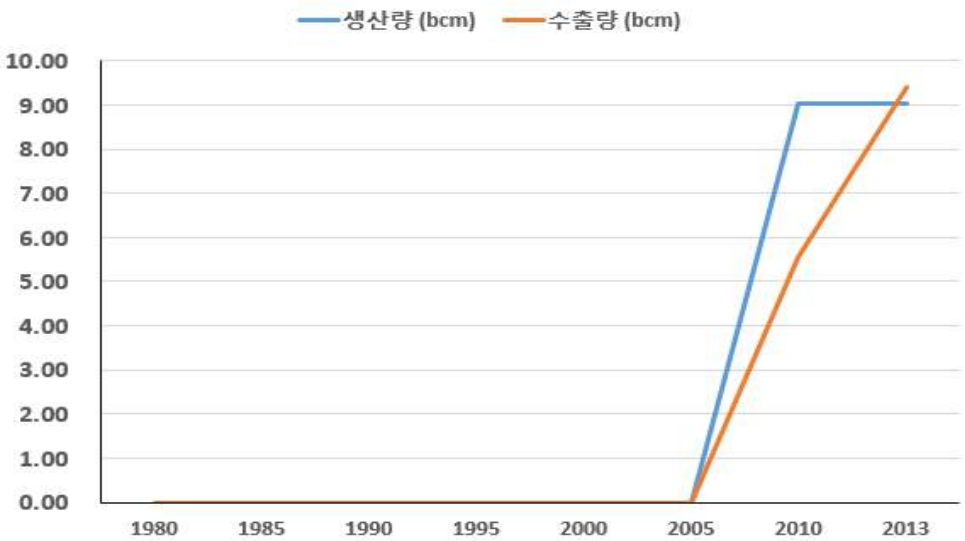


그림 58. 예맨의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-1.35
	정치적 안정성	-2.35
	정부의 효율성	-1.2
	법·규제의 완성도	-0.74
	준법 수준	-1.16
	부패의 통제	-1.2
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	74.5
	건설 인허가	74.49
	전력수급	67.15
	재산권 등록	74.76
	금융 근접성	25
	투자자 보호	40
	세금 지불	61.98
	국제 무역	61.42
	계약 이행	58.22
	부채 해결	25.8
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점(0.479TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	4점(78.27%)
	상류 비정부 소유기업 비율	4점(71.43%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(계획 없음)
	발주국 천연가스 관리구조	1점(나쁨)
	생산물 수익회수가능성	5점(20% 미만)
	정치 행정적 안정성	-1.333
	자원보유국 환율 안정성	저 : 0.00456 고 : 0.00474 3.95%
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(1개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(계획 없음)
총점	**47.18점**	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 예맨은 평균 -1.333점으로 가스 매장 국가 34개국 중 32위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표이다. 예맨은 두 항목에서 모두 하락세를 보이고 있으며 전체 34개국 중 31위를 차지했다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 예맨의 경우 해당 지표의 값이 2003년에 비해 1.11만큼 하락하면서 본 항목에 대한 순위 역시 정치 제도의 안정성 평가 6개 중 가장 낮으며 34개국 중 34위를 기록하였다.

법·규제의 완성도와 국민의 준법 수준의 경우 각각 0.08, 0.36만큼 상승하였으며, 각 25위와 29위를 기록하였으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 법·규제의 완성도에 대한 순위가 가장 높은 것으로 나타났다.

부패의 통제 정도는 감소하는 추세를 보이고 있긴 하나 34개 국 중 29위를 차지하며 다른 평가 항목에 비해 높은 순위를 기록하였다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 예맨의 천연가스 매장량은 0.479TCM으로 3점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 예맨에서 진행 중인 프로젝트는 약 20% 가 예맨 정부에 의해 진행되고 있다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 78.27%와 71.43%로 두 항목 모두 4점으로 평가하였다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

예맨은 현재 액화 플랜트 프로젝트 1개가 운영 중이다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 예맨은 두 지표 모두 1점으로 평가받았으며, 아직은 천연 가스 사업에서 예맨이 두각을 나타내고 있지 못하고 있다는 것을 나타낸다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 예맨의 자국 내 천연 가스 수요량은 증가하고 있으나 천연 가스 수출량의 증가의 폭이 훨씬 더 컸다. 예맨 정부는 미래 천연 가스를 활용한 정책을 내놓고 있으나 현재는 자국 내 소비량보다는 수출량이 훨씬 더 크므로 본 항목에 대해서 5점으로 평가하였다. 최근 5년 동안의 환율 변화율은 3.95%로 비교적 안정한 것으로 나타났다.

3) 오만

- 오만 국가 개요

오만은 최근 Oman LNG와 Qalhat LNG를 합병하면서 국가의 LNG 부문을 간소화 했다. 새로운 회사, Oman LNG는 1년에 1000만 톤(대략 500BCF)을 수출한다.

OGJ(Oil&Gas Journal)에 따르면, 오만은 2014년 1월을 기준으로 총 30TCF(Trillion Cubic Feet) 천연 가스를 보유하고 있다. 지난 20년간 오만의 dry natural gas 생산량은 1년에 154BCF에서 1.1 TCF로 늘어났으며, 그 중 410BCF는 LNG 형태로 수출하고 나머지는 국내 시장에서 소비한다. 오만의 dry natural gas 생산량의 급격한 증가는 2000년과 2005년에 각각 LNG 기지를 개방한 데 기인한다.

오만의 급격한 성장 가능성은 Khazzan-Makarem 지역의 BP의 61 block에 있다. Khazzan-Makarem은 tight gas formation, 이며 BP는 이 지역에 15TCF~20TCF 매장량을 가지고 있을 것이며, 최대 100TCF의 천연가스가 매장되어 있을 것이라고 전망한다. 그러나 Block 61 프로젝트에 앞서, 오만은 국가의 에너지 수요를 해결하기 위한 단기 프로젝트의 일환으로 Abul Tabul 지역의 Block 60 구간의 onstream 프로젝트를 먼저 수행해야 한다. 2013년에 Abul Tabul은 천연가스와 condensates의 생산량을 각각 하루에 90 MMCF, 6000bbl 로 늘리기로 하였다.

오만은 UAE를 통과하는 카타르로부터 오만까지 이어지는 국제 천연 가스 파이프라인(Dolphin pipeline)을 소유하고 있다. 2013년 Middle East Economic Survey의 발표에 따르면 오만은 카타르로부터 1년에 51BCF 만큼의 천연가스를 수입하고 있다. 그러나 Oman's ministry of Oil and Gas는 오만 국내의 가스 생산량을 증가시키고 수입을 점차적으로 줄여나가는 것을 계획하고 있다.

오만은 GECF(Gas Exportin Countries Forum)의 가입국이며 Gulf of Oman에 있는 Sur 근처의 두 대의 액화 시설로부터 천연가스를 LNG 형태로 수출한다. 2013년 오만은 자국 생산량의 약 63%에 해당하는 410BCF를 수출했으며, 수출대상국은 주로 일본과 한국이며, 스페인과도 교류가 있었다.

2013년 8월 오만은 이란과 천연가스 수입 계약에 관해 MOU를 맺었다. 만약, MOU 내용이 현실화된다면 60억 달러의 수익과 더불어 2014년부터 25년 간 가스 공급이 가능해지며, 두 국가 간 가스 이동은 Gulf of Oman에 있는 파이프라인을 통해서 이루어질 것이다. 하지만 이 협상이 현실화되기 위해서는 아직은 세부사항에 대한 논의가 더 진행되어야 할 것으로 보인다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	0.849 BCM
LNG 생산량(연)	14.58 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	3
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

오만은 현재 (2013년 기준) 849 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 3개의 LNG 프로젝트에서 연간 14.58 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 없다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 58. 오만의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Oman LNG - train 1	Qalhat	Operational	Oman LNG	4.79
Oman LNG - train 2	Qalhat	Operational	Oman LNG	4.79
Qalhat LNG - train 3	Qalhat	Operational	Qalhat LNG	5.00

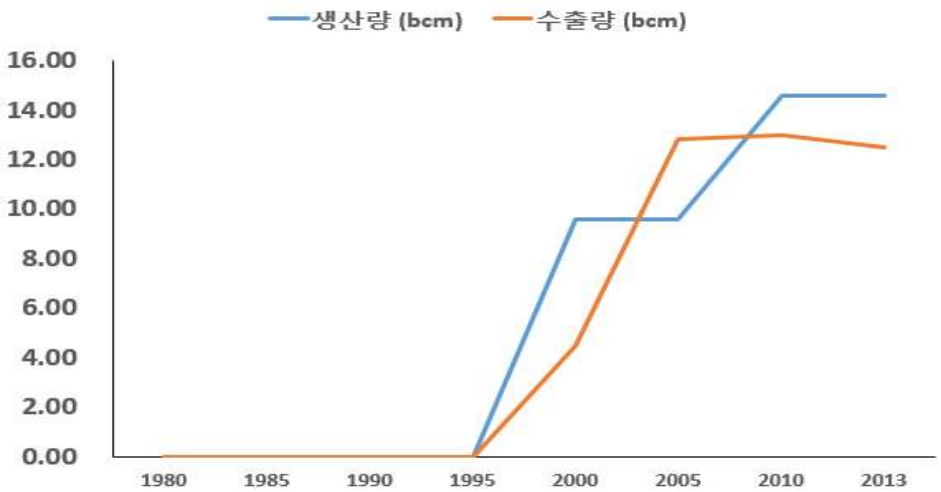


그림 59. 오만의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-1
	정치적 안정성	0.48
	정부의 효율성	0.21
	법·규제의 완성도	0.47
	준법 수준	0.56
	부패의 통제	0.08
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	80.58
	건설 인허가	77.08
	전력수급	73.57
	재산권 등록	89.85
	금융 근접성	56.25
	투자자 보호	50
	세금 지불	90.73
	국제 무역	74.78
	계약 이행	48.75
	부채 해결	39.53
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점(0.85TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	2점(38.12%)
	상류 비정부 소유기업 비율	4점(81%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(계획 없음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	1점(50% 이상)
	정치 행정적 안정성	0.133
	자원보유국 환율 안정성	5점 저 : 2.580 고 : 2.606
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(3개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(0개)
총점	56.53점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 오만은 평균 0.133점으로 가스 매장 국가 34개국 중 12위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 오만은 지속적으로 -1.0에 머무르고 있으며, 수준을 나타내고 있으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 낮게 나타났다.(34개국 중 25위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 오만의 경우 이 지표의 값은 2013년 0.48를 기록하였다. 또한 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 높게 나타났다.(34개국 중 9위)

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 오만의 경우 전체 나라 중 평균 수준으로 평가된다.

법·규제의 완성도, 국민의 준법수준의 경우 각각 0.47과 0.56를 기록했으며 두 지표 모두 2008년을 기점으로 감소하는 추세를 보이고 있으나 2012년부터 조금씩 증가하는 추세를 보고 있다. 해당 지표의 순위는 각각 12위와 10위로 비교적 높은 수준으로 평가된다.

부패의 통제정도는 2008년 이후 점차 하락하여 0.08의 값을 가지며, 이는 34개국 중 12위에 해당한다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환

이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 3개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 오만의 천연가스 매장량은 0.85TCM으로 3점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국가에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 오만에서 진행 중인 프로젝트는 61.88% 가 오만 정부에서 사업에 참여하고 있다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 38.12%와 81%로 각 항목에서 2점과 4점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

오만은 현재 액화 플랜트 프로젝트 3개가 운영 중이며, 계획 중인 프로젝트는 없다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 오만의 경우 진행 중인 프로젝트가 3개로 타국에 비해 적으며 계획중인 프로젝트도 없어 두 지표 모두 3점으로 평가받았으며, 이는 오만의 천연가스 매장량 수준에 비해 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 비교적 부족하다는 것을 알 수 있는 항목이다. 생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 오만은 천연 가스 생산

량 중 약 63%를 수출하였으며, 자국 내 천연 가스 수요가 상대적으로 적은 것으로 판단된다. 또한 최근 5년 동안의 환율 변화율은 1%로 안정한 것으로 나타났다.

4) 카타르

- 카타르 국가 개요

천연가스사업은 카타르 에너지 분야의 핵심 사업이다. 이미 세계에서 가장 큰 LNG 수출국인 카타르는 최근 천연가스 분야를 더 발전시켰으며, 이는 천연 가스의 생산량을 단 기간에 크게 늘렸다.

Oil&Gas Journal에 따르면 2014년 카타르는 천연 가스 매장량 885TCF로 세계에서 세 번째로 큰 천연 가스 매장지역이다. 카타르 매장량의 거의 모든 양이 North field에 매장되어 있으며, 이곳은 이란의 South Pars와 함께 세계에서 가장 큰 천연가스 매장지역을 이루는 지역이다.

현재 카타르 operators는 장기적인 관점에서 높은 생산량을 유지하기 위한 연구를 진행하고 있으며, 이로 인하여 North Field 지역 대부분의 새로운 프로젝트는 잠정중단상태이다. 초기 계획은 2008년까지 잠정적으로 새로운 프로젝트를 중단하기로 되어있었으나, 적어도 2015년까지는 지속될 것이다. 그럼에도 불구하고 다른 지역의 천연 가스 사업은 꾸준히 성장하고 있으며, 전반적으로 크지는 않지만 생산량의 증가가 있었다.

카타르는 수 년 동안 천연 가스 자원 개발에 힘썼으며(특히 North Field에서의 개발) 2012년 중동 지역에서 두 번째로 큰 dry natural gas 생산국이 되었으며, 이는 전 세계에서 네 번째 규모이다. 상대적으로 낮은 자국 내 에너지 수요로 인하여 카타르는 천연 가스 생산량의 거의 대부분을 해외로 수출한다. 때문에 카타르는 2006년 이래로 세계적인 LNG 수출국이며, GECF(Gas Exporting Countries Forum)의 회원국이다.

카타르의 천연 가스 생산량의 증가는 초경질 원유(condensates)와 액화 플랜트 설비 분야의 성장을 가져왔다. 또한 카타르는 천연 가스를 유출유와 나프타 등의 heavier hydrocarbon 으로 바꾸는 GTL(Gas-to-liquids) 기술의 선두 주자이다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	24.7 BCM
LNG 생산량(연)	104.10 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	14
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

카타르는 현재 (2013년 기준) 24,700 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 14개의 LNG 프로젝트에서 연간 104.10 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 없다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 61. 카타르의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Qatargas I - train 1	Ras Laffan	Operational	Qatargas I	4.32
Qatargas I - train 2	Ras Laffan	Operational	Qatargas I	4.32
Qatargas I - train 3	Ras Laffan	Operational	Qatargas I	4.32
Ras Laffan I - train 1	Ras Laffan	Operational	RasGas	4.46
Ras Laffan I - train 2	Ras Laffan	Operational	RasGas	4.46
Ras Laffan II - train 3	Ras Laffan	Operational	RasGas	6.35
Ras Laffan II - train 4	Ras Laffan	Operational	RasGas	6.35
Ras Laffan II - train 5	Ras Laffan	Operational	RasGas	6.35
Qatargas II - train 4	Ras Laffan	Operational	Qatargas II	10.53
Qatargas II - train 5	Ras Laffan	Operational	Qatargas II	10.53
Ras Laffan III - train 6	Ras Laffan	Operational	RasGas	10.53

Qatargas III - train 6	Ras Laffan	Operational	Qatargas III	10.53
Ras Laffan III - train 7	Ras Laffan	Operational	RasGas	10.53
Qatargas IV - train 7	Ras Laffan	Operational	Qatargas IV	10.53

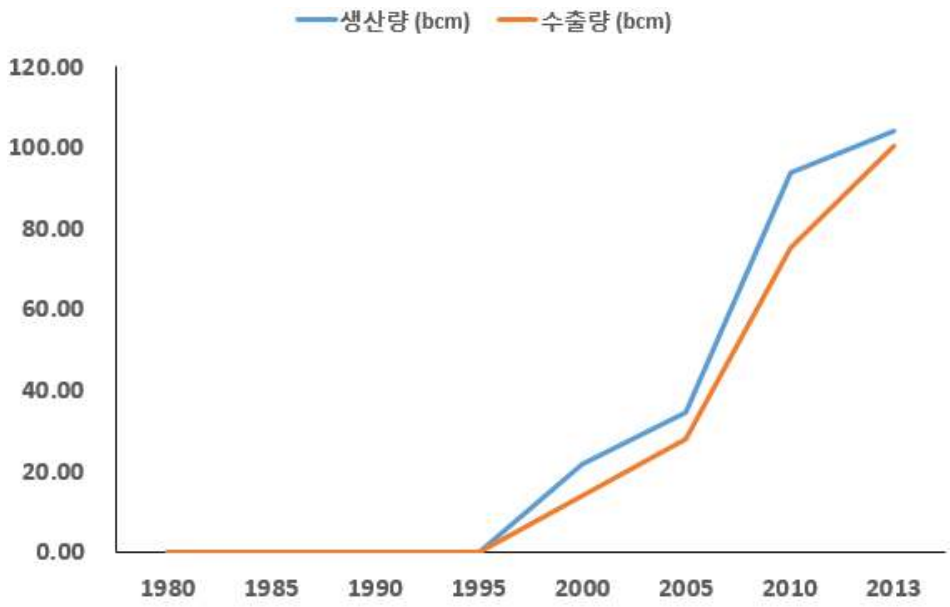


그림 60. 카타르의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.86
	정치적 안정성	1.22
	정부의 효율성	1.07
	법·규제의 완성도	0.74
	준법 수준	1.04
	부패의 통제	1.24
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	82.08
	건설 인허가	80.99
	전력수급	83.18
	재산권 등록	78.23
	금융 근접성	43.75
	투자자 보호	43.33
	세금 지불	97.49
	국제 무역	74.65
	계약 이행	53.72
	부채 해결	58.92
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	5점(24.7TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	2점(30%)
	상류 비정부 소유기업 비율	3점(43.6%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(계획 없음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	5점(20% 미만)
	정치 행정적 안정성	0.742
	자원보유국 환율 안정성	5점 저 : 0.27420 고 : 0.27582
	현지 유사프로젝트 진행현황	5점(10개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(계획 없음)
총점	**67.31점**	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야

에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 카타르는 평균 0.472점으로 가스 매장 국가 34개국 중 6위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 카타르는 해당 항목 지표의 변화가 심하며 전체적으로 감소하고 있는 추세이다. 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중에서 가장 낮은 순위를 기록했다. (34개국 중 21위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 카타르의 경우 해당 지표의 값은 꾸준히 증가하여 2013년 1.22의 값을 나타냈으며 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중에서 가장 높은 순위를 기록했다. (34개국 중 2위)

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 꾸준히 증가하여 2013년 1.07의 값을 기록했다.

법·규제의 완성도, 국민의 준법수준, 부패의 통제수준 세 항목 모두 꾸준하게 증가하였으며, 각각 10위, 5위, 7위를 기록하였다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 카타르의 천연가스 매장량은 24.7TCM으로 3점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국가에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 카타르에서 진행 중인 프로젝트는 Qatar Petroleum에서 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 Qatar Petroleum 외의 사업 참여자들을 살펴보면 ExxonMobil이 대부분의 프로젝트를 진행하고 있으며 ExxonMobil이외의 비정부 기업은 매우 적은 비중을 차지하고 있다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 30%와 43.6%로 각 항목에서 2점과 3점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

카타르는 현재 액화 플랜트 프로젝트 10개가 운영 중이며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 프로젝트는 없다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 카타르는 유사프로젝트 진행현황의 평가는 5점을 받았으나, 계획 중인 프로젝트는 없으므로 1점으로 평가되었다. 이는 현재 계획 중인 프로젝트는 없지만 카타르가 향후 천연가스 관련 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 평균 이상이라는 것을 알 수 있는 항목이다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율

이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 카타르는 전체 천연 가스 생산량의 85%를 LNG 형태로 수출하며, 카타르는 2006년을 기점으로 세계에서 가장 큰 수출국이다. 천연 가스 수출량은 세계에서 두 번째(2012년에 4.3TCF)이다. 따라서 본 항목에 대한 평가는 5점으로 나타났다. 최근 5년 동안의 환율 변화율은 0.59%로 매우 안정한 것으로 나타났다.

마. 진출 대상 관심국가 평가(아프리카)

1) 알제리

- Algeria 국가 개요

알제리는 유럽에 천연가스를 공급하는 국가 중 2번째로 큰 규모로 공급하고 있으며, 아프리카에서 상위 3위안에 드는 천연가스 생산을 이끌어가고 있는 국가이다. 또한 알제리는 세계에서 3번째로 셰일가스 자원양이 풍부한 국가로 평가되고 있다. 그러나 이러한 생산과 사회기반시설 프로젝트가 계속해서 지연되고 있기 때문에 천연가스와 원유의 생산은 최근 몇 년간 꾸준히 감소하고 있다.

알제리는 1958년 석유를 생산하기 시작한 이후로 1969년에 OPEC(Organization of the Petroleum Exporting Countries)에 가입했다. 알제리의 경제는 주로 GDP(gross domestic product)의 약 30%를 점유하고 있는 hydrocarbon 부문의 수익에 좌지우지 된다. IMF(International Monetary Fund)에 따르면 이는 수출 이익에 95%가 넘으며, 예산에 약 60% 정도이다.

석유와 천연가스의 수출 매출액은 2012년 69.8 billion 달러에 비해서 2013년 63.8 billion 달러로 하락하였는데 MEES(Middle East Economic Survey)에 따르면 낮은 수출 규모가 하락의 원인이라고 한다. 알제리의 석유와 가스의 수출액은 중앙은행에 따르면 2013년 12월 말까지 194 billion 달러에 도달했는데 이는 알제리에서 foreign exchange reserves의 안정적인 수준을 유지할 수 있게 해준다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	4,505 BCM
LNG 생산량(연)	38.70 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	4
LNG 프로젝트 수 (계획)	1

알제리는 현재(2013년 기준) 4,505 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 4개의 LNG 프로젝트에서 연간 38.70 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 1개의 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중이다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 64 알제리의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
GL4Z (Camel)	Arzew	Stopped	Sonatrach	1.26
GL1K1	Skikda	Stopped	Sonatrach	3.78
GL1Z (Bethioua)	Arzew	Operational	Sonatrach	11.06
GL2Z (Bethioua)	Arzew	Operational	Sonatrach	10.77
GL1K2	Skikda	Operational	Sonatrach	4.23
GL2K	Skikda	Operational	Sonatrach	6.08
GL3Z (Gassi Touil)	Arzew	Under construction	Sonatrach	6.35

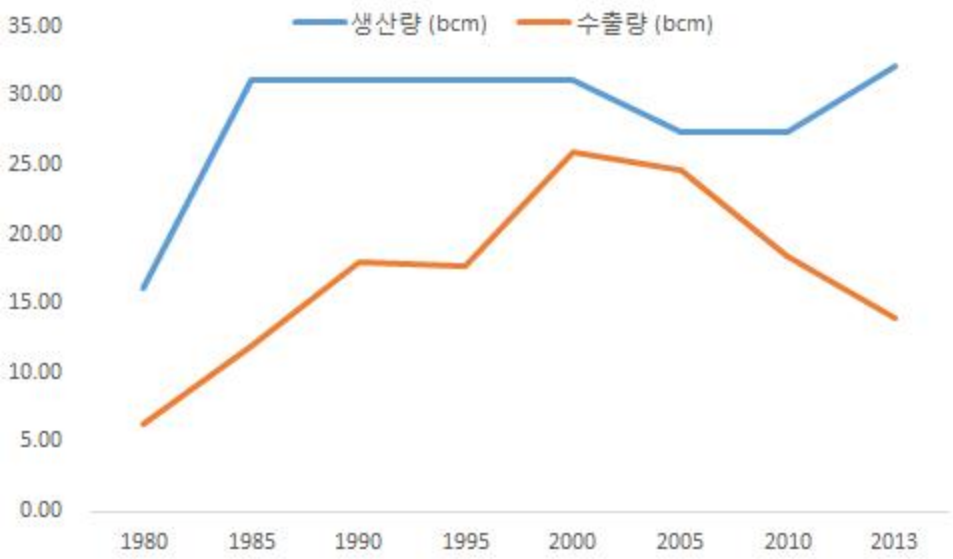


그림 61. 알제리의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.89
	정치적 안정성	-1.17
	정부의 효율성	-0.6
	법·규제의 완성도	-1.19
	준법 수준	-0.68
	부패의 통제	-0.48
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	68.53
	건설 인허가	62.51
	전력수급	58.28
	재산권 등록	50.92
	금융 근접성	43.75
	투자자 보호	50.00
	세금 지불	38.07
	국제 무역	60.15
	계약 이행	49.59
	부채 해결	44.12
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점 (4.5 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점 (0%)
	상류 비정부 소유기업 비율	1점 (0%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	3점 (계획 있음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	1점 (56.77%)
	정치 행정적 안정성	-0.835
	자원보유국 환율 안정성	3점 저 : 70.67 고 : 108.6934
	현지 유사프로젝트 진행현황	3점 (6개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (1개)
총점	44.58점	

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 알제리는 평균 -0.835점으로 가스 매장 국가 34개국 중 25위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 알제리는 2010년 -1.03에서 2013년 -0.89의 수준으로 점점 떨어지고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 22위로 나타났다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 알제리의 경우 이 지표의 값은 전년 -1.32에 대비하여 2013년 -1.17를 기록하였다. 그리고 국가 순위는 27위를 기록하였다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 알제리의 경우 2013년 -0.6의 수치로 2010년 -0.48 이후로 계속해서 떨어지는 추세를 나타냈다. 또한 지표의 국가 순위가 21위로 나타났다.

법·규제의 완성도는 2010년 이후로 -1.1 ~ -1.2를 유지하고 있으며 2013년 -1.19를 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 순위도 29위로 정치 제도 안정성 항목 6개 중에서 가장낮은 수준으로 평가된다.

준법 수준에서 해당 지표는 -0.8 ~ -0.6을 유지하고 있으며 2013년 -0.68를 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 21위로 나타났다.

부패의 통제정도에서 해당 지표는 -0.4 ~ -0.5를 유지하고 있으며 이는 34개국 중 19위에 해당하는 값으로 평가되었다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 가장 높은 순위를 나타내고 있다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지

표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 알제리의 천연가스 매장량은 4.5 TCM으로 4점을 받았다.

알제리는 현재 operational 상태의 프로젝트 4개와 건설 프로젝트 1건을 운영하고 있다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 알제리는 현지 유사프로젝트 진행현황에서 6개로 3점을 받았고 계획현황은 1개로 1점을 받았다. 이는 알제리가 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 평균 이상이며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 앞으로 크지 않다는 것을 알 수 있는 항목이다.

알제리에서 진행 중인 프로젝트는 100% IOC에서 담당하고 있으며 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 1점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 낮은 것으로 판단할 수 있다.

2) 앙골라

- Angola 국가 개요

앙골라는 나이지리아 다음으로 사하라 사막 이남의 아프리카에서 두 번째로 큰 석유 생산국이다. 그리고 2007년 앙골라는 OPEC(Organization of the Petroleum Exporting Countries)에 가입하였다.

맨 처음 앙골라에서의 석유 시장으로써의 발견은 1955년 Kwanza 분지에서 이루어졌다. 이러한 발견을 한 이후로 앙골라의 석유산업은 1975년부터 2002년까지의 내전에도 불구하고 점차 성장해왔다. 현재 석유 생산은 대부분 Cabinda와 낮은 Congo 분지의 심해에서 하고 있다. 작은 규모로 육지에서도 석유 생산이 이루어지지만 이것은 과거 많은 갈등을 야기했기 때문에 개발에 한계가 있었다.

2013년 앙골라는 하루에 1.8 million 배럴의 석유와 다른 종류의 기름을 생산했고 그중 1.7 million 배럴이 넘는 원유를 생산했다. 1990년대 발견한 많은 심해 분지에서부터 2002년부터 2008년까지 연간 15% 이상의 석유 생산을 이루어왔다. 첫 번째 Kuito(block 14)심해 분지는 1999년 Chevron에서 운영하였다. 그 이후 Total, Chevron, ExxonMobil, BP(British Petroleum)와 같은 IOCs(International Oil Companies)들이 추가적으로 심해 분지에서 석유 생산에 착수하였다.

사하라 사막 이남 아프리카에서 두 번째로 큰 규모의 천연 가스 보유국임에도 불구하고 앙골라는 2012년 아프리카 천연가스 생산에서 8위에 올라갈 정도로 적은 양의 천연가스를 생산하고 있다. 앙골라 최초의 액화 천연가스 공장은 국가의 천연 가스 자원을 상용화하기 위해 2013년 개발에 착수했다. 그러나 LNG 플랜트는 현재 기술적인 이유 때문에 연간 5.2 million 톤의 낮은 저장용량을 가지고 있다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	271.8 BCM
LNG 생산량(연)	7.02 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	1
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

앙골라는 현재(2013년 기준) 271.8 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 1개의 LNG 프로젝트에서 연간 7.02 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으

며, 그 외에는 LNG 프로젝트에 대한 계획이 없다. 프로젝트의 세부사항은 다음과 같다.

표 67. 앙골라의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Soyo-train1	Soyo	Operational	Angola LNG	7.02
Soyo-train 2	Soyo	Cancelled	Angola LNG	7.02

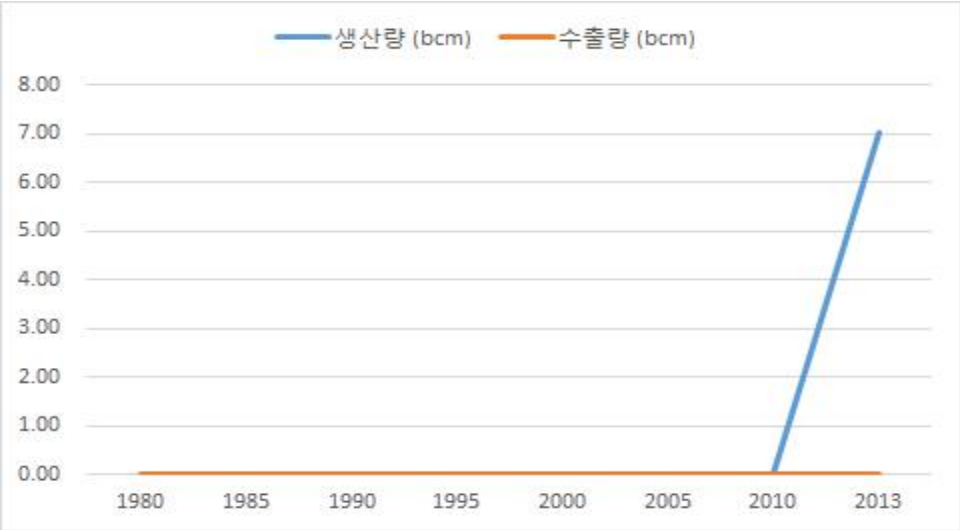


그림 62. 앙골라의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-1.12
	정치적 안정성	-0.37
	정부의 효율성	-1.26
	법·규제의 완성도	-1.05
	준법 수준	-1.28
	부패의 통제	-1.32
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	56.48
	건설 인허가	76.09
	전력수급	53.02
	재산권 등록	53.57
	금융 근접성	43.75
	투자자 보호	53.33
	세금 지불	56.94
	국제 무역	38
	계약 이행	22.04
	부채 해결	0
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점 (0.2 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점 (0%)
	상류 비정부 소유기업 비율	1점 (0%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	3점 (계획있음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	1점(100%)
	정치 행정적 안정성	-1.067
	자원보유국 환율 안정성	3점 저: 0.007 고: 0.010
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점 (1개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (0개)
총점	38.23점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야

에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 앙골라는 평균 -1.067점으로 가스 매장 국가 34개국 중 27위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 앙골라는 지속적으로 -1.12의 수준을 나타내고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 30위로 매우 낮게 나타났다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 앙골라의 경우 이 지표의 값은 2010년 -0.22를 기록하였고 이후 2013년 -0.37을 보이며 하락하면서 국가 순위는 17위를 기록하였다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목중에서 가장 높은 것으로 나타났다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로 해당 지표는 2013년 -1.26을 나타내었고 국가 순위는 32위로 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 가장 낮게 나타났다.

법·규제의 완성도는 해당국가의 정치와 제도가 법과 규제로 구체적으로 잘 갖추어져 있는 정도를 나타낸다. 이 수치는 최근 몇 년간 비교적 안정적으로 나타나고 있으며 2013년에는 -1.05를 나타내고 있다. 이 항목의 국가 순위는 28위를 기록하고 있다.

국민의 준법수준의 경우 2010년부터 큰 변동 없이 유지해 왔으며 2013년 -1.28로 평가되었다. 해당 지표의 국가 순위는 30위로 낮은 수준으로 평가된다.

부패의 통제정도의 경우 2013년 -1.32를 기록하였으며 최근 과거 경향을 보아도 비슷한 수준을 유지하고 있다. 또한 국가 순위는 33위로 정부의 효율성과 마찬가지로 정치 제도 안정성의 6개 항목 중에서 가장 낮은 수준으로 평가 되었다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 앙골라의 천연가스 매장량은 0.2 TCM으로 3점을 받았다.

앙골라는 현재 operational 상태의 프로젝트 1개이고 입찰 프로젝트와 건설 프로젝트, 승인 프로젝트는 없는 상황이다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 앙골라는 두 지표 모두 1점으로 평가받았으며, 이는 앙골라에서 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 부족하며 또한 천연가스 관련 사업의 발전 가능성이 낮다 것을 알 수 있는 항목이다.

앙골라에서 진행 중인 프로젝트는 1개가 있으며 이는 IOC에서 담당하고 있다. 해당 프로젝트는 Chevron 외 4개의 기업들이 각자 지분을 나누어 프로젝트를 진행 중에 있다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 0%로 각 항목에서 1점을 받았다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 낮은 것으로 판단할 수 있다.

3) 카메룬

- Cameroon 국가 개요

카메룬의 액화천연가스 프로젝트는 남부 해안에서 30km 남쪽 Kribi에 위치한 생산 공장에서 이루어지며 가스 자원을 연결하는 국가 가스 수송 네트워크에 의해서 제공된다. 액화 플랜트는 첫 번째 수송 기차에 대한 연간 액화천연가스 3.5만톤의 생산 능력을 갖게 된다.

2008년 SNH와 GDF 수에즈는 관련 가스 자원의 수익을 창출할 목적과 새롭게 장기적으로 LNG 공급을 확보하기 위해서 카메룬의 LNG 수출 공장을 개발하는 전략적 제휴를 체결하였다. 또한 카메룬과 GDF 수에즈 공화국 사이에 2010년 12월에 체결된 협정의 서명은 서로의 협력관계를 구축하고 SNG에 의해서 수행되는 카메룬의 천연가스 개발 마스터 플랜에 중요한 단계이다. 선행 연구에서는 육상 생산플랜트가 최적의 솔루션이라고 결론지었다.

더욱이 카메룬의 LNG 프로젝트의 건설 과정에서 직접 및 간접 일자리를 만들고 장기적인 관점에서 LNG 플랜트의 효율적인 운영을 위한 고도로 숙련된 전문가에 대한 일자리도 창출할 것이다. 또한 카메룬 정부와 영국계 석유회사인 보우레벤(Bowleven) 등이 천연가스 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 카메룬 정부는 향후 천연가스 개발을 통하여 자국의 전력 수요를 충당할 계획이다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	135.1 BCM
LNG 생산량(연)	0 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	1

카메룬은 현재(2013년 기준) 135.1 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정된다. 또한 2017년에 kribi지역에서 연간 4.73 BCM의 액화천연가스를 생산할 예정이며, 현재 1개의 프로젝트가 계획단계로서 입찰 진행 중이다. 프로젝트의 세부사항은 다음 표와 같다.

표 70 카메룬의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Cameroon LNG	Kribi	Bid process	GDF Suez	4.73

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.14
	정치적 안정성	-0.52
	정부의 효율성	-0.86
	법·규제의 완성도	-0.93
	준법 수준	-1.05
	부패의 통제	-1.19
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	76.87
	건설 인허가	69.42
	전력수급	80.06
	재산권 등록	44.5
	금융 근접성	50
	투자자 보호	43.33
	세금 지불	34.49
	국제 무역	48.3
	계약 이행	39.55
	부채 해결	16.31
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점 (0.1 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점 (0%)
	상류 비정부 소유기업 비율	1점 (0%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	3점 (계획있음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	1점(100%)
	정치 행정적 안정성	-0.782
	자원보유국 환율 안정성	3점 저: 0.00160 고: 0.00226
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점 (1개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (0개)
총점	41.67점	

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야

에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 카메룬은 평균 -0.782점으로 가스 매장 국가 34개국 중 24위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 카메룬은 2010년 -1.08에서 2013년 -1.04의 수준으로 점점 상승하고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 15위로 나타났으며 정치 제도 안정성의 6개 항목에서 가장 높은 순위를 기록하고 있다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 카메룬의 경우 이 지표의 값은 전년 2010년 -0.73을 기록하였으며 소폭 상승하여 2013년 -0.52를 기록하였다. 해당 지표의 국가 순위는 20위를 보였다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로 카메룬의 경우 최근 3년간 -0.9 ~ -0.8을 평가되며 2013년 -0.86의 수치로 기록되었다. 또한 지표의 국가 순위가 26위로 나타났다.

법·규제의 완성도는 2010년 이후로 -0.9 ~ -0.7을 유지하고 있으며 2013년 -0.93을 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 국가 순위도 27위로 비교적 낮은 수준으로 평가된다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목에서 가장 낮은 순위를 기록하고 있다.

준법 수준에서 해당 지표는 -1.05 ~ -1.03을 유지하고 있으며 2013년 -1.05를 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 26위로 나타났다.

부패의 통제정도에서 2010년 -0.98을 기록했지만 이후 꾸준히 감소하며 2013년 -1.19의 수치를 나타내었다. 국가 순위는 27위에 해당하는 값으로 평가되었다. 이는 법·규제의 완성도와 같이 6개 항목에서 가장 낮은 순위를 기록하고 있다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유

비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 카메룬의 천연가스 매장량은 0.1 TCM으로 3점을 받았다.

카메룬은 현재 operational 상태의 프로젝트 및 건설 프로젝트가 없다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 카메룬은 현지 유사프로젝트 진행현황에서 1개로 1점을 받았고 계획현황은 없으며 1점을 받았다. 이는 카메룬이 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 부족하며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 앞으로 크지 않다는 것을 알 수 있는 항목이다.

카메룬에서 진행 중인 프로젝트는 100% IOC에서 담당하고 있으며 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 1점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 낮은 것으로 판단할 수 있다.

4) 탄자니아

- 탄자니아 국가 개요

탄자니아는 매우 작은 천연 가스 생산국이나 미래에 LNG 수출을 계획하고 있는 나라이다. 2010년 이래로 offshore southern Tanzania에서 몇몇 천연 가스 발굴 사업이 진행되고 있다. 하지만 탄자니아의 국가 재정과 규제의 불확실성, 전 세계적으로 천연 가스 가격의 하락의 여러 원인들이 중복되어 탄자니아 LNG 개발 사업의 지연이 계속되고 있으며, 앞으로도 지속될 가능성 또한 있다.

탄자니아의 2013년 천연 가스 생산량은 35BCF이며, 생산된 천연 가스 모두 자국에서 소모된다. 탄자니아는 동 아프리카 지역의 다른 생산 회사의 관점과 비교했을 때 매우 엄격한 재정 조건을 가지고 있다. 또한 탄자니아의 환경 규제는 석유와 천연가스 분야의 입법화 진행과 탄자니아 정부의 에너지원(석유 또는 천연 가스 등) 비율을 보장하기 위한 international oil and gas companies국제적인 oil&gas 기업들과 협상을 하고 있기 때문에 매우 불확실한 상태이다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	0.0065 BCM
LNG 생산량(연)	0.00 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	1

탄자니아는 현재 (2013년 기준) 6.5 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정된다. 현재 가동 중인 프로젝트는 없으며 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 1개가 있으며 2020년까지 연생산량이 13.50 BCM까지 증가할 것으로 전망된다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 73. 탄자니아의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Tanzania LNG	Tanzania Block 7	Planned	Ophir Energy LNG	13.50

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.23
	정치적 안정성	-0.15
	정부의 효율성	-0.67
	법·규제의 완성도	-0.34
	준법 수준	-0.5
	부패의 통제	-0.82
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	94.08
	건설 인허가	88.34
	전력수급	92.18
	재산권 등록	82.4
	금융 근접성	62.5
	투자자 보호	63.33
	세금 지불	79.45
	국제 무역	82.21
	계약 이행	54.39
	부채 해결	86.65
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	1점(0.0065TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	5점(100%)
	상류 비정부 소유기업 비율	5점(100%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(1개)
	발주국 천연가스 관리구조	1점(나쁨)
	생산물 수익회수가능성	1점(50% 이상)
	정치 행정적 안정성	-0.45167
	자원보유국 환율 안정성	2점 저 : 0.00043 고 : 0.00070
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(0개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(1개)
총점	55.09점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야

에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 탄자니아는 평균 -0.45점으로 가스 매장 국가 34개국 중 18위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 탄자니아는 이 항목에서 큰 변동은 보이지 않았으며 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목이 2번째로 높게 나타났다.(34개국 중 16위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 탄자니아의 경우 이 지표의 값은 2013년 -0.15를 기록하였다. 해당 지표의 값은 꾸준히 증가하였으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목이 가장 높게 나타났다. (34개국 중 13위)

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 탄자니아의 경우 2013년 -0.67을 기록했으며, 이는 과거보다 감소한 값이며 해당 지표의 국가 순위 또한 낮다.

법·규제의 완성도와 국민의 준법수준의 경우 두 항목 모두 -0.5~-0.3사이에서 큰 변동 없이 유지되어 왔으며, 두 항목 모두 각각 19위와 17위로 평균으로 나타났다.

부패의 통제정도는 증가하는 추세를 보이다 2007년 이후 계속 감소하는 추세를 보이고 있으며, 2013년에는 -0.82의 값을 가지며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 낮은 것으로 나타났다(34개 국 중 24위).

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.
투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사

업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유 비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 탄자니아의 천연가스 매장량은 0.0065TCM으로 1점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 탄자니아에서 진행 중인 프로젝트는 없으며, 계획 된 프로젝트는 Ophir Energy LNG 社사에서 진행하고 있어 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 100%와 100%로 두 항목 모두 5점으로 평가받았으나, 평가 기준인 프로젝트가 1건으로 상류 비정부 소유자산 비율과 비정부 소유기업 비율 모두 추후 변경 될 가능성이 매우 높을 것으로 평가된다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

탄자니아는 현재 운영 중인 프로젝트는 없으며, 1건의 프로젝트가 계획 중이다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 탄자니아는 두 지표 모두 1점으로 평가받았으며, 운영 중인 프로젝트는 없으며 계획 중인 프로젝트도 1건으로 아직은 천연 가스 사업 분야에서의 주도적인 역할은 없으며, 기 수행했던 프로젝트 자료 또한 많이 없

어 역량 평가가 아직은 어려운 단계이다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 탄자니아의 경우 생산된 천연 가스는 모두 자국 내에서 소모되어 본 항목에 대해 1점으로 평가하였다. 최근 5년 동안의 환율 변화율은 62.79%로 비교적 변동이 심한 것으로 나타났다.

5) 모잠비크

- 모잠비크 국가 개요

모잠비크는 천연가스와 석탄 자원에 있어 아프리카에서 가장 유망한 나라로 부상하고 있는 국가이다. 모잠비크의 북부 offshore Rovuma에는 많은 양의 가스가 매장되어 있다. 또한 모잠비크의 Tete Province는 아직 발굴되지 않은 석탄 자원이 거의 25억 톤 정도 매장되어 있을 것이라고 International Energy Agency는 말한다. 그러나 모잠비크 내로의 운송과 항구 시설 사용의 제한으로 인하여 모잠비크의 에너지 사업 증가에 한계가 존재한다.

모잠비크의 경우 내륙 및 인근 해역에 대규모 천연가스의 존재가 확인 되었으며, 현재 내륙에 위치한 가스전에서 본격적으로 생산되고 있다. 2013년 1월 기준 확인 매장량은 약 1,274억 이나, 총 매장량은 7.9조에 달할 것으로 전망되며 그 중 70% 이상이 Rovuma 해역에 매장되어 있을 것으로 추정된다.

모잠비크는 아프리카 주변국들에 비해 비교적 정치적으로 안정하나 일각에서는 케냐, 소말리아, 남수단 등에서 계속되는 정정 불안이 유전개발 지연과 투자위축 요인으로 작용할 것이라는 우려를 보이기도 한다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	2831.68 BCM
LNG 생산량(연)	0 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	2

모잠비크는 현재 (2013년 기준) 2831.68 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정되나, 생산되고 있는 LNG는 없다. 현재 가동중인 프로젝트는 없으며 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 2개가 있다. 프로젝트 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 76. 모잠비크의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Mozambique LNG	-	Bid Process	Anadarko	27.00
Rovuma LNG	Rovuma	Planned	Eni	13.50

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.29
	정치적 안정성	-0.27
	정부의 효율성	-0.65
	법·규제의 완성도	-0.41
	준법 수준	-0.85
	부패의 통제	-0.65
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	80.74
	건설 인허가	79.83
	전력수급	50.32
	재산권 등록	59.22
	금융 근접성	43.75
	투자자 보호	60
	세금 지불	63.94
	국제 무역	61.25
	계약 이행	33.27
	부채 해결	17.53
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점(2.832TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	3점(59.80%)
	상류 비정부 소유기업 비율	2점(34.29%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(2개)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	5점(20%미만)
	정치 행정적 안정성	-0.52
	자원보유국 환율 안정성	2점 저 : 26.18 고 : 46.68
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(0개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(2개)
총점	48.73점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야

에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 모잠비크는 평균 -0.45점으로 가스 매장 국가 34개국 중 19위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 모잠비크는 이 항목에서 큰 변동은 보이지 않았으며 과거에 비해 해당 지표의 값이 상승하다가 최근 다시 감소하는 추세를 보이고 있다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 모잠비크의 경우 이 지표의 값은 2013년 -0.27를 기록하였다. 이는 해당 지표의 값이 상승하다가 2009년을 기준으로 꾸준하게 하락한 결과로 2009년 대비 0.86만큼 하락하였다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 모잠비크의 경우 2013년 -0.65을 기록했으며, 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있다.

법·규제의 완성도와 국민의 준법수준, 부패의 통제정도 모두 하락하는 추세를 보이고 있으며, 모잠비크의 경우 WGI 평가 항목 모두 경우 두 항목 모두 -0.5~-0.3사이에서 큰 변동 없이 유지되어 왔으며, 두 항목 모두 34개국 중 21위를 차지하였다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 탄자니아의 천연가스 매장량은 0.0065TCM으로 1점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 탄자니아에서 진행 중인 프로젝트는 없으며, 계획 된 프로젝트는 Ophir Energy LNG 社사에서 진행하고 있어 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 100%와 100%로 두 항목 모두 5점으로 평가받았으나, 평가 기준인 프로젝트가 1건으로 상류 비정부 소유자산 비율과 비정부 소유기업 비율 모두 추후 변경 될 가능성이 매우 높을 것으로 평가된다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

모잠비크는 현재 운영 중인 프로젝트는 없으며, 2건의 프로젝트가 계획 중이다. 해당 국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 모잠비크는 두 지표 모두 1점으로 평가받았으며, 운영 중인 프로젝트는 없으며 계획 중인 프로젝트도 2건으로 천연 가스 매장량은 많으나 아직은 천연 가스 사업 분야에서의 주도적인 역할은 없으며, 기 수행했던 프로젝트 자료 또한 많이 없어 역량 평가가 아직은 어려운 단계이다.

생산물 수익회수가능성은 해당 국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 모잠비크

의 경우 아직 생산된 프로젝트 자료가 없어 해당 점수는 중간 점수인 3점(보통)으로 평가하였다.

최근 5년 동안의 환율 변화율은 78%로 비교적 변동이 심한 것으로 나타났다.

바. 진출 대상 관심국가 평가(북미)

1) 미국

- 미국(US) 국가 개요

미국은 2012년 전 세계 총 생산량의 약 20%의 dry natural gas를 생산한 세계에서 가장 큰 dry natural gas 생산국이다. 미국의 dry natural gas의 큰 비중을 차지하는 것은 shale 가스이며, 2012년에는 미국의 dry natural gas 생산량 중 약 40%를 차지하였다.

2013년 1월, 전 세계 gas processing capacity(265.7BCF/day)의 56%를 아메리카 대륙에서 운영하였다.(148.8BCF/day) 아메리카 대륙에서 생산되는 천연 가스의 대부분은 미국(77.5BCF/day)과 캐나다(55.3BCF/day)에서 생산된다. 미국 내에서는 주로 알래스카, 루이지에나, 텍사스에서 미국 생산량의 58%가 생산된다.

미국은 전 세계 천연가스 생산량의 큰 부분을 차지하는 나라이면서 동시에 전 세계에서 가장 dry natural gas를 많이 소비하는 나라이다. 2012년을 기준으로 보면 전 세계 총 dry natural gas 소비량 중에서 21%를 차지한다. 미국의 천연 가스의 많은 부분이 수입되고 있으며 2012년에는 거의 90%가 수입되었으며, 캐나다로부터 배관을 통해 수입한다. 2012년 미국의 연간 수입량은 2007년을 기준으로 거의 1.5TCF만큼 감소하였다. 미국은 아르헨티나 다음으로 dry natural gas 수입국이나, 2011년을 기점으로 자국 내 생산량이 증가했으며, 가격 측면에서 LNG 수출국에게 더 매력적인 시장이 아시아 시장 때문에 미국의 천연 가스 수입은 급격하게 감소하였다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	9,860 BCM
LNG 생산량(연)	2.03 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	21

미국은 현재 (2013년 기준) 9,860,000 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 현재 가동중인 프로젝트는 없으며 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 21개이다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 79. 미국의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Kenai	Kenai	Stopped	Kenai LNG	2.03
Sabine Pass Liquefaction-phase 1	Cameron Parish	Under construction	Sabine Pass Liquefaction LLC	12.15
Elba Island - Liquefaction-1	Savannah	Bid process	Southern LNG	2.03
Sabine Pass Liquefaction-phase 2	Cameron Parish	Under construction	Sabine Pass Liquefaction LLC	12.15
Delfin LNG	Cameron Parish	Bid process	Delfin LNG	17.55
Elba Island - Liquefaction-2	Savannah	Bid process	El Paso	1.35
Main Pass Energy Hub	Louisiana	Bid process	Main Pass Energy Hub	31.73
Cove Point export	Cove Point	Bid process	Dominion	7.09
Gulf Coast LNG Exports	Brownsville	Planned	Gulf Coast LNG Exports	28.84
Cambridge Energy LNG	Plaquemines Parish	Bid process	Cambridge Energy LNG	10.80
Sabine Pass Liquefaction-phase 3	Cameron Parish	Planned	Chenière Energy Partners	12.15
Waller Point	Cameron Parish	Bid process	Waller Point LNG	1.65
South Texas LNG Export	Corpus Christi	Bid process	Pangea LNG	10.80
Magnolia LNG-1	Lake Charles	Bid process	LNG Ltd.	5.40
Magnolia LNG-2	Lake Charles	Bid process	LNG Ltd.	5.40

Louisiana LNG Energy	Louisiana	Bid process	Louisiana LNG Energy	2.70
Texas LNG	Brownsville	Bid process	Texas LNG (Dow Group)	2.70
Annova LNG	Brownsville	Bid process	Annova LNG	2.70
Golden Pass export	Sabine Pass	Bid process	Golden Pass LNG	21.06
Corpus Christi LNG export	Corpus Christi	Bid process	Cheniere Energy	18.23
Cameron LNG export	Hackberry	Approved	Sempra LNG	16.20
Freeport LNG export terminal	Freeport	Approved	Freeport LNG	17.82
Gulf LNG Liquefaction	Pascagoula	Bid process	Gulf LNG Liquefaction	13.50
Venture Global LNG	Cameron Parish	Bid process	Venture Global LNG	6.75
Lake Charles Export	Lake Charles	Bid process	Lake Charles LLC	20.25
Oregon LNG	Warrenton	Bid process	Oregon LNG	12.88
Lavaca Bay	Lavaca	Bid process	Excelerate Energy	5.94
Jordan Cove LNG	Coos Bay	Bid process	Jordan Cove Energy Project	8.10
Gasfin	Cameron Parish	Bid process	Gasfin Developments	2.03
Southcentral Alaska LNG	Alaska	Bid process	ConocoPhillips	24.30
Brownsville	-	Bid process	EOS LNG-Barca LNG	16.20
SCT&E Monkey Island LNG	Cameron Parish	Bid process	SCT&E LNG	5.40
Valdez	Valdez	Frozen	Alaska Gasline Port Authority	25.65

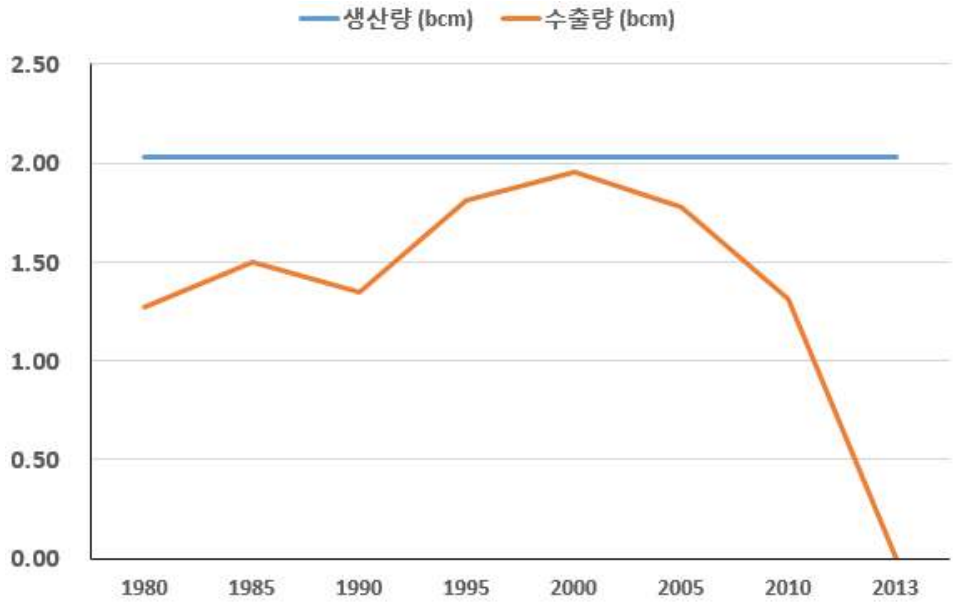


그림 63. 미국의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	1.08
	정치적 안정성	0.61
	정부의 효율성	1.5
	법·규제의 완성도	1.26
	준법 수준	1.54
	부패의 통제	1.28
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	89.91
	건설 인허가	79.89
	전력수급	87.3
	재산권 등록	82.87
	금융 근접성	93.75
	투자자 보호	83.33
	세금 지불	75.76
	국제 무역	87.33
	계약 이행	73.44
	부채 해결	86.31
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점(9.86TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	5점(92.92%)
	상류 비정부 소유기업 비율	5점(93.75%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	5점(21개)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	1점(50% 이상)
	정치 행정적 안정성	1.212
	자원보유국 환율 안정성	-
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(0개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	5점(21개)
총점	74.60점+ 환율점수	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 미국은 평균 1.212점으로 34개국 중 4위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 미국은 꾸준히 1 이상의 지표 값을 가졌으나 조금씩 감소하는 추세를 보이고 있다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 미국의 경우 해당 지표의 값이 감소하는 추세에 있으며 2000년을 기준으로 0.4 하락하였다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 미국의 경우 지속적으로 값이 하락하고 있다.

법·규제의 완성도의 지속적으로 하락하는 추세를 보인다.

준법 수준의 경우 증가하는 추세를 보이고 있으며 2013년 1.54로 해당 항목들 중 가장 높은 지표의 값을 갖는다.

부패의 통제정도는 위의 6개 항목 중 가장 큰 감소(0.49)를 보이고 있다.

미국의 경우 정치적 안정성 및 부패의 통제를 제외한 나머지 항목에서 모두 전체 34개국 중 4위에 랭크되었으며, 정치적 안정성과 부패의 통제도 각각 7위와 5위를 기록하였다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 파푸아뉴기니의 천연가스 매장량은 9.86TCM으로 4점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 미국에서 현재 진행 중인 프로젝트는 없으나 계획 예정된 프로젝트의 주주들을 살펴보면 2~3개의 프로젝트를 제외한 나머지 프로젝트에서 비정부 소유 기업들의 참여가 두드러지게 나타나고 있다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 92.92%와 93.75%로 각 항목에서 5점과 5점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

미국은 현재 운영 중인 액화 플랜트는 없으며 21개의 프로젝트가 운영을 계획 중에 있다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 미국의 경우 현재 운영 중인 프로젝트는 없으나 계획 중인 프로젝트는 21개로 많아서 각각 1점과 5점으로 평가되었다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 미국은 천연가스 생산량도 많지만 그 만큼 자국 내 천연 가스 수요도 많기 때문에 천연 가스를

수입하는 나라이다. 따라서 본 항목에 대해서 1점으로 평가하였다.

2) 캐나다

- Canada 국가 개요

캐나다는 대부분의 에너지 상품을 수출하는 국가이며 특별히 석유, 천연가스 수력 발전의 생산자이다. 또한 미국과 남쪽의 국가들과 함께 세계 최대의 에너지 소비자중 하나로 나타나있다. 다만 미국은 캐나다의 에너지 수요에 많이 의존하고 있으며 캐나다 또한 대부분 미국으로 수출하는 것에 의존한다. 이는 미국과 캐나다가 지리적으로 인접해 있으며, 천연가스 수출입을 위해 파이프라인 인프라가 잘 구축돼 있기 때문이다. 더욱이 캐나다와 미국의 천연가스시장은 막대한 양의 천연가스를 수천 킬로미터에 달하는 상호 교류 파이프라인 네트워크를 통해 생산지에서 소비자까지 운반해 천연가스 가격 결정 시 상품 가격, 파이프라인 운송비용, 천연가스 분배비용 외에 인프라 구축 제한, 기상조건 등 다양한 변수의 영향을 받고 있다. 그리고 캐나다의 경제적, 정치적인 고려사항들은 캐나다와의 거래 파트너를 다양화하는 방향과 특히 아시아 신흥 시장과의 관계를 확대하게 한다.

북미의 천연가스 공급의 변화는 캐나다의 수입된 액화천연가스에 대한 흥미를 감소하게 하였다. 따라서 7개의 액화천연가스 공급계획은 일부 취소되거나 일시 중지되었다. 한 가지 예외부분으로 Canaport인데 2009년 6월부터 수입된 액화천연가스를 유일하게 가스화하여 공급을 하고 있다. 그 Canaport의 공급은 Repsol에 의해서 운영되는데 어빙 오일과 제휴했으며 명판 처리 용량으로 1.2 Bcf/d를 보유하고 있다. 2014년 BP의 통계적 분석에 따르면 주로 캐나다의 액화천연가스를 수입하는 브라질의 트린다지와 토바고, 카타르에는 2013년 35 Bcf를 공급하고 있다.

더욱이 북미 천연가스의 변화하는 전망에 대한 것들은 미국과 캐나다에서 액화천연가스 수출 자격에 대한 수많은 적용 사항들에 의하여 제공되었다. 캐나다에서 20개의 회사들이 참여했으며 11개의 회사는 NEB에 의해서 승인되었다. 그리고 대부분의 수출 거점들은 캐나다 서쪽 해안에 있는 브리티시 컬럼비아 주에서 액화천연가스 개발을 위해서 승인되었다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	1,754 BCM
LNG 생산량(연)	0 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	21

캐나다는 현재(2013년 기준) 1,754 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 현재 운영중인 LNG 프로젝트는 없기 때문에 생산되는 LNG는 없지만 앞으로 21개의 LNG 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중이다. 프로젝트 세부사항은 다음 표와 같다.

표 82. 캐나다의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량(bcm/year)
Douglas Channel LNG	Kitimat	Approved	Douglas Channel Energy Partnership	1.22
Kitimat LNG	Kitimat	Approved	Chevron	13.50
Woodfibre LNG	Squamish	Approved	Woodfibre LNG	2.84
Stewart LNG	Stewart	Bid process	Canada Stewart Energy Group	6.75
Triton LNG	British Columbia	Approved	Triton LNG	3.11
Cedar-1 LNG	-	Bid process	Cedar LNG Export Development	20.25
Kitsault Energy-1-2	Kitsault	Bid process	Kitsault Energy	10.80
Pacific Northwest LNG	Port Edward	Bid process	Petronas	16.20
LNG Canada	Kitimat	Approved	Shell	16.20

Bear Head	Strait of Canso	Planned	LNG Ltd.	5.40
Goldboro LNG	Goldboro	Approved	Pieridae Energy Canada	13.50
Melford LNG	Melford	Planned	H-Energy	6.08
Prince Rupert LNG (West Coast LNG)	Prince Rupert	Bid process	BG Group	18.90
Discovery LNG	-	Planned	Quicksilver Resources	-
Discovery LNG	Campbell River	Bid process	Quicksilver Resources	27.00
Aurora LNG	Grassy Point	Approved	Nexen	16.20
WCC LNG	Kitimat	Approved	ExxonMobil	40.50
Arctic Spirit FLNG	Kitimat	Cancelled	Teekay Corporation	0.68
Grassy Point Woodside LNG	-	Bid process	Woodside	27.00
Steelhead LNG	Vancouver Island	Bid process	Steelhead LNG	32.40
Orca Energy Hub	Prince Rupert	Bid process	Orca LNG	32.40
Prince Rupert	Prince Rupert	Bid process	WestPac	4.05

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	1.46
	정치적 안정성	1.03
	정부의 효율성	1.77
	법·규제의 완성도	1.71
	준법 수준	1.74
	부패의 통제	1.87
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	98.97
	건설 인허가	70.52
	전력수급	55.49
	재산권 등록	75.87
	금융 근접성	81.25
	투자자 보호	86.67
	세금 지불	90.99
	국제 무역	85.49
	계약 이행	61.8
	부채 해결	92.46
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점 (1.7 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	2점 (21.60%)
	상류 비정부 소유기업 비율	2점 (20.25%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	5점 (계획많음)
	발주국 천연가스 관리구조	5점 (좋음)
	생산물 수익회수가능성	3점(47%)
	정치 행정적 안정성	1.60
	자원보유국 환율 안정성	3점 저: 0.74379 고: 1.05989
	현지 유사프로젝트 진행현황	5점 (18개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (3개)
총점	75.89점	

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 캐나다는 평균 1.6점으로 가스 매장 국가 34개국 중 2위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 캐나다는 2010년 1.38에서 2013년 1.46의 수준으로 점점 상승하고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 2위로 높은 순위를 나타났다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 캐나다의 경우 이 지표의 값은 2010년 0.9에서 2013년 1.03으로 점차 상승하는 추세를 보이고 있다. 해당 지표의 국가 순위는 4위를 보이며 정치 제도 안정성의 6개 항목에서 가장 낮은 순위를 보였다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로 캐나다의 경우 2013년부터 최근 3년간 수치는 보면 1.77 ~ 1.79의 안정적인 수치를 보이고 있으며 2013년 1.77을 기록하고 있다. 또한 지표의 국가 순위가 2위로 높은 순위를 나타냈다.

법·규제의 완성도는 2013년을 기준으로 최근 3년간 수치를 보면 1.68 ~ 1.71에 해당하는 수치를 나타내고 있으며, 2013년 1.71을 나타내고 있다. 해당 지표의 국가 순위도 2위로 높은 수준으로 평가된다.

준법 수준에서 해당 지표는 2013년을 기준으로 최근 3년간 수치를 보면 1.74 ~ 1.18을 유지하고 있으며 2013년 1.74를 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 3위로 나타났다.

부패의 통제정도에서 해당 지표는 2010년 2.10을 나타내고 있으며 꾸준히 하락하여 2013년 1.87을 나타내고 있다. 국가 순위는 2위로 높은 순위로 평가되었다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평

가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 캐나다의 천연가스 매장량은 1.7 TCM으로 4점을 받았다.

캐나다는 현재 입찰 및 승인된 프로젝트 18개를 운영하고 있다. 해당국가에서 기수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 캐나다는 현지 유사프로젝트 진행현황에서 18개로 5점을 받았고 계획현황은 3개로 1점을 받았다. 이는 캐나다가 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 평균 이상이며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성이 크다는 것을 알 수 있는 항목이다.

캐나다에서 진행 중인 프로젝트는 NOC에서 20.25%를 담당하고 있으며 소유자산 비율은 21.60%로 나타났다. 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 각각 2점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 낮으며 IOC의 주도하에 LNG 프로젝트를 수행하고 있다고 판단할 수 있다.

사. 진출 대상 관심국가 평가(남미)

1) 베네수엘라

- 베네수엘라 국가 개요

OGJ에 따르면 2014년 베네수엘라의 천연 가스 매장량은 196TCF로 아메리카 지역에서 U.S. 다음으로 큰 천연 가스 매장 국가이다. 2012년 베네수엘라는 803BCF의 dry natural gas를 생산했으며 869BCF를 소비했다.

2003년 이래로 석유 산업은 베네수엘라의 천연 가스 생산의 약 40%를 소비했으며, 주로 bolster 원유 추출을 bolster하는데 소비되었다. Oil field의 생산량(output) 감소로 인하여 천연 가스 사용은 2005년 이래로 42%가 증가하였다. 천연 가스에 대한 산업의 수요 증가를 만족시키기 위하여 베네수엘라는 콜롬비아와 미국으로부터 가스를 수입하고 있다. 베네수엘라 정부는 천연 가스를 자국 내의 주거, 상업, 산업 분야에서 먼저 사용되도록 하고 있으며, 이를 위하여 가스 시설물 개발을 위해 노력하고 있다.

1999년, 베네수엘라는 Gas Hydrocarbons Law를 채택하였으며, 이는 천연 가스 개발과 관련되지 않은 사업을 촉진시킴으로써 경제를 다양화하고 베네수엘라의 에너지 분야에서의 천연 가스의 비중을 늘리기 위함이다. 이 법안은 oil 분야에서의 소유에 관한 규정과는 다르게 개인 사업자들이 non-associated 프로젝트의 100%를 소유하는 것을 허락하고 있다. 또한 oil 프로젝트와 다르게 non associated natural gas projects에 있어서 낮은 로얄티와 수입세율을 의무화하고 있다. 2007년 Chavez(베네수엘라 전 대통령, 1953년~2013년)는 새로운 가스 프로젝트에 대해서 state에게 지분을 control할 수 있는 자격을 주줄 수 있는 헌법 개정을 국민투표에 부쳤다. 그러나 베네수엘라 국민들은 2007년 12월에 국민투표를 무산시켰다. 그 이후로 state는 아직 가스 법에 대한 개정을 다시 제안하지 않은 상태이다.

PDVSA는 베네수엘라의 천연 가스 생산 중 가장 큰 부분을 차지하고 있으며, 이는 또한 가장 큰 천연 가스 배급업자이다. 현재 다수의 private companies가 (Repsol-YPF, Chevron, Statoil 등) 베네수엘라의 가스 부분에 참여하고 있다.

2008년 9월, 베네수엘라는 국경의 북쪽 해안을 따라 LNG 프로젝트를 추진하기 위하여 세 개의 Joint Venture를 create하는데 동의하였다. PDVSA가 다수의 international 투자자들과 계약하는 것에 대해 서명했음에도 불구하고 계속 된 협상,

어려움, 공급 원료에 대한 걱정 등으로 인하여 2014년에 계획에 착수하는 것이 지연되고 있다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	5.725 BCM
LNG 생산량(연)	0.00 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

베네수엘라는 현재 (2013년 기준) 5,725 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 현재 가동중인 프로젝트는 없으며 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 3개가 있었으나 중단된 상태이다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 85. 베네수엘라의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Deltana - train 1	Güiria	Cancelled	PDVSA	6.35
Mariscal Sucre - train 2	Güiria	Cancelled	PDVSA	6.35
Blanquilla Tortuga - train 3	Güiria	Cancelled	PDVSA	6.35

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.95
	정치적 안정성	-1.08
	정부의 효율성	-1.14
	법·규제의 완성도	-1.64
	준법 수준	-1.79
	부패의 통제	-1.28
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	45.72
	건설 인허가	63.43
	전력수급	56.24
	재산권 등록	68.24
	금융 근접성	43.75
	투자자 보호	23.33
	세금 지불	13.05
	국제 무역	21.78
	계약 이행	60.08
	부채 해결	6.93
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점(5.725TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점(0%)
	상류 비정부 소유기업 비율	1점(0%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(계획 없음)
	발주국 천연가스 관리구조	1점(50% 이상)
	생산물 수익회수가능성	3점(보통)
	정치 행정적 안정성	-1.3133
	자원보유국 환율 안정성	3점 저 : 0.15256 고 : 0.23256
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(없음)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(계획 없음)
총점	37.26점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야

에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 베네수엘라는 평균 -1.313점으로 가스 매장 국가 34개국 중 31위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 베네수엘라의 경우 해당 항목 지표의 값은 계속하여 하락하고 있으며, 2013년 -0.95를 기록했다. 지표의 값이 지속적으로 하락함에도 불구하고 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 높게 나타났다.(34개 국 중 23위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있다. 정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표이다. 베네수엘라는 두 지표 모두 하락하는 경향을 보이고 있으며, 2013년 각각 -1.08과 -1.14를 기록하였다.

법·규제의 완성도 또한 계속하여 감소하는 추세를 보였으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중에서 지표의 값이 가장 크게 하락하였다.(0.99 하락)

국민의 준법수준 또한 하락하는 추세를 보였으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중에서 가장 낮은 순위를 기록했다. (34개 국 중 34위)

베네수엘라는 부패의 통제정도 항목에서도 하락세를 보이고 있으며, 2013년에는 -1.28을 기록하였으며, 이는 34개국 중 31우에 해당하는 값이다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유 비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평

가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 베네수엘라의 천연가스 매장량은 5.725TCM으로 4점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간점적으로 평가할 수 있는 지표이다. 베네수엘라에서 진행하고자 했던 프로젝트에 참여한 기업들을 살펴보면 대부분이 비정부 소유 기업이며, 그 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 PDVSA 베네수엘라 최대 기업이다. 상류 비정부 소유 자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율로 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있으나 베네수엘라의 경우 현재 진행 중인 사업과 계획 중인 사업 모두 없기 때문에 비율을 평가하는 것이 애매하다. 안 된다. 할 수 없다. 진행 중이던 사업 중 중단된 사업의 참여 기업 비율을 살펴보면 비정부 소유자산 비율이 71.6%이며, 비정부 소유기업 비율은 37.78%이다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

베네수엘라가 진행하고자 했던 액화 플랜트 프로젝트 3개가 모두 중단되면서 현재 운영 중인 액화 플랜트 프로젝트는 없으며, 계획 중인 프로젝트 또한 없다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 베네수엘라는 두 지표 모두 1점으로 평가받았으며, 운영하고자 했던 프로젝트 3개 모두 멈췄으며, 계획 중인 프로젝트 또한 없는 것으로 보아 베네수엘라의 천연 가스 사업에 대한 역량은 아직 부족한 것으로 보인다.
생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 베네수엘라는 아메리카 대륙에서 미국 다음으로 큰 천연 가스 매장 국가이나, 천연 가스에 대한 수요 또한 매우 커 미국과 콜롬비아로부터 천연 가스를 수입하는 국가이다. 따라서 본

항목에 대하여 1점으로 평가하였다.

최근 5년 동안의 환율 변화율은 52.44%로 비교적 변동이 심한 것으로 나타났다.

2) 볼리비아

- Bolivia 국가 개요

볼리비아는 2013년 말 천연가스 확인 매장량이 10조4천500억 입방피트로 집계되었다. 지난 2009년 말 조사에서는 확인 매장량이 9조9천400억 입방피트였다. 볼리비아의 천연가스 매장량은 남미 대륙에서 베네수엘라에 이어 두 번째로 많다. 베네수엘라의 천연가스 확인 매장량은 170조 입방피트를 넘는 것으로 알려졌다.

볼리비아는 지난 2006년 모랄레스 대통령 정부가 출범하면서 천연가스 산업을 국유화했다. 볼리비아 정부는 2020년까지 천연가스 확인 매장량을 현재보다 5배 늘리는 것을 목표로 개발을 서두르고 있다. 국영에너지회사 YPFB는 브라질 국영에너지회사 페트로브라스(Petrobras), 스페인-아르헨티나 합작 에너지 기업 렙솔-YPF, 프랑스 석유 메이저 토탈(Total) 등과 대규모 투자 계획을 추진하고 있다.

볼리비아는 브라질과 아르헨티나에만 천연가스를 직접 수출하고 있다. 칠레 등은 아르헨티나를 거쳐 볼리비아산 천연가스를 수입하고 있다. 남미의 빈곤국인 볼리비아에서 천연가스는 석유와 함께 최대의 성장동력이 되고 있다. 볼리비아는 지난해 6.78%의 성장률을 기록했다. 이는 공식 통계가 집계되기 시작한 1995년 이후 가장 높다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	4,495 BCM
LNG 생산량(연)	0 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	1

볼리비아는 현재(2013년 기준) 4,495 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 1개의 LNG 플랜트가 건설되고 있으며 아직 액화천연가스를 생산하고 있지는 않다. 현재 1개의 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중이다. 프로젝트 상세정보는 다음 표와 같다.

표 88. 볼리비아의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Rio Grande	Rio Grande	Operational	Under construction	0.07

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.1
	정치적 안정성	-0.35
	정부의 효율성	-0.4
	법·규제의 완성도	-0.79
	준법 수준	-1.07
	부패의 통제	-0.59
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	55.71
	건설 인허가	63.95
	전력수급	59.69
	재산권 등록	61.84
	금융 근접성	43.75
	투자자 보호	40
	세금 지불	12.67
	국제 무역	64.86
	계약 이행	52.5
	부채 해결	41.16
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	4점 (4.4 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점 (0%)
	상류 비정부 소유기업 비율	1점 (0%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	5점 (계획많음)
	발주국 천연가스 관리구조	1점 (나쁨)
	생산물 수익회수가능성	1점(100%)
	정치 행정적 안정성	1점 (-0.55)
	자원보유국 환율 안정성	저: 0.14245 고: 0.14641
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점 (1개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (0개)
총점	44.97점	

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치

제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며, 215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 볼리비아는 평균 -0.55점으로 가스 매장 국가 34개국 중 21위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 볼리비아는 2010년 -0.07에서 2013년 -0.10의 수준으로 점점 떨어지고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 13위로 나타났다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목에서 가장 높은 순위를 보인다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 볼리비아의 경우 이 지표의 값은 2010년 -0.44를 기록한 이후 2013년 -0.35로 소폭 상승하였다. 국가 순위에서는 17위로 나타났다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 볼리비아의 경우 2013년 -0.40의 수치로 최근 3년간 -0.5 ~ -0.4 사이의 평가를 나타냈다. 또한 지표의 국가 순위는 21위로 나타났다.

법·규제의 완성도는 2010년 이후로 -0.8 ~ -0.7을 유지하고 있으며 2013년에는 -0.79를 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 순위도 26위로 평가된다.

준법 수준에서 해당 지표는 2010년부터 -1.07 ~ -1.05를 유지하고 있으며 2013년 -1.07를 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 27위로 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 가장 낮은 순위를 나타냈다.

부패의 통제정도에서 해당 지표는 최근년도를 비교해보면 -0.7 ~ -0.4를 유지하며 비교적 적은 변동을 보이고 있고 2013년에는 -0.59를 기록하였다. 국가 순위는 19위에 해당하는 값으로 평가되었다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유

비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 볼리비아의 천연가스 매장량은 4.4 TCM으로 4점을 받았다.

볼리비아는 현재 operational 상태의 프로젝트는 없으며 건설 프로젝트 1건을 운영하고 있다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 볼리비아는 현지 유사프로젝트 진행현황에서 1개로 1점을 받았고 계획현황은 없으므로 1점을 받았다. 이는 볼리비아가 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 부족하며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 적다는 것을 알 수 있는 항목이다.

볼리비아에서 진행 중인 프로젝트는 100% IOC에서 담당하고 있으며 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 1점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 상당히 낮은 것으로 판단할 수 있다.

3) 브라질

- Brazil 국가 개요

브라질은 전체 에너지 소비국가 중에서 8번째이며 세계에서 10번째로 큰 생산자이기도 하다. EIA(Energy Information Administration)는 2013년 브라질이 아메리카 대륙에서 8번째로 큰 에너지 소비자가 될 것이라고 전망했다. 브라질에서의 에너지 소비는 과거 10년간보다 3배가 넘게 증가했는데 그 이유는 꾸준한 경제성장으로 보고 있다. 특히 브라질이 소비하고 있는 에너지 형태 중에서 석유와 천연가스를 가장 많이 사용하고 있다. 브라질의 Campos 분지에 위치하고 있는 천연가스 매장량은 남아메리카에서 두 번째로 많은 규모이다.

2013년 브라질은 총 911 billion cubic feet (BCF)의 천연가스를 생산했고 이중 752 BCF가 건성 천연가스이다. 생산된 총 천연가스의 2/3 이상은 석유와 관련이 있고 리우데자네이루 연안의 Campos 분지에서 50% 넘는 천연가스를 생산하고 있다. 68%의 천연가스 육지 생산은 Amazonas와 Bahia 주에서 발생하며 주로 수송 수단에 관련된 사회기반시설의 부재로 각 지역에서 소비가 주를 이룬다. 브라질은 또한 2013년 무염지역에서의 천연가스 생산량이 약 131 BCF에 이르렀으며 이는 천연가스를 처음 생산하기 시작한 2008년 4 BCF에 비교하여 큰 증가를 보인다.

2010년 브라질 정부는 가스 개발법(Lei do Gas)을 통해 그간 Petrobras가 독점 사용해오던 가스 수송관을 향후에는 입찰을 통해 가스 개발권 및 수송관 건설권을 수주한 업체도 10년간 독점 사용할 수 있도록 하였다. 단, 독점 사용기간 만료 후에는 다른 업체에게도 사용권을 개방해야 하는 조건이 있다. 동법은 그간 Petrobras가 독점해 왔던 가스 개발 및 수송관 사용권을 개방하여 다른 가스 개발 업체들의 투자 의지를 제고시키고자 하는데 목적이 있으며, 동 정책은 향후 발표될 "가스 수송망 건설 10년 계획(PEMAT)"을 통해 세부 사항이 확정될 전망이다.

가스전 개발 사업 현황

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	364.2 BCM
LNG 생산량(연)	0 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

브라질은 현재(2013년 기준) 364.2 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 진행 중인 LNG 프로젝트는 없으며 FID가 늦어지면서 2016년 이후 프로젝트가 진행될 것으로 추정하고 있다. 프로젝트 상세정보는 다음 표와 같다.

표 91. 브라질의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량(bcm/year)
Santos FLNG	Santos Basin	Frozen	Petrobras	4.05

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	0.37
	정치적 안정성	-0.28
	정부의 효율성	-0.08
	법·규제의 완성도	0.07
	준법 수준	-0.12
	부패의 통제	-0.12
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	54.66
	건설 인허가	55.26
	전력수급	87.51
	재산권 등록	89.99
	금융 근접성	50
	투자자 보호	53.33
	세금 지불	39.34
	국제 무역	63.72
	계약 이행	49.98
	부채 해결	20.66
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점 (0.3 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	1점 (0%)
	상류 비정부 소유기업 비율	1점 (0%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	3점 (계획있음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점 (보통)
	생산물 수익회수가능성	1점(100%)
	정치 행정적 안정성	-0.0267
	자원보유국 환율 안정성	1점 저: 0.23718 고: 0.65182
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점 (0개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (0개)
총점	46.57점	

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 브라질은 평균 -0.03점으로 가스 매장 국가 34개국 중 14위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 브라질은 2010년 0.53에서 2013년 0.37의 수준으로 점점 떨어지고 있으며, 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서 8위를 나타내며 정치 제도 안정성의 6개 항목중 가장 높은 순위를 나타내었다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 브라질의 경우 이 지표의 값은 전년 0.05에 비하여 2013년 -0.28를 기록하였다. 이는 국가 순위로 15위를 나타낸다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 브라질의 경우 2013년 -0.08의 수치로 2010년 이후 -0.12 ~ -0.04에 일정한 추세를 나타냈다. 또한 지표의 국가 순위는 16위로 나타났다. 이는 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 가장 낮은 순위를 나타낸다.

법·규제의 완성도는 2010년 0.16을 보이고 있으며 이후로 점차 낮아지며 2013년 0.07를 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 국가 순위는 16위로 평가된다. 이는 정부의 효율성 지표와 마찬가지로 정치 제도 안정성의 6개 항목 중 가장 낮은 순위를 나타낸다.

준법 수준에서 해당 지표는 2010년 0.0을 기록한 이후 점차 떨어지며 2013년 -0.12를 기록하였다. 또한 국가 순위는 13위로 나타났다.

부패의 통제정도에서 해당 지표는 2010년 0.0을 기록하며 2011년 0.15를 기록하지만 바로 2012년과 2013년 -0.07, -0.12를 기록하며 하락하였다. 국가 순위는 13위에 해당하는 값으로 평가되었다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비

중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 브라질의 천연가스 매장량은 0.3 TCM으로 3점을 받았다.

브라질은 현재 operational 상태의 프로젝트 및 건설 프로젝트가 없다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 브라질은 현지 유사프로젝트 진행현황과 계획현황 모두 없으므로 1점을 받았다. 이는 브라질이 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 낮으며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 최근에 프로젝트 FID(Final Investment Decision)이 늦어지면서 크지 않다는 것을 알 수 있는 항목이다.

브라질에서 진행 중인 프로젝트는 현재 없으며 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 1점의 점수를 받게 되었다.

4) 콜롬비아

- Colombia 국가 개요

콜롬비아는 2008년 정제산업을 시행한 이후 석유와 천연가스, 석탄의 생산이 급격하게 증가했다. 최근 콜롬비아는 서반구에서 에너지 생산국으로써 중요한 위치에 있다. 콜롬비아는 최근 라틴아메리카에서 세 번째로 큰 석유 생산국이고 7번째로 미국에 원유를 많이 수출하는 국가이다. 콜롬비아는 또한 남아메리카에서 가장 큰 석탄 생산국이다. 콜롬비아에서 새로 개정된 법적 규제들은 외국 투자자들에게 매력적이 되었다. 그래서 콜롬비아에서의 석유와 천연가스 부분의 생산을 증가시키기 위한 투자가 증가할 전망이다. 콜롬비아 정부는 석유회사인 Ecopetrol의 부분적 사유화를 시행했다. 그러나 약 5년 후 상당수의 석유 생산에 관련된 운영시설들이 점차 축소되었고 동시에 천연가스 파이프라인이 점차 증가하였다.

최근 콜롬비아에서는 석유 대체 에너지로서 천연가스가 각광 받고 있다. 이는 천연가스가 석유에 비해 가격이 저렴할 뿐 만 아니라, 매장량 또한 풍부해 향후 70년간 석유를 대체할 수 있는 친환경 에너지이기 때문이다. 또한 콜롬비아는 현재 중남미 3위의 천연가스 자동차 사용국이며, 더 나아가 세계 3위의 천연가스 자동차 사용 국으로 발돋움하기 위해서 천연가스의 생산을 위해서 공장을 건설 중이며 지속적으로 천연가스 자동차 시장을 개발하고 있다.

콜롬비아의 천연가스 시장은 정부의 지원하에 급성장하고 있다. 또한 파이프라인의 확충과 함께 앞으로 천연가스의 수출은 Canacol 에너지회사, Petrobras와 Ecopetrol의 천연가스 발굴 및 탐사에 대한 투자에도 영향을 줄 것으로 기대하고 있다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	377 BCM
LNG 생산량(연)	0 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	0
LNG 프로젝트 수 (계획)	1

콜롬비아는 현재(2013년 기준) 377 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추

정 된다. 아직 건설된 LNG 플랜트가 없어서 액화천연가스 생산량은 없지만 현재 1개의 프로젝트가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중이다. 프로젝트 세부사항은 다음 표와 같다.

표 94. 콜롬비아의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
La Creciente	La Creciente	Exmar	Under construction	0.72

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	-0.12
	정치적 안정성	-1.27
	정부의 효율성	0.04
	법·규제의 완성도	0.39
	준법 수준	-0.45
	부패의 통제	-0.44
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	81.64
	건설 인허가	91.58
	전력수급	72.45
	재산권 등록	75.26
	금융 근접성	62.5
	투자자 보호	83.33
	세금 지불	57.99
	국제 무역	70.86
	계약 이행	35.27
	부채 해결	74.47
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	1점 (0.037 TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	3점 (50%)
	상류 비정부 소유기업 비율	3점 (50%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	3점 (계획있음)
	발주국 천연가스 관리구조	1점(나쁨)
	생산물 수익회수가능성	1점(100%)
	정치 행정적 안정성	-0.308
	자원보유국 환율 안정성	1점 저: 0.00031 고: 0.00057
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점 (0개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점 (1개)
총점	50.47점	

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 콜롬비아는 평균 -0.31점으로 가스 매장 국가 34개국 중 16위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 콜롬비아는 최근 3년간 추세를 보면 -0.15 ~ -0.12의 값들을 나타내고 있다. 34개국을 대상으로 한 국가 순위에서는 14위로 나타났다.

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 콜롬비아의 경우 이 지표의 값은 전년 -1.40에 대비하여 2013년 -1.27를 기록하였다. 해당 지표의 국가 순위는 28위를 보였다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 콜롬비아의 경우 2013년 0.04의 수치로 2010년 -0.04 이후로 2011년 0.06으로 증가했다가 점차 떨어지는 추세를 나타냈다. 또한 지표의 국가 순위가 14위로 나타났다.

법·규제의 완성도는 최근 3년도를 비교해보면 0.26 ~ 0.39를 유지하고 있으며 2013년 0.39를 기록한 것으로 나타났다. 해당 지표의 국가 순위도 14위로 평가되었다.

준법 수준에서 해당 지표는 최근 3년간 -0.45 ~ -0.29를 유지하고 있으며 2013년 -0.45를 기록하였다. 또한 34개국 중 국가 순위는 15위로 나타났다.

부패의 통제정도에서 해당 지표는 최근 3년간 -0.44 ~ -0.30을 유지하고 있으며 국가 순위는 16위에 해당하는 값으로 평가되었다.

World Bank의 Doing Business Information(DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천

연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 된다. 콜롬비아의 천연가스 매장량은 0.037 TCM으로 1점을 받았다.

콜럼비아는 현재 건설 프로젝트 1건을 운영하고 있다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 콜롬비아는 현지 유사프로젝트 진행현황이 없고 계획현황은 1개로 1점을 받았다. 이는 콜럼비아가 프로젝트를 안정적으로 리딩(leading)할 수 있는 역량이 부족하며 천연가스 관련 사업의 발전 가능성은 앞으로 크지 않다는 것을 알 수 있는 항목이다.

콜롬비아에서 진행 중인 프로젝트는 50% IOC에서 담당하고 있고 소유하고 있는 자산도 50%이다. 따라서 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율에서 3점의 점수를 받게 되었다. 이는 에너지 기업의 참여 및 운영 기회가 일반적인 수준인 것으로 판단할 수 있다.

5) 트리니다드토바고

- 트리니다드토바고 국가 개요

트리니다드토바고는 Caribbean에서 가장 큰 oil과 천연 가스 생산국이다. 1990년대 초반 트리니다드토바고의 탄화수소 sector는 oil 기반에서 대부분 천연 가스 기반으로 넘어왔다. BP Statistical Review of World Energy에 따르면 2013년 트리니다드토바고는 세계에서 6번째로 큰 LNG 수출국이었다. 또한 트리니다드토바고는 U.S.로 LNG를 수출하는 국가 중 가장 큰 수출량을 기록하였으며, 2013년 U.S.의 LNG 수입량의 74%를 차지하였다.

Oil&Gas Journal(OGJ)에 따르면 2014년 트리니다드토바고의 천연 가스 매장량은 13.1TCF이며 2005년부터 조금씩 감소하고 있다. 트리니다드토바고의 Ministry of Energy and Enertgy Affairs에 따르면 2013년 트리니다드토바고의 dry natural gas 생산량은 대략 1.5TCF이다.

트리니다드토바고는 서반구에서 가장 큰 천연 가스 processing 시설을 보유하고 있다. Pheonix Park Gas Processors Limited(PPGPL) Natural Gas Liquids(NGL) 단지는 2013년 National Gas Company(NGC)에 의해 진행된 두 번째로 주요한 인수이다. 이 단지는 Post of Savonetta에 위치하고 있으며 하루에 거의 2BCF 만큼을 processing하고 있으며, NGL의 생산량은 하루 70,000 barrels이다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	0.436 BCM
LNG 생산량(연)	19.98 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	4
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

트리니다드토바고는 현재 (2013년 기준) 436 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정 된다. 4개의 프로젝트에서 연간 19.98 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 없다. 프로젝트 관련 세부 정보는 아래의 표와 같다.

표 97. 트리니다드토바고의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Atlantic LNG - train 1	Point Fortin	Operational	Atlantic LNG	4.05
Atlantic LNG - train 2	Point Fortin	Operational	Atlantic LNG	4.46
Atlantic LNG - train 3	Point Fortin	Operational	Atlantic LNG	4.46
Atlantic LNG - train 4	Point Fortin	Operational	Atlantic LNG	7.02
Atlantic LNG - train 5	Point Fortin	Cancelled	Atlantic LNG	7.02

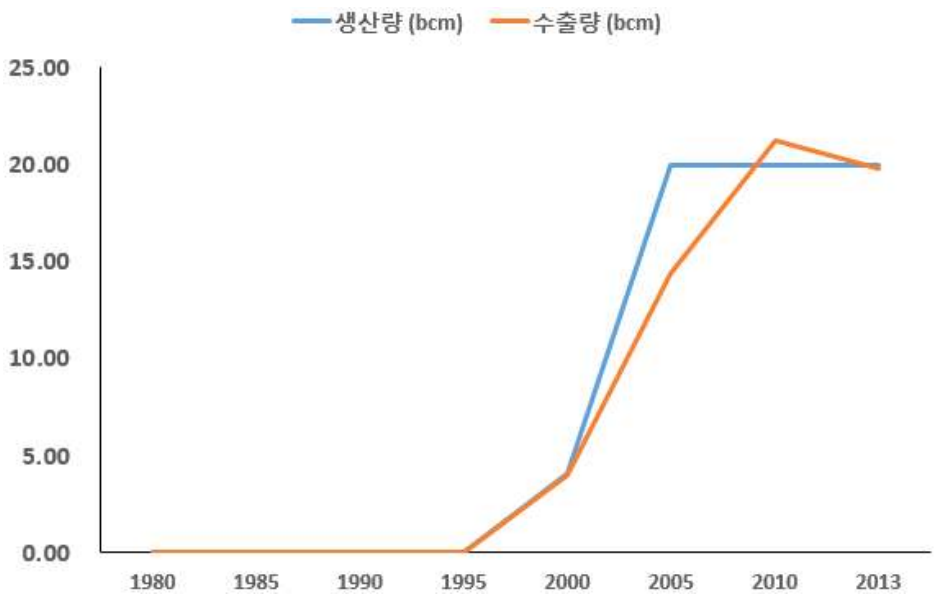


그림 64. 트리니다드토바고의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	0.44
	정치적 안정성	0.1
	정부의 효율성	0.35
	법·규제의 완성도	0.25
	준법 수준	-0.22
	부패의 통제	-0.35
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	81.11
	건설 인허가	68.33
	전력수급	87.2
	재산권 등록	52.7
	금융 근접성	81.25
	투자자 보호	66.67
	세금 지불	68.59
	국제 무역	71.87
	계약 이행	29.55
	부채 해결	28.53
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점(0.436TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	5점(97.5%)
	상류 비정부 소유기업 비율	5점(95%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(계획 없음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	5점(20% 미만)
	정치 행정적 안정성	0.095
	자원보유국 환율 안정성	5점 저 : 0.15465 고 : 0.16492
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(4개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(계획 없음)
총점	60.73점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 트리니다드토바고는 평균 0.095점으로 가스 매장 국가 34개국 중 13위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 트리니다드토바고 본 항목의 지표가 0.5를 전후로 꾸준하게 유지되었으며 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 높게 나타났다.(34개국 중 7위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 트리니다드토바고의 경우 이 지표의 값은 2013년 0.1를 기록하였다. 해당 지표의 값은 최근 -값에서 회복한 뒤 + 값을 3년 째 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 트리니다드토바고의 경우 해당 지표의 값은 감소하다가 최근 다시 증가하는 추세이다.

법·규제의 완성도와 국민의 준법수준, 부패의 통제수준 세 항목 모두 과거에 비해 계속 감소하고 있으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목들에 대한 순위가 가장 낮은 것으로 나타났다. (34개국 중 각 15,14,15위)

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 트리니다드토바고의 천연가스 매장량은 0.436TCM으로 3점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 트리니다드토바고에서 진행중인 프로젝트는 90% 이상이 비정부 기업에 의해서 수행되고 있으며, 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율이 각각 97.5%와 95%로 두 항목 모두 5점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

트리니다드토바고는 현재 액화 플랜트 프로젝트 4개가 운영 중이며, 계획 중이던 프로젝트 1개가 취소되었다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 트리니다드토바고는 두 지표 모두 1점으로 평가받았다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 트리니다드토바고의 경우 세계에서 6번째로 큰 LNG 수출국으로 본 항목에 대해 5점으로 평가하였다.

최근 5년 동안의 환율 변화율은 6.64%로 비교적 안정한 것으로 나타났다.

6) 페루

- 페루 국가 개요

페루는 지난 2004년 Camisea 가스전에서 생산이 시작된 이래로 2004년 30 BCF에서 2012년 418 BCF로 생산량이 급증했다. 페루는 2010년 페루 LNG 컨소시엄(U.S. 기반의 Hunt Oil, SK Energy, Repso YPF, Marubeni)이 소유한 남아메리카의 멜초리타 지역의 LNG 플랜트를 위임받으면서 천연가스 수출국이 되었다.

FACTS Global Energy에 따르면 2013년 페루의 천연 가스 수출량은 209BCF이며 스페인, 일본, 한국, 멕시코로 대부분 수출되었다. 페루의 자국 내 천연 가스에 대한 수요는 2002년에 16BCF였던 것이 2012년 418BCF로 정부 인센티브, 경제 성장, 천연 가스 fired electricity 플랜트의 증설로 점차적으로 증가하고 있다.

페루의 천연 가스에 대한 수요의 증가는 미래 천연 가스 수출 가능성에 많은 영향을 끼칠 것이다. IHS에 따르면, 정부는 과거에 천연 가스 수출을 줄이는 방침을 내세웠으나, 최근 페루 LNG 컨소시엄과 현재 국내의 수요를 만족시키는 한에서 수출량을 현재 비율로 유지할 것으로 합의했다고 한다.

- LNG 사업 현황

천연가스 매장량	0.334 BCM
LNG 생산량(연)	6.00 BCM
LNG 프로젝트 수 (가동 중)	1
LNG 프로젝트 수 (계획)	0

페루는 현재 (2013년 기준) 334 BCM의 천연가스를 보유하고 있는 것으로 추정된다. 1개의 LNG 프로젝트에서 연간 6.00 BCM의 액화천연가스를 생산하고 있으며, 현재 추가 계획(건설 중, 입찰, 사업 승인)중인 프로젝트는 없다. 프로젝트 관련 세부정보는 아래의 표와 같다.

표 100. 페루의 LNG 프로젝트 현황 (Enerdata, 2014)

프로젝트명	지역	상태	운영사	연생산량 (bcm/year)
Peru LNG	Pampa Melchorita	Operational	Peru LNG	6.00

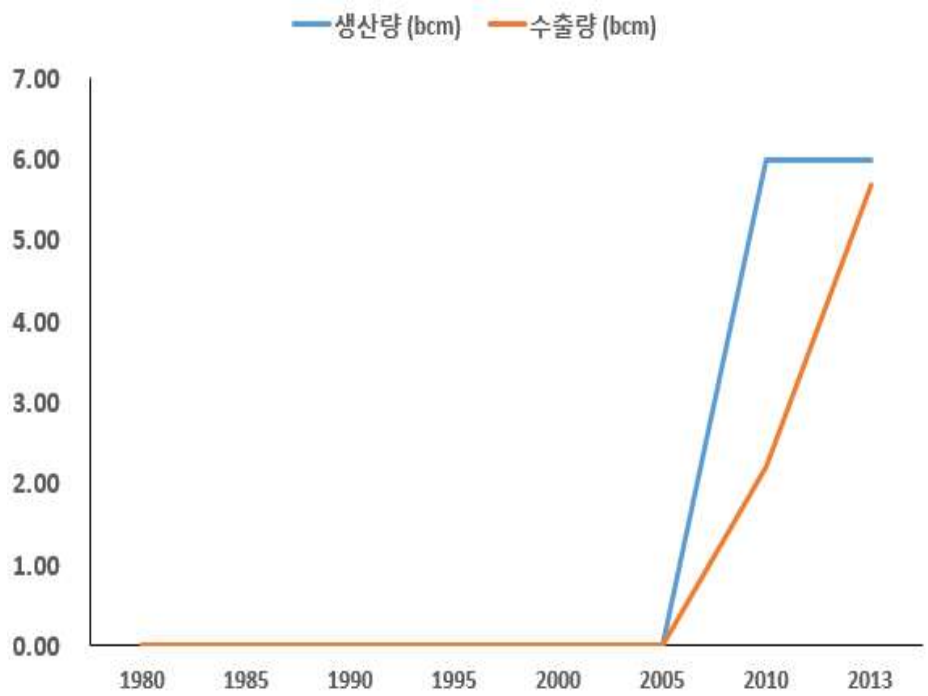


그림 65. 페루의 LNG 생산량 및 수출량 (Enerdata, 2014)

- 해외사업모델 평가 결과

분류	지표	점수
정치 제도 안정성 (WGI)	민권 및 언론자유도	0.04
	정치적 안정성	-0.77
	정부의 효율성	-0.14
	법·규제의 완성도	0.45
	준법 수준	-0.61
	부패의 통제	-0.44
사업 수행 안정성 (DBI)	기업의 설립	86.29
	건설 인허가	74.92
	전력수급	73.84
	재산권 등록	83.74
	금융 근접성	81.25
	투자자 보호	70
	세금 지불	76.86
	국제 무역	76.33
	계약 이행	54.92
	부채 해결	29.3
상류영역 기대보상	발주국 천연가스 매장량	3점(0.334TCM)
	상류 비정부 소유자산 비율	5점(100%)
	상류 비정부 소유기업 비율	5점(100%)
사업추진 여건	발주국 재정투자계획	1점(계획없음)
	발주국 천연가스 관리구조	3점(보통)
	생산물 수익회수가능성	3점(20~50%)
	정치 행정적 안정성	-0.245
	자원보유국 환율 안정성	4점 저 : 0.30312 고 : 0.39538
	현지 유사프로젝트 진행현황	1점(1개)
	현지 유사프로젝트 계획현황	1점(계획없음)
총점	59.35점	

- 정치 제도 안정성

정치 제도 안정성 평가를 위하여 World Bank에서 제공하는 Worldwide Governance Indicators(WGI)를 이용하였다. WGI에서는 전 세계 215개 국가의 정치 제도의 안정성을 6개 항목으로 나누어 평가하고 있으며, 점수가 높을수록 해당 분야에 대한 안정성이 높음을 의미한다. (-2.5부터 +2.5의 범위로 평가를 하고 있으며,

215개국의 평균은 0이다.)

215개국 중 천연 가스가 매장되어 있으며, 액화 플랜트를 운영 중인 34개국을 대상으로 WGI 평가 점수의 경향성을 살펴보았다. 34개국의 정치 제도의 안정성 평가 항목의 평균 점수를 계산한 결과 페루는 평균 -0.245점으로 가스 매장 국가 34개국 중 15위를 차지하였다.

민권 및 언론자유도는 국민의 여론이 얼마나 정부정책에 반영되는가를 평가하는 지표로 이 값이 작은 국가에서는 공사 중 민원의 빈도가 높다. 페루는 변동의 폭은 있으나 2013년에는 0.04의 값을 나타냈으며, 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 높게 나타났다. (34개국 중 11위)

정치적 안정성은 지표의 평가 값이 낮을 경우 폭동/내란의 빈도가 높게 나타날 수 있으며, 페루의 경우 이 지표의 값은 2013년 -0.77를 기록하였다. 정치 제도의 안정성 평가 항목 6개 중 본 항목에 대한 순위가 가장 낮게 나타났다. (34개국 중 25위)

정부의 효율성은 행정부의 사무처리 능력을 평가하는 지표로, 페루의 경우 변동성은 있으나 전체적으로 꾸준히 증가하는 추세이다.

법·규제의 완성도, 국민의 준법수준 모두 큰 변화의 폭은 없으며 각각 0.45와 -0.61을 기록하였다. 법·규제의 완성도는 14위에 해당하며 준법 수준의 경우는 21위에 해당하여 차이를 보이고 있다.

부패의 통제정도는 전체적으로 감소하는 추세이며 2013년 -0.44의 값을 나타냈으며 이는 34개국 중 18위에 해당한다.

- 사업 수행 안정성

World Bank의 Doing Business Information (DBI)에서는 사업 수행 안정성을 10개 세부항목(기업의 설립, 건설 인허가, 전력수급, 재산권 등록, 금융 근접성, 투자자 보호, 세금 지불, 국제 무역, 계약 이행, 부채 해결) 으로 나누어 평가하고 있다.

투자자 보호항목은 기업의 투명성 여부를 판단하며 세금 지불의 경우 기업의 세전 이익에 대한 법적 책임 비율 등을 기준으로 판단하며 세금과 관련된 업무의 정도를 평가하는 항목이다. 국제 무역은 계약서, 통관, 내륙운송 등을 평가기준으로 삼으며 국제 시장으로 진입하는데 있어 수출의 어려움 정도를 나타낸다. 계약 이행 항목은 사업 수행 시 분쟁이 발생할 경우 분쟁을 해결 할 때 사법 시스템의 효율성을 기준으로 평가하며 부채 해결은 자산대비 부채 비율, 채무 상환에 걸린 기간 등 부채 상환이 얼마나 잘 이루어지는지 알 수 있는 항목이다.

- 상류영역 기대보상

상류 영역의 기대보상은 총 6개 지표가 포함되었으며, 모든 지표가 높을수록 기대보상이 높은 것으로 설정하였다. 특히, 일반적으로 에너지산업은 발주국 정부의 소유비중이 높은 점을 감안, 비정부 소유자산 및 기업의 비율(또는 유무)은 기대보상을 평가함에 있어 중요한 요소로 판단되어 포함되었다.

발주국 천연가스 매장량은 해당국가의 채굴 가능한 천연가스 매장량을 평가하는 지표이다. 천연가스 매장량은 향후 해당국가에서의 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성을 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 페루의 천연가스 매장량은 0.334TCM으로 3점을 받았다.

상류 비정부 소유 자산/기업의 비율은 해당국가에서 프로젝트 수행 시 해외 기업의 사업 참여 기회를 간접적으로 평가할 수 있는 지표이다. 페루에서 진행 중인 프로젝트는 전부 비정부 소유 기업에서 진행하고 있다. 사업 수행 시 해외 기업의 참여 기회를 평가할 수 있는 항목인 상류 비정부 소유자산 비율과 상류 비정부 소유기업 비율 모두 100%로 두 항목에서 5점을 받았다.

- 사업추진 여건

사업추진 여건은 7개의 지표를 바탕으로 평가하며, 현재 프로젝트의 진행 상황과 정치적 배경, 경제적 상황 등을 고려하였다.

페루는 현재 액화 플랜트 프로젝트 1개가 운행중이며, 따로 계획 중인 프로젝트는 없다. 해당국가에서 기 수행 및 수행 중인 가스전 개발 사업의 수를 통해 발주국의 경험을 평가할 수 있으며, 계획 중인(입찰, 건설, 승인) 가스전 개발사업의 수를 통해 발주국의 유망성과 가스전 개발사업 발주 가능성 및 천연가스 관련 사업의 발전 가능성과 발주국의 의지를 간접적으로 평가할 수 있다. 페루는 두 지표 모두 1점으로 평가받았으며, 운영 중인 프로젝트는 1개이며 계획중인 프로젝트도 아예 없는 상황이다. 페루의 천연가스 매장량이 0.334TCM인 것을 감안했을 때 이 지표는 페루가 아직은 플랜트 프로젝트에 큰 투자를 하고 있지 않은 상황이라는 것을 알 수 있는 항목이다.

생산물 수익회수가능성은 해당국가에서 가스전 개발사업 수행 시 발주국 의무공급 비율을 통하여 생산물의 수익회수가능성을 평가하는 항목이며 발주국 의무공급 비율이 높을수록 상업화 되는 물량이 제한되어 수익성이 낮게 나타날 수 있다. 페루는

Camisea 가스전의 운행 시작 이후 생산량이 급증했으며, 그와 더불어 정부 인센티브, 경제 성장, 천연 가스 fired electricity 플랜트의 증설 등 자국 내 수요 또한 증가하고 있다. 그러나 페루 LNG 컨소시엄과 자국 내 천연 가스 수요를 만족시키는 범위 안에서 현재의 수출률을 유지한다는 동의를 하였다. 이에 본 항목은 3점으로 평가하였다.

최근 5년 동안의 환율 변화율은 30.44%로 비교적 안정한 것으로 나타났다.

4. 가스전 / 플랜트 사업 단계별 진입전략 도출

가. 개요

앞선 장에서는 CSF 기반의 국가별 사업환경 평가 지표와 평가 방법론을 제시하였으며, 총 23개 LNG 생산국을 대상으로 사업환경 분석을 실시하였다. 본 장에서는 국가별 사업환경 평가 점수(Reward 관점)와 해당국가의 경쟁강도(Risk 관점)에 대한 분석을 통해 가스전/플랜트 사업의 진입전략을 도출하고자 한다.

나. 국가별 사업 환경 및 경쟁강도 평가

(1) 사업 환경 평가

앞 장에서 평가한 국가별 사업환경 평가 점수는 해당국가에서 가스전/플랜트 사업 수행 시 핵심성공요인을 바탕으로 도출되었으며, 기회관점에서 사업수행환경을 평가하기 때문에 점수가 높을수록 좋은 사업 수행 환경임을 의미한다.



그림 66. 사업환경 평가 점수 분포

(2) 경쟁 강도 평가

가스전/플랜트 사업의 경쟁강도는 현재 시점에서 해당국가의 시장 규모와 경쟁업체의 수로 판단할 수 있으며, 계산식은 아래와 같다.

$$\text{경쟁강도} = \frac{(\text{경쟁기업 수})}{(\text{프로젝트}) \times (\text{평균 용량})} \qquad (1)$$

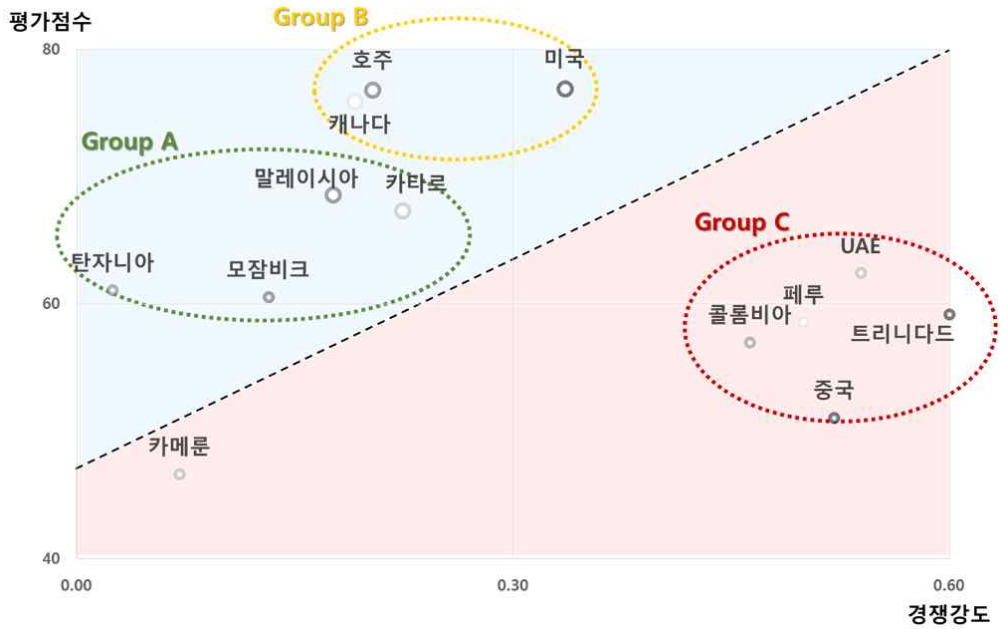


그림 67. 국가별 평가점수 및 경쟁강도에 따른 분포 결과

다. 가스전 / 플랜트 사업 진입전략

(1) Group A(탄자니아, 모잠비크)

1) 개요

최근 원유 및 주요 원자재의 국제가격 급등으로 세계 각국은 고 유가시대에 접어들었다. 이에 따라 안정정적 자원 확보를 위하여 중동과 중남미로 대표되던 에너지 공급원을 다양화하기 위하여 새로운 전략 지역을 탐색하고 있다. 그 결과 최근 부족 간의 내전과 독재, 부정부패로 인해 혼란했던 상황 속에서 벗어나 산업화의 시작으로 해외자원개발의 주요 경쟁자들이 주시하고 있는 아프리카가 새로운 신흥시장으로 부상하고 있다. 이미 첨예한 경쟁 환경이 조성되고 있으며 특히, 아프리카에 진출하고자 하는 국가들 중 아프리카와 이미 견고한 관계를 맺고 있는 유럽, 미국, 중국, 인도 등이 활발하게 진출을 꾀하고 있다. 이들에 비해 우리나라의 진출역량은 자본, 기술, 아프리카와의 외교·경제·문화적 관계 등 모든 면에서 상대적으로 낮기 때문에 단순히 진출기업의 개별 전략으로는 아프리카 시장을 선점하기에 어려움이 따른다. 따라서 정부와 기업, 기타 관련 기관들이 가지고 있는 다양한 정보와 자원을 동원한 포괄적인 전략수립이 아프리카 시장 진출에 필수적이다.

아프리카는 북부, 서부, 남부, 동부 아프리카의 자원부존 형태가 매우 다른 양상으로 나타나며, 따라서 해당 지역마다 차별화 진출전략이 필요하다. 탄자니아와 모잠비크의 경우 동부 아프리카에 속하며, 따라서 동부 아프리카 지역을 중점적으로 진출전략을 수립하고자 한다.

동부 아프리카 지역은 그 동안 에너지 자원의 불모지로 여겨져 왔다. 그러나 최근 인도양 연안 지대를 중심으로 원유 및 천연가스 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 또한 동부 아프리카 중 대부분의 지역이 미 탐사되었을 뿐만 아니라 기초 조사조차 되지 않은 곳이 많기 때문에 탐사작업이 본격화됨에 따라 동부 아프리카 지역에서의 신규 추정매장량 발생이 기대된다.

먼저 탄자니아의 경우 Songo Songo 해양 가스전에서 천연가스가 생산되고 있으며 생산된 전량이 자국 에너지 수요를 충족시키는데 소비되고 있다. 2013년 1월 기준 천연가스 확인 매장량은 약 65억m^3 이나, Songo Songo 해양 가스전 전체의 추정매장량이 283억m^3 규모이며 인근 해역에서 추정매장량 약 5,663억m^3 규모의 가스전이 발견되어 확인매장량이 급증할 것으로 기대된다.

모잠비크의 경우 내륙 및 인근 해역에 대규모 천연가스의 존재가 확인 되었으며, 현재 내륙에 위치한 가스전에서 본격적으로 생산되고 있다. 2013년 1월 기준 확인매장량은 약 1,274억 m^3이나, 총 매장량은 7.9조 m^3에 달할 것으로 전망되며 그 중 70% 이상이 Rovuma 해역에 매장되어 있을 것으로 추정된다.

그러나 세계경제포럼(WEF)의 2015-16년 글로벌 경쟁력 지수(GCI)에 따르면, 탄자니아의 인프라 수준은 140개국 중 127위(도로 92위, 항공 125위, 전기공급 122위, 전화 133위)이며, 모잠비크의 인프라 수준 역시 140개국 중 126위(도로 137위, 항공 116위, 전기공급 117위, 전화 135위)로 매우 낙후되어 있는 수준이다. 또한 두 국가 모두 IMF와 세계은행의 특별지원을 받는 '고 채무 저 소득 국(Heavily Indebted Poor Country : HIPC)'으로 세계은행 등의 차관을 이용하여 중대형 인프라개발 사업에 힘쓰고 있다. 따라서 탄자니아와 모잠비크에서의 LNG 사업은 초기에 대규모의 투자비용이 필요할 것으로 예상되며 사업 기간도 장기적인 관점에서 바라보아야 할 것이다.

2) 진출 전략

- 경제 원조를 통한 관계 구축 전략

탄자니아와 모잠비크 두 국가 모두 ODA 수혜 국가들이다. 특히 사회간접시설에 대한 경제원조가 가장 시급한 실정이며, 인적 네트워크 구축을 위한 인적 기반 강화에 ODA의 무상지원을 통해 힘쓰고 있다. 그렇기 때문에 우리나라가 ODA를 통해 아프리카와의 관계 구축을 위해 노력한다면 이들과의 자원외교가 보다 효과적으로 추진될 수 있을 것이다. 이를 위하여 먼저 방문외교, 비즈니스 포럼 개최, 민간 교류 촉진 등의 경제적 후원과 더불어 정치적 후원을 바탕으로 자원을 확보하고 인프라 시설 구축 사업과의 연계를 통해 광구개발권을 획득할 수 있도록 전략을 수립하여야 할 것이다. 또한 해당 전략을 통하여 자원부존 가능지역을 발굴하고 기초 조사사업을 실시하는 초기단계부터 자원개발 산업에 참여할 수 있는 발판을 마련한다면 향후 다른 국가들에 비해 경쟁우위를 점할 수 있을 것이다.

- 동반진출 전략(Package 전략)

Package 전략으로 불리는 동반진출 전략은 자원개발 사업이 다른 사업과 연계되어 추진되는 방식을 의미하며, 해당 전략은 우리나라와 같이 자원개발에 대한 역량은 미흡하지만 자원보유국에서 필요로 하는 산업에 대해 강점을 가질 때 이를 통해 광권 확보의 실효성을 높이는 전략이다. 또한 동반진출 전략은 중앙집권적 성격이 강하고 정부의 의사결정 구조가 고위층으로 수렴하는 성향을 지닌 국가에 진출할 때 더욱 효과적이다. 탄자니아와 모잠비크가 속한 사하라 이남 아프리카 대부분의 나라들이 이에 해당된다. 탄자니아와 모잠비크 당국은 원유 및 천연가스 탐사작업을 본격화함과 동시에 가스 생산 및 석유·가스 하류 부문의 개발 또한 본격적으로 추진할 계획이다. 그에 따라 가스전 개발과 함께 석유 정제 설비, LNG 설비, 가스 파이프라인 등의 분야에서 상당한 투자수요가 예상된다. 때문에 자원개발을 추진하면서 석유·가스 하류 부문 설비사업 및 담수·석유화학 플랜트 등의 고부가가치 부문과 연계한 여러 사업들을 추진할 수 있다. 우리나라는 석유 정제 설비나 LNG 처리시설, 수송관 설비, LNG 선박 사업과 관련하여 많은 경험과 노하우를 축적하고 있다. 뿐만 아니라 담수·석유화학 플랜트, 초고층 빌딩 등 고부가가치 부문에서도 경쟁력을 보유하고 있다. 따라서 광권 확보를 위한 자원개발사업과 SOC, 플랜트, IT 등의 산업을 하나의 사업체계로 묶어 추진한다면 저임금 노동력을 앞세운 중국, 인도 등에 상대적으로 경쟁력을 가질 수 있을 것이며 추후 가스 개발 사업에 참여하는 것 또한 수월할 것이다.

- 기 진출기업들과의 파트너십 구축을 통한 전략

탄자니아에서는 영국 BG 그룹과 노르웨이 국영 StatOil이 LNG 공장을 건설할 계획이며, 모잠비크에서는 이탈리아 Eni와 미국 Anadarko가 LNG 공장을 건설할 계획이다. 이미 진출해 있는 주요 메이저 기업에 비해 우리나라 기업의 경쟁력이 상대적으로 약하므로 해당 기업들과의 공동 전략을 고려해보는 것도 하나의 진출 전략이 될 수 있을 것이다. 메이저 기업들과의 정보 교류 협력을 통해 파트너십을 구축하거나 진출 국가의 국영석유기업들과의 협력을 통한 파트너십 구축 또는 기존 참여기업들의 Farm-out 지분을 인수하는 방법도 있다. 본 진출전략을 통해 자원확보를 위해 아프리카로 진출하고자 다양한 전략을 사용하고 있는 중국, 미국, 유럽, 일본 등과의 불가피한 경쟁 속에서 함께 Win-Win 할 수 있을 것이다. 또한 기 진출한 기업들의 인적 기반 및 정보 네트워크를 활용할 수도 있을 것이다. 이를 위해서는 가스 관련 프로젝트에 대한 상시 모니터링을 통해 경쟁 국가들의 동향을 파악하는 것이 필수로 이루어져야 할 것이다.

- 장기적인 관점의 진출 전략

아프리카 국가들의 자원부존지역은 육상의 경우 주로 열대우림 지역에 자리하고 있기 때문에 사업 수행에 앞서 열대우림 지역에 대한 정비가 우선시 되어야 한다. 뿐만 아니라 탄자니아와 모잠비크 두 국가 모두 열악한 인프라 시설 환경으로 인하여 우림 지역에 대한 정비와 함께 인프라 시설을 구축하면서 자원을 개발해야 하기 때문에 높은 투자비가 수반된다. 대륙붕 지역의 경우도 주로 심해지역에 위치하고 있기 때문에 높은 개발 비용이 소요되며 심해 광구 개발 기술력은 선진국과 비교해 낮기 때문에 기술적 장벽 또한 높은 편이다. 동반진출 전략을 통해 아프리카 국가에 진출 시 자원개발과 인프라 건설과의 사업성격이 다르기 때문에 실제 사업이 실행되기 까지 많은 난관이 예상된다. 자원개발의 경우 장기간에 투자비가 회수되는 특성을 가진 반면 인프라 건설 사업들은 비교적 단기에 투자비를 회수하려는 속성이 있기 때문이다. 또, 인프라 건설에 대한 투자비 회수는 대부분 자원개발의 수익을 통해 이루어지는데, 자원개발 사업이 실패한다면 투자비를 회수할 수 있는 방법이 여의치 않은 것도 문제가 될 수 있는 부분이다. 따라서 사업 계약 초기 시 보장된 약속들이 지켜지지 않았을 때의 방안을 다각적으로 마련해야 하며 이러한 위험을 감소시키기 위해서는 아프리카 자원보유국 정부는 물론 정치권, 기업 지도층들과의 긴밀한 네트워크 구축 역시 필수라고 할 수 있다. 위에서 언급한 전략들과 더불어 탄자니아와 모잠비크에 진출하기 위해서는 각 국가별 특성에 맞는 전략 또한 필수적일 것이다.

3) 탄자니아, 모잠비크의 맞춤식 진출 전략

Ⅰ. 탄자니아 진출전략

탄자니아 정부는 그 동안 자원개발 경험이 거의 없었기 때문에 최근 외국계 기업들과의 사업 수행에 있어 해당 정부가 불리한 계약을 체결하게 되었다고 판단하고 있으며, 이로 인하여 외국계 기업들에 대한 적대적인 규제가 발생하고 있으며 강대국 의존도에 대한 경계심이 높아졌다. 반면 한국에 대해서는 비교적 낮은 경계심을 가지고 있으며, 경제개발을 위하여 유럽이나 미국 등 선진국의 경제발전을 모델로 하기보다는 우리나라나 아시아의 신흥공업국(중국, 인도 등)의 경제성장 모델에 대한 관심이 더 높다.

우리나라는 경쟁국에 비해 아프리카에 대한 인적 관계가 아주 낮은 편이다. 유럽의 메이저 기업들은 이미 구 식민지시대로부터 파생된 언어의 동질성과 아프리카에 대한 깊은 문화·역사·지리적 자료들을 가지고 있으며, 미국과 유럽의 유학파로 대다수 구성된 아프리카 지도층들과의 인적 네트워크도 탄탄하다. 때문에 탄자니아에 진출하기 위해서는 탄자니아의 자원부국뿐 아니라 탄자니아 정부와의 긴밀한 관계를 형성하는 중장기적 관점에서의 외교 전략이 수반되어야 할 것이다. 또한 정부 고위급 관계자들과의 외교적 접촉에 중점을 두었던 기존의 전략에서 아프리카에 대한 원조 및 지원프로그램, 봉사단 파견, 의료 서비스 등의 다양한 프로그램을 적극 활용하여 신뢰를 형성하기 위한 노력을 해야 할 것이다.

Ⅱ. 모잠비크 진출전략

- 주변국들의 정치적 불안상황에 대한 대응전략 수립

모잠비크는 정치적으로 주변국에 비해 안정적이기 때문에 이는 모잠비크의 국가신용도와 투자매력도를 높이는 주된 요인으로 평가되고 있으나 일각에서는 케냐, 소말리아, 남수단 등에서 계속되는 정정 불안이 유전개발 지연과 투자위축 요인으로 작용하여 동부 아프리카의 성장을 저해할 것이라는 우려를 보이기도 한다. 모잠비크 주변 자원보유국 중 일부 국가는 아직도 정치가 불안정하고 제도적 불투명성이 높으며, 내전 상황이 일어나거나 테러가 발생하고 있다. 주변국들의 영향으로 인하여 모잠비크

의 사업 리스크가 높다고 평가되기도 한다. 따라서 모잠비크 주변국들의 정치적 상황을 주시하면서 상황 별 대응방안에 대한 모색과 이에 따른 맞춤형 전략을 세울 필요가 있다. 이를 위해서는 우리 공관, 관련 공사 및 기업의 현지사무소 등의 긴밀한 협력과 정보 교류, 공동 대응 방안 모색 등이 요구된다.

- 모잠비크에 진출해 있는 기업과의 협력을 통한 진출 전략 수립

한국가스공사(KOGAS)는 2007년 광구 지분(10%) 매입을 시작으로 ENI 등과 공동으로 모잠비크 가스전 탐사에 참여하였으며, 2012년 7월 모잠비크 광물자원부와 산업자원협력 MOU 체결을 시작으로 같은 해 11월 모잠비크를 아프리카 54개국 중 '우선 경협전략국'으로 선정했다. 2012년 12월 모잠비크 국영 가스공사인 ENH사와 마푸토(모잠비크의 수도)의 도시가스사업 착수를 위한 EPC 계약 또한 체결하였다. 또한 2013년 모잠비크의 수도인 마푸토에 KOTRA 무역관을 개설하고, 자원과 에너지 프로젝트 추진을 지원하고 우리 기업의 현지 진출 및 마케팅 활성화를 돕고 있다.

2014년 한국가스공사는 모잠비크 마푸토 천연가스 배관운영 및 공급사업과 관련하여 첫 수익을 거둬들였다. 이는 마푸토 지역에 발전용과 산업용 천연가스를 공급하기 위하여 배관을 건설 및 운영하는 사업이다. 이와 더불어 2014년 12월 18일에는 마푸토 북부 Marracuene 지역에도 가스 공급배관 건설공사 착공을 시작했으며, 공사는 모잠비크법인의 가스판매수익을 타 사업의 투자재원으로 활용할 예정이며, 해당 사업에도 기존의 배관건설공사와 마찬가지로 국내 중소 건설사 및 자재사가 참여한다. 한국가스공사의 사례를 기반으로 모잠비크에 구축해놓은 인적 네트워크 및 정보를 활용하여 모잠비크 진출 전략을 수립할 수 있을 것이다.

(2) Group B(미국, 캐나다, 호주)

1) 개요

에너지 경쟁 시대로 돌입하면서 많은 국가에서 에너지 분야를 선점하기 위해 여러 가지 많은 대책과 방안을 제시하고 있다. 특별히 최근 미국의 셰일가스 개발, 태양광 등 신재생에너지 발전량의 증가로 인해 경제협력개발기구(OECD) 회원국의 에너지 생산량이 사상 최대 규모를 기록하였다. 이와 같은 에너지 생산량의 증가는 미국과 캐나다 그리고 호주가 주도하고 있다.

미국과 호주 그리고 캐나다의 에너지 자급률은 80%에 육박하고 있다. 국제에너지기구(IEA) 보고서에 따르면 지난해 OECD 회원국의 에너지 생산량은 40억 석유환산톤(toe)으로 첫 조사를 실시한 1974년 이후 가장 많은 것으로 집계되었다. 미국은 전년 대비 석유 생산량이 12%, 천연가스 생산량이 5% 증가했고 캐나다는 석유생산량이 9%, 호주는 석탄 생산량이 9% 늘어난 것으로 조사되었다.

이렇듯 미국과 호주 그리고 캐나다의 에너지 사업은 전 세계를 주도할 만큼 글로벌한 이슈이며 이들 국가에 많은 영향을 받고 있는 우리나라 역시 미국과 호주, 캐나다로의 자원개발 진출을 무시할 수 없다. 따라서 북미지역의 미국과 캐나다 그리고 호주 지역을 중점적으로 진출 전략을 수립하고자 한다.

2) 미국, 캐나다, 호주의 에너지 현황

Ⅰ. 미국

- 미국의 자원 현황

미국은 광활한 영토와 풍부한 에너지, 자원 보유국으로 석유와 가스 석탄 등 다양한 에너지 광물자원을 보유하고 있으며 2013년을 기준으로 일차에너지 소비량 세계2위, 석유 소비량 1위, 원유 정제 능력 1위, 원유생산 3위, 천연가스 생산 및 소비 1위 등 대부분의 에너지 분야에서 최상위의 위치에 있다. 구체적으로 석유의 자원보유량은 334억 배럴로 세계 10위 규모로 추산되며 생산량은 일일 원유 10백만B/d이며 이는 2008년 이후 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

미국의 천연가스 보유량은 2012년을 기준으로 322,670Bcf로 세계 5위 규모로 추산되며 최근 미국의 천연가스 생산량은 셰일가스 생산 증대 등에 힘입어 지속적으로 증가하고 있다. 그리고 미국내의 생산이 증가함에 따라 주로 캐나다에서 수입하던 천연가스의 양도 지속적으로 감소하고 있으며 생산이 증가됨에 따라 가격이 하락하는 등 천연가스 소비가 증가추세에 있다. 특별히 산업 부문과 발전 부문에서 에너지원으로서 석유 및 석탄을 각각 대체해 나가고 있다.

- 미국의 에너지 정책

미국의 에너지 정책의 방향은 3가지의 방향성을 가진다. 첫째, 에너지의 안정적 수급이다. 해외 에너지 의존도를 축소하고, 에너지 자립 확보를 주요 목표로 하고 있으며 에너지효율 증대를 통한 수요관리 및 비용을 절감하고 더 나아가 원자력 발전소의 안정적인 운영을 목표로 하고 있다. 둘째, 클린에너지를 통한 성장동력을 창출하는 것이다. 태양광, 풍력 등 신재생에너지에 대한 지원확대를 통하여 독자적인 에너지원으로서의 역할을 달성하고 클린에너지 분야의 기술 우위 확보를 통해 미래 성장동력 시장을 선점하는 한편, 연관 산업 활성화를 통하여 경제 활성화를 도모하고자 하는 것이다. 셋째, 기후변화 대응 전략이다. 기후변화 피해 저감 정책을 추진하며 이를 위한 국제공조와 함께, 수급 및 클린에너지 분야 주요 정책들을 연계하여 추진하고 있다. 미국은 기후변화 대응에 대하여 온실가스 배출 저감과 국내 및 국제 대응에 대한 정책논의를 주로 하고 있다.

Ⅱ. 캐나다

- 캐나다의 자원 현황

캐나다는 미국과 마찬가지로 광활한 영토와 풍부한 에너지, 자원 보유국으로 석유와 가스 석탄 등 다양한 에너지를 생산하는 세계최고의 생산국 중 하나이다. 에너지 자원 산업이 국민경제에서 차지하는 비중과 위상도 커서 여타 선진국 경제와는 다른 특성을 보유하고 있으며 원유, 석유제품, 천연가스가 에너지 수출의 97%를 점유하고 있다. 이는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있지만 국제유가 및 세계경기 등에 따라 등락을 보이고 있는 상황이다.

캐나다의 석유 자원은 오일샌드를 포함하여 세계 5위 규모이며 매장량은 베네주엘라와 사우디아라비아에 이어 세계 3위를 기록하고 있다. 앞으로 석유생산은 1990년 155만 배럴/일에서 계속 증가하여 2020년 세계 5위 생산국이 될 전망이다. 천연가스는 세계 5위에 생산국으로 5.1조cf를 생산하며 71.8조cf로 세계 18위 수준이나, 확인되지 않은 것을 포함할 경우 700조cf 내지 1,300조cf규모가 매장되어 있을 것으로 추정된다. 캐나다의 천연가스 생산은 큰 변화가 없는 상황이지만 셰일가스, 석탄층 메탄 등의 비전통 가스로 인하여 새로운 가스생산이 지속적으로 늘어날 전망이다.

- 캐나다의 에너지 정책

캐나다는 대내적으로는 에너지자원 사업에 대한 외국기업의 투자유치를 통하여 국내 고용창출과 경제성장을 도모하는 것이며 특별히 석유 및 가스 수출을 대부분 미국에 의존하는 에너지 수급구조를 개선하고 개발과 수출을 우한 인프라 확충에 중점을 두고 있다. 이에 에너지의 안정적 수출을 위한 송유관 및 가스관 등의 인프라를 구축하고 기술개발을 통한 지속가능 에너지 자원을 확보하며 아시아 시장에 전략적으로 진출확대를 위한 국가적 노력을 기울이고 있다.

또한 캐나다의 에너지자원 정책은 이원화된 체제를 유지하고 있으며 특히 여러 주를 경유하는 송유관, 가스관 건설프로젝트의 경우 연방정부의 승인여부와 상관없이 관련 주간의 경제적 이해관계, 환경부담의 배분 등을 둘러싸고 갈등이 지속되는 경우가 많아서 프로젝트의 정상적인 추진이 지연되는 경우가 많았다. 이에 따라 그간 에너지 업계뿐만 아니라 캐나다 정부 내에서도 지속적으로 심각성이 제기되어 왔으며 "책임 있는 자원개발 계획"이라는 방안을 발표하기에 이른다.

Ⅲ. 호주

- 호주의 자원 현황

호주는 풍부한 에너지와 자원을 보유하고 있으며 우리나라 최대 광물자원 공급 국가이자 투자 대상 국가이다. 호주는 석탄, 우라늄, 원유, 천연가스 등 주요 에너지 자원과 함께 철광석, 니켈, 아연, 동, 보크사이트, 금, 망간 등 다양하고 풍부한 광물 자원을 보유하고 있다. 호주의 에너지 및 자원개발 투자는 2005년 이후 비약적으로 발전을 나타내고 있으며 지난 20세기 초의 골드러시 이후에 "제2의 Mining Boom"이라 할 정도로 투자가 증가되어 왔으며 2011년 이후 국제자원가격의 하락 등에 따라 "조정기"에 진입하고 있다.

호주의 원유 매장량은 40억 배럴로 세계 총 매장량의 0.2%를 차지하며, 남부호주 Bass Strait(18억 배럴) 및 서부호주 Carnarvon Basin(11억 배럴) 지역에 주로 매장되어있다. 원유는 호주의 주요 수출 품목으로 전체 에너지, 자원 수출의 약 6%를 차지하는 동시에 최대 수입품목중 하나로 214억 호불을 수입하여 에너지원 중 유일한 순수입 품목이다. 천연가스는 아태지역의 최대 보유국이며 세계 총 매장량에서 2%의 비중을 차지하고 있다.

- 호주의 에너지 정책

호주는 최근 탄소세를 폐지하고 2050년까지 탄소배출 예상량 기준 80%까지 감축하는 기존 정책을 유지하는 “직접행동계획”을 대안으로 제시하였으나 구체적인 실행계획은 아직 내놓지 못하고 있다. 또한 광물자원지대세를 폐지하여 자원가격의 급격한 하락에 따른 기업 과세부담 경감 및 해외자본의 호주 내 투자 리스크를 개선하는 효과를 기대하고 있다. 재생가능에너지 사업 지원도 축소하고 있는데 이는 적자재정을 해소하기 위한 예산 삭감방안으로써 시행하고 있다. 더욱이 호주 정뷰의 규제를 간소화하고 있다. 자원개발 승인사업을 포함한 정부 심사, 승인 절차를 간소화 하고 연방, 주정부간 중복 규제 개선 및 지나친 환경규제 절차 등을 간소화하기 위한 방안으로 통합규제개혁법 제정을 추진중이며 이를 통해 매년 제도개선 요소를 발굴하여 개선안을 마련 및 시행해 나갈 예정이다.

이처럼 미국과 캐나다, 호주의 일반적인 사항을 조사 및 분석하여 보았다. 하지만 각국에 진출하기 위해서는 국가 특성에 맞는 맞춤 전략이 필요하다. 그래서 다음과 같이 3개 국가의 일반적인 진출 전략과 세부적인 진출 전략으로 나누어 분석하였다.

3) 미국, 캐나다, 호주의 일반적인 진출전략

- 정부의 지원정책 방향

에너지 시장은 정부 정책에 따라 시장의 향방이 좌우되는 양상을 보이므로 시장진출에 있어서 정부의 정책을 예의주시해야 한다. 또한 이러한 정책은 사업의 계약과도 영향이 크기 때문에 국내 건설업체가 이들 국가에 진출 시 현재 대상 국가의 건설 및 에너지 정책을 면밀히 살펴보고 들어가야 한다. 미국의 FTA나 캐나다의 오일 가스 정책, 호주의 신재생에너지 정책과 같이 대상 국가에서 집중적으로 투자되고 있는 공종을 조사하여 국내 기업들이 관련 역량을 향상시켜 이들 시장에 진출해야 한다.

- 전략적 제휴

미국과 캐나다, 호주의 에너지 시장은 대부분 글로벌 기업들이 선점하고 있다. 이러한 시장 상황에서 우리나라 기업이 진출하기는 쉽지 않은 상황이다. 따라서 현지의

사업을 수행하고 있는 기업과 전략적인 제휴를 통하여 사업을 진출하는 것이 국내 기업들의 관련 사업 신뢰성 향상과 해당국가에서의 사업진출 및 확장에 시발점이 될 수 있을 것이다. 이를 위해서 조직 내부의 현지화 역량을 근간으로 현지 사업 추진을 위한 파트너로서 우수 협력 기업들을 조사 및 발굴하고 지속적 관리를 통해 내부 자원화 할 수 있는 시스템 구축이 필요하다.

- 해외 에너지 건설 시장의 현지화

미국과 캐나다, 호주는 에너지 선진국이기 때문에 우리 기업이 진출하기 위해서는 현지화 전략을 4가지 관점에서 시도해야 한다. 첫 번째는 기업 경영 조직의 기능 변화이다. 현지 기반의 기업경영전략의 실행을 위해서 건설기업의 조직기능과 현지 자원을 최대한 활용 및 사용하는 방향으로 바뀌어야 한다. 현지의 건설업체는 의사결정이 가능하고 프로젝트 수행에 필요한 모든 기능들을 담당할 수 있어야 한다. 두 번째로는 현지의 에너지 수행역량의 확보이다. 해외사업에서 요구되는 기능적 가치 사슬의 영업, 견적, 설계 등 공사 수행을 위해 필요한 자원을 최대한 확보해야 한다. 세 번째는 각 지역 거점의 확보이다. 소규모 지사보다는 진출 시장별 사업환경을 반영한 차별화된 지역 거점을 구축함으로써 이를 확대하게 될 수 있다. 네 번째는 해당 진출국이 선진국인 만큼 사회공헌 활동이 뒷받침 되어야 한다. 현지 사회의 압력이나 자선적인 동기에 근간하여 일회성이 아닌 중장기적으로 지속 가능한 사회공헌 활동은 기업의 이미지뿐만 아니라 신뢰성까지 향상시켜 해당국가에서 장기적으로 사업을 수행해 나갈 수 있는 발판이 될 것이다.

4) 미국, 캐나다, 호주의 맞춤식 진출 전략

1) 미국의 진출전략

- 셰일가스 개발 사업 참여를 통한 진출전략 수립

최근 셰일가스 열풍이 미국을 뒤흔들고 있다. 이글포드(텍사스), 마셀러스(펜실베니아), 바켄(노스다코다), 헤인즈빌(루이지애나), 안트림(미시간) 등 셰일가스가 나오는 곳에는 미국 전역에서 사람들이 몰려들면서 불과 3~4년 사이에 새로운 도시들이 탄

생하고 있다. 버락 오바마 미국 대통령이 2012년 1월 신년연설에서 “우리는 100년 동안 사용할 천연가스가 있다”며 호언했던 것이 틀리지 않았음이 증명되고 있다. 미국 컨설팅회사 맥킨지는 셰일가스에 힘입어 미국 국내총생산(GDP)이 2020년까지 연평균 2~4%(약 3800억~6900억 달러) 늘어날 것이라고 전망했다. 미국은 중국 다음으로 세계에서 셰일가스 매장량이 가장 많은 나라이며, 세계 최고의 셰일가스 채굴 관련 기술력을 보유한 나라이다. 따라서 풍부한 매장량과 우수한 기술력을 바탕으로 향후 안정적으로 셰일가스를 공급할 수 있을 것으로 예상된다.

북미지역 셰일가스 개발 업체들에 의하면, 한국 업체들은 생산 관련 분야보다는 파이프, 집하 및 폐수처리 관련 부문에 진출하는 것이 상대적으로 유리할 것이라고 하였다. 셰일가스 개발 업체 중 중 대다수가 셰일가스 시추 장비를 직접 수입하지 않고, 벤더들이 수입하는 제품을 리스하여 사용한다고 한다. 따라서 이들과 협력 관계에 있는 EPC사를 통해 파이프, 집하 및 폐수처리 관련 부문에 진출을 모색할 수 있다. 또한 최근 미국의 셰일가스 관련 인프라에 대한 수요 증가로 국내 철강, 기계, 조선, 자동차 산업의 시장이 확대되고 있으며, 기술적으로 비교우위에 있는 국내 채굴기계 산업의 수출 증대를 기대해 볼 수도 있을 것이다. 이를 통해 미국의 셰일가스 시장의 정보 획득과 인적 네트워크 기반의 밑거름이 되고, 이는 향후 미국의 셰일가스 시장에 우리나라 기업이 진출하는데 있어 큰 기반이 될 것이다.

- 해외 현지 기업들과의 협력 투자 전략

셰일가스 개발이 한국의 발전산업 등 여러 분야에 긍정적인 영향을 주기 위해서는 전제 조건이 필요한데, 운송비용 및 액화처리비용을 포함한 국내 도입가격이 하락해야 한다는 것이다. 현지 채굴가격이 저렴해도 이외의 비용이 높으면 원자력, 석탄 등 발전경제성이 높은 원료들을 대체하기에 한계가 있다는 것이다.[Global Market Report_북미 셰일가스 개발 동향 및 한국기업 진출전략] 따라서 가스전에 대한 직접 투자를 통해 경제성을 제고해야 할 필요가 있다. 한국 기업들이 독자적으로 셰일가스를 개발하는 데는 기술력, 시장 경쟁력 등 많은 부분에서 어려움이 있기 때문에 해외 현지 기업들과 협력하여 진출하거나 현지기업에 대한 투자 및 지분참여 등의 방법을 통해 주요 관련 기술을 습득하는 것이 바람직할 것이다. 또한 미국 시장에 이미 진출해 있는 SH 에너지화학, 한국가스공사의 기업들을 통해 셰일가스 시장에 대한 지속적인 모니터링, 개발기업들과의 네트워크 구축을 통하여 미국 내 셰일가스 프로젝트

의 정보 확보에 힘써야 할 것이다.

이를 위해서는 개별기업의 노력보다는 정부 차원에서의 적극적인 지원이 요구된다. 정부의 셰일가스 관련 산업, 기업의 시장진출 및 기술개발 등에 대한 지원, 민간과 공기업의 컨소시엄 구성을 통한 셰일가스 개발, LNG 플랜트 건설, 국내 도입 단계까지 미국 정부와의 유기적인 협력 등 전략적인 접근이 필요하다.

- 기업차원에서 전략

정부차원의 진출 전략 이외에 기업차원에서의 진출 전략 또한 필요하다. 셰일가스 리스크에 대한 대비와 간련 산업의 진출 기회를 모색해야한다. 또한 나프타를 주원료로 사용하는 한국 석유화학 기업들은 셰일가스생산 확대에 따른 위험요소를 철저히 파악하고, 적절한 대응방안을 미리 마련하여 피해를 최소화해야 할 것이다. 또한 천연가스 화학기술 개발 및 연관 산업의 다양한 사업기회를 적극 활용하여 새롭게 형성되는 시장으로의 진출을 모색해야 한다.

기업차원에서 미국 셰일가스 시장에 진출하는 데 있어 대형업체와 협력할 경우 사업파트너가 재정적, 기술적으로 검증되었다는 장점이 있으나 이들 업체와 비교하여 상대적으로 경쟁력이 낮은 우리나라 기업의 경우 자원개발 프로젝트에 있어 실질적인 역할을 하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 독자적 활동이 어렵기 때문에 당초 목적인 셰일가스 개발 노하우 습득을 통한 능력 개발 및 파이낸싱 강화 등을 하지 못한 채 해당 프로젝트에 자원만 투입하고 끝나는 경우가 발생할 수 있으니 대응방안을 수립하고 전략적으로 협력관계를 구축해야 할 것이다.

- 미국 시장 진출(셰일가스) 검토 시 ARRA 원산지 표시법 등 규제 내용에 관한 검토의견

<ARRA : American Recovery & Reinvestment Act of 2009>

- 개요

미국의 경기부양을 위해 총 7,870억 달러 투자

350만개의 일자리 창출, 중산층 지원 및 미래성장잠재력 확충 등이 주요 목표

ARRA 시행규칙 주요내용

① “원산지 판정 기준” 완화
- 현재 시행중인 "Buy American Act of 1933“(BAA) 조항에 비해, 미국산으로 인정받게 하는 기준인 ”원산지 규정(Country of Origin)"을 다소 완화시켜 적용키로 함

② “공산품” 중 기자재는 예외 인정
- “공산품"의 개념을 ”인프라 건설공정에 투입되는 자재(materials used in construction)" 만으로 좁게 재해석하여 규정

③ “철강재”도, “부품”에는 완화 적용
- "완제품으로서의 건축자재에 포함되는 부품(components in manufactured construction material)" 수준에는 엄격한 ‘미국 내’ 철강가공공정 요건을 적용되지 않아도 되는 것으로 완화

④ 기타 완화 시도
- 공공사업에 외국산을 사용해도 좋다는 일부 예외를 인정
- 건축용 원자재의 경우 미국산이 6% 이상 원가를 상승시킬 경우에는 외국산을 채택, 구매해도 좋다고 명시

⑤ 연방 사업시행 주체의 “행정 투명성”을 제고
- 교통운송 프로젝트의 경우 ”미국산“으로 인정받으려면, 구매 대상 완제품은 물론이고 부품까지도 미국 내에서 제조된 것이어야 함

평가

특히 입법 과정에서 공공사업에 투입될 “공산품”마저 미국산만을 채택토록 수정된데 대하여 크게 우려하였으나, 이를 “건축(설) 공정에 투입되는 공산품” 만으로 축소 해석한데 대해 크게 환영하는 분위기.

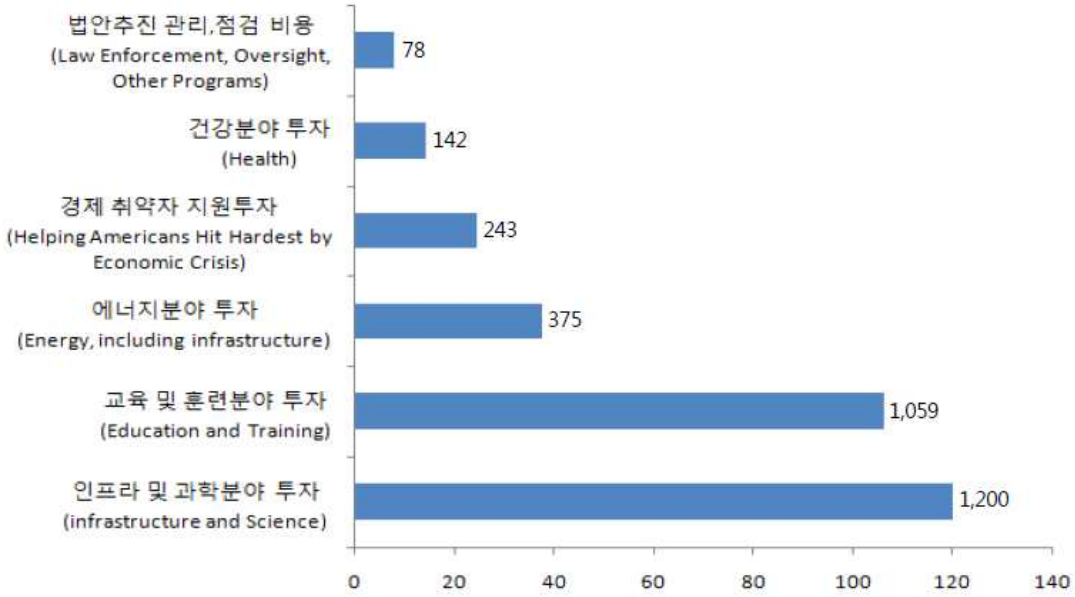


그림 68. 'ARRA of 2009'에서 부처 및 기관을 통해 지출되는 항목 및 규모(단위:억달러)(United States congress, 2009)

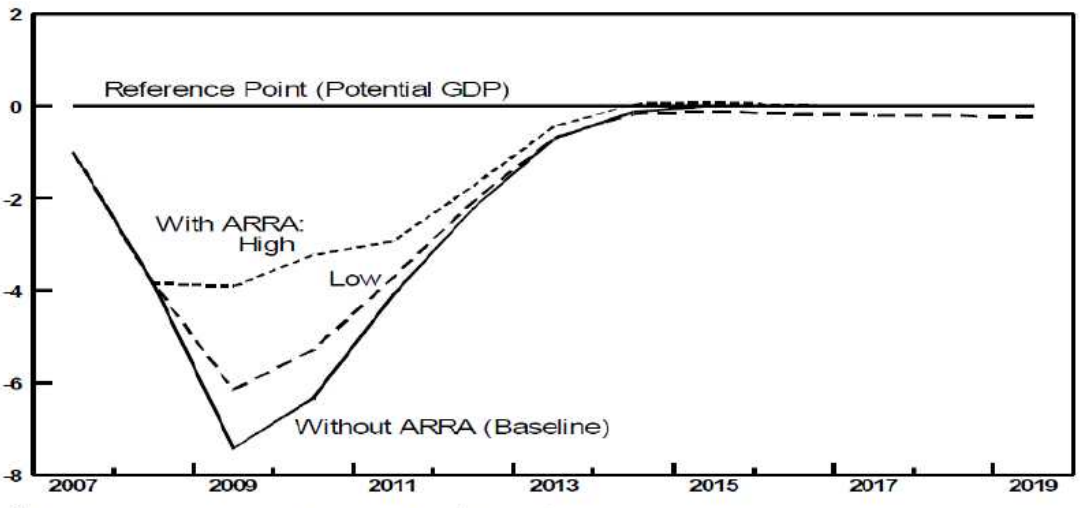


그림 69. 'ARRA of 2009' 실시로 인한 GDP 증가 효과 (Congressional Budget Office, 2009)

<검토의견>

EPC 업체 진출

1) 미국의 셰일가스 시장에 진출하고자 하는 EPC 업체의 경우 ARRA 법안이 영향을 미치게 될 소지는 존재한다. 미국의 셰일가스 관련 인프라에 대한 수요가 증가함에 따라 국내 철강, 기계, 조선, 자동차 산업의 시장이 확대되고 있다. 우리나라 기업들은 해당 분야에 대해 기술적으로 경쟁력이 있기 때문에 국내 채굴기계 산업의 수출

증대 효과를 가져 올 수 있다. 뿐만 아니라 아직은 국내 기업들의 셰일 가스 개발 기술이 미흡하므로 직접적으로 에너지 사업에 뛰어들기보다는 파이프, 집하 및 폐수처리 관련 부문에 진출하는 것이 상대적으로 유리하다고 북미지역 셰일가스 개발 업체들은 말한다. 미국의 2009년 경기부양법안인 ARRA에 따르면 도로, 교량 등 인프라 건설 공사에는 미국산 철강 제품 외에는 사용하지 못하도록 명시가 되어있다.

한국 기업들의 가스 · 화학공장 건설에 필요한 기자재, 중장비, 건설자재 대부분은 한국 제품이다. 때문에 ARRA 법안이 우리나라 기업들의 미국 진출에 있어 자재비용의 증가를 가져올 수 있다. 따라서 미국 내 현지 지사를 설립하여 사업을 추진할 필요가 있다. 또한 ARRA의 조항들을 자세히 살펴보면 영어로 표기되어 있는데 의미 해석이 애매한 단어 선택들이 존재하기 때문에 해당 조항이 어떤 의미인지에 대한 정확한 파악이 필수적이다. GSA와 진출기업 간 원활한 의사소통을 위해 정부조달 전문 컨설팅업체를 고용하는 것이 추후 법적인 문제에 휘말리지 않고 안정적으로 사업을 수행하는데 도움이 될 것이다.

- 해외사업모델 에너지 기업의 진출

현재 우리나라 에너지 기업의 셰일가스 개발 기술은 미흡한 수준이며 따라서 북미지역으로의 생산 관련 분야의 진출은 어려울 것으로 평가된다. 셰일가스 개발 분야로의 진출에 앞서 현지 기업이 수행하는 프로젝트에 대한 투자 및 지분참여의 방법을 통해 미국 시장 진입이 필수적이다. 이를 통해 인적 및 정보 네트워크 구축을 이룰 수 있으며 주요 관련 기술을 습득하는 등 장기적인 관점에서 우리나라 기업들이 독자적으로 미국 에너지 시장에서 사업을 수행하기 위한 노하우를 축적할 수 있을 것이다. 이와 더불어 미국의 에너지 시장에 대한 파악과 노동·자재 시장 등에 대한 데이터를 수집한다면 추후 사업 수행 시 현지 자원을 활용하여 사업 수행을 할 수 있을 것으로 판단되며 따라서 에너지 기업의 진출은 현재 상황에서 큰 영향은 없을 것으로 판단된다.

2) 캐나다의 진출전략

캐나다는 이미 많은 자원개발이 이루어지고 있는 나라이다. 또한 캐나다 내 건설기업들뿐만 아니라 유럽과 미국의 선진기업들도 자원개발을 위한 진출을 활발하게 진행하고 있다. 따라서 캐나다 시장을 공략하기 위해서는 중장기적 진출 전략으로써 구체

적으로 논의 되어야 한다.

- 중장기 진출 전략

국내 기업이 캐나다 자원개발을 위하여 진출하기 위한 전략은 한국과 캐나다의 FTA 체결로 우리나라 기업들의 가격 경쟁력을 강화하는 것이다. 이는 캐나다 현지 기업들과 실질적으로 동등한 경쟁력을 제고하게 하며 우리 기업들이 가지고 있는 핵심역량 사업들이 북미 시장으로 진출하게 되는 기회가 될 것이다. 이를 위하여 기반 구축을 통한 전략과 수출 마케팅 확대를 통한 전략을 구분하여 제시한다.

기반 구축 전략으로는 먼저 현지 공급체인인 물류를 확보하는 것이다. 캐나다 현지에서 자원개발 사업을 하기 위해서는 무엇보다 자재나 재료의 원활한 공급이라고 할 수 있다. 이처럼 국내 사업과 같이 물류에 있어 안정성이 확보된다면 실질적으로 북미의 현지 업체들과 동등하게 경쟁할 수 있는 능력을 가질 수 있게 될 것이다. 두 번째로는 긴급 AS역량을 보유하는 것이다. 제조 라인의 공급을 위해서 품질불량이 발생할 시에 현지에 긴급 AS대응을 한다면 프로젝트의 공기의 측면에서나 공사수행에 있어서나 핵심 요소가 될 것이다. 세 번째로는 현지 네트워크의 발굴과 관리의 측면이다. 캐나다는 우리나라에게도 친숙하고 잘 알려져 있지만 국내 기업이 진출하는 만큼 인력도 대부분 국내 인원으로 구성될 것이다. 이는 현지 사정과 문화, 특성 등을 잘 모르기 때문에 잘 알지 못하는 리스크로 인하여 문제가 발생할 수 있으므로 현지 인력과 건설업체의 네트워크를 통하여 경험을 공유하고 조언을 받으며 우리 기업의 현지 역량을 기르는 것이 중요하다고 생각된다. 마지막으로는 현장 정보를 광범위하게 입수하고 분석하여 현장에서 발생할 수 있는 리스크를 최대한으로 줄이는 것이 중요하다. 프로젝트를 발주한 발주자 중심의 거시적인 일반정보 및 분야별 필드정보를 획득하고 이를 통하여 초기 시장진입에 있어 리스크를 최소화하는 맞춤형 정보 가공이 필요할 것이다.

수출 마케팅 확대 전략으로는 먼저 분야별 타켓을 마케팅하는 것이 중요하다. 북미의 현지 업체들의 품질 경쟁력과 중국 등 아시아 대형 업체들의 가격 경쟁력과의 비교열위를 상쇄할 수 있는 유망공종과 자원을 타켓으로 하고 이를 기반으로 하여 국내 기업이 진출하는 것에 있어서 캐나다 사업자에게 국내 업체의 좋은 점으로 부각될 수 있다. 둘째는 캐나다로의 첫 에너지 수출을 확대하는 것이다. 아직 국내에서 에너지 분야로 캐나다에 진출한 사례가 드물고 경험이 부족하여 수출기회를 확보하지 못하고

있다. 따라서 에너지 및 자원개발을 하기 위해서 대내, 외 환경비용 문제에 정부가 세제 및 법령 인센티브를 도입하여 셰일가스나 오일샌드 개발 인프라에 중점적으로 투자하고 채굴 및 가공 플랜트 등의 건설관련 프로젝트에는 국내 기업의 참여 노력이 필요할 것이다. 셋째로는 캐나다의 전력수요 증가와 기존설비의 노후화에 따라 관련 설비를 신설하고 교체 추진하는 사업에 적극 참여해야 할 것이며 실제로 캐나다의 온타리오와 퀘백과 더 나아가 미국의 뉴욕 등에서 전력 송, 배전망 확충 사업이 활발하게 일어나고 있다. 넷째로는 캐나다 현지와 합작투자 및 기술협력을 강화하는 것이다. 자본 및 기술 경쟁력을 보유한 캐나다 기업과의 투자협력을 통하여 프로젝트의 공동진출을 추진해야 할 것이며 이는 앞으로 캐나다를 진출하는 데 있어 좋은 경험이 될 것이다. 마지막으로 캐나다의 산업 및 통상정책을 활용하는 것이다. 캐나다의 자동차, 항공 등 전략산업 육성정책을 활용하여 현지 시장에 진출할 수 있는 기회가 넓어졌으며 캐나다의 교역대상국 다변화 정책을 활용하여 자원 및 에너지 뿐만 아니라 우주항공, 농축산 등 캐나다 산업계의 협력 수요를 활용할 수 있다. 이는 캐나다 주요 기업과의 Global Supply Chain 전략을 파악하고 파트너십을 추진하는 계기가 될 수 있을 것이다.

3) 호주의 진출전략

호주는 세계적 수준의 천연가스 보유국으로 그 매장량이 아태지역에서 최대 수준인 약 100TCF(Trillion Cubic Feet)로 세계 총 매장량의 2%를 차지하고 있으며, 현 생산량 기준 시 약 100년 이상 공급이 가능한 양을 보유하고 있으며, 향후 탐사를 통해 추가 발굴 가능한 잠재보유량도 50~170TCF 정도 존재한다.

호주가 국제 자원시장에 주목을 받는 이유는 풍부한 자원 매장량 때문이기도 하지만 한편으로는 다른 자원 부국에 비해 정치, 경제적인 안정성과 투명성이 보장되며 탄탄한 경제 하부 구조를 보유하고 있는 점, 자원개발을 위한 높은 기술력을 지니고 있는 점 또한 중요한 요인으로 작용한다.

최근 베네수엘라의 석유산업 국유화 사례에서도 볼 수 있듯이 자원의 안정적 확보를 위한 정치·경제적 안정성과 투명성은 매우 중요한 요인이 되고 있으며, 건실한 경제 하부구조는 자원개발에 따른 생산비용 절감을 가능하게 한다.

컨설팅 기업인 Behre Dolbear & Company, Inc.가 실시한 광업부문 투자의 종합

적 안전도 조사에 따르면 호주는 2005년부터 3년 연속 가장 안전한 광업 투자 대상국으로 선정될 정도로 투자 안정성 측면에서 비교우위를 지니고 있다.

또한 호주는 광활한 국토에 자원 매장량은 크다는 장점을 가지고 있으나 2,000만 명의 적은 인구와 고령화 사회의 진입 단계에 있기 때문에 자국 에너지 및 광물 자원 개발을 단독으로 수행하기에는 부족한 실정이다. 때문에 외국 자본 및 외국 기업들의 적극적인 참여를 유도하기 위해서 호주 정부 자체적으로 적극적으로 투자유치정책을 들 수 있다.

그러나 호주에 진출한 우리나라 기업들의 실적을 살펴보면 승인기준과 투자기준을 비교할 경우 투자가 승인되었더라도 실제 집행되는 비중은 매우 낮은 것으로 파악되며, 이는 한국 기업들이 호주로 진출할 때 시행착오를 겪고 있으며, 진입장벽이 다소 높은 것으로 해석할 수 있다. 그렇기 때문에 우리나라 기업이 호주에 진출하기 위해서는 호주의 국가적 특성을 반영한 진출전략이 필수적이다.

먼저 호주 자원개발 진출을 확대하기 위해서는 관련 법규에 주의하여야 한다. 현지 자원 관련법을 준수해야 하는 것은 물론이며 일정 규모 이상의 투자는 외국인투자심의위원회(FIRB)의 사전 심사를 받기 때문이다. 호주 가스 시장에 진출하기 전 이와 관련된 계약 및 법 규정에 관한 세부적인 분석은 필수적이다.

양적 확장에 치우치기 보다는 철저한 사전 분석을 통해 수익성 높은 호주 유망 프로젝트에 대한 투자비중을 늘려야 한다. 그에 대한 방안으로 먼저 투자규모를 대형화 전략을 고려해 볼 수 있다. 중국의 경우 국부펀드의 탄탄한 자금력을 바탕으로 호주에서 성장이 유망한 광산 및 에너지 분야에 주로 투자를 하고 있다. 한국도 자금 동원 능력이 상대적으로 탄탄한 정부 또는 대기업 주도의 대규모 펀드 형성을 통해 호주 에너지 사업에 투자를 모색하는 것이 향후 진출하는데 있어 필수적이라고 할 수 있다. 이와 더불어 최근 국제 자원가격 하락에 따른 호주 성장 자원기업들의 주가가 하락세를 보이고 있는데 이는 우리나라 기업이 호주의 에너지 관련 우량 중소형 기업의 지분을 인수할 수 있는 기회로 작용할 수도 있으므로 시장의 동향을 잘 살펴야 한다.

다음으로는 투자형태의 다각화 전략을 고려해볼 수 있다. 우리 기업들은 주로 호주 상장기업의 개별 프로젝트에 투자하는 방식으로 진출하고 있으나, 단순히 지분투자만으로는 개발 노하우를 습득하는 것이 어렵다. 중국의 경우 상장기업 지분을 직접 인수하고 경영권에 참여하여 안정적 수익을 확보하면서 대형 프로젝트를 운영하고 있는데, 우리나라 또한 지분투자를 넘어서 직접 사업을 추진하여 프로젝트 운영 및 개발

노하우 축적에 힘쓰는 것이 장기적인 관점에서의 진출 전략이라고 할 수 있을 것이다.

지난 2013년 3월 삼성물산은 약 55억 달러 규모의 Western Austrailia주 Roy Hill 철광석 프로젝트를 수주하여 우리의 광산개발 기술력을 인정받은 바 있다. 또한 2012년 6월 대우인터내셔널은 호주 Narrabi 지역에서 유연탄을 대량생산, 장기계약을 통해 안정적인 자원 확보를 가능하게 하였다. 2012년 한국가스공사는 호주 북서부 해역 Prelude 가스전 LNG 도입 계약을 통해 국내기업이 부유식 LNG 생산저장 하역설비 수출을 달성한 바 있다. 이처럼 호주에 먼저 진출한 에너지 관련 기업들을 중심으로 인적 네트워크 및 정보 시스템을 구축하여야 한다. 구축된 네트워크를 바탕으로 면밀한 수익성 분석을 통해 향후 지속적인 실적 도출이 가능한 프로젝트에 투자 역량을 집중하여 양적 성장 뿐 아니라 질적 성장을 도모해야 한다. 또한 에너지 산업의 특성상 고정비용이 높기 때문에 생산량 조절에 어려움이 있을 수 있으며 가격 변화에 따라 수익률 변동의 폭이 크다. 따라서 운영 노하우를 충분히 습득하여 위기 상황에 대한 대안을 마련해 놓아야 한다.

마지막으로 자원개발 리스크를 줄일 수 있는 양질의 정보 획득이 장기적인 관점에서 안정적으로 사업에 참여하기 위한 중요한 요소로 작용하기 때문에 경쟁국에 앞서 정확한 개발 정보를 입수하기 위해 양국 간 민관 공동 협력 체계를 공고히 하고 면밀한 연구 및 분석에 노력을 기울여야 한다. 한-호주 자원 협력위원회의 정례적 개최에 이어 최근 New South Wales주, Queensland주, Western Australia주 등 주정부와도 에너지, 자원협력 포럼을 추진하는 등 상호교류가 증가하며 긍정적인 환경이 조성되고 있다. 이를 시작으로 협력 체계의 관계와 범위 증대를 위해 노력하여야 할 것이다.

5. 해외 선진社 시장진입전략 분석

(1) 해외 선진社 LNG 프로젝트 진출전략 분석

Ⅰ. Chiyoda

- EPC

Chiyoda는 매시대의 최신 수행 기술 및 코드 표준을 도입하여 매뉴얼화 및 표준화를 추진함과 동시에 수행에 필요한 기술의 도입과 자주 개발을 함으로써 효율적이고 안정적인 설계를 목표로 했다. 실제로 1970년대부터 프로세스 시뮬레이션의 중요성을 인식하고 다양한 시뮬레이터 툴을 자체 개발하여 정확한 기본 설계를 실시함으로써 고객으로부터 높은 평가를 받아 왔다. 그 정신은 면면히 이어져 설계 단계에서 유용한 툴을 적극적으로 도입하여 사용자에게 도움을 준다.

현재는 그 시뮬레이터 도구를 유기적으로 통합한 시스템을 활용하여 기존 설명서 및 설계 방법에 따라 설계를 진행하는 Design by Rule 방식을 활용하고 있다. 중요한 부분은 시뮬레이션 분석 기술을 활용한 맞춤형 개별 분석 설계하는 Design by Analysis를 조합하여 대형화 및 복잡화 된 플랜트의 설계를 효율적이고 정확하게 진행하고 있다.

Chiyoda에서는 엔지니어링을 추진함에 있어 각 설계 단계에서 만들어진 정보를 유기적으로 공유하는 것을 중요하게 생각한다. 그래서 최신 IT 기술을 통해 데이터웨어하우스를 중심에 두고 설계 정보를 상류에서 하류로, 본사에서 세계 디자인 거점 벤더 고객현장으로 효율적으로 진행되는 시스템을 구축하여 낭비가 없고, 안정적인 설계를 실시하고 있다.

또한 설계 품질의 유지 및 향상을 위해 설계 경험에서 얻은 다양한 지식을 언제든지 얻을 수 있도록 데이터베이스화한 LLDB (Lessons Learned Data Base)와 Reliability Program이라는 이름의 설계 검증 시스템을 설계 진행과정에서 함께 가동시키고 있다. 더욱이 PLE의 각 단계에 필요한 각종 수행기술의 개량 및 개발에 항상 노력하고 있다. 예를 들어, 어떤 공장에 필요한 유틸리티 설비에 관해서는 에너지와 물을 주체로 한 다양한 유틸리티 기술의 향상을 도모하면서, 전체 균형이 잡힌 통합 유틸리티 최적화 기술을 고객에게 제공하고 있다.



그림 70. 공종별 매출액 및 점유율 (Chiyoda annual report, 2010~2015)

(1) LNG Sector

Chiyoda는 1970 년대에 중동 최초의 LNG플랜트를 건설한 이후 현재까지 중동과 인도네시아를 중심으로 수많은 LNG플랜트를 건설해왔다. 그 사이에 액화 기술의 발전과 플랜트의 대형화, 그에 따른 플랜트 신뢰성 향상의 요구 증가 등으로 재빨리 대응 설계 기술, 건설 기술을 연마하여 왔다. 또한 천연 가스 생산 지역에서의 LNG플랜트의 건설뿐만 아니라 LNG 소비지에서의 LNG 수입 설비에 대해서도 최대 소비국인 일본을 중심으로 건설 실적을 쌓아, 현재는 일본의 LNG 수입 시설의 절반을 차지하게 되었다. 또한 풍부한 경험과 갈고 닦은 기술로 생산 업체에서 소비 능가 LNG 체인 중 핵심 각종 설비를 높은 신뢰성과 함께 제공한다.

주로 bidding activity에 초점을 맞추어 시장 속에서 우위에 서도록 했으며, 또한 호주의 LNG플랜트의 엔지니어링, 조달, 건설에 대한 계약을 체결하였고, 말레이시아의 Polycrystalline silicon EPC작업의 제 2단계에 대한 계약을 체결하였다. 동시에 우리는 파푸아뉴기니의 LNG플랜트를 포함한 지속적인 건설을 하고 있다.
또한 현재 호주의 프로젝트 중 3개의 FEED 작업을 수행하고 있으며, 그 중 하나는 EPC작업으로 선정되었다. 또한, 말레이시아의 LNG플랜트에서 Saipem S.p.A.와 조인하여 Basic design 작업이 선정되었다.

반면, 우리 기업은 카타르의 gas preparation을 위한 EPC작업을 마쳤으며, 카타르에 있는 자회사는 새로운 Long-term service contract를 수주하였으며, 기존에 Chiyoda 그룹이 건설한 gas processing 플랜트의 보수 및 보강 작업을 하고 있으며, 헬륨추출 시설의 엔지니어링, 조달, 건설관리 서비스를 수행하고 있다.

일본에서는 LNG receiving터미널건설의 새로운 계약을 수주하였다. 우리는 또한 여러 개의 LNG receiving터미널 건설을 포함한 backlog project를 지속적으로 진행하고 있다.

오스트리아의 Northern Territory의 Darwin에 LNG플랜트 및 운송, 저장, 기타 시설과 Western Austrailia에 위치한 Ichthys gas condensate field에서 생산한 천연가스 액화시설을 수주하였으며, 이 EPC계약은 JGC, KBR과의 Joint Venture로 수주하였다. 더욱이 Chiyoda는 Saipem과의 통합적 Joint venture를 통해 onshore LNG와 Upstream프로젝트를 수행할 예정이다.

과거 플랜트 사업을 통해 축적된 뛰어난 기술 및 관리역량을 통해 2012년 12월 모잠비크의 Onshore LNG플랜트와 2013년 1월 인도네시아의 FLNG 설비의 FEED 계

약을 체결하였으며, 현재 다른 FLNG 프로젝트도 수주할 계획을 가지고 있다. 또한 EPC업체로써 파푸뉴기니아와 호주의 LNG 프로젝트를 수행하고 있으며, 카타르나 일본 자국시장내에서 LNG 터미널, 플랜트 등의 개선 및 확장사업도 수행하고 있다.

현재 진행되고 있는 사업은 파푸아뉴기니와 호주의 LNG플랜트, 사우디아라비아와 카타르, 베네수엘라의 정제사업, 일본의 LNG receiving 터미널이 있다. 아메리카 대륙에서는 미국의 거대한 LNG시설의 EPC계약을 수주하였으며, 파푸아뉴기니의 LNG 플랜트는 사업이 종료되었고, 호주의 새로운 LNG프로젝트가 진행될 예정이다. 또한, 인도네시아의 부유 LNG시설과 모잠비크의 LNG플랜트에 대한 FEED작업은 시행되고 있다. 카타르에 있는 자회사는 Chiyoda가 지은 LNG 및 가스 플랜트의 유지 및 Modification에 대한 EPCm을 수행하고 있다. 일본에서는 Naoetsu LNG Receiving 터미널이 완공되었으며 여러 개의 Receiving 터미널이 동시에 확장공사가 이루어지고 있다.

그룹은 LNG플랜트 사업이 진행 중인 호주와 미국, 러시아, 그리고 FEED 사업이 진행되고 있는 인도네시아, 모잠비크, 캐나다, 미국 모든 사업들이 원만하게 진행 중이다. 카타르 자회사는 LNG와 가스 플랜트의 유지와 조절을 위한 엔지니어링, 구매, 건설 경영(EPCm)을 수행하고 있다. 일본에서는 두 개의 LNG receiving terminal 프로젝트가 완료되었고, 하나는 마무리 단계에 있다. 존재하는 플랜트를 위한 Modification 연구와 건설 사업은 마무리되어가고 있다. Chiyoda는 LNG플랜트와 다른 가스 사업과 연관된 분야의 핵심 사업을 그것이 onshore이건, offshore이건 그리고 해외이건 국내이건 그리고 관습적이건 비관습적이건 상관없이 추진해나갈 것이다. Chiyoda그룹은 주로 EPC로 사업을 수주하였으며 그 외에 FEED단계로의 진출 또한 하고 있다. 그리고 해외 LNG 사업을 진출하기 위해 타 기업과의 Joint Venture를 통해 진출을 모색한다. 그리고 EPCm을 자회사에서 직접 수행함으로써 LNG 및 가스 플랜트의 유지 및 Modification의 효율성을 높이는 전략을 구사한다. 또한 onshore/offshore, 국내/해외 등 사업의 영역에 국한되지 않는 도전적인 사업들을 수행한다. 기존에 플랜트 사업에 대해 많은 경험을 바탕으로 기술력 및 관리역량을 바탕으로 다양한 국가에 LNG플랜트 및 운송, 저장, 기타시설물을 수주하였으며, JGC, KBR, Saipem과의 Joint venture를 통해 다양한 국가로 진출하고 있다. 다양한 건설 단계에서 진출하고 있으나, FEED단계 진출이 활발하며, 자회사 또한 최근 카타르의 Long-term Service Contract를 수주하며 활발한 진출을 하고 있다.

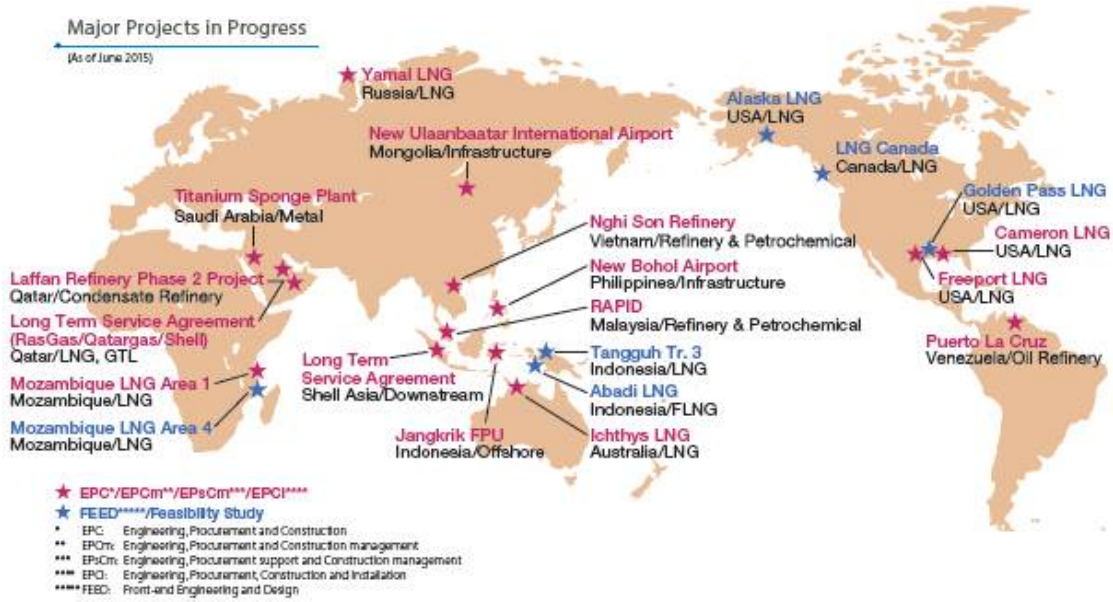


그림 71. 프로젝트 수행 현황 (Chiyoda annual report, 2010~2015)

(2) 전사적 차원의 진출전략

Chiyoda는 크게 사업을 Operation, Business Model, Business Field/Area로 사업을 분류하여 방향을 제시하고 있다. Chiyoda는 앞으로 10년을 바라보며 계약자로써 사업을 핵심 기준으로 하고 있으며 새로운 사업 분야와 주주들을 만족시키기 위한 다각화를 시행하고 있다. 앞으로 새롭게 진출하게 될 국가와 기술은 Chiyoda의 발전의 큰 원동력과 기여가 될 것이며 고용자들의 건강과 안전을 최우선으로 생각하는 기업문화를 정착 시킬 것이다. 사업다각화는 EPC, lump sum, 턴키 프로젝트와는 다른 프로젝트의 관리 능력을 향상시킬 것이며 다양한 사업상황과 계약스타일에 맞추어진 운영과 자원을 확립시켜나갈 것이다.

Chiyoda는 Chiyoda Global Headquarters(CGH), Chiyoda Regional Headquarters(CRH), Chiyoda Engineering Satellite(GES)의 3개의 운영거점이 있으며 각각 특정 목적에 맞게 운영되어 그룹 운영의 안정성을 더욱 높였으며 프로젝트의 수주 및 개발에 유기적으로 협력하여 프로젝트를 성공적으로 이끈다.

Chiyoda는 5가지의 성장전략과 5가지의 운영 방침이 있다. 성장전략에는 첫째는 핵심사업을 강화하는 것이다. LNG 프로젝트 사업의 기회를 최대한으로 확장하여 관련 프로젝트까지 커버할 수 있으며 일반적인 LNG 프로젝트가 아닌 FLNG, 심해 프로젝트 등 사업의 영역을 확장시켜 나갈 수 있다. 둘째는 새로운 사업 분야를 확장시

켜 새로운 사업 모델과 수익자원을 만드는 것이다. offshore로 사업확장과 신재생에너지로의 사업을 확장하여 더 많은 주력 사업 모델을 구축할 것이다. 셋째는 고객의 니즈를 적극적으로 반영할 수 있는 서비스를 제공하는 것이다. 이에 따라 전문 서비스 사업을 빠르게 구축하기 위해 사업영역의 처음부터 끝까지 해외거점 IOC(International Oil companies) 사무소와 적극 협력할 것이다. 넷째는 경제적으로 급성장하는 국가로의 사업을 확장하여 Chiyoda group의 성장을 도모하는 것이다. 중소규모의 지역프로젝트를 수행하며 차근차근 대상국가로의 사업확장을 통하여 EPC 프로젝트로의 전환을 할 것이다. 마지막으로 Chiyoda의 핵심사업과 강점인 분야에 관련된 투자를 성장동력으로써 회사의 안정적인 운영을 할 것이다.

운영방침으로는 먼저 수행역량과 경쟁력을 성장시키는 것이다. 경쟁업체와의 경쟁구도 속에서 경쟁력을 향상시키고 수행역량을 향상시켜 Chiyoda의 브랜드 가치와 이미지를 재고시킬 것이다. 둘째는 경영 인프라구조 데이터를 활성화하여 운영하는 것이다. ERP(Enterprise Resource Planning) 경영 데이터의 사용을 강화하여 효율적인 경영과 글로벌 플랫폼을 구성할 것이다. 셋째로는 유기적으로 연결된 영업기반과 글로벌 운영을 추진하는 것이다. 글로벌 자원의 사용을 위해서 글로벌 인적자원경영의 프레임워크를 구축할 것이다. 넷째로는 인적자원의 개발과 보장, 배치의 최적화 그리고 활기 넘치는 근무환경을 조성하는 것이다. 인적자원을 개발하고 유능한 프로젝트 매니저를 Chiyoda 그룹 내에서 공유할 것이다. 마지막으로 직원들의 건강을 우선시하는 문화를 정립하고 안전을 강화할 것이다. 직원의 안전과 건강을 우선시하는 문화를 적극 추진하고 리스크 운영 프레임워크를 통하여 외부 환경과 시간 요인에 따르는 변화에 대응할 수 있는 기업 운영을 통하여 내외적인 기업의 튼실한 운영이 되도록 할 것이다.

Ⅱ. Fluor

- EPC

현재 자원시장의 경쟁이 심화됨에 따라 Fluor는 Cost 관리를 강조하고 있으며, 자사의 큰 재정적 규모가 큰 경쟁력으로 작용하고 있다. Financial strength를 증진시키기 위해 안정적인 대차대조표를 강조하고 있다. 이를 통해 불확실한 현금 흐름 변동을 관리하기 위한 전략시행과 Pay dividends, repurchase stock, pursue opportunity를 가능하게 한다. 또한 Safety를 Core Value로 보고 기본적인 사업전략 중에서 상당히 중요시 여기고 있다. 안전한 현장환경을 유지하는 것이 기업의 성공요인 중 하나이며, 이를 통해 현장 리스크감소, 작업자의 능률 향상, 사업비 절감을 이룸과 동시에 고객과의 관계를 증진시키는 것에 중점을 두고 있다. 더욱이 고객과의 지속적이고 장기적 관계를 유지함으로써 고객들의 요구사항을 잘 이해할 수 있으며 이를 반영하여 완벽한 서비스를 제공할 수 있도록 하고 있다. 또한 시장(발전소, 석유 및 가스, 천연가스)의 변동에 대한 시장 다각화를 통해 유동적으로 대응하고 있다. 이는 특정 시장이 Downturn환경에 대응하는 효과적 전략으로 작용한다. 마지막으로 효과적 리스크 관리팀을 구성하고 있어 잠재적 리스크를 예측하고 Cost, Time을 확실하게 예측하고 있어 고객에게 만족스러운 성과를 제공하고 있다.

이러한 Fluor만의 특수한 전략을 통해 석유 및 가스분야에서 Fluor는 다른 Fluor Group과의 정보 공유 및 협업을 통해 Upstream부터 Downstream까지 전 범위 서비스를 제공하고 있다. Upstream단계에서는 캐나다, 아부다비, 이라크, 카타르의 수주를 통해 지속적인 수주 성장세를 보이고 있으며 특히, 2010년 캐나다의 오일샌드 프로젝트와 호주의 Satos LNG프로젝트 수주로 인해 $14.3 billion의 수주잔량은 21% 증가된 추세를 보이고, 새로운 수주로 총 $9.7 billion으로 전년도 대비 39%증가하는 추세를 보이고 있다. Downstream단계에서는 상품 정제와 관련된 세계적 Opportunity를 추구하고 있으며 국내 및 국외의 석유정제 시장에 초점을 맞추고 진출을 노리고 있는 상태이다.

설계 및 시공분야에서 다양한 크기의 프로젝트 수행과 안전, 장기간 경험을 통한 다각화와 품질, 기술, 비용효율화, 조달능력, 프로젝트 관리력, 지리적 범위와 고객의 요구를 만족시킴으로써 경쟁력을 확보하고 있다.

석유 및 가스시장의 높은 경쟁구도로 인해 Fluor는 세계 각국에 지사를 두고 자원을 공유하며 분산실행모델을 수행하고 있다. 이를 통해 세계적 네트워크의 높은 수렴

및 비용, 일정의 효율적 운영 결과를 가져온다. Power플랜트 분야에서 또한 청정에너지의 수요를 맞추기 위해 설계, 시공, 시운전 등 전 범위 서비스를 제공하고 있으며 2013년에는 $1.5 billion 가량의 새로운 수주를 하여 지속적인 수주를 유지하고 있다. 천연가스 시장에서의 낮은 가격과 풍부한 공급력은 Gas-fired power plant의 큰 스케일 수주 기회를 제공하였고 대표적으로 텍사스에 540-megawastt Plant를 건설한 바 있다.

원자력 분야로는 Dominion North anna에 3개의 핵 프로그램의 초기설계를 수행하였으며 향후 유럽의 새로운 프로젝트를 추구하고 있다. 현재는 사우디아라비아에 기반을 두고 향후 16개의 반응기를 짓기 위해 장기간 계획 중에 있다.

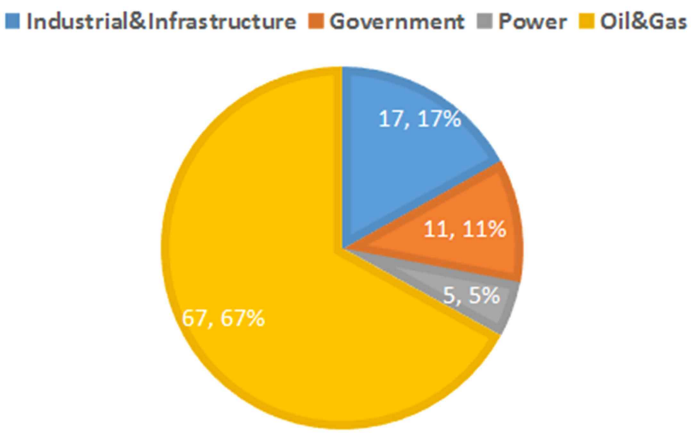


그림 72. 공종별 사업 점유율 (Fluor annual report, 2010~2015)

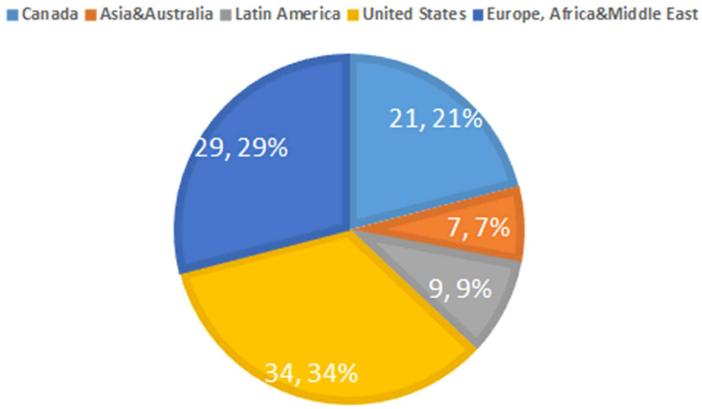


그림 73. 대륙별 사업 점유율 (Fluor annual report, 2010~2015)

(1) LNG sector

LNG분야에서는 JGC와의 Partnership으로 Kitimat LNG프로젝트의 EPC로의 수주를 통해 LNG시장에 진출하였다. 2013년 호주 Satos LNG를 수주하였으며, 2014년 캐나다에 LNG를 생산 및 수출하는 터미널을 Release하는 성과를 이루었다. 이를 기반으로 설계, 엔지니어링, 시공, 관리, 확장, 재건축 등 다양한 단계에서 진출하고 있다. Upstream에서는 생산, 처리, 운반 등 새로운 분야의 개발에 초점을 맞춰 사업을 진행하고 있다. 더 나아가 Fluor 내부 사업수행 솔루션을 기반으로 운영 시 투자수익을 증가 시킬 수 있는 전략을 보유하고 있다.

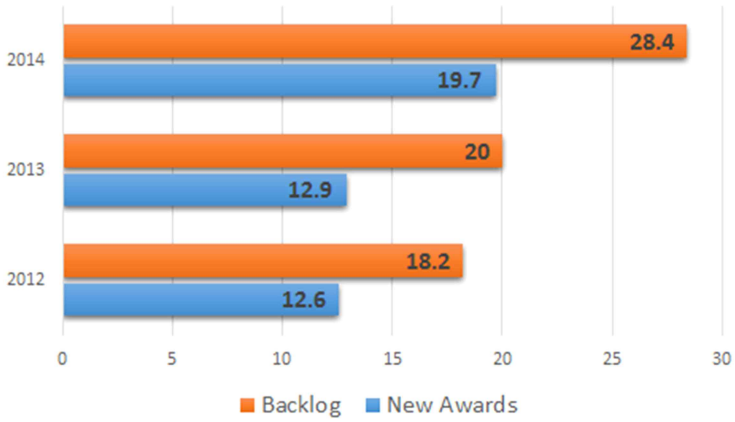


그림 74. 3년간 수주잔고&매출액 (단위:Billion $) (Fluor annual report, 2010~2015)

(2) 전사적 차원의 진출전략

1912년 설립된 Fluor는 EPC 기업으로 설립 초기에는 미국 시장 중심이었지만 1933년 바레인 사업을 통해 해외건설시장에 본격적으로 진출하기 시작하였다. 이후 1947년 사우디아라비아 아람코 설비시설, 1965년 쿠웨이트 정유시설, 2004년 벨기에 고속철도 프로젝트 등의 다양한 프로젝트를 수행하면서 글로벌 경쟁력을 갖추게 되었다. Fluor는 oil & gas, industrial & infrastructure, government, power, and global services 등 5개의 사업본부로 구성되어 있으며, 30개 국가에 60개의 지사를 운영하고 있다. 인력구성은 프로젝트에 따른 분산시행이 가능한 수준으로 전체 인원 중 39%와 28%가 각각 미국과 중동에 배정되어 있다(Fluor, 2003-2012). Fluor의 수주실적은 금융위기 직후 미국 공공 건설시장 위축으로 인해 2009년에 일시적으로 수주가 감소하였으나 국내 비중의 감소를 해외시장의 비중확대를 통해 상쇄하면서 지역별 수주 균형감은 오히려 금융위기 이전보다 개선되었다(GS건설경제연구소, 2012). 2011년 기준 미국 내 비중을 제외한 해외건설시장의 비중은 84%로 캐나다와 중남미, 아태지역, 유럽과 중동 등에 25~31%씩 분포되어 있다(Fluor, 2003-2012).

Fluor의 강점은 해외 현지에서도 사업 수행이 가능한 글로벌 플랫폼과 EPC 통합관리가 가능한 지식관리 시스템을 구축 및 활용하는 데에 있다. 더불어 지속가능성에 중심을 둔 사업 확장과 기업 이미지 제고 그리고 실비정산지급계약이 가능한 발주처를 다수 보유하고 있는 것도 강점으로 분류된다. 또한 최근 자원개발 및 생산 부문에 대한 글로벌 수요의 증가와 원전 투자 필요성의 인식 확산과 재생에너지 분야에서의 경쟁력도 향후 지속가능한 성장을 위한 기회로 분석된다. 반면에 관계 의존적인 수주구조와 현지화를 위한 하도업체 의존도 증가 및 시장 확대에도 불구하고 발전부문의 매출 감소는 약점으로 분석된다(GS건설경제연구소, 2012).

Ⅲ. JGC

- EPC

JGC 회사는 자체 고유의 엔지니어링 기술을 개발하고 석유 정제 및 가스 처리, LNG, 석유 화학 및 기타 탄화수소의 분야에서 탁월한 프로젝트 관리 능력뿐을 보이고 있다. 뿐만 아니라 유색 금속, 원자력, 제약, 병원, 실험실 및 다수를 포함하는 프

로젝트도 수행하였다. 또한 JGC는 고객의 다양한 요구에 대응하기 위해, 발전 및 담수, 물, 환경, 신재생에너지 및 자원 개발 등의 영역으로 투자 사업을 확장하여 엔지니어링 업체로의 역할을 넘어 종합건설업체로의 성장을 하고 있다. 동시에 JGC는 도시 개발 영역에서 계획 및 관리 서비스를 제공한다.

특히 현재 JGC는 핵심 사업인 EPC를 고려한 엔지니어링 업체로써 국내 및 해외 다수의 플랜트 건설 프로젝트에 참여하고 있다. 그리고 EPC 프로젝트를 수행 할 때 공사기간과 예산 등 회사에 주어진 제한에 따라 고객의 요구에 맞는 고품질의 설비를 제공하는 것을 목표로 하고, 엔지니어링 기술과 프로젝트 관리 능력을 향상시키기 위해 노력하고 있다.

더욱이 JGC의 능력은 EPC단계에 한정되지 않는다. 상용화 단계에서는 고객이 요구한 프로젝트의 타당성 조사 및 개념 설계를 실시하여 이를 실현하기 위한 지원을 아끼지 않고 있다. 더 나아가 모든 단계에서 고객들을 지원할 수 있도록 하기 위해 프로젝트 완료 후 운영을 지원하고 유지 보수 및 개선을 제공한다.

시장 예측의 관점에서 사업의 서비스와 기업의 투자 그리고 EPC사업으로의 진출을 강화하기 위해 “New Horizon 2015”계획을 추진하고 있다. 또한 EPC사업에서 JGC는 해외 탄화수소 프로젝트의 원가 경쟁력을 향상시킬 계획이다. 동시에 비 탄화수소 분야에서 해외 확장을 추구하며 새로운 분야를 개발하고 있다. 일본의 EPC 법인을 강화하여 해외로 확대하는 것이 주요 전략이며, 특히 해외 EPC 법인에서 중소 규모 지역의 프로젝트를 수행할 때 현지 인력을 증가시켜 프로젝트를 더욱 성공적으로 수행할 수 있게 할 것이다.

더 나아가 프로젝트 투자 사업에서 적극적으로 JGC 그룹의 강점인 재생 사업에 투자하여 전력 및 신에너지, 자원 개발, 물, 환경 등의 분야에 집중하고 있다. 그리고 JGC는 프로젝트를 수주하는데 도움이 되는 서비스를 계획, 관리, 제공 할 것이다. 이러한 서비스가 전체 고객에 대한 사업 계획의 관리, 투자, EPC 서비스 등 다양한 영역으로 참여 할 수 있게 할 것이다.

그러나 2014년 하반기에 원유 가격이 크게 떨어지면서 자원이 풍부한 국가들이 시장의 불확실성을 감지하여 추가 투자 결정을 취소 또는 연기하고 있다. 주로 석유 및 가스에 대한 높은 수요가 지속되는 동남아시아와 같은 신흥 국가들에서는 석유 및 가스에 대한 투자가 중장기적으로 지속될 전망이다. 특히 최근의 초점은 중동과 같이 석유가 풍부한 국가와 동아프리카와 같이 광대한 가스자원이 있는 지역이 북미의 중요한 시장이 되고 있다. 특히 중앙아시아는 풍부한 화석 연료 자원이 가까운 미래에

유망한 시장임을 보이고 있다. 이러한 상황에서 JGC는 적극적으로 향후에 새로운 프로젝트를 확보하기 위한 활동을 하고 있다.

그리고 정유 산업을 운영하는 노후화된 공장들은 높은 유지관리 비용을 들이거나 오래된 정제소를 폐쇄시킴으로써 플랜트를 소형화하고 정유 사업에 대한 적자흐름을 막고 있다. 동시에 이러한 석유 회사들은 사업의 흑자전환을 위한 목표에 총력을 기울이고 있으며 특별히 원유 생산과 천연가스 개발에 힘을 쏟고 있다. 그러는 동안 동남아시아는 침체된 경제 성장을 회복시키기 위해 건설과 정유 플랜트 사업을 진행하고 있다. 또한 중동에서는 대부분의 투자가 중동 내의 수요를 맞추기 위해 정유나 석유 생산에 적극 이루어지고 있을 뿐만 아니라 친환경적인 정제시설과 높은 질의 방향제품 생산도 늘리고 있다. 이러한 상황들은 JGC가 쿠웨이트에서 다수의 정유 공장 보수공사 프로젝트와 같이 동남아와 중동에서 큰 규모의 프로젝트를 수주하는데 도움이 되었다.

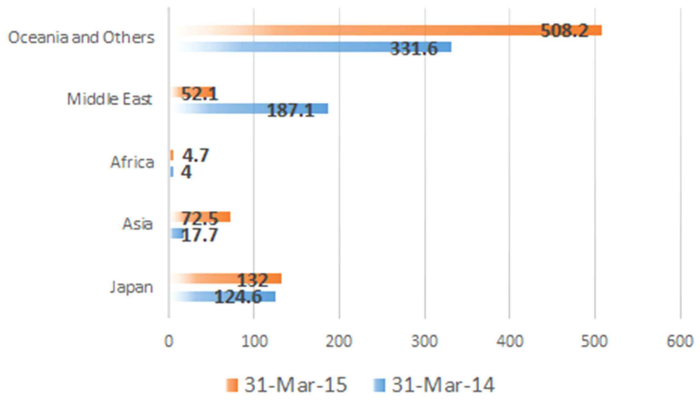


그림 75. 대륙별 새로운 수주액 (단위:Billion yen) (JGC annual report, 2010~2015)

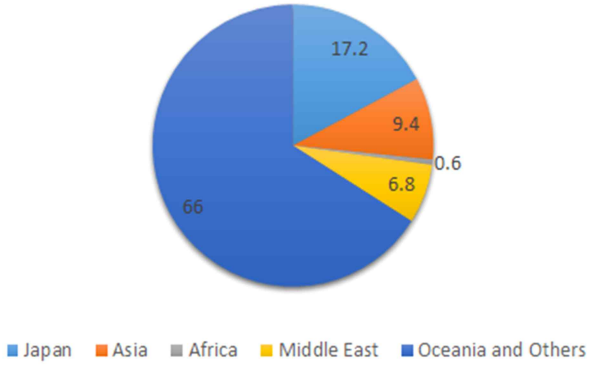


그림 76. 대륙별 새로운 수주 비율 (단위:%) (JGC annual report, 2010~2015)

(1) LNG sector

JGC는 전세계에서 가동되는 LNG플랜트의 약 30%를 시공하였다. 현재 인도네시아, 호주, 파푸아뉴기니 총 3개의 LNG플랜트 건설프로젝트를 수행하고 있으며, 2012년 1월 INPEX에서 추진 중인 호주의 Ichthys LNG PLANT 프로젝트의 EPC 기업으로 참여하여 현재 총 4개의 프로젝트를 수행하고 있다. 4개의 프로젝트가 모두 완공되면, 연간 32 Million 톤의 LNG를 생산할 것이며 이는 일본과 다른 세계 국가의 에너지 공급을 안정화하는데 중요한 역할을 한다. 또한 JGC는 북미와 캐나다 지역의 LNG 사업에 힘을 쏟고 있으며, Offshore 가스전 개발을 위한 Floating LNG 프로젝트과 중소규모의 가스전을 위한 모듈 컨셉의 LNG 프로젝트를 계획 하고 있다.

JGC는 엔지니어링 시공사로써 수년간 기술과 자본을 축적하였으며, 이는 JGC의 LNG 투자 사업을 확장하는데 추진력으로 작용할 것으로 예상된다. JGC는 working interest 증가, 석유 및 가스전 자산에 대한 권리 취득, 더 나아가 셰일오일, 셰일가스와 같은 비전통자원의 개발 등으로 북미지역에서 사업 영역을 확대하고자 한다. 또한 플랜트 EPC 사업 특히 석유 및 가스전 upstream 영역에 초점을 맞추어 경험과 전문지식을 확보할 예정이며, 이러한 방법으로 Upstream operation 영역에서 다른 기업과도 비교할 수 없는 기술력과 전문성을 가진 엔지니어링 시공사가 될 것으로 기대되고 있다.

실례로 본다면 JGC는 말레이시아에서 총 8개의 LNG train 프로젝트를 수행해왔으며, 현재 9번째 LNG Train을 추가하는 확장 프로젝트를 2015년 말까지 완공을 목표로 수행하고 있다. 2012년 9월 말레이시아의 floating LNG플랜트 프로젝트, 인도네

시아의 INPEX가 발주한 floating LNG플랜트 프로젝트, 모잠비크의 Anadarko가 발주한 LNG플랜트, 이외에도 호주, 파푸뉴기아, 일본, 러시아 등에서 플랜트 사업을 수행하고 있다. 또한 2013년 5월말 기준으로 총 6개의 LNG플랜트를 수행(시공)하고 있으며, 4개 프로젝트의 FEED 서비스 제공하고 있다.

더욱이 높은 기술 역량과 해외 플랜트 건설에서의 노하우, JGC America Inc 설립 등을 바탕으로 북미지역에서의 사업 확장 노력을 하고 있다. 최근 북미, 러시아, 동아프리카를 중심으로 전세계적으로 대규모의 복합 LNG플랜트 프로젝트가 발주될 예정이며 이런 상황 속에서 JGC는 캐나다에서 발주한 대규모 LNG 프로젝트의 최종투자결정을 기다리고 있다. 앞으로 JGC는 실현가능한 프로젝트에 한해서 적극적인 수주활동을 할 계획이다.

유가의 하락으로 LNG 공급과 수요의 균형이 변화하는 시장 전망의 불확실성을 야기하고 있다. 일본, 한국, 대만과 같은 국가의 높은 수요와 더해서 인도와 중국, 아시아의 개발도상국 등에서 LNG 수요가 지속적으로 증가할 것으로 기대되어, LNG 생산시설과 이동시설의의 투자가 중장기적으로 증가할 것으로 예측된다.

지역관점에서 북미, 러시아, 동아프리카를 중심으로 대규모의 복합 LNG플랜트 프로젝트가 계획 중에 있으며, 더 나아가 개발과 사업성이 떨어지는 많은 가스전을 새로운 탐사기술을 통하여 단계적으로 floating LNG Plant로 개발할 예정이다.

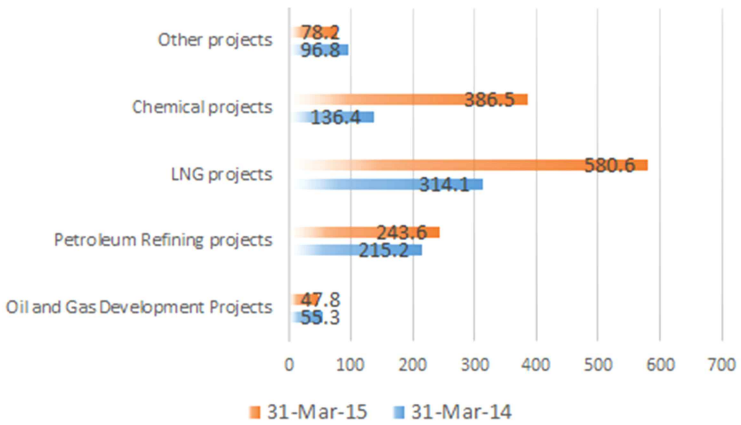


그림 77. 사업별 수주액 (단위:Billion yen) (JGC annual report, 2010~2015)

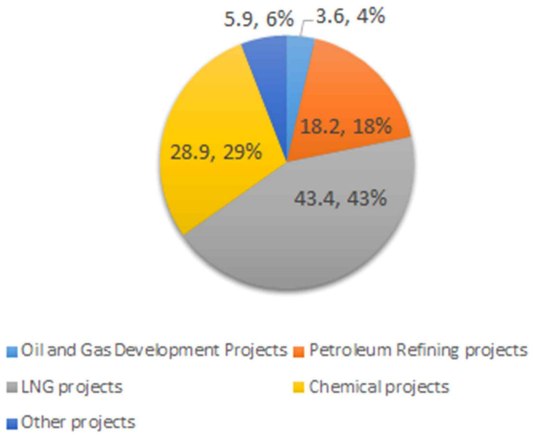


그림 78. 사업별 수주액 비율 (단위:%) (JGC annual report, 2010~2015)

(2) 전사적 차원의 진출전략

JGC는 “Program Management Contractor&Investment Partner”를 통하여 고객의 넓은 범위의 니즈를 충족시키고 새로운 가치를 창출하며 JGC기업의 핵심 EPC 사업의 경쟁력을 강화시키고 동시에 새로운 투자와 서비스 사업의 성장을 이룰 수 있다.

시장 환경을 Sectors와 Regions로 분류하여 해당 지역에 유망한 사업과 영역, 투자 상황 등을 고려하여 JGC의 사업 전략을 구상합니다. EPC 사업에서는 기존에 JGC에서 주로 다루는 Sector들과 새로운 Sector를 찾아 사업을 확장시킬 수 있게 하며 투자와 서비스 사업에서는 사업 투자와 운영, 계획과 경영 서비스, 제조와 IT서비스를 비롯한 여러 서비스 측면을 강화하는 전략을 구상하고 있다.

또한 인력자원의 측면에서 프로젝트에 투입되는 비율은 해외 EPC사업이 가장 높은 비율을 차지하며 이는 JGC의 EPC 사업을 적극적으로 확장시키고자 하는 의지를 볼 수 있다. 그리고 JGC 그룹의 조직화 전략은 세계적인 그룹이 되기 위한 네트워크 형성에 중점을 두고 있다. 해외 EPC 사업으로의 확장과 그룹 전체의 성장, 그리고 미개척 국가에 새로운 지사를 설립하는 방안을 구상하는 등 적극적으로 local office를 개설하고 운영하는 방안을 구상하고 있다. 기술개발 전략으로는 Resources, Manufacturing, Social infrastructure and life sciences, Environment and new energy와 같은 JGC의 4가지 핵심 분야에서 우선순위를 세워 새로운 공종으로의 value chain 확대를 위한 기술개발을 적극적으로 추진하고 있다.

그리고 JGC는 “Program Management”를 통하여 효율적으로 프로젝트를 계획하고 수행하는 비즈니스 전략과 모든 지역에 EPC와 투자를 통하여 서비스를 운영하고 제조하는 체계를 정립했다. JGC는 빠르게 변해가는 시장환경과 EPC 사업의 4가지 핵심요인을 기본으로 EPC 사업의 강화를 위해 여러 전략을 수립했다.

첫째는 hydrocarbon sector의 경쟁력을 강화시키는 것이다. 이를 위해 가격 경쟁력을 향상시키고 시장 역량과 고객과의 관계를 강화할 것이다. 또한 진출 시장을 확대하며 해당국가에서의 프로젝트 수행 역량을 향상시킬 것이다. 둘째는 non-hydrocarbon sector의 운영을 확대하는 것이다. 구체적으로는 non-ferrous metals sector에서 운영사업을 확대하고 pharmaceuticals와 의료부분으로도 사업운영의 영역을 확대할 것이다. 셋째는 해외 EPC 사업을 강화하는 것이다. 각 나라에 생산되는 오일과 가스의 지역화를 중점적으로 추진하며 중소규모의 프로젝트 수주 또한 가리지 않고 추진할 것이다. 넷째는 새로운 EPC sector의 사업개발이다. F-LNG sector로의 사업을 확장 및 강화하고 해외 원자력발전 프로젝트에 참여하기 위해 적극적으로 움직일 것이다. 더욱이 사회기반시설물에 관련된 프로젝트를 위주로 집중적인 수주 전략과 더 나아가 모듈 건설 공법을 융합시킨 프로젝트 수행 서비스를 제공할 것이다.

JGC는 사업투자, 계획 및 경영 서비스 그리고 제조업으로의 운영도 추진할 계획에 있다. 또한 투자자와 발주자에게 서비스를 제공하기 위한 노력을 할 것이며 처음 고객이 요구한 니즈를 이해하고 적절한 서비스를 제공하기 위한 전략을 수립했다.
먼저 사업의 투자관점에서 JGC가 가지고 있는 방침은 보수적인 환경관련 프로젝트는 신재생에너지 프로젝트로의 전환을 꾀할 것이며 새롭게 성장하는 국가들의 에너지 니즈와 사회기반시설물 개발을 통하여 JGC의 성장을 이룰 것이다. 그리고 계획과 경영 서비스 관점에서는 사업계획과 수행, FEED(Front-End Engineering Desing), PMC(Project Management Consulting) 등을 통해 설계와 사업경영 서비스를 확장하고 개발할 것이다. 제조의 관점에서는 화학물 사업과 촉매사업에 확장을 할 것이다. 구체적으로는 FCC 촉매제의 수출과 유럽과 미국으로 환경촉매제의 수출을 증가시키고 더 나아가 해외에서의 생산을 할 수 있도록 추진할 것이다.

Ⅳ. Saipem

- EPC

Saipem 그룹은 1984년 Milan Stock Exchange 리스트에 선정되었으며 Eni의 자회사로써 42.93%의 점유율을 보유하고 있다. 이 회사는 기술력을 앞세운 높은 수준의 다목적 장비와 세계적인 수준의 엔지니어링 및 프로젝트 매니지먼트 전문가를 보유하고 있다. 이러한 특별한 자원과 경쟁력은 오랜 기간 전 세계 건설시장에서의 선구자적 역할을 할 수 있게 도와주었으며 특별히 EPIC(Engineering, Procurement, Installation and Construction) 프로젝트를 수행할 때의 모범 모델이 되고 있다.

또한 Saipem은 아프리카와 중앙아시아, 미국, 중동, 남동아시아와 같은 지역을 선두하는 글로벌 계약자이다. 특히 정제부문에서 수많은 중요한 계약을 성사시켜왔다. 실례로 최근 들어 성사시킨 가장 큰 투자는 중동에서 쿠웨이트에 KNPCs 청정 연료 프로젝트 2020이었다. 더불어 Saipem은 석유 및 가스 플랜트에 있어서 먼거리에서 조달해야하는 건설 작업이나 해상과 육상을 아우르는 프로젝트, 탐사하기 어려운 심해의 가스 및 원유를 포함한 수많은 에너지 프로젝트에서 EPCI와 EPC로써의 계약을 해왔으며 많은 프로젝트를 수주하여 성공적으로 수행해왔다. 또한 회사가 제공하는 드릴링 서비스는 석유 산업에서 가장 중요한 부분을 차지하며 해상과 육상 프로젝트 사이에 시너지 효과를 냈다. 원거리와 프로젝트 개발 측면에서 Saipem의 능력은 지역과 회사의 효율적인 조정에 의해서 발현되고 전 세계적인 물류 지원 및 통합 능력을 보장하게 한다.

더욱이 Saipem이 사용하는 최첨단 기술력은 세계 건설시장을 선두하는 글로벌 회사로 만들고 있다. 실제로 해상플랜트에서 Saipem은 최첨단 기술이 접목된 Saipem 7000인 반 잠수함을 사용하고 있다. 이 장비는 동적 위치 결정 시스템이 탑재되어 있고 14,000톤의 리프트 용량과 J-lay 시스템을 사용하여 매우 깊은 바다에서의 해저 파이프라인을 설치할 수 있다. 다른 선박은 Castoro Sei가 있는데 이것은 큰 지름의 파이프를 해저에 설치할 수 있으며 FDS(Field Development Ship)은 깊은 바다에서 작업을 할 때 동적 위치 시스템과 600톤의 리프팅 용량을 지니고 있다. 크레인과 수직 파이프설치 시스템은 수심 2000미터에서도 작업이 가능하며 Saipem 3000은 깊은 바다에서 파이프라인과 umbilicals 그리고 계선 시스템, 2200톤의 구조물을 심해에 설치할 수 있는 능력이 있다.

Saipem은 해저 프로젝트에 강점을 보이고 있는데 실제로 해저에서 ROVs와 같은

복잡한 기술을 접목시킨 장비를 사용하고 있다. 그리고 특수 장비 로봇을 이용하여 깊은 바다에서의 가스파이프라인 작업을 수행할 수 있다. 또한 FPSO 부문과 Cidade de Vitoria 그리고 the Gimboa를 구성하는 선박들을 구성하였는데 이는 현재 해저에서 프로젝트를 수행 중에 있다. 이러한 첨단 기술을 바탕으로 2014년 멕시코 걸프만의 Pemex에서 Lakach 지역의 EPCI 프로젝트 계약을 하였고 인도네시아 Eni Muara에서 Jangrik 복합 단지 프로젝트를 위한 Floating Production Unit(FPU) EPCI 계약을 체결하였다. 이 프로젝트들의 수행 범위는 FPU의 엔지니어링과 구입, 생산 부분, 그리고 시운전까지 포함하며 Saipem은 종합건설업체로써의 다방면에서의 능력을 보이고 있다.

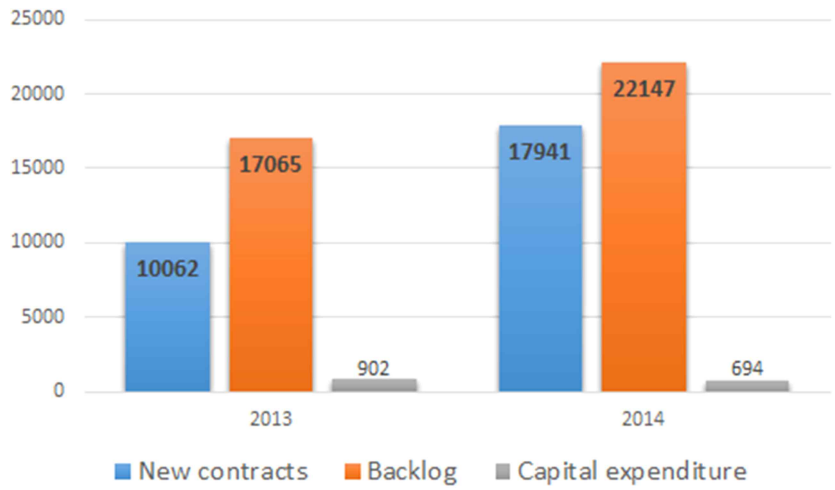


그림 79. 최근 2년간 수주액 및 수주잔량 (단위:million Euro)
(Saipem annual report, 2010~2015)

(1) LNG sector

LNG 부문에서 Saipem은 Petrobras와 브라질에 새로운 FLNG플랜트를 세우는 것에 관하여 FEED 입찰을 하였다. 또한 이렇게 다른 기업들과의 컨소시엄을 통하여 Saipem이 지속적으로 작업을 하고 있는데 특히 플랜트 부분에서 업적이라고 할 수 있는 세계 첫 번째 해외터미널인 FSRU Livorno 건설을 진행하고 있다.

그러나 지난 2년간 특히 미국에서 들어오는 천연가스양이 증가하고 카타르의 메가 플랜트 액화 공정의 용량이 초과하여 긍정적인 전망으로 보았지만 대부분의 선진 국가들의 경제적인 위기로 천연가스의 수요는 줄어들었고 이는 천연가스 시장에 잉여분

을 남기게 하였다. 또한 이로 인하여 가스 가격이 떨어졌으며 계속되는 하향 투자가 지속되었다. 그럼에도 medium-term 성장의 관점에서는 좋게 보이는데 이는 개발도상국가들의 에너지 수요가 빠르게 증가하기 때문이다. 이러한 환경은 미래에 국제 가스 무역의 성장을 다시 이끌게 될 것이며 Saipem을 비롯한 여러 에너지회사들은 세계 주요 시장의 가스공급이 점차 성장할 것으로 전망하고 있다.

Saipem의 주요 EPC 계약인 알제리의 GL-3Z LNG 프로젝트에 대한 Saipem의 LNG플랜트 육상 건설에 관한 계약은 Chiyoda와 체결하였다. 이 합병을 통해 생기는 이점은 두 개의 회사를 통합하여 그들이 각각 오일과 가스계약의 노하우를 알 수 있고 특별히 그들의 가스 화폐에 관한 지식과 성공적으로 확장해가는 LNG와 upstream 부문, 더욱이 그들이 가지고 있는 성공적인 시장전략들에 관하여 공유할 수 있는 것이다.

더욱이 SES와 Saipem의 합병이 2012년 1월 1일 효과적으로 진행되었고 9월과 10월 각 회사의 대표들간 협상이 체결되었다. 다양한 지리적, 기능적 요인들이 회사 기능의 향상과 긍정적인 관점에서 협상 및 논의 되었고 라틴아메리카의 여러 프로젝트에서 수행하고 있는 근무 인력들에 대한 새로운 협상계약이 진행되었다. 또한 미개발 지역의 GLNG 가스 파이프 개발 동의서가 Saipem 호주 지사와 호주 노동연합과 체결되었다.

Saipem의 프로젝트 중 LNG 부문에서 가장 큰 성과를 내는 프로젝트는 호주 최대의 화두인 LNG Ichtys 프로젝트와 말레이시아의 EPC 프로젝트에 있다. 이는 수많은 영토에서 엄청난 천연가스를 LNG로 생산 및 이용할 수 있게 할 수 있을 뿐만 아니라 추후에 아시아 시장과도 연결 될 수 있을 것이라 보고 있다. 또한 호주의 EPC 프로젝트의 일환인 INPEX, Ichthys LNG 프로젝트는 해저 파이프라인을 Darwin 지역의 육상 시설로 연결하는 프로젝트로써 현재 엔지니어링 설계와 물류준비작업으로 준비하고 있는 프로젝트이다.

EPC로 발주한 LNG GL3Z Arzew 플랜트 시설과 관련 부두 시설에 대한 건설 계약은 계속 진행 중이다. 폴란드에서는 북서해안의 액화천연가스의 재기화 터미널을 짓는 Polskie LNG 프로젝트 계약을 진행했다. 그 계약은 EPC로써 진행되었는데 2개의 가스 저장탱크를 포함한다.

현재 인도네시아의 FEED로 진행되는 Inpex Masela Ltd에 대한 Masela FLNG 프로젝트의 엔지니어링 부문은 진행 중이고 설계작업은 준비 단계에 있다. 이탈리아에서는 OLT 해양과 LNG Toscana의 가스 수송선과 Golar Frost가 대부분 완성되었

다. 이 계약은 장비의 설치와 허가가 필수적으로 필요한 해상 LNG 수송 시설이라고 볼 수 있는데 이는 해상에 떠있는 LNG 터미널을 통하여 LNG를 가스수송선에 싣게 된다.

알제리 sonatrach에서는 EPC로 발주한 LNG GL3Z Arzew 프로젝트 건설이 계속 진행 중이다. LNG의 플로터 부문은 긍정적인 수행으로 유지되고 있는데 인도네시아 다수의 해저프로젝트 중에 Jangrik와 Madura 프로젝트 그리고 앙골라는 2014년 3개의 프로젝트에서 최고의 성과를 나타냈다.(Kaombo 1 and 2, and East Hub)

파산한 OGX는 남아메리카의 활동 정도에 대하여 미리 전문가 자문을 받아 하향세를 예측했고, petrobras는 계속해서 추후 사업에 대한 계획을 추구하며 Tartaruga와 Libra 지역의 2개의 계약을 체결하였다. 2014년 2개의 floating LNG 시장인 Rotan FLNG (Petronas)와 Golar Hilli (Golar)에서 2014년 플로팅 LNG 유닛으로써 총 5개 플랜트 중 2개의 성공적인 프로젝트로 나타났다.

이렇게 성공적임에도 불구하고 Saipem의 여러 사업에 대한 연구 단계는 현재 FID(final investment decision)에서 어려움을 겪고 있다. 또한 FLNG 프로젝트의 기술적 복잡성은 이러한 부문에 있어서 중대한 벽이 되고 있다. 게다가 최근에 떨어진 유가는 LNG 가격의 하락을 이끌었고 이는 수많은 프로젝트의 경제적 타당성을 어렵게 만드는 요인이 되고 있다.

5년간 Saipem의 계약 추세를 보면 Chiyoda와 SES와의 합병을 통하여 사업을 확장시키고 있고 세계 곳곳에서 LNG에 관련하여 floating LNG플랜트, LNG 저장 탱크, LNG 터미널 등 다양한 공종으로 프로젝트를 수행하고 있다. 또한 공격적인 프로젝트 수주를 통하여 앞으로 사업을 확장시킬 가능성이 클 것이라고 전망된다.

(2) 전사적 차원의 진출전략

Saipem은 오일·가스 부문에 특화된 EPC (Engineering-Procurement-Construction) 기업으로 onshore와 offshore 부문에서 높은 시장 점유율을 확보하고 있다. 2011년 매출 규모는 126억 유로이며 영업이익은 약 15억 유로로 onshore와 offshore 부문이 각각 매출의 47.2%와 40.3%를 차지하고 있다. 또한 지역별 수주잔고 비중도 중동 32%, 북미 18%, 아프리카 21%, 유럽18% 등 다양하게 분포되어 있다. Saipem은 2000년대에 Bouygues offshore(2001년)와 Snamprogetti(2006년) 인수하면서 전년대비 각각 64%와 62%씩 매출성장을 거듭하

였을 뿐만 아니라 영업이익률도 2008년 이후 11% 수준을 유지하고 있다(Saipem, 2003~2012).

Saipem은 오일·가스 영역에서 value chain을 구축하고 전략지역 내에서의 프로젝트 수행능력 향상을 위해 적극적인 현지화를 활용하고 있다. 특히 조립식 건물 및 시공 지원을 위해 종합제작지역(multidisciplinary fabrication areas)를 시장별 거점지역에 설치해 신규 사업에 대한 즉각적이면서 지속적인 접근이 가능하게 하고 있다. 더불어 현지 지역에 대한 투자 의지를 발주처에 피력함으로써 수주의 영속성을 확보하고 있다. 설계, 조달, 시공 등 전 단계에 걸친 근원적 경쟁력 확보를 위해서는 5개의 EPC Hub와 7천명 이상의 엔지니어 및 프로젝트 매니저를 활용해 현지 업체에 대한 의존도를 낮춰 리스크를 축소하고 있다. 그리고 2006년부터 시작된 투자 프로그램인 Capex plan을 통해 시공 선박, FPSO(Floating Production Storage and Offloading), 심해시추선 및 현지 야드 등 다수의 자산을 인수해 장기적인 매출과 수익성을 확보하고 있다(GS건설 경제연구소, 2012).

Ⅴ. Technip

- EPC

2010년 시장 환경은 상대적으로 순조로웠다. 이번 년도에, 세계 경제는 4% 이상 성장하였으며, 세계 석유 수요는 2009년과 비교하여 하루 250만 배럴 증가하였고, 배럴당 70달러를 유지하였다.

구체적으로, Oil & Gas 사의 상류 자본지출은 2010년 증가하였다. 그리고 2010년 12월 Barclay의 Capital's Original E&P Spending 설문에 따르면, 글로벌 E&P 지출은 2010년 10% 상승하였으며 2011년에도 비슷한 성장률이 기대된다.

내륙의 하류 지역에서는 자본 지출이 급격한 성장을 보이는 에너지 수요에 집중되고 있으며, 탄화수소 재고를 가진 국가가 하류로 확장하기 위해 노력하고 있다. 이와는 정반대로, 내륙의 자본 지출은 서부 유럽과 미국과 같이 산업화 된 국가에서 감소 추세를 이어 나가고 있다.

중장기적 관점으로 볼 때, Technip이 시장을 주도하는 요인은 미래의 글로벌 석유와 가스의 수요 예상 증가, 보유된 자연적 고갈을 상쇄하기 위한 석유 및 가스 회사에 대한 필요성 증가, 생산의 감소와 열악한 환경으로 지속적인 변화(예: 심해 개발), 그리고 복잡한 프로젝트(예: FLNG)의 증가 등을 포함하고 있다.

중기적 관점과 장기적 관점으로 볼 때, Technip의 시장을 주도하는 요인은 추정 글로벌 수요의 상향 조정과 석유와 가스에 대한 견고한 글로벌 수요에 의한 지원, 보유된 자연적 고갈을 상쇄하기 위한 석유 및 가스 회사에 대한 필요성 증가, 생산의 감소와 열악한 환경으로 지속적인 변화(예: 심해 개발), 그리고 복잡한 프로젝트(예: FLNG)의 증가 등이며, 앞으로 이러한 활동을 Technip은 유지해야만 한다.

- 미래 글로벌 석유와 가스의 수요 예상 증가
- 자원 고갈을 상쇄하기 위한 석유 및 가스 회사에 대한 필요성 증가
- 생산의 감소 (뭐에 대한 생산 감소인지는 불분명)
- 열악한 환경으로 지속적인 변화 (예: 심해 개발)
- 복잡한 프로젝트의 증가
- 글로벌 수요의 상향 조정
- 석유와 가스에 대한 견고한 글로벌 수요에 의한 지원 증가

(1) LNG sector

Technip은 2014년 인도네시아 PT Wijaya Karya 및 Tbk사와 함께 Pertamina가 발주한 Matindok 가스처리플랜트 건설 프로젝트에 대한 계약을 체결했다. 이 프로젝트는 Central Sulawesi에 위치한 Matindok 공구에 가스 개발을 위한 플랜트를 건설하는 것으로 연산 6억7,200만㎥의 천연가스를 생산해 Donggi Senoro LNG(Liquefied Natural Gas)플랜트에 원료를 공급할 수 있을 것으로 기대하고 있다. Technip은 2016년까지 플랜트 EPC는 물론 탈황설비, 가스파이프라인 등 유틸리티에 대한 EPC도 함께 담당해 나간다는 계획이다.

또한 Technip은 2014년 5월 15일 LNG(Liquefied Natural Gas) 처리시설을 수주했다. 이번 프로젝트는 연간 1,650만톤의 LNG 가스를 처리할 수 있는 시설과 550만톤급 트레인 3기를 건설하는 프로젝트이다. Technip은 관련 프로젝트를 세계 최대 규모의 모듈러 방식으로 제작되는 플랜트로 밝히고 있으며 2017년까지 첫 번째 트레인 가동을 목표로 하고 있다. 이번 모듈 방식의 플랜트 수주로 향후 EPC 분야에서의 효율성을 극대화해 수주 확대를 꾀한다는 방침이다.

Technip은 2013년 쿠웨이트 정유공사인 KOC(Kuwait Oil Company)와 컨설턴트 업무에 대한 계약을 체결했다. 이번 계약은 KOC가 추진 중인 정유 및 가스시설 개선 사업에 대한 것으로 양사는 약 4억달러에 계약을 완료했다. Technip은 향후 기본 5년에 추가 1년간 프로젝트 매니지먼트와 함께 공정분야 엔지니어링, 엔지니어 교육 등에 대한 컨설턴트 서비스를 제공하게 된다. 한편 이번 계약으로 Technip은 중동시장에서의 영향력을 강화하는 발판으로 만들어나간다는 계획이다. Vaseem Khan 중동지역 부사장은 "이번 계약으로 쿠웨이트에서 입지를 강화할 수 있는 발판을 만들었다"며 "향후 엔지니어링 분야에 대한 보강을 통해 UAE 및 카타르 등지에서도 영향력을 확대해 나갈 것이다"고 전했다.

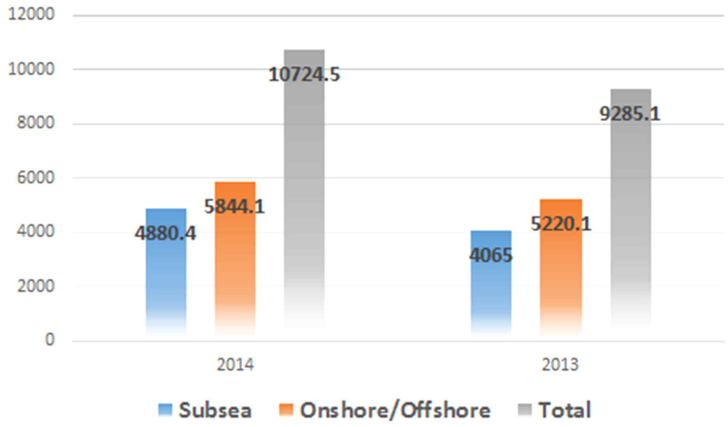
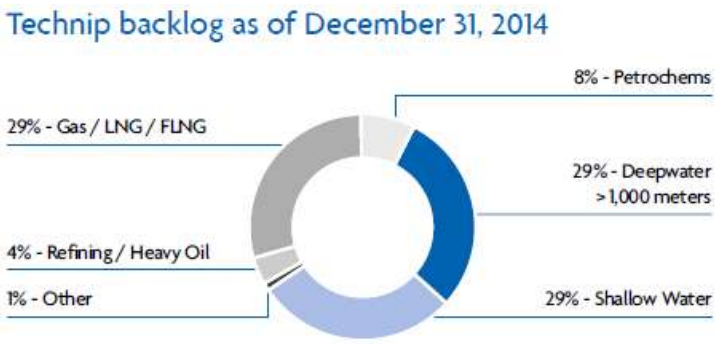


그림 80. 사업 영역별 수익 (단위:million Euro) (Technip annual report, 2010~2015)



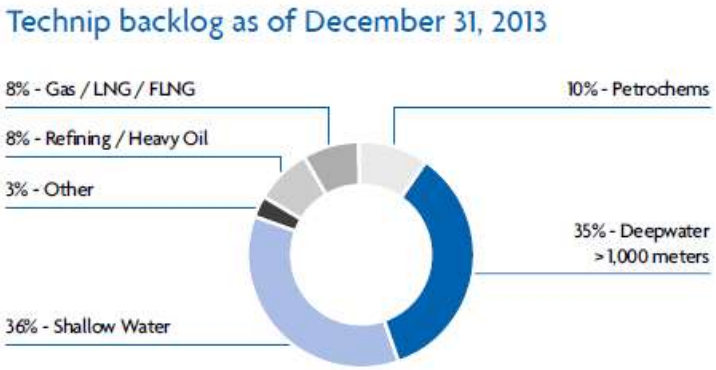


그림 81. 최근 2년간 공종별 사업 점유율 (Technip annual report, 2010~2015)

(2) 전사적 차원의 진출전략

Technip은 subsea installation 및 flexible pipes 전문기업이자 오일·가스 부문의

EPC 기업으로 2011년 기준 68억 유로의 매출과 10.2%의 영업이익률을 기록했으며 북미, 중동, 아시아, 아프리카 등 전 지역에 걸쳐 20%~15% 수준의 매출 점유율을 확보하고 있다(Technip, 2003~2012). 2000년대 중반까지 5% 미만의 저수익 구조였지만 2007년 이후 subsea와 onshore 분야의 수익성 개선을 통해 매출 감소에도 불구하고 10% 수준의 영업이익률을 기록하고 있다. 또한 계약방식 다양화와 전략적 제휴 및 컨소시엄 기반의 공동 프로젝트 추진 등을 통해 대내외 리스크를 관리하고 있다. 또한 프로젝트 입찰에서부터 계약에 이르기까지의 과정을 관리하기 위한 시스템을 활용하고 있는데 운영순서는 다음과 같다. 우선 Early Tendering 프로세스를 통해 입찰 대상 프로젝트 사전검토를 실시하고 그 결과를 바탕으로 경영진과 현지 전문가들이 입찰 결정을 위한 사전협의가 시행된다. 다음으로 입찰에 필요한 제안서 작성과 입찰여부를 최종 결정하고 낙찰이 될 경우 계약 승인과 동시에 리스크 관리가 시행된다. 이와 같은 사전 검토 프로세스를 통해 프로젝트 리스크 관리 실패에 따른 손실을 방지하고 있다. 이외에도 사업 부문별 수직계열화를 통해 진출 시장 확대를 위해 인수합병을 지속적으로 활용하고 있다. <그림 78>에서 보듯이 에너지 부문진출을 위해 2001년 Coflexip를 인수했으며, 2007년에는 Setudi와 Crestech Engineering을 인수하면서 offshore 부문의 설계 경쟁력을 강화하였고 2008년에는 오일·가스 및 석유화학 부문 경쟁력을 강화를 위해 Eurodim과 EPG Holding BV를 인수하고, 2011년에는 미국의 Global industries를 인수해 subsea 부문에서 기술력과 시장을 확보하였다(Technip, 2003~2012).



그림 82. Technip M&A 및 자산 매각 분석 (Technip annual report, 2010~2015)

(2) 해외 LNG 기업 전략집단 분석

기존의 에너지 생산기업을 분류하는 체계는 '7자매(Seven Sisters)'로 불리는 Major사(IOC)와 생산국 정부를 대신하여 관리 및 운영권을 행사하는 국영석유회사(NOC)로 구분할 수 있다(Vivoda, 2008). 그러나 이는 석유개발에 집중된 관점으로, , 급변하는 시장환경 속에서 기존의 IOC, NOC 이외의 기업들을 포함하기에는 미흡한 체계이다. 본 연구는 LNG 산업의 특성과 기업들의 특성 반영하기 위해 사회학 전반과 경영학, 경제학 등의 분야에서 널리 사용되고 있는 사회연결망 분석(social network analysis: SNA)를 활용하여 전략집단을 도출하였다.

본 연구에서는 지분율에 따라 LNG 프로젝트를 주도하는 기업과 주도기업을 중심으로 이외의 기업들이 참여를 한다는 가정 하에 현재 운영 중, 건설 중, 건설계획 중인 LNG 프로젝트를 대상으로 사회연결망 분석을 실시하였다.

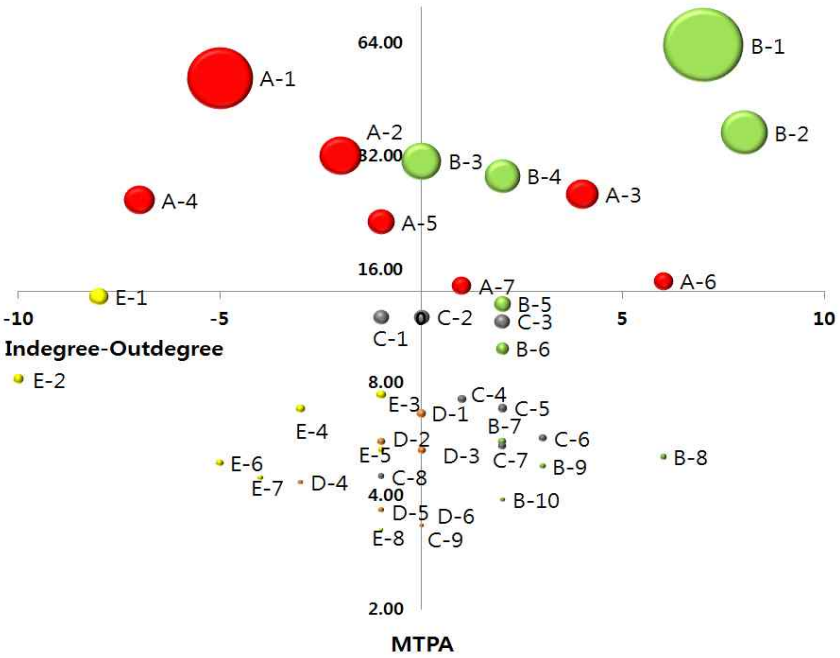


그림 83. LNG 기업 생산량 및 참여경향

사회연결망분석과 연간 생산량을 기준으로 표와 같이 5개 전략집단이 도출되었다.

표 102. LNG 기업 전략집단

	Group A	Gruop B	Group C	Group D	Group E
생산량(MTPA)	>16	3.9 ~ 63.38	3.37 ~ 12	3.38 ~ 6.66	3.3 ~ 13.6
Indegree-Outdegree	-7 ~ +6	0 ~ +7	-1 ~ +3	-3 ~ 0	-1 ~ -10
전략유형	**적극주도 & 참여**	**적극 주도**	**주도**	**참여**	**적극 참여**

(3) 한·중·일 기업 비교

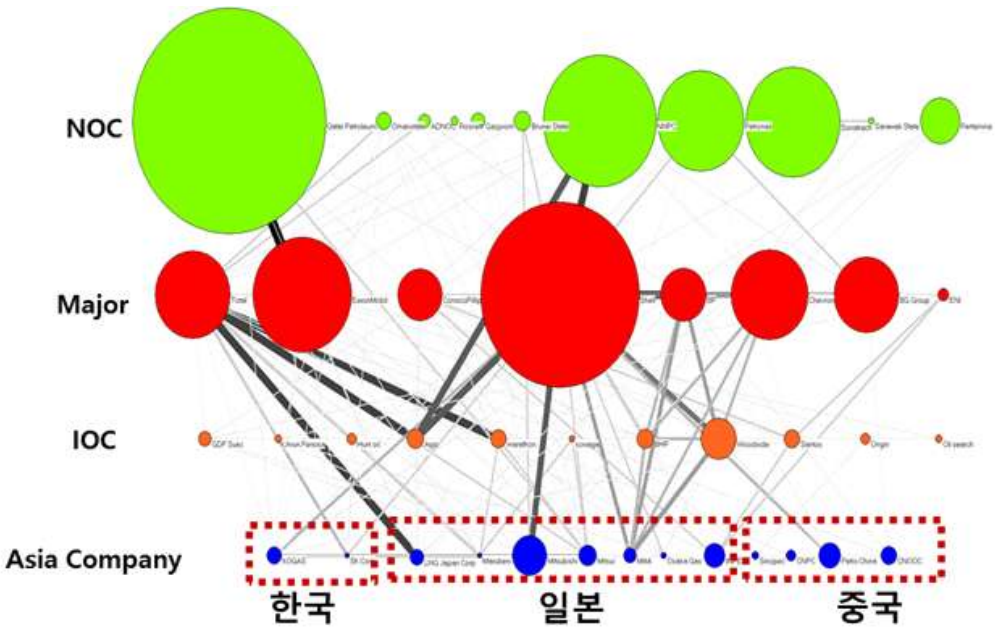


그림 84. 한·중·일 기업의 네트워크 비교 분석

중앙의 주요 일본기업(8개사)들은 동남아 시장을 중심으로 1900년대 후반부터 LNG 프로젝트에 참여하기 시작하였다. Mishubishi와 Mitshui의 합작기업인 MiMi社는 Shell社가 계획 중인 미국 Shale 가스 프로젝트에 참여하며 비전통자원 개발 프로젝트에도 관심을 보이고 있으며, 이외에도 미국 IOC들과 네트워크를 구축하고 있는 것으로 나타났다. Mishubishi와 Mitshui의 합작기업인 MiMi社는 호주 IOC 기업들과의 네트워크를 통하여 호주지역 프로젝트에 집중적으로 참여하고 있는 것으로 나타났다.

중국기업은 최근 호주, 러시아, 북미에서 계획 중인 프로젝트에 대거 참여하고 있으며, 후발주자임에도 자국의 수요가 급격히 증가함에 따라 20%이상의 많은 지분으로

프로젝트에 참여하고 있다.

한국 기업들은 KOGAS를 중심으로 2000년대 중반부터 시장에 진출하기 시작하여 Shell, Total과의 네트워크가 주로 이루어졌으며, IOC와 네트워크 관점에서 일본기업보다는 밀도가 낮고 중국기업보다는 높게 나타났다. 그러나 물량 측면에서는 시장 Governance가 가장 떨어지는 것으로 나타났다.

이러한 경향성으로 보았을 때, 한국 기업은 낮은 지분율로 다수의 프로젝트에 참여하여 경험을 확보하는데 힘쓰고 있으며, 일본 기업은 다수 Major IOC와 강력한 네트워크를 통해 시장 지배력을 확보하는데 집중, 중국 기업은 소수의 프로젝트에서 높은 지분율을 가져가며 물량 및 사업 주도권 확보에 힘쓰고 있는 것으로 분석할 수 있다.

3절 연구수행 결과 및 검증

1. 연구수행 내용 및 결과

단계	연도	연구목표	주요 연구내용
1단계	1차년도	- 리스크 관리 연구문헌 및 현황 분석	▪ 국내외 리스크 관리 연구동향·사례 조사 ▪ 선진기관 플랜트 리스크 관리기법 검토 ▪ 플랜트 사업특성 파악 및 분석
	2차년도	- 수행단계별 리스크 관리 체계개발	▪ 수행단계별 리스크 특수성 분석 ▪ 수행단계별 리스크 관리 체계 개발 ▪ 계약단계와 단계별 사업관리 리스크 연계분석
2단계	3차년도	- 설계단계의 리스크 관리 모듈 개발	▪ 설계 단계의 리스크 요인 및 중요도 분석 ▪ 설계 단계의 리스크 평가관리 모듈개발 ▪ 설계 단계의 리스크 대응방안 수립
	4차년도	- 구매조달단계의 리스크 관리 모듈 개발	▪ 구매조달 단계의 리스크 요인 및 중요도 분석 ▪ 구매조달 단계의 리스크 평가관리 모듈개발 ▪ 구매조달 단계의 리스크 대응방안 수립
3단계	5차년도	- 시공단계의 리스크 관리 모듈 개발	▪ 시공단계의 리스크 요인 및 중요도 분석 ▪ 시공단계의 리스크 평가관리 모듈개발 ▪ 시공단계의 리스크 대응방안 수립
		주요 진출지역 선정 및 시장전망 평가	▪ 전세계 지역별 가스매장량 조사 ▪ 주요 가스시장 지출유망지역 선정 ▪ 주요 가스시장의 가스플랜트 시장전망 분석 ▪ 주요 경쟁기업 기술적, 상업적 경쟁수준 분석
	6차년도	- 통합 리스크 관리 모듈 개발	▪ 리스트 통합 방안 개발 ▪ 리스크 상호관계 정립 및 상대적 영향도 평가 ▪ 의사결정지원모듈과 연계 ▪ 리스크 관리 통합 매뉴얼
		해외사업 진출전략 및 비즈니스 모델 개발	▪ 해외사업 비즈니스모델 최종완성 ▪ 다수의 사례적용/분석을 통한 모델 검증 ▪ 성과분석 기반의 영향변수 별 가중치 산정 ▪ 모잠비크 외 진출 유망 가스전 사례 추가 분석

2. 목표성과 및 성과검증방법

연구목표	성과목표	성과지표	목표치	측정방법	검증방법
해외사업 모델 개발 및 진출전략 수립	해외 LNG 프로젝트 사업 모델	가스전 개발 및 LNG 액화 플랜트 사업 참여 의사결정 알고리즘 개발	의사결정 알고리즘	해외 특허 출원	출원서 확인
		가스전 개발 및 LNG 액화 플랜트 사업 참여 의사결정 절차 개선	Major IOC 수준 (eg. Shell 30% 등) 타당성평가정확도	국내/외 에너지 기업 프로세스 비교	분석 보고서 확인
	해외 LNG 프로젝트 추진전략	해외 LNG 프로젝트 추진전략 매뉴얼 개발	보고서 1건	프로젝트 추진전략 매뉴얼	보고서 확인
EPC 단계별 리스크 관리 기법 개발	EPC 단계별 리스크 관리 모듈	EPC 단계별 리스크 관리 알고리즘 개발	리스크 지표 및 관리 알고리즘	특허 등록	등록증 확인
				SCI급 논문 게재	성과물 확인
		EPC 단계별 리스크 관리 절차 개선	리스크 평가 지표 및 관리 범위 10% 확장	국내/외 EPC 기업 프로세스 비교	분석 보고서 확인
	통합 리스크 관리 기법	통합 리스크 관리 매뉴얼 개발	보고서 1건	통합 리스크 관리 매뉴얼	보고서 확인

3. 해외사업 모델 및 위험관리 기법 전문가 자문 보고서

(1) 한국 가스공사 LNG 사업 개발팀 전문가

‘LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리 기법 개발‘ 전문가 자문 보고서			
	한국 가스공사 LNG 사업 개발팀 전문가		
검토 의견	KOGAS의 목표는 국내 도입이 기본이며, 그런 관점에서 Gate1/3의 구성은 적절한 것으로 판단. 하지만 해외 판매 가능성에 대한 부분도 개발에 반영되었으면 하는 아쉬움이 있음. 국가의 리스크나 사업 수행 환경을 점수화하여 보여주는 결과는 만족스러우나, 과거 사례를 기반으로 점수를 산정하는 방식은 적합하지 않을 수 있음.(추후 데이터가 많이 축적되거나, 지분 비중이 높을 경우에는 도움이 될 수 있음) 해외사업 모델의 Focus가 기존 가스전 개발 사업 뿐만 아니라 액화 Plant까지도 확장되어 실효성이 더 높을 것으로 생각됨		
활용성		적정성	편의성
7		8	8

(2) 한국 가스공사 해외기지사업팀 전문가

‘LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리 기법 개발‘ 전문가 자문 보고서			
	한국 가스공사 해외기지사업팀 전문가		
검토 의견	실무적 경험에 의하면 진출국의 경제적 타당성 보다 정권의 안정성 및 법규, 규제 관련 측면이 더 중요함. 개발된 모델은 해당 사항이 잘 반영된 듯 보이나, 관련 용어 및 평가 기준에 대한 정의가 조금 더 구체화/명확화 되어야 실질적인 평가 모델로서의 의미를 가질 수 있을 것이라 생각됨. Go/No-go와 참여 지분율 결정은 별도로 진행되는 것이 맞다고 판단되며, 다만 참여 지분율을 과거 사례를 기반으로 결정하기에는 무리가 있음. 계약 방식에 따라 모델이 구성된 점은 잘 되었음.		
활용성		적정성	편의성
6		9	9

(3) 삼성엔지니어링 토목설계팀 전문가

‘LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리 기법 개발‘ 전문가 자문 보고서			
	삼성엔지니어링 토목설계팀 전문가		
검토 의견	국내 EPC 업체들은 LNG Processing 플랜트 EPC 사업 진출을 위해 많은 노력을 기울이고 있음. EPC 단계의 리스크를 정량화하려는 접근 방식은 참신함이 있으나, 실무에서 활용하기에는 부족한 측면이 있으며, 해당 리스크로 인한 피해 사례나 구체적인 수치 자료가 동반되어 제시되면 좋을 것 같음. 리스크를 세 단계에 걸쳐 평가하고 그 양상을 분석하는 방식은 실무적으로도 괜찮은 아이디어지만, 평가 시점 및 대상에 따라 많은 변화가 있을 수 있음.		
활용성		적정성	편의성
8		8	8

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1절 개별 연구성과명

1. 개별 연구성과 설명

(1) 성과명: 수행단계별 리스크 관리 체계 개발

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="7">LNG 플랜트사업 수행 시 설계단계의 리스크를 도출하고 리스크 중요도 분석이 가능한 리스크 관리 모듈</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="7">시장 규모가 확대되고 있는 해외 LNG 플랜트사업의 수익률 안정을 위해 설계단계의 리스크를 규명하고, 기존 리스크 중요도 분석과는 달리 LNG 플랜트 사업에 적합한 리스크 중요도 분석을 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="7">LNG 플랜트사업의 수익률 안정을 위해 설계단계의 리스크를 규명하고, 이를 보다 합리적으로 평가할 수 있는 모듈의 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="7">일반 사업관리 관점의 리스크 요인 외에 LNG 플랜트 사업의 특성을 반영하기 위해서 LNG 플랜트 사업에 특화된 리스크 인자를 도출
LNG 플랜트는 공종의 복잡성과 다양성으로 인하여 일반 건설공사에 비해 세밀한 리스크 평가가 필요하므로 기존의 PI Matrix로 리스크 우선순위를 결정하기에는 한계가 있음. 이에 CI(Coordination Index)라는 기준을 적용하여 LNG 플랜트 관점에서의 리스크 우선순위 결정 모델의 개발이 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td rowspan="16">핵심성과</td><td rowspan="6">양적성과</td><td colspan="2">구분</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td rowspan="5">1단계</td><td>1차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">질적성과</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">달성 확인방법</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

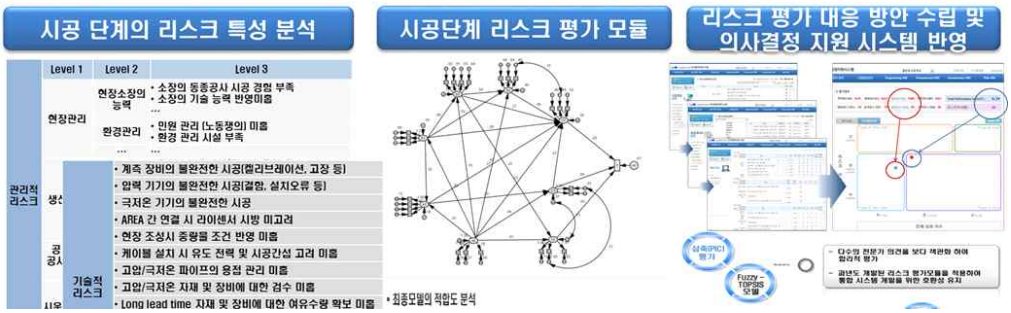
(2) 성과명: 설계 단계의 리스크 관리 모듈 개발

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="8"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="8">LNG 플랜트사업 수행 시 설계단계의 리스크를 도출하고 리스크 중요도 분석이 가능한 리스크 관리 모듈</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="8">시장 규모가 확대되고 있는 해외 LNG 플랜트사업의 수익률 안정을 위해 설계단계의 리스크를 규명하고, 기존 리스크 중요도 분석과는 달리 LNG 플랜트 사업에 적합한 리스크 중요도 분석을 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="8">LNG 플랜트사업의 수익률 안정을 위해 설계단계의 리스크를 규명하고, 이를 보다 합리적으로 평가할 수 있는 모듈의 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="8">일반 사업관리 관점의 리스크 요인 외에 LNG 플랜트 사업의 특성을 반영하기 위해서 LNG 플랜트 사업에 특화된 리스크 인자를 도출
LNG 플랜트는 공종의 복잡성과 다양성으로 인하여 일반 건설공사에 비해 세밀한 리스크 평가가 필요하므로 기존의 PI Matrix로 리스크 우선순위를 결정하기에는 한계가 있음. 이에 CI(Coordination Index)라는 기준을 적용하여 LNG 플랜트 관점에서의 리스크 우선순위 결정 모델의 개발이 필요함</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td rowspan="15">핵심성과</td><td rowspan="6">양적성과</td><td colspan="2">구분</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1단계</td><td>1차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">질적성과</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="6">달성 확인방법</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

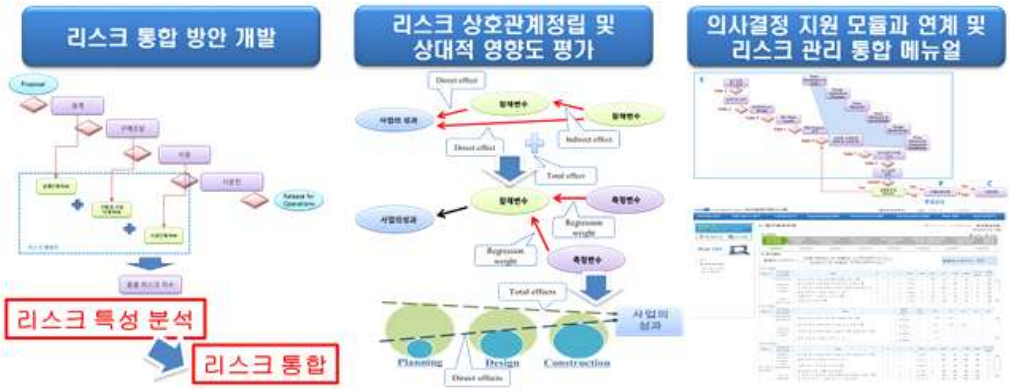
(2) 성과명: 구매조달 단계의 리스크 관리 모듈 개발

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="8"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="8">LNG 플랜트사업 수행 시 구매조달 단계의 리스크를 도출하고 리스크 중요도 분석이 가능한 리스크 관리 모듈</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="8">최근 해외건설의 수주가 활발해짐에 따라 대형화와 복잡성이 특징인 LNG 플랜트 사업에서 구매조달 단계의 중요성이 증대. 이에 구매조달 단계의 리스크를 규명하고 해당 리스크의 합리적인 평가를 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="8">LNG 플랜트사업의 구매 조달 단계에서의 리크스를 규명하고 합리적으로 평가할 수 있는 리스크 관리 모듈의 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="8">LNG 플랜트 구매조달단계에서의 특징이라고 할 수 있는 Long lead equipment와 bulk items으로 구분하여 플랜트 사업의 특수성을 반영하는 리스크인자를 도출
도출된 리스크 인자의 적합성을 평가하고 실무에서 중요하게 인식되는 리시크 요인을 추가적으로 제안</td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td rowspan="11">핵심성과</td><td rowspan="5">양적성과</td><td colspan="2">구분</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1단계</td><td>1차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">질적성과</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">달성 확인방법</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

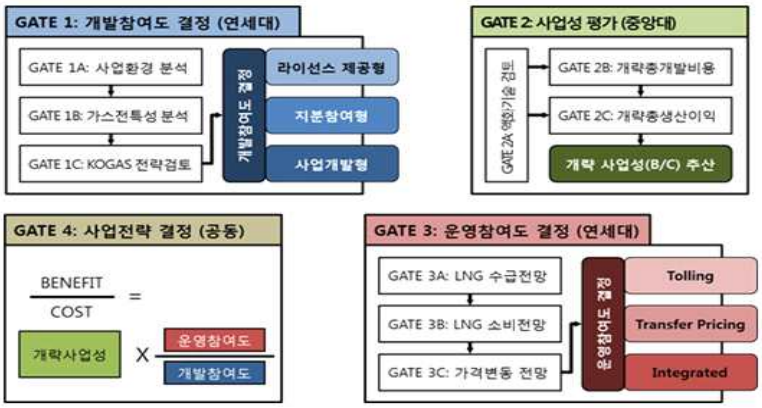
(3) 성과명: 시공 및 시운전 단계의 리스크 관리 모듈 개발

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="7"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="7">LNG 플랜트사업 수행 시 시공 및 시운전 단계의 리스크를 도출하고 리스크 중요도 분석이 가능한 리스크 관리 모듈</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="7">대부분의 LNG 플랜트 사업에서 최소한의 공기가 요구되며 LNG 플랜트 사업의 특성 상 수많은 시설물들이 연결되어있어 품질에 위협이 될 만한 리크스 인자들을 사전에 도출하여 중요도 분석을 시행하여 문제 발생 시 민첩한 대응을 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="7">LNG 플랜트사업의 시공 및 시운전 단계에서 품질에 위협이 될 만한 리스크를 도출하고 중요도를 평가할 수 있는 모듈의 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="7">시공 및 시운전 단계의 리스크를 분류하기 위해서 리스크 분류체계를 개발하고 리스크 중요도를 평가
건설 스테이지를 AREA로 구분하여 각 AREA의 특성에 기반한 기술적 리스크를 배치하여 시공 및 시운전 단계를 위한 맞춤형 리크스 평가관리 모듈을 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td rowspan="15">핵심성과</td><td rowspan="6">양적성과</td><td colspan="2">구분</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1단계</td><td>1차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">질적성과</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="5">달성 확인방법</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

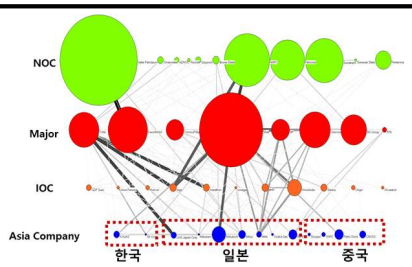
(4) 성과명: 단계별 통합 리스크 관리 기법 개발

<table>
<tr><td>관련 그림 / 사진</td><td colspan="8"> 
</td></tr>
<tr><td>정의(설명)</td><td colspan="8">LNG 플랜트사업 수행 시 시공 및 시운전 단계의 리스크를 도출하고 리스크 중요도 분석이 가능한 리스크 관리 모듈</td></tr>
<tr><td>설정사유</td><td colspan="8">대부분의 LNG 플랜트 사업에서 최소한의 공기가 요구되며 LNG 플랜트 사업의 특성 상 수많은 시설물들이 연결되어있어 품질에 위협이 될 만한 리크스 인자들을 사전에 도출하여 중요도 분석을 시행하여 문제 발생 시 민첩한 대응을 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td>목 적</td><td colspan="8">LNG 플랜트사업의 시공 및 시운전 단계에서 품질에 위협이 될 만한 리스크를 도출하고 중요도를 평가할 수 있는 모듈의 개발</td></tr>
<tr><td>성능목표</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td>소요기간</td><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td rowspan="16">핵심성과</td><td rowspan="6">양적성과</td><td colspan="2">구분</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1단계</td><td>1차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">질적성과</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="6">달성 확인방법</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

(5) 성과명: 해외사업모델 프레임워크 개발

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="7"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="7">LNG 플랜트 사업의 개발을 위한 사업선별 및 사업타당성검토와 같은 초기단계에서의 리스크를 도출 및 평가 할 수 있는 해외사업모델 프레임워크</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="7">LNG 플랜트 사업의 사업선별 및 사업타당성검토 단계에서 제한된 정보를 바탕으로 한 사업 리스크 평가와 거시적인 관점에서의 사업성 평가를 통해 적정 수준의 리스크 수준 평가를 기대할 수 있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="7">LNG 플랜트사업의 사업선별 및 사업타당성검토 단계에서 활용될 수 있는 해외사업모델의 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="7">현행 해외 LNG 플랜트 사업선별 및 사업타당성평가 방식은 현금흐름, 인플레이션 등을 고려한 개략적 경제성평가에 집중되어 있으며, 경제성 요소와 가스가격 변동에 따른 비용-편익비 분석에 그침.
사업전략특성, 최근 시장동향 등 정성적인 정보들을 정량적으로 평가, 비교, 검토할 수 있는 방식의 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td rowspan="14">핵심성과</td><td rowspan="6">양적성과</td><td colspan="2">구분</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1단계</td><td>1차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">질적성과</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="6">달성 확인방법</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

(6) 성과명: 해외사업모델 진출전략 및 비즈니스 모델 알고리즘 개발

<table>
<tr><td colspan="3">관련 그림 / 사진</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="3">정의(설명)</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">설정사유</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">목 적</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">성능목표</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">성과달성 책임자
(소속기관)</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">소요기간</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="14">핵심성과</td><td rowspan="6">양적성과</td><td colspan="2">구분</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>1단계</td><td>1차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">질적성과</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="6">달성
확인방법</td><td>1단계</td><td>1차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">2단계</td><td>2차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3단계</td><td>4차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>5차년도</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

2. 주요 연구성과

(1) 국내외 연구논문

1) 국외 학술저널논문(SCI(E))

	논문제목	학술지명	게재년월
1	A stage-gate integrated risk control system for LNG plant projects: Focusing on the design phase	Journal of Natural Gas Science and Engineering	2014.12
2	Formulation of a pull production system for optimal inventory control of temporary rebar assembly plants	NRC Research Press	2009.05

2) 국내 학술저널논문(KCI)

	논문제목	학술지명	게재년월
1	LNG 특성을 고려한 저장기지 입지선정 모델 개발	한국건설관리학회 논문집	2015.01
2	구조방정식을 활용한 해외건설 프로젝트 시공성 평가 모델	대한토목학회 논문집	2015.08
3	참여자별 수익성을 고려한 민간투자사업 성과예측 모델	대한토목학회 논문집	2015.04
4	국내 건설기업의 해외건설능력 평가체계 개발	대한토목학회 논문집	2014.06
5	해외 LNG 플랜트 리스크 요인 도출 및 우선순위 평가 -설계단계를 중심으로-	한국건설관리학회 논문집	2011.09
6	해외 천연가스 파이프라인 사업 진출을 위한 사업계획단계 의사결정 프로세스 모델 구축	대한토목학회 논문집	201209

3) 국외 학술발표논문

	논문제목	학술회의 명칭	발표일
1	Determining the rational entry mode for international construction projects	In Proc. CSM2014	2014.11
2	Integrated framework for productivity improvement : action research approach with lean construction theory	In Proc. IAARC2011	2011.06
3	Stage-gate Process Integrated Risk Management Framework for Overseas LNG Plant Projects	In Proc. IAARC2011	2011.06
4	Market Positions of Four Major International Construction Sectors	In Proc. CITC-VI 2011	2011.07
5	DECIDING PROCUREMENT STRATEGIES FOR CONSTRUCTION PROJECTS WHILE CONSIDERING OFF-SITE ENVIRONMENTAL IMPACTS	In Proc. CC2012	2012.07
6	A PRELIMINARY STUDY OF SUPPLY VENDOR SELECTION MODEL FOR LNG PLANT PROJECTS	In Proc. RICS COBRA 2012	2012.09
7	Development of a Constructability Assessment Model for International Projects Using Structural Equation Model	In Proc. ICCREM 2013	2013.10
8	The Project Screening Model for Natural Gas Projects: Focusing on The Gas Field Development	In proc. CRC2014	2014.05

4) 국내 학술발표논문

	논문제목	학술회의 명칭	발표일
1	LNG 도입 포트폴리오 최적화를 위한 핵심요인 연구	한국건설관리학회	2014.11
2	LNG 플랜트 공사 통합 리스크 관리 시스템 개발을 위한 프레임워크	한국건설관리학회	2014.11
3	리스크 관점에서의 러시아 천연가스 최적도입방안에 대한 연구	한국건설관리학회	2014.11
4	사회연결망을 이용한 LNG 기업 전략집단 분석	대한토목학회	2014.10
5	에너지시장 관점에서의 투자매력도 평가 체계 개발 - 아프리카 가스전 개발 사업을 중심으로	대한토목학회	2014.10
6	천연가스 배관 터널 특성을 고려한 쉴드 TBM 리스크 인자 도출	한국건설관리학회	2014.11
7	해외 건설기업의 중국 건설시장 제도적 리스크 인자 도출	대한토목학회	2014.10
8	해외 플랜트 건설공사 리스크 관리체계 구축을 위한 기초연구	한국건설관리학회	2009.11
9	LNG 플랜트 공사의 계약단계 리스크 관리를 위한 프레임워크 개발 기초연구	대한토목학회	2010.10
10	전문가 의견과 시뮬레이션 기법을 결합한 리스크 우선순위 평가방법 개선	대한설비공학회	2011.07
11	환경부하와 자재의 특성을 반영한 건설현장의 구매조달 방법 결정에 관한 선행 연구	대한토목학회	2011.11
12	Fuzzy-TOPSIS를 활용한 LNG 플랜트 기자재 공급업체 선정에 관한 연구	한국건설관리학회	2011.11
13	해외 LNG플랜트 사례분석을 통한 시공성 검토방안에 관한 연구	대한토목학회	2012.10

14	LNG 플랜트 사업의 FEED 단계 진출을 위한 기초연구	대한토목학회	2012.10
15	LNG 저장탱크의 토목설계기준 분석을 통한 대용량 저장탱크 규모 예측	한국건설관리학회	2012.11
16	사업개발 관점에서의 해외천연가스 프로젝트 진출 의사결정 모델 개발	한국건설관리학회	2013.11
17	LNG 저장기지 특성을 고려한 입지선정 요인 도출	한국건설관리학회	2013.11
18	사업 초기단계에서의 해외 가스전 가치평가 모델 개발	한국건설관리학회	2013.11

(2) 특허출원 및 등록

	특허명	출원/등록구분	출원/등록 번호	출원/등록 국가	출원/등록 날짜
1	LNG 플랜트 설계단계 리스크 평가 방법 및 관리시스템	등록	10-1409262	대한민국	2014.06.12
2	LNG 플랜트 설계단계 리스크 평가 방법 및 관리시스템	출원	10-2012-0009692	대한민국	2012.01.31
3	해외 가스전 개발 프로젝트의 사업환경 분석 시스템 및 방법	등록	10-1547031	대한민국	2015.08.18.
4	해외 가스전 개발 프로젝트의 지속가능성 평가 시스템 및 방법	출원	10-2013-0167116	대한민국	2013.12.30
5	해외 건설 프로젝트의 시공성 평가 방법 및 장치	등록	10-1547030	대한민국	2015.08.18
6	해외 가스전 개발 프로젝트의 사업환경 분석 시스템 및 방법	출원	10-2013-0167113	대한민국	2013.12.30
7	해외 건설 프로젝트의	출원	10-2013-01	대한민국	2013.12.30

	시공성 평가 방법 및 장치		67112		
8	System and method for analysing business environment of overseas gas plant project	출원	14205538	미국	2014.03.12
9	System and method for assessing sustainability of overseas gas field	출원	14205588	미국	2014.03.12

(3) 연구개발 관련 홍보 및 기타

1) 연구개발 관련홍보

	홍보명칭	홍보내용	홍보장소	일시
1	해외건설프로젝트 리스크 관리를 어떻게 할 것인가? -동향과 전망에 관한 소고-	해외공사의 수익성과 건전성 확보를 위한 리스크 인자들의 통합 관리 전략과 발전 방향 제시 기사	한국건설관리학회지 10권 4호 특집기사	2009.08
2	해외공사 수행 성공사례 -사우스파 가스전 공사[4/5단계] 중심-	실제 사우스파 가스전 공사의 성공전략 소개	현대건설	2009.07
3	RISK Management -Review on EPC Project-	리스크 관리 전략 소개		2009.07
4	건설 프로젝트 리스크 관리 : 해외사업을 중심으로	해외건설시장의 특성에 맞는 리스크 관리체계 및 현황 소개	한국가스공사	2010.09
5	해외 LNG 플랜트 개발사업의 전략 의사결정 모델	세계 LNG 전망에 따른 가스전 개발사업 비즈니스 모델에 대한 소개	플랜트/조선 컨퍼런스	2013.01
6	LNG 플랜트 해외 사업 모델	한국형 LNG	LNG 플랜트	2013.06

		플랜트의 해외진출 실행전략을 위한 해외사업 비즈니스 모델에 대한 상세 소개	컨퍼런스 2013	
7	사업개발 관점의 해외 천연가스 프로젝트 진출 의사결정 모델 개발	천연가스 프로젝트의 해외 사업 개발 시 의사결정 모델 소개	플랜트 조선 컨퍼런스 2014	2014.01
8	LNG 프로젝트 개발 및 투자	LNG 플랜트 프로젝트의 해외 사업 개발 시 의사결정 모델 소개	LNG 플랜트 컨퍼런스 2014	2014.06
9	LNG 플랜트 해외사업 모델 및 위험관리기법 개발	LNG 플랜트 해외사업 진출 모델과 공사 리스크 통합관리 시스템에 대한 부스 운영	제40회 대한토목학회 정기학술대회	2014.10

2) 전문기술인력 양성

	취득학위	이름	성별	학위취득일
1	석사	정호영	남자	2010.02
2	석사	장우식	남자	2010.02
3	석사	홍화욱	남자	2011.02
4	석사	이용욱	남자	2012.02
5	석사	이연호	남자	2014.08

3. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

(1) 시장 니즈 분석

국내 자원개발 사업 확대, 가스공사 총13개국 26개 사업을 진행 중이며 석유공사는 총23개국 55개의 사업을 진행중임

종합적인 사업환경 분석과 가스전의 지속가능성 평가 시스템은 전무하며 해외 에너지 개발사업 참여가 확대되고 있어 추후 10년간 최소 100개 이상 발주 가능함

구 분	한국 가스 공사(진행중)	자원 개발 사업(실패사업)
개발 및 탐사 사업	아카스 가스전 주바이르 개발사업 혼리버/웨스트 북극권 우미악 광구 Area 4 광구 미얀마 A-1/A-3 동티모르 해상광구	인도네시아 해상광구 탐사 러시아 서캄차카 동티모르, 호주 JPDA 미얀마 AD-7 우즈벡우준쿠이 탐사

- 자원 개발 및 탐사 사업 실패사례가 증가하고 있으며, 전문적인 평가 시스템이 필요

(2) 경제적 효과

해외 가스전 프로젝트 평가를 위한 환경의 구축 가격이 1억원/COPY, 유지보수 연 0.1억원 수준으로 추정됨

현재 가스공사는 해외진출 의사결정 과정에서 건당 10~15억 수준의 기회비용 발생

특히 프로젝트 평가를 위해 컨설팅을 시점에 따라 3~4회 정도 시행중임

해외 가스전 개발 프로젝트의 평가 시스템의 경제적 효과를 추정

국내 유일/독보적인 평가 시스템으로 가스공사 및 국내기업에게는 전수 채택이 기대되며 국내에서의 검증 및 보완을 거쳐 해외에도 판매가 가능할 것으로 전망되어 채택률이 더욱 확대 될 것임

제4장 연구목표 달성 및 효과

1절 연구개발 최종목표 달성도

연구목표	성과목표	성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법
해외 사업 모델 개발 및 진출 전략 수립	해외 LNG 프로젝트 사업 모델	가스전 개발 및 LNG 액화 플랜트 사업 참여 의사결정 알고리즘 개발	의사결정 알고리즘	의사결정 알고리즘	해외 특허 출원	출원서 확인
		가스전 개발 및 LNG 액화 플랜트 사업 참여 의사결정 절차 개선	Major IOC 수준 (eg. Shell 30% 등) 타당성평가정 확도	Major IOC 수준 타당성 평가 정확도	국내/외 에너지 기업 프로세스 비교	분석 보고서 확인
	해외 LNG 프로젝트 추진전략	해외 LNG 프로젝트 추진전략 매뉴얼 개발	보고서 1건	보고서 1건	프로젝트 추진전략 매뉴얼	보고서 확인
EPC 단계별 리스크 관리 기법 개발	EPC 단계별 리스크 관리 모듈	EPC 단계별 리스크 관리 알고리즘 개발	리스크 지표 및 관리 알고리즘	리스크 지표 및 관리 알고리즘	특허 등록	등록증 확인
					SCI급 논문 게재	성과물 확인
		EPC 단계별 리스크 관리 절차 개선	리스크 평가 지표 및 관리 범위 10% 확장	리스크 평가 지표 및 관리 범위 10% 확장	국내/외 EPC 기업 프로세스 비교	분석 보고서 확인
	통합 리스크 관리 기법	통합 리스크 관리 매뉴얼 개발	보고서 1건	보고서 1건	통합 리스크 관리 매뉴얼	보고서 확인

2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

기존 건설사업의 사업관리체계를 바탕으로 정보의 단절, 지식관리 부재, 개별화 등 시스템의 약점을 극복하고 정보, 지식 및 시스템이 통합된 LNG 플랜트 사업관리체계를 구현하여 LNG 플랜트 사업관리기술에 대한 중간진입전략을 수립

국내에 없는 LNG플랜트 사업개발 및 기획능력을 확충하되, 보다 선진화된 기술을 확보할 수 있도록 시나리오 기반의 체계인 시스템으로 구현

현재 시공기술 위주의 사업관리에서 벗어나 생애주기 관점에서 계획과 실행이 최적화된 사업관리체계를 구현하여 사업개발, 기획 컨설팅 등 신규분야에 진출할 수 있는 역량을 확보



그림 91. 연구성과의 기대효과

3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

일반적으로 사업관리 비용은 총 건설사업비의 12%정도로 볼 수 있으며, 이를 고려하면, 국내 LNG플랜트 사업관리 시장 규모는 매년 1,200억원~1,800억원의 시장이 형성될 것으로 예측되며, 본 연구를 통해 개발된 기술패키지 시장(전체 사업관리비의 5%정도)의 추정된 시장의 주기적인 업그레이드와 해외시장 진출을 위한 가수요를 고려시에 매년 100억원대의 시장을 형성될 수 있을 것으로 판단됨

위험기반의 사업관리시스템을 개발하게 되면, 기존 플랜트 관련 시스템의 대체효과로 인하여 경제적 효과를 볼 수 있을 것으로 기대됨. 또한 가스플랜트 공사관리에서도 정보화기반기술로써 활용성이 기대됨.

2015년 기준으로 LNG 플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이 중에서 5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악됨

1) 시장 니즈 분석

- 국내 자원개발 사업 확대, 가스공사 총13개국 26개 사업을 진행 중이며
- 석유공사는 총23개국 55개의 사업을 진행중임
- 종합적인 사업환경 분석과 가스전의 지속가능성 평가 시스템은 전무하며
- 해외 에너지 개발사업 참여가 확대되고 있어 추후 10년간 최소 100개 이상 발주 가능함

구 분	한국 가스 공사(진행중)	자원 개발 사업(실패사업)
개 발 및 탐 사 사 업	• 아카스 가스전 • 주바이르 개발사업 • 혼리버/웨스트 • 북극권 우미악 광구 • Area 4 광구 • 미얀마 A-1/A-3 • 동티모르 해상광구 .	• 인도네시아 해상광구 탐사 • 러시아 서캄차카 • 동티모르, 호주 JPDA • 미얀마 AD-7 • 우즈벡 우준쿠이 탐사 . . .

2) 기술의 경제적 효과

- 해외 가스전 프로젝트 평가를 위한 환경의 구축 가격이 1억원/COPY, 유지보수 연 0.1억원 수준으로 추정됨
- 현재 가스공사는 해외진출 의사결정 과정에서 건당 10~15억 수준의 기회비용 발생
- 특히 프로젝트 평가를 위해 컨설팅을 시점에 따라 3~4회 정도 시행중임
- 해외 가스전 개발 프로젝트의 평가 시스템의 경제적 효과를 추정

사업환경 분석 및 지속가능성 평가시스템 경제적 효과 추정	[{(1억원/COPY) X (20건)} + {1억원/회) X (100회)} + {(0.1억원/년) X(20건)}] X 30% = **36억원/년**

- 국내 유일/독보적인 평가 시스템으로 가스공사 및 국내기업에게는 전수 채택이 기대되며
- 국내에서의 검증 및 보완을 거쳐 해외에도 판매가 가능할 것으로 전망되어 채택률이
- 더욱 확대 될 것임

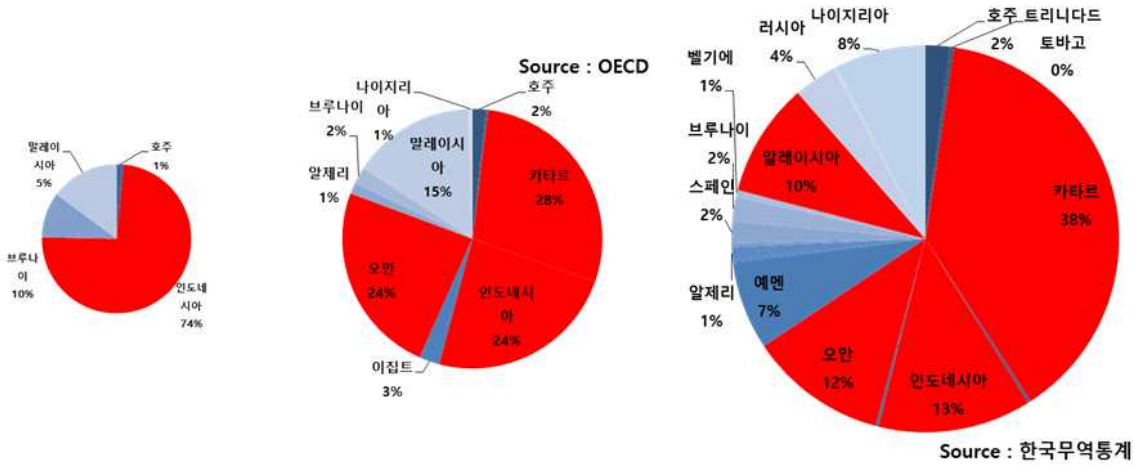
4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

- 공익성 강조

해외 LNG 프로젝트의 타당성은 유가, 국제 금리 변동, 환율, 입지 및 기반시설, 환경영향, 안전성 등에 민감하여 정확한 분석 없이 LNG 생산시설을 신설하거나 확장하는 것은 투자손실을 유발할 위험이 큼

잘못된 투자 결정은 국가예산을 낭비하고 이는 곧 국가경쟁력 약화초래와 정부의 에너지 정책에 대한 국민의 불신으로 귀결될 수 있어 합리적인 투자의사결정을 위한 체계적인 시스템 개발 및 구축이 매우 필요함

- 에너지 안보 측면의 이점



	1995	2006	2014
도입국가	4	10	18
70% 이상	1	3	4
Energy Security Risk (OECD 평균)	851 (876)	1263 (786)	1514 (1061)

그림 94. 지난 20년간 우리나라 및 국가별 에너지 안보 리스크 평가

에너지를 수입에 의존하고 있는 우리나라는 그만큼 에너지 안보 리스크가 높다고 평가됨. 특히 최근 20년간 우리나라의 에너지 안보 리스크는 OECD 평균을 상회하는 수준으로 증가하였으며, 이는 소수 국가에게 에너지 자원을 의존하게 되어 해당 국가의 위기가 곧 우리나라의 위기로 번질 수도 있음을 의미함. 해외사업모델에서 제시한 LNG 도입 물량 최적화 포트폴리오를 활용하여, 해당 문제에 대한 정책적 의사결정을

지원할 수 있음.

- EPC 플랜트사업의 사업관리분야

본 연구 결과를 통해 제시된 결과를 EPC 플랜트사업의 사업관리분야에 기술이전을 통해 도입할 경우 타 플랜트시장 중간진입 효과 발생 예상

커스터마이징을 통해서 정부의 공공 플랜트사업 기획 및 의사결정 지원을 위한 로직 및 기초 자료 제공 이 가능

- 가스플랜트 사업과의 연계방안

연구 결과 제시될 표준(안)을 바탕으로 국토가스플랜트 사업의 데이터 표준과 데이터 웨어하우스의 제공, 사업관리 기본로직을 제공하여 가스플랜트 사업단의 정보처리 및 정보관리 기반 제공 노력

해양부가 추진하는 해외사업 지원체계 구축의 일환으로 표준화기술의 채택방안을 포함할 수 있도록 노력

민간기업의 참여를 위한 정보의 제공으로 다양한 IT기술 및 계획을 신속하게 융합하여 현장에서 바로 활용될 수 있도록 함

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

1절 연구성과 향후 활용방안

- EPC 플랜트사업의 사업관리분야

본 연구 결과를 통해 제시된 결과를 LNG가스플랜트 분야 이외의 EPC 플랜트 사업 분야 전반에 기술이전을 통해 도입할 경우 각 분야별 EPC 플랜트 관리 사업관리 역량 조기 확보 및 시장 중간진입 기회 발생

쓰레기 소각장 등 국내 공공 시설물뿐만 아니라 민간 시설에도 기술 커스터마이징 후 도입 가능

- 구축 데이터의 재활용을 통한 플랜트산업 활성화 정책 지원

구축 예정인 각종 LNG 가스플랜트 데이터의 활용 고도화가 예상되며, 이를 기반으로 한 관련 산업의 활성화 도모 가능

사업투자 및 사업관리 의사결정을 체계적이고 시스템적으로 할 수 있는 토대를 마련하여 플랜트산업 활성화 정책 지원 가능

- 제조, 기계, 전기, 원자력 등 타 분야에 파급효과 발생

국내 타 분야 시장에 대한 사업기획, 사업관리 분야의 역량 고도화 가능

해외사업의 경험을 토대로 국내 타 산업분야의 사업관리 역량 글로벌화 추
진 가능

- IT기술, RFID 기술 등 타 분야 산업 활성화 기대

본 연구의 종료 시 발생하는 성과물은 기존 사업관리 활동을 실시간 모니터링 기반의 첨단 데이터획득기술로 전환할 수 있는 기반이 되며, 관련산업의 활성화를 기대할 수 있음

RFID 등 새로 개발된 센서들이 상용화되어, 각종 교통 및 물류, 시설물관리 등 다양한 서비스시장이 점차 가시화될 경우, 현재의 가스플랜트를 포함한 EPC 플랜트 전체 시장의 확대 추세를 고려하면, 보다 확대된 시장 형성이 가능할 것으로 판단됨

- 활용방안

기술 개발 완료 후 민간기업이 적극 활용할 수 있도록 국토해양부와 협조하에 공청회, 홍보전 등을 지속적으로 수행

관련 기술 표준화 및 관련 법 개정 협의회 참여

쓰레기 소각장 등 국내 플랜트 사업에 기술 개발 내용을 홍보하고, 이를 통한 원가절감 및 신뢰성 있는 기술개발에 대한 내용 활용 도모

해외 가스전 개발 프로젝트의 사업환경 평가 및 지속 가능성 평가 시스템 Web 구현

본 평가 시스템의 결과물인 프로그램을 관련 전문가를 통해 시연 및 현장 적용

사업참여 적정 지분 및 성공 가능성을 검토, 진출국가 추가 컨설팅 비용 절감 가능

에너지 공기업 및 국내 기업의 동반 진출을 위한 평가 시스템으로 확대 개발이 가능

	공기업	민간기업
활용 방안	해외 가스사업 진출타당성, 수익 실현가능성 검토 자원 공급에서 자원 개발기업으로 전환 방향 제시 해외사업 내실화/ 가스 수급 안정화를 위한 전략 검토	해외 가스사업 진출타당성, 수익 실현가능성 검토 에너지공기업과의 연계 강화를 통한 장기적 수익원 확보 탐사개발 초기단계에서 국내기업의 경험 축적

2절 추가연구 필요성 등

사업관리분야의 첨단기술 융합을 통한 실시간 모니터링 기술 연구

본 연구를 통해 제시된 결과를 토대로 성과 검토를 통해 다양한 데이터획득기술을 발굴하여 추가적용하고, 비교연구를 수행할 수 있음

특히, RFID 등 다양한 데이터확보기술은 개발과 함께 사업관리시스템에 모듈화할 수 있는 방안에 대한 연구 수행 가능

사업관리조직의 가상화 구현 연구

향후 사업관리 조직은 현장과 본사, 설계팀과 구매팀 등 다양한 조직이 가상의 네트워크 공간에서 상호 정보를 교환하고, 지식을 관리하며, 사업관리 정보를 획득하여 이를 의사결정에 활용할 수 있는 가상조직 연구와 연계될 수 있음

기술 및 서비스 표준안 연구

공공부분과 민간부분을 연결할 수 있는 표준안과 기술전략에 대한 연구도 필요

참고문헌

1. International Energy Outlook, 2006, DOE (USA)
2. World Energy Investment Outlook, 2004, 국제에너지기구(IEA)
3. GTL 프로젝트 개발동향과 우리의 참여가능성, 2003, 건설교통부
4. 산업설비 통합수행체제 핵심기술 개발, 2006, 건설교통부
5. 플랜트엔지니어링기술 로드맵, 2005, 산업자원부
6. Capital Project Roadmap, 2004, FIATECH
7. Annual Report, 2005, Technip
8. Annual Report, 2005, Bechtel Corporation
9. Annual Report, 2005, ConocoPhillips Co.
10. Ronald M. Smith, New developments in gas to liquids technologies, 2004, CERI Petrochemical Conference
11. Michael Barclay, Natural gas liquefaction process selection for emerging markets, 2005, 5th Doha Conference on natural Gas
12. Mona J. Molnvik, Statoil-NTNU global watch seminal: gas technology, 2003, SINTEF Energy Research
13. Michael Barclay and Noel Denton, Selecting offshore LNG process, 2005, LNG Journal
14. Bahram Ghaemmaghami, GTL: Progress and Prospects - Study yields generic, coastal-based GTL plant 2001, Oil&Gas Journa
15. Gas to liquids industry development discussion paper, 2001, Industry Science Resources
16. Gas to liquids life cycle assessment synthesis report, 2004, ConocoPhillips and Sasol Chevron and Shell
17. Troy A. Semelsberger, Dimethyl ether as a alternative fuel, 2005, Case Western Reserve University
18. Chris noble, GTL challenges, 2005, Foster Wheeler
19. 플랜트 IT 컨퍼런스 논문집, 2004-2006, 한국플랜트정보기술협회
20. 한국가스공사 카탈로그, 2006, 한국가스공사
21. ITER 카탈로그, 핵융합연구센터
22. LNG 플랜트 기술개발 해외 전문가 초청세미나 자료집
23. Alexander S. Adorjan, 1991, Heat Transfer In LNG Engineering, Hemosphere Publishing Coporation
24. 말레이시아 빈툴루(Bintulu) 액화기지 소개자료
25. A guide to LNG, (www.ferc.gov/industries/LNG.asp)
26. 설비공학 편람-냉동편
27. Tariq Shukri, 2004, LNG technology selection, FosterWheeler
28. GTL 기획자료, 2005, 화학연구원
29. Preliminary screening technology and economic assessment of sybthesis gas to fuels,

NREL, 2003.
30. Evaluation Of Liquefied Natural Gas Receiving Terminals For Southern California, University Of California, 2004.
31 Sib Akhtar, Driver selection for LNG compressor, MSE Ltd., 2004.
32 Zuoyi Zhang, Economic potential of modular reactor nuclear power plants, Nuclear Engineering and Design, 2007.
33 Pluto LNG development industry briefing, WOODSIDE, 2006.
34 Arthor J. Kidnay, Fundamental natural gas processing, 2006.
35 4D CAD를 기반으로 한 건설사업관리 시스템 개발, 한국건설기술연구원, 2001
36 SOC 사업관리 모델 개발 연구보고서(최종), 아주대학교, 2000
37 건설프로젝트 관리기술 개발 1단계 최종보고서, 한국건설기술연구원, 1998
38 플랜트 프로젝트 관리체계 표준화 기술개발, 현대건설, 2005
39 해외건설공사 손익발생 원인분석 및 리스크 관리방안 개발, 연세대학교, 2002
40 해외건설공사의 생산성 및 수익성 향상을 위한 Risk Management 시스템 구축 및 웹기반 실무활용지침서 개발, 연세대학교, 2003-2005
41 건설공사 위험인지 체계 및 체크리스트 개발, 연세대학교, 2002
42. 한국 산업설비 건설산업의 경쟁력 분석, EPC Project, 유홍석
43. XML을 이용한 원전 기기 데이터시트 교환에 관한 연구, 조광종, 2004
44. STEP 방법론을 이용한 원자력 플랜트 모델의 공유방안, 한순흥, 2004
45. 원전 적용을 위한 STEP 데이터 모델링 기법에 대한 비교 및 CBD기반의 어플리케이션 프레임워크에 관한 연구, 박찬국, 2004
46. 석유가스와 플랜트 분야의 제품모델 규격 적용지침, 표준협회, 2003
47. Vision 2020, 1999, Construction Industry Institute (http:// construct - institute. org)
48. Plant IT 2003 Conference; Best solutions and Best Practices, 2003, Korea Association of Plant Information Technology
49. NIST homepage, http://cic.nist.gov/plantstep/
50. 건설프로젝트관리기술 개발, 2000, 과학기술부
51. 건설기술혁신사업 5개년 계획, 2003, 건설교통부
52. A guide book of project and program management(P2M) for enterprise innovation, 2004, Japan PMCC
53. 산업설비 중장기 기술기반 확충방안 연구, 2002, 건설교통부
54. 통합건설정보분류체계, 2005, 건설교통부
55. 산업설비공사 일반표준시방서, 1999, 건설교통부
56. 건설표준화 기술개발, 2002, 한국기술연구원
57. California Action Plan, 1973, PDPM
58. CANDU형 발전시스템 교육, 운전지원용 플랜트 해석기 개발, 1994, 과학기술부
59. 컴퓨터 이용 CANDU 설계, 건설 지원 시스템 개발, 1994, (주)대우건설
60. 3D CAD모델을 활용한 월성원자력발전소 운전 및 정비 지원시스템 개발, 1998, (주)한국

수력원자력
61. 원자력발전소용 웹기반 가상교육시스템 개발, 2002, 한국전력연구원
62. 국제표준(STEP, ISO 10303/15926) 기반의 석유가스와 플랜트분야의 제품모델규격 적용지침 개발, 2002, (주)대우건설
63. 국제 표준 기반의 원자력 발전소 데이터 모델 및 응용 시스템 개발, 2004, 한국전력연구원
64. 플랜트 건설산업 육성방안 관한 연구, 1997, 건설교통부
65. BP Statistical Reviewof World Energy 2007, http://www.bp.com
66. 해외 LNG시장 변화와 시사점, 2004, 이영구
67. 21C를 맞이하는 한국 LNG 산업의 현황 및 고찰, 2001, 박의승
68. BP, Statistical Review of World Energy, 2006
69. Poten & Partners, LNGAS Database, http://www.poten.com
70. Wood Mackenzie, Global LNG Online, http://www.woodmacresearch.com
71. 건설교통부(1997), 플랜트 건설산업 육성방안 연구, 건설교통부
72. 건설교통부(2000), 지하공간을 이용한 혐오시설의 복합플랜트화 연구보고서, 건설교통부
73. 건설교통부(2002), 건설기술개발 및 관리등에 관한 운영 규정, 건설교통부
74. 건설교통부(2002), 건설산업기본법 시행규칙 중개정령안, 건설교통부
75. 건설교통부(2003), 건설기술연구개발사업 중장기(2003-2007)계획, 건설교통부
76. 건설교통부(2003), 서울특별시 전문시방서(산업설비공사편), 건설교통부
77. 건설교통부(2004), 2004 건설기술진흥시행계획, 건설교통부
78. 건설교통부(2005), 건설공사 표준품셈 개정 내용, 건설교통부
79. 건설지원담당관실(2003), 산업설비(플랜트)발전방안, 건설교통부
80. 과학기술부(2002), 국가 기술지도 -총론-, 과학기술부
81. 과학기술부(2002), 엔지니어링 해외진출을 위한 실무가이드, 과학기술부
82. 과학기술정책관리연구소(1995), 플랜트 엔지니어링 산업의 현황과 효율적 경영 전략에 관한 연구, 과학기술정책관리연구소
83. 과학기술정책관리연구소(1996), 97′ 건설기술 연구개발사업 사전기획 연구, 과학기술정책관리연구소
84. 과학기술정책연구원(2005), 전력산업연구개발사업 중장기 종합계획, 산업자원부
85. 국립환경연구원(1999), 화력발전시설, 국립환경연구원
86. 권영수(2000), 열병합 발전설비의 적용, 설비저널
87. 권오현, 정재호(2004), 건설업체의 사업타당성조사·분석 실태 연구, 한국건설산업연구원
88. 권정순(2000), 배연탈황설비, 설비저널
89. 김명수, 김재영, 권혁진(2000), 건설산업 지식기반 구축방안 연구, 국토연구원
90. 김성기(2004. 11 .30), 에너지 도입 계약시 플랜트 수출과 연계 추진해야, 건설뉴스
91. 김세은, 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보 (http://www.intergraph.co.kr), 한국 인터그래프
92. 김세은 (2004), 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보, 인터그래프코리아㈜
93. 김재수(2004), 메타데이터를 통한 표준정보 유통활성화, KISTI

94. 김종수, 박영기, 1985, 해외건설공사 손실발생 원인조사 및 대상에 관한 연구, 대한건축학회
95. 김종윤(2005), 국가 지식정보 통합검색시스템 오픈, 전자신문
96. 김창규(2002), 우리나라 플랜트 수출 산업의 발전전략, 기계산업
97. 김태형(2004), 대외시장 개방에 따른 플랜트 건설산업의 대응방향, 설기술연구원
98. 김태황, 강민석(2001), 중국 건설시장의 환경 변화와 진출 전략, 한국건설산업연구원
99. 김한힘, 임건순, 선승민, 한승헌(2003), 공정관리 프로그램과 영향도 기법을 통합한 LNG 저장탱크 공사의 공기관리에 관한 사례연구, 대한토목학회
100. 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상 방안, 한양대학교 산업대학원
101. 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상방안, 한양대학교 석사학위논문
102. 김형삼, 1985, 해외건설추진현황과 개선방향의 고찰, 대한토목학회
103. 대림산업주식회사(2000), 지식경영과 e-Business 추진사례, 대림산업주식회사
104. 대림정보통신(2002), Sigma KMS 2000 , 대림정보통신
105. 대림I&S(2002), e-Novator ERP con, 대림I&S
106. 대림I&S(2002), e-Novator series, 대림I&S
107. 대한전기협회 전력기준실(1999), 전력산업기술기준(KEPIC)종합안내서, 대한전기협회 전력기준실
108. 대한토목학회(2002), 해외건설 시장 전망과 활성화 방안, 한국건설산업의 21세기 비전・위기와 기회
109. 동신기술개발주식회사(1997), 건설공사 시행절차 규정 제정연구, 건설교통부
110. 디지털타임스(2000), 한전 KDN-미국 ABB, 발전용 SW 공동 추진, 디지털타임스
111. 라도현 (2000), 한국 건설산업의 국제화 전략에 관한 연구, 전남대학교
112. 매일경제(2005), 대우 시공예측, 美 벡텔보다 낫다, 매일경제 1월 10일자
113. 문경록, 부진을 면치 못하고 있는 해외건설, korea investors service
114. 문성우(2005), 통합분류체계의 실증적 적용을 통한 발주자, 계약자 간 일괄된 건설정보관리, 대한토목학회 Vol. 25 No.1
115. 박광순(2002), 플랜트산업의 여건변화에 따른 제도 개선방안, 기계산업
116. 박광순(2003), 차세대 성장산업으로서의 플랜트산업, 산업연구원
117. 박동순(2001), 한국 해외건설기업의 경쟁우위에 관한 연구, 대전대학교
118. 박종국(2002), 최적의 협업 환경을 제공하는 LG건설의 eWokrs 21 시스템, 기계저널
119. 박찬국(2002), 플랜트 통합 설계시스템 구축을 위하여, 기계저널
120. 박찬국(2003), 해양 석유 및 가스 생산플랜트 PDM, 기계저널
121. 박찬국(2004), 프로세스 및 Oil & Gas 플랜트 분야, 기계저널
122. 박찬식, 이지웅, 조규대(2003), 국내외 해외건설 선진기업 비교 연구, 대한건축학회
123. 박한재(2002), 우리나라 해외건설의 경쟁 우위요인에 관한 연구, 동아대학교
124. 박홍태(2000), 바람직한 공정관리를 위한 환경 조성 방안, 대한토목학회 Vol. 48 No. 6
125. 방사성폐기물처리시설,, 홈페이지 http://nfcf.kaeri.re.kr/rwtf/default.asp,
126. 산업연구원(2002), 플랜트산업의국내외여건변화와제도개선방안, 산업연구원

127. 산업자원부(2002), 해외플랜트 타당성 조사 지원사업관리지침 제정 고시, 산업자원부
128. 삼성SDS(2001), 지식정보통합관리시스템 구축을 위한 제안서, 삼성SDS
129. 삼성SDS, ACUBE, 삼성SDS
130. 삼성SDS, Kwave(The Best Solution for Knowledge Management), 삼성SDS
131. 송정수, 심상훈, 김지윤, 윤기봉(2003), RBI 절차의 석유화학 플랜트 적용에 관한 연구, 대한기계학회논문집
132. 양호용(2002), LPG 저장탱크 대형화 설계연구, 설비저널
133. 에너지관리공단(2004), 소형 열병합발전 운영실태조사, 에너지관리공단
134. 연합뉴스(2004), 두산중공업 담수플랜트 석권, 연합뉴스
135. 연합뉴스(2004), 삼성건설, 기술표준화 개인과외식 교육 도입, 연합뉴스
136. 연합뉴스(2004), 원전용 분산제어시스템 국산화 성공, 연합뉴스
137. 연합뉴스(2004), 조선업계, 미래형 신개념 선박개발 '박차', 연합뉴스 5월 4일자
138. 연합신문(2004), 내달 5일, 동해가스전 준공식 개최, 연합신문
139. 연합신문(2004), 동해가스전 준공 의미와 전망, 연합신문
140. 연합신문(2004), 일본 자가발전 증대 추세, 연합신문
141. 연합신문(2004), 최태원 SK㈜회장, 베트남에 기술수출 제안, 연합신문
142. 오인승(1994), 플랜트 엔지니어링산업의 경영분석과 재무전략에 관한 연구, 한양대학교
143. 오정숙(2001), 국내 KMS 시장 동향, 정보통신산업연구실(kisdi.re.kr)
144. 오해석(2004), 지식강국 건설의 기초는 지식 콘텐츠 구축, 한국데이터베이스진흥센터
145. 와이즈소프트㈜(2003), Enterprise Knowledge Portal, 와이즈소프트㈜
146. 이동욱(2004), ISP 방법론을 활용한 중소전문건설업체의 지식경영전략 및 지식경영시스템 구축, 한양대학교
147. 이동욱 이태식(2002), 지식경영 성공요인 및 장애요인 분석, 건설관리학회
148. 이동희, 곽중민, 김지영, 강인석(2001), 건설공사 업무절차 재서계 기법 연구, 대한토목학회
149. 이배호, 박홍태, 이철규(1997), 공정관리 실태조사를 통한 운영 개선방안, 대한토목학회
150. 이순영, 이종구(2002), 장치산업의 CALS 유효 기술 활용방안, 대한건설설비학회
151. 이응로 (2005), 전력 IT 표준화 '발등의 불', 전자신문
152. 이재규, 이근희(1995), 플랜트엔지니어링 산업의 현황과 효율적 경영 전략에 관한 연구, 한양대학교 산업대학원
153. 이태식(2001), 건설 지식경영(KM)의 활성화 및 효율성 제고를 위한 건설조직문화, 건설관리학회
154. 이태식(2004), 현장형 건설경영을 위한 지식관리 시스템(PMIS, KMS)구축기술, 대한토목학회
155. 이태식, 강재준(1998), 국내 플랜트 건설사업의 설계품질경영사례를 통한 개선방안 연구, 대한토목학회
156. 이태식, 강재준(1998), 국내플랜트건설사업의설계품질경영사례를통한개선방안연구, 대한토목학회논문집

157. 이태식, 강재준(1998), 사례연구를 통한 플랜트건설의 구매 및 시공단계의 품질경영 개선방안 연구, 대한토목학회논문집
158. 이태식, 곽동구, 한충희(1999), 실무용 건설관리시스템 개발을 위한 시공정보분류체계에 관한 연구, 대한토목학회
159. 이태식, 김용천(2001), 건설산업의 효율적 정보관리체계 구축전략, 건설관리학회
160. 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 수행 중 획득된 지식과 시방서와의 통합 시스템, 대한토목학회
161. 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 지식데이터베이스 연계를 통한 시방서 개선방안, 건설관리학회
162. 이태식, 심명섭, 김영현(1999), 국내 대형건설업체의 공정관리 현황 및 개선방안에 관한 연구, 대한토목학회
163. 이태식, 이동욱(2003), 중소건설업체를 위한 지식경영시스템 구축, 대한토목학회
164. 이태식, 이동욱(2004), 지식경영개론, 구미서관
165. 이태식, 이동욱, 배건(2001), 건설산업의 지식정보화 기반을 위한 기초적 고찰, 건설관리학회
166. 이태식, 이동욱, 지상복(2004), 건설 기술문서의공유를 위한 건설기술정보시스템 개발, 대한토목학회
167. 이태식, 정보건(2002), 건설산업 지식평가 방안 연구, 건설관리학회
168. 이태식, 정보건, 장대천, 이진욱(2002), 건설산업 지식 관리를 위한 지식 분류체계 현황조사, 대한토목학회
169. 이태식, 최재호, 박세진, 김영민(2004), 건설사업관리[CM] 성과측정을 위한 Best Practice별 핵심성공요인 체크리스트 개발, 대한토목학회
170. 이태준, 홍정진(2004), 국가원자력기술지도 작성 방법론, 한국원자력사업협회
171. 이현찬 (2002), 전자상거래 표준화 로드맵, 전자상거래 표준화 통합포럼
172. 이협희(2002), 도시 고형폐기물의 열분해 용융특성, 대한설비공학회
173. 임상택(2004), 디-패스트트랙′ 플랜트 공법, 한국경제신문
174. 장현승, 최석인(2004), 세계 플랜트 건설시장 전망과 시사점, 한국플랜트산업협회
175. 전외술, 김영로(2000), 한국 해외건설기업의 경쟁우위 원천에 관한 실증적 연구, 한국생산성학회
176. 전자신문(2003), 플랜트 건설정보화 촉진 방안, 전자신문 4월 14일자
177. 정희식(2001), 건설 내수 부진을 플랜트 수출로 돌파하자, 현대연구소
178. 정희식(2002), 플랜트 산업 환경 변화와 선진기업들의 사업전략, 현대연구소
179. 조규대(2002), 해외건설시장 동향분석을 통한 한국 해외건설의 경쟁력 향상 전략, 중앙대학교 건설대학원
180. ㈜아이리스21, POSEIDON, ㈜아이리스21
181. ㈜온더아이티, The Final Knowledge Portal Solution for e-Business, ㈜온더아이티
182. ㈜창해소프트서비스, KMSbuilder, ㈜창해소프트서비스
183. 최대우, 김우주, 김기녕, 류시철, 이수영, 플랜트 건설분야에서의 작업 물량 추정을 위한

신경회로망 및 사례 기반 복합 방법론의 개발, 한국경영과학회대한산업공학회
184. 최우석(1998), 기업 경영의 필수 요건으로 부각된 PDM, CAD & 그래픽스
185. 최태용(2004), 상수도공사 설계 및 실무, 한국상수도협회
186. 건설관리학회(2003), 국내 CM 활성화를 위한 제도적, 기술적 발전방안 연구 및 CM 평가기법개발을 통한 적용성과 분석, 건설교통부
187. 한국건설기술연구원(1994), 건설정보 분류 표준화 연구, 한국건설기술연구원
188. 한국건설기술연구원(1995), 건설부문 엔지니어링 핵심 공통기반 기술개발 사업을 위한 연구기획 사업, 한국건설기술연구원
189. 한국건설기술연구원(2000), 건설 프로젝트 관리기술 개발, 과학기술부
190. 한국건설기술연구원(2002), 제3차 건설기술진흥기본계획 수립 연구, 건설교통부
191. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발 (Ⅲ) ･전자 문서 표준 부록, 건설교통부
192. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅰ) ･전자 문서 표준, 건설교통부
193. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅱ) ･전자 문서 표준, 건설교통부
194. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CALS/EC 표준화 개발(Ⅱ) ･전자 문서 표준 부록, 건설교통부
195. 한국건설기술연구원(2003), 건설 CLA/EC 활성화 대회, 한국 CALS 협회
196. 한국건설기술연구원(2004), 건설 CALS/EC 표준개발을 위한 해외 전문가 초청 워크샵, 한국건설기술연구원
197. 한국건설기술연구원(2004), 산업설비 통합수행체재 핵심기술 개발(Ⅰ)중간보고서, 한국건설교통기술평가원
198. 한국건설기술연구원 건설기술품질센터(2000), 내화구조의 인정 및 관리업무 세부운영지침, 한국건설기술연구원
199. 한국건설산업연구원(1998), 플랜트엔지니어링의 핵심경쟁력 요소-일반건설업체와의 비교를 중심으로, 한국건설산업연구원
200. 한국경제신문(2004), [지역경제 신지도] 울산 : 해양시추선, 플랜트 설계 'KCL', 한국경제신문
201. 한국과학기술기획평가원(2003(2002년 국가연구개발사업 평가자료 공공기술, 한국과학기술기획평가원
202. 한국과학기술정보연구원(2002), 플랜트 시설의 지진 리스크 평가 시스템 개발, 해외과학기술동향 558호
203. 한국도로공사(2003), 21세기 지식경영 리더 한국도로공사 지식관리 시스템, 한국도로공사
204. 한국도로공사(2003), K-way(한국도로공사 지식관리시스템), 한국도로공사
205. 한국도로공사(2003), Standards for Electronic Drawings and Documents(전산설계도서 표준호 체계), 한국도로공사
206. 한국전력공사, 한국표준형 원자력 발전소 울진 3, 4호기 사업관리 업무편람, 한국전력공

사
207. 한국전력공사 건설관리실(1995), 산업관리 기술정립을 통한 발전소 거설 160) 사업관리 최적화방안 연구, 한국전력공사 건설관리실
208. 한국전력공사 원자력기술실(1996), 원전기술 고도화 추진전략 수립 연구(최종보고서), 한국전력공사 원자력기술실
209. 한국전력기술(2004), 공정관리절차서, 한국전력기술
210. 한국전력기술주식회사, Human Technology Environment, 한국전력기술주식회사
211. 한국전산원(2004), 정보시스템 운영감리 지침에 관한 연구, 한국전산원
212. 한국전산원, 지식관리 기술 및 표준화 방안연구, 한국전산원
213. 한국정보공학㈜, The Leading e-Convergence Enabler (EP를 지향하는 KM솔루션, WiseKeys), 한국정보공학㈜
214. 한국정보통신, Wise keys-KMS, 한국정보통신
215. 한국지능정보시스템학회(2001), 지식 기반 플랜트 건설 공정 계획 시스템의 개발, 한국지능정보시스템학회
216. 한국IT감리컨설팅(2004), 시설물유지관리시스템 확산 및 기초자료 구축사업, 한국IT감리컨설팅
217. 한국IT감리컨설팅(2004), 시설물유지관리시스템 확산 및 기초자료 구축사업 감리, 한국IT감리컨설팅
218. 한순흥, STEP 표준의 일반적인 현황, 과학기술원
219. 한양대학교(1997), 사회기반시설물 평가기술 연구단 연구 계획서, 건설교통부
220. 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실(2001), 동원건설 지식경영 체제구축-2차보고서-, 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실
221. 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실(2001), 동원건설 지식경영 체제구축-3차보고서-, 한양대학교 건축공학부 CMCIC 연구실
222. 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터(1998), 프로젝트 정보통합 모델 개발, 과학기술부
223. 한충희, 국찬호, 김선국(2000), 건설분야에서 국내표준과 국제표준의 부합화 방안, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
224. 한충희, 김인한, 이두헌(1997), 웹을 이용한 건설정보의 효율적 활용 방안, 대한건축학회 논문집 Vol.17 No.2
225. 한충희, 김선국, 전영호(2001), 건물 부위요소의 경계조건 규명과 응용사례, 대한건축학회 논문집 Vol.17 No.3
226. 한충희, 김연성, 김선국(2000), 상업시설의 공사실적정보 관리시스템, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
227. 한충희, 김재준, 안병주(1995), 설계 비용 일정 정보 통합에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.11 No.8
228. 한충희, 이군재, 김선국(2000), 건축공사의 공정-원가-자원 통합관리 모델에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
229. 한화S&C, Best of the Best, 한화 S&C

230. 한화S&C, e-Business Innovator, 한화S&C
231. 해외건설협회(2003), 해외 플랜트 건설공사 수익성 제고방안, 해외건설협회
232. 해외건설협회(2005), 현대건설 이라크 복합화력발전소 건설사례소개, 해외건설협회
233. 해외건설협회, 해외건설 년도/규모별 총괄 계약현황(플랜트) 통계, 해외건설협회
234. 해외건설협회 데이터 서비스, http://www.icak.or.kr,
235. 해외과학기술동향 558호(2001), 후지전기, 산업 플랜트 서비스 사업 확대, 해외과학기술동향 558호
236. 해외과학기술동향 558호(2003), 똑똑해지고 있는 플랜트 디자인 소프트 웨어, 해외과학기술동향 558호
237. 현대건설㈜(2005), 교량/송전선로 사업관리 전문가 시스템, 현대건설㈜
238. 현대엔지니어링, http://www.hec.co.kr/,
239. 현재천(1997), 21세기 한국 화학공학, 화공기술, 화공산업의 Vision, 금빛출판사
240. 홍성웅(1995), 일본 건설업체의 해외시장 진입 전략, 한국건설산업연구원
241. 홍은표(2001), 플랜트 엔지니어링 IT 활용 현황 및 전망, ㈜ 세피안 테크놀러지
242. CAD & graphics(2004), 플랜트 IT업계의 리더, 인터그래프코리아, CAD & graphics
243. Castro-Lacouture, D., Skibniewski, M(2005), Quantitative Assessment of Web-Based Construction Management Systems: A Case Study on Rebar Design and Estimation, Information Technology in Architecture, Engineering and Construction
244. Chung, B-Y., Skibniewski, M(2005), Cost-Benefit Analysis of Integrating ERP Systems with Project Management Systems in Construction Firms, 1st International Conferenceon Construction Engineering and Management, Seoul
245. ComTrue KMS(2003), 지식경영의 선두 ComTrue KMS, ComTrue KMS
246. ERP추진실 건설관리팀(2005), 공정 및 시공정보 관리시스템 소개, 한국수력원자력
247. Helmut schuller, Hype or opportunity for complex global projects, Intergraph
248. LG-EDS시스템, Knowledge Enterprise Portal Solution, LG-EDS시스템
249. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2003), Impact of Web-Based Project Management Systems on Construction Claims Processing Procedures,
250. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), “A Model for the Analysis of Success/Failure Factors in Application of Web-Based Project Management Systems in Construction, ASCE Journal of Construction Engineering and Management
251. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Web-Based Construction Project Management Systems: What Makes Them Succeed?, Automation in Construction, Vol. 13, No. 4, Elsevier,
252. Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Web-Based Project Management Systems: Survey of Success and Failure Factors, Building Research & Information, Taylor &Francis Group Publishers, London, U.K
253. Nitithamyong, P., Skibniewski, M., Chaturvedi, A(2004), Success and Failure Factors of Web-Based Construction Project Management Systems: Evidence from Case Studies,

Information Processing & Management, Pergamon-Elsevier, Oxford
254. PI실 건설관리팀(2004), 원전건설분야 ERP구축개요, 한국수력원자력
255. PI실 건설관리팀(2005), 원전건설관리시스템, 한국수력원자력
256. PI실 건설관리팀(2005), 토건분야 시공관리시스템 소개, 한국수력원자력
257. Ryoo, B.-Y., Skibniewski(2004), e-Portal for Construction Engineers: Korea Example, "under review by Information Systems, Information Systems, Pergamon-Elsevier, Oxford, U.K
258. Ryoo, B-Y., Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Electronic Project Management Information Systems (e-PMIS) for Construction Projects in Developing Countries, CIB W107 Symposium on Globalization and Construction, Bangkok
259. Skibniewski, M. (1991, Information Management System for New Construction Technologies, Construction Management and Economics
260. Skibniewski, M. (2002), Current Research on Web-Based Tools for Construction Project Management, Invited KeynoteLecture, Special Symposium on the 5th Anniversary of Collaborative Research Between Purdue University and Cracow University of Technology, Krakow, Poland
261. Skibniewski, M. (2003), Constructability Analysis and Decision Support, CONMAT
262. Skibniewski, M. (2003), Making Web-Based Project Management Systems Successful, 2nd International Conference on Construction in the 21st Century
263. Skibniewski, M. (2004), Critical Factors in Assuring Application Success of Web-Based Project Management Systems in Construction, INCITE 2004 Malaysia
264. Skibniewski, M. (2004), Critical Success Factors for Application of Web-Based Project Management Systems, National University of Singapore
265. Skibniewski, M. (2004), Recent Developments in Web-Based Project Management Tools, Hanyang University (Ansan Campus), Seoul, Korea
266. Skibniewski, M. (2004), Statistical Research on Success and Failure of Web-Based Project Management Systems in Construction, Seoul National University, Korea
267. Skibniewski, M. (2004), Utility of Web-Based Project Portals for Construction Applications, National Chiao-Tong University, Hsinchu, Taiwan
268. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Project Management ? Success or Failure?, European Conference on Process and Product Modeling in the Building and Construction Industry, Istanbul Technical University, Turkey,
269. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Project Portals for Engineering Management Collaborations, Universidad Nacional de Cordob. Argentin. November
270. Skibniewski, M. (2004), Web-Based Tools for Construction Project Management, Taiwan Construction Research Institute, Taipei
271. Skibniewski, M. (2004), World-Wide Web Technologies for Project Management, National CentralUniversity, Jung-li, Taoyuan, Taiwan

272. Skibniewski, M. (2005), Critical Challenges for Information Technology in Construction Engineering and Management, Construction Industry Executive Forum, SAP Corporation, Philadelphia
273. Skibniewski, M. (2005), Information Technology Challenges for the Construction Industry: Integrating Enterprise Resource Planning and Web-Based Project Management, University of Southern Californi. Los Angeles
274. Skibniewski, M., E-Commerce and Web-Based Project Management Technologies for Construction, 4th International Conference on Construction Project Management: Remaking Construction in the Knowledge-Based Economy,
275. Skibniewski, M., Managing Construction through the Worldwide Web, Mokwon University, Taejon, Korea
276. Skibniewski, M., Nitithamyong(2002), Use of Web Technologies in Construction Project Management: What are the Critical Success/Failure Factors, Information Resources Management Association, Idea Group Publishing
277. Skibniewski, M., Nitithamyong, P(2004), Web-Based Construction Project Management Systems, Construction Bulletin, No. 27, March
278. Skibniewski, M., Zhang, L(2005), Economic Feasibility of Web-Based Project Management Solutions, The International Journal of Construction Management
279. The Top 225 International Contractors, http://www.enr.com, ENR
280. Wright, J., Skibniewski, M(1990), A Graduate Course in Expert Systems Prototype Development, International Journal of Applied Engineering Education, Pergamon Press