19IFIP-B091004-06

플랜트건설동시병행협업기술및플랫폼개발 최종보고서

2020

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

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

플랜트연구 사업 제6차 연도 최종 보고서

R&D / 19IFIP-B091004-06

플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발

최종보고서

2020. 05. 04.

1세부 최종보고서
2세부 최종보고서
3세부 최종보고서
4세부 최종보고서

플랜트실
국토교통과학기술진흥원

19IFIP-B091004-06

보안 과제( ), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개( )발간등록번호()
플랜트연구사업 제6차 연도 최종 보고서

R&D / 19IFIP-B091004-06

플랜트 동시병행 협업체계 지원기술 개발 최종보고서

2020.03.20.

주관연구기관 / 한국과학기술원
협동연구기관 / 한국기술교육대학교
협동연구기관 / 플랜트에셋㈜
위탁연구기관 / ㈜한국씨엠씨
참여기관 / 필즈엔지니어링㈜

플랜트 동시 병행 협업 체계 지원 기술 개발 최종보고서

2020

국토교통과학진흥원

국토교통과학진흥원
(전문기관) 한국과학기술원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발’(연구개발 기간 : 2019.01.01 ~ 2019.12.28) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2020 . 02 . 11 .

주관연구기관명 : 한국과학기술원 (대표자) 신성철 (인)
공동연구기관명 : 한국기술교육대학교 (대표자) 이성기 (인)
공동연구기관명 : 플랜트에셋㈜ (대표자) 조시연 (인)
위탁연구기관명 : ㈜한국씨엠씨 (대표자) 신현국 (인)
참여기관명 : 필즈엔지니어링㈜ (대표자) 나장훈 (인)

주관연구기관책임자: 서효원
공동연구기관책임자: 최재현
공동연구기관책임자: 조시연
위탁연구기관책임자: 진금택
참여기관책임자: 권영현

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19IFIP-B09 1004-06	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. ~ 2019.12.28	단계구분	(해당단계)6/6 (총단계)
연구사업명	중사업명	플랜트연구사업			
	세부사업명	플랜트연구사업			
연구과제명	대과제명	플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발			
	세부과제명	플랜트 동시병행 협업 체계 지원 기술 개발			
연구책임자	서효원	해당단계 참여연구원 수	총: 47 명 내부: 47 명 외부: 0 명	해당단계 연구비	정부: 950,000천원 민간: 516,400천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,466,400천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 281 명 내부: 281 명 외부: 0 명	총 연구비	정부:4,018,300천원 민간:1,561,100천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:5,579,400천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국과학기술원			공동연구기관명 : 한국기술교육대학교, 플랜트에셋㈜ 참여기관명: 필즈엔지니어링㈜	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 한국씨엠씨(주)			연구책임자: 신현국	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급: 일반 결정사유: 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제24조의4에 따른 보안과제에 해당하지 아니함

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	1	2	6	0	0	9	0	0	0	0	0

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	본 연구에서는 협업 단위 시스템을 기반으로 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 동시-병행적으로 진행하는 협업 체계 지원 방법론과 이를 지원하는 PLM (Plant Lifecycle Management) 기반의 협업 지원 소프트웨어 개발을 목표로 한다
연구개발성과	● 플랜트 동시병행 협업체계 지원기술 개발 (시스템) ● 플랜트 엔지니어링 협업을 위한 통합 프로젝트 관리기술 개발(시스템) ● 플랜트 엔지니어링 협업 통합 관리 시스템 개발(시스템)
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	● 본 연구에서 개발되는 플랜트 협업 시스템은 국내는 물론 해외 시장에서 활용될 수 있도록 관련 플랜트 엔지니어링 업체와 협력하여 실용화를 추진 ● 참여기업들의 플랜트 모듈화 건설시 연구 성과물의 활용을 통한 상용화 추진 및 보완 후 국내 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진 ● 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT업체를 통해 개발 S/W를 상업화 ● 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상 ▶ 동시병행 협업 체계화 시스템, 모듈화 엔지니어링 플랫폼, 비정형/의미 데이터 공유 방법론 등은 테스트베드를 통한 검증을 바탕으로 플랜트 IT업체를 통해 상용화를 통해 플랜트 SW 경쟁력을 높이고, 또한 Stick-built 방식으로 건설한 플랜트 대비하여 모듈화 플랜트의 공기 단축 및 비용 절감으로 모듈화 건설 고유기술 확보를 통한 글로벌 기술 경쟁력을 확보하는 효과가 예상됨

국문핵심어 (5개 이내)	플랜트 엔지니어링	비정형 데이터 처리	협업체계	동시병행 관리	협업 통합 시스템
영문핵심어 (5개 이내)	Plant Engineering	Semantic Data Processing	Collaboration Platform	Concurrent Engineering	Integrated system

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 8
1.1 연구개발 목표 ····· 8
1.1.1 연구개발의 비전 ····· 8
1.1.2 연구목적 및 주요 연구내용 ····· 8
1.1.3 연구개발 기술의 정의 ····· 9
1.2 연구의 필요성 ····· 10
1.2.1 연구개발과제의 추진배경 ····· 10
1.2.2 연구개발의 중요성 ····· 11
1.3 연구개발의 범위 ····· 14
1.3.1 핵심기술 개발 ····· 14
1.3.2 핵심 성과 목록 ····· 14
1.4 연차별 연구내용 ····· 16
1.4.1 1차년도 ····· 16
1.4.2 2차년도 ····· 17
1.4.3 3차년도 ····· 19
1.4.4 4차년도 ····· 20
1.4.5 5차년도 ····· 21
1.4.6 6차년도 ····· 22

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 24
2.1 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼 ····· 25
2.1.1 서론 ····· 25
가. 연구 최종 목표 ····· 25
나. 연구 내용 및 방법 ····· 25
2.1.2 [B-3] 동시병행 협업지원 플랫폼 ····· 26
① 협업 플랫폼 적용 ····· 26
② 협업플랫폼 통합 및 평가 ····· 28
2.2 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어 ····· 30
2.2.1 서론 ····· 30
가. 연구 최종 목표 ····· 30
나. 연구 내용 및 방법 ····· 30
2.2.2 [C-1] 모듈화 플랜트 일정-비용-사양 연계 기술 개발 ····· 30
① 플랜트 일정-비용-사양 연계 통합연계관리 지침서 개발 ····· 30
2.2.3 [C-2] 엔지니어링 프로세스 체인체계 ····· 33
① 플랜트 원가-일정 통합 지침서 개발 ····· 33
2.2.4 [C-3] 프로젝트 통합 관리 시스템 ····· 35

① 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템 통합 ····· 35
② PBS-WBS-CBS 정립지원 시스템 개발 ····· 38
③ 일정-비용-사양 상충관리 시스템 개발 ····· 40
2.3 협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어 ····· 43
2.3.1 서론 ····· 43
가. 연구 최종 목표 ····· 43
나. 연구 내용 및 방법 ····· 43
2.3.2 [D-1] 협업단위 구성요소 정보/의미정보 연계 통합 관리 시스템 ···· 44
① 프로젝트 산출물관리 시스템과 타 시스템의 통합 ····· 44
② 개발 시스템 성능 보완 및 안정화 ····· 45
2.3.3 [D-2] 의미정보 활용 및 Analytics 고도화 시스템 ····· 47
① 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템과 타 시스템과 통합 및 적용 ··· 47
② 개발 시스템 성능 보완 및 안정화 ····· 50
2.4 동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템 (패키지) ····· 51
2.4.1 서론 ····· 51
가. 연구 최종 목표 ····· 51
나. 연구 내용 및 방법 ····· 51
2.4.2 [E-1] 동시병행/협업정보/연계 통합 관리 시스템 ····· 51
① 시스템 통합 DB 연계 개발 및 시험 ····· 51
2.4.3 [E-2] 통합 플랫폼 전체 시스템 연계 ····· 56
① 통합 플랫폼 개발 ····· 56
② 통합 플랫폼 테스트 및 보완 ····· 63
2.5 시스템 성능평가/보완 및 실용화/범용화 방안 수립 ····· 64
2.5.1 서론 ····· 64
가. 연구 최종 목표 ····· 64
나. 연구 내용 및 방법 ····· 64
2.5.2 [F-1] 성능평가 및 보완 ····· 64
① 테스트 데이터 확보 ····· 64
② 테스트 프로세스 정립 ····· 64
③ 테스트 환경 H/W 플랫폼 구축 ····· 65
④ 테스트 환경 연계 UTILITY S/W 환경 구축 ····· 66
⑤ 협업플랫폼 S/W 셋업 ····· 67
2.5.3 [F-2] 실용화 및 범용화 방안 수립 ····· 68
① 시스템 기능 테스트 데이터 입력 ····· 68
② 시스템 기능 자체 테스트 ····· 68
③ 시스템 기능 자체 테스트 보완 ····· 73
④ 사용자 중심 테스트 기능 수정 보완 ····· 73
⑤ 시스템 실용화를 위한 보완 ····· 73
⑥ 시스템 실용화 수립 보고서 작성 ····· 74

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 75
3.1 목표 ····· 75
3.2 목표 달성여부 ····· 80
3.2.1 연구개발 목표의 달성도 및 자체 평가 ····· 80
3.2.2 연구개발성과 ····· 85
3.2.3 구매 금액이 3천만원 이상인 연구시설・장비 구축 현황 ····· 87
3.3 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등) ····· 87
4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 88
4.1 연구개발성과의 활용방안 ····· 88
4.2 기대효과 ····· 88
4.3 사업화 계획 ····· 90

붙임. 현업 의견 ····· 94
붙임. 플랜트 현업 사용서 검토 및 만족도 조사 ····· 96
붙임. RFP 대비 연구설과 일람표 ····· 97

1. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발 목표

1.1.1 연구개발의 비전

글로벌 플랜트 건설 시장 선도를 위한 독자 기술 확보

- 플랜트 협업 체계화 기술
- 플랜트 협업 엔진니어링 효율화 기술
- 플랜트 협업 엔지니어링 시간단축 및 비용 절감 기술

1.1.2 연구목적 및 주요 연구내용

육상 플랜트 협업 단위 프로세스를 고려하여,

○ 시스템 분할, 구매/조달, 시공, 유지보수를 고려한 설계 엔지니어링 기술과 동시병행으로 수행되는 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 참여 주체의 협업을 지원하는 PLM 기반 협업 시스템(패키지) 개발을 최종 연구개발 목표로 함

- Stick-built 대비 플랜트 건설 기간 20% 단축
- Stick-built 대비 건설 원가 10% 절감
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 10% 단축
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 5% 절감
- 동시병행 협업 체계 지원 시스템 업무처리효율 10% 개선(기존 엔지니어링 방식 대비 업무 처리 시간 단축율)
- 플랜트 모듈화 현장 설계 변경 및 재시공율 10% 개선(기존 플랜트 stick-built 건설 사례 대비 모듈화 시공 평가 시뮬레이션기반 현장 설계 변경 및 재시공 비율)

○ 본 연구에서 개발되는 PLM 기반 플랜트 협업 시스템은 국내는 물론 해외 시장에서 활용될 수 있도록 관련 플랜트 엔지니어링 업체와 협력하여 실용화를 추진함.
PLM 기반 플랜트 협업 시스템 개발 시 실용화 관점의 요구사항들을 분석하여 이를 체계적으로 반영
기술 개발 후 실용화 관점에서 산출물을 평가하고 국내 EPC업체와 협력 하에 보완 계획을 수립하여 실용화를 추진

○ 참여기업들의 플랜트 모듈화 건설시 연구 성과물의 활용을 통한 상용화 추진 및 보완후 국내 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진함

○ 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT업체를 통해 개발 S/W를 상업화

○ 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상

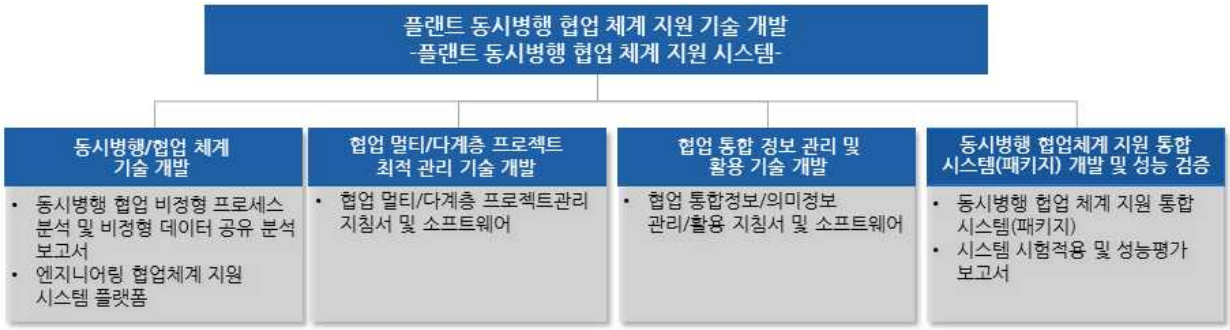


그림. 플랜트 동시병행 협업체계 지원 기술

1.1.3 연구개발 기술의 정의

기술 정의	기술의 내용	차별점 (우수성, 혁신성 관점에서)
1. 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	플랜트 엔지니어링 과정에서 일정을 최적화하고, 다량의 비정형 데이터를 체계적으로 정량화, 정형화하며, 프로젝트에 참여하는 주체간에 정보 공유, 협업 및 관리하기 위한 시스템 - 동시병행화 기술 - 비정형데이터 처리기술 - 협업 플랫폼 기술	- 플랜트 공사의 모든 비정형정보의 정형화된 정보로의 변환을 통해 연계성이 높은 플랜트 정보접근이 가능하게 됨. - 플랜트 기업의 문서 내용을 DB화 (ITB, 설계, 유지보수 등의 문서) 함으로써, 통합 검색이 가능해져, 업무 효율화를 가져 옴 - 모듈협력사, 발주사, 설계협력사 및 종합건설사를 연결하는 협업 플랫폼으로 엔지니어링 과정에서 정보 및 도면, 문서의 연계 관리를 지원해 주는 시스템
2. 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	플랜트 모듈화에서 협업 멀티/다계층 프로젝트 일정의 충돌관리와 사양/일정/비용 통합 연계 관리 및 프로젝트 최적 관리 체계 구축 기술 - 일정 비용 연계중심 비용 계획 기술 - 일정 비용 연계중심 일정 계획 기술 - 일정 비용 연계 계획 지원 기술	- 기존의 정보를 활용하여 효율화를 추구 하고자 하는 목적. 기존의 자산정보 및 Typical 정보등을 바탕으로 WBS, CBS를 구축하고, 특히 WBS-CBS 의 유연한 연계를 가져오고자 함. 또한 WBS-CBS 연계를 바탕으로 기존의 문서를 활용 하고자함 - 일정/원가 시스템과의 연계를 통한 현재 진행중인 프로젝트의 통합적이고 가시적인 분석의 기초를 제공하여 PM의 의사결정에 큰 도움을 주는 의사 지원 시스템의 역할 수행 가능 - 이러한 접근이 전체적으로 프로젝트 계획 관리의 효율화를 가져 와서 플랜트 경쟁력을 제고 하고자 함

협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	플랜트 건설시 발생하는 정보, 즉 문서 산출물 및 데이터베이스 정보를 체계적으로 관리하고, 문서 컨텐츠 등 정형화된 정보를 바탕으로 데이터 분석 방법(Data Analytics)을 적용하여 사용자 고려 검색, 의미기반 검색, 유사정보 추천 등의 기능을 개발하여 플랜트 건설시 정보 활용을 고도화 시켜주는 시스템 - 산출물 관리 시스템 기술 - 정보검색 및 데이터분석 시스템	- 산출물관리에서 관리 되는 도면, 문서 등의 데이터 분석 기술을 바탕으로 한 내용분석을 통하여 유사 문서 또는 유사 항목을 추천 받거나 검색이 가능함 - 비정형데이터 기술 기반이 되므로 기존 협업 시스템 대비 실적데이터 및 의사결정에 도움이 되는 정보 이용의 효율성이 큰 차별성이 됨. - 견적, 설계, 제작, 운송 및 모듈 상세설계의 각 라이프사이클 별 활용 가능 - PBS/WBS/CBS와 산출문간의 유연한 연계를 통한 프로젝트의 지원이 가능함.

1.2 연구의 필요성

1.2.1 연구개발과제의 추진배경

- 플랜트는 설계(Engineering), 조달(Procurement), 시공(Construction) 등이 복합된 산업으로서 산업연관 효과가 높고, 플랜트 수주가 후속 기계류 수출확대로 이어지는 효과가 있음

- 한국산업기술평가관리원에 따르면 글로벌 플랜트 시장 규모는 2013년 1.1조 달러에서 2020년 1.7조 달러로 연평균 6%의 성장률을 보일 것으로 예상됨. 하지만 국내 기업의 시장 점유율은 2010년 9.6%를 정점으로 점차 하락하고 있으며 상위 10개국이 전 세계 플랜트 시장의 90%를 차지하고 있을 정도로 소수 선진국의 시장지배력이 강한 과점 시장임

- 현재 국제적인 경제환경의 변화로 국내 플랜트 엔지니어링 산업이 위기에 처해 있지만 갈수록 대형화·복잡화 되는 제반 시스템들의 추세와 국제 유가 회복 전망을 감안하면 성장 잠재력이 매우 높음. 이에 대비하여 국내 기업들이 보유한 다양한 시공경험과 첨단 ICT의 융합을 통해 기본설계 역량을 중심으로 기초체력을 강화함으로써 새로운 성장동력으로의 전환이 필요함

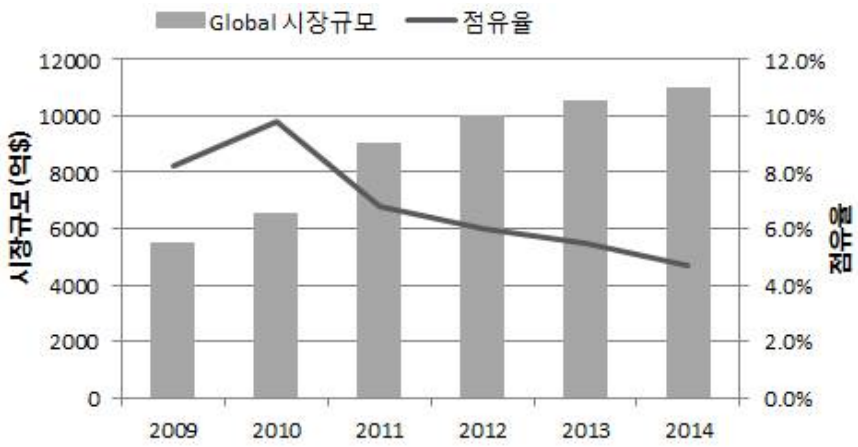


그림. 국내 기업의 세계 플랜트 시장 점유율 (한국플랜트산업협회)

● 이같이 근래 들어 국내 기업들이 고전하는 원인으로 다음과 같은 몇 가지를 들 수 있음

- 2015년의 국제 원유가격 폭락과 이후 저유가 기조 지속으로 중동 산유국을 위시한 주요국들의 석유화학 플랜트 신규발주가 대폭 연기 및 취소되면서 국내외 플랜트 건설경기 침체가 장기화 되고 있음

- 중국·인도 등 주요 신흥국들은 자체의 거대 국내시장과 저임금을 배경으로 자국 플랜트 엔지니어링 산업을 육성하는 한편, 고급 엔지니어링 기술의 개발 지원을 통해 기술경쟁력 향상도 도모하고 있음

- 세계시장을 주도하고 있는 선진국 엔지니어링 전문기업들은 기본설계를 중심으로 인증 및 지식재산권을 선점, 무기화함으로써 진입장벽을 높여 갈수록 격차를 확대해가고 있음

- 세계적으로 기획에서 운영까지 밸류체인 통합이 추세인 상황에서 국내 건설기업들은 시공분야에 집중되어 있는 취약한 사업구조를 가지고 있음

1.2.2 연구개발의 중요성

● 분야별 전망

- 오일/가스 분야는 부가가치가 높은 해양 플랜트를 중심으로 5개 분야 가운데 가장 높은 성장이 예상되며 고부가가치 사업 확대를 꾀하는 선도업체들의 진출이 늘어날 것으로 보임

- 담수 플랜트 시장은 물부족 현상이 심각한 국가를 중심으로 성장할 것으로 예상되며, 인구증가와 지구온난화, 환경오염으로 인한 물부족 심화로 수요가 더욱 늘어날 것으로 보임

- 발전플랜트 시장은 전력수요가 증가하는 신흥 개발도상국을 중심으로 지속적으로 성장할 것으로 예상되며, 발전원별로는 석탄, 가스의 지속적 성장, 신재생에너지의 급격한 비중확대, 핵기술 보유국의 경우 고유가와 기후협약 등의 환경 변화 요인 등과 맞물려 원자력 발전 플랜트의 지속적인 성장이 전망됨

- 신재생에너지 분야는 과다한 초기투자로 인한 어려움은 있지만 기존 에너지원과 비교해 가격경쟁력이 확보된다면 급신장할 것으로 전망됨

- 석유화학 플랜트 시장은 설비의 공급과잉과 제품수요 감소로 일시적인 침체가 예상되나 2011년 이후에는 고성장이 전망됨

● 지역적 전망

- 세계 경제성장엔진의 이동에 따라 앞으로 플랜트 시장의 중심은 북미와 서유럽에서 신흥 개발 국가로 이동할 것으로 전망

- 중동지역은 글로벌 경기침체로 프로젝트가 연기되는 사례가 잇따르고 있지만 다른 지역과 비교하면 여전히 좋은 모습을 보이고 있고, 고도의 경제성장과 급속한 도시화는 에너지 수요 급증 현상이 예상되고 오일/가스와 발전이 중심축을 형성할 것으로 전망됨

- 중국, 인도, 동남아의 급속한 경제 성장에 따른 에너지 블랙홀이 형성되고 이로 말미암아 세계 에너지 자원이 아시아 지역으로 대규모 흡수되고 있으며 에너지 부족 문제 해결을 위한 발전 플랜트 분야의 비중이 확대될 것으로 전망

- 중남미 지역은 에너지 가격 및 원자재 가격의 상승, 정치적 안정 등에 힘입어

높은 경제성장을 보이면서 인프라 확충사업과 에너지 개발로 인한 오일/가스와 전 플랜트 분야 중심의 성장이 예상됨

● 플랜트 엔지니어링 산업은 다양한 기술 및 업종이 복합된 종합산업으로서 다음과 같은 차별적인 특성이 있음.

- 장기적인 프로젝트 라이프 사이클 : 플랜트는 시공에만 통상 2~5년 정도 오랜 시간이 소요되며, 건설 후 약 15년 이상 장기간에 걸쳐 운영되므로 장기적 관점에서 투자·운영·유지보수 계획의 수립이 요구됨

- 대규모 투자 소요 및 투자회수에 장기간 소요 : 플랜트 건설은 수백억 원 이상의 투자가 필요하며, 투자의 회수도 장기적인 운영을 통해 진행됨

- 프로세스 확정 후 변경 불가능 : 핵심 공정(프로세스)이 확정되면 모든 시스템의 사양이 이에 맞추어 결정되므로 핵심공정의 변경이 불가능하거나 많은 비용이 수반됨

- 핵심공정(프로세스)의 선택에 따라 플랜트 건설비와 생산원가에 큰 영향을 줄 수 있음

● 플랜트 업계 위기 대응 방안 고려

구분	주요 방안
지역 다변화	카자흐(정유공장 현대화 사업), 아제르(정유공장 현대화, 석화단지 건설), 러시아(Zhanatas 화공 플랜트 건설), 브라질(발전 설비 확충 계획), 아세안경제공동체(인니, 베트남 등 에너지 인프라 개발) 등 IT 기술을 통한 모니터링 시스템 강화
응용분야 확장	1) 플랜트 분야 비중 축소에 대응해 탈 플랜트 응용분야 발굴 - IT융합기술 반영 2) 최근 통합관리시스템을 통한 에너지 분야 사업 모델 개발 주시
융합 서비스 모델 개발	중국 등 신흥국 추격에 대응해 제품 위주 사업모델에서 융합 서비스 혁신 모델 개발을 중장기 과제로 추진

- E-P-C 전체 Value Chain사에서 시간, 비용, 실행에 대한 프로세스와 데이터 통합이 필수적인 요소로 대두

● 최근 알파고 등으로 인해 인공지능분야에 대한 국민적 관심이 집중되었으며 정부는 9개 국가전략프로젝트 추진계획을 통해 선진국 수준의 인공지능 기술 개발을 추진하고 있음

- 인공지능 분야는 부가가치 창출의 새로운 원천으로 주목받으면서 세계 주요국과 글로벌 선도 기업들의 집중적인 투자와 연구개발이 이루어지고 있으며 향후 급속한 시장규모의 증가와 금융, 의료, 제조/건설업 등 경제·산업은 물론 사회·문화적 측면에서 광범위한 파급 효과를 가져올 것으로 예측됨

- 인공지능 기술은 그 특성상 단독 기술뿐만 아니라 산업경쟁력 향상의 보조적 수단이 높으며 기반 기술과 이를 활용한 응용기술 개발 및 산업화의 동시 진행이 필요함

- 본 연구에서는 비정형 데이터의 성격과 양을 통계기반의 인공지능분야의

기계학습 방법론을 사용하여 규칙과 더불어 EPC환경에서의 비정형 문서를 정형화된 패턴으로 변환하는 알고리즘을 개발하였음 또한 의미기반의 비정형데이터 처리 기술, 비정형프로세스 마이닝 및 동시병행 등의 독창적인 기반 IT신기술을 토대로 한 플랜트 산업의 지식기반 의사결정 지원시스템 구축을 목표로 하고 있어 이에 대한 개발이 완료될 경우 관련분야로의 기술 파급효과가 클 것으로 기대됨

1.3 연구개발의 범위

1.3.1 핵심기술 개발

1. 연구목표 및 내용

구분	내용
최종 목표	육상 플랜트 협업 단위 프로세스를 고려하여, ○ 시스템 분할, 구매/조달, 시공, 유지보수를 고려한 설계 엔지니어링 기술과 동시병행으로 수행되는 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 참여 주체의 협업을 지원하는 PLM 기반 협업 시스템(패키지) 개발을 최종 연구개발 목표로 함 - Stick-built 대비 플랜트 건설 기간 20% 단축 - Stick-built 대비 건설 원가 10% 절감 - 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 10% 단축 - 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 5% 절감 - 동시병행 협업 체계 지원 시스템 업무처리효율 10% 개선(기존 엔지니어링 방식 대비 업무 처리 시간 단축율) - 플랜트 모듈화 현장 설계 변경 및 재시공율 10% 개선(기존 플랜트 stick-built 건설 사례 대비 모듈화 시공 평가 시뮬레이션기반 현장 설계 변경 및 재시공 비율)
세부 목표	○ 본 연구에서 개발되는 PLM 기반 플랜트 협업 시스템은 국내는 물론 해외 시장에서 활용될 수 있도록 관련 플랜트 엔지니어링 업체와 협력하여 실용화를 추진함. PLM 기반 플랜트 협업 시스템 개발 시 실용화 관점의 요구사항들을 분석하여 이를 체계적으로 반영 ○ 기술 개발 후 실용화 관점에서 산출물을 평가하고 국내 EPC업체와 협력 하에 보완 계획을 수립하여 실용화를 추진 ○ 참여기업들의 플랜트 모듈화 건설시 연구 성과물의 활용을 통한 상용화 추진 및 보완후 국내 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진 ○ 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT업체를 통해 개발 S/W를 상업화 ○ 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상

1.3.2 핵심 성과 목록

1. [B] 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼

가. [B-1] 동시병행 시스템

○ 플랜트 건설 동시병행 일정 최적화 시스템과 협업 플랫폼 시스템 등과 통합 추진 및 통합 시나리오, 통합 기능 개발, 통합 후 데이터 연계를 통한 통합 검증을 수행

○ 통합 보고서 작성

나. [B-2] 비정형 시스템

○ 비정형 의미데이터 공유 시스템과 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 간의 데이터 연계를 수행

○ 셋업매뉴얼, 사용매뉴얼, 운영매뉴얼 작성

다. [B-3] 협업 플랫폼 적용 및 안정화

○ 타 시스템과의 데이터 연동을 수행

○ 개발 보고서, 시험 보고서, 셋업 매뉴얼, 사용 매뉴얼, 운영 매뉴얼 작성 및 SW 등록

2. [C] 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어

가. [C-1] CBS 계획 지원 기술 및 지침서

○ 초기계획 지침, 개산 견적 지침, 상세견적 지침, 통합진도관리 지침에 대한 통합지침서 작성

○ 국내 논문 제출 1건

나. [C-2] WBS 계획 지원 기술 및 지침서

○ Schedule Basis 작성 지침, Typical Master Schedule 작성 지침, 공정관리업무 수행 지침, 현장공정관리 업무 지침, 공정관리 Tool운영 지침에 대한 통합지침서 작성

다. [C-3] 일정, 비용, 계획 어드바이저

○ 프로젝트 일정-비용-사양연계 프로젝트 관리시스템, 동시병행 일정 최적화 시스템과 협업 플랫폼 시스템 등과 통합 추진 및 통합 검증을 수행

○ 개발 보고서, 통합 보고서 작성 및 SW 등록

3. [D] 협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어

가. [D-1] 프로젝트 산출물 관리 시스템

○ 산출물관리 시스템과 타 시스템의 통합 및 테스트 수행

○ 통합 보고서, 시험 보고서, 셋업 매뉴얼, 사용 매뉴얼, 운영 매뉴얼 작성

나. [D-2] 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템

○ 산출물관리 시스템과 시스템 통합 및 적용 수행

○ 개발 보고서, 시험 보고서, 셋업 매뉴얼, 사용 매뉴얼, 운영 매뉴얼 작성

4. [E] 동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)

○ 1세부 통합 및 연동 수행, 전체 통합 및 연동 수행

○ 개발 보고서, 시험 보고서, 연동 개발 보고서, 연동 시험 보고서, 연동 개발 보고서 통합 작성

5. [F] 시스템 성능평가/보완 및 실용화/범용화 방안 수립

○ 플랜트 프로젝트의 각각의 기능별로 개발된 시스템들을 전체 프로세스 차원에서 연계 수행

○ 시험 절차서, 시험 데이터 목록, 셋업 매뉴얼, 사용 매뉴얼, 적용 검증 보고서, 기술 보고서, 적용 시험 보고서, 사용 매뉴얼, 운영 매뉴얼 작성

1.4 연차별 연구내용

1.4.1 1차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		1차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
						질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치			
1세부	A	동시병행 협업 비정형 프로세스 분석 및 비정형 데이터 공유 분석 보고서	A-1	동시병행/협업 비정형 프로세스 체계 기술 보고서	①	플랜트 엔지니어링 지원 기술 분석 건수	2	분석한 플랜트 엔지니어링 지원 기술 개수	플랜트 엔지니어링 지원 기술 분석서 확인	2	카이스트	130	보고서: 2건
						플랜트 엔지니어링 기업 조사/분석 건수	3	분석한 플랜트 엔지니어링 기업 조사/분석 개수	플랜트 엔지니어링 기업 조사/분석서 확인	1			보고서: 1건
			A-2	협업 엔지니어링 의미데이터 공유 체계 기술 보고서	①	협업 엔지니어링 의미데이터 기술 사례 분석 건수	4	분석한 협업 의미데이터 기술 사례 개수	협업 의미데이터 공유 기술 분석서 확인	2	카이스트	130	보고서: 1건
						협업 엔지니어링 데이터 공유 기술현황 분석 건수	2	분석한 데이터 공유 기술현황 개수	협업 데이터 공유 기술현황 분석서 확인	1			보고서: 1건
			A-3	협업 프로세스 및 데이터 연계 체계화 기술 보고서	①	프로세스-데이터 연계 체계화 수준	30%	전문위원 기술검토	프로세스-데이터 통합 체계 정의서	-	카이스트	-	-
	B	엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	B-1	동시병행 프로세스 관리 시스템	①	시스템 기능완성도	-	외부전문가 검토	시스템 설계서, 시제품, 평가서	-	플랜트에 셋	-	-
			B-2	협업 의미데이터 공유 시스템	①	시스템 기능완성도	-	외부전문가 검토	시스템 설계서, 시제품, 평가서	-		-	-
			B-3	동시병행/협업 지원 플랫폼	①	엔지니어링 협업시스템 기술현황 분석 기업 수	4	분석한 협업시스템 기업 개수	협업 시스템 기술현황 분석서 확인	2	플랜트에 셋	60	보고서: 1건
						엔지니어링 협업시스템 시스템 요구사항 분석 시스템기능영역 수	3	분석한 협업시스템 요구사항 영역 개수	협업 시스템 요구사항 분석서 확인	2			보고서: 1건
	C	협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	C-1	프로젝트 통합연계관리 지침서	①	프로젝트 통합연계관리 요구사항 분석 건수	4	전문위원 기술검토	분석서, 지침서	3	한국기술교육대학교	30	보고서 : 1건
			C-2	엔지니어링 프로세스 체인체계	①	프로젝트관리 SOW(Scope of Work) 및 용어집의 개발사례 분석	2	전문위원 기술검토	분석서, 지침서	2	한국씨엠씨	20	보고서: 1건 용어집: 1건

			C-3	프로젝트 통합 관리 시스템	①	프로젝트관리 시스템 요구사항 분석 시스템기능영역 수	3	외부전문가 검토	시스템 설계서, 시제품, 평가서	2	플랜트에 셋	30	보고서: 1건
	D	협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	D-1	협업단위 구성요소 정보/의미정보 연계통합 관리 시스템	①	시스템 기능 완성도	–	외부전문가 검토	시스템 설계서, 시제품, 평가서	–	카이스트	–	–
					②	시스템화율	–	전문위원 기술검토	시스템 평가 분석서	–			
			D-2	의미정보 활용 및 Analytics 고도화 시스템	①	시스템 기능 완성도	–	외부전문가 검토	시스템 설계서, 시제품, 평가서	–		–	–
	E	동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)	E-1	동시병행/협업 정보/연계 통합 관리 시스템	①	동시병행 협업 통합시스템 기술현황 분석 기업 수	4	분석한 통합시스템 기업 개수	통합 시스템 기술현황 분석서 확인	2	플랜트에 셋	40	보고서: 1건
						동시병행 협업 통합시스템 요구사항 분석 시스템기능영역 수	4	분석한 통합시스템 요구사항 영역 개수	통합시스템 요구사항 분석서 확인	1			보고서: 1건
			E-2	동시병행/협업 응용 시스템 통합 연계 시스템	①	현업 적용성	–	사용자 검증	현장, 시제품 적용시연	–	플랜트에 셋	–	–
					②	업무처리 효율 개선	–	전문위원 기술검토	시스템 활용 분석서	–			
	F	시스템 성능평가/보완 및 실용화/범용화 방안 수립	F-1	성능평가 및 보완	①	안정성	–	가동 테스트	테스트 보고서	–	카이스트	–	–
					②	성능	–	가동 테스트	테스트 보고서	–			
			F-2	실용화 및 범용화 방안 수립	①	편리성/운용성	–	전문위원	사용/운용 매뉴얼, 시연	–	카이스트	–	–
					②	범용성/유연성 수준	–	전문위원	공통-타입별 모듈화 분석서	–			
계										20		440	보고서: 12건 용어집: 1건

1.4.2 2차년도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		2차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
				질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
A	동시병행 협업 비정형 프로세스 분석 및 비정형 데이터 공유 분석 보고서	A-1	동시병행 프로세스 평가 알고리즘 및 협업 프로세스 패턴 평가 알고리즘 개발	①	동시병행화 시뮬레이션 모델 개발	1건	(동시병행화 시뮬레이션 모델) 확인	기술보고서 확인 (산출물 1-04-1)	0.5	카이스트	57	논문: 1건 알고리즘 기술보고서: 1건

		A-2	비정형 데이터 정형화 알고리즘 개발	①	비정형 데이터 정형화 방법론 개발	1건	(비정형 데이터 정형화 방법론) 확인	기술보고서 확인 (산출물 1-07-1 13페이지)	1	카이스트	57	논문: 1건 알고리즘 기술보고서: 1건
B	엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	B-1	동시병행 프로세스 관리 시스템 상세설계	①	기본설계서 및 상세설계서 작성	2건	(기본설계서 1건) + (상세설계서 1건) 확인	동시병행 프로세스관리 설계서 확인 기본설계서 (산출물 1-08), 상세설계서 (산출물 1-09)	1	플랜트에셋	41	-
		B-2	비정형 의미데이터 공유 시스템 상세설계	①	기본설계서 및 상세설계서 작성	2건	(기본설계서 1건) + (상세설계서 1건) 확인	비정형 데이터관리 설계서 확인 기본설계서 (산출물 1-10), 상세설계서 (산출물 1-11)	1	플랜트에셋	41	-
		B-3	협업 플랫폼 아키텍처 설계	①	기본설계서 및 상세설계서 작성	2건	(기본설계서 1건) + (상세설계서 1건) 확인	협업플랫폼 설계서 확인 기본설계서 (산출물 1-12-1/2), 상세설계서 (산출물 1-12-3/4/5)	3	플랜트에셋	162	-
C	협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	C-1	프로젝트 원가관리 기술 개발	①	(원가산정 지식체계개발을 통한) 개산 및 상세견적 방법론 개발	2건	(개산 원가산정 방법론 1건) + (상세 원가산정 방법론 1건) 확인	원가산정 시나리오 확인 (산출물 2-02-1 42, 72페이지)	2	한기대	107	논문: 1건 석사 인력양성: 3건
		C-2	프로젝트 일정관리 기술 개발	①	공정계획 표준화 방법론 개발	1건	(공정계획 표준화 방법론 1건) 확인	공정계획 시나리오 확인 (산출물 2-02-1 111 페이지)	1	한국씨엠씨	37	-
		C-3	시스템 기능 및 구성요소 분석, 프로젝트 관리 아키텍처 정립	①	기본설계서 작성	1건	(기본설계서 1건) 확인	프로젝트관리 설계서 확인 기본설계서 (산출물 2-05)	3	플랜트에셋	162	-
D	협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	D-1	프로젝트 산출물 관리 기술현황 분석 및 요구사항 조사	①	기술현황 분석 대상기업의 대표성	국내/해외 5위 이상 기업	(기술현황분석 대상기업 EPC 매출 국내/해외 5위 이내여부) 확인	프로젝트 산출물관리 기술현황분석서 확인 기술현황분석서 (산출물 3-01) 요구사항정의	1	카이스트	241	-

								서 (산출물 3-02)				
			프로젝트 산출물 관리 기본설계 및 UI상세설계	②	기본설계서 및 상세설계서 작성	2건	(기본설계서 1건) + (UI상세설계서 1건) 확인	프로젝트 산출물관리 설계서 확인 기본설계서 (산출물 3-03), UI 상세설계서 (산출물 3-04)	3			-
E	동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)	E-1	통합 시스템 아키텍쳐 설계 및 기본 레이어 상세 설계	①	기본설계서 및 상세설계서 작성	2건	(기본설계서 1건) + (상세설계서 1건) 확인	통합데이터관리 설계서 확인 기본설계서 (산출물 3-06), 상세설계서 (산출물 3-07)	3	플랜트에셋	162	-
계									19.5		1,067	논문: 3건 기술보고서: 2건 석사 인력양성: 3건

1.4.3 3차년도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 성과점검기준					가중치	해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
					질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법				
A	동시병행 협업 비정형 프로세스 분석 및 비정형 데이터 공유 분석보고서	A-3	동시병행 협업 프로세스와 데이터 연계 방법론 개발	①	프로세스-데이터 연계 생성 방법론 개발	1건	(프로세스-데이터 관계정의 방법론) 확인	기술보고서 확인	1	카이스트	146	논문: 1건
B	엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	B-1	동시병행 프로세스 관리 시스템 개발	①	동시병행 프로세스관리 시스템 개발보고서 작성	1건	(개발보고서 1건) 확인	개발보고서 확인	4	플랜트에셋	45	특허: 출원1건 S/W: 등록 1건
		B-2	비정형 의미데이터 공유 시스템 개발	①	비정형 데이터 공유시스템 개발보고서 작성	1건	(개발보고서 1건) 확인	개발보고서 확인	4	플랜트에셋	45	특허: 출원 1건 S/W: 등록 1건
		B-3	협업 플랫폼 개발	①	협업플랫폼 개발 중간보고서 작성	1건	(개발 중간보고서 1건) 확인	개발보고서 확인	2	플랜트에셋	88	-
C	협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	C-1	플랜트 PBS-WBS-CBS 연계 기술 개발	①	원가중심 통합 연계방법론 개발	1건	(연계방법론 1건) 확인	기술보고서 확인	1	한기대	40	논문: 1건
		C-2	플랜트 WBS-CBS 연계 기술 개발	①	일정중심 통합 연계방법론 작성	1건	(연계방법론 1건) 확인	기술보고서 확인	1	한국씨엠씨	45	-
		C-3	프로젝트 관리 시스템	①	프로젝트 관리 시스템 기본설계서 및 상세설계서 작성	2건	(기본설계서 1건) + (상세설계서1건)	기본설계서, 상세설계서 확인	1	플랜트에셋	65	-

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 성과점검기준					가중치	해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
				질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법				
					확인							
D	협업 통합정보/의미 정보 관리/활용 소프트웨어	D-1	프로젝트 산출물 관리 시스템 상세설계	①	프로젝트 산출물 관리 시스템 상세설계서 작성	1건	(상세설계서 1건) 확인	상세 설계서 확인	1	카이스트	141	-
		D-2	정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 상세설계	①	통합데이터 활용 시스템 상세설계서 작성	1건	(상세설계서 1건) 확인	상세 설계서 확인	2	카이스트	194	논문: 1건
E	동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)	E-1	통합 시스템 기본레이어 개발	①	세부 시스템간 인터페이스 정의서 작성	5건	연계 정의서 확인	시스템 인터페이스 정의서 확인	1	플랜트 에셋	55	특허: 출원 1건 S/W: 등록 1건
				②	기본레이어 개발보고서	1건	(기본레이어 개발보고서 1건) 확인	개발 보고서 확인	2			
계									20		864	특허: 출원 3건 논문: 3건 S/W: 등록 3건

1.4.4 4차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		4차년도 성과점검기준					가중치	해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법				
1세	B	엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	B-1	동시병행 프로세스 관리 모듈화 프로젝트 적용	①	기 모듈화 프로젝트 대상 동시병행 프로세스 관리 모듈 시험보고서 작성	1건	(시험보고서 1건) 확인	시험 보고서 확인	3	카이스트	90	S/W: 등록 1건
			B-2	비정형 의미데이터 공유 시스템 모듈화 프로젝트 적용	①	기 모듈화 프로젝트 대상 비정형 데이터 공유 모듈 시험보고서 작성	1건	(시험보고서 1건) 확인	시험 보고서 확인	3	카이스트	90	S/W: 등록 1건
			B-3	협업 플랫폼 개발	①	협업플랫폼 개발보고서 작성	1건	(개발 중간 보고서 1건) 확인	개발 중간 보고서 확인	3	플랜트 에셋	164	S/W: 등록 1건
	C	협업 멀티/다계층 프로젝트 관리	C-1	모듈화 플랜트 일정-비용-사양 연계 기술 개발	①	일정-비용-사양 통합 연계 유효성 비용중심 검증	1건	(원가-일정-사양 연계 유효성 검증 보고서 1건) 확인	적용 시험 보고서 확인	0.5	한기대	40	논문: 1건
			C-2	모듈화 플랜트 일정-비용 연계	①	플랜트 원가-일정-사	1건	(원가-일정-사양 연계	적용 시험 보고서	0.5	한국씨엠씨	40	-

		지침서 및 소프트웨어		기술 개발		양 통합 연계 유효성 일정중심 검증		유효성 검증 보고서 1건) 확인	확인				
			C-3	일정-비용-사양 연계 프로젝트 관리 시스템 개발	①	일정-비용-사양 연계 계획지원 시스템 개발보고서 작성	1건	(개발 중간 보고서 1건) 확인	개발 중간 보고서확인	2	플랜트에셋	116	S/W: 등록 1건
	D	협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	D-1	프로젝트 산출물 관리 시스템 개발	①	기 모듈화 프로젝트 대상 산출물 관리 개발보고서 작성	1건	(개발보고서 1건) 확인	개발 보고서확인	4	카이스트	144	S/W: 등록 1건
			D-2	정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 개발	①	통합데이터 활용 시스템 개발보고서 작성	1건	(개발 중간 보고서 1건) 확인	개발 중간 보고서 확인	4	카이스트	131	논문: 1건 S/W: 등록 1건
계										20		815	논문: 2건 S/W: 6건

1.4.5 5차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		5차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
	B	엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	B-1	동시병행 프로세스 관리 시스템과 플랫폼 통합	①	협업플랫폼 동시병행 시스템 통합보고서 작성	1건	(통합 보고서 1건) 확인	통합 보고서 확인	3	카이스트	87	통합보고서: 1건
			B-2	비정형 의미데이터 공유 시스템과 플랫폼 통합 적용	①	협업플랫폼 비정형 데이터 공유 시스템 통합보고서 작성	1건	(통합 보고서 1건) 확인	통합 보고서 확인	3	카이스트	87	통합보고서: 1건
			B-3	협업 플랫폼 적용 및 안정화	①	협업플랫폼 개발	1건	(개발 보고서 1건) 확인	개발 보고서 확인	3	플랜트에셋	192	S/W: 등록 1건
	C	협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	C-1	모듈화 플랜트 일정-비용-사양 연계 기술 개발	①	플랜트 일정-비용-사양 연계 방법론 시스템 적용 평가 및 이슈해결	1건	(적용 평가 보고서 1건) 확인	통합적용 평가 보고서 확인	1	한기대	38	기술보고서: 1건
			C-2	모듈화 플랜트 일정-비용 연계 기술 개발	①	플랜트 일정-비용-사양 연계 방법론 시나리오 시스템 적용 평가 및 이슈해결	1건	(적용 평가 보고서 1건) 확인	적용 평가서 확인	1	한국씨엠씨	38	기술보고서: 1건
			C-3	일정-비용-	①	프로젝트	1건	(시험보고서	시험보고서	1	플랜트	48	S/W: 등록 1건

				사양 연계 프로젝트 관리 시스템 적용보완		일정/원가연계 계획 지원 시스템 시험		1건) 확인	확인		에셋		
					②	PBS-WBS-CBS 정립 지원 시스템 개발	1건	(개발 중간보고서 1건) 확인	개발 중간보고서 확인	1	플랜트 에셋	53	통합보고서: 1건
					③	일정-비용-사양 상충관리 시스템 개발	1건	(개발 중간보고서 1건) 확인	개발 중간보고서 확인	2	카이스트	133	S/W: 등록 1건
	D	협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	D-1	프로젝트 산출물 관리 시스템 적용 통합	①	프로젝트 산출물관리 시스템과 타 시스템 통합 시험	1건	(시험보고서 1인) 확인	시험 보고서 확인	2	카이스트	86	통합보고서: 1건
			D-2	정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 적용 통합	②	정보검색 및 데이터 Analytics 시스템 개발	1건	(개발 중간보고서 1건) 확인	개발 중간보고서 확인	3	카이스트	166	S/W: 등록 1건
계										20		928	S/W: 4건 통합보고서: 4건 기술보고서: 2건

1.4.6 6차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		6차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
	B	엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	B-3	협업 플랫폼 적용 및 안정화	①	기 모듈화 프로젝트 대상 협업플랫폼 적용 시험보고서 작성	1건	(시험 보고서 1건) 확인	시험 보고서 확인	1	플랜트 에셋	114	S/W: 등록 1건
					②	협업플랫폼 통합시스템 연계 통합보고서 작성	1건	(통합 보고서 1건) 확인	통합 보고서 확인	1			
	C	협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	C-1	모듈화 플랜트 일정-비용-사양 연계 기술 개발	①	플랜트 일정-비용-사양 연계 통합연계관리 지침서 개발	1건	(연계 통합 적용 지침서 1건) 확인	통합적용 지침서 확인	0.5	한기대	66	기술보고서: 1건
			C-2	모듈화 플랜트 일정-비용 연계 기술 개발	①	플랜트 원가-일정 연계 통합 적용 지침서 개발	1건	(연계 통합 적용 지침서 1건) 확인	통합적용 지침서 확인	0.5	한국씨엠씨	37	기술보고서: 1건
			C-3	일정-비용-사양 연계 프로젝트 관리 시스템 적용보완	①	프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템 통합	1건	(통합보고서 1건) 확인	통합보고서 확인	1	플랜트 에셋	77	-
					②	PBS-WBS-CBS 정립 지원 시스템 개발	1건	(개발보고서 1건) 확인	개발보고서 확인	1	플랜트 에셋	41	S/W: 등록 1건

					③	일정-비용-사양 상충관리 시스템 개발	1건	(개발보고서 1건) 확인	개발보고서 확인	1	카이스트	88	-
	D	협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	D-1	프로젝트 산출물 관리 시스템 적용 통합	①	프로젝트 산출물관리 시스템 시험보고서 및 통합보고서 작성	2건	(시험보고서 1건) + (통합보고서 1건) 확인	시험보고서, 통합보고서 확인	1	카이스트	86	S/W: 등록 1건
			D-2	정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 적용 통합	②	통합데이터 활용기 모듈화 프로젝트 시험보고서 및 통합보고서 작성	2건	(개발보고서 1건) + (시험보고서 1건) 확인	개발보고서, 시험보고서 확인	1	카이스트	86	S/W: 등록 1건
	E	동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)	E-1	전체 통합 연계 개발	①	시스템 통합 DB 연계 개발 및 시험	1건	(개발보고서 1건) + (시험보고서 1건) 확인	개발보고서, 시험보고서 확인	3	플랜트에셋	277	-
			E-2	전체 통합연동 테스트 및 안정화	①	통합시스템 협업플랫폼 연동보고서 작성	1건	(연동 개발보고서 1건)	연동 개발보고서 확인	2	플랜트에셋	168	S/W: 등록 1건
					②	통합연동 개발보고서, 시험보고서 작성	2건	(연동 개발보고서 1건) + (연동 시험보고서 1건)	연동 개발 보고서, 연동 시험 보고서 확인	2			
	F	시스템 성능평가/보완 및 실용화/범용화 방안 수립	F-1	시스템 적용 테스트	①	시험절차서, 시험데이터 목록, 셋업 매뉴얼, 적용검증보고서 작성	4건	(시험절차서 1건) + (시험데이터 목록 1건) + (셋업 매뉴얼 1건) + (적용검증보고서 1건)	시험절차서, 적용시험데이터 목록, 셋업매뉴얼, 적용평가보고서 확인	2	카이스트	168	보고서: 1건
			F-2	시스템 실용화 준비	①	기술보고서, 적용시험보고서, 사용매뉴얼, 운영매뉴얼, 셋업매뉴얼, 실용화 수립 보고서	6건	(기술보고서 1건) + (시험보고서 1건) + (사용매뉴얼 1건) + (운영매뉴얼 1건) + (셋업매뉴얼 1건) + (실용화 수립 보고서 1건)	기술보고서, 적용시험보고서, 사용매뉴얼, 운영매뉴얼, 셋업매뉴얼, 실용화 수립 보고서 확인	3	카이스트	258	보고서: 3건
계										20		1,466	S/W: 5건 기술보고서: 2건 보고서: 4건

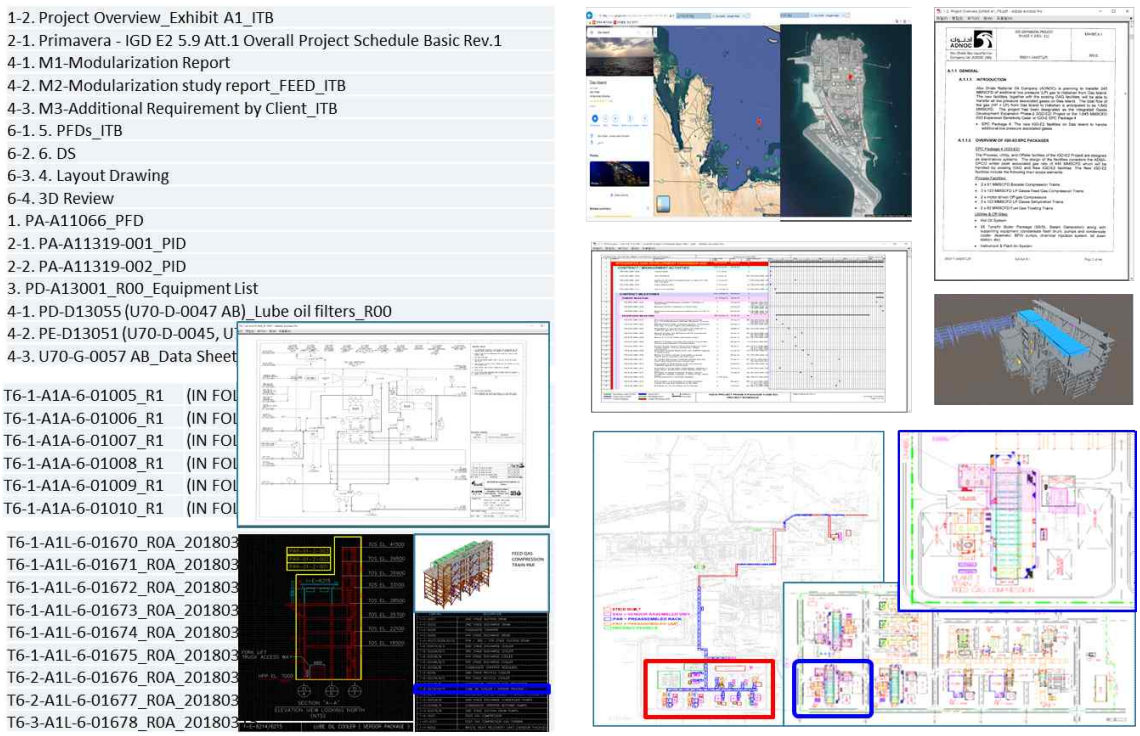
2. 연구수행내용 및 성과

연구 성과를 위하여 현대건설로부터 TEST BED 용 프로젝트 데이터를 확보하여 개발된 시스템에 적용 하였다. 테스트 베드용 프로젝트이 개요는 아래 그림과 같고, 프로젝트 개요, 관련 일정표, 관련문서, 관련 도면 등도 아래 그림과 같다.

H 프로젝트 개요

발주처 ■공공 □민간 □기타	ADNOC LNG (AD-GAS)		**기술 회사**	N/A		
입찰일	기술 : 2018-03-11	상업 : 2018-06-05				
규모	USD 800 Mil.		**계약 통화**	USD		
재원	발주처 재원		**공 기**	51개월 (MC 기준) 54개월 (PAC 기준)	**하자보수 기간**	PAC 후 18개월 (최대 2년)
위치	: Das Island 내 - 아부다비 북서쪽 170 km (Zirku 섬 북서쪽 35km)					
공사내용	1) Project Description Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC) is planning to transfer 245 MMSCFD of additional low pressure (LP) gas to Habshan from Das Island. The new facilities, together with the existing OAG facilities, will be able to transfer all low pressure associated gases on Das Island. The total flow of the gas (HP + LP) from Das Island to Habshan is anticipated to be 1,645 MMSCFD. 2) Scope of Work for Process Facilities - 1 x 61 MMSCFD Booster Compression Train (Plant 26) - 2 x 148 MMSCFD LP Gases Feed Gas Compression Trains (Plant 1) - 2 x 100% motor driven Off-gas Compressors - 2 x 149 MMSCFD LP Gases Dehydration Trains (Plant 3) - 2 x 80 MMSCFD Fuel Gas Treating Trains (Plant 2)					

[그림. H 프로젝트 개요]



[그림. TEST BED 용 프로젝트 관련 자료]

2.1 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼

2.1.1 서론

가. 연구 최종 목표

플랜트 건설 프로젝트에 참여하는 모든 협업 주체간의 모든 정보를 관리하기 위한 시스템 구축을 목표로 하였다. 플랜트 엔지니어링 협업 효율화를 위하여 동시병행화 기술, 비정형 데이터 처리 기술, 협업 플랫폼 기술, 프로젝트 관리 가이드 기술, 정보활용 및 분석 기술 등의 개발을 목표로 한다.

나. 연구 내용 및 방법

전년도 개발 완료 및 수행된 단위 테스트를 바탕으로 현업 프로세스를 적용해 봄으로서 시스템의 안정화를 진행하였다. 시스템의 효율성을 검증하기 위해 협업플랫폼과 연관된 동시병행시스템, 산출물관리 시스템, 비정형처리시스템, 일정 비용 사양 연계 시스템 등과 시스템 통합개발을 진행하였다.

협업 플랫폼을 통하여 생성된 산출물은 산출물 관리 시스템에서 관리되어 지고, 비정형처리 시스템에서 산출물인 문서를 정형화 처리하여 활용하고, 정보검색 시스템에서 정형화 처리된 시스템을 기반으로 사용자의 질의를 바탕으로 의미기반 검색 및 추천이 가능하도록 한다. 또한 프로젝트 계획 지원 시스템에서 구축된 WBS를 협업플랫폼의 Database 와 Mapping 하여 입력 받게 된다. 입력 받은 WBS를 바탕으로 산출물관리시스템 산출물 및 협업플랫폼의 각종 문서와 연계 시킨다.

2.1.2 [B-3] 동시병행 협업지원 플랫폼

① 협업 플랫폼 적용 시험

1) 시스템 시험 개요

본 시험은 협업플랫폼 측면에서 문서관리, Communication, Collaboration 기능의 기능적 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상 (소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여기관이 제공한 프로젝트 자료를 활용하였으며, 시험을 위하여 현업 전문가와 협의를 하였다.

시험 데이터는 Project 정보, 설계 산출물 정보를 대상으로 하였으며, 전문 기관이 개발하였고 현업 전문가와의 협의를 하기에 적합하여 시험 데이터로 선정하였다.

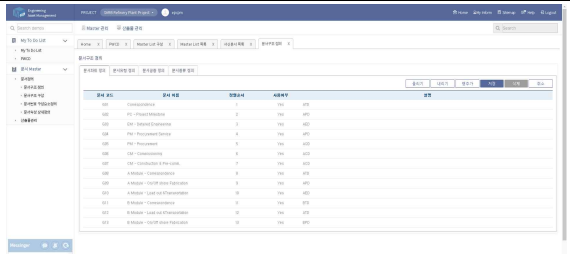
시험 대상인 협업플랫폼의 SW 사양은 아래 표와 같다.

환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 7 Professional (64bit)	
	개발언어	C#(.NET Framework), HTML, JavaScript	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	외부 툴	RazorEngine	동적 웹 페이지 구현
		JQuery	
		JQuery UI	웹 페이지 UI, 효과 구현
		KENDO UI	웹 페이지 UI 구현
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	
	인터넷 브라우저	Internet Explorer 10 이상	
		Firefox	
		Chrome	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.09.30	-	김영도	서효원	서효원	
2020.02.11	-	김봉상	서효원	서효원	

2) 주요 시험 내용



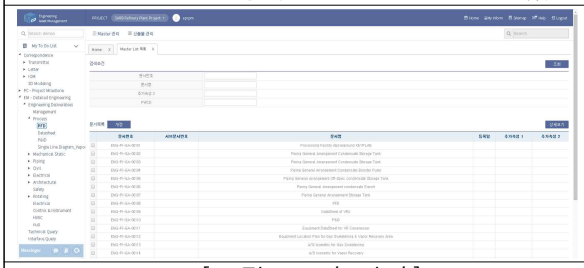
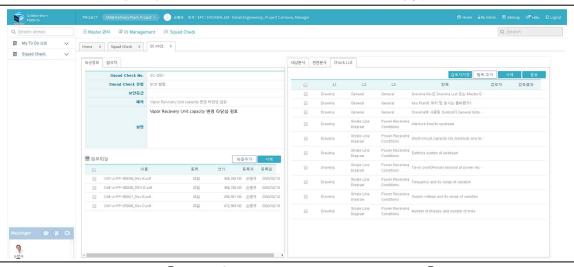
[그림. 문서 구조 정의]

파트, 유형, 공종, 종류를 정의하고, 정의된 파트,



[그림. 문서 속성 정의]

문서조직트리에서 하나의 항목을 선택하고, 해당 항

유형, 공종, 종류를 이용하여 문서구조를 정의하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.	목에 각각 문서의 상세 속성을 정의하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.
	
[그림. 문서 관리]	[그림. Squad Check]
문서조직트리에서 하나의 항목을 선택하고, 해당 항목의 문서를 조회하거나 새로은 문서를 등록하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.	Squad Check를 개설하고 CheckList를 등록, 관리하는 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.

3) As is - To be

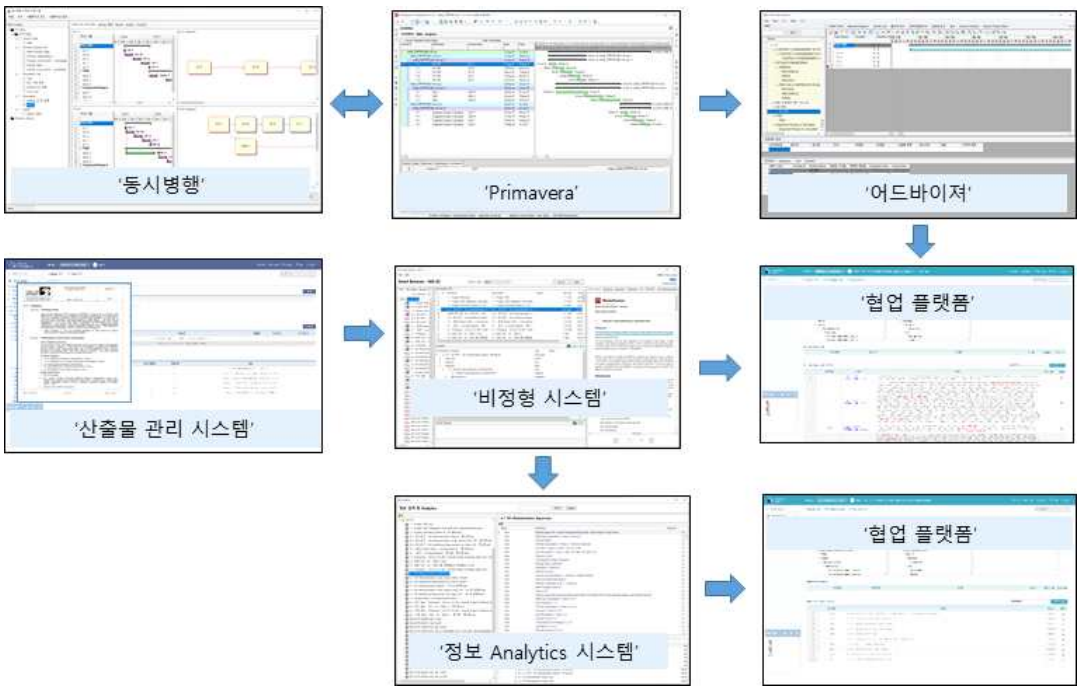
영역 (시나리오)	As is (기존 방식 검색)		To be (협업플랫폼 이용 검색)		Remark
	현황	소요 시간	개선 효과	소요 시간	
정보 검색	기존에는 PDF 파일을 Acrobat에서 하나씩 열어 검색해야 했으며, 스캔된PDF 문서는 검색할 수 없었음	수시간~수일	스캔된PDF 문서를 포함한 모든 문서를 정보검색 시스템의 연계로 한꺼번에 검색함으로써 검색 시간이 단축됨	5초	
과거 문서 검색	과거 문서를 참조하기 위해 사용자의 기억에 의지하거나, 일일이 하나씩 파일을 열어 확인하여야 함	수시간~수일	유사도 검색 기능을 이용하여 관련도가 높은 순으로 문서를 시스템에서 검색해 줌으로써 획기적으로 검색 시간이 단축됨	5초	
Squad Check	각 회사별로 별도의 시스템을 사용함으로써 사용자들이 한번에 Squad Check를 수행할 수 있는 시스템이 없었음	수일	하나의 단일 시스템을 이용함으로써 Squad Check 효율이 상당히 개선되었음	업무효율 30% 개선	

4) 성능 평가

시험 번호	시험 모듈	시험 대상	시험 항목 및 예상결과	수행 시간
1	검색	정보 검색	협업플랫폼 상에서 문서 검색	5초
2	검색	과거 문서 검색	협업플랫폼 상에서 유사도 검색 기능 수행	5초
3	시스템 사용	문서 접근	협업플랫폼 상에서 문서 접근	5초
4	시스템 사용	Squad Check	협업플랫폼 상에서 Squad Check 수행	2-3초

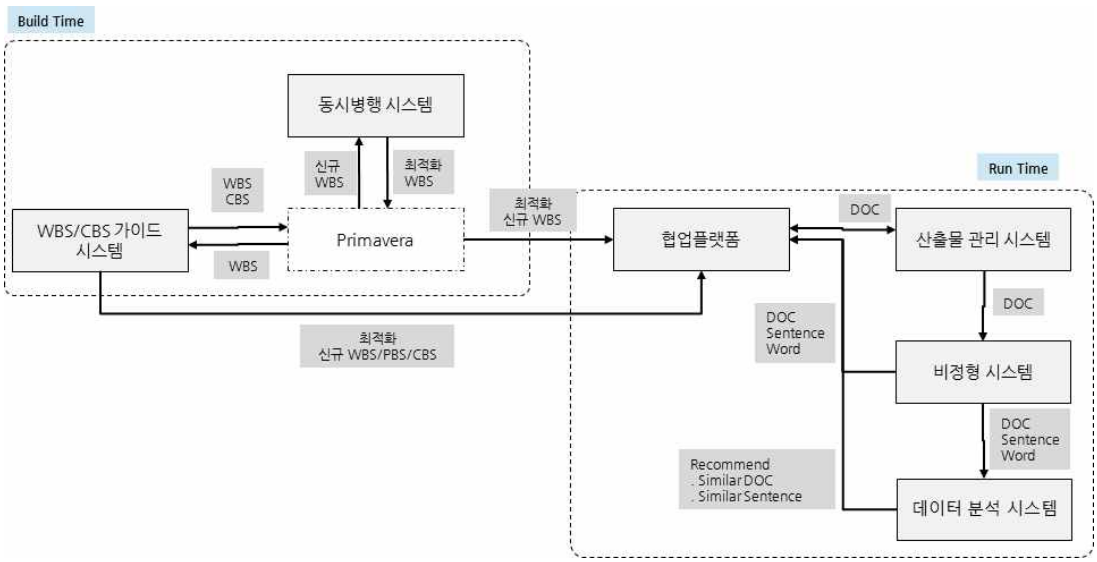
② 협업플랫폼 통합 및 평가

1) 시스템 연계 개요



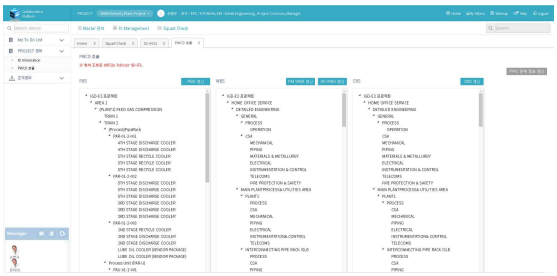
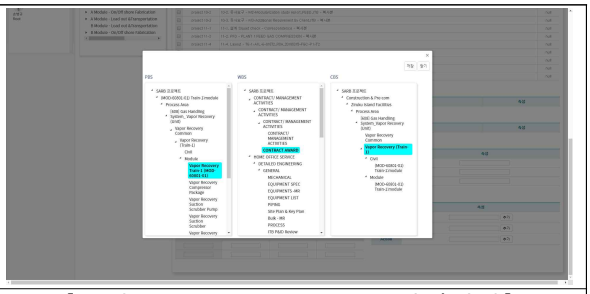
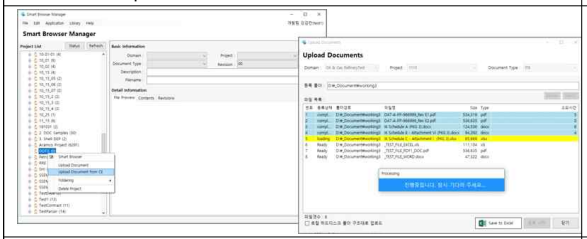
[그림. 시스템 연계 개요]

2) 사용자 통합연계 흐름



[그림. 사용자 시나리오]

3) 주요 기능

	
[그림. WBS/CBS 가이드 시스템과 연계]	[그림. PWC - Document 관계설정]
WBS/CBS 가이드 시스템으로부터 PBS, WBS, CBS를 Import 한다.	PWC 트리를 보고 현재 문서와 연동할 PWC를 선택하여 저장
	
[그림. 비정형 시스템과 연계]	[그림. 정보검색 시스템과 연계]
협업플랫폼의 문서들을 비정형 시스템에 업로드하여 정형화를 수행한다.	비정형 시스템의 문서들을 정보검색 시스템을 통하여 검색한다.

2.2 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어

2.2.1 서론

가. 연구 최종 목표

본 연구는 플랜트 프로젝트의 일정-비용-사양 통합연계관리를 위한 지침서와 일정-비용-사양을 통합관리하는 시스템을 개발하고 기존에 사용하고 있는 타 프로그램과의 연동으로 프로젝트 일정 및 원가 계획을 지원하는 것을 목표로 한다.

나. 연구 내용 및 방법

본 연구는 플랜트 일정-비용-사양 연계 통합연계관리 지침서 개발[C-1] 1건, 플랜트 원가-일정 연계 통합 적용 지침서 개발 [C-2] 1건, PBS-WBS-CBS 정립 지원 시스템 [C-3] 1건, 1세부 시스템 통합 1건을 개발하였다. 연구방법은 국내외 플랜트 프로젝트의 관리 실태와 현재 현업에서 사용하고있는 프로젝트 공정관리 시스템을 분석하여 개선방안을 모색하였으며 기존 시스템과의 호환성도 감안해서 연구하였다.

2.2.2 [C-1] 모듈화 플랜트 일정-비용-사양 연계 기술 개발

① 플랜트 일정-비용-사양 통합연계관리 지침서 개발

(1) 개요

EPC (Engineering-Procurement-Construction) 플랜트 프로젝트는 사업의 규모가 크고 난이도가 높으며 참여하는 주체가 다양하여 공종 간 간섭이 복잡하게 발생하기 때문에 프로젝트 수행 초기에 프로젝트 관리를 위한 프로젝트 일정과 비용을 예측하고 계획하기 어렵다. 모듈러 플랜트 프로젝트는 기존의 Stick-built 방식에 비해 현장의 시공업무를 최소화함으로써 인력수급의 안정성, 생산성, 자연환경 요소 등에 따른 위험도가 낮다. 또한 공장제작으로 인해 품질 및 안전 요구사항에 대한 대응이 우수하며 현지의 육, 해상 운송경로의 활용이 용이할 경우 현장 접근성에 따른 경제성이 우수하다. 반면 기획 단계에서 플랜트의 설계(Engineering), 구매 및 조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전 및 인도 (Commissioning)에 대한 고도화 된 관리전략 수립이 필수적이다. 모듈러 플랜트 프로젝트 관리전략의 핵심요소는 프로젝트의 일정-원가-사양을 연계한 통합연계관리 기술로 볼 수 있다.

본 연구는 프로젝트의 목적 및 수행단계에 부합하는 원가관리 체계를 개발하고, 일정-사양과 통합된 연계관리 체계를 제시함으로써 EPC 기업의 프로젝트 관리 기술을 고도화 하고자 수행되었다. EPC기업이 기업의 정보를 자산화하고 그 정보를 활용하여 수주 단계의 원가계획을 수립하고, 일정-사양과 연계된 상호계획을 구체화하며, 시공 이전 단계에 상세원가를 계획하여 시공단계 프로젝트 관리에 적용할 수 있는 방법론을 개발하고, 통합 연계관리를 위한 지침서 개발을 목적으로 수행되었다.

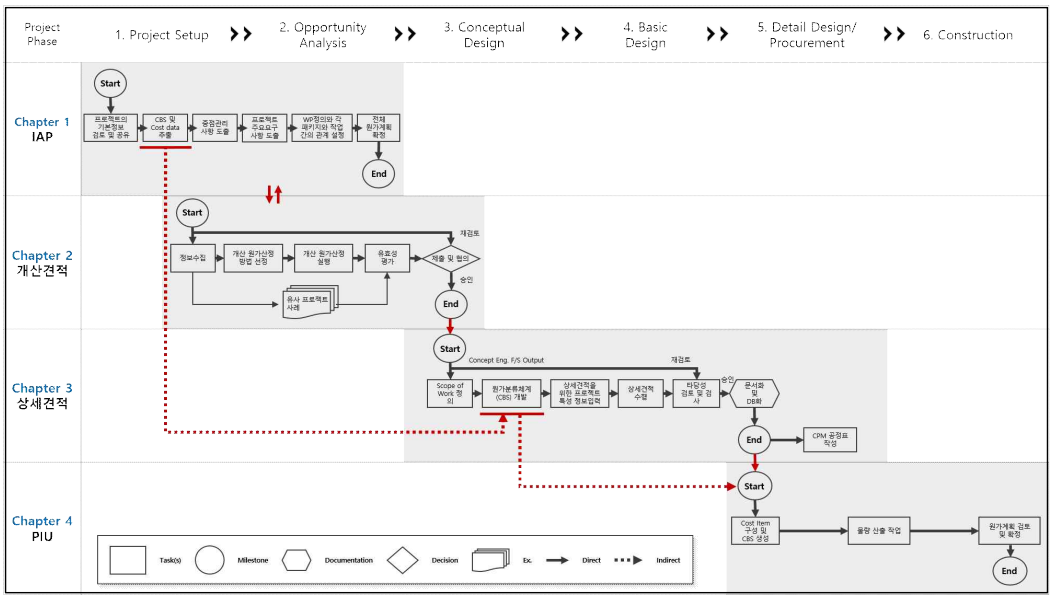
본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
-	2019.12.31	한국기술교육대학교	서효원	서효원	

(2) 수행내용

(가) 연구의 범위 및 방법

본 연구는 EPC 기업이 플랜트 프로젝트 수행하기 위한 통합 연계관리 방법으로써, 연계관리 중 비용관리 방법론을 중심으로 일정과 사양을 통합관리 할 수 있도록 개발되었다. 지침서는 프로젝트 수행단계에 따른 통합 연계관리 방법론을 초기계획 (IAP, Interactive Planning), 개산견적 (Conceptual Estimating), 상세견적 (Detailed Estimating), 통합진도관리 (Progress Integration)으로 구분하여 개별 방법론과 각 세부 단계의 지침으로 기술하였다. 각 세부 단계에는 EPC플랜트의 모듈 단위의 프로세스 유닛 및 장치를 규정하여 모듈단위의 원가분류 체계를 분류하였고, 세부 항목들을 예시하였다. 수행단계별 지침서 구성 및 프로세스는 <Fig.1>과 같다.



[그림 Fig.1 지침서 Process]

① 초기 단계의 상호계획 방법론 개발 및 지침

EPC 플랜트 프로젝트에서 자산화 된 유사 실적 데이터를 이용하여 체계적인 초기 단계의 원가계획을 실시하는 방법론을 제시하며, 상호계획을 통해 프로젝트 원가계획을 평가 및 개선하여 향후 실행 단계를 예측 및 통제할 수 있도록 개발되었다. 상호계획 (IAP, Interactive Planning)은 EPC 프로젝트 수행의 초기단계인 입찰단계 또는 계약 후 프로젝트 수행 계획수립 단계에서 프로젝트 참여자들이 일관된 목표를 설정하고 일치된 결과물을 정의하기 위해 상호협의를 수행하는 데 적용하는 개념이다. EPC 플랜트 프로젝트에서 자산화 된 유사 실적 데이터를 이용하여 체계적인 초기 단계의 원가계획을 실시하는 방법론을 제시하며, IAP 적용을 통해 프로젝트 원가계획 수립, 평가, 개선이 가능하다. 주요 모듈 설치장비, 모듈단위, 주요 공종을 규정하였고, 모듈의 CBS 기본 구조를 제시하였다.

② 개산견적 방법론 개발 및 지침

프로젝트의 개념단계에서 설계도면이나 시방서등의 구체적인 자료가 없는 상태에서 이전의 유사한 공사에서 얻을 수 있는 자료와 프로젝트 참여자로부터 얻을 수 있는 경험적인 정보를 토대로 개략적으로 원가를 산정하는 것으로, 주로 설계이전 단계에서 프로젝트의 실행 가능성 및 경제성을 평가하기 위하여 수행될 수 있도록 개발되었다.

③ 상세견적 방법론 개발 및 지침

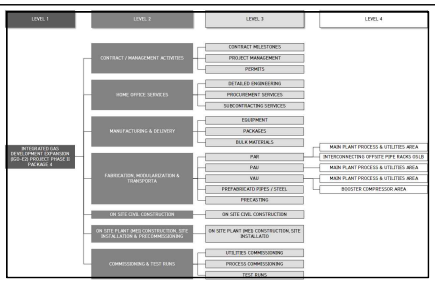
통합 지침서는 상세견적 수행 방법을 목적으로 하였으며, 보통 설계의 최종단계 또는 공사 입찰이나 시공계획단계에서 수행되기 때문에 최종견적(Final estimate), 명시견적(Definitive estimate), 입찰견적(Bid estimate) 등을 의미하며 기획설계 이후 프로젝트의 통제, 입찰가격의 결정, 조달구매가격의 결정하기 위하여 수행될 수 있도록 개발되었다. 초기단계의 원가계획 단계에서 규정한 주요 모듈 설치장비, 모듈단위, 주요 공종을 반영한 WBS 및 CBS 체계를 제시하였다.

④ PIU 개념의 진도측정 방안 지침

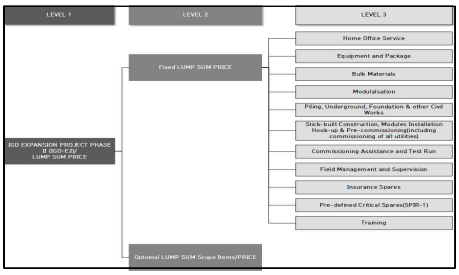
EPC 프로젝트 수행단계에서 수행진도에 따른 공정과 원가의 통합 연계관리를 위한 방법론으로 CBS 체계를 WBS와 호환성이 용이하도록 공종 중심으로 구성하여 연계된 요소(Element)를 PIU(Progress Integrate Unit)의 개념으로 정의하였다. EPC 프로젝트 수행과정에서 PIU는 상세견적 이후, 시공 이전 단계에서 규정되나, 적용은 실행과정에서 프로젝트의 객관적인 진도측정 (Progress Measurement)에 적용되며 비용의 집행율 (비용진도)와 프로젝트 수행의 진도 (시공률)을 통합적으로 측정 및 관리에 적용할 수 있도록 하였다.

구분	내용
설치유닛	Process Unit(Reactor Modules)
	Control Building
	Storage Unit
	Power Supplier
	Water Treatment Unit
모듈	Preassembled Rack (PAR)
	Preassembled Unit (PAU)
	Vendor Assembled Unit (VAU)
	Preassembled Building (PAB)
주요 공종	Civil(CV)
	Building/Architecture(AR)
	Piping(PI)
	Electrical(EL)
	Instrument(IN)
	Steel Structure(SS)
	Mechanical(ME)
	Painting/Insulation(PA)

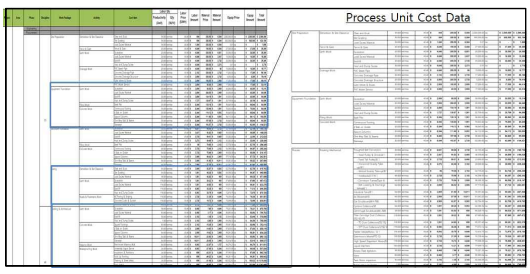
[프로젝트에 포함되는 유닛/공종의예]



[Work Breakdown Structure 예시]



[Cost Breakdown Structure 예시]



[원가데이터를 통한 유닛 원가계획 산출]

(3) 산출물

본 연구에서 플랜트 원가-일정 연계 통합 적용 지침서가 개발되었다. 상세한 연구내용 및 산출물 현황은 부록[C-1]을 참조하기 바란다.

(4) 결론

(가) 주요결과

플랜트 통합 연계 지침서를 개발하였고 이를 이용하여 EPC 플랜트 프로젝트 수행의 핵심요소인 비용 (Cost), 일정 (Schedule), 사양 (Product)의 통합 연계관리를 할 수 있도록 하였다.

2.2.3 [C-2] 엔지니어링 프로세스 일정-비용 체인체계 (WBS)

① 플랜트 원가-일정 연계 WBS 통합 지침서 개발

(1) 개요

EPC 플랜트 프로젝트 수행의 핵심요소인 일정 (Schedule), 비용 (Cost), 사양 (Product)의 통합 연계관리를 위한 지침서 개발을 목적하고 EPC 기업이 플랜트 프로젝트 수행하기 위한 통합 연계관리 방법으로써, 연계관리 중 일정관리 방법론을 중심으로 비용과 사양을 통합관리 할 수 있도록 개발되었다. 프로젝트 수행단계에 따른 비용일정 통합관리 방법론을 Schedule Basis 작성, Typical Master Schedule 작성, 공정관리업무 수행, 현장공정관리 업무, 공정관리 Tool운영으로 분리하고 세부 단계로 나누어 지침으로 기술하였다.

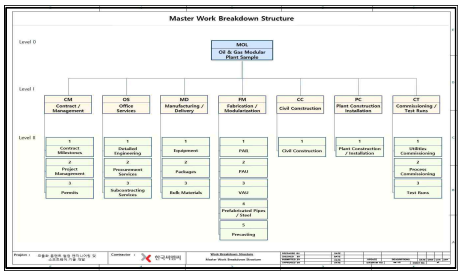
본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
-	2019.12.31	한국씨엠씨	서효원	서효원	

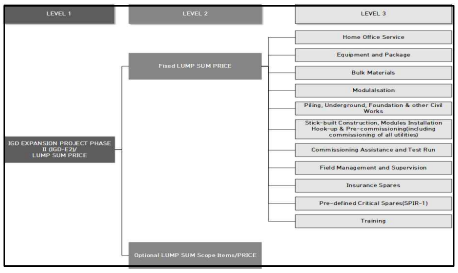
(2) 수행내용

(가) Schedule Basis 작성지침

공정관리자가 공정표 작성시에 함께 작성하는 Schedule Basis의 작성요령, 목 차, 내용 등에 대한 지침을 제공함을 목적으로 한다. 공정표라 함은 Project Master Schedule 및 Project Detail Schedule(Baseline) 등 공정관리자가 작성하는 모든 Schedule 성과품을 의미한다. 공정관리 성과품의 작성한 기준, 가정한 사항 등을 명시적으로 작성하고 프로젝트 관련자들과 공유함으로써, 자료의 신뢰성과 객관성을 확보하여 성공적인 프로젝트 수행에 기여하고자 한다. Schedule Basis 포함사항에는 General, Project Contract Milestones, WBS - Work Scope Review, Project Progress S-Curve, Manpower Histogram, Project Calendar, Area of Concern, Progress Measurement Step and Factor, Prepare Reports of Cut-off date, P6 Schedule Check List, Engineering, Procurement, Construction, Commissioning 이 있다.



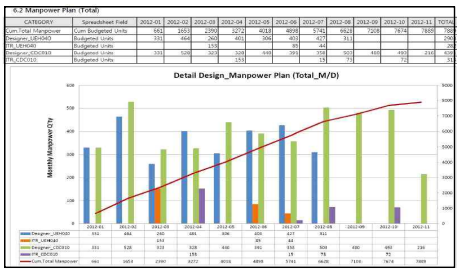
[Work Breakdown Structure 예시]



[Cost Breakdown Structure 예시]



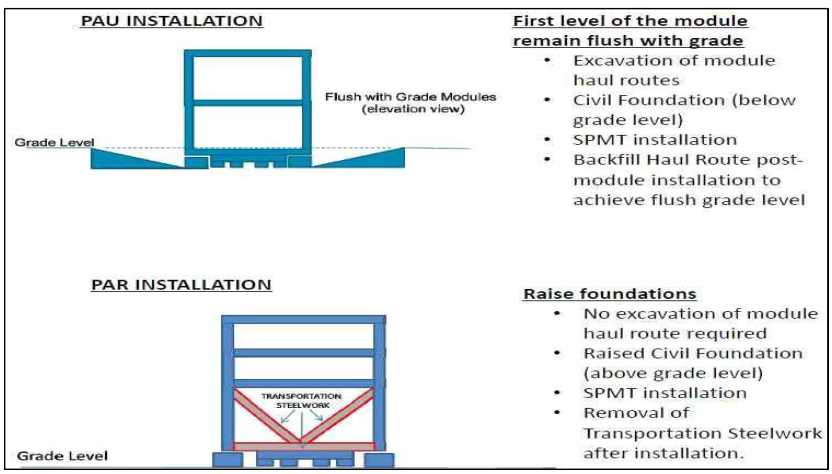
[Project Progress S-Curve]



[Manpower Histogram]

(가) Typical Master Schedule 작성지침

최근 사업의 대형화, 다각화로 인하여 점점 더 사업관리 및 공정관리 분야의 역할이 중요시 되고 있으며, 그 동안 당사에서 수행한 Project 경험을 바탕으로 Schedule 관련 Data를 정리하고 표준화 하는 작업을 통해서 Standard Schedule을 작성하고 이를 활용하여 고품질의 또 다른 Project Schedule을 보 다 효과적으로 작성하는데 활용하고 전사에서 수행하는 모든 실행 프로젝트의 Typical Master Schedule 작성 업무에 적용한다. Module은 PAR(Pre-Assembled pipe Rack), PAU(Pre-Assembled Unit), VAU(Vendor Assembled Unit)으로 구분한다.



[PAR(Pre-Assembled pipe Rack) & PAU(Pre-Assembled Unit)]

(나) 공정관리업무 수행 지침

이 지침은 사업계약에서 계약종료 시까지 프로젝트 공정관리업무 수행 전반에 대하여 실무 지침을 제공하는 것을 목적으로하고 프로젝트 공정관리업무 수행 제반 업무에 대하여 적용한다.

(다) 현장공정관리 업무 지침

본 지침서는 현장공정관리 업무에 대하여 명확한 지침을 제시하여 실행사업의 공정계획 및 수행 등에 필요한 업무가 체계적이고, 효율적으로 이루어지는 것이 목적이고, 업무의 범위는 공사준비단계, 공사수행단계 및 공사준공단계까지 현장공정 관리자가 수행할 모든 업무와 부서(혹은 팀, 파트) 간 협업, 대 발주자 보고 및 협력업체와 관리 업무를 포함한다.

(라) 공정관리 Tool운영 지침

이 지침은 공정관리팀에서 공정관리 Tool 운영에 대한 내부 관리지침과 프로젝트 수행에 적용하는 범위, 절차, 책임사항, 등에 대한 세부 지침을 기술하여 원활한 업무수행이 되도록 하고 공정관리 Tool을 활용, 원활한 공정관리 업무수행을 할 수 있도록 하며 공정관리 업무수행 Tool에 대한 부서 내 관리와 프로젝트 수행에 적용한다.

(3) 산출물

본 연구에서 플랜트 원가-일정 연계 통합 적용 지침서가 개발되었다. 상세한 연구내용 및 산출물 현황은 부록[C-2]을 참조하기 바란다.

(4) 결론

(가) 주요결과

플랜트 프로젝트 수행하기 위한 통합 연계관리 방법으로 연계관리 중 일정관리 방법론을 중심으로 비용과 사양을 통합관리 할 수 있는 틀을 마련하였다.

2.2.4 [C-3] 일정-비용-사양 연계 프로젝트 관리 시스템 적용보완

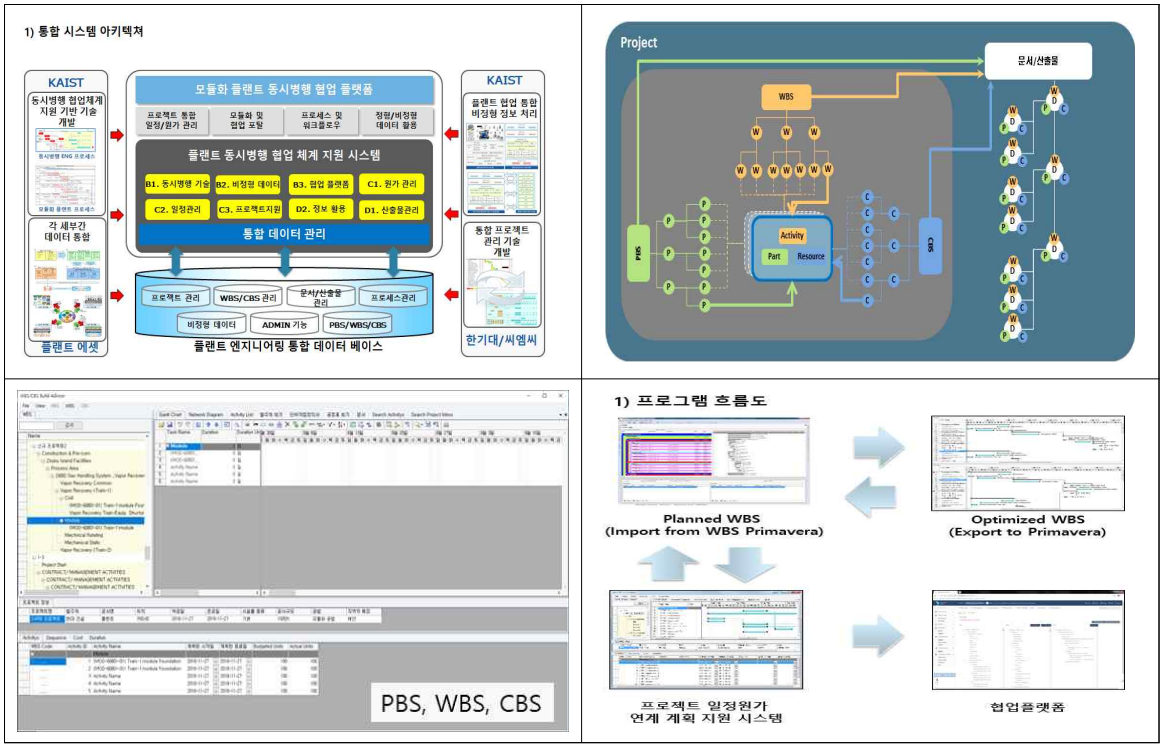
① 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템 통합

(1) 개요

프로젝트관리시스템으로부터 가져온 WBS 시뮬레이션을 통한 동시병행 계획의 추가/감소 비용을 평가하여 최단일정 또는 최소비용의 WBS를 재수립하고 프로젝트 일정원가 계획 지원 시스템을 통해 WBS와 연계된 PBS/CBS를 관리하고 통합솔루션인 협업플랫폼으로 전송하는 것이 목표이다.

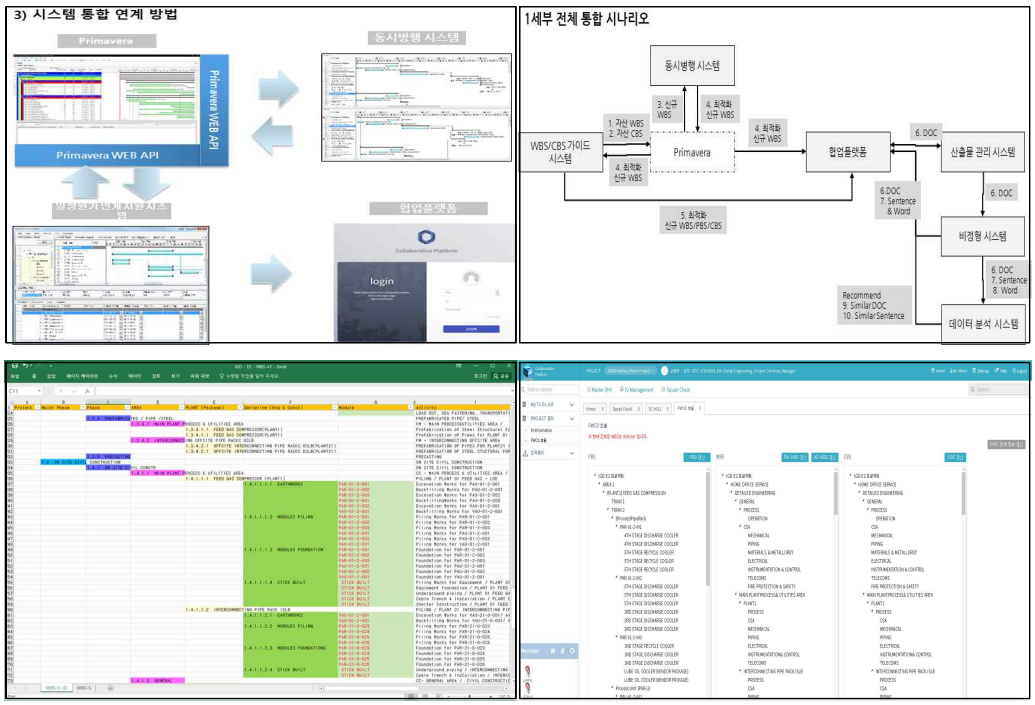
(2) 수행내용

(가) 세부추진내용



[그림. 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템-동시병행 최적화 시스템-협업플랫폼 통합]

일정 비용 사양 연계 시스템, 동시병행시스템, 산출물 관리 시스템, 비정형처리시스템 등과 협업플랫폼이 통합되는 통합 프로세스를 기능 관점에서의 설계 및 Database 관점에서 설계하여 시스템 통합개발을 진행하였다. 전체 통합 프로세스내에서 동시병행 최적화 시스템의 기능적 역할과 연계되는 정의를 하고 그에 따른 통합 개발을 하였다.



[그림. 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템 - 동시병행 최적화 시스템 - 협업플랫폼 사용자 시나리오 및 기능화면]

프로젝트 관리 시스템은 Primavera 와 현 과제에서 개발된 부록[C-3-1 참조] 프로젝트 일정 비용 연계관리 시스템을 대상으로 하였고 각각 동시병행 시스템은 프로젝트 관리 시스템과 직접 연동한다. 데이터 연동은 Oracle Primavera Web Service를 통해 Primavera 와 동시병행 시스템, Primavera 와 일정비용 연계관리 시스템간에 공정(WBS) 데이터를 주고 받도록 개발하여 일정비용연계관리 시스템, 협업 플랫폼, 동시병행 통합시스템을 구축하였다.

(가) 수행 방법

프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템, 동시병행 시스템, 협업플랫폼의 기본 개발 환경은 Microsoft사의 Visual Studio 2017을 주요 개발 툴로 사용하였으며, 상세 기능별 필요에 의하여 개발언어를 선택하여 C#(Add Flow, Gantt Chart by Mit, Graphic Control, XML Parser, Statistical Algorithm), Java(Oracle Primavera Web Service)로 각각의 개발 언어별 기능을 구현하였다. Oracle Primavera Web Service에 접근하는 API를 Java Library로 개발하고 Java Library를 C#에서 사용가능한 DLL파일 형태로 변경하는 툴은 IKVM.NET 오픈소스 프로젝트의 API를 사용하였다. 그래픽 적으로 Network Diagram을 표현해야 하는 부분은 상용 API AddFlow의 개발자 버전을 이용하여 진행하였다. 소스의 형상관리를 위하여 TortoiseSVN 1.9를 이용하였다. 프로그램의 정보관리를 위하여 DBMS로는 Oracle Standard Edition 11g를 기반으로 활용하였다. 협업 플랫폼과의 연동은 Web Service를 사용하였다.

개발된 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템의 SW 사양은 아래 표와 같다.

환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 10 Professional (64bit)	
	개발언어	C#(.NET Framework), Java(JRE 1.7, 1.8)	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	외부 툴	AddFlow	Flow chart 및 그래프 출력
		Gantt Chart by Mit	간트 차트 출력
		Graphic Control	
		XML Parser	
		Statistical Algorithm	
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client, TortoiseSVN	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.17	-	김봉상	서효원	서효원	

(나) 산출물

프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템, 동시병행 시스템과 협업플랫폼 간의 기능관점에서의 통합과 데이터 관점에서의 통합, 실제 직접적으로 연동되는 기능을 사용자 시나리오에 관점의 통합 프로세스를 정의 하였고, 그에 따라 통합 기능을 정의하였고, 통합 시나리오에 따라 시스템을 개발하였다. 또한 개발 내용을 바탕으로 통합보고서를 작성하였다.

(3) 결론

(가) 주요결과

프로젝트 관리시스템과 프로젝트 일정/원가 연계 계획 지원 시스템의 연동으로 프로젝트 일정관리/원가계획을 효율적으로 관리하고 동시병행 최적화 시스템을 통한 프로젝트 일정 최적화를 통해 비용절감 할 수 있는 일정을 찾고 최종결과를 협업플랫폼에서 관리하도록 통합개발하였다.

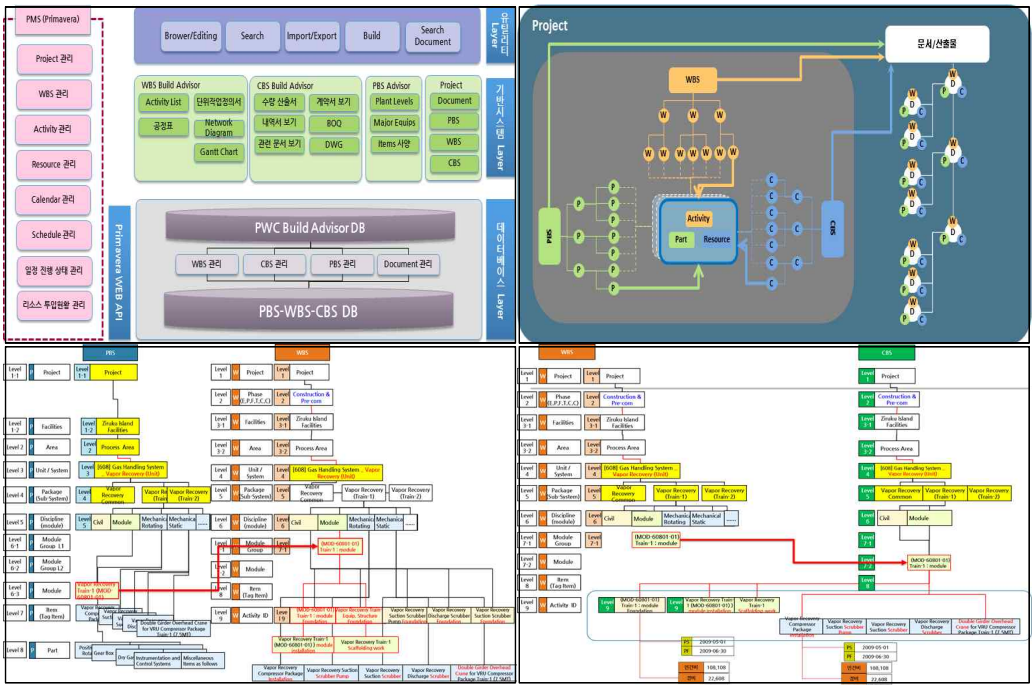
② PBS-WBS-CBS 정립 지원 시스템 개발

(1) 개요

PBS-WBS-CBS 정립 지원 시스템은 프로젝트 관리시스템(PMS)로 일정관리/비용관리를 할 때 과거의 자산 데이터와 Typical 데이터를 활용하고 PBS,WBS,CBS,Activity,Resource 와 관련된 과거문서 또는 현재프로젝트 내 문서를 검색하여 작업이 숙련되지 않은 엔지니어라도 프로젝트 관리 작업을 진행 할 수 있도록 도움을 주고 PBS-WBS-CBS를 연계관리 하고 최종 산출물작성을 지원하는 시스템이다.

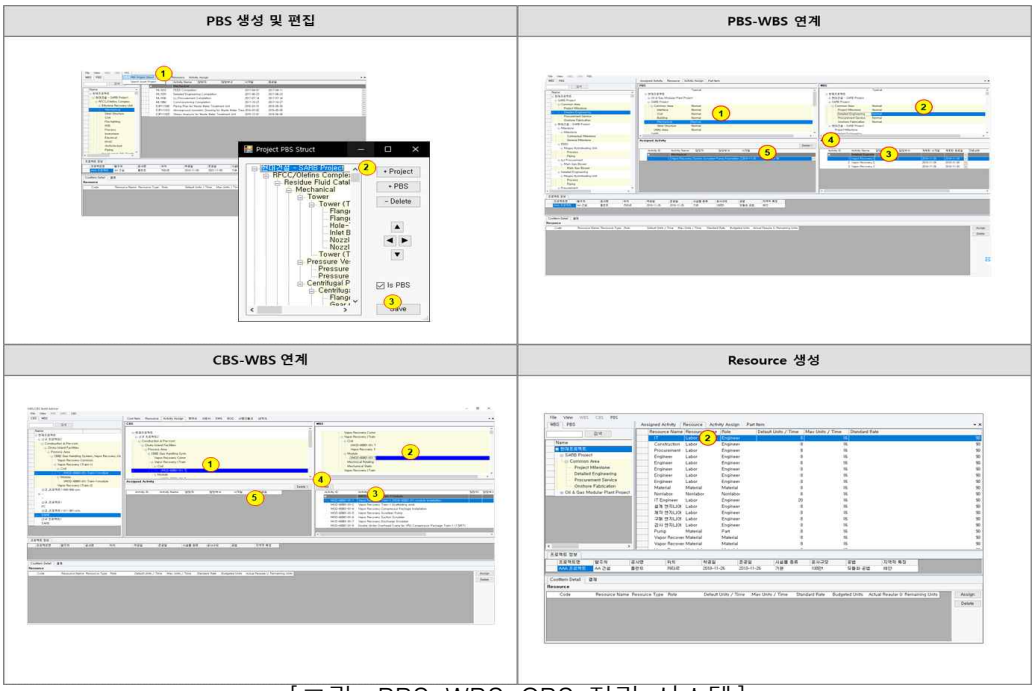
(2) 수행 내용

(가) 세부추진내용



[그림. 시스템 아키텍쳐/프로세스 및 PBS-WBS-CBS-Document 연계도]

PBS-WBS-CBS 정립 시스템 개발을 위한 PBS-WBS-CBS 통합 연계 방안과 산출물/문서 연계방안에 대해 설계하고 시스템 프로세스를 설계하였다. 위의 그림은 시스템 아키텍쳐 및 PWCD연계 방안에 대한 그림이다. PBS-WBS-CBS가 연계되면 물량산출서를 산출물로 생성할 수 있으며 Activity의 일정과 적용된 Resource 및 Resource 투입량에 따라 산출결과가 업데이트 된다.



[그림. PBS-WBS-CBS 정립 시스템]

PBS-WBS-CBS 정립 시스템은 PBS-WBS 연계와 WBS-CBS 연계기능을 지원하여 PBS-WBS-CBS 연계를 완성시키고 WBS의 일정, CBS의 인건비 및 기타 , PBS의 자재비가 모두 연계 되었을 때 산출물로 물량산출서 및 전체 일정에 대한 총액을 산출 할 수 있고 지속적인 관리가 가능하다.

(나) 수행 방법

프로그램 개발은 플랜트 일정-비용 계획 지원 시스템의 개발 환경인 Microsoft사의 Visual Studio 2017을 주요 개발 툴로 사용하였으며, 상세 기능별 필요에 의하여 개발언어를 선택하여 C#, Java(Oracle Web API)로 각각의 개발 언어별 기능을 구현했다. 상용 컴포넌트는 Gantt Chart 개발 및 UI 컨트롤을 위하여 ComponentOne을 사용하였고 Diagram을 개발하기 위하여 AddFlow를 사용했다. 소스의 형상관리를 위하여 Git 2.11.0을 이용했다. 프로그램의 정보관리를 위하여 DBMS로는 Oracle Standard Edition 11g를 기본으로 진행하였다.

개발된 PBS-WBS-CBS 정립지원 시스템의 SW 사양은 아래 표와 같다.

환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 10 Professional (64bit)	
	개발언어	C#(.NET Framework), Java(JRE 1.7, 1.8)	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	외부 툴	AddFlow	Flow chart 및 그래프 출력
		ComponentOne	프로그램 UI 구현
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.02	-	김봉상	서효원	서효원	

(다) 산출물

개발을 위하여 테이블 정의서, 프로그램 기능 정의서, 요구사항 정의서 개발되었고 본 연구에서 PBS-WBS-CBS 통합 모듈이 개발되었다. 상세한 연구내용 및 산출물 현황은 부록 [C-3-2]을 참조하기 바란다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

프로젝트 관리시스템과 연동으로 프로젝트 일정관리/원가계획을 효율적으로 관리하고 동시병행 최적화 시스템과의 연동으로 일정 최적화를 통해 프로젝트 비용을 절감 할 수 있도록 지원하고 PBS-WBS-CBS를 연계하여 프로젝트 관리의 실용성을 높였다.

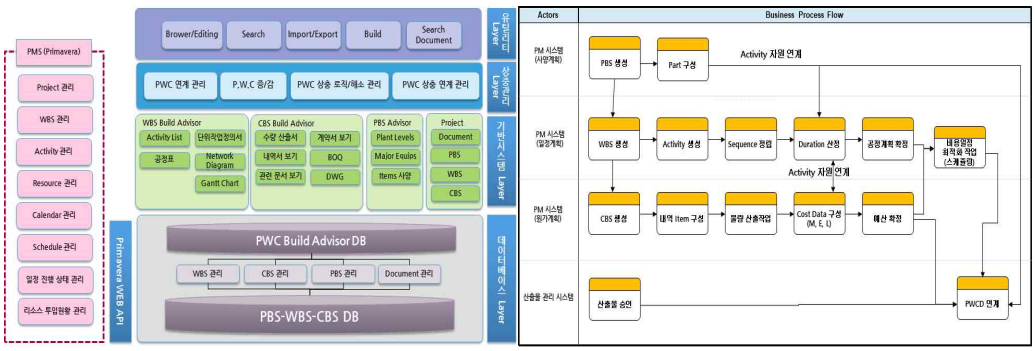
③ 일정-비용-사양 상충관리 시스템 개발

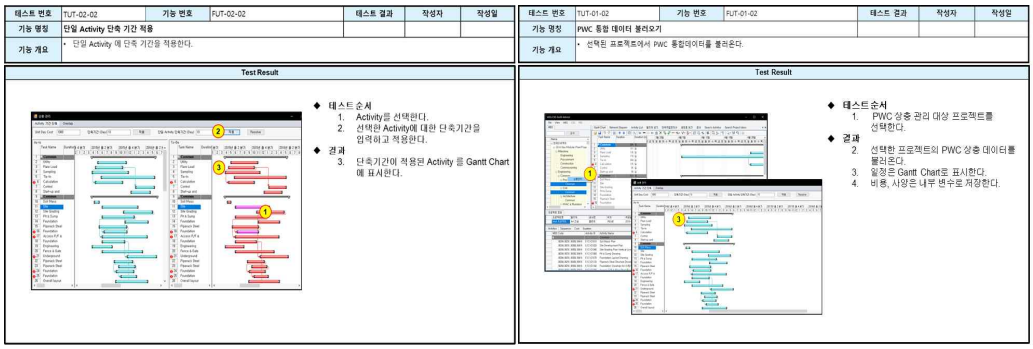
(1) 개요

일정,비용,사양 3가지는 서로 밀접한 관계를 가진다. 일정을 줄이기 위해 동시에 실행 할 수 있는 업무를 식별하여 동시에 실행 하면 비용이 증가할 확률이 높아지고 좀 더 좋은 품질 또는 사양의 재료를 변경하면 그에 따른 인건비나 일정에 변화를 가져올 수 있다. 본 연구에서 일정 비용 사양 의 상호간 충돌에 대하여 이 시스템의 사용자가 어떤 것이 최선의 선택인지를 판단 할수 있도록 도와주는 시스템을 개발 하는 것이 목표이다.

(2) 수행 내용

(가) 세부추진내용





[그림. 단위 테스트 결과 및 시스템 아키텍쳐/시스템 프로세스]

일정-비용-사양 상충관리 시스템은 프로젝트의 PBS WBS CBS를 연계하여 Acitivity 일정을 조정했을 때 Cost가 적게 증가하지 않는 범위 또는 프로젝트 내에서 허용 가능한 Cost 범위에 있는지 그래프와 수치로 나타내어 엔지니어가 확인하여 일정을 조정하는데 도움을 준다.

(나) 수행 방법

프로그램 개발은 플랜트 일정-비용 계획 지원 시스템의 개발 환경인 Microsoft사의 Visual Studio 2017을 주요 개발 툴로 사용하였으며, 상세 기능별 필요에 의하여 개발언어를 선택하여 C#, Java(Oracle Web API)로 각각의 개발 언어별 기능을 구현했다. 상용 컴포넌트는 Gantt Chart 개발 및 UI 컨트롤을 위하여 ComponentOne을 사용하였고 Diagram을 개발하기 위하여 AddFlow를 사용했다. 소스의 형상관리를 위하여 Git 2.11.0을 이용했다. 프로그램의 정보관리를 위하여 DBMS로는 Oracle Standard Edition 11g를 기본으로 진행하였다.

개발된 일정-비용-사양 상충관리 시스템의 SW 사양은 아래 표와 같다.

환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 10 Professional (64bit)	
	개발언어	C#(.NET Framework), Java(JRE 1.7, 1.8)	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	외부 툴	AddFlow	Flow chart 및 그래프 출력
		ComponentOne	프로그램 UI 구현
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.02	-	김봉상	서효원	서효원	

(다) 산출물

일정-비용-사양 상충관리 시스템 개발을 위하여 테이블 정의서, 프로그램 기능 정의서, 요구사항 정의서 개발되었고 본 연구에서 일정-비용-사양 상충관리 시스템 모듈이 개발되었다.

상세한 연구내용 및 산출물 현황은 부록[D-1]을 참조하기 바란다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

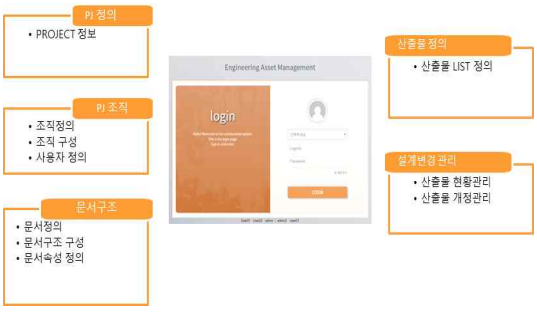
PBS-WBS-CBS 상충관리 시스템으로 PBS WBS CBS 중 일정, 비용, 사양 변경을 했을 때의 결과를 미리 예측해 봄으로써 시스템 사용자에게 일정, 비용, 사양의 변화에 어떻게 대응할 것인지를 결정 할 수 있도록 도와 준다.

2.3 협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어

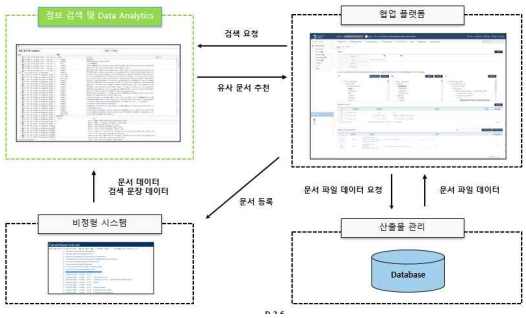
2.3.1 서론

가. 연구 최종 목표

모듈화 플랜트 건설 프로젝트 엔지니어링 지원을 위하여 각 협업 주체간 모든 정보를 통합하여 관리하고 해당 정보에 대한 분석을 통해 엔지니어에게 유용한 정보를 제공하는 것을 목표로 한다.



[그림. 산출물관리 주요 기능]

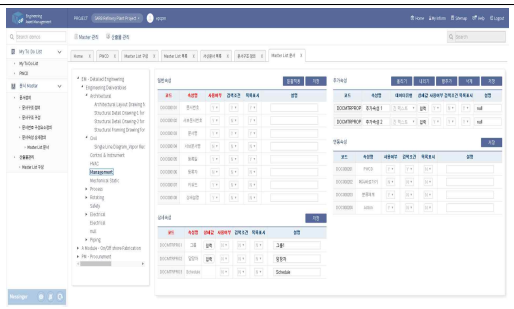


[산출물관리시스템과 타 시스템 연계]

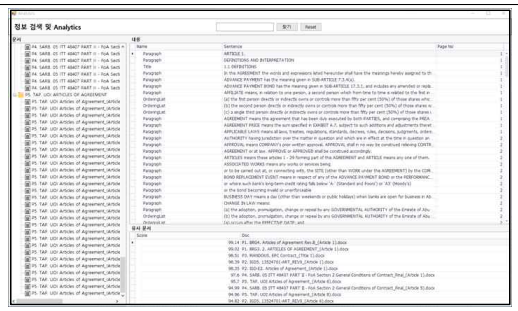
나. 연구 내용 및 방법

(가) 세부추진 내용

전년도에 개발 완료된 기능 단위 연계를 바탕으로 정보 검색과 분석을 위한 별도의 시스템을 구상하였으며, 해당 시스템을 이용하여 전체 시스템 단위 통합을 수행하였다. 의미 분석에 대하여 문서 전체에 대한 의미 분석을 추가로 수행하여, 문서 단위 유사 추천을 수행하였다.



[그림. 문서 속성 상세 정의]

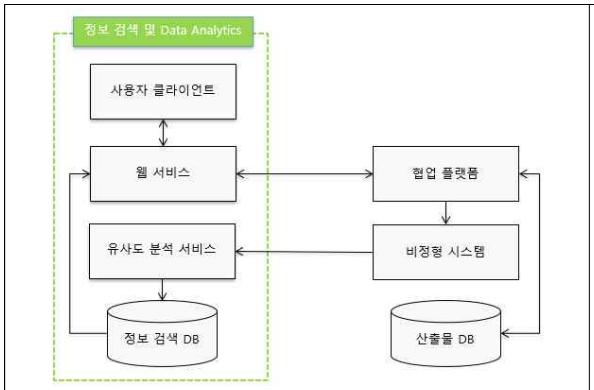


[정보검색(키워드/유사도) 결과]

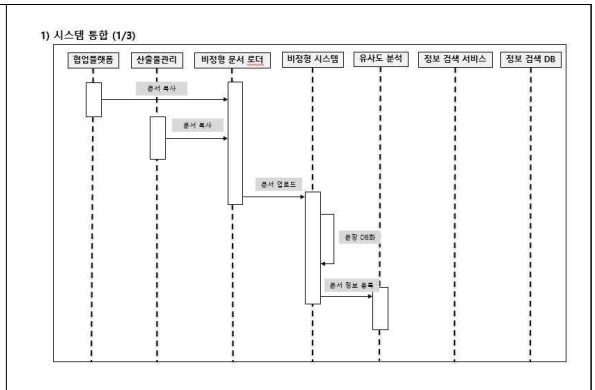
(나) 수행 방법

별도의 정보 검색 및 의미 분석 시스템을 구성하기 위하여, 기존의 기능 단위 정보 검색 및 Analytics 웹 서비스에 추가로 유사도 분석 모니터링 프로그램과 사용자 프로그램을 구성하고 관련 테이블 스키마를 정의하였다.

모니터링 프로그램에서는 산출물 관리 시스템을 통해 등록된 새로운 문서에 대해 의미 분석을 수행하고, 그 결과를 Database에 저장해 두었다가, 협업플랫폼을 통해 검색이나 유사 추천 요청이 들어오면 기존의 웹 서비스에서 해당 요청을 처리하도록 시스템간 연계를 수행하였다.



[그림. 정보검색 시스템 연계]



[시스템 통합 연계 시나리오]

2.3.2 [D-1] 협업단위 구성요소 정보/의미 정보 연계 통합 관리 시스템

① 프로젝트 산출물관리 시스템과 타 시스템의 통합

1) 프로그램 목표

플랜트 엔지니어링 프로젝트 산출물 관리(이하 산출물 관리)란 플랜트 엔지니어링 설계 정보를 통합적으로 관리하여 손실되는 엔지니어링 정보를 줄이고 효과적으로 관리는 것을 말하며, 이를 사후 활용하여 결과적으로 프로젝트 수행 속도를 높이고 비용을 낮추는 것을 목표로 한다. 이에 본 연구과제에서는, 이러한 통합된 산출물 관리 측면에서 문서 및 도면의 체계 등을 관리하는 마스터 데이터 관리 기능, 설계 산출물 관리 및 이에 따르는 변경관리 기능의 구현을 통하여 빠른 프로젝트 수행, 체계적이고 유기적인 산출물 관리로 재작업 최소화 등을 지원할 수 있는 체계를 구축하고자 한다.

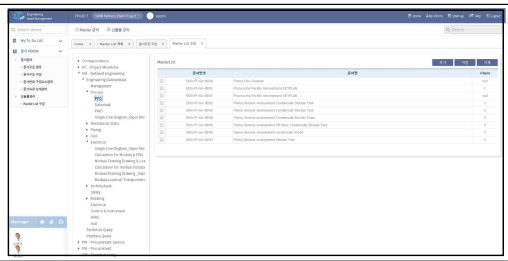
2) 시스템 주요 기능

산출물 관리의 기본 기능은 문서관리 및 개정 정보 관리 기능이고, 산출물 관리 시스템은 프로젝트 상황에 맞춰 다양한 시스템을 설정할 수 있다. 프로젝트 정의, 조직정의, 문서 구성 정의 등이 가능하다.



[그림. 산출물관리 주요 기능]

3) 주요 기능

	
[그림. 문서구조 속성 상세정의]	[그림. 산출물 List 관리]
문서조직의 한 항목에 대하여 문서의 속성을 일반속성, 상세속성, 연동속성 별로 상세하게 정의한다.	문서조직트리에서 MasterList 항목에 대하여 산출물 List를 보여주고, 등록 및 수정한다.

개발된 프로젝트 산출물 관리 시스템의 SW 사양은 아래 표와 같다.

환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 7 Professional (64bit)	
	개발언어	C#(.NET Framework), HTML, JavaScript	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	외부 툴	RazorEngine	동적 웹 페이지 구현
		JQuery	
		JQuery UI	웹 페이지 UI, 효과 구현
		KENDO UI	웹 페이지 UI 구현
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	
	인터넷 브라우저	Internet Explorer 10 이상	
		Firefox	
		Chrome	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.09.30	-	김영도	서효원	서효원	
2020.02.11	2020.02.10	김봉상	서효원	서효원	

② 개발 시스템 성능 보완 및 안정화

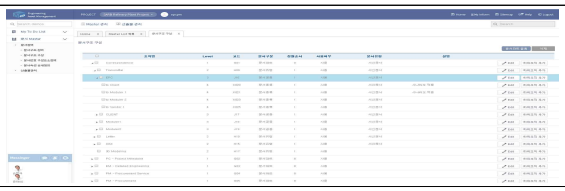
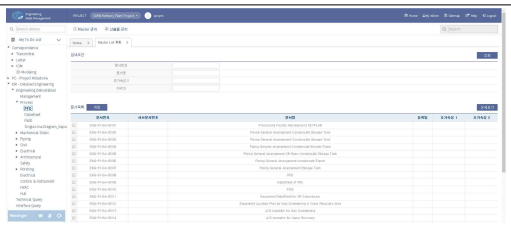
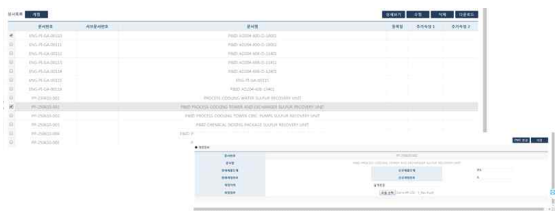
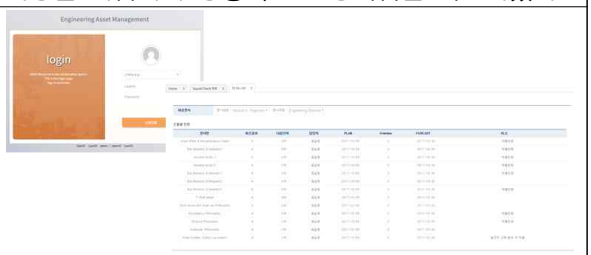
1) 시스템 성능 시험 개요

본 시험은 통합된 산출물 관리 측면에서 문서 및 도면의 체계 등을 관리하는 마스터 데이터 관리 기능, 설계 산출물 관리 및 이에 따르는 변경관리 기능, 현황관리 기능의 기능적 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상 (소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여기관이 제공한 프로젝트 자료를 활용하였으며, 시험을 위하여 현업 전문가와 협의를 하였다.

시험 데이터는 Project 정보, 설계 산출물 정보를 대상으로 하였으며, 전문 기관이 개발하였고 현업 전문가와의 협의를 하기에 적합하여 시험 데이터로 선정하였다.

2) 주요 시험 내용

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 프로젝트 조직 정의]</td><td>[그림. 문서 조직 정의]</td></tr>
<tr><td>정의된 조직코드를 바탕으로 PJ조직을 폴더로 구성하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>파트, 유형, 공종, 종류를 정의하고, 정의된 파트, 유형, 공종, 종류를 이용하여 문서구조를 정의하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 문서 속성 정의]</td><td>[그림. 문서 관리]</td></tr>
<tr><td>문서조직트리에서 하나의 항목을 선택하고, 해당 항목에 각각 문서의 상세 속성을 정의하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>문서조직트리에서 하나의 항목을 선택하고, 해당 항목의 문서를 조회하거나 새로은 문서를 등록하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 산출물 개정]</td><td>[그림. To Do List]</td></tr>
<tr><td>문서를 선택하고 개정 버튼을 클릭하여 개정 이력을 등록하고 파일을 등록하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>로그인한 Engineer 의 산출물 관련 To Do List 화면 및 데이터 동적 생성 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
</table>

3) 성능 평가

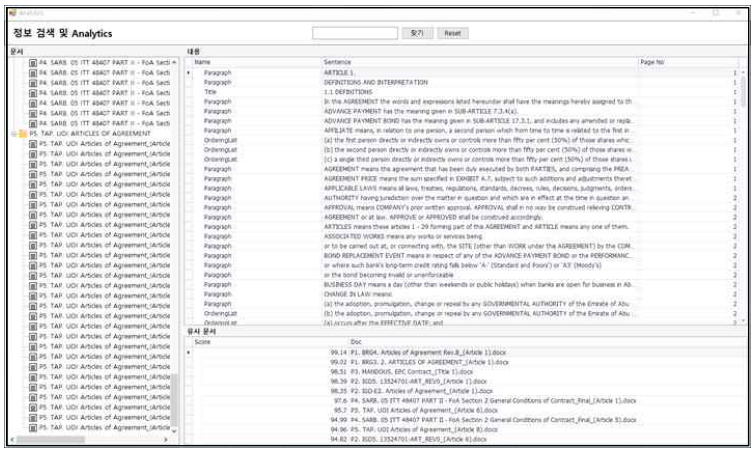
시험 번호	시험 모듈	시험 대상	시험 항목 및 예상결과	수행 시간
1	검색	정보 검색	협업플랫폼 상에서 문서 검색	5초
2	검색	과거 문서 검색	협업플랫폼 상에서 유사도 검색 기능 수행	5초
3	시스템 사용	문서 접근	협업플랫폼 상에서 문서 접근	5초

2.3.3 [D-2] 의미정보 활용 및 Analytics 고도화 시스템

① 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템과 타 시스템과 통합 및 적용

(1) 개요

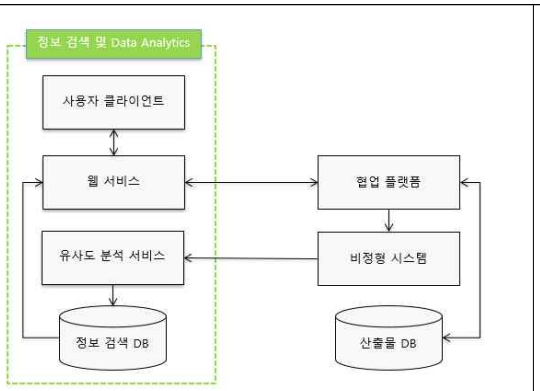
모듈화 플랜트 건설 프로젝트 엔지니어링 지원을 위하여 각 협업 주체간 사용하는 시스템과 연계하여 통합 검색과 검색을 위한 데이터 Analytics 서비스를 지원하고, 시스템을 통한 업무 수행 과정에서 필요로 되는 키워드 검색 결과와 유사 문서를 추천하기 위한 서비스 시스템의 개발 및 타 시스템과의 통합을 목표로 한다.



[그림. 정보검색 및 Analytics 클라이언트]

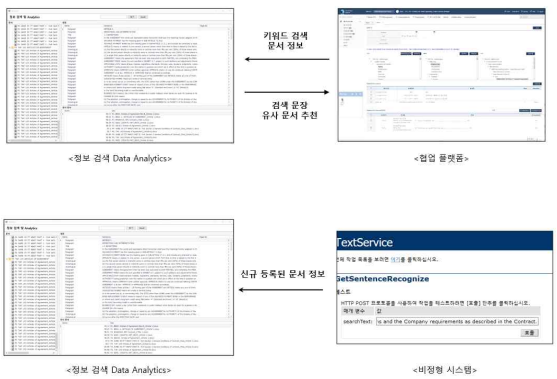
(2) 수행 내용

(가) 세부추진내용



[그림. 시스템 연계]

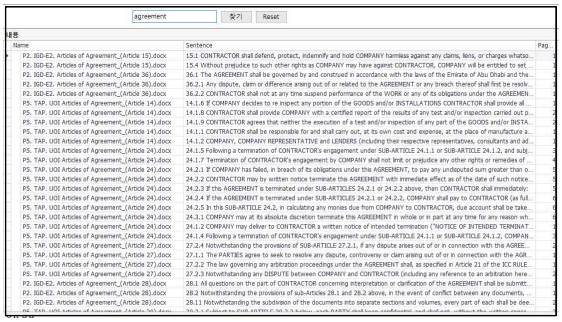
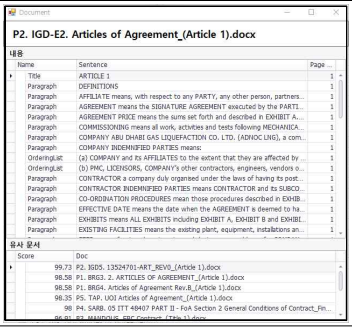
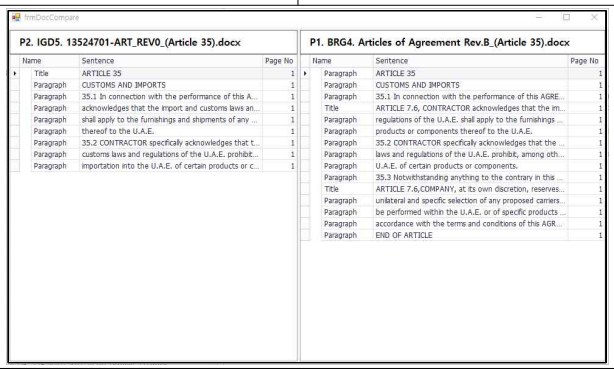
정보검색 웹서비스를 이용하여 협업플랫폼과 비정형시스템과 연계한다.



[그림. 시스템 연계 데이터 흐름]

협업플랫폼은 검색과 유사 문서 추천으로 연계하고 비정형은 문서 데이터를 연계한다.

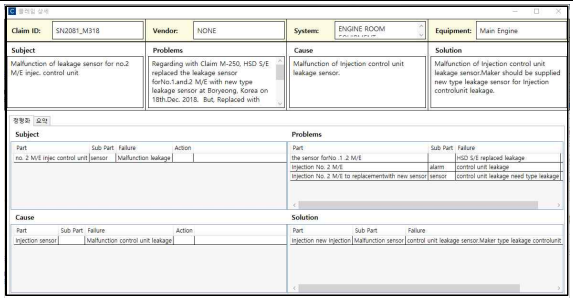
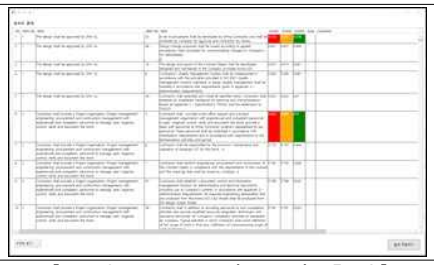
정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 개발 및 타 시스템과의 통합을 위하여 프로그램 연계 흐름을 정의하고 개발하였다. 각 모듈의 개발 과정에서 전년도 작성된 시스템 상세설계서를 검토 수정하여 테이블 정의서를 보완하였으며, 프로그램의 개발 수행 및 단위테스트를 진행하였다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 키워드 검색]</td><td>[그림. 문서 상세보기]</td></tr>
<tr><td>상단 검색창을 이용해서 프로젝트 내 문서에 대해 검색을 수행한다.</td><td>문서에 대한 상세 보기</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">[그림. 문서 비교]</td></tr>
<tr><td colspan="2">선택한 유사 문서들 간의 본문 비교를 수행한다.</td></tr>
</table>

다른 시스템의 정보를 통합하여 검색 정보를 제공하기 위하여 해당 시스템의 DB 스키마에 맞는 데이터 수집 기능을 정의하고, 검색 요청이 발생했을 때 해당 시스템의 DB에서 데이터를 수집하고 처리하는 기능을 개발했다.

사용자에게 유사 문서 추천을 하기 위해 비정형 시스템으로부터 문서 정보를 수집하면, 해당 문서의 문장 데이터를 이용하여 문서간 유사도 분석을 수행하는 모니터링 프로그램을 개발했다.

유사도 모니터링 프로그램을 통해 분석된 문서간 유사도 점수는 별도의 DB를 통해 저장하고, 사용자가 프로그램상 문서 정보를 선택하면 해당 문서에 대한 유사도 점수가 높은 상위 10개의 문서를 추천하는 기능을 개발했다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 클레임 유사도 화면]</td><td>[그림. 클레임 데이터]</td></tr>
<tr><td>클레임 유사도 분석을 수행하는 프로그램 화면</td><td>클레임 데이터와 정형화 결과를 보여준다.</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 클레임 유사도 추천]</td><td>[그림. ITT 유사 문장 추천]</td></tr>
<tr><td>원문 기반, 정형화 기반으로 클레임 데이터의 유사도 분석 후 추천한다.</td><td>ITT 문서에 대해 유사 문장 분석 후 추천 한다.</td></tr>
</table>

(나) 수행 방법

프로그램 개발은 플랜트 건설 동시병행 협업 플랫폼의 개발 환경인 Microsoft사의 Visual Studio 2017을 주요 개발툴로 사용하였으며, 상세 기능별 필요에 의하여 개발언어를 선택하여 C#, Python(유사도 분석)으로 각각의 개발 언어별 기능을 구현하였다. 소스의 형상관리를 위하여 Git 2.11.0을 이용하였다. 프로그램의 데이터 관리를 위한 DBMS로는 Oracle Standard Edition 11g를 기본으로 하였다.

개발된 프로젝트 산출물 관리 시스템의 SW 사양은 아래 표와 같다.

환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 10 Professional (64bit)	
	개발언어	C# 5.0(.NET Framework), Python 3.5	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.17	2020.02.10	박수영	서효원	서효원	

(다) 산출물

상세설계서의 테이블정의서를 검토하여 실제 개발단계에서 적용하면서 생성된 테이블은 7개가 정의되었다. 프로그램의 주요 기능으로 8개의 기능을 개발하였다. 프로그램의 단위

기능테스트 9건을 수행하였다.

상세한 연구내용 및 산출물 현황은 부록[D-2]을 참조하기 바란다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

통합 검색을 위하여 타 시스템의 검색 요청을 처리할 수 있는 웹 서비스를 구축하였고 유사도 분석을 수행하기 위한 모니터링 프로그램을 개발하여 문서 등록 후 문서간 유사도 분석 전처리와, 사용자에 의한 프로젝트 문서 검색, 유사 문서 추천에 대한 기능을 갖춘 시스템을 개발하였다.

② 개발 시스템 성능 보완 및 안정화

(가) 성능 평가

영역 (시나리오)	As is (기존 방식 검색)		To be (정보검색 이용 검색)		Remark
	현황	소요 시간	개선 효과	소요 시간	
유사도 검색	과거 프로젝트에서 비슷한 문서를 참조하기 위해 사용자의 기억에 의지하거나, 파일을 일일이 열어 확인하여야 함	20분	과거 프로젝트 문서와 유사도를 산출하여 관련도가 높은 순으로 문서를 보여줌으로써 검색 시간이 크게 단축됨	1-2초	

번호	시험 모듈	시험 대상	시험 항목 및 예상결과	수행시간
1	신규 문서 DB화	등록된 문서 DB화	신규 문서 DB 등록 시간 측정	1초 이하
2	키워드 검색	키워드 검색	비정형 시스템을 이용하여 키워드 검색시간 측정	5-6초
3	문서 상세 보기	검색 결과 문서 상세 보기	비정형 시스템을 이용하여 문서 데이터 조회 시간 측정	1초 이하
4	유사 분석 전처리	문장 데이터 Input 변환	비정형 시스템에서 가져온 데이터 Input 변환 시간 측정	1-2초
5	문서간 유사도 분석	문서간 유사도 분석 수행	Input 데이터를 이용하여 유사도 분석 수행 시간 측정	120초 이하
6	유사도 분석 결과 DB화	분석 결과 변환 및 DB화	유사도 분석 결과 DB화 시간 측정	1-2초
7	유사 문서 추천	유사 문서 추천 가시화	선택된 문서와 유사한 문서 추천 시간 측정	1초 이하

2.4 동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)

2.4.1 서론

가. 연구 최종 목표

본 연구는 플랜트 프로젝트의 각각의 기능별로 개발된 시스템(모듈)들을 상호간의 연동을 통하여 전체 프로세스를 진행하는 것을 목표로 한다.

나. 연구 내용 및 방법

각 시스템간의 연동을 위한 하나의 데이터를 결정하고(본 과제에서는 ABU DHABE GAS LIQUEFACTION CO. LTD (ADNOC LNG)에서 발주한 ITB 데이터를 사용하였음), 본 데이터가 각 시스템간에 원활하게 흘러가는지를 확인한다.

프로젝트 지원 시스템에서 프로젝트를 등록하고, 자산 WBS 등을 이용하여 WBS 등을 작성한 후, 동시병행 시스템에서 이를 최적화 작업을 수행하여 최적화된 WBS를 프로젝트 지원 시스템으로 넘겨준다. 협업플랫폼 및 산출물관리시스템에서는 최적화된 WBS를 프로젝트 지원 시스템으로부터 가져와서 문서와 연결(PWCD) 및 관리한다. 산출물관리시스템에 ITB 문서들을 모두 등록한 후, 비정형 시스템에서 이 문서들을 가져와서 등록 후 정형화 작업을 수행한다. 협업플랫폼에서 키워드 등으로 문서를 검색하면 정보검색 시스템이 비정형 시스템에 등록된 정형화된 문서들을 검색하여 협업플랫폼으로 그 결과를 넘겨준다.

2.4.2 [E-1] 동시병행/협업정보/연계 통합 관리 시스템

① 시스템 통합 DB 연계 개발 및 시험

1) 시스템 통합

플랜트 엔지니어링 프로젝트에 참여하는 모든 협업주체간의 협업을 효율적으로 하기 위한 시스템 통합을 목표로 한다.

현업 엔지니어링 효율화를 위하여 협업 플랫폼, 비정형 데이터 정형화 시스템, 산출물 관리 시스템, 동시병행 시스템, 프로젝트 어드바이저 시스템 등을 통합 하였다.

통합된 시스템의 SW 사양은 아래 표와 같다.

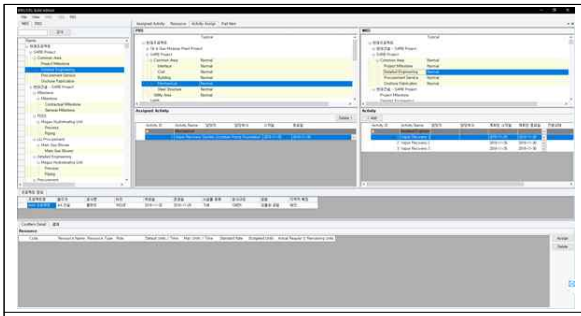
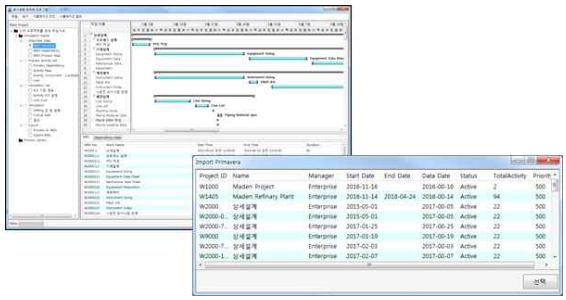
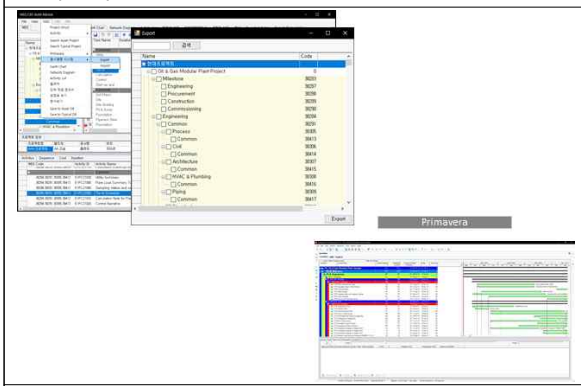
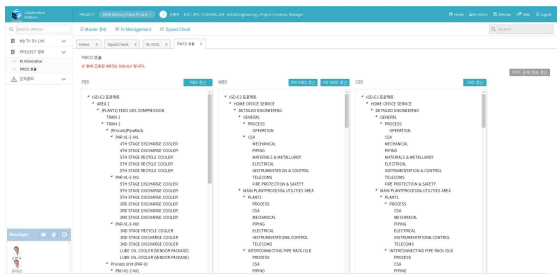
환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 7 Professional (64bit)	
	개발언어	C#(.NET Framework), HTML, JavaScript	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	외부 툴	RazorEngine	동적 웹 페이지 구현
		JQuery	
		JQuery UI	웹 페이지 UI, 효과 구현
		KENDO UI	웹 페이지 UI 구현
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	
	인터넷 브라우저	Internet Explorer 10 이상	

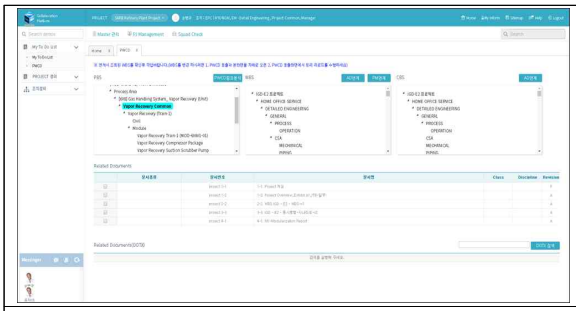
		Firefox	
		Chrome	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.17	-	김영도	서효원	서효원	
2020.02.26	-	김봉상	서효원	서효원	

2) 주요 기능

	
[그림. PBS-WBS 연계]	[그림. Primavera -> 동시병행 시스템 연계]
대상 PBS 를 선택한다. 대상 WBS 를 선택한다. 대상 WBS 에서 대상 PBS에 등록할 Activity 를 선택한다. ADD 버튼을 클릭한다. WBS 의 Activity가 PBS에 등록 되어 PBS와 WBS가 연계된다	Scheduling 수행이 완료된 프로젝트를 WBS/CBS Build Advisor으로 Importing하는 기능 Import Primavera 메뉴를 클릭한다. 프로젝트를 선택한다. 선택버튼을 클릭한다
	
[그림. WBS/CBS Advisor -> 동시병행 or Primavera 연계]	[그림. Advisor -> 협업플랫폼 연계]
프로젝트 공정데이터의 Scheduling 작업 수행을 위해 Scheduling System으로 Exporting하는 기능	Build Advisor 에서 PBS를 Importing하는 기능

	
[그림. PWC 연관문서 검색]	[그림. 정보검색 -> 협업플랫폼 연계]
PBS, WBS, CBS와 연관문서를 검색한다.	정보검색 시스템을 통하여 비정형 시스템의 문서정보를 검색하여 협업플랫폼에 결과를 넘겨준다.

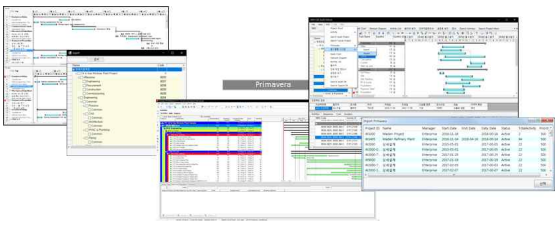
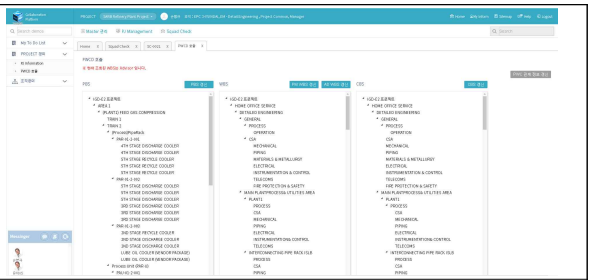
3) 시험 개요

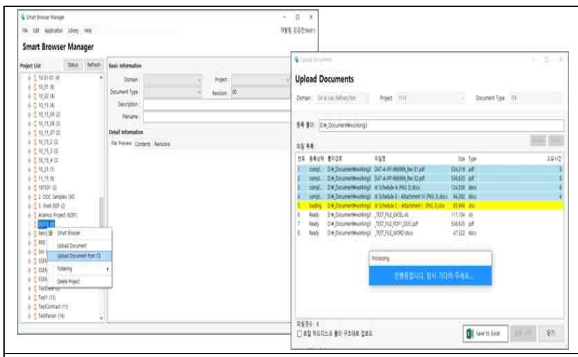
본 시험은 연계되는 프로젝트관리시스템, 동시병행시스템, 협업플랫폼, 산출물관리시스템, 비정형시스템, 정보검색시스템을 통합된 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상 (소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여기관이 제공한 프로젝트 자료를 활용하였으며, 시험을 위하여 현업 전문가와 협의를 하였다.

시험 데이터는 Project 정보, 설계 산출물 정보를 대상으로 하였으며, 전문 기관이 개발하였고 현업 전문가와의 협의를 하기에 적합하여 시험 데이터로 선정하였다.

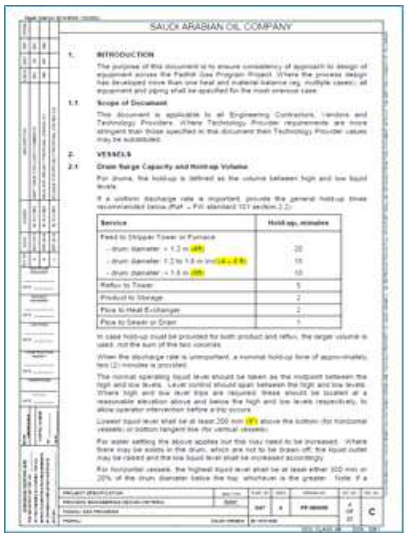
4) 주요 시험 내용

	
[그림. WBS/CBS 가이드 시스템과 동시병행 시스템과의 연계]	[그림. WBS/CBS 가이드 시스템과 협업플랫폼과의 연계]
동시병행 시스템으로부터 최적화된 WBS를 (Primavera를 거쳐) WBS/CBS 가이드 시스템으로 가져온다. WBS/CBS 가이드 시스템에서 WBS를 Primavera로 Export한다. 동시병행 시스템에서 Primavera의 WBS를 읽어와서 최적화 한 후 다시 Primavera로 Export하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.	최적화된 WBS를 협업플랫폼으로 가져오는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.

	
[그림. 산출물관리시스템과 비정형 시스템과의 연계]	[그림. 산출물관리시스템과 정보검색 시스템과의 연계]
산출물관리시스템의 문서들을 비정형 시스템으로 가져와서 정형화 작업을 수행하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.	S비정형 시스템의 문서를 정보검색 시스템에서 검색하여 산출물관리시스템에서 활용하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.

5) 플랜트 건설 협업 플랫폼에서 비정형 시스템의 필요성과 역할

플랜트 건설 협업 플랫폼을 기반으로 한 엔지니어링은 문서, 데이터, 2D/3D 모델들을 활용하고, 생성한다. 이러한 데이터 들은 대부분 비정형으로 되어 있고, 이러한 비정형 데이터들이 정형화 되어, DB화 되어야 엔지니어링 과정 중 효율적인 통합화가 필요하다. 본 과제에서 개발한 비정형 데이터 정형화 시스템은 각종 시스템에 존재하는 비정형 데이터 (ITB와 같은 문서, P&ID와 같은 도면, Datasheet 와 같은 사양 문서) 등을 파싱하여 의미기반 분석과정을 거쳐 DB화된 정보로 생성하고, 데이터 정합성 체크, 스펙 추출, 자료간의 연결관계 형성, 정확도 높은 자료검색, 의미기반 정보 검색에 활용하여 산출물 품질향상에 지원한다.


SAUDI ARABIAN OIL COMPANY

1. INTRODUCTION

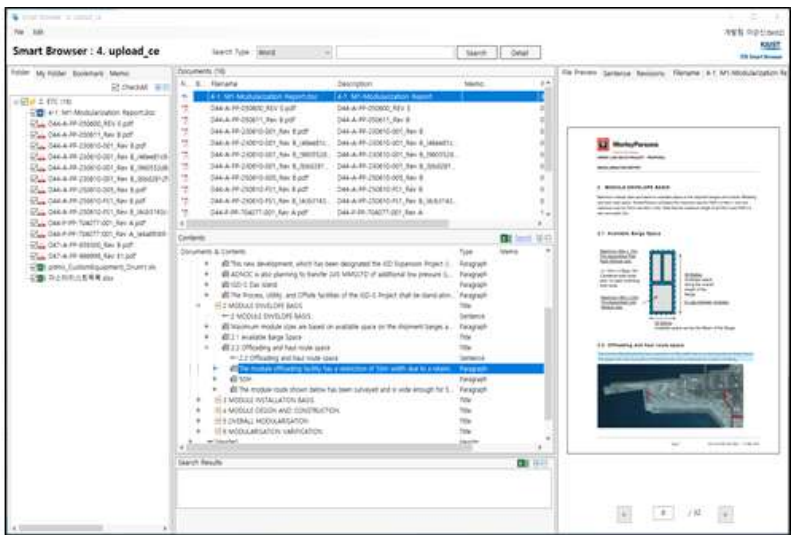
1.1 Scope of Document

2. VESSELS

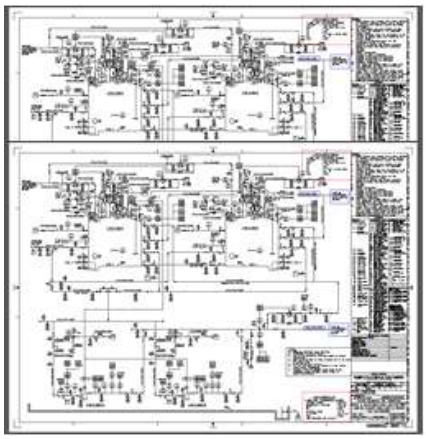
2.1 Drum Surge Capacity and Holdup Volume

Service	Holdup, minutes
Feed to Stripper Tower or Furnace	
- drum diameter < 1.2 m (4ft)	20
- drum diameter 1.2 to 1.8 m (4 ft - 6 ft)	15
- drum diameter > 1.8 m (6ft)	10
Reflux to Tower	5
Product to Storage	2
Flow to Heat Exchanger	2
Flow to Sewer or Drain	1

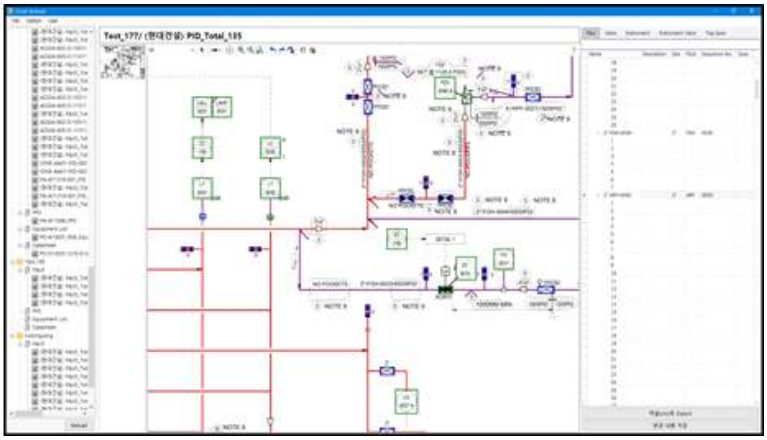
< 엔지니어링 문서: ITB >



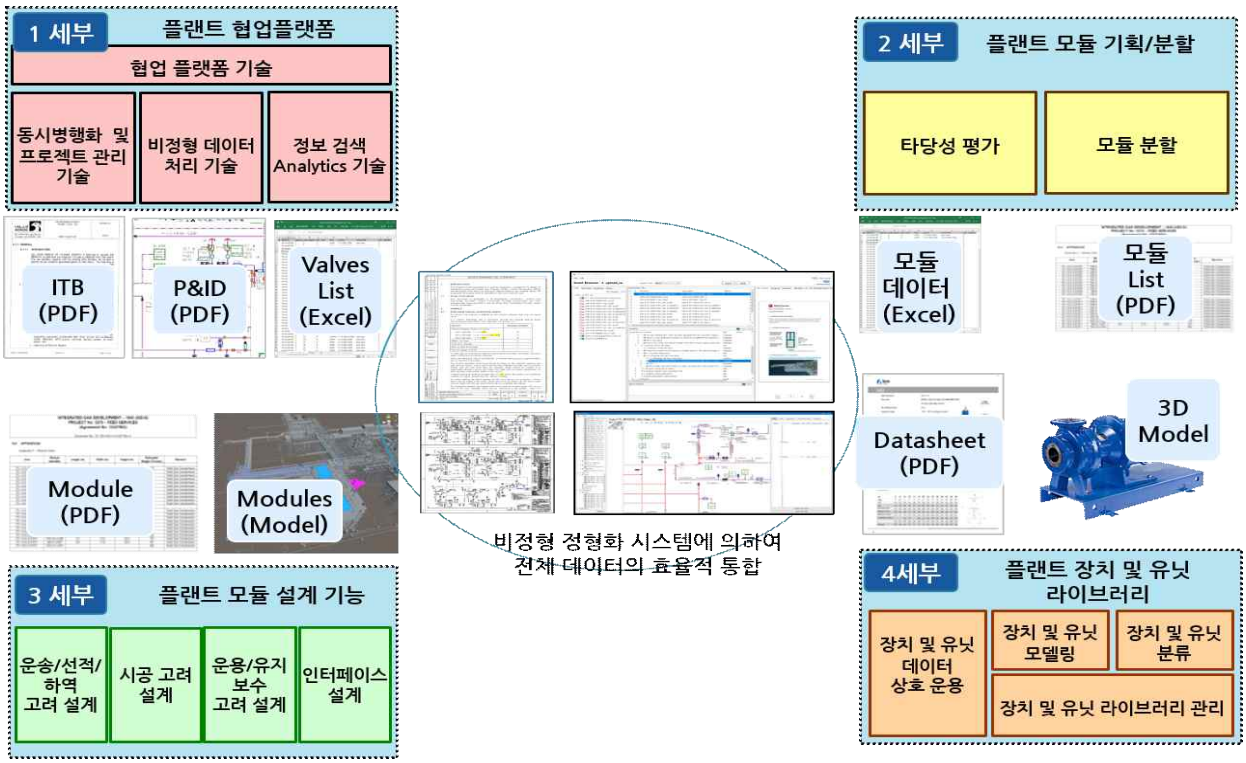
< 비정형 데이터 정형화 시스템: 문서 → 내용 DB 화 >



< 엔지니어링 도면: PID >



< 비정형 데이터 정형화 시스템: 도면 → 내용 DB 화 >



< 비정형데이터 시스템에 의한 과제 시스템 데이터 연계 >

2.4.3 [E-2] 통합 플랫폼 전체 시스템 연계

① 통합 플랫폼 개발

1) 통합 시스템 연동

본 연구에서는 플랜트 협업 엔지니어링을 위한 통합 플랫폼 구축을 목표로 하였다. 동시병행 협업 체계 플랫폼, 타당성 평가 및 모듈화 기획 시스템, 모듈 상세 설계 시스템, 모듈화 기자재 라이브러리 시스템의 연계를 목적으로 하였다. 이러한 시스템은 모듈화 플랜트 엔지니어링 및 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등의 플랜트 건설 업무의 효율화를 가져 온다.

개발된 통합 플랫폼의 SW 사양은 아래 표와 같다.

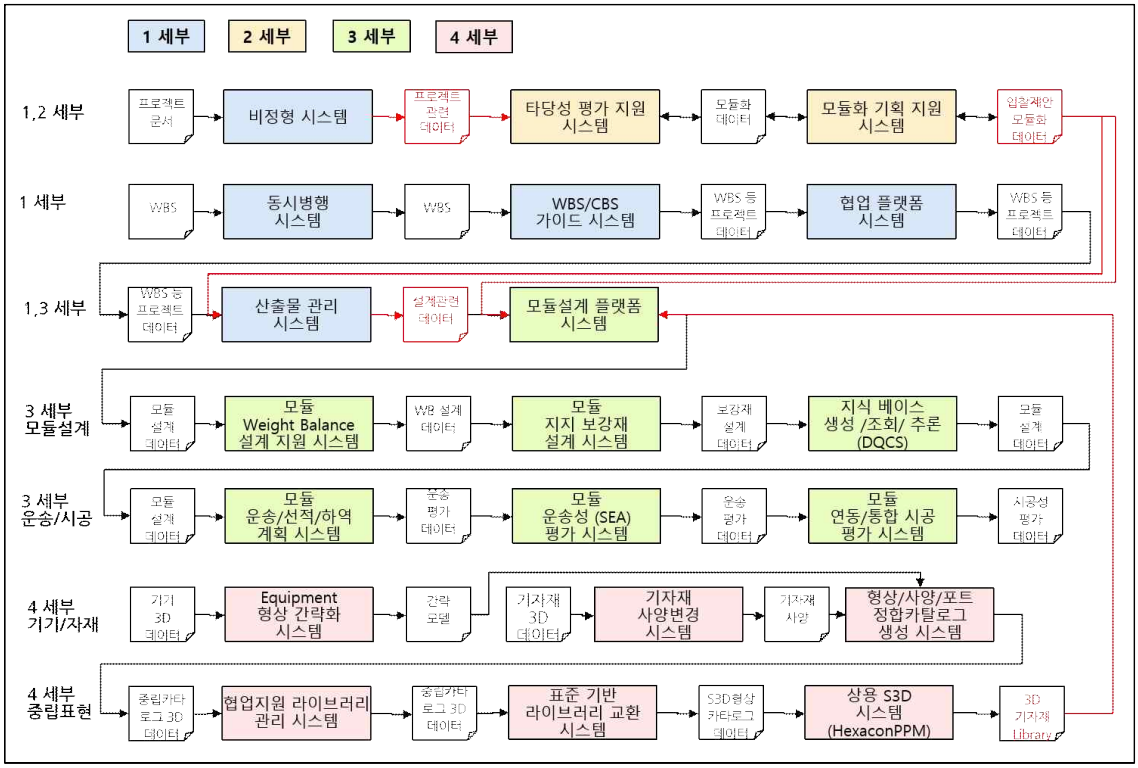
환경 구분	항목	사양	비고
개발 환경	운영체제	Microsoft Windows 7 Professional (64bit)	
	개발언어	C#(.NET Framework), HTML, JavaScript, PHP	
	개발도구	Microsoft Visual Studio Professional 2017	
	DBMS	Oracle 11g Standard Edition	
	외부 툴	RazorEngine	동적 웹 페이지 구현
		JQuery	
		JQuery UI	웹 페이지 UI, 효과 구현
		KENDO UI	웹 페이지 UI 구현
	코드 형상관리	Bonobo Git Server	
		SourceTree Client	
사용환경	운영체제	Microsoft Windows 7 이상	
	인터넷 브라우저	Internet Explorer 10 이상	
		Firefox	
		Chrome	

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.17	-	김영도	서효원	서효원	
2020.02.27	-	김봉상	서효원	서효원	

통합화 대상 시스템

- 1 세부 동시병행 협업 체계 플랫폼
- 2 세부 타당성 평가 및 모듈화 기획 시스템
- 3 세부 모듈 상세 설계 시스템
- 4 세부 모듈화 기자재 라이브러리 시스템



< 세부 간 연계 흐름도 >

통합화 대상 시스템의 INPUT/OUTPUT

No	모듈명	INPUT	OUTPUT
1	동시병행 시스템	. 프로젝트 정보 . WBS 정보 . 기간	. 프로젝트 정보 . WBS 정보 . 병행화 결과 기간
2	비정형 시스템 (문서인식 및 내용 DB화 시스템)	. 플랜트 엔지니어링 문서	. 문서 파싱 결과 - 단위 Paragraph - 문장 (sentence) - 단어 (word) - 단어 셋 (tagged words set)
3	비정형 시스템 (도면인식 및 내용 DB 화 시스템)	. 플랜트 엔지니어링 도면 (P&ID)	. 도면인식 결과 (P&ID) - 밸브, 파이프, 계장, - 라인넘버 - 각 인식결과 수량
4	협업 플랫폼	. 협업 필요 정보 . Squad Check 필요정보	. 협업 결과 문서 . Squad Check 결과
5	WBS/CBS 가이드 시스템	. WBS 정보 . PBS 정보 . CBS 정보	. PBS-WBS-CBS 연계 정보
6	산출물 관리 시스템	. 문서구조 정보 . 문서	. 문서 Revision 정보
7	데이터 분석 시스템	. 문장 정보 . 단어 셋 정보	. 유사문장 추천 정보

< 1 세부 모듈 및 INPUT/OUTPUT >

No	모듈명	INPUT	OUTPUT
1	모듈화 기획 지원 솔루션	1. 아이디어 등록 2. 기능등록 3. 기능+아이디어 등록 4. CBS 정보 5. 아이디어 평가치 6. 대안 평가치 등록	1_1. 아이디어 선택 2_1. 기능 선택 3_1. 기능+아이디어 출력 4_1. 아이디어 평가 5_1. 아이디어 구체화 6_1 대안 선택 7_1. 대안 확정 대안 확정정보 상대 LCC 가치 점수 가치 향상도 성능점수
2	타당성 평가 지원 솔루션	11. 사업장 정보 12. 모듈화 평가 (PM-FAT) 14. 모듈 정보 (BM-FAT) 17. 사업장 CBS 18. Case별 Cost 21. 타당성 평가 23. 리스크 평가	13. 모듈화 판단점수 15. 모듈 제한결과 16. 유사사업장 CBS 제시 19. Case 선택 20. Case 선택 22. 타당성 평가 결과 24. 리스크 평가 결과

< 2 세부 모듈 및 INPUT/OUTPUT >

No	모듈명	INPUT	OUTPUT
1	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 자동화 모듈 (Weight Balance / Support Lug Analysis)	9-1. 분할된 Module Modeling data	8. 해석 결과
2	플랜트 모듈 지지보강재 설계 자동화 S/W 모듈 (Weight Balance / Support Lug Analysis)	9-1. 분할된 Module Modeling data	8. 해석 결과
3	샘플 지식 베이스 생성 / 조회/ 추론 성능 평가 (DQCS)	9-1. 분할된 Module Modeling data 5. 시공성 성공여부	6. 발견된 Defect 목록
4	운송성 평가 시뮬레이션을 위한 운송/선적/하역 계획 S/W 모듈 개발 (P-TAIS)	9. Module Modeling data 1. 지리정보 2. Unit 정보	3. 이송가능 사이즈
5	모듈 연동 및 통합 시공성 평가 시뮬레이션 (시공성)	9-1. 분할된 Module Modeling data	5. 시공성 성공여부
6	운송성/시공성 평가 시뮬레이터 (Sea Transportation Simulation)	9-1. 분할된 Module Modeling data 7. 해상운송 환경	7. 해상운송 환경

< 3 세부 모듈 및 INPUT/OUTPUT >

No	모듈명	INPUT	OUTPUT
1	형상/의미 기반 검색 시스템 모듈	• 3D CAD 모델 (STEP AP 203(.stp))	• 형상기술자 검색결과
2	표준 기반 라이브러리 교환 모듈	• 중립 카탈로그 데이터/ 중립 형상 스크립트	• S3D 형상 심볼 (DLL) • S3D 카탈로그 데이터 (EXCEL)
3	협업지원 라이브러리 관리 플랫폼	• 형상기술자 검색결과 • 중립 카탈로그(XML)/3D CAD 모델(STP)/ 중립형상스크립트	• 중립 카탈로그(XML)/3D CAD 모델 (STP) • 중립 카탈로그(XML)/중립형상 스크립트 • 3D CAD 모델 (검색대상 STP) • 분류체계 정보
4	형상 간략화 시스템 모듈	• 대형기기/스키드 3D CAD 모델	• 간략화된 3D CAD 모델
5	형상/사양/포트 정합카탈로그 생성 시스템 모듈	• 간략화된 3D CAD 모델 • 분류체계 정보 • 사양/포트 정보 • 형상스크립트 기반 3D CAD 파일 생성 함수 • 기자재 형상 파일 (중립형상 스크립트)	• 중립 카탈로그 데이터/3D CAD 모델/ 중립 형상 스크립트
6	기자재 사양 변경 시스템 모듈	• 일반 기자재 3D CAD 모델 • 분류체계 정보	• 기자재 형상 파일 (중립형상 스크립트) • 형상스크립트 기반 3D CAD 파일 생성 함수

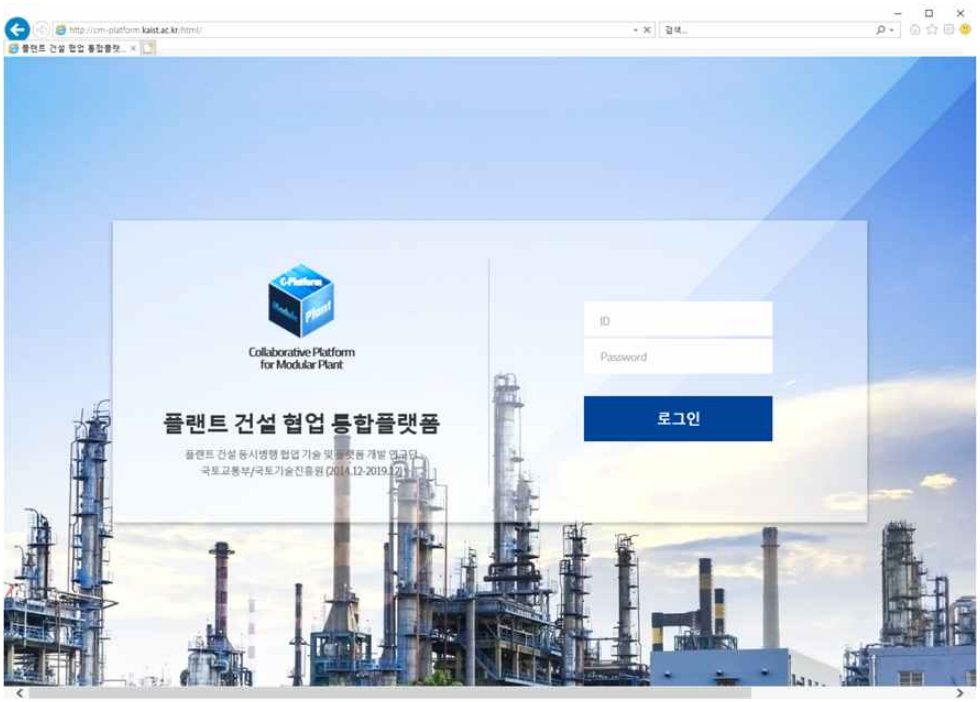
< 4 세부 모듈 및 INPUT/OUTPUT >

세부	세부 시스템 (OUTPUT 생성)	OUTPUT / INPUT		세부 시스템 (INPUT받음)
		OUTPUT/INPUT	데이터 Type	
1->2	비정형 데이터 처리 시스템(1)	- ITB 문서 파싱 결과	- 문장 Text 정보	모듈화 기획 시스템(2)
2->3	모듈화 기획 시스템(2)	- 모듈기획 결과 (모듈, 크기, 무게 등)	- 일반 데이터	모듈 설계 시스템(3)
3->1	모듈 설계 시스템(3)	- 모듈 상세설계 결과	- 일반 데이터 - 모델 (파일)	산출물 관리 시스템(1)
1->4	산출물 관리 시스템(1)	- 기자재 사양 데이터 (Datasheet)	- 문서 - 일반 데이터	협업지원 라이브러리 관리시스템
4->3	협업지원 라이브러리 관리시스템	- 기자재 사양 및 모델	- 일반 데이터 - 모델 (파일)	모듈 설계 시스템(3)
2->1	모듈화 기획 시스템(2)	- 모듈기획 결과 (모듈, 크기, 무게 등)	- 일반 데이터	산출물 관리 시스템(1)
4->1	협업지원 라이브러리 관리시스템	- 기자재 사양 및 모델	- 일반 데이터 - 모델 (파일)	산출물 관리 시스템(1)

< 세부 간 데이터 연계통합 및 데이터 타입 >

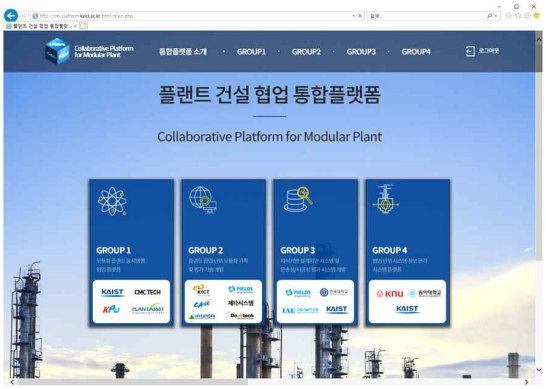
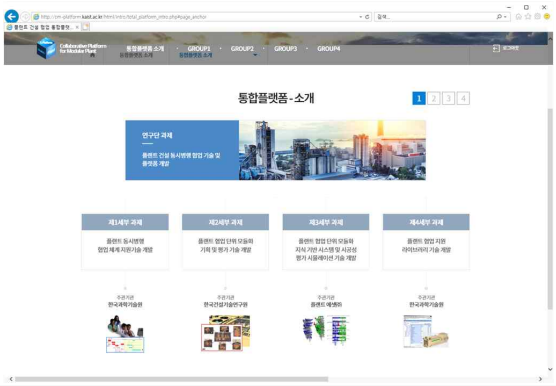
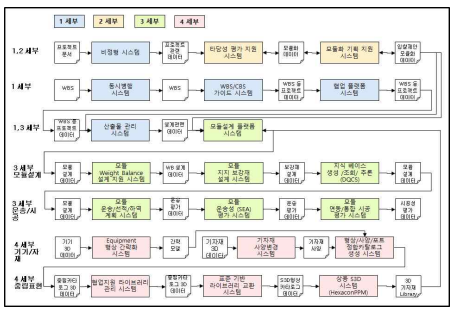
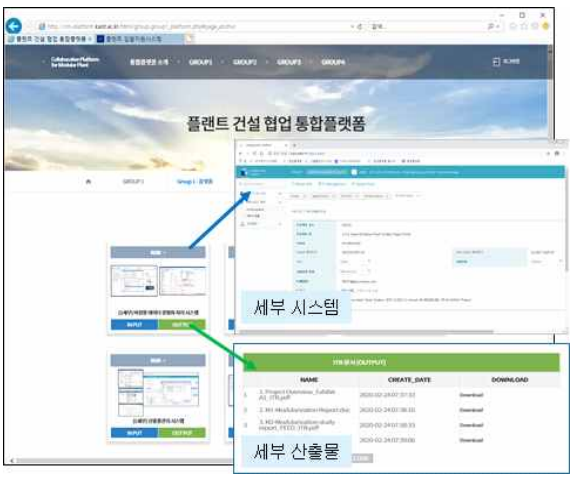
세부	세부 시스템	세부 산출물 (타 세부를 위한)	데이터 형태
1	비정형 데이터 처리 시스템 산출물 관리 시스템	- ITB 와 같은 협업 문서 - 문서 파싱 결과	- 파일 or - Text 정보
2	모듈화 기획 시스템	- 모듈기획 결과 모듈, 크기, 무게 등	- 파일 or - 속성-값 리스트
3	모듈 설계 시스템	- 모듈 상세설계 결과	- 파일 or - 속성-값 리스트 or - 모델 (파일)
4	협업지원 라이브러리 관리시스템	- 모듈기자재 사양 및 모델	- 파일 or - 속성-값 리스트 or - 모델 (파일)

< 세부 산출물과 데이터 형태 >

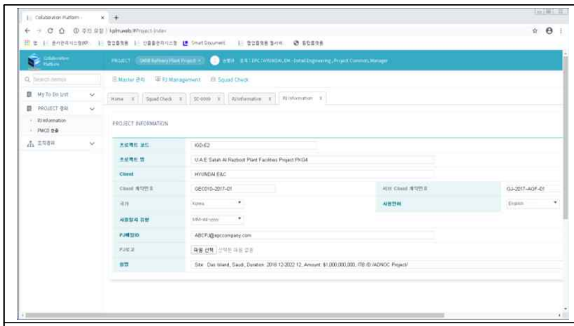
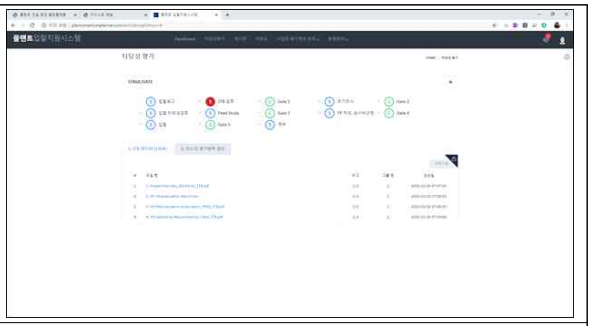
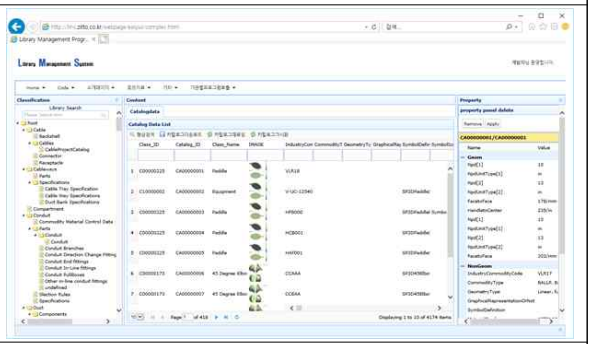


< 통합 플랫폼 사이트 : “cm-plant.kaist.ac.kr” >

2) 주요 기능 1

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>[그림. 로그인 화면]</td><td>[그림. 메인 화면]</td></tr>
<tr><td>통합플랫폼 로그인 화면. ID와 PW로 로그인한다.</td><td>로그인 후에 나타나는 통합시스템 메인 화면</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 통합플랫폼 소개]</td><td>[그림. 통합플랫폼 연계]</td></tr>
<tr><td>통합플랫폼에 대한 설명 자료를 보여준다.</td><td>통합플랫폼을 위한 데이터의 연계를 나타낸다.</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>[그림. 각 세부 소개]</td><td>[그림. Group (세부) 플랫폼 과 시스템 연계]</td></tr>
<tr><td>각 세부에 대한 설명 자료를 보여준다.</td><td>Group 1(1세부)의 플랫폼을 바탕으로 타 시스템과 연계 정보를 나타내고 있음</td></tr>
</table>

주요 기능 – 각 세부별 사이트

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 1 세부 협업 플랫폼]</td><td>[그림. 2 세부 모듈기획 플랫폼]</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 3 세부 모듈 상세 설계 플랫폼]</td><td>[그림. 4 세부 모듈 라이브러리 플랫폼]</td></tr>
</table>

< 각 세부별 사이트 >

② 통합 플랫폼 테스트 및 보완

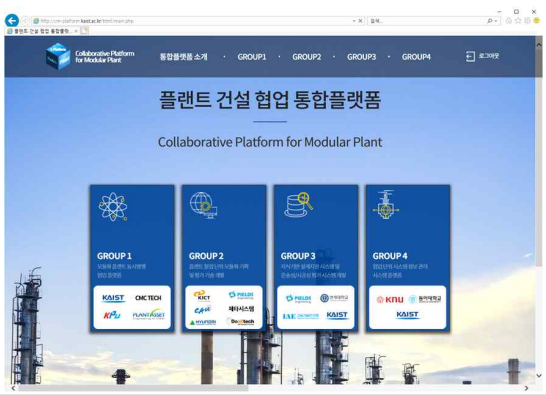
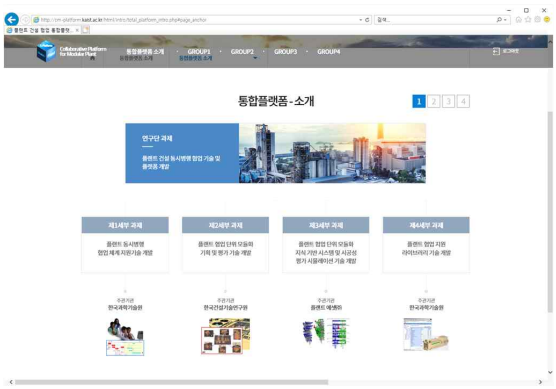
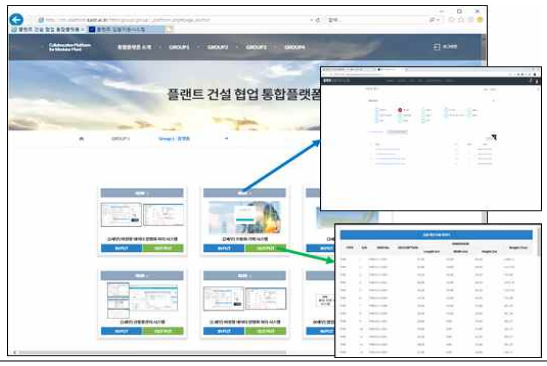
1) 시험 개요

본 시험은 통합시스템 연동 측면에서 통합시스템 소개, 각 세부 소개 및 플랫폼 기능의 기능적 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상 (소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여기관이 제공한 프로젝트 자료를 활용하였다.

시험 데이터는 Project 정보, 설계 산출물 정보를 대상으로 하였으며, 각 세부 기관이 개발하였고 현업 전문가와의 협의를 하여 시험 데이터로 선정하였다.

2) 주요 시험 내용

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>[그림. 통합플랫폼 초기화면]</td><td>[그림. 통합플랫폼 소개]</td></tr>
<tr><td>플랫폼 로그인 및 초기화면이 접속이 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>플랫폼 소개 화면이 출력되는지를 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>[그림. 플랫폼 데이터 공유 운영 페이지]</td><td>[그림. 세부 단위 실행 시험]</td></tr>
<tr><td>플랫폼 데이터 공유 화면이 접속이 되는지 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>각 모듈들에 대하여 산출물이 정상적으로 나오는지 시험하여 확인하였다.</td></tr>
</table>

2.5 시스템 성능평가/보완 및 실용화/범용화 방안 수립

2.5.1 서론

가. 연구 최종 목표

본 연구는 플랜트 프로젝트의 각각의 기능별로 개발된 시스템(모듈)들을 간의 연동 결과에 대해 성능을 평가하고 보완하는 것을 목표로 한다. 이와 함께 완성된 시스템들에 대해 실용화/ 범용화 방안도 수립한다.

나. 연구 내용 및 방법

각 시스템간의 연동을 위한 하나의 데이터를 결정하고, 해당 데이터가 각 시스템간에 원활하게 흘러가는지를 확인한다.

전체 시스템을 포괄하는 메인 시나리오를 설정하고, 해당 시나리오 흐름대로 시험절차서를 작성하고, 절차에 의거하여 테스트를 진행하여 정상적으로 수행되는지를 확인한다.
각 시스템들을 설치하는 절차에 대하여 정리하고, 실제 업무에 적용 가능한지를 확인한다.

2.5.2 [F-1] 성능평가 및 보완

① 테스트 데이터 확보

동시병행 프로세스 관리 시스템, 일정-비용-사양 연계 시스템, 협업플랫폼을 “통합 시스템 그룹 1”로 정의하고, 비정형 의미데이터 공유시스템, 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템, 프로젝트 산출물 관리 시스템, 협업플랫폼을 “통합 시스템 그룹 2” 로 정의했을 때, 각 시스템 그룹의 시험데이터는 아래와 표와 같다.

No.	통합 시스템 그룹	데이터
1	- 동시병행 프로세스 관리 시스템 - 일정-비용-사양 연계 시스템 - 협업플랫폼	과거 수행된 플랜트 건설 프로젝트의 WBS 시험데이터 및 PBS/WBS/CBS 시험데이터
2	- 비정형 의미데이터 공유시스템 - 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 - 프로젝트 산출물 관리 시스템 - 협업플랫폼	과거 수행된 플랜트 건설 프로젝트의 ITB 문서 데이터 세트

② 테스트 프로세스 정립

1) 시스템 시험 절차

1. 신규 프로젝트를 Primavera 또는 WBS/CBS 가이드 시스템에서 작성한다.
2. 신규 프로젝트의 공정데이터를 동시병행 시스템으로 보내어 최적화 한다.
3. 최적화된 WBS를 Primavera 또는 WBS/CBS 가이드 시스템으로 내보낸다.
4. 협업플랫폼에서 Primavera 또는 WBS/CBS 가이드 시스템을 통해 WBS 데이터를 불러온다.
5. 협업플랫폼에서 MasterList 문서를 정의하고, MasterList 문서를 등록한다.
6. 협업플랫폼에서 MasterList 문서와 PBS/WBS/CBS를 연결한다.

7. 협업플랫폼에서 WBS 연관문서를 검색한다.
8. 협업플랫폼에서 MasterList 문서를 개정한다.
9. 협업플랫폼에서 SquadCheck를 개설한다.
10. 산출물관리 시스템에 등록된 문서를 가져온 다음, 비정형 시스템이 문서 업로드 수행한다.
11. 업로드 되는 문서는 비정형 시스템에서 sentence, word 레벨로 DB화되고 정형화 처리결과도 DB에 저장 한다.
12. 협업 플랫폼에서 WBS 연관 문서 키워드/유사도 검색 시 데이터 분석 시스템에 피드백 요청하면 데이터 분석 시스템에서 연관 문서 키워드 검색/유사도 검색 처리 후 협업 플랫폼으로 결과 전송

2) 시스템 시험 검증

1. ITB 로부터 일정 데이터를 얻어 Primavera에 WBS를 입력하였다.
2. 입력한 WBS 데이터를 Advisor에서 Import 하였다.
3. Advisor의 WBS 데이터를 동시병행시스템에서 읽어 최적화 작업을 진행하였다.
4. 최적화된 WBS 데이터를 Advisor로 Export 하였다.
5. WBS 데이터를 Advisor로부터 협업플랫폼으로 Export 하였다.
6. 산출물관리시스템에서 문서들을 Upload 하였다.
7. 산출물관리시스템에서 PWC와 Document 관계를 설정하였다.
8. Upload한 문서들을 비정형시스템에서 Import 하고, 정형화 작업을 진행하였다.
9. 협업플랫폼에서 정보검색 시스템으로부터 검색결과를 얻었다.
10. 협업플랫폼에서 Squad Check를 개설하고 CheckList를 검토하였다.

이상과 같이 전체 사이클을 돌려봄으로써 각 시스템간의 연동이 원활하게 수행되었음을 확인하였다.

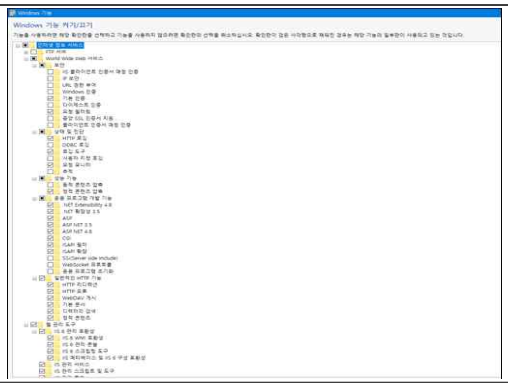
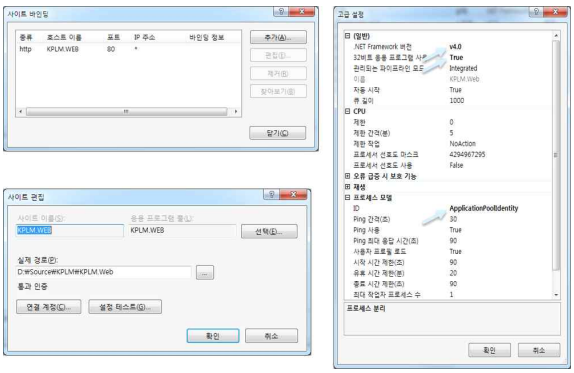
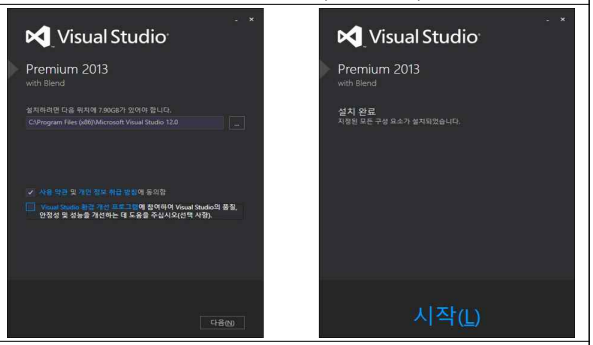
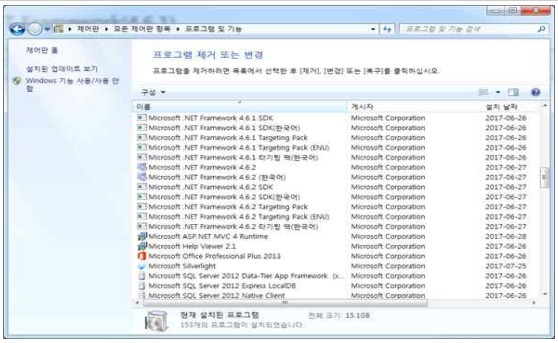
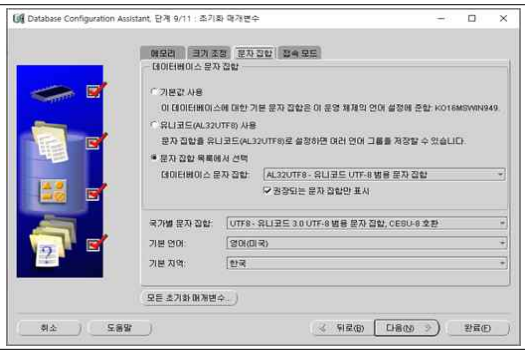
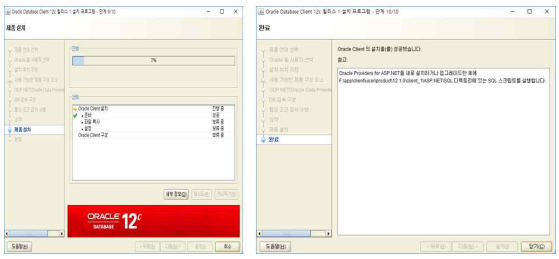
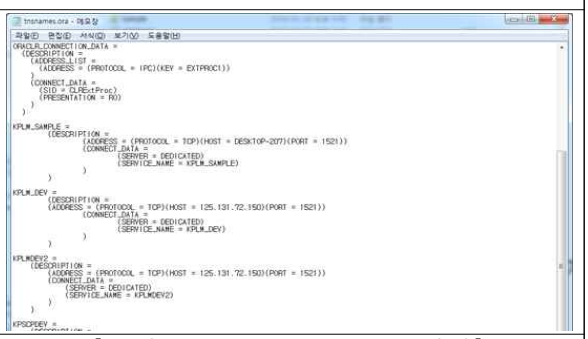
③ 테스트 환경 H/W 플랫폼 구축

분류	환경 사양
테스트 H/W 환경 (공통)	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz Memory: 16.0 GB Storage: SSD 128GB(OS), HDD 2TB(DB System)

④ 테스트 환경 연계 UTILITY S/W 환경 구축

분류	환경 사양
테스트 S/W 환경 (공통)	Microsoft Windows 7 Professional K (64 bit) .NET Framework 4.6.1 IIS (인터넷 정보 서비스) 관리자 Visual Studio 2017 (협업플랫폼: VS 2013) Oracle 11gR2 Server 및 DB 설정 Oracle 12g Client
테스트 S/W 환경 (동시병행시스템, WBS/CBS Advisor)	Java 7, Java 8 Oracle Primavera AddFlow for .NET 2.1 Component One
테스트 S/W 환경 (비정형 데이터 시스템)	Java 7, Java 8 AddFlow for .NET 2.1 Python 3.5.2 및 기타 라이브러리 Tesseract 4.0.0 Microsoft Office 2010 (64 bit) Microsoft Access Database Engine 2010 (32 & 64 bit) Adobe Acrobat Pro X
테스트 S/W 환경 (정보검색 및 데이터 Analytics 시스템)	Python 3.5 및 기타 라이브러리

⑤ 협업플랫폼 S/W 셋업

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. IIS(인터넷 정보 서비스) 설치]</td><td>[그림. IIS(인터넷 정보 서비스) 설정]</td></tr>
<tr><td>인터넷 정보 서비스 설치에 필요한 모듈 체크</td><td>IIS 웹 서버의 프로젝트 경로, 바인딩, 모델 설정</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 협업플랫폼 웹 주소 설정]</td><td>[그림. Visual Studio 2013 설치]</td></tr>
<tr><td>협업플랫폼 웹 페이지를 문자 주소로 접속하기 위해 윈도우 hosts 파일 수정</td><td>협업플랫폼 소스 컴파일을 위해 Visual Studio 2013 설치</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. .NET Framework 설치]</td><td>[그림. Oracle 11gR2 Server 설치]</td></tr>
<tr><td>협업플랫폼 소스빌드, 실행을 위해 .NET Framework 4.6.1 세팅</td><td>협업플랫폼 DBMS인 Oracle Server 세팅</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. Oracle 11g Client 설치]</td><td>[그림. Oracle 11g Client 설정]</td></tr>
<tr><td>협업플랫폼에서 원격 서버에 세팅된 Oracle Server 접근을 위해 Oracle 11g Client 설치</td><td>협업플랫폼에서 Oracle Server DB에 접근에 필요한 접속 정보 설정</td></tr>
</table>

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.17	-	김영도	서효원	서효원	

2.5.3 [F-2] 실용화 및 범용화 방안 수립

① 시스템 기능 테스트 데이터 입력

개발된 각 시스템 간의 연계가 원활하게 수행되는지 확인하기 위해 연동을 위한 데이터를 사전에 정의했으며, 각 시스템(모듈)의 입력 테스트 데이터는 아래 표와 같다.

No.	시스템 분류	입력 테스트 데이터
1	동시병행 프로세스 관리 시스템	Oracle Primavera로 정의한 SARB 프로젝트 공정데이터
2	WBS/CBS 가이드 시스템	동시병행 시스템에서 최적화 시뮬레이션 과정을 수행한 공정데이터
3	협업플랫폼	WBS/CBS 가이드 시스템에서 PBS-WBS-CBS 연계한 결과 공정데이터
4	프로젝트 산출물 관리 시스템	플랜트 건설 프로젝트의 ITB 문서 데이터 세트
5	비정형 의미데이터 공유 시스템	산출물 관리 시스템에 업로드된 ITB 문서 데이터 세트
6	정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템	비정형 시스템에서 ITB 문서를 sentence, word 레벨로 DB화 처리된 데이터

② 시스템 기능 자체 테스트

1) [B] 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼

가) [B-1] 동시병행 프로세스 관리 적용

(1) 시스템 테스트 개요

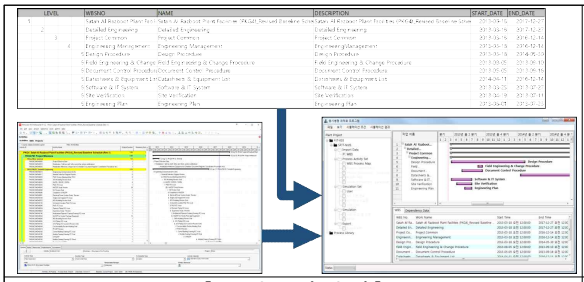
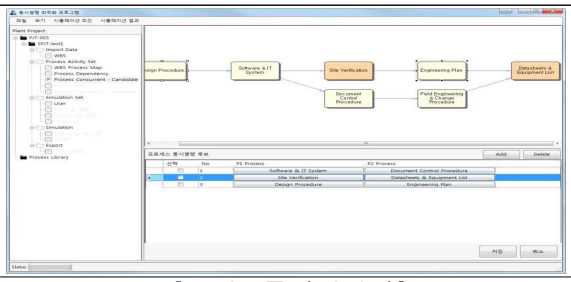
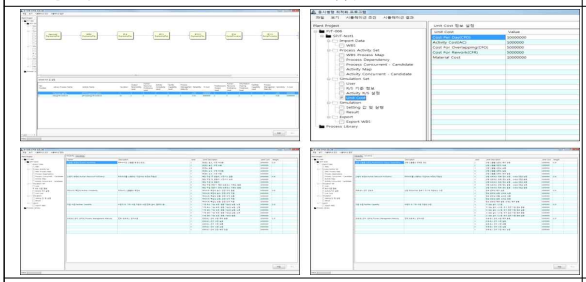
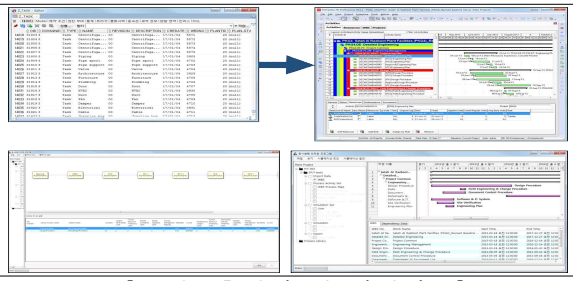
본 시험은 플랜트 건설 엔지니어링 협업 플랫폼과의 기능적 연계를 위한 동시병행 프로세스 관리 모듈화 프로젝트 현업 데이터를 대상으로 하여, 소프트웨어 기능모듈의 동시병행화 기능과 성능 평가 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상 (소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여기업인 H사로 부터 입수된 자료를 활용하였으며, 시험을 위하여 현업 전문가와 협의를 하였다.

시험 데이터는 과거 수행된 플랜트 건설 프로젝트의 WBS (총 14,872 Work & Activity) 의 일부를 대상으로 하였다. 실제 플랜트 건설 프로젝트의 WBS 공정표 샘플데이터로써 처리결과에 대한

현업 전문가와 협의를 하기에 적합하여 시험 데이터로 선정하였다.

(2) 주요 테스트 내용

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 전처리]</td><td>[그림. 동시병행화]</td></tr>
<tr><td>Excel 파일, 프로젝트관리시스템(PMS: 프리마베라) 의 프로젝트 정보를 동시병행 프로세스 관리 모듈화 프로젝트 DB에 저장하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>동시병행 가능 Process와 Activity 및 동시병행 Parameter를 설정하고 모듈을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 동시병행 결과]</td><td>[그림. 후처리 및 기타기능]</td></tr>
<tr><td>동시병행 결과 가시화, 업데이트된 Critical Path, 동시병행 결과 데이터 출력하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>프리마베라 DB에 저장, Gantt Chart 성능, Diagram 성능 시험을 하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
</table>

나) [B-2] 비정형 의미데이터 공유 시스템

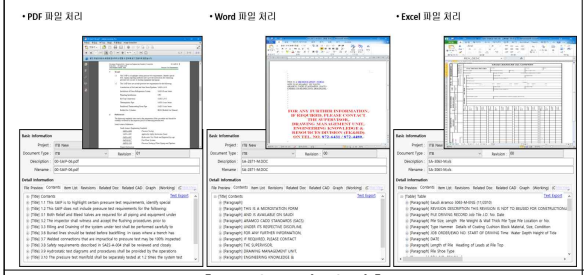
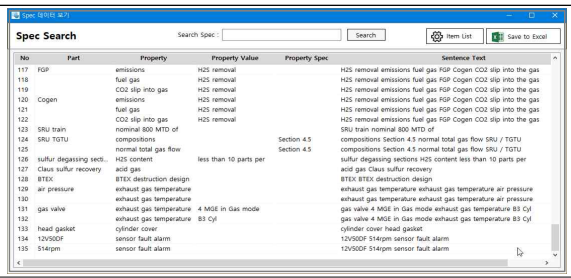
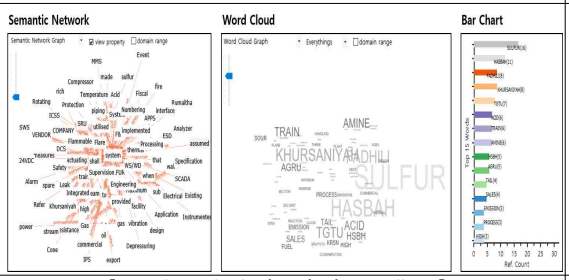
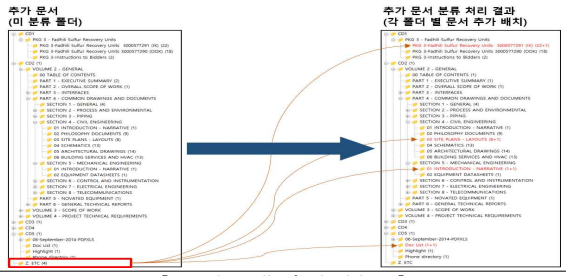
(1) 시스템 테스트 개요

본 시험은 플랜트 건설 엔지니어링 협업 플랫폼과의 기능적 연계를 위한 비정형 데이터 공유 시스템을 현업 데이터를 대상으로 하여, 소프트웨어 모듈의 자료 처리성능과 처리결과 관리의 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상(소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여기업으로 부터 접수된 자료를 활용하였으며, 결과 확인을 위하여 현업 담당자와의 여러 차례 결과 리뷰를 통하여 확인하였다.

시험 데이터는 과거 수행된 플랜트 건설 프로젝트의 ITB 3세트(총 10,126건 자료)를 대상으로 하였다. ITB 자료는 다량/다유형/대용량의 형태이면서 일관된 프로젝트의 자료를 포함하고 있으며, 현업에서 해당 내용을 분석하고 이해하기 위하여 별도의 기간과 인력을 투입하였던 비정형 데이터로써 처리결과에 대한 현업 담당자와의 리뷰를 수행하기에 적합하여 시험 데이터로 선정하였다.

(2) 주요 테스트 내용

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>[그림. 전처리]</td><td>[그림. 정형화 결과 검색]</td></tr>
<tr><td>물리적 파일로부터 텍스트 정보를 추출하여 의미를 부여하지 않고 DB화하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>정형화 결과의 각 문장별 연결정보를 검색하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>[그림. 정형화 결과 그래프]</td><td>[그림. 데이터 분류]</td></tr>
<tr><td>단어 간 연결정보 가시화 그래프, 문서내 주요 의미별 빈도수 가시화 그래프 출력하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>최초 등록된 자료 이후에 변경되어 추가되는 자료의 자동배치하는 과정을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
</table>

다) [B-3] 협업 플랫폼 적용 및 안정화

(1) 시스템 테스트 개요

<페이지 26 참조>

(2) 주요 테스트 내용

<페이지 26 참조>

2) [C] 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어

가) [C-3] 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템

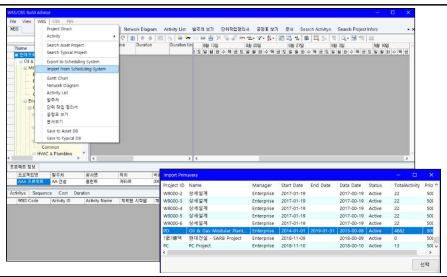
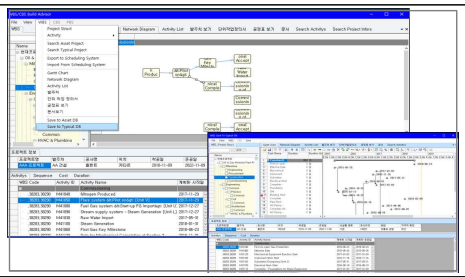
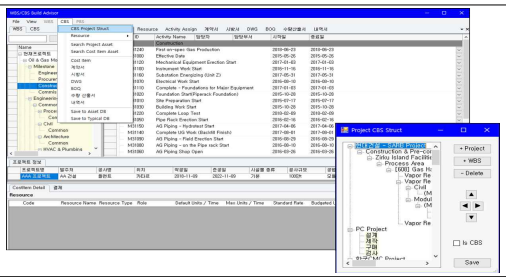
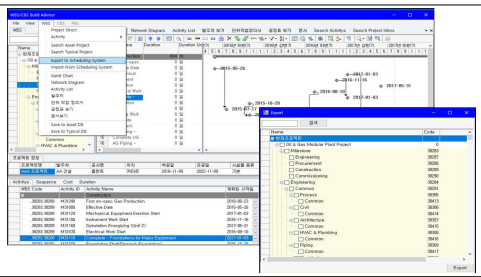
(1) 시스템 테스트 개요

본 시험은 플랜트 건설 엔지니어링 협업 플랫폼과의 기능적 연계를 위한 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템 시험을 위해 개발한 데이터를 대상으로 하여 프로젝트 일정 관리 모듈, 원가계획 관리 모듈, Scheduling System Import/Export 모듈의 기능적 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상 (소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여 기관이 개발한 자료를 활용하였으며, 시험을 위하여 현업 전문가와 협의를 하였다.

시험 데이터는 WBS, Typical WBS, Activity, Typical Activity를 대상으로 하였다.
전문 기관이 개발하였고 현업 전문가와 협의를 하기에 적합하여 시험 데이터로 선정하였다.

(2) 주요 테스트 내용

	
[그림. Scheduling System Import]	[그림. 프로젝트 일정 관리]
Scheduling System인 동시병행 시스템 및 Primavera와 연동하여 Project Import 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.	프로젝트 일정 관리 모듈의 기능인 현재 프로젝트 관리, 자산 프로젝트 관리, Typical 프로젝트 관리 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.
	
[그림. 원가계획 관리]	[그림. Scheduling System Export]
원가연계 관리 모듈의 기능인 CBS 편집, Resource 편집, Cost Item 등록, 물량산출서 산출 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.	Scheduling System인 동시병행 시스템 및 Primavera와 연동하여 Project Export 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.

3) [D] 협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어

가) [D-1] 프로젝트 산출물 관리 시스템

(1) 시스템 테스트 개요

<페이지 44 참조>

(2) 주요 테스트 내용

<페이지 44 참조>

나) [D-2] 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템

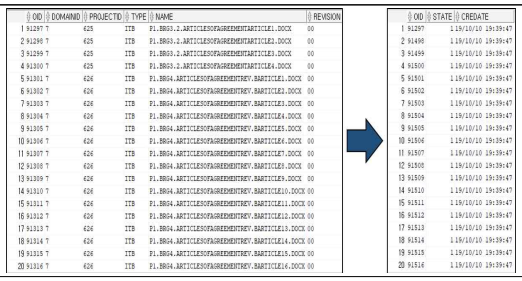
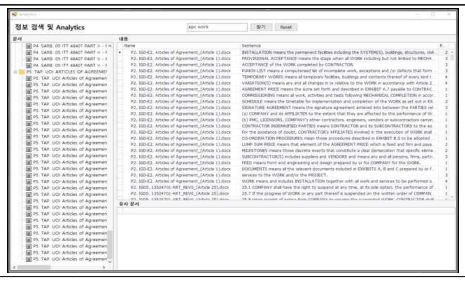
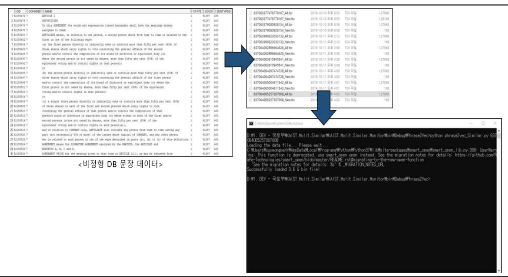
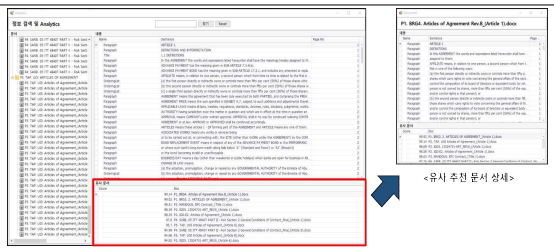
(1) 시스템 테스트 개요

본 시험은 플랜트 건설 엔지니어링 협업 플랫폼과의 기능적 연계를 위한 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템을 현업 데이터를 대상으로 하여, 정보 검색과 데이터 Analytics에 따른 유사 추천의 측면에서 시험을 진행하였다.

적용시험을 위한 데이터 및 시험 대상(소프트웨어 모듈 주요기능)은 본 과제의 참여기업으로부터 접수된 자료를 활용하였으며, 시험을 위하여 현업 전문가와 협의를 하였다.

시험 데이터는 과거 수행된 플랜트 건설 프로젝트의 계약 문서 (7개 프로젝트, 총 10건 자료)를 대상으로 하였다. 플랜트 건설의 계약 조건은 프로젝트나 발주처가 달라도 유사한 부분이 존재하여 데이터 Analytics를 수행하기 적합하므로 시험 데이터로 선정하였다.

(2) 주요 테스트 내용

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>[그림. 등록된 문서 DB화]</td><td>[그림. 키워드 검색]</td></tr>
<tr><td>비정형 시스템에 새로 등록된 문서 DB 간에 연결 정보 생성 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>사용자 입력 키워드에 대한 검색 및 검색결과 출력을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
<tr><td> 
<비정형 DB 문장 데이터></td><td> 
<유사도 분석 결과>

<유사 추천 문서 상세></td></tr>
<tr><td>[그림. 문서 간 유사도 분석]</td><td>[그림. 유사 문서 추천 가시화]</td></tr>
<tr><td>비정형 시스템의 문장 데이터를 수집 및 Python 프로그램 기반 문서 간 유사도 분석 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td><td>유사도 분석 후 추천된 유사 문서에 대한 상세보기 출력 기능을 시험하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.</td></tr>
</table>

4) [E] 동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)

가) [E-1] 전체 통합 연계 개발

(1) 시스템 테스트 개요

<페이지 51 참조>

(2) 주요 테스트 내용

<페이지 51 참조>

나) [E-2] 전체 통합연동 테스트 및 안정화

(1) 시스템 테스트 개요

<페이지 56 참조>

(2) 주요 테스트 내용

<페이지 56 참조>

③ 시스템 기능 자체 테스트 보완

1) [B] 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼
 가) [B-2] 비정형 의미데이터 공유 시스템
  (1) 문서 파싱 보완

비정형 시스템에 입력되는 플랜트 건설 ITB 문서는 포맷 및 양식이 다양하여 문서 contents를 논리에 맞게 구조화 및 DB화 처리가 필요하다. ITB 문서의 내부적인 구성은 크게 텍스트, 테이블, 도면, 이미지 등으로 이루어져 있으며 일반적인 텍스트 문서는 인식/구조화가 비교적 잘되지만, ITB 문서의 많은 비중을 차지하는 테이블, 이미지 및 도면 문서 처리를 위해 보완이 필요하다.

이를 위해 문서 파서에 테이블 인식하는 로직을 추가보완 했으며, 일반 텍스트 문서와 형태가 많이 다른 도면 문서를 처리하기 위한 별도의 파서를 개발하였다. 테이블의 경우 격자 모양과 같이 단순한 형태의 테이블을 인식 처리하고 테이블을 구성하는 셀과 셀 내부의 텍스트를 매칭한다. 도면 문서의 경우 플랜트 건설 프로젝트마다 형태가 다른 관계로 특정 프로젝트에 대한 도면을 인식 처리하는 보완을 진행했다.

④ 사용자 중심 테스트 기능 수정

1) [B] 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼
 가) [B-2] 비정형 의미데이터 공유 시스템
  (1) 키워드 검색기능 수정

비정형 시스템의 핵심기능인 문서 contents의 키워드 검색은 문서 개수, 문서 내부 단어의 양에 따라 처리 속도가 달라진다. 일반 형태인 ITB 문서는 페이지가 100, 페이지당 평균 300개 단어로 총 30,000개의 단어가 한 문서를 Parsing 할 때마다 DB화된다. 하나의 프로젝트에 여러 문서를 업로드할 시 DB화되는 단어의 수는 배로 증가한다. 만일 프로젝트에 등록된 모든 문서를 대상으로 검색하면 결과를 DB로부터 가져오는 작업과 클라이언트 프로그램에 검색결과를 출력해주는 작업에 부하가 발생해 사용자가 프로그램을 원활하게 사용하기 어렵다.

위 이슈 해결을 위해 문서 contents의 키워드 검색 시, 임의로 지정한 문서 및 폴더에 대해서만 검색을 처리하도록 기능을 수정했다. 사용자가 집중적으로 조회하는 문서들과 폴더만 체크 지정해서 검색하면 비정형 DB로 쿼리하는 데이터의 범위를 줄여 이전보다 검색결과를 더 원활하게 조회할 수 있다.

⑤ 시스템 실용화를 위한 보완

1) [B] 엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼
 가) [B-2] 비정형 의미데이터 공유 시스템
  (1) 결과 Export 보완

시스템 실용화를 위해 비정형 시스템에서 처리한 결과(문서 contents, 키워드 search result, 문서 contents 비교 등)을 사전에 약속된 양식의 문서로 외부에 Export 하는 기능을 추가하는 보완 작업을 진행하였다. 현업 담당자는 프로그램을 실행해서 결과를 조회하기 위한 중복적인

과정 없이 비정형 시스템에서 출력된 결과를 별도의 저장소에 저장하여 향후 프로젝트 업무에 활용할 수 있다.

⑥ 시스템 실용화 수립 보고서 작성

1) 실용화 추진 방향 설정

본 연구 결과물을 그동안 건서사와 실용화를 추진하였고 (성과물 참조), 향후 추가 실용화 후 사업화 추진 예정이다. 모듈화 플랜트 또는 일반 플랜트의 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 동시-병행적으로 진행하는 협업 체계 지원 방법론과 이를 지원하는 PLM(Plant Lifecycle Management)기반의 협업 지원 소프트웨어 개발을 목표로 한 PLM 기반 플랜트 협업 시스템은 국내/해외 시장에서 활용될 수 있도록 아래와 같은 사업화 추진 방향을 설정하였다.

(1) 사업화 계획 제시

<4.3 사업화 계획 참조>

(2) 사업화 전략 제시

<4.3 사업화 계획 참조>

(3) 사업화 모형 제시

<4.3 사업화 계획 참조>

2) 실용화 추진 단계 별 대상 기업 및 수익 창출 방안 설정

본 연구의 결과물에 대해 Test Bed를 통한 검증 및 보완을 거쳐, 본 연구의 종료 후 연차별로 국내 EPC 기업뿐만 아니라 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진하기 위해 아래와 같은 방안을 설정하였다.

(1) 주요 고객군 파악

<4.3 사업화 계획 참조>

(2) 연차별 매출 계획 설정

<4.3 사업화 계획 참조>

본 연구성과물의 설계(안), 지침의 제·개정 일자 및 작성·검토·승인자는 아래 표와 같다.

제·개정 일자		작성자	검토자	승인자	비고
설계(안)	지침				
2019.10.17	-	김영도	서효원	서효원	

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1 목표

1) 연구개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	육상 플랜트 협업 단위 프로세스를 고려하여, ○ 시스템 분할, 구매/조달, 시공, 유지보수를 고려한 설계 엔지니어링 기술과 동시병행으로 수행되는 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 참여 주체의 협업을 지원하는 PLM 기반 협업 시스템(패키지) 개발을 최종 연구개발 목표로 함 - Stick-built 대비 플랜트 건설 기간 20% 단축 - Stick-built 대비 건설 원가 10% 절감 - 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 10% 단축 - 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 5% 절감 - 동시병행 협업 체계 지원 시스템 업무처리효율 10% 개선(기존 엔지니어링 방식 대비 업무 처리 시간 단축율) - 플랜트 모듈화 현장 설계 변경 및 재시공율 10% 개선(기존 플랜트 stick-built 건설 사례 대비 모듈화 시공 평가 시뮬레이션기반 현장 설계 변경 및 재시공 비율)
세부 목표	○ 본 연구에서 개발되는 PLM 기반 플랜트 협업 시스템은 국내는 물론 해외 시장에서 활용될 수 있도록 관련 플랜트 엔지니어링 업체와 협력하여 실용화를 추진. PLM 기반 플랜트 협업 시스템 개발 시 실용화 관점의 요구사항들을 분석하여 이를 체계적으로 반영 ○ 기술 개발 후 실용화 관점에서 산출물을 평가하고 국내 EPC업체와 협력 하에 보완 계획을 수립하여 실용화를 추진 ○ 참여기업들의 플랜트 모듈화 건설시 연구 성과물의 활용을 통한 상용화 추진 및 보완후 국내 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진 ○ 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT업체를 통해 개발 S/W를 상업화 ○ 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상

2) 연차별 연구개발 목표 및 내용

가) 6차년도

1) 개발 목표

(1) 주관연구기관(한국과학기술원) : 시스템 성능 평가 및 보완 / 실용화 및 범용화 방안 수립

(2) 공동연구기관(플랜트에셋) : 시험 통합 및 시험 적용 / 시스템 보완 및 안정화

(3) 공동연구기관(한국기술교육대학교) : 플랜트 일정-비용-사양 통합연계관리 지침서 개발

(4) 위탁기관 1(한국씨엠씨) : 플랜트 원가-일정 통합 지침서 개발

2) 개발 내용 및 범위

(1) 주관연구기관(한국과학기술원) :

(가) [D-1] 협업단위 구성요소 정보/의미정보 연계 통합 관리 시스템

① 프로젝트 산출물 관리 시스템과 타 시스템과 통합 및 적용

② 개발 시스템 성능 보완 및 안정화

(나) [D-2] 의미정보 활용 및 Analytics 고도화 시스템

① 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템과 타 시스템과 통합 및 적용

② 개발 시스템 성능 보완 및 안정화

(다) [F-1] 성능평가 및 보완

① 테스트 데이터 확보

② 테스트 프로세스 정립

③ 테스트 환경 H/W 플랫폼 구축

④ 테스트 환경 연계 UTILITY S/W 환경 구축

⑤ 협업플랫폼 S/W 셋업

(라) [F-2] 실용화 및 범용화 방안 수립

① 시스템 기능 테스트 데이터 입력

② 시스템 기능 자체 테스트

③ 시스템 기능 자체 테스트 보완

④ 사용자 중심 테스트 기능 수정 보완

⑤ 시스템 실용화를 위한 보완

⑥ 시스템 실용화 수립 보고서 작성

(2) 공동연구기관(플랜트에셋) :

(가) [B-3] 동시병행/협업 지원 플랫폼

① 협업 플랫폼 적용

② 협업 플랫폼 통합 및 평가

(나) [C-3] 프로젝트 통합 관리 시스템

① 프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템 통합

② PBS-WBS-CBS 정립지원 시스템 개발

(다) [E-1] 동시병행/협업정보/연계 통합 관리 시스템

① 시스템 통합 DB연계 개발 및 시험

(라) [E-2] 동시병행/협업응용 시스템 통합 연계 시스템

① 통합 시스템 개발
② 통합 시스템 테스트 및 보완

(3) 공동연구기관(한국기술교육대학교) :
(가) [C-1] 프로젝트 통합연계관리 지침서
① 플랜트 일정-비용-사양 연계 통합연계관리 지침서 개발

(4) 위탁기관 1(한국씨엠씨) :
(가) [C-2] 엔지니어링 프로세스 체인체계
① 플랜트 원가-일정 통합 지침서 개발

3) 연구개발의 창의성・혁신성 등

기존 시스템	기존 기술 수준	차별점 (기존 사용/In-house 시스템 우수성, 기술 혁신성 관점에서)
Documentum/Inhouse 등 기존의 문서관리 시스템의 검색 시스템	- SI형태의 단순 검색 엔진 (상용제품 구매 후 customization) - 실적데이터 및 정보 자산 접근의 한계 - 다수의 종합건설사의 경우 Documentum을 엔진으로 사용 중	- ITB 와 같은 다양한 파일 형태, 문서 타입, 표현 형식의 문서의 내용을 파싱하여 DB화 함으로써 효율적인 통합 검색을 가능하게 한다. - 플랜트 엔지니어링의 모든 비정형정보의 정형화를 통하여 문서/문장 간 으미적 유사성을 기반으로 연계정보의 접근을 효율화 시킨다. - 비정형 문서 정형화 기반의 검색 엔진을 개방형으로 개발하여 타 시스템과 연동이 용이하도록 함
Intergraph SmartPlant Foundation AVEVA .NET	- Tag No를 기준으로 하는 Tag와 문서, 도면간의 연계 기능 제공 (Tag 정보 및 문서,도면이 시스템에 저장될 때 Tag-문서간의 연결정보 저장이 필요)	
In-House system 협업관리 모듈	- 대기업은 대부분 협업 플랫폼을 활용하고 있으나, 이러한 시스템이 다른 시스템과 유연한 연계가 이루어 지는 정도가 아직은 부족하다. - 또한 중견 기업은 협업플랫폼의 활용이 활발하지 않다.	- 모듈협력사, 발주사, 설계협력사 및 종합건설사를 연결하는 One Platform 협업 플랫폼으로 정보 및 도면, 문서의 정합성이 보장이 되는 시스템 구조 - 비정형데이터 기술과 협업플랫폼 기술의 융합으로 기존 협업 시스템 대비 실적데이터 및 의사결정에 도움이 되는 정보 이용의 효율성이 큰 차별성이 됨. - PBS/WBS/CBS와 산출문간의 연계를 통한 프로젝트의 진척도 및 현황 파악이 가능하며 해당 시점에서의 프로젝트 시뮬레이션 가능한 차별성이 있음. - 비정형 도면인 P&ID를 인식하여 물량산정을 할수 있게 하고, 이를 바탕으로 3차원 ISO 드로잉을 가능하게 하여 P&ID 등 ITB를 바탕으로 견적 및 실행 자동화 수준을 높일 수 있다.
SmartPlant AVEVA .NET	- 설계 정보(Tag,도면)의내부 협업 관리에 초점을 맞추고 있음. - SP Materials을 통한 Vendor 와의 자재 구매 협업을 시도하고 있으나 대 부분 고객사 자체 구매관리 시스템이 사용되어짐.	
Smart P&ID 등	- P&ID를 모델링 하는도구로, 최근에 이것과 연계하여 P&ID 도면을 인식하는 접근이 이루어 지고 있다.	
In-house/Primavera	- WBS/CBS독립구조의 일정 및 원가 개념 관리 - 일정의 경우 주로 Primavera P3가 많이 이용되고 있으나 원가는 주로 In-House 로 구축됨.	- 동시병행화 접근을 적용하여 프로젝트 일정등의 관리를 효율적으로 하게 하였다. - PBS, WBS 등을 연계 하여 프로젝트 정보 관리를 목적물 (PBS) 기준으로 접근하여 프로젝트 관리의 효과를 높이려 하였다. - 비정형 정보와 연계하여 프로젝트 관리 정보공유를 효율화 시키고자 하였다.

4) 요소 기술별 기존 기술 대비 우수성 및 적용 가능 기술 분야

No.	요소기술	우수성	적용 가능 기술 분야
1	동시병행화 기술	동시병행 모듈은 프로젝트 일정 최적화 기술로 모든 산업에서 활용 될 수 있는 시스템이다. 동시병행 최적화 기술은 Primavera 와 연계되어 프로젝트 최적화를 해주고, 최적화 과정의 Visualization 통해 활용성을 높일 수 있다.	.EPC 전과정에 공정 최적화에 활용 .중견기업의 프로젝트 계획 및 관리에 활용 .프로젝트관리시 일정 및 관련 자료관리 활용
2	비정형 문서 정형화 기술	비정형 문서 정형화 모듈은 문서의 내용을 파싱하여 핵심 정보를 추출 하는 기술로 모든 산업에서 활용 될 수 있는 시스템이다. 비정형 문서 정형화 모듈은 문서 정형화를 위한 핵심 기술 기반으로, 다량 문서의 통합 검색 가능, 유사내용 추천 가능, 문서 내 발생하는 충돌 체크 기능을 제공하며, 저비용으로 시스템 도입이 가능하다.	.ITB등 문서파싱에 기반한 사양 추출 .플랜트 엔지니어링 문서에서 이슈 추출 .플랜트 엔지니어링 문서 독소조항 추출 .유보수 문서로부터 내용 추출
3	비정형 도면 인식 기술	비정형 도면 인식 기술은 일반적인 도면 인식 기술이기 때문에 도면을 활용한 제조 기업에 파급 될 수 있다. 모듈은 도면 내 심볼과 파이프라인 인식, 도면 내 텍스트 인식을 통한 Spec 인식, 인식 결과 간의 Discrepancy Check 등이 가능하다.	.견적설계의 도면인식 및 물량산출 .유지보수를 위한 P&ID 등 도면 인식 .설비관리를 위한 도면인식
4	협업 플랫폼 기술	협업 플랫폼은 협업을 위한 일반적인 협업 시스템이기 때문에 기업간, 부서간 협업을 위한 다양한 산업에 활용이 가능하다. 문서의 속성 다양하게 정의하여 사용 가능하며, 문서 내용 파싱 결과와 통합 하여 활용	.중견기업을 위한 협업 플랫폼 활용 .EPC를 비정형데이터 기반 협업 플랫폼 활용
5	프로젝트 어드바이져 기술	프로젝트 관리 시스템을 활용 하는 산업에는 활용이 가능 하다. 특히 WBS-CBS 정보를 활용하는 산업에 파급이 가능하다. 프로젝트 어드바이져 시스템은 자산 WBS 와 연계하고, PBS-WBS-CBS 연계 및 내용기반 문서와 연계하여 활용 가능. 자산 프로젝트 데이터 활용 가능, Primavera 와 연동, 소프트웨어 도입 비용 절감 등이 가능하다.	.프로젝트 계획시 자산프로젝트 내용기반 활용 .프로젝트 PBS-WBS 연계 정보 활용
6	산출물관리 기술	산출물관리 시스템은 일반적인 기능으로서 타 산업에 활용 가능하다. 특히 문서 내용기반 산출물 관리는 효과적인 산출물 관리를 가능하게 해 준다. 문서 뿐만 아니라 그 내용도 같이 관리 해 줌으로써 폭넓게 활용 될 수 있다. 또한 저비용으로 구축 할 수 있다.	.플랜트문서 내용기반 관리 .문서내용 기반 플랜트 데이터 통합 관리 .산출물의 내용기반 이슈 추출
7	정보검색 및 데이터 Analytics 기술	정보 Analytics 모듈은 문장을 분석하여 문서, 문장의 유사도를 바탕으로 문서 추천, 검색에 활용하는 기술로 모든 산업에서 활용 될 수 있는 시스템이다. 정보 Analytics 모듈은 문서 내 텍스트 간 차이점 비교, 텍스트는 다르지만 의미가 같은 문장 추출, 문서 간 유사도 평가 등의 기능을 제공 한다.	.EPC 수행시 문서 자동 폴더링 .유사 클레임 추천 시스템 .ITT 유사 이슈 추천 .유사 문서 추천 시스템

3.2 목표 달성여부

3.2.1 연구개발 목표의 달성도 및 자체 평가

1) 연구개발성과 및 평가 방법

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		6차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	정량목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
	B	엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	B-3	협업 플랫폼 적용 및 안정화	①	기 모듈화 프로젝트 대상 협업플랫폼 적용 시험보고서 작성	1건	(시험 보고서 1건) 확인	시험 보고서 확인	1	플랜트에셋	114	S/W: 등록 1건
					②	협업플랫폼 통합시스템 연계 통합보고서 작성	1건	(통합 보고서 1건) 확인	통합 보고서 확인	1			
	C	협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	C-1	모듈화 플랜트 일정-비용-사양 연계 기술 개발	①	플랜트 일정-비용-사양 연계 통합연계관리 지침서 개발	1건	(연계 통합 적용 지침서 1건) 확인	통합적용 지침서 확인	0.5	한기대	66	기술보고서: 1건
			C-2	모듈화 플랜트 일정-비용 연계 기술 개발	①	플랜트 원가-일정 연계 통합 적용 지침서 개발	1건	(연계 통합 적용 지침서 1건) 확인	통합적용 지침서 확인	0.5	한국씨엠씨	37	기술보고서: 1건
			C-3	일정-비용-사양 연계 프로젝트 관리 시스템 적용보완	①	프로젝트 일정/원가연계 계획 지원 시스템 통합	1건	(통합보고서 1건) 확인	통합보고서 확인	1	플랜트에셋	77	-
					②	PBS-WBS-CBS 정립 지원 시스템 개발	1건	(개발보고서 1건) 확인	개발보고서 확인	1	플랜트에셋	41	S/W: 등록 1건
					③	일정-비용-사양 상충관리 시스템 개발	1건	(개발보고서 1건) 확인	개발보고서 확인	1	카이스트	88	-
	D	협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	D-1	프로젝트 산출물 관리 시스템 적용 통합	①	프로젝트 산출물관리 시스템 시험보고서 및 통합보고서 작성	2건	(시험보고서 1건) + (통합보고서 1건) 확인	시험보고서, 통합보고서 확인	1	카이스트	86	S/W: 등록 1건
			D-2	정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 적용 통합	②	통합데이터 활용 기 모듈화 프로젝트 시험보고서 및 통합보고서 작성	2건	(개발보고서 1건) + (시험보고서 1건) 확인	개발보고서, 시험보고서 확인	1	카이스트	86	S/W: 등록 1건
	E	동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템(패키지)	E-1	전체 통합 연계 개발	①	시스템 통합 DB 연계 개발 및 시험	1건	(개발보고서 1건) + (시험보고서 1건) 확인	개발보고서, 시험보고서 확인	3	플랜트에셋	277	-
			E-2	전체 통합연동	①	통합시스템 협업플랫폼	1건	(연동 개발보고서	연동 개발보고서	2	플랜트에셋	168	S/W: 등록 1건

						연동보고서 작성		1건)	확인				
				테스트 및 안정화	②	통합연동 개발보고서, 시험보고서 작성	2건	(연동 개발보고서 1건) + (연동 시험보고서 1건)	연동 개발 보고서, 연동 시험 보고서 확인	2			
	F	시스템 성능평가/ 보완 및 실용화/범용화 방안 수립	F-1	시스템 적용 테스트	①	시험절차서, 시험데이터 목록, 셋업 매뉴얼, 적용검증보고서 작성	4건	(시험절차서 1건) + (시험데이터 목록 1건) + (셋업 매뉴얼 1건) + (적용검증보고서 1건)	시험절차서, 적용시험절차서, 적용시험데이터 목록, 셋업매뉴얼, 적용평가보고서 확인	2	카이스트	168	보고서: 1건
			F-2	시스템 실용화 준비	①	기술보고서, 적용시험보고서, 사용매뉴얼, 운영매뉴얼, 셋업매뉴얼, 실용화 수립 보고서	6건	(기술보고서 1건) + (시험보고서 1건) + (사용매뉴얼 1건) + (운영매뉴얼 1건) + (셋업매뉴얼 1건) + (실용화 수립 보고서 1건)	기술보고서, 적용시험보고서, 사용매뉴얼, 운영매뉴얼, 셋업매뉴얼, 실용화 수립 보고서 확인	3	카이스트	258	보고서: 3건
계										20		1,466	S/W: 5건 기술보고서: 2건 보고서: 4건

2) 해당 연도 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분			목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI				
	비SCI		0		
	계		0		
국내 논문 게재	SCI				
	비SCI		0	1, 초과 달성	
	계				
특허 출원	국내		0	2, 초과 달성	
	국외				
	계				
특허 등록	국내				
	국외				
	계				
인력 양성	석사				
	박사				
	계				
기술 이전	계약 건수				
	계약액				
	징수액				
국제 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
국내 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		6	6, 100%	
	연구시설·장비				
	기술요약정보				
	생명자원	생명정보			
		생물자원			
		신품종			
	소프트웨어		5	9, 초과 달성	
	화학물				
기타	시제품				
	성과 홍보		0	3, 초과 달성	• 현대건설 서울 소개 • 삼성중공업-판교,거제, 대덕 소개 • 삼성전자 R&D 서울 소개
	일자리 창출		0	1, 초과 달성	김진솔

3) 성과 목표에 대한 자체 평가

성과 목표		자체 평가
엔지니어링 협업체계 지원 시스템 플랫폼	[B-1] 동시병행화 시스템	• 플랜트 건설 동시병행 일정 최적화 시스템과 협업 플랫폼 시스템 등과 통합을 추진하였으며, 이를 위해 통합 시나리오, 통합 기능 개발, 통합 후 데이터 연계를 통한 통합 검증을 하였다. 이의 결과로 통합 보고서 (B1, 1건) 를 작성함으로써 연구성과를 달성 한 것으로 평가 할수 있음.
	[B-2] 비정형 시스템	• 비정형 의미데이터 공유 시스템과 정보 검색 및 데이터 Analytics 시스템 간의 데이터 연계를 하였고, 시스템 적용 테스트를 위한 셋업매뉴얼(F1, 1건)과 시스템 실용화 준비를 위한 사용매뉴얼(F2, 1건), 운영매뉴얼(F2, 1건)을 작성하였으므로 연구성과를 달성한 것으로 평가할 수 있음.
	[B-3] 협업 플랫폼 적용 및 안정화	• 타 시스템과의 데이터 연동을 진행 하여 개발보고서 (B3, 1건)와 시험보고서 (B3, 1건)을 작성하고, SW 등록 (B3, 1건), 시스템 적용 테스트를 위한 셋업매뉴얼(F1, 1건)과 시스템 실용화 준비를 위한 사용매뉴얼(F2, 1건), 운영매뉴얼(F2, 1건)을 작성 하였으므로 연구성과를 달성한 것으로 평가할 수 있음.
협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 및 소프트웨어	[C-1] WBS 계획 시스템	• 플랜트 프로젝트 일정-비용-사양의 통합연계관리 방법으로써 연계관리 중 비용관리 방법론을 중심으로 일정과 사양을 통합관리 할 수 있도록 초기계획 지침, 개산 견적 지침, 상세견적 지침, 통합진도관리 지침 4개 항목에 대한 지침서를 작성하였기 때문에 목표한 프로젝트 통합연계관리 통합지침서(C1,1건)를 제출함으로써 목표를 달성한 것으로 평가 할 수 있음 • 정량적으로도 국내논문을 1건 제출함으로써 정량적 산출물을 초과 달성함 (C1, 논문1건)
	[C-2] CBS 계획 시스템	• 플랜트 프로젝트 일정-비용의 통합연계체계를 구축하기 위해 프로젝트 수행 단계에 따른 비용일정 통합관리 방법론을 Schedule Basis 작성 지침, Typical Master Schedule 작성 지침, 공정관리업무 수행 지침, 현장공정관리 업무 지침, 공정관리 Tool운영 지침 5개 항목에 대한 지침서 작성하였기 때문에 목표한 통합지침서(C2, 1건) 제출의 목표를 달성함.
	[C-3] 일정, 비용, 계획 어드바이저	• 프로젝트 일정-비용-사양연계 프로젝트 관리시스템, 동시병행 일정 최적화 시스템과 협업 플랫폼 시스템 등과 통합을 추진하였으며, 이를 위해 통합 시나리오, 통합 기능 개발, 통합 후 데이터 연계를 통한 통합 검증을 하였다. 이의 결과로 통합 보고서 (C3-1, 1건)를 작성함으로써 연구성과를 달성 한 것으로 평가 할수 있음. • PBS-WBS-CBS 정립지원 시스템을 개발을 목표로 PBS-WBS-CBS 정립지원 시스템 SW 1건 개발 하였고 개발 보고서 (C3-2, 1건)를 작성하였으므로 성과목표를 달성한 것으로 평가함.
협업 통합정보/의미정보 관리/활용 소프트웨어	[D-1] 프로젝트 산출물 관리 시스템 적용 통합	• 산출물관리 시스템과 타 시스템의 통합을 데이터 연계를 및 기능확인을 테스트하고 통합보고서(D1, 1건)와 시험보고서 (D1, 1건), 시스템 적용 테스트를 위한 셋업매뉴얼(F1, 1건)과 시스템 실용화 준비를 위한 사용매뉴얼(F2, 1건), 운영매뉴얼(F2, 1건)을 작성 하였으므로 연구성과를 달성한 것으로 평가할 수 있음.
	[D-2] 정보검색 및 데이터 Anaytics	• 산출물관리 시스템과 시스템의 통합 및 적용을 하였고 개발보고서(D2, 1건)와 시험보고서 (D2, 1건), 시스템 적용 테스트를 위한 셋업매뉴얼(F1, 1건)과 시스템 실용화 준비를 위한 사용매뉴얼(F2, 1건), 운영매뉴얼(F2, 1건)을 작성 하였으므로 연구성과를 달성한 것으로 평가할 수 있음.
	[E-1] 동시병행 협업체계 지원 통합 시스템(패키지)	• 1세부 개발 시스템들의 연동 작업을 완료하였고 개발보고서(E1, 1건)와 시험보고서 (E1, 1건), 연동개발보고서(E2, 1건)와 연동시험보고서 (E2, 1건), 연동개발보고서_통합(E2, 1건)을 작성 하였으므로 연구성과를 달성한 것으로 평가할 수 있음.
	[F] 시스템 성능평가/보완 및 실용화/범용화 방안 수립	• 플랜트 프로젝트의 각각의 기능별로 개발된 시스템(모듈)들을 전체 프로세스 차원에서 연계하였고, 시험절차서(F1 1건)과 시험데이터목록(F1, 1건), 셋업매뉴얼(F1 1건, F2 1건), 사용매뉴얼 (F2 2건), 적용검증보고서(F1 1건), 기술보고서(F2 2건), 적용시험보고서 (F2 1건), 사용매뉴얼 (F2 2건), 운영매뉴얼 (F2 1건)을 작성하였으므로 연구성과를 달성한 것으로 평가할 수 있음.

< 연구개발 성과목표 달성 방안 >

	성과 항목	기여 방법	참고자료
(1)	Stick-built 대비 플랜트 건설 기간 20% 단축	• 모듈화 접근의 타당성 평가에 의한 Stick-built 대비 기간단축 • 본 과제의 산출물의 현업 활용에 따른 수작업 업무 단축에 의한 기간 단축	. 현업 의견 (p94 - 붙임)
(2)	Stick-built 대비 건설 원가 10% 절감	• 모듈화 접근의 타당성 평가에 의한 Stick-built 대비 기간단축 • 본 과제의 산출물의 현업 활용에 따른 효율화에 의한 원가 절감	. 현업 의견 (p94 - 붙임)
(3)	기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 10% 단축	• 본 과제의 산출물의 현업 활용에 따른 수작업 업무 단축에 의한 기간 단축 - 비정형 문서 내용 DB 화에 의한 통합 검색에 의한수작업 기간 단축 - 비정형 도면 인식 및 내용 DB화에 의한 수작업 기간 단축	. 현업 의견 (p94 - 붙임)
(4)	기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 5% 절감	• 본 과제의 산출물의 현업 활용에 따른 수작업 업무 기간 단축 및 오류 최소화에 의한 원가 절감 - 수작업 업무 기간 다축에의한 공수 절감에 다른 비용 단축 - 수작업에 의한 오류 최소화에 의한 원가 절감	. 현업 의견 (p94 - 붙임)
(5)	동시병행협업 체계 지원 시스템 업무처리 효율 10% 개선(기존 엔지니어링 방식 대비 업무 처리 시간 단축 율)	• 본 과제의 산출물의 현업 활용에 따른 업무처리 효율화에 의한 시간 단축 - 동시병행화시스템 현업 활용에 따른 업무 프로젝트 운영 효율화에 의한 시간 단축 - 협업 플랫폼 기반의 관련 데이터 연계 활용에 의한업무 효율화	. 현업 의견 (p94 - 붙임)
(6)	플랜트 모듈화 현장 설계 변경 및 재시공 율 10% 개선 (기존 플랜트 stick-built 건설 사례 대비 모듈화 시공 평가 시뮬레이션기반 현장 설계 변경 및 재시공 비율)	• 모듈 설계 플랫폼을 기반으로 사전에 시공성을평가 함으로써 설계 변경 및 그에 따른 재시공율개선	. 현업 의견 (p94 - 붙임)

3.2.2 연구개발성과

1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	EPC 플랜트 프로젝트의 초기 공정계획을 위한 통합 데이터 활용 방안	한국건설관리학회 논문집	왕한겸	제출	한국	한국건설관리학회	비SCI	2019년 3월	

2) 국내 및 국제학술회의 발표 - 해당사항 없음

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명

3) 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 - 해당사항 없음

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

4) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	엔지니어링 표데이터로부터 제품데이터와 지식맵 추출 체계		서효원						
2	인스턴스 분할 기반 단일 실내 영상으로부터의 물체 크기 추정		서효원						
3									

* 연구개발성과 관리·유통 전담 기관에 등록한 번호 기재

5) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	정보 Analytics 기반 문서 추천 시스템	2019.09.19	한국과학기술원	2020.03.20	C-2019-029144-2		
2	프로젝트 산출물 관리 시스템 적용 통합 시스템	2019.09.25	한국과학기술원	2020.03.20	C-2019-029140-2		
3	협업 플랫폼, WBS/CBS Build Advisor 연동 시스템	2019.10.02	플랜트에셋	2020.03.18	C-2020-009641		
4	WBS/CBS 가이드 시스템, 동시병행 시스템 간 데이터 인터페이스 시스템	2019.10.24	플랜트에셋	2020.03.18	C-2019-043908-2		

5	협업 플랫폼, Primavera 간 데이터 인터페이스 시스템	2019.05.10	플랜트에셋	2020.03.18	C-2019-043906-2		
6	협업응용 전체 통합 연동 시스템	2019.09.20	플랜트에셋	2020.03.18	C-2019-029205-2		
7	PBS-WBS-CBS 정립지원 시스템	2019.09.17	플랜트에셋	2020.03.18	C-2019-029204-2		
8	협업 플랫폼 기반 모듈 통합 시스템	2019.10.04	플랜트에셋	2020.03.18	C-2019-029203-2		
9	엔지니어링 문서 번역 시스템	2019.06.10	한국과학기술원	2020.01.28	C-2019-043476-2		

6) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별			성별			지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	석사졸업			2			2						

7) 산업 기술 인력 양성 - 해당사항 없음

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

8) 기술 거래(이전) 등 - 해당사항 없음

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

9) 사업화 투자 실적 - 해당사항 없음

번호	연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격

10) 사업화 현황 (한국과학기술원 수행 프로젝트)

(단위: 명, 년)

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내	국외		
1	프로젝트	시스템공급	대덕	비정형데이터처리	비정형 데이터 처리	삼성중공업	40,000		2019	

11) 표준화 - 해당사항 없음

번호	수행 기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
						yyyy.mm.dd	

12) 기술요약정보 - 해당사항 없음

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호

13) 보고서 원문 - 해당사항 없음

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

14) 기타 - 해당사항 없음

3.2.3 구매 금액이 3천만원 이상인 연구시설·장비 구축 현황 - 해당사항 없음

연구시설·장비명	구축 금액 (천원)	구축일	활용 용도	설치 장소	NTIS 시설 장비 등록 번호

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등) - 해당사항 없음

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

4.1 연구개발성과의 활용방안

○ 본 연구에서 개발되는 PLM 기반 플랜트 협업 시스템은 국내는 물론 해외 시장에서 활용될 수 있도록 관련 플랜트 엔지니어링 업체와 협력하여 실용화를 추진함.

- PLM 기반 플랜트 협업 시스템 개발 시 실용화 관점의 요구사항들을 분석하여 이를 체계적으로 반영
- 기술 개발 후 실용화 관점에서 산출물을 평가하고 국내 EPC업체와 협력 하에 보완 계획을 수립하여 실용화를 추진

○ 참여기업들의 플랜트 모듈화 건설시 연구 성과물의 활용을 통한 상용화 추진 및 보완 후 국내 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진함

○ 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT업체를 통해 개발 S/W를 상업화

○ 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상

4.2 기대효과

○ 기술적, 경제적 · 산업적 효과

기술적인 측면	● 연구개발의 결과물로 예상되는 플랜트 동시병행 협업 체계 지원 시스템은 플랜트 설계 및 운용 전반에 걸쳐서 쓰이는 시스템 체계 기술이기 때문에 파급효과가 클 것으로 판단됨. ● 연구 성과물은 테스트베드를 통한 검증 및 국내 주요 건설회사 및 플랜트 IT업체를 통해 상용화가 가능할 것으로 예상됨. ● Stick-built 방식으로 건설한 플랜트 대비하여 협업 단위 시스템화 플랜트의 공기 단축 및 비용 절감
경제적·산업적 측면	● 참여기업들의 플랜트 모듈화 건설시 연구 성과물의 활용을 통한 상용화 추진 및 보완후 국내 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진함. ● 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT업체를 통해 개발 S/W를 상업화. ● 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상

○ 타 산업 파급효과 및 외산 솔루션 대체효과

No.	모듈명/제품별	타 산업 파급효과 및 외산 솔루션 대체 효과
1	동시병행화 모듈	타 산업 파급효과 - 동시병행 모듈은 프로젝트 일정 최적화 기술로 모든 산업에서 활용 될 수 있는 시스템이다. 외산 솔루션 대체 효과 - Primavera 는 업계에서 가장 많이 사용하는 프로젝트관리 시스템이지만 일정 최적화는 부족 하다. 동시병행 최적화 기술은 그 기능을 대체 할 수 있으며, 최적화 과정의 Visualization 통해 활용성을 높일 수 있다. 년간 10% 대체 효과.
2	비정형 문서	타 산업 파급효과 - 비정형 문서 정형화 모듈은 문서의 내용을

	정형화 모듈	파싱하여 핵심 정보를 추출 하는 기술로 모든 산업에서 활용 될 수 있는 시스템이다. 외산 솔루션 대체 효과: IBM Watson Platform 은 방대한 양의 기반자료를 구축해야 활용 가능, 현재는 베이스 플랫폼을 기반으로 하기 때문에 고비용이 든다. 비정형 문서 정형화 모듈은 문서 정형화를 위한 핵심 기술 기반으로, 다량 문서의 통합 검색 가능, 유사내용 추천 가능, 문서내 발생하는 충돌 체크 기능을 바탕으로 위의 솔루션을 대체 할 수 있다. 년간 10% 대체 효과.
3	비정형 도면 인식 모듈	타 산업 파급효과: 비정형 도면 인식 기술은 일반적인 도면 인식 기술이기 때문에 도면을 활용한 제조 기업에 파급 될 수 있다. 외산 솔루션 대체 효과: Bluebeam 은 이미지 인식, 인식 결과 Export, P&ID 내 심볼 Counting 은 가능 하지만 파이프라인에 대한 연결 정보 처리 안된다. 비정형 도면 인식 모듈은 도면 내 심볼과 파이프 라인 인식, 도면 내 텍스트 인식을 통한 Spec 인식, 인식 결과 간의 Discrepancy Check 등이 가능하여 Bluebeam 의 대체가 가능하다. 년간 15% 대체 효과
4	협업 플랫폼 모듈	타 산업 파급효과 – 협업 플랫폼은 협업을 위한 일반적인 협업 시스템이기 때문에 기업간, 부서간 협업을 위한 타 산업에 활용이 가능하다. 외산 솔루션 대체 효과: Aconex 은 클라우드 기반 솔루션 제공, 문서관리 기능과 프로세스 기능 중심, 엔지니어링 작업 시간의 단축이 가능하지만, 높은 도입 비용 소요. 협업 플랫폼은 플랜트 건설 등 광범위한 분야에 적용, 문서의 속성을 다양하게 정의하여 사용 가능, 플랜트 건설의 핵심 기능인 Squad Check 기능들을 바탕으로 대체 가능. 년간 10% 대체 효과
5	프로젝트 어드바이져 모듈	타 산업 파급효과 – 프로젝트 관리 시스템을 활용 하는 산업에는 활용이 가능 하다. 특히 WBS-CBS 정보를 활용하는 산업에 파급이 가능하다. 외산 솔루션 대체 효과 – Primavera 는 업계에서 가장 많이 사용하는 프로젝트관리 시스템 인데 자산 WBS 및 문서관리와 연계 기능이 부족하다. 프로젝트 어드바이져 시스템은 자산 WBS 와 연계하여 PBS-WBS-CBS 연계 내용기반 문서관리 기능이 가능하여 Primavera의 일부 기능 대체가 가능하다. 년간 15% 대체 효과.
6	산출물관리 모듈	타 산업 파급효과 – 산출물관리 시스템은 일반적인 기능으로서 타 산업에 활용 가능하다. 특히 문서 내용기반 산출물 관리는 효과작인 산출물 관리를 가능하게 해 준다. 외산 솔루션 대체 효과 – Documentum 과 같은 시스템은, 문서관리 기본 기능 제공, 폴더관리, 문서관리, 문서권한관리, CheckIn/CheckOut, 사용자관리 기능을 제공 하는데 높은 도입 비용 소요. 산출물 관리 시스템은 저비용으로 대체 가능. 년간 5% 대체 효과.
7	정보검색 및 데이터 Analytics 모듈	타 산업 파급효과 – 정보 Analytics 모듈은 문장을 분석하여 문서, 문장의 유사도를 바탕으로 문서 추천, 검색에 활용하는 기술로 모든 산업에서 활용 될 수 있는 시스템이다. 외산 솔루션 대체 효과: Watson Explore 등의 툴이 있으나 현재는 국내 기업에서 활용이 시도되고 있는 상태다. 그러나 도입에는 고비용이 든다. 정보 Analytics 모듈은 문서 내 텍스트간 차이점 비교, 텍스트는 다르지만 의미가 같은 문장 추출, 문서간 유사도 평가 등의 기능을 바탕으로 외산 시스템의 대체가 가능하다. 년간 10% 대체 효과.

4.3 사업화 계획

1) 생산 계획

구분		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021 년) 개발 종료 후 2년	(2022 년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	3%	5%	15%
	판매량 (단위:사이트)	2	3	10
	판매 단가(백만원)	50	50	50
	국내 매출액(백만원)	300	500	1500
해외	시장점유율(%)			
	판매량(단위:)			
	판매 단가(달러)			
	해외 매출액(백만달러)			
당사 생산 능력[1]		개발 조직 및 인력 보유 1) 소프트웨어 상용화 경험 인력 보유 2) 제품홍보 및 영업 경험 인력 보유 3) 국내외 Major 플랜트 고객사 접점 보유 4) 산학 연계를 통한 지속적 알고리즘 및 기술개발의 창의성 확보 5) 국내외 판매 전략과 사업화 전략 수립 가능		

2) 투자 계획

(단위: 백만원)

항목		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021 년) 개발 종료 후 2년	(2022 년) 개발 종료 후 3년
매출원가		300	500	1500
판매관리비				
자본적 지출	토지			
	건물/구축물			
	기계 장치 등			
자본적 지출 합계				

3) 홍보 계획

1세부 결과물 홍보 계획은 다음과 같다.

1) 2020 플랜트 융합기술 컨퍼런스 (2020년 12월 3일 예정)
   참고로 2019년 플랜트 융합기술 컨퍼런스 (2019년 11월 28일, COEX) 참석자 370 명
2) 2020년 하계 한국 CDE 학회 특별 세션을 통해 홍보
3) 2020년 국토대전 및 진흥원 주최 I-Plant 국제 컨퍼런스를 통해 홍보
4) 플랜트 전문가 메일링 리스트를 통해 홍보
5) 플랜트 건설사를 방문하여 홍보

3) 사업화 전략

가) 참여기업 (플랜트에셋(주), 기술이전기업)

구분	구체적인 내용
형태/규모	o 상용화 형태 : S/W 패키지(4개의 모듈 형태, 모듈별 별도 판매) o 수요처 : 대형 건설사 11개 o 예상 단가 : 1모듈 10억, Site license 적용 o 개발 투입인력 및 기간 : 상용화 계획 및 일정 참조
상용화 능력 및 자원 보유	o 개발 조직 및 인력 보유 o 소프트웨어 상용화 경험 인력 보유 o 제품홍보 및 영업 경험 인력 보유 o 국내외 Major 플랜트 고개사 접점 보유 o 산학 연계를 통한 지속적 알고리즘 및 기술 개발의 창의성 확보 o 국내외 판매 전략과 산업화 전략 수립 가능
상용화 계획 및 일정	

4) 사업화 모형 제시

가) 사업화 모형 수립(BM) 배경

1) 현재 플랜트 산업은 급격한 유가의 변동성과 중국 및 인도의 기술력 향상, 유럽 및 미국 선진사들의 가격 경쟁력으로 인하여 안팎으로 위기 상황에 직면하고 있으며 이를 타개하기 위하여는 신기술을 통한 설계,구매,시공의 품질향상만이 유일한 방법이며 이를 특화된 IT 기술을 통하여 이루게 하는 것에 목표를 둔다.
2) 많은 플랜트 수출을 통한 know-how 및 경험이 축적이 되었으나 이를 전산화 또는 회사의 정보자산으로 체계적으로 활용하고 있지 못한 상황이 결국 국내 플랜트 산업의 경쟁력 악화를 불러오는 상황이다. 이에 저희의 비정형데이터 처리 기술을 통한 경험 및 지적 자산의 활용으로 30%이상의 플랜트 산업의 품질 향상을 가져올 것으로 예상되며 이는 곧 글로벌 수주경쟁력 향상으로 이어져 위기의 국내 플랜트 산업에 단비와 같은 역할을 할 것으로 기대한다.

나) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 사업화 모형의 목표

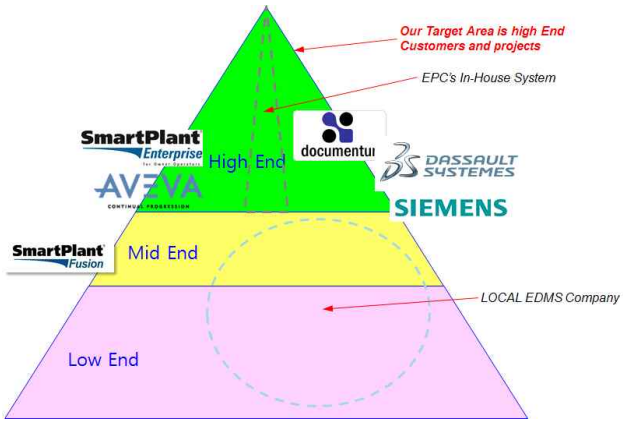
(가) 플랜트 기술 품질 향상을 통한 연관 산업의 글로벌 경쟁력 강황
(나) 독창적이고 획기적인 의미정보 기반의 비정형 데이터 (문서인식, 도면인식) / 동시병행화 기술 등의 IT 기반 기술 개발
(다) 산학협력의 새로운 비즈니스 상생 모델 제시

(2) 핵심 경쟁 요인

(가) 플랜트 모듈화에 최적화된 플랜트 전 라이프사이클의 업무를 지원하는 IT솔루션
(나) 의미기반의 비정형데이터 처리 (문서/도면) 기술, 비정형프로세스 등 동시병행 등의 독창적인 기반 IT신기술을 토대로 한 플랜트 산업의 지식기반 의사결정 지원시스템
(다) 고객인 국내외 종합건설사, 중공업 및 조선/해양사들의 현재 구축중인 IT솔루션들과의 Interface를 고려한 개방형 구조의 솔루션 설계

다) 목표 시장 구조

① 경쟁 기업 현황 – 경재 구조 Major Vendor 상황(협업 제품)



High End	대형건설사/중공업/조선소
Mid End	중견 건설사/중견 모듈제작사
Low End	소형모듈제작사/협력사/벤더

② 주요 고객군



5) 사업화에 대한 구체성

No.	모듈명/제품별	기업명	적용분야
1	동시병행화 모듈	현대건설 필즈엔지니어링 삼성 SDS	EPC 전과정에 공정 최적화에 활용 중견기업의 프로젝트 계획 및 관리에 활용 프로젝트관리시 일정 및 관련 자료관리 활용
2	비정형 문서 정형화 모듈	현대건설 현대엔지니어링 대우건설 현대오일뱅크	ITB등 문서파싱에 기반한 사양 추출 플랜트 엔지니어링 문서에서 이슈 추출 플랜트 엔지니어링 문서 독소조항 추룰 유보수 문서로부터 내용 추출
3	비정형 도면 인식 모듈	현대건설 삼성엔지니어링 현대오일뱅크 삼성 SDS	견적설계를 도면인식 및 물량산출 견적설계를 P&ID 인식 유지보수를 위한 P&ID 등 도면인식 설비관리를 위한 도면인식
4	협업 플랫폼 모듈	필즈엔지니어링 현대건설 현대엔지니어링	중견기업을 위한 협업 플랫폼 활용 견적설계 비정형데이터 기반 협업플랫폼 활용 EPC를 비정형데이터 기반 협업플랫폼 활용
5	프로젝트 어드바이져 모듈	현대건설 삼성 SDS	프로젝트 계획시 자산프로젝트 내용기반 활용 프로젝트 PBS-WBS 연계 정보 활용
6	산출물관리	현대건설 두산중공업 대우건설	플랜트문서 내용기반 관리 문서내용 기반 플랜트 데이터 통합 관리 산출물의 내용기반 이슈 추출
7	정보검색 및 데이터 Analytics 모듈	현대건설 삼성중공업 대우건설 삼성 SDS	EPC 수행시 문서 자동 폴더링 유사 클레임 추천 시스템 ITT 유사 이슈 추천 유사 문서 추천 시스템

붙임. 현업 의견 (H사 현업 전문가)

< 플랜트 동시병행 협업 체계 지원 기술 개발 현업 적용 효과분석 >

시스템	영역 (시나리오)	As is		To be		평가
		현황	소요 시간	개선효과	소요 시간	
동시병행화 시스템	프로세스 최적화 업무 (공정관리)	프로젝트 초기 또는 프로젝트 진행중, 프로세스 최적화를 위해서 상당한 시간이 걸린다.	1~5일	동시병행 시스템을 사용함으로써, 최적화 업무 시간을 줄일수 있다.	1시간 ~ 1일	시간단축 효과 10 % 비용절감효과 5 %
	프로젝트 일정 최적화 (공정관리)	엔지니어 경험에 의한 병행화 가능 업무를 확인하기 난이함	난이도 중	동시병행 시스템의 도움으로 병행화 가능 업무를 확인하기 상대적으로 용이함	난이도 저	
비정형 의미 데이터 공유 시스템 (I) (문서 내용 컨텐츠화 및 정형화)	문서 내 Spec. 검색	필요 Spec 내용이 여러 문서에 언급될 수 있으므로 Spec.을 각각 검색. Acrobat writer에도 동일 검색기능은 있으나 사용이 불편.	2-3분	전체 Spec. 동시 검색 가능함. 검색 및 검토가 용이.	5초	시간단축 효과 90% 비용절감효과 10 %
	문서내 여러 Spec. 검색	단어 형태 Key word 검색만 가능. 정확한 문구 검토에 시간이 소요됨. Acrobat writer에도 단일 단어 검색만 가능.	20분	단어 형태 뿐만 아니라 여러 단어를 포함한 문장 검색 기능으로 정확한 문구 검색이 가능.	2분	
	문서 내용 비교	Acrobat writer에도 동일 비교기능이 있음. Rev.A기준 또는 Rev.B기준으로 한쪽기준 변경사항만 비교하므로 2번 비교해야 함.	5분	Rev.A와 Rev.B 양방향 기준 비교 및 차이점 비교 가능.	5초	
	성능	Design Temperature 등과 같은 성능 결정하는 기준을 알고자 하는 경우 ITB 어느 문서에 들어있는지 찾아야 함	20분	ITB 전체 폴더를 검색대상으로 해서 "Design Temperature" 검색해서 확인.	25초	
비정형 의미 데이터 공유 시스템 (II) (도면 내용 컨텐츠화)	도면 심볼 & 파이프 인식	도면 내 심볼별로 갯수 Counting을 하는 것은 가능하지만, 해당 심볼이 어느 파이프라인과 연결되어 있는지 확인하려면 사람이 수작업을 해야 함.	30분~ 60분/ 1페이지	도면 내 심볼과 해당 심볼이 연결된 파이프라인을 함께 인식하여 심볼별 Counting과 Size, Tag 추출 및 Excel Export	1-2분 /1페이지	시간단축 효과 60 % 비용절감효과 20 %
	도면 스펙 인식	도면 내 설비 Spec을 인식하려면 사람이 수작업을 해야 함.	10분/ 1페이지	도면 내 설비 Spec을 인식하여 Excel Export 가능	1-2분 /1페이지	
협업 플랫폼	협업업무	회사내 별도의 시스템을 사용함으로써 서로 정보를 공유하기 위해서는 중간 전달 과정이 필요함	10분 (기준값)	모든 협업자들이 하나의 시스템을 기반으로 다양한 시스템을 연동하여 이용함으로써 정보의 신속한 공유가 가능함	30초	시간단축 효과 20 % 비용절감효과 2 %
정보 활용 및 데이터 Analytics	검색	기존에는 PDF 파일을 Acrobat에서 하나씩 열어 검색해야 했으며, 스캔된PDF 문서는 검색할 수 없었음	15-20 분	스캔된PDF 문서를 포함한 모든 문서를 한꺼번에 검색함으로써 검색 시간이 단축됨	1-20 초	시간단축 효과 95 % 비용절감 효과 5 %
	유사도 검색	비슷한 문서를 참조하기 위해 사용자의 기억에 의지하거나, 일일이 하나씩 파일을 열어 확인하여야 함	20분	유사도를 산출하여 관련도가 높은 순으로 문서를 시스템에서 검색해 줌으로써 획기적으로 검색 시간이 단축됨	30초	

붙임. 현업 의견 (S사 현업 전문가)

< 플랜트 동시병행 협업 체계 지원 기술 개발 현업 적용 효과분석 >

1. 동시 병행화 시스템
   - 시간단축 효과 : 80%
   - 비용절감 효과 : 20% (단축시간을 1주일, 빈도수를 월 1회를 기준으로 함)

*동시 병행화 시스템을 활용함으로써, 최적의 업무 Arrange 및 전체 프로젝트 TAT를 단축할 수 있음

2. 비정형 데이터의 공유 시스템 I
   - 시간단축 효과 : 98%
   - 비용절감 효과 : 9.3% (단축시간을 45분, 빈도수를 주 5회를 기준으로 함)

*문서 전문을 내용 기반 DB화 하여 Spec정보에 대한 Powerful하고 정확한 검색결과를 얻을 수 있음

3. 비정형 데이터의 공유 시스템 II
   - 시간단축 효과 : 96%
   - 비용절감 효과 : 7.5% (단축시간을 60분, 빈도수를 주 3회를 기준으로 함)

*복잡한 설계Tool 을 사용하지 않아도 문서나 스캔본으로부터 도면에 대한 주요정보를 추출할 수 있음

4. 협업플랫폼
   - 시간단축 효과 : 96%
   - 비용절감 효과 : 4.0% (단축시간을 10분, 빈도수를 매일 2회로 함)

*모든 관련인들이 Single Workspace에서 최신의 정보를 확인하고 커뮤니케이션

5. 정보 및 Data Analytics
   - 시간단축 효과 : 97%
   - 비용절감 효과 : 8.3% (단축시간을 40분, 빈도수를 매일 1회로 함)

붙임. 플랜트 현업 사용성 검토 및 만족도 조사 (H사 현업 전문가)

< 플랜트 동시병행 협업 체계 지원 시스템 현업 의견 >

시스템	현업 사용성
동시병행화 시스템	프로젝트 계획 및 실행 시 업무 프로세스 병행 화를 도와 줄 수 있는 시스템으로 현업에 도움이 되는 시스템으로 판단된다. 현업에서 프로젝트 관리용으로 활용되는 Primavera 등과 연동되게 만들어져 있어서 현업 사용성이 좋다고 판단된다.
비정형 데이터 정형화 시스템	비정형 문서를 인식하고, 내용을 DB화 하고, 정형화 하여 프로젝트 전체 문서를 내용 기반으로 통합 검색 할 수 있어서 현업 업무에 사용성이 좋다고 판단된다. 현업에서 문서의 변경이 자주 발생 되는데, 시스템에서 내용 기반으로 Revision 문서 간 비교 기능을 제공하여 현업 사용성이 좋다고 판단된다. 플랜트 엔진니어링에 필요한 사양 관련 내용을 검색하면, 여러 문서에서의 검색 결과를 종합하여 보여 주고, 관련 원문을 함께 보여주어 현업 사용성이 좋다고 판단된다. 비정형 도면의 내용도 인식하여 밸브, 파이프, 계장, 라인넘버 등을 인식하여 기존의 업무를 자동화 하여 현업 사용성이 좋다고 판단 한다.
협업플랫폼	모든 협업 엔지니어들이 협업 플랫폼을 기반으로 협업을 할 수 있기 때문에 신속한 협업 및 정보의 공유가 가능하여 현업 업무 효율화를 위한 사용이 가능하다고 판단 한다.
프로젝트 계획 가이드 시스템	프로젝트 계획 시 기존 프로젝트 정보를 활용하여 프로젝트의 계획을 세울 수 있는 시스템이다. 현업에서 프로젝트 관리용으로 활용되는 Primavera 등과 연동되게 만들어져 있어서 현업 사용성이 좋다고 판단된다.
정보 활용 및 데이터 분석 시스템	문서 또는 문단 등의 내용 파싱하고, 정형화 하여 그 결과를 바탕으로 유사 문서 또는 문단을 추천 받을 수 있어, 엔지니어링 업무 시 필요한 문서를 추천받을 수 있어 업무 효율화를 가져 오고, 현업 사용성이 좋다고 판단된다.

붙임. RFP 대비 연구성과 일람표

< RFP 기반 연구성과 일람표 >

	RFP 성과물 항목	1 세부 성과물
1	○ 동시병행/협업 체계 기술 - 동시 병행 협업 비정형 프로세스 분석 보고서 - 동시 병행 협업 비정형 의미기반 데이터 공유 분석 보고서 - 엔지니어링 협업 체계 지원 시스템 플랫폼	○ 동시병행/협업 체계 기술 [A, B] - 협업 프로세스 패턴정의 분석보고서 - 동시병행 협업 프로세스 평가 알고리즘 보고서 - 비정형 데이터 정형화 알고리즘 보고서 - 엔지니어링 협업 체계 지원 시스템 플랫폼
2	○ 협업 멀티 프로젝트 최적 관리 기술 - 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 - 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 소프트웨어	○ 협업 멀티 프로젝트 최적 관리 기술 [C] - 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 지침서 - 협업 멀티/다계층 프로젝트 관리 소프트웨어
3	○ 협업 통합 정보 관리 기술 및 활용 기술 개발 - 협업 통합정보/의미정보 관리 및 활용 지침서 - 협업 통합정보/의미정보 관리 및 Analytics 시스템	○ 협업 통합 정보 관리 기술 및 활용 기술 개발 [D] - 협업 통합정보/의미정보 관리 및 활용 지침서 - 협업 통합정보/의미정보 관리 및 Analytics 시스템
4	○ 동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템	○ 동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템 (패키지) [E] - 1 세부 통합 시스템
5	○ 시스템 시험적용 및 성능 평가 보고서	○ 시스템 시험적용 및 성능 평가 보고서

19IFIP-B0
91004-06

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호( )
플랜트연구 사업 제6차 연도 최종 보고서

R&D / 19IFIP-B091004-06

플랜트 협업단위 모듈화 기획 및 평가 기술 개발

최종보고서

2020. 02. 11.

협동연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 중앙대학교 산학협력단
현대건설(주)
㈜두올테크
㈜제타시스템

플랜트실
국토교통과학기술진흥원

플랜트협업단위모듈화기획및평가기술개발
최종보고서
2020
국토교통과학기술진흥원
국토교통부

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘플랜트 모듈화 기획 및 평가 기술 개발’(연구개발 기간 : 2014. 12. 29. ~ 2019 . 12. 28.) 과제의 최종보고서 12부를 제출합니다.

2020 . 2 . 11 .

협동연구기관명 : 한국건설기술연구원 한승헌 (인)

공동연구기관명 : 중앙대학교 산학협력단 김원용 (인)

공동연구기관명 : 현대건설 박동욱 (인)

공동연구기관명 : 두올테크 최철호 (인)

공동연구기관명 : 제타시스템 정재우 (인)

참 여 기 업 명 : 필즈엔지니어링 나장훈 (인)

협동연구기관책임자: 진경호
공동연구기관책임자: 김용수, 이종원, 김진만, 정재우

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호		해당 단계 연구 기간	2019.01.01.- 2019.12.28	단계구분	6차년/6차년
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	플랜트연구사업			
연구과제명	대과제명	플랜트 동시병행 협업 체계 지원 기술 개발			
	세부과제명	플랜트 협업단위 모듈화 기획 및 평가기술 개발			
연구책임자	진 경 호	해당단계 참여연구원 수	총: 29명 내부: 29명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:604,000천원 민간:202,000천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:806,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부:2,417,700원 민간:867,300천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:3,285,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국건설기술연구원			참여기업명 필즈엔지니어링	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	22	9				15					

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

- 모듈화 VE 시스템에 의한 의사결정 후 결정내용의 변경에 대한 능동적인 대처가 가능한 시스템을 구성하였는데 이는 다수의 참여자가 온라인에서 본인의 아이디어를 적극적으로 창술이 가능한 프로세스로써 대안의 확정을 위한 LCC 및 성능점수화 기능을 구현·처리하는 것임. 또한 모듈화 기획 VE 플랫폼 구현과 아이디어 뱅크 시스템 도입을 통해 사례기반 아이디어 창출 효과를 구현함. 또한 모듈화 사업 입찰 지원툴 개발을 통해 모듈화 사업의 실시 여부를 입찰단계에서부터 판단할수 있는 툴을 제공함

보고서 면수 398쪽

요 약 문

연구의 목적 및 내용	[연구개발 목표] ◦ 최종목표 : 플랜트 협업 단위 모듈화 기획 및 평가 기술 개발 ◦ 정성적 연구목표 −플랜트 모듈화 건설사업의 스마트 기획·계획 기술 개발 −플랜트 모듈화 건설사업 추진 타당성 분석·평가 기술 개발 −플랜트 모듈화 건설사업 스마트 기획·계획, 추진 타당성 분석·평가 솔루션 개발 ◦ 정량적 연구목표 −모듈화 건설 원단위 평가 정확도 90% 달성 −협업 단위 모듈화 설계 효율 10% 달성 −협업 단위 모듈화 설계 원가 10% 개선 ❖솔루션 패키지 단위 모듈 개발 8종 이상(경로, 경제성, 공기 등 기능 모듈) ❖플랜트 모듈화 건설사업 업무 생산성 10% 개선 등 연구단 성과 달성에 기여 [연구개발 내용] ◦ 협업 단위 모듈화 건설 기획 기술 개발 −협업 단위 모듈화 logistics 정형화 −협업 단위 모듈화 방법론 개발 −협업 단위 모듈화 VE 기술 개발 −플랜트 협업 단위 모듈화 고유/표준 모델 개발 ◦ 협업 단위 모듈화 건설 타당성 평가 기술 개발 −협업 단위 CBS(Cost Breakdown Structure) 체계 정형화 −협업 단위 모듈화 건설 원단위 계량 기술 개발 −협업 단위 모듈화 건설 타당성/리스크 평가 기술 개발 ◦ 협업 단위 모듈화 기획/평가시스템(패키지) 개발, 시험적용/평가 −형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 개발
연구개발성과	◦ 협업 단위 모듈화 기획/계획 기법(원단위 계량, 기획/계획, 타당성 평가) ◦ 협업단위 모듈화 한국형 고유 모델 및 관리 기법 ◦ 협업단위 모듈화 기획/계획 솔루션 패키지 ◦ 협업단위 모듈화 원단위 계량, 타당성/리스크 평가 솔루션 패키지
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	◦ 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT업체를 통해 개발 S/W를 상업화 ◦ 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상 ◦ Stick-built 방식으로 건설한 플랜트 대비하여 협업 단위 시스템화 플랜트의 공기 단축 및 비용 절감 ◦ 국내 주요 건설업체가 혹한 지역이나 현장 비용이 높은 플랜트 건설에 활용토록 유도 및 이를 통해 실용화

국문핵심어 (5개 이내)	플랜트	모듈화	기획	타당성	리스크
영문핵심어 (5개 이내)	Plant	Modular	Planning	Feasibility	RISK

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

목 차

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

1.1 연구개발의 필요성 ····· 1
1.2 연구개발의 목적 ····· 10
1.3 플랜트 모듈화 시장, 기술, 경쟁사 등 내외적 현황 ····· 14
1.3.1 플랜트 건설 시장 동향 ····· 14
1.3.2 해외 플랜트 시장 현황 ····· 17
1.3.3 해외 플랜트 모듈화 시장 현황 ····· 27
1.3.4 국내 시장 현황 ····· 30
1.3.5 국내 플랜트 모듈화 시장 현황 ····· 38
1.3.6 플랜트 모듈화 건설 기술 동향 개요 ····· 39
1.3.7 해외 기술 동향 ····· 40
1.3.8 해외 기업 및 기관들에 대한 플랜트 모듈화 핵심기술 확보현황 ····· 42
1.3.9 국내 기술 동향 ····· 45
1.4 플랜트 모듈화 건설 선진기관 기술 특성 ····· 49
1.4.1 주요 석유가스 플랜트 기업들의 성장 전략 ····· 49
1.4.2 중앙공정시설 프로세스 모듈 사용 자재 ····· 55
1.5 플랜트 모듈화 건설 국내기관 기술 수준 ····· 59

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 62

2.1 협업 단위 모듈화 계획/분석 및 종합 타당성 평가 기법 ····· 62
2.2 플랜트 협업 단위 모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개발 ····· 101
2.3 협업단위 모듈화 고유모델, 관리기법 개발 ····· 189
2.4 협업단위 모듈화 건설 기획/계획 분석 솔루션 패키지 ····· 282
2.5 협업단위 모듈화 원단위 계량, 타당성/리스크 평가 시스템 개발 ····· 333
2.6 기술가치평가 및 상용화전략 수립 ····· 407

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 424

3.1 종합성과 ····· 424
3.2 연차별 목표 달성도 ····· 427
3.3 관련분야 기여도 ····· 434
3.4 후속연구의 필요성 ····· 434

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 435

4.1 제품홍보, 판로확보, 판매전략 등의 사업화 추진전략 ····· 435
4.2 사업화를 위한 비즈니스 모델 ····· 437

01

연구개발과제의 개요

1.1 연구개발의 필요성

가. 연구개발과제의 설명

(1) 제안기술의 정의

- 제안기술은 플랜트 모듈화 건설사업의 1) 스마트 기획·계획 기술과 2) 모듈화 방식 추진 타당성 분석·평가 기술로 구성됨

  1) 플랜트 모듈화 건설사업의 스마트 기획·계획 기술 : 플랜트 건설사업의 다양한 영향인자 및 제약조건(모듈화 비율, 현장, 운송경로, 공사기간, 작업성 등)을 시나리오로 설정하여 타당성 분석기능과 상호 연계 최적화된 사업계획, 단위 주체의 협업을 효과적으로 지원하는 기술 (플랜트 모듈 정의/분할, 운송경로, 공사기간, 작업밀도, 모듈화 비율 등에 관한 엔지니어링 알고리즘을 포함)

  2) 플랜트 모듈화 건설사업 추진 타당성 분석·평가 기술 : 기존 Stick-Built 방식 대비 모듈화 플랜트 건설사업의 타당성을 설계, 제작, 운송(육상, 해상), 시공 등의 다양한 측면에서 시나리오별 환경과 공사기간, 리스크 요인, 경제성 등을 분석·종합 평가, 의사결정을 지원하는 기술

■ 타당성 결정 주요 요인 검토

– 위　　치 : 접근성, 기후환경
– 취 급 성 : 대량 기자재 질/가용성, 건설장비 질/가용성, 운송, 운송 장비
– 노 무 비 : 노동스킬, 생산성, 노동조합 혹은 비조합원
– 시설특성 : 반복성, 독점, 시스템 밀도, 기존 시설에 미치는 영향
– 위 험 성 : 공사기간, 건축 높이, 품질 요구도
– 환　　경 : 모듈 수입 제한, 환경 규제, 사회 이슈

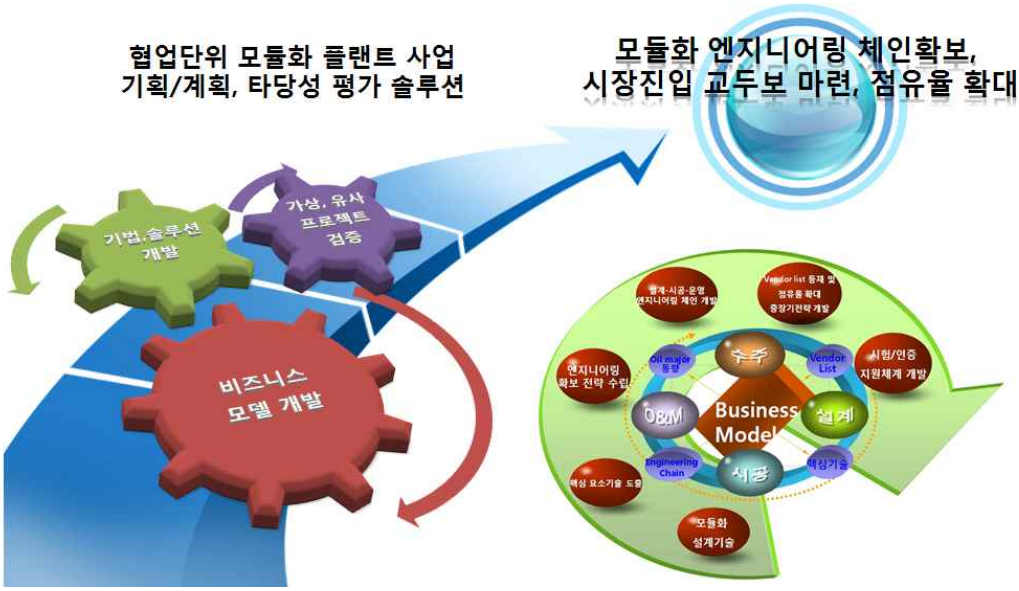
3) 플랜트 모듈화 건설사업 스마트 기획·계획, 추진 타당성 분석·평가 솔루션 : 상기 모듈화 기법, 타당성 분석 알고리즘, 연산엔진, DB를 결합하여 사용자 인터페이스를 구현한 프로그램



[그림 1-1] 제안기술(플랜트 협업단위 모듈화 기획, 평가 기술)의 개념

(2) 추진목적 및 배경

- 플랜트의 건설 지역은 해양, 연안, 오지, 동토 및 극지 등으로 다변화되고 있으며, 특히 개발여건이 열악한 지역에서 자원개발과 관련된 플랜트 건설 수요가 증가하고 있음
- 개발여건이 열악한 지역에서 공사는 1)일일 공사시간의 한계 및 작업 생산성, 2)노동력 부족에 따른 높은 인건비, 3)해상 및 육상운송에 따른 경제성, 인허가, 4)공사기간 등이 주요 리스크 요인임
- 이러한 리스크 요인을 회피하고 사업 타당성을 확보하고자 플랜트 건설공사의 특성에 따라 모듈화(modularization)를 통한 급속 시공법의 적용을 적극 검토하고 있으며, 호주 Karratha LNG 플랜트 모듈화 시공 사례 등 해외 중·대형 플랜트 건설사례에서 그 타당성이 입증되고 있음


협업단위 모듈화 플랜트 사업
기획/계획, 타당성 평가 솔루션
모듈화 엔지니어링 체인확보,
시장진입 교두보 마련, 점유율 확대
기법,솔루션
개발
가상, 유사
프로젝트
검증
비즈니스
모델 개발
수주
설계
시공
O&M
Business
Model
Vendor List
Oil major
등명
Engineering
Chain
모듈화
설계기술

(3) 특징/차별성

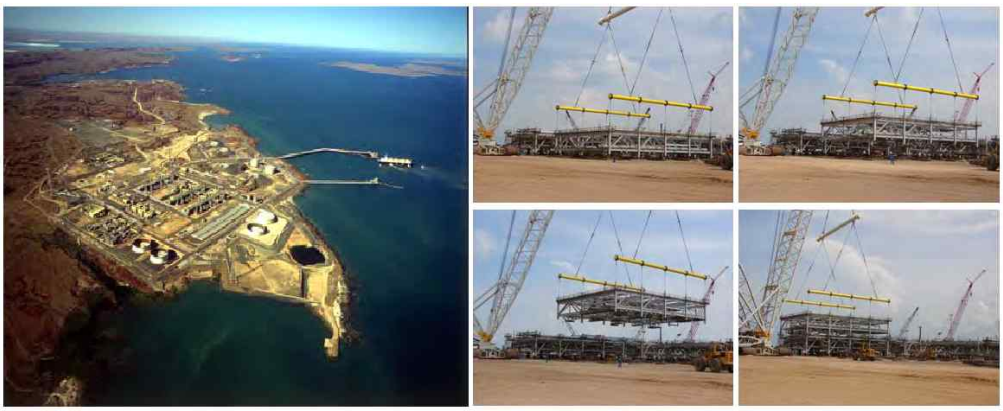
- 기술적인 측면(기술성)에서 모듈화 사업 계획 시에 모듈화 시나리오에 따른 설계, 제작, 운송, 설치 등에 리스크, 비용에 관한 분석 기능을 결합하여 전문가적인 판단을 할 수 있도록 함
- 플랜트 모듈화 사업 수행을 위한 협업 모듈의 정의 및 배치 모델을 개발·반영하여 실용적인 솔루션으로 활용이 가능
- 사업적인 측면(사업성)에서 대기업이나 중소기업 등 직접적인 사용자 입장에서 니즈(중대형 플랜트 모듈화 사업의 효율적인 계획 등)가 크며, 이를 공급하는 솔루션 기업 측면에서도 부가가치가 높은 사업모델(프로그램, 용역, 교육 등)임

<table>
<tr><th>일반설계</th><th>모듈화 엔지니어링</th><th>모듈설계</th></tr>
<tr><td>Basic design</td><td>주변여건 analysis
(노동력, 정치환경 등)</td><td rowspan="4">FEED 설계정보 check-up
플랜트 모듈 기준 정보 DB</td></tr>
<tr><td>Process design</td><td rowspan="3">현장여건 analysis
(입지, 환경, 정책 등)

취급특성 analysis
(운송로/수단, 선적/하역 등)</td></tr>
<tr><td>Heat & material balance</td></tr>
<tr><td>P&ID</td></tr>
<tr><td>Equipment data sheet</td><td rowspan="3">작업여건 analysis
(작업밀도, 평면/입면 등)</td><td rowspan="3">플랜트 모듈 분할
(Plot plan, arrangement 등)</td></tr>
<tr><td>Plot plan</td></tr>
<tr><td>Building list</td></tr>
<tr><td>Single line diagram</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">Weighting, 지지/보강제, Balancing, Interface 등 상세설계 (3세부)</td></tr>
<tr><td>Structure</td></tr>
<tr><td>Load list</td></tr>
<tr><td>Control Philosophy</td></tr>
<tr><td>Effluent Summary</td></tr>
<tr><td>Safety Chart</td></tr>
<tr><td>기타사항</td><td>Capital analysis
(견적, 투자, 수익, 리스크 등)</td><td>Basic/detail 변경 최소화
투자비/견적 오류 최소화</td></tr>
</table>

나. 연구개발의 중요성

- 최근 해저 및 심해저, 격오지 내륙, 동토 및 극지 등 극한지(extreme area)에서 에너지·자원 개발이 가속화됨에 따라 플랜트 건설기술 수요 대폭 증가
- 전세계 미발견 석유·가스 탐사 자원량의 22%가 영구동토를 포함한 극한지에 매장(United States Geological Survey, 2008)
- 국내의 경우에 해당 입지가 없어 가치사슬이 미미하나 해외 현지의 시장 수요는 매우 크고, 일부 선진기업이나 기술사가 시장과 기술을 독점하고 있으나 고부가가치, 에너지안보 등으로 산업의 확대가 전망됨
- 기후와 위치 등 가혹한 현장여건에서 플랜트건설 시 최대 장벽은 생산성과 신뢰성으로서, 이를 확보하기 위해 모듈화 기술의 니즈가 매우 큼
- 개발여건이 열악한 지역에서 공사는 1) 일일 공사시간의 한계 및 작업 생산성, 2) 노동력 부족에 따른 높은 인건비, 3) 해상 및 육상운송에 따른 경제성, 인허가, 4) 공사기간 등이 주요 리스크 요인임
- 이러한 리스크 요인을 회피하고 사업 타당성을 확보하고자 플랜트 건설공사의 특성에 따라 모듈화(modularization) 시공법의 적용을 적극 검토하고 있음
- 호주 Karratha LNG 플랜트 모듈화 시공 사례 등 해외 중·대형 플랜트 건설사례에서 그 타당성이 입증되고 있음
- 해외 선진기업에서는 현재 다수의 육상 플랜트 건설에 시공블록모듈 기반의 모듈화 설계 기술 적용을 시도하고 있음
- 이러한 모듈 기반의 플랜트 설계 기술은 시운전 시간 단축, 외기조건 따른 영향 감소, 제작 환경의 개선, 제작 전문성 강화의 장점이 있음
- 고중량급 크레인 및 수송수단이 개발됨에 따라서 해상 플랜트뿐만 아니라 육상 플랜트에서도 2000년대 후에 모듈러 전략이 적용되고 있음
- 반면에 국내에서는 일부 기자재, 해양플랜트 기자재 등을 상세설계, 운송, 설치하는 보조적으로 참여하는 수준



[그림 1-2] The first modular LNG plant(Karratha gas plant Phase V)[1)]

- 이러한 플랜트 모듈화 건설사업에 참여하기 위해서는 사전에 계획 수립과 리스크를 고려한 경제적(수익성) 타당성이 중요함
- 계획, 설계, 제작, 설치 등 다양한 측면의 경쟁력 확보가 중요하지만, 초기에 사업성을 판단하거나 사업 착수를 위한 계획의 수립 등도 리스크 헤지 측면에서 매우 중요함
- 이는 주로 신뢰성 기반의 사업 기획 및 계획, 타당성 평가기술로 대별되며, 모듈화 건설사업 수행단계별 단위업무주체 간 효율적인 협업이 관건임



- 과거 해상플랜트 등에 모듈화 적용이 선진기술을 도입하여 일부 추진된 바 있으나 최근 중대형 육상플랜트를 대상으로 기회요인인 발생하고 있음
- 국내의 우수한 ICT, 품질을 인정받고 있는 기자재 및 시공기술 등을 기반으로 증가추세에 있는 플랜트 모듈화 건설시장에 적극 진출 필요
- 이에 해외 모듈화 건설경험이 부족한 국내 여건에서 유사 사례나 경험을 토대로 효율적인 지원시스템의 구축이 효과적인 것임
- 극한지에서 플랜트 건설 경쟁력 확보를 위해서는 생산성 제고, 비용의 최소화가 중요하며, 모

1) Karratha gas plant Phase V : 최근 모듈화 방식에 의하여 건설된 호주의 North West Shelf Venture Karratha Gas Plant Phase V Expansion project. 이 프로젝트의 성공적 완료 후에 세계 다수의 LNG 프로젝트가 모듈화 시공 전략으로 추진되고 있음.

듈화 신공법이나 타당성 평가, 의사결정 등이 수반되어야 함

- 이의 해결을 위해서는 신뢰성 기반의 플랜트 건설계획 및 타당성 분석, 모듈화 설계 및 시공법, 맞춤형 건설장비 등에 관한 기술혁신이 필요
- 이러한 환경변화를 고려시 해외시장 진입기반 마련을 위하여 플랜트 협업단위 모듈화 건설사업 기획/계획, 타당성 평가에 관한 독자기술의 개발이 필요함
- 향후 극지, 해양, 해저 등 신공간에서 다양한 수요의 증가가 예상되는 모듈화 플랜트 건설사업에 관한 솔루션 기술을 독자 개발하여 시장진입 기반을 마련이 필요하며, 틈새시장으로 부각되는 모듈화 사업에 투자가 필요한 시점임

다. 연구개발 단계

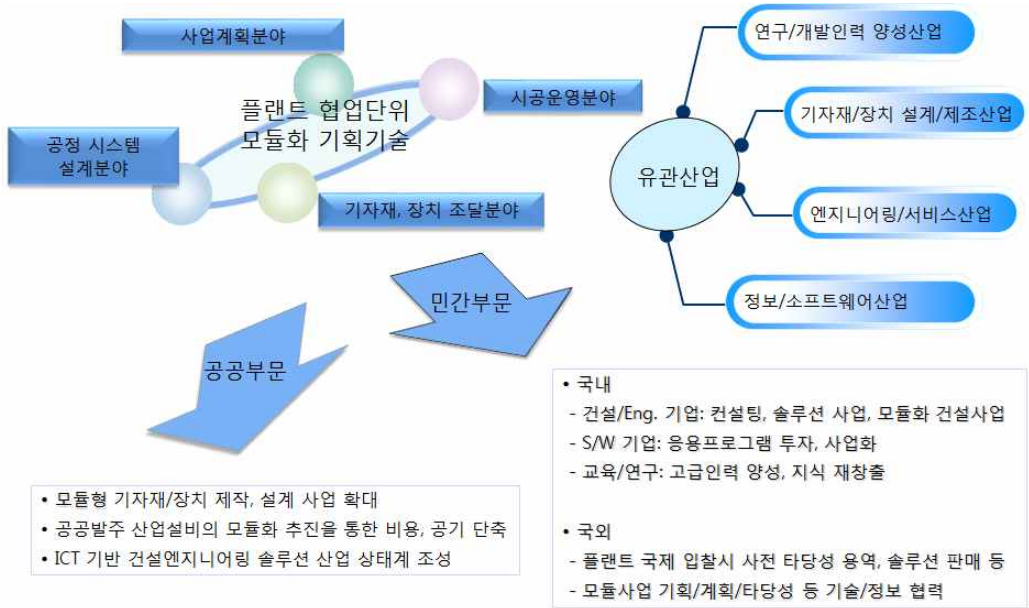
- 계획기법: 모듈화 건설사업의 계획을 위한 핵심적인 기법(모듈 분할, 운송경로, 일정, 작업성 등)에 대한 기능을 확립하고 현행 엔지니어링 데이터 기반의 결과를 분석 평가가 주된 개발영역으로 TRL 4단계 수준으로 분석됨
- 타당성 평가기법: 모듈화 플랜트에 대한 원단위 경제성 분석 역량은 보유하고 있으나 실제 사례가 빈약하고 범용으로 수식을 활용하기 위해서는 신뢰도 향상이 필요하여 TRL 4 단계 수준으로, 리스크 분석 부분은 모듈화 플랜트 사업의 공통적인 리스크 요인을 도출하여 비용을 변환하는 부분에 중점을 두고 있어 TRL 5 단계 수준으로 분석됨
- 솔루션 패키지: 상기 기능을 통합하는 동일 프로그램이 없으나 국내 역량을 고려시 단기에 유사환경을 활용하여 핵심적인 기능에 대한 구성이 가능한 수준으로 TRL 4 단계로 분석함
- 본 연구의 특성상 실용화를 전제하고 있고, 개발된 기법, 데이터를 통합된 솔루션 패키지로 개발하는 목표를 설정하고 있어, 최종 개발단계(수준)은 계획기법 및 타당성 평가기법은 TRL 7 단계, 솔루션 패키지는 TRL 8 단계로 설정함

구분		표기	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	■	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	■	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	■	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	■	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	■	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	□	TRL 9 현장적용/사업화 단계

라. 타산업 연계 및 국제협력 가능성

(1) 타산업 연계방안

- 본 제안기술은 중대형 플랜트 건설시 모듈화를 고려한 기획/계획기법, 타당성 분석, 모듈화 설계기법, 이를 통합한 솔루션 등을 개발하는데 중점을 두고 있음
- 이러한 모듈화 건설사업 기획/계획기술은 대규모 프로젝트의 사업관리, 모듈화 엔지니어링, 사업의 타당성 분석 등 전방산업분야에 활용도가 매우 큼
- 또한 후방산업분야인 모듈형 기자재, 엔지니어링 솔루션 등과 연결되어 있으며, 연구결과를 토대로 모듈화 설계기술 교육, 엔지니어링 인력 양성, 프로그램 사업화 등 파급성이 큼
- 모듈화 건설사업 엔지니어링에 활용도가 큰 IT 솔루션산업의 가치사슬 영역을 확대하고 해외 선진사가 독점하고 있는 솔루션분야 특화 경쟁력을 가질 수 있음
- ICT 기반 건전성, 위험도, 설계지원, 모니터링 데이터 기반의 실시간 유지관리 등 플랜트 건설사업의 융복합 영역으로 파급성을 가짐



[그림 1-3] 플랜트 협업단위 모듈화 기획기술 연관산업 및 파급효과 개요도

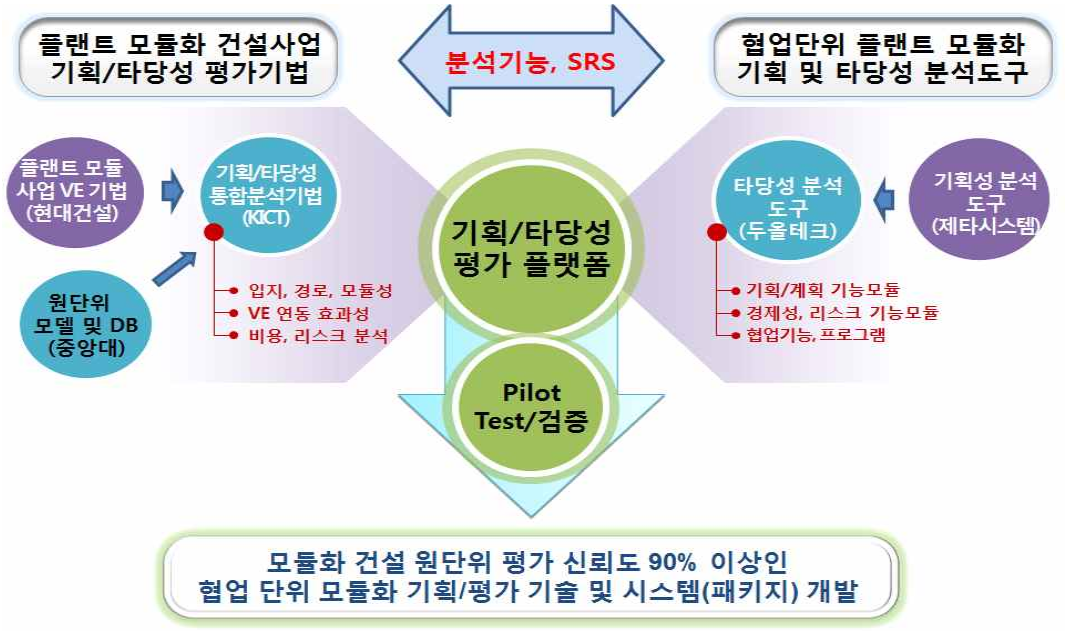
(2) 국제협력 가능성

- 본 제안과제는 기업 중심(현대건설, 필엔지니어링, 두올테크, 제타시스템)으로 사업화에 중점을 두고 있으며, 기초·원천 보다는 실증개발이 주가 됨
- 따라서 선진 기업과 직접적인 기술도입, 공동연구 보다는 자체 독자개발에 중점을 두고 있고, 1단계 개발 이후부터 대외적인 성과 홍보 및 전시 등 목적으로 국제협력을 추진하고자 함

1.2 연구개발의 목적

가. 연구개발 최종목표

(1) 최종목표



[그림 1-4] 세2과제 연구기관 상호연계 구성

(가) 세부2과제 최종목표

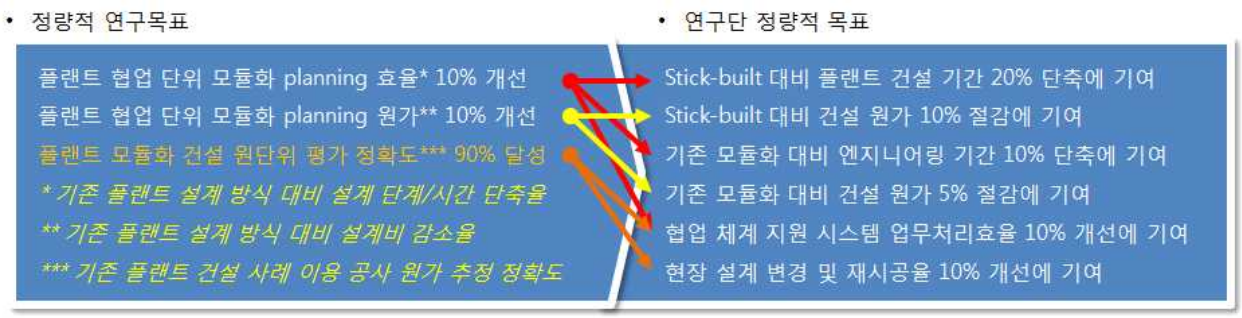
- 연구단의 제2세부과제로서 협업단위 모듈화 건설 원단위 평가 정확도 90% 이상인 협업 단위 모듈화 기획/평가 기술 및 시스템(패키지) 개발을 통한 모듈화 설계 효율/원가 10% 이상 개선
- 협업 단위 모듈화 건설 기획 기술: 협업 단위 logistics 표준 지침서, 협업 단위 모듈화 VE 지침서, 협업 단위 모듈화 지침서 및 시스템 모듈(프로그램), 협업 단위 모듈화 한국형 고유 모델 명세서 등을 개발
- 협업 단위 모듈화 건설 타당성 평가 기술: 협업 단위 CBS 체계 지침서, 협업 단위 모듈화 원단위 계량 지침서 및 시스템 모듈, 협업 단위 타당성/리스크 평가 지침서 및 시스템 모듈, 협업 단위 모듈화 평가 지침서 등 개발
- 협업 단위 모듈화 기획 및 평가 통합 시스템(패키지) 개발

(나) 세부2과제 정량적 목표

모듈화 건설 원단위 평가모델 정확도 90% 이상 협업 단위 모듈화 설계(planning) 효율[2] 10% 개선 협업 단위 모듈화 설계(planning) 원가[3] 10% 개선 솔루션 패키지 단위 모듈 개발 8종 이상(경로, 경제성, 공기 등 기능 모듈) 가스, 산업환경, 담수, 오일샌드 등 국내외 3종 이상 플랜트 사례 검토 반영 플랜트 모듈화 건설사업 업무 생산성 10% 개선 등 연구단 성과 달성에 기여

(다) 연구단 연구목표 요약

Stick-built 대비 플랜트 건설 기간 20% 단축에 기여 Stick-built 대비 건설 원가 10% 절감에 기여 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 10% 단축에 기여 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 5% 절감에 기여 동시병행 협업 체계 지원 시스템 업무처리효율 10% 개선에 기여 플랜트 모듈화 현장 설계 변경 및 재시공율 10% 개선에 기여구단 성과 달성에 기여



[그림 1-5] 연구단-세부2과제 연구목표 연계 구성

2) 협업 단위 모듈화 설계 효율 : 기존 플랜트 설계 방식 대비 설계 단계/시간 단축율
3) 협업 단위 모듈화 설계 원가 : 기존 플랜트 설계 방식 대비 설계비 감소율

(2) 최종목표의 성격 및 설정근거

구분	최종목표	설정근거
모듈화 건설 기획 기술	협업 단위 모듈화 설계(planning) 효율 개선 10%	기존 플랜트 설계 방식 대비 설계 단계/시간 단축율을 의미 플랜트 모듈화 설계는 현지의 운송, 반입, 조립, 작업밀도 등 다양한 영향을 고려해야 하는 이유로 설계 단계/시간이 증가하는 것으로 평가되고 있으나, 본 과제에서 선진 시장의 진입을 목표로 하고 있는 이유로 효율 10% 개선을 목표로 설정함. 세부4과제의 플랜트 기자재/모듈 라이브러리 기술을 활용하여 효율을 개선할 수 있을 것으로 예상함.
	협업 단위 모듈화 설계(planning) 원가 절감 10%	기존 플랜트 설계 방식 대비 planning 단계/시간 단축을 통한 원가 절감을 의미 플랜트 모듈화 기획은 기존의 방식에 비하여 필수 고려 단계의 증가에 따라 일반적으로 설계(planning) 원가가 증가하는 것으로 평가되고 있으나, 본 과제에서 선진 시장의 진입을 목표로 하고 있는 이유로 효율 10% 개선을 목표로 설정함. 세부4과제의 플랜트 기자재/모듈 라이브러리 기술을 활용하여 설계효율을 개선할 수 있을 것으로 예상함.
모듈화 건설 평가 기술	원단위 평가 정확도 90%	플랜트 건설 원가, 타당성/리스크 추정 정확도를 의미 플랜트 건설의 경우 다양한 불확실성을 내포하고 있기 때문에 정량적인 원단위 평가, 타당성/리스크 평가의 정확도를 담보하기 어려운 것으로 평가되어지나, 최근 국내 건설업체의 견적오류, 저가경쟁 등으로 적자 프로젝트가 다수 발생하고 있어 대안기술 확보 차원에서 원단위 평가 정확도를 90%로 설정함. 원단위 평가, 타당성/리스크 평가 정확도 목표치는 육상 플랜트의 영업마진 5~10%를 고려한 최소 기준을 제시한 결과임.
	타당성/리스크 정확도 90%	

나. 연차별 연구목표 및 내용

(1) 연구목표 및 내용

연차	단계별 주요 연구활동	세부추진내용
1차년도		
2차년도	모듈화 건설사례, 건설비, 공정 분석	플랜트 핵심 공정 분석 플랜트 모듈화 사례 분석 및 니즈 발굴 모듈화/비모듈화 건설비 산정/분석/평가
	원단위 계량 기술 개발	CBS 체계 정형화 원단위 추정 방법 분석 및 사례 조사 CBS 체계의 투입품목별 단위 투입량 분석
	타당성 평가 기술 개발	타당성 평가 방법론 검토/정립 타당성 평가 방법론 개발

연차	단계별 주요 연구활동	세부추진내용
	모듈화 방법/기법 개발	WBS 시스템 정형화 비정량적 설계 요소 기준 모듈화 방법론 개발 정량적 설계요소 기준 모듈화 방법론 개발
	모듈화 기획 시스템 모듈 구현	모듈화 기획 플랫폼 구현 비정량적 설계 기준 모듈화 설계 솔루션 개발 정량적 설계요소 기준 모듈화 설계 솔루션 개발
	타당성 평가 시스템 구현을 위한 원단위 계량, 타당성 평기 모듈 구현	모듈화 평가 플랫폼 구현 모듈화 건설 원단위 계량 모듈 구현 단계별 타당성 평가 모듈 구현
3차년도	WBS/CBS 유닛별 대안기술 분석	WBS/CBS 체계의 유닛별 대안 기술 분석 기 수행 프로젝트를 활용한 VE 검증
	원단위 계량 기술 개발	CBS 체계의 투입품목별 단위 투입량 분석 원단위 계량 지침서 제시
	단계별 리스크 평가 기술 개발	리스크 평가 방법론 검토/정립 정량적/비정량적 리스크 평가 방법론 개발
	모듈화 VE 기술 개발	WBS/CBS 체계의 유닛별 대안 기술 분석 원단위 기준 모듈화 최적화 지침서 제시
	모듈화 VE 시스템 모듈 구현	모듈화 VE 시스템 모듈 구현 모듈화 기획 단위 솔루션 개발
	플랜트 프로젝트 참여단계 리스크 평가 모듈 구현	단계별 리스크 평가 모듈 구현 원단위 평가, 타당성/리스크 평가 솔루션 통합 개발
4차년도	원단위 계량 DB 보완, 갱신	CBS 체계 및 기초자료 DB화 원단위화 및 기초자료 DB화
	모듈화 기획, 타당성/리스크 평가 연계 최적화 기술 개발	모듈화 고유/표준 기획 모델 연계 검토 기술 개발 타당성/리스크 평가, 계량 연계 검토 기술 개발
	타당성/리스크 DB 보완, 갱신	CBS 체계 및 원 단위 기초자료 DB화 및 갱신 타당성/리스크 평가 기초자료 DB화 및 갱신
	모듈화 고유/표준 모델 개발 형상/의미기반 검색 모듈 개발	협업단위 모듈화 기획 기술 구조 설계 한국형 모듈화 기획 고유 모델 개발 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 개발
	모듈화 협업 지원 통합 시스템 연동 모듈 개발	모듈화 협업 체계 지원 시스템 연동 모듈 개발 모듈화 협업 체계 지원 시스템 통합
	플랜트 동시병행 협업 체계 지원 시스템 연동 모듈 개발	시스템 통합 및 연동 인터페이스 설계 시스템 통합 및 연동 인터페이스 모듈 개발
5차년도	시험적용/평가	실증용 프로젝트 적용 Dummy Test 및 피드백/보완 가이드라인/지침서 개발 보고서 작성

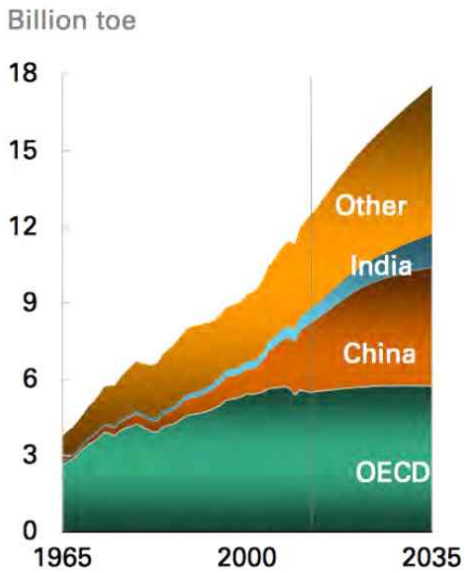
1.3 플랜트 모듈화 시장, 기술, 경쟁사 등 내외적 현황

1.3.1 플랜트 건설 시장 동향

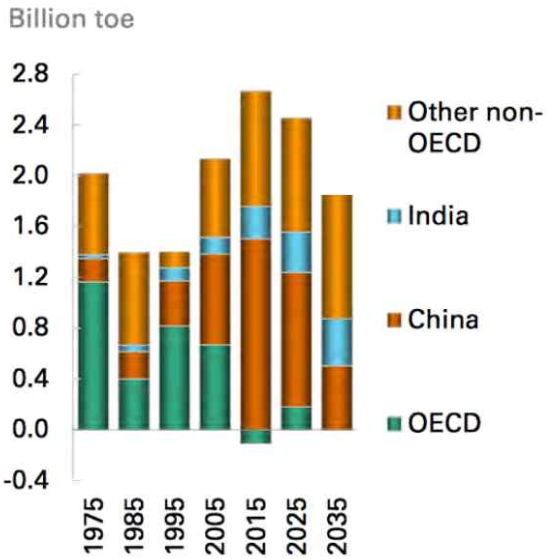
가. 세계 오일·가스 시장

- 글로벌 에너지 수요는 연평균 1.5 %로 증가하며 증가의 95 %는 Non-OECD국가에서 발생
- 2020년까지는 연평균 2 %, 2035년 까지는 1.2 %로 지속적인 증가가 예상됨
- 특히 50 %는 Emerging Economies인 중국과 인도에서 수요가 발생함

<지역별 에너지 수요>



<Ten year increments by region>



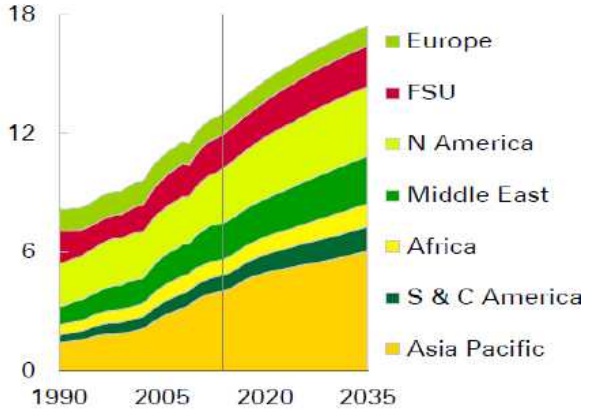
[그림 1-6] 글로벌 에너지 수요

출처 : Energy Outlook 2035, BP, 2014.

- 글로벌 에너지 생산은 수요에 맞춰 연평균 1.5 %가 증가하고 있으며 이중 80 %는 Non-OECD 국가에서 생산됨
- 세계 1차 에너지 생산은 2013~2035년 동안 연평균 1.4 % 증가하고, 특히 북미지역이 세계 에너지 생산량에서 2위를 차지할 것으로 전망
- 유럽을 제외한 전체 지역에서 에너지 생산이 증가할 것이며, 중남미지역에서 가장 빠른 증가(연평균 2.1 %)가 전망됨
- 기술개발과 생산성 증대에 따른 신에너지원(재생에너지, 셰일가스, 타이트오일, 오일샌드, 바

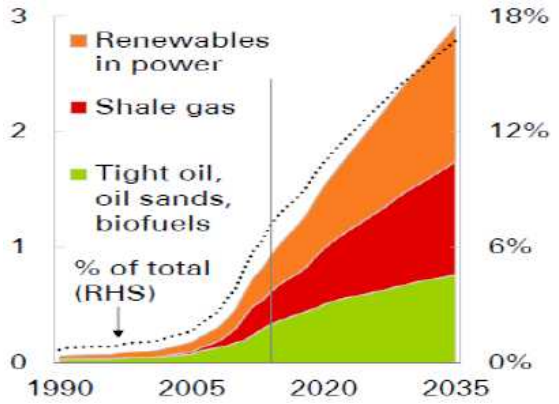
이오연료 등) 생산 증가가 에너지 공급 증가에 가장 크게 기여할 것이며 오일샌드, 셰일가스 등의 새로운 형태의 에너지 생산이 연간 6.2 %로 증가함

<전 세계 지역별 1차 에너지 생산>



<신에너지원 생산증가 전망>

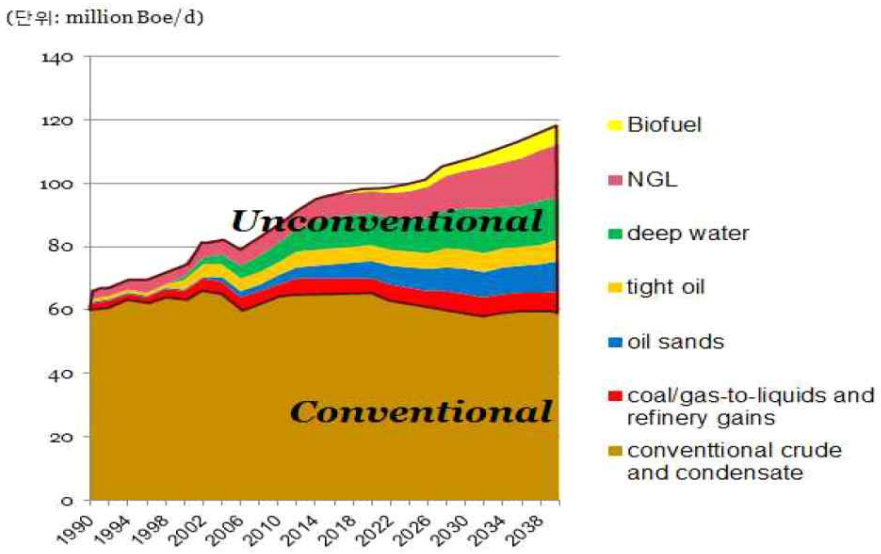
(단위: 10억toe)



[그림 1-7] 글로벌 에너지 공급전망

* RHS는 Right Hand Side 의미
** 신에너지원은 재생에너지, 셰일가스, 타이트오일, 오일샌드, 바이오연료 등을 의미
출처 : Energy Outlook 2035, BP, 2015.02.

- 고유가 시대 기술혁신으로 북미지역에서 비전통자원 개발이 가속화되었고, 이는 미국의 석유·가스 생산 증가와 세계 에너지 수급 안정에 크게 기여했고 장기적으로 Conventional Oil 시장은 축소될 것으로 예상되고 Unconventional Oil 시장은 성장세를 이어갈 것으로 전망됨



[그림 1-8] Unconventional Oil 전망
출처 : DEBORAH GORDON paper May 03, 2012

나. 세계 석유 매장량 현황

- BP 보고서에서 '석유 확정 매장량(oil proved reserves)'이 발표되는 국가는 총 49개국에 불과하며, 우리나라는 동해가스전에서 천연가스와 더불어 초경질원유인 콘덴세이트가 생산되고 있지만 극소량에 불과해 석유 생산국으로 명시되어 있지 않음
- 여기서 말하는 매장량은 확인 매장량(proved reserves)이기 때문에 상업성이 확보된 확실하게 확인된 원유를 말함

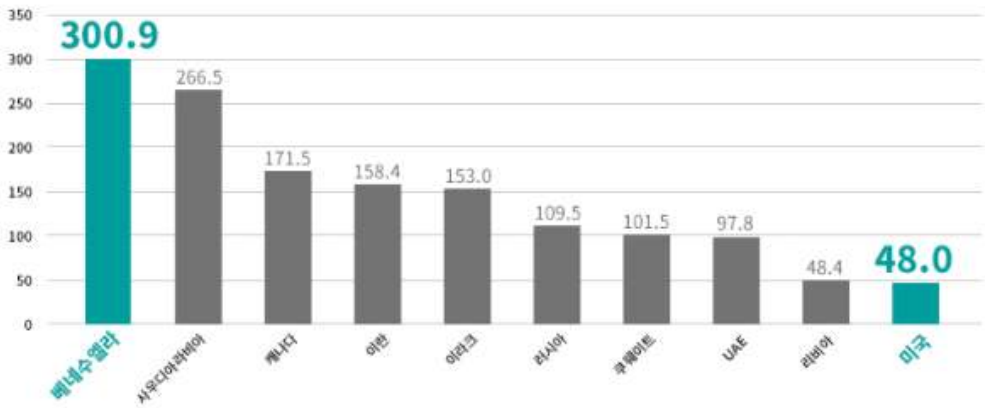
<표 1-1> 2011-2014년 전세계 원유 매장량

(단위 : 십억 배럴)

대륙	2011	2012	2013	2014
중동	752.917	799.607	802.157	803.604
중남미	237.112	238.817	325.930	328.257
북미	210.815	212.934	216.772	219.793
아프리카	123.609	124.209	127.739	126.729
유라시아	98.886	98.886	118.886	118.886
아시아/오세니아	40.251	42.031	45.356	46.011
유럽	12.084	11.878	12.019	12.281
전세계	1475.675	1528.363	1648.858	1655.561

출처 : US Energy Information Administration

- 우리나라와 대조적으로 세계 최고의 석유 매장량을 보유한 국가는 베네수엘라이며, 지난해(2016년) 말 기준으로 확인된 베네수엘라의 석유 매장량은 3,009억 배럴로 전 세계 매장량의 17 % 수준에 달함



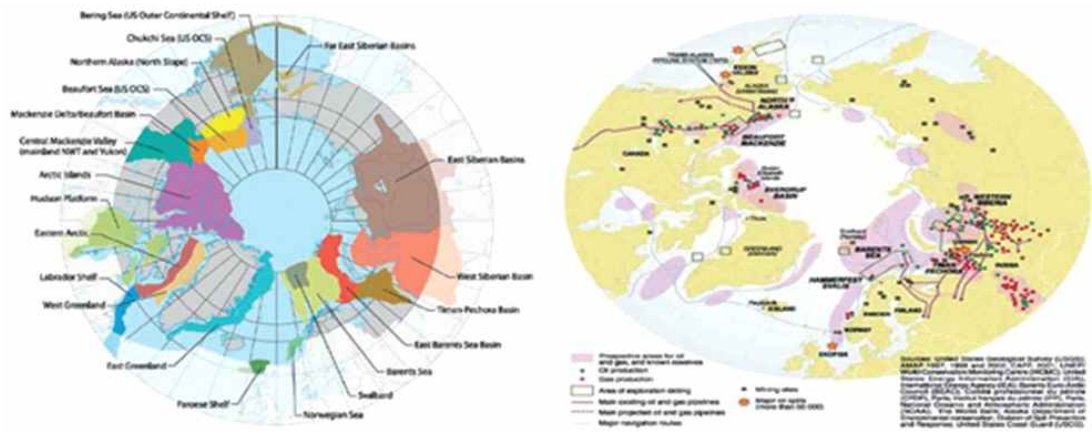
[그림 1-9] 2016년 세계 국가별 석유 매장량(단위 : 십억 배럴)

출처 : BP 에너지 통계 2017

1.3.2 해외 플랜트 시장 현황

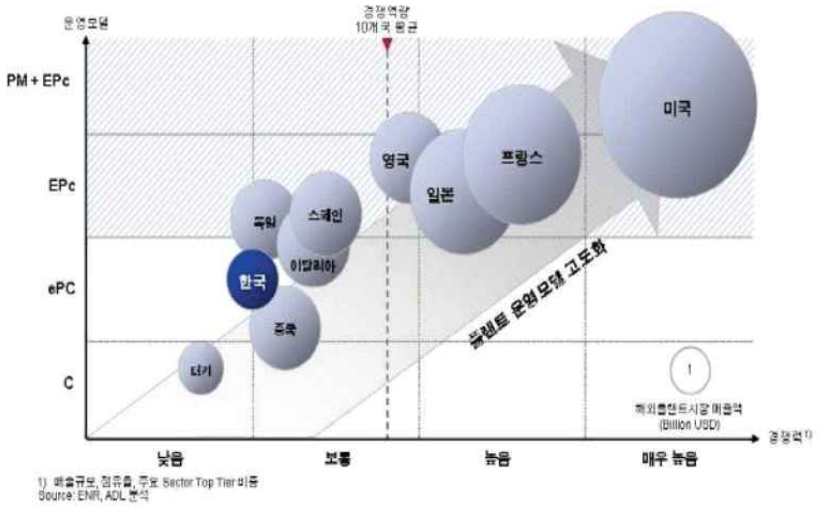
가. 플랜트 건설 시장

- 글로벌 플랜트 시장의 규모는 2000년대 들어 지속적으로 성장하고 있으며 2009년 이후 형성된 고유가로 2011년 성장세가 뚜렷했으나, 2014년부터 저유가로 인하여 성장세가 주춤하고 있음
- 지속적인 가채 에너지·자원의 감소로 플랜트 건설 지역은 해양, 연안, 오지, 동토 및 극한지(extreme area) 등으로 다변화되고 있으며, 개발 여건이 열악한 지역에서의 플랜트 건설 수요가 증가하고 있음
- 특히 미국 지질조사국의 2012년 보고에 따르면 전 세계 석유자원의 경우, 전 세계 미발견 석유자원의 43 %(66 BBO, billion barrels of oil)와 가스자원의 58 %(1,623 TCFG, trillion cubic feet of gas)가 영구동토를 포함한 극한지에 매장되어 있는 것으로 평가되고 있어, 에너지 자원 플랜트의 수요 증가가 예상되고 있음



[그림 1-10] 북극지역 석유·가스 매장지역(좌)과 개발 분포(우)현황
출처 : USGS, www.usgs.gov

- 플랜트 사업 분야는 대규모 기반 구조물 설계·설비와 융복합 건설수요가 증가하고, 극한조건에서 시설운용 등 요구되는 기술적 난이도가 높아짐에 따라 첨단기술과 고도의 건설기술 융합이 요구됨
- 초고압, 초저온, 대심도, 고진공, 나노 및 마이크로 등의 첨단기술 접목이 필수적임



[그림 1-11] 세계 플랜트 주요시장 주요 국가별 점유 포지션

출처 : 지식경제부

- 글로벌 플랜트 시장은 2013년 1조 달러를 돌파하여, 2025년 2조 8,530억 달러의 시장 규모를 형성할 것으로 전망됨
- IHS 보고서에 따르면 2015년 세계 플랜트 시장 규모는 1조 1830억 달러로 저유가로 인하여 단기적으로는 2018년까지 연평균 4 %의 성장세가 가능한 것으로 전망됨



[그림 1-12] 글로벌 플랜트 시장

출처 : IHS, Visiongain, BP, 2014.

- 해외건설협회의 보고에 따르면 해외 플랜트 수주 규모는 2006년 기준 100억 달러를 달성하고 2009년 이후 350억 달러를 상회하는 실적을 유지하여 전체 해외건설 수주액의 60.8 % 수준임
- 해외 플랜트 수주의 대다수가 플랜트 분야에서 상대적으로 리스크가 큰 시공 중심으로 구성되어 있어 포트폴리오 다변화 전략이 필요

- 해외 플랜트 수주 추이는 2006년 이후 지속적으로 큰 상승 폭을 유지하였으나, 석유가격의 안정화 추세에 따른 발주량 감소, 수익률을 고려한 선별적인 공사 참여, 일부지역에서 경쟁 심화 등의 요인으로 2010년을 정점으로 점차 둔화 추세임

<표 1-2> 해외건설 수주액 추이

(단위 : 억 달러)

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
해외건설 수주실적	165	398	476	491	716	591	649	652
플랜트부문 수주실적	109	253	269	354	573	433	395	396
비중(%)	66.1	63.6	56.5	72.1	80.0	73.3	60.9	60.7

출처 : 해외건설협회, 2014

- 해양플랜트는 95 % 이상 시공블록모듈 방식으로 설계, 시공되는 것을 감안한 전문가 설문에 따르면 해양 플랜트를 포함한 전체 플랜트 시장에서 모듈화 플랜트가 차지하는 비율은 2011년 기준 약 25 % 내외로 추정됨
- (플랜트 산업 수익성 급락과 수주 정체) 낮은 핵심시스템 국산화는 플랜트 산업의 외화 가득률, 수익성 저하와 조달 리스크를 우려한 해외 수주 증가 둔화의 악순환 초래
- 2013~2014년 EPC 대표 8개社의 총 영업이익률은 2년 연속 마이너스 기록
- 2014년 해외 플랜트 수주액은 595억불로 2010년 이후 4년 만에 600억불 이하로 감소
- 플랜트 수주 60 %를 차지하는 핵심 시스템·기자재의 낮은 국산 조달률은 최근의 수익성 악화 현상에 부정적 영향 확대(낮은 국내조달 및 공기 지연, 적정가격 수주 실패)
- 해외 플랜트 수주의 대다수가 플랜트 분야에서 상대적으로 리스크가 큰 시공 중심으로 구성되어 있어 포트폴리오 다변화 전략이 필요
- 해외 플랜트 수주 추이는 2006년 이후 지속적으로 큰 상승 폭을 유지하였으나, 석유가격의 안정화 추세에 따른 발주량 감소, 수익률을 고려한 선별적인 공사 참여, 일부지역에서 경쟁 심화 등의 요인으로 2010년을 정점으로 점차 둔화 추세임
- 중동 및 아시아 지역의 수주비중이 87 % 이상으로 지역 다변화 필요성이 제기되고 있음

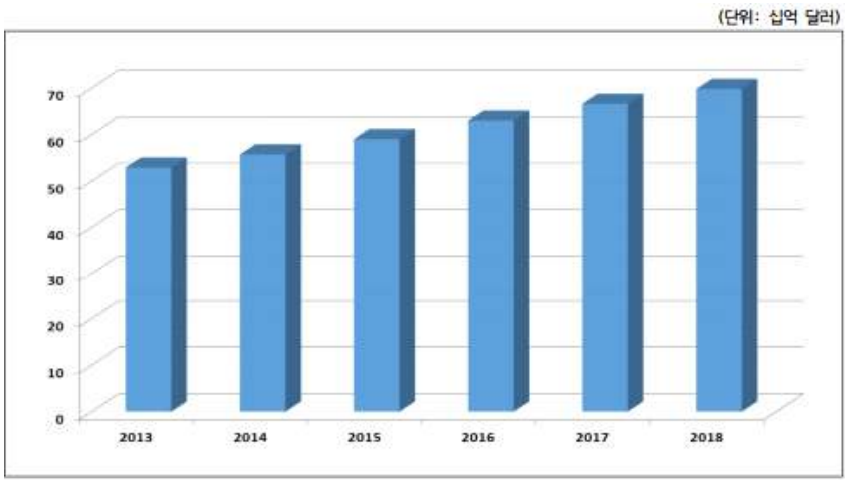
<표 1-3> 해외 플랜트 건설 지역별 수주 비중

구분	중동	아시아	중남미	기타
수주비중(%)	58	29	4	9

출처 : 해외건설협회, 2014

나. 동남아시아 플랜트 시장

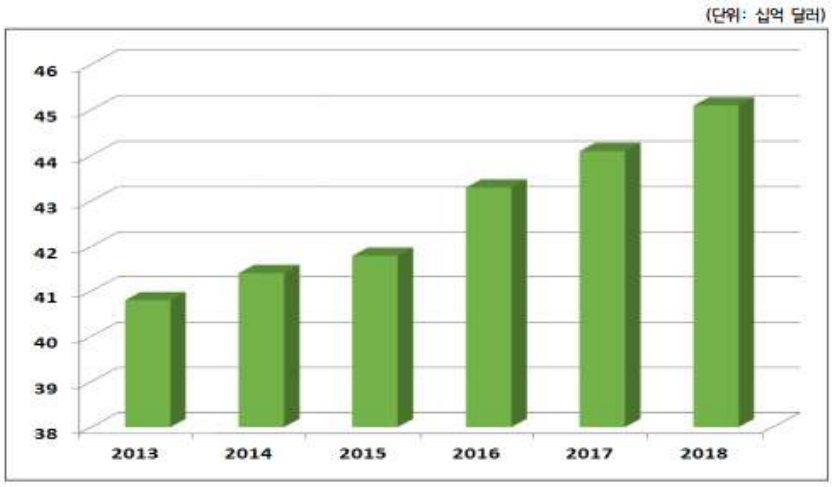
- 2014년 동남아시아 비주택용 건설시장은 1,390억 달러 규모이며, 이 중 플랜트 분야가 40 %를 차지
- 동남아시아 플랜트시장 규모는 2014년 기준 560억 달러이며, 2015년 590억 달러 시장으로 확대될 전망
- 인도네시아가 동남아시아 플랜트시장의 71 %를 차지하고 있으며, 그 뒤를 말레이시아가 83억 달러, 태국 38억 달러 순



[그림 1-13] 동남아시아 플랜트시장 현황 및 전망
자료: Global Construction Outlook

다. 중남미 플랜트 시장

- 2015년 중남미 플랜트시장 규모는 420억 달러로 전년 수준을 유지할 전망
- 2014년 기준 브라질 160억 달러, 멕시코 130억 달러로 중남미 플랜트시장의 약 70 %를 차지
- 2014년 기준 베네수엘라 23억 달러, 아르헨티나 27억 달러, 칠레 14억 달러, 에콰도르 11억 달러 등 브라질과 멕시코를 제외한 중남미 지역 국가들의 플랜트시장 규모는 30억 달러 미만
- 중남미 플랜트시장은 2018년까지 1 % 미만의 성장률을 기록할 것으로 예상되며, 2018년 플랜트시장 규모는 450억 달러로 전망



[그림 1-14] 중남미 플랜트시장 현황 및 전망
출처 : IHS

라. 북미 플랜트 시장

- 2014년 북미 플랜트시장 규모는 1,270억 달러 규모이며, 산업 생산 증가에 따른 증가세가 예상되나 그 규모는 소폭에 그칠 전망
- 2014년 기준 미국 플랜트시장 규모는 1,010억 달러이며, 캐나다 시장은 279억 달러 규모
- 북미 플랜트 시장은 정체를 보이다가 셰일가스 등 자원개발이 활성화되면서 수요가 증가하고 있는 상황
- 미국은 셰일가스 기반의 석유화학 및 LNG 관련 투자가 늘어날 전망이며, 2018년 1,200억 달러 규모로 성장할 전망
- 캐나다 플랜트시장은 선진국 플랜트시장과 마찬가지로 성숙된 시장으로 연 수요 증가율은 2% 미만에 그칠 전망

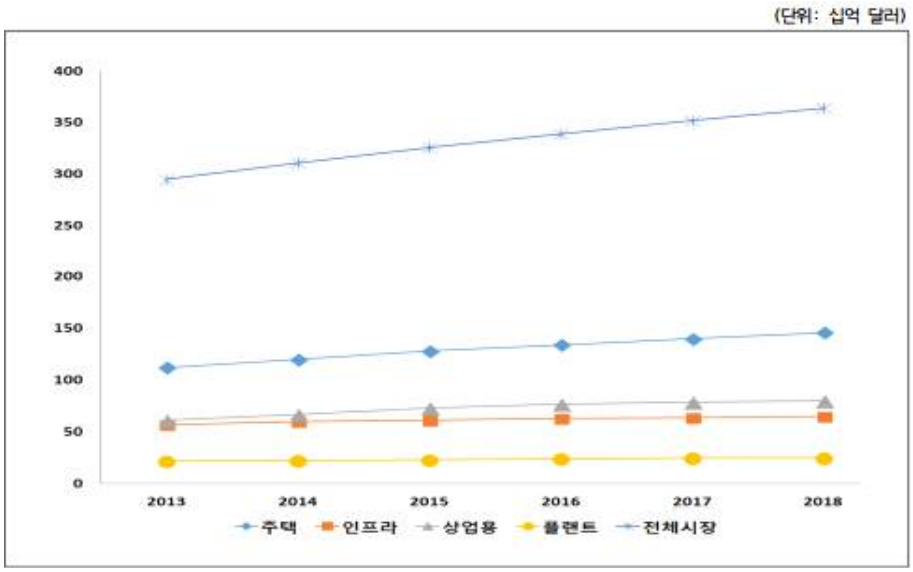


[그림 1-15] 북미 플랜트시장 현황 및 전망

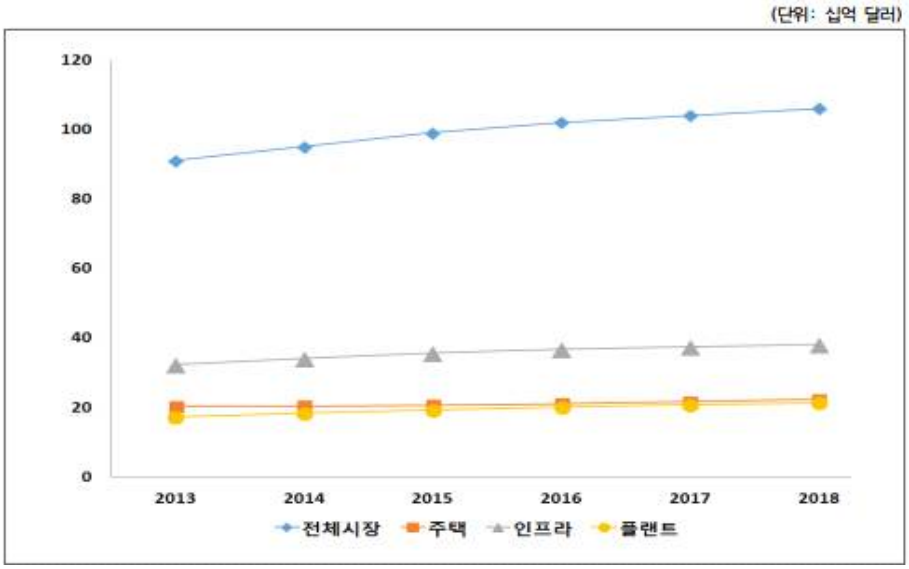
출처 : IHS

라. 유럽 플랜트 시장

- 유럽 건설시장 중 성장세가 빠를 것으로 예상되는 국가는 영국과 폴란드로 2014년 영국 경제 성장률은 2.6 %로 2007년 이후 최고치를 기록했으며, 2015년 경제 성장률은 2.9 %에 달할 전망
- 경제성장을 위해 정부의 저금리와 양적완화 정책이 민간 부분의 투자 활성화로 이어져 고용과 주택시장에 훈풍이 불고 있음
- 2014년 영국 건설시장 규모는 3,100억 달러로 추정되며, 2015년 시장규모는 전년 대비 5 % 증가한 3,250억 달러에 달할 전망
- 2014년 영국 건설시장은 주택분야 1,200억 달러, 인프라 600억 달러, 상업용 건물 670억 달러, 플랜트 220억 달러로 구성
- 영국 주택시장은 경기호조세에 힘입어 2018년까지 연 5 % 성장할 것으로 예상되어, 영국 건설 분야 중 가장 빠르게 성장할 전망
- 2014년 기준 폴란드 건설시장 규모는 950억 달러이며, 2018년까지 연 3 %씩 성장할 전망
- 폴란드는 유럽의 생산기지로 떠오르고 있으며 이와 관련된 투자들이 늘어나고 있음
- 인프라 및 플랜트 관련 투자가 늘어나고 있으며, 2014년 기준 폴란드 인프라(340억 달러) 및 플랜트(180억 달러)로 두 시장이 전체 건설시장 비중에서 55 %를 차지



[그림 1-16] 영국 시장 현황 및 전망



[그림 1-17] 폴란드 시장 현황 및 전망

자료: Global Construction Outlook

- 전통적으로 미국과 일본, 서유럽 등 기술선도국의 기업들이 중심이 되어 시장을 주도하고 발전되어온 플랜트 산업은 한국, 인도, 중국 등의 후발기업들의 등장으로 다양화되었고, 이에 대응하여 선진기업들은 고부가가치 분야 기술의 수성을 강화하고 있음
- 러시아를 포함한 노르웨이, 덴마크, 핀란드, 스웨덴 등 유럽 국가들도 지정학적 위치와 해양플랜트 부문에 대한 기술력을 바탕으로 북극 등 극지 자원개발과 시장참여에 적극적으로 나서고 있음
- 최근까지 선진기업들의 기술 선도 정책은 세계 시장에서 효과적이었으나, 몇 년 전부터 중국이나 인도 등 내수시장의 규모가 큰 경제 대국이 등장하여 자국 내 플랜트 발주에 선진기업의 기술이전을 요구하고 이를 바탕으로 세계 시장에 진출하고 있어서 시장 판도가 크게 변해가고 있음

마. 해외 플랜트 엔지니어링 시장

- 2000년에서 2005년까지 ENR에 나타난 세계 200대 플랜트 엔지니어링 기업의 매출을 통한 점유율은 석유/석유화학 (55 %), 산업용 플랜트 (17 %), 전력 (16 %), 유해 폐기물 (7 %), 제조 (5 %) 등의 순으로 나타남
- 전체 플랜트 시장에서 플랜트 엔지니어링 시장이 차지하는 비중은 플랜트 산업별, 엔지니어링 수행 단계별로 상이하여 일반적으로 프로젝트 단위의 플랜트 투자비 대비 엔지니어링 비용을 기준으로 추산함
- 일반적으로 전체 투자비 대비 엔지니어링이 차지하는 비중은 10 %로 추산가능하나, 최대 20

% 정도까지 산정되며 특히 프로젝트의 신규성이 높을수록 FEED 및 기본설계 등의 엔지니어링 비중이 증가함

<표 1-4> 플랜트 설비 투자비 구성 비율 실례

구분	미국	일본	한국
Engineering	10	7.7	14
Equipment Cost	29	52.7	31.4
배관 및 Bulk 자재비	27		15.6
Construction Supervision	2.8	2.7	33
시공 직접 인건비	25.5	26.2	
시공 간접비	5.7	10.7	6
합계	100	100	100

출처 : 미국 C사 plant cost index/일본 산업기계공업협회 cost index/한국 S사 내부자료

- 세계 시장은 세계경기, 유가 등에 민감하여 최근의 저성장 지속, 저유가 등의 영향으로 성장세 둔화(15년 전년대비 △5.6 % 감소)
- 세계경기 : SOC투자 등에 영향, * 국제유가 : 산유국·오일메이저 등의 플랜트 발주에 영향

<표 1-5> 세계 플랜트 엔지니어링 시장 규모

구분	'06	'09	'10	'12	'13	'14	'15	연평균증가율
세계시장(억불)	819	1,119	1,172	1,422	1,439	1,444	1,362	5.8 %

자료 : 2016년 美ENR The Top 225紙 (설문조사를 통해 시장규모 추정)

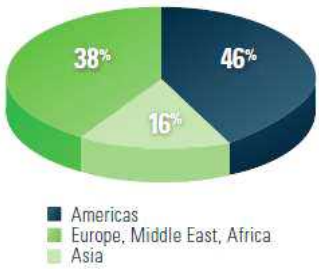
- 세계시장은 선진국 기술력에 기반하여 엔지니어링(Engineering), 신흥국은 인건비 우위를 바탕으로 시공(Construction)에 주력
- 엔지니어링 점유율 : 미국 31.5 %, 캐 12.6 %, 네 9.9 %, 호 9.0 %, 영국 7.4 %, 한국 2.4 %
- 시공 점유율 : 중국 19.3 %, 스페인 12.3 %, 미국 9.7 %, 한국 8.3 %
- 선진국은 공정 라이센스 등을 독점하면서 기본설계(FEED: Front End Engineering Design)는 물론, 프로젝트관리(PM: Project Management), 유지·보수(O&M: Operation&Maintenance) 등도 선점
- LNG 액화 공정 : KBR(美)·Bechtel(美) 등 독점 → 후발업체 진입 제약
- 특히 최근 M&A를 통해 신시장 진출, 사업 확대 등 시장지배 강화
- (美) AECOM : 美 URS를 합병후 빌딩, 운송 설계 분야에 석유화학 업역확대 10년간 매출액 4배 증가('05년 578백만불 → '15년 2,712백만불)
- (호) Worley Parsons : 노르웨이 Resenberg 등 합병 후 해양플랜트 역량확보, 10년간 매출액 6배 증가('05년 529백만불 → '15년 3,455백만불)

바. 해외 플랜트 소프트웨어 시장

- Daratech의 시장점유율 보고서에 따르면, 플랜트 엔지니어링 S/W에 대한 시장규모가 2010년 기준으로 약 22.6억 달러임(출처: Bentley 2010 Annual Report)
- 시장규모의 추이를 살펴보면, 플랜트 시장의 성장과 함께 플랜트 엔지니어링 S/W에 대한 시장도 함께 성장하였음
- 2020년까지 플랜트 시장이 연 6 % 성장할 것으로 예측되므로, 이에 따른 엔지니어링 S/W 시장도 성장할 것으로 예상됨
- 플랜트 엔지니어링 S/W에 대한 지역별 매출을 보면, 벤더 마다 약간의 차이는 있지만, 북미지역이 전체매출의 약 46 %, 유럽 및 중동 지역이 약 36~38 %, 아시아 지역이 약 16~18 %를 차지하고 있음
- 세계 건설 및 건설IT융합 시장을 각각의 성장률(4.5 %, 4.77 %)을 바탕으로 예측하면 2020년 12.7조, 0.41조 달러로 예상되며, 또한 자체 회귀방법으로 2020년까지 세계 건설IT융합시장을 예측하면 시장 규모는 0.45조 달러로 예상됨



[그림 1-18] 플랜트 자동화 및 관리 S/W 부문 시장 점유율



[그림 1-19] 플랜트 자동화 및 관리 S/W 부문 지역별 매출

출처 : Bentley 2010 Annual Report

- 2011년 기준 세계 플랜트 PLM 시장은 전년대비 15.2 % 성장한 300억불 정도로 추산되며, 이후 연 4 %로 성장할 경우 2020년까지 약 420억불 규모의 시장으로 성장할 것으로 예측됨 (출처: CIMdata, American PLM Market & Industry Forum)

1.3.3 해외 플랜트 모듈화 시장 현황

가. 해외 플랜트 모듈화 시장

- 세계시장에서 모듈화 플랜트 기술은 극한지나 오지에서 현장 시공 생산성을 높이거나, 기타 지역에서 시장선점을 위한 공기절감을 목적으로 육상 플랜트에서의 급격한 양적성장이 기대되고 있음
- 세계시장에서 오일·가스 플랜트 설계기술은 극한지나 오지에서 현장 시공 생산성을 높이거나, 기타 지역에서 시장선점을 위한 공기절감을 목적으로 육상 플랜트에서의 급격한 양적성장이 기대됨
- 육상 플랜트의 경우 플랜트 전체를 모듈화 할 필요는 없으며 프로젝트 기간과 비용을 고려하여 최적의 모듈화 수준을 결정하는 것이 중요함
- 최근에는 선진 엔지니어링 업체들이 발주한 플랜트 프로젝트 대부분이 부분 또는 전체 시공 블록 모듈 중심의 모듈화 설계를 적용하는 추세임

<표 1-6> 국외 정책동향

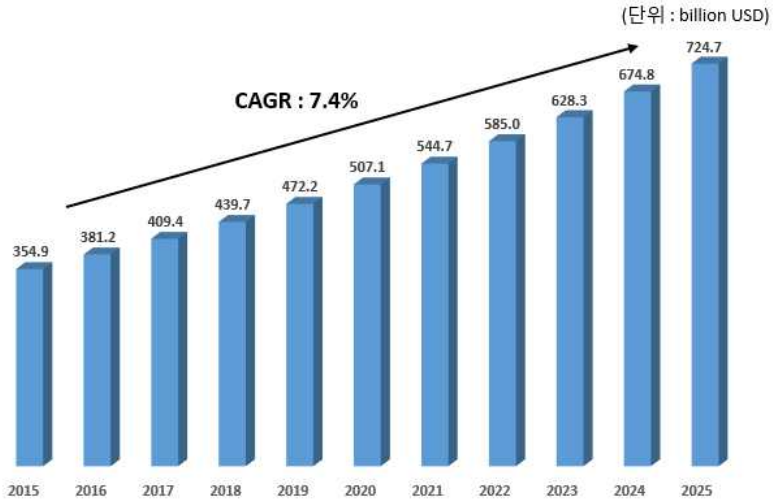
해당국가	정책 동향
미국	CII (Construction Industry Institute) 및 FIATECH 의 FIAPP (Fully Integrated & Automated Project Process) 개념: 프로젝트/플랜트 생애주기의 모든 단계, 모든 프로세스에 걸쳐 고도로 자동화되고 투명하게 통합된 환경을 구축하여 건설산업 전반의 공정의 효율적 관리를 수행하도록 함 FIATECH 컨소시엄: 플랜트 정보 모델을 위한 ISO 10303-221, -227, -231 등의 표준 개발 및 적용 프로그램 진행
유럽	EU FP5 'Modular Plant Architecture (MPA)' project (2001년 ~ 2003년) 제조업의 생산 조립 플랜트를 대상으로 모듈러 플랜트 아키텍처라는 방법론 및 소프트웨어 툴을 개발 POSC Caesar, USPI 컨소시엄: 플랜트 정보 모델을 위한 ISO 15926표준 개발 및 적용 프로그램 진행 EPISTLE(European Process Industries STEP Technical Liaison Executive) 및 POSC/Caesar 등의 플랜트 관련 유럽 컨소시엄: 플랜트 정보에 대한 표준화 및 이를 활용한 플랜트 정보통합 시스템을 구축하여 업무 프로세스의 단순화와 자동화, 사업주/설계자/시공자 및 공급자 간의 협업 실현을 위해 노력
일본	PlantCALC, PlantEC, VIPNET 프로젝트: 플랜트 장비 및 유닛 데이터에 대한 표준화 및 공유 방법 개발 노력 JGC 엔지니어링사: LNG 플랜트 설계 및 건설에 모듈 개념을 도입하고 있으며 Toshiba 에서는 원자력 발전소 건설에 모듈 설계 기법을 적용하여 체계화하고 있음

출처 : PLM(Plant Lifecycle Management)기반 모듈화 설계 기술 기획

- 최근 모듈화 플랜트의 증가 추세 반영 및 전문가 설문 결과 등을 종합적으로 분석할 때 2020

년까지 세계 모듈화 플랜트 시장의 규모는 2010년 대비 10 % 성장한 전체 플랜트 시장 규모의 약 35 % 정도로 추산됨

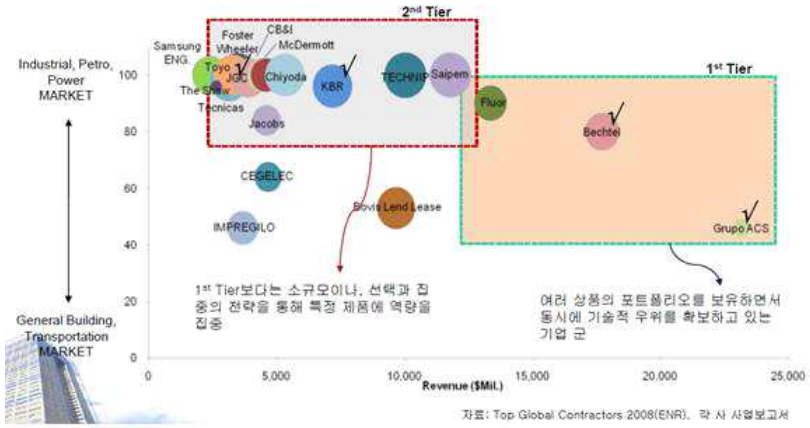
- 육상 플랜트의 경우 전 세계 플랜트 모듈화 실적이 미비하나 전체 플랜트 시장의 23 %의 비중을 차지하는 해양 플랜트의 경우 95 %이상 시공 블록 모듈 중심의 모듈러 방식으로 설계/시공하는 것을 감안할 때 모듈화 플랜트 시장은 2010년 기준 약 25 %내외로 추정됨
- 국토교통부에서 수행된 과제의 설문을 통한 전문가 의견수렴 결과 설문대상자의 과반수이상이 30~40 % 이내로 추정함
- 플랜트 모듈화 건설 비율 추정에 기초한 세계 플랜트 모듈화 시장의 규모는 2015년 약 3,549억 달러, 2018년 4,391억 달러 수준으로 전망됨



[그림 1-20] 글로벌 모듈화 플랜트 시장

출처 : IHS, Visiongain, BP, 2014.

- 세계시장에서 모듈러 플랜트 기술은 극한지나 오지에서 현장 시공 생산성을 높이거나, 기타 지역에서 시장선점을 위한 공기절감을 목적으로 육상 플랜트에서의 급격한 양적 성장이 기대됨
- 모듈러 플랜트 세계 시장은 상위 10개국이 전 세계 플랜트 시장의 90 %를 차지하고 있을 정도로 소수 선진국의 지배력이 강한 독과점시장임
- 미국, 중국, 프랑스, 일본, 스페인의 선진 5개국이 세계 플랜트 산업의 81 %(2010년 기준)을 점유하고 있음



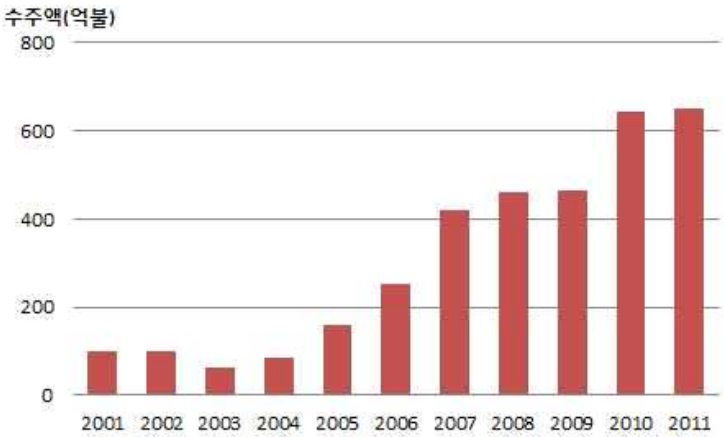
[그림 1-21] 선진업체 시장지배 특징

출처 : Top Global Contractors 2008(ENR)

1.3.4 국내 시장 현황

가. 국내 플랜트 건설 시장

- 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 오일머니 등 외화를 벌어들여 외화유동성 확보에 크게 기여함
- 해외플랜트 수주증가 배경은 산유국들의 산업인프라 투자확대와 에너지/자원 확보 및 유전개발 경쟁에 따른 심해시추선 등 해양플랜트와 오일/가스 프로젝트 발주 증가 등에 기인함
- 2007년의 경우 수주 실적은 422억불로, 기존 수출 주력 산업인 반도체, 자동차, 조선 산업보다 국내 산업에서 차지하는 비중이 커짐



[그림 1-22] 국내 업체 연도별 플랜트 수주 실적

출처 : 지식경제부, 보도자료

- 국내 기업은 다수의 건설 실적을 보유하여 비교적 인지도가 높은 발전, 석유화학, 가스처리시설 등 분야에서 수주 호조 상태이며, 2013년 공종별 수주는 발전 분야 32.8 %, 정유 분야 20.2 %, 가스처리 분야 13.9 %, 화공 분야 11.9% 순임
- 2008년 기준 분야별로는 자원개발용 해저시추선(Drill Ship) 등 해양플랜트 수주가 급증하여 161억 달러 (전년 대비 18 % 증가)을 기록한 반면 석유화학, 발전 및 담수설비는 전년도 발주 확대에 따른 물량 감소와 발주지연 등으로 전년대비 각각 36 %, 21 %의 감소
- 2008년 지역별로는 중동지역이 상반기까지 고유가에 따른 오일머니를 활용한 오일/가스, 석유화학, 정유시설 등 산업인프라 투자확대로 200억불을 수주하며 전년대비 63 % 증가하였고, 미주지역이 자원개발 경쟁에 따른 해저시추선 등 해양 플랜트 수주가 전년 대비 221 %증가한

123억불을 기록함

<표 1-7> 해외 플랜트건설 공사 종류별 수주현황

(단위 : 백만 달러)

	2010년		2011년		2012년		2013년		수주비중 (2013년)
	건수	금액	건수	금액	건수	금액	건수	금액	
소계	105	57,285	111	43,319	92	39,549	97	39,650	
발전소	22	32,874	33	17,801	27	17,374	28	13,008	32.8
정유공장	3	2,529	1	2,089	3	2,176	6	6,063	15.3
가스처리 시설	4	3,834	9	4,745	3	772	5	5,512	13.9
화학공정	10	2,660	17	5,682	12	7,560	9	4,709	11.9
정유시설	3	345	7	1,591	3	3,928	4	1,907	4.8
기타	63	15,041	44	11,410	44	7,739	45	8,446	21.3

출처 : 해외건설협회, 2014

- 한국이나 개발도상국의 기업들도 선진 업체를 인수·합병(M&A)하거나 경쟁력 있는 컨소시엄을 구성하고 고부가가치 분야의 시장 확보에 나서고 있어서 기술선도국 기업들의 시장 점유율은 다소 하락하는 추세임

<표 1-8> 국가별 해외시장 점유율

(단위 : %)

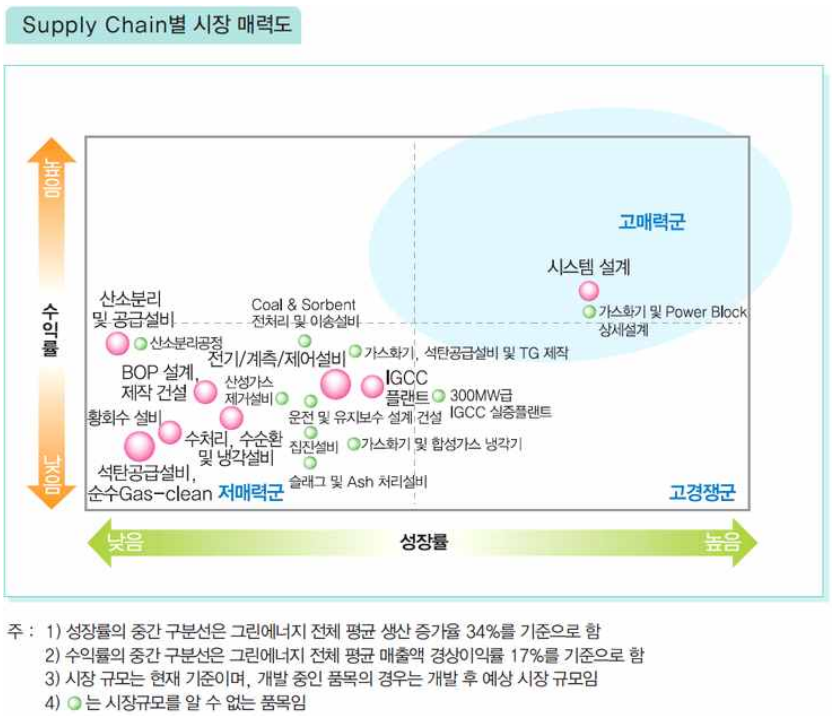
순위	2009		2010		2011		2012	
	국가(업체수)	점유율	국가(업체수)	점유율	국가(업체수)	점유율	국가(업체수)	점유율
1	중국(54)	13.2	중국(51)	14.9	중국(52)	13.8	스페인(12)	14.3
2	미국(20)	13.0	미국(22)	11.7	스페인(12)	13.3	미국(33)	14.0
3	프랑스(5)	11.1	프랑스(5)	10.4	미국(26)	12.8	중국(55)	13.1
4	독일(4)	9.2	스페인(13)	9.3	독일(4)	9.0	독일(4)	8.5
5	이태리(22)	7.4	독일(4)	9.2	프랑스(4)	9.0	프랑스(4)	8.5
6	스페인(11)	7.4	이탈리아(23)	8.5	이탈리아(19)	7.4	한국(15)	8.1
7	일본(13)	4.6	한국(11)	4.8	한국(12)	5.7	이탈리아(17)	6.1
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
12	한국(12)	4.3	일본(13)	4.1	일본(13)	4.1	호주(4)	2.0

* ()는 ENR 기준 250 업체수/매출보고 기업수 225→250개로 증가(과거, 1991년까지도 250대 기업으로 분석)

출처 : ENR(Engineering news-record), 국토교통부

나. 국내 플랜트 엔지니어링 시장

- 국내 기업의 EPC 플랜트 수주는 산업별로 차이가 있으나 대부분 상세설계 및 시공에 편중되어있으며, 선진국대비 원천기술(50%), 기본설계(60%), 시공관리(95%)등 고부가가치영역인 원천기술, 기본설계 부분은 매우 취약
- FEED 및 기본설계 부문은 공정 라이선스를 확보하고 있는 선진 엔지니어링 기업들의 경쟁력이 높고, 주요 공정 장비 및 기자재도 라이센스에 결부되어 국내 기업의 시장점유 확보가 제한적임
- IGCC산업 분야 전략 품목 300MW급 시장 매력도를 성장률과 수익률로 표시하였으며. 성장 및 수익이 높은 고 매력 군에는 시스템설계, 가스화기 및 power block 상세설계가 있음
- 가치사슬 분석은 국내 그린에너지 분야 기업들의 활동현황 분석결과이므로 상대적인 경향을 판단하는 참고자료로서 의미가 있음



주 : 1) 성장률의 중간 구분선은 그린에너지 전체 평균 생산 증가율 34%를 기준으로 함
2) 수익률의 중간 구분선은 그린에너지 전체 평균 매출액 경상이익률 17%를 기준으로 함
3) 시장 규모는 현재 기준이며, 개발 중인 품목의 경우는 개발 후 예상 시장 규모임
4) ○는 시장규모를 알 수 없는 품목임

[그림 1-23] IGCC 실증 플랜트 Supply chain 별 시장 매력도 성장률과 수익률

출처 : 그린에너지 전략 로드맵 2011 (http://blog.naver.com/soclsrnwlsl/220583839334)

- 국내 시장은 공공 SOC 투자 감소 등의 영향으로 정체 상태이고, 엔지니어링 기업 규모도 영세한 상황
- 국내실적(조원) : ('11) 6.8 → ('12) 6.8 → ('13) 5.4 → ('14) 5.9 → ('15) 5.7
- 중기재정계획(기재부) : '16년부터 SOC예산을 매년 6.8%씩 감소

- (국내 기업의 해외 수주현황)세계 200대 기업 중 우리나라 업체는 현대ENG를 포함한 7개사에 불과하며 해외시장 수주액은 7.9억 달러로 1.2 %에 불과
- 해외시장(653억$) 중 56%를 미국(34.9%), 영국(11%), 네덜란드(11%)등 선진국이 대부분을 차지

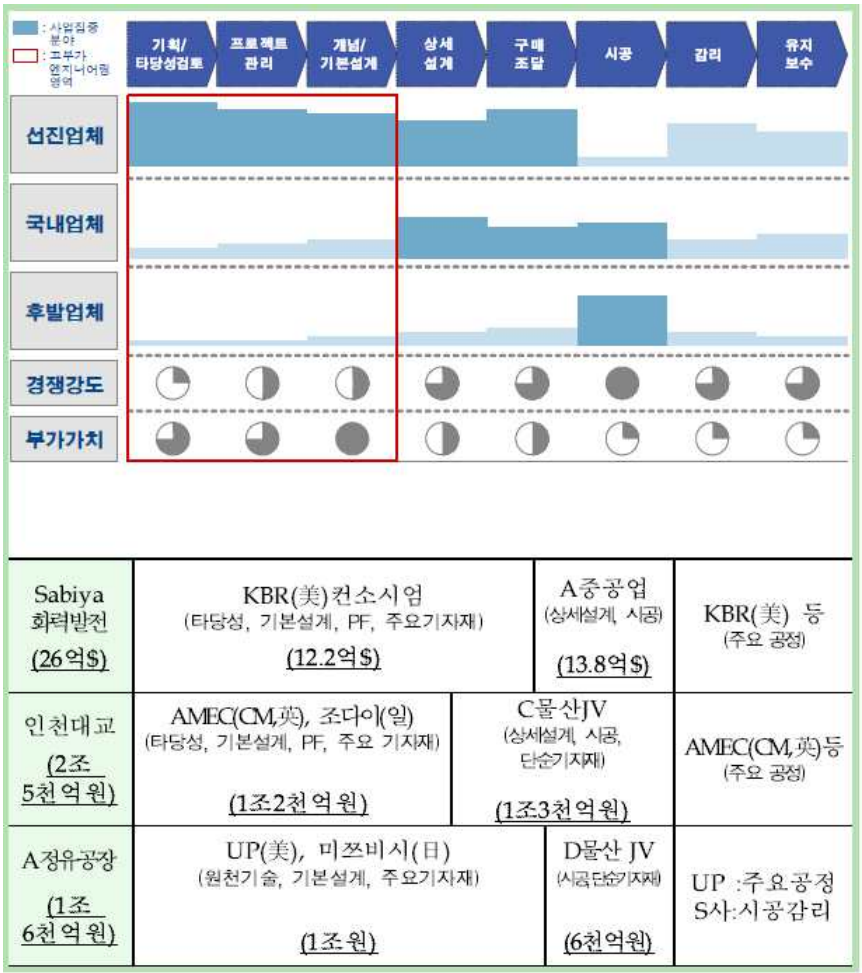
<표 1-9> 국내외 엔지니어링 기업 매출액 비교('11년 ENR 기준)

(단위 : 백만 달러)

해외기업			국내기업		
순위	업체	매출액	순위	업체	매출액
1	Fluor Corp(미국)	3,462.7	47	현대ENG	289.3
2	Fugro NV(네덜란드)	3,429.0	55	SK건설(주)	237.8
3	WorleyParsons Ltd.(호주)	3,413.8	67	한국전력기술(주)	190.8
4	AECOM Technology Corp (미국)	3,027.0	157	포스코ENG	27.3
5	Jacobs(미국)	2,434.2	189	삼우종합건축사 사무소	15.2

출처 : ENR(Engineering News Record)

- 주요 기업들이 시공에 주력하면서, 시공분야는 글로벌 톱4를 달성 했으나, 엔지니어링은 해외진출 증가에도 여전히 영세한 상황
- 한국 해외시장 점유율 : (시공) 8.3 % VS (엔지니어링) 2.4 %
- 한국 엔지니어링 해외시장 점유율 변화 : ('05) 0.7 % → ('15) 2.4 %
- 엔지니어링 기업은 5,559개社이나, 2011년 기준 중소·중견기업이 대부분(96 %)으로, 세계 100대 기업은 3개*에 불과
- 현대엔지니어링(47위), SK건설(55위), 한국전력기술(57위), 그 외 포스코엔지니어링(157위), 삼우종합건축사 사무소(189위)
- 국내 기업의 EPC 플랜트 수주는 산업별로 차이가 있으나 대부분 상세설계 및 시공에 편중됨
- FEED 및 기본설계 부문은 공정 라이선스를 확보하고 있는 선진 엔지니어링 기업들의 경쟁력이 높고, 주요 공정 장비 및 기자재도 라이선스에 결부되어 국내 기업의 시장점유 확보가 제한적임
- 설계분야에 있어 국내 기업은 토목/건축 분야의 기본설계와 기계/전기 분야의 상세설계를 주로 담당함

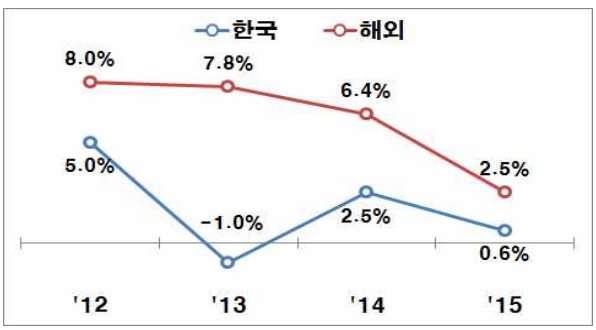


[그림 1-24] 프로젝트 수행시 국내외 기업의 주요 사업 영역 비교

출처 : 엔지니어링산업현황(참고자료)

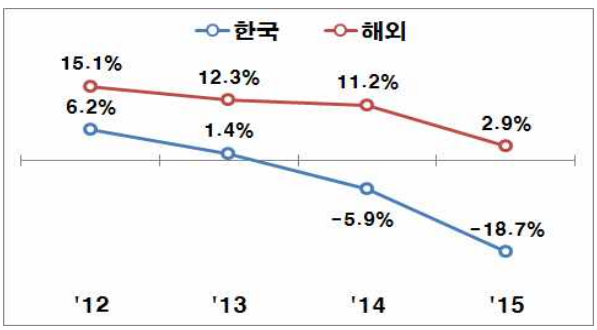
• (문제점) 프로젝트관리(PM)·기본설계(FEED) 등 고부가가치 핵심영역의 경쟁력이 취약하고 상세설계·시공분야도 수익성 악화를 보이고 있음

< 육상플랜트 영업이익율 비교 >



* 국내 플랜트 13社 , 해외15사(AECOM 등)

< 해양플랜트 영업이익률 >



* 국내3사, 해외4사:Technip, Saipem, NOVl, Aker

[그림 1-25] '12~'15 플랜트 영업 이익률

출처 : 고부가가치 일자리 창출을 위한 엔지니어링산업 경쟁력 강화방안(2016.10)

다. 국내 플랜트 소프트웨어 시장

- 국내 시장은 5.5억불 규모로 성장성은 높으나 제조기업의 활용 미흡이 가장 큰 제약요인으로 보고 있음

<표 1-10> 국내 소프트웨어 시장 규모

구분	'12	'13	'15	연평균성장률
시장규모(백만불)	361	413	554	11.3 %

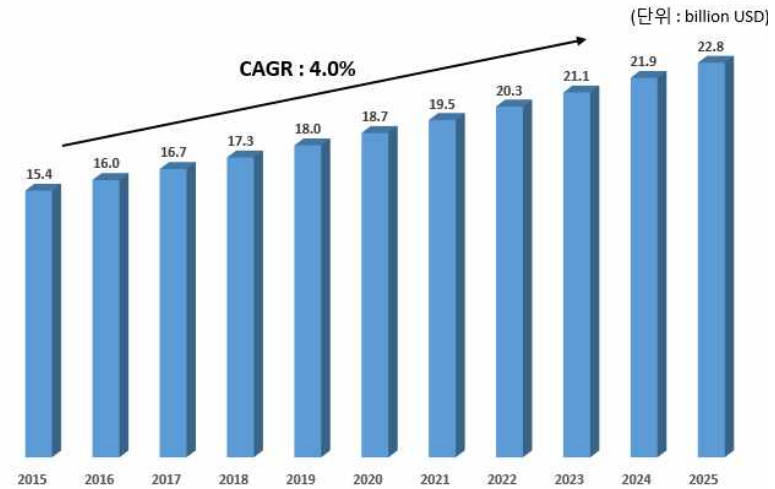
출처: 韓 캐드앤그래픽스社

- 제조중소기업의 엔지니어링S/W 활용률 : (韓) 8.2 % ↔ (美) 57.3 %
- 대기업 협력사일지라도 2·3차 협력사는 활용률이 1 % 미만
- 제조중소기업의 엔지니어링SW 활용 장애요인 : ①비용 부담(엔지니어링SW 평균단가 : 5천만 원~1억 원), ②활용인력 부족, ③인식부족
- 국내 S/W는 앤시스(美) 등 글로벌 외국기업이 범용 엔지니어링 S/W를 중심으로 국내시장을 대부분 장악
- CAD(Computer Aided Design) 외산점유율 : 96.8 %
- CAE(Computer Aided Engineering) 외산점유율 : 92.5 %
- 대기업은 신뢰성 부족 등을 이유로 국산 엔지니어링 S/W 사용을 기피하고 중소기업은 활용 여력 부족
- 국내 엔지니어링 S/W 기업은 특정영역·특수 분야를 중심으로 자체개발 전문기업이 20개 내외에 불과(평균 매출액 11억 원)
- 예) 마이다스아이티(구조, 세계1위), 펑션베이(동역학 세부분야, 세계2위), 애니캐스팅(주조 세부분야, 세계3위) 등

1.3.5 국내 플랜트 모듈화 시장 현황

가. 국내 플랜트 모듈화 시장

- 국내 기업의 모듈러 플랜트를 살펴보면 해양플랜트는 활발하나 육상 플랜트의 경우 수주가 매우 미비한 실정임
- 2010년 국내 기업의 세계 해양플랜트 수주 실적은 257억불로 같은 해 세계 해양플랜트 시장 규모인 1,916억불의 15 %에 해당하며, 해양플랜트는 95 %이상 시공블록모듈 중심의 모듈러 방식으로 설계/시공되어지고 있음
- 국내 기업의 세계 모듈화 플랜트 시장 점유율은 약 4 %정도로 조사되었으며 2014년 전체 플랜트 시장규모 대비 모듈화 플랜트 수주액의 비율로 약 1.3 %로 추산됨
- 해양플랜트 수주액 119억 달러 및 SK 건설의 Fort Hills 오일샌드 모듈화 플랜트 수주액인 25억 5000만 달러 활용
- 이 비율은 국내 기업의 해외 플랜트 시장 점유율로 추산되는 6 % (보수적 관점)~6.5 % (일반적 관점)에 비해 매우 미진한 것으로 판단되므로 국내 기업의 모듈러 플랜트 시장 점유율의 증대가 필요함



[그림 1-26] 국내 모듈화 플랜트 시장

출처 : IHS, Visiongain, BP, 2014.

- 성장성을 고려하지 않는다는 가정 하에 모듈러 플랜트 건설 비율로 추정한 국내 모듈화 플랜트 시장의 규모는 2015년 154억 달러, 2018년 173억 달러 수준 전망
- 모듈러 플랜트 엔지니어링 시장 규모는 일반 플랜트와 비교하여 엔지니어링의 비중이 높으나 보수적으로 산정할 경우, 일발 플랜트와 동일한 수준인, 전체 모듈러플랜트 시장 규모의 10

%로 가정할 수 있음

1.3.6 플랜트 모듈화 건설 기술 동향 개요

- 전체 플랜트산업의 가치사슬(Value chain) 측면에서 분류하면, 플랜트를 건설하기 위한 연구·기획, 타당성조사, 개념·기본설계(FEED, Front End Engineering and Design), 상세설계, 구매·조달, 시공, 감리, 유지·보수 등의 활동 전반을 포함함



[그림 1-27] 가치사슬을 고려한 플랜트산업 분류

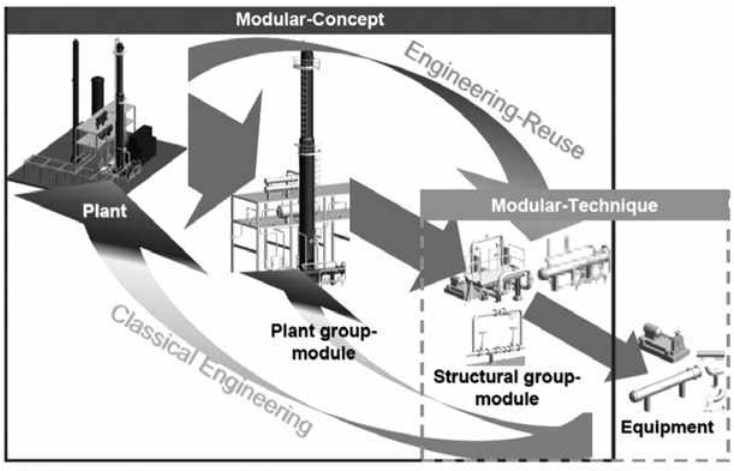
출처 : "2011 산업기술로드맵·플랜트엔지니어링 분야", 2012

- 일반적으로 플랜트 모듈화 기술은 과학적인 전문기술을 응용하여 설계(Engineering)하고, 필요한 자재를 조달(Procurement)하여, 건설(Construction)하는 EPC 모든 분야 포함
- 단순히 설비의 제작에 의해서만 이루어지는 것이 아닌 체계적인 조사, 기획으로부터 설계, 기계, 장치 제작, 조합, 시공, 시운전 등의 과정을 거쳐 건설되어지는 특성을 갖는 것을 의미하며 구매, 조달의 주 대상인 플랜트 기자재 산업을 포함

1.3.7 해외 기술 동향

가. 해외 플랜트 모듈화 기술

- 글로벌 선도그룹의 경우 플랜트 모듈화 건설을 위해서 modular concept, modular technique 두 가지 접근방법을 제시함
- 이러한 플랜트 modular concept, technique 기법적용을 위해서는 프로세스 구성 용량, 성능 등 다양한 요구를 충족시킬 수 있는 가변형 표준화 모듈이 개발되어야함
- 플랜트 건설사업 수요 증가로 플랜트 건설 경쟁력 확보를 위한 기획, 타당성/리스크 평가 등에 관심이 증가하고 있으나, 불확실한 변수가 많은 플랜트 건설 사업의 타당성/리스크를 정확히 예측하는 데에는 많은 어려움이 있으며, 대부분의 기술 검토가 stick-building 건설 방식에 집중되고 있는 상태임



[그림 1-28] 플랜트 모듈화 건설을 위한 두 가지 설계 접근방법

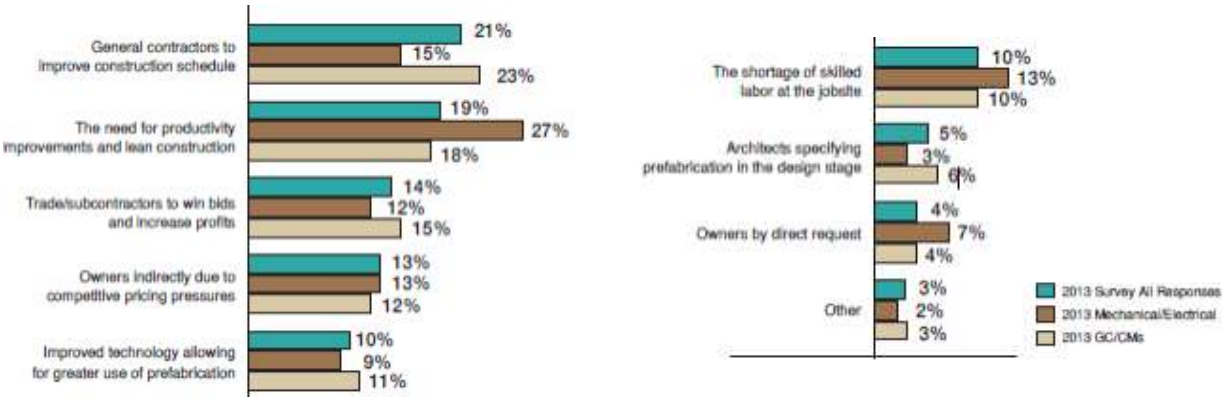
출처 : Computer-aided web-based application to modular plant design, ESCAPE20, 2010

<표 1-11> 모듈화 접근방법 비교

	Modular concept	Modular technique
내 용	• 독립기능을 수행하는 process 중심 설계방식 • 사전 설계 재활용을 통한 엔지니어링 자원 최소화 모듈화 방법 • 전체 플랜트는 plant-group-module → structural-group-module → equipment 순으로 설계	• 장비 중심 설계 방식 • 설계, 조달, 운용 know-how를 보유하고 있는 장비를 재활용하기 위한 모듈화 방법 • 전체 플랜트는 equipment → structural-group-module → plant-group-module 순으로 설계

- 최근에 플랜트 모듈 사전제작의 요인, 효과, 전략 등에 관한 분석을 실시하는 등 플랜트 모듈화

건설 도입을 위한 다양한 시도가 이루어지고 있음



[그림 1-29] 사전제작에 영향을 주는 요인 조사

출처 : Prefabrication and modularization in construction 2013 survey results

<표 1-12> 프로젝트 성공에 있어, 사전제작 효과 순위

Category	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Reducing time to project completion	1%	1%	1%	1%	2%	5%	11%	15%	14%	50%
Reducing construction cost	1%	3%	2%	3%	13%	6%	14%	18%	21%	21%
Increasing profit margins	1%	2%	3%	4%	10%	9%	15%	18%	23%	17%
Competitive advantage	1%	2%	3%	4%	10%	9%	15%	18%	23%	17%
Overall improvement to worker safety	2%	5%	3%	3%	15%	8%	18%	22%	11%	13%
Improvements in quality	1%	1%	1%	3%	11%	8%	20%	22%	20%	13%
Reducing rework	3%	2%	4%	4%	16%	10%	16%	19%	16%	12%
Reducing material waste	3%	3%	5%	8%	15%	10%	12%	19%	15%	10%
Reducing the need for skilled labor on the job site	1%	4%	5%	5%	13%	12%	13%	21%	19%	7%
Reducing change orders	11%	6%	7%	10%	13%	13%	16%	8%	12%	4%
Ease of recruiting skilled employees for work in shop environment compared to the field	6%	10%	5%	5%	19%	14%	15%	11%	11%	3%

출처 : Prefabrication and modularization in construction 2013 survey results

1.3.8 해외 기업 및 기관들에 대한 플랜트 모듈화 핵심기술 확보현황

<표 1-13> 해외 플랜트 소프트웨어 기업

업체명	중점분야	업체별 현황
Intergraph	주요 모듈 SmartPlant Foundation, SmartPlant P&ID, SmartPlant Electrical, SmartPlant Instrumentation, FrameWork Plus, PDS, Marine	• 단편적인 기능 구현을 통한 고객 대응보다는 단계 별로 정확하게 기능을 구현 • 플랜트나 조선 산업과 같은 중후장대형 산업의 까다롭고 복잡한 업무 절차를 지원하는 업무 프로세스에 대한 핵심 제품과 기술을 보유 • 플랜트 자재관리 전문 S/W MARIAN 개발 업체인 독일 DEBS사 인수 • 배관 서포트 전문 S/W업체인 캐나다 PELICAN FORGE사 인수 • 해석솔루션 CADWorx 공급자 COADE사 인수
Aveva	주요 모듈 V-NET, VPE P&ID, AVEVA Cable Design, VPE Workbench, PDMS, VPRM	• 프로젝트 규모의 무한 확장 가능, 다중 유저 동시 작업으로 설계 효율성 증대, 모든 객체의 데이터 변경 추적 및 관리기능 제공 • 응용 프로그램에 대한 전사적 통합, 부서 및 협력 업체 간의 협업체제 기술 보유
Bentley	주요 모듈 Project Wise, Plant Space P&ID, Elementary Electrical Diagrams, Instrumentation&Wiring, Bentley Structural, Plant Space	• 회사 혹은 프로젝트에 적합한 데이터 연계를 위한 데이터 호환성 및 컨버전스 기술 보유 • 엔터프라이즈 인포매틱스 인수: 형상관리 부문

가. 플랜트 모듈설계 PLM(Product lifecycle management) 기술 및 설계 기술

- 플랜트 모듈설계 PLM 기술은 현재 플랜트 생애주기 중 크게 설계 및 조달 영역 중심으로 적용되어 오고 있으며, 미국이나 유럽을 비롯한 선진국에서는 이미 1990년대부터 플랜트 정보관리 시스템에 대한 지속적인 연구를 진행 중에 있음
- 플랜트 모듈러 EPC 단계의 기반이 되는 기술로서 엔지니어링 프로젝트 관리 기술이 주목을 받고 있음
- 플랜트 모듈러 엔지니어링 통합정보 관리기술은 fast track 사업수행방식의 일반화, global

collaboration의 필요에 따라 중요성이 커지고 있는 기술임

- 해외 선진 기업에서는 이미 모듈러 플랜트 개념을 설계뿐만 아니라 건설 및 유지보수에까지 도입하고 있음
- 선진업체의 경우, 그동안의 경험과 쌓아놓은 지식들을 체계화하여 모듈러 플랜트 기획 단계에서부터 기술성 및 경제성 평가를 시행하는 기술력을 보유하고 있음
- 최근 기능별 플랜트 구성 요소 분할을 통하여 공용설계모듈의 표준화가 검토되고 있고 모듈 제작 주체별 시운전 및 평가를 통한 품질 관리가 시도되고 있음
- 토목 분야의 대형 구조물이나 해양 플랜트 분야에 개발된 구조물 안전 해석이나 선적 시뮬레이션 등의 기술을 바탕으로 육상 플랜트 건설 현장으로의 모듈 운송, 선적, 하역 요구사항을 고려한 모듈화 설계 기술이 개발되고 있음
- Stick-built 플랜트의 경우 설계 과정에서 3D CAD 모델 기반 플랜트 시공 시뮬레이션을 활용한 사전 점검 등의 기술이 활용되고 있음
- 플랜트 모듈화 생애주기 데이터 공유 및 통합을 위해 유럽의 POSC Caesar와 미국의 Fiatech은 공동 프로젝트인 IDS-ADI 프로젝트를 통해서 ISO 15926 표준 구현 도구인 iRING 프로토타입 개발을 완료함
- POSC Caesar는 ISO 15926 기반의 참조 데이터를 제공하는 서비스인 RDS를 구축하여 운용중에 있음
- 현재 Bentley, Intergraph, AVEVA 등의 주요 플랜트 시스템 벤더들의 S/W에서 지원하고 있으며, Noumenon Consulting Limited Services 사는 ISO 15926 RDL을 지원하는 플랜트 데이터 변환 도구인 XMpLant을 개발하였음

[그림 1-30] POSC Caesar, P&ID 프로파일에 포함된 중요 구조 요소의 개요도

출처 : http://ids-adi.org(POSC Caesar - FIATECH)

1.3.9 국내 기술 동향

가. 국내 플랜트 모듈화 기술

- 국내 플랜트 모듈화 건설은 조선 산업에서 채용한 시공 블록 중심의 모듈화를 통하여 공사기간 단축을 목적하는 단순한 단계에 머물러 있으며, 기능적 모듈화 등을 통한 현지 입지환경, 작업환경, 인력수급 등 다양한 접근이 시도되고 있지 않음
- 국내 기업 중 GS건설은 여수 국가산업단지의 GS칼텍스 No.3 HOU 프로젝트에 모듈화 건설방식을 도입하여 유사 프로젝트 대비 21개월의 공기단축, 100억 원의 비용을 절감하였으며, 대우조선해양은 태국 Khanom power plant 프로젝트에 모듈화 건설 방식을 도입하여 약 2년의 공기를 단축하고 40%의 공사비를 절감한 바 있음

<표 1-14> 국내 기업별 주요 모듈러 플랜트 시공사례

기업	프로젝트	지역	핵심사항
GS건설	GS칼텍스가 발주한 No.3 HOU (중유질분해 시설)	여수 국가산업단지	• 여수국가산업단지 내 GS Caltex가 발주한 총사업비 약 3조원 규모(국내 최대 규모)의 '지상유전'이라 불리우는 No.3 HOU • 신공법 도입으로 공기단축에 따른 간접비용 70억원 절감 등 총 100억원의 비용 절감효과 및 유사 프로젝트 대비 21개월, 계획 공기 대비 2개월 공기 단축함
대우건설	EGTL 프로젝트(가스 플랜트 공사)	나이지리아	• 가스를 원료로 GTL Process를 통해 액화 GTL Fuel(Diesel) 및 나프타, LPG를 생산하는 공장으로 EGTL은 에스크라보스 지역의 Gas To Liquid의 약어 • 현장과 모듈 작업장의 동시 작업이 가능함으로 인해, 공기단축의 사례를 확인했고, 시간의 단축과 높은 생산성으로 인해 공사비 감소의 가능성도 볼 수 있었음
대우조선해양	Khanom Power Plant	태국	• 태국의 Khanom Power Plant는 75 MW 규모의 화력발전설비로 1개의 모듈(W=36 m, L=82.5 m, H=10~50 m, Wt=7,000 톤)을 국내 Barge Type으로 제작한 후 운송선에 실어서 태국 연안까지 운송한 후 수심이 낮은 태국 연안에서 설치위치까지는 Floating 상태로 운송하여 설치를 완료함 • 모듈 공법을 적용함으로써 Stick 공법으로 건설시의 예상소요공기 4년을 2년으로 단축하였으며, 전체공사비도 Stick 공법으로 건설하는 경우의 60 % 정도로 완료

- 현대건설은 2013년 3월 18억불 규모의 UAE 사브 해상 원유 및 가스처리 시설 공사 패키지4 프로젝트를 수주했으며 모듈화 공법을 적용한 시공을 요청함
- 모듈은 아래 표에 나타나 있는 것처럼 4개 종류, 총 79개에 이르며, 이 중 파이프랙 모듈이 37개로 가장 많고, 프로세스 모듈이 30개, 최대 중량은 1,700여 톤, 최대 길이도 40여 미터에 이르는 규모임

• 모듈화 공법은 모듈의 설계, 제작, 운반, 설치의 순서로 진행됨

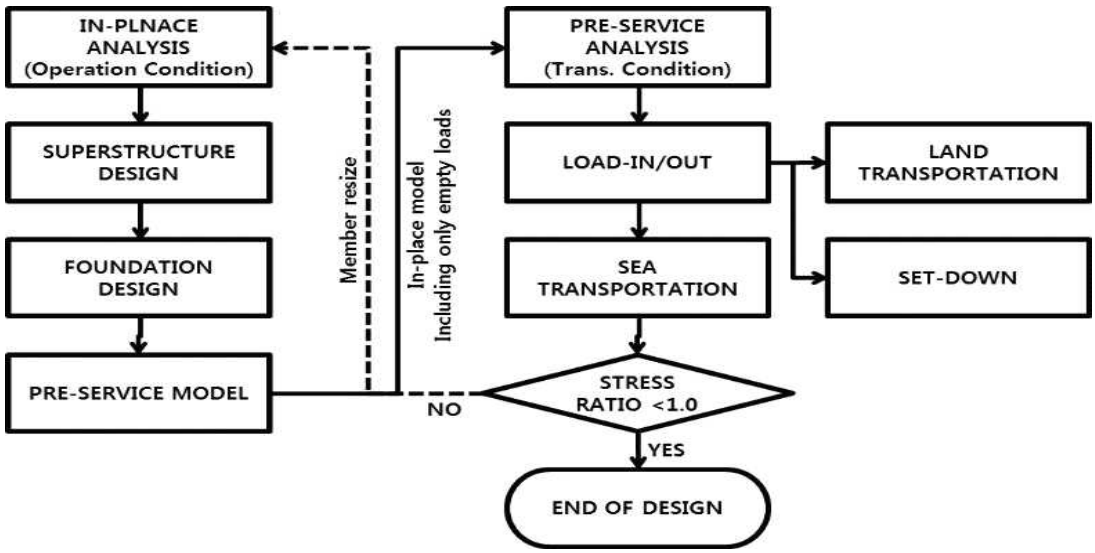
<표 1-15> 사브 프로젝트 모듈 현황

모듈	수량	최대중량(톤)	평균 크기(미터)		
			길이	폭	높이
Piperack 모듈	37	368	32.7	7.8	16.8
Process 모듈	30	1,769	36.9	21.0	23.3
변전소 모듈(MEES)	10	888	42.0	10.2	8.9
콘트롤 빌딩 모듈(LER)	2	401	32.0	10.5	10.6
합계	79	36,770			

• 모듈화를 위해서는 초기에 설계가 확정되어 시공 중 설계가 변경되는 일이 발생해서는 안 되며, 사전에 모듈이 제작되어 현장에서는 설치만 진행되기 때문에 시공과정에서 발생하는 설계 변경은 공기와 공사비 증가를 야기 시킬 수 있음

• 모듈화에 있어서 설계의 확정은 일반적인 운전 요건에 대한 설계인 In-place Analysis 뿐만 아니라 운송 요건(Load-in/out, Sea trans-portation, Land transportation)에 대한 설계인 Pre-service Analysis까지를 의미함

• Pre-service Analysis 에서는 Load-in/out과 Transportation 시의 안전성 확보를 위해 모듈의 지점이 소실되거나 과도한 변위가 발생하는 경우에 대해서도 해석을 수행하며, 또한 해양운반 시 운송선박의 안정성(Stability)을 확보하기 위하여 임시 보강재인 Sea fastening에 대한 설계를 추가로 수행하게 됨



[그림 1-31] 모듈 설계 흐름도

출처 : 대한토목학회지 64(4), 2016.4, 40-43 (4 pages)

나. 플랜트 모듈설계 PLM(Product lifecycle management) 기술 및 설계 기술

- 전 세계적으로 모듈러 플랜트의 수요가 높아지고 있으나 국내의 경우 모듈러 플랜트 생애주기 고려 기본설계에 대한 핵심 기술을 확보하지 못했으며, 모듈러 플랜트 상세설계 기술 수준도 낮음
- 사업 초기 기획, 기본설계 기술의 부재로 모듈러 플랜트 사업 참여단계에서 사업수행 원가분석, 사업 수행의 타당성 분석에 대한 기술력이 결여됨
- 해양, 극한지, 오지 등에 건설되는 플랜트의 경우 공기단축, 현지작업 최소화 등을 위하여 모듈화 건설기법이 다양하게 적용되고 있으나, 현재까지는 운송, 선적/하역, 현지시공 지원시설 위주의 모듈화에 한계를 나타내고 있음
- 모듈러 플랜트의 시공을 고려한 모듈 설계 기술은 아직까지 체계화된 기술로서 개발되지 않고 있고 Stick-built 플랜트의 대형 기자재 위주의 현장 설치 경험을 반영하고 있는 실정임
- 국내의 경우 ISO 15926 표준 기반의 원자력 발전소의 분류체계를 개발한 경험이 있으나 아직 플랜트 모듈 구성을 위한 분류 기술은 없음
- ISO 15926 표준 기반의 구현 파트를 지원하는 데이터 저장소 facade를 일반 기자재에 대해서 구현 사례가 있으나 ISO 15926의 복잡성으로 인해 라이브러리 관리를 위한 의미 기반 검색 도구의 개발이 필요함
- 장치 및 유닛 모델링을 위해서는 2D/3D 정보, 사양, 그리고 포트 등의 여러 정보를 통합한 기술이 필요함. 그리고 일반적인 형상에 대해서 단순화를 적용한 연구를 매우 많으나, 모듈러 플랜트를 고려한 방법은 아직까지 없음
- 플랜트 모듈화 설계를 위한 공용설계모듈 개념을 지원하는 플랜트 장치 및 유닛 라이브러리에 관한 기술 개발 사례는 아직까지 찾을 수 없음
- 국내 해양플랜트 모듈화는 설계 단계에서부터 시공 단계까지 다양하게 적용하고 있으나 육상플랜트의 경우에는 극히 일부에만 적용되고 있음
- 이는 해양플랜트의 경우에는 국내에 모듈 제작업체, 대형조선업체 등의 위치적 장점이 있으나 육상플랜트의 경우에는 해수담수화 등의 일부에만 적용되고 있음(수송비 등 모듈 작업장의 문제로 판단됨)
- 육상플랜트에서 적용도가 낮은 이유는 아직 모듈러 기술의 개발이 되지 않았기 때문이며, 플랜트산업계의 경쟁력 강화를 위해서는 PLM 기반의 모듈화 설계 기술 개발 및 실증이 매우 중요하게 요구됨

1.4 플랜트 모듈화 건설 선진기관 기술 특성

1.4.1 주요 석유가스 플랜트 기업들의 성장 전략

<표 1-16> 주요 석유가스 플랜트 기업들의 사업내용

업체명	사업영역 및 주요 내용
Technip	• Onshore EPC (정유, 석유화학, 가스) • Offshore, Subsea EPC
Saipem	• Onshore / Offshore EPC (정유, 석유화학, 가스 수행) • Drilling – Oil & Gas E&P (Exploration &Production)
JGC	• Oil & Gas 전문 EPC (정유, 석유화학, 가스)
Petrofac	• Oil & Gas 전문 EPC
TR	• Oil & Gas 전문 EPC
TOYO Engineering	• 플랜트 건설 및 석유화학, 정밀화학플랜트 등 EPC 업체
Lurg	• EPC 업체

- 최근 세계 석유가스 플랜트 기업 Top 5를 살펴보면 Saipem, Technip, Bechtel 등 3개사는 꾸준히 상위권에 있고 Flour, JGC 등이 5위권에 들고 있는 양상임
- 이들 모두 유럽기업과 미국기업들이어서 세계 석유가스 플랜트 시장은 유럽과 미국기업이 양분하고 있음
- 삼성엔지니어링이나 SK E&C 등 우리나라를 비롯한 후발기업들의 성장과 도약이 기대되고 있음
- 세계적 석유가스 플랜트 기업들은 모두 상류 부문부터 하류 부문까지 설계 및 공학, 조달 그리고 시공 뿐 아니라 후속 서비스 분야인 관리, 운영, 설치 등 서비스 부문 확대를 통해 고객들(주로 석유 상류기업)의 다양한 서비스 부문의 수요에 대응하는 Total Service Solution을 제공하고 있음
- Bechtel사를 제외하고 모두 사업 역량 강화와 기술력 확보를 위해 기업 인수 및 합병을 적극적으로 추진하고 있었는데 이는 2000년대 들어 한국, 중국 등을 비롯한 아시아 계열 후발 기업들이나 JGC나 Toyo와 같은 일본 선진 기업들의 수주 경쟁력이 더욱 치열해지고 있기 때문으로 해석할 수 있음
- 현지화 조달(Local Contents) 강화를 통한 운영 효율성 제고는 현지 투자와 기술 이전을 통하여 기업의 우호적 이미지 제고 및 효율성 강화, 수익률 상승효과 창출 가능

- 수요자 요구에 맞는 서비스를 제공함으로써 해외 수주 확대를 도모하고자 석유 가스 상류기업들과의 강한 유대를 통해 맞춤형 서비스를 제공하고 있음

가. Saipem

- 석유가스 부문의 상류부문 개발, 정제 그리고 파이프라인 사업 뿐 아니라 화학, 석유화학 분야까지 석유가스 부문에 다양한 사업을 추진하고 있으나 육상 및 해상 광구의 시추 부문을 전문으로 함
- 2000년대부터 추진해 온 M&A로 육상 및 해상광구 개발의 세계 1위 기업의 근간을 마련함
- 2000년대 초반에는 노르웨이 기업인 Moss Martime, 미국 엔지니어 기업인 Petromine 유럽 해상 파이프라인 전문기업인 EMC 그리고 프랑스 석유가스 부문 엔지니어링 기업인 Bouygues 등을 인수함으로써 해상 부문의 시추 및 수송 부문에서의 Value Chain 사업 경쟁력을 확보하게 됨
- 2006년 석유가스 부문의 세계 유수 EPC 기업인 Snamprogetti 사 인수를 통해 육상광구 상류 및 하류 부문까지 사업 경쟁력을 확보하게 되면서 2007년부터 명실상부한 세계 1위의 글로벌 석유가스 플랜트 기업으로 도약
- Saipem은 장기적이고 지속적인 기업 성장을 도모할 수 있는 기술 경쟁력과 효율적인 사업 운영에 강점을 보이고 있음
- 육상 및 해상 광구 개발의 EPCI(설계, 조달, 시공 및 설치) 부문에 특화된 전문 서비스를 제공해오고 있으며 해상 사업 부문에 큰 강점이 있음
- 석유가스 개발 부문의 수주량이 전체 수주량의 75% 이상을 차지할 만큼 선택적이고 집중적인 사업 운영으로 2011년부터는 설계 및 시공 부문과 시추 등 2개 영역으로만 운영하도록 기업 사업부문을 개편하기도 함
- 해외 사업에서의 현지 진출 국가에 대한 현지화 조달(Local Contents)를 강화해서 현지 값싼 인력을 고용하고 교육시키면서 현지에서의 노동력 창출에 대한 호의적인 이미지 구축과 더불어 기업 측면에서도 비용 절감에 따른 효율의 운영성 제고와 같은 이중효과 창출

나. Bechtel

- 미국의 대표적 플랜트 기업인 Bechtel은 1898년에 창설되었으며, 창립 초에 주로 인프라 및 토목공사 사업을 수행
- 1929년부터 가스 파이프라인 사업으로 처음 에너지 관련 설비 사업을 수행하게 되었고 1950년부터는 본격적으로 석유가스 개발 및 관련 설비 설계 및 시공, 화학산업, 발전, 정제 부문까지 사업 영역을 확장하게 됨
- Bechtel은 지금까지 약 23,000개 프로젝트를 140여개국에서 수행할 만큼 다양한 분야 및 다양한 지역에서 대규모 활동을 수행해 왔음

- 석유가스 분야에서는 정제설비, LNG 터미널 및 가공설비, 파이프라인 등의 주로 하류 부문 사업에 강점을 가졌으나 최근에는 해상 가스 상류 부문에도 수주 성과를 보이고 있어 석유가스 사업의 모든 분야에 사업 수행 능력을 보유하고 있는 일관체계를 가지고 있는 기업이라 할 수 있음
- 기타 기업들이 성장을 위하여 인수 합병을 추진한 것과 달리 내부적 성장 강화에 중점을 두고 대신, 다른 기업들과의 합작투자나 컨소시엄 형태로 기술력 강화 및 수주량 확보에 중점을 두고 있음
- 전체 사업의 3분의 2가 해외에서 추진될 만큼 해외사업 비중이 커지자 해외 현지 사무소 간에 유기적인 협력 체계를 토대로 한 네트워킹 구축을 통해 상호 기술자문, 기자재 조달, 프로젝트 금융 조달에 활용하고 있음
- 해외 사업 운영에 따른 비용절감과 현지 업체의 생산성 증대를 위해 현지인 채용비율을 확대하거나 교육 확대에 의한 현지 인력개발을 강화하고 있으며, 턴키 프로젝트 추진을 통해 현지 협력업체에 관련 기술을 전수하고 있음
- 수행하고 있는 사업 부문에서 비에너지 분야까지 다각화 하고 있어 세계 시장 변동에 따른 위험 최소화와 다양한 수익원을 통한 재무적 안정성까지 도모하고 있음
- 그러나 전체 매출액의 70 %가 석유가스 부문에서 창출되고 있어, 이러한 사업 다각화에 대한 효과가 그리 크지 않고 오히려 다양한 사업 운용에 따른 유동성 악화가 기업의 위험 요인으로 작용할 수 있다는 시사점을 줌

다. Technip

- 프랑스의 대표적 석유가스 플랜트 기업인 Technip은 석유가스 플랜트 분야 전문기업으로 특히 고도의 전문 기술이 요구되는 해상, 심해, 극한지역의 플랜트 사업에 강점을 가지고 있음
- 1958년 프랑스 정부의 엔지니어링 시공 분야의 기업 육성법에 따라 창설되었으며, 2000년대부터 다수의 기업 인수를 추진하면서 세계 석유가스 플랜트 기업으로의 우위적 경쟁력을 가지게 됨
- 2000년 Aker Deepwater를 인수하면서 해상개발 기술력을 습득하였고, 멕시코만 나이지리아 지역으로의 사업 영역도 확대할 수 있었음
- 2001년 Cofelxip 인수를 통해 해상 및 심해 기술과 다양한 사업 영역을 추진할 만한 역량도 보유하게 됨
- Europim, EPG, Global Industries 인수를 통해 해상 석유가스 부문의 운영역량과 플랜트 설비 관련 기술력을 확보하였으며, 유럽 지역으로의 전문성 제고에 이바지하게 됨

- 사업 영역은 크게 육상, 해상 그리고 심해저로 나뉘어 있으며 육상 사업은 육상 석유가스전 개발을 위한 설비와 수송 그리고 정제나 처리 사업을 수행하고 있음
- 해상사업은 고정식 혹은 FPSO, FLNG선과 같은 부유식 시설에 대한 설계와 설치 등의 서비스를 주로 제공하고 있음
- 가장 큰 매출액 비중을 차지하고 있는 심해 사업은 3000m 이하의 초고압, 초저온에서도 견딜 수 있는 기자재 및 설비 개발로 초심해 지역 개발 관련한 설비 제조 및 운영에 대한 전문성이 가장 뛰어나며 현재까지도 북극 등 프론티어 지역에서도 응용할 수 있는 새로운 Platform 모델을 개발하며 투자 확대를 강화하고 있는 추세임
- Technip은 해외 수주 증대를 위해서 석유가스 상류 기업들과 전략적 협력(Partnership) 관계를 많이 구축하고 있음
- BP, STATOIL, TOTAL 등의 메이저 기업들과 함께 턴키 방식의 프로젝트나 서비스 계약을 하고 Petrobras 나 Petronas와 같은 국영석유기업들과의 합작 투자로 지역내 진출 확대를 도모하고 있음
- 또한 Woodside, BG 등 기술력이 뛰어난 독립계 기업들과 고도의 기술이 필요한 극한지 개발 관련 서비스 산업에 공동 수주 노력을 강화하고 있음

라. Flour

- 미국 텍사스에 본사가 있는 Flour는 석유가스 사업 뿐 아니라 산업설비 제조, 신재생, 수송 등 다양한 분야에서 EPC와 관리 서비스를 제공하고 있는 세계 유수의 기업임
- 1890년에 설립된 Flour는 주로 자국내 화학 및 전력산업 수주 확대에 주력하였다가 1933년 Persian Gulf사를 인수하면서부터 해외 사업 분야로 사업 지역을 확대하기 시작함
- 1967년부터 심해 시추 분야로의 사업 영역을 확대하면서 60~70년대 중동 지역에 대규모 석유가스 프로젝트 수주에 성공하면서 기업의 역량이 축적되기 시작하였으며 1989년 Daniel Construction을 인수하면서 설계에서부터 시공까지 전 Value Chain의 사업 역량을 확보함
- 2000년 초반 J.A. Jones Construction, Trend Western Technical corp 인수를 통해 해외 사업 역량과 기술력을 강화하고 후반에 들어와서 알래스카, 싱가폴 등지에 현지사무소를 개설하면서 해외 지역 진출 다각화를 도모하였고 신재생 및 청정에너지 분야까지 사업영역을 확대하였음
- Flour의 사업 영역은 크게 글로벌 서비스, 정부 관련 서비스, 산업 및 인프라, 석유가스 그리고 전력 등 5개 분야로 나뉘어져 있고 30개국 60여개의 현지 사무소를 구축하여 운영하고 있음
- 석유가스 분야는 석유가스 생산 설비 및 수송, 정제 및 석유화학 건설 및 개선분야의 EPC와

관리부문을 담당하고 있음

- 수행하는 사업 영역이 여타 경쟁기업들과 유사하기 때문에 Flour는 해외 사업 확대 전략으로 인도, 멕시코, 중남미, 러시아 등 신흥 유망지역에 대한 진출 확대를 도모하고, 수주 확대를 위한 국영석유기업들이나 현지 정부와의 협력관계를 돈독히 구축하며 수요 확대에 따른 관련 기술 및 사업 운용 역량 강화에 대한 투자를 확대하고 있음

마. JGC

- 일본 엔지니어링 회사인 JGC는 석유가스 사업 영역에서는 자원개발 등 상류 부문부터 정체, 가공처리 등 하류 부문까지 모든 분야를 총괄하고 있으며, 그 밖에 대체연료개발 등 다양한 분야로의 투자를 확대하고 있음
- 1928년 Japan Gasoline Co.이라는 이름으로 JGC 그룹이 설립된 이후 중남미 등지에서 정제 분야 수주 등을 통해 글로벌 플랜트 회사로 성장하게 되었으며 Nikki 화학 및 건설 회사의 인수 합병을 통해 화학 및 시공 분야의 전문성을 강화하게 됨
- 2011년에는 미국 셰일가스 및 셰일 오일 개발 회사인 Chesapeake의 지분 10%를 인수해 미국 셰일오일 생산 및 개발 사업까지 진출을 확대하고 있음
- JGC의 강점은 세계 각지의 다양한 분야로의 진출이 많은 것으로 비전통분야의 석유가스부터 담수화 발전을 포함하는 전력사업까지 다각화를 추진 중임
- 석유가스, 발전, 석유 정제 등이 총괄하는 에너지 분야의 엔지니어링 영역에서 전체 수익의 90 %를 창출하고 있으며, 지역별 매출 규모 비중은 중동지역이 37 %, 일본이 28 %, 오세아니아 13 %, 동남아가 11 %를 각각 차지하고 있음

1.4.2 중앙공정시설 프로세스 모듈 사용 자재

- 프로젝트의 중앙공정시설 프로세스 모듈에 사용되는 자재를 분석하여 보면, 자재의 대부분은 발주처에서 공급하는 것으로 되어 있으며, 일부에 한해서 계약자가 공급하는 것으로 되어 있음
- 아래의 표를 보면 중앙공정시설의 총 자재는 132개 이며, 계약자가 공급할 수 있는 자재는 39개로 약 30 % 정도임

<표 1-17> 중앙공정시설 프로세스 모듈에 사용되는 자재

Material Description	공급자	Material Description	공급자
Fabricated Steel		Tagged Mechanical Equipment	발주처
Structural Members	발주처	**Aboveground Piping**	
Grating Clips/Fasteners (Hilti DX type)	발주처	C.S. Pipe, Fittings, Flanges (2" & smaller) S	발주처
Checker Plate	발주처	Alloy Pipe, Fittings, Flanges (2" & smaller) S	발주처
Grating	발주처	Special Pipe, Fittings,	발주처

Material Description	공급자	Material Description	공급자
		Flanges (2" & smaller) S	
Ladders and Platforms (not supplied by equip. mfg.)	발주처	C.S. Pipe, Fittings, Flanges (2 ½" & larger) S	발주처
Monorails	발주처	Alloy Piping, Fittings, Flanges (2 ½" & larger) S	발주처
Stairs and Handrails, including Treads	발주처	Special Pipe, Fittings, Flanges (2 ½ " & larger) S	발주처
High Strength Bolts, Nuts, Washers	발주처	Miscellaneous Pipe Materials (i.e. sockolets for small bore pipe not indicated on ISOs) C	계약자
Common Machined Bolts, Nuts, Washers	발주처	**Aboveground Assembly Material & Specialty Items**	
Miscellaneous Stock		Flanged Valves S	발주처
Shapes, Plate and Bar	계약자	Butt-Weld Valves S	발주처
Shim Materials	계약자	Nuts / Bolts / Permanent Gaskets S	발주처
Miscellaneous Building Materials		Blinds / Spacers S	발주처
Screws and Washers only	발주처	Strainers & Steam Traps S	발주처
24ga and 26ga Flashing Material - Flat Stock Only	발주처	Expansion Joints S	발주처
Gutters and Downspouts	발주처	Spring Hangers, Hanger Rods S	발주처
Metal Siding & Roofing		Shoes, Guides, Clamps S	발주처
Coil Doors (Type C) S	발주처	Pipe Supports S	발주처
Personnel Doors (Type A) S	발주처	Unistrut for Pipe Supports C	계약자
Type D Doors C	계약자	Slide Plates S	발주처
Girts and Purlins S	발주처	Sample Coolers S	발주처
Wall Panels (Sandwich) S	발주처	Thermal Expansion Bottles S	발주처
Roof Panels (Sandwich) S	발주처	Tagged Specialty Items S	발주처
Sound Attenuation Panels C	계약자	Hydrotest Materials	계약자
HVAC		**Electrical Bulk Material**	
Heating Equipment S	발주처	Conduit C	계약자
Radiators S	발주처	Conduit Fittings C	계약자
Ventilators S	발주처	Raceway / Channel Tray & Fittings (including "C" and "HSS") C	계약자

Material Description	공급자	Material Description	공급자
Fans S	발주처	Cable Tray ≥ 6" S	발주처
Filters S	발주처	Cable Tray Fittings ≥ 6" S	발주처
Refrigeration Units S	발주처	Fire & Environmental Seals for Penetrations C	계약자
HVAC Duct Work C	계약자	600v Power & Control Wire & Cable	발주처
Louvers S	발주처	Control Cable S	발주처
Instrumentation and Controls S	발주처	HV termination kit S	발주처
Instrument / Control Systems Engineered Items		HV splice kits S	발주처
Control Valves / Globe S	발주처	Teck/ Tray Connectors (Suncor supply as per BOM only) S/C	발주처/ 계약자
Pressure Relief Valves S	발주처	Lighting Fixtures S	발주처
Rotameters FG 3" S	발주처	Lamps S	발주처
Level Transmitters, Radar S	발주처	Control Stations, Push Button S	발주처
Pressure Transmitters S	발주처	Electrical Heat Tracing S	발주처
Temperature Transmitter S	발주처	Strut Materials C	계약자
Pressure Diff Transmitter S	발주처	Support Materials C	계약자
Electronic Indicators (FI, LI, PI, TI) S	발주처	Misc. Assembly Material C	계약자
Multi channel Temp Transmitter S	발주처	Grounding Materials S	발주처
Pressure Regulator S	발주처	Electronic Instrument Cable S	발주처
Safety Relief Valves S	발주처	25kV – Conductor S – Poles S – Hardware S – Crossarms S	발주처
On/Off Valves & Actuators S	발주처	144kV – Conductor S – Poles S – Hardware S – Crossarms S	발주처
MOVs S	발주처	260kV – OPW S – Conductor S – Tubular Stl Towers S – Lattice Stl Towers S – Insulators S – Hardware S	발주처

Material Description	공급자	Material Description	공급자
Temperature Gauges S	발주처	Lighting PBs/Disc Switches/ Power Rec S	발주처
Pressure Gauges S	발주처	Socket Outlets S	발주처
Level Gauges S	발주처	Lightning Protection (Substation)	발주처
Alarm & S/D Devices S	발주처	Electrical Consumables C	계약자
Flow Meters S	발주처	**Instrument / Control Systems Bulk Material**	
Flow Elements S	발주처	Conduit C	계약자
Instrument Enclosures S	발주처	Conduit Fittings C	계약자
Analyzers, NOX, CEM, DAS S	발주처	Tubing C	계약자
Specialties : Horn/Beacon S	발주처	Tube Fittings C	계약자
Piping		Strut Materials C	계약자
Paint C	계약자	Support Materials C	계약자
Insulation C	계약자	Misc. Assembly Material C	계약자
Cladding C	계약자	Valves C	계약자
Coating C	계약자	Double block & Bleed Valves C	계약자
Wrapping C	계약자	Instrument Enclosures S	발주처
Equipment		Instrument Junction Boxes S	발주처
Paint (touch up) C	계약자	Instrument Supports C	계약자
Insulation C	계약자	Instrument Supports C	계약자
Steel		Raceway / Channel Tray & Fittings	계약자
Paint S	발주처	Tubing Bundles C	계약자
Paint (touch up) C	계약자	Pipe and Fittings (Downstream of Piping Root Valve) C	계약자
Fireproofing - Shop installed C	계약자	Instrument Manifolds S	발주처
Cathodic Protection S	발주처	Tracing S	발주처
		Instrument Cable S	발주처

1.5 플랜트 모듈화 건설 국내기관 기술 수준

<표 1-18> 2013년 기준 건설산업 국내 기술경쟁력 현황

주요 기술부분	최고기술 보유국	한국(%)	기술격차	한국 VS 중국
종합	미국	73.2	5.4	2.8
건축	미국	70.5	5.5	2.9
토목	일본	78.2	5.1	2.9
플랜트	미국	69.1	5.5	0.3
수자원	미국	71.9	6.8	4.7
교통인프라	미국	76.4	4.0	3.1

출처 : 국토교통과학기술진흥원

- 선진국과의 기술격차는 빠르게 좁혀지지 않고 있는데 반해, 중국과의 격차는 점점 줄어들고 있음
- 국내 플랜트 건설 기업은 주로 외산 PLM 솔루션을 활용하고 있으며 국내 엔지니어링 방법의 특이성 때문에 시스템 도입 시 대부분을 customizing을 하므로 비용과 시간이 많이 걸리고 있음
- 대표적인 한국산 플랜트 PLM 솔루션은 없고, 외산 PLM 시스템도 모듈러 플랜트를 위한 필요 기능을 갖추고 있지 못함
- 전 세계적으로 플랜트 모듈러의 수요가 높아지고 있으나 플랜트 모듈러 생애주기 고려 기본설계에 대한 핵심 기술을 국내업체는 아직 가지고 있지 못하며, 현재 우리나라가 보유하고 있는 플랜트 모듈 설계 기술도 낮은 수준으로 판단됨
- 사업 초기 기획, 기본설계 기술의 부재로 플랜트 모듈러 사업 참여단계에서 사업수행 원가분석, 사업 수행의 타당성 분석이 결여되어 있으며, 경쟁사간 사업 제안에 있어서 경쟁 우위를 선점하지 못하고 있는 실정임
- 플랜트 모듈 설계 PLM 기술, 플랜트 생애주기 고려 상세설계 기술, 플랜트 장치 및 유닛 관련 기술은 국내 기업, 연구소, 그리고 대학에서 연구가 되었으나 플랜트 생애주기 고려 기본설계 기술에 관한 연구는 미흡한 실정임
- 모듈러 플랜트의 설계를 위해서 활용 가능한 플랜트 장치 및 유닛 라이브러리에 관한 기술 개발 사례는 아직까지 찾을 수 없음
- 국내외 기술 수준의 분석 결과에 따라 모듈러 플랜트 설계 기술의 개발 전략은 다음과 같이

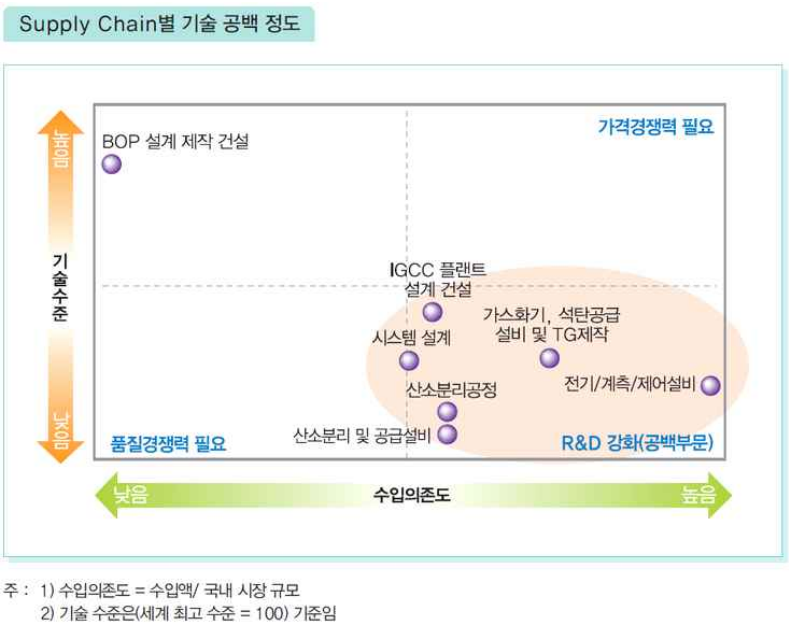
도출됨

- 플랜트 모듈설계에 특화된 PLM 시스템의 개발로 향후 국내시장 잠식에 대비함
- 플랜트 모듈러의 기본설계 기술에 대한 확보 및 상세설계 기술의 수준 고도화
- 플랜트 모듈러에 특화된 기술을 먼저 확보하여 시장에서의 우위를 선점함

<표 1-19> 기술수준 분석의 주요 내용

	기술보유국가	기술보유기관	기술수준	연구개발 전략
플랜트 모듈설계 기술	유럽, 미국, 일본 등 선진국	Intergraph, Aveva, Bently	중상	플랜트 모듈설계에 특화된 국내 PLM 시스템을 개발하여 향후 국내 시장 잠식에 대비함
모듈러 플랜트 생애주기 고려 설계 기술	한국, 유럽, 미국, 영국, 일본 등 선진국	GS건설, 대우조선해양, 삼성/현대 엔지니어링 등 국내업체 외 외국 업체	중	모듈러 플랜트의 기본설계기술에 대한 확보 및 상세 설계 기술의 수준 고도화
모듈러 플랜트 장치 및 유닛 라이브러리 기술	유럽, 미국, 영국, 일본 등 선진국	유럽의 POSC Caesar와 미국의 Fiatech(일반 플랜트 대상)	하	모듈러 플랜트에 특화된 기술을 먼저 확보하여 시장에서의 우위를 선점함

- IGCC산업분야의 전략 품목 300 MW급 기술공백정도를 기술 수준과 수입의존도로 표시하였으며, 수입의존도가 높고 기술수준이 낮은 R&D 강화가 필요함



주 : 1) 수입의존도 = 수입액/ 국내 시장 규모
2) 기술 수준은(세계 최고 수준 = 100) 기준임

[그림 1-32] IGCC 실증 플랜트 Supply chain 별 기술공백 정도를 기술수준과 수입의존도 표시

출처 : 그린에너지 전략 로드맵 2011

02

연구수행내용 및 성과

2.1 협업 단위 모듈화 계획/분석 및 종합 타당성 평가 기법

가. 플랜트 대형 모듈 적용 평가

플랜트 모듈화 건설(설계, 제작, 운송, 시공 등)을 위해서는 초기 검토 단계에서부터 모듈 적용을 위한 기술적 실현 가능성, 경제적 편익 등 다양한 검토가 필요하다. 본 절에서는 플랜트 모듈화 건설을 위한 기술적 측면에서 실현 가능성 검토를 위한 방법론에 대하여 기술하였다.

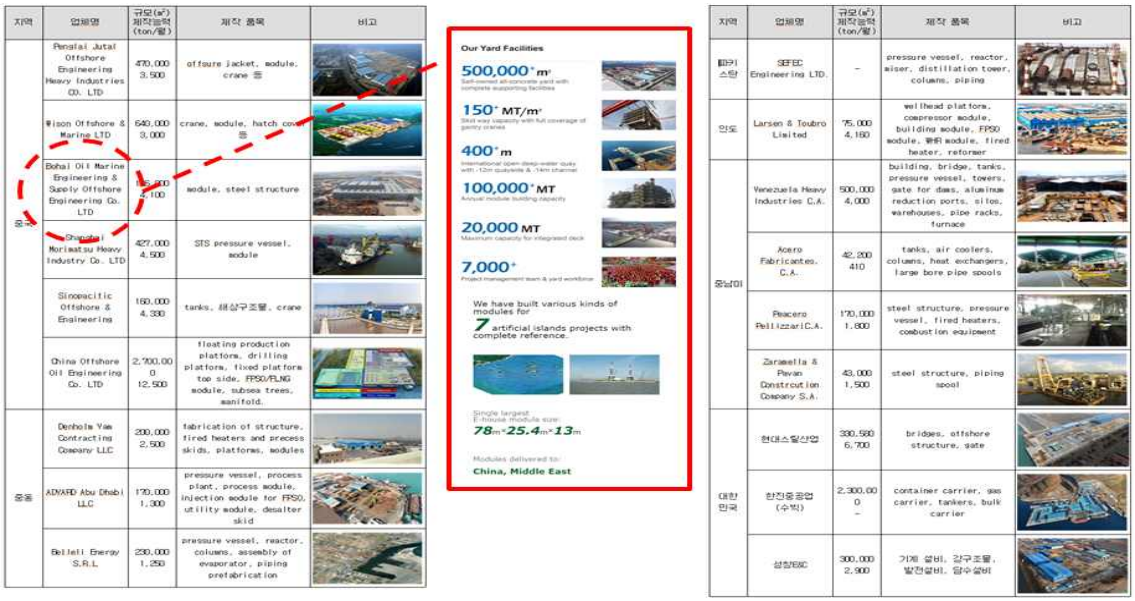
플랜트 모듈화 건설을 위하여 최우선적으로 주어진 사업의 조건으로부터 모듈 적용 제한 요건을 도출하고, 해당 요건에 따르는 모듈 제작 – 운송 – 설치 가능 유무를 검토하는 것이다. 이후 모듈 적용 제한 요건, 모듈 제작 – 운송 – 설치를 위한 기술적 가능성의 반복적 교차 검토를 통하여 최종 설계를 확정하게 된다.

(1) 플랜트 모듈 제작 평가

모듈은 제작소의 제작 가능 여부나 현장에서의 설치 가능 여부를 떠나 운송이 가능하지 않으면 의미가 없기 때문에 모듈 제한 조건의 기본은 운송이 가능한 모듈 규격이어야 한다는 조건이다.

모듈의 운송은 일반적으로 육상 운송과 해상 운송으로 나뉘므로 모듈 최대 규격을 선정하기 위한 육상 및 해상 운송의 조건을 조사해야 하며 이를 위해서는 모듈 제작소의 기본적인 조건이 선행적으로 조사되어야 한다.

플랜트 모듈 제작소의 경우 제작소 규모, 생산 능력, 전문 품목, 접안 부두의 수심–길이, 인양 유틸리티 능력, 현장 조업 전문성 등 다양한 지표에 의해 평가되어진다. 이러한 요건을 고려하여 대다수의 모듈 제작소에서 자체적 제작 제한 사항을 제시하고 있으며, 다음 그림은 중국 PENGLAI JUTAL OFFSHORE ENGINEERING HEAVY INDUSTRIES CO.LTD 외 5개 제작소, 중동 DENHOLM YAM CONTRACTING COMPANY LLC 외 2개 제작소, 대한민국 현대스틸산업 외 2개소 등 18개 제작소에 대한 현황에 대한 주요 특징점, 제작 제한 크기 등 사전 조사 내용을 제시하고 있다.



지역	업체명	규모(㎡) 제작능력 (ton/월)	제작 품목	비고
중국	Penglai Jutal Offshore Engineering Heavy Industries CO. LTD	470,000 3,500	offsure jacket, module, crane 등	
	Wison Offshore & Marine LTD	640,000 3,000	crane, module, hatch cov 등	
	Bohai Oil Marine Engineering & Sapply Offshore Engineering Co. LTD	2,100	module, steel structure	
	Shanghai Morimatsu Heavy Industry Co. LTD	427,000 4,500	STS pressure vessel, module	
	Sinopacitic Offshore & Engineering	160,000 4,300	tanks, 해상구조물, crane	
	China Offshore Oil Engineering Co. LTD	2,700,00 0 12,500	floating production platform, drilling platform, fixed platform top side, FPSO/FLNG module, subsea trees, manifold.	
중동	Denholm Yas Contracting Company LLC	200,000 2,500	fabrication of structure, fired heaters and precess skids, platforms, modules	
	ADNAFD Abu Dhabi LLC	170,000 1,300	pressure vessel, process plant, process module, injection module for FPSO, utility module, desalter skid	
	Belleli Energy S.R.L	230,000 1,250	pressure vessel, reactor, columns, assembly of evaporator, piping prefabrication	

지역	업체명	규모(㎡) 제작능력 (ton/월)	제작 품목	비고
파키스탄	SEPEC Engineering LTD.	-	pressure vessel, reactor, wiser, distillation tower, columns, piping	
인도	Larsen & Toubro Limited	75,000 4,160	wellhead platform, compressor module, building module, FPSO module, 원유 module, fired heater, reformer	
중남미	Venezuela Heavy Industries C.A.	500,000 4,000	building, bridge, tanks, pressure vessel, towers, gate for dam, aluminum reduction ports, silos, warehouses, pipe racks, furnace	
	Acero Fabricantes, C.A.	42,200 410	tanks, air coolers, columns, heat exchangers, large bore pipe spools	
	Peacero Pellizzari C.A.	170,000 1,800	steel structure, pressure vessel, fired heaters, combustion equipment	
	Zaramella & Pavan Construction Company S.A.	43,000 1,500	steel structure, piping spool	
대한민국	현대스틸산업	330,580 6,700	bridges, offshore structure, gate	
	한진중공업 (수빅)	2,300,00 0 -	container carrier, gas carrier, tankers, bulk carrier	
	삼환EBC	300,000 2,900	기계 설비, 강구조물, 발전설비, 담수설비	

[그림 2-1] 플랜트 모듈 제작소 평가 기준

(2) 플랜트 모듈 운송 평가

(가) 개요

플랜트 모듈 운송 평가는 모듈샵에서 건설현장까지 모듈을 운송하는데 고려되어야할 요소 및 제약조건에 기초하여 운송 실현성을 평가하기 위한 도구이다. 모델링은 주어진 입력요소와 제한요소를 기반으로 최적의 경로를 도출하거나, 주어진 입력요소와 제한요소를 기반으로 실현성을 평가하게 된다.

- 입력요소 : 출발 위치, 운송수단, 운행정보 제한요소, 경유정보, 도착 위치, 기타 제한요소
- 제반정보 : 지리정보(지형도, 도로정보(폭, 높이, 회전반경 등), 지장물 정보(육교, 다리 등)
- 해석내용 : 입력요소, 제한정보를 이용한 신경망 알고리즘 평가
- 출력정보 : 운송수단 종류 별 총 운송거리, 모듈 구성, 모듈 별 이동경로

(나) 운송 평가 방법

① 운송 시나리오

비경유 시나리오의 경우 출발 제작장에서 제작된 모듈의 사이즈가 변경되지 않고 건설현장으로 운송되는 시나리오. 경로에서의 최대 폭을 수용하는 운송수단의 길이 및 높이 제약으로 Input인 건물을 분할하여 모듈 자동 생성. 생성된 각각의 모듈을 운송하는 운송수단 및 운송 경로 시뮬레이션 수행. 수행된 결과를 운송수단 종류 별로 총 운송거리 계산한다.

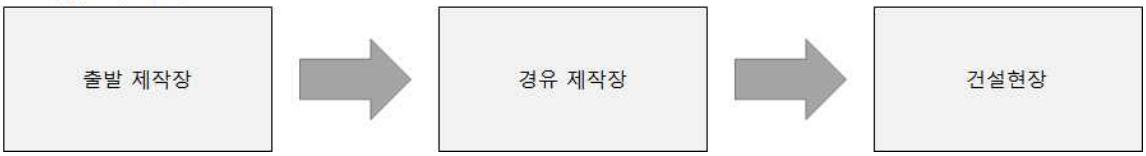
경유 시나리오의 경우 출발 제작장에서 제작된 모듈의 사이즈가 중간 경유 제작장에서 변경되고 건설현장으로 운송되는 시나리오로서 출발 경로(출발 제작장→경유 제작장)에서의 최대 폭을 수

용하는 운송수단의 길이 및 높이 제약으로 Input인 건물을 분할하여 모듈 자동 생성하게 된다.

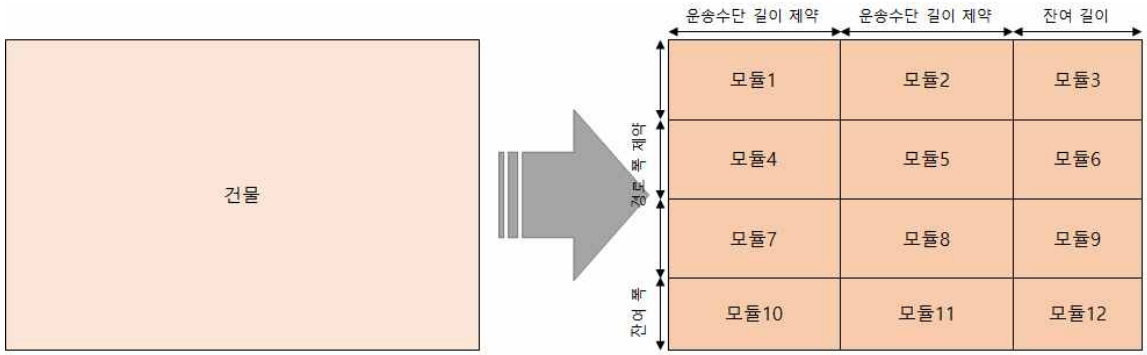
생성된 각각의 모듈을 경유 제작장까지 운송하는 운송수단 및 운송 경로 시뮬레이션 수행하게되고, 경유 경로(경유제작장→건설현장)에서의 최대 폭을 수용하는 운송수단의 최대 길이 및 높이로 같은 건물의 모듈을 결합, 분할하여 모듈 자동 생성 및 생성된 각각의 모듈을 경유 제작장까지 운송하는 운송수단 및 운송 경로 시뮬레이션 수행하게 된다.



[그림 2-2] 운송 비경유 시나리오



[그림 2-3] 운송 경유 시나리오



[그림 2-4] 건물 분할(모듈 자동 생성) 방법(2차원)

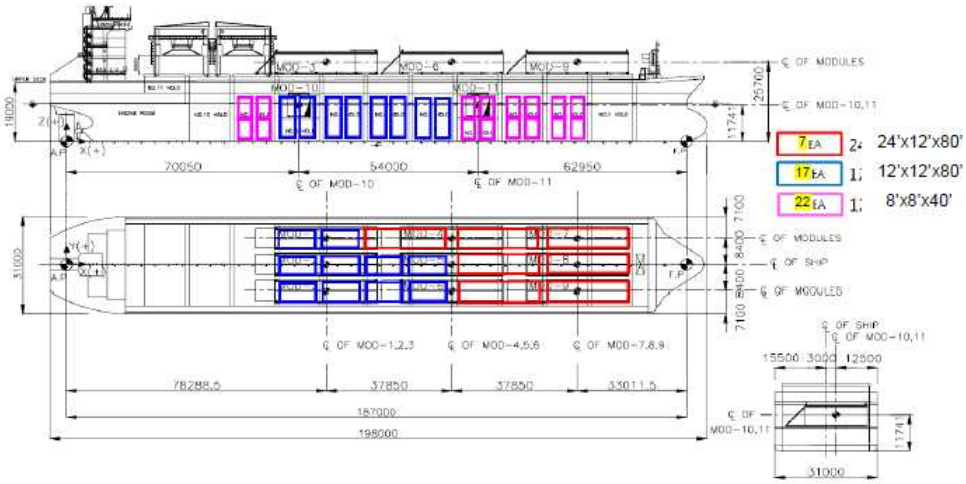
② 해상 운송

플랜트 모듈 운송에 1차적 제한 요소로 작용하는 해상 운송 조건은 운송 수단과, 접안 부두의 제한 요소로 구분된다. 다만, 접안 부두의 경우 출발지의 제한 요소는 모듈 제작소 결정 과정에서 검토가 이루어지고, 도착지의 경우 필요에 따라 접안 부두의 건설 또는 개선이 가능하여 운송 수단(선박)에 대한 검토 결과를 정리하였다.

해상운송 시 운송 선박에 따른 모듈 사이즈 제한에 대하여 해양 운송 기관의 자료를 바탕으로 운송 선박에 따른 모듈사이즈를 설정하였다.

■ 운송선박에 대한 모듈사이즈 산정

Fabrication	Envelope Size(ft)	Area	No.	J-Class Vessel	Remarks
KOREA	24'W x 12'H x 80'L	Main Rack Area	7	1 (See Picture Below:)	
	12'W x 12'H x 80'L		10		
	8'W x 8' H x 40'L		19		C- Container
	12'W x 12'H x 80'L	Other Area	7		
	8'W x 8' H x 40'L		3		C- Container
KOREA	24'W x 12'H x 80'L	Overall	12	1 (To Be Defined)	
	8'W x 8' H x 40'L	Overall	3		C- Container
KOREA	8'W x 8' H x 40'L	Overall	35		C- Container



[그림 2-5] 벌크선박의 종류

출처 : Rush Lake Commercial Thermal Project

■ 핸디사이즈(Handy size)

- 전 세계의 어느 항구에라도 입항이 가능하도록 한다는 것을 기본적인 개념으로 하는 선박으로 전 세계 항구를 대상으로 선박을 운용하기 위해 비교적 낮은 수심에서도 항행이 가능 하여야 하고, 항만설비가 부실한 곳에서도 하역을 가능토록 하기 위해Bulk Carrier의 경우 본선에 하역장치(크레인)을 장착하는 것이 일반적임
- 분류하기에 따라 10,000~35,000 DWT 혹은 25,000~43,000 DWT의 Bulk Carrier, 20,000~35,000 DWT의 Tanker를 Handy size 라고 하며, 규모가 조금 더 큰 35,000~55,000 DWT 혹은 43,000~55,000 DWT의 Bulk Carrier, 35,000~50,000 DWT 정도의 Tanker선을 Handy max라고 함
- DWT(Dry Metic Ton) : 완전 수분 증발된 마른 상태무게를 말함
- Laker는 Handy size의 특수한 형태로 미국 오대호를 통하는 센트 로렌스 강을 통과할 수 있는

최대 크기의 선박으로 20,000~27,000 DWT 정도이며 길이, 폭, 홀수가 제한됨



[그림 2-6] 핸디사이즈(Handy size)

■ 파나막스(Panamax)

- "Panamax canal maximum"의 준말로서 태평양과 대서양을 잇는 파나마 운하를 통과할 수 있는 최대 선형으로 65,000 DWT에서 73,000 DWT까지의 선박을 말함
- 운하 통행 가능선: 최대 폭 32.31 m, 최대홀수 12.04 m 까지
- Panamax선의 건조 시 선폭을 32.2 m, 계획 만재홀수를 12 m 내외로 계획하게 되며 통상적으로 60,000~75,000 DWT 정도의 선박이 이에 해당 됨
- Container선은 약 4,000~4,500 TEU 정도의 선박이 Panamax 급이고 그 이하의 크기로만 건조되어 왔으나 1980년대 후반부터 Panamax 보다 큰 크기의 선박이 건조되기 시작하여 현재에는 5,000~7,000 TEU 급의 선박들도 다수 운항되고 있으며 이들을 Post-Panamax Container Ship 이라고 부름
- Container선이 대형화 되어가는 추세는 향후 14,000 TEU까지 커질 것이라는 예측도 있으며 Panama 운하 측에서도 이러한 추세에 맞추어 통행선박의 폭을 결정하는 lock의 크기를 늘리는 것을 검토하고 있으며, 만일 그렇게 된다면 Panamax 선박의 크기도 다시 정의되어야 할 것임



[그림 2-7] 파나막스(Panamax)

■ 아플라막스(Aframax)

- 영국 런던의 Worldscale association에서 작성하는 탱커선의 운임지수(Average Freight Rate Assessment = AFRA)에서 유래되어 79,999 DWT의 탱커선을 지칭 하였지만 현재는 분류하기에 따라서 75,000~115,000, 80,000~105,000, 혹은 80,000~120,000 DWT 정도의 탱커선을 표현하는 명칭으로 쓰임
- 간단히 말해서 Panamax 보다는 크고 Suezmax 보다는 작은 탱커선이라고 생각하면 무리가 없을 것으로 용어의 유래에서 알 수 있듯이 Aframax는 탱커선에 대하여만 사용됨

<표 2-1> AFRA의 유조선 크기 분류

분 류	크 기
Coastal, Small, Harbour, Lake Tanker	16,500 DWT 미만
General Purpose Vessel (GP)	16,500 ~ 24,999 DWT
Medium Range Vessel (MR)	25,000 ~ 49,999 DWT
Large/Long Range 1 (LR1)	50,000 ~ 79,999 DWT
Large/Long Range 2 (LR2)	80,000 ~ 159,999 DWT
Very Large Crude Oil Carrier (VLCC)	160,000 ~ 320,000 DWT
Ultra Large Crude Oil Carrier (ULCC)	320,000 DWT 이상



[그림 2-8] 아플라막스(Aframax)

■ 수에즈막스(Suezmax)

- 수에즈운하를 통행할 수 있는 최대 크기의 선박을 의미하며 통상적으로 만재한 상태에서 운하를 통행할 수 있는 120,000~160,000 DWT 정도의 탱커선을 표현하는 명칭으로 쓰이고, 분류하기에 따라서 Aframax 보다 크고 VLCC(Very Large Crude Oil Carrier)보다 작은 120,000~200,000 DWT의 탱커선을 총칭하기도 함

- 수에즈 운하(길이 193 km)는 파나마 운화와는 달리 운하 양측(지중해 와 수에즈만)의 수위가 거의 같기 때문에 수위차를 극복하기 위한 수문의 설치가 필요 없으며, 운하의 대부분은 일방 통행의 수로이고 몇 군데의 교차지점과 호수지역에서 양방향 통행이 가능함



[그림 2-9] 에즈막스(Suezmax)

■ Cape Size

- 파나마 운하와 수에즈 운하를 통과하기에는 너무 커서 대양 간의 이동시 남아메리카 남단의 Cape Horn과 아프리카 남단의 Cape of Good Hope를 돌아서 운항해야 하는 크기의 Bulk Carrier를 지칭함
- 원광석과 석탄을 운송하는 광탄선에 이러한 대형의 선박들이 많이 사용되며, 경제성을 고려하여 120,000~160,000 DWT 전후의 크기가 일반적으로서 이러한 배들이 접안할 수 있는 항만은 화물을 하역하는 설비를 갖추고 있으므로 선박에는 하역장비를 설치하지 않는 경우가 대부분임
- 한편으로는 Bulk Carrier의 크기를 구분하는데 Handymax보다 큰 것을 Panamax, Panamax 보다 큰 것을 Capesize로 분류하여 80,000 DWT 이상의 Bulk Carrier를 총칭하는 뜻으로 사용되기도 함
- 광탄선은 재화계수(톤당 차지하는 용적)가 크게 차이나는 석탄(재화계수 약 46 cbft/MT)과 철광석(재화계수 약 15 cbft/MT)을 주로 운송하므로 석탄을 모든 화물창에 가득 실었을 때를 기준으로 재화중량(DWT)을 계획하고, 철광석 운송 시에는 한 창씩 건너서 선적하는 방식을 사용함(격창선적 = Alternative Loading)
- 재화계수가 낮은(즉, 비중이 높은 화물) 철광석과 같은 화물을 모든 화물창에 골고루 선적 한

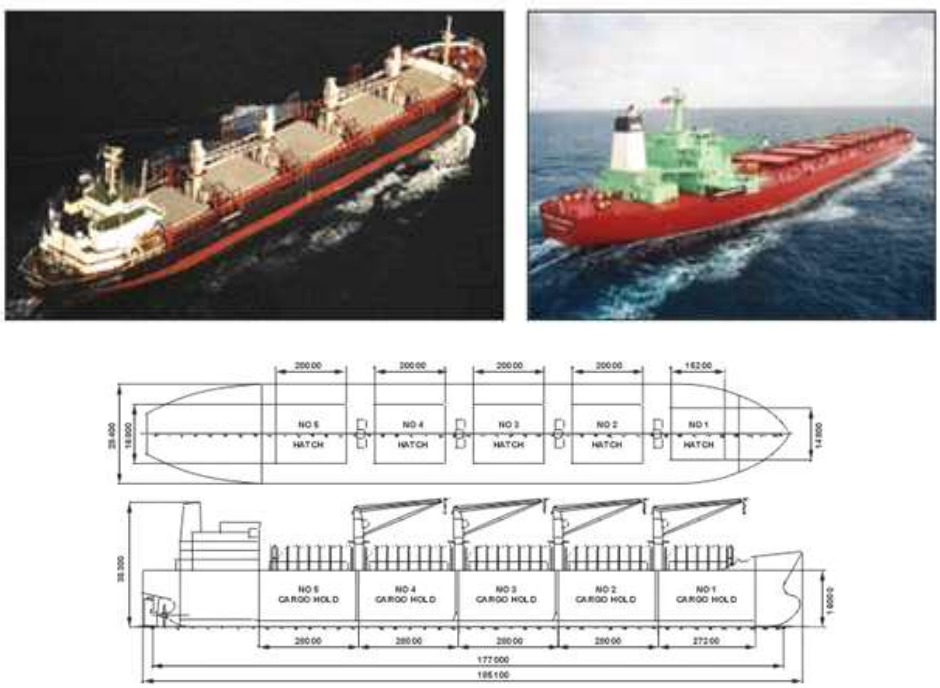
다면 화물창은 반 이하의 높이로 채워지게 되고 따라서 선박의 무게중심이 낮아지게 되어 선박의 Rolling 주기가 짧아져(빠른 속도로 흔들림) 승선감이 나빠지게 되며, 격창선적을 위해서는 선체에 특별한 보강이 필요함



[그림 2-10] Cape Size

■ Bulk Carrier

- Bulk Carrier (B/C), 벌크선, 산적화물선 혹은 살물선 이라고 불리며, 곡식, 석탄, 철광석 등과 같이 포장되지 않은 균질의 화물인 Bulk Cargo는 선박의 동요로 인해 한편으로 기울어 졌을 때 화물이 무너져 내려 한쪽으로 쏠리면 원상복구가 쉽게 되지 않는 특성이 있어 선박의 중심이동을 초래하고 복원성에 악영향을 주게 되어 전복의 위험을 유발하게 됨
- 이러한 위험을 방지하기 위해 국제 해상 인명 안전조약(SOLAS)에서 Bulk Carrier 에 대한 선박구조를 규제하고 있고, 화물적재 시에도 화물의 무너짐 방지를 위해 화물창에 화물을 가득 채우거나 화물의 표면을 다른 포장화물로 덮는 등의 방법을 사용함
- Bulk Carrier의 화물창은 상갑판에서 화물창 바닥까지 전체가 하나의 공간으로 뚫려 있는 Single Deck 형이며, 비중이 큰 철광석과 같은 화물은 화물창을 하나씩 건너서 적재하는 Alternative Loading을 하기 위해 특별한 보강을 하기도 함
- 세계 여러 곳의 불특정 항구를 운항 대상으로 하는 Handysize(대략 20,000~50,000DWT) Bulk Carrier는 대부분 Cargo Gear(Crane, Derrick 등의 양화장치)를 설치하고 있고, 하역설비를 갖춘 특정 항구들을 운항하는 Capesize(대략 120,000~160,000DWT), Bulk Carrier는 Gearless인 것이 주종이며, 그 중간 크기인 Panamax 급의Bulk Carrier 들은 Geared와 Gearless가 혼재하고 있음



[그림 2-11] 벌크선(좌측)과 광탄선(우측)

③ 해상-육상 운송 시뮬레이터 개발

GUI 환경 기반의 해상-육상 운송 시뮬레이션 프로그램 개발 및 GMap 라이브러리를 이용한 운송 애니메이션 구현하였다. 운송 모델링 Input은 Excel Import기능과 UI 작성/수정 기능을 제공함. Output은 Report/Chart/Map 형식으로 제공한다.



[그림 2-12] GMap 라이브러리를 이용한 해상 운송 애니메이션

출발/도착지 입력으로 G-Map 기반 경로 자동 생성 및 제약조건 입력 기능 제공. 사용자 임의

경로 작성 기능 제공으로 운송 경로 설계에 도움을 줄 수 있다. 시뮬레이션은 모듈(크기, 중량 등), 경로, 운송수단 제약을 만족하는 최적 경로를 제시하게 된다.

선행 기술은 차량 종류, 주행 방식, 최적화 기준 등에 따라 길찾기 서비스를 제공하고 있다. 이러한 기술은 도로교통법 등에서 규정된 기준에 제한된 길찾기 서비스를 제공하고 있기 때문에 수 백 ~ 수 천톤의 대형 화물에 대한 경로 탐색이 불가능하다.

본 연구의 결과물로서 초대형 화물에 대한 경토 탐색 방법의 경우 기존 육상 길찾기 서비스의 교차로 노드 정보를 이용한 대형 화물 운송 루트 탐색 방법에 관한 것이다.

일부 서비스(아트란 네비게이션 등)에서 도로 통과 중량, 높이를 기반으로 대형 화물 전용 길찾기 서비스를 제공하고 있지만, 단위 차로폭을 초과하는 화물 등 관련 법령을 초과하는 초대형 화물에 대한 길찾기 서비스를 제공하고 있지 않다.

이러한 이유로 초대형 화물의 운송로 탐색 서비스를 제공하기 위해서는 관련 전문 지리정보의 구축이 불가피하지만, 대형 화물 운송로 탐색 시장 수요를 확정할 수 없는 상태에서 지리정보 구축을 위한 추가적인 재원의 투입은 의사 결정에 어려움이 있다.

본 연구의 성과물은 선행 기술의 문제점을 극복하여 초대형 화물의 최적 운송로 탐색을 위한 것으로서 리정보 및 길찾기 서비스에서 제공하는 차량 통과 높이 제한, 기준 차선 통과 허용 중량, 축중량 등 기존 정보를 이용하여 수백톤 이상의 초대형 화물의 운송을 위한 길찾기 서비스 제공이 가능하다.

아래는 초대형 화물 운송로 탐색을 위한 순차적 단계를 예시를 통하여 정리한 내용으로 초대형 화물의 운송을 방법을 제시한다.

(1) 일반 네비게이션의 길찾기 서비스와 동일한 방법(화물 폭, 길이, 중량을 고려하지 않은 길찾기 서비스)으로 운송 노선을 탐색.

(2) ①항에서 탐색된 노선에 대하여 교차점에 대한 노드점을 탐색하며, 각 교차로 노드점에서의 차선 정보를 추출.

(3) ②항에서 추출한 교차로 노드점에서의 차선 정보와 도로교통법에서 지정하고 있는 차로 폭을 이용하여 운반 대상 화물에 적합한 도로인지 가/부를 판단.

운송 가능한 화물의 폭 ≤ 교차로 차선수 × 단위 차로 폭(도로교통법) ····· (식1)

(4) (식1)에 의하여 계산된 도로폭이 운송 가능한 화물의 폭보다 작은 경우 우회 경로를 탐색함 ①항~④항을 반복 수행하여 대형 폭의 화물을 위한 운송로를 탐색함.

(5) ①항~④항에서 탐색된 차선 폭을 고려한 운송 차량 통행이 가능한지 가/부를 판단함.

운송 가능한 화물의 중량 ≤ 도로 차선수 × 단위 차로 허용 중량(도로교통법) ····· (식2)

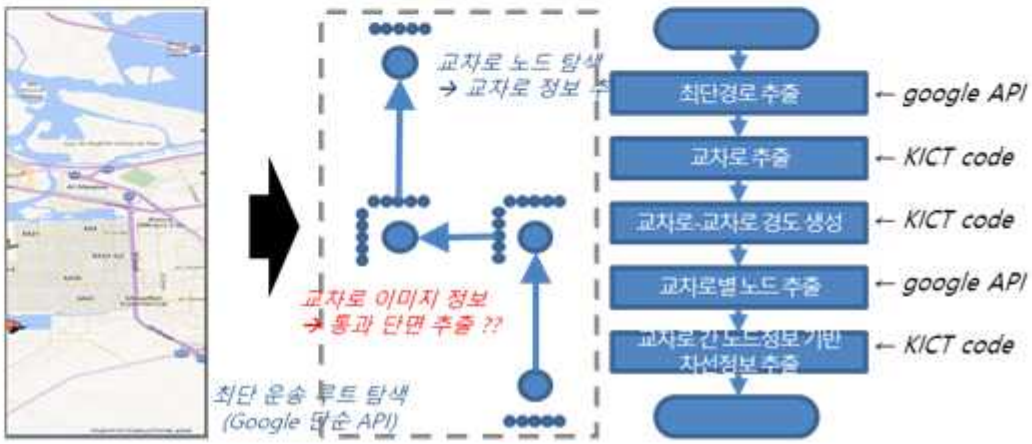
(6) (식2)에 의하여 계산된 통과 허용 중량이 운송 화물의 중량보다 작은 경우 우회 경로를 탐색함 ①항~⑥항을 반복 수행하여 대형 중량의 화물을 위한 운송로를 탐색함.

(7) ①항~⑥항에서 탐색된 최적 경로의 통과 허용 높이 육교, 신호 등 지장물을 탐색하여 초대형 화물이 통행 가능한지 가/부를 판단함.

(8) 최종적으로 (식3)을 이용하여 대형 화물의 폭, 길이와 운송로의 폭, 회전각, 회전반경을 검토하여 초대형 화물의 통행 가/부를 판단함.

(9) ①항~⑧항을 반복적으로 수행하여 초대형 화물의 통행 가능 여부를 판단함.

$$\left(\frac{L}{2}\right)\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = (W_r + r) - (W + r)\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{(식3)}$$



[그림 2-13] G-Map 지리정보, 길찾기 서비스를 이용한 대형 화물 탐색 개념



[그림 2-14] Google 지리정보 취득을 위한 API 코드 사례

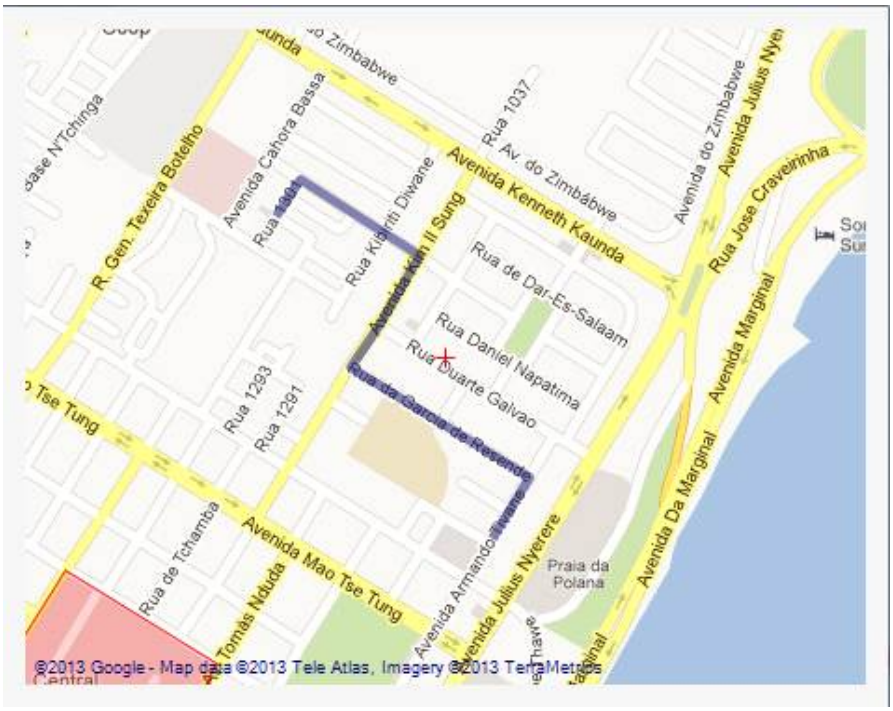
(참고) API : application programming interface



[그림 2-15] 화물 폭, 길이 및 운송로 폭, 회전 반경을 이용한 운송로 탐색 방법



[그림 2-16] A-Map 기반 모듈 제한요소 기반 경로 생성 예시
(G-Map, N-Map 기반 운송시뮬레이터 개발 협의중)



[그림 2-17] G-Map 기반 경로 자동 생성 도구 구현 화면

(다) 주요결과 및 시사점

플랜트 대형 모듈 기반의 모듈화 건설 실현성 평가, 또는 플랜트 모듈화 크기, 중량 등 제한 요소의 검토를 위한 운송 시뮬레이터를 개발하였으며, 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 플랜트 대형 모듈 운송 실현 가능성 평가
- 플랜트 모듈화 건설 입력요소(출-도착지 등), 제한요소(모듈 크기 등), 제반정보(지리정보 등) 등을 이용한 운송 시뮬레이션 및 최적 대안 제시

시뮬레이션 결과를 통해 도출되는 운송 시뮬레이션 로직의 경우 차기년도에 G-map 또는 N-map 기반 상용화 개발 추진이 필요하며, 관련 분야 특장 화물용 운송 시뮬레이션 분야에 상업화가 가능할 것으로 기대된다.

나. 타당성/ 의사결정지원체계의 구조화

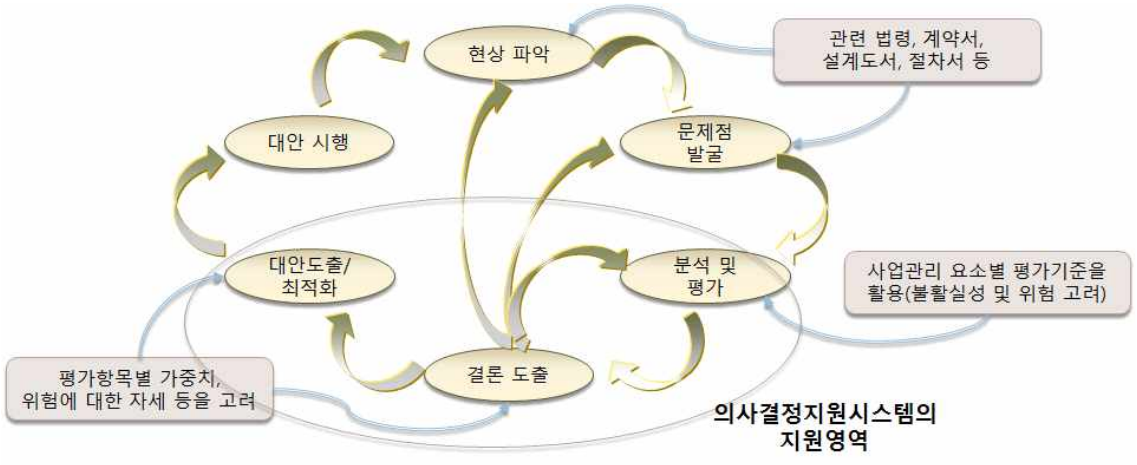
플랜트 입찰단계 의사결정지원시스템은 플랜트 모듈화 사업(특히 LNG플랜트)을 대상으로 하며, 플랜트 모듈화 건설시장에 국내 건설업체가 진출하기 위한 핵심적인 기술로서 시장과 발주자의 니즈를 충족시키고 경쟁력을 갖출 수 있는 독자적인 사업관리기법의 확보를 위한 핵심적인 요소이다. 특히, 의사결정지원체계는 사업관리기법에 있어서 구조화된 의사결정지원체계를 구축하는 핵심적인 항목으로 입찰단계에서의 부족한 사업 타당성검토에 관한 역량을 보완하고 발주자, 사업관리자 및 시공자의 사업목표와 플랜트사업에 관한 니즈를 만족시키는 역할을 수행하며, 이를 통해 부족한 경험을 보완할 수 있는 체계이다.

본 연구에서 사업관리 의사결정지원모듈을 개발하는 것은 다음과 같은 두 가지 목적을 가지고 있다.

① 입찰과정에서 필요한 의사결정사항들을 구조화된 의사결정체계로 지원함으로써 부족한 입찰 역량을 보완하고 입찰의 성공확률을 높이고 수익을 극대화하는 역할을 수행

② 지역적 특성, 현장의 특성, 발주자의 특성 등에 따라 발생되는 특정 상황에 대한 비정형적 의사결정의 구조화를 지원하여 의사결정의 합리성 부여

본 연구에서 개발되는 입찰단계 의사결정지원체계는 입찰진행과정의 논리적인 의사결정구조, 절차와 결합하여 구조화된 체계로 대안을 도출하고 위험에 기반하는 의사결정 구조를 구현하고자 한다. 따라서 의사결정지원시스템의 관리영역은 입찰단계 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.



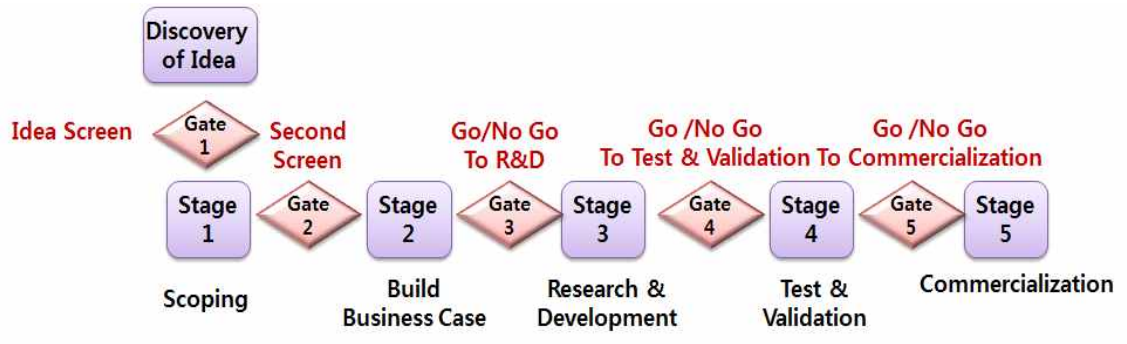
[그림 2-18] 플랜트 입찰단계 의사결정지원시스템의 지원영역

플랜트 입찰단계 의사결정지원체계는 사업관리조직의 계층적 구조와 연계하여 사업의 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.

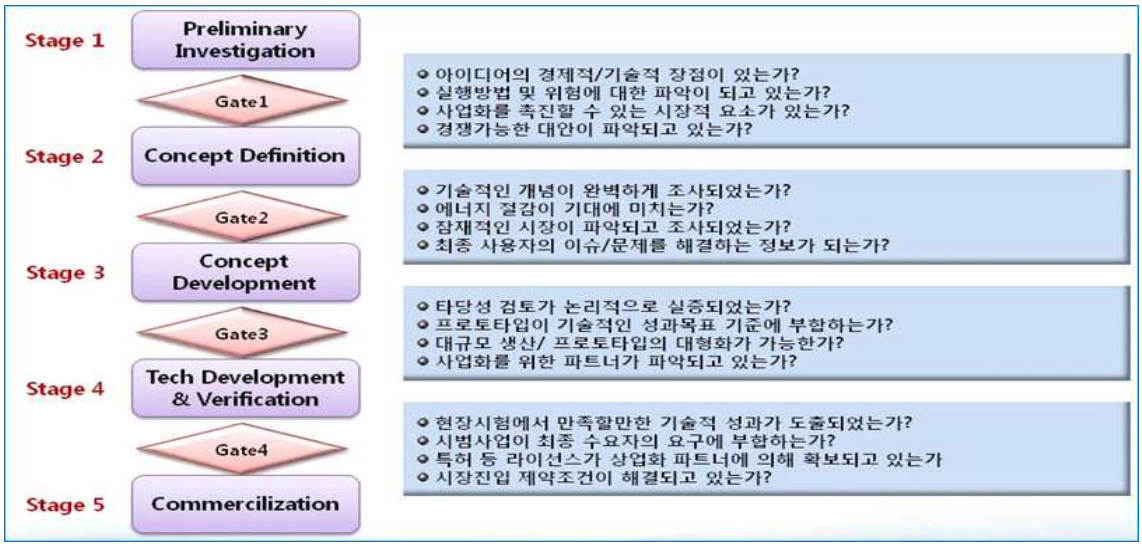


[그림 2-19] 플랜트 입찰단계 의사결정지원체계의 계층적 구조

입찰단계 의사결정지원체계의 개발에 있어서 본 연구에서는 사업의 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 입찰단계 사업관리 활동(Activity)과 그 활동결과의 분석(Analysis)으로 구성되며 이를 토대로 각 단계별로 결과물(Deliverables)을 도출하는 세부단계를 말하며, Gate는 의사결정기준, 또는 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.[4)]



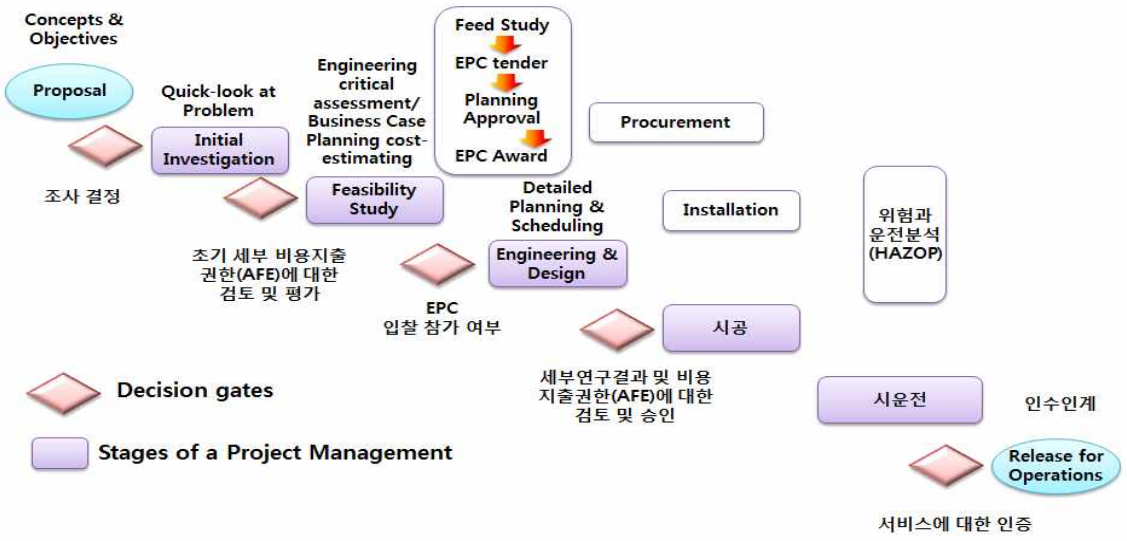
[그림 2-20] Robert G. Cooper의 R&D사업에 대한 Stage-gate model



[그림 2-21] Stage-gate model 예시

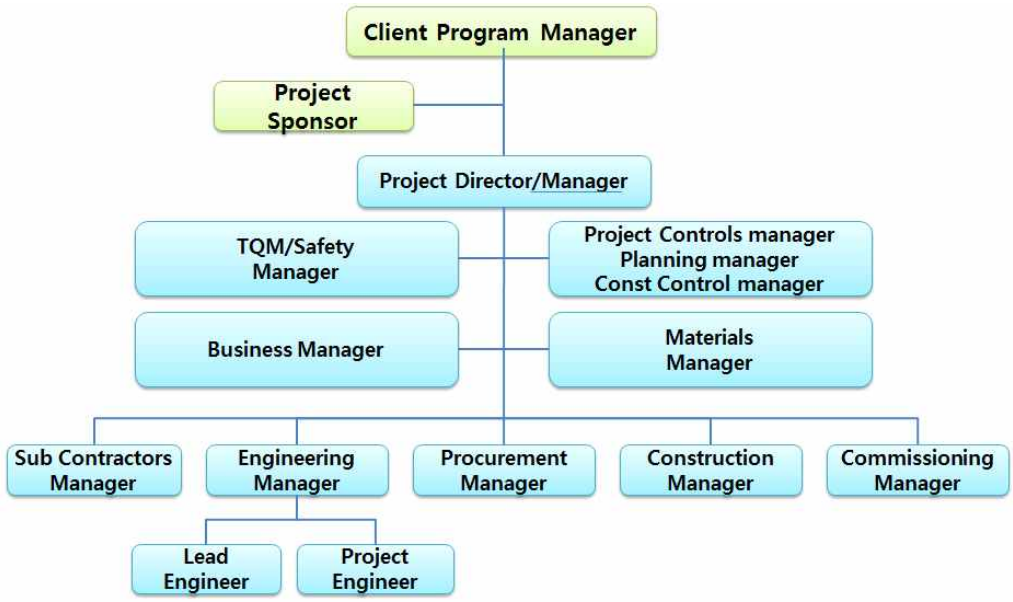
다음 그림은 플랜트사업의 전체 단계를 Gerald B. Greenwald가 표현한 것으로 사업관리활동에 있어서 핵심적인 의사결정항목이 플랜트사업의 비용지출권한(Authorization For Expenditure, AFE)에 대한 검토 및 평가, 승인의 과정임을 보여주고 있다.[5)]

4) http://www.prod-dev.com/stage-gate.php 참조
5) Gerald B. Greenwald, Liquefied Natural Gas: Developing and Financing International Energy Project,1998



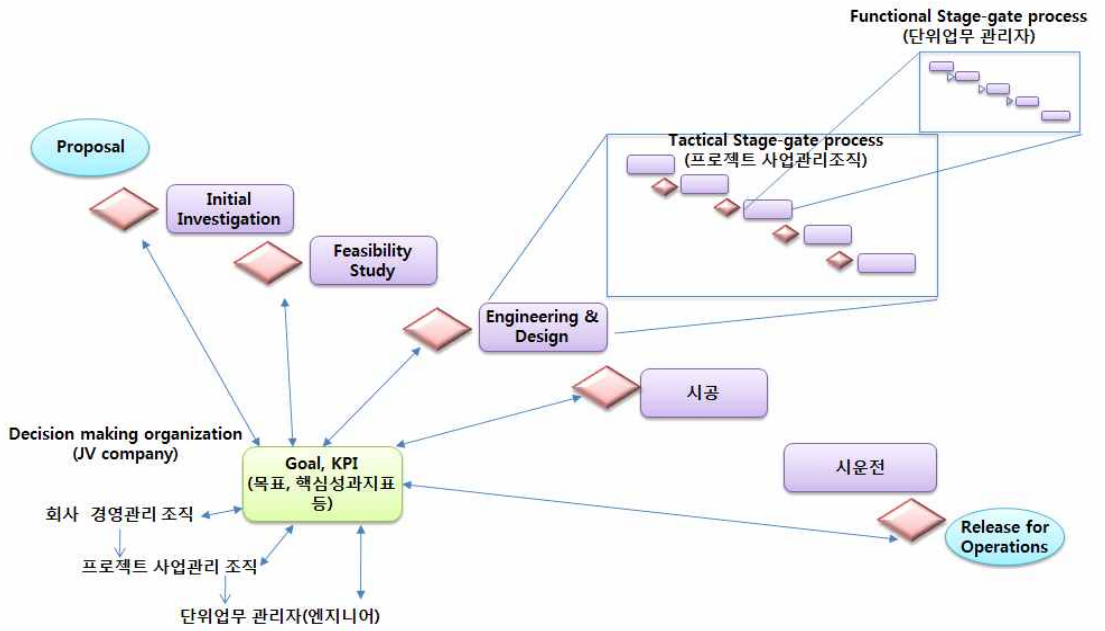
[그림 2-22] 플랜트 Pre-FEED, FEED, EPC단계별 사업관리에 대한 Stage-gate model

이러한 Stage-Gate모델과 결합되는 EPC업체의 프로젝트 조직체계는 다음과 같다.



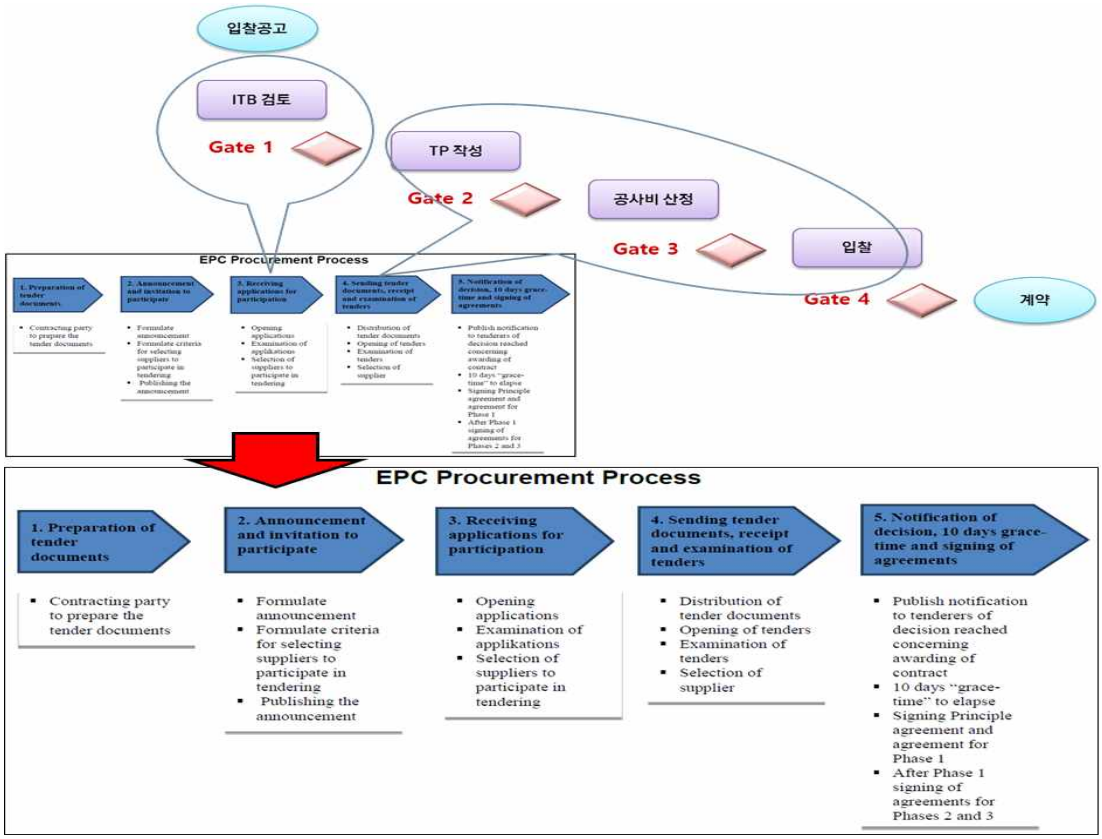
[그림 2-23] LNG플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계

플랜트사업에 있어서 의사결정지원체계는 사업관리자 조직이 해당 사업 수행에 관한 전략적 의사결정을 수행하며, 부문별 사업관리자 조직이 전술적 의사결정, 그 하위 엔지니어들이 단위업무별 의사결정활동을 수행하는 것으로 제시하고자 한다.



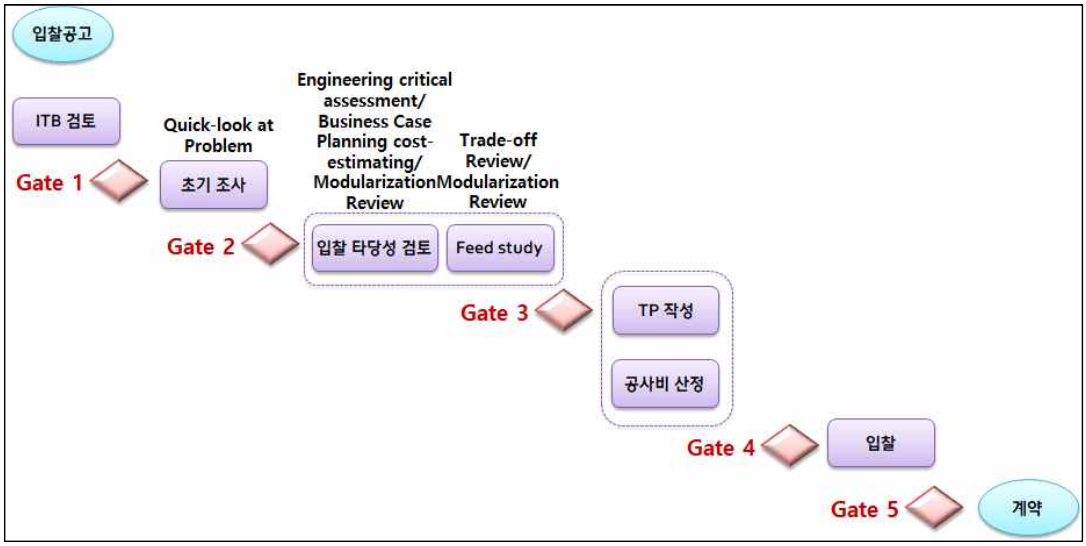
[그림 2-24] 플랜트사업의 EPC contractor 사업수행체계와 의사결정의 계층구조

선행연구를 통해 EPC발주 프로세스를 정리하였으며, 이러한 EPC 발주프로세스와 일반적인 입찰프로세스를 결합하여 정리하면 다음과 같다.



[그림 2-25] 플랜트 EPC 발주프로세스와 일반적인 입찰프로세스

이러한 EPC 발주프로세스와 일반적인 입찰프로세스를 토대로 모듈화를 고려하여 다음과 같이 입찰공고로부터 계약까지 총 5개의 Stage(입찰공고, 계약 단계 제외)와 6개의 Gate로 구성된 '입찰단계 Stage-Gate Process Model'을 도출하였다.



[그림 2-26] 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model

<표 2-2> 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model 업무정의(1)

STAGE	입찰 공고	ITB 검토	◆	초기 조사	◆	입찰 타당성 검토
			GATE1		GATE2	
수행 업무	입찰진행 Task Force 구성	입찰공고문 주요정보 검토 •발주처및입찰준비사항 •설계사 •사업명,현장위치,공사내용및주요물량내역 •입찰서류제출마감일,장소 •입찰보증형식및금액 •입찰결과공개여부,참가자격 사업정보분석 •진출국의 제도적 특성 •진출국의금융환경특성 •사회,문화,자연환경특성 •진출국의건설산업특성(기자재공급사정,노동시장여건등) 입찰참여 전략수립 •수주전략수립및입찰준비착수 입찰문서 검토 및 명확화 •입찰방식,입찰문서,입찰조건등아래항목검토 ※ 공사개요, 입찰관련사항, 입찰참가형태, 추진일정, 입찰 전 현장조사, 조사/위험부담, 계약문서, 보험, 보증, 기성지급조건, 재세공과금, 공사중지, 공사변경, 물가변동, 법령변경, 공기연장, 지체보상, 준공절차, 계약해지, 특별위험/불가항력, 분쟁처리 등 •Clarification Inquiry제출		현장설명회(Pre-Tender Meeting) 참여 및 현장조사(site-Survey) •입찰공고문,입찰서류상의 모호한부분에대한질의및 명확화 •건설현장상세정보 •현지동향 •현지기후 •세금,보험,보증등 •현지법규,수출입제한규정등 •각종인허가,공공기관업무진행방법등 •운송,보급수단및시설,현장접근성(도로여건등) •현지조달가능자원 •환경규제,소음규제등건설사업규제요소 •입찰서류,도면,시방서등과상이한점		Engineering critical assessment BusinessCasePlanning cost-estimating •유사공사비교검토 •개산견적 Modularization Review

<표 2-3> 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model 업무정의(1)

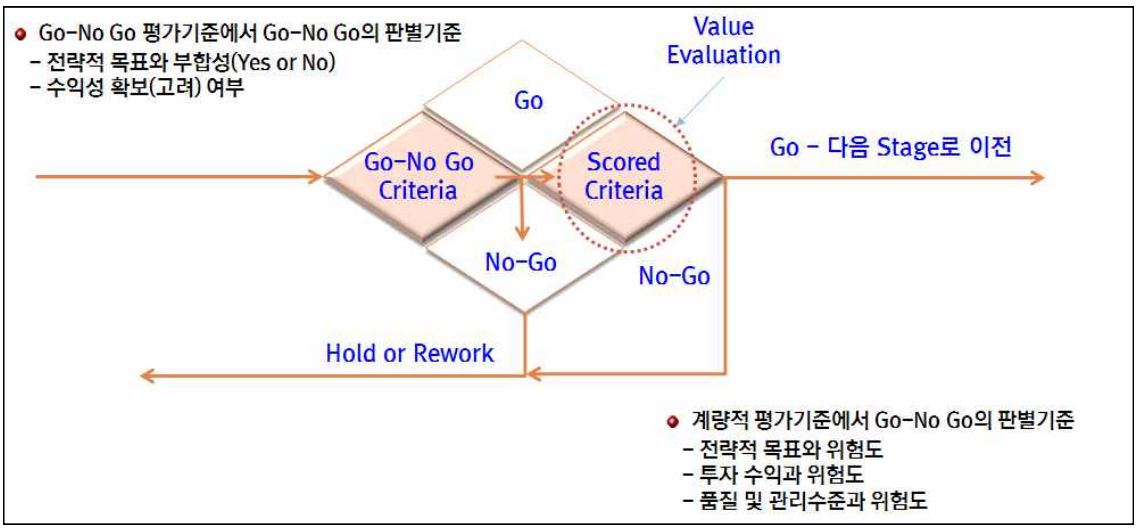
STAGE	Feed -study	TP 작성 공사비 산정	입찰	계약
		GATE3	GATE4	GATE5
수행 업무	Trade-off Review <견적> •입찰서류검토,물량산출,자재및하도급 quotation •공정표작성,공법구성,작업조편성 •기준단가정리,Breakdown •공법간금액비교,공법및작업조결정 •인원,장비,자재의 투입계획서구성 •직접비정리,검토,보완,결정 •간접비산출 •고정투입비산출 •Cashfiow작성,선투입이자,물가상승비,환차손반영 •Boq(Bill of quantity) filling Modularization Review	TP(기술입찰서)작성 •Executionplan •Organization •Mobilization •Temporyconstructionfacility & spacerequirement •Overallschedule & workbreakdownstructure • Methodstatementsformajoractivitties •Subcontractplan •Fulfillmentoflocalcontent •Engineeringdocuments •Pre-commissioning,handoverplan • HSE(Health,Safety,Environment)plan •Qualitymanagementplan •Miscellaneous CP(상업입찰서)작성 •Bidbond •Powerofattorney (POA)(위임장) •Bidprice (Formoftender) •Pricedbill of quantity •Schedule of daywork rates •Formofagreement •Alternative proposal & deviation •Discounts •Escalation formulate & coefficient	입찰서제출 •마감시한,제출부수,제출장소,봉인및주기방법등 확인 •기술입찰서,상업입찰서 봉인 제출	입찰서 평가 및 낙찰자 선정 계약(계약서검토및 계약 체결)

각 Gate는 'LNG 플랜트 사업관리 의사결정지원체계 구조화방안[6]'의 의사결정 로직을 활용하여 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 수익성 확보(고려)여부 등을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성하였다. 또한, 기존의 의사결정 로직 중 Go-No Go Criteria만을 활용하여 시설물에 관한 계약 요구조건의 부합여부를 체크리스트 형태로 운영하는 의사결정 로직도 함께 적용하였다.

플랜트 모듈화 사업의 의사결정지원시스템 구현을 위한 의사결정 로직은 핵심적인 의사결정 평가항목인 전략적 목표와의 부합성, 입찰 및 계약요구 조건, 수익성, 수행역량 등을 토대로 Gate Review Factor를 구성하고, Go-No Go Sub Gate와 위험도와 관리수준 점수에 의한 Scored

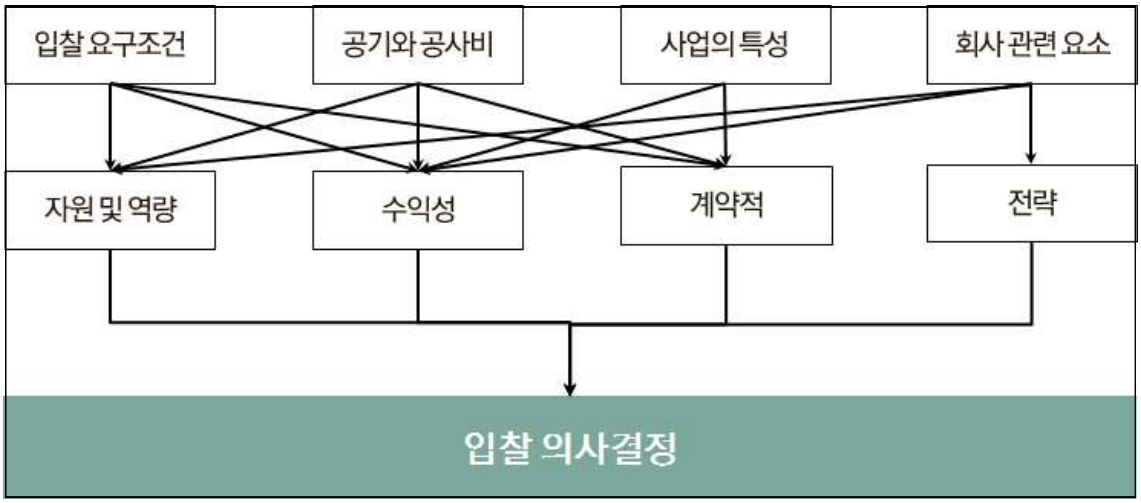
6) 진경호 외 2인, LNG플랜트 사업관리 의사결정지원체계 구조화방안, 대한설비공학회 2011 하계학술발표대회 논문집, pp320~323, 2011.7

Subgate로 구분하여 의사결정을 수행하도록 구성하였다.



[그림 2-27] 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model의 Gate상의 의사결정로직 개념

입찰단계 의사결정 항목으로는 다음과 같이 다양한 항목들이 있다.



[그림 2-28] 입찰단계 의사결정 항목(예시)

이러한 항목들 중에서 플랜트 사업의 입찰단계 핵심적인 의사결정항목은 크게 전략, 입찰 및 계약요구조건, 수익성, 수행역량으로 구분하고 세부 의사결정항목을 제시하였다.

<표 2-4> 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model 사업관리 의사결정 항목

Category	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목
1. 전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	• 사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보) • 비즈니스 영역의 다원화 • 시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보 • 고객과의 관계 확보 • 사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도) • 투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)
2. 입찰 및 계약요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	• 입찰 요구조건의 부합정도 • 제안서 작성 및 납기 일정의 현실성 • 계약범위의 적정성 • 발주자 요구사항 부합성 • 라이선스 확보 여부 • 지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성 • 사업중단 가능성 • 관련 경험 보유 여부 및 정도
3. 수익성	변동요인 및 위험 최소화	• 공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) • 공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) • 수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)
4. 수행역량	역량 및 품질 확보	• 아웃소싱 타당성 • 현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 • 지역내 필요한 자재와 설비의 가용성 • 지속적인 EPC역량 강화 가능성 • 핵심인력의 확보 여부 • 업무 부하 정도 • 핵심공정 및 적용기술의 타당성 • 품질기준과의 부합성

위와 같이 도출된 사업관리항목에 대해 스테이지게이트 모델의 각 스테이지와의 연관성을 정리하면 다음과 같다.

<표 2-5> 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model의 GATE별 의사결정항목의 연관성

구분	사업 관리 목표	사업관리 의사결정 항목	EPC 입찰 프로세스 스테이지 게이트에서 의사결정 항목												
			입찰공고	ITB검토	G1	초기조사	G2	입찰타당성검토	FEED-Study	G3	TP작성 / 공사비산정	G4	입찰	G5	계약
1. 전략	EPC 회사의 전략적 목표 완수	• 사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보)			●										
		• 비즈니스 영역의 다원화			●										
		• 시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보			●		●								
		• 고객과의 관계 확보			●		●								
		• 사업의 핵심역량 부합 여부 (강화 기여 정도)								●		●			
		• 투자의 필요성 및 확보 여부 (재무적 능력)								●		●			
2. 입찰 및 계약 요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	• 입찰 요구조건의 부합정도										●			
		• 제안서 작성 및 납기 일정의 현실성			●		●			●		●			
		• 계약범위의 적정성												●	
		• 발주자 요구사항 부합성										●		●	
		• 라이선스 확보 여부			●		●			●		●		●	
		• 지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성												●	
		• 사업중단 가능성					●			●				●	
		• 관련 경험 보유 여부 및 정도					●			●					
3. 수익성	변동요인 및 위험 최소화	• 공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등)								●		●		●	
		• 공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등)								●		●		●	
		• 수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)								●		●		●	
4. 수행 역량	역량 및 품질 확보	• 아웃소싱 타당성								●					
		• 현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성					●			●					
		• 지역내 필요한 자재와 설비의 가용성					●			●					
		• 지속적인 EPC역량 강화 가능성								●					
		• 핵심인력의 확보 여부								●					
		• 업무 부하 정도								●					
		• 핵심공정 및 적용기술의 타당성								●		●			
		• 품질기준과의 부합성								●		●			

위와 같은 사업관리항목을 토대로 세부 의사결정 단계별(Check Point)별로 세부적인 평가기준을 제시하고 이에 대한 계량적 평가가 가능하도록 제시하였다.

다음은 각 단계별 Gate에 대한 Go-No Go의 평가기준과 의사결정항목을 표현한 것이다. Go-No Go 기준은 전략, 수익성, 품질에 관한 의사결정항목만 반영되도록 하였다.

구분	목표	의사결정항목	Go-No Go 기준 여부	Decision Index Type	Score
1.전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	1. 사업실적의 확보 필요성	O	S, C	
		2. 비즈니스 영역의 다원화	O	S	
		3. 시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보	O	S	
		4. 고객과의 관계 확보		S	
		5. 사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도)	O	S	
		6. 투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)		C	
2. 입찰 및 계약 요구조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	1. 입찰 요구조건의 부합정도		S,C	
		2. 제안서 작성 및 납기 일정의 현실성	O	S,C	
		3. 계약범위의 적정성		S,C	
		4. 발주자 요구사항 부합성	O	S	
		5. 라이선스 확보 여부	O	S,C	
		6. 지불조건 및 지체상금(손해배상)의적정성		C	
		7. 사업중단 가능성		S	
		8. 관련 경험 보유 여부 및 정도		S	
3. 수익성	정확성(±10% 이내)높은 공기 및 공사비를 개략 산정	1. 공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등)		C	
		2. 공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등)		C	
		3. 수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)		S, C	
4.수행역량	역량 및 품질확보	1. 아웃소싱 타당성		S, Q	
		2. 현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성		Q	
		3. 지역내 필요한 자재와 설비의 가용성		Q	
		4. 지속적인 EPC역량 강화 가능성		S, Q	
		5. 핵심인력의 확보 여부		S, Q	
		6. 업무 부하 정도		Q	
		7. 핵심공정 및 적용기술의 타당성		S, Q	
		8. 품질기준과의 부합성		S, Q	

전략지수(S)
수익성지수(C)
품질지수(Q)

[그림 2-29] Gate의 의사결정기준 template(예시)

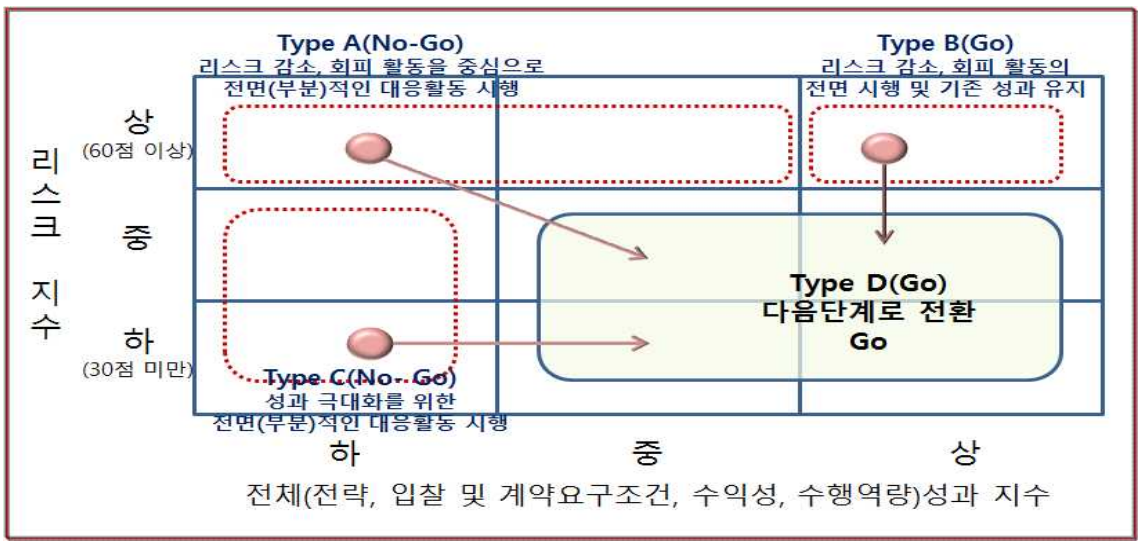


[그림 2-30] Gate의 의사결정 기준

의사결정에 대한 결과로써 다음과 같은 대응활동의 유형을 4가지로 제시하였다.

<표 2-6> 의사결정 결과에 따른 대응활동 유형 예시

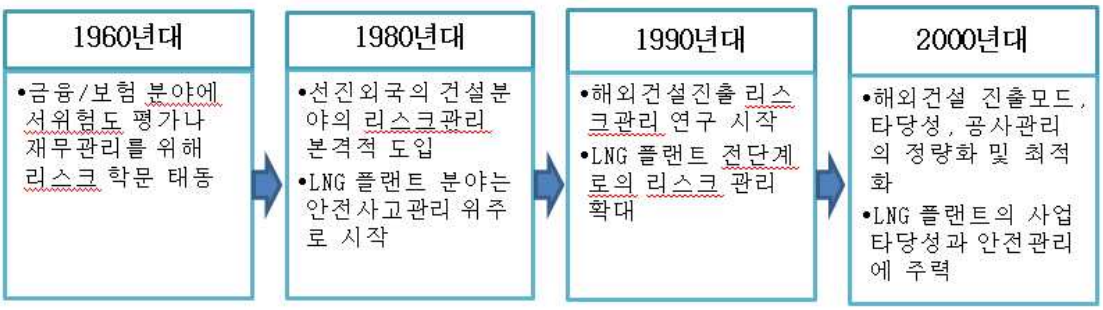
유형	설명
Type A	<항목별 우선순위> 리스크 등급이 높은 것 중 성과지수가 기준 미만인 항목 리스크 등급이 높은 것 중 성과지수가 상대적으로 낮은 항목 <대응방안> 전체적이나 부분적인 대응활동(전략 수정, 공사비절감, 공기단축 등 대응활동) 지시 대응활동의 전개에 따른 리스크의 변화에 대한 재검토 및 리스크 대응방법 시행 지시 리스크 재평가 및 결과를 반영(리스크가 축소될 때까지 반복 시행)
Type B	<항목별 우선순위> 리스크 등급이 높은 항목 리스크 등급이 높은 것 중 성과지수가 상대적으로 낮은 항목 <대응방안> 리스크 등급의 변화에 대한 재검토 및 리스크 대응방법 시행 지시 리스크 재평가 및 결과를 반영(리스크가 축소될 때까지 반복 시행)
Type C	<항목별 우선순위> 성과점수가 5점 미만인 항목 성과지수 중 중요도 순위별로 성과점수가 상대적으로 낮은 항목 <대응방안> 전체적인 대응활동(전략 수정, 공사비절감, 공기단축 등 대응활동) 지시 대응활동에 대한 성과 재평가 반영
Type D	<항목별 우선순위> 의사결정항목별로 성과점수가 낮은 항목 <대응방안> 항목별로 부분적인 대응방안(공사비절감, 공기단축 등 대응활동)을 시행



[그림 2-31] 의사결정 결과에 따른 대응활동 유형 예시

한편, 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model에서 각 단계별 리스크요인 도출과 평가에 관한 세부내용은 다음과 같다.

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 플랜트사업의 특수적인 문제를 다루는 리스크에 관한 연구이다.



[그림 2-32] LNG 플랜트 및 건설 리스크 관리 발전과정

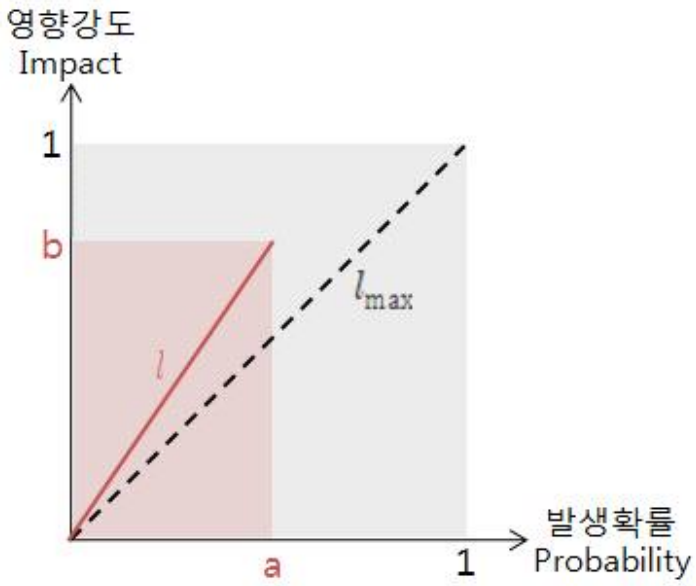
해외에서 리스크에 관한 학문적 연구는 1960년대 금융, 증권, 보험을 중심으로 경영학에서 시작되어 위험도 평가나 재무관리를 위해서 시작되어짐. 건설 분야에 있어서의 리스크 관리는 1980년대부터 안전사고, 원가상승, 공기지연 등을 중심으로 시작되었으며 1990년대 후반 이후 신규시장 진출, 입찰의사결정, 사업타당성 분석 등으로 범위가 확대되고 있다.

해외에서 플랜트에 관련된 리스크 분야 연구는 1980년 전후 LNG누출에 대한 확률과 피해크기에 관한 연구로 시작되어 최근에는 플랜트의 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.

본 연구에서는 플랜트 사업의 입찰단계 Stage-Gate Process 모델을 활용하여 각 Stage가 종료된 시점에서 리스크를 평가하는 체계를 제시하였다.

기존 리스크 우선순위 도출에 있어서 가장 많이 활용되고 있는 방법이 확률(Probability)과 영향강도(Impact)의 두 가지 기준으로 가지고 거리의 개념을 적용하여 평가하는 방법이다. 거리의 개념은 원점을 기준으로 좌표평면의 양축을 발생확률과 영향강도로 규정하여, 원점에서 부터의 거리를 계산하여 리스크의 수준을 평가하는 것이다.



[그림 2-33] 이축의 리스크 수준 산정

$$\text{리스크의 상대적 우선순위} = \sqrt{P^2+I^2} \quad \cdots\cdots (1)$$

P : Probability (확률), I : Impact (영향강도)

이러한 이축(PI)의 평가기법은 리스크의 수준을 쉽게 구분해 주는 리스크 매트릭스로도 표현이 가능하며, 리스크의 위치가 확인되는 즉시 해당 리스크의 수준을 쉽게 파악할 수 있다는 장점이 있어 리스크평가 방법으로 널리 활용되고 있다. 이에 본 연구에서는 실무 적용성을 높이고자 이축(PI)의 방법으로 리스크의 우선순위를 도출하게 되며 사용자가 개별 리스크요인의 P(Probability, 확률), I(Impact, 영향강도)를 1점(매우 낮음)에서 5점(매우 높음)으로 입력하게 되면, 수식 (1)을 통해서 Stage별 리스크요인의 상대적 우선순위 점수가 도출된다.

이를 바탕으로 리스크 점수에 따라 등급이 부여되며, 리스크 등급이 A등급이나 B등급으로 높은 리스크 요인은 관리항목으로 선정되어 집중 관리된다. PI 점수에 따른 리스크 등급은 다음과 같다.

<표 2-7> PI 점수별 리스크 등급

리스크등급	이상	미만
A	6	-
B	5	6
C	4	5
D	-	4

한편, 리스크지수는 해당 Stage에서의 전체 리스크요인에 대해서 평가를 하게 되며, 전문가 자문 결과를 바탕으로 리스크 지수를 100점으로 환산했을 때 30점 이하면 리스크 관리가 효과적으로

이루어져 다음 Stage로의 진입이 가능한 것으로, 60점 이상이면 추가 리스크 관리가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 각 스테이지별 리스크 인자를 도출하기 위하여 국내외 연구문헌 및 국내외 선진기관의 리스크 인자 등을 분석하였다. 특히, 미국건설산업연구원(CII)에서 수행한 플랜트 모듈화 위원회의 연구결과 등을 토대로 전통적인 Stick build 방식과 모듈화 방식으로 구분하여 리스크 요인을 도출하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

<표 2-8> 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model의 단계별 리스크 요인

No	리스크 항목	스테이지	모듈화 연관성
1	•외국업체의 진입제한 관련 법규가 존재하는가?	ITB 검토	공통
2	•외국업체에게 불공정한 세금을 부과하는가?	ITB 검토	공통
3	•건설행정처리 절차가 까다로우며 과도한 통관 및 관세를 적용하는가?	ITB 검토	공통
4	•정부정책 및 관련법 변경으로 인한 피해가 우려되는가?	ITB 검토	공통
5	•관련 이익단체 등과의 갈등 및 외압, nimby가 존재하는가?	ITB 검토	공통
6	•전쟁/내란발생으로 인하여 사회적 혼란을 야기하는가?	ITB 검토	공통
7	•정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가?	ITB 검토	공통
8	•과실송금에 대한 제도적 규제가 존재하는가?	ITB 검토	공통
9	•현지은행 및 관련기관이 과실송금에 대하여 비협조적인가?	ITB 검토	공통
10	•발주자의 지속적인 기성지불 능력이 부족한가?	ITB 검토	공통
11	•발주자의 파산 및 재정적 능력 상실이 우려되는가?	ITB 검토	공통
12	•프로젝트 전반에 대한 발주자의 이해가 부족한가?	ITB 검토	공통
13	•발주자가 프로젝트 진행에 있어서 비협조적 또는 지나친 간섭을 하는가?	ITB 검토	공통
14	•발주자의 부정행위가 존재하는가?	ITB 검토	공통
15	•진출국의 사전정보(건설환경, 제도, 관행 등)이 충분한가?	ITB 검토	공통
16	•발주자에 대한 정보가 충분한가?	ITB 검토	공통
17	•경쟁업체 및 현지업체에 대한 정보가 충분한가?	ITB 검토	공통
18	•공사현장 여건에 관한 정보가 불명확한가?	초기조사	공통
19	•요구되는 시공기술에 대한 정보가 불확실한가?	초기조사	공통
20	•경쟁업체에 대한 정보가 불충분한가?	초기조사	공통
21	•입찰정보와 현장조건이 불일치 하는가?	초기조사	공통
22	•입찰안내서 및 입찰정보에 불충분한 정보가 존재하는가?	초기조사	공통
23	•발주자의 모듈화 시공에 대한 이해도(장점, 위험도)는 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
24	•발주자의 모듈화 시공에 대한 사전검토는 충분히 이루어졌는가?	입찰타당성검토	모듈화

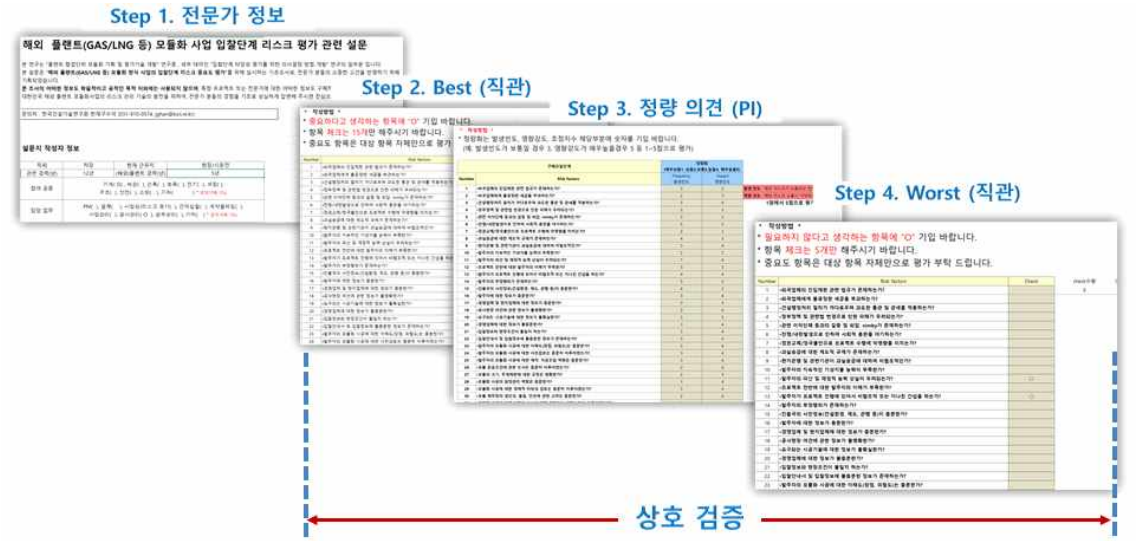
No	리스크 항목	스테이지	모듈화 연관성
25	•발주자의 모듈화 시공에 대한 계약, 자금조달 역량은 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
26	•모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?	입찰타당성검토	모듈화
27	•모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가?	입찰타당성검토	모듈화
28	•모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
29	•모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토는 충분히 이루어졌는가?	입찰타당성검토	모듈화
30	•모듈 제작장의 생산성, 품질, 안전에 관한 고려는 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
31	•모듈화 시공에 따른 위험과 보상에 대한 균형있는 전략수립이 이루어졌는가?	입찰타당성검토	모듈화
32	•모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
33	•설계사의 모듈 설계 역량(설계 변경 최소화)은 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
34	•자재 조달 역량은 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
35	•해당국가의 조세 정책(모듈이 외국에서 제작되어 오는 경우)은 합리적인가?	입찰타당성검토	모듈화
36	•EPC업체의 사업 수행 역량은 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
37	•해당 사업의 Localization(현지 자원에 대한 의무 활용 비율)은 높은가?	입찰타당성검토	모듈화
38	•견적업무시 투입물량 산정 및 검토가 미흡한가?	FEED-Study	공통
39	•견적정보수집이 어려우며 입찰서류준비가 미흡한가?	FEED-Study	공통
40	•계약화폐의 가치가 대폭 절하되어 환리스크가 심각한가?	FEED-Study	공통
41	•진출국의 물가인상과 시장의 변화가 급격한가?	FEED-Study	공통
42	•프로젝트 현금흐름의 예측이 불확실한가?	FEED-Study	공통
43	•발주자의 모듈화 시공에 대한 이해도(장점, 위험도)는 충분한가?	FEED-Study	모듈화
44	•발주자의 모듈화 시공에 대한 사전검토 정도는 충분히 이루졌는가?	FEED-Study	모듈화
45	•발주자의 모듈화 시공에 대한 계약, 자금조달 역량은 충분한가?	FEED-Study	모듈화
46	•모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?	FEED-Study	모듈화
47	•모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가?	FEED-Study	모듈화
48	•모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?	FEED-Study	모듈화
49	•모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토은 충분히 이루어졌는가?	FEED-Study	모듈화
50	•모듈 제작장의 생산성, 품질, 안전에 관한 고려는 충분한가?	FEED-Study	모듈화
51	•모듈화 시공에 따른 위험과 보상에 대한 균형있는 전략수립이 이루어졌는가?	FEED-Study	모듈화
52	•모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가?	FEED-Study	모듈화
53	•발주자의 요구조건 반영이 미흡한가?	TP작성/공사비산정	공통
54	•회사의 프로젝트 리스크관리시스템이 미흡한가?	TP작성/공사비산	공통

No	리스크 항목	스테이지	모듈화 연관성
		정	
55	•발생가능한 리스크 예측 능력이 부족한가?	TP작성/공사비산정	공통
56	•입찰가가 과도하게 하향조정 되었는가?	TP작성/공사비산정	공통
57	•가격담합 및 로비등으로 인하여 회사의 피해가 발생하는가?	TP작성/공사비산정	공통
58	•자재조달 비용을 과대/과소 하게 책정하였는가?	TP작성/공사비산정	공통
59	•장비소요 비용을 과대/과소하게 책정하였는가?	TP작성/공사비산정	공통
60	•계약서에 명기된 선급금 조항은 명확한가?	계약	공통
61	•계약서에 명기된 기설지불조건은 명확한가?	계약	공통
62	•계약서에 명기된 공기관련(착공일, 준공일) 일자는 명확한가?	계약	공통
63	•계약서에 명기된 성능보장, 하자보증, 설계변경조건, 협상/중계/소송의 절차 및 규정은 합리적인가?	계약	공통
64	•계약서에 명기된 보증 및 보험에 관한 규정은 합리적인가?	계약	공통
65	•계약서에 명기된 계약해지조건은 합리적인가?	계약	공통
66	•계약서에 명기된 공사중단조건은 합리적인가?	계약	공통
67	•계약서에 명기된 인원,장비,자재에 관한 사항은 합리적인가?	계약	공통
68	•계약서에 명기된 Escalation에 관한 조항은 합리적인가?	계약	공통
69	•계약서에 명기된 재세조건 및 현지법에 관한 내용은 합리적인가?	계약	공통
70	•계약서류간 모순점은 없는가?	계약	공통

이와 같이 도출된 리스크 요인에 대해 적정성을 검토하기 위하여 관련분야 전문가에 의한 중요도 평가를 실시하였다.

대상은 플랜트 사업을 수행하고 있는 5개사 플랜트 모듈 전문가 30명을 대상으로 1개월간(2018.5) 다음과 같은 방법으로 실시하였다.

우선, 상기의 리스크 요인에 대해 직관적으로 중요한 항목을 10개 선택하도록 하였고, 다음으로 각 항목별로 P, I 평가를 5점 척도로 실시하였으며, 마지막으로 직관적으로 중요하지 않다고 생각하는 항목을 10개 선택하도록 하였다. 이러한 과정을 통하여 각 항목별 P, I 값과 직관화 한 값 사이에 상호 검증을 함으로써 적정성을 검토하였다.



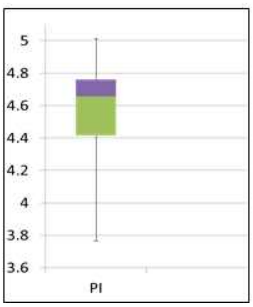
[그림 2-34] 리스크 요인의 적정성 검토 프로세스

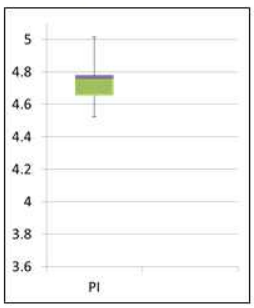
주요 결과는 다음과 같다.

'직관적 판단'으로 중요 리스크 15개를 선정한 결과와 'PI 평가'결과를 통해 상위 15위를 비교한 결과 일치율 73%로 대체로 PI평가와 유사한 결과를 보이나, PI평가 결과값이 평균중요도가 더 높고, 편차는 낮음으로써 일관성에서 강점을 나타내고 있다.

직관적 선택순위	리스크 항목	리스크 내용	PI 평가결과
1	29	-모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토는 충분히 이루어졌는가?	4.66
2	18	-공사현장 여건에 관한 정보가 불명확한가?	4.76
3	26	-모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?	4.89
4	24	-발주자의 모듈화 시공에 대한 사전검토는 충분히 이루어졌는가?	4.42
5	28	-모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?	4.78
6	33	-설계사의 모듈 설계 역량(설계 변경 최소화)은 충분한가?	5.01
7	10	-발주자의 지속적인 기성지불 능력이 부족한가?	4.65
8	13	-발주자가 프로젝트 진행에 있어서 비협조적 또는 지나친 간섭을 하는가?	4.74
9	27	-모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가?	4.81
10	17	-경쟁업체 및 현지업체에 대한 정보가 충분한가?	4.12
11	32	-모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가?	4.68
12	36	-EPC업체의 사업 수행 역량은 충분한가?	4.76
13	23	-발주자의 모듈화 시공에 대한 이해도(장점, 위험도)는 충분한가?	4.33
14	60	-계약서류간 모순점은 없는가?	4.65
15	7	-정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가?	3.76

PI평가 결과순위	리스크 항목	리스크 내용	PI 평가결과
1	33	-설계사의 모듈 설계 역량(설계 변경 최소화)은 충분한가?	5.01
2	22	-입찰안내서 및 입찰정보에 통증분한 정보가 존재하는가?	4.90
3	26	-모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?	4.89
4	27	-모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가?	4.81
5	46	-입찰가가 과도하게 하향조정 되었는가?	4.78
6	21	-입찰정보와 현장조건이 불일치 하는가?	4.78
7	28	-모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?	4.78
8	18	-공사현장 여건에 관한 정보가 불명확한가?	4.76
9	36	-EPC업체의 사업 수행 역량은 충분한가?	4.76
10	13	-발주자가 프로젝트 진행에 있어서 비협조적 또는 지나친 간섭을 하는가?	4.74
11	32	-모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가?	4.68
12	29	-모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토는 충분히 이루어졌는가?	4.66
13	60	-계약서류간 모순점은 없는가?	4.65
14	10	-발주자의 지속적인 기성지불 능력이 부족한가?	4.65
15	53	-계약서에 명기된 성능보장, 하자보증, 설계변경조건, 협상/중재/소송의 절차 및 규정은 합리적인가?	4.57



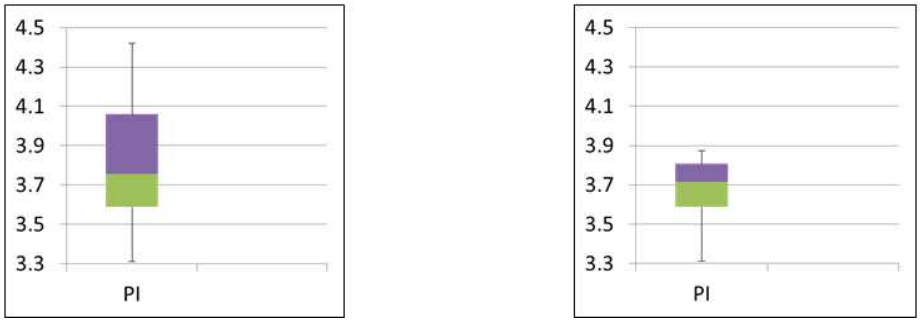


[그림 2-35] PI평가결과와 직관적 중요도 평가결과 비교

'직관적 판단'으로 비중요 리스크 10개를 선정한 결과와 'PI 평가'결과를 통해 히위 10위를 비교한 결과 일치율 60%로 대체로 PI평가와 유사한 결과를 보이나, PI평가 결과값이 평균중요도가 더 낮고, 편차는 낮음으로써 일관성에서 강점을 나타내고 있다.

직관적 선택순위	리스크 항목	리스크 내용	PI 평가결과
1	5	•관련 이익단체 등과의 갈등 및 외압, nimby가 존재하는가?	3.33
2	6	•전쟁/내란발생으로 인하여 사회적 혼란을 야기하는가?	4.09
3	9	•현지은행 및 관련기관이 과실송금에 대하여 비협조적인가?	3.51
4	14	•발주자의 부정행위가 존재하는가?	3.67
5	8	•과실송금에 대한 제도적 규제가 존재하는가?	3.31
6	41	•신흥국의 물가인상과 시장의 변화가 급격한가?	4.03
7	47	•가격담합 및 로비등으로 인하여 회사의 피해가 발생하는가?	3.75
8	12	•프로젝트 전반에 대한 발주자의 이해가 부족한가?	4.09
9	7	•정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가?	3.76
10	11	•발주자의 파산 및 재정적 능력 상실이 우려되는가?	4.42

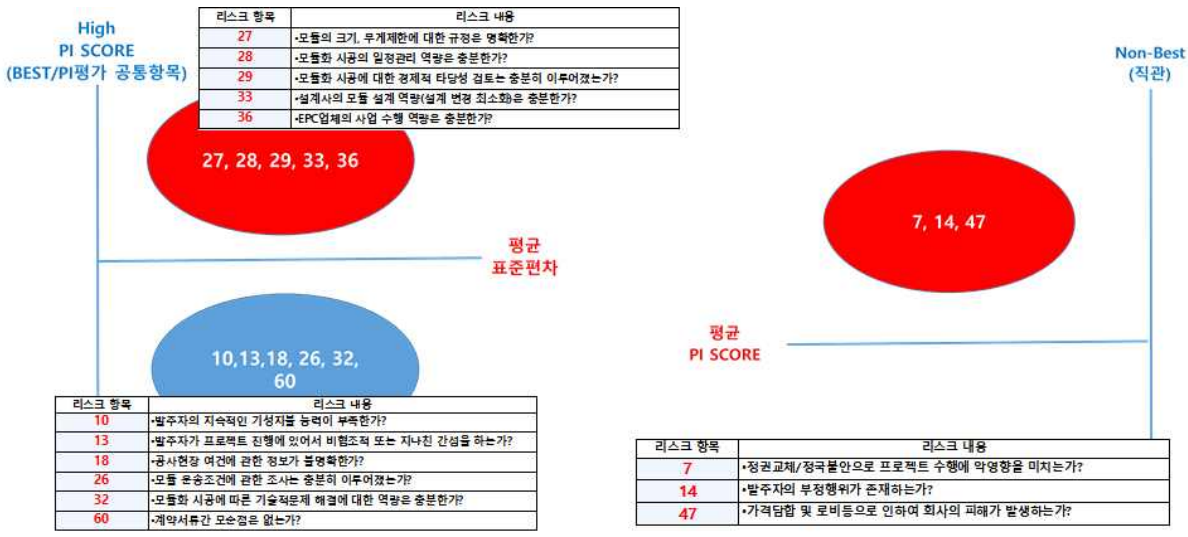
PI평가 결과순위	리스크 항목	리스크 내용	PI 평가결과
1	8	•과실송금에 대한 제도적 규제가 존재하는가?	3.31
2	5	•관련 이익단체 등과의 갈등 및 외압, nimby가 존재하는가?	3.33
3	9	•현지은행 및 관련기관이 과실송금에 대하여 비협조적인가?	3.51
4	14	•발주자의 부정행위가 존재하는가?	3.67
5	20	•경쟁업체에 대한 정보가 불충분한가?	3.71
6	2	•외국업체에게 불공정한 세금을 부과하는가?	3.72
7	47	•가격담합 및 로비등으로 인하여 회사의 피해가 발생하는가?	3.75
8	7	•정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가?	3.76
9	1	•외국업체의 진입제한 관련 법규가 존재하는가?	3.85
10	50	•계약서에 명기된 선급금 조항은 명확한가?	3.86



[그림 2-36] PI평가결과와 직관적 비중요도 평가결과 비교

중요 리스크 (High-PI Score/직관과 공통항목) 중, 응답 표준편차가 높은 그룹이 형성되고 있는 경우 응답표준편차가 큰 리스크는 불확실성이 높은 것으로 간주되어 추가적인 관리 필요하다. 또한, 전문가들이 중요성은 알지만 대응과 관리방안에 대한 지식이 확실하지 않은 것으로 해석할 수 있다.

비중요 리스크 (Non-Best/직관과 공통항목) 중, PI SCORE가 높은 그룹 형성되고 있는 경우 전문가들이 간과(혹은 인식 못하고 있는)하고 있는 중요 리스크 군이 도출된 것으로 볼 수 있다.



리스크 항목	리스크 내용
27	•모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가?
28	•모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?
29	•모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토는 충분히 이루어졌는가?
33	•설계사의 모듈 설계 역량(설계 변경 최소화)은 충분한가?
36	•EPC업체의 사업 수행 역량은 충분한가?

리스크 항목	리스크 내용
10	•발주자의 지속적인 기성지불 능력이 부족한가?
13	•발주자가 프로젝트 진행에 있어서 비협조적 또는 지나친 간섭을 하는가?
18	•공사현장 여건에 관한 정보가 불명확한가?
26	•모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?
32	•모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가?
60	•계약서류간 모순점은 없는가?

리스크 항목	리스크 내용
7	•정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가?
14	•발주자의 부정행위가 존재하는가?
47	•가격담합 및 로비등으로 인하여 회사의 피해가 발생하는가?

[그림 2-37] 중요도 평가 분석결과

이러한 리스크 요인들에 대한 중요도 평가를 통해 본 연구에서 도출한 리스크 요인들의 적절성에 대해 검증을 하였으며, 아울러 각 리스크 요인들에 대한 대응방안을 다음과 같이 도출하였다.

<표 2-9> 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model 리스크 항목별 대응방안

No	리스크항목	대응 전략	리스크 대응 방안
1	•외국업체의 진입제한 관련 법규가 존재하는가?	회피	입찰참가 포기나 사업계획 재수립
2	•외국업체에게 불공정한 세금을 부과하는가?	완화	발주국 세법에 관한 자문 및 세금 경감을 위한 대책강구
3	•건설행정처리 절차가 까다로우며 과도한 통관 및 관세를 적용하는가?	완화	추가적인 건설행정처리 절차나 통관 및 관세에 대한 정보수집 및 자문
4	•정부정책 및 관련법 변경으로 인한 피해가 우려되는가?	완화	발주국 정부정책에 대한 정보 수집 및 영향분석 및 변경가능성 평가
5	•관련 이익단체 등과의 갈등 및 외압, nimby가 존재하는가?	완화	발주국의 관련 이익 단체의 갈등 조정 대책 수립
6	•전쟁/내란발생으로 인하여 사회적 혼란을 야기하는가?	회피	입찰참가 포기나 사업계획 재수립
7	•정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가?	회피	입찰참가 포기나 사업계획 재수립
8	•과실송금에 대한 제도적 규제가 존재하는가?	완화	발주국의 과실송금 규제에 대한 정보수집 및 대책 수립
9	•현지은행 및 관련기관이 과실송금에 대하여 비협조적인가?	완화	현지 은행 중 주거래은행의 과실송금 규정 및 협조요청
10	•발주자의 지속적인 기성지불 능력이 부족한가?	전가	발주자의 채무이행보증 및 보험 가입
11	•발주자의 파산 및 재정적 능력 상실이 우려되는가?	전가	보증 및 보험 가입
12	•프로젝트 전반에 대한 발주자의 이해가 부족한가?	완화	추가적인 정보수집
13	•발주자가 프로젝트 진행에 있어서 비협조적 또는 지나친 간섭을 하는가?	전가	계약요건에 발주자의 간섭 최소화 명문화
14	•발주자의 부정행위가 존재하는가?	전가	보증 및 보험 가입
15	•진출국의 사전정보(건설환경, 제도,관행 등)이 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
16	•발주자에 대한 정보가 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
17	•경쟁업체 및 현지업체에 대한 정보가 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
18	•공사현장 여건에 관한 정보가 불명확한가?	완화	추가적인 정보수집
19	•요구되는 시공기술에 대한 정보가 불확실한가?	완화	추가적인 기술분석
20	•경쟁업체에 대한 정보가 불충분한가?	완화	추가적인 정보수집
21	•입찰정보와 현장조건이 불일치 하는가?	완화	추가적인 정보수집
22	•입찰안내서 및 입찰정보에 불충분한 정보가 존재하는가?	완화	추가적인 정보수집

No	리스크항목	대응 전략	리스크 대응 방안
23	•발주자의 모듈화 시공에 대한 이해도(장점, 위험도)는 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
24	•발주자의 모듈화 시공에 대한 사전검토는 충분히 이루어졌는가?	완화	추가적인 정보수집
25	•발주자의 모듈화 시공에 대한 계약, 자금조달 역량은 충분한가?	전가	보증 및 보험 가입
26	•모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?	완화	추가적인 정보수집
27	•모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가?	완화	추가적인 정보수집
28	•모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?	완화	일정관리역량의 강화
29	•모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토는 충분히 이루어졌는가?	완화	경제적 타당성검토 재수행
30	•모듈 제작장의 생산성, 품질, 안전에 관한 고려는 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
31	•모듈화 시공에 따른 위험과 보상에 대한 균형있는 전략수립이 이루어졌는가?	완화	추가적인 정보수집
32	•모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가?	완화	추가적인 기술적 타당성 분석
33	•설계사의 모듈 설계 역량(설계 변경 최소화)은 충분한가?	완화	추가적인 역량분석
34	•자재 조달 역량은 충분한가?	완화	추가적인 자재 조달 역량분석
35	•해당국가의 조세 정책(모듈이 외국에서 제작되어 오는 경우)은 합리적인가?	완화	추가적인 정보수집
36	•EPC업체의 사업 수행 역량은 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
37	•해당 사업의 Localization(현지 자원에 대한 의무 활용 비율)은 높은가?	완화	추가적인 정보수집
38	•견적업무시 투입물량 산정 및 검토가 미흡한가?	완화	추가적인 비용분석
39	•견적정보수집이 어려우며 입찰서류준비가 미흡한가?	완화	추가적인 정보수집
40	•계약화폐의 가치가 대폭 절하되어 환리스크가 심각한가?	전가	환율 헷지 방안 강구
41	•진출국의 물가인상과 시장의 변화가 급격한가?	완화	추가적인 정보수집
42	•프로젝트 현금흐름의 예측이 불확실한가?	완화	추가적인 현금흐름분석 예측
43	•발주자의 모듈화 시공에 대한 이해도(장점, 위험도)는 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
44	•발주자의 모듈화 시공에 대한 사전검토 정도는 충분히 이루졌는가?	완화	추가적인 정보수집
45	•발주자의 모듈화 시공에 대한 계약, 자금조달 역량은 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
46	•모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?	완화	추가적인 정보수집

No	리스크항목	대응 전략	리스크 대응 방안
47	•모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가?	완화	추가적인 정보수집
48	•모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?	완화	일정관리 역량분석
49	•모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토는 충분히 이루어졌는가?	완화	추가적인 경제적 타당성분석
50	•모듈 제작장의 생산성, 품질, 안전에 관한 고려는 충분한가?	완화	추가적인 정보수집
51	•모듈화 시공에 따른 위험과 보상에 대한 균형 있는 전략수립이 이루어졌는가?	완화	추가적인 정보수집
52	•모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가?	완화	추가적인 기술 역량 분석
53	•발주자의 요구조건 반영이 미흡한가?	완화	추가적인 제안서 검토
54	•회사의 프로젝트 리스크관리시스템이 미흡한가?	완화	회사의 리스크관리시스템 보완
55	•발생가능한 리스크 예측 능력이 부족한가?	완화	리스크 재평가 및 분석
56	•입찰가가 과도하게 하향조정 되었는가?	완화	입찰가 재평가 및 분석
57	•가격담합 및 로비 등으로 인하여 회사의 피해가 발생하는가?	완화	가격담합 및 로비 등에 대한 예상피해 규모에 대한 예비비
58	•자재조달 비용을 과대/과소하게 책정하였는가?	완화	자재비용 재평가 및 예비비 산정
59	•장비소요 비용을 과대/과소하게 책정하였는가?	완화	장비소요비용 재평가 및 예비비 산정
60	•계약서에 명기된 선급금 조항은 명확한가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
61	•계약서에 명기된 기설지불조건은 명확한가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
62	•계약서에 명기된 공기관련(착공일, 준공일) 일자는 명확한가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
63	•계약서에 명기된 성능보장, 하자보증, 설계변경조건, 협상/중계/소송의 절차 및 규정은 합리적인가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
64	•계약서에 명기된 보증 및 보험에 관한 규정은 합리적인가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
65	•계약서에 명기된 계약해지조건은 합리적인가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
66	•계약서에 명기된 공사중단조건은 합리적인가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
67	•계약서에 명기된 인원,장비,자재에 관한 사항은 합리적인가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
68	•계약서에 명기된 Escalation에 관한 조항은 합리적인가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
69	•계약서에 명기된 재세조건 및 현지법에 관한 내용은 합리적인가?	완화	계약서 검토 및 법률자문
70	•계약서류간 모순점은 없는가?	완화	계약서 검토 및 법률자문

상기의 내용을 종합하여 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model을 토대로 사업관리항목과 리스크요인의 연관성을 각 GATE별로 종합정리하면 다음과 같다. 이는 의사결정지원시스템을 설

계하는 기초자료로 활용하기 위함이다.

<표 2-10> 플랜트 입찰단계 Stage-Gate Process Model의 각 단계별 사업관리항목 및 리스크항목 종합

구분	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목	EPC 입찰 프로세스 스테이지 게이트에서 의사결정 항목						비고
			입찰 공고	ITB 검토	Gate 1				
					연관성	S,C,Q	순번	리스크 항목	모듈화 특화여부
1.전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	·사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보) ·비즈니스 영역의 다원화 ·시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보 ·고객과의 관계 확보 ·사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도) ·투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)			● ● ● ●	S S S S S S,C			
2.입찰 및 계약요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	·입찰 요구조건의 부합정도 ·제안서 작성 및 납기 일정의 현실성 ·계약범위의 적정성 ·발주자 요구사항 부합성 ·라이선스 확보 여부 ·지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성 ·사업중단 가능성 ·관련 경험 보유 여부 및 정도			● ●	S,C S,C,Q S,C S,C C,Q C S S	1 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17	•외국업체의 진입제한 관련 법규가 존재하는가? •정부정책 및 관련법 변경으로 인한 피해가 우려되는가? •관련 이익단체 등과의 갈등 및 외압, nimby가 존재하는가? •전쟁/내란발생으로 인하여 사회적 혼란을 야기하는가? •정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가? •과실송금에 대한 제도적 규제가 존재하는가? •현지은행 및 관련기관이 과실송금에 대하여 비협조적인가? •발주자의 지속적인 기성지불 능력이 부족한가? •발주자의 파산 및 재정적 능력 상실이 우려되는가? •프로젝트 전반에 대한 발주자의 이해가 부족한가? •발주자가 프로젝트 진행에 있어서 비협조적 또는 지나친 간섭을 하는가? •발주자의 부정행위가 존재하는가? •진출국의 사전정보(건설환경, 제도, 관행 등)이 충분한가? •발주자에 대한 정보가 충분한가? •경쟁업체 및 현지업체에 대한 정보가 충분한가?	공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통
3.수익성	변동요인 및 위험 최소화	·공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) ·공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) ·수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)				C C C	2 3	•외국업체에게 불공정한 세금을 부과하는가? •건설행정처리 절차가 까다로우며 과도한 통관 및 관세를 적용하는가?	공통 공통
4.수행역량	역량 및 품질 확보	·아웃소싱 타당성 ·현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 ·지역내 필요한 자재와 설비의 가용성 ·지속적인 EPC역량 강화 가능성 ·핵심인력의 확보 여부 ·업무 부하 정도 ·핵심공정 및 적용기술의 타당성 ·품질기준과의 부합성				C,Q C,Q C,Q S S,Q S,Q S,Q Q			

구분	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목	EPC 입찰 프로세스 스테이지 게이트에서 의사결정 항목						비고
				초기 조사	Gate 2				
					연관성	S,C,Q	순번	리스크 항목	모듈화 특화여부
1.전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	·사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보) ·비즈니스 영역의 다원화 ·시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보 ·고객과의 관계 확보 ·사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도) ·투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)			● ●	S S S S S S,C	20	•경쟁업체에 대한 정보가 불충분한가?	공통
2.입찰 및 계약요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	·입찰 요구조건의 부합정도 ·제안서 작성 및 납기 일정의 현실성 ·계약범위의 적정성 ·발주자 요구사항 부합성 ·라이선스 확보 여부 ·지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성 ·사업중단 가능성 ·관련 경험 보유 여부 및 정도			● ● ●	S,C S,C,Q S,C S,C C,Q C S S	21 22	•입찰정보와 현장조건이 불일치 하는가? •입찰안내서 및 입찰정보에 불충분한 정보가 존재하는가?	공통 공통
3.수익성	변동요인 및 위험 최소화	·공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) ·공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) ·수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)				C C C			
4.수행역량	역량 및 품질 확보	·아웃소싱 타당성 ·현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 ·지역내 필요한 자재와 설비의 가용성 ·지속적인 EPC역량 강화 가능성 ·핵심인력의 확보 여부 ·업무 부하 정도 ·핵심공정 및 적용기술의 타당성 ·품질기준과의 부합성			● ●	C,Q C,Q C,Q S S,Q S,Q S,Q Q	18 19	•공사현장 여건에 관한 정보가 불명확한가? •요구되는 시공기술에 대한 정보가 불확실한가?	공통 공통

구분	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목	EPC 입찰 프로세스 스테이지 게이트에서 의사결정 항목						비고
			입찰 타당성 검토	FEED -Study	Gate 3				
					연관성	S,C,Q	순번	리스크 항목	모듈화 특화여부
1.전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	·사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보) ·비즈니스 영역의 다원화 ·시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보 ·고객과의 관계 확보 ·사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도) ·투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)			● ●	S S S S S S,C			
2.입찰 및 계약요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	·입찰 요구조건의 부합정도 ·제안서 작성 및 납기 일정의 현실성 ·계약범위의 적정성 ·발주자 요구사항 부합성 ·라이선스 확보 여부 ·지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성 ·사업중단 가능성 ·관련 경험 보유 여부 및 정도			● ●	S,C S,C,Q S,C S,C C,Q C S S	35 37	•해당국가의 조세 정책(모듈이 외국에서 제작되어 오는 경우)은 합리적인가? •해당 사업의 Localization(현지 자원에 대한 의무 활용 비율)은 높은가?	모듈화 모듈화
3.수익성	변동요인 및 위험 최소화	·공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) ·공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) ·수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)			● ● ●	C C C	40 41 42	•계약화폐의 가치가 대폭 절하되어 환리스크가 심각한가? •진출국의 물가인상과 시장의 변화가 급격한가? •프로젝트 현금흐름의 예측이 불확실한가?	공통 공통 공통
4.수행역량	역량 및 품질 확보	·아웃소싱 타당성 ·현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 ·지역내 필요한 자재와 설비의 가용성 ·지속적인 EPC역량 강화 가능성 ·핵심인력의 확보 여부 ·업무 부하 정도 ·핵심공정 및 적용기술의 타당성 ·품질기준과의 부합성			● ● ● ● ● ● ● ●	C,Q C,Q C,Q S S,Q S,Q S,Q Q	23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 36 38 39	•발주자의 모듈화 시공에 대한 이해도(장점, 위험도)는 충분한가? •발주자의 모듈화 시공에 대한 사전검토는 충분히 이루어졌는가? •발주자의 모듈화 시공에 대한 계약, 자금조달 역량은 충분한가? •모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가? •모듈의 크기, 무게제한에 대한 규정은 명확한가? •모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가? •모듈화 시공에 대한 경제적 타당성 검토는 충분히 이루어졌는가? •모듈 제작장의 생산성, 품질, 안전에 관한 고려는 충분한가? •모듈화 시공에 따른 위험과 보상에 대한 균형있는 전략수립이 이루어졌는가? •모듈화 시공에 따른 기술적문제 해결에 대한 역량은 충분한가? •설계사의 모듈 설계 역량(설계 변경 최소화)은 충분한가? •자재 조달 역량은 충분한가? •EPC업체의 사업 수행 역량은 충분한가? •견적업무시 투입물량 산정 및 검토가 미흡한가? •견적정보수집이 어려우며 입찰서류준비가 미흡한가?	모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 모듈화 공통 공통

구분	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목	EPC 입찰 프로세스 스테이지 게이트에서 의사결정 항목						비고
				TP작성	Gate 4				
				공사비 산정	연관성	S,C,Q	순번	리스크 항목	모듈화 특화여부
1.전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	-사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보) -비즈니스 영역의 다원화 -시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보 -고객과의 관계 확보 -사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도) -투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)			 ● ●	S S S S S S,C			
2.입찰 및 계약요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	-입찰 요구조건의 부합정도 -제안서 작성 및 납기 일정의 현실성 -계약범위의 적정성 -발주자 요구사항 부합성 -라이선스 확보 여부 -지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성 -사업중단 가능성 -관련 경험 보유 여부 및 정도			● ● ● ● 	S,C S,C,Q S,C S,C C,Q C S S	53 57	•발주자의 요구조건 반영이 미흡한가? •가격담합 및 로비등으로 인하여 회사의 피해가 발생하는가?	공통 공통
3.수익성	변동요인 및 위험 최소화	-공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) -공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) -수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)			● ● ●	C C C	56 58 59	•입찰가가 과도하게 하향조정 되었는가? •자재조달 비용을 과대/과소 하게 책정하였는가? •장비소요 비용을 과대/과소하게 책정하였는가?	공통 공통 공통
4.수행역량	역량 및 품질 확보	-아웃소싱 타당성 -현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 -지역내 필요한 자재와 설비의 가용성 -지속적인 EPC역량 강화 가능성 -핵심인력의 확보 여부 -업무 부하 정도 -핵심공정 및 적용기술의 타당성 -품질기준과의 부합성			 ● ●	C,Q C,Q C,Q S S,Q S,Q S,Q Q	54 55	•회사의 프로젝트 리스크관리시스템이 미흡한가? •발생가능한 리스크 예측 능력이 부족한가?	공통 공통

구분	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목	EPC 입찰 프로세스 스테이지 게이트에서 의사결정 항목						비고
					Gate 5				
					연관성	S,C,Q	순번	리스크 항목	모듈화 특화여부
1.전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	-사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보) -비즈니스 영역의 다원화 -시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보 -고객과의 관계 확보 -사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도) -투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)				S S S S S S,C			
2.입찰 및 계약요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	-입찰 요구조건의 부합정도 -제안서 작성 및 납기 일정의 현실성 -계약범위의 적정성 -발주자 요구사항 부합성 -라이선스 확보 여부 -지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성 -사업중단 가능성 -관련 경험 보유 여부 및 정도			 ● ● ● ● ● 	S,C S,C,Q S,C S,C C,Q C S S	60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	•계약서에 명기된 선급금 조항은 명확한가? •계약서에 명기된 기설지불조건은 명확한가? •계약서에 명기된 공기관련(착공일, 준공일) 일자는 명확한가? •계약서에 명기된 성능보장, 하자보증, 설계변경조건, 협상/중계/소송의 절차 및 규정은 합리적인가? •계약서에 명기된 보증 및 보험에 관한 규정은 합리적인가? •계약서에 명기된 계약해지조건은 합리적인가? •계약서에 명기된 공사중단조건은 합리적인가? •계약서에 명기된 인원,장비,자재에 관한 사항은 합리적인가? •계약서에 명기된 Escalation에 관한 조항은 합리적인가? •계약서에 명기된 재세조건 및 현지법에 관한 내용은 합리적인가? •계약서류간 모순점은 없는가?	공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통
3.수익성	변동요인 및 위험 최소화	-공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) -공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) -수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)			● ● ●	C C C			
4.수행역량	역량 및 품질 확보	-아웃소싱 타당성 -현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 -지역내 필요한 자재와 설비의 가용성 -지속적인 EPC역량 강화 가능성 -핵심인력의 확보 여부 -업무 부하 정도 -핵심공정 및 적용기술의 타당성 -품질기준과의 부합성				C,Q C,Q C,Q S S,Q S,Q S,Q Q			

2.2 플랜트 협업 단위 모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개발

2.2.1 연구개요

가. 연구 최종 목표

본 연구의 목표는 협업단위 CBS 체계 구축 및 이를 이용한 모듈화 원단위 계량 시스템 개발, VE 기반의 모듈 대안별 리스크 평가 모델 구축 등 이다. 이에 따른 구체적 연구의 내용은 다음과 같다.

■ CBS 정형화

자료조사를 바탕으로 한 다양한 형태의 기존 CBS 분석을 통하여 (모듈러) 플랜트 용 대표적 형태의 CBS 정형화 대안을 제시한다.

■ CBS를 활용한 원단위 계량 시스템 모델 개발

제공된 CBS를 활용한 원단위(예: 톤, m2, m3 등) 계량 모델을 개발한다.

■ VE 기반의 모듈대안별 리스크 평가모델 구축

모듈러 플랜트 대안개발(모듈화 시나리오) 과 평가에 유용하게 적용 될 수 있는 VE 프로세스를 제시하고, VE결과에 대한 위험을 정량화하여 분석할 수 있는 리스크 평가 모델을 구축한다.

나. 연구 내용 및 방법

상기 목표를 달성하기 위한 연구의 전반적인 포함내용은 다음과 같으며, 연구방법은 주로 자료조사 및 사례조사 연구를 기본으로 하여 진행한다.

- CBS 체계 정형화
- 원단위 추정 방법 조사 및 분석
- CBS 체계의 원단위 계량 Conceptual 모델 구성
- CBS 체계의 투입품목별 모듈화 원단위 추정
- CBS 체계의 원단위 계량 Prototype 모델 구성

- CBS 체계의 원단위 계량 모델/지침서 구성
- CBS 체계의 원단위 계량 Beta Version 모델 구성
- VE기반의 모듈대안별 리스크 평가 모델 구축
- CBS 체계의 원단위 계량 모델 시험적용 보완

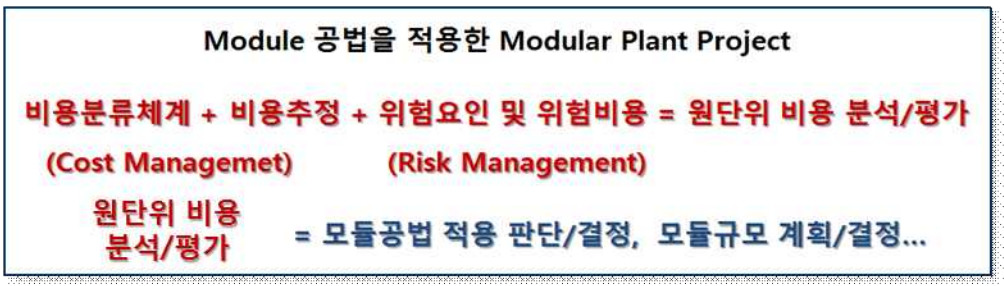
다. 연구개요

플랜트 건설 사업에 대한 수익성 확보 및 효율적인 원가관리의 업무향상을 위해서는 지속적인 비용관리 기술 개발이 필수적이다. 비용관리 기술이란 최초에 계획된 수익의 확보를 위한 관리 계획과 더불어 수익의 확보를 위해서는 사업을 추진하는 과정에서 비용의 변동성을 최소화하는 것이 중요하므로 비용의 변동을 유발하는 위험(설계위험, 제작위험, 시공위험 등)요인을 사전에 인식 및 확인하여 플랜트 건설 사업 초기단계에서 준공단계까지 사업추진 전 과정에 대한 비용의 변동성을 예측하고 관리하는 시스템 능력의 향상이 필요하다.

따라서 본 연구과제의 대상인 모듈화 플랜트 건설사업을 기반으로 CBS를 이용하여 비용을 추정하고, 이를 원단위화 하여 관리할 수 있어야 하고, 나아가 위험요인에 의한 비용증가 까지 분석하여 관리하는 시스템이 필요하다.

2.2.2 모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개발 개념모델 구성

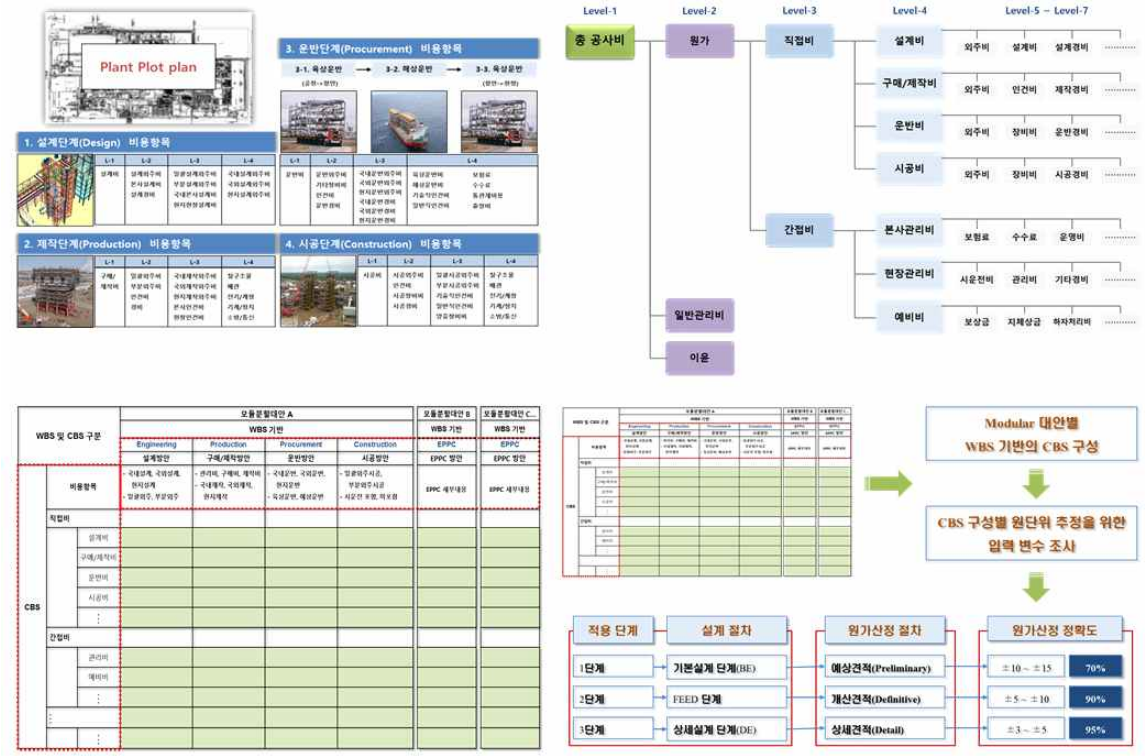
모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개발 기초모델은 모듈러 플랜트에 대한 CBS 체계 및 원단위 분석을 위한 시스템의 개념모델을 구성하는 것으로 CBS 체계 기반의 비용 추정 및 위험비용 분석을 위한 통합 시스템을 개발하는 것이며, 기초모델의 개념은 다음 그림과 같다.



[그림 2-38] 모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개발 개념모델 구성

가. 비용분류체계 CBS 개념 모델

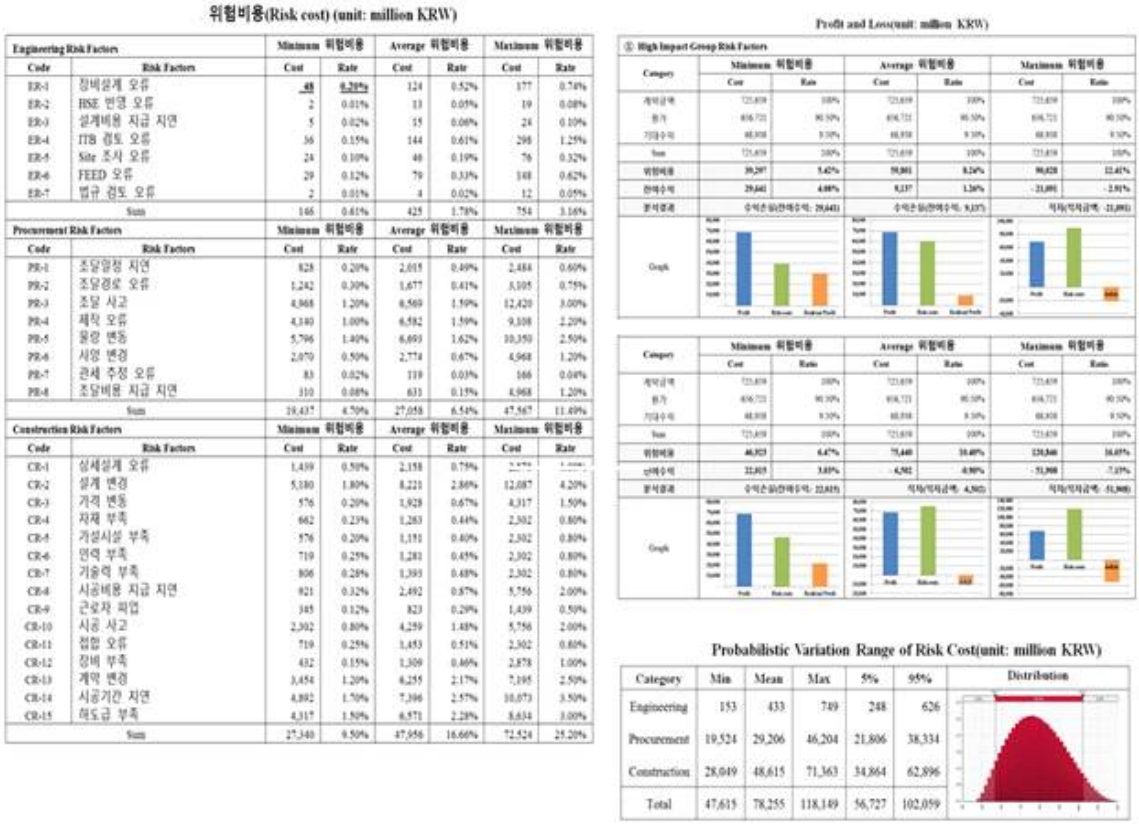
CBS 체계란 공사비를 구성하는 항목의 내용을 표현하는 내역서상 모든 비용을 체계화하여 Top-Down으로 전개한 것으로 경영관리 및 원가 재무관리의 기반이 되는 체계이다. 협업 단위 모듈화 CBS 체계는 협업 프로세스를 고려하여 플랜트를 분할한 각각의 단위 모듈화 시스템에 대하여 플랜트 생애주기별로 소요되는 비용을 그룹화하여 전개한 것으로 원단위 계량 및 타당성/리스크 평가를 위한 기반이 되는 체계이며, 비용자료이다. 상기와 같은 플랜트 건설사업에서 모듈러 공법을 적용한 특성을 고려하여 비용분류체계를 구성하기 위한 개념모델은 다음 그림과 같다.



[그림 2-39] 모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개발 개념모델 구성

나. 위험비용 분석 개념 모델

국내 건설회사가 해외 석유화학 등 플랜트 건설 사업을 수행하는 과정에서 예상하지 못한 위험(설계오류, 현장과 설계의 상이, 문화적 차이, 인력투입의 문제 등)의 발생으로 인하여 최초에 계획된 수익을 확보하지 못하여 적자가 발생되는 경우가 발생되고 있다. 이에 사전에 발생가능한 위험요인을 식별하고 위험요인이 발생되었을 경우에 대응(처리, 조치)하기 위하여 필요한 위험비용(예비비)을 분석 및 추정하여 총 사업비에 반영하는 것이 신속한 대응으로 수익을 확보하는 방안이므로 플랜트 건설사업의 특성을 고려한 위험비용 분석 및 추정 모델의 개념을 정립하면 다음 그림과 같다.


위험비용(Risk cost) (unit: million KRW)

Engineering Risk Factors		Minimum 위험비용		Average 위험비용		Maximum 위험비용	
Code	Risk Factors	Cost	Rate	Cost	Rate	Cost	Rate
ER-1	정비설계 오류	48	0.20%	124	0.52%	177	0.74%
ER-2	BSE 변경 오류	2	0.01%	13	0.05%	19	0.08%
ER-3	설계비용 지급 지연	5	0.02%	15	0.06%	24	0.10%
ER-4	ITB 검토 오류	36	0.15%	144	0.61%	298	1.25%
ER-5	Site 조사 오류	24	0.10%	46	0.19%	76	0.32%
ER-6	FEED 오류	29	0.12%	79	0.33%	148	0.62%
ER-7	법규 검토 오류	2	0.01%	4	0.02%	12	0.05%
	Sum	146	0.61%	425	1.78%	754	3.16%
Procurement Risk Factors		Minimum 위험비용		Average 위험비용		Maximum 위험비용	
Code	Risk Factors	Cost	Rate	Cost	Rate	Cost	Rate
PR-1	조달일정 지연	828	0.20%	2,015	0.49%	2,484	0.60%
PR-2	조달경로 오류	1,242	0.30%	1,677	0.41%	3,105	0.75%
PR-3	조달 사고	4,968	1.20%	6,569	1.59%	12,420	3.00%
PR-4	제작 오류	4,140	1.00%	6,582	1.59%	9,108	2.20%
PR-5	물량 변동	5,796	1.40%	6,693	1.62%	10,350	2.50%
PR-6	사양 변경	2,070	0.50%	2,774	0.67%	4,968	1.20%
PR-7	관세 추정 오류	83	0.02%	119	0.03%	166	0.04%
PR-8	조달비용 지급 지연	310	0.08%	633	0.15%	4,968	1.20%
	Sum	19,437	4.70%	27,058	6.54%	47,567	11.49%
Construction Risk Factors		Minimum 위험비용		Average 위험비용		Maximum 위험비용	
Code	Risk Factors	Cost	Rate	Cost	Rate	Cost	Rate
CR-1	실제설계 오류	1,439	0.50%	2,158	0.75%		
CR-2	설계 변경	5,180	1.80%	8,221	2.86%	12,087	4.20%
CR-3	가격 변동	576	0.20%	1,928	0.67%	4,317	1.50%
CR-4	자재 부족	662	0.23%	1,283	0.44%	2,302	0.80%
CR-5	가설시설 부족	576	0.20%	1,151	0.40%	2,302	0.80%
CR-6	인력 부족	719	0.25%	1,281	0.45%	2,302	0.80%
CR-7	기술력 부족	806	0.28%	1,393	0.48%	2,302	0.80%
CR-8	시공비용 지급 지연	921	0.32%	2,492	0.87%	5,756	2.00%
CR-9	근로자 파업	345	0.12%	823	0.29%	1,439	0.50%
CR-10	시공 사고	2,302	0.80%	4,259	1.48%	5,756	2.00%
CR-11	설합 오류	719	0.25%	1,453	0.51%	2,302	0.80%
CR-12	장비 부족	432	0.15%	1,309	0.46%	2,878	1.00%
CR-13	계약 변경	3,454	1.20%	6,255	2.17%	7,195	2.50%
CR-14	시공기간 지연	4,892	1.70%	7,396	2.57%	10,073	3.50%
CR-15	허도급 부족	4,317	1.50%	6,571	2.28%	8,634	3.00%
	Sum	27,340	9.50%	47,956	16.66%	72,524	25.20%

Profit and Loss(unit: million KRW)

① High Impact Group Risk Factors							
Category	Minimum 위험비용		Average 위험비용		Maximum 위험비용		
	Cost	Rate	Cost	Rate	Cost	Rate	
계약금액	721,859	100%	721,859	100%	721,859	100%	
원가	656,723	90.50%	656,723	90.50%	656,723	90.50%	
기대수익	65,136	9.50%	65,136	9.50%	65,136	9.50%	
Sum	721,859	100%	721,859	100%	721,859	100%	
위험비용	39,297	5.45%	59,861	8.24%	90,828	12.41%	
잔여수익	25,841	4.00%	5,137	1.26%	-21,691	-2.91%	
분석결과	수익손실(잔여수익: 25,841)		수익손실(잔여수익: 5,137)		적자(인적금액: -21,691)		
Graph							

Category	Minimum 위험비용		Average 위험비용		Maximum 위험비용	
	Cost	Rate	Cost	Rate	Cost	Rate
계약금액	721,859	100%	721,859	100%	721,859	100%
원가	656,723	90.50%	656,723	90.50%	656,723	90.50%
기대수익	65,136	9.50%	65,136	9.50%	65,136	9.50%	
Sum	721,859	100%	721,859	100%	721,859	100%
위험비용	46,923	6.47%	75,440	10.40%	120,360	16.65%
잔여수익	22,015	3.05%	-4,502	-0.90%	-51,908	-7.15%
분석결과	수익손실(잔여수익: 22,015)		적자(인적금액: -4,502)		적자(인적금액: -51,908)	
Graph						

Probabilistic Variation Range of Risk Cost(unit: million KRW)

Category	Min	Mean	Max	5%	95%	Distribution
Engineering	153	433	749	248	626	
Procurement	19,524	29,206	46,204	21,806	38,334	
Construction	28,049	48,615	71,363	34,864	62,896	
Total	47,615	78,255	118,149	56,727	102,059	

[그림 2-40] 위험비용 분석 및 추정 개념모델 구성

다. CBS 개념 모델 및 위험비용 분석 모델 필요성

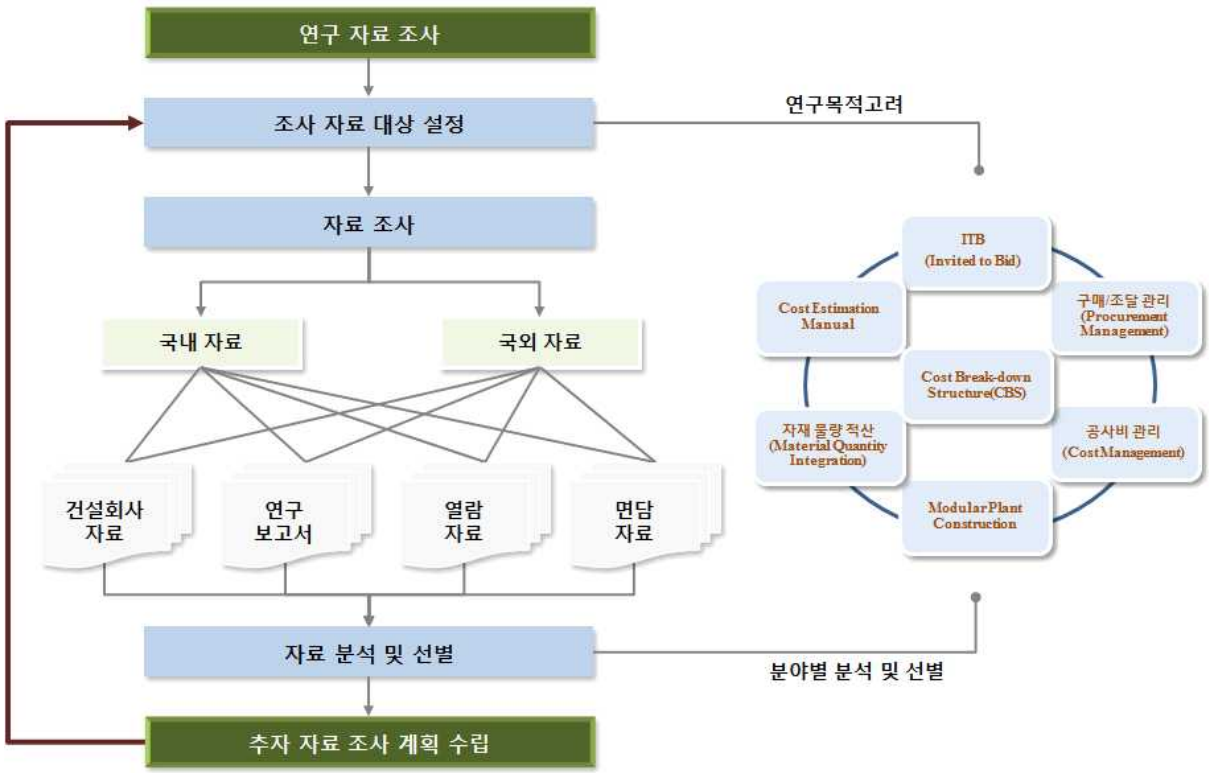
플랜트 건설사업에 대한 수익성 확보 및 효율적인 원가관리의 업무향상을 위하여 지속적인 비용관리 기술의 개발이 필요하며, 플랜트 건설 사업초기단계에서 준공단계에 까지 사업 추진 전과정(Life Cycle)에 대한 비용관리 능력의 향상된다. 즉 복잡한 플랜트 건설사업의 공정을 단순화 및 단일화하기 위한 모듈공법의 적용이 활발함으로 인한 모듈화 플랜트에 적합한 비용관리 Tool이 요구되므로 Stick Built 공법과 Modular 공법의 비용을 추정하여 비교함으로써 경제성 분석을 기반으로 한 의사결정 시스템이 필요하다.

따라서, 모듈화 플랜트 건설사업을 기반으로 원단위 비용추정 및 사업추진과정에서 발생가능한 위험요인으로 인하여 변화되는 비용을 분석하기 위한 시스템이 필요함. 또한 원단위 비용추정 및 위험요인으로 인하여 발생되는 위험비용의 분석에 따른 경제성 분석 기반의 의사결정 지원 시스템의 개발이 요구된다.

라. 비용분류체계(CBS) 분석 및 구성

(1) 비용분류체계(CBS) 조사

비용분류체계 및 견적방법 등에 대한 기초 자료를 수집하여 조사된 내용을 기반으로 플랜트 건설사업에 대한 비용분류체계(Cost Break-down Structure)를 분석하여 비교한다. 이는 플랜트 건설사업 또한 건설사업의 종류 중 하나로써 비용분류체계의 구성이 다른 건설사업과 유사하지만 플랜트의 특성에 따라 차이점을 분석 및 비교하여, 이와 같은 과정을 통하여 플랜트에 적합한 비용분류체계를 구성이 필요하기 때문에 다음 그림과 같은 계획으로 비용분류체계를 조사한다.

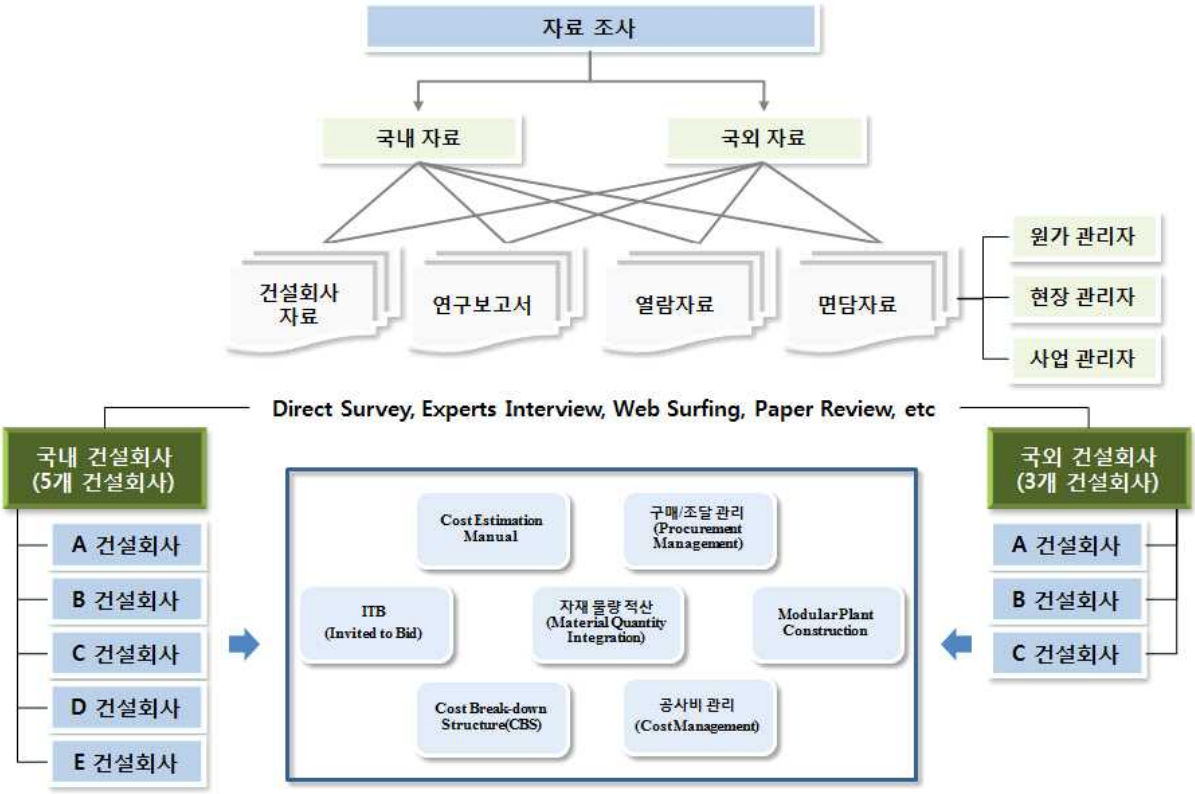


[그림 2-41] 비용분류체계(CBS)조사 계획도

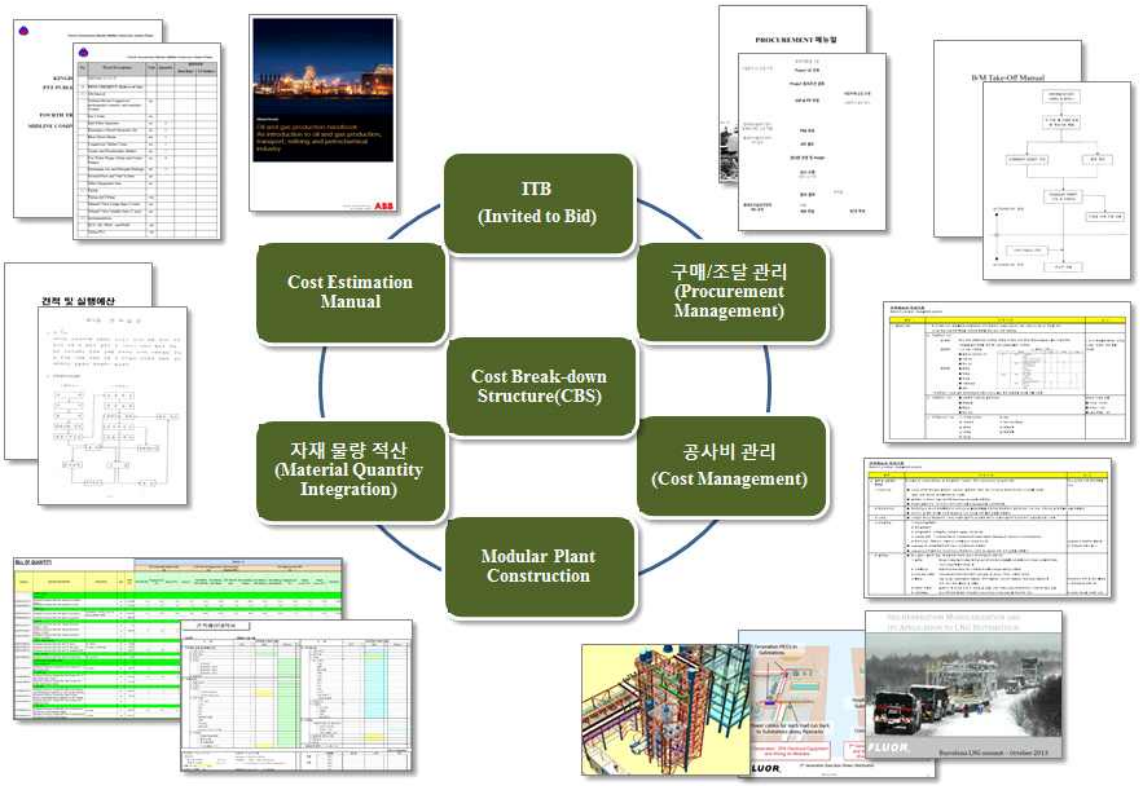
비용분류체계에 대한 기초 자료 조사는 연구목적을 고려하여 필요한 자료를 분야별로 분석하는 것으로, 입찰안내서, 비용 견적 메뉴얼, 구매 및 조달 관리 메뉴얼 등과 건설사에서 보유한 원가자료, 견적자료, 내역서를 중심으로 조사 계획을 수립하였다.

기초 자료 조사방법의 구체적으로 설명하면, 국내자료 그리고 국외자료로 분류한 후 건설사 자료, 연구보고서, 비용관련 열람자료, 면담자료로 구성하였다. 이렇게 구성된 자료 목록에 따라 원가관리자, 현장관리자, 사업관리자를 대상으로 기초 자료 수집을 위한 조사를 추진하였다.

국내 건설사의 경우 총 5곳을 방문하여 설정된 기초 자료 목록에 따라 자료를 조사 및 열람하였으며, 국외 건설사의 경우 방문 및 면담의 제한으로 인터넷을 활용하여 조사하였다. 또한, 모듈러 공법을 적용한 플랜트 건설에 대한 개념의 이해를 위하여 모듈러공법을 적용한 플랜트 건설 사업의 설계자료 등을 조사하여 모듈의 설계, 제작, 운송 등에 대한 개념을 이해하였다. 상기와 같은 계획 및 방법에 따라 조사된 기초 자료를 요약하면 다음 그림과 같다.



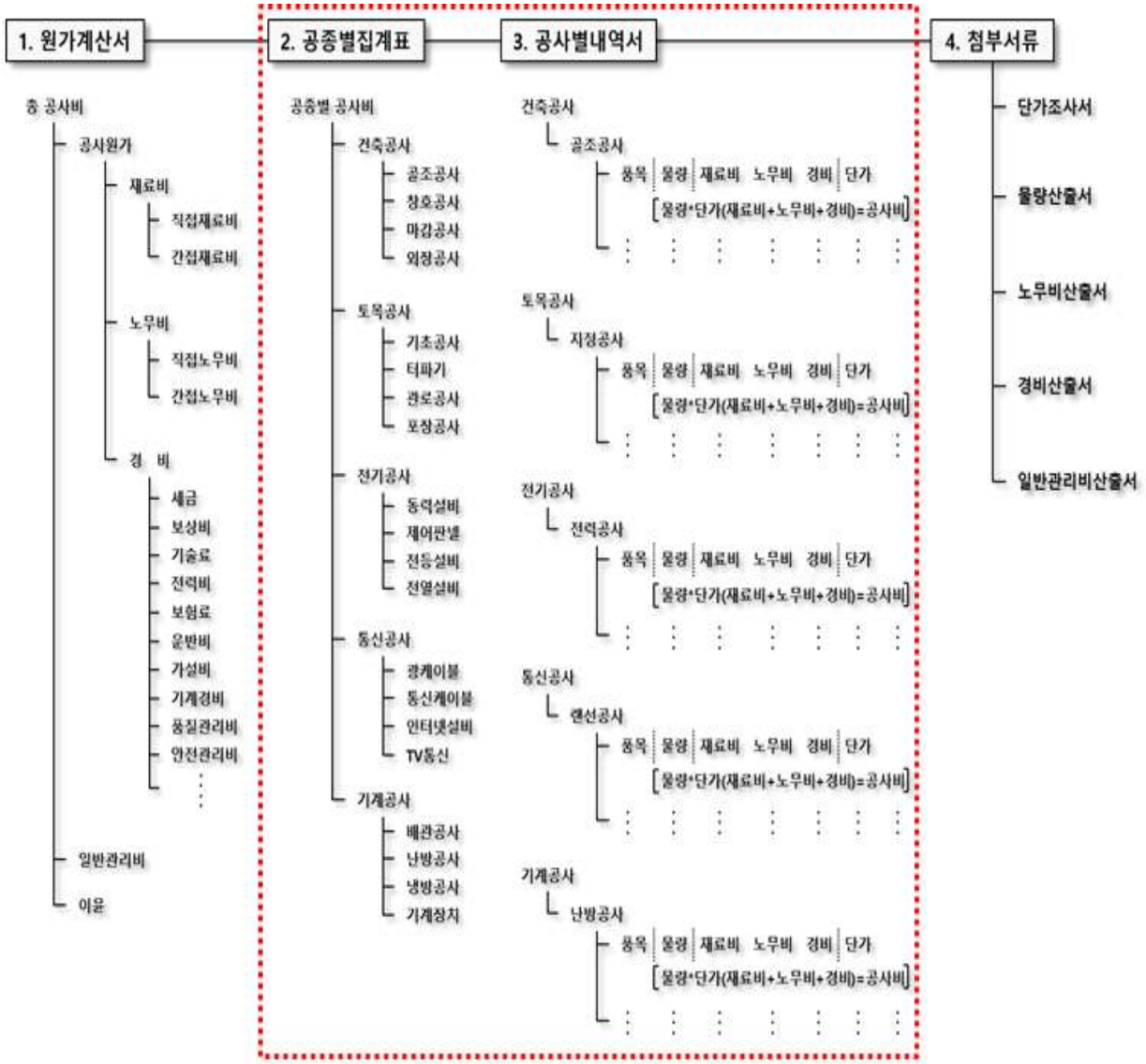
[그림 2-42] 비용분류체계(CBS)조사 현황



[그림 2-43] 비용분류체계(CBS)조사 결과

2) 비용분류체계(CBS) 분석

건설사업의 비용분류체계에 대한 이론적 내용과 건설사에서 수집된 건축사업, 토목사업에 대한 비용분류체계를 조사하고 플랜트 건설사업에 대한 비용분류체계를 조사하여 비교하였다. 건설사업의 일반적인 비용분류체계와 건축사업 및 토목사업에서 적용되는 비용분류체계를 요약하면 다음 그림과 같다.

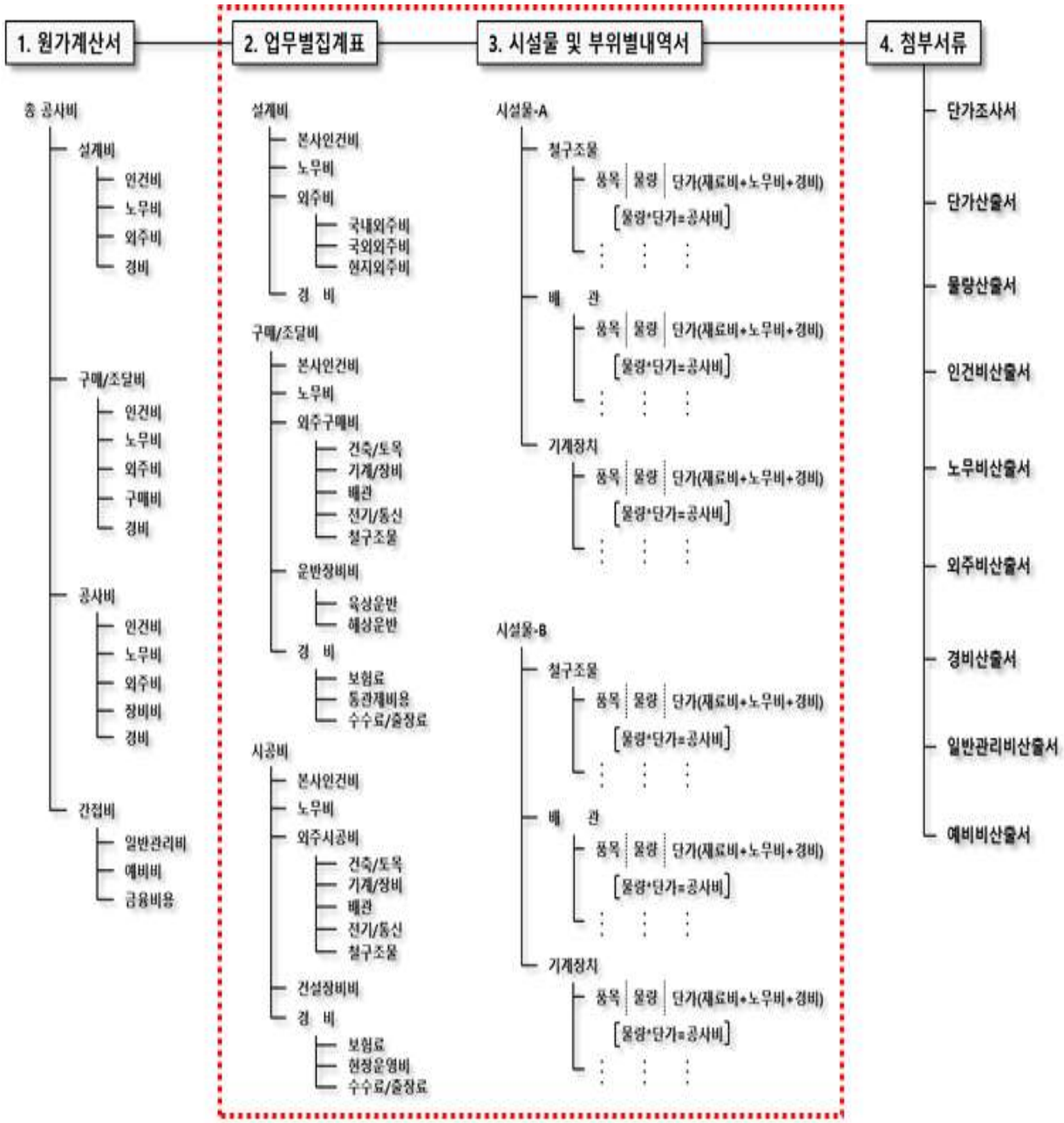


[그림 2-44] 건축사업 및 토목사업 비용분류체계

건축사업 및 토목사업에 대한 비용분류체계를 조사한 결과 공종별 공사비 → 공사별 공사비 → 공사별, 품목별 등에 대한 공사비 산출근거 순으로 구성되는 것으로 확인되었으며, 이와 같은 구성은 건설사업의 표준적인 비용분류체계로 판단된다. 건설사업의 내역서 및 견적서 구성은 상기 그

림과 같은 비용분류체계를 기본형식으로 적용 및 활용하는 것으로 확인되었다. 상기에서 말한 내역서는 건설공사를 수행하기 위해서 소요되는 계약금액 즉 공사원가를 구성하는 공사비를 산정한 내역이며, 견적서는 입찰을 위해서 사전에 당해 공사를 수행하기 위해서 소요될 것으로 예상되는 공사원가를 개략적으로 산정한 내역으로 내역서와 견적서의 비용분류체계는 유사한 체계를 따른다.

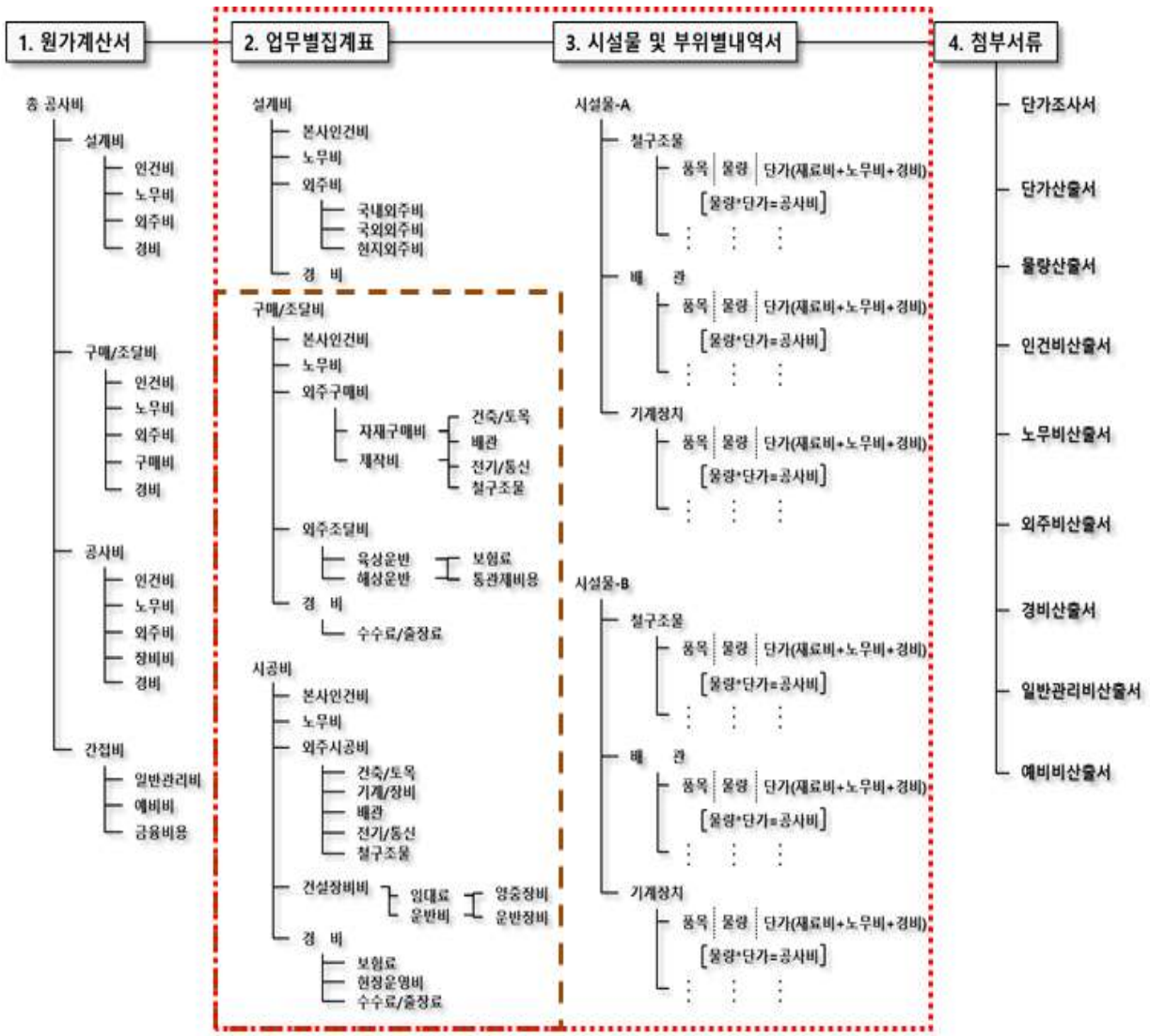
Lump-Sum Turnkey(이하, LSTK, 설계시공일괄도급) 계약방식으로 추진되는 플랜트 사업에 대한 비용분류체계를 요약하면 다음 그림과 같다.



[그림 2-45] 플랜트 건설사업 비용분류체계

건축사업 및 토목사업의 비용분류체계와 조사된 플랜트 건설사업의 비용분류체계를 비교하면 플랜트 건설사업의 비용분류체계는 업무별(설계, 구매, 시공) 비용 → 시설물(파이프렉, Control Center, Tall Tower, Buildings 등) 및 부위별(철구조물, 배관, 계장, 기계, 전기, 통신 등) 공사비 → 시설물, 부위별, 품목별 등에 대한 공사비 산출근거 순으로 구성되는 것을 확인되었다.

플랜트 건설사업의 경우 설계, 구매/조달, 시공, 시운전단계를 모두 포함한 Lump-Sum Turnkey 계약방식으로 낙찰자를 선정하기 때문에 상기와 같이 설계비(Engineering Cost, 구매비(Procurement Cost, 시공비(Construction Cost)로 비용분류체계가 구성되며, 플랜트건설사업의 비용분류체계에 대한 기초 자료 조사과정에서 일부 모듈공법을 적용한 플랜트 건설사업의 내역서 관련 자료 등을 기준으로 비용분류체계를 조사한 결과 구매비에 모듈의 제작비와 운송비 항목이 포함되는 것으로 확인되었으며, 이를 반영하여 모듈러 공법을 적용한 플랜트 건설사업에 대한 비용분류체계를 구성한 내용을 요약하면 다음 그림과 같다.



[그림 2-46] 모듈러 공법을 적용한 플랜트 건설사업 비용분류체계

Pipe Rack 일부를 모듈공법을 적용한 플랜트 건설사업에 대한 비용분류체계를 조사한 결과 모듈의 제작 및 운송에 관련된 비용은 구매/조달비(Procurement Cost)에 포함되며, 공사현장 운송완료 후 시공(조립)되는 과정에서 필요한 자재 및 운반, 양중장비에 대한 비용은 시공비(Construction)에 포함되는 것으로 확인되었다.

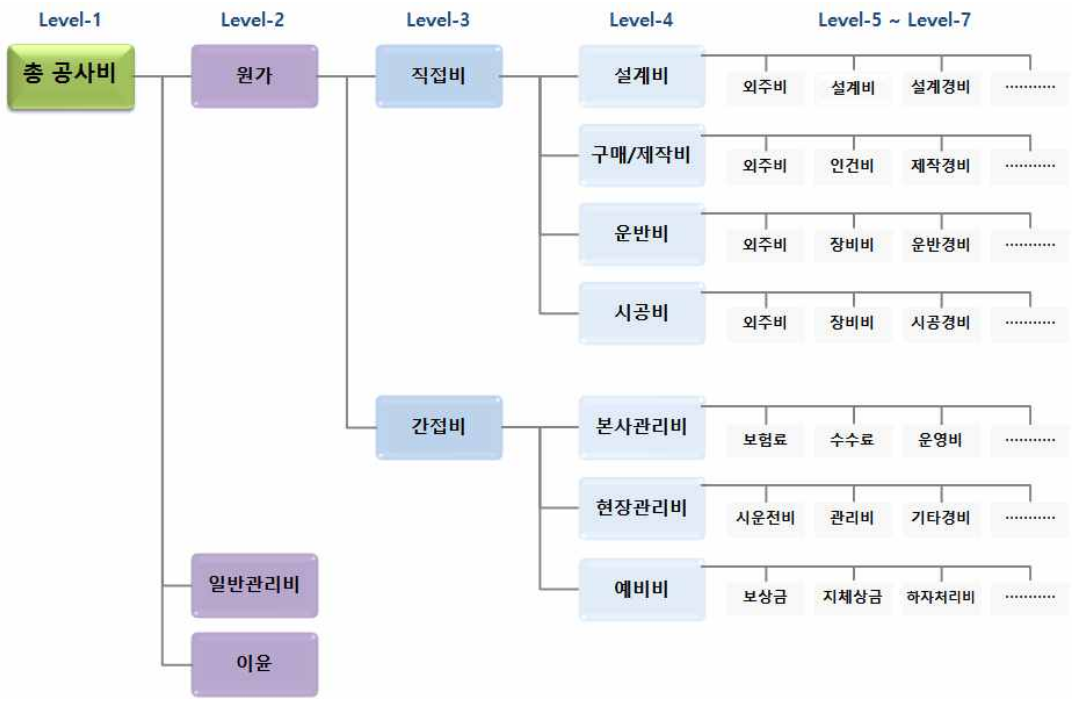
모듈공법을 적용할 경우의 내역서/견적서 비용분류체계의 대분류는 기존의 설계, 구매/조달, 시공 항목으로 고정되는 반면, 하위 단계의 비용항목에 모듈의 제작, 육상운송, 해상운송 등에 소요되는 운송장비비 등의 비용과 시공에서 소요되는 자재, 장비 등을 포함하여 비용을 추정하여 내역을 구성하는 것이다.

플랜트 건설사업을 중심으로 조사된 비용분류체계를 기반으로 모듈화 플랜트 건설사업에 적합한 비용분류체계의 구성은 먼저, 모듈화 플랜트 건설사업에 적합한 비용분류체계 구성을 위하여 모듈공법을 적용할 경우 변화(추가되는)되는 업무를 구성한다. 이는 업무분류체계(Work Break-down Structure)를 기반으로 비용분류체계(Cost Break-down Structure)를 구성하기 위함이다. 상기와 같이 모듈공법을 적용한 플랜트 건설사업에 대한 업무분류체계에 따라 필요한(요구되는) 비용항목을 구성하여 비용분류체계의 개념 모델을 구성하면 다음 그림과 같다.



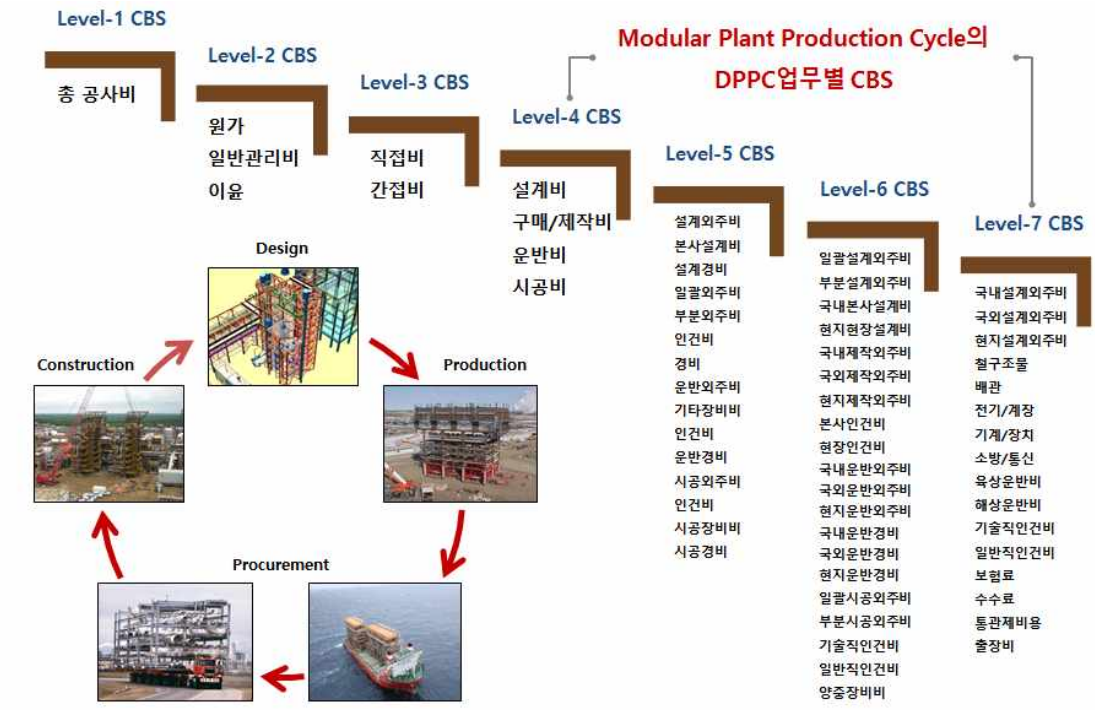
[그림 2-47] 모듈러플랜트의 업무분류에 따른 비용항목 구성

모듈공법을 적용할 경우 기존의 플랜트 업무분류체계를 기반으로 설계단계, 구매/제작단계, 운반단계, 시공단계로 구성함. 모듈공법을 적용할 경우 운송단계의 업무가 공사진행 및 공정관리에 매우 중요한 관리 단계이며, 이와 같은 단계에서의 비용분석 및 추정이 매우 중요함으로 인하여 운송단계를 별도 항목으로 분류하여 구성한 비용분류체계의 개념도는 다음 그림과 같다.



[그림 2-48] 비용분류체계 구성 개념도

모듈공법을 적용한 플랜트 건설사업에 대한 비용분류체계의 구성 개념도를 기반으로 비용분류체계의 개념도에 따른 구체화 방법은 건설사에서 사용되는 내역서를 구성하는 비용분류체계를 기반으로 참고하여 구성하였다.



[그림 2-49] 비용분류체계 구체화

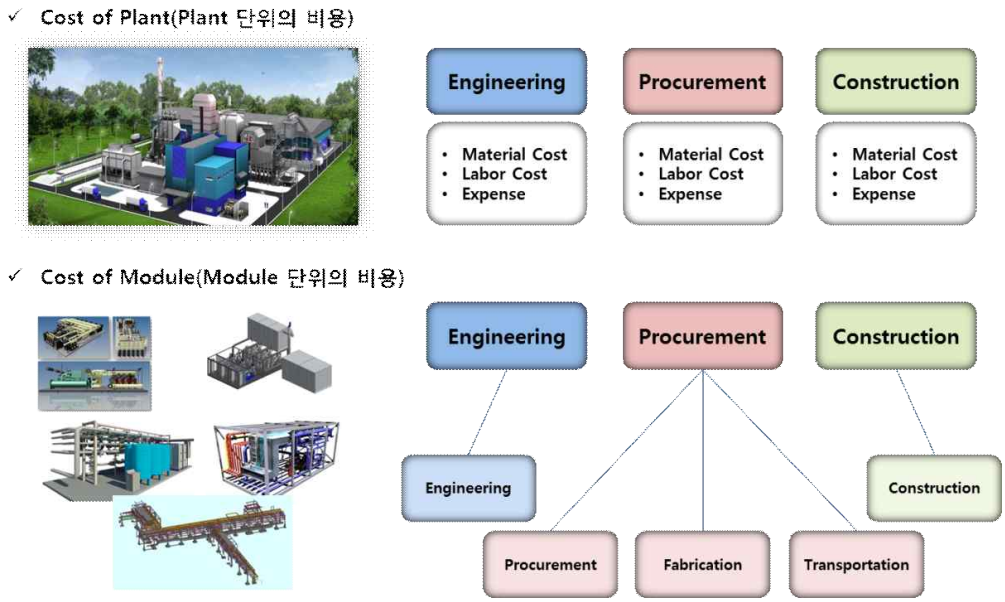
비용분류체계는 Level-1에서 Level-7단계로 구성하였으며, L-1 총공사비를 구성하는 L-2 공사원가, 일반관리비, 이윤 등으로 구성하였으며, 공사원가는 L-3 직접비, 간접비로 구성되며, 직접비는 공사에 투입되는 주요 공정으로 L-4 설계비, 구매/제작비, 운송비, 시공비로 구성됨, 직접비를 구성하는 설계비, 구매/제작비, 운송비, 시공비에 포함되는 L-5 재료비, 인건비, 노무비, 외주비, 경비 등으로 구성하였다. 직접비를 구성하는 재료비, 인건비, 노무비, 외주비, 경비에 대한 세부 비용항목은 L-6에서 L-7으로 구성함. L-6와 L-7으로 구성된 비용항목은 사업계획에 따라 달라지는 비용항목으로 모듈을 국내제작일 경우, 국외제작일 경우, 현지제작일 경우 이와 같은 사업계획의 특성을 반영하여 구성되는 비용항목 이며, 간접비 또한 L-6과 L-7에 비용항목이 구성되어 비용을 분석(추정)된다.

마. 비용분류체계(CBS) 개념 모델 구성

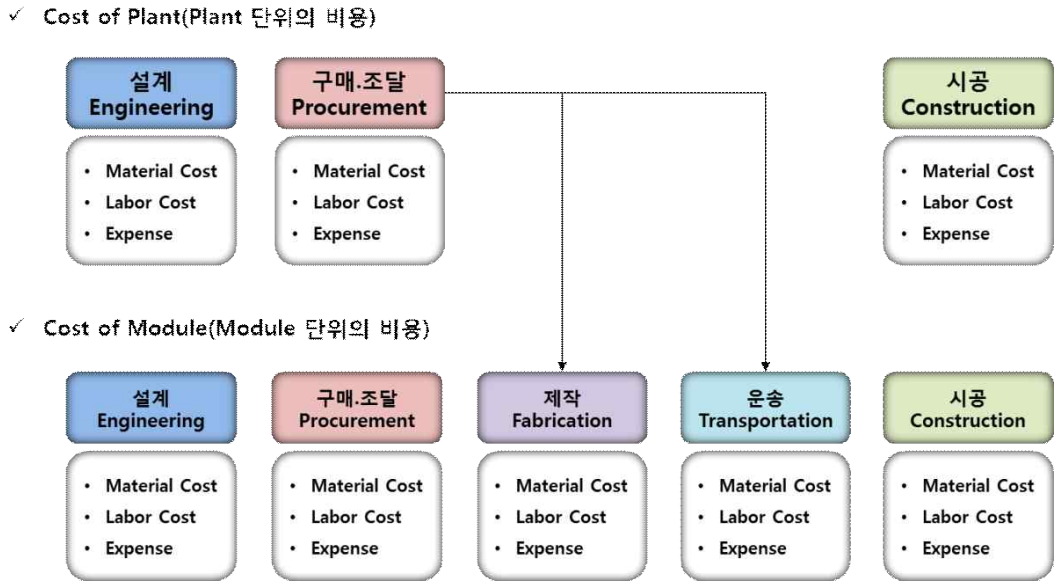
(1) 비용분류체계(CBS) 개념 모델

기존 건설 회사의 플랜트 관련 견적 내역서 및 비용자료 등을 분석해보면 3단계로(Engineering, Procurement, Construction) 비용분류체계(Cost Breakdown Structure)가 분류된다. 하지만 모듈 플랜트 건설 사업의 경우 샵(Shop)이라는 모듈을 제작하는 공장에서 모듈러를 제작하여 시공현장으로 옮기는 것과 완성된 모듈을 시공현장으로 운송하는 등, 기존 플랜트 건설사업과 진행 방식이 다르기 때문에 플랜트 비용분류체계로 비용을 추정 및 분석하기에는 어려움이 있다. 이러한 이유 때문에 모듈러 플랜트의 제작 과정을 분석하여 비용분류체계를 새로 작성하며, 그 결과, 모듈러

플랜트의 비용분류체계는 5단계(Engineering, Procurement, Fabrication, Transportation, Construction)로 조사되었으며, 플랜트 건설 사업의 비용분류체계와 모듈 플랜트 건설사업의 비용분류체계의 연계도 및 비용분류 모델의 세부항목을 나타내면 다음 그림과 같다.



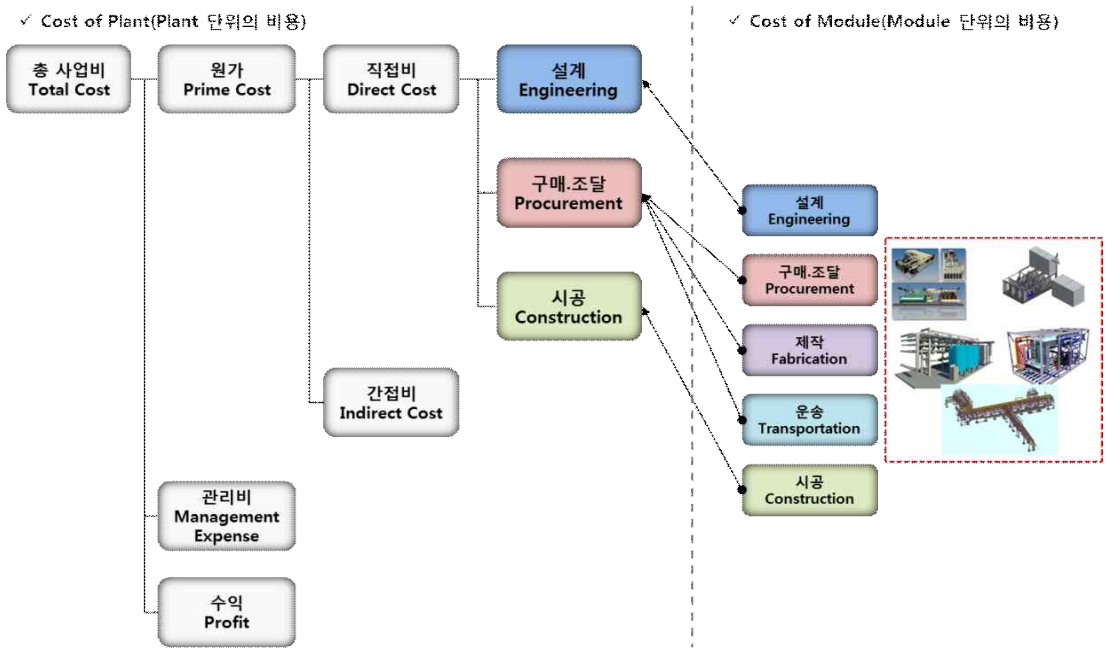
[그림 2-50] 비용분류체계(CBS) 모델 연계도



[그림 2-51] 비용분류체계(CBS) 모델 세부항목 조사

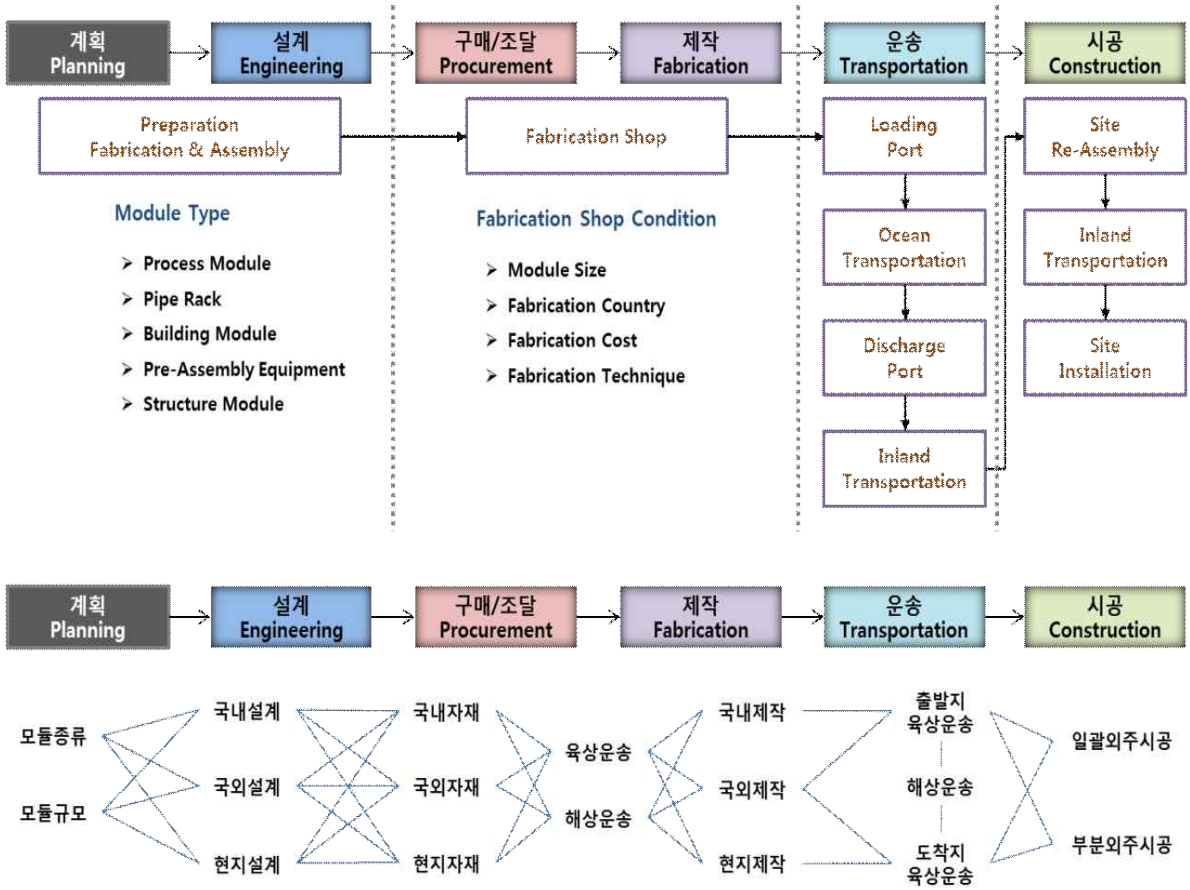
모듈러 공법을 적용한 플랜트 건설사업의 비용분류체계에 대한 분석을 기반으로, 비용분석(추정)을 위한 분석(추정) 개념 모델의 컨셉은 모듈러 플랜트 건설사업의 비용분류체계 5단계(Engineering, Procurement, Fabrication, Transportation, Construction)를 분석(추정)하여 도출(산정)된 값(이하, 공사비)을 플랜트 단위의 비용분류체계 3단계(Engineering, Procurement,

Construction)로 통합하는 방법을 구성하였으며 다음 그림과 같다.



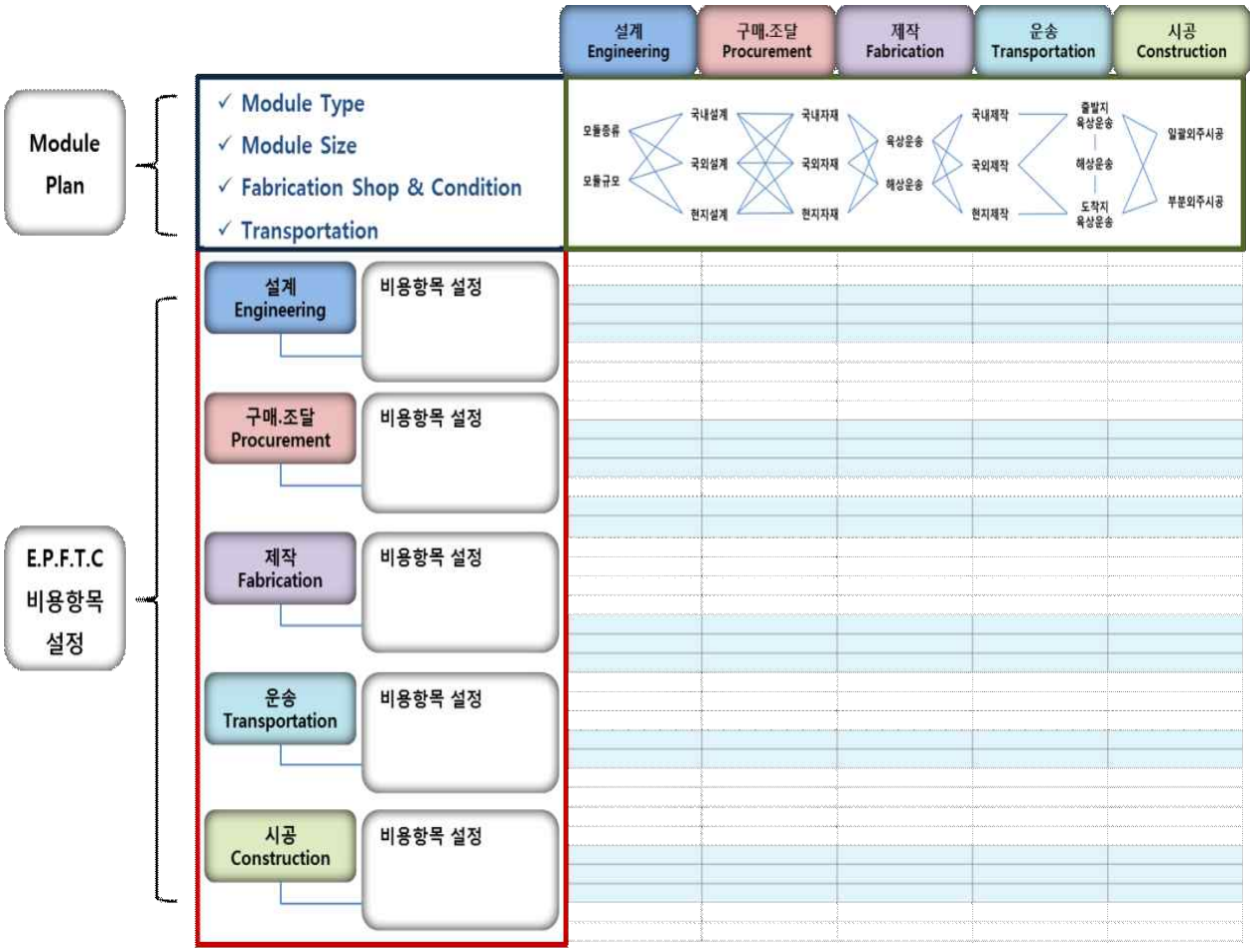
[그림 2-52] 비용추정 개념 모델

모듈러 공법을 적용한 플랜트 건설사업의 비용분류체계를 플랜트 건설사업의 비용분류체계로 통합하여 모듈러 플랜트의 직접비를 구(산정)한다. 이후, 건설 사업에 필요한 비용들을 추정 및 통합하여 본 프로젝트의 총 사업비를 추정할 수 있는 모델을 만들 계획이며, 모듈러 공법을 적용한 플랜트 건설사업의 비용분류체계와 각 업무단계에서 발생할 수 있는 시나리오를 조사한 것이다. 이를 통하여 사업을 시작하기 전에 미리 각 업무단계별 시나리오를 설정하여 이에 따른 비용을 분석할 수 있는 개념으로 모델을 구성한다.



[그림 2-53] 업무단계별 시나리오 설정 개념

시나리오 설정 개념도를 기반으로 비용분석(추정)을 위한 비용 추정 모델의 화면을 구체화하면, 상단의 가로축은 업무단계별 시나리오를 설정할 수 있는 선택창이고, 좌측 세로축은 선택한 시나리오에 포함된 비용항목 설정을 할 수 있는 선택창이다.



[그림 2-54] 비용추정 모델 프로그램 구성도

모듈러 플랜트 건설사업의 비용분류체계를 Level 1에서 Level 4단계로 구성하였음. Level 1는 총공사비(Total Cost)이며, Level 2는 모듈러 플랜트의 비용분류체계 5단계(Engineering, Procurement, Fabrication, Transportation, Construction)로 구성하였다. Level 3단계는 시나리오에 따른 비용항목으로 구성되고 마지막으로 Level 4는 재료비, 노무비, 경비에 대한 세부항목으로 구성하였다. Level. 1에서 Level 4단계로 구성된 모듈화 플랜트 건설사업 비용분류체계 중 비용이 분석(추정)되는 단계는 Level 3에서 Level. 4이며, 이렇게 분석된 비용은 상위 단계로 집계되어 총 사업비(Level 1 총공사비 Total Cost)가 분석(산정)된다.

(2) 비용분류체계(CBS) Module 구성

모듈러 플랜트 비용분류체계의 구체화를 기반으로 Excel을 활용하여 모듈러 플랜트 Level별 비용항목 분류 및 Code를 작성하여 구성된 비용분류체계의 Level별 비용항목과 Code를 활용하여 모듈 플랜트 건설사업에 대한 비용추정 Conceptual 모델을 구성한 결과는 다음 그림과 같다.

2. 설계비		
	3. 설계외주비(국내)	
		4. 재료비
		4. 노무비
		4. 경비
	3. 설계외주비(국외)	
		4. 재료비
		4. 노무비
		4. 경비
	3. 설계외주비(현지)	
		4. 재료비
		4. 노무비
		4. 경비

Code	Code 설명
EN	EN : Engineering
EN.DC	DE : Domestic Engineering
EN.DC.MC	MC : Material Cost
EN.DC.LC	LC : Labor Cost
EN.DC.EX	EX : Expense
EN.OE	OE : Overseas Engineering
EN.OE.MC	
EN.OE.LC	
EN.OE.EX	
EN.LE	LE : Local Engineering
EN.LE.MC	
EN.LE.LC	
EN.LE.EX	

[그림 2-55] 비용추정 Module 구성도(1)

2. 구매/조달비		
	3. 자재구매비	
		4. 철구조물
		4. 배관
		4. 전기
		4. 계장(계측장비)
	3. 자재운송비	
		4. 육상
		4. 해상

PR	PR : Rpocurement
PR.MP	MP : Material Purchase
PR.MP.SS	SS : Steel Structure
PR.MP.PL	PL : Plumbing
PR.MP.EL	EL : Electricity
PR.MP.IN	IN : Instrumentation
PR.TM	TM : Transport Material
PR.TM.OT	OT : Overland Transport
PR.TM.SH	SH : Shipping

[그림 2-56] 비용추정 Module 구성도(2)

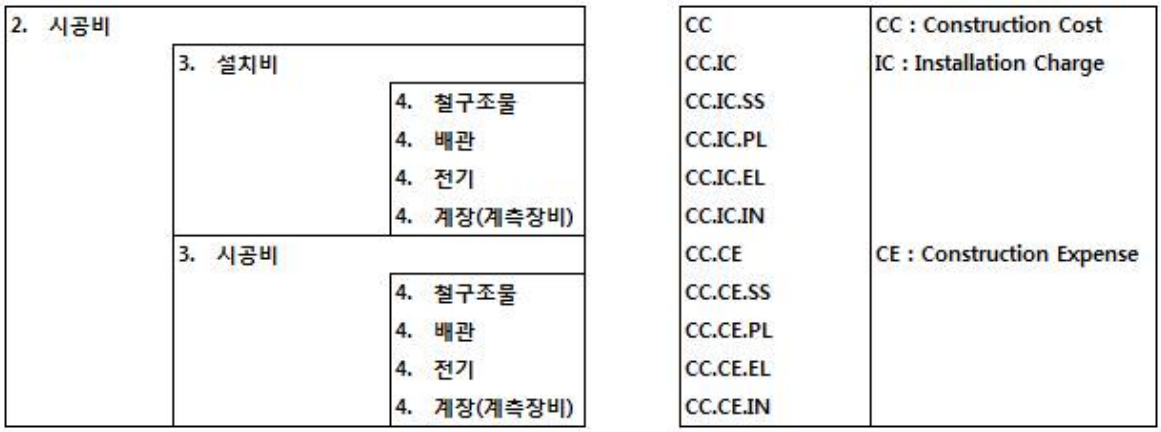
2. 제작비		
	3. 제작외주비(국내)	
		4. 철구조물
		4. 배관
		4. 전기
		4. 계장(계측장비)
	3. 제작외주비(국외)	
		4. 철구조물
		4. 배관
		4. 전기
		4. 계장(계측장비)
	3. 제작외주비(현지)	
		4. 철구조물
		4. 배관
		4. 전기
		4. 계장(계측장비)

FA	FA : Fabrication
FA.DE	
FA.DE.SS	
FA.DE.PL	
FA.DE.EL	
FA.DE.IN	
FA.OE	
FA.OE.SS	
FA.OE.PL	
FA.OE.EL	
FA.OE.IN	
EN.LE	
EN.LE.SS	
EN.LE.PL	
EN.LE.EL	
EN.LE.IN	

[그림 2-57] 비용추정 Module 구성도(3)



[그림 2-58] 비용추정 Module 구성도(4)

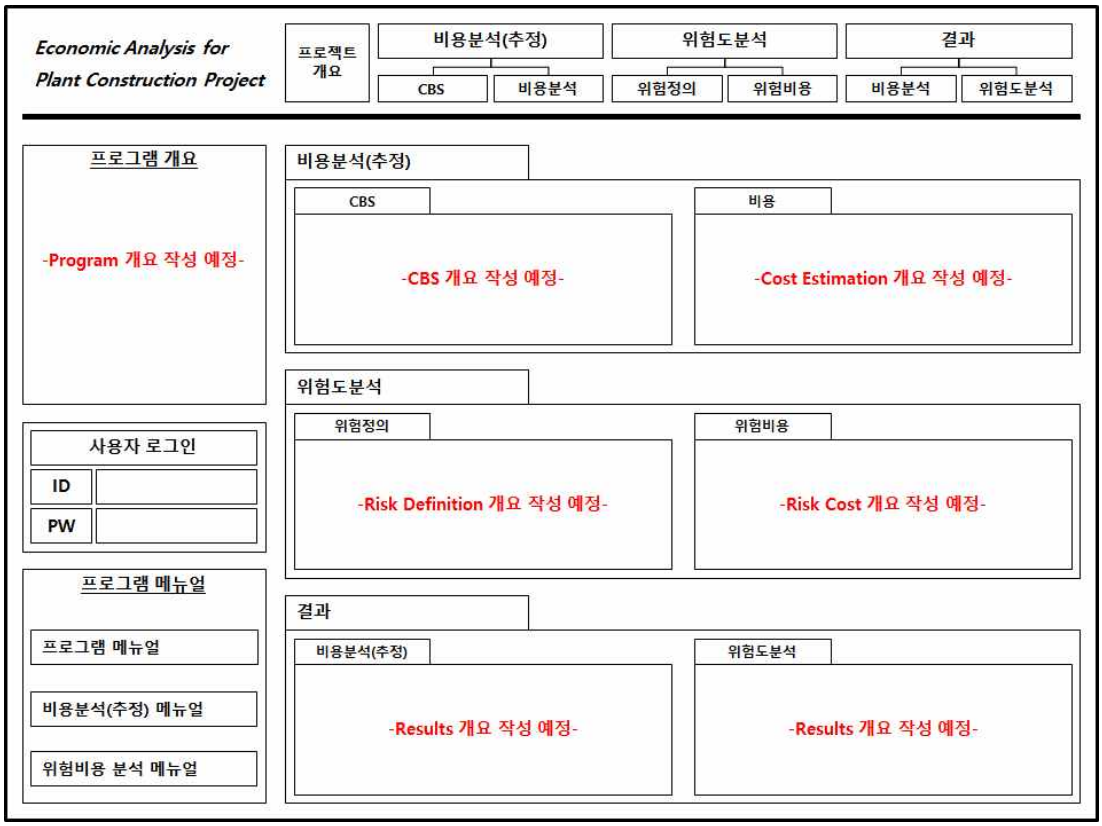


[그림 2-59] 비용추정 Module 구성도(5)

비용분류체계 및 체계별 Code는 Excel을 활용하여 구성하였으며, 구성된 비용분류체계는 현재 건설사에서 활용되는 내역서를 기반으로 하며, 향후 비용분류체계를 기반으로 하는 원단위 비용분석 Soft Ware를 개발하기 위해 활용된다.

Soft Ware 구성은 개요(기능, 설명 등), 사업 개요 입력, 비용분류체계 구성, 비용분석(추정)으로 크게 구성되며, 사업개요 입력, 비용분류체계 구성, 비용분석에서 사용자의 의도에 따라 비용항목을 추가/제거/변경할 수 있는 기능과 비용분석(추정)에서 설정된 비용항목의 산정식을 변경하는 기능을 부가한다.

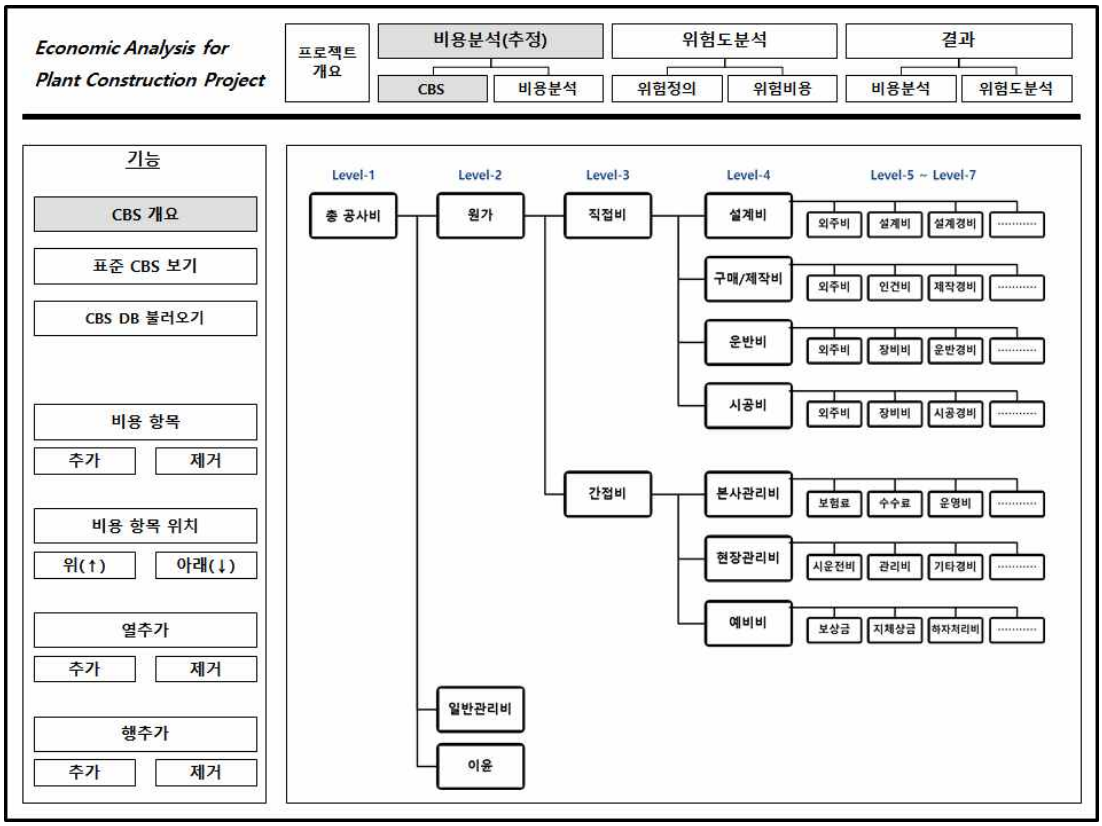
향후 DB 서버를 구축하여 과거 비용자료를 저장 및 참고할 수 있는 기능을 추가하는 것으로 상기와 같은 내용을 기반으로 구성된 Conceptual SW 개발을 위한 계획도는 다음 그림과 같다.



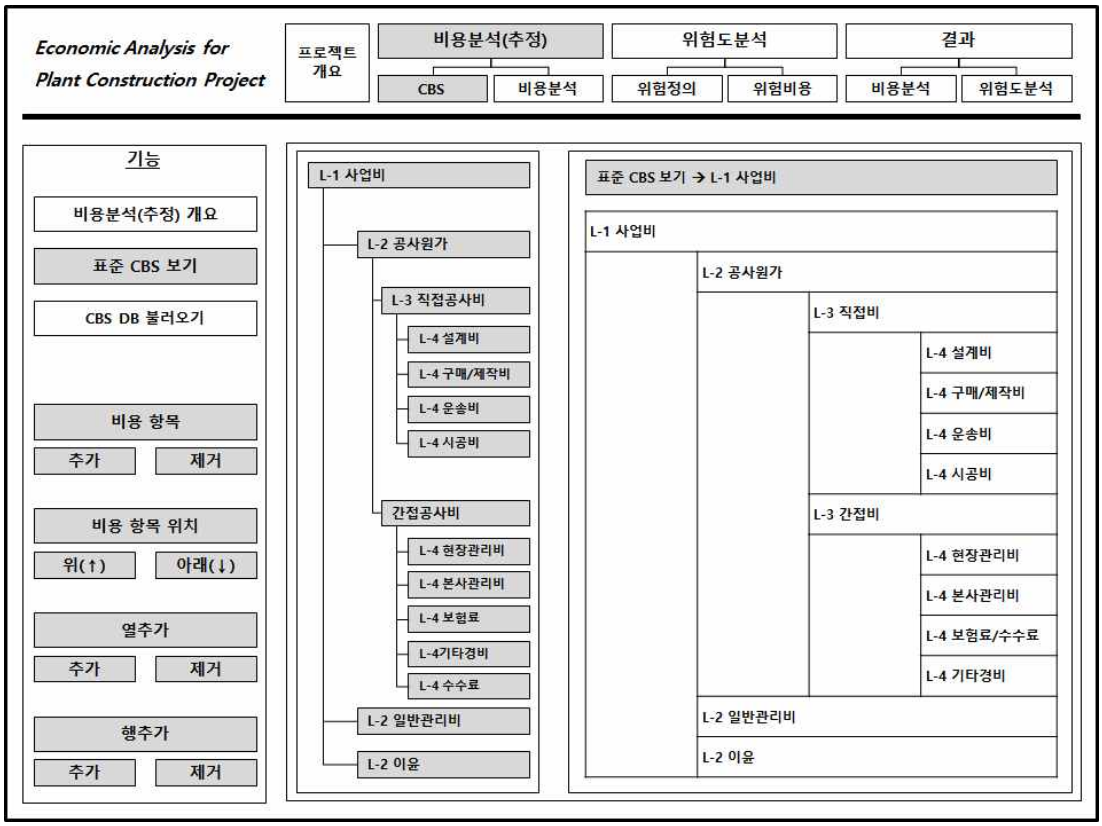
[그림 2-60] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(1)



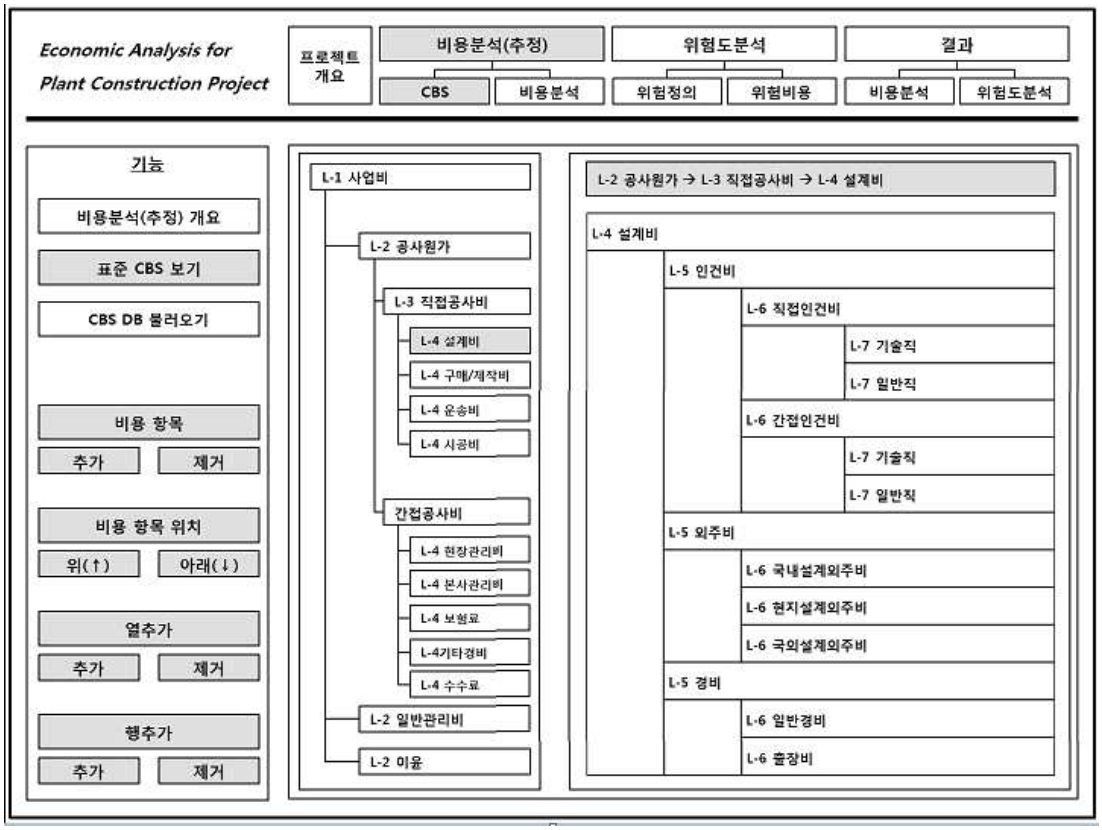
[그림 2-61] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(2)



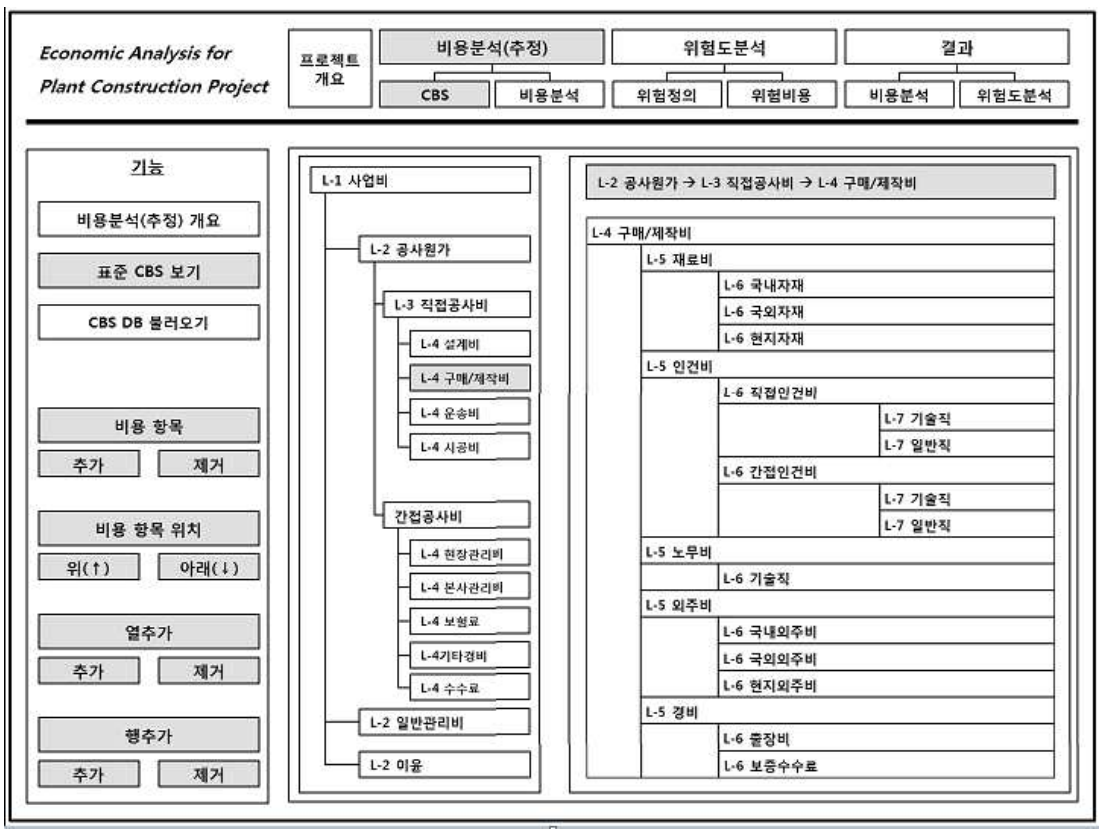
[그림 2-62] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(3)



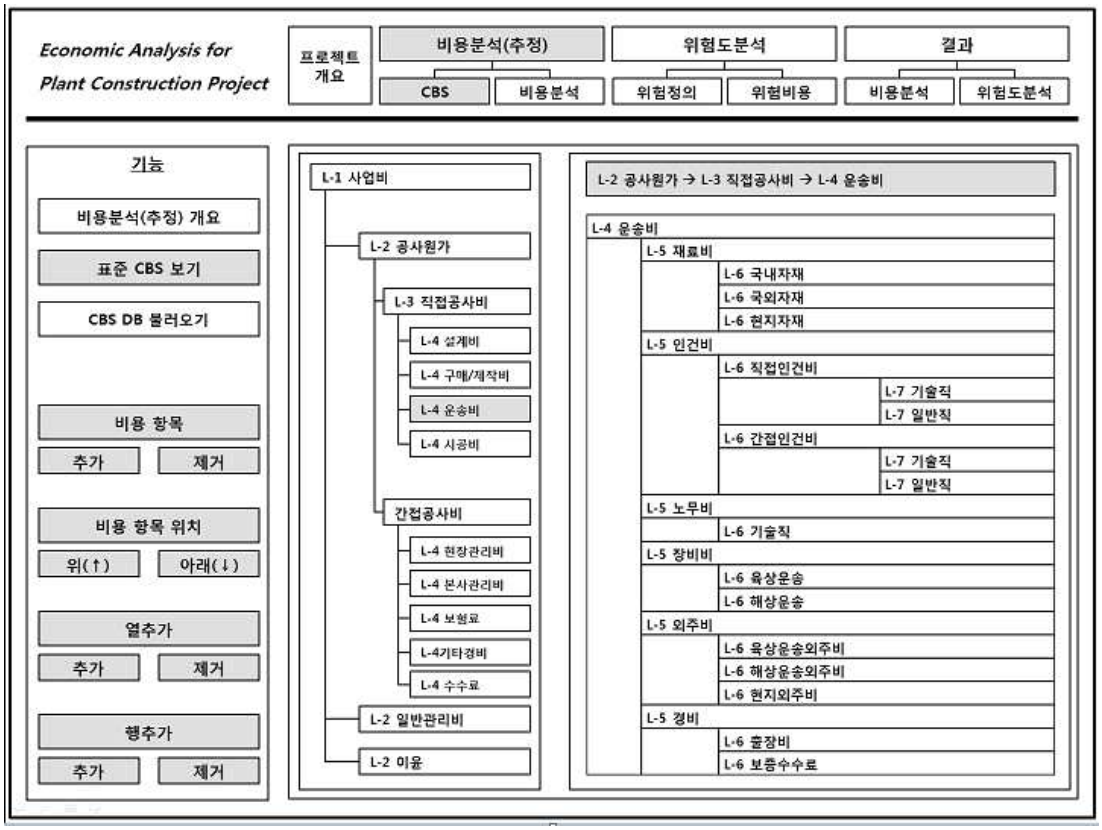
[그림 2-63] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(4)



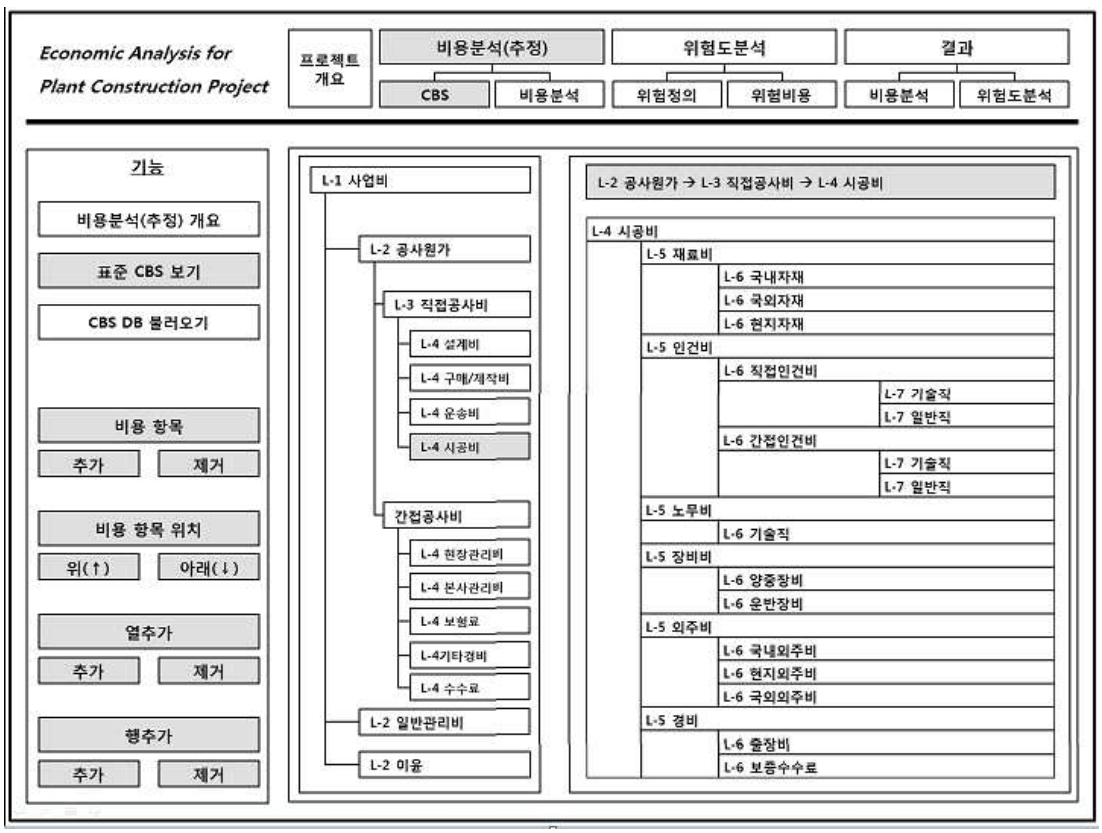
[그림 2-64] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(5)



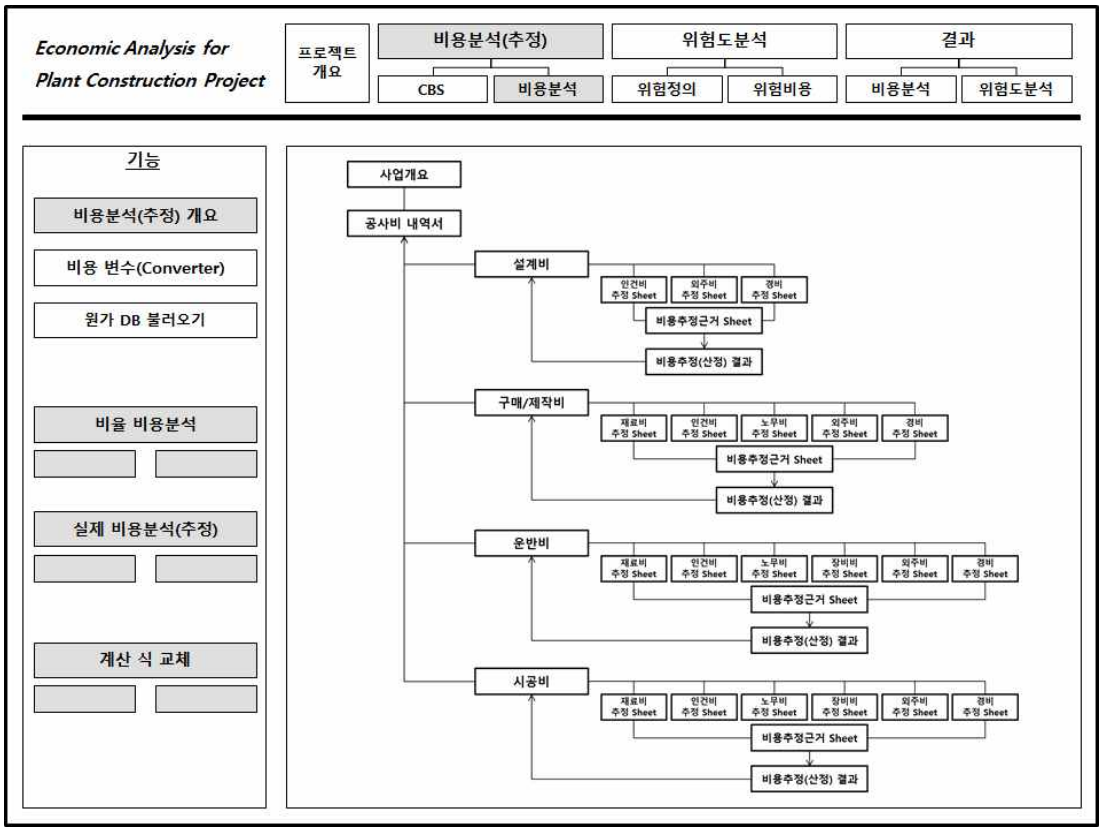
[그림 2-65] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(6)



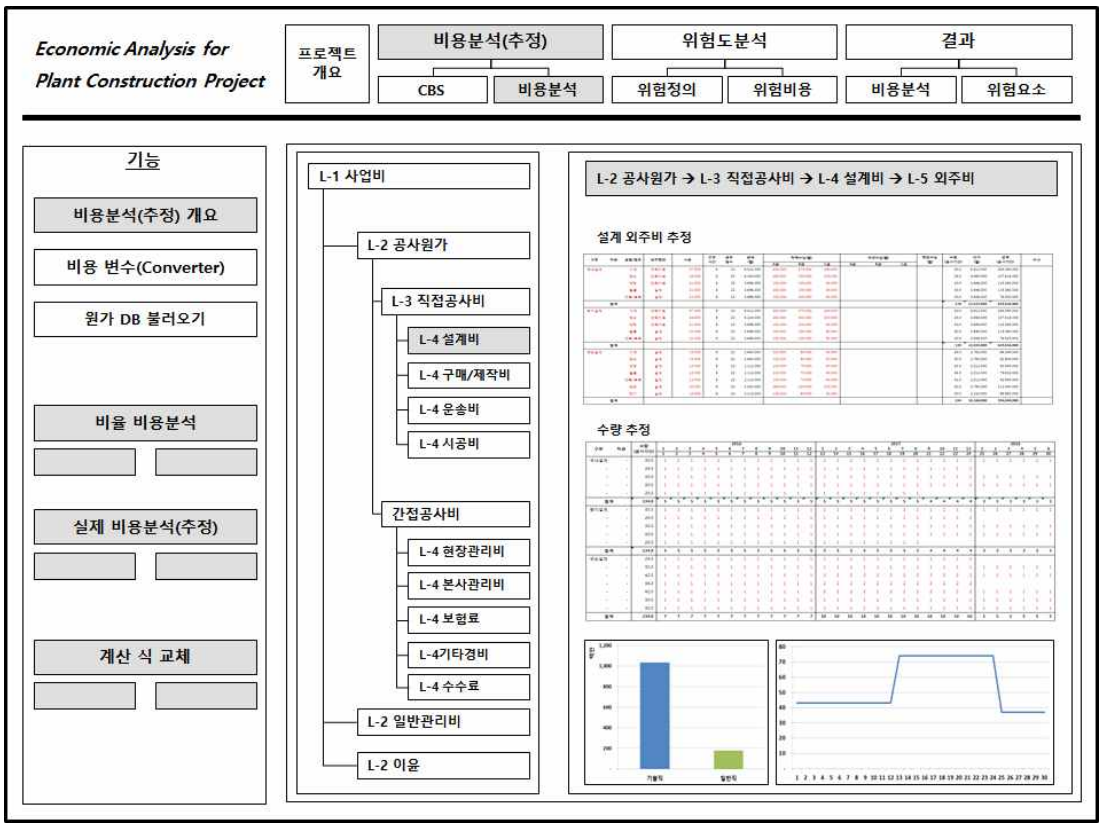
[그림 2-66] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(7)



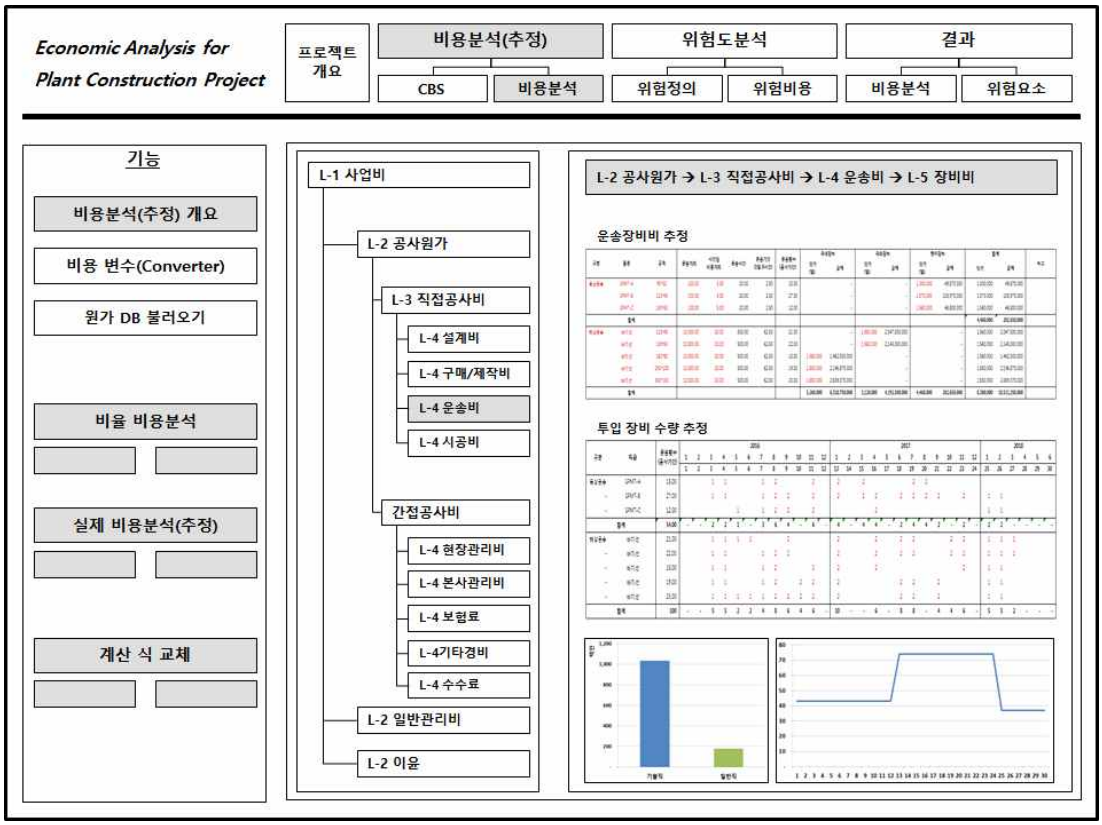
[그림 2-67] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(8)



[그림 2-68] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(9)



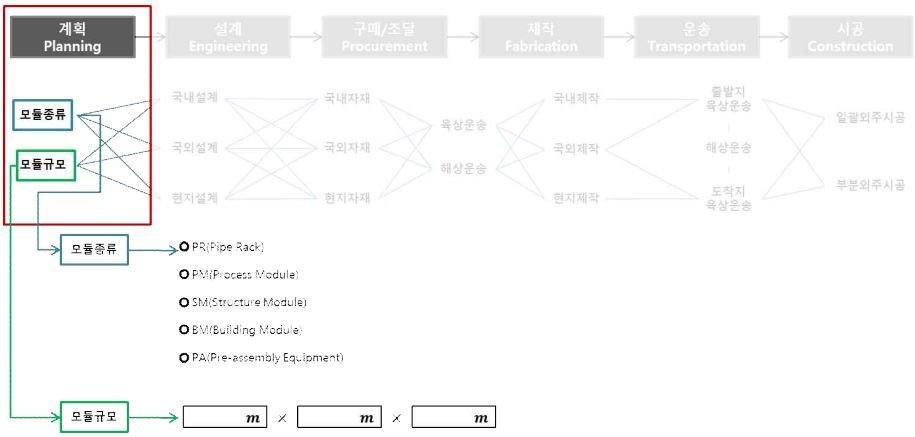
[그림 2-69] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(10)



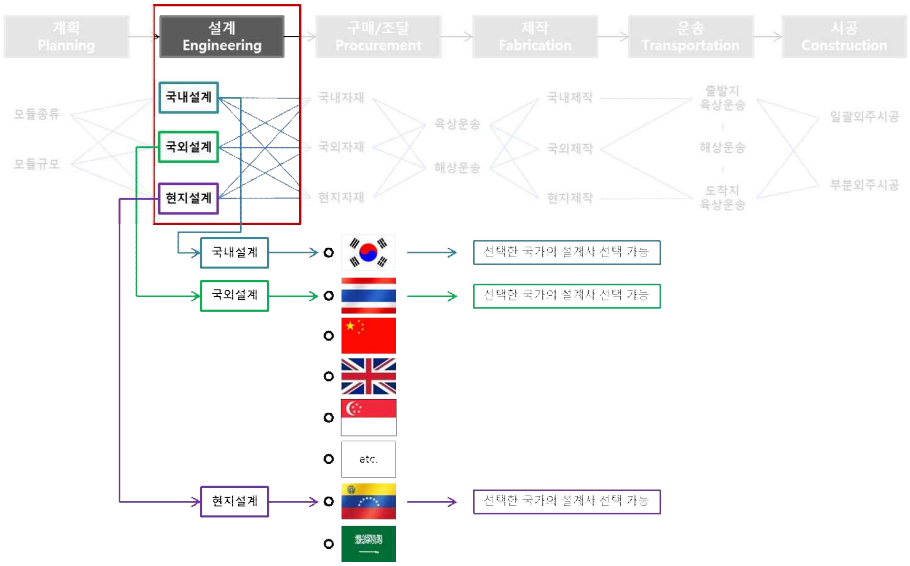
[그림 2-70] 비용추정 Module Soft Ware 구성도(11)

비용분류체계(Cost Break-down Structure) 개념 모델 구성은 플랜트 건설사업에 대한 업무추진 과정 및 업무분류체계에 따른 비용항목 조사하였고 업무분류체계를 기반으로 비용분류체계 구성 및 비용분류체계에 따른 중요 비용항목 정립하였다. 그리고 원단위 비용분석(추정) 개념 모델을 구성하기 위하여 비용분류체계에 따른 중요 비용항목에 대한 비용분석(추정)을 위한 변수를 조사하고 비용분석(추정)을 위한 변수의 산정방법(산정식) 분석 및 비용산정 방법 개념 모델을 구성하였다. 또한 비용분류체계(CBS) 및 원단위 비용분석(추정) Conceptual Model SW 계획도도 구성하였다.

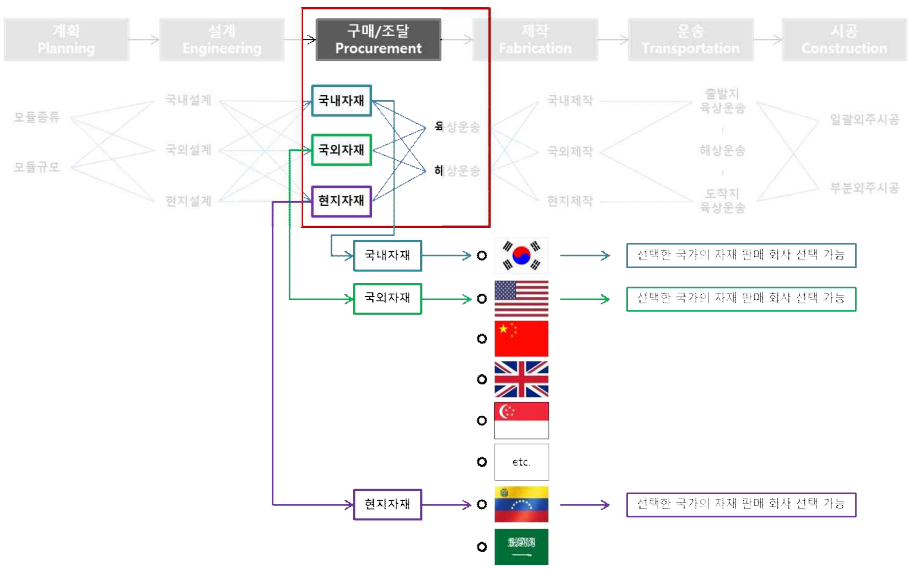
상기에서 설명한 CBS 체계와 시나리오 기반으로 모듈러 플랜트의 사업비를 추정하기 위한 시스템을 계획한 구성은 다음 그림과 같다.



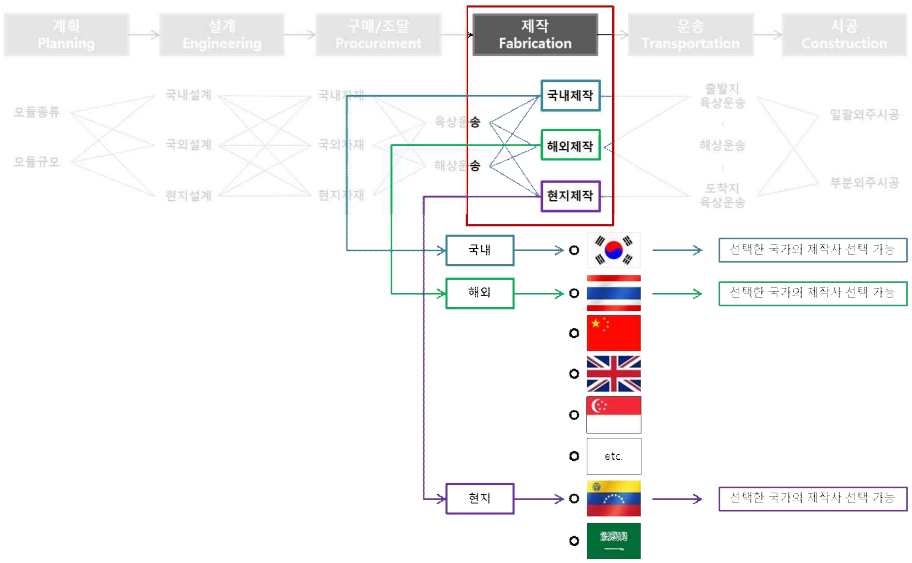
[그림 2-71] 시스템 계획 구성(1)



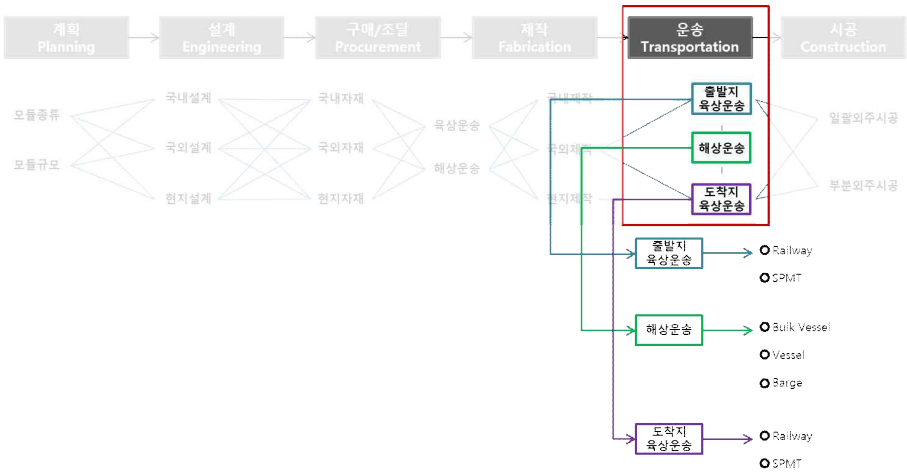
[그림 2-72] 시스템 계획 구성(2)



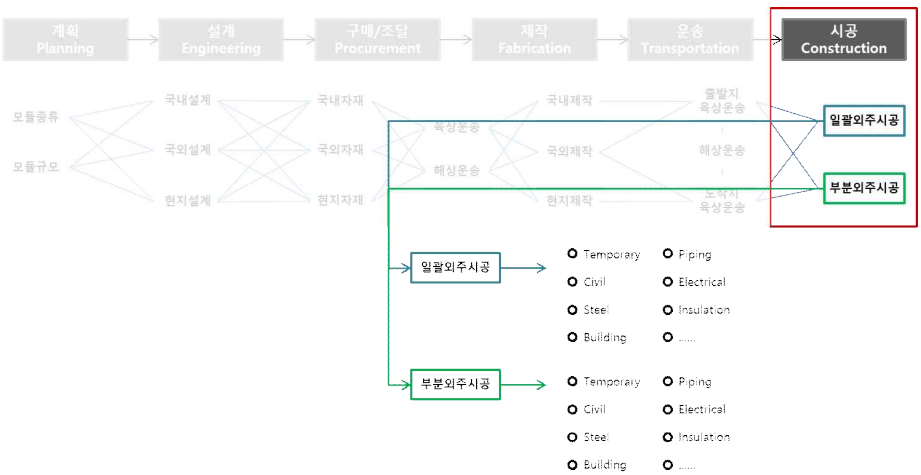
[그림 2-73] 시스템 계획 구성(3)



[그림 2-74] 시스템 계획 구성(4)



[그림 2-75] 시스템 계획 구성(5)



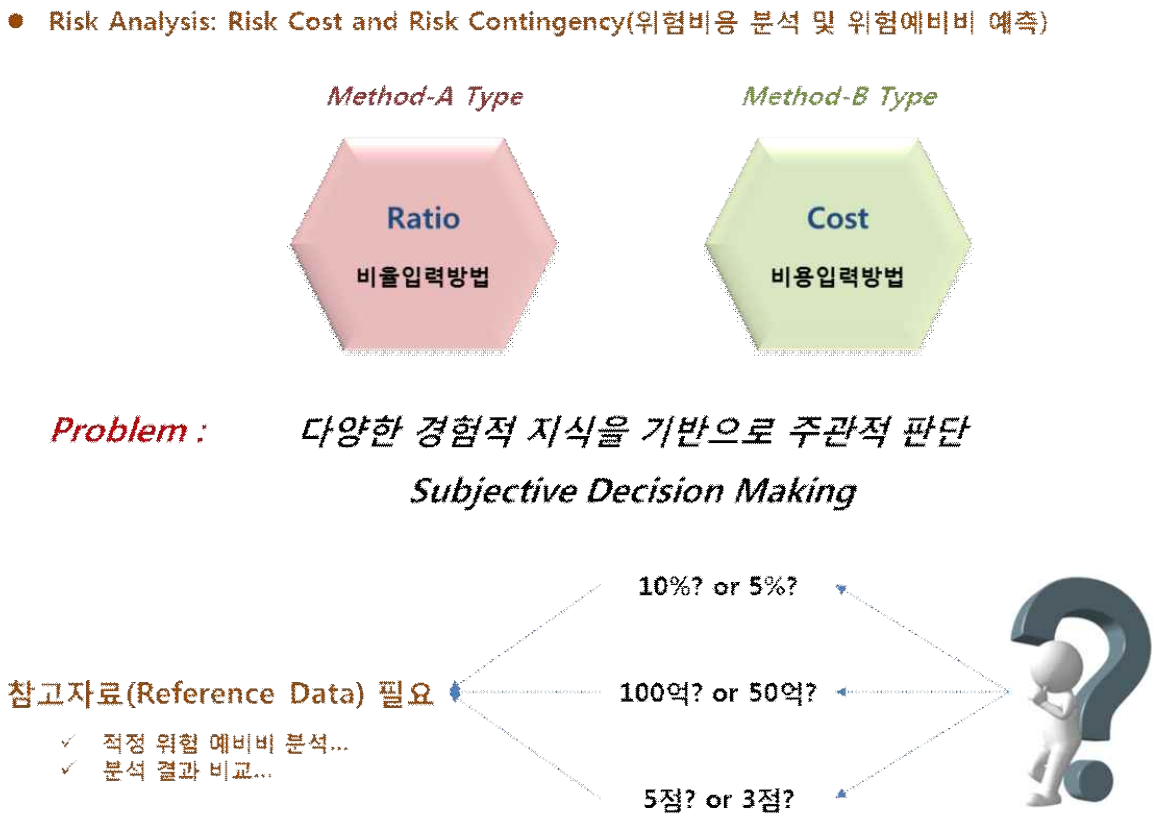
[그림 2-76] 시스템 계획 구성(6)

바. 위험분석 개념 모델 구성

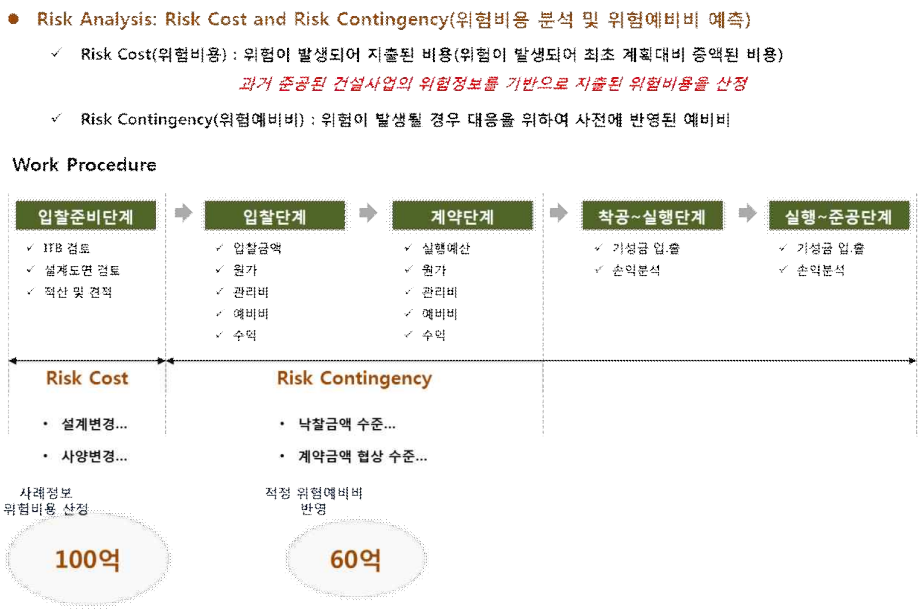
(1) 위험분석 개념 모델

모듈화 플랜트 건설 사업은 기존의 플랜트 건설사업 보다 모듈제작 및 운송단계가 중요한 관리항목이므로 관리되어야 하는 위험의 종류도 많고, 리스크가 발생 시 지체비용 및 증액비용이 크며, 이러한 이유 때문에 모듈화 플랜트 건설사업의 비용추정(분석) 과정에서 리스크 또한 추정(분석)대상에 포함되어야 한다.

플랜트 건설사업에 대한 위험비용 및 위험예비비 분석을 위하여 위험비용 및 위험예비비에 대한 기준을 제시하고, 건설사의 위험비용 및 위험예비비 책정 등에 대한 자료를 조사하는 것으로 상기와 같은 설명을 요약하면 다음 그림과 같다.

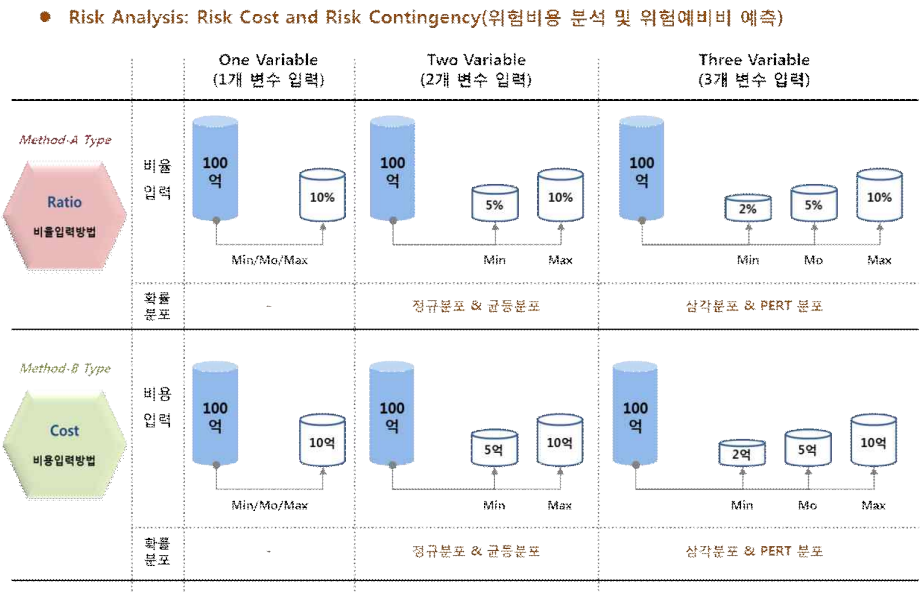


[그림 2-77] 위험분석 모델 개념(1)



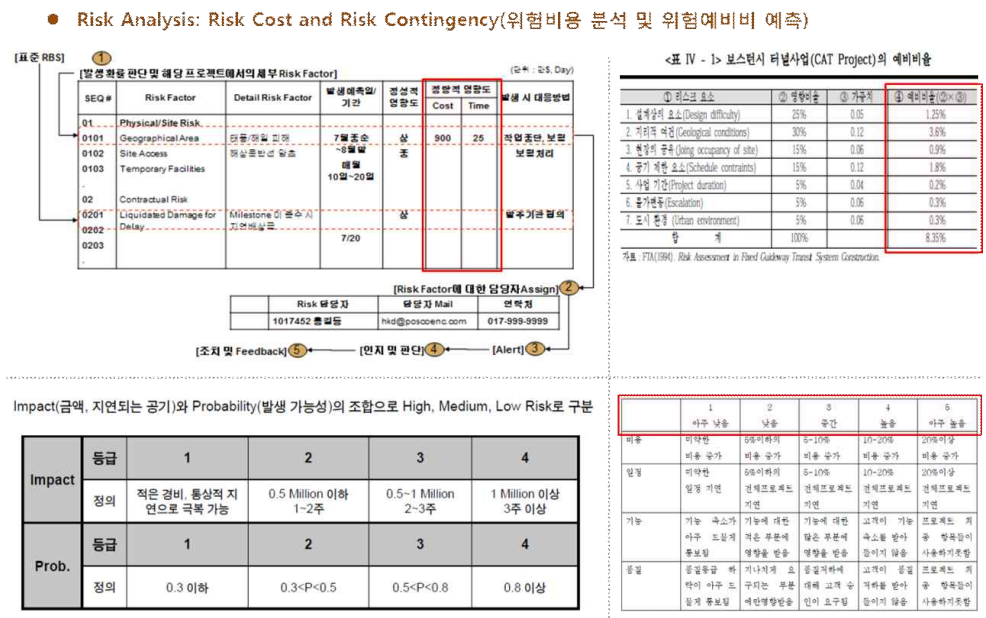
[그림 2-78] 위험분석 모델 개념(2)

건설사들의 위험비용 책정에 대한 기초 자료 조사 결과, 비율입력방법 및 비용입력방법으로 나누어지며, 또한 위험에 대한 변수의 개수에 따라 비용을 추정하는 방식도 다르게 나타났다. 이와 같이 선행연구에서 조사된 위험비용을 추정하는 방법은 다음 그림과 같다.



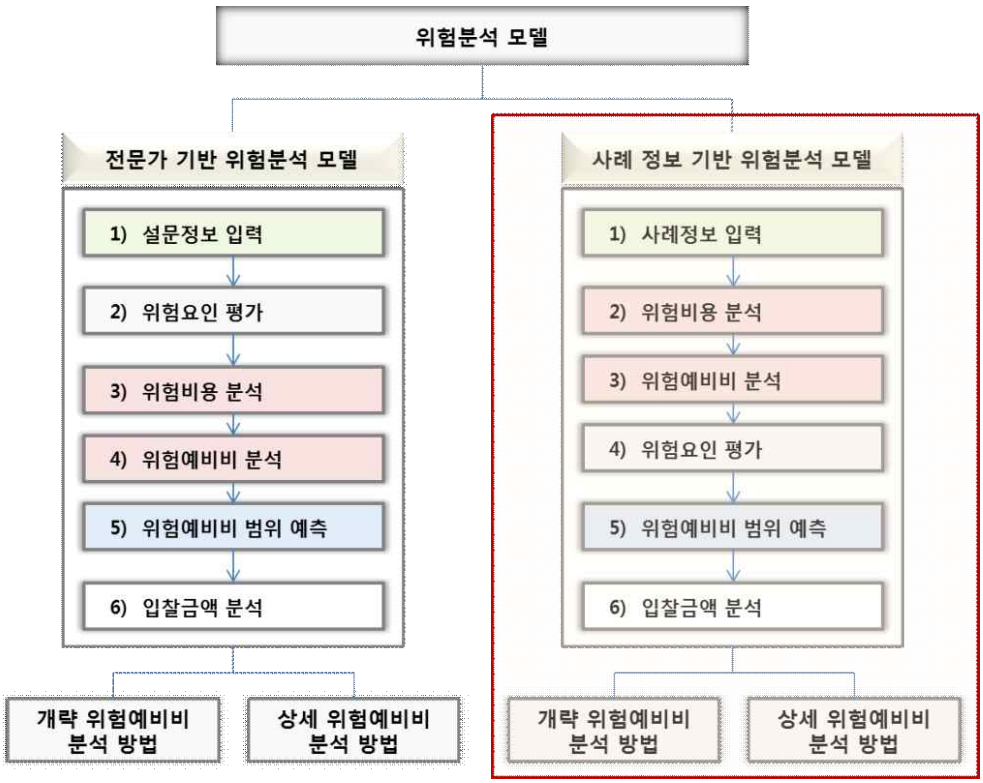
[그림 2-79] 위험분석 모델 선행연구 고찰 요약정리

선행연구 고찰 결과 건설사들은 위험항목 및 위험영향에 대한 책정 및 분류를 각기 다른 방식을 이용하고 있으며, 건설사들은 각기 정확한 지체일수 및 증액비용 기입, 전체 비용 혹은 전체 일정의 % 기입 및 위험강도에 따른 점수 기입 등으로 위험에 대해 판별하고 있었다. 건설사의 위험영향을 분석하는 방법에 대한 고찰 결과 및 한계점은 다음 그림과 같다.



[그림 2-80] 위험분석 모델 선행연구 고찰 한계점

위험분석 모델은 전문가의 경험을 바탕으로 위험분석 및 위험예비비 예측을 할 수 있는 전문가 기반 위험분석 모델과 건설사에서 가지고 있는 기존 사례들을 통하여 위험분석 및 위험예비비를 예측하는 사례 정보 기반 위험분석 모델로 나누어진다.



[그림 2-81] 전문가 기반 및 사례기반 위험분석 모델 절차

전문가 기반 위험분석 모델의 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, 전문가들에게 설문조사를 실시하여 진행할 프로젝트의 위험요인을 조사한다.

둘째, 조사된 위험요인에 대한 위험영향 지수를 구한다.

셋째, 위험요인이 발생하였을 경우 지연되는 시간과 지출되는 비용을 조사한다.

넷째, 시간과 비용에 관한 위험예비비 비율 및 위험요인별 위험예비비를 예측한다.

다섯째, 위험예비비의 범위를 최소, 적정, 최대수준 위험예비비를 조사하여 도출된 범위를 조사한다.

여섯째, 도출된 위험예비비 범위 안에서 적정 입찰 금액을 분석한다.

사례 정보 기반 위험분석 모델의 위험비용 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, 건설사가 수행한 과거 사례들을 조사하여 발생하였던 위험요인을 분석한다.

둘째, 분석된 위험요인에 대한 지체일수와 발생 시 지출되는 원가증액에 대한 정보를 입력한다.

셋째, 위험요인별 예비비를 반영한다.

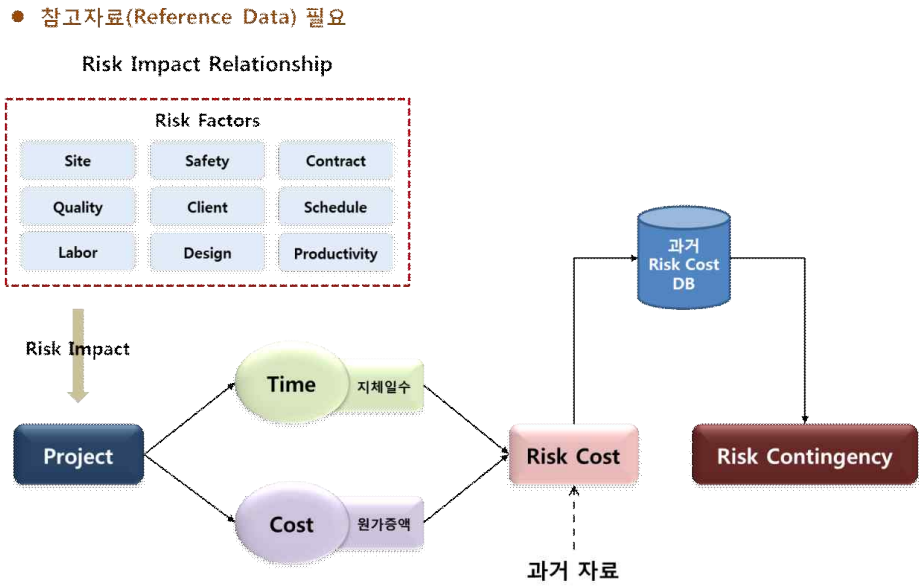
넷째, 위험요인 항목별 비용영향점수를 계산한다.

다섯째, 도출된 위험요인의 위험예비비의 범위를 예측한다.

여섯째, 도출된 위험예비비의 범위 내에서 입찰금액을 결정한다.

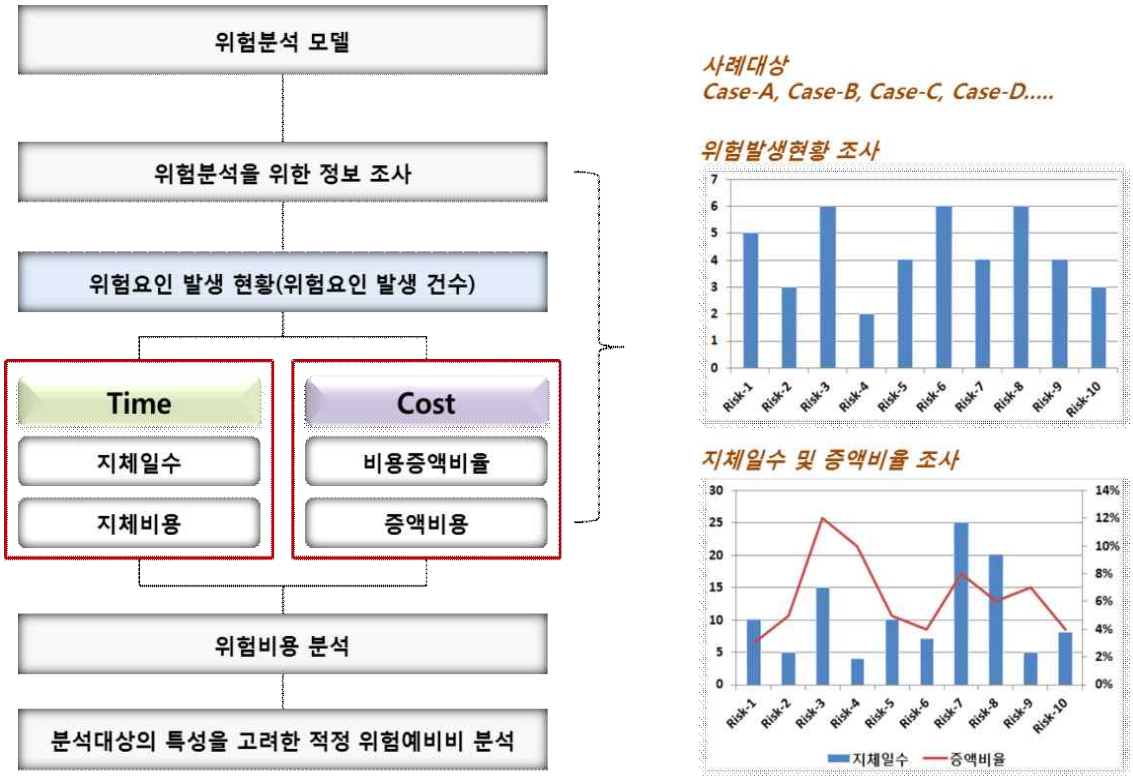
(2) 위험분석 개념 모델 Module 구성

건설사의 위험관련 기초 자료 수집한 내용을 기반으로 건설사별 공통된 위험인자의 위험영향 관계도를 분석하였다 이와 같은 분석을 통하여 모듈러 플랜트의 수익을 줄이거나 없애는 위험 항목들의 파악하고, 각 항목별 적합한 예비비를 산정할 모델이 필요하기 때문이다.



[그림 2-82] 위험영향 관계도

모듈 공법을 적용한 플랜트 건설사업을 진행할 때 발생하는 리스크에 대한 위험영향 관계도를 나타낸 것이며, 리스크가 발생할 경우 지출되는 시간의 지체일수와 비용의 원가증액을 분석하는 것이다. 과거 사례를 분석하여 일어난 빈도를 통하여 Data Base를 만든 후 자료를 토대로 위험예비비를 측정하는 것으로 모듈러 플랜트 건설 사업에서 발생할 수 있는 리스크들을 분석하여 지체일수와 원가증액의 일정 비율 증가하는 것을 과거자료를 통해서 위험예비비를 예측하는 모델의 절차를 나타내었다.



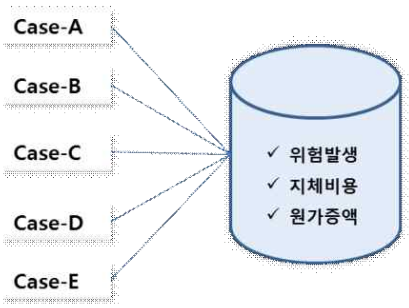
[그림 2-83] 위험분석 모델 절차

위험분석 개념 모델은 전문가 기반의 모델과 사례기반의 모델로 구성하였으며, 위험분석을 위하여 Excel을 기반으로 위험분석 개념모델의 분석 과정에 따라 Module을 구성하였다. 구성의내용은 다음 그림과 같다.

1) 사례정보 입력

Input Data

-사례대상 개요
-위험요인 목록
-사례대상 위험발생 현황
-위험요인별 지체일수
-위험요인별 증액비율



범례: 변수입력 | 자동계산 | 결과도출

구분		위험요인	구분	사례대상 건수		
				A		
				10		
				위험요인 발생건수	Time 지체일수	Cost 증액비율
		RF		B	C	D
기존 위험요인	RF-1	장비설계 오류	RF-1	7.0	3.0	0.3%
	RF-2	HSE 반영 오류	RF-2	3.0	0.0	0.0%
	RF-3	설계비용 지급 지연	RF-3	5.0	0.0	0.3%
	RF-4	조달일정 지연	RF-4	4.0	15.0	0.0%
	RF-5	조달경로 오류	RF-5	0.0	0.0	0.0%
	RF-6	조달 사고	RF-6	3.0	20.0	15.0%
	RF-7	시공 사고	RF-7	3.0	20.0	0.2%
	RF-8	접합 오류	RF-8	6.0	5.0	0.5%
	RF-9	계약 변경	RF-9	8.0	2.0	0.3%
	RF-10	시공기간 지연	RF-10	3.0	0.0	0.0%
신규 위험요인	RF-11	Site 조사 오류	RF-11	0.0	0.0	0.0%
	RF-12	운송 환경	RF-12	0.0	0.0	0.0%
	RF-13	실시설계 오류	RF-13	0.0	0.0	0.0%
	RF-14	하도급 재정상태	RF-14	0.0	0.0	0.0%
	RF-15	운송장비부족	RF-15	0.0	0.0	0.0%
15						

[그림 2-84] 사례정보 입력

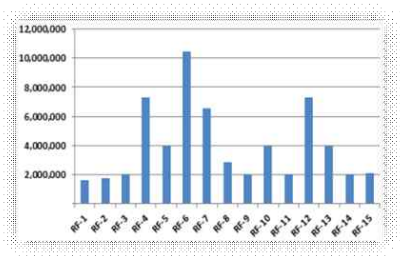
2) 위험비용 분석

Input Data

-위험요인 발생에 따른 지체일수
-위험요인 발생에 따른 증액비율

Output

-사례대상의 위험요인별 지체비용
-사례대상의 위험요인별 증액비용



범례: 변수입력 | 자동계산 | 결과도출

구분	분석대상					
	Time			Cost		
	지체보정율 E	적용 지체일수	지체상금율 F	증액보정율 G	적용 증액비율	증액비용
	50%		0.10%	50%		
	지체보정일수 H	DD	지체비용 LD	증액보정비율 I	CVR	CV
RF-1	1.5	1.5	915,755	0.13%	0.13%	705,760
RF-2	0	2	1,221,007	0.00%	0.10%	542,892
RF-3	0	2	1,221,007	0.15%	0.15%	814,338
RF-4	7.5	7.5	4,578,777	0.00%	0.50%	2,714,461
RF-5	0	2	1,221,007	0.00%	0.50%	2,714,461
RF-6	10	10	6,105,036	7.50%	7.50%	40,716,918
RF-7	10	10	6,105,036	0.08%	0.08%	440,382
RF-8	2.5	2.5	1,526,259	0.25%	0.25%	1,337,061
RF-9	1	2	1,221,007	0.15%	0.15%	814,338
RF-10	0	2	1,221,007	0.00%	0.50%	2,714,461
RF-11	0	2	1,221,007	0.00%	0.15%	814,338
RF-12	0	7.5	4,578,777	0.00%	0.50%	2,714,461
RF-13	0	2	1,221,007	0.00%	0.50%	2,714,461
RF-14	0	2	1,221,007	0.00%	0.15%	814,338
RF-15	0	2.5	1,526,259	0.00%	0.11%	595,372
			35,103,957			61,168,045

[그림 2-85] 위험비용 분석

3) 위험예비비 분석

Input Data

-위험요인별 예비비 반영 비율

-분석대상 사업비

Output

-분석대상 적정수준 위험예비비



범례: 변수입력 | 자동계산 | 결과도출

구분	위험예비비 분석				
	Time		Cost		합계
	위험예비비 비율 TR	위험예비비 M.TiRC	위험예비비 비율 CR	위험예비비 M.CoRC	M.RC
RF-1	8%	73,260	8%	56,461	129,721
RF-2	5%	61,050	5%	27,145	88,195
RF-3	5%	61,050	5%	40,717	101,767
RF-4	5%	228,939	5%	135,723	364,662
RF-5	5%	61,050	5%	135,723	196,773
RF-6	5%	305,252	5%	2,035,846	2,341,098
RF-7	5%	305,252	5%	22,019	327,271
RF-8	5%	76,313	5%	66,853	143,166
RF-9	6%	73,260	6%	48,860	122,121
RF-10	5%	61,050	5%	135,723	196,773
RF-11	5%	61,050	5%	40,717	101,767
RF-12	6%	274,727	6%	162,868	437,594
RF-13	5%	61,050	5%	135,723	196,773
RF-14	6%	73,260	6%	48,860	122,121
RF-15	5%	76,313	5%	29,769	106,082
		1,852,878		3,123,006	4,975,885

[그림 2-86] 위험예비비 분석

4) 위험요인 평가

Input Data

-분석대상의 적정수준 위험예비비

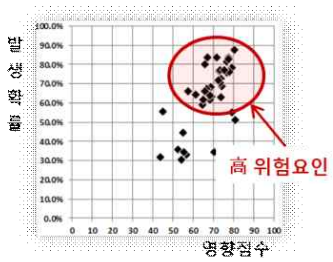
-위험요인 발생확률

-위험요인 영향점수

Output

-위험요인 영향지수

-위험요인 우선순위



범례: 변수입력 | 자동계산 | 결과도출

구분	위험발생 확률 RP		비용영향점수 RI			위험영향 지수 RII	순위	선정 순위 RR
			VH		2,341,098			15
			Mo		143,166			
			VL		88,195			
			5 ≤ RI ≤ 95					
RF-1	70%	70%	L	25	50	35.0	3	1
RF-2	30%	30%	VL	5	40	12.0	12	1
RF-3	50%	50%	L	25	5	2.5	15	1
RF-4	40%	40%	H	75	75	30.0	5	1
RF-5	0%	15%	H	75	40	6.0	14	1
RF-6	30%	30%	VH	95	50	15.0	9	1
RF-7	30%	30%	H	75	50	15.0	9	1
RF-8	60%	60%	Mo	50	60	36.0	2	1
RF-9	80%	80%	L	25	95	76.0	1	1
RF-10	30%	30%	H	75	50	15.0	9	1
RF-11	0%	35%	L	25	25	8.8	13	1
RF-12	0%	50%	H	75	50	25.0	6	1
RF-13	0%	35%	H	75	95	33.3	4	1
RF-14	0%	50%	L	25	50	25.0	6	1
RF-15	0%	35%	L	25	50	17.5	8	1
합계								15

[그림 2-87] 위험요인 평가

범례: 변수입력 | 자동계산 | 결과도출

5) 위험예비비 범위 예측

Input Data
- -분석대상의 적정수준 위험예비비
- -최소 및 최대수준 위험예비비 반영 비율

Output
- -분석대상의 최소수준 위험예비비
- -분석대상의 최대수준 위험예비비

구분	Time						Cost					
	최소수준 위험예비비 L.TiRC		적정수준 위험예비비 M.TiRC	최대수준 위험예비비 H.TiRC			최소수준 위험예비비 L.CoRC		적정수준 위험예비비 M.CoRC	최대수준 위험예비비 H.CoRC		
	하한비율 L.TR			상한비율 H.TR			하한비율 L.CR			상한비율 H.CR		
		-20.0%		30.0%				-20.0%		30.0%		
RF-1	62,271	-15%	73,260		15%	84,249	47,992	-15%	56,461		15%	64,930
RF-2	54,945	-10%	61,050		10%	67,155	24,430	-10%	27,145		10%	29,859
RF-3	57,998	-5%	61,050		5%	64,103	38,681	-5%	40,717		5%	42,753
RF-4		0%	183,151	228,939	297,621	0%		0%	108,578	135,723	176,440	0%
RF-5		0%	48,840	61,050	79,365	0%		0%	108,578	135,723	176,440	0%
RF-6		0%	244,201	305,252	396,827	0%		0%	1,628,677	2,035,846	2,646,600	0%
RF-7		0%	244,201	305,252	396,827	0%		0%	17,615	22,019	28,625	0%
RF-8		0%	61,050	76,313	99,207	0%		0%	53,482	66,853	86,909	0%
RF-9		0%	58,608	73,260	95,239	0%		0%	39,088	48,860	63,518	0%
RF-10		0%	48,840	61,050	79,365	0%		0%	108,578	135,723	176,440	0%
RF-11		0%	48,840	61,050	79,365	0%		0%	32,574	40,717	52,932	0%
RF-12		0%	219,781	274,727	357,145	0%		0%	130,294	162,868	211,728	0%
RF-13		0%	48,840	61,050	79,365	0%		0%	108,578	135,723	176,440	0%
RF-14		0%	58,608	73,260	95,239	0%		0%	39,088	48,860	63,518	0%
RF-15		0%	61,050	76,313	99,207	0%		0%	23,815	29,769	38,699	0%
합계	1,501,228			1,852,878	2,370,280		2,510,050			3,123,006	4,035,831	



구분	최소 위험예비비	적정 위험예비비	최대 위험예비비
Time	1,501,228	1,852,878	2,370,280
	L.TiRC	M.TiRC	H.TiRC
Cost	2,510,050	3,123,006	4,035,831
	L.CoRC	M.CoRC	H.CoRC
위험예비비	4,011,279	4,975,885	6,406,111
	L.RC	M.RC	H.RC

구분	위험예비비 분류 비율
Engineering	10%
	ER
Procurement	45%
	PR
Construction	45%
	CR
합계	100%

구분	최소 위험예비비	적정 위험예비비	최대 위험예비비
Engineering	401,128	497,588	640,611
	L.ERC	M.ERC	H.ERC
Procurement	1,805,075	2,239,148	2,882,750
	L.PRC	M.PRC	H.PRC
Construction	1,805,075	2,239,148	2,882,750
	L.CRC	M.PRC	H.CRC

[그림 2-88] 위험예비비 범위 예측

범례: 변수입력 | 자동계산 | 결과도출

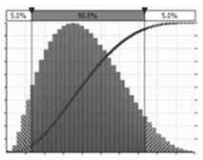
6) 입찰금액 분석

Input Data
- -분석대상의 최대수준 위험예비비
- -분석대상의 적정수준 위험예비비
- -분석대상의 최소수준 위험예비비

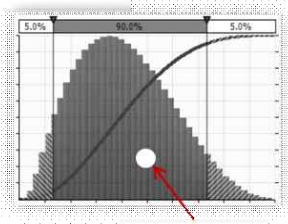
Output
- -위험예비비를 반영한 입찰금액

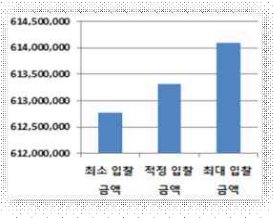
구분	최소 입찰 금액	적정 입찰 금액	최대 입찰 금액
Engineering	28,935,698	29,032,158	29,175,181
Procurement	327,060,755	327,494,828	328,138,430
Construction	258,518,421	258,952,494	259,596,096
합계	614,514,875	615,479,481	616,909,707

Statistics	
구분	비용(원)
Min(Low)	639,097,487
Max(High)	649,602,883
Mean(Mo)	643,997,573
Graph	



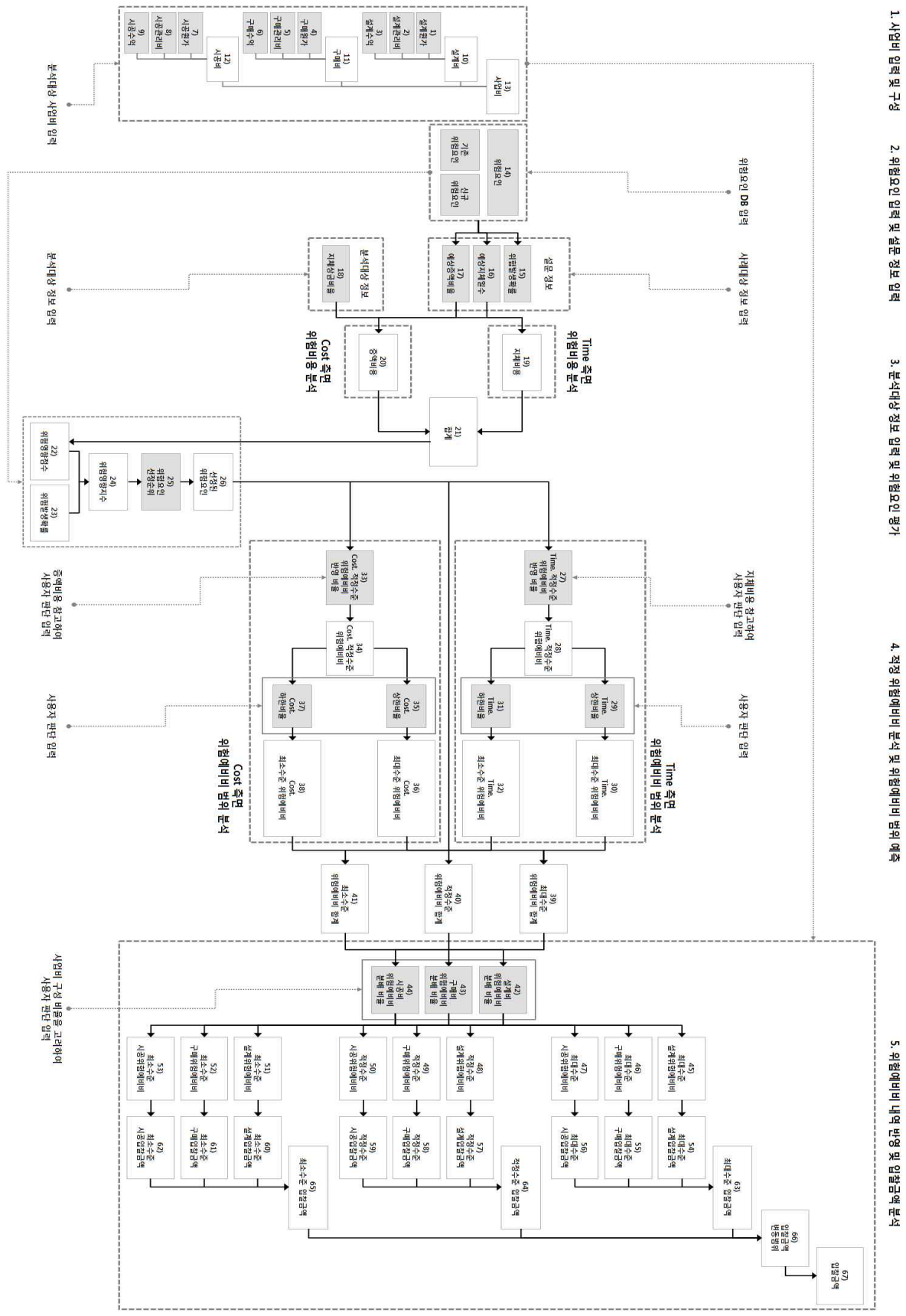
Percentile	
5%	639,097,487
10%	639,944,395
15%	640,602,624
20%	641,172,951
25%	641,691,393
30%	642,178,660
35%	642,645,102
40%	643,100,384
45%	643,548,905
50%	643,997,573
55%	644,451,028
60%	644,914,326
65%	645,394,462
70%	645,899,422
75%	646,438,786
80%	647,029,088
85%	647,700,138
90%	648,505,711
95%	649,602,883



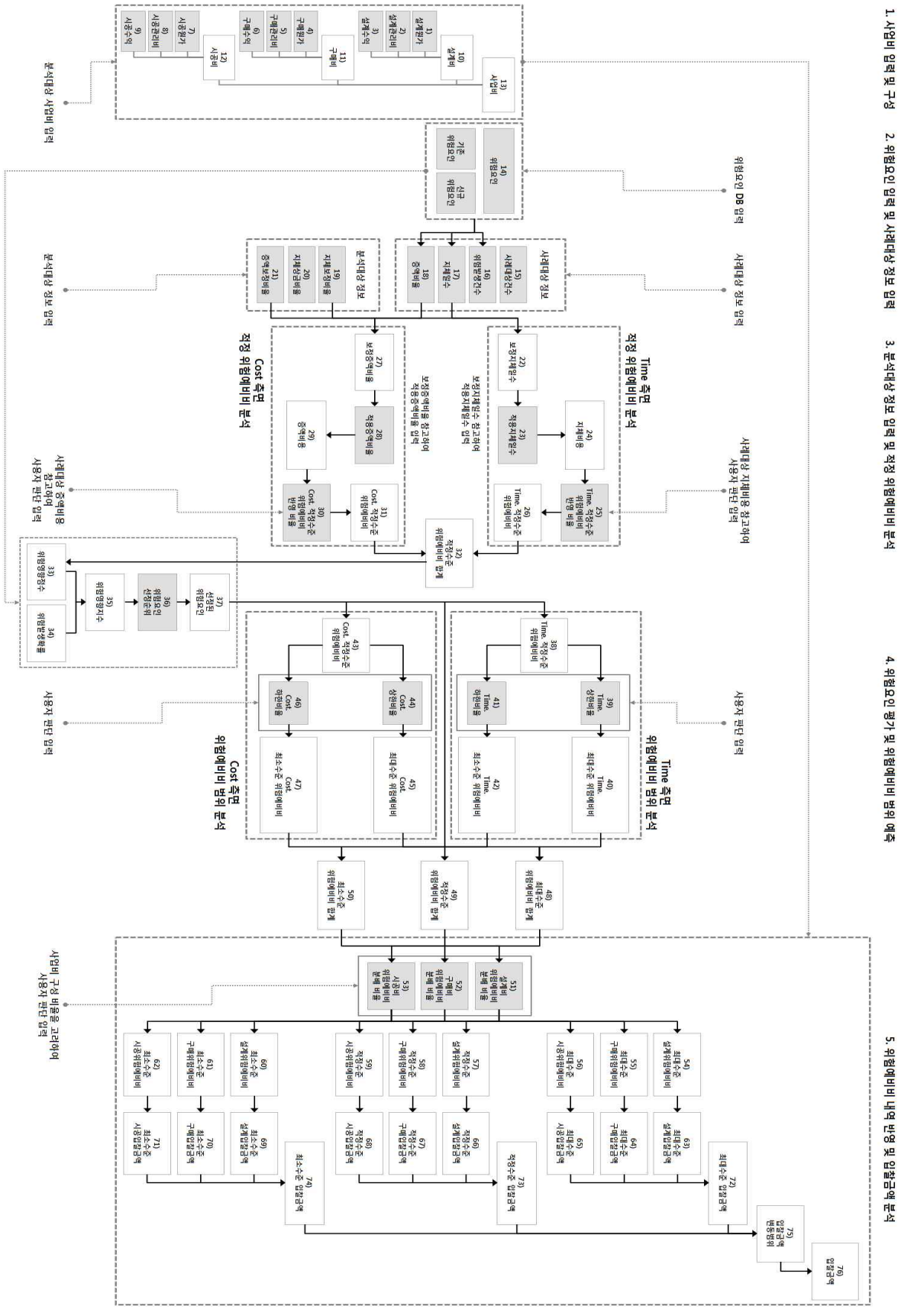


구분	금액
선정 확률	85%
입찰금액	647,700,138

[그림 2-89] 입찰금액 분석



[그림 2-90] 전문가 기반 모델 구조도



[그림 2-91] 사례 기반 모델 구조도

2.2.3 CBS 체계 정형화

가. CBS 체계 정형화 목적

모듈러 플랜트 건설의 Cost Breakdown Structure(이하, CBS)의 정형화 목적은 원가관리의 기초가 되며, 사용자가 신규프로젝트의 CBS를 정형화 된 CBS와의 비교하여 누락 항목 파악 및 과다 투입 등을 판단하는 데 있다. 또한 사용자는 정형화 된 CBS를 사용하여 Cost Database를 구축할 수 있으며, Cost Database를 통해, 원단위 추정 및 신규프로젝트의 순위험금액을 분석하는데 활용할 수 있다.

모듈러 플랜트 건설의 CBS는 크게 모듈러 플랜트 건설이 공통적으로 가지는 기본적 특성과 프로젝트에 따른 독특한 특성으로 구성되어있다. 여기서 기본적 특성이라 함은 기존에 설계비(E) – 구매비(P) – 시공비(C)로 구성되는 특성을 의미하며, 프로젝트 특성이라 함은 전쟁지역, 한랭지역과 같은 프로젝트가 가지는 독특한 상황에 따라 발생되는 비용들을 의미한다. 결국 모듈러 플랜트 CBS 정형화라 함은 다양한 모듈화 플랜트 CBS들의 큰 틀을 이끌어 냄을 의미하므로, CBS가 가지는 개별 프로젝트 특성들을 최대한 배재하고 기본적 특성을 객관적인 방법을 통해 이끌어 내는 것을 의미한다.

국내 건설사들은 자신의 편의에 따라 서로 다른 CBS를 사용하고 있으며, 심지어 같은 건설사 내부에서도 프로젝트마다 서로 다른 CBS를 사용하고 있기도 하다. 이처럼, 기본적 정보 분류체계인 CBS가 정형화되어있지 않은 상황에서는 의사결정이 효율적으로 진행되기 곤란하며, 과거의 프로젝트들로부터 유용한 정보의 흐름을 기대할 수 없다. 결국 CBS 정형화는 모듈러 플랜트에서의 의사결정 전반을 지원하는 방법론의 첫 단계라 할 수 있다.

나. CBS 체계 정형화 과정

(1) 기존 CBS 자료 수집(CBS Back Data)

국내외의 유수의 건설사들로부터 기존 CBS 자료 (WBS자료 일부 포함)를 수집하였다. 이들 자료를 분류하면 다음과 같다. (단, 이들 자료는 모두 기업내부자료이기에 본 보고서에서는 포함시키지 않았다.)

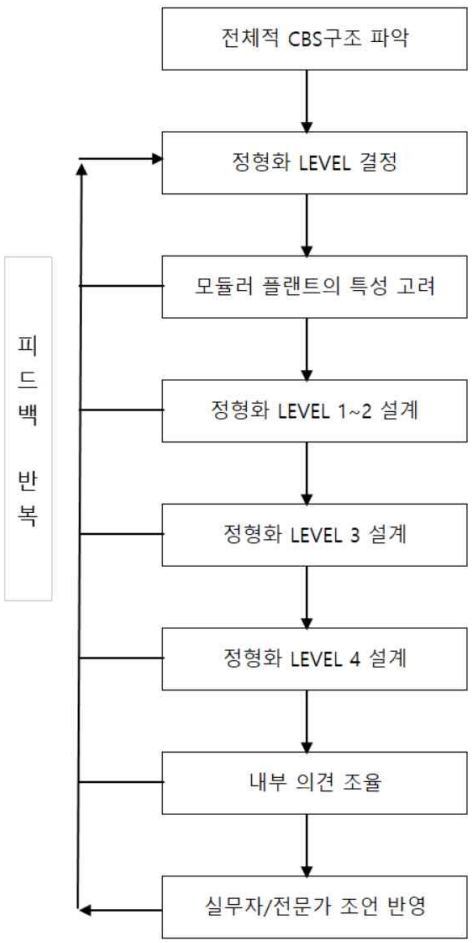
<표 2-11> CBS 자료수집 결과

구 분		자료종류	자료수집 현황
국내회사	플랜트(국내)	CBS	8개
	플랜트(국외)	CBS	13개
	플랜트	WBS	2개
국외회사	플랜트	CBS	2개
		WBS	1개

수집된 기존 CBS 자료들을 분석하여 약 20여개의 CBS 자료를 기초자료 형태로 DB화하였다. 이들은 완전한 Data Base 형태는 아니며 각각 Excel 파일 형태로 구성되었다. 이들 중 대외비를 고려하여 19개 자료를 CBS 및 원가 기초자료 DB에 업로드 하였다.

(2) CBS 정형화 절차

상기의 CBS 자료들를 기초로 하여 다음의 절차에 따라 정형화 과정을 진행하였다.



[그림 2-92] CBS 정형과 절차

■ 전체적 CBS구조 파악

다양한 형태의 여러 CBS들을 관찰하면서 다음의 특징을 파악하고 플랜트의 WBS를 검토하여 특징을 반영한 CBS의 전체적인 구조를 구성하였다.

■ 정형화 LEVEL 결정

2세부 내부의 연구회의를 통해 정형화의 목적, 사용성, 향후 자료 축적 등을 종합적으로 고려하여 정형화 LEVEL을 3~4로 결정하였다.

■ 모듈러 플랜트의 특성 고려

본 CBS는 모듈러 플랜트의 특성을 반영해야 하는 관계로 타 CBS 와는 차별되는 모듈러 특성이 CBS에 반영되도록 고려하여야 한다.

■ 정형화 LEVEL 1~2 설계

여러 CBS들을 검토하면서 가장 기초가 되는 LEVEL 1~2 까지의 설계를 진행한다. 본 단계부터 항목들의 정당성과 기존 CBS 항목들의 도출빈도 등에 따라 삽입 삭제 과정을 반복하면서 2단계의 설계진행을 계속한다.

■ 정형화 LEVEL 3 설계

CBS 항목들의 중심이 되는 LEVEL 3까지의 설계를 진행한다. 본 단계에서도 항목들의 정당성과 기존 CBS 3단계 항목들의 도출빈도 등에 따라 삽입 삭제 과정을 반복하면서 3단계의 설계진행을 계속한다. 이 단계 부터는 LEVEL 3과 4 간의 항목간 이동도 발생한다.

■ 정형화 LEVEL 4 설계

상기와 같은 방식으로 CBS 항목들이 크게 확산되기 시작하는 LEVEL 4까지의 설계를 진행한다. 본 단계에서도 항목들의 정당성과 기존 CBS 4단계 항목들의 도출빈도 등에 따라 삽입 삭제 과정을 반복하면서 4단계의 설계진행을 계속한다. 3단계에서와 마찬가지로 이 단계 에서도 LEVEL 3과 4 간의 항목간 이동도 발생한다.

■ 내부 의견 조율

상기 각 단계의 설계가 진행되면서 2세부 내부 회의를 통해 진행된 CBS 내용을 발표하고 다양한 의견을 듣고 조율한다.

■ 실무자/전문가 조언 반영

완성 단계에 들어서 CBS에 대해 실무 전문가의 자문과 상호 협의를 통해 완성도를 고양시킨다.

■ 피드백 반복

상기의 과정을 피드백을 통해 지속적으로 보완 함으로써 최종 완성도를 높인다.

■ 최종 확정

이와 같은 과정을 통해 완성된 CBS를 최종 확정한다.

(3) CBS 정형화 도출

상기의 (2)CBS정형화 절차에 따라 최종적으로 도출된 CBS는 다음과 같다.

<표 2-12> CBS 정형화 도출 결과

Cost Breakdown Structure				
비고	Lv1	Lv2	Lv3	Lv4
196개	1개	5개	40개	150개
1	Total Project Cost			
2		Project Management (P)		
3			Finance Mangement	
4			Construction Management	
5			Risk Management	
6				Yard & Office Security
7				Security Training
8				Safety Training
9			IT Techonology	
10			Special Technology	
11			Vendor Supervision	
12			Special Licenses	
13				Technology Licensing Costs
14				Other System licensing Costs
15		Engineering Cost(E)		
16			Coceptul Design	
17			Basic Engineering	
18			Front End Engineering Design	
19			FEED Verification	
20			Detail Engineering	
21			Fielding Engineering	
22			Module Pland Detail Engineering	
23			Equipment Module	
24			Modular Substation	
25			Motion Analysis	
26		Procurement Cost (P)		
27			Material Purchase Cost	
28				Stationary Equipment
29				Rotating Equipment
30				Packaged Items
31				Piping
32				Electrical Equipment & Materials
33				Instrument Equipment & Materials
34				Catalyst/ Chemical
35				Others
36			Expediting	
37				Expediting for General Pocured Items
38				Expediting for Modules
39			Inspection	
40				Inspection for General Procured Items
41				Inspection for Modules
42			Module Cost	
43				Main Equipment
44				Bulk Materials
45				Interconnecting Pipe Racks
46				Storages
47				Utilities Units - Generation
48				Utilities Distribution
49				Direct Owner's Costs
50				Sub Contracts

Cost Breakdown Structure				
비고	Lv1	Lv2	Lv3	Lv4
196개	1개	5개	40개	150 개
51			Transportation	
52				Inland Transportation
53				Train Transportation
54				Ocean Transportation
55				Air Transportation
56			Purchasing Expenses	
57				Transportation Insurance
58				Transportation and Customs Duties
59				Exchange Variable Insurance
60				Fees/Trading
61				Third Party Inspection
62				Others
63		Construction Cost (C)		
64			Civil Works	
65				Site Preparation
66				Pile
67				Earth work
68				Foundation
69				Road/Paving
70				Others
71			Arch. Works	
72				Building
73				HVAC
74				Steel Structure Works
75			Piping Works	
76				Prefabrication
77				Installation(welding)
78				Installation(others)
79				Support
80				Others
81			Equipment Erection Work	
82				Heavy Equipment
83				Column/Reactor/Drum & Vessel/
84				Air Fan Cooler with Driver
85				Compressor with Driver
86				Blower & Pump with Driver
87				Heater & Boiler
88				Refractory (Brick & Castable)
89				Platform & Ladder
90				Internal (Tray & Packing)
91				Package Equipment
92				Tank (CRT & Dome)
93				Tank (Spherical)
94				Silo
95				Material Handling Equipment
96				Other Misc. Equipment
97				Steam Turbine Generator Package
98				Flare Stack
99				Emergency Generator
100				Heavy Lifting Equipment Rental

Cost Breakdown Structure				
비고	Lv1	Lv2	Lv3	Lv4
196개	1개	5개	40개	150개
101			Electrical & Telecommunication Works	
102				Cable Tray
103				Cable Pooling
104				Cable Termination
105				Junction Box
106				Transformer
107				Electrical Panel
108				Earthing
109				Lighting
110				Cathodic Protection
111				Fire Alarm System
112				Emergency Diesel
113				Heat Tracing
114				Telecommunication
115				Others
116			Instrument Works	
117				Control System (DCS, ESD) Installation
118				Control System SAT (Site Acceptance Test)
119				Junction Box & L/Panel
120				Instrument Cable Tray
121				Cable Termination
122				Instrument Air Piping & Tubing
123				Field Instrument
124				Others
125			Insulation Works	
126				Hot Insulation
127				Cold Insulation
128				Others
129			Painting	
130				Painting
131			Fire Fighting	
132				Safety & F/F Equip : Local F/F
133				Safety & F/F Equip : Eye Wash Station
134				Fire Proofing
135			Module Erection Works	
136				Pipe Rack Module
137				Equipment Module
138				Modular Substation
139			Temporary Facilities (Including Camp)	
140				Installation Costs
141				Temporary Building
142				Road & Yard
143				Utility
144				Material Management (for Ware House)
145				Const. Equip. & Tool (for Maintenance)
146				Common Scafolding
147				Site Cleaning
148				lodging
149				Restaurant
150				By Tool Workship

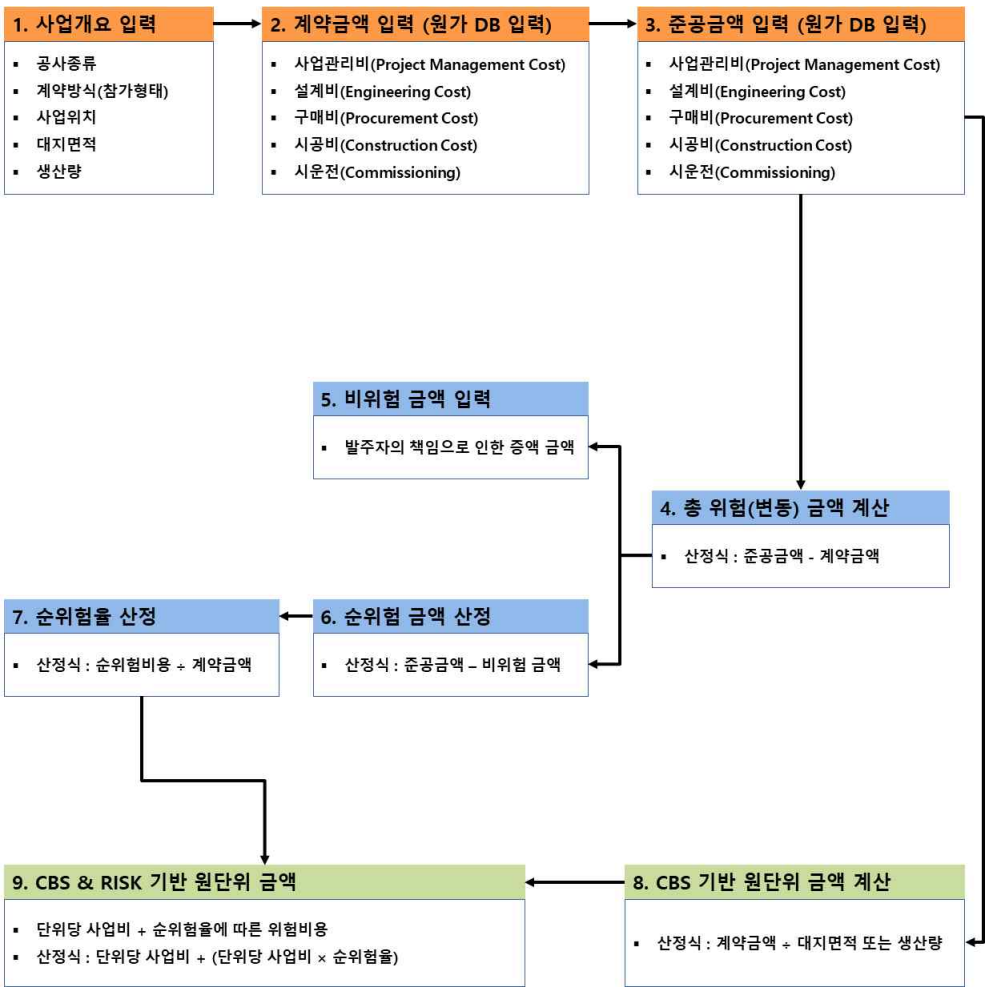
Cost Breakdown Structure				
비고	Lv1	Lv2	Lv3	Lv4
196개	1개	5개	40개	150개
151				Batcher Plant
152				Bathroom
153				Purifying Tank
154				First Aid
155				Parking Lot
156				Security Post
157				Camp
158				Fence
159				Equipment for Material Handling
160				Scaffolding
161				Worker Accommodation
162			Construction Expenses	
163				Insurance Fee
164				Commission Fee
165				Tax
166				Site Security
167				Material Storage
168				Office
169				Storage Charge
170				Civil Affair
171				Software
172		Commissioning Cost (C)		
173			Commissioning	
174				Stationary Equipment
175				Rotating Equipment
176				Piping
177				Electrical
178				Instrument & Control
179				Commissioning Materials & Tools
180				Utilities
181			Start Up	
182				Initial Startup Line up Inspection
183				N2 Purge
184				Feed In
185				On Spec Product
186				Stable Operation
187				Performance Test
188			Training	
189				Trainer Cost
190				Equipment Cost
191				Training Field Costs
192				Other Training Costs
193			Guarantee	
194				Minium Performance Guarantee
195				Performance Guarantee
196			Warrant	

2.2.4 CBS 체계의 원단위 계량 모델 및 원단위 추정

가. CBS 체계의 원단위 계량 Conceptual 모델

CBS 체계의 원단위 계량 모델의 개념은 단위당 사업비용에 위험비용을 포함한 단위당 금액을 도출하는 것으로 최초 계약된 총 사업비와 준공된 총 사업비를 비교하여 위험비용(계약금액 대비 증액된 비용)을 산정한다. 위험비용의 산정은 발주자의 책임사유로 인해서 발생된 비용(이하, 비위험비용)과 도급자의 책임 사유로 인해서 발생된 비용(이하, 순위험비용)으로 분류하여 산정한다. 이와 같은 방법으로 산정된 순위험비용을 최초 계약금액으로 나누어 순위험비용에 대한 비율을 도출한다.

또한, 분석하고자 하는 플랜트의 대지면적(㎡)과 생산물의 생산량(ton)을 최초 계약금액으로 나누어 단위당(1㎡당 또는 ton당) 금액을 산정하여 그 금액에 순위험비용에 대한 비율을 곱하여 사업비용과 위험비용을 합한 단위당 금액을 도출하며, 단계별 분석방법은 다음 그림과 같다.



[그림 2-93] CBS체계의 원단위 계량 Conceptual 모델 절차도

상기 그림에서 도식화된 CBS체계의 원단위 계량 Conceptual 모델의 분석과정별로 입려되는 Data와 입력방법을 세부적으로 설명하면 다음 표와 같다.

<표 2-13> CBS 체계의 원단위 계량 Conceptual 모델 세부내용

구 분	세 부 내 용	비 고
1. 사업개요 입력	-플랜트 사업 종류 -모듈러공법 적용 여부 -계약방식(참가형태) -사업대상 위치 -사업명(비용 자료명) -대지면적(㎡) 또는 생산량(ton)	사용자 입력
2. 계약금액 입력	-최초 계약금액 -사업관리비(Project Management Cost) -설계비(Engineering Cost) -구매비(Procurement Cost) -시공비(Construction Cost) -시운전비(Commission Cost)	사용자 입력
3. 준공금액 입력	-최종 준공금액 -사업관리비(Project Management Cost) -설계비(Engineering Cost) -구매비(Procurement Cost) -시공비(Construction Cost) -시운전비(Commissioning Cost)	사용자 입력
4. 총 위험비용 계산	-플랜트 건설사업을 추진하는 과정에서 특정 위험의 발생으로 인하여 증액된 금액을 계산 -산정식 : 준공금액 - 계약금액 = 총 위험비용	자동 계산
5. 비위험 금액 입력	-총 위험비용 중에서 발주자의 책임으로 인해 증액된 금액이며, 비율 또는 실제 금액을 입력하여 계산 -산정식 : 총 위험비용 × 비위험 금액 비율 = 비위험금액	사용자 입력
6. 순위험 금액 계산	-총 위험비용에서 도급자(건설사)의 책임으로 인하여 증액된 금액이며, 비율 또는 실제 금액을 입력하여 계산 -산정식 : 총 위험비용 - 비위험 금액 = 순위험 금액	자동 계산
7. 순위험율 계산	-계약금액 대비 순위험 금액에 대한 비율을 계산 -산정식 : 순위험 금액 ÷ 계약금액 = 순위험율	자동 계산
8. CBS 원단위 금액 계산	-대지면적 또는 생산물의 생산량을 기준으로 단위당 계약 금액을 계산 -산정식 : 계약금액 ÷ 대지면적 = ㎡당 계약금액 계약금액 ÷ 생산량 = ton당 계약금액	자동 계산
9. CBS & RISK 원단위 금액 계산	-단위당 사업비에 순위험율에 따른 순위험비용을 곱하여 산정된 원단위 금액(사업비 + 위험비용) -산정식 : 단위당 금액 + (단위당 금액 × 순위험율)	자동 계산

나. CBS 체계의 항목별(모듈화) 원단위 계량 Prototype 모델

건설에서 주로 사용되는 원단위를 정리해보면 다음과 같다. 원단위는 내역서 상의 여러 물량도 될 수 있고, 생산량도 될 수 있고 사용자의 필요에 따라 매우 다양하게 적용 될 수 있다.

- 생산량 : 톤 등
- 처리기준 : BPSD(Barrel Per Stream Day) 등
- 투입물량 단위 : 톤 등
- 넓이 단위 : M2 등
- 부피 단위 : M3, 등
- 인력 단위 : 인/hour, 인/day, 인/month 등
- 기타 단위 : 식, 기타 등

플랜트에서 사용되는 원단위는 매우 다양하다. 플랜트의 특성에 따라 다양한 원단위를 적용하여 유용한 정보를 얻을 수 있다. 비용 데이터가 하나만 있어도 원단위를 얻을 수 있으나 데이터가 많을수록 원단위의 대표성은 더욱 증가할 것이다.

CBS 체계의 항목별(모듈화) 원단위 계량 Prototype 모델은 CBS 기반의 원단위 금액을 추정한 후에, 거기에 추가하여 위험율을 반영한 원단위 금액을 추정하는 것으로 진행한다. 분석하고자 하는 대상의 CBS 기반의 원가자료를 입력하고 원단위로 금액을 추정한다. 그리고 입력된 CBS 기반의 원가자료를 이용하여 순위험율을 분석하여 원단위로 추정되 금액에 순위험율을 반영한 원단위 금액을 추정하는 것으로 단계별 분석과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

(1) Prototype 모델 적용 대상 자료(원가자료 DB 반영-예시 DB)

실자료를 활용하여 본 연구에서는 다음의 그림과 같이 기본적인 DB 형태(예시)를 제시하였다.

Cost DB

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	자료명	Level 2 CBS COST DATA (계약금액)					
							총 사업비(TC)	사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1						C-LEVEL3(8)	1,032,874,465,440	15,388,586,880	7,568,640,000	584,474,844,560	416,915,110,992	8,527,283,008
2						C-level3(7)	1,660,633,934,672	36,932,608,512	18,164,736,000	584,474,844,560	1,000,596,266,848	20,465,478,752
3						c-level2(1)	103,336,802,720		11,872,134,832	54,661,469,104	36,803,198,784	
4		Fixed Lump sum	아시아	100,000		c-level3(1)	1,029,846,560,000	16,884,608,000	10,127,728,000	1,000,099,936,000	2,734,288,000	
5						c-level4(4)	300,800,415,768		17,333,817,782	80,000,698,831	203,465,899,155	
6		Fixed Lump sum	아시아	20,826		c-level4	228,570,592,000	4,049,456,000	7,179,696,000	100,549,616,000	116,791,824,000	-
7						c-level3~4(1)	135,009,110,656	3,879,897,440	5,385,725,088	67,789,829,984	57,537,850,144	415,808,000
8						C-LEVEL3(8)	964,477,761,344			511,376,859,872	453,100,901,472	
9		LSTK				C-LEVEL2(3)	3,013,452,848				3,013,452,848	
10					655,000	c-level1	360,000,000,000					
11						c-level3~4	730,679,900,000					
12						W-level2	757,214,400,000		41,814,400,000	294,102,400,000	421,297,600,000	

Cost % DB

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	자료명	Level 2 CBS COST DATA (계약금액 %)					
							총 사업비율(TC)	사업관리비율(PM)	설계비율 (Eng)	구매비율 (Pro)	공사비율 (Con)	시운전비율 (Com)
1						W-Level3(3)	100.00	5.81	9.70	49.70	32.39	2.40
2						W-Level3(6)	100.00	4.40	2.20	52.70	39.10	1.60
3						W-Level3(6)	100.00	4.40	2.20	51.50	40.30	1.60

[그림 2-94] 본 연구에서 제시하는 기본적 DB의 형태(예시)

본 절에서의 Prototype 모델 적용 대상의 원가자료 예시 DB반영은 분석하고자 하는 대상의 일반적인 개요인 공사종류, 계약방식, 사업지 위치, 대지면적 그리고 생산량을 입력한다. 대지면적과 생산량은 단위당 금액을 산정하기 위하여 반영되는 자료이다.

분석대상의 원가자료 예시 DB는 계약금액과 준공금액을 입력하는 것으로 본 분석에서는 12개 사례를 활용하였다. 계약금액은 12개 사례 중 10개의 사업관리비, 설계비, 구매비, 공사비, 시운전비는 각각 비용항목에 대한 원가자료를 수집하여 반영하였으나, 2개 사례는 총 계약금액이 수집되어 10개의 각각의 비용항목별 합산금액의 비율을 환산하여 총 계약금액에 비율을 반영하여 금액을 계산하였다. 준공금액은 12개 사례 중 4개의 원가자료를 수집하여 반영하였으나, 8개 사례는 수집된 타 자료 사례에 대한 계약금액의 유사규모를 고려하여 비례식으로 계산하여 입력하였다. 상기와 같은 방법으로 수집된 12개 사례의 계약금액과 준공금액을 입력한 현황은 다음 그림과 같다 (예시 DB 활용).

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적(M2)	생산량(Ton)	Level 2 CBS COST DATA (계약금액)					
						총 사업비(TC)	사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	1,032,874,465,440	15,388,586,880	7,568,640,000	584,474,844,560	416,915,110,992	8,527,283,008
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	1,660,633,934,672	36,932,608,512	18,164,736,000	584,474,844,560	1,000,596,266,848	20,465,478,752
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	103,336,802,720		11,872,134,832	54,661,469,104	36,803,198,784	
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	1,029,846,560,000	16,884,608,000	10,127,728,000	1,000,099,936,000	2,734,288,000	
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	300,800,415,768		17,333,817,782	80,000,698,831	203,465,899,155	
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	228,570,592,000	4,049,456,000	7,179,696,000	100,549,616,000	116,791,824,000	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	135,009,110,656	3,879,897,440	5,385,725,088	67,789,829,984	57,537,850,144	415,808,000
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	964,477,761,344			511,376,859,872	453,100,901,472	
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	3,013,452,848				3,013,452,848	
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	360,000,000,000	5,087,542,621	5,120,344,021	196,775,610,931	150,904,203,825	2,112,298,602
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	730,679,900,000	10,326,014,260	10,392,590,159	399,388,843,660	306,285,190,446	4,287,261,475
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	757,214,400,000		41,814,400,000	294,102,400,000	421,297,600,000	

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적(M2)	생산량(Ton)	준공금액					
						총 사업비(TC)	사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	1,032,874,465,440	15,388,586,880	7,568,640,000	584,474,844,560	416,915,110,992	8,527,283,008
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	1,898,531,311,961	42,223,461,913	20,766,960,948	668,204,936,851	1,143,938,651,126	23,397,301,123
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	118,140,519,440		13,173,455,024	56,640,632,256	48,326,432,160	
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	1,177,379,252,497	19,303,445,696	11,578,595,575	1,143,371,217,427	3,125,993,800	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	369,303,047,633		19,233,800,170	82,897,335,856	267,171,911,607	
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	261,314,921,275.02	4,629,568,776.05	8,208,237,457.86	114,954,048,809.89	133,523,066,231.22	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	126,163,024,384	3,346,589,808	5,479,012,080	64,515,018,448	52,265,533,184	556,870,864
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	1,001,389,955,552			584,474,844,560	416,915,110,992	
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	3,966,233,664				3,966,233,664	
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	411,572,507,364	5,816,368,536	5,853,868,965	224,965,087,719	172,522,282,056	2,414,900,088
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	835,354,884,786	11,805,287,722	11,881,401,082	456,604,077,217	350,162,677,223	4,901,441,542
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	873,547,200,000		48,238,400,000	355,422,400,000	469,886,400,000	

[그림 2-95] 사업개요 및 원가자료 예시 DB(계약금액 및 준공금액) 입력 현황

상기 그림과 같이 입력된 분석대상의 계약금액과 준공금액 중 붉은색 글씨는 수집된 원가자료를 활용하여 비율 또는 비례식으로 계산된 금액이다. 이와 같이 입력된 사례 12개의 계약금액과 준공금액을 기반으로 CBS 기반 원단위 금액 추정, 순위험율 분석 그리고 CBS & 위험율 기반 원단위 금액을 추정한다.

(2) CBS 기반 원단위 금액 추정 (예시)

분석대상 사례의 개요에서 입력된 계약금액을 대지면적(㎡)과 생산량(ton)으로 나누어 ㎡단위

당 또는 ton단위당 금액을 산정한다. 이와 같이 단위당 금액 산정하는 이유는 이후 분석되는 순위험율을 반영한 CBS & 위험율 기반 원단위 금액을 추정하는 과정에 반영되기 때문이다. 상기와 같은 목적과 방법으로 산정된 단위당 금액은 다음 그림과 같다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적(M2)	생산량(Ton)	단위당 금액(M2)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	153,435	75,465	5,827,614	4,156,929	85,023
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	229,039	112,649	3,624,636	6,205,224	126,917
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	1,183,168	5,447,520	3,667,778	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	168,846	101,277	10,000,999	27,343	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	593,456	2,738,974	6,966,036	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	194,442	344,747	4,828,081	5,607,982	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	295,958	410,822	5,170,993	4,388,975	31,718
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	5,460,361	4,838,104	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	10,298,466	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	145,539	146,477	5,629,130	4,316,894	60,426
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	145,539	146,477	5,629,130	4,316,894	60,426
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	101,277	712,336	1,020,411	0

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적(M2)	생산량(Ton)	단위당 금액(Ton)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	8,189	4,027	311,014	221,851	4,538
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	12,224	6,012	193,443	331,166	6,773
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	63,144	290,728	195,745	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	9,011	5,405	533,743	1,459	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	31,672	146,176	371,770	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	9,737	17,264	241,780	280,836	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	15,795	21,925	275,971	234,235	1,693
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	291,414	258,205	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	549,618	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	7,767	7,817	300,421	230,388	3,225
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	7,767	7,817	300,421	230,388	3,225
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	116,837	860,857	1,138,096	0

[그림 2-96] CBS 기반 원단위(대지면적 및 생산량) 추정 현황

(3) 순위험율 분석 (예시)

순위험율 분석은 플랜트 건설사업을 수행한 도급사(건설사)의 책임으로 인하여 증액된 공사금액에 대한 비율을 분석하는 것이다. 순위험율을 분석하기 위해서는 먼저 준공금액에서 계약금액을 차감하여 총 위험금액을 계산한다.

총 위험금액에서 발주자의 책임으로 인하여 증액된 공사금액을 비위험금액으로 정의하고 총 위험금액에서 비위험금액을 차감하여 계산된 금액을 순위험금액으로 정의한다. 이와 같은 과정으로 계산된 순위험금액을 계약금액으로 나누어 도출된 비율을 순위험율로 판단한다. 준공금액에서 계약금액을 차감하여 계산된 총 위험금액을 산정한 현황은 다음 그림과 같다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	총 위험(변동)금액				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	0	0	0	0	0
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	5,290,853,401	2,602,224,948	83,730,092,291	143,342,384,278	2,931,822,371
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	1,301,320,192	1,979,163,152	11,523,233,376	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	2,418,837,696	1,450,867,575	143,271,281,427	391,705,800	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	1,899,982,388	2,896,637,025	63,706,012,452	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	580,112,776	1,028,541,458	14,404,432,810	16,731,242,231	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-533,307,632	93,286,992	-3,274,811,536	-5,272,316,960	141,062,864
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	73,097,984,688	-36,185,790,480	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	952,780,816	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	728,825,915	733,524,944	28,189,476,788	21,618,078,230	302,601,487
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	1,479,273,462	1,488,810,924	57,215,233,557	43,877,486,777	614,180,067
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	6,424,000,000	61,320,000,000	48,588,800,000	0

[그림 2-97] 순위험율 분석을 위한 총 위험금액 산정 현황

총 위험금액에서 발주자의 책임으로 인하여 증액된 금액인 비위험금액은 조사가 불가하여 임의 값을 반영하였다. 즉 Prototype 모델의 분석과정에 대한 타당성과 연계성 등에 대한 확인이 필요하므로 임의 값을 반영하여 비위험금액을 입력한 현황은 다음 그림과 같다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	비위험금액				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	-	-	-	-	-
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	899,445,078	78,066,748	18,420,620,304	53,036,682,183	557,046,251
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	-	377,382,856	316,666,104	3,341,737,679	-
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	967,535,078	696,416,436	57,308,512,571	39,170,580	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	-	227,997,887	608,293,775	1,911,180,374	-
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	226,243,983	236,564,535	5,041,551,483	8,030,996,271	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-	17,724,528	-	-	19,748,801
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	-	-	13,888,617,091	-	-
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	-	-	-	362,056,710	-
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	36,441,296	161,375,488	3,946,526,750	1,945,627,041	96,832,476
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	547,331,181	163,769,202	1,716,457,007	21,938,743,388	104,410,611
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	-	1,541,760,000	60,379,002,000	112,686,168,000	-

[그림 2-98] 순위험율 분석을 위한 비위험금액 산정 현황

도급자의 책임으로 인하여 증액된 금액인 순위험금액은 총 위험금액에서 비위험금액을 차감한 것으로 산정된 현황은 다음 그림과 같다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	순위험금액 - 자동				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	0	0	0	0	0
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	4,391,408,323	2,524,158,199	65,309,471,987	90,305,702,095	2,374,776,121
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	923,937,336	1,662,497,048	8,181,495,697	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	1,451,302,617	754,451,139	85,962,768,856	352,535,220	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	1,671,984,501	2,288,343,250	61,794,832,079	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	353,868,793	791,976,923	9,362,881,326	8,700,245,960	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-533,307,632	75,562,464	-3,274,811,536	-5,272,316,960	121,314,063
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	59,209,367,597	-36,185,790,480	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	590,724,106	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	692,384,619	572,149,456	24,242,950,038	19,672,451,190	205,769,011
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	931,942,281	1,325,041,722	55,498,776,550	21,938,743,388	509,769,455
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	4,882,240,000	940,998,000	-64,097,368,000	0

[그림 2-99] 순위험율 분석을 위한 순위험금액 산정 현황

상기 그림에서 산정된 순위험금액에서 - 금액은 준공금액이 계약금액보다 낮은 금액이다. 이와 같이 산정된 순위험금액을 계약금액으로 나누어 순위험율을 도출하는 것으로 내용은 다음 그림과 같다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	순위험율 - 자동				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	11.89%	13.90%	11.17%	9.03%	11.60%
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0.00%	7.78%	3.04%	22.23%	0.00%
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	8.60%	7.45%	8.60%	12.89%	0.00%
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0.00%	9.65%	2.86%	30.37%	0.00%
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	8.74%	11.03%	9.31%	7.45%	0.00%
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-13.75%	1.40%	-4.83%	-9.16%	29.18%
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0.00%	0.00%	11.58%	-7.99%	0.00%
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0.00%	0.00%	0.00%	19.60%	0.00%
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	13.61%	11.17%	12.32%	13.04%	9.74%
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	9.03%	12.75%	13.90%	7.16%	11.89%
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0.00%	11.68%	0.32%	-15.21%	0.00%

[그림 2-100] 순위험율 분석 결과

상기와 같은 과정을 통하여 도출된 순위험율은 (2) CBS 기반 원단위 금액 추정에서 산정된 단위당 금액에 반영하여 CBS & 위험율 기반 원단위 금액을 추정한다.

(4) CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정 (예시)

CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정은 (2) CBS 기반 원단위 금액 추정 결과와 (3) 순위험율을 활용하여 산정된다. 이와 같은 방법으로 산정된 CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정 결과는 다음 그림과 같다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	단위당(M2) 금액 + (단위당(M2) 금액 * 순위험율)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100294.0152	1879257.708	153,435	75,465	5,827,614	4,156,929	85,023
2	석유화학	LSTK	아시아	161250.6172	3021431.187	256,272	128,303	4,029,655	6,765,258	141,644
3	석유화학	LSTK	아시아	10034.1941	188015.5716	-	1,275,247	5,613,203	4,483,140	-
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100000	1873748.602	183,359	108,822	10,860,627	30,868	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29208.27504	547289.6454	-	650,699	2,817,319	9,081,698	-
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20826	415871.4938	211,434	382,775	5,277,658	6,025,740	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13109.6336	245641.5763	255,277	416,586	4,921,192	3,986,804	40,972
8	석유화학	LSTK	아시아	93652.56911	1754813.705	-	-	6,092,585	4,451,721	-
9	석유화학	LSTK	아시아	292.6118283	5482.810043	-	-	-	12,317,263	-
10	석유화학	LSTK	아시아	34956.66384	655000	165,346	162,844	6,322,645	4,879,661	66,313
11	석유화학	LSTK	아시아	70950.36565	1329431.485	158,674	165,153	6,411,350	4,626,106	67,611
12	석유화학	LSTK	아시아	412870.4878	5348943.721	-	113,102	714,615	865,163	-

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	단위당(ton) 금액 + (단위당(ton) 금액 * 순위험율)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100294.0152	1879257.708	8,189	4,027	311,014	221,851	4,538
2	석유화학	LSTK	아시아	161250.6172	3021431.187	13,677	6,847	215,058	361,055	7,559
3	석유화학	LSTK	아시아	10034.1941	188015.5716	-	68,059	299,571	239,260	-
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100000	1873748.602	9,786	5,808	579,620	1,647	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29208.27504	547289.6454	-	34,727	150,357	484,681	-
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20826	415871.4938	10,588	19,169	264,294	301,757	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13109.6336	245641.5763	13,624	22,233	262,639	212,772	2,187
8	석유화학	LSTK	아시아	93652.56911	1754813.705	-	-	325,155	237,584	-
9	석유화학	LSTK	아시아	292.6118283	5482.810043	-	-	-	657,359	-
10	석유화학	LSTK	아시아	34956.66384	655000	8,824	8,691	337,433	260,422	3,539
11	석유화학	LSTK	아시아	70950.36565	1329431.485	8,468	8,814	342,167	246,890	3,608
12	석유화학	LSTK	아시아	412870.4878	5348943.721	-	130,478	863,611	964,943	-

[그림 2-101] CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정 결과

상기와 같은 과정을 통해서 도출된 CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정 결과는 과거의 자료를 입력하여 도출된 결과이므로 향후 수행 예정인 신규 플랜트 건설사업에 대한 위험을 고려한 사업비

를 산정하고 설계단계에서 대지면적과 생산량을 반영한 개략 사업비를 추정하기 위한 원가자료로 활용이 가능하다.

또한, CBS 레벨 3 체계를 이용하여 플랜트의 생산량에 따른 단위당 금액을 산정하는 방법은 다음과 같다. 본 방법은 CBS 항목별로 과거의 CBS DB를 활용하여 비용항목별 금액에 대한 가중비율에 분석하고자 하는 플랜트의 개략 사업비를 반영하여 비용항목별 금액을 산정한다. 상기에서 비용항목별로 산정된 금액에 생산량을 나누어 비용항목별로 단위당 금액을 산정하는 것으로 예시는 다음 그림과 같다.

LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	평균비율	금액	생산량(ton)	단위당 금액
프로젝트 총액 (Total Cost)			100.00%	360,000,000,000	655,000	549,618
	사업관리비(PM)		5.81%	20,916,000,000		31,933
		Finance Mangement	0.01%	36,000,000		55
		Construction Management	5.20%	18,720,000,000		28,580
		Risk Management	0.05%	180,000,000		275
		IT Techonology	0.02%	72,000,000		110
		Special Technology	0.10%	360,000,000		550
		Vendor Supervision	0.03%	108,000,000		165
		특수 라이선스	0.40%	1,440,000,000		2,198

LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	평균비율	금액	생산량(ton)	단위당 금액
	설계비 (Eng)		9.70%	34,920,000,000		53,313
		개념설계(Coceptul Engineeing, Licensing)	0.50%	1,800,000,000		2,748
		기본설계(Basic Engineering)	2.00%	7,200,000,000		10,992
		피드설계(Front End Engineering Design)	2.50%	9,000,000,000		13,740
		설계검증(FEED Verification)	0.20%	720,000,000		1,099
		현장설계(Fielding Engineering)	4.50%	16,200,000,000		24,733
		모듈플랜트 상세설계(Module Pland Detail Engineering)		-		-
		Equipment Module 설계		-		-
		Modular Substation 설계		-		-

LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	평균비율	금액	생산량(ton)	단위당 금액
	구매비 (Pro)		49.70%	178,920,000,000		273,160
		자재 구매비	47.50%	171,000,000,000		261,069
		제작촉진관리(Expediting Control Works)	0.05%	180,000,000		275
		검사(Inspection)	0.05%	180,000,000		275
		모듈러 구매비		-		-
		Transportation	0.30%	1,080,000,000		1,649
		구매경비	1.80%	6,480,000,000		9,893

LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	평균비율	금액	생산량(ton)	단위당 금액
	공사비 (Con)		32.39%	116,604,000,000		178,021
		토목공사(Civil Works)	8.29%	29,844,000,000		45,563
		건축공사(Arch. Works)	2.03%	7,308,000,000		11,157
		배관공사(Piping work)	10.45%	37,620,000,000		57,435
		설비설치공사(Equipment erection work)	2.75%	9,900,000,000		15,115
		전기통신공사(Electrical & Telecommunication works)	1.56%	5,616,000,000		8,574
		계장공사(Instrument work)	1.41%	5,076,000,000		7,750
		보온보냉공사(Insulation Works)	2.97%	10,692,000,000		16,324
		도장공사(Painting)	0.63%	2,268,000,000		3,463
		소방공사(Fire Fighting)	0.31%	1,116,000,000		1,704
		모듈플랜트 설치공사(Module Erection Works)		-		-
		가설공사(Temporary Facilities (Including camp))	0.59%	2,124,000,000		3,243
		공사경비	1.40%	5,040,000,000		7,695

LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3	평균비율	금액	생산량(ton)	단위당 금액
	시운전 (Com)		2.40%	8,640,000,000		13,191
		시운전(Commissioning)	1.20%	4,320,000,000		6,595
		상업운전(Start Up)	0.50%	1,800,000,000		2,748
		교육훈련비(Training)	0.10%	360,000,000		550
		성능보장(Guarante)	0.10%	360,000,000		550
		하자보증(Warrante)	0.50%	1,800,000,000		2,748

[그림 2-102] CBS 체계를 이용한 생산량에 따른 단위당 금액 산정 (예)

CBS 체계의 평균비율은 과거 원가자료를 이용하여 산정된 비용항목별 평균비율이며, 금액은 분석하고자 하는 대상의 개략 사업비를 반영하여 비용항목별로 산정된 금액이다. 본 예시에 반영된 금액은 국내 건설회사가 수주한 플랜트의 사업비를 반영한 것이며, 이렇게 산정된 비용항목별 금액에 생산량을 반영하여 단위당 금액을 산정하였다.

2.2.5 CBS 체계의 원단위 계량 Beta Version 모델 구성

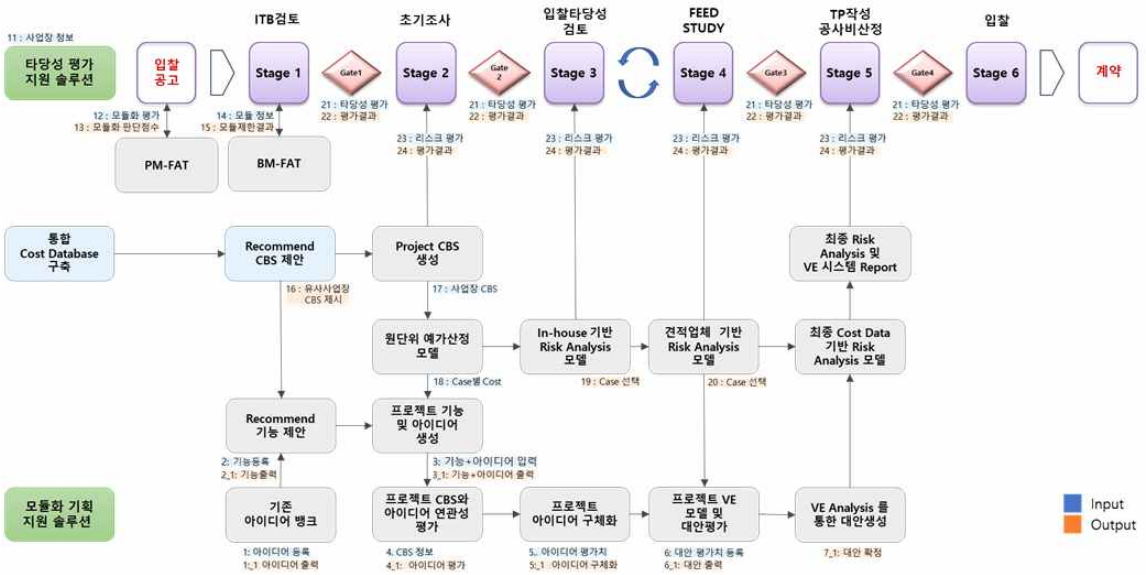
가. Beta version 모델 개요

2세부에서 개발한 모델의 내용은 CBS 체계의 의사결정지원 시스템과 CBS 체계의 VE시스템 등을 포함한다. 먼저 의사결정지원 시스템은 사용자의 해외플랜트 건설사업의 업무 추진과정에서 의사결정을 지원해주기 위한 시스템으로, 의사결정지원 시스템의 주요 기능은 의사결정(사업관리+리스크 관리)을 지원해주고 모듈화 타당성을 검토하는 것으로 목적으로 개발하였다. 본 절은 CBS 체계의 원단위 계량 베타 모델로 의사결정지원 시스템과의 연계관계를 설명한다.

나. Beta version 모델 구성 내용

(1) Stage&Gate 모델과의 연계

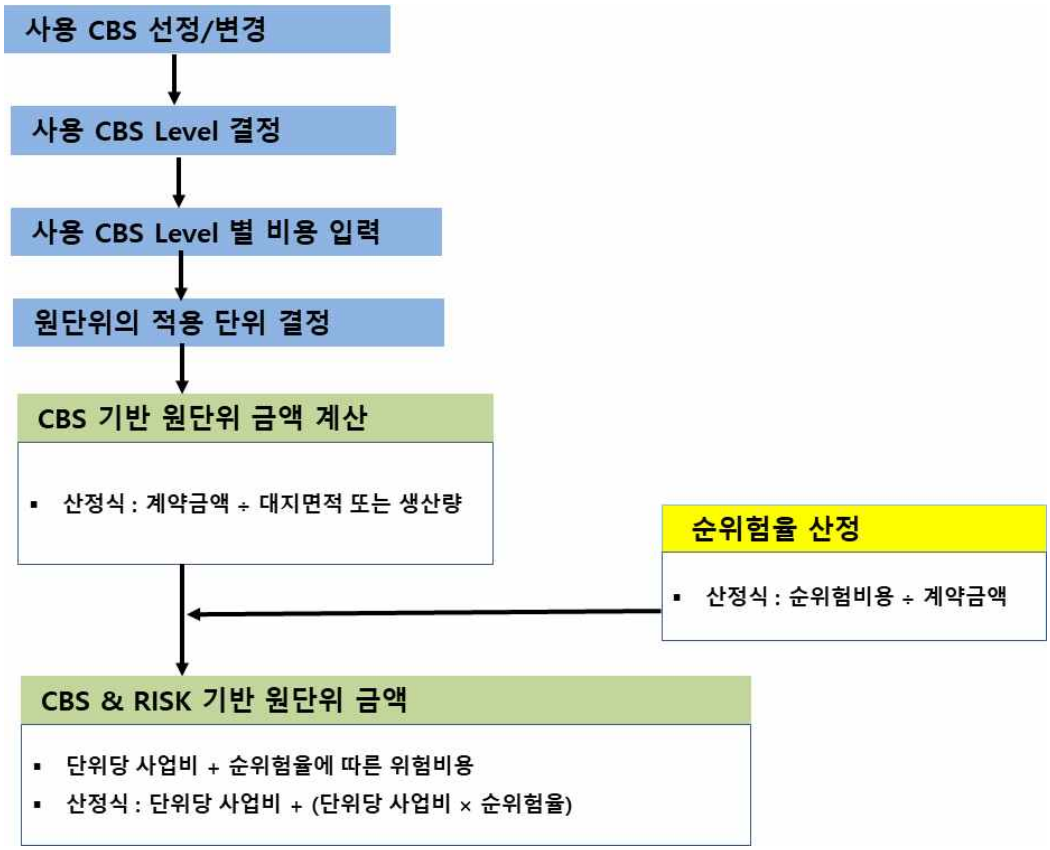
본 기관의 Beta Version의 내용은 크게 CBS 기반 원단위 계량 시스템과 VE시스템으로 나뉘어진다. 두 가지의 모델은 2세부에서 개발한 Stage&Gate 모델을 기반으로 접속된다. 2세부에서 개발한 Stage&Gate 모델과 이들의 연계는 다음 그림과 같다.



[그림 2-103] Stage&Gate 모델

(2) Veta version 모델 구성

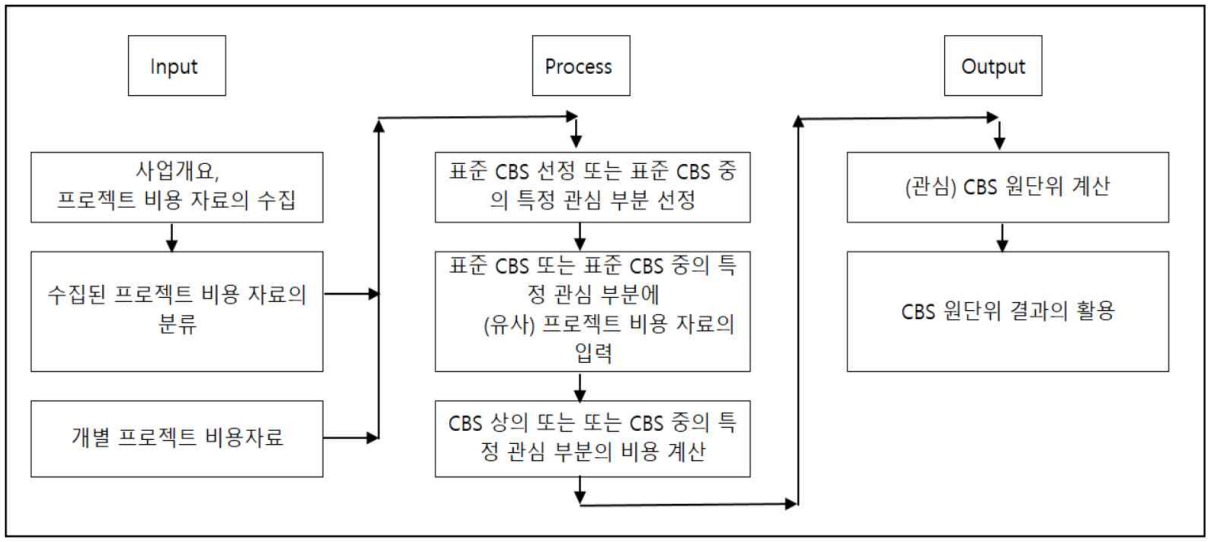
CBS 체계를 활용한 원단위 계량시스템의 베타 버전 구성 내용은 다음의 그림과 같다. 이들 내용을 기본 틀로 하여 Stage&Gate 모델과 다양하게 연계하여 적용할 수 있다.



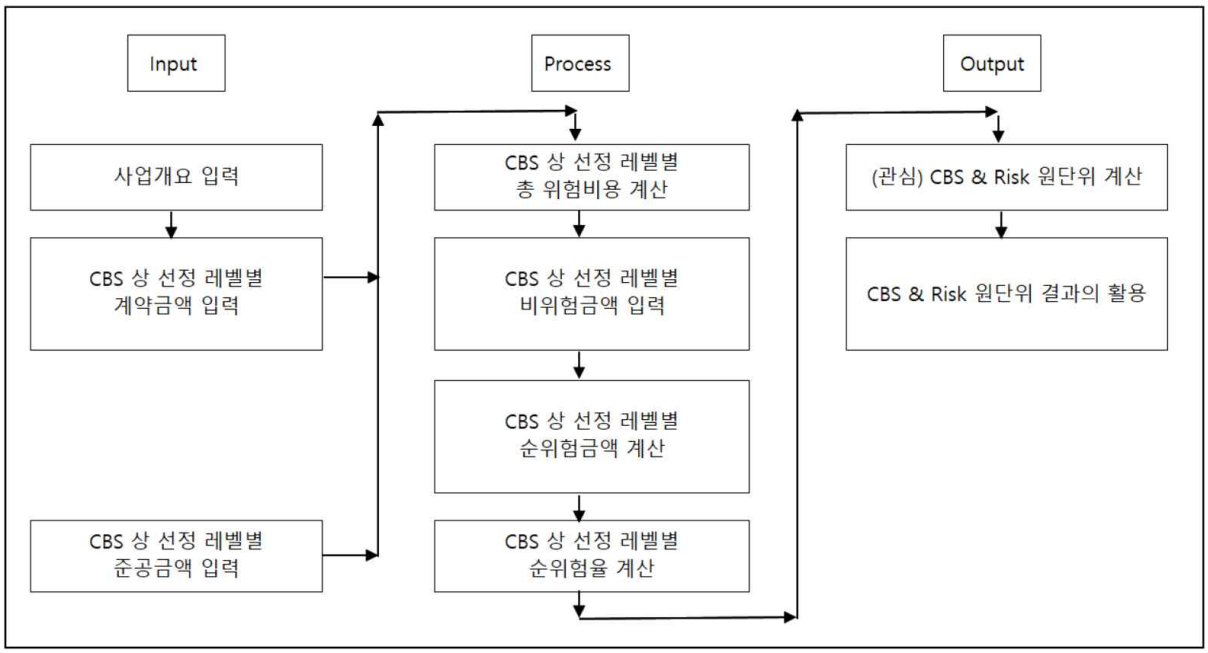
[그림 2-104] Veta version 모델 구성

다. CBS 체계의 원단위 계량 모델/지침서 구성

CBS 체계를 이용한 원단위 계량 모델의 지침서는 아래의 그림들과 같고, 자세한 내용은 시스템 전체의 메뉴얼 참고할 수 있다.

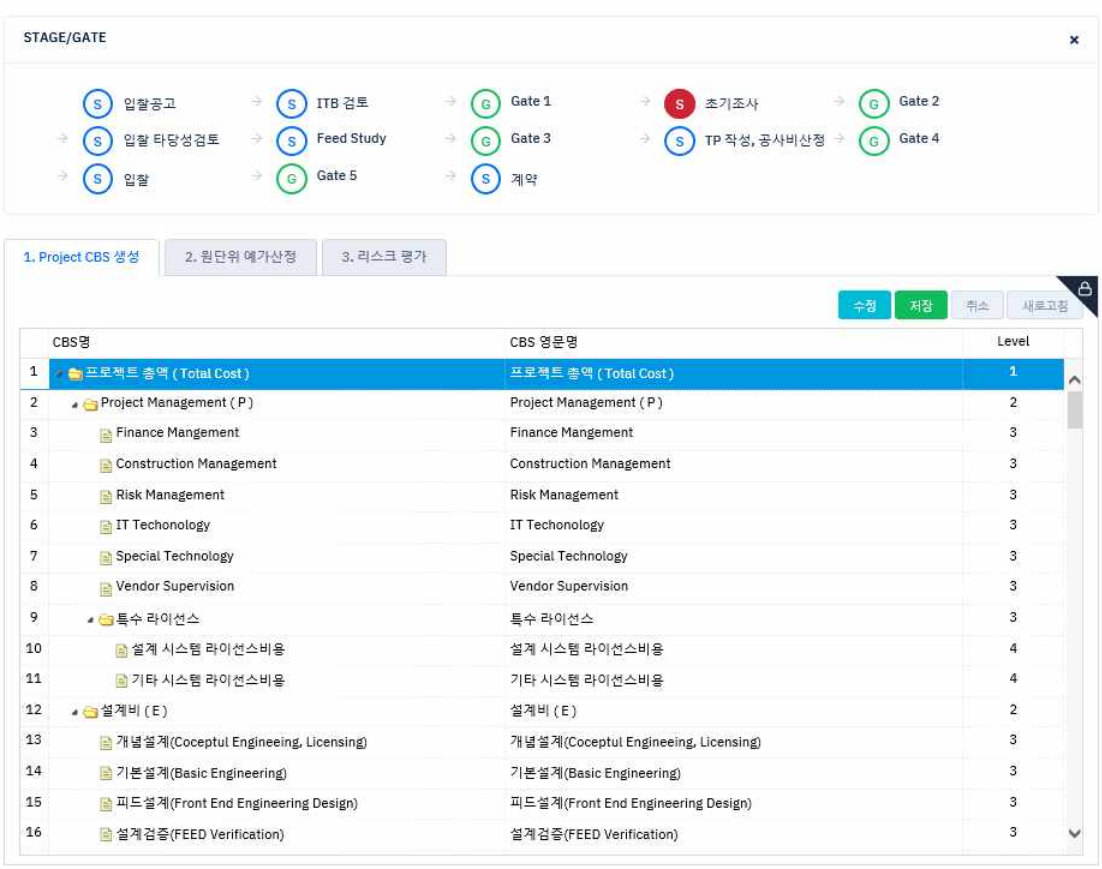


[그림 2-105] CBS 기반 원단위 계량 지침서(절차서)



[그림 2-106] CBS & Risk 기반 원단위 계량 지침서(절차서)

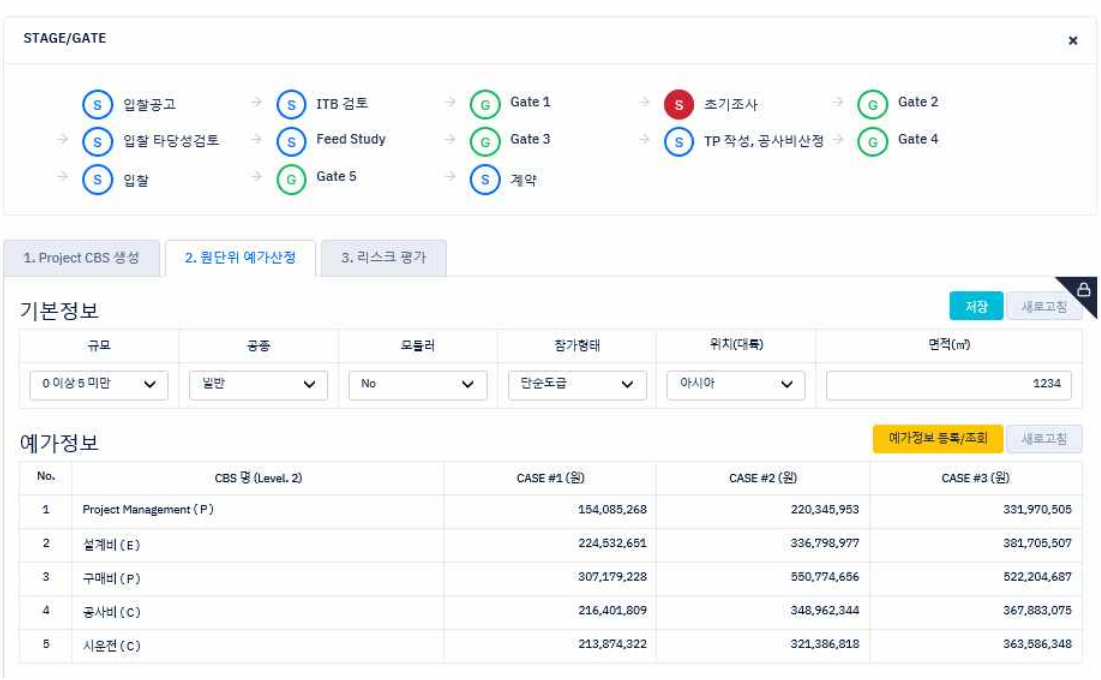
이들이 2세부 시스템 내에서 어떻게 적용되고 있는지에 대해서는 다음의 그림들에서와 같다. 그림과 설명을 통해 원단위 계량모델의 사용지침을 알 수 있다.



	CBS명	CBS 영문명	Level
1	프로젝트 총액 (Total Cost)	프로젝트 총액 (Total Cost)	1
2	Project Management (P)	Project Management (P)	2
3	Finance Mangement	Finance Mangement	3
4	Construction Management	Construction Management	3
5	Risk Management	Risk Management	3
6	IT Techonology	IT Techonology	3
7	Special Technology	Special Technology	3
8	Vendor Supervision	Vendor Supervision	3
9	특수 라이선스	특수 라이선스	3
10	설계 시스템 라이선스비용	설계 시스템 라이선스비용	4
11	기타 시스템 라이선스비용	기타 시스템 라이선스비용	4
12	설계비 (E)	설계비 (E)	2
13	개념설계(Coceptul Engineeing, Licensing)	개념설계(Coceptul Engineeing, Licensing)	3
14	기본설계(Basic Engineering)	기본설계(Basic Engineering)	3
15	피드설계(Front End Engineering Design)	피드설계(Front End Engineering Design)	3
16	설계검증(FEED Verification)	설계검증(FEED Verification)	3

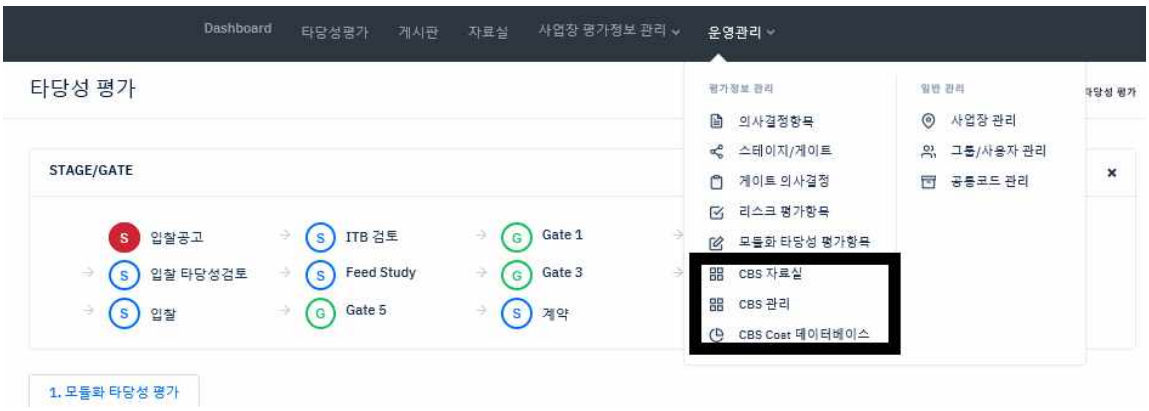
[그림 2-107] Veta version 모델 사용 예

CBS 모델의 경우 정형화 과정을 통하여 Level 4 수준의 CBS 모델을 사용자에게 제시하여 사용자의 예비 내역서 산출을 지원하여 프로세스의 체계적 관리에 의한 업무 효율화를 증진시킨다. 여기 그림에서는 Level 2 수준의 설명을 보여 준다.



[그림 2-108] Veta version 모델 사용 예

운영관리 분야에서, CBS자료실은 CBS 및 원가에 관한 기초자료형태의 사례 DB를 제공한다. CBS관리는 본 기관에서 제공한 CBS를 제공하고 관리하는 곳이고, CBS Cost 데이터베이스는 데이터베이스를 구축 열람하는 곳으로 현재는 시작단계이나 향후 사용자별로 축적이 이루어지면 사용자에게 매우 유용한 프로젝트의 데이터베이스를 제공할 것이다. 내용의 설명은 다음 그림과 같다.

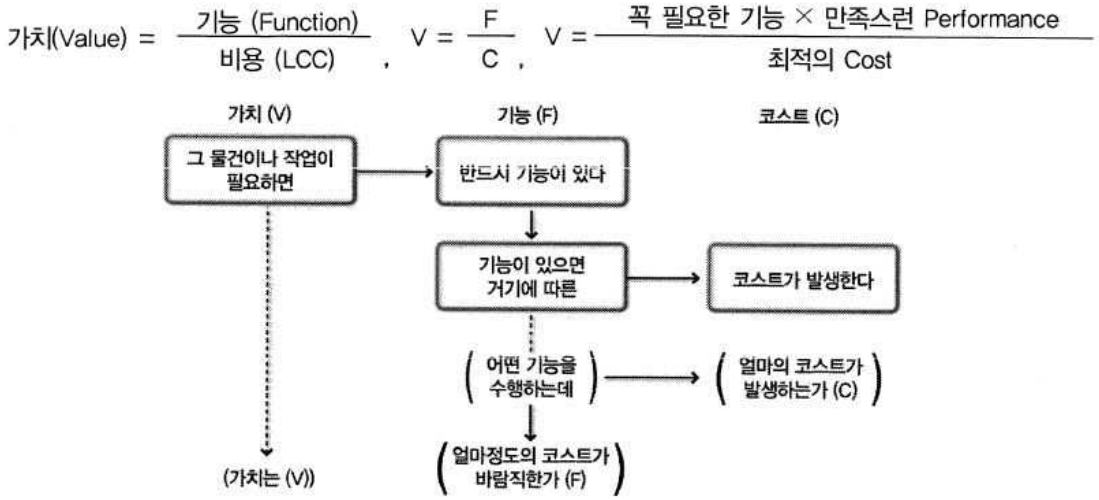


[그림 2-109] Veta version 운영관리

2.2.6 VE기반의 모듈대안별 리스크 평가 모델 구축

가. VE 분석 개요

VE(Value Engineering)는 최저의 생애주기비용(Life Cycle Cost)으로 요구하는 최상의 가치(기능)를 얻기 위한 목적으로 수행되는 성능 및 비용을 분석하는 것이다. 이와 같이 성능 및 비용의 분석을 수행하여 가치를 향상시키기 위한 최적의 대안을 창출(선정)하는 것을 목적으로 다양한 전문가가 참여하여 원가절감과 기능을 향상시키기 위한 방법이다. VE의 개념을 설명하면 다음 그림과 같다.



[그림 2-110] VE 개념도

VE의 개념에 따라 세부적인 내용을 설명하면 다음과 같다. VE의 궁극적인 목표는 해당 건설사업의 가치(Value)향상에 있다. 가치의 향상은 건설사업의 3대 요소인 시간, 비용, 품질(기능)의 적정한 안배를 통하여 이루어진다. 이러한 가치향상을 위하여 VE는 고객(발주자, 사용자)이 목표하는 것이 무엇인가 하는 입장에서 경제적 가치와 기능적 가치를 중점대상으로 판단한다.

VE는 분석대상의 기능(Function)분석을 중점으로 수행한다. 대체안의 개발에 있어 사용되는 VE 접근방법은 “What does it do?”라는 무형기능을 파악하는 과정을 수반하는 반면에 일반적인 원가절감방법 또는 설계검토과정에서는 “What else we can use?”라는 유형의 대안을 찾는 방법이 사용된다. 이러한 기능중심의 사고는 아이디어의 개발을 돕는다.

VE의 대안 비교에 다루어지는 비용(Cost)은 초기비용에 국한되지 않는다. 시설물의 완성 후 사용기간 동안의 유지, 관리, 교체 비용을 포함한 총비용(Total Life Cycle Cost)을 사용한다. 생애주기비용의 분석을 통하여 대안의 총체적인 평가가 가능해진다.

상기에서 설명한 VE의 구성요소를 반영하여 분석하기 위해서는 Job Plan이라 불리는 시작과 끝

이 분명한 체계적인 절차(정보-아이디어 창출-평가-개발-제안)에 의해 수행된다. 또한 Job Plan은 전문지식을 가진 팀 또는 그룹에 의해 수행된다. 팀의 리더가 조정역할을 통하여 개별팀 구성원의 전문지식이 효과적으로 운용된다. VE활동을 통하여 얻어지는 최상의 아이디어는 구성원 상호간의 시너지 효과에 의해 창출된다.

VE는 제2차 세계대전으로 인한 자재와 노동력의 부족으로 대체재의 개발이 요구되는 1947년 미국의 GE(General Electric)사의 구매를 담당하던 마일즈가 공장바닥 마감재인 아스베스토스(석면)를 구하는 과정에서 기능에 착안하여 대체재를 모색했던 경험을 정리하여 1949년에 발표한 논문 「가치분석계획(Value Analysis Program)이 VE의 탄생이 되었다.

VE창시자인 로렌스. D. 마일즈는 기능이란 그 대상물이 시장에서 팔리게 하는 그 대상물의 독특한 성질 그 자체라고 말했다. 이러한 개념에서 본다면 가치를 향상시키는 형태는 4가지로 분류할 수 있다. 가치향상 4가지 유형을 정리하면 다음 표와 같다.

<표 2-14> 가치향상 4가지 유형

구 분	비용절감형	기능향상형	가치혁신형	기능강조형
기 능	→	↗	↗	↗
비 용	↘	→	↘	↗

- 비용절감형은 기능을 일정하게 유지하면서 비용을 낮춘다. 본래의 기능 수준을 유지하면서 대상물에 포함되어 있는 불필요, 중복, 과잉기능을 찾아서 제거하고, 설계변경으로 같은 기능 수준을 유지하면서도 값이 싸고 생산성을 높일 수 있는 대체소재를 활용하는 가치유형이다.
- 기능향상형은 기능을 향상시키면서 비용은 그대로 유지한다. 대상의 기능분석을 통해 불필요, 중복, 과잉 기능을 찾아내 제거하고 소재의 변경이나 설계변경을 통해 원가의 상승 없이 기능만을 향상시킨 가치유형이다.
- 가치혁신형은 기능을 향상시키면서 비용을 낮춘다. 분자인 기능을 월등히 향상시키면서도 분모인 비용은 오히려 획기적인 절감을 이룩할 수 있는 이상적인 가치 유형이다.
- 기능강조형은 비용을 추가시키지만 그 이상으로 기능을 향상시킨다. 가치결정 요소인 분모와 분자인 C와 F가 모두 변하되 분모인 Cost의 상승에 비해 분자인 기능의 향상이나 다양성이 월등히 개선된 가치유형이다.

VE를 엔지니어링 프로젝트에 적용함에 있어서 적용 시기를 결정하는 것은 비용과 관련하여 대단히 중요한 사항이지만 학자나 자료에 따라 다르게 언급하는 경우가 많다. 그러나 설계단의 VE는 프로젝트의 규모나 성격에 따라 다르기는 하지만, 기본설계가 2/3 정도 진행됐을 때 기본설계에 대한 VE를 실시하고, 그 후 다시 실시설계가 2/3정도 진행된 시점에 실시설계 VE를 실시하는 것이

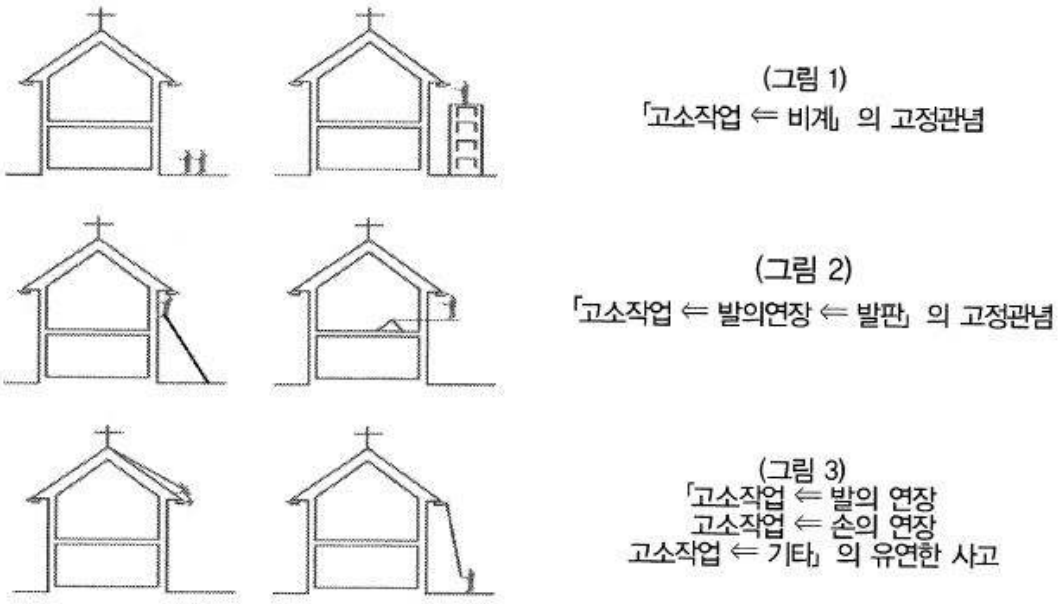
효과적이라고 보는 것이 일반적이다.

설계 일정으로 설계 시 VE를 실시하지 못하면 설계도서 납품 후 시공 준비단계에서 설계검토 형식으로 자체 VE를 실시할 수도 있고, 시공업체가 선정된 후 시행계획수립 차원에서 VE를 실시하여 공사원가를 절감할 수도 있다. 또한 시공단계 VE는 실행예산이 마련된 상태에서, 현장에서 대상 공종에 대한 세부 실시계획이 확정되기 전에 가설공사, 공법 및 공정 등에 대해서도 VE활동을 전개하는 것이 효과적이다.

VE의 사고방식은 고정관념이 제거, 기능중심의 접근, 발주자/사용자 중심의 사고, 조직적 노력으로 구성되며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

고정관념의 제거는 복잡한 건설현장을 잘 관리해 나가기 위해서 현장의 담당자에게는 종래의 고정관념을 타파한 유연한 사고방식이 요구된다. 정형화된 생활습관을 타파하여 창조 생활 지향적으로 탈바꿈하는 것이 VE를 진행하는데 있어 매우 중요하다. 창조적인 사고에는 유연한 사고방법이 필수적이다.

예를 들어 교회건물 테두리의 높이 7m 위치에 있는 처마 홈통의 페인트 보수공사의 경우, 작업을 위한 발판이 필요하다고 생각하여 작업방법을 생각하면 '쌍줄비계', '틀비계', '내민 비계', '사다리'등 만을 생각하여 Cost나 안전성 면에서의 만족을 기할 수가 없다. 여기에서 손의 연장이라는 쪽으로 생각을 해보면, '크레인에 매달려 작업한다.', '교회 십자가에 로프를 걸어 작업한다.', '긴 대에 솔을 붙여 작업한다.'는 방법으로 사고를 전환하여 Cost와 안전성, 기술성 등에서 효과를 볼 수 있다. 이 경우의 [고소작업=비계]라는 생각이야말로 '고정관념'이다. 물론 고소작업을 전부 무비계 공법으로 수행하는 것은 불가능하고 오히려 위험을 수반하는 경우도 있다. 따라서 개개의 경우에 따라 검토하고 그 조건에 알맞은 최상의 방법을 선택하는 것이 중요하다. 건설현장과 같이 복잡한 경우에는 개별적으로 그 현장의 특이성을 고려한 해결법을 찾도록 하는 습관이 필요하다. 이러한 생각을 '유연한 사고방식'이라 할 수 있고, 현장 담당자에게는 종래의 고정관념을 타파한 '유연한 사고방식'이 요구된다. 상기 예시에 대한 내용을 요약하면 다음 그림과 같다.



[그림 2-111] 고정관념의 제거

기능중심의 접근은 분석대상의 기본 기능과 기본 기능을 달성하기 위하여 필요한 2차 기능으로 나눈다. 또 그 이외에 있을 수 있는 불필요기능(과잉기능)을 찾아낸다. 이것은 지나친 시방서, 과도한 요구사항 즉, '있으면 편리하다'는 식의 사고방식이나 기술적인 검토가 불충분한 것이 원인이 되어, 지나치게 여유를 가진 안전율이라든가 혹은 설계자의 취미나 기호에 따라 불필요한 기능이나 과잉기능이 생기는 수가 많기 때문이다.

VE는 이러한 기능중심의 접근에 의해서 우선 불필요 기능을 제거하고 이어서 설계착상을 바꾸는 (재료의 변경이라든가 시공방법이나 운반, 검사방법 등의 변경도 포함)것에 의해서 2차 기능을 달성하기 위한 Cost를 절감시킬 수 있다. 이 기능연구의 Step으로써 VE에서는 기능정의, 기능정리, 기능평가라고 하는 기능중심의 접근을 한다.

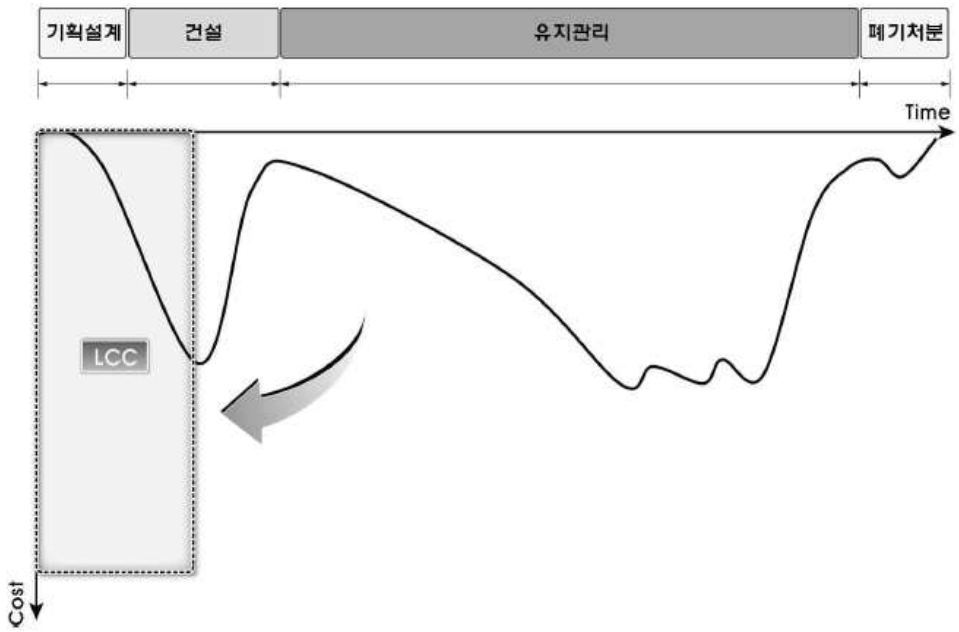
발주자/사용자 중심의 사고는 발주자 또는 사용자 입장에 서서 가치 개선을 도모하는 것이 VE이다. 발주자는 건물을 사는 것이 아니라 그 건물이 제공하여 주는 효용, 역할이라는 것에 값어치를 인정해서 구입한다. 말하자면 기능에 대해서 돈을 지불하는 것이다. VE가 대상으로 하고 있는 문제 해결의 실마리는 발주자 또는 사용자가 어떻게 가치판단을 하고 어떠한 기능을 요구하고 있는가를 생각함으로써 구해진다. 발주자, 사용자가 요구하는 기능을 찾아내어 그것을 최저의 Life Cycle Cost로써 달성하는 방법을 생각한다.

조직적 노력(TEAM DESIGN)은 훌륭한 설계를 실행하기 위해서는 설계착상, 재료, 시공방법 등에 관하여 충분한 검토가 필요하다. 그러나 실제로는 설계자의 인원이나 소요시간 등의 제약 때문에 가장 적합한 설계안을 선택한다는 것은 어려운 일이다. VE는 이러한 데서 생기는 불합리를 보완해 주는 시스템 즉, 원가와 기능면에서 설계자를 응원해주는 시스템이라 하겠다.

설계분야, 시공분야의 전문가, 공정관리의 전문가, 재료나 운반 하청업자에 대한 전문가, 견적전

문가 등 각 부분의 전문지식을 동원하여 합리적인 설계를 위한 지원활동 팀을 구성하여 진행한다는 데에 VE활동의 또 하나의 특징이 있다. 이러한 활동을 VE에서는 Team Design이라고 한다. 다시 말해서 Team Design이란 Cost Down이라는 분야에 대하여 조직이 가지고 있는 힘을 집결시켜 집중적으로 지식, 경험의 결집을 도모하는 것이다.

LCC(Life Cycle Cost, 이하: 생애주기비용)는 모든 시설물은 기획, 설계, 건설공사로 구성되는 초기투자단계, 운용 및 유지관리단계, 폐기처분단계로 이어지는 일련의 과정을 거치게 된다. 이를 시설물의 생애주기라고 하며, 이 기간 동안 시설물에 투입되는 비용의 총 합계를 생애주기비용이라 한다. LCC의 개념을 설명하면 다음 그림과 같다.



[그림 2-112] LCC 개념도

LCC의 개념에 따라 세부적인 내용을 설명하면 다음과 같다. 건축물의 Life Cycle Cost는 건축물의 수명주기 동안에 발생되는 모든 비용 즉 기획단계(Planning), 설계단계(Design), 입찰(Bidding), 계약단계(Contract), 시공 계획단계(Pre-Construction), 시공단계(Construction), 인도단계(Commissioning), 운영단계(Running), 폐기처분단계(Demolition) 등에 소요되는 전체비용의 총합을 의미한다.

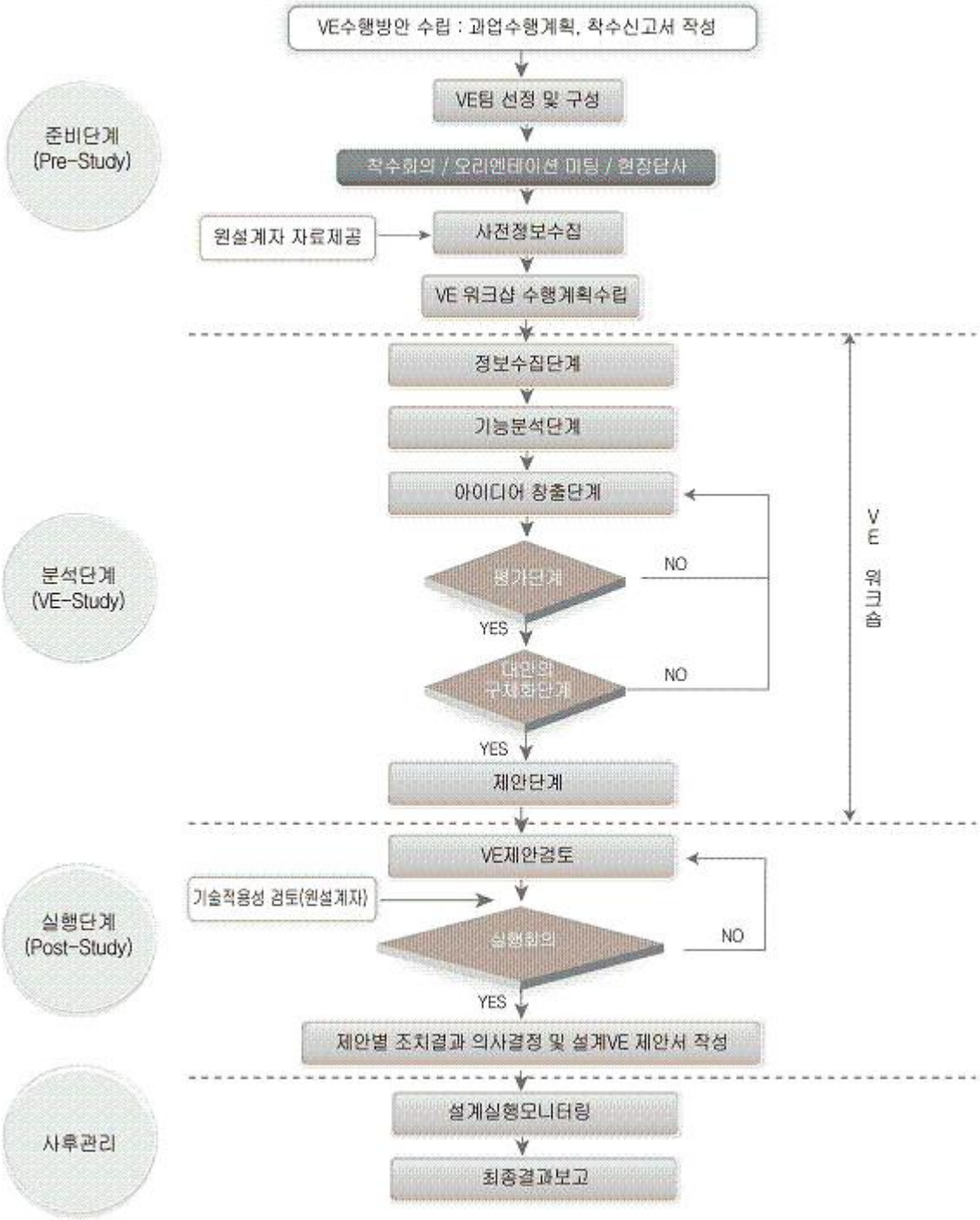
건설 사업에서는 건설공사비의 절감을 목표로 건물을 초기투자비만을 중요하게 고려되었지만, 생애주기에 걸쳐서 제반비용이 상승하고 미래의 불확실성이 존재하는 현재 상황에서는 LCC가 중요시되고 있다. 실제로 건축물의 LCC 중 건설 사업비는 건축물을 유지 및 관리하는 비용의 1/3 ~ 1/5 정도 차지하기 때문이다.

LCC는 초기공사비 뿐만 아니라 유지관리비까지 고려하여 경제성을 평가하므로 실질적으로 경제

적인 안을 선택할 수 있다. 또한 LCC는 몇 가지 대체안 가운데 하나인 해결안, 또는 복수의 선택안을 생애주기에 걸쳐 관련된 모든 경제적 결과를 예상하고 이를 기반으로 하여 경제성을 평가를 하는 방법이다.

VE에 의해 도출된 여러 대체안들을 평가하기 위해서는 제안된 각 대안에 소요되는 비용을 고려하는 상세한 경제성 평가를 하여야 한다. 이때 프로젝트의 초기공사비만을 고려하는 관점보다 LCC에 근거하여 대안들을 평가하는 것이 매우 중요하다. 이러한 LCC를 고려한 대안의 평가과정에서는 화폐의 시간가치, 할인율, 생애주기 등의 요인을 기반으로 경제성 분석 절차에 의해 평가된다. 그러나 LCC 평가 시 미래에 발생되는 비용에 대한 예측의 불확실성, 수집 데이터의 불확실성과 기존의 데이터의 부족 등의 제한을 보완한다면 LCC 분석의 효과와 신뢰성 있는 결과의 도출이 가능하다.

성공적인 VE는 발주청 VE담당자, 설계자, CMr, VE책임자, 팀 구성원들의 우호적인 협력관계 구축 및 모든 VE절차의 체계적인 수행과 조직의 운용에 성패를 좌우한다. 따라서 VE의 원활한 수행을 위해서는 단계별 VE 추진절차 및 내용이 요구된다. 대표적인 VE추진절차로는 VE Job Plan의 표준절차에 따라 준비단계(Pre-Study), 분석단계(VE Study), 실행단계(Post-Study)로 분류되어 실시하며, 각 추진 단계별 목표달성을 위하여 사용되는 운영기법은 해당 VE 대상의 특성과 적합성을 검토하여 적용한다. VE방법과 절차를 요약하면 다음 그림과 같다.



[그림 2-113] VE Job Plan

VE Job Plan의 준비단계(Pre-Study)는 오리엔테이션, VE팀 선정 및 구성, 관련자료 수집, 사용자 요구측정, 대상선정으로 구성되며, 분석단계(VE Study)는 정보 분석, 아이디어 창출, 아이디어 평가, 대안의 구체화, 제안으로 구성된다. 그리고 실행단계(Post-Study)는 제안서 검토, 제안서 승인, 후속조치로 구성된다. VE Job Plan의 구성은 다음 그림과 같다.

	오리엔테이션	VE팀 선정/구성	관련자료 수집	사용자 요구측정	대상선정
준비단계	•일정수립 •연구기간 수립 •요구되는 기술 정보 유형의 설정 •관련주체의 역할 규정	•VE팀 규모 •팀선정 고려사항 •선정절차 •팀 자격요건	•설계정보 등 각종 정보의 수집 •공사비 견적검증 •사업 제한사항 확립	•발주자 요구사항 •사용자 요구사항 •VE활동 대상 선정 기준 마련	•비용모델 평가 자료 분석 •LCC 모델 등

	기능분석	아이디어 창출	아이디어 평가	대안의 구체화	제안
분석단계	•관련자료 분석 •기능정의/분류 •기능정리 •기능평가	•아이디어 창출의 기본원칙 설정 •아이디어 창출 기법 선정	•아이디어 개략 평가 •아이디어 선정 •평가항목 선정 •평가기법 선정	•아이디어 개발 •제안서의 내용 •원 설계 기술 •대안설계 기술 •공사비 분석 •LCC 분석	•의사결정에 대한 설명 •발표전략 수립 •발표내용 정리

	제안서 검토	제안서 승인	후속조치
실행단계	•요구사항 •검토내용 •검토절차	•VE제안의 최종 •결과 정리/처리 •채택 또는 기각 •재검토	•실적자료 축적 •VE결과 DB

	모니터링	최종결과
사후관리	•VE 수행 결과의 적용의 타당성 확인 •변경사항에 대한 재평가	•사업종료 후 VE절감액 분석

[그림 2-114] VE Job Plan 구성 및 세부내용

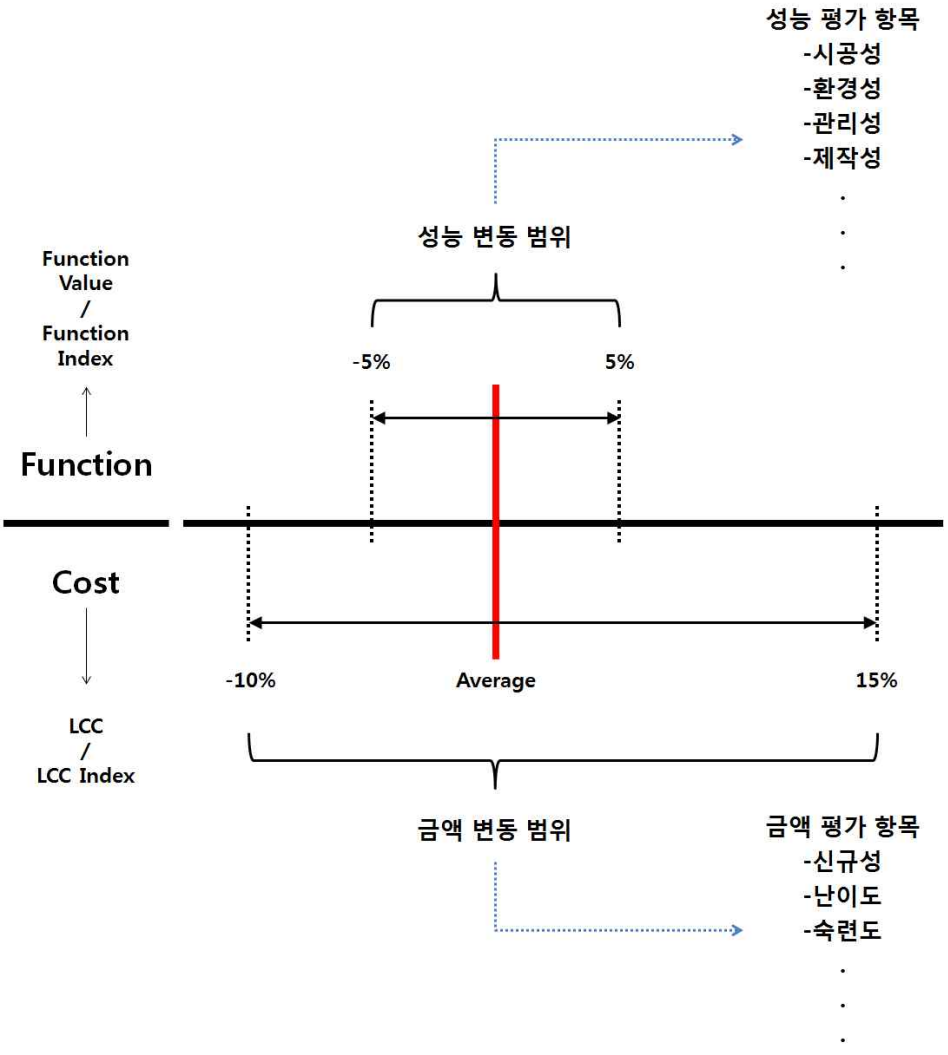
나. 리스크 평가 모델 개념

VE 기법을 적용한 리스크 평가 모델 개념은 해외에서 추진되는 모듈러 플랜트 건설 사업은 규모의 대형화, 설계의 복잡화, 시공기술의 첨단화로 인하여 위험관리의 중요성이 강조되므로 위험의 발생과 영향에 따른 발주자와 도급자에게 미치는 경제적 손실을 최소화하기 위한 방법이 필요하

다.

발생되는 위험으로 인한 경제적 손실을 최소화하기 위해서는 입찰단계에서 발생가능성이 높은 위험을 식별하고 식별된 위험이 사업의 경제적 손실과 공정관리의 지연 등에 어느정도 영향을 미치는 지에 대한 정량적인 결과를 통한 의사결정이 중요하다.

즉 사업초기 단계에서 다양한 시나리오를 기반으로 사업을 추진하기 위한 계획을 수립하여 위험을 고려한 최적 계획(대안)을 평가하고 반영하는 것으로 이를 위한 평가 모델에 경제성과 성능을 비교하여 상대적인 평가를 위하여 활용되는 VE기법을 적용하며, 상기와 같은 개념에 따라 구성된 모델은 다음 그림과 같다.



[그림 2-115] 리스크 평가 모델 개념

다. 성능, 비용 및 위험 평가 모델 예시

본 모델에 활용되는 VE는 Function/Cost의 방법으로 Cost는 전생애주기에 발생되는 모든 비용(Life Cycle Cost, 이하, LCC)을 의미하고 Function은 사업을 추진하는 과정에서 중요하게 관리되

어야 하는 정성적인 평가항목에 대한 지수이다. 이와 같은 VE의 평가방법을 기반으로 본 모델에서의 Cost는 LCC 또는 평가대안별 상대적인 LCC Index로 대입하고 Function은 Function Value 또는 평가대안별 상대적인 Function Index로 대입한다.

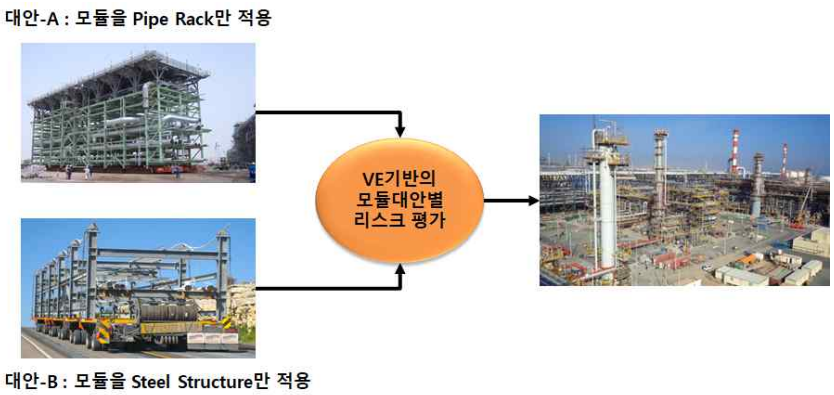
Cost의 평가방법은 분석하고자 하는 대상으로 산정된 LCC를 기준으로 위험의 발생가능성을 반영하여 비용의 변동성을 -10%~15% 범위로 평가를 한다. 예를 들어 식별된 위험을 사전에 해치할 경우 산정된 LCC를 절감하여 수익성을 개선할 경우와 사업을 추진하는 과정에서 예상하지 못한 위험으로 LCC가 증액되는 경우를 판단하여 평가하는 것이다. 단, 사업초기단계에서 LCC를 산정하는 것이 불가한 경우는 초기사업비를 반영하여 이를 기준으로 위험으로 인한 변동성을 평가한다. 상기와 같은 방법으로 시나리오 기반의 여러 계획별로 LCC를 산정하고 비교하여 상대적인 LCC Index를 계산하여 평가한다.

Function의 평가방법은 사업을 추진하는 과정에서 주요하게 관리되는 시공성, 환경성, 관리성, 제작성 등에 대한 주관적인 평가로 사업참여자의 경험에 의한 평가이다. 예를 들어 모듈공법의 적용 여부, 적용 비율, 사업 추진 계획, 주요 관리항목에 대한 방안 등을 평가항목으로 설정하여 평가하는 것으로 각각의 계획별로 Function Value를 도출하고 상대적인 Function Index를 계산하여 평가한다. 상기와 같은 방법으로 다양한 시나리오 기반의 계획별로 Cost와 Function 그리고 Function과 Cost를 평가 및 비교하여 도출된 정량적인 결과를 기반으로 최적대안을 선정하기 위한 의사결정의 참고기준이 된다.

VE기반의 모듈대안별 리스크 평가 모델에 대한 분석과정 및 방법의 예시는 다음과 같다.

■ 분석 가정사항

- 대안-A : 모듈을 Pipe Rack만 적용하는 경우
- 대안-B : 모듈을 Steel Structure만 적용하는 경우
- 모듈의 제작은 국내(한국)에서 제작하여 해상으로 운송하는 조건



[그림 2-116] VE기반의 모듈대안별 분석 개념(예시)

■ 분석 방법(예시)

① 대안-A 및 대안-B에 대한 Function을 평가한다.

Function은 분석대상 플랜트의 특성을 고려하여 평가항목을 설정하고 사업참여자 또는 관련 전문가의 설문조사를 통하여 평가점수를 산정한다. 상기와 같이 설정된 모듈 대안별 Function을 평가한 예시는 다음과 같다.

<표 2-15> 모듈 대안별 Function 평가 결과 (예시)

항 목	세부내용	가중치	대안-A		대안-B	
			등급	점수	등급	점수
시공성	시공의 정밀도 및 신속성 정도	25%	7.00	17.50	5.80	14.50
환경성	시공과정에서의 주변 환경 피해정도	10%	6.00	6.00	5.60	5.60
관리성	인력 및 자재 등 관리에 대한 효율성	10%	5.20	5.20	5.60	5.60
제작성	모듈의 제작 정밀도 정도	25%	7.60	19.00	7.00	17.50
품질성	시공의 품질확보 및 성능달성 정도	30%	5.80	17.40	6.00	18.00
Function Score			**65.10**		**61.20**	
Function Index			**1.00**		**0.94**	

- 가중치 : 설계단계에서 사업의 관리항목별 중요도 우선순위
- 등 급 : 사업참여자 또는 관련 전문가가 평가한 평균등급으로 10점 척도로 평가
- 점 수 : 가중치 ×등급

<표 2-16> 모듈 대안별 Function 등급 설문조사(예시)

구분	설문 참여자	항목	대안-A	대안-B
1	사업참여자 또는 관련 전문가-1	시공성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		환경성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		관리성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	8(등급: 1~10)	8(등급: 1~10)
		품질성	6(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
2	사업참여자 또는 관련 전문가-2	시공성	7(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		환경성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		관리성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	8(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		품질성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
3	사업참여자 또는 관련 전문가-3	시공성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		환경성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		관리성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	8(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		품질성	5(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
4	사업참여자 또는 관련 전문가-4	시공성	8(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		환경성	5(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		관리성	4(등급: 1~10)	4(등급: 1~10)
		제작성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		품질성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
5	사업참여자 또는 관련 전문가-5	시공성	6(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		환경성	8(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		관리성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	7(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		품질성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)

② 대안-A 및 대안-B에 대한 Cost를 산정한다.

Cost는 전생애주기비용(이하, LCC)를 의미하나, 사업초기단계에서 LCC의 추정이 불가하거나 추정된 값의 신뢰성 보장이 어려운 경우 산정된 초기사업비를 반영한다. 본 예시에서는 초기사업비를 가상으로 입력하여 Cost를 평가하였으며, 예시는 다음과 같다.

<표 2-17> 모듈 대안별 Cost 산정 결과 (예시)

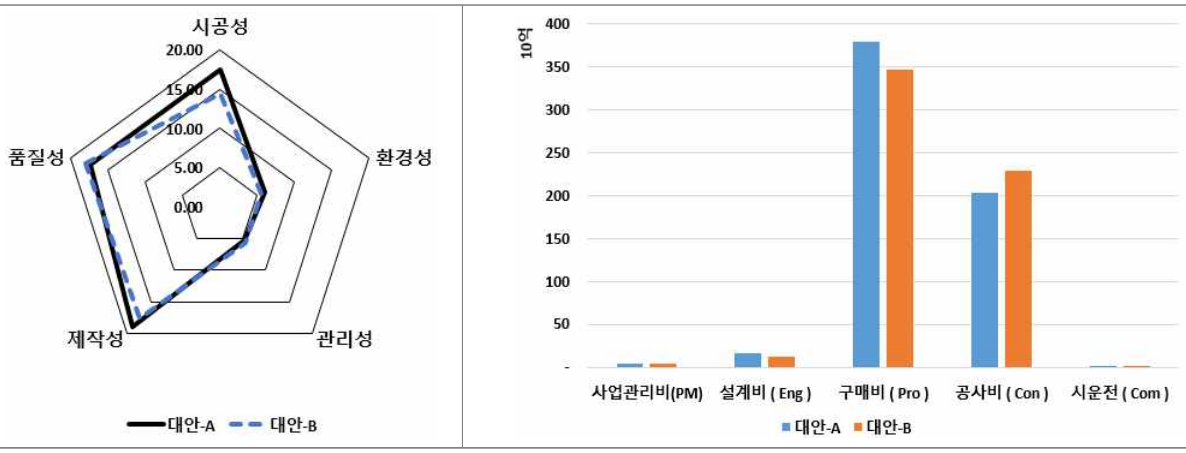
항 목	대안-A		대안-B	
	금액	비율	금액	비율
사업관리비(PM)	4,049,456,000	0.67%	4,049,456,000	0.68%
설계비 (Eng)	17,333,817,782	2.86%	13,433,708,781	2.26%
구매비 (Pro)	380,000,698,831	62.78%	347,700,639,430	58.49%
공사비 (Con)	203,465,899,155	33.62%	228,899,136,549	38.50%
시운전 (Com)	415,808,000	0.07%	415,808,000	0.07%
Life Cycle Cost	**605,265,679,768**	**100.00%**	**594,498,748,761**	**100.00%**
Life Cycle Cost Index	**1.00**		**0.98**	

③ 대안-A 및 대안-B에 대한 Value Index를 평가한다.

상기에서 분석 및 산정된 Function Score와 Life Cycle Cost Index를 적용하여 모듈 대안별 Value Index를 평가하며 예시는 다음과 같다.

<표 2-18> 모듈 대안별 Value Index 평가(예시)

항 목	세부내용	가중치	대안-A		대안-B	
			등급	점수	등급	점수
시공성	시공의 정밀도 및 신속성 정도	25%	7.00	17.50	5.80	14.50
환경성	시공과정에서의 주변 환경 피해정도	10%	6.00	6.00	5.60	5.60
관리성	인력 및 자재 등 관리에 대한 효율성	10%	5.20	5.20	5.60	5.60
제작성	모듈의 제작 정밀도 정도	25%	7.60	19.00	7.00	17.50
품질성	시공의 품질확보 및 성능달성 정도	30%	5.80	17.40	6.00	18.00
Function Score			**65.10**		**61.20**	
Function Index			**1.00**		**0.94**	
Life Cycle Cost			**605,265,679,768**		**594,498,748,761**	
Life Cycle Cost Index			**1.00**		**0.98**	
Value Index			**65.1**		**62.31**	



[그림 2-117] 대안별 성능 및 LCC 결과(예시)

④ 대안-A 및 대안-B에 대한 위험을 고려하여 Value Index를 평가한다.

모듈 대안-A 및 대안-B에 대한 Function과 Cost를 평가한 결과를 기반으로 각각의 대안별로 사업을 추진하는 과정에서 발생가능한 위험의 영향에 따른 Function과 Cost의 변동을 반영하여 Value Index를 평가하는 것으로 위험을 고려한 Function을 평가하는 예시는 다음과 같다.

<표 2-19> 위험을 고려한 Function 평가(예시)

항 목	가중치	대안-A				대안-B			
		등급	점수	성능점수 변동범위 비율	변동된 성능점수	등급	점수	성능점수 변동범위 비율	변동된 성능점수
시공성	25%	7.00	17.50	4%	18.20	5.80	14.50	3%	14.94
환경성	10%	6.00	6.00	3%	6.18	5.60	5.60	2%	5.71
관리성	10%	5.20	5.20	3%	5.36	5.60	5.60	2%	5.71
제작성	25%	7.60	19.00	4%	19.76	7.00	17.50	3%	18.03
품질성	30%	5.80	17.40	4%	18.10	6.00	18.00	2%	18.36
Function Score		65.10		67.59		61.20		62.74	
Function Index		1.00		1.00		0.94		0.93	

성능점수의 변동범위는 사업참여자 또는 관련전문가들이 사업을 추진하는 과정에서 발생가능한 위험을 고려하여 -5%~5%범위의 변동성을 비율로 평가하고, 변동된 성능점수는 기존에 평가된 성능점수에서 입력된 변동범위 비율만큼 가산된 점수이다.

※ 변동된 성능점수 : 점수 + (점수×성능점수 변동범위 비율)

<표 2-20> 위험을 고려한 Cost 평가(예시)

항 목	대안-A			대안-B		
	금액	비용 변동범위 비율	변동된 금액	금액	비용 변동범위 비율	변동된 금액
사업관리비(PM)	4,049,456,000	3.00%	4,170,939,680	4,049,456,000	2.00%	4,130,445,120
설계비(Eng)	17,333,817,782	2.00%	17,680,494,138	13,433,708,781	1.00%	13,568,045,869
구매비(Pro)	380,000,698,831	8.00%	410,400,754,737	347,700,639,430	3.00%	358,131,658,613
공사비(Con)	203,465,899,155	3.00%	209,569,876,130	228,899,136,549	6.00%	242,633,084,742
시운전(Com)	415,808,000	0.00%	415,808,000	415,808,000	0.00%	415,808,000
LCC	**605,265,679,768**		**642,237,872,685**	**594,498,748,761**		**618,879,042,344**
LCC Index	**1.00**		**1.00**	**0.98**		**0.96**

비용 변동범위는 상기에서 설명한 성능점수의 변동범위를 평가하는 방법과 동일하나, 평가 척도는 -10%~15%범위의 변동성을 비율로 평가하고, 변동된 금액은 기존에 산정된 금액에서 입력된 변동범위 비율만큼 가산된 금액이다.

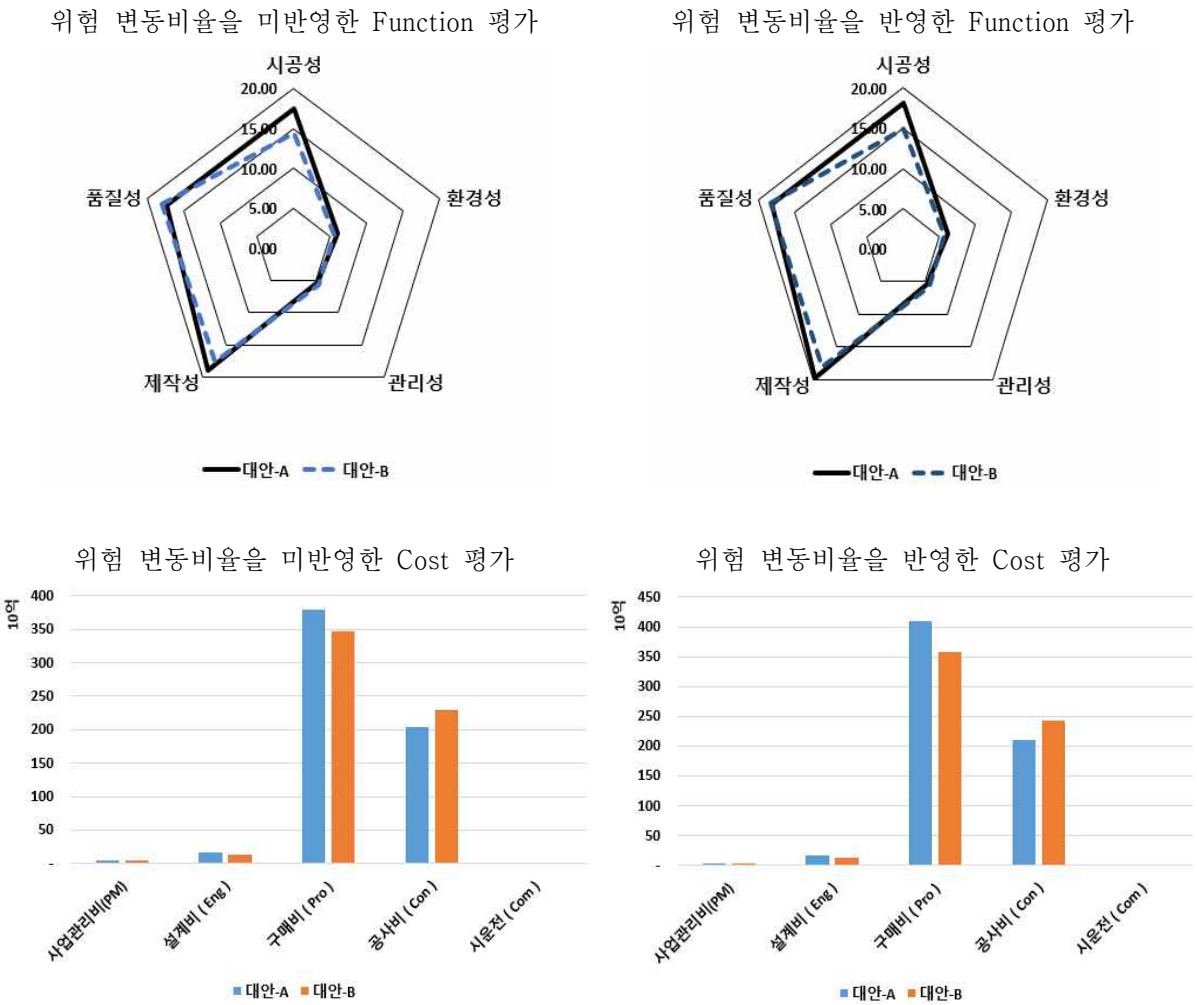
※ 변동된 금액 : 금액 + (금액×비용 변동범위 비율)

Function과 Cost에 위험의 영향으로 변동되는 비율을 반영하여 평가된 성능점수와 산정된 LCC를 비교하여 Value Index를 도출하면 다음과 같다.

<표 2-21> Function과 Cost에 위험을 반영한 평가 결과(예시)

항 목	세부내용	대안-A	대안-B
		성능점수	성능점수
시공성	시공의 정밀도 및 신속성 정도	18.20	14.94
환경성	시공과정에서의 주변 환경 피해정도	6.18	5.71
관리성	인력 및 자재 등 관리에 대한 효율성	5.36	5.71
제작성	모듈의 제작 정밀도 정도	19.76	18.03
품질성	시공의 품질확보 및 성능달성 정도	18.10	18.36
Function Score		67.59	62.74
Function Index		1.00	0.93
Life Cycle Cost		642,237,872,685	618,879,042,344
Life Cycle Cost Index		1.00	0.96
Value Index		67.59	65.11

모듈러 플랜트 건설사업에서 모듈의 계획 및 설계 대안별 평가를 위하여 구축된 VE기반의 리스크 평가 모델의 분석방법을 설명하였으며, 상기와 같은 예시에서 도출된 결과는 Pipe Rack만 모듈의 적용하는 대안-A와 Steel Structure만 모듈을 적용하는 대안-B의 성능과 비용을 평가한 결과 최종적으로 대안-B가 대안-A보다 상대적으로 성능측면은 낮고 비용의 절감효과는 높은 것으로 판단된다. 반면에 대안-A는 대안-B보다 성능측면은 높으나, 비용이 증액되는 것으로 판단되므로 이와 같은 정량적인 결과를 기반으로 모듈 대안별 의사결정이 가능하다.



[그림 2-118] Function과 Cost에 위험을 반영한 평가 결과(예시)

2.2.7 원단위 추정 및 VE 위험 평가용 위험요인 파악

원단위 추정 및 VE 위험 평가를 위해서는 위험요인 파악이 필수적으로 수반되어야 한다. 다음은 문헌연구를 통해 분석된 총 250여개의 위험요인에 대한 표이다. 이들 위험 요인을 다시 지역, 국가, 경제, Project, 조직구조, 발주자, 계약자, 영업견적, 계약, 공정, Cost, 품질, 안전, 조달 기술, 수행, 커뮤니케이션 등 총 16개 대분류로 구분하였으며, 그 자세한 내용은 아래와 같다. 이들을 활용하면 사전 위험요인 파악에 요긴하게 사용될 수 있다.

<표 2-22> 플랜트 프로젝트 위험요인

Risk Code	위험 구분	위험 요인
1	지역 리스크	현지 법규 강화에 따른 공기 지연
2		불투명한조세(Tax&Duty)정책
3		노조활동에 의한 공기 지연
4		현지 인허가 지연에 따른 공기 지연
5		상거래 관습에 따른 마찰
6		근로자 파업
7		기후 차이
8		문화적 차이
9		치안 유지 문제
10		현지 인력 부족
11		현지 자재 부족
12		현지 조달 자재 부족
13		현지관련 법규 오류
14		현지법규 위반
15		환경규정 사항 부적합
16	국가 리스크	국가행사 대비 미흡
17	경제 리스크	환율 변동에 따른 비용증감
18		발주사의 자금 확보 곤란
19		물가상승에 따른 비용증감
20	PJT특성리스크	PJT 대형화 등 환경변화에 따른 불확실성 증가
21		PJT 규모1조원 이상 확대에 따른 통제 어려움
22		PJT복합화로수행방식의변화
23		사업 환경 변화에 따른 핵심역량의 변화
24		심한 경쟁 현황
25	조직구조 리스크	사업조직 구성 부적합
26		기업의 인사정책에 따른 역량변화
27		업종의 특성에 따른 수행역량의 차이
28		Matrix 수행조직에 따른 책임과 권한문제
29		Overhead 조직에 다른 의사결정지연

Risk Code	위험 구분	위험 요인
30	발주자 리스크	Module Envelope Limitations
31		Alignment on Drivers
32		Owner's Planning Resources & Processes
33		Early Completion Recognition
34		Owner-furnished/Long-lead Equip. Spec.
35		Cost Saving Recognition
36		Investment in Studies
37		O&M Provisions
38		Transport Infrastructure
39		Owner Delay Avoidance
40		Data for Optimization
41		Continuity through Project Phases
42		Management of Execution Risks
43	계약자 리스크	Timely Design Freeze
44		Preliminary Module Definition
45		Contractor Leadership
46		Contractor Experience
47		Module Fabricator Capability
48		Heavy Lift/Site Transport Capabilities
49		Vendor Involvement
50		Transport Delay Avoidance
51	영업견적 리스크	인력양성 기회감소로 리더양성과정 훼손
52		영업안건 불일치로 수주계획 차이발생
53		매출계획 대비 전사역량 불일치
54		영업조직간 안건 경쟁으로 과도한 인력투입
55		영업조직 대 견적조직 의견 차이에 따른 입찰가변동
56		견적조직 대 수행조직 수주책임 이견 발생
57		경영자 의사결정
58		과도한 견적안건에 따른 부실 유발
59		물량산정의 오류에 따른 견적 부실
60		신규진출지역 특성 이해도 부족으로 견적 부실
61		사업주에 대한 이해도 부족에 따른 견적부실
62	계약 리스크	계약발효 및 착수일 선수금 미수
63		유보금 및 유보금 해제
64		대금 지불 기한 미규정에 따른 위험
65		APBond 중복 비용
66		P-Bond 중복 보증
67		LiquidatedDamages 책임한도없음
68		Warranty Period
69		Limit of Liability
70		Performance Guarantee

Risk Code	위험 구분	위험 요인
71		분쟁 조정 대응곤란
72		Deemed Acceptance
73		Force Majeure
74		인도조건에 따른 운송비용 발생 가능성
75		공급범위 명기 불확실
76		공사중지 및 계약해지 가능성
77		인도조건
78		외국업체의 진입 제한 관련법규가 존재하는가?
79		정부정책 및 관련법변경으로인한 피해가 우려되는가?
80		관련이익단체 등과의 갈등 및 외압, nimby가존재하는가?
81		전쟁/내란발생으로인하혀 사회적 혼란을 야기하는가?
82		정권교체/정국불안으로 프로젝트수행에 악영향을 미치는가?
83		과실송금에대한 제도적규제가 존재하는가?
84		현지운행및관련기관이과실 송금에대하여 비협조적인가?
85		발주자의 지속적인기성지 불능력이 부족한가?
86		발주자의파산 및 재정적능력 상실이 우려되는가?
87		프로젝트전반에대한 발주자의 이해가 부족한가?
88		발주자가 프로젝트진행에있어서 비협조적또는지나친간섭을하는가?
89		발주자의부정행위가존재하는가?
90		진출국의 사전정보 (건설 환경, 제도, 관행 등)이 충분한가?
91		발주자에대한정보가 충분한가?
92		경쟁업체및현지업체에대한 정보가 충분한가?
93		입찰정보와 현장조건이 불일치 하는가?
94		입찰안내서 및 입찰정보에 불충분한정보가 존재하는가?
95		모듈화시공에대한 경제적 타당성검토는 충분히 이루어졌는가?
96		해당국가의조세정책(모듈이외국에서제작되어오는경우)은 합리적인가?
97		해당사업의Localization(현지자원에대한의무활용비율)은높은가?
98		발주자의 요구 조건 반영이 미흡한가?
99		가격 담합 및 로비 등으로 인하여 회사의 피해가 발생하는가?
100		계약서에 명기된 선급금 조항은 명확한가?
101		계약서에 명기된 기성지 불조건은 명확한가?
102		계약서에 명기된 공기관련(착공일, 준공일)일자는 명확한가?
103		계약서에 명기된 성능보장, 하자보증, 설계변경조건협상/중재/소송의 절차 및 규정은 합리적인가?
104		계약서에 명기된 보증보험에 관한 규정은 합리적인가?
105		계약서에 명기된 계약 해지 조건은 합리적인가?
106		계약서에 명기된 공사 중단 조건은 합리적인가?
107		계약서에 명기된인원, 장비, 자재에관한사항은합리적인가?
108		계약서에 명기된 Escalation에 관한 조항은 합리적인가?
109		계약서에 명기된 재세 조건 및 현지법에 관한 내용은 합리적인가?
110		계약서류 간 모순점은 없는가?

Risk Code	위험 구분	위험 요인
111		의사소통 부적합
112		통관절차 복잡에 따른 공기 지연
113		내륙 운송에 따른 과다한 비용 및 시간 소요
114		사무소개설 등록 절차 복잡에 따른 시간 소요
115		Overall Schedule
116		인력수급 지연에 따른 공기 지연
117		설비제작 지연에 따른 공기 지연
118		자재/장비 조달 지연에 따른 공기 지연
119		발주처 승인 지연에 따른 공기 지연
120		현장 여건에 따른 공기 지연
121		주요 기자재 납기지연
122		운송 Plan
123		운송 경로
124		운송경로 날씨
125		공사 기간 미확보에 따른 공기 지연
126		자재조달 미확보에 따른 공기 지연
127		장비조달 미확보에 따른 공기 지연
128		시공 인허가 장시간 소요
129		설비기계 하자 발생
130		시공비용 지급 지연
131	Cost리스크	Change Order에 따른 비용 증가
132		산출 물량 오류에 따른 비용 증가
133		현실적 단가 반영 미흡
134		조사비 누락으로 인한 비용 증기
135		Vendor Change Order에 따른 비용 증가
136		물류비 상승에 따른 비용 증가
137		운송보험
138		운송장비
139		공사비
140		외국 업체에게 불공정한 세금을 부과하는가?
141		건설 행정절차가 까다로우며 과도한 통관 및 관세를 적용하는가?
142		계약 화폐의 가치가 대폭 절하되어 환리스크가 심각한가?
143		진출국의 물가 인상과 시장의 변화가 급격한가?
144		프로젝트 현금흐름의 예측이 불확실한가?
145		입찰가가 과도하게 하향조정 되었는가?
146		자재조달 비용을 과대 /과소책정 하였는가?
147		장비 소요 비용을 과대/과소하게 책정하였는가?
148		관세비용 추정 오류
149		설비기계 가격변동
150	품질 리스크	Dimension Check
151		Level Check

Risk Code	위험 구분	위험 요인
152		Plumb Check
153		Sea Fastening
154		Grillage Beam
155		Installation Plan
156		Piping Hook up Plan
157		설비기계 부적합 제작
158		설비기계 사양변경
159		소프트웨어 기술 수준
160		소프트웨어 호환성 수준
161		재시공 발생
162		접합시공 오류
163		제작 오류
164		제작회사 기술력 부족
165	안전 리스크	사고 발생
166		사고대응문제
167	조달 리스크	Sub Vendor & Subcontractor
168		현지조달의무 비율 발생
169		설비기계 조달경로 오류
170		설비기계 조달일정 지연
171		자재 물량 변동
172		자재 단가 변동
173		자재조달 일정 지연
174		조달 사고 발생
175		조달비용 변동
176		조달비용 지급 지연
177	기술 리스크	시공사고 발생
178		실시설계 오류
179		설계범위 증가 가능성
180		설계오류 발생에 따른 공기 지연
181		지질조사 신용도 미확보
182		제공 Information 부정확
183		설계 조직 인력 부족
184		경쟁력 있는 공사금액 미확보
185		설계기준/견적기준 오류 가능성
186		HSE적용 오류
187		PID설계 오류
188		공법변경
189		기계설계 오류
190		기본설계 오류
191		상세설계 오류

Risk Code	위험 구분	위험 요인
192		설계 기술 오류
193		설계도서 오류
194		설계비용 지급 지연
195		잦은 설계 변경
196		임금인상
197		Catastrophic
198		Poor Planning
199		업무 수행절차
200		제작 여건 변동성
201		제작인력 숙련도
202		시공사 및 공사업체 수행능력
203		Temporary Facility
204		기술인력 확보
205		Utility공급애로
206		기자재 현장보관 위험성
207		공사 현장 여건에 관한 정보가 불명확한가?
208		요구되는 시공 기술에 대한 정보가 불확실한가?
209		경쟁업체에대한 정보가 불충분한가?
210		발주자의 모듈화시공에대한 이해도(장점,위험도)는 충분한가?
211		발주자의 모듈화시공에대한 사전검토는충분히 이루어졌는가?
212		발주자의 모듈화시공에대한계약, 자금조달, 역량은 충분한가?
213		모듈운송조건에관한 조사는 충분히 이루어졌는가?
214	수행 리스크	모듈의크기무게제한에대한 규정은 명확한가?
215		모듈화시공의 일정관리 역량은 충분한가?
216		모듈제작장의 품질, 안전에관한 고려는 충분한가?
217		모듈화시공에따른위험과보상에대한 균형있는 전락수립이 이루어졌는가?
218		모듈화시공에따른 기술적 문제해결에대한역량은 충분한가?
219		설계사의모듈설계역량(설계변경최소화)은 충분한가?
220		자재조달역량은 충분한가?
221		EPC업제의사업 수행역량은 충분한가?
222		견적업무시투입물량 산정 및 검토가 미흡한가?
223		견적정보수집이 어려우며 입찰서류준비가 미흡한가?
224		발주자의모듈화 시공에대한 이해도(장정,위험도)는 충분한가?
225		발주자의모듈화 시공에대한 사전검토정도는 충분히 이루어졌는가?
226		발주자의모듈화 시공에대한 계약, 자금조달역량은 충분한가?
227		모듈운송조건에관한 조사는 충분히 이루어졌는가?
228		모듈의크기, 무게제한에대한 규정은 명확한가?
229		모듈화 시공의 일정관리 역량은 충분한가?
230		모듈화시공에대한경제적타당성검토은 충분히 이루어졌는가?
231		모듈제작장의생산성품질,안전에관한 고려는 충분한가?
232		모듈화시공에따른위험과 보상에대한 균형있는전 략수립이 이루어졌는가?

Risk Code	위험 구분	위험 요인
233		모듈화시공에따른 기술적문제 해결에대한 역량은 충분한가?
234		회사의프로젝트 리스크관리 시스템이 미흡한가?
235		발생 가능한 리스크 예측능력이 부족한가?
236		가설시설 부족
237		기술력 부족
238		기술인력 부족
239		노무인력 부족
240		돌관공사 발생
241		물량변동
242		운송물량 변동
243		운송장비 부적합
244		운송환경 부적합
245		조달 일정 지연
246		특허권 사용 오류
247		하도급 계약 변경
248		하도급 기술력 부족
249		하자발생
250		현장설명 검토 오류

2.2.8 CBS 체계의 원단위 계량 모델 시험적용

본 장에서는 최종적으로 본 기관에서 제공한 모델을 다시 한번 정리하고 향후 보완 방안에 대해 설명하고자 한다.

가. CBS 정형화

본 기관에서는 LV.4의 CBS 모델을 정형화 하였다. 본 모델의 정형화 과정에 대해서는 2.2.3에서 자세히 다뤄지고 있다. 사용자는 정형화된 CBS를 사용하여 원단위 추정 및 신규 프로젝트의 순위험 금액을 분석하는데 활용할 수 있으며, CBS 정형화는 모듈러 플랜트에서의 의사결정 전반을 지원할 것이다. 본 기관에서 제시한 CBS 모델은 2세부에서 개발한 의사결정지원 시스템 및 VE 시스템에서 적용될 것이다. 그러나 향후 사용자 환경에 적합하게 사용회사별로 해당사의 특성을 반영한 다양한 형태로 보완되어야 할 것이다.

Cost Breakdown Structure				
비고	Lv1	Lv2	Lv3	Lv4
196개	1개	5개	40개	150개

[그림 2-119] CBS

나. CBS 기반의 원단위 계량 모델

본 기관에서는 CBS 기초 데이터로부터 수집한 계약 금액 및 준공 금액을 활용하여 CBS 기반 원단위 및 순위험율을 도출하였다. 상기와 같은 과정을 통해 도출된 순위험율을 활용하여 CBS & 위험율 기반 원단위 금액을 추정 하였다. 개발한 모델의 상세한 내용은 2.2.4에 정리되어 있으며, 최종적으로 도출된 결과의 예시는 다음 그림과 같다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적(M2)	생산량(Ton)	단위당 금액(Ton)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	8,189	4,027	311,014	221,851	4,538
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	12,224	6,012	193,443	331,166	6,773
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	63,144	290,728	195,745	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	9,011	5,405	533,743	1,459	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	31,672	146,176	371,770	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	9,737	17,264	241,780	280,836	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	15,795	21,925	275,971	234,235	1,693
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	291,414	258,205	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	549,618	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	7,767	7,817	300,421	230,388	3,225
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	7,767	7,817	300,421	230,388	3,225
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	116,837	860,857	1,138,096	0

[그림 2-120] CBS 기반 원단위 금액 추정 결과 (예시)

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	단위당(ton) 금액 + (단위당(ton) 금액 * 순위험율)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100294.0152	1879257.708	8,189	4,027	311,014	221,851	4,538
2	석유화학	LSTK	아시아	161250.6172	3021431.187	13,677	6,847	215,058	361,055	7,559
3	석유화학	LSTK	아시아	10034.1941	188015.5716	-	68,059	299,571	239,260	-
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100000	1873748.602	9,786	5,808	579,620	1,647	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29208.27504	547289.6454	-	34,727	150,357	484,681	-
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20826	415871.4938	10,588	19,169	264,294	301,757	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13109.6336	245641.5763	13,624	22,233	262,639	212,772	2,187
8	석유화학	LSTK	아시아	93652.56911	1754813.705	-	-	325,155	237,584	-
9	석유화학	LSTK	아시아	292.6118283	5482.810043	-	-	-	657,359	-
10	석유화학	LSTK	아시아	34956.66384	655000	8,824	8,691	337,433	260,422	3,539
11	석유화학	LSTK	아시아	70950.36565	1329431.485	8,468	8,814	342,167	246,890	3,608
12	석유화학	LSTK	아시아	412870.4878	5348943.721	-	130,478	863,611	964,943	-

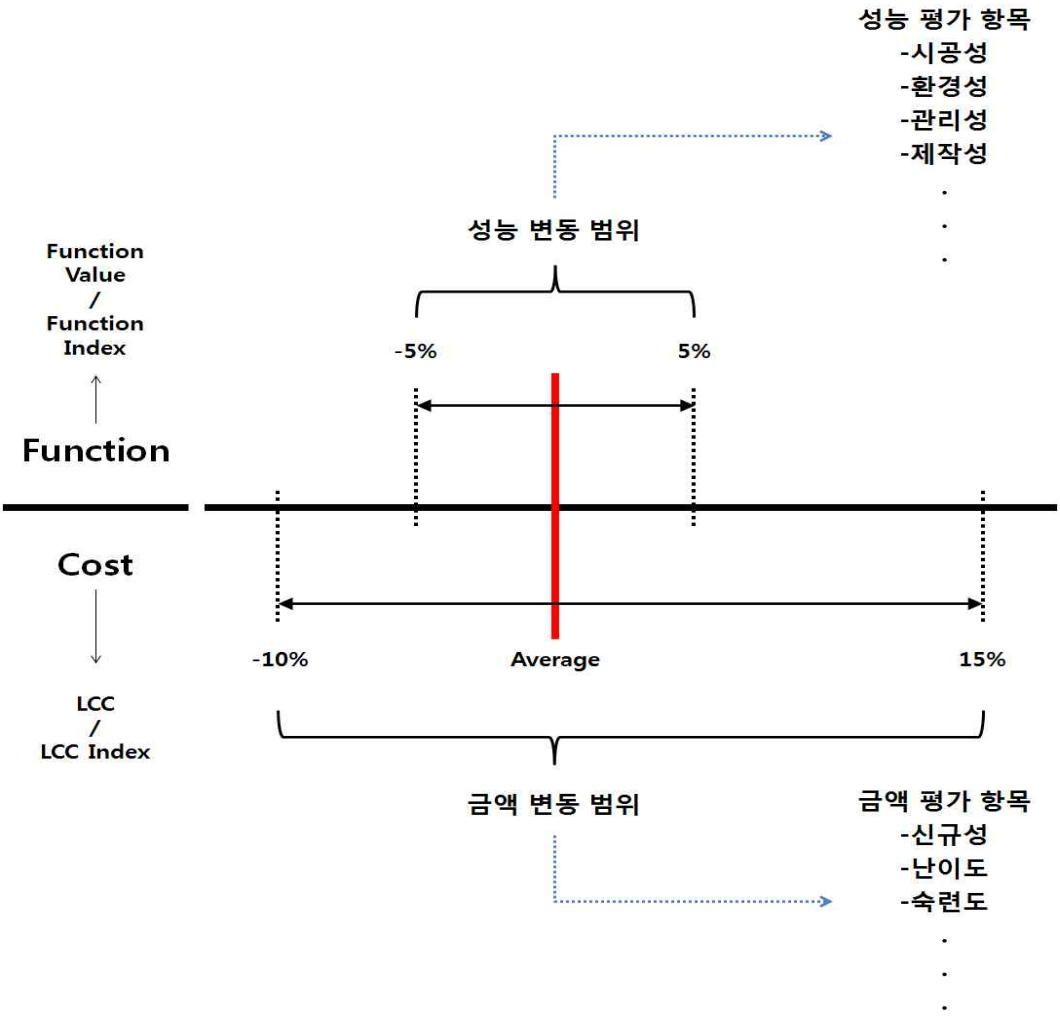
[그림 2-121] CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정 결과 (예시)

대지면적(M^2)과 생산량(ton)에 순위험율을 반영한 개략 사업비를 추정가능하며, 2세부에서 개발한 의사결정시스템에서 활용될 예정이다. 원단위 분야도 향후 사용자가 자사의 자료를 축적해 가면서 사용회사별로 해당사의 특성을 반영한 다양한 형태로 보완되어야 할 것이다.

다. VE 리스크 평가 모델

본 기관에서는 VE기법을 적용한 리스크 평가모델을 제안했다 (아래 그림 참조). VE에 대한 개념과

리스크 평가 모델의 예시는 2.2.6에서 자세히 다뤄지고 있다. VE기법을 적용한 리스크 평가모델은 모듈화 플랜트에서 여러 대안들을 검토 분석하고 대안들에 대한 리스크 평가까지를 지원 할 수 있다. 이는 도급자에게 미치는 경제적 손실을 최소화하기 위한 방법으로 사용될 것이며, 식별되는 위험으로부터의 정량적인 결과를 통해 의사결정에 도움을 줄 것이다. VE 리스크 평가 모델은 2세부에서 개발한 VE시스템에 적용될 것이다. 제시된 모델은 향후 사용사 별로 사용성을 고려하여 위험평가 변수의 수를 변동시켜 보완할 필요가 있다.



[그림 2-122] VE 리스크 평가모델

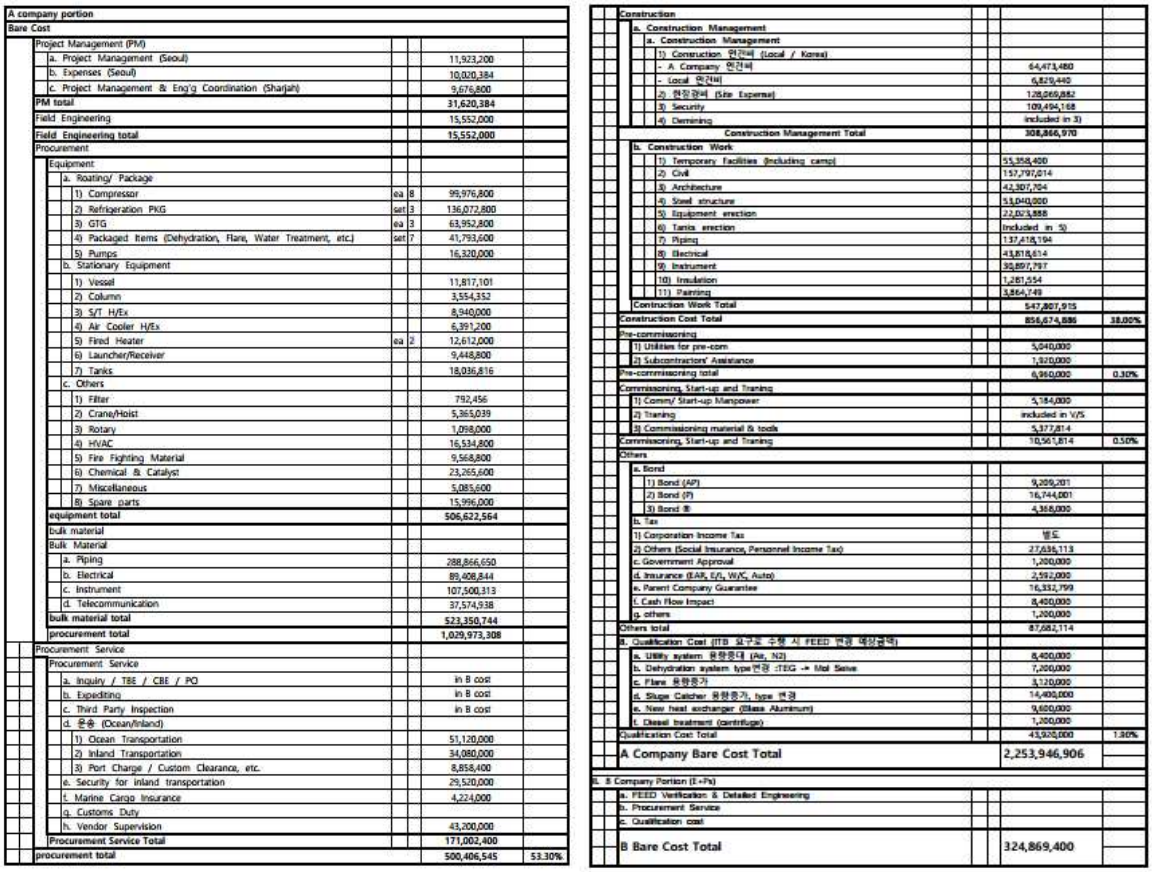
라. 향후 DB구축 활용 방안

본 연구에서 CBS자료실은 CBS 및 원가에 관한 기초자료형태의 사례 DB를 제공한다. CBS관리는 본 기관에서 제공한 CBS를 제공하고 관리하는 곳이고, CBS Cost 데이터베이스는 데이터베이스를 구축 열람하는 곳으로 현재는 시작단계이나 향후 사용자별로 축적이 이루어져야 될 분야이다.

CBS 및 Cost 관련 데이터베이스는 향후 사용자에게 입찰과 계약 등에 매우 중요한 정보를 제공하는 내용이다. 따라서 사용자가 자사의 경험축적에 따라 지속적으로 축적 보완해 나가야 할 분야이다.

국내외의 건설사로부터 수집한 CBS를 근거하여 사례형태로 프로그램에 업로드될 것이다. 수집한 20여개의 기초자료에서 실 데이터로 참고할 수 있는 데이터는 10여개이다.

본 연구진에서 소유하고 있는 CBS 예시는 다음 그림과 같다.



A company portion					
Bare Cost					
Project Management (PM)					
a. Project Management (Seoul)				11,923,200	
b. Expenses (Seoul)				10,020,384	
c. Project Management & Eng'g Coordination (Sharjah)				9,676,800	
PM total				31,620,384	
Field Engineering				15,552,000	
Field Engineering total				15,552,000	
Procurement					
Equipment					
a. Roating/ Package					
1) Compressor		ea	8	99,976,800	
2) Refrigeration PKG		set	3	136,072,800	
3) GTG		ea	3	63,952,800	
4) Packaged Items (Dehydration, Flare, Water Treatment, etc.)		set	7	41,793,600	
5) Pumps				16,320,000	
b. Stationary Equipment					
1) Vessel				11,817,101	
2) Column				3,554,352	
3) S/T H/Ex				8,940,000	
4) Air Cooler H/Ex				6,391,200	
5) Fired Heater		ea	2	12,612,000	
6) Launcher/Receiver				9,448,800	
7) Tanks				18,036,816	
c. Others					
1) Filter				792,456	
2) Crane/Hoist				5,365,039	
3) Rotary				1,098,000	
4) HVAC				16,534,800	
5) Fire Fighting Material				9,568,800	
6) Chemical & Catalyst				23,265,600	
7) Miscellaneous				5,085,600	
8) Spare parts				15,996,000	
equipment total				506,622,564	
bulk material					
Bulk Material					
a. Piping				288,866,650	
b. Electrical				89,408,844	
c. Instrument				107,500,313	
d. Telecommunication				37,574,938	
bulk material total				523,350,744	
procurement total				1,029,973,308	
Procurement Service					
Procurement Service					
a. Inquiry / TBE / CBE / PO				in B cost	
b. Expediting				in B cost	
c. Third Party Inspection				in B cost	
d. 운송 (Ocean/Inland)					
1) Ocean Transportation				51,120,000	
2) Inland Transportation				34,080,000	
3) Port Charge / Custom Clearance, etc.				8,858,400	
e. Security for inland transportation				29,520,000	
f. Marine Cargo Insurance				4,224,000	
g. Customs Duty					
h. Vendor Supervision				43,200,000	
Procurement Service Total				171,002,400	
procurement total				500,406,545	53.30%

Construction		
a. Construction Management		
a. Construction Management		
1) Construction 인건비 (Local / Korea)		
- A Company 인건비	64,473,480	
- Local 인건비	6,829,440	
2) 현장경비 (Site Expense)	128,069,882	
3) Security	109,494,168	
4) Demining	included in 3)	
Construction Management Total	308,866,970	
b. Construction Work		
1) Temporary Facilities (Including camp)	55,358,400	
2) Civil	157,797,014	
3) Architecture	42,307,704	
4) Steel structure	53,040,000	
5) Equipment erection	22,023,888	
6) Tanks erection	Included in 5)	
7) Piping	137,418,194	
8) Electrical	43,818,614	
9) Instrument	30,897,797	
10) Insulation	1,261,554	
11) Painting	3,864,749	
Contruction Work Total	547,807,915	
Construction Cost Total	856,674,886	38.00%
Pre-commissioning		
1) Utilities for pre-com	5,040,000	
2) Subcontractors' Assistance	1,920,000	
Pre-commissioning total	6,960,000	0.30%
Commissioning, Start-up and Training		
1) Comm/ Start-up Manpower	5,184,000	
2) Training	included in V/S	
3) Commissioning material & tools	5,377,814	
Commissioning, Start-up and Training	10,561,814	0.50%
Others		
a. Bond		
1) Bond (AP)	9,209,201	
2) Bond (P)	16,744,001	
3) Bond ®	4,368,000	
b. Tax		
1) Corporation Income Tax	별도	
2) Others (Social Insurance, Personnel Income Tax)	27,636,113	
c. Government Approval	1,200,000	
d. Insurance (EAR, E/I, W/C, Auto)	2,592,000	
e. Parent Company Guarantee	16,332,799	
f. Cash Flow Impact	8,400,000	
g. others	1,200,000	
Others total	87,682,114	
II. Qualification Cost (ITB 요구로 수행 시 FEED 변경 예정금액)		
a. Utility system 용량증대 (Air, N2)	8,400,000	
b. Dehydration system type변경 :TEG → Mol Sieve	7,200,000	
c. Flare 용량증가	3,120,000	
d. Slugs Catcher 용량증가, type 변경	14,400,000	
e. New heat exchanger (Brass Aluminum)	9,600,000	
f. Diesel treatment (centrifuge)	1,200,000	
Qualification Cost Total	43,920,000	1.80%
A Company Bare Cost Total	2,253,946,906	
B. B Company Portion (E+Pk)		
a. FEED Verification & Detailed Engineering		
b. Procurement Service		
c. Qualification cost		
B Bare Cost Total	324,869,400	

[그림 2-123] CBS Level 3 예시

또한, 본 기관은 CBS DB 구축을 위해 Cost Breakdown Structure를 지속적으로 수집할 계획이다. 국내 건설사들은 본 기관에서 구축한 CBS DB 안에서 제공하는 정보를 활용하여 해외 플랜트 사업을 진행하기 전 CBS, Cost 등에 관련하여 풍부한 정보를 제공 받을 수 있는 환경이 제공될 필요가 있다.

2.2.9 소결

가. 결론

(1) 비용분류체계(CBS) 정형화

여러 CBS사례들에 대한 자료분석을 바탕으로 (모듈러) 플랜트 용 대표적 형태의 CBS 정형화 대안을 제공하였다. 이는 신규 진출 업체들에게는 매우 유용한 CBS 안내 자료가 될 것이며, 기존 업체들에게도 비교 목적의 중요한 참고자료가 될 수 있을 것이다. 제시된 비용분류체계는 원도급자 측면에서 비용(사업비, 공사원가)관리의 명확성과 관리의 효율성을 증대시킬 수 있을 것이다. 또한 모듈러 공법을 적용하는 경우를 위해 모듈러 특성을 반영하였음으로 모듈러 플랜트의 비용관리에 실질적 도움이 될 수 있다.

(2) CBS를 활용한 원단위 계량모델 및 원단위 추정

모듈러 플랜트의 특성을 반영하여 구성된 비용분류체계 모델을 기반으로 원단위 비용분석(추정) 모델을 제시하였다. 원단위 계량모델은 다음의 2가지로 제시되었다. 즉 1) CBS 기반 원단위 금액 추정은 제공된 CBS 비용에 원단위(예: 톤, m2, m3 등)를 적용한 단가를 추정할 수 있다. 예를 들어 설계단계에서 플랜트의 대지면적 그리고 발주기관에서 요구하는 성능인 생산량을 기초로 단위당 비용을 추정하는 것이다. 즉 대지면적을 기준으로 ㎡단위당 비용을 추정하고 생산량을 기준으로 ton당 비용을 추정하여 사업기획 및 계획단계에서 개략공사비를 추정 할 수 있다. 2) CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정은 순위험율 분석을 추가하여 1) 에 단위당 위험비용까지 추가하여 추정할 수 있다. 문론 이들이 제대로 작동하기 위해서는 과거의 축적된 자료의 도움이 필수적이다. 이들 추정 모델들은 사용이 간단하여 향후 기업마다 자료 축적 시, 개산견적, 비교견적 목적에 유용하게 활용 될 수 있다.

(3) VE기반의 모듈대안별 리스크 평가 모델 구축

모듈러 플랜트 대안개발(모듈화 시나리오)과 평가를 위해 VE 프로세스가 개발되었으며, 이는 모듈 아이디어 개발과 적용에 요긴하게 이용 될 수 있다. 여기에 더해서 VE 대안들에 대한 결과인 F/C 값에 대해 리스크를 평가 할 수 있는 모델이 구축되었다. 이를 통해 VE 결과평가인 가치지수(Value Index)에 리스크 평가를 더 할 수 있게 되어 VE 대안평가의 신뢰성을 증대할 수 있게 되었다.

나. 활용방안 및 기대효과

본 연구의 최종 결과물은 협업 단위 CBS 체계, 협업 단위 모듈화 건설 원단위 계량 기술, VE기반의 모듈대안별 리스크 평가 모델 구축 등이다. 이들 결과물들은 일반 플랜트와 모듈러 플랜트의 CBS적용, 원단위 비용분석, 위험비용 분석 그리고 이들을 포함한 개략 사업비를 추정하는 데 활용 될 수 있다. 나아가 VE 적용을 통해서는 다양한 모듈 대안별 가치평가와 위험평가에 활용 할 수있다. 이러한 활용과정을 통하여 다음과 같은 기대효과 예상된다.

- 플랜트 업계에 신규 진입을 원하는 업체들에게 중요한 기반지식 및 정보를 제공 할 수 있다.
- 기존 플랜트 업체들은 자사의 CBS 체계 및 리스크 분석 시스템 업그레이드에 활용 될 수 있다.
- VE 프로세스 적용 및 위험분석을 통하여 다양한 대안 및 시나리오 창출 및 분석이 가능하다.

2.3 협업단위 모듈화 고유모델, 관리기법 개발

가. Requisites of EPC Process Models for Modular Plants

(1) EPC Process Models

(가) 개요

In plant construction businesses, modularization has been issued for increasing constructability and productivity. For modular construction, a regime of structure and pipe installation changes into the purchase of pipe-rack module. In the meanwhile, Engineering, Procurement and Construction(EPC) process models would be modified. The most significant change in modular construction occurs in schedule and transportation. Since a section of plant structure, i.e. a pipe-rack module, turns into a procurement item, the portion of long lead items increases. Also, the large structure module affects on the heavy lift plan including heavy equipments. Hereupon this paper assesses traditional EPC process models in a manner of activity deliverables and introduces additional activities required for modularization.

(나) Bidding Process

When tenderers get the Invitation to Bid(ITB) from a client, they are going to work on developing the proposal. The proposal consists of a commercial and technical proposal. At a commercial proposal, a bidder estimates quantities of materials, manhours and other essential costs for engineering, procurement and construction. On the other hand, a bidder also make work plans including a project schedule, management plans and technical reviews. Generally, the ITB for EPC contract includes design specifications for a plant. That is to say, decision of modularization is already made by a client. So in the aspect of EPC contractors, there would be two steps which can be influenced by modularization. First, if a client decided to modularize some structures, a tenderer should secure outstanding suppliers for module fabrication and make quotation including related costs like logistics or heavy equipment. Secondly, even if a client decided not to modularize the plant, a tenderer can suggest alternative designs for modularization. Considering that the scope of proposals for a general contract has limited expandability, a decision making tool for modularizing a plant should be developed to help make a solid modularization plan.

공사정보입수 ITB	Query & Clarification	현장설명회 & 현지조사	Work Plan 작성
1. PJT 특성 파악	1. 추가사항 검토	1. PJT 특성 파악	1. Schedule
2. 공사내용 검토		2. 현지업체 면담	2. Technical submittals
3. ITB 검토의견서			3. Management plans

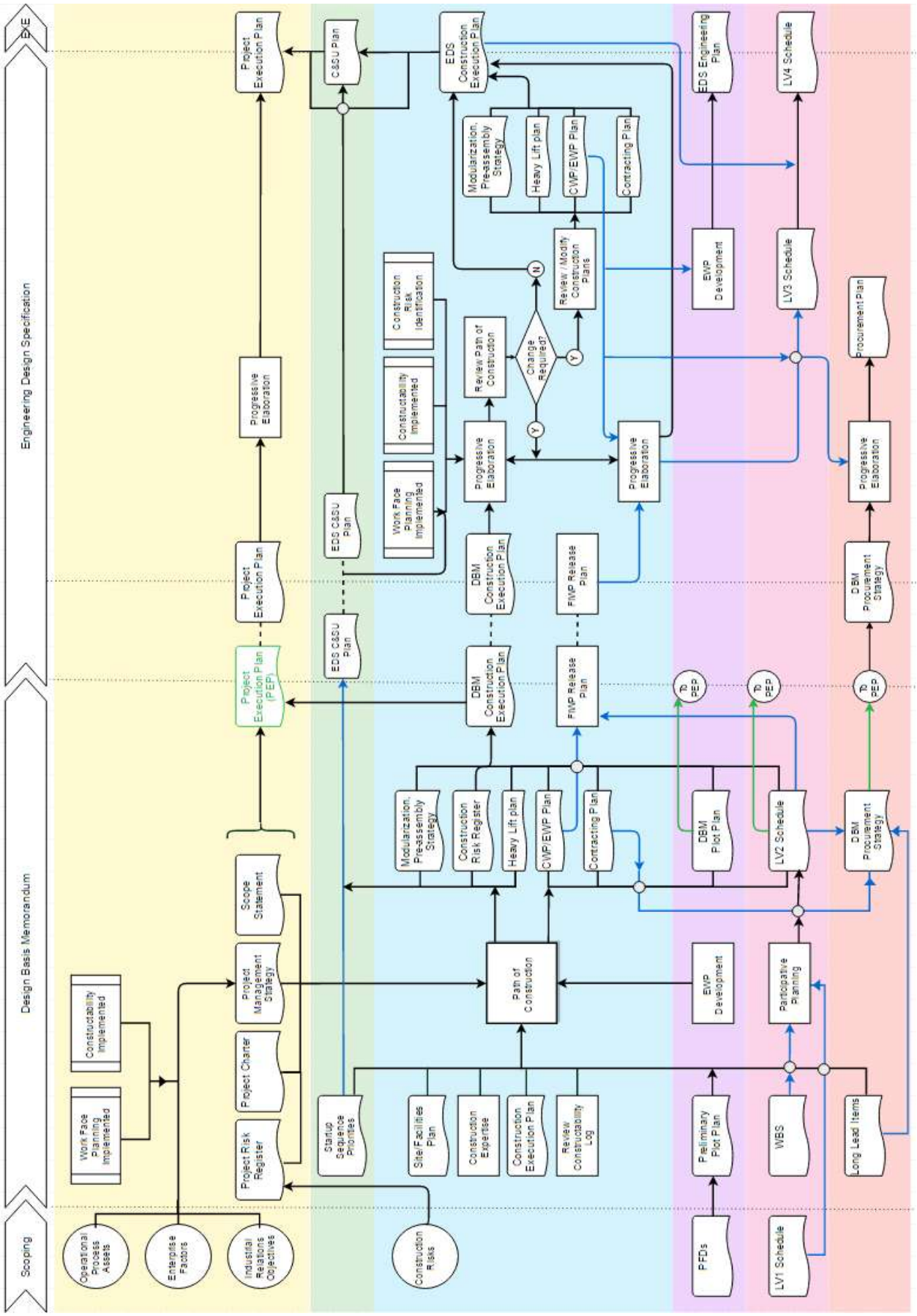
설계용역	MR & BOQ
1. 예산편성	1. MSR 접수
2. 용역사 선정	2. MR/BOQ 작성

협력사 List	직접비 견적
1. AVL	1. MR/BOQ 접수
2. 비승인업체	2. RFQ 작성 (Scope)
3. Subcon. List	3. 견적 접수
	4. In-house 견적
	5. TBE / CBE

간접비 견적
1. BOQ 접수
2. 간접비 작성

(다) Planning Process

Planning is a very important phase which define a scope of works, identify potential risks and make detailed schedule and work plans. Nowadays, as increasing of megaprojects, construction managers consider the modularization strategy since the design basis memorandum. A construction execution plan also includes heavy lift plans, work package plans and contracting plans. The general planning process offered by COAA(Construction Owners Association of Alberta) is illustrated below. As shown in the diagram each engineering, procurement and construction plans are interconnected and exchange deliverables serially. More specifically, modularization philosophy and the design basis for load-out, transportation and installation of modules shoud be defined at this stage. The design basis will be comprised of design conditions, structural analyses and load analyses for barge motion, lifting and jacking. Details would be described in next chapter, requisites for modular plants.


Scoping
Design Basis Memorandum
Engineering Design Specification
EXE
Operational Process Assets
Enterprise Factors
Industrial Relations Objectives
Work Face Planning Implemented
Constructability Implemented
Project Risk Register
Project Charter
Project Management Strategy
Scope Statement
Project Execution Plan (PEP)
Project Execution Plan
Progressive Elaboration
Project Execution Plan
C&SU Plan
EDS C&SU Plan
EDS C&SU Plan
Startup Sequence Priorities
Site Facilities Plan
Construction Expense
Construction Execution Plan
Review Constructability Log
Construction Risks
Work Face Planning Implemented
Constructability Implemented
Construction Risk Identification
Review Path of Construction
Change Required?
Y
N
Review / Modify Construction Plans
Progressive Elaboration
Progressive Elaboration
DBM Construction Execution Plan
DBM Construction Execution Plan
FWP Release Plan
FWP Release Plan
Modularization, Preassembly Strategy
Construction Risk Register
Heavy Lift plan
CWP/EWP Plan
Contracting Plan
Path of Construction
To PEP
To PEP
To PEP
EDS Construction Execution Plan
Modularization, Preassembly Strategy
Heavy Lift plan
CWP/EWP Plan
Contracting Plan
EWP Development
DBM Plot Plan
EWP Development
Participative Planning
PFDs
Preliminary Plot Plan
LV1 Schedule
WBS
EDS Engineering Plan
LV3 Schedule
LV2 Schedule
LV4 Schedule
Procurement Plan
Progressive Elaboration
DBM Procurement Strategy
DBM Procurement Strategy
Long Lead Items

(라) Execution Process

On the extension of a planning process, plant EPC projects are executed as follows. In an engineering phase detailed design is released according to the load calculation and constructability check with 3D models. And a procurement team is going to purchase items and controls submission of vendor data while the detailed design is developed. Finally, construction teams work on the site according to approved drawings and method statements by activities.

For modular construction, module should be fabricated and transported from vendor's facilities. Operating sea transportation is suitable for module transportation from vendor's facilities to the site and a SPMT is the most common equipment for land transportation in sites. At construction site, a construction sequence should be modified by considering installation of modules which is massive items that can interfere with near structures. Also, installation of these massive items need to consume major access roads, heavy equipments and large operating areas. In such manners requisites for modular plants are represented in next chapter.

상세설계 (설계용역사)
1. Specification
2. 응력해석/계산서
3. 도면
4. 3D 모델링 (시공성)
5. 공사 물량

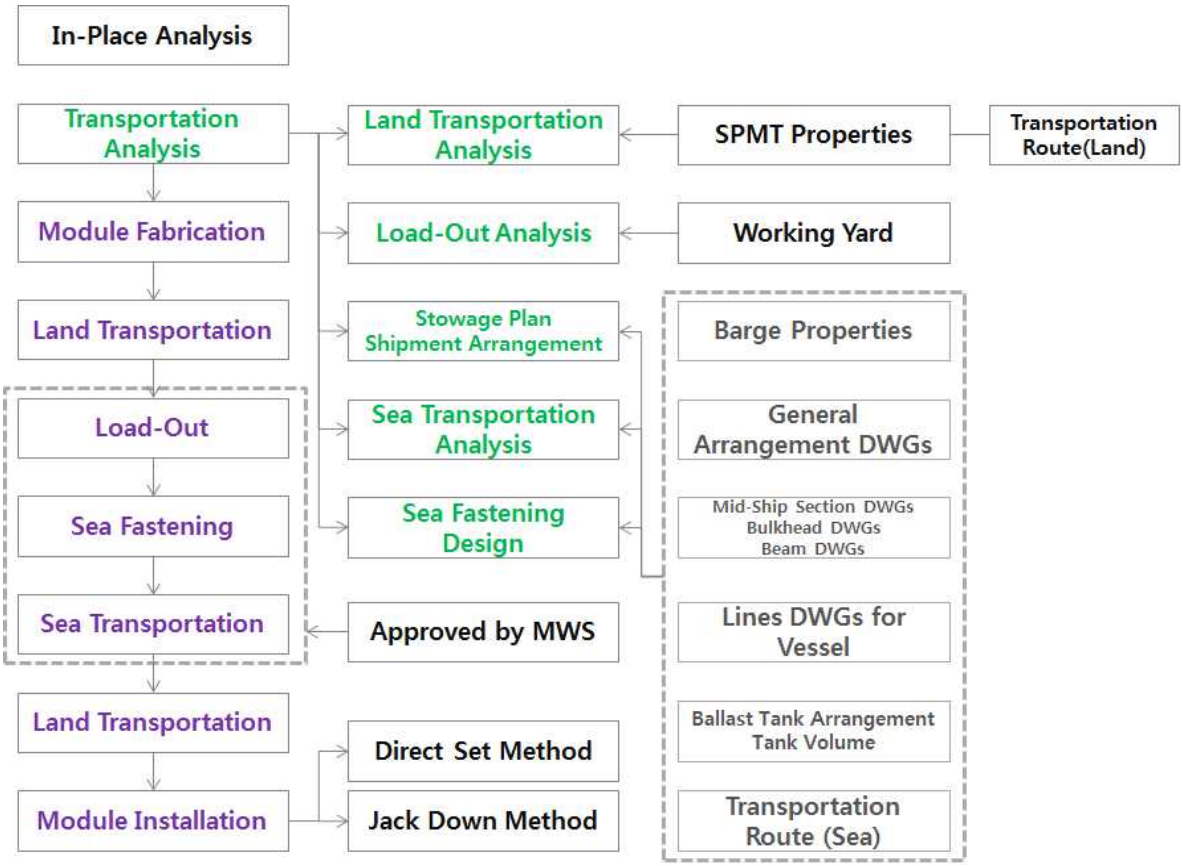
Vendor List	견적요청/접수	PO / 계약 / 제작	Ex-work / FOB	출항 / 통관	내륙운송
1. AVL	1. 초도입찰 / TBE	1. Payment method			
2. 비승인업체 추천	2. 최종입찰 / CBE	2. Vendor data			
	3. Nego				

가설시설물	하도/시공업체 선정	하도계획 / 시공관리	시공 (계속)	시운전	하자보수
	1. Subcon. List	1. 하청계약관리	1. 토목	1. Mechanical completion	1. Punch clear
	2. PQ	2. 하청시공관리	2. 철골 / UG / 건축	2. Pre-commissioning	
	3. 견적 (입찰물량기준)		3. 철골 / AG / 건축	3. Commissioning	
	4. 초도입찰		*Spool 제작 @workshop	4. Start-up	
	5. SOW협의 (인원, 장비, 자재, 간접비)		4. 기계 / Transformer		
	6. LOI / 계약		5. 배관, 전기, 계장		
			6. Energizing		
			7. Lighting		

(2) Requisites for Modular Plants

(가) 개요

A Planning and execution process for modular construction is illustrated as below. Green lines are related to detailed design of modules and purple lines are for execution. Related deliverables and resources are also shown in the figure. This tree (data structure) and each items should be the components of EPC process models for modular plants.



(나) Planning

① General

㉮ Scope

- The requirement for structural engineering, design & installation of the modules shall be defined.
- Transportation
  - Land Transportation by SMPT
  - Sea Transportation by Barge

- Installation
  - Direct Set-Down
  - Lifting
  - Jacking

㉯ Order of Precedence

- In the event of any conflict arising between this Specification and other documents listed herein, refer comments to the Purchaser for clarification before design or fabrication commences.

② Reference Documents

- Structural Design Basis
- Modularization Philosophy
- Specification for Fabrication/Erection of Structural Steel
- Specification for Load-out Transportation and Installation of Module
- Weight Control Procedure for Module
- Standard Drawings for Civil & Steel Work

③ Installation Methodology

- A brief description of the installation sequence for a typical module from fabrication yard to installation on site shall is defined.
  - At the fabrication yard, the load-out trailer(SPMT) is positioned beneath the module for loading on to the trailer
  - By using the trailer hydraulics, the module is lifted off the leg-pot. The trailer is man over through designated route towards the quayside.
  - The Barge arrives and moved stress-on in readiness for load-out operation of module.
  - The loaded trailer slowly moves over the load-out plate and roll on barge.
  - All sea fastenings are connected. After inspection by a Marine Warranty Surveyor, the barge is towed from the fabrication port to island harbour/jetty.
  - The barge is manoeuvred onto the quay at island.

- All sea fastening are removed. The trailer positioned at island will be rolled on to the barge and positioned beneath the module.
- The module will be lifted off the grillage using the trailer hydraulics, lashing are connected. It will be rolled off the barge and man to the installation site.
- The module will be lifted off the grillage using the trailer hydraulics, lashing are connected. It will be rolled off the barge and man to the installation site.
- On arrival at site, the module is either lifted by crane or offloaded using the trailer hydraulics or jack down method of installation.
- Once in position, all temporary bracings are removed.

㉮ Design Condition

- Module structures shall be designed for pre-service conditions and in-place condition. The following pre-service conditions as applicable shall be considered:
  - Land Transportation Condition
  - Sea Transportation Condition
  - Lifting Condition
  - Jacking Condition

㉯ Structural Modeling Philosophy

- A three-dimensional Finite Element Method and applicable software shall be used for the Analysis & Design of modular structures. All structural members and temporary supporting members as required shall be included in the model.
- The analytical model will account for unbraced lengths and member end restraints.
- The global stiffness of the deck and load distribution shall be considered in the analytical model. Some simplifications may be considered to reduce the complexity, i.e. some secondary and tertiary items may be deleted if they are not contributing considerably to the overall stiffness of the deck.

④ Design Parameters

- The following design parameters shall e used in design of modular structures for pre-service condition.
- Design Method

- Design Life
- Materials
  - Structural Steel
  - Anchor Bolts
  - Grating
  - Bolts
  - Welding
  - Checkered Plate
- Allowable Stresses and Environmental Parameters for Steel Structure
- Weight Contingency
  - Weight Contingency shall be applied to cover uncertainty of loads affecting the design.

⑤ Load-out Analysis

㉮ General

- The purpose of the load-out analysis & design is to ensure structural safety of module during transportation.
- SPMT will be used to transportation to modules from fabrication yard to barge. On arrival to island, the modules will be roll off the barge using SPMT to transport the modules at installation site. Barge/Vessel will be used for Sea transportation.

㉯ Structural Model

- The 3D structural model used for in-place analysis & design. The same model shall also be used for pre-service analysis & design with required modification & addition of temporary members & supports, loads.

㉰ Set Down Analysis

- Support Conditions
  - Abnormal supports conditions shall be considered in analysis & design of modules.
- Loads
  - Dead load

a. The Dead loads include weight of structures, equipment, piping, bulk and other items which form a permanent part of the installation. Dead load shall be determined with high degree of precision. The weight contingency as defined in table 6.5 shall be applied to all permanent & temporary loads including as part of module.

b. Loads due to abnormal support conditions

㈑ Load-out Analysis

- Load-out analysis shall be performed to ensure that the members and connections of the modular structures remain within allowable stress limits while being transported onto the SPMT and Barge.

• General Requirement for Load-out (SMPT Transportation)

The trailers shall be suitable for the cargo being transported from the following considerations:

a. Stable throughout the planned movement along the route under a wind load, in both transverse and longitudinal directions, of 5% of gross weight

b. Axle capacity and tyre-footprint/pressure are within manufacturer=s recommendations

c. Spine capacity is adequate

d. Trailer speed to satisfy stability along route, shall not exceed to 5 km/h

e. Suitable arrangement for transfer of trailer (self-propelled, towed by tractor or winched) on to the barge

f. The transfer operation shall be reversible or alternatively contingency is in place

g. Contingency is in place for the load-out to proceed in case of failure of any mechanical, electrical control or hydraulic system

h. Transfer of cargo by lowering the jacks, particularly in multi trailer load-out is synchronized

• Support Condition

To represent the SPMT, the support conditions are to be simulated using spring supports.

• Loads

a. Dead Load

b. Wind Load on open structure, equipment, pipe and other attachments to structure shall be calculated

c. Lateral Load (SPMT acceleration, Acceleration due to slope in road, Acceleration load at turning load)

d. Vertical Impact Load

㈐ Vertical and Horizontal Displacement

- The vertical & horizontal displacement of modular structural beam & column joints at each level shall be checked for each load combinations.
- The deflection of modules carrying critical process equipment/column shall be control with suitable structural arrangement.

⑥ Transportation Analysis (Sea Transportation)

㉮ General

- The purpose of the sea transportation analysis is to ensure that the structure to be transported by barge is capable of withstanding imposed loading without member over-stresses.

㉯ Analysis Model

- The structural analysis model used for transportation analysis shall be same as used for load-out analysis with suitable addition of sea fastening elements.

• Sea Fastening

No allowance shall be made for friction at supports to reduced sea fastening forces. All sea-fastening steel is to be included in the model. A dummy member shall be provided between the module column and sea-fastening. The sea-fastening shall consist of a pair of tubulars connected to each leg. The column legs shall be placed on to the pedestals provided on the barge deck. The column legs are bearing only (i.e. no uplift forces transferred through column legs to the pedestals on the barge deck). The column legs shall be welded to barge deck supports.

- Boundary Condition

  The module shall be modeled with vertical load transfer supports at the column bases. The sea-fastening shall be modeled as a pin connection to the barge deck.

- Barge Acceleration

  To represent the lateral loads induced on the module from barge motions, barge accelerations shall be calculated.

  Accelerations shall be calculated for the module extreme plan location. This is to ensure that the maximum acceleration is considered. Non modeled dead loads are to be split into elevation levels to enable accelerations for each height above the barge to be used.

㈐ Loads

- Dead Load
- Wind Load

  Appropriate wind speed from site data consistent with Code provision and project specifications shall be considered.

- Loads from Barge Motion

  The design parameters shall be used for structural design of modules for barge motion, assuming roll & pitch.

㈑ Deflection

㈒ Calculations of Barge Acceleration Loads

㈓ Calculations of Load Combinations for Barge

⑦ Lifting Analysis

㉮ General

- Lifting analysis shall be carried out to ensure that the module structures are not over stressed during the lifting phases of installation. The lifting study should be performed for all lifted load-out. All rigging equipment should be inspected on a monthly basis.
- Due to variety and complexity of equipment / structures, a variety of cranes, rigging, spreader bars/beams and frames are required for lifting the cargo during various stages of its transfer on to the transportation vehicle or barge.

㉯ Analysis Model

- The load-out analysis structural model shall be used with required changes for lift analysis after inclusion of lifting slings.

  • Support Conditions

  For the lift analysis, the hook shall be located vertically over the model CoG. In this condition, the lift point loads are inversely proportional to their distance from the CoG. The hook point is to be encoded as a support and connected by the sling elements to the lift points. The hook point shall be the only vertical reaction point in the model.

  • Slings

  The slings are to be modeled by representative pin-ended tension only elastic beam elements with an axial area (Ax), based on the nominal diameter of the sling selected from the proprietary catalogue and an appropriate elastic modulus (E).

㉰ Lifting Points & Location of CoG

- Lifting points shall be located at strong points on the structure, as symmetrically as possible around the CoG position.

㉱ CoG Inaccuracy

- Where the allowable center of gravity position is specified as a cruciform or other geometric envelope, then the most conservative center of gravity within the envelope should be taken. An additional factor should be added to the weight, to account for errors in the final CoG location from the weighing operation.

㉲ Design Hook Load (DHL)

- The design hook load(DHL) is calculated applying skew load factor(SKL) to account for skew effects arising from possible unequal slings and environmental effects.

㉳ Loads

- The design loads are to be taken from the weight control report including contingencies. Masses shall be added for sling and rigging.

⑧ Jacking Analysis

㉮ General

- Jacking analysis shall be carried out to ensure that the module structures are not over-stressed during the jacking phases of installation.
- Jacking-and-Shipment requirements in operation phases that may be required to mitigate the long term effects of island settlement needs to be considered and appropriate allowances and provisions in design and detailing be made for the same.

㉯ Analysis Model

- The structural analysis model used for jacking analysis shall be same as used for load-out analysis with suitable modifications.
- The jacking arrangement consists of hydraulic jacks supporting module. The jack is modeled as a pinned joint restrained in vertical direction only.

㉰ Loads

- The design loads are to be taken from the weight control report including contingencies.
  - A support differential displacement shall be applied.
  - Hydraulic Jacking forces to jack up the module structures vertically shall be appllied.
  - The analysis shall cover cases due to loss of support of supports.

(다) Execution

① Fabrication of Process Modules

㉮ Fabrication yards and space allocation

- The yard features fabrication and erection area ensuring year-round fabrication. The entire yard, both open and sheltered, has a complete range of both above ground and underground utilities including compressed air, fresh water, electricity and industry gas supply.
- Facilities operate covered prefabrication shops serviced by overhead cranes, forklifts and hydra/tractor type motorized lifters. Operations in the open yard areas will be supported with a full range of tower cranes, mobile hydraulic and heavy lift crawler cranes. Crane access study is performed prior to module area allocation. This is to

ensure that access is allowed for the critical lifts and erection of heavy equipment.

- Each module is allocated necessary space in respective yard for all activities. The location of each module is assigned based on load-out sequence. The area allocated has each module column marked on the ground and a complete level study is performed in preparation of stool supports positioned prior to erection of structures. All stool supports are custom designed and fabricated.
- Each yard will have dedicated areas for:
  - Raw materials storage
  - Consumable strorage
  - Structural steel preparation
  - Structural steel pre-fabrication
  - Pipe spool fabrication
  - Erection of structures, piping and equipment
  - Crane movements
- Each module shall have a fixed benchmark reference for level alignment throughout the execution of construction. The reference shall be placed in a safe area and protected at all imes from any accidental damage.

㉯ Module Construction

- Structural steel preparation: Material control at the construction site or fabrication yard is essential to prevent loss, over purchase, and misuse of materials. Effective material control also results in a smooth-running job because shortages are identified early, preventing construction delays, and tasks can be planned in advance, based on material delivery schedules and material receipts.
- Structural steel pre-fabrication
- Blasting, painting and fire proofing of pre-fabricated items
- Fabrication of pipe spools: After completion of each weld, required NDT and PWHT as applicable will be performed as per project requirements in the shortest interval possible followed by final inspection of each spool. Pipe spools fabrication covered by separate method statement.
- Painting of pipe spools

- Erection of structures: Painted structures are returned to each respective module location for erection. Construction of each module will start with the fabrication of pipe rack. During preparation of lift plans, structures existing near lifting area shall be considered to avoid any interruption for working of crane and lifting activities as whole. The lifting and upending of towers for each module will be performed on approved detailed lifting plan and engineering study.
- Critical lift preparation: Lifting plans shall be prepared for all critical lifting. As part of the lifting plan preparation, engineering study is performed for the pipe rack structures to be lifted and upended. Detail of Anchoring points for lifting will be specified on lifting plan and certify by client third party. On completion of stress analysis performed stage wise for lifting and upending, lifting aids and additional reinforcing members – as required – are dimensioned and issued to production for execution. Crane movements in and around the lifting area are also studied and sequenced. Erection of structures will be performed with the assistance of tower cranes, forklifts, mobile cranes and crawler cranes. Sufficient area around modules will be availed at all times for free movement of mobile and crawler cranes.
- Equipment installation: Each equipment installation shall follow the recommended practice by original manufacturer. All equipment supports shall be installed prior to equipment installation and levelling of equipment frame shall be done prior to installation. Final alignment of equipment shall be done with piping or with structures and E&I where applicable. All equipment will be inspected on arrival for any shipping or handling damages.
- Erection of pipe spools: Equipment installation shall precede pipe spool installation. Pipe spools erection shall be start only after getting structural clearance/approval. When structures are erected and piping cannot be installed by direct lift into position, erection aids will be used by rollers, existing level openings and chain blocks/chain pullers.
- E&I work: As these activities are in general started after installation of large bore piping, cable trays installation supports shall be the next activity, small bore piping next and cables and instruments last. Electrical and Instrument supports are installed during the structural fabrication. Trays and ladders shall be installed after painting is completed. As rack and tray runs are completed, cables (usually starting with power and control) will be pulled clipped, terminated and tested. Completed electrical circuits are field tested for continuity, leakage and earth connection and recorded on circuit

diagrams for cable number traceability requirements. Completed instrument loops are field tested for leakage, continuity / pressure, function and earth connection and recorded on circuit diagrams for cable / tubing circuit number traceability requirements.

- Pressure testing: Pressure testing including flushing, cleaning, drying and re-instatement. Shop hydrotesting is not required for shop fabricated pipe where the pipe is to be field hydrotested.
- Insulation and fire proofing
- Commissioning: After successful completion of water flushing, air flushing, pressure testing and precommissioning activities the entire system shall be returned to the status of readiness for commissioning.

② Load-out and Marine Transportation

㉮ Required Materials

- Specification and Design Basis
  - Structural Design Basis
  - Weight Control procedure for Module
  - Specification of Load-out, Transportation and Installation of Modules
  - Design Basis for Load-out, Transportation and Installation of Modules
- Drawing List
  - Transportation Arrangement of Module on SMPT
  - Mooring of Barge at Site Jetty
  - Typical Load-out Sequence of Module
  - Stowage Arrangement for Marge Trip
  - Passage Plan
- Reference Documentation
  - Calculations
  - Passage Plan
  - Equipment Date Sheet
  - Site Survey Report

• Focal Point Chart

㉯ Definition of Prerequisites and Initial Conditions for each Parties

㉰ Operational Procedure

– All operations will be preceded by a toolbox meeting that will review the following

• Procedures, requirements and details specified in the work plans and drawings.

• Review of weather concerns, plant activity, escape routes, contingency plans, locations of fire-fighting and personal safety equipment etc.

• Designate key personnel, such as signalmen, tagline handlers etc.

• Complete and sign off all appropriate checklists and safety permits.

• Check the placement of all banners and barricades that define the safety boundaries of the work areas.

• Discuss and give due consideration to any additional appropriate steps that any participant feels is necessary to perform a safe and timely operation.

– Pre-operation Preparatory Works

• Clear and free access is to be provided for all personnel and equipment during the operations at the jetty and project sites.

• The transport route to be suitably prepared to allow safe passage of the loaded trailer, and must be capable of withstanding the loads imposed during the land transportation operations.

• Structural integrity of the Modules during transportation operation as shown on the transport drawings is to be confirmed and approved by Client.

• Centre of gravity position to be clearly marked and or advised prior to transportation of the Modules.

• Assist crane for offloading of equipment to be supplied by Contractor, as required.

– Operational Procedure - Load-out of Modules onto Barge

• Barge arrives and is moored stern-on in readiness for the load-out operation of Piperack Modules.

• Engineered load-out steel plates are installed between the barge and the quayside.

• The barge is preballasted in line with the Ballast calculations.

- The loaded hydraulic SPMT slowly manoeuvres over the load-out plate and roll-on the barge. The barge is ballasted throughout this operation to ensure that the barge deck remains level with the quayside.
- The barge superintendent following the approved ballasting procedure will instruct the transport (trailer) supervisor when to move and when to stop as per the ballasting requirement of the barge.
- Once the Module has been aligned correctly above the pre-positioned grillage, the lashings are removed and the Module is lowered until one or more areas are in contact with the grillage. Level and alignment is checked and if necessary, shims are placed in order to ensure an equal loading. Finally, the Module is lowered completely.
- After the Module is installed, the SPMT is manoeuvred back to Fabrication Yard to load-out the next Piperacks/Modules as per load-out sequence following the procedure above.
- The Modules are sea fastened onto the barge in line with the approved sea fastening calculations. No movement of the barge shall take place until all sea fastenings are completed to withstand towage.
- The load-out plates are removed from the barge deck and the barge is made ready for sail away.

– Operational Procedure - Load-out Abort

- The object of this procedure is to describe the operations to be implemented if it is required to abort the load-out procedure.
- The decision to abort the load out and instigate the retrieval procedure will be taken by the supervisor in consultation with the nominated representative from the Client and Marine Warranty Surveyor. This decision will be made only if it is safer to abort than continue with the load out operation.
- The responsibility for performing the retrieval operation will be with the Project Manager of Transportation Contractor.
- In principle the retrieval operation will take place after High Water on the falling tide. To enable this to occur, it will be necessary to de-ballast the barge up against the falling tide to maintain the level with the quay.
- Tractive effort for the retrieval operation will be provided by the transporters in-built hydraulic drive system.

• The actual retrieval operation will follow in principle a complete reversal of the load out procedure. It will be necessary to reverse the ballast pumps by switching hoses, which can be achieved within the elapsed time prior to retrieval start. Similar barge control methods and parameters to those imposed on the load out will apply.

– Operational Procedure - Marine Transportation

• Vessel's Master shall ensure that provision of fresh water and bunkering for the vessel has been done accordingly for the duration of the sea transportation.

• The vessel's Master shall ensure that normal shipboard pre-departure procedure have been completed to the vessel's Master satisfaction including but not limited to passage planning, pre-departure checklist, state of current/tidal flow, weather conditions, under keel clearance and etc.

• Approval from Marine Warranty Surveyor to be sought prior to departure for sail away. The Marine Warranty Surveyor will require: – weather forecast, barge towing equipment certificates, confirmation of air drafts and air gap(s) for the barge and/or the highest vessel, confirmation that predeparture checklists have been completed by vessel Master's.

• The departure will only commence upon confirmation of an acceptable weather window and forecast as defined within this Method statement.

• The tug will use the stern wire to pay-in/out as required to pull off the jetty then slip two mooring lines, crossed over, onto the barge bitts and tension up.

• Under the guidance of the Berthing Pilot (where required), the tow will proceed out of the jetty and out onto the approved tow route.

• The length of the towing line shall be adjusted at regular intervals to avoid chaffing at the stern rail, and any chance of the towing line touching the sea bed.

③ Load-in and Installation

㉮ Required Materials

– Specification and Design Basis

• Structural Design Basis

• Weight Control procedure for Module

• Specification of Load-out, Transportation and Installation of Modules

• Design Basis for Load-out, Transportation and Installation of Modules

- Drawing List
  - Transportation Arrangement of Module on SMPT
  - Offloading Arrangement of Module
  - Mooring of Barge at Site Jetty
  - Typical Load-in Sequence of Module
  - Rouite Arrangement Towards the Offloading Area for Module
  - Installation Arrangement of Module
- Reference Documentation
  - Calculations
  - Toolbox Talk Proforma
  - Plate Load Test Report
  - Focal Point Chart

㉯ Definition of Prerequisites and Initial Conditions for each Parties

㉰ Operational Procedure

- All operations will be preceded by a toolbox meeting that will review the following
  - Procedures, requirements and details specified in the work plans and drawings.
  - Review of weather concerns, plant activity, escape routes, contingency plans, locations of fire-fighting and personal safety equipment etc.
  - Designate key personnel, such as signalmen, tagline handlers etc.
  - Complete and sign off all appropriate checklists and safety permits.
  - Check the placement of all banners and barricades that define the safety boundaries of the work areas.
  - Discuss and give due consideration to any additional appropriate steps that any participant feels is necessary to perform a safe and timely operation.
- Pre-operation Preparatory Works
  - Clear and free access is to be provided for all personnel and equipment during the operations at the jetty and project sites.
  - The transport route to be suitably prepared by Contractor to allow safe passage of

the loaded trailer, and must be capable of withstanding the loads imposed during the land transportation operations.

- Structural integrity of the Module during transportation operation as shown on the transport drawings is to be confirmed and approved by Contractor.
- Centre of gravity position to be clearly marked and or advised prior to transportation of the Module.

– Operation Procedure - Load-in of Modules at Jetty of Site

- Prior to arrival of the Barge carrying the Modules, the SPMTs are mobilised to Jetty of site.
- Upon completion of mobbing the SPMTs into the required configuration, the hydraulic connections and the operation of the SPMTs are checked.
- The barge arrives and is moored stern-on in readiness for the load-in operation of Piperack/Modules.
- Engineered load-out/in steel plates are installed between the barge and the quayside.
- Sea-fastening is cut and removed for the Modules as per Marine Warranty Surveyor requirements.
- Once the sea-fastening is removed, the SPMTs are positioned and aligned underneath the Module to be rolled-off.
- Once the SPMTs are positioned and aligned, the trailer bed is raised, using integral hydraulics of the SPMTs, lifting the Module off its supports.
- Transport lashings are attached between the SPMTs and Module.
- A final check is made on all hydraulic and electrical connections and the bed is further raised, lifting the Piperack/Module clear of the supports.
- The Barge is pre-ballasted in line with the Ballast calculations.
- The loaded hydraulic SPMT slowly manoeuvres over the load-out/in plate and roll-off the Barge. The Barge is ballasted throughout this operation to ensure that the barge deck remains level with the quayside.
- The barge superintendent following the approved ballasting procedure will instruct the transport (trailer) supervisor when to move and when to stop as per the ballasting requirement of the barge.

- The SPMTs slowly manoeuvres the Module away from the jetty of site towards the foundation area as per the agreed route.
- The SPMTs manoeuvre towards the foundation at the site for jacking down onto the foundation.
- After the Module is installed, the SPMT is manoeuvred back to Barge to pick-up the next Modules as per delivery sequence following the procedure above.

– Operation Procedure - Load-in Abort

- The object of this method statement is to describe the operations to be implemented if it is required to abort the load-in procedure.
- The decision to abort the load-in and instigate the retrieval procedure will be taken by the supervisor in consultation with the nominated representative from the Client. This decision will be made only if it is safer to abort than continue with the load-in operation.
- The responsibility for performing the retrieval operation will be with the supervisor.
- In principle the retrieval operation will take place after High Water on the falling tide. To enable this to occur, it will be necessary to ballast the barge up against the falling tide to maintain the level with the quayside.
- Tractive effort for the retrieval operation will be provided by the transporters in-built hydraulic drive system.

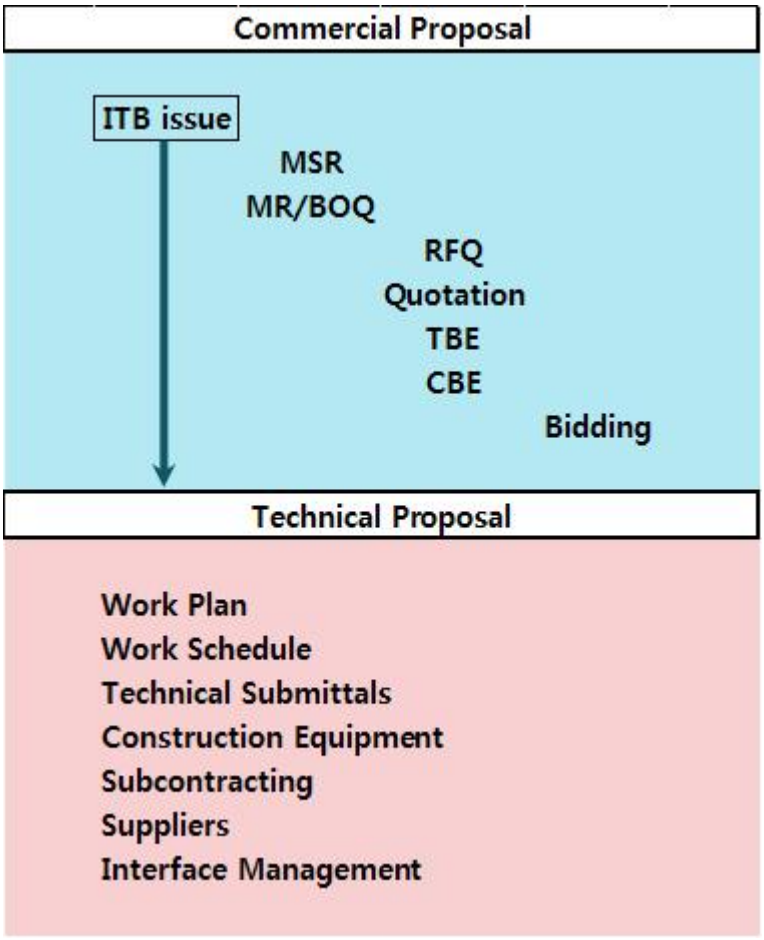
– Operation Procedure - Installation

- The Module on SPMTs arrives at its designated foundation.
- The Module is maneuvered along the prepared trailer path directed by the transport supervisor.
- The transport path marked along the foundation indicates the correct position for SPMT to align the Module between the foundation concrete pedestals.
- The Piperack/Module is manoeuvred / aligned into final position.
- Transport lashings are removed between the SPMTs and the Module.
- Module is lowered onto the foundation with minimum gap using the integral hydraulics of the SPMTs and final adjustments will be done.
- Upon approval of client representatives the SPMTs are further lowered transferring the complete weight onto the foundations.

- The SPMTs are withdrawn beneath the Module and maneuvered back to the Barge for the next Module to be installed as per delivery sequence.

나. 협업단위 모듈화 고유모델

협업단위 모듈화 고유 모델 개발에 앞서 플랫폼의 요건을 발굴하기 위한 작업으로 플랜트 사업의 일반적인 사업 프로세스를 정리하였다. 사업 프로세스는 사업자별 조직 구성 등의 차이가 있으므로 아래 그림과 같이 입찰과 수행의 2단계로 정리하였다. 입찰은 상업입찰과 기술입찰을 진행하는 과정이고 수행은 입찰서를 제출한 내용에 따라 Engineering, Procurement, Construction을 수행하는 과정이다.



[그림 2-124] 입찰단계 체크리스트

기본설계 (발주처 w/Licensor)	FEED (FEED 용역사)	상세설계					
		1. Specification					
		2. 응력해석/계산서					
		3. 도면					
		4. 3D 모델링 (시공성)					
		5. 공사 물량					
	입찰설계	Vendor List	견적요청/접수	PO / 계약 / 제작	Ex-work / FOB	출항 / 통관	내륙운송
	1. 입찰 물량	1. AVL	1. 초도입찰 / TBE	1. Payment method			
	2. 구매 Item List (Tagged/Bulk)	2. 비승인업체 추천	2. 최종입찰 / CBE	2. Vendor data			
	3. 하도 Scope		3. Nego				
		가설시설물	하도/시공업체 선정	하도계획 / 시공관리	시공 (계속)	시운전	하자보수
			1. Subcon. List	1. 하청계약관리	1. 토목	1. Mechanical completion	1. Punch clear
			2. PQ	2. 하청시공관리	2. 철골 / UG / 건축	2. Pre-commissioning	
			3. 견적		3. 철골 / AG / 건축 *Spool 제작 @workshop	3. Commissioning	
			4. 초도입찰			4. Start-up	
			5. SOW협의 (인원, 장비, 자재, 간접비)		4. 기계 / Transformer		
					5. 배관, 전기, 계장		
			6. LOI / 계약		6. Energizing		
					7. Lighting		

[그림 2-125] 수행단계 체크리스트

본 연구에서는 플랜트 사업 프로세스를 바탕으로 모듈화 영향범위에 대한 연구를 수행하였다. 프로젝트의 산출물을 계획서, 절차서, Philosophy, 사양서, 설계기준, 계산서, 보고서, 작업절차서로 세분하고, 모듈관련 작업절차서로부터 연관문서를 역으로 추적하여 모듈공사 시 갖추어야 할 액티비티를 확인하였다. 이러한 필수 액티비티와 이와 관련된 산출물은 협업단위 모듈화 플랜트 사업 수행 플랫폼이 확보해야 할 필수적인 요건으로 정리되었다.

Plan	Procedure	Philosophy	Specification	Design basis	Calculation	Report	Method Statement
	weight control procedure for module		specification of load-out, transportation and installation of module	structural design basis	trailer stability calculation	plate load test report	**MS for load-in and installation of piperack**
				design basis for load-out, transportation and installation of module	lashing calculation		
					ballast calculation *		
passage plan	weight control procedure for module		specification of load-out, transportation and installation of module	structural design basis	trailer stability calculation	typical site route survey for piperack at Denholm Yam fabrication towards jetty	**MS for laodout and marine transportation of piperack**
				design basis for load-out, transportation and installation of module	lashing calculation		
					ballast calculation *		
					mooring calculation		
					load-out/load-in plate calculation		
					bollard pull calculation		
	weight control procedure for module		specification of load-out, transportation and installation of module	structural design basis		smaple weight report	**MS for weighing procedure of piperack**
			specification of weightors	design basis for load-out, transportation and installation of module		checklist and Denholm load test report	
			sepcification for fabrication of steel	civil design basis	**calculation noet for process module**		
			specification for erection of steel	structural design basis	**calculation noet for module foundation**		
			specification for plain and reinforced concrete construction				
	weight control procedure for module			structural design basis		**weight control report for modularized process structure**	
				design basis for load-out, transportation and installation of module			

[그림 2-126] 모듈관련 작업절차서와 연관 문서 리스트

(1) 플랜트 모듈화 건설 요건 발굴

(가) 개요

① Modularization 프로젝트 기획 개요

모듈화로 진행되는 플랜트 프로젝트는 기존의 프로젝트와는 다르게 더 많은 요소들을 고려하여 진행해야 한다. 프로젝트를 모듈화로 진행하게 되는 사유에는 지리적, 환경적 요구사항 등과 같은 불가피한 조건, 비용 및 시간 절감을 위한 선택적 조건 등이 있다. 두 가지 경우 모두 비용의 제한이 있으며, 비용대비 최적의 조건을 찾아야하므로 프로젝트 진행에 대한 결정의 타당성을 평가하여 참여여부를 결정지어야 한다.

플랜트 프로세스의 큰 단계는 입찰, 설계, EPC의 3단계이며, 각 단계별로 세분화 된 업무가 진행된다. 기존의 Stick-build 타입의 프로젝트에서는 상황에 맞게 각 단계별로 일정 및 비용 등을 조정할 수 있다. 반면에 모듈화 타입의 프로젝트에서는 초기 입찰 단계에서부터 일정 등이 결정되며, 설계 단계에서부터 EPC 단계까지 제작과 구매, 건설 공사가 동시에 진행된다. 각 단계는 유기적으로 얽혀있어 하나의 일정 또는 비용의 문제가 뒤의 단계에도 큰 영향을 주며 경우에 따라 변경이 불가능할 수 있다. 특히 문제 발생으로 인한 운송 지연 등이 발생하면 막대한 손실이 발생할 수 있다.

CII(Construction Industry Institute)에서는 모듈화와 관련하여 'Five Solution Elements(다섯 가지 요소 방법론'을 기본 요소로 사용한다. 각 요소는 다음과 같다; 1) Business case process(사업 단계별 프로세스), 2) Excution plan differences(실행 계획 차이점), 3) Critical success factors(주요 성공요인), 4) Standardization strategy(표준화 전략), 5) Modularization maximization enablers(모듈화 극대화 방안). 주요 내용에서는 Stick-build 타입과의 차이점을 중점으로 정의되어 있다.

<표 2-23> 다섯 가지 방법 요소와 그 내용

다섯 가지 방법 요소	내용
1)사업 단계별 프로세스	- 단계별 주요 업무와 모듈화를 위해 고려해야 할 변수 정의
2)실행 계획 차이점	- 실행 단계에서 Stick-build와의 차이
3)주요 성공요인	- 가장 중요한 성공요인
4)표준화 전략	- 표준화의 중요성과 그 전략
5)모듈화 극대화 방안	- 모듈화를 극대화시키기 위한 방안

모듈 프로젝트를 진행할 때 Stick-build와 프로세스 관리상 가장 큰 차이는 초기 단계를 세분화하여 진행해야 한다는 것이다. CII 보고서에서는 기본 설계전의 단계를 3단계로 나누고 각 단계를 거치면서 비용, 일정의 정확도를 높여나가는 것이 프로젝트의 성공 여부에 큰 영향을 주는 것으로

나타나 있다. 각 단계를 거치면서 설계 단계에서 비용, 일정의 오차 범위가 10% 이내여야 EPC 단계에서 프로젝트를 원활히 진행할 수 있다.

또한, 모듈화가 EPC에서 다른 프로젝트에 비해 예측이 불가능한 것은 모듈화가 갖는 리스크가 기존의 프로젝트보다 많으며, 기존의 리스크도 모듈화를 진행함에 따라 그 중요도가 달라지기 때문이다.

아래는 큰 범위의 리스크를 비교한 표이다.

<표 2-24> 모듈 타입과 Stick-build 타입의 프로젝트 리스크 비교

리스크	Stick-build	Modular
엔지니어링 설계	-	빠른 시작/초기 설계안 고정
구매	-	선택적 구매
조립	지역 환경/인력	날씨/경험
운송	지연/손상 등	큰 단위 모듈 운송
환경	지대한 영향/공기 지연	-
노무	외부 인력 투입/지역 경제에 영향	지역 환경에 영향 최소
건설	날씨/노무/기간	현장과 조립 장소 간 협조
건설 현장	최대 규모 필요	제한된 규모

이는 고려해야 할 사항의 일부에 불가하며, 더 많은 요소들을 연구를 통해 도출하여야 정확도 높은 결정 프로세스를 확립할 수 있다. 특히 기존 프로젝트의 경험에서 얻은 다양한 데이터들을 결집하여 주요 인자들을 이끌어내어 프로세스에 적용하는 것이 중요하다.

② 플랜트 모듈화 사례

연구 결과의 타당성을 확보하고 개발된 요건의 실용성을 높이기 위해 현재 진행되고 있는 모듈화 프로젝트에 대한 조사를 수행하였다. 프로젝트는 현재 UAE에서 진행되고 있는 사브 해상 원유 및 가스처리시설 공사 패키지 4 프로젝트(Satah Al Razboot Plant Facilities Project Package 4)로 아부다비(Abu Dhabi) 북서쪽 140km 떨어진 지르쿠(Zirku)섬과 인공성 2곳에 원유 및 가스처리시설을 건설하는 공사로, 하루에 원유 20만 배럴과 가스 3,500 입방 피트를 처리하는 시설, 원유 집하 배관망, 화학물질 주입 설비 등의 시공이 진행되고 있다. 프로젝트의 발주처는 ADMA-OPCP(Abu Dhabi Marine Operating Company)이다.

본 프로젝트는 협소한 섬에서 진행되는 공사로 인력 및 장비의 운용이 제한적이어서 모듈화 공법의 적용이 발주처로부터 요구되었다. 모듈은 다음의 표에 나타나 있는 것처럼 4개 종류, 총 79개이며 모듈화 공법의 적용은 아래에 서술되어 있는 것처럼 모듈의 설계, 제작, 운반, 설치의 순서로 진행되었다.

프로젝트의 수행에 적용된 프로세스는 각각의 작업 단계에 따른 필요 산출물과 작업 단계를 조사하였고, 이를 토대로 모듈화 사업 수행의 프로세스의 각 작업 단계별 요건을 발굴하였다. 이는 (나) 수행내용에 정리하였다.

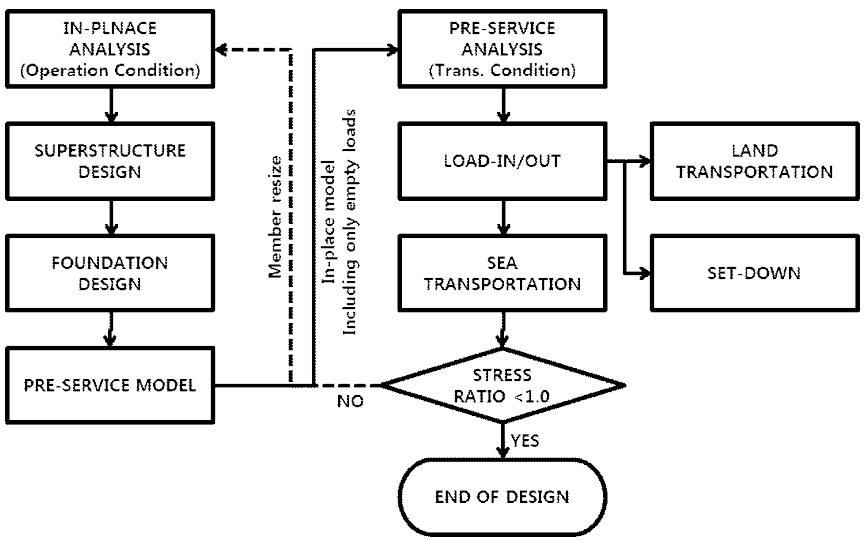
<표 2-25> 사브 프로젝트 모듈 현황

모듈	수량	최대중량 (ton)	평균 크기(m)		
			길이	폭	높이
Piperack 모듈	37	368	32.7	7.8	16.8
Process 모듈	30	1,769	36.9	21.0	23.2
변전소 모듈(MEES)	10	888	42.0	10.2	8.9
콘트롤 빌딩 모듈(LER)	2	401	32.0	10.5	10.6
합계	79	36,770			

㉮ 모듈 설계

모듈화를 위해서는 초기에 설계가 확정되어 시공 중 설계가 변경되어서는 안 된다. 모듈화에 있어서 설계의 확정은 일반적인 운전 요건에 대한 설계인 In-place analysis 뿐만 아니라 운송 요건(Load-in/out, Sea transportation, Land transportation)에 대한 설계인 Pre-service analysis 까지를 의미한다. 아래 그림은 이와 같은 설계 흐름을 나타낸다.

Pre-service Analysis 에서는 Load-in/out과 Transportation 시의 안전성 확보를 위해 모듈의 지점이 소실되거나 과도한 변위가 발생하는 경우에 대해서도 해석을 수행하며, 또한 해양 운반 시 운송선박의 안정성(Stability)을 확보하기 위하여, 임시 보강재인 Sea fastening에 대한 설계를 추가로 수행하게 된다.

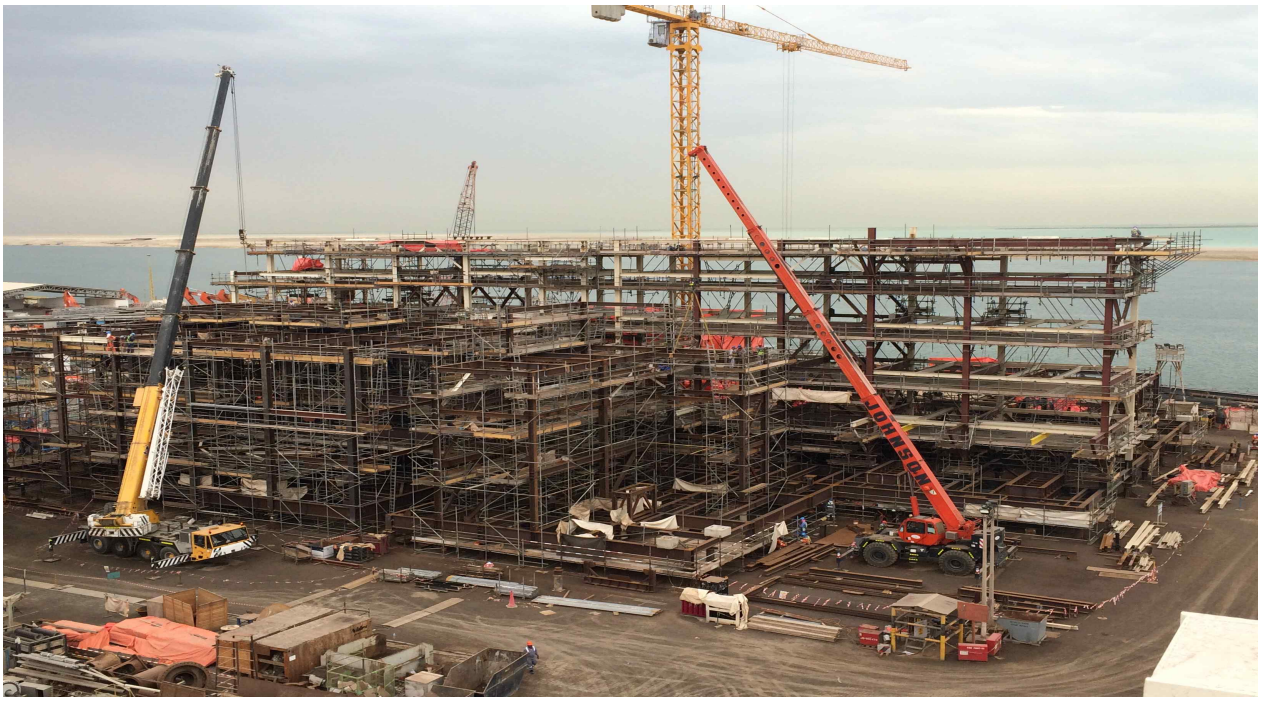


[그림 2-127] 모듈 설계 흐름도

㈏ 모듈 제작

변전소 모듈은 한국에서 제작되고 있고, 그 외의 모듈은 아부다비에 위치한 Denholm Yam과 Adyard의 두 개의 제작장에서 제작되고 있다. Denholm Yam에서는 파이프랙 모듈, 프로세스 모듈 등 총 57개의 모듈을 제작 중이고, Adyard에서는 프로세스 모듈 12개가 제작 중이다.

제작이 완료되어 Load-out 직전 상태의 모듈은 육상 및 해상 운송 중, 전도 및 과도한 변형 등을 방지하기 위해 설계 시 계산된 무게와 무게 중심(COG)이 실제 제작된 모듈과 일치하는지 확인하는 절차인 Weighing을 수행하게 된다. Weighing은 부재에 부착된 변형률 게이지와 지점부 강재에 위치한 로드셀을 이용하여 모듈의 무게와 무게 중심을 산출하고 이를 설계 시에 계산된 값과 일치하는지 확인하는 절차로 진행된다.



[그림 2-128] Adyard 제작장에서 제작 중인 프로세스 모듈



[그림 2-129] Denholm Yam 제작젱에서 제작 중인 파이프랙 모듈

㉰ 모듈 운송

사브 프로젝트의 경우에는 아부다비 지역의 제작장에서 모듈이 제작되어 지르쿠섬과 인공섬으로 운송되어 설치된다. 모듈의 운송은 제작장으로 부터 바지선에 선적하기까지의 과정(Load-out)과 바지선에서 섬에 하역(Load-in)하여 설치 지점까지 이동하는 과정의 육상 운송, 그리고 바지선으로 아부다비에서 지르쿠섬 또는 인공섬으로 운반하는 해상 운송으로 나뉜다.

육상운송은 40톤/축의 용량을 갖는 SPMT(Self Propelled Modular Transporters) 두 대를 병렬로 연결하여 운송에 활용하고 있다. 해상 운송은 최대 길이 130m인 3대의 바지선을 이용한다. 해상 운송 시 운송되는 모듈의 무게, 무게 중심에 대한 해석을 통해 Sea fastening 작업을 진행하고 이를 통해 해상에서 발생할 수 있는 바지선의 거동에 대응할 수 있도록 한다. 바지선에 모듈을 선적, 하역하는 제티에서의 안전관리도 철저히 이루어져, 조수간만의 차로 변동하는 수심과 바지선의 흘수(선체가 물에 잠기는 깊이나 정도) 등도 관리 대상으로 포함되어 있다. 또한 해상 운송은 풍속, 파고, 조수, 가시거리 및 최근 72시간 기상 추세 등의 기상 조건 또한 관리되고 있다.



[그림 2-130] 바지선을 이용한 해상 운송

㉮ 모듈 설치

해상 운송된 모듈은 지르쿠섬과 인공섬에 Load-in 과정을 거쳐 설치된다. 모듈의 설치는 모듈의 설치시기, 운송 경로 등을 고려해 이와 관련되는 토목 시공 계획을 사전에 수립하고 모듈 설치 시에는 이에 대한 변동이 발생하지 않아야 한다. 또한 모듈 제작 후 설치 시에 제작 오차 발생 시 일반적인 stick-built 공법과는 달리 현장에서의 수정이 어렵기 때문에 철저한 정도관리가 이루어져야 한다. 본 프로젝트에서는 제작, 운송 전·후, 설치 단계에서 모듈 및 현장 기초에 대한 철저한 계측을 수행하여 모듈 조립 시 발생할 수 있는 정도 관리 문제들을 예방하였다.



[그림 2-131] 지르쿠섬 현장 전경

(나) 수행 내용

앞서 살펴본 것처럼 플랜트 EPC사업에서 모듈은 Critical Path로 작용하여 사업의 절차 및 scope에 영향을 미치고 있다. 이에 본 연구진은 EPC 계약자의 관점에서 사업을 결정짓는 요소를 정의하고 모듈화의 적용효과를 평가하고자 한다.

모듈화의 영향범위를 도출하는 방법으로는, 프로젝트 비용 산출 및 수행계획 작성항목을 바탕으로 경쟁요인을 분석하고 플랜트 공사담당 실무자 면담을 통하여 국내 EPC 사업자들의 사업구조를 표준화하고자 하였다. 또한 사업수행절차의 구조화를 위하여 선행 연구자료를 분석하여 보편적이고 합당한 구조를 작성하고자 하였다.

① 일반사업 수행 프로젝트

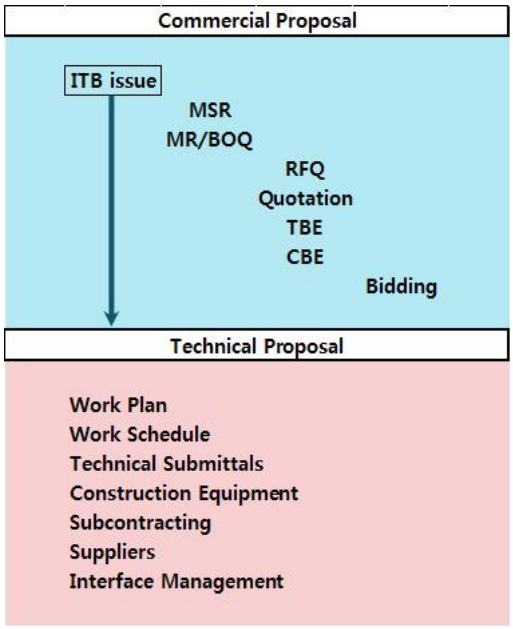
플랜트 EPC사업의 기획 및 평가 요인 분석을 위하여 프로젝트 입찰부터 수행까지의 전체 사업 프로세스를 작성하였다. 사업자별 조직구성이나 업무분담체계에 차이가 있으므로 본 연구에서는 표준 프로세스 작성을 위하여 사업의 산출물을 중심으로 액티비티를 작성하였다.

프로젝트의 근간이 되는 문서는 발주처에서 배부하는 ITB(Instruction to bidders)라고 할 수 있다. ITB에 담긴 프로젝트 사양과 역무범위, 일정, 기본설계 자료를 바탕으로 상업입찰에서는 공사비를 추정하고, 기술입찰에서는 프로젝트 수행 계획을 수립하게 된다.

상업입찰을 위해서는 입찰설계에 들어가는데, 공사비를 추정하기 위한 물량산출이 주요 업무이다. 자재의 사양(MR, Material requisition)과 물량(BOQ, Bill of quantities)이 정확하게 나올수록

공사비 산출이 정확해지므로 ITB에 제시된 사양을 면밀히 검토하여야 한다. 또한 견적 시에는 반드시 견적조건을 명시하여 위험요인을 식별할 수 있어야 한다.

기술입찰은 프로젝트를 수행함에 있어 사업자가 가진 자원을 어떻게 배치하고 제어할 것인가에 대한 수행계획을 제시한다. 특히 프로젝트 스케줄과 주요 사양 검토, 문서 리스트 작성이 기술입찰 단계에서 이루어지므로 상업입찰과 긴밀하게 협조하여야 한다.



[그림 2-132] 입찰단계 체크리스트

기본설계 (발주처 w/Licensor)	FEED (FEED 용역사)	상세설계					
		1. Specification					
		2. 응력해석/계산서					
		3. 도면					
		4. 3D 모델링 (시공성)					
		5. 공사 물량					
	입찰설계	Vendor List	견적요청/접수	PO / 계약 / 제작	Ex-work / FOB	출항 / 통관	내륙운송
	1. 입찰 물량	1. AVL	1. 초도입찰 / TBE	1. Payment method			
	2. 구매 Item List (Tagged/Bulk)	2. 비승인업체 추천	2. 최종입찰 / CBE	2. Vendor data			
	3. 하도 Scope		3. Nego				
		가설시설물	하도/시공업체 선정	하도계획 / 시공관리	시공 (계속)	시운전	하자보수
			1. Subcon. List	1. 하청계약관리	1. 토목	1. Mechanical completion	1. Punch clear
			2. PQ	2. 하청시공관리	2. 철골 / UG / 건축	2. Pre-commissioning	
			3. 견적		3. 철골 / AG / 건축	3. Commissioning	
			4. 초도입찰		*Spool 제작 @workshop	4. Start-up	
			5. SOW협의 (인원, 장비, 자재, 간접비)		4. 기계 / Transformer		
			6. LOI / 계약		5. 배관, 전기, 계장		
					6. Energizing		
					7. Lighting		

[그림 2-133] 수행단계 체크리스트

다음으로, EPC 프로젝트를 수주하게 되면 프로젝트 조직을 구성하고 상세설계를 바탕으로 한 실제 프로젝트 수행계획을 수립하게 된다. 아래 그림은 EPC 단계별 체크리스트를 단순화한 것으

로, 대다수의 프로젝트가 Fast-track 방식으로 진행되는 것을 고려하였다. 발주처의 FEED가 확정되면 사업자는 상세설계에 들어가며 프로젝트를 지휘하게 된다. 이때 Fast-track 방식에서는 FEED 확정 전 입찰설계 물량을 근거로 Vendor 및 subcontractor 선정을 진행한다. 공종별로는 토목공사가 가장 먼저 현장에 투입되며 철골, 배관, 건축, 기계, 전기, 계장의 순서로 진행된다. 입찰단계에서 조직, 자원, 절차, 시스템과 같은 수행계획을 작성하는 반면, 수행단계에서는 상세설계가 진행됨에 따라 시공도면, 각종 계산서, 3D 모델 등이 산출된다. 이러한 설계도서를 바탕으로 작성된 작업절차서를 기본으로 하여 현장시공이 이루어지게 된다.

② 모듈화 관련 액티비티

본 연구진은 플랜트 사업 프로세스를 바탕으로 모듈화 영향범위에 대한 연구를 수행하였다. 프로젝트의 산출물을 계획서, 절차서, Philosophy, 사양서, 설계기준, 계산서, 보고서, 작업절차서로 세분하고, 모듈관련 작업절차서로부터 연관문서를 역으로 추적하여 모듈공사 시 갖추어야 할 액티비티를 확인하였다.

Plan	Procedure	Philosophy	Specification	Design basis	Calculation	Report	Method Statement
	weight control procedure for module		specification of load-out, transportation and installation of module	structural design basis	trailer stability calculation	plate load test report	**MS for load-in and installation of piperack**
				design basis for load-out, transportation and installation of module	lashing calculation		
					ballast calculation *		
passage plan	weight control procedure for module		specification of load-out, transportation and installation of module	structural design basis	trailer stability calculation	typical site route survey for piperack at Denholm Yam fabrication towards jetty	**MS for laodout and marine transportation of piperack**
				design basis for load-out, transportation and installation of module	lashing calculation		
					ballast calculation *		
					mooring calculation		
					load-out/load-in plate calculation		
					bollard pull calculation		
	weight control procedure for module		specification of load-out, transportation and installation of module	structural design basis		smaple weight report	**MS for weighing procedure of piperack**
			specification of weightors	design basis for load-out, transportation and installation of module		checklist and Denholm load test report	
			sepcification for fabrication of steel	civil design basis	**calculation noet for process module**		
			specification for erection of steel	structural design basis	**calculation noet for module foundation**		
			specification for plain and reinforced concrete construction				
	weight control procedure for module			structural design basis		**weight control report for modularized process structure**	
				design basis for load-out, transportation and installation of module			

[그림 2-134] 모듈관련 작업절차서와 연관 문서 리스트-1

Plan	Procedure	Philosophy	Specification	Design basis	Calculation	Report	Method Statement
project execution plan construction HSE plan lifting plan for procedure water treatment module	fabrication and erection procedure for structures fabrication and erection procedure for piping heavy and critical lifts procedure Adyard-bolt tightening procedure Adyard-material protection, storage and handling Adyard-MS for instrument equipment installation Adyard-MS for equipment installation painting procedure fireproofing procedure ITP-structural steel WPS&PQRs- structural steel dimensional control procedure material control procedure ultrasonic examination procedure magnetic particla examination procedure radiographic examine procedure scaffodling procedure tower crane MS						MS and fabrication sequence of process module
	weight control procedure for module	**modularization philosophy**	sepcification for site preparation, excavation and backfill sepcification for fabrication of steel specification for erection of steel specification for passive fire protection specification of load-out, transportation and installation of module	civil design basis structural design basis design basis for load-out, transportation and installation of module			

[그림 2-135] 모듈관련 작업절차서와 연관 문서 리스트-2

모듈관련 현장 작업절차서의 종류로는 모듈의 선적과 하역 절차, 칭량(Weighing) 절차 그리고 제작 순서(Fabrication Sequence)가 있다. 모듈의 선적과 하역, 칭량의 경우 모듈화 하지 않고 현장(Site)에서 직접 설치하는 경우 고려하지 않아도 되는 모듈에 특화된 작업으로 볼 수 있으며, 이를 위하여 각종 구조안정성 계산 및 측량이 추가되었다. 또한 이러한 구조영향을 반영하기 위하여 구조물(모듈)의 설계 기준 또한 변동되는 것을 확인할 수 있다. 특히 연관된 프로젝트 절차서와 계획서를 살펴보면 모듈이 독립적인 액티비티가 아니라 프로젝트 전반에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 주변 구조물의 제작/설치와 중장비 사용계획, 정도관리 절차 상에 모듈관련 사항이 포함되어야 하며, 모듈제작 시에는 프로젝트의 안전, 시험, 도장 등의 절차를 준수하여야 한다.

③ 모듈화 플랜트 사업수행 플랫폼 요건 발굴

일반적인 플랜트 EPC 프로젝트의 수행절차와 모듈작업절차를 상호 고려하여 모듈화 전략이 포함해야 할 요건을 발굴하였다.

모듈은 기존 하청 또는 직영으로 수행하던 공사가 Vendor를 통해 제작된 제품을 구매하는 조달 단계로 변경되는 특징이 있다. 그러나 단순 기자재가 아닌 주변 플랜트 구조물과 연결되는 시스템으로 분류되므로 EPC 사업자의 관리감독이 중요한 것으로 판단된다. 따라서 플랜트 품질관리를 위하여 자재조달, 제작, 운송의 scope을 사업자와 제작사, 운송사 간에 적절히 협의해야 할 것이다. 또한 제작이 완료된 모듈을 Load-out하는 시점을 예측하여 모듈제작사 계약 시 반영해야 한다. 모듈 운송을 위한 조건을 설계에 반영하고, Load-out 및 Load-in이 허락되는 운송(기상)여건을 맞출 수 있는지 면밀히 검토하여 모듈화 전략을 구사해야 할 것이다. 특히 해상운송 변수에 대한 설계 고려사항이 증가하므로 전담팀을 구성하여 설계가 지연되지 않도록 유의해야 한다.

(다) 결론

①주요 결과

플랜트 모듈화 프로젝트의 협업 플랫폼 개발을 위해서는 개발되는 플랫폼이 적절한 성능을 발휘할 수 있도록 필수적인 요소 기술을 포함하고 있어 실제 사업 수행에 효율적으로 적용될 수 있어야 한다. 이에 본 기관에서는 실제 모듈화 사업 수행에 있어서 반드시 수행되어야 할 필수 액티비티와 이에 따른 산출물에 대한 조사를 수행하여 플랫폼의 필수 요건을 확립하였다.

모듈화 사업 수행을 위한 필수 액티비티와 산출물들의 정립에 앞서 일반적인 플랜트 사업 수행과 관련된 프로세스에 대한 조사를 선행하였다. 프로세스는 크게 입찰과 수행으로 나누어서 각각의 업무 단계의 체크리스트를 정리하였으며, 이를 토대로 모듈화 플랜트 사업 수행 프로세스에 있어서의 작업절차서와 연관 문서 리시트를 정립하였다. 각각의 작업 리스트는 일반 플랜트의 사업 수행과는 다르게 모듈화를 적용했을 경우 생산되어야 하는 문서를 나타내므로 이는 곧 모듈화를 위해 각각의 작업 단계에서 필수적으로 수행되어야 하는 액티비티를 의미한다. 최종적으로 이와 작업절차서와 관련된 연관 문서 리스트들은 필수 액티비티에 앞서 선행되어야 하는 액티비티와 이를 통해 제공되어야 하는 산출물을 의미하므로 이를 사업 수행 단계별로 정립한다면 최종적인 모듈화 플랜트 협업 플랫폼이 확보해야 하는 요건으로 정의될 수 있다.

② 향후 계획

현재까지 조사된 모듈화 프로젝트의 사업 수행 프로세스, 필요 액티비티 및 각 단계의 산출물은 실제 프로젝트를 수행하는 실무 수행 시스템과 각 분야의 실무진들의 의견을 취합하여 정립한 내용이다. 그러나, 촉박한 실무 수행의 기간으로 인해 모듈화 사업 수행에 있어서의 대안 및 개선안 도출은 미흡한 현실이다. 본 연구에서는 향후 다양한 전문가 의견과 다양한 실무진들의 의견을 취합하여 개선 가능한 공정을 도출하고 최적의 효율을 확보할 수 있는 최적의 프로세스를 제안할 계획이다.

(라) 성과점검기준

① 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치(2차년도)
모듈화 수행절차 요건 적합도	• 개발될 연구결과의 수요처의 관점에서 플랫폼이 확보하고 있어야 하는 프로세스 모델의 요건을 확립하는 것을 질적 성과지표로 설정하였다. • 연구단의 연구개발 결과인 플랜트 협업 플랫폼이 모듈화 사업 수행 프로세스에 있어서 각각의 작업 단계별로 적절한 성능을 발휘할 수 있도록, 요소 기술들을 포함하고 있어야 한다. 이러한 필요 기술들은 요건이라고 정의되며, 본 연구기관과 같은 기술의 수요처에서 설정되어야 한다. 따라서, 연구단의 연구 개발 방향과 최종 연구 성과의 품질과 연관되어 있는 프로세스 모델 요건의 확립이 본 연구기관의 성과지표로 설정되는 것은 타당하다.	90%

② 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성여부
모듈화 수행절차 요건 적합도	• 모듈화 수행절차 적합도 = (연구성과(모듈화 수행절차 요건) 구성)/(건설 사업 수행절차 요건) × 100	•	• 건설사업 수행절차 구성 vs. 연구성과의 모듈화 수행절차 구성 유사성 조사 • 업체/현업종사자 설문	

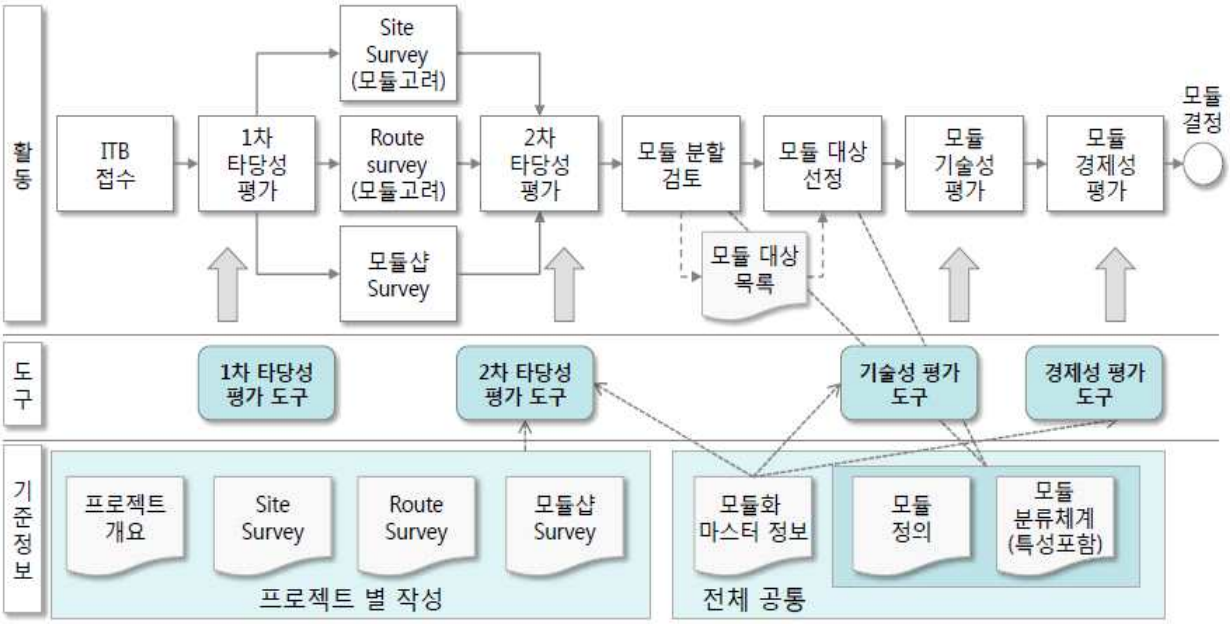
다. 모듈화 건설 의사결정 방법론

(1) 개요

모듈화 건설 의사결정은 발주자에 의한 기획, 기본설계 단계에 수행되는 절차로서 프로젝트의 성공적 수행을 위한 모듈화 도입 시나리오를 구성하게 된다. 국내의 EPC 기업에서는 사업 공고 및 ITB 접수 후 사업 참여 검토를 위한 의사 결정 도구로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

모듈화 건설 의사결정은 미국 CII PPMOF strategic tool 일부 참조하여 사업 검토 단계에서부터 입찰 전까지 3~4차 단계적 접근에 의하여 이루어지며, 타당성 평가를 위한 수집정보의 수준에 따라서 1단계 타당성 평가, 2단계 타당성 평가, 기술 구현성 평가, 경제성 평가 등 절차에 의하여 수행된다.

(본 연차실적계획서에서는 단계별 모듈화 건설 의사결정 절차를 간략하게 정리하였으며, 세부내용은 별도 발간한 Plant Modular D&D(Decision & Design) Procedure 참조)



[그림 2-136] 콤팩트-모듈화 의사결정 프로세스 개요

(2) 수행 내용

(가) 모듈화 의사결정

모듈화 건설 의사결정은 레벨 1 의사결정 도구는 일정, 노동력, 안전, 환경/법규, 현장조건, 현장 접근성 등 사업공고, ITB 등 기본정보를 통한 프로젝트 일반사항, 현장 정보, 운송 정보 등 정보를 기반으로 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.

<표 2-26> 모듈화 레벨1 의사결정 도구

구분	평가기준	가중치	평가결과
일정	• 프로젝트 일정에 대한 중요한 제약이나 필요 요건이 있는가? 플랜트 모듈화 건설을 통하여 플랜트 건설 일정상 제약을 해소할 수 있다.	1 ~ 5	예 / 불확실 / 아니오
노동력	• 프로젝트 현장에서 활용 가능한 지역 노동력이 부족한가? 플랜트 모듈화 건설을 통하여 원격지 노동력을 활용하여 현지 노동력 제약을 해소할 수 있다.	1 ~ 5	예 / 불확실 / 아니오
안전	• 플랜트 모듈화 건설을 통하여 안전상의 위험을 감소시킬 수 있는가? 플랜트 모듈화 건설은 지반이나 통제된 기후와 같은 유해환경이 완화된 장소로 제작샵을 이동시킬 수 있다.	1 ~ 5	예 / 불확실 / 아니오
환경, 법규	• 주요한 제약환경, 법률, 규제 등 프로젝트의 수행이 제한되는 고려사항이 잇는가? 플랜트 모듈화 건설을 통하여 환경, 법규적 제한요소가 해소되는 동안 병행 진행 가능한 과업이 있는가?	1 ~ 5	예 / 불확실 / 아니오
현장조건	• 기상이변 혹은 사회 기반 시설의 부족과 같이 프로젝트를 수행하는데 영향을 미치는 주요한 현장 조건이 있는가? 플랜트 모듈화 건설을 통하여 잠재적으로 더 유리한 환경으로 조업지를 이동 가능하다.	1 ~ 5	예 / 불확실 / 아니오
현장 접근성	• 항만, 도로, 철도 등 현장 접근을 위한 유효한 루트가 존재하는가? 플랜트 모듈 대형화는 모듈화 건설 장점을 최대화 할 수 있다.	1 ~ 5	예 / 불확실 / 아니오

<표 2-27> 플랜트 모듈화 레벨2 의사결정 도구(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 2-28> 플랜트 모듈화 레벨2 타당성 평가도구(일정 기준 세부평가표 예시)

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 위험요소	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.	○	○	●	○	○	○

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.

<표 2-29> 플랜트 모듈화 건설 의사결정 평가기준간 쌍대비교 및 우선순위 평가

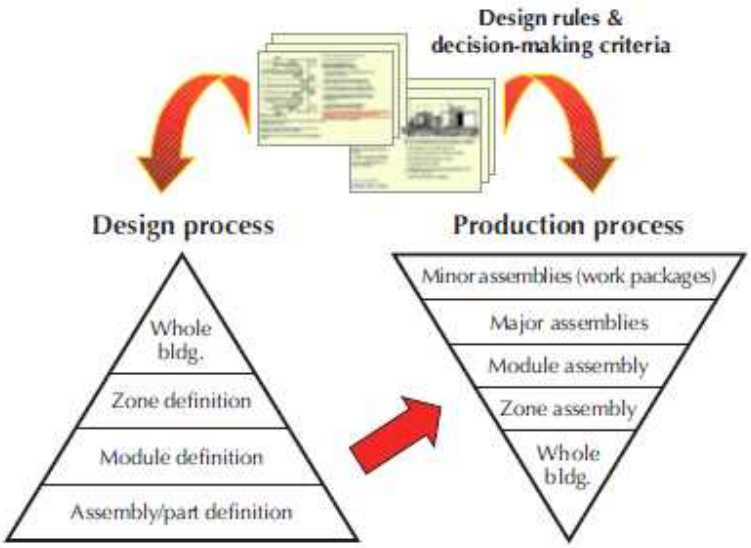
	쌍대비교					정규화					
	일정	인력	안전	환경규제	현장접근성	일정	인력	안전	환경규제	현장접근성	우선순위
일정	1.00	0.20	0.33	0.33	0.20	0.06	0.09	0.05	0.06	0.03	0.06
인력	5.00	1.00	3.00	3.00	3.00	0.29	0.45	0.41	0.51	0.48	0.43
안전	3.00	0.33	1.00	0.50	1.00	0.18	0.15	0.14	0.09	0.16	0.14
환경규제	3.00	0.33	2.00	1.00	1.00	0.18	0.15	0.27	0.17	0.16	0.19
현장접근성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

(나) 모듈화 기획, 설계 프로시저

플랜트 모듈화 기획, 설계는 플랜트 설치 공간의 블록화 구획 이후 각 구획의 임시 어셈블리/모듈 구성하고, 임시 어셈블리/모듈에 대한 제품군 설정, 제조사, 생산 공정 등의 유사성에 의해 분류된 서브 어셈블리/모듈 재분류된다.

서브 어셈블리/모듈의 제조형 환경에서 구축 및 설치를 위한 프로젝트 사이트로 전송되고, 이러한 요소는 파라메트릭 설계 기법을 통해 후속 프로젝트를 재구성 하는 제품과 생산 프로세스를 포함하는 중간 어셈블리/모듈로 최정 정의 및 제품 데이터베이스에 통합하여 설계에 재활용 된다.

서브 어셈블리/모듈은 모든 제조사로부터 제작되어 차례로 주요 어셈블리/모듈에 통합 조립을 진행한다. 이 모든 작업은 로봇 등과 같은 제조 기술 또는 이동 조립 라인에서 수행 될 수 있기 때문에, 어셈블리/모듈 생산 시간을 줄일 수 있다. 완성된 어셈블리/모듈은 연계 사이트로 이송하여 조립 과정을 반복한다.



[그림 2-137] 플랜트 모듈러 설계-건설 단계적 계층구조 개요

플랜트 모듈화 설계는 타당성 검토, 기술 구현 가능성 검토 등 다양한 기술적 접근이 필요하며, 모듈화 접근의 주요한 목적으로서 현지 건설기간의 단축을 통한 경쟁력을 확보하는데 있다.

플랜트 모듈화 설계 타당성 검토, 기술 구현 가능성 검토를 위하여 모듈화 유닛의 정의가 필요하며, 모듈화 유닛 정의를 위하여 현지 작업자 환경 분석(작업자 간섭), 운송 경로, 운송성, 취급성을 종합적으로 고려한 모듈화 유닛 정의가 필요하다.

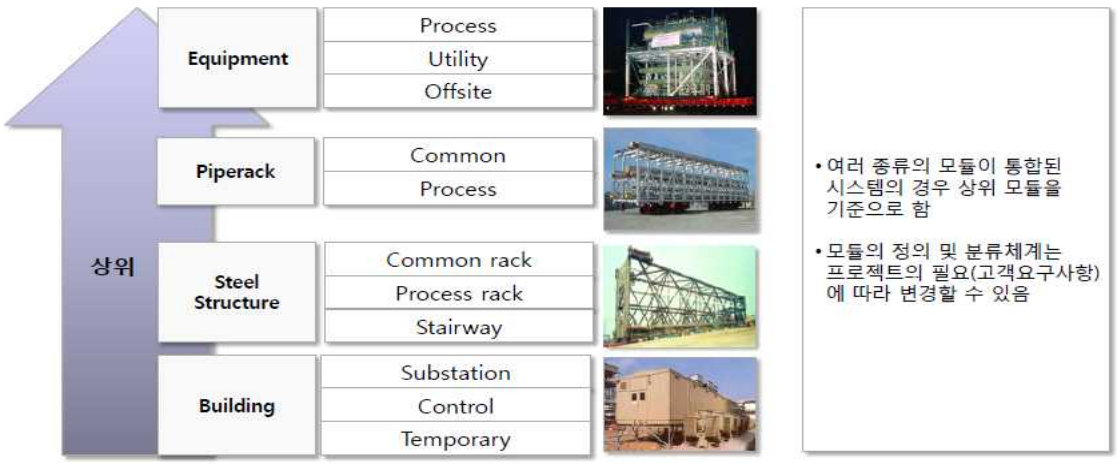
플랜트 모듈의 정의/분류는 독립성, 자주성, 현장 작업의 최소성, 운송가능성, 경제성 등이 전제되어야하며, 이는 모듈화 접근 기술성, 경제성 평가의 기준이 된다.

특성	현장작업 최소성	운송가능성	독립품질 검사가능성	자주성 (Self-supporting)	경제성
내용	• 타 모듈 또는 설비와의 연결부가 사전에 정의 되어 있어야 한다 • 현장설치에 필요한 추가작업이 최소화 되어야 한다	• 운송 가능한 최대 크기 및 중량 이하의 규모를 갖는다	• 조립/설치 전 독립적으로 모듈의 품질을 검사할 수 있어야 한다	• 모듈은 조립/설치 전에도 자체적으로 직립할 수 있어야 한다	• Stick-Built 대비 원가절감 또는 공기단축을 통한 경제성이 확보되어야 한다 (경제성에는 공기 단축에 따른 Cost 절감 효과도 포함)
제약 조건	• 연결부 - 개수 - 연결방법 - 조정가능여부 • 추가 작업 - Fire proofing - Insulation	• 부피/중량 • 운송수단 • 법규 • 도로조건 • 환경 및 기후	• 고객요구사항 • 설비 Spec. • 시스템 인터페이스 • 검사장비	• Steel Structure • 입체 구조물 • 설비배치(Space)	• 설계기간 • 공사기간 • 재료비 • 노무비 • 운송비 • 외주비

[그림 2-138] 모듈러 패키지 정의/분류 기준

Equipment	기계장치(Equipment)와 철골구조물을 포함한 그 주위의 전기/계장/배관 등의 부품들을 모아 off-site에서 조립되어, 하나의 규격화된 독립 단위체로서 운송/설치되는 것으로 기계장치에 따라 다시 분류할 수 있다 Equipment + Steel Structure + Piping + Building + Electrical + Instrument + Fire Proofing + Insulation
Piperack	Pipe/Pipe spool 과 이를 지지하기 위한 철골구조물 또는 그에 따르는 전기/계장 등의 부품 등으로 구성된다 Pipe + Steel Structure(Rack) + Electrical Cable Tray + Fire Proofing + Insulation
Steel Structure	기계장치 , 파이프 또는 타 모듈을 지지하거나 자체 기능(비계 등)을 수행하기 위하여 off-site에서 독립적으로 형상을 유지할 수 있도록 제작된 구조물이다 Common Rack, Process Rack, Stairway + Fire Proofing + Insulation
Building	전기/계장 등의 전기 부품 또는 Living 등을 위한 편의시설과 이를 유지/보호하기 위한 건물 및 철골구조물로 등으로 구성된다 Building + Substation, Control + Steel Structure + Fire Proofing + Insulation

[그림 2-139] 모듈러 패키지 분류체계



[그림 2-140] 모듈러 패키지 분류/속성

(다) 플랜트 모듈화 설계 요소

플랜트 모듈화 설계 평가는 앞서 기술한 단계별 의사결정, 설계 절차에 의하여 Labor density distribution, Transportation, Modul size, weight 등이 검토되어야 한다.

개별 검토를 위한 평가 도구는 모듈화 기획, 설계 요소에 대하여 간략하게 정리하였으며, 세부 내용은 별도 발간한 Plant Modular D&D(Decision & Design) Procedure 참조 가능하다.

또한 당해연도 세부 개발 개요에 대해서 기술하였으며, 3, 4차년도 연구개발 단계의 도출 결과물은 지속 업데이트 예정이다.

[법적 이격 기준]

최근 Feed 단계 사업 또는 대형 사업에서는 상세설계 주체가 Hazard Analysis 등의 검토/적용을 요구하고 있어 따라 안전성 및 경제성이 고려된 상세설계를 수행하여야하며,

법적배치는 Impacted Area, Restricted Area, Fire Zone 의 개념 및 Area 설정에 필요한 기준에 따라 소개하여 Hazard Analysis 기법의 적용에 대한 이해를 높이고자 하며 이에 해당된 Procedure에 관한 연구를 국내 "S" Engineering의 사례를 검토 최적화된 Procedure을 검토하여 정리하였다.

<표 2-30> 모듈화 설계 요소, 절차

구분	세부사항(우선순위, 설계/배치 기준)	설계고려사항
주 요 Layout	Fractionation process, 저장시설, feed-gas 공급시설 해안 방향 배치	화재, 폭발, 유출 등 사고 방지
	대형 모듈 육상방향 배치	장비 반입, 반출
	Feed gas 공급, Fractionation process VS 발전(전력공급) 시설 최대 이격	
	Feed gas 공급, Fractionation process VS Dehydration process 최대 이격	
	C3 냉동사이클 & MR 냉동사이클 & 액화공정(초저온열교환기)	
	통합배치	최단거리 열교환 망
	C3 & MR 사이클 상호 연계 배치	최단거리 열 교환망
	C3 & 초저온열교환기 전단부 precooling 연계배치	
	MR 냉매의 초저온열교환기 연계배치	MR 공급 라인 열 손실 최소화
	C3 냉동사이클, MR 냉동사이클, 액화공정(초저온열교환기)	초저온 열교환기 LPG 공급 고려
	통합배치	
	Fractionation process, liquefaction process 연계 배치	
Process layout & 3D	Driver, MR, C3 compressor & turbo-expander(feed-gas precooling) 1축 선상 배치	동력 전달 손실 최소화 고려
	장치 모듈간 수평/수직 최소 이격 거리 = 모듈 size * 1.2	조립, 교체/유지보수 공간 고려
	장치 모듈간 수평/수직 최소 이격 거리 ≥ 5 m	화재진압장비 등 진입 고려
	Separator 등에서 Gravity Flow 유도 가능한 높이	

구분	세부사항(우선순위, 설계/배치 기준)	설계고려사항
	자연 순환 Line에 대한 기기의 높이 관계 (Boiler, Re-Boiler 등) Plant 점유 공간 최소화	
배관 설계	Critical line 최단거리 설계 배관설계 우선순위 초저온 배관 : N2 removal process 배관, MR 냉매배관, C3 냉매배관 대구경 배관 : 합금관 배관 : Gravity Flow Line : 일반배관 :	
기타 사항	조작용 통로 폭, 높이 확보 사다리, 계단 platform 형태, 구조, 크기 방폭벽, 방유제 설치 구조, 크기 소음 규제 (음량 제한) 배출가스 규제 (성분 및 양)	

모듈 및 모듈 구성은 9개의 장치 Block으로 분류할 수 있으며 이들은 비슷한 위험도와 위험특성을 가지고 있다. 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 각 Block 간에 Compatibility가 있을 경우에는 특별한 안전 조치 없이도 Block 간 근접 배치가 가능한 분류로서, 일반적으로 점화원으로 작용할 수 있는 Block과 연료원으로 작용할 수 있는 Block은 분리해야 한다.

<표 2-31> 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

(3) 결론

(가) 주요 결과

플랜트 모듈러 기획 및 설계 기술의 경우 건설비 저감뿐만 아니라 해상도서 등 플랜트 건설의 공간적 제약을 해결할 수 있는 수단으로 평가된다.

플랜트 엔지니어링 설계 매뉴얼 등 자료의 분석을 통하여 플랜트 상서설계를 위한 주요 검토 요소를 모듈정의, 상세설계 절차, 배치, 자주식구조, 인터페이스, 변형, 밸런스 등의 관점에서 정리하였으며, 향후 오일샌드 플랜트 사례 검증을 통하여 구체화, 표준화할 예정이다.

플랜트 모듈화 건설을 위해서는 모듈별 정밀한 분할/조합 및 순차적 건설을 위한 Computing Simulation을 필수적으로 필요로 하고 있어 가상 LNG 플랜트 구현 시스템과 밀접한 관계를 가지고 있어 향후 연계 검토가 필요하다.

또한 관계법규, 자연현상, 설계 범위, 사용자 요구 등을 고려한 상세설계 절차를 도식적, 순차적으로 정리하였다. 이는 향후 오일샌드 플랜트 시범사업의 설계 최적화 등에 활용이 가능할 것으로 예상된다.

(나) 향후 계획

현재까지 구축된 플랜트 모듈화 건설 의사결정, 기획/설계 절차서 및 플랫폼(솔루션)을 바탕으로

개별 세부 의사결정, 설계 요소별 정량화 모듈을 제시하여 플랜트 모듈화 타당성 평가 및 기획 솔루션을 완성품을 제안할 계획이다.

(4) 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치(2차년도)
모듈화 기획 의사결정 솔루션 설계	• 국내 EPC 기업별 플랜트 모듈화 건설사업의 정량화 평가를 위한 방법론이 정립되어 있지 않고, EPC 기업 경영진의 직관적 판단에 의존하고 있는 실정으로 관련 정량화 방법론의 설계 및 이에 대한 실무진 검증을 성과지표로 설정하였다. • 연구개발 결과물인 플랜트 모듈화 건설 의사결정 솔루션은 각 단계별로 적절한 의사결정 요소를 포함하고 있어야 한다. 이러한 요소는 앞서 현대건설 등 참여기업에서 제시한 요건서와 매칭되어 성과지표로 설정되었다.	1종
모듈 최적화 기획 솔루션 설계	• 국내 EPC 기업별 플랜트 모듈화 건설 최적화를 위한 방법론이 정립되어 있지 않고, 엔지니어링 집단의 직관적 판단에 의존하고 있는 실정으로 관련 정량화 설계 방법론 및 이에 대한 실무진 검증을 성과지표로 설정하였다. • 연구개발 결과물인 플랜트 모듈화 건설 기획 솔루션은 각 단계별로 적절한 설계 요소를 포함하고 있어야 한다. 이러한 요소는 앞서 현대건설 등 참여기업에서 제시한 요건서와 매칭되어 성과지표로 설정되었다.	1종

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성여부
모듈화 기획 의사결정 솔루션 설계	• 모듈화 의사결정 방법론 = 제안된 설계서 개수 • 모듈화 의사결정 요소 적합도 = 참여기업 모듈화 판단요소 니즈 적합도 상대비교	• 연구개발 결과물의 실질 수요 기관 수요 해소를 위하여 참여기업의 니즈 분석서와 상대비교를 통하여 적정성을 평가하도록 설정하였다.	• 참여기업 니즈 상대비교 현업종사자 만족도 설문	달성
모듈 최적화 기획 솔루션 설계	• 모듈화 최적화 방법론 = 제안된 설계서 개수 • 모듈화 최적화 방법론 적합도 = 참여기업 모듈화 기획 니즈 적합도 상대비교	• 연구개발 결과물의 실질 수요 기관 수요 해소를 위하여 참여기업의 니즈 분석서와 상대비교를 통하여 적정성을 평가하도록 설정하였다.	• 참여기업 니즈 상대비교 현업종사자 만족도 설문	달성

라. 플랜트 EPC / 모듈화 프로세스 개발

(1) 플랜트 EPC 사업 프로세스

(가) 개요

플랜트 건설 산업에 있어서 생산성 증대와 시공성 향상을 위한 모듈화 적용에 대한 관심이 증가하고 있다. 모듈화 시공에 있어서 전통적인 구조, 기계, 파이프 등의 현장 설치 작업은 파이프랙, 프로세스 모듈 등의 구매 작업으로 변경되고 이에 따라 EPC 수행 체계 또한 변경되어야 한다. 모듈 시공에 있어서 가장 중요한 변화는 공정과 운송 분야에서 발생한다. 파이프랙 같은 플랜트 구조의 일부는 구매 품목이 될 것이며, long-lead item에 해당하는 항목들은 증가하게 되어 일반 EPC 산업과는 다른 모듈화를 위한 공정 계획이 수립되어야 한다. 또한 대형 모듈을

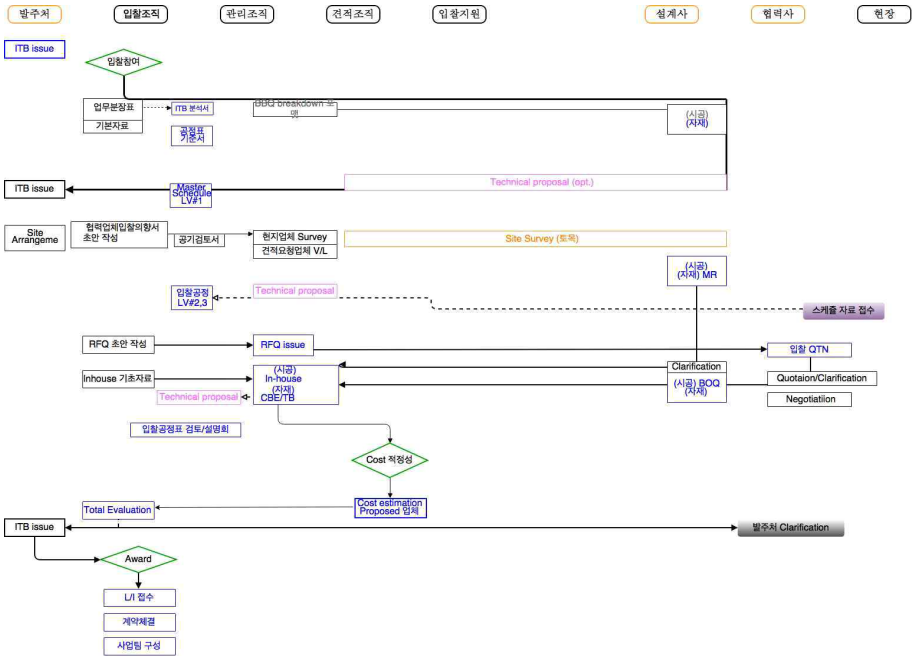
위한 육상, 해상 운송 및 인양 계획이 수립되어야 한다. 본 보고서에서는 전통적인 EPC 수행 과정을 분석하고 모듈화에 필요한 추가 수행 아이템에 대한 조사를 수행한다.

(나) 프로젝트 입찰단계

일반적은 입찰 프로세스는 아래 그림과 같이 진행된다. 입찰 절차는 기본적으로 입찰자가 발주처로부터 발급받은 ITB를 바탕으로 제안서를 작성하기 위해 수행되는 과정으로 이루어진다. 제안서는 commercial proposal과 technical proposal로 구성된다. Commercial proposal에는 입찰자가 설계, 구매, 시공을 위한 재료, 투입 인력과 기타 필수 비용이 포함된다. 기본 설계 검토를 통해 투입되는 재료, 장비, 인력을 산정하게 되고, verdor의 견적과 내부 자료를 활용해 필요한 비용을 산정한다. 공사의 수행에 필요한 다양한 간접비용도 산정하게 된다. 반면에 technical proposal에는 프로젝트 공정, 관리 계획, 기술적 검토를 포함하는 작업계획을 수록한다. Technical proposal을 작성하는 과정은 프로젝트를 수행하는데 필요한 기술적 검토를 수행하며 이를 발주처와 협의하는 작업으로 이루어지게 된다.

일반적으로 EPC 계약을 위한 ITB는 플랜트 설계 specification을 포함하게 된다. 즉, 모듈화에 대한 결정은 이미 발주처에 의해 결정된다. 따라서 EPC 계약자의 관점에서 보면 모듈화를 결정하게 되는 두 가지의 방향이 있다고 할 수 있다. 첫 번째는 발주처가 모듈화를 결정한 경우로, 적절한 견적을 제안하고 성공적 공사 수행을 담보하기 위해서는 확실한 모듈 수행 계획이 필수적이다. 이를 위해 입찰자는 적절한 모듈 제조업체를 확보하고 물류 또는 모듈 운송 계획을 수립해야 하는데 이는 일반적인 EPC 공사의 경우에도 이루어지는 업무이지만, 모듈의 관점에서 상세한 설계 검토 및 수행 계획의 수립이 필요하다. 두 번째는 발주처가 모듈의 적용을 결정하지 않은 경우로 입찰자는 모듈화를 위한 대체 설계를 제안하는 경우이다. 이와 같은 경우에는 첫 번째와 같은 모듈화 계획에 앞서 모듈 적용 여부를 결정할 수 있는 평가 절차가 선행되어야 한다. 모듈 적용 여부를 결정하기 위해 모듈 영향 인자들을 도출하고 그 인자들이 설계에 미치는 영향을 고려해 모듈화 적용의

타당성을 평가해야 한다.

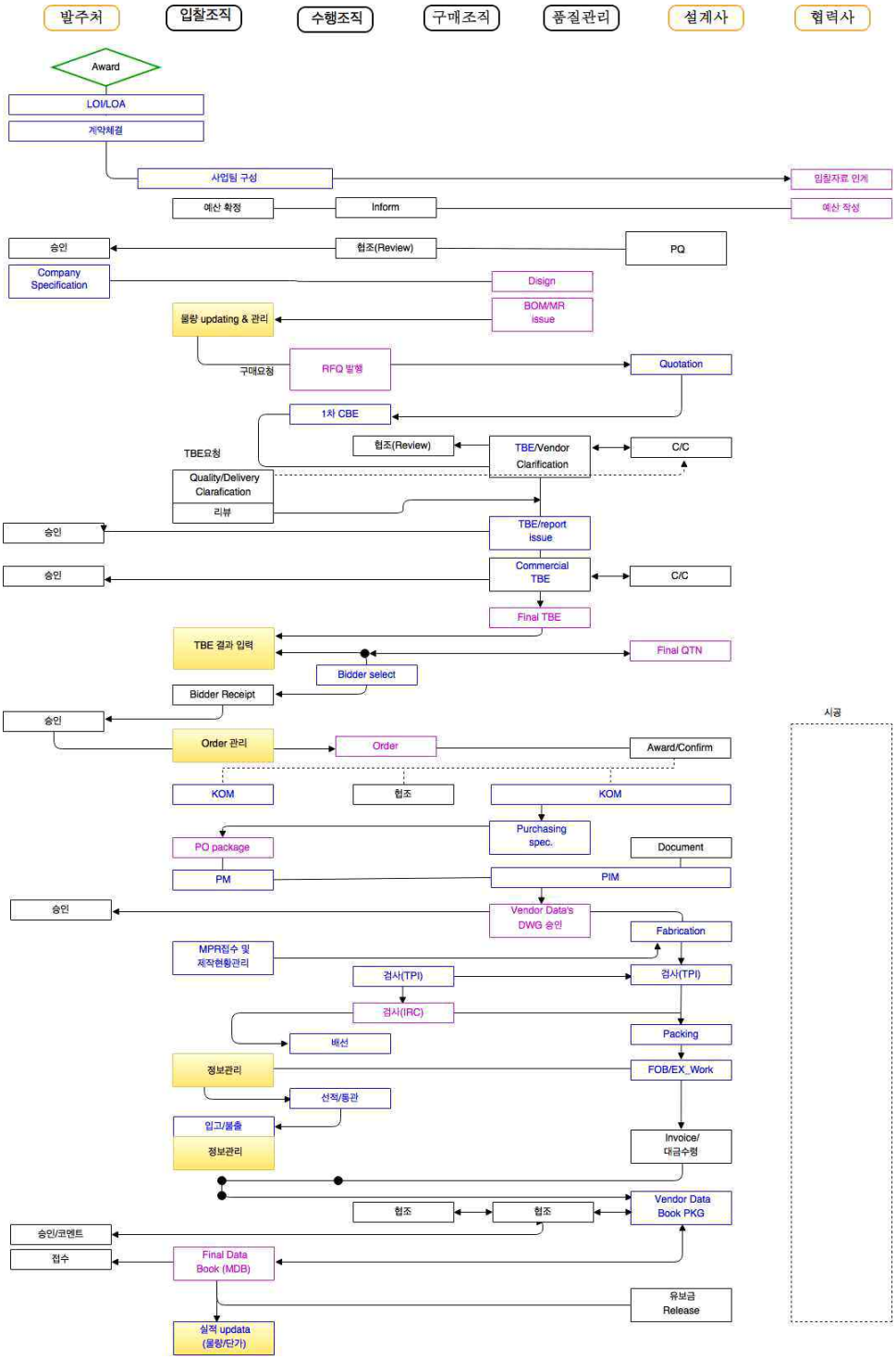


[그림 2-141] 프로젝트 입찰 절차

(다) 프로젝트 수행단계

계약 이후의 일반적인 수행 단계는 아래 그림과 같다. 아래 그림에 나타나 있는 것처럼 시공을 제외한 계획 수립, 상세 설계, 시공 준비를 위한 작업들에서는 설계, 구매, 시공 계획 등의 업무가 서로 연결되어 있고 연속적으로 산출물을 교환한다. 설계 단계에서는 상세 해석이 수행되고 3D모델을 이용한 시공성 검토가 수행된다. 구매 조직은 물품 구매를 진행하며 상세 설계가 진행되는 과정에 verdor data를 설계 조직에 제공하게 된다. 최종적으로 시공 조직은 승인된 도면과 수행 단계별 method statement에 따라 현장에서 시공을 수행하게 된다.

시공 전의 과정을 아래 그림과 같이 흐름도로 표현이 가능하지만, 시공 단계의 업무는 설계 관리, 구매 관리, 시공의 과정이 공사 수행 공정에 따라 진행되므로 일반적인 흐름도로 표현될 수 없다. 이 단계에서의 업무는 아래 표와 같이 각 설계관리, 구매관리, 공정/공무, 시공, 품질관리, 시운전의 업무 단계별로 수행되어야 할 주요 업무로 정리될 수 있다.



[그림 2-142] 프로젝트 수행 절차

<표 2-32> 프로젝트 시공 업무

업무 단계	주요 업무					
설계 관리	· 시공 설계 · 시공 검토 · 설계변경					
구매 관리		· 구매관리 · 자재관리				
공무/ 공정			· 예산관리 · 하도관리 · 입찰 · 수행 · 표준화			
시공				· 설계관리 · 예산검토 · 자재관리 · 시공관리 · Interface 관리 · 현장관리		
품질 관리					· 현장품질관리 · 안전환경 관리	
시운전						· 시운전준비 · 시운전수행
	◦ 시공 설계 ◦ 설계 변경	◦ 제작/선적 ◦ 자재관리	◦ 예산/하도 관리 ◦ 공정표작성 ◦ 지연대책/ EoT ◦ 표준화	◦ 도면관리 ◦ 절차서 ◦ 장비, 인원 관리 ◦ 내부/대외 interface 관리	◦ ITP 작성 ◦ 검사, 인수, 자재 관리 ◦ 현장 HSE	◦ 시운전Plan ◦ 설계/도면 관리 ◦ 시운전 ◦ Start-up ◦ Operation

(라) 결론

본 보고서에서는 모듈화 프로세스 개발을 위한 사전 검토를 위해 플랜트 프로젝트의 일반적인 EPC 프로세스에 대한 검토를 수행하였다. 일반적인 EPC 수행 프로세스는 입찰 단계와 수행 단계로 나눌 수 있다. 입찰 단계는 발주처의 ITB를 접수한 이 후 제안서를 작성하는 과정으로 공사 견적을 제출하는 commercial proposal과 프로젝트 수행을 위한 기술적인 검토를 하는 technical proposal을 작성하는 과정이다. 입찰 이후의 수행단계에서는 계획 수립, 상세 설계, 구매의 단계를 거쳐 시공의 순서로 진행된다. 시공은 공사의 공정에 따라 진행되기 때문에 수행절차를 일반화할

수 없다.

모듈화 프로젝트가 아닌 일반적인 프로젝트의 EPC 수행 절차에서도 모듈화 프로젝트 수행을 위한 절차가 동일하게 수행되고 모듈화를 위한 별도의 수행 절차가 필요하다고 할 수 없다. 다만 모듈화 프로젝트에서는 모듈 제작, 운송, 자재 구매 관리 등이 중요한 요소가 되기 때문에 각각의 단계에서 적절한 정보들이 투입물로 정의되고 정의된 투입물이 적절한 시점에 필요 조직에 전달되도록 하는 것이 중요하다.

이를 위해 제2 장에서는 모듈과 관련하여 프로젝트 초기에 결정되어야 할 요건들을 제시하며, 제3 장에서는 입찰 단계를 3개의 Phase로 구분하고 각각의 Phase에 모듈화에 대한 검토를 수행할 수 있는 gate를 만들어 프로젝트의 성공적 수행을 담보할 수 있는 평가 프로세스를 정립하였다.

(2) 모듈화 사례 및 특징 분석

(가) 개요

모듈로 건설되는 프로젝트는 Stick-built 대비 많은 제약 사항이 존재하고, 이는 EPC업체에게 있어 양날의 검이 될 수 있다. 프로젝트를 진행하기 전에 미리 검토해야 할 사항이 무엇인지를 파악하고 그를 통한 타당성 평가를 진행하지 않으면, 예상과는 다르게 시간과 비용에서 손해가 될 수 있다. 본 연구에서는 EPC 기업들이 모듈건설을 시도하면서 경험한 시행착오 사례를 분석하여 모듈화를 위하여 고려되는 요건들을 살펴보고, 앞으로의 프로젝트를 진행할 때 필수적으로 고려되어야 하는 요건들을 정리하였다.

(나) 사례 분석

본 연구에서는 사례조사를 통하여 건설 공기 및 비용에 영향을 미치는 프로젝트 제약사항을 검토하고, 이를 바탕으로 모듈화 요건을 정의하였다. 대상 프로젝트는 해상 원유정제 및 가스처리 시설로서, 육지에서 떨어진 섬에 시설을 짓기 위하여 모듈 타입이 적용되었다.

현장 지도	프로젝트 개요
	1. 종류 해상 원유정제 및 가스처리 시설 2. 위치 UAE, 아부다비 인근 3. 발주처 : AbuDhabi Marine Operating Company 4. FEED : FLUOR 5. 공사기간 : 54개월 6. 공사내용 : 205 MSTBOD Condensate 생산시설 **EPC's ScopeFacilties** -Onshore portion pipeline -Oil processing -Gas handling system -Oil storage and loading -Sea water supply &water injection -Produced water treatment -Chemical injection -Power generation &distribution facilities -Utilities(water, air sewage, etc)

① 작업 환경

인공섬 공사라는 지리적 요인으로 인해 발생하는 문제들은 아래 표와 같이 정리된다. 제한된 공간으로 인해 장비, 설비 등을 보관할 장소가 부족하므로 모듈화가 필수적이다. Barge를 이용하여 근처 최대 450km 떨어진 육지의 모듈 작업장에서 운송하는데, 이렇게 해상 운송만 가능하다는 점에서 많은 변수가 존재한다. 해상 운송의 경우 비용면에서도 고가이기 때문에 프로젝트 착수 시에 고려하지 못한 운송 비용을 추가로 지불하는 경우가 발생할 수 있다.

또한, 직원들도 일부를 제외하고 인공섬에서 머무르며 작업이 불가능하므로 출퇴근을 하여야 하고 이로 인한 시간적 손실, 인력 운용의 어려움이 존재한다. 따라서 건설 현장에 적은 인원을 투입하여 진행할 수 있는 모듈공법의 특징을 잘 활용하는 것이 필요하다.

<표 2-33> 지리적 요인에 의한 요건

요건	관련 리스크
섬 (제한된 공간)	- 장비, 설비 등을 보관한 공간 부족 - 직원 거주/생활 공간 구축 불가
운송 조건 고정	- 해상 운송만 가능 - 현장에서는 SPMT를 이용하여 운송
외부 환경 요인	- 섬 내 보안규정 엄격, 허가 절차 복잡(최소 2개월 소요) - 날씨, 안전 조건 등

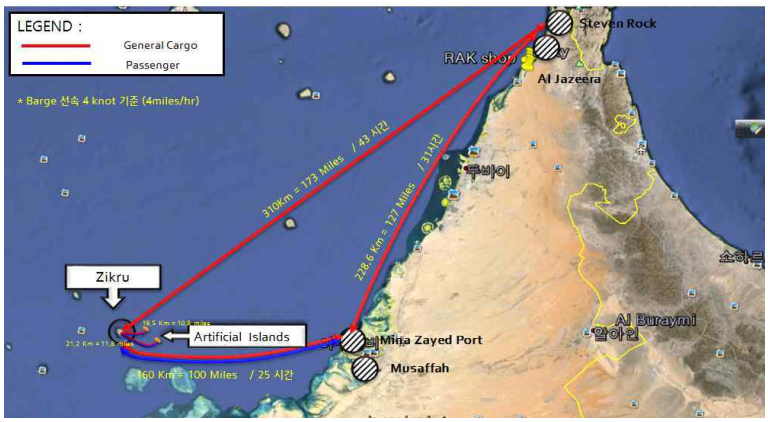
② 운송 조건

㉮ 운송 일정

현장에서 모듈 운송은 아래 표와 같은 과정으로 진행된다. 운송기간은 프로젝트의 일정에 직접적으로 영향을 미치는 요소이다. 모듈의 운송시점에 따라 현장 공사 일정이 조정되어야하기 때문이다. 따라서 운송 기간에 따라서 선박의 종류, 선적량 등을 계획하여야 한다. 사례현장의 경우 모듈 하나를 선적하여 운송하는데 총 13일 정도를 산정하였고 이를 기준으로 일정을 계획하였다.

<표 2-34> SARB 현장 모듈 운송 소요 일정

No	Activity	Duration	Schedule duration												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	전체일정	13													
1	Load-out	4													
2	Sea-fastening	2													
3	Crewboat	1													
4	발주처에 알림														
5	COA에 따른 운송	1													
6	모듈 이송	2													
7	섬에 도착	1													
8	Load-in & Standby	2													



[그림 2-143] 운송 경로

한편, 여러 요소를 고려하여 초기부터 운송 일정에 유의했지만 날씨와 해사 검정 문제 등이 일정 지연을 야기하였다. 일례로 UAE의 국가 간 통관문제로 인해 위 그림의 RAK-Zirku 구간 운항 시 예상 일정을 10일로 설정하였으나 5일 연장되어 15일이 소요되었으며, 운송거리 또한 편도 340km에서 450km로 증가되었다. 미리 오차율을 계산해두지 않으면 설치 일정, 비용에도 큰 영향을 끼칠 것이다.

㉯ 운송 방법

사례현장의 해상 운송은 barge를 이용하였다. 따라서 Barge의 사이즈가 모듈크기를 제한하는 중요한 요건이 된다. 모듈 unit 하나의 사이즈는 운송 조건을 넘지 않되 최대로 설정하여야 운송으로 인한 시간과 비용을 절약할 수 있다. 이러한 운송 조건은 모듈 설계 이전에 분석하여 적용한다.

Load-out 분석은 모듈의 구조적인 안정성을 확인하기 위한 것이다. 또한 해상운송에서 발생하는 하중을 견딜 수 있도록 Support 조건을 분석한다. 해상 운송은 풍속, 파고, 조수, 가시거리 및

최근 72시간 기상 추세 등 다양한 데이터를 지속 예의 주시하며 진행하며 특히 안전에 유의하고 있다.

모듈의 선적과 하역, 육상운송에는 SPMT(Self Propelled Modular Transporter)를 이용하여 Heavy-Lifting으로 인한 리스크를 배제하였다.



[그림 2-144] 및 그 이송 사진

㉰ 운송 관리

사례 현장에서는 해상 운송을 진행하다보니 업체를 선정하고 해상운송 전문가를 고용하는 부분에서 시행착오를 겪었다. 해상운송의 계약 구조는 발주처-EPC사-하청사(운송업체)로 구성되어 있고, EPC사는 중간자로서 계약을 관리해야하는 어려움이 있다. 따라서 EPC사는 사내에 업체 및 일정 관리 능력을 가진 전문가를 보유하고 전담조직을 구성하는 편이 좋으며, 운송업체를 선정할 때는 자격 취득 요건뿐만 아니라 관리 능력, 재정 문제 등도 면밀히 검토되어야 한다.

③ 지역 조건

현장이 위치한 지역적 조건은 모듈의 적용여부를 결정짓기도 하며, 프로젝트 수행 상에 리스크로 작용하기도 하는 복합적인 변수이다. 일부 발주처들이 현장 주변 환경을 보호하기 위하여 모듈화 프로젝트를 제시한 것으로 알려졌다. 따라서 모듈화 플랜트 건설 시에는 해당국의 법적 규제, 기후, 노동력, 협력업체 등 작업에 영향을 주는 요인을 면밀히 검토할 필요가 있다.

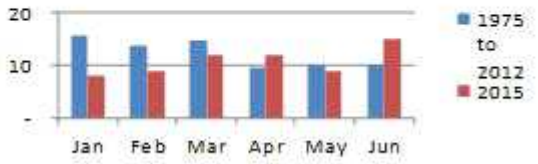
㉮ 기후

작업일수를 충분히 확보할 수 있는 지역의 모듈샵을 계약해야 한다. 사례현장의 경우, 작업이 어려운 한랭기후 또는 우기는 아니기 때문에 발주국의 모듈샵에서 모듈을 제작하였다.

그러나 해상 운송부분에서 날씨의 영향을 크게 받았다. 아래는 기상영향으로 인한 선박 운영 제한일수를 나타낸 그래프이다. 4월부터는 운행하지 못한 날이 70% 이상을 넘어 운항횟수가 절대적으로 부족한 것을 확인할 수 있다.

Non Operation Days [Sea Status>4]

Period	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Remarks
1975 to 2012	16	14	15	10	10	10	ADMA
2015	8	9	12	12	9	15	
%	51%	57%	85%	76%	78%	87%	



[그림 2-145] 선박 운영 횟수

④ 사업 관리

㉮ 공정

모듈 설치 일정은 현장의 모든 요인을 고려하여 설정되어야 한다. 설치시기에 따라 이와 관련되는 토목 시공 공사 계획을 수립하지 않으면 시기가 겹치거나 예상치 못한 지연사항이 발생할 수 있다. 운송에 의한 일정 지연은 특히나 큰 문제를 일으킬 수 있다. 예상치 못한 리스크가 항상 존재

하는 현장에서 그에 대한 대처가 무엇보다 중요한 요인이다.

㉯ 협력업체

사례 현장에서는 네덜란드계 회사와 영국계 회사와 모듈 제작 및 운송을 계약하였다. 모듈제작에는 현장 시공과 동일한 모든 공정이 소요되므로 이러한 경험이 있고 실력이 검증된 모듈 업체인지 판단할 수 있어야 한다.

(다) 모듈화 요건 개발

앞선 사례분석 결과와 선행 연구자료(CII 보고서 등)를 바탕으로 모듈화 기획을 위하여 검토해야 하는 모듈화 요건을 정리하였다. 해외 많은 프로젝트들이 CII에서 제시한(2002) 조건들을 기반으로 모듈화를 선택하고 있으나 평가기준이 모호하고 , 본 연구에서는 이와 관련하여 발생하는 제약과 리스크를 제시하여 모듈화 기획 시 반영하도록 하는 것을 목적으로 한다.

① 지리적 요인

지리적 제한은 모듈화를 결정짓는 가장 큰 요인이다. 고립된 공간에 있어 운송에 어려움이 있거나, 기존 시설이 이미 구축되어 있는 곳에 추가 공사를 할 경우에는 모듈을 채택하는 경우가 많다.

환경이 프로젝트에 영향을 끼치는 위험한 지역인 경우도 고려되어야 한다. 전쟁이 일어나고 있는 국가, 국가 내 정서가 불안한 국가의 경우 작업을 최소화 시키고 노동자 노동 시간을 줄이기 위해서 모듈화를 선택한다.

<표 2-35> 지리적 요인에 의한 모듈화 요건

고려 사항	상세 요건	변수
제한된 지역	섬	- 해상 운송만 가능 - 날씨의 영향이 큼 - 노동 인원이 제한됨
	기존 시설(추가 공사)	- 기존 시설과의 간섭 문제 - 운송에 따른 모듈 크기 - 운송 방법
	생활공간 근처 지역	- 환경 등 법적 규제 - 운송 제한 요건 확인 - 주민 민원
인프라	열악한 인프라	- 이송 방법 제한 - 모듈 크기/무게 제한 - 전기, 물 등의 공급 여부
여유 공간	Laydown, Staging 공간	- 모듈 크기/무게 - 모듈 반입 일정
	노동자 거주 공간	- 통근 시 교통수단 필요 - 거주 여부에 따른 일정 변경 가능
위험한 지역	정치적 사안(전쟁, 내부 불안 등)	- 일정 조율 필요 - 노동자 안전 등

현장의 인프라는 운송과도 연관이 있다. 위에 언급한 사례 현장처럼 해상 운송을 해야만 하는 경우나 또는 육상 운송 장애물이 존재하는 경우, 즉 교량이나 전신주 등 모듈 크기에 영향을 미치는 요소를 필히 고려하여야 한다. 또한, 현장에서도 모듈 조립이 진행된다면 그를 위한 공간이 필요하다. Laydown과 Staging 공간이 얼마나 확보가 가능한지를 파악하고 이를 반영하여야 한다.

② 환경적 요인/법적 규제

환경적 요인을 살펴보면 기후뿐만 아니라 자연재해가 자주 일어나는 것도 일정에 큰 영향을 미친다. 지질이 사막 또는 수분이 많은 지역 등 토목 공사에 지연을 주는 요소들도 충분히 고려되어야 한다. 이런 기본적인 환경 요소들은 Stick-built 방식에도 동일하게 적용되는 요건이지만, 모듈에 영향을 미치고 또 받는 요소는 환경에 대한 규제이다. 환경에 대한 엄격한 규제를 가지고 있는 국가, 예를 들면 호주의 경우에는 환경 규제 때문에 현장에서 조립이 불가능하여 100% 모듈 방식으로 제작을 한다. 프로젝트가 주위 공사에 영향을 끼치는 경우 말고

오히려 고지, 습한 지역, 건강에 유해한 지역인 경우에도 같은 이유로 모듈화를 선택하기도 하며, 이러한 안전 요건들이 규제로 되어 의무적으로 지켜야하는 경우도 존재한다.

<표 2-36> 환경/법적 요인에 의한 모듈화 요건

고려 사항	상세 요건	변수
기후	더운 기후	- 낮에 공사 불가능 - 작업자 건강에 유의
	추운 기후	- 온도에 따른 공사 가능 시기 문제 - 작업자 건강에 유의
지질	건조/다습/동결	- 토목 공사 일정 - 운송 시 주변 인프라 사용여부
규제	법적 규제	- 먼지, 소음, 대기/수질 오염 - 모듈 반입 등 허가 문제

③ 노동력

노동에 관련된 부분은 모듈화에서 특히 자주 언급되는 부분이다. 모듈의 장점은 현장에서 최소한의 인원만을 동원하여 공사 진행이 가능하다는 것인데, 이 장점 때문에 모듈화를 선택하게 되는 경우도 존재한다. 가령 노동비가 너무 비싼 북미, 미국 등의 국가는 모듈화로 진행하게 되면 그 비용에서 차이가 난다. 대략적인 비용을 고려해봤을 때, 현장에서 제작하는 것은 $50/hr의 생산성을 지닌다고 하면 제작장에서 제작하는 것은 $35/hr로 더 높은 효율을 지닐 수 있다.

가장 많은 인원이 동원되어야 할 시기를 적절히 설정하는 것도 중요하다. 프로젝트가 진행되는 지역에 따라 노동력을 동원하기 어려운 곳이거나 또는 시기에 따라 동원하기 어려운 경우가 있을 수 있기 때문이다. 다른 요인으로 인한 공기의 지연은 이러한 동원계획에도 지장을 주기 때문에

전 과정에서 고려되어야 한다. 프로젝트 계약에 특수공정 인력(용접사, 도장, 비파괴 등)의 인원수, 자격이 명시되어 있는 경우가 있으므로 이에 대한 동원 계획도 고려해야 한다. 현지에서 충분한 특수 공정 인력이 없다면, 외부에서 고용하여 현지에 동원하고 그 제반 준비를 하는 비용도 크게 증가될 것이기 때문이다.

일부 국가의 경우에는 자국민 필수 고용 정책이 존재한다. 이때 일정 비율의 노동 인력을 검증되지 않았더라도 현지에서 고용해야하므로 프로젝트 필수 인력까지 고려하여 노동 밀도에 대해서 고려해야 한다.

이렇게 효율적인 동원 계획을 가지면서 동시에 비용적인 부분에서도 절감할 수 있는 부분이 노동력이므로 이를 체계적으로 검토하여 실행한다면 최대의 효과를 낼 수 있다.

<표 2-37> 노동력에 의한 모듈화 요건

고려 사항	상세 요건	변수
노동비	비싼 임금	- 프로젝트 비용에 영향 - 고용 가능 인원수 제한 발생
	특수공정 인력	- 의무 고용 인력의 현지채용이 어려울 시, 원격지 고용에 따른 비용 증가
노동 밀도	노동력 제한	- 현장 상주 인원 제한 - 과밀도 시기 존재
노동 생산성	우수 인력	- 현지 우수 인력 부족 - 인력 수급에 따른 생산성 감소

④ 협력업체

모듈 방식으로 플랜트를 건설하면 일반 플랜트처럼 기자재를 납품하는 회사뿐 아니라 모듈을 제작하여 공급하는 업체까지 그 역량과 경험, 품질을 고려하여야 한다. 모듈 제작 업체가 납기일을 맞추지 못하면 일정 전체에 차질을 빚는 것은 물론 운송 등 다른 부분에서도 금전적 손실을 피할 수 없다. 또한 발주처에서 인정할 자격을 갖추었더라도 신뢰도 여부를 꼼꼼히 살펴야 한다. 많은 EPC 기업들이 모듈 방식의 공사를 진행하는 것이 익숙하지 않고 많은 경험이 없기 때문에 협력 업체를 관리하는 능력 또한 중요할 것이다.

<표 2-38> 협력업체에 관련된 모듈화 요건

고려 사항	상세 요건	변수
협력업체 신뢰성	자격 요건	- 발주처 승인 자격
	신뢰성(경험, 품질 등)	- 경험 많은 업체 부족 - 품질을 보장할 업체 부족
협력업체 위치	위치적 요인	- 거리가 길수록 운송비용 증가 - 지역에 따라 노동비 절감 가능

⑤ 공통 요건

모듈화를 진행하면서 발생하는 문제들을 보니 공통으로 고려하는 사항들이 있었다. 그 중 요도는 프로젝트마다 다르지만, 필히 고려되어야 한다.

㉮ 운송

모듈은 모든 기기, 파이프 등이 미리 현장에 조달된 상태가 아니므로 모듈이 현장에 입고되는 것이 공기를 결정하는 요인이다. 운송 과정에서 파손 등으로 인한 지연이 발생할 경우, 전체 일정에 차질이 생기고 이는 공기, 비용, 품질에 영향을 준다.

<표 2-39> 운송 지연의 영향

프로젝트 명	국가	모듈화 사유	운송 지연으로 인한 비용 손실	지연 사유
Kearl Oil Sands	Canada	지리적 위치 노동력	$US 2 Bil	법적 규제에 따른 운송수단 도로 사용 불가
Gorgon LNG	Australia	지리적 위치, 노동력	$US 15 Bil	운송 어려움
Vogtle Nuclear	Georgia, USA	노동력	$US 200 Mil	모듈 양도 지연
PaPua New Guinea LNG	PaPua New Guinea	지리적 위치, 노동력	$US 3.3 Bil	현장 진입 및 날씨 문제
Kashagan	Kasakhstan	지리적 위치, 노동력	$US 79 Bil	장거리 운송에 따른 지연 (기간 : 계획대비 +1달/unit)

㉯ 일정

짧은 일정 때문에 모듈 프로젝트가 발주되는 경우도 있고, 모듈을 선택할 수밖에 없기 때문에 일정이 늘어나는 경우도 존재할 수 있다. 모듈의 일정에서의 장점은 현장 부지공사와 동시에 모듈 제작에 들어갈 수 있다는 점인데 미리 준비가 되어 일정에 차질 없이 공급이 된다면 프로젝트는 성공적으로 끝날 것이다.

㉰ 비용

많은 요소들이 비용과 밀접한 관계가 있어 그 선택이 어려울 수 있다. 모듈 프로젝트를 진행할 때에는 기획의 초기단계에서부터 지속적으로 비용을 산출하고 이 비용의 정확도가 프로젝트 시작 전에 90% 이상이여야 예측한데로 프로젝트가 진행될 수 있다.

(라) 결론

많은 연구를 통해 모듈화 플랜트를 건설하는 것은 기술적인 부분에서는 큰 어려움이 없는 것으로 밝혀져 있다. 다만 다양한 요건이 서로 인과관계를 지니며 존재하기 때문에 기획 및 평가 단계

에서 체계적인 분석이 필요한 것이다. 이전에는 모듈화 플랜트를 건설하면 비용 및 시간이 절감된다고 판단하였지만 현재의 추세는 요건에 따라 어떠한 방법을 선택하느냐에 따라 증가될 수도 있다고 알려져 있다. 시간과 비용을 단축하기 위해 무리한 방법을 선택하였다가는 프로젝트 자체를 운에 맡겨야하는 상황이 될 수도 있는 것이다.

모듈화로 지정되어 내려오지 않은 프로젝트를 모듈화를 적용하기 위해서는 이와 같은 요건들을 고려한 타당성 평가가 필요하다. 모든 요건이 고려된 후에 산정된 방법, 비용 등이 타당하고 이익이 있다고 생각할 때 프로젝트를 진행해야 하는 것이다. 초기에 신뢰도 높은 타당성 평가를 거치지 않는다면 리스크는 예측이 불가능하다. 따라서 본 연구를 통해 기획 단계에서 타당성을 평가할 수 있는 방안을 제시함으로써 선별적으로 신뢰성이 확보된 경우에만 모듈화 프로젝트를 진행할 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 모듈화 기획 프로세스 모델

(가) 개요

앞서 분석한 결과에 따르면, 모듈화가 설계, 구매/조달, 시공이라는 큰 흐름에 영향을 미치는 것은 아니며, 구매/조달과 시공의 일부를 제작, 운송, 설치의 형태로 수행한다는 점에서 하위개념의 요건을 검토해야 한다.

대부분의 모듈공장은 현장과 멀리 떨어져 있기 때문에 “운송”과정이 프로젝트에 중요하게 작용하는데, 이 과정에서 직접비가 증가하는 경향이 있다. 또한 모듈제작업체와 운송업체, 설치에 참여하는 중기업체 등 이해관계자의 영향력이 증가할 것으로 판단된다. 특히, 기존 공사보다먼저 제작에 들어가는 모듈의 특성으로 인하여 설계가 조기에 확정이 되어야 하고, 변경이 어려워 철저한 진도관리가 요구된다.

이렇듯 플랜트 모듈화는 프로젝트 특성에 근거하여 적용범위를 결정하고 복잡한 이해관계자와 정보흐름을 효과적으로 관리할 때 일정, 비용, 품질, 안전 면에서 이점을 갖는 기술이라고 할 수 있다. 본 연구과제에서는 모듈화에 따른 리스크를 정의하고 모듈화 의사결정을 내릴 수 있는 평가도구를 개발하고자 한다. 이를 위하여 프로젝트를 효과적으로 수행하기 위한 프로세스 모델을 제시한다.

	Front-End Loading						Execution
단계	**PHASE 1** **Identify & Assess Modularization Opportunities**	GO/No Go decision	**PHASE 2** **Select from Alternatives**	모듈 여부 산정	**PHASE 3** **Develop Preferred Alternatives**	Final Proposal	**PHASE 4** **Execute** **(Detail EPC)**
내용	입찰정보를 입수하여 프로젝트의 건전성 평가 및 모듈화 적합성을 판단		프로젝트 조건을 토대로 모듈화 시나리오를 작성 (모듈 분할)		모듈화 시나리오를 프로젝트 수행계획에 대입, 비견적 모듈화 요인을 평가하여 제안서를 작성		Work package 작성에 기초한 프로젝트 관리
투입-도구-산출	-ITB -Workshop (F/S sheet) -PBS -PDRI rate -PPMOF rate		-FEED -MOD Work Procedure -Alternatives -Approval for Expenditures		-Selected scenario -Risk Assessment -Engineering Details -Contracting Strategy -Execution Strategy -Approval for Expenditures -Proposal		-Execution plan -Collaboration System -Detailed Design -Procurement -Fabrication -Construction -Commissioning

1) PBS : Plant Breakdown Structure 2) PDRI : Project Definition Rating Index 3) PPMOF : Prefabrication, Preassembly, Modularization and Offsite Fabrication

[그림 2-146] 모듈화 기획 프로세스

(나) Phase 1 - 모듈화 기회 탐색

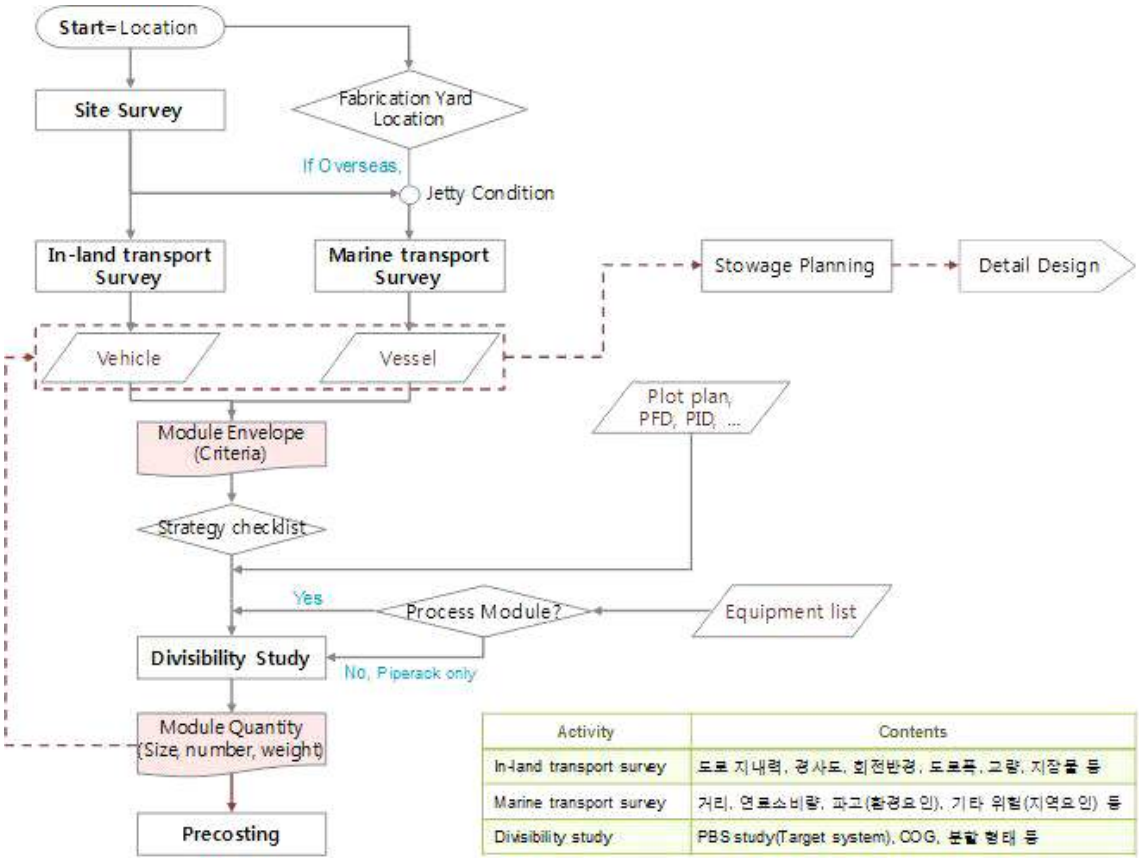
Phase 1은 프로젝트 입찰정보를 입수하여 최초로 모듈화를 적용할 것인지 결정하는 단계이다. 입찰안내서(ITB, Invitation to Bid)에 제시된 프로젝트 정보 및 계약 조건을 토대로 프로젝트의 건전성을 평가하고 앞서 2장에서 제시한 모듈화 요건들을 평가하여 해당 프로젝트에 모듈을 적용하는 것이 적합한지 결정을 내린다. 이러한 평가의 도구로는, 본 연구과제 협동연구기관의 성과물인 모듈화 의사결정 툴이 사용되며 입찰에 참여하는 각 부서 전문가들 간의 Workshop 형태로 모듈에 대한 평가를 내려야 한다.

(다) Phase 2 - 모듈화 시나리오 분석

Phase 1에서 모듈화 추진이 결정되면 Phase 2에서는 프로젝트에 적용되는 모듈을 결정한다. 모듈의 종류에는 크게 배관구조체라고 할 수 있는 PAR(Pre-assembled Rack)과 공정유닛모듈에 해당하는 PAU(Pre-assembled Unit) 그리고 하나의 상품으로서 납품되는 Packaged Item이 있다. 본 단계에서는 PAR과 PAU만 다루기로 한다.

제한된 조건은 모듈의 크기/중량과 운송계획, 노동력에 영향을 미치며 이를 토대로 모듈화 비율의 증감을 결정할 수 있다. 예를 들어 지리적으로 제한된 공간에서 모듈작업을 진행한다면 현장의 작업밀도를 줄이기 위하여 모듈화 비율을 증가해야 할 것이다. 또한 선착장의 수심이 깊지 않다면 모듈의 크기나 중량을 키울 수 없기 때문에 모듈화 비율은 감소할 것이다. 다만 제한조건이 있다고 해서 기술적으로 모듈적용이 불가한 것은 아니며, 의사결정을 위해서는 모듈의 효과와 리스크를 비교하여 평가할 필요가 있다. 최종적으로는 모듈화의 비용 평가가 이루어져야 한다. 예를 들면 모듈의 생산성 증가에 따른 공기단축 효과의 경우 Project financing 비용의 절감, 운송/납기지연 리스크 감쇄효과, 기존 플랜트 가동중지 기간 단축 및 조기 준공을 통한 운영수익 증대효과 등으로 환산하여 평가하는 방안을 고려해볼 수 있다.

모듈화 프로젝트의 수행경험에 따르면 모듈을 설계할 때에는 현장설치조건에 대한 검토(In-place analysis)뿐만 아니라 운송조건에 대한 Pre-service analysis가 추가되어야 한다. 운송해석에는 내륙운송, 하역, 해상운송, 그리고 모듈분할에 대한 검토가 포함된다. 경우에 따라 내륙/해상운송 조건에 의해 모듈의 설계가 결정될 정도로 모듈공사에서는 운송성이 중요한 역할을 하게 된다. 뿐만 아니라 입/출항이 가능한 일자에 맞추어 일정을 수립하는 등 프로젝트 전반에 영향을 미치게 된다.



[그림 2-147] 모듈화 시나리오 분석

따라서 모듈화 시나리오 분석 단계에서는 모듈 설계에 영향을 미치는 인자들을 단계별로 평가하고 가능한 시나리오를 추출하는 과정을 거치게 된다. 예를 들어 현장 위치가 특정되면, 현장조건조사 및 내륙 운송조건(인프라) 조사를 통하여 현지에서 이용할 수 있는 운송장비를 추릴 수 있다. 동시에 모듈제작장의 위치에 따라 해상운송이 필요한지 판단하고, 현장과 모듈제작장의 제티 조건을 비롯한 해상운송여건을 조사한다. 이러한 해상운송평가를 통해 데이터베이스에서 선박의 종류를 선별하게 된다. 육상 및 해상 운송장비의 용량에 따라 모듈의 크기와 중량을 제한하는 가이드라인을 제시할 수 있다. 가이드라인과 FEED 자료를 바탕으로 공정배치를 고려한 모듈분할을 수행해야 하며, 운송장비과 공정도에 대한 스터디 결과를 종합하여 모듈의 크기, 중량, 수량을 결정함으로써 모듈화 시나리오가 도출된다.

(라) Phase 3 - 모듈화 수행계획 수립

선택된 시나리오에 대한 예비가격이 타당하다고 판단되면, 모듈화 시나리오를 반영한 프로젝트 수행계획을 수립한다.

성공적인 모듈러 프로젝트 수행을 위해서는 planning에 더 주의를 기울여야 한다. 설계 성과물, 인허가, 자재 납품, 건설장비 등 자원들이 제때 준비가 되지 않으면 scope change, resequencing,

rework 등 프로젝트 비용을 증가시키는 요소들이 발생하는데, 이것이 모듈에 대해 발생하는 경우 기계약된 모듈제작을 변경하거나 stick-built로 전환하는 등 중대한 손실로 이어질 가능성이 있다. 따라서 이 단계에서는 본 연구과제 협동연구기관의 성과물인 모듈화 리스크 평가도구를 활용하여 리스크를 예측하고 전략을 수립하도록 한다.

(마) Phase 4 - 모듈화 수행

Phase 1~3에 거쳐 프로젝트 입찰을 마무리한다. 본 모듈화 평가와 기획 프로세스는 경쟁력있는 입찰을 유도함으로써 한국 EPC기업들의 수주확대에 기여할 수 있을 것이다. 반면, 모듈화 프로젝트는 전략적 모듈화를 통한 입찰경쟁력 향상의 측면뿐만이 아니라, 수주 후에 실행단계에서의 리스크 관리가 상당히 중요하다.

제1 장에서 기술한 바와 같이 현 프로세스 상에서는 부서간 정보흐름이 원활하지 않아 Rework 이 발생할 여지가 있으며, 설계/구매 등 액티비티의 산출물이 정해진 시간에 발행되지 않는 late deliverables 문제를 야기할 수 있다. 설계변경에 취약한 모듈공사에서는 반드시 보완되어야 하는 부분이다. 따라서 본 연구단의 연구활동을 통해 플랜트 건설 동시병행 협업 플랫폼 구축 및 활용이 요구된다.

(바) 결론

플랜트 EPC 프로세스 분석과 모듈화 프로젝트 수행사례(Lessons learned) 분석을 통하여 모듈화 타당성 평가 요건과 프로세스 상의 개선점을 알아보았다. 이해관계자가 많고 공정이 복잡한 플랜트 건설공사의 특성을 고려할 때, 더욱 체계적인 프로젝트 수행기반이 요구되며 본 보고서에서 제시하는 플랜트 모듈화 기획 프로세스가 그 시스템 구축의 기틀이 될 것으로 기대된다.

마. 모듈화 VE 대안기술

(1) 개요

모듈화공법은 작업량의 일정부분을 module shop에서 제작 후 현장으로 운송하여 현장에서는 설치만을 하는 공법으로 stick built의 대안기술이다. 모듈화 공법을 적용할 경우 원가절감, 공기단축, 품질향상, 안전성 확보 등의 이점을 가져올 수 있으나 잘못 적용할 경우 이러한 이점을 전혀 가져올 수 없다. 성공적인 대안기술 적용을 위해서는 대안기술 적용이 타당한지를 정확히 판단하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

대안기술 타당성 평가 툴을 개발하기 위해 첫 번째 단계에서는 대안기술 적용에 있어서 중요한 항목들을 추출하여 정리하였다. 추출한 큰 분류의 대안 항목들을 category라고 명명하고, category 하위의 대안 세부항목들을 factor라고 명명하였다. 두 번째 단계에서는 전문가와 모듈 현장 실무자

가 참여하여 정리된 category와 factor의 적합성을 검증하였다. 해외연구기관인 CII 전문가 최진욱 교수와 국내 전문가 윤성민 교수의 자문을 통해 category와 factor를 1차적으로 수정하고, 평가 툴의 개발방향을 결정하였다. 그 항목들을 기반으로 모듈 현장대상 1차 설문조사를 통해 실무자의 의견을 수렴하여 category와 factor를 2차적으로 삭제, 수정, 통합하여 결정하고, 결정한 항목들은 모듈 현장대상 2차 설문조사를 통해 각 대안 항목들의 가중치를 결정하였다. 위 과정을 통해 결정된 category와 factor 그리고 가중치를 기반으로 대안기술 타당성 평가 툴을 개발했고, 적합성을 평가하기 위해 모듈 현장을 대상으로 실증을 실시하였다.

확정된 대안기술 항목(category, factor)별로 해당 프로젝트의 실제 데이터를 매칭하고 매칭결과를 바탕으로 대안기술 항목과 상응하는 데이터의 목록을 DB화하였다. 데이터베이스 작성을 통하여 모듈화 대안 검토 시 평가의 객관성과 신뢰성을 기할 수 있도록 한다. DB 작성 시에는 실제 프로젝트의 수행 또는 ITB에 있는 데이터를 활용하여 활용성을 높였다. 또한 당 프로젝트도 실증을 통해 적합성 여부 평가를 완료하였다.

(2) 대안기술 항목 추출 및 결정

(가) CII Strategic Decision Tool 분석

CII(Construction Industry Institute)는 1983년 The University of Texas at Austin 산하기관으로 설립되어 현재 약 45개 발주처와 48개의 건설업체가 회원으로 가입되어 있는 대표적인 건설분야의 민간연구기관이다. CII는 최근 증가되고 있는 모듈화 프로젝트와 관련하여 Strategic Decision Tool for PPMOF(이하 CII PPMOF)라는 기본적인 모듈화 적용 여부 결정 tool을 개발하였다.

CII PPMOF는 10개의 category내 75개의 factor로 구성되어 있다. 10개의 category는 schedule, cost, labor, safety, site attributes, mechanical system, project and contract type, design, transportation and lifting requirement, supplier capability이며, 각 category에 포함된 factor의 개수는 다음과 같다.

<표 2-40> CII Strategic Decision Tool 구성

구분	Category	Factor 개수
1	Schedule	10
2	Cost	5
3	Labor	10
4	Safety	8
5	Site attributes	8
6	Mechanical system	8
7	Project and contract type	4
8	Design	7
9	Transportation and lifting requirement	10
10	Supplier capability	5

CII PPMOF의 평가체계는 2단계로 구성되어 있다. 1단계는 category의 가중치를 결정하는 단계이다. 위 표의 category에 1~5의 점수를 중요도에 따라 임의로 부여하여 평가한 후 다음단계로 넘어간다. 2단계는 category의 하위항목인 factor를 평가하는 단계이다. 각 factor를 보고 –5, −2, 0, 2, 5 중 한 점수를 결정한다. stick built가 유리하다고 판단되면 음수에, 모듈화가 유리하다고 판단되면 양수에 선택을 한다. 평가가 완료된 각 factor들의 점수가 합산되어 category점수가 되고, category 점수는 1단계에서 결정한 가중치를 각각 곱하여 최종 평가점수가 산출되도록 구성된다.

(나) 전문가 자문

전문가 자문을 통해 CII PPMOF의 벤치마킹 방안을 도출하였다. CII 모듈화 연구 위원인 UNLV의 최진욱 교수와 영남대 윤성민 교수를 통해 각각 전체적인 구성과 세부 항목인 factor에 대한 분석을 수행하였다.

자문 결과, CII PPMOF는 구체적인 정보가 부족한 입찰초기단계에 적합한 프로그램으로 category와 factor가 발주자의 관점에서 구성되어 있고, factor의 가중치가 설정되어 있지 않기 때문에 사용자의 환경에 맞는 가중치의 결정이 제안되었다. 또한 모듈화 의사 결정 툴의 EPC사 환경에 적합한 개발을 위해서는 category, factor가 EPC사의 환경에 부합되도록 수정되고 각각의 가중치들이 결정되어야 하며 프로그램 개발 완료 후에도 지소적적인 프로그램의 실증을 통해 타당성 평가의 결과가 향상되어야 한다고 제안되었다.

(다) 모듈화 적용현장 실무자 설문실시

분석결과와 전문가 자문을 바탕으로 프로그램 개발 방향을 설정하였다. 1차적으로는 category와

세부 평가항목을 결정하는 것, 2차적으로는 category와 세부 평가항목의 가중치를 결정하는 것이다. 이 두 가지를 결정하는데 모듈화 프로젝트의 특성을 반영하기 위해 현재 진행되고 있는 모듈화 프로젝트인 SARB와 VERE의 실무자를 대상으로 설문을 실시하였다. SARB 프로젝트는 UAE 해상의 섬에서 진행되는 공사이다. 국가적으로는 안정되고 익숙한 나라이지만 섬이라는 특성상 모듈화 적용이 불가피했고, 발주처도 환경보고, 안전확보 등을 이유로 모듈화 적용을 요구하였다. 하지만 대규모 모듈이 적용된 첫 번째 프로젝트이로서 많은 시행착오를 겪은 난이도가 높은 프로젝트로 평가되었다.

<표 2-41> 설문대상 현장

구 분	SARB	VERE
현장사진		
공사개요	일산 20만 베럴(200L 드럼 16만개) 3,500만 ft3 (CNG 버스 6,600 충전 가능한 양)의 원유 및 가스처리 공사	일산 21만 배럴 중질원유 생산가능 Refinery
현장특징	공사위치가 섬지역으로 모듈화 불가피 발주처 측 모듈화 적용 요구	강성노조, 낮은 현지 노동생산성으로 모듈화 불가피 비교적 프로젝트 기획 철저하여 수행 수월

CII PPMOF를 분석한 결과와 전문가 자문 내용을 종합하여 EPC사에 적합한 초기버전의 8개의 category와 56개의 factor가 결정되었다. 현장 실무데이터를 반영하기 위해 SARB, VERE 현장 관련자 150명을 대상으로 1차 설문조사가 수행되었다. 1차 설문조사의 목적은 ① factor를 중요도에 따라 삭제/수정/통합 하는 것과 ② category의 중요도를 파악하는 것, ③ 추가적인 의견을 반영하여 factor를 추가하는 것이다. 따라서 설문조사는 ① 각 factor를 상중하로 평가하는 것과 ② category의 순위를 결정하는 것, ③ 추가적인 주관식 의견란으로 총 58개의 문항으로 구성되었다.



[그림 2-148] Factor 중요도 결정 설문조사 페이지

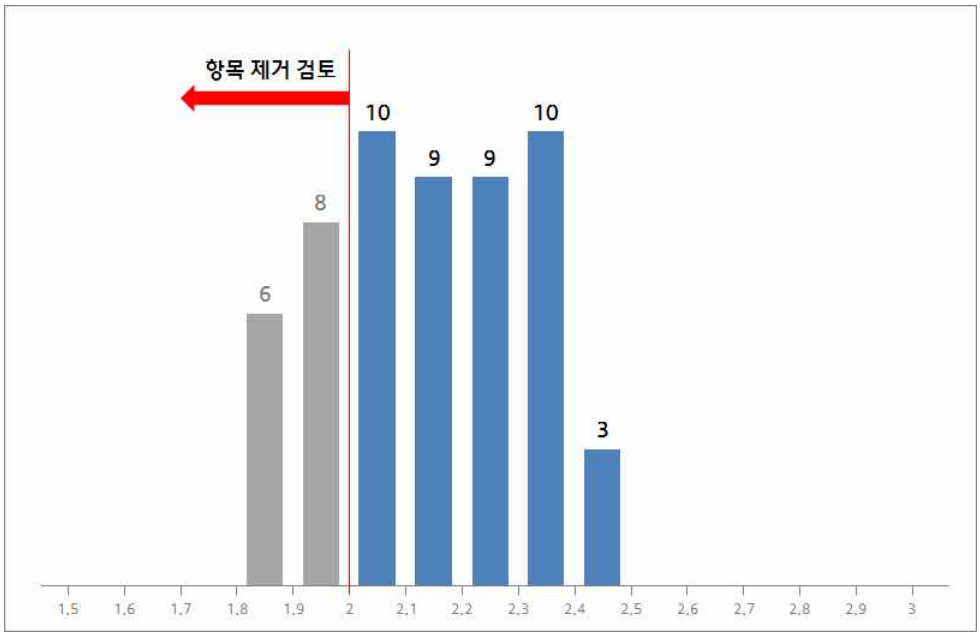


[그림 2-149] Category 우선순위 결정 페이지

1차 설문조사 결과는 다음과 같다.

① Factor의 중요도를 평가한 결과 최소 1.83점 ~ 최대 2.49점의 분포를 보였다. 평균값은 2.14점으로 factor들 중 2점 이하의 항목들은 삭제/수정/통합의 대상으로 분류했다. 점수 분포도는 아래 그림과 같다.

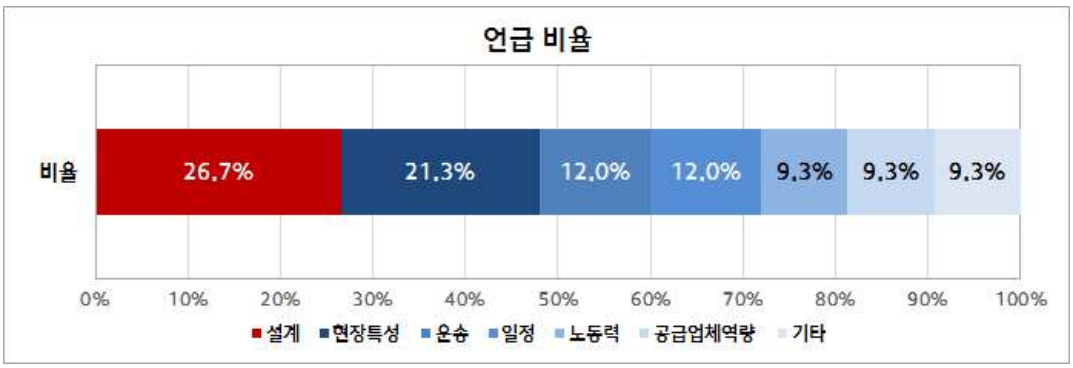
② Category의 중요도를 평가한 결과는 다음과 같았다. 설문자들이 가장 중요하다고 판단한 항목은 현장특성으로 설문자의 36%가 1순위로 지목했다. 두 번째 중요하다고 판단한 항목은 일정이었고, 세 번째는 설계로 각각 23.7%, 11.5%가 1위로 지목하였다. 그리고 가장 중요하지 않다고 판단한 항목은 안전이었다. Category 항목들의 중요도 순위와 1위를 선택한 비율은 아래 표와 같다.



[그림 2-150] Factor 점수 분포도

<표 2-42> Category 중요도 순위

순위	Category	1위 선택 비율
1	현장특성	36.0%
2	일정	23.7%
3	설계	11.5%
4	노동력	7.2%
5	공급업체 역량	7.2%
6	비용	6.5%
7	운송 및 인양 요구사항	5.8%
8	안전	2.2%



[그림 2-151] 주관식 설문 언급 비율

③ 추가적으로 모듈화 적용을 결정하는데 중요한 요소를 물어본 질문에 대한 결과는 다음과 같았다. 언급횟수로는 설계가 가장 많았다. 설계에 관련된 의견을 살펴보면, 설계의 조기확정이 중요하다는 의견이 가장 많았고, 설계의 정확도에 대한 의견이 그 다음으로 많았다. 두 번째로 많이 언급된 항목은 현장특성 이었다. 현장특성 관련 의견을 살펴보면, 현장상황이나 특성이 중요하다는 의견이 많았고, 기후가 중요하다는 의견이 뒤를 이었다. 언급횟수 비율은 위 그림과 같다.

①, ②, ③의 결과를 바탕으로 그 중요도에 따라서 2점 이하의 factor들의 우선순위를 정해 삭제할 것, 수정/통합할 것, 추가할 것들을 결정하는 단계를 통해 factor를 확정하였다. 그 결과 category 8개, factor 46개로 최종 결정했다. 세부내용은 위의 표와 같다.

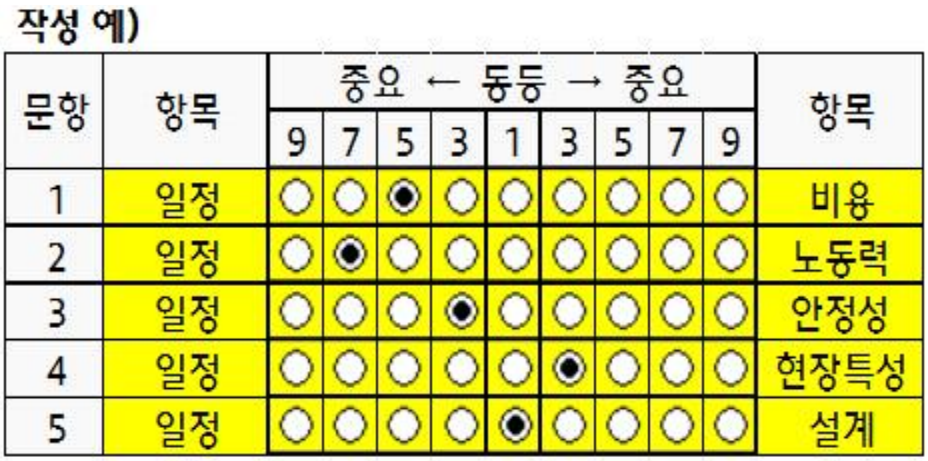
<표 2-43> Category/Factor

Category	Factor	Category	Factor
일정	공기단축	현장특성	현장의 날씨 조건
	Revamping공사 시 shut down기간의 단축		정치적 이슈
	착공지연		환경적 제약
	프로젝트 인허가		프로젝트를 지원할 수 있는 인프라
	운송에 대한 시기적 제한		운송의 용이성
	장기발주품목(LLI)		충분한 yard확보
	LD Risk		최소 인프라를 보유한 원격지
	조기완공의 보상	설계	공사 초기의 적임자 가용성
비용	원가 control		설계 조기 확정
	현금흐름		프로젝트 수행 조직도
	특정지역의 경제적요인		설계수준
노동력	노동 생산상	운송 및 인양 요구사항	운송 수단의 가용성
	노동 밀도		운송 인프라
	지역 또는 국가적 노동 유효성		허가
	숙련된 노동력의 활용		인양 장비
	복수 프로젝트 환경에서의 충분한 노동력		모듈을 위한 기초
	노동협의 또는 관할권 논쟁		중량물 인양 계획
	인건비의 안정성	공급업체 역량	공급업체 가용성
	작업자의 교대 근무		모듈 제작샵의 생산역량
안전	익숙치 않은 지역 또는 지역적 위험		모듈 제작샵의 설계역량
	기존 운전 중인 시설		
	현장 노동력 밀도		
	고소작업, 한정된 공간, 유독한공간의리스크증가		
	무재해 달성을 통한 금전적보상		
	중량물		
	규제 요건		

2차 설문조사는 SARB, VERE 현장 관련자 중 주요 인원 50명을 대상으로 진행하였다. 가중치를 결정하기 위해 각 항목들의 1:1비교를 반복적으로 수행하는 AHP(Analytic Hierarchy Process)기

법을 활용하였다. AHP기법은 다수의 항목들 간의 중요도를 평가할 때, 다수의 항목을 한번에 비교해 순위를 결정하는 것은 어렵기 때문에 반복적인 1:1 비교를 통해 중요도를 평가하는 방법이다. AHP기법을 통해 정성적인 데이터를 정량화하여 가중치를 결정했고, 일관성평가를 통해 답변의 신뢰성을 검증하였다. 설문조사는 1:1 중요도를 평가하는 문항 125개로 구성되었다.

현장 전문가들을 대상으로 AHP기법을 활용한 설문조사를 수행한 결과 category와 factor의 가중치는 다음 두 표에 정리된 바와 같다. 한 개의 Category내 Factor의 가중치 총 합은 1이 되도록 설정되었다. Category의 가중치도 마찬가지로 모든 Category의 가중치 합은 1이 된다.


작성 예)

문항	항목	중요 ← 동등 → 중요									항목
		9	7	5	3	1	3	5	7	9	
1	일정	○	○	◉	○	○	○	○	○	○	비용
2	일정	○	◉	○	○	○	○	○	○	○	노동력
3	일정	○	○	○	◉	○	○	○	○	○	안정성
4	일정	○	○	○	○	○	◉	○	○	○	현장특성
5	일정	○	○	○	○	◉	○	○	○	○	설계

[그림 2-152] AHP기법 1:1비교 예

<표 2-44> Category 가중치

Category	가중치
일정	0.15
비용	0.05
노동력	0.05
안전	0.10
현장특성	0.20
설계	0.15
운송 및 인양 요구사항	0.20
공급업체 역량	0.10
합 계	1.00

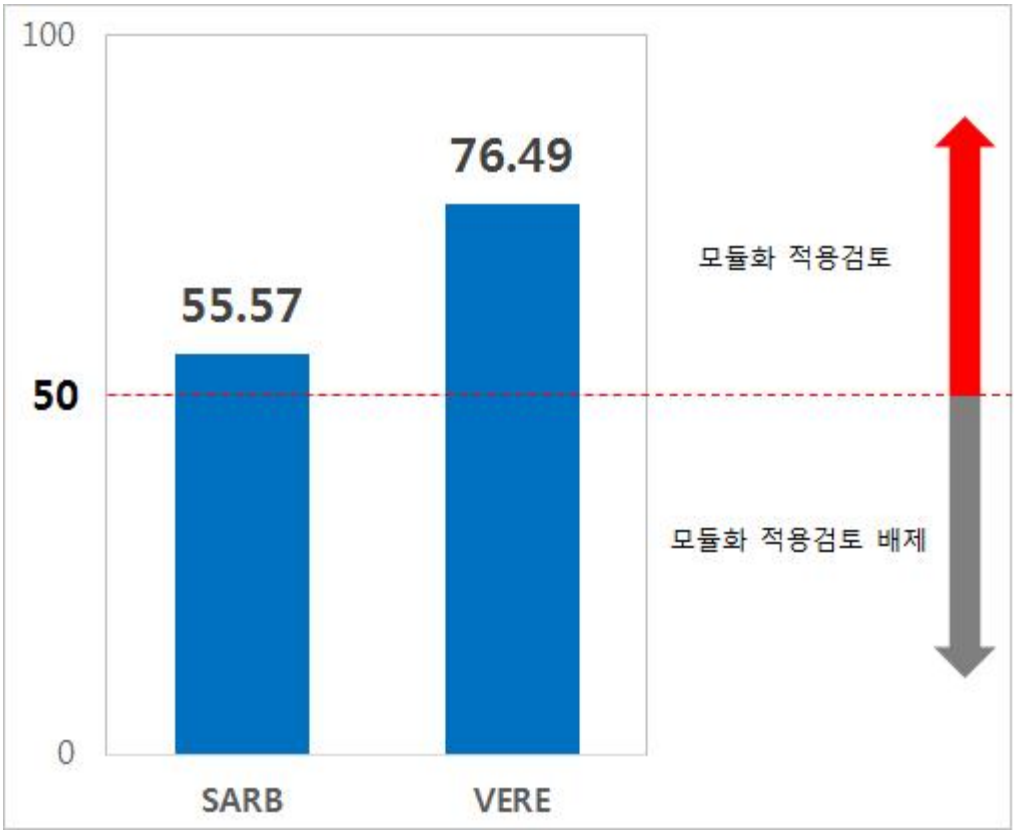
<표 2-45> Factor 가중치

일정	가중치	현장특성	가중치
공기단축	0.12	현장의 날씨 조건	0.10
Revamping공사 시 shut down기간의 단축	0.16	정치적 이슈	0.05
착공지연	0.10	환경적 제약	0.15
프로젝트 인허가	0.05	프로젝트를 지원할 수 있는 인프라	0.15
운송에 대한 시기적 제한	0.15	운송의 용이성	0.20
장기발주품목(LLI)	0.14	충분한 yard확보	0.20
LD Risk	0.18	최소 인프라를 보유한 원격지	0.15
조기완공의 보상	0.10	설계	가중치
비용	가중치	공사 초기의 적임자 가용성	0.15
원가 control	0.30	설계 조기 확정	0.40
현금흐름	0.10	프로젝트 수행 조직도	0.20
특정지역의 경제적요인	0.60	설계수준	0.25
노동력	가중치	운송	가중치
노동 생산상	0.20	운송 수단의 가용성	0.20
노동 밀도	0.10	운송 인프라	0.25
지역 또는 국가적 노동 유효성	0.15	허가	0.10
숙련된 노동력의 활용	0.20	인양 장비	0.20
복수 프로젝트 환경에서의 충분한 노동력	0.05	모듈을 위한 기초	0.10
노동협의 또는 관할권 논쟁	0.07	중량물 인양 계획	0.15
인건비의 안정성	0.08	공급업체 역량	가중치
작업자의 교대 근무	0.15	공급업체 가용성	0.20
안전	가중치	모듈 제작샵의 생산역량	0.50
익숙치 않은 지역 또는 지역적 위험	0.20	모듈 제작샵의 설계역량	0.30
기존 운전 중인 시설	0.10		
현장 노동력 밀도	0.15		
고소작업, 한정된 공간, 유독한 공간의 리스크 증가	0.18		
무재해 달성을 통한 금전적보상	0.10		
중량물	0.15		
규제 요건	0.12		

(3) 모듈화 적용현장 대상 대안 평가 툴 적합성 평가

완성된 대안기술 평가 툴의 적합성 검증을 위해 실제 프로젝트를 대상으로 실증을 수행하였다. 초기 기준 점수는 50점으로 설정되었고, 실증을 통해 모듈화 적용성 여부에 대한 기준 점수를 조정하였다.

1차 실증은 최초 설문조사를 실시했던 모듈화 적용현장 SARB, VERE 관련자 약 90명을 대상으로 실시했으며, 그 결과는 위 그림과 같다.



[그림 2-153] Decision-M 1차 실증 결과

SARB 현장의 프로그램 실증 결과는 55.57점이 나왔다. 모듈화를 적용했고, 모듈화가 불가피한 현장임에도 불구하고 기준 점수 50점을 겨우 웃도는 결과를 보인 이유는 난이도가 높은 프로젝트이기 때문에 모듈화 수행에 부정적인 인식이 존재하기 때문으로 분석되었다. SARB 프로젝트는 초기 모듈화 검토의 시행착오로 다수의 설계변경이 발생했고, 시공이나 운송에서도 다양한 시행착오가 발생했다. 이러한 원인들이 실무자들에게 모듈화에 대한 다소 부정적인 인식을 발생시켰고, 결과적으로 중립을 약간 상회하는 결과가 도출되었다고 판단된다.

VERE 현장의 프로그램 실증 결과는 76.49점이다. VERE 프로젝트의 경우는 베네수엘라의 국가적 특성인 낮은 노동생산성과 불안한 정치적 상황으로 모듈화가 불가피 한 것으로 판단되었고, 프로젝트의 충분한 기획 기간으로 인해 모듈화가 순조롭게 적용된 점 등이 높은 점수로 나타난 것으

로 분석되었다.

(4) 모듈화 대안 데이터베이스 작성

Stick-build의 대안 기술인 모듈에 대해서도 모듈화 시나리오에 따라 다양한 대안이 수립될 수 있다. 이러한 모듈화 시나리오를 평가하기 위하여 본 연구에서는 상기 모듈화 대안 평가 시 점검해야 하는 항목들에 대하여 데이터베이스를 작성하였다.

(가) 일정

프로젝트 일정은 모듈화 의사결정의 가장 결정적인 요소이다. 모듈화의 가장 큰 목적인 공기단축을 통한 리스크 비용 절감이 가능한지에 대하여 가장 첫 번째로 검토하게 된다.

<표 2-46> 일정 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
공기단축	Stick built vs Modularization 마일스톤 스케줄 점검 - 총 여유 비교	공정
Revamping공사 시 shutdown기간의 단축	Yes or No (ITT) - Grassroot project vs. Brownfield project - Maybe have a few tie-in points with existing plant	EM
착공지연	Yes or No - 프로젝트 금융의 계획 여부	PM
프로젝트 인허가	Yes or No - Site hand over의 지연가능성 여부	토목
운송에 대한 시기적 제한	Site condition - Weather, Climate: 작업 일수에 미치는 영향 여부 (ITT) - Site Location: Port 이용 스케줄의 제한 여부 (관청)	토목
	Logistic condition - Ocean freight: Port까지 운송에 제약이 있는 시기 확인 - River route: Port to Jetty 운송에 제약이 있는 시기 확인 - Inland route: 운송에 제약이 있는 시기 확인	물류
장기발주품목(LLI)	LLI 개수, 예상납기	EM
LD Risk	Yes or No (ITT) - Contractor propose a project schedule and LD condition	PM
조기완공의 보상	Yes or No (ITT)	PM

(나) 비용

현지 경제지표에 변동성이 클 때 모듈화를 통해 타 지역에서 제작 및 납품함에 따라 프로젝트 예산의 건전성을 확보할 수 있다. 그러나 모듈 제작 및 운송 계약방법에 따라 현금흐름에 영향을

줄 수 있으므로 주의해야 한다.

<표 2-47> 비용 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
원가 Control	변동성 지수 - 노임단가, 장비대여비용, 금융	PM
현금흐름	지급조건 - 모듈제작 및 운송의 EP 포함 또는 C 포함 여부	PM
특정 지역의 경제적 요인	조세위험 - Frequent change / No refundable withholding tax	PM/회계

(다) 노동력

현장의 생산성이 저하되는 상황에서 모듈화 작업환경 조성이 매우 중요하다. 모듈화 의사결정을 위하여 현장의 노동력에 대한 구체적인 검토가 이루어지게 된다.

<표 2-48> 노동 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
노동 생산성	노임단가 비교 (타 지역 대비 XX배)	PM
노동 밀도	현장 내 사용가능한 Laydown area 확인 (Clarification) CWP Mosaic 분석	PM
지역 또는 국가적 노동 유효성	취업인구 비율 / 교육수준 / 숙련된 노동자 비율	PM
숙련된 노동력의 활용	숙련된 노동자 보유여부 / 삼국인 인선 가능여부	PM
복수 프로젝트 환경에서의 충분한 노동력	동시 수행 중인 프로젝트의 수 (회사/지역/산업전반) 관리자 - 인당 프로젝트 참여 수 (비율)	PM
노동협의 또는 관할권 논쟁	Local Contents Requirement	PM
인건비의 안정성	노동 수급의 변동지수, 노임 단가의 변동지수	PM
작업자의 교대 근무	Fast track schedule이 예상되는가? 스케줄 리스크로 인한 돌관 예상 여부, Tie-in 작업 등 교대근무의 요구 여부	PM

(라) 안전

안전은 건설산업에서 가장 중요하게 요구되는 관리요소로서 모듈화 프로젝트를 통한 안전 확보는 자명한 사실이다. 프로젝트의 안전기능 확보 요구수준에 따라 모듈화 의사결정에 상당한 영향을 미칠 것이다.

<표 2-49> 안전 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
익숙치 않은 지역 또는 지역적 위험	지역에 대한 충분한 정보를 가지고 있지 않음 (Y/N) - 신규 진출국가 또는 지역 리스크 변동성이 큼	PM
기존 운전 중인 시설	기존 플랜트와 Isolation - 안전관리 포인트의 증가 여부	PM
현장 노동력 밀도	현장 노동밀도를 줄여 안전을 확보할 필요가 있음 (Y/N) - 공종 간 복잡한 인터페이스 및 동시 작업 여부 - (예) civil vs. structure (야드사용), piping vs. electrical	PM/안전
고소작업, 한정된 공간, 유독한 공간의 리스크 증가	Piperack의 높이 검토, 고소작업의 위험 존재 여부 용접 등에 필요한 충분한 작업 공간 확보 여부 (DWG. 확인)	PM/안전
무재해 달성을 통한 금전적보상	무재해 달성에 대한 인센티브 조항의 유무	PM
중량물	중량물 반입(Access road), 설치(Heavy haul) 계획에 따른 위험요소 존재 여부	PM
규제 요건	모듈화를 통한 현장 안전관리 포인트 감소 여부	안전

(마) 현장특성

현장의 조건은 플랜트 모듈화의 가장 확실한 추진동력이 된다. 프로젝트의 리스크 요인에 대한 검토 뿐만 아니라 모듈화 시나리오 작성의 단초가 된다.

<표 2-50> 현장 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
현장의 날씨 조건	연간 월별 기온/강수량/적설량/풍속/일조시간 차트	PM
정치적 이슈	분쟁 위험요소의 존재 여부	PM
환경적 제약	환경보호지역 등으로 인한 현장 작업 최소화 필요 여부 (ITB & Site visit시 파악)	PM/토목
프로젝트를 지원할 수 있는 인프라	Camp 수용인원의 제한으로 인한 모듈화 요구	PM
운송의 용이성	Inland transportation: 현지 국토교통정보 확인 River/Marine transportation: 가용한 Vessel 확인 (D x L x H & weight)	PM/기계/ 물류
충분한 yard확보	모듈 하역장 및 보관, 설치에 필요한 공간 확보 여부(Site visit시 확인)	PM/토목
최소 인프라를 보유한 원격지	Camp 시설의 제한으로 인한 현장 인원 감축 요구 여부	PM

(바) 설계

모듈화를 수행할 경우 설계 패키지에 변경이 발생한다. 모듈에 적합한 설계패키지를 구성하고 이 과정에서 발주처와 벤더를 포함한 이해관계자를 참여시키는 것이 모듈화 프로젝트의 성공과 실패를 가르는 결정적인 요소로 작용한다.

<표 2-51> 설계 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
공사 초기의 적임자 가용성	FEED에의 모듈 설계 반영 여부 Module 설계에 경험있는 엔지니어의 참여 여부 발주처, 설계사, 벤더의 모듈화 워크샵 참여 여부	PM/EM
설계 조기 확정	프로젝트 초기의 모듈화 설계에 대한 검토 유무	EM
프로젝트 수행 조직도	모듈 수행 경험자의 프로젝트 참여 여부	PM
설계수준	설계능력/설계변경에 대한 대응능력 확보 여부 FEED/DD의 EPC사 책임 여부	EM

(사) 운송 및 인양 요구사항

모듈의 운송과 인양은 모듈설계 시 가장 중요하게 작용하는 변수로서 프로젝트 초기에 결정이 되어야 한다. 현지 인프라에 맞는 운송수단을 결정할 수 있는지가 모듈화 의사결정에서 중요하게 작용할 것이다.

<표 2-52> 운송/인양 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
운송 수단의 가용성	운송수단에 대한 study의 확보 여부 (가용성 & 경제성) - The largest size of piperack module: - Number of piperack module:	PM/기계/물류
운송 인프라	by inland: 금액 반영 가능 여부 - Over bridge: Reinforcement the bridge - Lifting electricity cables : Crane 등 - Repair damaged road - Claim due to City pass by ship: 금액 반응 가능 여부 - Transit & storage cost at port - Schedule change for marine equipment - Over bridge: Reinforcement the bridge - Modify jetty - MWS mobilization	PM/기계/물류
허가	지방정부의 허가 여부 사례 및 규정의 유무	PM/기계/물류
인양 장비	현지동원 또는 주변국 동원 가능 여부 인근현장과의 공유 가용 가능 여부	PM/기계/물류
모듈을 위한 기초	Module당 XX톤 미만 (모듈무게 & 지반조건 확인) 추가적 기초공사의 필요 여부 Reinforce pad를 사용 조건 검토	EM/토목
중량물 인양 계획	합리적인 중량물 인양계획의 확보 여부	PM/기계/물류

(아) 공급업체 역량

모듈제작장의 위치와 인프라 조사는 모듈의 운송수단을 결정하고 이에 따른 설계에 영향을 미치는 요소로서 프로젝트 일정 및 부지조사와 함께 가장 초기에 검토되어야 하는 대상이다.

<표 2-53> 공급업체 영향 평가 데이터베이스

Factor	Checklists	비고
공급업체 가용성	공급업체 리스트(역량포함) 확보 여부 - 제작장 부지면적, 장비/인력, Jetty, 안전관리, 품질관리 등 AVL에 추가 가능	PM/기계
모듈 제작샵의 생산역량	가용한 모듈제작장의 위치 (eg.) 한국은 생산역량이 충분하지만 운송비용이 많이 든다.	PM/기계
모듈 제작샵의 설계역량	가용한 모듈제작장의 위치 (eg.) 한국은 설계역량이 충분하지만 운송비용이 많이 든다.	PM/기계

(5) 결론

본 연구에서는 stick built공법의 대안으로 제시된 모듈화 공법 적용의 타당성 검토 여부를 판단할 수 있는 툴을 개발하였다. 대안기술 타당성 평가 툴을 개발하기 위해 첫 번째 단계에서는 대안기술 적용에 있어서 중요한 항목들을 추출하여 정리하였고, 항목들은 category와 factor로 2단계로 체계화 되었다. 항목에 대한 적절성과 항목의 중요도를 나타내는 가중치는 전문가와 현장 실무자들을 대상으로 실시한 자문과 설문조사를 통해 설정하였으며 개발한 툴은 모듈 프로젝트를 대상으로 실시한 실증을 통해 적합성을 평가하였다.

대안 평가 툴의 평가의 신뢰성을 확보하기 위해 모듈화 대안 검토 database를 작성하였다. Database는 확정된 대안기술 항목 별로 실제 입찰이 진행된 프로젝트의 데이터를 매칭하였다. 이는 기존의 경험 중심의 의사결정에 객관적인 평가척도를 도입함으로써 데이터 중심의 전략적인 의사결정을 가능하게 하였다.

바. 협업단위 모듈화 고유모델 개발

(1) 입찰절차

입찰은 일반적으로 입찰자가 발주처로부터 발급받은 ITB를 바탕으로 제안서를 작성하기 위해 수행되는 과정으로 이루어진다. 제안서는 commercial proposal과 technical proposal로 구성된다. Commercial proposal에는 입찰자가 설계, 구매, 시공을 위한 재료, 투입 인력과 기타 필수 비용이 포함된다. 기본 설계 검토를 통해 투입되는 재료, 장비, 인력을 산정하게 되고, 협력업체의 견적과 내부 자료를 활용해 필요한 비용을 산정한다. 공사의 수행에 필요한 다양한 간접비용도 산정하게 된다. 반면에 technical proposal에는 프로젝트 공정, 관리 계획, 기술적 검토를 포함하는 작업계획을 수록한다. Technical proposal을 작성하는 과정은 프로젝트를 수행하는데 필요한 기술적 검토를 수행하며 이를 발주처와 협의하는 작업으로 이루어지게 된다. EPC사의 관점에서 보면 입찰 절차는 입찰초청서(ITB, Invitation to Bid)의 접수로부터 시작되며 ITB를 접수한 후의 입찰 업무는 일반적으로 다음의 업무 단계를 거쳐 진행하게 된다. 그러나 입찰 과정에서 아래의 단계는 한 단계가 종료되면 다음 단계가 시작되는 독립적이고 순차적인 진행이 아니라 각각의 단계가 중복되고 때로는 반복적으로 수행되는 복합적인 진행이다.

- 입찰 자격 심사를 위한 PQ(pre-Qualification) 작성 및 제출
- 입찰 설계/물량 명세서(BOQ, Bill of Quantity) 작성
- 입찰용 협력업체 견적
- 입찰용 제안서/사업계획서 작성

모듈화 사업의 경우에도 일반적인 프로젝트와 절차상으로는 유사하게 진행된다. 모듈화 사업은 발주처가 모듈화를 결정한 경우와 EPC사가 성공적 사업을 위해 모듈화를 결정하는 경우로 나뉘게 되는데, 첫 번째의 경우에는 모듈의 적용이 결정된 상태이기 때문에 입찰 단계에서 모듈 적용 비

율, 방법 등의 상세를 결정해야 하고, 두 번째의 경우에는 모듈 적용 비율, 방법을 포함해 모듈 적용 여부부터 결정하여야 한다. 두 가지의 경우 모두 ITB검토 단계에서부터 모듈에 대한 고려를 시작해서 최종적으로는 협력업체의 입찰용 견적이 마무리 되는 단계에서 결정될 수 있다. 그러나 성공적인 사업 수행을 위해서는 가능한 입찰 초기에 모듈화 적용 여부 및 비율에 대해 결정하고 그 이후에는 결정된 모듈 비율에 대해 상세한 입찰 설계와 견적 작업에 집중하는 것이 필요하다. 위에 언급된 것처럼 중복적이고 복합적으로 진행되는 협업 형태의 업무를 효율적으로 수행하기 위해서는 모듈 관련 입찰 업무에서 주요 업무를 설정하고 그 주요 업무의 효율적 진행을 지원하기 위한 방안을 도출해 가능한 초기의 입찰 단계에서 모듈 최적화를 결정하는 것이 필요하다.

(2) 주요 모듈화 입찰 단계

전술한 바와 같이 효율적인 모듈화 최적화 지원 방안을 위해서는 모듈화 입찰 단계에서의 주요 단계를 선정해야 한다. 주요 단계를 결정하는 요인은 모듈 최적화를 위한 의사 결정 과정의 포함 여부와 다양한 부서의 협업 필요 여부이다. 이에 따라 가능한 입찰 초기에 모듈 최적화 안을 도출하기 위한 주요 단계는 다음과 같이 결정되었다.

① 모듈 적용 검토 여부 결정 단계

② 모듈 제한 조건 도출 단계

③ 모듈 최적화 비율 결정 단계

첫 번째 모듈 적용 검토 여부 결정 단계는 ITB 접수 직후 제한된 정보를 바탕으로 발주된 사업의 모듈 적용 검토 여부를 결정하는 단계로 모듈 최적화의 가장 선행 단계이면서도 다양한 실무진의 의견이 수렴되어야 하는 단계이다. 두 번째 모듈 제한 조건 도출 단계는 입찰용 모듈 설계의 가장 선행 단계로 모듈 설계에 있어 주어진 사업 조건에 따라 가능한 최대 모듈 규격(모듈 크기 및 중량)을 결정하는 단계이다. 이를 바탕으로 설계부서는 모듈 리스트와 BOQ를 작성하게 된다. 마지막은 모듈 최적화 비율 결정 단계이다. 모듈 제한 조건에 따라 설계 부서에서 모듈 리스트와 각 모듈별 BOQ를 작성하게 되면 이를 바탕으로 설계, 구매, 운송, 공정, 시공 등의 다양한 부서가 최적화된 모듈 비율을 결정하게 된다. 모듈 최적화는 기술적인 검토가 기본적으로 이루어지겠지만 최종적으로는 물량, 운송, 공기 등이 비용으로 환산되어 결정되게 된다. 각각의 단계에 대한 상세한 서술은 다음과 같다.

(가) 모듈화 검토 여부 결정 단계

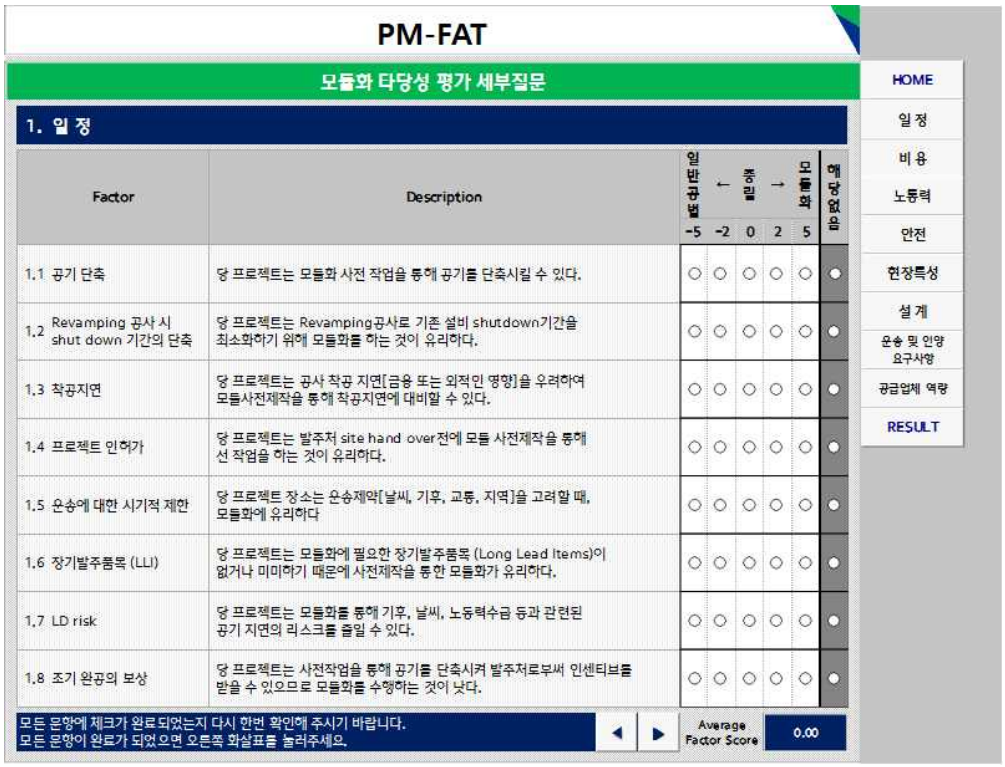
발주처가 모듈화를 결정한 사업이 아닌 경우에는 입찰 단계에서 모듈화의 검토 여부를 결정하는 것이 매우 중요하다. 또한 입찰 기간이 3~6개월로 짧은 경우가 많으므로 EPC사의 입장에서는 가능한 입찰 초기에 모듈화 검토 여부를 결정하는 것이 중요하다. 그러나 입찰 초기에는 모듈화를

위한 제작샵, 운송 루트 등에 대한 조사가 정확히 이루어지지 않은 상태이기 때문에 한정된 정보를 바탕으로 모듈화 적용 타당성을 검토하는 기술이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대안기술 타당성 평가 툴(이하 PM-FAT, Pre-Stage Modularization Feasibility Assessment Tool)을 활용하여 입찰 초기 모듈화 적용에 대한 검토 여부를 결정하는 것을 제안하였다. PM-FAT은 '2)모듈화 VE 대안기술'에서 전술한 바와 같이 일정, 비용, 노동력, 안전, 현장특성, 설계, 운송 및 인양 요구사항, 공급업체 역량의 8개의 category에 총 46개의 factor라는 질문으로 구성된 설문조사 형태의 툴이다.

사업이 발주되면 입찰에 참여하는 실무자는 ITB와 FEED에 수록된 정보를 바탕으로 PM-FAT의 각각의 factor에 대해 모듈화 또는 strick-built 공법에 대한 적합도를 +5~-5의 점수로 평가하게 되고 평가된 점수는 각각의 category와 factor에 따라 설정되어 있는 가중치를 고려한 합산을 통해 최종 평가 점수를 도출하게 된다.

PM-FAT은 입찰 초기에 사업에 대한 제한된 정보를 바탕으로 실무자들이 개별 설문조사 또는 워크샵을 통해 모듈화 검토 여부를 신속히 결정할 수 있는 도구로서 사업 성격, 설계와 시공 및 사업 운영 역량, 현지 인프라 확보 여부 등의 정성적 정보를 바탕으로 모듈화 검토 여부를 판단할 수 있는 정량적 기준인 모듈화 적합 점수를 도출해주는 데 그 의의가 있다. 다음은 PM-FAT 프로그램의 시작화면, 적합도 평가 화면과 최종 결과 산출 화면이다.





PM-FAT

모듈화 타당성 평가 세부질문

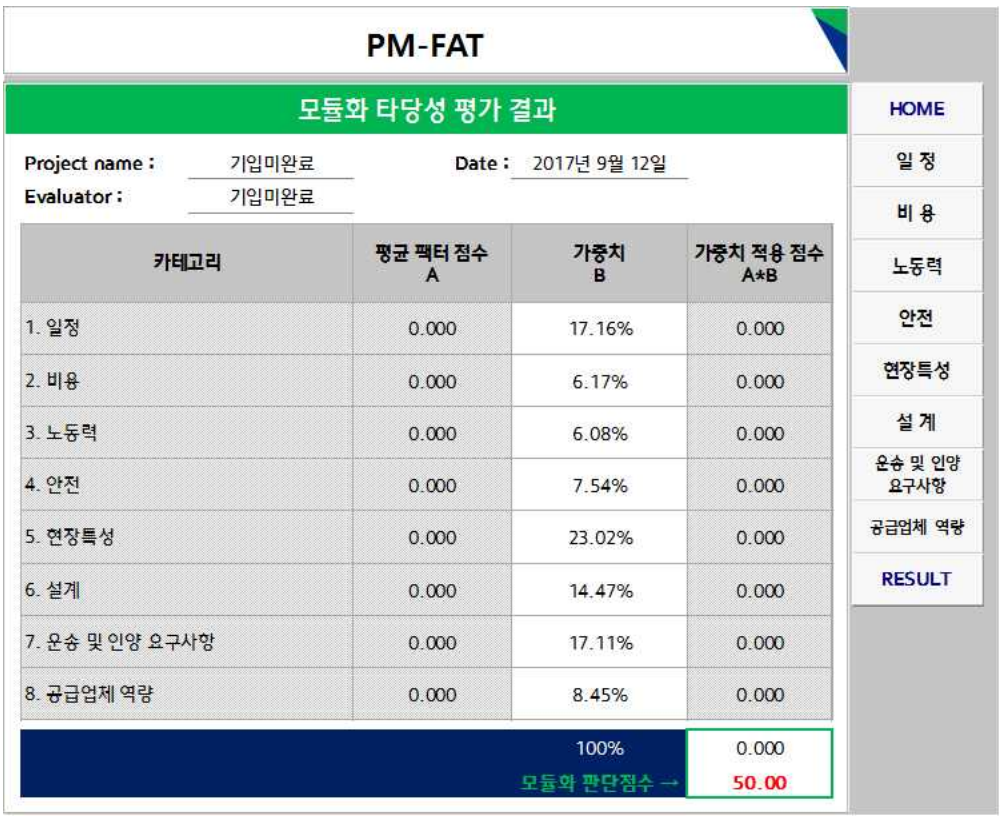
1. 일 정

Factor	Description	일반공법 ← -5	-2	중립 0	2	→ 모듈화 5	해당없음
1.1 공기 단축	당 프로젝트는 모듈화 사전 작업을 통해 공기를 단축시킬 수 있다.	○	○	○	○	○	●
1.2 Revamping 공사 시 shut down 기간의 단축	당 프로젝트는 Revamping공사로 기존 설비 shutdown기간을 최소화하기 위해 모듈화를 하는 것이 유리하다.	○	○	○	○	○	●
1.3 착공지연	당 프로젝트는 공사 착공 지연[금융 또는 외적인 영향]을 우려하여 모듈사전제작을 통해 착공지연에 대비할 수 있다.	○	○	○	○	○	●
1.4 프로젝트 인허가	당 프로젝트는 발주처 site hand over전에 모듈 사전제작을 통해 선 작업을 하는 것이 유리하다.	○	○	○	○	○	●
1.5 운송에 대한 시기적 제한	당 프로젝트 장소는 운송제약[날씨, 기후, 교통, 지역]을 고려할 때, 모듈화에 유리하다	○	○	○	○	○	●
1.6 장기발주품목 (LLI)	당 프로젝트는 모듈화에 필요한 장기발주품목 (Long Lead Items)이 없거나 미미하기 때문에 사전제작을 통한 모듈화가 유리하다.	○	○	○	○	○	●
1.7 LD risk	당 프로젝트는 모듈화를 통해 기후, 날씨, 노동력수급 등과 관련된 공기 지연의 리스크를 줄일 수 있다.	○	○	○	○	○	●
1.8 조기 완공의 보상	당 프로젝트는 사전작업을 통해 공기를 단축시켜 발주처로부터 인센티브를 받을 수 있으므로 모듈화를 수행하는 것이 낫다.	○	○	○	○	○	●

모든 문항에 체크가 완료되었는지 다시 한번 확인해 주시기 바랍니다.
모든 문항이 완료가 되었으면 오른쪽 화살표를 눌러주세요.

◀ ▶ Average Factor Score 0.00

HOME
일 정
비 용
노동력
안전
현장특성
설 계
운송 및 인양 요구사항
공급업체 역량
RESULT



PM-FAT

모듈화 타당성 평가 결과

Project name : 기입미완료 Date : 2017년 9월 12일
Evaluator : 기입미완료

카테고리	평균 팩터 점수 A	가중치 B	가중치 적용 점수 A*B
1. 일정	0.000	17.16%	0.000
2. 비용	0.000	6.17%	0.000
3. 노동력	0.000	6.08%	0.000
4. 안전	0.000	7.54%	0.000
5. 현장특성	0.000	23.02%	0.000
6. 설계	0.000	14.47%	0.000
7. 운송 및 인양 요구사항	0.000	17.11%	0.000
8. 공급업체 역량	0.000	8.45%	0.000
		100%	0.000
		모듈화 판단점수 →	50.00

HOME
일 정
비 용
노동력
안전
현장특성
설 계
운송 및 인양 요구사항
공급업체 역량
RESULT

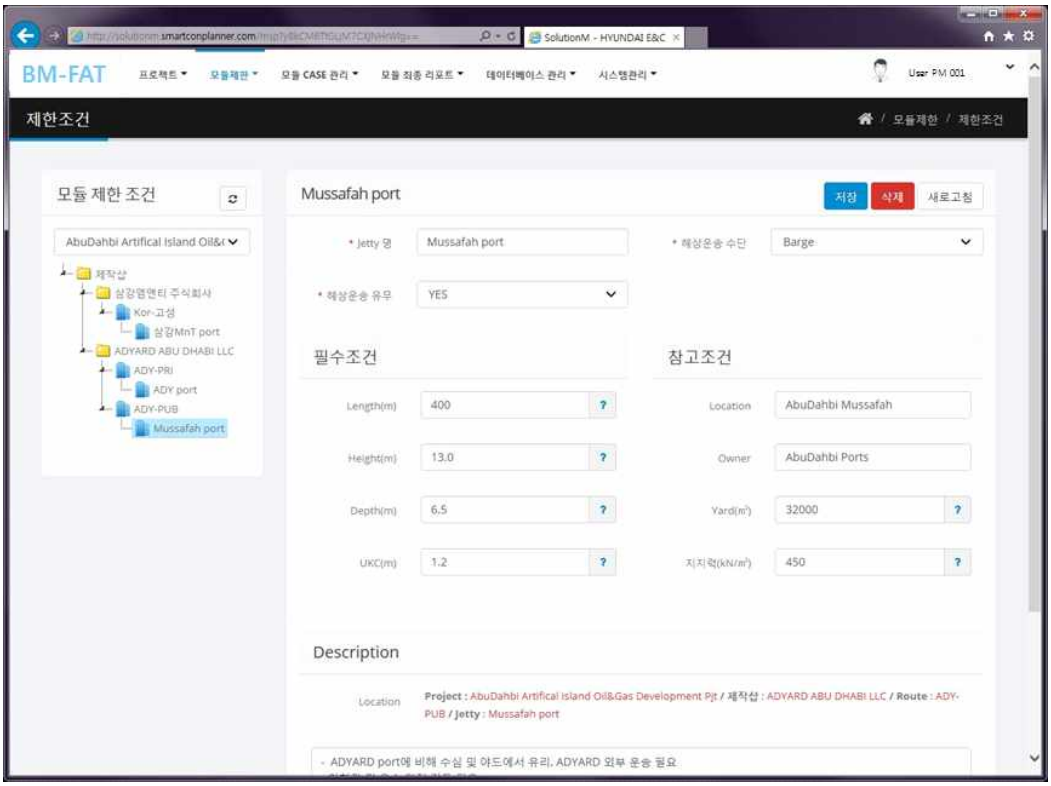
(나) 모듈 제한 조건 도출 단계

모듈화 검토 여부에 대해 결정하게 되면, 그 이후의 입찰 단계는 모듈 설계를 통해 모듈 적용 여부와 모듈 적용 비율 등의 모듈 최적화 단계에 진입하게 된다. 이를 위해 가장 먼저 선결되어야 점은 주어진 사업의 조건으로부터 모듈의 최대 제한 조건을 도출하는 것이다. 이는 모듈 설계에 있어서 모듈 definition을 설정하고 그 모듈 definition에 근거하여 플랜트의 블록을 모듈로 분할하는 모듈 설계의 기초가 되는 작업이다.

모듈은 제작샵의 제작 가능 여부나 현장에서의 설치 가능 여부를 떠나 운송이 가능하지 않으면 의미가 없기 때문에 모듈 제한 조건의 기본은 운송이 가능한 모듈 규격이어야 한다는 조건이다. 모듈의 운송은 일반적으로 육상 운송과 해상 운송으로 나뉘므로 모듈 최대 규격을 선정하기 위한 육상 및 해상 운송의 조건을 조사해야 하며 이를 위해서는 제작샵의 기본적인 조건이 선행적으로 조사되어야 한다.

정리하면, 운송 가능한 모듈 최대 규격인 모듈 제한 조건을 도출하기 위해서 제작샵의 위치를 포함하는 기본적인 조건이 조사되어야 하고 이를 바탕으로 육상 운송, 해상 운송 시 모듈 운송에 연관되는 조건을 조사해 입력하면 BM-FAT은 그로부터 모듈 제한 조건을 도출해 리포트 형식으로 출력하게 해 준다.

BM-FAT은 조사된 조건으로부터 모듈 제한 조건을 도출하기도 하지만 또 하나의 중요한 역할은 협업 체계를 지원하는 것이다. 모듈 제한 조건을 위한 각각의 조사는 하나의 부서에서 수행될 수 없고 다양한 부서에서 동시에 진행된다. 또한 각각의 조사 결과가 다른 조사 결과에 영향을 미치는 서로 종속적인 조건들이 많이 발생하게 되어 실제 업무에서는 최종 조건의 결정을 위해 여러 부서 간 많은 회의가 필요하고 이러한 업무의 진행은 정보 제공에 시차가 발생하거나 누락이 발생해 불필요한 시간과 노력이 소모될 수 있다. 그러나 BM-FAT은 트리 구조를 활용해 다양한 부서에서 생성되는 많은 정보를 실시간으로 공유할 수 있어 최종 결정 이전에 불필요한 회의를 지양하고 명확한 결론에 도달할 수 있도록 지원할 수 있다. 아래 그림은 BM-FAT의 모듈 제한조건 화면이다. 각각의 조건들이 모듈 제한 조건을 도출하는 과정에 대해 좀 더 살펴보면 다음과 같다.



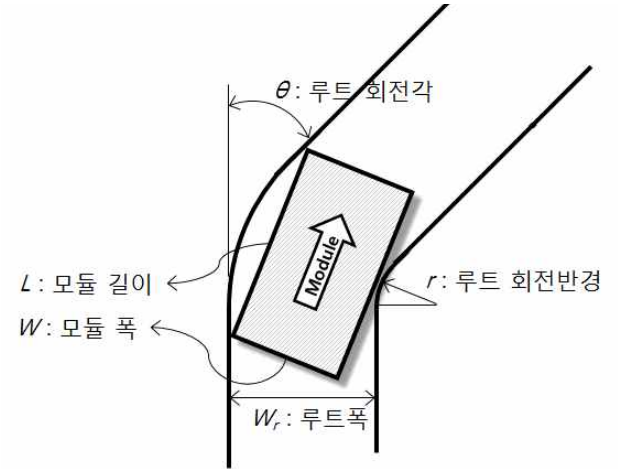
① 제작샵 조건

모듈 제한 조건을 도출하기 위해 가장 먼저 결정되어야 하는 조건인 제작샵에 대해 BM-FAT에는 대한민국 10개소, 중국 12개소, 중동 3개소, 중남미 4개소, 기타 2개소의 제작샵에 대한 기본적인 데이터베이스가 포함되어 있다. 제작샵에 대한 조건 중 모듈 운송에 영향을 미치는 중요한 조건으로 반드시 조사되어야 하는 것으로는 제티 보유 여부 및 제티 조건과 load-out 지점까지의 제작샵 내·외부의 운송 루트 조건 등이 있다. 이러한 조건들은 모듈 규격을 결정하는 결정적 조건인 육상 및 해상 운송 조건으로 활용된다.

② 육상 운송 조건

육상 운송 조건 중 운송 도로의 폭, 경사, 지장물의 높이 등은 모듈의 규격에 직접적으로 영향을 미치는 조건이다. 그 중에서도 가장 먼저 조사되어야 하는 조건은 구조물 제거/재설치에 관한 인허가이다. 인허가와 관련된 구조물에는 지장물로 작용하는 육교, 전선 등을 포함해서 도로 폭에 직접적으로 작용하는 중앙분리대, 인도의 방호벽 또는 난간 등이 포함된다. 지장물의 경우 제거/재설치가 가능하면 육상 운송에 있어서 모듈의 높이에 대한 조건은 소멸되나 그렇지 않은 경우에는 가장 낮은 지장물의 형하고에서 운송수단의 높이를 제한 값이 모듈의 최대 높이가 된다. 도로의 폭은 방호벽, 난간 등이 제거/재설치가 가능하면 모듈의 폭에 대한 제한 조건 보다는 운송수단의 폭에 대한 제한조건을 작용하게 되므로 상대적으로 모듈의 폭에는 여유가 있게 된다. 반면, 인허가가 불가하다면 도로 폭은 모듈의 폭을 제한하게 되므로 상대적으로 불리한 조건으로 작용하게 된다.

구조물의 제거/재설치에 대한 인허가 조사 이후에 모듈의 규격에 직접 영향을 미치는 조건은 운송 루트의 폭, 회전각과 회전 반경이다. 이는 모듈의 길이와 폭의 제한 조건을 형성하는 중요한 조건으로 작용한다. 아래 그림은 루트의 폭, 회전각, 회전 반경과 모듈 크기와의 관계를 기하학적으로 나타내고 있는 그림이다.



그림과 같은 운송 루트와 모듈 크기와의 관계를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{L}{2}\right)\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = (W_r + r) - (W + r)\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

여기서, W는 모듈 폭, L은 모듈 길이, Wr은 운송 루트의 폭, r은 운송 루트의 최소 회전반경, θ는 루트의 회전각의 나타낸다. 위의 식은 주어진 조건, 즉 운송 루트의 폭, 회전 반경, 회전각을 입력하면 모듈 폭과 길이의 관계를 나타내는 식이므로, 주어진 운송 루트에 대해 예상되는 최소 모듈 폭부터 최대폭(루트 폭)까지 일정 간격으로 계산하면 주어진 육상 운송 루트에 대한 모듈의 크기 조건을 도출할 수 있게 된다. 예를 들어 운송 루트의 폭이 22m, 회전 반경이 8m, 회전각이 90°라고 가정하고 모듈 최소 폭 5m 부터 5m 간격으로 20m까지 계산하면 다음 표와 같은 결과가 도출된다. 즉 주어진 조건에 대해 모듈은 폭이 5m인 경우에는 길이가 58m까지 가능하고 모듈 폭이 20m인 경우에는 모듈 길이는 28m 가능하다는 것을 의미한다.

모듈 폭(m)	모듈 길이(m)
5	58.9
10	48.9
15	38.9
20	28.9

이 외의 육상 운송과 관련된 참고조건으로는 루트 상의 지내력과 경사가 있다. 이 중 지 지력은 운송수단이 SPMT인 경우에는 운송되는 SMPT 모듈의 개수를 증가시켜 루트에 작용하는 하중을 감소시킬 수 있고 경사의 경우에는 4%까지는 SPMT로 운송이 가능하나 그 이상의 경사에 대해서

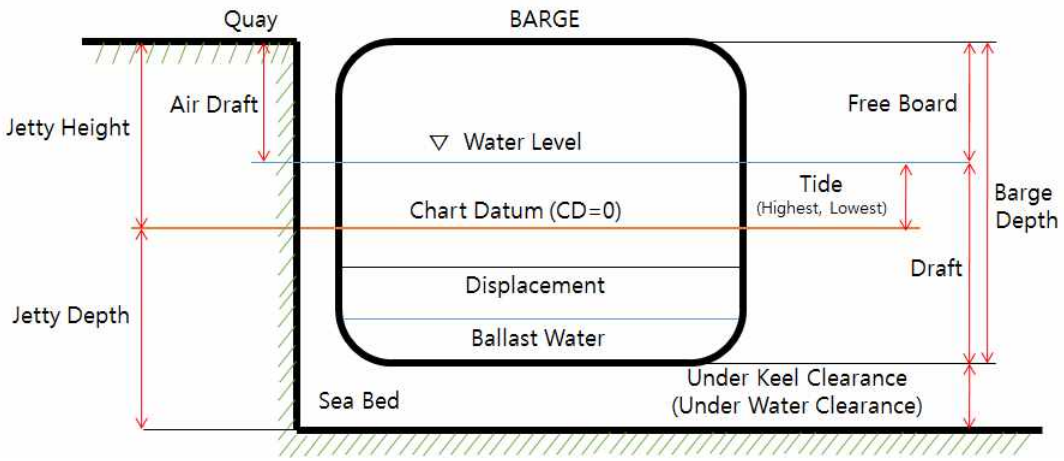
는 운송 방안에 대해 전문 운송사와의 협의가 필요하다.

③ 해상 운송 조건

해상운송은 육상운송과 달리 운송 루트 상의 제한 조건은 발생하지 않는다. 다만 해상에서는 선박으로 모듈을 운송하므로 선박의 규모가 모듈 제한 조건을 결정하게 되는데, 선박은 해상 루트의 영향을 받지 않지만 load-in, load-out 과정에서 정박해야 하는 제티의 조건에 운영할 수 있는 선박의 규모가 결정되므로 결국 제티의 조건이 운송되는 모듈의 제한 조건을 결정하게 된다.

아래 그림은 제티와 바지선과 관계된 수심의 용어에 대한 정의를 나타내고 있다. 제티의 수심과 바지선의 관계는 다음 식과 같다.

$$Jetty\ depth > Barge\ draft + UKC$$



위의 조건은 제티에 정박할 수 있는 최대 바지선의 조건을 나타내므로 모듈 제한 조건은 위의 조건을 만족하는 바지선보다 작은 규모의 바지선에 선적할 수 있는 규모가 된다. 다만, 운송 수단이 일반적인 벌크선인 경우에는 선박의 종류가 다양해 선박의 규모를 기준으로 일반화하기 어렵고 선박에 설치된 크레인 용량 등에 의해 결정되는 경우도 발생하기 때문에 선박 별로 추가적인 조사가 진행되어야 한다.

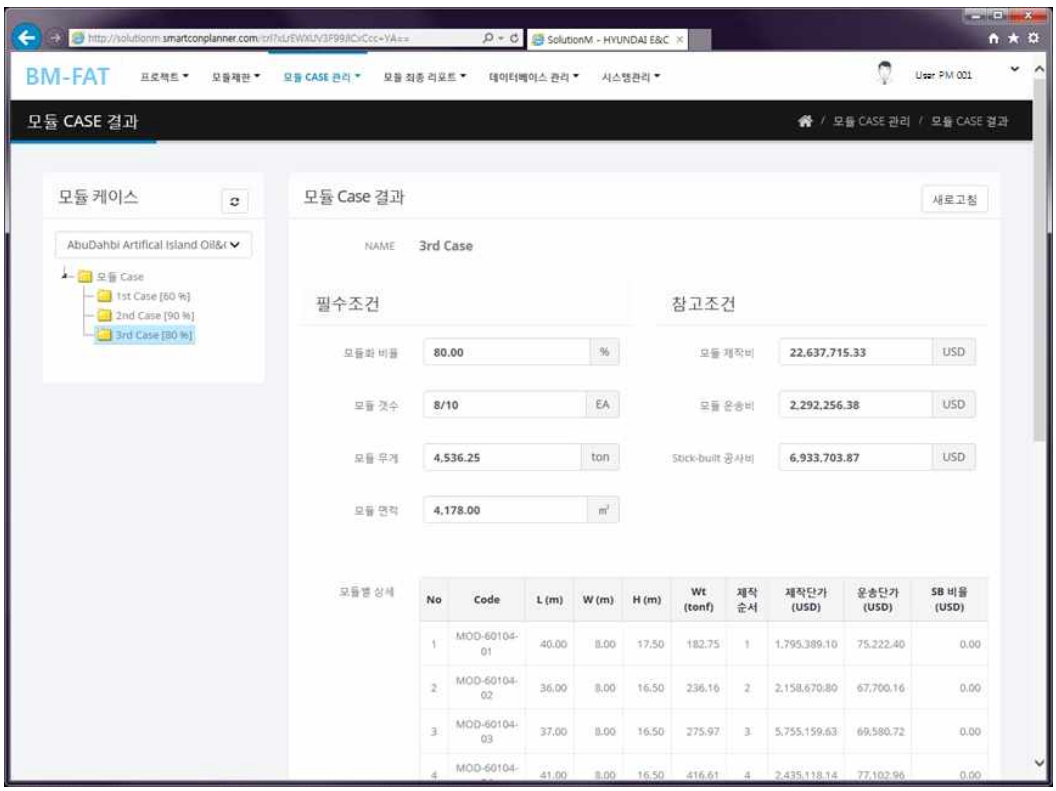
(다) 모듈 최적화 단계

위의 단계에서 도출된 모듈 제한 조건은 설계 부서로 전달되어 플랜트 블록을 모듈로 분할하는 모듈 definition 정의의 기본조건으로 사용되고 이를 바탕으로 설계 부서는 기술적으로 가능한 적용 후보 모듈 리스트를 작성하고 각각 모듈 별 BOQ를 작성하게 된다. 모듈 리스트에는 모듈 성격, 모듈 규격 등이 포함되고 모듈 별 BOQ에는 각 모듈별로 산출된 물량이 포함된다. 이러한 모듈 리스트와 BQO을 BM-FAT에 업로드하게 되면 프로그램에서는 후보 모듈 리스트를 기준으로 각 모듈의 실제 모듈 적용 여부를 결정하여 모듈 비율에 따라 case를 생성, 관리 할 수 있다. 또한 프로

그램에서는 포함되어 있는 운송비, 제작비, stick-built 공사비 등에 대한 DB를 활용하여 각 모듈에 대해 모듈로 가설했을 때의 비용과 stick-built 방식으로 가설했을 때의 비용이 산출되게 되므로 적용 가능한 후보 모듈 리스트 중에서 전체를 모듈로 했을 때 또는 일부를 모듈로 했을 때 등에 대한 전체 공사비를 산출할 수 있게 된다. 즉, 생성된 case에 따라 참고할 수 있는 비교용 공사비를 산출할 수 있게 된다. 이렇게 산출된 비용의 비교를 통해 최적 모듈 비율을 결정할 수 있다.

다만 이렇게 산출된 비용은 이 BM-FAT을 사용하는 각 EPC사에서 기존에 수행된 사업 비용을 기준으로 모듈 제작비, 모듈 운송비, stick-built 가설 비 등을 산정해 놓은 값이 활용될 것이므로 이 비용을 그대로 입찰비용으로 적용하기에는 무리가 있다. 이 비용은 입찰용이라기보다는 모듈 비율에 따른 케이스간의 비교에 사용하는 것이 타당할 것이다.

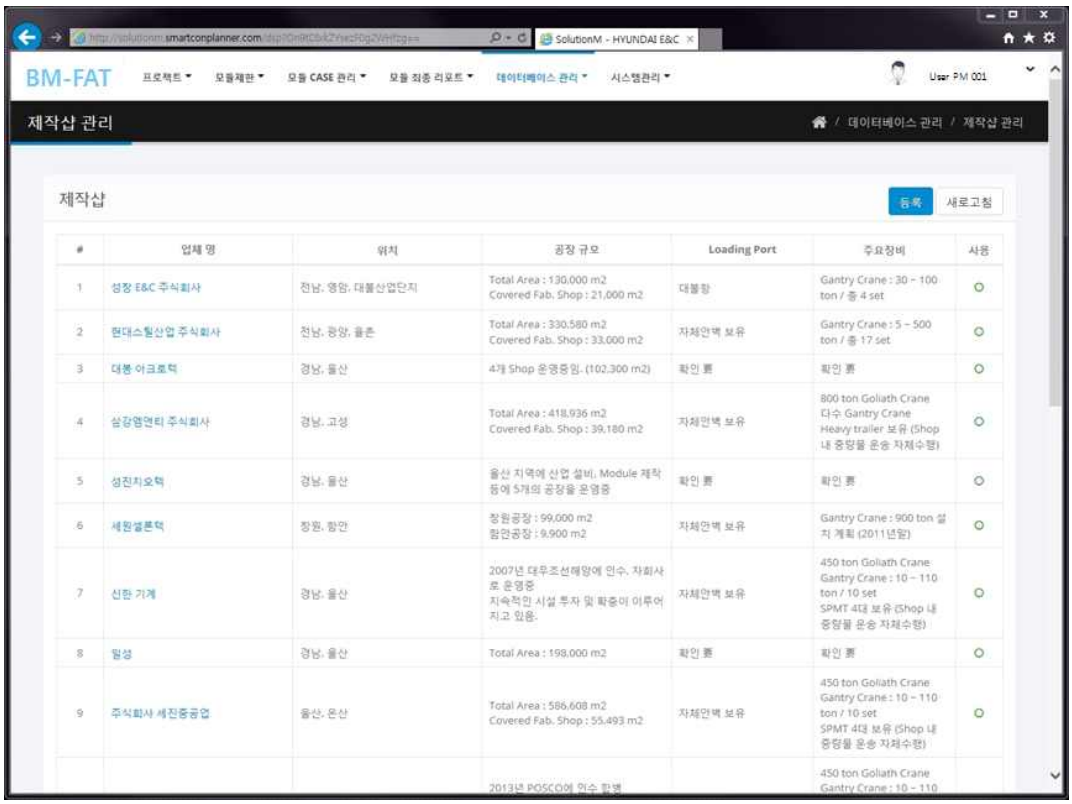
또한, 모듈 최적 비율을 입찰 초기에는 정보가 부족하기 때문에 기존 공사비를 바탕으로 구축해 놓은 DB를 기준으로 한 비용평가를 통해 결정하게 되지만, 입찰이 진행되면서 제작샵, 협력업체, 시공 등에 대한 상세 정보를 취합해 상세한 모듈 최적화를 결정해야 한다. 아래 그림은 BM-FAT의 모듈 최적화 단계 중 모듈 case 별 결과 산출 화면이다.



(라) BM-FAT의 데이터베이스 시스템

BM-FAT에 구축되어 있는 또는 구축되어야 하는 데이터베이스는 프로그램의 구성과 마찬가지로 크게 두 가지로 구분 될 수 있다. 첫 번째는 모듈 제한 조건을 도출하는데 필요한 제작샵, 선박 등과 관련한 DB이고 두 번째는 모듈 최적화에 활용될 수 있는 비용 관련 DB이다. 두 가지 모두 사업을 수행하는 EPC사에서는 각자 고유의 데이터 축적 시스템과 데이터를 확보하고 있는 일종의 노하우로서 공유가 어려운 실정이다 따라서 본 보고서에서는 제작샵 데이터베이스를 제외한 나머지는 데이터를 제외한 데이터베이스 체계에 대해서만 설명한다.

모듈 제한 조건을 도출하기 위해 필요한 데이터베이스는 제작샵과 선박 관련 데이터베이스이다. 제작샵과 관련된 데이터베이스에 기본적으로 포함되어야 하는 항목으로는 제작샵의 위치, 규모, 제티 조건 등이 있고 이 중 제티 조건에는 수심과 최대 접안 폭이 포함되어야 한다. 제작사와 관련된 항목으로는 추가적으로 포트까지의 거리, 주요 장비, 제작장 넓이, 주요 실적 등이 포함되어야 하고 가능한 직접 방문해 현지 조사를 수행해야 신뢰도 높은 데이터베이스를 구축할 수 있다. 그림은 BM-FAT의 제작샵 DB 관리화면이다.



선박에 대한 데이터베이스는 바지선과 벌크선으로 크게 나눌 수 있는데 바지선의 경우에는 선박의 draft와 free deck의 크기가 필수 조건이고, 벌크선의 경우에는 선박별 hold dimension과 크레인을 이용한 선적 시 크레인의 용량이 모듈의 무게의 제한조건으로 작용하므로 반드시 조사되어야

한다.

모듈 최적화는 모듈 비율을 결정하기 위한 것으로 BM-FAT에 업로드된 모듈리스트와 BOQ에 대해 모듈별 모듈 적용 시 비용과 stick-built 시의 비용을 계산할 수 있어야 한다. 일반적으로는 모듈화 적용 시에는 공종별 분기되어 있는 항목에 대해 제작샵에서의 제작 단가와 모듈의 운송 단가를 포함하고 있고, 동일한 모듈에 대해서도 stick-built 공종별 항목에 대한 단가의 데이터베이스가 구축되어 있어야 한다. 그러나, 이렇게 모듈 별 모듈화와 stick-built 공법의 단가 데이터베이스를 구축하기 위해서는 EPC사는 많은 시공 경험을 축적해 놓아야 하므로, 그 전 단계로는 각 회사별로 단가를 가정할 수 있는 시스템을 갖추는 것이 필요하다.

(마) 모듈화 입찰을 위한 플랫폼

최근 발주되고 있는 프로젝트는 총 규모가 수조원대에 이르고 있는 메가 프로젝트이다. 따라서 입찰을 진행하는 일도 소규모 조직에서 감당할 수 있는 규모를 초과하고 있고 이러한 메가 프로젝트를 수행하는 대형 EPC사들은 입찰을 위해 다수의 부서가 협업의 형태로 업무를 진행하고 있다.

따라서 모듈 검토 여부를 결정하고, 모듈 제한조건을 도출하며 도출된 모듈 제한조건을 바탕으로 최적화된 모듈 비율을 찾는 업무 또한 다수의 부서 간 협업이 필요하다. 이러한 협업이 체계적이고 효율적으로 진행되기 위해서는 시간과 내용의 측면에서 정보 제공의 명확성이 중요하다고 할 수 있다.

BM-FAT은 이러한 관점에서 입찰을 준비하는 부서 간의 업무에 있어서 플랫폼의 역할을 한다고 볼 수 있다. BM-FAT은 다수의 실무자가 동시에 접근할 수 있고 프로그램을 총괄하는 관리자는 접속 권한에 대해 관리할 수 있기 때문에 업무 단계와 필요에 따라서 다수의 실무자가 동시 접속을 통해 필요한 정보를 실시간으로 공유할 수 있다. 또한 프로그램에 포함된 데이터베이스는 기본적으로 관련 실무자들에 공유되는 개념으로 각각의 부서에서만 보유하고 있는 모듈 관련 데이터베이스를 관련 실무자들이 적극적으로 자신의 업무에 활용할 수 있어 결과물의 질적 향상을 도모할 수 있다.

향후 조직 전체의 성과를 향상 시키는 툴이 아닌 부서의 개별 업무를 개선하는 툴을 다양하게 개발하고 그 툴을 일종의 모듈로서 BM-FAT과 연계한다면 개별 부서의 성과 향상을 통해 조직 전체의 성과를 향상시키고 개별 부서를 연결시키는 플랫폼으로서의 역할을 충실히 수행할 수 있을 것으로 판단된다

(바) 결론

EPC사의 관점에서 입찰단계에 있어서 모듈화 프로젝트의 성공적 수행을 위해 중요 단계는 입찰 초기에 모듈화 적용 검토 여부의 결정, 모듈 제한 조건 도출, 모듈 최적화 결정 단계이다. 또한 대

형 메가 프로젝트를 수행함에 있어서 이러한 단계의 업무를 수행하기 위해서는 다양한 부서의 협업 체계가 효율적으로 구축되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 모듈화 프로젝트 입찰 주요 단계별 업무를 지원하기 위해 PM-FAT(Pre-stage Modularization Feasibility Assessment Tool)과 BM-FAT(Bidding stage Modularization Assessment Tool)을 개발하였다.

PM-FAT은 조직에 흩어져 있는 개별 지식을 모아 활용하는 일종의 집단 지성의 개념으로서 입찰 초기에 제한된 정보를 바탕으로 다양한 분야의 전문가들의 의견 수렵을 통해 모듈화 검토 여부를 결정하는 툴이다.

BM-FAT은 모듈 검토 여부가 결정된 이후 가능한 빠른 시기에 모듈 최적화를 효율적으로 달성할 수 있도록 지원해주는 툴이다. BM-FAT은 제작사, 육상 운송, 해상 운송 조건을 통해 모듈 제한 조건을 도출하고 이를 바탕으로 작성된 모듈리트스와 BOQ를 통해 모듈별 모듈화 비용과 stick-built 비용 산출을 통해 최적 모듈 비율을 설정할 수 있도록 지원한다.

또한 이러한 기능 외에 입찰에 참여하는 다양한 부서 간의 정보의 실시간 공유와 데이터베이스의 공유를 통해 효율적 업무와 향상된 성과물 도출할 수 있는 플랫폼으로서의 역할도 수행한다.

2.4 협업단위 모듈화 건설 기획/계획 분석 솔루션 패키지

2.4.1 모듈화 VE 의사결정 시스템

가. 개요

플랜드 모듈화 프로젝트의 가장 큰 문제점은 VE시스템이 프로젝트의 가치를 향상 시키는 방법임에도 불구하고 비용절감을 위한 도구로 인식되는 부분이다.

이는 성과를 정량적인 평가결과로 나타내려다 보니 비용절감 활동 위주로 나타내고 있기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 정확한 이해와 그 가치를 분석하는 절차와 이를 바탕으로 도출하는 과정이 필요하며 이는 모듈화 VE 시스템의 핵심 부분이라 할 수 있다.

대부분의 의사결정은 정성적인 부분이지만 의사결정의 중요한 핵심이 되는 많은 부분들을 구체화 할 수 있는 부분이 전산화되지 못하여 많은 비교분석결과를 수치적으로 보여주지 못하고 있다. 이런 문제점을 보완하여 사용자가 용이하게 적용이 가능하고 의사결정의 합리화를 도모할 수 있는 성능 및 기능 분석 프로세서 구현을 위한 시스템 개발의 목적이 있다.

모듈화 VE 시스템 개발, 모듈화 협업 지원 통합 시스템 연동 모듈 기획/ 설계, 모듈화 기획/평가 솔루션 통합 패키지 개발, 성능평가/시스템 안정화

(가) 모듈화 VE 시스템 모듈 기획 및 분석을 바탕으로 정량적 기준을 적용하여 결과를 도출하여 객관적 의사결정을 지원할 수 있게 설계

(나) 모듈화 VE 시스템 개발, Database 설계
사용자 요구사항을 반영하여 설계를 하며 개발 요구서 및 요구사항 정의서를 통하여 솔루션 개발을 위한 모듈화 VE 시스템 개발의 기반을 마련한다.

- 정형화 프로세스 모듈을 개발하여 플랜트 프로젝트의 VE Process 기준 수립
- 신뢰도 높은 성능 및 가치분석으로 신속하고 정확한 결과 값의 도출 가능
- 모듈화 VE 시스템에 의한 의사결정 후 결정 내용의 변경에 대한 능동적인 대처가 가능하게 구현
- 모듈화 VE 시스템에 의해 축적된 데이터는 구분논리에 따라 DB화 되어 유사한 플랜트 프로젝트에 대한 검토시 객관적인 근거자료로 활용 가능

개발환경은 java 1.8, spring boot, spring security, mybatis, MicrosoftSQL Server 2017 - 14.0.1000.169이며 사용개발 도구는 이클립스, Toad for SQL Server이며 외부툴 사용특성을 살

퍼보면 데이터베이스 접속시 외부의 접속툴을 사용하여, 관리가 가능토록 가능하며, 의존성이란 서로 다른 모듈 간의 관계로써 둘 중 하나가 다른 하나를 어떤 용도를 위해 사용하는 것을 의미하며, 이를 유기적으로 여러 형태에 자유스럽게 적용이 가능함이 중요한데 이에 다양한 플랫폼에 적용이 가능토록 버전업화 개발이 적용되었으며 이에 다양한 프레임워크 및 라이브러리 개발을 통한 전략을 적용하였다.

나. 요구정의서

(1) 준비단계

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	정보수집 리스트/등록	○ 정의: 프로젝트에 필요한 자료나 문서를 첨부하여 관리하는 기능 ○ 세부기능 ① 열람 및 등록은 본 프로젝트의 VE구성원은 모두 가능함 ② 리스트 내용은 번호, 정보수집 유형, 제목, 작성자, 작성일로 구성됨 ③ 작성자는 자동으로 입력이 됨 (회원 이름으로 등록처리됨) ④ 등록내용으로는 정보수집유형, 제목, 작성자 (자동기입) 내용, 파일첨부로 이루어짐 • 기능 입력 정보: 정보수집유형, 제목, 작성자 (자동기입) 내용, 파일첨부 • 기능 출력 정보: 번호, 정보수집 유형, 제목, 작성자, 작성일력 • 입출력 유형: 외부입력, 외부조회 ⑤ 정보수집유형은 총관리자가 생성한 카테고리로 표출됨 ○ 권한 • 총관리자 : 모든 권한 • VE 책임자 : 본인 및 본인 소속 VE팀원 작성한 글 수정/삭제 가능 • VE 팀원 : 본인 작성한 내용 수정/삭제 가능	
2	정보수집 수정/삭제	○ 정의: 정보수집 내용을 수정/삭제하는 기능 ○ 세부기능 ① 등록한 글의 소유에 따라 정책이 변경 ○ 권한 • 총관리자 : 모든 권한 • VE 책임자 : 본인 및 본인 소속 VE팀원 작성한 글 수정/삭제 가능 • VE 팀원 : 본인 작성한 내용 수정/삭제 가능	
3	사용자 요구측정	○ 정의: VE의사결정에서 중요한 성능평가 요소를 판별하기 위한 기능 ○ 세부기능	

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
		❍ 권한 설정 – 총관리자 : 등록 – VE 책임자: 해당사항없음 – VE 팀원: 해당 사항 없음 ② AHP 기능에 준한 평가기법 적용처리 관리하는 기능 수치상 각 성능평가내에서 0~9까지의 비교수치를 가지고 선택을 함 ③ 각 항목은 총관리자가 작성한 카테고리로 노출이 됨 ⑥ 성능평가성능점수는 평가항목의 합산으로 이루어 지며, 원안과 대안의 총합값을 비교한다. ⑦ 상대 LCC는 LCC계산값에서 가져오도록 한다. ⑧ 가치점수는 V=F(성능점수)/C(상대점수)로 계산이 된다. ⑨ 가치 향상도를 원안과 대안을 비교하여 가치향상도가 높은쪽에서 어느정도의 향 ❍ 권한 – 총관리자 : 모든 권한 – VE 책임자 : 평가서 참가 작성 가능 – VE 팀원 : 평가서 참가 작성 가능 – 기능 입력 정보: 성능모델 평가 카테고리 – 기능 출력 정보: 성능모델 평가 항목 – 입출력 유형: 외부입력, 외부조회	
4	사용자 요구측정	❍ 정의 : 각 VE참여인원은 작성된 성능모델 평가서에 작성을 하여 저장 기능임 ❍ 세부기능: ① 총관리자가 작성한 사용자 요구측정 항목에 수치값을 선택하여 VE팀원과 VE책임자가 참여하는 기능임 ② 참여 후 결과보기를 통하여 사용자 요구측정 항목을 추출함 스케쥴표에 준하여 결과보기는 마감일에 자동적으로 생성되며, 평가서는 진행이 되지 않습니다. ③ 사용자 요구측정 항목 평가는 챠트와 평균가중치를 보여준다. 가중치를 통하여 성능모델 평가항목의 중요도를 판단가능함 ④ 결과보기는 프로젝트 관리에서 스케쥴표에 준한 일정에 준하여 가능함 – 일정안에 참여가 가능하며, 일정이 지나면 결과만 열람이 가능함 * 용어설명 'AHP' 는 평가기준이 다수의 요소로 나누어져 있는 경우 통합적 평가 – 기능 입력 정보 : 성능모델 항목, 수치(0을 기준으로 좌우측으로 9) – 기능 출력 정보 : 각 성능모델 가중치, 수치화 챠트표현,성능평가	

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
		항목 – 입출력 유형 : 외부입력,외부출력,외부조회 ① 권한 설정 – 총관리자 : 참여안함 – VE 책임자: 참여 – VE 팀원: 참여	

(2) 프로젝트 관리

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	프로젝트 리스트 및 등록	○ 정의 : 등록된 프로젝트의 과거 이력및 리스트를 조회할수 있는 기능 구현 ○ 세부기능 ① 프로젝트 리스트를 클릭시 프로젝트 세부사항을 확인할 수 있음. ② 주요내용으로는 프로젝트명, ve수행기간, ve책임자선정, 사업위치, 발주처렴, 발주처 담당, 발추처 연락처, 이메일,사업개요, 필요성 및 목적, 특이사항, 계약사항, 파일을 첨부 등록함 ③ 통합기능을 위해 프로젝트명등은 협업단 에서의 DB 연동처리 ④ 권한 설정에 따라 총관리자가 등록을 진행한다. VE책임자 선정을 총관리자가 진행한다. ⑤ VE책임자 및 VE 팀원은 열람만 가능하다. ⑥ 진행과정은 VE시행 날짜에 준하여 – 대기 – 진행 진행중에는 스케쥴표에 준한 준비단계(대분류/중분류), 분석단계(대분류/중분류)와 같은 세부내용이 같이 표시 – 마감으로 정해짐 ○ 권한 – 총관리자 : 모든 권한 – VE 책임자 : 모든 글 수정/삭제 가능 – VE 팀원 : 본인 기능정리만 수정/삭제 가능 – 기능 입력 정보 : 프로젝트명, ve수행기간, ve책임자선정, 사업위치, 발주처, 발주처 담당, 발추처 연락처, 이메일, 사업개요, 필요성 및 목적, 특이사항, 계약사항, 파일 – 기능 출력 정보 : 프로젝트명, VE일정,VE책임자, 발주처 담당, 진행과정 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회내용, 파일첨부 – 기능 출력 정보: 번호, 정보수집 유형, 제목, 작성자, 작성일력 – 입출력 유형: 외부입력, 외부조회 ⑤ 정보수집유형은 총관리자가 생성한 카테고리로 표출됨 ○ 권한 – 총관리자 : 모든 권한 – VE 책임자 : 본인 및 본인 소속 VE팀원 작성한 글 수정/삭제 가능 – VE 팀원 : 본인 작성한 내용 수정/삭제 가능	
2	프로젝트 수정/삭제	○ 정의 : 등록된 프로젝트를 수정 등록하는 기능 ○ 세부기능	

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
		① 총관리자는 프로젝트 상세내용에서 프로젝트명을 제외한 기타내용을 수정 등록 처리가 가능함 ② 프로젝트 수정시 통합연동된 데이터가 삭제되는것은 아님 즉 VE 의사결정시스템의 DB에서만 데이터가 삭제되는 기능임 ③ 총관리자만 기능수행 가능함 ○ 권한 – 총관리자 : 모든 권한 – VE 책임자 : 모든 글 수정/삭제 가능 – VE 팀원 : 본인 기능정리만 수정/삭제 가능 – 기능 입력 정보 : 프로젝트명, ve수행기간, ve책임자선정, 사업위치, 발주처, 발주처 담당, 발추처 연락처, 이메일, 사업개요, 필요성 및 목적, 특이사항, 계약사항, 파일 – 기능 출력 정보 : 프로젝트명, VE일정,VE책임자, 발주처 담당, 진행과정 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	
3	스케쥴표	○ 정의 : VE특성상 진행되는 과정을 알아야 하기에 각 단계마다 기간을 정하여 참여한 인원이 진행과정을 공유할수 있도록 프로젝트를 관리함 ○ 세부기능: ① 색상 선택,시작일, 종료일, 단계별 선택을 할수있도록 구성 * 중분류 : 준비단계, 분석단계 * 소분류 : 준비단계시 정보수집, 성능모델 평가, VE대상선정 으로 구성 분석단계시 기능정리, 아이디어 창출, 아이디어 평가, 대안평가, 대안선정으로 구성됨 ② 총관리자만 등록이 가능함 VE책임자, VE팀원은 열람만 가능함 ③ 날짜외에 시간까지 저장이 필요함	
4	스케쥴표 등록/수정	○ 정의 : 스케쥴표 내용을 수정/ 삭제를 하는 기능 ○ 세부기능 ① 스케쥴표 내용을 수정하거나 삭제 ② 총관리자만 기능 가능함 ○ 권한 – 총관리자 : 모든 권한 – VE 책임자 : 열람 가능 – VE 팀원 : 열람 가능 ③ 진행단계는	

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
		– 프로젝트 등록단계 (프로젝트, 스케쥴, ve구성원) – 준비단계 >사용자요구측정 – 분석단계 >기능정의 등록 >기능정의 평가 >아이디어 창출 >아이디어 평가 >대안평가 >대안선정 으로 구성됨	

(3) 분석단계

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	기능정의 등록/관리	○ 정의: 모듈화에 준한 기능정의를 하는 기능으로 명사/동사로 구성하여 등록함 ○ 세부기능 ① 간단한 명사+동사의 구성으로 기능정의를 하도록 함 – 기능 입력 정보: 명사, 동사, 작성자 – 기능 출력 정보: 명사, 동사, 작성자 – 입출력 유형: 외부입력, 외부조회 ○ 권한 – 총관리자 : 권한 없음 – VE책임자 : 등록 – VE 팀원 : 등록 VE책임자 선정을 총관리자가 진행한다.	
2	기능정의 수정/삭제	○ 정의: 기능정리에 대한 수정/삭제 기능 ○ 세부기능 ① 잘못된 기능정리에 대한 수정 및 삭제를 지원 ○ 권한 – 총관리자 : 모든 글 수정삭제 가능 – VE 책임:자 : 본인이 관리하는 팀원의 글 수정/삭제 가능 – VE 팀원 : 본인 기능정리만 수정/삭제 가능	
3	기능정의 평가단계	○ 정의: 기능정의에 대한 평가를 통하여 기능정의 선정을 하는 단계 ○ 세부기능 ① 각 팀원과 책임자가 생성한 기능정의는 담당 ve책임자가 스케쥴에 준하여 평가를 진행한다. ○ 권한 – 총관리자 : 모든 권한 – VE 책임:자 : 평가 진행 – VE 팀원 : 권한 없음	
4	아이디어 등록 및 리스트	* 정의 : 기능정리에 아이디어를 등록하는 기능임 ○ 세부기능: ① 정의된 기능정리에 준한 아이디어를 발생시켜 아이디어를 생성함 ② 권한 – 총책임자 : 권한 없음 – VE 책임자 : 등록 – VE 팀원 : 등록 ③ 승인선 상의 승인자별로 승인작업을 수행할 수 있는 화면 제공	

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
		- 기능 입력 정보 : 아이디 전 후 내용, 기능정리, 작성자 - 기능 출력 정보 : 아이디 전후 내용, 기능정리, 작성자 - 입출력 유형 : 외부입력,외부출력,외부조회	
	아이디어 수정/삭제	○ 정의: 등록된 아이디어를 관리하는 기능 ○ 세부기능 ① 등록된 아이디어를 리스트화야 기능정리된 내용과 매칭되어 표출된 내용을 수정이나 삭제가 가능함 ② 권한 - 총관리자 : 모든 권한 - VE 책임자 : 모든권한 - VE 팀원 : 본인 글만 수정/삭제 가능함 - 기능 입력 정보: 지급 신청 정보 - 기능 출력 정보: 지급신청서, 지출결의 대상 데이터 - 입출력 유형: 외부입력, 외부조회	
	대안구체화 리스트	○ 정의 : 선정된 아이디어를 리스트화 하여 보여주며, 개선전/개선후에 대한 부분을평가사항으로 가지급 또는 선급금 신청후 정산하는 기능 ○ 세부기능: ① 대안평가 리스트에는 LCC 분석, 성능평가, 가치분석을 순서대로 진행하도록 한다. ② 각 아이디어에 준한 검토를 진행이 가능토록 지원처리 ③ 권한 - 총관리자 : 권한없음 - VE 책임자 : - 기능 입력 정보 : 가지급금/정산정보 - 기능 출력 정보 : 가지급신청정보/정산완료정보 - 입출력 유형 : 외부입력,외부출력,외부조회	
	대안확정 관리	○ 정의 : 대안평가가 완료된 중에서 가치향상도 순으로 나열하여 원안 및 대안순으로 지정 및 확정을 할수 있는 기능 ○ 세부기능: ① 대상확정된 부분은 대안명, 구분, 성능점수, 성능향상, 총 LCC비용, 증감, 상대 LCC 가치점수, 가치향상 순으로 리스화 하여 나열됨 ② VE책임자는 이중에서 선택하여 대안확정을 할수있음. - 기능 입력 정보 : 대상선정 유무 - 기능 출력 정보 : 대안구분, 성능점수, 성능향상, 총LCC비용, 총LCC증감, 상대 LCC, 가치점수, 가치향상도 - 입출력 유형 : 외부입력,외부출력,외부조회	

(4) 회원관리

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	회원등록	❍ 정의: VE 시스템을 이용하기 위한 팀원 및 회원가입 기능 ❍ 세부기능 ① VE시스템을 이용하기 위한 회원등록 기능 ② 회원중에 각 프로젝트의 VE팀원, VE책임자등으로 나누어서 진행가능함 ③ 권한 – 총관리자 : 회원승인처리 – 기능 입력 정보: 아이디, 패스워드, 내부/외부 구분,이름, VE담당분야, 이메일, 연락처, 승인유무, 파일 – 기능 출력 정보: 위와 동일함 – 입출력 유형: 외부조회	
2	회원정보수정/삭제	❍ 정의: 등록된 회원은 삭제또는 수정이 가능함 ❍ 세부기능 ① 회원가입한 회원은 본인의 정보를 수정/삭제가능함 ② 삭제는 데이터에서 DELTE가 아닌 데이터에서 사용유무형식으로 처리가됨 예) 회원 Y 회원삭제 N으로 표시되어 데이터 저장처리 ③ 권한 – 총괄라자 : 모든 회원 수정/삭제 가능함 – VE책임자/ VE팀원 : 본인이 작성한 정보만 수정/삭제 가능함 – 기능 입력 정보: 회원 정보 수정 – 기능 출력 정보: 출력내용 회원등록과 동일 – 입출력 유형: 외부조회	
3	로그인	❍ 정의: VE 시스템에 등록된 회원이 아이디와 패스워드를 기입하여 시스템을 이용가능함 ❍ 세부기능 ① 로그인을 위해서 아이디와 패스워드를 선택함 ② 로그인 한 회원은 본인이 지정된 프로젝트 리스트를 확인하고 VE시스템을 이용가능함 ③ 권한 – 총괄라자 : 모든 정보 수정/삭제 가능함 – VE책임자/ VE팀원 : 본인이 작성한 정보만 수정/삭제 가능함 – 기능 입력 정보: 아이디, 패스워드 – 기능 출력 정보: – 입출력 유형: 외부조회	

(5) 시스템관리

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	스케쥴 알림 서비스	○ 정의 : VE시스템에 준하여 VE참여 회원은 로그인시 알림서비스를 받을수있음 ○ 세부기능: ① 스케쥴에 준하여 준비단계, 분석단계등의 진행단계를 진행함에 있어서 VE참여자가 시스템 이용시 알림을 통하여 어느 단계 진행중인지를 확인 및 참여를 할수있음. ② 서버에 반복 예약작업을 탑재하여 프로그램과 연계작업을 진행한다. - 기능 입력 정보 : - 기능 출력 정보 : - 입출력 유형 :	

(6) 아이디어 뱅크

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	아이디어 뱅크	○ 정의 : VE시스템에 아이디어만 전체 저장처리하여 필요한 아이디어를 검색 및 선택하여 프로젝트에서 이용가능한 기능 ○ 세부기능 ① 과거의 프로젝트 및 진행중인 프로젝트의 모든 아이디어를 저장하여 필요로 하는 정보를 검색을 통하여 언제나 열람 및 참고가 될수있음 ② 아이디어뱅크 삭제및 관리는 총관리자만 가능함 ③ 권한 - 총관리자 : 아이디어 작성 및 수정/삭제 가능 - VE책임자 : 아이디어 작성 및 본인 및 프로젝트에 속한 팀원글 수정/삭제 가능 - VE팀원 : 아이디어 작성 및 본인글만 수정/삭제 가능 - 기능 입력 정보 : 아이디어 내용(개선전/개선후), 아이디어 작성자 - 기능 출력 정보 : 아이디어 내용(개선전/개선후), 아이디어 작성자 - 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	

(7) 대안구체화

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	대안의 구체화 관리	❍ 정의 : 대안에 대한 기존안과 수정안에 대한 각각의 LCC 및 성능평가를 통한 가치판단을 통하여 대안확정을 하기 위한 점검단계 ❍ 세부기능 ① 각 대안에 대한 기존안과 개선안을 각각 입력한다. ② 각 대안에 대한 LCC와 성능평가를 진행한다 ③ 권한 – 총관리자 : 대안의 기존안과 개선안 등록 및 관리 가능 – VE책임자 : 해당 프로젝트에 대한 대안에 대한 팀원글 수정/삭제 가능 – VE팀원 : 열람만 가능 – 기능 출력 정보 : 아이디어 내용(개선전/개선후), 아이디어 작성자 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	
2	LCC 구체화	❍ 정의 : 대안에 대한 기존안과 수정안에 대한 각각의 LCC 계산값을 진행한다 ❍ 세부기능 ① 각 대안에 대한 기존안과 개선안을 각각 LCC에 대한 값을 추가계산. ② 각 대안에 대한 LCC를 계산값을 진행한다 ❍ 권한 – 총관리자 : 대안의 기존안과 개선안 등록 및 관리 가능 – VE책임자 : 해당 프로젝트에 대한 대안에 대한 LCC 계산 – VE팀원 : 열람만 가능 – 기능 출력 정보 : LCC 결과값 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	
3	성능평가 구체화	❍ 정의 : 대안에 대한 기존안과 수정안에 대한 각각의 성능평가 계산값을 진행한다 ❍ 세부기능 ① 각 대안에 대한 기존안과 개선안을 각각 성능평가 대한 값을 계산. – 권한 – 총관리자 : 대안의 기존안과 개선안 등록 및 관리 가능 – VE책임자 : 해당 프로젝트에 대한 대안에 대한 선응평가 계산 – VE팀원 : 열람만 가능 – 기능 출력 정보 : LCC 결과값 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	

(8) 코드관리

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	VE 업무구분	○ 정의 : 회원가입시 표출되는 VE구분자 등록 기능 ○ 세부기능 ① 회원가입할때 표출되는 회원구분에 표출되는 데이터. ② 각 항목은 수정 및 삭제가 가능하다. ③ 권한 – 총괄라자 : 모든 권한 – VE책임자/팀원 : 열람 권한만 – 기능 입력 정보 : 항목 – 기능 출력 정보 : 항목 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	
2	기능정리 관리	○ 정의 : 기능정리를 미리 등록하여 검색이나 열람용으로 지원 세부기능 ① 총관리자만 관리가 가능함 ② 총책임자로 로그인시 나타나는 메뉴임 ③ 권한 – 총괄라자 : 모든 권한 – VE책임자/팀원 : 열람 권한만 – 기능 입력 정보 : 기능명사, 기능동사 – 기능 출력 정보 : 항목 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	

(9) 공지사항(커뮤니티)

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	공지사항 관리	○ 정의 : 프로젝트 진행에 관한 전체 공지를 관리하는 기능임 ○ 세부기능 ① 제목 및 내용을 기입하여 등록을 함. ② 리스트 출력에는 제목, 등록날짜등이 표시된다. ③ 권한 – 총괄라자 : 모든 권한 – VE책임자/팀원 : 열람만 가능 – 기능 입력 정보 : 제목, 내용, 등록자, 등록일 – 기능 출력 정보 : 제목, 내용, 등록자, 등록일 – 입출력 유형 : 외부입력, 외부조회	

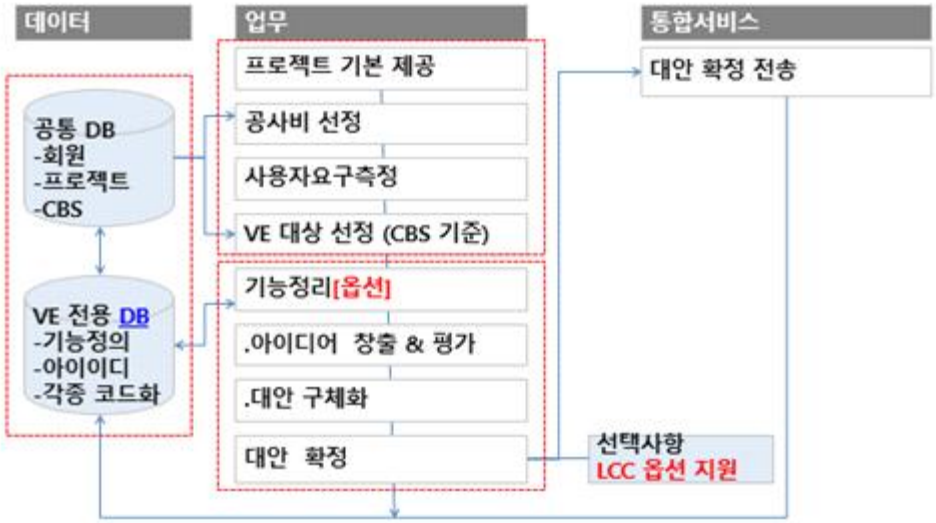
(10) 로그인

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	로그인	○ 정의: VE 시스템에 등록된 회원이 아이디와 패스워드를 기입하여 시스템을 이용가능함 ○ 세부기능 ① 로그인을 위해서 아이디와 패스워드를 선택함 ② 로그인 한 회원은 본인이 지정된 프로젝트 리스트를 확인하고 VE시스템을 이용가능함 ③ 권한 – 총괄라자 : 모든 정보 수정/삭제 가능함 – VE책임자/ VE팀원 : 본인이 작성한 정보만 수정/삭제 가능함 – 기능 입력 정보: 아이디, 패스워드 – 기능 출력 정보: – 입출력 유형: 외부조회	

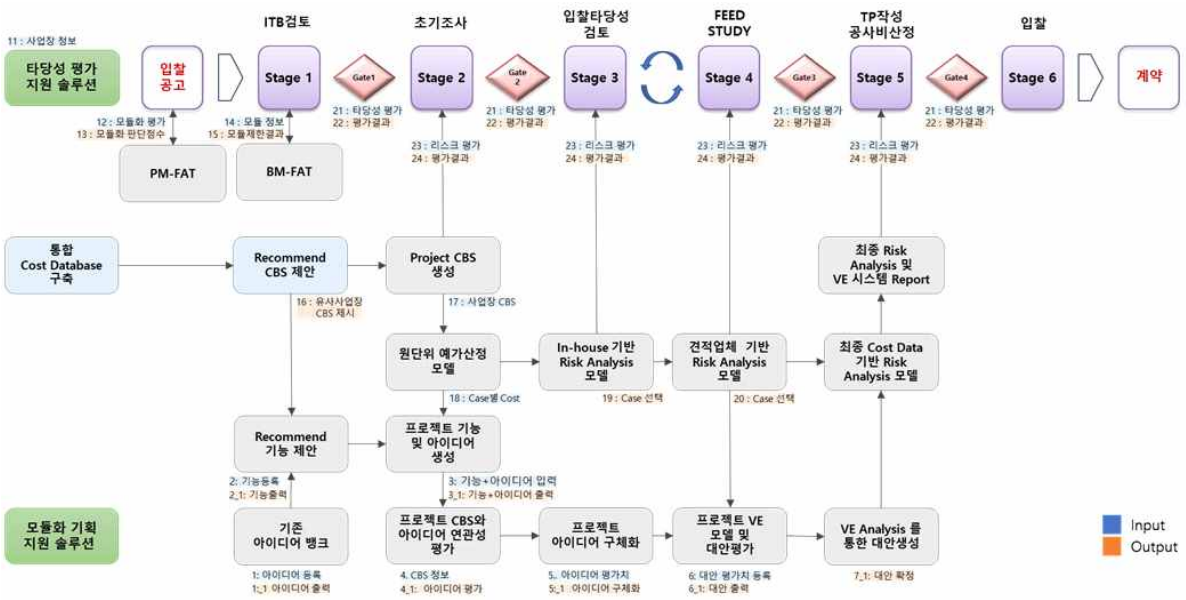
(11) 공용데이터 관리

No.	요구사항 이름	상세내역용	관련요구사항
1	CBS 열람	○ 정의: 공용데이터에서 CBS 관련 LEVEL에 준한 IN-HOUSE 비용과 견적사비용을 열람하여 기능정리와 아이디어 산출에 있어서 참고를 받음 ○ 세부기능 ① 공용데이터에서 가져오는 값은 CBS 에서 LEVEL1~LEVEL4 까지의 항목과 거기에 매칭되어 있는 IN-HOUSE 비용과 견적비용을 볼수 있음 ③ 권한 – 총괄라자 : 열람만 가능함 – VE책임자/ VE팀원 : 열람만 가능함 – 기능 입력 정보: LEVELE단계, IN-HOUSE 비용, 견적비용 – 기능 출력 정보: 동일 – 입출력 유형: 외부조회	

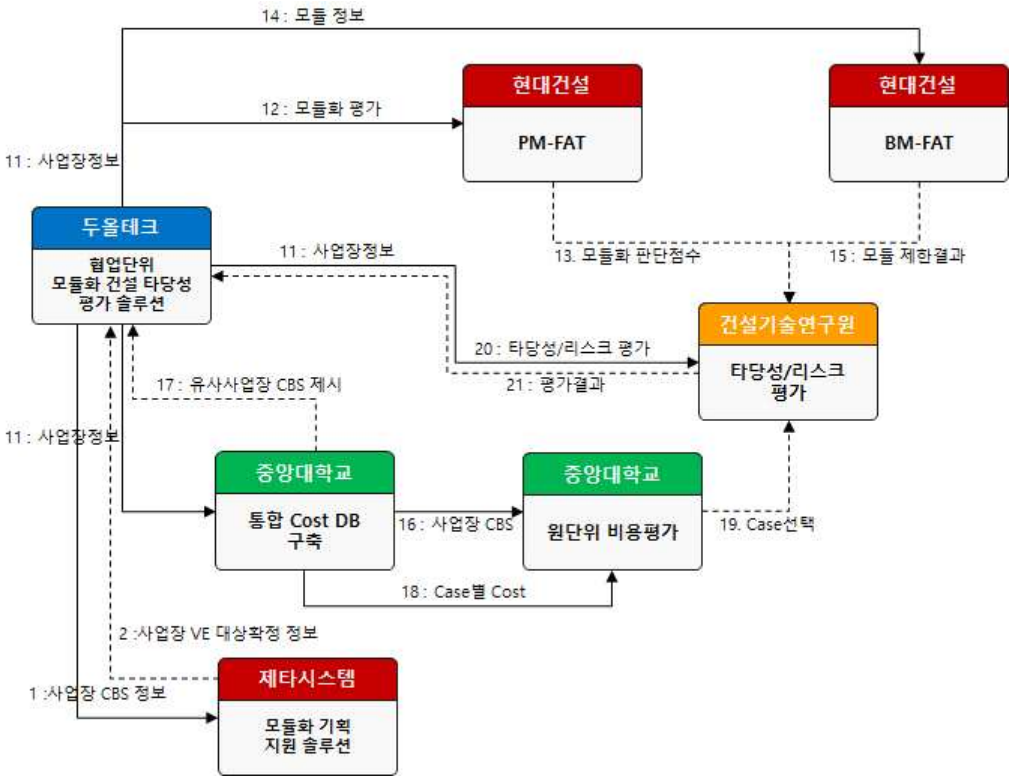
다. 시스템 구성도



[그림 2-154] VE 분석 (CBS 기반)

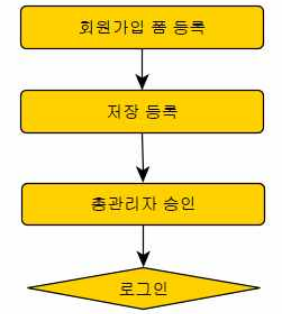
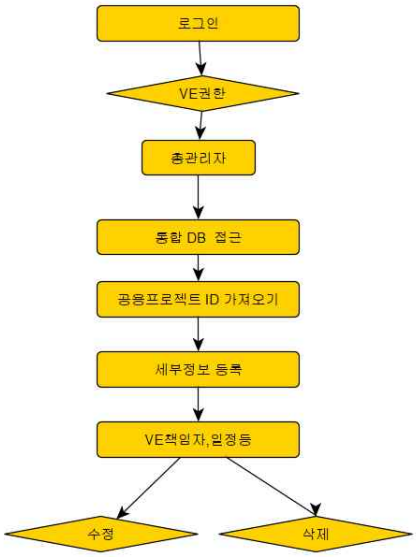
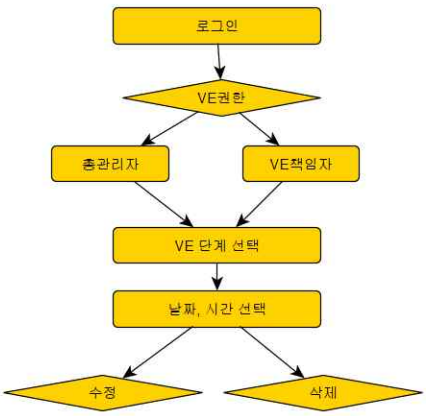


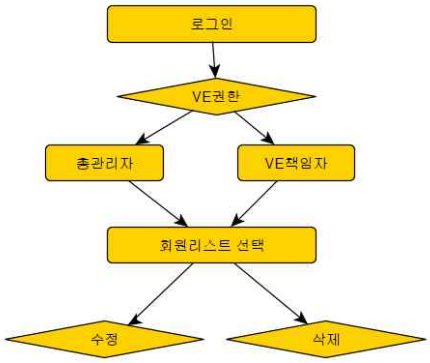
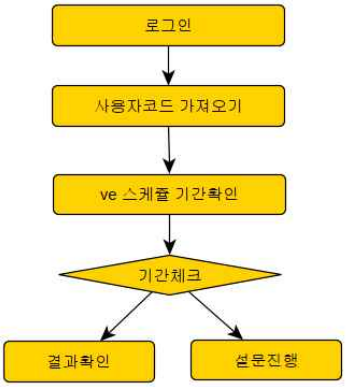
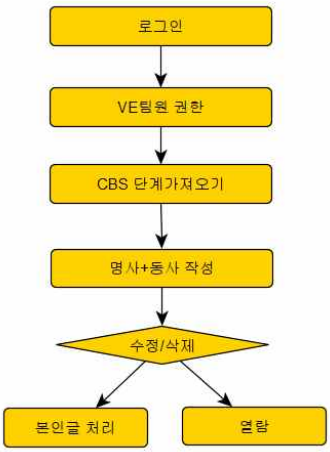
[그림 2-155] 2세부 통합 연동 그림

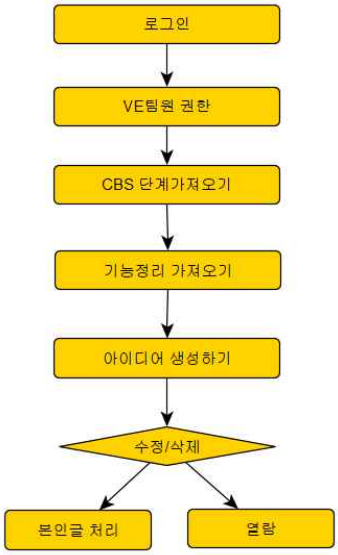
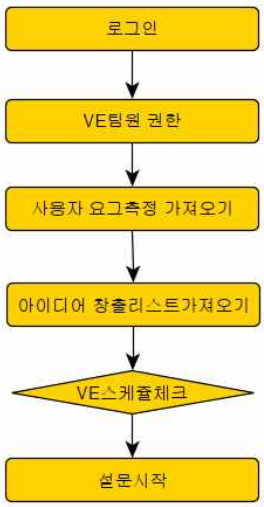
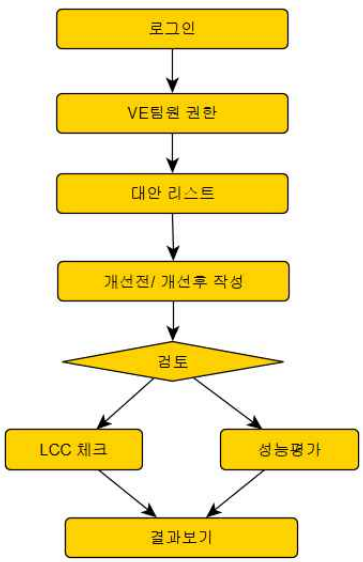


[그림 2-156] 2세부 통합 데이터 흐름도

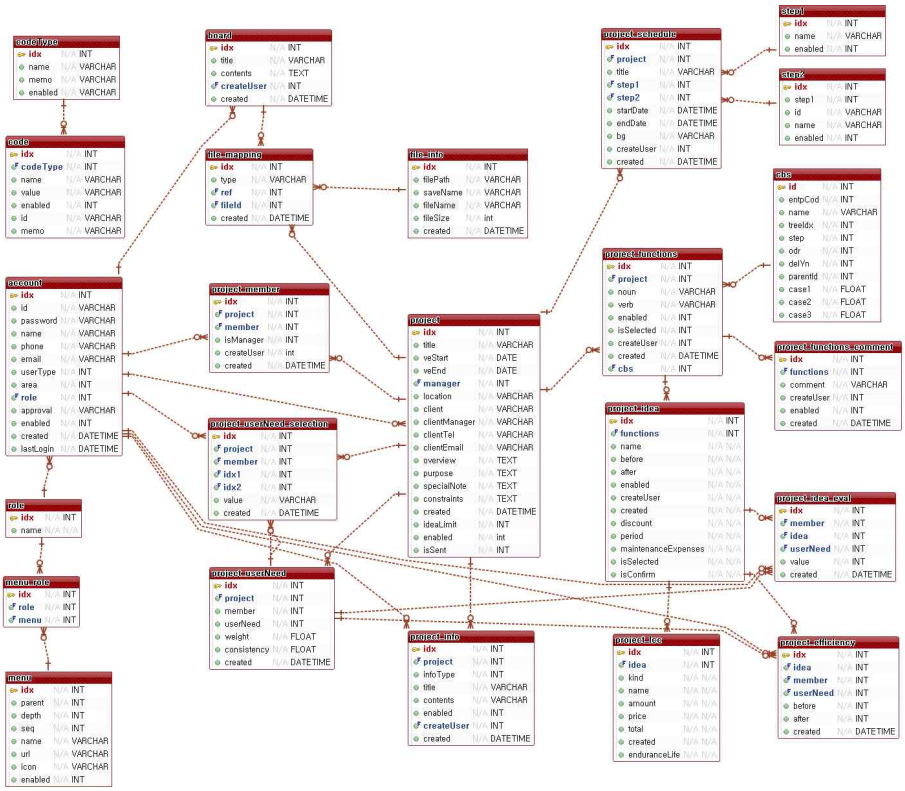
라. 기능 프로세스

프로세스	내용
	■ 로그인 1. 초기 사용을 위해 회원가입후 아이디와 패스워드를 사용하여 시스템을 사용한다. 2. 초기 회원가입시 총관리자가 승인한 회원만 로그인이 가능하다. 3. 아이디, 패스워드 찾기가 가능하다.
	■ 프로젝트 관리 1. 회원이 로그인후 본인이 속해있는 프로젝트 리스트가 보인다. 2. VE책임자와 총관리자는 프로젝트를 생성 및 해당 프로젝트의 관리가 가능하다. 3. 프로젝트는 생성일로부터 VE의 흐름에 따라 정해진 기일동한 VE 활동이 가능하다.
	■ 스케쥴 관리 1. VE 성격상 구간별 진행사항을 온라인에서 파악이 가능토록 스케쥴 기능을 구현했다.. 2. VE는 크게 준비단계, 분석단계를 나누어 진행이 되므로 그 단계마다 VE 활동회원들은 언제 어느 단계를 진행해야 할지를 스케쥴 표를 통하여 확인이 가능하다. 4. 알람 기능을 통하여 VE진행 단계를 확인 받을수 있다. 5. VE 스케쥴은 총관리자, VE책임자가 총괄책임자가 작성이 가능하다.

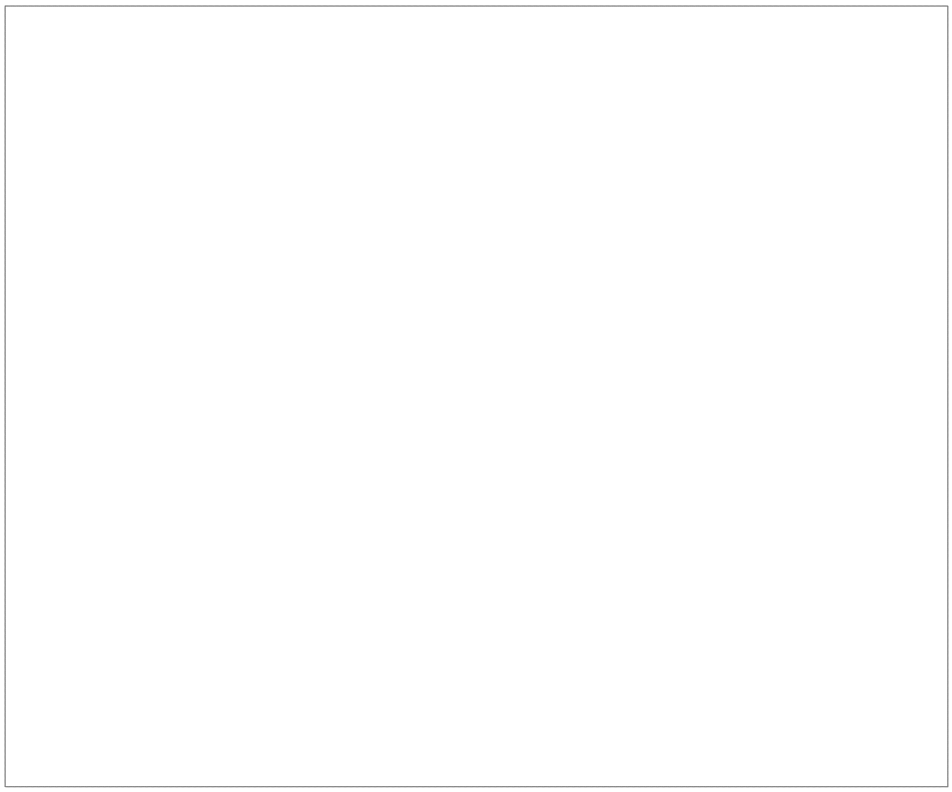
프로세스	내용
	■ VE구성원 1. VE구성원은 해당 프로젝트에 참여가 가능한 회원들을 총관리자나 VE책임자가 배정하여 진행이 가능하다. 2. VE책임자는 해당 팀원을 관리할수 있는 권한을 가지고 있다. 3. 해당 VE회원들은 여러 프로젝트에 동시에 VE활동이 가능하다.
	■ 사용자 요구측정 1. 사용자 요구측정은 VE활동을 함에 있어서 어느 부분에 중점을 두고 활동해야할지를 정하는 프로세스이다. 2. 총관리자는 VE 활동에 성격에 따라 프로젝트 생성시 거기에 맞는 사용자 요구측정 카테고리를 생성한다. 3. VE팀원들은 해당 사용자 요구측정에 AHP 알고리즘에 준하여 설문조사에 응하게 된다. 4. 결과는 가중치로 보여지며, 추후 기능정의나 대안평가에 중요하게 사용이 된다.
	■ 기능정의 1. 기능정의는 VE활동에서 CBS기준에 준한 카테고리에 합한 명사+동사의 기능을 구현하여 다수의 팀원들이 의견을 내도록 진행이 된다. 2. 기능정의에 대한 부가적 댓글 기능을 구현하여 명사+동사 의미에 대하여 구체적인 의사전달이 가능토록 처리했다. 3. 다수의 VE팀원이 참여가 가능하다.

프로세스	내용
	■ 아이디어 창출 1. 기능분석단계에서 선정된 중점 개선기능이 상호 데이터 연계되며, 중점 개선기능과 연계되어 아이디어를 창출한다. 2. 또한 과거사례 아이디어를 검색하여 아이디어 창출에 있어서 참고사항으로 도움을 받을수 있다.
	■ 아이디어 평가 1. 아이디어 평가는 사전단계에서 진행되었던 성능요구사항의 평가기준에 준하여 항목별 평가를 통하여 자동 분석이 이루어진다.
	■ 대안의 구체화 1. 각각의 대안의 평가를 평가항목을 선정하여 수치화 하여 중요도를 수치값이 큰 순서로 선별하도록 한다 2. 그 대안의 평가는 사용자요구사항에 준하여 항목을 체크하여 합산점수를 가지게 된다.. 3. 경제성평가 (LCC) 부분도 평가부분도 들어간다.

마. 데이터베이스 설계



[그림 2-157] 물리적 설계



[그림 2-158] 논리적 설계

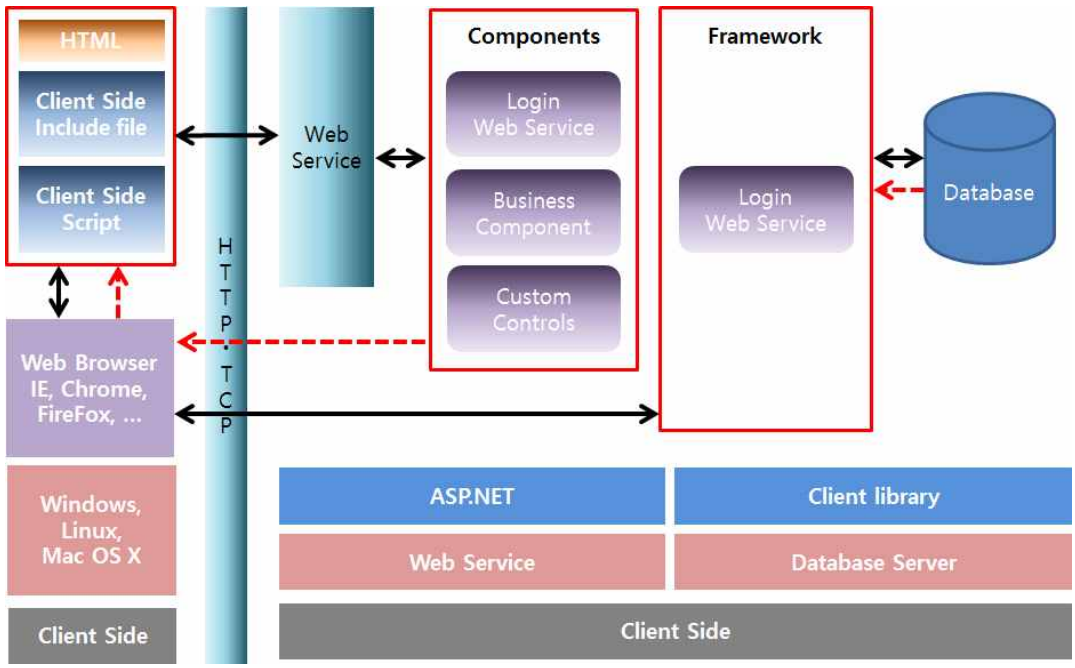
마. 개발순서

모듈화 VE 시스템은 정량적 평가를 위한 정보의 수집, 기능분석, 평가방법 등을 기반으로 신속, 정확하게 결과를 분석하고 효율적인 지원을 해주는 시스템 개발을 목적으로 하고 있다. 이에 효율적인 프로세스의 전산화 시스템 개발을 위한 연구 방법의 절차는 다음과 같다.



[그림 2-159] 연구방법 및 과정

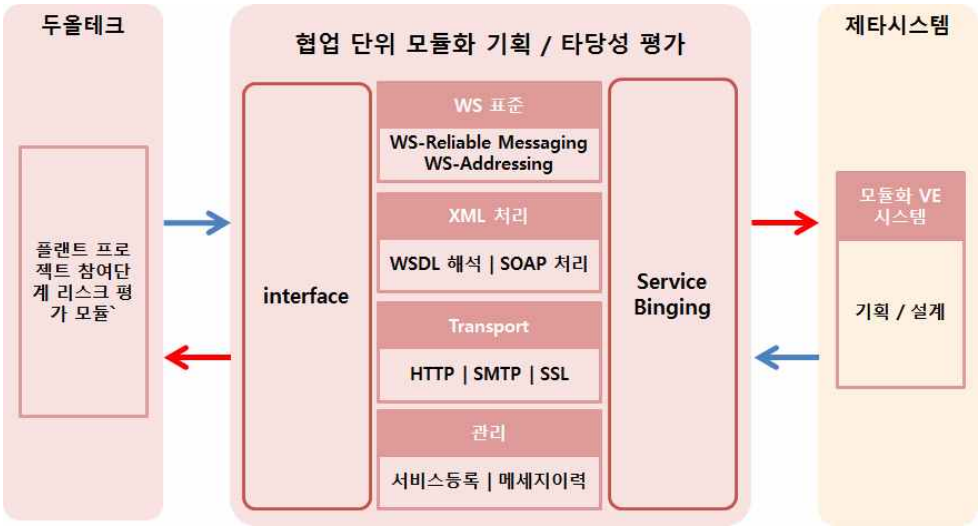
[그림]을 바탕으로 솔루션의 시스템 구성[그림 가-2]을 하였으며, 개발 요구서 및 요구사항 정의서를 통해서 솔루션 개발을 위한 모듈화 VE 시스템 개발 기반을 마련하였다.



[그림 2-160] 모듈화 VE 시스템 구성도

• 기획/설계 모듈 시스템 구성

의사결정 기반 부분 VE(Value Enginerring) 시스템 개발을 위해 웹 서버 기만의 프레임워크를 구축하여 구현하며 시스템 운영에 필요한 정보를 저장하고, 사용자가 입력하는 내용 및 다양한 알고리즘에 의한 연산 결과를 저장하기 위해 데이터베이스(MS-SQL)를 활용한다.
플랜트 프로젝트 참여단계 리스크 평가 모듈과 연계하여 하나의 시스템으로 구성된다.



[그림 2-161] 2세부 시스템 연동 구현모습

✓주요 단계별 수행내용 및 요소기술

• 준비단계

① 수행 목적

- 원활한 설계VE 수행을 위하여 관련된 집단의 협력체계를 구축
- 설계VE 수행을 위한 공동목표 설정 및 이해
- 분석단계에 요구되는 충분한 자료 확보
- 설계VE 수행방안 수립 및 VE팀 구성
- 오리엔테이션 및 현장답사
- 사전 정보수집 및 설계VE 워크숍 수행계획 수립

② 설계VE 수행방안 수립

- 과업수행계획서 작성을 통해 해당 설계VE 대상의 세부시스템 상세 분석
- 준비단계 설계VE 업무 수행방법 수립을 위한 과업수행계획서 작성 및 착수신고서 작성

2.4.2 주요 알고리즘

가. LCC

(1) LCC 분석

- LCC란 초기투자비용(공사비, 설계비, 감리비, 보상비 등), 유지관리비용(점검 및 진단비, 관리비, 에너지비용, 보수비, 교체비, 보강비 등), 이용자비용, 사회·경제적 손실비용, 해체·폐기비용, 잔존가치 등 시설물의 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 말한다.
- "LCC 분석"은 초기투자비와 유지관리비 등 시설물의 내용연수 동안 발생하는 생애주기비용의 일부 또는 전부를 산출하는 것을 말한다.

(2) LCC 분석방법

- LCC 분석방법은 확정적 분석방법과 확률적 분석방법 등으로 구분할 수 있다.
- 기본적으로 확정적 분석방법에 의한 LCC 분석결과를 제시하여야 한다.
- 확정적 분석방법에 의한 LCC 분석결과와 함께 LCC 분석기초자료의 값을 변화시키면서 결과의 차이를 분석하는 민감도 분석 결과를 제시할 수 있다.
- 필요시 확률적 분석방법 등에 의한 LCC 분석결과를 추가로 제시할 수 있다. 이 때, 확률적 분석방법에 적용된 LCC 분석 기초자료 각각의 분포형태, 기댓값, 변동성 등 확률적 특성치와 확률적 LCC 분석결과 제시된 LCC의 확률밀도함수와 누적분포함수 등을 제시하여야 한다.

(3) 할인율

- "할인율"은 시간의 흐름에 따른 비용의 가치 변화를 나타내는 비율을 말한다.
- LCC 분석시 적용할 할인율은 실질할인율을 적용하는 것을 원칙으로 한다.

$$I_R = \frac{(1+I_N)}{1+F} - 1$$

여기서, I_R = 실질할인율

I_N = 명목할인율

F = 물가변동율(인플레이션)

(4) 확정적 분석방법과 확률적 분석방법의 비교 예시

구분		확정적 분석방법	확률적 분석방법
소규모 보 수	주기	1년	0.8년~1.2년
	회당 비용	10억원	5억원~15억원
	50년간 비용	10억원×50= 500억원	조건에 따라 컴퓨터로 사례를 발생시켜 시뮬레이션한 결과 208억원~938억원
대규모 보 수	주기	30년	20년~40년
	회당 비용	100억원	80억원~120억원
	분석기간동안 비용	100억원×1= 100억원	조건에 따라 컴퓨터로 사례를 발생시켜 시뮬레이션한 결과 80억원~240억원
보수비용 합계		600억원	조건에 따라 컴퓨터로 사례를 발생시켜 시뮬레이션한 결과 288억원~1,178억원

(4) LCC 비용집계

- 현재가치 환산법

현시점으로부터 미래의 비용발생 시점까지의 기간과 할인율을 기초로 하는 다음 현재가치환산계수(Present Worth Factor; PWF)를 곱하여 미래시점의 비용을 현재 시점 가치의 비용으로 환산하는 방법

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n}$$

여기서, PWF = 현재가치환산계수

i = 할인율

n = 현시점으로부터 미래의 비용발생 시점까지의 기간(년)

매년 동일하게 발생하는 비용의 경우는 매년 발생하는 비용에 다음 연등가액현재가치환산계수(Present Worth of Anuity Factor ; PWAF)를 곱하여 일괄적으로 현재가치로 환산할 수 있음

$$PWAF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

여기서, PWAF = 연등가액현재가치환산계수

i = 할인율

n = 년수

• 연등가액환산법

연등가액과 연등가액현재가치환산계수(PWAF)를 곱하여 현재가치를 계산할 수 있으므로, 현재가치를 연등가액현재가치환산계수(PWAF)로 나누면 즉, 현재가치에 PWA의 역수를 곱하면 연등가액으로 환산할 수 있음

- PWA의 역수가 현재가치연등가액환산계수(Periodic Payment Factor; PPF)가 됨

$$PPF = \frac{1}{PWAF} = \frac{i(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1}$$

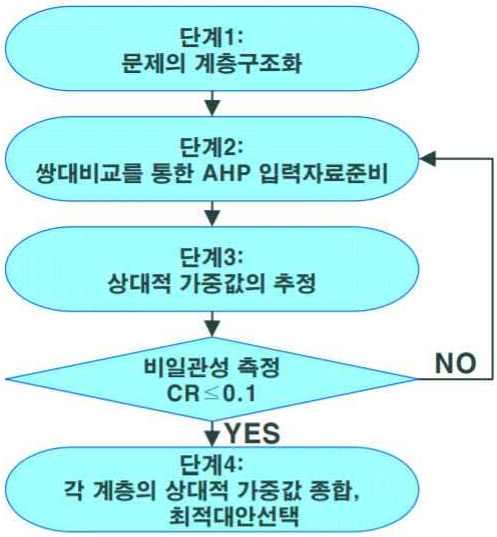
여기서, PPF = 현재가치연등가액환산계수

PWAF = 연등가액현재가치환산계수

i = 할인율

n = 년수

나. AHP



[그림 2-162] AHP 분석 흐름도

AHP(Analytic Hierarchy Process)는 정량적 생성이 불가능한 상황에 있어서 객관적이고 합리적인 상황을 평가하고 분석하는 방법이다.

이 알고리즘은 절대평가가 아닌 쌍대비교를 통한 상대평가에 의미를 둔 측정방법이다.

■ 단계별 분석방법

○ 1 단계

- 주어진 의사결정 문제의 계층 구조화

○ 2 단계

	A_1	A_2	A_3	…	A_n
A_1	A_1/A_1	A_1/A_2	A_1/A_3	…	A_1/A_n
A_2	A_2/A_1	A_2/A_2	A_2/A_3	…	A_2/A_n
A_3	A_3/A_1	A_3/A_2	A_3/A_3	…	A_3/A_n
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
A_n	A_n/A_1	A_n/A_2	A_n/A_3	…	A_n/A_n

[그림 2-163] AHP 쌍대 비교 행렬

- AHP 쌍대 비교기분 수치표

Semantic Scale	수치
A와 B가 동등(equally important)	1
A가 B보다 약간 중요(Weakly more important)	3
A가 B보다 상당히 중요(strongly more important)	5
A가 B보다 매우 중요(very strongly more important)	7
A가 B보다 절대적으로 중요(absolutely more important)	9

[그림 2-164] 중요도 분류

○ 3 단계

- 쌍대비교행렬로부터 각 계층내의 의사결정요소의 상대적 중요도 계산
- 산술평균법, 기하평균법, 최소자승법, 고윱벡터방법 등 사용

○ 4 단계

- 리스크 발생확률 판정
- 리스크 충격 판정기준

  P = P * I (R:리스크정도, P:리스크 발생확률, I: 리스크 충격결과)

○ 5 단계

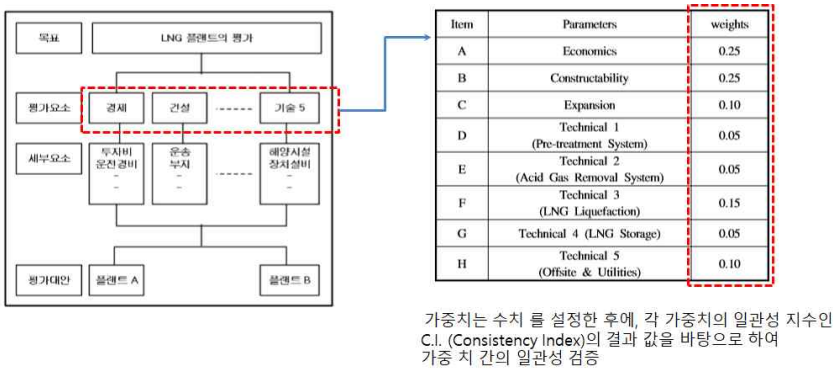
- 리스크지수 계산
- L=W*R
- 리스크지수(수준) 평가

리스크지수 (L)	리스크판단
0.0 ~ 0.3	Low Risk
0.3 ~ 0.7	Medium Risk
0.7 ~ 1.0	High Risk

[그림 2-165] 리스크 지수(수준) 평가

○ 6 단계

- 가중값을 종합하여 결정한다.



[그림 2-166] 가중치 적용 평가

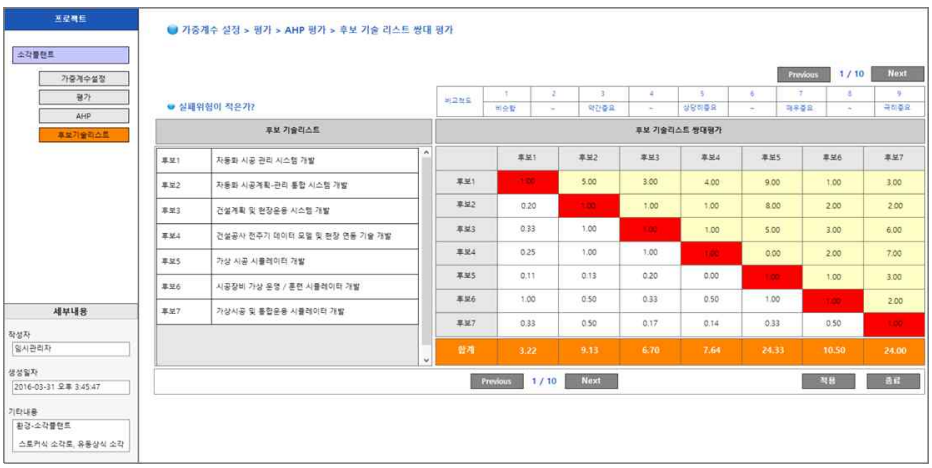
■ 흐름도



[그림 2-167] 프로젝트 생성



[그림 2-168] 가중계수 설정



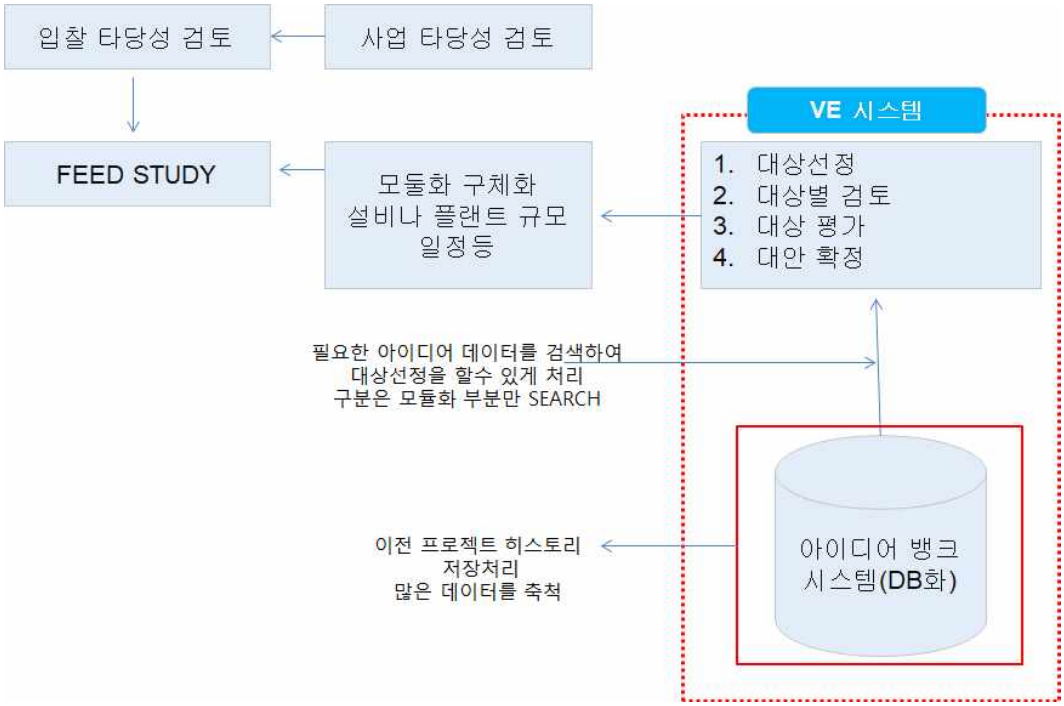
[그림 2-169] 쌍대평가



[그림 2-170] AHP 평가

2.4.3 주요 기능

(1) 아이디어 뱅크 지원



[그림 2-171] FEED 단계에서의 모듈화 의사결정시스템

프로젝트에서 생성된 아이디어는 추후에 진행되는 프로젝트에서 일련의 VE활동에서 검색을 통하여 유사한 경우에 아이디어 창출시 유용하게 적용사용이 가능하다.

(2) 스케쥴 알림서비스



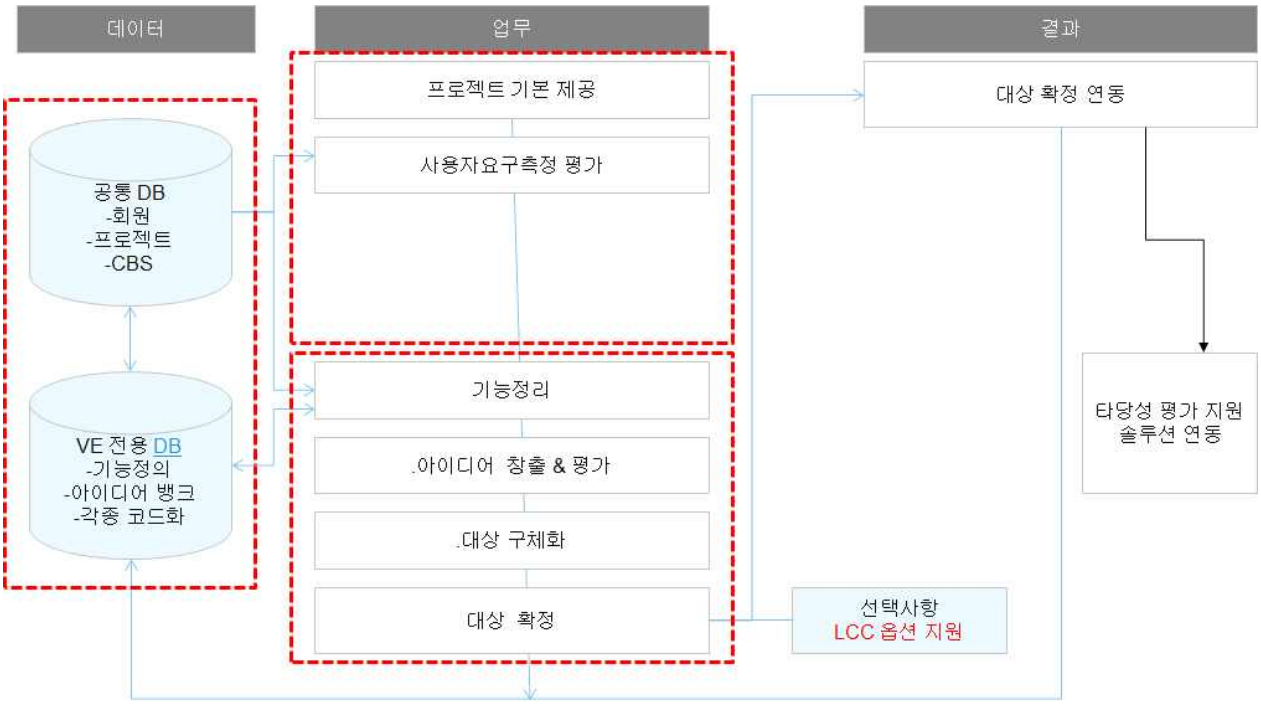
[그림 2-172] 상단 메뉴

VE활동을 온라인에서 이루어 지도록 프로그램화 되어있기 때문에 진행되는 VE활동 프로세스를 알고 활동을 해야 하는 것이 중요하다.

위의 메뉴에서 스케쥴표에서 준비단계, 분석단계의 각각의 세부 단계에서 VE활동회원이 로그인 시 자동으로 어느 부분의 VE단계가 이루어 지고 있는지를 확인이 가능토록 알림 기능이 지원이 된다.

.

(3) CBS 연동 기능



[그림 2-173] 데이터 in/out 흐름도

CBS

Lv 1	Lv 2	Lv 3	Lv 4
프로젝트 총액 (Total Cost)			
	Project Management (P)		
		Finance Mangement	
		Construction Management	
		Risk Management	
		IT Techonology	
		Special Technology	
		Vendor Supervision	
		특수 라이선스	

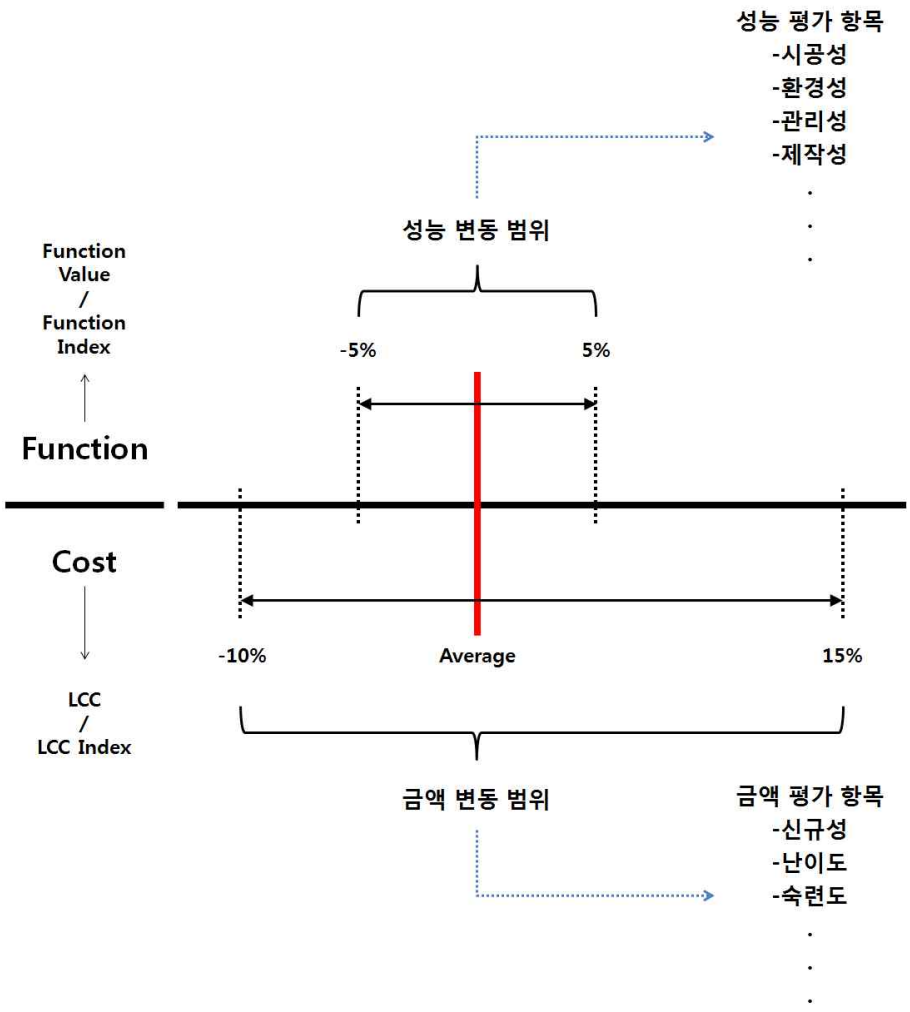
[그림 2-174] CBS 레벨별 내용

위의 CBS(Cost Breakdown Structure) 체계 부분을 2세부 통합시스템에서 생성된 상태로 받아올수 있다.

CBS생성 카테고리를 요청하여 받아오며 기능정의나 이디어창출시 VE활동에서 대안의 확정에 키워드로 정해진다.

(4) 리스크 VE 구현

[그림 2-175] 데이터스키마 Input/Output 흐름도



[그림 2-176] 리스크 평가 모델 개념

■ 분석 방법(예시)

① 대안-A 및 대안-B에 대한 Function을 평가한다.

Function은 분석대상 플랜트의 특성을 고려하여 평가항목을 설정하고 사업참여자 또는 관련 전문가의 설문조사를 통하여 평가점수를 산정한다. 상기와 같이 설정된 모듈 대안별 Function을 평가한 예시는 다음과 같다.

• 모듈 대안별 Function 평가 결과

항 목	세부내용	가중치	대안-A		대안-B	
			등급	점수	등급	점수
시공성	시공의 정밀도 및 신속성 정도	25%	7.00	17.50	5.80	14.50
환경성	시공과정에서의 주변 환경 피해정도	10%	6.00	6.00	5.60	5.60
관리성	인력 및 자재 등 관리에 대한 효율성	10%	5.20	5.20	5.60	5.60
제작성	모듈의 제작 정밀도 정도	25%	7.60	19.00	7.00	17.50
품질성	시공의 품질확보 및 성능달성 정도	30%	5.80	17.40	6.00	18.00
Function Score			**65.10**		**61.20**	
Function Index			**1.00**		**0.94**	

• 가중치 : 설계단계에서 사업의 관리항목별 중요도 우선순위
• 등 급 : 사업참여자 또는 관련 전문가가 평가한 평균등급으로 10점 척도로 평가
• 점 수 : 가중치 ×등급

• 모듈 대안별 Function 등급 설문조사(예시)

구분	설문 참여자	항목	대안-A	대안-B
1	사업참여자 또는 관련 전문가-1	시공성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		환경성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		관리성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	8(등급: 1~10)	8(등급: 1~10)
		품질성	6(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
2	사업참여자 또는 관련 전문가-2	시공성	7(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		환경성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		관리성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	8(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		품질성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
3	사업참여자 또는 관련 전문가-3	시공성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		환경성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)

구분	설문 참여자	항목	대안-A	대안-B
		관리성	5(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	8(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		품질성	5(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
4	사업참여자 또는 관련 전문가-4	시공성	8(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		환경성	5(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		관리성	4(등급: 1~10)	4(등급: 1~10)
		제작성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		품질성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
5	사업참여자 또는 관련 전문가-5	시공성	6(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		환경성	8(등급: 1~10)	5(등급: 1~10)
		관리성	6(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)
		제작성	7(등급: 1~10)	7(등급: 1~10)
		품질성	7(등급: 1~10)	6(등급: 1~10)

② 대안-A 및 대안-B에 대한 Cost를 산정한다.

Cost는 전생애주기비용(이하, LCC)를 의미하나, 사업초기단계에서 LCC의 추정이 불가하거나 추정된 값의 신뢰성 보장이 어려운 경우 산정된 초기사업비를 반영한다. 본 예시에서는 초기사업비를 가상으로 입력하여 Cost를 평가하였으며, 예시는 다음과 같다.

• 모듈 대안별 Cost(초기사업비) 산정 결과

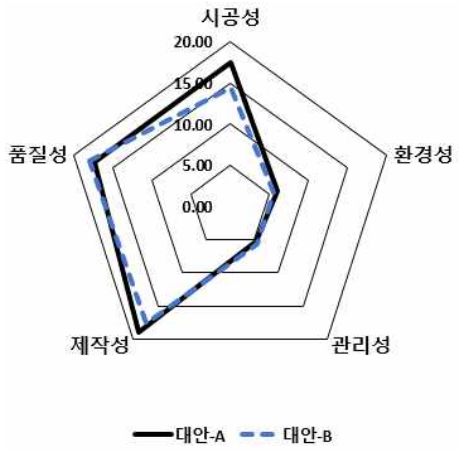
항 목	대안-A		대안-B	
	금액	비율	금액	비율
사업관리비(PM)	4,049,456,000	0.67%	4,049,456,000	0.68%
설계비 (Eng)	17,333,817,782	2.86%	13,433,708,781	2.26%
구매비 (Pro)	380,000,698,831	62.78%	347,700,639,430	58.49%
공사비 (Con)	203,465,899,155	33.62%	228,899,136,549	38.50%
시운전 (Com)	415,808,000	0.07%	415,808,000	0.07%
Life Cycle Cost	**605,265,679,768**	**100.00%**	**594,498,748,761**	**100.00%**
Life Cycle Cost Index	**1.00**		**0.98**	

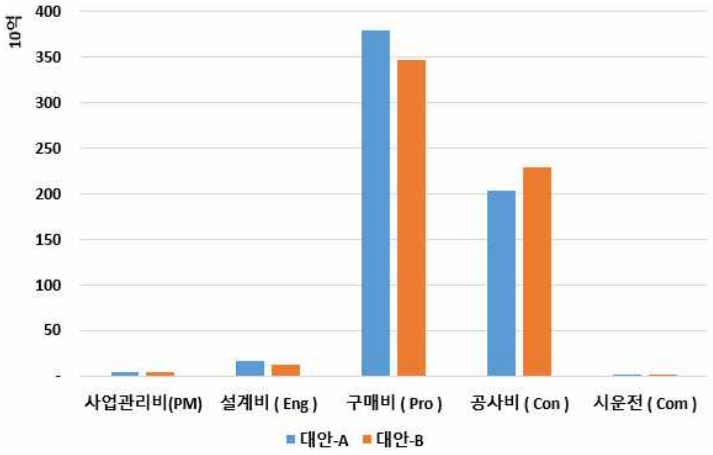
③ 대안-A 및 대안-B에 대한 Value Index를 평가한다.

상기에서 분석 및 산정된 Function Score와 Life Cycle Cost Index를 적용하여 모듈 대안별 Value Index를 평가하며 예시는 다음과 같다.

항 목	세부내용	가중치	대안-A		대안-B	
			등급	점수	등급	점수
시공성	시공의 정밀도 및 신속성 정도	25%	7.00	17.50	5.80	14.50
환경성	시공과정에서의 주변 환경 피해정도	10%	6.00	6.00	5.60	5.60
관리성	인력 및 자재 등 관리에 대한 효율성	10%	5.20	5.20	5.60	5.60
제작성	모듈의 제작 정밀도 정도	25%	7.60	19.00	7.00	17.50
품질성	시공의 품질확보 및 성능달성 정도	30%	5.80	17.40	6.00	18.00
Function Score			65.10		61.20	
Function Index			1.00		0.94	
Life Cycle Cost			605,265,679,768		594,498,748,761	
Life Cycle Cost Index			1.00		0.98	
Value Index			65.1		62.31	

• Value Index : Function Score / Life Cycel Cost Index





④ 대안-A 및 대안-B에 대한 위험을 고려하여 Value Index를 평가한다.

모듈 대안-A 및 대안-B에 대한 Function과 Cost를 평가한 결과를 기반으로 각각의 대안별로 사업을 추진하는 과정에서 발생가능한 위험의 영향에 따른 Function과 Cost의 변동을 반영하여 Value Index를 평가하는 것으로 위험을 고려한 Function을 평가하는 예시는 다음과 같다.

항 목	가중치	대안-A				대안-B			
		등급	점수	성능점수 변동범위 비율	변동된 성능점수	등급	점수	성능점수 변동범위 비율	변동된 성능점수
시공성	25%	7.00	17.50	4%	18.20	5.80	14.50	3%	14.94
환경성	10%	6.00	6.00	3%	6.18	5.60	5.60	2%	5.71
관리성	10%	5.20	5.20	3%	5.36	5.60	5.60	2%	5.71
제작성	25%	7.60	19.00	4%	19.76	7.00	17.50	3%	18.03
품질성	30%	5.80	17.40	4%	18.10	6.00	18.00	2%	18.36
Function Score		65.10		67.59		61.20		62.74	
Function Index		1.00		1.00		0.94		0.93	

성능점수의 변동범위는 사업참여자 또는 관련전문가들이 사업을 추진하는 과정에서 발생가능한 위험을 고려하여 -5%~5%범위의 변동성을 비율로 평가하고, 변동된 성능점수는 기존에 평가된 성능점수에서 입력된 변동범위 비율만큼 가산된 점수이다.

※ 변동된 성능점수 : 점수 + (점수×성능점수 변동범위 비율)

위험을 고려한 Cost를 평가하는 방법에 대한 예시는 다음과 같다.

항 목	대안-A			대안-B		
	금액	비용 변동범위 비율	변동된 금액	금액	비용 변동범위 비율	변동된 금액
사업관리비(PM)	4,049,456,000	3.00%	4,170,939,680	4,049,456,000	2.00%	4,130,445,120
설계비(Eng)	17,333,817,782	2.00%	17,680,494,138	13,433,708,781	1.00%	13,568,045,869
구매비(Pro)	380,000,698,831	8.00%	410,400,754,737	347,700,639,430	3.00%	358,131,658,613
공사비(Con)	203,465,899,155	3.00%	209,569,876,130	228,899,136,549	6.00%	242,633,084,742
시운전(Com)	415,808,000	0.00%	415,808,000	415,808,000	0.00%	415,808,000
LCC	605,265,679,768		642,237,872,685	594,498,748,761		618,879,042,344
LCC Index	1.00		1.00	0.98		0.96

비용 변동범위는 상기에서 설명한 성는점수의 변동범위를 평가하는 방법과 동일하나, 평가 척도

는 -10%~15%범위의 변동성을 비율로 평가하고, 변동된 금액은 기존에 산정된 금액에서 입력된 변동범위 비율만큼 가산된 금액이다.

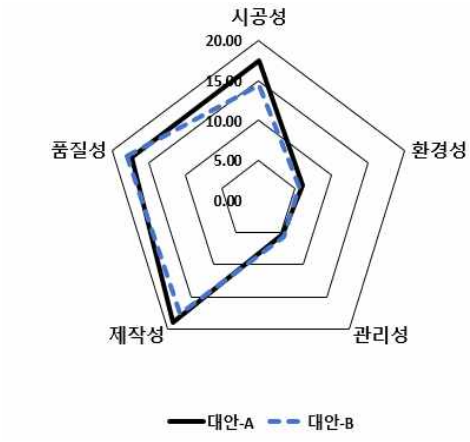
※ 변동된 금액 : 금액 + (금액×비용 변동범위 비율)

Function과 Cost에 위험의 영향으로 변동되는 비율을 반영하여 평가된 성능점수와 산정된 LCC를 비교하여 Value Index를 도출하면 다음과 같다.

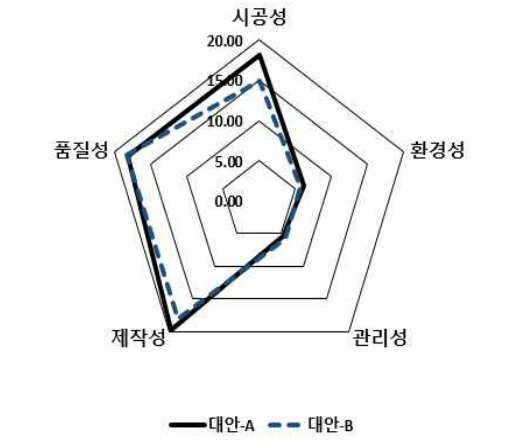
항 목	세부내용	대안-A	대안-B
		성능점수	성능점수
시공성	시공의 정밀도 및 신속성 정도	18.20	14.94
환경성	시공과정에서의 주변 환경 피해정도	6.18	5.71
관리성	인력 및 자재 등 관리에 대한 효율성	5.36	5.71
제작성	모듈의 제작 정밀도 정도	19.76	18.03
품질성	시공의 품질확보 및 성능달성 정도	18.10	18.36
Function Score		**67.59**	**62.74**
Function Index		**1.00**	**0.93**
Life Cycle Cost		**642,237,872,685**	**618,879,042,344**
Life Cycle Cost Index		**1.00**	**0.96**
Value Index		**67.59**	**65.11**

모듈러 플랜트 건설사업에서 모듈의 계획 및 설계 대안별 평가를 위하여 구축된 VE기반의 리스크 평가 모델의 분석방법을 설명하였으며, 상기와 같은 예시에서 도출된 결과는 Pipe Rack만 모듈의 적용하는 대안-A와 Steel Structure만 모듈을 적용하는 대안-B의 성능과 비용을 평가한 결과 최종적으로 대안-B가 대안-A보다 상대적으로 성능측면은 낮고 비용의 절감효과는 높은 것으로 판단된다. 반면에 대안-A는 대안-B보다 성능측면은 높으나, 비용이 증액되는 것으로 판단되므로 이와 같은 정량적인 결과를 기반으로 모듈 대안별 의사결정이 가능하다.

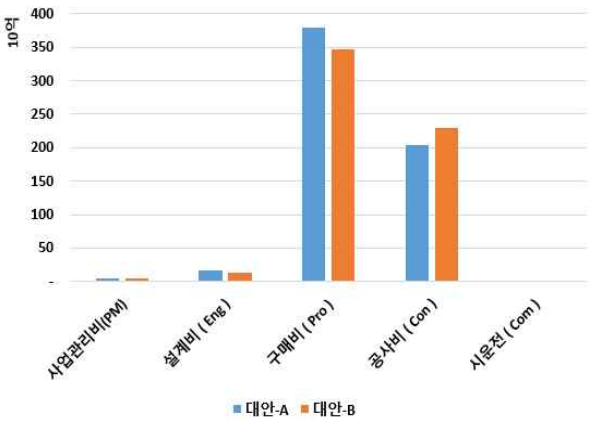
위험 변동비율을 미반영한 Function 평가



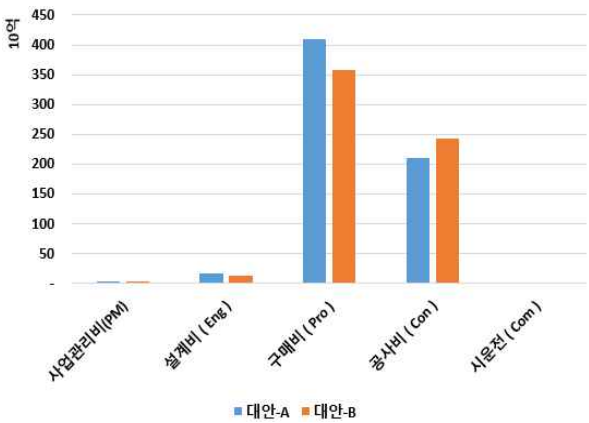
위험 변동비율을 반영한 Function 평가



위험 변동비율을 미반영한 Cost 평가



위험 변동비율을 반영한 Cost 평가



(5) 통합프로세스 구현



과제 코드	모듈명	INPUT	OUTPUT
B-1	모듈화 기획 지원 솔루션	1. 사업장 CBS 정보	2. 사업장 VE 대상확정 정보
C-1	타당성 평가 지원 솔루션	11. 사업장 정보 12. 모듈화 평가 (PM-FAT) 14. 모듈 정보 (BM-FAT) 16. 사업장 CBS 18. Case별 Cost 20. 타당성 평가 22. 리스크 평가	13. 모듈화 판단점수 15. 모듈 제한결과 17. 유사사업장 CBS 제시 19. Case 선택 21. 평가 결과 23. 평가 결과

2.4.4 프로그램 설명

가. 메뉴구성



나. 화면구성

(1) 기본화면

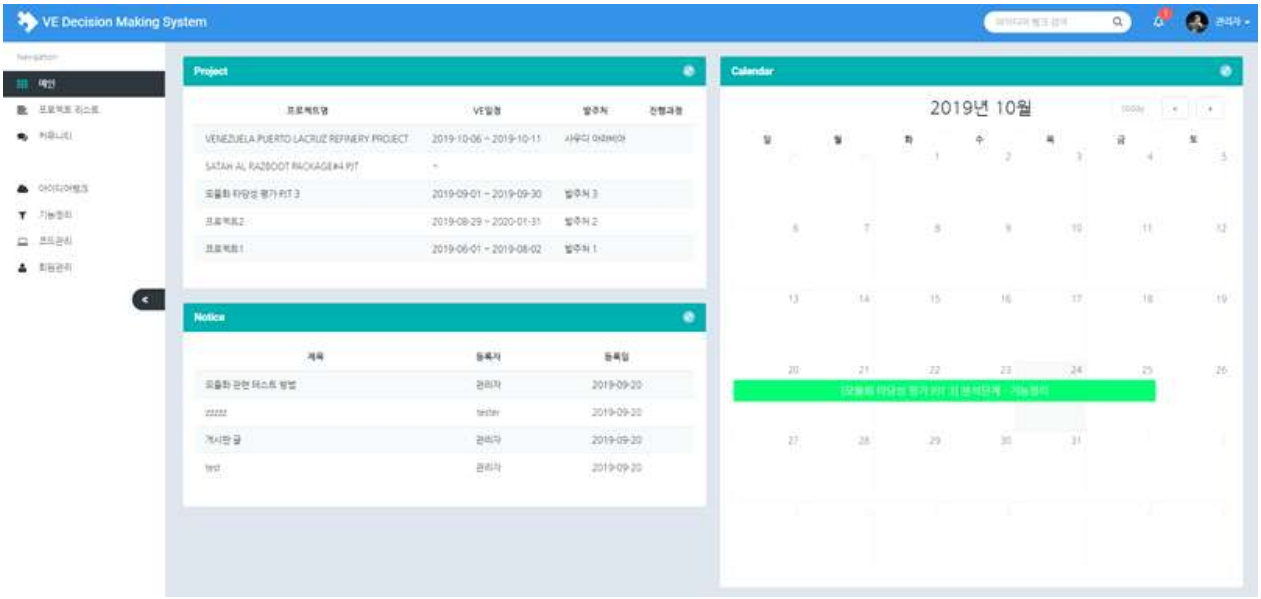


[그림 2-177] 로그인

■ 로그인

– 아이디와 팀원회원가입에 필요한 정보를 입력한다

– VE 팀원, VE책임자, VE관리자로 구분하여 선택이 가능하다.



[그림 2-178] 메인페이지

■ 메인화면

– 프로젝트의 전반적 상황을 파악가능함

– 프로젝트 리스트, 스케쥴표, 공지사항등 열람가능함.

– 온라인으로 진행되기에 본인이 로그인시 본인이 속해있는 프로젝트만 노출이 됨

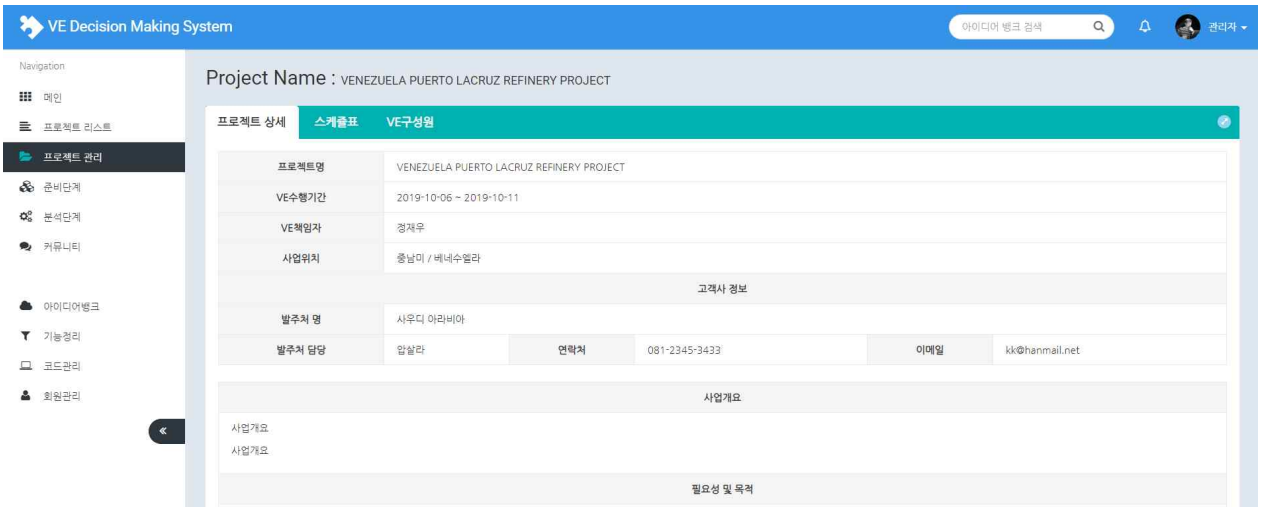


[그림 2-179] 프로젝트 리스트

■ 프로젝트 리스트

– 메인에서는 전체적 프로젝트 리스트와 VE진행중인 스케쥴을 확인할수 있게 달력형 으로 지원된다.

– ve팀원은 본인이 속해있는 프로젝트만 열람이 가능함.



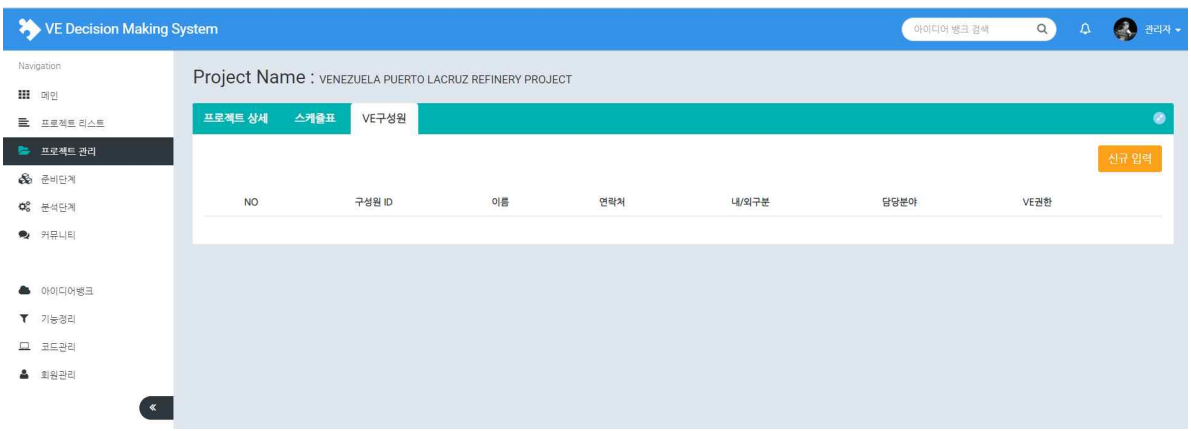
[그림 2-180] 프로젝트 상세보기

■ 프로젝트 상세보기

– 프로젝트의 상세내역을 확인 가능하며, 사업개요, 필요성 및 목적, 특이사항, 제약사항등을 기입하여 프로젝트에 대한 포괄적 정보를 알수 있다.

– 해당 프로젝트는 VE책임자를 선정하여 해당 프로젝트의 진행의 모든권한을 부여하고 관리감독하게 된다.

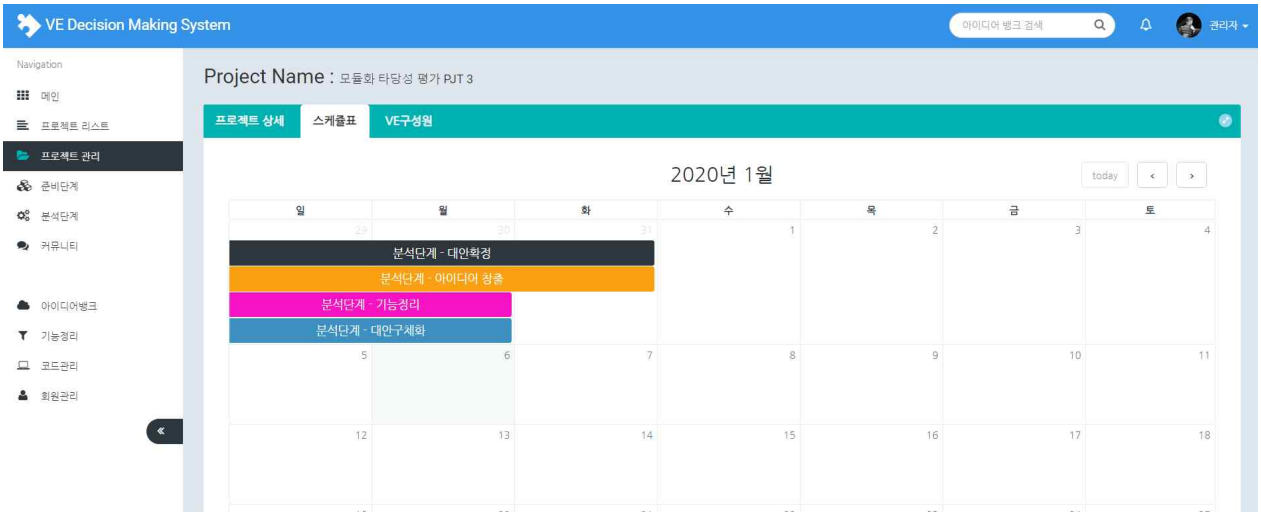
– 프로젝트의 모든 권한을 진행하는 VE책임자는 총관리자가 선정하고 진행을 한다.



[그림 2-181] 프로젝트 관리->VE구성원

■ 프로젝트 관리->VE구성원

- 해당 프로젝트에 참여하는 VE구성원을 등록 진행한다.
- 프로젝트 진행시 참여하는 VE구성원들은 최초 회원가입시 등록한 회원으로 이루어진다.



[그림 2-182] 프로젝트 관리->스케쥴표

■ 프로젝트 관리->스케쥴표

- 해당 프로젝트에 진행되는 단계별 일정을 표시하여 달력형으로 표시가 가능함
- 전체 해당 VE팀원들은 구성된 스케쥴을 참고하여 VE단계를 진행하도록 한다.

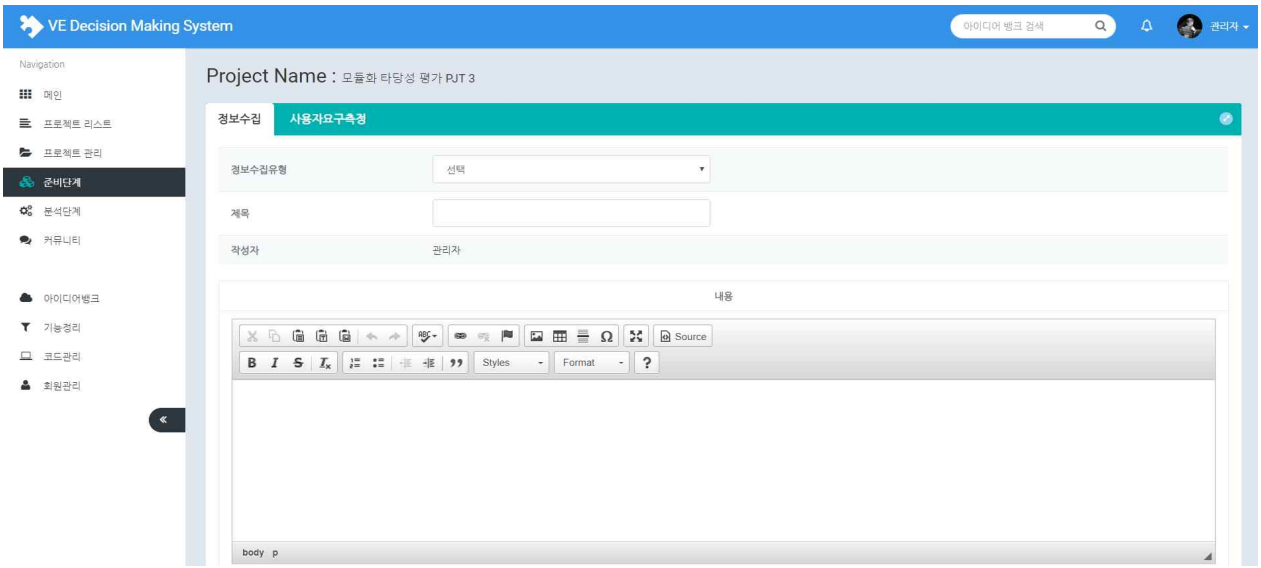
(2) 준비단계



[그림 2-183] 준비단계->정보수집

■ 준비단계->정보수집

- VE에 진행에 있어서 참고될만한 각종 기초자료, 서식, 문서등을 보관하고 공유할 수 있는 공간으로 사용된다.



[그림 2-184] 준비단계->정보수집 등록

■ 준비단계->정보수집 등록

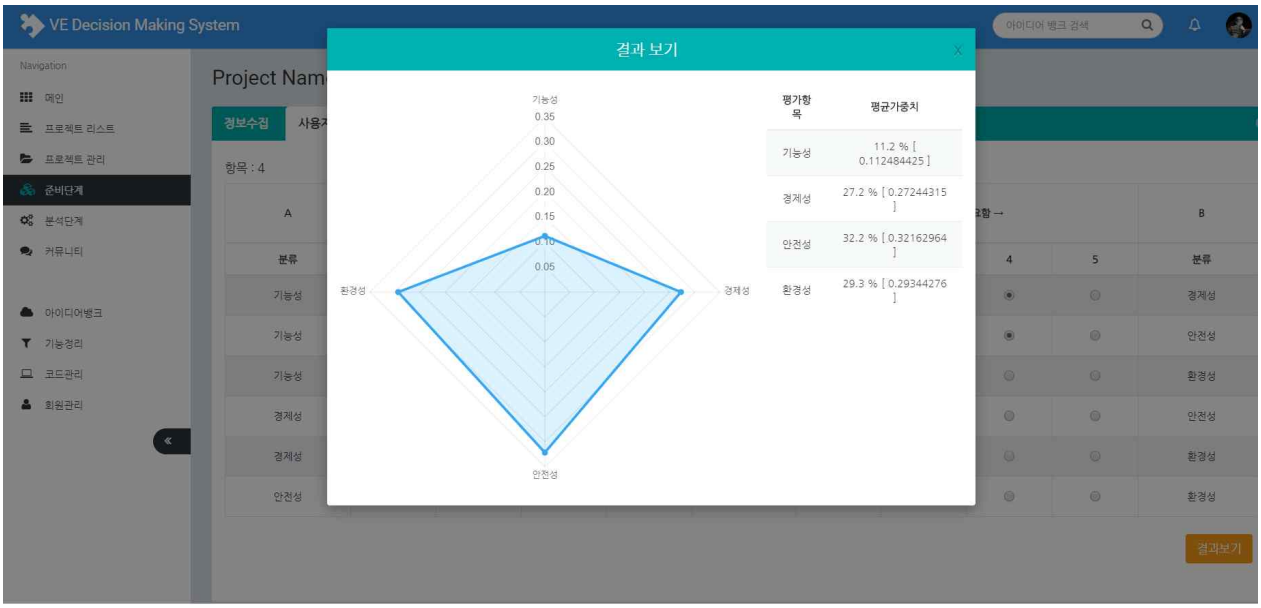
- VE 진행시 필요한 문서 및 기타 자료들을 보관하여 공유할 수 있는 공간으로 사용된다.
- 정부수집유형을 선택하게 된다. 정보수집 유형은 총관리자가 먼저 생성 등록을 진행한다.
- 기타 내용들을 기입하여 자료가 어떤 성격이며 그 내용을 작성하여 등록이 가능하다.
- 파일 첨부가 가능하다.



[그림 2-185] 준비단계->사용자요구측정

■ 준비단계->사용자요구측정

- VE 준비단계에서 요구측정을 발주자 측면에서 고려하여 판단하여 다수의 VE팀원이 설문조사에 참여 한다.
- 전체적으로 이 요구측정을 토대로 VE설정의 방향성을 잡을 수 있도록 한다.
- 각 분류에 대해 점수를 기입하여 전체적인 요구사항에 대한 부분을 수치화로 표기가 가능하다.
- 여기 참여자는 VE팀원만 가능하다.(AHP 기능 구현)

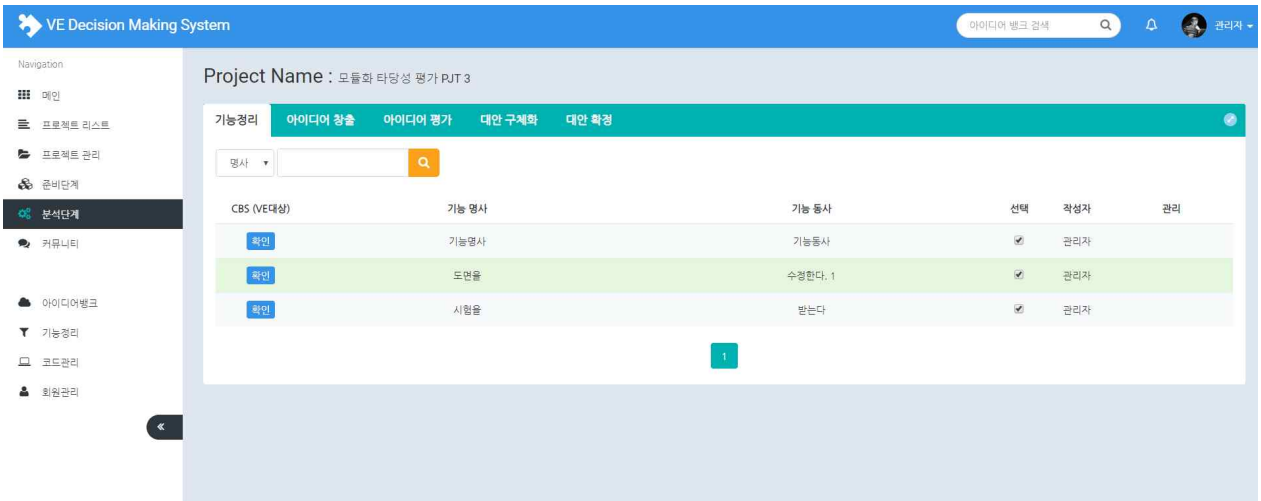


[그림 2-186] 준비단계->사용자요구측정 결과

■ 준비단계->사용자요구 결과

- VE준비단계에서 요구측정 한 부분에 대해 각 구분에 대해 점수화 하여 표시를 한다.
- VE팀원이 참여하여 합산을 하여 결과적인 사용자요구사항에 대해 카테고리 별로 점수화 하여 볼 수 있다.

(3) 분석단계



[그림 2-187] 분석단계->기능정리

■ 분석단계->기능정리

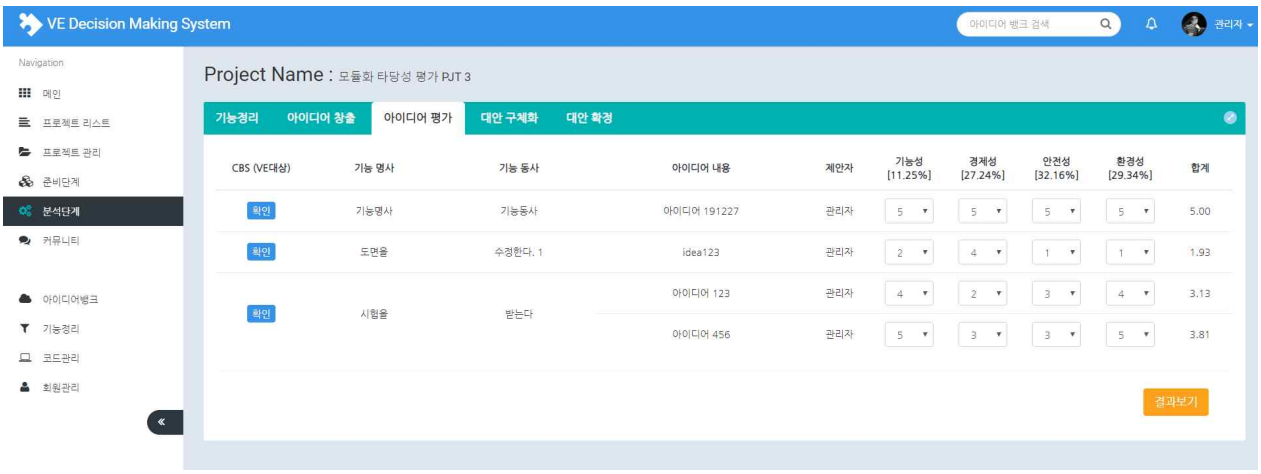
- 중점개선 대상 기능를 도출하게 된다.
- 기능정의를 명사와 동사로 구분하여 작성을 한다.
- 기능정리는 등록시 CBS단계에 맞는 기능정리를 하도록 처리한다.
- 다수의 VE팀원이 기능정리에 준한 선택수 만큼의 평균을 통하여 최종적으로는 기능정리가 되출되도록 한다.



[그림 2-188] 분석단계->아이디어 창출

■ 분석단계->아이디어 창출

- 기능평가된 기능정리에 대한 아이디어를 창출하도록 한다.
- VE팀원들은 온라인상에서 자유롭게 기능정리에 대한 다양한 아이디어를 창출하게 되며, 그 부분에 대해 아이디어는 CBS에 준한 아이디어가 선택이 된다.
- 아이디어는 개수에 상관없이 다양하게 노출이 된다.
- 노출시 아이디어를 창출한 VE팀원의 이름도 나오게 된다.



[그림 2-189] 분석단계->아이디어 평가

■ 분석단계->아이디어 평가

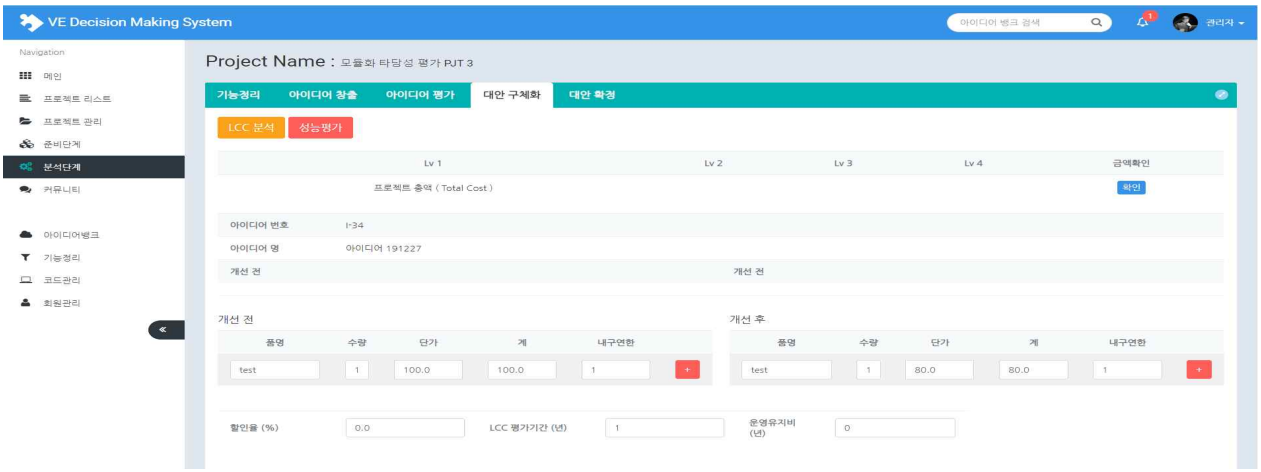
- 해당 아이디어에 대한 평가를 요구측정 평가수치에 준하여 VE팀원들은 선택하여 합산을 가지고서 아이디어를 선택 선별하도록 한다.
- 평가항목은 발주자 요구사항에 준하여 정해진 부분에 대해서 판단이 되도록 한다.
- 수치는 5점을 기준으로 판단이 되게 함



[그림 2-190] 분석단계->대안의 구체화

■ 분석단계->대안의 구체화

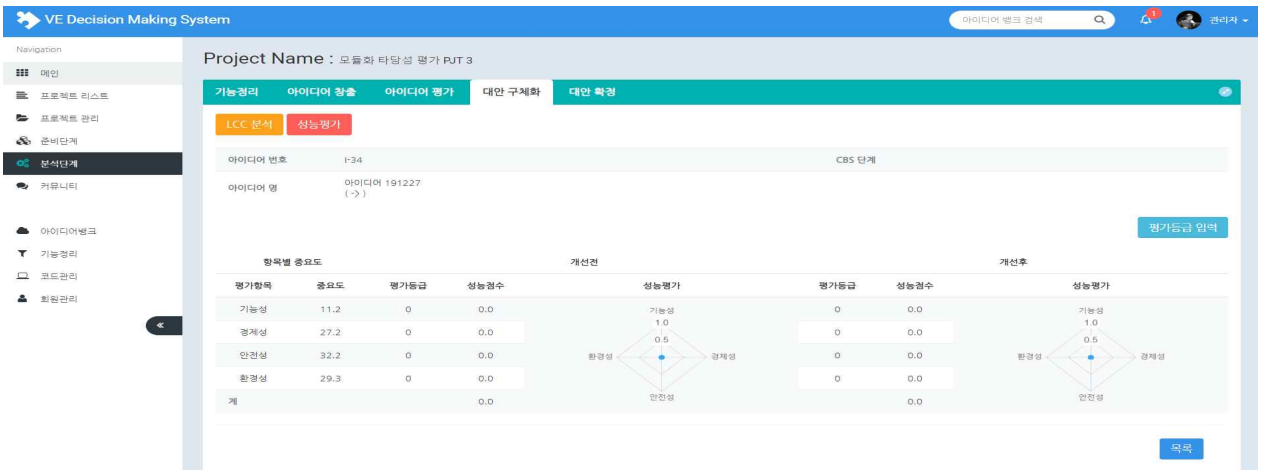
- 선별된 아이디어를 기준으로 하여 LCC 산출서 및 성능평가를 다시 한번 진행하도록 한다.
- 창출된 아이디어 대하여 개선전과 개선후로 구분하여 LCC 부분에 대한 산출서를 작성 하도록 한다.



[그림 2-191] 분석단계->대안의 구체화-LCC

■ 분석단계->대안의 구체화 (LCC)

- 창출된 아이디어 대하여 개선전과 개선후로 구분하여 LCC 부분에 대한 산출서를 작성 하도록 한다.
- 개선전 생성될수 있는 유지보수 및 비용발생과 개선후의 생성될 수 있는 유지보수 및 비용발생의 차이를 파악이 가능하도록 한다.



[그림 2-192] 분석단계->대안 구체화-성능평가

■ 분석단계->대안의 구체화

- 선별된 아이디어를 기준으로 하여 성능평가를 다시 한번 진행하도록 한다.
- 평가등급을 다시 진행하여 아이디어 즉 대안에 대한 검증을 다시 진행 하도록 한다.



[그림 2-193] 분석단계->대안 확정

■ 분석단계->대안의 확정

- 확정된 대안은 개선전과 개선후로 나누어져 성능점수 및 LCC 평가에 준한 점수화로 표시가 되어 나타난다.
- 대안의 확정시 저장을 누르게 되면 이 부분은 타당성/리스크 평가에서 의사결정의 대안으로 전송되어 사용되어 진다.

2.4.5 소결

오늘날 가치공학(Value Engimneering)은 국내 및 국외에서 건설사업과 제조업, 소비자와 공산품, 제조 절차, 실무의 가치를 개선하기 위해 활용되고 있는체계적인 접근방법이다. 국내에서는 전 사업분야에서 가치창출을 극대화하기위해 공공기관 및 대기업 위주로 VE를 도입하여 품질 및 생산관리 혁신에 응용하고 있으며, 최근 건설분야에서 설계원안을 분석하는데 VE시행이 의무화되므로서 설계대안 분석이나 시공공정 분석 등에 사용되어지고 있다.

- 웹기반 다자참여 VE 지원시스템의 주요 판매시장은 전체사업 분야에서 국내대기업과 정부투자기관에서 투자결정, 원가절감, 경영개선, 제품개발 사업과관련하여 최종 의사결정을 위한 도구로써 활용 될 것이라 예상되며, 건설사업분야에서 국내외 건설 설계사, 엔지니어링회사 분아니라 국토해양부 산하 지자체에서도 활용을 하고, 특히 국내외 활동적인 국제공인 VE 전문가(CVS,Certified Value Specialist)들이 사용하게 되면 더욱 편리하고 수준높은 VE를 수행할 수 있다.

- 성과물의 버전관리등을 위해 별첨의 개발보고서에 제·개정일자, 작성·검토·승인을 명시하였다.

VE의사결정시스템은 과거의 유사한 이력의 데이터가 저장되어 웹기반의 아이디어 창출시 이력관리가 가능하여 유사한 사례의 적용이 용이하다.

즉, 전사적인 또는 단위 공사에 대한 기능평가 및 개선, 제조업 및 교육산업에서의 본 시스템에 따른 가치공학 프로세스 처리 프로그램의 적용 사례를 통한 비용절감 및 업무개선 사례를 발표하여 다분야의 객관적인 분석 툴로서의 역할 정립이 가능하다.

이와 같이, 개발된 시스템의 보급으로, 각 사업체의 업무 수행 능력평가 및 컨설팅 기술 보급, 발주기관의 자체 사업에 대한 분석, 기발주된 사업에 대한 정량적인 분석 평가 기법으로 다양한 산업 분야에 활용이 가능하다.

이에 본 시스템의 실시예에 따른 가치공학 프로세스 처리 시스템은, 분야별(건설업, 제조업 등) 산업경쟁력을 제고하고 의사결정을 통한 비용절감 및 업무 혁신을 유도하는데 유용한 도구가 될 것이다.

또한, 본 시스템에 따른 가치공학 프로세스 처리 시스템은, 중요 의사결정을 위한 자동화 기능분석 시스템은 비효율적인 투자 및 생산, 작업공정을 용이하게 파악할 수 있으며, 신속한 의사결정으로 생산성을 향상시킬 수 있다.

또한, 본 시스템의 실시 예에 따른 가치공학 프로세스 처리 시스템은, 건설 분야의 신공법 및 신기술 도입 시, 감리 분야의 경제성 분석에 지원될 수 있는 프로그램으로서, 업무의 효율성 및 생산성을 동시에 만족시켜줄 수 있을 것이며, 제조업 분야에서는 VE 전산화 시스템을 적용함으로 인해 불필요한 공정과 시스템을 제거하여 생산성을 제고할 수 있다.

2.5 협업단위 모듈화 원단위 계량, 타당성/리스크 평가 시스템 개발



2.5.1 입찰단계 의사결정지원 시스템

가. 개요

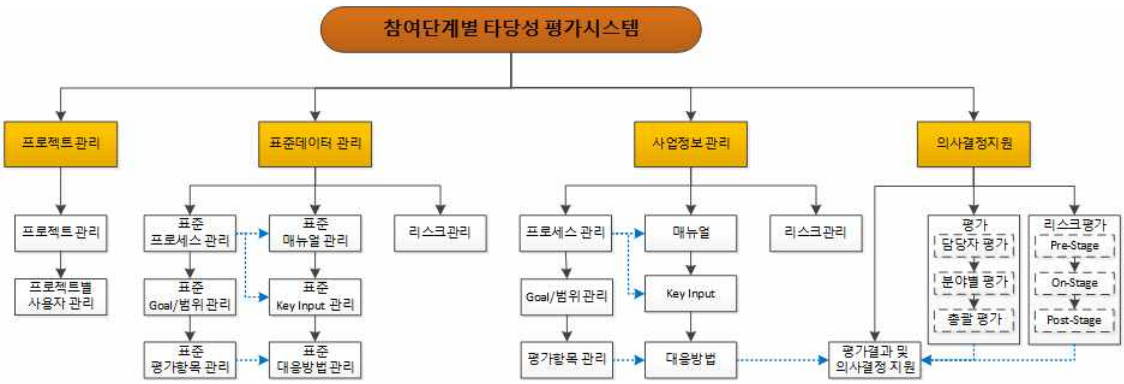
플랜트 입찰단계 의사결정지원을 위한 타당성/리스크 평가는 플랜트 모듈화 사업을 대상으로 사업관리기법에 있어서 구조화된 의사결정지원 체계를 구축하는 핵심적인 항목으로 입찰단계에서의 부족한 사업 타당성 검토에 관한 역량을 보완하고 발주자, 사업관리자 및 시공자의 사업목표와 플랜트 사업에 관한 니즈를 만족시키는 역항을 수행하며, 이를 통해 부족한 경험을 보완할 수 있도록 하는 시스템이다. 시스템에서는 다음과 같은 두가지 목적을 가지고 시스템을 구축하였다.

① 입찰과정에서 필요한 의사결정사항들을 구조화된 의사결정체계로 지원할 수 있도록 시스템을 구축해 부족한 입찰 역량을 보완하고 입찰의 성공확률을 높이기 위한 평가 수단으로 활용

② 지역적 특성, 현자의 특성, 발주자의 특성 등에 따라 발생되는 특정상황에 대한 비정형적 의사결정 구조화를 시스템에서 구축하고 지원하여 의사결정의 합리성 부여를 위한 수단으로 활용

나. 분석 및 요구사항

입찰단계의 타당성 평가와 리스크 평가 진행을 위한 기준정보는 시스템에서 제시 후 사업장이 개설되면 기준정보를 기반으로 사업장의 조건에 맞춰 커스터마이징이 가능하도록 구성을 한다. 기준정보의 제시는 프로세스, 스테이지와 게이트, 평가항목 등 타당성 평가와 리스크 평가를 위한 모든 정보를 제시하며, 사용자는 사업장 개설 후 제시된 기준정보를 제한없이 커스터마이징 한 후 관리한다.



[그림 2-194] 입찰단계 의사결정지원 시스템 구조

사업관리와 리스크를 고려한 입찰단계의 의사결정지원시스템으로 입찰조건과 수익성, 역량 등을 고려한 입찰단계의 리스크 평가진행과 의사결정지원 시뮬레이션을 통한 입찰단계의 타당성 검토를 진행할 수 있다.

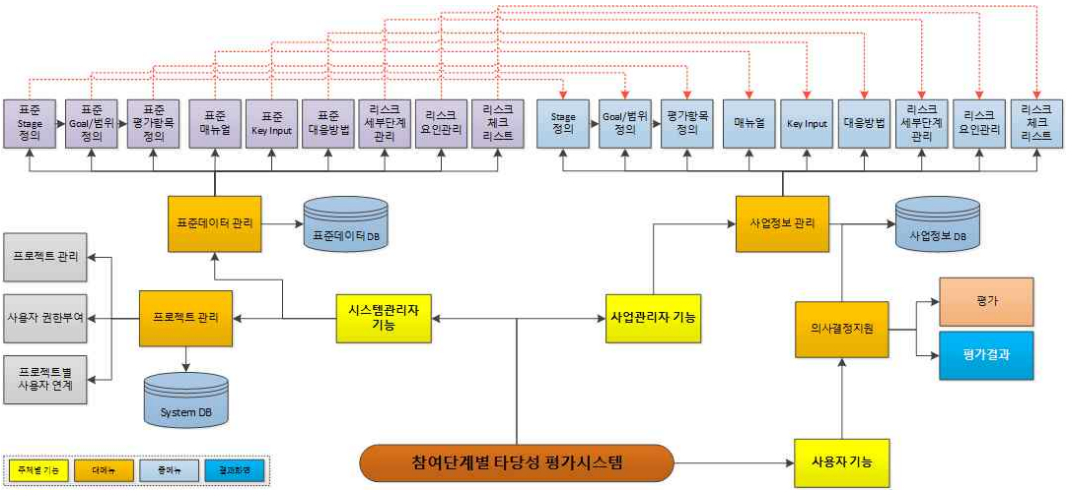
<표 2-54> 입찰단계 의사결정지원 시스템 요구사항

No.	분류	요구 내용	입력 / 출력
1	사업정보관리	프로젝트별 사용자가 Stage를 직접 구성하며, 구성시 표준데이터를 기반으로도 구성 가능	프로젝트별 Stage의 구성
			사용자 구성에 의해 생성된 Stage의 관리
2	사업정보관리	프로젝트별 사용자가 구성한 Goal/범위에 대한 사용자 평가 권한 부여	Goal/범위별 평가자의 지정
			Goal/범위별 지정된 권한자의 관리
3	사업정보관리	프로젝트별 사용자가 Goal/범위별 평가항목을 직접 구성하며, 구성시 표준데이터를 기반으로도 구성 가능	Goal/범위별 관리 평가항목의 프로젝트별 담당자 등록
			Goal/범위별 평가항목의 관리
4	사업정보관리	프로젝트별 사용자가 구성한 평가항목에 대한 사용자의 항목별 권한 부여	평가항목 입력시 사용자의 평가권한 Mapping
			평가시 권한이 Mapping된 평가항목만 평가
5	사업정보관리	프로젝트별 사용자가 매뉴얼의 직접 구성하며, 구성시 표준데이터를 기반으로 구성할 수 있는 기능	Stage 구성시 담당자가 매뉴얼의 등록 및 관리

No.	분류	요구 내용	입력 / 출력
			Stage별로 평가시 매뉴얼 목록 및 내용 확인
6	사업정보관리	프로젝트별 사용자가 평가항목에 대한 대응방안을 직접 구성하며, 구성시 표준데이터를 기반으로 구성할 수 있는 기능	평가항목 구성시 담당자가 대응방안의 등록 및 관리
			평가시 항목별로 대응방법의 목록 및 내용 확인
7	타당성 평가	단위 엔지니어는 평가 가능한 평가항목에 대해서 평가를 할 수 있도록 권한의 범위 제한	평가항목관리에서 평가항목별 평가자를 지정
			평가가능 범위의 항목만 출력
8	타당성 평가	분야별 책임자는 평가 가능한 Goal/범위에 대해서 평가를 할 수 있도록 권한의 범위 제한	Goal/범위관리에서 해당 담당자를 지정
			평가시 평가 가능한 Goal/범위의 출력
9	타당성 평가	총괄 책임자는 전체 항목에 대한 평가가 가능하며, 평가완료시 의사결정지원 결과를 확인하는 기능	프로젝트 생성시 총괄 책임자의 지정
			평가시 전체항목에 대한 평가항목 출력
10	타당성 평가	평가결과는 각 지수를 계산식에 의해 계산된 계량적 점수를 결과로 확인하며, 리스크지수는 별도 결과 표기	총괄 책임자의 평가 완료 선택시 결과 확인
			결과는 평가항목별 부여점수 목록과 계산식의 결과 확인
11	타당성 평가	전체 성과 지수와 리스크 지수에 따른 Go 또는 No-Go의 의사결정지원	총괄 책임자의 평가 완료 선택시 결과 확인
			전체 성과지수 및 리스크 지수에 의한 판단 확인
12	타당성 평가	리스크평가시 Pre, On, Post Stage로 구분하여 평가진행 및 다면평가, 차수별 평가 기능	리스크관리자의 평가 진행관리
			평가결과의 취합 및 결과 확인

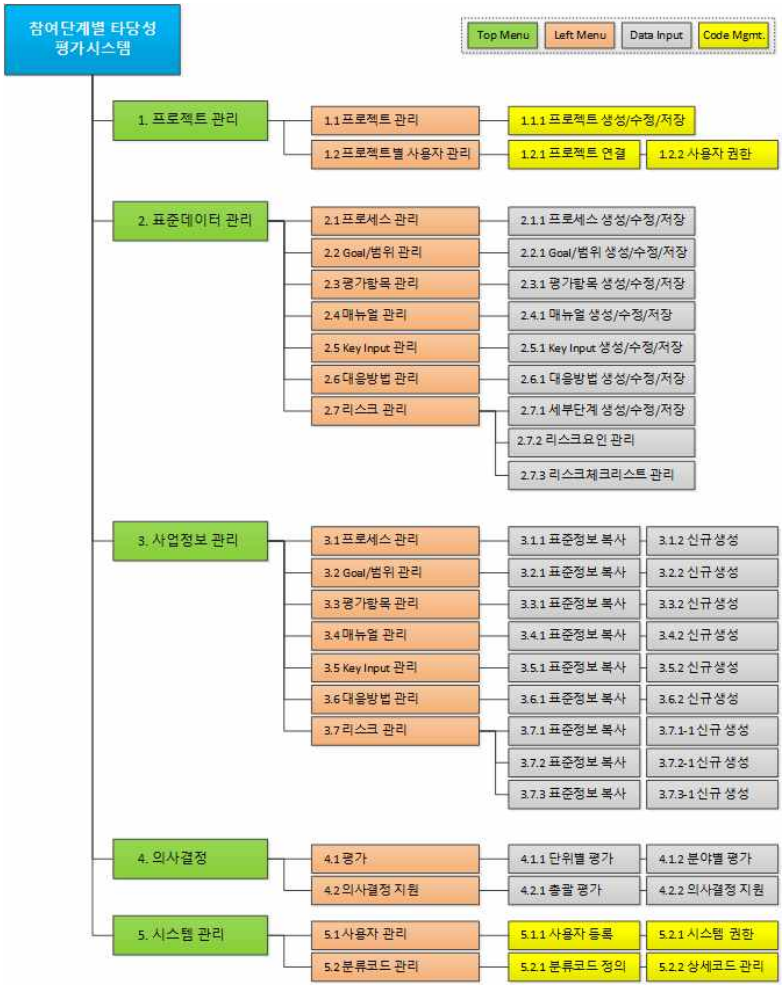
다. 시스템 구성

입찰단계의 의사결정지원 시스템은 크게 기준데이터 관리와 사업정보 관리로 나눌 수 있다. 시스템 관리자는 기준데이터 관리와 프로젝트의 통합관리 등 시스템 전반의 관리를 할 수 있으며, 이 관리 범위에 포함된 사용자가 직접 사업장을 개설 후 기준 데이터 정보를 받아 커스터마이징되는 사업정보 관리 및 입찰단계의 타당성/리스크 평가를 위한 관련 정보를 직접 관리한다.



[그림 2-195] 입찰단계 의사결정지원 시스템 구성 및 관계

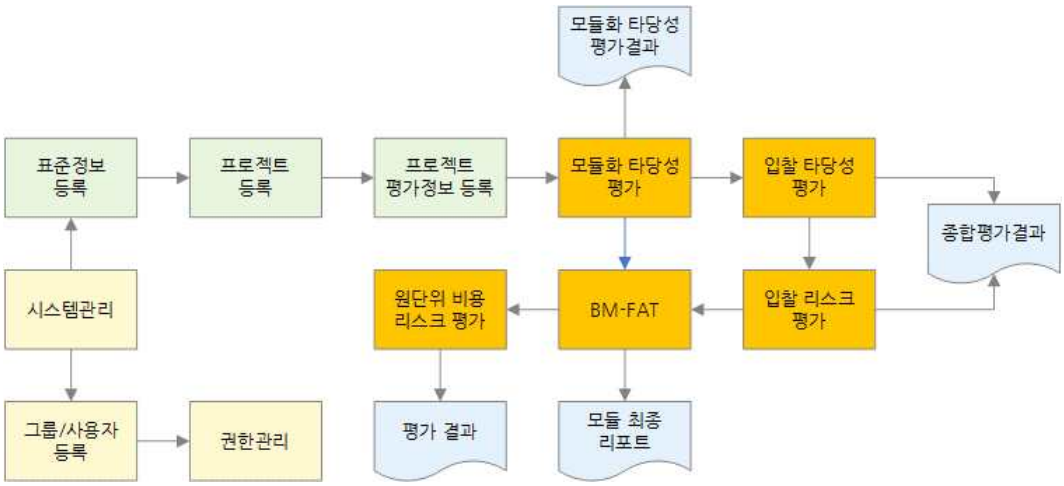
입찰단계의 의사결정지원 시스템은 프로젝트 관리, 기준데이터 관리, 사업정보 관리, 타당성/리스크 평가를 통한 의사결정, 시스템 관리로 나눠진다. 프로젝트 관리는 사용자가 개설한 사업정보를 시스템 관리자가 운영을 위해 관리하는 사용자 권한, 사업장과 사용자의 연결 등 메뉴로 구성된다. 기준데이터 관리는 프로세스 관리, 평가항목 관리, 리스크 평가항목 관리 등의 시스템에서 제공하는 기준데이터를 관리하는 메뉴로 구성된다. 사업정보 관리는 사용자가 개설한 사업장 정보를 기반으로 기준데이터에서 가져온 정보와 사용자가 사업장 조건에 맞게 커스터마이징한 정보로 구성할 수 있는 메뉴로 구성된다. 타당성/리스크 평가를 통한 의사결정은 각 스테이지/게이트에서 진행되는 사용자의 단계평 평가 정보를 취합하는 메뉴이며, 시스템 관리는 사용자 정보관리, 시스템에서 사용자에게 부여되는 권한 관리, 시스템에서 제공하는 코드화된 분류정보 및 상세 정보를 관리하는 메뉴로 구성된다.



[그림 2-196] 입찰단계 의사결정지원 시스템 메뉴 구성

라. 기능 프로세스

입찰단계의 의사결정지원 시스템의 기능 프로세스는 사업장 등록 및 평가를 위한 정보 등록 및 구성이 완료된 후 각 스테이지/게이트에서 타당성 평가와 리스크 평가가 반복적으로 진행되며, 진행되는 평가 결과는 각 스테이지/게이트에서의 평가결과가 취합되며, 이후 종합 평가결과로 취합되어 사용자에게 제시한다. 입찰단계의 타당성/리스크 평가는 각 스테이지/게이트에서 사용자마다 최대 3차까지 평가를 진행할 수 있다.



[그림 2-197] 입찰단계 의사결정지원 시스템 기능 프로세스

① 프로젝트 등록 및 권한 부여

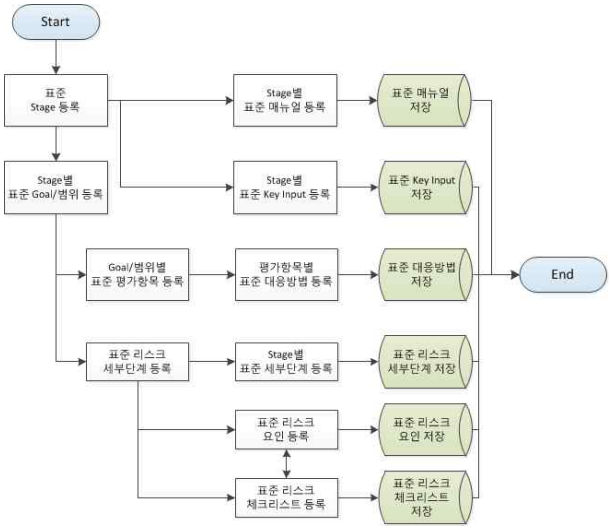


- 프로젝트의 기본정보를 입력한다.
- 총괄책임자를 사용자 정보에서 지정한다.
- 성과지수를 입력한다.
- 입력한 정보를 저장한다.



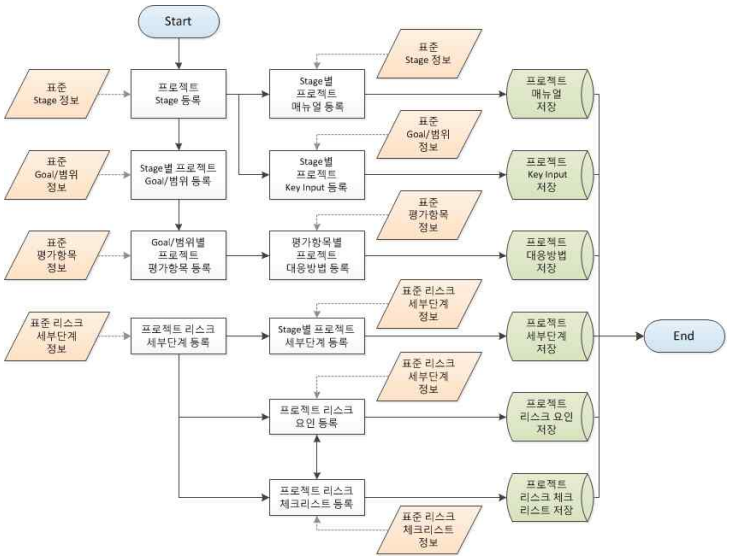
- 권한을 부여할 사용자를 선택한다.
- 사용자 권한을 부여할 프로젝트를 선택한다.
- 입력한 정보를 저장한다.

② 기준 데이터 관리



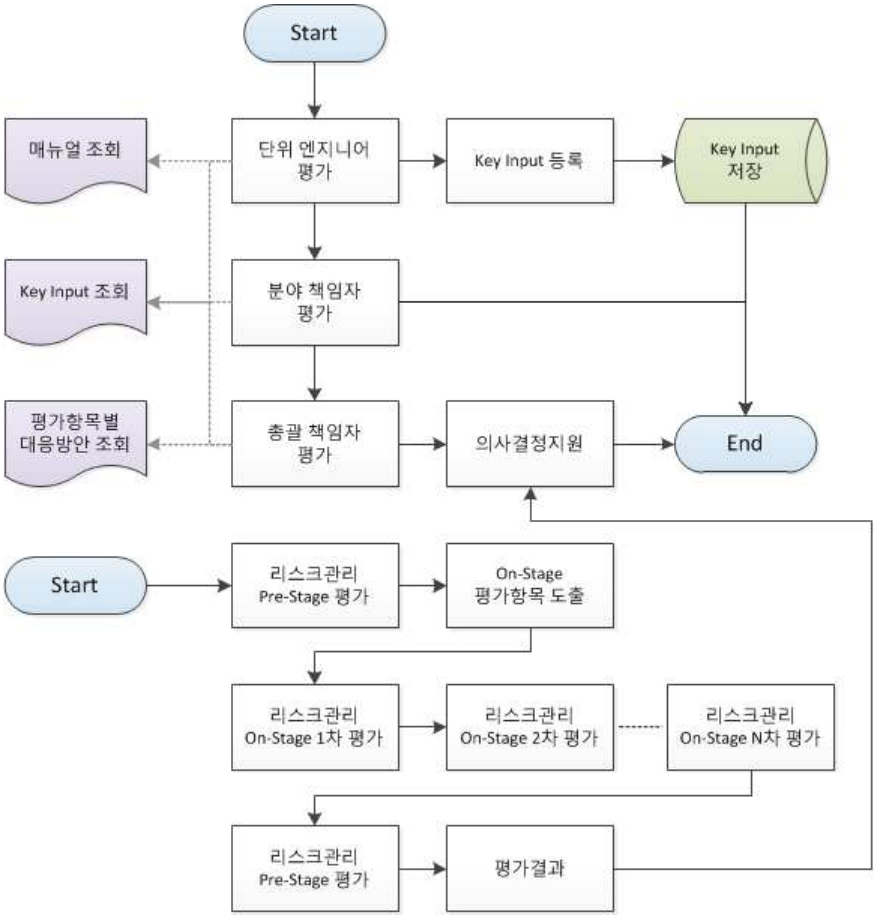
- 표준 Stage를 등록 후Stage별 표준 Goal/범위를 등록한다.
- Goal/범위별 표준 평가항목을 등록하고, 표준 Stage에 해당 매뉴얼과 Key Input을 등록한다.
- 등록된 표준 평가항목에 표준 대응방법을 등록한다.
- Stage별 표준 리스크 세부단계를 등록하고, 리스크 등록요인, 체크리스트를 등록한다.
- 각 입력단계별로 저장한다.

③ 사업장 데이터 관리



- 프로젝트의 Stage를 신규 등록하거나, 표준 Stage의 정보를 활용하여 등록한다.
- Stage별 Goal/범위를 신규 등록하거나, 표준 Goal/범위의 정보를 활용하여 등록한다.
- Goal/범위별 평가항목을 신규 등록하거나, 표준 평가항목의 정보를 활용하여 등록한다.
- 평가항목에 대응방법을 신규 등록하거나, 표준 대응방법을 활용하여 등록한다.
- Stage별 세부단계를 신규등록하거나, 표준 세부단계의 정보를 활용하여 등록한다.
- 리스크요인을 신규등록하거나, 표준 리스크요인관리의 정보를 활용하여 등록한다.
- 리스크 체크리스트는 표준 리스크 체크리스트 항목에서 선택하여 등록한다.
- 각 입력단계별로 저장한다.

④ 의사결정 지원

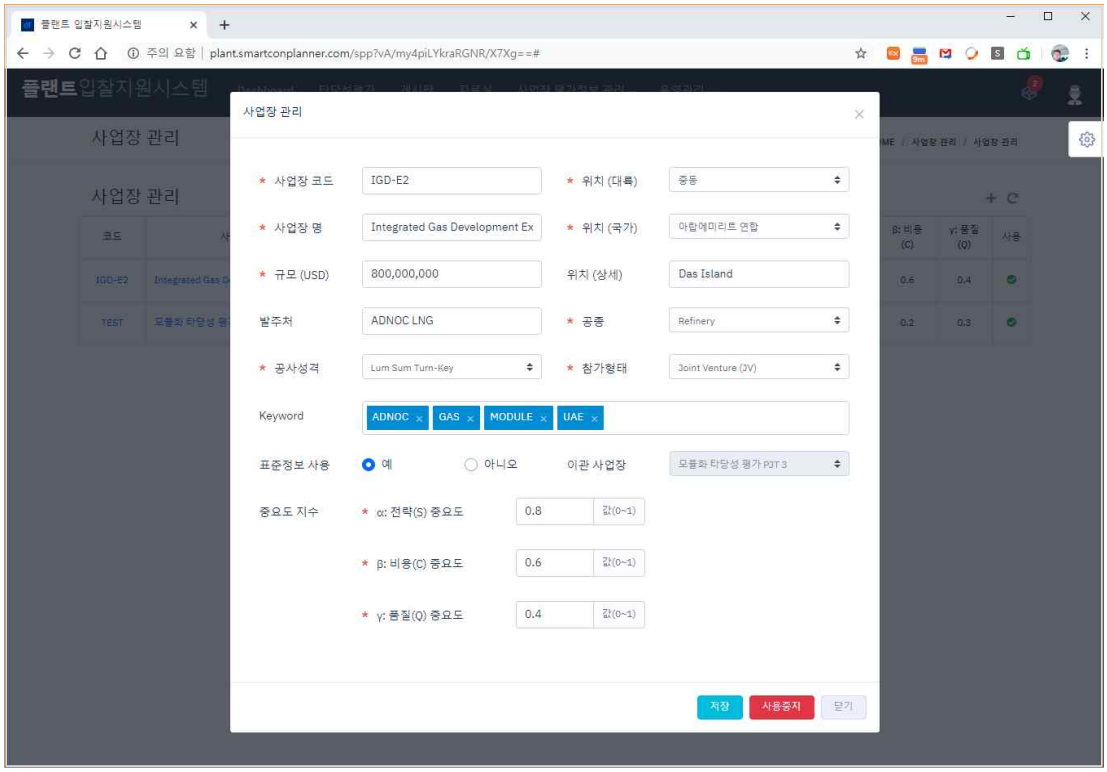


- 단위 엔지니어가 평가 권한이 있는 항목을 평가한다.
- 분야별 책임자가 평가 권한이 있는 Goal/범위를 평가한다.
- 총괄 책임자가 전체 항목을 평가한다.
- 총괄 책임자의 평가가 완료되면 전체 성과지수를 확인한다.
- 리스크관리의 Pre-Stage 평가를 진행한 후 On-Stage 항목을 도출한다.
- On-Stage의 평가를 차수별로 진행하여 리스크 지수를 관리한다.
- Post-Stage에서 On-Stage 항목에서 제외된 항목을 재평가한다.
- 평가가 완료되면 리스크 지수를 전체 성과지수와 함께 확인한다.

마. 관리자 화면 구성

① 사업장 관리

시스템 관리자 또는 사업장 관리자 권한을 가진 사용자는 사업장을 개설할 수 있으며, 시스템에서 요구하는 정보를 입력 후 생성할 수 있다.



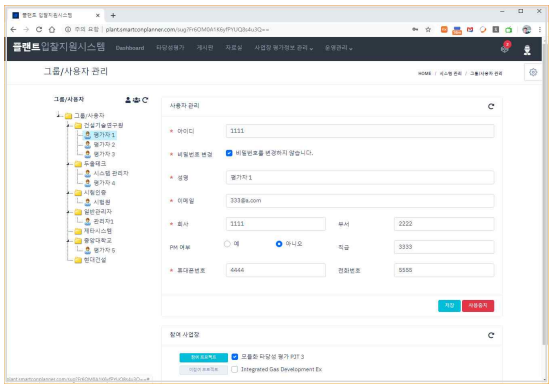
[그림 2-198] 사업장 관리

② 그룹/사용자 관리

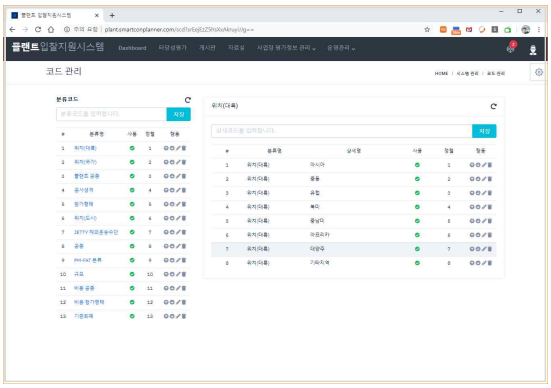
시스템에서 사용자 등록시 그룹(또는 회사)을 생성한 후 하위에 사용자를 등록한다. 사용자는 최소 정보만 입력 후 등록할 수 있으며, 등록 후 참여 사업장과 기본 사업장을 지정한다.

③ 공통코드 관리

시스템에서 전반적으로 사용되는 공통코드를 분류별로 관리할 수 있으며, 적용된 코드는 모든 사업장에 일괄 적용된다.



[그림 2-199] 그룹/사용자 관리



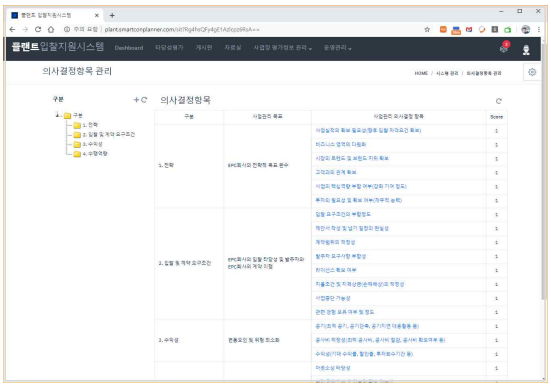
[그림 2-200] 공통코드 관리

④ 의사결정 항목

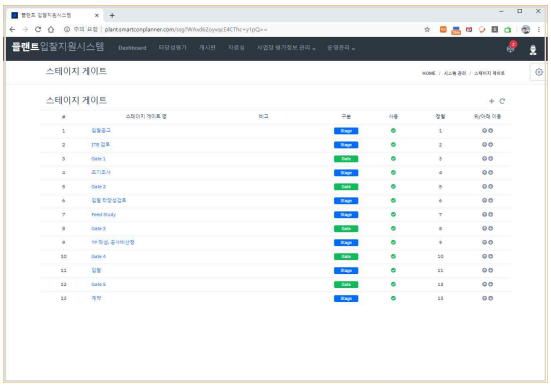
시스템에서 기준으로 제시하는 분류별로의 의사결정을 관리하는 메뉴로 분류는 Tree구조로 추가/수정/삭제할 수 있으며, 분류 선택 후 하위에 의사결정 항목을 등록한다.

⑤ 스테이지/게이트

시스템에서 기준으로 제시하는 스테이지/게이트를 관리하며, 사용자가 사업장을 생성하면 기준정보로 세팅된다. 해당 정보를 수정하면 기 개설된 사업장엔 사용자의 커스터마이징 정보가 우선으로 이후 사업장 개설시부터 적용된다.



[그림 2-201] 의사결정 항목



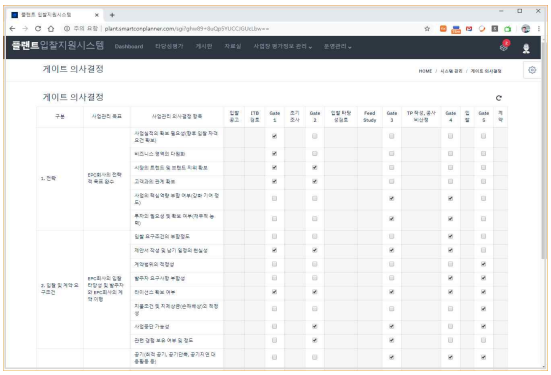
[그림 2-202] 스테이지/게이트

⑥ 게이트 의사결정

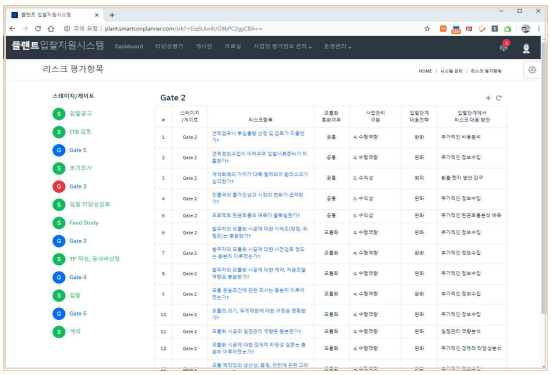
앞서 정의된 의사결정 항목과 스테이지/게이트 정보를 X축과 Y축으로 두고 의사결정 항목을 지정할 수 있다. 등록된 정보는 사용자가 사업장 개설시 기준 정보로 제시한다.

⑦ 리스크 평가항목

입찰단계의 타당성/리스크 평가항목 중 리스크 평가항목을 관리하는 메뉴로 스테이지/게이트 분류에 따라 리스크 평가항목을 관리한다.



[그림 2-203] 게이트 의사결정



[그림 2-204] 리스크 평가항목

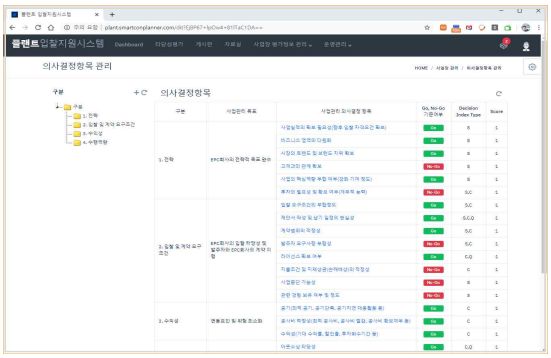
바. 사용자 화면 구성

① 의사결정 항목

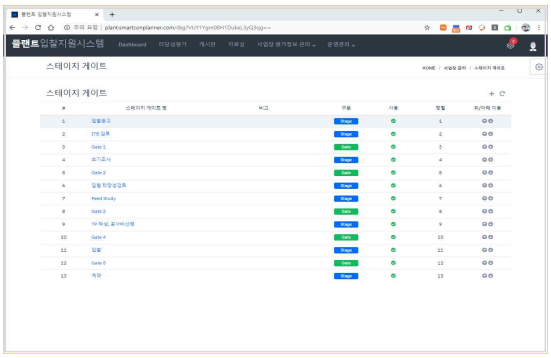
사용자가 참여하는 사업장 개설 후 기준정보로 제시된 의사결정 항목을 관리하는 메뉴로 사용자가 분류정보와 하위 의사결정 항목을 커스터마이징해 사용한다.

② 스테이지/게이트

사업장 개설 후 기준정보로 제시된 스테이지/게이트 정보를 사용자가 참여하는 사업장의 조건에 맞춰 추가, 수정, 이동하여 구성한다. 커스터마이징 된 정보는 사업장에 적합하게 재정의 되며, 이후 추가 사업장 개설시 재사용이 가능하다.



[그림 2-205] 의사결정 항목



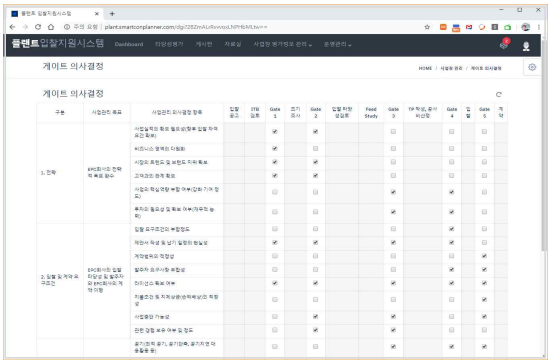
[그림 2-206] 스테이지/게이트

③ 게이트 의사결정

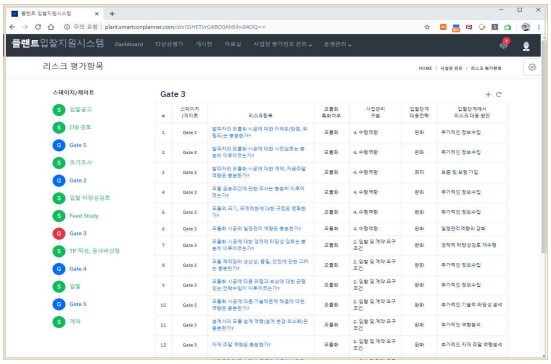
사용자가 커스터마이징한 의사결정 항목과 스테이지/게이트 정보를 기반으로 각 단계별 의사결정 항목을 정의한다. 각 스테이지/게이트의 평가 진행 중에도 의사결정 항목의 변경이 가능하다.

④ 리스크 평가항목

사용자가 커스터마이징한 스테이지/게이트 단계별로 리스크 평가항목을 관리한다. 리스크 평가항목은 게이트에서 평가되며, 리스크항목 외에 모듈화 특화 여부, 사업관리 구분, 입찰단계 대응전략 등의 정보도 관리한다.



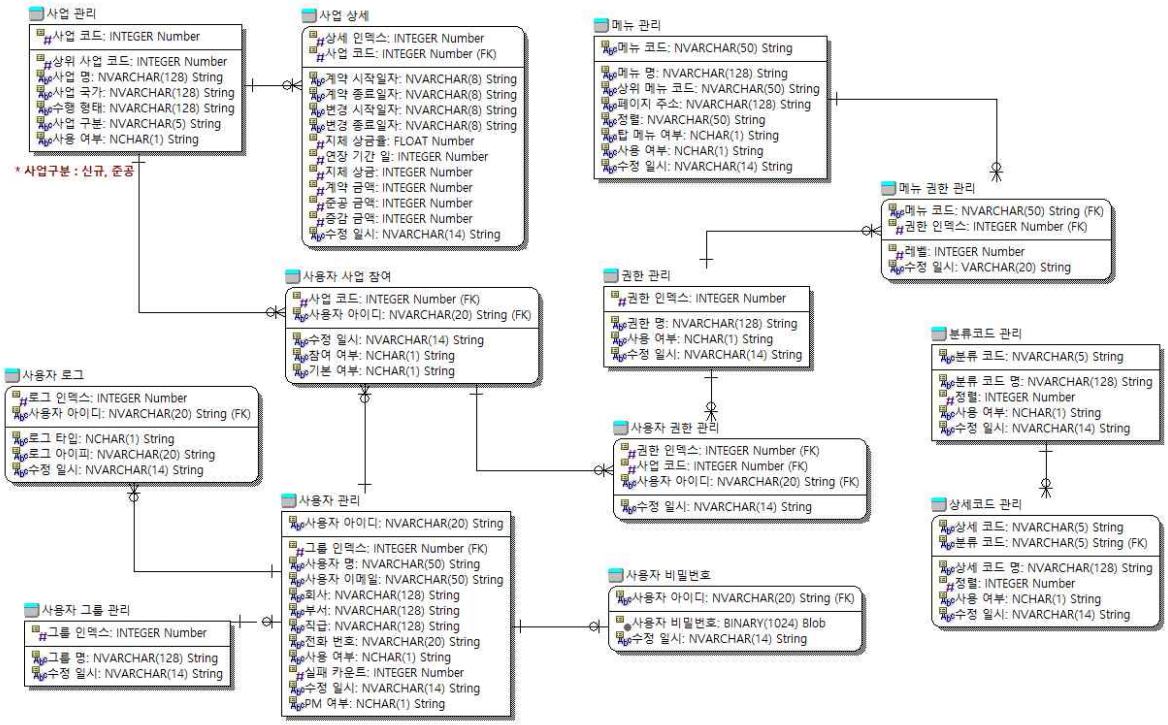
[그림 2-207] 게이트 의사결정



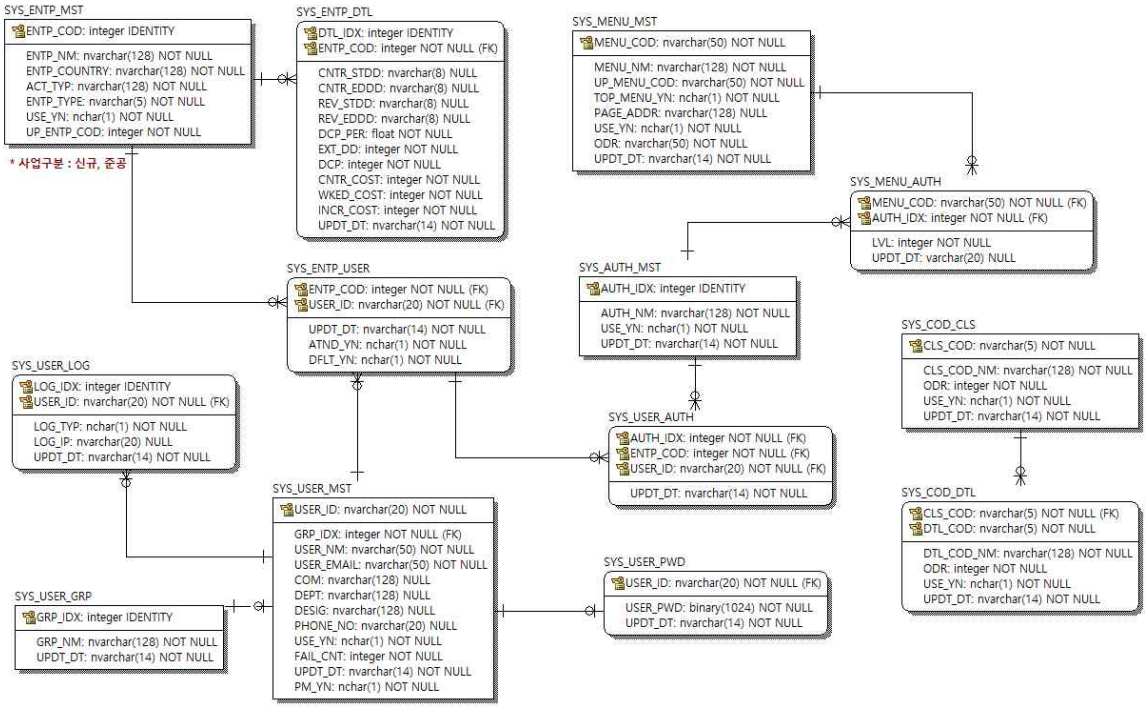
[그림 2-208] 리스크 평가항목

사. 데이터베이스 설계

① 시스템 관리

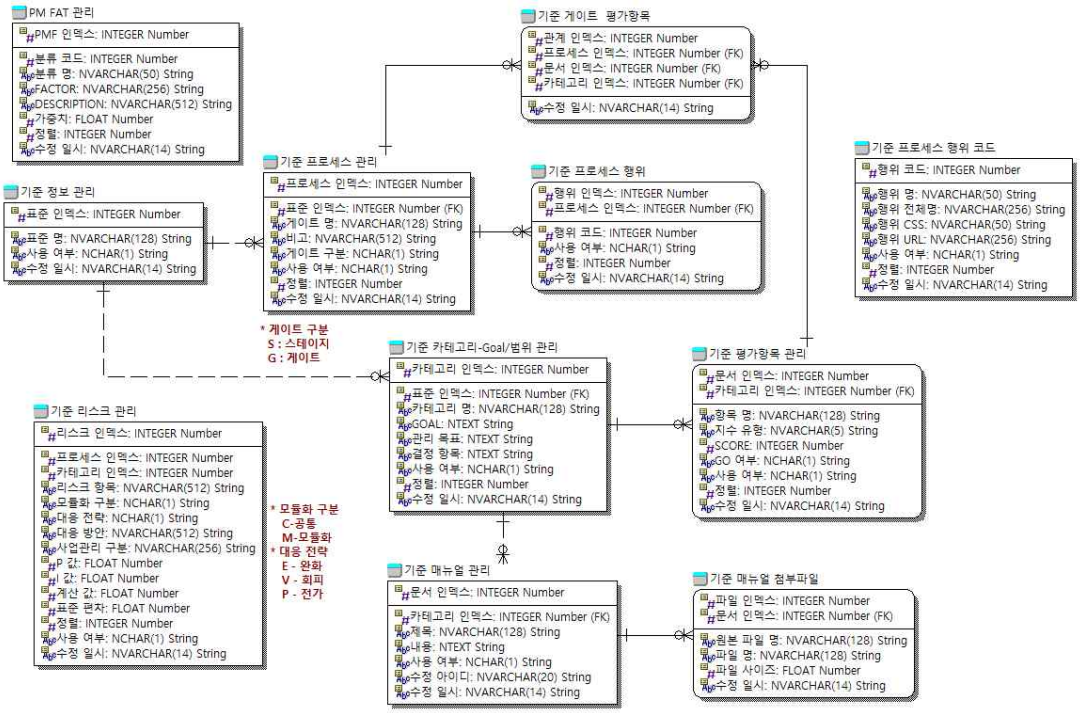


[그림 2-209] 시스템 관리 - 논리

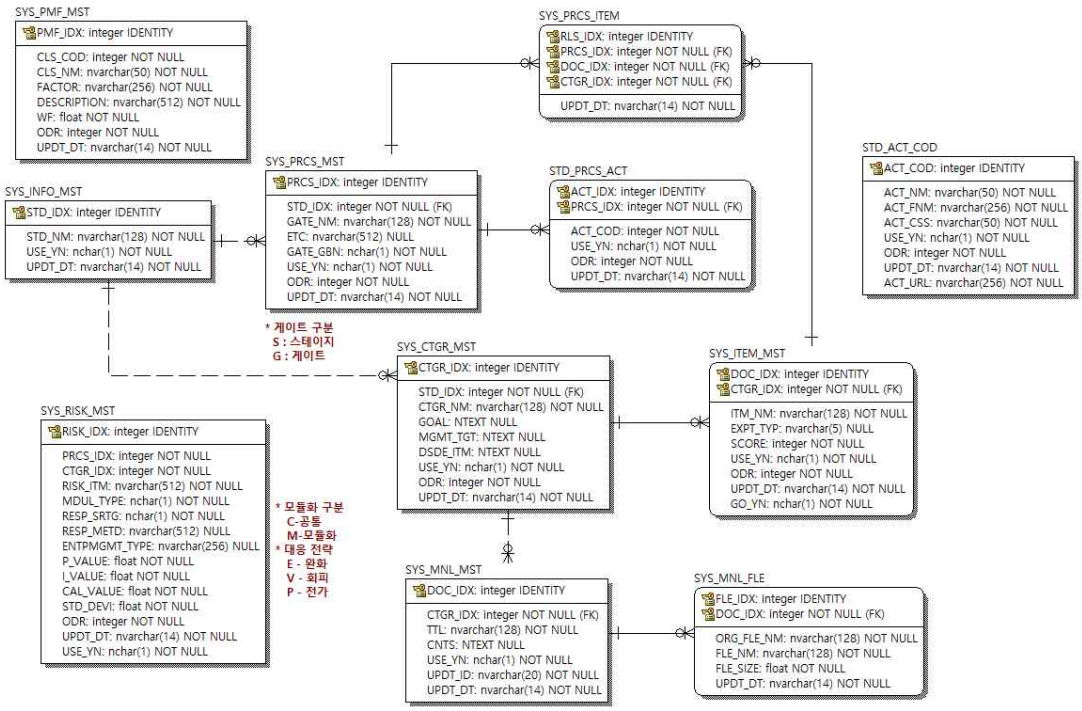


[그림 2-210] 시스템 관리 - 물리

② 기준 정보 관리

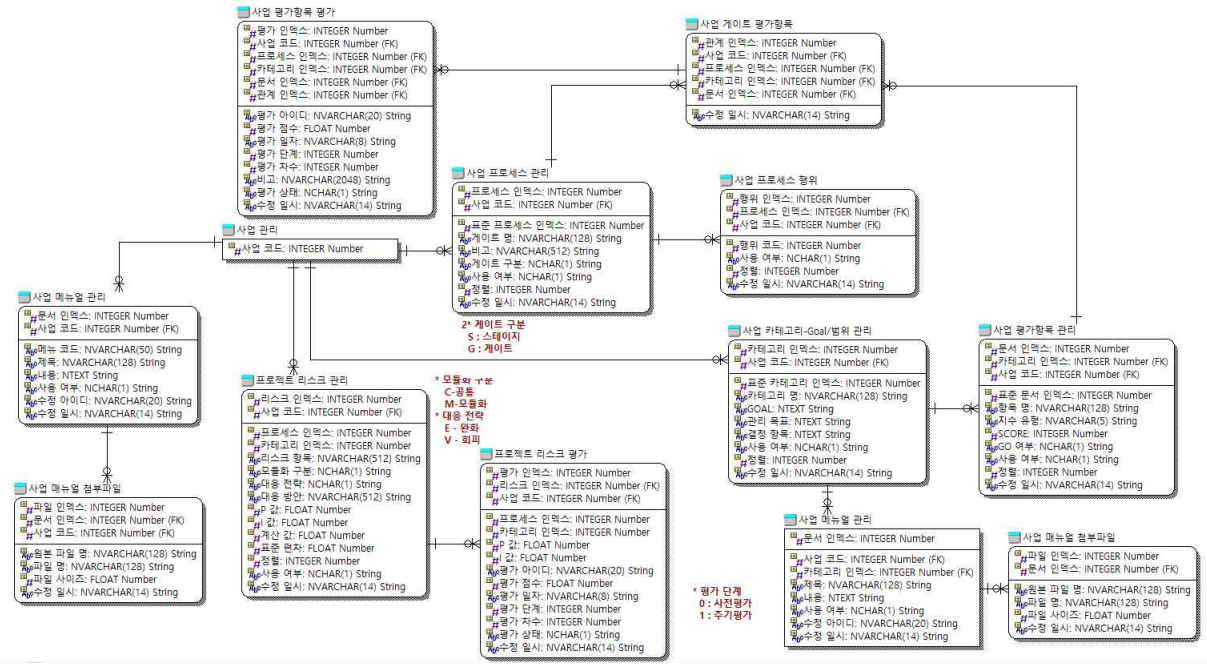


[그림 2-211] 기준 정보 관리 – 논리

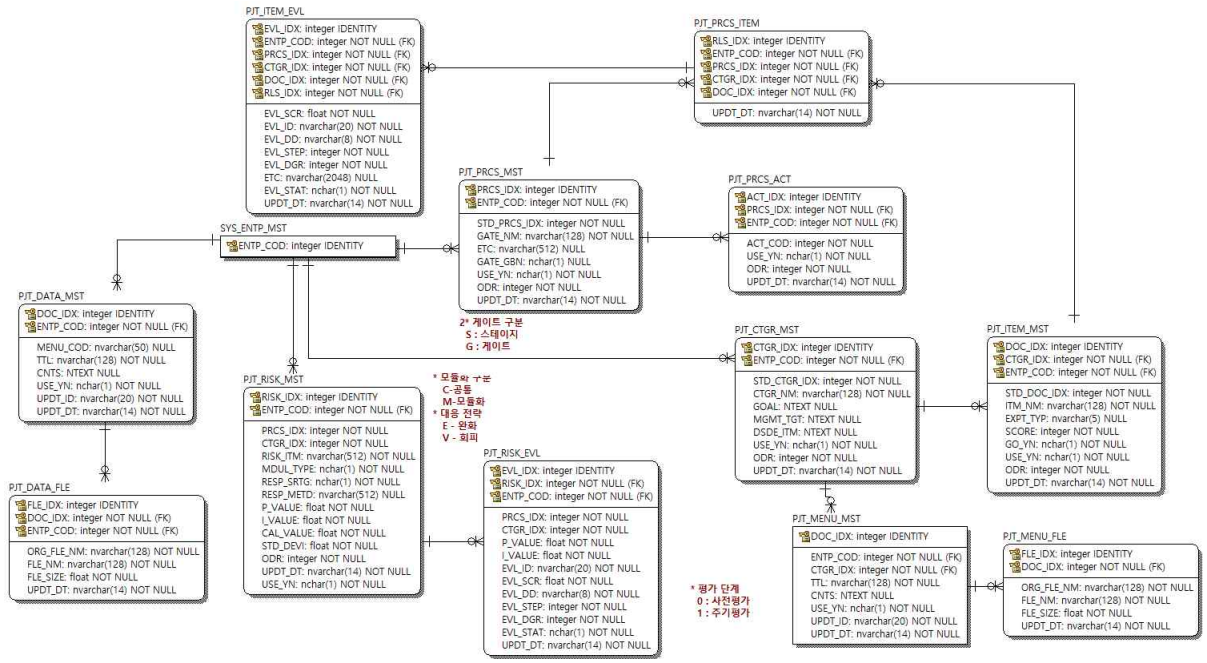


[그림 2-212] 기준 정보 관리 – 물리

③ 사업장 정보



[그림 2-213] 사업장 정보 - 논리

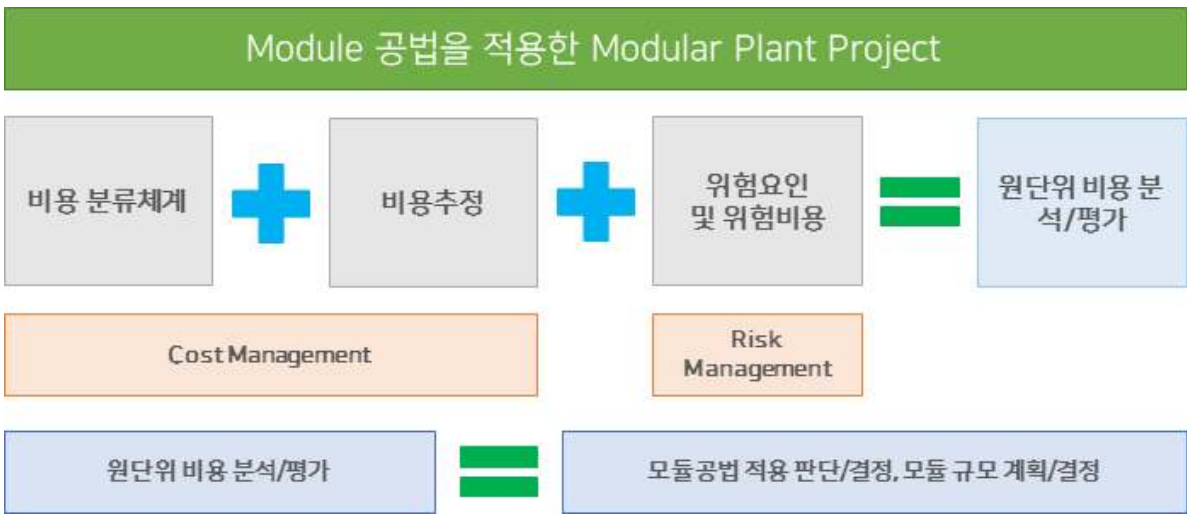


[그림 2-214] 사업장 정보 - 물리

2.5.2 원단위 계량평가 시스템

가. 개요

플랜트 건설 사업에 대한 수익성 확보 및 효율적인 원가관리의 업무향상을 위해서는 지속적인 비용관리 기술 개발이 필수적이다. 비용관리 기술이란 최초에 계획된 수익의 확보를 위한 관리 계획과 더불어 수익의 확보를 위해서는 사업을 추진하는 과정에서 비용의 변동성을 최소화하는 것이 중요하므로 비용의 변동을 유발하는 위험(설계위험, 제작위험, 시공위험 등)요인을 사전에 인식 및 확인하여 플랜트 건설사업 초기단계에서 준공단계까지 사업추진 전 과정에 대한 비용의 변동성을 예측하고 관리하는 시스템 능력의 향상이 필요하다. 모듈화 플랜트 건설사업을 기반으로 CBS를 이용하여 비용을 추정하고, 이를 원단위화 하여 관리할 수 있어야 하고, 나아가 위험요인에 의한 비용증가 까지 분석하여 관리하는 시스템을 구축한다.



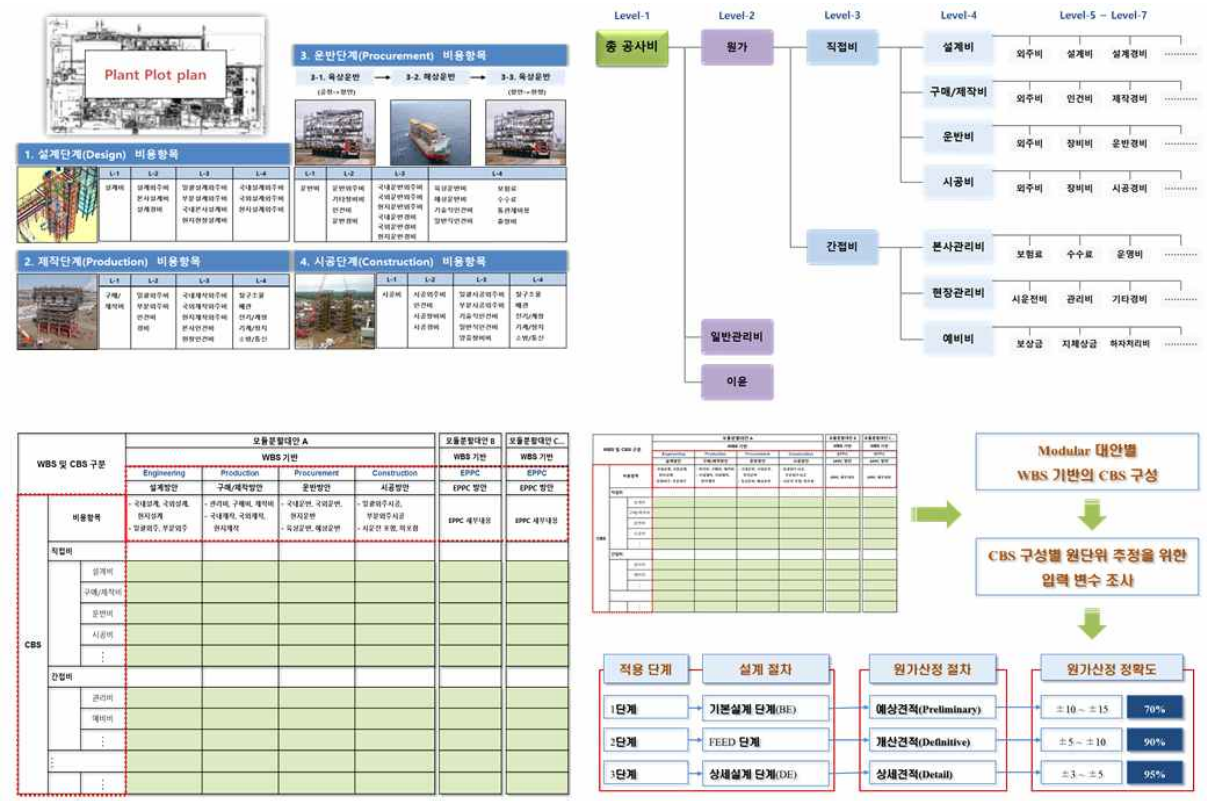
[그림 2-215] 모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개념

나. 분석 및 요구사항

협업단위 CBS 체계 구축 및 이를 이용한 모듈화 원단위 계량 시스템 개발로 CBS를 활용한 원단위 계량 시스템 개발과 자료조사를 바탕으로 한 다양한 형태의 기존 CBS 분석을 통해 도출된 정형화된 CBS를 데이터베이스화 한다.

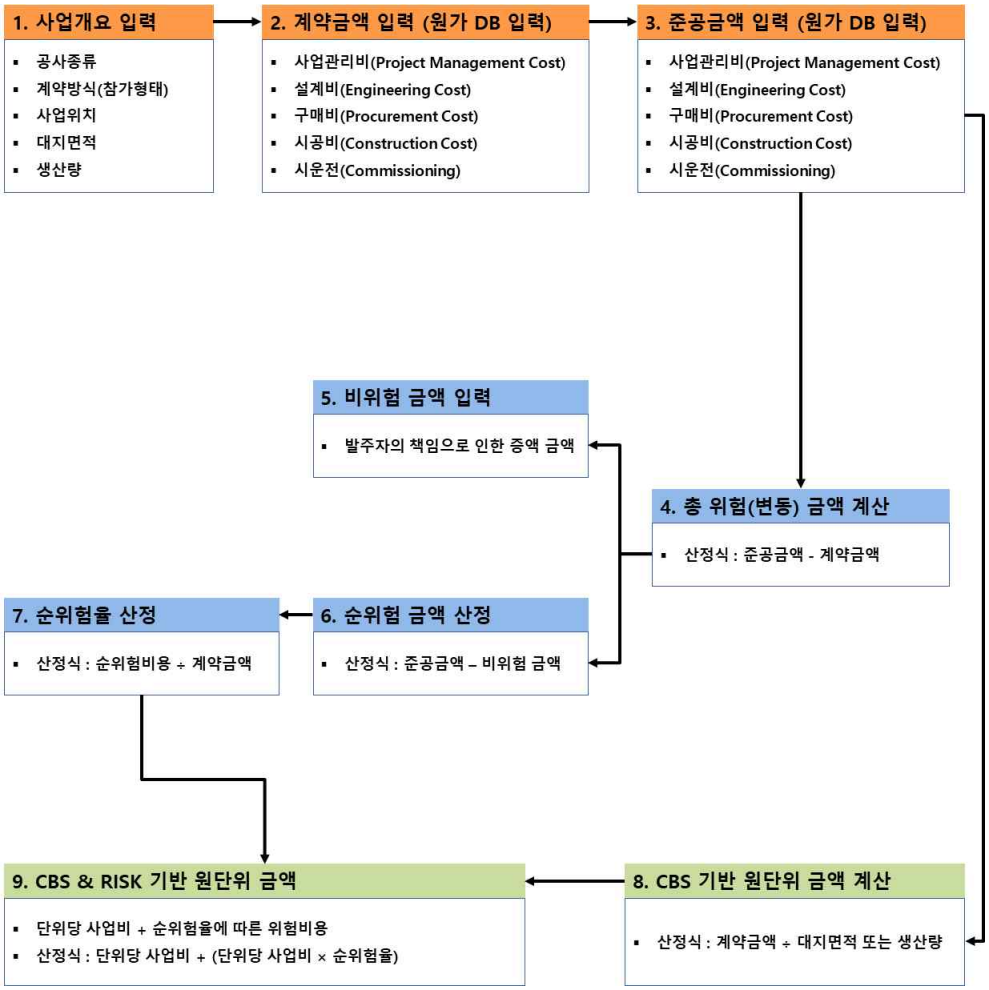
① 협업 단위 모듈화 CBS 체계는 협업 프로세스를 고려하여 플랜트를 분할한 각각의 단위 모듈화 시스템에 대하여 플랜트 생애주기별로 소요되는 비용을 그룹화하여 전개한 것으로 원단위 계량 및 타당성/리스크 평가를 위한 기반이 되는 체계이며, 비용자료이다. 상기와 같은 플랜트 건설사업에서 모듈러 공법을 적용한 특성을 고려하여 비용분류체계를 구성하기 위한 개념모

델을 시스템화 한다.



[그림 2-216] 모듈화 CBS 체계 및 원단위 계량 시스템 개념

② CBS 체계의 원단위 계량 모델의 개념은 단위당 사업비용에 위험비용을 포함한 단위당 금액을 도출하는 것으로 최초 계약된 총 사업비와 준공된 총 사업비를 비교하여 위험비용(계약금액 대비 증액된 비용)을 산정한다. 위험비용의 산정은 발주자의 책임사유로 인해서 발생된 비용(이하, 비위험비용)과 도급자의 책임 사유로 인해서 발생된 비용(이하, 순위험비용)으로 분류하여 산정한다. 이와 같은 방법으로 산정된 순위험비용을 최초 계약금액으로 나누어 순위험비용에 대한 비율을 도출한다. 분석하고자 하는 플랜트의 대지면적(㎡)과 생산물의 생산량(ton)을 최초 계약금액으로 나누어 단위당(1㎡당 또는 ton당) 금액을 산정하여 그 금액에 순위험비용에 대한 비율을 곱하여 사업비용과 위험비용을 합한 단위당 금액을 도출하며 이를 시스템화 한다.



[그림 2-217] CBS 체계의 원단위 계량 모델 절차

<표 2-55> CBS 체계의 원단위 계량 모델 세부 내용

구 분	세 부 내 용	비 고
1. 사업개요 입력	- 플랜트 사업 종류 - 모듈러공법 적용 여부 - 계약방식(참가형태) - 사업대상 위치 - 사업명(비용 자료명) - 대지면적(㎡) 또는 생산량(ton)	사용자 입력
2. 계약금액 입력	- 최초 계약금액 - 사업관리비(Project Management Cost) - 설계비(Engineering Cost) - 구매비(Procurement Cost) - 시공비(Construction Cost) - 시운전비(Commission Cost)	사용자 입력
3. 준공금액 입력	- 최종 준공금액 - 사업관리비(Project Management Cost)	사용자 입력

구 분	세 부 내 용	비 고
	- 설계비(Engineering Cost) - 구매비(Procurement Cost) - 시공비(Construction Cost) - 시운전비(Commissioning Cost)	
4. 총 위험비용 계산	- 플랜트 건설사업을 추진하는 과정에서 특정 위험의 발생으로 인하여 증액된 금액을 계산 - 산정식 : 준공금액 - 계약금액 = 총 위험비용	자동 계산
5. 비위험 금액 입력	- 총 위험비용 중에서 발주자의 책임으로 인해 증액된 금액이며, 비율 또는 실제 금액을 입력하여 계산 - 산정식 : 총 위험비용 × 비위험 금액 비율 = 비위험금액	사용자 입력
6. 순위험 금액 입력	- 총 위험비용에서 도급자(건설사)의 책임으로 인하여 증액된 금액이며, 비율 또는 실제 금액을 입력하여 계산 - 산정식 : 총 위험비용 - 비위험 금액 = 순위험 금액	자동 계산
7. 순위험율 계산	- 계약금액 대비 순위험 금액에 대한 비율을 계산 - 산정식 : 순위험 금액 ÷ 계약금액 = 순위험율	자동 계산
8. CBS 원단위 금액 계산	- 대지면적 또는 생산물의 생산량을 기준으로 단위당 계약 금액을 계산 - 산정식 : 계약금액 ÷ 대지면적 = ㎡당 계약금액 계약금액 ÷ 생산량 = ton당 계약금액	자동 계산
9. CBS & RISK 원단위 금액 계산	- 단위당 사업비에 순위험율에 따른 순위험비용을 곱하여 산정된 원단위 금액(사업비 + 위험비용) - 산정식 : 단위당 금액 + (단위당 금액 × 순위험율)	자동 계산

다. 기능 프로세스

CBS 체계의 항목별(모듈화) 원단위 계량 Prototype 모델은 CBS 기반의 원단위 금액을 추정한 후에, 거기에 추가하여 위험율을 반영한 원단위 금액을 추정하는 것으로 진행한다. 분석하고자 하는 대상의 CBS 기반의 원가자료를 입력하고 원단위로 금액을 추정한다. 그리고 입력된 CBS 기반의 원가자료를 이용하여 순위험율을 분석하여 원단위로 추정되 금액에 순위험율을 반영한 원단위 금액을 추정하는 것으로 기능 프로세스를 정의한다.

① CBS 기반 원단위 금액 추정

분석대상 사례의 개요에서 입력된 계약금액을 대지면적(㎡)과 생산량(ton)으로 나누어 ㎡단위당 또는 ton단위당 금액을 산정한다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적(M2)	생산량(Ton)	단위당 금액(M2)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	153,435	75,465	5,827,614	4,156,929	85,023
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	229,039	112,649	3,624,636	6,205,224	126,917
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	1,183,168	5,447,520	3,667,778	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	168,846	101,277	10,000,999	27,343	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	593,456	2,738,974	6,966,036	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	194,442	344,747	4,828,081	5,607,982	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	295,958	410,822	5,170,993	4,388,975	31,718
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	5,460,361	4,838,104	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	10,298,466	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	145,539	146,477	5,629,130	4,316,894	60,426
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	145,539	146,477	5,629,130	4,316,894	60,426
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	101,277	712,336	1,020,411	0

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적(M2)	생산량(Ton)	단위당 금액(Ton)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	8,189	4,027	311,014	221,851	4,538
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	12,224	6,012	193,443	331,166	6,773
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	63,144	290,728	195,745	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	9,011	5,405	533,743	1,459	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	31,672	146,176	371,770	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	9,737	17,264	241,780	280,836	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	15,795	21,925	275,971	234,235	1,693
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	291,414	258,205	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	549,618	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	7,767	7,817	300,421	230,388	3,225
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	7,767	7,817	300,421	230,388	3,225
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	116,837	860,857	1,138,096	0

[그림 2-218] CBS 기반 원단위 추정

② 순위험율 분석

위험금액에서 발주자의 책임으로 인하여 증액된 공사금액을 비위험금액으로 정의하고 총 위험금액에서 비위험금액을 차감하여 계산된 금액을 순위험금액으로 정의한다. 이와 같은 과정으로 계산된 순위험금액을 계약금액으로 나누어 도출된 비율을 순위험율로 판단한다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	총 위험(변동)금액				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	0	0	0	0	0
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	5,290,853,401	2,602,224,948	83,730,092,291	143,342,384,278	2,931,822,371
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	1,301,320,192	1,979,163,152	11,523,233,376	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	2,418,837,696	1,450,867,575	143,271,281,427	391,705,800	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	1,899,982,388	2,896,637,025	63,706,012,452	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	580,112,776	1,028,541,458	14,404,432,810	16,731,242,231	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-533,307,632	93,286,992	-3,274,811,536	-5,272,316,960	141,062,864
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	73,097,984,688	-36,185,790,480	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	952,780,816	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	728,825,915	733,524,944	28,189,476,788	21,618,078,230	302,601,487
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	1,479,273,462	1,488,810,924	57,215,233,557	43,877,486,777	614,180,067
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	6,424,000,000	61,320,000,000	48,588,800,000	0

[그림 2-219] 순위험율 분석을 위한 총 위험금액 산정

Prototype 모델의 분석과정에 대한 타당성과 연계성 등에 대한 확인이 필요하므로 임의 값을 반영하여 비위험금액을 입력한다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	비위험금액				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	-	-	-	-	-
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	899,445,078	78,066,748	18,420,620,304	53,036,682,183	557,046,251
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	-	377,382,856	316,666,104	3,341,737,679	-
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	967,535,078	696,416,436	57,308,512,571	39,170,580	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	-	227,997,887	608,293,775	1,911,180,374	-
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	226,243,983	236,564,535	5,041,551,483	8,030,996,271	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-	17,724,528	-	-	19,748,801
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	-	-	13,888,617,091	-	-
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	-	-	-	362,056,710	-
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	36,441,296	161,375,488	3,946,526,750	1,945,627,041	96,832,476
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	547,331,181	163,769,202	1,716,457,007	21,938,743,388	104,410,611
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	-	1,541,760,000	60,379,002,000	112,686,168,000	-

[그림 2-220] 순위험율 분석을 위한 비위험금액 산정

도급자의 책임으로 인하여 증액된 금액인 순위험금액은 총 위험금액에서 비위험금액을 차감한 것으로 산정된다.

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	순위험금액 - 자동				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	0	0	0	0	0
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	4,391,408,323	2,524,158,199	65,309,471,987	90,305,702,095	2,374,776,121
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0	923,937,336	1,662,497,048	8,181,495,697	0
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	1,451,302,617	754,451,139	85,962,768,856	352,535,220	0
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0	1,671,984,501	2,288,343,250	61,794,832,079	0
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	353,868,793	791,976,923	9,362,881,326	8,700,245,960	0
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-533,307,632	75,562,464	-3,274,811,536	-5,272,316,960	121,314,063
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0	0	59,209,367,597	-36,185,790,480	0
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0	0	0	590,724,106	0
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	692,384,619	572,149,456	24,242,950,038	19,672,451,190	205,769,011
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	931,942,281	1,325,041,722	55,498,776,550	21,938,743,388	509,769,455
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0	4,882,240,000	940,998,000	-64,097,368,000	0

[그림 2-221] 순위험율 분석을 위한 순위험금액 산정

산정된 순위험금액에서 -금액은 준공금액이 계약금액보다 낮은 금액이다. 이와 같이 산정된 순위험금액을 계약금액으로 나누어 순위험율을 도출한다

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	순위험율 - 자동				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100,294	1,879,258	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2	석유화학	LSTK	아시아	161,251	3,021,431	11.89%	13.90%	11.17%	9.03%	11.60%
3	석유화학	LSTK	아시아	10,034	188,016	0.00%	7.78%	3.04%	22.23%	0.00%
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100,000	1,873,749	8.60%	7.45%	8.60%	12.89%	0.00%
5	석유화학	LSTK	아시아	29,208	547,290	0.00%	9.65%	2.86%	30.37%	0.00%
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20,826	415,871	8.74%	11.03%	9.31%	7.45%	0.00%
7	석유화학	LSTK	아시아	13,110	245,642	-13.75%	1.40%	-4.83%	-9.16%	29.18%
8	석유화학	LSTK	아시아	93,653	1,754,814	0.00%	0.00%	11.58%	-7.99%	0.00%
9	석유화학	LSTK	아시아	293	5,483	0.00%	0.00%	0.00%	19.60%	0.00%
10	석유화학	LSTK	아시아	34,957	655,000	13.61%	11.17%	12.32%	13.04%	9.74%
11	석유화학	LSTK	아시아	70,950	1,329,431	9.03%	12.75%	13.90%	7.16%	11.89%
12	석유화학	LSTK	아시아	412,870	5,348,944	0.00%	11.68%	0.32%	-15.21%	0.00%

[그림 2-222] 순위험율 분석 결과

③ CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정

CBS & 위험율 기반 원단위 금액 추정은 CBS 기반 원단위 금액 추정 결과와 순위험율을 활용하여 산정된다.

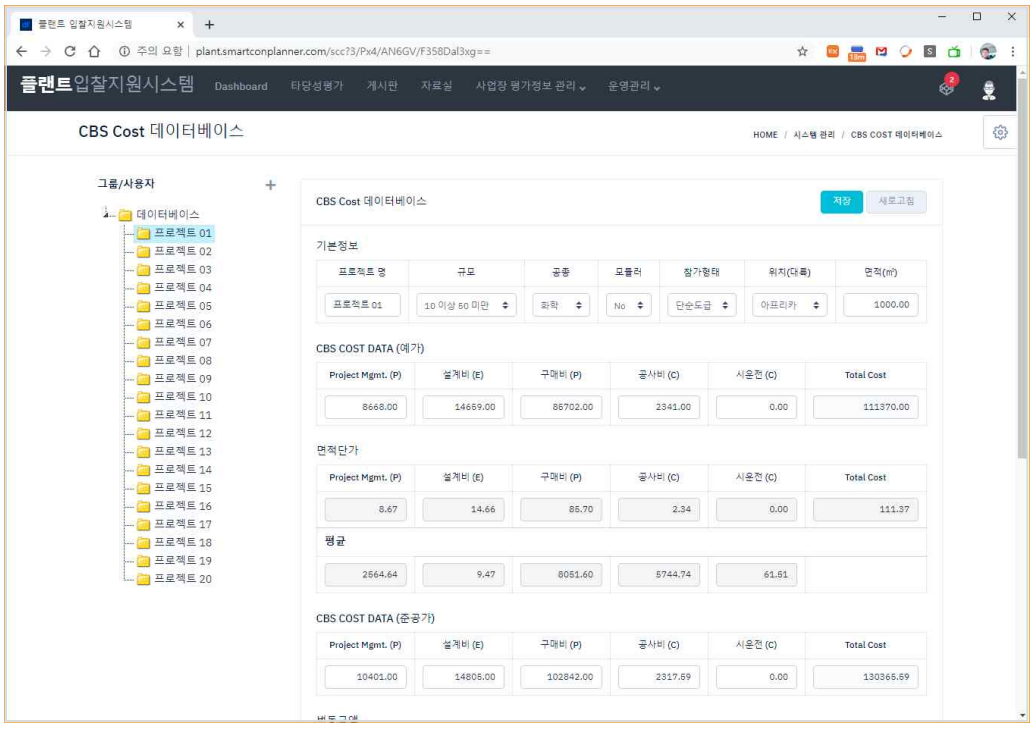
No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	단위당(M2) 금액 + (단위당(M2) 금액 * 순위험율)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100294.0152	1879257.708	153,435	75,465	5,827,614	4,156,929	85,023
2	석유화학	LSTK	아시아	161250.6172	3021431.187	256,272	128,303	4,029,655	6,765,258	141,644
3	석유화학	LSTK	아시아	10034.1941	188015.5716	-	1,275,247	5,613,203	4,483,140	-
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100000	1873748.602	183,359	108,822	10,860,627	30,868	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29208.27504	547289.6454	-	650,699	2,817,319	9,081,698	-
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20826	415871.4938	211,434	382,775	5,277,658	6,025,740	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13109.6336	245641.5763	255,277	416,586	4,921,192	3,986,804	40,972
8	석유화학	LSTK	아시아	93652.56911	1754813.705	-	-	6,092,585	4,451,721	-
9	석유화학	LSTK	아시아	292.6118283	5482.810043	-	-	-	12,317,263	-
10	석유화학	LSTK	아시아	34956.66384	655000	165,346	162,844	6,322,645	4,879,661	66,313
11	석유화학	LSTK	아시아	70950.36565	1329431.485	158,674	165,153	6,411,350	4,626,106	67,611
12	석유화학	LSTK	아시아	412870.4878	5348943.721	-	113,102	714,615	865,163	-

No	공사종류	계약방식	위치(대륙)	대지면적 (M2)	생산량 (Ton)	단위당(ton) 금액 + (단위당(ton) 금액 * 순위험율)				
						사업관리비(PM)	설계비 (Eng)	구매비 (Pro)	공사비 (Con)	시운전 (Com)
1	석유화학	LSTK	아시아	100294.0152	1879257.708	8,189	4,027	311,014	221,851	4,538
2	석유화학	LSTK	아시아	161250.6172	3021431.187	13,677	6,847	215,058	361,055	7,559
3	석유화학	LSTK	아시아	10034.1941	188015.5716	-	68,059	299,571	239,260	-
4	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	100000	1873748.602	9,786	5,808	579,620	1,647	-
5	석유화학	LSTK	아시아	29208.27504	547289.6454	-	34,727	150,357	484,681	-
6	석유화학	Fixed Lump sum	아시아	20826	415871.4938	10,588	19,169	264,294	301,757	-
7	석유화학	LSTK	아시아	13109.6336	245641.5763	13,624	22,233	262,639	212,772	2,187
8	석유화학	LSTK	아시아	93652.56911	1754813.705	-	-	325,155	237,584	-
9	석유화학	LSTK	아시아	292.6118283	5482.810043	-	-	-	657,359	-
10	석유화학	LSTK	아시아	34956.66384	655000	8,824	8,691	337,433	260,422	3,539
11	석유화학	LSTK	아시아	70950.36565	1329431.485	8,468	8,814	342,167	246,890	3,608
12	석유화학	LSTK	아시아	412870.4878	5348943.721	-	130,478	863,611	964,943	-

[그림 2-223] CBS & 위험율 기반 원단위 금액 결과

라. 관리자 화면 구성

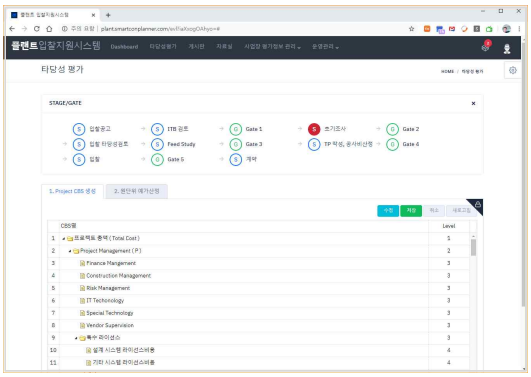
협업단위 CBS 체계 구축 및 이를 이용한 모듈화 원단위 계량 시스템 개발로 CBS를 활용한 원단위 계량 시스템 개발과 자료조사를 바탕으로 한 다양한 형태의 기존 CBS 분석을 통해 도출된 정형화된 CBS를 데이터베이스화해 관리한다.



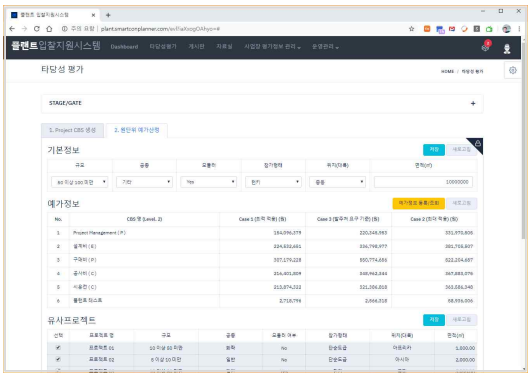
[그림 2-224] CBS Cost 데이터베이스

마. 사용자 화면 구성

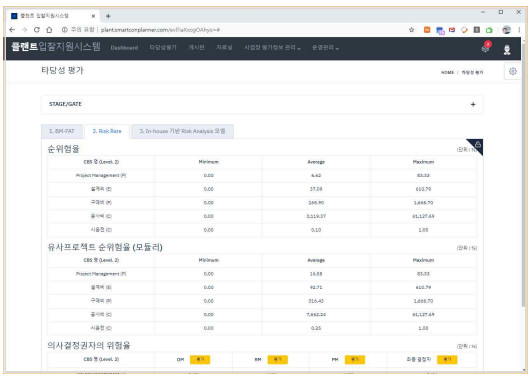
시스템에서 제공하는 기준정보를 기반으로 각 프로젝트는 CBS를 커스터마이징할 수 있으며 해당 CBS를 기반으로 원단위 비용평가와 위험율을 산정할 수 있다.



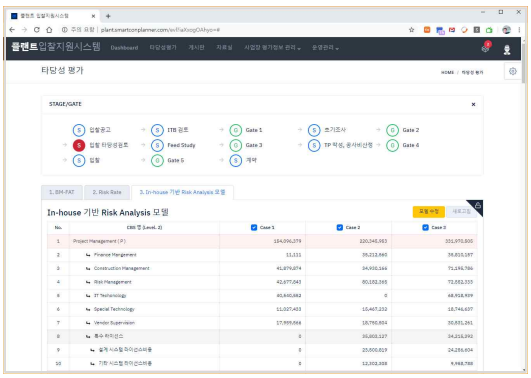
[그림 2-225] CBS 관리



[그림 2-226] 원단위 예가산정



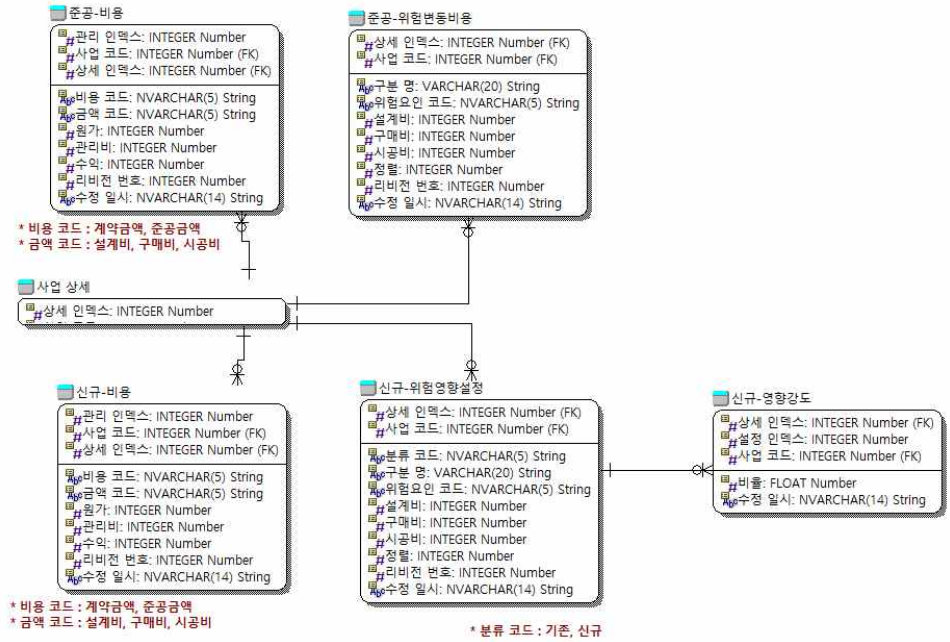
[그림 2-227] Risk Rate



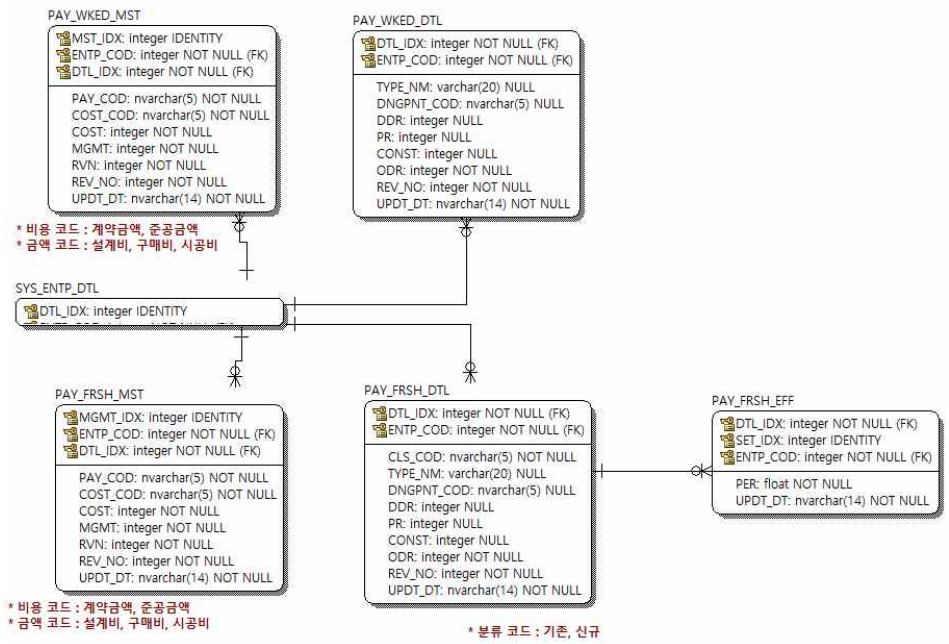
[그림 2-228] 분석모델 관리

바. 데이터베이스 설계

① 비용관리

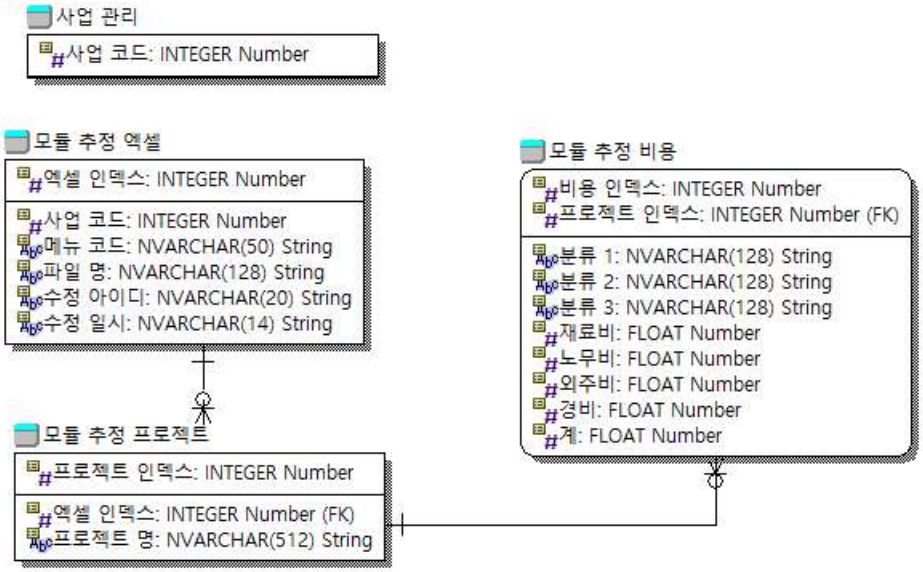


[그림 2-229] 비용관리 - 논리

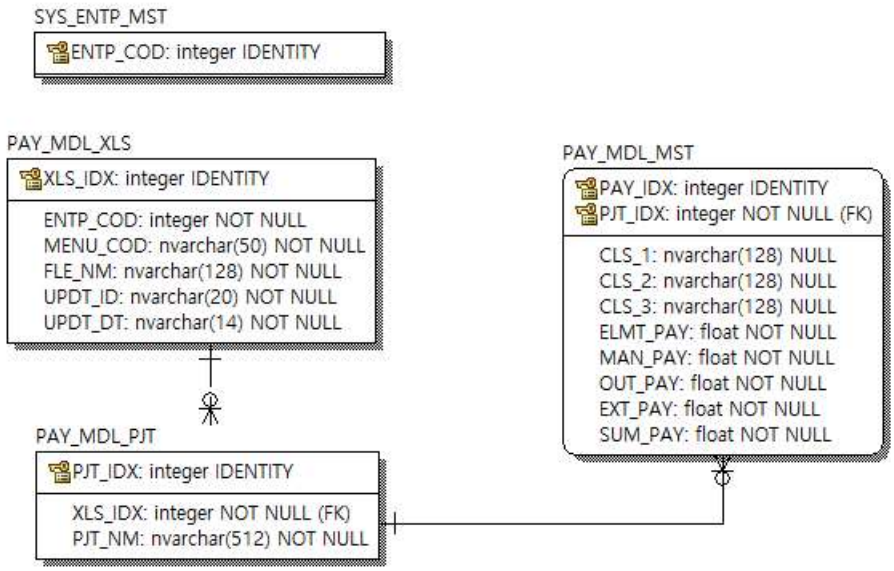


[그림 2-230] 비용관리 - 물리

② 모듈 추정 비용

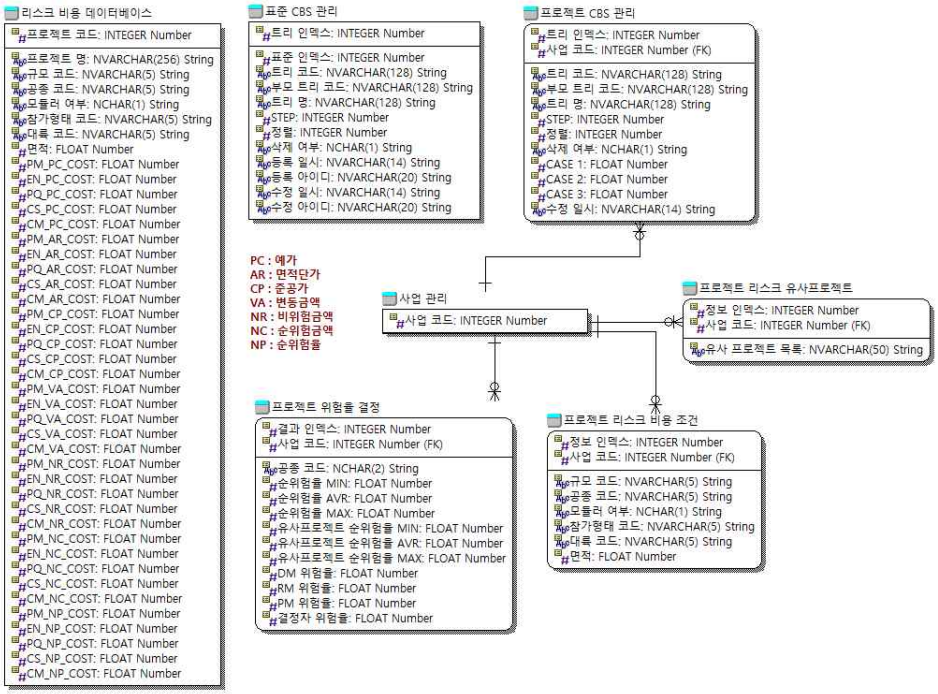


[그림 2-231] 모듈 추정 비용 – 논리

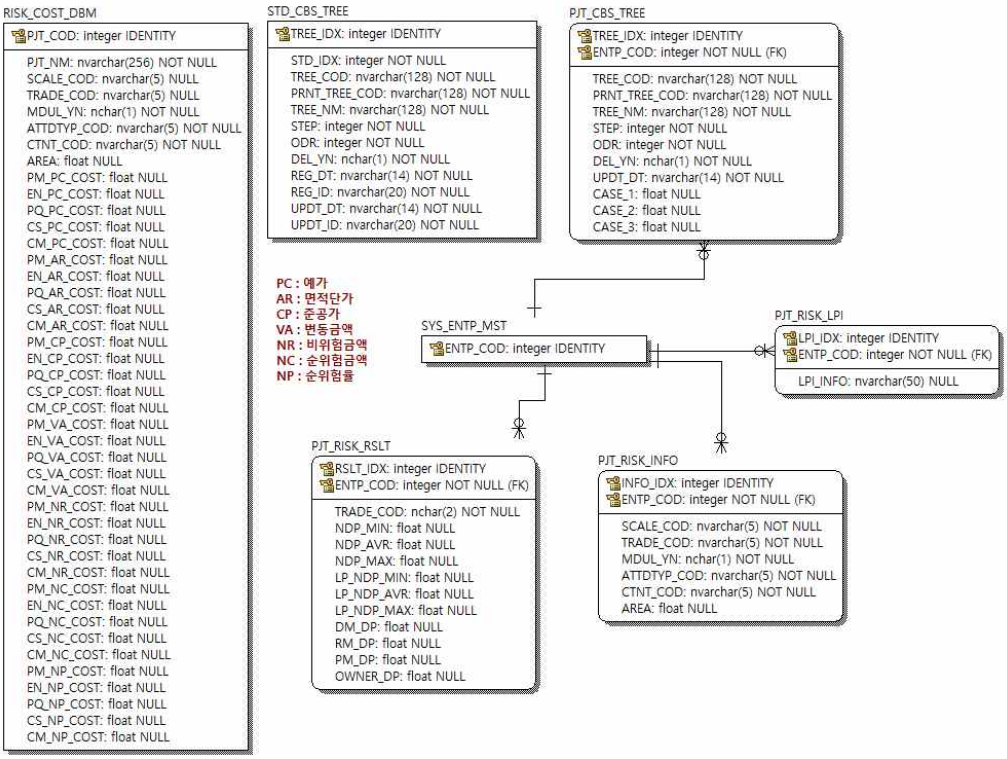


[그림 2-232] 모듈 추정 비용 – 물리

② 리스크 비용관리



[그림 2-233] 리스크 비용관리 - 논리



[그림 2-234] 리스크 비용관리 - 물리

2.5.3 PM-FAT

가. 개요

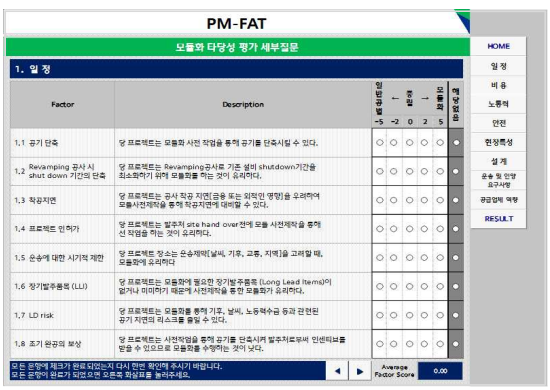
발주처가 모듈화를 결정한 사업이 아닌 경우에는 입찰 단계에서 모듈화의 검토 여부를 결정하는 것이 중요하다. 그리고 가능한 입찰 초기에 모듈화 검토 여부를 결정하는 것이 중요하다. 하지만, 입찰 초기에는 모듈화를 위한 제작샵, 운송 루트 등에 대한 조사가 정확히 이루어지지 않은 상태이기 때문에 한정된 정보를 바탕으로 모듈화 적용 타당성을 검토하는 기술이 필요하다. 본 연구에서 정의된 PM-FAT(대안기술 타당성 평가 툴, Pre-Stage Modularization Feasibility Assessment Tool)을 활용해 입찰 초기 모듈화 적용에 대한 검토 여부를 결정하는 시스템을 구축하였다.

① 입찰에 참여하는 실무자는 ITB와 FEED에 수록된 정보를 바탕으로 PM-FAT 각각의 Factor에 대해 모듈화 또는 Stick-built 공법에 대한 적합도를 +5~-5의 점수로 평가한다.

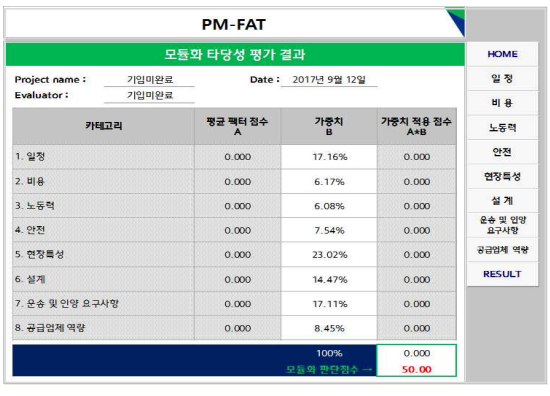
② 평가된 점수는 각각의 Category와 Factor에 따라 설정되어 있는 가중치를 고려한 합산을 통한 최종 평가점수를 도출한다.

나. 분석 및 요구사항

PM-FAT은 입찰초기에 사업에 대한 제한된 정보를 바탕으로 실무자들이 개별 설문조사 및 워크샵을 통해 모듈화 검토여부를 신속히 결정할 수 있는 도구로서 사업 성격, 설계와 시공 및 사업 운영 역량, 현지 인프라 확보 여부 등의 적성적 정보를 바탕으로 모듈화 검토 여부를 판단할 수 있는 정량적 기준인 모듈화 적합 점수를 도출하는데 의의가 있다고 한다. 해당 시스템 구축을 위한 참고자료로 제시한 Excel로 구현된 PM-FAT의 시작화면과 적합도 평가 화면, 최종 결과 산출화면을 참고하였다.



[그림 2-235] PM-FAT 평가



[그림 2-236] PM-FAT 최종결과 산출화면

<표 2-56> PM-FAT 요구사항 정의

No.	분류	요구 내용	입력 / 출력
1	모듈화 타당성평가	단위 엔지니어는 평가 가능한 평가항목에 대해서 평가를 할 수 있도록 권한의 범위 제한	평가항목관리에서 평가항목별 평가자를 지정
			평가가능 범위의 항목만 출력
2	모듈화 타당성평가	분야별 책임자는 평가 가능한 Goal/범위에 대해서 평가를 할 수 있도록 권한의 범위 제한	Goal/범위관리에서 해당 담당자를 지정
			평가시 평가 가능한 Goal/범위의 출력
3	모듈화 타당성평가	총괄 책임자는 전체 항목에 대한 평가가 가능하며, 평가완료시 의사결정지원 결과를 확인하는 기능	프로젝트 생성시 총괄 책임자의 지정
			평가시 전체항목에 대한 평가항목 출력
4	모듈화 타당성평가	평가결과는 각 지수를 계산식에 의해 계산된 계량적 점수를 결과로 확인하며, 리스크지수는 별도 결과 표기	총괄 책임자의 평가 완료 선택시 결과 확인
			결과는 평가항목별 부여점수 목록과 계산식의 결과 확인
5	모듈화 타당성평가	전체 성과 지수와 리스크 지수에 따른 Go 또는 No-Go의 의사결정지원	총괄 책임자의 평가 완료 선택시 결과 확인
			전체 성과지수 및 리스크 지수에 의한 판단 확인
6	모듈화 타당성평가	리스크평가시 Pre, On, Post Stage로 구분하여 평가 진행 및 다면평가, 차수별 평가 기능	리스크관리자의 평가 진행관리
			평가결과의 취합 및 결과 확인

다. 기능 프로세스

입찰 초기단계에서 모듈화 적용 여부의 판단 근거를 제공하는 것이 주요 기능으로 입찰 초기 의사결정 시간 단축을 통한 자원배분의 효율화와 입찰 정확도 향상을 위한 점검 자료로 사용할 수 있다.



[그림 2-237] 평가 프로세스

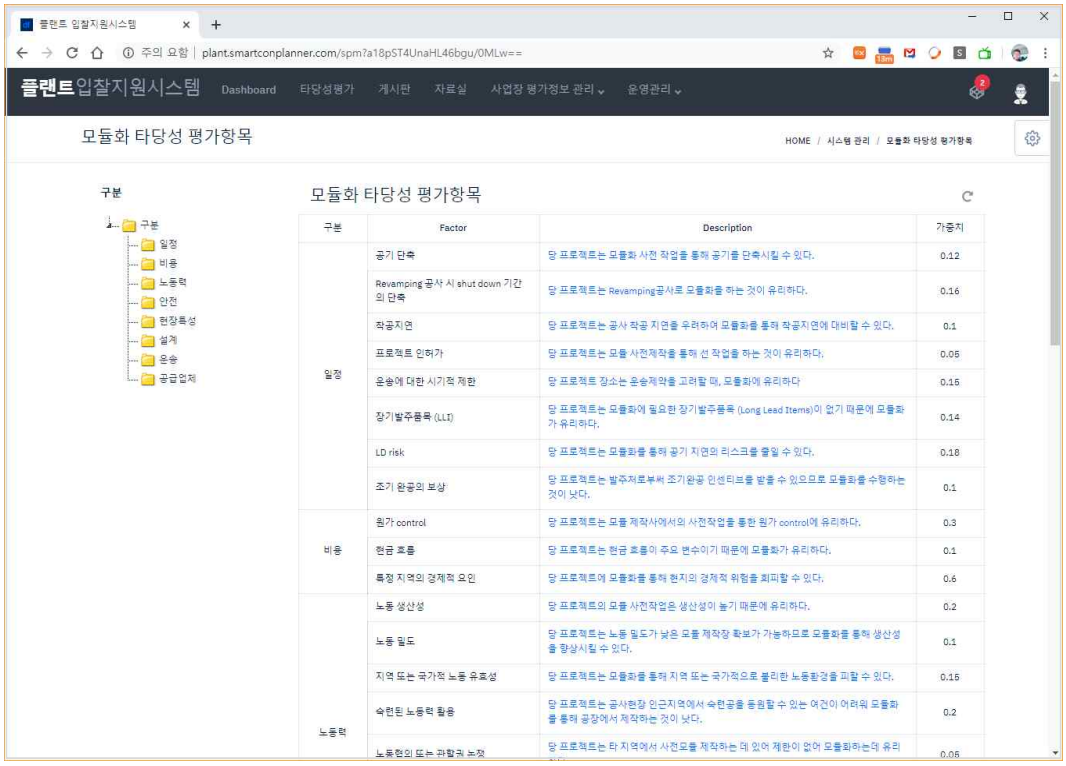


[그림 2-238] 평가 결과 활용

라. 관리자 화면 구성

① 기준정보 관리

일정, 비용, 노동력, 안전, 현장특성, 설계 운송, 공급업체의 분류로 하위 평가항목을 관리한다. 기준정보는 사용자가 사업장 개설시 설정되는 정보이며 이후 사용자가 사업장 특성에 맞게 커스터마이징 한다.

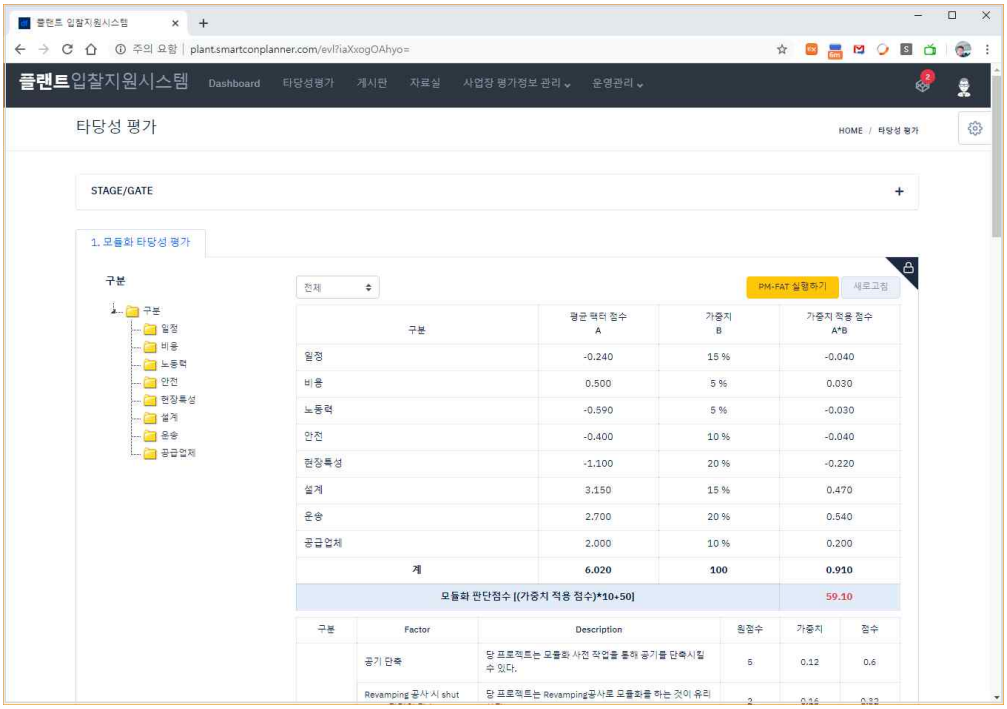


[그림 2-239] PM-FAT 평가항목 기준정보 관리

마. 사용자 화면 구성

① 평가 결과

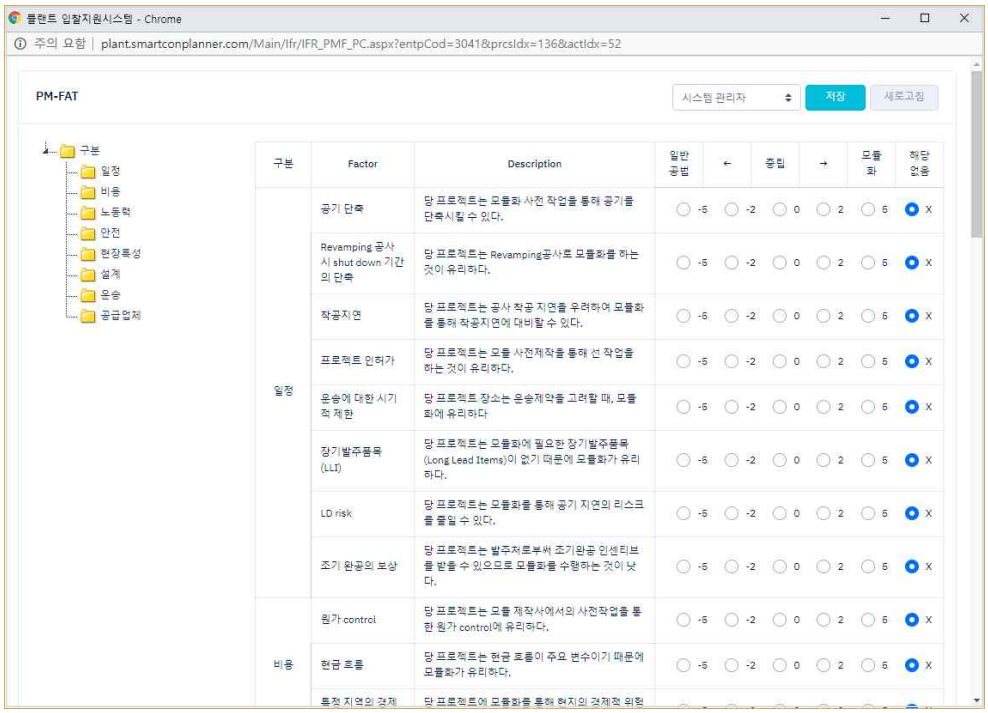
사업장에 참여하는 사용자가 각 분류별 평가항목을 평가한 점수를 실시간으로 평균 팩터점수(A), 가중치(B), 가중치 적용 점수(AxB)로 결과를 산출한다. 모듈화 판단 점수는 [가중치 적용점수x10+50] 의 계산식으로 사용자가 참여하는 사업장 개설 후 기준정보로 제시된 의사결정 항목을 관리하는 메뉴로 사용자가 분류정보와 하위 의사결정 항목을 커스터마이징해 사용한다.



[그림 2-240] PM-FAT 평가결과

② 스테이지/게이트

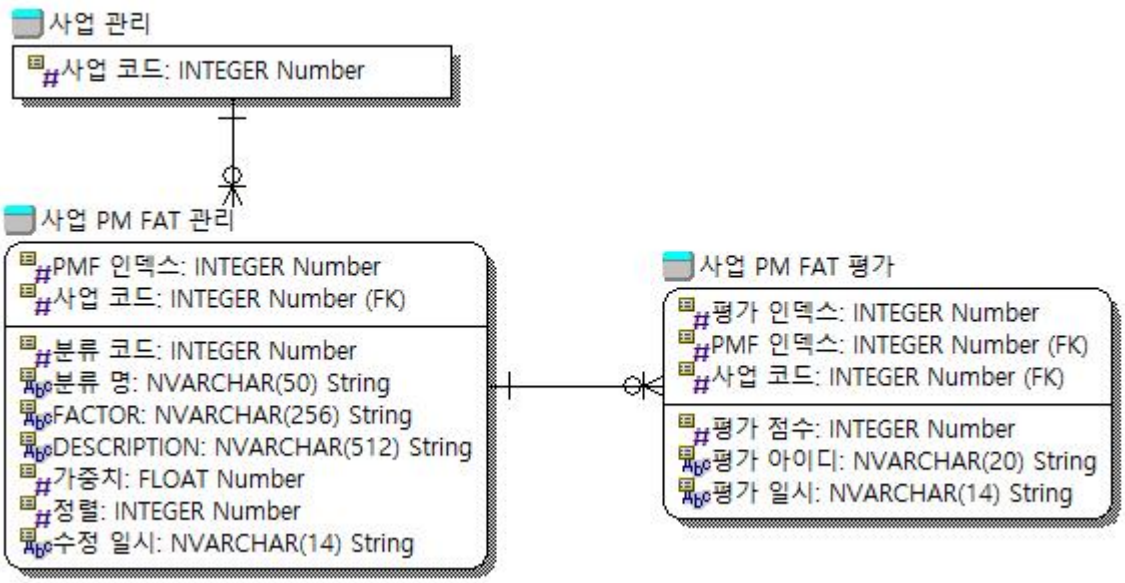
사업장 개설 후 기준정보로 제시된 스테이지/게이트 정보를 사용자가 참여하는 사업장의 조건에 맞춰 추가, 수정, 이동하여 구성한다. 커스터마이징 된 정보는 사업장



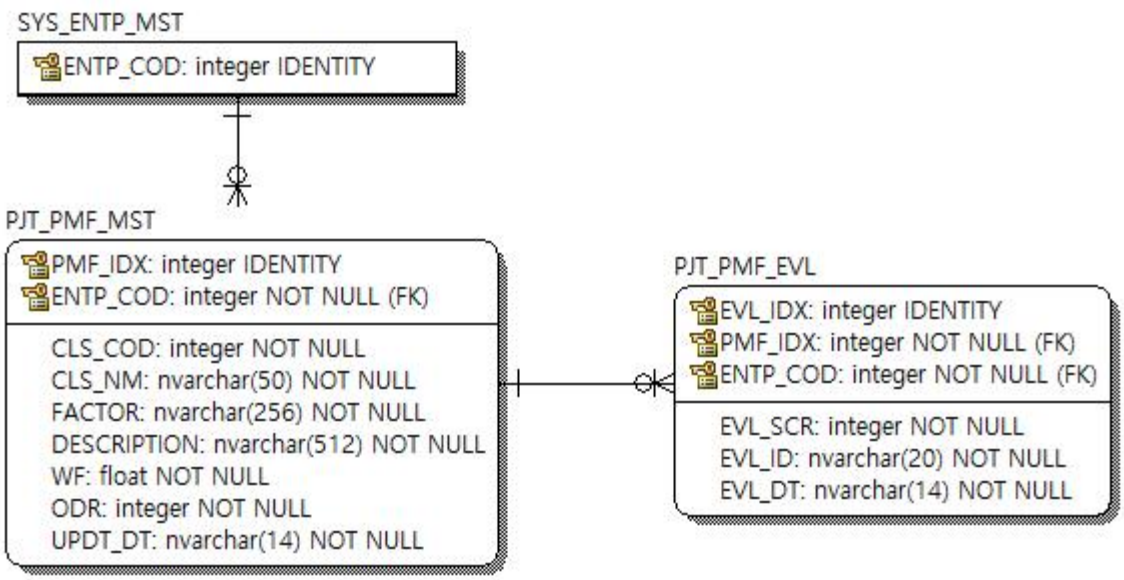
[그림 2-241] PM-FAT 평가

바. 데이터베이스 설계

① PM-FAT



[그림 2-242] PM-FAT – 논리



[그림 2-243] PM-FAT - 물리

2.5.4 BM-FAT

가. 개요

모듈화 검토 여부에 대해 결정이 된 후 입찰 단계는 모듈 설계를 통해 모듈 적용 여부와 모듈 적용 비율 등의 모듈 최적화 단계에 진입하게 되는데, 이를 위해 가장 먼저 고려해야 하는 점은 사업조건으로부터 모듈의 최대 제한 조건을 도출하는 프로세스를 시스템화 한다.

① 운송 가능한 모듈 최대 규격인 모듈 제한 조건을 도출하기 위해 제작샵의 위치를 포함하는 기본조건이 조사되고 이 정보가 시스템에서 관리된다.

② 육상 운송, 해상 운성 시 모듈 운송에 연관되는 조건을 조사해 입력하면 BM-FAT은 그로부터 모듈 제한 조건을 도출해 리포트 형식으로 출력한다.

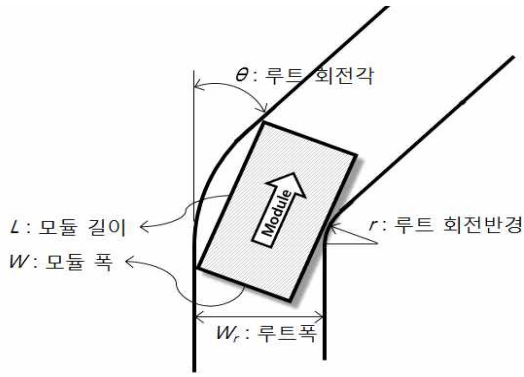
나. 분석 및 요구사항

① BM-FAT은 조사된 조건으로부터 모듈 제한 조건을 도출하는 시스템이기도 하지만 중요한 역할은 협업체계를 지원하는 것이다. 모듈 제한 조건을 위한 각 조사는 하나의 부서에서 수행될 수 없고 다양한 부서에서 진행된다.

② 각각의 조사 결과가 다른 조사결과에 영향을 미치는 종속적인 조건들이 많아서 실제 업무에서는 최종 조건의 결정을 위해 다양하고 많은 회의와 정보제공의 시차가 발생하거나 누락이 발생해 불필요한 시간과 노력이 소모된다.

③ Tree 구조를 활용해 다양한 부서에서 생성되는 많은 정보를 실시간으로 공유하고, 최종결정 이전에 불필요한 회의를 지양하고 명확한 결론에 도달할 수 있는 시스템을 구성한다. 시간과 노력이 소모된다.

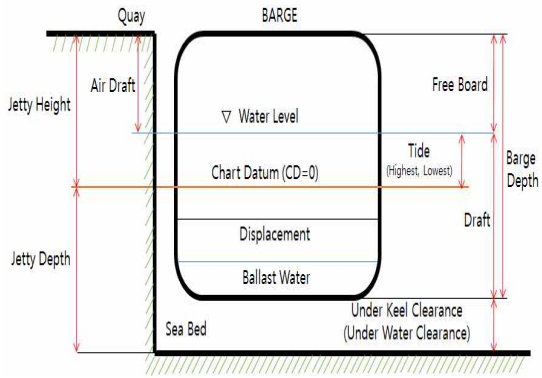
④ 육상 운송조건 중 운송 루트와 모듈 크기와의 관계 및 수식 정리



$$\left(\frac{L}{2}\right)\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = (W_r + r) - (W + r)\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

[그림 2-244] 운송루트와 모듈 크기 관계

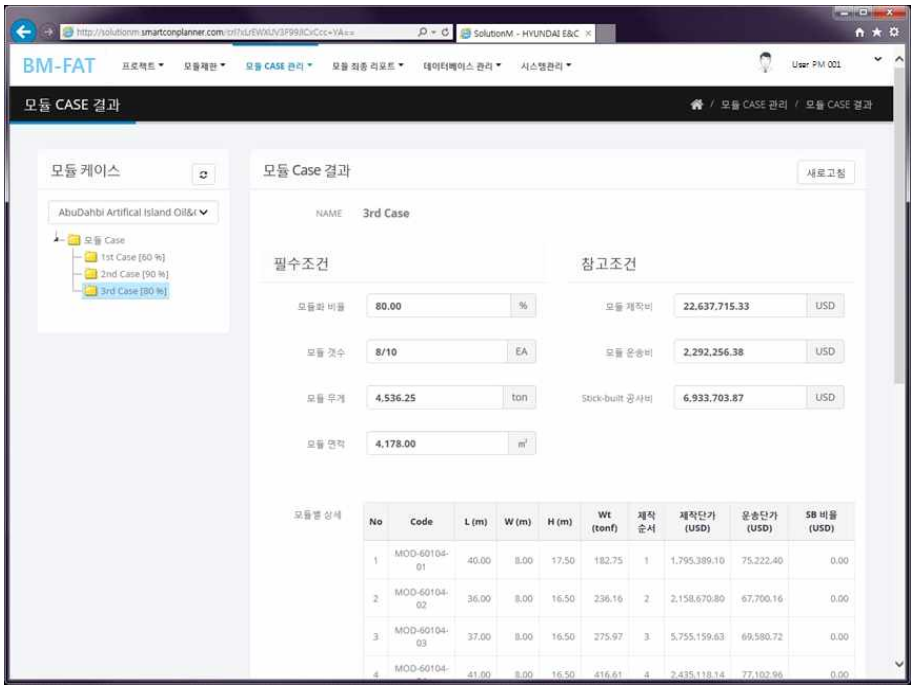
④ 해상 운송조건은 선박으로 모듈을 운송하므로 선박의 규모가 모듈 제한 조건을 결정하게 되는데, 선박은 해상 루트의 영향을 받지 않지만 Load-in, Load-out 과정에서 정박해야 하는 제티의 조건에 운영할 수 있는 선박의 규모가 결정되므로 제티조건이 운송되는 모듈의 제한 조건을 결정하게 된다.



$$Jetty\ depth > Barge\ draft + UKC$$

[그림 2-245] 제티의 수심과 바지선 관계

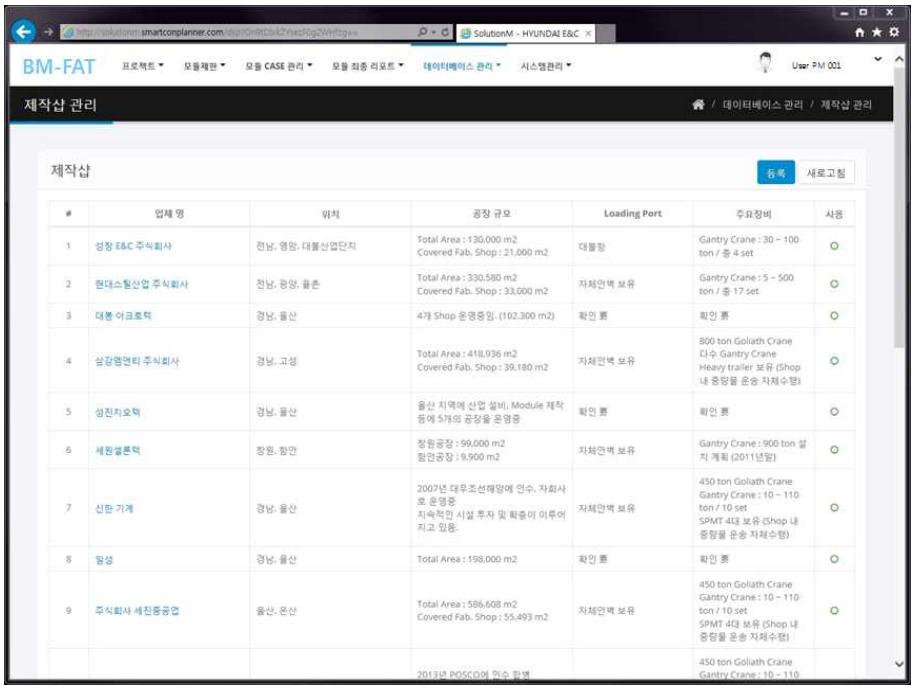
⑤ 모듈 리스트와 BQO을 BM-FAT에 업로드하면 프로그램에서는 후보 모듈 리스트를 기준으로 각 모듈의 실제 모듈 적용 여부를 결정하여 모듈 비율에 따라 case를 생성, 관리한다.



[그림 2-246] 모듈 케이스 관리

⑥ 시스템에서는 포함되어 있는 운송비, 제작비, stick-built 공사비 등에 대한 DB를 활용하여 각 모듈에 대해 모듈로 가설했을 때의 비용과 stick-built 방식으로 가설했을 때의 비용이 산출되게 되므로 적용 가능한 후보 모듈 리스트 중에서 전체를 모듈로 했을 때 또는 일부를 모듈로 했을 때 등에 대한 전체 공사비를 산출할 수 있다. 즉, 생성된 case에 따라 참고할 수 있는 비교용 공사비를 산출할 수 있게 된다. 이렇게 산출된 비용의 비교를 통해 최적 모듈 비율을 결정한다.

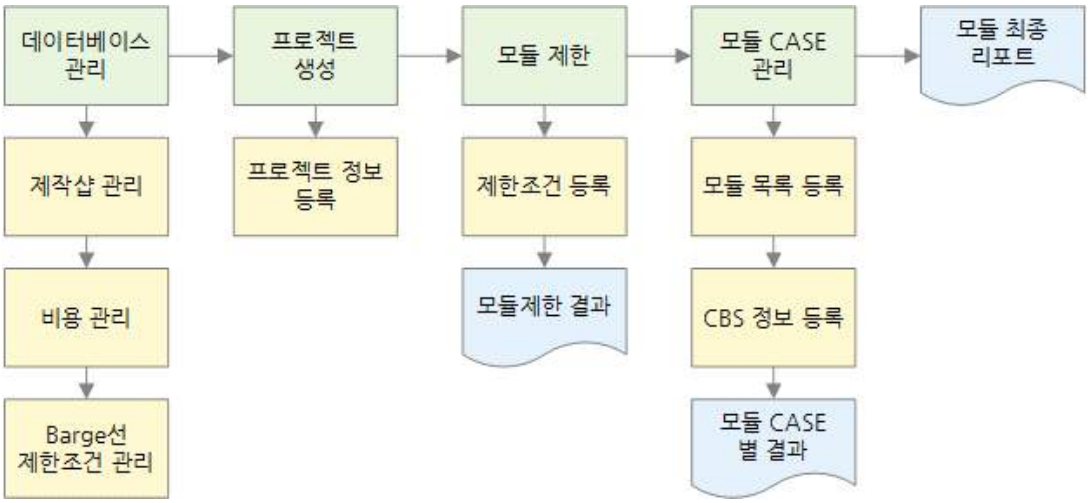
⑦ 모듈 제한 조건을 도출하기 위해 필요한 데이터베이스는 제작샵과 선박 관련 데이터베이스이다. 제작샵과 관련된 데이터베이스에 기본적으로 포함되어야 하는 항목으로는 제작샵의 위치, 규모, 제티 조건 등이 있고 이 중 제티 조건에는 수심과 최대 접안 폭이 포함되어야 한다. 제작사와 관련된 항목으로는 추가적으로 포트까지의 거리, 주요 장비, 제작장 넓이, 주요 실적 등이 포함되어야 하고 가능한 직접 방문해 현지 조사를 수행해야 신뢰도 높은 데이터베이스를 구축할 수 있다.



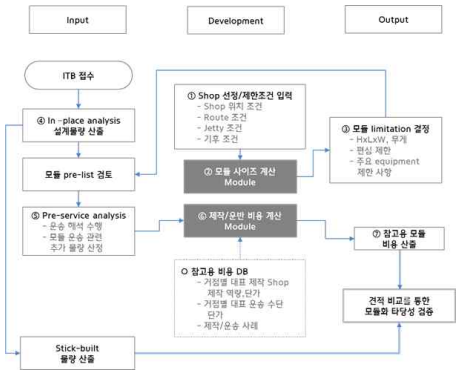
[그림 2-247] BM-FAT 데이터베이스 (제작샵 관리)

다. 기능 프로세스

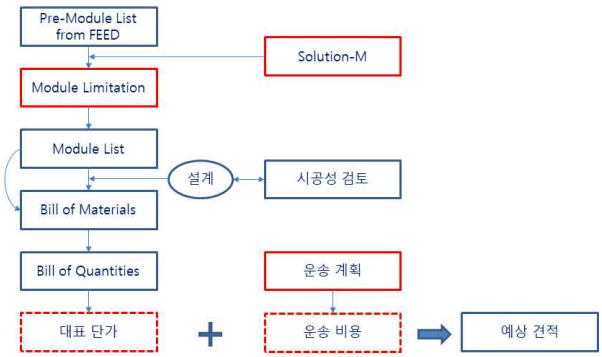
BM-FAT은 입찰지원시스템의 사업장 정보를 공유해 사용한다. BM-FAT 진행을 위한 추가 정보를 입력하는 프로젝트 정보 등록 모듈이 이에 해당한다. BM-FAT은 크게 데이터베이스 관리, 모듈 제한, 모듈 케이스 관리로 구성된다. 데이터베이스 관리는 제작샵, 비용, Barge선 제한조건을 데이터베이스화 해서 관리하며, 모듈 제한은 제한조건의 등록을 통해 제한 결과를 도출하는 프로세스가 적용되어 있다. 모듈 케이스 관리는 다양한 조건을 Tree구조 기반으로 다양하게 조건을 구성해 적용하며 모듈 케이스의 결과를 도출한다. 마지막으로 앞서 진행한 모듈 제한조건, 모듈 케이스 구성의 최종 리포트를 출력할 수 있다.



[그림 2-248] BM-FAT 기능 프로세스



[그림 2-249] 기능 흐름도 - 1

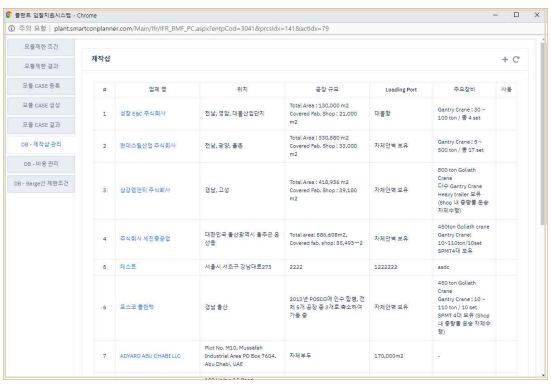


[그림 2-250] 기능 흐름도 2

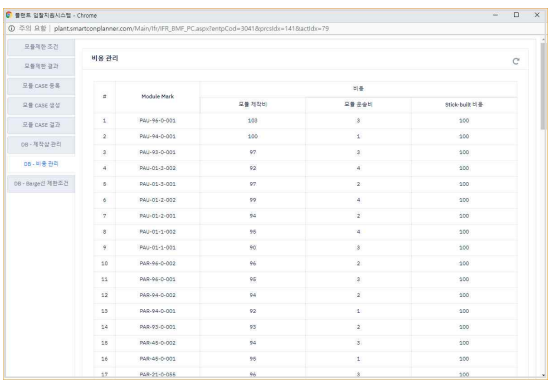
라. 관리자 화면 구성

① 데이터베이스 관리

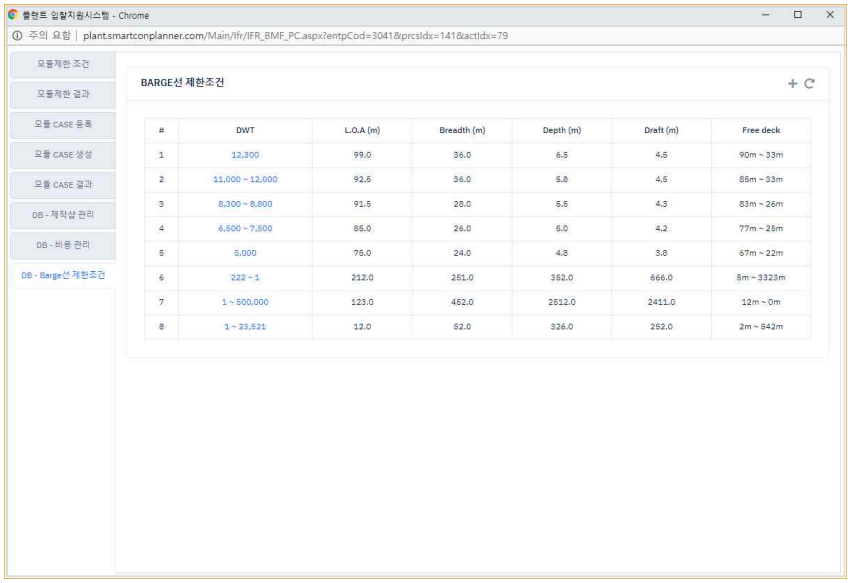
BM-FAT에서 데이터베이스로 축적 관리되는 정보는 제작샵, Barge선 제한조건 등의 정보는 사용자 또는 관리자가 직접 등록해 관리한다.



[그림 2-251] 제작샵 관리



[그림 2-252] 비용관리

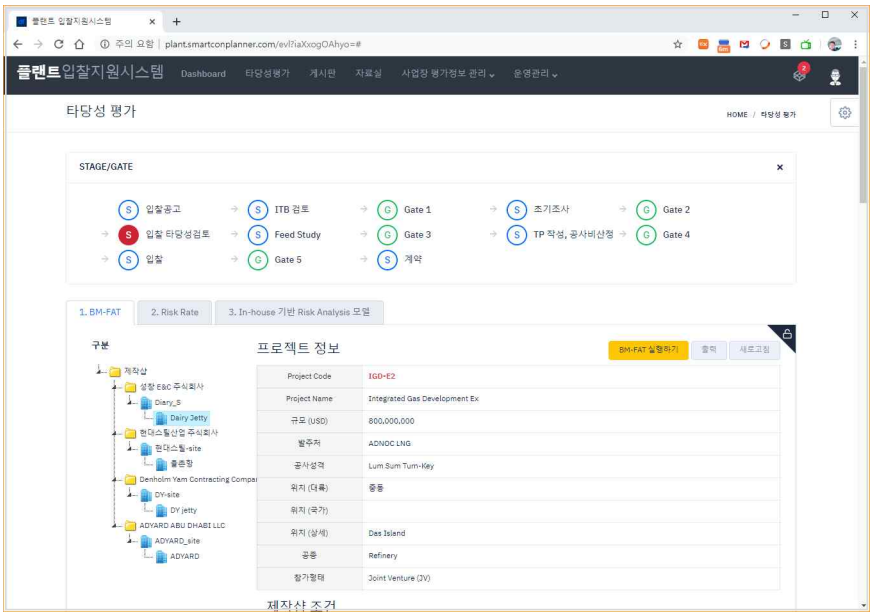


[그림 2-253] Barge선 제한조건

마. 사용자 화면 구성

① BM-FAT

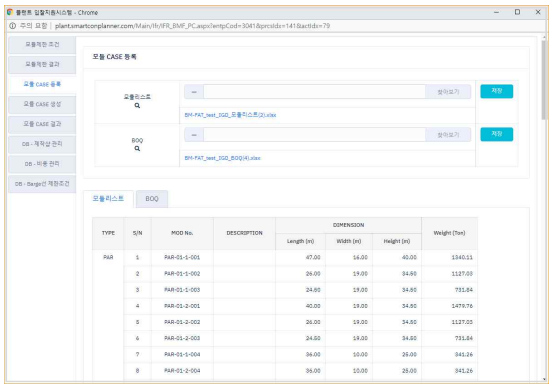
입찰 지원 시스템에서 BM-FAT은 독립 모듈로 실행할 수 있다. 해당 스테이지에서 BM-FAT을 조회하면 다수 사용자가 구성한 모듈 케이스 Tree구조를 확인할 수 있으며, 각 케이스의 제티를 선택하면 상세조회가 가능하다.



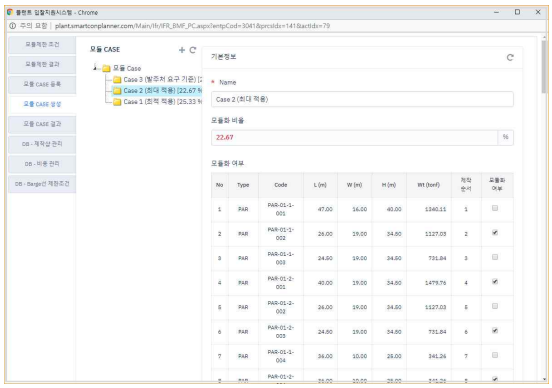
[그림 2-254] BM-FAT

① 모듈 케이스 관리

사용자는 시스템에서 제공하는 모듈 리스트와 BOQ 정보를 입력할 수 있는 Excel 파일을 다운로드 해 작성 후 업로드 한다. 등록된 모듈 리스트와 BOQ 정보를 기반으로 모듈 케이스를 생성 해 모듈화 여부를 판단한다.



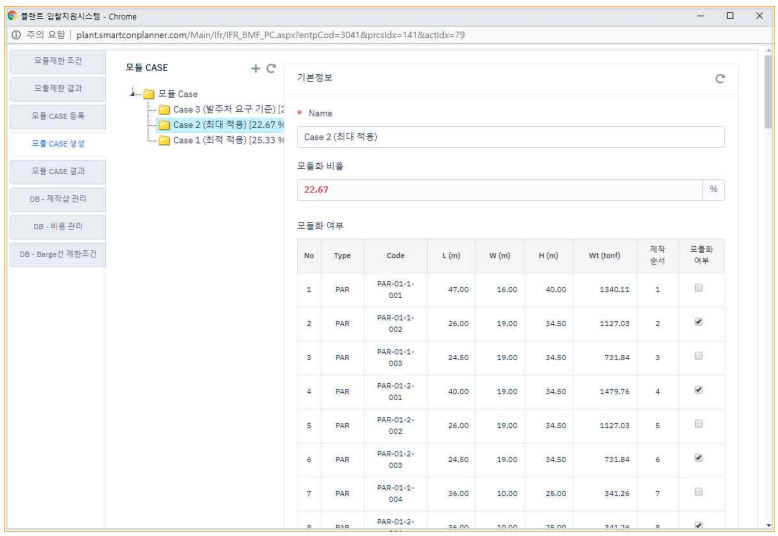
[그림 2-255] 모듈 케이스 등록



[그림 2-256] 모듈 케이스 생성

② 모듈 케이스 결과

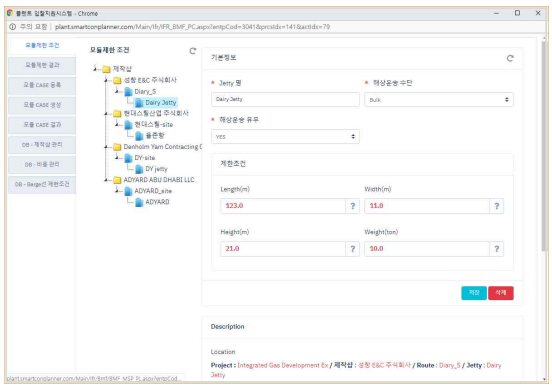
다양한 안의 모듈 케이스 생성을 조건별로 조회할 수 있으며, 모듈화 비율 및 관련 비용정보를 조회한다.



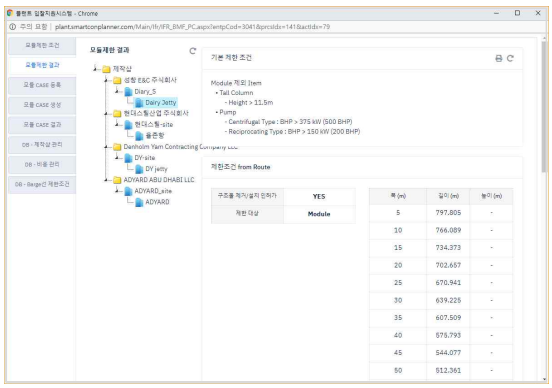
[그림 2-257] 모듈 케이스 결과

③ 모듈 제한 조건

제작샵, 루트, 제티 조건을 다양하게 조합해서 다수의 사용자가 모듈 제한조건을 도출한다. 도출된 모듈 제한 조건은 실시간으로 결과를 확인한다.



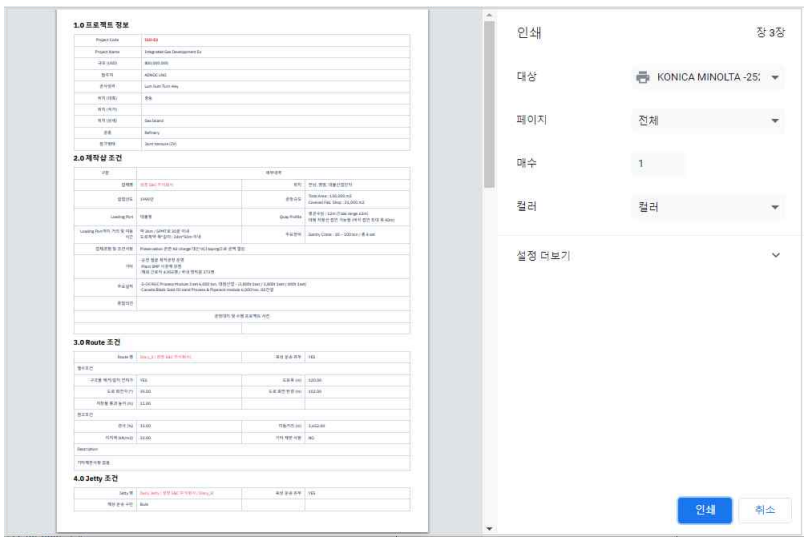
[그림 2-258] 모듈 제한 조건



[그림 2-259] 모듈 제한 결과

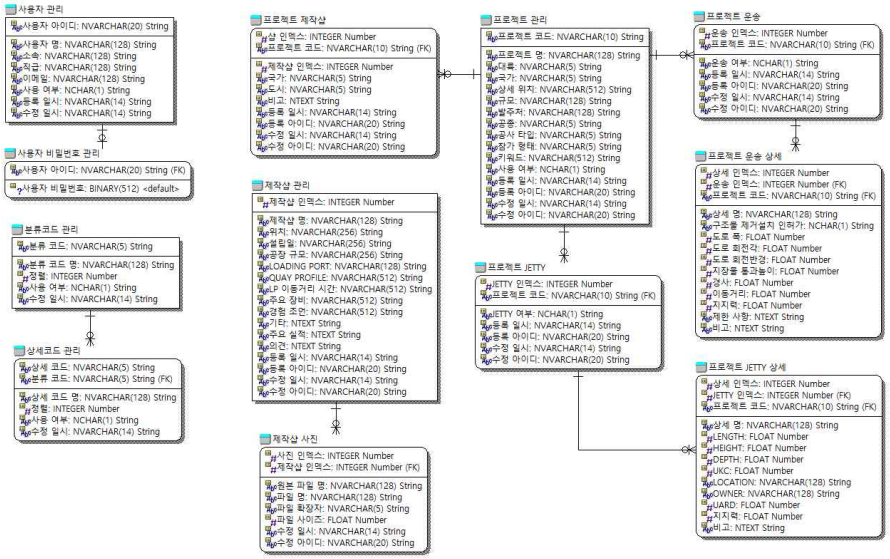
④ 모듈 제한 결과 인쇄

BM-FAT 시스템에서 조회되는 모듈 제한 결과는 인쇄물로 출력해 보고서로 활용한다.

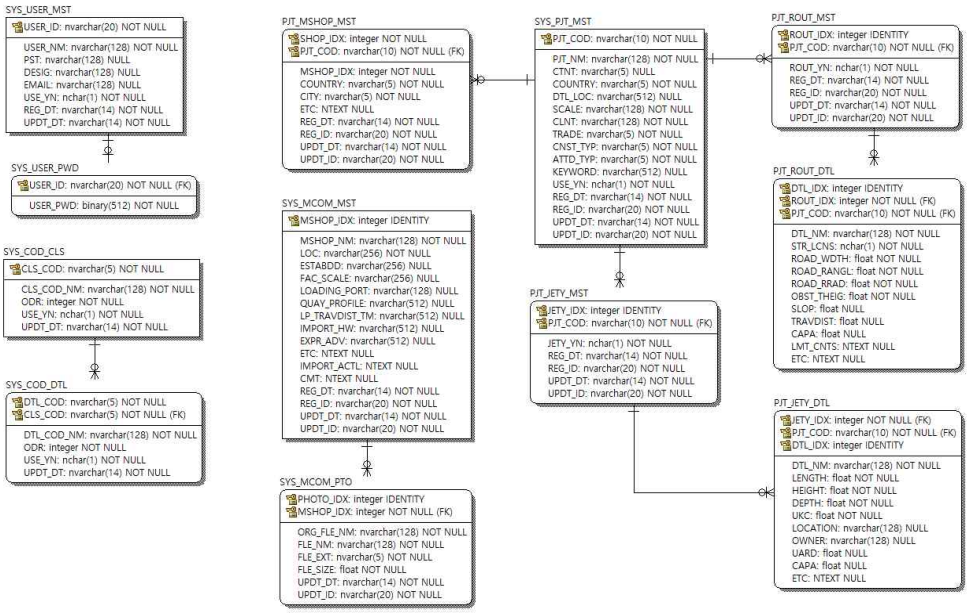


[그림 2-260] 모듈 제한 결과 인쇄

바. 데이터베이스 설계



[그림 2-261] BM-FAT - 논리



[그림 2-262] BM-FAT - 물리

2.5.5 모듈화 기획 지원 시스템 및 플랫폼 연계

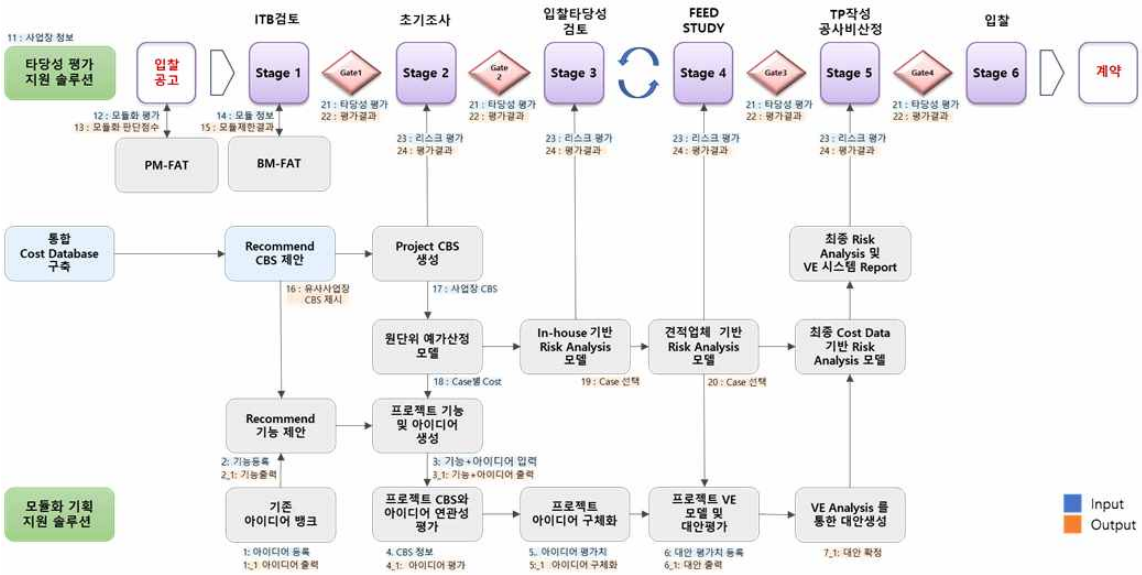
가. 개요

세부 내 별도 시스템인 VE시스템 및 타 세부에서 각 구축된 외부 시스템을 연계하는 통합시스템과 동일한 연계방식으로 구성하고 관리할 수 있도록 한다. 시스템간 연계를 위해 WebAPI 기술을 사용하며 시스템간 필요시 정해진 규약에 맞춰 호출 및 회신을 실시간으로 할 수 있도록 한다.

나. 분석 및 요구사항

① 모듈화 기획 지원 시스템 연계

플랜트 입찰 지원 시스템에서 사용자가 각 스테이지/게이트의 진행 중에 생성되는 사업장 CBS와 CBS 기반의 Cost 정보는 스테이지/게이트의 진행 단계별로 모듈화 기획 지원 시스템에 정보를 제공하고, VE 활동을 거쳐 도출되는 결과정보를 다시 회신받을 수 있도록 실시간 시스템 연계가 필요하다.



[그림 2-263] 시스템간 정보흐름 및 연계

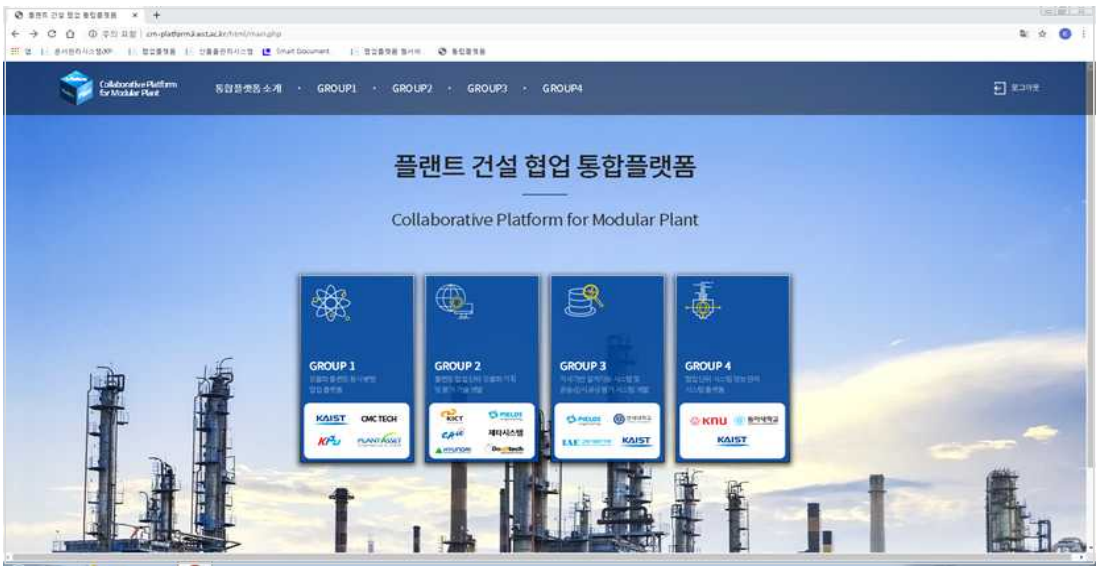
② 통합 플랫폼 연계

연구단에서 정의한 통합 플랫폼 시나리오를 기반으로 각 세부간의 연계에 필요한 인터페이스 항목을 정의하고 해당 정보를 WebAPI로 구축해 통합 플랫폼 및 관련 세부에 전달 및 연계한다.

모듈별로 개발된 개발된 타당성 평가, 리스크 평가, Decision-M, BM-FAT, 원단위 비용추정

모듈은 통합시스템으로 구축되면서 스테이지/게이트의 단계별로 진행되는 각 행위에 모듈로 삽입되어 모듈단위의 동작과 통합된 정보를 도출하는 솔루션으로 구축되었다. VE 시스템과 연계 및 타세부와 연계를 위해 필요정보는 WebAPI를 이용해 정보를 제공 또는 수신할 수 있도록 구축한다.

VE의사결정에 의한 대안의 결과치를 협업단위 모듈화 원단위 계량, 타당성/리스크 평가에 판단근거로 제공토록 한다. 대안의 결과치는 위험변동비율의 미적용, 적용의 결과치를 제공한다. 세부내용은 기능점수 그리고 LCC 값을 통하여 Value Index 값을 전달하게 된다. 연계를 통하여 통합된 데이터베이스를 공유하며, 각 프로젝트의 연계성이 가능한 유일한 KEY값을 Search 하여 결과치를 적용 가능하다.



[그림 2-264] 플랜트 건설 협업 통합플랫폼

플랜트 입찰 지원 시스템은 통합 플랫폼에서 아래와 같이 연계되어 있으며, 플랫트 입찰 지원 시스템의 특성상 Input/Output 방식이 아닌 시스템의 새창띄우기로 연계한다

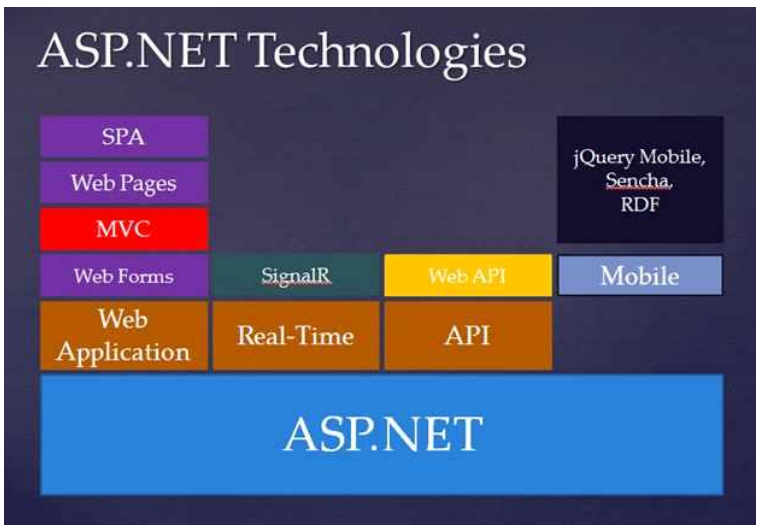


[그림 2-265] 2세부 플랫폼

다. 시스템 적용 기술

① ASP.NET

ASP.NET은 엔터프라이즈 수준의 웹 응용 프로그램을 최소한의 코딩으로 구축하는 데 필요한 서비스를 포함하는 통합 웹 개발 모델이다. ASP.NET은 .NET Framework의 일부로 제공되며, ASP.NET 응용 프로그램을 코딩할 때는 .NET Framework의 클래스를 액세스할 수 있다. 응용 프로그램은 Microsoft Visual Basic, C#, JScript .NET 및 J#을 포함한 CLR(공용 언어 런타임)와 호환되는 모든 언어로 코딩할 수 있다. 이러한 언어를 사용하면 공용 언어 런타임, 형식 안전성, 상속 등을 사용하는 ASP.NET 응용 프로그램을 개발할 수 있다.

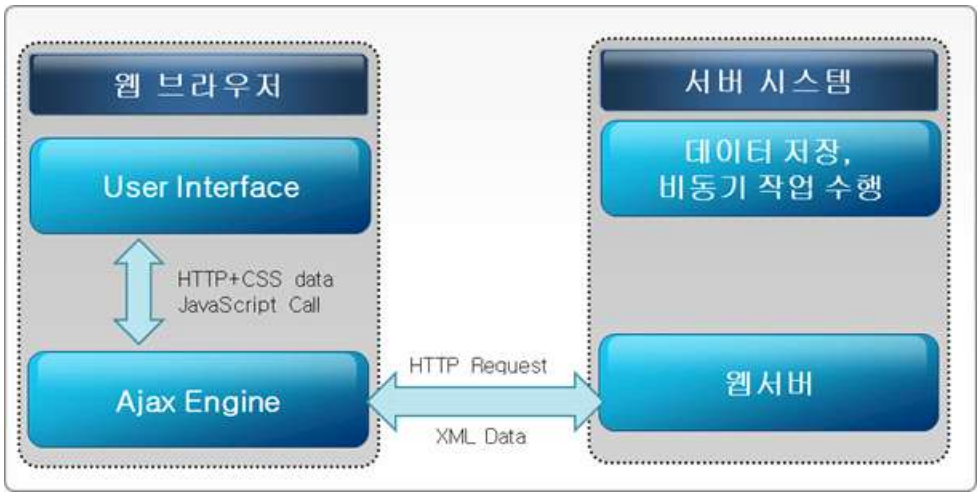


[그림 2-266] ASP.NET

- 개발환경 :ASP.NET, Ajax, jQuery, Html5, .NET Framework 4.5
- 개발 도구 : Visual Studio 2017
- 서비스환경:Windows Server 2016 이상, SQl 2016 이상, IIS 8.0 이상

② Ajax

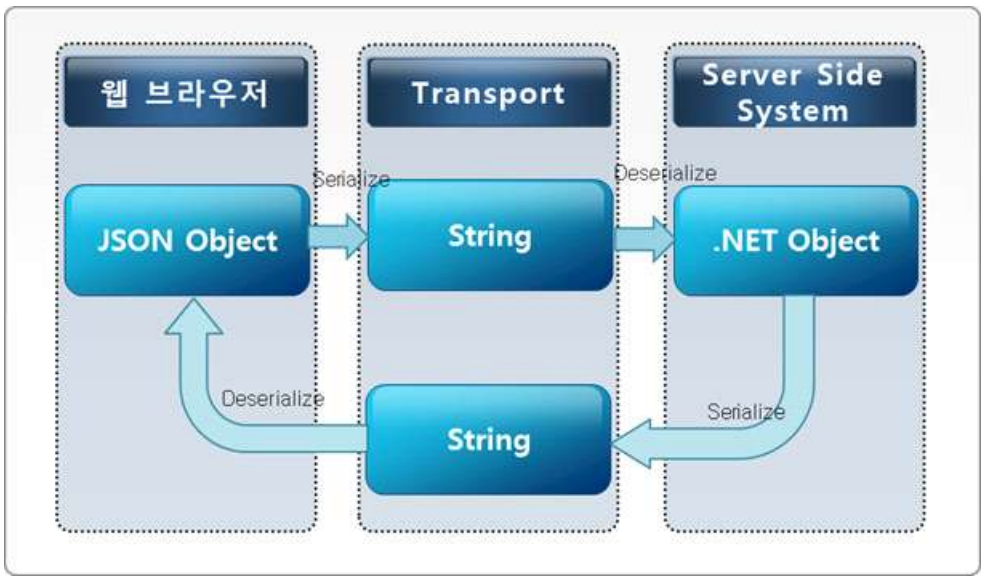
Ajax는 웹프로그래밍의 한 종류로 하나의 기술이 아니라 여러 가지 기술이 복합된 방법론 또는 기술덩어리를 뜻한다. Ajax에 사용된 기술을 보면 XHTML과 CSS를 사용한 표준 설계에 동적 표시, DOM을 사용한 상호작용, XML과 XSLT를 이용한 자료 교환과 조종, XmlHttpRequest을 이용한 비동기 자료 검색, 모든 것을 결합시켜 정리해주는 자바스크립트 등이 고루 섞여 있다. 브라우저와 서버 사이의 통신에는 XML를 사용하고, 사용자가 보는 브라우저 화면의 인터페이스로는 자바스크립트를 이용하는 기술'로 개념을 잡을 수 있다. 기술적으로 보자면 '웹서버-브라우저'의 구조 사이에 Ajax가 중간에 위치한 '웹서버-Ajax엔진-브라우저'의 구조로 바뀐다고 보면 된다. 자바스크립트로 xmlhttp를 통해 XML 자료를 관리하기 때문에 다시 페이지를 불러올 필요가 없는 것이다. 서버와의 통신은 비동기로 처리하는 식으로 페이지 이동 없이 고속으로 화면 전환이 가능하게 구현된다.



[그림 2-267] Ajax 처리기술 개념도

③ Json

JSON (JavaScript Object Notation)은 경량의 DATA-교환 형식이다. 이 형식은 사람이 읽고 쓰기에 용이하며, 기계가 분석하고 생성함에도 용이하다. JSON은 완벽하게 언어로 부터 독립적으로 사용하는 텍스트 형식이다. 이러한 속성들이 JSON을 이상적인 DATA-교환 언어로 만들고 있다. 값들의 순서화된 리스트. 대부분의 언어들에서, 이는 array, vector, list, 또는 sequence로서 실현 되었다. 보편적인 DATA 구조이다. JSON의 특징은 첫째, JavaScript의 Array 문법으로 데이터 구조를 기술하는 방법으로 XML이 가지는 유연성과 구조적 데이터 표현기능을 확보하면서, XML이 가진 오버헤드를 줄이는 방법으로 사용되고 있다. 둘째, 서버측 JSON 파싱 모듈은 거의 모든 언어별로 지원 한다. 셋째, XML이 표현하는 구조적인 정보 모두 표현 가능하다. 넷째, 송수신 데이터로 XML를 사용하는 것에 비해 훨씬 빠르고, 간편하게 처리된다.



[그림 2-268] Json 처리기술 개념도

④ Jquery Plugin

Jquery Plugin은 Jquery를 사용하여 유용하고 편리하게 개발할 수 있는 기능을 제공하는 여러 가지의 라이브러리 집합이다. 종류와 기능이 다양한 Jquery Plugin 이 존재한다. 차트, 트리, 업로드, 그리드 등 Jquery를 이용한 응용된 유용한 것을 무상 혹은 유상으로 사용할 수 있다. Jquery Plugin의 기본 라이브러인 Jquery의 특징은 아래와 같다.

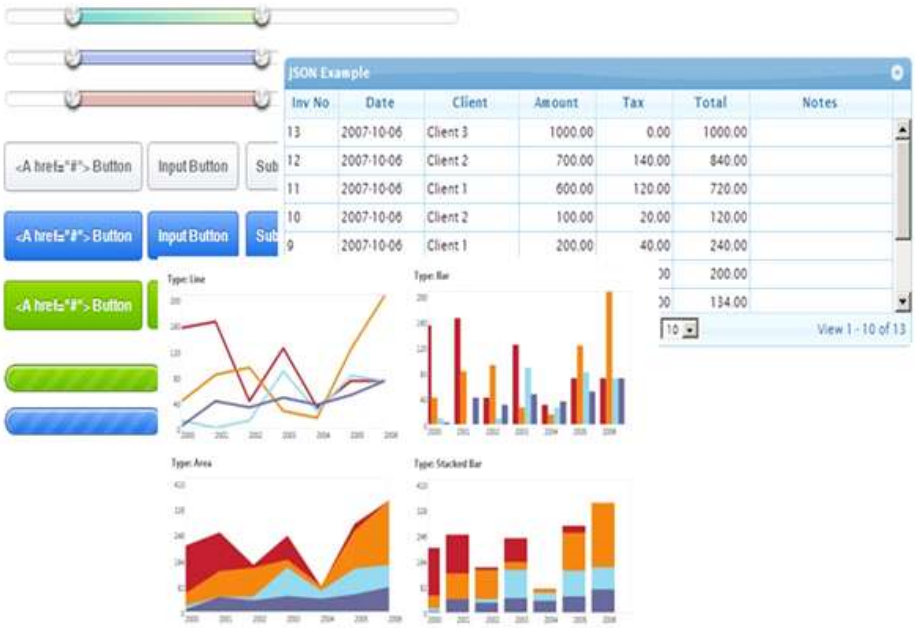
첫째, css1~3및 기본적인 xPath 지원하여 HTML DOM객체 참조를 쉽게 할 수 있다.

둘째, jquery.js가 19kb의 작은 크기로 트랙픽에 영향을 적게 준다.

셋째, 모든 브라우저에서 사용가능하여 호환성을 높여준다.

넷째, 플러그인 방식으로 확장을 지원한다.

다섯째, 다른 JavaScript 라이브러리와 함께 사용 가능하여 확장성을 높인다.

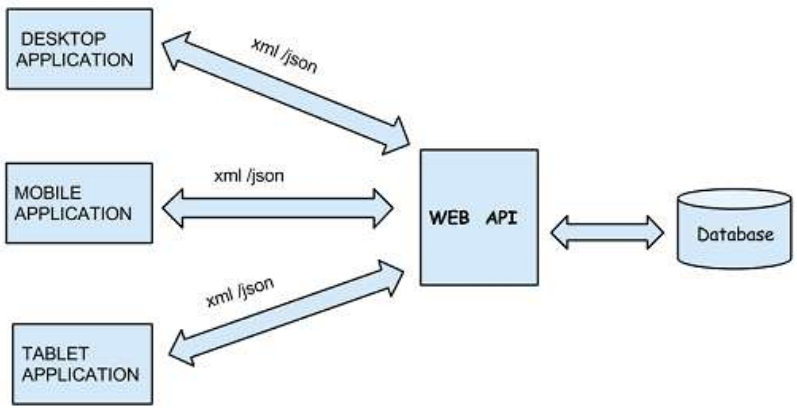


[그림 2-269] Jquery Plugin

라. 시스템 구성

① 모듈화 기획 지원 시스템 연계

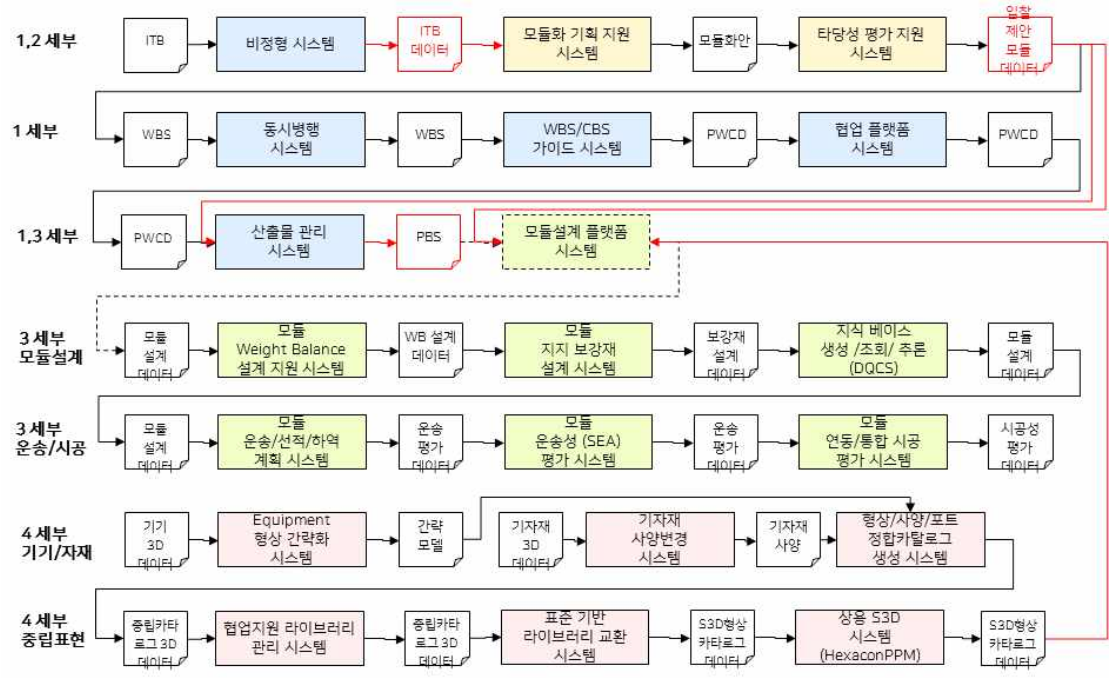
플랜트 입찰 지원 시스템과 모듈화 기획 지원 시스템간 연계는 WebAPI 기반의 Ajax+Json방식으로 호출하도록 구현되어 있다. WebAPI로 정의된 각 기능에서 요구하는 요청값을 작성해 호출하면, Json 데이터로 정리된 정보를 수신받을 수 있다.



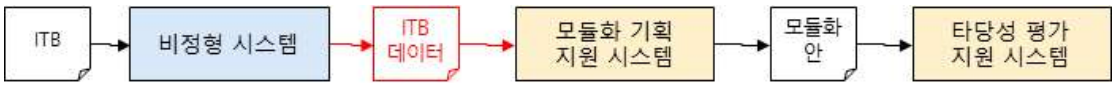
[그림 2-270] WebAPI 구성

② 통합 플랫폼 연계

통합 플랫폼 시나리오에서 참여 세부가 수신받을 연계 정보와 제공해야 할 연계정보를 정의 후 관련 WebAPI를 구성해 관련 세부에 정보를 공유한다.



[그림 2-271] 통합 플랫폼 시나리오



[그림 2-272] 1세부-2세부 연계 시나리오

마. 연계 항목

① 사용자 로그인

협업단위 모듈화 건설 타당성 평가 솔루션의 회원 정보를 사용해서 모듈화 VE 평가시스템에서 독립적인 로그인을 할 수 있도록 제공하는 API이다.

Request

항목	타입	설명
userId	string	사용자 아이디
userPwd	string	사용자 비밀번호

[그림 2-273] 사용자 로그인 요청

Response

항목	타입	설명
rsltCod	string	결과 코드 (1:OK, 0:ERROR)
errCod	string	에러 코드

[그림 2-274] 사용자 로그인 회신

② 사용자 정보

사용자의 아이디와 사업장 코드 정보를 담아 요청하면 사용자의 기본정보를 회신하는 API이다.

Request

항목	타입	설명
userId	string	사용자 아이디
entpCod	string	사업장 코드

[그림 2-275] 사용자 정보 요청

Response

항목	타입	설명
entpCod	string	사업장 코드
entpNm	string	사업장 명
userId	string	사용자 아이디
userEmail	string	사용자 이메일
userNm	string	사용자 명
com	string	회사 명
dept	string	부서 명
desig	string	직급 명
phoneNo	string	전화 번호
pmYn	string	PM 여부
authIdx	string	권한 인덱스
authNm	string	권한 명

[그림 2-276] 사용자 정보 회신

③ 사용자 참여 사업장 정보

사용자 아이디로 등록된 사용자가 참여하는 사업장의 정보를 회신하는 API이다.

Request

항목	타입	설명
userId	string	사용자 아이디

[그림 2-277] 참여 사업장 정보 요청

Response

항목	타입	설명
entpCod	string	사업장 코드
dfltYn	string	기본사업장 여부
entpNm	string	사업장 명
entpCountry	string	위치(국가) 코드
entpCountryNm	string	위치(국가) 명
entpCtntCod	string	위치(대륙) 코드
entpCtntNm	string	위치(대륙) 명
entpLoc	string	위치(상세)
tradeNm	string	공종
cnstNm	string	공사 성격
attdNm	string	참가 형태

[그림 2-278] 참여 사업장 정보 회신

④ 기준 CBS 정보

협업단위 모듈화 건설 타당성 평가 솔루션에서 제공하는 기준 CBS 정보 전체를 회신받는 API이다.

Request

항목	타입	설명
stdIdx	string	기준 인덱스 (고정값 : 1)

[그림 2-279] 기준 CBS 정보 요청

Response

항목	타입	설명
id	string	Tree 아이디
name	string	CBS 명
treeIdx	string	Tree 인덱스
stdIdx	string	기준 인덱스
step	string	단계
odr	string	정렬
delYn	string	삭제 여부
updtDt	string	수정 일시
updtId	string	수정 아이디
_parentId	string	상위Tree 아이디(0 : 최상위)

[그림 2-280] 기준 CBS 정보 회신

⑤ 사업장 CBS 정보

사용자가 참여하는 사업장에 구성된 CBS 정보를 회신하는 API이다.

Request

항목	타입	설명
entpCod	string	사업장 코드

[그림 2-281] 사업장 CBS 정보 요청

Response

항목	타입	설명
id	string	Tree 아이디
name	string	CBS 명
treeIdx	string	Tree 인덱스
stdIdx	string	기준 인덱스
step	string	단계
odr	string	정렬
delYn	string	삭제 여부
updtDt	string	수정 일시
updtId	string	수정 아이디
_parentId	string	상위Tree 아이디(0 : 최상위)

[그림 2-282] 사업장 CBS 정보 회신

⑥ 원단위 예가산정 모델

사용자가 참여사업장에 정의한 CBS 기반의 원단위 예가산정 정보를 회신하는 API이다.

Request		
항목	타입	설명
entpCod	string	사업장 코드
step	int	CBS 단계 (최소 : 2, 최대 : 4)
stat	string	프로세스 상태 (원단위 예가산정 : 1, In-house : 2, 견적업체 : 3, 최종 Cost Data : 4)

[그림 2-283] 원단위 예가산정 모델 요청

Response		
항목	타입	설명
treeIdx	string	Tree 인덱스
entpCod	string	사업장 코드
treeCod	string	Tree 코드
prntTreeCod	string	부모 Tree 코드
treeNm	string	Tree 명
step	int	단계
odr	int	정렬
delYn	string	삭제 여부
childCnt	int	하위 노드 수
updtDt	string	수정 일시
case1	double	케이스 1의 금액
case2	double	케이스 2의 금액
case3	double	케이스 3의 금액

[그림 2-284] 원단위 예가산정 모델 회신

⑦ In-house 기반 Risk Analysis 모델

사용자가 정의한 In-house 기반의 Risk Analysis 모델정보를 회신하는 API이다.

Request		
항목	타입	설명
entpCod	string	사업장 코드
step	int	CBS 단계 (최소 : 2, 최대 : 4)
stat	string	프로세스 상태 (원단위 예가산정 : 1, In-house : 2, 견적업체 : 3, 최종 Cost Data : 4)

[그림 2-285] In-house 기반 분석 모델 요청

Response		
항목	타입	설명
treeIdx	string	Tree 인덱스
entpCod	string	사업장 코드
treeCod	string	Tree 코드
prntTreeCod	string	부모 Tree 코드
treeNm	string	Tree 명
step	int	단계
odr	int	정렬
delYn	string	삭제 여부
childCnt	int	하위 노드 수
updtDt	string	수정 일시
case1	double	케이스 1의 금액
case2	double	케이스 2의 금액
case3	double	케이스 3의 금액

[그림 2-286] In-house 기반 분석 모델 회신

⑧ 견적업체 기반 Risk Anaysis 모델

사용자가 등록 또는 선택한 견적업체 기반의 Risk Analysis 모델정보를 회신하는 API이다.

Request		
항목	타입	설명
entpCod	string	사업장 코드
step	int	CBS 단계 (최소 : 2, 최대 : 4)
stat	string	프로세스 상태 (원단위 예가산정 : 1, In-house : 2, 견적업체 : 3, 최종 Cost Data : 4)

[그림 2-287] 견적업체 기반 분석 모델 요청

Response		
항목	타입	설명
treeIdx	string	Tree 인덱스
entpCod	string	사업장 코드
treeCod	string	Tree 코드
prntTreeCod	string	부모 Tree 코드
treeNm	string	Tree 명
step	int	단계
odr	int	정렬
delYn	string	삭제 여부
childCnt	int	하위 노드 수
updtDt	string	수정 일시
case1	double	케이스 1의 금액
case2	double	케이스 2의 금액
case3	double	케이스 3의 금액

[그림 2-288] 견적업체 기반 분석 모델 회신

⑨ 최종 Cost Data 기반 Risk Analysis 모델

사용자가 최종 정의한 Cost Data 기반의 Risk Analysis 모델정보를 회신하는 API이다.

Request

항목	타입	설명
entpCod	string	사업장 코드
step	int	CBS 단계 (최소 : 2, 최대 : 4)
stat	string	프로세스 상태 (원단위 예가산정 : 1, In-house : 2, 견적업체 : 3, 최종 Cost Data : 4)

[그림 2-289] 리스크 분석 모델 요청

Response

항목	타입	설명
treeIdx	string	Tree 인덱스
entpCod	string	사업장 코드
treeCod	string	Tree 코드
prntTreeCod	string	부모 Tree 코드
treeNm	string	Tree 명
step	int	단계
odr	int	정렬
delYn	string	삭제 여부
childCnt	int	하위 노드 수
updtDt	string	수정 일시
case1	double	케이스 1의 금액
case2	double	케이스 2의 금액
case3	double	케이스 3의 금액

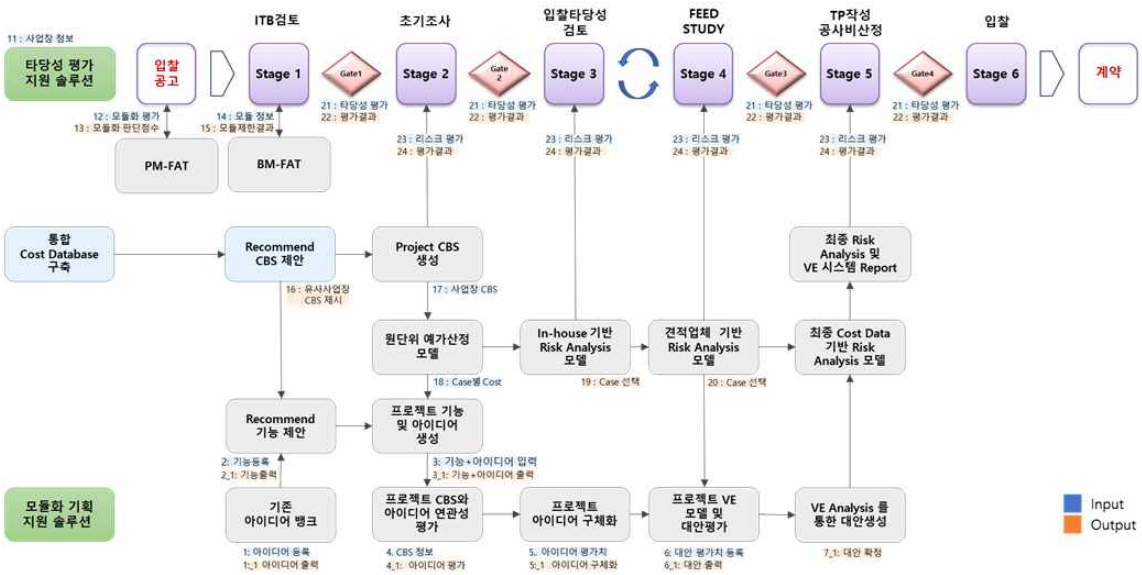
[그림 2-290] 리스크 분석 모델 회신

2.5.6 플랜트 입찰 지원 시스템

가. 개요

플랜트 입찰 지원 시스템 구축을 위한 비즈니스적 요구사항 및 시스템적 요구사항을 바탕으로 시스템 분석과 설계를 진행해 본 연구에서 최종적으로 개발되어야 할 시스템을 정의하고 개발하였다 모듈 단위 시스템의 독립적인 운영과 모듈 단위의 시스템간 연계가 원활하게 이루어질 수 있도록 구현하였으며, 사용자의 접근성과 이후 다양한 방식의 서비스 및 시스템 확장에 대응하기 위해서 Web기반 시스템으로 구축하며, 타 시스템과 연계를 고려한 환경을 함께 구성하였다.

모듈별로 개발된 개발된 타당성 평가, 리스크 평가, Decision-M, BM-FAT, 원단위 비용추정 모듈은 통합시스템으로 구축되면서 스테이지/게이트의 단계별로 진행되는 각 행위에 모듈로 삽입되어 모듈단위의 동작과 통합된 정보를 도출하는 솔루션으로 구축되었다. VE 시스템과 연계 및 타세부와 연계를 위해 필요정보는 WebAPI를 이용해 정보를 제공 또는 수신할 수 있도록 구축되었다.

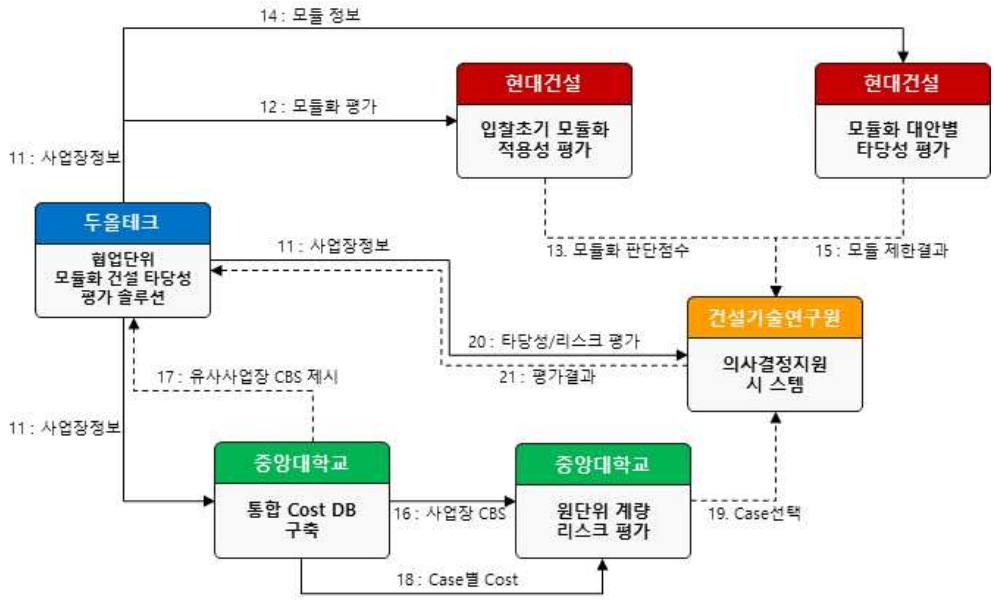


[그림 2-291] 플랜트 입찰 지원 시스템의 데이터 프로세스

나. 데이터 프로세스

플랜트 입찰 지원 시스템을 구성하는 각 모듈 단위 시스템 간 정보 흐름도이다. 협업단위 모듈화 건설 타당성 평가 솔루션을 중심으로 타당성/리스크 평가 시스템인 의사결정 지원 시스템에서 구성된 스테이지/게이트 단계별로 입찰 초기 모듈화 적용성 평가(PM-FAT)와 모듈화 대안별 타당

성 평가(BM-FAT), 원단위 계량 리스크 평가가 진행된다.



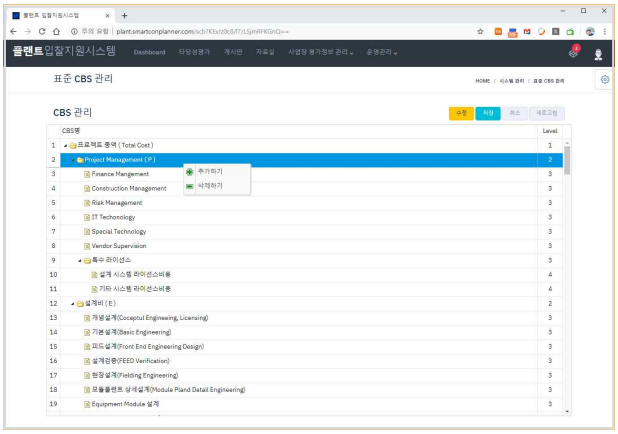
[그림 2-292] 모듈 단위 시스템 간 정보 흐름도

다. 시스템 구성

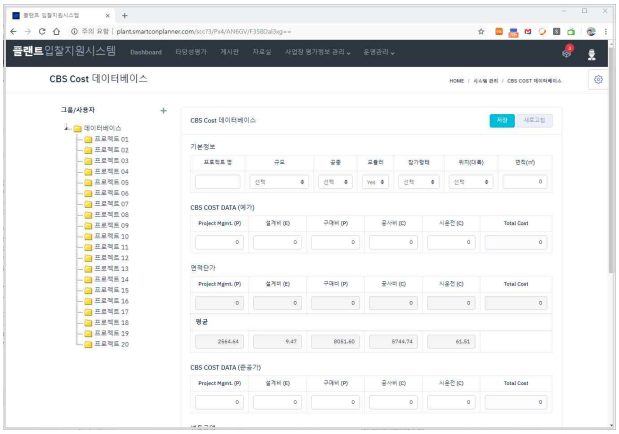
① 원단위 계량 리스크 평가

㉮ CBS 및 CBS Cost DB 관리

시스템 관리자는 사용자에게 권고하는 CBS를 관리한다. 해당 메뉴는 사용자가 사업장 개설시 권고 CBS로 기본 설정되며, 사용자는 권고 CBS를 기반으로 커스터마이징 된 CBS를 구축할 수 있다. CBS Cost DB는 기본정보, 예가, 면적단가, 준공가, 변동금액, 비 위험금액, 순위험금액, 순위험율의 Cost DB를 관리할 수 있으며, 추가 또는 수정되는 정보는 관리자가 직접 관리할 수 있다. 이 정보는 사용자가 사업장과 유사한 사업장 선택시 표출되며, 사용자의 선택된 유사 사업장 정보를 기반으로 Risk Rate 정보를 계산 후 제시한다.



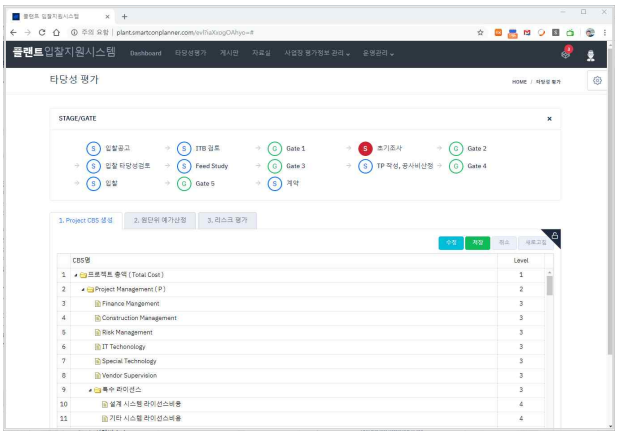
[그림 2-293] 권고 CBS 관리



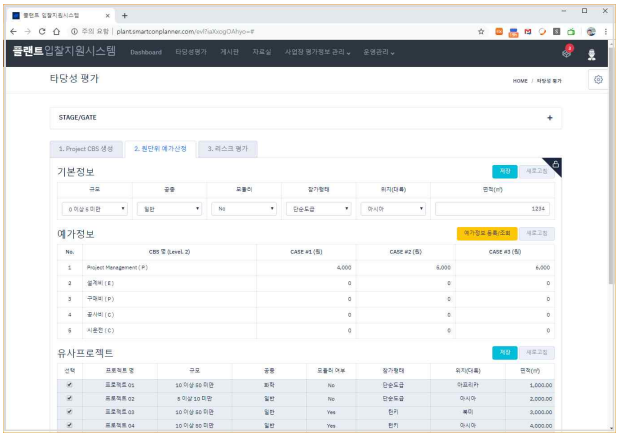
[그림 2-294] CBS Cost DB 관리

㉰ 사업장 CBS 관리 및 원단위 예가산정

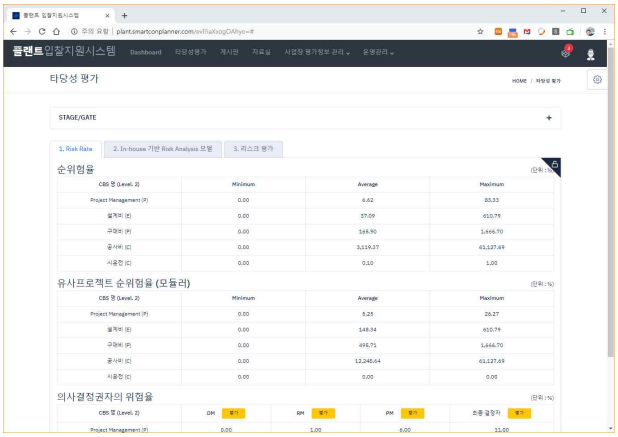
사용자는 시스템에서 권고하는 CBS 기반으로 사업장의 환경과 성격에 맞게 CBS를 커스터마이징 한다. 그리고 원단위 예가산정에서 사업장의 규모, 공종, 모듈러 여부, 참가형태, 위치(대륙), 사업장 면적 등 기본정보와 예가정보는 CBS의 레벨 4까지 모두 입력한다. 시스템에서 관리되는 Cost DB에서 사용자가 참여하는 사업장과 유사한 사업장을 선택 후 저장하면, Risk Rate의 순 위험율, 유사프로젝트 순위험율을 도출할 수 있다. 이후 의사결정권자가 레벨 2의 위험율을 입력 후 최종 결정자는 의사결정권자가 평가한다.



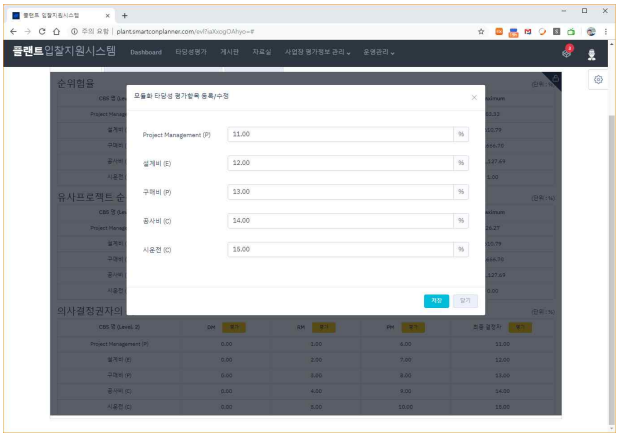
[그림 2-295] 사업장 CBS 관리



[그림 2-296] 원단위 예가산정



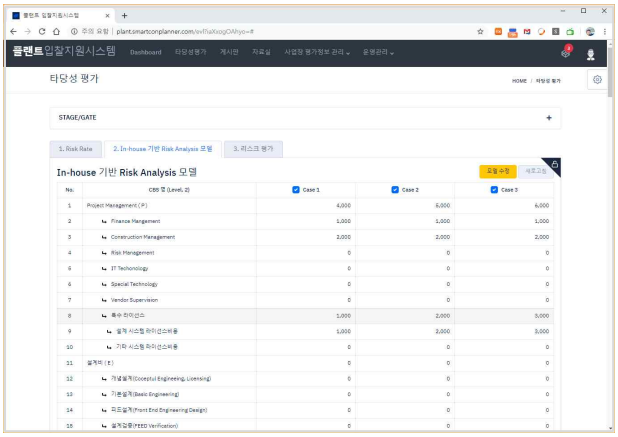
[그림 2-297] Risk Rate 도출



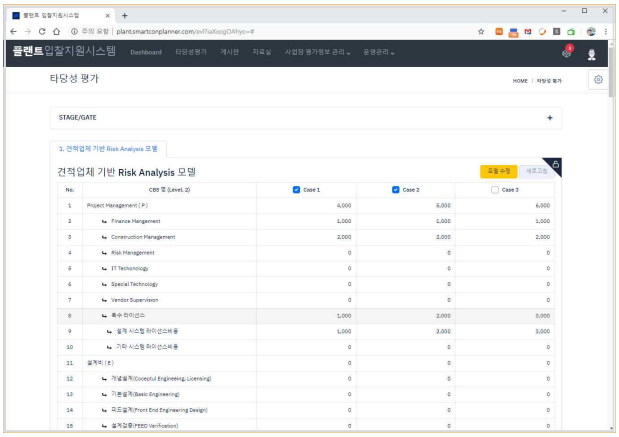
[그림 2-298] 의사결정권자의 위험율 판단

㉰ Risk 분석 모델

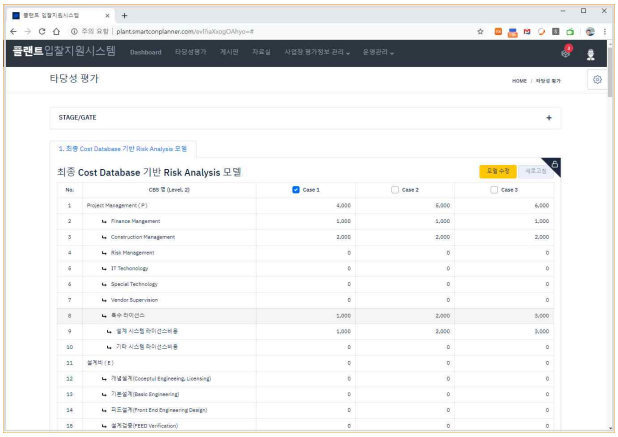
Risk 분석 모델을 In-house, 견적업체 기반의 모델을 단계별로 수정해가며 최종 Cost DB 기반의 Risk 분석 모델을 도출한다. 앞서 사업장의 CBS 정보 및 CBS Cost 정보는 모듈화 VE 평가 시스템에 전달되어 VE 평가를 통해 도출된 결과가 최종 Cost DB 기반의 Risk 분석 리포트에 반영되어 사용자에게 제시한다.



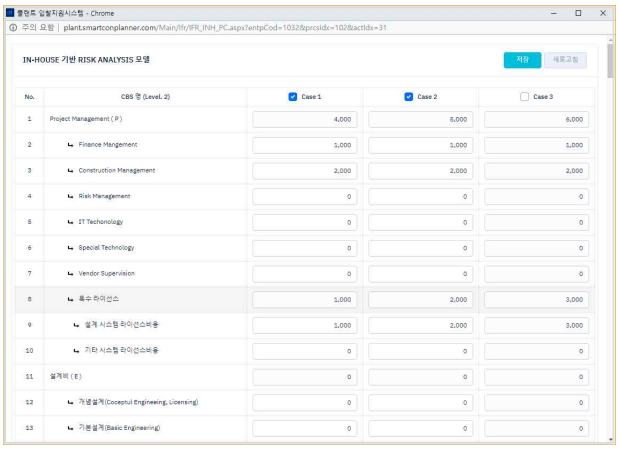
[그림 2-299] In-house기반 Risk분석모델 도출



[그림 2-300] 견적업체기반 Risk분석모델 도출



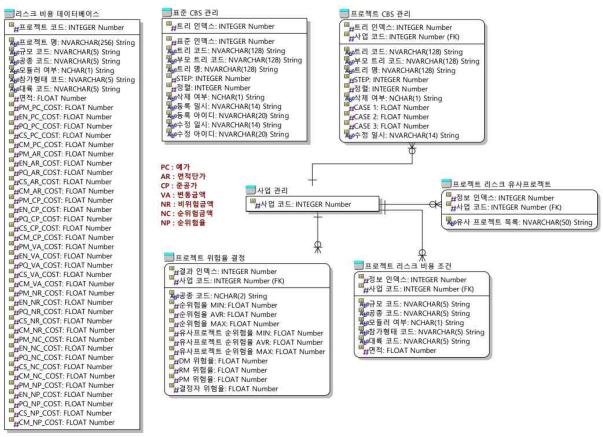
[그림 2-301] 최종 Cost DB기반 Risk분석모델 도출



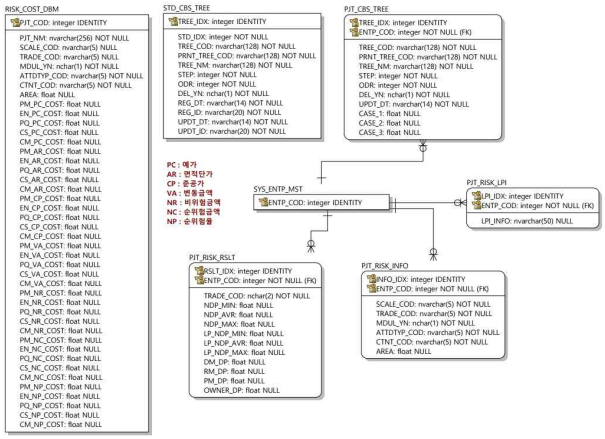
[그림 2-302] Case별 모델 수정

㉮ 데이터베이스 설계

시스템에서 제공하는 표준 CBS 정보는 사업장 개설 시 사업장의 기본 CBS로 설정되며, 유사프로젝트의 비용 데이터베이스는 기본정보와 비용 정보를 함께 관리하는 구조이다.



[그림 2-303] 논리 모델

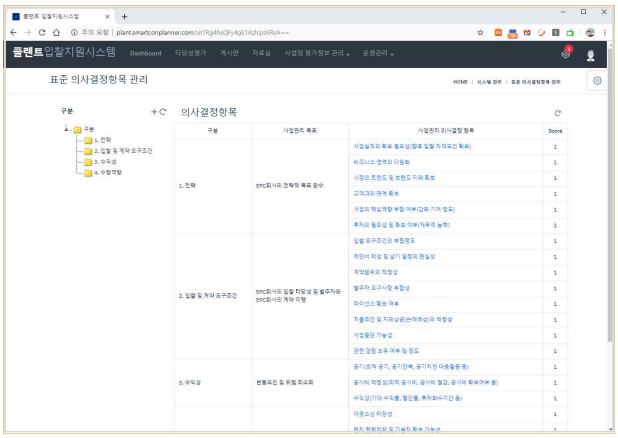


[그림 2-304] 물리 모델

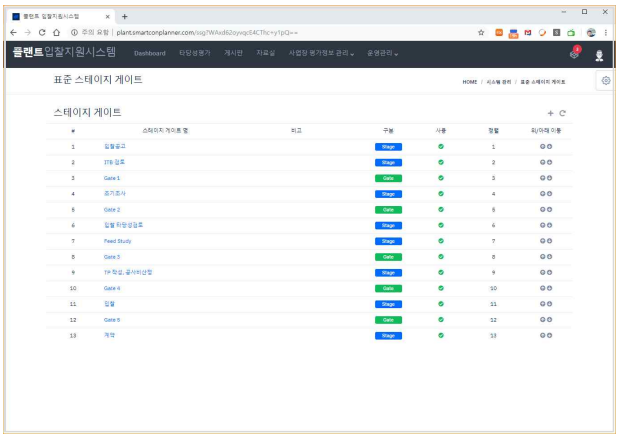
② 타당성/리스크 평가 시스템

㉮ 기준정보 관리

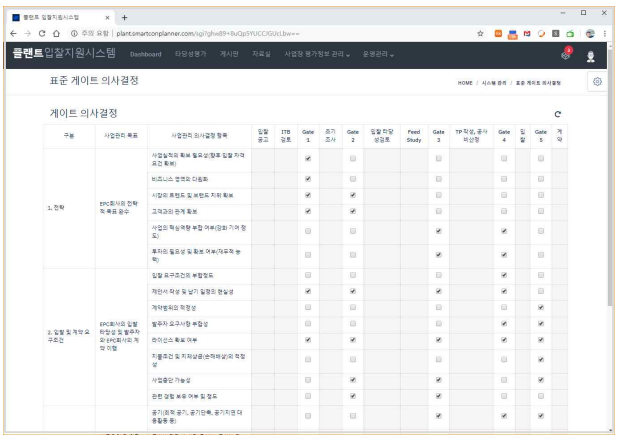
시스템에서는 의사결정을 위해 필요한 의사결정 항목, 스테이지/게이트, 게이트별 의사결정, 리스크 평가항목의 정보를 기준정보로 제시한다. 기준정보는 사용자가 사업장 개설시 사업장의 정보로 기본 세팅된다.



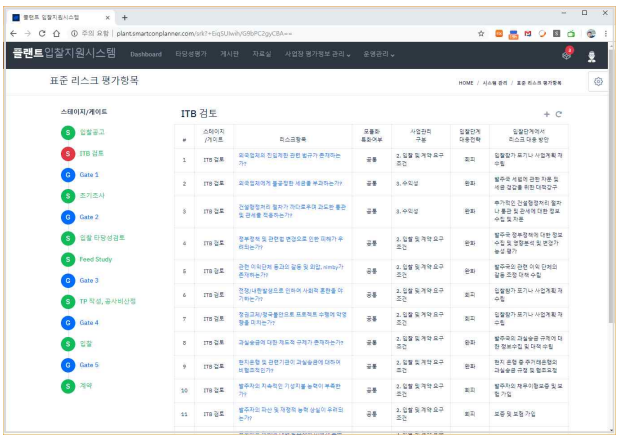
[그림 2-305] 의사결정 항목 관리



[그림 2-306] 스테이지/게이트 관리



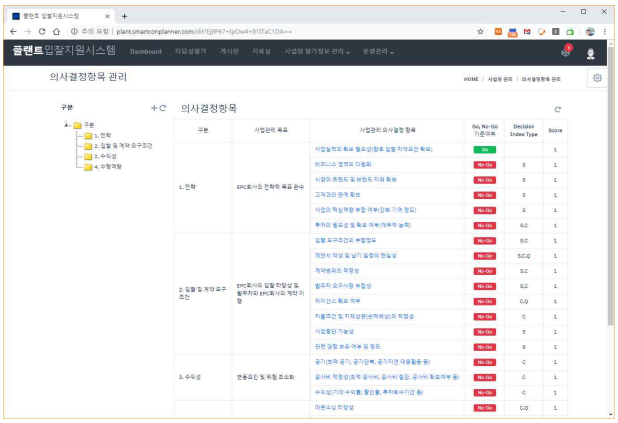
[그림 2-307] 게이트 의사결정 항목 설정 관리



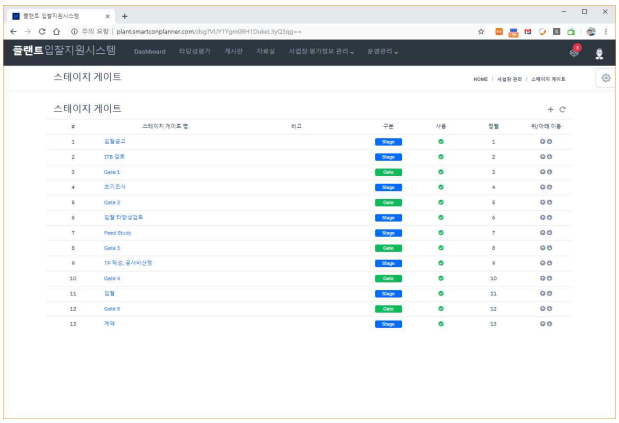
[그림 2-308] 리스크 평가항목 관리

㉯ 사업장 정보 관리

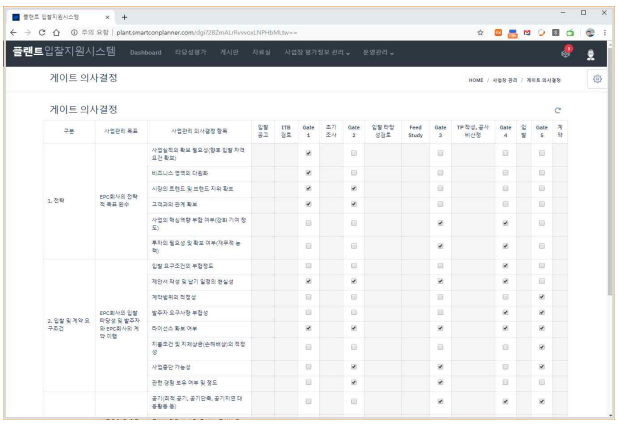
사용자는 사업장 개설 후 기본 설정되는 의사결정지원시스템의 세부항목인 의사결정항목, 스테이지/게이트, 게이트 의사결정, 리스크 평가항목의 정보를 사업장의 환경과 조건에 맞춰 커스터마이징 할 수 있다.



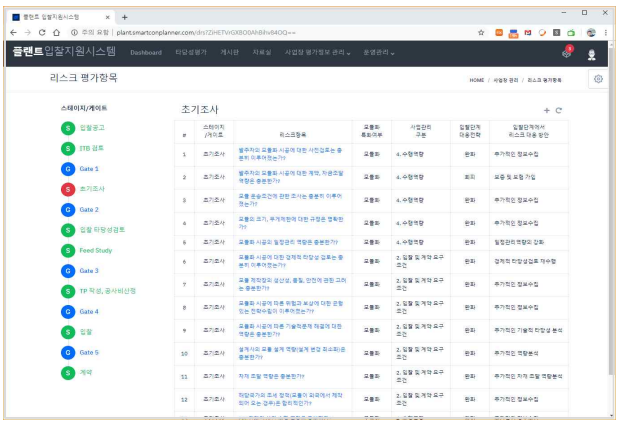
[그림 2-309] 의사결정 항목 관리



[그림 2-310] 스테이지/게이트 관리



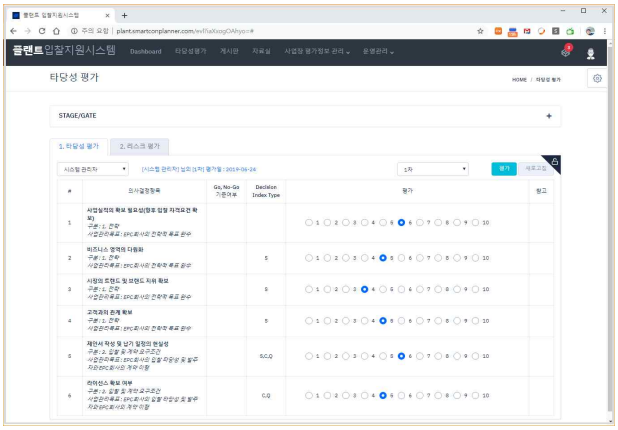
[그림 2-311] 게이트 의사결정 항목 설정 관리



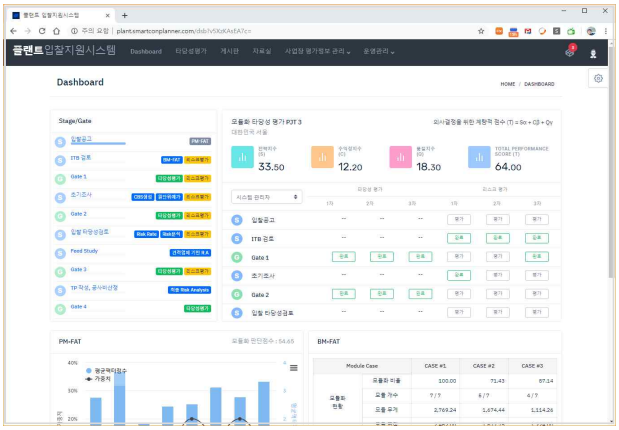
[그림 2-312] 리스크 평가항목 관리

㉰ 타당성 평가

사용자는 각 게이트에서 제시하는 타당성 평가 항목을 10점 범위에서 평가할 수 있다. 평가는 사용자별로 3차까지 진행되며, 해당 게이트의 평가가 완료되면 평가 관리자는 해당 게이트의 평가를 종료할 수 있다. 그리고 각 사용자의 평가 상태는 대시보드에서 사용자별로 진행되는 평가의 완료 여부를 확인할 수 있다.



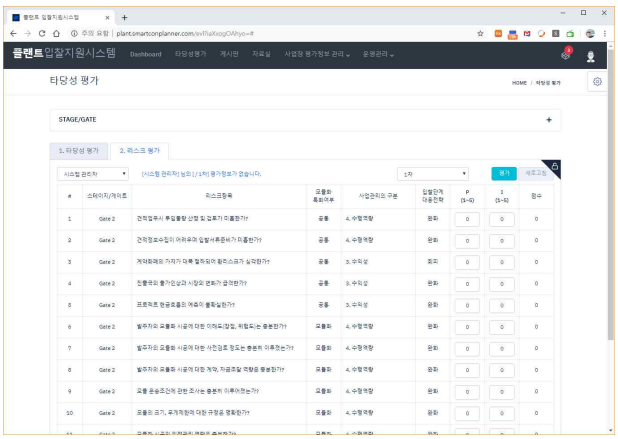
[그림 2-313] 타당성 평가



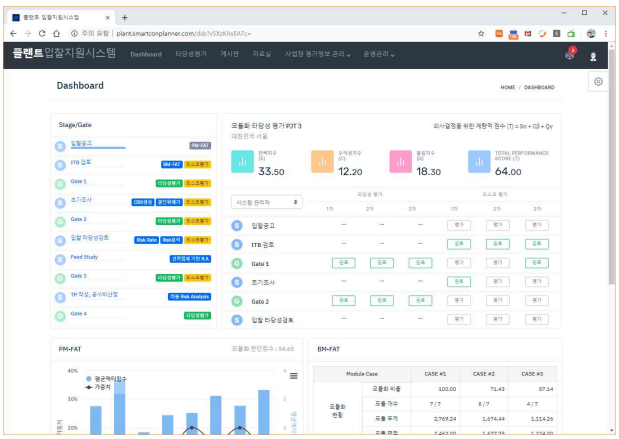
[그림 2-314] 사용자별 평가 상태 모니터링

㉳ 리스크 평가

사용자는 각 스테이지 또는 게이트에서 제시하는 리스크 평가 항목을 P와 I로 구분해 5점 범위에서 평가할 수 있다. 평가는 사용자별로 3차까지 진행되며, 해당 스테이지 또는 게이트의 평가가 완료되면 평가 관리자는 해당 스테이지 또는 게이트의 평가를 종료할 수 있다. 그리고 각 사용자의 평가 상태는 대시보드에서 사용자별로 진행되는 평가의 완료 여부를 확인할 수 있다.



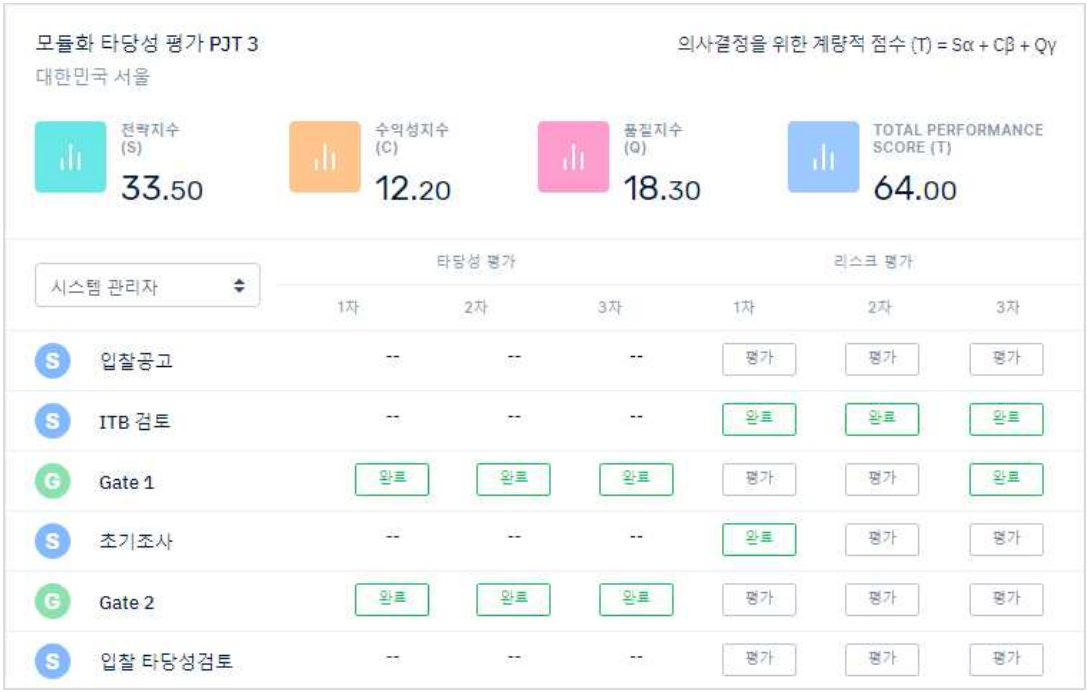
[그림 2-315] 리스크 평가



[그림 2-316] 사용자별 평가 상태 모니터링

㉴ 의사결정지원

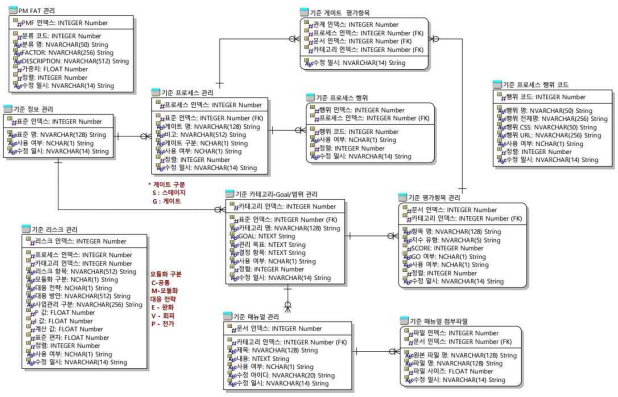
사용자가 각 스테이지 또는 게이트에서 진행한 타당성/리스크 평가는 실시간 집계되어 시스템의 대시보드에 자동 표출된다. 그리고 각 사용자의 타당성/리스크 평가 진행을 실시간 조회할 수 있다.



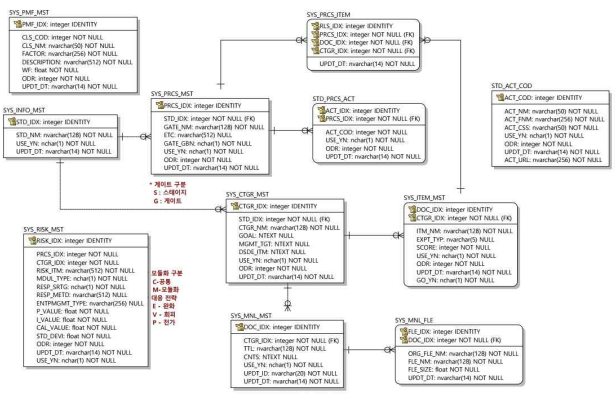
[그림 2-317] 타당성/리스크 평가 모니터링

㉮ 데이터베이스 설계

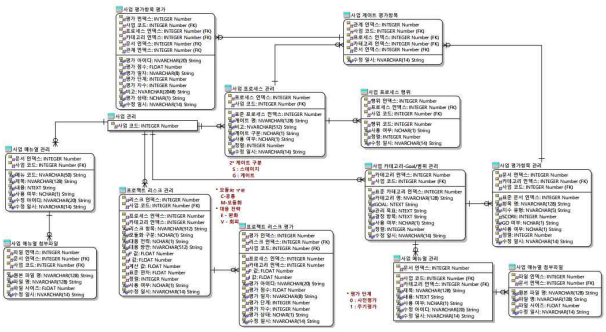
의사결정지원시스템 사용을 위한 기준정보를 관리하며, 항목은 프로세스, 스테이지/게이트의 평가항목 등의 시스템 관리자가 관리한다. 기준정보는 사용자가 사업장 개설시 사업장의 기본정보로 설정된다. 사업장에 기본설정된 정보는 사용자가 사업장의 특성에 맞게 커스터마이징 할 수 있다.



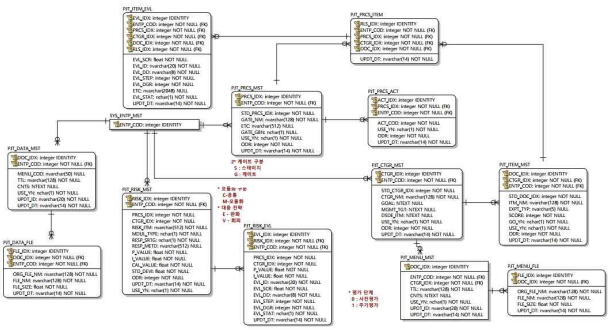
[그림 2-318] 기준정보 논리모델



[그림 2-319] 기준정보 물리모델



[그림 2-320] 사업장 정보 논리모델

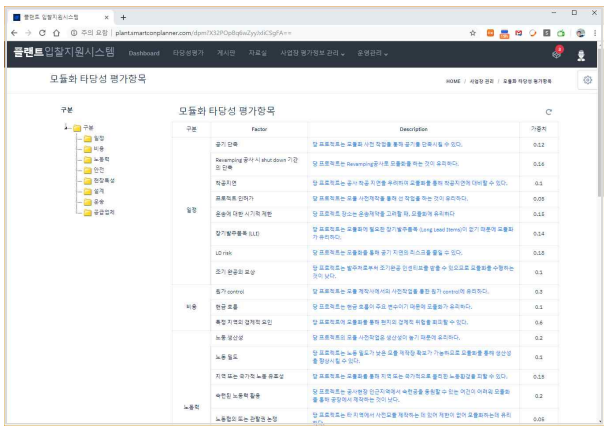


[그림 2-321] 사업장 정보 물리모델

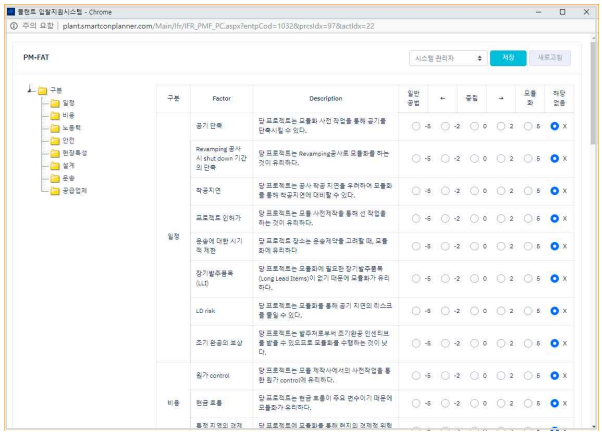
③ 입찰 초기 모듈화 적용성 평가 (PM-FAT)

㉮ 평가항목 및 가중치 관리

시스템 관리자는 모듈화 적용성 평가항목 및 가중치를 관리할 수 있으며, 사용자는 사업장 개설 시 평가항목 및 가중치가 기준정보에서 기본 세팅되며, 사업장의 환경과 조건에 맞춰 커스터마이징 할 수 있다.



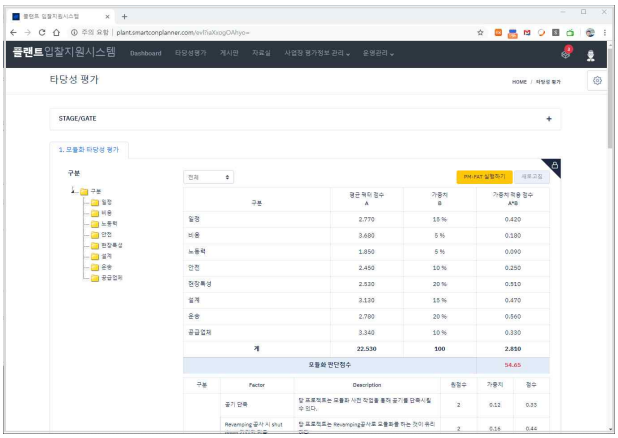
[그림 2-322] 모듈화 적용성 평가 항목 관리



[그림 2-323] 모듈화 적용성 평가

㉯ 모듈화 적용성 평가

사용자는 PM-FAT이라는 세부 모듈을 실행해서 평가를 진행한다. 평가된 정보는 실시간 계산되어 모듈화 판단 점수로 표출되며, 시스템의 대시보드에서도 그래프로 표출된다.



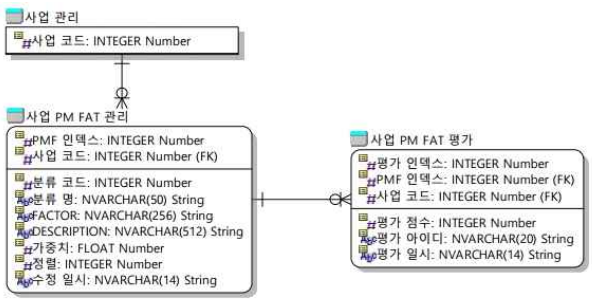
[그림 2-324] 모듈화 판단 점수 집계



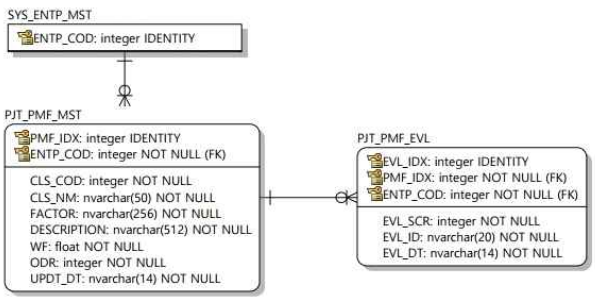
[그림 2-325] 대시보드 모듈화 판단정보 조회

㉰ 데이터베이스 설계

모듈화 적용성 평가를 위한 항목은 시스템 관리에서 항목이 설정되어 있으며 사용자가 사업장 개설시 기본정보로 설정된다. 사용자는 사업장 특성에 맞게 커스터마이징 해 사용할 수 있다.



[그림 2-326] 논리모델

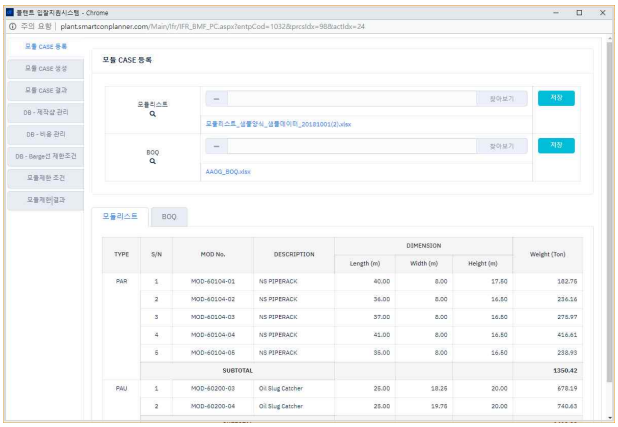


[그림 2-327] 물리모델

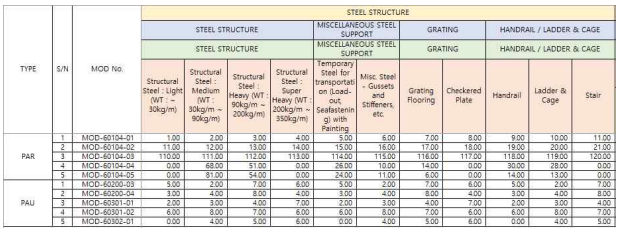
③ 모듈화 대안별 타당성 평가(BM-FAT)

㉮ 모듈 CASE 등록

모듈 CASE 등록은 모듈 리스트와 BOQ로 구분해 Excel 파일로 관리한다. 샘플양식은 시스템에서 제공하고 있으며, 사용자는 제공되는 샘플 양식에 맞춰 작성 후 시스템에 Import 한다. 시스템에서는 사용자가 등록한 모듈리스트와 BOQ 정보를 기반으로 모듈 제한결과를 도출하는데 사용된다.



[그림 2-328] 모듈 CASE 등록/관리



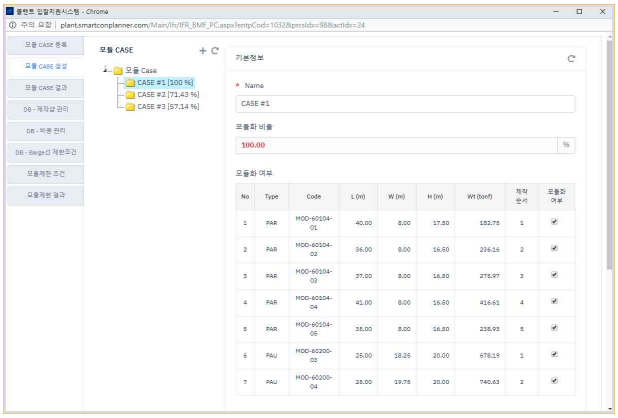
TYPE	S/N	MOD No.	STEEL STRUCTURE										
			STEEL STRUCTURE				MISCELLANEOUS STEEL SUPPORT	GRATING		HANDRAIL / LADDER & CAGE			
			STEEL STRUCTURE				MISCELLANEOUS STEEL SUPPORT	GRATING		HANDRAIL / LADDER & CAGE			
			Structural Steel : Light (WT : ~ 30kg/m)	Structural Steel : Medium (WT : 30kg/m ~ 90kg/m)	Structural Steel : Heavy (WT : 90kg/m ~ 200kg/m)	Structural Steel : Super Heavy (WT : 200kg/m ~ 350kg/m)	Temporary Steel for transportation (Load-out, Seafastening) with Painting	Misc. Steel - Gussets and Stiffeners, etc.	Grating Flooring	Checkered Plate	Handrail	Ladder & Cage	Stair
PAR	1	MOD-60104-01	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00
	2	MOD-60104-02	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00
	3	MOD-60104-03	110.00	111.00	112.00	113.00	114.00	115.00	116.00	117.00	118.00	119.00	120.00
	4	MOD-60104-04	0.00	68.00	51.00	0.00	28.00	10.00	14.00	0.00	30.00	28.00	0.00
	5	MOD-60104-05	0.00	81.00	54.00	0.00	24.00	11.00	6.00	0.00	14.00	13.00	0.00
PAU	1	MOD-60200-03	5.00	2.00	7.00	6.00	5.00	2.00	7.00	6.00	5.00	2.00	7.00
	2	MOD-60200-04	3.00	4.00	8.00	4.00	3.00	4.00	8.00	4.00	3.00	4.00	8.00
	3	MOD-60301-01	2.00	3.00	4.00	7.00	2.00	3.00	4.00	7.00	2.00	3.00	4.00
	4	MOD-60301-02	6.00	8.00	7.00	6.00	6.00	8.00	7.00	6.00	6.00	8.00	7.00
	5	MOD-60302-01	0.00	4.00	5.00	6.00	0.00	4.00	5.00	6.00	0.00	4.00	5.00

[그림 2-329] BOQ Excel 샘플양식

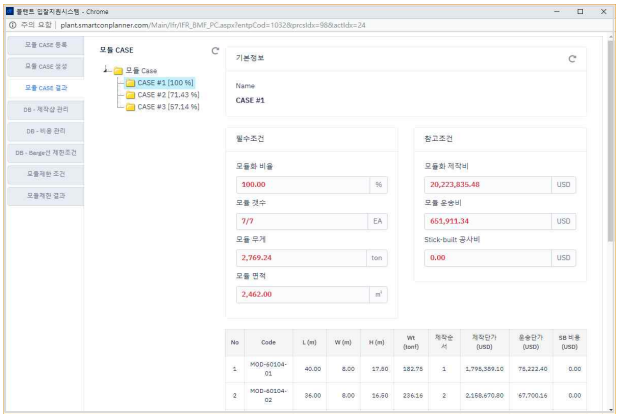
㉯ 모듈 CASE 생성 및 결과

사용자는 사업장의 모듈제한 조건 및 결과를 도출하기 위해 CASE를 생성한다. CASE는 다수로 생성할 수 있으며, 모듈 목록에서 여부를 지정하게 되면 CASE 별로의 모듈화 비율과 모듈 무게, 모듈 면적, 모듈화 제작비, 모듈 운송비, Stick-build 공사비 등의 정보가 필수 및 참조 조건으로

정리된다.



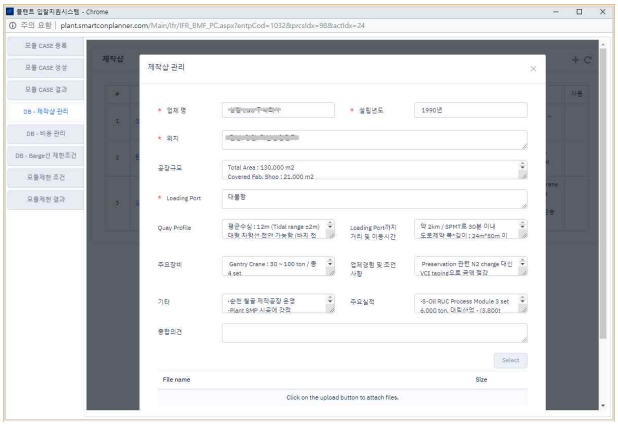
[그림 2-330] 모듈 CASE 생성



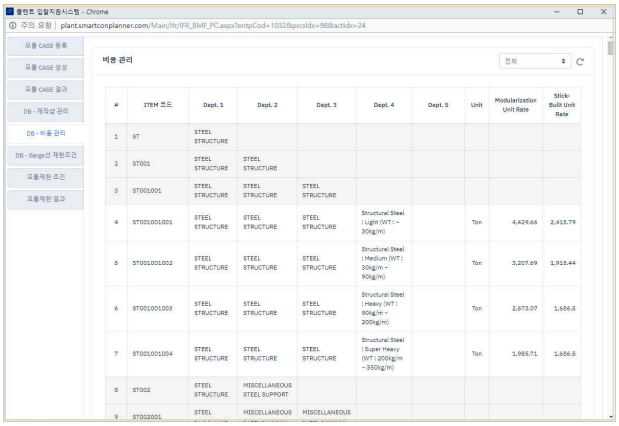
[그림 2-331] 모듈 CASE 결과

㉰ DB 관리

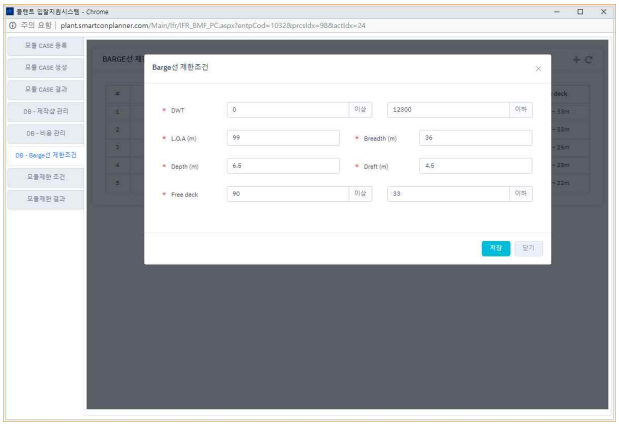
사용자는 제작샵, 비용, Barge선 제한조건 등의 정보를 데이터베이스화해서 관리할 수 있다. 제작샵과 Barge선의 제한조건은 시스템에서 직접 추가 및 수정할 수 있으며, 비용관리는 Excel 정보를 등록해 관리한다.



[그림 2-332] 제작샵 관리



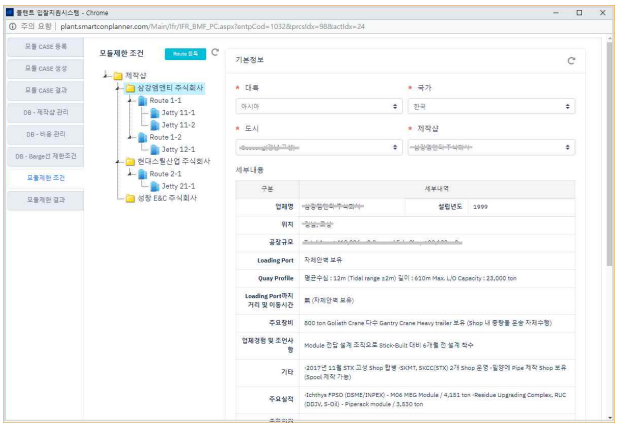
[그림 2-333] 비용 관리



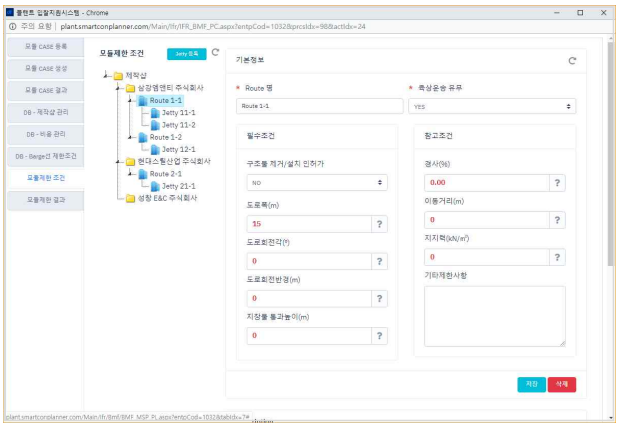
[그림 2-334] Barge선 제한조건 관리

㉮ 모듈 제한 조건

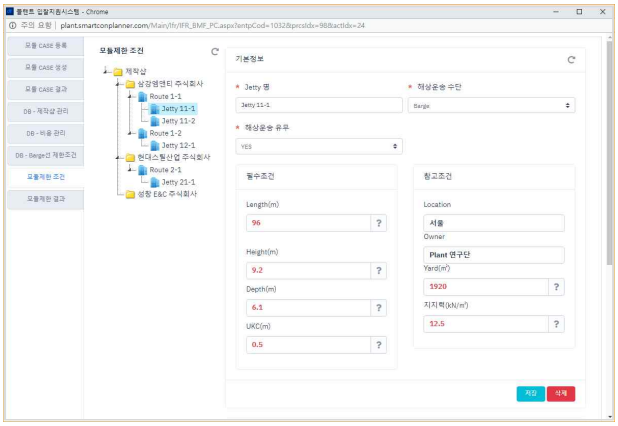
사용자는 제작샵, Route, Jetty 정보를 트리구조로 구성해서 다수의 모듈 제한 조건을 시뮬레이션할 수 있다. 트리구조에서 제작샵을 구성하고 하위에 다수의 Route 명을 등록한다. Route 정보에서 필요한 항목은 육상운송의 유무, 구조물 제거/설치 인허가여부, 도로폭, 도로회전각, 도로회전반경, 지잘물 통과 높이 그리고 참고조건으로 경사와 이동거리, 지지력 등을 입력한다. Route 하위에 다수의 Jetty명을 등록하고 해상운송수단, 해상운송 유무, 길이, 높이, 깊이 등의 정보를 입력해 모듈 제한결과를 도출한다.



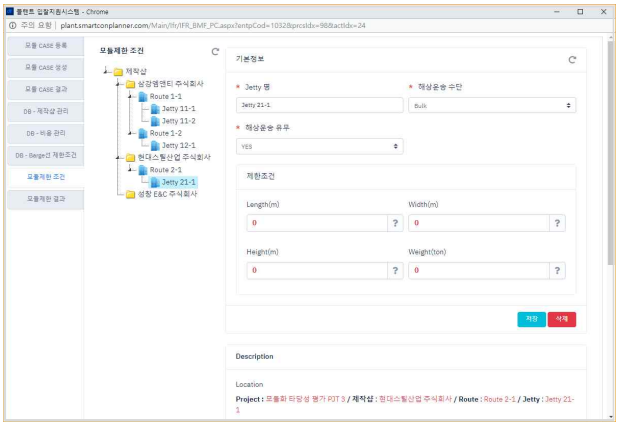
[그림 2-335] 제작샵 구성



[그림 2-336] Route 구성



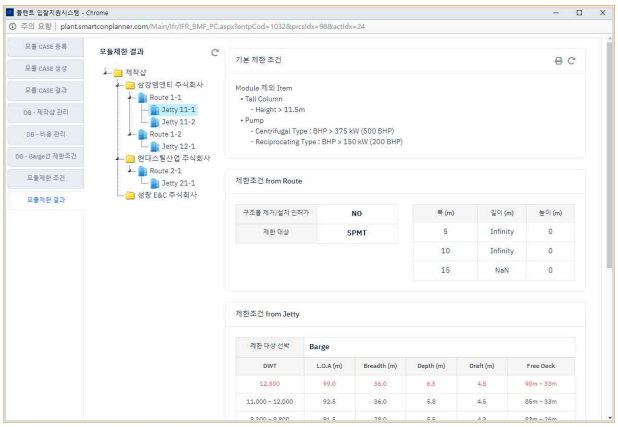
[그림 2-337] Jetty 구성 (Barge)



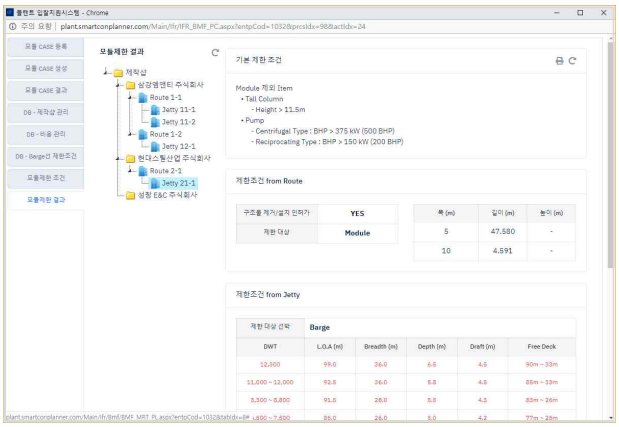
[그림 2-338] Jetty 구성 (Bulk)

㉮ 모듈 제한 결과

모듈제한 조건에서 시뮬레이션한 결과를 조회할 수 있다. 모듈제한 조건에서 구성한 트리구조에서 Jetty 명을 기준으로 조회할 수 있으며, 결과 내용은 기본 제한조건, Route 제한조건, Jetty 제한조건으로 제시한다.



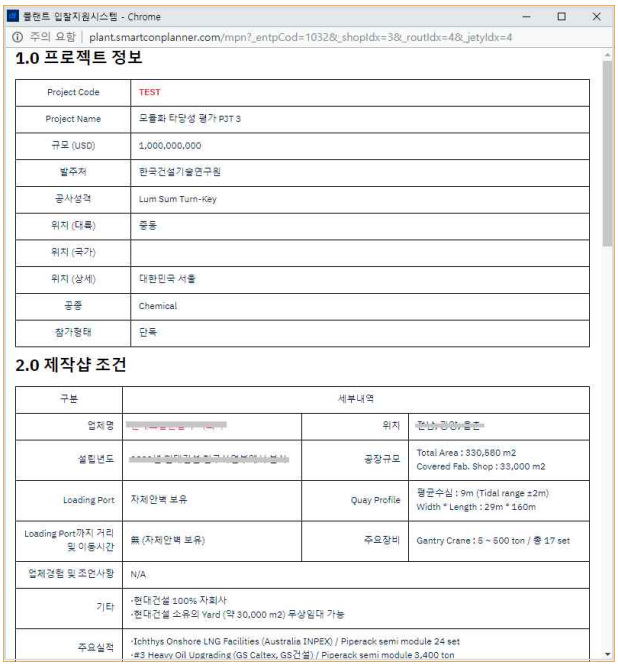
[그림 2-339] 모듈 제한 결과 - 1



[그림 2-340] 모듈 제한 결과 - 2

㉯ 리포트

모듈 제한 조건의 결과는 리포트로 추출할 수 있다. 리포트 내용은 프로젝트 정보, 제작샵 조건, Route 조건, Jetty 조건, 모듈 제한 조건의 순으로 리포트로 추출된다.



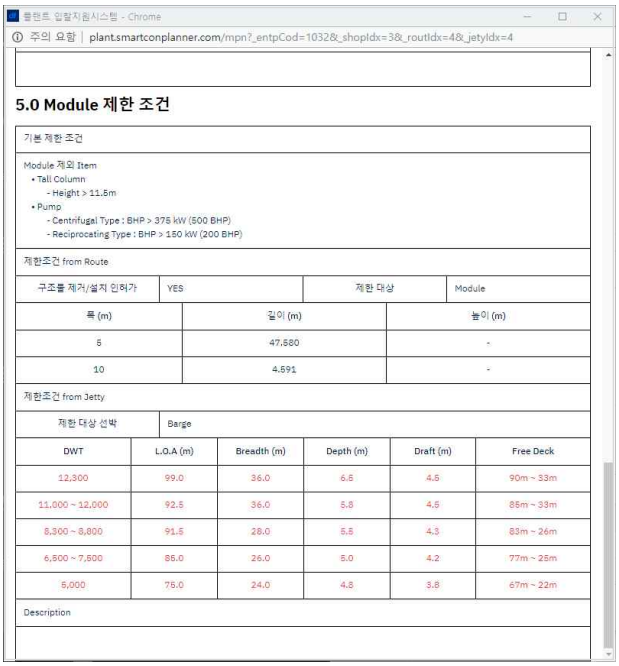
1.0 프로젝트 정보

Project Code	TEST
Project Name	모듈화 타당성 평가 P3T 3
규모 (USD)	1,000,000,000
발주처	한국건설기술연구원
공사성격	Lum Sum Turn-Key
위치 (대륙)	중동
위치 (국가)	
위치 (상세)	대한민국 서울
공종	Chemical
참가형태	단독

2.0 제작샵 조건

구분	세부내역		
업체명	[redacted]	위치	[redacted]
설립년도	[redacted]	공장규모	Total Area : 330,880 m2 Covered Fab. Shop : 33,000 m2
Loading Port	자체안벽 보유	Quay Profile	평균수심 : 9m (Tidal range ±2m) Width * Length : 29m * 160m
Loading Port까지 거리 및 이동시간	無 (자체안벽 보유)	주요장비	Gantry Crane : 5 ~ 600 ton / 총 17 set
업체경험 및 조언사항	N/A		
기타	·현대건설 100% 자회사 ·현대건설 소유의 Yard (약 30,000 m2) 무상임대 가능		
주요실적	·Ichthys Onshore LNG Facilities (Australia INPEX) / Piperack semi module 24 set ·#3 Heavy Oil Upgrading (GS Caltex, GS건설) / Piperack semi module 3,400 ton		

[그림 2-341] 사업장, 제작샵 정보



5.0 Module 제한 조건

기본 제한 조건

Module 제외 Item
- Tall Column
  - Height > 11.5m
- Pump
  - Centrifugal Type : BHP > 375 kW (500 BHP)
  - Reciprocating Type : BHP > 150 kW (200 BHP)

제한조건 from Route

구조물 제거/설치 인허가	YES	제한 대상	Module

폭 (m)	길이 (m)	높이 (m)
5	47,580	-
10	4,591	-

제한조건 from Jetty

제한 대상 선박	Barge

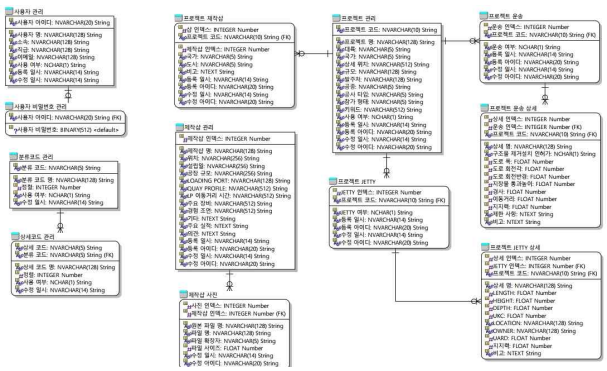
DWT	L.O.A (m)	Breadth (m)	Depth (m)	Draft (m)	Free Deck
12,300	99.0	36.0	6.8	4.6	90m ~ 33m
11,000 ~ 12,000	92.5	36.0	5.8	4.6	86m ~ 33m
8,300 ~ 8,800	91.5	28.0	5.8	4.3	83m ~ 26m
6,500 ~ 7,500	86.0	26.0	5.0	4.2	77m ~ 25m
5,000	76.0	24.0	4.8	3.8	67m ~ 22m

Description

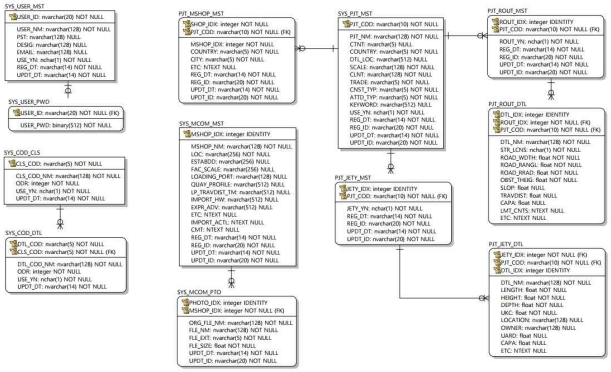
[그림 2-342] 모듈 제한 조건 결과

㉮ 데이터베이스 설계

사용자는 사업장의 특성에 맞게 제작샵, Route, Jetty DB를 관리할 수 있으며, 사업장의 상황에 맞춰 다양한 경우의 제작샵, Route, Jetty 상황을 구성하여 결과를 확인할 수 있다.



[그림 2-343] 논리모델



[그림 2-344] 물리모델

위 모든 성과물의 버전관리 등을 위해 별첨의 개발보고서에 제·개정일자, 작성·검토·승인을 명시하였다. 플랜트 입찰지원 시스템은 개정일자: 2019년 11월 10일, 작성자 : 남주현, 검토.승인자 :김진만로 하였으며 VE 시스템은 개정일자 2019년 10.2 검토·승인자: 정재우로 명확화 하였다.

2.5.7 결론 및 향후계획

가. 결론

사용자의 접근성 고려해 Web 기반 시스템으로 구현된 플랜트 입찰 지원 시스템은 클라우드 기반의 SAAS 서비스로 다양한 장소에서 사용자가 시스템에 접근이 쉽다는 장점을 가지고 있다. 사용자가 사업장 개설 후 참여자를 초대 및 그룹 생성을 통해 참여자간 관계를 만들고, 사용자가 계획한 기간동안 다양한 의견교환 및 평가를 진행하고 이 결과를 실시간으로 다양한 매체를 통해 습득할 수 있도록 한다.

(1) 입찰단계 의사결정지원 시스템

입찰단계 의사결정지원체계는 입찰진행과정의 논리적인 의사결정구조, 절차와 결합하여 구조화된 체계로 대안을 도출하고 위험에 기반하는 의사결정 구조를 시스템에 적용하고자 하였다. 따라서 입찰단계 사업관리 요소별 평가기준을 도출하고 분석 및 평가결과를 활용하여 사업관리 활동에 있어서 불확실성과 위험을 최소화할 수 있고, 평가항목별 가중치, 위험도 지수 등을 토대로 위험에 대한 접근방식에 따라 다양한 대안의 도출 및 최적화를 하도록 구축하였다.

(2) CBS 정형화 및 이를 활용한 원단위 계량 모델과 원단위 추정

CBS 여러사례들의 자료분석을 통한 대표적 형태의 CBS 정형화 대안을 기반으로 시스템 내에 기준으로 제시하는 CBS 정형화 모델을 데이터베이스화 하였고, 정형화된 CBS 기반의 원단위 금액 추정은 제공된 CBS 비용에 원단위를 적용한 단가를 추정할 수 있도록 시스템 설계 및 구현에 적용하였다.

(3) 입찰 주요단계별 업무지원 시스템 (PM-FAT, BM-FAT)

모듈화 공법 적용의 타당성 검토 여부를 판단할 수 있는 툴인 PM-FAT은 대안기술 적용에 있어서 중요한 항목들을 추출하여 정리된 항목을 분류체계로 구성하고, 항목들은 category와 factor로 2단계로 체계화하여 관리할 수 있도록 하였다. 항목에 대한 적절성과 항목의 중요도를 나타내는 가중치를 평가자가 평가시 실시간으로 반영될 수 있도록 구현하였다. 대안 평가 툴인 BM-FAT은 신뢰성을 확보하기 위해 모듈화 대안 검토 database를 별도 구성하여 관리할 수 있도록 하였고, Database는 확정된 대안기술 항목 별로 실제 입찰이 진행된 프로젝트의 데이터를 매칭하여 테스트를 진행 및 검증하였다.

(4) 모듈화 기획 지원 시스템 및 통합 플랫폼 연계

타 시스템과 연동을 위해 WebAPI 기술을 적용해 사용자가 요구하는 정보가 실시간 호출 및 회신될 수 있도록 구성하였다. WebAPI는 Ajax+Json 호출을 통해 Json 형식의 데이터를 받을 수 있으며, 제공되는 API 문서를 기반으로 타 시스템에서는 다양한 데이터 활용을 기대할 수 있다.

(5) 플랜트 입찰 지원 시스템

플랜트 입찰 지원 시스템은 본 연구의 년차별로 구현된 모듈단위의 시스템을 하나의 솔루션으로 통합한 플랫폼 성격을 가지는 시스템이다. 시스템은 입찰단계 의사결정지원 시스템(타당성/리스크 평가), CBS 정형화 및 이를 활용한 원단위 계량 모델과 원단위 추정, 입찰 주요단계별 업무지원 시스템인 PM-FAT, BM-FAT이 모듈단위의 시스템으로 구현되어 최종적으로 플랜트 입찰 지원 시스템에 장착이 되도록 설계 및 개발되었다.

나. 향후계획

사용자의 접근성 고려해 Web 기반 시스템으로 구현된 플랜트 입찰 지원 시스템은 클라우드 기반의 Saas 서비스로 다양한 장소에서 사용자가 시스템에 접근이 쉽다는 장점을 가지고 있다. 사용자가 사업장 개설 후 참여자를 초대 및 그룹 생성을 통해 참여자간 관계를 만들고, 사용자가 계획

한 기간동안 다양한 의견교환 및 평가를 진행하고 이 결과를 실시간으로 다양한 매체를 통해 습득할 수 있도록 한다면 상용화 가능성을 충분히 확보할 수 있을 것이라 기대한다.

연구성과물의 보급확산을 위해서 관련성과물들을 논문, 학술발표 및 기고 등과 함께 플랜트 관련 행사, 전시회 등에 본 연구결과를 전시를 추진할 예정이다. 특히, 플랜트 관련 회사 및 신규진입 예상 회사들에 대해 연구에 대한 홍보자료 송부하여 보급을 확산시킬 계획이다.

또한, 플랜트 입찰지원 시스템은 입찰단계의 타당성평가, 리스크평가 시스템을 기반으로 Decision-M, BM-FAT, 원단위 비용추정의 각 모듈을 통합된 솔루션 및 각 모듈단위의 개별 서비스가 가능하도록 사업화할 것이다. 해당 솔루션은 커스터마이징을 통한 기업에 최적화된 엔터프라이즈 서비스와 프로젝트별로 주체별 참여가 가능한 Saas 기반의 솔루션 대여 서비스가 가능하도록 구분해 사업화가 가능하다.

아울러 원가절감과 제품가치를 동시에 추구하기 위해 제품(사업)의 개발에서부터 설계, 생산, 유통, 서비스 등 모든 경영활동의 변화를 추구하는 경영기법을 통한 정량적인 비교 데이터 분석을 통해 최종의사결정을 지원해주는 Value Engineering 적용솔루션으로 보완개발하고 VE의 경우 기능정의 및 정리가 필요한데 과거의 이력을 딥러닝을 통한 다양한 사례를 학습하여 각 프로젝트 진행시 최적의 기능정리를 제안하는 프로세스를 적용한다면 좀더 정확한 의사결정의 프로세스를 적용가능하다.

VE시스템의 제품별로는 서버단에 설치하는 방식과 온라인(웹)을 통한 서비스 형태 2가지로 구분하여 판매가 가능하고 서버단 판매솔루션은 데이타베이스 등을 구매사의 서버내에 보관함으로써 보안이 강화된 형태로 지원가능하며, 웹기반은 다양한 고객사들의 데이터베이스를 활용할 수 있는 장점이 가능하다.

2.6 기술가치평가 및 상용화전략 수립

가. 개발 시스템의 현장적용성 평가

(1) 개요

본 조사는 국가 R&D 연구사업으로 플랜트 협업 단위 모듈화 기획 및 평가 기술 개발 연구를 통해 입찰단계에서 의사결정을 지원하여 투찰금액 결정 등에 도움을 주기 위한 (가칭)플랜트 입찰 지원시스템을 구축하였고, 구축된 시스템에 관한 사용성을 평가하기 위한 목적으로 실시하였다.

구분	내용
조사대상	분야별 업무별 현장 경력자 (분야: 건축, 토목, 플랜트 등 / 단계: 입찰, 견적, 설계, 시공, 관리, IT 등)
표본크기	102명
표본추출방법	전수조사
조사방법	구조화된 설문지를 이용한 집단 면접조사
조사기간	2019년 11월 18일 ~ 11월 29일

응답자		사례수	구성비(%)
전체		102	100.0
전문분야	설계	59	57.8
	시공	3	2.9
	관리	9	8.8
	IT	21	20.6
	기타	10	9.8
해당 분야 경력	1년 이상 ~ 5년 미만	18	17.6
	5년 이상 ~10년 미만	24	23.5
	10년 이상 ~ 15년 미만	28	27.5
	15년 이상 ~ 20년 미만	9	8.8
	20년 이상	22	21.6
	모름/무응답	1	1.0

구분	현장적용성 평가 상세내용
입찰지원시스템 사용성 평가	- 입찰지원시스템 사용성 평가를 위해 다음과 같은 5가지 하위 요소를 측정
하위요소	1.사용성 2. 편의성 3.전문성 4. 현업성 5. 가독성
척도 유형	- 5점 평가 방식의 서열척도
종합점수 산출 방식	- 각 요소별 점수들의 산술평균값 - 종합점수 = (사용성 + 편의성 + 전문성 + 현업성 + 가독성) / 5

(2) 주요 평가결과

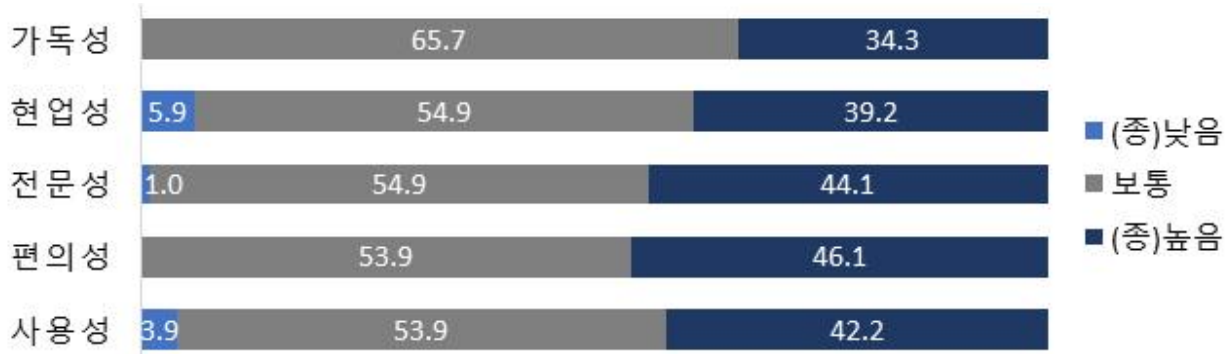
플랜트 입찰지원시스템에 대한 사용자들의 평가 결과, '사용성' 요소에 대해서는 '낮음'은 응답 4건 3.9%, '높음'은 43건 42.2%로 입찰지원시스템의 사용성에 대한 긍정 평가가 부정 평가보다 월등히 높은 것으로 나타났다. (보통: 55건, 53.9%)

다음으로 '편의성' 요소에 대해서는 '낮음' 0건 0.0%, '높음' 47건 46.1%로 '편의성' 역시 긍정 평가가 부정 평가보다 월등히 높은 것으로 나타났다(보통: 55건, 53.9%). '전문성' 요소에 대해서도 역시 '낮음' 1건 1.0%, '높음' 45건 44.1%로 긍정 평가가 부정 평가보다 월등히 높은 것으로 나타났다(보통: 56건, 54.9%). '현업성' 요소는 '낮음' 6건 5.9%, '높음' 40건 39.2%로 긍정 평가가 부정 평가보다 월등히 높은 것으로 나타났다(보통: 56건, 54.9%). '가독성' 요소는 '낮음' 0건 0.0%, '높음' 35건 34.3%로 긍정 평가가 부정 평가보다 월등히 높은 것으로 나타났다(보통: 55건, 53.9%).

종합적으로 보면, 입찰지원시스템 평가의 하위요소들은 '편의성'에 대한 긍정 평가 비중이 가장 높았고, 다음으로 '전문성', '사용성', '현업성', '가독성' 순인 것으로 나타났다. 긍정 평가 비중이 가장 높은 요소와 가장 낮은 요소 간 차이는 10%p 이상으로 입찰지원시스템의 사용성 제고를 위해서는 '가독성' 요소에 대한 개선이 가장 우선적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

<표 2-57> 주요 평가결과(요약)

구분	항목	사례수	매우 낮음		낮음		보통		높음		매우 높음		(종)낮음		(종)높음	
		N	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
사용성		102	1	1.0	3	2.9	55	53.9	37	36.3	6	5.9	4	3.9	43	42.2
편의성		102	0	0.0	0	0.0	55	53.9	40	39.2	7	6.9	0	0.0	47	46.1
전문성		102	1	1.0	0	0.0	56	54.9	34	33.3	11	10.8	1	1.0	45	44.1
현업성		102	1	1.0	5	4.9	56	54.9	32	31.4	8	7.8	6	5.9	40	39.2
가독성		102	0	0.0	0	0.0	67	65.7	28	27.5	7	6.9	0	0.0	35	34.3



[그림 2-345] 주요 평가결과(요약)

나. 개발 시스템의 기술가치평가

<표 2-58> 기술가치평가 결과요약서

평가대상특허	건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템
평가기준일	2019. 12. 31.
평가방법	로열티공제법
기술의 경제적 수명	- 기술의 경제적 수명 정량화 모델 Ⅰ을 활용하여 산출 - 기술의 경제적 수명 5년, 사업화준비기간 2년, 현금흐름추정기간 7년
매출추정	현금흐름 추정을 위해 평가대상기술 시장의 규모에서 시장점유율을 가정하여 산출
로열티율	기술성, 시장성의 분석결과와 유사기술거래사례, 산업업종별 평균 로열티율, 상관행법에 의한 로열티율, 평가대상기술의 제품이용률, 대상기술의 유용성 및 경쟁성 등을 종합적으로 고려하여 산출함 ・로열티율: 5.89%
할인율	가중평균자본비용(WACC)에 기술사업화 위험 프리미엄을 적용하여 산출 ・할인율: 9.97%
기술가치 산정	평가대상기술의 경우 로열티공제법에 따른 특허기술가치 산정결과는 평가기준일(2019.12.31.) 현재, 기술가치는 943백만원으로 산출됨 기술의 경제적 수명: 5년 로열티율: 5.89% 할인율: 9.97% 기술가치: 943백만원

(1) 개요

① 평가대상 기술

평가대상기술과 관련된 특허는 특허출원번호 제10-2019-0166338호(이하, '제1평가대상특허'), 제10-2019-126339호(이하, '제2평가대상특허'), 제10-2019-126340호(이하, '제3평가대상특허'), 제10-2019-126341호(이하, '제4평가대상특허'), 제10-2019-126342호(이하, '제5평가대상특허'), 제10-2019-126343호(이하, '제6평가대상특허'), 제10-2019-126344호(이하, '제7평가대상특허') 및 제10-2019-0149923호(이하, '제8평가대상특허')이다.

② 평가대상 기준일 및 평가기간

본 평가는 2019년 11월부터 2019년 12월 31일까지 진행되었다. 평가 기준일은 2019년 12월 31일이며, 유효기간은 보고서 제출일로부터 1년이다.

- 평가기준일 : 2019년 12월 31일
- 평가기간 : 2019년 11월 1일 ~ 2019년 12월 31일
- 유효기간 : 보고서 제출일로부터 1년

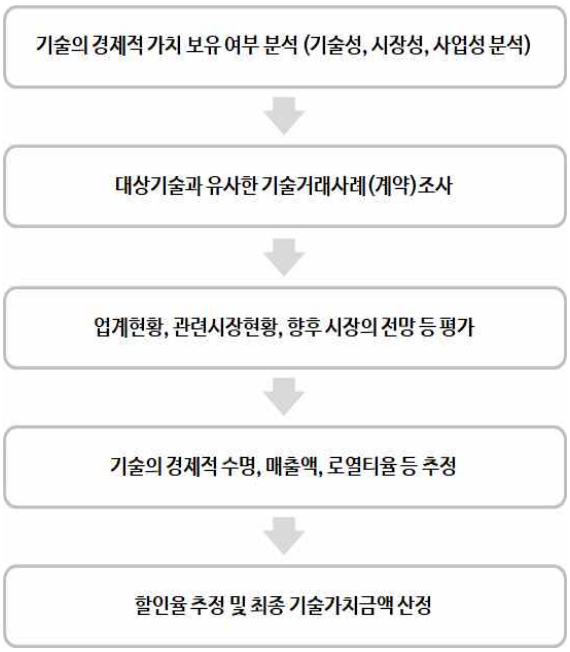
③ 평가방법 및 절차

기술가치평가기법은 평가대상기술의 유형 및 평가자에 따라 다양하다. 이론 및 실무에서 제시하고 있는 평가기법은 수익접근법(Income Approach), 시장접근법(Market Approach), 비용접근법(Cost Approach)이 주로 사용되고 있으며, 기술평가기준운영지침 제48조에 따라 복수의 평가접근법 사용이 권장되고 있다.

국토교통과학기술진흥원의 '2019 기술가치평가 매뉴얼'에 따르면, 국토교통기술에 적합한 평가방법이라 판단되는 평가 기법으로는 미래의 수익을 추정하여 기술의 가치를 평가하는 '수익접근법' 또는 '로열티 공제법' 등이 사용될 있으나, 본 평가에서는 '로열티 공제법'(Relief from royalty)을 적용하여 평가대상 특허기술의 가치추정을 실시[7]하였다.

로열티 공제법은 특허권자가 특허권을 소유하지 않음으로서 부담하게 되는 합리적 로열티를 추정하여 특허권의 가치를 추정하는 방법으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법에 해당하며 본 평가방법은 아래와 같은 절차에 따라 진행된다.

7) 시장접근법을 사용하기에는 국내 여건이 아직 성숙되어 있지 않으며, 비용접근법은 동일한 경제적 효익을 가지는 기술을 개발하거나 구입하는 경우의 원가를 추정하여 가치를 산정하는 방법으로 특별한 경우 이외에는 잘 활용되지 않기 때문임. 또한, 본 평가의 목적은 기술이전을 목적으로 하고 있으며 사업화 주체가 명확하지 않아 본 평가에서는 로열티 공제법을 적용함



[그림 2-346] 로열티 공제법 기반의 평가 절차

(2) 평가결과

① 기술성 분석

본 평가대상기술의 사업관리 의사결정지원모듈은 다음과 같은 두 가지 목적을 가지고 있다. 먼저 입찰과정에서 필요한 의사결정사항들을 구조화된 의사결정체계로 지원함으로써 부족한 입찰 역량을 보완하고 입찰의 성공확률을 높이고 수익을 극대화하는 역할을 수행한다. 그리고 지역적 특성, 현장의 특성, 발주자의 특성 등에 따라 발생되는 특정 상황에 대한 비정형적 의사결정의 구조화를 지원하여 의사결정의 합리성을 부여하는 것을 특징으로 하는 바, 이의 기술 차별성 및 혁신성은 높다고 판단된다.

더불어, 본 평가대상기술은 종래 플랜트 모듈화 기술의 문제점을 해결하여 건설공사 특히 플랜트 사업에 있어서 의사결정지원체계를 정립하기 위한 것으로, 주먹구구식으로 진행하던 의사결정 시스템을 모듈화하고 정량화하여 보다 정확하고 신속하게 결과를 도출할 수 있는 이점으로 핵심 기술에 해당한다고 볼 수 있으며 앞서 설명한 기술적 특성으로 인해 경쟁기술과 대비하여 차별성 속성이 상대적으로 강하다고 볼 수 있는 바, 평가대상기술의 우수성 및 우월성 역시 높이 평가된다.

평가대상기술은 현재 동사에서 제품화 중에 있으며, 해당 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자가 평가대상기술을 용이하게 실시할 수 있는 상황을 종합적으로 고려한 결과, 평가대상기술의 기술사업화 환경은 높은 수준으로 판단된다.

나아가, 평가대상기술은 종래의 건설공사 특히 플랜트사업에 있어서 의사결정지원체계 시장에 잠식할 수 있어, 독창적인 상업적 우위성 역시 높은 수준으로 기술의 경쟁력이 있는 것으로 평가된

다. 또한, 모방 난이성 부분에서는 평가대상기술의 기술적 모방이 쉽지는 않으나, 향후 모방을 통해 현재 이익 및 미래에 향유하고자 하는 이익이 크게 침해받지 않는 보통 수준인 것으로 판단된다.

평가대상기술이 제품화 되었을 경우와 기술이 활용되는 범위 등을 전반적으로 고려할 때 평가대상기술의 경제적 수명은 과거 기술에 비해 월등히 향상되었다. 또한, 평가대상기술이 특정 구성에 따른 조합으로 개선된 효과를 구현하는 점을 고려할 때 예측 방법을 추가적으로 단순화하기에는 어려움이 있어 평가대상기술의 진부화 가능성은 비교적 높이 평가될 수 있으나, 평가대상기술에 대한 사업화 진행 시, 독점적으로 실시할 수 있는 평가대상특허의 법적 잔존기간, 기술적용 제품의 수명이 그리 길지 않은 편이라는 점을 고려할 때 평가대상기술의 진부화 가능성은 보통 수준으로 평가된다.

평가대상기술 특성상 적용범위가 넓어, 평가대상기술의 활용성 및 타제품에 대하여 미치는 영향 정도 역시 높은 것으로 판단된다.

이러한 근거를 종합할 때, 평가대상기술에 대한 기술의 유용성 및 경쟁성은 전반적으로 보통 이상의 수준을 갖는 것으로 판단된다.

② 권리성 분석

평가대상특허의 권리 안정성 부분에서 있어서, 본 보고서의 조사 범위 내에서는 평가대상특허와 동일한 구성요소를 갖는 선행기술이 발견되지 않았고, 상기 선행기술을 조합한다고 하더라도 통상의 기술자가 용이하게 발명할 수 없어 신규성 및 진보성이 유효한 것으로 판단된다. 더불어, 평가대상특허의 발명의 설명 및 청구항이 적합하게 기재되어 추가적인 무효사유는 존재하지 않아 적절한 것으로 판단되는 바, 평가대상특허의 권리의 안정성은 높은 것으로 판단된다.

평가대상특허의 권리의 광협과 관련, 특정 구성요소를 채용함으로써 '건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템'에 관하여 구성되어 있고 각 구성요소의 배치는 발명의 실시를 위한 필수요소로 판단되는바 적절한 것으로 보인다. 따라서 전체적인 구성이 잘 기재되어 있다고 볼 수 있다. 구성요소의 조합은 발명의 실시를 위한 필수요소로 판단되는바 적절한 것으로 보이며, 본 평가대상특허의 권리범위는 비교적 넓게 작성되었다고 볼 수 있다.

따라서 평가대상기술의 권리범위, 권리범위의 광협, 선행기술조사, 침해가능성, 권리의 충실성 등 권리성 분석을 종합적으로 진행한 결과, 평가대상기술은 기술사업화를 추진하기에 적절한 것으로 판단되며, 평가대상특허의 전반적인 권리성 및 권리강도 역시 높게 평가된다.

③ 시장성 분석

평가대상기술에 해당하는 '건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템'의 목표시장은 건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템 시장이며, 1차 타겟시장은 시스템 소프트웨어 개발 및 공급업(J58222), 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업(C26 시장이 해당되며, 전방시장인 산업 생산시설 종합 건설업과 건설시스템 산업에 영향을 받는 시장으로 볼 수 있다.

국내외에서 4차 산업혁명과 스마트 건설 기조에 부응하여 산업발전 및 경기부양을 목적으로 한 인프라 투자가 집중되고 있고 이로 인한 평가대상기술인 건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템 시장의 성장이 지속될 것으로 전망된다. 따라서 시장 성장성은 높이 평가된다.

이에, 평가대상기술은 최근 성장세를 갖는 목표 시장 내에서 기술·서비스 경쟁력을 토대로 사업화를 실시하는 것이 용이하여 높은 시장경쟁력을 가질 것으로 판단된다. 또한, 해당 시장은 경쟁기업 및 경쟁제품이 소수 있으나 선도업체가 없는 상황이기 때문에 시장진입장벽은 높지 않을 것으로 판단되어 보통 수준으로 평가된다.

더불어, 해당 시장은 기술개발에 따라 빠르게 변화하는 시장이나, 다수의 유사기업이 존재하는 형태로 경쟁이 존재하나, 기술차별성이 낮아 중간 정도의 시장집중도를 갖는 것으로 판단되는 바, 시장경쟁의 변화 역시 보통 수준으로 평가된다.

한편, 융·복합 시대에 맞춰 정보력을 기반으로 사용자의 편의성을 갖춘 기술의 니즈가 끊임없이 요구되고 있음에 따라, 사회적·경제적 수요는 지속적 증가할 것으로 예상된다. 나아가, 관련 산업의 경우, 최근 4차 산업혁명과 스마트 건설 기조로 인해 정부 지원이 대폭 강화되고 있음에 따라, 평가대상기술에 대한 법/제도적 지원 수준은 매우 높은 것으로 판단된다.

④ 사업성 분석

본 기술가치평가의 목적은 한국건설기술연구원 등[8]의 컨소시엄(consortium)에서 보유하고 있는 특허[9]에 대한 기술가치평가를 실시하여 향후 기술이전을 위한 기초 자료로 활용하는데 있다.

단, 현재까지 평가대상기술에 대한 이전을 받을 사업화 주체가 정해지지 않은 상황이므로 본 평가의 진행은 가상의 주체를 설정하여 국내에서 성공적으로 사업화가 진행되었을 경우를 전제로 하여 진행하였다.

평가대상기술에 관하여 사업화역량이 우수한 기존 업체를 사업화주체로 가정하고 평가를 수행하였으며, 고려한 사업화주체는 삼성전자(주), ㈜엔씨소프트, ㈜마이다스아이티이다. 이 중에서 ㈜마이다스아이티가 적절한 사업화주체라고 판단하였다. 그 이유는 ㈜마이다스아이티의 업종이 응용 소프트웨어 개발 및 공급업이며, 사업내용은 구조설계시스템 소프트웨어 개발,판매 / 건축구조분야설계 엔지니어링으로서 평가대상기술분야와의 사업관련성이 가장 높고 실제 사업화 가능성도 다른 기업에 비하여 높다고 보았기 때문이다.

수익성 및 안정성 측면에서도 전제로 한 가상의 주체의 역량, 평가대상기술에 대한 시장 확대, 정부 정책의 긍정적 변화 등을 고려할 때 연관 업종 평균과 유사한 수준의 수익성, 안정성 확보가 가능할 것으로 평가된다.

8) 평가대상기술은 국가 R&D 결과물(【과제고유번호】 19IFIP-B091004-06, 【부처명】 국토교통부)로써 한국건설기술연구원을 주관기관으로 하고, 중앙대학교 산학협력단, 현대건설(주), ㈜두올테크, ㈜제타시스템 등이 공동연구기관으로 참여하고 있다.

⑤ 기술가치 산정

평가대상기술의 가치는 기술의 경제적 수명기간 동안 적정 로열티율 5.89%, 할인율 9.97%를 적용하여 산출한 결과, 기술가치는 943백만원으로 산출되었다.

<표 2-59> 기술가치 평가

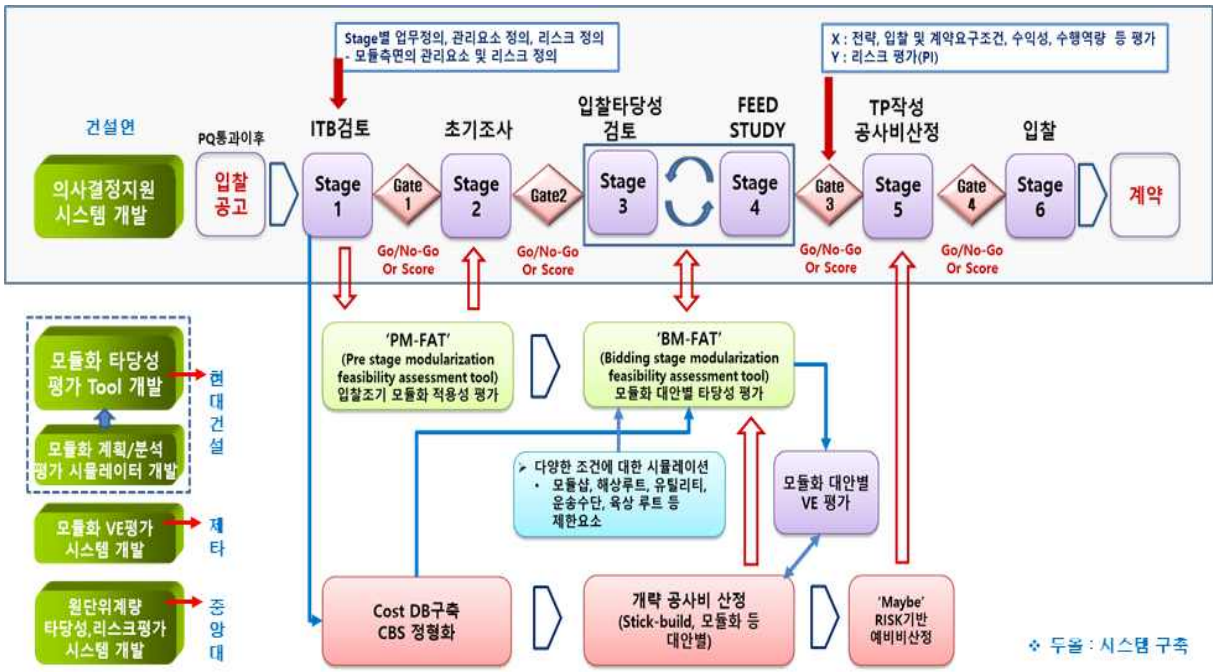
(단위 : 백만원)

구분	1~2차년	3차년	4차년	5차년	6차년	7차년
매출액	-	831	2,747	9,078	11,017	9,709
적용 로열티율	-	5.89%	5.89%	5.89%	5.89%	5.89%
로열티 수입	-	49	162	534	649	572
법인세	-	5	18	96	121	104
세후 로열티 수입	-	44	144	438	528	468
할인율	-	9.97%	9.97%	9.97%	9.97%	9.97%
현가계수	-	0.7519	0.6837	0.6217	0.5654	0.5141
현재가치 (PV)	-	33	98	272	299	241
기술가치	943					

※ 참고
- 평가기준일 : 2019. 12.31.
- 현금흐름추정기간 : 1차년(2019.12.31.~2020.12.30.)~7차년(2025.12.31.~2026.12.30.)
- 매출액 : 기술성/권리성/시장성 분석 결과를 토대로, 시업화 주체의 추정 시장점유율 및 시장규모를 반영한 추정 매출액
- 로열티율 : 기술성/권리성/시장성 분석결과, 유사기술 거래사례, 업종별 평균 로열티율, 평가대상특허의 이용률 등을 종합 고려한 것으로서, “기준율×이용률×증감률×개척률”로 산출
- 법인세 : 로열티수입을 과세표준으로 보고 과세표준 구간별 세율을 곱하여 계산한 세액
- 세후이익 = 로열티수입 - 법인세
- 자본화율(할인율) : 미래의 현금흐름을 현재가치로 환원하기 위해 사용하는 비율을 의미하며, 평가대상 기술의 사업화에 따른 사업위험을 정량화한 것
- 현가계수 : 미래현금흐름을 현재가치로 환원하기 위한 것으로서 자본화율(할인율)을 활용하여 산출
- 현재가치 = 세후로열티수입×현가계수
- 특허가치 : 현재가치의 합

다. 상용화전략 수립

(1) 개요



현재의 본 기술은 위의 각 단계를 분류하여 플랫폼을 구축하고 각각의 체크리스트를 연동하여 프로그램으로 구현하고 있다.

본 기술이 보다 정확하고 범용적으로 사용되기 위해서는 위 단계를 유지하면서 각각의 단계에서 착오가 발생할 수 있는 인간의 수작업을 통한 정리 및 입력 부분을 감소시키는 것이 반드시 필요하다.

따라서 착오가 발생할 수 있는 인간의 수작업을 통한 정리 및 입력 부분을 감소시키고, 이 부분을 인공지능(AI, artificial intelligence)으로 대체함으로써 로우데이터의 선별부터 입력, 가공 그리고 데이터의 분석에 이르는 전 단계에서 오차를 감소시키는 것이 필요하며, 빅데이터(big data)를 이용하여 플랜트 등 각각의 시공현장에 맞는 데이터를 수집하고 선별 적용하는 것이 바람직하다.

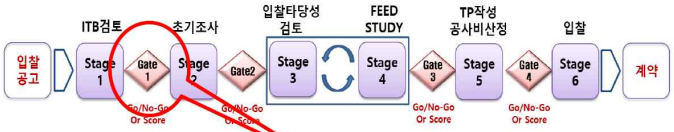
(2) 상용화를 위한 보완 전략

① 인공지능(AI, artificial intelligence)의 도입

현재 한국건설기술연구원 등의 컨소시엄(consortium)의 “건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템”은 AI가 도입될 단계를 많이 포함하고 있다.



- Stage-Gate별 의사결정 항목과 리스크 항목 결합
- 도출된 리스크 항목에 대한 중요도 평가 : 대형건설(ENG포함) 5개사 총 30명의 전문가 대상 설문조사 실시(도출된 리스크 항목의 적정성 평가)



구분	사업관리 목표	사업관리 의사결정 항목	EPC 입찰 프로세스 스테이지 게이트에서 의사결정 항목					비고
			입찰 공고	ITB 검토	Gate 1			
					연관성	순번	리스크 항목	모듈화 특화여부
1.전략	EPC회사의 전략적 목표 완수	·사업실적의 확보 필요성(향후 입찰 자격요건 확보) ·비즈니스 영역의 다원화 ·시장의 트렌드 및 브랜드 지위 확보 ·고객과의 관계 확보 ·사업의 핵심역량 부합 여부(강화 기여 정도) ·투자의 필요성 및 확보 여부(재무적 능력)			● ● ● ●			
2.입찰 및 계약요구 조건	EPC회사의 입찰 타당성 및 발주자와 EPC회사의 계약 이행	·입찰 요구조건의 부합정도 ·제안서 작성 및 납기 일정의 현실성 ·계약범위의 적정성 ·발주자 요구사항 부합성 ·라이선스 확보 여부 ·지불조건 및 지체상금(손해배상)의 적정성 ·사업중단 가능성 ·관련 경험 보유 여부 및 정도			● ●	1 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17	·외국업체의 진입제한 관련 법규가 존재하는가? ·정부정책 및 관련법 변경으로 인한 피해가 우려되는가? ·관련 이익단체 등과의 갈등 및 외압, nimby가 존재하는가? ·전쟁/내란발생으로 인하여 사회적 혼란을 야기하는가? ·정권교체/정국불안으로 프로젝트 수행에 악영향을 미치는가? ·과실송금에 대한 제도적 규제가 존재하는가? ·현지은행 및 관련기관이 과실송금에 대하여 비협조적인가? ·발주자의 지속적인 기성지불 능력이 부족한가? ·발주자의 파산 및 재정적 능력 상실이 우려되는가? ·프로젝트 전반에 대한 발주자의 이해가 부족한가? ·발주자가 프로젝트 진행에 있어서 비협조적 또는 지나친 간섭을 하는가? ·발주자의 부정행위가 존재하는가? ·진출국의 사전정보(건설환경, 제도, 관행 등)이 충분한가? ·발주자에 대한 정보가 충분한가? ·경쟁업체 및 현지업체에 대한 정보가 충분한가?	공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통 공통
3.수익성	변동요인 및 위험 최소화	·공기(최적 공기, 공기단축, 공기지연 대응활동 등) ·공사비 적정성(최적 공사비, 공사비 절감, 공사비 확보여부 등) ·수익성(기대 수익률, 할인율, 투자회수기간 등)				2 3	·외국업체에게 불공정한 세금을 부과하는가? ·건설행정처리 절차가 까다로우며 과도한 통관 및 관세를 적용하는가?	공통 공통
4.수행역량	역량 및 품질 확보	·아웃소싱 타당성 ·현지 협력업체 및 기술자 확보 가능성 ·지역내 필요한 자재와 설비의 가용성 ·지속적인 EPC역량 강화 가능성 ·핵심인력의 확보 여부 ·업무 부하 정도 ·핵심공정 및 적용기술의 타당성 ·품질기준과의 부합성						

위 그림은 “건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템”의 전체 프로세스를 도시한 것이다. 위 프로세스에서 모든 Stage 및 Gate에 데이터의 선별부터 입력, 가공 그리고 데이터의 분석 등의 일련의 과정에 AI를 도입함으로써 사람의 관여로 인한 오류를 감소시키는 것이 바람직하다.

또한, 위 그림은 본 기술의 Gate 1에서 수행되는 프로세스를 예로 든 것으로 의사결정 항목과 리스크 항목의 선별 및 연관성 결정 등에 있어서 AI를 도입함으로써 사용자에게 최적의 대안 1을 먼저 제시하고, 별도의 선택 사항을 고려한 대안 2, 대안 3 등을 차례로 제시할 수 있는 방향으로 기술이 업그레이드되는 것이 바람직하다.

② 빅데이터(Big Data)의 이용 ③ 데이터 마이닝(Data Mining)

아래 그림은 본 기술에서 PM-FAT에 적용되는 카테고리와 적용요소를 예로 든 것으로, 본 기술에서 카테고리 및 적용요소 항목의 선정 및 적용 과정에서 빅데이터(big data)를 이용하면 보다 정확한 항목 및 가중치 선정 등이 가능해 질 수 있다.

Category	Factor
일정 (0.15)	공기단축(0.12)
	Revamping공사 시 shut down기간의 단축(0.16)
	착공지연(0.10)
	프로젝트 인허가(0.05)
	운송에 대한 시기적 제한(0.15)
	장기발주품목(LLI)(0.14)
	LD Risk(0.18)
	조기완공의 보상(0.10)
비용 (0.05)	원가 control(0.30)
	현금흐름(0.10)
	특정지역의 경제적 요인(0.60)

③ 데이터 마이닝(Data Mining)

빅데이터 분석 기법은 다양하게 존재하지만 현재는 기계학습에 많은 포커스가 되있다. 어느 산업에 접목을 시켜도 활용되는 범용적인 기술이라는 뜻이다. 그만큼 거의 모든 곳에서 빅데이터를 활용하고 있고 후술하는 딥러닝과 같은 기계학습을 통해 방대한 양의 데이터를 분석하려고 노력하고 있다.

④ 딥러닝(Deep Learning)

아래 그림은 본 기술에서 리스크 항목과 적용 스테이지 등을 예로 들어 정리한 것으로, 본 기술에서 리스크 항목 및 적용 스테이지의 선정 및 적용 과정에서 딥러닝(Deep Learning) 기술을 이용하면 보다 정확한 항목 선정 등이 가능해 질 수 있다.

No	리스크 항목	스테이지	모듈화 연관성
1	•외국업체의 진입제한 관련 법규가 존재하는가?	ITB 검토	공통
2	•외국업체에게 불공정한 세금을 부과하는가?	ITB 검토	공통
3	•건설행정처리 절차가 까다로우며 과도한 통관 및 관세를 적용하는가?	ITB 검토	공통

23	•발주자의 모듈화 시공에 대한 이해도(장점, 위험도)는 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
24	•발주자의 모듈화 시공에 대한 사전검토는 충분히 이루어졌는가?	입찰타당성검토	모듈화
25	•발주자의 모듈화 시공에 대한 계약, 자금조달 역량은 충분한가?	입찰타당성검토	모듈화
26	•모듈 운송조건에 관한 조사는 충분히 이루어졌는가?	입찰타당성검토	모듈화

⑤ BIM(Building Information Modeling)의 연동

입찰과정에서 시공사인 건설사는 발주자로부터 설계도면을 제공받아 예정 공사비를 산정하여 발주자에게 견적서를 제시하며 입찰에 참여하게 된다.

이 과정에서 건설사는 종래에는 각사의 경험에 근거하여 대략적인 공사비를 산정하여 입찰하였고, 과소 책정될 경우 손해를 감수해야만 했다.

그러나 건설사의 정확한 물량산출을 위하여, 발주자가 제공하는 2D 정보가 담긴 설계도서를 3D로 변환하고 각 부재에 자재, 원가, 공기 등을 연동시켜 입찰을 원하는 건설사의 BIM(Building Information Modeling)을 구축하는 작업이 필요하다.

따라서 BIM(Building Information Modeling) 구축에 초기 소요시간이 다소 증가되더라도 자재, 단가, 공기 등의 요소가 변동할 경우 실시간으로 입찰 타당성 결과를 도출할 수 있도록, 본 기술에 BIM(Building Information Modeling)이 연동되는 것이 바람직하다.

⑥ 암호화 기술의 결합

현재 본 기술인 “건설공사 입찰단계의 의사결정 시스템”은 프로그램의 사이즈 및 볼륨을 감소시키고 속도를 향상시키기 위하여 프로그램 및 서비스 공급자의 서버 상에서 온라인으로 프로세스가 진행된다.

따라서 수요자의 개인 정보, 입력 정보 및 조회 정보 등이 해킹 등의 수단으로 유출될 우려가 존재한다.

그러므로 온라인 상에서 주고 받는 정보의 암호화가 필요하며, 기존 이력 데이터는 정당한 수요자만 조회하고 열람할 수 있는 보안 시스템이 접목되어야 한다.

⑦ 수요처의 확대

본 기술은 업종이 응용 소프트웨어 개발 및 공급업이며, 사업내용은 구조설계시스템 소프트웨어 개발, 판매/건축구조분야설계 엔지니어링으로서 평가대상기술분야와의 사업 관련성이 높은 ‘마이다스 아이티’[10]와 같은 프로그램 및 IT 솔루션 제공업체가 제조하여 서비스를 건설사에 제공하므로, 주된 수요처는 공사 입찰을 원하는 건설사가 된다.

본 기술은 입찰단계에서 적정 공사비를 산정하여 입찰에 응하는 것을 목적으로 하므로, 1차적으

10) (주)마이다스아이티는 2000년에 설립되어 현재 종업원수 384인으로 구성된 중기업이며, 업종은 응용 소프트웨어 개발 및 공급업이며, 사업내용은 구조설계시스템 소프트웨어 개발,판매/건축구조분야설계 엔지니어링이다.

로 건설사가 주된 수요처가 될 것이다.

그러나 발주자의 입장에서도 사전에 적정 공사비를 산정하여 공사비를 예측 산정하는 것이 필요하므로, 2차적으로 발주자로 수요처를 확대할 필요가 있다.

또한, 시공사인 건설사 이외에도 설계사무소, 구조사무소, 설비업체 등 관련 제반 업무를 담당하는 업체들도 최종적으로 건설사에 견적서 등을 제공하게 되므로, 이들 업체들도 본 기술의 전체 단계에서 일부 프로세스라도 다시 가공할 필요가 없는 본 기술에 적합한 포맷으로 DB를 건설사에 제공할 수 있도록 3차적인 수요처로 확대 가능하다.

⑧ 제품의 패키지화

상술한 바와 같이, 본 기술의 제조 및 판매처는 업종이 응용 소프트웨어 개발 및 공급업이며, 사업내용은 구조설계시스템 소프트웨어 개발, 판매/건축구조분야설계 엔지니어링으로서 평가대상기술분야와의 사업 관련성이 높은 '마이다스 아이티'와 같은 프로그램 및 IT 솔루션 제공업체가 적합하다.

따라서 '마이다스 아이티'의 기존 소프트 웨어 제품에 본 기술의 제품을 저렴한 비용으로 패키지로 탑재하여 수요처를 확대할 수 있는 방안을 모색할 수 있다.

⑨ GUI(Graphical User Interface)의 개선

아래는 본 기술의 GUI 디자인을 도시한 것이다.

본 기술은 프로토 타입을 완성하여 언제라도 상용화를 할 수 있는 제품이다. 다만, GUI 디자인에 있어서 수차례 개선되어 온 프로토 타입이므로 사용자의 직관적인 조작이 가능하도록 차후에도 여전히 개선될 여지가 남아 있다.



로그인



메인



프로젝트 관리



VE구성원

(3) 상용화 목표

① 4차 산업혁명의 대두

아날로그 중심에서 디지털 기반 경제 중심으로 산업구조가 변경되면서 산업은 더욱 스마트화하고 서비스업의 발달이 가속화되며 제조업과 서비스업의 융합에 따른 제조업의 서비스화가 빠르게

진행되고 있다. 건설산업도 디지털 경제로의 전환에 따라 친환경화의 진행도 가속화되고 있다. 산업의 디지털화에 따라 사람과 사물이 서로 연결되는 플랫폼의 구축이 산업경쟁력의 가장 중요한 핵심요소로 떠오르고 있으며, 건설산업도 예외는 아니다.

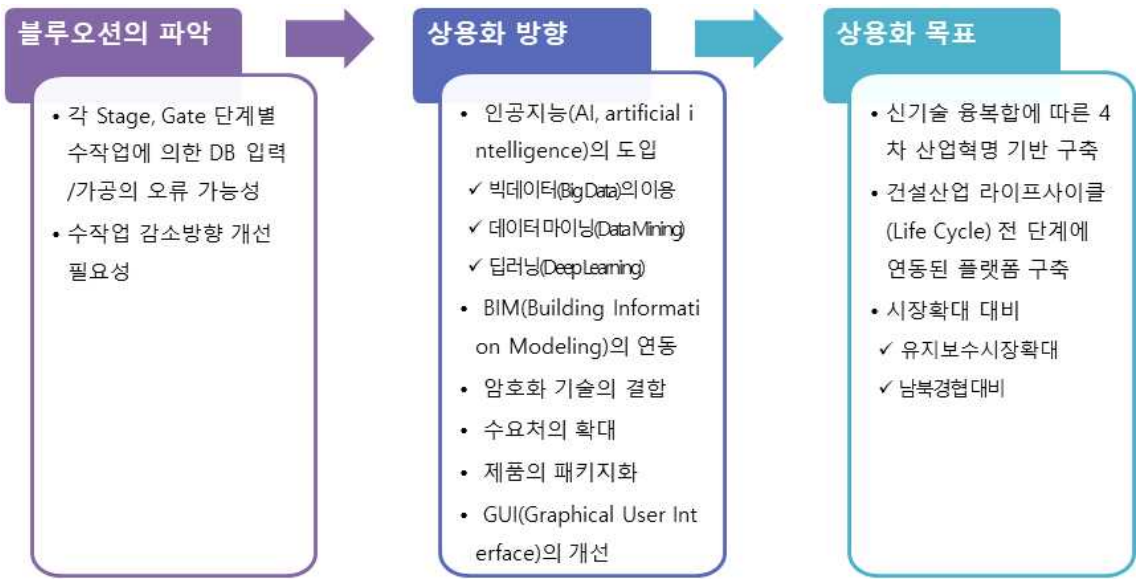
② 건설산업의 현주소

경제성 측면에서 바라보면 지난 50년간 건설산업은 다른 산업들과 비교해 지속해서 생산성이 저하되고 있으므로, 지능정보통신(ICBM+AI)과 신기술을 결합한 건설의 기획-설계-시공-운영-폐기 등 생애주기전반에 걸친 연계가 이뤄지는 통합프로세스 적용을 통한 건축프로세스의 변화를 가져올 수 있는 신기술을 활용한 모듈러 건축, 3D프린팅 건축, ICT 등 시스템의 구축이 필요하다.

③ 건설산업의 생애주기별 4차 산업혁명 신기술의 도입

건설산업의 생애주기(Life Cycle)는 (1)기획, 설계 (2)구매조달 (3)시공, 감리 (4)유지보수 등의 4단계로 단순화할 수 있다.

④ 본 기술의 상용화 목표



본 기술은 상술한 건설산업의 생애주기(Life Cycle) 중 주로 (1) 기획설계단계 및 (2) 구매조달 단계에 걸쳐서 적용되며, 수주를 원하는 건설사의 입찰 경쟁력을 정확히 판단하는 것이 목적이다.

• 건설산업의 4차 산업혁명 신기술과의 융복합화

본 기술이 4차 산업혁명시대에 살아남기 위해서는 신기술인 인공지능 등 신기술과 융복합해 속도 및 정확성을 획기적으로 향상시켜야 한다.

• 건설산업의 전 라이프사이클을 연결하는 Platform 구축

본 기술이 비록 입찰단계의 의사결정 단계에 국한 된 것으로 보이나, 향후 건설산업의 생애주기(Life Cycle)인 기획, 타당성설계, 구매조달, 시공, 감리, 유지보수 등을 모든 단계와 연계되는 건설산업 종합플랫폼을 구축해야 한다. 따라서 미리 구축한 DB의 연동과 피드백을 통해 각 단계별로 최적화하고 이를 연결해 건설산업 전 공정을 최적화하고 관리해야 한다.

• 유지보수시장 확대에 대비

신도시 개발·광역교통망 확충 등 대규모 신규프로젝트가 축소되는 대신 노후시설의 재건축 비중이 신축 건설시장에서 확대되므로 신축시장은 축소되고 공공부문도 유지보수 수요급증으로 신축시장의 상당 폭 축소되므로 이에 대비해야 한다.

• 타 산업 파급효과 및 외산 솔루션 대체효과

플랜트는 전산업이 투입되는 종합산업으로 산업에 미치는 파급효과가 상당한데 입찰단계에서의 의사결정지원시스템 과 VE시스템을 적용할 경우 국산자재 들의 사용에 대한 검토가 적극적으로 이루어져 국내산업에 파급효과가 상당할 것으로 예상된다. 가치공학(VE)은 제조, 시스템, 서비스 및 건설 구조물을 위한 소정의 성능, 신뢰성 및 안전성을 만족하거나 품질을 보다 향상시켜 가면서 최소의 생애주기비용(Life Cycle Cost: LCC)으로 필요한 기능을 확보하기 위해서 발주기관 또는 해당업체를 통해 전문가와 관련종사자에 의해 행해지는 조직적인 개선 활동을 이룰 것이며, 품질의 개선을 도모하기 위한 유효한 수단으로서, 보다 적은 비용으로 같은 기능을 얻거나, 같은 비용으로 기능을 개선 및 증가시키거나, 또는 불필요한 기능과 비용을 없애고 운영비용이나 수익을 최적화하기 위한 대체안에 대한 효과를 이룰수 있다. 웹기반의 환경을 이용하여 각 타산업이나 유관기관의 의사결정 데이터 수집에 적극적인 메리트와 공유를 가질수 있는 방법을 찾으며, 이를 통하여 새롭게 가공된 데이터 제공을 통하여 의미있는 솔루션으로 개발을 진행해 나가도록 한다. 이는 국내 사업의 특성 및 또한 이를 통한 R&D 사업의 기초자료로서 공유가 사용이 가능토록 제시한다면 외산 솔루션에 대한 대체효과를 볼 수 있다구 판단된다. 본 과제의 성과물은 플랜트 분야 입찰단계에서의 의사결정 지원시스템과 VE시스템으로 증가 추세에 있는 모듈화 프로젝트에 있어서 모듈 적용 여부 및 비율을 결정할 수 있는 장점을 갖고 있는 유일한 프로그램이다. 연구 개발 단계에서는 플랜트 분야를 대상으로 업무 프로세스와 DB 구축 등을 이루어져 있다. 최근 토목, 건축 분야에서도 역시 모듈화는 적용이 확대되고 있는 추세이고 이를 위해 별도의 프로그램이 개발하기 보다는 4D, 5D로 영역이 확대되고 있는 BIM관련 프로그램이 활용되고 있는 실정이다. 개발된 프로그램의 업무 프로세스와 DB를 토목 및 건축에 접합하도록 수정한다면 본 과제의 성과물을 토목, 건축 분야의 모듈화 타당성 평가에 적용 가능할 것으로 판단된다. 본 과제를 통해 개발된 프로그램이 현실적으로 해외 주요 발주처들이 선호하고 있는 외국 글로벌 솔루션 제공 업체(Hexagon, AVEVA, Bentley 등)의 프로그램을 대체하기는 어렵다. 다만 아직까지 해외 솔루션 제공 업체는 본 프로그램의 가능을 수행하는 모듈을 탑재하고 있지 않기 때문에 개발 프로그램을 기존 솔루션

에 연계하여 활용하는 방안을 강구하면 외산 프로그램의 대체가 아니라 기존 솔루션 시장에 합류하여 본 프로그램의 적용성을 증대시킬 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 2020년 이후 건축물 및 사회기반시설의 유지보수 수요가 급증할 것으로 예상되므로 이에 대한 대책을 수립해야 한다. 유지보수수요는 재건축(Rebuild), 개축(Renewal), 보수(Repair), 보강(Reinforcement) 등으로 세부시장이 형성되고 있어 이에 대한 준비가 필요하다. 따라서 본 기술을 적용하여 수주를 원하는 건설사의 예비 타당성과 소요비용 등을 미리 산정할 수 있도록 기술을 업그레이드하는 것이 필요하다. 지금은 건축물 대상으로 임대관리 및 유지관리, 자산관리 시장까지 영역을 넓히는 가치사슬 확장에 관심을 가져야 할 것이며 사회기반시설 대상으로 해당시설의 운영, 유지보수를 포함한 사업범위를 넓히는 방안을 심도 있게 고려해야 할 시점이다. 특히 남북경제협력 추진 시 북한 건설시장을 선점하기 위하여 본 기술의 개선 및 효율적인 관리운영이 필요하다.

03

목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1 종합성과

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
모듈러 플랜트 비용추정 Prototype Program	• 플랜트 관련 견적 내역서 및 비용자료 등을 조사함. • Plant 단위의 비용과 Module 단위의 비용을 구분하여 비용분류체계의 연관성을 분석함 • 모듈러 플랜트 건설사업에 따른 단계별 시나리오를 분석하여 이와 연관된 비용분류체계를 분석함	• 플랜트 관련 견적 내역서 및 비용자료 등을 조사하여 비용분류체계(Cost Breakdown) 모델을 구성함. • 비용분류체계는 비용분류 모델과 모듈 단위 비용분류로 구분하여 구성함. • 비용추정 모델을 기반으로 Prototype Program을 구성함.
위험비용분석 Prototype Program	• 해외 플랜트 건설사업의 특성과 모듈러 공법의 특성을 고려하여 위험요인을 도출함	• 해외 플랜트 건설사업의 특성과 모듈러 공법의 특성을 고려하여 위험요인을 조사 및 목록 생성 • 위험요인의 영향을 고려하여 위험비용과 위험예비비를 분석 및 추정함. • 위험분석 모델을 기반으로 Prototype Program을 구성함.
플랜트 모듈화 기획 방법론 개발	• 플랜트 건설사업 사례를 기반으로 Sitck-Built, Modular 건설 프로세스 분석 • 플랜트 모듈화 기획 방법론 개발 (모듈화 방향, 로지스틱스 검토, 모듈 정의 등)	• 국내 건설사 업무 프로세스를 분석하여 모듈화 반영 업무 정의, 매뉴얼 등을 개선함 • 현대건설 아부다비 SARB, 베네수엘라 RPLC 현장 등 살계 분석하여 모듈화 추진 여부결정, 모듈 정의등 방법론을 정립하고, 현업 전문가 평가 등을 통하여 유효성을 검증함
모듈화 영향인자별 대안기술 분석	• 모듈화 평가 툴 개발단계 전문가 참여 • 모듈 적용현장 실무자 대상 설문조사 실시 • 실제 프로젝트 데이터 대입 DB화	• 개발단계 전문가 참여 – 개발단계 전문가 참여로 평가 대체 – 현장 실증을 통해 적합도 평가 • 모듈현장 실무데이터 반영 – 1차설문 : 대안 항목 평가/결정 – 2차설문 : 대안 항목 가중치 결정 • 프로젝트 데이터 대입

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
		– 대안 항목별 모듈화 수행사례 및 ITB 매칭
플랜트 모듈화 정량화 특성 평가	• 플랜트 모듈화 현장 조사를 통한 정량화 평가 요소 도출 및 검증 • 모듈제작, 운송 등 정량화 평가 요소에 기반한 최적화 기법 제시	• 중국 Wison Offshore & Marine LTD 등 다수의 모듈제작사, 운송사 검토를 통하여 정량 비교 검토가 요소 도출 • 캐나다, 베네수엘라 등 육로운송(도로, 철도)성 분석을 통하여 최적 모듈 크기, 중량 등 설계 요소를 도출 • 모듈 운송 시뮬레이션을 위한 평가 엔진 및 시뮬레이터를 개발하여 최적 모듈 크기, 중량 등 설계 요소를 도출에 기여
원단위 평가, 타당성 평가 솔루션 구현	• 원단위 평가 솔루션 웹프로그램 구현 – Excel 데이터의 온라인 Import – Import 데이터의 분석 및 자동 계산 – Web 조회 및 분석 자료의 Excel 다운로드	• 원단위 평가 솔루션 구축 – 웹에서 직접 입력 보다는 표준 템플릿을 제공하고, 입력 후 파일을 Import 하는 방식으로 구현 – 웹 프로그램에서 저장된 데이터 분석 하여 평가 결과를 사용자에게 제공
모듈화 VE 시스템 모듈 분석	• 대안기술 구축 • 모듈 영향인자별 VE 분석	• 모듈화 모델의 VE적용 방법개발 – Stage gate 모델을 통한 적용 • 모듈의 영향인자별 VE효과성검증 – VE(대안기술)의 입찰단계 적용가능성 검토
플랜트 모듈화 의사결정 시스템 구현 (두올테크, 제타시스템)	• 의사결정 시스템의 웹 프로그램 구축 – 표준 Gate, 카테고리, 의사결정항목의 제시하고 각 프로젝트에서는 커스터마이징이 가능하도록 시스템 설계 – 원단위 평가 및 타당성 평가 솔루션과 통합이 가능한 솔루션의 구축	• 의사결정 시스템의 웹 프로그램 구축 – Gate, 카테고리, 의사결정항목의 표준정보를 관리할 수 있도록 구성하고, 각 프로젝트에서는 표준정보를 기반으로 구성 및 확장할 수 있도록 구축 – 기존 구축된 원단위 평가 모듈에 의사결정 지원 시스템을 통합되도록 설계 및 개발
	• VE 의사결정을 통한 객관적 모듈화 기획	• 합리적 의사결정 과정을 얻기위해서 AHP (Analytic Hierarchy Process)이용 • 다양한 의사결정 요소를 객관적 판단을 유도하기위한 서브기능 구현(모듈 운송법) • 모듈화 사이즈 웨이팅 최적화 방법 알

연구범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
		고리즘 구현

3.2 연차별 목표 달성도

가. 2차년도

구분	핵심성과(level1)		단위성과(level2)		2차년도 성과점검기준						해당기관	예산(백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
2세부	A	협업단위 모듈화 고유모델	A-1	모듈화 원가 모델	①	원가구조 적합도	50%	전문가 평가 조사	분석보고서		현대건설		특허: 출원 2건 (0,1,1,0) 등록 1건 (0,0,0,1) 논문: 2건 (0,1,1,0) 시제품: 0건 (0,0,0,0) S/W: 0건 (0,0,0,0)
					②	원가 DB 구축 비율							
			A-2	모듈화 분석체계, 수행절차	①	공정 DB 구축 비율	50%	업체/공정 누락 측정	참조 프로젝트 대입		현대건설		
					②	모듈화 분석 체계 적합도	50%	지침서 만족도 조사	만족도 조사 보고서				
					③	모듈화 수행절차 적합도							
			A-3	모듈화 프로세스 고유모델	①	모듈화 프로세스 적합도					현대건설		
	B	모듈화 기획 솔루션	B-1	모듈화 기획 방법론/logistics	①	모듈화 의사결정 요소 다변화	20종	의사결정 요소 적합성, 독립성	참조 프로젝트 대입		한국건설기술연구원		특허: 출원 2건 등록 0건 논문: 2건 시제품: 0건 S/W: 1건
					②	모듈화 의사결정 DB	50%	인자 누락 측정	참조 프로젝트 대입				
					③	모듈화 의사결정 로직 적합도	50%	의사결정 상호참조 측정	참조 프로젝트 대입				
				모듈화 VE 방법론	①	VE 수행절차 적합도					한국건설기술연구원		
					②	VE 원가 or 품질 개선							
				모듈화 기획 지원 솔루션 패키지	①	현업 적용성					제타시스템		
					②	모듈화 설계 효율 개선							
	C	모듈화 타당성	C-1	모듈화 원단위 계량 기법	①	원가구조 적합도	50%	전문가 평가 조사	분석보고서		중앙대학교		특허: 출원 3건 등록 건 논문: 4건
					②	원가 DB 구축							

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		2차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
						비율							시제품: 1건 S/W : 2건
					③	원단위 계량 로직 적합도	50%	원단위 계량 로직 적합성 평가	현업 실무진 or 외부 전문위원 기술검토				
		평가 솔루션		모듈화 타당성 평가 방법론	①	생애주기 원단위 비용 평가 모델 정확도	50%	원단위 비용 평가 측정	참조 프로젝트 대입		한국건설기술연구원		
					②	생애주기 원단위 리스크 평가 모델 정확도							
				타당성 평가 지원 솔루션 패키지	①	현업 적용성	50%	사용자 검증	참조 프로젝트 대입		두올테크		
					②	타당성 평가 효율 개선							
계										20			특허: 출원 9건 등록 건 논문: 10건 시제품: 2건 S/W : 6건

나. 3차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
2세부	A	협업단위 모듈화 고유모델	A-2	모듈화 프로세스	①	모듈화 프로세스 적합도	70%	모듈화 적용 가능 여부	기존 프로젝트 대입	5	현대건설		특허: 출원 0건 등록 건 논문: 1건 시제품: 건 S/W: 건
			A-3	모듈화 프로세스 고유모델	①	모듈화 프로세스 적합도	20%	모듈화 적용 가능 여부	참조 프로젝트 대입	20	현대건설		
	B	모듈화 기획 솔루션	B-1	모듈화 기획 방법론/logistics	①	모듈화 의사결정 요소 다변화	50종	의사결정 요소 적합성, 독립성	참조 프로젝트 대입		한국건설기술연구원		특허: 출원 0건 등록 건 논문: 0건 시제품: 0건 S/W: 1건
					②	모듈화 의사결정 DB	80%	인자 누락 측정	참조 프로젝트 대입				
					③	모듈화 의사결정 로직 적합도	90%	의사결정 상호참조 측정	참조 프로젝트				

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		3차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
									대입				
				모듈화 VE 방법론	①	VE 수행절차 적합도	50%	VE 절차 적합성, 독립성(상호 참조 배제)	참조 프로젝트 대입		한국건설기술연구원		
					②	VE 원가 or 품질 개선	1%	원가 or 품질 측정	참조 프로젝트 대입				
				모듈화 기획 지원 솔루션 패키지	①	현업 적용성	50%	사용자 검증	참조 프로젝트 대입		제타시스템		
					②	모듈화 VE 설계 기획	40%	모듈화 VE 기획 적합성 평가	기획보고서				
	C	모듈화 타당성 평가 솔루션	C-1	모듈화 원단위 계량 기법	①	원가구조 적합도	90%	전문가 평가 조사	분석보고서		중앙대학교		특허: 출원 3건 등록 건 논문: 4건 시제품: 1건 S/W : 2건
					②	원가 DB 구축 비율	50%	인자 누락 측정	참조 프로젝트 대입				
					③	원단위 계량 로직 적합도	50%	원단위 계량 로직 적합성 평가	현업 실무진 or 외부 전문위원 기술검토				
				모듈화 타당성 평가 방법론	①	생애주기 원단위 비용 평가 모델 정확도	50%	원단위 비용 평가 측정	참조 프로젝트 대입		한국건설기술연구원		
					②	생애주기 원단위 리스크 평가 모델 정확도							
				타당성 평가 지원 솔루션 패키지	①	현업 적용성	90%	사용자 검증	참조 프로젝트 대입		두올테크		
					②	타당성 평가 효율 개선							
계										20			특허: 출원 9건 등록 건 논문: 10건 시제품: 2건 S/W : 6건

다. 4차년도

구분	핵심성과(level1)		단위성과(level2)		4차년도 성과점검기준						해당기관	예산(백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
2세부	A	협업단위 모듈화 고유모델	A-2	모듈화 프로세스	①	모듈화 프로세스 적합도	90%	모듈화 적용 가능 여부	기존 프로젝트 대입	20	현대건설		특허: 출원 1건 등록 건 논문: 건 시제품: 건 S/W: 건
			A-3	모듈화 VE 대안기술	①	모듈화 대안 DB	80%	인자 누락 측정	기존 프로젝트 대입	40			
					②	대안기술의 적합도	80%	실무진/전문가 평가 조사	분석보고서	40			
	B	모듈화 기획 솔루션	B-1	모듈화 기획 방법론/logistics	①	모듈화 의사결정 요소 다변화	50종	의사결정 요소 적합성, 독립성	참조 프로젝트 대입		한국건설기술연구원		특허: 출원 0건 등록 건 논문: 0건 시제품: 0건 S/W: 1건
					②	모듈화 의사결정 DB	80%	인자 누락 측정	참조 프로젝트 대입				
					③	모듈화 의사결정 로직 적합도	90%	의사결정 상호참조 측정	참조 프로젝트 대입				
				모듈화 VE 방법론	①	VE 수행절차 적합도	90%	VE 절차 적합성, 독립성(상호참조 배제)	참조 프로젝트 대입		한국건설기술연구원		
					②	VE 원가 or 품질 개선	2%	원가 or 품질 측정	참조 프로젝트 대입				
				모듈화 기획 지원 솔루션 패키지	①	현업 적용성	90%	사용자 검증	참조 프로젝트 대입		제타시스템		
					②	모듈화 VE 솔루션 개발	90%	모듈화 VE 솔루션 적합성 평가	참조 프로젝트 대입				
	C	모듈화 타당성 평가 솔루션	C-1	모듈화 원단위 계량 기법	①	원가구조 적합도	90%	전문가 평가 조사	분석보고서		중앙대학교		특허: 출원 3건 등록 건 논문: 4건 시제품: 1건 S/W : 2건
					②	원가 DB 구축 비율	95%	인자 누락 측정	참조 프로젝트 대입				
					③	원단위 계량 로직 적합도	90%	원단위 계량 로직 적합성 평가	현업 실무진 or 외부 전문위원 기술검토				
				모듈화 타당성	①	생애주기 원단위 비용 평가 모델	90%	원단위 비용 평가 측정	참조 프로젝트		한국건설		

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		4차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
				평가 방법론		정확도			대입		기술연구원		
					②	생애주기 원단위 리스크 평가 모델 정확도	50%	원단위 리스크 평가 측정	참조 프로젝트 대입				
				타당성 평가 지원 솔루션 패키지	①	현업 적용성	90%	사용자 검증	참조 프로젝트 대입		두올테크		
					②	타당성 평가 효율 개선	3%	타당성 평가 단계, 원가 측정	참조 프로젝트 대입				
계										20			특허: 출원 9건 등록 건 논문: 10건 시제품: 2건 S/W : 6건

라. 5차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		5차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
2세부	A	협업단위 모듈화 고유모델	A-4	모듈화 고유모델	①	모듈화 기획 모델 적합도	70%	모듈화 적용 가능 여부	참조 프로젝트 대입	2	현대건설	50	특허: 출원 0건 등록 건 논문: 1건 시제품: 건 S/W: 건
	B	모듈화 기획 솔루션	B-1	모듈화 기획 방법론/logistics	①	모듈화 의사결정 요소 다변화	50종	의사결정 요소 적합성, 독립성	참조 프로젝트 대입	1	한국건설기술연구원	90	특허: 출원 0건 등록 건 논문: 1건 시제품: 0건 S/W: 1건
					②	모듈화 의사결정 DB	80%	인자 누락 측정	참조 프로젝트 대입	1			
					③	모듈화 의사결정 로직 적합도	90%	의사결정 상호참조 측정	참조 프로젝트 대입	1			
				모듈화 VE 방법론	①	VE 수행절차 적합도	90%	VE 절차 적합성, 독립성(상호참조 배제)	참조 프로젝트 대입	2	한국건설기술연구원	90	
				모듈화	①	모듈화	100	모듈화	프로그램	1	제타	90	

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		5차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
						질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치			
				기획 지원/의사결정(VE) 개발		기획/의사결정(VE) 개발		기획/의사결정(VE) 프로그램			시스템		
	C	모듈화 타당성 평가 솔루션	C-1	모듈화 원단위 계량 기법	①	원단위 계량 로직 적합도	90%	원단위 계량 로직 적합성 평가	시나리오별 원단위 로직 보고서	2	중앙대학교	50	특허: 출원 0건 등록 건 논문: 1건 시제품: 1건 S/W : 1건
					②	VE기반의 모듈대안별 리스크 평가 모델 계획	95%	모듈화 시나리오에 따른 VE 프로세스 정립	시나리오별 VE 리스크 평가 모델 알파 버전	2			
				모듈화 타당성 평가 방법론	①	생애주기 원단위 비용 평가 모델 정확도	75%	원단위 비용 평가 측정	참조 프로젝트 대입	1	한국건설기술연구원	100	
					②	생애주기 원단위 리스크 평가 모델 정확도	50%	원단위 리스크 평가 측정	참조 프로젝트 대입	2			
				모듈화 타당성 평가 솔루션 및 시스템 통합	①	현업 적용성	70%	사용자 검증	참조 프로젝트 대입	1	두올테크	98	
					②	타당성 평가 효율 개선	40%	타당성 평가 단계, 시스템 통합	참조 프로젝트 대입	1			
계										20		585	특허: 출원 건 등록 건 논문: 3건 시제품: 1건 S/W : 2건

마. 6차년도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		6차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
						질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치			
2세부	A	협업단위 모듈화 고유모델	A-4	모듈화 고유모델	②	통합시스템 실제프로젝트 대상 적합도	70%	통합시스템 현업적용 가능여부	실제 프로젝트 대입	2	현대건설	50	특허: 출원 0건 등록 건 논문: 1건 시제품: 건 S/W: 건
	B	모듈화 기획	B-1	모듈화 기획 방법론/lo	①	모듈화 의사결정 요소 다변화	50종	의사결정 요소 적합성, 독립성	참조 프로젝트 대입	1	한국건설기술	90	특허: 출원 0건 등록 건

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		6차년도 성과점검기준						해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
		솔루션		gistics	②	모듈화 의사결정 DB	80%	인자 누락 측정	참조 프로젝트 대입	1	연구원		논문: 1건 시제품: 0건 S/W: 1건
					③	모듈화 의사결정 로직 적합도	90%	의사결정 상호참조 측정	참조 프로젝트 대입	1			
				모듈화 VE 방법론	①	VE 수행절차 적합도	90%	VE 절차 적합성, 독립성(상호참조 배제)	참조 프로젝트 대입	2	한국건설기술연구원	90	
				모듈화 기획 지원/의사결정(VE) 개발	①	모듈화 기획/의사결정 (VE) 개발	100	모듈화 기획/의사결정 (VE) 프로그램	프로그램	1	제타시스템	90	
	C	모듈화 타당성 평가 솔루션	C-1	모듈화 원단위 계량 기법	①	VE기반의 모듈대안별 리스크 평가 모델 구출	90%	시나리오별 VE 리스크 평가 모델	참조 프로젝트 대입	2	중앙대학교	50	특허: 출원 0건 등록 건 논문: 1건 시제품: 1건 S/W : 1건
					②	Dummy Test, 알고리즘 수정/보완	95%	테스트 평가 보고서	참조 프로젝트 대입	2			
			C-2	모듈화 타당성 평가 방법론	①	생애주기 원단위 비용 평가 모델 정확도	75%	원단위 비용 평가 측정	참조 프로젝트 대입	1	한국건설기술연구원	100	
					②	생애주기 원단위 리스크 평가 모델 정확도	50%	원단위 리스크 평가 측정	참조 프로젝트 대입	2			
			C-3	타당성 평가 지원 솔루션 패키지	①	현업 적용성	90%	사용자검증	참조 프로젝트 대입	2	두올테크	115	
					②	타당성 평가, 의사결정지원, 원단위 평가의 솔루션 통합	80%	타당성평가, 의사결정지원 평가 측정, 원단위 및 모듈화 비용 측정	참조프로젝트 대입	3			
계										20		585	특허: 출원 건 등록 건 논문: 3건 시제품: 1건 S/W : 2건

3.3 관련분야 기여도

- 실현성 평가 시뮬레이터의 경우 플랜트 모듈화 기획 과정에서 제안된 모듈화 방향에 대한 실현성 검토 뿐만 아니라, 모듈샵, 취급 유틸리티, 운송루트 등 전제조건에 기초한 모듈화 건설 기획(모듈 크기 등 정의)을 위한 최적화 도구로 활용도 가능함
- 다양한 플랜트 모듈화 대안의 실현 가능성 검토를 위한 정량적 평가 기법에 대하여 정리하였다. 이러한 실현 가능성 검토는 플랜트 모듈샵 능력 평가 요소, 플랜트 모듈 인양 등 취급 유닛 평가 요소 및 대형 모듈의 운송성 검토를 위한 도구로 사용 가능
- 사용자는 정형화 된 CBS를 기반으로 기존 프로젝트의 Database를 구축할 수 있으며, CBS 기반의 Database를 통해 기존 프로젝트의 순 위험금액을 분석하는데 활용

3.4 후속연구의 필요성

04

연구개발성과의 활용 계획 등

4.1 제품홍보, 판로확보, 판매전략 등의 사업화 추진전략

가. 참여기업1 (현대건설)

구분	구체적인 내용
형태/규모	◦ 모듈화 프로젝트를 대상으로 자체 활용 ◦ 모듈별 별도 활용, 기존 상용 솔루션 또는 자체 프로그램에 add-on 모듈로 실용화
상용화 능력 및 자원 보유	◦ 상용화를 위해 기존 연구개발 조직 외의 사내 사업수행 조직 및 IT 담당 조직 활용 ◦ BAPCO Modernization Program(Bahrain, 36만배럴/일 배럴 정유 정제) 프로젝트 시범 적용을 통한 상용화 성능 고도화 ◦ 남미 정유플랜트/아시아 화공플랜트 프로젝트(수주 예정)의 적용을 통한 상용화 가능
상용화 계획 및 일정	

나. 참여기업2(제타시스템)

구분	구체적인 내용
형태/규모	◦ S/W 패키지(2개의 모듈 형태, 모듈별 별도 판매) ◦ 실용/상용화 솔루션 양산 판매 ◦ EPC 기업(현대건설, 두올테크 등)과의 프로젝트 참여를 통한 검증 후 사업화 추진 ◦ 시스템의 Add-on 형태 모듈
상용화 능력 및 자원 보유	◦ 시스템 개발 및 관리를 위한 인력 보유 ◦ 시스템 활용을 통한 연구 역량 강화 및 기술력 확보 ◦ 소프트웨어 상용화 경험 인력 보유 ◦ 선도적 기술경쟁력 확보, 충분한 사전 검토 및 기반 기술 확보 ◦ 중장기 발전 방향 및 중점분야에 부합한 수요조사 및 종합 계획 수립을 통한 소요재원 확보 ◦ 국내 주요 EPC 회사들을 고객으로 확보
상용화 계획 및 일정	

다. 참여기업3(두올테크)

구분	구체적인 내용
형태/규모	◦ 상용화 형태 : 웹 기반의 평가시스템 ◦ 수요처 : 플랜트 사업을 추진하는 건설사 ◦ 예상 단가 : 솔루션 판매 또는 라이선스 판매 형태로 아직 단가 산정이 어려움 ◦ 개발 투입 인력 및 기간 – 개발 투입인력 : ~130 M/M – 개발 기간 : ~30개월 (2017년 ~ 2019년)
상용화 능력 및 자원 보유	◦ 플랜트 사업을 추진하는 건설사에 연구내용 소개 ◦ 본사 연구소에서 자제 추가개발 및 안전성을 확보 후 상품화
상용화 계획 및 일정	◦ 시제품 개발 완료 및 현장 적용 : 2018년 ~ 2019년 ◦ 상품화 작업 완료 : 2020년 ◦ 제품 출시 : 2021년

4.2 사업화를 위한 비즈니스 모델

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

1) 플랜트 건설프로젝트는 중장기적인 복합 공정으로 대규모의 자원, 장비와 인력이 투입되며, 글로벌 정치, 경제, 사회적인 내외부 영향요인이 복잡하게 관계되며, 그로 인해 수 많은 불확실 성을 내포하고 있다.

2) 프로젝트가 가지고 있는 불확실성은 건설 사업 추진 시에 리스크로 그 영향이 나타나게 되며, 이러한 리스크가 발생하면 플랜트의 기능 혹은 비용 손실을 유발하게 되어 프로젝트의 성패를 결정짓는 중요한 요소로 작용하게 된다.

3) 글로벌 플랜트 건설 시장을 형성하고 있는 선진 기업과 자국의 에너지 자원, 자금력을 바탕으로 추격하고 있는 후발 국가(중국 등) 사이에서 경쟁력 확보가 필요한 시점이며, 극지, 오지 등의 플랜트 건설 수요가 빠르게 증가하고 있다. 플랜트 건설 패러다임이 전화(stick-building -> modularing-building)되는 시점에서 플랜트 건설산업에 대한 정부의 지원이 뒷받침 될 경우 글로벌 기술 경쟁력 확보 및 수익성 제고가 가능할 것으로 판단된다.

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

(1) 사업화 모형의 목표

(가) FEED 단계별 설계 능력의 배양

(나) 분리/분할 모듈 제작/취흡 파트너 연대, 해외시장 진출

(다) 설계 솔루션 국산화 추진

(라) 장치 및 유닛 기술로 국내 기자재 업체의 모듈 제작/시공 역량 강화

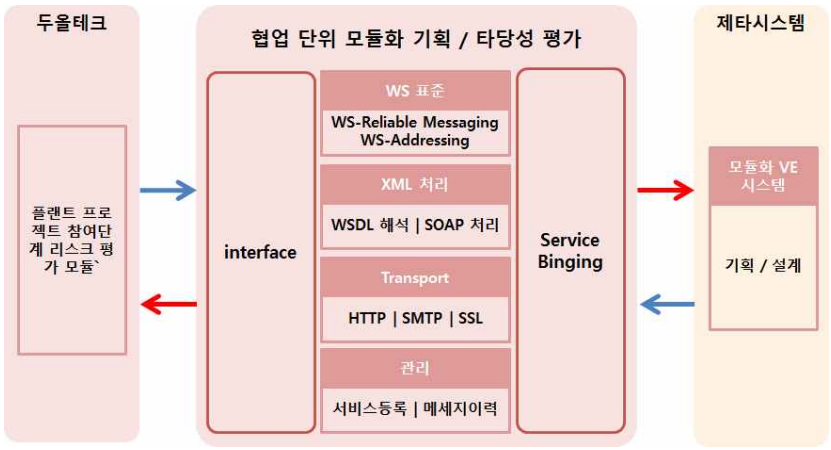
(2) 핵심 경쟁 요인

(가) 정량적 평가를 위한 정보의 수집, 기능분석, 평가 방법 등을 기반으로 신속, 정확하게 결과를 분석하고 효율적인 지원제공

(나) 계획단계의 타당성 조사에서 중요하게 다루어지는 사업수행에 대한 전략적 판단 시스템

(다) 플랜트 사업의 VE 대상물의 기능 또는 비용의 생애주기비용의 가치를 반영한 정형화된 기준 제시

(라) 국내 EPC 기업의 업무환경을 고려하여 모듈화 VE 시스템 개발을 위한 분석 및 기획



[그림 4-1] 통합 시스템 아키텍쳐

다. 목표 시장 구조

(1) 국외 시장 분석 및 산업 동향

- ENR지에 의하면 세계 플랜트 산업 관련 시장은 2002년 이후 2009년 까지 연평균14%의 성장률로 꾸준히 증가하고 있음
- 2009년 세계 금융위기의 여파로 침체기를 맞이하였으나, 경기회복 및 에너지 자원개발 활성화로 지속적으로 성장함
- 2009년부터 2020년까지의 성장률을 7.3%로 예측할 경우 2015년까지 11,1000억불, 2020년까지 15,810억불 규모의 시장이 형성될 것으로 예측됨.
- 플랜트 사업별로 석유 및 가스, 발전 등 에너지 분야가 전체 65% 내외를 차지하고 석유 화학, 제조, 담수 플랜트 등 비 에너지 분야의 시장이 나머지 35%를 차지함.
- 플랜트 세계 시장은 상위 10개국이 전 세계 플랜트 시장의 90%를 차지하고 있을 정도로 소수 선진국의 지배력이 강한 독과점 시장임.
- 선진업체의 시장지배의 특징은 높은 기술력과 앞선 EPC 솔루션 제공능력, 광법위한 서비스 제공 능력에 있음

(2) 국내 시장 북석 및 산업동향

- 2000년대 이후 건설 산업 전체 해외수주액에서 플랜트 사업이 자치하는 비중은 60%를 넘었고, 2003년 이후 연 50%이상 해외 수주가 급증하며 신 수출동력원으로 급부상하고 있으며 특히 오일쇼크와 외환위기시에는 중동 오일머니등 외화를 벌어들여 외화유동성 확보에 크게

기여함.

- 2007년의 경우 수주 실적은 422억불로, 기존 수출 주력 산업인 반도체, 자동차, 조선 산업보다 국내 산업에서 차지하는 비중이 증가함.

(3) 경쟁기업현황

기존 기술명	기술 내용	문제점
CM NAVIGATOR	건설 가치공학 통합관리 시스템	DB에 대한 관리수준으로 VE 업무프로세스에 의한 분석 기능 미비
VE 통합시스템	VE 전과정 수행 분석 시스템	건설사업에 특화된 시스템이나 사용자제한(VE리더만 사용가능)
건설VE마당	건설관리 통합시스템	DB에 대한 관리수준으로 VE 업무프로세스에 의한 분석 기능 미비
PERS	기능평가방식의 변형된 형태 (이론 추구적인 연구)	실무적용을 위한 구체적인 연구가 진행되지 못하고 있음
VE SOFT	VE 제안서 작성	제안서를 작성하도록 양식구현 업무프로세스는 구현되어 있지 않음
CoVES	웹기반 VE Workshop 시스템	효과적 의사전달을 위해 웹기반으로 구현되었으나 상호 연동을 통한 비쥬얼한 정보 제공에 한계가 있음
기능정의 프로세스 및 모델제안	기능정의 프로세스 및 모델 제안(실무적용 불가)	VE 업무단계의 일부분만 구현되어 있어 VE 업무 프로세스 전 단계에 건쳐 활용하는데 한계가 있음.
HVECM(계층적 기능정의 컨셉모듈)	통합 모듈 개념에 의한 건설 VE 프로세스 상에서의 계층적 기능 분석을 진행	VE 프로세스의 전 과정을 포함하고 있지 않음.

붙임. 참고문헌

1) International Energy Outlook, 2006, DOE (USA)
2) World Energy Investment Outlook, 2004, 국제에너지기구(IEA)
3) 산업설비 통합수행체제 핵심기술 개발, 2006, 건설교통부
4) 플랜트엔지니어링기술 로드맵, 2005, 산업자원부
5) apital Project Roadmap, 2004, FIATECH
6) 플랜트 IT 컨퍼런스 논문집, 2004-2006, 한국플랜트정보기술협회
7) LNG 플랜트 기술개발 해외 전문가 초청세미나 자료집
8) Zuoyi Zhang, Economic potential of modular reactor nuclear power plants, Nuclear Engineering and Design, 2007.
9) 건설프로젝트 관리기술 개발 1단계 최종보고서, 한국건설기술연구원, 1998
10) 플랜트 프로젝트 관리체계 표준화 기술개발, 현대건설, 2005
11) 해외건설공사 손익발생 원인분석 및 리스크 관리방안 개발, 연세대학교, 2002
12) 해외건설공사의 생산성 및 수익성 향상을 위한 Risk Management 시스템 구축 및 웹기반 실무활용지침서 개발, 연세대학교, 2003-2005
13) 맞춤형 서비스 설계VE 직접수행 효율화 방안, 조달청, 2016
14) 건설공사 위험인지 체계 및 체크리스트 개발, 연세대학교, 2002
15) 한국 산업설비 건설산업의 경쟁력 분석, EPC Project, 유홍석
16) 설계VE 업무 매뉴얼, 한국환경공단, 2013
17) Plant IT 2003 Conference; Best solutions and Best Practices, 2003, Korea Association of Plant Information Technology
18) 건설프로젝트관리기술 개발, 2000, 과학기술부
19) A guide book of project and program management(P2M) for enterprise innovation, 2004, Japan PMCC
20) 플랜트 건설산업 육성방안 관한 연구, 1997, 건설교통부
21) 건설기술개발 및 관리등에 관한 운영 규정, 2002, 건설교통부
22) 건설기술연구개발사업 중장기(2003-2007)계획, 2003, 건설교통부
23) 산업설비(플랜트)발전방안, 2003, 건설교통부
24) 엔지니어링 해외진출을 위한 실무가이드, 2002, 과학기술부
25) 강현욱, 김종욱(2018), 모듈러 플랜트의 업무특성을 고려한 위험 평가 및 예비비 예측. 한국건설관리학회 논문집, 18, 81-89
26) 구교진(2010), Value Engineering, 서울시립대학교
27) 권오현, 정재호(2004), 건설업체의 사업타당성조사·분석 실태 연구, 한국건설산업연구원
28) 김명수, 김재영, 권혁진(2000), 건설산업 지식기반 구축방안 연구, 국토연구원
29) 김민, & 정영수(2014), 해외 발전플랜트 리스크 분류체계 및 관계형 데이터베이스 구

축 방안. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, 14(1), 192-193.
30) 김상범, 이상영, 정남수, 이지민, 조순재, & 이정재(2004), 자료정규화를 통한 농촌어메니티자원 조사표의 표준화. 농촌계획, 10(4), 1-7.
31) 김세은, 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보 (http://www.intergraph. co.kr), 한국 인터그래프
32) 김세은, 한국 Plant IT의 발전과 경쟁력 확보, 2004, 인터그래프코리아㈜
33) 김종수, 박영기, 1985, 해외건설공사 손실발생 원인조사 및 대상에 관한 연구, 대한건축학회
34) 김종윤(2005), 국가 지식정보 통합검색시스템 오픈, 전자신문
35) 김창규(2002), 우리나라 플랜트 수출 산업의 발전전략, 기계산업
36) 김태형(2004), 대외시장 개방에 따른 플랜트 건설산업의 대응방향, 한국건설기술연구원
37) 김태황, 강민석(2001), 중국 건설시장의 환경 변화와 진출 전략, 한국건설산업연구원
38) 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상 방안, 한양대학교 산업대학원
39) 김형근(2004), 플랜트 건설의 대외경쟁력 향상방안, 한양대학교 석사학위논문
40) 김형삼, 1985, 해외건설추진현황과 개선방향의 고찰, 대한토목학회
41) 김후용 김예상(2017), 모듈러 주택 시장의 활성화를 위한 공사비 절감방안 분석, 대한건축학회 논문집
42) 라도현 (2000), 한국 건설산업의 국제화 전략에 관한 연구, 전남대학교
43) 문경록, 부진을 면치 못하고 있는 해외건설, korea investors service
44) 문성우(2005), 통합분류체계의 실증적 적용을 통한 발주자, 계약자 간 일괄된 건설정보 관리, 대한토목학회 Vol. 25 No.1
45) 박광순(2002), 플랜트산업의 여건변화에 따른 제도 개선방안, 기계산업
46) 박광순(2003), 차세대 성장산업으로서의 플랜트산업, 산업연구원
47) 박동순(2001), 한국 해외건설기업의 경쟁우위에 관한 연구, 대전대학교
48) 박종국(2002), 최적의 협업 환경을 제공하는 LG건설의 eWokrs 21 시스템, 기계저널
49) 박찬국(2002), 플랜트 통합 설계시스템 구축을 위하여, 기계저널
50) 박찬국(2003), 해양 석유 및 가스 생산플랜트 PDM, 기계저널
51) 박찬식, 이지웅, 조규대(2003), 국내외 해외건설 선진기업 비교 연구, 대한건축학회
52) 박한재(2002), 우리나라 해외건설의 경쟁 우위요인에 관한 연구, 동아대학교
53) 박홍태(2000), 바람직한 공정관리를 위한 환경 조성 방안, 대한토목학회 Vol. 48 No. 6
54) 산업연구원(2002), 플랜트산업의국내외여건변화와제도개선방안, 산업연구원
55) 산업자원부(2002), 해외플랜트 타당성 조사 지원사업관리지침 제정 고시, 산업자원부
56) 이상규, 강고운, 조훈희, & 강경인. (2013). 시공단계 환경성능지수 개발을 위한 정규화 기준값 산정. 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집, 13(1), 142-143.
57) 이준구, 재정학, 다산출판사, 1995
58) 이재규, 이근희(1995), 플랜트엔지니어링 산업의 현황과 효율적 경영 전략에 관한 연구, 한양대학교 산

업대학원
59) 이태식(2001), 건설 지식경영(KM)의 활성화 및 효율성 제고를 위한 건설조직문화, 건설관리학회
60) 이태식(2004), 현장형 건설경영을 위한 지식관리 시스템(PMIS, KMS)구축기술, 대한토목학회
61) 이태식, 강재준(1998), 국내 플랜트 건설사업의 설계품질경영사례를 통한 개선방안 연구, 대한토목학회
62) 이태식, 강재준(1998), 국내플랜트건설사업의설계품질경영사례를통한개선방안연구, 대한토목학회논문집
63) 이태식, 강재준(1998), 사례연구를 통한 플랜트건설의 구매 및 시공단계의 품질경영 개선방안 연구, 대한토목학회논문집
64) 이태식, 곽동구, 한충희(1999), 실무용 건설관리시스템 개발을 위한 시공정보분류체계에 관한 연구, 대한토목학회
65) 이태식, 김용천(2001), 건설산업의 효율적 정보관리체계 구축전략, 건설관리학회
66) 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 수행 중 획득된 지식과 시방서와의 통합 시스템, 대한토목학회
67) 이태식, 송재영, 최재호(2002), 건설공사 지식데이터베이스 연계를 통한 시방서 개선방안, 건설관리학회
68) 이태식, 심명섭, 김영현(1999), 국내 대형건설업체의 공정관리 현황 및 개선방안에 관한 연구, 대한토목학회
69) 이태식, 이동욱(2003), 중소건설업체를 위한 지식경영시스템 구축, 대한토목학회
70) 이태식, 이동욱(2004), 지식경영개론, 구미서관
71) 이태식, 이동욱, 배건(2001), 건설산업의 지식정보화 기반을 위한 기초적 고찰, 건설관리학회
72) 이태식, 이동욱, 지상복(2004), 건설 기술문서의공유를 위한 건설기술정보시스템 개발, 대한토목학회
73) 이태식, 정보건(2002), 건설산업 지식평가 방안 연구, 건설관리학회
74) 이태식, 정보건, 장대천, 이진욱(2002), 건설산업 지식 관리를 위한 지식 분류체계 현황 조사, 대한토목학회
75) 이태식, 최재호, 박세진, 김영민(2004), 건설사업관리[CM] 성과측정을 위한 Best Practice별 핵심성공요인 체크리스트 개발, 대한토목학회
76) 이태준, 홍정진(2004), 국가원자력기술지도 작성 방법론, 한국원자력사업협회
77) 장현승, 최석인(2004), 세계 플랜트 건설시장 전망과 시사점, 한국플랜트산업협회
78) 전외술, 김영로(2000), 한국 해외건설기업의 경쟁우위 원천에 관한 실증적 연구, 한국생산성학회
79) 전자신문(2003), 플랜트 건설정보화 촉진 방안, 전자신문 4월 14일자

80) 전재열(2005), 설계시공일괄 방식의 건축 프로젝트 관리를 위한 프로세스 모델 및 데이터베이스 구축. 한국건설관리학회 논문집, 6, 109-117.
81) 정희식(2001), 건설 내수 부진을 플랜트 수출로 돌파하자, 현대연구소
82) 정희식(2002), 플랜트 산업 환경 변화와 선진기업들의 사업전략, 현대연구소
83) 조규대(2002), 해외건설시장 동향분석을 통한 한국 해외건설의 경쟁력 향상 전략, 중앙대학교 건설대학원
84) 한국건설기술연구원(2000), 건설 프로젝트 관리기술 개발, 과학기술부
85) 한국건설기술연구원(2004), 산업설비 통합수행체재 핵심기술 개발(Ⅰ)중간보고서, 한국건설교통기술평가원
86) 한충희, 김재준, 안병주(1995), 설계 비용 일정 정보 통합에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.11 No.8
87) 한충희, 이군재, 김선국(2000), 건축공사의 공정-원가-자원 통합관리 모델에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 Vol.20 No.2
88) 한화S&C, e-Business Innovator, 한화S&C
89) 현호상 이현수 이정훈 박문서(2019), DSM을 활용한 모듈러 건축 설계단계에서의 제작 및 시공 정보 반영 및 재시공 감소 방안, 대한건축학회논문집
90) 해외건설협회(2003), 해외 플랜트 건설공사 수익성 제고방안, 해외건설협회
91) 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
92) Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2003), Impact of Web-Based Project Management Systems on Construction Claims Processing Procedures,
93) 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
94) Nitithamyong, P., Skibniewski, M(2004), Web-Based Construction Project Management Systems: What Makes Them Succeed?, Automation in Construction, Vol. 13, No. 4, Elsevier,
95) 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
96) 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
97) Kang, H, W.,and Kim, Y, S(2018) Risk Assessment and Contingency Prediction considering Work Characteristics for Modular Plant Construction Projects 81-89
98) Lawson, R. M., & Richards, J. (2010). Modular design for high-rise buildings. Proceedings

of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, 163(3), 151-164.
99) SKANSKA (2014) "Skanska Termination Letter Atlantic YardsB2 project" <http://www.modularize.co.uk/> (April. 22.. 2016)
100) Riggs, J. L. (1974). Acceptable Investment Diagram: A Perspective for Risk Recognition. The Engineering Economist, 19(3), 209-214.
101) Cecchetti, S. G., Cumby, R. E., & Figlewski, S. (1988). Estimation of the optimal futures Hedge. The Review of Economics and Statistics, 623-630.
102) Fung, W., & Hsieh, D. A. (2004). Hedge fund benchmarks: A risk-based approach. Financial Analysts Journal, 60(5), 65-80.
103) Lee, H. C., Shin, S. B., Hong, J. H., & Go, S. S. (2009). A Study on the Risk Evaluation of Apartment Development Project based on VE. Korean Journal of Construction Engineering and Management, 10(4), 14-25.
104) Kim, S. G. (2015). Risk Value Calculation Method for Moderate Risk Concentration Type at Qualitative Risk Analysis Phase. Korean Journal of Construction Engineering and Management, 16(2), 38-45.
105) kim, S. G. (2007). A model of the construction risk management system for site personnel in the construction project. Korean Journal of Construction Engineering and Management, 8(4), 90-98.
106) Varajão, J., Colomo-Palacios, R., & Silva, H. (2017). ISO 21500: 2012 and PMBoK 5 processes in information systems project management. Computer Standards & Interfaces, 50, 216-2
107) Ashworth, A. (2008). Pre-contract studies. John Wiley & Sons.
108) Ahn, S. (2015). "A Case Study of the Risk Identification in Construction Project." Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 16, No. 1, pp. 15-23. http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2015.16.1.015.
109) Cha, H. S. and Shin, K. Y. (2011). "Predicting Project Cost Performance Level by Assessing Risk Factors of Building Construction in South Korea." Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 437-444, https://doi.org/10.3130/jaabe.10.437.
110) Han, S. H., Park, H. K., Yeom, S. M., Chae, M. J. and Kim, U. Y. (2014). "Risk-Integrated Cash Forecasting for Overseas Construction Projects." KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 875-886, DOI 10.1007/s12205-014-0464-8.
111) Kang, H. W. and Kim, Y. S. (2018). "A Model for Risk Cost and Bidding Price Prediction Based on Risk Information in Plant Construction Projects." KSCE Journal of Civil Engineering, DOI 10.1007/s12205-018-0587-4.

112) Kang, H. W. and Kim, Y. S. (2016). “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, Vol. 20, No. 2, pp. 509-518, DOI 10.1007/s12205-014-0497-7.
113) Kim, Y. S. and Kang, H. W. (2017). “Development of a Model for Risk and Cost Analysis in Overseas Plant Construction Projects.” KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 1549-1562, DOI 10.1007/s12205-016-1510-5.
114) Kim, J. H. (2010). “Plans for Reducing Risk through a Case Study of Risk Factors at a Construction Site.” Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 10, No. 4, pp. 83-93, DOI:10.5345/JKIC.2010.10.4.083.
115) De La Torre, Mayra L., 1994, A Review and Analysis of Modular Construction Practices, Ph.D. thesis, Lehigh university
116) James T. O'Connor et al., 2013, Industrial Modularization - How to optimize; How to maximize, Construction Industry Institute, Implementation Resource 283-11
117) Research Team 283, 2014, Industrial Modularization: Five Solution Elements, Construction Industry Institute, Implementation Resource 283-2
118) Manuel A. Gracia, 2004, Prefabrication, Preassembly, Modularization, and Off-site Fabrication(PPMOF), Construction Industry Institute, EM 171-21
119) Huh Hye Ji, 2016, A Decision-Making Framework for Modularization to Plant Construction Projects, MSc thesis, Yonsei University
120) Alnoor Akberali Halari, 2010, Effective Project Management of Oil & Gas Projects: A Model for oil sands' SAGD plants, MSc thesis, University of Calgary
121) Research Team 272, 2013, Advanced Work Packaging, Construction Industry Institute, Implementation Resource 272-2
122) Geoff Ryan, 2017, Even More Schedule for Sale, authorHOUSE

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 플랜트연구 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 플린트연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

210mm×297mm[백상지(80g/㎡) 또는 중질지(80g/㎡)]

보고서 요약서

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>19IFIP-B091004-04</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2019. 01. 01 - 2019. 12. 28 (12개월)</td><td>단계구분</td><td>(6)/ (6)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">플랜트 연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">플랜트 협업 단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">조시연</td><td>해당단계 참여연구원 수</td><td>총: 23명
내부: 23명
외부: 0명</td><td>해당단계 연구비</td><td>정부: 943,000 천원
민간: 475,274 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 1,418,274 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여연구원 수</td><td>총: 89명
내부: 89명
외부: 0명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 4,095,300 천원
민간: 1,374,947 천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 5,624,130 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">KAIST, 고등기술연구원, 연세대학교</td><td colspan="2">참여기업명
플랜트에셋, 필즈엔지니어링</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: 인하대학교</td><td colspan="2">연구책임자: 이경호</td></tr>
</table>

※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록・기탁 번호	14	4/11	157			41					

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

구입기관	연구시설・장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	■ 육상 플랜트 협업 단위 모듈화 설계, 구매, 제작, 운송, 건설 프로세스를 고려하여 (1)지식 기반 상세 설계 지침서, S/W모듈 및 시스템(패키지), (2)운송성/시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서, S/W모듈 및 시뮬레이터(패키지)와 (3)장치/유닛/모듈의 공용화/표준화 라이브러리 개발을 최종 연구개발 목표로 함. ■ 플랜트 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술은 플랜트 협업 단위 분할 및 기획 단계에서 결정된 협업 단위 시스템 분할 기준에 의거, -협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술 및 시스템 기술 개발 -협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가시뮬레이션 기반 최적화설계 기술 개발 -협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 개발 -협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 시험 적용 및 성능 평가 등의 연구 개발을 진행함 ■ 플랜트 건설기간 단축, 원가 절감 및 설계변경률/재시공률 개선에 기여하기 위하여 협업 단위 모듈의 공간적/기능적 분할 상세 설계, 컴팩트/최적화 및 인터페이스 설계, Weight Balance 및 지지/보강재 설계, 운송/선적/하역 및 현장 물류/건설을 고려한 운송성/시공성 평가 기반 최적화 설계 기술 등 세부적인 연구 개발을 수행
연구개발성과	■ 플랜트 산업의 엔지니어링 경쟁력을 높이기 위하여, 모듈화 접근법은 필수적이며, 이러한 모듈화 프로젝트를 위하여 지식기반 설계 시스템과 운송성/시공성 평가 시스템은 핵심 경쟁력 중 하나이며, 설계/제작/운송/시공 등 요소의 효율적 연계를 통하여 품질 향상, 시간적 비효율성의 감축, 비용 절감 등을 기대 ■ 국내 기업의 육상 플랜트 모듈화 엔지니어링 기술 수준이 미국, 유럽 등 해외 선진사 대비 상대적으로 열세이며 플랜트 IT 인프라 측면에서 주로 외산 솔루션을 Customizing하여 쓰고 있는 상황에서 모듈화 플랜트의 엔지니어링 협업 환경에서 지식기반 시스템을 지원하는 정보시스템은 전무한 것으로 파악되어 해당 시스템의 기술적 파급 효과가 클 것으로 판단
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	■ 지식기반 모듈 설계 및 운송성/시공성 평가 시스템과 협업 지원 PLM 시스템(1세부), 플랜트 모듈화 기획 및 타당성 평가 시스템(2세부), 플랜트 협업 지원 라이브러리 시스템(4세부)과의 연동 및 적용을 통해 모듈화 플랜트의 협업 엔지니어링 기술 향상 ■ 국내 주요 건설회사의 프로젝트를 통해 실용화를 추진함과 동시에 플랜트 IT 업체를 통해 개발 시스템(패키지) 상업화 추진 ■ 위험도가 비교적 낮은 중소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성 향상 ■ 플랜트 모듈화 건설을 통한 국내 대기업의 해외 건설 시장 확대를 최종 목표로 하되 중견/중소기업의 시장 참여 확대에 우선 적용

국문핵심어 (5개 이내)	플랜트 모듈화	지식기반 시스템	최적 설계	운송성	시공성
영문핵심어 (5개 이내)	Plant modularization	Knowledge based system	Optimal design	Transportability	Constructability

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 6
1.1 연구개발의 필요성 ····· 6
1.1.1. 연구개발과제의 설명 ····· 6
1.1.2. 연구개발의 중요성 ····· 7
1.1.3. 연구개발 단계 ····· 9
1.1.4. 타산업 연계 및 국제협력 가능성 ····· 9
1.2 연구 개발 인프라 분석 ····· 10
1.2.1. 연구개발 인프라 분석 ····· 10
1.2.2. SWOT 분석 ····· 10
1.2.3. 시사점 및 전략 제안 ····· 12
1.3 연구개발 목표 및 내용 ····· 13
1.3.1. 연구개발 최종목표 ····· 13
1.3.2. 연구개발 개별목표 ····· 16
1.3.3. 연차별 연구목표, 내용 및 목적 ····· 22
1.3.4. 연구 목적 ····· 24
2. 연구수행내용 및 성과 ····· 26
2.1 연구 추진 내역 ····· 26
2.1.1 연구 개발 추진 전략 및 방법 ····· 26
2.1.2 연구 개발 추진 체계 ····· 27
2.1.3 연차별 연구 개발 추진 일정 ····· 32
2.2 연구 내용 및 결과 ····· 49
2.2.1 연구 내용 및 결과 ····· 49
1) [A] 협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈 ····· 49
가) [A-1] 데이터/모델 관리 S/W ····· 49
A) 2차년도 ····· 49
B) 3차년도 ····· 53
C) 4차년도 ····· 54
D) 5/6차년도 ····· 56
나) [A-2] 모듈 분할설계 지침서 ····· 57
다) [A-3] 모듈연동 및 통합 컴팩트/최적화 S/W ····· 67
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ····· 67
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ····· 78
C) 4차년도 연구 내용 및 결과 ····· 81
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ····· 84
E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ····· 87
라) [A-4] 최적 배치 설계 지침서 ····· 92
마) [A-5] 모듈연동 및 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W ····· 96
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ····· 96
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ····· 104
C) 4차년도 연구 내용 및 결과 ····· 106
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ····· 109
E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ····· 112

바) [A-6] 인터페이스 설계 지침서 ·····116
사) [A-7] 플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 ·····119
아) [A-8] 플랜트 모듈 Weight Balance 설계 지침서 ·····127
자) [A-9] 플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모 ·····129
차) [A-10] 플랜트 모듈 지지대/보강재/Lug 설계 지침서 ·····158
2) [B] 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템 (패키지) ·····162
가) 지식기반 시스템 플랫폼 개념 설계서 ·····162
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ·····162
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ·····163
C) 4차년도 연구 내용 및 결과 ·····164
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ·····165
E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ·····166
3) [C] 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 ·····168
가) [C-1] 운송성 평가 시뮬레이션 운송/선적/하역 계획 검증 모듈 ·····168
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ·····168
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ·····169
C) 4차년도 연구 내용 및 결과 ·····170
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ·····171
E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ·····172
나) [C-2] 선적/하역 정보 기반, 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 ·····175
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ·····175
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ·····176
C) 4차년도 연구 내용 및 결과 ·····177
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ·····177
E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ·····178
다) [C-3] 모듈연동 및 통합 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증S/W ·····180
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ·····180
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ·····
C) 4차년도 연구 내용 및 결과 ·····196
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ·····198
E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ·····202
라) [C-4] 시공 네트워크 최적화 S/W 설계 지침서 ·····204
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ·····204
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ·····208
C) 4차년도 연구 내용 및 결과 ·····210
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ·····211
E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ·····212
4) [D] 협업단위 모듈화 운송성/ 시공성 평가 시뮬레이터(패키지) ·····213
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ·····213
B) 3차년도 연구 내용 및 결과 ·····216
D) 4차년도 연구 내용 및 결과 ·····219
D) 5차년도 연구 내용 및 결과 ·····224

E) 6차년도 연구 내용 및 결과 ····227
5) [E] 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 ····231
가) [E-1] 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리 ····231
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ····231
B) 3,4,5,6차년도 연구 내용 및 결과 ····233
나) [E-2] 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 ····235
A) 2차년도 연구 내용 및 결과 ····235
B) 3,4,5,6차년도 연구 내용 및 결과 ····237
6) [F] 시스템 시험 적용 및 성능 평가 보고서 ····240
가) [F-1] 시스템 개발 기능범위/추진 계획서 ····240
나) [F-2] 성능평가 결과 보고서 ····247
2.3 연구 개발 성과 ····254
2.3.1 논문 게재 성과 ····254
2.3.2 연구 발표 성과 ····255
2.3.3 특허 성과 ····257
2.3.4 기술 요약 정보 ····257
2.3.5 보고서 원문 ····258
2.3.6 소프트웨어 ····262
2.4 연구 결과 ····263
2.4.1 기술적 성과 ····263
2.4.2 경제적 성과 ····265
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····266
3.1. 목표 ····266
3.1.1 목표 및 달성도 ····266
4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····269
붙임. 참고 문헌 ····271

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

1.1 연구개발의 필요성

1.1.1. 연구개발과제의 설명

○ 플랜트 설계 및 시공 품질을 제고하고 극한지에서의 플랜트 건설 시간을 단축하고 및 비용을 절감함으로써, 국내 EPC 산업의 고부가가치 엔지니어링 역량을 확보하여 설계 및 시공 부분의 해외 시장 점유율을 확대하고 새로운 유망 사업 분야를 발굴하기 위하여 국가 주도의 PLM 기반 플랜트 모듈화 설계 기술 개발 사업이 필요한 시점임

○ 본 연구에서는 플랜트 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술 및 운송성/시공성 평가 기반 최적화 설계 기술을 개발 하는 것을 목표로 함

- **플랜트 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술**은 모듈 기획/분할과 타당성/경제성 평가 과정을 거친 협업단위 모듈에 대한 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 건설 과정에서 요구되는 협업 프로세스를 고려하여 1) 공간적/기능적 분할 상세설계, 2) 컴팩트/최적화 및 인터페이스 설계, 3) Weight Balance 및 지지/보강재 설계, 4) 지식 기반 설계 시스템(패키지) 등 설계 기술과 소프트웨어 기술 개발을 포함

- **플랜트 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 기술**은 모듈의 상세 설계 후에 진행되는 제작, 운송, 설치/시공 등 일련의 과정 중 1) 운송/선적/하역 고려 운송성 평가 기반 최적화 설계 기술, 2) 현장물류/건설 고려 시공성 평가 기반 최적화 설계 기술, 3) 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발을 포함

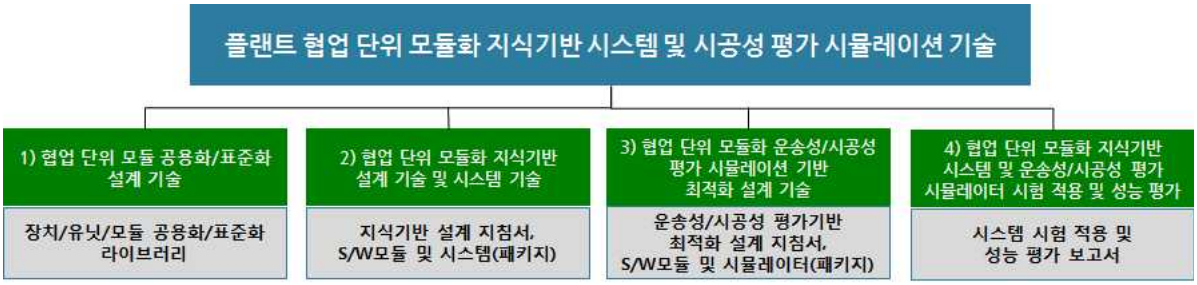


[그림] 협업 단위 모듈화 설계/운송/시공 기술 구성 요소

○ 이를 위해 지식 기반 설계 방법론과 운송성/시공성 평가 방법론을 연구하고 장치/유닛/모듈 공용화/표준화 기술 개발을 통하여 모듈화 프로젝트에 최적화 된 지식 기반 설계 기술과 시스템(패키지) 개발을 최종 목표로 함

○ 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발의 핵심 산출물은 1) 장치/유닛/모듈의 공용화/표준화 라이브러리, 2) 지식 기반 설계 지침서, S/W모듈 및 시

스템(패키지), 3) 운송성/시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서, S/W모듈 및 시뮬레이터(패키지), 4) 시스템 시험 적용 및 성능 평가 보고서로 이루어 짐



[**그림**] 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발 핵심 산출물

1) **장치/유닛/모듈의 공용화/표준화 라이브러리**는 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 건설 과정에서 요구되는 협업 프로세스를 고려하여 플랜트를 분할한 협업 단위 시스템 및 장치/유닛 관련 정보(타입, 3D CAD, 사양, 및 포트 데이터 등)를 저장한 데이터베이스(Database)로서 공용화/최적화를 통한 생산성/경제성 증가와 재활용성 확대를 목표로 함

2) **지식기반 설계 지침서, S/W모듈 및 시스템(패키지)**은 플랜트 협업 단위 모듈 설계 지식을 체계화, 표준화 및 시스템화하여 상세 설계의 주요 과정에서 핵심적으로 필요한 설계지침서와 이를 소프트웨어적으로 지원하는 S/W모듈이 포함되며, 최종적으로는 실용화/상용화 관점에서 사용자의 편리성과 상품성을 달성하기 위한 패키지 시스템 개발을 목표로 함

3) **운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서, S/W모듈 및 시뮬레이터(패키지)**는 협업 단위 모듈화 상세 설계 과정에 모듈의 운송과 시공 고려 사항을 사전에 시뮬레이션을 통해 평가하여 설계에 반영하여 최적화하는 기술로써, 최적화 설계 지침서와 이를 IT적으로 지원하는 S/W모듈이 포함되며, 최종적으로는 실용화/상용화 관점에서 사용자의 편리성과 상품성을 달성하기 위한 패키지 시스템 개발을 목표로 함

4) **시스템 시험 적용 및 성능평가 보고서**는 개발되는 지침서와 시스템의 적용 및 성능 검증을 위해 참여 기업에서 제공하는 모듈러 플랜트 관련 데이터를 기반으로 시험 환경을 구축하여 실증함으로써, 현장에 적용하여 실용화 하는데 있어서의 문제점과 보완 사항을 사전에 도출하고자 하는 목적임

1.1.2. 연구개발의 중요성

1) 기술적 중요성

○ 최근 극지, 오지 등에서 플랜트 건설 수요가 증가하고 있어 플랜트 해외 건설 시장 경쟁력을 갖추기 위해, 전통적인 Stick-Built 건설 방식에서 벗어나 분할, 설계, 제작, 운송, 설치에 최적화된 모듈화 건설 접근법에 맞는 지식 기반 플랜트 협업 시스템이 필요함

○ 플랜트 건설 과정에서 대상 플랜트의 설계/제작뿐만 아니라 운송을 위한 특수 장비 제작, 도로/토목/건축공사 등이 서로 다른 장소에서 동시 병행적으로 수행되기 때문에 플랜트 건설을 위해서는 협업 단위 지식 기반 시스템 및 소프트웨어 기술이 필수적임

2) 경제산업적 중요성

○ 플랜트 협업 엔지니어링을 위해서 협업 체계 지원 정보를 기준에 따라 분류하고 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 시스템을 구축하여 설계 및 건설 과정에서 활용함으로써 국내 EPC사 및 모듈 관련 업체의 모듈화 역량을 강화함으로써 해외 프로젝트 수주 경쟁력 강화 가능

- 지식 기반 설계 시스템의 활용률 및 설계 자동화율이 향상되고 데이터 품질 또한 향상됨
- 설계자들이 동일한 지식 기반 정보와 기능을 공유함으로써 플랜트 데이터의 호환성을 높일 수 있어 상호운용성 비용이 감소함

○ 국제적으로 중장기적 극한지 에너지 자원 개발 사업이 확대될 것으로 예상되는 시점에서 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 시스템을 기반으로 하는 플랜트 협업 엔지니어링 고도화 기술의 부재는 선진국 기술 의존도를 높이고 이에 따른 외화낭비, 대형 사업 참여 제한 및 기술 종속에 따른 민간기업 고충 증대 등의 문제가 예상됨

3) 사회문화적 중요성

○ 최근 다음과 같은 이유로 모듈화 (Modular Construction) 이 증가하고 있는 추세임

- 극지, 한지, 오지 등 열악한 환경 조건에서의 자원 개발 및 플랜트 건설
- 호주 등 선진국에서 환경오염을 방지하기 위해 자국 내 발주 공사에 대해 현장 제작을 최소화 하도록 모듈화 요건 강제화
- 기존 산업 단지의 부족으로 신설, 증설 플랜트의 부지 최적 활용을 위한 모듈 화 공법 연구 및 적용 증가

○ 이러한 추세에 대비해 기반 인프라인 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술 구축이 필수적임

○ 향후 해외 모듈화 플랜트 건설을 위한 플랜트 협업 엔지니어링 및 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술의 고도화를 통해 글로벌 시장의 플랜트 건설 수주와 국가 발전을 도모할 수 있음

○ 플랜트 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술은 주력산업과 ICT와의 융복합에 해당되는 핵심 S/W 기술 개발 사업임

- 첨단과학기술, 주력산업과 ICT와의 융복합을 통한 성장동력 및 신사업 창출, ICT 생태계 활성화, S/W 핵심기술개발 등을 통한 SW산업 활력 제고 가능

4) 정부 지원의 필요성

○ 정부가 추진하는 '과학기술을 통한 국민 삶의 질 향상과 창조경제 구현' 을 위한 4대 중점 추진 분야 중, '창조경제를 뒷받침하는 R&D' 의 추진 항목의 하나로 ICT·SW를 통한 신성장동력 창출이 명시됨

○ 정책적인 측면에서, 국가산업의 국제 경쟁력 강화를 위한 대규모 원천·실용화 기술개발이라는 국토해양부의 R&D 추진 방향과 일치

• 플랜트 모듈화 설계 기술은 플랜트 건설사업 독자기술 확보를 통한 글로벌 마켓 선도를 위한 **건설교통R&D 중장기 계획(2113-2017)에 반영되어 있는 플랜트 엔지니어링 분야 필수 기술**로서, 기술집약적 고부가가치 엔지니어링 분야의 시장 경쟁력 확보를 위한 중요 기술임

○ 국내 EPC업체와 해외 선진 엔지니어링 업체와 FEED, PMC, 및 조달 부문의 기술 격차는 아직도 크며, 최근에 급부상하고 있는 중국 등의 후발주자에 대응하여 EPC 부문의 수주경쟁력을 유지할 수 있도록 고부가가치 엔지니어링 기술 개발 및 기존 EPC 부문의 고도화가 요구됨

○ 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술은 건설, 화공, 기계, IT 등 다학제 융합적 접근이 필요한 산업 분야이므로 국가주도형 사업 추진이 필요함.

1.1.3. 연구개발 단계(TRL에 근거하여 기술)

○ 본 연구의 성과물은 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션을 지원하기 위한 요소기술들을 기존의 다른 기술들을 응용해서 개발하고 시제품 설치 및 성능 시험을 통해 실용화하는 것과 현장적용/사업화 단계까지를 최종 성과목표로 삼고 있기 때문에 본 연구의 TRL을 아래와 같이 설정함

구분		표기	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	■	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	■	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	■	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	■	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	■	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	■	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	■	TRL 9 현장적용/사업화 단계

1.1.4. 타산업 연계 및 국제협력 가능성

○ 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션의 요소 기술인 지식기반 시스템, 공간 컴팩트/최적화, 인터페이스, Weight Balance 및 지지대/보강재 해석, Ocean Motion Study, 시뮬레이션 기술은 모듈화 플랜트뿐만 아니라 일반 육상 플랜트, 해양 플랜트 및 원전 플랜트에도 적용 가능한 기술임

○ 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 시뮬레이션 기술을 바탕으로 ICT 산업과 융합하여 상세 설계 및 시뮬레이터 구축 및 관리를 위한 컨설팅 및 제반 서비스를 개발하여 새로운 지식 서비스 사업 모델을 발굴 가능

1.2 연구 개발 인프라 분석

1.2.1. 연구개발 인프라 분석

○ 국내 일부 EPC 업체가 파이프랙 등 비교적 간단한 육상 플랜트 모듈 위주의 설계와 제작에 참여하여 왔음. 최근에는 극한지에 건설되는 오일샌드 프로젝트의 증가, 호주 등 선진국에서 환경보호를 위한 자국 내 제작 최소화, 산업 단지 내 신규 부지의 부족으로 인한 공간 최적화 등의 영향으로 모듈화 공법 도입이 활발하게 진행되고 있으나 국내 업체는 아직까지 상세설계 및 시공에서의 강점을 바탕으로 접근하고 있으며 여전히 기본설계, FEED 능력은 미약하여 연구개발의 필요성이 있음

○ 국내의 관련 연구소 현황을 살펴보면 **한국건설기술연구원, 고등기술연구원** 등에서는 **LNG 플랜트, LNG FPSO, LNG Bench-scale Unit 등을 대상으로 플랜트 모듈화, 컴팩트화 설계 기술**을 개발하였으며, 향후 테스트베드 및 상용급 규모의 LNG 플랜트와 LNG FPSO 건설에 모듈화 설계 기술 적용이 기대됨

[표] 관련 연구소 현황

세부기술명	기관명	구분	연구자	주요 연구 활동	보유기술
플랜트 협업 단위 모듈 설계 기술	한국건설기술연구원	연	황인주 이홍철	- RAM 기반 모듈화, 컴팩트화 플랜트 설계 기술 개발 - LNG 플랜트 및 LNG FPSO 대상 모듈화 설계 기술 적용	RAM 해석 기술 모듈화 설계 기술
	고등기술연구원	연	박찬국 김형진	- LNG 액화 공정 Bench-scale Unit 건설에 모듈화 설계 기술 도입 - 주요 기자재 중심의 skid 구성	모듈화 공정 및 제어 설계 기술

1.2.2. SWOT 분석

○ 기회 요인

• 빠른 성장세를 보이는 플랜트 시장 (육상), 오지나 극지에서의 플랜트 건설 수요 증가, 플랜트 산업에 대한 정부의 강한 육성 의지, 선진 기업의 엔지니어링 인력 고령화

○ 위협 요인

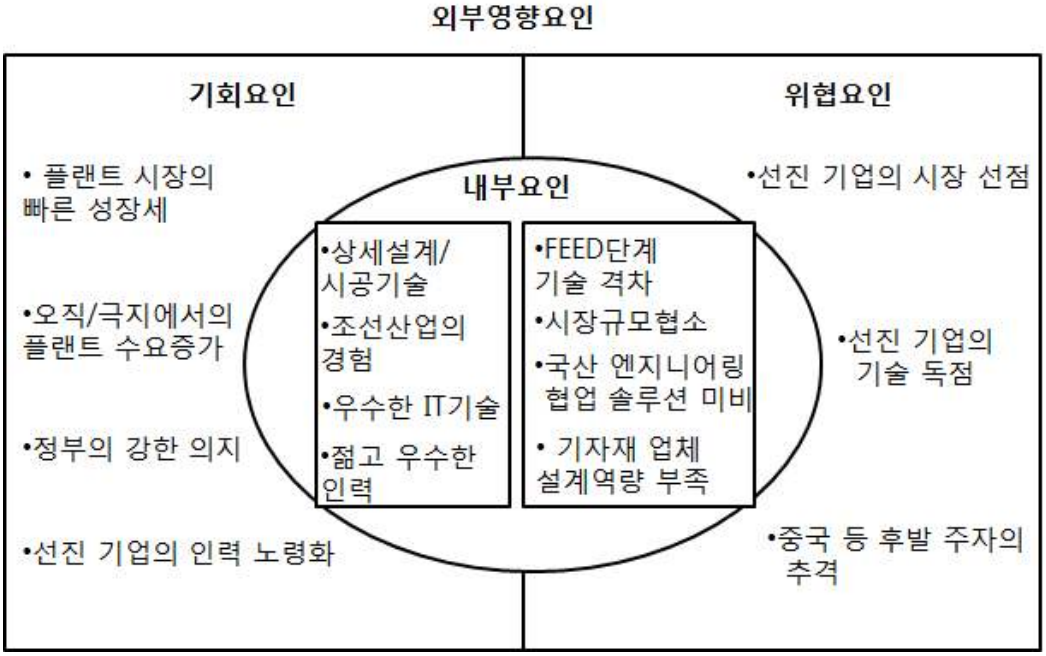
• 선진 기업의 플랜트 시장 (육상) 선점, 선진 기업의 설계 기술 독점, 중국 등 후발 국가의 급격한 추격, 저유가 등 시장 상황의 급변

○ 강점 요인

• 경쟁력있는 플랜트 상세설계/시공 기술, 세계 최고 수준의 제작/시공 능력, 우수한 IT 기술 역량, 플랜트 산업에 우수 인력 유입

○ 약점 요인

• 선진국과의 FEED 설계 기술 격차, 제한된 국내 시장 규모, 플랜트 설계 솔루션 국산화 미비, 국내 기자재 제작 업체의 설계 역량 부족• 플랜트 협업 지원을 위한 장치/유닛, 협업 단위 시스템 라이브러리 정보 관리 기술 개발로 국내 기자재 업체의 제작/시공 역량 강화



[그림] 플랜트 산업 기술 환경 분석

○ SO 전략 (성장 지향)

- 해상 플랜트 제작/시공 기술을 바탕으로 플랜트 지식 기반 상세설계 기술을 개발하여 신규 건설시장 진입 확대

○ WO 전략 (약점의 강점 전환)

- 우수한 IT 기술과 상세설계/시공 기술 바탕으로 FEED 단계의 설계 협업 기술 개발로 선진 업체와의 기술 격차 축소

○ ST 전략 (강점으로 위협 대응)

- 플랜트 협업 상세설계 기술을 바탕으로 중국 등의 후발주자 대비 국내 건설사의 EPC 역량 강화
- FEED 단계의 설계 협업 기술 개발로 선진 업체가 독점하고 있는 플랜트 시장 진입 장벽 해소

○ WT 전략 (방어적 철수 전략)

- 플랜트 설계 협업 지원 솔루션 국산화로 중국 등 후발주자로의 기술 유출 방지

	장점 (Strength) ◦ 조선/해양 분야 협업 엔지니어링 경험/능력 ◦ 플랜트 분야 우수한 상세설계/시공능력 ◦ 경쟁력 있는 국내 IT 역량 및 사업관리 능력 ◦ 우수 인적자원 지속적 유입	약점 (Weakness) ◦ FEED 설계 기술 격차 ◦ 글로벌 모듈 제작 거점 미흡 ◦ 제한된 국내 시장 규모 ◦ 설계 솔루션 국산화 미비 ◦ 국내 기자재 제작 업체 설계 역량 부족
기회 요인 (Opportunity) ◦ 플랜트 시장 성장세 ◦ 오지/극지 플랜트 수요 증가 ◦ 정부의 강한 육성 의지 ◦ 공사기간 단축 요구 ◦ 중량물 운송 가용성 증대 ◦ 선진기업 기술 인력 고령화	SO전략 ◦ 지식 기반 모듈화 엔지니어링 기술 고도화 ◦ 협업 기반 플랜트 모듈제작, 모듈화 설계지원 인프라 구축 ◦ 공기 단축이 가능한 신공법 개발, 노하우 집적화	WO전략 ◦ FEED 단계별 협업 설계 능력 배양 ◦ 협업 단위 지식기반 상세설계 기술 및 시스템 개발 ◦ 모듈 제작/운송/설치 등과 관련된 파트너 연대
위협 요인 (Threat) ◦ 선진기업의 시장 선점 ◦ 선진기업의 모듈화 기술 독점 ◦ 공사 원가의 상승 ◦ 가격 경쟁력 약화 ◦ 후발 국가의 급격한 추격 ◦ 저유가 등 시장 상황 급변	ST전략 ◦ 국내 건설사 EPC 역량 강화 ◦ 협업기반 FEED 설계 지원기술 정립(시장 진입 장벽 해소) ◦ 친시장/현지화 전략 수립 (현지 법인 설립 등)	WT전략 ◦ 플랜트 설계 솔루션 국산화로 기술 유출 방지 ◦ 지식기반 시스템 기술로 국내 EPC 업체의 모듈 제작/운송/시공 역량 강화

<표> SWOT 분석 결과

1.2.3. 시사점 및 전략 제안

1) 정책적 전략 제안

○ 국외의 선진 기업들은 컴팩트 설계 원천 기술과 수행 경험을 보유하고, 카르텔을 형성해 시장을 독점하고 있는 실정으로 선도적인 원천 기술의 개발을 통해 시장 참여의 기회를 확보하고 있기 때문에, 우리나라도 시급히 관련 기술을 확보하여 시장 잠식에 대비할 필요가 있음

○ 국내의 경우 정부의 플랜트 엔지니어링 산업에 대한 강력한 지원의지가 천명되어지기는 했지만, 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어적인 측면에 대한 적극적인 지원이 필요한 실정임

○ 국제적인 플랜트 산업의 트렌드, 국내의 관련 기술 개발, IT 경쟁력 사례, 그리고 R&D 인프라를 고려하여 플랜트 모듈화 사업을 필요한 기술들을 도출하고, 기술의 시급성 및 중요성 등을 판단하여 연구개발이 필요한 모듈화 플랜트 설계 시스템 기술을 선정, 지원하는 전략이 필요함

2) 시장 전략 제안

○ 연구개발과제의 접근시장 분석

- 세계 플랜트 시장과 국내 EPC 기업들의 세계 플랜트 시장 점유율은 향후 지속적인 성장이 예상되며 플랜트 엔지니어링 시장도 동반성장할 것으로 예측됨
- 세계 플랜트 시장에서 모듈러 플랜트가 차지하는 비율은 해양 플랜트를 포함하여 약 25% 내외로 추산되며 산업 및 경제적 니즈로 인해 향후 10년간 약 35%로 증가할 것으로 분석됨

○ 시장 관점에서 연구개발 필요성

- 국내 기업의 EPC 플랜트 수주분야는 대부분 상세설계 및 시공에 편중되어 있어 세계 플랜트 시장에서 국내 EPC 기업의 지속적 성장 및 점유율 증대를 위한 프로젝트 기획, FEED, 그리고 기본설계 기술 확보의 중요성이 증대됨
- 국내 기업의 세계 모듈러 플랜트 시장 점유율(약 3.1%)은 일반 플랜트 시장 점유율 (약 6%)

에 비해 현저히 낮은 것으로 분석되어, 국내 기업의 플랜트 시장 점유율 증대의 필요성이 부각됨

- 일반 플랜트 건설에서 엔지니어링이 차지하는 비중보다 모듈화 플랜트에서의 기획 및 엔지니어링 비율이 다소 높고 국내 기업의 엔지니어링 기술 수준이 상대적으로 열세인 점을 볼 때, 플랜트 모듈화 설계 기술 확보가 중요한 것으로 판단됨

○ 시장 접근 전략

- 플랜트 모듈화 설계 기술은 공기절감 등의 경제적 니즈 뿐 아니라 품질 및 유지관리 향상 등 발주처의 다양한 니즈에 부합하는 기술로, 국내 기업의 해외 플랜트 입찰 참여시 플랜트 모듈화 설계 기술을 적용함으로써 입찰 참여율 및 수주율 증대에 직접적인 효과가 기대됨

3) 기술적 전략 제안

○ 연구개발과제와 기술개발 현황과 부합성

- 세계적으로 육상 모듈화 플랜트의 수요가 높아지고 있으나 플랜트 모듈화 설계 핵심 기술을 국내업체는 아직 가지고 있지 못하며, 현재 우리나라가 보유하고 있는 모듈화 설계 기술도 낮은 수준으로 판단됨

○ 기술개발 관점에서 연구개발 필요성

- 플랜트 상세설계 기술의 경우, 국내 자체 기술력을 어느 정도 구비하고 있

으나, 모듈화 플랜트에 특화된 기술력을 고도화시킬 필요가 있으며, 시급한 연구개발이 요구됨

○ 기술적 접근 전략

- 플랜트 모듈화 설계 핵심 원천 기술 확보 및 상세설계 기술 고도화
- 플랜트에 특화된 기술을 먼저 확보하여 시장에서의 우위를 선점함

1.3 연구개발 목표 및 내용

1.3.1. 연구개발 최종목표

1) 최종목표

○ 육상 플랜트 협업 단위 모듈화 설계, 구매, 제작, 운송, 건설 프로세스를 고려하여 (1) 장치/유닛/모듈의 공용화/표준화 라이브러리, (2)지식 기반 상세 설계 지침서, S/W모듈 및 시스템(패키지)과 (3)운송성/시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서, S/W모듈 및 시뮬레이터(패키지) 개발을 최종 연구개발 목표로 함.

- Stick-built 대비 플랜트 건설 기간 단축 기여
- Stick-built 대비 건설 원가 절감 기여
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 단축 기여
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 절감 기여
- 협업 단위 모듈 컴팩트/최적화 개선
  (기존 Stick-built 건설 사례 대비 공간/에너지 사용 비율)
- 플랜트 모듈화 현장 설계 변경 및 재시공률 개선
  (기존 플랜트 stick-built 건설 사례 대비 모듈화 시공 평가 시뮬레이션기반 현장 설계 변경 및 재시공 비율)

○ 본 과제의 세부 연구 목표 및 주요 연구 내용은 다음과 같음

1) 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 개발
 1.1) 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리
 1.2) 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리

2) 협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈 개발
 2.1) 협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 모듈 개발
  2.1.1) 모듈 분할 상세 설계 지침서
  2.1.2) 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W모듈

 2.2) 협업단위 모듈 컴팩트/최적화 및 인터페이스 설계지침서 및 모듈 개발
  2.2.1) 컴팩트/최적화 설계 지침서
  2.2.2) 컴팩트/최적화 S/W모듈
  2.2.3) 인터페이스 설계 지침서
  2.2.4) 인터페이스 설계 및 교합부 관리 모듈(시스템)

 2.3) 협업단위 모듈 Weight Balance 및 지지/보강재 설계지침서 및 모듈 개발
  2.3.1) Weight Balance 설계 지침서
  2.3.2) Weight Balance 설계(동적해석 포함) S/W모듈
  2.3.3) 지지대/보강재/Lug 설계 지침서
  2.3.4) 지지대/보강재 설계/해석 S/W모듈
3) 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지) 개발
 3.1) 지식기반 시스템(패키지)

4) 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발
 4.1) 운송/선적/하역 고려 협업 단위 모듈화 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발
  4.1.1) 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서
  4.1.2) 운송성 평가 시뮬레이션 - 운송/선적/하역 계획 검증 모듈
 4.2) 현장물류/건설 고려 협업 단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발
  4.2.1) 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서
  4.2.2) 시공성 평가 시뮬레이션 - 적재/이송/설치 계획 검증 모듈

5) 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발

5.1) 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지)

6) 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 시험 적용 및 성능 평가 개발

6.1) 시스템 시험 적용 및 성능평가 보고서



[그림] 세부연구 내용/성과물과 RFP 상의 연구내용/성과물과의 관계

○ 세부 연구목표별 내용 및 범위

No	키워드	데이터 Source	요소기술	주요 연구 개발 내용	최종 성과물	수행주체 (개발수준)
1.1) 1.2)	라이브러리	P&ID, 3D Model	3D CAD, Process Design	1. 표준/공용 Library 구축 - 장치/유닛/모듈	1.1) 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리 1.2) 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리	1. 개발사/EPC사(상용화)
2.1)	분할설계 (상세설계)	Routing Survey Report, 2세부 초기분할결과, Plot Plan, P&ID, 3D Model	3D CAD, Process Design, Piping Design, Structural Design, Knowledge-based Engineering	1. 설계/시공 기술요소 분석 2. 지식기반 설계 방법론 3. 공간적/기능적 상세(공법) 설계 4. 3차원 기반 분할 모델링 5. 모듈 데이터/모델 관리 방법	2.1.1) 모듈 분할 상세 설계 지침서 2.1.2) 협업단위 모듈 데이터/모델 관리모듈	1.대학,EPC사(실용화) 2.개발사(상용화)
2.2)	컴팩트/ 최적화	Plot Plan, P&ID, 3D Model, Knowledgebase	3D CAD, Process Design, Piping Design, Space Management	1. 공간 집약도 고려 설비 배치 2. 단위 프로세스 패키지화 3. 경제성 고려 설비 배치 4. 운송성/시공성 고려 설비 배치 5. O&M 고려 설비 배치	2.2.1) 컴팩트/최적화 설계 지침서 2.2.2) 컴팩트/최적화 S/W모듈	1.EPC사(실용화) 2. 대학/연구소(상용화)
2.2)	인터페이스	3D Model, 기본 구조 라이브러리	3D CAD, Piping Design, Structural Design, Inspection	1. 배관 인터페이스 설계 2. 구조 인터페이스 설계 3. 교합부 관리	2.2.3) 인터페이스 설계 지침서 2.2.4) 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W모듈	1.개발/EPC사(상용화)
2.3)	지지대/ 보강재	3D Model, 지지대/보강재 라이브러리	3D CAD, Structural Design, Analysis	1. 지지대/보강재/Lug 설계 (하중 및 경계값 분석) - Lifting Point 고려 - 운송/선적/하역 고려 - 현장 설치 고려 2. 온도 변화에 따른 열변형 해석	2.3.1) 지지대/보강재/Lug 설계 지침서 2.3.2) 지지대/보강재 설계/해석 S/W모듈	1. EPC사(실용화) 2.연구소(해석-상용화) 3.개발사 (상용화)
2.3)	Weight Balance	3D Model, Weight information	3D CAD, Engineering Calculation, Simulation	1. 모듈 무게중심(COG) 계산 2. 모듈 Lifting Point 결정 3. Weight Balance Simulation (변형 동적해석 포함)	2.3.3) Weight Balance 설계 지침서 2.3.4) Weight Balance (동적해석 포함) S/W모듈	1.연구소(해석-상용화) 2.개발/EPC사(상용화)
4.1)	운송/선적 /하역	3D Model, Routing Survey Report, Schedule, 각종 선적/하역 정보 DB, Weight Information, GIS	Transportation Simulation	1. 운송 계획 검증(경로 분석) - Swept Path Analysis - Ocean Motion Study 2. 선적/하역 계획 검증 - Lifting 장치/SPMT Simulation	4.1.1) 운송성 평가기반 최적화 설계 지침서 4.1.2) 운송성 평가 시뮬레이션 – 운송/선적/하역 계획 검증 S/W모듈	1.대학/연구소(상용화) 2. 개발사(상용화)
4.2)	현장물류/ 건설	3D Model, Plot Plan, SPMT, Installation Sequence, Schedule, 각종 현장물류/건설 DB, Weight Information	Construction Simulation, Inspection	1. 시공성 평가 방법론 2. 모듈 적재 및 이송 계획 검증 3. 모듈 설치 및 조립 계획 검증 - 4D 기반 설치 순서 Simulation - 제작오차/변형 고려 최적설치 Simulation	4.2.1) 시공성 평가 및 최적화 지침서 4.2.2) 시공성 평가 시뮬레이션 – 적재/이송/설치 계획 검증 S/W모듈	1. 대학/연구소(상용화) 2. 개발사(상용화)

[표] RFP 주요 키워드별 세부 연구개발 내용 및 성과물

1.3.2. 연구개발 개별목표

1) 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 개발

연구 내용 · 범위: 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술은 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 건설 과정에서 요구되는 협업 프로세스를 고려하여 플랜트를 분할한 협업 단위 시스템 및 장치/유닛 관련 정보(타입, 3D CAD, 사양, 및 포트 데이터 등)를 저장한 데이터베이스(Database)로서 공용화/최적화를 통한 생산성/경제성 증가와 재활용성 확대를 목표로 함

→ 산출물 1: 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술

- 세부 산출물 1.1: 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리
- 세부 산출물 1.2: 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리



[그림] 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술(산출물 1.1/1.2)

2) 협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈 개발

연구 내용 · 범위: 협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈은 플랜트 협업 단위 모듈 설계 지식을 체계화, 표준화 및 시스템화하여 상세 설계의 주요 과정에서 핵심적으로 필요한 설계지침서와 이를 소프트웨어적으로 지원하는 S/W모듈 개발을 목표로 함

→ 산출물 2.1: 협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 모듈

- 세부 산출물 2.1.1: 모듈 분할 상세 설계 지침서
- 세부 산출물 2.1.2: 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W모듈



[그림] 협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 모듈(산출물 2.1.1/2.1.2)

→ 산출물 2.2: 협업단위 모듈 컴팩트/최적화 및 인터페이스 설계지침서 및 모듈

- 세부 산출물 2.2.1: 컴팩트/최적화 설계 지침서
- 세부 산출물 2.2.2: 컴팩트/최적화 S/W모듈
- 세부 산출물 2.2.3: 인터페이스 설계 지침서
- 세부 산출물 2.2.4: 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W모듈



[그림] 협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 모듈(산출물 2.2.1/2.2.2/2.2.3/2.2.4)

→ 산출물 2.3: 협업단위 모듈 Weight Balance 및 지지/보강재 설계지침서 및 모듈

- 세부 산출물 2.3.1: Weight Balance 설계 지침서
- 세부 산출물 2.3.2: Weight Balance 설계(동적해석 포함) S/W모듈
- 세부 산출물 2.3.3: 지지대/보강재/Lug 설계 지침서
- 세부 산출물 2.3.4: 지지대/보강재 설계/해석 S/W모듈

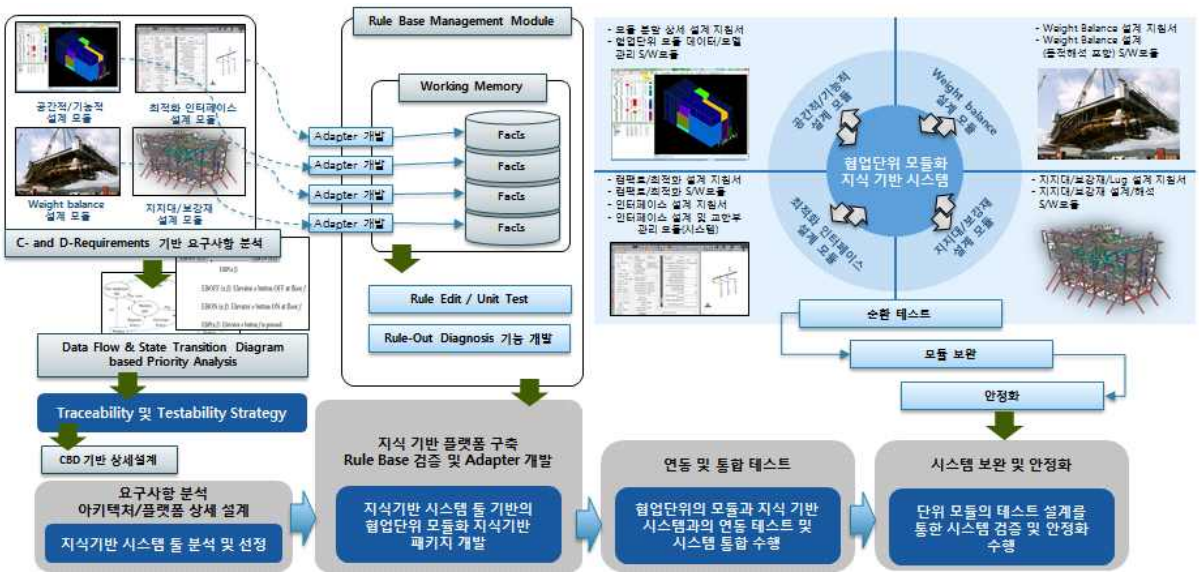


[그림] 협업단위 모듈 Weight Balance 및 지지/보강재 설계지침서 및 모듈(산출물 2.3.1/2.3.2/2.3.3/2.3.4)

3) 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지) 개발

연구 내용 · 범위: 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지)은 산출물 2.1), 2.2), 2.3) 에서 도출된 단위 S/W모듈들을 통합하고, 실용화/상용화 관점에서 사용자의 편리성과 상품성을 달성하기 위한 패키지 시스템 개발을 목표로 함

→ 산출물 3: 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지)



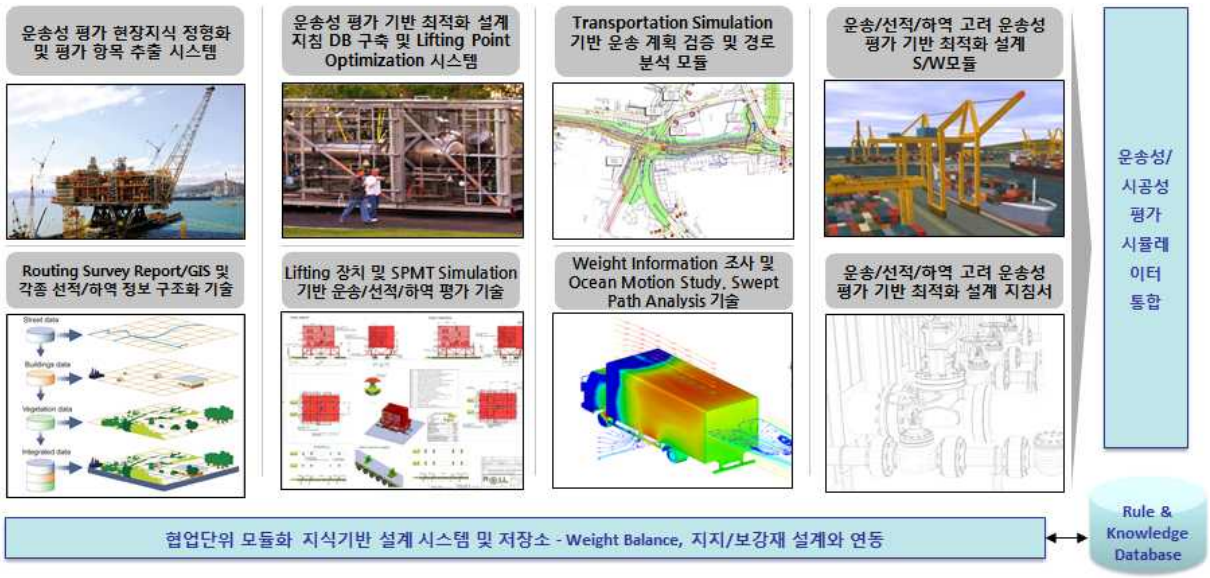
[그림] 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지)(산출물 3)

4) 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발

연구 내용 · 범위: 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈은 협업 단위 모듈화 상세 설계 과정에 모듈의 운송과 시공 고려 사항을 사전에 시뮬레이션을 통해 평가하여 설계에 반영하여 최적화하는 기술로서, 최적화 설계 지침서와 이를 소프트웨어적으로 지원하는 S/W모듈의 개발을 목표로 함

→ 산출물 4.1: 운송/선적/하역 고려 협업 단위 모듈화 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈

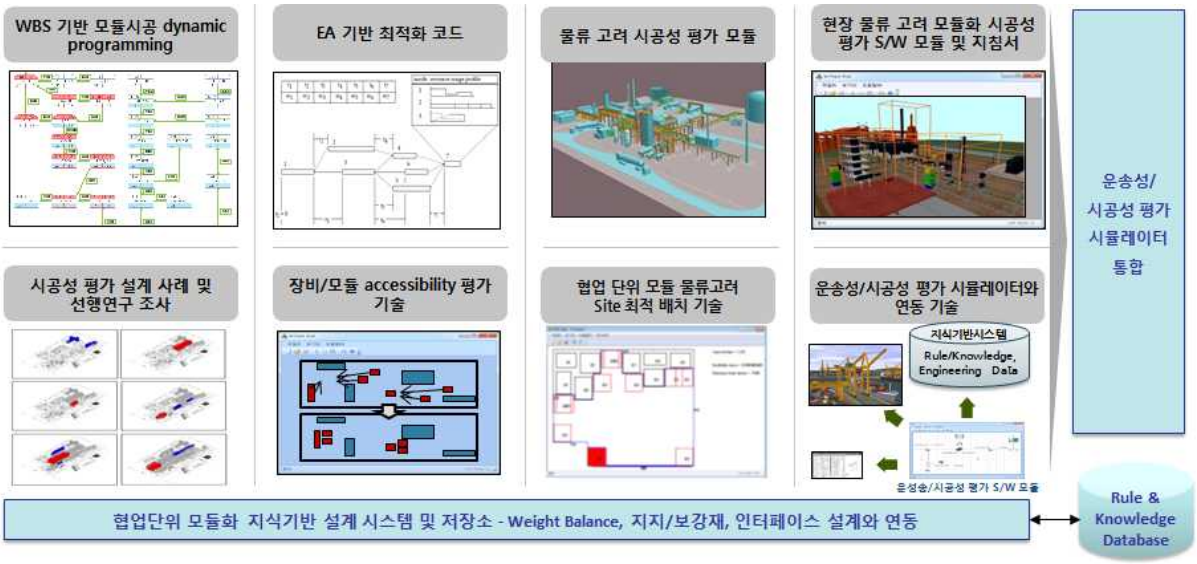
- 세부 산출물 4.1.1: 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서
- 세부 산출물 4.1.2: 운송성 평가 시뮬레이션–운송/선적/하역 계획검증 모듈



[그림] 운송/선적/하역 고려 협업 단위 모듈화 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈(산출물 4.1.1/4.1.2)

→ 산출물 4.2: 현장물류/건설 고려 협업 단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈

- 세부 산출물 4.2.1: 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서
- 세부 산출물 4.2.2: 시공성 평가 시뮬레이션–적재/이송/설치 계획검증 모듈

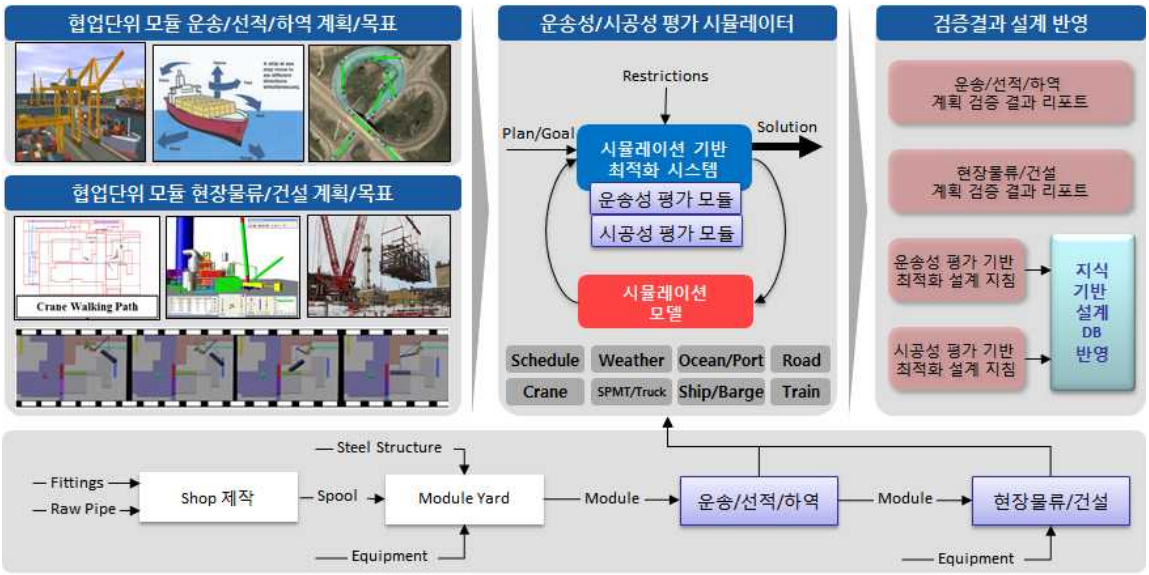


[그림] 현장물류/건설 고려 협업 단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈(산출물 4.2.1/4.2.2)

5) 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발

연구 내용 · 범위: 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터는 산출물 4.1), 4.2)에서 도출된 단위 S/W모듈들을 통합하고, 실용화/상용화 관점에서 사용자의 편리성과 상품성을 달성하기 위한 패키지 시스템 개발을 목표로 함

→ 산출물 5: 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지)



[그림] 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발(산출물 5)

6) 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 시험 적용 및 성능 평가

연구 내용·범위: 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 시험 적용 및 성능 평가는 개발한 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 적용 및 성능 검증을 위해 참여기업에서 제공하는 모듈러 플랜트 관련 데이터를 기반으로 시험 환경을 구축하여 실증 실험을 수행함. 이를 위해 대상 플랜트 선정 후, 적용 시나리오를 개발함. 개발된 적용 시나리오에 따라 실험 데이터를 수집하여 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 성능 평가를 수행함. 주요 산출물은 시스템 시험적용 및 성능평가 보고서임

→ 산출물 6: 시스템 시험적용 및 성능 평가 보고서



[그림] 시스템 시험적용 및 성능평가 (산출물 6)

7) 최종목표의 성격 및 설정근거

○ 본 과제의 최종 성과물은 플랜트 협업 설계에 사용될 상용화를 위한 소프트웨어 시작품 개발로, 테스트베드 적용을 통해 현장 사용 가능성을 검증할 예정이며 소프트웨어 개발을 위해 필요한 이론적 아이디어 개발 및 프로세스 개발, 기술 개발 등을 포함함

○ 본 과제의 최종 연구 목표는 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터를 개발하는 것으로 이는 세부 기술 개발을 통해 달성할 수 있음. 세부 기술 개발을 통해 설계 자동화율 향상, 업무처리 효율 향상 및 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 단축을 달성할 수 있으며, 이는 결과적으로 상호운용성 비용이 감소하여 건설 원가 절감으로 이어짐

○ 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 개발

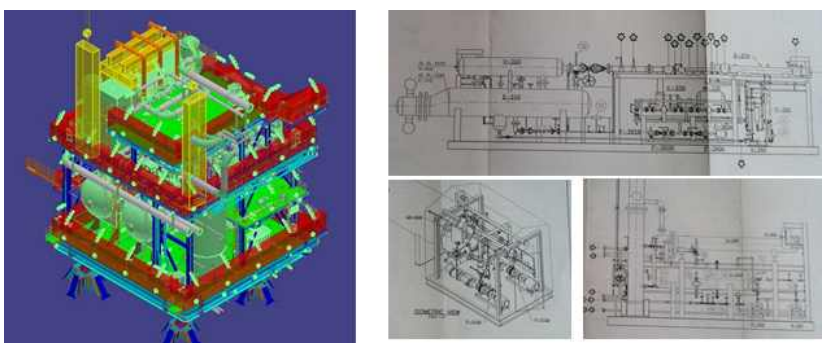
- 육상 플랜트 모듈 설계 시 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 시스템을 구축하여 설계 및 건설 과정에서 활용함으로써 국내 EPC사 및 모듈 업체의 모듈화 역량을 강화하고 해외 프로젝트 수주 경쟁력을 강화하여 지식 기반 설계 시스템의 활용률 향상, 설계 자동화율 향상 및 데이터 품질 향상됨
- 현재 상당 부분 고급 엔지니어의 경험에 의존하여 프로젝트를 수행하는 현실을 개선하기 위하여, 설계자들이 동일한 지식 기반 정보와 기능을 공유함으로써 플랜트 데이터의 호환성을 높일 수 있어 상호운용성 비용이 감소함

○ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발

- 모듈화 프로젝트 증가의 주요한 원인으로 꼽히는 극지, 한지, 오지 등 열악한 환경 조건에서의 자원 개발 및 플랜트 건설의 경우에는 제작된 모듈의 운송에 대한 사전 검토와 현장 시공에 대해 철저히 준비가 필요하나, 국내 EPC사의 경우 아직 육상 모듈화 프로젝트에 대한 경험이 많지 않아 수주 경쟁력을 확대하기 위한 다양한 노력이 요구 되고 있음
- 이러한 추세에 대비해 기반 인프라인 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발을 통한 최적화 설계 기술의 구축이 필수적이고, 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술의 고도화를 통해 글로벌 시장의 플랜트 건설 수주와 국가 발전을 도모할 수 있음

○ 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 시험적용 및 성능평가

- 본 과제에서 개발한 성과물의 효용성 검증을 위해서는 육상 플랜트에 적용해야 함. 시험적용 및 성능평가를 통해 최종목표 달성 여부를 근사적으로 확인해 볼 수 있음. 이를 위해 참여기업인 필즈엔니지어링(주)의 제공 자료를 기반으로 시험적용 및 성능 평가를 수행.
- **필즈엔지니어링(주)가 기 수행하였거나 (앞으로 수행할) 정유/가스 대상 모듈 설계 (및 제작) 프로젝트 데이터를 활용하여 성능 평가를 수행**



1.3.3. 연차별 연구목표, 내용 및 목적

1) 연구목표 및 내용

연차	연구목표	주요연구내용
2차년도	▪ 플랜트 협업 단위 모듈화 지식 기반 시스템 요구사항 수립 및 기본 설계 ▪ 운송성/시공성을 고려한 최적화 설계를 위한 시뮬레이션 평가 요구 사항 수립 및 기본 설계 ▪ 지식기반 시스템(패키지) 기본설계 ▪ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 (패키지) 기본 설계 수행	▪ 협업단위 지식기반 설계 시스템 요구 사항 조사 및 분석 - 설계/시공 기술요소 분석 - 지식기반 설계 방법론 - 모듈 데이터/모델 관리 방법 - 공간 집약도 고려 설비 배치 - 교합부 관리 방법 - 모듈 무게중심(COG) 계산 ▪ 운송성/시공성을 고려한 최적화 설계를 위한 시뮬레이션 평가 요구 사항 조사 및 분석 - 운송 계획 검증(경로 분석) 방법 - 선적/하역 계획 검증 방법 - 시공성 평가 방법론 - 모듈 적재 및 이송 계획 검증 방법 - 모듈 설치 및 조립 계획 검증 방법 ▪ 지식 기반 시스템(패키지) 기본 설계 수행 ▪ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지) 기본 설계 수행
3차년도	▪ 지식기반 설계 시스템 핵심 모듈 및 지침서 개발 ▪ 운송성/시공성 평가 기반 시뮬레이션 핵심 모듈 및 최적화 지침서 개발 ▪ 지식기반 시스템(패키지) 상세설계 ▪ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 (패키지) 상세 설계 수행	▪ 공간적/기능적 분할 상세 설계 지침서 및 모듈 - 3차원 기반 분할 모델링 ▪ 협업단위 모듈화 컴팩트/최적화 설계지침서 및 모듈 - 단위 프로세스 패키지화 - 경제성 고려 설비 배치 - 운송성/시공성 고려 설비 배치 - O&M 고려 설비 배치 ▪ 협업단위 모듈화 인터페이스 설계 지침서 및 모듈 - 배관/구조 인터페이스 설계 - 교합부 관리 ▪ 협업단위 모듈화 Weight Balance 설계 지침서 및 모듈 - 모듈 Lifting Point 결정 - Weight Balance Simulation (변형 동적해석 포함) ▪ 협업단위 모듈화 지지대/보강재 설계 지침서 및 모듈 - Lifting Point 고려 - 운송/선적/하역 고려 - 현장 설치 고려 - 하중 및 경계값 분석 - 온도 변화에 따른 열변형 해석 ▪ 운송/선적/하역 고려 운송성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 모듈 - Swept Path Analysis - Ocean Motion Study - Lifting 장치/SPMT Simulation ▪ 현장물류/건설 고려 시공성 평가 및 최적화 지침서/모듈 - 4D 기반 설치 순서 Simulation - 제작오차/변형 고려 최적설치 Simulation ▪ 공용화 및 표준화 설계 라이브러리 ▪ 지식기반 설계 시스템 플랫폼(패키지) ▪ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지)

4차년도	▪ 지식기반 설계 시스템 핵심 모듈 개발 완료 ▪ 운송성/시공성 평가 기반 시뮬레이션 핵심 모듈 개발 완료 ▪ 지식기반 시스템(패키지) 개발 완료 및 시스템 통합 ▪ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 (패키지) 개발완료 및 시스템 통합 ▪ 시제품 개발	▪ 공간적/기능적 분할 상세 설계 지침서 및 모듈 - 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 모듈(시스템) ▪ 협업단위 모듈화 컴팩트/최적화 설계지침서 및 모듈 - 컴팩트/최적화 설계 모듈 ▪ 협업단위 모듈화 인터페이스 설계 지침서 및 모듈 - 인터페이스 설계 모듈 (교합부 관리 기능 포함) ▪ 협업단위 모듈화 Weight Balance 설계 지침서 및 모듈 - Weight Balance 설계(동적해석 포함) 모듈(시스템) ▪ 협업단위 모듈화 지지대/보강재 설계 지침서 및 모듈 - 지지대/보강재 설계/해석 모듈(시스템) ▪ 운송/선적/하역 고려 운송성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 모듈 - 운송성 평가 시뮬레이션-운송/선적/하역 계획 검증 모듈 ▪ 현장물류/건설 고려 시공성 평가 및 최적화 지침서/모듈 - 시공성 평가 시뮬레이션-적재/이송/설치 계획 검증 모듈 ▪ 공용화 및 표준화 설계 라이브러리 ▪ 지식기반 설계 시스템 통합 플랫폼(패키지) 시제품 개발 ▪ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지) 시제품 개발
5차년도	▪ 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈 보완 ▪ 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 보완 ▪ 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 보완 ▪ Weight Balance 및 지지보강재 설계 S/W 모듈 개발 ▪ 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 (패키지) 보완	▪ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W모듈 보완 ▪ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지) 보완 ▪ 공간적/기능적 모듈 분할설계 지침서 보완 및 지침서 통합 ▪ 공간적/기능적 최적 배치 설계 지침서 보완 및 지침서 통합 ▪ 공간적/기능적 인터페이스 설계 지침서 보완 및 지침서 통합 ▪ Weight Balance 설계 지침서 보완 ▪ 플랜트 모듈 지지대/보강재/Lug 설계지침서 보완 ▪ 유닛 조합 공용 라이브러리 보완 ▪ 협업단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 보완 ▪ 컴팩트/최적화 관련 알고리즘 개선 및 추가를 통한 S/W모듈 개선 및 통합 ▪ 인터페이스 설계 및 교합부 관리 관련 기능 개선 및 추가를 통한 S/W모듈 개선 및 통합 ▪ 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 관련 최적화 모델 개선 및 추가를 통한 S/W 모듈 개선 및 통합 ▪ 협업 단위 모듈 시공성 평가 기반 최적화 S/W 지침서 보완 ▪ 운송성 평가 시뮬레이션을 위한 운송/선적/하역 계획 S/W 모듈 개발 ▪ 구축된 DB와 운송성 평가 시스템 연동 및 S/W 모듈 통합 협업단위 모듈화 지식기반 Weight Balance 설계 S/W 모듈 개발 ▪ 협업단위 모듈화 지식기반 지지보강재 설계 S/W 모듈 개발 ▪ 지식기반 시스템 (패키지) 테스트 베드 구축 ▪ 관련 설계 모듈의 테스트를 위한 샘플 지식베이스 구축
6차년도	▪ 시험 적용 및 성능 평가 ▪ 시스템 보완 및 안정화 ▪ 실용화/상용화	▪ 시스템 적용 환경 구축 및 성능 평가 방법 정립 ▪ 단위/통합 테스트 및 보완 ▪ 통합 시스템 현업 적용, 성능 평가 및 보완 ▪ 시스템(패키지) 실용화/상용화

1.3.4. 연구 목적

1) **[주관] 데이터 모델 관리 S/W 모듈**

목 적	- 플랜트 동시병행 협업 엔지니어링 환경에서 단위 모듈 상세 설계를 위해 Solution들의 데이터가 타solution간에는 호환이 되지 않아 발생하는 불편함을 해소하기 위한 통합 데이터 모델 관리 S/W를 구현함 - 기존 Solution들의 데이터를 라이센스 없이 활용하고 정보를 공유 가능함

2) **[주관] 지식기반 시스템 (패키지)**

목 적	- 플랜트 동시병행 협업 엔지니어링 환경에서 단위 모듈 상세 설계 검증을 자동화하여 기존 인력투입방식의 비 효율적인 속도와 신뢰성을 보완하는 시스템을 구현함. 이를 통해 설계 무결성을 획득하고 이후 제작 과정에서 발생할 수 있는 오류를 미연에 방지하여 생상성 향상과 공기 단축, 재시공 비용의 감소등의 효과 달성 - 지식 생성 관리 플랫폼에서 되는 규정 및 지침을 활용

3) **[공동-주관]** 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지)

목 적	- 육상 플랜트 설계 단계부터 협업을 통해 전체 프로젝트 공기를 단축하고 비용을 절감할 수 있는 체계 마련 - 운송/선적/하역과 현장물류/시공 관련 요소를 고려하여 운송성/시공성 시뮬레이션을 수행함으로써, 비효율적 플랜트 모듈 구성과 부적절한 공기 배치 등 발생 가능한 문제점을 초기에 가시화하고, 최적화 된 설계를 지원 - 모듈화된 플랜트 협업 단위 엔지니어링 수행을 통해 프로젝트 기획에서 최종 구축 및 감리에 이르기까지의 전체 일정의 단축과 비용 절감 효과 달성

4) **[공동-연세대]**운송/시공성 평가 기반 최적화 설계 지원 시스템

목 적	- 모듈화된 협업 단위 육상 플랜트 시스템의 운송, 선적, 하역을 고려한 3차원 시뮬레이션을 통해 시공성을 사전에 평가하고 검증함으로써 최적화된 운송, 선적, 하역 계획과 이를 위한 동시적 설계 엔지니어링을 지원하는 기술

5) **[공동-필즈엔지니어링(주), 고등기술연구원]**모듈 Weight Balance, 지지/보강재 설계 모듈

목 적	협업단위 모듈의 원활한 운송/선적/하역 및 현장물류/건설을 지원하기 위한 Weight Balance 및 지지/보강재 최적 설계 - 모듈의 Weight Balance 최적 설계를 통한 운송 사고 방지, 운송 비용 절감, 운송 기간 단축 - 모듈의 지지/보강재 최적 설계를 통한 구조 안정성 확보, 건설/운영 효율성 증가, 자재 비용 절감

6)**[공동-필즈엔지니어링(주), KAIST]**컴팩트/최적화, 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W 모듈

목 적	- 협업 단위 모듈의 운송성 또는 시공성을 높이기 위해서 모듈의 부피를 일부 줄이거나, 길이/높이/폭 등 주요 치수의 전부 또는 일부를 감소시킬 필요가 있을 때, 기설계된 모듈내 기자재를 재배치하여 모듈을 컴팩트하게 설계할 수 있도록 함. - 설계자가 모듈의 컴팩트화를 원할 때. 3차원 최적배치를 통해 설계자의 요구를 만족시키는 여러 가지 설계대안을 빠른 시간안에 여러개를 자동으로 제안하여, 훨씬 더 많은 설계 대안을 효율적으로 탐색할 수 있도록 함.

7)**[공동-KAIST]**시공성 평가 시뮬레이션 적재 이송 설치 계획 검증 S/W모듈 및 지침서

목 적	- PBS (Product Breakdown Structure) 와 WBS (Work Breakdown Structure) 기반으로 계획된 시공 네트워크에서 다양한 병렬작업이 가능함. - 본 성과는 그러한 병렬 작업에서 트럭이나 heavy transporter 등의 장비 accessibility 뿐 아니라, 시공된 모듈의 부분 시운전이 우선 가능하도록 하는 등의 다양한 설계자의 요구를 반영하여 최적의 모듈 시공 네트워크를 효과적으로 찾을 수 있도록 함.

8) **[공동-필즈엔지니어링(주), 주관]**모듈 분할 컴팩트/최적화, 인터페이스, Weight Balance,지지/보강재 설계 지침서 5종

목 적	- 협업단위 모듈에 대한 설계/시공 기술 요소를 분석하여 공간적 기능적으로 최적화된 상세설계를 수행 - 3D CAD 기반 분할 모델링을 실시하여 협업단위 모듈별 데이터와 모델의 관리를 수행 - 현재 필즈엔지니어링(주)에서 진행 중이거나 계획된 모듈화 플랜트 관련 사업에 활용 가능하도록 관련 설계 지침서 및 S/W모듈 개발

9) **[공동-필즈엔지니어링(주)]플랜트** 장치/유닛 조합 공용 표준화 라이브러리

목 적	- 설계 과정에서 필요로 하는 다양한 3D CAD 데이터 및 연관된 형상 정보들을 활용하여 설계자가 필요로 하는 구성품들을 라이브러리로 구축하여 사용하기 위함. 이를 통해 설계 오류 발생률을 줄이고 설계에 소요되는 작업 시간을 단축시킴 - 표준을 활용하여 설계, 시공 및 유지보수 과정에서 다양한 방법으로 관여하는 시스템들에 대한 상호운용성을 높여 장기적인 관점에서 데이터 호환성 문제로 인해 발생하는 비용의 절감이 가능하며 협업 단위 시스템의 현장 활용성을 증대시킴

10) **[위탁] 지식생성/관리 플랫폼**

목 적	- 플랜트 동시병행 협업 엔지니어링 환경에서 단위 모듈 상세 설계 지원을 위해서 사용하는 규정 및 지침을 지식기반 시스템에서 사용 할 수 있도록 수치화하여 체계적으로 관리하는 지식생성/관리 플랫폼을 구현함

11) **[주관, 공동-필즈엔지니어링(주)]**시스템 시험적용 및 성능 평가

목 적	- 기술적 진보: 세부과제 최종 성과물인 협업 단위 모듈화 지식기반시스템과 운송성/시공성 평가 시뮬레이터를 개발된 개별 모듈 및 통합 시스템 성능을 검증하여 최종 성과물 목표 달성 여부를 확인하고자 함 - 경제적 편익 향상: 시스템 평가 결과의 체계적인 분석 결과를 보고서 형태로 기록하고 활용함으로써 불필요하거나 중복된 평가 횟수를 줄이고 시스템 개선 방안을 시스템 보완에 반영하고자 함

2. 연구수행내용 및 성과

2.1 연구 추진 내역

2.1.1 연구 개발 추진 전략 및 방법

연구 개발 추진 전략



○ 플랜트에셋은 주관 기관으로서 협업단위 모듈화 지식기반 시스템과 운송성/시공성 평가 시뮬레이터에 대한 사업화가 가능함.

○ 필즈엔지니어링의 모듈 시스템 개발 사례와 연계한 협업단위 모듈 Weight Balance 및 지지대/보강재 설계 시스템과 모듈 공간/기능 분할 최적화 및 인터페이스 설계 시스템을 개발할 경우 시장 선도 기술의 개발, 사업화가 가능함.

○ 필즈엔지니어링에서는 석유/화학(또는 정유/화학) 플랜트의 장치/유닛, 협업 단위 모듈 시스템 개발 사례의 제시를 통한 솔루션 개발 요구조건 제시 및 성능 검증/평가 지원이 가능함.

○ 핵심기술의 실용화를 위해 후속 상용화 과제 사전기획보고서 제출 가능함.

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
1	플랜트에셋(주)	시스템 기술 개발 및 사업화							V	V	
2	필즈엔지니어링(주)	요구 자료 제공 및 개발 기술 활용	V				V			V	
합계											

2.1.2 연구 개발 추진 체계

가) 2차년도 연구개발 추진 체계

코드번호	C-14-02

3세부과제	
과제명	플랜트 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발
협동기관	플랜트에셋(주)

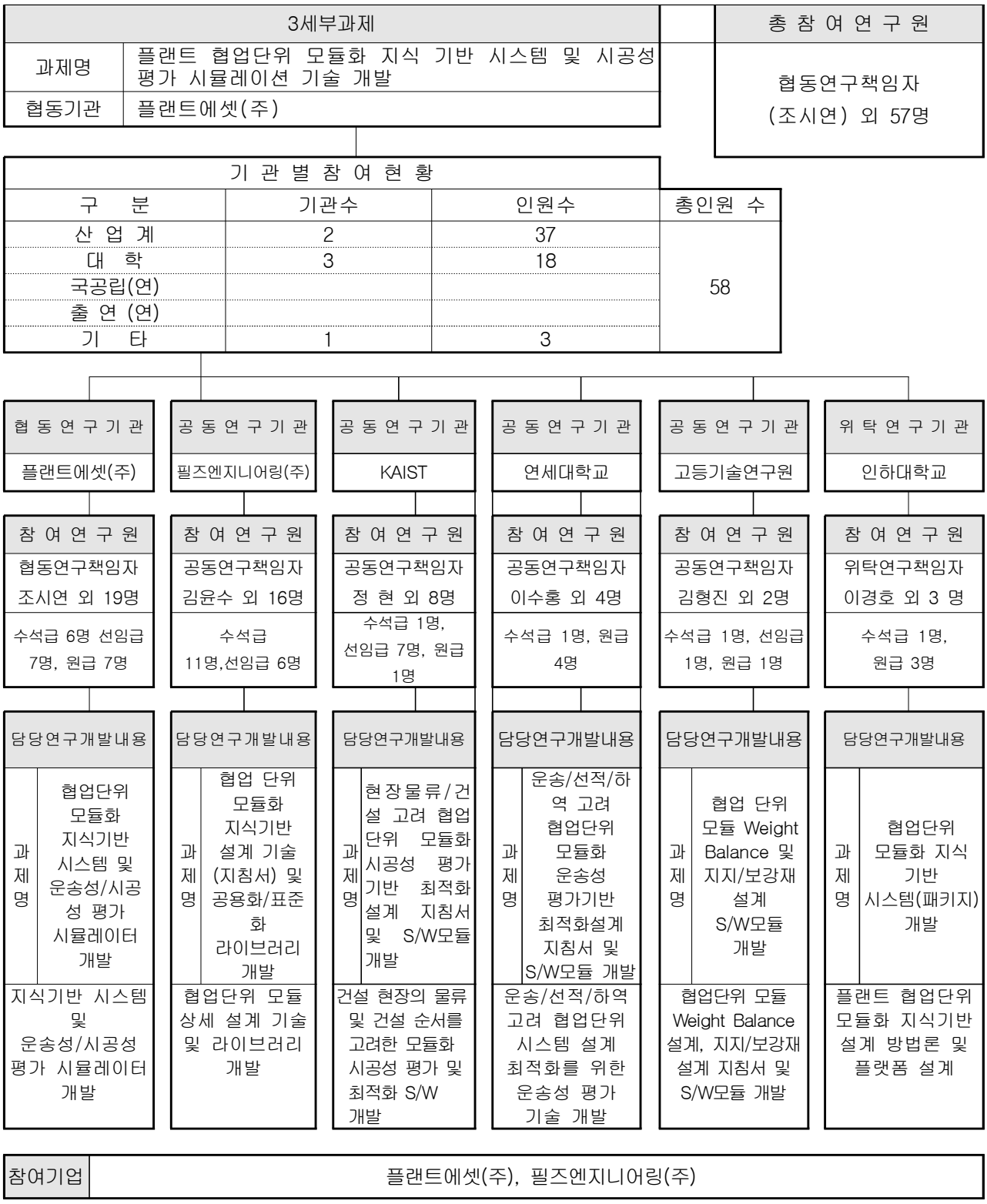
총 참 여 연 구 원
협동연구책임자 (조시연) 외 56명

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	37	57
대 학	3	17	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타	1	3	

협 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
플랜트에셋(주)	필즈엔지니어링(주)	KAIST	연세대학교	고등기술연구원	인하대학교
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
협동연구책임자 조시연 외 18명	공동연구책임자 김윤수 외 17명	공동연구책임자 정 현 외 7명	공동연구책임자 이수홍 외 4명	공동연구책임자 김형진 외 2명	위탁연구책임자 이경호 외 3 명
수석급 5명 선임급 7명, 원급 7명	수석급 10명,선임급 8명	수석급 2명, 선임급 5명, 원급 1명	수석급 1명, 원급 4명	수석급 1명, 선임급 1명, 원급 1명	수석급 1명, 원급 3명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발	과제명: 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술 (지침서) 및 공용화/표준화 라이브러리 개발	과제명: 현장물류/건설 고려 협업단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발	과제명: 운송/선적/하역 고려 협업단위 모듈화 운송성 평가기반 최적화설계 지침서 및 S/W모듈 개발	과제명: 협업 단위 모듈 Weight Balance 및 지지/보강재 설계 S/W모듈 개발	과제명: 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지) 개발
지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발	협업단위 모듈 상세 설계 기술 및 라이브러리 개발	건설 현장의 물류 및 건설 순서를 고려한 모듈화 시공성 평가 및 최적화 S/W 개발	운송/선적/하역 고려 협업단위 시스템 설계 최적화를 위한 운송성 평가 기술 개발	협업단위 모듈 Weight Balance 설계, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발	플랜트 협업단위 모듈화 지식기반 설계 방법론 및 플랫폼 설계

참여기업	플랜트에셋(주), 필즈엔지니어링(주)

나) 3차년도 연구개발 추진 체계



다) 4차년도 연구개발 추진 체계

3세부과제		총 참 여 연 구 원
과제명	플랜트 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발	협동연구책임자 (조시연) 외 50명
협동기관	플랜트에셋(주)	

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	35	51
대 학	3	13	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타	1	3	

협 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
플랜트에셋(주)	필즈엔지니어링(주)	KAIST	연세대학교	고등기술연구원	인하대학교
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
협동연구책임자 조시연 외 17명	공동연구책임자 권영현 외 16명	공동연구책임자 정현 외 2명	공동연구책임자 이수홍 외 4명	공동연구책임자 김형진 외 2명	위탁연구책임자 이경호 외 4명
수석급 7명 선임급 6명, 원급 4명	수석급10명,선임급 7명	선임급 1명, 원급 2명	수석급 1명, 원급 4명	수석급 1명, 선임급 1명, 원급 1명	수석급 2명, 원급 3명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발	과제명: 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술(지침서) 및 공용화/표준화 라이브러리 개발	과제명: 현장물류/건설 고려 협업단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발	과제명: 운송/선적/하역 고려 협업단위 모듈화 운송성 평가기반 최적화설계 지침서 및 S/W모듈 개발	과제명: 협업 단위 모듈 Weight Balance 및 지지/보강재 설계 S/W모듈 개발	과제명: 협업단위 모듈화 지식기반 시스템(패키지) 개발
지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발	협업단위 모듈 상세 설계 기술 및 라이브러리 개발	건설 현장의 물류 및 건설 순서를 고려한 모듈화 시공성 평가 및 최적화 S/W 개발	운송/선적/하역 고려 협업단위 시스템 설계 최적화를 위한 운송성 평가 기술 개발	협업단위 모듈 Weight Balance 설계, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발	플랜트 협업단위 모듈화 지식기반 설계 방법론 및 플랫폼 설계

참여기업	플랜트에셋(주), 필즈엔지니어링(주)

라) 5차년도 연구개발 추진 체계

3세부과제		총 참 여 연 구 원
과제명	플랜트 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발	협동연구책임자 (조시연) 외 49명
협동기관	플랜트에셋(주)	

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	34	50
대 학	3	13	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타	1	3	

협 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
플랜트에셋(주)	필즈엔지니어링(주)	KAIST	연세대학교	고등기술연구원	인하대학교
참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원	참 여 연 구 원
협동연구책임자 조시연 외 16명	공동연구책임자 권영현 외 17명	공동연구책임자 정현 외 1명	공동연구책임자 이수홍 외 4명	공동연구책임자 김형진 외 2명	위탁연구책임자 이경호 외 4명
수석급 7명 선임급 6명, 원급 4명	수석급10명,선임급 7명	선임급 1명, 원급 1명	수석급 1명, 원급 4명	수석급 1명, 선임급 1명, 원급 1명	수석급 2명, 원급 3명
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
과제명: 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발	과제명: 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술(지침서) 및 공용화/표준화 라이브러리 개발	과제명: 현장 물류/건설 고려 협업단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발	과제명: 운송/선적/하역 고려 협업단위 모듈화 운송성 평가기반 최적화설계 지침서 및 S/W모듈 개발	과제명: 협업 단위 모듈 Weight Balance 및 지지/보강재 설계 S/W모듈 개발	과제명: 협업단위 모듈화 지식기반 시스템(패키지) 개발
지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발	협업단위 모듈 상세 설계 기술 및 라이브러리 개발	건설 현장의 물류 및 건설 순서를 고려한 모듈화 시공성 평가 및 최적화 S/W 개발	운송/선적/하역 고려 협업단위 시스템 설계 최적화를 위한 운송성 평가 기술 개발	협업단위 모듈 Weight Balance 설계, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발	플랜트 협업단위 모듈화 지식기반 설계 방법론 및 플랫폼 설계

참여기업	플랜트에셋(주), 필즈엔지니어링(주)

마) 6차년도 연구개발 추진 체계

3세부과제		총 참 여 연 구 원
과제명	플랜트 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발	협동연구책임자 (조시연) 외 52명
협동기관	플랜트에셋(주)	

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	40	53
대 학	3	11	
국공립(연)	1	2	
출 연 (연)			
기 타	1	3	

협 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	위 탁 연 구 기 관
플랜트에셋(주)	필즈엔지니어링(주)	KAIST	연세대학교	고등기술연구원	인하대학교
참 여 연 구 원 협동연구책임자 조시연 외 16명 수석급 7명 선임급 6명, 원급 4명	참 여 연 구 원 공동연구책임자 권영현 외 17명 수석급10명,선임급 7명	참 여 연 구 원 공동연구책임자 서효원 외 2명 선임급 1명, 원급 1명	참 여 연 구 원 공동연구책임자 이수홍 외 4명 수석급 1명, 원급 4명	참 여 연 구 원 공동연구책임자 김형진 외 1명 수석급 1명, 선임급 1명	참 여 연 구 원 위탁연구책임자 이경호 외 3명 수석급 1명, 원급 3명
담당연구개발내용 과제명: 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발	담당연구개발내용 과제명: 협업 단위 모듈화 지식기반 설계 기술(지침서) 및 공용화/표준화 라이브러리 개발 협업단위 모듈 상세 설계 기술 및 라이브러리 개발	담당연구개발내용 과제명: 현장물류/건설 고려 협업단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 건설 현장의 물류 및 건설 순서를 고려한 모듈화 시공성 평가 및 최적화 S/W 개발	담당연구개발내용 과제명: 운송/선적/하역 고려 협업단위 모듈화 운송성 평가기반 최적화설계 지침서 및 S/W모듈 개발 운송/선적/하역 고려 협업단위 시스템 설계 최적화를 위한 운송성 평가 기술 개발	담당연구개발내용 과제명: 협업 단위 모듈 Weight Balance 및 지지/보강재 설계 S/W모듈 개발 협업단위 모듈 Weight Balance 설계, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발	담당연구개발내용 과제명: 협업단위 모듈화 지식기반 시스템(패키지) 개발 플랜트 협업단위 모듈화 지식기반 설계 방법론 및 플랫폼 설계

참여기업	플랜트에셋(주), 필즈엔지니어링(주)

2.1.3 연차별 연구 개발 추진 일정

가) 2차년도 연구개발 추진일정

코드번호	C-14-03

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	3차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기
3세부											
공동	협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 플랜트에셋)	A	A-1	A-1-①	협업단위 모듈 데이터/모델 관리 모듈 개발	특허, 프로그램개발보고서, S/W	105	21	21	21	
		A	A-1	A-1-②	협업단위 모듈 데이터/모델 관리 모듈 단위 테스트 수행	테스트 평가 보고서			21	21	
		A	A-2	A-2-①	적응 및 성능 검증 대상 플랜트 설계자료 확보	검증 대상 설계자료 정리	120	20	20	20	
		A	A-2	A-2-②	공간적/기능적 분할설계 지침서 개발	공간적 분할설계지침서		20	20	20	
공동	협업단위 모듈 컴팩트/최적화, 인터페이스 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ KAIST)	A	A-3	A-3-①	협업 설계 모듈 내 기자재 3차원 배치 최적화 정식화 AABB및 배치관련 정보 자동추출기술 개발 및 Rule Base 구축	개발 보고서	20	3	3		
		A	A-3	A-3-②	EA (Evolutionary Algorithm) 기반 3차원 최적화 모듈 개발	워킹모델, 특허		3	3		
		A	A-3	A-3-③	Penalty 기법에 기반한 EA (Evolutionary Algorithm) 기반 최적화 모듈 개발	개발 보고서, 논문				4	
		A	A-3	A-3-④	플랜트 모듈 3차원 배치 최적화 S/W 개발	워킹모델				4	
		A	A-4	A-4-①	설계지침서 개발	특허, 공간적 최적화 설계지침서	30	10	10	10	
		A	A-6	A-6-①	설계요구자 인터페이스 요구사항 분석	공간적 인터페이스 요구 List, 기능적 인터페이스요구 List	60	20	15	20	
		A	A-6	A-6-②	인터페이스 설계지침서 개발	공간적인 터페이스 설계지침서		20	20	20	
공동	협업 단위 모듈 Weight Balance, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 고등기술연구원)	A	A-7	A-7-①	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 단위 모듈 설계 및 구현	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 단위 모듈, 논문	30	9	9	9	
		A	A-7	A-7-②	Weight Balance 설계 Rule Base 구축	Weight Balance 설계 Rule Base		1	1	1	
		A	A-8	A-8-①	플랜트 모듈 Weight Balance 설계기법 개발	Weight Balance 설계 요구사항 List	60	20	20	20	
		A	A-8	A-8-②	플랜트 모듈 Weight Balance 설계지침서 개발	특허, Weight Balance 설계지침서		20	20	20	
		A	A-9	A-9-①	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 단위 모듈 설계 및 구현	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 단위 모듈	27.5	8.5	8	8	
		A	A-9	A-9-②	지지보강재 설계 Rule Base 구축	지지보강재 설계 Rule Base		1	1	1	
		A	A-10	A-10-①	모듈화 플랜트 지지/보강재 설계기법	지지/보강재 설계 요구사항	60	20	20	20	

					개발	List					
		A	A-10	A-10-②	모듈화 플랜트 지지/보강재 설계지침서 개발	지지/보강재 설계지침서		20	20	20	
주관	협업단위 모듈화 지식기반 시스템(패키지) 개발 (플랜트에셋)	B	B-1	B-1-①	지식기반 시스템 기본 플랫폼 구축	프로그램 설계 보고서	205	35	35		
		B	B-1	B-1-②	지식기반 시스템 Rule Base Management 기능모듈 구축	논문, 모듈설계보고서, S/W(시제품)		35	35		
		B	B-1	B-1-③	각 모듈별 Rule Base 검증 및 Adapter 개발	특허, 프로그램개발보고서, S/W*3				30	
		B	B-1	B-1-④	단위기능별 단위 테스트 수행	테스트 평가 보고서				35	
공동	운송/선적/하역 고려 협업 단위 모듈화 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (연세대학교)	C	C-1	C-1-①	운송, 선적, 하역 계획 평가 알고리즘 개발	SCI논문*2, 정보구조화알고리즘	40	5	5	5	
		C	C-1	C-1-②	통합 프레임워크 구현을 위한 개발 아키텍처 및 운송성 평가 모듈 간 인터페이스 정의 및 S/W 분석	기술 분석서		5	5	5	
		C	C-1	C-1-③	운송성 평가 관련 활용되는 요소 관계 탐색	운송 시스템 요구사항 분석서		3	4	3	
		C	C-2	C-2-①	수집 문서 요소들의 계층 관계 및 연관 관계를 분류하는 기술을 통해 핵심 내용, 지침 구성 및 연구 개발	기술현황 분석 보고서	23	9	8	7	
공동	현장물류/건설 고려 협업 단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (KAIST)	C	C-3	C-3-①	WBS, PBS에 기반을 둔 모듈 시공 3차원 최적배치 S/W 개발	특허, 워킹모델, 개발보고서	40	12	12		
		C	C-3	C-3-②	2차원 기반 시공 시나리오별 필요장비 accessibility 및 availability 평가 기술 개발	특허, 워킹모델, 개발보고서			8	8	
		C	C-4	C-4-①	WBS기반 모듈시공 최적화 기술 지침서 작성	지침서	15	5	5	5	
주관	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발 (플랜트에셋)	D	D-1	D-1-①	운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼 구축	프로그램 설계 보고서, S/W	158	44	44		
		D	D-1	D-1-②	각 모듈 Adapter 개발	특허, 프로그램설계보고서, S/W*3				35	
		D	D-1	D-1-③	Adapter 별 단위 테스트 수행	테스트 평가 보고서				35	
공동	협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 (필즈엔지니어링)	E	E-1	E-1-①	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리 개발(배관 및 기계)	유닛 조합 공용 라이브러리 개발 보고서(배관), 유닛조합공용라이브러리개발 보고서(기계), 라이브러리데이터베이스	15	5	5		
		E	E-1	E-1-②	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리 단위 테스트 수행	공용 라이브러리 단위 테스트 평가 보고서				5	
		E	E-2	E-2-①	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 개발(배관 및 기계)	표준설계 라이브러리 개발 보고서(배관), 표준설계라이브러리개발보고서(기계), 라이브러리데이터베이스	18	6	6		

		E	E-2	E-2-②	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 단위 테스트 수행	표준 설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서				6	

나) 3차년도 연구개발 추진일정

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	3차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기
3세부											
공동	협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 플랜트에셋)	A	A-1	A-1-①	지식 기반 시스템 연동	결과 검도 보고서	110	20	30	30	
		A	A-1	A-1-②	전체 통합 연동 테스트 수행	테스트 평가 보고서				30	
		A	A-2	A-2-①	공간적/기능적 분할설계 지침서 개발	기능적 분할설계지침서	63	20	20	23	
공동	협업단위 모듈 컴팩트/최적화, 인터페이스 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ KAIST)	A	A-3	A-3-①	기자재 라이브러리와 연동	개발 보고서, 논문	23	5	5	5	
		A	A-3	A-3-②	최적화 S/W 모듈 통합	시제품(S/W), 특허				8	
		A	A-4	A-4-①	설계지침서 개발	기능적 최적화 설계지침서	20	6	6	8	
		A	A-5	A-5-②	기자재 라이브러리와 연동	개발 보고서	22	4	5	5	
		A	A-5	A-5-②	최적화 S/W 모듈 통합	시제품(S/W)				8	
		A	A-6	A-6-①	인터페이스 설계지침서 개발	기능적 인터페이스 설계지침서	40	10	15	15	
공동	협업 단위 모듈 Weight Balance, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 고등기술연구원)	A	A-7	A-7-①	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 설계 및 구현	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 자동화 S/W 모듈	20	3	3	3	1
		A	A-7	A-7-②	플랜트 모듈 구조 형상 인식기반 설계 자동화 알고리즘 개발	Weight Balance 설계 자동화 알고리즘		3	3	3	1
		A	A-8	A-8-①	모듈화 플랜트 Weight Balance 설계지침서 개발	Weight Balance 설계지침서	60	20	20	20	
		A	A-9	A-9-①	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈 설계 및 구현	플랜트 모듈 지지보강재 설계 최적화 S/W 모듈	30	4	5	5	1
		A	A-9	A-9-②	지지보강재 해석 절차 단순화 프로세스 및 최적 설계 알고리즘 개발	지지보강재 설계 최적화 알고리즘		4	5	5	1
		A	A-10	A-10-①	모듈화 플랜트 지지/보강재 설계지침서 보완	지지/보강재 설계지침서	60	20	20	20	
주관	협업단위 모듈화 지식기반 시스템(패키지) 개발 (플랜트에셋)	B	B-1	B-1-①	지식기반 시스템 각 모듈별 플랫폼과의 연동	시스템 연동 평가 보고서	190	25	25	30	
		B	B-1	B-1-②	운송성/시공성 평가 시뮬레이터 연동	논문, 시스템연동평가보고서		25	25	25	
		B	B-1	B-1-②	전체 통합 연동 테스트 수행	결과 검도 보고서				35	
공동	협업단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W 모듈 (연세대학교)	C	C-1	C-1-①	운송, 선적, 하역 고려 설계 데이터 추출, 평가 및 검증, 추천 알고리즘 및 S/W 모듈 개발	SCI논문*2, 알고리즘*3, S/W*3	60	5	5	5	5
		C	C-1	C-1-②	운송성 평가 통합 시스템 및 운송 요구사항 정보 DB 연동 시스템 구축	SCI 논문, 프로그램 설계 보고서*2, S/W*2		5	5	5	5
		C	C-1	C-1-③	구축 시스템 단위 테스트 수행	테스트 평가 보고서		5	5	5	5
		C	C-2	C-2-①	운송성 평가 요소 정보 DB 구축을 위한 운송 평가 관련 요소 사항 탐색	운송성 평가 요구사항 분석서	30	4	4	4	3
		C	C-2	C-2-②	운송성 평가 요소 구조	데이터베이스		4	4	4	3

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	3차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4분기	2/4분기	3/4분기	4/4분기
					화 및 정보 DB 구축	구조 설계 보고서					
공동	현장물류/건설 고려 협업 단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (KAIST)	C	C-4	C-4-①	시공 네트워크 최적화 S/W지침서 개발	지침서	18		9	9	
주관	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발 (플랜트에셋)	D	D-1	D-1-①	운송/선적/하역 관련 운송성 평가 모듈 연동	연동 평가 보고서	145	20	20	20	
		D	D-1	D-1-②	현장물류/시공 관련 시공성 평가 모듈 연동	연동 평가 보고서		20	20	20	
		D	D-1	D-1-③	전체 통합 연동 테스트 수행	결과 검토 보고서				25	
공동	협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 (필즈엔지니어링)	E	E-1	E-1-①	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리 개발(배관,전기/계장)	유닛 조합 공용 라이브러리 개발 보고서(전기), 유닛조합공용라이브러리개발보고서(배관), 라이브러리데이터베이스	10	2	2	3	
		E	E-1	E-1-②	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리 단위 테스트 및 시험 적용	공용 라이브러리 단위 test 보고서				3	
		E	E-2	E-2-①	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 개발(배관, 전기/계장)	표준설계 라이브러리 개발 보고서(전기/계장), 표준설계라이브러리개발보고서(배관), 라이브러리데이터베이스	17	4	4	4	
		E	E-2	E-2-②	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 모듈 테스트 및 시험 적용	표준설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서				5	

다) 4차년도 연구개발 추진일정

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	5차년도				6차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기	1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기
3세부															
공동	협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 플랜트에셋)	A	A-1	A-1-①	지식 기반 시스템 연동	결과 검토 보고서	150	30	30						
		A	A-1	A-1-②	전체 통합 연동 테스트 수행	테스트 평가 보고서			30	30	30				
		A	A-1	A-1-③	현업적용 성능평가	성능평가보고서	150					30	30	30	
		A	A-1	A-1-④	보완 및 안정화	안정화평가 보고서								30	30
		A	A-2	A-2-①	기능적 /공간적 모듈 분할설계 지침서 통합 및 보완	분할설계지침서	40	10	10	10	10				
		A	A-2	A-2-②	모듈 분할 설계 지침서 보완	분할설계지침서	23					5	5	5	8
공동	협업단위 모듈 컴팩트/최적화, 인터페이스 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ KAIST)	A	A-3	A-3-①	최적화 S/W 모듈 관련 알고리즘 개선	개발 보고서, 특허 출원	45	2	3	5	5	5			
		A	A-3	A-3-②	최적화 S/W 모듈 통합	시제품(S/W)				2	3	5	5	5	5
		A	A-4	A-4-①	기능적/공간적 최적배치 설계지침서 통합 및 보완	최적 배치 설계 지침서	12	3	3	3	3				
		A	A-4	A-4-②	최적배치 설계지침서 보완	최적 배치 설계 지침서	8					2	2	2	2
		A	A-5	A-5-①	기자재 정보 관리를 위한 데이터 구조와 GUI 개선	개발 보고서	35	2	2	3	3	5			
		A	A-5	A-5-②	최적화 S/W 모듈 통합	시제품(S/W)				2	2	3	3	5	5
		A	A-6	A-6-①	기능적/공간적 인터페이스 설계지침서 통합 및 보완	인터페이스 설계지침서	25	10	5	5	5				
		A	A-6	A-6-②	인터페이스 설계지침서 보완	인터페이스 설계지침서	15					5	5	2	3

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	5차년도				6차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기	1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기
공동	협업 단위 모듈 Weight Balance, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 고등기술연구원)	A	A-7	A-7-①	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 알고리즘 설계	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 알고리즘	30	4	4	4	4				
		A	A-7	A-7-②	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 개발	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈		2	4	4	4				
		A	A-7	A-7-③	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 테스트베드 적용	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 적용 결과 보고서	30					4	4	4	4
		A	A-7	A-7-④	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 보완	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 개정본						2	4	4	4
		A	A-8	A-8-①	플랜트 Weight Balance 설계지침서 보완	Weight Balance 설계지침서	40	10	10	10	10				
		A	A-8	A-8-②	플랜트 Weight Balance 설계지침서 보완	Weight Balance 설계지침서	20					5	5	5	5
		A	A-9	A-9-①	플랜트 모듈 지지보강재 설계 알고리즘 설계	플랜트 모듈 지지보강재 설계 알고리즘	40	4	4	6	6				
		A	A-9	A-9-②	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈 개발	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈		4	4	6	6				
		A	A-9	A-9-③	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈 테스트베드 적용	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 적용 결과 보고서	40					4	4	6	6
		A	A-9	A-9-④	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈 보완	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 개정본						4	4	6	6
		A	A-10	A-10-①	모듈화 플랜트 지지/보강재 설계지침서 보완	지지/보강재 설계지침서	40	10	10	10	10				
		A	A-10	A-10-②	모듈화 플랜트 지지/보강재 설계지침서 보완	지지/보강재 설계지침서	20					5	5	5	5
주관	협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지) 개발 (플랜트에셋)	B	B-1	B-1-①	지식기반 시스템(패키지) 테스트 배드 구축	테스트 배드 구축 시나리오	190	40	50						
		B	B-1	B-1-②	관련 설계 모듈의 테스트를 위한 샘플 지식베이스 구축	샘플 지식베이스 구축 결과서				50	50				
		B	B-1	B-1-③	지식기반 시스템(패키지) 테스트 및 관련 모듈 성능 고도화	성능 고도화 설계/구현 보고서	190					50	50		
		B	B-1	B-1-④	지식기반 시스템(패키지) 평가 보고서	평가 보고서							30	30	30
공동	협업단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W 모듈 (연세대학교)	C	C-1	C-1-①	운송성 평가 시뮬레이션을 위한 운송/선적/하역 계획 S/W 모듈 개발	SW*3, S/W설계 보고서*2, 지침서	90	5	10	10	10	10			
		C	C-1	C-1-②	운송성 평가 시스템 시험 적용, 성능 평가 및 보완	특허 출원 1건, S/W*2 S/W 설계 보고서, 지침서		5	10	10	10	10			
		C	C-2	C-2-①	구축된 DB와 운송성 평가 시스템 연동 및 S/W 모듈 통합	S/W 미등록	60					5	5	10	10
		C	C-2	C-2-②	운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 보완	설계 지침서						5	5	10	10
공동	현장물류/건설 고려 협업 단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (KAIST)	C	C-3	C-3-①	모듈 시공 시뮬레이션 및 시공 최적화를 위한 GUI 개발	워킹모델	52	2	2	2	3	3			
		C	C-3	C-3-②	모듈 간의 시공성 관계 분석을 위한 시공 가능 평가 기술 개발	워킹모델, 개발보고서				2	3	3			
		C	C-3	C-3-③	모듈 시공 스케줄 최적화	개발보고서, 특허		2	2	2	3	3			

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	5차년도				6차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기	1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기
					기술 개발	출원									
		C	C-3	C-3-④	시공성 평가 기반 최적화 S/W 모듈 통합	워킹모델 시제품(S/W)				2	2	3	3	5	5
		C	C-4	C-4-①	시공 네트워크 최적화 S/W지침서 개발	지침서	17	2	2	2	2	2	2	2	3
주관	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발 (플랜트에셋)	D	D-1	D-1-①	사용자 환경 검증 테스트 실시	결과 검토 보고서	190	20	30	30	30				
		D	D-1	D-1-②	현업 적용성 검증 테스트 실시	테스트 평가 보고서		20	20	20	20				
		D	D-1	D-1-③	현업적용 성능평가	성능평가보고서	190					20	30	30	30
		D	D-1	D-1-④	보완 및 안정화	안정화평가 보고서						20	20	20	20
공동	협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 (필즈엔지니어링)	E	E-1	E-1-①	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리	유닛 조합 공용 라이브러리 개발 보고서, 라이브러리데이터베이스	8	2	2	1	1				
		E	E-1	E-1-②	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리 단위 테스트 및 시험 적용	공용 라이브러리 단위 test 보고서				1	1				
		E	E-1	E-1-③	공용라이브러리 관리 지침서 작성	공용 라이브러리 관리 지침서	2					0.5	0.5	0.5	0.5
		E	E-2	E-2-①	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 개발	표준설계 라이브러리 개발 보고서 라이브러리데이터베이스	15	3	3	3	3				
		E	E-2	E-2-②	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 모듈 테스트 및 시험 적용	표준설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서				1	2				
		E	E-2	E-2-③	표준화라이브러리 관리 지침서 작성	표준화 라이브러리 관리 지침서	2					0.5	0.5	0.5	0.5
	시스템 시험 적용 및 성능 평가 보고서 (플랜트에셋/필즈엔지니어링)	F	F-1	F-1-①	현업적용 시스템 검증을 위한 계획수립	추진계획서	50					20			
		F	F-2	F-2-①	최종 모듈 검증 및 성능평가	제품시연 및 결과보고서							10	10	10

라) 5차년도 연구개발 추진일정

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	5차년도				6차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기	1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기
3세부															
공동	협업단위 모듈 공간적/기능적 분할 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 플랜트에셋)	A	A-1	A-1-①	지식 기반 시스템 연동	결과 검토 보고서	150	30	30						
		A	A-1	A-1-②	전체 통합 연동 테스트 수행	테스트 평가 보고서			30	30	30				
		A	A-1	A-1-③	현업적용 성능평가	성능평가보고서	150					30	30	30	
		A	A-1	A-1-④	보완 및 안정화	안정화평가 보고서								30	30
		A	A-2	A-2-①	기능적 /공간적 모듈 분할설계 지침서 통합 및 보완	분할설계지침서	40	10	10	10	10				
		A	A-2	A-2-②	모듈 분할 설계 지침서 보완	분할설계지침서	23					5	5	5	8
공동	협업단위 모듈 컴팩트/최적화, 인터페이스 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ KAIST)	A	A-3	A-3-①	최적화 S/W 모듈 관련 알고리즘 개선	개발 보고서, 특허 출원	45	2	3	5	5	5			
		A	A-3	A-3-②	최적화 S/W 모듈 통합	시제품(S/W)				2	3	5	5	5	5
		A	A-4	A-4-①	기능적/공간적 최적배치 설계지침서 통합 및 보완	최적 배치 설계 지침서	12	3	3	3	3				
		A	A-4	A-4-②	최적배치 설계지침서 보완	최적 배치 설계 지침서	8					2	2	2	2
		A	A-5	A-5-①	기자재 정보 관리를 위한 데이터 구조와 GUI 개선	개발 보고서	35	2	2	3	3	5			
		A	A-5	A-5-②	최적화 S/W 모듈 통합	시제품(S/W)				2	2	3	3	5	5
		A	A-6	A-6-①	기능적/공간적 인터페이스 설계지침서 통합 및 보완	인터페이스 설계지침서	25	10	5	5	5				
		A	A-6	A-6-②	인터페이스 설계지침서 보완	인터페이스 설계지침서	15					5	5	2	3
공동	협업 단위 모듈 Weight Balance, 지지/보강재 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (필즈엔지니어링/ 고등기술연구원)	A	A-7	A-7-①	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 알고리즘 설계	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 알고리즘	30	4	4	4	4				
		A	A-7	A-7-②	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 개발	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈		2	4	4	4				
		A	A-7	A-7-③	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 테스트베드 적용	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 적용 결과 보고서	30					4	4	4	4
		A	A-7	A-7-④	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 보완	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 개정본						2	4	4	4
		A	A-8	A-8-①	플랜트 Weight Balance 설계지침서 보완	Weight Balance 설계지침서	40	10	10	10	10				
		A	A-8	A-8-②	플랜트 Weight Balance 설계지침서 보완	Weight Balance 설계지침서	20					5	5	5	5
		A	A-9	A-9-①	플랜트 모듈 지지보강재 설계 알고리즘 설계	플랜트 모듈 지지보강재 설계 알고리즘	40	4	4	6	6				
		A	A-9	A-9-②	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈 개발	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈		4	4	6	6				
		A	A-9	A-9-③	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈 테스트베드 적용	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 적용 결과 보고서	40					4	4	6	6
		A	A-9	A-9-④	플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈 보완	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈 개정본						4	4	6	6
		A	A-10	A-10-①	모듈화 플랜트 지지/보강재 설계지침서 보완	지지/보강재 설계지침서	40	10	10	10	10				
		A	A-10	A-10-②	모듈화 플랜트 지지/보강재 설계지침서 보완	지지/보강재 설계지침서	20					5	5	5	5
주관	협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지)	B	B-1	B-1-①	지식기반 시스템(패키지) 테스트 배드 구축	테스트 배드 구축 시나리오	190	40	50						
		B	B-1	B-1-②	관련 설계 모듈의 테스트를 위한 샘플 지식베이스 구축	샘플 지식베이스 구축 결과서				50	50				

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	5차년도				6차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기	1/4 분기	2/4 분기	3/4 분기	4/4 분기
	개발 (플랜트에셋)	B	B-1	B-1-③	지식기반 시스템(패키지) 테스트 및 관련 모듈 성능 고도화	성능 고도화 설계/구현 보고서	190					50	50		
		B	B-1	B-1-④	지식기반 시스템(패키지) 평가 보고서	평가 보고서							30	30	30
공동	협업단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W 모듈 (연세대학교)	C	C-1	C-1-①	운송성 평가 시뮬레이션을 위한 운송/선적/하역 계획 S/W 모듈 개발	SW*3, S/W설계 보고서*2, 지침서	90	5	10	10	10	10			
		C	C-1	C-1-②	운송성 평가 시스템 시험 적용, 성능 평가 및 보완	특허 출원 1건, S/W*2 S/W 설계 보고서, 지침서		5	10	10	10	10			
		C	C-2	C-2-①	구축된 DB와 운송성 평가 시스템 연동 및 S/W 모듈 통합	S/W 미등록	60					5	5	10	10
		C	C-2	C-2-②	운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 보완	설계 지침서						5	5	10	10
공동	현장물류/건설 고려 협업 단위 모듈화 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈 개발 (KAIST)	C	C-3	C-3-①	모듈 시공 시뮬레이션 및 시공 최적화를 위한 GUI 개발	워킹모델	52	2	2	2	3	3			
		C	C-3	C-3-②	모듈 간의 시공성 관계 분석을 위한 시공 가능 평가 기술 개발	워킹모델, 개발보고서				2	3	3			
		C	C-3	C-3-③	모듈 시공 스케줄 최적화 기술 개발	개발보고서, 특허 출원		2	2	2	3	3			
		C	C-3	C-3-④	시공성 평가 기반 최적화 S/W 모듈 통합	워킹모델 시제품(S/W)				2	2	3	3	5	5
		C	C-4	C-4-①	시공 네트워크 최적화 S/W지침서 개발	지침서	17	2	2	2	2	2	2	2	3
주관	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발 (플랜트에셋)	D	D-1	D-1-①	사용자 환경 검증 테스트 실시	결과 검토 보고서	190	20	30	30	30				
		D	D-1	D-1-②	현업 적용성 검증 테스트 실시	테스트 평가 보고서		20	20	20	20				
		D	D-1	D-1-③	현업적용 성능평가	성능평가보고서	190					20	30	30	30
		D	D-1	D-1-④	보완 및 안정화	안정화평가 보고서						20	20	20	20
공동	협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술 (필즈엔지니어링)	E	E-1	E-1-①	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리	유닛 조합 공용 라이브러리 개발 보고서, 라이브러리데이터베이스	8	2	2	1	1				
		E	E-1	E-1-②	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용라이브러리 단위 테스트 및 시험 적용	공용 라이브러리 단위 test 보고서				1	1				
		E	E-1	E-1-③	공용라이브러리 관리 지침서 작성	공용 라이브러리 관리 지침서	2					0.5	0.5	0.5	0.5
		E	E-2	E-2-①	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 개발	표준설계 라이브러리 개발 보고서 라이브러리데이터베이스	15	3	3	3	3				
		E	E-2	E-2-②	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계라이브러리 모듈 테스트 및 시험 적용	표준설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서				1	2				
		E	E-2	E-2-③	표준화라이브러리 관리 지침서 작성	표준화 라이브러리 관리 지침서	2					0.5	0.5	0.5	0.5
	시스템 시험 적용 및 성능 평가 보고서 (플랜트에셋/필즈엔지니어링)	F	F-1	F-1-①	현업적용 시스템 검증을 위한 계획수립	추진계획서	50					20			
		F	F-2	F-2-①	최종 모듈 검증 및 성능평가	제품시연 및 결과보고서							10	10	10

마) 6차년도 연구개발 추진일정

A-1 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W모듈

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	모듈 보완 계획수립													1,000	조시연 (플랜트에셋)
2	보완 설계 (알고리즘, 인터페이스)													3,000	조시연 (플랜트에셋)
3	S/W 보완													9,000	조시연 (플랜트에셋)
4	단일 모듈 검증 테스트													6,000	조시연 (플랜트에셋)
5	모듈 통합계획 수립													1,500	조시연 (플랜트에셋)
6	모듈 통합													20,000	조시연 (플랜트에셋)
7	통합 테스트													15,000	조시연 (플랜트에셋)
8	보완													9,500	조시연 (플랜트에셋)

A-2 모듈 분할 설계 지침서

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	보완 계획수립 및 자료조사													2,000	권영현(필즈)
2	전차년도 지침서 리뷰													3,000	권영현(필즈)
3	신규 규정/공사 확인													3,000	권영현(필즈)
4	지침서 작성													9,000	권영현(필즈)
5	수요기관 지침서 리뷰													3,000	권영현(필즈)

A-3 모듈 연동 및 통합 컴팩트/최적화 모듈

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	모듈 보완 계획수립													1,000	서효원(KAIST)
2	보완 설계 (알고리즘, 인터페이스)													2,000	서효원(KAIST)
3	S/W 보완													1,500	서효원(KAIST)
4	단일 모듈 검증 테스트													500	서효원(KAIST)
5	모듈 통합계획 수립													1,500	서효원(KAIST)
6	모듈 통합 및 시제품 제작													2,000	서효원(KAIST)
7	S/W 테스트													500	서효원(KAIST)
8	보완													1,000	서효원(KAIST)

A-4 최적 배치 설계 지침서

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	보완 계획수립 및 자료조사													2,000	권영현 (필즈)
2	전차년도 지침서 리뷰													3,000	권영현 (필즈)
3	신규 규정/공사 확인													3,000	권영현 (필즈)
4	지침서 작성													9,000	권영현 (필즈)
5	수요기관 지침서 리뷰													3,000	권영현 (필즈)

A-5 모듈 연동 및 통합 인터페이스 설계 및 교합부 관리 모듈

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	모듈 보완 계획수립													1,000	서효원 (KAIST)
2	보완 설계 (알고리즘, 인터페이스)													2,000	서효원 (KAIST)
3	S/W 보완													1,500	서효원 (KAIST)
4	단일 모듈 검증 테스트													500	서효원 (KAIST)
5	모듈 통합계획 수립													1,500	서효원 (KAIST)
6	모듈 통합 및 시제품 제작													2,000	서효원 (KAIST)
7	통합 S/W 테스트													500	서효원 (KAIST)
8	보완 (인터페이스, 최적화)													1,000	서효원 (KAIST)

A-6 인터페이스 설계 지침서

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	보완 계획수립 및 자료조사													3,000	권영현(필즈)
2	전차년도 지침서 리뷰													5,000	권영현(필즈)
3	신규 규정/공사 확인													4,000	권영현(필즈)
4	지침서 작성													9,000	권영현(필즈)
5	수요기관 지침서 리뷰													4,000	권영현(필즈)

A-7 플랜트 모듈 Weight Balance 설계 자동화 S/W 모듈

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	모듈 알고리즘 검토													2,000	김형진(고등기술연구원)
2	보완/최적화 설계(알고리즘)													7,000	김형진(고등기술연구원)
3	S/W 모듈 보완													7,000	김형진(고등기술연구원)
4	모듈 검증 테스트(Test Bed)													4,000	김형진(고등기술연구원)
5	모듈 통합계획 수립													2,000	김형진(고등기술연구원)
6	모듈 통합 및 시제품 제작													7,000	김형진(고등기술연구원)
7	통합 S/W 테스트													5,000	김형진(고등기술연구원)
8	보완(인터페이스, 최적화)													6,000	김형진(고등기술연구원)

A-8 플랜트 모듈 Weight Balance 설계 지침서

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	보완 계획수립 및 자료조사													15,000	권영현(필즈)
2	전차년도 지침서 리뷰													16,000	권영현(필즈)
3	신규 규정/공사 확인													10,000	권영현(필즈)
4	지침서 작성													20,000	권영현(필즈)
5	수요기관 지침서 리뷰													14,000	권영현(필즈)

A-9 플랜트 모듈 지지보강재 설계 자동화 S/W 모듈

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	모듈 알고리즘 검토													2,000	김형진(고등기술연구원)
2	보완/최적화 설계(알고리즘)													7,000	김형진(고등기술연구원)
3	S/W 모듈 보완													7,000	김형진(고등기술연구원)
4	모듈 검증 테스트(Test Bed)													4,000	김형진(고등기술연구원)
5	모듈 통합계획 수립													2,000	김형진(고등기술연구원)
6	모듈 통합 및 시제품 제작													7,000	김형진(고등기술연구원)
7	통합 S/W 테스트													5,000	김형진(고등기술연구원)
8	보완(인터페이스, 최적화)													6,000	김형진(고등기술연구원)

A-10 플랜트 모듈 지지대/보강재/Lug 설계 지침서

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	보완 계획수립 및 자료조사													15,000	권영현(필즈)
2	전차년도 지침서 리뷰													16,000	권영현(필즈)
3	신규 규정/공사 확인													10,000	권영현(필즈)
4	지침서 작성													20,000	권영현(필즈)
5	수요기관 지침서 리뷰													14,000	권영현(필즈)

B-1 플랜트 모듈 지지보강재 설계 자동화 S/W 모듈

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	시스템 보완사항 검토													15,000	조시연(플랜트에셋)
2	인터페이스 개선 설계													15,000	조시연(플랜트에셋)
3	지식 표현 편집기능 강화													15,000	조시연(플랜트에셋)
4	각 모듈 연동을 위한 기능 추가													15,000	조시연(플랜트에셋)
5	모듈 통합 진행													40,000	조시연(플랜트에셋)
6	통합 시스템 개선													30,000	조시연(플랜트에셋)
7	지식기반 시스템 통합 테스트													40,000	조시연(플랜트에셋)
8	보완 (인터페이스, 최적화)													30,000	조시연(플랜트에셋)

C-1 운송성 평가 시뮬레이션을 위한 운송/선적/하역 계획 S/W 모듈 개발

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	시스템 보완사항 검토 현업의견 수집													11,000	이수홍 (연세대)
2	추가기능 검토 및 설계													11,000	이수홍 (연세대)
3	추가기능 테스트													9,000	이수홍 (연세대)
4	모듈 통합 진행													12,000	이수홍 (연세대)
5	시스템 통합 테스트													12,000	이수홍 (연세대)
6	보완 (인터페이스, 최적화)													10,000	이수홍 (연세대)

C-2 구축된 DB와 운송성 평가 시스템 연동 및 S/W 모듈 통합

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	구축된 DB 설계 검토													9,000	이수홍 (연세대)
2	추가기능 설계													9,000	이수홍 (연세대)
3	추가기능 테스트													8,000	이수홍 (연세대)
4	모듈 통합 진행													10,000	이수홍 (연세대)
5	시제품 테스트													11,000	이수홍 (연세대)
6	보완 (인터페이스, 최적화)													8,000	이수홍 (연세대)

C-3 모듈 연동 및 통합 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 S/W

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	알고리즘 보완 설계													2,000	서효원 (KAIST)
2	추가기능 설계													3,000	서효원 (KAIST)
3	인터페이스 보완													2,500	서효원 (KAIST)
4	S/W 보완													3,000	서효원 (KAIST)
5	시스템 통합 준비													4,000	서효원 (KAIST)
6	시스템 통합													3,000	서효원 (KAIST)
7	통합 시스템 테스트													2,500	서효원 (KAIST)

C-4 시공 네트워크 최적화 S/W 설계 지침서

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	보완 계획수립 및 자료조사													2,000	서효원 (KAIST)
2	전차년도 지침서 리뷰													3,000	서효원 (KAIST)
3	S/W 보완 설계 반영													3,000	서효원 (KAIST)
4	지침서 작성													9,000	서효원 (KAIST)
5	수요기관 지침서 리뷰													3,000	서효원 (KAIST)

D-1 운송성/시공성 평가시뮬레이터(패키지) 테스트 및 성능보고서

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	S/W 설계 검토													10,131	조시연(플랜트에셋)
2	운송성/시공성 변경점 반영													10,000	조시연(플랜트에셋)
3	S/W 보완													7,000	조시연(플랜트에셋)
4	운송성/시공성 모듈 통합													27,000	조시연(플랜트에셋)
5	시제품 테스트													20,000	조시연(플랜트에셋)
6	보완 (인터페이스, 최적화)													16,000	조시연(플랜트에셋)

E-1 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	보완 계획수립 및 자료조사													1,000	권영현(필즈)
2	배관 Data 추가													2,000	권영현(필즈)
3	DATA 가시화													2,000	권영현(필즈)
4	Test bed 제작													4,000	권영현(필즈)
5	라이브러리 평가													1,000	권영현(필즈)

2.2 연구 내용 및 결과

2.2.1 연구 내용 및 결과

1) [A] 협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈

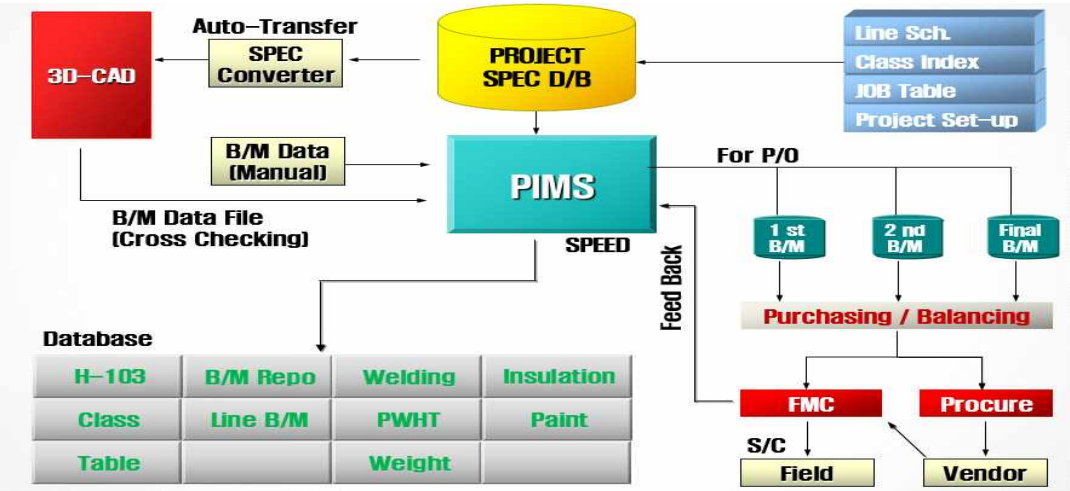
가) [A-1] 데이터/모델 관리 S/W

A) 2차년도

1) 개요

(가) 연구 목적

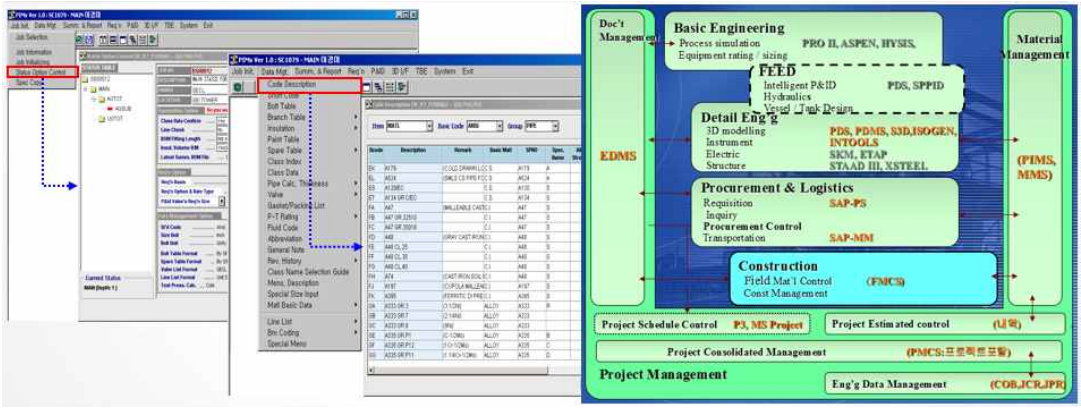
▶ 본 과제의 연구 목표는 현재 플랜트 엔지니어링 현업에서 사용되는 대표 3D CAD시스템에서 플랜트 설계 데이터 및 지오메트리 데이터의 관리 구조를 파악 하여 플랜트 협업단위 모듈화 지식기반 설계 패키지 시스템에서 구축된 플랜트의 모듈 설계 데이터 및 모델 데이터의 합리적인 관리 방안을 제시하고 그에 따른 소프트웨어를 개발하는 것으로 하고 있다. 당해 연도에는 현재 플랜트에 엔지니어링 산업에서 사용하는 3D CAD 시스템들의 설계 데이터 / Geometry 데이터 관리 방법과 각 툴의 특징에 대하여 조사하고, 해당 데이터를 엔지니어링 현업에서 어떤 식으로 활용하는지에 대해서 조사 분석하였다. 더불어 조사된 내용을 바탕으로 향후 개발된 소프트웨어 모듈의 개념설계서 작성도 진행하였다.



[그림. 플랜트 모듈 설계 데이터 관리 개념도]

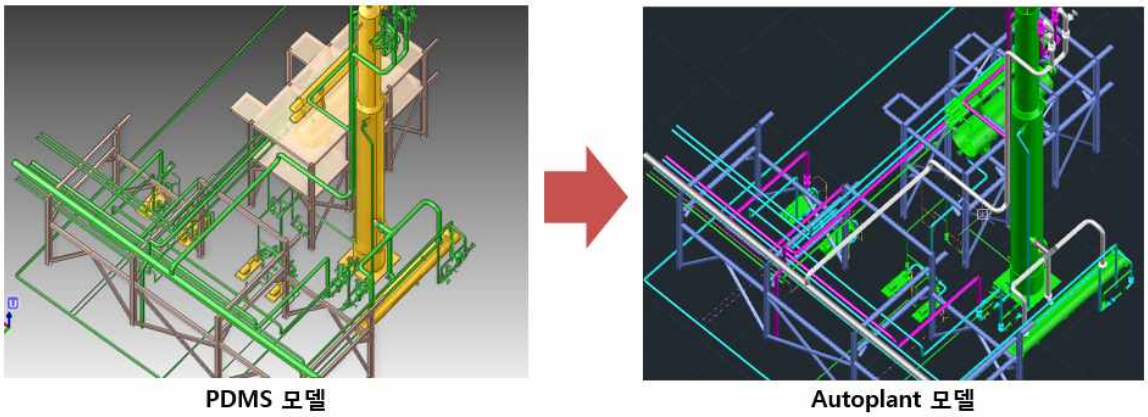
(나) 연구내용

▶ 본 연구의 2년차에는 플랜트 엔지니어링 현업에서 사용되는 메이저 3D CAD의 설계 데이터 및 모델 데이터의 관리기술 및 저장 방법에 대한 조사가 이루어 졌다. 3D CAD는 전 세계 3D CAD 시장의 90%이상을 차지하는 메이저 벤더사인 Intergraph와 AVEVA사의 3D CAD 시스템인 PDS, S3D(이상 Intergraph사 제품)와 PDMS(이상 AVEVA사 제품)를 위주로 조사를 진행하였다. 또한 EPC사에서 사내 데이터 관리시스템을 구축하여 3D CAD에 종속되어 있지 않고 자체적으로 관리를 하는 방법도 함께 조사를 진행하였다.



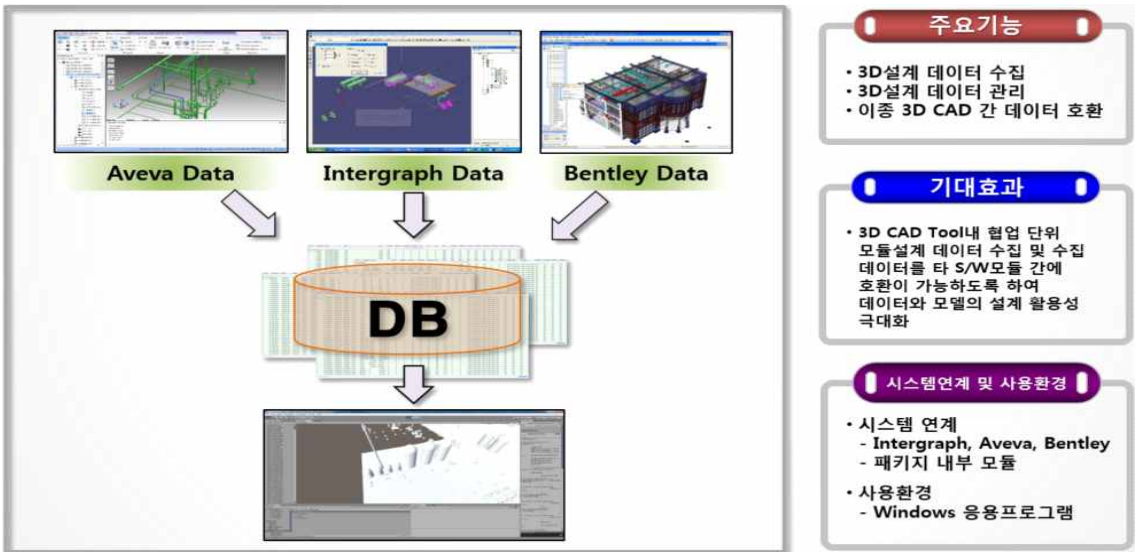
[그림. 국내 S사의 배관 자재 및 설계 데이터 관리 시스템]

▶ 더불어 해당 기술을 이용하여 이종 3D CAD간에 데이터 교환(Model Converting / Re-Modeling) 사례 조사 및 분석을 중심으로 연구를 진행 하였다. 이종 3D CAD간의 데이터 교환 사례는 예전부터 존재 하였으나 다변화되는 사업주의 요구사항을 충분히 반영한 최근의 사례 중 대규모 사례 위주로 조사를 진행 하였다.



[그림. 해외 S사의 3D CAD 모델/데이터 변환 사례]

▶ 각 3D CAD의 Geometry 데이터의 생성 방법 및 관리 방법에 대하여 조사를 진행하였고 더불어 조사된 Geometry데이터 활용성 확대를 위한 그래픽 엔진 및 물리 엔진에 대한 조사도 함께 진행하였다.



[그림. 모델 데이터 활용 방안 개념도]

▶ 플랜트 산업 이외의 전반적으로 사용하고 있는 3D 모델 데이터 표현 방식의 종류와 장단점을 조사하고, 플랜트 엔지니어링 산업에서 사용하는 대표적인 3D CAD의 모델 표현 방식을 아우를

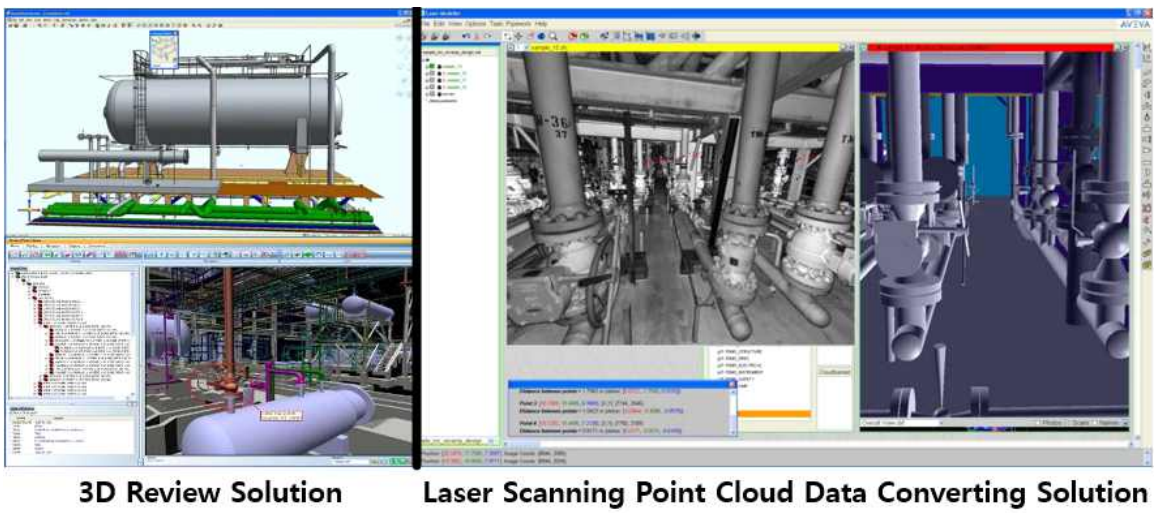
수 있는 가장 최적화된 방식을 찾고, 더불어 플랜트 모듈화에서 가장 중요한 부분인 체적이나 표면적 등 물리적인 정보의 가시적으로 표현할 수 있는 방법 조사를 진행하였다.

(1) 수행 내용

▶ 3D CAD 데이터 관리 방법 및 DB구조 분석

제품	특징
INTERGRAPH PDS®	• 3D모델 / 2D도면 데이터의 속성 값은 상용 DBMS를 이용하지만 실제 형상(도면)은 Bentley 마이크로스테이션 파일 포맷으로 저장하여 관리한다 • 데이터베이스는 외부에서 컨트롤 할 수 있을 정도로 간단하게 구성되어 있다. 단, 데이터와 3D형상(도면)은 마이크로스테이션의 DMRS Linkage 값과 연결되어 있어 데이터 수정만으로 모델형상 변경은 불가능하다. • 구조가 간단한 하지만 그만큼 확정성에는 한계가 있고 프로젝트 진행 중 DB확장은 거의 불가능 하다.
INTERGRAPH Smart 3D	• 상용 RDBMS를 이용하기 때문에 모델데이터 관리를 위한 접근성이 좋다. • 데이터베이스에 직접 접근하지 않고 스키마를 통한 작업이 이루어진다. • DB에서 데이터의 Attribute를 Column단위가 아닌 레코드 단위로 추가/관리하기 때문에 확장성이 뛰어나다. • 모든 데이터 값은 relation구조로 연결되어 있어 구조가 매우 복잡하여 파악하기가 힘들다.
AVEVA EVERYTHING3D	• DABACON(Database Constructor) 이라는 PDMS자체 데이터베이스에 관련데이터를 저장 관리한다. • 상용 DBMS를 이용하지 않고 자체 데이터베이스 시스템을 사용하기 때문에 퍼포먼스 측면에서 유리하다. • DB Viewer Tool을 제공하지 않아 직접 데이터구조를 보거나 DB단에서 컨트롤하기가 힘들다. • Lexicon이라는 모듈을 이용하여 UDA(user define attribute)를 추가하여 사용할 수 있다.
Bentley AutoPLANT	• 상용 RDBMS인 Microsoft사의 Windows Office Access를 사용하였기 때문에 데이터베이스에 직접 접근하여 컨트롤 할 수 있다. 더불어 모든 Spec / Catalog가 각각의 단위 별로 개별적이 MDB로 존재하기 때문에 데이터의 구조도 매우 직관적으로 구성되어 있어 구조 파악이 용이 하다. • 구조가 매우 단순하기 때문에 요즘 사업주의 다양한 요구사항을 툴 자체로 충족 시키키는 어렵기 때문에 3D CAD로서의 한계가 뚜렷하다.

- 같은 3D CAD안에서라도 공종이 다르면 데이터베이스의 구조가 다를 수도 있고, 어떤 경우에는 공종에 따라 DB자체가 없는 경우도 있다. 최신의 제품 또는 같은 제품이라도 최신 버전일 경우 모든 공종을 아우르는 통합 데이터베이스로 모델 데이터를 관리하는 경향이 있다.
- 시스템 상용화 초기에는 설계 데이터에 대한 다양한 분류가 이루어 져있지 않아 단순한 모습을 하고 있었으나, 엔지니어링 업의 기술이 점차 발전되고 그 발전에 따른 설계 포인트의 Detail화에 따라 늘어나는 설계정보의 체계적인 관리를 위한 방법이 추가 되고 있다. 하지만 기본적인 제품의 구조적 문제로 관리가 불가능한 부분이 발생하였고, 더불어 사업주의 높아진 눈높이와 제품을 사용하는 End User의 제품 사용의 편의성을 보장하기 위하여 새로운 제품을 개발하기 이르렀다. 그에 따라 PDS로 3D CAD시장을 선도하였던 Intergraph 사는 SP3D를 새로 개발하였고, AVEVA사는 기존의 PDMS를 E3D로 발전시키는 개발을 진행하였다.
- 기본적으로 설계 데이터 및 Geometry데이터는 각각의 3D CAD 툴 내부에서 플랜트 엔지니어링 산출물 생성의 근간이 되는 정보로 활용되어 지고 있다. 그 외에 다양한 엔지니어링 산업 부분에서 설계 / Geometry 데이터로 활용하고 있다.



[그림. 3D 설계 데이터 및 Geometry 데이터 활용 사례]

(2) 결론

(다) 주요 결과

▶ 3D CAD 메이저 벤더 사의 데이터 관리 현황 및 데이터를 이용하여 툴 외적으로 활용한 사례를 조사하였다. (#산출물 A-1-1 9 Page~ 14 Page)

▶ 3D 설계 데이터 및 Geometry 데이터를 이용한 활용 사례 중 대규모 플랜트 엔지니어링 프로젝트의 3D산출물 Converting(Re-Modeling)사례를 조사하였다. (#산출물 A-1-1 20 Page~ 33 Page)

▶ 향후 지식기반 시스템에서의 각 소프트웨어 모듈간의 데이터 활용을 위한 소프트웨어 모듈 개념도를 구상 하였다. (#산출물 A-1-2)

▶ 다양한 3D 모델 표현 방식이 중에 플랜트 엔지니어링의 경우에 맞는 표현 방식은 다각형을 이용한 표현 방식이다. 다각형을 이용한 3D 모델 표현 방식보다 더 진보된 방식이 존재하지만 플랜트 엔지니어링 산업은 디테일한 모델링 표현과 생산효율 확대 사이에서 절충점을 찾아야하는 산업이기 때문에 설계 모델링의 M/H가 효율적인 작용할 수 있는 최적화 포인트를 찾아야한다. 그렇기 때문에 상대적으로 다른 3D 모델 표현 방법에 비하여 상대적으로 간편한 활용이 가능한 다각형을 이용 3D 것이 플랜트 엔지니어링 산업의 3D 모델 관리/활용 방법으로 적합하다.(#산출물 A-1-1 36 Page~)

(3) 성과점검기준

(라) 질적 성과지표

① 성과지표의 설정 근거

- 이종 3D 캐드 간 실 데이터 교환을 통한 Converting 사례 조사
- Converting에 이용된 3D CAD 4종류 데이터 구조 파악
- 3D CAD를 사용하지 않고 EPC사 내부 시스템을 이용한 데이터 관리 사례 조사

② 목표치

- 모델 / 데이터 관리 기술현황 보고서 각 1건
- 모델 / 데이터 관리 S/W 모듈 개념 설계서 1 건

(마) 측정/검증방법

① 측정 방법 설정 근거

▶ 국내외 ECP사에서 Stick-Built 침 모듈화 플랜트 설계 시 사용되는 상용 메이저 3Cad 시스템은 PDS, PDMS, S3D이고 이 3개의 시스템이 전세계 플랜트 설계 시장의 3D Cad 부분의 90%이상을 차지함.

▶ 3D 모델의 설계 데이터 및 Geometry 데이터를 가장 효율적으로 사용해야 하는 경우는 이종 3D Cad간의 데이터 호환 부분이고 이런 부분을 사업영역에서 궁극적으로 활용하는 부분은 3D 모델 Converting(Re-Modeling)임.

▶ 과거에도 모델 Converting(Re-Modeling)을 한 사례는 존재 하지만, 2010년대 이후로 설계 트렌드의 급격한 변화와 새로운 설계 시스템의 도입으로 인하여 과거의 모델 Converting 사례는 의미가 미약함, 또한 현재 플랜트시장의 사업주의 요구 사항이 과거보다 더 Detail해 졌으면 모델/데이터의 사업주 시스템과의 Migration에 대한 요구도 높아졌음. 그래서 최근에 국내에서 수행했던 대규모 Converting 사례위주로 조사 함.

② 검증 방법

- 데이터 관리 기술현황 보고서 확인
- 모델 관리 기술현황 보고서 확인
- 모델 / 데이터 관리 S/W 모듈 개면 설계서 확인

B) 3차년도

(1) 개요

(가) 연구 목적

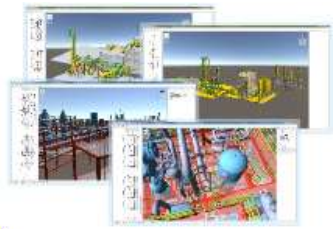
▶ 본 연구의 금번 차수에서는 현업에서 모듈화 프로젝트를 수행할 때 정의된 설계 정보와 각각의 3D CAD(Intergraph SP3D, AVEVA E3D)를 이용하여 작성된 모델 데이터를 통합된 포맷 형식으로 Data를 추출하고 추출한 Data를 각 Vendor 사의 3D CAD S/W에 종속되지 않고 범용적으로 자체 관리할 수 있는 통합 Module Browser S/W를 개발하는 것으로 진행하였다.



[그림. 각 3D CAD S/W]



[그림. 통합 Data]


[그림. 통합 S/W]

(나) 연구 내용

▶ 플랜트 분야 3D CAD S/W로 가장 많이 사용되는 제품 중에 대표적인 Intergraph사 SP3D와 AVEVA 사 E3D를 사용하여 모듈 설계 시 생성된 3D Model의 Geometry Data와 Attribute Data의 구조를 파악하고 SP3D 및 E3D 별로 각각의 통합된 Data Format 형식으로 추출 할 수 있도록 정의 및 설계한다. 또한 통합된 Format형식의 Data를 이용하여 하나의 3D Model Viewer를 통합하여 이종 3D CAD간의 데이터 교환(Model converting)이 가능하도록 설계 및 구축에 관하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- Intergraph 사 제품인 SP3D Data Format 인터페이스 정의 및 설계
- AVEVA 사 제품인 E3D Data Format 인터페이스 정의 및 설계
- 표준 Output Data Format 정의 및 설계
- 기타 사용자 편의 옵션 기능 정의 및 설계
- Unity3D 엔진 사용

(2) 수행 내용

▶ 3협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W 모듈의 전체 시스템 정의하였고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 시스템 구성도

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W 모듈의 요구사항 및 상세기능 정의 및 설계를 수행하였고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 기능정의서
- 시스템 아키텍쳐 설계서
- 테이블 정의서
- 화면 정의서
- 프로그램 흐름도

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W 모듈 소프트웨어를 구현하였으며 구체적 내용은 '#산출물 A-1, 프로그램 설계 보고서'를 참조한다.

▶ Intergraph 사 SP3D 및 AVEVA 사 E3D 모델을 모두 관리 할 수 있도록 구현하였다.

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (3차년도)
데이터/모델 관리 구현 프로그램 및 설계 보고서 건수	모듈화 설계 시 생성된 3D Model의 형상 및 속성 정보를 3D CAD 종류와 상관없이 관리하고 이를 타 모듈과 인터페이스 하기 위해 필요함	1 건
데이터/모델 관리 프로그램 기능 완성도 평가	데이터/모델 관리 프로그램의 기능 완성도에 따라 타 모듈에 보다 정확하고 상세한 3D Model 정보를 제공할 수 있기 때문에 중요함.	70%

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
데이터/모델 관리 구현 프로그램 및 설계 보고서 건수	개발 프로그램 및 설계보고서 개수	3D Model의 형상 및 속성정보가 정확히 관리되고 타 모듈과의 인터페이스가 정확히 이루어지도록 설계되었는지 파악되어져야 함.	구현 프로그램 및 설계보고서 확인	달성
데이터/모델 관리 프로그램 기능 완성도 평가	데이터/모델 관리 프로그램 기능 완성도 확인	요구사항에 따라 정의된 요구 사항 정의서에 정의된 기능의 구현여부를 확인해야 함 (기능 설계 구현 수 / 요구 기능 개수)x100%	평가보고서 확인	달성

C) 4차년도

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 본 연구의 금번 차수에서는 현업에서 모듈화 프로젝트를 수행을 위하여 작성된 각 기관의 지식기반 설계 모듈(컴팩트/최적화 설계 모듈, Weight Balance 설계모듈,지지/보강재 설계모듈, 운송성/시공성 평가 기반 최적설계 모듈, 인터페이스 설계모듈)의 결과를 토대로 형상관리에서 필요한 데이터 및 그래픽 모델을 연동하는데 목적이 있다.



[그림. 형상관리시스템/지식기반 설계 시스템 모듈 인터페이스]

(나) 연구 내용

▶ 지식기반 설계 시스템 핵심 S/W 모듈에서 도출된 결과(Data, Model등)와 운송성/시공성 평가 기반 시뮬레이션 핵심 S/W 모듈에 도출된 운송성 평가 지원 통합 시스템의 DB의 데이터를 연계하고 운송성 평가에 사용되는 상용소프트웨어 SACS에서 구조해석 결과 데이터를 받아서 형상관리 시스템에 연동 가능하도록 설계 및 구축을 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

▶ 지식관리 포털(웹 포털)의 설계 Rule을 받아서 Rule Check System을 통해서 나온 체크 결과를 형상관리 시스템에 연동 가능하도록 설계 및 구축을 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 각 기관의 결과 Data Format 인터페이스 항목 정의
- 각 기관의 결과 Model Format 인터페이스 표준화 정의
- 인터페이스 Data 항목에 대한 형상관리에서 구현 설계
- 표준화된 인터페이스 Model을 형상관리에서 표현 설계
- 지식관리포털(웹 포털)에 있는 설계 Rule Check 결과 표현 설계
- 기타 사용자 편의 옵션 기능 정의 및 설계

(2) 수행 내용

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W와 지식기반 설계 모듈을 인터페이스하고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 인터페이스 정의서
- 시스템 아키텍쳐 설계서
- 프로그램 흐름도

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W와 지식기반 설계 모듈의 연동 테스트를 진행하였고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 연동 평가 보고서

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W 모듈과 플랜트 운송 평가 모듈을 인터페이스 하였으며 구체적 내용은 '#산출물 A-1-1, 연동결과 보고서'를 참조한다.

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W 모듈의 테스트를 진행하였으며 구체적 내용은 '#산출물 A-1-2, 연동평가 보고서' ' 를 참조한다.

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
지식 기반 시스템 연동 결과 보고서 작성	지식기반 설계 모듈과의 인터페이스를 통해 각 모듈에서 산출된 결과물을 형상관리 시스템에서 통합하여 직관적으로 확인하기 위함.	1 건
지식 기반 시스템 연동 완성도 평가	지식기반 시스템 연동 완성도에 따라 지식기반 설계 모듈에서 산출된 정보를 형상관리시스템에서 정확하고 상세하게 제공할 수 있기 때문이다.	80%

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
지식 기반 시스템 연동 결과 보고서 작성	지식기반 시스템 연동 결과 보고서 개수	타 모듈과의 인터페이스가 정확히 이루어지도록 설계되었는지 파악되어져야 함.	연동 결과 보고서 확인	달성
지식 기반 시스템 연동 완성도 평가	지식기반 시스템 연동 완성도 확인 (연동기능개수/설계상연동기능개수)X100%	설계상연동기능 구현여부를 확인해야 함 (연동기능개수/설계상연동기능개수)X100%	연동 평가 보고서 확인	달성

D) 5/6차년도

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 본 연구의 금번 차수에서는 현업에서 모듈화 프로젝트를 수행을 위하여 작성된 각 기관의 지식기반 설계 모듈(컴팩트/최적화 설계 모듈, Weight Balance 설계모듈,지지/보강재 설계모듈, 운송성/시공성 평가 기반 최적설계 모듈, 인터페이스 설계모듈)의 결과를 토대로 형상관리에서 필요한 데이터 및 그래픽 모델을 연동하는 SW를 구현하는데 목적이 있다

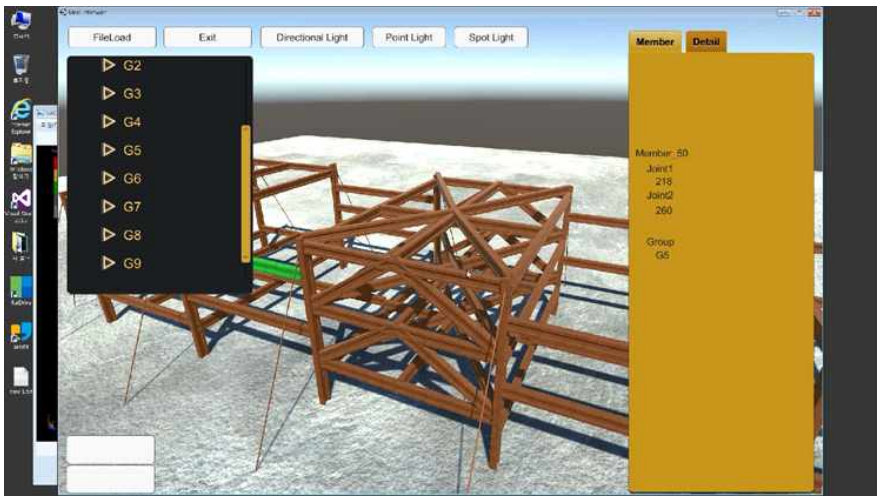
(나) 연구 내용

▶ 과제내 다른 S/W 모듈들의 데이터를 표현할 수 있도록 다양한 포맷을 읽어들여 변환 할 수 있게 설계하여 구현하였으며, 다양한 사용 환경을 고려하여 여러 플랫폼에서 사용이 가능하도록 1차적으로 안드로이드와 Windows에서 기능하도록 SW를 작성하였다.

▶ 지식관리 포털(웹 포털)의 설계 Rule을 받아서 Rule Check System을 통해서 나온 체크 결과를 형상관리 시스템에 연동하고 Intergraph의 S3D와 Aveva의 E3D, SACS의 데이터 파일을 사용하기 위한 기능을 구현하였다.

S3D, E3D, SAC 파일 구조 분석

- S3D, E3D, SAC 데이터 추출 및 공통 형식 데이터로 전환
- 공통 형식 데이터를 활용하는 브라우저 구현
- 일반 사용자를 위한 기능 추가



Module Browser 실행화면

(2) 수행 내용

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W를 구현하고 사용자 관점에서 테스트하고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 사용자 검증 테스트 보고서

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W와 지식기반 설계 모듈의 연동 테스트와 SACS,S3D, E3D 데이터를 이용한 사용 가능 테스트, Android와 Windows 플랫폼에서 동작하도록 만들어진 SW에 대한 테스트를 진행하였고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 현업 적용성 검증 테스트 보고서

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W를 작성하였으며 사용자 관점에서 가동해보았으며 구체적 내용은 '#산출물 A-1, 데이터/모델 관리 S/W 사용자 검증 평가보고서/현업 적용성 검증 평가보고서'를 참조한다.

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W의 현업 요구조건에 의해 구현된 기능들에 대한 테스트를 진행하였으며 구체적 내용은 '#산출물 A-1, 데이터/모델 관리 S/W 사용자 검증 평가보고서/현업 적용성 검증 평가보고서'를 참조한다.

(나) 향후 계획

▶ 협업단위 모듈 데이터/모델 관리 S/W모듈의 성능을 개선한다.

▶ 본 과제에서 추진하는 지식기반 설계 시스템과 연동하여 패키지화를 진행한다.

▶ 데이터/모델 관리 S/W 협업 적용을 강화한다

▶ 향후 지식기반 설계 시스템과의 연동, 각 모듈별 인터페이스의 시스템 안정화를 할 예정이다.

나) [A-2] 모듈 분할설계 지침서

(1) 개요

(가) 연구목적

▶ 모듈화 설계에 경험이 부족한 설계자들이 모듈화 설계 수행 시 시행착오를 없애기 위해서 Stick-Built와의 차이점에 대한 검토가 바람직하다. 따라서 단위 모듈 분할시 어떤 기준으로 분할하는 지에 대한 방법론과 또한 지켜야 하는 요구 사항이 어떠한 것들이 있는지에 대한 내용 조사가 우선적으로 요구된다. 본 연구에서는 이러한 기술적 내용을 기반으로 하는 공간적 모듈 분할설계 지침서를 작성.

▶ 모듈화 설계 수행 시 기본적으로 공간의 활용과 더불어 많은 면에서 Stick-Built와의 차이가 있으며, 이는 설계초기단계에서 검토되고 계산되어야 하는 중요한 사항이다. 본 과제에서는 단위 모듈 분할시 어떠한 기준으로 모듈을 분할하여야 하는지에 대한 방법론과 여러 모듈설계를 하였던 Case 및 발주처의 요구사항 조사를 통하여 모듈 설계 시 반드시 지켜야 하는 요구 사항을 확인 하였다. 이를 바탕으로 3차년도와 달리 기능적인 측면에서 접근한 기술적 내용을 바탕으로 기능적 모듈분할 설계지침서를 작성하여 모듈화 설계에 경험이 부족한 설계자들이 모듈화 설계 시 시행착오를 없애기 위한 목적을 가지고 있다.

(나) 연구내용

▶ 국내 기업이 해외에서 수주한 플랜트 건설 프로젝트를 모듈단위로 설계하여 제작, 운송 및 시공까지 완료한 실증 사례를 가지고 실시 설계를 수행하기 위하여 모듈 분할 크기 및 방법 결정을 위한 기준 자료 검토, 모듈 분할 방법의 기준 정립 그리고 모듈 분할시 설계 시 요구되는 주요 설계 사항 검토를 기반으로 하는 설계 지침서를 작성 한다.

▶ 모듈화 설계 수행 시 기본적으로 공간의 활용과 더불어 많은 면에서 Stick-Built와의 차이가 있으며, 이는 설계초기단계에서 검토되고 계산되어야 하는 중요한 사항이다. 본 과제에서는 단위 모듈 분할시 어떠한 기준으로 모듈을 분할하여야 하는지에 대한 방법론과 여러 모듈설계를 하였던 Case 및 발주처의 요구사항 조사를 통하여 모듈 설계 시 반드시 지켜야 하는 요구 사항을 확인 하였다. 이를 바탕으로 기능적인 측면에서 접근한 기술적 내용을 바탕으로 기능적 모듈분할 설계지침서를 작성 한다.

(2) 수행내용

▶ 배관설계, 구조설계, 프로세스설계 관점에서 검토한 내용을 기반으로 지침서 작성

▶ 배관 설계

- 실증 프로젝트에 적용된 모듈 크기 결정 요인 검토 및 분석
- 실증 프로젝트에 적용된 모듈분할 방법 확인 및 검토
- 모듈 분할설계 기법 정리
- 모듈 분할시 요구되는 주의 사항 확인
- 모듈 분할시 요구되는 주요 요구사항 정립
- 모듈 분할시 예상되는 문제점 파악 및 분석
- 모듈 분할 방향 정립
- 국내 및 해외 모듈화 프로젝트에 적용된 모듈 크기 결정 요인 및 해당 요인을 분석하는 방법론 기술.
- 국내 및 해외 모듈화 프로젝트에 적용된 모듈분할방법론 및 외부요인 분석 방법론 기술
- 모듈 분할설계자체에 대해서 해외 및 국내에서 사용 중인 기법 기술
- 모듈 분할 설계 시 고려해야 하는 주의사항 및 기타 법률 사항 기술
- 모듈 분할 설계사례를 통해 발주처 혹은 법률적으로 요구되는 주요 요구사항 기술

▶ 구조 설계

- 모듈의 강성 확보를 위한 접합부 적용 방법 분석 조사
- 기능적 모듈 분할 시 운송 중 모듈 의 안정성 확보 방법 분석 조사
- 모듈 운송 에 필요한 기능적 지지대/보강재/Lug 방법론 분석 및 요구사항 분석 조사
- 모듈의 분할 및 조립을 위한 분할 위치에 대한 설계적용 방법 기술
- 기능적 모듈 분할 시 Pipe rack의 단위 시스템 설계적용 방법 기술
- 모듈 운송 에 필요한 기능적 지지대/보강재/Lug 방법론 분석 및 요구사항을 바탕으로 기능적 지지대/보강재/LUG 설계적용 방법을 기술.

▶ 전기/제어 설계

- 전기/제어 Cable tray 설계를 전기엔지니어의 관점에서 다른 Discipline과 충돌을 피하면서 효율적인 모듈분할을 할 수 있는 설계적용방법을 기술

▶ 프로세스 설계

- 설계 P&ID를 가지고 모듈 분할 기준을 공정 엔지니어의 관점에서 분석 조사

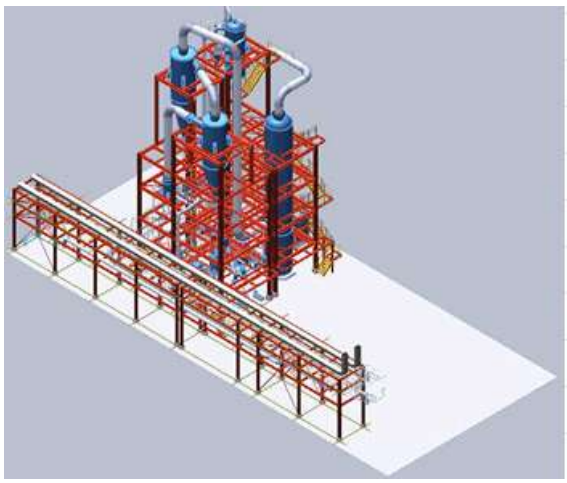
▶ Test Bed

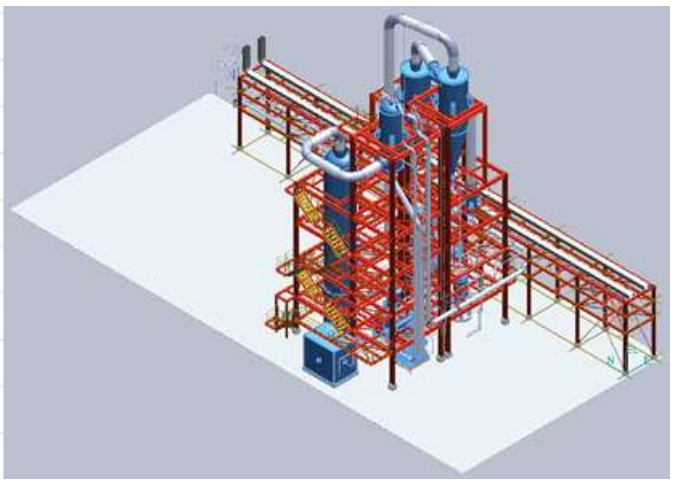
- CORC Refinery 개요
  - 소유주 : 이집트 국영 정유회사
  - 설립일 : 1982년
  - 위치 : Modtorod, Cairo, Egypt

  - 생산량 : 2백만 톤/년
  - 생산품 : LPG, Gasoline, Kerosene, Jet Fuel etc.

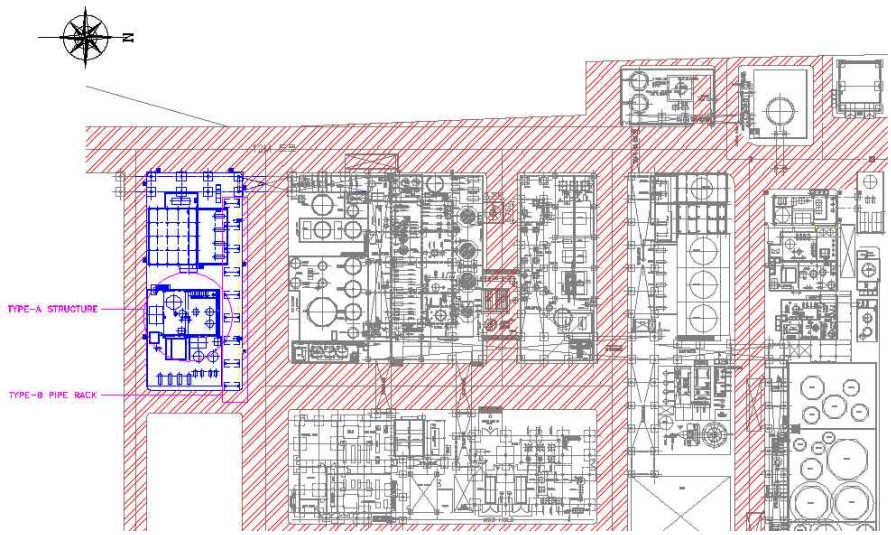


- 사업소개
  - 사업명 : 플레어가스 및 Sulfer 회수 설비 설치
  - 사업지 : 이집트 CORC Refinery 내
  - Ower : CORC (Cairo Oil Refining Company)
- 사업규모 : 약 5천만불
- 사업기간 : 24개월
- 현장환경
  - 운송성 및 평가 관점 : 수에즈 항구에서 육상운송 또는 지중해부터 수로 이용
  - 시공성 평가 관점 : 공장 내 여유부지 설치로 시공성 용이함.
- 모듈화 수준 및 계획
  - 운송방안에 따른 Size 로 분할하여 Module 설계
- Test 적용범위
  - 지식기반 설계 지원 시스템을 통한 설계 검증
  - 운송에 적합한 최적화 설계 검증
  - Interface를 고려한 설계 검증
  - Weight Balance를 고려한 설계 검증
  - 운송성을 고려한 지지대 및 보강재 설계 검증
  - Process Module 1ea, Piperack Module 1ea

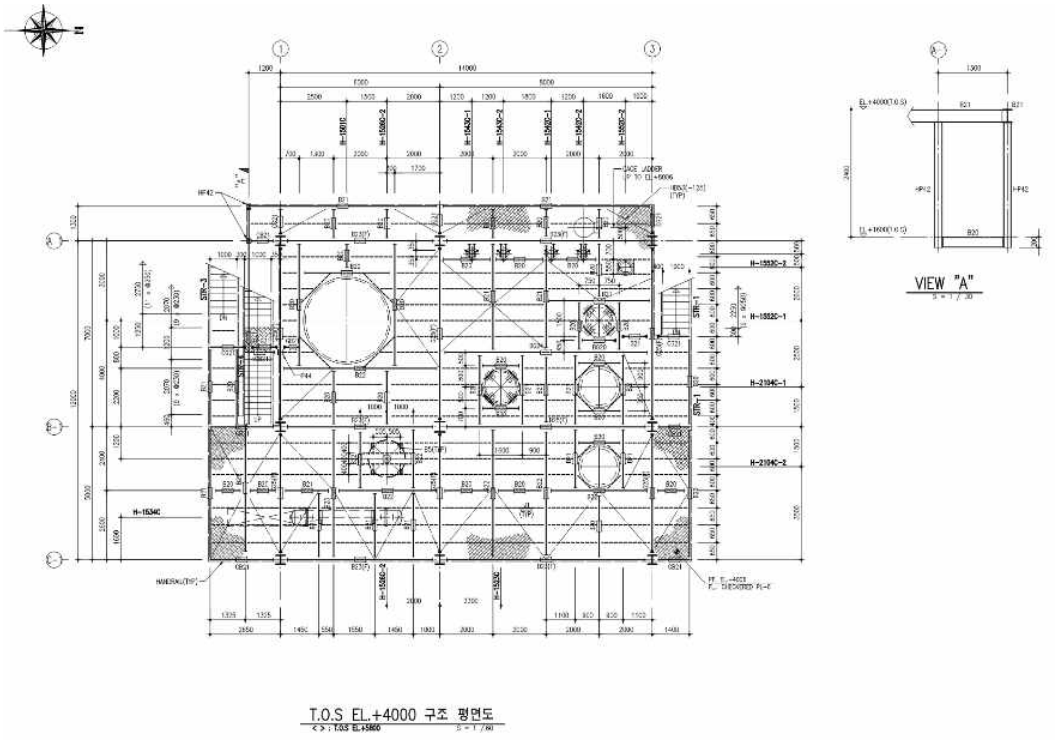


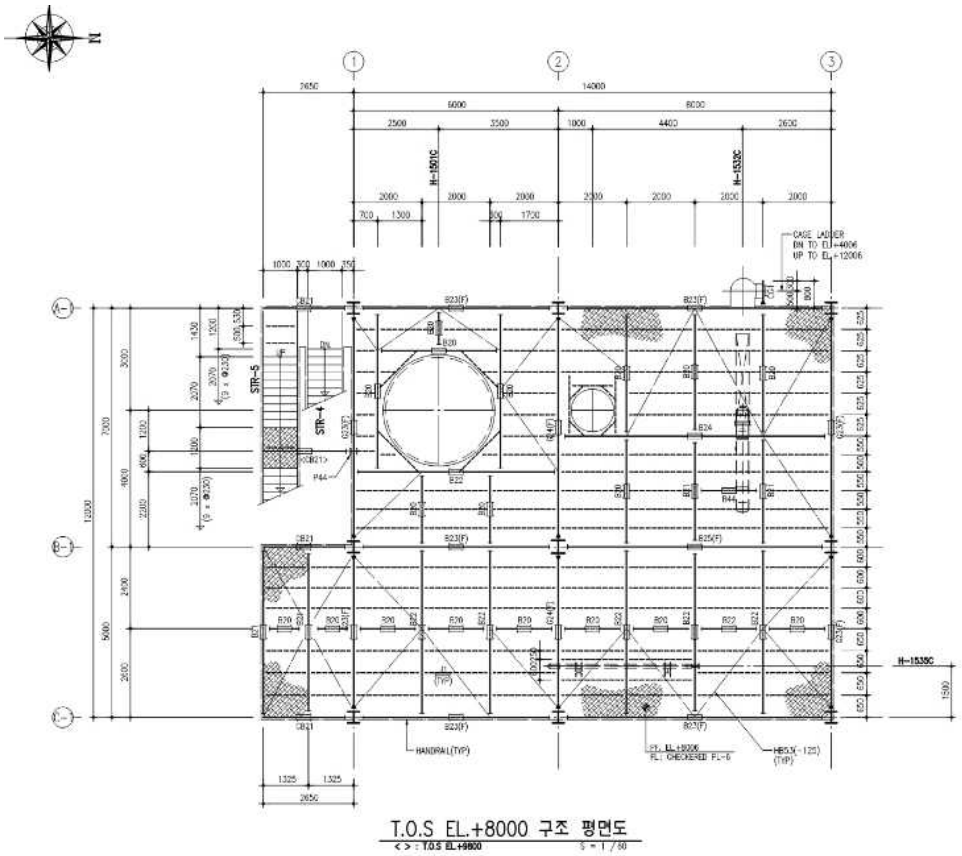


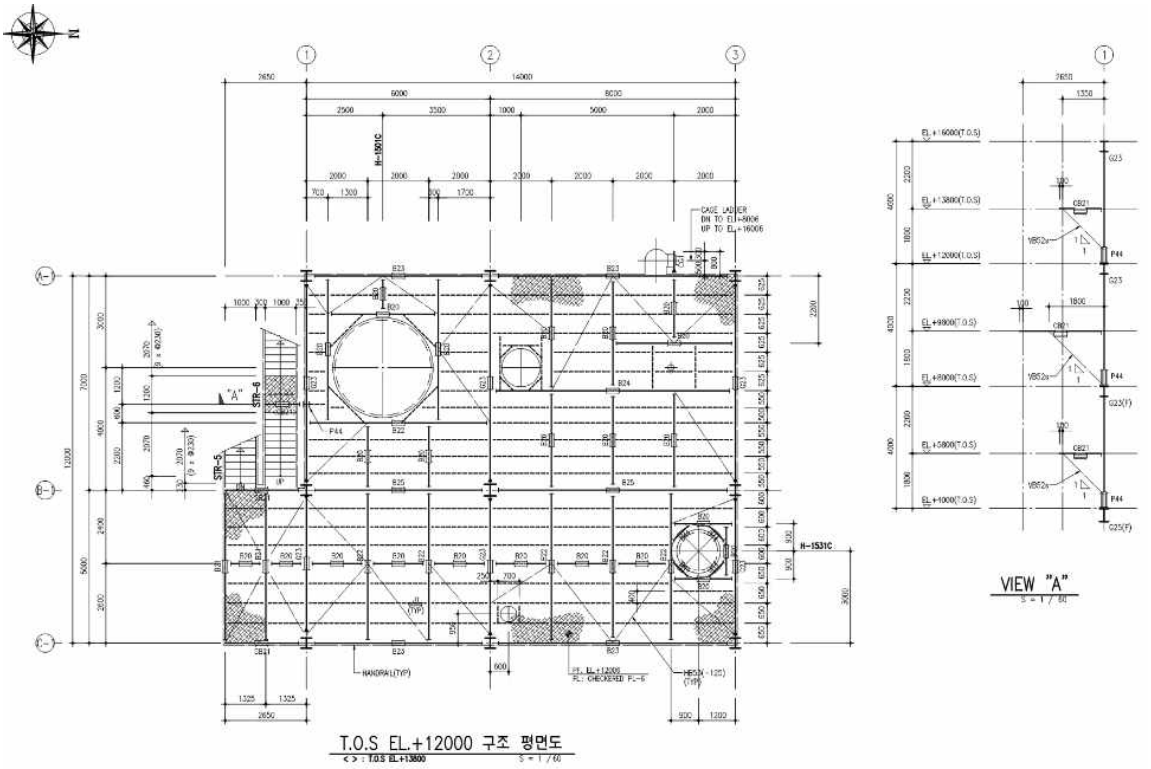
- 제공자료
  - 3D Modeling
  - Weight Balance Information
  - 현장 환경에 대한 정보 제공
  - Plot Plan

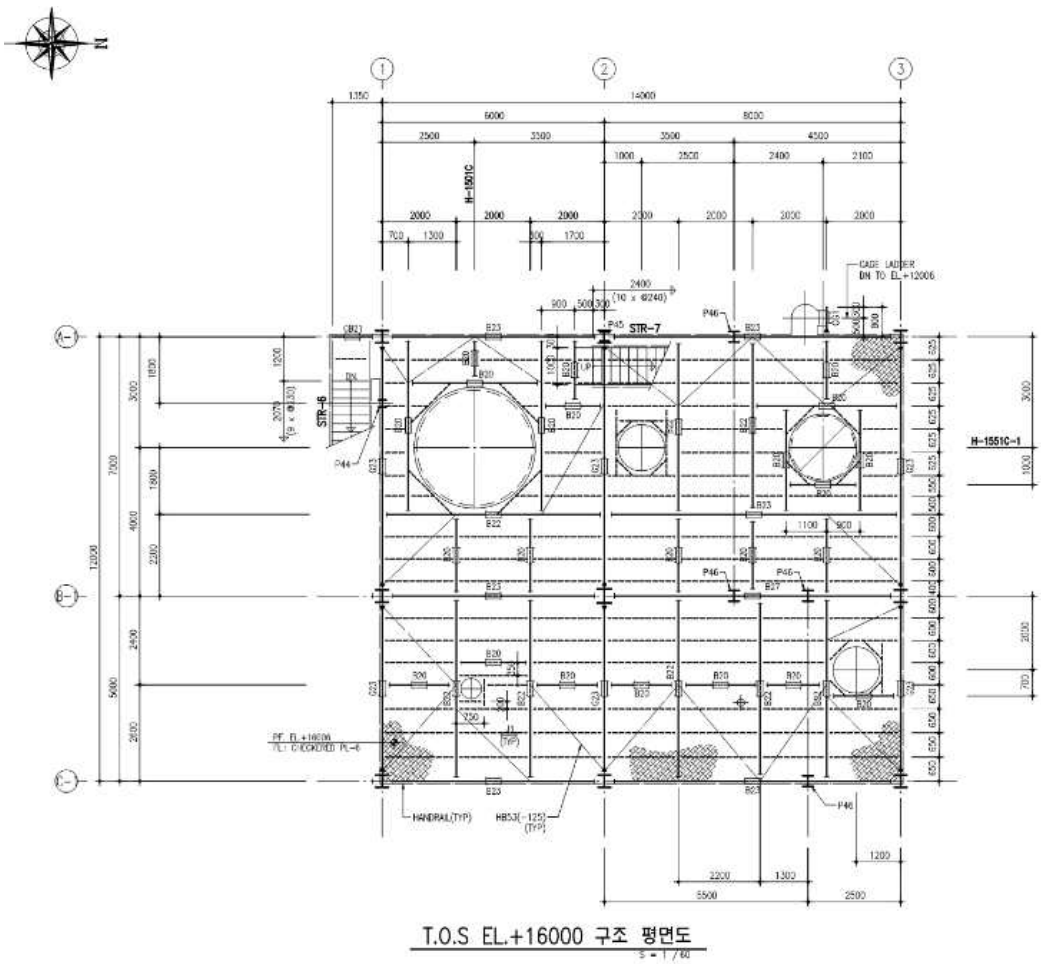


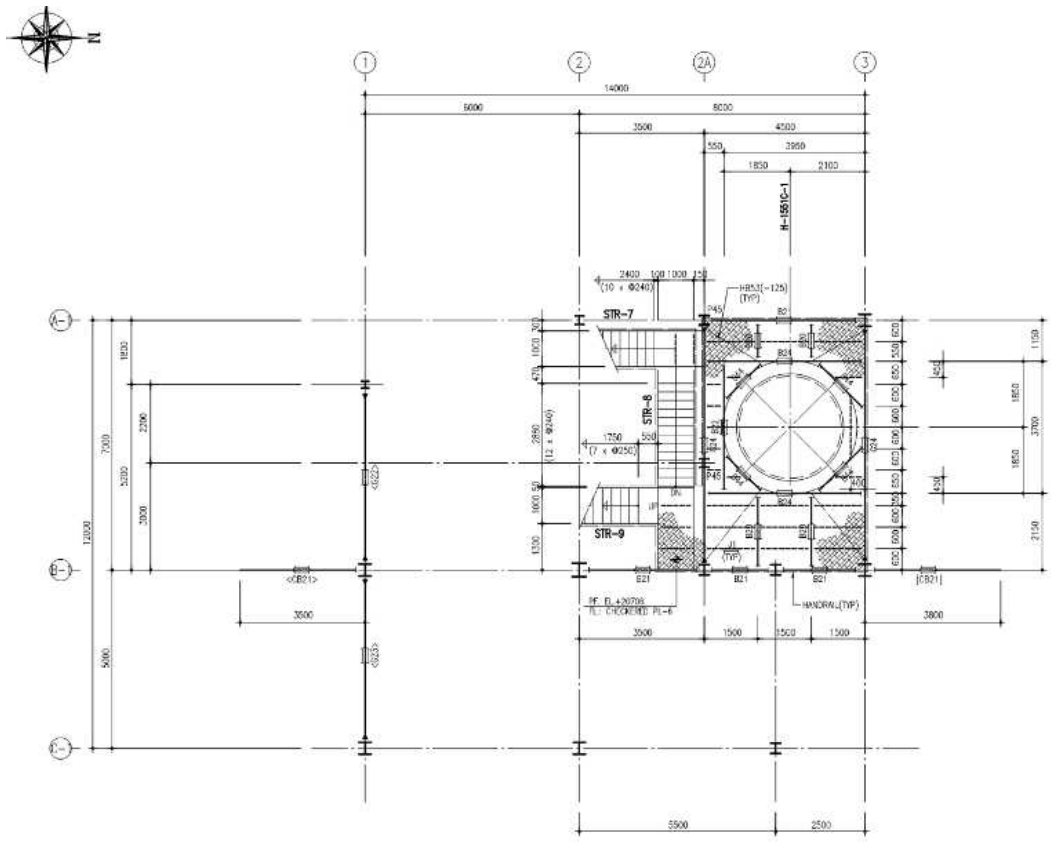
- Structure 도면





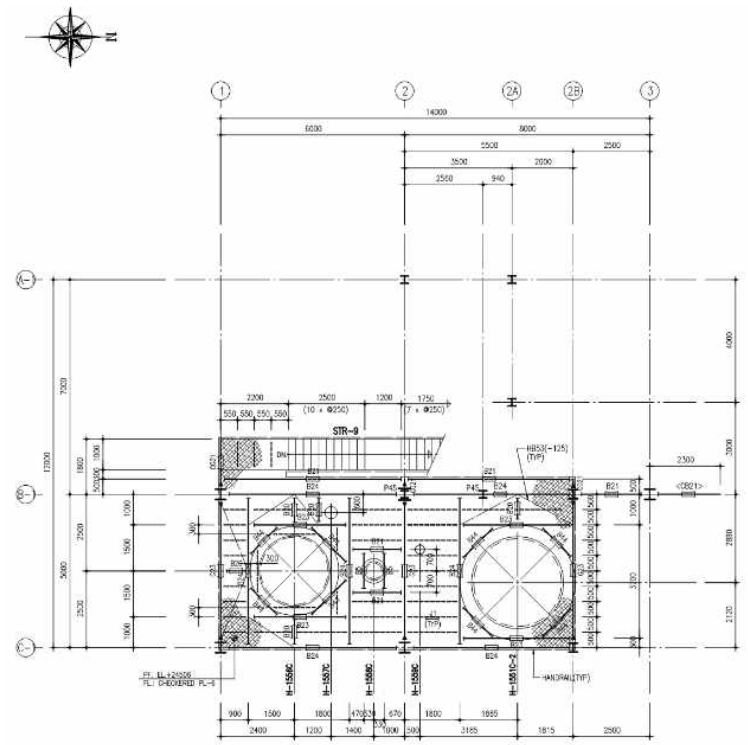

VIEW "A"
T.O.S EL.+12000 구조 평면도


T.O.S EL.+16000 구조 평면도



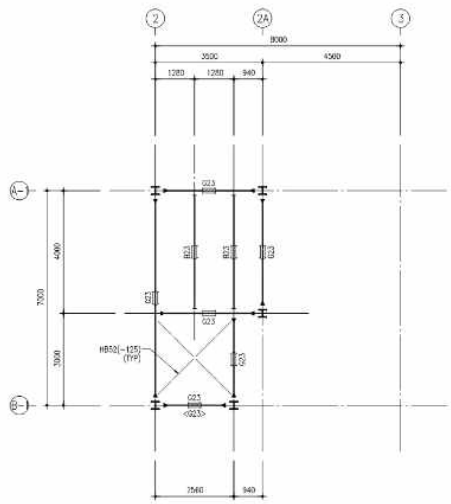
T.O.S EL.+20700 구조 평면도

* < > : T.O.S EL.+21550 S = 1 / 60
* [ ] : T.O.S EL.+22150



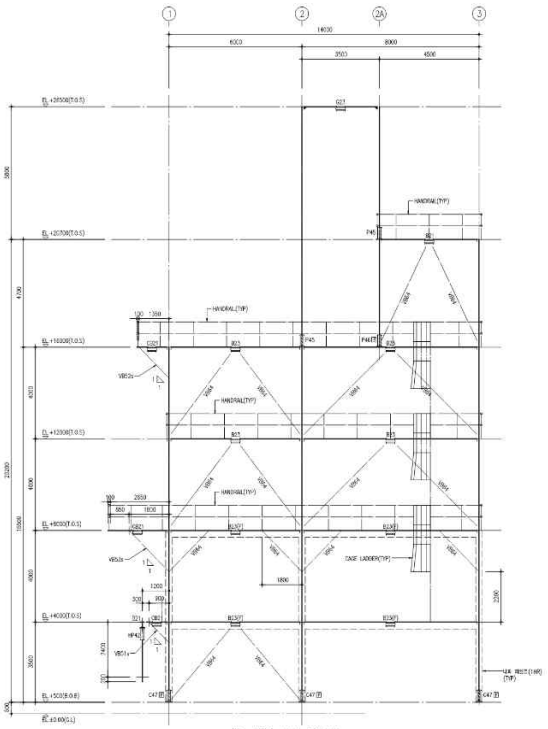
T.O.S EL.+24500 구조 평면도

* < > : T.O.S EL.+26050 S = 1 / 60

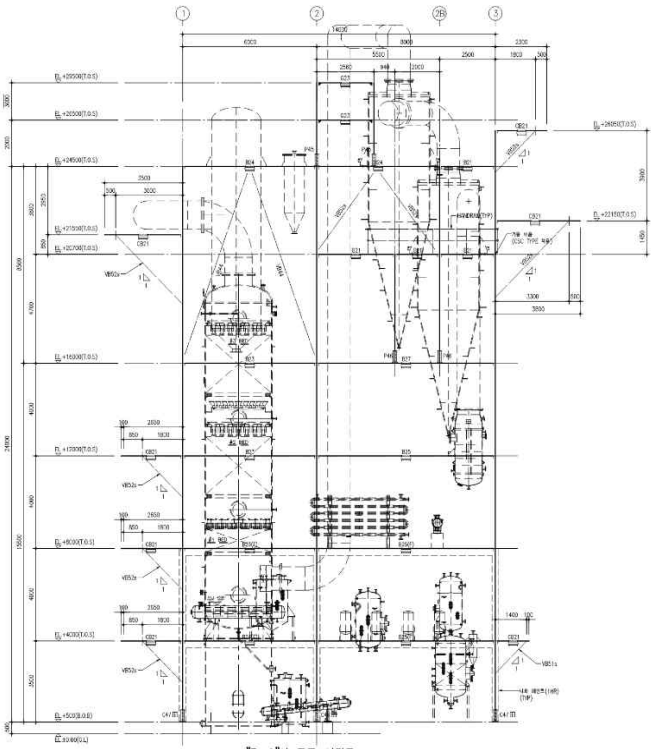


T.O.S EL.+26500 구조 평면도

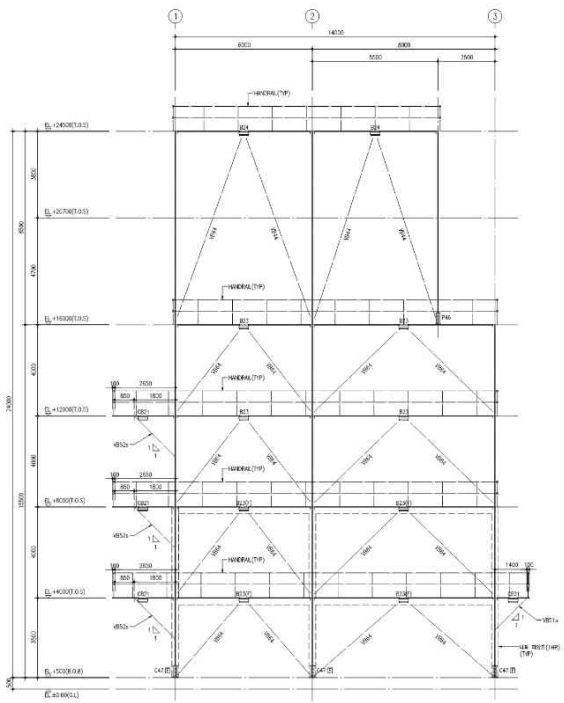
* < > : T.O.S EL.+26550 S = 1 / 60



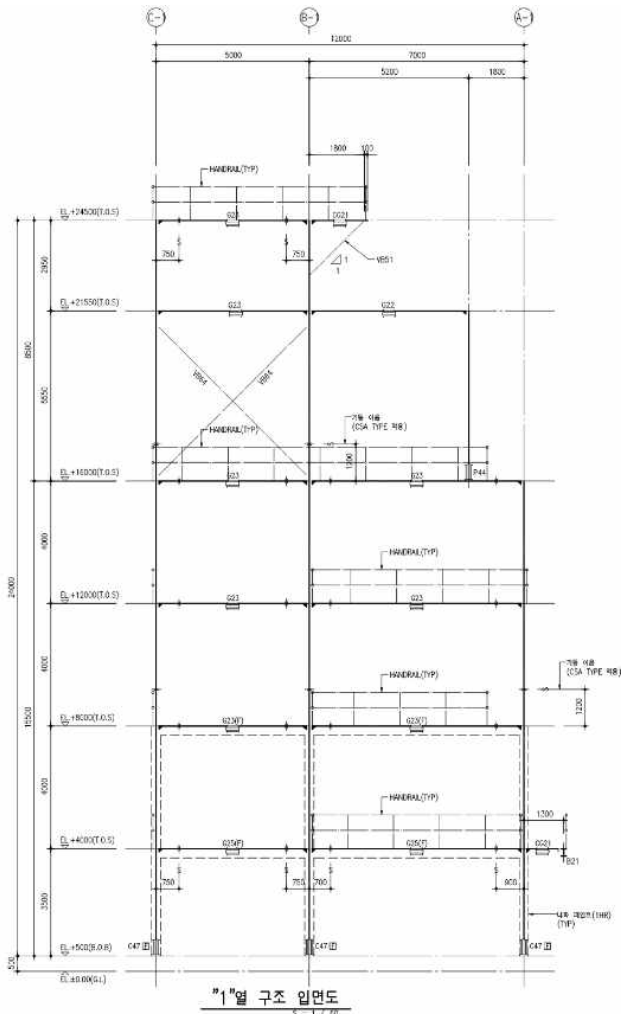
"A-1"열 구조 입면도



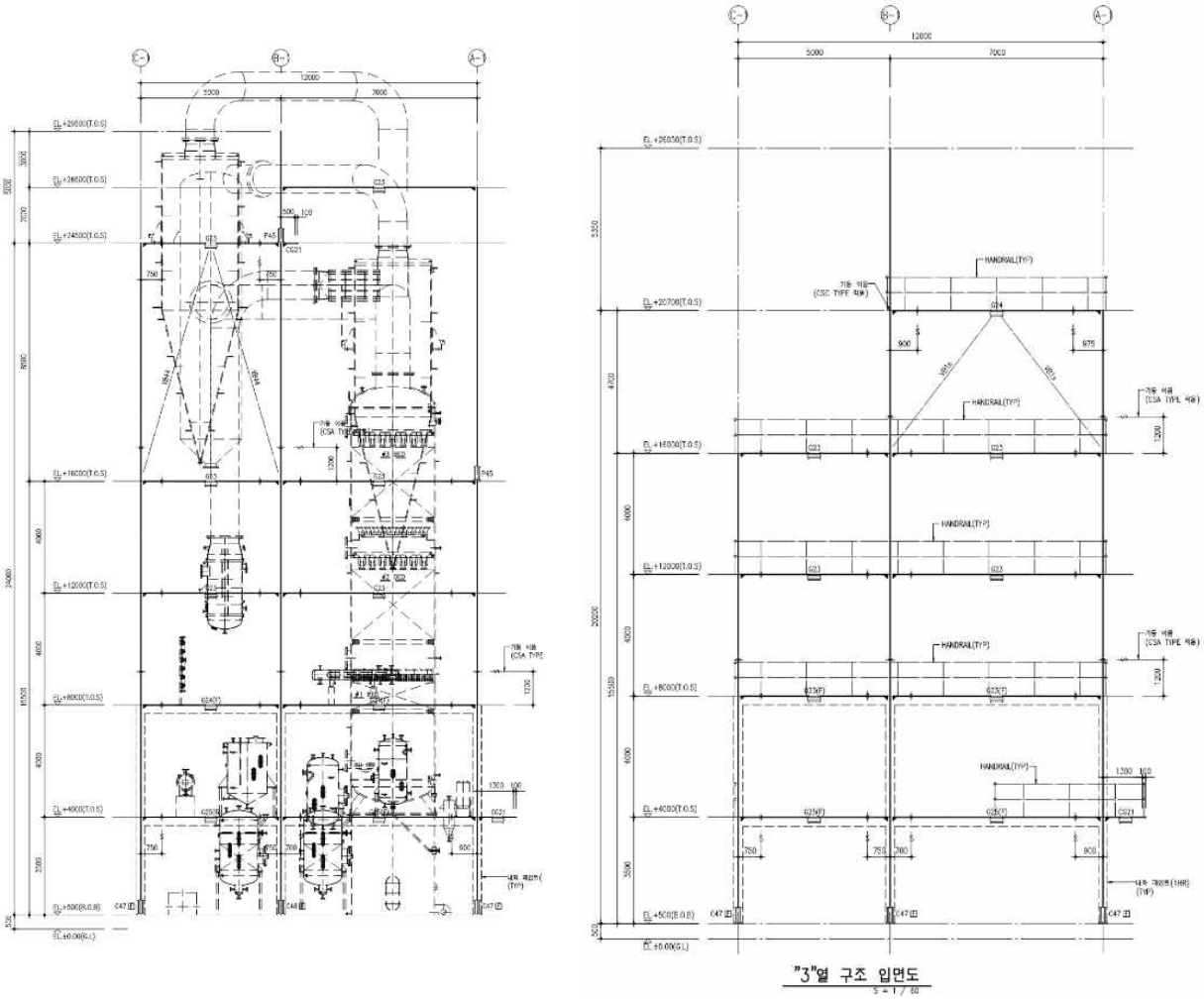
"B-1"열 구조 입면도



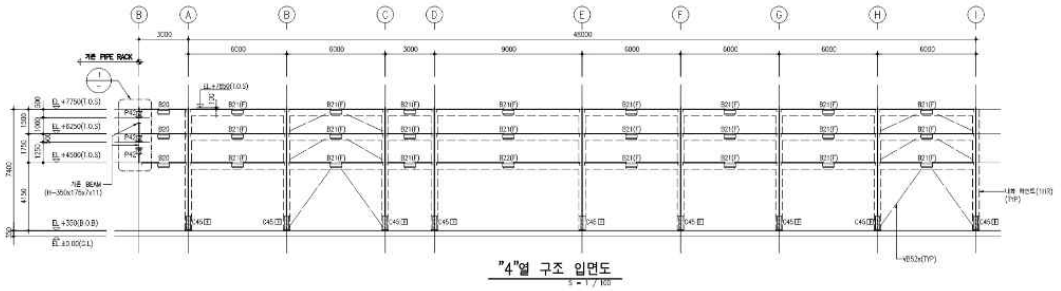
"C-1"열 구조 입면도

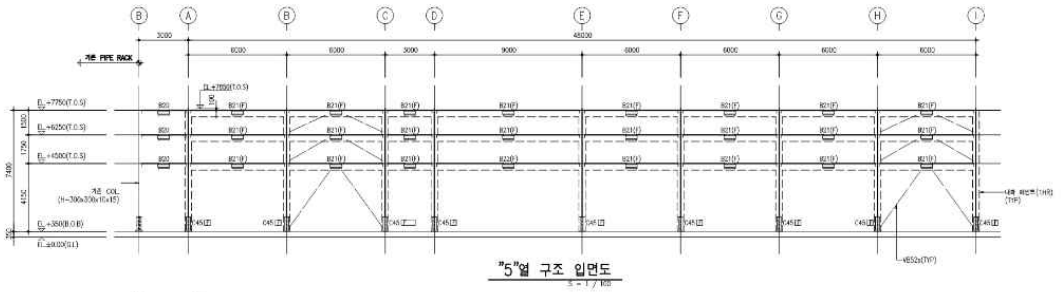


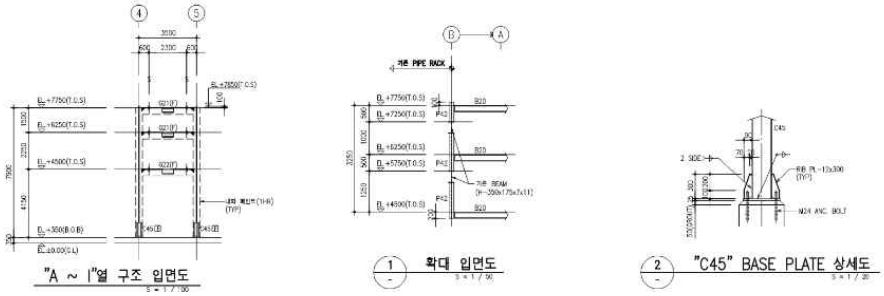
"1"열 구조 입면도

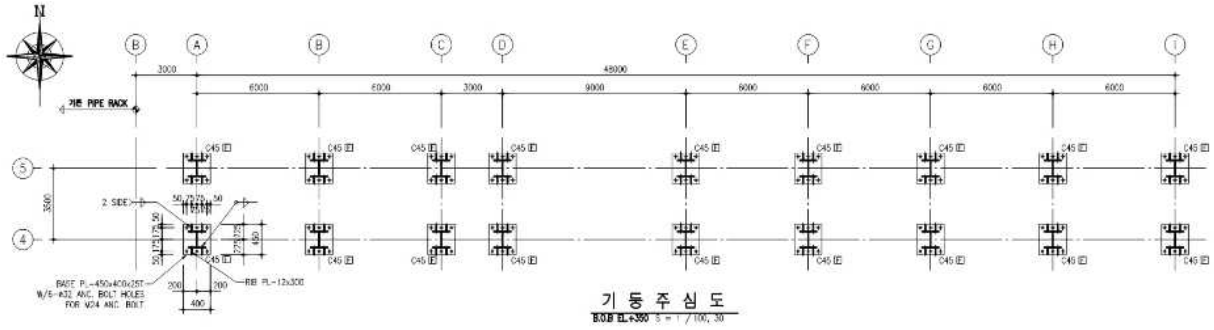


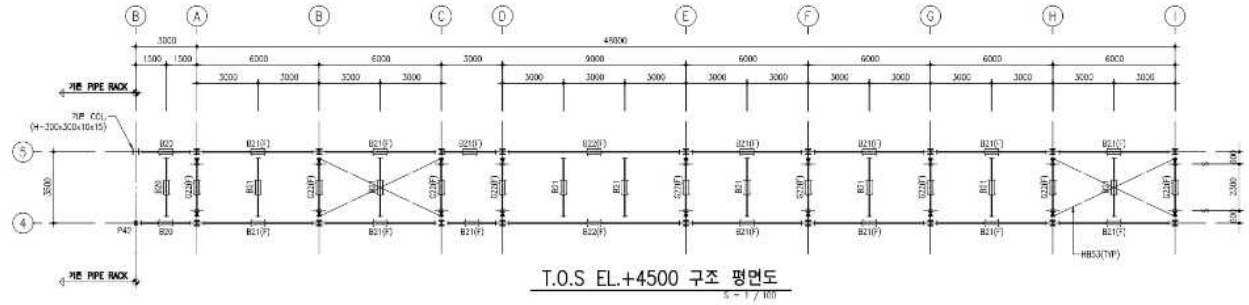
- Pipe Rack 도면

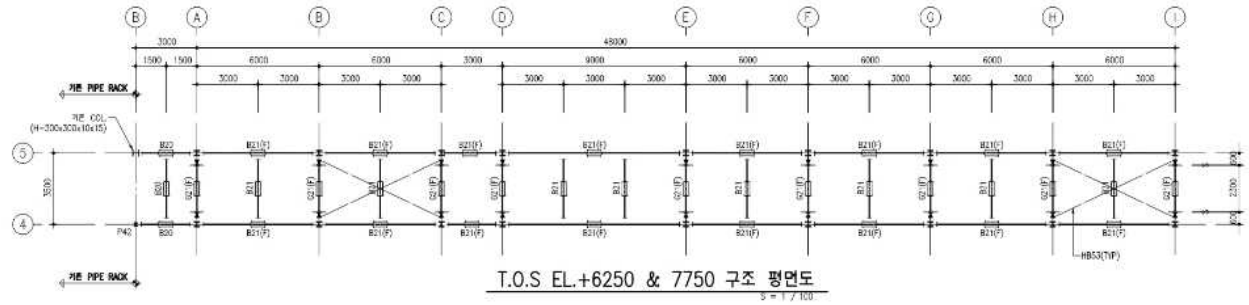












- Test 실시 체계
  - 라이브러리 구축 : 각종장치 Data Base화
  - Plot Plan 작성 : 기기배치의 최적화
  - 3D Modeling
  - Piping : 전체적인 Layout 및 기기/배관 설계
  - Structure : 구조물 설계 및 안전성 검토
  - Elec./ Inst : Cable Tray

(3) 결론

(가) 주요결과

▶ 구체적 내용은 #산출물A-2-1,2(검증대상 설계자료 정리/공간적 분할설계지침서)

▶ 산출물은 연구실적과 연계되어 다음과 같은 관점에서 정리됨

- 실질적 모듈의 분할은 엔지니어링의 기본설계(FEED) 단계에서 수행되는 영역이다. 그리고 모듈 분할을 수행하는 부서로서는 배관설계에서 중심적으로 수행하고 있다.
- 모듈은 크기, 중량 등의 제약을 받기 때문에 제작부터 운송까지를 전 공정에 거쳐 검토되어야 한다.
- 일반적 관점에서 검토된 모듈 분할시 크기에 대한 조사가 수행되었음
- 공간적 분할설계 사례를 Pipe Rack에 대한 설계사례 조사 수행함
- 기능적 분할설계 사례로 Pipe Rack 배관의 Thermal Expansion을 해결하기 위한 Loop를 설치하는 Support 구조물을 기능적으로 분할 설계한 사례를 조사함
- 기능적 분할설계 사례로 액화 플랜트를 프로세스 시스템 단위로 모듈을 분할한 설계사례를 조사함

- 기능적 분할설계 사례로 액화 플랜트를 프로세스 시스템 단위로 모듈을 분할한 설계사례를 조사함
- 크기 관점에 있어서의 주요 결과는 다음과 같음.
  - 모듈 크기 결정은 운송성 관점에서의 판단이 중요함.
  - 운송환경에 대한 사전 파악 및 표준화된 운송수단 제원들을 파악함.
  - 모듈 분할 전 모듈분할 Equipment Layout 작업이 선 수행함
  - 장거리 내륙을 운송하는 모듈 크기의 대략적 수치 검토됨
  - Pipe Rack이 폭에 대한 제한을 받으며, Pipe Rack은 병합 설계도 가능함
  - 모듈 단위의 Pipe Rack의 특이점 조사됨
  - 배관모듈 분할설계 시의 특이점 조사됨
  - OSBL의 Pipe Rack 하단부는 Hook up으로 하여 별도의 Container로 현장으로 이송하여 선 설치함.

(나) 향후계획

▶ 다양한 모듈화 Project 의 설계 사례를 분석하여 Up-date 함.

▶ 기능적 모듈설계 지침서를 활용한 모듈설계를 통해 모듈설계 시 발생되는 오류를 최소화 하기 위해 폭 넓은 실증 Project에 Test 를 수행함.

다) [A-3] 모듈연동 및 통합 컴팩트/최적화 S/W

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협엽 단위 모듈의 운송성 또는 시공성을 높이기 위해서 모듈의 부피를 일부 줄이거나, 길이/높이/폭 등 주요 치수의 전부 또는 일부를 감소시킬 필요가 있을 때, 기설계된 모듈내 기자재를 재배치하여 모듈을 컴팩트하게 설계할 수 있도록 한다.

(나) 연구 내용

▶ 본 연구 2차 년도에는 협업 단위 모듈화 최적배치 설계 사례 및 선행연구, 모듈화 최적화 정식화 선행 연구에 대해 조사하였다. 또한 모듈 설계 지침서 내 요구사항 및 프로세스 공정상 제한조건을 조사하였으며 이를 바탕으로 협업 설계 모듈 내 기자재 배치 최적화 정식화 및 EA기반 최적화 모듈을 개발하였다.

(1) 수행 내용

▶ 일반적으로 모듈러 유닛의 단가는 선박을 이용한 운송, 모듈화 구조체 추가요소 등에 따라 일반 유닛에 비하여 10~15% 초과한다. 그러나 별도의 장소에서 제작되어 현장에 설치되는 모듈화 유닛의 설치비용은 현장에서 제작, 설치되는 일반 유닛에 비하여 경제적이며, 전체 공정 기간의 단축이 가능하며, 적용 사례가 지속적으로 증가하고 있다. 모듈화 유닛의 운송 수단은 모듈별 유닛의 크기, 중량에 의하여 결정되어지며, 운반 트레일러 등 육상 운송수단을 고려하여 설계되어야한다. 또한 선적, 하역, 시공 과정을 고려하여 설계되어야 한다.

▶ 모듈화 최적배치 기술 분석

연구요약	
기술정의	모듈화 컴팩트/최적화 기술은 기설계된 모듈 내 기자재를 재배치하여 모듈을 컴팩트하게 최적화하는 기술을 의미한다.
연구목적	협업 단위 모듈의 운송성 또는 시공성을 높이기 위해서 모듈의 부피를 일부 줄이거나, 길이/높이/폭 등 주요 치수의 전부 또는 일부를 감소시킬 필요가 있을 때, 기설계된 모듈내 기자재를 재배치하여 모듈을 컴팩트하게 설계하는 것을 목표로 한다.
2차년도 주요 연구내용	플랜트 협업단위 모듈화 관련 국내외 사례분석 모듈화 관련 타산업 분야 사례분석
핵심결과	단순히 노동력, 일정, 자원 등의 한계 극복을 위하여 공정 기능 위주의 단순한 수준에서 모듈화가 시도되었으므로 한계 극복을 위하여 합리적 에너지 이용을 고려한 모듈화 설계방법의 모색이 필요하다.

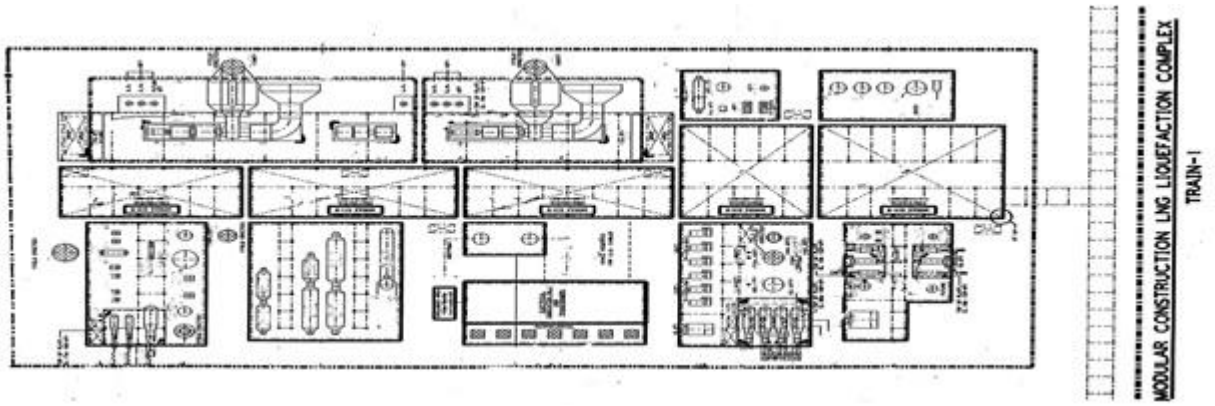
▶ 모듈러 공법의 장단점 분석

장점	단점
- 모듈을 사전제작 후 현지로 운송하여 설치하므로 공기단축이 가능 - 최적배치를 통해 원가 절약 가능 - 모듈을 제작 한 후 철저한 검사를 거친 후 현지에서 조립하므로 우수한 품질을 지님 - 현지에서 설치 작업과 관련된 위험을 줄일 수 있어 안전한 건설 환경을 조성	- 모듈의 운반 및 설치를 위한 해상 바지 및 SPMT(Self Propelled Modular Transporter) 등의 특수 장비가 필요 - 운반을 위한 보강 등의 추가 비용 발생 - 하역을 위한 하역장을 별도로 조성해야 하므로 기존 현장 조립 방식에서 필요 없었던 추가비용이 발생

[표 . 모듈러 공법의 장단점 분석]

▶ 모듈화 최적배치 설계

- 플랜트 모듈화 최적배치 설계 관련 사례 내용을 아래와 같이 정리하였다.
- 모듈화 최적배치 기술 정의
- 국내/외 플랜트 적용 사례 분석
- 타 산업 적용사례 분석



[그림. 모듈러 공법]

▶ 모듈화 최적배치 기술 정의

- 모듈화 공법은 전체 플랜트 중 일부분을 사전 제작하여 운송, 설치하는 공법으로 주로 자재 및 인력수급이 어려운 프로젝트에 적용된다. 콤팩트, 모듈화 플랜트 설계 기술은 시공비용을 줄임뿐만 아니라 해상, 도서 등 플랜트 건설의 공간적 제약을 해결할 수 있는 핵심기술로서 향후 기술수요가 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

▶ 국내/외 플랜트 적용사례 분석

- LNG플랜트 최초의 모듈러 건설사례인 Karratha project는 기존 시설물의 증설 과정에서 모듈화 비율을 60% 수준으로 진행하였다. 이때 모듈화 설계는 기존 시설물과의 연계, 운송이 가능한 유닛을 기본으로 최적화되었다. Karratha project의 경우 모듈화 건설을 통하여 노동력, 일정, 자원 등의 한계를 극복하고 독립 주체 간 협업에 의하여 성공적으로 수행한 사례를 제시함으로써 모듈화 건설의 장점을 제시하였다. 또 다수의 플랜트 설계 및 시공사례에서 최대 20~30%의 설치 공간 및 비용 절감이 가능한 것으로 보고되고 있다. Karratha project사례를 기반으로 아래의 표와 같이 천연가스 액화 플랜트 모듈화 설계 및 건설 검토 요소가 제시되었다. 또 단순히 노동력, 일정, 자원 등의 한계 극복을 위하여 공정 기능 위주의 단순한 수준에서 모듈화가 시도된 Karratha project의 한계 극복을 위하여 합리적 에너지 이용을 고려한 모듈화 설계방법의 모색이 필요할 것으로 분석된다.

구분	모듈화 기준	비고
1	독립 모듈의 연계 지점 최소화	계통, 기능, 장치별 모듈화
2	critical 네트워크의 분할 최소화	전력, 에너지, 질량 흐름 단위 모듈화
3	layout level 수준별 모듈화	
4	운송 기능 유닛의 모듈화	
5	건설 schedule 시점별 모듈화	건설 schedule overlap최소화
6	건설/제작 주체별 모듈화	

[표. 모듈러 플랜트 설계 검토 요소]



[그림. LNG플랜트 최초의 모듈러 건설사례, Karratha project]

- GS건설은 오일샌드 분야에 국내 최초로 진출하였고, 캐나다 블랙골드 프로젝트는 우리나라 기술력과 힘을 바탕으로 성공적으로 이루어낸 첫 캐나다 Module project이다. 캐나다 현지의 극한 환경, 환경규제, 높은 노무비와 불안정한 인력 수급문제 등으로 인해 플랜트 시설을 국내에서 120개의 모듈로 제작하여 캐나다 현장까지 운송하여 설치하는 대규모 플랜트 모듈화 프로젝트이다.



[그림. GS건설의 블랙골드 프로젝트]

- 아래 사진은 삼성 엔지니어링이 지난 2009년에 수주한 알제리 skikda 정유 플랜트의 전경을 보여주고 있다. 지난 30년 동안 운영하면서 알제리 석유 수요의 80%를 공급했던 만큼 증설 과정에서 기존 플랜트 가동 중단 기간을 최대한 줄여야 하는 고난도 프로젝트였다. 삼성 엔지니어링은 짧은 가동 중단 기간 안에 작업을 완료하기 위하여 기존 설비를 해체하고 그 자리에 새 설비를 짓는 기존 방식을 포기했다. 대신 다른 곳에서 미리 제작한 설비를 기존 설비 해체 위치에 끼워 맞추는 공법인 모듈러 공법을 사용하였다. 이를 통해 업체에서 제시한 90일 보다 더 빠른 75일 만에 개보수 작업을 마쳤다.

▶ 타산업 적용사례 분석

- 프랑스 토탈(TOTAL)사가 대우해양조선에 발주한 파즈플로(Pazflor) FPSO Topside의 핵심설비인 Production Module 및 Separation Module 의 총 8,400톤의 유닛 4개를 생산착수 10개월 만에 공급하였다. 이러한 모듈러 공법 없이는 선체 건조후에 탑사이드를 설치해야 하므로 건조시간이 지금의 1.5배는 소요될 정도로 공기 단축 정도가 탁월하다.



[그림. 삼성 엔지니어링 skikda plant]



[그림. 포스코 플랜텍의 Pazflor FPSO Topside Module]

▶ 협업단위 모듈화최적화 정식화 선행연구조사

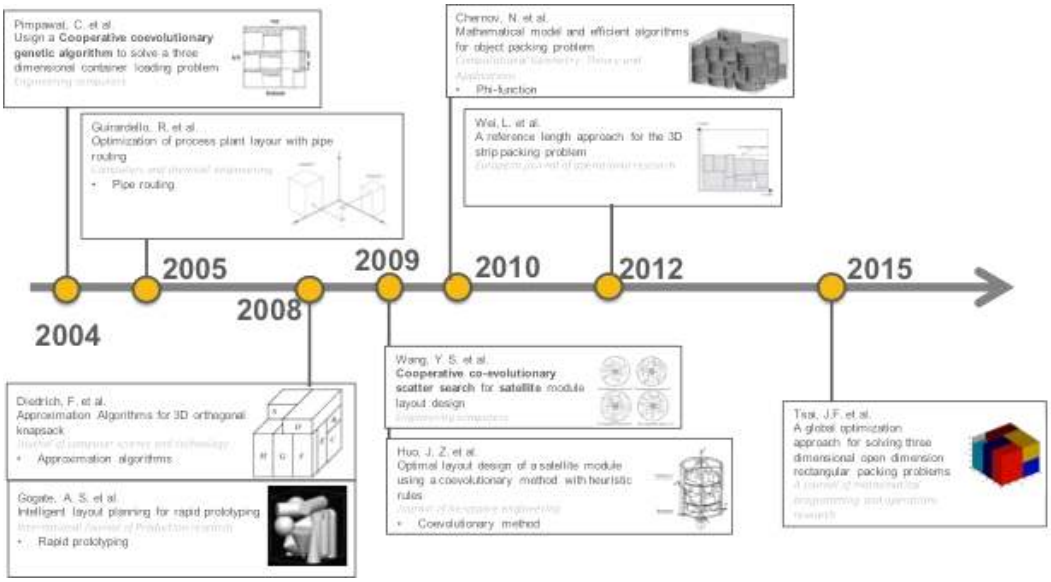
연구요약	
기술정의	기설계된 모듈내 기자재를 재배치하여 모듈을 컴팩트하게 최적화 시키는 기술을 의미한다.
연구목적	소프트웨어 개발에 앞서 모듈화/컴팩트화와관련한 최적화 방법론, 최적화를위한 정식화 과정에 관한 연구 동향을 살펴보는 것을 목적으로한다. 국내외 연구 동향을 뿐 아니라, 타산업과 관련한 컴팩트화 최적화 관련 연구동향도 함께 살펴보고 추후 소프트웨어 개발을 위한 배경이론을 찾는다.
2차년도 주요 연구내용	국내외, 타산업 내 선행 연구 동향 분석
핵심결과	플랜트분야 뿐 아니라 타산업 모듈화 관련 배경이론과 적용가능한 최신 이론분석

▶ 컴팩트/모듈화 최적배치 선행연구동향 분류

- 기자재 재배치를 통한 협업 단위 모듈을 보다 최적으로 컴팩트화하기 위한 방법론들에 대한 선행연구를 조사하였다. 결과적으로 배치안에 대해 고려할 수 있는 제한조건이나 가정사항을 고려하여 그 조건하 가장 효율적인 최적의설계대안을 자동으로 제안하는 기술들 일컫는다.
- 아래와 같은 분류로 선행연구를 분석하였다.
- 모듈화 최적화 관련 연구동향
- 플랜트 산업관련 모듈화 최적화 연구동향
- 플랜트 외 기타 산업 내 연구 동향

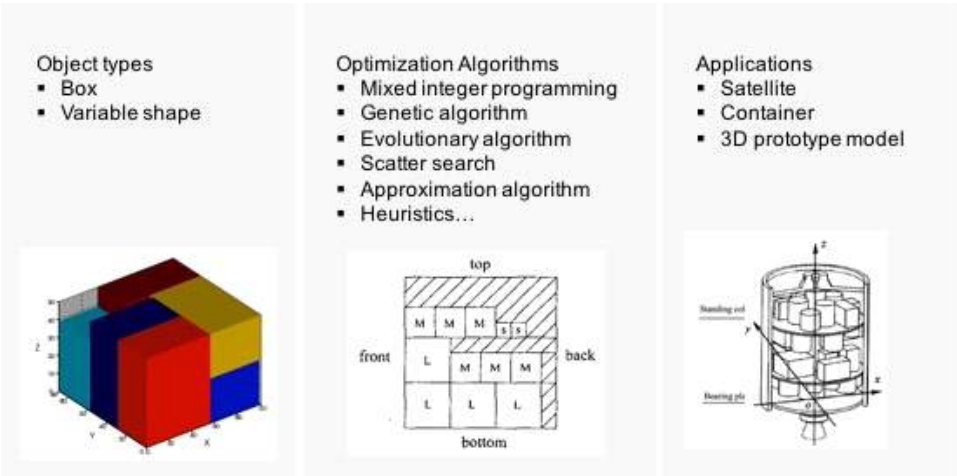
▶ 모듈화 최적화 관련 연구 동향

- 특정영역내 최적으로 컴팩트한 배치를 위한 연구가 다음 그림과 같이 진행되고 있다



[그림. 컴팩트/모듈화 최적배치 연구 동향]

- 배치하고자 하는 오브젝트의 형태에 따라서도 분류된 연구들, 그리고 어떤 알고리즘을 사용하여 최적안을 도출할 것인가에 대한 연구들과 이런연구들이 산업에 적용된 연구 동향들을 본 조사에서 살펴 볼 수 있으며, 다음 그림으로 요약된다.



[그림. 컴팩트/모듈화 최적배치 연구 동향 분류]

▶ 모듈 설계 지침서 내 요구사항 및 프로세스 공정상 제한조건 조사

연구요약	
기술정의	모듈화 프로세스를 고려하여, 모듈품질 향상하고 최적의 솔루션 제공을 위해 요구되는 사항
연구목적	해외 플랜트 시장에서 모듈화플랜트 건설 비율이 증가하고 있는데, 모듈화를이용할 경우 모듈분할,운송,시공등에서 그 효과를 극대회 하기 위해 고려할 부분들이 발생하게 된다.이러한 요소들을 요구사항 및 제한조건으로 정의하여 분석하여 최적화설계모듈에 반영하고자한다.
2차년도 주요 연구내용	컴팩트/최적화를 위한 설계상 요구사항 및 제한조건 조건 조사
핵심결과	조사한 제한조건은 배치 최적화 s/w 모듈내 최적화 설계를 위한 제한조건으로 반영하도록 한다.

▶ 제한조건 대상항목

- 조사한 항목은 아래와 같다.
- 운송성/시공성 고려한 요구사항 및 제한조건
- 공정 운용고려한 요구사항 및 제한조건
- HSE(Health safety and environment) 관련 요구사항 및 제한조건

▶ 제한조건 대상항목: 운송성/시공성 고려한 요구사항 및 제한조건

- 독자적인특성이 있는 시공사이트에 대한 환경,지형,시공법규등
- 사이트의제한조건으로 area,length 등
- 운송시 운송수단별 내포하고있는 제한 조건 고려
- 해상운송의 경우 수송가능 모듈 사이즈, 무게,고정가능성,변형 정도등
- 육상운송의 경우에도 수송가능한 모듈 사이즈, 무게, 변형정도,시공지역에서의 육상 운송시 시공지역 법규
- handling, loading, unloading시특정장비,지지부시설 필요



[그림. 운송시 운송수단에 따른 제한조건발생]



[그림. 모듈 lifting 현장]

▶ 제한조건 대상항목: 플랜트운용 고려한 요구사항 및 제한조건

- 공정설계공간설정
- 단위운전분류
- 모듈화설계공간 식별
- 인접모듈, 장비간인터페이스 오차 관리
- 운용사이트는 그 지역의 환경,지형적특성을 반영하므로 잠재적인 리스크가 존재하며, 즉, 장비,시설, 운용자변경은 실제 운용시 발생가능
- 각장비간의 연결 정보,특정장비의 위험도,장비의배치에 따른환기 측면을 고려

▶ 제한조건 대상항목: HSE 고려요구사항 및 제한조건

- 시공사이트내 시공시 HSE 고려
- 모듈들 시공위한 가설 시설물 설치 및 해체시 안전 고려
- 혼잡한 인접시설들과의 안전거리 확보

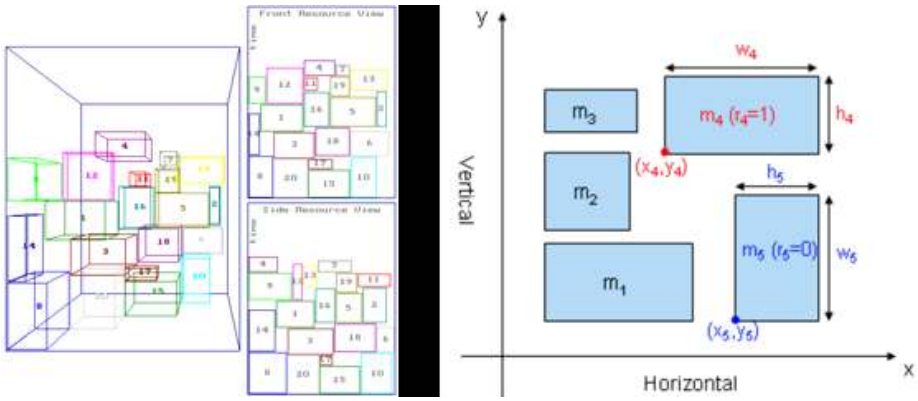
- 모듈화의 경우 시공지역만의 환경특성(지반특성,현장접근성등)을고려한 안전확보
- O&M(operations and maintenance) 위한 HSE 고려
- O&M위한 모듈 내 공간 확보
- 개,보수 위한 전용 통로 확보
- 안전대피 위한 대피소,통로,시설등 규칙 만족
- 운용시 발생가능한 위험요소 관리,모니터링

▶ 협업 설계 모듈 내 기자재 배치 최적화 정식화 및 진화 알고리즘 기반 최적화 모듈 개발

연구요약	
기술정의	협업단위로 분할된 모듈내에 제한조건을 두어 그 안에 들어가야 할 설비들을최적으로 배치한다.
연구목적	협업 단위 모듈의 운송성 또는 시공성을 높이기 위해서 모듈의 부피를 일부줄이거나,길이/높이/폭 등주요 치수의 전부 또는 일부를 감소시킬 필요가 있을 때, 기설계된 모듈내 기자재를 재배치하여 모듈을 컴팩트하게 설계할 수 있도록 한다.
2차년도 주요 연구내용	협업설계 모듈 내 기자재 2차원 배치 최적화 모듈 개발 가상시나리오를 통한 검증
핵심결과	플랜트 모듈 2차원 배치 최적화 소프트웨어 개발하고, 추후 운송성/시공성의 향상을 위해 설계자에게 효과적인 대안을 최적화를 통해 제안

▶ 플랜트모듈 2차원 최적배치 정의

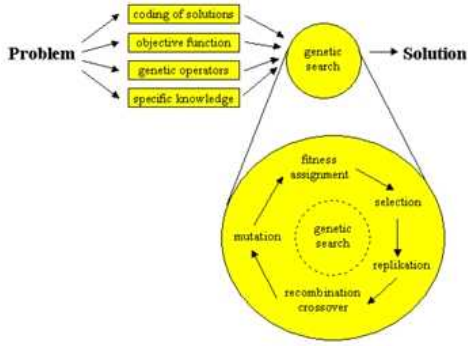
- 그리드 기반 2차원의협업설계 모듈 내 기자재 배치기술을 의미한다.
- 설계자의 설계 조건 혹은 시공성/운송성을제한조건으로 하였을 경우,2차원 상의최적의 배치를 보여지는 기술이다.
- Processmodule의 경우 시공, 운송시 제한이 될 수 있는 요소들을 반영하여 기존 설계보다 컴팩트화 할수 있는 설계요소를 찾아,장비들을 크게 박스형태로 나타내어 2차원상에서배치한다.



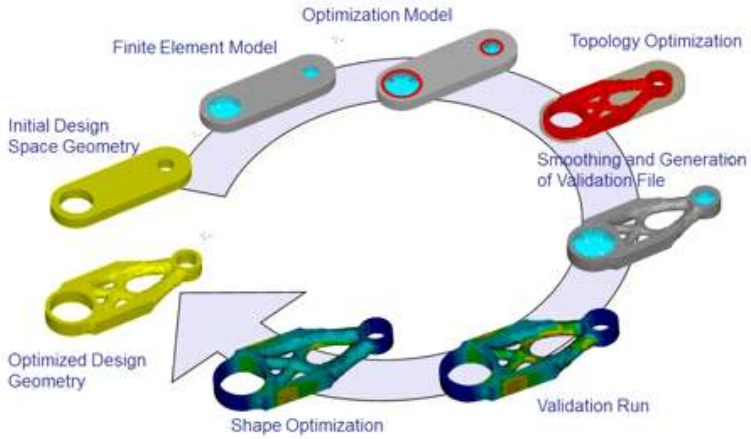
[그림. 2차원 최적배치 예시]

▶ 최적화모듈 내 사용 이론

- EA(Evolutionary Algorithm)을 기반으로 하는 최적화 모듈이다.
- 자연진화 법칙을 2차원최적배치 문제에 적용하였으며,이는 특히 교배(Cross-over)와 돌연변이(Mutation)과정을 통해 최적안을 찾아가므로 범용성과 유용성이 높은 알고리즘이다.
- 위상최적화와 형상최적화를 실시하여 두 건의 케이스 스터디 수행



[그림. 진화알고리즘을 사용한 최적화 개념도]



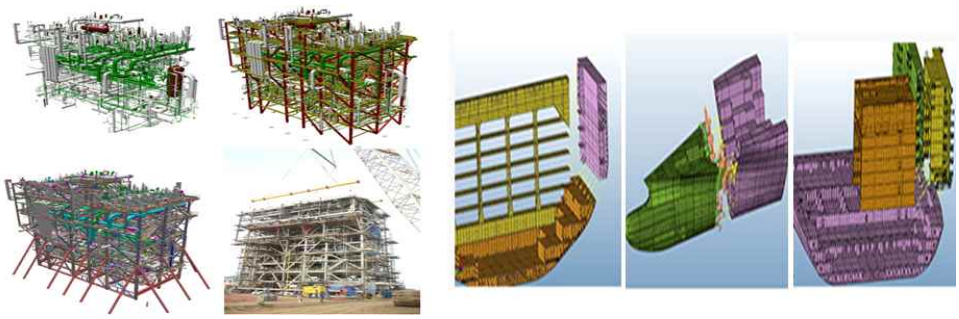
[그림. 위상최적화와 형상최적화의 차이]

(2) 결론

(다) 주요 결과

▶ 협업 단위 모듈화 최적배치 및 설계 사례조사 분석

- 모듈화 최적배치 및 설계에 관하여 국내/외 플랜트 사례와 타산업 적용사례를 조사하였다.
- 현재 다양한 분야에서 모듈러 공법이 사용되고 있으며, 이를 통해 공기단축, 자원/노동력 절약 등 공정 기능 위주의 단순한 수준에서 모듈화가 시도되었다. 합리적 에너지 이용을 고려한 모듈화 설계방법의 모색이 필요할 것으로 분석된다.
- 조선소는 Block이라는 개념이 모듈과 유사한 개념으로 통용된다. 따라서 조선소의 Block과 플랜트의 모듈은 서로 유사성이 있으며 응용할 만한 여지가 있다. 먼저, 조선소의 블록과 플랜트의 모듈의 운반 및 설치를 위한 특수 장비가 필요하다는 점에서 유사하다. STX의 초대형 선박블록을 해상 탑재한 사례에서는 부유식 해상크레인 대신 헤비 리프터와 Module Transporter(운전석 없이 외부에서 원격으로 운전할 수 있는 운송 장비)를 이용하여 Floating Dock(해상에서 선박을 건조할 수 있는 바다 위의 도크)에서 선박을 건조하였다. 유사하게 LNG플랜트의 모듈은 전체 플랜트 중 일부분을 사전 제작한 후 모듈을 운반할 때 특수 장비가 필요하였다.



[그림. 다수의 모듈 또는 블록의 조립/연결을 통하여 완성된다는 관점에서의 유사성]

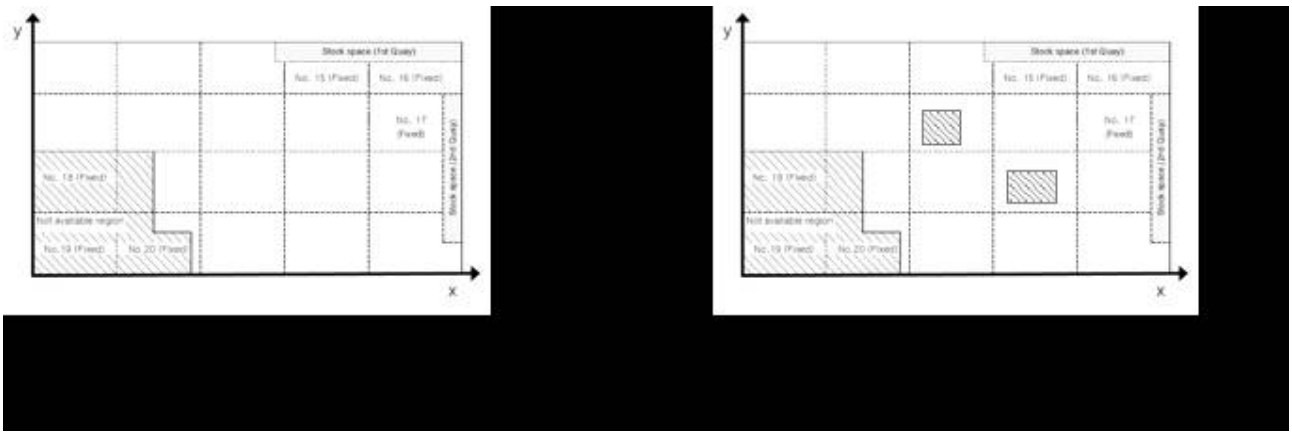
- 또 다른 유사점으로는 다수의 모듈 또는 블록의 조립/연결을 통하여 완성된다는 점이 있다. 따라서 모듈이나 블록의 최적배치를 통하여 공기를 단축시킬 수 있으며, 경제적으로도 큰 장점이 있다.



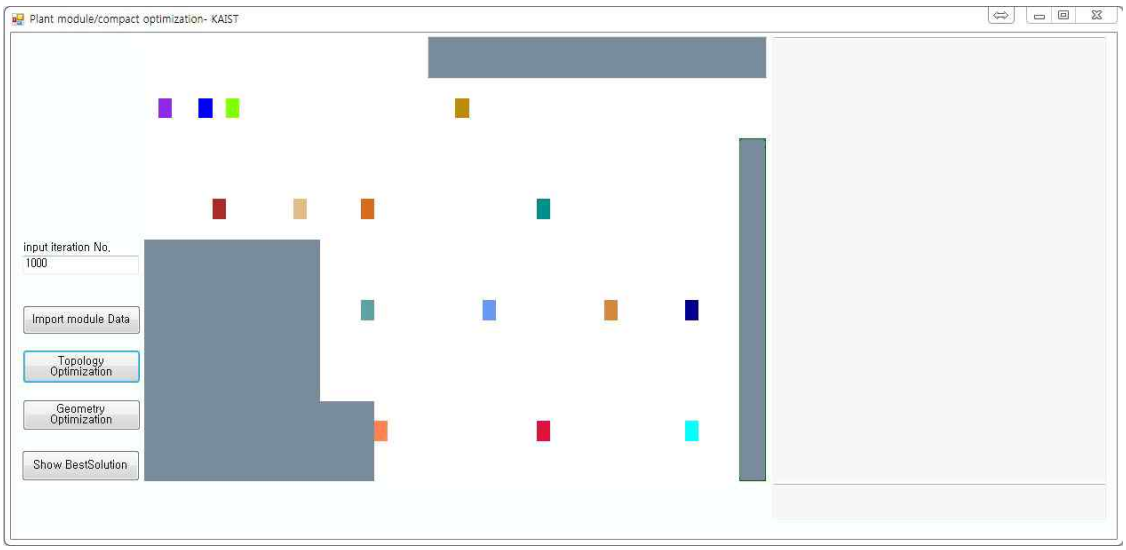
[그림. 조선소의 블록과 플랜트의 모듈의 운반 및 설치 관점에서의 유사성]

▶ 2차원기반 최적화 모듈 실행결과

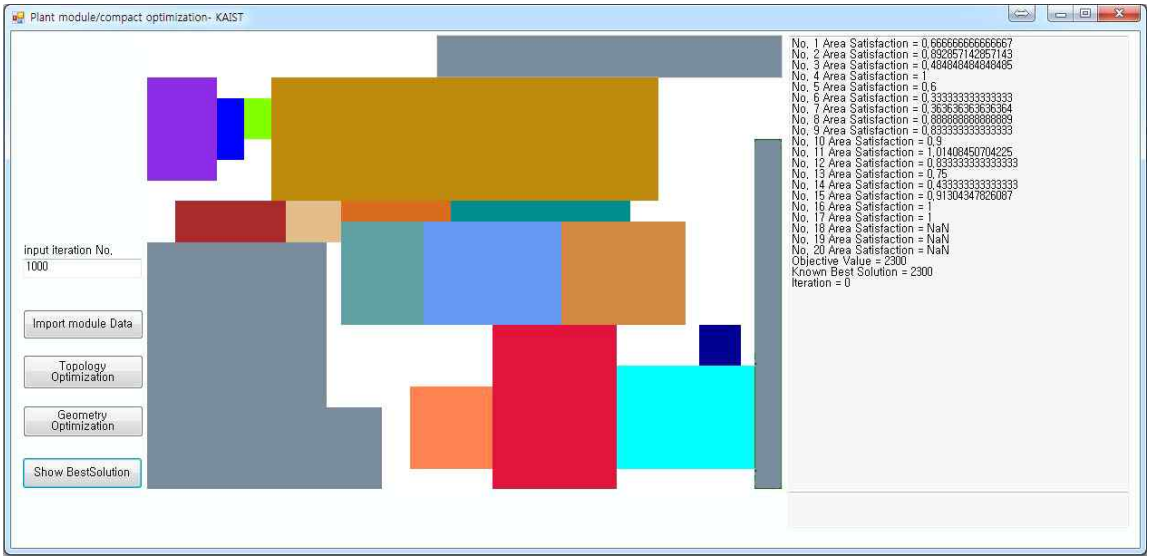
- 케이스 스터디 진행을 위해 공통으로 다음과 같이 임의로 가정한다.
- 공통가정사항에 대해 위상최적화,형상 최적화를 수행하였다.
- 두 건의 케이스스터디에 대한 가정사항과 수행결과를 나타낼 모듈의 화면은 아래와 같다.
- 추후 3차원기반 모듈 개발을 위한 기반 기술이 된다.



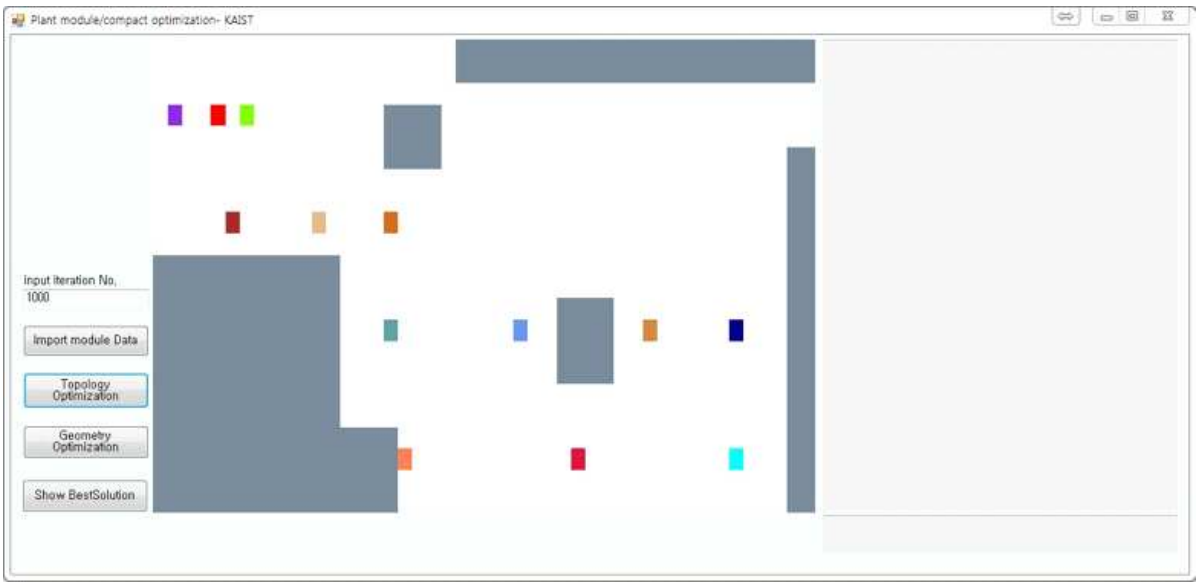
[그림. 각 케이스스터디에 대한 가정사항과 예상 결과물]



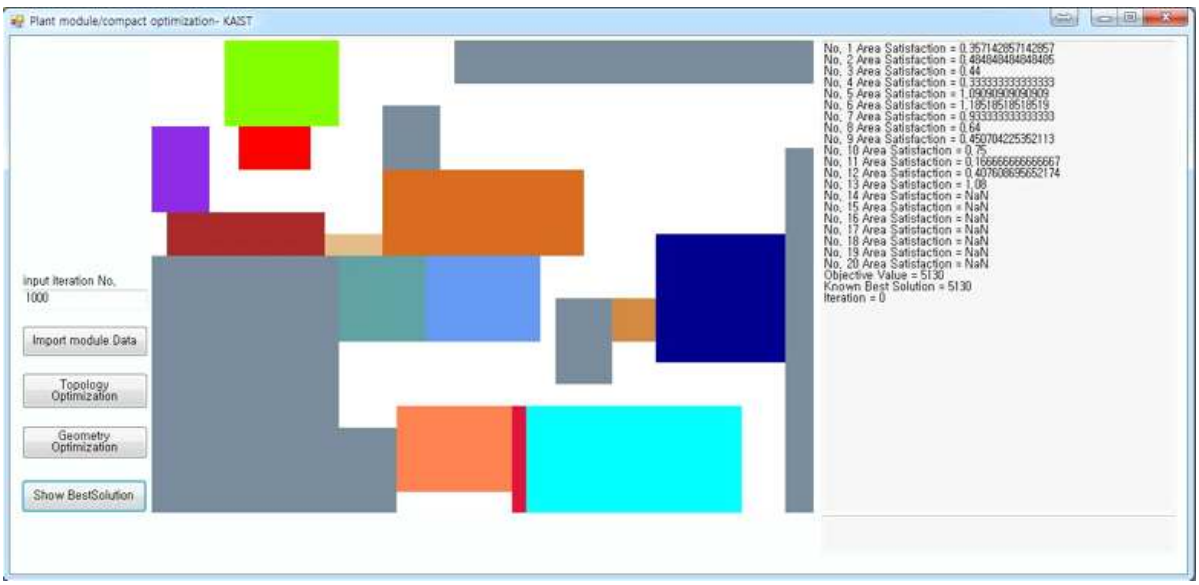
[그림 . 가상 시나리오1에 대한 2D 배치최적화 중 위상최적화 모듈 수행 결과화면]



[그림 . 가상 시나리오1에 대한 2D 배치최적화 중 형상 최적화 모듈 수행 결과 화면]



[그림.가상 시나리오2에대한 2D배치최적화 중 위상최적화 모듈실행 수행 결과 화면]



[그림.가상 시나리오2에대한 2D배치최적화 중 형상최적화 모듈실행 수행 결과 화면]

(라) 향후 계획

▶ 2차원 기반으로 수행하였던 최적배치모듈을 발전시켜 Grid 기반 다양한 기자재의 장방형 공간 내 3차원 배치 수행

(3) 성과점검기준

(마) 질적 성과지표

① 성과지표의 설정 근거

- 국내외,타산업 사례조사근거로 설정

② 목표치

- 협업단위 모듈화 최적배치 설계 사례 조사서 3건
- 협업단위 모듈화 최적화정식화 선행연구 조사서 3건
- 모듈설계 지침서 내 요구사항 및 프로세스 공정상 제한조건 분석 보고서 3건
- 플랜트 모듈 2차원 배치 최적화 모듈 개발보고서 2건
- 2차원 배치 최적화 워킹모델 s/w 등록 1건

(바) 측정/검증방법

① 측정 방법 설정 근거

- 사례,선행연구 조사 기반으로 최적배치를 위한 제한조건을 설정하고, 2차원상으로 최적배치 모듈 실행 검증

② 검증 방법

- 협업단위 모듈화 최적배치 설계 사례 조사서 확인
- 협업단위 모듈화 최적화 정식화 선행연구조사서 확인
- 모듈설계 지침서 내 요구사항 및 프로세스 공정상 제한조건 분석 보고서 확인
- 플랜트 모듈 2차원 배치 최적화 모듈 개발 보고서 확인
- 케이스스터디 가상 데이터에 대해 검증, s/w등록여부

(사) 정량목표 및 달성도

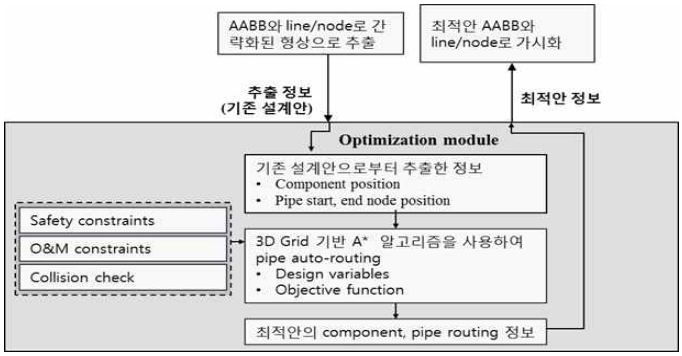
구분	목표	달성	달성률
협업단위 모듈화 최적배치 설계 사례조사서	사례 보고서 3건	사례 보고서 3건	
협업단위 모듈화 최적화 정식화 선행연구 조사서	선행연구 조사서 3건	선행연구 조사서 3건	
모듈설계 지침서 내 요구사항 및 프로세스 공정상 제한조건 분석 보고서	선행연구 조사서 3건	선행연구 조사서 3건	
플랜트모듈 2차원 배치 최적화 모듈 개발 보고서	개발보고서 2건	개발보고서 2건	
개발모듈 S/W 등록	s/w 등록 1건	s/w 등록 1건	

B) 3차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 기설계된 모듈의 컴팩트화를 위해 협업 설계 모듈 내 기자재 3차원 배치 관련 정보를 자동 추출하여 EA(Evolutionary Algorithm) 기반 3차원 최적화 모듈 개발



[그림. 3차원 최적화 모듈 모식도]

(나) 연구내용

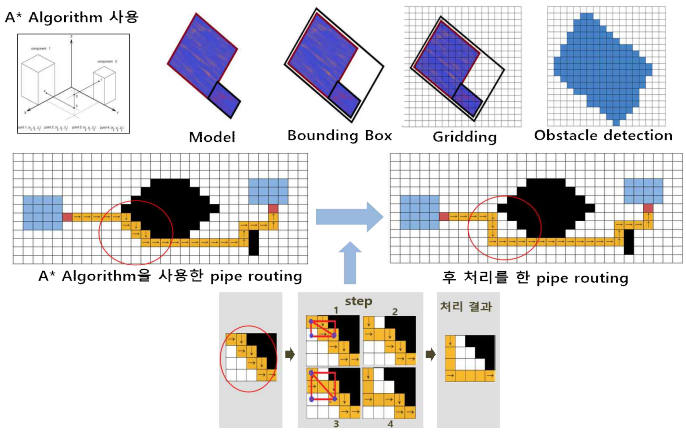
▶ 운송성/시공성 향상을 위해 기존 설계안에서 배관 재배치의 최적화를 통해 보다 컴팩트한 모듈 설계안을 제안하고자 기존 모듈의 장비관련 모델을 추출하고, Evolutionary 알고리즘과 제한조건들을 기반으로 최적화하는 모듈을 개발하였다.

▶ Evolutionary algorithm을 사용하여, 주어진 시간내에 항상 그때까지의 가장 좋은 solution을 제공하도록 하고, 다수의 설계 대안을 여러개 동시에 제공할 수 있도록 함.

(1) 수행 내용

▶ 컴팩트를 위한 배관 re-routing관련 학술 문헌 조사 수행 및 기술을 보고서 상에 정리하고, 3차원으로 해결하기 위한 문제의 목적함수, 제한조건, 변수 정식화하였다.

- Pipe auto-routing을 수행하기 위해 후처리를 포함한 3D grid 기반 A* 알고리즘을 이용하여 모듈 간 연결된 파이프 길이가 최소가 되도록 하였으며, 자신을 제외한 모든 부분을 장애물로 취급하여 장애물을 피할 수 있도록 하였으며, 또한 bending부분의 fitting비용을 고려한 전체 cost를 감소시키는 방향으로 최적화를 수행하였다.

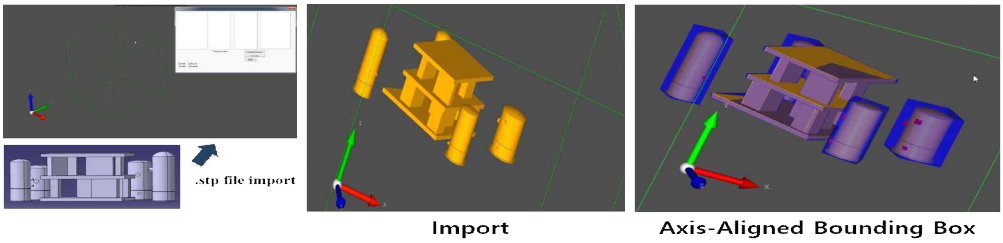


[그림. A* 알고리즘을 사용한 Auto pipe-routing]

▶ 최적화 모듈의 제한조건에 해당되는 safety관련 룰, O&M관련 룰 검토를 위해 전문기관들의 자문과 문서 검토를 통해 조사하고 반영하였다.

▶ 가상모델을 기반으로 GUI를 포함한 모듈을 개발하고, case study를 수행하여 검증하였다.

▶ 플랜트 모듈 내 장비의 최적 배치 및 파이프 re-routing 작업에 지식기반 정보를 바탕으로 한 최적 설계가 가능하도록 하였다.



[그림. CAD file interface]

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 3차원 컴팩트 최적화 모듈 개발

(나) 향후 계획

▶ 최적의 배치 및 piping solution을 찾을 수 있도록 도와주는 개념의 소프트웨어 모듈을 개발하고 지식기반모듈과의 통합 및 DB를 통해 최적화관련 제한조건 룰에 관한 정보를 받아 설계자의 역량을 배가시키고자 함.

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (3차년도)
컴팩트/최적화 S/W모듈 작동	협업 설계 모듈 내 기자재 3차원 배치 최적화 정식화와 기존 모델 자동추출기술 개발을 구현하고, 알고리즘의 작동여부와 학술적 기여 여부를 판단한다.	- EA기반 3차원 컴팩트최적화 모듈 S/W등록 2건 - 컴팩트,최적화 기술 특허 1건 논문 SCI 1건
case study 통한 컴팩트/최적화 S/W모듈 검증	운송 기술 분석 자료 활용 S/W 모듈 건수 조사는 단위성과 달성을 위해, 그리고 추후 전문가의 지식기반 DB 적용을 위해 현재 개발된 모듈의 알고리즘 검증이 필요하며 이는 각 보고서에 기재하여 판단한다.	컴팩트 최적화 S/W모듈 검증 보고서 건수 2건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
컴팩트/최적화 S/W 모듈 작동	EA 기반 3차원 최적화 모듈 작동 여부 및 등록 건수	3차원 컴팩트 최적화를 위해서는 기존 모듈의 모델의 정보를 추출하기위한 기술과 컴팩트최적화를 위한 알고리즘 부분으로 나뉘어 개발된다. 파이프 re-routing을 통한 컴팩트 최적화의 경우 다수의 해외 상용 솔루션이 존재하지만, 내부적으로 어떻게 구현되었는지에 대한 정보가 부족하여 모듈 기술 개발과 해당지표를 통해 모듈의 유의미함을 측정한다.	S/W, 학술논문, 특허 등록여부 확인	1월내 달성 예정
case study 통한 컴팩트/최적화 S/W모듈 검증	컴팩트 최적화 S/W모듈 검증 보고서 건수	컴팩트최적화 알고리즘 구현위한 제한조건에 해당되는 룰 조사로 컴팩트 가능한 여부를 판단하고, 이를 모듈에 반영하여 기술적으로 타당함을 검증할 수 있다.	사례분석 보고서 확인	1월내 달성 예정

C) 4차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 운송성/시공성 향상을 위해 모듈의 기설계안의 변경이 잦은 상황에서, 설계사가 설계 공간의 형태와 여러 필요 공간 (장비 공간, 이동 통로 공간 등) 배치를 수정하였을 때, 이를 반영하여 대안이 되는 Pipe Routing 안을 제안할 수 있는 S/W 개발

(가) 연구내용

▶ 모듈의 Pipe Routing 관련 다양한 경우와 조건들을 반영하는 해결책 개발

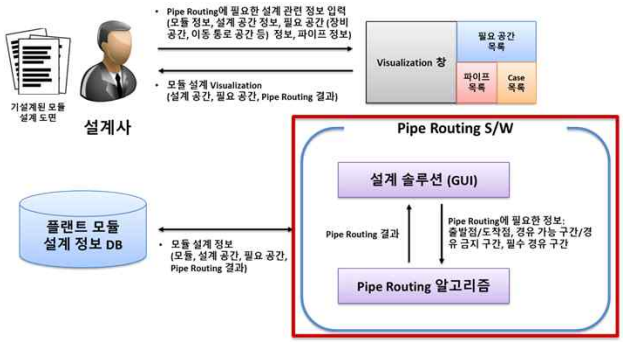
▶ 3D-Grid 기반 Mixed Integer Programming을 활용한 Pipe Routing 알고리즘 개발

▶ 위 개발 사항들을 포함한 S/W 개발 진행 중

(1) 수행 내용

▶ 모듈 정보 활용 Pipe Routing S/W 정의

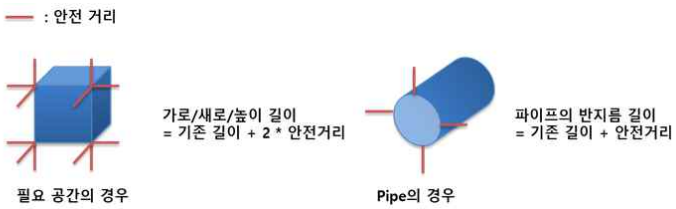
- 기 설계된 모듈의 컴팩트화를 위해, 설계사가 해당 모듈의 기설계 도면을 활용하여 모듈 정보, 설계 공간 정보, 필요 공간 (장비 공간, 이동 통로 공간 등) 정보, Pipe 정보를 입력하면 Pipe Routing 안을 제시하는 S/W



[그림. S/W 개발 연구 내용 범위]

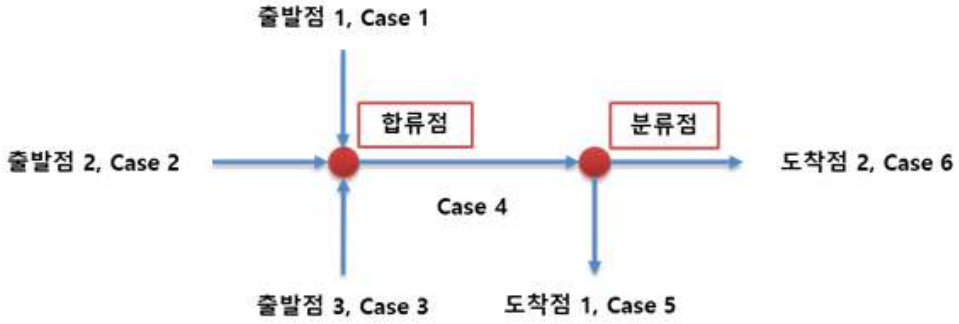
▶ Pipe Routing 조건 반영

- 장비와 Pipe의 Maintenance를 위한 공간 확보와 기타 안전 사항 (장비의 온도, Pipe 안의 유체 특성) 때문에, 장비와 Pipe의 안전거리 확보가 필요한 경우가 있으며, 이를 고려하기 위해 해당 장비와 Pipe의 특성으로 안전거리를 저장하여 Pipe Routing 시 활용



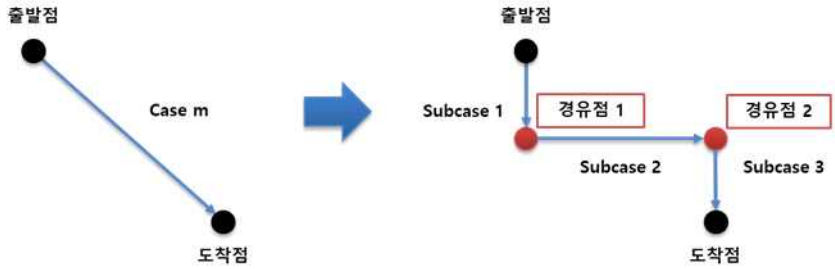
[그림. 필요 공간과 Pipe의 안전거리 특성]

- 하나의 Pipe에 여러 개의 장비가 연결되어 있는 경우, 해당 Pipe의 Pipe Routing 시 다수의 도착점과 출발점을 고려해야함에 따라 문제의 복잡도 크게 증가하기 때문에, 이를 해결하기 위해 “합류점”과 “분류점”을 선택하여 Case 분할 시행



[그림. Pipe의 Case 분할]

- Pipe의 Maintenance를 위한 공간 확보와 시공성 효율 증가를 위한 BOP(Bottom of Pipe) 만족을 위해 Pipe가 반드시 경유해야하는 구간이 있으며, 이를 고려하기 위해 Pipe의 분할 Case들의 "필수 경유점"을 선택하여 Subcase 분할 시행



[그림. Pipe의 Subcase 분할]

▶ Pipe Routing 알고리즘 개발

- 여러 조건들을 동시에 반영해야하는 상황에서, 설계 공간을 Continuous Space로 보고 Pipe Routing을 수행하는 것은 어렵다고 판단하여, 설계 공간을 동일한 크기의 직육면체 큐브로 분할 한 뒤 격자점을 활용한 Pipe Routing 알고리즘 개발
- Pipe Routing 시, 여러 조건들을 반영함과 동시에 Pipe의 길이와 Bend 수를 최소화하는 것은 문제의 복잡도가 너무 크기 때문에, Pipe를 Case & Subcase 분할을 통해 단일 출발점 & 도착점만을 고려한 문제로 단순화하여 Pipe Routing 알고리즘 시행

$poss(i,j,k)$ = Grid Division (분할 정보, ~); $poss(i,j,k) = \begin{cases} 1 & if \ \text{격자점 } (i,j,k)\text{의 } Pipe \text{ 경유 가능} \\ 0 & if \ \text{격자점 } (i,j,k)\text{의 } Pipe \text{ 경유 불가능} \end{cases}$

합류점, 분류점 = Select Conjunction ( );

Case 리스트 = Case Division (Pipe의 출발점 & 도착점 리스트, 합류점, 분류점);

Case m = Select Case ( );

Pipe Routing Algorithm (Case m, Case 별 출발점 & 도착점 좌표 리스트, $poss(i,j,k)$, ~);

Pipe Routing Algorithm (m, Case 별 출발점 & 도착점 좌표 리스트, $poss(i,j,k)$, ~) {

    경유점 리스트 = Select Stopover ( );

    Subcase 리스트 = Subcase Division (Case m의 출발점 & 도착점, 경유점 리스트);

    for (n = 0; n < 분할 Subcase 수; n++) {

        Pipe Routing Model (n, Subcase 별 출발점 & 도착점 좌표 리스트, $poss(i,j,k)$, ~); } }

[그림. Pipe Routing 알고리즘]

- 단일 출발점 & 도착점만을 고려하여, Pipe 길이와 Bend 수를 최소화하는 Pipe Routing Model로 MIP (Mixed Integer Programming) 모델 개발

- Pipe의 길이 ∝ Pipe에 포함되는 격자점 수, Bend 수 ∝ Pipe Route 경유 수직선 수, 따라서 MIP의 목적 함수를 Pipe에 포함되는 격자점 수와 Pipe Route 경유 수직선 수의 합을 최소화로 결정

결정 변수

$x_{i,j,k,l,m,n}$: 격자점 (i,j,k)부터, 인접한 격자점 (l,m,n)를 연결하는 새 Pipe 유무, $(l,m,n) \in Adj(i,j,k)$, Binary Variable

$y_{i,j,k}$: 격자점 (i,j,k)의 새 Pipe Route 포함 유무, Binary Variable

$z_{0,j,k}$: $i = 0$ 평면과 수직이고 $(0,j,k)$를 지나는 수직선에 Pipe Route 경유 유무

→ 고정된 j,k 에 대하여, $x_{i,j,k,i,j,k} = 1$ 의 유무, Binary Variable

$z_{i,0,k}$: $j = 0$ 평면과 수직이고 $(i,0,k)$를 지나는 수직선에 Pipe Route 경유 유무

→ 고정된 i,k 에 대하여, $x_{i,j,k,i,m,k} = 1$ 의 유무, Binary Variable

$z_{i,j,0}$: $k = 0$ 평면과 수직이고 $(i,j,0)$를 지나는 수직선에 Pipe Route 경유 유무

→ 고정된 i,j 에 대하여, $x_{i,j,k,i,j,n} = 1$ 의 유무, Binary Variable

일반 변수

M: 임의의 큰 수

특정 격자점 및 집합

$Adj(i,j,k)$: 격자점 (i,j,k) 에 축 방향으로 인접한 격자점들의 집합,

$$Adj(i,j,k) = \{(i+1,j,k),(i-1,j,k),(i,j+1,k),(i,j-1,k),(i,j,k+1),(i,j,k-1)\}$$

$(i^{dpt}, j^{dpt}, k^{dpt})$: Subcase Pipe Route의 출발 격자점

$(i^{dst}, j^{dst}, k^{dst})$: Subcase Pipe Route의 도착 격자점

$P = \{(i,j,k): poss(i,j,k) = 1\}$

[그림. 모델 변수 설명]

Objective Function: Pipe에 포함되는 격자점 수와 Pipe Route 경유 수직선 수의 합을 최소화

$$min \sum_{i,j,k} y_{i,j,k} + \sum_{j,k} z_{0,j,k} + \sum_{i,k} z_{i,0,k} + \sum_{i,j} z_{i,j,0}$$

Subject to

파이프 라인 기본 생성 조건 (공을 멈출 수 있는 지점까지 굴리기)

$x_{i,j,k,l,m,n} \le y_{i,j,k}, x_{i,j,k,l,m,n} \le y_{l,m,n}$ for $\forall (i,j,k) \in P$ and $(l,m,n) \in Adj(i,j,k)$

$\sum_{(l,m,n)\in Adj(i,j,k)} x_{l,m,n,i,j,k} = \sum_{(l,m,n)\in Adj(i,j,k)} x_{i,j,k,l,m,n} \le 1$ for $\forall (i,j,k) \in P$ except $(i^{dpt}, j^{dpt}, k^{dpt}), (i^{dst}, j^{dst}, k^{dst})$

$y_{i^{dpt},j^{dpt},k^{dpt}} = 1, \sum_{(l,m,n)\in Adj(i^{dpt},j^{dpt},k^{dpt})} x_{i^{dpt},j^{dpt},k^{dpt},l,m,n} = 1, \sum_{(l,m,n)\in Adj(i^{dpt},j^{dpt},k^{dpt})} x_{l,m,n,i^{dpt},j^{dpt},k^{dpt}} = 0$

$y_{i^{dst},j^{dst},k^{dst}} = 1, \sum_{(l,m,n)\in Adj(i^{dpt},j^{dpt},k^{dpt})} x_{i^{dst},j^{dst},k^{dst},l,m,n} = 0, \sum_{(l,m,n)\in Adj(i^{dpt},j^{dpt},k^{dpt})} x_{l,m,n,i^{dst},j^{dst},k^{dst}} = 1$

대략적인 꺾인 지점 수 확인 조건 (정확한 꺾인 지점 수는 아니지만, 파이프 라인을 일관된 선에 생성 가능)

$\sum_i x_{i,j,k,i+1,j,k} + x_{i,j,k,i-1,j,k} \le M z_{0,j,k}$ for $\forall j,k$

$\sum_j x_{i,j,k,i,j+1,k} + x_{i,j,k,i,j-1,k} \le M z_{i,0,k}$ for $\forall i,k$

$\sum_k x_{i,j,k,i,j,k+1} + x_{i,j,k,i,j,k-1} \le M z_{0,j,k}$ for $\forall i,j$

파이프 라인 경유 금지 구간 경유 금지

$y_{i,j,k} = 0$ for $\forall (i,j,k) \in P^c$

[그림. 최적화 모델]

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 설계사가 효율적인 모듈의 컴팩트화를 진행할 수 있도록, 자유롭게 모듈 공간을 나타낼 수 있고 최적 Pipe Routing 안을 제안하는 S/W 개발 보고서를 작성하여 현재 개발 진행 중

(나) 향후 계획

▶ S/W 개발 보고서 내용을 만족하는 S/W 개발 완료 후, 플랜트 모듈 컴팩트 설계 지침서를 통해 추가로 고려해야할 사항들을 분석하여 S/W에 반영하는 방법을 개발하는 것과 함께 추가적인 Pipe Routing Model을 개발하여 S/W의 성능 향상을 목표

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
케이스 스터디를 통한 컴팩트 최적화 S/W 검증	S/W의 실제 설계 현장에서의 활용 가능성을 평가할 수 있고, 개발한 알고리즘의 검증과 동시에 보완할 점을 파악하여 향후 S/W 성능 향상에 도움	보고서 1건
컴팩트 최적화 S/W 시제품 작동 여부	개발 S/W의 자유로운 공간 (장비 공간, 이동 통로 공간 등) 배치 기능과 입력 정보를 활용한 최적 Pipe Routing 제안 기능이 모듈 컴팩트화 과정에서 실용적 기여도가 있는지 판단에 도움	SW 등록 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
케이스 스터디를 통한 컴팩트 최적화 S/W 검증	컴팩트 최적화 S/W 개발 보고서 건수	모듈 컴팩트화를 위해, Pipe Routing에 반영해야할 여러 조건들의 해결 방법들과 문제 단순화를 통한 Pipe Routing 최적화 알고리즘의 실질적 타당성 검증 가능	S/W 개발 보고서 확인	달성
컴팩트 최적화 S/W 시제품 작동 여부	모듈 정보 활용 Pipe Routing S/W 등록 건수	개발 S/W 상에서 기설계된 모듈의 설계 정보를 입력하는 기능과 최적의 Pipe Routing을 제안하는 기능이, 플랜트 모듈 관련 기술 개발 관점에서 유의미한지 판단 가능	S/W 등록 여부 확인	12월 말 예정

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 운송성/시공성 향상을 위해 모듈의 기설계안의 변경이 잦은 상황에서, 설계사가 설계 공간의 형태와 Equipment 배치를 수정하였을 때, 이를 반영하여 대안이 되는 Pipe Routing 안을 제안할 수 있는 S/W 개발을 수행함

(나) 연구 내용

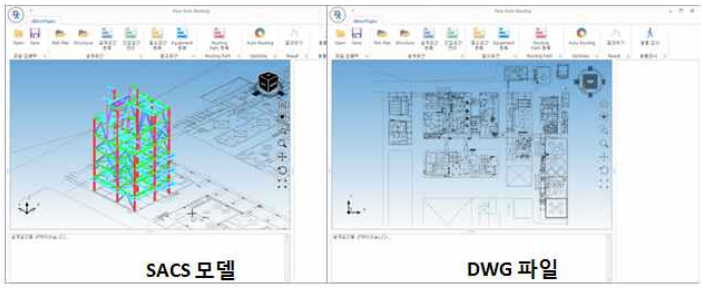
▶ 장비공간(Equipment) 생성 모듈을 개발함

▶ 장비공간(Equipment)과 사람의 충돌검출 알고리즘을 개발함

(2) 수행 내용

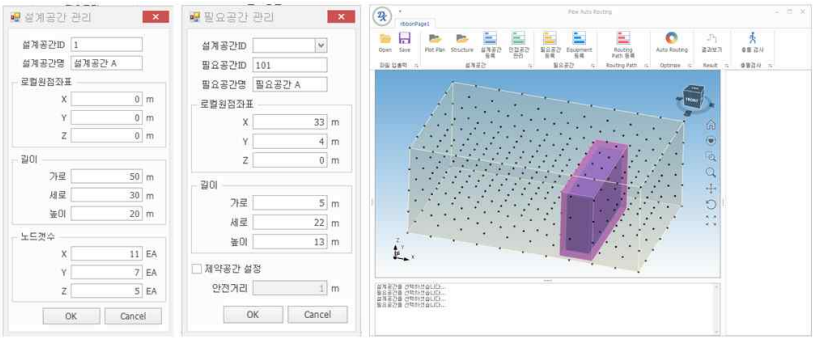
▶ 기반 플랫폼 구현

- SACS의 입력 파일을 DB에 저장하여 가시화 기능
- CAD프로그램의 DWG파일 가시화 기능



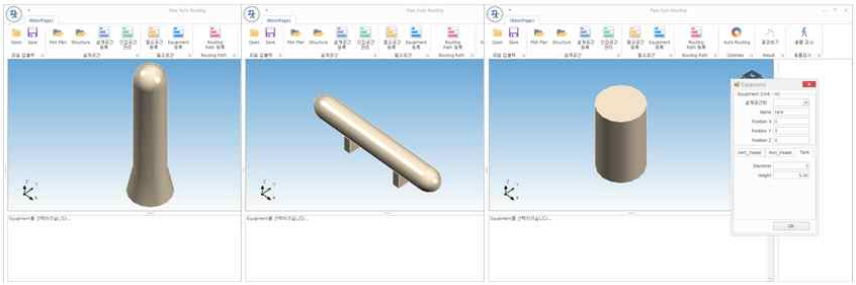
[그림. SACS파일 DWG파일 가시화]

- 기설계 된 모듈의 설계 도면을 활용하여, 설계 공간과 필요 공간 (장비 공간, 이동 통로 공간 등) 생성 가시화 기능



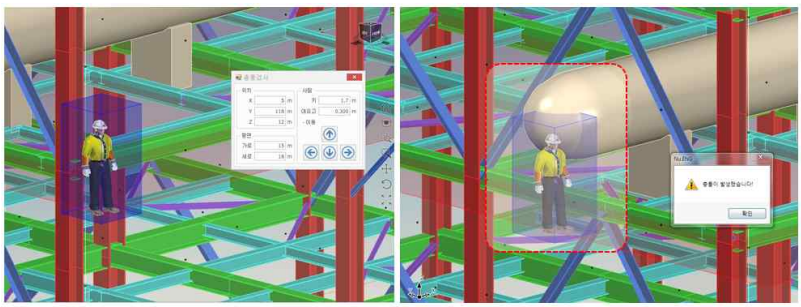
[그림. 설계 공간과 필요 공간 생성]

- 장비공간(Equipment)기능은 Vessel, Tank등의 Equipment를 생성, 수정, 삭제 기능



[그림. 장비공간(Equipment) 관리]

- Structure에 Equipment가 위치, 사람이 이동할 때(여유고 포함) Equipment와 충돌검출 기능



[그림. 충돌검출]

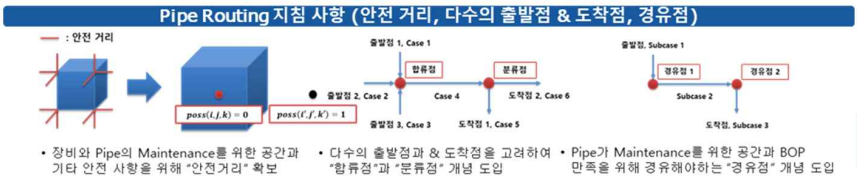
- Pipe Routing 최적화를 통해 찾아낸 결과를 이용해 Pipe의 길이, 엘보우(Elbow)의 개수를 검색 기능

▶ Pipe Routing 알고리즘

- 설계 공간 축의 분할 수를 입력하여, 설계 공간을 동일한 크기의 직육면체 큐브로 분할(격자점 생성) 기능
- Pipe의 출발점과 도착점 수를 입력한 뒤 단계에 따라 출발점들 ➔ 합류점 ➔ 분류점 ➔ 도

착점들에 해당하는 격자점을 선택하여 Case 분할 알고리즘 구현

- 분할 된 Case의 격자점 을 활용하여 Pipe Routing 알고리즘 구현
- 단일 출발점 & 도착점 만을 고려하여 Pipe의 길이와 Bend 수를 최소화하는 MIP(Mixed Integer Programming) 모델 개발
-



[그림. Pipe Routing 알고리즘]

▶ 통합 컴팩트/최적화

- 격자점 선택시 주위 장비공간(Equipment)확인 기능
- 장비공간(Equipment) 이동시 격자점 정보 갱신 기능
- 갱신된 정보로 재 수행하여 Pipe Routing 최적화 기능

▶ 시제품 통합 S/W 작동여부

- Pipe Routing 최적화 정상작동 확인

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 설계 도면을 활용하여 모듈 정보, 설계 공간 정보, 필요 공간 정보(이동 통로 공간 등, Pipe경유 금지), 장비 공간 등을 생성하고, 설계 공간 내에 Pipe Routing을 수행함

▶ 장비 공간(Equipment)의 수정, 장비 공간 이동에 따른 Pipe Routing을 수행, 정상 작동함

(나) 향후 계획

▶ 사용자의 편의를 위하여 Pipe Routing결과를 실제 Pipe의 크기표현, 엘보우(Elbow)를 실제 크기를 반영하여 가시화함

▶ 상용성을 위하여 Equipment의 종류를 추가 반영함

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (5차년도)
연동 및 통합 모듈 케이스스터디 개수	Equipment는 크기와 설치방향에 따라 크게 수평(Horizontal) 및 수직(Vertical) 타입으로 각각 구분될 수 있음 모듈 구조물 내의 수평(Horizontal) 및 수직(Vertical) 타입을 각각 최적화 테스트로 구분하여 모듈 내 Equipment의 배치 최적화 기능의 작동여부 검토 시나리오에 대한 케이스스터디가 필요함	2건
시제품 통합 S/W 작동여부	케이스 스터디를 위한 모듈 연동 및 통합 컴팩트 최적화 시제품 통합 S/W의 작동여부를 검토할 수 있음	시제품 통합 S/W 개발 및 테스트 보고서 1건

(가) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
연동 및 통합 모듈 케이스스터디 개수	S/W 작동	2개의 케이스스터디 시나리오를 가정하고 S/W 작동으로 구현되는지 확인함	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성
시제품 통합 S/W 작동여부	S/W 작동	시제품 통합 S/W에서 위의 2개 케이스스터디 시나리오를 직접 수행하고 검토결과 등을 보고서를 통해 확인할 수 있음	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 운송성/시공성 향상을 위해 모듈의 기설계안의 변경이 잦은 상황에서, 설계사가 설계 공간의 형태와 Equipment 배치를 수정하였을 때, 이를 반영하여 대안이 되는 Pipe Routing 안을 제안하는 S/W 실용화 테스트

(나) 연구 내용

▶ 기 수행된 실제 프로젝트를 통한 실용화 모델 개발

▶ 모듈 구조물 내 Equipment(Routing 불가 공간) 배치를 수정하였을 때, 이를 반영하는 Pipe Routing을 개발함

▶ 케이스 스터티를 수행함

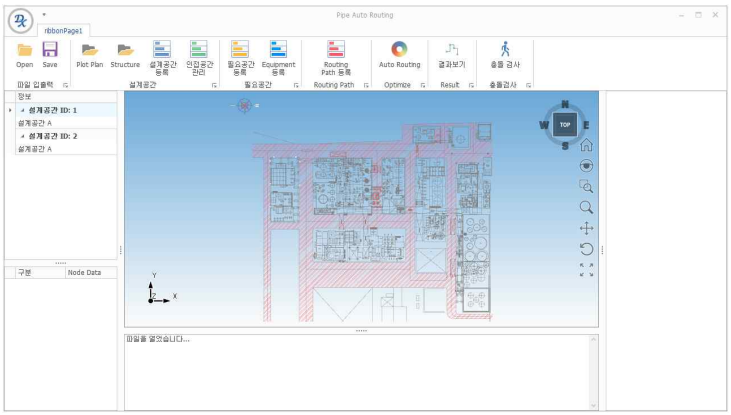
(2) 수행 내용

▶ 연동 및 통합 모듈 케이스스터디

- 설계공간 내에 Equipment를 생성, Pipe Routing을 수행
- 설계 변경에 따른 Equipment 배치 수정 후 Pipe Routing을 재수행

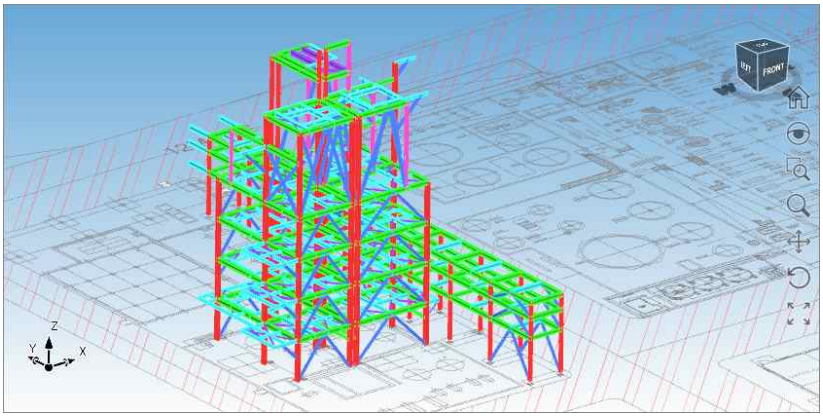
▶ 케이스스터디 1

- 설계공간 내에 Vertical Equipment를 생성, 배치 수정 후, Pipe Routing을 재수행
- Plot Plan(CAD 파일)을 읽고 그래픽으로 표현



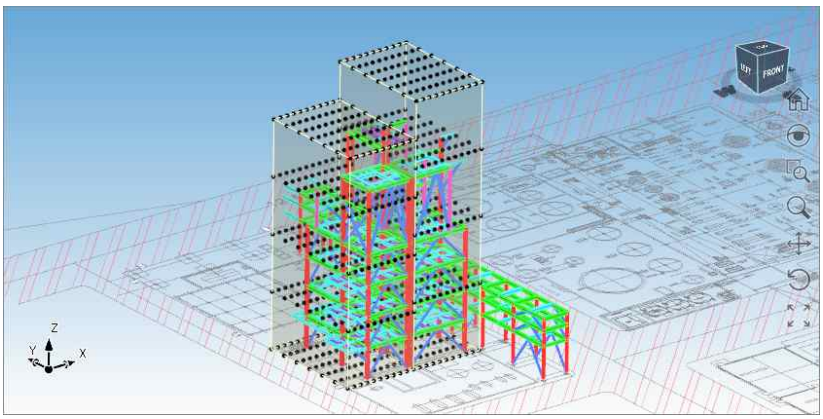
[그림. 케이스스터디1-Plot Plan Import]

- 대상 모듈 구조물 (SACS 파일)을 읽고 그래픽으로 표현



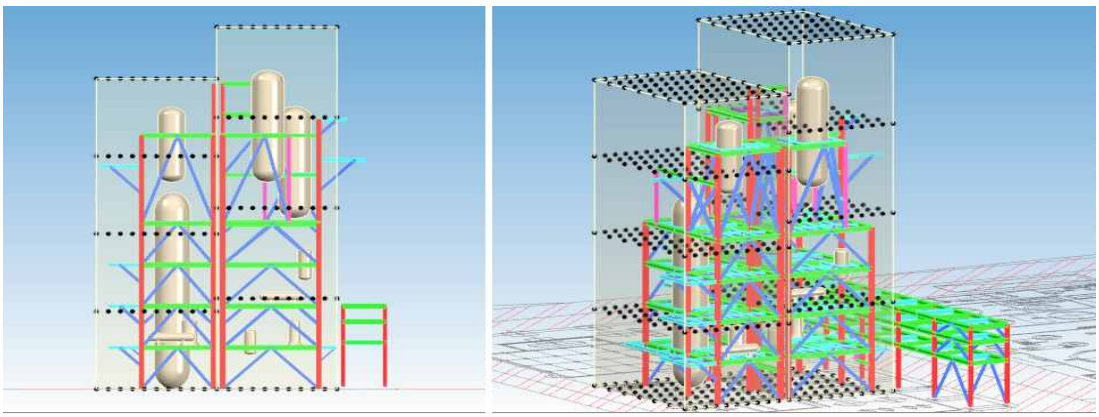
[그림. 케이스스터디1-Sacs File Import]

- Pipe Routing을 수행할 설계공간 생성



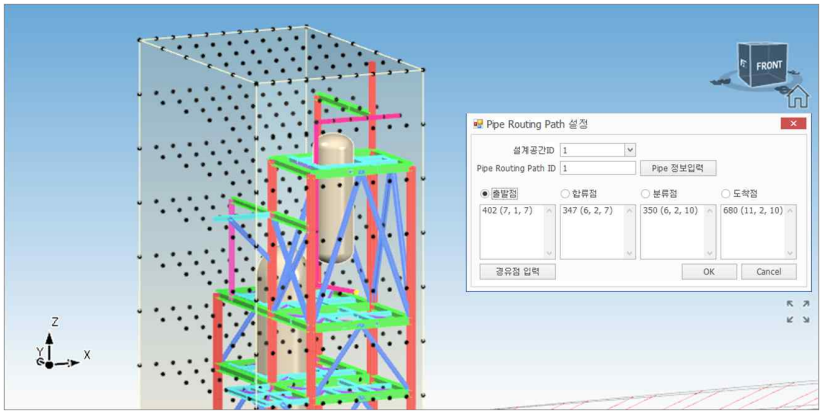
[그림. 케이스스터디1-설계공간 생성]

- 설계공간 내에 Equipment 생성



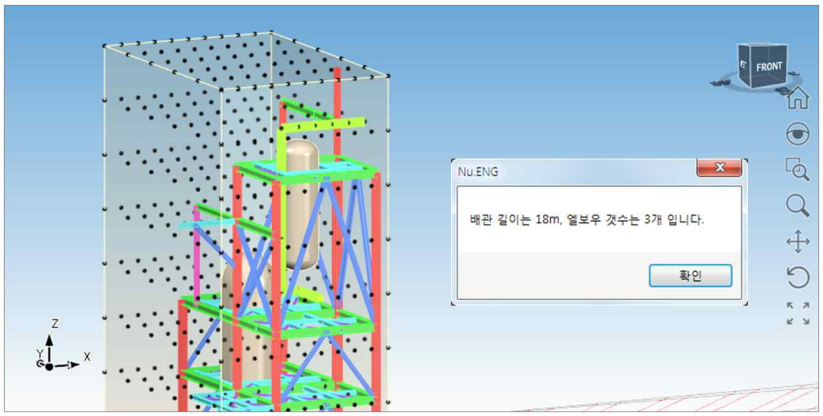
[그림. 케이스스터디1-Equipment 생성]

- Pipe가 지나가는 경유점들을 선택, Path 설정



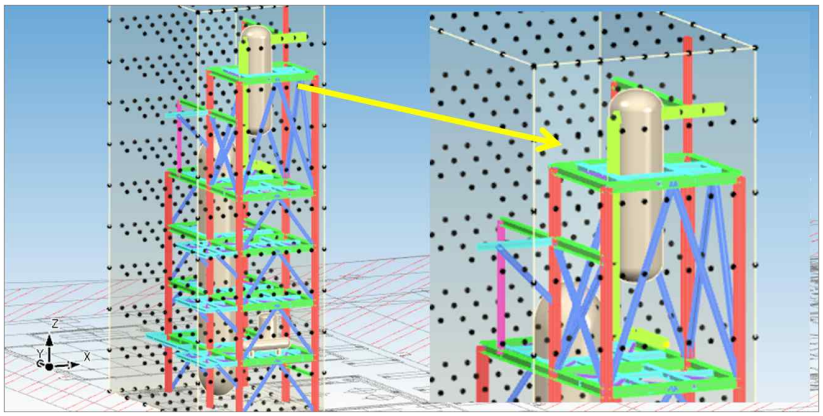
[그림. 케이스스터디1-Routing Path 설정]

- Routing 최적화 진행



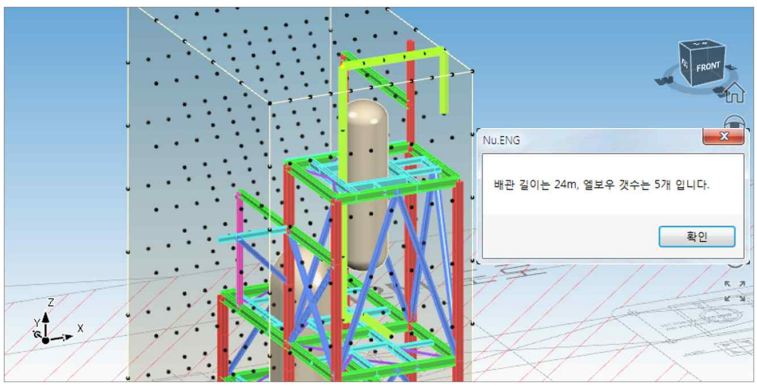
[그림. 케이스스터디1-Routing 최적화]

- Equipment 배치 수정, Pipe와 Equipment 교차 발생



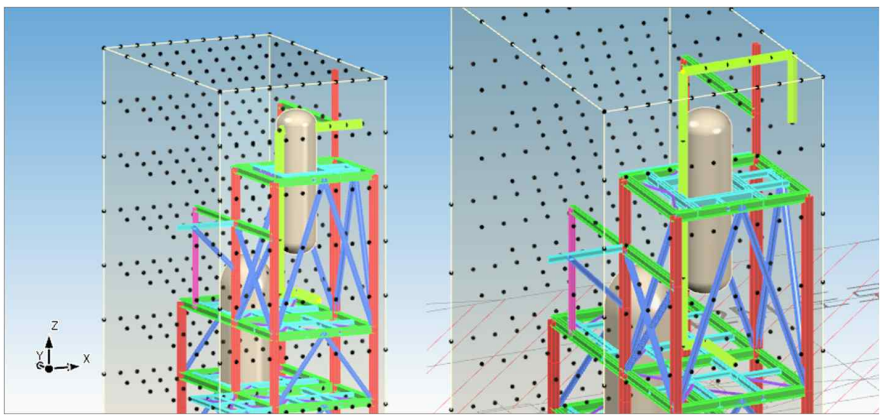
[그림. 케이스스터디1-Equipment 배치 수정]

- 갱신된 정보로 Routing 최적화 진행



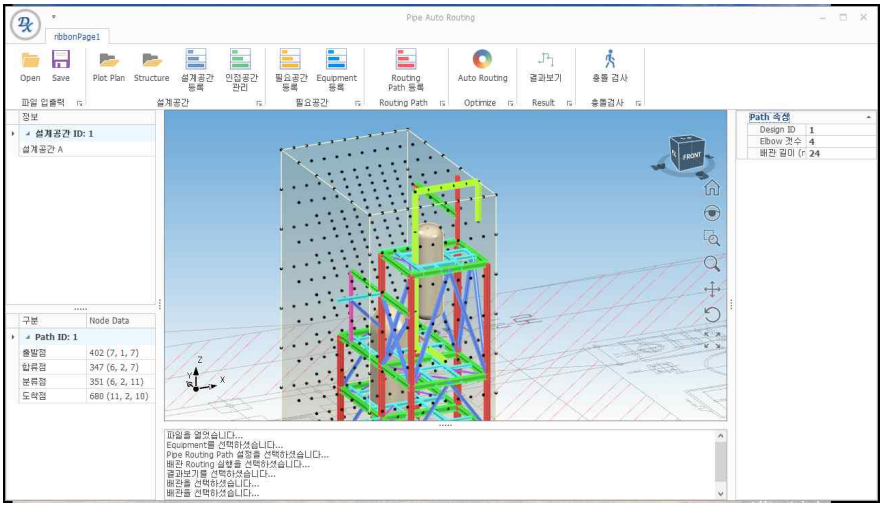
[그림. 케이스스터디1-Routing 최적화 재수행]

- Equipment 배치 수정으로 인한 Routing 결과 비교



[그림. 케이스스터디1-Routing 결과 비교]

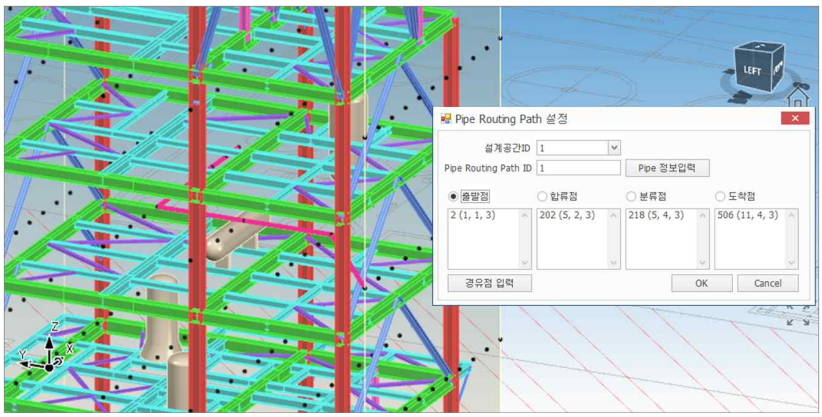
- 설계공간, Path, Routing에 대한 정보를 화면에서 확인



[그림. 케이스스터디1-Routing 결과 비교]

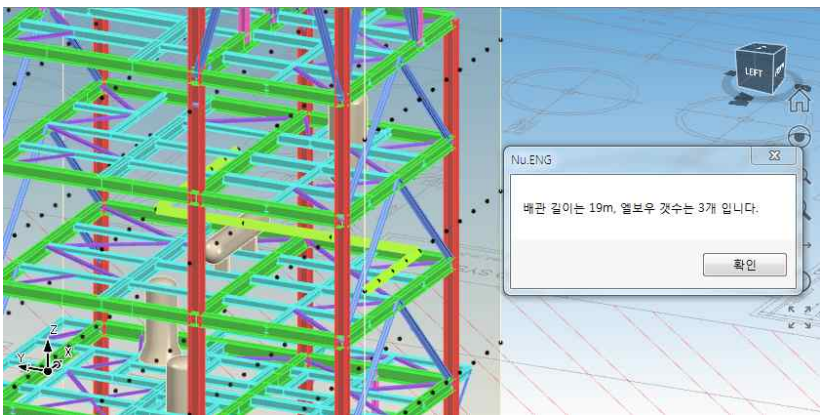
▶ 케이스스터디 2

- 설계공간 내에 Horizontal Equipment를 생성, Equipment 수정 후, Pipe Routing을 재수행
- Pipe가 지나가는 경유점들을 선택, Path 설정



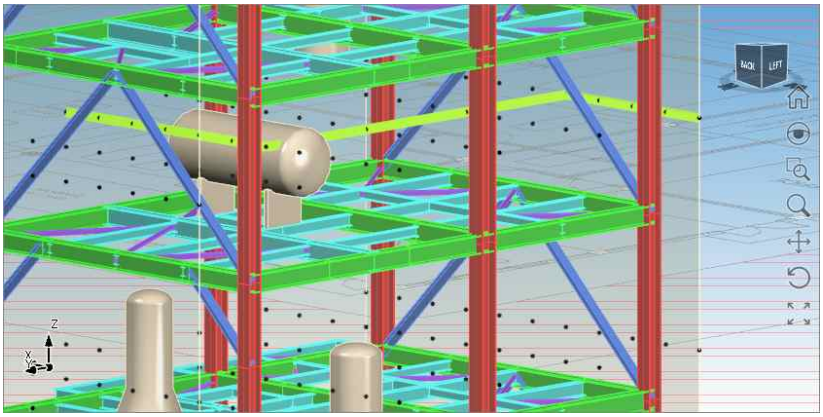
[그림. 케이스스터디2-Routing Path 설정]

- Routing 최적화 진행



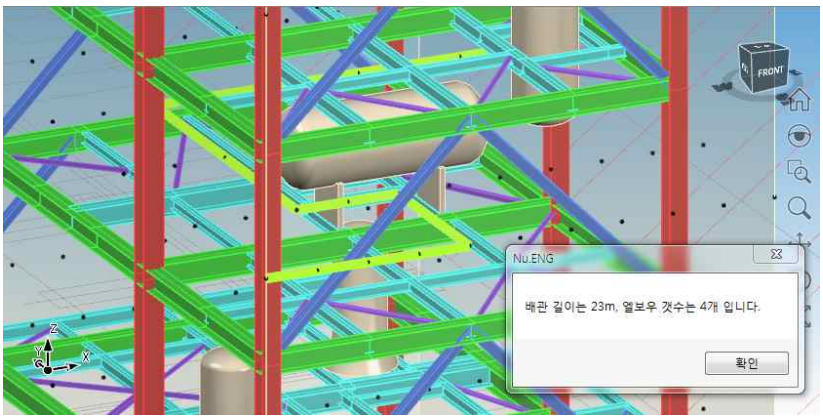
[그림. 케이스스터디2-Routing 최적화]

- Equipment 정보, 배치 수정



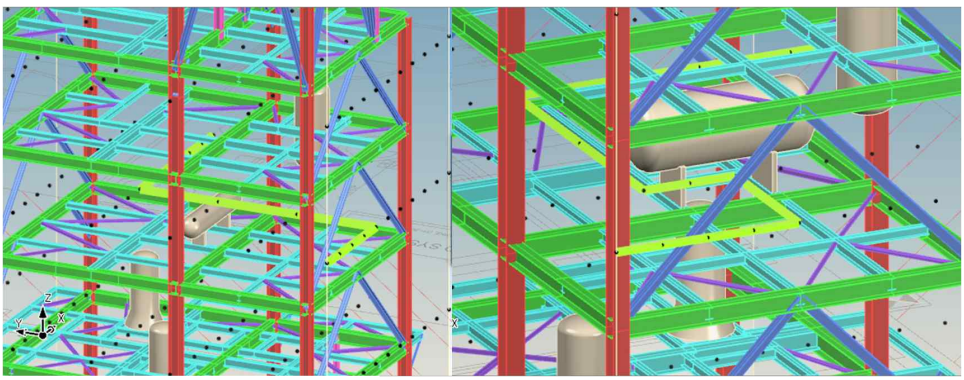
[그림. 케이스스터디2-Equipment 배치 수정]

- 갱신된 정보로 Routing 최적화 진행



[그림. 케이스스터디2-Routing 최적화 재수행]

- Equipment 배치 수정으로 인한 Routing 결과 비교



[그림. 케이스스터디1-Routing 결과 비교]

- 설계공간, Path, Routing에 대한 정보를 화면에서 확인



[그림. 케이스스터디1-Routing 결과 비교]

▶ 시제품 통합 S/W 작동여부

- Pipe Routing 최적화 정상작동 확인

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 설계 도면을 활용하여 모듈 정보, 설계 공간 정보, 필요 공간 정보(이동 통로 공간 등, Pipe경유 금지), 장비 공간 등을 생성하고, 설계 공간 내에 Pipe Routing을 수행함

▶ 장비 공간(Equipment)의 수정, 장비 공간 이동에 따른 Pipe Routing을 수행, 정상 작동함

▶ 효율적인 모듈의 컴팩트화를 진행할 수 있도록 모듈 공간, 장비공간을 나타낼 수 있는 기능들과 최적 Pipe Routing 안을 제시하는 기능을 수행함

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (6차년도)
연동 및 통합 모듈 케이스스터디 개수	모듈 구조물 내의 수평(Horizontal) 및 수직(Vertical) 타입을 각각 최적화 테스트로 구분하여 모듈 내 Equipment의 배치 최적화 기능의 작동여부 검토 시나리오에 대한 케이스스터디가 필요함	2건
시제품 통합 S/W 작동여부	케이스 스터디를 위한 모듈 연동 및 통합 컴팩트 최적화 시제품 통합 S/W의 작동여부를 검토할 수 있음	시제품 통합 S/W 개발 및 테스트 보고서 1건

(가) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
연동 및 통합 모듈 케이스스터디 개수	S/W 작동	2개의 케이스스터디 시나리오를 가정하고 S/W 작동으로 구현되는지 확인함	보고서 확인	달성
시제품 통합 S/W 작동여부	S/W 작동	시제품 통합 S/W에서 위의 2개 케이스스터디 시나리오를 직접 수행하고 검토결과 등을 보고서를 통해 확인할 수 있음	보고서 확인	달성

라) [A-4] 최적 배치 설계 지침서

(1) 개요

(가) 연구목적

▶ 제한된 공간에서 최적의 배치설계를 수행함에 있어서 최근의 발주처(NOC등)에서는 Quality, Health & Safety, Environment, Risk 등을 강조함에 따라 이러한 내용도 충분히 숙지하여 설계에 반영될 수 있어야 한다.

▶ 상기와 같은 주변 환경과 최적배치의 필요성에 의거하여 본 연구에서는 설계의 주요 분야에서 공간적/기능적 상황을 고려한 최적의 배치설계가 될 수 있도록 사전 검토 및 분석을 기반으로 하는 설계 지침서를 작성함.

▶ 모듈화 프로젝트 진행 시 제한된 공간에서 기능적 최적배치설계를 수행함에 있어서 최근 트렌드를 확인하였음.

▶ 해외 발주처(NOC등)에서는 Quality, Health & Safety, Environment, Risk와 같이 비용절감을

및 안정성을 강조함에 따라 이러한 요인도 설계 내적인 요인과 함께 충분히 숙지하여 모듈 설계에 반영될 수 있도록 고려해야만 한다.

▶ 위에서 열거한 요인과 더불어 기능적 설계 시 최적배치의 필요성에 의거하여 본 연구에서는 설계의 주요 분야(구조, 배관, 전기, 공정)에서 기능적 상황을 고려한 최적의 배치설계가 될 수 있도록 사전 검토 및 분석을 하였으며, 이를 바탕으로 기능적 설계지침서를 개발하였음.

(가) 연구내용

▶ 본 연구 지난 년도에 이어서 다음과 같은 사항을 고려한 최적배치 지침서를 작성함

- 모듈 최적배치를 위한 기준 자료 및 문헌 검토
- 공간 집약도를 고려한 설비의 최적배치 검토
- 경제성, 운송성, 시공성, O&M을 고려한 설비 배치에 대한 검토
- 국내외 모듈화 프로젝트의 설계 사례를 조사하여 모듈 최적배치를 위한 기준 자료 확보하였으며 모듈화설계에 관련된 논문 및 문헌을 참고.
- 모듈화 설계 시 각 분야의 기능적 배치를 고려하였고 기기 및 배관, 전기제어, 구조의 관점에서 모듈을 최적 배치할 수 있는 방법론에 대해 검토함.
- 경제성, 운송성, 시공성, 안정성과 같이 프로젝트에 직접적으로 영향을 미치는 요인을 고려하여 기기 및 배관, 전기/제어, 구조물의 기능적 최적배치에 대한 검토

(1) 수행내용

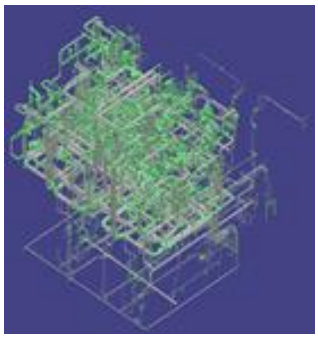
▶ 설계의 표준이 되는 최적배치 지침서 작성을 위하여 고려되어야 하는 내용 정리

- 실증프로젝트의 기기 배치 사례 조사 및 분석하여 기기 배치기준
- 실증프로젝트에 적용된 배관 Line의 최적배치 설계사례 조사 및 분석
- 최적배치 및 최적화시 필요한 요구사항
- 국내외 모듈화 프로젝트 설계사례를 확인하여 주요 기기 배치를 조사하고 분석하여 모듈분할 설계시 기기를 위치하는 방법론에 대하여 기술함.
- 국내외 모듈화 프로젝트 설계사례를 확인하여 해당 프로젝트에 적용된 배관 Line의 최적배치 설계사례 조사하였고 이를 바탕으로 배관의 측면에서 모듈 내 공간을 효율적으로 활용할 수 있는 방법론에 대해 기술함.
- 실증프로젝트 및 수행중인 프로젝트에서 기기 및 배관설계의 최적배치에 적용된 국제 규격 Code를 고려하여 설계지침서를 작성.
- 플랜트 설계에서 큰 영향을 주는 Discipline에 대하여 모듈의 컴팩트화 및 최적배치 시 고려해야 할 외부 및 설계내부 요인에 대하여 기술함.
- 플랜트 설계에서 큰 영향을 주는 Discipline에 대하여 모듈의 컴팩트화 및 최적배치 시 고려해야 할 요구사항(예를 들면 발주처 요구사항 혹은 프로젝트 발주 국가의 법률 등)에 대해 기술함.

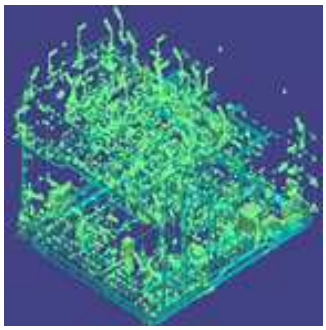
(1) 결론

(가) 주요결과

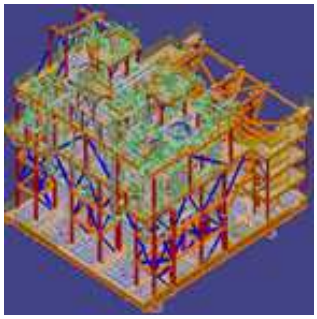
▶ 구체적 내용은 #산출물A-4-1 참조(공간적 최적배치설계 지침서)



[그림. Piping Design]



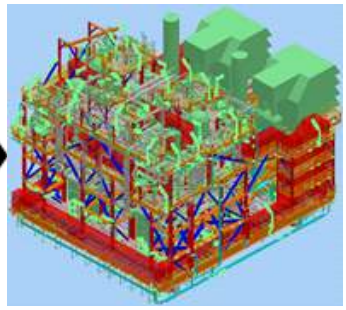
[그림. Electrical Design]



[그림. Structure(cicil) Design]



[그림. Equipment Design]



[그림. 3D Module Design]

▶ Heat Exchanger나 Pump류 같은 기기들은 프로세스의 문제가 없으면 그룹화 하면 모듈 제작이 용이 하고, 공간을 효율적으로 활용할 수 있다.

▶ 대형 펌프는 크기를 줄이기 위해 수량을 늘일 수도 있다.

▶ 대형 모듈과 같이 하나의 Process가 한 개의 모듈로 가능한 곳이나 Package Vendor처럼 소규모 단위로 시스템 모듈 플랜트가 가능한 곳은 한 개의 모듈로 설계한다.

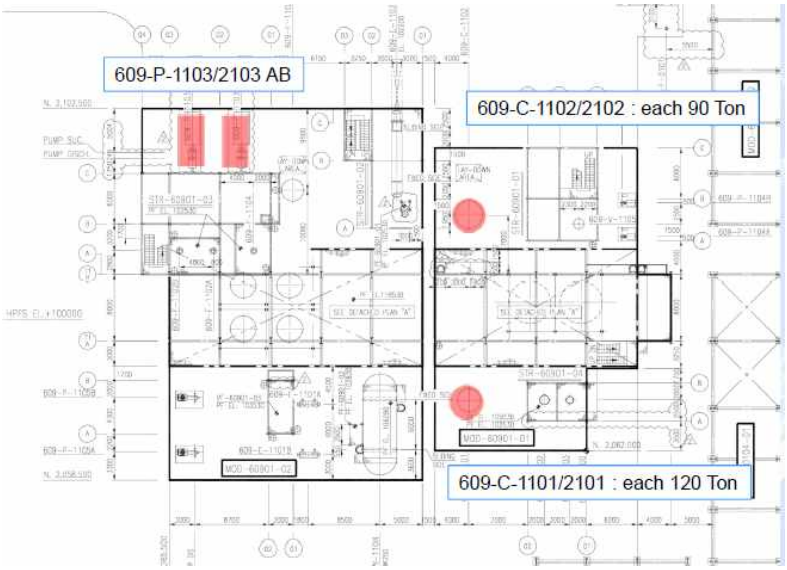
▶ Stacking Type Heat Exchanger는 위아래 모듈로 제작하여 배관으로 연결한다.

▶ Pump 배관설계는 단순하게 하고 모듈 인터페이스 배관은 Flange Joint로 연결한다.

▶ Pipe Rack 상의 Valve, Flange 등은 엇갈리게 설치하여 공간을 최소화 하고 Valve Handle 끼리 간섭되지 않게 한다.

▶ 실증프로젝트를 검토한 결과 Stick Built Plant와 기법에 있어 약간의 차이는 있으나 근본적인 배관 설계상 큰 차이는 없으며, 특별한 사업주 요구 사항은 없음.

▶ 모듈 최적화를 위해 모듈로 할 수 없는 기기에 대한 선별 작업이 선 수행 되어야 하고 도면에 표기되어야 한다.



(Tall Tower, Compressor & Big size Pump)

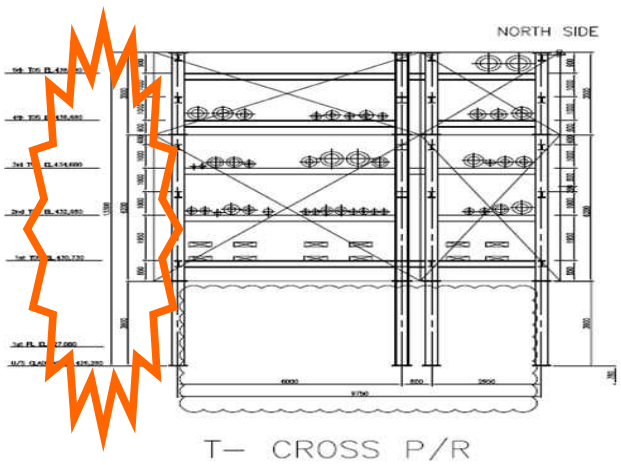
[그림 Module Exception Equipment Plan Drawing]

▶ 펌프와 관련 배관은 바닥의 baem과 Plate 위에 설치하고 하부의 Beam은 그라운드와 같은 레벨이 되도록 설계한다.

▶ 이격 거리의 문제가 없다면 Pipe rack 밑에 Pump나 Vessel을 배치하여 한 개의 동일 모듈로 할 수도 있다.

▶ Shell & Tube type Heat Exchanger는 Plate type Heat Exchanger로 변경한다.

▶ Pipe Rack 폭이 규정된 모듈 폭보다 큰 경우에는 Pipe Rack Column을 모듈분할 지점에 Column을 추가 설계 한다.(구조 - Stick buit design과 차이점)



[그림 모듈 크기를 초과하는 PIPE RACK 최적배치]

▶ 실증프로젝트를 검토한 결과 Stick Built Plant와 기법에 있어 다소간의 차이는 있으나 근본적인 배관 설계상 큰 차이는 없으며, Support 등을 고려한 배관설계가 요구됨. 특별한 사업주 요구 사항은 없음.

(나) 향후계획

▶ 다양한 모듈화 Project 의 설계 사례를 분석하여 Up-date 함.

▶ 공간적 최적배치 지침서를 활용한 모듈설계를 통해 모듈설계 시 발생되는 오류를 최소화 하기 위해 폭 넓은 실증 Project에 Test 를 수행함.

마) [A-5] 모듈연동 및 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(바) 연구 목적

▶ 모듈을 설계, 제작, 운송 후 현자 설치시에는 구조, 배관, 설비 및 전기 등에 대한 모듈간 인터페이스가 매우 중요하므로 협업단위 모듈내 교합부에 대한 관리를 시스템 적으로 수행 하도록 함

(2) 수행 내용

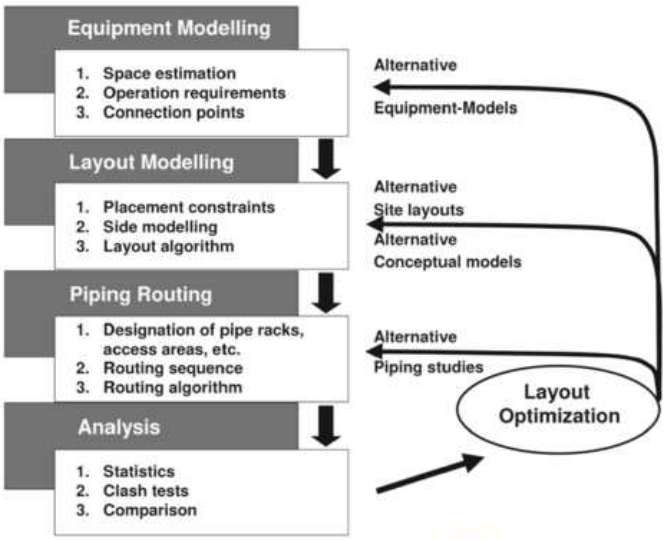
▶ 다수 모듈 인터페이스 기술 분석

연구요약	
기술정의	다수 모듈 인터페이스 기술은 모듈 간 구조, 배관, 설비 및 전기 등에 의한 인터페이스를 고려하여 협업단위 모듈 내 교합부의 연결을 의미한다.
연구목적	인터페이스(교합부) 지점에 대한 관리를 시스템적으로 수행하여 현장 설치 시 위치와 설계정보 확인이 용이하게 하는 것을 목표로 하였다.
2차년도 주요 연구내용	다수 모듈 인터페이스 설계 사례조사
핵심결과	안정적인 작동을 위해서는 시뮬레이션, 해석, GIS/GPS 기술을 응용한 모듈간의 배관 설계 및 공차/교합부 관리가 중요하다.

▶ 다수 모듈 인터페이스 설계

- 플랜트의 다수 모듈 인터페이스 설계 관련 사례 내용을 아래와 같이 정리하였다.
- 다수 모듈 인터페이스 기술 정의
- 다수 모듈 인터페이스 설계 사례조사 및 분석
- piperack간 connection
- 모듈 간 pipe routing을 고려한 최적배치
- 타 산업 적용 사례조사 및 분석

▶ 다수 모듈 인터페이스 기술 정의



[그림. layout optimization]

- 다수 모듈 간 인터페이스는 모듈러 공법을 이용한 플랜트에서는 매우 중요한 역할을 한다.

플랜트에서의 모듈 간 인터페이스의 주요 예로는 piping routing이 있으며 이는 특히 LNG플랜트에서의 piping routing은 매우 중요하다. 더 나아가 모듈러 공법을 적용하여 설계하여야 하는 극한이나 오지의 환경에서 고려되어야 할 조건들이 있다. 그 중 하나는 국내에서 모듈을 사전 제작을 한 후 현지에서 조립하는 과정에서 온도 등 환경의 차이로 인한 문제가 발생할 가능성이 있다는 것이다. 따라서 모듈을 설계할 때, 이러한 가능성을 모두 포함한 인터페이스는 충분히 고려되어야 한다.

▶ 다수 모듈 인터페이스 설계 사례조사 및 분석

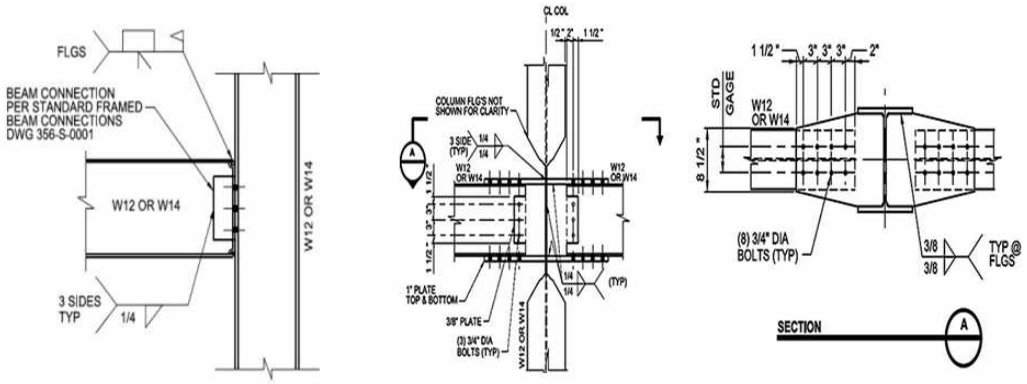
- Turner Industries Group의 NGL Fractionation Plant는 총 92개의 모듈로 이루어져있다.



Modules	Number of Modules	Steel (tons)
Pipe Rack 100 (Modules 101 A/B/C to 108 A/B/C)	24	165
Pipe Rack 200 (Modules 201 A/B/C to 206 A/B/C/D)	19	120
Pipe Rack 300 (Modules 303 A/B/C to 309 A/B/C)	21	160
Pipe Rack 400 (Modules 401 A/B/C to 403 A/B/C & 402D)	10	85
Pipe Rack 500 (Modules 501 A/B to 504 A/B)	8	65
Pipe Rack 1100 (Modules 1102 to 1104)	3	30
Pipe Rack 1200 (Modules 1201 to 1204)	4	35
Pipe Rack 1300 (Modules 1301 to 1303)	3	15
TOTALS	92	675

[그림. Turner Industries Group의 NGL Fractionation Plant과 Module summary]

- 이 플랜트는 주로 pipe rack으로만 구성되어 있기 때문에 LNG플랜트의 경우처럼 pipe routing과는 큰 관계가 없다. 따라서 이 사례에서는 모듈들 간의 연결만 필요하다.
- 주로 모듈 어셈블리에서 사용되는 연결은 크게 용접과 볼트 연결로 나누어진다. 볼트로만 연결을 하게 되면, 안정성의 문제가 생길 수도 있고, 용접으로만 하게 되면 더 정교한 작업을 필요로 하므로 노동력도 더 요구되고 시간도 상대적으로 오래 걸린다. 따라서 플랜트에서는 이 두 가지 방법을 모두 이용하여 모듈 간 연결을 한다. 연결은 크게 가로방향의 연결과 세로방향의 연결로 나누어진다.



[그림. moment connection in transverse/longitudinal direction]

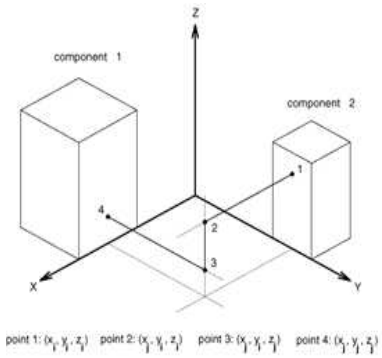
- 연구사례분석(인터페이스를 고려한 모듈 내 최적배치)은 Guirardello, R.et al. (2005) Optimization of process plant layout with pipe routing 논문을 참고하였다. pipe routing을 포함한 플랜트 최적배치에서 우선 연속의 하위문제들로 분류해보았다.

- 3D 요소들의 최적배치

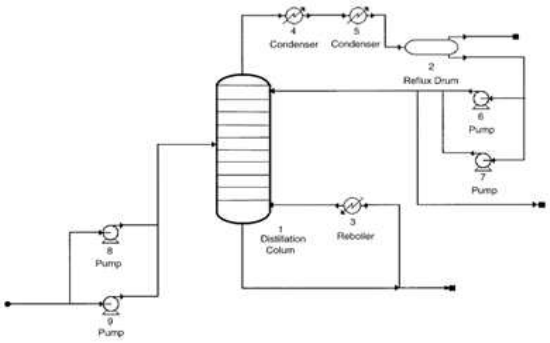
- 구성요소의 수의 모듈로 플랜트를 나눔
- 각 모듈 내에서 요소들의 최적배치를 수행
- 모듈들의 최적배치를 수행

• Pipe routing의 최적화
- 각 모듈 내에서 요소 간의 routing을 수행
- 모듈들 간의 routing을 수행

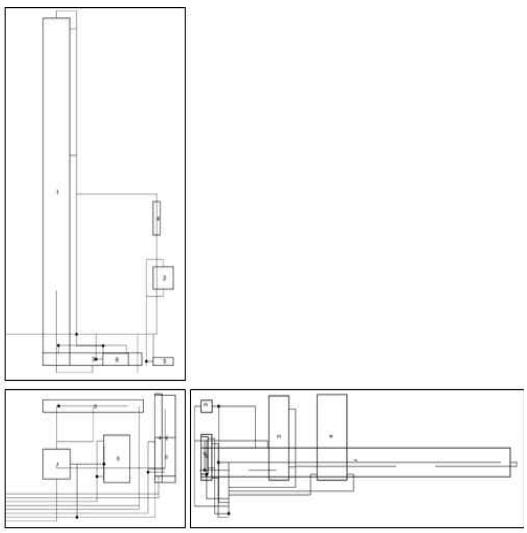
• 먼저 MILP(Mixed Integer Linear Programming)모델을 이용하여 3D 요소들의 최적배치를 나타내었다. 목적함수는 총 세 개로, 플랜트의 size의 비용, 요소들의 supports비용, 파이프의 비용이다. 제한조건으로는 최소거리여야하고 겹치지 않으며 안전요구가 있다. 그 다음, pipe routing의 최적화는 두 가지로 나누어서 pipe branches를 포함한 큰 문제에 대해서는 최단경로방법 (Dijkstra's algorithm)을 적용하고, 작은 문제에 대해서는 Mixed integer programming을 사용하여 적용하였다. 다음은 petro chemical unit을 예로 들어 나타낸 것이다.



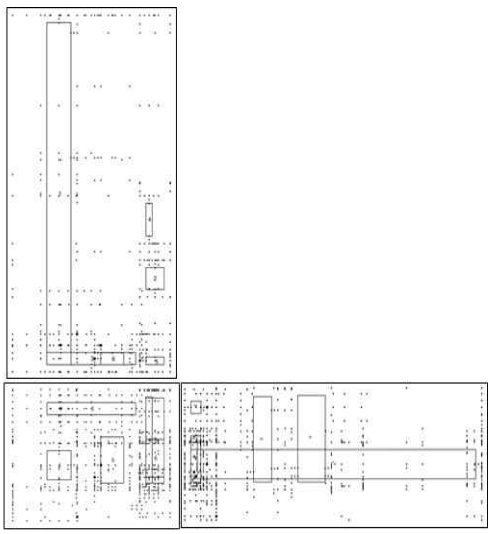
[그림. Construction of nodes]



[그림. Petro chemical unit]



[그림. 최단경로방법을 사용하여 얻은 routing]

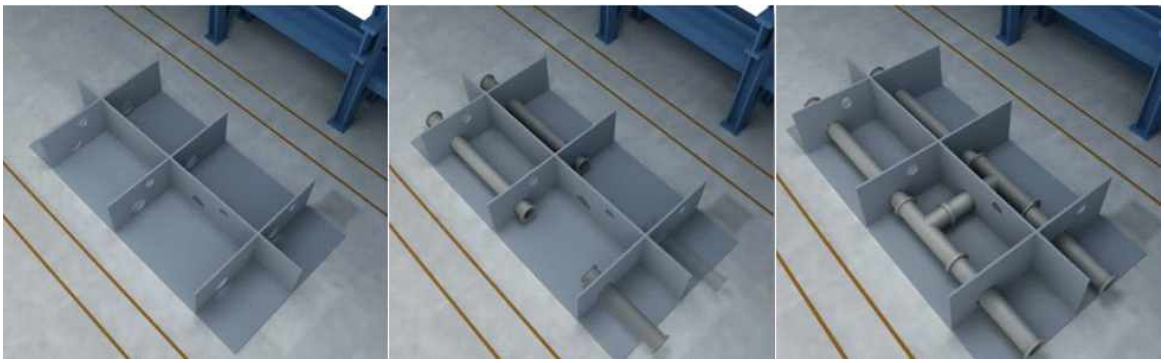


[그림. MILP모델을 적용하여 얻은 routing]

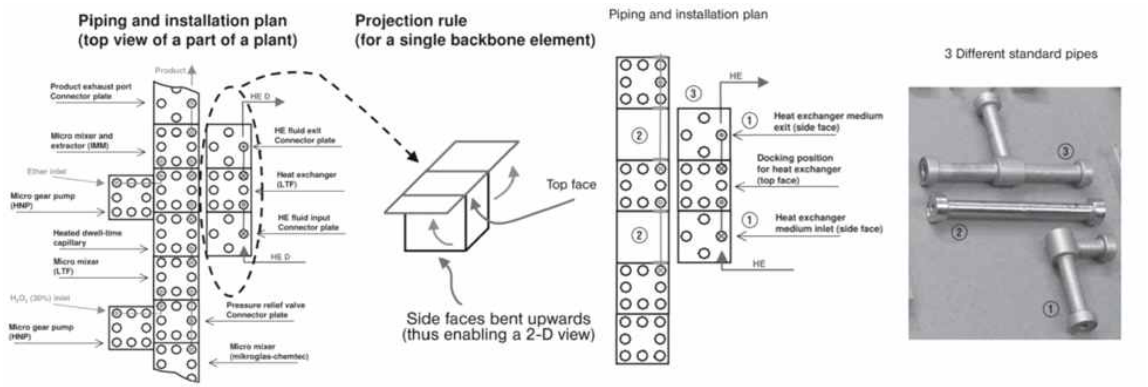
▶ 타 산업에서의 다수 모듈 인터페이스 설계 사례조사

• 선박을 건조하기 위해서는 선체를 여러 부분으로 나누어 제작하는데, 이때 한 개의 단위를 블록이라 한다. 이처럼 선박의 블록과 플랜트의 모듈은 서로 유서성이 있다. 보통 선체설계

와 의장설계를 구분할 때 선박을 사람의 몸과 비유하게 되는데, 선체설계는 골격을, 의장설계는 각종 장기와 혈관 등을 설계한다고 볼 수 있다. 따라서 의장설계는 각 기기들을 연결해 주는 부분을 설계하는 것이다. 의장설계는 각종 장비와 의장 자재들의 최적 배치 설계를 하게 되는데, 업무 특성에 따라 크게 선장설계 · 선실설계 · 기장 설계 · 전장설계 등 4개 기능으로 구분된다. 이 중 기장 설계에서는 선박 운항에 필수적인 추진력과 이에 필요한 각종 기기들을 안전하고 효율적으로 운용할 수 있도록 기관실 구획의 장비 및 배관 · 철의장 배치 설계를 하고, 전장설계에서는 선박 전체 구획의 전기 · 전자 장비, 제어 및 전로 배치설계를 담당한다.

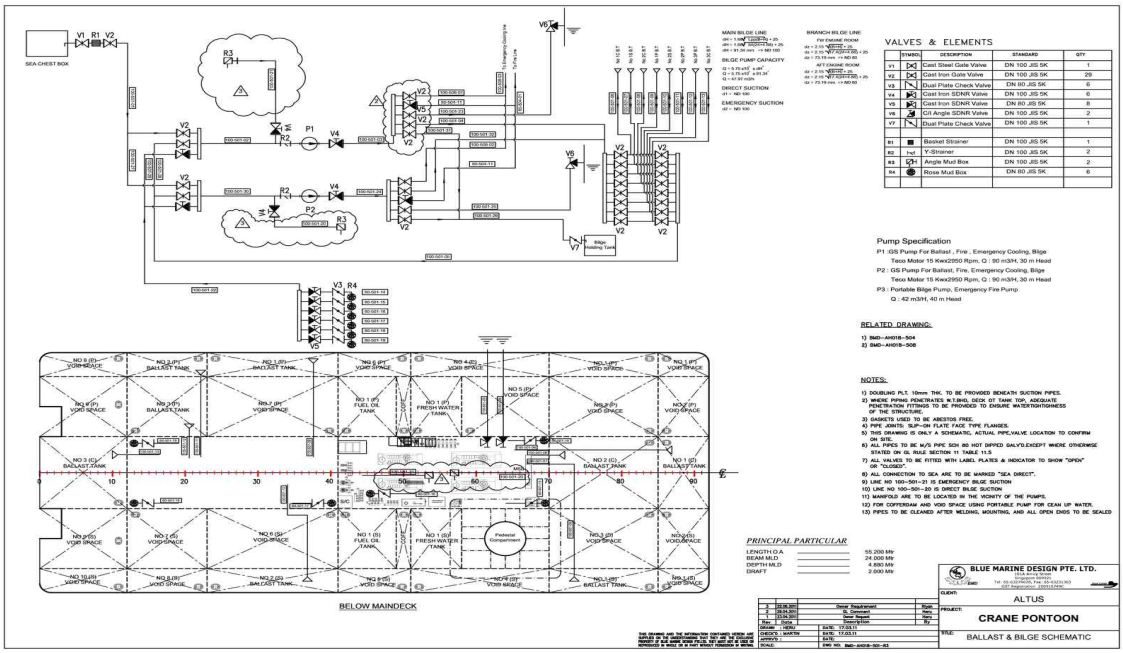


[그림. 선박의 배관설계]



[그림. 플랜트에서의 배관 연결]

- 이 중 플랜트와 가장 연관이 있는 설계는 배관설계와 전장설계이다. 위의 그림과 같이, 플랜트의 배관연결에 사용되는 파이프와 선박 배관설계에서 사용되는 파이프의 형상은 유사함을 알 수 있다. 플랜트 또한 마찬가지로 배관설계가 중요하므로 배관설계에 중점을 두고 조사하였다. 배관설계를 pipe를 이용하여 각종 요소들과 관계 및 설비를 호칭하는 것을 piping이라고 하며, 기기와 기기를 process에서 규정한대로 적절한 배관 부품을 이용하여 연결해 나가는 설계과정이다. 따라서 이 과정은 기기들이 최적의 운전성능이 유지되고 모든 장비들이 효율적으로 작동하는가에 대한 매우 중요한 영향을 미친다. 배관 설계 시 유의점으로는 합당한 유량의 송달 능력, 강도, 재질, 배치와지지, 수명의 보증, 조작의 수단, 유지보수, 설치의 용이함 등에 부합되도록 설계되어야하며 사용 압력에 따라 파이프의 두께를 선정하여야 한다. 따라서 배관을 설계하기 위해서 선박계산과 구조 상세를 알아야 하며, 충돌이 발생하는 환기 통풍과 전선 다발이 어디로 가는지 알아야 하며 제작 수순과 설치 수순을 알아야만 좋은 설계가 가능하다.



[그림. Schematic Pipe / P&ID Drawing]

▶ 최적배치를 위한 GUI설계 사례 조사 및 분석

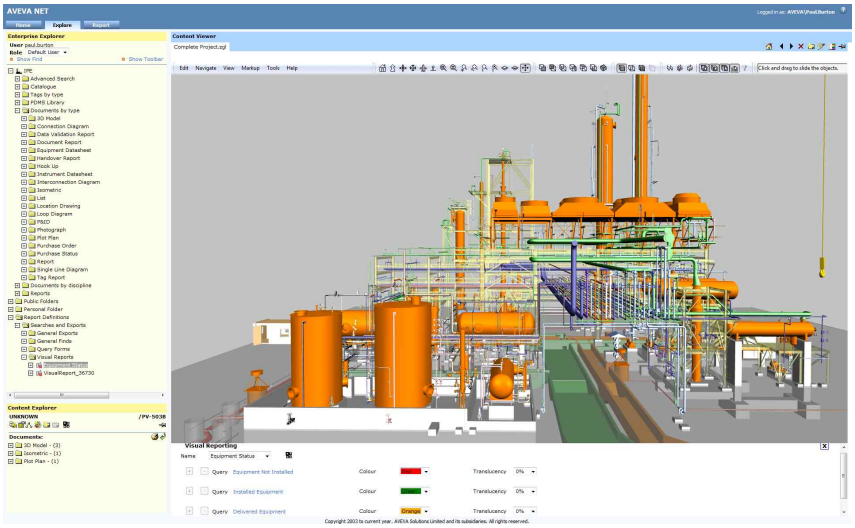
연구요약	
기술정의	GUI는 Graphical user interface의 약자로 사용자가 컴퓨터와 정보를 교환할 때, 텍스트가 아니라 그래픽을 통해 정보를 주고받는 인터페이스이다. 이는 컴퓨터의 조작을 용이하게 한다.
연구목적	모듈화된 플랜트는 최적배치를 통해 원가절약, 공기 단축 등 여러 경제적 이익을 이끌어 낼 수 있다. 따라서 시공 전에 최적배치 프로그램을 사용하여 설계하는 것은 매우 중요하며 또한 GUI를 적용한 프로그램을 이용하면 용이하게 배치를 바꿔가며 작업할 수 있다. 따라서 현재 상용화되고 있는 최적배치 소프트웨어의 GUI 사례조사를 통하여 기술을 파악하는 것을 목표로 한다.
2차 년도 주요 연구내용	최적배치를 위한 GUI설계 사례조사
핵심결과	타 산업을 포함하여 대다수의 최적배치 소프트웨어는 GUI를 적용하고 있으며, 따라서 직관적인 학습이 용이하다.

▶ 최적배치를 위한 GUI설계

- 최적배치를 위한 GUI설계 관련 사례 내용을 아래와 같이 정리하였다.
- 모듈 최적배치 관련 GUI 사례 분석
- 타산업 최적배치 관련 GUI사례 분석

▶ 모듈 최적배치 관련 GUI사례 분석

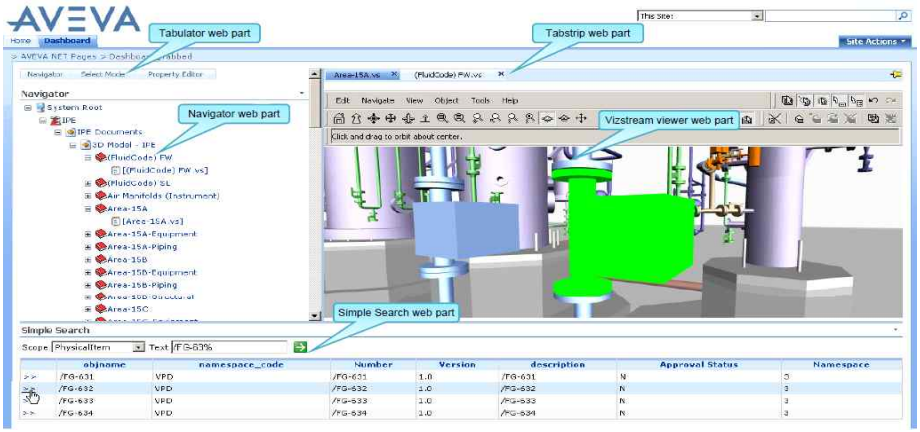
- AVEVA® NET은 프로세스 관리와 공학 정보를 관리하는 솔루션이다. 이는 애플리케이션과 서류, 데이터를 통합하는 소프트웨어이며 개별적인 객체를 3D모델, 도면, 서류, 데이터베이스 등의 다양한 정보 소스로 표현을 가능케 하는 기능을 가지고 있다.



[그림. AVEVA NET]

- User environment (GUI features)로는 MS의 최신기술을 활용하고 Web/Rich Client Interface를 이용하여 간편하고 강화된 사용자 환경을 가지고 있다. 또한 멀티 프로젝트, 자원, 지역 등 다양한 프로젝트 체계를 가지고 있다. 각종 문서의 전문 검색을 지원, 조건의 공유와 개인별 설정/활용이 가능하며 단순검색, 고급검색, 전문검색과 같은 다양한 검색 기능을 포함한다. 보안 측면에서는 그룹/개인/기능별 통제와 같이 보안의 설정과 접근 통제를 강화시켰다. 한국어를 포함한 다국적 언어를 지원하며 사용자 작업공간, 오브젝트 및 클래스, 템플릿을 사용가능하다.

- AVEVA NET의 모든 사용자 기능이 Web Part로 제공 된다(Navigator web part, Select Mode web part, Property Editor web part, Simple Search web part, Viewer web part, Tabulator web part, Tabstrip web part, BOM Editor web part etc). 또한 사용자는 원하는 Web Part를 추가/변경/제거할 수 있고, 필요로 하는 기능을 Web Part로 개발하여 추가할 수 있다.

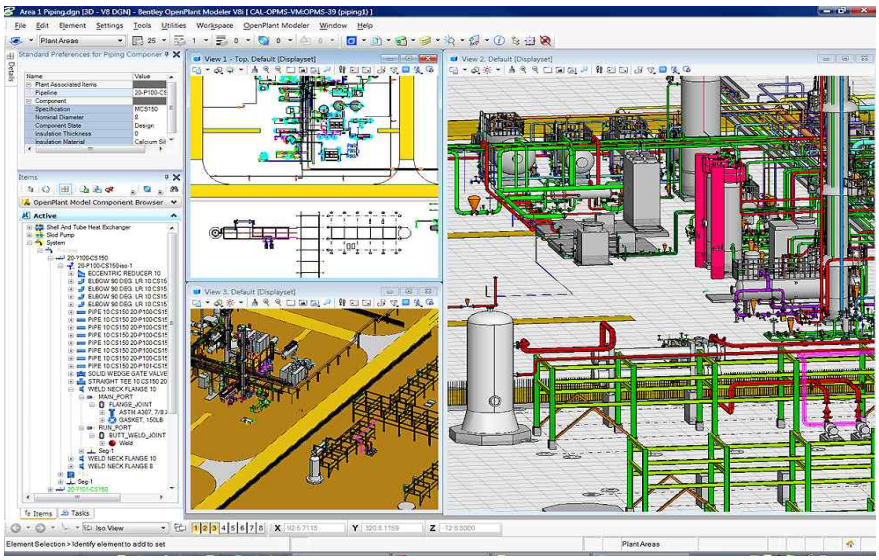


[그림. An example SharePoint web part page built using AVEVA NET web parts]

- AVEVA NET의 주 화면은 현재 layout상태를 나타내는 서브화면과 부품들의 navigator를 나타내는 서브화면, 쉽게 부품들의 상태를 확인할 수 있는 simple search의 서브화면으로 구성되어있다. layout화면을 확대/축소, 관점 등을 조정가능하며 쉽게 배치할 수 있다는 특징이 있다.

- Bentley사의 OpenPlant Modeler V8i는 공장 설계와 모든 인프라 기반에 적합한 선두적인 플랫폼으로 계속 진보 중인 MicroStation V8i 기능을 통합한다. OpenPlant Modeler V8i는 DGN, RealDWG, 포인트 클라우드, PDF 등 공통으로 사용되는 소프트웨어 표준을 결합하는 작업흐름을 순조롭게 지원할 수 있는 유일한 공장 모델링 소프트웨어이다. 다분야 간 플랜트 팀을 위

한 정보 모델링 툴인 OpenPlant는 실용성과 자유로운 확장 가능성, 상호 운용성을 제공하여 파일 및 요소의 편리한 작업 흐름을 돕는다. 또한 2D에서 3D까지 플랜트 설계와 엔지니어링을 제공하는 통합 소프트웨어 제품이다. 또한 보급률이 높고 고도로 직관적인 MicroStation의 UI(User Interface)를 활용해 3D 모델을 즉각적으로 손쉽게 생성할 수 있다.

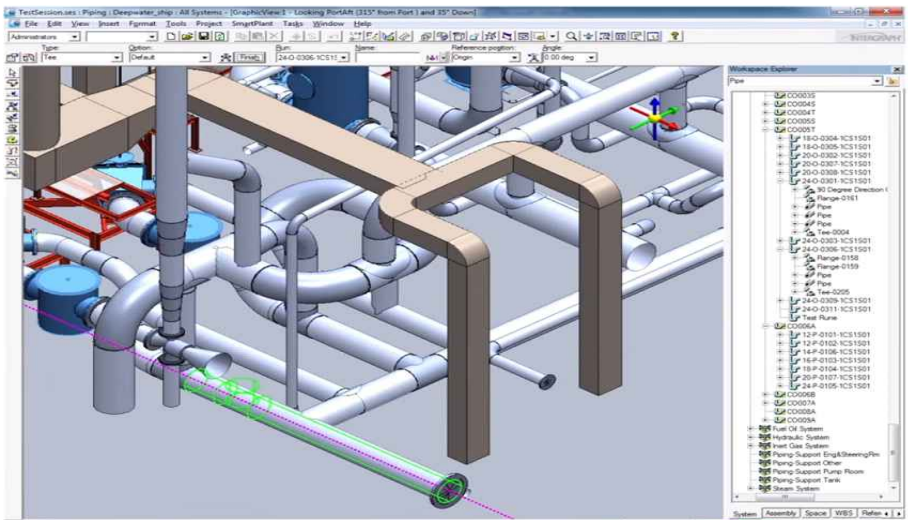


[그림. Bentley OpenPlant Modeler]

- OpenPlant Modeler의 주화면은 AVEVA NET과 유사하며 여기에 다각도 관점에서의 layout상태를 나타내는 서브화면과 각 요소들의 직경, 두께 등을 나타내는 서브화면이 더해져 편리하게 작업할 수 있다는 특징이 있다.

▶ 타 산업(조선, 해양) 최적배치 관련 GUI사례 분석

- Intergraph사의 Smart marine, Smart Plant는 플랜트 모듈화 기반기술이 특히 발전된 조선, 해양 분야에 기술을 제공한다. 이 소프트웨어 제품은 정보처리의 모듈화 와 통합에 관해 정확도 높은 데이터베이스와 기반기술 보유하고 있으며 PFD, P&ID, HVAC, Interface 검토 가능한 2D/3D 모듈 제공을 제공한다. 또한 대형의 복잡한 모델을 분석 가능한 환경을 제공하며, Piping flexibility 해석, Fabrication에 대해 룰, 코드 기반 기술을 제공한다.



[그림. Intergraph사의 SmartMarine]

- SmartMarine의 주 화면은 workspace explore를 보여주는 서브화면과 현재 layout상태를 나타내는 창으로 이루어져있다. 직관적인 GUI를 이용하여 프로그램의 사용을 용이하게 한다.

(4) 결론

(아) 주요 결과

▶ 다수 모듈 인터페이스 설계 사례조사 분석

- Piperack모듈 간의 인터페이스는 볼트연결과 용접을 이용한 단순한 인터페이스를 요구한다. 하지만 LNG플랜트를 포함한 많은 플랜트에서는 구조, 배관, 설비 및 전기 등에 의한 인터페이스를 고려하여 모듈 간 연결을 해야 한다. 현재 배관에 관련되어 많은 연구가 선행되고 있으며, 더 나아가 배관정보와 장비배치를 모두 고려하여 최적 배치한 연구도 진행되고 있다. 따라서 기기의 안정적인 구동을 위해서는 이러한 인터페이스(교합부) 지점에 대한 관리를 시스템적으로 수행하여야 하며, 이를 통해 현장 설치 시 위치와 설계 정보를 용이하게 확인할 수 있다.

▶ 최적배치를 위한 GUI설계 사례조사 분석

- 플랜트와 조선/해양 분야의 최적배치 소프트웨어의 주화면의 GUI는 유사함을 알 수 있다. 우선 현재 layout을 나타내는 화면과 각 부품들의 상태를 나타내는 서브화면으로 구성된다. 대다수의 최적배치 소프트웨어는 GUI(Graphical User Interface)를 적용하여 직관적으로 프로그램을 실행할 수 있으며, 학습이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 조사한 사례들 모두 3D 모델을 제공하므로 시공하기 전에 미리 interference를 check할 수 있다는 점에서 경제적이며 효율적이다. 이러한 최적배치 프로그램을 사용하여 기설계된 모듈의 최적배치를 통해 공간절약을 이룰 수 있으며 더 나아가 공기감축을 이룰 수 있다.

(자) 향후 계획

▶ 3차 년도에는 2차 년도에 진행하였던 플랜트 모듈 2차원 배치 최적화 소프트웨어를 발전시켜 인터페이스 고려한 다수 모듈 간 최적배치 워킹모델을 구현할 것이다.

(5) 성과점검기준

(차) 질적 성과지표

① 성과지표의 설정 근거

- 상용프로그램 사례조사와 연구동향 기반으로 설정
-

② 목표치

- 다수 모듈 인터페이스 설계 사례 조사서 3건
- 최적배치를 위한 GUI 사례 조사서 3건

(카) 측정/검증방법

① 측정 방법 설정 근거

- 사례조사 기반으로 설정

② 검증 방법

- 다수 모듈 인터페이스 설계 사례조사서 확인
- 최적배치를 위한 GUI 사례 조사서 확인

(타) 정량목표 및 달성도

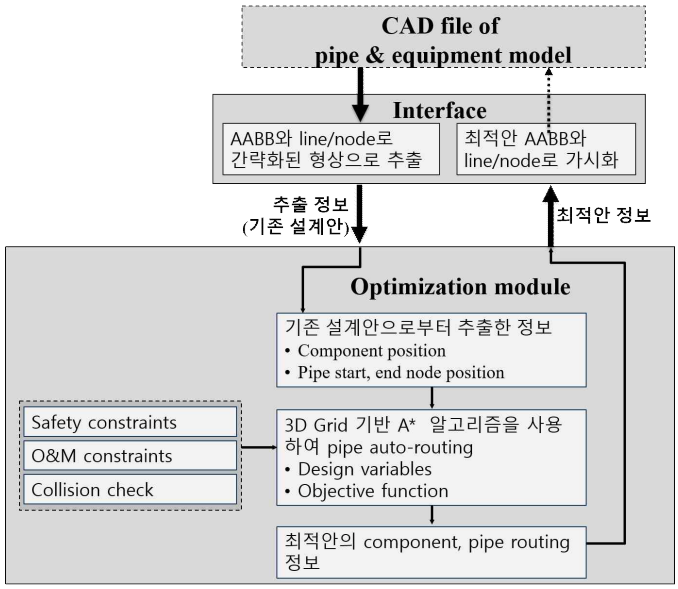
구분	목표	달성	달성률
다수모듈 인터페이스 설계 사례 조사서	사례 조사서 3건	사례 조사서 3건	
최적배치를 위한 GUI 사례 조사서	사례 조사서 3건	사례 조사서 3건	

B) 3차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

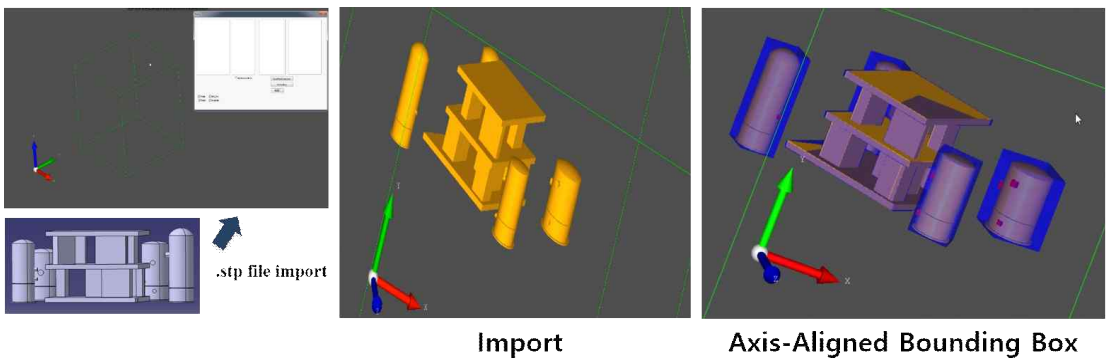
▶ 협업 설계 모듈 내 장비 배치의 컴팩트화 및 최적화를 위해 설치 시에 구조, 배관, 설비 및 전기 등에 대한 모듈 간 인터페이스가 매우 중요하므로 협업단위 모듈 내 교합부에 대한 관리를 시스템 적으로 수행하고 설계자 중심 인터페이스를 제공한다.



[그림. 컴팩트/ 최적화 모듈에 대한 인터페이스 설계 및 교합부 관리 모식도]

(나) 연구내용

▶ 기 모듈화된 장비를 .stp file 형태로 import를 시킨 후, AABB와 line/node로 간략화 된 형상으로 가시화한다. 또한 관련 정보를 추출하여 pipe auto-routing에서 각 모듈을 장애물로 인식하기 위해 각 모듈의 영역을 설정한다. 최적안의 정보를 찾기 위해 소프트웨어 상에서 각 모듈을 이동 및 회전 시킬 수 있다.



[그림. CAD file interface]

(1) 수행 내용

▶ 최적안 정보를 CAD를 사용하여 AABB와 line/node로 가시화한다. 장비를 옮김으로써 re-routing을 가능하게 하였고, pipe route를 선택하여 선택한 경로의 cost를 포함한 길이, bend 수와 같은 정보를 확인 할 수 있도록 GUI를 설계하였다. 이러한 배치 관련 정보 자동 추출 기술을 통해 cost를 계산 할 수 있으므로, 시공 전에 다양한 routing 비교를 통해 최적배치를 할 수 있다.



[그림. 설계자중심 교합부관리 사용자 인터페이스 구현]

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 협업 설계 모듈 내 장비 배치의 컴팩트화 및 최적화를 위한 소프트웨어 모듈 GUI 개발

(나) 향후 계획

▶ 지식기반 Rule base를 시스템화 함으로써 개발된 모듈에 통합시켜 일관되고 안정적인 업무 수행이 가능하도록 시스템 개발을 검토하고 있다.

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (3차년도)
인터페이스 설계 및 특성 고려 제한조건 정식화	플랜트의 설계는 고도의 기술과 경험을 바탕으로 진행되는 업무로써, 그 동안 전문 엔지니어의 지식과 경험에 절대적으로 의존해왔지만 제한조건 및 목적함수를 구축하여 시스템화 함으로써 설계자중심의 업무수행이 가능하다.	개발 보고서 1건
최적배치를 위한 GUI 개발 및 다수 모듈 인터페이스 고려 업데이트	협업 설계 모듈 내 장비 배치의 컴팩트화 및 최적화를 위하여 3차원 기반의 pipe auto-routing 기술을 포함한 SW를 개발하여 최적안을 찾을 수 있어야한다. 또한 최적안을 확인 할 수 있도록 적절한 GUI를 통해 최적안을 확인하고 장비를 재배치할 수 있도록 한다.	S/W등록 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
인터페이스 설계 및 특성 고려 제한조건 정식화	수행한 플랜트 모듈 배치 최적화 소스코드 케이스 스터디 개수	협업 설계 모듈 내 장비 배치의 컴팩트화 및 최적화를 위하여 제한조건과 특성을 조사하여 정식화하고, 이를 이용하여 기술적으로 타당함을 검증 할 수 있다.	플랜트 모듈 배치 최적화 소스코드 개발보고서 확인	1월 내 달성 예정
최적배치를 위한 GUI 워킹모델 작동여부	개발한 최적배치를 위한 GUI 워킹 모델 작동여부	협업 설계 모듈 내 장비 배치의 컴팩트화 및 최적화를 위하여 re-routing 기능에 알맞은 GUI를 포함한 SW를 등록하여 작동여부를 판단할 수 있다.	S/W 등록 여부 확인	12월 중 달성 예정

(다) 정량목표 및 달성도

구분	목표	달성	달성률(%)
개발 보고서	1	1	90
S/W 등록	1	1(2017.02 예정)	90

C) 4차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업 단위 모듈의 컴팩트화 과정에서, 모듈 간의 관계와 모듈 내 여러 필요 공간 (장비 공간, 이동 통로 공간 등) 과 Pipe 간의 인터페이스 설계 및 교합부를 시스템적으로 관리하기 위한 데이터 구조와 GUI를 제공하는 S/W 개발

(가) 연구내용

▶ 모듈 간의 관계와 모듈 내 여러 필요 공간과 Pipe 정보를 시스템적으로 관리하기 위한 데이터 구조 개발

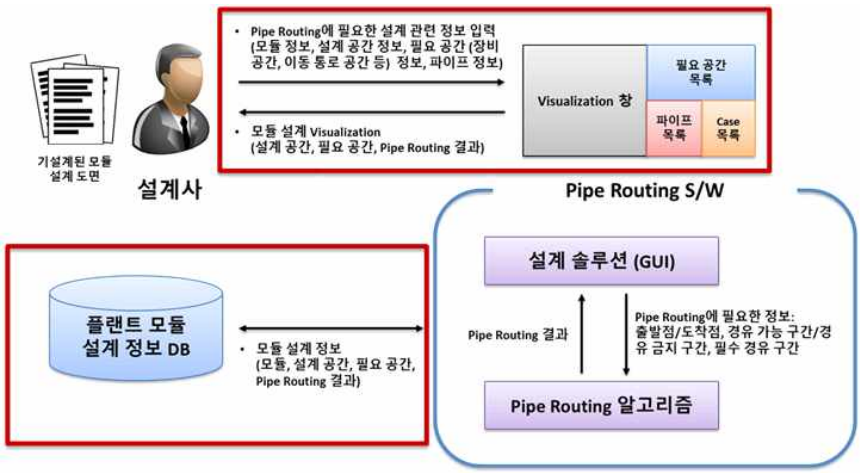
▶ 모듈 간의 관계와 모듈 내 여러 필요 공간과 Pipe 정보를 설계사가 효율적으로 관리할 수 있도록 하는 GUI 개발

▶ 위 개발 사항들을 포함한 S/W 개발 진행 중

(1) 수행 내용

▶ 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W 정의

- 기설계된 모듈의 컴팩트화 과정에서, 설계사가 협업 단위 모듈의 정보를 효율적으로 관리할 수 있는 데이터 구조와 GUI를 제공하는 S/W



[그림. S/W 개발 연구 내용 범위]

▶ 인터페이스 설계 및 교합부 관리 데이터 구조

- 플랜트는 플랜트 설계 상에서 가장 상위 개체로 여러 개의 모듈로 구성되며, S/W 상에서 플랜트 단위로 프로젝트를 생성하여 관리
- 모듈은 플랜트의 협업 단위 모듈화 과정에서 플랜트를 나누어 구성하는 단위 개체로, 시공성 확인을 위한 모듈 간의 위치 관계 관리가 중요

플랜트 개체

프로젝트 ID, 프로젝트 이름, 플랜트 ID, 플랜트 이름, 플랜트 정보

모듈 개체

모듈 ID, 모듈 이름, 플랜트 ID,
위 모듈 ID 리스트: 해당 모듈 위에 건설될 모듈 정보
아래 모듈 ID 리스트: 해당 모듈 아래에 건설될 모듈 정보
옆 모듈 ID 리스트: 해당 모듈 옆에 건설될 모듈 정보

모듈 간의 관계

설계사가 S/W 상에서 방향 별 인접 모듈 ID 리스트를
입력 & 저장하고 시각적 관계도를 직접 제작하여 관리

[그림. 플랜트 & 모듈 개체]

- 설계 공간은 정의된 모듈이 자신의 설계 가능 공간을 표현한 개체
- 필요 공간은 모듈 안에 설계되어야 할 장비/이동 통로/Maintenance 공간 등을 하나의 공간으로 표현한 개체

설계 공간 개체

설계 공간 ID, 설계 공간 이름, 모듈 ID, 가로 길이, 세로 길이, 높이

필요 공간 개체

공간 ID, 공간 이름,
용도: 장비 공간, 이동 통로 등 공간의 용도 정보,
모듈 ID, 가로 길이, 세로 길이, 높이, 중앙점
안전 거리: 유지 보수와 안전 상의 이유로 안전 거리가 필요한 공간 입력
연결 Pipe 리스트: 해당 공간과 연결된 Pipe 정보

[그림. S/W 설계 공간 & 필요 공간 개체]

- Pipe는 플랜트의 화학 공정을 위해 장비 간의 유체를 전달하기 위한 개체
- Case는 Pipe Routing 시, 문제의 복잡도를 감소시키기 위해 인위적으로 Pipe를 분할하여 표현한 개체

Pipe 개체

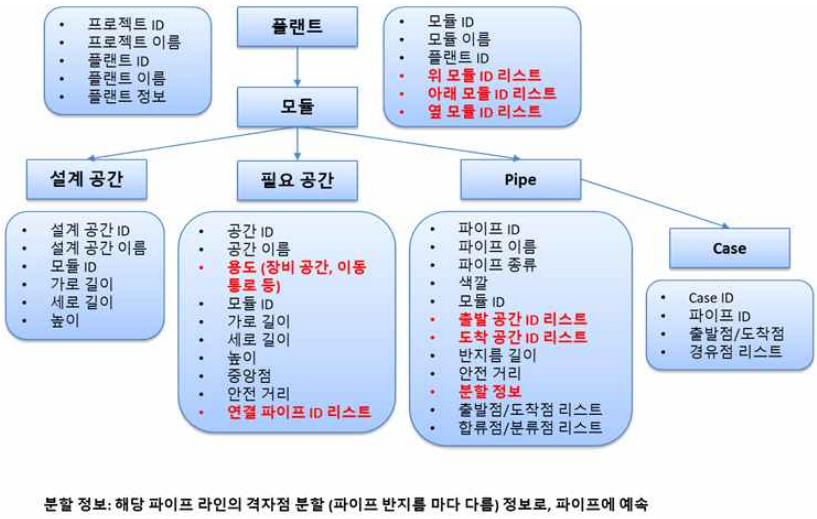
Pipe ID, Pipe 이름, Pipe 종류, 색깔, 반지름 길이, 모듈 ID
출발 공간 ID 리스트: 해당 Pipe가 연결할 출발 공간 정보
도착 공간 ID 리스트: 해당 Pipe가 연결할 도착 공간 정보
안전 거리: 유지 보수와 안전 상의 이유로 안전 거리가 필요한 Pipe 입력
분할 정보: Pipe Routing 시, 설계 공간 분할 정보
출발점/도착점 리스트: Pipe Routing 시, Pipe의 도착점/출발점 위치 정보
합류점/분류점 리스트: Pipe Routing 시, Pipe의 합류점/분류점 위치 정보

Case 개체

Case ID, Pipe ID,
출발점/도착점: Pipe Routing 시, Case의 도착점/출발점 위치 정보
경유점 리스트: Pipe Routing 시, Case의 경유점 위치 정보

[그림. Pipe & Case 개체]

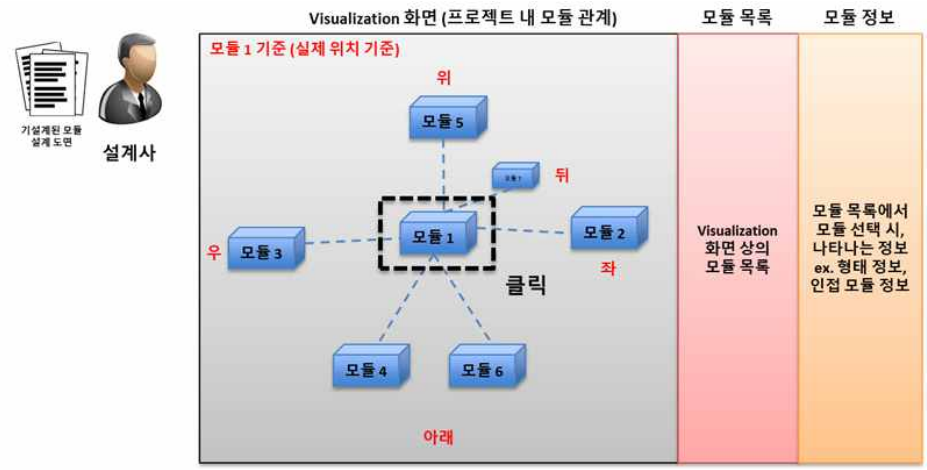
- 전체 개체 관계 구조



[그림. 전체 개체 관계 구조]

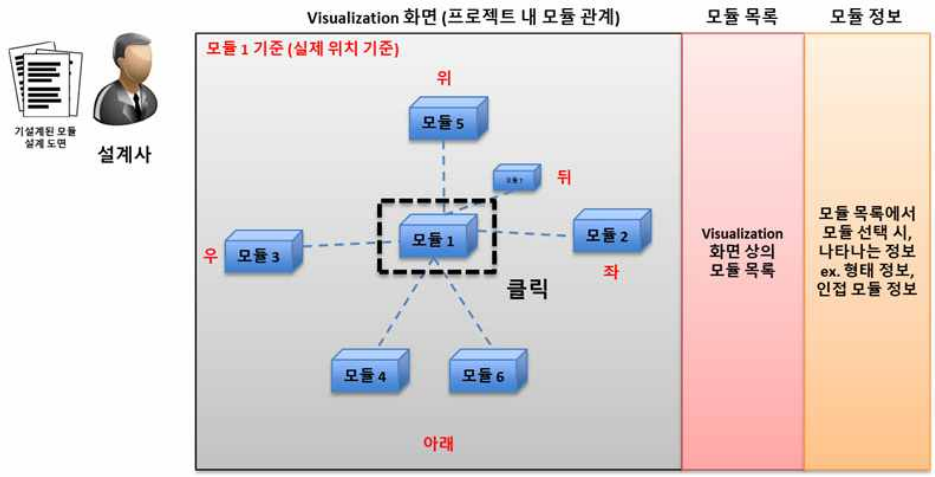
▶ 인터페이스 설계 및 교합부 관리 GUI

- 플랜트 단위로 프로젝트를 정의하고, 모듈 정보를 입력하여 모듈 생성 및 모듈 간의 관계를 관리할 수 있는 GUI 개발



[그림. 개발 GUI 1]

- 모듈의 설계 공간과 모듈 안에 필요 공간의 정보를 입력하여 생성 관리하고, 해당 정보를 활용해 Pipe Routing 과정으로 생성한 Pipe를 관리할 수 있는 GUI



[그림. 개발 GUI 2]

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 기설계된 모듈의 컴팩트화 과정에서 설계사가 모듈 정보를 효율적으로 관리할 수 있는 S/W 개발 보고서를 작성하여 현재 개발 진행 중

(나) 향후 계획

▶ S/W 개발 보고서 내용을 만족하는 S/W 개발 완료 후, 추후 컴팩트화 과정에서 효과를 향상시키기 위해 발생할 수 있는 개체 추가와 세분화를 반영할 수 있도록 S/W 상의 데이터 구조와 GUI의 강건성 개선

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
케이스 스터디를 통한 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W 검증	케이스 스터디를 통한 검증은 S/W의 실제 설계 현장에서의 활용 가능성을 평가할 수 있고, 개발한 데이터 구조 및 GUI 검증과 동시에 보완할 점을 파악하여 향후 S/W 기능 향상에 도움	보고서 1건
인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W 시제품 작동 여부	개발한 S/W의 플랜트 설계 관련 개체들의 데이터 구조와 입력 정보의 효율적 관리를 위한 GUI가 실제 모듈 컴팩트화 과정에서 실용적 기여도가 있는지 판단에 도움	SW 등록 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
케이스 스터디를 통한 인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W 검증	인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W 개발 보고서 건수	모듈 컴팩트화를 과정에서 설계사가 관리해야 할 개체들의 정보와 관계를 정의한 데이터 구조와 설계 정보의 효율적인 입력과 관리를 위한 GUI의 실질적 타당성 검증 가능	S/W 개발 보고서 확인	달성
인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W 시제품 작동 여부	개발 데이터 구조와 GUI를 통한 설계 정보 관리 S/W 등록	개발 S/W 상에서 시스템적 관리를 위해 개체의 정보와 관계를 정의한 데이터 구조와 설계 정보의 효율적 관리를 위한 GUI가, 플랜트 모듈 관련 기술 개발 관점에서 유의미한지 판단 가능	S/W 등록 여부 확인	11월 말 예정

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업 단위 모듈 간의 관계와 모듈 내 여러 필요 공간(장비 공간, 이동 통로 공간 등)과 Pipe의 교합부를 시스템적으로 관리하기 위한 GUI와 데이터 구조를 제공하는 S/W 개발

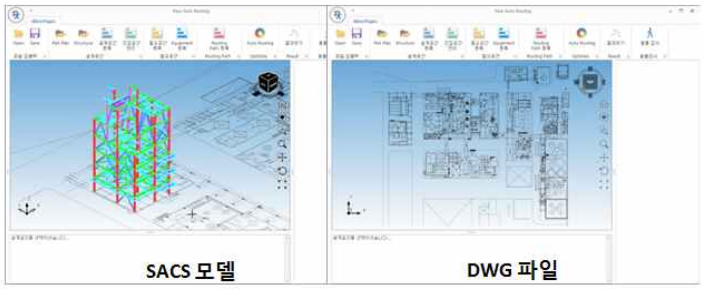
(가) 연구 내용

▶ 모듈간의 관계를 연결시킬 수 있는 인터페이스를 개발함
▶ 모듈간의 인접 공간(인접면) 연결 알고리즘을 개발함
▶ 모듈B (연결되는면)의 격자점을 재정의함
▶ 재정의 된 격자점은 서로 연동, 모듈간의 Pipe Routing을 수행함

(2) 수행 내용

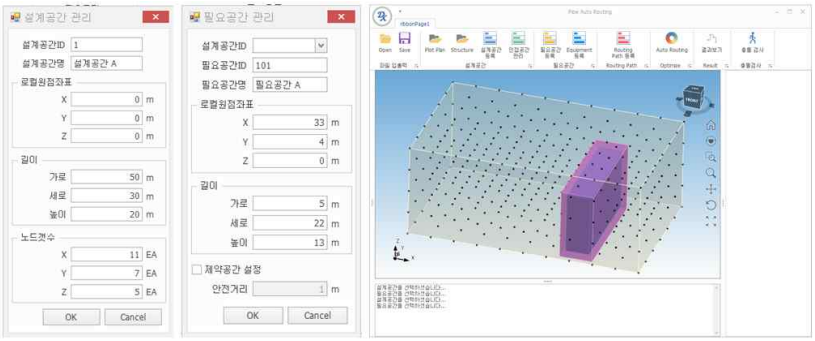
▶ 기반 플랫폼 구현

- SACS의 입력 파일을 DB에 저장하여 가시화 기능
- CAD프로그램의 DWG파일 가시화 기능



[그림. SACS파일 DWG파일 가시화]

- 기설계 된 모듈의 설계 도면을 활용하여, 설계 공간과 필요 공간 (장비 공간, 이동 통로 공간 등) 생성 가시화 기능

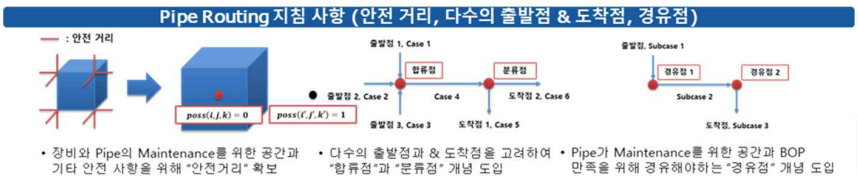


[그림. 설계 공간과 필요 공간 생성]

- 장비공간(Equipment)기능은 Vessel, Tank등의 Equipment를 생성, 수정, 삭제 기능
- Structure에 Equipment가 위치, 사람이 이동할 때(여유고 포함) Equipment와 충돌검출 기능
- Pipe Routing 최적화를 통해 찾아낸 결과를 이용해 Pipe의 길이, 엘보우(Elbow)의 개수를 검색 기능

▶ Pipe Routing 알고리즘

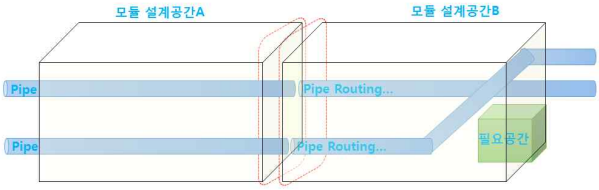
- 설계 공간 축의 분할 수를 입력하여, 설계 공간을 동일한 크기의 직육면체 큐브로 분할(격자점 생성) 기능
- Pipe의 출발점과 도착점 수를 입력한 뒤 단계에 따라 출발점들 ➔ 합류점 ➔ 분류점 ➔ 도착점들에 해당하는 격자점을 선택하여 Case 분할 알고리즘 구현
- 분할 된 Case의 격자점 을 활용하여 Pipe Routing 알고리즘 구현
- 단일 출발점 & 도착점 만을 고려하여 Pipe의 길이와 Bend 수를 최소화하는 MIP(Mixed Integer Programming) 모델 개발



[그림. Pipe Routing 알고리즘]

▶ 인터페이스 설계 및 교합부 관리

- 모듈을 서로 연결 시키기 위해서는 모듈이 서로 인접한 면 선택 기능
- 연결되는 모듈의 격자점의 위치를 재정의, 모듈간의 격자점을 연결
- 모듈 간의 인접한 면의 격자점의 연동 기능
- 재정의 된 격자점은 서로 연동, 모듈간의 Pipe Routing을 수행 기능



[그림. 인터페이스 설계]



[그림. 교합부 관리]

▶ 시제품 통합 S/W 작동여부

- 모듈 연동 정상작동 확인, Pipe Routing 최적화 정상작동 확인

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 모듈 간의 관계와 Pipe의 교합부를 연동하기 위해 모듈 인터페이스 개발하여 Pipe Routing을 수행함

▶ 설계공간의 한 면은 인접공간의 한 면과 연결되므로 연결되는 2면(연결되는 면에 따라 격자점의 간격이 변함)에 대해 관리 할 수 있도록 함

▶ 모듈B (연결되는면)의 격자점을 재정의 할 때 간격은 모듈A(인접하는 면) 격자점 간격의 약수, 배수만 가능하게 알고리즘을 정의 하였고 정상 작동함

▶ 재정의 된 격자점은 서로 연동 되게 수행함

▶ 재정의 된 격자점을 이용하여 모듈간의 Pipe를 연동, Pipe Routing 수행함

(나) 향후 계획

▶ 인접하는 면의 격자점을 재정의할 때 최적의 간격을 제안하는 방법을 개발

▶ 사용자의 편의를 위하여 Pipe Routing결과를 실제 Pipe의 크기표현, 엘보우(Elbow)를 실제 크기를 반영하여 가시화 처리

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (5차년도)
연동 및 통합 모듈 케이스스터디 개수	서로 다른 모듈 간(Module to Module) 또는 동일 모듈 내 다른 공간 간(Space to Space in Module) 교합부의 상호 인터페이스 설계 및 관리기능의 작동여부 검토를 위한 시나리오에 대한 케이스스터디가 필요함	2건
시제품 통합 S/W 작동여부	케이스 스터디를 위한 모듈 연동 및 통합 인터페이스 설계 및 교합부 시제품 통합 S/W 작동여부를 검토할 수 있음	시제품 통합 S/W 개발 및 테스트 보고서 1건

(가) 정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
연동 및 통합 모듈 케이스스터디 개수	S/W 작동	2개의 케이스스터디 시나리오를 가정하고 S/W 작동으로 구현되는지 확인함	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성
시제품 통합 S/W 작동여부	S/W 작동	시제품 통합 S/W에서 위의 2개 케이스스터디 시나리오를 직접 수행하고 검토결과 등을 보고서를 통해 확인할 수 있음	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업 단위 모듈 간의 관계와 모듈 내 여러 필요 공간 (장비 공간, 이동 통로 공간 등) 과 Pipe 의 교합부를 시스템적으로 관리하기 위한 S/W 실용화 테스트

(가) 연구 내용

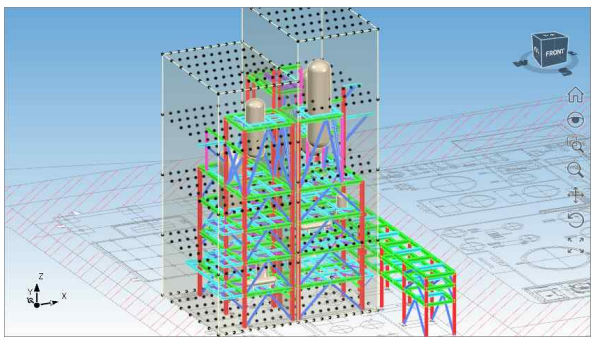
▶ 기 수행된 실제 프로젝트를 통한 실용화 모델 개발

▶ 모듈간의 격자점이 서로 연동되어 Pipe Routing을 수행하는 케이스 스터티를 수행함

(2) 수행 내용

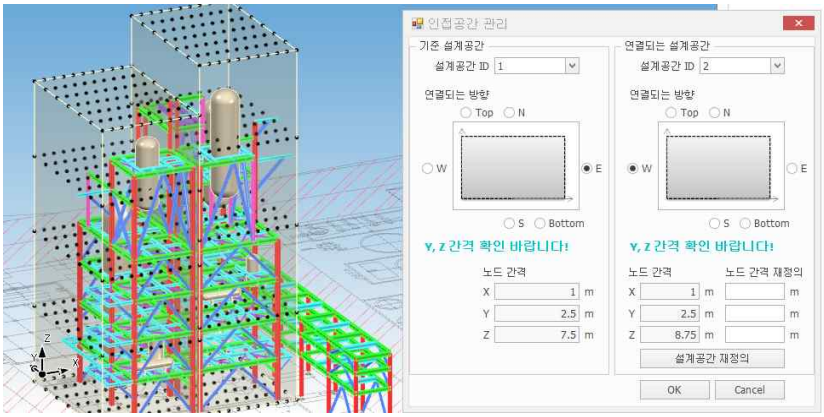
▶ 케이스스터디 1

- 서로 다른 모듈간의 교합부 연동, Pipe Routing을 수행
- 2개의 모듈 생성



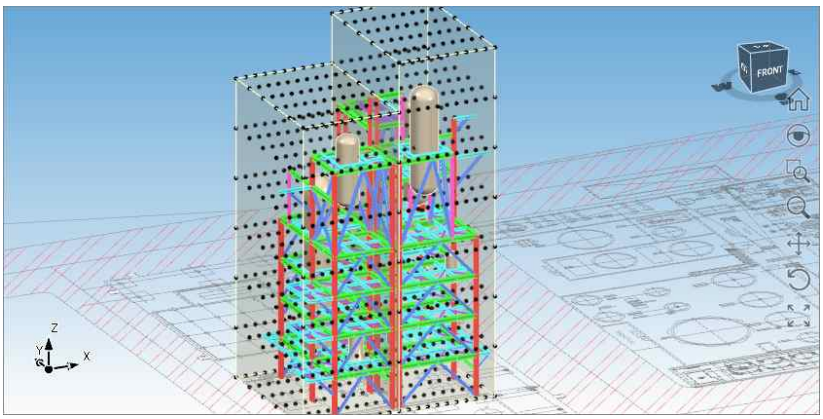
[그림. 케이스스터디1-설계공간 생성]

- 격자점의 위치가 서로 달라 연동 할 수 없어 인접한 면의 격자점을 재정의



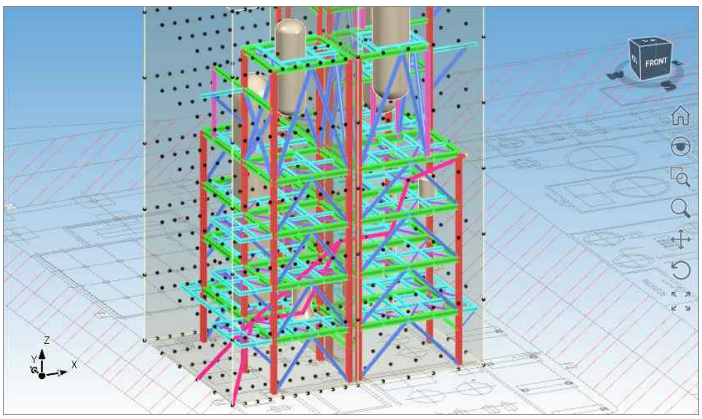
[그림. 케이스스터디1-교합부 관리]

- 격자점 재정의, 교합부 연동



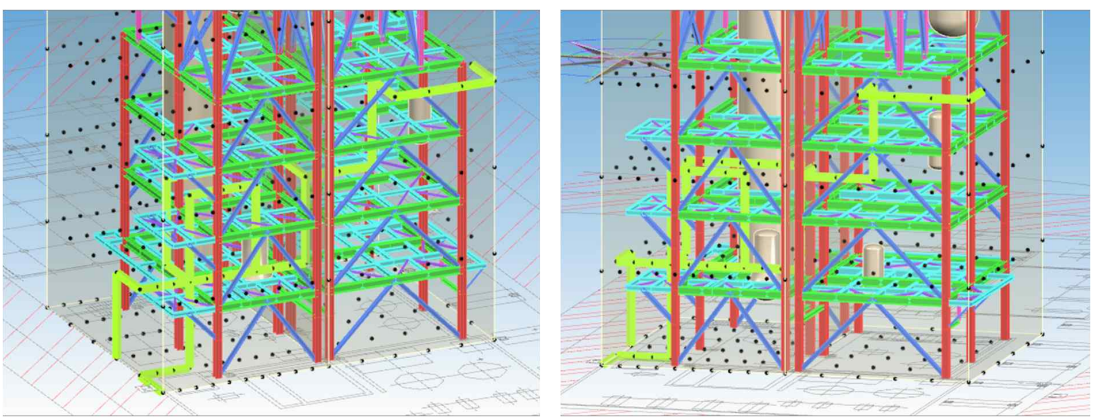
[그림. 케이스스터디1-교합부 연동]

- Routing Path 설정



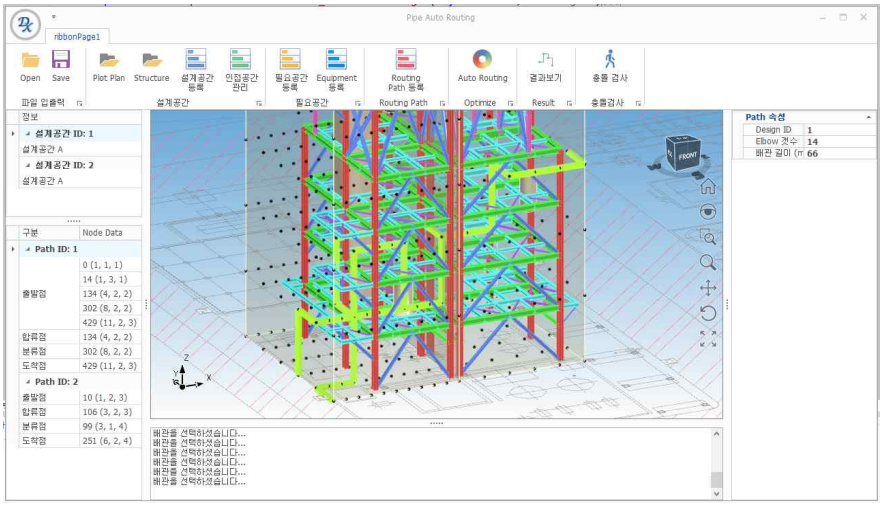
[그림. 케이스스터디1-Routing Path 설정]

- 모듈간의 Pipe Routing 수행



[그림. 케이스스터디1-교합부 연동]

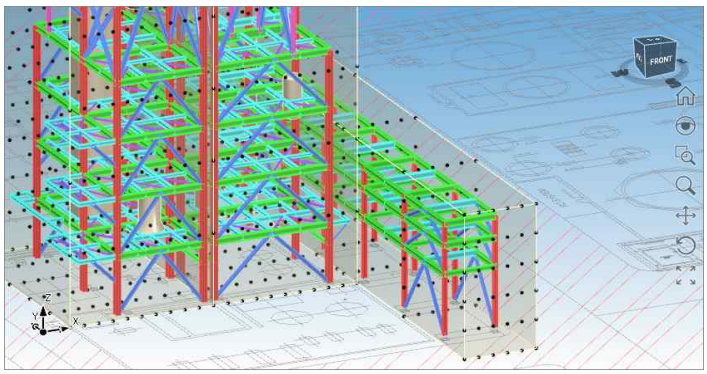
- 설계공간, Path, Routing에 대한 정보를 화면에서 확인



[그림. 케이스스터디1-Routing 결과]

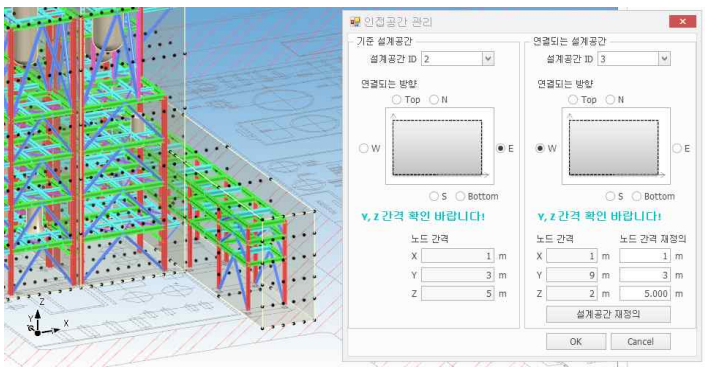
▶ 케이스스터디 2

- 서로 다른 모듈간의 교합부 연동, Pipe Routing을 수행
- 2개의 모듈 생성



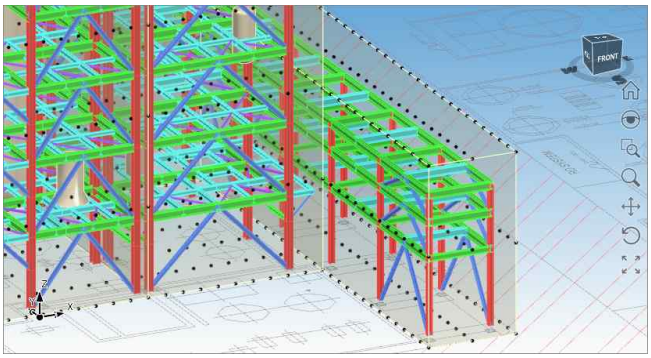
[그림. 케이스스터디2-설계공간 생성]

- 격자점의 위치가 서로 달라 연동 할 수 없어 인접한 면의 격자점을 재정의



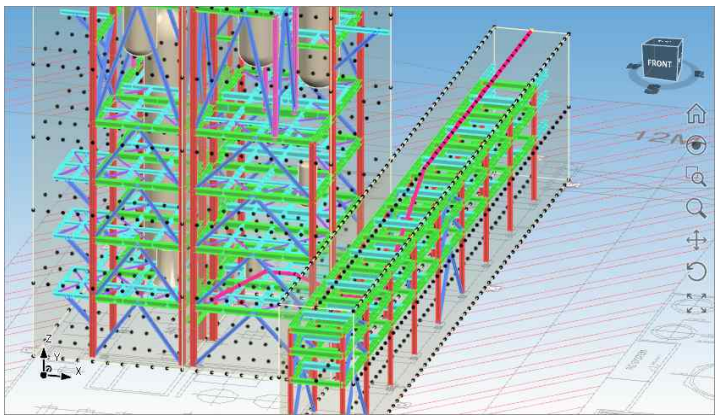
[그림. 케이스스터디2-교합부 관리]

- 격자점 재정의, 교합부 연동



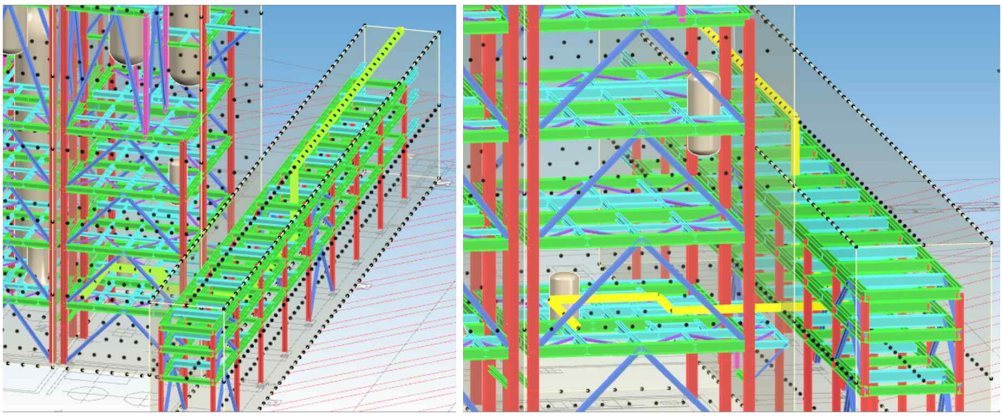
[그림. 케이스스터디2-교합부 연동]

- Routing Path 설정



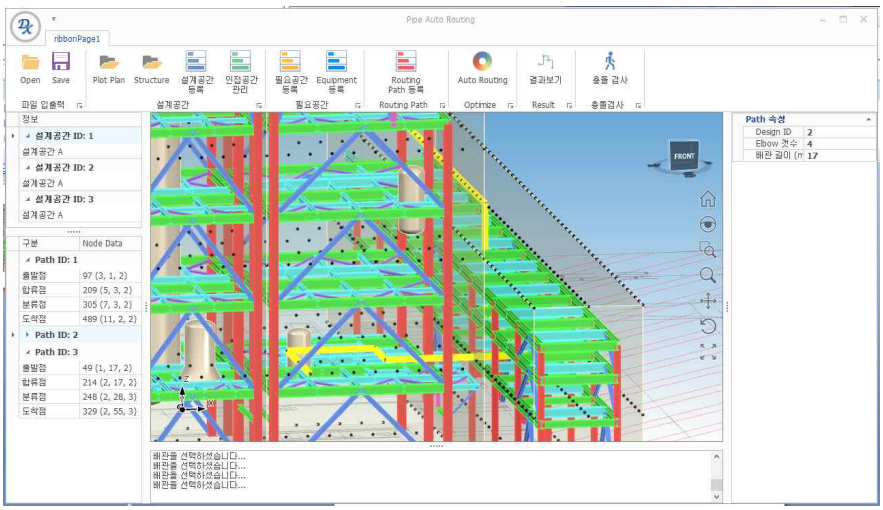
[그림. 케이스스터디2-Routing Path 설정]

- 모듈간의 Pipe Routing 수행



[그림. 케이스스터디2-교합부 연동]

- 설계공간, Path, Routing에 대한 정보를 화면에서 확인



[그림. 케이스스터디2-Routing 결과]

▶ 시제품 통합 S/W 작동여부

- 모듈 연동 정상작동 확인, Pipe Routing 최적화 정상작동 확인

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 모듈 간의 관계와 Pipe의 교합부를 연동하기 위해 모듈 인터페이스 개발, 교합부를 연동하여 Pipe Routing을 수행함

▶ 모듈B (연결되는면)의 격자점을 재정의 할 때 간격은 모듈A(인접하는 면) 격자점 간격의 약수, 배수만 가능하게 알고리즘을 정의 하였고 정상 작동함

▶ 재정의 된 격자점을 이용하여 모듈간의 Pipe를 연동, Pipe Routing 수행함

바) [A-6] 인터페이스 설계 지침서

(1) 개요

(가) 연구목적

▶ 원가관점에서 본다면 모듈분할, 최적배치도 중요한 사항이지만 단위 모듈을 설치할 때 모듈과 모듈을 연결하는 Hook up(혹은 인터페이스)도 매우 중요한 사항이다. 큰 모듈을 이송해 와서 우선적으로 구조적 관점에서의 모듈 간 수평적 그리고 수직적 결합을 위해 검토되어야 될 부분이 많이 있다. 그리고 단위 모듈 내에 배치되는 많은 설비들 간의 연결을 어떠한 개념으로 분할해서 결합할 것인가도 사전에 검토 되어야만 된다. 본 연구에서는 상기와 같은 검토내용을 기반으로 하는 요구사항 분석과 설계 지침서 작성을 목적으로 한다.

▶ 모듈화 프로젝트를 진행할 때, 모듈분할 및 최적배치도 중요한 사항이지만 해당하는 단위 모듈을 설치할 때 모듈과 모듈을 연결하는 Hook up(혹은 인터페이스)도 매우 중요한 사항이다.

▶ 단순한 모듈내의 설계뿐 아니라 모듈을 이송해 와서 구조적 관점에서의 모듈 간 수평적 그리고 수직적 결합을 위해 검토되어야 될 부분이 많이 있으며, 이는 시공초기부터 시공기간 및 비용에 많은 영향을 미치기 때문에 인터페이스에 대한 설계는 매우 중요하다.

▶ 단위 모듈간에 연결되는 적지 않은 배관 및 cable tray의 연결에 대해서 초기에 제대로 검토되지 않는다면 향후 공사 및 설계에도 많은 변경을 가져 올 수 있다.

▶ 위와 같이 모듈내부 뿐 아니라 모듈과 모듈간의 결합과 관련하여, 배관, 전기 및 구조의 입장에서 기능적 인터페이스 설계지침서를 작성.

(나) 연구내용

▶ 본 연구 당해 연도에는 국내기업이 해외에서 수주한 플랜트건설 프로젝트를 모듈단위로 설계하여 운송 및 시공까지 완료한 실증사례를 가지고 인터페이스 관점에서 다음과 같은 내용을 검토하였다.

- 실증프로젝트로 검증을 통해 인터페이스 배관설계 사례 조사
- 인터페이스 배관 설계기법 및 설계방법 기준 정립
- 모듈 결합 시 예상되는 인터페이스 문제점 정리 및 대책 수립
- 국내외 모듈화 프로젝트 사례를 통해 모듈 간 인터페이스를 고려한 배관설계 및 전기제어 Cable tray 설계사례를 분석 및 연구함.
- 배관분야에 있어서 모듈간 인터페이스를 연결하기 위해 배관분야와 관련하여 기능적으로 요구되는 기술 및 설계방법에 대한 기준을 정립 및 기술
- 모듈과 모듈을 결합할 때 현장에서 많이 발생하는 문제점을 조사 및 기술
- 위의 문제점을 최소화 할 수 있는 방법론을 조사 및 기술

▶ 상기 요구사항을 기반으로 하는 공간적 인터페이스 설계를 위한 지침서 구성 및 내용정리

(1) 수행내용

▶ 요구사항 분석을 위한 수행내용

- 실증프로젝트에 있어서의 모듈 인터페이스 사례 조사
- 실증프로젝트로 검증을 통한 인터페이스 배관설계 사례 조사
- 실증프로젝트에 적용된 인터페이스 배관설계 기법 확인
- 실증프로젝트에 적용된 인터페이스 Joint 배관설계 기법 확인
- 모듈 분할 및 결합 시 예상되는 인터페이스 관련 문제점 검토 및 대책 확인
- 인터페이스에 적용된 설계 기법 확인

▶ 모듈간 인터페이스에 관련된 요구사항을 바탕으로 기능적 인터페이스 설계 지침서를 작성

- 국내외 모듈화프로젝트의 실증사례를 가지고 해당 프로젝트의 모듈 간 인터페이스 사례 연구
- 국내외 모듈화프로젝트의 실증사례 검증을 통하여 배관의 측면에서 인터페이스 설계 사례를 연구
- 실증프로젝트에서 사용된 배관설계방법론에 대한 연구 및 기술
- 실증프로젝트에 적용된 배관 및 cabletray 인터페이스 Joint 설계방법론에 대한 연구 및 기술
- 공사현장에서 모듈을 결합 시 예상되는 인터페이스 관련 문제점을 국내외 모듈화 프로젝트의 실제사례에서 조사하였으며, 그에 맞는 해결방법론에 대한 조사 및 기술.
- 모듈화 인터페이스 설계에 적용된 기타 전기 및 구조의 설계기법 연구 및 기술

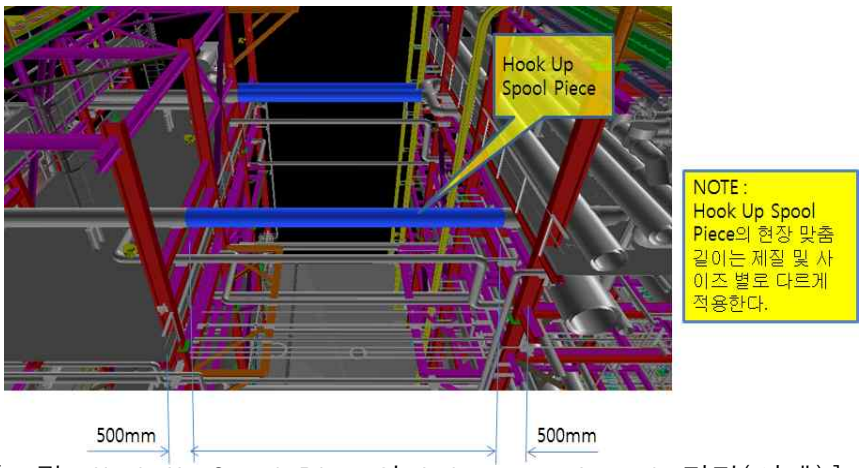
(2) 결론

(가) 주요결과

▶ 구체적 내용은 #산출물A-6-1,2 참조(모듈화 인터페이스 요구사항 분석 보고서 / 공간적 인터페이스 설계 지침서)

▶ 공간적 인터페이스 요구상항

- Hook Up Spool Piece의 경제적 현장 맞춤 길이 결정.
- 건축 및 토목 공차에 의한 Miss Alinement 방지.
- 열팽창 및 이동 시 발생하는 Movement에 의한 배관 Miss Alinement 방지.
- Interface welding Joint에 대한 Hydro Test or R/T 방법 사전 확인.



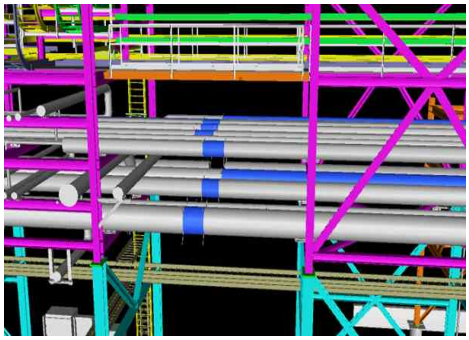
[그림. Hook Up Spool Piece의 Adjustment Length 결정(사례)]

▶ 기능적 인터페이스 요구상항

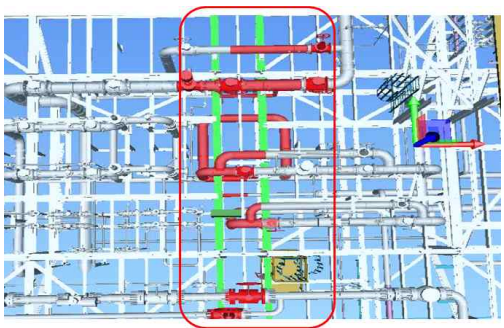
- Butt weld에 의한 방법.
- Flange Joint에 의한 방법
- 배관 부품 등 혼합 방식에 의한 방법.
- Butt weld에 의한 방법.
- Flange Joint에 의한 방법
- 배관 부품 등 혼합 방식에 의한 방법
- Field Joint를 고려한 cable tray 연결 방법



[그림 Butt weld에 의한 방법]



[그림 Flange Joint에 의한 방법]



[그림 배관 부품 및 spool piece에 의한 방법]

(나) 향후계획

▶ 다양한 모듈화 Project 의 설계 사례를 분석하여 Up-date 함.

▶ 공간적 최적배치 지침서를 활용한 모듈설계를 통해 모듈설계 시 발생되는 오류를 최소화 하기 위해 폭 넓은 실증 Project에 Test 를 수행함.

사) [A-7] 플랜트 모듈 Weight Balance 설계 S/W 모듈

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업단위 모듈의 운송 및 시공에 있어서 weight balance의 부적절한 설계로 인해 사고 및 파손이 발생할 수 있다. 이러한 사고를 예방하고 경제성을 확보하기 위해 weight balance의 최적설계가 요구된다. 플랜트 모듈의 원활한 선적/하역 및 현장분류/건설을 지원하기 위한 weight balance 최적설계 소프트웨어를 개발하는데 목적이 있다.

(나) 연구 내용

▶ 건설 현장에서 플랜트 모듈을 시공하는데 있어, 플랜트 모듈의 무게 혹은 weight balance에 따른 크레인의 적절한 선정은 시공 안정성을 확보하는데 중요한 작업이다. 현재는 경험에 의존하여 크레인 선정을 하고 있으며, 시공 안정성에 대한 검토가 부족할 시 크레인 전복 및 인명 사고로 이어질 수 있다. 본 연구에서는 경험 의존의 운영을 탈피하고, 시공 안정성에 대한 객관성 확보에 도움을 줄 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

▶ 건설 현장에서 플랜트 모듈을 시공하는데 있어, 플랜트 모듈의 무게 중심 (Center of Gravity, COG)의 위치는 weight balance를 유지하는데 중요한 요소이다. 무게 중심의 위치가 중앙 혹은 Lifting Point에서 많이 벗어 날 경우, 시공 중에 불안 요소가 되며 일반적으로 5% 이내에 위치하는 것을 추천한다. 무게 중심의 위치가 벗어날 경우 반대의 위치에 Counter Mass를 부착하여 무게 중심의 위치를 보정한다. 본 연구에서는 Counter Mass를 활용함에 있어 가이드라인을 제공할 수 있도록 알고리즘을 개발하고, 개발된 알고리즘을 사용자가 손쉽게 활용할 수 있도록 소프트웨어를 구축하였다.

▶ 플랜트 모듈을 육상에서 운송하는데 많이 사용되는 Self-propelled Modular Transporter (SPMT)를 제공하는 다양한 제작사와 다양한 모델이 있다. 프로젝트 수행 중 SPMT 사양 선정 의 주요 요구 조건은 플랜트 모듈의 무게 load를 견딜 수 있어야 한다. 플랜트 모듈을 weighing한 상태에서 SPMT에 가해지는 최대 응력을 계산해주는 SPMT 구조 설계 회귀식을 도출하였다. 이 회귀식을 이용하여 플랜트 운송 담당자는 SPMT 모델 및 사양 선정에 활용 가능하다.



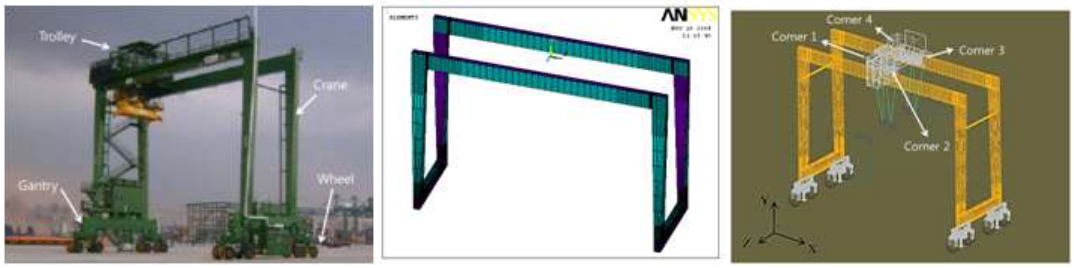
플랜트 모듈 Weight Balance 설계 소프트웨어 모듈 개발 프로세스

(2) 수행 내용

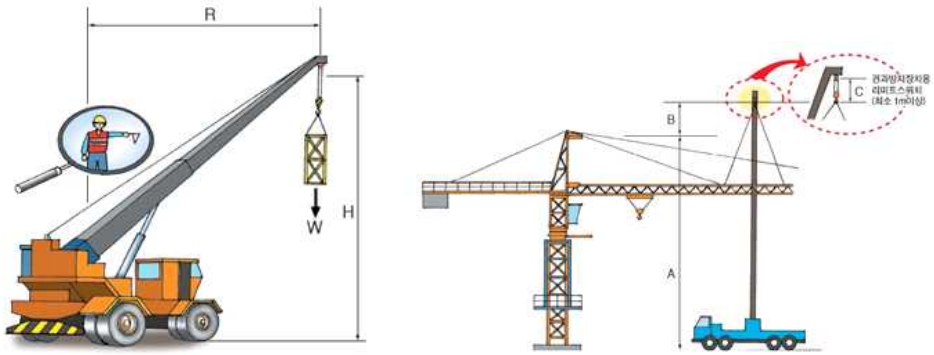
▶ Weight balance과 시공 안정성 관련 연구사례 조사를 수행하였다. 시공 중에 많이 발생하는 사고인 크레인의 안정성에 대해 집중적으로 조사하였다.

- 이동식 크레인의 접지설계 시스템
- 컨테이너 하역작업 시 갠트리 크레인의 유연다물체 동역학 모델링 및 윤하중 해석

- 건설현장의 조건을 고려한 최적 타워크레인 선정시스템
- 이동식 크레인 선정기준



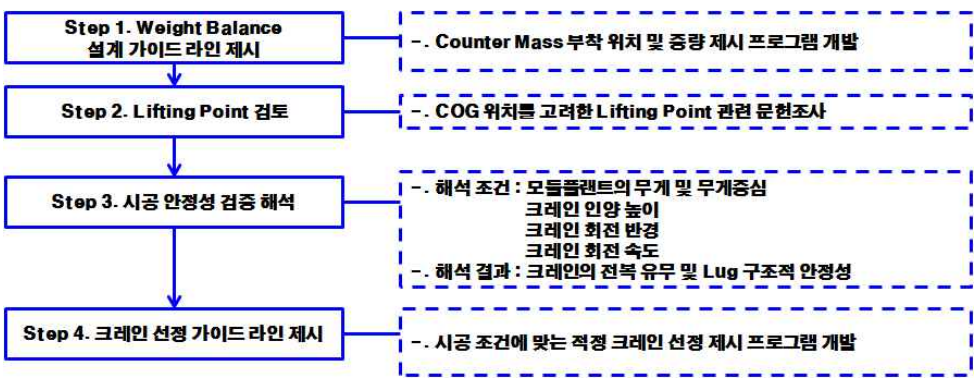
컨테이너 하역작업 시 갠트리 크레인의 유연다물체 동역학 모델링 및 윤하중 해석



이동식 크레인 선정기준

▶ 상용 프로그램 및 조사된 연구사례, 크레인 분석결과를 바탕으로 플랜트 모듈의 weight balance 최적 설계 software의 요구분석을 수행하였다.

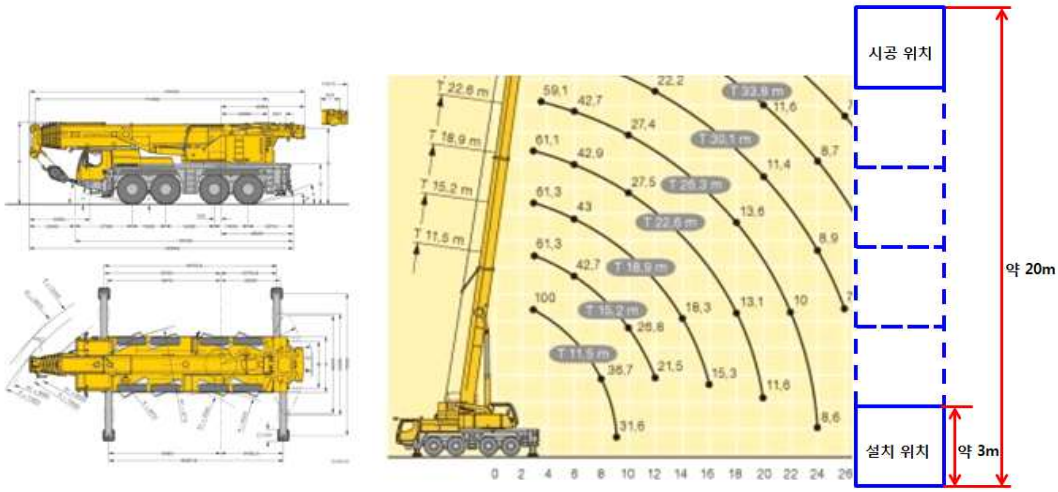
- 플랜트 모듈 시공 중 Weigh Balance에 영향을 미치는 인자는 아래와 같다.
  - 모듈 플랜트 COG
  - Balance Weight 설치 가이드라인
  - Lifting Point 선정 가이드라인
- 플랜트 모듈 시공 중 안정성에 영향을 미치는 인자(크레인 Spec.)는 아래와 같다.
  - 플랜트 모듈 중량
  - 크레인 종류
  - 인양 높이
  - 작동 반경
  - 작동 속도



시공성 검증 S/W 개발 프로세스

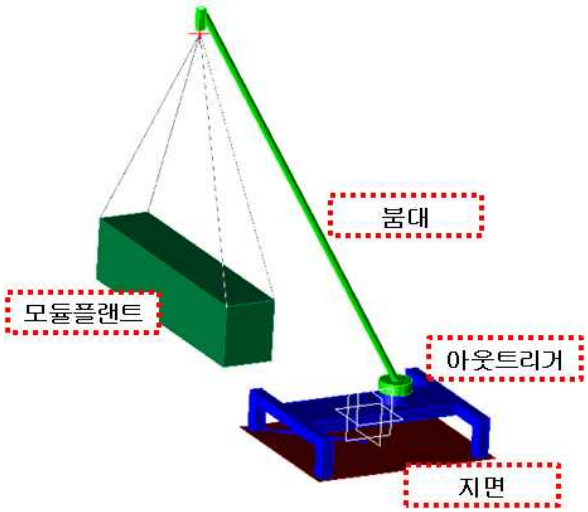
▶ 플랜트 모듈의 weight balance 최적 설계 및 시공 안정성 검증 진행방안 중 시공 안정성의 해석적 검증방안에 대해 수행하였다.

- 플랜트 모듈 및 이동식 크레인 선정



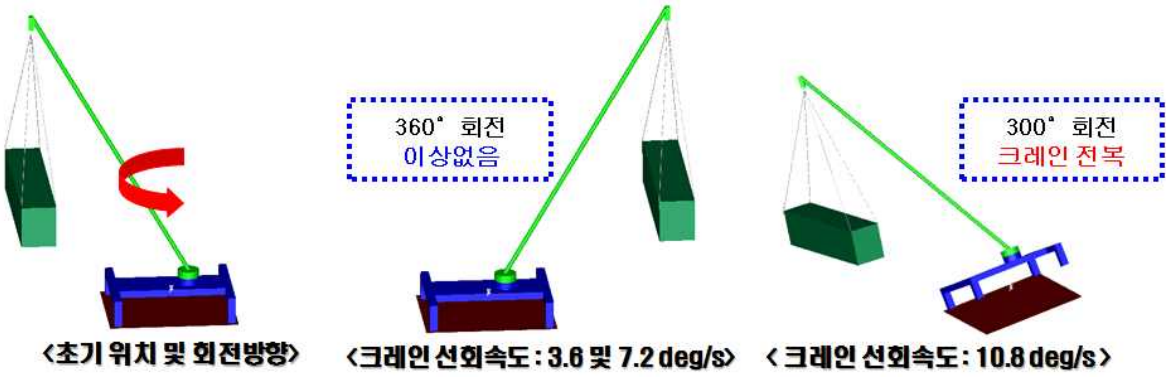
이동식 크레인 Spec.(좌) 및 예상 시공 위치(우)

- 동역학 해석 모델

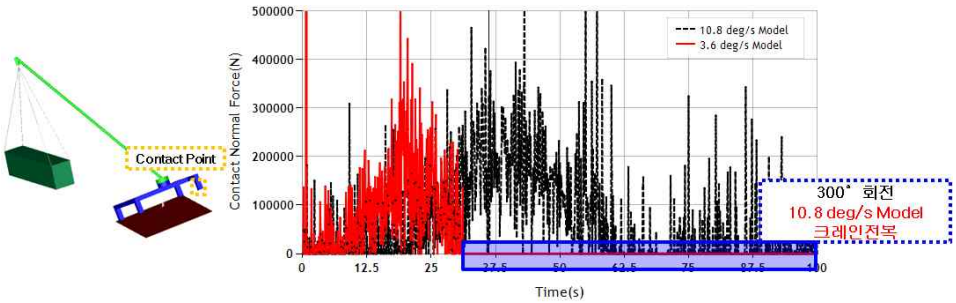


동역학 모델

- 동역학 해석 결과
  - 플랜트 모듈 중량에 따른 크레인 안정성 motion, contact force 동역학 해석
  - 플랜트 모듈 무게중심에 따른 크레인 안정성 motion, contact force 동역학 해석
  - 크레인 선회 속도에 따른 크레인 안정성 motion, contact force 동역학 해석



선회속도 변경모델 해석 결과 (motion)

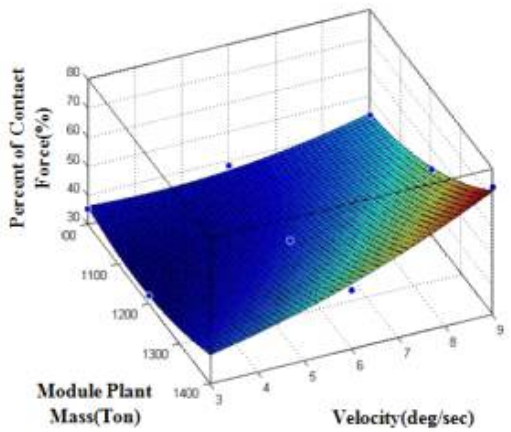


선회속도 변경모델 해석 결과 (contact force)

▶ 플랜트 모듈 무게가 크레인의 Contact Force에 미치는 양향을 동역학 해석으로 분석하였다.

$$\text{Percent of Contact Force(\%)} = \text{Contact Force} / \text{Total Mass(Module Plant + Crane)} \times 100$$

- Percent of Contact Force가 70% 이상 발생할 경우, 편심에 의해 크레인이 기울거나 전복이 되는 것을 확인할 수 있었다.
- 플랜트 모듈의 무게와 입력 하중에 따른 Percent of Contact Force를 분석하였다.
- 운전 속도에 따른 플랜트 모듈 무게의 영향을 분석하기 위해 파라미터를 3수준으로 설정하였으며, surface fitting을 통해 회귀식을 도출하였다. 회귀식의 R-square 값은 0.9892로 도출된 회귀식의 신뢰성을 확인하였다. Surface fitting 결과 및 회귀식은 그림에 나타내었다.

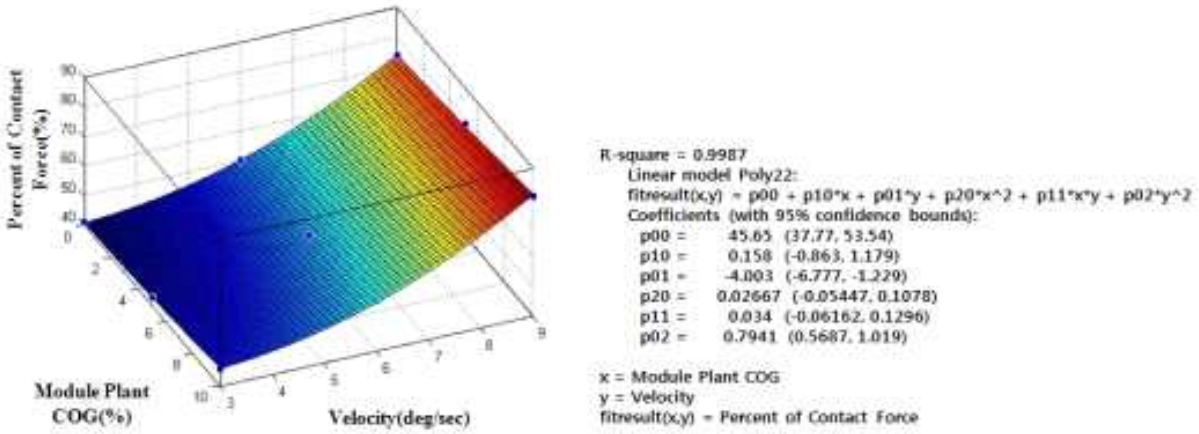


R-square = 0.9892
Linear model Poly22:
fitresult(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p00 = 249.8 (75.72, 423.8)
p10 = -0.3388 (-0.6258, -0.05175)
p01 = -13.72 (-22.99, -4.449)
p20 = 0.0001324 (1.377e-005, 0.0002511)
p11 = 0.01011 (0.00452, 0.01571)
p02 = 0.413 (-0.1143, 0.9403)

x = Module Plant Mass
y = Velocity
fitresult(x,y) = Percent of Contact Force

플랜트 모듈 무게의 Percent of Contact Force에 미치는 영향 분석 Surface Fitting 및 회귀식

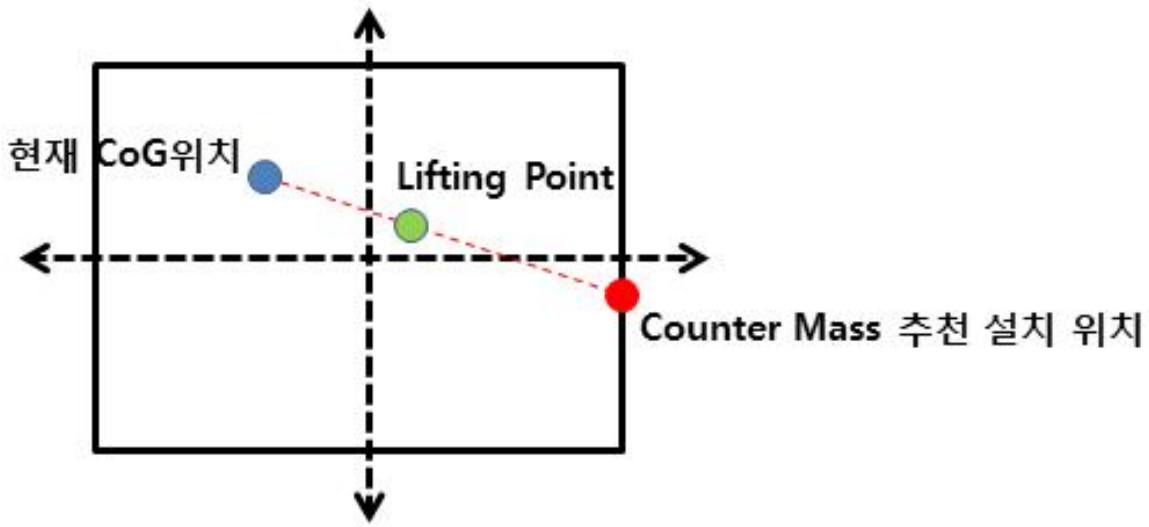
- 플랜트 모듈의 COG와 입력하중에 따른 Contact Force를 분석하였다.
- 운전 속도에 따른 플랜트 모듈 COG의 영향을 분석하기 위해 파라미터를 3수준으로 설정하였으며, surface fitting을 통해 회귀식을 도출하였다. 회귀식의 R-square 값은 0.9987로 도출된 회귀식의 신뢰성을 확인하였다. Surface fitting 결과 및 회귀식은 그림에 나타내었다.
-



플랜트 모듈 COG 위치의 Percent of Contact Force에 미치는 영향 분석 Surface Fitting 및 회귀식

▶ 플랜트 모듈의 무게 중심이 설계 기준 (예: Lifting Point와의 간격 5% 이내)을 만족시키도록 Counter Mass를 설치함에 있어 가이드라인 프로그램을 개발하였다.

- 입력 조건: 플랜트 모듈 무게, 사이즈, 무게 중심 위치, Lifting Point 위치
- 출력 결과: 무게 중심의 설계 기준 만족 여부 적정성, Counter Mass 설치 위치 및 무게

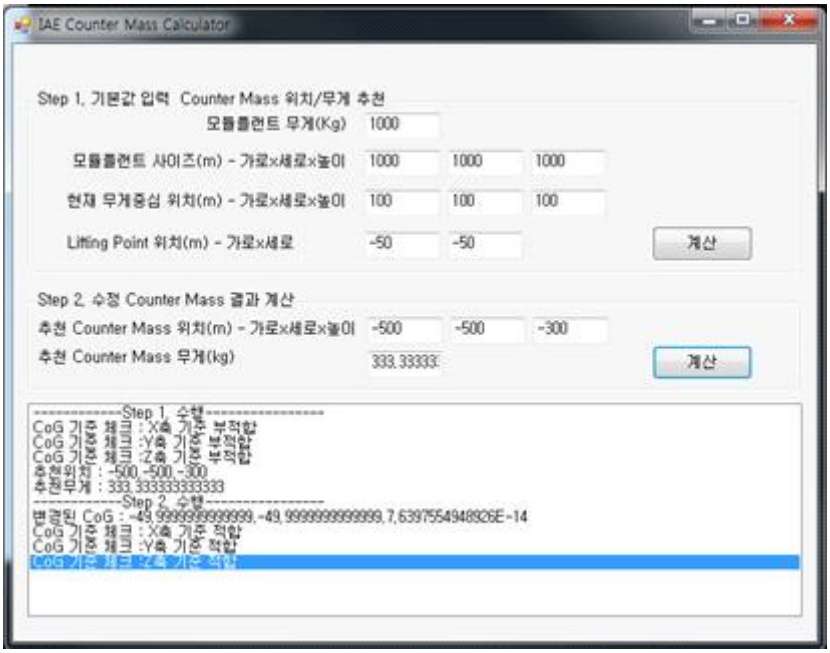


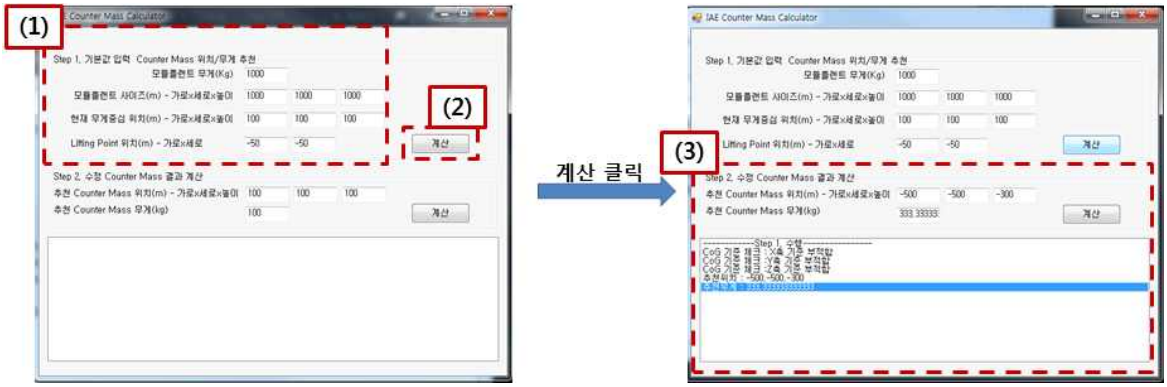
Counter Mass 설치 위치 설정

▶ Counter Mass의 무게를 도출하는 식은 아래와 같으며 소프트웨어 사용자 인터페이스는 그림과 같다.

$$M_c = \frac{x_L \cdot M_p - x_p \cdot M_p}{x_c - x_L}$$

$*y$축, z축 동일하게 계산

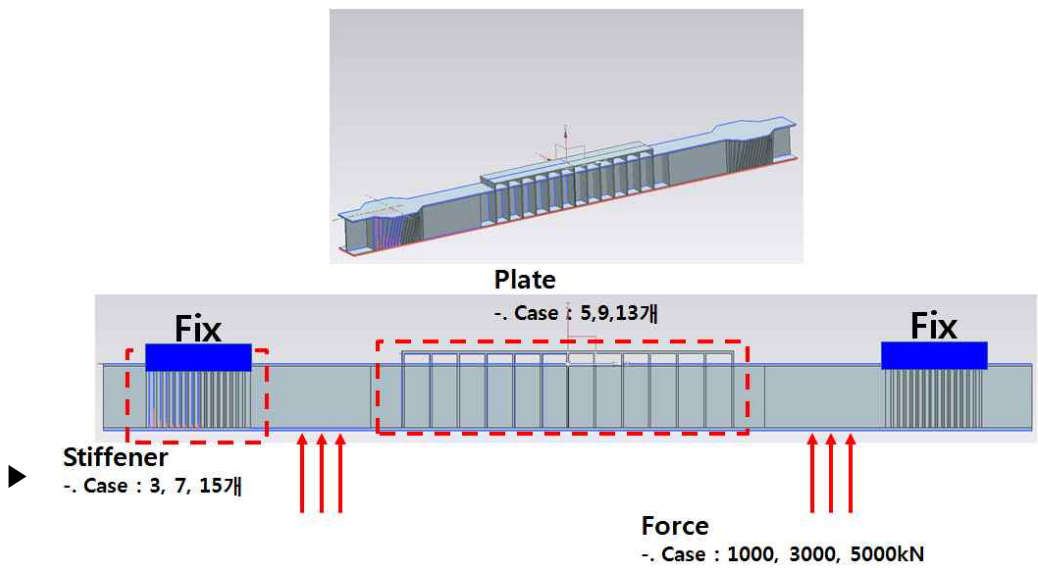




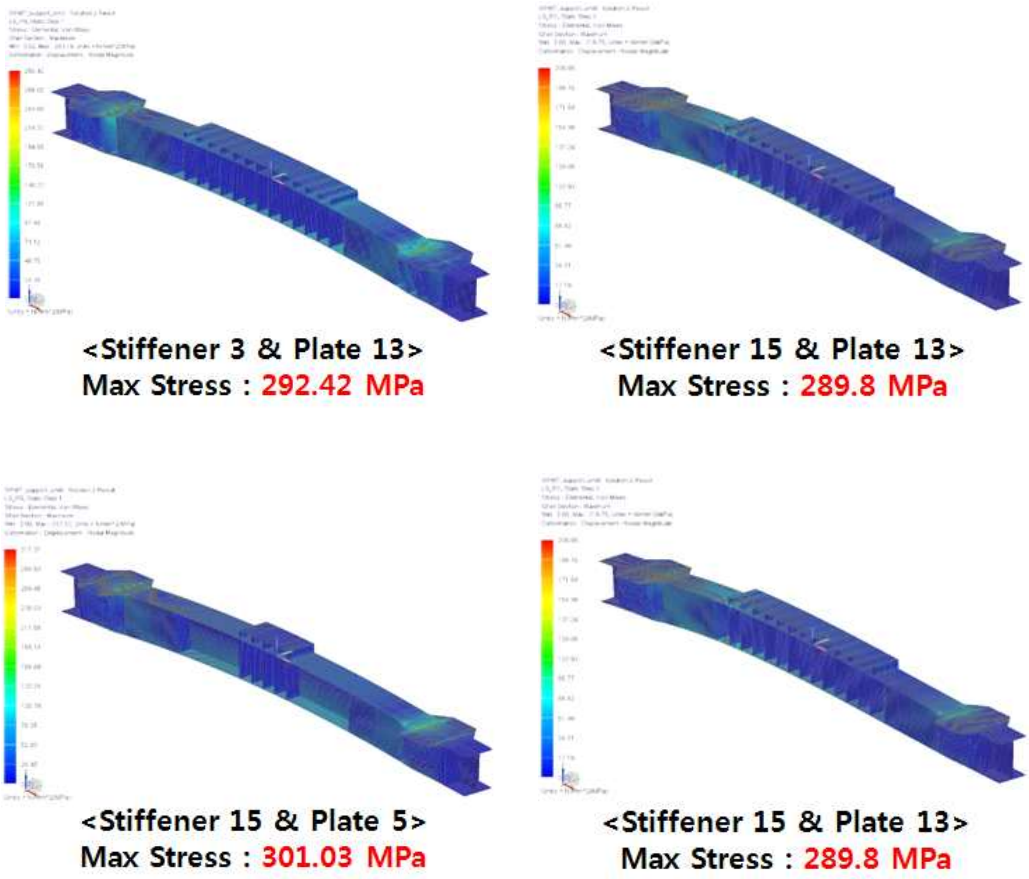
플랜트 모듈 Counter Mass 설치 위치 및 무게 계산용 데이터 입력 및 계산 결과

▶ SPMT 지지대 구조 모델링 및 최대 응력 계산과 설계 회귀식 도출

- 플랜트 모듈 육상 운송용 SPMT 지지대의 구조 형상인 stiffener 갯수, plate 개수와 SPMT 구동부가 SPMT 지지대를 아래에서 위로 받쳐주는 하중를 입력하면 SPMT 지지대에 걸리는 최대 응력을 계산해준다.



SPMT 지지대 해석 모델



SPMT 지지대 해석 결과

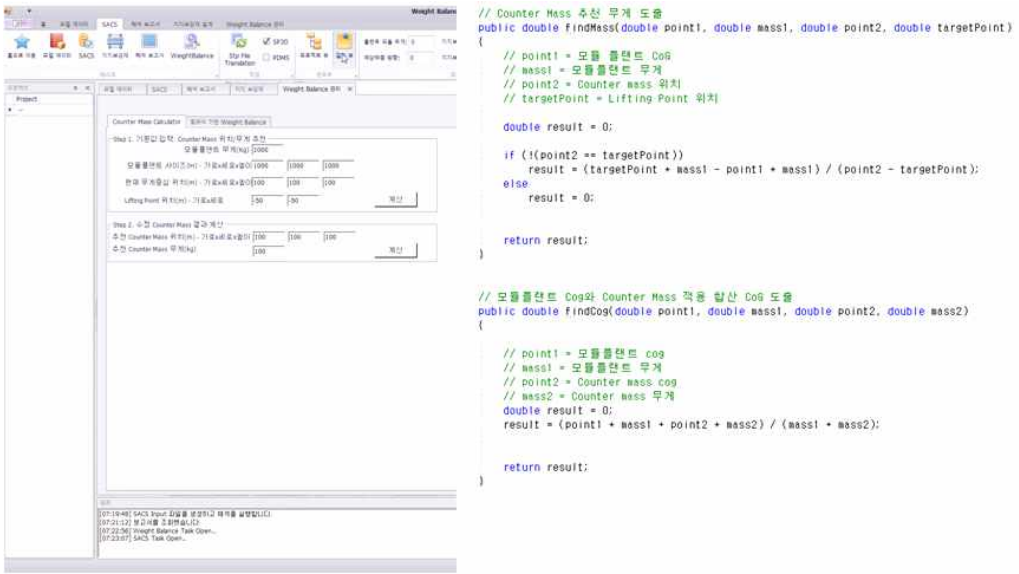
- 다음과 같은 다중 회귀 모형을 활용하여 SPMT 지지대 설계 회귀식을 도출하였으며 SPMT에 걸리는 최대 응력을 검토하여 SPMT 모델 및 사양 선정에 활용될 수 있다.

$$Stress = \beta_0 + \beta_1 \cdot Stiffner + \beta_2 \cdot plate + \beta_3 \cdot forceL + \beta_1 \cdot forceR$$

$$\beta_0 = 29.0611$$
$$\beta_1 = -0.5727$$
$$\beta_2 = -0.7010$$
$$\beta_3 = 0.0284$$
$$\beta_4 = 0.0290$$

- Stiffener: stiffener 개수
- Plate: plate 개수
- forceL: 좌측 반발 하중
- forceR: 우측 반발 하중
- β: 회귀식 도출 결과 계수

▶ Weight Balance 응용 프로그램 중의 하나인 Counter Mass Calculator의 사용자 인터페이스 화면 예는 그림과 같다.



```
// Counter Mass 추천 무게 도출
public double findMass(double point1, double mass1, double point2, double targetPoint)
{
    // point1 = 모듈 플랜트 CoG
    // mass1 = 모듈플랜트 무게
    // point2 = Counter mass 위치
    // targetPoint = Lifting Point 위치

    double result = 0;

    if (!(point2 == targetPoint))
        result = (targetPoint * mass1 - point1 * mass1) / (point2 - targetPoint);
    else
        result = 0;


    return result;
}

// 모듈플랜트 Cog와 Counter Mass 작용 합산 CoG 도출
public double findCog(double point1, double mass1, double point2, double mass2)
{

    // point1 = 모듈플랜트 cog
    // mass1 = 모듈플랜트 무게
    // point2 = Counter mass cog
    // mass2 = Counter mass 무게
    double result = 0;
    result = (point1 * mass1 + point2 * mass2) / (mass1 + mass2);


    return result;
}
```

Counter Mass Calculator 사용자 인터페이스

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 크레인을 활용한 플랜트 모듈 시공 시 안정성과 관련된 주요 파라미터는 플랜트 모듈의 무게 CoG 위치, 선회속도 등이 있으며 수준별로 크레인이 전복하는 것을 동역학 해석으로 구현하였다.

▶ 플랜트 모듈 weight에 의해 발생하는 관성력이 크레인 접지압을 상회할 경우 크레인이 전복된다.

▶ CoG의 위치와 Lifting Point의 위치가 정렬되지 않을 경우, 크레인 작업 시 안정성에 영향을 미친다.

▶ 크레인의 선회속도는 플랜트 모듈의 관성력을 결정하며 이로 의해 발생하는 힘이 크레인의 접지압을 상회할 경우 크레인이 전복된다.

▶ 플랜트 모듈 시공 시 안정성과 관련된 주요 파라미터는 크레인 모델, 플랜트 모듈의 무게, COG 위치, 선회속도로 도출되었으며, 이를 반영한 소프트웨어 구성을 제안하였다.

▶ 각 파라미터 및 하중의 변화에 따라 크레인에 발생하는 접지압을 동역학 해석으로 도출하였다. 크레인 운전 속도에 따른 플랜트 모듈 무게, COG의 영향을 surface fitting을 통해 분석하였으며, R-square 0.9 이상의 신뢰성 높은 회귀식을 도출하였다. 단일 파라미터의 영향뿐만 아니라, 파라미터 간 교호작용에 의한 영향을 분석하여 회귀식 및 알고리즘을 보완하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

▶ 플랜트 모듈 시공 중 Weight Balance를 만족시키기 위한 Counter Mass를 설치함에 있어, 가이드라인을 제시하기 위한 알고리즘을 설계하였으며, 이를 사용자가 활용하는데 수월하도록 소프트웨어를 구축하였다.

▶ 입력된 정보를 활용하여 최적의 Counter Mass 설치 위치와 무게를 제시하였으며, 활용의 용이성을 위해 사용자가 Counter Mass 정보를 수정하였을 때의 최종 무게 중심 위치 및 적합성 여부를 판별할 수 있도록 구성하였다.

▶ 플랜트 모듈 육상 운송용 SPMT 지지대 구조 해석 및 설계 회귀식을 도출하였다. 플랜트 모듈의 하중을 지탱하여 육상 운송이 원활히 진행되도록 SPMT 모델 및 사양 선정 시 설계 회귀식을 활용할 수 있도록 하였다.

▶ Weight Balance 설계를 위한 플랜트 모듈 프로젝트 및 정보 관리 등 S/W 플랫폼을 구현하였다. Counter Mass Calculator와 같은 응용 프로그램의 사용자 인터페이스 등을 구현하여 사용자가 사용할 수 있도록 하였다.

(나) 향후 계획

▶ 현업에서 사용하는 크레인 상세 사양을 해석 모델에 반영하여 동역학 해석 정확도를 개선할 수 있다.

▶ 회귀식의 정확도를 실물 사양 데이터로 검증할 필요가 있다.

▶ Weight Balance를 만족시키기 위한 방법으로 Counter Mass의 현업 사용 편의성을 조사 분석하여 소프트웨어를 개선할 필요가 있다.

▶ 플랜트 모듈 지식기반시스템이 통합된 상태에서 원활하여 운영되도록 검증 및 개선이 필요하다.

아) [A-8] 플랜트 모듈 Weight Balance 설계 지침서

(1) 개요

(가) 연구목적

▶ 모듈화 Project 경우에는 Weight Balance분석은 모듈의 운송성과 시공성을 평가하는데 중요한 요소이다. 또한 외부환경과도 밀접한 연관이 있기 때문에 정확한 Weight Balance 분석이 이뤄져야 향후에 문제없이 프로젝트가 진행될 수 있다.

▶ 구조적 관점에서는 모듈 운송 및 하역 수단에 따라 구조물의 전체 무게 및 무게중심이 중요하며 전체 무게는 선박 운송일 경우에는 선박의 적재능력인 재화중량 관점에서 중요하고, 무게중심은 모듈을 탑재 혹은 하역 시 구조물의 안정성 확보에 중요하다고 할 수 있음.

▶ 운송 수단에 따라 자세하게 나눠 볼 수 있는데, 선박 운송일 경우 선박의 적재 및 운송능력의 관점에서 weight balance를 계산하여야 하며, 모듈을 탑재 혹은 하역 할 때에 안정성을 확보할 수 있도록 무게중심 계산하여야 한다.

▶ 운동역학적 관점에서는 선박운송 혹은 열차 등의 육상운송 시 운송 중 발생할 수 있는 Stability에 미치는 영향 분석을 사전에 해야만 함.

▶ 상기와 같은 관점에서 미루어 볼 때, Weight Balance는 설계 초기 단계부터 확실히 사전 검토가 이루어 져야만 되는 부분이며 이러한 기법개발을 위한 검토가 수행되어야 함

(나) 연구내용

▶ 모듈의 Weight Balance 요구상항에 관한 List 작성을 위한 자료 조사로서 다음과 같은 부분에 대한 지침서 개발함.

- Weight Control 조직 구성
- Trailer Load-out 시 요구 사항
- Lift Load-out 시 요구 사항
- Skidded Load-out시 요구 사항
- Weight Control & Weighing of Facilities
- Weighing Enviornment Conditions
- C.O.G Uncertainty Envelope Guidelines
- 모듈 운송 중 전도 에 대한 안전성 확보 및 안전율
- 모듈 Weight Balance 현장적용 검토

(1) 수행내용

- Weight Control 조직 구성도 작성
- Weight Balance 기본 개념

- Weighing 현장 적용 사례 검토
- Weighing Location 도면 작성 시 필요 사항 확인
- 각 Part 별 weight 제공 사례 확인
- Weight 변경 History 분석
- Weight & C.O.G 분석 비교
- Weight Control 보고서에 포함될 항목 및 고려사항 정리
- Trailer Load-out 시 요구 사항 정리
- Lift Load-out 시 요구 사항 정리
- Skidded Load-out시 요구 사항 정리
- Weighing Environment Conditions에 관한 조사내용 정리
- C.O.G Uncertainty Envelope Guidelines에 관한 조사내용 정리
- Weighing 측정 순서 정리
- Weighing Inform 공유에 필요한 조직도 구성 및 역할 정리
- 모듈 운송 중 전도에 대한 안전성 확보 및 안전율 조사정리
- 모듈 Weight Balance 현장적용 검토내용 정리
- 모듈화 Project 시 고려사항 확인

(2) 결론

(가) 주요결과

▶ 구체적 내용은 #산출물A-8-1,2 참조(플랜트 모듈 Weight Balance 설계기법 개발 보고서 / 설계 지침서)

▶ 모듈의 X, Y 방향 허용오차 범위 확인

▶ Weighing 시 Wind Load 조건에 대한 확인

▶ Lifting 시 편심 거리에 대한 허용 오차범위 확인

▶ Lifting 시 허용능력 확인 및 동적 확대계수 적용

▶ 모듈의 Weight 이력 관리를 위한 Weight Control Engineer 필수

▶ Weight Contingencies 는 Design 단계별 허용 오차범위 확인

▶ SPMT 운송 시 전도에 대한 안전율 확보

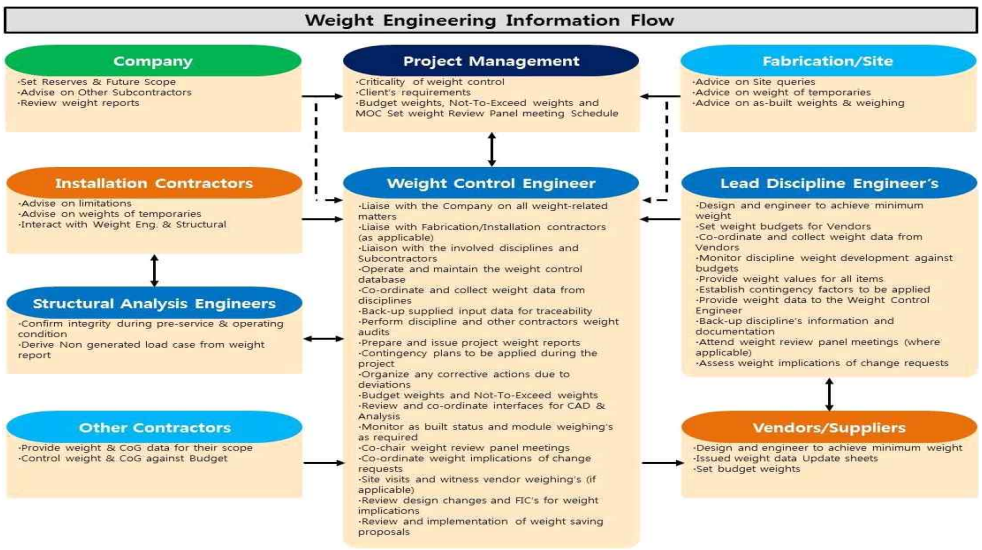
▶ 발주처 의 요구사항에 적합한 Weighing 조건 확인

▶ Weight 변경에 따른 History 분석 확인

▶ Weight Summary 시 유의 사항 확인

▶ 현장 Weighing 시 필요사항 확인

▶ Test Bed 에 적용하기 위한 필요사항 확인



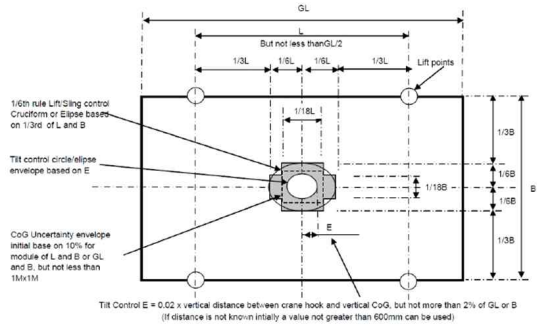
[그림. Weight Engineering Information Flow]

The following contingencies as given in table below are used on the net weight data in order to cater any weight or load variation, inaccuracy and further development during the progress of the design and fabrication stage.

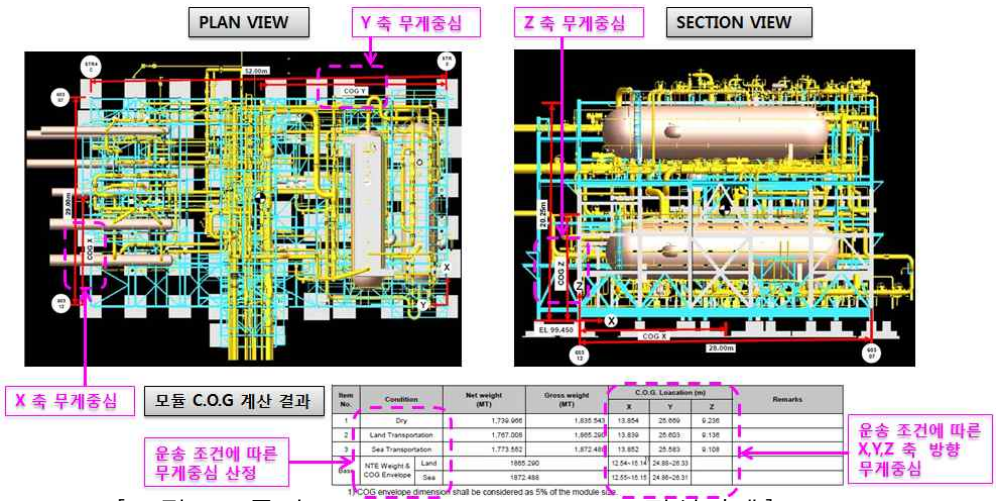
Weight Contingencies

Dead Load Type	Item	Basic Design	IFC	End of Fab
Type-1 (LC-1)	Structural modeled weight	10%	5%	3%
	Deck Plating & Grating	10%	5%	3%
	Architecture (Itemized)	10%	5%	3%
	Mechanical (Equipment)	10%	5%	3%
	Instrumentation (Itemized)	10%	5%	3%
	Fire & Safety	10%	5%	3%
Type-2 (LC-2)	Piping (Itemized)	10%	7%	3%
	Electrical (Itemized)	10%	7%	3%
Type-3 (LC-3)	Non Model structural	15%	5%	3%
	HVAC	15%	5%	3%
	Electrical (Bulk)	15%	5%	3%
Type-4 (LC-4)	Architecture (Bulk)	15%	7%	3%
	Piping (Bulk)	15%	7%	3%
	Instrumentation (Bulk)	15%	7%	3%
Type-5 (LC-5)	Temporaries	20%	10%	3%

[그림. 모듈의 Weight Contingencies]



[그림. C.O.G Uncertainty Envelope Guideline]



[그림. 모듈의 Weight Balance Report 작성사례]

(나) 향후계획

▶ 다양한 모듈화 Project 의 설계 사례를 분석하여 Up-date 함.

▶ Weight Balance 지침서를 활용한 모듈설계를 통해 모듈설계 시 발생되는 오류를 최소화 하기 위해 폭 넓은 실증 Project에 Test 를 수행함.

자) [A-9] 플랜트 모듈 지지보강재 설계 S/W 모듈

(1) 개요

(나) 연구 목적

▶ 협업단위 모듈의 운송 및 시공에 있어서 구조 설계의 미흡함으로 인해 사고 및 파손이 발생할 수 있다. 이러한 사고를 예방하고 경제성을 확보하기 위해 구조 설계 변경이 요구되며, 그 방법으로서 구조물 재질의 보강이나 지지보강재의 추가가 필요하다. 본 연구에서는 플랜트 모듈의 원활한 선적/하역 및 현장분류/건설을 지원하기 위한 지지보강재 설계 소프트웨어를 개발하는 데 목적이 있다.

(나) 연구 내용

▶ 플랜트 모듈의 육상 및 해양 운송에 있어서 지지보강재의 부적절한 설계로 인해 사고 및 파손이 발생할 수 있다. 이러한 사고를 예방하고 경제성을 확보하기 위해 지지보강재의 최적 설계가 요구된다. 본 연구에서는 플랜트 모듈 지지보강재의 최적 설계를 지원할 수 있는 소프트웨어 개발을 위해 요구사항 분석을 진행하였으며, 요구분석을 통해 도출된 파라미터가 지지보강재의 안정성에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다.

▶ 해양 플랜트 구조 해석 설계 분야에서 가장 많이 사용되는 상용 구조 해석 솔버를 기반으로 설계 안정성을 검토하고 해석 설계자의 편의성과 업무 효율성을 향상시키기 위한 플랫폼을 구축하였다.

▶ 플랜트 모듈의 육상 및 해양 운송에 있어서 구조 안전성을 확보할 목적으로 구조물에 추가적으로 부재를 임시로 부착하여 운송을 마치고난 후, 시공 현장 사이트에서 임시 부재를 탈착하여 시공하는 기존의 작업 절차를 시스템화하여 설계 개념을 보완한 지지보강재 설계 소프트웨어 모듈을 개발하였다.



플랜트 모듈 지지보강재 설계 소프트웨어 모듈 개발 프로세스

(2) 수행 내용

▶ 상용 플랜트 구조 해석 설계 소프트웨어 기능과 성능을 바탕으로 플랜트 모듈 지지보강재 설계 소프트웨어 요구사항 분석을 수행하였으며 지지보강재 설계에 영향을 미치는 인자는 아래와 같다.

- 플랜트 모듈 구조 해석 모델
- 운송 시 발생하는 외력
- 지지보강재 정보
- 형상, 재질, 각도
- 설치 및 제작 가이드

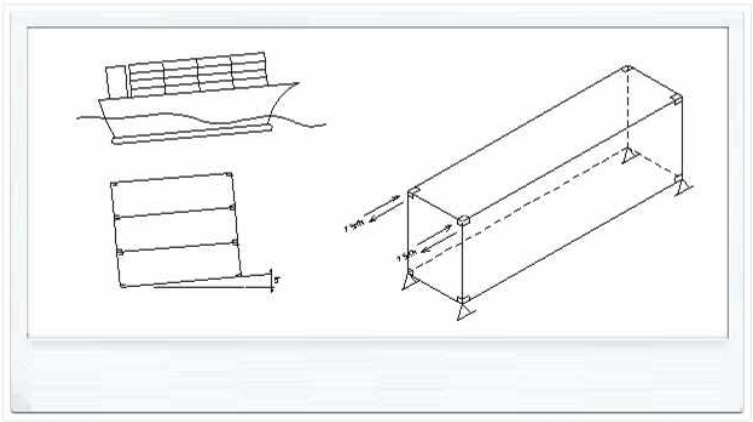
▶ 요구분석 결과를 바탕으로 플랜트 모듈 지지보강재 설계 및 구조적 안정성 검증 진행 방안을 아래와 같이 수립하였다. 지지보강재 설치 형태 (개수, 각도)에 따른 지지보강재에서 발생하는 최대 발생 응력을 검토하고, 지지보강재 설치 형태에 따른 회귀식을 도출하였다.



운송성 검증 S/W 개발 프로세스

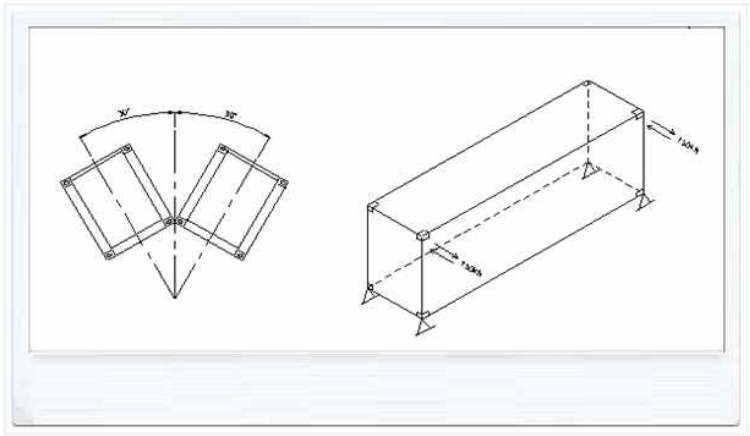
▶ 해상 운송에서 발생하는 외력을 검토하기 위해 해상 컨테이너 지침을 활용하였다. 이는 화물의 운송에 사용되는 해양 컨테이너에 대하여 안전한 컨테이너를 위한 국제협약에 의한 컨테이너의 형식 승인 등에 관한 조항이며 자세한 내용은 아래와 같다.

- 해상 컨테이너의 사이즈 및 해상조건에 대한 컨테이너 안정성 평가 명시
  - Conner Casting의 안정성 검토 조건 (Pitch)



해양 컨테이너 안정성 Test - 선박 Pitch 조건

  - Conner Casting의 안정성 검토 조건 (Yaw)



해양 컨테이너 안정성 Test - 선박 Yaw 조건

▶ 지지보강재 운송성 검증 해석
- 플랜트 모듈 Size 선정
  - 플랜트 모듈 Size는 컨테이너 규격 활용
  - 최대사이즈(mm) : 2,438 x 2,896 x 12,192



20피트 컨테이너 ==> 1CC (6,058L x 2,438W x 2,591H)
40피트 컨테이너 ==> 1AA (12,192L x 2,438W x 2,591H)
40피트 하이큐빅 컨테이너 ==> 1AAA (12,192L x 2,438 x 2,896)

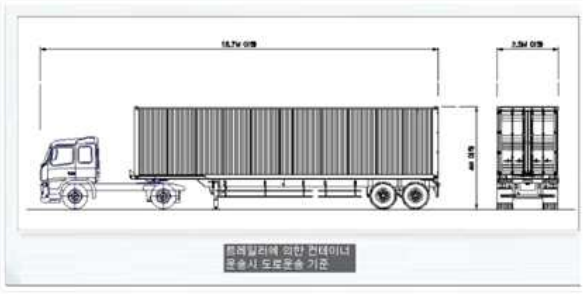
<컨테이너의 종류>

□ 차량의 운행제한(시행령 제28조의3)

제28조의3(차량의 운행제한) ①(이하 생략)

② 관리청이 법 제54조의 규정에 의하여 운행을 제한할 수 있는 차량은 다음 각호와 같다.
〈개정 1993.8.14, 1999.8.6〉

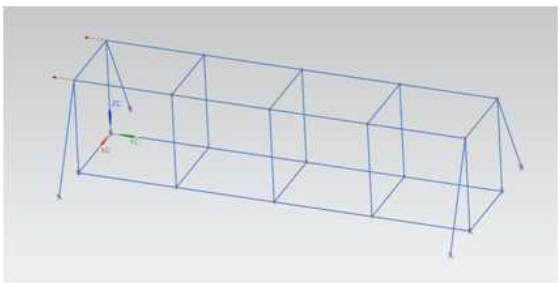
1. 축하중이 10톤을 초과하거나 총중량이 40톤을 초과하는 차량
2. 차량의 폭이 2.5미터, 높이가 4.0미터, 길이가 16.7미터를 초과하는 차량
3. 관리청이 특히 도로구조의 보전과 통행의 안전에 지장이 있다고 인정하는 차량



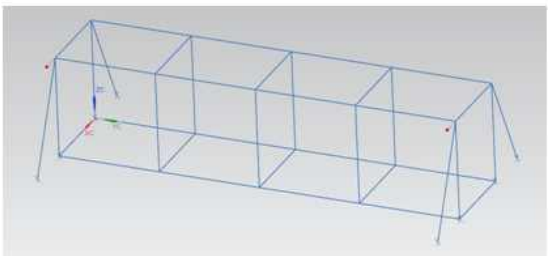
<차량의 운행제한 법령>

컨테이너의 종류(좌), 차량의 운행제한 법령(우)

- 구조 해석 모델링
  - Beam Section: H beam 규격
  - Fixed 조건: 지지보강재 하부, 플랜트 모듈 하부 4 Point
  - 선박 Pitch 조건: 75 kN
  - 선박 Yaw 조건: 150 kN
  - 지지보강재 개수: 4, 10개
  - 지지보강재 각도: 60, 45°



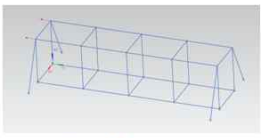
<선박 Pitch 조건>



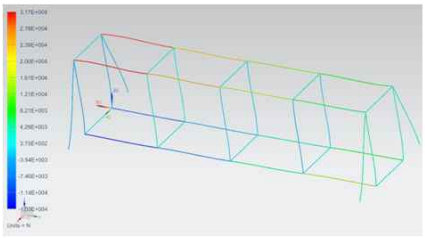
<선박 Yaw 조건>

해양 컨테이너 운송 구조 해석 모델링

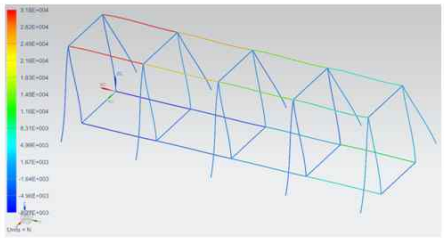
- 구조 해석 결과
  - 플랜트 모듈 지지보강재 개수에 따른 Pitch 하중 해석 결과 비교 시, 지지보강재 개수 증가에 의한 하중 분산 효과로 최대 발생응력이 낮아진 것으로 예상된다.



<Pitch 하중>

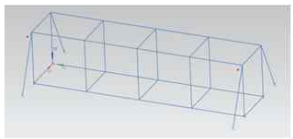


<하중 방향의 Force - 4EA>

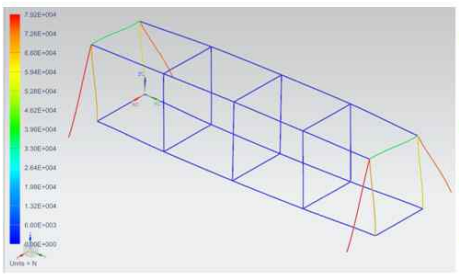


<하중 방향의 Force - 10EA>

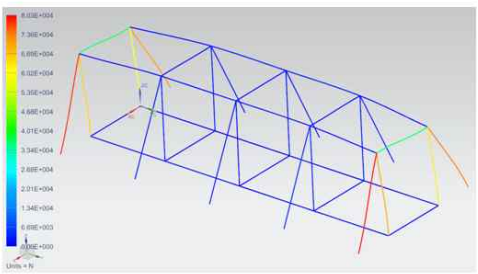
- 플랜트 모듈 지지보강재 개수에 따른 Yaw 하중 해석 결과 비교 시, 지지보강재 개수 증가에 의한 하중 분산 효과는 없는 것으로 예상된다.



<Yaw 하중>

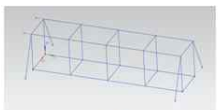


<하중 방향의 Force - 4EA>

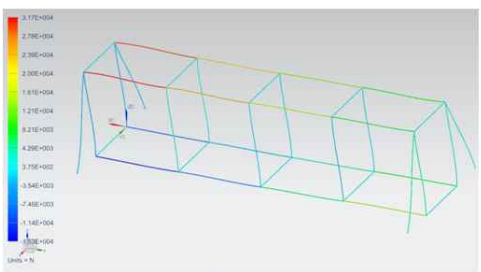


<하중 방향의 Force - 10EA>

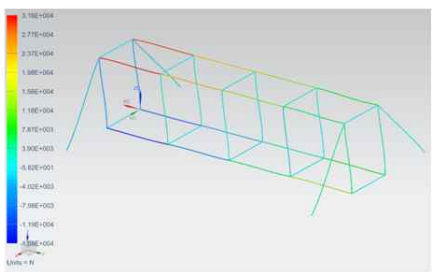
- 플랜트 모듈 지지보강재 각도에 따른 Pitch 하중 해석 결과 비교 시, 지지보강재 개수 증가에 의한 하중 분산 효과로 최대 발생 응력이 낮아진 것으로 예상된다.



<Pitch 하중>

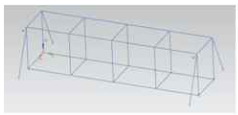


<하중 방향의 Force - 60° >

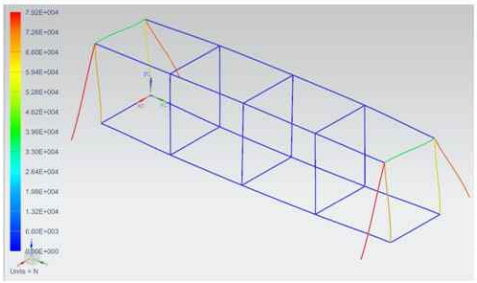


<하중 방향의 Force - 45° >

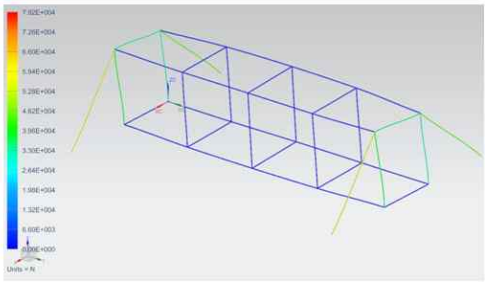
- 플랜트 모듈 지지보강지 각도에 따른 Yaw 하중 해석 결과 비교 시, 지지보강재 개수 증가에 의한 하중 분산 효과로 최대 발생 응력이 낮아진 것으로 예상된다.



<Yaw 하중>

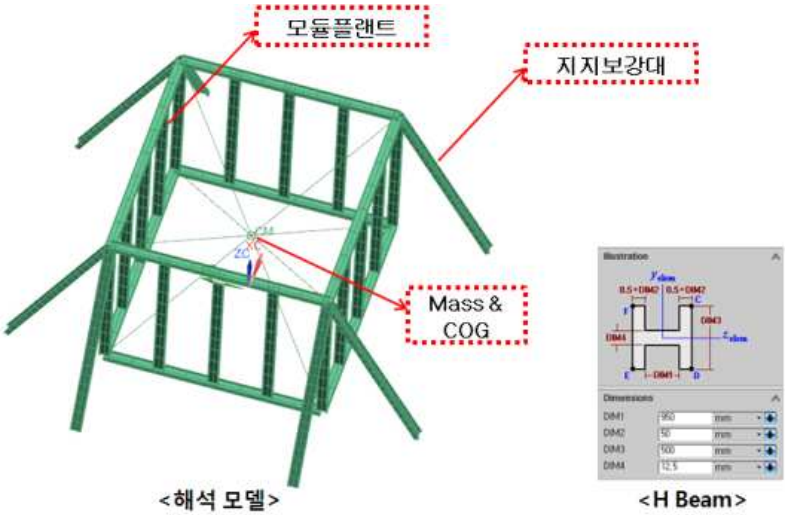


<하중 방향의 Force – 60° >



<하중 방향의 Force – 45° >

▶ 플랜트 모듈 단순화 모델 및 경계 조건 구축



플랜트 모듈 및 지지보강재 단순화 해석 모델과 H Beam 정보

- 해석 파라미터는 아래와 같이 3수준으로 정의하였다.
  - 플랜트 모듈 무게: 1000, 1200, 1400 ton
  - 지지보강재 설치 위치: 최대 높이의 20, 60, 100%
  - 지지보강재 설치 개수: 2, 3, 5개



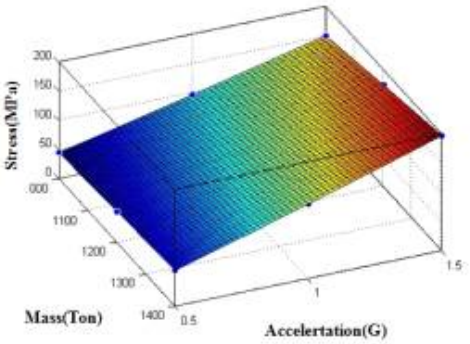
플랜트 모듈 지지보강재 개수에 따른 해석 모델



플랜트 모듈 지지보강재 설치 위치에 따른 해석 모델

▶ 구조 해석 결과

- 입력 하중에 따른 플랜트 모듈 무게의 영향을 분석하기 위해 파라미터를 3수준으로 설정하였으며, surface fitting을 통해 회귀식을 도출하였다. 회귀식의 R-square 값은 0.9999로 도출된 회귀식의 신뢰성을 확인하였다. Surface fitting 결과 및 회귀식은 아래 그림에 나타내었다.

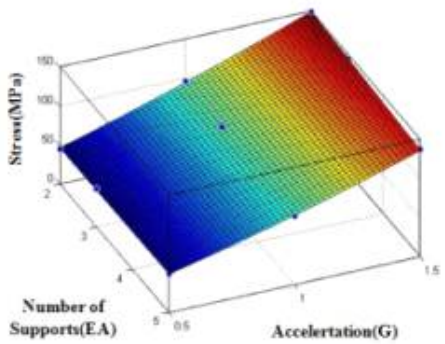


R-square = 0.9999
Linear model Poly22:
fitresult(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p00 = -19.11 (-91.06, 52.83)
p10 = 0.02336 (-0.09529, 0.142)
p01 = 17.38 (-5.608, 40.37)
p20 = -8.208e-006 (-5.725e-005, 4.083e-005)
p11 = 0.07675 (0.06288, 0.09062)
p02 = 5.467 (-2.38, 13.31)

x = Mass
y = Acceleration
fitresult(x,y) = Stress

플랜트 모듈 무게의 지지보강재 응력에 미치는 영향 분석 Surface Fitting 및 회귀식

- 입력 하중에 따른 지지보강재 갯수의 영향을 분석하기 위해 파라미터를 3수준으로 설정하였으며, surface fitting을 통해 회귀식을 도출하였다. 회귀식의 R-square 값은 0.9932로 도출된 회귀식의 신뢰성을 확인하였다. Surface fitting 결과 및 회귀식은 아래 그림에 나타내었다.

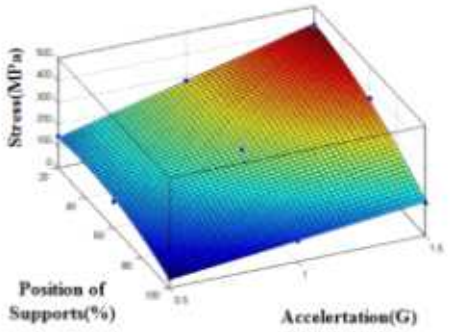


R-square = 0.9932
Linear model Poly22:
fitresult(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p00 = -0.4644 (-32.41, 31.48)
p10 = 2.947 (-13.16, 19.06)
p01 = 84.74 (47.79, 121.7)
p20 = 0.1006 (-2.074, 2.275)
p11 = -5.37 (-9.324, -1.416)
p02 = 14.33 (-2.755, 31.41)

x = Number of Supports
y = Acceleration
fitresult(x,y) = Stress

플랜트 모듈 지지보강재 개수의 지지보강재 응력에 미치는 영향 분석 Surface Fitting 및 회귀식

- 입력 하중에 따른 지지보강재 설치 위치의 영향을 분석하기 위해 파라미터를 3수준으로 설정하였으며, surface fitting을 통해 회귀식을 도출하였다. 회귀식의 R-square 값은 0.9944로 도출된 회귀식의 신뢰성을 확인하였다. Surface fitting 결과 및 회귀식은 아래 그림에 나타내었다.

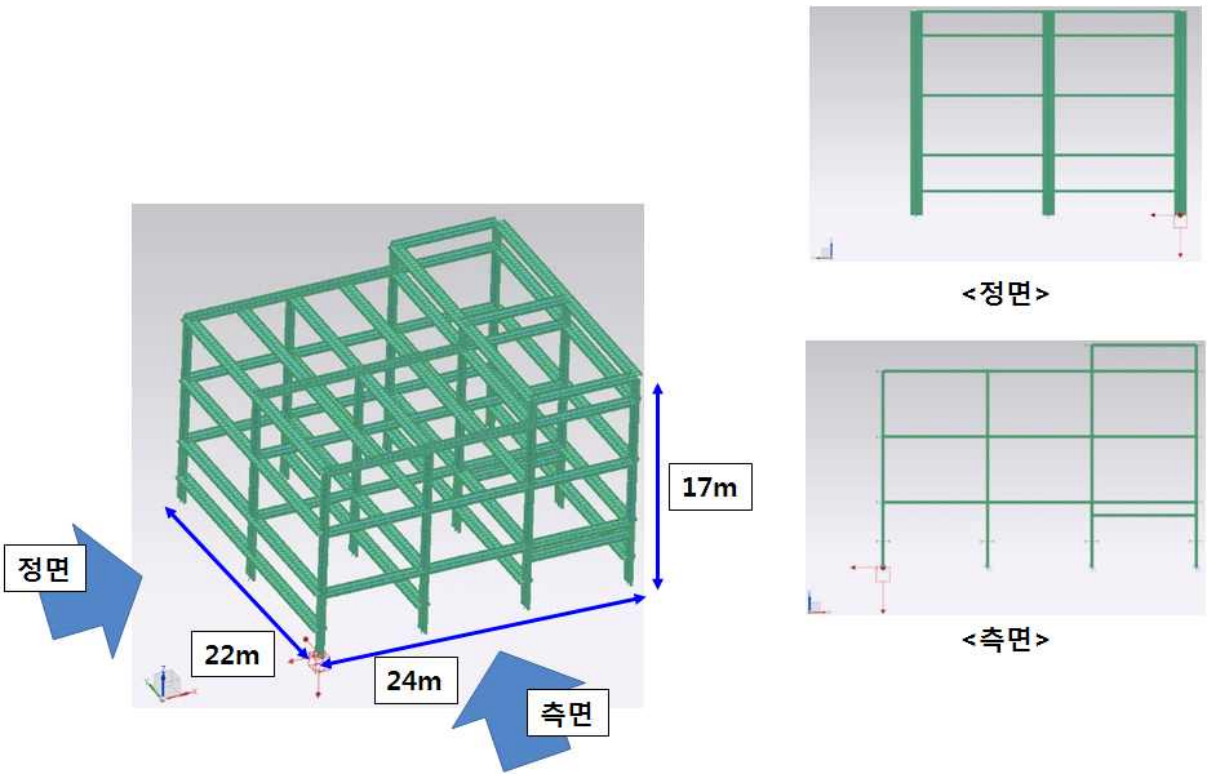


R-square = 0.9944
Linear model Poly22:
fitresult(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p00 = -60.66 (-214.7, 93.41)
p10 = 3.424 (0.5546, 6.293)
p01 = 322.5 (37.61, 607.4)
p20 = -0.03032 (-0.05163, -0.009012)
p11 = -2.064 (-3.269, -0.8584)
p02 = 1.607 (-134.8, 138)

x = Position of Supports
y = Acceleration
fitresult(x,y) = Stress

플랜트 모듈 지지보강재 설치 위치의 지지보강재 응력에 미치는 영향 분석 Surface Fitting 및 회귀식

▶ 샘플 플랜트 모듈 구조 해양 운송 해석



샘플 플랜트 모듈 구조 모델

▶ 샘플 플랜트 모듈 구조 해양 운송 해석 조건

- 해양 운송 조건 고려 (Roll/Pitch/Heave)
- Roll = 0.55rad/sec2
- Pitch = 0.88rad/sec2
- Heave = 0.2g

$$a_{roll} = \left(\frac{\theta_r \cdot \pi}{180}\right)[2\pi / T_r]^2$$

$$a_{pitch} = \left(\frac{\theta_p \cdot \pi}{180}\right)[2\pi / T_p]^2$$

Barge Type	Single Amplitude (10 sec Full Cycle Period)		
	Roll	Pitch	Heave
Large Barge(76m or more)	20 degree	12.5 degree	±0.2g
Small Cargo Barge (Less than 76m LOA or 23m beam)	25 degree	15 degree	±0.2g
Small Vessel	30 degree	15 degree	±0.2g

표 6.1 Pitch, Roll and Heave Parameters

여기서,

aroll: 각 가속도 (due to roll), rad/s2

apitch: 각 가속도 (due to pitch), rad/s2

θr: Roll amplitude, degrees

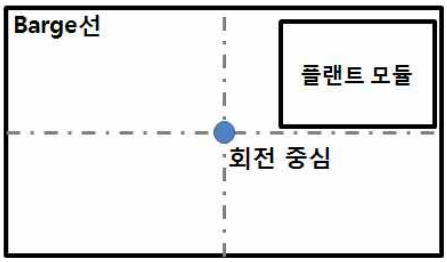
θp: Pitch amplitude, degrees

Tr: Roll period, seconds

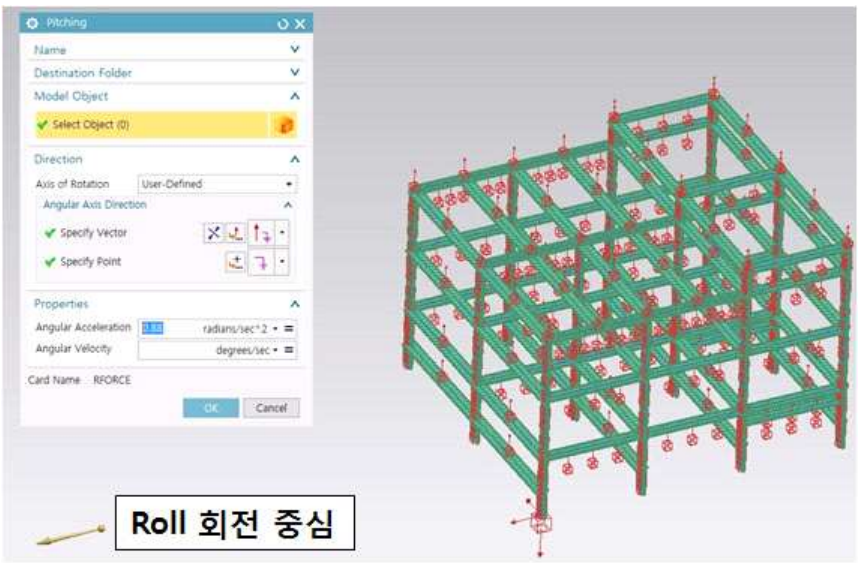
Tp: Pitch period, seconds

해양 운송 조건

- 컬럼 하단 Fix
- Roll/Pitch: Rotation 조건, Barge선 고려하여 회전 중심 설정
- Heave: Acceleration 조건



Barge선 갑판 위의 샘플 플랜트 모듈 적재 위치

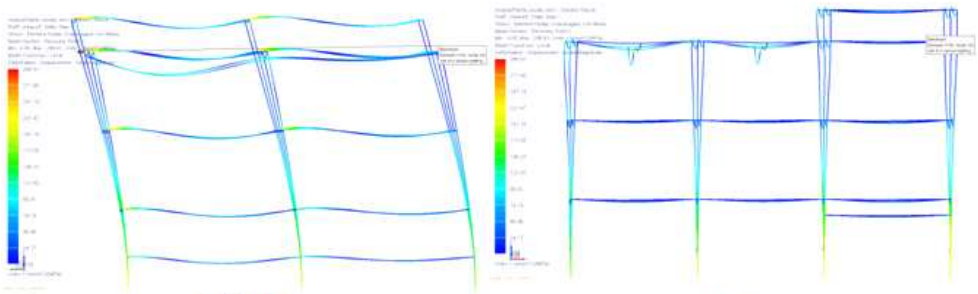


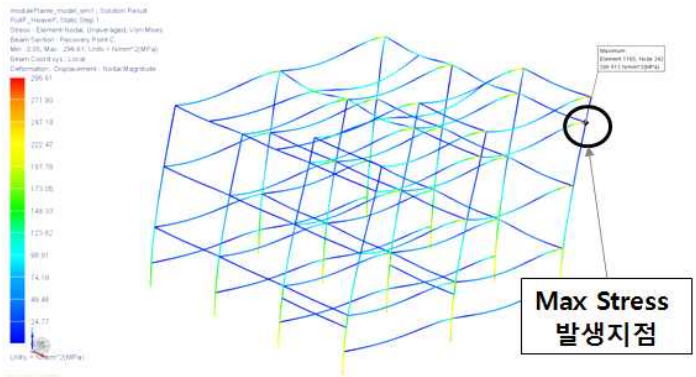
샘플 플랜트 모듈 해양 운송 Roll 거동 조건

▶ 샘플 플랜트 모듈 구조의 해양 운송 시 하중 조합 (load combination) case는 다음과 같이 8개이다. +, -는 Roll, Pitch, Heave 거동 방향을 가리킨다.

- Roll + & Heave +

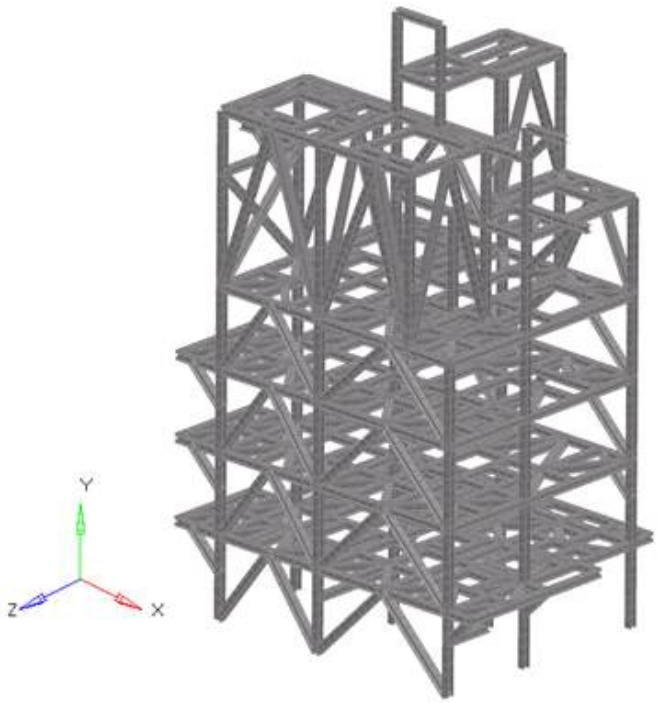
- Roll + & Heave -
- Roll - & Heave +
- Roll - & Heave -
- Pitch + & Heave +
- Pitch + & Heave -
- Pitch - & Heave +
- Pitch - & Heave -



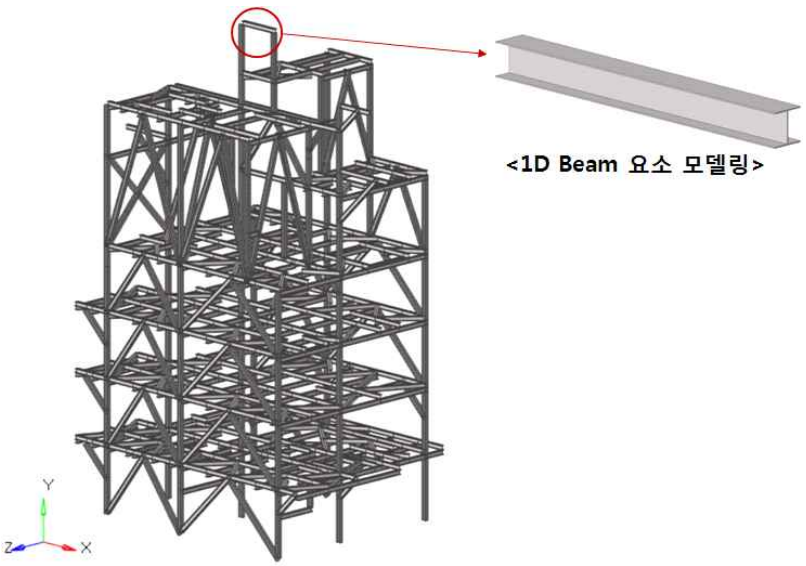


하중 조건 Roll + & Heave +에서의 샘플 플랜트 모듈 구조 하중 인가 해석 결과

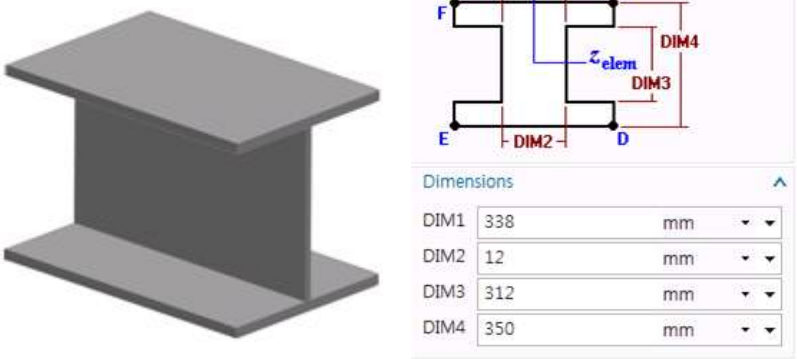
▶ Test Bed 플랜트 모듈 구조 해석 모델 구축



Test Bed 플랜트 모듈 Structure 모델 ISO도



Test Bed 플랜트 모듈 1D Beam 유한 요소 모델 ISO도



1D Beam 요소 모델링, 1D Beam 요소 단면 정보

	Steel
Density [kg/mm³]	7.8x10⁻⁶
Elastic Modulus [MPa]	206940
Poisson's ratio	0.288
Yield Strength [MPa]	230

H Beam 재료 물성치 정보

▶ Test Bed 플랜트 모듈 구조 육상 운송 (load-out) 해석 조건

- 해석 목적: 설계 소프트웨어 모듈 검증 및 test bed 모델의 구조적 안정성 확보
- 경계 조건: 구조물 하단 고정부 병진 자유도 구속 (힌지 조건 적용)

- 하중 조건
  - 고정 하중: 구조물의 자중 고려, 플랜트 모듈 무게 1,000ton으로 가정
  - 풍 하중:

    ASCE 7-05 기준에 근거하여 적용

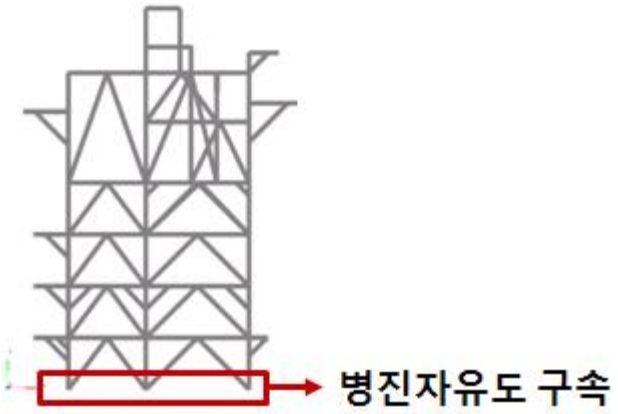
    풍 압력 (velocity pressure) $q_z = 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2$

    $= 0.613 \times 0.99 \times 1.0 \times 0.85 \times 45^2$

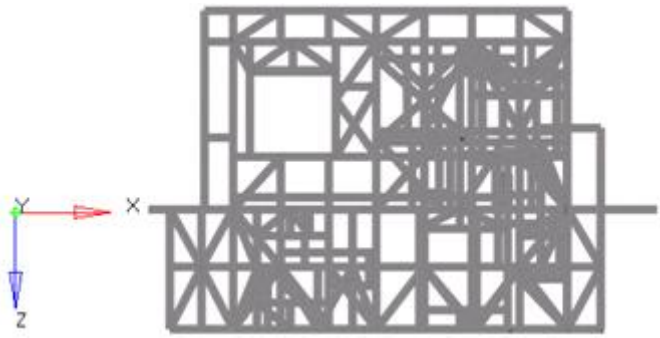
    $= 1,045N/m$

    풍 하중 (wind load) $F = q_z \times G \times C_f \times A_f$

    $= 78,549N/m$ (x축) / $112,166N/m$ (y축)



Test Bed 플랜트 모듈 구조 육상 운송 해석 경계 조건 (병진 자유도 구속)

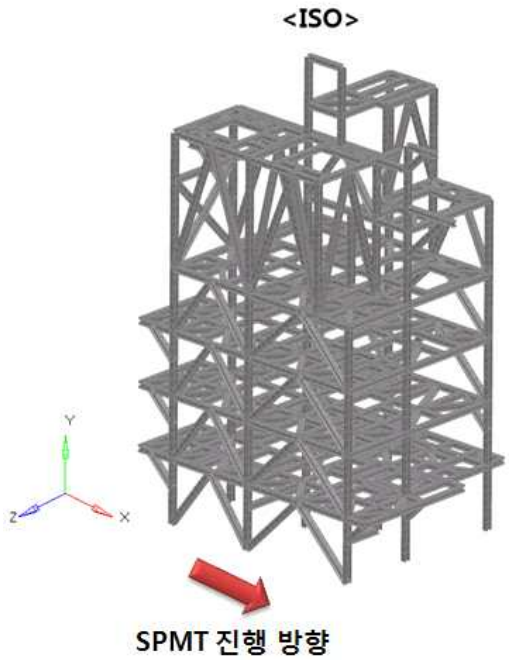


Test Bed 플랜트 모듈 유한요소 모델 평면도

- 해석 조건
  - SPMT 진행 방향 가속도 하중: 구조물 자중의 10% 크기 부여, x축 방향 SPMT 진행
  - 풍 하중:

    x축 방향 F = 78,549N

    y축 방향 F = 112,166N



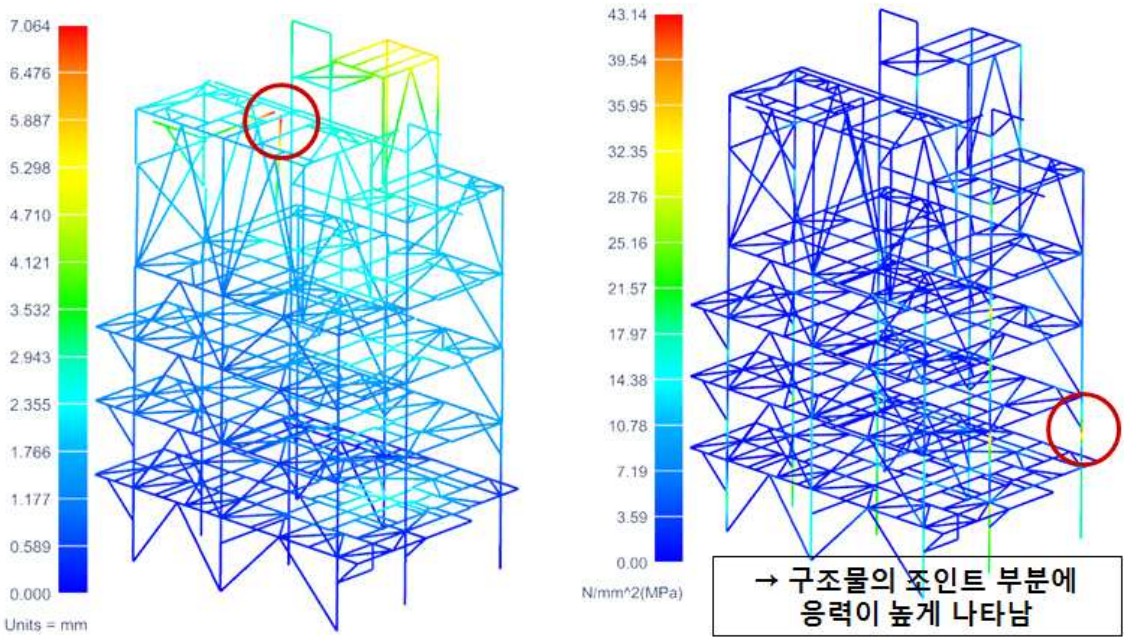
Test Bed 플랜트 모듈 육상 운송 SPMT 진행 방향

하중조합	가속도	풍하중	
	SPMT 진행 방향	X축	Z축
Case 1	+1.0	+1.0	-
Case 2	-1.0	-1.0	-
Case 3	+1.0	-	+1.0
Case 4	-1.0	-	-1.0

Test Bed 플랜트 모듈 육상 운송 풍 하중

▶ Test Bed 플랜트 모듈 구조의 육상 운송 (load-out) 해석 결과

• case 1: SPMT 진행 방향 가속도 x축+ & 풍 하중 x축+



Test Bed 플랜트 모듈 육상 운송 해석 결과 (변위 및 응력, case 1)

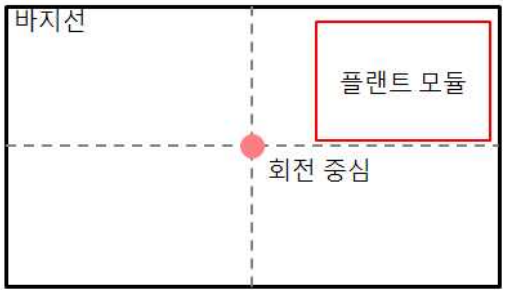
▶ Test Bed 플랜트 모듈 구조 해양 운송 해석 조건

- barge 크기 조건

Barge 설계 가정

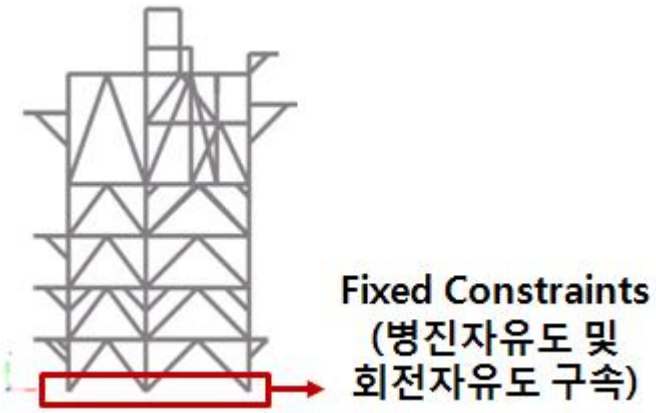
Barge plan dimensions	76.0 m X 20.0 m
Depth of grillage	VARIES
Depth from barge center to underside of grillage	2.5m

Barge선 사양



Barge선 갑판 위 플랜트 모듈 적재 위치

- 경계 조건: 구조물 하단 지지부 고정, 회전 자유도 및 병진 자유도 구속
- 하중 조건
  - Roll & Pitch: rotation 조건, barge선 설계 조건 고려하여 회전 중심 선정
    Roll: 0.55rad/sec2
    Pitch: 0.88rad/sec2
  - Heave: acceleration 조건
    Heave: 0.2g



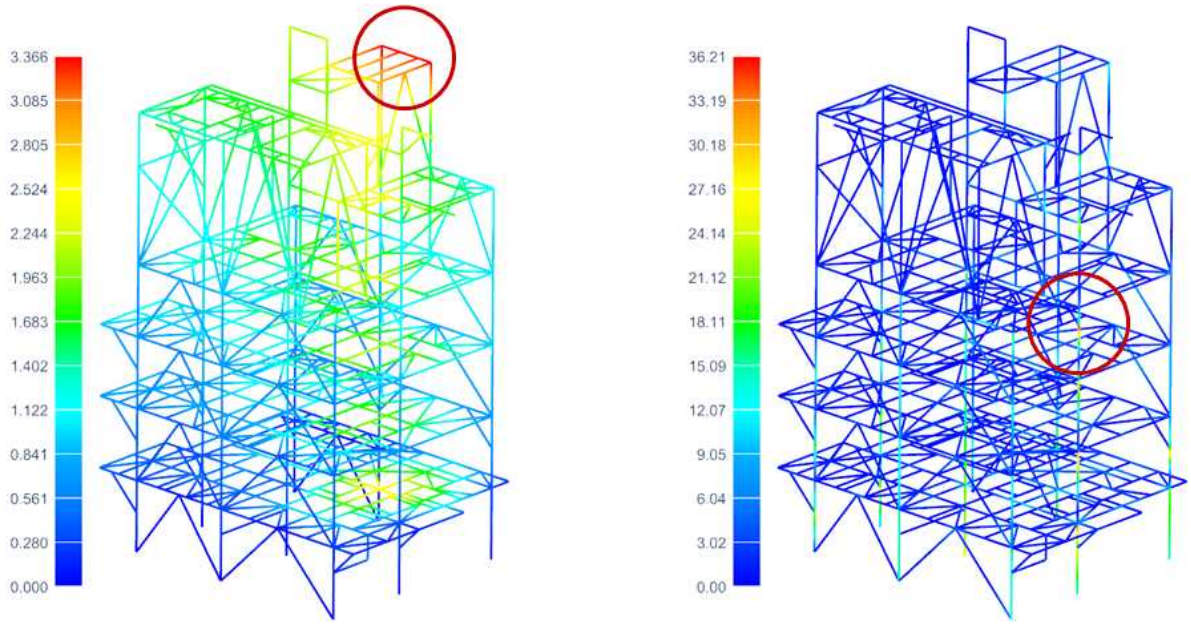
Test Bed 플랜트 모듈 구조 해양 운송 해석 경계 조건 (병진 자유도 및 회전 자유도 구속)

하중조합	Load Case		
	Roll	Pitch	Heave
1	1.0	-	1.0
2	1.0	-	-1.0
3	-1.0	-	1.0
4	-1.0	-	-1.0
5	-	1.0	1.0
6	-	1.0	-1.0
7	-	-1.0	1.0
8	-	-1.0	-1.0

Test Bed 플랜트 모듈 해양 운송 하중 조합 (Load Case)

▶ Test Bed 플랜트 모듈 구조 해양 운송 해석 결과

- case 1: Roll+ & Heave+



Test Bed 플랜트 모듈 해양 운송 해석 결과 (변위 및 응력, case 1)

- Test Bed 플랜트 모듈 구조의 해양 운송 해석 결과를 정리하면, 구조물 재료 강도 대비 구조물 부재에서 발생하는 응력이 10% 이내이므로 구조 건전성을 확보했다고 판단할 수 있다.

※구조물의 재료강도: 365 MPa

Case		Max. Displacement [mm]	Max. Stress [MPa]
Case 1	Roll+ & Heave+	3.366	36.21
Case 2	Roll+ & Heave-	3.367	36.23
Case 3	Roll- & Heave+	13.63	34.14
Case 4	Roll- & Heave-	3.366	34.15
Case 5	Pitch+ & Heave+	5.765	35.88
Case 6	Pitch+ & Heave-	5.764	35.89
Case 7	Pitch- & Heave+	8.175	32.08
Case 8	Pitch- & Heave-	8.176	32.10

→ Testbed 구조물의 구조해석 결과
구조물의 부재에서 발생하는 응력이 재료강도의 10%이내로 발생

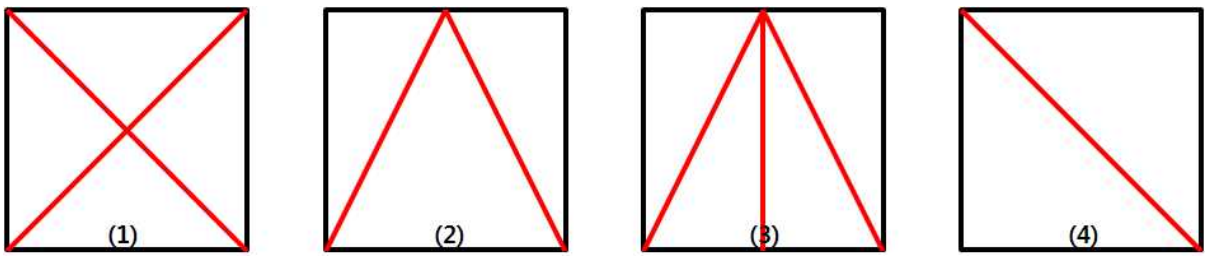
Test Bed 플랜트 모듈 해양 운송 해석 결과 정리

▶ 플랜트 모듈 지지보강재 설계 알고리즘 개발

- 지지보강재 설치 위치 선정 기준은 다음과 같다.

  - 최대 응력 발생 지점
  - 변형이 많이 발생하는 면
  - 최대 응력이 발생하는 지점 기준으로 주변의 노드 중 응력이 많이 발생하는 포인트
  - 특수한 구조물 (SPMT 지지대 등)를 제외한 면

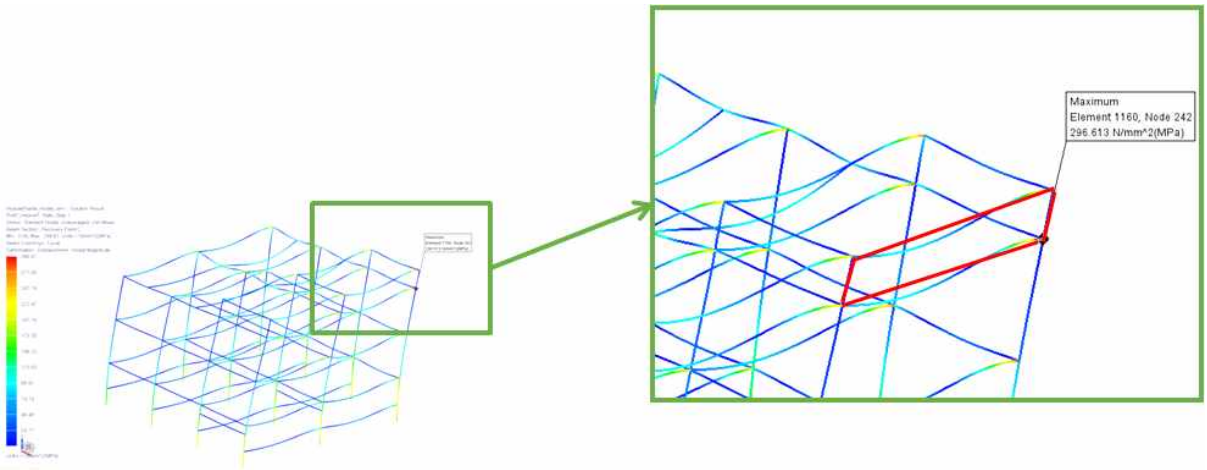
- 지지보강재 형상 유형은 총 4가지로 요약할 수 있다. 이중에서도 특히 1, 2번이 가장 많이 사용된다.



지지보강재 형상 유형

- 하중 조합 (load combination)에 따른 지지보강재 설치 위치 선정

  - Roll+ & Heave+, Roll+ & Heave-의 경우 최대 응력 발생 위치 동일



최대 응력 발생 점에 따른 지지보강재 설치 면 선정

- Roll & Heave 해석 결과

  - Roll+의 경우 최대 응력 감소율은 지지보강재 (4)가 높은 감소율을 보이나, Roll-의 경우 지지보강재 (3)이 높은 감소율을 보임
  - 지지보강재 설치면의 평균 응력 감소율은 Roll 하중 공통으로 지지보강재 (3)이 높은 감소율을 보임

Non-Support

			Max	Mean
1	Roll P	Heave P	296.61	81.12
2	Roll P	Heave N	317.25	84.64
3	Roll N	Heave P	258.87	113.60
4	Roll N	Heave N	258.85	109.84
5	Pitch P	Heave P	690.98	247.50
6	Pitch P	Heave N	690.89	248.66
7	Pitch N	Heave P	858.28	300.27
8	Pitch N	Heave N	858.37	299.77

지지보강재 설치 전 Roll & Heave 응력 해석 결과

With-Support

			발생응력		감소율(%)	
			max	mean	max	mean
Roll P	Heave P	Support 1	258.85	57.27	12.73	29.40
		Support 2	257.47	60.92	13.20	24.89
		Support 3	262.64	50.08	11.46	38.27
		Support 4	230.81	56.36	22.19	30.52

			발생응력		감소율(%)	
			max	mean	max	mean
Roll P	Heave N	Support 1	255.65	63.51	19.42	24.96
		Support 2	260.59	64.41	17.86	23.90
		Support 3	266.44	50.86	16.02	39.91
		Support 4	233.22	62.11	26.49	26.62

			발생응력		감소율(%)	
			max	mean	max	mean
Roll N	Heave P	Support 1	227.19	103.31	12.24	9.06
		Support 2	212.54	107.96	17.90	4.96
		Support 3	210.39	78.95	18.73	30.50
		Support 4	239.90	108.08	7.33	4.86

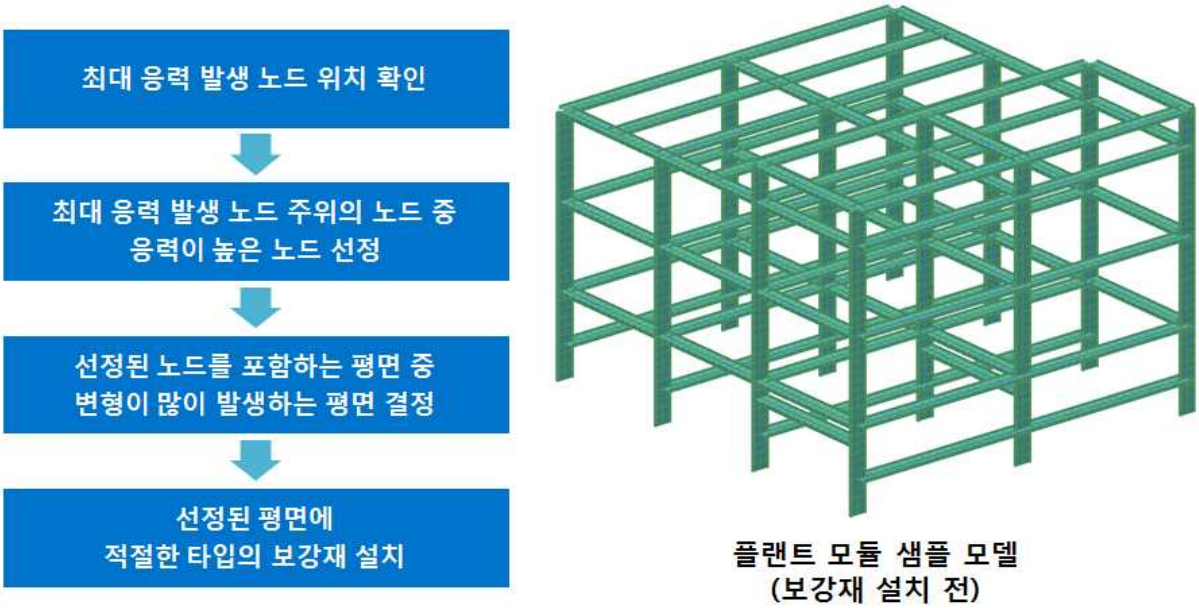
			발생응력		감소율(%)	
			max	mean	max	mean
Roll N	Heave N	Support 1	226.91	99.59	12.34	9.33
		Support 2	210.85	105.54	18.54	3.91
		Support 3	208.65	77.24	19.39	29.68
		Support 4	239.56	104.08	7.45	5.25

지지보강재 설치 후 Roll & Heave 응력 해석 결과

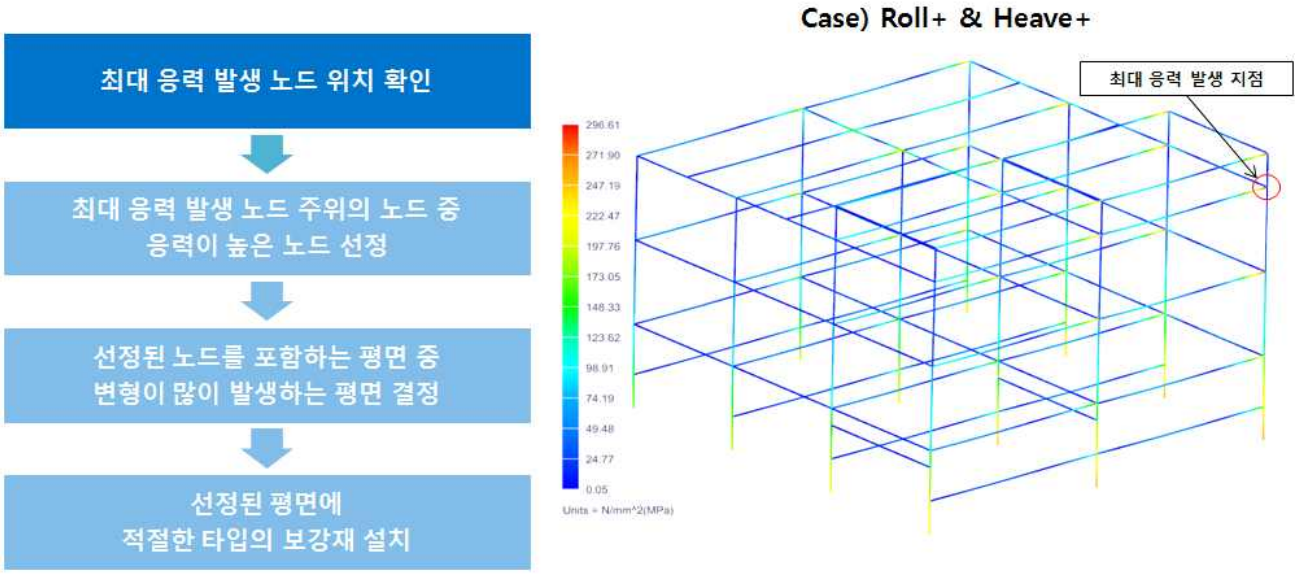
- 지지보강재 설치 위치 및 형상 설계 기준 연구 결과

  - 해양 운송 기준으로 각 하중 발생 조건에서 지지보강재 형태에 따른 영향 분석
  - 지지보강재가 설치되지 않은 모델을 해양 운송 기준 하중 적용 (8개 cases)하여 해석 수행하여 최대 응력 발생 지점 도출
  - 도출된 응력 패턴을 기반으로 지지보강재 설치 위치 선정
  - 4가지 타입의 지지보강재 형태를 선정된 위치에 각각 설치하고, 하중 인가 해석하여 결과 분석
  - 지지보강재 설치 전과 후를 비교하여 최대 응력과 보강재 설치면의 평균 응력을 비교 분석
  - Roll & Heave 조건의 경우, Roll+ 조건에서는 지지보강재 (4)가 가장 높은 감소율을 보였으나, Roll- 조건에서는 지지보강재 (3)이 가장 높은 감소율을 보였으며, 평균 응력 감소율은 공통적으로 지지보강재 (3)에서 가장 높은 감소율 도출
  - Roll 방향 하중의 최대 응력 관점에서는, Roll 방향에 따라 플랜트 모듈 컬럼을 잡아주는 지지보강재 형태를 바꾸는 것이 유리하지만, 지지보강재 설치면의 응력에서는 방향과 관계없이 지지보강재 (3)을 설치하는 것이 강성을 보완하는데 유효할 것으로 판단
  - Pitch & Heave 조건에서는 모든 케이스에서 공통적으로 지지보강재 (1)이 가장 높은 응력 감소율 보임
  - Pitch 방향 하중의 경우 회전 중심이 플랜트와 멀기 때문에, 플랜트 모듈 상하 방향으로 매우 큰 회전력 발생
  - 이로 인해 플랜트 모듈의 컬럼 하단이 앞뒤 방향으로 응력이 집중되며 변형 발생되며 지지보강재 (1)이 이러한 변형을 잡아주기 때문에, 가장 높은 응력 감소율이 나온 것으로 분석

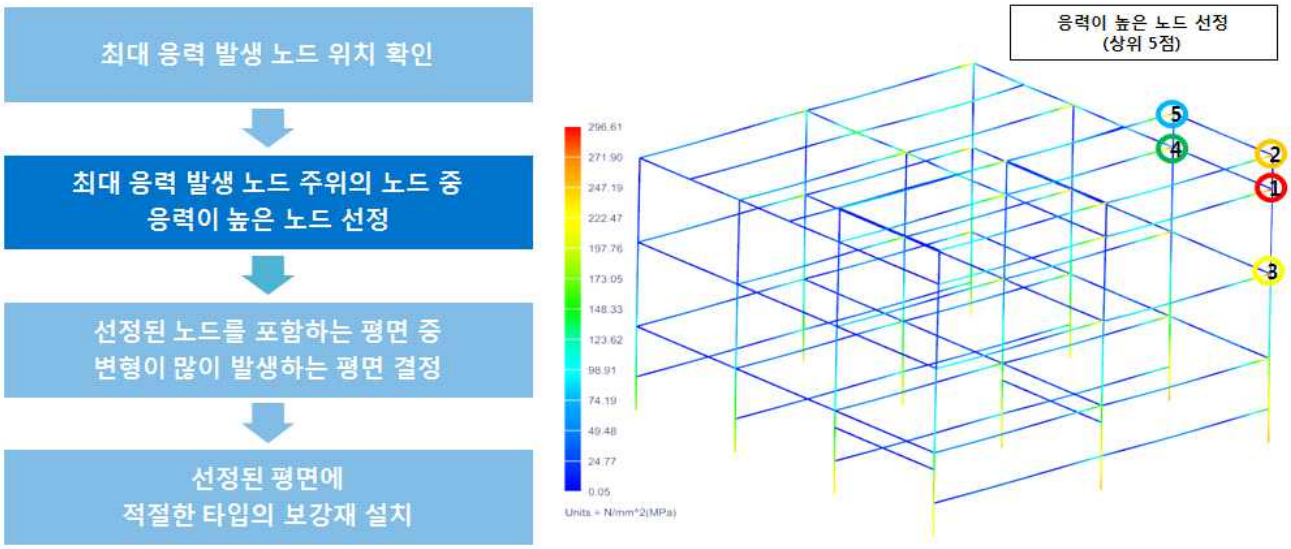
▶ 플랜트 모듈 지지보강재 설치 위치 선정 기준 및 절차



지지보강재 설치 위치, 형상 설계 자동화 절차



최대 응력 발생 노드 위치 확인



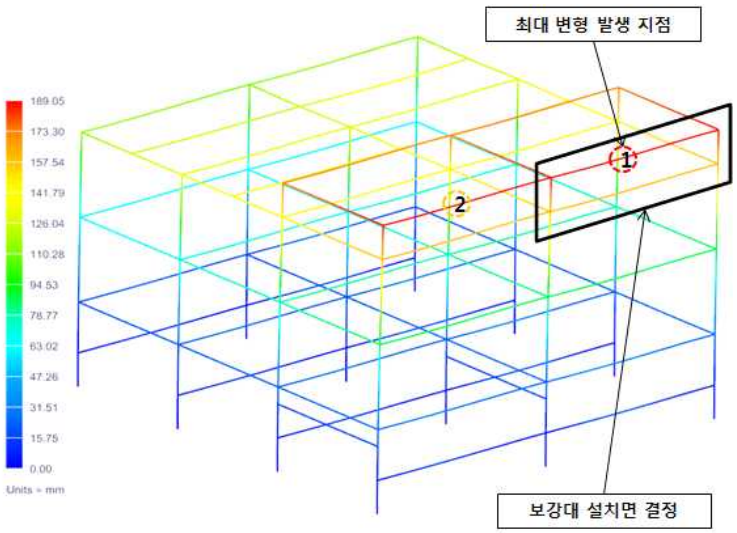
최대 응력 발생 노드 주위의 높은 응력 발생 노드 선정

최대 응력 발생 노드 위치 확인

최대 응력 발생 노드 주위의 노드 중
응력이 높은 노드 선정

선정된 노드를 포함하는 평면 중
변형이 많이 발생하는 평면 결정

선정된 평면에
적절한 타입의 보강재 설치



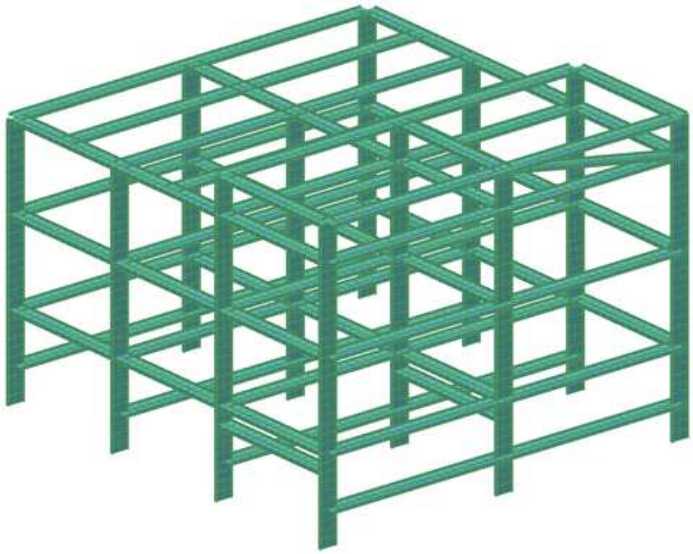
선정된 노드 포함 평면 중 많은 변형 발생 평면 선정

최대 응력 발생 노드 위치 확인

최대 응력 발생 노드 주위의 노드 중
응력이 높은 노드 선정

선정된 노드를 포함하는 평면 중
변형이 많이 발생하는 평면 결정

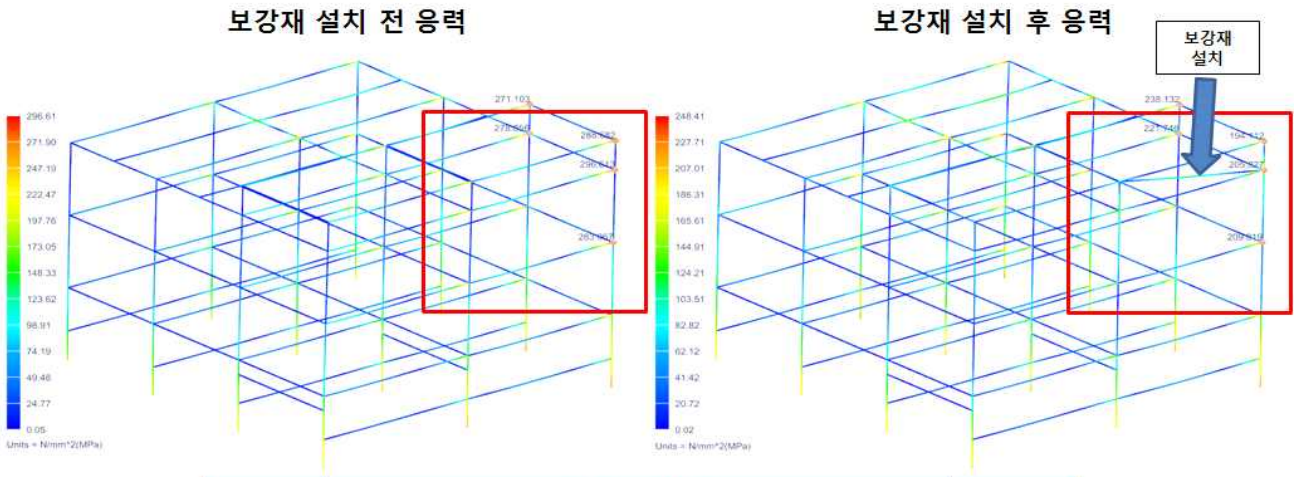
선정된 평면에
적절한 타입의 보강재 설치



플랜트 모듈 샘플 모델
(보강재 설치 후)

선정된 평면에 적절한 형상의 지지보강재 설치

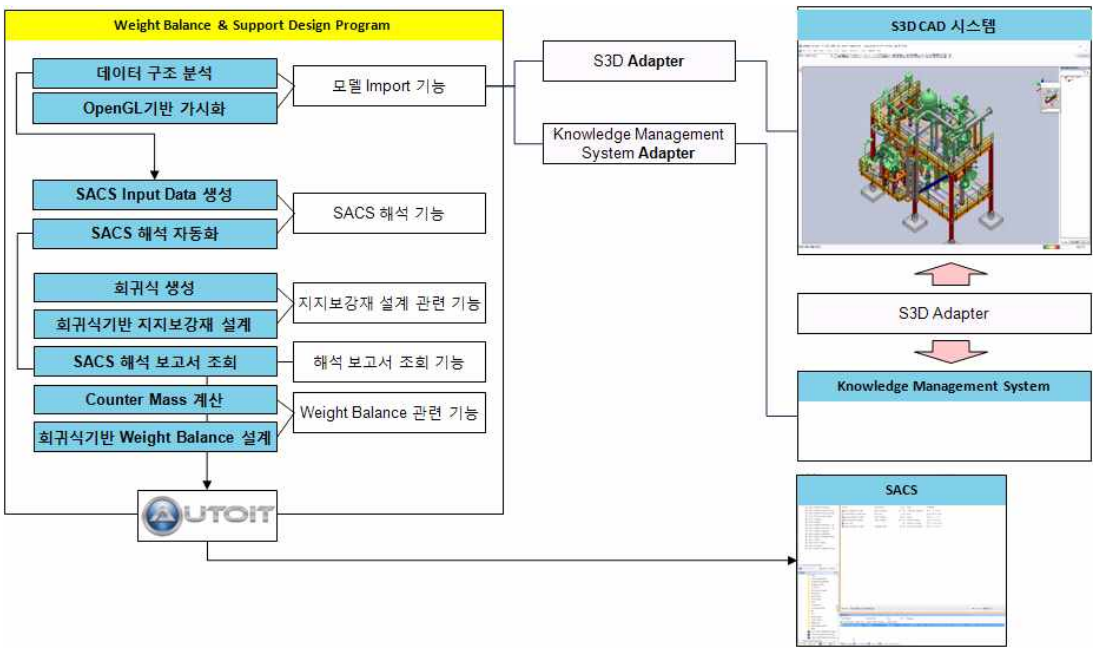
- 지지보강재가 설치 전과 설치 후 5개 취약 지점의 응력을 비교해보면 평균적으로 24.6% 정도로 응력이 감소되었음을 확인할 수 있다. 지지보강재 부재 1개만을 설치하였을 뿐인데 비교적 큰 응력 감소가 발생함을 알 수 있다. 지지보강재 설치가 구조물 안전성에 비교적 큰 효과를 가져올 수 있다고 볼 수 있다.



	응력 값 (MPa)					
설치 전	271	278	288	296	283	평균
설치 후	238	221	194	205	209	
감소율	-12%	-21%	-33%	-31%	-26%	-24.6%

지지보강재 설치 전후 응력 비교

▶ 플랜트 모듈 지지보강재 설계 소프트웨어 모듈을 설계하였다. SACS 해석 솔버를 중심으로 CAD 모델 데이터 Import, 분석, 가시화 기능과 SACS 연동기반의 해석, 해석 결과 검토 및 재해석 자동화 등의 기능이 포함된다. 그밖에 설계 회귀식기반의 지지보강재 설계 모듈도 구성되어 있다.

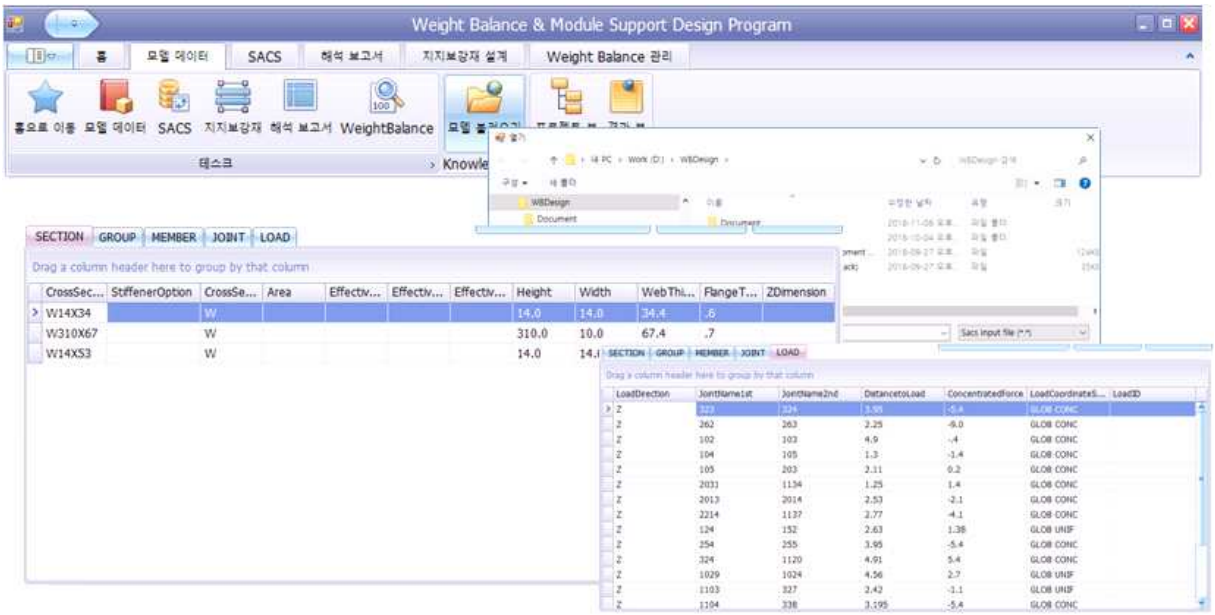


플랜트 모듈 지지보강재 설계 소프트웨어 설계

▶ 플랜트 모듈 지지보강재 설계 소프트웨어 플랫폼 개발

- 플랜트 모듈 지지보강재 설계 소프트웨어 플랫폼의 SACS input data 파일 load은 구조 해석 설계 시작 단계에서 수행한다.

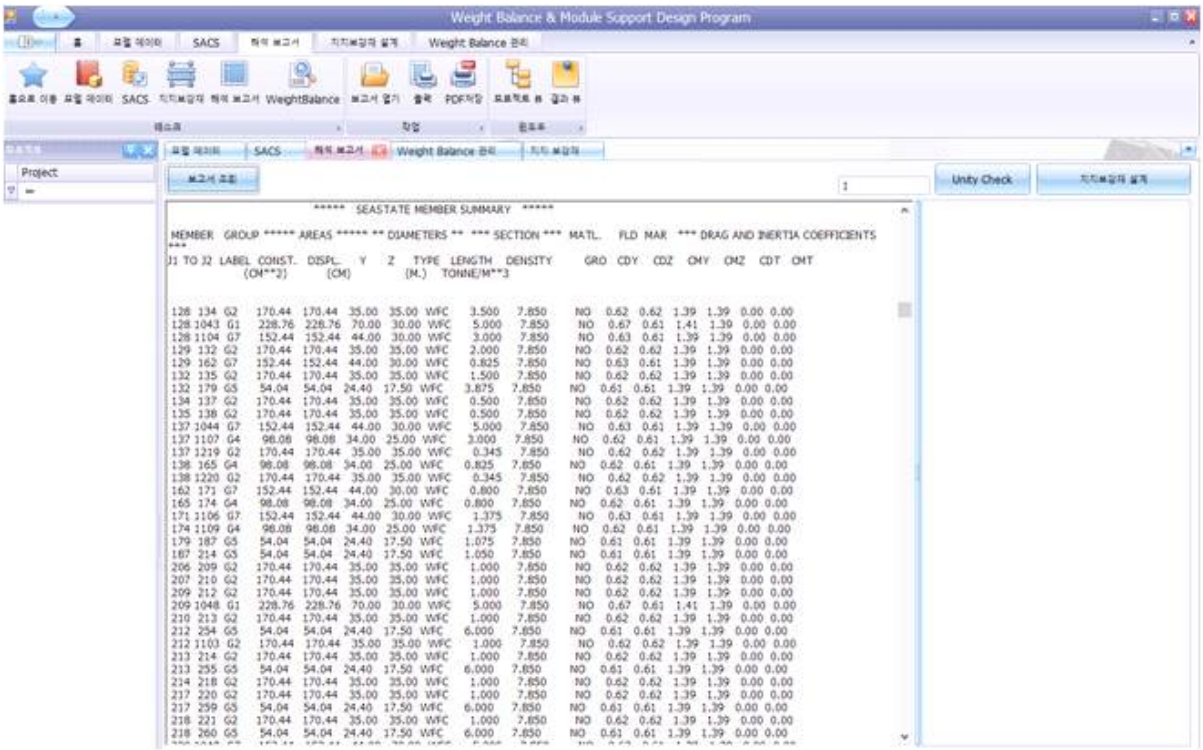
  - 구조 설계 모델 데이터는 S3D DB 연결 혹은 SACS input data 입력 가능
  - SACS input 파일을 읽고, 추가 설계 및 보완이 필요한 경우, SACS input 파일을 수정하여 파일을 다시 생성하는 기능을 포함하고 있음



SACS Input Data 파일 Load 기능

- SACS 해석 결과를 분석하여 설계 변경 여부를 판단하고, 설계 변경을 준비한다.

  - 해석 결과 보고서를 분석하여 Unity Check 값이 1을 초과하는 맴버를 찾아 'Joint1-Joint2, Unity Check값'으로 리스트에 가시화
  - 지지보강재 설계 기능으로서, Unity Check값에 따라서 지지보강재를 추가해야 할 경우, 지지보강재를 추가하기 위한 화면으로 이동

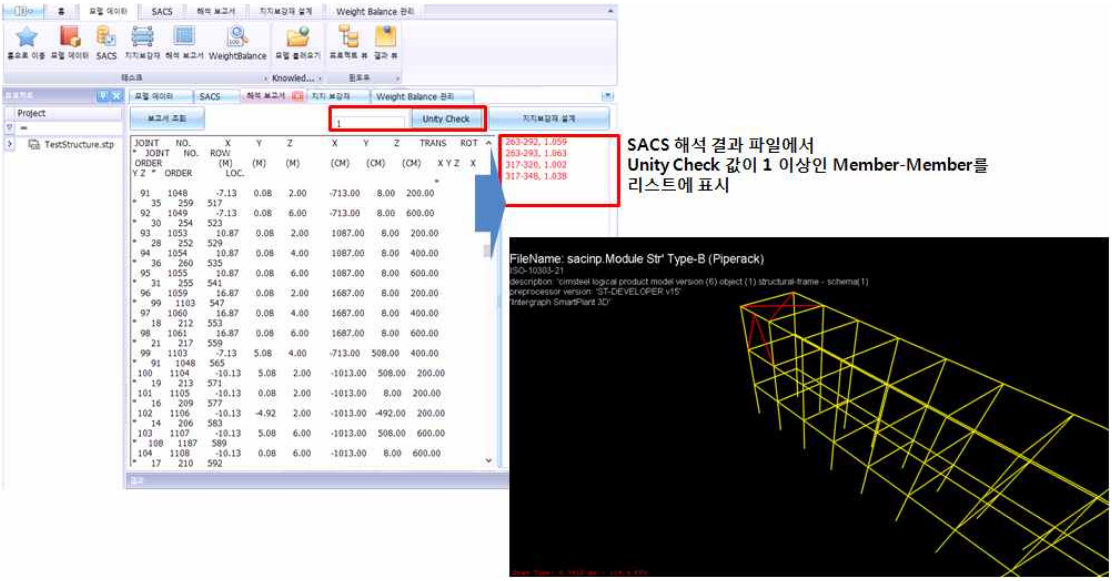


SACS 해석 결과 보고서

기능	설명
SACS Input Data 생성	Import된 모델 데이터를 이용해서 SACS Input File에서 정의하는 구조대로 Input File을 생성하기 위한 기능
지침서 조회	설계 지침서를 조회하기 위한 기능
지식기반 시스템 관련 지식 조회	지식기반 시스템에 정의된 관련 지식을 조회하기 위한 기능
해석 실행	생성된 Input File을 기반으로 SACS 프로그램을 이용해서 해석을 자동으로 수행하기 위한 기능

SACS 해석용 설계 데이터 생성 및 해석 실행 기능

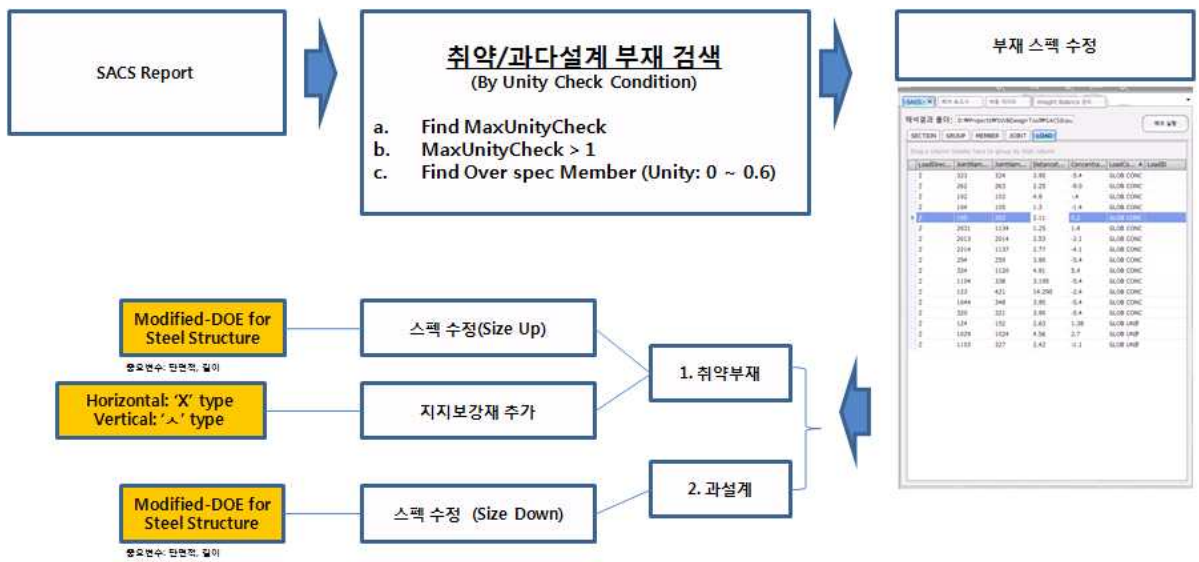
- SACS 해석 결과를 분석하여 설계 변경 대상 취약 구조 부분을 선정하고 가시화한다.

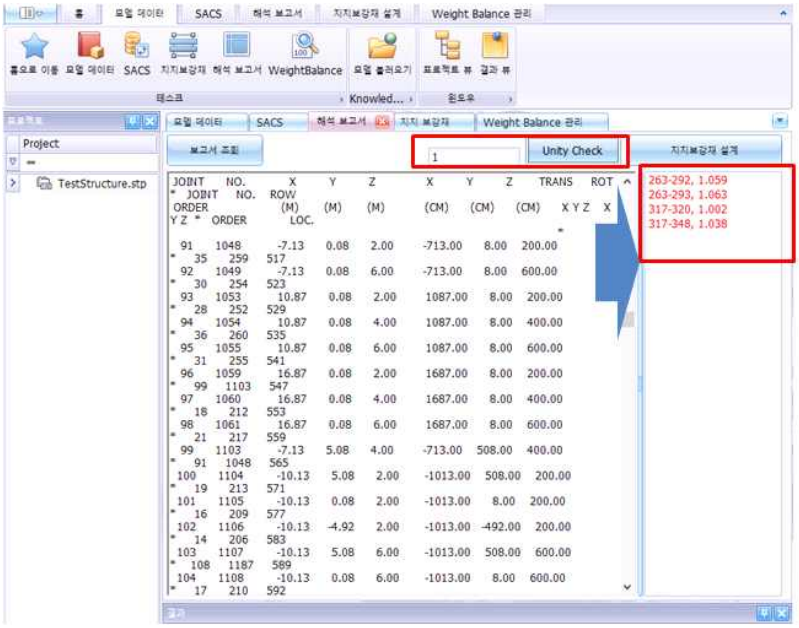


SACS 해석 결과기반 취약 구조 부분 가시화

▶ 플랜트 모듈 지지보강재 설계 소프트웨어 모듈 개발

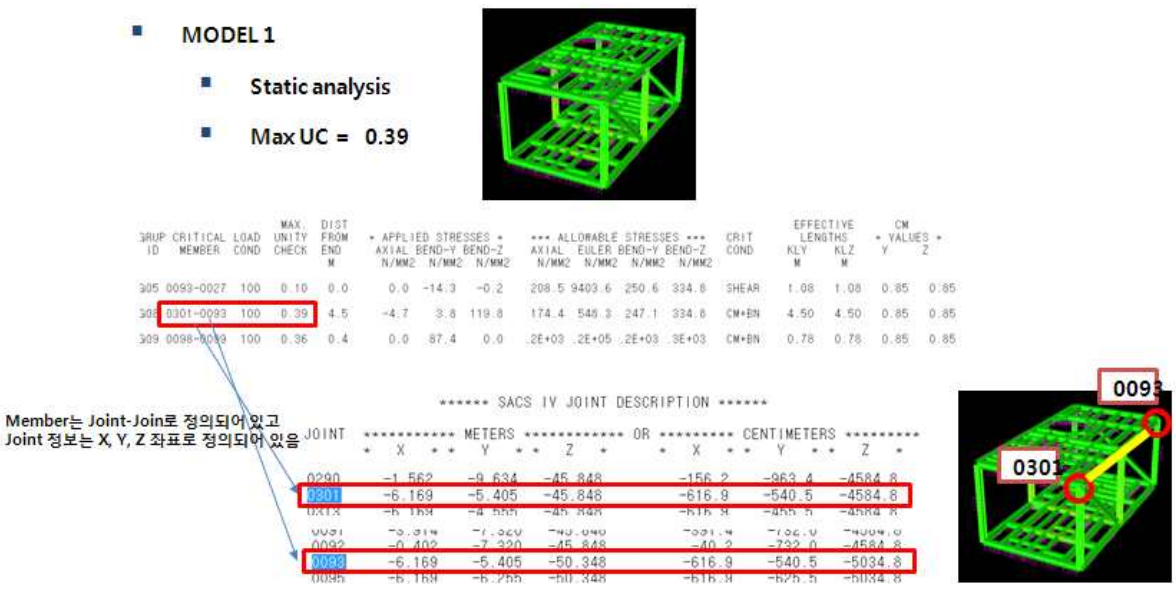
- SACS 해석 결과에 따라 설계 취약/과다 설계 부재를 검색한다.
  - SACS 해석 결과에 따른 Modified-DOE를 활용한 설계 변경
  - SACS 해석 결과 보고서로부터 취약/과다 설계 부재를 검색
  - Unity Check 값이 1을 초과할 경우 취약
  - Unity Check 값이 0 ~ 0.6일 경우 과다 설계





SACS 해석 결과 보고서 조회 및 Unity Check

- SACS 해석 결과 보고서의 취약/과다 설계 추출 방법
  - Max Unity Check값을 이용하여 Member를 선택 (Member는 Joint-Joint로 정의되어 있음)
  - Joint는 X, Y, Z 좌표 값을 가지고 있음
  - Joint는 SACS input data 파일에 정의된 내용에 따라서 Member의 Group과 물성치를 확인할 수 있음



SACS 해석 결과, 취약/과다 설계 추출

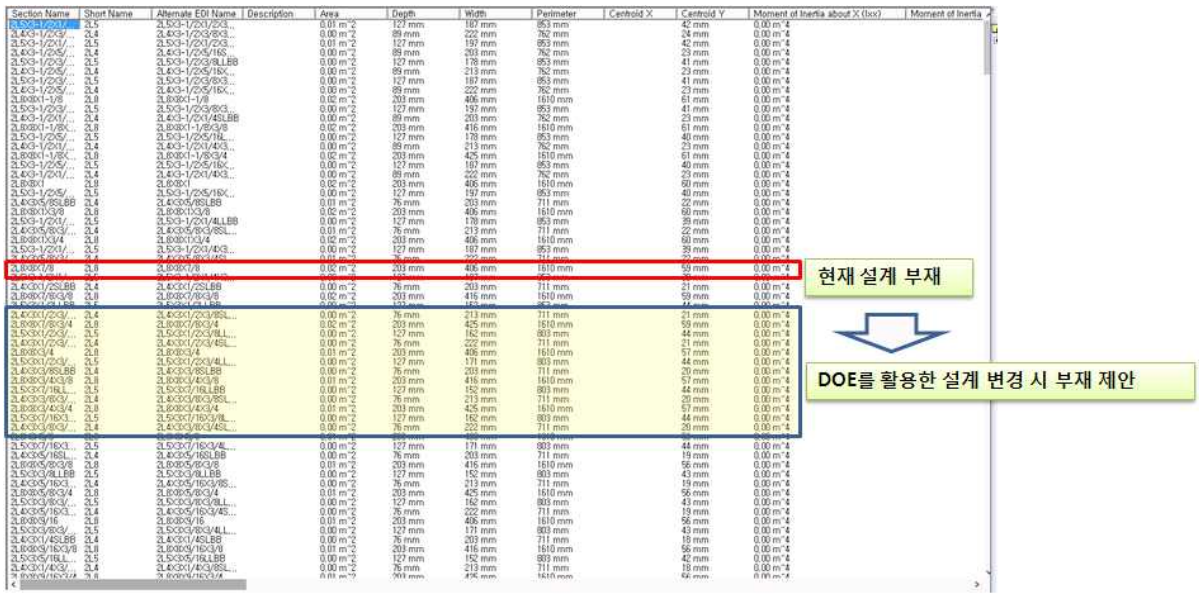
GRUP ID	CRITICAL MEMBER	LOAD COND	MAX. UNITY CHECK	DIST FROM END M	* APPLIED STRESSES * AXIAL N/MM2	BEND-Y N/MM2	BEND-Z N/MM2	*** ALLOWABLE STRESSES *** AXIAL N/MM2	EULER N/MM2	BEND-Y N/MM2	BEND-Z N/MM2	CRIT COND	EFFECTIVE LENGTHS KLY M	KLZ M	CM * VALUES * Y	Z
305	0093-0027	100	0.10	0.0	0.0	-14.3	-0.2	208.5	9403.6	250.6	334.8	SHEAR	1.08	1.08	0.85	0.85
308	0301-0093	100	0.39	4.5	-4.7	3.8	119.8	174.4	548.3	247.1	334.8	CM+BN	4.50	4.50	0.85	0.85
309	0098-0099	100	0.36	0.4	0.0	87.4	0.0	.2E+03	.2E+05	.2E+03	.3E+03	CM+BN	0.78	0.78	0.85	0.85

****** SEASTATE INITIAL GROUP DESCRIPTION ******

GROUP LABEL	SECTION LABEL	***** AREAS ***** CONST. (CM**2)	DISPL.	** DIAMETERS ** Y (CM)	Z	* SECTION TYPE	* MATL. LENGTH	* DENSITY (TONNE/M**3)	* JOINT THICK (M.)	FLOOD	** DRAG AND CDY	CDZ	INERTIA COEFFICIENTS ** CMY	CMZ	CDT	CMT
G01	R250	75.24	624.14	25.00	25.00	RTB		7.849	0.000	NO	0.61	0.61	1.39	1.39	0.00	0.00
G02	R180	79.73	322.66	18.00	18.00	RTB		7.849	0.000	NO	0.61	0.61	1.39	1.39	0.00	0.00
G03	WP50	590.31	2187.54	50.00	50.00	PGD		7.849	0.000	NO	0.65	0.65	1.40	1.40	0.00	0.00
G04	H500	481.25	481.25	50.00	50.00	WF		7.849	0.000		0.65	0.65	1.40	1.40	0.00	0.00
G05	W610	220.59	220.59	61.60	32.50	WFC		7.849	0.000		0.67	0.61	1.40	1.39	0.00	0.00
G06	H400	256.00	256.00	40.00	40.00	WF		7.849	0.000		0.63	0.63	1.39	1.39	0.00	0.00
G07	H300	190.00	190.00	30.00	30.00	WF		7.849	0.000		0.61	0.61	1.39	1.39	0.00	0.00
G08	HP31	156.81	156.81	31.20	31.20	WFC		7.849	0.000		0.61	0.61	1.39	1.39	0.00	0.00
G09	HP93	116.96	116.96	30.30	30.60	WFC		7.849	0.000		0.61	0.61	1.39	1.39	0.00	0.00
G10	W250	91.45	91.45	25.30	25.40	WFC		7.849	0.000		0.61	0.61	1.39	1.39	0.00	0.00
G11	W200	57.69	57.69	20.30	20.30	WFC		7.849	0.000		0.61	0.61	1.39	1.39	0.00	0.00

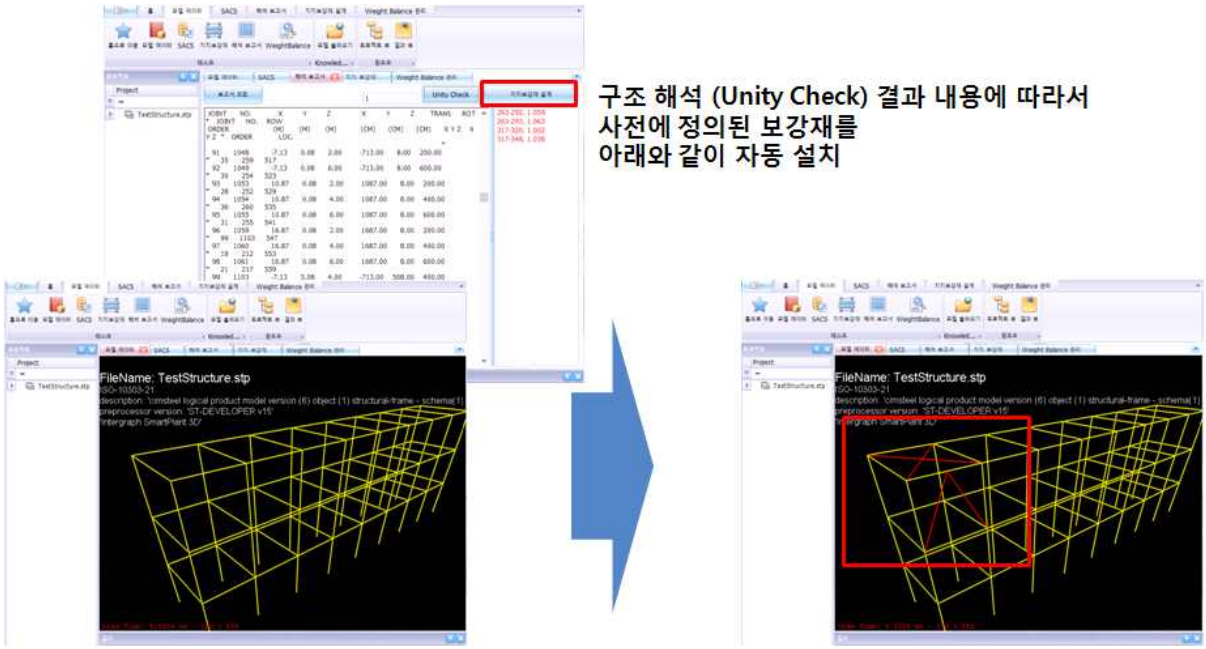
SACS Input Data의 Member와 Group 물성치 확인

- SACS 해석 결과에 따라 설계 취약/과다 설계 부분을 보강한다.
  - 취약 부재에 대해서 보강하기 위한 방법은 Member Size Up을 하거나 지지보강재를 추가
  - Member Size는 아래와 같이 Standard로부터 List up된 데이터를 활용



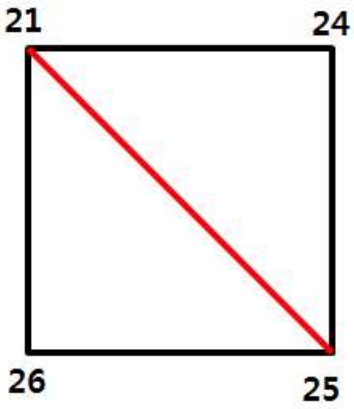
실험계획법을 이용한 설계 변경안 제시 리스트

- 지지보강재 설치 위치, 형상, 사양 설계 자동화 절차 개발
  - Unity Check값에 따라서 지지보강재 자동 설치 수행



Unity Check값에 따른 지지보강재 자동 설치

- SACS input data 파일에서의 지지보강재 추가
- Joint가 아래와 같이 배치되어 있고 지지보강재를 21에서 25로 설치가 되어야 할 경우
- 아래와 같이 기존 Member의 하단에 21-25 맴버를 추가해줌




```
MEMBER 21  24  G3      000011          L     6  6
MEMBER 25  28  G3      000011          L     6  6
MEMBER 29  32  G3      000011          L     6  6
MEMBER 33  36  G3      000011
MEMBER 37  40  G3      000011          L     6  6
MEMBER 41  44  G3      000011          L     6  6
MEMBER 45  48  G3      000011          L     6  6
MEMBER 49  52  G3      000011
MEMBER 22  23  G3      000011          L     6  6
MEMBER 26  27  G3      000011          L     6  6

MEMBER 21 25  G3   00011       L     6  6

GRUP G1  H250X25        20.5 7.88423.5  1    1.0 1.0       N7.85
GRUP G2  H294X20        20.5 7.88423.5  1    1.0 1.0       N7.85
GRUP G3  H244X17        20.5 7.88423.5  1    1.0 1.0       N7.85
GRUP G4  L75X75X        20.5 7.88423.5  1    1.0 1.0       N7.85
```

추가 Member Size가 필요할 경우 Group의 하단에 G5 및 추가하고자 하는 Section Size를 추가

SACS Input Data 파일에서의 지지보강재 추가

- SACS Input Data는 SACS Data Generator에서 확인이 가능함
- Group은 다음과 같이 구성
  - Group Label
  - Section Label
  - Gap Element Type
  - Taper Option
  - Elastic Modulus
  - Shear Modulus

Yield Stree

Flood Member

- Section은 다음과 같이 구성되며 Section type에 따라서 속성은 다르게 정의할 수 있음

Cross Section Label

Cross Section Type

Flange Width

Flange Thickness

Depth

Web Thickness

Fillet Radius

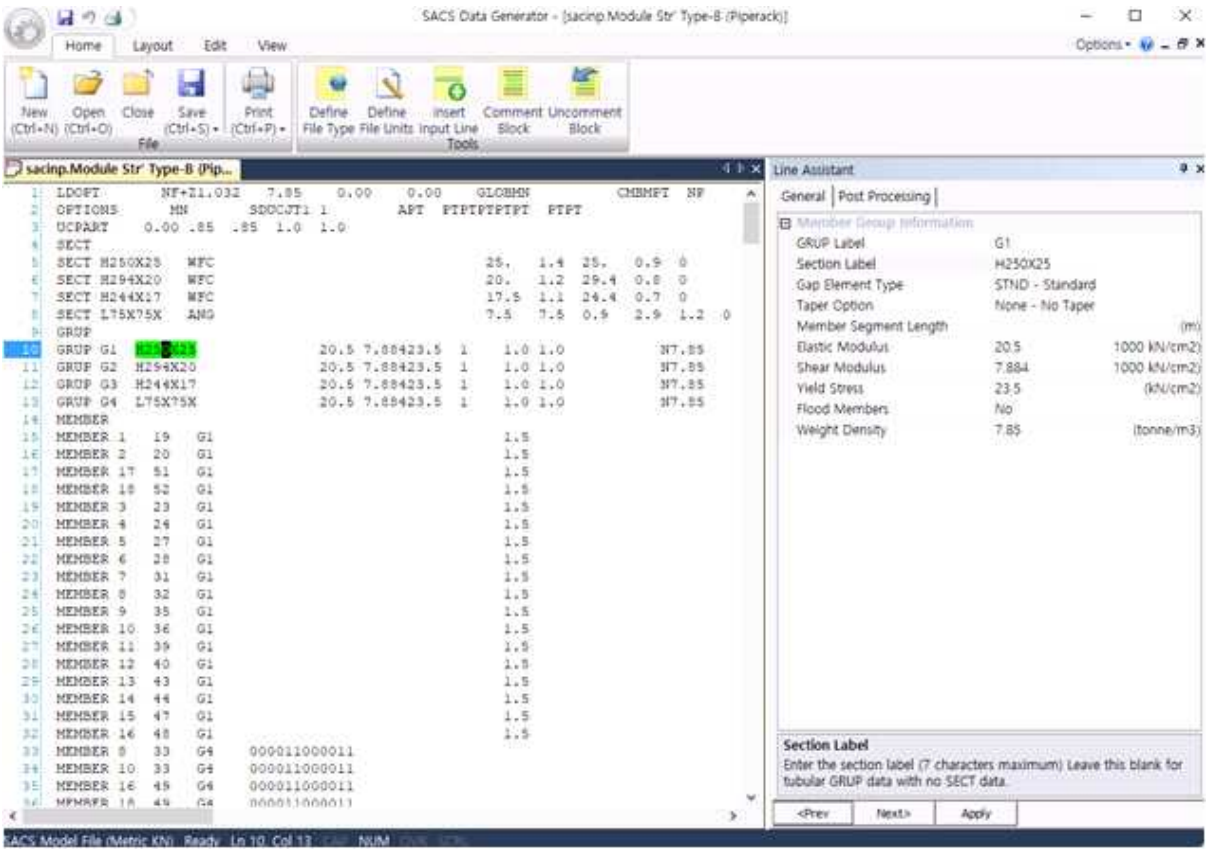
- Member는 다음과 같이 구성

1st Connection Joint

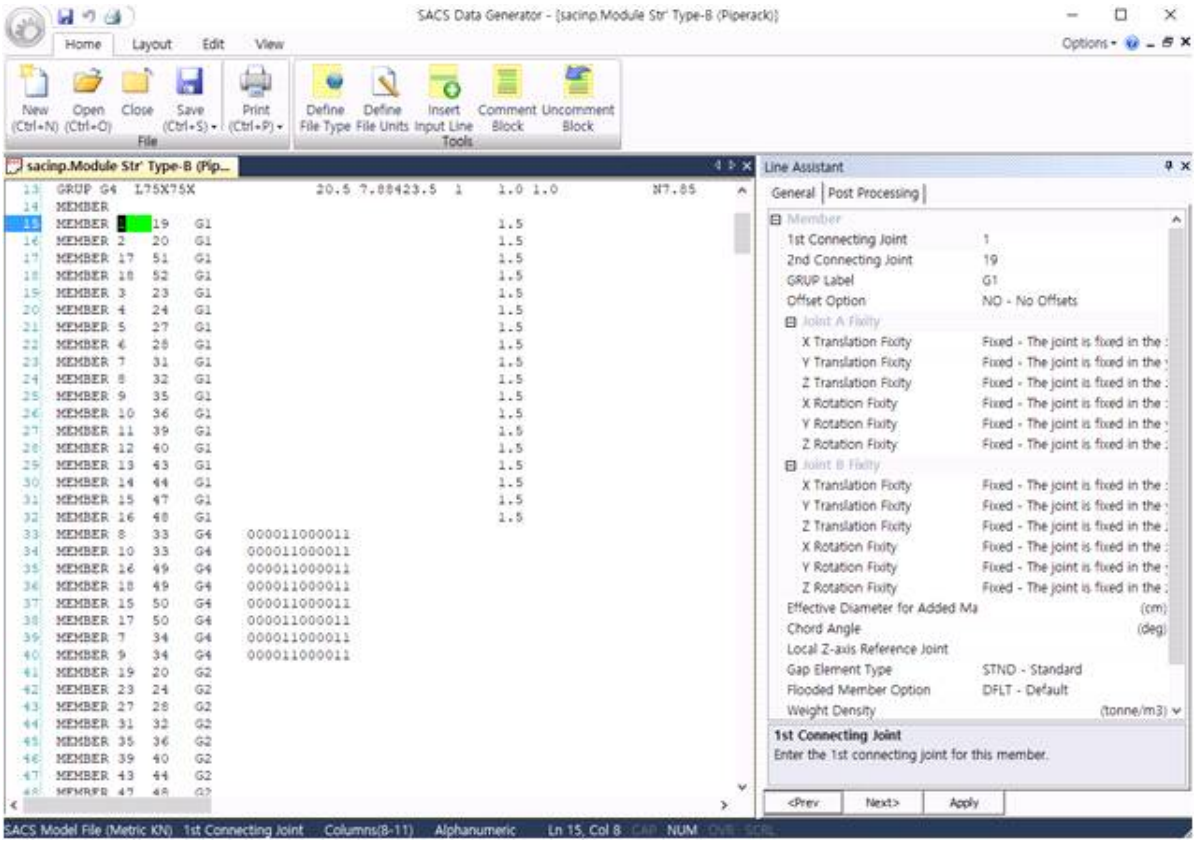
2nd Connection Joint

Group Label

Joint A, B에 대한 X, Y, Z Fixity

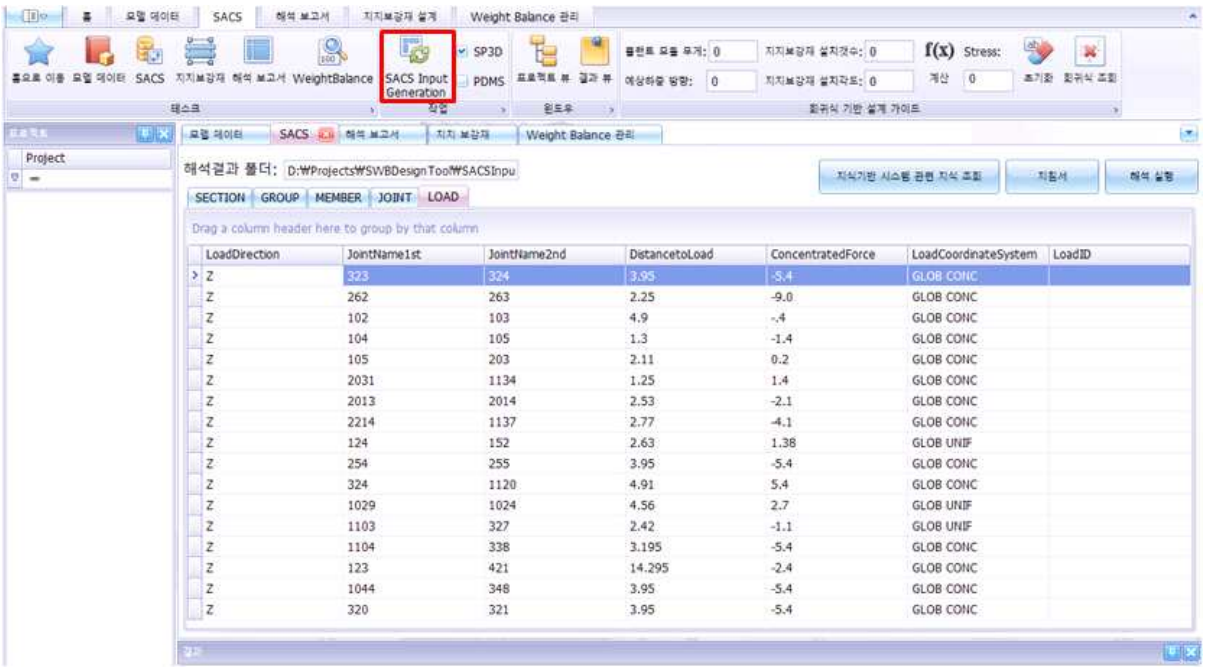


SACS Input Data 확인



SACS Input Data 확인

- 지지보강재 설치 위치, 형상, 사양 설계 자동화
- 변경된 내용을 SACS input data 파일로 생성 → 설계 변경 → 재해석
- 변경된 내용을 SACS input data 파일로 다시 생성



SACS Input Data 확인

(3) 결론

(나) 주요 결과

▶ 지지보강재 운송성 검증 해석 결론

- 플랜트 모듈 이송시 설치되는 지지보강재의 안정성 검증 해석을 위해 해석 모델의 사이즈는 국내 육상 이송시의 운행제한 법규를 고려하여 선정하였다.
- 이송 시에 발생하는 하중 조건은 해양 컨테이너의 지침 규격의 선박의 Pitch 조건 및 Yaw 조건을 적용하여 지지보강재의 개수 및 설치 각도를 검토하였다.

▶ 플랜트 모듈 지지보강재 개수 증가에 따른 영향 분석

- Pitch 하중에 대해서는 지지보강재 개수 증가에 의해 응력 분산 효과가 있다.
- Yaw 하중에 대해서는 개수가 많은 모델의 경우가 변형을 제한하는 현상으로 오히려 응력이 증가하는 결과가 나타났다. 실제 Yaw 하중의 경우는 최외각 지점에서 발생하는 힘이 아니므로 분포하중 형태로 입력이 필요할 것으로 판단된다.

▶ 플랜트 모듈 지지보강재 설치 각도에 대한 영향 분석

- Pitch 하중에 대해서는 지지보강재의 설치 각도가 낮아지면서 지지보강재의 응력이 낮아지는 결과가 나타나지만, 모듈의 구속점에서의 응력은 증가하였다
- Yaw 하중에 대해서는 지지보강재의 설치 각도가 낮아짐에 따라 응력 분산 효과가 있다.

▶ 지지보강재의 안정성에 영향을 미치는 주요 파라미터 (플랜트 모듈 무게, 지지보강재 설치 개수, 지지보강재 설치 위치)를 도출하고, 소프트웨어 구성을 제안하였다.

▶ 구조 해석을 통해 각 파라미터 및 하중의 변화에 따라 지지보강재에서 발생하는 응력을 분석하고, surface fitting을 통해 하중과 파라미터의 변화에 따른 발생 응력의 회귀식(R-square > 0.9)을 도출하였다. 단일 파라미터의 영향뿐만 아니라, 파라미터 간 교호작용에 의한 영향을 분석하여 회귀식 및 알고리즘을 보완하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

▶ 샘플 및 test bed 플랜트 모듈을 대상으로 육상 및 해양 운송 해석을 수행하였다. 육상 운송은 SPMT로, 해양 운송은 Noble Denton 가이드라인을 준수한 해석 조건을 적용하여 운송 해석을 수행하였다. Test Bed 플랜트 모듈 구조의 해양 운송 해석 결과를 정리하면, 구조물 재료 강도 대비 구조물 부재에서 발생하는 응력이 10% 이내이므로 구조 건전성을 확보했다고 판단할 수 있다.

▶ 운송 해석 결과, 변위 및 응력 취약점을 찾아내어 플랜트 모듈 지지보강재 설치 설계를 자동화하는 알고리즘을 개발하였으며, 소프트웨어 모듈을 개발하였다.

▶ 상용 구조 해석 솔버기반으로 해석 결과를 얻기 위해서는 신속 정확한 해석 데이터 입력이 중요하다. 기존의 설계자가 일일이 수작업으로 해석 데이터를 입력하거나 그래프를 그리는 업무 패턴을 개선하기 위해, 해석 데이터 입력 자동화를 구현하기 위한 준비 단계로서, S3D CAD 시스템에서 설계한 테스트베드 모델을 대상으로, CAD 모델의 형상 및 엔지니어링 데이터가 저장된 데이터베이스를 쿼리하여, 모델 데이터을 import하고 분석하는 기능을 구현하였다.

▶ 해석 데이터 입력을 위해 분석된 모델 데이터를 가시화함으로써 설계자가 해석을 실행하기 전에 구조물의 형상을 파악하고 사전 검토할 필요가 있으므로, 데이터 분석 기능과 연계하여 OpenGL 그래픽 라이브러리를 기반으로 가시화 기능을 구현하였다.

▶ 플랜트 모듈 구조 해석 절차 간편화 방법을 실험계획법을 기반으로 구현하였다. 샘플 테스트 결과, 간편화 효과를 거둘 수 있었다.

(나) 향후 계획

▶ 지지보강재 운송성 검증 해석을 위해서 실제 현업에서 사용하는 운송 장비 규격을 해석 모델에 반영하여 운송 안정성에 대한 검토를 수행하여 해석 정확도를 개선할 필요가 있다.

▶ 사용자 편의성에 맞춰 GUI 구성을 개선할 필요가 있다.

▶ 업계 표준 상용 구조 해석 솔버기반의 지지보강재 설계 플랫폼의 호환성을 높일 필요가 있기

때문에 타 솔버기반의 플랫폼 구현을 고려해볼 수 있다.

▶ 플랜트 모듈 구조 해석 절차 간편화 방법을 테스트 중에 있으며, 이 방법의 확대 적용 테스트를 실행할 필요가 있다.

차) [A-10] 플랜트 모듈 지지대/보강재/Lug 설계 지침서

(1) 개요

(가) 연구목적

▶ 모듈은 운송 여건에 따라 크기 및 중량이 결정되고 모듈 운송 시 발생하는 외력에 따른 모듈의 안정성 확보를 위해 보강재가 필수적이며 다양한 경우의 운송에 대한 모듈 지지대에 대한 검토가 요구된다. 또한 소규모 모듈의 경우에는 Lifting시 요구되는 Lug 사례에 대한 검토도 요구된다. 본 연구에서는 모듈의 지지대, 보강재 그리고 Lug 설계 방법에 대한 조사를 기반으로 하는 설계기법을 정리하는 것을 목적으로 함.

▶ 운송방법에 따라 지지대 및 보강재의 선택 및 위치가 다르게 결정될 수 있다. 이는 설계서에서 자세하게 다룰 것이다. 또한 소규모 모듈의 경우에는 Lifting시 요구되는 Lug와 관련하여서도 자세한 계산 및 설계가 요구된다.

▶ 위의 내용으로 종합해 보면 지지대/보강재는 안전한 운송 뿐 아니라 Lifting시에도 안전한 설치를 위해 설계 초기 단계부터 반드시 사전 검토 및 분석이 반드시 이루어져야 하며, 이러한 기법개발을 위해 지지보강재LUG 설계지침서가 필요함.

(나) 연구내용

▶ 당해 연도에서는 모듈지지대/ 보강재/ Lug 설계기법을 위하하여 다음과 같은 조사연구가 수행됨.

- 모듈의 주요 부재에 적용하는 강종 분석조사
- 모듈 선박운송선에 대한 운동해석 및 제반 조사
- 모듈 SPMT를 이용한 육상운동에 따른 제반 조사(지지대의 경계조건 등)
- Lug별 허용응력 및 모듈 리프팅 조건 분석조사
- Static 조건 과 Pre-Service 조건 에 따른 Design Scheme 분석 조사
- 지지대에 발생하는 집중하중에 따른 보강사례 분석 조사

▶ 당해 연도에서는 모듈 지지대/ 보강재/ Lug 설계기법을 위해 다음과 같은 설계지침서 작성함.

- 설계 개요
- 전문용어 및 약어
- 설계기준 및 적용 CODE
- 설계 변수
- LOAD IN/OUT 해석
- 해상 운송 해석
- LIFTING 해석
- JACKING 해석
- TEST BED 관련 도면

(1) 수행내용

▶ 설계조건

- Steel Grade-Module 은 주요 부재 와 Sub 부재로 나뉘며 각 부재 별 강도를 차등 적용하여 안정성 확보함
- 강재 허용응력 및 Wind Load 조건
  - 강재의 허용 응력 은 Load-out(Sea Transportation)시 에는 33% 의 Increase Factor 적용

함.

- 모듈 운송 시 Wind Load 는 21.2 m/s 적용하며, 온도하중은 47도 를 적용함.

• 경계 조건

- SPMT로 Module 운송 시 Support의 손실 및 Up-Lift 발생을 고려한 해석수행

• 지점침하 해석 시 하중조합

- Support의 손실 및 Up-Lift 발생에 대한 하중 조합은 각 Support 별로 별도 재하 함.

• Weight Contingency

- 모듈 Dead Load 구분 및 Design 단계별 로 Weight Contingency 를 차등 적용함.

• SPMT 운송에 따른 하중 조건

- SPMT 운송 시 수평, 수직 가속도 계수를 각 방향 별 로 산정하여 모듈 운송에 따른 안정성 확보 한다.

• Barge 운송해석시 하중조건

- Barge 운송 해석 시 경계 조건 및 Acceleration

• Barge Motion Data 및 하중조합

- Barge Motion Data & Load Combination

• Lug해석 필요 Data

- Lifting 시 발생하는 응력에 따른 허용응력 감소 계수
- Lifting Sling 각도 최소 조건

• Lifting Point와 COG 허용오차

• Lifting 하중계수

• Padeye Design 및 Lifting 하중조합

• SPMT Support 경계조건 및 해석 결과에 따른 보강 도면 작성 사례 분석

(2) 결론

(가) 주요결과

▶ 구체적 내용은 #산출물A-10-1,2와 #부록 참조(지지 보강재 설계요구사항 List, 지지 보강재 설계지침서)

▶ 설계조건 및 모듈 운송 시 작용하는 Wind Load 검토

▶ SPMT 운송 중 Support 의 손실 및 상승 에 대한 하중 조합

▶ 모듈의 Dead Load 구분 및 Design 단계별로 Weight Contingency 적용

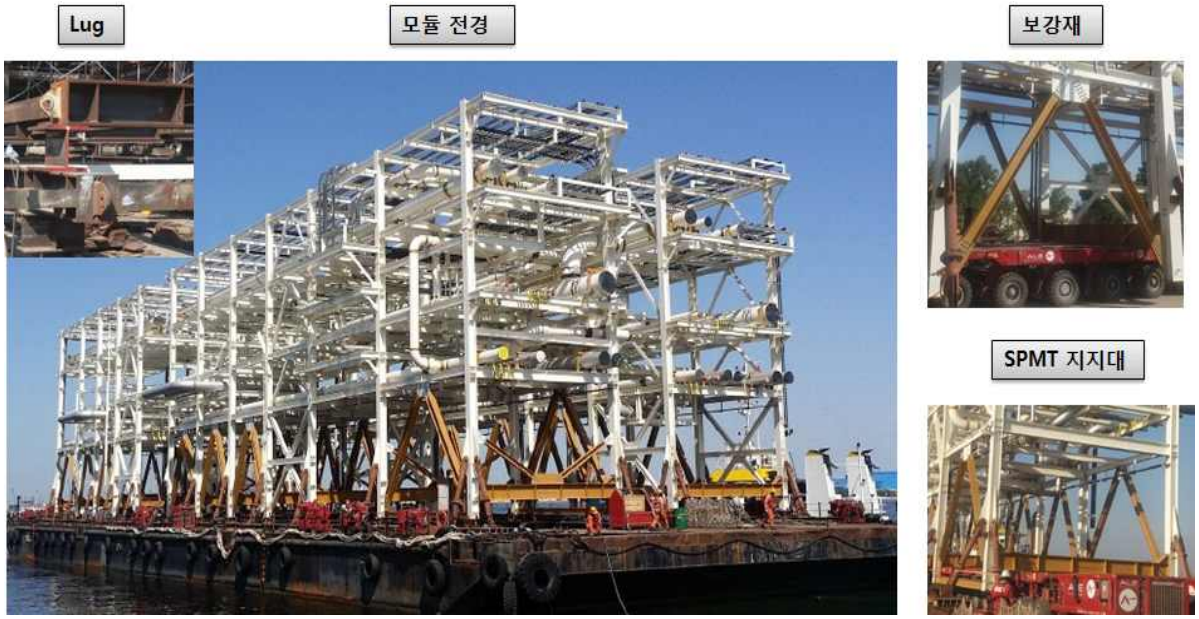
▶ SPMT 운송 시 수평, 수직 가속도 계수 각 방향 별 산정

▶ Barge 운송 해석 에 필요한 운송 Route 및 해상 정보 수집

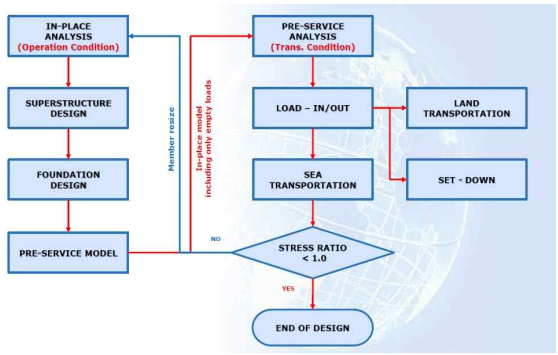
▶ 해상 운송해석 을 위한 Barge Motion 해석

▶ Lifting Point 와 모듈 C.O.G 허용 오차 확인

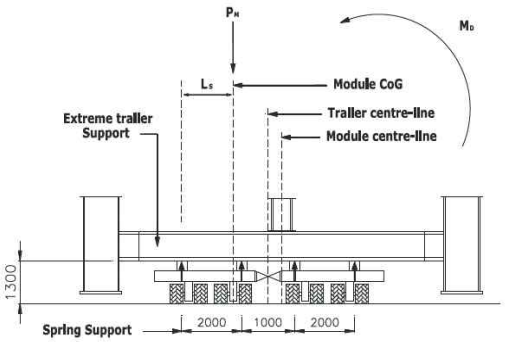
▶ Lifting 각도에 따른 하중계수 및 Lifting Point 에 따른 중요도 계수 적용



[그림. 모듈 제작 후 운송/선적/하역 시 모듈 안정성 확보를 위한 지지/보강재/Lug 최적설계 사례]



[그림. 지지대/보강재 해석 절차]



[그림. 운송중 전도에 대한 안정성 확보]

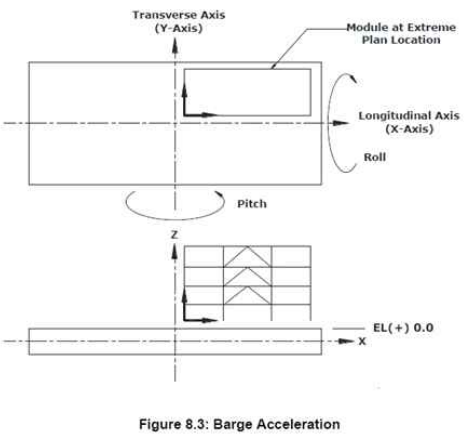


Figure 8.3: Barge Acceleration

[그림. Barge Acceleration]

Load Combination	Load Cases							
	Dead Load	Load due to Barge Motion			Wind Load			
	DT	Roll	Pitch	Heave	WLS-X	WLS-Y	WLP-X	WLP-Y
1	1.0	1.0		1.0		-1.0		-1.0
2	1.0	1.0		-1.0		-1.0		-1.0
3	1.0	-1.0		1.0		1.0		1.0
4	1.0	-1.0		-1.0		1.0		1.0
5	1.0		1.0	1.0	1.0		1.0	
6	1.0		1.0	-1.0	1.0		1.0	
7	1.0		-1.0	1.0	-1.0		-1.0	
8	1.0		-1.0	-1.0	-1.0		-1.0	
9	1.0	0.707	0.707	1.0	0.707	0.707	0.707	0.707
10	1.0	0.707	-0.707	1.0	-0.707	0.707	-0.707	0.707
11	1.0	-0.707	-0.707	1.0	-0.707	-0.707	-0.707	-0.707
12	1.0	-0.707	0.707	1.0	0.707	-0.707	0.707	-0.707
13	1.0	0.707	0.707	-1.0	0.707	0.707	0.707	0.707
14	1.0	0.707	-0.707	-1.0	-0.707	0.707	-0.707	0.707
15	1.0	-0.707	-0.707	-1.0	-0.707	-0.707	-0.707	-0.707
16	1.0	-0.707	0.707	-1.0	0.707	-0.707	0.707	-0.707

[그림. Barge 운송 Load Combination]

(나) 향후계획

▶ 다양한 모듈화 Project 의 설계 사례를 분석하여 Up-date 함.

▶ 지지대/보강재/Lug 지침서를 활용한 모듈설계를 통해 모듈설계 시 발생되는 오류를 최소화 하기 위해 폭 넓은 실증 Project에 Test 를 수행함.

2) [B] 협업단위 모듈화 지식 기반 시스템 (패키지)

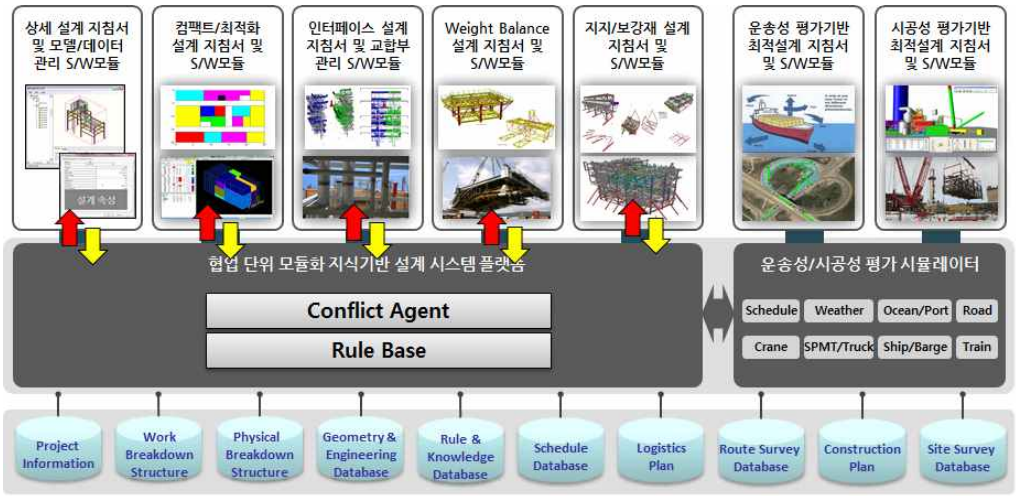
가) [B-1] 지식기반 시스템 플랫폼 개념 설계서

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 플랜트 동시병행 협업 엔지니어링 환경에서 단위 모듈 상세 설계 지원을 위해 개발되는 요소기술들의 S/W모듈(협업단위 모듈 컴팩트/최적화 및 인터페이스 설계 모듈과 Weight Balance 및 지지/보강재 설계 모듈, 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 모듈)을 통합 및 연계하여 플랜트 모듈화 엔지니어링 협업작업을 체계적으로 지원할 수 있는 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼을 개발하는 것을 목적으로 하고 있음



[그림. 협업단위 모듈화 지식기반 설계 시스템의 역할]

(나) 연구 내용

▶ 본 연구 2차년도에는 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼에 대하여 지식기반 시스템의 기술 현황 (기본적인 방법론, 기술 동향, 지식기반 툴)을 파악하였고, 각 모듈 상세 설계의 프로세스 및 데이터를 수집/분석하여 상세 설계 S/W 모듈 간 연동을 위한 요구사항 및 개선 방향을 정립하였음

(2) 수행 내용

▶ 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼 정의 / 카탈로그 데이터 스키마 기반 지식베이스 정의

▶ 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼 설계 관련 선행 연구 조사 수행

▶ 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼 설계

▶ 사용자 인터페이스 작성 / 기능 설계(Use Case) / 시퀀스 다이어그램 작성

▶ 클래스 다이어그램 작성 / 연동 시스템 API 조사 및 분석

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 지식기반 시스템 기술 현황 분석

- 국·내외적으로 협업을 위한 지식기반 시스템 연구개발 사례는 아직 미미한 상태이고 EPC사를 중심으로 연구가 진행되는 상태지만, 수행되는 프로젝트마다 적용되는 지식이 다르고 의견 대립으로 인한 해결방안 모색 시 그때마다 다르므로 의사 결정 지원 시스템을 적용하는 데 어려움을 겪고 있는 실정임
- 플랜트 협업설계에 적용되는 룰은 일반적인 부품 설계에 적용되는 룰과는 다르게 오브젝트

(Object) 간 복잡한 관계를 띄고 있어 기존에 제안된 지식 표현 방법이나 지식기반 시스템 방법론보다는 차별화된 지식 표현 방법과 지식기반 시스템 방법론이 필요함

- 각 설계 시스템에서 설계에 활용될 규칙뿐만 아니라 각 설계 시스템 간 독립적 설계수행으로 인한 충돌을 방지하기 위한 지식기반 시스템 플랫폼이 필요하며, 또한 각 설계 시스템 간 통합된 규칙 오브젝트(Rule Object)를 생성하여 추론 성능을 극대화하고자 엔지니어링 데이터 스키마 기반의 규칙 생성이 필요함

▶ Blaze Advisor API 조사

- 협업 모듈 단위 지식기반 시스템 플랫폼에서 규칙 추론을 수행하기 위한 사용 전문가 시스템 쉘(Shell)인 Blaze Advisor와의 연동을 위한 API를 조사하였음. API는 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼과 추론 엔진의 연동, 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼에서의 지식 및 규칙의 저장, 조회, 수정 등을 수행하기 위한 목적으로 조사하였음
- 협업 모듈 단위 지식기반 시스템 플랫폼에서 규칙 추론은 성능을 좌우하는 가장 핵심이 되는 요소이기 때문에 API에 대한 정확한 분석이 요구됨

(나) 향후 계획

▶ 협업 모듈 단위 지식기반 시스템 플랫폼의 개념설계 및 상세 설계를 기반으로 구현을 수행할 계획임

B) 3차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 플랜트 동시병행 협업 엔지니어링 환경에서 단위 모듈 상세 설계 지원을 위해 개발되는 요소기술들의 S/W모듈을 통합 및 관련 설계지식을 기반으로 설계 지원을 함으로써 플랜트 모듈화 엔지니어링 협업작업을 체계적으로 지원할 수 있는 협업단위 모듈화 지식기반 시스템 플랫폼을 개발

▶ 플랜트 설계 시스템 환경에서의 지식표현 방법 및 지식 추론을 위한 설계 데이터 획득 방법에 대한 방법론 개발

(나) 연구 내용

▶ 플랜트 기자재 표준 ISO 15926과 관련된 표준기술 조사 및 관련 선행 연구를 조사한 후 본 연구과제에 적합한 Catalog Schema 기반의 지식 표현 방법론 개발 및 S3D Catalog Schema를 활용한 Mapping 방법론을 개발하였다. 또한, 해당 방법론을 기반으로 Intergraph의 Smart 3D CAD시스템을 통해 검증할 수 있는 프로토타입을 개발하였음

▶ 이를 기반으로 지식관리를 수행하기 위한 지식관리 포털과 각 설계 모듈의 지식 설계 지원을 위한 지식 설계 플랫폼을 개발하였으며, 이를 위한 설계서를 작성하였음

(2) 수행 내용

▶ ISO 15926과 S3D의 Catalog Schema를 기반으로 지식 표현을 위한 Meta Schema를 정의하였고, Meta Schema와 S3D의 Catalog Schema를 Mapping을 하기 위한 방법론을 정의하였음. 이를 기반으로 지식표현을 위한 지식관리 포털의 설계서를 작성하였으며, 지식 엔진으로 사용할 Blaze Advisor와의 관계 모델을 작성하고 이에 대한 설계를 수행하였음.

▶ 지식관리 포털은 지식관리 용이성을 위해서 웹 기반으로 제공될 수 있도록 했으며, 지식설계 플랫폼은 .Net 기반의 언어를 이용해서 개발을 수행하였음. 설계 프로그램과의 Adapter 개발은 설계 프로그램에서 지원하는 API를 분석하고 지식설계 플랫폼에 적용하였음.

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 지식기반 시스템(패키지) 개발: 지식관리 포털은 4개의 홈페이지 사용/관리화면과 4개의 지식관리 화면으로 구성



그림 843 지식관리 포털 구성

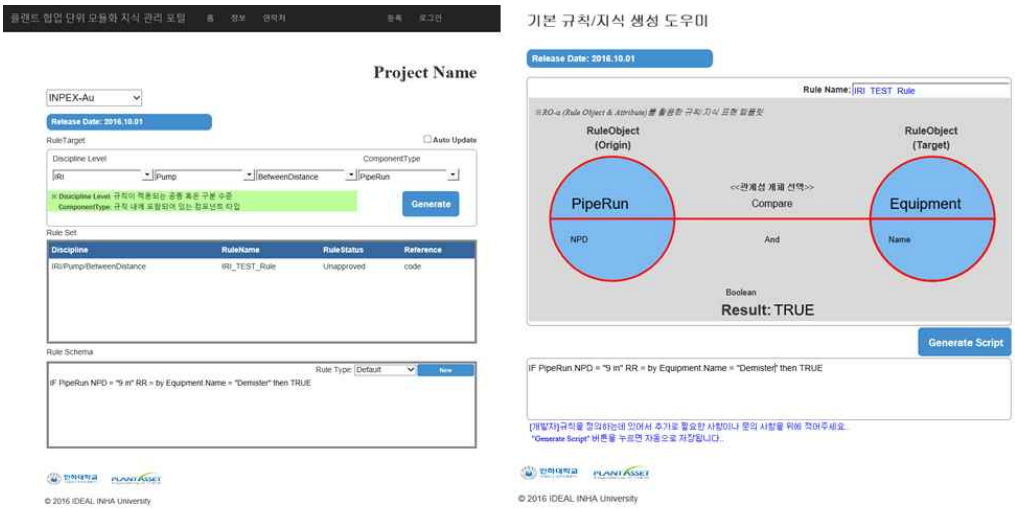


그림 844 지식관리 페이지 화면

▶ 설계 시스템 Adapter개발

(나) 향후 계획

▶ 각 기관의 설계 모듈을 통합하기 위한 Adapter개발 지원

▶ 각 기관의 설계 모듈에서 요구하는 설계 지식의 반영

C) 4차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 플랜트 동시병행 협업 엔지니어링 환경에서 단위 모듈 상세 설계 지원을 위해 개발되는 요소기술들의 S/W모듈을 지식기반 설계 플랫폼과의 연동 및 통합을 위해서 지식 기반 시스템과 각 모듈간의 인터페이스가 정의되어야 할 필요성이 있으며, 설계 데이터 기반의 추론을 위해서는 설계 데이터를 획득해야 할 필요성이 있으므로, 이를 위한 인터페이스 설계 및 개발을 수행할 필요가 있음

▶ 5차년도/6차년도에서 상용화 및 시스템 보완 작업을 수행하기 전에 전체 모듈간의 통합 및 인터페이스 개발에 대한 작업이 선행되어야 함

▶ 운송성/시공성 평가 모듈 및 Weight Balance/지지보강재 설계 모듈의 기능에 대한 분석 및 요구사항을 수집하고 지침서를 기반으로 지식기반 설계 플랫폼의 기능을 도출하였으며, 이를 위

한 인터페이스를 설계 및 개발을 수행함

(나) 연구 내용

▶ Weight Balance/지지보강재 연동 모듈에서의 지식 표현 및 연결을 위한 지식 표현 방법론에 대한 연구 및 지침서를 기반으로 하는 지식 표현을 위한 편집 기능에 대한 방법론 연구

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 요구하는 설계 데이터 정보를 획득하기 위한 방법론 연구

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 연동 모듈에서의 지식 표현 및 연결을 위한 지식 표현 방법론에 대한 연구, 지식 표현을 위한 편집 기능에 대한 방법론 연구

(2) 수행 내용

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이션에서 필요로 하는 변수에 대한 정보를 지식기반 설계 플랫폼에 정의를 하고 이를 표현하기 위한 Meta Schema를 정의함

▶ 이에 대한 지식 쿼리를 위한 어댑터를 개발함

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 요구하는 설계 데이터를 추출하기 위해서 지식기반 설계 플랫폼에서 지원할 수 있는 인터페이스 및 관련 어댑터를 개발함

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 관련 지식의 연동을 위한 방법론을 정의하고 개발을 수행함

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 요구하는 기능에 대한 지식 표현을 위한 Meta Schema를 정의하고 규칙을 정의함

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 지식을 조회하기 위해서 해당 Discipline을 선택한 후 정의되어 있는 지식을 조회함. 조회된 지식과 현재 정의되어 있는 기능을 Combo box로 선택해서 연결 수행

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 연동을 위한 인터페이스 설계 및 개발

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈 연동을 위한 인터페이스 설계 및 개발

(나) 향후 계획

▶ 상용화 및 시스템 사용성 향상을 위한 지식 입력 방법에 대한 개선

▶ 각 기관의 설계 모듈에서 요구하는 설계 지식의 편집 기능 보완

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 플랜트 동시병행 협업 엔지니어링 환경에서 단위 모듈 상세 설계 지원을 위해 개발되는 요소기술들의 S/W모듈을 지식기반 설계 플랫폼과의 연동 및 통합을 위해서 지식 기반 시스템과 각 모듈간의 인터페이스를 정의했으며, 각 모듈에서 요구하는 지식/규칙을 정의하고 제공하기 위한 테스트베드를 구축해야할 필요가 있음

▶ 5차년도/6차년도에서 상용화 및 시스템 보완 작업을 수행하기 전에 전체 모듈간의 통합 및 인터페이스 개발에 대한 작업이 진행됨

▶ 운송성/시공성 평가 모듈 및 Weight Balance/지지보강재 설계 모듈의 기능에 대한 분석 및 요구사항을 수집하고 지침서를 기반으로 지식기반 설계 플랫폼의 기능을 도출하였으며, 이를 위한 인터페이스를 설계 및 개발을 수행함

(나) 연구 내용

▶ 규칙관리 체계에 대한 관리 방법 개선 및 규칙 입력 화면 개선
▶ Weight Balance/지지보강재 연동 모듈에서의 지식 표현 및 연결을 위한 지식 표현 방법론에 대한 연구 및 지침서를 기반으로 하는 지식 표현을 위한 편집 기능에 대한 방법론 연구
▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 요구하는 설계 데이터 정보를 획득하기 위한 방법론 연구
▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 연동 모듈에서의 지식 표현 및 연결을 위한 지식 표현 방법론에 대한 연구, 지식 표현을 위한 편집 기능에 대한 방법론 연구
▶ Weight Balance/지지보강재 모듈과 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 모듈을 위한 샘플지식베이스 구축

(2) 수행 내용
▶ 규칙관리 체계 개선을 위한 규칙 관계도 작성 및 구체화
▶ 프로젝트와 Discipline은 폴더로 관리하고 Rule Set은 XML파일로 정의함
▶ 규칙 생성/편집/삭제를 위한 기능 추가 개발 및 개선
▶ Rule Object와 Rule Attribute의 선택을 위한 Treeview의 추가
▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이션에서 필요로 하는 변수에 대한 정보를 지식기반 설계 플랫폼에 정의를 하고 이를 표현하기 위한 Meta Schema를 정의하고 지식 쿼리를 위한 어댑터를 개발함
▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 요구하는 설계 데이터를 추출하기 위해서 지식기반 설계 플랫폼에서 지원할 수 있는 인터페이스 및 관련 어댑터를 개선
▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 관련 지식의 연동을 위한 방법론을 정의하고 개발을 수행함
▶ Weight Balance/지지보강재 모듈에서 요구하는 기능에 대한 지식 표현을 위한 Meta Schema를 정의하고 규칙을 정의함

(3) 결론
(가) 주요 결과
▶ 지식관리를 위한 방법론 개선
▶ 규칙 생성/삭제/편집을 위한 시스템 개발 및 개선
▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 연동을 위한 인터페이스 설계 및 개발
▶ Weight Balance/지지보강재 모듈 연동을 위한 인터페이스 설계 및 개발

(나) 향후 계획
▶ 상용화 및 시스템 사용성 향상을 위한 지식 입력 방법에 대한 개선작업 추가 진행
▶ 각 기관의 설계 모듈에서 요구하는 설계 지식의 편집 기능 보완 추가 진행

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요
(가) 연구 목적
▶ 6차년도에서는 상용화 및 시스템 보완 작업을 수행하기 전에 전체 모듈 간의 통합 및 인터페이스 개발에 대한 작업이 진행됨
▶ 운송성/시공성 평가 모듈 및 Weight Balance/지지보강재 설계 모듈의 기능에 대한 분석 및 요구사항을 수집하고 지침서를 기반으로 지식기반 설계 플랫폼의 기능을 도출하였으며, 이를 위한 인터페이스를 설계 및 개발을 수행함

(나) 연구 내용

▶ 규칙 정의 및 관리 기능에 대한 보완

▶ S3D에 대한 Adapter기능을 활용한 Rule의 실행 기능 검증

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈과 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 모듈을 위한 샘플 지식베이스 구축

(2) 수행 내용

▶ 기존의 ASP.Net에서 Wpf방식으로 전체 관리 포털의 변경 수행

▶ 규칙을 정의하기 위한 스키마의 입력 방법 체계 계선

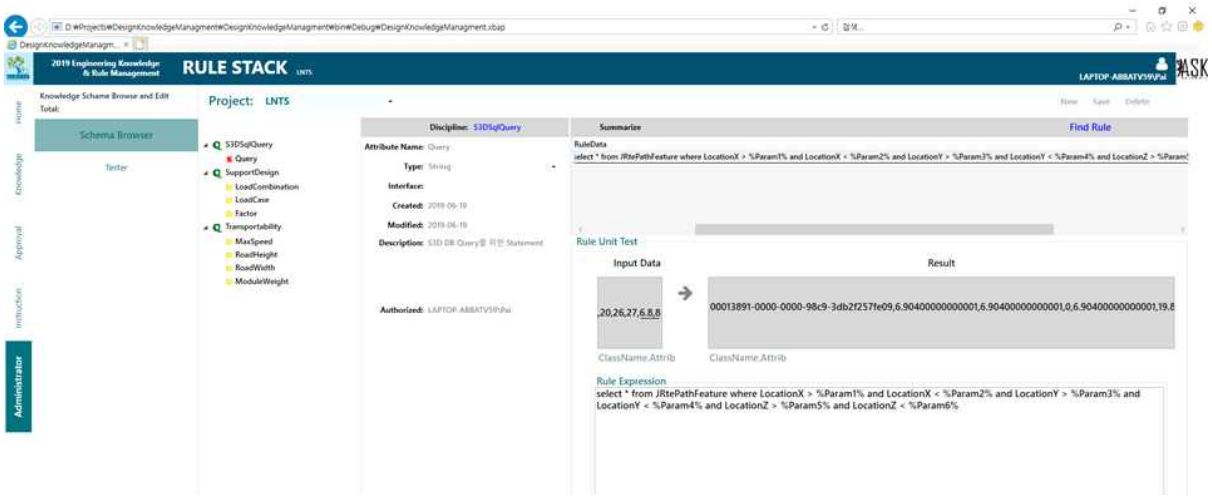


그림 845 규칙을 정의하기 위한 스키마 입력 화면

▶ 정의된 스키마를 드래그 앤 드랍 방식으로 규칙을 정의할 수 있도록 사용자 인터페이스 개선

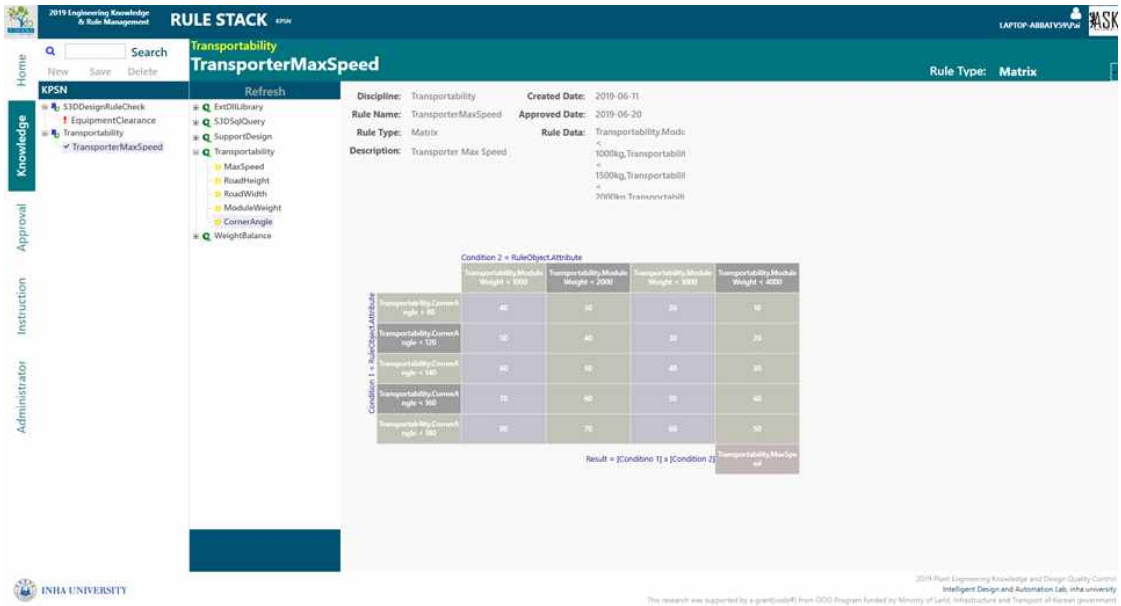


그림 846 Matrix 타입의 규칙 정의화면

▶ S3D와 연계하여 규칙의 실행 및 결과 검토

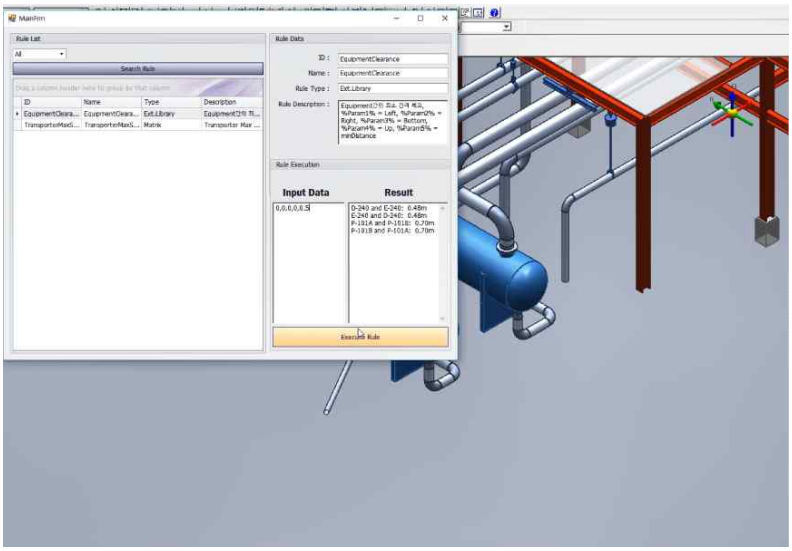


그림 847 S3D에서의 규칙 실행 검증

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 지식관리를 위한 방법론 개선

▶ 규칙 생성/삭제/편집을 위한 시스템 개발 및 개선

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 연동을 위한 인터페이스 설계 및 개발

▶ Weight Balance/지지보강재 모듈 연동을 위한 인터페이스 설계 및 개발

(나) 향후 계획

▶ 홍보를 위한 현업 중심의 다양한 설계 규칙의 반영 및 이를 위한 스키마 보완

3) [C] 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈

가) [C-1] 운송성 평가 시뮬레이션 운송/선적/하역 계획 검증 모듈

연도	단위성과	세부추진내용
2차년도	[C-1]	플랜트 운송 평가 시뮬레이션 기술 분석 보고서
3차년도		플랜트 운송성 평가 알고리즘 및 시스템 구축
4차년도		플랜트 운송성 평가 알고리즘 및 시스템 구축
5차년도		운송성평가 시뮬레이션을 위한 운송/선적/하역 계획 S/W 모듈 개발
6차년도		운송성 평가 시스템 시험적용, 성능 평가 및 보완

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1)개요

(가) 연구 목적

▶ 모듈화된 협업 단위 육상 플랜트 시스템의 운송, 선적, 하역을 고려한 시뮬레이션을 통해 운송성을 사전에 평가하고 검증함으로써 최적화된 운송, 선적, 하역 계획과 이를 위한 동시적 설계 연지니어링을 지원하는 기술에 대한 분석을 수행한다.

▶ C-1 연구결과인 플랜트 운송 평가 시뮬레이션 기술 분석 보고서 및 관련 S/W 5종의 개발을 통해, 플랜트 운송을 평가하는 소프트웨어를 설계하고, 해당 평가를 기반으로 최적화 설계를 지원할 수 있는 시스템을 설계하는 것이 본 연구의 목표이다.

(2) 수행 내용

▶ 플랜트 운송 평가 시뮬레이션 기술 분석을 위해 시행되어야 할 연구 및 이를 기반으로 작성되어야 할 시스템의 구성을 연구 흐름도와 자료 흐름도로 표현하였다. 이를 통해 본 연구에서 개발되어야할 소프트웨어 모듈의 기능과 범위 및 연구의 순서를 설계/정의하였다.

▶ 화면 설계서 및 시스템 시험 시나리오 작성

▶ 상용 운송 시뮬레이션 시스템 및 S/W 기술분석

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 플랜트 운송 평가 기술, 요구사항 및 상용 S/W 조사 및 분석

- 플랜트 건설 시 운송성 평가 및 기술 개발이 본 연구 과제의 최종 목표이고, 당해연도에는 해당 기술 개발을 위한 조사 및 분석을 진행하였다. 운송성 평가 기술은 국내 및 해외의 주요 저널의 논문 및 관련 업체의 평가 내용을 조사하여 본 연구 개발에 해당될 수 있는 내용을 분석하였다. 특히 현대건설의 아부다비 프로젝트 방문 시, 플랜트 운송 기술 및 시스템 관련 요구사항을 수집하여 해당 연구 과제의 목표를 설정한 바 있고, 삼성중공업, 현대건설 등 주요 시공업체 방문을 통해 상용 기술 및 S/W를 조사하여 해당 연구과제에서 기여할 수 있는 부분의 탐색을 지원하였다. SACS, MOSES, STAAD 등의 상용 S/W와 관련 기술을 조사하였다.

- 운송 기술 및 시스템의 요구사항을 파악하여, Support Bracing, Sea Fastening의 위치 및 개수 최적화 등의 요소를 파악하였다.

▶ 플랜트 운송 평가를 위한 자동 시뮬레이션 S/W 기술 개발

- 육상 운송 시 운송 시뮬레이션의 자동화를 위한 S/W 모듈 5종(다물체 동역학 시뮬레이션을 활용한 웹 기반 운송 안전성 평가 모듈, 운송 가능성 시뮬레이션을 위한 적합 운송 경로 자동 추출 모듈, 다 물체 동역학 시뮬레이션의 자동화를 위한 데이터베이스 연동 동적 변수 대응 자동화 보조 모듈, 선회 기하학적 알고리즘을 활용한 곡선 경로 주행 가능성 추출 모듈, 복합적 분석방법을 적용한 운송 가능성 평가 알고리즘을 기반으로 한 운송성 평가 모듈)을 개발하였다.

B) 3차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 모듈화 된 협업단위 육상 플랜트 시스템의 운송성을 평가하기 위한 Swept Path Analysis 및 Multi-body Dynamics Simulation 기반 방법론을 통합한 운송성 평가 알고리즘 개발

▶ 운송성을 고려한 설계 지원 시스템을 위한 기반 플랜트 운송 기술 및 요구사항 분석

(나) 연구내용

▶ 플랜트 운송 관련 평가 관련 선행 연구 조사 및 해당 연구를 발전한 플랜트 운송성 검증 알고리즘 개발 및 모듈화 된 협업단위 육상 플랜트 시스템의 운송성을 평가하기 위한 Swept Path Analysis 및 Multi-body Dynamics Simulation 기반 방법론을 통합한 운송성 평가 알고리즘 개발하였다. 또한 해당 방법론의 통합을 위한 MBD Simulation Server 구축을 통해 해당 부분 자동화 및 Database를 통한 데이터 동기화 작업을 진행하였다.

▶ 운송성을 고려한 모듈화 플랜트 설계 과정을 지원해줄 수 있는 시스템 구축, 설계 기술 확보를 위한 플랜트 운송 관련 기초 요구사항 분석 및 기술 분석을 수행하였다.

(1) 수행 내용

▶ 플랜트 운송 평가 알고리즘 개발을 위해 시행되어야 할 연구 및 이를 기반으로 작성되어야 할 알고리즘의 구성을 알고리즘 분석서를 통해 정리하였고, 이를 통해 본 연구에서 개발되어야할

알고리즘의 목표 및 적용 범위에 대해 설계/정의하였다.

▶ 운송 시뮬레이션 기술 분석의 경우 상용 운송 시뮬레이션 소프트웨어 조사를 통한 최신 기술을 파악하였으며, 플랜트 운송 요구사항 분석, 플랜트 운송 평가요소 분석의 경우 실제 운송 시 활용되는 운송 가이드(Noble Denton marine service guideline for marine transportation)를 통해 관련 기술을 조사하였다.

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 플랜트 운송 검증 알고리즘 개발

▶ 플랜트 요구사항, 평가요소, 시뮬레이션 기술 분석

C) 4차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 모듈화 된 협업단위 육상 플랜트 시스템의 운송성을 평가하기 위한 MVP 패턴의 운송성 평가 통합 시스템을 개발한다. 운송, 선적, 하역 고려 설계 데이터 추출 및 평가 검증을 할 수 있는 시스템을 개발한다.

▶ 운송성 평가 관리 시스템의 정보DB를 구축한다.

(나) 연구내용

▶ 플랜트 설계 과정에서 활용하기 위한 플랜트 운송 경로 추천 알고리즘을 개발한다. 해당 알고리즘을 통해 플랜트 운송경로 설정에 있어서 참고 사항을 제시한다. 해당 알고리즘을 통해 추출된 경로를 이용하여, Swept path analysis 및 Multibody Dynamics Simulation을 진행 할 수 있다.

▶ 운송성을 평가하기 위한 소프트웨어인 SACS 활용에 도움을 줄 수 있는 소프트웨어를 개발한다. 설계자가 전문가의 도움이 없는 상태에서 보조해주기 위한 소프트웨어로 k-NN 알고리즘을 활용한 데이터 검증 프로그램을 개발에 도움을 준다.

▶ 운송성 평가를 위한 통합 시스템을 개발과 통합 관리 DB를 연동한다.

(2) 수행 내용

▶ 플랜트의 운송성 평가를 위한 육상 운송 경로 추천 알고리즘을 개발하였다. 육상 운송성 평가는 Swept path analysis 및 Multibody Dynamics Simulation 로 진행 할 수 있는데, 이를 구체적으로 진행하기 위한 경로를 추천하여 진행할 수 있다.

▶ 운송성 평가를 위한 소프트웨어인 SACS 설계에 도움을 줄 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 전문가의 도움 없이 k-NN 알고리즘을 통해 이상치를 판별해 낼 수 있으며, 설계 과정에서 발생할 수 있는 데이터 기반 인공지능 알고리즘을 활용하여 인간의 실수를 줄여 줄 수 있다.

▶ 운송성 평가 관리를 위한 시스템을 개발하였다. 프로세스 관리 시스템을 활용하여, 운송성 평가에 활용되는 모듈을 이용할 수 있고, SACS 설계 데이터를 활용하여 플랜트 모델의 시각화또한 가능하게 하였다. 프로세스 관리 시스템을 통하여 전문가의 지식이 부재한 상황에서 프로세스 관리 및 운송성 평가에 도움을 줄 수 있다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 플랜트 육상 운송 경로 추천 알고리즘 개발
▶ 플랜트 운송성 평가 데이터 분석 알고리즘 개발
▶ 플랜트 운송성 평가 프로세스 관리 시스템 개발

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 모듈화 플랜트의 운송성 평가를 시뮬레이션 도구를 이용하여 시각적으로 사용자가 쉽게 운송가능성을 평가할 수 있도록 한다. 시뮬레이션 도구로는 2가지 평가 모듈로 다물체 동역학해석과 유한요소 해석을 진행한다.

(나) 연구내용

▶ 플랜트 운송 프로젝트 경로 데이터로부터 최대 회전 반경을 갖는 회전 구간에 대한 다물체 동역학 시뮬레이션(V-rep)을 실행할 수 있는 모듈이다. 모든 경로에 대한 해석을 진행하는 것은 시간 및 비용에 비효율적이기 때문에, 가장 큰 회전 반경을 갖는 구간만 해석을 진행한다.
▶ 다물체 동역학 시뮬레이션 해석을 통하여 플랜트 운송 과정에서 모듈에 가해지는 시간에 따른 가속도 데이터를 얻는다. 이는 유한요소 해석 모듈에서 인풋 데이터로 사용한다.
▶ 유한요소해석 모듈은 상용 프로그램인 Abaqus를 통해 진행한다. 앞선 다물체 동역학 시뮬레이션을 토해 얻은 가속도를 이용하여 Inertia Relief Analysis를 진행한다. 여기서 Inertia Relief Analysis의 중심은 모듈의 무게중심으로 설정한다.
▶ 유한요소해석을 통하여 플랜트 운송이 이루어지는 동안 플랜트에 가해지는 힘을 시각적인 시뮬레이션으로 확인 가능하다. 모든 결과는 시스템을 통해 전송되어지며 과정은 통합된 시뮬레이션 프로그램 내에서 진행된다. 결과로부터 운송경로에 대한 모듈의 운송가능성을 평가한다.

(1) 수행 내용

▶ 플랜트의 운송 가능성을 평가하기 위한 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 V-rep 다물체 동역학 해석 프로그램과 Abaqus 상용 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 개발되었다. 두 프로그램을 통합한 하나의 프로그램으로 개발하였으며, 사용자 친화적인 UI로 쉽게 해석을 진행 가능하게 하였다.
▶ 플랜트 운송 경로에 대한 분석은 출발지점과 도착지점을 입력하면 Modified A star Algorithm을 통하여 경로 중 최대 회전구간인 지역의 회전반경을 얻을 수 있다. 그리고 운송 경로를 가시적으로 볼 수 있다.
▶ 최대 회전반경을 얻은 결과를 토대로 V-rep 다물체 동역학 시뮬레이션 해석을 진행한다. 운송 모듈의 무게와 무게중심 값을 입력하여 시뮬레이션을 진행하고 가시적인 해석결과와 함께 모듈에 가해지는 시간에 따른 가속도 데이터를 산출물로 얻을 수 있다.
▶ 가속도 데이터는 유한요소 해석 모듈에서 활용이 가능하다. Abaqus 해석 프로그램을 시스템내에서 실행하여 해석을 진행하며, 입력된 가속도 데이터로부터 모듈에 가해지는 힘에 의한 변형 정도를 시뮬레이션을 통하여 가시적인 결과를 얻을 수 있다.
▶ 최대 회전반경에서 모듈의 변형되는 정도에 대한 정보를 토대로 운송경로의 적합성을 평가 가능하다.

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 협업 단위 모듈화 플랜트 육상 운송성 평가 시스템 설계 보고서

▶ 플랜트 운송성 평가를 위한 웹 기반 통합 관리 소프트웨어

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

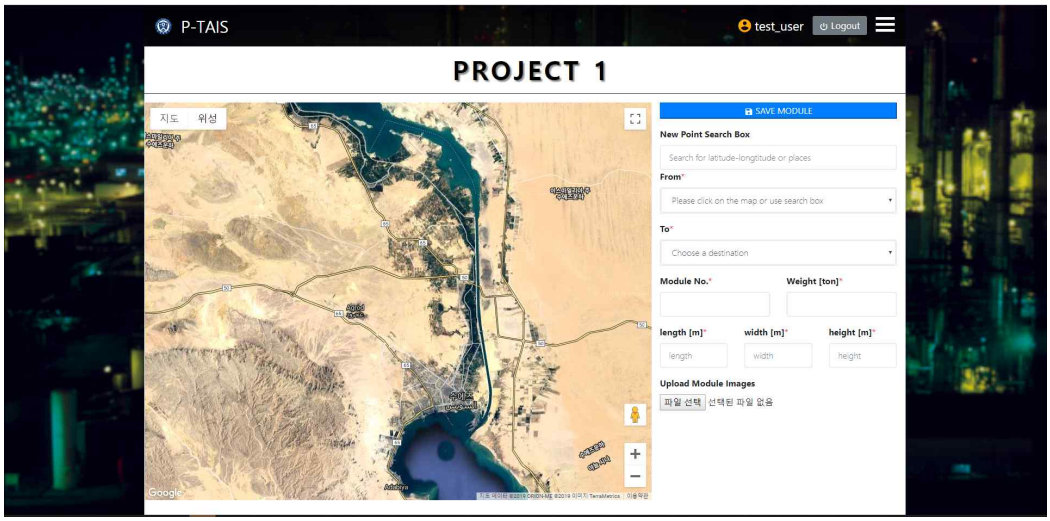
(가) 연구 목적

▶ 모듈화 플랜트의 운송성 평가를 위한 시스템의 추가 모듈 개발 및 보완을 통해 견고하고 실현 가능한 시스템 구축에 목적이 있다. 이 연구에는 기존 운송 평가 시스템에서 고려되지 않았던 조건들의 추가 및 개선작업이 포함된다.

(나) 연구내용

▶ 수주한 플랜트 프로젝트의 등록 및 삭제가 가능하고, 각 프로젝트의 정보를 직관적으로 확인가능하도록 인터페이스를 구축하였다. 프로젝트의 생성시간을 확인가능하고, 과거의 프로젝트도 손쉽게 관리가 가능하다

▶ 진행되는 육상 운송 프로젝트 내에 모듈들의 등록이 가능하다. 각 모듈들은 출발지(ex. 해상운송의 도착지)와 도착지(ex. 해상운송의 시작지)의 선택이 필요하며, 크기, 무게, 모듈넘버등의 Specification들을 적어주여야 한다. 또한 이미지도 등록이 가능하다. Specification 정보는 모듈의 설계단계에서 데이터를 받아 기입이 가능하다.



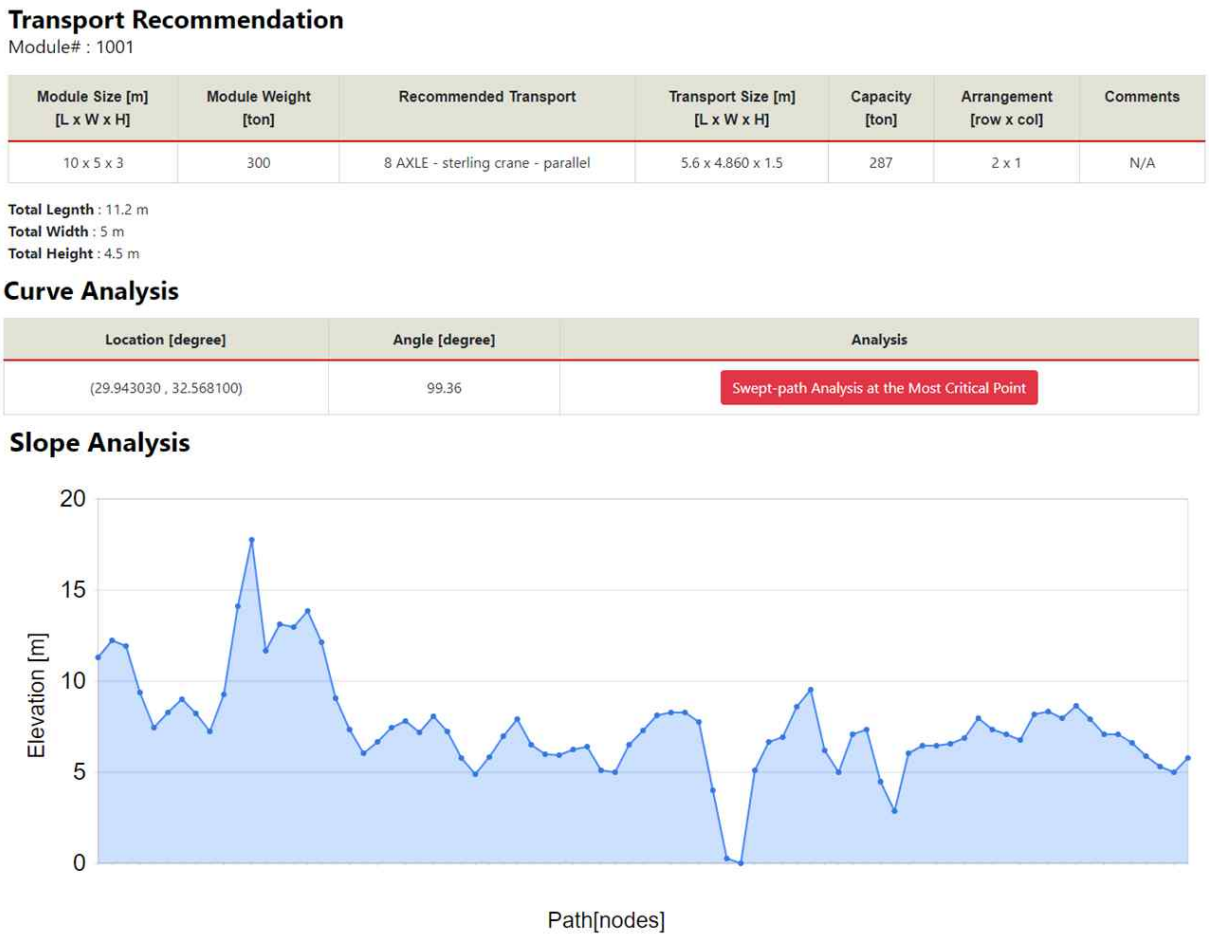
프로젝트 관리 화면

프로젝트 내 모듈 등록 화면

▶ 앞서 입력된 모듈의 출발지와 도착지를 이용하여 시스템은 이동이 가능한 2가지 경로를 제시한다. 경로 는 Google API를 이용하여 도출되며, 도출된 경로는 Analysis페이지에서 확인가능하

다.

▶ Analysis 페이지에서는 경로와 모듈의 정보로 Transportation Recommendation, Curve Analysis, Slope Analysis, Obstacle 분석등이 진행되어 결과를 확인할 수 있다. 또한 분석된 결과를 토대로 추정되는 Cost 정보를 얻을 수 있다.



Transport Recommendation

Module# : 1001

Module Size [m] [L x W x H]	Module Weight [ton]	Recommended Transport	Transport Size [m] [L x W x H]	Capacity [ton]	Arrangement [row x col]	Comments
10 x 5 x 3	300	8 AXLE - sterling crane - parallel	5.6 x 4.860 x 1.5	287	2 x 1	N/A

Total Legnth : 11.2 m
Total Width : 5 m
Total Height : 4.5 m

Curve Analysis

Location [degree]	Angle [degree]	Analysis
(29.943030 , 32.568100)	99.36	Swept-path Analysis at the Most Critical Point

Slope Analysis

프로젝트 분석 화면



Cost Details

Title	Calculation	Cost [KRW]
Oil Cost	(Total Fuel) x (Oil Price) x (# of SPMT)	₩97,000
Road Maintenance Cost	(Construction Cost) x (Slope Surface Area)	₩914,000
ManHour Cost	(Number of person) x (Total Working Hour)	₩914,000

Cost 정보 화면

▶ Analysis를 보조하기 위해서 구글맵 위에서 Swept path analysis가 가능한 모듈과, 딥러닝(YOLOv3)을 활용하여 경로 내 Obstacle을 분석하기 위한 모듈이 개발되었다.

- 참조 - 부록 [C-1-1] 웹 기반 모듈화 플랜트 육상 운송성 가능성 평가 모듈 설계 보고서

(2) 수행내용

▶ 플랜트의 운송 가능성을 평가하기 위한 웹기반 시스템을 개발하였다. 시스템은 모듈의 크기를 고려한 경로를 제시해 줄 수있다. 시스템은 웹기반으로 Javascript. PHP, Mysql을 활용하여 개

발되었고, 보조 모듈들은 Python 기반으로 개발되었다.

▶ User Interface는 Javascript와 PHP, Mysql를 이용하여 개발하였다. 프로젝트의 입력 및 모듈 등록, 운송수단 등록등의 작업이 이루어질 수 있고 각 모듈들로부터 데이터들이 Visulization 될 수 있도록 도와주는 역할을 한다.

▶ 모듈 등록에서 입력된 출발지와 도착지는 Google api를 이용하여 다중 경로를 생성하도록 하였다. 또한 경로생성시 경로 내 경사도(Slope)분석과 최대 회전구간(Curve) 분석이 바로 진행된다. 경사도는 7도 이상의 구간에 대해 찾아내고 위치를 알려준다. 7도 이상의 구간에서는 운송의 안전성에 문제가 될수 있기 때문이다.

▶ 분석된 최대회전구간에 대하여 구글맵 위에서 직접 Swept path analysis를 할 수 있는 모듈도 개발하였다. 개발에는 Javascript를 활용하였다. Swept path analysis를 통해 도로의 폭과 비교하여 모듈을 옮기는 차량이 실제 지나갈 수 있는지에 대한 운송가능성을 시각적으로 판단가능하다.



구글 맵위에서 실제 운송가능성이 평가가능한 Swept path analysis 모듈

▶ Deep learning 알고리즘을 이용하여, 경로의 비디오, 속도 데이터가 주어질 때, 경로 내 장애물의 종류와 크기를 알아낼 수 있는 모듈을 개발하였다. 경로 내 탐색가능한 장애물은 신호등, 가로등, 다리, 표지판, 기타장애물로 구분된다. YOLOv3 딥러닝 알고리즘으로부터 장애물의 Bounding Box된 영역의 정보를 얻을 수 있으며, 파이썬으로 개발된 모듈로부터 Bounding Box 데이터를 이용하여 장애물의 크기를 추출하도록 개발하였다.



YOLOv3를 이용하여 얻은 Bounding Box

▶ 또한, 경로의 Google Map 이미지 데이터로부터 인공지능 알고리즘을 이용하여 모듈화 플랜트가 이동하는 구간의 도로폭을 알수 있는 모듈도 개발하였다. 경로가 주어지면 그 경로의 노드들로

부터 이미지를 가져오고, Pix2Pix 알고리즘과 Segementation알고리즘을 이용하여 이미지를 전처리 후 도로폭을 계산하여 얻어진다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 웹 기반 모듈화 플랜트 육상 운송성 가능성 평가 모듈 설계 보고서 (#산출물 C-1-1)

▶ 웹 기반 모듈화 플랜트 육상 운송성 가능성 평가 시스템 및 모듈 소프트웨어 등록 3건 (진행중)

(나) 향후 계획

▶ 각 모듈에서 사용된 인공지능 알고리즘 정확도 개선 및 좀더 효율적인 방향으로의 개발을 진행한다.

▶ 실용화, 상용화로 쓰일 수 있도록 피드백을 통한 인터페이스의 개선 및 표현 변화를 진행한다.

나) [C-2] 선적/하역 정보 기반, 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서

연도	단위성과	세부추진내용
2차년도	[C-2]	운송성 평가 기반 요구사항 통합 분석 보고서
3차년도		운송성 평가 요소 관계 및 분류 기술 개발
4차년도		운송성 평가 요소 관계 및 분류 기술 개발
5차년도		구축된 DB와 운송성 평가 시스템 연동 및 S/W 모듈 통합
6차년도		운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서 보완

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1)개요

(가) 연구 목적

▶ 플랜트 시공을 위한 플랜트 모듈의 운송 과정은 매우 긴 시간과 인적, 물적 자원이 소요된다. 이에 다양한 운송방법론들과 기술들이 존재하고 있다. 기존의 설계과정에서 운송과정을 고려한 시스템을 설계하고 실제 시스템이 어떠한 것들을 설계자에게 전달해야하는지를 고려할 때에 현행 관련 기술에 대한 조사가 필수적이다.

(2) 수행 내용

▶ 플랜트 대표 업체 및 유망 기업 조사를 진행하였다.

(3) 결론

▶ 플랜트 운송 시스템 기술 현황 조사

-대표적인 국외운송업체인 ALE와 국내운송업체인 MEGALINE을 분석함으로써 현재 기업에서 사용하고 있는 운송 시 고려하는 기술과 현황들을 파악하였다. ALE의 경우, 다년간의 경험과 기술자들을 기반으로 세계시장에서 신뢰성을 쌓음과 동시에 매 프로젝트마다 적합화된 장비들을 설계함으로써 운송 시 신뢰도를 높이고 있다. MEGALINE의 경우, 공학적 분석을 바탕으로 합리적이고 효율적인 운송방안을 모색하는 것으로 보인다. 또한 해외 기업과의 협업을 통하여 운송에서의 전문성을 상호 보완함으로 발전을 도모하는 것으로 생각된다.

▶ 기술 현황 조사를 통한 요구사항 도출

- 상기 업계조사를 통하여서 3차년도 개발 계획중인 해상운송 검증 관련된 기술 개발을 위한

지표로 유용하게 활용될 것으로 생각된다. 이는 기존의 소프트웨어에서 반드시 갖추어야 할 기술에 대해서 파악이 가능한 것은 물론 추가적으로 어떤 기술적 한계가 있고 현재 개발이 업계에서 진행 중인지를 파악함으로 본 과제를 통하여서 개발하여야 할 시스템의 타당성을 확보할 필요가 있다.

B) 3차년도 연구 내용 및 결과

(1)개요

(가) 연구 목적

▶ 플랜트의 모듈화의 지속적인 발전과 더불어 운송 기술 또한 함께 발전하고 있고 새로운 방법을 통해 더욱 크고 무거운 플랜트 모듈도 운송이 되고 있기에 이러한 운송 기술을 운송 해석 시뮬레이션에 담기 위한 운송 기술 현황 분석 업무를 수행하였다. 플랜트 모듈과 같은 초중량 운송 시장을 지배하고 있는 국외 대표 운송 업체 Dockwise나 최근 떠오르고 있는 중국 운송 업체들을 뽑아서 운송 기술 현황을 분석하여 운송 평가 시뮬레이션이 앞으로 담아야할 기술 요소를 파악하기 위해 조사를 행하였다.

(나) 연구 내용

▶ 플랜트 모듈의 크기와 설계는 운송 가능한 기술 수준이나 선박에 따라서도 좌우되는데 최근 초중량 운송의 기술력 발전으로 그 크기나 중량이 크게 향상되어 운송성 평가 S/W 모듈을 만들기 위해 그 기술력과 동향의 파악이 요구되며 이에 최신 기술 동향에 대한 조사를 시행

▶ 조사 된 내용을 바탕으로 현재 적용되고 있는 기술과 운송성을 평가하는 기준에 대해서 파악함으로써 향후 개발하게 될 운송 고려 플랜트 모듈의 설계 지원 S/W에서 사용될 제한 조건이나 평가 알고리즘에 활용될 수 있는 Boundary condition 설정과 운송성 평가 지침을 정의하기 위한 연구를 진행

(2) 수행 내용

▶ 초중량 운송 업체의 시장을 약 40년 동안 지배해온 네덜란드의 Dockwise사는 최대 25척의 중량물 운송선달을 이끌며 단순 운송 뿐 아니라 해상 설치 사업에도 활발히 진출하여 그 영역을 확고히 하고 있으며 이를 위한 엔지니어링 업체 인수 합병 및 연구도 활발하게 진행하고 있다. 현존하는 세계 최대 중량물 운송선박인 Vanguard를 신조하여 운용하고 있으며 다양한 운송 기술을 보유하고 있다. 이 업체를 통해 활용되고 있는 운송 기술을 파악하였고 현재 중량물 운송 기술은 크게 선박의 대형 크레인 등을 이용해 화물을 선적하는 LO-LO, 모듈 트레일러나 바퀴가 있는 장비에 해양 플랜트를 실어서 선적하는 방식인 RO-RO, 최근 각광받으며 고도의 기술을 필요로 하는, 선박을 물밑으로 잠수해서 해양플랜트를 선적, 하역하는 방식의 FO-FO 등이 있으며 각각의 방법에 따라 적절한 운송 시뮬레이션 및 해석 기술을 필요로 한다.

▶ 초중량 화물 운송의 경우 자체적인 운송 기술 외에도 많은 운송 업체들이 따라야 할 운송 가이드(Noble Denton marine service guideline for marine transportation)나 규제 사항이 있어 이를 종합적으로 분석하여 운송 해석의 Boundary Condition 설정이나 운송성 평가를 위한 기준 설정을 필요로 한다. 이를 위한 평가 요소 및 각 요소들 간의 관계에 대한 분석을 통해 운송성 평가 지침에 대한 연구를 진행하였다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 플랜트 운송 기술 분석

▶ 운송성 평가 지침 분석

C) 4차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 운송성 평가 요소 및 관련 정보 DB를 구축한다. 운송성을 평가하는 기준에 대해서 파악함으로써 향후 개발하게 될 운송 고려 플랜트 모듈의 정보를 담을 수 있어야 한다.

(나) 연구내용

▶ 플랜트 운송성 평가 지원 통합 시스템 DB를 구축하기 위해서는 해당 DB에 필요한 관련 정보들이 무엇인지 알아야 한다. 따라서 어떤 정보들이 들어가는지 조사를 먼저 진행할 필요가 있다. 해당 정보들이 또한 어떤 역할을 하는지 분석하고, DB 설계과정에 반영한다. DB설계에 필요한 정보들이 어떤 분야로 나뉘어있는지 먼저 파악하고, DB설계에서 분야를 나누도록 한다.

▶ 플랜트 운송성 평가 지원 시스템을 구축하기 위한 DB를 구축한다. DB에는 운송성 평가 지원

▶ 요소 및 관련 정보를 담을 수 있어야 하며, 플랜트 운송성 평가 설계를 위한 데이터들을 분류해야 한다. 또한 DB 간의 관련 정보들을 연동하고 통합하는 과정이 필요하다.

(2) 수행 내용

▶ 플랜트 운송성 평가 지원 통합 시스템의 DB를 구축하기 위해 DB에 담겨야 할 데이터가 무엇인지 먼저 알아야한다. 따라서, 플랜트 해상 운송성 평가에 사용되는 상용 소프트웨어 SACS에서 사용하는 데이터의 목록을 정리하였고, 해당 데이터가 갖는 정보에 대해 상세히 분류하였다. 또한 육상 운송성 평가를 위한 오픈소스 프로그램인 V-rep 에 필요한 정보도 마찬가지로 조사를 진행하였으며, 이에 관한 데이터 목록을 정리하였다. 그 밖에 다른 소프트웨어들에서도 공통적으로 사용하는 데이터에 관하여 분류하였다.

▶ 플랜트 운송성 평가 지원 통합 시스템의 DB를 설계 하였다. 앞서 조사한 데이터의 분류를 하기 위해 먼저 다양한 항목으로 분류하였다. 모듈화 플랜트의 기초 구조에 관한 정보인 점과 선의 데이터가 어떻게 이루어졌는가, 부재 설정은 어떻게 이루어지는 가에 대한 정보들을 담을 수 있도록 DB를 설계하였으며, 해당 부재들이 갖는 특성도 포함될 수 있도록 하였다. 또한 프로젝트 전체 관리도 동시에 이루어지게 할 수 있도록 모든 항목 상위에 프로젝트 항목을 추가하여, 프로젝트 마다 관리가 이루어 질 수 있도록 DB를 구축하였다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 플랜트 운송성 평가 지원 시스템 통합 DB 요구사항 분석 보고서

▶ 플랜트 운송성 평가 지원 시스템 통합 DB 설계 보고서

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 운송성 평가 요소 및 관련 정보 DB와 운송성 평가 시스템 연동 및 모듈을 통합 구축한다. 통합된 모듈 및 시스템을 통하여 실제 적용가능한 플랜트 운송 평가를 시행하며 운송모듈, 수단 , 거리, 장애물들의 운송에 중요한 데이터를 DB데이터로 공유하여 평가 S/W 시스템의 연동을 구축한다.

(나) 연구내용

▶ 이전에 구축된 DB로부터 웹 기반의 운송성 평가 시스템과의 연동을 구축하고 내부에 모듈로 개발된 각 S/W들을 통합한다. 통합의 중심에 DB로부터 상호간의 데이터 교환을 필요로 하며, 서로 상호 호환되는 시스템 구축을 한다.

▶ DB에는 운송성 평가를 하기 위해 필요한 프로젝트, 모듈, 운송수단, 경로, 장애물등의 데이터가 축적되며 이 데이터들은 개발된 모듈의 결과로부터 혹은 사용자의 입력으로부터 이루어지도록 전체시스템을 연동 및 통합한다.

▶ 통합된 시스템 내부의 각 모듈들의 작동여부 확인과 각 모듈들의 결과로부터 플랜트 운송성 평가가 가능한 분석 리포트를 완성한다.

(1) 수행 내용

▶ 기존에 구축된 DB로부터 운송성 평가 시스템 구성을 웹 기반의 평가 시스템으로 개발을 진행하여 전체 시스템의 연동 및 각기 개발된 S/W 모듈의 통합을 하였다. DB에는 먼저 지역에 따른 Project 위치, 운송 모듈, 운송 수단, 경로, 경로정보, 장애물등의 목록으로 구성되었다. 이중 경로와 경로정보 그리고 장애물 목록은 각기 다른 모듈로 결과 값을 얻은 데이터이며 다른 요소들은 사용자의 입력으로 얻어진 데이터이다.

▶ 통합된 시스템 내에서의 프로세스는 각 단계별로 이루어지며 경우에 따라 순서에 맞는 입력이 있어야만 다음 프로세스로 진행될 수 있도록 설계하였다. 진행되는 프로세스 순서는 다음과 같다.

▶ 개발된 모듈로는 운송의 최적경로를 찾을 수 있는 Google API를 이용한 경로추천 시스템이 있다. 플랜트 모듈 입력시의 운송 예상속도기반으로 경로의 거리와 비교하여 운송의 소요 시간을 알려주고, 경유지에 따른 각기 다른 최적의 경로를 추천하여 준다.

▶ 장애물 모듈에서는 Deep Learning 기반 경로상의 장애물 추적을 통하여 DB 데이터로 축적하고 추천된 경로상의 장애물을 확인 및 관리할 수 있다. 실제 모듈 운송성 평가에서 중요한 요소인 장애물과 관련한 내용들이 수반됨으로써 운송성 평가의 적합성과 개발 타당성이 있다.

▶ 결과분석에서 앞선 데이터들의 종합과 간략한 해석적 내용이 첨부되어 통합시스템으로부터 운송 평가를 내릴 수 있다.

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 플랜트 운송성 평가 지원 시스템 통합 S/W 미등록 보유

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

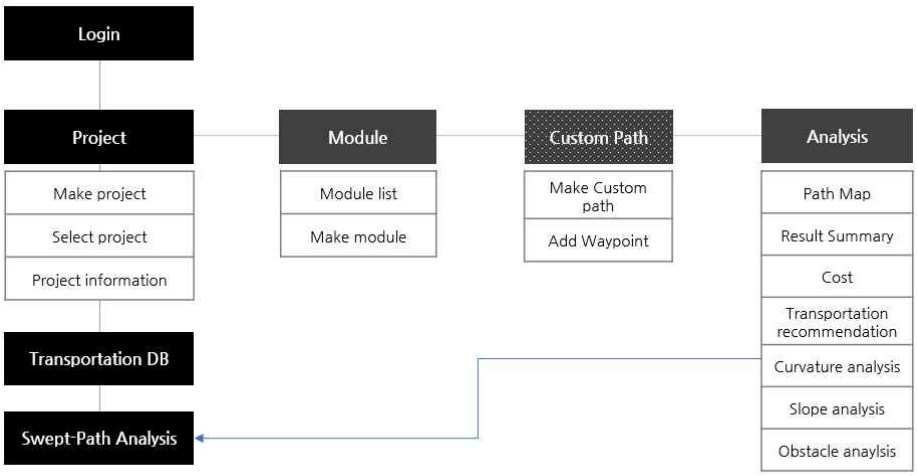
(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 모듈화 플랜트의 운송성 평가를 위한 시스템의 설계 지침서를 보완한다. 기존 지침서에 새롭게 추가된 모듈 및 변화된 부분의 지침의 수정을 목적으로 하며, 시스템의 전반적인 설명을 보충한다. 개발된 시스템 P-TAIS의 사용방법과 차례의 지침을 포함한다.

(나) 연구내용

▶ [C-1]에서 완성된 웹기반 모듈화 플랜트 육상 운송성 가능성 평가 시스템에 대한 설계 보고서를 작성하였다. 설계보고서는 시스템에 대한 전반적인 소개와 아키텍처를 포함하였고, 사용방법에 대한 지침을 설명하였다.



시스템 인터페이스 및 Flow chart

(2) 수행내용

▶ 운송성을 평가하기 위한 요소들을 정의하였다. 운송성은 가능성, 안정성으로 구분될 수 있지만 안정성은 설계단계에서 고려하기 때문에 운송단계에서는 배제한다. 운송의 가능성은 이 시스템에서 주로 다루어지는 4가지 요소로 나누어 볼수 있다. 각 요소 4가지는 운송경로에 존재하는 최대회전각, 도로폭, 경사, 장애물이다.

▶ 시스템의 아키텍처에 대한 정보를 삽입하였으며, 전체적인 시스템 Flow 차트를 통하여 쉽게 시스템을 이해할 수 있도록 하였다.

▶ 시스템의 이용을 위한 기본적인 인풋과 아웃풋에 대한 정보를 정의하였다.

▶ 시스템의 프로젝트 생성과 프로젝트 생성에서 기입해야하는 정보, 모듈의 등록을 위해 기입해야하는 출발지와 도착지, 모듈정보등의 인풋데이터를 정의하였다. 또한 각 기업이 보유한 운송수단에 대한 데이터 정보도 정의하였다.

▶ 아웃풋은 경로에 대한 분석으로 경사도, 회전각, 도로폭, 장애물 4가지 요소이며, 앞선 분석요소를 통하여 최종 예상 코스트를 산출하는데 목적이 있다.

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 운송성 평가 웹 시스템 구현 설계 지침서 (#산출물 C-2-1)

(나) 향후 계획

▶ 지속적으로 시스템에서 개선되야할 점들의 내용의 개발에 따라 새로운 정보를 추가하고 지침서를 보완한다.

다) [C-3] 모듈연동 및 통합 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증S/W

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업 단위로 분할된 모듈을 현장에 시공할 때 시공 네트워크 별로 시공성을 평가하고, 시공 네트워크를 최적화 해 주는 소프트웨어 모듈개발을 목표로 한다. 본 PBS (Product Breakdown Structure) 와 WBS (Work Breakdown Structure) 기반으로 계획된 시공 네트워크에서 다양한 병렬작업이 가능하게 하는데, 그러한 병렬 작업에서 트럭이나 Heavy Transporter 등의 장비 Accessibility 뿐 아니라, 시공된 모듈의 부분 시운전이 우선 가능하도록 하는 등의 다양한 설계자의 요구를 반영하여 최적의 모듈 시공 네트워크를 효과적으로 찾을 수 있도록 한다.

(2) 수행 내용

▶ 시공성이란 간단히 말해 프로젝트의 목표를 달성하기 위하여 시공 경험과 지식을 계획 (Planning), 설계 (Engineering), 구매 (Procurement) 및 현장 운영 (Project Operation)에 최대한 적용하여 활용하는 것이다. 현재까지 많은 프로젝트를 수행하면서 설계와 시공은 별개로 여겨져 왔다. 그러나 이제는 시공 지식과 경험을 프로젝트 전 공정에 적용함으로 써, 결과적으로 프로젝트 운영을 효과적으로 할 수 있다. 이와 같이 시공성 검토의 목적은 이를 통해 다음과 같은 프로젝트의 목적을 달성 하는 것이다.

- 공법 개선 및 재시공 최소화를 통한 원가 절감 (Cost Savings)
- 사전 자재 납기 및 불필요한 시간을 줄여 공기 단축(Schedule Improvement)
- 사전 시공절차 검토에 따른 안전 시공 (Safer Work)
- 설계단계에서의 시공성 검토를 통한 최종 제품의 품질 개선(Higher Quality)

연구요약	
기술정의	시공성이란 프로젝트의 전 단계에서 사업의 최종목표를 달성하기 위하여 시공지식과 경험을 적용하여 사업을 최적화시키는 것이다. 따라서 시공성 평가를 통해 다양한 리스크와 프로젝트의 대형화/복잡화에 전략적으로 대응하고 성공적으로 프로젝트를 수행하기 위한 최적의 시공 방법을 도출할 수 있다.
연구목적	협업 단위로 분할된 모듈을 현장에 시공할 때 시공성은 고도화 되어있지 않다. 시공성 평가 사례분석을 통해 원가절감, 공기단축, 안전 시공, 품질개선을 달성하기 위하여 최적의 모듈 시공 네트워크를 파악하는 것을 목표로 한다.
2차년도 주요 연구내용	협업 단위 모듈화 시공성 평가 사례 조사
핵심결과	현재 조선해양 분야에서는 탑재 네트워크를 관리하는 방식으로 조선해양 제품의 master schedule을 관리하고 있으며, 이 분야의 최적화에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 이를 응용하여 플랜트 설계단계에서의 시공성 검토의 효과는 공법 개선 및 재시공 최소화를 통한 원가 절감 및 사전 자재 납기 및 불필요한 시간을 줄인 공기 단축 등 많은 부분에서 프로젝트의 목적 달성을 이루는 데 많은 영향력이 있음을 알 수 있다.

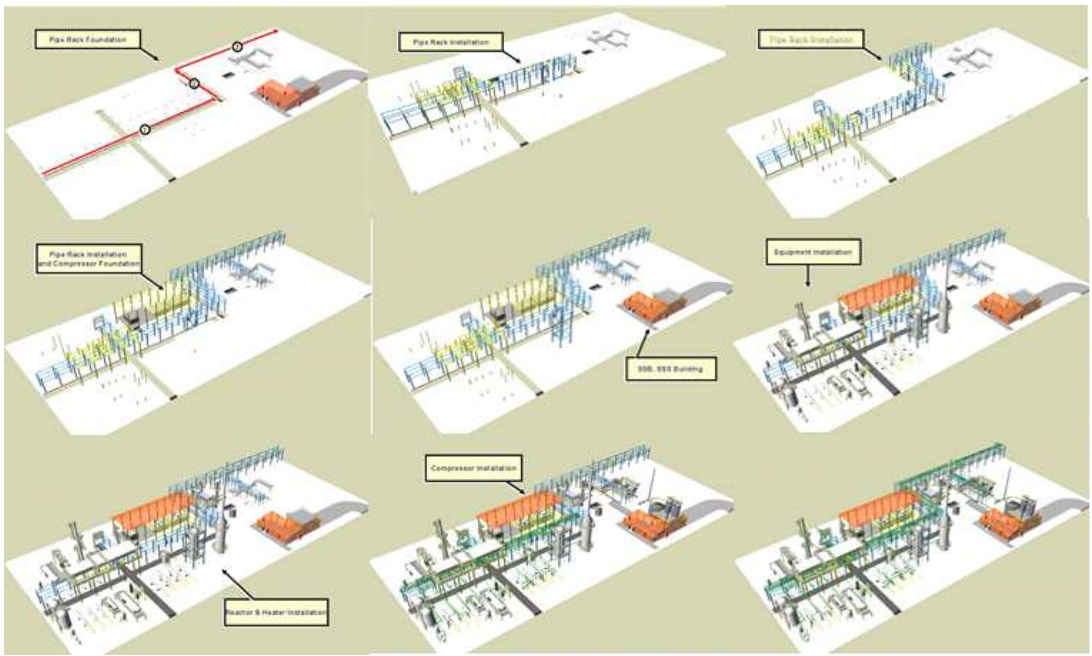
▶ 협업 단위 모듈화 시공성 평가 사례 분석

- 아래 그림은 정유 플랜트 프로젝트의 단위 Unit에 대해서 시공성 검토를 프로젝트 초기 설계 단계에서 적용 한 후, 그 결과에 따른 시공 순서를 Plot Plan에 3D Modeling 기법을 적용한 사례이다. 본 시공성 검토 시 중점적으로 고려된 사항들은 다음과 같다.

① Equipment list를 고려한 전체 Lay-out.
② 최종 Turn - over 일정.
③ Long-Lead Equipment 입고 일정.
④ 자재 현장 입고 일정.

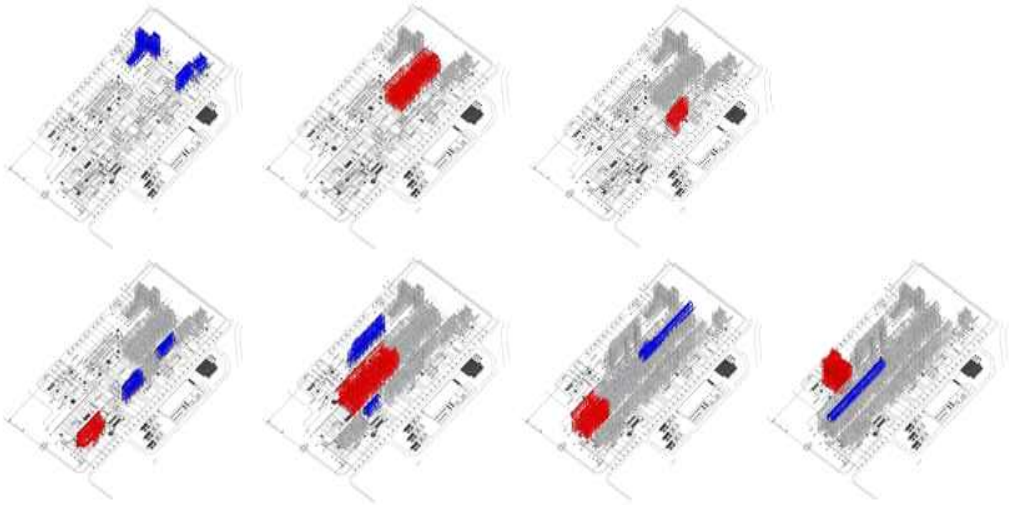
⑤ 전체 물량 분석.
⑥ 시운전/운전 절차 및 일정.

▶ 다음 그림에서 볼 수 있듯이 위의 6가지의 고려사항을 설계 시작 시점에서 부터 반영하여 자재, 장비 및 작업자 현장 투입일자를 고려한 시공순서를 결정하여 원가 절감 및 공기를 단축하고 협소한 현장의 공간을 고려한 Heavy Equipment의 Transportation 및 Rigging plan을 수립하여 안전한 시공과 높은 품질을 확보 할 수 있음을 알 수 있다. 또한 지속적인 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입을 통하여 공종 단계별 문제점을 미리 파악하고 수정, 개선하여 프로젝트를 관리한다면 프로젝트의 목적 인 원가 절감 및 공기 단축에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 상기 그림에서 나타나는 바와 같이 설계단계에서 시공성 검토를 통한 3D Modeling 기법을 이용하면 사전 시공성 검토를 통해 한정된 공간을 효율적으로 활용할 수 있으며, 간섭현상에 따른 문제점도 미리 사전 검토가 되어 프로젝트 초기인 설계 단계에서 문제점 파악 및 수정이 가능하게 됨을 알 수 있다. 이와 같이 설계단계에서의 시공성 검토의 효과는 공법 개선 및 재시공 최소화를 통한 원가 절감 및 사전 자재 납기 및 불필요한 시간을 줄인 공기 단축 등 많은 부분에서 프로젝트의 목적 달성을 이루는 데 많은 영향력이 있음을 알 수 있다.



[그림. 3D Modeling 기법을 이용한 시공성 검토]

- Karratha 프로젝트는 LNG플랜트 최초로 모듈러 공법을 이용한 프로젝트 사례이다. 모듈러 플랜트의 설계 및 시공을 위해서는 모듈별 정밀한 분할/조합 및 순차적 건설을 위 한 시뮬레이션(simulation)이 필요하며, Karratha 프로젝트의 경우에는 75개의 3차원 분할 을 이용하여 가상공간에서 구현되었다. Karratha 프로젝트에서는 4단계 기존 시설물 기반으로 모듈화 설계가 이루어 졌으며, 기존 시설물과의 연계, 운송 가능한 유닛을 기본으로 최적화되었다. 또한 LNG 플랜트 모듈화 건설을 통하여 노동력, 일정, 자원 등의 한계를 극복하고 독립 주체간 협업에 의하여 성공적으로 수행한 사례의 제시함으로서 모듈화 건설의 장점을 보였다.



[그림. Karratha 프로젝트의 시공성 평가]

- 동남아시아에서 수행된 LNG플랜트 파이프라인 및 해양터미널 프로젝트 사례는 사업수행 초반부터 인식되었던 리스크들을 전략적으로 대응하지 못하여 적자를 기록한 프로젝트이다. 이 사례는 사업초기부터 다양한 리스크가 존재하였으나, 이를 전략적으로 대응하지 못하여 상당한 비용초과와 공기지연이 발생하였다. 다음의 표는 사례 프로젝트의 전체 비용을 나타낸 것으로서, 현장 운용단계에서도 상당한 비용초과가 발생하였음을 알 수 있다. 본 사례에서는 전략적 저가수주를 기반으로 무리한 실행 예산을 작성하였기 때문에 사업의 전 과정에서 비용초과가 발생하였다. 특히 설계-시공 단계에서는 초기 물량예측 미흡으로 전반저인 물량증가, 현지 하도 업체의 사전 조사 미흡, 환율과 물가상승 고려미흡, 설계변경 및 오류, 확정도면의 공급지연 등으로 인한 비용초과가 다수 발생하였다. 비용증가의 원인을 분석한 결과, 설계 및 설계 이전단계에서 발생하는 원인이 현장운용단계에서 다양한 형태로 영향을 주고 있음을 확인할 수 있다.

구분	계약 금액	총 투자비	차이	증감 구성비
설계(Engineering/Management)	19	65	-46	13.7%
구매조달(Equipment/Bulk material)	308	483	-175	52.2%
시공(Construction/Pipeline)	102	238	-136	40.6%
시운전(Commissioning)	24	2	22	-6.5%
설계변경(Change order)	101		101	
총계	554	788	-234	

- 따라서 성공적인 프로젝트의 수행을 위해서 시공 및 시공이전단계에서 검토되어야 할 항목으로 각 세부 항목별로 다음과 같이 정리하여 시공성 검토의 적용효과를 극대화할 수 있다.

분류	세부항목	검토 시점
진출국 특성	현지 문화에 따른 시공의 변동성	설계단계, 시공단계
기후 및 날씨	현지의 기후 및 날씨를 반영한 시공의 변동성	설계단계, 시공단계
공사비	실행 공사비 관리 미흡	시공단계
	환율 변동에 따른 대응	설계단계, 시공단계
현지 협력 업체	현지 협력 업체의 시공 능력	설계단계
JV, 컨소시엄 업체 능력	JV, 컨소시엄 업체의 시공 및 관리 능력	설계단계, 시공단계
제도적 특성	현지 제도에 따른 시공의 변동성(인허가)	설계단계, 시공단계

▶ 협업단위 모듈화 현장 물류관련 선행 연구 및 기타 시공네트관련 선행연구조사

연구요약	
기술정의	협업단위 모듈화 시공 프로젝트를 효율적으로 관리하기 위해서 동적인 시공스케쥴에 맞춰 시공현장의 배원,배량, 각종 물류를 최적으로 관리하고 운용하는 기술을 의미한다.
연구목적	시공스케쥴이 동적으로 흐름에 따라 시공현장을 동적으로 최적화하기 위한 선행연구를 조사함.
2차년도 주요 연구내용	협업단위 모듈화 현장물류련 선행연구 동향 분석
핵심결과	협업단위 모듈화와 유사한 타산업의 물류 관리 선행연구 동향분석을 통해 응용할 수 있는 부분들이 있음.

▶ 협업단위 모듈화 현장 물류관련 선행연구 주요 이슈

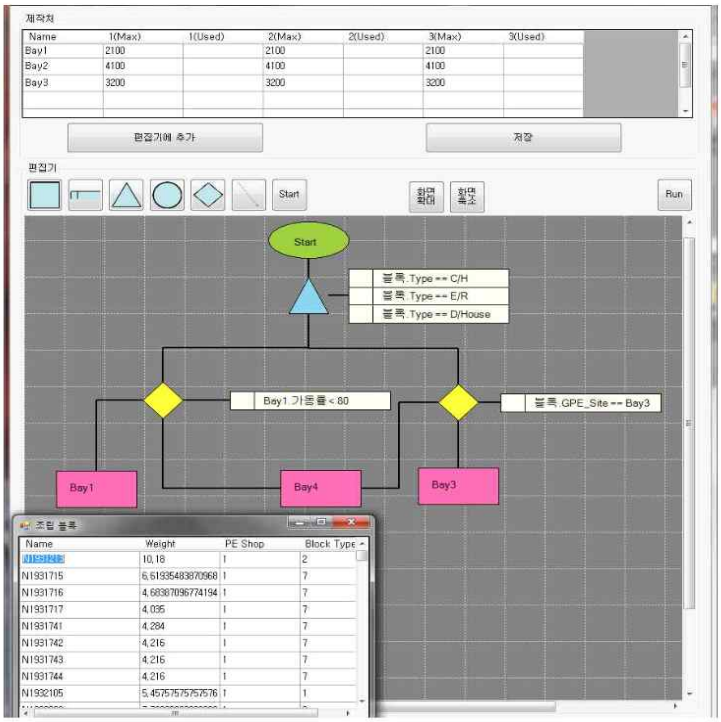
- 건설 프로젝트를 효율적으로 관리하기 위해서 프로젝트에 참여하는 각 주체간의 협업은 매우 중요한 요소이고 참여자간정보의수집, 공유및관 리가 프로젝트성공 여부에 큰 영향을 주는 요인이 될 수 있으며 모듈에 대한 정보와 현장 물류의 정보와 그 흐름이 이에 해당한다. 또한 이는 시공현장에서 물류, 시설, 장비배치와 같은 리소스관리는 시공스케쥴 시간이 동적으로 흐름에 따라 시공 사이트의 동적 최적 물류 배치와도 연관이 된다. 따라서 이에 대한 시공에서 물류관리에 관한 선행연구동향 주이슈를 요약하면 아래와 같다.
- A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites (2015)
- Applicability of 4D modeling for resource allocation in mega liquefied natural gas plant construction (2015)
- Optimisation of site layout planning for multiple construction stages with safety considerations and requirements (2015)
- Bilevel and multi-objective dynamic construction site layout and security planning (2015)
- Optimization of process integration and multi-skilled resource utilization in off-site construction (2015)
- Optimization model for resource assignment problems of linear construction projects (2007)
- A two-stage dynamic model on allocation of construction facilities with genetic algorithm (2004)
- Object-oriented resource-based planning method (ORPM) for construction (2000)

▶ 협업단위 모듈화와 유사한 타산업 현장 물류관련 선행연구 주요 이슈

- 타산업을 대표하여 모듈화 산업과 유사하다고 판단되는 조선소 생산 현장의 물류관리에 관한 선행연구가 다수 있다. 조선소 생산 현장에서는 블록이라는 개념이 플랜트 모듈의 모듈과 유사한개념이라고 볼수 있다.블록의 탑재일정과 각 공장 또는 외주 업체의 블록 제작 능력을 고려하여 블록 제작처를 배분하게 되는데, 이과정에서 전문가의 경험과 직관력에 의존 하게 될 경우 일정 계획 과정에서 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 부하평준화의 어려움으로 블록 제작의효율성이 떨어질 수 있다. 따라서,최적화기법을 활용하여 각블록, 즉 모듈화 시공에 필요한 배원,배량의 같은 리소스 관리에 적용하고자한다.
- 아래 그림은 조선소 선행연구에서 사용된 물류 데이터의 일부이며, 각 물류의 흐름을 블록 할당 시나리오를 다이어그램으로 시각화하여 검증하였다.

Class	Data Type	Name	Description
AssyBlock	string	BlockNumber	조립 블록의 고유 번호
	double	Length	조립 블록의 길이
	double	Breath	조립 블록의 폭
	double	Height	조립 블록의 높이
	double	Weight	조립 블록의 중량(ton)
	int	BlockType	조립 블록의 Type
	DateTime	StartDate	조립 블록의 제작 시작일
	DateTime	EndDate	조립 블록의 제작 완료일
	string	PeShopNumber	조립 블록의 PE블록 제작 공장 번호
	string	AssyShopNumber	조립 블록의 제작 공장 번호
Shop	string	ShopName	조립 블록을 제작할 제작처 또는 정반 이름
	string	ShopNumber	조립 블록을 제작할 제작처 또는 정반 번호
	double	MaxCapacity	제작처 최대 허용 물량(ton)
	double	UsedCapacity	제작처 사용 물량(ton)
	double	LengthConstraint	제작처의 제작 가능한 조립 블록의 최대 길이
	double	BreathConstraint	제작처의 제작 가능한 조립 블록의 최대 폭
	int	BlockCountConstraint	제작처의 조립 블록 Type 별 제작 가능 개수

[그림 . 조선소 생산 물류관리 선행연구의 데이터 예시]



[그림 . 조선소 생산 물류관리 선행연구의 블록 할당 시나리오 가시화 예시]

▶ 기타 시공 네트워크 관련 선행연구조사

연구요약	
기술정의	현업(건설/토목/조선)에 활용되는 다양한 시공 네트워크 및 일정 관리 기술을 의미한다.
연구목적	시공 순서 자동 생성 및 일정 최적화 소프트웨어의 개발을 위한 기반 정보 습득 및 현업 연구 동향을 파악한다. 이를 위해 현업 및 그 외 일정 관리 연구의 동향을 조서하고 분석한다.
2차년도 주요 연구내용	국내외 산업계 대상 시공 네트워크 연구 및 이론 연구 동향 분석
핵심결과	관련 연구에 주류로 활용되는 기법과 연구 경향을 파악하고, 차후 진행하는 연구에 활용할 수 있는 바탕을 마련함.

▶ 시공 네트워크 관련 선행 연구 조사 분류

- 시공 네트워크의 효율적인 관리는 현업에서 매우 중요한 사항으로 다양한 분야에서 연구가

진행되어 왔다. 따라서 이에 해당하는 연구들 중 현업(건설/토목/조선)과 관련된 연구들과 시공 네트워크 관리 문제를 포함하는 일정 관리 기법에 대한 연구의 범주에 해당하는 다양한 선행 연구들을 조사하였고, 조사한 연구 중 적합한 내용의 최신 연구들을 주류로 하여 아래와 같이 분류하여 분석을 진행하였다.

- 생산 스케쥴링 기법에 관한 연구 사례 및 동향
- 현업을 대상으로 진행된 시공 네트워크 관련 연구 사례 및 동향

▶ 생산 스케쥴링 기법에 관련에 관한 연구 사례 및 동향

- 기본적으로 생산 일정 계획 시스템에 사용되는 다양한 선형, 휴리스틱 최적화 문제들을 찾아 조사 및 분석을 진행하였고, 현업 시스템에 일치되는 aggregate scheduling에 관한 연구를 위주로 자료를 조사 및 분석을 진행하였으며, 주요 사례는 아래와 같다.
- 주요 연구 사례

Recent Developments in Evolutionary Computation for Manufacturing Optimization: Problems, Solutions, and Comparisons (2000)

Network flow approaches to pre-emptive open-shop scheduling problems with time-windows (2006)

Hierarchical approach for production planning and scheduling under uncertainty (2007)

An integer programming model for hierarchical workforce scheduling problem (2007)

Multi-mode resource-constrained discrete time.cost-resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm (2013)

Application of linear scheduling method (LSM) for nuclear powerplant (NPP) construction (2014)

An analytical framework for integrated maritime terminal scheduling problems with time windows (2014)

A modified particle swarm optimization for aggregate production planning (2014)

A comparative study of scheduling algorithms for the multiple deadline-constrained workflows in heterogeneous computing systems with time windows (2014)

▶ 현업을 대상으로 진행된 시공 네트워크 관련 연구 사례 및 동향

- 건설 분야의 논문과 조선 분야의 논문을 함께 조사를 수행하였다. 특히 본 과제의 모듈화 개념과 상당히 유사한 조선 산업 분야의 연구를 주 분석 연구로 결정하였다. 그러나 대체적으로 조선 외 분야의 연구가 먼저 활발하게 진행 되었고, 조선 분야의 연구는 다른 분야보다 늦게 공론화되어 상대적으로 자료가 부족하였다.
- 2000년대 이전에는 주로 개념 연구 및 단위 공정(조선 산업 분야)에 대한 관리 및 최적화 연구가 주를 이루었으며, 대체적으로 유전 알고리즘, 정수 계획법, 선형 계획법 등을 활용한 일정 관리 기법이 연구 되었다.
- 2000년대에 들어서는 이전의 연구 결과들을 바탕으로 통합 일정 계획 및 평가에 대한 연구들이 진행되고 있으며, 일정 관리 뿐만 아니라 제약 조건에 기반을 둔 부하 평준화 연구 역시 다수 진행되고 있다. 주로 사용되는 기법은 유전 알고리즘, 특화된 휴리스틱 기법, 제약조건 이론 등이다.
- 주요 연구 사례

Shop-floor scheduling at shipbuilding yards using the multiple intelligent agent system (1997)

Load Leveling of Block Erection Network Using Diminution of Maximum Load Based on

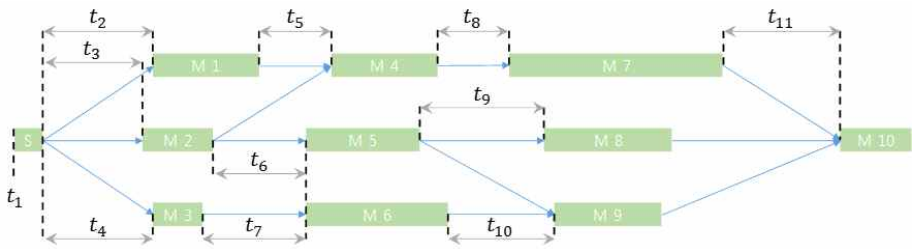
Constraint Satisfaction Technique (2004)
State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes (2006)
Heuristic and metaheuristic spatial planning of assembly blocks with process schedules in an assembly shop using differential evolution (2008)
An Operation Scheduling System for Pre-Erection and Erection of Shipbuilding (2009)
Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis (2009)
Short-term Scheduling Optimization for Subassembly Line in Ship Production Using Simulated Annealing (2010)
A scenario-based dynamic programming model for multi-period liner ship fleet planning (2011)
Optimizing strategy software for repetitive construction projects within multi-mode resources (2013)
Optimization of Shipyard Space Allocation and Scheduling using Heuristic Algorithm (2013)
Optimization of overlapping activities in the design phase of construction projects (2015)

▶ 시공순서 대안의 자동생성기술 개발

연구요약	
기술정의	시공순서 자동생성 기술을 플랜트 현장에서의 WBS 정보와 작업 환경 및 리소스 조건, 기타 특이사항 등의 여러 조건을 함께 고려하여 최적화된 시공 순서 및 일정을 제시하는 것이다. 시공 순서 자동 생성 기술은 여러 변수를 종합적으로 검토하여 다양한 상황에 대처하고 성공적으로 프로젝트를 수행하기 위한 최적의 시공 일정을 도출할 수 있다.
연구목적	협업 단위로 분할된 모듈을 현장에 시공할 때 시공 일정 및 순서는 다양한 변수의 영향을 받으며 이로 인해 공사에 큰 차질을 받을 수 있다. 시공 순서 자동 생성 기술은 이러한 변수들을 사전에 고려하여 최적화된 시공 순서 및 일정을 제시하고, 잠재적인 위험요소와 WBS 내부에서의 작업 중요도 등을 판단하여 플랜트 건설 일정에 문제가 생기는 것을 미연에 방지하면서 최적화된 일정을 제시하는 것을 목표로 한다.
2차년도 주요 연구내용	시공순서 자동생성 기술의 목표 설정 및 기초 구현 가상 시나리오 테스트를 통한 성능 확인
핵심결과	기본적인 시공순서 최적화 시스템을 개발하기 위하여 기본적인 문제를 상정하고 이를 유전 알고리즘 문제로 정의 및 구현을 진행함. 또한 구현된 시공순서 최적화 시스템의 성능 확인을 위하여 다양한 시나리오 케이스 분석을 수행함. 이를 통해 기본적인 최적화 시스템의 성능을 확인하였으며, 차후 프로젝트를 진행하면서 다양한 현장의 요구사항을 반영하여 보다 개선된 최적화 시스템으로 발전시킬 수 있는 바탕을 마련하였다.

▶ 시공순서 대안의 자동생성기술 개발 모듈 내용

- 시공순서 대안의 자동 생성기술은 사례 분석 자료에 의거하여 적정 기술을 선정하였다.
- 개발 최적화 시스템은 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 기반으로 C++로 개발하였다.
- 기본적인 시공 순서의 문제 정의는 아래와 같다.



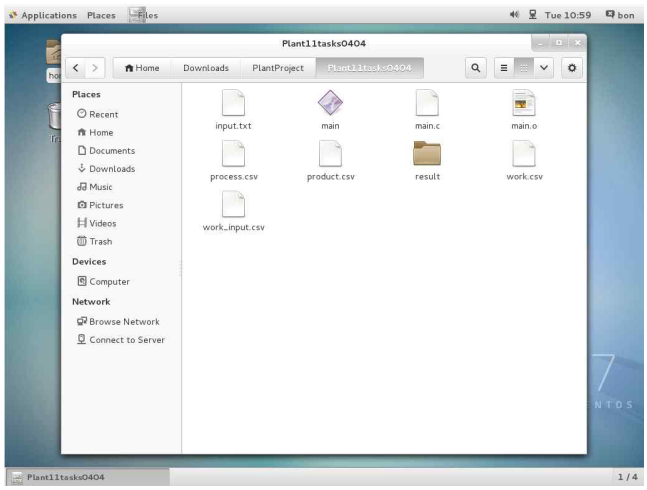
[그림 . 시공순서 문제의 예시]

- 개발 시스템에서 최적화 알고리즘은 위와 같은 방식으로 정보를 정의하여 진행한다.
- 시공순서 최적화 문제를 해결하기 위해서는 4가지 정보에 대한 정의가 사전 요구된다. 4가지 정보는 문제 정보(입력 변수), 최적화 변수(설계 변수), 제약 조건, 목적 함수 이다.
- 기본적으로 위의 그림에서 확인되는 정보는 위의 그림 정보로 초록색 상자로 표기되는 각 모듈의 작업 공기 정보, 각 모듈의 선행 작업 종료일과 해당 모듈의 작업 착수일 사이의 시간 간격 정보를 표시하는 t, 파란색 화살표로 표시되는 모듈간의 작업 흐름 순서이다. 이중 각 모듈의 작업 공기와 작업 흐름은 입력 정보로 받는 부분이다.
- 각 모듈의 선행 작업 종료일과 작업 착수일 사이의 시간 간격 정보를 표시하는 t는 최적화 시스템의 설계변수로 유전 알고리즘의 염색체(Chromosome)에 입력되는 정보이다. 이를 염색체로 표현하면 아래와 같이 표현된다.

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}

[그림. 시공순서 최적화 시스템의 염색체 정보]

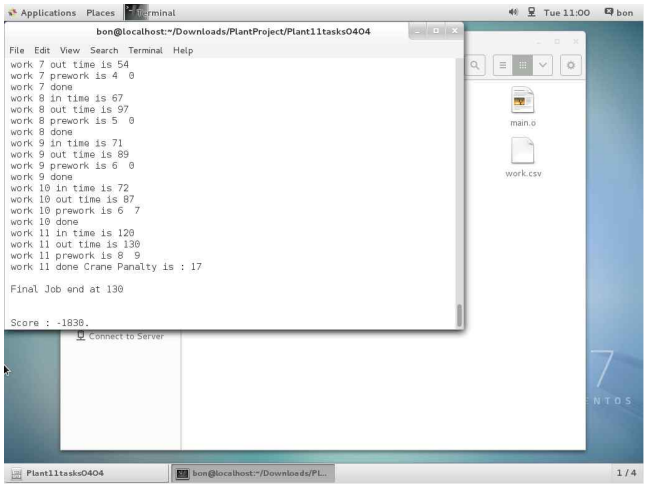
- 따라서 본 최적화 문제는 설계 변수인 t의 변경을 통해 각 모듈의 작업 투입일 및 작업 순서, 전체 공정의 수행 기간을 최적화 하는 시스템이다.
- 제약조건은 실제 플렌트 건설 공정에서 발생하는 다양한 이슈들을 포함하는 것을 목표로 하나 현 단계에서는 리소스 제약의 일부로 크레인의 사용 정보를 추가하였다.
- 목적 함수는 최적화 시스템이 최종적으로 얻고자하는 결과 값으로 현재는 Makespan의 최소화를 통해 작업 공기의 최소화를 지향하고 있으나 이에 대한 변경을 자유로이 가능하다.
- 현재 구현된 최적화 시스템은 입력정보를 문서형태로 입력받아, 최적화 수행 결과를 문서파일로 저장하는 형태를 지니고 있으며, 별도의 GUI를 구현하지는 않았다.



[그림. 최적화 시스템의 파일 구성]

- 최적화 시스템의 구성은 위와 같이 최적화 실행을 위한 코드 정보와 csv 형태의 문제 입력 정보, 유전 알고리즘 구동을 위한 기본 정보를 입력하는 input 파일과 결과물을 출력하는

result로 구성된다.



[그림. 최적화 시스템의 실행 화면]

- 위의 그림은 실행 중의 화면으로 생성된 t 정보를 바탕으로 각 모듈의 작업 시작과 끝 시간을 기록하고 이를 통해 크레인 제약조건 위반 및 목적함수의 스코어를 기록한다.

(1) 결론

(나) 주요 결과

▶ 협업 단위 모듈화 시공성 평가 사례조사 분석

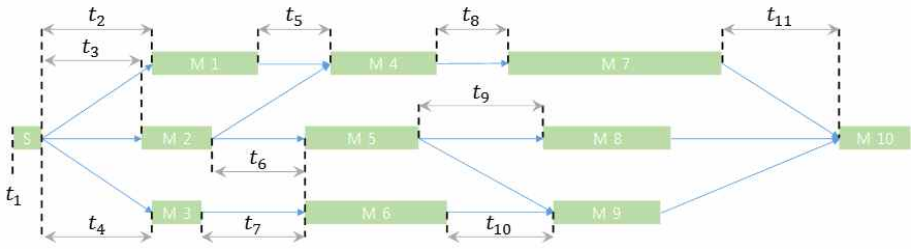
- 모듈화 플랜트의 시공성 평가에 관하여 사례조사를 하였다.
- 프로젝트 수행 시 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법 도입의 필요성에 따른 장점에 대하여 꾸준히 인식되어 왔지만, 이러한 시공성 검토의 향상을 위한 제도적인 과정 수립 및 실제 검토가 제대로 수행되지 않은 상태에서 프로젝트가 종결되는 것이 대부분의 실정이다.
- 이와 유사하게 조선업에서는 탑재 네트워크를 관리의 최적화에 대한 많은 연구가 이루어져있다. 그러나 모듈화 플랜트의 경우에는 크레인 등 시공 장비의 accessibility 및 availability 도 함께 고려해야한다. 이를 고려하여 응용하면 플랜트 시공 단계에서 공법 개선 및 재시공 최소화를 통한 원가 절감 및 공기 단축 등 많은 부분에서 프로젝트의 목적 달성을 이루는 데 많은 영향력이 있음을 알 수 있다.

▶ 시공순서 대안의 자동생성기술 개발 모듈 수행 결과

- 개발된 기본 시스템의 성능 확인을 위하여 3가지 가상 시나리오 케이스를 상정하고 이에 대한 최적화 작업 수행 및 분석을 진행하였다.
- 설계변수는 각 모듈의 선행 작업 종료일과 작업 착수일 사이의 시간 간격 정보를 표시하는 t로 정의하였다.
- 제약조건은 크레인으로 현장 사이트에 설치 가능한 대수를 정의하는 방식으로 모듈의 설치에는 항상 크레인이 필요하도록 하여 동시에 진행 가능한 작업의 개수를 제한하였다. 즉 현장 설치 크레인이 2기라면 2개의 모듈까지 동시에 작업할 수 있는 방식이다
- 크레인 제약 조건의 경우 페널티함수를 이용 이를 어길 시 목적함수 값에 페널티를 주어 최적해가 아님을 판단할수 있도록 구성하였다.
- 기본적인 모듈간의 작업 흐름은 사전 정의를 하였으며 입력값으로 설정하였다.
- 목적함수는 Makespan을 최소화 하는 것으로 최종 설치 모듈의 작업 완료일을 기준으로 하였다.

▶ 시나리오 케이스 1 수행 결과

- 기반 다지기 작업과 10개의 모듈 설치로 총 11개의 작업을 진행하는 문제이다.



[그림 . 11 Tasks 시나리오 케이스 작업 흐름도]

- 모듈의 작업 기한 정보는 아래와 같다.

Module #	Working Time
1	1
2	15
3	10
4	7
5	15
6	16
7	20
8	30
9	18
10	15
11	10

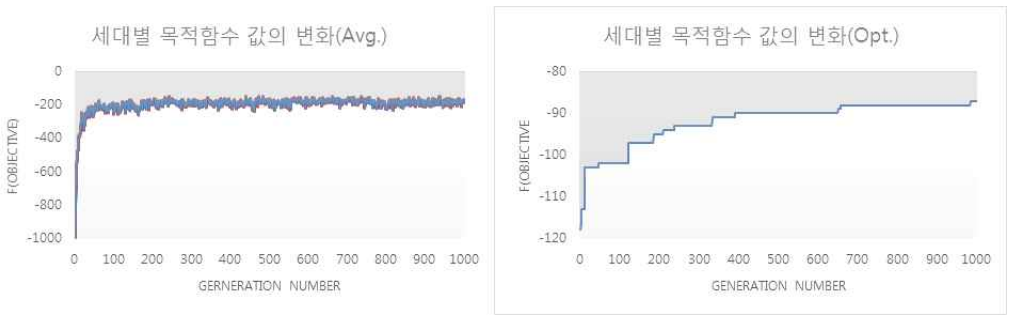
[그림. 모듈들의 작업기한 정보]

- 제약 조건인 크레인은 2기로 제한하였으며, 목적함수 값은 최종 작업 완료 시간으로 설정하였다.
- 기본적인 최적화 시스템 유전 알고리즘은 아래와 같이 설정 하였다.

$$Parents: 200,\ Generations: 1000,\ P_c = 0.7,\ P_m = 0.01$$

[그림. 최적화 시스템 유전 알고리즘 설정 조건]

- 위의 정보를 기반으로 최적화를 수행한 결과는 아래와 같다.



[그림 . 11 Tasks 시나리오 케이스 최적화 결과]

- 그래프를 확인하면 초반 200제너레이션 이내에서 큰 폭으로 최적해의 값이 좋아지며, 이후 완만하게 최적 값이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.
- 1000 제너레이션의 최적화 수행 후 도출되는 최적해는 아래와 같다.

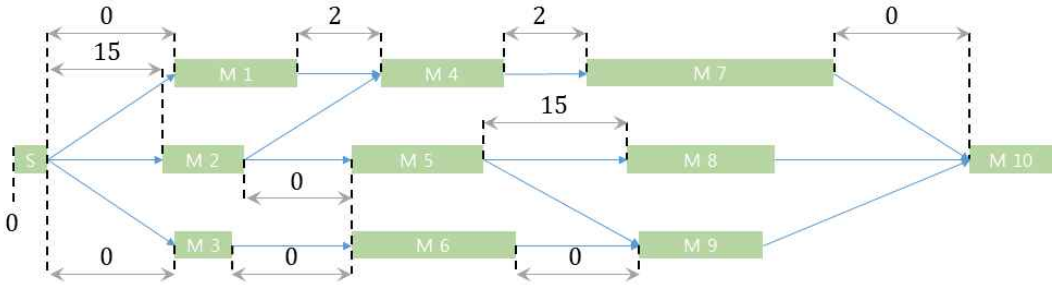
0	0	15	0	2	0	0	2	15	1	0

[그림 . 11 Tasks 시나리오 케이스 최적 염색체 정보]

- 각 제너레이션의 최적해는 500 제너레이션 이후로는 90일 정도에서 안정되며, 1000 제너레이션에서의 결과는 최적해인 Makespan = 85 일로 위와 같은 일정을 따를 경우 전체 공정을 진

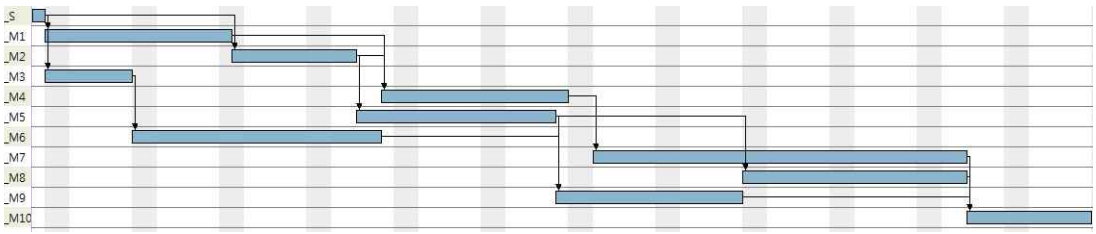
행하는데 85일이 소요된다.

- 최적 염색체의 t 값을 작업 흐름도 그림에 반영하면 아래와 같은 그림이 된다.



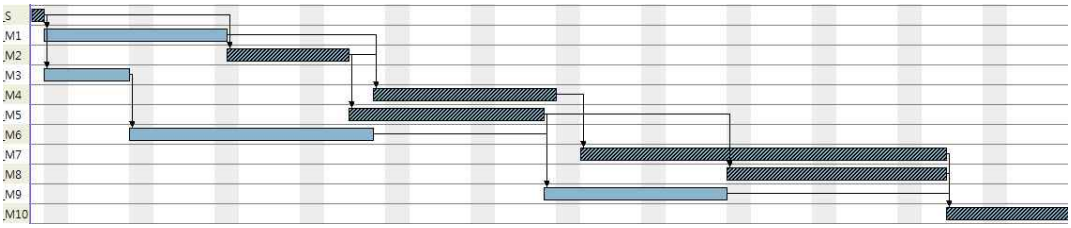
[그림 . 169 11 Tasks 시나리오 케이스 최적 작업 흐름도]

- 위의 그림의 경우 문제의 이해에는 적합하나 최적화 된 결과 값이 명확하게 드러나지 않으므로 결과 분석을 위하여 Gantt Chart 형태로 결과를 정리하였다.



[그림 . 11 Tasks 시나리오 케이스 Gantt Chart]

- 도출된 Gantt Chart를 확인하면, 동시에 2개 작업이라는 제약을 어기지 않으면서, 작업간의 유휴 기간을 최소화한 스케쥴을 도출하였음을 확인할 수 있다. 또한 이 결과를 통해 일반적으로 Critical Path라고 부르는 위험 요소 구간을 확인 할 수 있다.

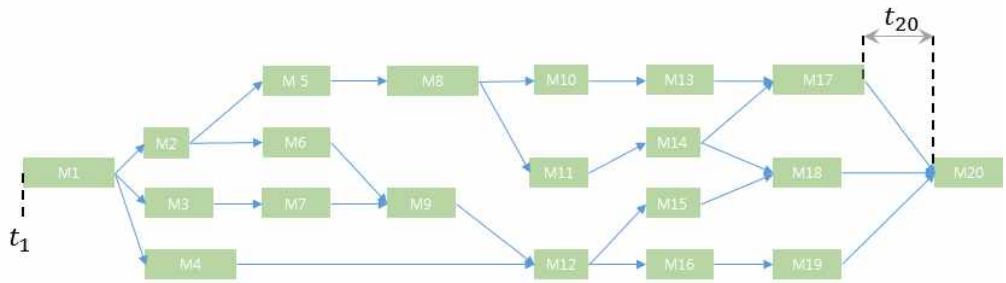


[그림 . 11 Tasks 시나리오 케이스 Gantt Chart 위험 구간 분석]

- S, M2, M4, M5, M7, M8, M10 이 각각 일정에 영향을 미칠 수 있는 위험 요소임을 확인 할 수 있다. 따라서 실제 작업을 진행할 시에는 이에 해당 되는 모듈의 작업 진행 상황을 유심히 확인해야할 필요가 있다. 또한 외부 또는 내부 변수로 인해서 일정에 변화가 온 경우에는 위험 구간 역시 변화할 수 있기 때문에 이에 대한 분석이 추가적으로 수행 되어야 한다.
- 또한 본 시나리오 케이스의 경우 가정 시나리오가 단순하고 정보의 양이 적어 비교적 쉽게 최적화된 결과값을 산출할 수 있었음을 확인할 수 있었다.

▶ 시나리오 케이스 2 수행 결과

- 두 번째 시나리오는 20개의 모듈의 시공 순서를 최적화 하는 문제이다.
- 모듈의 증가로 염색체의 크기도 함께 증가하여 첫 번째 시나리오보다 제약조건을 맞추는 일정을 찾는 것이 어려워졌다.



[그림 . 20 Tasks 시나리오 케이스 작업 흐름도]

- 각 모듈의 작업 기한 정보는 아래와 같다.

Module #	Working Time	Module #	Working Time
1	20	11	12
2	10	12	10
3	15	13	15
4	20	14	10
5	15	15	10
6	15	16	15
7	15	17	20
8	20	18	15
9	15	19	15
10	10	20	15

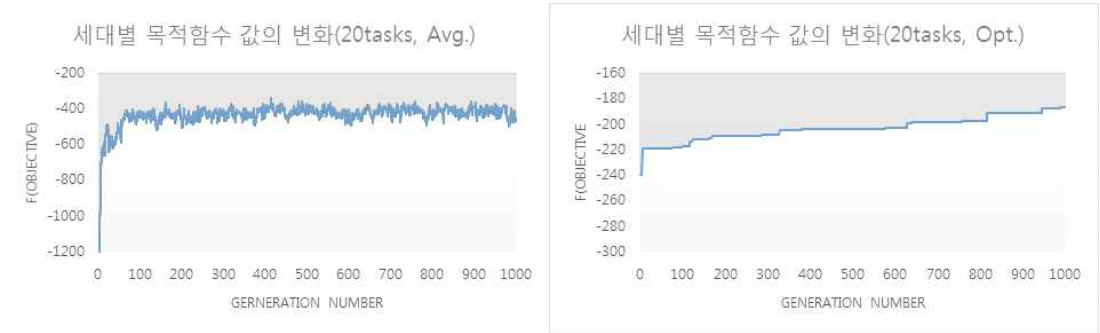
[그림 . 각 모듈 작업기한 정보]

- 제약 조건인 크레인은 11Tasks 시나리오와 동일하게 2기로 제한하였으며, 목적함수 값도 동일하게 최종 작업 완료 시간으로 설정하였다.
- 본적인 최적화 시스템 유전 알고리즘은 아래와 같이 설정 하였다.

$$Parents: 200,\ Generations: 1000,\ P_c = 0.7,\ P_m = 0.01$$

[그림. 최적화 시스템 유전알고리즘 설정정보]

- 위의 정보를 기반으로 최적화를 수행한 결과는 아래와 같다.



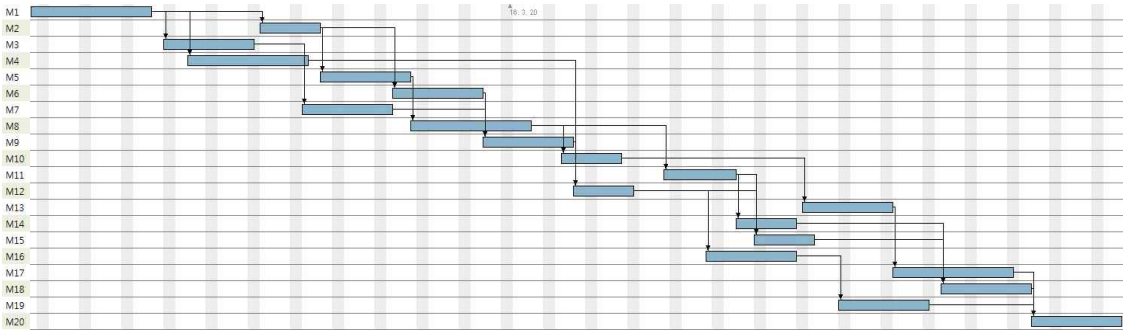
[그림 .20 Tasks 시나리오 케이스 최적화 결과]

- 그래프를 확인하면 최적해 값이 원만한 곡선으로 제너레이션이 커질수록 값이 좋아지는 것을 확인 할 수 있다.
- 1000 제너레이션의 최적화 수행 후 도출되는 최적해는 아래와 같다.

0	18	2	6	0	12	8	0	0	5	22	0	30	0	3	12	0	21	7	0

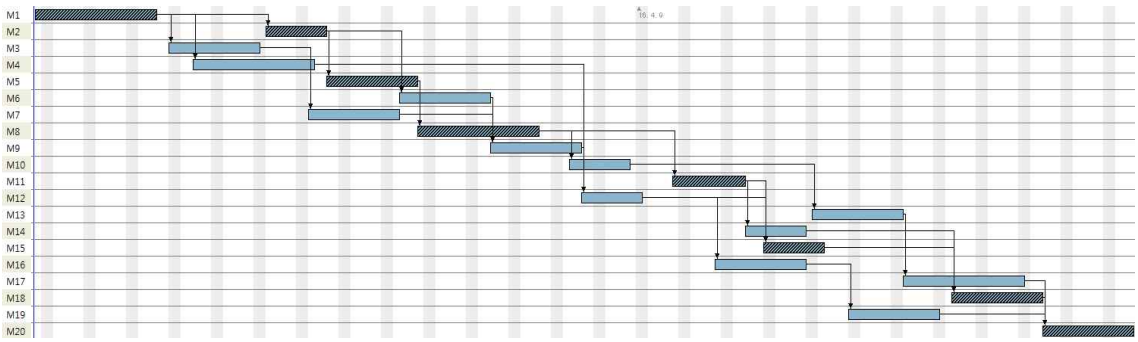
[그림 . 20 Tasks 시나리오 케이스 최적 염색체 정보]

- 각 제너레이션의 최적해는 급격하지 않으나 지속적으로 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 1000 제너레이션의 결과는 최적해인 Makespan = 181 일로 위와 같은 일정을 따를 경우 전체 공정을 진행하는데 187일이 소요된다.
- 결과 분석을 위해 Gantt Chart 형태로 결과를 정리 하였다.



[그림 . 20 Tasks 시나리오 케이스 Gantt Chart]

- 도출된 Gantt Chart를 확인하면, 시나리오 케이스 1과 마찬가지로 동시에 2개 작업이라는 제약을 어기지 않으면서, 작업간의 유휴 기간을 최소화한 스케쥴을 도출하였음을 확인할 수 있다. 다만 M11, M12와 같이 일부 구간에서 추가적으로 작업의 공기를 줄일 수 있는 부분이 발견되는데 이는 최적화 시스템의 조건의 문제로 제너레이션의 수나 부모 개체의 수, 크로스오버 확률 및 변이 확률 변경을 통해 개선이 가능할 것으로 판단된다. 또한 이 결과를 통해 일반적으로 Critical Path라고 부르는 위험 요소 구간을 확인 할 수 있다.

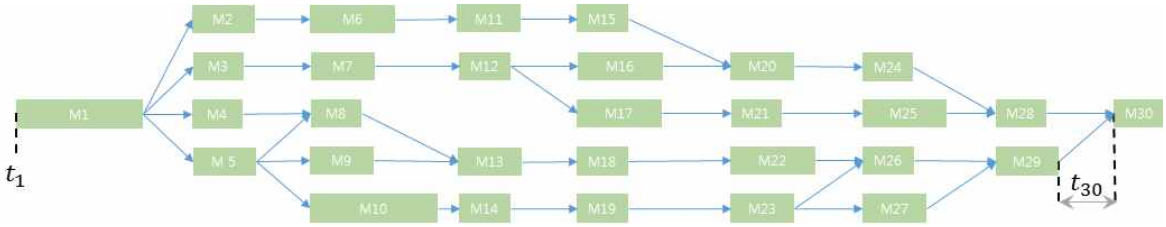


[그림. 20 Tasks 시나리오 케이스 Gantt Chart 위험 구간 분석]

- M1, M2, M5, M8, M11, M15, M18, M20 이 각각 일정에 영향을 미칠 수 있는 위험 요소임을 확인 할 수 있다. 따라서 실제 작업을 진행할 시에는 이에 해당 되는 모듈의 작업 진행 상황을 유심히 확인해야할 필요가 있다. 또한 외부 또는 내부 변수로 인해서 일정에 변화가 온 경우에는 위험 구간 역시 변화할 수 있기 때문에 이에 대한 분석이 추가적으로 수행 되어야 한다.

▶ 시나리오 케이스 3의 수행결과

- 세 번째 시나리오는 30개의 모듈의 시공 순서를 최적화 하는 문제이다.
- 모듈의 증가로 염색체의 크기도 함께 증가하여 앞선 두 시나리오보다 제약조건을 맞추는 일정을 찾는 것이 어려워졌다.



[그림 . 30 Tasks 시나리오 케이스 작업 흐름도]

- 각 모듈의 작업 기한 정보는 아래와 같다.

Module #	Working Time	Module #	Working Time
1	30	16	20
2	15	17	20
3	10	18	10
4	10	19	10
5	15	20	15
6	20	21	10
7	15	22	20
8	10	23	15
9	15	24	10
10	30	25	20
11	15	26	10
12	10	27	15
13	15	28	10
14	10	29	15
15	10	30	10

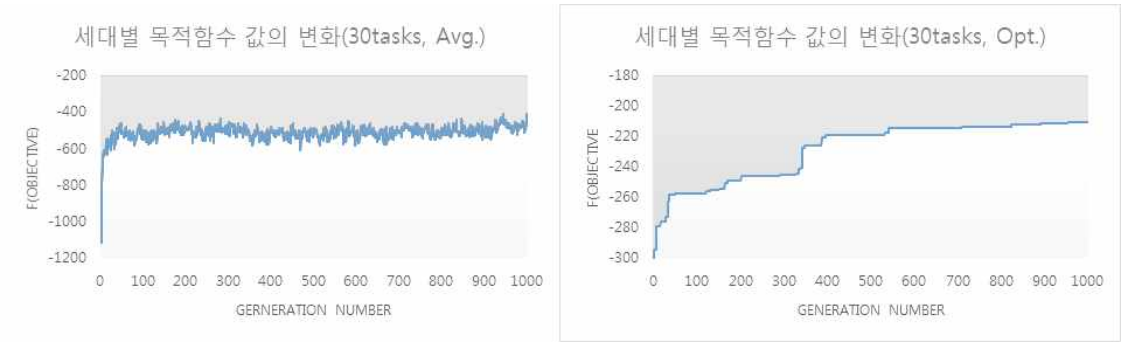
[그림 . 모듈의 작업기한 정보]

- 제약 조건인 크레인은 앞의 시나리오들과는 다르게 3기로 제한하였으며, 목적함수 값은 동일하게 최종 작업 완료 시간으로 설정하였다.
- 본적인 최적화 시스템 유전 알고리즘은 아래와 같이 설정 하였다. 크로스오버 확률을 약간 낮추어주었다.

$$Parents: 200,\ Generations: 1000,\ P_c = 0.5,\ P_m = 0.01$$

[그림. 최적화 시스템 유전 알고리즘 설정 정보]

- 위의 정보를 기반으로 최적화를 수행한 결과는 아래와 같다.



[그림 . 30 Tasks 시나리오 케이스 최적화 결과]

- 그래프를 확인하면 최적해 값이 원만한 곡선으로 제너레이션이 커질수록 값이 좋아지다가 350 제너레이션 부근을 기준으로 최적값이 크게 향상 된 후 안정적으로 변화하는 것을 확인

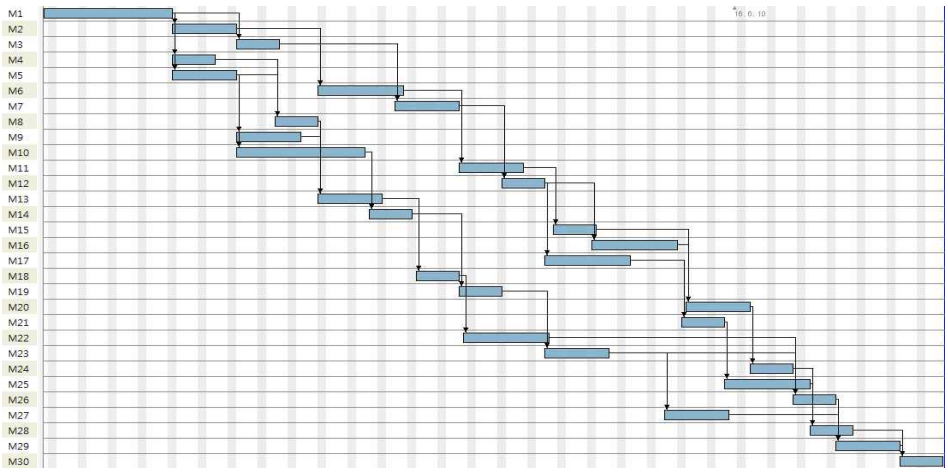
할 수 있다.

- 1000 제너레이션의 최적화 수행 후 도출되는 최적해는 아래와 같다.

0	0	15	0	0	19	27	9	0	0	13	10	0	1	7	11	0	8	11	2	12	1	10	0	0	0	13	0	0	0

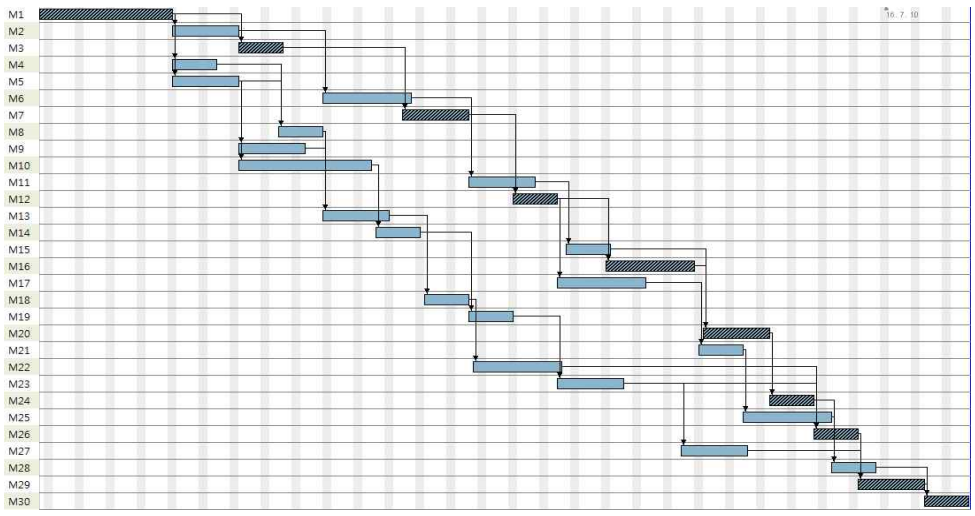
[그림. 30 Tasks 시나리오 케이스 최적 염색체 정보]

- 1000 제너레이션의 결과는 최적해인 Makespan = 210 일로 위와 같은 일정을 따를 경우 전체 공정을 진행하는데 210일이 소요된다.
- 결과 분석을 위해 Gantt Chart 형태로 결과를 정리 하였다.



[그림. 30 Tasks 시나리오 케이스 Gantt Chart]

- 도출된 Gantt Chart를 확인하면, 동시 3개 작업이라는 제약을 어기지 않으면서, 작업간의 유휴 기간을 최소화한 스케쥴을 도출하였음을 확인할 수 있다. 다만 20 Tasks 시나리오 케이스와 마찬가지로 추가적으로 작업의 공기를 줄일 수 있는 부분이 일부 발견되는데 이는 최적화 시스템의 조건의 문제로 제너레이션의 수나 부모 개체의 수, 크로스오버 확률 및 변이 확률 변경을 통해 개선이 가능할 것으로 판단된다. 또한 이 결과를 통해 일반적으로 Critical Path라고 부르는 위험 요소 구간을 확인 할 수 있다.



[그림. 30 Tasks 시나리오 케이스 Gantt Chart 위험 구간 분석]

- M1, M3, M7, M12, M16, M20, M24, M26, M29, M30 이 각각 일정에 영향을 미칠 수 있는 위험 요소임을 확인 할 수 있다. 따라서 실제 작업을 진행할 시에는 이에 해당 되는 모듈의 작업 진행 상황을 유심히 확인해야할 필요가 있다. 또한 외부 또는 내부 변수로 인해서 일정에 변화가 온 경우에는 위험 구간 역시 변화할 수 있기 때문에 이에 대한 분석이 추가적으로 수행되어야 한다.

(다) 향후 계획

▶ 추후 시공 사이트의 배치기술을 함께 연동하여 시공네트워크와 시공사이트 운용이 함께 보일 수 있는 모듈을 개발하고, 케이스 스터디를 통해 시뮬레이션 수행

▶ 3개의 시나리오 케이스를 통하여 시공 순서 최적화 시스템의 기본적인 기능을 구축하고 이에 대한 성능 확인을 진행하였으며, 다음 년도에서는 본 시스템을 보다 현업에 맞도록 개선시킬 예정이다.

(2) 성과점검기준

(라) 질적 성과지표

① 성과지표의 설정 근거

- 추후 시공성 평가 설계 지침 요구 기준설정을 위한 사례조사 기반
- 타 분야 시공성관련 사례조사 기반

② 목표치

- 협업단위 모듈화 시공성 평가 사례 보고서 3건
- 협업단위 모듈화 현장 물류 관련 선행 연구 조사서 2건
- 시공네트워크 관련 선행연구 조사서 2건
- 플랜트 모듈 2차원 배치 최적화 소스코드 개발 보고서 2건
- 진화 알고리즘 기반 최적화 모듈 1건

(마) 측정/검증방법

① 측정 방법 설정 근거

- 타분야 사례조사와 시공 네크워크 관련 기본사례들을 참고로함.

② 검증 방법

- 사례조사서 확인
- 협업단위 모듈화 현장물류 관련 선행연구 조사서 확인
- 시공네크워크 관련 선행연구 조사서 확인
- 보고서 내 사례연구 시나리오에 해당하는 데이터기반으로 모듈 작동여부 검증

(바) 정량목표 및 달성도

구분	목표	달성	달성률
협업단위 모듈화 시공성 평가 사례보고서	사례 보고서 3건	사례 보고서 3건	
협업단위 모듈화 현장물류 관련 선행연구 조사서	선행연구 조사서 2건	선행연구 조사서 2건	
시공네트워크 관련 선행연구 조사서	선행연구 조사서 2건	선행연구 조사서 2건	
WBS(Work breakdown structure)기반 운송/물류 등을 고려한 시공순서 대안의 자동생성 기술 개발 보고서	개발보고서 2건	개발보고서 2건	
개발모듈 S/W 등록	s/w 등록 1건	s/w 등록 1건	

C) 4차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 운송된 모듈들의 시간과 자원을 절약한 효율적인 시공을 위해, 모듈 간의 시공 관계 네트워크를 활용한 모듈 시공 스케줄링 최적화 S/W 모듈 개발

(나) 연구내용

▶ 모듈과 크레인 등의 설치 자원 간의 관계에 따른 시공 관계를 표현하는 시공 관계 네트워크 개념 정의

▶ 시공 관계 네트워크를 고려한 모듈 시공 스케줄링 최적화 모델 개발

▶ 위 개발 사항들을 포함한 S/W 모듈 개발 진행 중

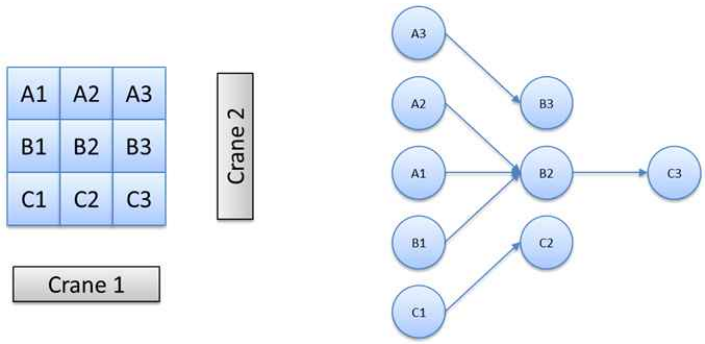
(1) 수행 내용

▶ 시공 관계 네트워크를 활용한 시공 스케줄링 S/W 모듈 정의

- 건설 현장에 운송된 모듈들을 시간과 자원을 절약하여 효율적으로 시공하기 위해, 모듈 간의 시공 관계 네트워크 정보를 입력하면 스케줄링 안을 제안하는 S/W 모듈

▶ 시공 관계 네트워크

- 건설 현장에서, 플랜트 상의 모듈들의 시공 위치와 플랜트를 기준으로 한 크레인 등의 시공 자원의 위치 등에 따른 모듈 간의 필수 시공 전후 관계를 네트워크 모델로 작업자가 직접 생성
- 플랜트 상의 모듈 위치에 따라, 해당 모듈 시공을 위해 아래 모듈과 옆 모듈이 사전 시공이 완료되어야 하는 경우 필요
- 크레인 등의 시공 자원에 따라, 해당 모듈이 위 모듈과 옆 모듈 보다 사전 시공이 완료되어야 하는 경우
- 그 외, 모듈 설계 상 문제와 안전 문제에 따라 모듈 간의 시공 순서가 정해진 경우



[그림. 크레인의 위치에서 멀리 떨어진 모듈을 우선적으로 시공해야하는 경우]

▶ 시공 관계 네트워크를 고려한 스케줄링 최적화 모델

- 건설 현장 상황에 따라 입력된 모듈들의 시공 관계 네트워크를 고려하여 모듈들의 시공 스케줄링 최적화를 수행하기 위한 모델 개발

- **모델 가정**
  - 시간은 0부터 시작하며 단위는 분이다.
  - 크레인 등의 시공 자원의 가동 여부는 정해진 시간 간격에 따라 확인한다.
  - 모듈 하나의 시공에 하나의 시공 자원이 활용되며 모듈의 시공 시간은 자원에 상관 없이 동일

[그림. 모델 가정]

- **결정 변수**
  - x_i: 모듈 i 가 크레인 등의 시공 자원을 활용하여 설치가 시작되는 시간, Nonnegative Integer
  - $Act_{i,t}$: t번 째 시간 간격에서 모듈 i의 시공 진행 여부, Binary Variable
  - $Duration$: 모든 모듈의 설치가 완료되는 시간, Nonnegative Integer

- **입력 좌표 및 집합**
  - $Pre(i)$: 시공 관계 네트워크 상에서 모듈 i 바로 직전에 시공이 완료되어야 할 모듈들의 집합
  - d_i: 모듈 i가 시공되는데 소요되는 시간
  - $deadline_i$: 외부적인 요인에 의해서 모듈 i가 반드시 시공을 마쳐야 되는 시간
  - T: 크레인 등의 설치 자원 가동 여부를 확인하는 시간 간격
  - I: 모든 모듈들의 집합
  - R: 모든 시공 자원들의 수

[그림. 모델 변수 설명]

- **목적 함수: 모든 모듈의 시공이 완료되는 시간의 최소화**

$$\min Duration$$

- **조건 함수**
  - 모듈 설치 시작 시간 조건

    $x_i \geq x_j + d_j$ for $\forall j \in Pre(i)$ and $\forall i \in I$
  - 모듈 설치 Deadline 조건

    $deadline_i \geq x_i + d_i - 1$ for $\forall i \in I$
  - 시공 자원 작동 조건

    $\sum_{i \in I} Act_{i,t} \leq R$ for $\forall i \in I$

    $Act_{i,t} == 1 - \left(((t-1) * T \geq x_i + d_i - 1) + (t * T + 1 \leq x_i) \right)$

    for $t = 1 \sim (\max(deadline_i)/T)$인 정수
  - 시공 완료 시간 조건

    $x_i + d_i - 1 \leq Duration$ for $\forall i \in I$

[그림. 모델]

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 모듈 시공에 대하여, 정보를 입력한 시공 관계 네트워크 생성 후, 모듈 시공 스케줄링을 수행하는 프레임워크의 S/W 모듈 개발 보고서를 작성하여 현재 개발 진행 중

(나) 향후 계획

▶ S/W 개발 보고서 내용을 만족하는 S/W 모듈 개발 완료 후, 시공 관계 네트워크에 대한 추가 분석을 진행하여 모듈 시공 스케줄링에 추가로 고려해야 할 사항들 파악 후, 시공 스케줄링 모델 개선을 통한 S/W 모듈의 성능 향상을 목표

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
케이스 스터디를 통한 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 S/W 모듈 검증	S/W 모듈이 실제 설계 현장에서의 활용 가능성을 평가할 수 있고, 개발한 최적화 모델의 검증과 동시에 보완할 점을 파악하여 향후 S/W 성능 향상에 도움	보고서 1건
시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 S/W 모듈 시제품 작동 여부	개발 S/W의 시공 관계 네트워크를 활용한 모듈 스케줄링 제안 기능이 모듈의 시공 과정에서 실용적 기여도가 있는지 판단에 도움	SW 모듈 등록 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
케이스 스터디를 통한 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 S/W 모듈 검증	시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 S/W 개발 보고서 건수	모듈 시공 과정에서 정의한 모듈 시공 관계 네트워크 개념과 이를 활용한 모듈 스케줄링 최적화 모델의 실질적 타당성 검증 가능	S/W 모듈 개발 보고서 확인	달성
시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 S/W 모듈 시제품 작동 여부	시공 관계 네트워크 활용 스케줄링 S/W 모듈 등록	개발 S/W 모듈 상에서 시공 관계 네트워크 생성과 이를 통한 모듈 스케줄링을 제안하는 기능이, 플랜트 모듈 관련 기술 개발 관점에서 유의미한지 판단 가능	S/W 모듈 등록 여부 확인	12월 말 예정

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(3) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업단위 모듈화 시공성 평가 S/W모듈(스케줄 최적화+적재/이송/설치 평가)을 개발

(가) 연구 내용

▶ 모듈 시공 스케줄 최적화 S/W모듈 검증 및 GUI을 개발함

▶ 모듈 적재/이송/설치 평가 S/W모듈 검증 및 GUI을 개발함

(1) 수행 내용

▶ 모듈 시공 스케줄 최적화 S/W모듈

- 모듈들의 시공 정보, 모듈들 간의 시공 관계 정보, 그리고 모듈 설치 자원 정보를 입력함

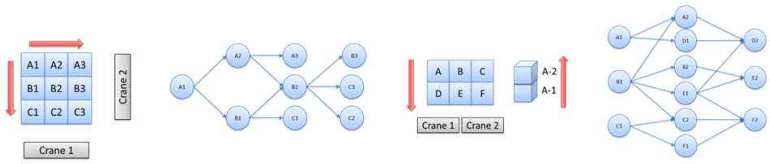
모듈 이름	ID	최소 운송 시간	설치 소요 시간	설치 기한
A1	1	0	6	48
A2	2	0	8	48
A3	3	5	6	48

네트워크 관계 번호	현재 설치 모듈 ID	이전 설치 모듈 ID
1	2	1
2	4	1
3	3	2

설치 작업 시간 간격	설치 자원 수
4	2

[그림. 모듈 시공 정보]

- 모듈 전체 설치 기간을 최소화는 모듈들의 시공 스케줄 설치 시작 시간(>운송 완료 시간) & 설치 완료 시간 도출함



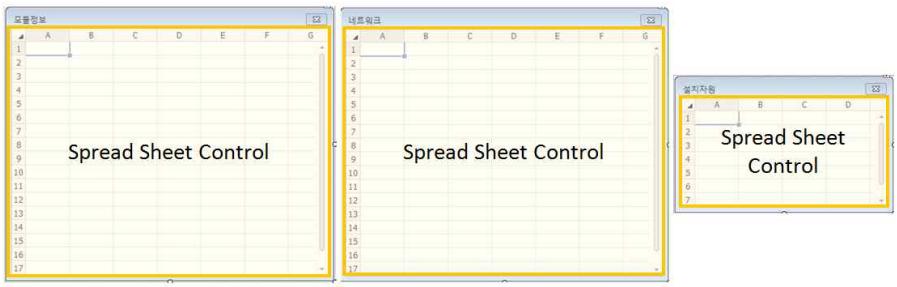
[그림. 모듈 시공 스케줄 최적화 모델]

- 시공 스케줄 최적화 모델 GUI 스터디



1. 모듈정보 버튼
2. 네트워크 버튼
3. 설치자원 버튼
4. 최적화 버튼

[그림. GUI 스터디1]

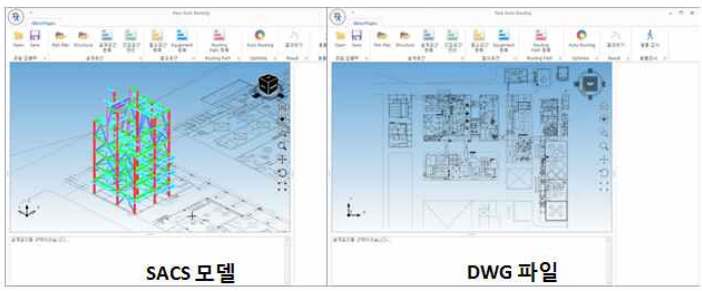


모듈정보 윈도우 네트워크 윈도우 설치자원 윈도우

[그림. GUI 스터디2]

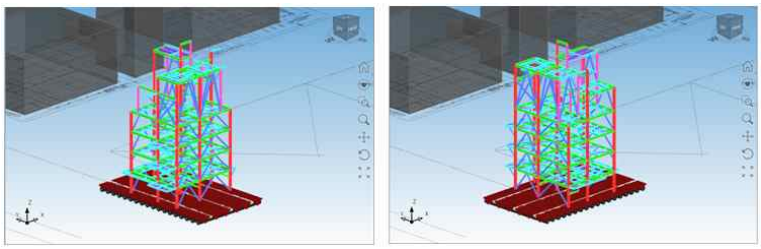
▶ 모듈 적재/이송/설치 평가 S/W모듈

- SACS의 입력 파일을 DB에 저장하여 가시화 기능
- CAD프로그램의 DWG파일 가시화 기능



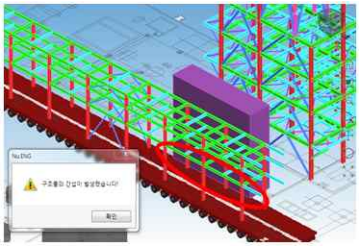
[그림. SACS파일 DWG파일 가시화]

- SPMT&구조물 이동, 회전 테스트 기능



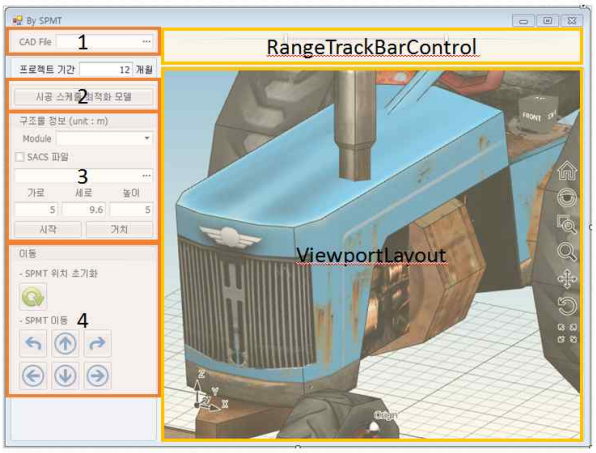
[그림. SPMT&구조물 회전 테스트]

- SPMT&구조물 이동중 기존 구조물과 충돌검출 기능



[그림. SPMT&구조물 충돌검출]

- 모듈 적재/이송/설치 평가 GUI 스터디



[그림. GUI 스터디1]

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 모듈 시공성 평가 시뮬레이션을 위해, 모듈들의 시공 정보, 모듈들 간의 시공 관계 정보, 그리고 모듈 설치 자원 정보를 활용하여 모듈 시공 스케줄링 안을 제시하는 S/W모듈을 개발함

▶ 시공 스케줄 최적화 S/W모듈의 GUI를 개발하여 입력검증을 수행하였고 정상 작동함

▶ 적재/이송/설치 평가 S/W모듈의 GUI를 개발하여 입력검증을 수행하였고 정상 작동함

(나) 향후 계획

▶ 사용자의 편의를 위하여 모듈의 이동, 회전간격을 입력할 수 있는 방법을 개발

▶ 시공 스케줄 최적화의 간트차트 개발

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (5차년도)
모듈 시공 시뮬레이션 및 시공 최적화를 위한 GUI 케이스스터디 개수	시공 최적화 모듈S/W의 관련기능(최적배치 및 배치 시뮬레이션) 실행을 위한 GUI 개발 케이스스터디가 필요함	1건
모듈 간 시공성 관계 분석을 위한 시공 가능 평가 기술 케이스스터디 개수	모듈 구조물 시공계획 수립을 위한 시공성 관계분석 모듈의 기능 테스트 검증을 위한 케이스스터디가 필요함	1건
모듈 시공 스케쥴 최적화 케이스스터디 대수	플랜트 모듈 3차원 배치 최적화 기능수행에 대한 테스트 검증을 위한 케이스스터디가 필요함	1건
시제품 통합 S/W 작동여부	케이스 스터디를 위한 모듈 연동 및 통합 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 시제품 통합 S/W 작동여부를 검토할 수 있음	시제품 통합 S/W 개발 및 테스트 보고서 2건(1권)

(가) 정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
모듈 시공 시뮬레이션 및 시공 최적화를 위한 GUI 케이스스터디 개수	GUI 케이스스터디 개수	시공 최적화 모듈S/W의 관련기능(최적배치 및 배치 시뮬레이션) 실행을 위한 GUI 개발 적정성을 보고서로부터 케이스스터디 내용을 통해 확인할 수 있음	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성
모듈 간 시공성 관계 분석을 위한 시공 가능 평가 기술 케이스스터디 개수	S/W 작동	모듈 구조물 시공계획 수립을 위한 시공성 관계분석 모듈의 기능 테스트 검증을 위한 케이스스터디 시나리오를 확인하고 실제 S/W작동을 통해 확인 가능함	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성
모듈 시공 스케쥴 최적화 케이스스터디 대수	S/W 작동	플랜트 모듈 3차원 배치 최적화 기능수행에 대한 테스트 검증을 위한 케이스스터디 시나리오를 확인하고 실제 S/W작동을 통해 확인 가능함	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성
시제품 통합 S/W 작동여부	S/W 작동	시제품 통합 S/W에서 위의 3개 케이스스터디 시나리오를 직접 확인 또는 수행하고 검토결과 등을 보고서에서 확인할 수 있음	S/W 작동 동영상 및 보고서 분석	달성

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

(4) 개요

(나) 연구 목적

▶ 협업단위 모듈화 시공성 평가 S/W모듈(스케줄 최적화+적재/이송/설치 평가)의 기능을 검증함

(나) 연구 내용

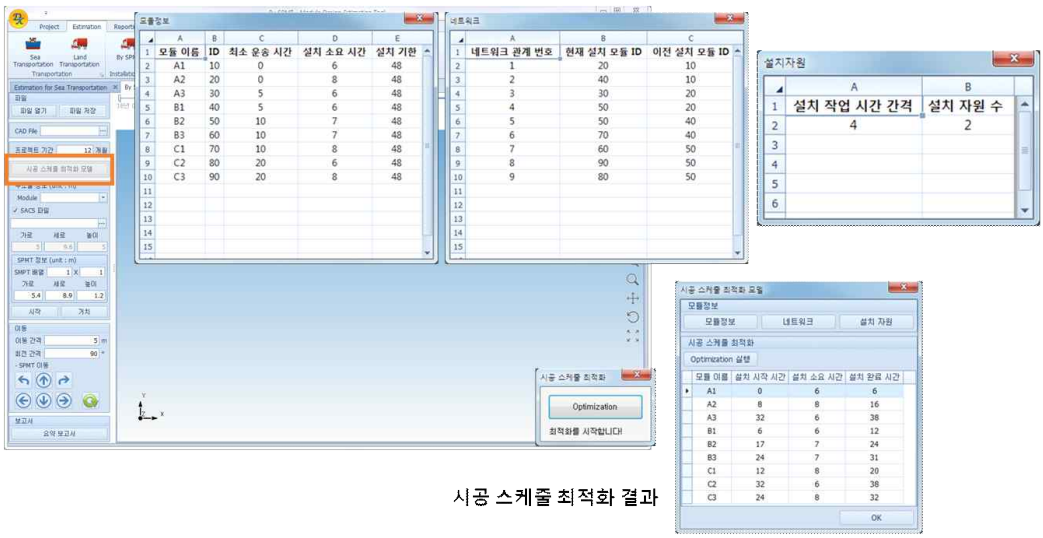
▶ 모듈 시공 스케줄 최적화 S/W모듈 통합검증

▶ 모듈 적재/이송/설치 평가 S/W모듈 통합검증

▶ 시공성 평가 S/W모듈(스케줄 최적화 및 적재/이송/설치 평가)의 관련기능을 검증하였고 이를 시제품과 통합하여 모듈 구조물 시공성 계획을 검증함

(4) 수행 내용

▶ 시공 스케줄 최적화 모델 테스트



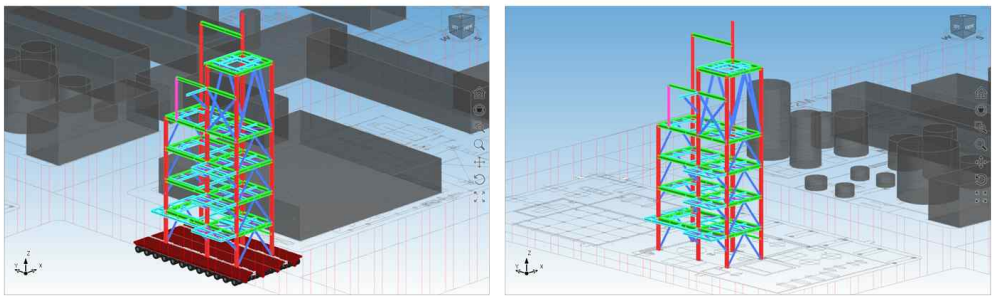
[그림. 시공 스케줄 최적화 모델 정보입력]

▶ 시공 스케줄 최적화 모델 테스트 - 시공평가

- 시공 스케줄 최적화 결과를 이용하여 시공평가 시행
- 시공과정 중 기존 구조물과 충돌 발생하여 스케줄 최적화 정보 수정 후 재 최적화
- 재 최적화 결과를 이용하여 시공평가 시행

모듈 이름	설치 시작 시간	설치 소요 시간	설치 완료 시간
Type-A1	0	6	6
Type-A2	8	8	16
Type-B	32	6	38

Type-A1 설치 시작 시간 - 0일
Type-A1 설치 소요 시간 – 6일
Type-A1 설치 완료 시간 – 6일



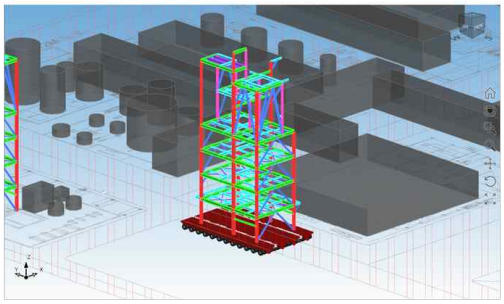
스케줄 최적화 결과에 따른 Type-A1 시공성 시뮬레이션 - 이동

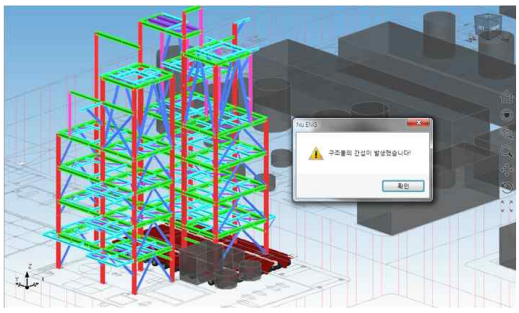
스케줄 최적화 결과에 따른 Type-A1 시공성 시뮬레이션 - 설치

[그림. 시공 스케줄 최적화 모델 시공평가]

모듈 이름	설치 시작 시간	설치 소요 시간	설치 완료 시간
Type-A1	0	6	6
Type-A2	8	8	16
Type-B	32	6	38

Type-A2 설치 시작 시간 - 8일
Type-A2 설치 소요 시간 – 8일
Type-A2 설치 완료 시간 – 16일

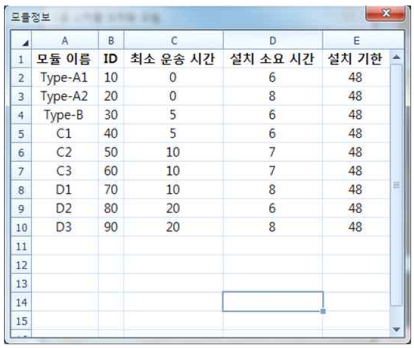


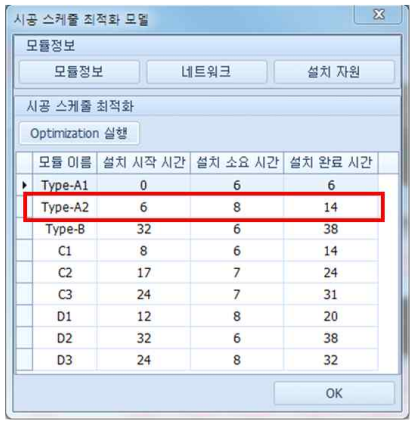


스케줄 최적화 결과에 따른 Type-A2
시공성 시뮬레이션 - 이동

스케줄 최적화 결과에 따른 Type-A2
시공성 시뮬레이션 – 설치 중 간섭발생

[그림. 시공 스케줄 최적화 모델 시공평가]





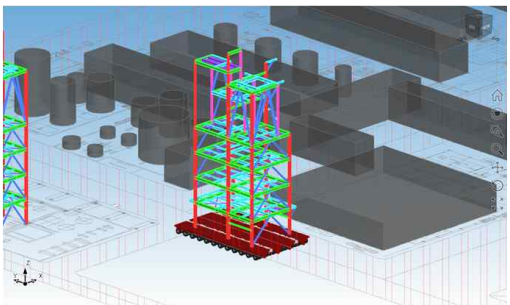
설치 되어 있는 구조물과 Type-A2의
충돌 발생으로 모듈정보 수정 후
시공 스케줄 최적화 실행

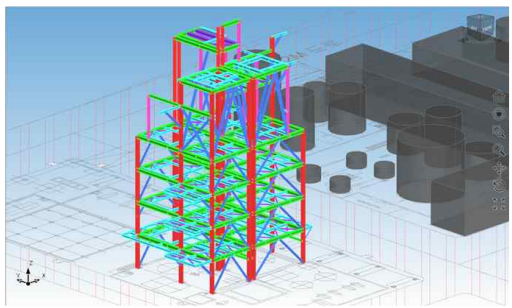
모듈정보 수정 후 스케줄 최적화 결과
Type-A2 설치 시작 시간 – 8일 -> 6일
Type-A2 설치 소요 시간 – 8일-> 8일
Type-A2 설치 완료 시간 – 16일-> 14일

[그림. 시공 스케줄 최적화 모델 시공평가]

모듈 이름	설치 시작 시간	설치 소요 시간	설치 완료 시간
Type-A1	0	6	6
Type-A2	6	8	14
Type-B	32	6	38

Type-A2 설치 시작 시간 - 6일
Type-A2 설치 소요 시간 – 8일
Type-A2 설치 완료 시간 – 14일





스케줄 최적화 결과에 따른 Type-A2 시공
성 시뮬레이션 - 이동

스케줄 최적화 결과에 따른 Type-A2 시공
성 시뮬레이션 - 설치

[그림. 시공 스케줄 최적화 모델 시공평가]

(5) 결론

(다) 주요 결과

▶ 시공성 평가 S/W모듈(스케줄 최적화 및 적재/이송/설치 평가)의 관련기능을 검증하였고 이를 시제품과 통합하여 모듈 구조물 시공성 계획을 검증 정상 작동함

라) [C-4] 시공 네트워크 최적화 S/W 설계 지침서

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

▶ 세계적으로 모듈러 플랜트의 수요가 높아지고, 시공과정에서 경제적인 비용절감 효과는 가시적으로 보여지고 있으나, 실제로 모듈러 플랜트 설계,시공 핵심 기술을 국내업체는 아직 가지고 있지 못하며, 기술보유가 시급하다. 시공성은 이러한 건설 프로세스의 각 단계별 통합성을 유지하기 위한 대안으로 도입되었으며, 시공지식과 경험을 적용하여 사업을 최적화 시키는 것을 목표로 하고 있다. 이미 해외 선진국에서는 다양한 관점의 연구가 활발하게 진행되어 비용, 공기, 품질 측면에서의 효과를 보여주는 수준에 이르렀다.국내 건설기업이 성공적인 해외건설 프로젝트를 수행하기 위해서 선진기업과의 기술경쟁력 및 사업관리 격차를 극복하기 위한 대안이 필요한 실정이다. 이에 국내 건설 시공기술 경험과 기술력을 선진화 하기 위해 시공성 영향요소들을 분석한다.

(2) 수행 내용

▶ 시공성평가 개발 요구사항 분석

연구요약	
기술정의	건설 시 공과정에서 발생할 수 있는 설계변경을 최소화하고, 효율적이며 안정적으로 시공이 이루어질 수 있도록 하는 최적의 시공 방법 평가를 위한 평가 요소를 말한다.
연구목적	해외건설 프로젝트가 대형화 · 복잡화됨에 따라시공성은이러한 건설 프로세스의 각 단계별 통합성을 유지하기 위한 대안으로 도입되기 시작하였다. 따라서 플랜트 협업 프로젝트를 성공적으로 수행하기위해서 시공성에영향을 미치는 정도와 요소를 분석하여 시공성 평가모델위한 요구사항을 분석하고, 결과적으로 시공성평가를 해외 건설 프로젝트로 실무적용하여 시공성 경쟁력을향상시키고자함.
2차년도 주요 연구내용	요구사항분석 위한 사례,동향 분석 요구사항분석 항목 설정
핵심결과	객관성을 높이기 위해 최근 연구동향을 중심으로 시공성 평가를 위한요구사항을 분석. 시공성 평가에 관한 국내 연구가 시급하고, 나아가 실제 프로젝트 적용 사례가 다수 필요.

▶ 시공성 평가 요구사항 분석

- 시공성 평가 요구사항 분석을 위해 아래와 같이 정리하였다.
- 시공성평가 요구사항의 실문적용에의 현이슈
- 시공성 평가 요구사항 관련 국내외 연구동향
- 시공성 평가 개발 요구사항 대상 항목
- 시공성평가 개발 요구사항 각 대상 항목들에 대한 주요 이슈와 요구사항 분석

▶ 시공성평가 요구사항의 실무적용에의 현 이슈

- 해외건설회사와의 경쟁에서 EPC건설공사에서의경쟁력을 확보하기 위해 서는 시공성 검토의 실무적용이 필요
- 업무수행을위한 방법과 절차의 비체계화
- 적정관리기술 또는 기법의 적용 미흡
- 기존연구들은 시공이전단계에 편중
- 실제로다수 발생 하고 있는 현장운용단계와 연계한 시공성 분석에 대한 연구가 미비

▶ 시공성 평가 요구사항 관련 국내외 연구동향

- 시공성에 관한 연구들은 시공성 분석에 대한 개념과 적용효과를 보여주는 연구가 대부분이며, 주로 시공성 개념을 실무에 활용하기 위한 방안들이 대다수를 차지하였다. 국내에서는 시공성의 전반적인 요구사항보다는 특정 공종에 대한 시공성 향상을 위한 체크리스트 개발

관련 연구다 다수 보였다.시공성 영향요소에 관한 해외연구는 시공성 개념의 업무 적용성과 효과 등을 분석한 연구가 활발히 수행되고 있었으며 효율적인 시공성 분석 프로그램과 기법에 관련된 연구와 함께 실제 프로젝트 에서의 적용결과에 대한 연구가 다수 있다.

▶ 시공성 평가 개발 요구사항 대상 항목

- 연구동향을 통해 시공성평가 요구사항을 아래와 같은 대상항목으로 크게 분류하였다.
- 물류관리
- 스케쥴링
- 시공사이트 운용

▶ 시공성 평가 개발 요구사항 대상항목: 물류관리

- 물류관리 항목에 대한 주요 이슈에 대해 정리하면 아래와 같다
- 기존시공시는 2D기반으로업무수행을 하여 시공성 분석수행 수정 및 보완 시공성 분석 재검토 확인 후 설계 및 시공을 수행하여 구성원간의 의사소통 저해
- 설계/시공의분리로 인한 인터페이스 미약하면 경험과 지식에만 의존하는 경향
- 설계/시공변경에 따른 물류관리오류 최소화
- 공기 준수에 영향을 미치는 양중 장비에 대한 연 구는 상대적으로 부족한 현실
- 물류관리 항목에 대한 요구사항 및 개선방향에 대해 정리하면 아래와 같다.
- 3D BIM 을활용한시공성분석업무
- 계약조건및 책임소재를 명확하게 하고 인허가 등 관련 제도를 개선하며 자재 분류체계, 자재 스펙 등 BIM 을 운영하기 위한 표준화가 필요
- 재원,재량관리를통한 부하평준하기술적용

▶ 시공성 평가 개발 요구사항 대상항목: 스케쥴링

- 스케쥴링 항목에 대한 주요 이슈에 대해 정리하면 아래와 같다
- 건설프로젝트의 완료기간을 단축하는 것은 건설사들 에게 중요한 문제
- 연간공정표나관리기준공정표는장기공사나 특별 한 공사 등에만 부분적으로 사용됨.
- 공사의실제 수행 물량을 기반으로 한 스케쥴링관리사례는 매우 부족
- 스케쥴링이 공사 진행상황을 반영하지 못하는 이유에 대해서는 공사의 다양한 상황을 보여주지 못한다는 의견과 진척율 수치만 으로는 상황을 판단하기 어렵다는 의견
- 설계/시공변경에 따른 스케쥴링오류최소화
- 기존동시시공 일정연구들은 현업에 기꺼이 응용되지 못 하며, 실무활용성 측면에서 향상의 여지
- 국내기업 중 GS건설은여수국가산업단지의 GS칼텍스No.3H0U 프로젝트에모듈화 건설방식을 도입하여 유사 프로젝트 대비 21개월의 공기단축, 100억 원의 비용을 절감하였으며, 대우조선해양은태국 Khanompower plant 프로젝트에모듈화 건설 방식을 도입하여 약 2년의공기를 단축하고 40%의공사비를절감
- 스케쥴링 항목에 대한 요구사항 및 개선방향에 대해 정리하면 아래와 같다.
- 공기가지연되었는지와 향후 공사계획에 반영위해 스케쥴링 분석필요함
- RFID와 BIM등의 최신기술을 통해 보다 정확한 진척관리 방식을 개선
- 3차원객체정보와 공정표,그리고객체 별물량및내역서등의정보 연계가능
- 공사스케쥴링 표현을 위해서는 공사의 단계마다 특징을 표현 할 수 있는 이미지 매핑을 통해 공정표를 직접 살펴보지 않고도 알수 있는 시각적 환경 필요

- 3차원 객체모델과 WBS,그리고부위별 물량 및 내역 서 정보가 서로 긴밀한 연관성
- 기존동시시공 일정기법의 데이터 처 리 및 연산 알고리즘을 자동화하여 대형 네트워크를 용이하게 취급할 수 있는 실무 활용성이 향상된 동시시공일정시스템을 개발필요
- 최적스케쥴링을 위한 부하평준하기술적용

▶ 시공성 평가 개발 요구사항 대상항목: 시공사이트 운용

- 시공사이트 운용 항목에 대한 주요 이슈에 대해 정리하면 아래와 같다
- 개발 여건이 열악한 지역에서 플랜트 건설은 환경규제 등으로 인한 인허가의 어려움, 혹서·혹한 환경에서의 작업생산성 저하 및 사고빈도증가, 노동력 부족에 따른 인건비 상승, 해상·육상운송 증가에따른 자본투입증가 등 다양한 리스크 증가 요인을 내포하며 제한된 영역에서 시공이 이루어짐.
- 시공사이트 항목에 대한 요구사항 및 개선방향에 대해 정리하면 아래와 같다.
- 제한된 영역 내에서 시공이 이루어지는 경우, 제한영역을 최적으로 사용하는 방법필요
- 수주지역의 다양화로 인해 지역다변화 필요성이 제기되며, 다양한 사이트에 맞춘 운용안 필요

▶ 시공성 평가 프로세스 공정상의 제한조건 조사

연구요약	
기술정의	시공성 평가를 위한 모듈내 최적화 수행에 제한이 되는 요소들.
연구목적	최적화 수행에 제한이 되는 요소들을 정리하여 최적화모듈의 성능설정과 기능설정 반영.
2차년도 주요 연구내용	평가 프로세스 공정상의 제한조건 조사
핵심결과	특히 플랜트 모듈화의 특성을 반영한 제한조건들도 분석되었음.

▶ 시공성 평가 요구사항의 각 대상 항목에 대해 최적화설계를 위한 제한조건과 필요정보들을 조사하였다.

- 시공물류관리 요구사항 반영위한 제한조건 조사
- 시공사이트 운용 요구사항 반영위한 제한조건 조사
- 시공스케쥴링 요구사항 반영위한 제한조건 조사

▶ 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 개발을 통한 목표 성능 설정 및 세부 기능 설정

연구요약	
기술정의	시공성 평가를 기반으로 최적안을 제시하는 최적화 설계의 지침서 제작.
연구목적	시공성 평가 요구사항을 반영하여 시공성 향상을 위한 최적화 설계에 적용가능한 설계 요구기능 지침서 작성.
2차년도 주요 연구내용	목표성능설정및 세부기능 설정
핵심결과	최적화 설계 지침서에서 설정한 사항들이 추후 최적화 관련 모듈에 반영가능한요소들임.

▶ 시공성 평가 요구사항의 각 대상 항목을 반영한 최적화 설계를 위한 지침서를 작성하였다.

- 물류관리관련 최적화 설계 지침서
- 시공사이트 운용 관련 최적화 설계 지침서
- 시공스케쥴링 최적화설계 지침서

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 시공성평가 요구사항을 분석하여 제한조건과 필요정보들을 조사하였고, 그를 기반으로 최적화 설계시 필요한 요구기능들을 지침서로 정의하였다. 종합하여 각 항목별로 정리하면 다음에 제시되는 내용과 같다.

▶ 시공물류관리 관련 제한조건 및 필요정보와 요구기능

- 제한조건과 필요정보:
- 로컬 사이트에서 사용가능한 재원,재량, 시설, 부재에 대한 분류체계와 스펙 정보
- 시공스케쥴관련 리소스 관리 정보

▶ 요구기능:

- 재원, 물류, 시설, 장비, 자재 정보연계 및 모니터링
- 시공스케쥴과 연계하여 시각화

▶ 시공사이트 운용 관련 제한조건 및 필요정보와 요구기능

- 제한조건과 필요정보:
- 로컬 사이트의 구조적, 지반 특이사항
- 로컬 사이트의 특이사항 반영한 추가시설, 운송로정보
- 로컬 사이트의 특이사항으로 사용불가영역
- 사이트 사용영역 내 점유면적
- 사이트 사용영역 내 사용장비,시설 정보
- 사이트 사용영역 내 재원, 재량정보
- 사이트 사용영역 내 모듈진행상황
- 사이트 사용영역 내 스케쥴
- 사이트 사용가능영역 정보

▶ 요구기능:

- 사이트내 각 모듈배치
- 재량,물류,시설, 장비, 자재의 현장 사이트 배치정보 연계
- 사이트 내 각 모듈,재량,자재들로 점유된 공간과 사용 가능 공간 표현
- 점유공간과 사용가능공간에 스케쥴링 연계

▶ 시공스케쥴링 운용 관련 제한조건 및 필요정보와 요구기능

- 제한조건과 필요정보:
- 모듈화위한 임시시설 설치,해체스케쥴 포함한 시공스케쥴
- Local site 시공시 발생가능한 리스크로 인한 지연가능여부,스케쥴변경
- 시공 모듈에 대한 모듈완성도, 타모듈과연계정보, 스케쥴

- 요구기능:
- 전체 스케쥴 중 현단계 표현 및 모니터링
- 현시점 이후 공기단축 가능성
- 스케쥴과 모듈시공 완성도 연계 정보
- 로컬 사이트의 불가피한 상황으로인한 스케쥴변경가능성표현
- 스케쥴에 대한 WBS, chart등 시각화

- 스케쥴에 따른 시공 전, 조립혹은 운송중인 모듈 정보표현
- 스케쥴과 리소스정보 연계

(4) 성과점검기준

(나) 질적 성과지표

① 성과지표의 설정 근거

- 객관성있는 항목 설정을 위해 사례조사 수행
- 타산업에서 고려되고 있는 요구사항 항목들 비교하여 설정함

② 목표치

- 시공성 평가 개발 요구사항 분석 보고서 3건
- 시공성 평가 프로세스 공정상 제한 조건 조사 보고서 3건
- 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 3건

(다) 측정/검증방법

① 측정 방법 설정 근거

- 문헌조사 내 설문조사 결과를 참고로 조사함.

② 검증 방법

- 시공성 평가 개발 요구사항 분석 보고서 확인
- 시공성 평가 프로세스 공정상 제한조건 조사보고서 확인
- 시공성 평가 기반 최적화 설계 지침서 확인

B) 3차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업 단위로 분할된 모듈을 현장에 시공할 때 시공 일정 및 순서는 다양한 변수의 영향을 받으며 이로 인해 공사에 큰 차질을 받을 수 있다. 협언 단위 모듈화 시공성 평가기반 최적화 설계 시스템은 이러한 변수들을 사전에 고려하여 기존 일정에 대한 평가 및 최적화된 시공 순서와 일정을 제시하고, 잠재적인 위험요소와 WBS 내부에서의 작업 중요도 등을 판단하여 플랜트 건설 일정에 문제가 생기는 것을 미연에 방지하면서 최적화된 일정을 제시하는 것을 목표로 한다.

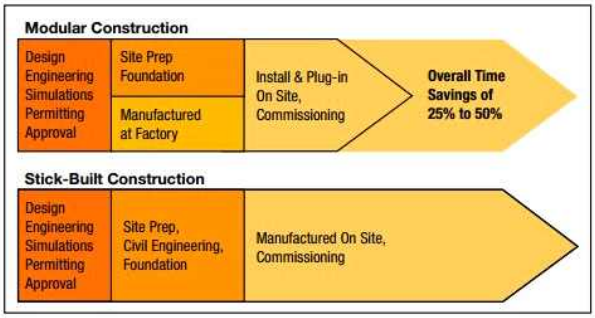
(나) 연구내용

▶ 협업 단위 모듈화 시공성 평가기반 최적화 설계 시스템의 S/W의 개발 업무에 앞서 이에 대한 준비 단계로 최적화 S/W의 기본 구성 요소 및 개발 방향에 대한 연구를 진행하고 설계가이드라인을 제시한다.

▶ 기존의 시공 순서 자동 생성 기술 S/W를 활용하여, 최적화 시스템의 적용 범위와 문제 정의를 진행하고, 최적화 시스템을 구성하는 각종 변수와 제약조건 적용 알고리즘 등을 정의한다.

(1) 수행 내용

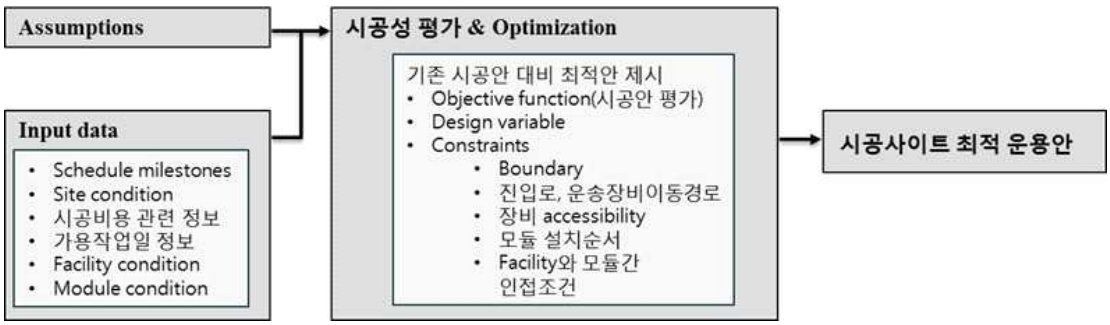
▶ 최적화 대상 정의 및 필요성 정리



[그림. 시공 방법간 소요 시간 비교]

▶ 시공성 평가 기반 최적화 시스템 구축을 위한 최적화 알고리즘의 정의

▶ 시나리오 기반 기본 변수 및 입출력 데이터, 제약 조건의 정의



[그림. 시공성 평가 최적화 시스템의 구동 시나리오]

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 시공성 평가 기술 개발 지침서

▶ 시공성 평가 최적화 시스템 문제 적용 범위 및 상세 변수, 적용 방법론 정의

(나) 향후 계획

▶ 지침서에 명시된 설계 가이드라인을 활용하여 시공성 평가기반 최적화 S/W 개발을 진행한다.

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (3차년도)
WBS 기반 모듈 시공 최적화 기술 지침서작성	해당 단위성과로서 시공성 평가기반 최적화 모듈 개발의 설계 가이드라인을 작성한다.	설계 지침서 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
WBS 기반 모듈 시공 최적화 기술 지침서 작성	설계 지침서 항목수	차후 시공성 평가기반 최적화 모듈의 가이드라인이 되므로 설계 위한 항목을 반영하고있는지 판단한다.	설계 지침서 확인	1월 내 달성 예정

C) 4차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 운송된 모듈들의 시간과 자원을 절약한 효율적인 시공을 위한, 모듈 간의 시공 관계 네트워크를 활용한 모듈 시공 스케줄링 최적화 S/W 모듈 활용에 대한 지침서 개발

(나) 연구내용

▶ 시공 관계 네트워크를 활용한 모듈 시공 스케줄링 최적화 S/W 활용에 대한 지침 항목 제시

(1) 수행 내용

▶ 지침 항목 1. 모듈 시공 관계 네트워크 생성 관련 정보

- 모듈 마다 시공이 완료되어야 하는 기한, 모듈 시공에 소요되는 예상 시간, 플랜트 상의 모듈의 위치 정보 필요
- 플랜트를 기준으로 한 크레인 등의 시공 자원 현황 정보 필요
- 모듈 간의 기능 문제와 안전 문제 상으로 관리되어야 하는 모듈 정보 필요

▶ 지침 항목 2. 모듈 시공 관계 네트워크 생성

- 모듈 시공 관계 네트관계 네트워크 생성 관련 정보를 통해 작업자가 직접 모듈 간의 시공 관계 네트워크 생성
- Pre 모듈 – Current 모듈 관계를 직접 입력

▶ 지침 항목 3. 스케줄링 결과 이해

- 모듈 시공 스케줄링 최적화 모델 가정 상, 시공 자원의 성능을 동일하게 보고 동일 자원 취급하기 때문에, 스케줄링 결과가 자원 별로 출력되지 않음
- 추가적으로, 자원 별로 스케줄링 결과를 정리하여 작업 할당 필요

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 모듈 간의 시공 관계 네트워크를 활용한 모듈 시공 스케줄링 최적화 S/W 모듈 활용 중 작업자가 반드시 기억해야할 지침 항목 정리

(나) 향후 계획

▶ 공 관계 네트워크를 활용한 모듈 시공 스케줄링 최적화 S/W 모듈 완성 후, S/W 모듈 개선에 해당 지침 항목들 활용

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
시공 네트워크 최적화 S/W 모듈 지침서 항목 검증	시공 관계 네트워크를 활용한 모듈 시공 스케줄링 S/W 모듈의 보완점을 파악하여 향후 S/W 모듈 성능 향상에 도움	지침서 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
시공 네트워크 최적화 S/W 모듈 지침서 항목 검증	시공 네트워크 최적화 S/W 모듈 지침서 건수	시공 관계 네트워크를 활용한 모듈 시공 스케줄링 S/W 모듈의 구체적인 보완점 파악 가능	최적화 S/W 모듈 지침서 확인	달성

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 사용자 현업적용을 위한 시공 네트워크 최적화 S/W의 설계 지침서 개발

(가) 연구 내용

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 화면구성에 대한 지침서를 개발

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 시공 계획 최적화에 대한 지침서를 개발

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 시공성 시뮬레이션에 대한 지침서를 개발

(1) 수행 내용

▶ 화면구성 지침서 개발

▶ 시공 계획 최적화 지침서 개발

▶ 시공성 시뮬레이션 지침서 개발

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 3항목(화면구성, 시공 계획 최적화, 시공성 시뮬레이션)에 대한 설계 지침서를 개발하였음

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (5차년도)
시공 네트워크 최적화 S/W 지침서 항목 개수	사용자 현업적용을 위한 시공 네트워크 최적화 S/W의 설계 지침서를 3개(화면구성, 시공 계획 최적화, 시공성 시뮬레이션)의 항목으로 구분하여 작성	3건

(가) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
시공 네트워크 최적화 S/W 지침서 항목 개수	항목개수	시공 네트워크 최적화 S/W의 설계 지침서는 보통 화면구성과 주요기능에 대한 내용으로 구성함 따라서 면구성, 시공 계획 최적화, 시공성 시뮬레이션 항목으로 구분하여 항목별 내용을 확인함	보고서 항목별 확인	달성

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 사용자 현업적용을 위한 시공 네트워크 최적화 S/W의 설계 지침서를 작성

(가) 연구 내용

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 화면구성에 대한 지침서를 작성함

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 시공 계획 최적화에 대한 지침서를 작성함

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 시공성 시뮬레이션에 대한 지침서를 작성함

(1) 수행 내용

▶ 화면구성 지침서 작성

- 모듈정보를 입력하는 모듈정보, 네트워크, 설치자원버튼으로 구성
- 시공 스케줄 최적화 실행하는 Optimization 버튼으로 구성

▶ 시공 계획 최적화 지침서 작성

- 모듈정보 버튼을 클릭하여 모듈정보 입력
- 네트워크 버튼을 클릭하여 네트워크 입력
- 설치자원 버튼을 클릭하여 설치자원 입력
- Optimization 버튼을 클릭하여 최적화 실행, 결과 확인

▶ 시공성 시뮬레이션 지침서 작성

- Plot Plan(CAD 파일)을 읽고 그래픽으로 표현
- 최적화 결과를 이용하여 모듈을 순서대로 이동, 거치
- 모듈의 이동하는 중 간섭이 발생하는지 확인, 간섭이 발생하면 시공 계획을 수정하여 최적화를 다시 진행

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 시공 네트워크 최적화 S/W의 3항목(화면구성, 시공 계획 최적화, 시공성 시뮬레이션)에 대한 설계 지침서를 작성하였음

4) [D] 협업단위 모듈화 운송성/ 시공성 평가 시뮬레이터(패키지)

A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업 단위 모듈화 상세 설계 과정에 모듈의 운송과 시공 고려 사항을 사전에 시뮬레이션을 통해 평가 후 설계에 반영하여 최적화하는 기술로서, 최적화 설계 지침서와 이를 소프트웨어적으로 지원하는 S/W모듈이 포함되며, 실용화/상용화 관점에서 사용자의 편리성과 상품성을 달성하기 위한 패키지 시스템 개발을 목표로 함

(2) 수행 내용

▶ 육상 플랜트 모듈의 운송/시공 과정 전반을 대상으로 하며, 설계 과정에서 각각 이루어지는 해석 시뮬레이션과는 달리 제작 이후, 운송/시공 전반을 아우르는 효율성 검토와 최적화를 지원하는 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 개발을 목표로 한다.

▶ 기존의 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 방법론 및 툴들에 대한 조사와 분석을 통하여 관련 방법론들에 대한 선행 연구를 진행하였고, 이를 고려하여 운송성/시공성 관련 요구사항들을 조사, 정리하여 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 요구 사항을 체계적으로 분석하고 정의하였으며, 구성 요소기술들 간의 연계 통합 계획 및 전체 아키텍처를 설계, 정의하였다.

▶ 플랜트 모듈의 운송성/시공성 평가 관련 기존 상용 툴 및 사례 조사

- 시공성 평가 및 시뮬레이션이 가능한 상용 툴 조사
- 시공성 평가와 관련 된 사례 수집
- 운송성 평가 및 검증, 시뮬레이션이 가능한 상용 툴 조사
- 중량물의 운송성 평가와 관련 된 사례 수집
- 기존 사례 및 방법 분석을 통한 운송성/시공성 통합 평가 시뮬레이션 방법론 연구

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 요구사항 분석 정의

- 운송성/시공성 평가 시뮬레이터에 요구되는 사항 분석 및 정의
- 각 모듈에서 수행해야 할 요구되는 기능 도출 및 정의

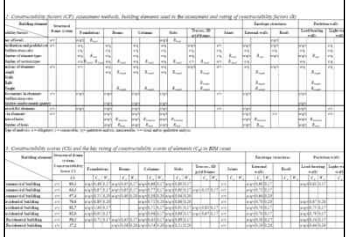
▶ 연계 통합 계획 및 아키텍처 정의

- 구성 요소 기술들 간의 연계 통합을 위한 연동 개념 설계
- 통합 평가를 위한 기본 프로세스 및 주요 입력 정보 정의
- 운송성/시공성 통합 평가 시뮬레이션 플랫 폼 아키텍처 및 기본 설계
- 운송성/시공성 평가 통합 시뮬레이터 대쉬보드 UI 기본 설계

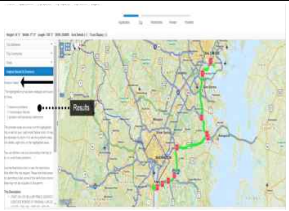
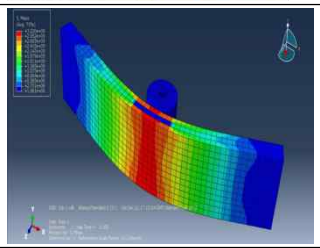
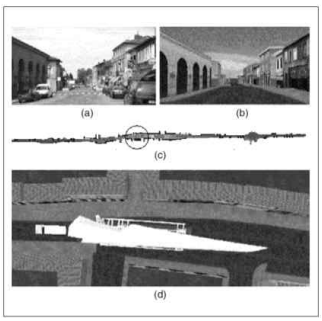
(3) 결론

(사) 주요 결과

▶ 플랜트 모듈의 시공성 평가 관련 기존 상용 툴 및 사례 조사

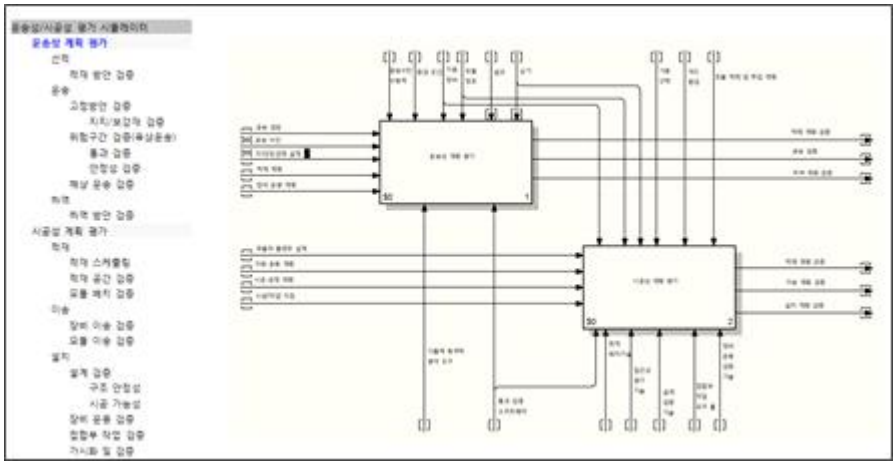
상용 툴		현재는 주로 설계 툴의 부가적인 기능으로서 간섭체크, 제조 공정 중 편차관리, 3D 시각화를 통한 편차 관리 및 계획에 따른 스케줄 진행 등의 기능을 수행할 수 있는 수준이다. 통합적으로 솔루션을 사용하기 위해서는 별도의 협업 프로그램을 사용하여야 한다.
연구 사례		- 4D 시뮬레이션을 이용하여 시공 일정 진도에 따른 시뮬레이션 수행 - 설계속성, 시공속성, 외부 효과 등의 시공성 평가 점수가 통합된 AHP 분석 - 시공 납기에 영향을 주는 요인을 도출을 통한 사전 계획 검증

▶ 플랜트 모듈의 운송성 평가 관련 기존 상용 툴 및 사례 조사

부문	관련자료	요약
상용 툴		현재 일반적으로 육로 운송의 교통 계획 및 최적화가 가능하며, 교통 트래픽에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 대부분의 상용 툴이 중량물 운송성에 대한 고려를 할 수 있는 기능은 가지고 있지 않다.
		대부분 운송 시 지지•보강재에 대한 해석을 할 수 있는 분석 툴로서, 최대 하중 및 동적 진동 분석, 충격/충돌 분석, 물체의 부품간 연결구조를 다양하게 평가 할 수 있다. 운송 가능성에 대한 엔지니어링적 분석 및 평가가 가능하다.
연구 사례		- 중량 화물 운송의 기술적, 경제적, 사회적, 법률적 위험 요소에 대한 평가 스키마를 정의하고 운송 경로에서 가장 치명적인 부분을 식별 - 효과적 경로 산출 및 각 케이스에 대한 기술적 경제성 산출 - 통행 가능성 검증 - 운동학/기구학 모델링 및 운전 시뮬레이터, 궤적 최적화를 수행하는 SW 아키텍처 연구

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 요구사항 정의

- 운송성/ 시공성 평가 시뮬레이터에 요구되는 기능 도출
- 운송성 평가의 선적, 운송, 하역 각 단계에서 검증 할 부분 정의
- 공성 평가의 적재, 이송, 설치 각 단계에서 검증 할 부분 정의



▶ 연계 통합 계획 및 아키텍처 정의

- 통합 평가를 위한 기본 프로세스 및 주요 입력 정보 기본 정의를 수행하였고, 이를 기반으로 운송성/시공성 평가 아키텍처를 정의하였으며, 전체 프로세스를 대상으로 모듈 간 상호운용 중립 스키마 기본 설계를 수행하였다.

(4) 성과점검기준

(아) 질적 성과지표

① 성과지표의 설정 근거

- 기존의 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 방법론 및 툴들에 대한 사례 조사와 결과의 타당성
- 기존의 사례들을 통한 운송성/시공성 관련 요구사항 파악 및 적합성

② 목표치

- 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 방법론 및 상용툴 분석서 각 1건
- 요구사항 분석서 1건
- S/W 연동 개념 및 아키텍처 정의서 1건
- 연계 통합 계획서 1건

(자) 측정/검증방법

① 측정 방법 설정 근거

- 플랜트 모듈의 제작 이후, 운송/시공 전반을 아우르는 효율성 검토와 최적화에 대한 요구가 있으나 현재 모듈화 플랜트의 운송성 및 시공성에 대하여 설계 시 각각 이루어지는 해석 시뮬레이션이 주로 진행되고 있음. 때문에 운송성과 시공성 평가 시뮬레이션에 대한 상용 툴 및 사례 위주로 조사와 분석을 수행함.

② 검증 방법

- 기존의 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 방법론 및 툴들에 대한 사례 조사와 결과 분석을 통한 타당성 검토
- 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 방법론 및 상용툴 분석 결과 확인 및 검토
- 요구사항 분석 결과 확인 및 적합성 검토
- S/W 연동 개념 및 아키텍처 정의서 확인 및 적합성 검토
- 연계 통합 계획서 확인 및 타당성 분석

(차) 정량목표 및 달성도

구분	목표	달성	달성률
운송성/시공성 평가 시뮬레이션 방법론 및 상용툴 분석서	사례 조사서 2건	사례 조사서 2건	
요구사항 분석서	분석 보고서 1건	분석 보고서 1건	
S/W 연동 개념 및 아키텍처 정의서	정의 보고서 1건	정의 보고서 1건	
연계 통합 계획서	계획 보고서 1건	계획 보고서 1건	

B) 3차년도 연구 내용 및 결과

① 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼 구축

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 본 과제의 연구 목적은 협업단위 모듈화 상세설계 과정에서 모듈의 운송과 시공에 필요한 설계사항들에 대한 플랜트 모듈 구조물의 운송성 및 시공성 평가모듈을 탑재하고 평가모듈의 평가사항들을 시뮬레이션 또는 분석평가 하는 모듈수행기능과 수행결과에 따른 산출물들을 신속하게 분석, 요약 처리하는 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 기본 플랫폼을 구축하는 것이다.

(나) 연구 내용

▶ 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터는 평가 모듈기반의 플랫폼 어플리케이션으로서 향후 개발완성될 모듈간의 인터페이스를 포함한 상세설계자의 실용적 편의성을 고려하여 기반 플랫폼을 설계 및 구축하였으며 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 시스템 정의 및 설계
- 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 요구사항 및 상세기능 정의 및 설계
- 운송성/시공성 평가 모듈 인터페이스 정의 및 설계
- 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 프로토타입 정의 및 구현
- 기타 사용자 모듈상세설계 업무 편의성을 감안한 기능 추가기능 정의 및 구현

(1) 수행 내용

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 전체 시스템 정의하였고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 시스템 구성도

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 요구사항 및 상세기능 정의 및 설계를 수행하였고 다음의 산출물을 작성하였다.

- 요구사항정의서
- 데이터 흐름도
- 클래스 설계도
- 화면 정의서
- 시스템 아키텍쳐 설계서
- 데이터베이스 설계서

▶ 운송성/시공성 평가 모듈 인터페이스 정의 및 설계는 '4) [D] 협업단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터'의 '나) 각 모듈 Adapter 개발 보고서'를 참조

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 프로토타입을 정의하고 구현하였으며 다음의 산출물을 작성하였다.

- 프로그램 코드
- 단위시험 결과서
- 데이터베이스 테이블

▶ 추가로 사용자 모듈상세설계 업무에 필요한 업무기능을 파악하여 사용자 편의를 고려한 다음의

기능을 추가로 정의하고 구현하였다.

- 프로젝트 기본정보 관리기능
- 프로젝트 상세설계 보고서 이슈관리 기능
- 프로젝트 산출물 위치정보 관리기능(위치정보는 평가모듈의 입력데이터이기도 함)

(2) 결론

(다) 주요 결과

▶ 운송성/시공성 평가 모듈을 탑재할 수 있는 기반 플랫폼 프로토타입 소프트웨어를 구현하였으며 구체적 내용은 '#산출물 D-1-①, 프로그램 설계 보고서'를 참조한다.

▶ 추가로 기획된 모듈상세설계에 도움이 되는 설계결과 요약, 정리 사용자 편의기능을 구현하였다.

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (3차년도)
모듈상세설계보고서 분석건수	모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 주요목적은 End User가 되는 사용자(엔지니어)의 업무의 편의성과 정확성을 증진시키기 위함이므로 이를 위하여 모듈상세설계 산출물 가운데 보고서 작성업무를 분석하여 S/W의 주요기능에 포함, 구현하는 것이 중요함	모듈프로젝트 산출물(보고서)분석 2건
S/W 상세설계서 건수	모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기반 플랫폼의 목적 및 요구사항 항목의 부합여부를 비교, 판단할 수 있는 상세설계서가 필요함	S/W 상세 설계서 1건
평가 시뮬레이터 기반플랫폼 S/W 건수	기술분석 보고서와 상세설계서 정의된 기능의 구현여부와 유효성을 평가함	Prototype S/W 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
모듈상세설계보고서 분석건수	기 수행 프로젝트에 대한 산출물 분석 개수	기 수행 완료된 모듈상세설계 산출물 가운데 운송성/시공성 평가와 관련한 해석보고서(Transportation, Installation Report)를 분석함	기술분석보고서 내 관련분석건수 확인	달성
S/W 상세설계서 건수	S/W상세 설계서 개수	모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기반 플랫폼은 사용자의 요구사항 및 외부모듈의 인터페이스 연결, 주요 데이터의 흐름 등의 주요기능이 목적에 맞게 설계되었는지 파악 되어져야 함	S/W 상세 설계서	달성
기반플랫폼 S/W 건수	S/W개수	요구사항에 따라 정의된 요구사항정의서에 정의된 기능의 구현여부를 확인해야 함	기술분석 및 보고서 및 S/W 확인	달성

② 각 모듈 Adapter 개발

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 본 과제의 연구 목적은 협업단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼과 운송/선적/하역등의 운송성 및 시공성 협업단위 평가모듈 간의 상호 데이터 교환방식을 정의하기 위한 인터페이스 개발을 목적으로 한다.

(나) 연구 내용

▶ 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터는 운송성 및 시공성에 대한 각각의 평가 모듈기반의 플랫폼으로서 평가모듈은 전문 연구기관에서 각각 개발하여 향후 모듈과 기반 플랫폼 간의 원활한 통합작업을 위하여 양방향 인터페이스를 사전에 정의하는 것이 매우 중요하다

▶ 이에 관련 기관과의 협의를 통하여 다음의 연구를 수행하였다.

(1) 수행 내용

▶ 운송성 평가 모듈의 입, 출력 계획 수립 및 인터페이스 정의

▶ 시공성 평가 모듈의 입, 출력 계획 수립 및 인터페이스 정의

▶ 기반 플랫폼에서의 입, 출력 데이터 가시화를 위한 화면 정의

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 운송성/시공성 평가 모듈의 인터페이스 정의 및 데이터 입,출력 계획에 대한 구체적 내용은 # 산출물 D-1-②, 프로그램 설계 보고서를 참조한다.

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (3차년도)
인터페이스 설계서 건수	운송성 및 시공성 평가 시뮬레이터 기반플랫폼과 평가 모듈 간 데이터의 입출력 형식과 방법 등을 파악해야 함	운송성/시공성 인터페이스 설계서 각 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
인터페이스 설계서 건수	인터페이스 도출 수준	데이터 흐름 및 인터페이스 설계 다이어그램 등을 정리함으로써 기반플랫폼과 모듈 사이의 데이터 교환 기능을 파악할 수 있음	인터페이스 설계서 확인	달성

③ Adapter별 단위테스트 수행

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 본 과제의 연구 목적은 협업단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼과 운송/선적/하역등의 운송성 및 시공성 협업단위 평가모듈 상호 간의 데이터 인터페이스에 대한 단위 테스트 수행을 목적으로 한다.

(나) 연구 내용

▶ 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터와 평가 모듈 사이의 양방향 인터페이스 Adapter를 구현하여 입력과 출력의 데이터 흐름을 확인하였다.

(1) 수행 내용

▶ 운송성 평가 모듈의 입, 출력 테스트

▶ 시공성 평가 모듈의 입, 출력 테스트

▶ 입출력 테스트는 인터페이스 정의서에 대로 구현된 Adapter 클래스의 단위 테스트로서 모듈 운송성/시공성 평가 시뮬레이터에서 입력된 데이터가 평가 모듈의 파라미터로 전달이 잘되어 정확한 결과값을 리턴하는지 모듈 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 내부에 간단한 데이터 입출력 프로그램을 구현하여 테스트하였다.

(2) 결론

(가) 주요 결과

▶ 평가 모듈에 대한 데이터 입, 출력 테스트 결과 Adaper 클래스가 정확히 작동하는 것을 확인하였고 구체적 내용은 #산출물 D-1-③, 테스트 평가 보고서를 참조한다.

(3) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (3차년도)
단위시험 결과서 건수	운송성 및 시공성 평가 시뮬레이터 기반플랫폼과 평가 모듈 간 데이터의 입출력 흐름을 제어하는 Adapter 클래서의 정상적 작동여부의 파악이 중요함	운송성/시공성 단위시험 결과서 각 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
단위시험 결과서 건수	Adaper클래스의 정상작동여부	플랫폼 기반의 응용프로그램과 다른 2개의 외부 모듈간의 데이터 흐름을 제어하는 Adapter 클래스의 정상작동 여부가 단위시험의 목적이므로 해당 클래스의 문제를 단위시험을 통해 검증함	모듈 간 단위시험 수행 및 결과서 확인	달성

D) 4차년도 연구 내용 및 결과

운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼 구축

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 본 과제의 연구목적은 플랜트 모듈 구조물을 대상으로 기본 및 상세설계(Basic & Detailed Design) 단계에서 필요한 모듈 구조물의 운송(Transportation)과 시공(Installation)에 관한 설계 적정성에 대한 평가 시뮬레이션을 수행하고 해석결과를 분석 및 평가 하는 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 모듈별 기본 플랫폼을 구축하고 평가하는 것이다.

(나) 연구내용

▶ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 모듈별 기본 플랫폼 구축을 위하여 어플리케이션의 기반환경 및 외부 평가모듈 간의 인터페이스를 포함한 플랜트 모듈설계 엔지니어의 실용적 편의성을 고려하여 기반 플랫폼을 설계 및 구축하였으며 다음의 연구를 3차년도 부터

다음과 같이 수행하였다.

- 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 아키텍쳐 설계
- 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기반 플랫폼 설계

▶ 4차년도에서는 위의 설계사항을 업데이트하고 추가로 새롭게 반영한 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 모듈별 기본 플랫폼을 구현하고 테스트 및 평가를 다음과 같이 수행하였다.

- 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기반 플랫폼 구현 (엔지니어링 데이터 처리 모듈, 엔지니어링 데이터 그래픽 모듈)
- 협업 단위 모듈화 운송성 평가 시뮬레이션 단위기능 구현 (SPMT를 이용한 모듈 운송)
- 협업 단위 모듈화 시공성 평가 시뮬레이션 단위기능 구현 (SPMT를 이용한 모듈 거치)

(2) 수행내용

(가) 개발 산출물 업데이트

▶ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 전체 개발 산출물을 업데이트 하였다.

- 시스템 구성도
- 요구사항정의서
- 데이터 흐름도
- 클래스 설계도
- 화면 정의서
- 시스템 아키텍쳐 설계서
- 데이터베이스 설계서
- 프로그램 코드
- 단위시험 결과서
- 데이터베이스 테이블

(나) 기반 플랫폼 구현

▶ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 기반 플랫폼을 구현하였다.

- 프로젝트 기본정보 관리기능
- 프로젝트 상세설계 보고서 이슈관리 기능
- 프로젝트 산출물 물리적 파일위치 관리기능
- SACS 입력데이터(Input) Parse & Import 기능
- SACS 입력데이터(Input) 데이터베이스 연동 기능
- SACS 입력데이터(Input) 3D 가시화(Structural Geometry, Properties) 기능
- SACS 출력데이터(Output) Parse & Import 기능
- SACS 출력데이터(Output) 데이터베이스 연동 기능
- SACS 출력데이터(Output) 3D 가시화(Unity Check) 기능
- 엔지니어링 해석결과(SACS Output) 검색 및 분석 기능
- 모듈 구조물에 대한 육상 운송성(SPMT Transportation) 평가 시뮬레이션 기능
- 모듈 구조물에 대한 육상 시공성(SPMT Installation) 평가 시뮬레이션 기능

(다) 모듈별 기반 플랫폼 평가

▶ 육상 운송성(SPMT Transportation) 평가 시뮬레이션에 대한 단위기능 평가를 다음의 항목에 대하여 수행하였다.

- SPMT 전진 가속 및 감속 시 동적 응력 변화
- SPMT 후진 가속 및 감속 시 동적 응력 변화
- SPMT 좌 이동 가속 및 감속 시 동적 응력 변화

- SPMT 우 이동 가속 및 감속 시 동적 응력 변화

▶ 육상 시공성(SPMT Installation) 평가 시뮬레이션에 대한 단위기능 평가를 다음의 항목에 대하여 수행하였다.

- 시공일정에 따른 플랜트 대상지역의 영역차지(Area Occupy)에 대한 가시화
- SPMT를 이용한 모듈 구조물 이동시 인접 구조물 간 간섭 검토

(3) 결론

(가) 주요 결과

- 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 기반 플랫폼을 구현하였다.
- 기반 플랫폼은 협업 단위 평가모듈과의 연동을 통해 수행되는 평가 시뮬레이션에서 공통적으로 사용하는 기능들로 구성하였음
- 기반 플랫폼에 포함되는 공통기능에는 프로젝트 및 모듈설계문서 관리, 협업 단위 평가 모듈 연동을 위한 인터페이스, 엔지니어링 해석결과의 데이터베이스화 및 해석결과의 3D 가시화, 해석결과의 검색 및 분석 등이 있다.
- 엔지니어링 해석결과는 플랜트 모듈의 운송성/시공성 설계에 가장 많이 사용하는 Bentley사의 해양구조물 전산구조해석 프로그램 SACS를 선정하였고 SACS의 Input 및 해석결과 데이터 처리 모듈을 개발하여 기반 플랫폼에 포함하였다.

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
모듈별 플랫폼 평가 보고서 분석건수	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기반 플랫폼을 구성하는 필수사항들을 검토하기 위한 평가 보고서가 필요함	모듈별 플랫폼 평가 보고서 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정근거	검증방법	달성여부
모듈별 플랫폼 평가 보고서 분석건수	산출물 분석	모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 기반 플랫폼에는 협업 단위 평가모듈의 평가 시뮬레이션을 수행하기 위한 기본적 공통기능(프로젝트 및 성과물 관리, 협업 단위 평가모듈과의 연동을 위한 인터페이스, 엔지니어링 설계 데이터의 데이터베이스화, 해석결과 데이터 3D 가시화, 해석결과 데이터 검색 및 분석 등의 기능)을 포함해야 함	평가 보고서 관련내용확인	달성

나) 모듈별 플랫폼 연동 평가 보고서

(1) 개요

(가) 연구목적

▶ 본 과제의 연구목적은 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼과 모듈 구조물의 운송(Transportation) 및 설치(Installation)를 위한 운송성 및 시공성 협업 단위

평가모듈 간의 상호 데이터 교환방식을 정의하는 인터페이스와 기반 플랫폼과 협업 단위 평가모듈 간 연동처리에 대한 개발 및 평가를 목적으로 한다.

(나) 연구 내용

▶ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기반 플랫폼은 각 전문 연구기관에서 개발한 협업 단위 운송성/시공성 관련모듈과 연동하여 플랜트 모듈 구조물을 대상으로 한 운송성 및 시공성에 대한 평가 시뮬레이션을 수행한다.

▶ 이에 관련 연구기관과의 협의를 통하여 협업 단위 평가모듈별 연동처리를 위한 다음의 연구를 수행하였다.

▶ 각 연구기관에서 개발한 평가모듈별 결과분석, 평가, 시뮬레이션, 가시화등의 목적으로 생성된 연동데이터를 처리할 수 있는 인터페이스와 연동을 위한 데이터 구조 및 프로세싱(Data Structure & Processing)관련 기능을 기반 플랫폼 내에서 구현하였다.

(2) 수행 내용

(가) 협업 단위 평가모듈 인터페이스 구현

▶ 모듈 구조물 육상 운송성(SPMT Transportation) 평가모듈 인터페이스 구현

▶ 모듈 구조물 육상 시공성(SPMT Installation) 평가모듈 인터페이스 구현

(나) 협업 단위 평가모듈과 기반 플랫폼 간 연동

▶ 모듈 구조물 육상 운송성(SPMT Transportation) 평가모듈 연동

▶ 모듈 구조물 육상 시공성(SPMT Installation) 평가모듈 연동

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 모듈 구조물 육상 운송성(SPMT Transportation) 평가모듈 연동

- 동력학 시뮬레이션 프로그램 V-REP 결과 연동
- 해양구조물 전산구조해석 SACS 프로그램 결과 연동

▶ 모듈 구조물 육상 시공성(SPMT Installation) 평가모듈 연동

- 시공성 평가모듈 결과(일정에 따른 모듈 구조물 배치 시공순서) 연동

(나) 향후 계획

▶ 모듈 구조물 운송성 평가모듈 연동

- 기 수행(4차년도)한 모듈 구조물 육상 운송성(SPMT Transportation) 평가모듈 연동 기능 보강
- 모듈 구조물 해상 운송성(Sea Transportation) 평가모듈 연동 추가

▶ 모듈 구조물 시공성 평가모듈 연동

- 기 수행(4차년도)한 모듈 구조물 육상 시공성(SPMT Installation) 평가모듈 연동기능 보강

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
모듈별 플랫폼 연동 평가 보고서 분석건수	각 연구기관별 관련 평가모듈별 인터페이스 및 연동에 대한 내용분석을 위한 평가 보고서가 필요함	모듈별 플랫폼 연동 평가 보고서 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정근거	검증방법	달성여부
모듈별 플랫폼 연동 평가 보고서 분석건수	산출물 분석	평가모듈의 인터페이스 및 연동 대상, 방법, 데이터 구조, 기반 플랫폼 내 데이터 처리 프로세싱 구현내용 등을 검토함	평가 보고서 관련내용 확인	달성

다) 연동 테스트 수행 보고서

(1) 개요

(가) 연구목적

▶ 본 과제의 연구목적은 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼과 각 연구기관에서 개발한 협업 단위 평가모듈 상호 간의 인터페이스 및 연동에 에 대한 통합 테스트 수행을 목적으로 한다.

(나) 연구 내용

▶ 각 연구기관에서 개발한 협업 단위 평가모듈 연동을 통한 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 통합 테스트를 수행하였다.

(2) 수행 내용

(가) 모듈 구조물 육상 운송성 평가 시뮬레이션 통합테스트

▶ SPMT를 이용한 모듈 구조물 육상 운송 시뮬레이션

- SPMT 전·후진 및 좌·우 이동시 가속 및 감속 시 동적 응력 변화

(나) 모듈 구조물 육상 시공성 평가 시뮬레이션 통합테스트

▶ 일정에 따른 플랜트 Area 내 모듈 배치 상태 시뮬레이션 확인

▶ 특정 일정에서 SPMT를 이용한 모듈 육상 운송 및 거치 시뮬레이션 수행(간섭 검토 및 시공성 시뮬레이션 확인)

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 통합 테스트를 수행하였다.

▶ 통합 테스트 수행결과 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 유용성과 분석의 효용성을 확인하였다.

(나) 향후 계획

▶ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 추가 평가모듈에 대한 통합작업과 사용자 편의기능에 대한 보강을 통해 평가 시뮬레이터 S/W의 효용성과 완성도를 높일 계획이다.

(4) 당해 연도 연구 활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적 성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (4차년도)
연동 테스트 수행 보고서 분석건수	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터의 통합 테스트 수행결과 보고서가 필요함	연동 테스트 수행 보고서 1건

(나) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정근거	검증방법	달성여부
연동 테스트 수행 보고서 분석건수	산출물 분석	모듈별 기반 플랫폼, 협업 단위 관련모듈의 인터페이스 및 연동, 평가 시뮬레이션 주요기능 등의 테스트 수행결과를 검토함	보고서 관련내용 확인	달성

D) 5차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 (패키지)의 사용자 테스트를 수행함

(나) 연구 내용

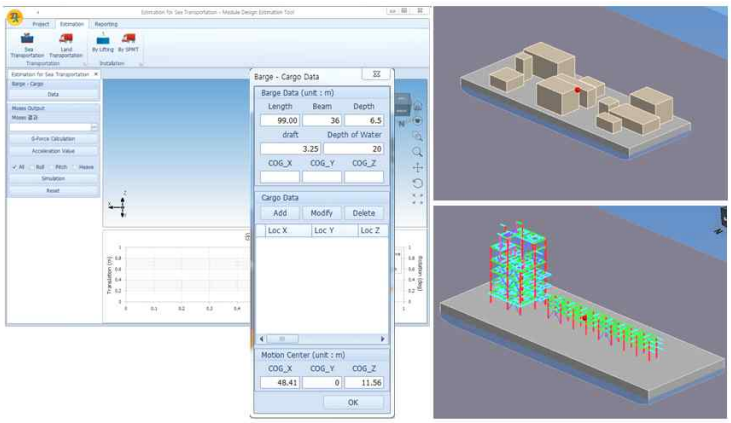
▶ 해상 운송성(Sea Transportation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트를 수행함

▶ 육상 시공성(SPMT Installation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트를 수행함

(2) 수행 내용

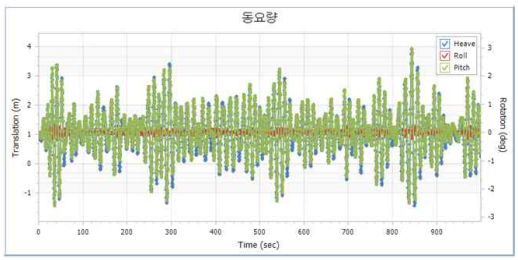
▶ 해상 운송성(Sea Transportation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트

- 바지선(Barge) 데이터 생성
- 화물(박스 객체 사용) 배치 테스트
- SACS 모델 화물 배치 테스트
- SACS 모델 입력 테스트



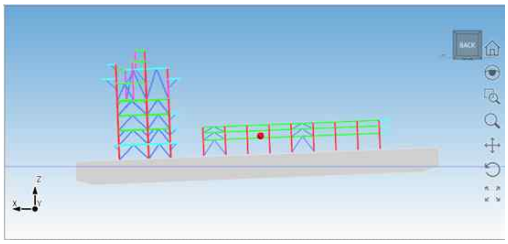
[그림. 바지선, 화물, SACS 모델 테스트]

- MOSES 결과 입력 테스트



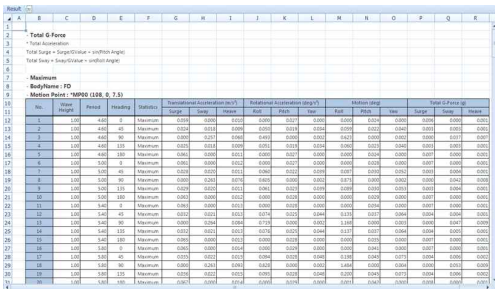
[그림. MOSES 결과]

- MOSES 결과 Roll, Pitch, Heave Simulation 테스트



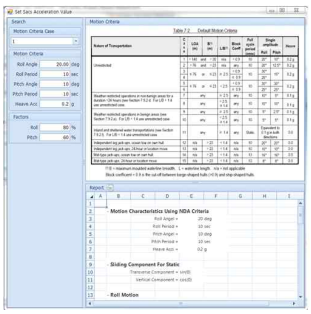
[그림. Simulation 테스트]

- Total G-Force 계산 테스트



[그림. Total G-Force 계산]

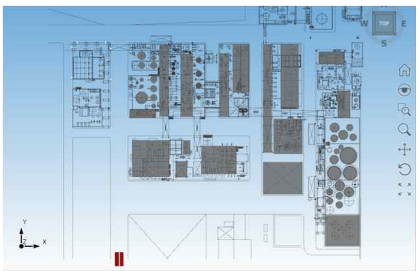
- Acceleration 계산 테스트



[그림. Acceleration 계산]

▶ 육상 시공성(SPMT Installation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트를 수행함

- 도면 파일(CAD) Import



[그림. 도면 파일(CAD)]

- 시공 스케쥴 최적화 모델 테스트 - 모듈정보 입력
- 시공 스케쥴 최적화 모델 테스트 - 네트워크 입력
- 시공 스케쥴 최적화 모델 테스트 - 설치자원 입력



모듈정보

	A	B	C	D	E
1	모듈 이름	ID	최소 운송 시간	설치 소요 시간	설치 기한
2	A1	10	0	6	48
3	A2	20	0	8	48
4	A3	30	5	6	48
5	B1	40	5	6	48
6	B2	50	10	7	48
7	B3	60	10	7	48
8	C1	70	10	8	48
9	C2	80	20	6	48
10	C3	90	20	8	48

네트워크

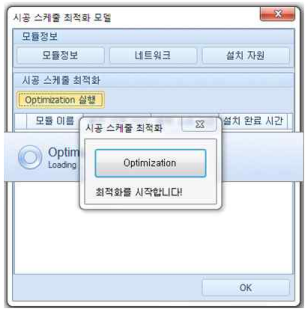
	A	B	C
1	네트워크 관계 번호	현재 설치 모듈 ID	이전 설치 모듈 ID
2	1	20	10
3	2	40	10
4	3	30	20
5	4	50	20
6	5	50	40
7	6	70	40
8	7	60	50
9	8	90	50
10	9	80	50

설치자원

	A	B
1	설치 작업 시간 간격	설치 자원 수
2	4	2

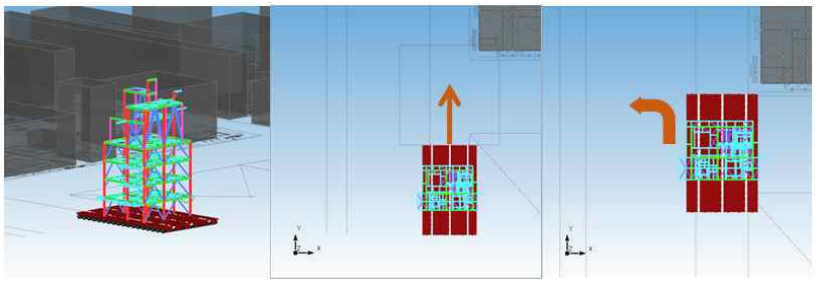
[그림. 시공 스케쥴 최적화 모델 정보입력]

- 시공 스케쥴 최적화 모델 테스트 - 최적화 실행



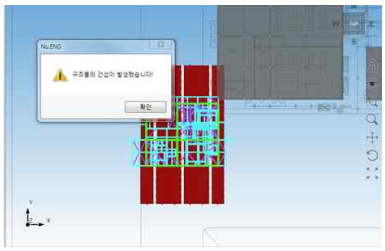
[그림. 시공 스케쥴 최적화 모델 최적화]

- 모듈 구조물(SACS 모델) 입력 테스트
- 모듈 구조물 SPMT 이동, 회전 테스트



[그림. 모듈 구조물(SACS 모델) SPMT 이동, 회전]

- 모듈 구조물 거치 테스트
- 모듈 구조물 충돌 테스트



[그림. 모듈 구조물 충돌]

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 외부 모듈S/W(운송성 및 시공성 평가 모듈S/W)와 통합이 정상적으로 이루어 졌으며 기획된 모든 기능이 정상 작동됨을 사용자 테스트에서 확인함

▶ 사용자 및 해당업무에서 활용 가능한 유용성을 확인함

(4) 당해 연도 연구활동별 상세 성과점검기준

(가) 질적성과지표

성과지표	성과지표의 설정근거	목표치 (5차년도)
사용자 검증 테스트 평가 보고서	운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지) 사용자 테스트 수행을 통한 S/W의 기본기능 작용여부 검증이 필요함	검증 테스트 결과 보고서 1건
현업 적용성 검증 테스트 평가 보고서	운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지)의 현업 적용성 검증을 위한 가상 시나리오를 수립하여 시제품 통합 S/W의 전체 기능의 작용여부 검증이 필요함	검증 테스트 결과 보고서 1건

(가) 측정/검증방법

성과지표	측정방법	측정방법 설정 근거	검증 방법	달성 여부
사용자 검증 테스트 평가 보고서	S/W 작동	운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지) 사용자 테스트 항목별 S/W 작동 테스트를 수행하여 기능의 정상작동 여부를 확인함	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성
현업 적용성 검증 테스트 평가 보고서	S/W 작동	수립된 가상 시나리오에 따른 운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지)의 현업 적용성 검증을 수행하여 시제품 통합 S/W의 효용성을 검증함	S/W 작동 동영상 및 보고서 확인	달성

E) 6차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 (패키지)의 사용자 테스트 및 현업 적용성을 검증함

(나) 연구 내용

▶ 해상 운송성(Sea Transportation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트를 수행함

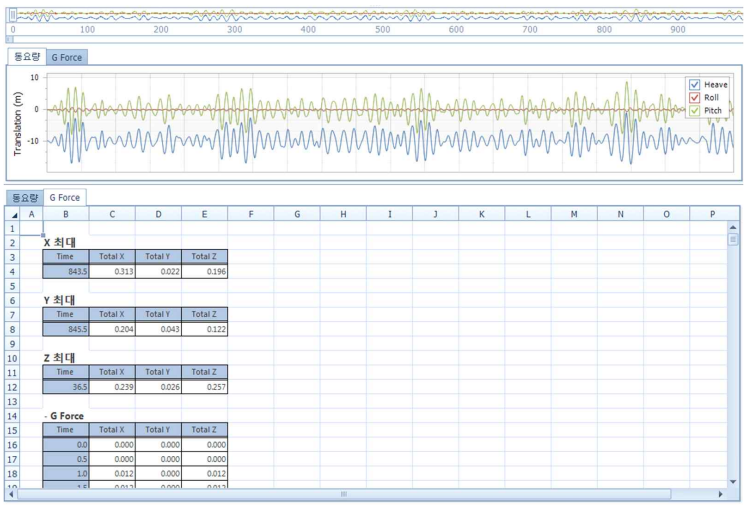
▶ 육상 시공성(SPMT Installation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트를 수행함

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터 (패키지)의 현업 적용성 검증 테스트를 수행함

(2) 수행 내용

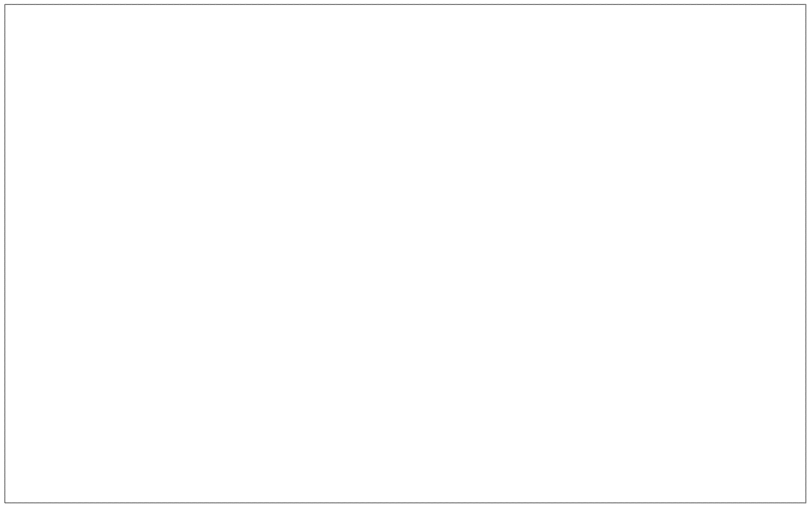
▶ 해상 운송성(Sea Transportation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트

- 시계열 데이터 분석, 그래프 작성
- 시계열 데이터을 이용하여 속도, 가속도를 구하고 Roll, Pitch, Heave가 최대일 때를 G값을 각각 계산함



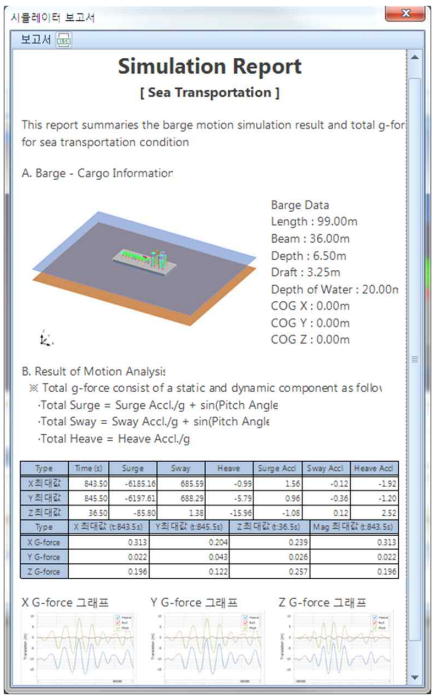
[그림. 시계열 데이터 분석 및 G값 계산]

- Roll, Pitch, Heave의 G값의 최대일 때의 시간의 범위를 선택하여 동요량 시뮬레이션
- Roll, Pitch, Heave의 G값을 크기를 모션 센터에 벡터(화살표)로 그래픽에 표시함



[그림. Simulation 테스트]

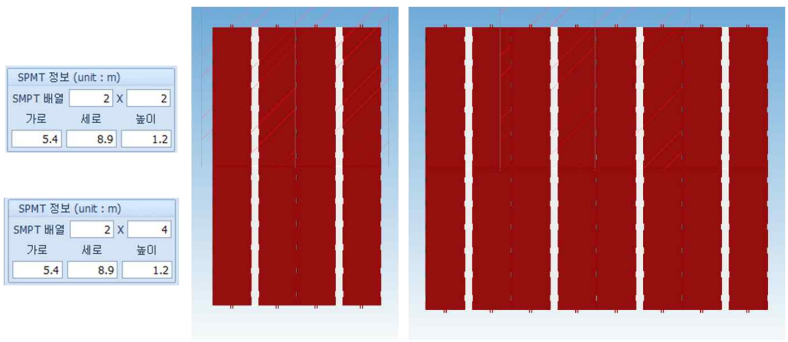
- 요약 결과 레포트 작성



[그림. 시뮬레이션 결과요약]

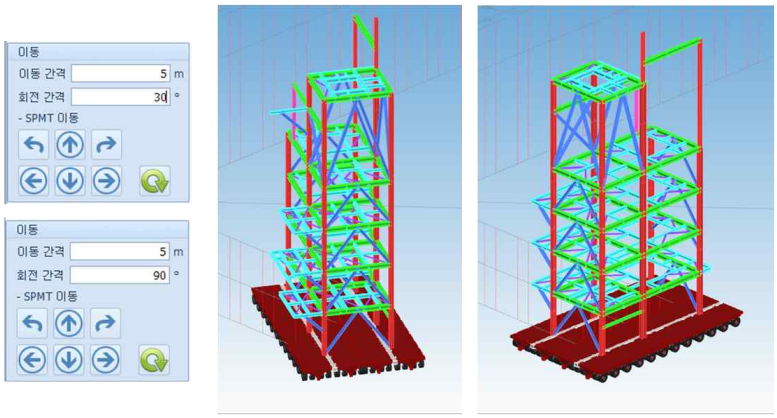
▶ 육상 시공성(SPMT Installation) 평가 시뮬레이터 검증 테스트를 수행함

- SPMT 사이즈 정의, 배치 정의



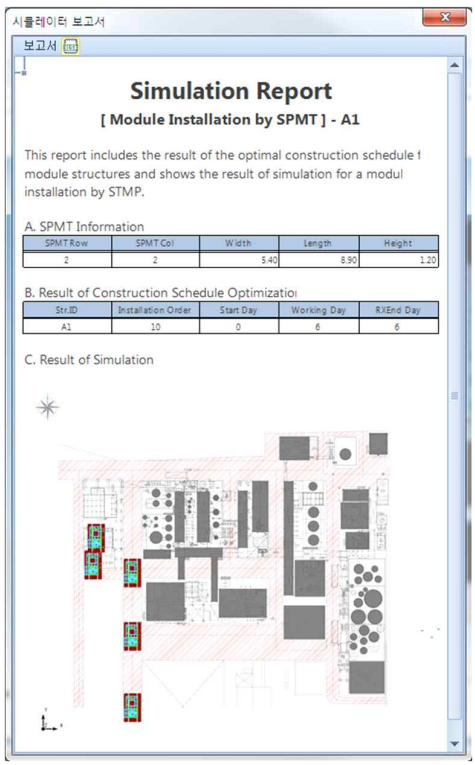
[그림. SPMT 사이즈, 배치 정의]

- SPMT&구조물 이동, 회전 간격 입력



[그림. SPMT&구조물 이동, 회전]

- 요약 결과 레포트 작성
- 구조물의 궤적을 리포팅



[그림. 시뮬레이션 결과요약]

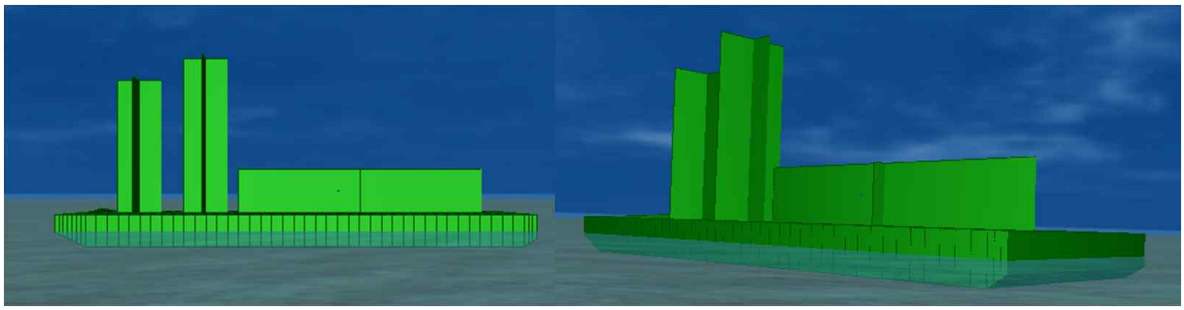
▶ 해상 운송성(Sea Transportation) 평가 시뮬레이터 (패키지)의 현업 적용성 검증 테스트

- 대상 모듈 구조물 선정



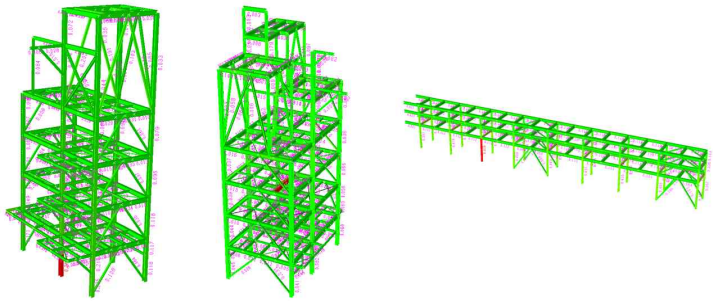
[그림. 대상 모듈 구조물]

- 적화계획 수립 (Stowage Plan)
- 바지선 동요해석 (Motion Analysis)
- 최대 동요량, 속도, 가속도 산정
- 해상 바지운송 시뮬레이션



[그림. 해상 바지운송]

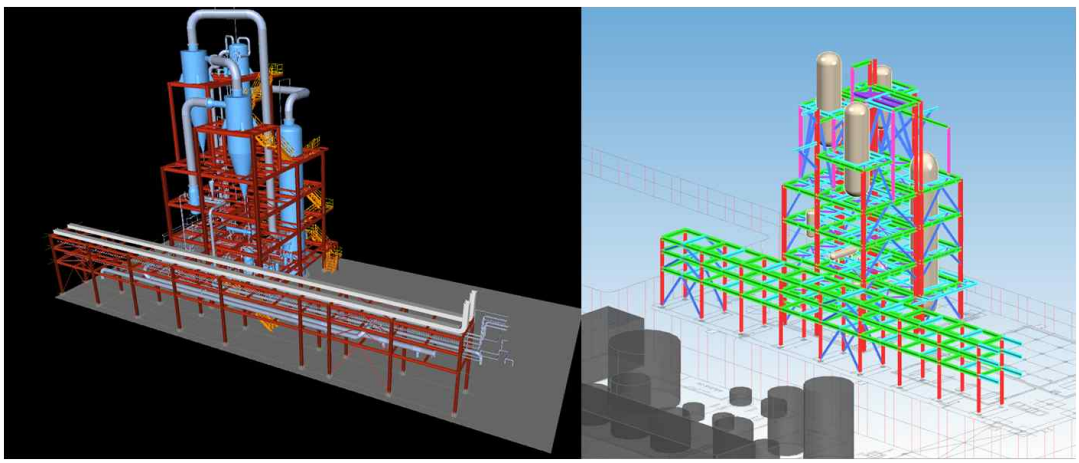
- 안정성(Stability) 검토 완료



[그림. 안정성(Stability) 검토]

▶ 육상 시공성(SPMT Installation) 평가 시뮬레이터 (패키지)의 현업 적용성 검증 테스트

- 모듈정보 작성
- 시공 스케줄 최적화
- 스케줄 최적화에 따른 구조물 이송/거치
- 구조물 거치 중 기존 구조물과 충돌발생
- 모듈정보 수정, 스케줄 최적화 재수행, 구조물 스케줄 변경



[그림. 스케줄 최적화, 구조물 거치]

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 기획된 모든 기능이 정상 작동됨을 사용자 테스트에서 확인함

▶ 사용자 및 해당업무에서 활용 가능한 유용성을 확인함

5) [E] 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술

가) [E-1] 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리

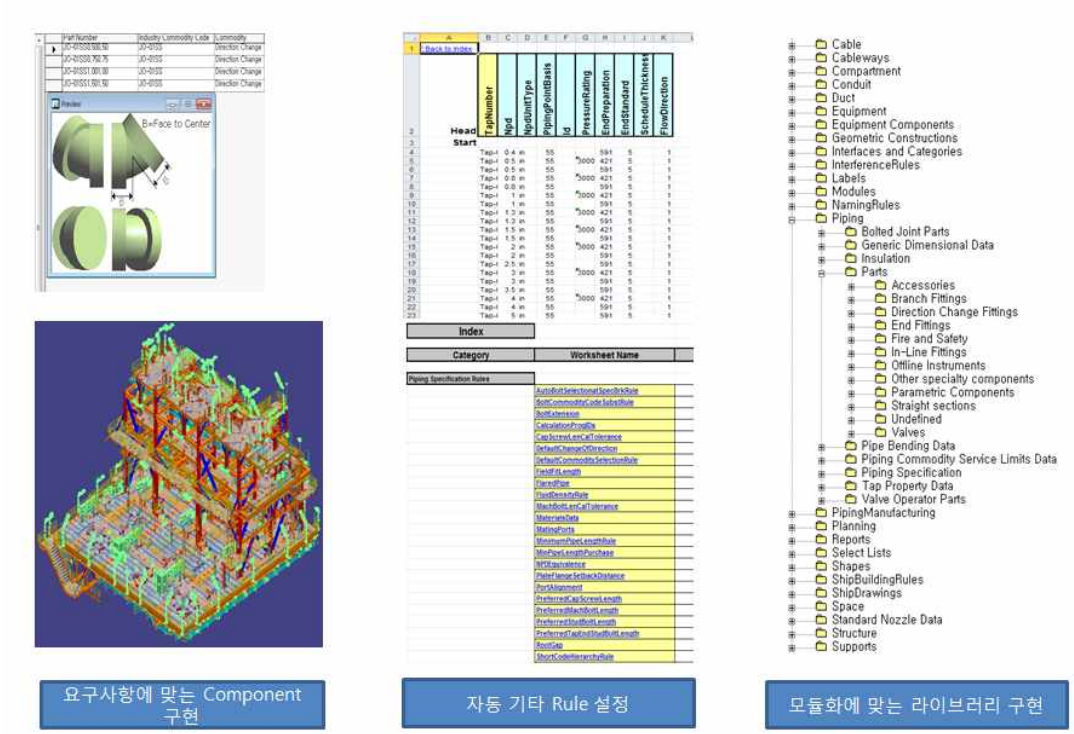
A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 유닛 조합 공용 라이브러리의 최종 목적은 3D CAD를 사용하는 국내 대형 EPC 뿐 아니라 중소 EPC 업체에서도 본 과제에서 구축하는 유닛 조합 공용 라이브러리를 이용하여 좀 더 쉽고, 효율적인 3D 설계를 할 수 있도록 하기 함이다.

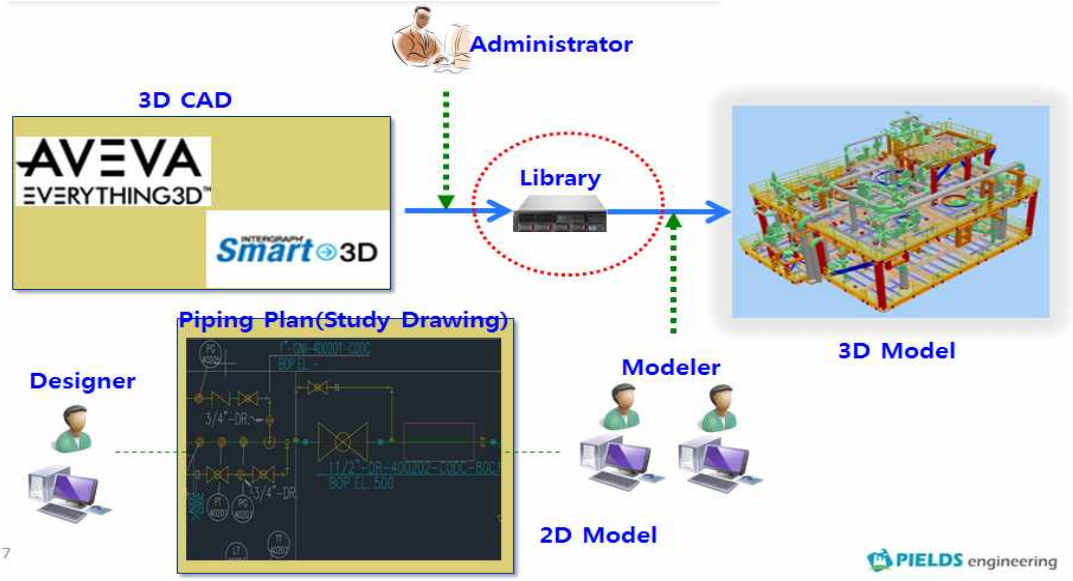
▶ 이를 위해 주요 EPC 업체에서 유닛 조합 공용 라이브러리 개발을 위한 요구사항을 수집하고, 4세부의 과제인 “라이브러리 플랫폼 개발”과 연관하여 상용 3D CAD에서 바로 사용 할 수 있는 유닛 조합 공용 라이브러리 구축을 목적으로 하고 있다.



[그림. 유닛 조합 공용 라이브러리]

(나) 연구내용

▶ 국내 뿐 아니라 세계에서 육상 플랜트 시장점유율이 가장 높은 인터그래프사의 3D CAD(PDS, SP3D)의 공용 라이브러리 형상 API를 조사하였으며, 그 결과 육상 플랜트에 사용되는 3D CAD는 라이브러리 구축이 필수 이며 4세부의 “라이브러리 플랫폼”에서도 사용될 수 있기 때문에 그 의미가 충분하다. 또한 유닛 조합 공용 라이브러리 구축을 위해 3D CAD를 이용하여 모듈화 설계 혹은 육상플랜트를 설계 했던 EPC 업체(SK건설, 삼성 엔지니어링, 필즈엔지니어링, G-PEM 엔지니어링) 그리고 개발업체(인터그래프 코리아)를 방문하여 공용 라이브러리에 관련한 요구사항을 수집함으로써, 모듈화 플랜트 뿐 아니라 3D CAD를 사용하여 설계 할 때 가장 필요한 공용 라이브러리 기능 및 방법론 연구를 병행하였다.



(2) 수행 내용

▶ 현재까지 제일 많이 쓰이고 호환이 잘 되는 VB6의 형상 및 기타 API를 조사를 수행

▶ 대기업 및 3D CAD로 플랜트 설계가 가능한 EPC 업체의 요구사항을 분석

▶ 플랜트 엔지니어링 관점에서의 유닛 조합 공용 라이브러리 요구사항 분석 연구내용을 아래와 같이 정리하였다.

- 유닛 조합 공용 라이브러리 개요
- 주요 설계 회사 공용 라이브러리 구축현황
- 기업 별 주요 요구사항
- 유닛 조합 공용 라이브러리 요구사항 분석

▶ 유닛 조합 공용 라이브러리 개요 정립

▶ 주요 설계 회사 공용 라이브러리 구축 현황

▶ 기업별 주요 요구사항 사례조사

- 필즈엔지니어링 /G-PEM 엔지니어링/인터그래프/SK건설

▶ 유닛조합 공용 라이브러리 요구사항 분석에 대한 사례 조사

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 유닛 조합 공용 라이브러리 시스템 형상 API 조사

- 시스템 형상 API는 3D CAD 시스템에서 기자재, 스키드, 계장 item 등 3D로 표현되어야 할 모델들을 형상화 할 수 있도록 기본적인 3D 형상을 제공해주는 API 이다. 형상 API는 각각의 3D CAD 시스템에 따라 다르게 적용되며, 국내의 EPC 업체에서 가장 많이 사용 되는 3D CAD 인 PDS, S3D의 시스템 형상 API 및 기타 API를 조사하였다.
- 유닛 조합 공용 라이브러리로써 사용될 수 있는 기자재 및 스키드 형상을 구현할 수 있는 API를 선별하여 조사하였다.

▶ 유닛 조합 공용 라이브러리 시스템 형상 요구사항 조사 및 분석

- 3D CAD를 이용하여 설계를 할 수 있는 EPC업체들은 각자의 설계 노하우를 바탕으로 기자재 라이브러리를 구축하고 있다. 그러한 기자재를 발전시키기 위해 각사들은 많은 노력을 기울이고 있는 상태이며, 효율적인 설계를 위해 수정되어야 할 것이 많은 분야이다. 본 과제를 수행하기 위해서 3D CAD를 이용하여 모듈화 설계 혹은 육상플랜트를 설계 했던 EPC 업체(SK건설, 삼성엔지니어링, 필즈엔지니어링, G-PEM 엔지니어링) 그리고 개발업체(인터그래프 코리아)를 방문하여 해당 회사의 공용 라이브러리의 특징 및 현황을 조사하였다.

- 3D CAD에 대해 자신들만의 노하우가 담긴 라이브러리는 각 사의 중요한 정보이다. 중소업체의 경우 라이브러리 구축 보다는 모델링을 위주로 대기업의 일을 받아 수행하는 경우가 대부분이라 3D CAD 라이브러리에 대해 알지 못하는 경우가 많다. 따라서 국내 대기업 및 3D CAD로 플랜트 설계가 가능한 EPC 업체(SK건설, 삼성엔지니어링, 필즈엔지니어링, G-PEM 엔지니어링) 그리고 개발업체(인터그래프 코리아)를 방문하여 요구사항을 조사하였고, 본 과제에 적용 될 수 있도록 분석하였다.

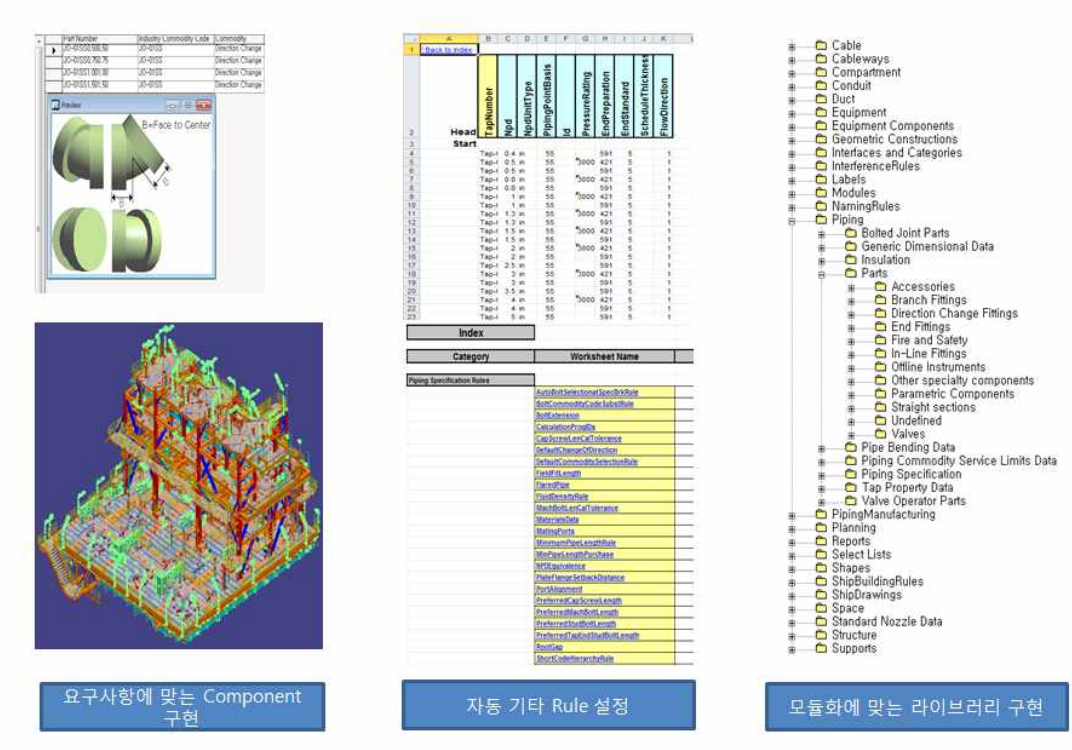
B) 3,4,5,6차년도 연구 내용 및 결과

(4) 개요

(다) 연구 목적

▶ 유닛 조합 공용 라이브러리의 최종 목적은 3D CAD를 사용하는 국내 대형 EPC 뿐 아니라 중소 EPC 업체에서도 본 과제에서 구축하는 유닛 조합 공용 라이브러리를 이용하여 좀 더 쉽고, 효율적인 3D 설계를 할 수 있도록 하기 함이다.

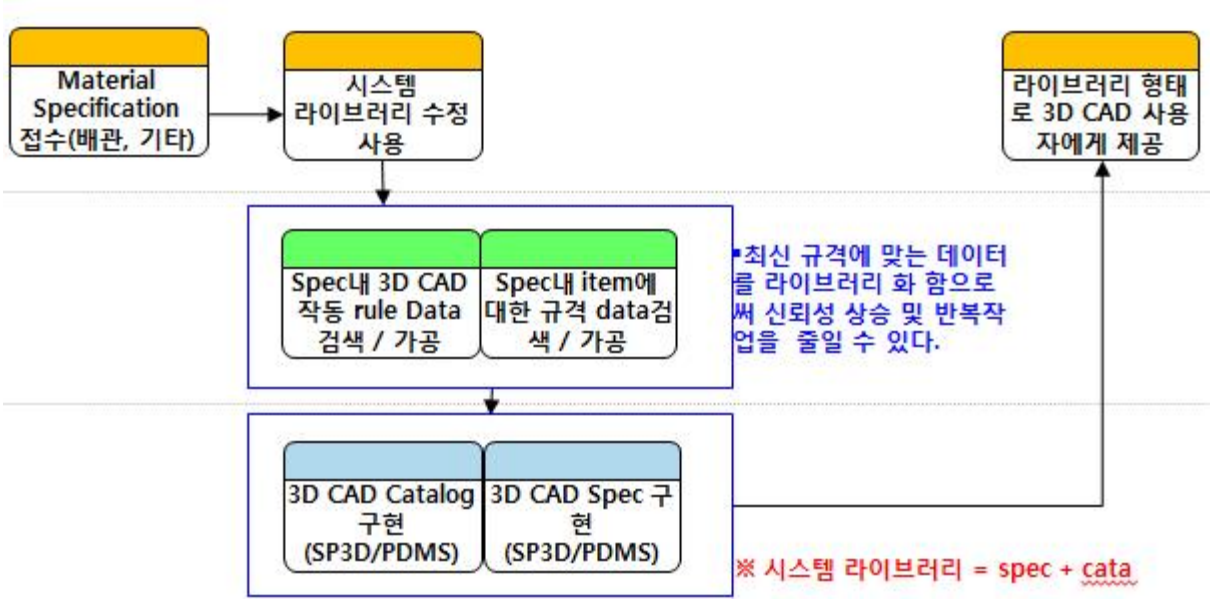
▶ 이를 위해 주요 EPC 업체에서 유닛 조합 공용 라이브러리 개발을 위한 요구사항을 수집하고, 4세부의 과제인 “라이브러리 플랫폼 개발”과 연관하여 상용 3D CAD에서 바로 사용 할 수 있는 유닛 조합 공용 라이브러리 구축을 목적으로 하고 있다.



[그림. 유닛 조합 공용 라이브러리]

(라) 연구내용

▶ 육상 플랜트의 여러 엔지니어링 사업 분야 중 배관 및 기계장치에 대해서 라이브러리 구축을 진행하였다. 배관 분야의 3D CAD에서는 각각의 기자재 item도 중요하지만 그것을 정의하고 제한할 수 있는 material Specification이 매우 중요하다. 따라서 육상 플랜트 엔지니어링에서 많이 쓰이고 있는 Specification 16가지를 압력 및 재질을 기준으로 선별하였고, 이를 바탕으로 3D CAD 라이브러리를 구축하였다. Spec안에 정의되는 Catalog는 육상 플랜트 엔지니어링에 많이 사용되고 있는 30종의 item(Ex 단관, 플랜지, 벨브류 등)을 압력 및 재질에 따라 국제 규격을 확인하여 라이브러리를 구축하였다.



▶ 공용라이브러리 단위 Test에서는 3D형상가시화 및 Component 자동 모델 기능에 대하여 테스트를 완료하였다.

(5) 수행 내용

▶ EPC사에서 가장 많이 사용되는 SPEC을 분류 하였으며, 분규 기준으로 압력은 150#, 300#, 600#, 900#, 1500#, 2500/10000#로 재질은 Carbon Steel, Stainless Steel, Alloy Steel로 구분하여 라이브러리 구축하였다.

▶ 유닛 조합 공용라이브러리 입장에서 라이브러리 개발보고서의 연구 내용을 아래와 같이 정리하였다.

- 유닛 조합 공용라이브러리 개요
- Specification 정리
  - 150#
  - 300#
  - 600/900#
  - 1500/2500/10000#
- 표준 Catalog 정리

▶ 유닛 조합 공용라이브러리의 개요 정리

▶ 압력과 재질별 표준 SPEC을 지정 후 해당 Spec에 맞게 라이브러리 구성

▶ 해당 SPEC에 들어가는 기자재 Catalog item 30종에 맞게 라이브러리 구성

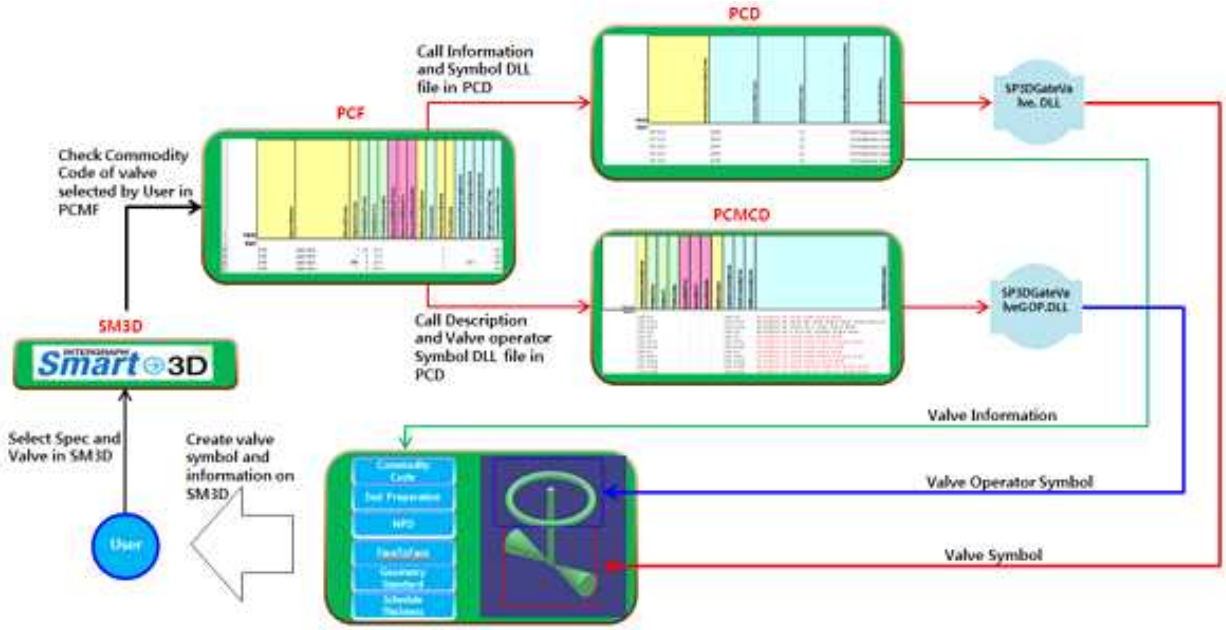
▶ 3세부 연구기관 전체에 활용될 Test BED Model을 S3D, PDMS (3D CAD)로 생성

(6) 결론

(나) 주요 결과

▶ 유닛 조합 공용 라이브러리 (배관, 기계) 구축

- 유닛조합 공용 라이브러리는 배관설계의 Material Specification을 지정해주는 SPEC 부분과 기자재의 형상 및 물성치를 지정해주는 Cata로 나뉠 수 있으며, 상호관계도는 아래와 같다.



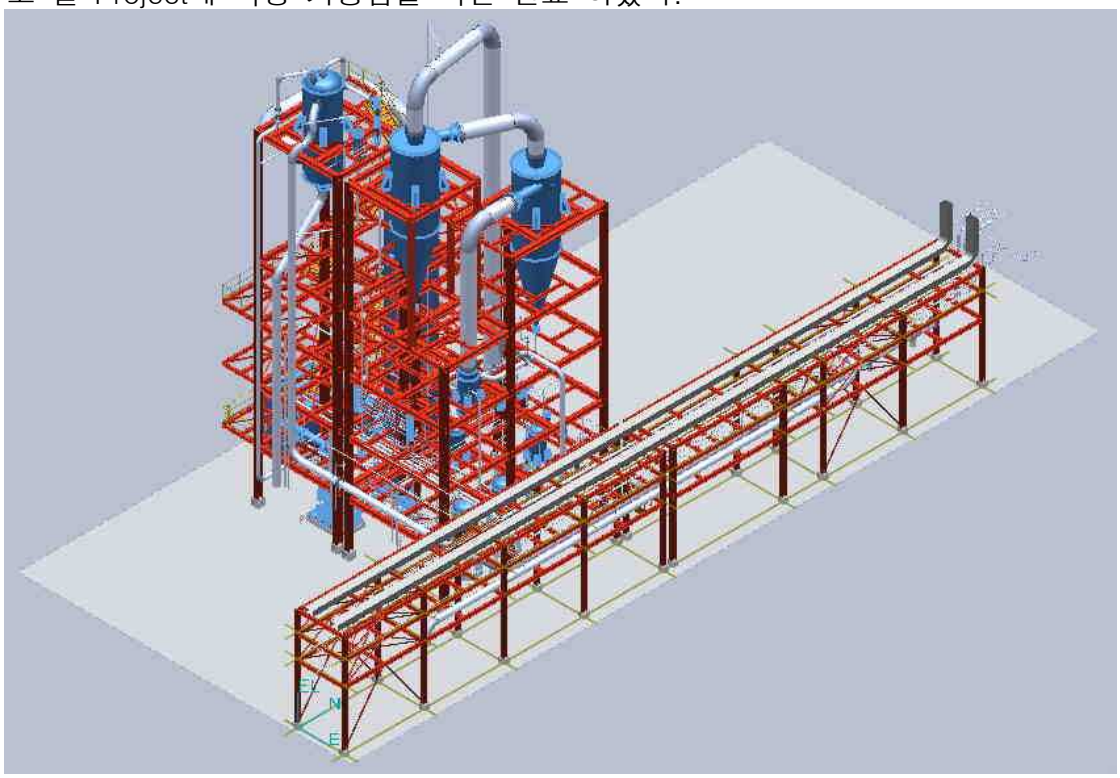
- SPEC 26종에 대해 S3D용 라이브러리(Spec)를 구성하였고, item(Cata)은 단관을 포함한 30종류의 item을 사이즈 재질별로 구분하여 라이브러리를 구성하였다.

▶ 유닛 조합 공용 라이브러리 단위테스트

- 유닛 조합 공용 라이브러리로써 구축한 26개의 Spec 라이브러리와 30종의 item에 대하여 2가지 기능test(자동 모델링 기능, 3D 가시화 기능)를 수행하였다.

▶ S3D & PDMS 3D CAD Model 생성 - Test BED Project

- 연구 결과 구축된 유닛 조합 공용 라이브러리를 이용하여 3세부 전체 연구기관의 연구에 공통적으로 활용될 3D CAD Model을 생성하여 배포하였다.
- Test BED를 생성하며 유닛 조합 공용 라이브러리에서 부족했던 Catalog Item을 추가 보완하고 실 Project에 사용 가능함을 확인 완료 하였다.



나) [E-2] 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리

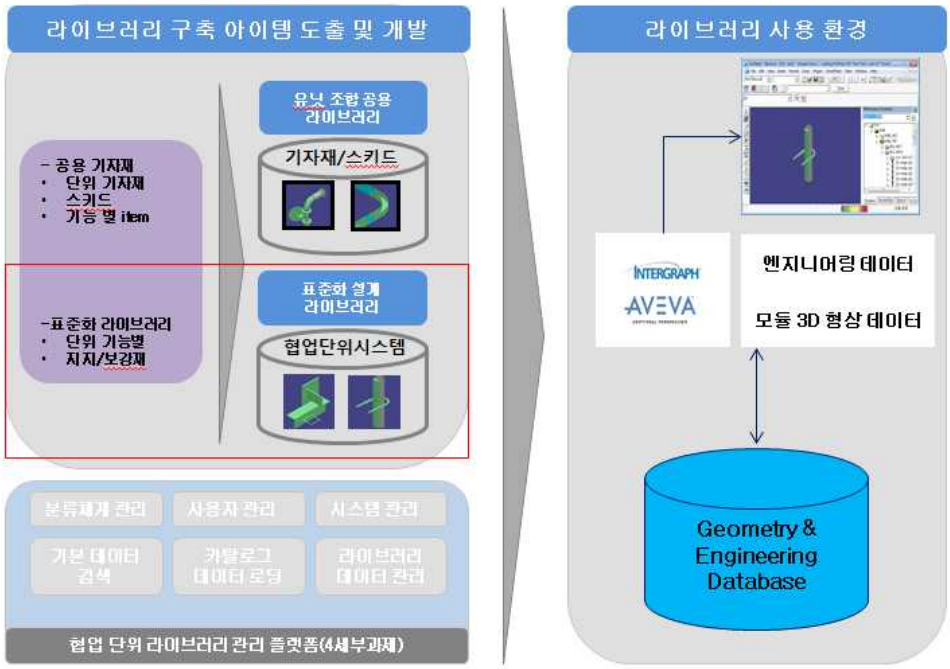
A) 2차년도 연구 내용 및 결과

(1) 개요

(가) 연구 목적

▶ 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계의 최종 목적은 3D CAD를 사용하는 국내 대형 EPC 뿐 아니라 중소 EPC 업체에서도 본 과제에서 구축하는 표준화 라이브러리(Support 및 임시 지지보강재)를 이용하여 좀 더 쉽고, 효율적인 3D 설계를 할 수 있도록 하기 위함이다.

▶ 이를 위해 주요 EPC 업체에서 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 개발을 위한 요구사항을 수집하고, 4세부의 과제인 “라이브러리 플랫폼 개발”과 연관하여 상용 3D CAD에서 바로 사용 할 수 있는 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 구축을 목적으로 하고 있다.



(나) 연구내용

▶ 국내 뿐 아니라 세계에서 육상 플랜트 시장점유율이 가장 높은 인터그래프사의 3D CAD(PDS, SP3D)의 표준화 라이브러리 형상 API를 조사하였으며, 그 결과 육상 플랜트에 라이브러리 구축에 필요할 뿐 아니라 4세부의 “라이브러리 플랫폼”에서도 사용될 수 있기 때문에 그 의미가 충분하다. 또한 협업단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 구축을 위해 3D CAD를 이용하여 모듈화 설계 혹은 육상플랜트를 설계 했던 EPC 업체(SK건설, 삼성엔지니어링, 필즈엔지니어링, G-PEM 엔지니어링) 그리고 개발업체(인터그래프 코리아)를 방문하여 표준화 라이브러리에 관한 요구사항을 수집함으로써, 모듈화 플랜트 뿐 아니라 3D CAD를 사용하여 설계 할 때 가장 필요한 표준화 라이브러리 기능 및 방법론 연구를 병행하였다.

(2) 수행 내용

▶ 구체적 수행 내용에 대해서는 부록 “유닛 조합 공용용 라이브러리 요구사항 분석 보고서”의 세부 수행내용 참조

▶ 현재까지 제일 많이 쓰이고 호환이 잘 되는 VB6의 표준화 라이브러리 및 기타 API 조사를 수행

▶ 국내 대기업 및 3D CAD로 플랜트 설계가 가능한 EPC 업체의 요구사항을 분석하여 본 과제에 적용될 뿐 아니라 기타 중소 업체에서도 효율적인 설계가 가능 한 표준화 라이브러리 구축을 위한 사례 조사 수행.

▶ 플랜트 엔지니어링 관점에서의 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 요구사항 분석 연구내용에 대한 조사 수행

▶ 협업단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 개요 정립

▶ 주요 설계 회사 표준화 라이브러리 구축 현황 사례 조사 수행

▶ 기업별 주요 요구사항 조사 수행

- 필즈엔지니어링 /G-PEM 엔지니어링/인터그래프/SK건설/삼성엔지니어링

▶ 협업단위 모듈화 기능 표준화 라이브러리 요구사항 분석에 대한 조사 수행

(3) 결론

(가) 주요 결과

▶ 협업단위 모듈 기능 표준화 라이브러리 시스템 형상 API 조사

- 협업단위 모듈 기능 표준화 라이브러리 시스템 형상 API는 3D CAD 시스템에서 배관 Support, 계전 Support 및 임시 지지보강재 등 3D로 표현되어야 할 모델들을 형상화 할 수 있도록 기본적인 3D 형상을 제공해주는 API 이다. 형상 API는 각각의 3D CAD 시스템에 따라 다르게 적용되며, 국내의 EPC 업체에서 가장 많이 사용 되는 3D CAD 인 PDS, S3D의 시스템 형상 API 및 기타 API를 조사하였다.
- 협업단위 모듈 기능 표준화 라이브러리로써 사용될 수 있는 Support 및 지지보강재 형상을 구현할 수 있는 API를 선별하여 조사하였다.

▶ 협업단위 모듈 기능 표준화 라이브러리 시스템 형상 요구사항 조사 및 분석

- 3D CAD를 이용하여 설계를 할 수 있는 EPC업체들은 각자의 설계 노하우를 바탕으로 Support 및 지지보강재 라이브러리를 구축하고 있다. 하지만 3D CAD분야는 각사들의 노력에도 불구하고 효율적인 설계를 위해 수정되어야 할 것이 많은 분야이다. 본 과제를 수행하기 위해서 3D CAD를 이용하여 모듈화 설계 혹은 육상플랜트를 설계 했던 EPC 업체(SK건설, 삼성엔지니어링, 필즈엔지니어링, G-PEM 엔지니어링) 그리고 개발업체(인터그래프 코리아)를 방문하여 해당 회사의 표준화 라이브러리의 특징 및 현황을 조사하였다.
- 3D CAD에 대해 자신들만의 노하우가 담긴 라이브러리는 각 사의 중요한 정보이며 자산이다. 중소업체의 경우 라이브러리 구축 보다는 모델링을 위주로 대기업의 일을 받아 수행하는 경우가 대부분이라 3D CAD 라이브러리에 대해 알지만 보유하지 못하는 경우가 많다. 따라서 국내 대기업 및 3D CAD로 플랜트 설계가 가능한 EPC 업체(SK건설, 삼성엔지니어링, 필즈엔지니어링, G-PEM 엔지니어링) 그리고 개발업체(인터그래프 코리아)를 방문하여 요구사항을 조사하였고, 본 과제에 적용 될 수 있도록 분석하였다.

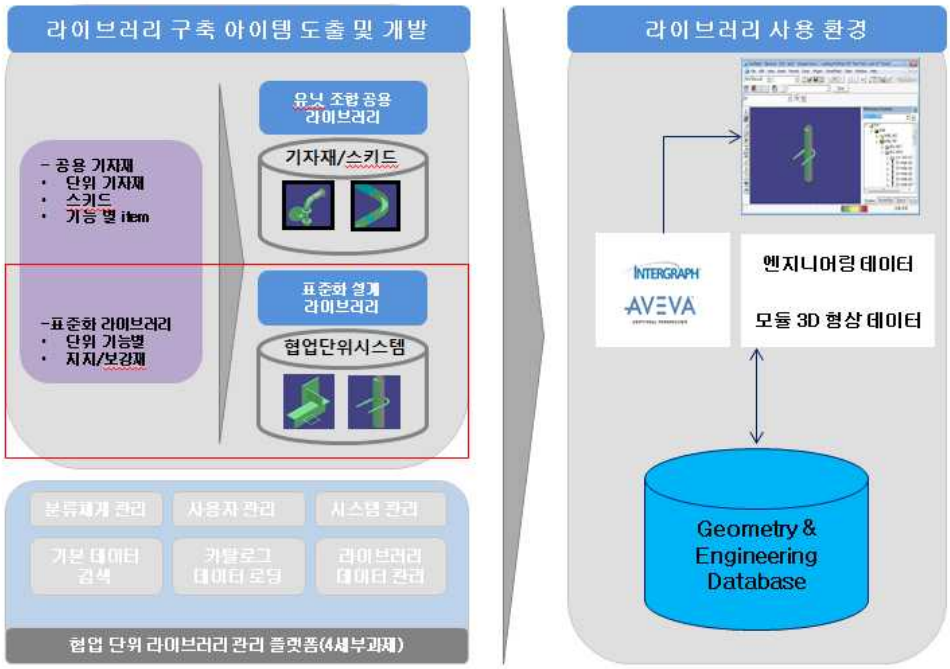
B) 3,4,5,6차년도 연구 내용 및 결과

(4) 개요

(다) 연구 목적

▶ 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계의 최종 목적은 3D CAD를 사용하는 국내 대형 EPC 뿐 아니라 중소 EPC 업체에서도 본 과제에서 구축하는 표준화 라이브러리(Support 및 임시 지지보강재)를 이용하여 좀 더 쉽고, 효율적인 3D 설계를 할 수 있도록 하기 위함이다.

▶ 이를 위해 주요 EPC 업체에서 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 개발을 위한 요구사항을 수집하고, 4세부의 과제인 “라이브러리 플랫폼 개발”과 연관하여 상용 3D CAD에서 바로 사용 할 수 있는 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 구축을 목적으로 하고 있다.



(라) 연구내용

▶ 표준라이브러리라 함은 모듈 설계 시 필요한 라이브러리로써 discipline을 지지하는 Support 및 지지/보강재라고 정의하였으며, 여러 EPC의 분야 중 배관, 기계장치 및 전기 분야에 대해서 라이브러리 구축을 진행하여 배관, 기계 및 전기에 사용되는 Support를 구현하였다. S3D에 있어서 Support는 Support를 구성하는 Part와 Support로 구성된 Assembly로 나눌 수 있다. 현업의 요구에 맞춰 기계, 배관을 합쳐 34종의 Support 형상과 전기 6종의 Support 형상의 물성치를 라이브러리로 구현하였다.

▶ 표준설계 라이브러리 구성을 확인하기 위해 2가지 기능(자동모델링 기능, 3D 형상 가시화 기능)에 대해서 Test도 완료 하였다.

(5) 수행 내용

▶ 표준설계 라이브러리의 개요 정리

▶ EPC에서 많이 사용되는 36종의 배관 Support의 Standard Drawing을 가지고 표준설계 라이브러리 구성

▶ EPC에서 많이 사용되는 6종의 전기 Tray Support의 Standard Drawing을 가지고 표준설계 라이브러리 구성

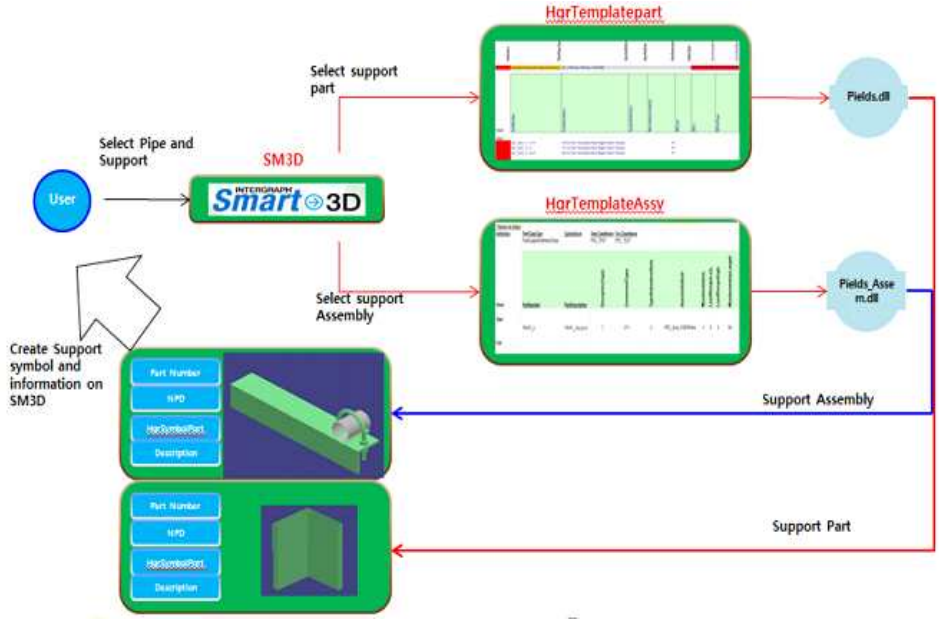
▶ 해당 Assembly에 구성요소가 되는 Support Part를 구성

(6) 결론

(나) 주요 결과

▶ 표준설계 라이브러리 개발

- 표준설계 라이브러리는 Support를 이루는 Part와 Part가 조합되어 Assembly로 이뤄지며, 이 두 가지 요소가 상호작용하여 S3D의 표준설계 라이브러리를 이루게 된다. 상호작용 연계도는 다음과 같다.



- 표준설계 라이브러리 개발 보고서에 나온 것 같이 36개의 Support 종류를 가지고 표준설계 라이브러리를 구성하였다.

6) [F] 시스템 시험 적용 및 성능 평가 보고서

가) [F-1] 시스템 개발 기능범위/추진 계획서

(1) 개요

(가) 연구 목적

- 본 과제는 육상 플랜트 협업 단위 모듈화 설계, 구매, 제작, 운송, 건설 프로세스를 고려하여 개별 산출물의 개발이 진행되어왔으며, 개발된 각 모듈의 기능과 성능에 대한 검토를 진행함에 있어 개별 모듈의 작동이 원활하고 상호 유기적으로 협업이 진행되는지에 대한 검증을 수행 하고자 함.
- 본 단계를 수행함으로써 각 모듈의 계획 대비 기능 구현을 확인하고 실사용에 있어 미비점을 발견 보완하려는 목적이 있음

(나) 연구내용

- 검증을 위해 현업과 관련있는 참여기관으로부터 현업에서 사용하는 Test용 Data (Unit Modeling)를 공급받아 Test-Bed Model을 모듈화 하는 과정을 통해 각 모듈의 역할을 분담하여 기능을 검증하는 계획 수립
- 이를 위해 외부 기관으로부터 검증 절차 검토 및 수행을 의뢰
- 개별 모듈들의 성격과 환경이 달라 통합이 어려우므로 이를 관리하는 온라인 시스템 (온라인 사이트)를 제작하여 모듈들의 운용현황 및 MODULE화 프로세스 진행 상황 파악과 설계 및 검증 진행에 따른 각 S/W 모듈간 업무 이관 및 History 보관을 담당하도록 계획 수립

(2) 수행내용

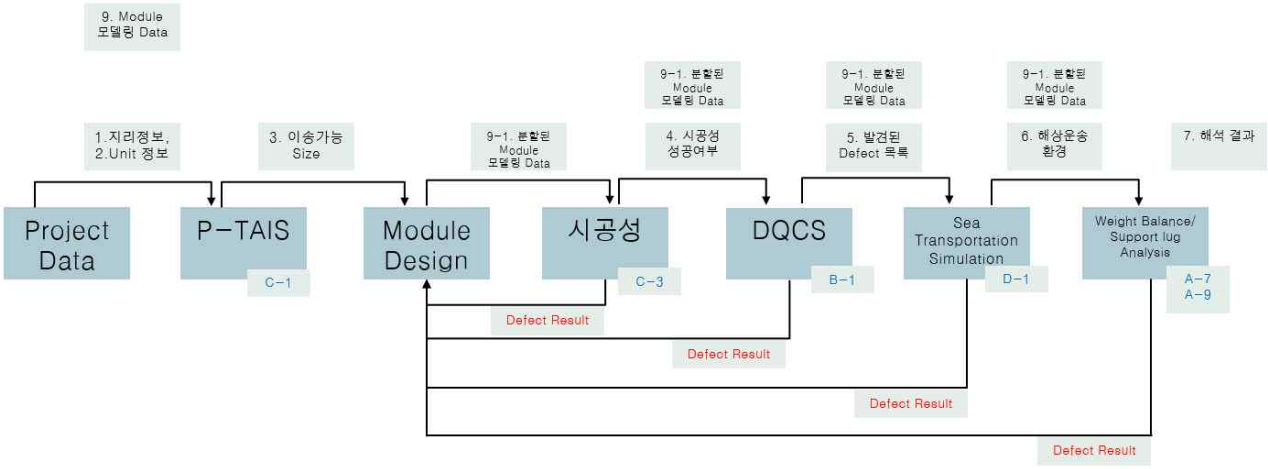
- S/W Module들의 기능을 검증하기 위해 Project를 설정하고 Test bed들을 적용.
  : Test-Bed 1 : NASR Flare Gas Recovery System (전체 적용) - 필즈 엔지니어링 제공
  : Test-Bed 2 : IGD-E2 Gas Feed Compression (부분 적용) - 현대건설 제공

- Modularization Process/시나리오 수립

  제공된 Test-Bed를 이용한 Modularization process를 정립

  1) Project Data를 수령하고 이를 이용하여 육상에서 이송 가능한 size를 산출
  2) 산출된 size를 기본으로 기존 Unit을 Break하여 운송이 가능한 크기로 분할
  3) 운송 가능 size와 제공된 Plot plan으로 시공성 시뮬레이터에서 현재의 조건으로 설치가 문제가 없는지 확인
  4) 분할 설계된 Module들이 지침과 규정에 어긋나는 곳은 없는지 DQCS에서 품질 검토
  5) 무결성이 확인되면 해상 운송 상황을 시뮬레이션하여 해상운송시 발생할 수 있는 흔들림과 구조에 가해지는 외력을 계산
  6) Weight Balance/Support Lug Analysis에서는 해상 운송 시뮬레이션에서 계산된 데이터를 바탕으로 module의 설계와 운송시 고정 관련 해석을 실시

  상기 절차에서 각 단계 진행 중 문제점이 발견되면 Module design으로 돌아가 해당 문제점에 대한 재설계가 이루어진 후 후속 절차들이 진행되며, P-Tais의 경우는 육상 운송 조건이 불변이기 때문에 가장 첫 단계에서 운송 가능 조건을 제공하는 것으로 역할이 대부분 초기에 종료됨

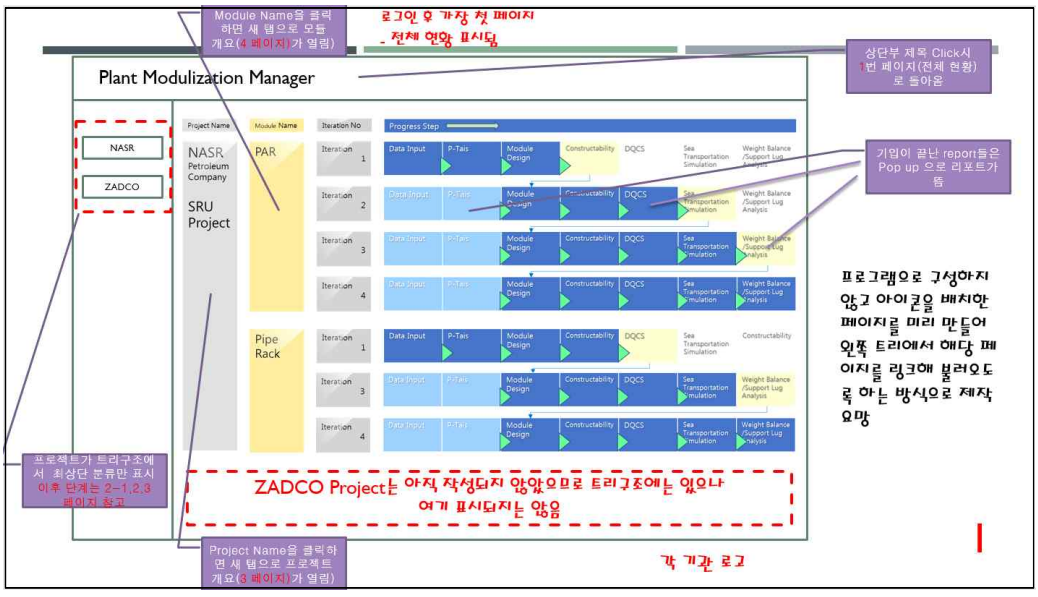


Modularization process flow

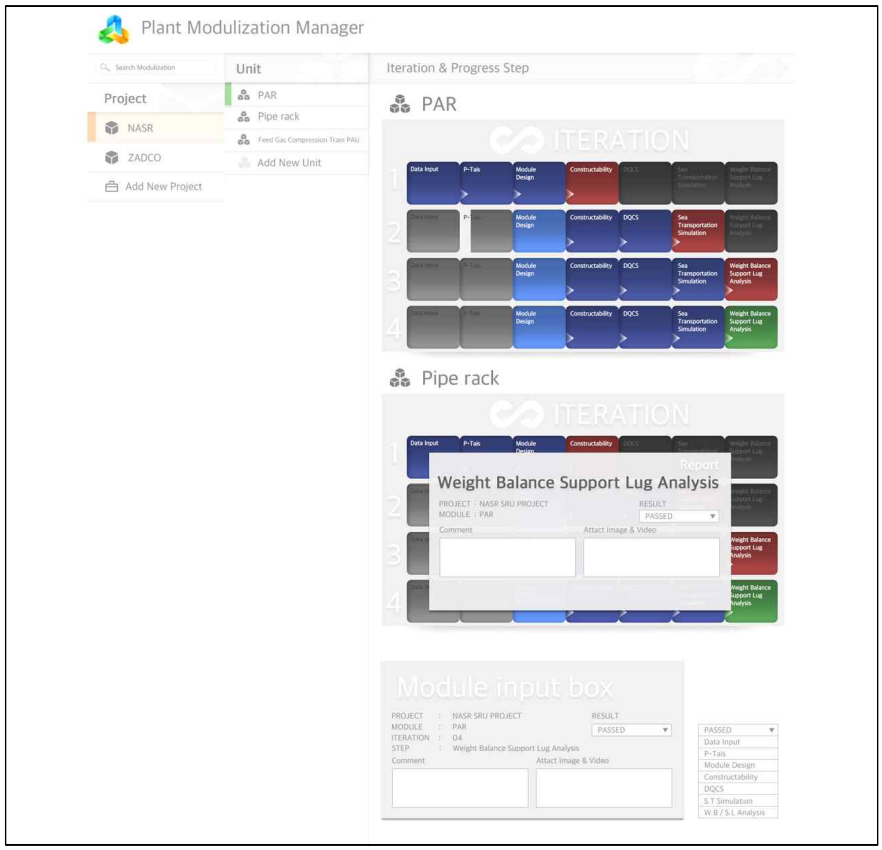
- Modularization Process에 따른 Site 설계

상기 연구 수행과정에서 정리된 S/W Module간 Process에 따라 진행 상황을 관리하는 Site를 제작하였으며, 모듈간 프로세스 관리 관점에서 각 프로세스가 진행되는 상황이 쉽게 파악되고

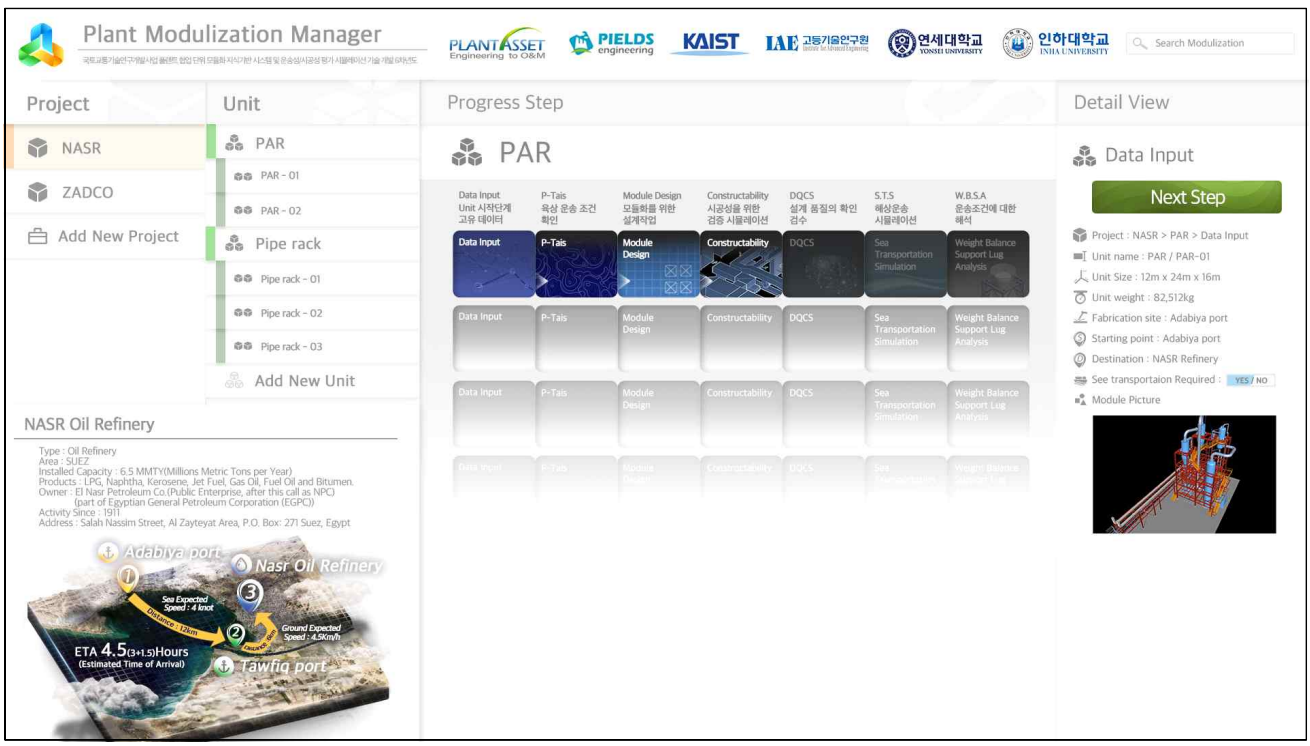
각 모듈간 상호관계가 이해하기 쉽도록 설계한 후 각 연구기관의 피드백을 받아 수정



Site 초기 설계 및 디자인



Site 디자인 (중반)



사이트 설계 최종안

- Modularization Process 진행 계획

Module	Iteration	Role	Progress step						
			Input data	P-Tais	Module Design	시공성	DQCS	해상 운송성	W/S
		기관		연세대	필즈	카이스트	플랜트에셋	카이스트	고등기술연구원
PAR	1	업무	입력	도로 조건으로 모듈 최적 size 산출	P-Tais 산출 조건으로 Module 분할	시공성 검토 -간섭으로 reject			
	2				시공성 reject 결과 반영 / 수정	시공성 검토 / 통과	DQCS 검토 -지침서 내용 미반영으로 reject		
	3				DQCS Reject 결과 반영 / 수정	전체 size 미변경시 통과	DQCS 검토 / 통과	시뮬레이션 진행	보강재 부실 또는 누락 발견 reject
	4				W/S reject 결과 반영/수정	전체 size 미변경시 통과	DQCS 검토 / 통과	시뮬레이션 진행	해석 진행 /통과
	사전 작업 내용		report form에 모듈 선정 및 관련 company 자료, 출발지(제작 현장), 도착지 선정	Iter 1. Yolo3 기반 도로 조건 인식 동영상 제작, 모듈 WxHxL 산출 및 해당 과정 캡쳐, 동영상저장 -> report form에 입력	-지침서 일부 미반영 되도록 모델 변경* (노트 참고) -보강재 변경 또는 누락 - DQCS에 사용할 일부 지침서 정리 (인하대와 정리 form 확인 필요)	해당 구역용 Plot Plan 작성 -> 시공성 간섭 발생 유발 목적			
	후속 작업		Iteration 1 Report 작성	Iteration 1 Report 작성	Iteration 1,2,3,4 Report 작성 -> 각 report마다 앞 iteration modeling 에 비해 변경된 점을 캡쳐 및 설명	Iteration 1,2,3,4 Report 작성 -> Iteration 1 report에서 간섭 부분 설 명 -> Iteration 2 report에서는 간섭 여부 설명 및 모듈 설치 순서 기재요망	Iteration 2,3,4 Report 작성 -> iteration 2에서 발견된 defect에 대해 기재할 것	Iteration 3,4 Report 작성 -> 시뮬레이션 결과를 동영상 및 각 Value로 작성요망	Iteration 3,4 Report 작성 -> Iteration 3에서 발견된 defect를 캡쳐하여 설명 요망
Pipe rack	1	업무	PAR 작업분 동일 활용	PAR 작업분 동일 활용	P-Tais 산출 조건으로 Module 분할	시공성 검토 / 통과	DQCS 검토 -지침서 내용 미반영으로 reject		
	2				DQCS Reject 결과 반영 / 수정	전체 size 미변경시 통과	DQCS 검토 / 통과	시뮬레이션 진행	보강재 부실 또는 누락 발견 reject
	3				W/S reject 결과 반영/수정	전체 size 미변경시 통과	DQCS 검토 / 통과	시뮬레이션 진행	해석 진행 /통과

Note
* 필즈에서 모듈을 총 4가지 버전을 가지고 있어야 함
1) Original 버전 (Iteration 1에서 사용)
2) P-Tais에서 산출된 조건에 맞춰 분할된 버전 (Iteration 4에서 사용)
3) P-Tais에서 산출된 조건에 맞춰 분할되고, 보강재가 하나 수정이 가해져있는 버전 (Iteration 3에서 사용)
4) P-Tais에서 산출된 조건에 맞춰 분할되고, 보강재가 하나 수정이 가해져있고, 지침서에 맞지 않게 배관에 수정이 가해져있는 버전 (Iteration 2에서 사용)
5) P-Tais에서 산출된 조건에 맞춰 분할되고, 보강재가 하나 수정이 가해져있고, 지침서에 맞지 않게 배관에 수정이 가해져있고, 시공성에서 간섭이 발생하는 버전 (Iteration 1에서 사용)

- 검증 담당 기관 선정

개발된 모듈들을 객관적으로 검증하기 위해 테스트를 수행할 외부 기관을 선정하여 성능 평가 계획을 수립하고 12월에 인증을 수행

□ 검증 담당 기관 : 와이즈스톤 ICT 시험인증연구소

(가) Test-Bed 1

- Test Project 개요

Project Name : NASR Flare Gas Recovery System Project

Project 내용 : Flare gas로부터 황을 회수하는 SRU(Sulfur Recovery Unit)을 설계 및 수에즈 인근에서 제작하여 수에즈에 위치한 NASR부지까지 운송 및 설치

- Project 대상

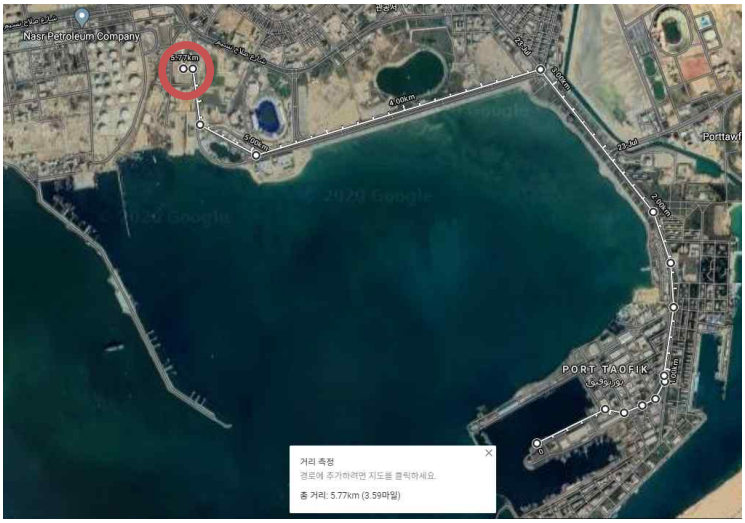
Customer : NASR (NASR Oil Company)

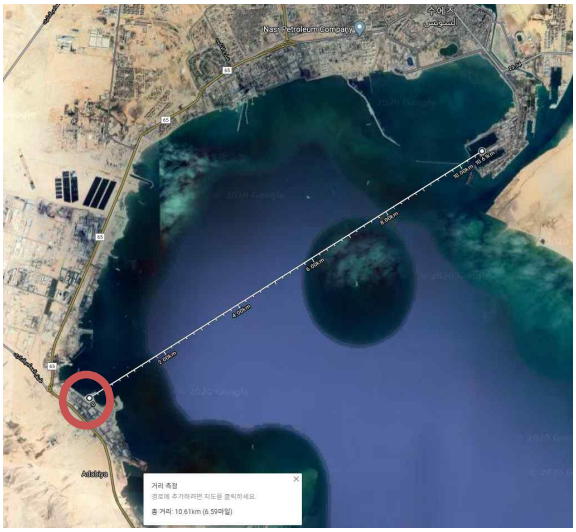
연간 생산량 : 6.5 MMTY (Millions Metric Tons per Year)

주 생산품 : LPG, Naphtha, Kerosene, Jet Fuel, Gas Oil, Fuel Oil and Bitumen

Owner :El Nasr Petroleum Co.(Public Enterprise, after this call as NPC)
(part of Egyptian General Petroleum Corporation (EGPC))







- NASR Oil Refinery 위치 (왼쪽 사진 좌상단)
- Module 조립 장소 : Adbiya Port (오른쪽 사진 좌하단)

- Test bed 선정

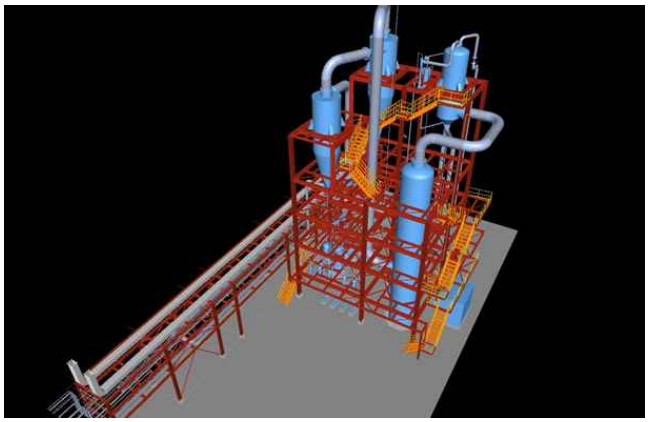
필즈엔지니어링에서 실제 사용했던 견적용 플랜트 자료를 제공하여 Test bed로 사용

대상 유닛 : Flare Gas Recovery Unit

- Test Bed Data

WxHxL : 16m x 24m x 12m

Weight : 180 ton



(나) Test Bed 2

- Test Project 개요

Project Name : ADNOC IGD-E2 Project

Project 내용 : DAS island의 가스 증산 및 이송을 위한 설비 추가 모듈을 아부다비에서 제작하여 DAS ISLAND에 위치한 ADNOC부지까지 운송 및 설치

- Project 대상

Customer : ADNOC (Abudabi National Oil Company)

연간 생산량 : 1.4 Billion Cubic Feet of Gas/day

주 생산품 : LNG, LPG, Naptha, Sulfur



- ADNOC IGD-E2 위치 (왼쪽 사진 좌상단))
- Module 조립 장소 - Denholm Yan 조선소

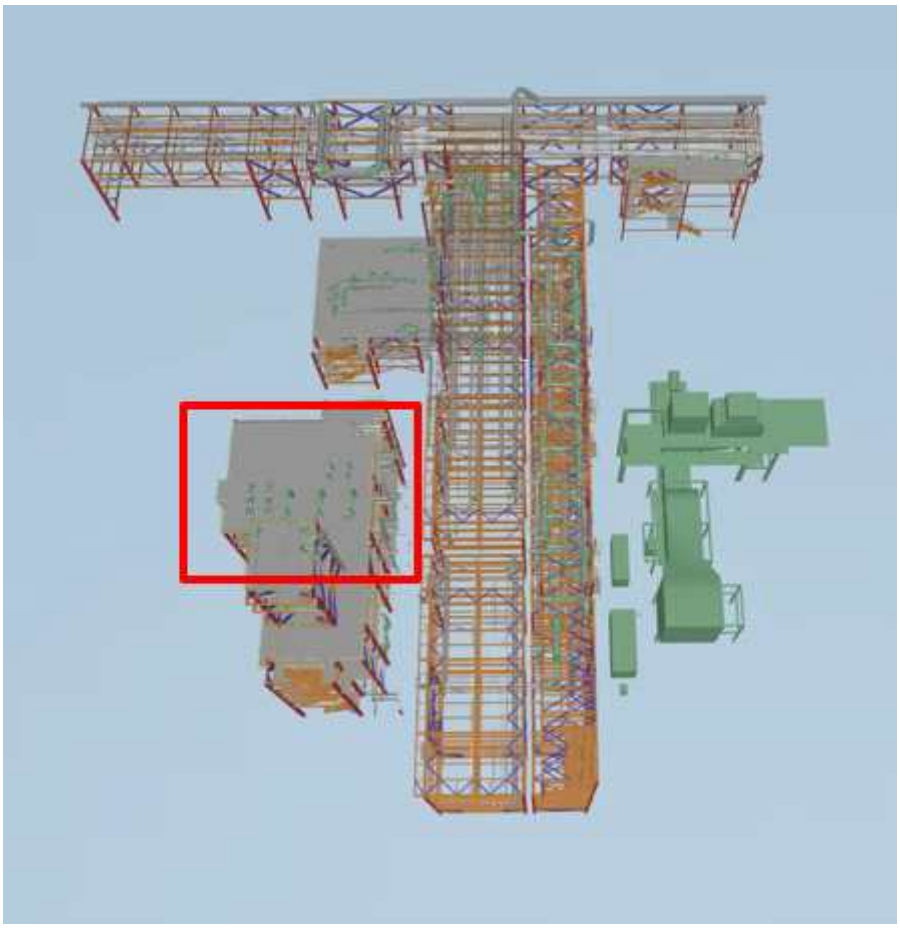




조립장 - 설치장소 간 거리 육상 6km, 해상 194km

- Test bed 선정

현대건설에서 실제 사용했던 견적용 플랜트 설계를 제공하여 Test bed로 사용하였다.



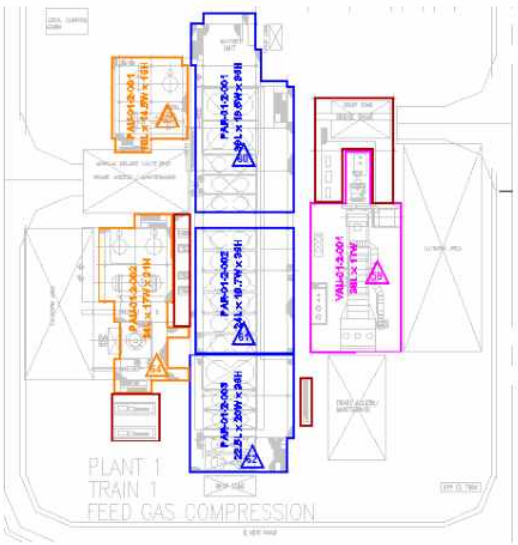
대상 유닛 : Gas Feed Compression

- Test Bed Data

WxHxL : 12m x 20m x 12m

Weight : 160 ton

- Das Island Yard Plot Plan



Gas Feed Compression Plot Plan (설치 장소 - 좌측 중앙 노란색)

[F-2] 성능평가 결과 보고서

(1) 적용 모듈 리스트

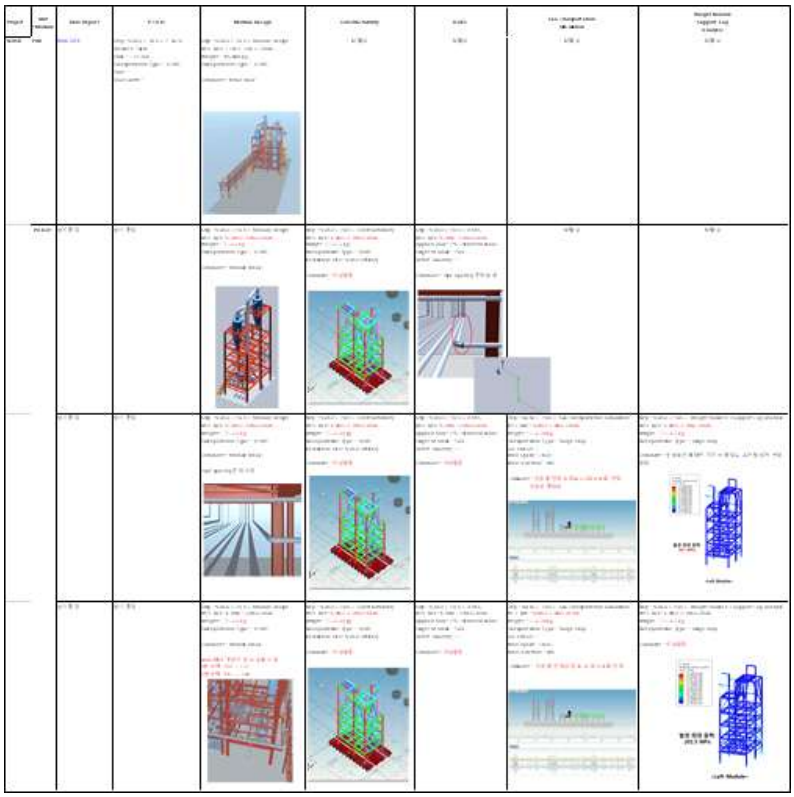
- Flare Gas Recovery Unit (NASR Flare Gas Recovery Syetem Project)
- Gas Feed Compression (ADNOC IGD-E2 Project)

(2) 적용 산출물 (SW Module) 리스트

- P-TAIS : 최적 루트 산출 및 Module 사이즈 산정
- 컴팩트 최적화 인터페이스 교합부 관리 : Module 최적화
- 시공성 : 최적 설치 순서 및 부지내 이송/설치시 간섭 확인
- DQCS : Rule, Code, Standard, 설계 요구사항 적용 확인 및 설계 오류 검출
- 해양 운송성 시뮬레이터 : 해양 운송 조건 확인
- Weight Balance/Support Lug 자동 설계 : 운송 환경에 따른 자동 해석

(3) Test 시나리오 적용

선정된 Test-Bed 환경에서 Test를 진행 하였으며, 주어진 시나리오에 의거하여 운송 조건에 따라 Modularization을 진행하였고 그 결과로 생성된 Module들로 Test를 계속 진행



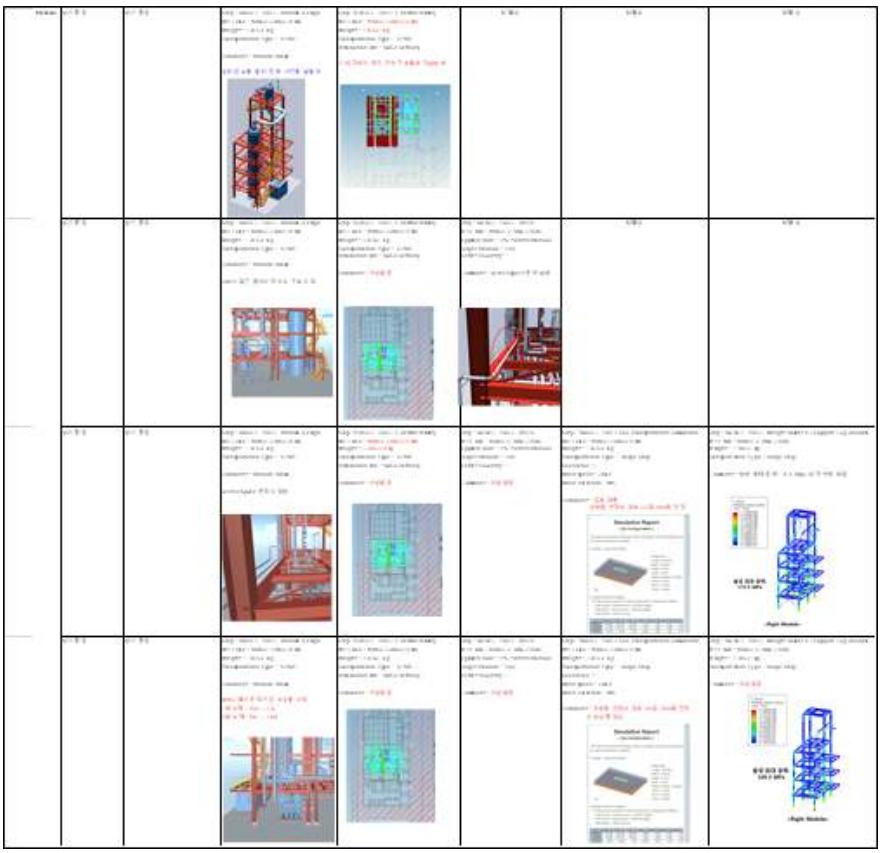
1번 모듈 진행 내역

Unit /Module	Data Import	P-TAIS	Module Design	Constructability	DQCS	Sea Transportation Simulation	Weight Balance Support Lug Analysis
PAR	from 2세부	Step : NASR > PAR > P-TAIS Distance : 6km Time : 1.5 Hour Transportation Type : SPMT Price : Road width :	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 12m x 12m x 24.5m Weight : 185,844 kg Transportation Type : SPMT Comment : Initial Issue	비활성	비활성	비활성	비활성
PAR-01	상기 동일	상기 동일	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 71,313 kg Transportation Type : SPMT Comment : Module Break	Step : NASR > PAR > Constructability WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 71,313 kg Transportation Type : SPMT Installation site : NASR Refinery Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > DQCS WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Applied Rule : IPS, Fields's Manual Target Module : PAR Defect Quantity : 1 Comment : Pipe Spacing 문제 발생	비활성	비활성
	상기 동일	상기 동일	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 71,313 kg Transportation Type : SPMT Comment : Module Break Pipe Spacing 문제 수정	Step : NASR > PAR > Constructability WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 713,130 kg Transportation Type : SPMT Installation site : NASR Refinery Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > DQCS WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Applied Rule : IPS, Fields's Manual Target Module : PAR Defect Quantity : 1 Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > Sea Transportation Simulation WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 713,130 kg Transportation Type : Barge Ship Sea Status : 1 Wind speed : 2m/s Wind Direction : WS Comment : 운송중 안정성 검토 UC값 0.82로 안정 운송성 동일성	Step : NASR > PAR > Weight Balance / Support Lug Analysis WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 71,313 kg Transportation Type : Barge Ship Comment : 운송조건에 대한 지지 부재 강도 모지핀, 설계 변경 요망
	상기 동일	상기 동일	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 71,313 kg Transportation Type : SPMT Comment : Module Break WBS에서 문제가 된 부분을 수정. L형 부재 : L50 → L52 T형 부재 : T61 → L64	Step : NASR > PAR > Constructability WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 713,130 kg Transportation Type : SPMT Installation site : NASR Refinery Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > DQCS WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Applied Rule : IPS, Fields's Manual Target Module : PAR Defect Quantity : 1 Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > Sea Transportation Simulation WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 713,130 kg Transportation Type : Barge Ship Sea Status : 1 Wind speed : 2m/s Wind Direction : WS Comment : 운송중 안정성 검토 UC값 0.82로 안정	Step : NASR > PAR > Weight Balance / Support Lug Analysis WHL size : 6.0m×12.0m×24.5m Weight : 71,313 kg Transportation Type : Barge Ship Comment : 이상없음

1번 모듈 진행 내역 상세

상기 Table에서 보여지는 대로 모듈화 설계 이후로 시공성 검사, 설계 품질 검사, 해상 운송 해석 단계를 거치며 각 단계에서 발생한 오류를 전 단계로 돌아가 수정하고 다시 재검토하는 루틴으로 진행되었음,

2번 Module도 1번과 마찬가지로 모듈화 설계 이후로 시공성 검사, 설계 품질 검사, 해상 운송 해석 단계를 거치며 각 단계에서 발생한 오류를 전 단계로 돌아가 수정하고 다시 재검토하는 루틴으로 진행되었음.



2번 모듈 진행내역

Unit /Module	Data Import	P-TAIS	Module Design	Constructability	DQCS	Sea Transportation Simulation	Weight Balance Support Lug Analysis
PAR-02	상기 동일	상기 동일	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : SPMT Comment : Module Break	Step : NASR > PAR > Constructability WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : SPMT Installation site : NASR Refinery 기 설계되어 있던 주변 구조물과 간섭 발생	비활성	비활성	비활성
	상기 동일	상기 동일	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : SPMT Comment : Module Break SMPT 접근 용이하게 하부 구조 수정	Step : NASR > PAR > Constructability WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : SPMT Installation site : NASR Refinery Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > DQCS WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Applied Rule : IPS, Pwidd's Manual Target Module : PAR Defect Quantity : 1 Comment : Access space 문제 발생	비활성	비활성
	상기 동일	상기 동일	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : SPMT Comment : Module Break Access Space 문제 수정함	Step : NASR > PAR > Constructability WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 1,145,310 kg Transportation Type : SPMT Installation site : NASR Refinery Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > DQCS WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Applied Rule : IPS, Pwidd's Manual Target Module : PAR Defect Quantity : 1 Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > Sea Transportation Simulation WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : Barge Ship Sea Status : 1 Wind speed : 2m/s Wind Direction : WS Comment : 결과 내용 운송중 안정성 검토 UC값 0.90로 안정	Step : NASR > PAR > Weight Balance / Support Lug Analysis WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : Barge Ship Comment : 발생 최대 응력 175.5 Mpa, 설계 변경 요망
	상기 동일	상기 동일	Step : NASR > PAR > Module Design WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : SPMT Comment : Module Break WBS에서 문제가 된 부분을 수정. L형 부재 : L50 → L52 T형 부재 : T61 → L64	Step : NASR > PAR > Constructability WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : SPMT Installation site : NASR Refinery Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > DQCS WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Applied Rule : IPS, Pwidd's Manual Target Module : PAR Defect Quantity : 1 Comment : 이상없음	Step : NASR > PAR > Sea Transportation Simulation WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : Barge Ship Sea Status : 1 Wind speed : 2m/s Wind Direction : WS Comment : 운송중 안정성 검토 UC값 0.90로 안정 운송성 동영상	Step : NASR > PAR > Weight Balance / Support Lug Analysis WHL size : 8.0m×12.0m×29.5m Weight : 114,531 kg Transportation Type : Barge Ship Comment : 이상없음

2번 모듈 진행내역 상세

(4) Test 결과 분석 - NASR 프로젝트

Test 결과로 아래와 같이 연구 산출물 적용 영향도가 분석 되었으며, 설계 단계의 Man Hour는 본 연구 개발 결과에 가장 영향을 많이 받는 요소로서 본 Test 결과를 기존 Module화 방식과 비교하였음

*가중치는 필즈엔지니어링의 Cairo Oil Refining Co., Ltd. (Egypt) 의 Flare Gas Recovery System Project Data를 참조하여 작성

공종	구분	적용 기술	효과	기존 가중치 (W.F)	기존 금액기준 (MUSD)	기존 Manhour	적용 후 Manhour	Manhour 변동	COST 영향도			비고분석 (MMUSD)
									SCHEDULE	QUANTITY	TOTAL	
설계	Path Planning	P-TAIS	Google Map 이용 운송 조건 즉시 확인 (약 1100 MH 절감)	1.6	0.44	19,656	18,555	-5.6%	-5.6%	0.0%	-5.6%	0.39
	MODULE DESIGN	모듈 설계 지침서	Module 설계의 기본 Spec 제시로 설계 기준 혼란 배제	4.8	1.31	30,030	30,030	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.31
		시공성 시뮬레이터	모듈 설치 순서 및 설치시 간섭 유무 자동 확인 (4900 MH → 4350 MH 로 약 550 MH 절감)	0.9	0.25	4,914	4,344	-11.6%	-6.2%	-5.4%	-11.6%	0.20
		컴팩트, 최적화, 인터페이스, 고립부 관리	설계기간 단축 및 최적화 기여 (7100 MH → 6300 MH 로 약 800 MH 절감)	1.3	0.35	7,098	6,275	-11.6%	-7.3%	-2.9%	-10.2%	0.29
		DQCS	설계에 Rule, Code 준수 및 발주처 요구사항이 반영되었는지 SW가 자동 검토 (15800 MH → 12800 MH 로 감소, 약 3000 MH 절감)	3.3	0.90	15,834	12,810	-19.1%	-14.5%	-4.6%	-19.1%	0.60
		지식 기반 관리 시스템										
		해상 운송성 시뮬레이터	해상 운송 시 발생할 수 있는 외력 조건 산출 (약 150 MH 절감)	0.8	0.22	4,368	4,228	-3.2%	-3.2%	0.0%	-3.2%	0.20
	SET-DOWN ANALYSIS	Weight Balance 설계 자동화 SW 지지보강재 설계 자동화 SW	해상 운송 외력 조건 기준으로 자동 분석 및 분석시간 단축 (18000 MH → 15100 MH 로 감소, 약 2900 MH 절감)	2.3	0.63	18,018	15,099	-16.2%	-16.2%	0.0%	-16.2%	0.42
	LAND TRANS ANALYSIS											
	SEA TRANS ANALYSIS											
	GEOMETRY CHANGE		만약 OK 면 설계 완료, 만약 NG 면 MODULE DESIGN 재 검토	1.2	0.33	6,552	6,552	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.33
구매/제작	BULK ITEM	DQCS	Human Error 를 줄여 재시공 가능성을 줄임, 지재 Allowance 감소	6.6	1.80				0.0%	1.6%	1.6%	1.77
		컴팩트, 최적화, 인터페이스, 고립부 관리	설계 기간 단축 및 최적화로 완성도가 높은 상황에서 최적 지재 발주 가능	6.2	1.69				0.0%	2.2%	2.2%	1.66
	MAJOR EQUIPMENT	변동 없음		54.0	15.09							
	MODULE FABRICATION	시공성 시뮬레이터	설치 순서 확인 및 설치시 간섭 확인으로 지재구매 스케줄 설정 및 설계변경 및 재시공 감소						0.0%	0.0%	0.0%	14.74
시공	LOAD-OUT	P-TAIS	Path Finding 시간 단축에 따른 공사기간 학보(간접효과)	1.2	0.33				0.0%	0.0%	0.0%	0.33
	SEA TRANSPORTATION	해상 운송성 시뮬레이터 Weight Balance 설계 자동화 SW 지지보강재 설계 자동화 SW	계산 간소화로 시간 단축에 따른 공사기간 학보 (간접효과)	3.1	0.85				0.0%	0.0%	0.0%	0.85
	LOAD-IN	P-TAIS	Path Finding 시간 단축에 따른 공사기간 학보(간접효과)	1.3	0.35				0.0%	0.0%	0.0%	0.35
	INSTALLATION	시공성 시뮬레이터	설치 순서 및 설치시 간섭 확인으로 재시공 가능성을 줄임	6.1	1.67				3.0%	2.0%	5.0%	1.53
		DQCS	설계상 Human Error 를 줄여 재시공 가능성을 줄임	5.3	1.45				2.0%	3.0%	5.0%	1.35
합계				100.0	27.7	106,470	97,893		-4.8%			26.3

*설계 M/H 감소치 91,728-83,862=7,866 (8.58%)

본 연구개발 결과물을 적용한 결과 엔지니어링 단계에서 8.58%의 M/H가 감소하였고, 이를 포함하여 전체 프로젝트 수행 금액을 약 4.8% 감소 가능한 것으로 분석

- 본 연구과제의 산출물들은 엔지니어링 분야에 특화되어 있어 적용 결과를 Man Hour의 변동과 일정 및 물량의 변화에 대한 영향도를 중심으로 표시
- 가장 영향도가 컸던 기술은 DQCS(Design Quality Check System)와 지식기반 품질 검사 시스템으로 기존 대비 약 19%의 M/H를 절감하였고, 기존의 인력을 투입하여 Manual방식으로 Design Review를 수행하는 방식에서 프로그램이 자동으로 설계를 검증함으로써 시간을 단축하고 설계 품질 향상에 기여가 확인. 또한 설계 품질 향상에 따라 이후 이어지는 자재 구매 단계에 영향을 끼쳐서 자재 Allowance를 감소시켜 프로젝트 비용을 감소시키며, 사람에 의한 검증 방식에서 여러 가지 이유로 놓칠 수도 있는 설계 Error를 검출하여 재설계와 재시공 요소를 줄여 전체 공사
  비용 감소에 영향을 주는 점을 확인
- 기타 Weight Balance/Support Lug 자동 설계(해석) 기술, 컴팩트/최적화/인터페이스 관리 모듈, 시공성 평가 시뮬레이터 및 P-TAIS 등의 산출물을 적용한 결과 M/H절감을 통한 설계 생산성 향상을 통한 일정단축, 자재 절감, 품질 향상 등에 대한 영향도를 확인
- 각 SW 모듈은 P-TAIS->컴팩트, 최적화, 인터페이스, 교합부 관리 모듈->시공성 시뮬레이터 -> DQCS(지식 기반 관리 시스템 포함)->해상 운송성 시뮬레이터->Weight Balance/ Support Lug 자동 설계(해석) 순으로 진행되었으며 각 단계에서 오류가 검출되면 설계단계로 Roll back 하여 해당 부위에 대한 검토 및 재설계가 이루어짐
- 각 모듈의 적용으로 직접적인 M/H감소와 간접 효과로 인한 공사 기간 및 비용 감소 효과를 확인

(5) 추가 Test-Bed 적용 및 업계 설문을 통한 영향도 평가

- Test-Bed 추가 적용

단일 프로젝트(NASR 프로젝트) 적용만으로는 다양한 조건에서의 검증이 불가능하기에 현대건설에서 제공한 Test Bed를 추가 적용하였음

*가중치는 ADNOC 프로젝트의 환경에 따라 일부 조정되었음.

(해양 운송거리 증가(10km(NASR) -> 195km (IGD-E2))에 따른 해상 운송성 시뮬레이션 및 해석 가중치 상승 및 기타)

*구매 부분이 상대적으로 비중이 낮아져 평가에서 제외.

공종	구분	적용 기술	효과	기존 가중치 (W.F)	기존 금액기준 (MUSD)	기존 Manhour	적용 후 Manhour	Manhour 변동	COST 영향도			비고분석 (MMUSD)
									SCHEDULE	QUANTITY	TOTAL	
설계	Route Planning	P-TAIS	Google Map 이용 운송 조건 즉시 확인	1.6	0.52	10,400	9,880	-4.9%	-4.9%	0.0%	-4.9%	0.47
	MODULE DESIGN	모듈 설계 지침서	Module 설계의 기본 Spec 제시로 설계 기준혼란 배제	4.8	1.56	31,200	31,200	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.56
		시공성 시뮬레이터	모듈 설치 순서 및 설치시 간섭 유무 자동 확인	0.9	0.29	5,850	5,335	-8.8%	-5.1%	-3.7%	-8.8%	0.25
		컴택트, 최적화, 인터페이스, 고립부 관리	설계기간 단축 및 최적화 기여	1.3	0.42	8,051	7,487	-7.0%	-7.0%	-1.4%	-8.4%	0.36
		DQCS	설계에 Rule, Code 준수 및 발주처 요구사항이 반영되었는지 SW가 자동 검토	2.9	0.94	18,850	15,702	-16.7%	-13.5%	-3.2%	-16.7%	0.66
		지식 기반 관리 시스템										
		해상 운송성 시뮬레이터	해상 운송 시 발생할 수 있는 외력 조건 산출	1.5	0.49	9,750	9,380	-3.8%	-3.8%	0.0%	-3.8%	0.45
	SET DOWN ANALYSIS	Weight Balance 설계 자동화 SW 지지보강재 설계 자동화 SW	해상 운송 외력 조건 기준으로 자동 분석 및 분석시간 단축 (22400 MH → 18800 MH 로 감소, 약 3600 MH 절감)	3.3	1.07	21,450	18,383	-14.3%	-14.3%	0.0%	-14.3%	0.77
	LAND TRANS ANALYSIS											
	SEA TRANS ANALYSIS											
	GEOMETRY CHANGE		판막 OK 면 설계 완료, 판막 NG 면 MODULE DESIGN 재 검토	1.2	0.39	7,800	7,800	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.39
구매/제작	BULK ITEM	DQCS	Human Error 를 줄여 재시공 가능성을 줄임, 지재 Allowance 감소	5.9	2.01				0.0%	-1.3%	-1.3%	1.89
		컴택트, 최적화, 인터페이스, 고립부 관리	설계 기간 단축 및 최적화로 완성도가 높은 상황에서 최적 지재 발주 가능	5.2	1.77				0.0%	-1.4%	-1.4%	1.67
	MAJOR EQUIPMENT	변동 없음		55.4	0.00				0.0%	0.0%	0.0%	0.00
	MODULE FABRICATION	시공성 시뮬레이터	설치 순서 확인 및 설치시 간섭 확인으로 지재구매 스케줄 설정 및 설계변경 및 재시공 감소		18.64				0.0%	0.0%	0.0%	18.01
시공	LOAD-OUT	P-TAIS	Path Finding 시간 단축에 따른 공사기간 확보(간접효과)	0.2	0.07				0.0%	0.0%	0.0%	0.07
	SEA TRANSPORTATION	해상 운송성 시뮬레이터 Weight Balance 설계 자동화 SW 지지보강재 설계 자동화 SW	계산 간소화로 시간 단축에 따른 공사기간 확보 (간접효과)	4.1	1.33				0.0%	0.0%	0.0%	1.33
	LOAD-IN	P-TAIS	Path Finding 시간 단축에 따른 공사기간 확보(간접효과)	0.3	0.10				0.0%	0.0%	0.0%	0.10
	INSTALLATION	시공성 시뮬레이터	설치 순서 및 설치시 간섭 확인으로 재시공 가능성을 줄임	5.3	1.72				1.2%	0.0%	1.2%	1.68
		DQCS	설계상 Human Error 를 줄여 재시공 가능성을 줄임	6.1	1.98				0.2%	0.0%	0.2%	1.97
합계				100.0	33.3	113,357	105,177		-5.1%			31.6

* 규모가 1차 Test-Bed 에 비해 큰 편으로 1차 Test 결과와 유사한 결과를 확인함

단, ADNOC 프로젝트는 NASR 프로젝트에 비해 해상 운송 거리가 대폭 늘어남 (10km -> 195km) 으로 해상 운송 시뮬레이션 및 해석 비중이 상승하여 관련 S/W의 활용도가 커져서 영향도가 커질 것으로 예상됨.

* 일반적으로 해상 운송은 전문 업체에 외주로 진행하여 자체적으로 검증할 방법이 없었으나 산출물을 통해 검증을 진행 할 수 있게 되었음

- 업계 설문

- 본 시스템의 개선과 사업화를 위해 현업 전문가들에게 대표 성과인 DQCS와 P-TAIS의 사용성과 만족도에 대해 아래와 같이 설문을 진행

	DQCS			
번호		분류	질문	사용자 평가 (평균)
1	SW성능/기능 평가	프로그램의 속도 및 효율	DQCS의 설계 오류 검출 속도는 프로젝트 규모에 비추어볼 때, 인력이 직접 투입되어 진행하는 것에 비해 어느 정도 빠릅니까?	
2		프로그램	DQCS의 UI(User Interface)는 실무 담당자가 사용하기에 적절합니까?	

3		의 디자인 및 편의성	DQCS의 UI(User Interface)는 실무 담당자가 정보를 이해하기에 직관적입니까?	
4			DQCS의 Result Report는 실무 담당자가 활용하기에 적절합니까?	
5			DQCS의 결과 화면은 실무 담당자가 정보를 이해하기에 직관적입니까?	
6		프로그램의 전문성	DQCS의 주 기능인 설계 오류 검출 기능에 만족하십니까?	
7	SW의 효과		DQCS가 적용된다면 설계 검토 시간을 어느 정도 단축시킬 수 있을 것으로 예상하십니까?	
8			DQCS가 적용되면 현장 설계 변경률이 어느 정도 감소할 것으로 예상하십니까?	
9			DQCS가 적용되면 엔지니어링 각 단계에서 설계 오류 개선율이 어느 정도 증가할 것이라고 생각하십니까?	
10			DQCS가 적용되면 재시공으로 발생하는 용접량이 어느 정도 감소할 것으로 예상하십니까?	

	P-TAIS		
번호	**분류**	**질 문**	**사용자 평가 (평균)**
1	P-Tais 성능/기능 평가	P-TAIS 시스템의 운송수단은 현재 등록된 DB로 관리되고 있습니다. 운송수단에 대한 개별 등록이 가능하도록 하는 것이 더 편리하다고 생각하십니까?	
2		P-TAIS 시스템에서 프로젝트 생성이 어려웠습니까?	
3		P-TAIS 시스템에서 프로젝트 생성에서 더 필요한 정보가 있다고 생각하십니까?	
4		P-TAIS 모듈에서 모듈정보 생성의 어려움이 있었습니까?	
5		P-TAIS 시스템에서 모듈 생성에서 더 필요한 정보가 있다고 생각하십니까?	
6		P-TAIS 시스템의 커스텀 패스 생성은 어려웠습니까?	
7		P-TAIS 시스템에서 커스텀 패스 생성에서 더 필요한 정보가 있다고 생각하십니까?	
8		P-TAIS의 아날리시스에서 분석정보는 충분히 제공되고 있다고 생각하십니까?	
9		분석을 통한 비용계산에는 충분히 타당하다고 생각하십니까?	

- 설문조사 결과

SW평가 설문

DQCS				설문자 평가												결과		
				코리아 엔지니어링				웰즈엔지니어링			지랩							
번호		분류	질문	최민수 대표이사	최성호 차장 배관팀	김태영 과장 계장팀	이용준 상무	신정현 과장 토건팀	김대현 과장 토건팀	김홍구 상무 기계팀	박주현 차장 배관팀	서정두 차장 배관팀	안광민 대리 배관팀	이유영 차장 토목팀	이용석 과장 배관	계	평균	100분위
1	SW성능/기능 평가	프로그램의 속도 및 효율	DQCS의 설계 오류 검출 속도는 프로젝트 규모에 비추어볼 때, 인력이 직접 투입되어 진행하는 것에 비해 어느 정도 빠릅니까?	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5	56	4.67	93.3
2		프로그램의 디자인 및 편의성	DQCS의 UI(User Interface)는 실무 담당자가 사용하기에 적절합니까?	3	4	4	3	5	4	3	5	3	3	4	4	45	3.75	75.0
3			DQCS의 UI(User Interface)는 실무 담당자가 정보를 이해하기에 직관적입니까?	3	3	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	43	3.58	71.7
4			DQCS의 Result Report는 실무 담당자가 활용하기에 적절합니까?	4	4	4	4	5	5	4	5	5	3	5	5	53	4.42	88.3
5			DQCS의 결과 화면은 실무 담당자가 정보를 이해하기에 직관적입니까?	5	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5	4	55	4.58	91.7
6		프로그램의 전문성	DQCS의 주 기능인 설계 오류 검출 기능에 만족하십니까?	5	4	4	5	5	4	4	5	5	4	5	4	54	4.50	90.0
7	SW의 효과		DQCS가 적용된다면 설계 검토 시간을 어느 정도 단축시킬 수 있을 것으로 예상하십니까?	5	3	3	4	4	4	4	5	4	5	5	4	50	4.17	83.3
8			DQCS가 적용되면 현장 설계 변경률이 어느 정도 감소할 것으로 예상하십니까?	5	3	4	4	4	4	3	5	5	4	5	5	51	4.25	85.0
9			DQCS가 적용되면 엔지니어링 각 단계에서 설계 오류 개선율이 어느 정도 증가할 것이라고 생각하십니까?	4	4	4	4	4	4	3	5	4	4	5	4	49	4.08	81.7
10			DQCS가 적용되면 재시공으로 발생하는 용접량이 어느 정도 감소할 것으로 예상하십니까?	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	5	5	52	4.33	86.7
	P-TAIS																	
1	P-Tais 성능/기능 평가		P-TAIS 시스템의 운송수단은 현재 등록된 DB로 관리되고 있습니다. 운송수단에 대한 개별 등록이 가능하도록 하는 것이 더 편리하다고 생각하십니까?	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	51	4.25	85.0
2			P-TAIS 시스템에서 프로젝트 생성이 어려웠습니까?	5	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	51	4.25	85.0
3			P-TAIS 시스템에서 프로젝트 생성에서 더 필요한 정보가 있다고 생각하십니까?	4	5	4	4	5	5	4	4	4	3	4	5	51	4.25	85.0
4			P-TAIS 모듈에서 모듈정보 생성의 어려움이 있었습니까?	4	4	4	4	5	5	5	4	5	4	4	4	52	4.33	86.7
5			P-TAIS 시스템에서 모듈 생성에서 더 필요한 정보가 있다고 생각하십니까?	5	4	3	4	5	5	3	4	4	3	4	3	47	3.92	78.3
6			P-TAIS 시스템의 커스텀 패스 생성은 어려웠습니까?	5	5	4	4	4	5	4	5	5	4	4	4	53	4.42	88.3
7			P-TAIS 시스템에서 커스텀 패스 생성에서 더 필요한 정보가 있다고 생각하십니까?	5	4	4	4	4	3	4	4	5	4	3	5	49	4.08	81.7
8			P-TAIS의 아날리시스에서 분석정보는 충분히 제공되고 있다고 생각하십니까?	4	5	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	51	4.25	85.0
9			분석을 통한 비용계산에는 충분히 타당하다고 생각하십니까?	4	4	4	3	5	5	4	3	5	4	4	4	49	4.08	81.7

- 설문 조사 결과 분석

DQCS

- 인력 투입 경우 대비 오류 검출 속도에 대해서는 매우 긍정적인 평가를 받음.
- 프로그램의 UI는 평가 항목 중 가장 점수가 낮음. 상용화를 위해 UI설계를 개선할 필요가 있음
- 결과 화면에 대해서는 긍정적인 평가를 받음. 해당 설계 데이터 내의 오류들을 Visualization하는 것에 대해 긍정적인 평가로 판단됨
- 오류 검출 기능에 대해서는 긍정적인 평가를 받음
- DQCS 적용시 설계 검토기간 단축에 대한 기대치는 약 20%~30%로 확인
- DQCS 적용시 현장 설계 변경률 감소에 대한 기대치는 약 20%~30%로 확인
- DQCS 적용시 설계 설계오류 개선률에 대한 기대치는 약 20%~30%로 확인
- DQCS 적용시 제시공으로 소요되는 용접량 감소에 대한 기대치는 약 20%~30%로 확인
- DQCS는 설문대상자의 경험에 비추어볼 때 최소 20%의 설계검토기간 단축, 설계 변경률 감소, 설계 오류 개선율, 용접량 감소를 기대할 수 있다는 결론을 유추

P-Tais

- 운송수단에 대한 개별등록 가능을 대부분 희망함. 현재 등록되어있는 SPMT 외에 가능한 운송수단을 추가 희망.
- P-Tais 상에서 프로젝트 생성은 쉬운 편이라는 평가 결과를 얻음.
- P-Tais 상에서 프로젝트 생성에 P-TAIS가 제공하는 정보로 충분하다고 확인됨
- 사용자들은 P-Tais 상에서 모듈 생성시 조금 더 많은 정보를 원함
- P-Tais를 사용하여 커스텀 패스 생성하는 게 어렵지 않다는 의견. 사용법이 크게 어렵지 않다는 평가.
- 커스텀 패스에 필요한 정보가 조금 더 있다는 평가. 현재의 지도상에 표시되는 루트에 좀 더 다양한 정보가 표시되어야 한다는 의견.
- 패스 분석 정보는 대부분 만족함.
- 분석을 통한 비용계산은 대부분 만족하나 좀 더 정확한 계산을 위한 품셈 데이터가 필요함.

(6) SW 인증

본 과제에서 개발된 SW들의 기능과 정량적 목표 확인을 위해 SW인증을 진행

요소기술 구분	제목	신청기관	시험일자	성적서번호	인증기관
3-나	DQCS	플랜트에셋	2019.12.24~2019.12.26	201912-VSW-177-R	TECEL ICT 시험인증연구소
3-다	운송성/시공성 평가 시뮬레이터 SW	플랜트에셋	2019.12.24~2019.12.27	201912-VSW-168-R	TECEL ICT 시험인증연구소
3-라	P-Tais V2.0	연세대학교 산학협력단	2020.1.3~2020.1.7	201912-VSW-185-R	TECEL ICT 시험인증연구소
3-마	플랜트 모듈 구조 안정화 설계해석 지원시스템	고등기술연구원	2019.12.27~2019.12.31	201912-VSW-175-R	TECEL ICT 시험인증연구소

2.3 연구 개발 성과

2.3.1 논문 게재 성과

(게재 연도, 논문명, 저자명, 학술지명, Vol.(No.), 국내외 구분, SCI구분, 등록・기탁 번호)

No.	요소기술 구분	SCI/ 일반	논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol. (No)	시작 페이지	끝 페이지	게재 일자
1	3-라	SCI	Development of Transportability Evaluation System using Swept Path Analysis and Multi-body Dynamics Simulation	JMST	ISSN	황현태	31	5359	5365	2017.11.21.
2	3-라	SCI	A Process integrated engineering knowledge acquisition and management model for a project based manufacturing	IJPEM	ISSN	한진택	18	175	185	2017.02.05.
3	3-라	SCI	Development of a customizable web-based process analysis system for continuous process management	JMST	ISSN	장영훈	31	3481	3487	2017.08.01.
4	3-라	SCI	Modified A-star algorithm for modular plant land transportation	JMST	ISSN	강남규	32	5563	5571	2019.07.10.
5	3-라	SCI	A study on the optimal route design considering time of mobile robot using recurrent neural network and reinforcement learning	JMST	ISSN	우민혁	32	4933	4939	2018.10.23.
6	3-라	SCI	A Study on the Condition Based Maintenance Evaluation System of Smart Plant	JMST	ISSN	이수홍				2019.12.28
7	3-라	SCI	Three Dimensional Model Retrieval in Single Category Based on Construction of Local Ontology Created by Object Part Segmentation Using Deep Neural Network	Journal of Computing and Information Science in Engineering(JCISE)	ISSN	이수홍	JCISE -18-1 024			2019.12.28
8	3-라	SCI	Layered discrete event system specification for a ship production scheduling model	Simulation Modelling Practice and Theory	ISSN	구본근, 정현, 한순흥	96			2019.12.28
9	3-마	일반	플랜트 모듈화 지지보강재 구조해석 설계지원시스템 개발	대한기계학회 생산 및 설계공학 부문 2016년도 춘계학술대회 논문집	ISSN	김형진	2016			2016.5.25
10	3-마	일반	플랜트 모듈화 구조 설계 간편화 소프트웨어 툴 개발	2019 한국 CDE 학회 하계 학술발표회 논문집	ISSN	김형진	2019 하계			2019.8.19
11	3-마	일반	플랜트 모듈 구조 보강재 설치 위치 및 형상 설계 자동화 알고리즘 개발	2019 한국 CDE 학회 동계 학술발표회 논문집	ISSN	김형진	2019 동계			2019.1.23
12	3-다	일반	플랜트 협업 단위 모듈화 지식기반 시스템 및 운송성/시공성 평가 시뮬레이션 기술 개발	대한토목학회지	ISSN	조시연; 이수홍; 김형진; 권영현; 이경호	67			2019.01.01
13	3-나	일반	유전 알고리즘 기반의 작업공간을 고려한 배관 스풀에 관한 연구	전산구조공학회	ISSN	유성상	20(1)	77	83	2016.02.
14	3-나	일반	의사결정트리 학습을 적용한 조선소 적치 위치 선정에 관한 연구	대한조선학회논문집	ISSN	남병욱	54(5)	421	429	2017.10.
15	3-나	일반	플랜트용 CAD시스템 간 장비 모델 변환 방법 및 구현에 관한 연구	한국CDE학회 논문집	ISSN	이재준	23(4)	422	431	2018.12.

2.3.2 연구 발표 성과

No	발표논문명	주저자명	학술대회명	발표일	개최지 (국가, 지역)	국외/ 국내	연차
1	플랜트 모듈 구조 안정성을 위한 해석 활용 기술	김형진	플랜트융합기술컨퍼런스 2015	2015.12.03	한국 COEX	국내	2
2	Swept Path Analysis 기반 모듈화 플랜트 운송 가능성 검증 알고리즘 및 자동화 시스템 개발	황현태	2016 동계 한국 CAD/CAM 학회	2016.01.28.	대한민국, 강원도 평창	국내	3
3	플랜트 모듈 운송 시 안전성 평가를 위한 Multi-Body Dynamics Simulation 의 활용.	김희찬	2016 동계 한국 CAD/CAM 학회	2016.01.28.	대한민국, 강원도 평창	국내	3
4	선회 기하학적 분석 및 다물체 동역학 시뮬레이션을 활용한 차량의 주행 가능성 평가에 관한 연구	황현태	2016 춘계 대한기계학회 생산설계부문	2016.05.26.	대한민국, 전라남도 여수	국내	3
5	플랜트 모듈화 설계 시공성 및 운송성 검증 해석 방안 연구	김형진	대한기계학회 생산 및 설계공학부문 2016년도 춘계학술대회	2016.05.26	한국 히든베이호텔	국내	2
6	Development of Transportability Evaluation System using Swept Path Analysis and Multi-body Dynamics Simulation	황현태	ISGMA(International Symposium on Green Manufacturing and Applications) 2016	2016.06.24.	인도네시아, 발리	국외	3
7	Development of Automation System For Constraints Extraction During Plant Module Transportation	김희찬	ISGMA(International Symposium on Green Manufacturing and Applications) 2016	2016.06.24.	인도네시아, 발리	국외	3
8	운송 시 고려 조건 파악을 위한 플랜트 모듈 운송 평가 시스템 개발	황현태	2016 한국CDE학회 부문연합 학술대회	2016.08.26.	대한민국, 부산	국내	3
9	플랜트 지식 설계 시스템 플랫폼 인터페이스 설계 방안	이정민 /이경호	한국CDE학회	16.08.26	대한민국/서울	국내	3
10	플랜트 모듈 구조물 운송성 시공성 검증을 위한 해석 기술 활용	김형진	플랜트융합기술컨퍼런스 2016	2016.11.23	한국 COEX	국내	3
11	플랜트 지식 설계 시스템 플랫폼 인터페이스 설계 방안	이정민 /이경호	2016플랜트 융합기술	16.11.23	대한민국/서울	국내	3
12	플랜트 모듈 구조물 지지대 설계를 위한 해석 응용 소프트웨어 설계 방안 연구	김형진	한국CDE학회 2017년도 동계학술대회	2017.02.08	한국 휘닉스파크	국내	3
13	모듈화 플랜트의 운송성 고려 설계 지원을 위한 시스템 모듈 개발 연구	우민혁	2017 한국CDE학회 동계학술대회	2017.02.09.	대한민국, 강원도 평창	국내	4
14	플랜트 모듈화 설계를 위한 구조 설계 지원 시스템 개발 방안 연구	김형진	대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 2017년도 춘계학술대회	2017.05.26	한국 BEXCO	국내	4
15	모듈플랜트의 육상운송경로평가를 위한 플랜트 운송 분석 정보 시스템 개발	이수홍	2017 한국CDE학회 하계학술대회	2017.08.17.	대한민국, 서울	국내	4
16	플랜트 지식 설계 시스템 플랫폼 구축 방안 연구 및 개발 사례 소개	이정민 /이경호	2017플랜트 융합기술	2017.09.15	대한민국/서울	국내	4
17	플랜트 모듈화 무게 균형 설계 소프트웨어 개발	김형진	플랜트융합기술컨퍼런스 2017	2017.09.15	한국 COEX	국내	4
18	해석 시뮬레이션 기반 플랜트 운송 경로 최적화에 관한 알고리즘 및 시스템 개발	강남규	2017 플랜트 융합기술 컨퍼런스	2017.09.15.	대한민국, 서울	국내	4
19	플랜트 모듈화 구조 설계 안정성 검토를 위한 무게 균형 설계 지원 소프트웨어 개발	김형진	대한기계학회 2017년도 학술대회	2017.11.02	한국 제주국제컨벤션센터	국내	4
20	모듈화 플랜트 운송시 A-star 알고리즘을 활용한 경로 추천	강남규	2018 한국CDE학회 동계학술대회	2018.01.23.	대한민국, 평창	국내	5

	알고리즘 개발						
21	지식엔진 인터페이스 설계 방안 연구	이정민 /이경호	한국CDE학회	18.01.24	대한민국/평창	국내	5
22	플랜트 모듈 운송 시공성 검토를 위한 구조 해석 설계 절차 간편화 방안 연구	김형진	한국CDE학회 2018년도 동계학술대회	2018.01.24	한국 웰리힐리파크	국내	5
23	플랜트 모듈 육상 운송용 SPMT 구조 설계	김형진	한국CDE학회 2018년도 하계학술대회	2018.08.23	한국 휘닉스제주	국내	5
24	모듈화 플랜트 육상 운송성 평가 지원 시스템개발에 관한 연구	강남규	2018 한국CDE학회 하계학술대회	2018.08.23.	대한민국, 제주	국내	5
25	모듈화 플랜트 운송 관리 시스템에 관한 연구	이인학	2018 한국CDE학회 하계학술대회	2018.08.23.	대한민국, 제주	국내	5
26	플랜트 모듈 구조 설계 지원 시스템 개발	김형진	플랜트융합기술컨퍼런스 2018	2018.12.07	한국 COEX	국내	5
27	플랜트 모듈 구조 보강재 설치 위치 및 형상 설계 자동화 알고리즘 개발	김형진	한국CDE학회 2019년도 동계학술대회	2019.01.25	한국 휘닉스파크	국내	6
28	육상 모듈화 플랜트 운송을 위한 통합관리 시스템 개발 및 연구	이인학	2019 한국CDE학회 동계학술대회	2019.01.26.	대한민국, 평창	국내	6
29	웹 기반 육상 모듈화 플랜트 운송 프로젝트 통합 관리 및 분석 시스템 개발	이인학	2019 대한기계학회 플랜트부문 학술대회	2019.05.23.	대힌민국, 부산	국내	6
30	Web-based Information System for Evaluating Feasibility of Modular Plant Land Transportation	손호준	ICALT(International Conference on Advanced Logistics and Transport)	2019.06.15.	모로코, 마라케시	국외	6
31	Object Size Detection using Deep learning in Road Pre-survey for Efficient Plant Transportation	이인학	i3CDE(international congress and Conferences on Computational Design and Engineering) 2019	2019.07.09.	말레이시아, 페낭	국외	6
32	딥러닝 기술을 활용한 육상 모듈화 플랜트 운송 평가 시스템 개발 연구	이인학	2019 한국CDE학회 하계학술대회	2019.08.20.	대한민국, 제주	국내	6
33	플랜트 모듈화 구조 설계 간편화 소프트웨어 툴 개발	김형진	한국CDE학회 2019년도 하계학술대회	2019.08.20	한국 휘닉스제주	국내	6
34	조선/플랜트 설계 검증을 위한 지식관리포털 개발사례 소개	이정민 /이경호	한국CDE학회	19.08.21	대한민국/제주	국내	6
35	플랜트 모듈 구조물 운송 해석 도구 개발	김형진	대한기계학회 2019년도 학술대회	2019.11.15	한국 제주국제컨벤션센터	국내	6
36	플랜트 모듈 구조 해석 설계 간편화 시스템 개발	김형진	플랜트융합기술컨퍼런스 2019	2019.11.28	한국 COEX	국내	6
37	Cost Evaluation System for Plant Transportation Over Land	이인학	Simul 2019	2019.11.	스페인, 발렌시아	국외	6

2.3.3 특허 성과

* 출원: 출원 연도, 특허명, 출원인, 출원국, 등록·기탁 번호 / 등록: 등록 연도, 특허명, 등록인, 등록·기탁 번호

No.	요소 기술 구분	특허명칭	등록번호 /출원번호	등록일 /출원일	출원인 (등록권리자)
1	3-가	플랜트 엔지니어링에 대한 3D CAD 모델링 데이터의 통합관리 방법	101767230 /10-2018-0026083	2017.08.04 /2017.2.28	플랜트에셋
2	3-나	설계 RULE 체크를 통한 플랜트 3D 캐드 모델링의 설계 품질 향상방법	101769433 /10-2017-0026082	2017.08.11 /2017.2.28	플랜트에셋
3	3-아	단위 모듈 리프팅 효율성 향상을 위한 탈착형 러그	/1020160183213	/2016.12.30	필즈
4	3-나	의사결정트리 학습을 이용한 조선소 블록 적치장 선정 방법	/1020170096295	/2017.07.28	인하대
5	3-바	지식기반을 활용한 배관경로생성과 이를 이용한 플랜트 최적 배치방법	101889422 /10-2017-0002520	2018.8.10 /2017.0106	KAIST
6	3-바	플랜트 3차원 파이프 라우팅 지원 (Plant3-D Pipe Routing Support)	/N04180053	/2018.11.25	KAIST
7	3-나	플랜트 엔지니어링에 대한 3D캐드모델의 엔지니어링 데이터 정합성 검사방법	102046147 /10-2018-0172543	2018.12.28 /2019.11.12	플랜트에셋
8	3-나	교차로 구간 회전 및 감속을 고려한 트랜스포터 최소 공주행 운영계획 방법	/10-2017-0096296	/2017.07.28	인하대
9	3-라	단말기와 차량 거치대를 이용한 데이터 수집 시스템	10-2019-0174103	/2018.12.24	연세대
10	3-나	플랜트 엔지니어링에 대한 3D캐드모델의 엔지니어링 데이터 정합성 검사 및 설계 Rule 체크를 통한 설계 품질 검사방법	/PCT/KR2019/016601	/2019.11.28	플랜트에셋
11	3-사	모듈 시공성 평가 시뮬레이션 S/W 개발	P-18663	/2019.12.27	KAIST

2.3.4 기술 요약 정보

- 기술 요약 정보(연도, 기술명, 요약 내용, 기술 완성도(아이디어 창안·특허만 신청·기술 개발 진행 중·기술 개발 완료·실용화 단계·시장 개척 단계·기타), 등록·기탁 번호)

No.	특허명칭	요약	완성도	등록번호 /출원번호	연도
1	단위 모듈 리프팅 효율성 향상을 위한 탈착형 러그	기존 용접식 보다 작업 효율을 올릴 수 있는 조립식 러그	기술개발 진행중	/1020160183213	3
2	플랜트 설계 지식 표현 방법 및 그 장치	설계 지침과 규정을 DB화하여 저장 및 이용하는 기술	기술개발 진행중		3
3	플랜트 엔지니어링에 대한 3D CAD 모델링 데이터의 통합관리 방법	다종의 3D 설계 솔루션의 DATA를 통합 관리하는 S/W	기술개발 진행중	101767230	4
4	설계 RULE 체크를 통한 플랜트 3D 캐드 모델링의 설계 품질 향상방법	DB화한 설계 지침과 규정을 사용하여 3D 설계 DATA를 SW가 자동으로 검토	실용화 단계	101769433	4
5	지식기반을 활용한 배관경로생성과 이를 이용한 플랜트 최적 배치방법	DB화한 설계 지침과 규정을 사용하여 Unit 설치시 배관 최적 경로를 산출하여 unit설치 위치 선정	기술개발 진행중	101889422 /1020170002520	4
6	설계 데이터 Schema 기반 플랜트 설계 지식 표현 장치 및 그 방법	설계 지침과 규정을 DB화하여 저장 및 이용하는 기술	기술개발 진행중	/2017.10.24	4
7	플랜트 3차원 파이프 라우팅 지원 (Plant3-D Pipe Routing Support)	배관 최적 경로를 3차원으로 산출	기술개발 완료	/N04180053	5
8	플랜트 엔지니어링에 대한 3D캐드모델의 엔지니어링 데이터 정합성 검사방법	DB화한 설계 지침과 규정을 사용하여 3D 설계 DATA를 SW가 자동으로 검토	실용화 단계	/10-2018-0172543	5

2.3.5 보고서 원문

(연도, 보고서 구분(중간・최종), 발간일, 등록・기탁 번호)

No.	제목	구분	저작자명	발간일	등록번호	연도
1	데이터 관리 기술현황 보고서	중간	조시연	2016.04.28	[A-1-1-1]	2
2	모델 관리 기술현황 분석 보고서	중간	조시연	2016.04.28	[A-1-1-2]	2
3	모델 데이터 관리 SW모듈 개념설계 보고서	중간	조시연	2016.04.28	[A-1-2]	2
4	공간적 모듈 분할 설계 방법론 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[A-2-1]	2
5	기능적 모듈 분할 설계 방법론 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[A-2-2]	2
6	공간적 모듈 분할 설계 요구 사항 분석 보고서(LIST)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-2-3]	2
7	기능적 모듈 분할 설계 요구 사항 분석 보고서(LIST)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-2-4]	2
8	협업단위 모듈화 최적배치 설계 사례조사서	중간	정 현	2016.04.26	[A-3-1]	2
9	협업단위 모듈화 최적화 정식화 선행연구 조사서pptx	중간	정 현	2016.04.26	[A-3-2]	2
10	컴팩트_최적화 모듈설계 지침서 내 요구사항 및 프로세스 공정상 제한조건 분석 보고서	중간	정 현	2016.04.26	[A-3-3]	2
11	플랜트모듈 2차원 배치 최적화 모듈 개발보고서	중간	정 현	2016.4.28	[A-3-4]	2
12	공간적 최적 배치 설계 사례 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[A-4-1]	2
13	기능적 최적 배치 설계 사례 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[A-4-2]	2
14	공간적 최적 배치 요구 사항 분석 보고서(LIST)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-4-3]	2
15	기능적 최적 배치 요구 사항 분석 보고서(LIST)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-4-4]	2
16	다수모듈 인터페이스 설계 사례조사서	중간	정 현	2016.04.26	[A-5-1]	2
17	최적배치를 위한 GUI사례조사서	중간	정 현	2016.04.26	[A-5-2]	2
18	공간적 인터페이스 설계 사례 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[A-6-1]	2
19	기능적 인터페이스 설계 사례 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[A-6-2]	2
20	Weight Balance 설계 SW 모듈 요구사항 분석서	중간	김형진	2016.04.26	[A-7-1]	2
21	Weight Balance 설계방법론 조사서(1)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-8-1]	2
22	Weight Balance 설계방법론 조사서(2)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-8-2]	2
23	지지보강재 설계 SW 모듈 요구사항 분석서	중간	김형진	2016.04.26	[A-9-1]	2
24	지지_보강재_LUG 설계방법론 조사서(1)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-10-1]	2
25	지지_보강재_LUG 설계방법론 조사서(2)	중간	김윤수	2016.04.28	[A-10-2]	2
26	지식기반 시스템 방법론 및 툴 분석	중간	이경호	2016.04.28	[B-1-1]	2
27	지식 기반 시스템 요구사항 분석	중간	이경호	2016.04.28	[B-1-2]	2
28	구성 요소기술들 간의 연계 통합 계획서	중간	이경호	2016.04.28	[B-1-3]	2
29	데이터, 프로세스, 지식기반 시스템 플랫폼 상세 설계	중간	이경호	2016.04.28	[B-1-4]	2
30	지식기반 설계 CAD / CAX S / W모듈 연동 방법 / 사양 / 아키텍처 정의	중간	이경호	2016.04.28	[B-1-5]	2
31	운송성 / 시공성 평가 시뮬레이터 연동 방법 / 사양 / 아키텍처 정의	중간	이경호	2016.04.28	[B-1-6]	2
32	플랜트 운송선적하역 계획 검증 기술 분석 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-1]	2
33	플랜트 운송 시뮬레이션 시스템 및 SW 기술 분석 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-2]	2
34	SW 설계 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-2-1]	2
35	SW 설계 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-2-2]	2
36	SW 설계 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-2-3]	2
37	SW 설계 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-2-4]	2
38	SW 설계 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-2-5]	2

39	플랜트 운송 시스템 요구사항 분석 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-1-3]	2
40	플랜트 운송선적하역 시스템 기술 현황 분석 보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-2-1]	2
41	플랜트 운송 시스템 요구사항 분석보고서	중간	이수홍	2016.04.26	[C-2-2]	2
42	협업단위 모듈화 시공성 평가 사례보고서	중간	정 현	2016.04.26	[C-3-1]	2
43	협업단위 모듈화 현장물류 관련 선행연구 조사서	중간	정 현	2016.04.26	[C-3-2]	2
44	시공네트워크 관련 선행연구 조사서	중간	정 현	2016.04.26	[C-3-3]	2
45	WBS 기반 운송,물류 등을 고려한 시공순서 대안의 자동생성 기술 개발 보고서	중간	정 현	2016.04.26	[C-3-4]	2
46	시공성 평가 개발 요구사항 분석 보고서	중간	정 현	2016.04.26	[C-4-1]	2
47	시공성 평가 프로세스 공정상 제한조건 조사보고서	중간	정 현	2016.04.26	[C-4-2]	2
48	운송성 시공성 평가 시뮬레이션 방법론 및 툴 분석서	중간	조시연	2016.04.28	[D-1-1]	2
49	운송성 시공성 평가 시뮬레이터 요구사항 분석서	중간	조시연	2016.04.28	[D-1-2]	2
50	구성 요소기술들 간의 연계 통합 계획서	중간	조시연	2016.04.28	[D-1-3]	2
51	데이터, 프로세스 상세 설계 시공성 운송성 평가 시뮬레이터 플랫폼 설계서	중간	조시연	2016.04.28	[D-1-4]	2
52	운송성 시공성 설계 SW간 연동 아키텍처 정의 보고서	중간	조시연	2016.04.28	[D-1-5]	2
53	유닛 조합 공용 라이브러리 시스템 형상 API 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[E-1-1]	2
54	유닛 조합 공용 라이브러리 요구사항 분석 보고서	중간	김윤수	2016.04.28	[E-1-2]	2
55	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 시스템 형상 API 조사서	중간	김윤수	2016.04.28	[E-2-1]	2
56	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 요구사항 분석 보고서	중간	김윤수	2016.04.28	[E-2-2]	2
57	데이터_모델 관리 구현 프로그램 설계 보고서	중간	조시연	2016.12.28	[A-1-1]	3
58	데이터_모델 관리 시스템 평가 보고서	중간	조시연	2016.12.28	[A-1-2]	3
59	검증대상 설계자료 정리(Ⅰ)	중간	김윤수	2017.01.03	[A-2-1-1]	3
60	검증대상 설계자료 정리(Ⅱ)	중간	김윤수	2017.01.03	[A-2-1-2]	3
61	3차원 최적화 모듈 정보 자동추출기술 개발 보고서	중간	정 현	2016.12.30	[A-3-1]	3
62	EA 기반 3차원 최적화 모듈 개발 보고서	중간	정 현	2016.12.30	[A-3-3]	3
63	인터페이스 설계 및 교합부 관리 최적화 모듈 개발 보고서	중간	정 현	2016.12.30	[A-5-1]	3
64	공간적 인터페이스 요구사항 분석 보고서(LIST)	중간	김윤수	2017.01.03	[A-6-1-1]	3
65	기능적 인터페이스 요구사항 분석 보고서(LIST)	중간	김윤수	2017.01.03	[A-6-1-2]	3
66	Weight Balance SW 모듈 요구사항 분석서	중간	김형진	2016.12.30	[A-7-1]	3
67	Weight Balance 설계 SW 모듈 설계서	중간	김형진	2016.12.30	[A-7-2]	3
68	Weight Balance 요구사항 LIST	중간	김윤수	2017.01.03	[A-8-1]	3
69	지지보강재 설계 SW 모듈 요구사항 분석서	중간	김형진	2016.12.30	[A-9-1]	3
70	지지보강재 설계 SW 모듈 설계서	중간	김형진	2016.12.30	[A-9-2]	3
71	지지_보강재_LUG 설계 요구사항 LIST	중간	김윤수	2017.01.03	[A-10-1_A-10-2]	3
72	지식관리 포털 설계서	중간	조시연	2016.12.28	[B-1-1]	3
73	지식설계 플랫폼 설계서	중간	조시연	2016.12.28	[B-1-2]	3
74	Adapter 설계서 보고서	중간	조시연	2016.12.28	[B-1-3]	3
75	단위기능별 평가 보고서	중간	조시연	2016.12.28	[B-1-4]	3
76	플랜트 운송 검증 알고리즘 분석서	중간	이수홍	2016.12.30	[C-1-1]	3
77	운송 시뮬레이션 기술 분석	중간	이수홍	2016.12.30	[C-1-2]	3
78	플랜트 운송 요구사항 분석서	중간	이수홍	2016.12.30	[C-1-3]	3

79	플랜트 운송 평가요소 분석서	중간	이수홍	2016.12.30	[C-1-4]	3
80	플랜트 운송 기술 분석서	중간	이수홍	2016.12.30	[C-2-1]	3
81	운송성 평가 지침 분석서	중간	이수홍	2016.12.30	[C-2-2]	3
82	모듈 운송성시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼 SW 상세설계서	중간	조시연	2016.12.28	[D-1-1]	3
83	모듈 운송성시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼 개발을 위한 운송(Transportation) 해석 업무 및 산출물(보고서) 기술 분석 (1건)	중간	조시연	2016.12.28	[D-1-2-1]	3
84	모듈 운송성시공성 평가 시뮬레이터 기본 플랫폼 개발을 위한 시공(Installation) 해석 업무 및 산출물(보고서) 기술 분석 (1건)	중간	조시연	2016.12.28	[D-1-2-2]	3
85	운송성_시공성 평가 모듈 Adapter 인터페이스 설계서	중간	조시연	2016.12.28	[D-1-2-3]	3
86	운송성_시공성 평가 모듈 단위테스트 수행 보고서	중간	조시연	2016.12.28	[D-1-3]	3
87	유닛 조합 공용 라이브러리 개발 보고서(기계)	중간	김윤수	2017.01.03	[E-1-1-1]	3
88	유닛 조합 공용 라이브러리 개발 보고서(배관)	중간	김윤수	2017.01.03	[E-1-1-2]	3
89	유닛 조합 공용 라이브러리 단위 테스트 평가 보고서	중간	김윤수	2017.01.03	[E-1-2]	3
90	표준설계 라이브러리 개발 보고서(기계)	중간	김윤수	2017.01.03	[E-2-1-1]	3
91	표준설계 라이브러리 개발 보고서(배관)	중간	김윤수	2017.01.03	[E-2-1-2]	3
92	표준설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서	중간	김윤수	2017.01.03	[E-2-2]	3
93	데이터_모델 관리 시스템 연동결과 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[A-1-1]	4
94	데이터_모델 관리 시스템 연동평가 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[A-1-2]	4
95	모듈 연동 및 통합 컴팩트 최적화 SW 개발 보고서	중간	정현	2017.10.27	[A-3-1]	4
96	인터페이스 설계 및 교합부 관리 SW 개발 보고서	중간	정현	2017.10.27	[A-5-1]	4
97	플랜트_모듈_Weight_Balance_설계_업무_효율화_알고리즘_보고서	중간	김형진	2017.10.24	[A-7-1]	4
98	플랜트_모듈_지지보강재_설계_업무_효율화_알고리즘_보고서	중간	김형진	2017.10.24	[A-9-1]	4
99	운송성 시공성 평가 모듈 연동 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[B-1-1]	4
100	Weight balance 지지보강재 모듈 연동 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[B-1-2]	4
101	통합 및 테스트 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[B-1-3]	4
102	플랜트 운송 경로 추출 시스템 기능 및 구조 보고서	중간	이수홍	2017.10.25	[C-1-1]	4
103	플랜트 운송성 평가 관리 시스템 설계 보고서	중간	이수홍	2017.10.25	[C-1-2]	4
104	플랜트 운송성 평가 관리 DB 연동 시스템 설계 보고서	중간	이수홍	2017.10.25	[C-1-3]	4
105	플랜트 운송성 평가 지원 시스템 통합 DB 요구사항 분석 보고서	중간	이수홍	2017.10.25	[C-2-1]	4
106	플랜트 운송성 평가 지원 시스템 통합 DB 설계 보고서	중간	이수홍	2017.10.25	[C-2-2]	4
107	모듈 연동 및 통합 시공성 평가 시뮬레이션 적재이송설치 계획 검증 SW 개발 보고서	중간	정현	2017.10.27	[C-3-1]	4
108	모듈별 플랫폼 평가 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[D-1-1]	4
109	모듈별 플랫폼 연동 평가 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[D-1-2]	4
110	연동 테스트 수행 보고서	중간	조시연	2017.10.27	[D-1-3]	4
111	유닛조합 공용 라이브러리 개발 보고서(배관)	중간	권영현	2017.10.27	[E-1-1]	4
112	유닛조합 공용 라이브러리 개발 보고서(전기)	중간	권영현	2017.10.27	[E-1-1]	4
113	유닛조합 공용 라이브러리 단위 테스트 평가 보고서	중간	권영현	2017.10.27	[E-1-2]	4
114	표준설계 라이브러리 개발 보고서(배관)	중간	권영현	2017.10.27	[E-2-1]	4
115	표준설계 라이브러리 개발 보고서(전기)	중간	권영현	2017.10.27	[E-2-1]	4

116	표준설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서	중간	권영현	2017.10.27	[E-2-2]	4
117	데이터_모델관리 SW 사용자검증 평가 보고서_현업적용성 검증평가 보고서	중간	조시연	2018.11.07	[A-1-1, A-1-2]	5
118	모듈 연동 및 통합 컴팩트 최적화 SW 개발 보고서	중간	서효원	2018.11.07	[A-3-1]	5
119	모듈 연동 및 통합 인터페이스 설계 및 교합부 관리 SW 개발 보고서	중간	서효원	2018.11.07	[A-5-1]	5
120	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 자동화 SW 모듈 개발보고서	중간	김형진, 이현경	2018.11.07	[A-7]	5
121	플랜트 모듈 지지보강재 설계 자동화 SW 모듈 개발 보고서	중간	김형진, 이현경	2018.11.07	[A-9]	5
122	지식관리 포털 설계 및 테스트베드 구축 보고서	중간	조시연	2018.11.07	[B-1-1]	5
123	협업 단위 모듈화 플랜트 육상 운송성 평가 시스템 설계 보고서	중간	이수홍	2018.11.06	[C-1-1]	5
124	플랜트 운송성 평가를 위한 웹 기반 통합 관리 소프트웨어 개발 보고서	중간	이수홍	2018.11.06	[C-1-2]	5
125	모듈연동및통합시공성평가시뮬레이션적재이송 설치계획검증SW 개발 보고서	중간	서효원	2018.11.07	[C-3-1, C-3-2, C-3-3]	5
126	운송성시공성평가시뮬레이터(패키지)테스트및성능보고서	중간	조시연	2018.11.07	[D-1-1, D-1-2]	5
127	유닛조합 공용 라이브러리 개발 보고서(배관/전기)	중간	권영현	2018.11.30	[E-1-1]	5
128	유닛조합 공용 라이브러리 단위 테스트 평가 보고서	중간	권영현	2018.11.30	[E-1-2]	5
129	표준설계 라이브러리 개발 보고서(배관/전기)	중간	권영현	2018.11.30	[E-2-1]	5
130	표준설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서	중간	권영현	2018.11.30	[E-2-2]	5
131	데이터_모델 관리 SW 사용자 검증 평가보고서_현업 적용성 검증 평가보고서	최종	조시연	2019.12.26	[A-1-1] [A-1-2]	6
132	모듈 연동 및 통합 컴팩트 최적화 SW 개발 보고서	최종	서효원	2019.12.26	[A-3]	6
133	모듈 연동 및 통합 인터페이스 설계 및 교합부 관리 SW 개발 보고서	최종	서효원	2019.12.26	[A-5]	6
134	플랜트 모듈 Weight Balance 설계 자동화 SW 모듈 개발보고서	최종	김형진	2019.12.26	[A-7]	6
135	플랜트 모듈 지지보강재 설계 자동화 SW 모듈 개발 보고서	최종	김형진	2019.12.26	[A-9]	6
136	지식관리포털 및 지식베이스 구축 평가보고서	최종	조시연	2019.12.26	[B-1]	6
137	웹 기반 모듈화 플랜트 육상 운송성 가능성 평가 모듈 설계 보고서	최종	이수홍	2019.12.26	[C-1-1]	6
138	운송성 평가 웹 시스템 구현 설계 지침서	중간	이수홍	2019.12.26	[C-2-1]	6
139	모듈연동및통합시공성평가시뮬레이션적재이송 설치계획검증SW	최종	이수홍	2019.12.26	[C-3-1] [C-3-2]	6
140	운송성시공성평가시뮬레이터(패키지)테스트및성능보고서	최종	조시연	2019.12.26	[D-1-1] [D-1-2]	6
141	유닛조합 공용 라이브러리 개발 보고서(배관)	최종	권영현	2019.12.26	[E-1-1]	6
142	유닛조합 공용라이브러리 개발보고서(전기)	최종	권영현	2019.12.26	[E-1-1]	6
143	유닛조합 공용 라이브러리 단위 테스트 평가 보고서	최종	권영현	2019.12.26	[E-1-2]	6
144	표준설계 라이브러리 개발 보고서(배관)	최종	권영현	2019.12.26	[E-2-1]	6
145	표준설계 라이브러리 개발 보고서(전기)	최종	권영현	2019.12.26	[E-2-1]	6
146	표준설계 라이브러리 모듈 테스트 평가 보고서	최종	권영현	2019.12.26	[E-2-2]	6
147	Test Bed 선정 보고서	최종	권영현	2019.12.26	[F-1-1]	6
148	시스템 적용 계획서	최종	조시연/권영현	2019.12.26	[F-1-2]	6
149	시스템 적용 진행 내역 보고서	최종	조시연/권영현	2019.12.26	[F-2-1]	6
150	성능 정의 및 기대 목표 보고서_기존 프로젝트 비교 및 결과 분석 보고서	최종	조시연/권영현	2019.12.26	[F-2-2] [F-2-3]	6

2.3.6 소프트웨어

(연도, 소프트웨어명, 소프트웨어 구분(응용 소프트웨어・시스템 소프트웨어), 등록・기탁 번호)

No.	명칭	창작일	제작자	등록일	등록번호	저작권자
1	2차원 플랜트 모듈 최적배치 모듈	2016.03.30	최민주, 김상현, 이주희, 정현	2016.04.22	C-2016-009837	KAIST
2	다물체 동역학 시뮬레이션을 활용한 웹 기반 운송 안전성 평가 모듈	2016.02.01	황현태, 김희찬, 문권우, 우민혁, 이수홍, 연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사	2016.04.04	C-2016-008347	연세대
3	운송 가능성 시뮬레이션을 위한 적합 운송 경로 자동 추출 모듈	2016.02.01	황현태, 김희찬, 문권우, 우민혁, 이수홍, 연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사	2016.04.04	C-2016-008348	연세대
4	다 물체 동역학 시뮬레이션의 자동화를 위한 데이터베이스 연동 동적 변수 대응 자동화 보조 모듈	2016.02.01	황현태, 김희찬, 문권우, 우민혁, 이수홍, 연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사	2016.04.04	C-2016-008349	연세대
5	선회 기하학적 알고리즘을 활용한 곡선 경로 주행 가능성 추출 모듈	2016.04.01	황현태, 이지웅, 김희찬,우민혁, 이수홍 연세대학교산학협력단, 플랜트에셋주식회사	2016.05.17	C-2016-011872	연세대
6	복합적 분석방법을 적용한 운송 가능성 평가 알고리즘을 기반으로 한 운송성 평가 모듈	2016.04.01	황현태, 이지웅, 김희찬, 우민혁, 이수홍, 연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사,	2016.05.17	C-2016-011873	연세대
7	플랜트 시공네트워크 최적화 모듈	2016.03.30	최민주, 김상현, 이주희, 정현	2016.04.22	C-2016-010083	KAIST
8	플랜트건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발을 위한 3차원 플랜트 장비의 정보 자동 추출 및 변환모듈	2016.08.18	이병철, 이주희, 정현, 고지우, 구본근. 플랜트에셋 주식회사	2016.12.28	C-2016-034659	KAIST
9	AVEVA(아비바) 3D(3차원) 모델기반 설계품질검사 프로그램	2016.12.27	플랜트에셋 주식회사	2017.01.02	C-2017-000107	플랜트에셋
10	협업단위 모듈화 운송성 분석 프로그램	2016.12.27	플랜트에셋 주식회사	2017.01.02	C-2017-000106	플랜트에셋
11	효율적인 데이터/모델 관리를 위한 AVEVA(아비바) 3D(3차원) 모델 변환 프로그램	2016.12.27	플랜트에셋 주식회사	2017.01.02	C-2017-000105	플랜트에셋
12	플랜트 모듈 지지보강재 설계 데이터 입력 및 실행 제어 소프트웨어 모듈	2017.02.01	고등기술연구원	2016.12.28	C-2017-001130	고등기술
13	플랜트 모듈 크레인 시공 안정성 검토 소프트웨어 로직 모듈	2017.02.01	고등기술연구원	2016.12.28	C-2017-001131	고등기술
14	플랜트건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발을 위한 기존설계기반 3차원 플랜트 장비 배치와 배관 재설계(re-routing) 모듈	2016.11.01	이병철, 이주희, 정현, 고지우, 구본근. 플랜트에셋 주식회사	2016.12.28	C-2016-034661	KAIST
15	플랜트건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발을 위한 3차원 플랜트 장비 간 배관 최적화 모듈	2016.10.08	이병철, 이주희, 정현, 고지우, 구본근. 플랜트에셋 주식회사	2016.12.28	C-2016-034660	KAIST
16	모듈플랜트 시공을 위한 카운터 매스 무게 가이드라인 프로그램	2017.09.22	고등기술연구원	2017.09.22	C-2017-027258	고등
17	플랜트 모듈 모델 데이터 입력 분석 소프트웨어 모듈	2017.09.15	고등기술연구원	2017.09.22	C-2017-027260	고등
18	플랜트 모듈 모델 가시화 소프트웨어 모듈	2017.09.15	고등기술연구원	2017.09.22	C-2017-027259	고등
19	모듈화 플랜트 설계 평가 및 가시화모듈	2017.07.18	우민혁, 강남규, 플랜트에셋 주식회사, 이수홍	2017.10.18	C-2017-024961	연세대
20	플랜트 모듈 설계 부하 데이터 분석 및 이상치 검출 모듈	2017.06.09	우민혁, 강남규, 플랜트에셋 주식회사, 이수홍	2017.10.18	C-2017-024962	연세대
21	운송성 고려 모듈화 플랜트 협업 설계 지원 통합 인터페이스	2017.06.03	우민혁, 강남규, 플랜트에셋 주식회사, 이수홍	2017.10.18	C-2017-024963	연세대
22	Modified A*(모디파이드 에이스타) 알고리즘을 통한 모듈화 플랜트 육상 운송 삼차원 경로 추천 및 저장 프로그램	2017.09.13	손호준, 강남규, 플랜트에셋 주식회사, 이수홍	2017.10.18	C-2017-024812	연세대
23	Modified A*(모디파이드 에이스타) 알고리즘을 통한 모듈화 플랜트 육상 운송 이차원 경로 추천 프로그램	2017.09.13	손호준, 강남규, 플랜트에셋 주식회사, 이수홍	2017.10.18	C-2017-024811	연세대
24	플랜트 모듈 지지보강재 설치 위치 및 형상 선정 지원 소프트웨어 모듈	2018.12.26	고등기술연구원	2019.01.24	C-2019-002457	고등

25	플랜트 모듈 구조 설계 리비전 간편화 소프트웨어 모듈	2018.12.26	고등기술연구원	2019.01.24	C-2019-002458	고등
26	모듈화 플랜트 다물체 유한요소 검증 모듈	2018.09.03	연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사	2018.11.02	C-2018-029729	연세대
27	모듈화 플랜트 다물체 동역학 검증 모듈	2018.08.01	연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사	2018.11.02	C-2018-029730	연세대
28	모듈화 플랜트 운송성 사전 검증 프로그램	2018.07.02	연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사	2018.11.02	C-2018-029731	연세대
29	구명 소화 설비 관리를 위한 딥러닝 기반 설비 객체 인식	2016.11.30	이정민, 이경호, 이재준, 남병욱, 플랜트에셋	2018.12.21	C-2018-039222	인하대
30	육상 모듈화 운송 평가 시스템	2019.9.30	연세대학교 산학협력단, 플랜트에셋 주식회사	2019.10.29	C-2019-030627	연세대
31	Module Browser LOD Version (모듈 브라우저 LOD 버전)	2019.10.17	플랜트에셋 주식회사	2019.12.23	C-2019-042264	플랜트에셋
32	Module Browser DQCS Version (모듈 브라우저 DQCS 버전)	2019.10.18	플랜트에셋 주식회사	2019.12.23	C-2019-042263	플랜트에셋
33	DQCS (Design Quality Check Solution) 설계 검증 솔루션	2019.12.17	플랜트에셋 주식회사	2019.12.23	C-2019-042262	플랜트에셋
34	해상 운송성 시뮬레이터	2019.12.17	플랜트에셋 주식회사	2019.12.23	C-2019-042265	플랜트에셋
35	웹 기반 모듈화 플랜트 Swept Path Analysis	2019.9.30	이수홍	2019.12.29	C-2019-030628	연세대
36	강화학습을 활용한 주행 경로 흔적 분석 자동화 모듈	2019.12.15	이수홍	2020.1.7	C-2020-001571	연세대
37	도로 내 장애물 종류 및 정보 추출 프로그램	2019.9.30	이수홍	2019.10.29	C-2019-030629	연세대
38	육상 모듈화 운송 평가 시스템 DB 연동 모듈	2019.12.15	이수홍	2020.1.7	C-2020-001570	연세대
39	플랜트 모듈 구조 설계 건전성 검토 절차 단순화 소프트웨어 모듈	2019.12.27	김형진	등록 심사 중	등록 심사 중	고등
40	플랜트 모듈 구조 설계 최적화 실험계획법 응용 소프트웨어 모듈	2019.12.27	김형진	등록 심사 중	등록 심사 중	고등
41	모듈화 컴팩트/최적화 기술 (Pipe Auto Routing)	2019.12.16	이경규	2019.12.26	C-2019-043477	KAIST
42	모듈 연동 및 통합 시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 S/W	2019.12.16	이경규	2019.12.26	C-2019-043478	KAIST

2.4 연구 결과

2.4.1 기술적 성과

■ 지식 생성/관리 플랫폼

- 플랜트 설계 데이터 스키마 기반의 규칙 표현 방법에 대한 연구를 진행했으며, 매년 국내 학술대회에서 발표를 수행함
- 기존의 복잡한 ISO 15926 기반의 지식 표현 방법에서 좀 더 간결하고 설계 시스템과 밀접한 형태의 규칙 표현을 정의했다는 것에 학술적 의의를 가지고 있음
- 상용 플랜트 설계 도구인 S3D의 데이터 스키마를 중심으로 메타 스키마를 구성했으며, HEXAGON의 Design Rule Checker에서 제공하지 않는 규칙 생성/관리 기능을 개발하고 적용했다는 것에 의의를 가짐
- 현재 Intergraph(Hexagon)에서 개발중인 DRC(Design Rule Checking)에 우선하여 국내 및 세계 시장 선점효과 기대
- 플랜트 설계 시 참고되는 지침서를 중심으로 규칙을 표현하고 작성된 규칙에 대해서 S3D를 기반으로 검증을 수행함.
- 육상 플랜트만이 아닌 해양 플랜트 및 각종 구조설계, 건축 설계등에 폭넓게 사용 가능

■ 협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈

1) 모듈 분할설계 지침서
2) 모듈 최적배치 설계 지침서
3) 모듈 인터페이스 설계 지침서
4) Weight Balance 설계 지침서
5) 지지대/보강재/Lug 설계 지침서

■ Weight Balance 설계 및 지지대/보강재/Lug 설계 모듈
- 플랜트 모듈 테스트베드 3D 배관 설계 모델과 2D 구조 설계 도면을 대상으로 유한요소 모델을 구축하였으며 이를 기반으로 Weight Balance 및 지지보강재 설계지침서에 근거하여 육상 운송 및 해양 운송 해석을 수행하였다. 다양한 케이스의 운송 해석 결과를 플랜트 모듈 테스트베드 구조 설계 건전성 검토에 활용할 수 있다. 관련된 논문, 소프트웨어, 보고서 등 성과물을 산출하였다.
- 플랜트 모듈 육상 및 해양 운송을 위한 구조 설계 건전성 검토 업무 절차의 편리성을 도모하기 위해 해석 절차 단순화 및 설계 최적화 알고리즘을 설계하여 소프트웨어 모듈을 개발하였다. 플랜트 모듈 테스트베드의 구조 도면을 대상으로 테스트 케이스를 설정하여 테스트한 결과, 해석 업무 단순화와 최적화 효과를 얻을 수 있었다. 플랜트 설계 분야에서 유사한 기술 적용 사례가 없기 때문에 국내외 경쟁사 기술로는 비교 대상이 없으며, 향후 테스트 케이스 범위를 확장하여 현업 실무 검증이 필요하다. 관련된 논문, 소프트웨어, 보고서 등 성과물을 산출하였다.
- 플랜트 모듈 육상 및 해양 운송을 위한 구조 해석 절차 단순화 및 설계 최적화 알고리즘기반 소프트웨어 모듈은 기존 방식의 구조 해석 기술과 업무 절차 대비 11%만의 해석 케이스(횟수)만 가지고 유사한 해석 결과 제공하며, 향후 테스트 케이스 범위를 확장하여 플랜트 모듈 구조 설계 현업 실무 정확성과 실용성 검증 필요

■ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈
- 운송성 평가 시뮬레이션 운송/선적/하역 계획 검증 모듈
▶ 최신 인공지능(AI) 분석 기술의 활용을 통한 플랜트 산업에서의 공정 효율 개선 및 기존의 인력의 인원, 노동시간의 감소로 전체적인 플랜트 공정비용 감소.
▶ 현재 같은 기능의 현업에서 사용되는 시스템 존재 無. 최초의 시스템 기술.
▶ 웹 기반으로 만들어진 시스템으로 접근성이 우수하며, 과거 프로젝트 정보에 대한 디지털 데이터 축적 가능. 즉, 기존은 문서형태의 아날로그 데이터로 보관 중이나 디지털형태로 데이터를 보관함으로써 보관, 전달, 공유의 활용도 증가

- 선적/하역 정보 기반, 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서
▶ 기존에 존재하지 않는 새로운 시스템의 설계에 대한 지침서 작성.
▶ 부분적으로 Swept path analysis 등의 부분적 지침은 상기 존재하는 시스템의 지침과 일치하나 웹기반으로 확장하여 기존 시스템 지침에 대한 추가, 보완.

■ 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술
▶ 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리 구축
- 배관 분야 Piping SPEC 구축
- 전기/계장 분야 Tray SPEC 구축
▶ 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리 구축
- 배관 분야 Piping Support 라이브러리 구축
- 전기/계장 분야 Tray Support 라이브러리 구축

2.4.2 경제적 성과

- 조기에 설계 오류를 찾아내도록 지원함으로써, 설계변경 주기 감소 및 시수 감소를 통한 프로젝트 원가 절감 효과 제공 가능
- 협업 단위 플랜트 모듈화 건설 고유기술 확보를 통한 글로벌 기술 경쟁력 확보
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 단축 기대
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 절감 기대
- 기존 모듈설계 업무 가운데 경험적, 직관적 판단에 의해 결정되었던 업무들이 통합 플랫폼에서 지원하는 다양한 기술과 기능으로 최적화되어 소요물량의 감소, 업무효율의 증가 등의 의한 경제성 향상에 기여
- 플랜트 산업 관련 인재 창출
- 플랜트 수주 시 고려해야하는 운송 예산 추정을 위한 비용의 감소. 즉, 사전 조사 비용 감소
- 모듈 설계를 위한 체계적인 지침서 개발을 통해 보다 경쟁력 있는 모듈설계를 수행 할 수 있음.
- 공용 라이브러리를 Sample로 하여 라이브러리가 없는 중소 업체에 3D CAD를 적용하는데 발생하는 비용 절감
- 표준화 설계 라이브러리를 이용하여 3D CAD에 Support 라이브러리가 없는 중소 업체에서 기본 Support를 참조하여 생성하거나 직접 사용하여 비용 절감

■ Weight Balance 설계 및 지지대/보강재/Lug 설계 모듈

- 플랜트 모듈 테스트베드의 육상 운송 및 해양 운송 해석 결과는 구조 설계 건전성 검토에 사용 가능하며, 플랜트 모듈 설계 및 운송 통합 시스템에서 활용되어 운송 전 설계 검토 업무 생산성 향상에 도움이 될 것으로 기대
  - 플랜트 모듈 테스트베드 3D 배관 설계 모델과 2D 구조 설계 도면을 대상으로 유한요소 모델을 구축하였으며 이를 기반으로 Weight Balance 및 지지보강재 설계지침서에 근거하여 육상 운송 및 해양 운송 해석 수행
  - 다양한 케이스의 운송해석 결과를 플랜트 모듈 테스트베드 구조 설계 건전성 검토 활용 가능
  - 구조 해석 기술은 플랜트 모듈 구조 분야뿐만 아니라, 전통적인 stick-built 플랜트 구조, 타 산업으로는 교량, 토목, SOC 분야의 대형 구조물에 확대 적용 가능하며, 기존 메이저 상용 외산 솔루션을 대체하기보다는 플랜트 모듈화 구조설계에 특화된 틈새 솔루션으로 활용 가능
- 플랜트 모듈 구조 해석 설계 업무 간편화 기술로서 단순 해석 업무량과 투입 시간을 상당히 줄임으로써, 설계자 본연의 설계 업무에 시간을 집중 투입할 수 있을 것으로 기대
  - 플랜트 모듈 육상 및 해양 운송을 위한 구조 설계 건전성 검토 업무 절차의 편리성을 도모하기 위해 해석 절차 단순화 및 설계 최적화 알고리즘을 설계하여 소프트웨어 모듈 개발
  - 플랜트 모듈 육상 및 해양 운송을 위한 구조 해석 절차 단순화 및 설계 최적화 알고리즘기반 소프트웨어 모듈은 기존의 모든 경우 수에 대해 구조 해석을 수행한 케이스 대비 11%만의 해석 케이스(횟수)만 가지고 유사한 해석 결과 제공
  - 플랜트 모듈 테스트베드의 구조 도면을 대상으로 테스트 케이스를 설정하여 테스트한 결과, 해석 업무 단순화와 최적화 효과를 얻을 수 있었으며, 플랜트 구조 설계 분야에서 유사한 기술 적용 사례가 없기 때문에 국내외 경쟁사 기술로는 비교 대상이 없으며, 향후 테스트 케이스 범위를 확장하여 현업 실무 정확성과 실용성 검증 필요
  - 실험계획법기반 최적화 기술은 신약 개발, 기계 설계 최적화 등 다양한 타 산업 솔루션으로 활용 가능

■ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈

▶ 경로 내 장애물 탐색 및 분석 등의 해외기업에 의존해야 할 부분에 대해 80%이상 국내 기술 대체 가능.

▶ 경로에 대한 상세한 분석은 플랜트산업을 넘어서 로지스틱스 등의 운송 산업에도 적용 가능함.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1. 목표

3.1.1 목표 및 달성도

○ 총괄 연구성과 목표 및 달성도

구분	핵심 성과물 (CTE)		단위 성과물		성과점검기준									양적성과 현황	
					질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가중치	해당 기관	예산 (백만원)	목표치	달성치
3세부	A	협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈	A-1	협업단위 모듈 데이터/ 모델 관리 S/W모듈	①	모듈 설계 데이터 활용을 위한 DB 연동 자동화	자동화율 100%	100	3D캐드 및 지식기반 시스템의 설계데이터 베이스 구축	수요기관 검증	10.6	플랜트에셋	600	특허:출원 1건 SW:등록 1건	특허:출원 1건 보고서: 11건 SW:등록 3건
					②	현장 설계변경률	기존대비 10%개선 (과제 전체)	10	설계물량 및 Weld Dia-Inch 증가율 계산	수요기관 검증					
			A-2	모듈 분할 상세 설계 지침서	①	지침서 활용률	분할 상세 설계시 80%	80	지침서 전체 항목수 대비 실적용 항목수계산	수요기관 검증	6.8	필즈엔지니어링	386	지침서: 3건	보고서: 6건 지침서: 4건
			A-3	컴팩트/ 최적화 S/W 모듈	①	모듈 설계 컴팩트화 개선율	기존 설계대비 10%개선	10	적용프로젝트 기존 공간 사용 대비 컴팩트화 비율 계산	수요기관 검증	1.2	KAIST	70	특허:출원 2건 논문:SCI 2건 SW:등록 1건	SW:등록 4건 보고서: 9건 특허:출원 2건
					②	현장 설계변경률	기존대비 10%개선 (과제 전체)	10	설계물량 및 Weld Dia-Inch 증가율 계산	수요기관 검증					
			A-4	컴팩트/ 최적화 설계 지침서	①	지침서 활용률	컴팩트 설계시 80%	80	지침서 전체 항목수 대비 실적용 항목수계산	수요기관 검증	3.9	필즈엔지니어링	223	지침서: 1건	보고서: 4건 지침서: 4건
			A-5	인터페이스 설계 및 교합부 관리 S/W모듈	①	인터페이스 설계 오류 개선율	오류 10% 개선 (과제 전체)	10	적용 프로젝트 인터페이스 오류 건수 대비 개선율 계산	수요기관 검증	1.4	KAIST	80	SW:등록 1건	SW:등록 1건 보고서: 6건
					②	현장 설계변경률	기존대비 10%개선 (과제 전체)	10	설계물량 및 Weld Dia-Inch 증가율 계산	수요기관 검증					
			A-6	인터페이스 설계 지침서	①	지침서 활용률	인터페이스 설계시 80%	80	지침서 전체 항목수 대비 실적용 항목수계산	수요기관 검증	4.4	필즈엔지니어링	250	지침서: 3건	보고서: 4건 지침서: 4건
			A-7	협업단위 모듈 Weight Balance 설계	①	Weight Balance 설계 오류 개선율	오류 10% 개선 (과제 전체)	10	적용 프로젝트 무게중심 계산 오류 건수 대비	수요기관 검증	3.1	고등기술연구원	174	SW:등록 3건 알고리즘: 1건	보고서: 6건 논문: 3건 SW:등록

				모듈				개선율 계산						
					②	현장 설계변경률	기존대비 10%개선 (과제 전체)	10	설계물량 및 Weld Dia-Inch 증가율 계산	수요기관 검증				4건 SW인증 1건
			A-8	협업단위 모듈 Weight Balance 설계 지침서	①	지침서 활용률	Weight Balance 설계시 80%	80	지침서 전체 항목수 대비 실적용 항목수계산	수요기관 검증	3.5	필즈엔지니어링	200	특허:출원 1건 지침서: 2건	특허:출원 1건 보고서: 3건 지침서: 5건
			A-9	협업단위 모듈 지지/보강재 설계 모듈	①	지지/보강재 설계 오류 개선율	오류 10% 개선 (과제 전체)	10	적용 프로젝트지 지/보강재 설계 오류 건수 대비 개선율 계산	수요기관 검증	3.1	고등기술연구원	174	특허:출원 1건 논문: 2건 SW:등록 2건 알고리즘: 1건 홍보물: 2건	보고서: 6건 SW:등록 5건 논문: 2건 SW인증 1건
					②	현장 설계변경률	기존대비 10%개선 (과제 전체)	10	설계물량 및 Weld Dia-Inch 증가율 계산	수요기관 검증					
			A-10	협업단위 모듈 지지/보강재 설계 지침서	①	지침서 활용률	지지/보강재 설계시 80%	80	지침서 전체 항목수 대비 실적용 항목수계산	수요기관 검증	7.1	필즈엔지니어링	400	지침서: 2건	보고서: 4건 지침서: 4건
B	협업단위 모듈화 지식 기반 시스템(패키지)	B-1	지식기반 시스템 (패키지)		①	설계 오류 개선율	오류 10% 개선 (과제 전체)	10	적용 프로젝트 설계 오류 건수 대비 개선율 계산	수요기관 검증	20.2	플랜트에셋	1146	특허:출원 1건 논문: 4건 SW:등록 4건	논문: 3건 보고서: 15건 SW:등록 2건 특허:출원 5건 SW인증 1건
					②	현장 설계변경률	기존대비 10%개선 (과제 전체)	10	설계물량 및 Weld Dia-Inch 증가율 계산	수요기관 검증					
C	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈	C-1	운송성 평가 시뮬레이션 운송/선적/하역 계획 검증 모듈		①	통합 모듈 내 세부 기능 모듈 갯수	10 개	10	개발된 통합 S/W 모듈 내 세부 기능 담당 모듈 개수 계산	수요기관 검증	4.4	연세대	250	특허:출원 1건 논문:SCI 5건 SW:등록 15건 지침서: 2건 알고리즘: 4건	특허출원 : 1건 SW:등록 18건 보고서: 18건 논문:SCI 7건 알고리즘 : 1건 지침서 : 1건 SW인증 1건 제안 2건 기술이전 1건
					②	통합 모듈 내 소프트웨어 모듈 활용 건수 (본 지침서를 활용한 현업 문제 해결 및 피 인용 횟수)	8 건	8	전체 소프트웨어 모듈 대비 실적용 항목수 계산	수요기관 검증					
		C-2	선적/하역 정보 기반 운송성 평가 기반 최적화 설계 지침서		①	지침서 활용 건수 (본 지침서를 활용한 현업 문제 해결 및 피 인용 횟수)	8 건	8	지침서 전체 항목수 대비 실적용 및 실인용 항목수 계산	수요기관 검증	2.9	연세대	167	지침서: 1건	보고서: 6건 SW:미등록 1건 SW등록 1건 지침서:1건
		C-3	시공성 평가 시뮬레이션 적재/이송/설치 계획 검증 모듈		①	시공성 평가 오류 개선율	오류 10% 개선 (과제 전체)	10	적용 프로젝트 시공계획 변경 건수 대비 개선율 계산	수요기관 검증	3.0	KAIST	170	특허:출원 2건 논문:SCI 2건 SW:등록 1건	SW:등록 2건 보고서: 10건
		C-4	시공성 평가 기반 최적화		①	지침서 활용률	시공성 평가시 80%	80	지침서 전체 항목수 대비	수요기관 검증	1.0	KAIST	59	지침서: 4건	보고서: 2건 지침서: 5건

				설계 지침서					실적용 항목수계산						
	D	협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가 시뮬레이터	D-1	운송성/시공성 평가 시뮬레이터(패키지)	①	운송성 평가 오류 개선율	오류 10% 개선 (과제 전체)	10	적용 프로젝트 운송계획 변경 건수 대비 개선율 계산	수요기관 검증	10.6	플랜트에셋	600	특허:출원 1건 SW:등록 3건	보고서: 17건 SW:등록 2건 특허:출원 1건 논문 1건 SW 인증 1건
					②	시공성 평가 오류 개선율	오류 10% 개선 (과제 전체)	10	적용 프로젝트 시공계획 변경 건수 대비 개선율 계산	수요기관 검증					
	E	협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술	E-1	플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리	①	라이브러리 활용률	70%	70	(라이브러리 구성 아이템 수 / 헌업 요구 라이브러리 아이템 개수) X 100%	라이브러리 시연 및 보고서	1.1	필즈엔지니어링	60	지침서: 2건	보고서: 13건 SW미등록 2건
			E-2	협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리	①	라이브러리 활용률	70%	70	(라이브러리 구성 아이템 수 / 헌업 요구 라이브러리 아이템 개수) X 100%	라이브러리 시연 및 보고서	0.9	필즈엔지니어링	50	지침서: 2건	보고서: 13건 SW미등록 2건
	F	시스템 시험 적용 및 성능 평가 보고서	F-1	시스템 개발 기능범위/추진 계획서	①	시스템 개발 계획의 타당성	시스템 검증을 위한 계획	-	개발 계획의 실현 여부	추진 계획서	5.5	플랜트에셋/필즈엔지니어링	310	보고서: 2건	보고서 2건
			F-2	성능평가 결과 보고서	①	시험적용 결과의 만족도	최종 모듈성과 지표 만족과 통합	-	가/부	제품 시연 및 보고서	5.3		300	보고서: 3건	보고서 3건
계											100		5,669	특허:출원 10건 논문:SCI 9건 논문: 6건 SW:등록 30건 SW:미등록 15건 보고서: 135건 지침서: 26건 알고리즘: 6건 홍보물: 2건	특허출원 : 7건 특허등록 : 4건 논문:SCI 8건 논문: 7건 SW:등록 42건 SW:미등록 15건 보고서: 158건 지침서: 28건 알고리즘 : 6건 홍보물: 2건

○ 관련 분야 기술 발전 기여도

본 과제는 최근 증가하고 있는 모듈화 프로젝트의 원활한 수행을 위하여 상세 설계 분야의 경쟁력을 확보하는데 크게 기여할 것으로 생각된다.

특히 Deep Learning 적용, 규칙(Rule)기반 설계 품질 검증 등 새로운 방식을 업무에 적용 가능하게 함으로써 최근 대두되고 있는 EPC 산업의 Digital Transformation을 선도하는 역할을 할 것으로 기대되며, 그동안 외산 솔루션에 전적으로 의존하였던 부분들을 국산으로 대체하는 효과도 기대할 수 있습니다.

특히 규칙(Rule)기반 설계 품질 검증 프로그램은 현재 Intergraph에서 개발하고 있는 DRC(Design Rule Checker)와 같은 컨셉으로 시장 선점을 위해 경쟁하는 중이다. 이는 기술 격차가 벌어지기 전에 세계 최고 수준을 대상으로 시장 선점을 노릴 수도 있는 상황이라고 볼 수 있다. 또한 해당 프로그램으로 설계 무결성을 검증하면 Human Error 감소와 이로 인한 재시공률 감소로 플랜트 설계/건설업체들의 경쟁력을

대폭 향상 시킬 수 있을 것으로 예상된다.
또한 P-TAIS는 Path finding 기능으로 프로젝트 기획단계에서 의사결정을 내리는데 도움이 될 것으로 예상되며 머신러닝 도입으로 현지를 직접 방문하지 않고 도로 육상운송 환경을 파악할 수 있다.

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

■ 협업단위 모듈화 지식기반 설계 지침서 및 S/W모듈
육상 플랜트 상세 설계 지침서를 활용하여 오류를 최소화 하여 경쟁력 있는 모듈 설계 목표로 함.
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 엔지니어링 기간 단축 예상
- 기존 모듈화 대비 모듈화 플랜트 최적화에 의한 원가 절감 예상
- 협업 단위 모듈 컴팩트/최적화 개선
- 플랜트 모듈화 현장 설계 변경 및 재시공율 개선

■ 지식 생성/관리 플랫폼
- 국내/국외 플랜트 시공사에 소개 및 데모 시연
- 솔루션 판매 또는 설계 검토 용역 제시로 사업 모델 확립
- 현대 건설 기술 공모전 선정 (2019.10.01., 88,000,000원)
- POC 실시
  : 대림산업 - LCC H-NC3 프로젝트 (롯데케미칼)
  : 삼성중공업 - EGINA FPSO
  : 삼성중공업 - Reliance FPSO
- 대우건설 솔루션 구매 협상 진행중

■ Weight Balance 설계 및 지지대/보강재/Lug 설계 모듈
- 플랜트 모듈 육상 운송 및 해양 운송 구조 해석 기술은 플랜트 모듈 구조 설계 건전성 검토에 활용할 수 있다. 특히, 운송 거리가 먼 대륙간 해양 운송 프로젝트 등에는 필수적으로 활용될 수 있다. 추가 연구로는 기존 국제 표준 code와 설계 지침서에 근거해서 엄격히 해석 조건과 해석 식을 적용하여 계산을 했지만, 인공지능 기술을 적용하여 해석 케이스를 생성하고 해석을 수행하는 기술의 미래 기술로서의 타당성과 필요성을 검토해 볼 필요가 있다. 플랜트 모듈 구조 설계 분야에서 플랜트 배관 설계 등 타 플랜트 설계 분야로의 확장 적용 가능성이 있다. 설계 검증 소프트웨어 패키지와의 통합을 통해 상품성을 높일 수 있다.
- 플랜트 모듈 육상 및 해양 운송을 위한 구조 설계 건전성 검토 업무 절차 단순화 및 설계 최적화 소프트웨어는 설계 업무 효율 개선에 활용될 수 있다. 플랜트 모듈 테스트베드를 대상으로 한 테스트에서 일정 수준의 해석 업무 단순화와 최적화 효과를 얻을 수 있었기 때문에, 향후 테스트 케이스 범위를 확장하여 현업 실무 검증이 필요하다. 설계 검증 소프트웨어 패키지와의 통합을 통해 상품성을 높일 수 있다.
- Weight Balance 및 지지보강재 설계 등 플랜트 모듈 구조 설계 지원 소프트웨어 툴은 플랜트 엔지니어링, 건설회사 초청 전문가 세미나 발표, 협업 적용 개발 협의, 후속 연구개발과제 도출 협의, 플랜트 분야 해석설계 소프트웨어 업계 전시회 및 컨퍼런스 발표 등을 통해 연구개발 성과를 홍보할 예정이다.
- Weight Balance 및 지지보강재 설계 등 플랜트 모듈 구조 설계 지원 소프트웨어 툴은 플랜트 엔지니어링 회사의 구조 설계 파트에서 활용 가능하다. 현업 플랜트 구조 설계자의 요구사항을 그대로 반영하여 개발한 단계에는 아직 미치지 못하기 때문에, 연구 성과물의 실용화를 위해서는 연구개발 성과물 뒤에 있는 개념과 아이디어를 현업의 상황에 적용하여 추가적인 개발을 통한 시너지 효과를

이끌어낼 필요가 있다. 기존 메이저 상용 플랜트 구조 설계 소프트웨어의 완성도 수준을 뛰어 넘지는 못하지만, 플랜트 구조 설계의 단순반복 업무의 일부를 간편화하여 지원해줄 수 있는 도구로서 사업화 가능성을 볼 수 있다.

■ 협업 단위 모듈화 운송성/시공성 평가기반 최적화 설계 지침서 및 S/W모듈

- 운송성 평가 시뮬레이션 운송/선적/하역 계획 검증 모듈

▶ 지속적 기업과의 접촉을 통한 실용화, 상용화에 노력

▶ 현재 현대건설과 논의 진행 중. 다른 기업에서도 이용이 가능한 수준으로 적용 개발지원

▶ 플랜트 산업뿐만아니라 로지스틱스 산업 전반에 걸친 확장 가능 노력

▶ 새로운 시스템 구축시 지침 제공 및 기존 정의의 재활용

▶ 운송성/시공성 평가 시뮬레이터는 협업 플랫폼 S/W로서 뿐만 아니라 패키지 S/W로서 국내 플랜트 EPC 설계사 및 중량물 운송회사(육상 또는 해상)의 해당업무 담당자들이 활용할 수 있으며 S/W의 활용성을 높이기 위하여 현업 적용성 및 사용성 향상을 위한 추가적인 사용자 편의기능 추가개발 및 사용자 교육 등을 지원

▶ 장애물 분석, 웹 기반 Swept Path Analysis등의 모듈은 로지스틱스, 물류 배송관련 기업에서의 활용 가능. 즉, 다양한 기업에 적용도 이루어 질 수 있음. 기존 CJ 대한통운과의 협의가 있었으나, 아직 개발 수준이 상용화, 실용화 수준에 적합하지 않아 지속적 개선작업을 요구하였음. 부족한 점을 보완하고 개선된 사항을 보여줌으로써 계속 홍보를 해나갈 예정이며. 플랜트 분야에 국한되지 않고 다른 분야에도 시스템이 적용될 수 있도록 개발 및 활용 예정

▶ 적용된 기술과 현업에 즉시 적용 가능 내용이 포함된 팜플렛을 통하여 홍보. 또는, 연구 성과 논문 발표 및 학회에서의 부스운영을 통하여 홍보 진행.

▶ 넥스트랩과의 기술이전 계약 체결. 이전된 P-TAIS에 대한 기술의 지속적 보완·업그레이드 지원을 통하여 플랜트 산업에 필요한 모듈 개발 협력. (2019.11.14.)

■ 협업 단위 모듈 공용화/표준화 설계 기술

▶ 공용 라이브러리의 Piping SPEC들은 플랜트 엔지니어링 회사마다, 플랜트에서 사용되는 유체마다 다르기 때문에 많은 국제규격 및 생산하는 Vendor에 맞게 추가 및 변경이 필요하여 본 연구에서 구축된 라이브러리를 기본으로 삼아 프로젝트에 사용되는 국제규격 및 많은 Vendor 회사들의 정보를 업데이트하여 각 회사만의 자산이 되는 라이브러리를 구축해 나아가야함

▶ 표준화 설계 라이브러리의 Support 라이브러리는 기본이 되는 Support Type을 구축하였으며, 이 또한 회사마다 기준 및 사용되는 이름이 다름으로 본 연구에서 구축된 라이브러리를 참조하여 각 회사의 기준에 맞게 구축하면 각 회사의 자산이 되어 업무를 개선할 수 있음

모듈연동 및 통합 콤팩트 최적화 S/W는 복잡한 공간을 해석하여 최적의 배관 경로를 계산하여 배관물량을 획기적으로 줄일 수 있는 유용한 S/W로서 견적, 기본 또는 상세설계 단계에서 대형 Equipment Structure 내부 배관 계획시 활용할 수 있도록 추가적인 사용자 편의기능 추가개발 및 사용자 교육 등을 지원

붙임. 참고문헌

[1] J. T. O'Connor, W. H. O'Brien and J.O. Choi. "Industrial project execution planning: Modularization versus stick-built." Practice periodical on structural design and construction, vol. 21-1, 2015.

[2] M. Rashed and G. Heravi. "A lean management approach for power plant construction projects: Wastes identification and assessment." Proceedings for the 20th Annual Conference of the IGLC, San Diego, USA. 2012.

[3] J. M. Marshall and P, Navarrp, "Costs of nuclear power plant construction: theory and new evidence." The Rand journal of economics, pp. 148-154, 1991.

[4] J. Choi and H. J. Song. "Evaluation of the modular method for industrial plant construction projects." International Journal of Construction Management, vol. 14-3, pp. 171-180, 2014.

[5] P. J. Noble. "Process plant Construction." Wiley & Sons, Ltd. Publication. 2009.

[6] R. Joseph and F. Ali. "YOLOv3: An incremental improvement." arXiv, 2018.

[7] P. Isola, J. Y. Zhu, T. Zhou and A. A. Efros. "Image-to-image translation with conditional adversarial networks." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 1125-1134, 2017.

제 출 문

국토교통과학기술원 원장 귀하

‘플랜트 협업 지원 라이브러리 기술 개발’(연구개발 기간 : 2014. 12. 29 ~ 2019. 12. 28) 과제의 최종 보고서 7부를 제출합니다.

2020. 2. 11.

주관연구기관명 : 한국과학기술원 (대표자) (인)
참여기관명 : ㈜지토 (대표자) (인)
경북대학교 (대표자) (인)
동아대학교 (대표자) (인)

주관연구기관책임자: 한순흥
참여기관책임자: 민병우
참여기관책임자: 문두환
참여기관책임자: 염정국

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>1615010818</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2019.01.01.
~2019.12.28</td><td>단계구분</td><td>6차년도/
6차년도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">플랜트연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">플랜트 동시병행 협업 체계 지원 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">한순흥</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 33명
내부: 32명
외부: 1명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부:465,000천원
민간: 155,129천원
정부외: 0천원
상대국: 0천원
계:620,129천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 66명
내부: 60명
외부: 6명</td><td>총 연구비</td><td>정부:2,060,700천원
민간: 696,776천원
정부외: 0천원
상대국: 0천원
계: 2,757,476천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">한국과학기술원, 경북대학교, 동아대학교</td><td colspan="2">참여기업명
㈜지토</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
</table>

※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록・기탁 번호	25	25	52	-	4	6	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

구입기관	연구시설・장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	플랜트 협업 지원 협업 단위 시스템 및 장치/유닛 정보의 관리 및 교환 기술 연구를 통해 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템을 개발하여 라이브러리 구축 과정을 효율화하고, 고급 검색 및 표준 기반 데이터 교환을 통해 라이브러리의 외부 시스템 활용률/연동률을 향상시켜 모듈화 플랜트 협업 엔지니어링을 위한 인프라를 제공한다. 개발 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템을 육상 플랜트에 적용하여 성능 검증을 수행한다. 최종적으로, 국내 육상 플랜트 관련 EPC 업체 및 중공업에 개발 기술의 홍보 및 시연을 통한 기술이전 및 상용화를 추진한다.
연구개발성과	**○ 기술적 기대성과** - 플랜트 건설 프로젝트에 참여하는 다수의 이해관계자들이 동일한 장치/유닛, 협업 단위 시스템 정보를 공유함으로써 협업 지원 라이브러리의 재활용률을 향상시키고 플랜트 데이터의 상호운용성 비용이 감소됨. - 최신의 장치/유닛, 협업 단위 시스템 정보를 적시에 활용할 수 있게 됨으로써 모듈화 플랜트의 설계 자동화에 기여하고 데이터 품질이 향상됨. - 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 국내 모듈 설계 및 제작 업체에 적용 및 기술이전을 통해 모듈화 엔지니어링 역량을 강화시켜 해외 플랜트 건설 프로젝트 참여를 위한 기반을 제공 **○ 사회·경제적 기대성과** - 하드웨어 중심의 플랜트 산업이라는 기존 이미지에서 벗어나 첨단 IT 기술이 접목된 지식 기반 소프트웨어 융합 플랜트 산업으로 변모 - 외산 소프트웨어가 대부분 장악하고 있는 엔지니어링 소프트웨어 시장에서 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 국산화를 통해 기술의 해외 유출 방지 및 수입대체 효과 기대 - 학부생 및 대학원생이 협업 지원 라이브러리 기술 개발 연구에 참여하여 원천기술을 개발하고 다양한 기술 교류를 함으로써 전문 인력으로 양성
연구개발성과 활용계획 (기대효과)	○ 플랜트 협업 지원 라이브러리 시스템과 협업 지원 PLM 시스템(1세부), 플랜트 모듈화 기획 및 타당성 평가 시스템(2세부), 모듈 설계 및 시공성 평가 시스템(3세부)과의 연동 및 적용을 통해 모듈화 플랜트의 협업 엔지니어링 기술 향상 ○ 협업 지원 라이브러리 관리 시스템을 활용하여 모듈화 플랜트 설계 시 장치/유닛, 협업 단위 시스템의 검색 및 적용 과정을 자동화함으로써 전반적인 설계 생산성을 향상시키고 및 오작을 예방 ○ 공동 연구 기관인 ㈜지토 등의 소프트웨어 개발사를 통해 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 상용화 추진 및 이를 통한 신규 사업 창출 ○ 플랜트 협업 지원 라이브러리가 요구되는 국내 육상 플랜트 관련 EPC 업체 및 중공업에 개발 기술의 홍보 및 시연을 통해 기술이전을 추진

국문핵심어 (5개 이내)	플랜트 모듈화	협업 엔지니어링	협업 지원 라이브러리	라이브러리 시스템	산업 데이터 표준
영문핵심어 (5개 이내)	Plant modularization	Collaborative engineering	Collaboration support library	Library system	Industrial data standard

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 5

가. 연구개발 개요 ····· 5

나. 연구개발 목적 ····· 5

다. 연구개발 내용 및 범위 ····· 5

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 7

2.1 연구 추진 내역 ····· 7

2.1.1 연구개발 추진전략 및 방법 ····· 7

2.1.2 연구개발 추진체계 ····· 8

2.1.3 연구개발 흐름도 ····· 9

2.1.4 연구개발 단계에 따른 세부연구내용 ····· 12

2.1.5 6차년도 4세부 연구개발 추진일정 ····· 16

2.2 연구 내용 및 결과 ····· 17

2.2.1 연구개발 추진전략 및 방법 ····· 17

2.3 연구개발 성과 ····· 132

2.4 연구 결과 ····· 142

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 143

3.1 목표 ····· 143

3.2 목표 달성여부 ····· 145

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 146

가. 기업화 추진 방안 ····· 146

나. 세부간 연계 방안 ····· 152

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 개요

○ 플랜트 협업 지원 라이브러리는 설계, 구매/조달, 토공, 운송, 설치 등 건설 과정에서 요구되는 협업 프로세스를 고려하여 플랜트를 분할한 협업 단위 시스템 및 장치/유닛 관련 정보(타입, 3D CAD, 사양, 및 포트 데이터 등)를 저장한 데이터베이스(database)로서 PLM 기반 협업 지원 체계와 연동되어 협업 단위 모듈화 기획/평가와 협업 단위 모듈화 설계/시공성 평가를 위한 기반 정보를 제공한다. 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템은 협업 단위 시스템 제작사로부터 관련 자료를 제출받아 구축한 협업 지원 라이브러리를 관리하고 EPC(Engineering, Procurement, Construction)사 및 다른 이해관계자에게 라이브러리 정보를 제공하는 소프트웨어 시스템으로 1) 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계, 2)협업 지원 라이브러리 카탈로그 자동 생성 모듈 및 사양 변경 모듈, 3)협업 지원 라이브러리 형상/의미 기반 검색 및 교환 모듈, 4)협업 지원 라이브러리 시험환경으로 구성된다.

나. 연구개발 목적

○ 플랜트 협업 지원 협업 단위 시스템 및 장치/유닛 정보의 관리 및 교환 기술연구를 통해 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템을 개발하여 라이브러리 구축 과정을 효율화하고, 고급 검색 및 표준 기반 데이터 교환을 통해 라이브러리의 외부 시스템 활용률/연동률을 향상해 모듈화 플랜트 협업 엔지니어링을 위한 인프라를 제공하는 것이다. 최종적으로, 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템을 육상 플랜트에 적용하여 성능 검증을 수행하고, 신규 과제 및 사업 창출에 이바지하는 것을 목표한다.

→ 최종산출물: 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템

다. 연구개발 내용 및 범위

○ 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템은 협업 단위 시스템 제작사로부터 관련 자료를 제출받아 구축한 협업 지원 라이브러리를 관리하고 EPC(Engineering, Procurement, Construction)사 및 다른 이해관계자에게 라이브러리 정보를 제공하는 소프트웨어 시스템으로 (1) 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계, (2) 협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 자동 생성 기술 개발, (3) 협업 지원 라이브러리 사양 변경 모듈, (4) 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 및 표준 기반 교환 모듈로 구성된다.

1) 협업 단위 시스템 정보 표현 기술 및 관리 플랫폼 기술 개발

가) 연구개발 내용 및 범위

○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 및 표준 기반 교환 기술 개발

- 장치/유닛, 협업 단위 시스템의 데이터베이스 관리, 기본 검색 및 정보 가시화 기능을 제공하는 협업 단위 시스템 정보 관리 플랫폼과 사용자가 관리 시스템에서 라이브러리를 검색할 때 사용하는 협업 단위 시스템 분류체계를 연구개발

2) 협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 자동 생성 기술 개발

가) 연구개발 내용 및 범위

○ 협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 자동 생성 기술 개발

- 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 입력 데이터 구축 작업을 자동화하기 위해 기자재 제작사 및 협업 단위 시스템 제작사가 생성한 장치 및 유닛, 협업 단위 시스템의 형상을 간략화하고 간략화된 형상 정보를 사양 및 포트 정보와 정합하여 입력용 카탈로그를 생성하는 기술을 연구개발

3) 협업 지원 라이브러리 사양 변경 기술 개발

(가) 연구개발 내용 및 범위

○ 협업 지원 라이브러리 사양 변경 기술 개발

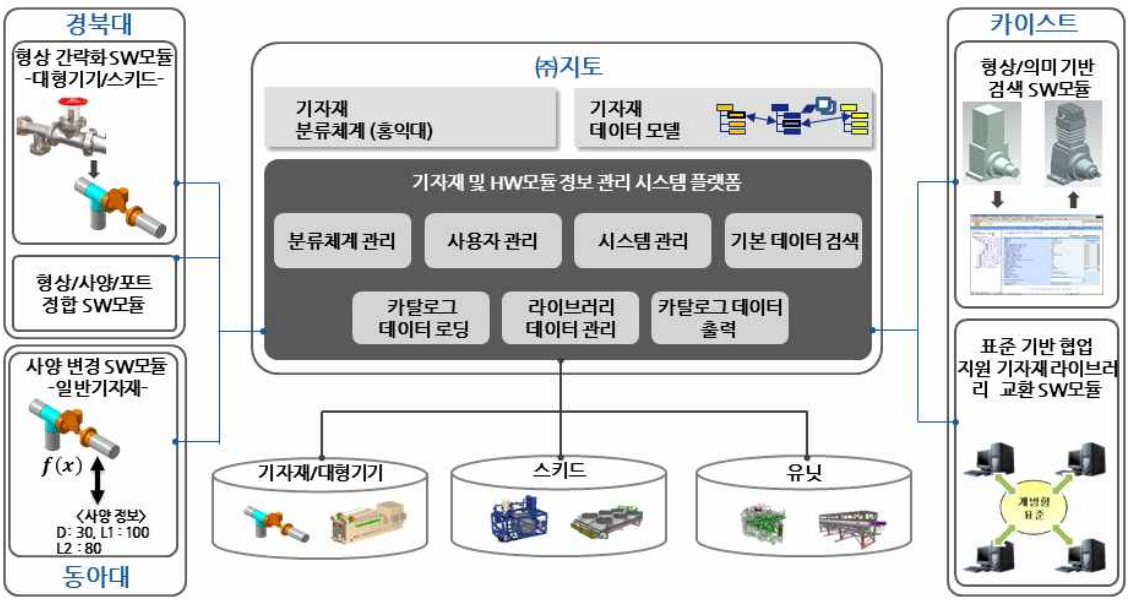
- 카탈로그에 등록된 협업 단위 시스템의 사양 정보가 변경될 경우, 이에 맞추어 협업 단위 시스템의 3D CAD 모델을 자동으로 변경 및 생성하는 기술 개발

4) 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 및 표준 기반 교환 기술 개발

(가) 연구개발 내용 및 범위

○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 및 표준 기반 교환 기술 개발

- 협업 단위 시스템의 설계 소요 시간을 단축하고, 데이터 완성도를 높이기 위해 모듈 내 구성품을 기하학적 맥락인 형상과 설계, 그리고 기능적 맥락인 의미 기반으로 검색하고, 설계 결과를 표준 기반으로 도출하는 기술을 연구개발



[그림. 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템 (4세부) 구성도]

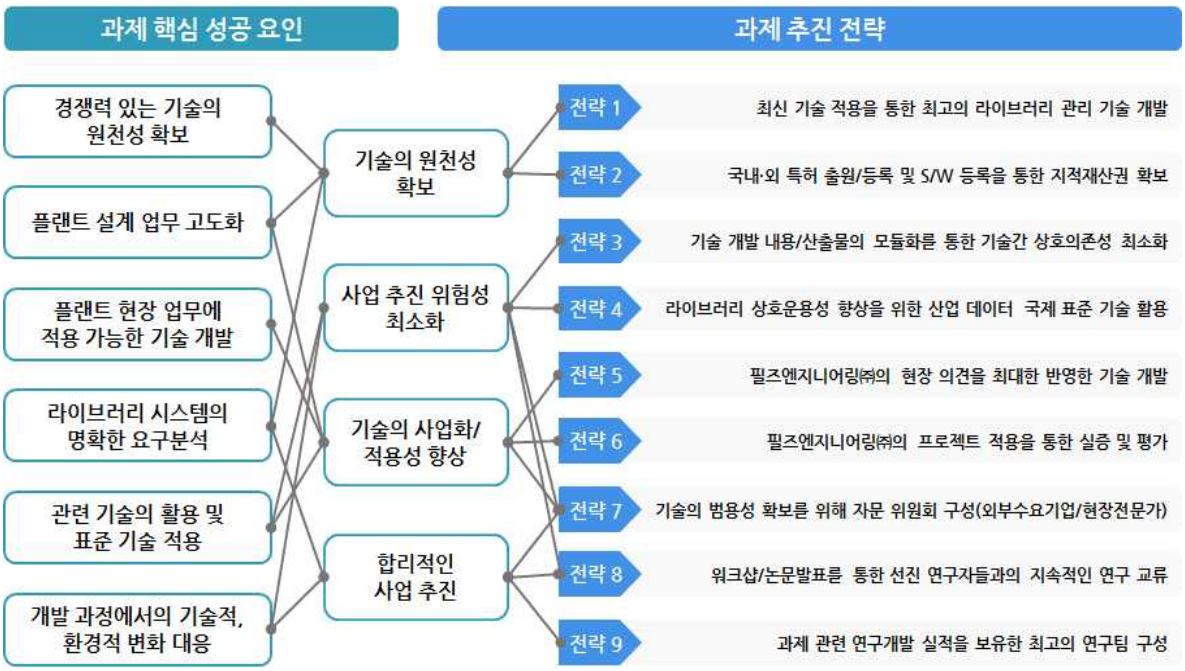
2. 연구수행내용 및 성과

2.1 연구 추진 내역

2.1.1. 연구개발 추진전략 및 방법

○ 본 과제의 성공을 위해 6개의 핵심 요인과 이를 달성하기 위한 9개의 추진전략 선정

- 최신 기술 적용을 통한 라이브러리 관리 기술 개발.
- 국내외 특허 출원/등록 및 SW 등록을 통한 지식재산권 확보.
- 상호운용성 향상을 위한 산업 데이터 표준 기술 활용.
- 수요 기업의 현장 의견 수렴 및 프로젝트 적용을 통한 실증/평가.
- 기술의 범용성 확보를 위한 자문 위원회 구성.
- 선진 연구자들과의 지속적인 연구 교류 추진.



[그림. 4세부 연구개발 추진전략]

2.1.2 연구개발 추진체계

4세부과제	
과제명	플랜트 협업 지원 라이브러리 기술 개발
협동기관	KAIST

총 참 여 연 구 원
협동연구책임자 (한순흥) 외 26명

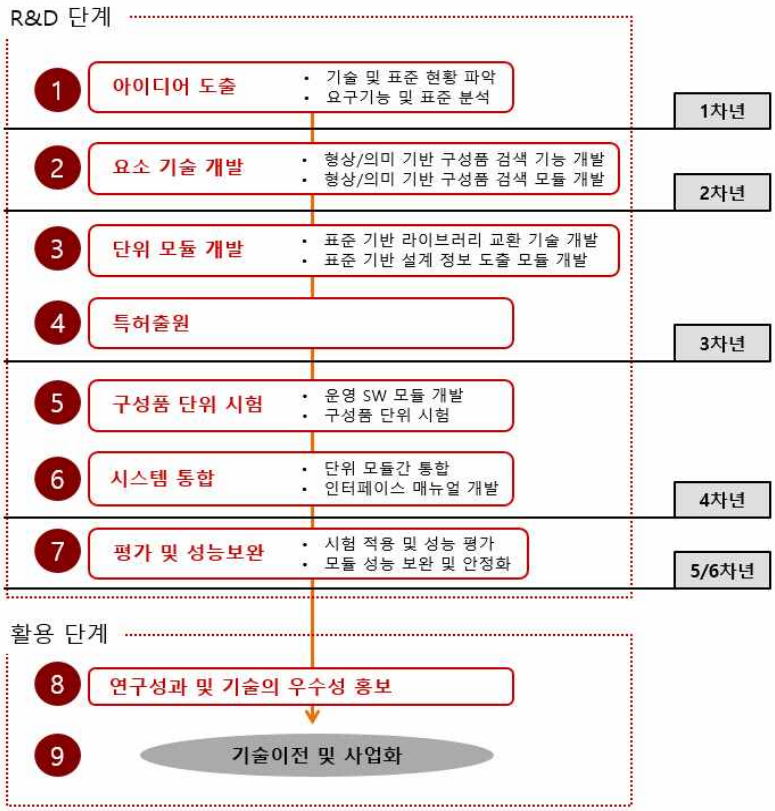
기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	2	10	27
대 학	3	17	
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타			

협동연구기관	공동연구기관	공동연구기관	공동연구기관
한국과학기술원	㈜지토	경북대학교 산학협력단	동아대학교 산학협력단
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
협동연구책임자 (한순흥)외 6명	공동연구책임자 (민병우)외 8명	공동연구책임자 (문두환)외 6명	공동연구책임자 (염정국)외 3명
책임급 2명, 원급 5명	책임급 2명, 선임급 2명, 원급 4명, 기타 1명	책임급 1명, 원급 2명, 기타 4명	책임급 1명, 원급 3명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
과제명: 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 및 표준 기반 교환 기술 개발	과제명: 협업 단위 시스템 정보 표현 기술 및 관리 플랫폼 기술 개발	과제명: 협업 단위 시스템 형상 간략화 및 카탈로그 생성 기술 개발	과제명: 협업 단위 시스템 사양변경 기술 개발
형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 개발 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈 개발	협업 단위 시스템 데이터 모델 구축 개발 협업 단위 시스템 분류체계 개발 협업 단위 시스템 정보 관리 플랫폼 모듈 개발	협업 단위 시스템 형상 간략화 지침서 및 시스템 모듈 개발 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 개발	협업 단위 시스템 사양변경 지침서 및 시스템 모듈 개발

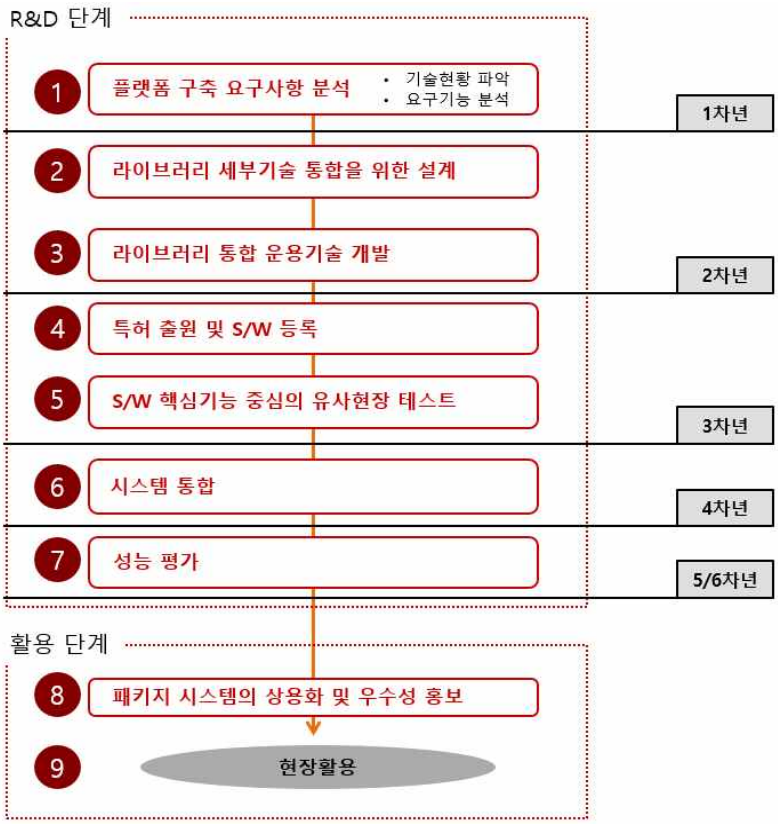
참여기업	필즈엔지니어링(주) (1명)

2.1.3 연구개발 흐름도

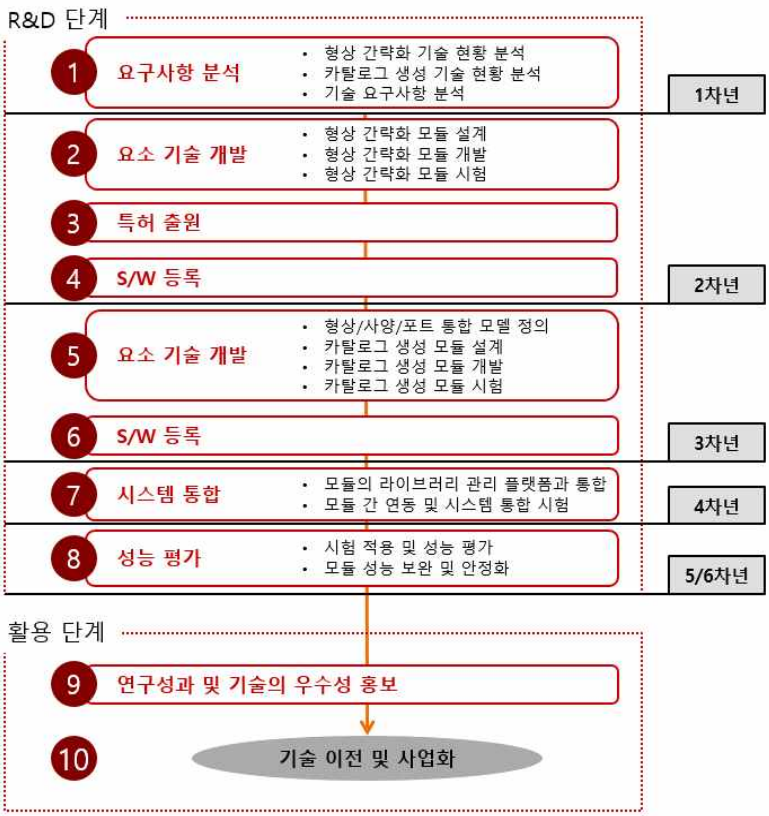
가. [주관] 협업 지원 라이브러리 형상/의미 기반 검색 및 교환 모듈 (한국과학기술원)



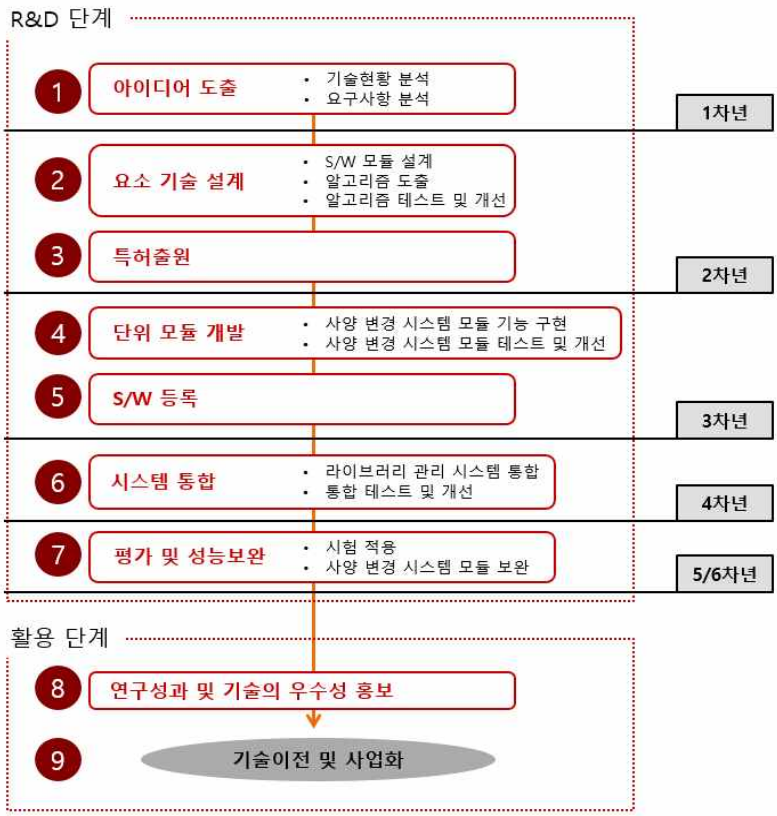
나. [공동] 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계 ((주) 지토)



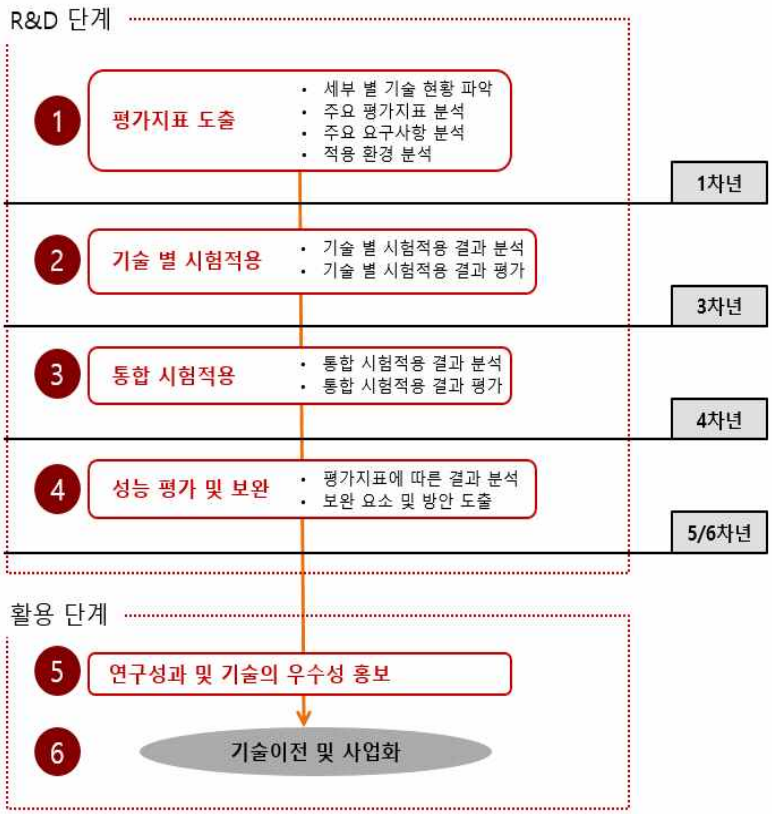
다. [공동] 협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 생성 모듈 (경북대)



라. [공동] 협업 지원 라이브러리 사양변경 모듈 (동아대)



마. [주관] 시스템 시험적용 및 성능평가 보고서 (한국과학기술원)



2.1.4 연구개발 단계에 따른 세부연구내용

가. [주관] 협업 지원 라이브러리 형상/의미 기반 검색 및 교환 모듈 (한국과학기술원)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
1단계	1차년도 ('14.12 ~'15.05)	요구사항 분석	기업 협업 지원 설계 마스터 정보 현황 분석 - 형상/의미 기반 검색 기술현황 분석 (기술현황 분석서) - 표준 기반 라이브러리 교환 기술현황 분석(기술현황분석서) - 요구사항 분석/기능 정의 (요구사항 명세서)
2단계	2차년도 ('15.06 ~'16.05)	형상/의미 기반 검색 요소기술 개발	- 형상/의미 기반 검색 방법 개발 (특허 출원서) - 형상/의미 기반 검색 모듈 설계 - 형상/의미 기반 검색 모듈 개발 - 형상/의미 기반 검색 기능 시험 (기능 시험 보고서)
	3차년도 ('16.06 ~'17.02)	표준 기반 라이브러리 교환 기술 개발	- 라이브러리 교환 방법 정의 (교환 방법) - 표준 기반 라이브러리 교환 모듈 설계 - 표준 기반 라이브러리 교환 모듈 개발 (S/W 등록) - 형상/의미 기반 검색 모듈시험 (모듈시험 보고서) - 표준 기반 라이브러리 교환 모듈시험 (모듈시험 보고서)
3단계	4차년도 ('17.03 ~'17.12)	시스템 통합	- 개발 시스템 모듈의 라이브러리 관리 플랫폼과 통합 (협업 지원 라이브러리 관리 시스템) - 모듈 간 연동 및 시스템 통합 시험 (통합 시험 보고서)
	5차년도 ('18.01 ~'18.12)	모듈시험평가	- 파일롯 플랜트에 시험적용 및 평가 (성능평가 보고서) (형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈) (표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈) - 형상/의미 기반 검색 모듈 통합 시스템에 가시화 기능 구현 - 표준 기반 교환 모듈 인터페이스 구현 및 기능 개선 - 플랫폼과 통합 방안 개선(동적 연동 등)
	6차년도 ('19.01 ~'19.12)	모듈 성능 보완	- 개발 시스템 모듈의 성능 보완 및 안정화 (S/W 등록) (형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈) (표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈)

나. [공동] 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계 ((주) 지토)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
1단계	1차년도 ('14.12 ~'15.05)	요구사항 분석	기업 협업 지원 설계 마스터 정보 현황 분석 - 라이브러리 정보 표현 표준 현황 분석 (기술현황 분석서) - 요구사항 분석/기능 정의 (요구사항 명세서)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
2단계	2차년도 ('15.06 ~'16.05)	기본기술 개발	- 협업 단위 시스템 데이터 모델 개발 (데이터 모델 구축 지침서) - 사용자/시스템/라이브러리 데이터 관리 모듈 설계 - 사용자 관리 모듈 개발 (사용자 관리 모듈) - 시스템 관리 모듈 개발 (시스템 관리 모듈) - 라이브러리 데이터 관리 모듈 개발 (라이브러리 데이터 관리 모듈) (S/W 등록) - 사용자/시스템/라이브러리 데이터 관리 기능 시험 (기능 시험 보고서)
	3차년도 ('16.06 ~'17.05)	확장기술 개발	- 협업 단위 시스템 분류체계 구축 - 분류체계/카탈로그 데이터 관리 모듈 설계 - 분류체계 관리 모듈 개발 (특허 출원서) - 카탈로그 데이터 로딩 모듈 개발 (S/W 등록) - 협업 단위 시스템 검색 모듈 개발 (검색 모듈) - 분류체계/카탈로그 데이터 관리 모듈시험 (모듈시험 보고서)
3단계	4차년도 ('17.03 ~'17.12)	시스템 통합 및 S/W 등록	- 카탈로그 데이터 출력 모듈 개발 (카탈로그 데이터 출력 모듈) - 플랫폼 및 고급 모듈 통합 (협업 지원 라이브러리 관리 시스템) - 카탈로그 데이터 관리 모듈시험 (모듈시험 보고서) - 통합 테스트 및 개선 (통합 시험 보고서)
	5차년도 ('18.01 ~'18.12)	시스템 패키징 및 성능평가	- 파일롯 플랜트에 시험적용 (성능평가 보고서) - 특허 출원 (특허 출원서) - 다른 모듈과의 동적 연동 방법 개발 - 파일롯 플랜트 대상 적용 인터페이스 개발
	6차년도 ('19.01 ~'19.12)	성능평가	- 파일롯 플랜트에 시험적용 (성능평가 보고서) - 라이브러리 관리 시스템 패키징 (S/W 등록) (패키징 S/W 및 사용자 매뉴얼)

다. [공동] 협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 생성 모듈 (경북대)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
1단계	1차년도 ('14.12 ~'15.05)	요구사항 분석	기업 협업 지원 설계 마스터 정보 현황 분석 - 형상 간략화 기술현황 분석 (기술현황 분석서) - 카탈로그 생성 기술현황 분석 (기술현황 분석서) - 요구사항 분석/기능 정의 (요구사항 명세서) (특허 출원서)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
2단계	2차년도 ('15.06 ~'16.05)	형상 간략화 요소기술 개발	- 협업 단위 시스템 형상 간략화 방법 개발 - 협업 단위 시스템 형상 간략화 SW 모듈 설계 - 협업 단위 시스템 형상 간략화 SW 모듈 개발 (S/W 등록) - 협업 단위 시스템 형상 간략화 기능 시험(기능 시험 보고서)
	3차년도 ('16.06 ~'17.05)	카탈로그 생성 요소기술 개발	- 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈 설계 - 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈 개발 - 형상/사양 포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈시험 (모듈시험 보고서)
3단계	4차년도 ('17.03 ~'17.12)	모듈 간 연동 및 시스템 통합	- 개발 SW 모듈의 라이브러리 관리 플랫폼과 통합 (협업 지원 라이브러리 관리 시스템) (특허 출원서) (S/W 등록) - 모듈 간 연동 및 시스템 통합 시험 (통합 시험 보고서)
	5차년도 ('18.01 ~'18.12)	모듈시험적용 및 성능평가	- 형상 간략화 SW 모듈의 기능 확장 및 개선 - 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 기능 확장 및 개선 - 형상 간략화 및 카탈로그 생성 SW 모듈과 라이브러리 관리 플랫폼과의 통합 방법 개선 (동적 연동 등) - 파일롯 플랜트 대상 형상 간략화 및 카탈로그 생성 SW 모듈 시험 적용 및 평가(성능평가 보고서)
	6차년도 ('19.01 ~'19.12)	성능보완/안정화 및 모듈성능평가	- 개발 모듈의 성능 보완 및 안정화 (협업 단위 시스템 형상 간략화 SW 모듈) (형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈) - 파일롯 플랜트 대상 형상 간략화 및 카탈로그 생성 SW 모듈 시험적용 및 평가(성능평가 보고서)

라. [공동] 협업 지원 라이브러리 사양 변경 모듈 (동아대)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
1단계	1차년도 ('14.12 ~'15.05)	요구사항 분석	기업 협업 지원 설계 마스터 정보 현황 분석 - 사양변경 기술현황 분석 (기술현황 분석서) - 요구사항 분석/기능 정의 (요구사항 명세서) (특허 출원서)
2단계	2차년도 ('15.06 ~'16.05)	요소기술 설계 및 특허 출원	- 사양변경 S/W 모듈 설계 (설계 명세서) - 사양변경 알고리즘 도출 (알고리즘 명세서) - 사양변경 알고리즘 시험 및 개선 (기능 시험 보고서)
	3차년도 ('16.06 ~'17.05)	단위 모듈 개발 및 S/W 등록	- 사양변경 S/W 모듈 기능 구현 (사양변경 S/W 모듈) - 사양변경 S/W 모듈시험 및 개선 (모듈시험 보고서)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
3단계	4차년도 ('17.03 ~'17.12)	시스템 통합	- 라이브러리 관리 시스템 통합 (협업 지원 라이브러리 관리 시스템) - 통합 테스트 및 개선 (시험 보고서) - 사양변경 시스템 S/W 등록 (S/W 등록)
	5차년도 ('18.01 ~'18.12)	시험 적용	- 파일롯 플랜트에 시험 적용 및 평가(성능 평가 보고서) - 사양변경 시스템 모듈 비파라메트릭 모델링 기술 개발 - 라이브러리 플랫폼과의 통합 방법 개선(동적 연동 등)
	6차년도 ('19.01 ~'19.12)	안정화	- 사양변경 시스템 모듈의 성능 보완 및 안정화 (사양변경 지침서 및 시스템 모듈)

마. [주관]시스템 시험적용 및 성능 평가 보고서 (한국과학기술원)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
1단계	1차년도 ('14.12 ~'15.05)	시스템 개발계획 수립	- 시스템 개발 기능범위/추진계획 (시스템 구성도) (시스템 개발 사양서)(기업 현황 및 요구 분석서) - 시스템 개발 세부 예산 산정
2단계	2차년도 ('15.06 ~'16.05)	시스템 기능 시험	- 시스템 구성 모듈 설계 (설계 명세서) - 시스템 구성 기능 시험 (기능 시험 절차서)
	3차년도 ('16.06 ~'17.05)	시스템 모듈시험	- 시스템 구성 모듈시험 (모듈시험 절차서)
3단계	4차년도 ('17.03 ~'17.12)	시스템 통합 시험	- 시스템 통합 테스트 및 개선 (통합 시험 보고서)
	5차년도 ('18.01 ~'18.12)	시스템 성능평가 및 적용실험	- 협업 지원 라이브러리 관리 시스템 성능평가 및 파일롯 플랜트 대상 개발 시스템 시험적용 (성능평가 절차서 및 적용실험 보고서)
	6차년도 ('19.01 ~'19.12)	시스템 성능평가 및 적용실험	- 협업 지원 라이브러리 관리 시스템 성능평가 및 파일롯 플랜트 대상 개발 시스템 시험적용 (성능평가 절차서 및 적용실험 보고서) - 추가적인 Test-Bed 발굴 및 전문가 의견 반영

2.1.5 6차년도 4세부 연구개발 추진일정

4세부

6차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	형상/의미 기반 검색 모듈 성능 보완 및 안정화													30,000	한국과학기술원
2	표준 기반 교환 모듈 성능 보완 및 안정화													30,000	한국과학기술원
3	협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계 시험적용													300,000	㈜지토
4	라이브러리 관리 시스템 패키징													57,300	㈜지토
5	특허출원													10,000	㈜지토
6	협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 생성 모듈의 성능 보완 및 안정화													40,000	경북대학교
7	파일롯 플랜트 대상 형상 간략화 및 카탈로그 생성 모듈시험 적용 및 평가													24,300	경북대학교
8	협업 단위시스템 사양변경 모듈 기능 개선 및 안정화													64,300	동아대학교
9	협업지원 라이브러리 관리 시스템 성능평가 절차서 개발													24,000	한국과학기술원
10	협업지원 라이브러리 관리 시스템 성능평가													40,100	한국과학기술원

2.2 연구 내용 및 결과

2.2.1 연구 내용 및 결과

가. [A] 협업 지원 라이브러리 형상/의미 기반 검색 및 교환 모듈

1) [A-8] 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈

가) 개요

(1) 연구 목적

○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈은 일반 기자재와 높은 복잡도를 가지는 대형기기 및 스키드 설계 데이터를 3D CAD 형상 유사도 기준으로 검색하는 기능을 제공한다. 기존 키워드 검색뿐만 아닌 3D CAD 형상 정보를 기반으로 검색함으로써 정보 모델이 불완전하거나, 오류를 포함하는 경우에도 강건한 검색이 가능하며 설계자가 의도하는 기자재 및 대형기기, 스키드를 지능적으로 검색하는 모듈이다.

(2) 연구 내용

○ 형상 기반 검색 방법의 핵심 요소 기술은 형상 디스크립터 생성이다. 형상 디스크립터 생성은 3D 형상 정보를 수치적 비교가 가능한 데이터로 표현하는 방법이며 표현된 데이터들의 유사도를 계산함으로써 형상의 유사도를 측정할 수 있다.

○ 형상 디스크립터를 통한 형상 유사도 측정 기술은 사용자가 검색 시스템에 입력한 형상에 대하여 수치적인 데이터를 생성하고 검색 데이터베이스의 모든 형상에 대하여 같은 방법으로 생성된 수치적인 데이터들을 비교함으로써 입력 형상과 유사도가 높은 형상에 대한 정보를 도출하는데 사용된다.

○ 본 연구개발과제의 검색 대상인 3D CAD 모델은 데이터 교환 목적으로 가장 많이 사용되는 B-rep 형식의 데이터인 경우가 일반적이므로 검색 모듈의 활용도를 고려하여 B-rep 및 B-rep에서 쉽게 추출이 가능한 폴리곤 모델에 적용 가능한 형상/의미 기반 검색 기술을 개발한다.

○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈은 일반 기자재, 대형기기 및 스키드에 대한 B-rep 형식의 3D CAD 모델을 입력 받아 폴리곤 형식의 3D CAD로 변환한 후 데이터베이스에 있는 형상 데이터들과 비교한 후 입력 형상과 유사도가 높은 형상을 가지는 데이터들의 목록을 검색 결과로서 사용자에게 전시한다. 검색 결과에서 사용자가 찾고자 하는 데이터를 선택 및 출력할 수 있다.

나) 수행 내용

○ 본 기술의 개발에 앞서, 국내외 형상/의미 기반 검색 기술조사 및 요구사항 분석/기능 정의를 완료하였다. 기존 기술이 가지는 한계, 현업의 요구사항 등을 파악하고, 이를 토대로 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 개발 방향을 정립했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 기술현황 분석서, 요구사항 명세서

○ 형상/의미 기반 검색 방법에 대한 정의를 통해, 모듈의 설계 및 개발을 수행하였다. 검증을 위해, 개발 SW모듈의 모듈시험을 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 모듈 설계서, 모듈시험 절차서, 모듈시험 보고서, 모듈 사용 지침서

○ 개발 SW모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼과을 통합 및 연동하고, 통합 시험을 진행하였다. 추가로, 통합 시스템의 파일롯 플랜트 시험적용을 통해, 개발 SW모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

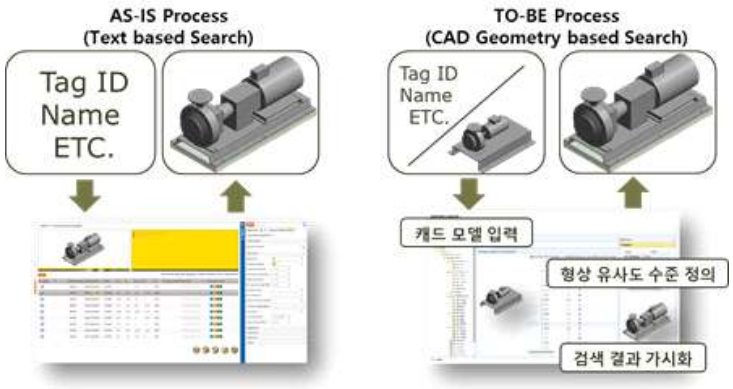
→ 성과물: 협업 지원 라이브러리 관리 시스템, 통합 시험 보고서, 성능 평가 보고서

○ 개발SW모듈의 인터페이스 구현 및 기능 개선을 수행하여 성능을 보완하였다. 플랫폼과 통합 방안을 개선하여 통합 안정성 또한 개선했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 SW모듈, 성능 평가 보고서

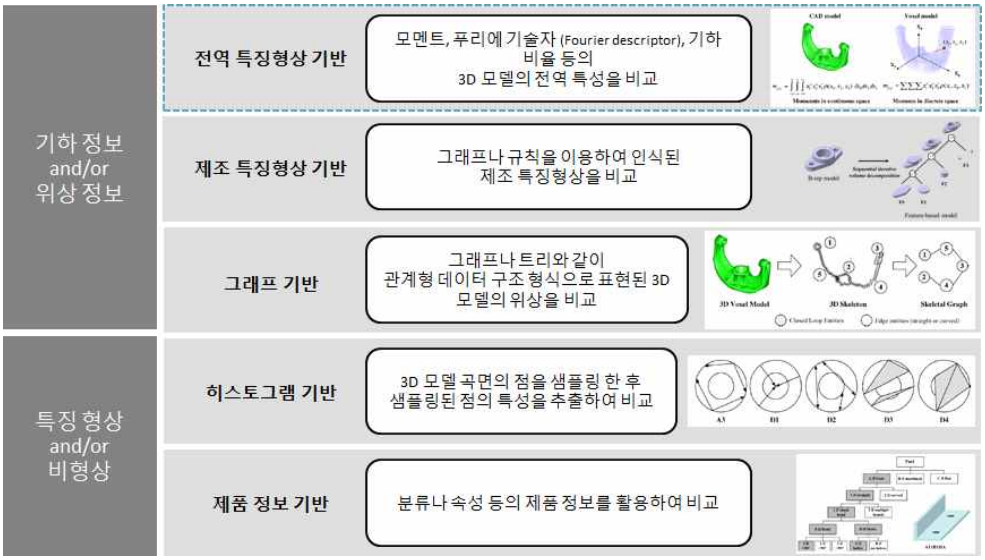
다) 상세 연구 내용

(1) 형상/의미 기반 검색 기술 요구사항 분석



[그림. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 과정]

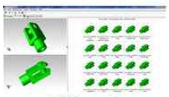
○ 기계 CAD 시스템을 대상으로 한 형상/의미 기반 검색 관련 기술연구는 많이 진행되었다. 그러나 협업 단위 시스템(기자재/대형기기/스키드)에 형상/의미 기반 검색의 적용 사례는 많지 않다. 협업 단위 시스템의 검색에 활용 가능하며 개발되는 협업 지원 라이브러리 관리 시스템에 탑재하기에 용이한 형상/의미 기반 검색 모듈의 요구사항을 분석하였다.



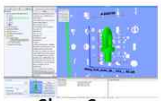
[그림. 형상/의미 기반 검색 기술 분류]

○ 히스토그램 기반 방법은 1) CAD 모델에 관한 제약 (수밀(water tight), 솔리드, 특징형상 존재)이 적고, 2) 형상 검색 과정에서 복잡한 전처리 공정 (원점 정렬, 좌표 방향 정렬 등)이 필요 없으며, 3) 추가적인 정보 (제품 정보 및 제조 공정)가 없어도 되기 때문에 플랜트 기자재 CAD 모델 검색 목적에 적합하다.

Solution Provider	Product	URL
3DSemantix	3DPartFinder	www.3dpartfinder.com
CADENAS PARTsolutions	PARTsolutions	www.partsolutions.com
Dassault Systemes	ENOVIA Live Similarity	www.3ds.com
Geometric Ltd.	3DSearchIT	www.geometricglobal.com
iSEEK Corporation	CADseek Polaris CADseek Pegasus	www.iseekcorp.com
Sconce Solutions	Bingo!	www.sconcesolutions.com
ShapeSpace Ltd.	ShapeSpace	www.shapespace.com
Siemens PLM Software	Geolus Search	www.plm.automation.siemens.com


CADseek


Geolus Search


ShapeSpace


PARTSolutions

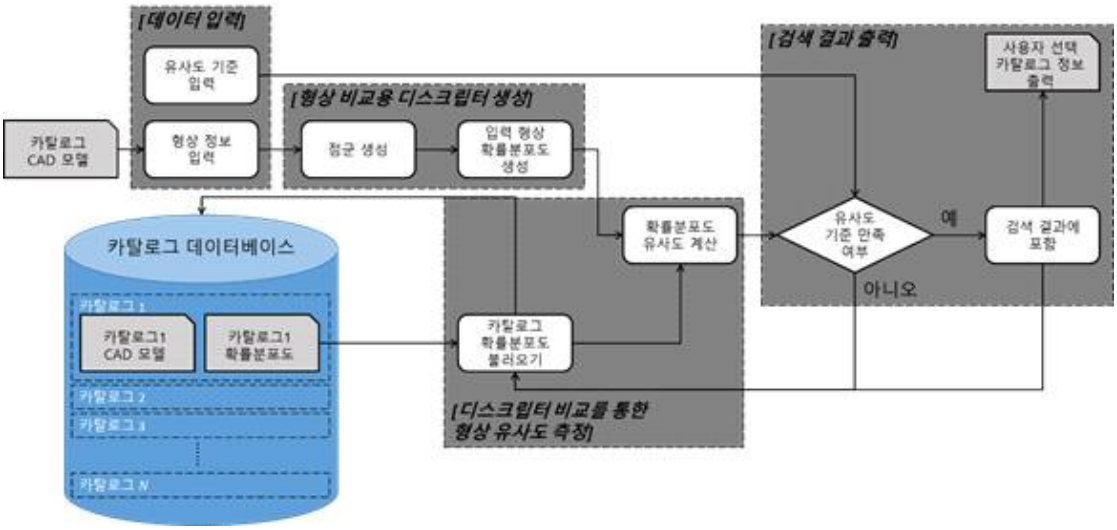
[표. 형상/의미 기반 검색 지원 상용 시스템]

○ 현재 상업용 시스템은 단순 키워드 기반 검색 기능을 주로 제공하나 선진 시스템을 벤치마킹 한 결과, 향후 형상/의미 기반 검색 기술의 적용이 필요하다.

(2) 형상/의미 기반 검색 요소 기술 개발

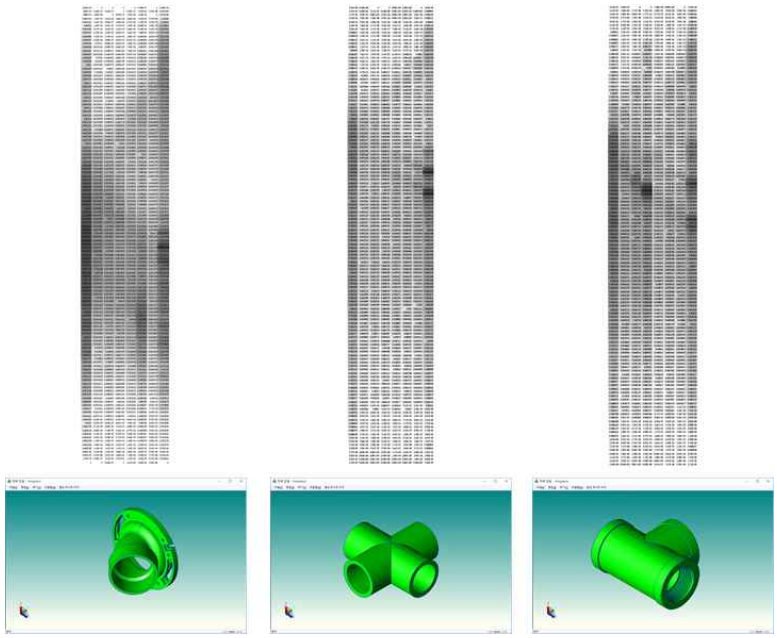
(2-1) 형상/의미 기반 검색 SW 모듈의 상세 설계

○ 기존 상용 CAD시스템의 중립 포맷으로 사용되는 STEP AP 203 데이터를 입력 받아 폴리곤 모델로 변환하고 형상 검색을 위한 형상 디스크립터 데이터를 생성한다.



○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈을 이용한 검색 과정은 다음 그림과 같이 데이터 입력, 형상 비교용 디스크립터 생성, 디스크립터 비교를 통한 형상 유사도 측정, 검색 결과 출력 단계로 구성된다. B-rep 형식 데이터의 폴리곤 형식 데이터로의 변환은 CAD 데이터 어뎁터 InterOp를 활용하여 B-rep형식으로 표현된 STEP AP203 설계 형상 파일을 읽어드린 후 CAD 커널인 ACIS를 활용하여 형상 데이터를 폴리곤 형식으로 변환한다.

○ 폴리곤 형식으로 변환된 형상의 표면을 기준으로 점군형상을 생성하고 모든 점에 대하여 법선벡터 또한 계산하여 부여한다. 생성된 점군 정보를 기반으로 2차원 확률분포도를 생성하는 방법은 Osada가 제안한 Shape Distribution의 방법을 발전 시킨 Ohbuchi가 제안한 방법을 사용하였다. 점군에서 임의의 서로 다른 두 점을 특정 횟수만큼 샘플링 한 후 두 점을 샘플링 할 때 마다 두 점 간의 거리 값과 법선의 내적을 획득하여 두 수치에 대한 2차원 확률분포도를 생성한다.



[그림. CAD 데이터 및 생성한 디스크립터 데이터 가시화 결과]

○ 두 모델의 디스크립터 데이터를 이용한 모델 유사도 분석은 두 모델로부터 생성한 확률분포도 간의 유사도 측정을 통하여 이루어진다. 2차원 배열(n*m)로 이루어진 2개의 확률분포도에서 Xij, Yij와 같이 같은 위치에 있는 요소 값들의 차이를 누적하여 계산된다.

$$D_{L1}(\mathbf{X},\mathbf{Y}) = \sum_{i=1}^{I_d}\sum_{j=1}^{I_a}\left|(x_{i,j} - y_{i,j})\right|.$$

[그림. 두 개의 확률분포도 차이 계산]

요구사항 식별자	요구사항 이름	비고
GSS-IR-001	형상 CAD 데이터 입력	설계 형상 데이터 입력
GSS-IR-002	유사도 수준 정의	검색 결과로 출력될 데이터와 검색 기준 데이터 간의 유사도 수준을 정의
GSS-IR-003	검색 결과 데이터 선택	출력된 검색 결과 목록에서 사용자가 원하는 데이터 선택
GSS-IR-004	선택 데이터 출력	사용자가 선택한 데이터를 내부 포맷으로 사용자가 원하는 디렉토리에 출력
GSS-IR-005	가시화된 CAD 모델 조작	가시화된 CAD 모델을 마우스를 이용하여 확대/축소, 회전

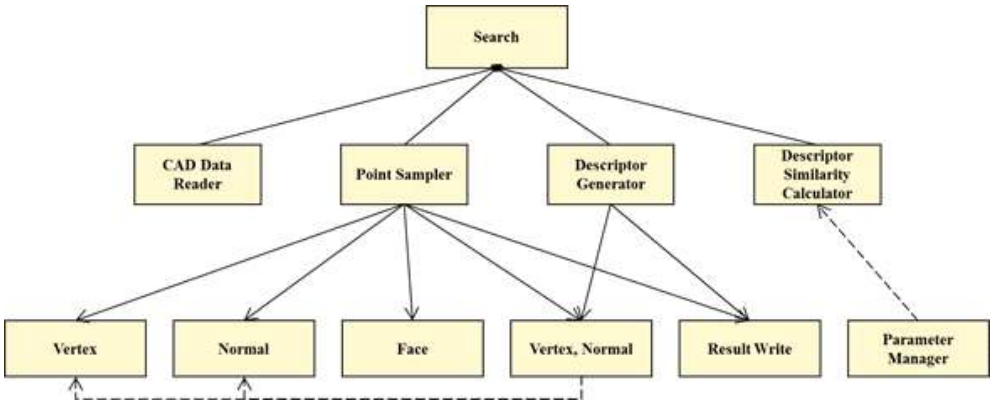
[표. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 인터페이스 요구사항]

요구사항 식별자	요구사항 이름	비고
GSS-FR-001	DB 에 CAD 모델 추가	데이터베이스에 사용자가 지정한 CAD 모델을 추가함으로써 새로운 디스크립터도 함께 생성
GSS-FR-002	DB 에 폴더에 있는 CAD 모델들 추가	데이터베이스에 사용자가 지정한 폴더 내 모든 CAD 모델을 추가함으로써 추가된 모델들의 새로운 디스크립터도 함께 생성
GSS-FR-003	(검색결과)리스트 상에 선택된 데이터 가시화	사용자가 목록에서 선택한 데이터의 CAD 모델을 가시화
GSS-FR-004	입력 모델 가시화	사용자가 검색을 위해 입력한 CAD 모델을 가시화
GSS-FR-005	형상 기반 검색	사용자가 입력한 CAD 모델의 형상을 기반으로 유사한 데이터들의 목록을 출력

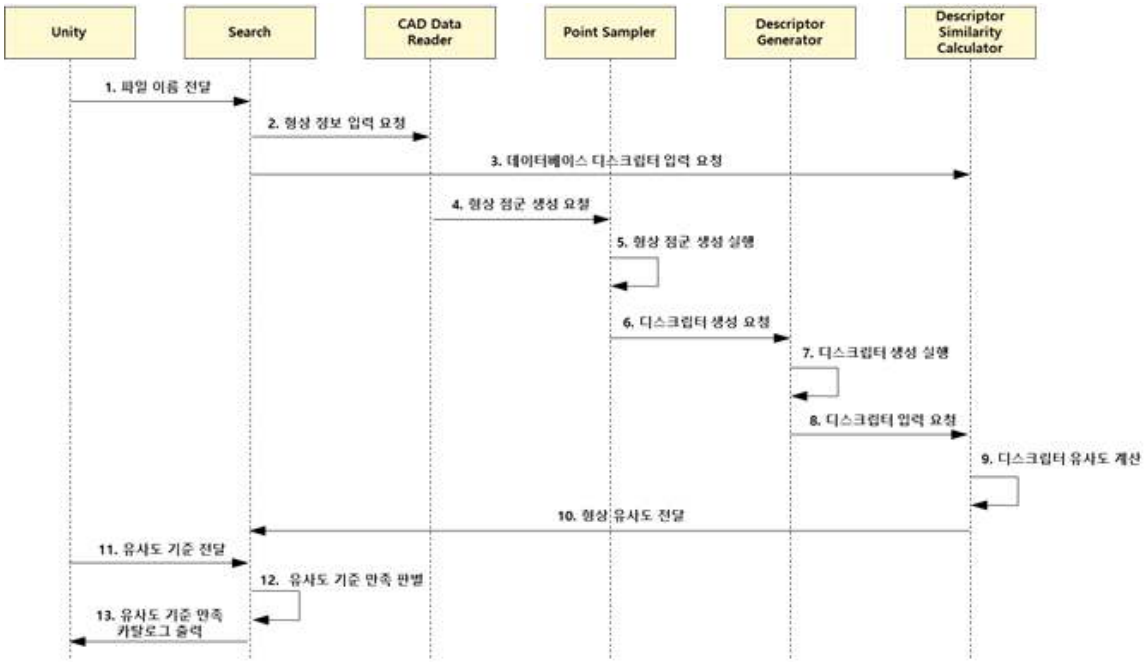
[표. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 기능 요구사항]

요구사항 식별자	요구사항 이름	비고
GSS-ECRR-001	H/W 환경	개발 대상 모듈은 미리 정의된 Hardware환경에서 구동이 되어야 한다. - Intel 플랫폼 적용
GSS-ECRR-002	S/W 환경	개발 대상 모듈의 미리 정의된 환경에 하에서 구현을 한다. 개발에 필요한 외부 도구 및 API를 사용한다. - MS Windows 에서 개발

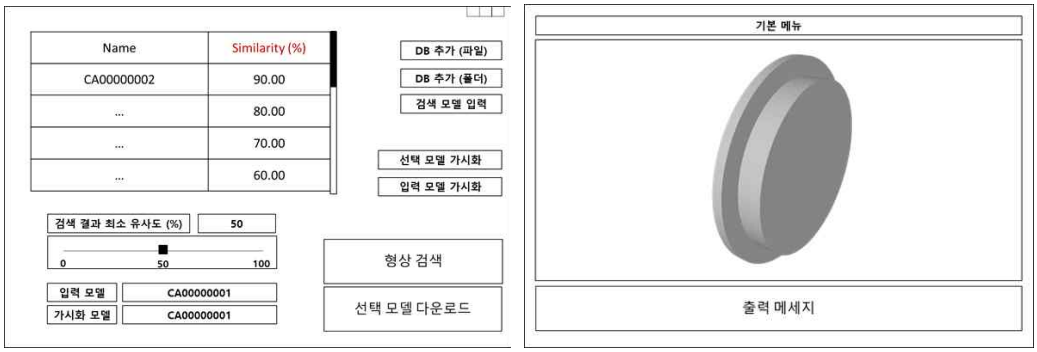
[표. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 환경 및 컴퓨터 지원 요구사항]



[그림. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 클래스 다이어그램]



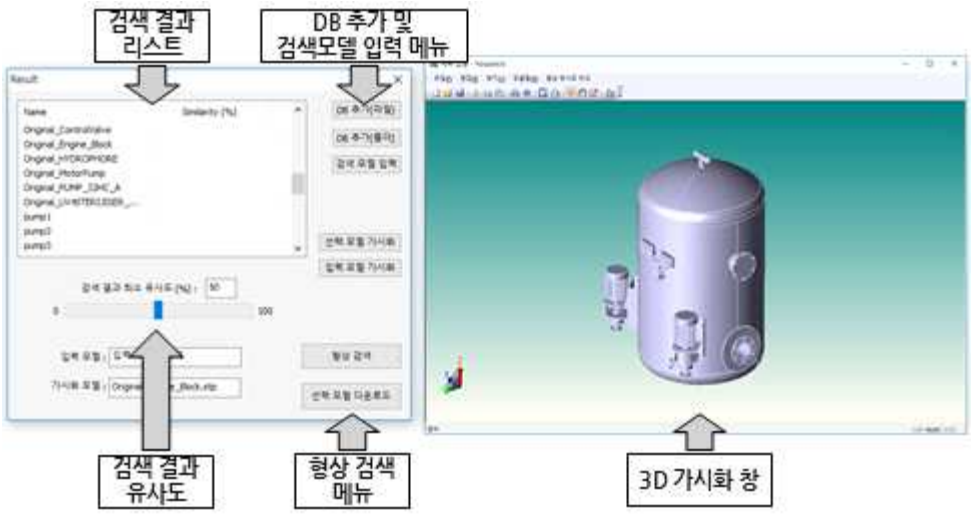
[그림. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의
주유 시퀀스 다이어그램 - 형상 기반 검색]



[그림. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 SW모듈 UI 설계]

○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 UI는 모듈 메뉴 버튼, 데이터 리스트(검색 결과), 3D 모델 가시화 창, 입력 모델 및 가시화 모델 정보 표시, 검색 결과 최소 유사도 기준 입력 슬라이더로 구성된다. 모듈 메뉴 버튼은 DB 추가(파일), DB 추가(폴더), 검색 모델 입력, 형상 검색, 선택 모델 가시화, 입력 모델 가시화, 선택 모델 다운로드가 있다. 데이터 리스트는 모듈 초기 실행이나 DB 추가 기능을 사용하였을 때 DB에 포함된 기자재 데이터 리스트를 보여주고 사용자가 원하는 데이터를 선택하는 기능을 제공한다. 3D 모델 가시화 창은 사용자가 입력한 3D CAD 모델이나 데이터 리스트에서 선택한 모델을 3차원 공간상에 가시화하여 사용자가 모델을 회전 및 확대/축소하여 확인할 수 있는 기능을 제공한다. 입력 모델 및 가시화 모델 정보 표시는 텍스트 필드 형태로 현재 입력된 데이터명과 가시화 창에 가시화된 모델의 데이터명을 보여주는 기능을 제공한다. 검색 결과 최소 유사도 기준 입력 슬라이더는 형상 검색 시 검색 결과의 최소 유사도를 검색 전 사용자가 설정할 수 있는 기능을 제공한다.

(2-2) 형상 간략화 SW 모듈의 개발



[그림. 형상/의미 기반 검색 SW 모듈 UI]

○ 기능 요구사항, 클래스 다이어그램, 시퀀스 다이어그램, 모듈 UI를 통해 바탕으로

형상/의미 기반 검색 SW 모듈을 개발하였다. 개발된 모듈의 UI는 위 그림과 같다.

(3) 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 모듈시험

(3-1) 모듈시험용 데이터

○ SW 모듈시험용 데이터는3D CAD 파일(stp 형식)로 구성되며, 52개의 모델을 포함한 라이브러리를 활용하여SW 모듈시험을 실행한다. 포함 모델은Flange류 8종, Elbow류4종, Ball Valve류 4 종, Cap류 4 종, Cross Pipe류 5 종, Pump류 3 종, Skid류 4 종, Tee Pipe류 6 종, Vessel류 4 종, 및 검색 대상으로 쓰일 기자재 및 설비 10 종으로 구성된다. 다음은 52가지 종류로 준비된 3D CAD 파일 목록 및 각 기자재의 형상을 보여주는 그림이다.



[그림. 형상/의미 기반 검색 모듈시험용 데이터]

(3-2) 모듈시험 방법 및 결과

○ 모듈의 사용 시나리오 6가지 항목에 대해 시나리오별 모듈시험을 실시하였다. 필요시 미리 준비된 모듈시험용 데이터를 이용하여 시험을 수행하며, 완료시 별첨으로 제공되는 기능시험평가표에 Pass / Fail을 기록하고 모듈시험 결과보고서에 첨부하였다. 6가지 항목의 시나리오에 대한 모듈시험 방법은 다음과 같다. 모듈시험은 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈의 모듈시험 결과는 다음 표와 같다. 모듈의 모듈시험을 테스트 한 결과 6개의 항목에 대한 모듈시험 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

시나리오	순번	세부 항목	시험 결과
폴더 선택을 통한 데이터베이스 입력	1	샘플 데이터 위치 및 내용 확인	Pass
파일 선택을 통한 데이터베이스 입력	1	3D CAD 모델 입력 및 가시화	Pass
형상 검색	1	3D CAD 모델 입력 및 가시화	Pass
	2	검색 결과 최소 유사도 설정	Pass
	3	형상 검색 실행	Pass
데이터 리스트에서 선택 및 선택 모델 가시화	1	데이터 리스트에서 데이터 선택	Pass
	2	선택 모델 가시화 실행	Pass
입력 모델 가시화	1	입력 모델 가시화 실행	Pass
선택 모델 다운로드	1	데이터 리스트에서 데이터 선택	Pass
	2	선택 모델 다운로드 및 내용 확인	Pass

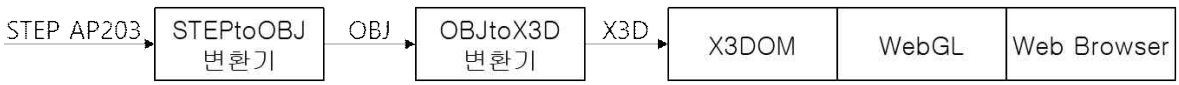
[표. 형상/의미 기반 검색 모듈의 모듈시험 결과]

(4) 형상/의미 기반 검색 SW 모듈의 기능 확장 및 개선

(4-1) 형상/의미 기반 검색 SW 모듈의 가시화 기능

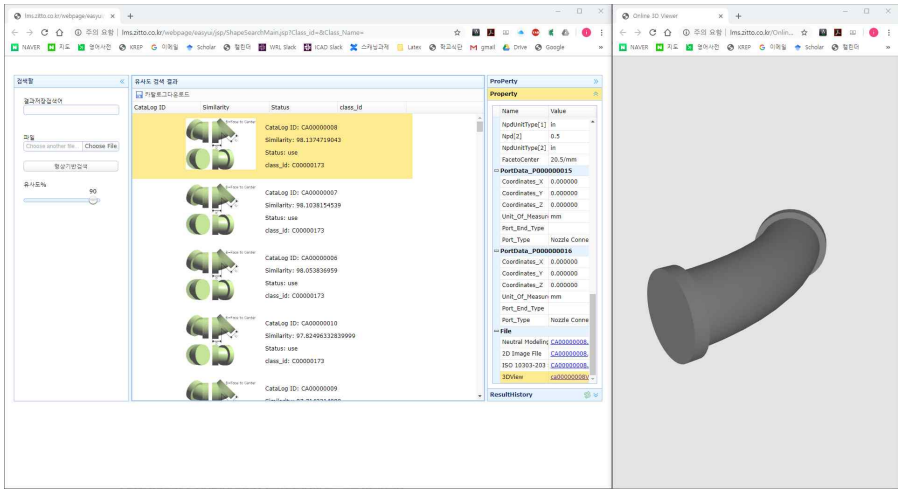
○ 통합 시스템인 협업 지원 라이브러리는 웹 기반 SW 이다. STEP AP203 형식의 형상 데이터를 데이터 형식의 변환 없이 직접 가시화하기 위해서는 Hoops 와 같은 가시화 엔진이 포함된 로컬 컴퓨터에 설치되는 Plug-in 및 SW 가 필요하다. 기존의 기계 부품 라이브러리인 CADENAS 사의 Part Solutions 는 사용자에게 별도 SW 의 설치 없이 부품 형상 가시화 기능을 제공한다. 이와 같이 별도의 SW 설치 없이 가시화 기능을 제공하려면 웹 표준 기술만을 활용한 가시화 기능이 개발하여야 한다.

○ 통합될 형상/의미 기반 검색 기능의 가시화 기능은 STEP AP203 포맷의 형상 데이터(CAD 모델)를 웹 표준 기술인 WebGL이 읽을 수 있는 형식으로 변환한 다음 WebGL을 활용하여 사용자의 웹브라우저에 가시화 한다.웹 브라우저에서 구동되는 협업 지원 라이브러리를 통해 형상 데이터를 가시화 하기 위해 아래와 같은 모듈들을 통한 데이터 변환이 필요하다.



[그림. 통합 시스템의 형상/의미 기반 검색을 위한 가시화]

○ STEP AP203포맷의 CAD 모델은 먼저 OBJ포맷으로 변환된다. OBJ로 변환된 형상 데이터는 X3D로 변환 된다. X3D 형식의 형상 데이터는 X3DOM을 통해 사용자의 웹 브라우저에서 지원하는 WebGL이 가시화 할 수 있는 데이터로 내부적으로 변환되고 최종적으로 별도의 프로그램 설치 없이 웹 브라우저를 통해 가시화 된다.

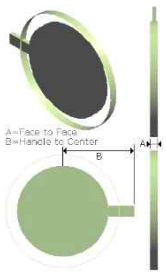
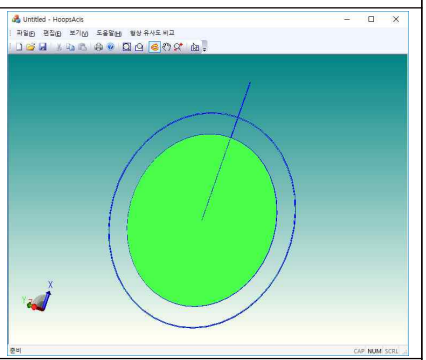
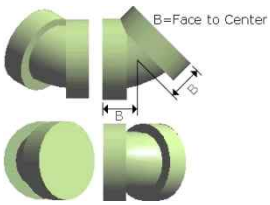
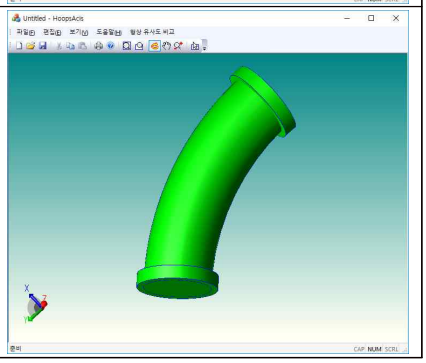


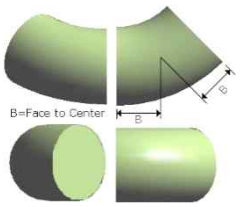
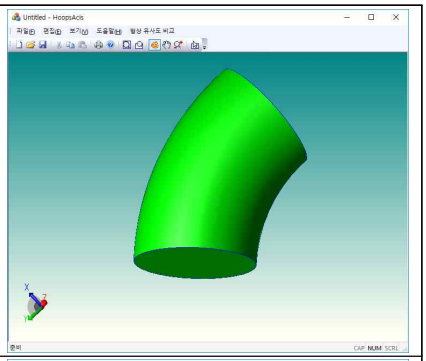
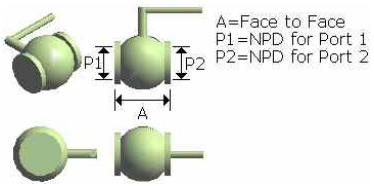
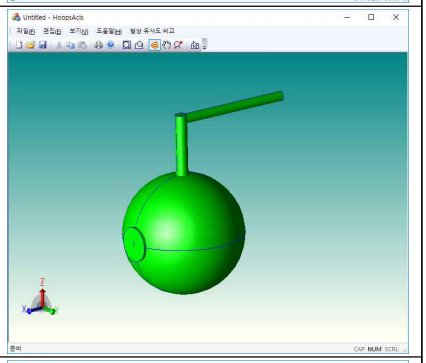
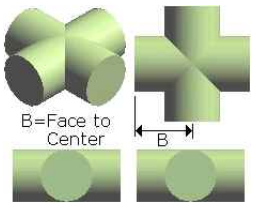
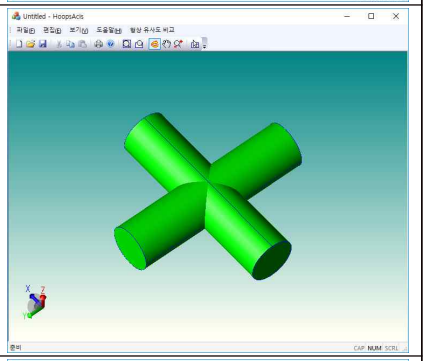
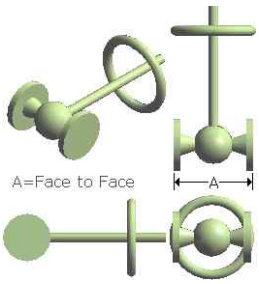
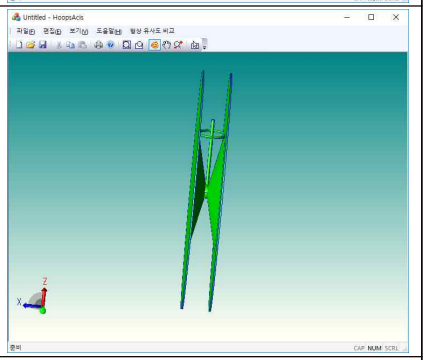
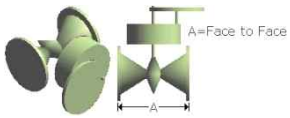
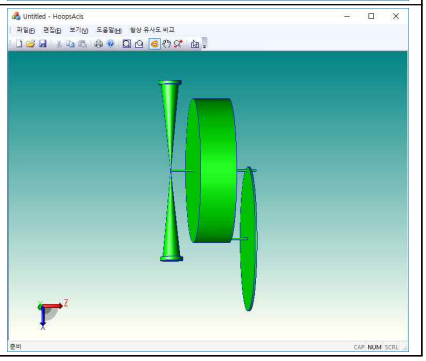
[그림. 형상/의미 기반 검색을 위해 개발한 웹 기반 3차원 가시화]

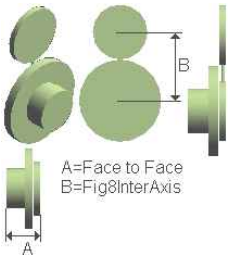
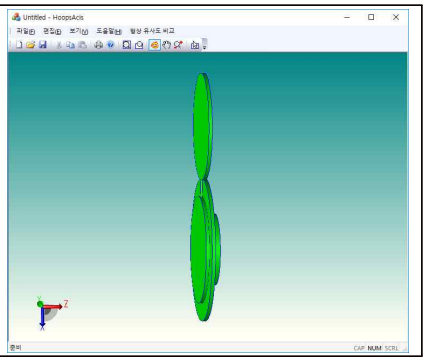
(5) 형상/의미 기반 검색 SW 모듈의 성능 평가 시험

(5-1) 성능 평가 시험용 데이터

○ 형상/의미 기반 검색 기능에 사용되는 성능평가용 카탈로그 라이브러리는 기자재 3D 모델(STEP 형식)로 구성되며, 28종의 카탈로그 데이터 139개가 포함되었다. 검색 입력 모델은 28종 중 8종을 선정하여 통합 시스템의 형상/의미 기반 검색 기능 성능평가에 활용하였다. 선정된 8종 및 각 종의 검색 입력 데이터는 아래 표와 같다.

종	검색 입력 모델 이름	3 차원 형상
 Paddle	CA00000001	
 45DegElbow	CA00000006	

 45DegLRElbow	CA00000011	
 BallValve	CA00000031	
 Cross	CA00000076	
 GlobeValve	CA00000110	
 PlugValve	CA00000115	

 SpectacleBlind	CA00000135	

[그림. 형상/의미 기반 검색 모듈 성능평가용 데이터]

(5-2) 성능평가시험 방법 및 결과

○ 형상/의미 기반 검색 모듈의 성능평가는 시험용 데이터에 대해서 통합 시스템 상의 해당 기능 사용 관련 시나리오를 통과하는지를 확인하는 방법으로 진행한다. 즉 성능평가시험용 데이터를 기준으로 형상/의미 기반 검색 모듈의 검색 기능 사용 시나리오를 모두 통과하는지를 확인한다.

○ 상기의 방법에 따라 라이브러리에서 사용자가 카탈로그 검색 시 성능평가용 검색 입력 모델인 STEP파일을 입력하여 같은 종에 속한 연관된 카탈로그가 라이브러리에서 검색되는지 확인하였다. 검색 정확도의 경우 미리 입력해 놓은 라이브러리 상의 139개의 카탈로그에서 형상/의미 기반 검색 결과 가장 유사한 카탈로그 10개를 검색 결과로 보고 입력한 카탈로그 CAD모델의 형상과 유사한 형상을 갖는 같은 종의 카탈로그 전체 개수 대비 몇 개가 검색 결과에 포함되었는지 비율을 측정하였다.

○ 형상/의미 기반 검색 모듈의 성능평가 결과는 다음 표와 같다. 형상/의미 기반 검색 SW 모듈의 성능평가시험을 테스트 한 결과 성능평가시험 시나리오 6항목에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

순번	시나리오		세부 항목	시험결과
1	형상/의미 기반 검색 모듈	형상 데이터 라이브러리 로딩	STEP 모델 입력 후 디스크립터 저장	Pass
2			검색 대상 형상 데이터 입력	Pass
3		형상 데이터 검색	검색 결과 유사도 값 제한	Pass
4			검색 결과 목록 반환	Pass
5		검색한 데이터 반환	검색 결과 목록에서 선택	Pass
6			선택 STEP 모델 저장	Pass

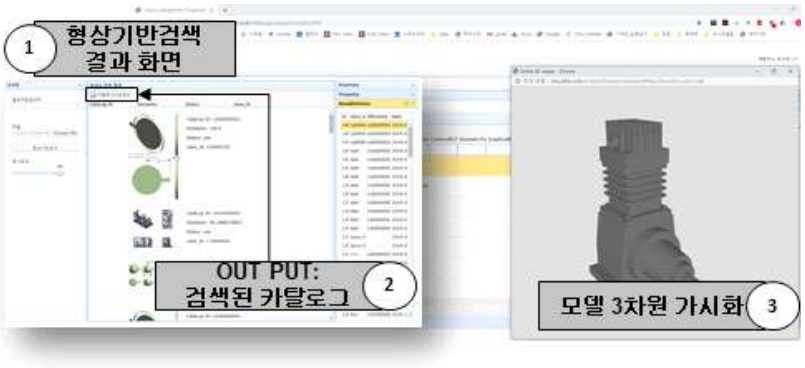
[표. 형상/의미 기반 검색 모듈의 성능평가 결과]

○ 통합 시스템의 형상/의미 기반 검색 기능의 성능평가를 테스트한 결과 검색 기능을 활용하여 139개의 카탈로그 중에서 입력 CAD모델과 유사한 형상의 같은 종의 카탈로그 데이터들이 성공적으로 검색되었으며 형상 검색 정확도는 평균 97.5%를 달성함을 확인하였다.

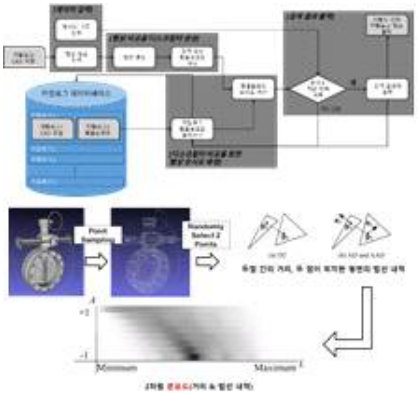
라) 결론

(1) 주요 결과

○ 국내외 기술현황과 현업의 요구사항을 파악하여, 기존 기술과의 차별성 및 현업의 요구사항 등이 반영된 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈을 개발하였다. 개발 SW모듈의 모듈시험 및 라이브러리 관리 플랫폼과의 통합 시험을 수행하여 기능 개선 및 안정화를 수행하였다. SW모듈의 인터페이스 구현 등 추가 기능을 구현했고, 플랫폼과의 통합 방안을 개선해 안정성을 향상하였다.



[그림. 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 SW모듈]



[그림. 형상 기반 검색 방법]

(2) 개발 SW의 사양

○ 사용 개발도구

- C++/C#

○ 구축환경

- 통합개발환경: Visual Studio 2015
- OS: MS Windows 10 Pro 64 bit
- CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7700K CPU @ 4.20GHz 4.20 GHz
- RAM: 16.00 GB
- SSD: 1 TB
- GPU : GeForce GTX 1060 급 이상

○ 의존관계

- 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 (지토):
  카탈로그 형상 데이터에서 형상 스크립트 파일을 생성하여 출력한 뒤 지토 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 데이터베이스에 저장 후 검색 시 데이터베이스에 저장된

형상 스크립트들을 불러와서 형상 기반 검색 SW 모듈의 입력 데이터로 활용

○ 외부툴 사용특성

- 입력 파일: STEP, HIST 파일 포맷
- 출력 파일: HIST파일 포맷, 계산된 유사도
- 형상모델링 커널: ACIS
- 형상 모델링 어댑터: 3D InterOp
- 3차원 가시화: Hoops3D

(3) 기존 기술 대비 우수성

○ 기술수준

- 연구 전: 키워드 및 분류체계기반 검색
- 연구 후: 정보 모델에 독립적인 형상 기반 검색

○ 경제성

- 연구 전: 외산 소프트웨어 의존으로 연간 지출 발생
- 연구 후: 라이브러리 관리 시스템국산화를 통해 기술의 해외 유출 방지 및 수입대체 효과 기대

○ 기존 기술 대비 우수성

- 비형상 정보가 없거나, 부족한 경우에도 형상 기반 방법은 강건하게 적용 가능

(4) 적용 가능 기술 분야

○ 동일 장치/유닛, 협업 단위 시스템 정보의 사용이 잦은 EPC사 및 기자재 벤더

(5) 향후 계획

○ 개발SW모듈의 추가검증을 위한 다양한 데이터 대상의 파일롯 플랜트 시험적용 수행

○ 개발 SW모듈의 추가적인 기능 개선 및 통합 안정화

○ 플랜트 업체 방문 및 현업종사자들과의 협의를 통한 개발기술의 실용화 추진 준비

2) [A-9] 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈

가) 개요

(1) 연구 목적

○ 라이브러리 상의 일반 기자재/대형기기/스키드에 대한 설계 데이터를 표준화하여 EPC사에 사용되는 다양한 플랜트 CAD 시스템의 데이터 형식으로 변환함으로써 데이터 교환을 지원하는 기술이다. 본 기술의 목적은 Intergraph사의 플랜트 CAD SW인 S3D의 사용자가, 기존의 3D CAD 모델을 재설계 및 수정의 과정 없이 그대로 호출하여 사용할 수 있기에, 작업시간의 단축, 인건비 절감 등 작업 효율성을 증대시키는 것에 있다.

(2) 연구 내용

○ 기술개발의 정확한 설계, 개발 방향 정립을 위해, 국내외 표준 기반 라이브러리 교환 기술조사 및 요구사항 분석/기능 정의가 필요하다. 해당 과정을 통해 기존 기술이 지니는 한계점, 기존 기술과의 차별성, 필요 구현 기능 등의 파악이 가능하다.

○ 기술조사 및 요구사항 분석/기능 정의 결과에 근거해 라이브러리 교환 방법에 대해 정의하고, 이를 기반으로 한 표준 기반 라이브러리 교환 모듈 설계가 요구된다. 개발이 완료된 표준 기반 라이브러리 교환 모듈에 대한 성능시험을 통해, 개발 모듈의 보완 및 개선 사항을 파악할 수 있다.

○ 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 완성을 위해, 개발 SW모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼과의 통합연동 및 통합 시험을 실히한다. 추가로, 통합 시스템의 파일롯 플랜트 시험적용을 수행하고, 개발 SW모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행한다.

○ 개발 SW모듈의 실용화를 위해, 플랜트 업체들의 방문 및 현업의 벤더 패키지 이슈를 파악할 필요가 있다. 더불어, 개발기술의 소개와 현업의견 수렴 등을 통한 개발기술의 상용화가 가능하다.

나) 수행 내용

○ 본 기술의 개발에 앞서, 국내외 표준 기반 라이브러리 교환 기술조사 및 요구사항 분석/기능 정의를 완료하였다. 기존 기술의 가지는 한계, 현업의 요구사항 등을 파악하고, 이를 토대로 표준 기반 라이브러리 교환 모듈의 개발 방향을 정립했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 기술현황 분석서, 요구사항 명세서

○ 라이브러리 교환 방법에 대한 정의를 통해, 표준 기반 라이브러리 교환 모듈의 설계 및 개발을 수행하였다. 검증을 위해, 개발 SW모듈의 모듈시험을 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 라이브러리 교환 방법, SW등록, 모듈시험 보고서

○ 개발 SW모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼과을 통합 및 연동하고, 통합 시험을 진행하였다. 추가로, 통합 시스템의 파일롯 플랜트 시험적용을 통해, 개발 SW모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 협업 지원 라이브러리 관리 시스템, 통합 시험 보고서, 성능 평가 보고서

○ 개발SW모듈의 인터페이스 구현 및 기능 개선을 수행하여 성능을 보완하였다. 플랫폼과 통합 방안을 개선하여 통합 안정성 또한 개선했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 표준 기반 라이브러리 교환 SW모듈, 성능 평가 보고서

다) 상세 연구 내용

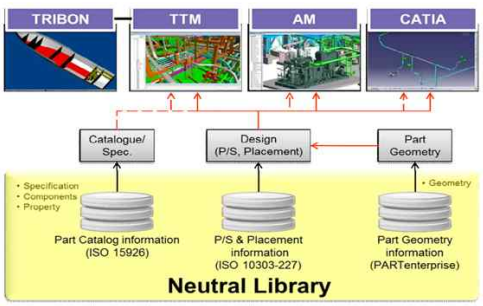
(1) 표준 기반 라이브러리 교환 기술 분석

○ 표준 기반 교환 기술기관련 기업 설계 마스터 정보현황을 분석을 위해, 플랜트 3D CAD 시스템의 카탈로그 및 스펙 데이터 입/출력 데이터를 조사하고, 플랜트 산업 표준을 이용한 설계 정보 교환 및 이양 관련 연구 조사를 수행하였다. 기존 기술들에 대해 조사하여, 기존 기술들의 분류체계, 표준 활용 등을 파악하고, 이를 통해 개발기술과의 유사성 및 차별성 등을 정립하였다.

Standards	Number	Title	Publish
STEP	ISO 10303	Standard for the exchange of product model data	621
Process Plants	ISO 15926	Integration of Life-cycle Data for Oil and Gas Production	7
PLIB	ISO 13584	Parts Library	13
MANDATE	ISO 15531	Industrial manufacturing management data exchange	6
IFC	ISO 16739	Industry Foundation Class	1
PSL	ISO 18629	Process specification language	11
IIDEAS	ISO 18876	Integration of industrial data for exchange, access, and sharing	2
OTD	ISO 22745	Open Technical Dictionary	10
ECD	ISO 29002	Exchange of characteristic data	6
Data quality	ISO 8000	Data quality - catalog management systems -- Requirements	9

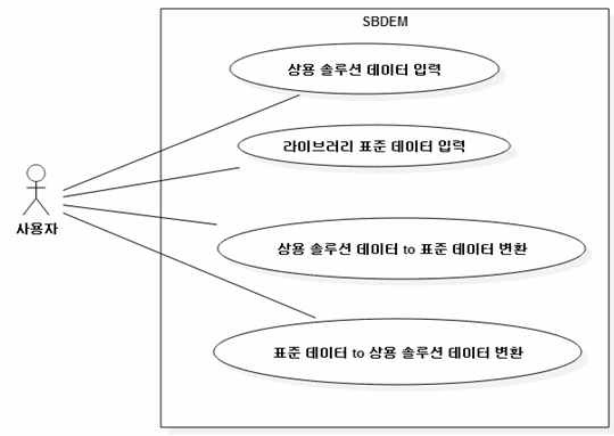
- ISO 10303 – 제품 데이터 표현의 표준을 통해 설계 및 생산 데이터의 교환
- ISO 13584 – 설계, 제조, 유지보수 및 폐기 등의 제품의 전 생애(Life Cycle)에 걸쳐서 생성된 부품정보
- ISO 15926 – 플랜트 데이터를 효과적으로 관리하고 공유
- ISO 8000 – 데이터 품질(일관성, 보안성, 접근성 등) 관리
- ISO 16739 – ISO 10303(STEP)의 개념을 건설 분야에 적용한 산업계 표준모델
- ISO 22745 – 개방형 기술사전으로서 개인, 기구, 위치, 상품 및 서비스를 기술하는데 사용되는 개념의 용어, 정의 및 이미지를 포함

[표. 플랜트 설계 데이터 관련 국제 표준]



[그림. 관련연구: 해양플랜트/선박 의장 설계 데이터 교환]

○ UML 유즈케이스 다이어그램을 이용해 모듈이 제공하는 사용자 기능을 정의하였다. 표준 기반 라이브러리 교환 SW모듈은 '상용 솔루션 데이터 입력', '라이브러리 표준 데이터 입력', '상용 솔루션 데이터 to 표준 데이터 변환', '표준 데이터 to 상용 솔루션 데이터 변환' 유즈케이스를 제공한다.



[그림. UML 유즈케이스 다이어그램]

○ 사용자 기능 정의를 바탕으로 시스템의 기능 요구사항을 다음과 같이 정의하고 시스템 상세 기능을 정의하였다.

요구사항 식별자		요구사항 이름	비고
기능	SBDEM-FR-001	상용 솔루션 데이터에서 라이브러리 표준 데이터로 변환	상용 시스템 데이터 모델과 라이브러리 데이터 모델 참조
	SBDEM-FR-002	라이브러리 표준 데이터에서 상용 솔루션 데이터로 변환	상용 시스템 데이터 모델과 라이브러리 데이터 모델 참조
인터페이스	SBDEM-IR-001	상용 솔루션 데이터 입력	SP3D와 같은 상용 솔루션에서 출력된 카탈로그 데이터
	SBDEM-IR-002	라이브러리 표준 데이터 입력	표준기반의 협업 라이브러리 내부 포맷
	SBDEM-IR-003	상용 솔루션 데이터 출력	SP3D와 같은 상용 솔루션에 입력 가능한 카탈로그 데이터
	SBDEM-IR-004	라이브러리 표준 데이터 출력	표준기반의 협업 라이브러리 내부 포맷
환경	SBDEM-ECRR-001	시스템 개발 하드웨어 환경	Intel 플랫폼 적용
	SBDEM-ECRR-002	시스템 개발 소프트웨어 환경	MS Windows 환경에서 개발

[표. 표준 기반 교환 시스템 요구사항 목록]

항목	세부 항목	기능 사항
파일 읽기	상용 솔루션 데이터 입력	상용 솔루션에서 출력된 카탈로그 데이터를 입력해야 한다.
	라이브러리 표준 데이터 입력	표준기반으로 정립된 협업 라이브러리 내부 포맷의 설계 데이터를 입력해야 한다.
데이터 변환	상용 솔루션 데이터 to 표준 데이터	특정 상용 솔루션의 설계 카탈로그 정보를 협업 라이브러리 내부의 포맷으로 변환한다.
	표준 데이터 to 상용 솔루션 데이터	협업 라이브러리 내부의 표준 포맷 데이터를 상용 솔루션에 입력 가능한 포맷으로 변환한다.

[표. 표준 기반 교환 시스템 상세 기능]

(2) 표준 기반 라이브러리 교환 기술 요소 개발

(2-1) 라이브러리 내부 카탈로그 데이터 구조 분석

○ 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈 개발에 핵심적으로 필요한 기술인 라이브러리 내부 카탈로그 데이터 구조와 상업용 플랜트 CAD 시스템 카탈로그 데이터 구조 맵핑을 위하여 라이브러리 내부 카탈로그 데이터 구조를 분석하였다. XML 형식의 카탈로그 데이터는 클래스 타입과 속성으로 이루어져 있으며 3차년도에 경북대의 성과 중 하나인 형상/사양/포트 정합 모듈을 통해 현재, 사양/포트 정보가 같이 있는 구조이다.

○ 카탈로그 XML 데이터의 클래스 타입과 속성은 각각 Class_ID와 Property_ID로 코트화 되어 있는데 이 코드에 대한 정보는 엑셀 파일에 따로 정리가 되어 있다. 그리고 이 엑셀 파일에서는 시트가 나뉘어져 있는데 분류체계 시트에서는 라이브러리 시스템의 분류체계를 따라 클래스 가 나뉘어져 있으며 Class_ID를 따라 여기서 클래스 타입을 찾을 수 있다. 속성 시트에는 각 속성을 Property_ID와 같이 나열하여 놓았으며 그 옆에 Code_Type과 Unit_Code를 함께 기술하여 이 값을 보고 다시 단위를 찾을 수 있게 하여

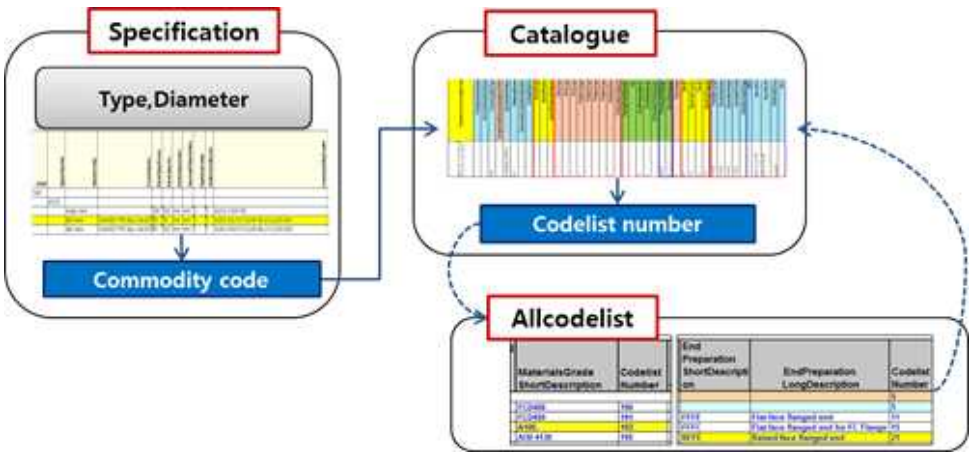
준다. 속성 관계 시트에서는 앞에서 찾은 클래스 별로 Property_ID를 묶어 놓아 굳이 Property_ID를 XML 데이터에서 찾지 않더라도 손쉽게 해당 클래스의 속성이 뭐가 있는지 알 수 있게 한다. 코드 마스터 시트에서는 Code_Type과 Unit_Code가 기술되어 있어 앞서 설명한 속성 시트에서 각 속성에 맞는 Code_Type과 Unit_Code를 찾아 여기서 속성 타입과 단위에 대한 정보를 알 수 있다.

(2-2) 상업용 플랜트 CAD 시스템 대상의 카탈로그 데이터 구조 분석

○ 가장 일반적으로 사용되는 상업용 플랜트 CAD 시스템 중 하나인 Intergraph사의 SP3D를 대상으로 카탈로그 데이터 구조를 분석하였다. 데이터 분석을 위한 카탈로그 샘플 데이터는, 파이프류 기자재 중에서 비교적 복잡하고 요구되는 속성들이 많은 Ball Valve를 선정했으며, 삼성중공업에서 제공받은 배관류 데이터를 이용하였다. 카탈로그 엑셀 시트는 아래와 같이 구성되어있다.

속성	설명
PartClassType	S3D 비즈니스 객체 이름
SymbolDefinition	3D 형상을 생성하는 스크립트 객체 이름
OA-InsulationThickness	설계 시 해당 종류의 카탈로그에 대해서 사용자가 직접 입력하는 속성

○ 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈의 요구사항(1차년도 산출물)을 바탕으로 만들어진 모듈 설계서를 기반으로 라이브러리 내부 카탈로그 데이터 구조와 상업용 플랜트 CAD 시스템 카탈로그 데이터 구조의 일치 여부 확인 시나리오를 만들었고 모듈 실험 보고서에 그 내용을 상세히 기재하여 모듈시험 시 활용할 수 있도록 하였다.

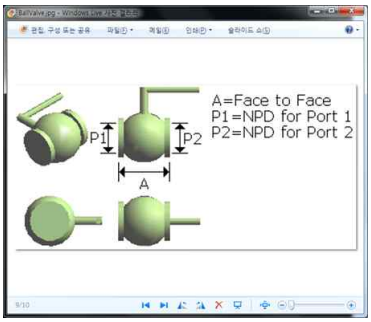


[그림. S3D 주요파일의 데이터 관계도]

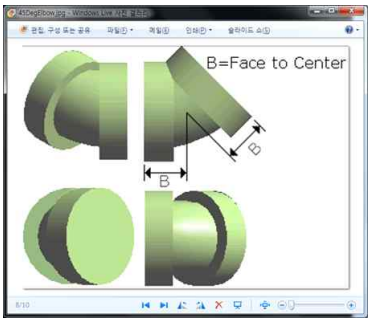
(3) 표준 기반 라이브러리 교환 SW모듈의 모듈시험

(가) 모듈시험용 데이터 및 시험 방법

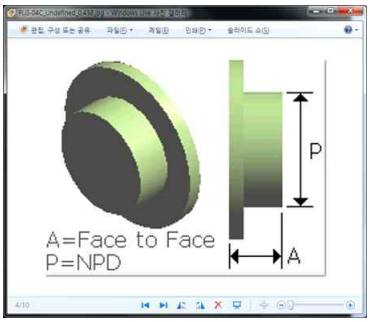
○ SP3D 구조를 따라 3D CAD 시스템들이 요구하는 일반 기자재, 대형기기 및 모듈화 스키드에 대한 카탈로그 분류체계를 담을 수 있도록 설계된 파이프류 5종 20개 샘플데이터 대상의 모듈시험을 수행하였다. 테스트 데이터는 카탈로그 정보가 분류체계의 클래스 타입, 속성, 유닛, 포트 정보로 이루어져 있으며, XML 데이터로서 그 정보들은 ID화 되어 있다.



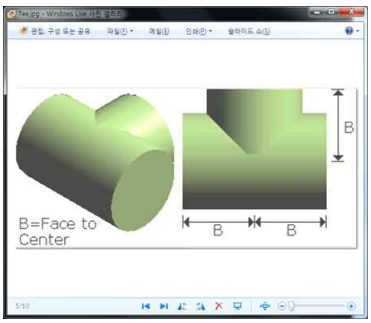
BallValve



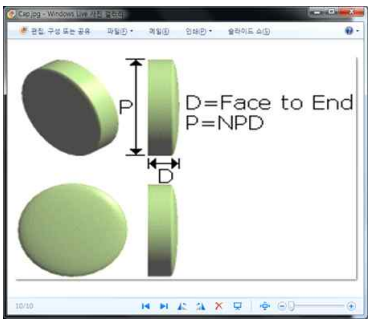
45DegElbow



Weld Neck Flanges



Tee



Cap

[표. 라이브러리 카탈로그 모듈시험용 데이터 3D CAD Image]

○ 상업용 플랜트 CAD 카탈로그 분석 정보와의 비교를 위해서 분류체계 클래스 타입 ID 정보가 있는 분류체계 표, 속성 ID 정보가 있는 속성 표, 그리고 유닛/포트 정보가 있는 코드 마스터를 통해 클래스 타입과 속성에 대한 정보를 얻고, 상업용 플랜트 CAD 카탈로그 데이터 구조와 일치 하는지 비교 검사를 수행한다. 이와 같이 검사 수행 결과를 바탕으로 카탈로그 데이터 구조 일치율이 100%인지 여부를 확인한다.PartClassType(비즈니스 객체의 이름)이 시험용 데이터의 분류체계 클래스 타입과 같은 기능으로 사용되어지는지에 대해 확인하였고, SymbolDefinition(3D 형상을 생성하는 스크립트 객체(클래스)의 이름)이 시험용 XML 데이터 내부의 FileData 스트립트와 같은 기능으로 사용되어지는지에 대해 확인하였다.

(나) 모듈시험 결과

○ 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈은 모듈시험 절차서 상의 시나리오 5개 항목을 모두 통과(Pass)됨을 확인하였고, 모듈시험 결과 및 산출물은 아래와 같다.

순번	시나리오	세부 항목	시험 결과
1	샘플 데이터 및 내용	샘플 데이터 위치 및 내용 확인	Pass
2	각 샘플 XML 데이터 분류체계 클래스 타입 식별	XML 데이터 Class_ID 식별	Pass
3		분류체계 시트에서 Class_ID에 해당하는 클래스 타입 식별	Pass
4	각 샘플 분류체계 타입 별 속성 식별	XML 데이터 Property_ID 식별	Pass
5		속성 시트에서 Property_ID에 해당하는 속성 식별	Pass
6		속성 시트에서 각 속성에 해당하는 Unit_Code 식별	Pass
7		코드 마스터 시트에서 Unit_Code에 해당하는 단위 식별	Pass
8	상업용 플랜트 CAD 카탈로그 데이터 구조 분석	클래스 타입 파악	Pass
9		사용자 정의 속성 파악	Pass
10		포트 개수 특성 파악	Pass
11		포트 개별 단위 특성 파악	Pass
12	구조 분석 결과와 샘플 데이터 비교 및 일치 여부 확인	클래스 구조 일치 여부 확인	Pass
13		사용자 정의 속성 일치 여부 확인	Pass
14		포트 개수 특성 일치 여부 확인	Pass

[표. 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈의 사용 시나리오]

산출물 번호	산출물 이름	산출물 타입
2016-A-4	상업용 카탈로그 데이터 구조 분석서	보고서
2016-A-3	형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 및 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈 SW 모듈시험 보고서	보고서

[표. 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈 - 산출물 목록]

(4) 표준 기반 라이브러리 교환 모듈의 기능 확장 및 개선

(4-1) 중립 형상 CAD 모델의 상용 플랜트 CAD 시스템 카탈로그 데이터 변환 기능 개발

○ 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 시스템 모듈을 3D 형상과 비형상으로 구분하여 상용 플랜트 3D CAD 시스템(Intergraph S3D)에서 사용할 수 있도록 3D 형상 데이터 교환과 비형상 카탈로그 데이터 교환으로 구분하여 기능을 분리하여 개발하였다. 3차년도에

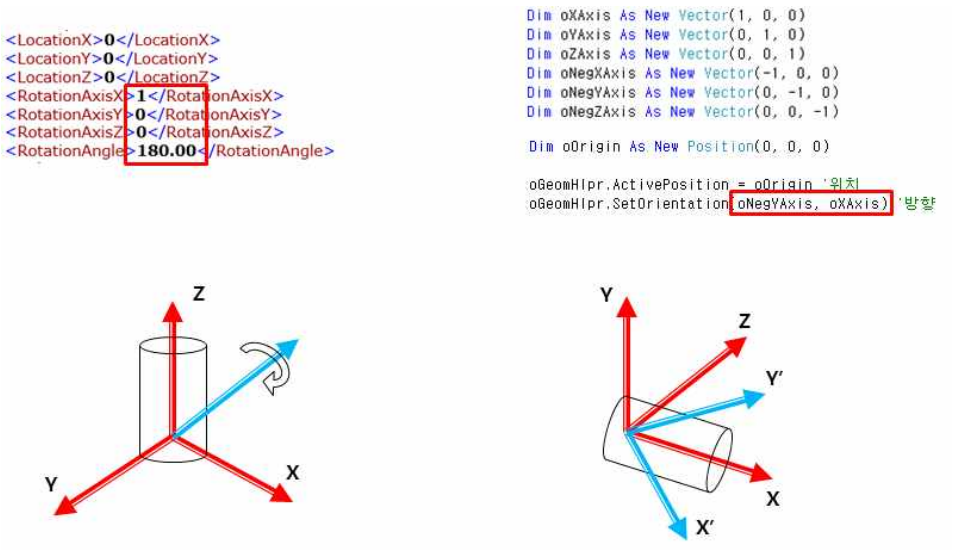
분석한 상용 플랜트 3D CAD 시스템과 플랜트 협업지원 라이브러리의 중립 카탈로그 데이터 구조간의 매핑 결과를 바탕으로 형상과 비형상 데이터에 대해 형상 스크립트 변환 시스템 모듈과 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈을 개발하였다.

(가) 형상 스크립트 교환 모듈 개발

○ 상용 플랜트 CAD 시스템인 Intergraph사의 Smart 3D에서 3D 모델 생성을 위해서는 카탈로그 데이터인 Symbol이라 불리는 DLL파일이 필요하다. 이와 대응되는 라이브러리 내부의 형상 스크립트 (중립 형상 생성파일)는 XML 형식으로 구성된다. 기자재 모델링만을 위한 정보에 플랜트 CAD 기자재 조립에 필수적인 포트, 노즐 정보를 추가하여 실제로 모델링 된 모델이 S3D에서 호출까지 가능하도록 기능을 구현하였다.이를 위해, 형상 스크립트와 Smart 3D 사이의 정확한 매핑 관계 정의, 시스템 간 모델링 환경의 변환 등을 수행하였다.

프리미티브 매핑	
형상 스크립트	Symbol
SCYLINDER(cylinder)	Cylinder
LSNOUT(snout)	Cone
	EccentricCone
SCONE(cone)	Cone
SBOX(box)	Box
SDSH(cylinderical dish)	Sphere
SEXTRUSION(extrusion)	Projected Polygon From Vertices
LPYRAMID(pyramid)	Pyramid
	box

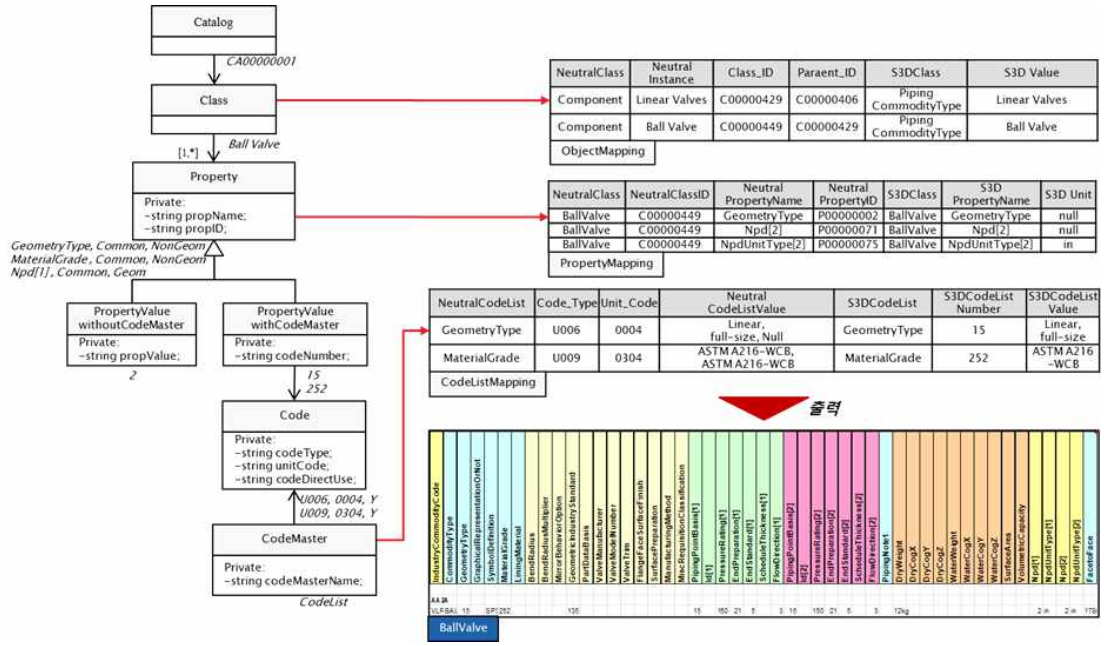
[표. 형상 스크립트와 Symbol의 프리미티브 매핑표]



[그림. 모델링 환경 (좌)형상 스크립트, (우)Smart 3D]

(나) 비형상 카탈로그 교환 모듈 개발

○ 3차년도에 분석한 상용 플랜트 3D CAD 시스템(Intergraph S3D)과 플랜트 협업지원 라이브러리의 중립 카탈로그 구조간의 데이터 매핑 결과를 바탕으로 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈에 필요한 카탈로그 데이터 구조를 정의했고, 카탈로그 데이터 구조는 플랜트 협업 지원 라이브러리에 저장된 카탈로그 데이터와 기자재 분류체계 데이터를 표현한다.

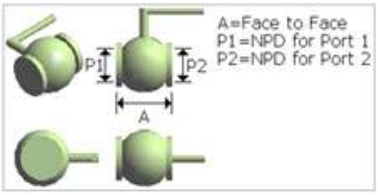


[그림. 중립 카탈로그 데이터 모델과 상용 플랜트 3D CAD 시스템 모델 간의 매핑]

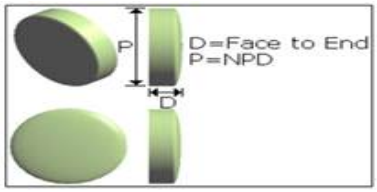
(4-2) 라이브러리 관리 플랫폼과의 통합방안 개발

(가) 형상 스크립트 교환 모듈의 통합시험

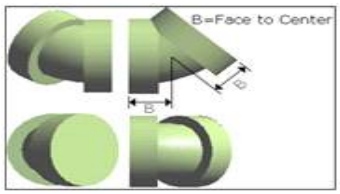
○ 통합시험에 앞서, 형상 스크립트 교환 SW모듈의 모듈시험을 수행하였다. 기자재 3D 모델 형상 스크립트 (XML 형식)로 구성된 5종의 기자재 (BallValve, Cap, Tee, BlindFlange, 45DegElbow)를 시험용 데이터로 선정하여 테스트를 진행한 결과, 11개의 시나리오에 대해 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.



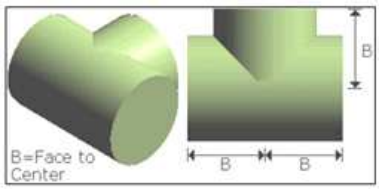
BallValve



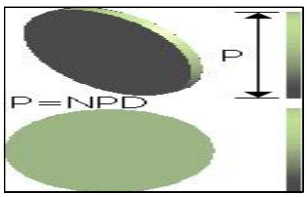
Cap



45DegElbow



Tee



BlindFlange

[그림. 형상 스크립트 교환 모듈시험용 데이터]

순번	시나리오	세부 항목	시험 결과
1	**형상 스크립트 데이터 입력**	**XML 데이터 파싱(parsing)**	**Pass**
2	입력 데이터 식별 및 분류	기자재 모델의 Aspect 분류	Pass
3		프리미티브의 위치, 방향, Input 정보 분류	Pass
4		기자재 모델의 Parameter 분류	Pass
5		기자재 모델의 포트, 노즐 정보 분류	Pass
6	위치 및 방향 변환	형상 스크립트의 위치 및 방향을 Symbol의 위치 및 방향으로 데이터 변환	Pass
7	프리미티브 생성	형상 스크립트와 Symbol의 프리미티브 매핑표에 따라 대응되는 프리미티브 생성	Pass
8		형상 스크립트 프리미티브의 Input 정보를 Symbol 프리미티브의 Input 정보로 변환	Pass
9	포트 및 노즐 생성	기자재 모델의 포트, 및 노즐 생성	Pass
10	교환된 파일 출력	형상 스크립트에서 Smart 3D Symbol 소스코드로 교환된 정보 출력	Pass
11	**Smart 3D를 이용한 출력파일 확인**	**출력파일이 Sart 3D에서 작동하는지 확인**	**Pass**

[그림. 형상 스크립트 교환 모듈의 모듈시험 결과]

○ 모듈시험에 사용된 5종의 기자재를 시험용 데이터로 선정하여, 표준 기반 라이브러리 교환 SW모듈의 통합시험을 진행하였다.

○ 형상 스크립트 교환 모듈의 통합시험은, 동아대로부터 생성된 기자재 3D 모델의 형상 스크립트인 통합시험용 데이터를 기준으로 형상 스크립트 교환 모듈의 사용 시나리오를 모두 통과하는지를 확인하고, 형상 스크립트 교환 모듈이 생성한 Smart 3D 형상 생성 데이터(Symbol)를 이용하여 형상 스크립트 교환 모듈과 연동되는 경북대의 비형상 카탈로그 교환 모듈의 출력 파일인 카탈로그 파일과 함께 Smart 3D 시스템에서 관련 시나리오를 시험하여 통과하는지를 확인한다.

순번	시나리오		세부 항목	시험 결과
1	형상 스크립트 교환 모듈	형상 스크립트 데이터 입력	XML 데이터 파싱(parsing)	Pass
2		입력 데이터 식별 및 분류	기자재 모델의 Aspect 분류	Pass
3			프리미티브의 위치, 방향, Input 정보 분류	Pass
4			기자재 모델의 Parameter 분류	Pass
5			기자재 모델의 포트, 노즐 정보 분류	Pass
6		위치 및 방향 변환	형상 스크립트의 위치 및 방향을 Symbol의 위치 및 방향으로 데이터 변환	Pass
7		프리미티브 생성	형상 스크립트와 Symbol의 프리미티브 매핑표에 따라 대응되는 프리미티브 생성	Pass
8			형상 스크립트 프리미티브의 Input 정보를 Symbol 프리미티브의 Input 정보로 변환	Pass
9		포트 및 노즐 생성	기자재 모델의 포트, 및 노즐 생성	Pass
10		교환된 파일 출력	형상 스크립트에서 Smart 3D Symbol 소스코드로 교환된 정보 출력	Pass
11		Smart 3D를 이용한 출력파일 확인	출력파일이 Smart 3D에서 작동하는지 확인	Pass
1	Smart 3D	기자재 3D 모델 생성	경북대의 카탈로그 파일과 결합하여 Smart 3D 시스템 상에서 기자재 모델링	Pass

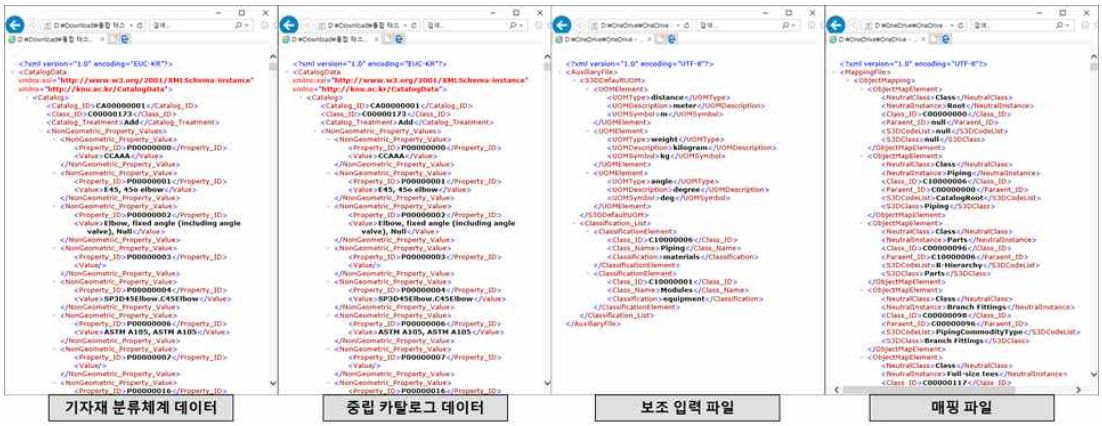
[그림. 형상 스크립트 교환 모듈의 통합시험 결과]

○ 형상 스크립트 교환 모듈의 통합시험을 테스트 한 결과 통합 시험 시나리오 12항목(형상 스크립트 교환 모듈의 시나리오 11항목과 이 시스템과 연동되는 비형상 교환 모듈의 시나리오 중 Smart 3D와 연동 1 항목)에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

(나) 비형상 카탈로그 교환 모듈의 통합시험

○ 통합시험에 앞서, 비형상 스크립트 교환 모듈의 모듈시험을 수행하였다. 19가지 타입의 기자재에 대해서 XML 형식으로 저장된 카탈로그 데이터를 작성하였고, 기자재

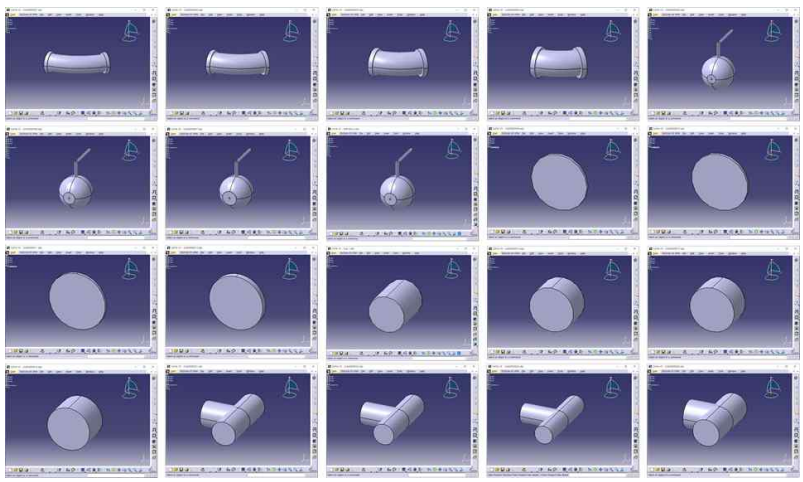
카탈로그는 45 Degree Elbow, Ball Valve, Blind flange, Cap, Tee 등 총 20종을 사용하였다. 8개 항목의 시나리오에 대한 모듈시험 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.



[그림. 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈의 모듈시험용 입력 XML 파일]



[그림. 중립 카탈로그 데이터의 2D 이미지 파일]



[그림. 중립 카탈로그 데이터의 3D CAD 파일]

○ 통합시험을 위해, 모듈시험에 사용된 20종의 기자재 중 6종의 기자재 (45 Degree Elbow, Ball Valve, Blind flange, Cap, Tee, Heat Exchanger)를 선정하였다.

○ 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈의 통합시험은, 통합시험용 데이터를 기준으로 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈의 사용 시나리오를 모두 통과하는지를 확인한다. 그리고 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈이 생성한 데이터를 이용하여 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈과 연동되는 협업지원 라이브러리 관리 플랫폼과 상용 플랜트 3D CAD 시스템(Intergraph S3D)의 인터페이스 관련 시나리오를 시험하여 통과하는지를 확인한다.

순번	시나리오		세부 항목	시험결과
1	협업지원 라이브러리 관리 플랫폼	분류체계 데이터 출력	기자재 분류체계 데이터를 출력	Pass
2		카탈로그 데이터 출력	중립 카탈로그 데이터를 출력	Pass
1	비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈	분류체계 데이터 입력	분류체계 데이터 내부 메모리에 저장	Pass
2		카탈로그 데이터 입력	중립 카탈로그 데이터 내부 메모리에 저장	Pass
3		보조입력 파일 입력	보조입력파일 내부 메모리에 저장	Pass
4		매핑 파일 입력	매핑 파일 내부 메모리에 저장	Pass
5		출력 폴더 지정	변환될 카탈로그 데이터를 저장할 폴더 경로 지정	Pass
6		데이터 변환 실행	중립 카탈로그 데이터를 매핑 파일을 이용하여 데이터를 매핑 후 상용 플랜트 3D CAD 시스템에 사용가능한 파일(.xls) 출력	Pass
1	상용 플랜트 3D CAD 시스템 (S3D)	카탈로그 데이터 입력	S3D에서 제공하는 BulkLoad를 통해 카탈로그 데이터 업로드	Pass

[그림. 비형상 카탈로그 교환 모듈의 통합시험 결과]

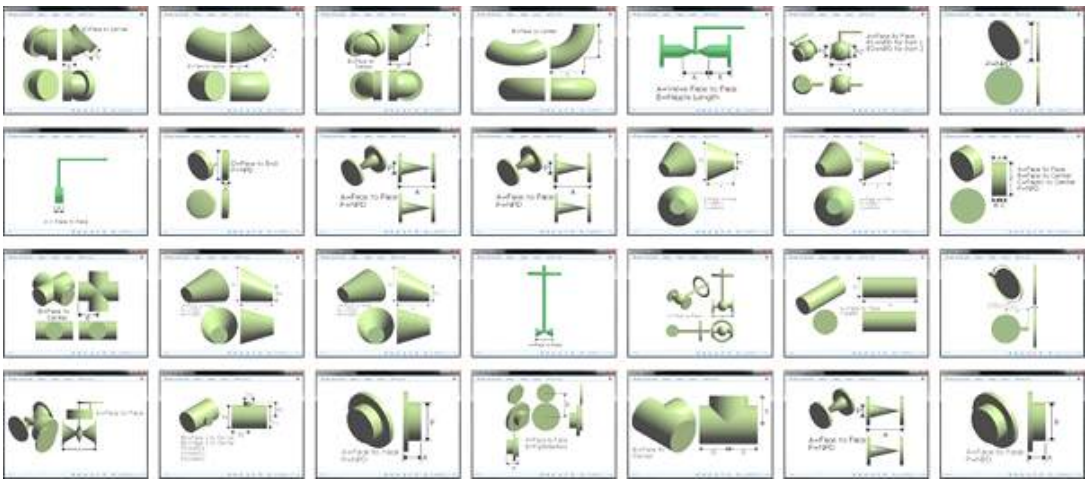
○ 비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈의 통합시험을 테스트 한 결과, 통합 시험 시나리오 9항목(비형상 카탈로그 변환 시스템 모듈의 시나리오 6항목과 이 시스템과 연동되는 협업지원 라이브러리 관리 플랫폼의 시나리오 중 외부 연동 2 항목 및 상용 플랜트 3D CAD 시스템에 카탈로그 데이터 입력 1 항목)에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

(5) 표준 기반 라이브러리 교환 모듈의 성능평가시험

(5-1) 형상 스크립트 교환 모듈의 성능평가시험

(가) 성능평가시험용 데이터

○ 성능평가시험용 데이터는 XML 형식으로 입력되며, 필즈 엔지니어링에서 제공받은 총 34종의 피팅타입 중 형상 스크립트 생성이 가능한 28종에 대한 성능평가시험에 활용하였다. 선정된 성능평가시험용 데이터는 45 Degree Elbow, 45 Degree Long Radius Elbow, 90 Degree Elbow, 90 Degree Long Radius Elbow, Ball Valve, Ball Valve with Nipple Length and Valve Face to Face, Blind Flange, Butterfly Valve, Cap, Check Valve, Check Valve with Female End Preparation, Concentric Reducer, Concentric Swage, Coupling, Cross, Eccentric Reducer, Eccentric Swage, Gate Valve, Globe Valve, Nipple, Paddle, Plug Valve, Reducing Tee, Socketweld Flange, Spectacle Blind, Tee, Wafer Check Valve, Weld Neck Flange이다.



[그림. 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈 성능평가시험용 데이터]

(나) 성능평가시험 방법 및 결과

○ 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈의 성능평가는 통합 시험용 데이터에 대해서 해당 시스템 모듈의 사용 시나리오 전체와 이 시스템 모듈과 연동되는 타 시스템 모듈의 인터페이스 관련 시나리오를 통과하는지를 확인하는 방법으로 진행한다. 즉 동아대로부터 생성된 기자재 3D 모델의 형상 스크립트인 성능평가용 데이터를 기준으로 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈의 사용 시나리오를 모두 통과하는지를 확인한다. 그리고 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈이 생성한 Smart 3D 형상 생성 데이터(Symbol)를 이용하여 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈과 연동되는 경북대의 비형상 데이터 교환 모듈의 출력 파일인 카탈로그 파일과 함께 Smart 3D 시스템에서 관련 시나리오를 시험하여 통과하는지를 확인한다.

○ 상기의 방법에 따라 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈의 통합 시험 시나리오 12항목을 선정하여 모듈의 성능평가를 실시하였다. 필요시 미리 준비된 성능평가용 데이터를 이용하여 시험을 수행하며 성능평가평가표에 Pass / Fail을 기록하고 성능평가 결과보고서에 첨부하였다. 12가지 항목의 시나리오에 대한 성능평가 방법은 다음과 같다. 성능평가는 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다.

○ 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈의 성능평가 결과는 다음 표와 같다. 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈의 성능평가를 테스트 한 결과 통합 시험 시나리오 12항목(표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈의 시나리오 11항목과 이 시스템과 연동되는 비형상 교환 모듈의 시나리오 중 Smart 3D와 연동 1 항목)에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

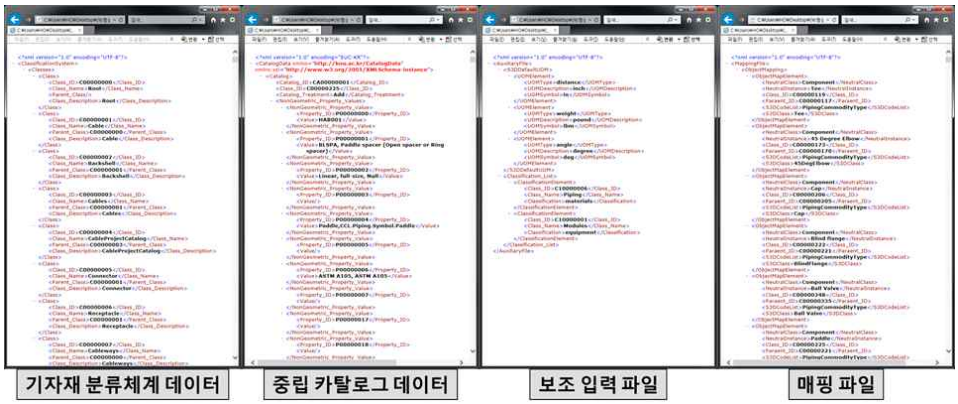
순번	시나리오		세부 항목	시험 결과
1	표준 기반 중립 카탈로그 (형상심볼) 변환 모듈	형상 스크립트 데이터 입력	XML 데이터 파싱(parsing)	Pass
2		입력 데이터 식별 및 분류	기자재 모델의 Aspect 분류	Pass
3			프리미티브의 위치, 방향, Input 정보 분류	Pass
4			기자재 모델의 Parameter 분류	Pass
5			기자재 모델의 포트, 노즐 정보 분류	Pass
6		위치 및 방향 변환	형상 스크립트의 위치 및 방향을 Symbol의 위치 및 방향으로 데이터 변환	Pass
7		프리미티브 생성	형상 스크립트와 Symbol의 프리미티브 매핑표에 따라 대응되는 프리미티브 생성	Pass
8			형상 스크립트 프리미티브의 Input 정보를 Symbol 프리미티브의 Input 정보로 변환	Pass
9		포트 및 노즐 생성	기자재 모델의 포트, 및 노즐 생성	Pass
10		교환된 파일 출력	형상 스크립트에서 Smart 3D Symbol 소스코드로 교환된 정보 출력	Pass
11		Smart 3D를 이용한 출력파일 확인	출력파일이 Smart 3D에서 작동하는지 확인	Pass
1	Smart 3D	기자재 3D 모델 생성	경북대의 카탈로그 파일과 결합하여 Smart 3D 시스템 상에서 기자재 모델링	Pass

[그림. 표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈의 성능평가시험 결과]

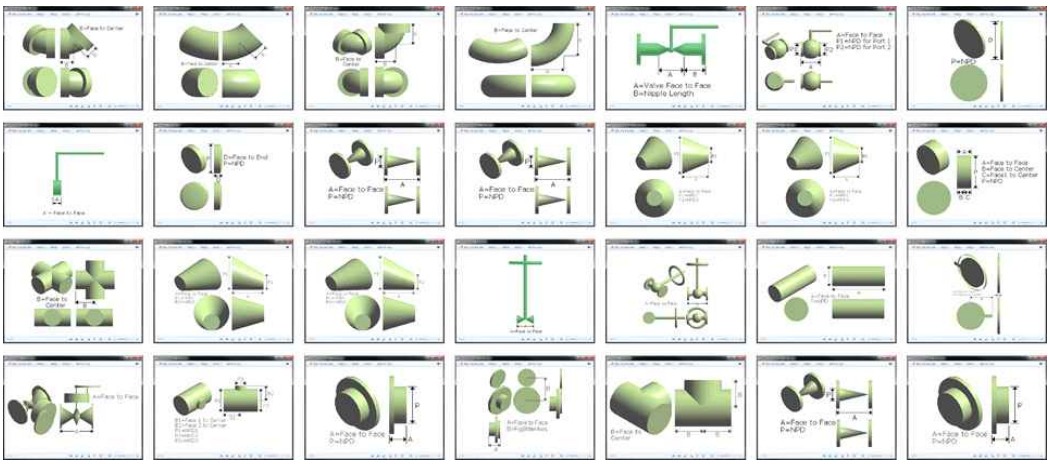
(5-2) 비형상 카탈로그 교환 모듈의 성능평가시험

(가) 성능평가시험용 데이터

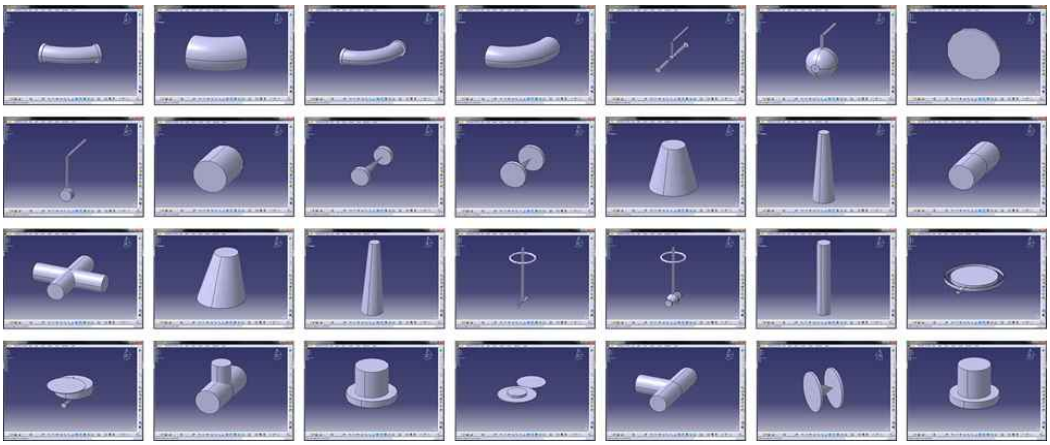
○ 성능평가시험용 데이터는 XML 형식으로 입력되며, 필즈 엔지니어링에서 제공받은 총 34종의 피팅타입 중 형상 스크립트 생성이 가능한 28종에 대한 성능평가시험에 활용하였다. 선정된 성능평가시험용 데이터는 45 Degree Elbow, 45 Degree Long Radius Elbow, 90 Degree Elbow, 90 Degree Long Radius Elbow, Ball Valve, Ball Valve with Nipple Length and Valve Face to Face, Blind Flange, Butterfly Valve, Cap, Check Valve, Check Valve with Female End Preparation, Concentric Reducer, Concentric Swage, Coupling, Cross, Eccentric Reducer, Eccentric Swage, Gate Valve, Globe Valve, Nipple, Paddle, Plug Valve, Reducing Tee, Socketweld Flange, Spectacle Blind, Tee, Wafer Check Valve, Weld Neck Flange이다. 다음 그림은 성능평가시험을 위해서 준비된 기자재 분류체계 데이터, 중립 카탈로그 데이터, 보조 입력 파일, 매핑 파일을 보여준다.



[그림. 비형상 카탈로그 교환 모듈의 성능평가시험용 입력 XML 파일]



[그림. 중립 카탈로그 데이터의 2D 이미지 파일]



[그림. 중립 카탈로그 데이터의 3D CAD 파일]

(나) 성능평가시험 방법 및 결과

○ 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈의 성능평가시험은 성능평가시험용 데이터에 대해서 해당 시스템 모듈의 사용 시나리오 전체와 이 시스템 모듈과 연동 되는 타 시스템 모듈의 인터페이스 관련 시나리오를 통과하는지를 확인하는 방법으로 진행한다. 즉 성능평가시험용 데이터를 기준으로 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터)

변환 모듈의 사용 시나리오를 모두 통과하는지를 확인한다. 그리고 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈이 생성한 데이터를 이용하여 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈과 연동되는 협업지원 라이브러리 관리 플랫폼과 상용 플랜트 3D CAD 시스템(Intergraph S3D)의 인터페이스 관련 시나리오를 시험하여 통과하는지를 확인한다.

○ 상기의 방법에 따라 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈의 성능평가시험 시나리오 9항목을 선정하여 모듈의 성능평가시험을 실시하였다. 필요시 미리 준비된 성능평가시험용 데이터를 이용하여 시험을 수행하며 성능평가시험평가표에 Pass / Fail을 기록하고 성능평가시험 결과보고서에 첨부하였다. 9가지 항목의 시나리오에 대한 성능평가시험 방법은 다음과 같다. 성능평가시험은 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다.

○ 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈의 성능평가시험 결과는 다음 표와 같다. 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈의 성능평가시험을 테스트 한 결과 성능평가시험 시나리오 9항목(표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈의 시나리오 6항목과 이 시스템과 연동되는 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 시나리오 중 외부 연동 2 항목 및 상용 플랜트 3D CAD 시스템에 카탈로그 데이터 입력 1 항목)에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

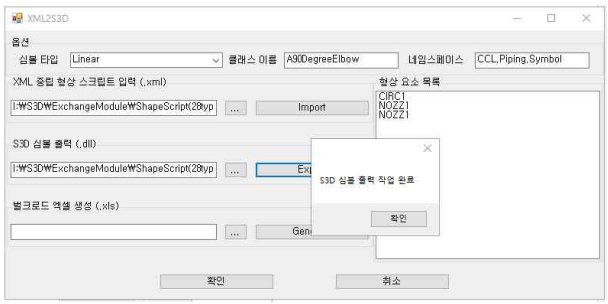
순번	시나리오		세부 항목	시험결과
1	협업지원 라이브러리 관리 플랫폼	분류체계 데이터 출력	기자재 분류체계 데이터를 출력	Pass
2		카탈로그 데이터 출력	중립 카탈로그 데이터를 출력	Pass
1	표준 기반 중립 카탈로그 (비형상데이터) 변환 모듈	분류체계 데이터 입력	분류체계 데이터 내부 메모리에 저장	Pass
2		카탈로그 데이터 입력	중립 카탈로그 데이터 내부 메모리에 저장	Pass
3		보조입력 파일 입력	보조입력파일 내부 메모리에 저장	Pass
4		매핑 파일 입력	매핑 파일 내부 메모리에 저장	Pass
5		출력 폴더 지정	변환될 카탈로그 데이터를 저장할 폴더 경로 지정	Pass
6		데이터 변환 실행	중립 카탈로그 데이터를 매핑 파일을 이용하여 데이터를 매핑 후 상용 플랜트 3D CAD 시스템에 사용가능한 파일(.xls) 출력	Pass
1	상용 플랜트 3D CAD 시스템 (S3D)	카탈로그 데이터 입력	S3D에서 제공하는 BulkLoad를 통해 카탈로그 데이터 업로드	Pass

[그림. 표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈의 성능평가시험 결과]

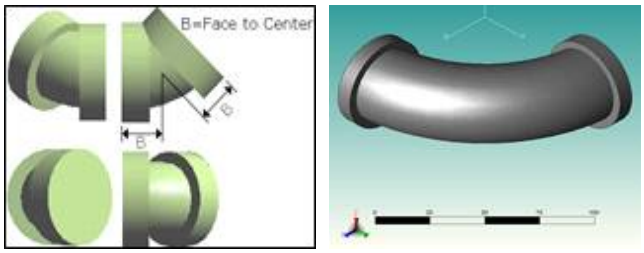
라) 결론

(1) 주요 결과

○ 국내외 기술현황과 현업의 요구사항을 파악하여, 기존 기술과의 차별성 및 현업의 요구사항 등이 반영된 표준 기반 라이브러리 교환 모듈을 개발하였다. 개발 SW모듈의 모듈시험 및 라이브러리 관리 플랫폼과의 통합 시험을 수행하여 기능 개선 및 안정화를 수행하였다. SW모듈의 인터페이스 구현 등 추가 기능을 구현했고, 플랫폼과의 통합 방안을 개선해 안정성을 향상하였다.



[그림. 표준 기반 라이브러리 교환 SW모듈]



[그림. 중립형상모델과 변환된 심볼형상]

(2) 개발 SW의 사양

(형상 교환 SW모듈)

○ 사용 개발도구

- C#

○ 구축환경

- 통합개발환경: MS Visual Studio 2017
- OS: MS Windows 10 Pro
- CPU: Intel(R) Core(TM) i7 이상
- RAM: 16.00 GB이상
- HDD 또는 SSD: 512 GB 이상

○ 의존관계

- 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 (지토):
  지토가 개발한 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼에서 표준 형상 스크립트를 가져온 후 Intergraph S3D 형상DLL파일로 변환○ 외부툴 사용특성

○ 외부툴 사용특성

- Intergraph의 S3D:
  형상·비형상 교환 SW모듈의 결과물인 형상DLL파일과 비형상 카탈로그 데이터는 상용 플랜트 CAD SW인 Intergraph S3D의 DB에 벌크로드 되고, S3D에서 3D CAD 모델의 형상 호출 및 모델링이 가능함

- GUI: WPF(windows presentation foundation)

- XML 파싱: MSXML 4.0

- 출력 파일: Intergraph S3D DLL 형상파일

(비형상 교환 SW모듈)

○ 사용 개발도구

- 개발 언어: C#

○ 구축환경

- CPU: Intel(R) Core(TM) i7 이상

- RAM : 16.00 GB 이상

- HDD: 500 GB 이상

- GPU : GeForce GTX 1060 급 이상

○ 의존관계

- 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 (지토):
  지토 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼에서 중립 분류체계, 중립 카탈로그 데이터를 다운로드 받아서 비형상 교환 SW 모듈의 입력 데이터로 활용함

○ 외부툴 사용특성

- 출력 파일: Intergraph S3D 벌크로드(bulkload) 엑셀파일 양식

(3) 기존 기술 대비 우수성

○ 기술수준

- 연구 전: 표준 활용 플랜트 데이터 교환의 협업 단위 시스템 대상 연구 미비

- 연구 후: 플랜트 국제 표준의 국내 육상 플랜트 분야 적용 가능성 검증

○ 경제성

- 연구 전: 동일 모델의 반복 설계 및 수정으로 인한 효율성 저하 및 생산단가 증가
- 연구 후: 기존 모델의 호출로 인한 불필요한 재설계 및 수정 절차 생략 및 생산단가 절감

○ 기존 기술 대비 우수성

- 국제표준 ISO 15926을 적용하여 타 시스템과의 상호운용성을 높임
- 기존 적용 대상인 Intergraph의 S3D 외에, AVEVA의 PDMS와 같은 타 상용 플랜트 CAD SW와의 연동이 가능함. 현재, 변환 인터페이스의 추가적인 개발을 통해, 중립 포맷을 타 상업용 시스템과 연동하는 것이 기술적으로는 문제없는 상황임

(4) 적용 가능 기술 분야

○ 동일 모델의 반복적인 설계 및 수정에 많은 시간이 소요되는 EPC사 또는 기자재 벤더

(5) 향후 계획

○ 개발SW모듈의 추가검증을 위한 다양한 데이터 대상의 파일롯 플랜트 시험적용 수행

○ 개발 SW모듈의 추가적인 기능 개선 및 통합 안정화

○ 플랜트 업체 방문 및 현업종사자들과의 협의를 통한 개발기술의 실용화 추진 준비

나. [B] 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계

1) [B-7] 협업 지원 라이브러리 관리 시스템

가) 개요

(1) 연구 목적

○ PLM 기반 협업 지원 체계와 연동되어 협업 단위 모듈화 기획/평가와 협업 단위 모듈화 설계/시공성 평가를 위한 기반 정보를 제공하는 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리를 위한 협업 단위 시스템 분류체계와 데이터 모델을 개발하고, 협업 지원 라이브러리 데이터 관리와 정보 표현을 위하여 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 기술을 개발하여, 설계 과정에서 필요한 기자재, 공용 장치 및 유닛을 검색하여 활용할 수 있는 지원 시스템을 제공함에 그 목적이 있다.

(2) 연구 내용

○ 기업 협업 지원 설계 마스터 정보 현황 파악 및 요구사항을 분석, 정제하여 협업 지원 라이브러리 관리 시스템 기능을 정의하고, 국제 표준 ISO 15926을 참조, 확장하여 분류체계 데이터 모델 구조를 설계한다.

○ 협업 지원 라이브러리 관리 시스템 기본 아키텍처를 설계하여 정보관리 플랫폼의 구성 모듈 개발하고, 협업 단위 시스템 데이터 모델 핵심 기술과 라이브러리 관리 모듈을 개발하여 기능 시험을 수행한다.

○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 및 협업 단위 시스템 정보관리 플랫폼의 구성 모듈들과 협업지원 라이브러리 관리 플랫폼을 통합하고, 이에 대한 적절한 시험을 수행하여 시스템의 성능을 검증한다.

○ 시스템을 패키지화하여 파일럿 플랜트 또는 Test-bed에 적용하여 성능 평가를 수행하고, 지속적인 시스템의 성능 개선과 기자재 속성의 표준화를 수행한다.

○ 분류체계는 현업에서 사용 중인 데이터 사례와 플랫폼 내 소프트웨어 모듈 간의 데이터 교환을 위한 데이터 모델 포맷을 기본으로 설계되었으며, 대형기기를 포함한 기자재 6 level(420여종)과 7 level(470여종)으로 구현하고 시스템 통합과정에서 발생한 기자재 인스턴스를 모두 수용할 수 있도록 확장하였다. 데이터 모델의 기자재 속성은 현장 실무자의 의견을 우선 수용하여 선정한 후, 4세부의 형상관련 SW 모듈에서 사용 가능하도록 형상 속성과 비형상 속성으로 세분화하였다. 현재, 카탈로그 라이브러리는 Equipment 포함 3,500 여종으로 구축된 상태이다.

나) 수행 내용

○ 협협 지원 라이브러리 관리 시스템과 협업 지원 라이브러리 분류체계의 개발에 앞서 기업 협업 지원 설계 마스터 정보의 현황을 분석, 요구사항을 파악하여 개발 기술의 기본요소 기술을 설계하였고, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 기술현황 분석서, 요구사항명세서, 데이터 모델 구축 지침서

○ 도출된 사용자 요구를 기반으로 목적 시스템의 기본요소 기술인 라이브러리 관리 및 시스템 관리 모듈을 개발하고, 개발된 모듈들을 대상으로 기능 시험을 수행하였다.

→ 성과물: SW등록, 기능 시험 보고서

○ 시스템의 확장 기술인 분류체계 및 카탈로그 관리 모듈을 설계, 개발하였으며 기 개발된 모듈들의 기능을 개선하여 모듈시험을 수행하여 모듈의 성능을 보완하고 안정화 시켰다.

→ 성과물: SW등록, 특허출원, 모듈시험보고서

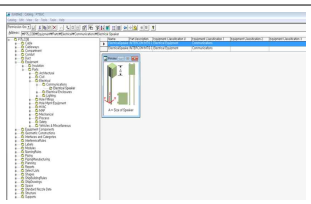
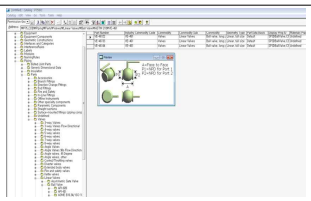
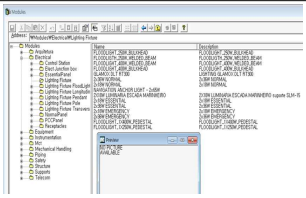
○ 개발 SW 모듈의 기능개선과 플랫폼과 고급 모듈들의 통합을 수행한 후 모듈시험과 총합시험을 수행하였으며, 파일롯 플랜트 대상 적용을 위한 인터페이스를 개발, 시스템을 패키지화하였다.

→ 성과물: 협업 지원 라이브러리 관리 시스템(SW 모듈), 모듈시험보고서, 통합 시험보고서, 특허 출원, SW등록(패키징 SW), 사용자 매뉴얼

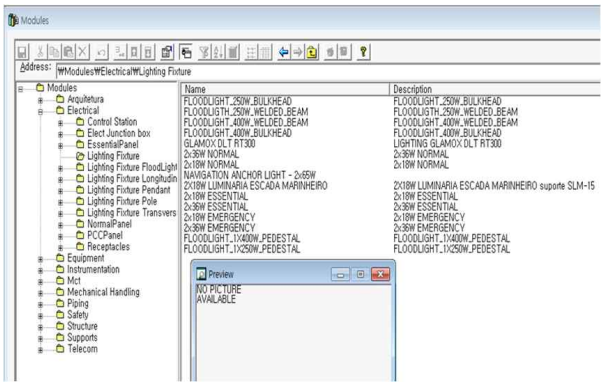
다) 상세 연구 내용

(1) 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계 요구사항 분석

○ 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼은 협업단위시스템(일반기기, 대형기기, 스키드 등) 데이터 관리, 기본 검색 및 정보 가시화 기능을 제공한다. 이의 구현을 위하여 관련 유사 시스템의 인터페이스와 데이터 관리, 사용자 계정 및 접근 관리 방법을 분석하고 협업 단위 시스템에 적합한 플랫폼 기술을 조사하고 요구사항을 도출하였다.

카탈로그 관리 기술사례	관련 그림	분석
SP3D Catalog Equipment	 Equipment 속성	▪ 일반적인 플랜트의 catalog를 총 망라한 계층 구조임 ▪ 각 catalog 별로 계층 구조를 제공하여 말단 노드에 놓인 구체적인 Equipment를 정의하기 위한 속성들을 정의 ▪ 입력을 위한 엑셀파일Ten_Specs_CatalogData가 생성 ▪ 기하 정보 정의를 위한 파라미터가 설정
SP3D Catalog Valve	 Valve 속성	▪ 일반적인 플랜트의 Piping을 총 망라한 계층 구조 ▪ 각 Piping에 사용되는 부품별로 계층 구조를 제공하여 말단 노드에 놓인 구체적인 valve를 정의하기 위한 속성들을 정의 ▪ Valve 기하 정보 정의를 위한 파라미터가 설정
SP3D 형상중심입력 Modules	 형상중심 입력 모듈	▪ Module은 단순 형상만 입력 할 때 사용 (외부 파일 (DGN 형식) 지원) ▪ 스키드나 특수 기기 (벤더가 사양이나 형상을 모두 결정) ▪ 포트 등은 별도로 모델링 하여 로딩된 형상에 붙임 ▪ 사양은 미 입력하는 경우도 있음

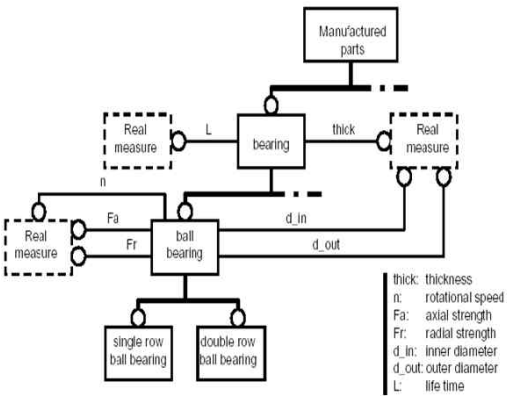
○ 라이브러리를 검색할 때 사용되는 협업 단위 시스템 분류체계의 개발 필요에 의해 관련 유사 시스템의 기자재 및 모듈/유닛 분류체계를 분석하고 협업 단위 시스템에 적합한 분류체계의 요구사항을 분석하였다.



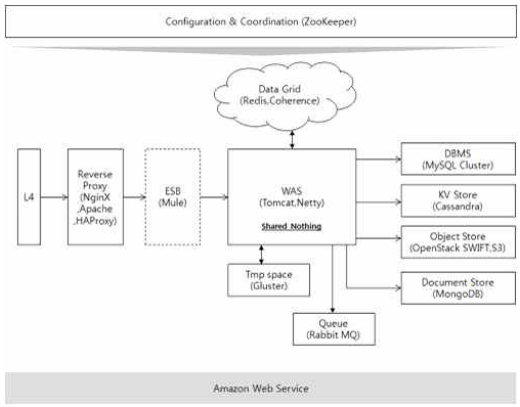
[그림. SP3D 분류체계 조사 및 분석]



[그림. 카탈로그 데이터 구조화]



[그림. 기자재 라이브러리 시스템 분석]



[그림. 플랫폼 요소기술 분석]

시스템 요구 분석 (3)

- 요구사항
  - 요구사항 목록 (1)

요구사항 식별자	요구사항 이름	비고
LMS-FR-001	사용자정보 관리	사용자 관리
LMS-FR-002	메뉴관리	시스템 관리
LMS-FR-003	권한 관리	사용자 관리
LMS-FR-004	그룹관리	사용자 관리
LMS-FR-005	접속통계정보 관리	사용자 관리
LMS-FR-006	다중파일 업로드 관리	카탈로그 데이터 로딩
LMS-FR-007	업로드 파일 조기 무결성 검증 관리	카탈로그 데이터 로딩
LMS-FR-008	데이터 무결성 관리	카탈로그 데이터 로딩
LMS-FR-009	데이터 분류체계 파일 관리	카탈로그 데이터 로딩
LMS-FR-010	업로드 파일 관리	라이브러리 데이터 관리
LMS-FR-011	업로드 파일 이미지 변환	라이브러리 데이터 관리
LMS-FR-012	Descriptor 추출관리	형상 Descriptor 파일 생성기
LMS-FR-013	카탈로그라이브러리 검색	형상 기반 데이터 검색

[그림. 시스템 요구 분석]



[그림. 요구사항 정의에 의한 개념 UI 작성]

(2) 라이브러리 데이터 관리 기본 기술 및 데이터 모델 개발

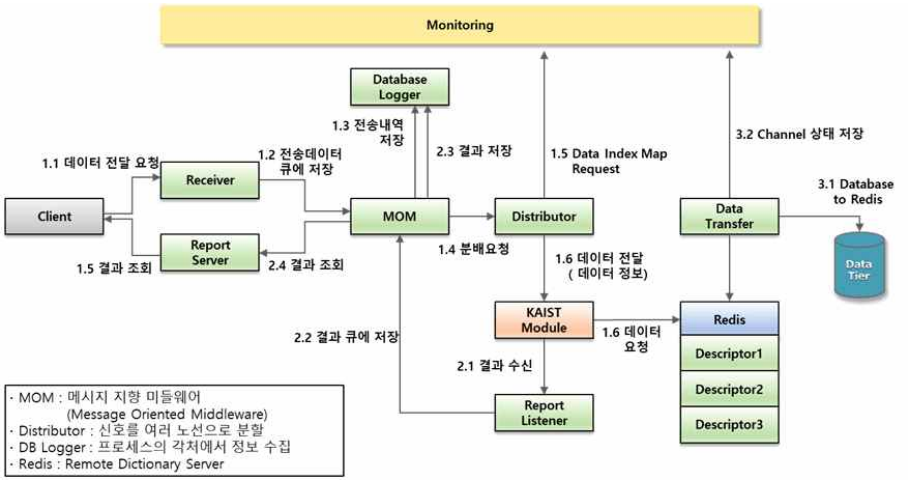
(2-1) 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 상세 설계

요구사항 식별자	요구사항 이름	기능 사항
LMS-FR-001	사용자정보 관리	시스템 이용을 위한 관리자 및 사용자 정보 관리. 시스템의 사용자 등록, 수정, 삭제 기능 제공. 사용자 목록조회 및 사용자 데이터 Export. 사용자 구분 및 상태 관리.
LMS-FR-002	권한 관리	사용자 별 권한을 지정. 권한에 따른 메뉴목록 및 사용자 목록 제공.

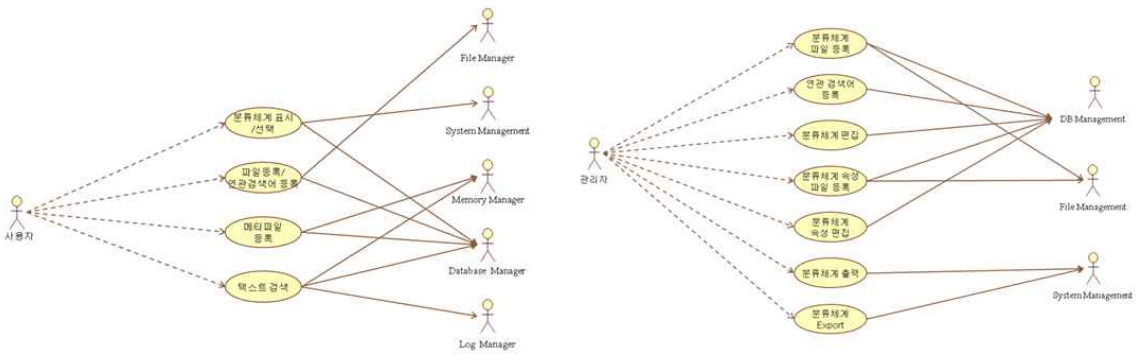
LMS-FR-003	로그인 UI 제공	시스템 계정에 로그인 할 수 있는 화면 제공. 아이디/비밀번호 분실에 대한 화면 제공.
LMS-FR-004	접속통계정보 관리	사용자 별 접속통계 관리 페이지. 웹 페이지 방문조회 및 데이터 Export. 페이지, 검색 현황조회 및 데이터 Export.
LMS-FR-005	세션 관리	초기 로그인 후 세션을 관리하여 이후 사용자 재 로그인 시 시스템 사용을 용이하게 함.
LMS-FR-006	메뉴관리	사용자 및 관리자 메뉴 구성. 사용자 권한별 메뉴 제공.
LMS-FR-007	분류체계 출력	등록된 분류체계를 계층적 구조로 표시. 사용자에게 Navigation 기능 제공. 관련 분류체계 속성 출력.
LMS-FR-008	파일 등록/관리	사용자 요청에 의해 서버의 특정 폴더에 업로드 및 DB화. 업로드 요청 사용자 관리. 파일 간 연결 관계 처리.
LMS-FR-009	연관 검색어 등록	데이터(파일, 분류체계, 속성 etc.) 등록 시 연관 검색어 등록. 등록된 검색어에 의한 검색 지원.
LMS-FR-010	기본 데이터 검색	검색어 입력 및 분류체계 선택 화면 제공. 검색 결과의 순차적 표시 화면 제공. 분산 검색을 지원하여 매칭 포인트의 속도 향상.
LMS-FR-011	분류체계 파일 등록	입력된 데이터의 무결성 테스트. Parent Tree Node 및 DB Schema 정합성 검증. 기본 분류체계 구조를 DB와 동일하게 관리.
LMS-FR-012	분류체계 편집	분류체계 데이터 편집 화면 제공. 편집된 데이터의 정합성 검증.
LMS-FR-013	분류체계 속성 파일 등록	입력된 데이터의 무결성 테스트. DB Schema 정합성 검증. 관련 분류체계와의 Mapping.
LMS-FR-014	분류체계 속성 편집	분류체계 속성 데이터 편집 화면 제공. 편집된 데이터의 정합성 검증.
LMS-FR-015	분류체계 Export	분류체계 데이터 변환. 변환 데이터 파일로 저장.
LMS-FR-016	분류체계 조회	분류체계 데이터 로딩 및 검색. 타 시스템에서 활용 가능한 형태로의 데이터 변환.
LMS-FR-017	분류체계 속성 조회	분류체계 속성 데이터 로딩 및 검색. 타 시스템에서 활용 가능한 형태로의 데이터 변환.
LMS-FR-018	형상/사양/포트 정합 시스템 데이터 등록	형상/사양/포트 정합 시스템 데이터를 import하여 카탈로그 데이터 생성.
LMS-FR-019	스크립트 등록	편리한 스크립트 지원 화면 제공.
LMS-FR-020	형상 속성 출력/Export	카탈로그 데이터 관련 형상의 화면 출력. 형상 데이터의 변환 및 저장.
LMS-FR-021	카탈로그 데이터 생성	신규 카탈로그 데이터 생성.
LMS-FR-022	형상 디스크립터 등록	카탈로그 데이터 생성 시 획득된 형상 디스크립터 등록.

LMS-FR-023	카탈로그 데이터 조회/출력	카탈로그 데이터 로딩 및 검색 결과 출력.
LMS-FR-024	형상 파일 입력	검색에 사용될 형상 파일 등록. 검색 엔진과의 인터페이스.
LMS-FR-025	형상/의미 기반 검색 결과 출력	유사도에 따른 검색결과의 순차적 출력. 검색 엔진과의 인터페이스.
LMS-FR-026	형상/의미 기반 검색의 텍스트 검색 지원	형상/의미 기반 검색 결과 내 텍스트 검색 지원.

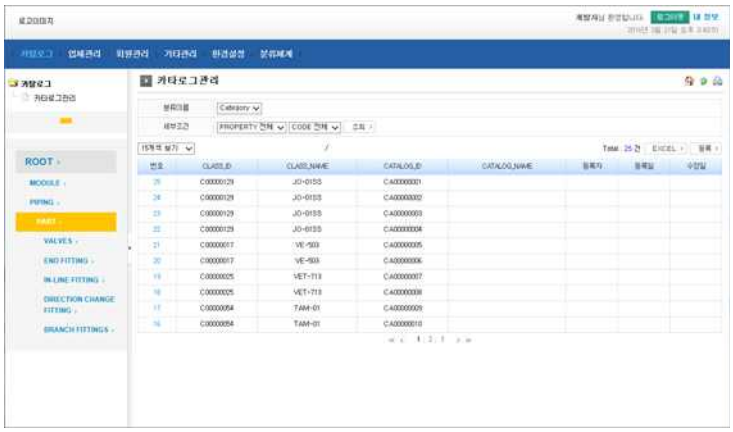
[표. 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 기능 요구사항]



[그림. 플랫폼 시스템 인터페이스]



[그림. 시스템 시퀀스 다이어그램]



[그림. 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 UI 설계]

Element 명	설명
Class_ID	분류체계 식별자
Class_Name	분류체계명
Parent_Class	상위 분류체계 ID
Class_Description	주석

Element 명	설명
Property_ID	Property 식별자
Property_Name	Property 명
Code_Type	코드 유형 - Unit Of Measure, Material Grade, Port Type - 3D CAD Model, Shape Descriptor, 2D Image
Unit_Code	단위 식별자
Property_Type	Property 유형 - NonGeom / Geom

Element 명	설명
Code_Type	Code 유형
Code_Description	Code 설명
Unit_Code	단위 코드
Unit_Description	단위 설명
Unit_Symbol	단위명
Unit_Group	단위 그룹

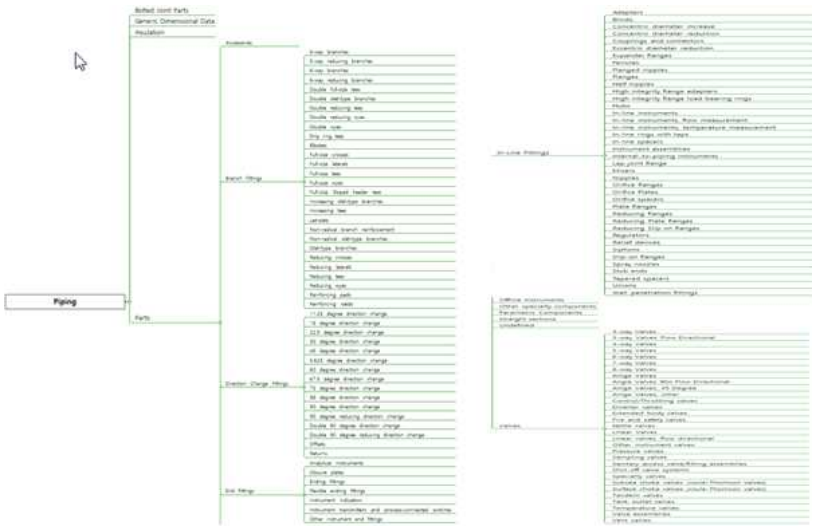


[그림. 데이터 모델 개발]

○ 기능 요구사항, 클래스 다이어그램, 시퀀스 다이어그램, 모듈 UI, 상용화 플랫폼 기술 조사를 바탕으로 협업단위 시스템 데이터 모델을 개발하고, 이를 관리하기 위한 라이브러리 관리 모듈을 개발하였다. 또한 플랫폼의 관리를 위한 사용자/시스템 관리 모듈을 개발, 기능시험을 수행한 후 개발된 SW 모듈에 대한 지적재산권 등록을 인증 받았다.

(3) 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 확장 기술 개발과 모듈시험

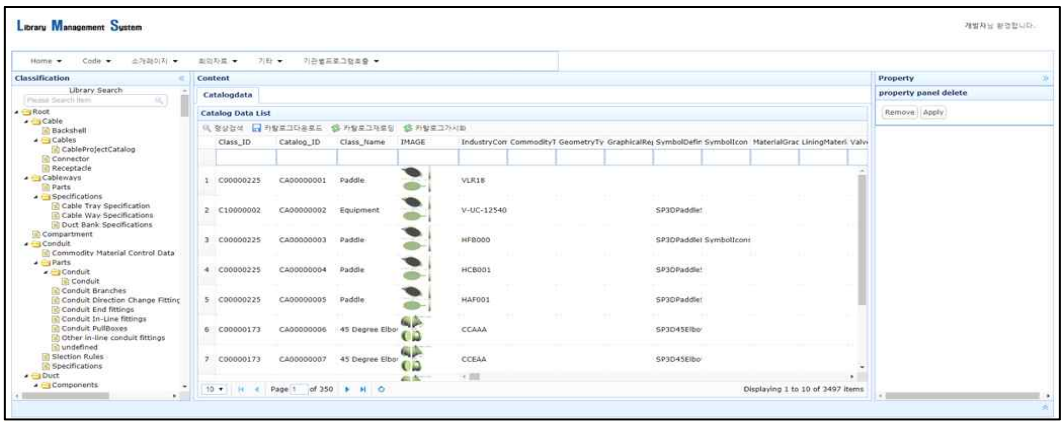
(3-1) 확장 기술 개발



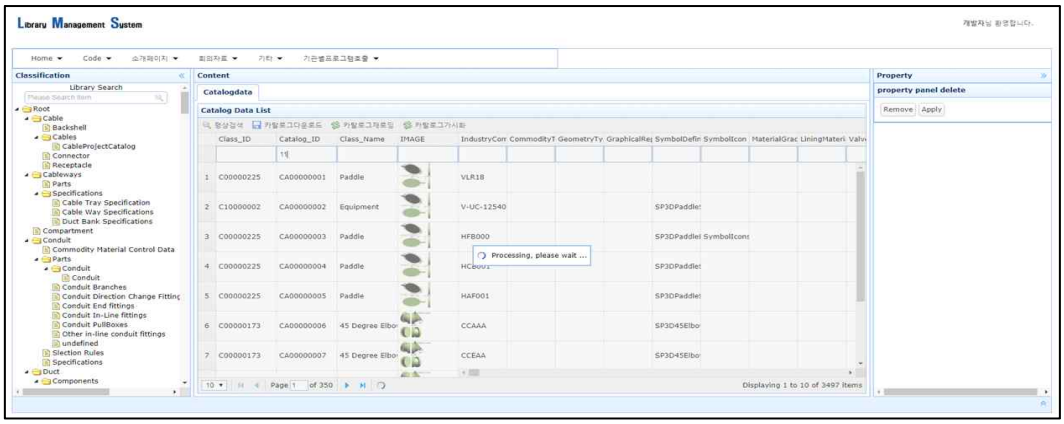
[그림. 협업지원 라이브러리 분류체계]

○ 참여업체의 프로젝트와 ISO 15926을 참조, 확장하여 분류체계를 구축하고, 이와 카탈로그 데이터를 관리할 수 있는 모듈을 개발하였다. 기능 확장을 위하여 카탈로그 데이터 로딩

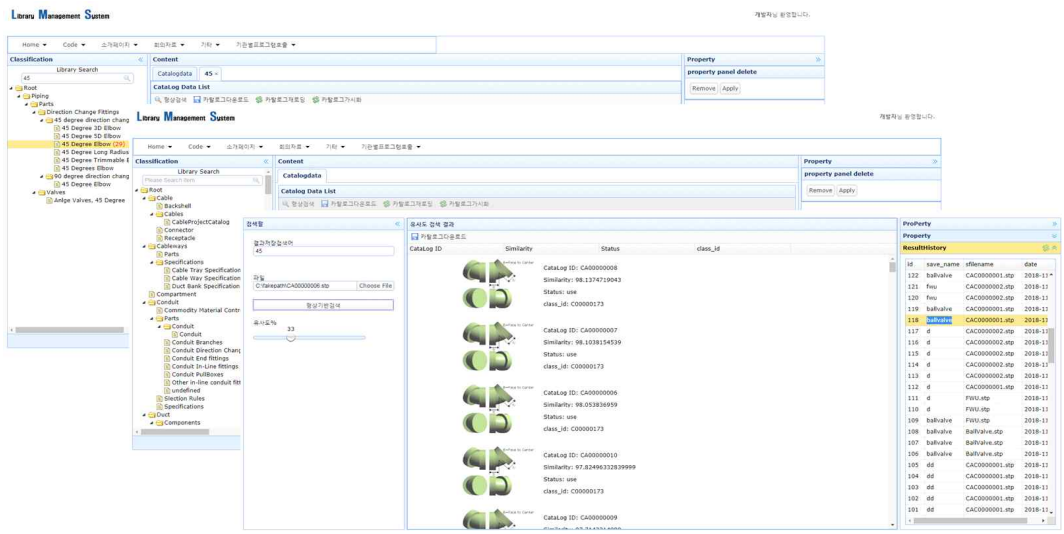
모듈과 협업 단위 시스템 검색 모듈을 구현, 모듈시험을 통하여 기능성과 안정성을 검증 받은 후 특허 출원과 SW 모듈에 대한 지적재산권 등록을 인증 받았다.



[그림. 분류체계 관리 및 카탈로그 관리 화면]



[그림. 카탈로그 데이터 로딩 화면]



[그림. 협업 단위 시스템 검색 화면]

(3-2) SW 모듈시험 수행

○ SW 모듈시험용 데이터는 카탈로그 데이터 파일(XML 형식), 분류체계 데이터 파일(XML 형식)과 3D CAD 파일(stp 형식)로 구성되며, 각 모듈의 정상 동작 여부를 확인함으로써 모듈시험을 수행하였다.



[그림. 모듈시험용 데이터]

○ 모듈시험 수행 결과, 10개 항목에 대한SW 모듈시험 모두 통과(Pass)됨을 확인하였으며, 성과점검을 실시한 결과 지표기준을 만족하였다.

(㈜지토) 협업 단위 시스템 검색 모듈					
모듈 시나리오		시험날짜	시험자	시험결과(Pass/Fail)	비고
분류체계 관리	1) 분류체계 데이터 파일 로드 및 정상 표시 여부 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
	2) 분류체계 노드 편집(추가/수정/삭제) 후 갱신된 데이터 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
	3) 분류체계 내 키워드 검색 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
카탈로그 데이터 로딩	4) 카탈로그 데이터 파일 로드 및 표시 여부 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
	5) 카탈로그 선택 시 속성 창 갱신 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
	6) 카탈로그 데이터 생성/편집/삭제 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
협업 단위 시스템 검색	7) 카탈로그 선택 시 형상/의미 기반 검색 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
	8) 키워드 기반 협업 단위 시스템 검색 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
	9) 분류체계 기반 협업 단위 시스템 검색 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
	10) 3D CAD 파일 입력 후 형상/의미 기반 검색 확인	2016.12.14	김장환	Pass	
3차년도 성과 점검	"분류체계 기반 검색 정확도"의 70% 달성	2016.12.14	김장환	Pass	
	"키워드 검색 정확도"의 70% 달성	2016.12.14	김장환	Pass	
	"조회/수정 기능"의 70% 달성	2016.12.14	김장환	Pass	

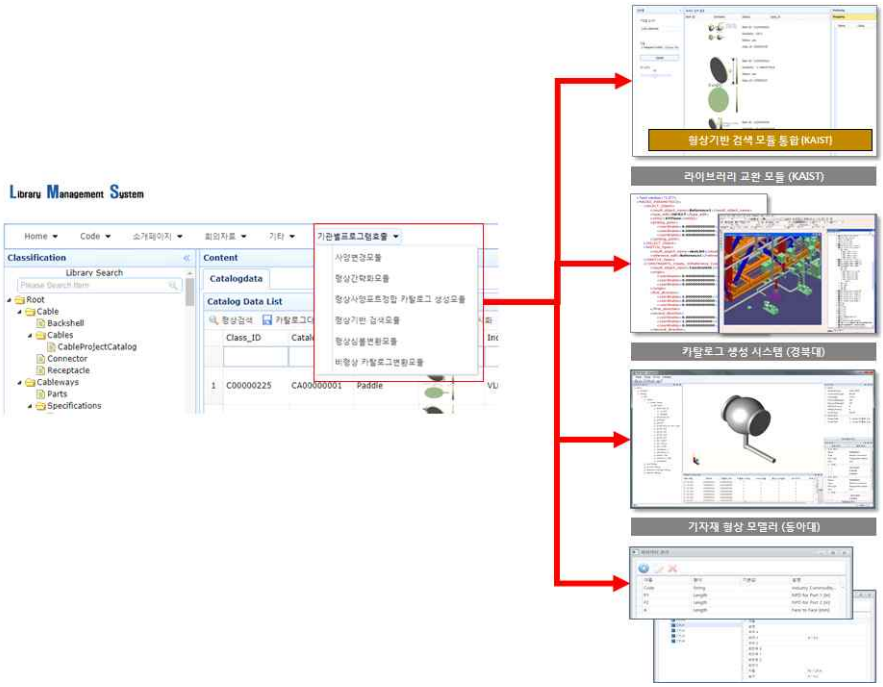
[그림. 모듈시험 평가 결과]

(4) 라이브러리 관리 시스템 통합 및 시험

(4-1) 통합시험용 데이터

○ 통합시험용 데이터는 카탈로그 데이터 등록에 있어서의 기자재 카탈로그 데이터와 대형기기 카탈로그 데이터이며 형상 기반 카탈로그 데이터 검색에 사용되는 형상

데이터이다. 이를 위하여 Branch Fittings의 Tee, Direction Change Fittings의 45 Degree Elbow, End Fittings의 Cap, In Line Fittings의 Blind Flange, Valve의 Ball Valve, 대형기자재의 Heat Exchange를 선정하여 시험하였다.



[그림. 라이브러리 관리 시스템 통합]

(4-2) 통합시험 방법 및 결과

○ 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 통합시험은 통합 시험용 데이터에 대해 해당 시스템 모듈의 사용 시나리오와 플랫폼과 연동되는 타 시스템의 인터페이스의 기능 시나리오를 통과하는지를 확인하는 방법으로 진행하였다. 즉, 통합 시험용 데이터에 대하여 기자재 카탈로그 데이터 등록, 대형기기 카탈로그의 데이터 등록, 카탈로그 데이터 검색, 형상 기반 카탈로그 데이터 검색, 카탈로그 데이터 출력에 대하여 그 기능이 정상 동작하는지 확인하였다.

협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 통합시험 결과는 다음 표와 같다. 테스트 결과 5개 시나리오의 23 항목에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

순번	시나리오	세부항목	시험결과
1	기자재 카탈로그 데이터 등록	분류체계 요청 및 정보 표시	Pass
2		기자재 선택 및 형상 속성 정보 추가	
3		기자재 형상 정의	
4		형상과 속성 간 관계정의	
5		기자재 스크립트 파일저장	
6		카탈로그 데이터 파일(경북대) 업로드	
7	대형기기 카탈로그 데이터 등록	카탈로그 데이터 파일(경북대) 업로드	Pass
8	카탈로그 데이터 검색	로그인	Pass
9		분류체계 내 기자재 검색	
10		해당 분류체계의 기자재 목록 표시	
11		기자재 확인 및 선택	
12		기자재 속성 정보 표시	
13	형상기반 카탈로그 데이터 검색	로그인	Pass
14		검색할 형상 업로드	
15		형상기반 검색 실행 요청	
16		형상기반 검색 실행 및 검색 결과 표시	
17		검색 결과 내 기자재 선택	
18		기자재 속성 정보 표시	
19	카탈로그 데이터 출력	로그인	Pass
20		기자재 검색 및 선택	
21		카탈로그 데이터 출력 요청	
22		변환된 카탈로그 데이터(KAIST) 업로드	
23		등록된 기자재 확인	

[표. 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 통합시험 결과]

(5) 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 성능평가

(5-1) 성능평가 시험용 데이터

○ 성능평가 시험용 데이터는 분류체계 데이터(XML), 카탈로그 데이터(XML) (형상 스크립트 생성이 가능한 28종의 기자재에 대한 총 139 종), 3D CAD 파일(STP)이다. 분류체계는 6, 7레벨로 분화하여 확장하였고, 수정된 속성의 반영여부를 시험대상으로 하였으며 통합된 고급 모듈들의 등록 및 배포와 정상 동작 여부의 확인을 시험의 주된 목적으로 선정하였다. 본 시험에서는 6레벨의 분류체계 형식을 대상으로 하였다



```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <ClassificationSystem>
  - <Classes>
    - <Class>
        <Class_ID>C00000000</Class_ID>
        <Class_Name>Root</Class_Name>
        <Parent_Class/>
        <Class_Description/>
      </Class>
    - <Class>
        <Class_ID>C00000001</Class_ID>
        <Class_Name>Module</Class_Name>
        <Parent_Class>C00000000</Parent_Class>
        <Class_Description/>
      </Class>
    - <Class>
        <Class_ID>C00000002</Class_ID>
        <Class_Name>Equipment</Class_Name>
        <Parent_Class>C00000001</Parent_Class>
        <Class_Description/>
      </Class>
    - <Class>
        <Class_ID>C00000003</Class_ID>
        <Class_Name>Compressor</Class_Name>
        <Parent_Class>C00000002</Parent_Class>
        <Class_Description/>
      </Class>
    - <Class>
        <Class_ID>C00000006</Class_ID>
        <Class_Name>Heat Exchanger</Class_Name>
        <Parent_Class>C00000002</Parent_Class>
        <Class_Description/>
      </Class>
    - <Class>
        <Class_ID>C00000010</Class_ID>
        <Class_Name>Piping</Class_Name>
        <Parent_Class>C00000000</Parent_Class>
        <Class_Description/>
      </Class>
```

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <CatalogData>
  - <Catalog>
      <Catalog_ID>CA00000001</Catalog_ID>
      <Class_ID>C00000129</Class_ID>
    - <Property_Values>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000001</Property_ID>
          <Value>E45</Value>
        </Property_Value>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000000</Property_ID>
          <Value>20100</Value>
        </Property_Value>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000002</Property_ID>
          <Value>0.34</Value>
        </Property_Value>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000003</Property_ID>
          <Value>0</Value>
        </Property_Value>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000004</Property_ID>
          <Value>0</Value>
        </Property_Value>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000005</Property_ID>
          <Value>0</Value>
        </Property_Value>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000006</Property_ID>
          <Value>3000</Value>
        </Property_Value>
      - <Property_Value>
          <Property_ID>P00000007</Property_ID>
          <Value>3000</Value>
        </Property_Value>
    </Property_Values>
```

[그림. 성능평가 시험용 데이터]

(5-2) 성능평가 시험방법 및 결과

○ 성능평가 기능시험을 테스트 한 결과 요구사항 9종의 12항목에 대한 시험항목을 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다. 성능평가를 실시한 결과 지표기준을 만족하였다.

(R&D 지표) 협업 지원 라이브러리 관리 시스템

순번	요들시나리오	테스트 시나리오	시험날짜	시험자	시험결과(Pass, Fail)	비고
1	분류체계 데이터 파일 로드 및 정상 표시 여부 확인	1) 분류체계 관리 페이지로 이동	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 분류체계 파일 선택	2018.10.28	김장환	Pass	
		3) 분류체계 로드 결과 및 분류체계 트리 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
2	분류체계 노드 편집(추가/수정/삭제) 후 갱신된 데이터 확인	1) 분류체계 트리 노드 선택	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 마우스 컨텍스트 메뉴의 추가/수정/삭제 선택	2018.10.28	김장환	Pass	
		3) 분류체계의 추가/수정/삭제 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
3	분류체계 내 키워드 검색 확인	1) 분류체계 트리 상단의 키워드 입력란에 분류체계 검색 키워드 입력	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 분류체계 검색 결과 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
4	카탈로그 데이터 파일 로드 및 표시 여부 확인	1) 카탈로그 페이지로 이동	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 카탈로그 파일 선택	2018.10.28	김장환	Pass	
		3) 카탈로그 데이터 리스트에 카탈로그 추가 확인 및 속성 표시 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
5	카탈로그 선택 시 속성 창 갱신 확인	1) 카탈로그 선택	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 우측의 "Property" 창의 내용 갱신 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
6	카탈로그 데이터 생성/편집/삭제 확인	1) 카탈로그 페이지 상단의 추가 버튼 클릭	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 신규 카탈로그 생성 창에 속성 정보 및 관련 파일 입력	2018.10.28	김장환	Pass	
		3) 카탈로그 생성 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
		4) 카탈로그 페이지 상단의 편집 버튼 클릭	2018.10.28	김장환	Pass	
		5) 카탈로그 수정 창의 내용 수정 및 속성 필드 추가	2018.10.28	김장환	Pass	
		6) 카탈로그 갱신 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
		7) 카탈로그 페이지 상단의 삭제 버튼 클릭	2018.10.28	김장환	Pass	
		8) 카탈로그 삭제 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
7	카탈로그 선택 시 형상/의미 기반 검색 확인	1) 카탈로그 리스트의 선택 변경	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 페이지 하단의 유사도 검색 결과 변경 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
8	키워드 기반 협업 단위 시스템 검색 확인	1) 카탈로그 페이지 속성 컬럼 상단의 입력란에 키워드 입력	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 검색 결과확인	2018.10.28	김장환	Pass	
		3) 속성 컬럼을 이동하며 모든 필드들에 대해 검색 수행	2018.10.28	김장환	Pass	
9	분류체계 기반 협업 단위 시스템 검색 확인	1) 분류체계 트리 노드 변경	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 변경 시 컨텍스 창의 신규 탭 생성과 카탈로그 정보 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
10	3D CAD 파일 입력 후 형상/의미 기반 검색 확인	1) 페이지 하단의 파일 검색 창에 검색어 및 파일 입력	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 유사도 조정 후 업로드 버튼 클릭	2018.10.28	김장환	Pass	
		3) 유사도 검색 결과와 검색된 카탈로그 선택 시 속성 변경 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
11	카탈로그 출력 모듈 동작 확인	1) 카탈로그 선택	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 카탈로그 출력 버튼 클릭	2018.10.28	김장환	Pass	
		3) 출력된 카탈로그 정보 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
12	고급 모듈 다운로드 및 정상동작 확인	1) 각 모듈 등록 및 다운로드	2018.10.28	김장환	Pass	
		2) 각 모듈 실행 후 정상 동작 확인	2018.10.28	김장환	Pass	
	5차년도 성과점검	분류체계 기반 검색 정확도(90%)	2018.10.28	김장환	Pass	(검색 성공 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100
		키워드 검색 정확도(90%)	2018.10.28	김장환	Pass	(검색 성공 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100
		조회/수정 기능(90%)	2018.10.28	김장환	Pass	(조회/수정 성공 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100
		분류체계 명세서	2017.11.09	손승완	Pass	전문가 검증

[그림. 성능평가 시험 평가 결과표]

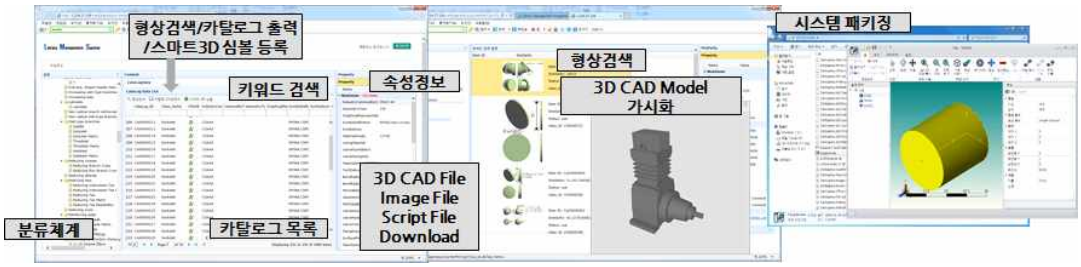
라) 결론

(1) 주요 결과

○ 기업 협업 지원 설계 마스터 정보와 라이브러리 정보표현 표준의 현황 분석을 통하여 현업의 요구사항이 반영된 협업지원 라이브러리 관리 플랫폼과 협업지원 라이브러리 분류체계를 개발하였다. 개발된 SW모듈의 모듈시험 및 타 모듈과의 통합 시험을 수행하여 기능 개선 및 안정화를 수행하였으며, 개발 기술의 자체 사용 및 이전을 위한 국토교통과학기술진흥원과의 기술실시계약이 진행 중이며, ㈜코리아엔지니어링과의 개발기술 공유 및 신규 사업을 추진 중이다.



[그림. 협업 지원 라이브러리 분류체계 및 카탈로그 데이터 모델]



[그림. 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼]

(2) 개발 SW의 사양

○ 사용 개발도구

- HTML, JAVA, JSP

○ 구축환경

(서버PC)

- OS: Windows Server 2012 R2
- 웹서버 : Nginx 1.14.1
- WAS 서버 : resin 3.1.8
- S/W : java 1.8
- Database : MariaDB 10.3.9

- CPU : xeon x3210 2.13GHz

- RAM : 8GB

- HDD : 1TB

(클라이언트PC)

- OS : MS Windows 7 64bit

- 웹브라우저 : Chrome Browser 76.0.3809.100

- CPU : Intel(R) Core(TM) i5-4670 CPU @ 3.40GHz 3.40 GHz

- RAM : 16.6 GB

- HDD : SSD 750 EVO 250GB ATA Device

○ 의존관계

- 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 SW모듈 (카이스트):
  카이스트의 형상/의미 기반 협업 단위 시스템에 입력값을 주고 입력값으로 검색된 결과 및 가시화를 표시함

- 형상/사양/포트정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 (경북대):
  경북대에서 개발한 형상/사양/포트정합 카탈로그 생성 시스템 모듈로 생성된 카탈로그 데이터(3D 형상, 2D 이미지 포함)를 DB에 업로드하여 표시함

- 연구단 통합 시스템:
  연구단 시스템의 “INPUT Data”를 입력받아 “RUN” 버튼에 의해 호출이 되며 INPUT Data로 처리된 “OUTPUT Data”를 연구단 시스템에 전달함

○ 외부툴 사용특성

- 해당 사항 없음

(3) 기존 기술 대비 우수성

○ 기술수준

- 연구 전: 클래스 레벨의 키워드 및 분류체계 기반 검색

- 연구 후: 사양 및 정보모델에 독립적인 형상 정보 검색 제공

○ 경제성

- 연구 전: 외산 SW의 엔지니어링 SW 시장 독점화

- 연구 후: 시스템의 국산화를 통해 수입대체 효과 기대

○ 기존 기술 대비 우수성

- 일반 기자재 정보 이외의 플랜트 협업 과정 중 필요한 대형기기/스키드 등의 정보를 관리하고 검색

(4) 적용 가능 기술 분야

○ 대형기기, 스키드, 협업 단위 시스템 검색 및 적용 과정의 자동화를 필요로 하는 EPC사 또는 기자재 벤더

(5) 향후 계획

○ 개발된 분류체계와 속성정의를 기반으로 시스템 통합/개선과 실용화 과정에서 제시되는 요구사항을 반영하여 추가 · 확장하는 방법을 지속적으로 사용

○ 통합된 시스템의 상업화 및 각 모듈의 검증을 위해서 범용적인 라이브러리 콘텐츠 구축을 지속적으로 수행하여 플랜트 분야에서 자주 쓰이는 장비나 파이프 피팅류를 대상으로 실질적인 카탈로그 콘텐츠를 확대

○ 다른 상용 시스템들과의 경쟁력을 확인할 수 있는 사업화 방안을 수립하고, 상용 중인 유사 시스템들과의 유사도 및 차별성 분석 결과를 기반으로 연구개발 성과물의 경쟁력을 구체적으로 제시하여, 이를 기반으로 적용 시나리오 확대와 및 실용화를 추진

다. [C] 협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 생성 SW 모듈

1) [C-5] 협업 지원 라이브러리 형상 간략화 SW 모듈

가) 개요

(1) 연구 목적

○ 플랜트의 설계 과정에서 사용되는 3D(three dimensional) CAD(computer-aided design) 모델은 사용 목적에 따라 다양한 LOD(level of detail)가 요구된다. 일반적으로 기자재 제작사가 납품하는 3D CAD 모델은 플랜트의 3D 설계에 요구되는 LOD보다 높다. 이에 따라 플랜트 산업에서 대용량 3D CAD 모델의 상세도 조절 기술에 대해 많은 요구가 발생하고 있지만 자동화 정도는 매우 낮은 수준이다. 따라서, 대형기기 및 스키드에 대한 3D CAD 모델의 LOD를 자동으로 조절할 수 있는 간략화 기술이 필요하다.

(2) 연구 내용

○ 형상 간략화 기술 개발의 정학한 개발 방향 정립을 위해 국내외 형상 간략화 기술조사 및 요구사항 분석, 요구기능 정의가 필요하다. 그리고 이를 기반으로 기존 기술의 한계점을 파악하고, 차별화 전략을 수립한다.

○ 앞서 수행한 기술조사 및 요구사항 분석 내용을 바탕으로 형상 간략화 SW 모듈의 상세 설계를 진행한다. 이후 개발이 완료된 형상 간략화 SW 모듈에 대한 성능 시험을 통해 모듈의 보완 및 개선 사항을 도출한다.

○ 형상 간략화 SW 모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 연동을 위해 통합 시험을 수행한다. 추가로, 파일롯 플랜트를 대상으로 한 모듈시험을 수행하고, SW 모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행한다.

○ 개발된 SW 모듈의 실용화를 위해 플랜트 엔지니어링 업체들을 방문하여 현업의 이슈 파악이 필요하다.

나) 수행 내용

○ 본 기술의 개발에 앞서, 국내외 형상 간략화 기술조사 및 요구사항 분석/기능 정의를 완료하였다. 기존 기술의 가지는 한계, 현업의 요구사항 등을 파악하고, 이를 형상 간략화 SW 모듈의 개발 방향을 정립했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 기술현황 분석서, 요구사항 명세서

○ 형상 간략화 절차에 대한 정의를 통해, 형상 간략화 SW 모듈의 설계 및 개발을 수행하였다. 검증을 위해 개발 SW모듈의 모듈시험을 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 형상 간략화 절차 수립, SW등록, 모듈시험 보고서

○ SW 모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼과 통합 및 연동 절차를 수립하고, 통합 시험을 진행하였다. 추가로, 통합 시스템의 파일롯 플랜트 시험적용을 통해, 개발 SW모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

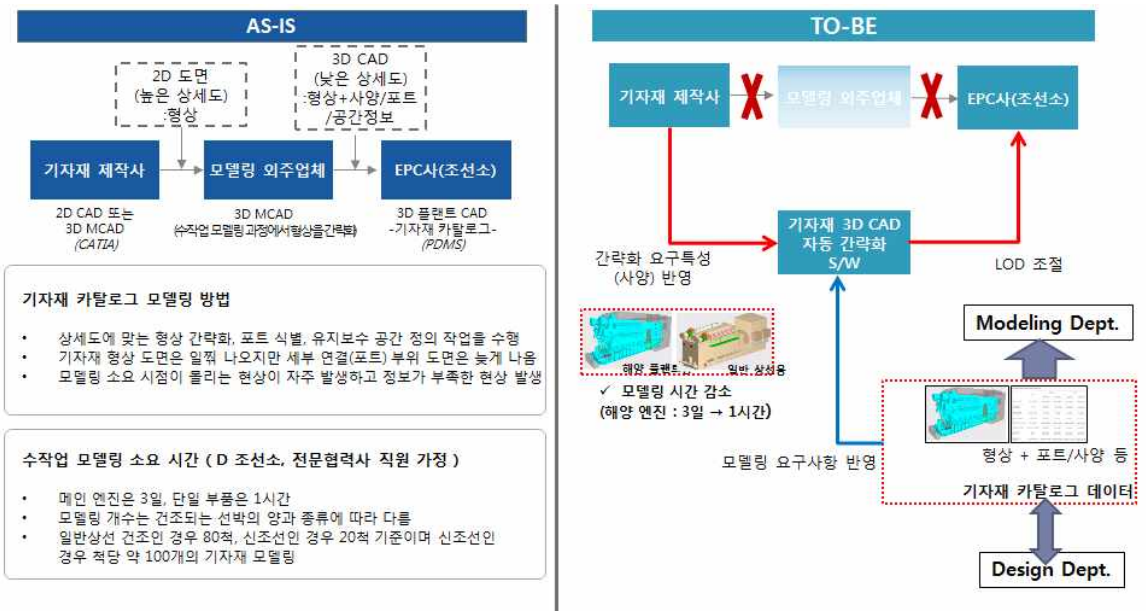
→ 성과물: 통합 시험 보고서, 성능 평가 보고서

○ SW 모듈의 인터페이스 구현 및 기능 개선을 수행하여 성능을 보완하였다. 플랫폼과 통합 방안을 개선하여 통합 안정성 또한 개선했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 형상 간략화 SW모듈, 성능 평가 보고서

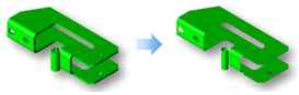
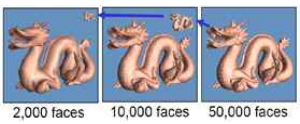
다) 상세 연구 내용

(1) 형상 간략화 기술 요구사항 분석



[그림. 플랜트 기자재 카탈로그 구축 과정]

○ 기자재 제작사가 납품하는 기자재, 대형기기 및 스키드에 대해서 EPC사에 높은 상세도를 지닌 2D 또는 3D CAD 모델을 제공한다. EPC사는 낮은 상세도를 지닌 3D CAD 모델이 필요하기 때문에 EPC사에 모델링 외주업체를 통해 형상 간략화를 수행하고 있다. 이러한 과정을 거쳐 EPC사가 사용하는 플랜트 3D CAD 시스템용 기자재 카탈로그가 구축된다. 이 과정을 여러 가지 문제가 발생한다. 기자재 카탈로그 모델링에 필요한 형상 도면은 일찍 나오지만 세부 연결(포트) 부위 도면은 늦게 나온다. 따라서 모델링 소요 시점이 몰리는 현상이 자주 발생하고 정보가 부족한 현상이 발생한다.

형상 간략화 기술사례	관련 그림	분석
특징형상 기반 방법	 특징형상 기반 간략화	▪ 특징형상 기반 방법에서는 평가척도에 따라 낮은 중요도를 갖는 특징형상을 찾아 순차적으로 제거함으로써 형상을 간략화 ▪ 특징형상 기반 방법은 공학 용도의 간략화 과정에 적합한 방법이며 LOD의 제어가 용이 ▪ 작업자가 제거해야 될 모델 요소를 결정할 필요가 없으며 작업자에 상관없이 LOD값에 맞는 간략화 결과를 동일하게 생성할 수 있는 것이 장점
B-rep 모델 기반 방법	 B-rep 모델 기반 간략화	▪ CAD 모델이 가지는 위상 정보를 활용하여 형상을 간략화하는 방법으로 적용성이 높음 ▪ B-rep 모델 기반 방법은 차원 감소 방법(dimensional reduction method)과 국소 특징형상 억제 방법(local feature suppression method)이 있음
폴리곤 모델 기반 방법	 폴리곤 모델 기반 간략화	▪ 메쉬를 구성하는 전체적인 형상을 크게 변형하지 않는 한도에서 삼각망을 제거하여 간략화 ▪ CAD 모델의 일반적인 데이터 형식인 B-rep 모델에 대해서 적용할 경우 추가적인 삼각망 생성이 필요하다. 하지만 해당 과정에서 비균일/낮은 밀도의 메쉬가 생성되는 경우 형상의 뒤틀림이 발생할 가능성이 높음

[표. 형상 간략화 기술 종류 요약]

○ 협업 지원 라이브러리의 간략화 대상이 되는 CAD 데이터는 2D 도면, B-rep 기반 CAD 모델, 특징형상 기반 CAD 모델이 있다. 이 중 이종 기업 간(기자재 제작사/EPC사) CAD 데이터 교환 목적으로 주로 사용되는 B-rep 모델이 대형기기 및 스키드의 형상 간략화 기술에 적합한 CAD 데이터로 선정되었다. 그리고 기자재 3D CAD 데이터 간략화를 위해서는 수치적 정보에 기반한 평가척도의 개발이 필요하고, 규칙/제품 정보를 활용하거나 사용자의 추가 입력을 받는 방식 등은 정량적 평가척도를 보조하는 방식으로 적용하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

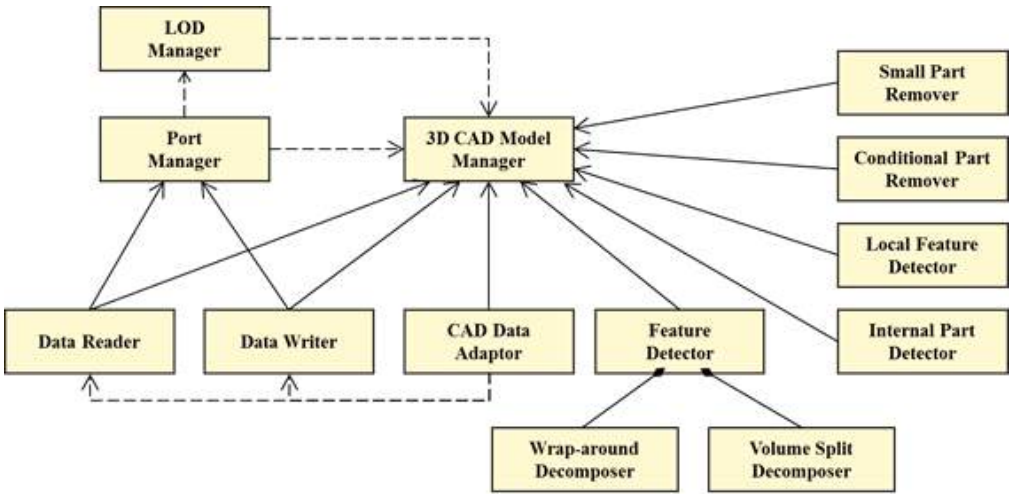
(2) 형상 간략화 요소 기술 개발

(2-1) 형상 간략화 SW 모듈의 상세 설계

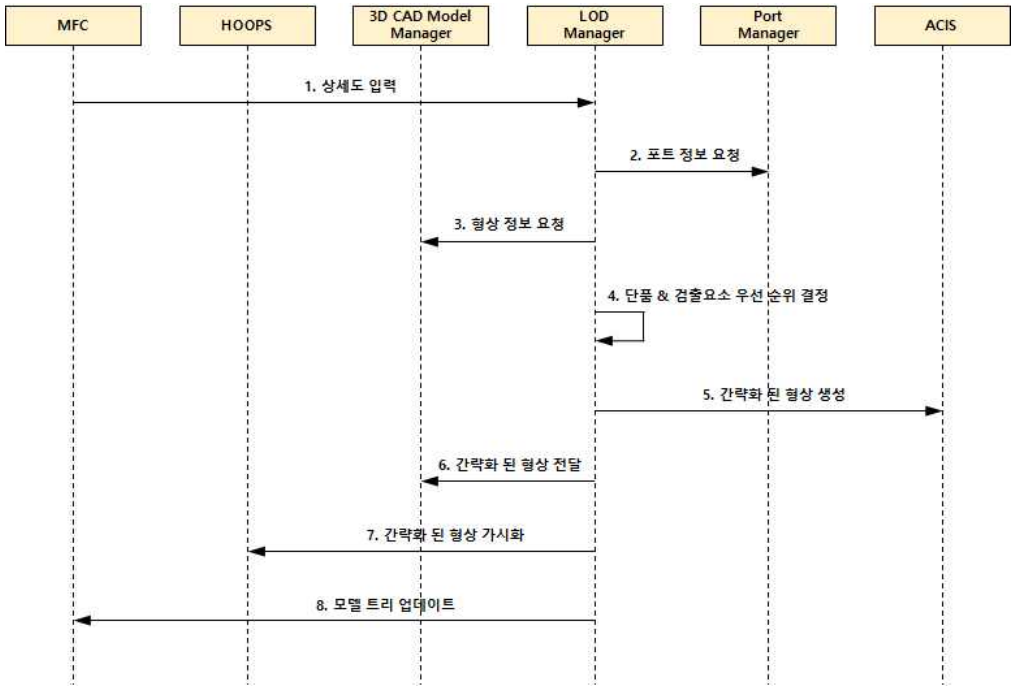
요구사항 식별자	요구사항 이름	설명	비고
SSLS-FR-001	내부 및 기준 부피 이하 단품 검출	입력된 3D CAD 조립체 데이터에서, 외부에서 보이지 않는 단품 및 기준 부피 이하 단품을 검출할 수 있어야 한다.	내부 단품 검출 시에는 자체 개발한 알고리즘 사용

SSLS-FR-002	간략화 대상 형상요소 검출	입력된 3D CAD 조립체 데이터에서, 기 정의된 볼륨 분해 알고리즘을 통해 간략화 대상 형상요소를 검출할 수 있어야 한다.	
SSLS-FR-003	LOD 조절	사용자에게 입력 받은 LOD값에 이르기까지, 검출 볼륨을 순차적으로 제거할 수 있어야 한다.	
SSLS-FR-004	조건부 단품 제거	입력된 3D CAD 조립체 데이터에서, 기 정의된 기준에 의해 특정한 형태의 단품 (박판, 너트, 연결부 원통 등)을 제거할 수 있어야 한다.	
SSLS-FR-005	간략화 된 3D CAD 단품 데이터 생성 및 저장	최종 간략화 된 3D CAD 조립체 모델을 단품으로 병합하고, 저장할 수 있어야 한다.	STEP AP203 (B-rep) 포맷 적용

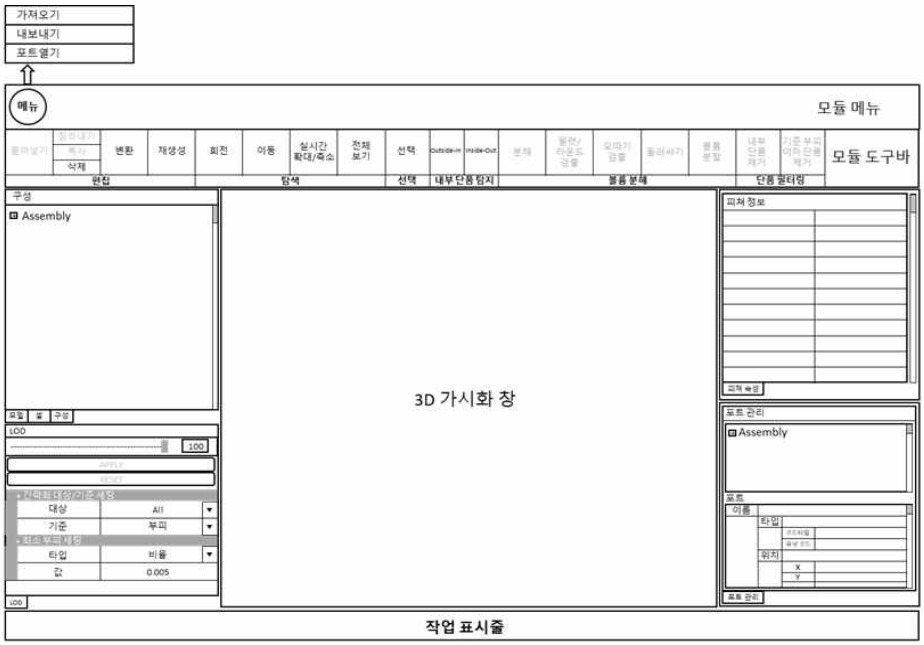
[표. 형상 간략화 SW 모듈 기능 요구사항]



[그림. 클래스 다이어그램]



[그림. 시퀀스 다이어그램 - LOD 조절 기능]



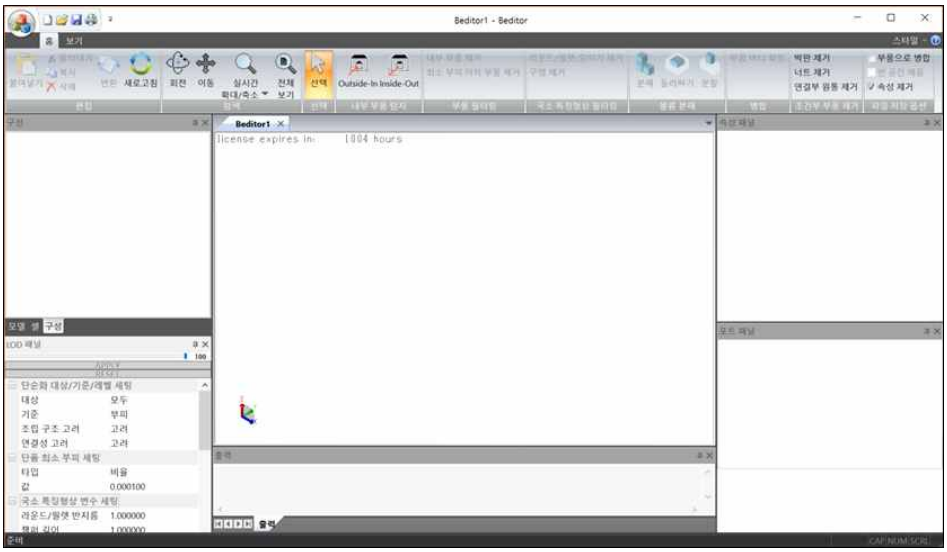
[그림. 형상 간략화 SW 모듈의 UI 설계]

○ 형상 간략화 모듈의 UI는 모듈 메뉴, 모듈 도구바, 3D 가시화 창, 조립체 모델/단품/볼륨 트리창, 속성 정보 창, 포트 정보 창, LOD 정보 창으로 구성된다. 모듈 메뉴는 3D CAD 데이터 열기, 포트데이터 열기, 간략화 모델 저장 메뉴를 제공한다. 모듈 도구바는 편집, 탐색, 내부 단품 탐지, 분해, 단품 필터링 도구 메뉴를 제공한다. 3D 가시화 창은 사용자가 입력한 3D CAD 모델의 3차원 형상을 가시화한다. 조립체 모델/단품/볼륨 트리창은 3D CAD 조립체 파일을 읽어 조립체를 구성하고 있는 부분 조립품, 단품 등을 트리 형태로 가시화한다. 속성 정보 창은 조립체 모델 트리 창에서 사용자가 선택한 노드에 해당하는

객체의 속성 정보를 가시화한다. 포트 정보 창은 포트데이터에서 불러온 3D CAD 조립체의 포트 정보를 가시화한다. LOD 정보 창은 모델의 상제도(LOD) 조절, 간략화 실행 및 초기화, LOD 조절 대상 및 기준 설정, 기준 부피 타입/값 설정 메뉴를 제공한다.

(2-2) 형상 간략화 SW 모듈의 개발

○ 기능 요구사항, 클래스 다이어그램, 시퀀스 다이어그램, 모듈 UI를 통해 바탕으로 형상 간략화 SW 모듈을 개발하였다. 개발된 모듈의 UI는 위 그림과 같으며, 초기 설계 모델에서 조건부 단품 제거 기능과 파일 저장 옵션 기능이 추가되었다.

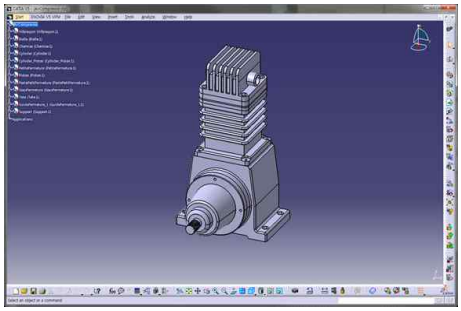


[그림. 형상 간략화 SW 모듈 UI]

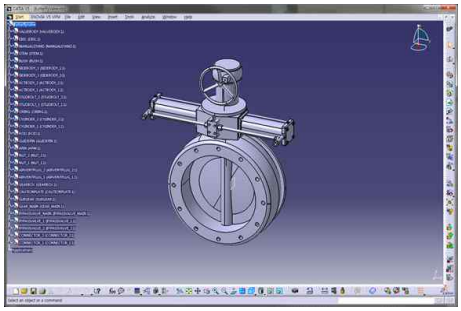
(3) 형상 간략화 SW 모듈의 모듈시험

(3-1) 모듈시험용 데이터

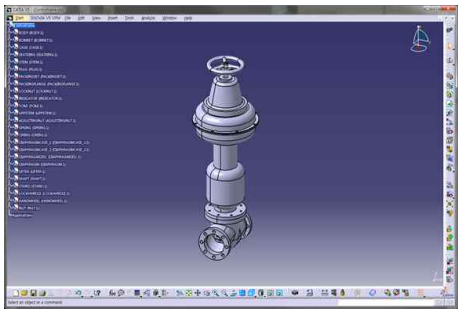
○ 형상 간략화 SW 모듈의 모듈시험용 데이터는 3D CAD 파일(stp 형식)과 포트 파일(XML 형식)로 구성되며, 6가지 종류의 기자재에 대해서 모듈시험용 데이터를 작성한다. 모듈시험에 사용된 기자재는 Air Compressor, Butterfly Valve, Control Valve, Hydrophore, FWU(Fresh Water Unit), Heat Exchanger 6종이다. 다음 그림은 모듈시험을 위해서 준비된 3D CAD 파일을 보여주는 그림이다.



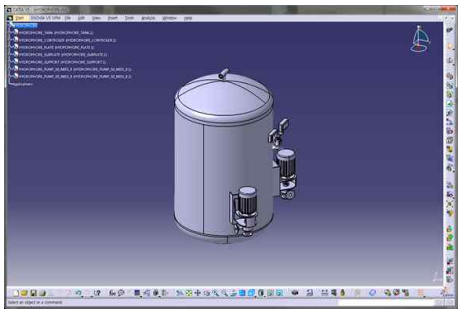
Air Compressor



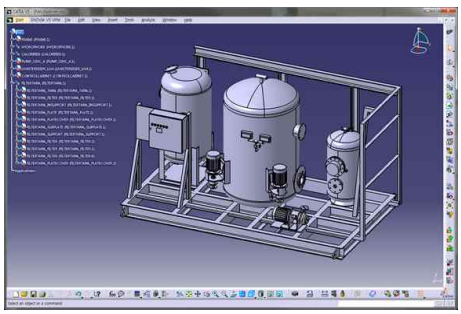
Butterfly Valve



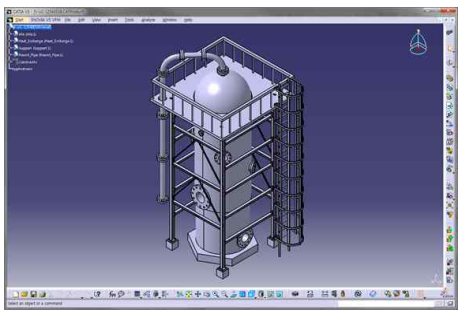
Control Valve



Hydrophore



FWU



Heat Exchanger

[그림. 모듈시험용 데이터]

(3-2) 모듈시험 결과

○ 모듈의 사용 시나리오의 12가지 항목에 대해 시나리오별 모듈시험을 실시하였다. 필요시 미리 준비된 모듈시험용 데이터를 이용하여 시험을 수행하여 모듈시험평가표에 Pass / Fail을 기록하고 모듈시험 결과보고서에 첨부하였다. 12가지 항목의 시나리오에 대한 모듈시험 방법은 다음과 같다. 모듈시험은 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다. 형상 간략화 SW 모듈의 모듈시험 결과는 다음 표와 같다. 모듈시험을 수행한 결과 12 항목에 대한 모듈시험 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

순번	시나리오	세부 항목	시험 결과
1	샘플 데이터 위치 및 내용	샘플 데이터 위치 및 내용 확인	Pass
2	3D CAD 데이터 열기	3D CAD 모델 입력 및 가시화	Pass
3	비형상 정보 XML 파일 열기	포트 정보 입력 및 포트 설정, 가시화	Pass
4	내부 단품 탐지	Outside-In, Inside-Out으로 내부 단품 탐지	Pass
5	국소 특징형상 필터링	Round, Fillet, Chamfer, hole에 해당하는 단품을 제거	Pass
6	볼륨 분해	전체 모델의 형상 요소 검출 수행	Pass
7	단품 필터링	내부 단품과 기준 부피 이하 단품을 제거	Pass
8	LOD 설정 및 간략화	사용자가 설정한 LOD를 기준으로 간략화	Pass
9		LOD가 만족되지 않는 경우, 입력 LOD와 실제LOD와의 차이가 경고 창을 통해 확인	Pass
10	조건부 단품 제거	박판, 너트, 연결부 원통에 해당하는 단품을 제거	Pass
11	데이터 출력	단품으로 병합하여 간략화된 모델 저장	Pass
12	3D CAD 시스템을 이용한 간략화 파일 확인	3D CAD 시스템을 이용하여 간략화 파일 확인	Pass

[표. 형상 간략화 SW 모듈의 모듈시험 결과]

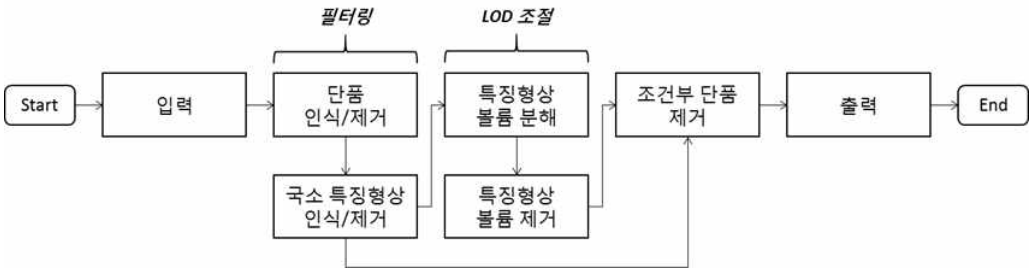
(4) 형상 간략화 SW 모듈의 기능 확장 및 개선

(4-1) 형상 간략화 SW 모듈의 간략화 절차

○ 대용량 모델의 LOD 조절을 위해서는 초기에 제거할 부분을 정하는 것이 중요하다. 이는 모델의 사용 목적과 연관이 있다. 그 다음 모델에서 남아있는 부분의 LOD를 어떤 기준을 가지고 어느 정도로 낮출 것인지를 사용자가 결정한다. 이를 고려하여 대용량 3D CAD 조립체 모델의 간략화 절차는 필터링과 LOD 조절, 조건부 단품 제거 단계로 구성된다. 필터링 단계에서는 전처리 후에 특정 기준에 부합하는 단품과 특징형상을 인식하고 제거한다. 그리고 LOD 조절 단계에서는 첫 단계를 거친 B-rep 모델에 볼륨 분할을 적용하고 사용자가 원하는 LOD까지 볼륨을 순차적으로 제거한다. 필터링과 LOD 조절 단계를 통해 단순화된 B-rep 모델은 사용자의 요구에 따라 조립체 또는 단품 형태로 저장된다. 이후 조건부 단품 제거 단계를 통해 단품 형태의 B-rep 모델의 상세도를 낮춰준다. 조건부 단품 제거 단계에서는 단품 하위 특징형상이 제거된 B-rep 모델에서 박판, 너트, 연결부 원통에 해당하는 단품들을 제거하여 최종적으로 단순화 된 B-rep 모델을 얻는다.

○ 형상 간략화 SW 모듈의 입출력 모델의 포맷은 STEP AP203 (.stp)이다. 입력 모델은 part component 혹은 subassembly component 등으로 구성되는 조립체 모델인 반면에 단순화 후 결과를 출력할 때는 조립체 구조가 불필요할 경우 사용자의 선택에 따라

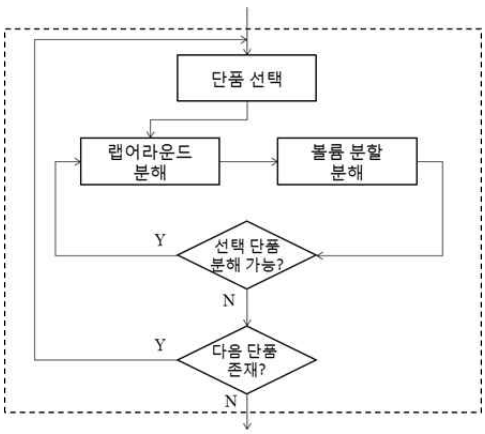
단품으로 출력할 수 있다.



[그림. 형상 간략화 SW 모듈의 B-rep 모델 간략화 절차]

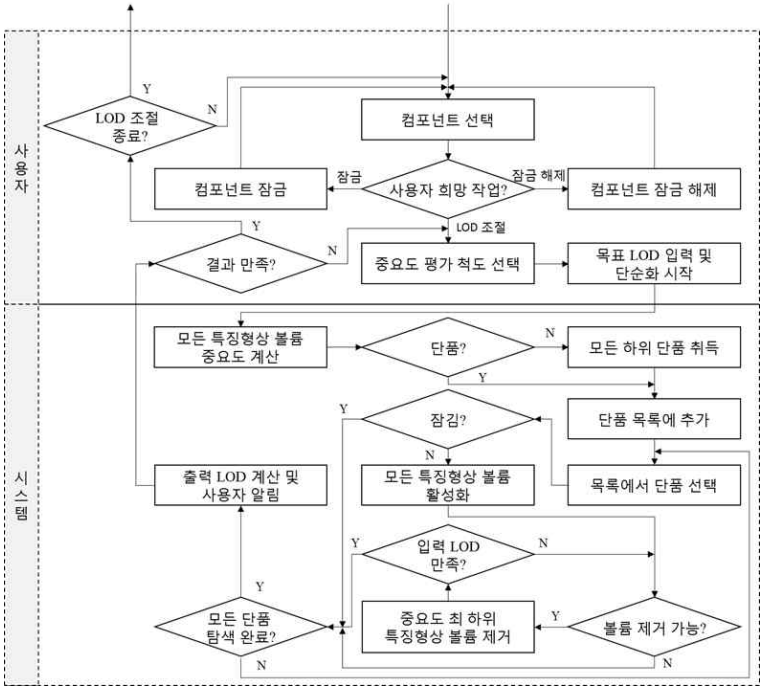
○ 필터링 단계에서는 특정 조건에 부합하는 단품이나 특징형상을 반드시 제거한다. 내부 단품 인식/제거, 그리고 국소 특징형상 인식/제거로 구성된다. 내부 단품 인식/제거는 3차원 모델의 외부에서 보이지 않는 (Invisible) 단품을 자동으로 검출하여 모델 트리에 표시 후 제거된다. 이 때, 조립체를 구성하는 컴포넌트들이 자동으로 내부 및 외부 컴포넌트로 구분된다. 국소 특징형상 인식/제거는 Fillet, Round, Chamfer 등의 국소 특징형상과 같은 secondary feature를 제거하는 단계이다. 이 단계를 통해 모델에서 불필요한 부분을 제거하고 향 후 단계에서 불필요한 연산을 수행하지 않을 수 있다. 입력된 원본 B-rep 모델은 이 단계를 거쳐 LOD 조절 단계로 전달된다.

○ LOD 조절 단계에서는 필터링을 거친 B-rep 모델에서 특징형상 볼륨 분해 단계를 통해 특징형상의 볼륨을 취득한 후, 점진적으로 특징형상 볼륨을 제거해 가면서 사용자가 원하는 수준의 LOD 모델을 취득한다. 특징형상 볼륨 분해 단계에서 B-rep 모델의 LOD를 점진적으로 조절하기 위해서는 특징 형상 정보 취득이 필요하다. 볼륨 분해에는 랩어라운드 분해와 볼륨 분할 분해 방법을 사용하였다. 랩어라운드 분해 방법은 입력 단품에서 볼록한 내부 루프(convex inner loop)를 찾아 제거해주는 연산하는 방법이다. 볼륨 분할 분해 방법은 입력 단품에서 오목한 내부 루프(concave inner loop)를 기준으로 형상을 두 부분으로 분할하여 연산하는 방법이다. 볼륨 분해 단계는 각각의 파트 바디가 더이상 분할되지 않을 때까지 진행된다.



[그림. 형상 간략화 SW 모듈의 특징형상 볼륨 분해 절차]

○ 특징형상 볼륨 제거 단계에서는 사용자의 개입하에서 조립체 구조를 갖는 모델의 LOD를 조절한다. 형상 간략화 SW 모듈에서는 LOD를 낮추고자 하는 컴포넌트를 사용자가 직접 선택할 수 있다는 장점이 있다. 또한 컴포넌트 별 선택적인 LOD 조절을 위해 사용자에게 잠금, 잠금 해제 기능을 지원하며 잠긴 컴포넌트는 LOD 조절이 불가능하다.



[그림. 형상 간략화 SW 모듈의 특징형상 볼륨 제거 절차]

○ 조건부 단품 제거 단계에서는 사용자가 조건부 단품 제거에 필요한 파라미터(부피, 박판 길이 비율, 원통 길이비율)를 입력하면 형상 간략화 SW 모듈에서 정의한 조건과 입력된 파라미터 값에 해당하는 박판, 너트, 연결부 원통을 인식하여 제거한다.



[그림. 형상 간략화 SW 모듈에서 인식한 박판, 너트, 연결부 원통의 예]

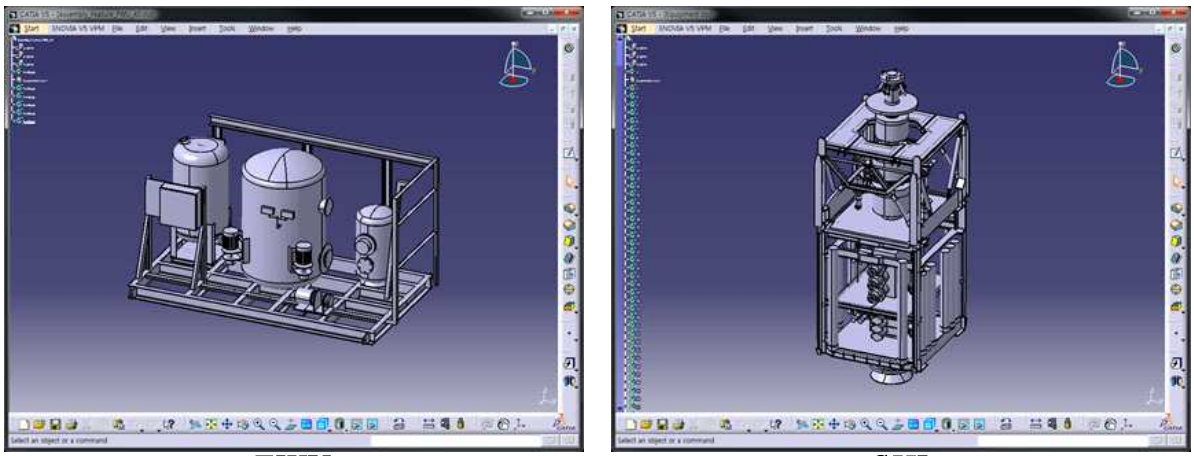
단품 종류	인식 조건
박판	인접 단품 4개 이하, 평행한 면 세트 존재, 박판의 길이 비율 만족, 최소 3개의 평면 존재
너트	인접 단품 2개 이하, 박판의 길이 비율 불만족, 최소 3개의 평면 존재, 유사한 길이 비율 존재 (가로, 세로, 높이 중 2개), 면 개수 6개 이상 18개 이하
연결부 원통	인접 단품 2개 이상 4개 이하, 원통 구성 조건 만족, 원통 길이 비율 만족

[표. 형상 간략화 SW 모듈에서 판별하는 박판, 너트, 연결부 원통의 인식 조건]

(5) 형상 간략화 SW 모듈의 성능 평가 시험

(5-1) 성능 평가 시험용 데이터

○ 성능평가시험용 데이터는 3D CAD 파일(stp 형식)로 구성되며, 2종의 대형기기를 선정하여 성능평가시험에 활용하였다. 성능평가시험용 데이터는 형상 간략화 SW 모듈의 간략화 단계 중 조건부 단품 제거 기능을 중심적으로 테스트하기 위해 박판, 너트, 연결부 원통이 다수 포함되어 있는 모델을 선정하였다. 다음 그림은 성능평가시험을 위해서 준비된 3D CAD 파일을 보여주는 그림이다.



FWU SHI

[그림. 형상 간략화 SW 모듈의 성능평가시험용 데이터]

(5-2) 성능 평가 시험 방법 및 결과

○ 형상 간략화 SW 모듈의 성능평가시험은 성능평가시험용 데이터에 대해서 해당 SW 모듈의 사용 시나리오 전체와 이 SW 모듈과 연동 되는 타 SW 모듈의 인터페이스 관련 시나리오를 통과하는지를 확인하는 방법으로 진행한다. 즉 성능평가시험용 데이터를 기준으로 형상 간략화 SW 모듈의 사용 시나리오를 모두 통과하는지를 확인한다. 그리고 형상 간략화 SW 모듈이 생성한 데이터를 이용하여 형상 간략화 SW 모듈과 연동되는 타 SW 모듈(형상/사양/포트 정합 SW 모듈)의 인터페이스 관련 시나리오를 시험하여

통과하는지를 확인한다.

○ 상기의 방법에 따라 형산 단순화 SW 모듈의 성능평가시험 시나리오 13항목을 선정하여 모듈의 성능평가시험을 실시하였다. 필요시 미리 준비된 성능평가시험용 데이터를 이용하여 시험을 수행하며 성능평가시험평가표에 Pass / Fail을 기록하고 성능평가시험 결과보고서에 첨부하였다. 13가지 항목의 시나리오에 대한 성능평가시험 방법은 다음과 같다. 성능평가시험은 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다.

○ 형상 간략화 SW 모듈의 성능평가시험 결과는 다음 표와 같다. 형상 간략화 SW 모듈의 성능평가시험을 테스트 한 결과 성능평가시험 시나리오 13항목(형상 간략화 SW 모듈의 시나리오 12항목과 이 시스템과 연동되는 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 시나리오 중 외부 연동 1 항목)에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

순번	시나리오		세부 항목	시험 결과
1	형상 간략화 SW 모듈	샘플 데이터 위치 및 내용	샘플 데이터 위치 및 내용 확인	Pass
2		3D CAD 데이터 열기	3D CAD 모델 입력 및 가시화	Pass
3		비형상 정보 XML 파일 열기	포트 정보 입력 및 포트 설정, 가시화	Pass
4		내부 단품 탐지	Outside-In, Inside-Out으로 내부 단품 탐지	Pass
5		단품 필터링	내부 단품과 기준 부피 이하 단품을 제거	Pass
6		국소 특징형상 필터링	Round, Fillet, Chamfer, hole에 해당하는 단품을 제거	Pass
7		볼륨 분해	전체 모델의 형상 요소 검출 수행	Pass
8		LOD 설정 및 간략화	사용자가 설정한 LOD를 기준으로 간략화	Pass
9			LOD가 만족되지 않는 경우, 입력 LOD와 실제LOD와의 차이가 경고 창을 통해 확인	Pass
10		조건부 단품 제거	박판, 너트, 연결부 원통에 해당하는 단품을 제거	Pass
11		데이터 출력	단품으로 병합하여 간략화된 모델 저장	Pass
12		3D CAD 시스템을 이용한 간략화 파일 확인	3D CAD 시스템을 이용하여 간략화 파일 확인	Pass
1	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 모듈	3D 형상 입력	형상 간략화 SW 모듈로 간략화된 3D CAD 모델을 입력 및 가시화	Pass

[표. 형상 간략화 SW 모듈의 성능평가시험 결과]

라) 결론

(1) 주요 결과

○ 형상 간략화 기술의 요구사항 분석을 통해 B-rep 모델을 기반으로 한 형상 간략화 SW 모듈을 설계하고 개발하였다. 개발된 SW 모듈의 유용성을 검증하기 위해 모듈시험 및 성능평가시험을 실시하였고, 모든시험 항목에 대해 통과됨을 확인하였다. 그리고 성과지표에 대한 6차년도 목표치인 형상 간략화율 70%를 달성하였다.

(2) 개발 SW의 사양

○ 사용 개발도구

- C++

○ 구축환경

- CPU : Intel(R) Core(TM) i7 이상
- RAM : 16.00 GB 이상
- HDD : 500 GB 이상
- GPU : GeForce GTX 1060 급 이상

○ 의존관계

- 카탈로그 생성 SW 모듈 (경북대):
  형상 간략화 SW 모듈에서 단순화 된 3D CAD 파일을 생성하고, 이 파일을 카탈로그 생성 SW 모듈에서 대형기기의 3D 형상 정보를 입력할 때 활용함

○ 외부툴 사용특성

- 입력 파일: STEP, IGES 파일 포맷
- 출력 파일: STEP 파일 포맷
- 형상모델링 커널: ACIS
- 형상 모델링 어댑터: 3D InterOp
- 3차원 가시화: Hoops3D

(3) 기존 기술 대비 우수성

○ 기술수준

- 연구 전: 수작업 또는 외주 업체를 통한 3D CAD 모델의 간략화(3~5일 소요)

- 연구 후: 자동 간략화(10분~1시간 소요)

○ 경제성

- 연구 전: 외주 업체를 통한 3D CAD 모델 간략화로 인해 비용 지출

- 연구 후: 형상 간략화 SW 모듈을 통한 자동화로 외주 비용 감소

○ 기존 기술 대비 우수성

- 사용자가 직접 개입하여 원하는 LOD를 상세하게 조절 가능

(4) 적용 가능 기술 분야

○ 대용량 3D CAD 모델의 간략화가 필요한 EPC사 및 기자재 벤더

(5) 향후 계획

○ 개발SW모듈의 추가검증을 위한 다양한 데이터 대상의 파일롯 플랜트 시험적용 수행

○ 개발 SW모듈의 추가적인 기능 개선 및 통합 안정화

○ 플랜트 업체 방문 및 현업종사자들과의 협의를 통한 개발기술의 실용화 추진 준비

2) [C-5] 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈

가) 개요

(1) 연구 목적

○ 플랜트 건설 프로젝트에서 플랜트 3D CAD 시스템을 활용하기 위해서는 배관, 부속품, 및 기기 등의 기자재에 대해서 3D 형상, 사양, 및 포트 정보가 포함된 카탈로그가 저장된 라이브러리를 구축해야한다. 일반적으로 플랜트 3D CAD 시스템의 카탈로그 생성은 수작업으로 이뤄져서 데이터의 오류가 발생할 수 있고 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 기자재 제작사가 납품하는 일반기자재, 대형기기 및 스키드에 대해서 카탈로그를 생성하는 업무를 지원하는 시스템의 개발이 필요하다.

(2) 연구 내용

○ 카탈로그 생성 기술 개발의 정학한 개발 방향 정립을 위해 국내외 카탈로그 생성 기술조사 및 요구사항 분석, 요구기능 정의가 필요하다. 그리고 이를 기반으로 기존 기술의 한계점을 파악하고, 차별화 전략을 수립한다.

○ 앞서 수행한 기술조사 및 요구사항 분석 내용을 바탕으로 카탈로그 생성 SW 모듈의 상세 설계를 진행한다. 이후 개발이 완료된 카탈로그 생성 SW 모듈에 대한 성능 시험을 통해 모듈의 보완 및 개선 사항을 도출한다.

○ 카탈로그 생성 SW 모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 연동을 위해 통합 시험을 수행한다. 추가로, 파일롯 플랜트를 대상으로 한 모듈시험을 수행하고, SW 모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행한다.

○ 개발된 SW 모듈의 실용화를 위해 플랜트 엔지니어링 업체들을 방문하여 현업의 이슈 파악이 필요하다.

나) 수행 내용

○ 본 기술의 개발에 앞서, 국내외 형상 간략화 기술조사 및 요구사항 분석/기능 정의를 완료하였다. 기존 기술의 가지는 한계, 현업의 요구사항 등을 파악하고, 이를 카탈로그 생성 SW 모듈의 개발 방향을 정립했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 기술현황 분석서, 요구사항 명세서

○ 카탈로그 생성 절차에 대한 정의를 통해, 카탈로그 생성 SW 모듈의 설계 및 개발을 수행하였다. 검증을 위해 개발 SW모듈의 모듈시험을 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 카탈로그 생성 절차 수립, SW등록, 모듈시험 보고서

○ SW 모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼과 통합 및 연동 절차를 수립하고, 통합 시험을 진행하였다. 추가로, 통합 시스템의 파일롯 플랜트 시험적용을 통해, 개발 SW모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

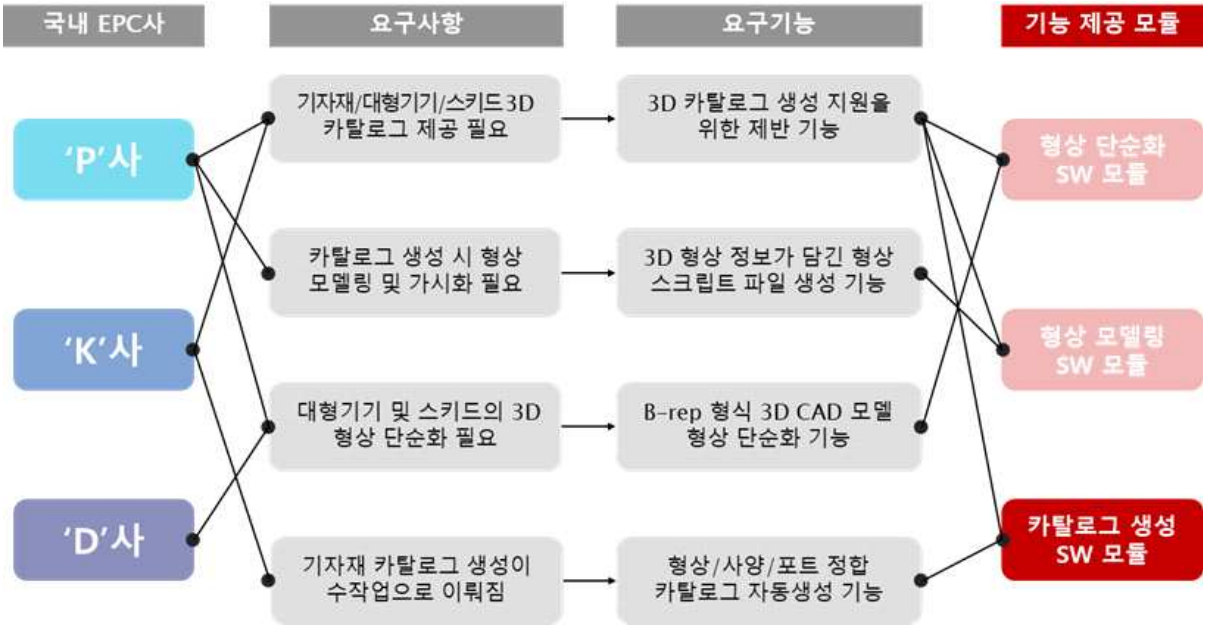
→ 성과물: 통합 시험 보고서, 성능 평가 보고서

○ SW 모듈의 인터페이스 구현 및 기능 개선을 수행하여 성능을 보완하였다. 플랫폼과 통합 방안을 개선하여 통합 안정성 또한 개선했으며, 다음의 산출물을 작성하였다.

→ 성과물: 카탈로그 생성 SW모듈, 성능 평가 보고서

다) 상세 연구 내용

(1) 카탈로그 생성 기술 요구사항 분석



[그림. 카탈로그 생성 SW 모듈 요구사항 및 요구기능 분석]

○ 국내 플랜트 엔지니어링 사 'P'사, 'K'사, 'D'사를 대상으로 한 요구사항 및 요구기능들을 조사한 결과를 위와같이 그림으로 나타내었다. 현업에서 기자재/대형기기/스키드의 3D 카탈로그 제공이 필요하고, 기자재 카탈로그 생성이 수작업으로 이뤄지고 있는 문제점이 도출되었다. 이를 해결하기 위해 카탈로그 생성 SW 모듈의 요구기능에 3D 카탈로그 생성 지원을 위한 제반 기능과 형상/사양/포트 정합 카탈로그 자동생성 기능을 추가하였다.

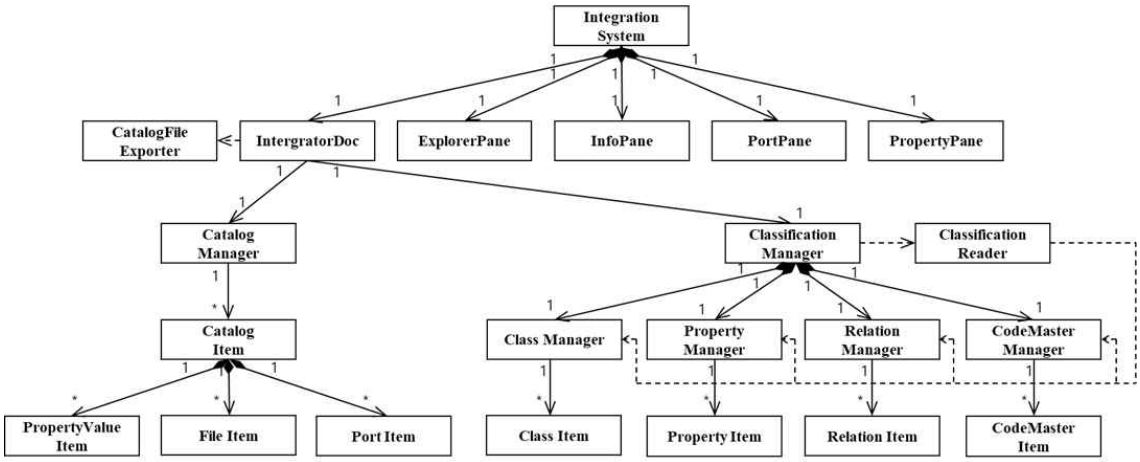
(2) 카탈로그 생성 요소 기술 개발

(2-1) 카탈로그 생성 SW 모듈의 상세 설계

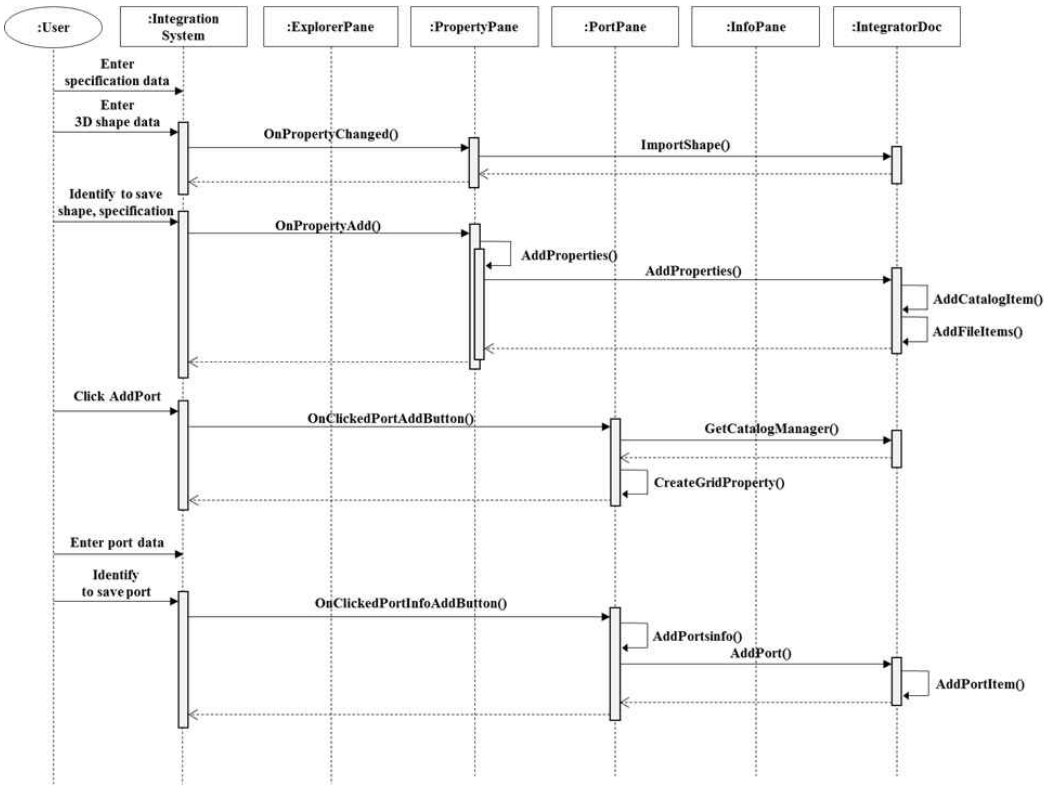
요구사항 식별자	요구사항 이름	기능 사항
CINT-FR-001	분류 체계 데이터 가시화	입력 받은 분류체계의 객체 정보를 탐색기 창에 트리 형태로 가시화
CINT-FR-002	카탈로그 데이터 가시화	입력 받은 카탈로그의 객체 정보를 정보 패널 창에 가시화
CINT-FR-003	객체 선택 이벤트	사용자가 분류체계 트리 창에서 최하위 객체를 선택하면 내부 메모리에 저장된 분류체계 정보를 이용하여 속성 및 포트 정보의 항목을 테이블 형태로 가시화
CINT-FR-004	B-rep 모델 생성	형상 모델링 SW 모듈에 스크립트 파일의 default 파라미터 값에 따른 B-rep 파일 생성 및 사용자가 입력한 속성 정보에 따른 B-rep 파일 생성 요청 - default 파라미터 값의 B-rep파일 생성 후 가시화
CINT-FR-005	3D 형상 가시화	B-rep 모델을 로딩한 후 3D 윈도우에 3D 형상을 가시화

CINT-FR-006	카탈로그 입력 정보 가시화	사용자가 입력한 카탈로그 정보를 윈도우에 가시화 함 - 입력된 정보의 표시는 TRUE/FALSE로 표시함
CINT-FR-007	3D CAD 데이터 저장	사용자가 출력 파일을 저장할 폴더를 선택하면 모듈은 XML 파일을 생성하고 3D CAD 데이터를 복사 생성 - 파일 이름은 고유ID 사용

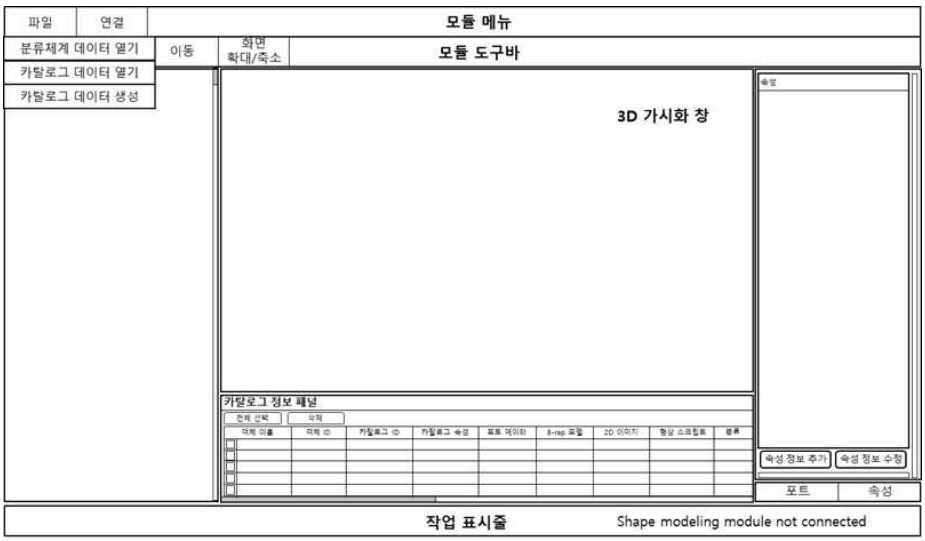
[표. 카탈로그 생성 SW 모듈 기능 요구사항]



[그림. 클래스 다이어그램]



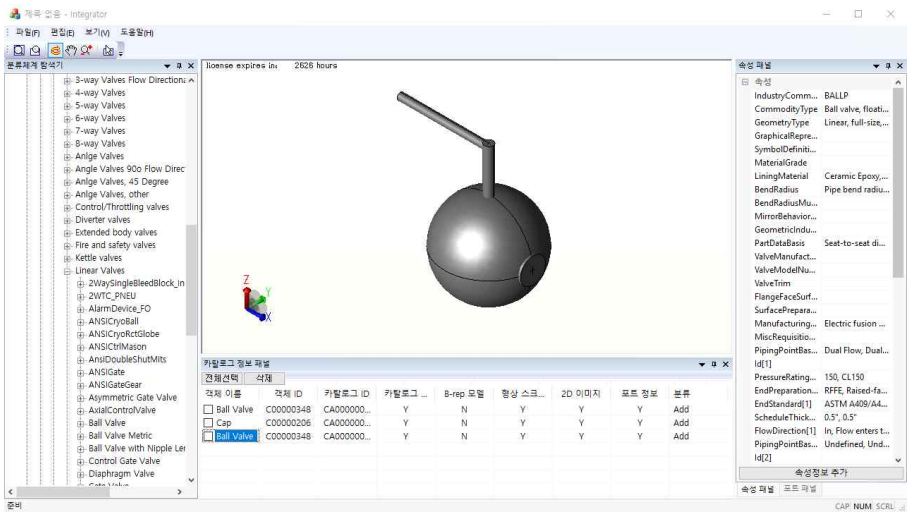
[그림. 시퀀스 다이어그램 - 카탈로그 생성 기능]



[그림. 카탈로그 생성 SW 모듈 UI 설계]

○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 UI는 모듈 메뉴, 모듈 도구바, 분류체계 트리창, 3D 가시화 창, 속성 및 포트 정보 창, 포트/속성 정보 저장, 카탈로그 정보 입력 확인 창으로 구성된다. 모듈 메뉴는 사양 변경 SW 모듈 연결, 분류체계 데이터 열기, 카탈로그 데이터 열기, 카탈로그 데이터 생성 메뉴를 제공한다. 모듈 도구바는 3D 형상 가시화 창에 보여지는 3D CAD 모델의 조작을 지원하는 도구 메뉴(전체보기, 확대/축소, 회전, 이동 도구)를 제공한다. 분류체계 트리창은 분류체계 데이터에 저장된 객체들간의 포함 관계를 토리 형태로 가시화 한다. 3D 가시화 창은 사용자가 입력한 3D CAD 모델의 3차원 형상을 가시화한다. 속성 및 포트 정보 창은 분류체계 트리 창에서 사용자가 선택한 노드에 해당하는 객체의 속성 정보, 3D CAD 형상 정보 및 포트 정보를 가시화한다. 포트/속성 정보 저장은 정보 입력 확인 창에 카탈로그 정보가 가시화된다. 카탈로그 정보 입력 확인 창은 사용자가 입력한 카탈로그 정보 상태를 테이블 형태로 가시화한다.

(2-2) 카탈로그 생성 SW 모듈의 개발



[그림. 카탈로그 생성 SW 모듈 UI]

○ 기능 요구사항, 클래스 다이어그램, 시퀀스 다이어그램, 모듈 UI를 통해 바탕으로 카탈로그 생성 SW 모듈을 개발하였다. 개발된 모듈의 UI는 위 그림과 같으며, 초기 설계 모델에서 카탈로그 데이터 로딩 기능, 카탈로그 수정 기능, 사양 변경 SW 모듈 연동 기능이 추가되었다.

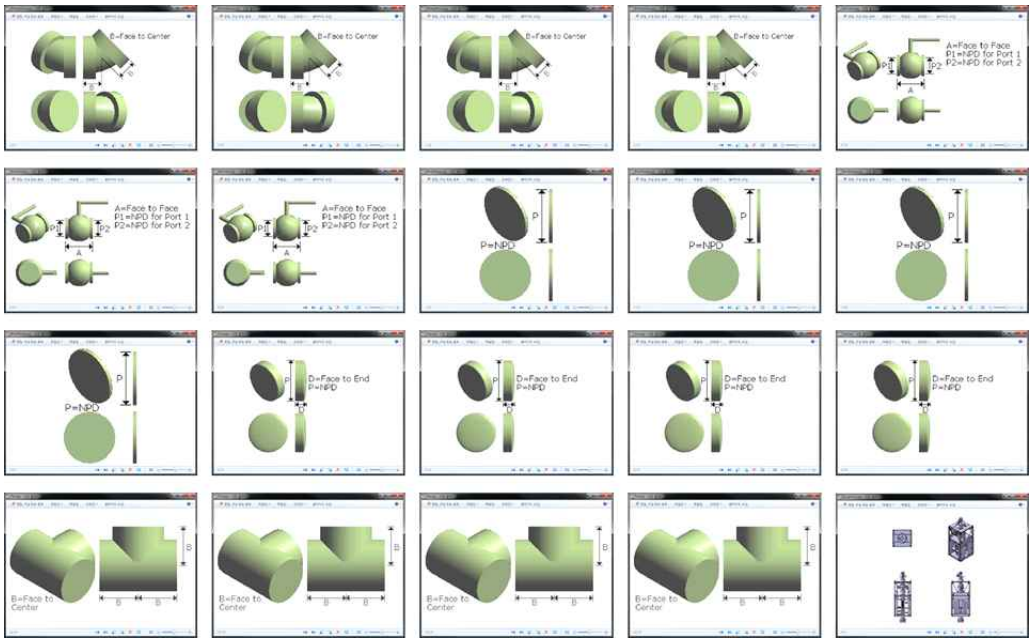
(3) 카탈로그 생성 SW 모듈의 모듈시험

(3-1) 모듈시험용 데이터

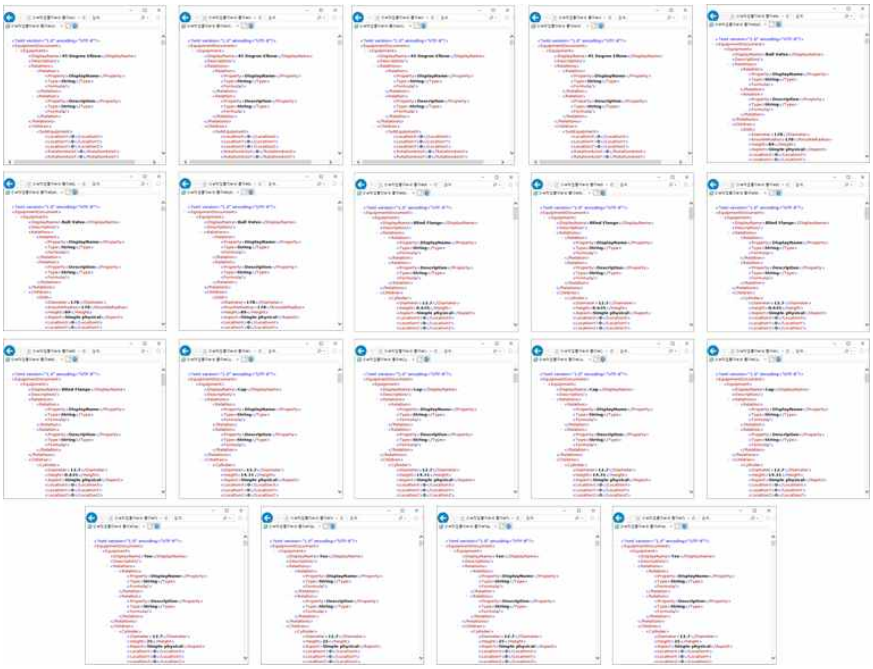
○ 모듈시험용 데이터는 분류체계 데이터(XML), 2D 이미지, 형상 스크립트 파일(XML), 3D CAD 파일(step)로 구성되며, 20가지 종류의 기자재에 대해서 모듈시험용 데이터를 작성하였다. 기자재는 45 Degree Elbow, Ball Valve, Blind flange, Cap, Tee, SHI 20종이다. 다음 그림은 20가지 종류의 기자재에 대해서 준비된 분류체계 데이터, 2D 이미지, 형상 스크립트 파일, 3D CAD 파일의 구성을 보여준다.



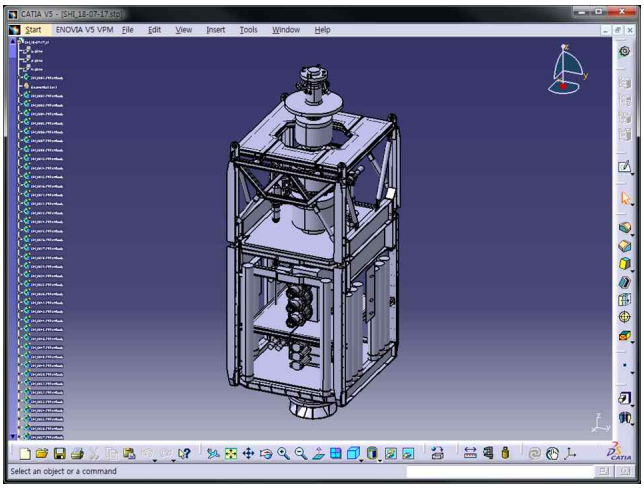
[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 모듈시험용 데이터 - 분류체계 데이터]



[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 모듈시험용 데이터 - 2D 이미지]



[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 모듈시험용 데이터 - 형상 스크립트]



[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 모듈시험용 데이터 - 3D CAD 파일]

(3-2) 모듈시험 결과

○ 모듈의 사용 시나리오의 22가지 항목에 대해 시나리오별 모듈시험을 실시하였다. 필요시 미리 준비된 모듈시험용 데이터를 이용하여 시험을 수행하여 모듈시험평가표에 Pass / Fail을 기록하고 모듈시험 결과보고서에 첨부하였다. 22가지 항목의 시나리오에 대한 모듈시험 방법은 다음과 같다. 모듈시험은 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다.

○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 모듈시험 결과는 다음 표와 같다. 모듈의 모듈시험을 수행한 결과 22항목에 대한 모듈시험 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

순번	시나리오		세부 항목	시험 결과
1	샘플 데이터 위치 및 내용		샘플 데이터 위치 및 내용 확인	Pass
2	형상 모델링 SW 모듈 경로 입력		작업표시줄의 경로 입력 상태메시지 확인	Pass
3	분류체계 데이터 입력		기자재, 대형기기/스키드 객체 정보를 트리 형태로 가시화	Pass
4	분류체계 트리 상에서 최하위 노드의 기자재 선택		선택된 기자재의 속성 정보 표현	Pass
5	카탈로그 정보 입력	일반 기자재	2D 이미지 및 스크립트 파일 입력	Pass
6			스크립트 파일을 사양 변경 SW 모듈로 입력하여 default 파라미터 값에 해당되는 B-rep 파일 생성 요청	Pass
7			화면 상에 기자재 3D 형상 가시화	Pass
8			속성 정보(형상/비형상)를 직접 입력	Pass
9			포트 정보 직접 입력	Pass
10			형상/사양/포트 정보 저장	Pass
11		대형기기 /스키드	2D 이미지 파일과 B-rep 모델 입력	Pass
12			화면 상에 기자재 3D 형상 가시화	Pass
13			속성 정보(형상/비형상)를 직접 입력	Pass
14			포트 정보 직접 입력	Pass
15			형상/사양/포트 정보 저장	Pass
16	출력 파일 생성		사양 데이터를 이용하여 파라미터 테이블 생성	Pass
17			형상 스크립트 파일과 파라미터 테이블을 사양 변경 SW 모듈에 입력하여 사양별 3D 형상 생성 요청	Pass
18			카탈로그 XML 파일 생성 및 2D 이미지, 3D CAD 데이터 복사 생성	Pass
19	형상/사양/포트 정합 결과 확인		데이터 구조와 카탈로그XML 비교	Pass
20			3D CAD 시스템을 이용한 3D CAD 파일 확인	Pass
21	카탈로그 데이터 입력		작성된 카탈로그 데이터를 입력하여 카탈로그 정보 패널에 가시화	Pass
22	형상, 사양, 포트 정보 로딩 결과 확인		카탈로그에 저장된 기자재, 대형기기/스키드의 형상, 사양, 포트 정보 확인	Pass

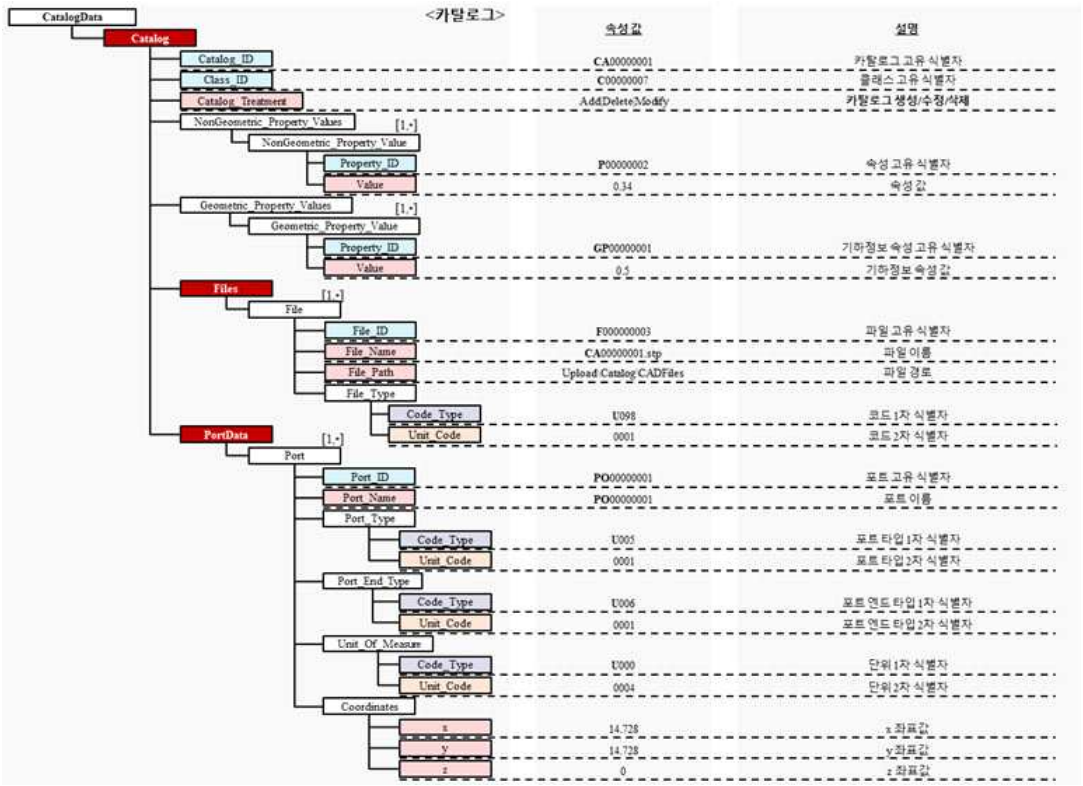
[표. 카탈로그 생성 SW 모듈의 모듈시험 결과]

(4) 카탈로그 생성 SW 모듈의 기능 확장 및 개선

(4-1) 분류체계 데이터 구조 및 카탈로그 데이터 구조 확장

○ 4차년도에 확장된 분류체계 데이터를 바탕으로 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈에서 사용할 수 있도록 SW 모듈을 개선하였다. 확장한 종류로는 기자재의 종류, 속성의 종류 및 분류, 코드마스터의 직접 사용 유무, 코드마스터의 그룹 확장 등이 있다. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈에서는 속성의 종류 및 분류, 코드마스터의 직접 사용 유무, 코드마스터 그룹에 대해 데이터를 처리할 수 있도록 기능을 개선하였다.

○ 기존의 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈은 카탈로그 데이터를 생성할 때 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼에 저장된 카탈로그를 삭제 또는 수정하는 것인지 혹은 새로운 카탈로그를 추가하는 것인지를 고려하지 않았다. S3D 카탈로그 데이터에는 DB에 업로드할 카탈로그 데이터와 DB에 존재하던 기존 카탈로그 데이터 간의 추가/수정/삭제를 나타내기 위해서 a(Add), m(Modify), d(Delete)라는 키워드를 이용한다. 이와 같은 기법을 참고하여 기존 카탈로그 데이터 구조에서 Catalog_Treatment항목을 추가하였다. 그리고 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈에서 카탈로그 데이터의 Treatment 정보를 사용자가 선택하여 작성할 수 있도록 기능을 개선하였다. 그리고 카탈로그 데이터 출력 부분도 개선된 카탈로그 데이터 구조에 맞게 데이터를 출력할 수 있도록 개선하였다.

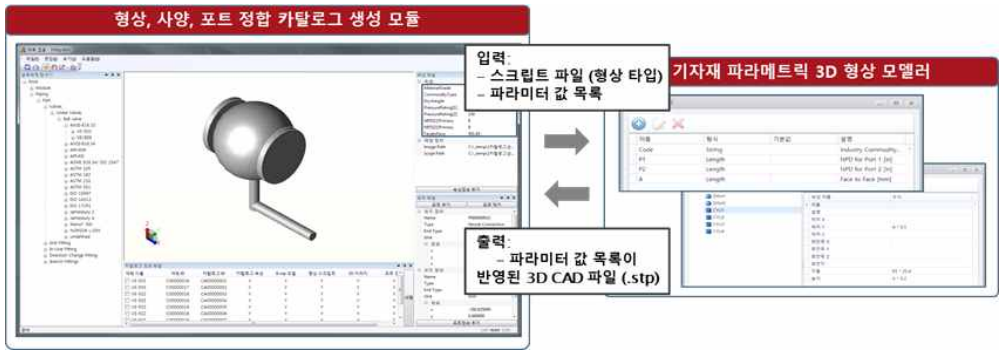


[그림. 확장된 카탈로그 데이터 구조]

(4-2) 사양 변경 SW 모듈과의 파일 기반 연동

○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈은 일반기자재에 대해 카탈로그 데이터를

생성할 때, 형상 스크립트 파일을 입력을 하면 이 파일에 저장된 디폴트 3D 형상 정보를 사양 변경 SW 모듈로부터 받아서 기자재의 3D 형상을 가시화해야 한다. 그리고 사양 정보와 포트 정보를 입력한 후 카탈로그 데이터의 출력을 할 때 사양 변경 SW 모듈에 각 카탈로그의 사양별로 3D 형상 파일 생성을 요청한다. 아래의 그림은 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈과 사양 변경 SW 모듈 간에 3D 형상 생성 요청 시 필요한 데이터를 교환하는 것을 보여준다.



[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 3D 형상 생성 - 사양 변경 SW 모듈과 연동]

○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈에서 카탈로그 사양에 맞는 3D 형상을 생성하기 위해서 사양 변경 SW 모듈로 형상 스크립트 파일(XML)과 파라미터 테이블(XML)을 전달하는 것이 필요하다. 아래의 그림은 형상 스크립트 파일과 파라미터 테이블을 보여준다. 이를 위해 사용자가 입력한 사양을 반영시킨 파라미터 테이블을 생성하는 기능과 파라미터 테이블과 형상 스크립트 파일을 사양 변경 SW 모듈에 입력하여 3D 형상 생성을 요청하는 기능을 추가하였다.

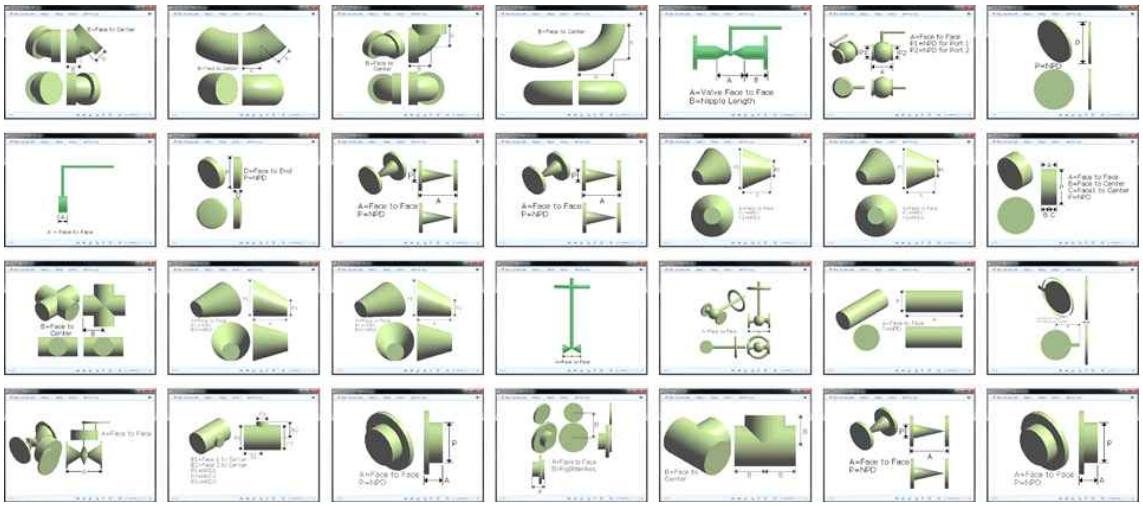
(5) 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능 평가 시험

(5-1) 성능 평가 시험용 데이터

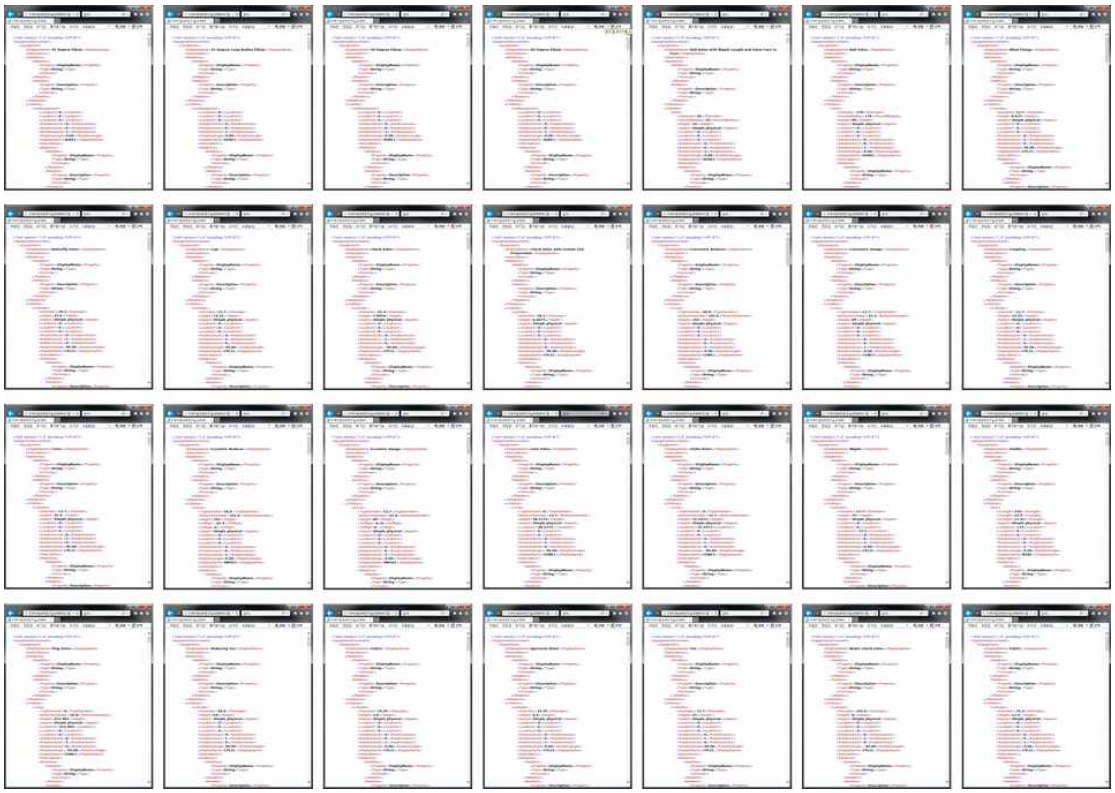
○ 성능평가시험용 데이터는 분류체계 데이터(XML), 2D 이미지, 형상 스크립트 파일(XML), 3D CAD 파일(step)로 구성되며, 필즈 엔지니어링에서 제공받은 총 34종의 피팅타입 중 형상 스크립트 생성이 가능한 28종에 대한 성능평가시험에 활용하였다. 그리고 대형기기 2종에 대한 성능평가시험도 수행하였다. 이에따라 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈에서 28종의 일반 기자재에 대해 139개의 카탈로그를 생성하고, 2종의 대형기기에 대해 2개의 카탈로그를 생성하는 시험을 수행하였다. 다음 그림은 성능평가시험에 사용된 기자재 및 대형기기에 대해서 준비된 분류체계 데이터, 2D 이미지, 형상 스크립트 파일, 3D CAD 파일의 구성을 보여준다.



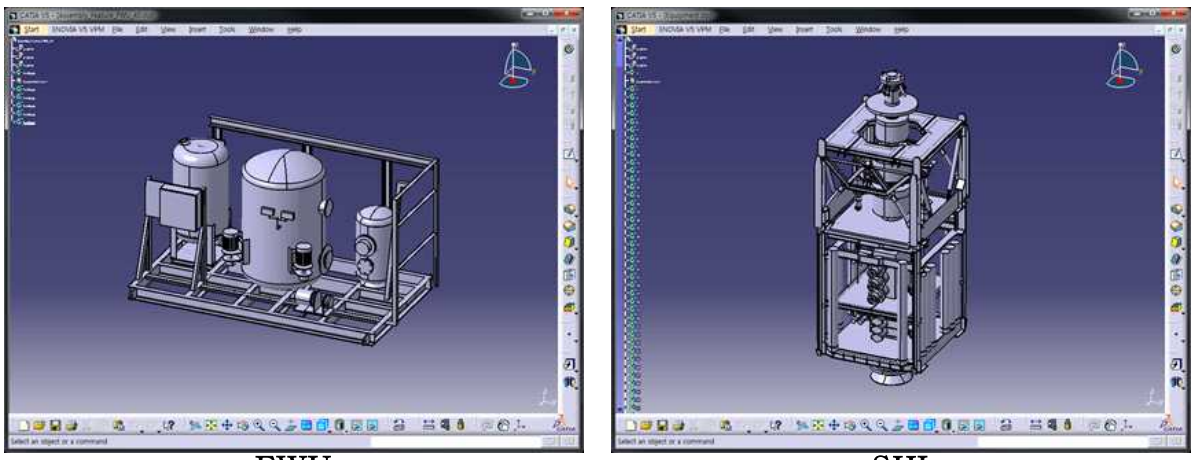
[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험용 데이터 - 분류체계 데이터]



[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험용 데이터 - 2D 이미지]



[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험용 데이터 - 형상 스크립트]



FWU SHI

[그림. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험용 데이터 - 3D CAD 파일]

(5-2) 성능 평가 시험 방법 및 결과

○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험은 성능평가시험용 데이터에 대해서 해당 SW 모듈의 사용 시나리오 전체와 이 SW 모듈과 연동 되는 타 SW 모듈의 인터페이스 관련 시나리오를 통과하는지를 확인하는 방법으로 진행한다. 즉 성능평가시험용 데이터를 기준으로 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 사용 시나리오를 모두 통과하는지를 확인한다. 그리고 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW

모듈이 생성한 데이터를 이용하여 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈과 연동되는 타 SW 모듈(형상 간략화 SW 모듈, 사양 변경 SW 모듈, 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼)의 인터페이스 관련 시나리오를 시험하여 통과하는지를 확인한다.

○ 상기의 방법에 따라 형산 단순화 SW 모듈의 성능평가시험 시나리오 26항목을 선정하여 모듈의 성능평가시험을 실시하였다. 필요시 미리 준비된 성능평가시험용 데이터를 이용하여 시험을 수행하며 성능평가시험평가표에 Pass / Fail을 기록하고 성능평가시험 결과보고서에 첨부하였다. 26가지 항목의 시나리오에 대한 성능평가시험 방법은 다음과 같다. 성능평가시험은 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다.

○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험 결과는 다음 표와 같다. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험을 테스트 한 결과 성능평가시험 시나리오 26항목(형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 시나리오 21 항목과 이 시스템과 연동되는 형상 간략화 SW 모듈의 시나리오 중 외부 연동 1 항목, 사양 변경 SW 모듈의 시나리오 중 외부 연동 3 항목, 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼의 시나리오 중 외부 연동 1 항목)에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

순번	시나리오		세부 항목	시험 결과
1	형상 간략화 SW 모듈	데이터 출력	단품으로 병합하여 간략화된 모델 저장	Pass
1	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈	분류체계 데이터 입력	기자재, 대형기기/스키드 객체 정보를 트리 형태로 가시화	Pass
2		형상 모델링 SW 모듈 경로 입력	작업표시줄의 경로 입력 상태메시지 확인	Pass
3		분류체계 트리 상에서 최하위 노드의 기자재 선택	선택된 기자재의 속성 정보 표현	Pass
4		일반 기자재	2D 이미지 및 스크립트 파일 입력	Pass
5			스크립트 파일을 사양 변경 SW 모듈로 입력하여 default 파라미터 값에 해당되는 B-rep 파일 생성 요청	Pass
1	사양 변경 SW 모듈	기자재 형상 파일 저장	기자재 형상을 파일(.stp)로 저장	Pass

6	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈	일반 기자재	화면 상에 기자재 3D 형상 가시화	Pass
7			속성 정보(형상/비형상)를 직접 입력	Pass
8			포트 정보 직접 입력	Pass
9			형상/사양/포트 정보 저장	Pass
10		대형기기 /스키드	2D 이미지 파일과 간략화된 3D CAD 모델 입력	Pass
11			화면 상에 기자재 3D 형상 가시화	Pass
12			속성 정보(형상/비형상)를 직접 입력	Pass
13			포트 정보 직접 입력	Pass
14			형상/사양/포트 정보 저장	Pass
15		출력 파일 생성	사양 데이터를 이용하여 파라미터 테이블 생성	Pass
16			형상 스크립트 파일과 파라미터 테이블을 사양 변경 SW 모듈에 입력하여 사양별 3D 형상 생성 요청	Pass
2	사양 변경 SW 모듈	기자재 형상 스크립트 파일 저장	변경된 파라미터가 적용된 기자재 형상 스크립트 파일을 저장	Pass
3		기자재 형상 파일 저장	기자재 형상을 파일(.stp)로 저장	Pass
17	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈	출력 파일 생성	카탈로그 XML 파일 생성 및 2D 이미지, 3D CAD 데이터 복사 생성	Pass
18		형상, 사양, 포트 정합 결과 확인	데이터 구조와 카탈로그XML 비교	Pass
19			3D CAD 시스템을 이용한 3D CAD 파일 확인	Pass
1	협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼	형상/사양/포트 정합 시스템 데이터 등록	형상/사양/포트 정합 시스템 데이터를 import하여 카탈로그 데이터 생성	Pass
20	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈	카탈로그 데이터 입력	작성된 카탈로그 데이터를 입력하여 카탈로그 정보 패널에 가시화	Pass
21		형상, 사양, 포트 정보 로딩 결과 확인	카탈로그에 저장된 기자재, 대형기기/스키드의 형상, 사양, 포트 정보 확인	Pass

[표. 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈의 성능평가시험 결과]

라) 결론

(1) 주요 결과

○ 카탈로그 생성 기술의 요구사항 분석을 통해 3D 형상, 사양, 포트 정보를 포함한

카탈로그를 생성하는 SW 모듈을 설계하고 개발하였다. 개발된 SW 모듈의 유용성을 검증하기 위해 모듈시험 및 성능평가시험을 실시하였고, 모든시험 항목에 대해 통과됨을 확인하였다. 그리고 성과 지표에 대한 6차년도 목표치인 카탈로그 정합 정보 종류 개수 3가지(3D CAD/사양/포트 정보)를 달성하였다.

(2) 개발 SW의 사양

○ 사용 개발도구

- C++

○ 구축환경

- CPU : Intel(R) Core(TM) i7 이상
- RAM : 16.00 GB 이상
- HDD : 500 GB 이상
- GPU : GeForce GTX 1060 급 이상

○ 의존관계

- 형상 간략화 SW 모듈 (경북대):
  형상 간략화 SW 모듈에서 단순화 된 3D CAD 파일을 생성하고, 이 파일을 카탈로그 생성 SW 모듈에서 대형기기의 3D 형상 정보를 입력할 때 활용함
- 사양 변경 SW 모듈 (동아대):
  카탈로그 생성 SW 모듈에서 사양 변경 SW 모듈의 경로를 입력하여 연동함. 사양 변경 SW 모듈의 역할은 기자재 형상 스크립트 생성, 입력 사양에 따른 3D 형상 생성이 있음
- 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 (지토):
  카탈로그 생성 SW 모듈에서 생성한 중립 카탈로그 데이터(3D 형상, 2D 이미지 포함)를 지토 플랫폼에 수동으로 업로드 함

○ 외부툴 사용특성

- 형상모델링 커널: ACIS
- 형상 모델링 어댑터: 3D InterOp
- 3차원 가시화: Hoops3D

(3) 기존 기술 대비 우수성

○ 기술수준

- 연구 전: 기자재 라이브러리에 입력할 카탈로그 데이터를 수작업으로 작성

- 연구 후: 라이브러리 입력용 카탈로그 생성 업무 지원(반 자동화)

○ 경제성

- 연구 전: 카탈로그 생성 시 투입되는 인력 및 시간 소요

- 연구 후: 수작업으로 진행되는 업무 지원을 통해 인력 및 시간 감소

○ 기존 기술 대비 우수성

- 3D 형상 정보, 사양 정보, 포트 정보가 모두 포함된 카탈로그 데이터를 생성

(4) 적용 가능 기술 분야

○ 기자재 라이브러리 구축에 많은 시간과 비용이 소모되는 EPC사 및 기자재 벤더

(5) 향후 계획

○ 개발SW모듈의 추가검증을 위한 다양한 데이터 대상의 파일롯 플랜트 시험적용 수행

○ 개발 SW모듈의 추가적인 기능 개선 및 통합 안정화

○ 플랜트 업체 방문 및 현업종사자들과의 협의를 통한 개발기술의 실용화 추진 준비

라. [D] 협업 지원 라이브러리 사양 변경 모듈

1) [D-6] 협업 지원 라이브러리 사양변경 시스템 모듈

가) 개요

(1) 연구 목적

○ 협업 지원 라이브러리 사양변경 시스템 모듈에서는 사용자가 요청한 기자재 사양에 따라 협업 지원 라이브러리에 사용될 기자재 3D CAD 모델을 자동으로 생성 및 변경해주는 기술을 개발한다.

(2) 연구 내용

○ 사양 변경 기술 관련하여 기술 현황 조사 및 기업 설계 마스터 정보 현황을 분석한 후 이를 바탕으로 협업 단위 시스템 사양 변경 기술의 요구사항 분석 및 기능 정의를 한다.

○ 기술 현황 조사 및 요구사항 분석 내용을 바탕으로 사양 변경 SW 모듈의 상세 설계를 진

행하고, 개발된 사양 변경 SW 모듈에 대한 성능 시험을 통해 모듈의 보완 및 개선 사항을 도출한다.

○ 사양 변경 SW 모듈과 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 연동을 위해 통합 시험을 수행한다. 또한, 파일롯 플랜트를 대상으로 모듈시험을 수행하고, SW 모듈의 성능 보완 및 안정화를 수행한다.

나) 수행 내용

○ 사양 변경 기술에 관련 시스템인 PARTsolutions와 CATIA를 분석하였고 두 시스템은 기계 부품을 대상으로 하기 때문에 플랜트 협업단위시스템(일반 기자재)을 대상으로 한 4세부 개발 시스템과 차이가 있다. 두 시스템에서 제공하는 기능들 중 적용 가능한 기능들을 참고하여 플랜트 협업 단위 시스템의 사양 변경에 필요한 새로운 요구사항 및 기능을 정의하였다.

→ 성과물: 기술현황 분석서 및 요구사항 명세서, 특허 출원

○ 사양변경 알고리즘 구현을 위해 사양변경 S/W 모듈 설계를 진행하였고, 설계를 기반으로 사양변경 알고리즘을 도출한 후 이를 사양변경 모듈로 구현하였다. 구현한 사양변경 모듈에 대한 테스트를 기능시험 절차서를 기준으로 진행하고 문제점을 개선하였다.

→ 성과물: 사양변경 S/W 모듈 설계서, 사양변경 알고리즘 명세서, 사양변경 알고리즘 기능시험 절차서 및 보고서

○ 사양변경 S/W 모듈 설계서를 기반으로 사양변경 시스템 S/W 모듈을 구현(프리미티브 모델링 기능, 프로파일 기반 형상 정의, 속성/형상 간 관계 정의, 파라미터 및 관계에 따른 형상 변경 기능) 하였고, S/W 모듈 테스트를 모듈시험 절차서를 기준으로 진행하였다.

→ 성과물: 사양변경 S/W 모듈, 사양변경 S/W 모듈시험 절차서 및 보고서

○ 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼과 통합하기 위한 기능(분류체계 속성 연동 기능, 배치 모드 지원 기능, 표준(ISO 10303-203) 파일 출력 기능)을 개발하고, 통합 시험 절차서를 기준으로 통합 시험을 진행하였다.

→ 성과물: 협업 지원 라이브러리 관리 시스템, 통합 테스트 보고서, S/W 등록증

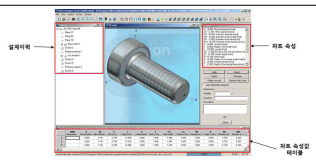
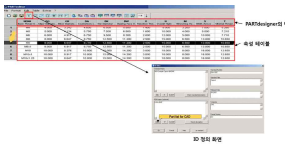
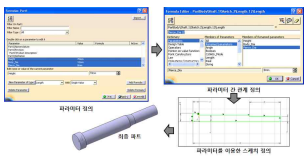
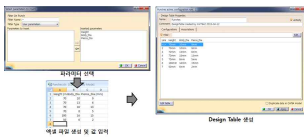
○ 사양변경 S/W 모듈을 파일롯 플랜트에 대해 시험 적용 및 평가를 통해 기능 개선 및 안정화를 수행하였다.

→ 성과물: 사양변경 시스템 모듈, 성능 평가 보고서

다) 상세 연구 내용

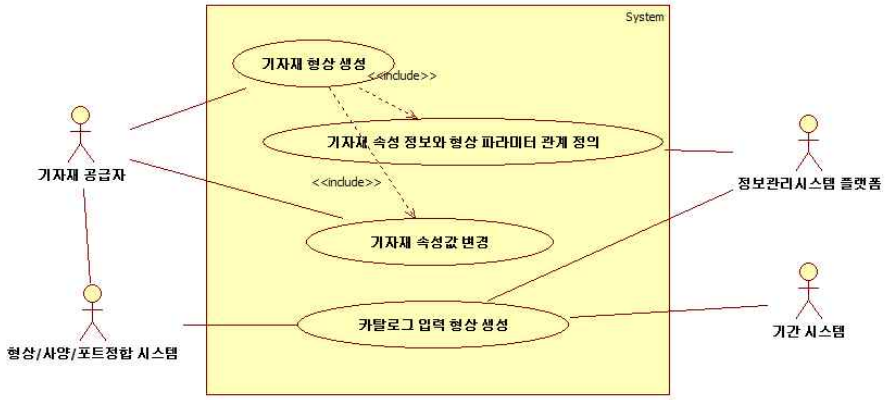
(1) 협업 지원 라이브러리 사양 변경 기술 요구사항 분석

○ 사양 변경 기술 관련하여 기술 현황 조사 및 기업 설계 마스터 정보 현황을 분석하였다. 사양 변경 기술에 관련 시스템인 PARTsolutions와 CATIA를 분석하였고 두 시스템은 기계 부품을 대상으로 하기 때문에 플랜트 협업단위시스템(일반 기자재)을 대상으로 한 4세부 개발 시스템과 차이가 있다.

사양변경 기술사례	관련 그림	분석
CADENAS PARTsolutions	 파라메트릭 형상 생성  형상 변수와 사양 관계 지정	▪ PARTdesigner 모듈에서 특징형상 기반 파라메트릭 볼륨 모델링 기능 제공 및 파라미터 변경을 통한 다양한 변경 형상 생성 가능 ▪ 형상을 생성할 때 명시적인 수치 대신 앞서 정의한 변수 이름을 사용할 수 있음 ▪ 형상에 변수를 부여하고 다른 변수와 함수 관계를 가지도록 정의할 수 있음 ▪ PARTeditor에서 PARTdesigner에서 정의한 변수값을 이용해 사양 속성 테이블 작성
CATIA V5	 부품 설계 및 사양변수 지정  형상 파라미터 사양 지정	▪ CATIA는 특징형상 기반 파라메트릭 모델링 기능 제공 ▪ 사용자가 정의한 파라미터(사양 속성 정보)와 형상의 파라미터와 관계를 공식을 통해 연결 가능 ▪ 파라미터를 이용해 Design Table생성이 가능하며 카탈로그 생성 시 해당 파라미터 값으로 형상 변경 설정 가능
시사점	▪ PARTdesigner는 스케치 기반의 돌출, 회전 형상만 정의 가능하나 플랜트 기자재는 더 다양한 기본형상이 필요함 ▪ CATIA에서 모델링한 형상은 기계 설계를 대상으로 한 것이므로 복잡도가 높음. 따라서 플랜트 설계에서 이용하기 위해서는 간략화 시킬 필요가 있음 ▪ 사양 변경 기술은 상업용 시스템의 카탈로그 관리 모듈과의 호환성을 확보를 위해서 일반 기자재에 대해서 형상 스크립트 파일을 생성하고 분류체계의 형상 파라미터와 연동이 필요함	

○ 기술 조사 결과를 바탕으로 협업 단위 시스템 사양 변경 기술의 요구사항 분석 및 기능 정의를 하였다. 기술 조사 대상인 두 시스템에서 제공하는 기능들 중 적용 가능한 기능들을 참고하여 플랜트 협업 단위 시스템의 사양 변경에 필요한 새로운 요구사항 및 기능을 정의하였다.

○ 사용자 기능 정의(UML 유즈케이스 다이어그램)



[그림. 사양변경 시스템 유즈케이스 다이어그램]

○ 상세 기능 정의

요구사항 식별자		요구사항 이름	비고
기능	SMS-FR-001	기자재 형상 생성	
	SMS-FR-002	기자재 속성 정보와 형상 파라미터 관계 정의	
	SMS-FR-003	기자재 형상 파라미터 변경	
	SMS-FR-004	카탈로그 입력 형상 생성	
인터페이스	SMS-IR-001	파일 입출력	
	SMS-IR-002	API 지원	
	SMS-IR-003	배치 모드 지원	
	SMS-IR-004	그래픽 사용자 인터페이스	
환경	SMS-ECRR-001	하드웨어 환경	
	SMS-ECRR-002	시스템 개발 도구 및 환경	

[표. 협업 단위 시스템 사양변경 시스템 요구사항 목록]

항목	세부 항목	세세부 항목	기능 사항	비고
기자재 형상 생성	기본형상 생성	Box 생성	Box를 생성한다.	
		Cylinder 생성	Cylinder를 생성한다.	
		Cone 생성	Cone을 생성한다.	
		Snout 생성	Snout를 생성한다.	
		Pyramid 생성	Pyramid를 생성한다.	
		Circular Torus 생성	Circular Torus를 생성한다.	
		Rectangular Torus 생성	Rectangular Torus를 생성한다.	
		Dish 생성	Dish를 생성한다.	
		Slopped Cylinder 생성	Slopped Cylinder를 생성한다.	
		Extrusion 생성	Extrusion을 생성한다.	
		Revolution 생성	Revolution을 생성한다.	
	데이텀 포인트 생성		데이텀 포인트를 생성한다.	
기자재 형상 생성	변환 기능	직선 이동/복사	형상을 직선 이동 또는 복사한다.	
		회전 이동/복사	형상을 회전 이동 또는 복사한다.	
		확대/축소	형상을 확대 또는 축소시킨다.	
		대칭 이동/복사	형상을 대칭 이동 또는 복사한다.	
	편집 기능	형상 수정	생성한 형상을 수정한다.	
		형상 삭제	생성한 형상을 삭제한다.	
		Undo/Redo	실행한 기능을 취소하거나 취소한 기능을 다시 되돌린다.	
	파일 입출력	파일 저장	생성한 기자재 형상을 파일로 저장한다.	
		파일 불러오기	파일에 저장된 기자재 형상을 불러온다.	
	가시화 기능	좌표계 표시/숨기기	화면에 좌표계를 표시 또는 숨기기 한다.	
		형상 표시/숨기기	생성한 형상들 중 일부를 표시 또는 숨기기한다.	

[표. 협업 단위 시스템 사양변경 시스템 상세 기능-1]

항목	세부 항목	세세부 항목	기능 사항	비고
기자재 형상 생성	화면 네비게이션 기능	화면 회전	화면을 회전시킨다.	
		화면 이동	화면을 직선이동 시킨다.	
		실시간 확대/축소	화면을 실시간으로 확대 또는 축소시킨다.	
		확대	화면을 2배 확대한다.	
		축소	화면을 2배 축소한다.	
		창 확대	사용자가 지정한 영역을 화면에 꽉 차게 확대한다.	
		전체 보기	화면의 형상이 모두 보일 수 있도록 화면을 조정한다.	
		기본시점(정면도 등)	시점을 기본시점(정면도, 평면도, ...)으로 변경한다.	
		등각투상(남서, 남동, 북동, 북서)	시점을 (남서, 남동, 북동, 북서) 등각투상 시점으로 변경한다.	
기자재 속성정보와 형상 파라미터 관계 정의	분류체계 선택		카탈로그에서 분류체계 목록을 가져와 화면에 표시하고, 사용자가 선택할 수 있게 한다.	
	속성정보 표시		분류체계의 속성 목록을 카탈로그에서 가져와 화면에 표시한다.	
	관계 생성		속성과 기본형상의 파라미터 간의 관계를 정의한다. 관계 정의는 수식으로 표현한다. 또한 속성에 기본값을 부여한다.	
	관계 수정		생성한 관계의 수식이나 기본값을 수정한다.	
	관계 삭제		생성한 관계를 삭제한다.	
기자재 속성 변경	속성값 변경		속성의 값을 수정한다. 속성이 관계에 의해 기본형상의 파라미터와 연결되어 있는 경우에는 형상도 변경된다.	
카탈로그 입력 형상 생성	카탈로그 입력 형상 생성		속성값 테이블과 기자재 형상을 이용해 카탈로그에 입력할 기자재 형상 변이(variant)를 생성한다.	

[표. 협업 단위 시스템 사양변경 시스템 상세 기능-2]

(2) 사양 변경 알고리즘

(2-1) 사양 변경 S/W 모듈 설계

○ 요구사항 분석을 통한 시스템 설계를 기반으로 상세한 사양 변경 S/W 모듈 설계를 진행하였다. 요구사항 분석을 통해 모듈의 기능을 정의하고, 각 기능에 대한 유즈케이스를 기술한 다음, GUI 설계를 진행하였다. 여기서 정의된 항목들은 사양 변경 알고리즘 도출 단계에서 구현하였다.

○ 요구사항 분석으로부터 78개의 상세 기능을 도출하였다.. 상세기능 도출시 기존 시스템 AVEVA E3D와 Intergraph SmartPlant3D를 벤치마킹하였다. 아래 그림은 도출한 상세기능 중 일부를 보여준다.

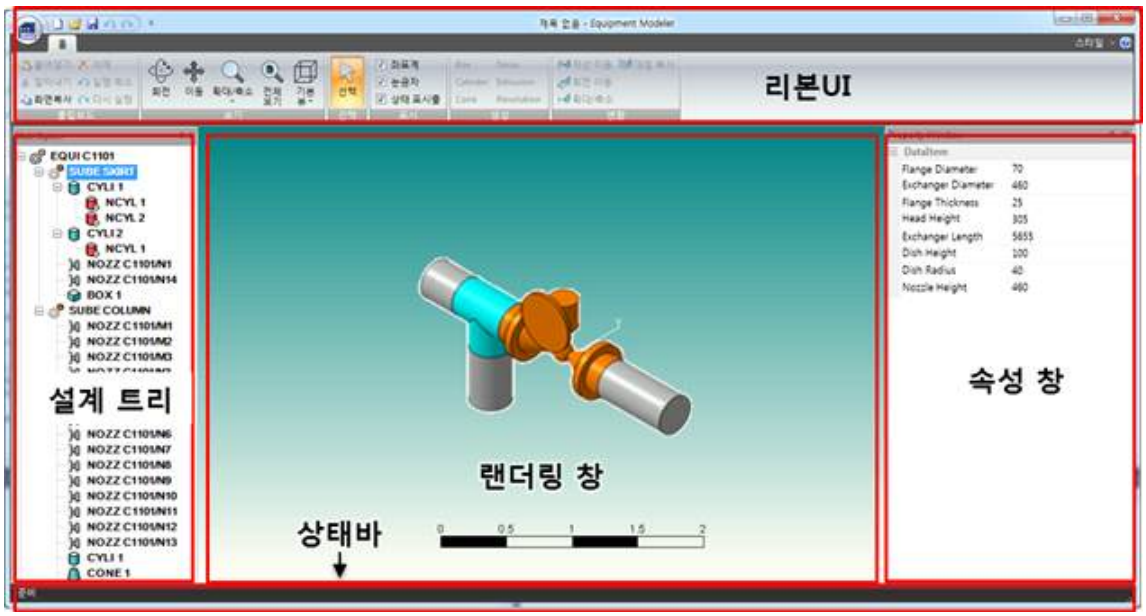
기능 정의

▸ 상세 기능 정의

항목	세부 항목	세세부 항목	기능 사항	비고
기자재 구성	부기자재 관리	부기자재 생성	부기자재를 상위 기자재 아래에 추가한다.	SMS-FR-004[1]
기자재 형상	기본형상 생성	상자(box) 형상 생성	형상을 생성하고, 상위 기자재/부기자재에 추가한다. 형상의 용도도 지정한다.	SMS-FR-001 [1,3,5,6] SMS-FR-007[1]
		원통(cylinder) 형상 생성		
		원추(cone) 형상 생성		
		경사 원추(snout) 형상 생성		
		피라미드(pyramid) 형상 생성		
		원형 원환(circular torus) 형상 생성		
		사각 원환(rectangular torus) 형상 생성		
		접시(dish) 형상 생성		
		경사 원통(slopped cylinder) 형상 생성		
		직선 돌출(extrusion) 형상 생성		
		회전 회전(revolution) 형상 생성		

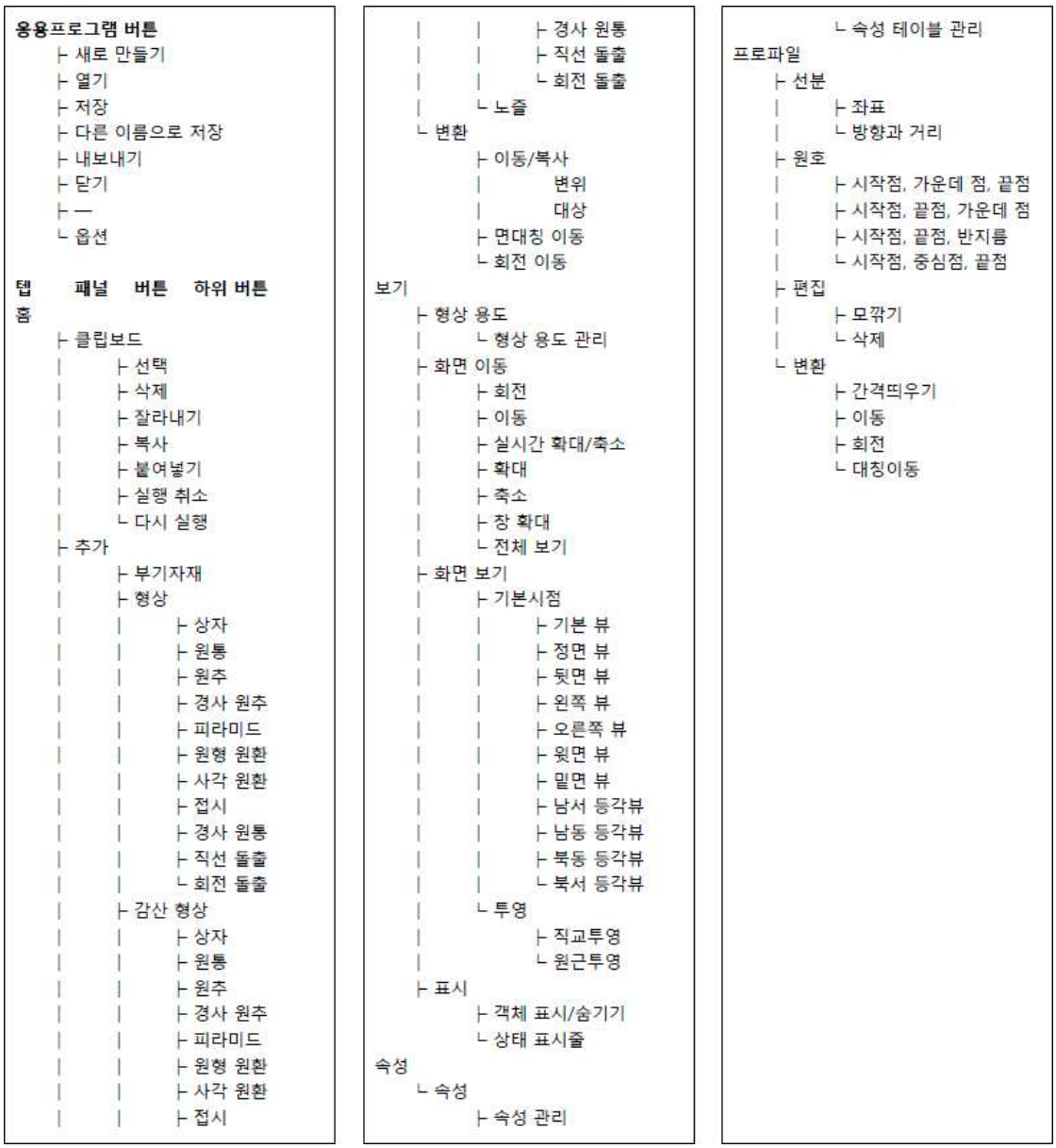
[그림. 상세 기능 정의 예시]

○ 상세 기능을 구현하기 위한 사양 변경 S/W 모듈의 전체 화면을 아래 그림과 같이 설계하였다. 화면은 전형적인 형상모델링 응용 프로그램의 구조를 가지고 있으며, 크게 리본 UI, 설계트리, 속성 창, 렌더링 창, 상태 바로 구성된다. 프로그램 구현 시, 설계한 전체 화면을 기반으로 GUI가 만들어진다.



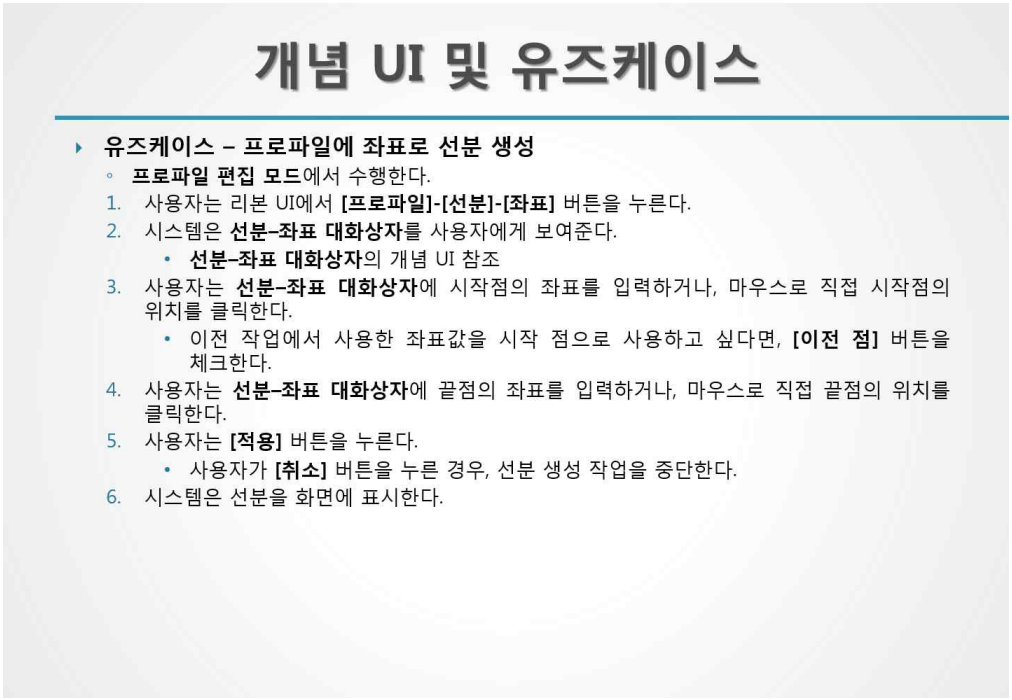
[그림. 사양 변경 모듈의 GUI]

○ 리본 UI에 들어갈 메뉴를 상세 기능을 기반으로 설계하였다. 메뉴는 상세 기능을 구조화하여 다음 그림과 같이 구성하였다. 이 구조는 그대로 리본 UI로 구현된다.

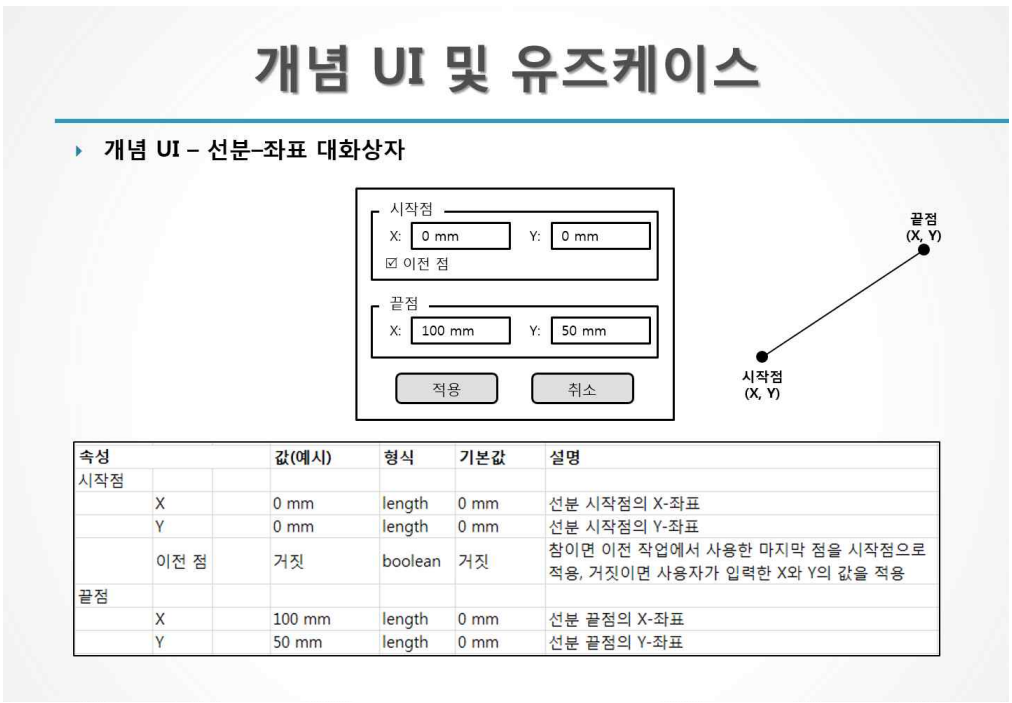


[그림. 메뉴 구조]

○ 상세 기능에 대해 사용 시나리오를 나타내는 유즈케이스 26개 도출하였으며, 유즈케이스를 표현하기 위한 GUI를 설계하였다. 유즈케이스는 기존 시스템들을 벤치마킹 하였 작성되었으며, 플랜트 CAD와 기계 CAD의 장점을 적절히 조화시켰다. 다음 그림은 작성한 유즈케이스와 GUI 설계의 일부를 보여준다.



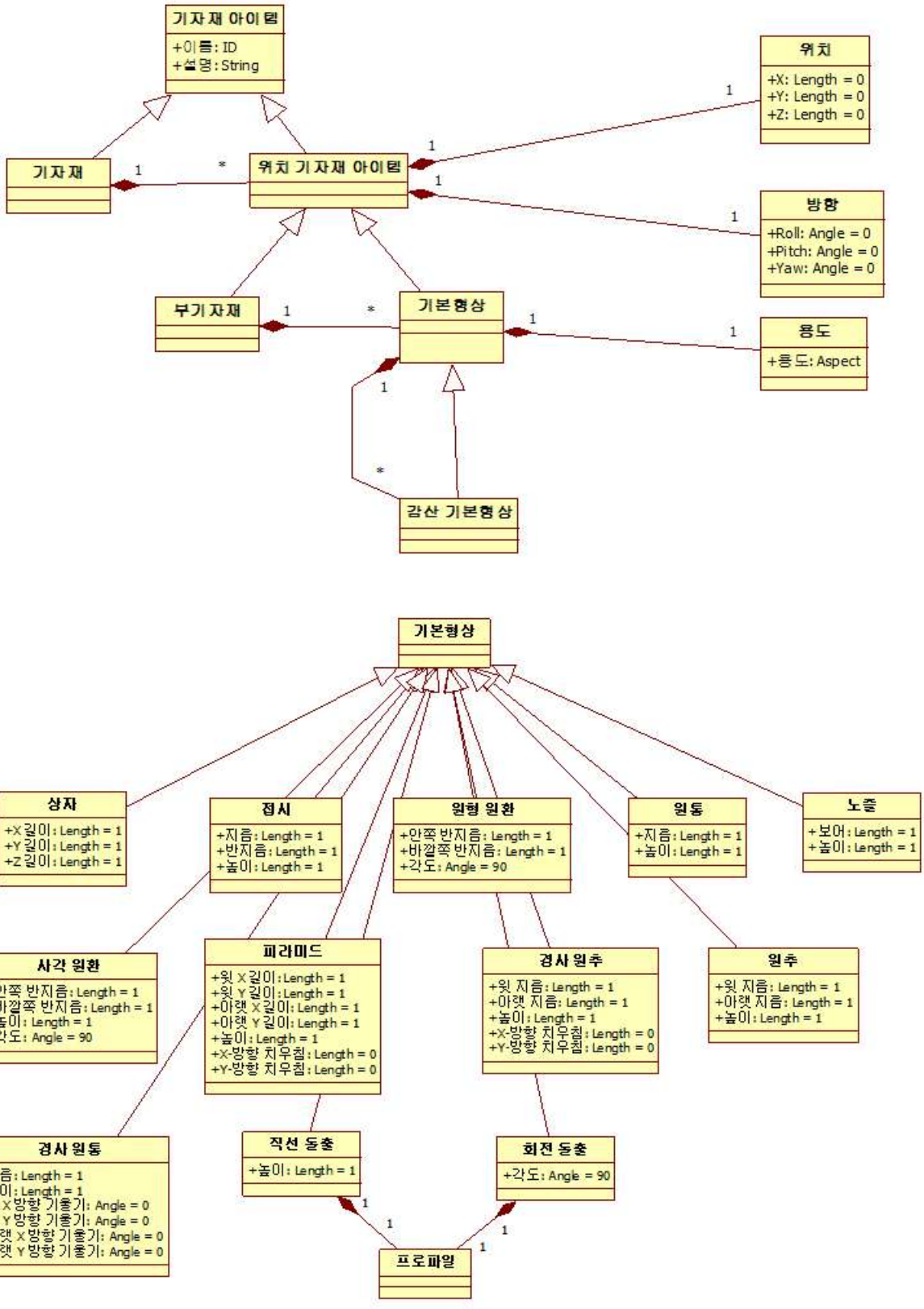
[그림. 유즈케이스 정의 예시 - 프로파일에 좌표로 선분 생성]



속성		값(예시)	형식	기본값	설명
시작점					
	X	0 mm	length	0 mm	선분 시작점의 X-좌표
	Y	0 mm	length	0 mm	선분 시작점의 Y-좌표
	이전 점	거짓	boolean	거짓	참이면 이전 작업에서 사용한 마지막 점을 시작점으로 적용, 거짓이면 사용자가 입력한 X와 Y의 값을 적용
끝점					
	X	100 mm	length	0 mm	선분 끝점의 X-좌표
	Y	50 mm	length	0 mm	선분 끝점의 Y-좌표

[그림. GUI 정의 예시 - 선분-좌표 대화상자]

○ 유즈케이스 및 요구사항 분석 등으로부터 필요한 객체들을 도출하였으며 이를 UML 클래스 다이어그램으로 표현하였다. 핵심 객체로는 기자재(equipment), 부기자재(sub-equipment), 기본형상(primitives), 감산 기본형상(negative primitives)으로 파악되었다. 다음 그림은 도출한 클래스 다이어그램을 보여준다.



[그림. 도출된 객체에 대한 클래스 다이어그램]

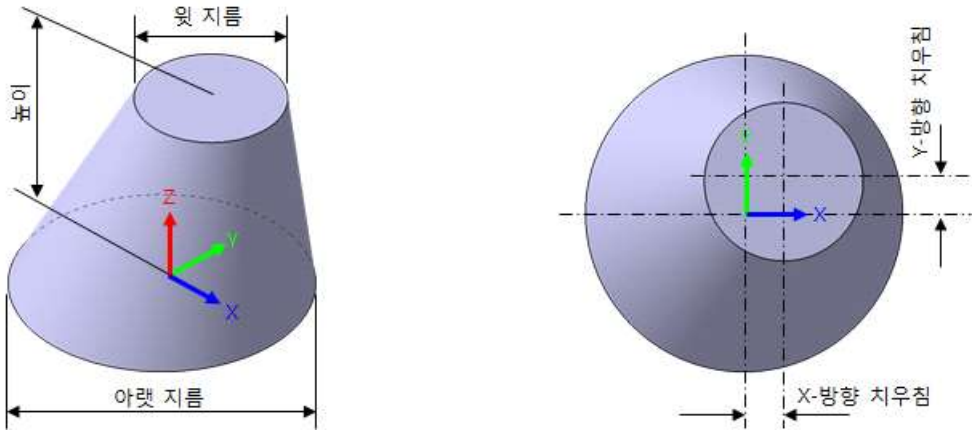
(2-2) 사양 변경 알고리즘 도출

○ 사양 변경 S/W 모듈 설계를 구현하기 위한 내용들이 도출되었다. 주로 사양 변경 알고리

즘 구현을 위한 객체에 대한 상세 사양이 도출되었으며, 객체 생성 및 객체 속성 변경 시 작업이 진행되는 과정을 도출하였다.

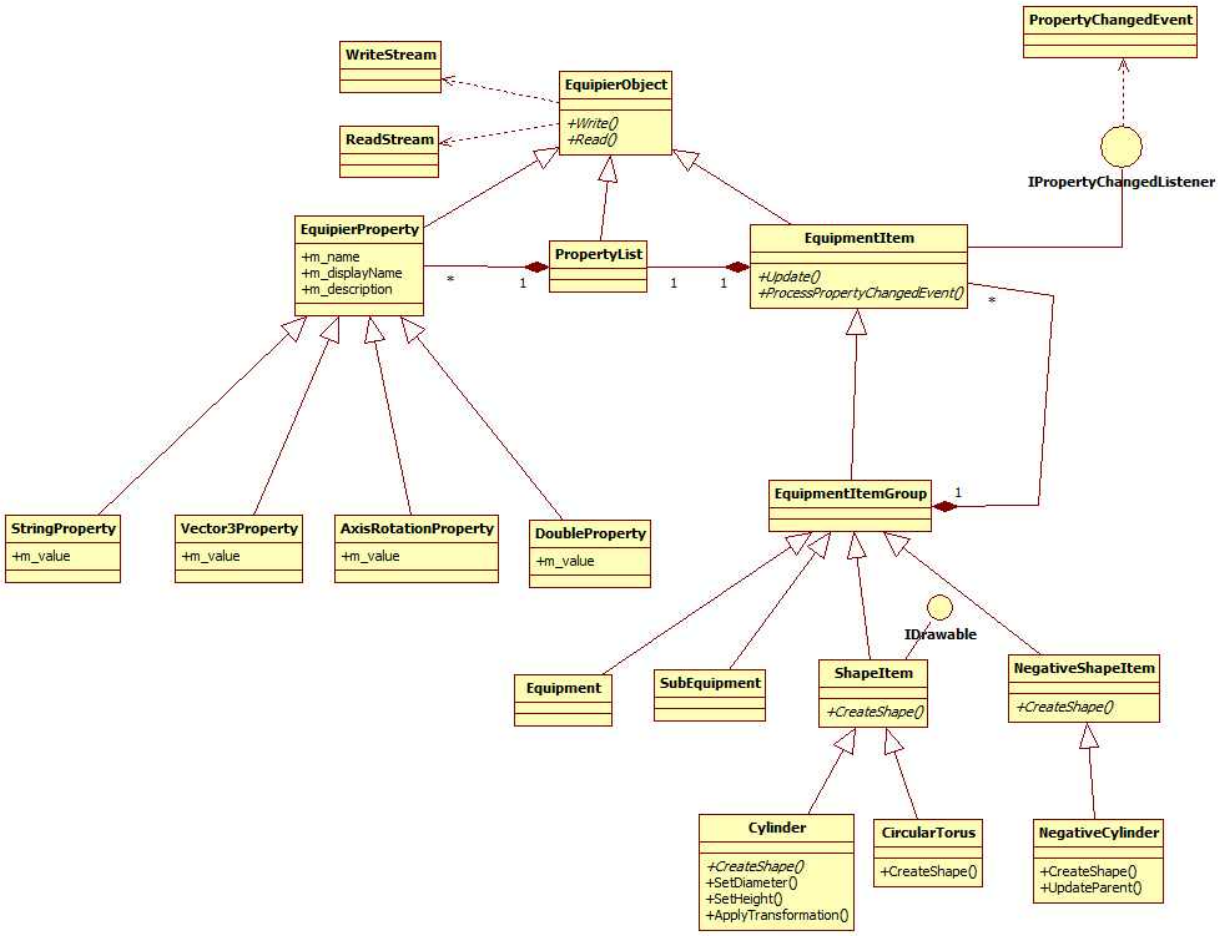
○ 사양 변경을 위한 주요 유즈케이스를 다시 식별하였다. 앞서 도출한 26개의 유즈케이스 중 형상 생성, 감산적 형상 생성, 형상 속성 변경 유즈케이스를 다시 식별하였다. 앞서 도출된 객체들에 대해 구체적인 속성, 제약조건 및 의미를 정의하였다. 16개의 객체들에 대해 속성을 상세히 정의하였다. 다음 그림은 속성을 정의한 예를 보여준다.

속성		값(예시)	형식	기본값	설명
#기본					
#위치 및 방향					
#용도					
크기					
	윗 지름	2000 mm	length	1 mm	원추 윗면의 지름. 0보다 커야한다.
	아랫 지름	4000 mm	length	1 mm	원추 아랫면의 지름. 0보다 커야 한다.
	높이	3000 mm	length	1 mm	원추의 높이(Z-축 방향 길이). 0보다 커야한다.
	X-방향 치우침	500 mm	length	0 mm	원추 윗면이 X-축 방향으로 이동한 거리.
	Y-방향 치우침	400 mm	length	0 mm	원추 윗면이 Y-축 방향으로 이동한 거리.



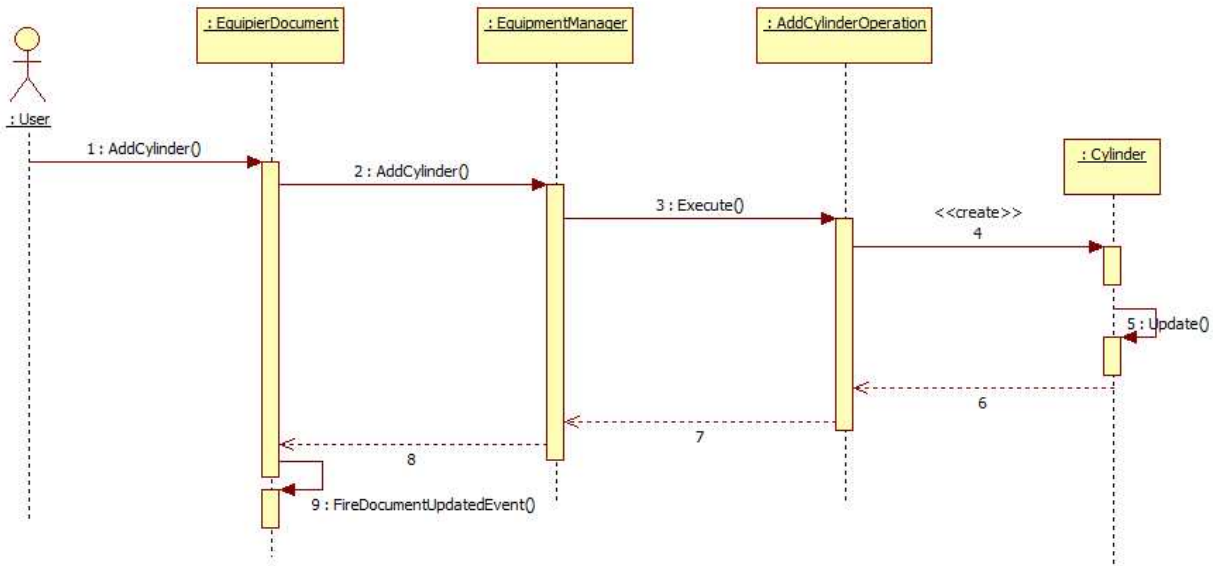
[그림. 속성 정의 예시 - 경사 원추에 대한 속성 정의]

○ 도출된 객체들을 기반으로 사양 변경 모듈을 구성하기 위한 클래스를 구현 수준에서 정의하였다. 모든 클래스에 RTTI(run-time type information)을 구현하였으며, 이를 기반으로 객체 직렬화(serialization)를 구현하여 모듈 확장이 용이하게 하였다. 속성은 동적으로 추가/삭제되도록 구현하였으며, 속성 변화를 감지하여 속성 변경 시 객체 형상이 자동으로 변경되도록 하였다. 다음 그림은 구현 수준에서 정의한 클래스 다이어그램을 보여준다.



[그림. 클래스 다이어그램]

○ 기자재 형상 생성을 위해 도출된 객체들이 협업하는 과정을 정의하였다. 각 형상은 생성될 때 동적으로 속성을 추가하고 초기값으로 초기화되도록 하였다.



[그림. 객체 생성 과정 - 원통 생성]

○ 기자재 형상은 ACIS 형상 모델링 커널의 기능을 이용해 생성되며, 각 형상을 생성하기 위한 코드를 작성하였다. 아래 코드는 원환 형상(circular torus)을 생성하기 위한 코드를 보여준다.

```
bool CreateTorus(double insideRadius, double outsideRadius,
                 double angle, BODY *& body)
{
  double majorRadius = 0.5 * (outsideRadius + insideRadius);
  double minorRadius = 0.5 * (outsideRadius - insideRadius);

  SPAposition center(majorRadius, 0.0, 0.0);
  SPAposition pt1(majorRadius + minorRadius, 0.0, 0.0);
  SPAunit_vector normal(0.0, 1.0, 0.0);

  EDGE * circle = nullptr;
  outcome result = api_curve_arc_center_edge(center, pt1, pt1,&normal, circle);
  if(!result.ok())
    return false;

  EDGE * edges[1] = {circle};
  BODY * profile = nullptr;

  result = api_make_ewire(1, edges, profile);
  if(!result.ok())
    return false;

  sweep_options options;
  options.set_sweep_angle(angle);
  options.set_solid(true);

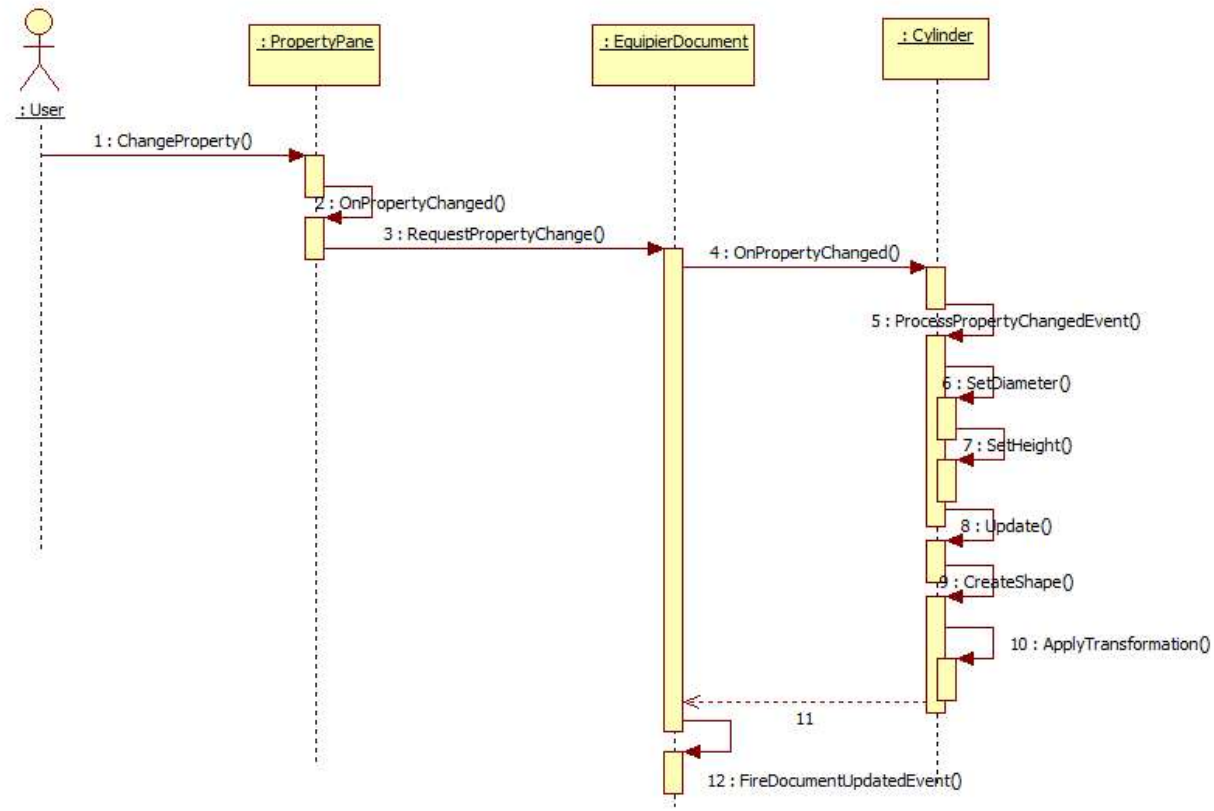
  result = api_sweep_with_options(profile, SPAposition(0.0, 0.0, 0.0),
```

```
                SPAvector(0.0, 0.0, 1.0), &options, body);
  if(!result.ok())
    return false;


  body = profile;
  return true;
}
```

코드. 형상 생성 코드 예시 - 원형 원환

○ 기자재 형상 속성 변경을 위한 과정을 정의하였다. 속성 변경 과정은 형상 생성 과정과 유사한 과정을 거치며, 이는 다음과 같이 시퀀스 다이어그램으로 표현된다.



[그림. 객체 속성 변경 과정 - 원통 속성 변경]

(3) 사양 변경 S/W 모듈

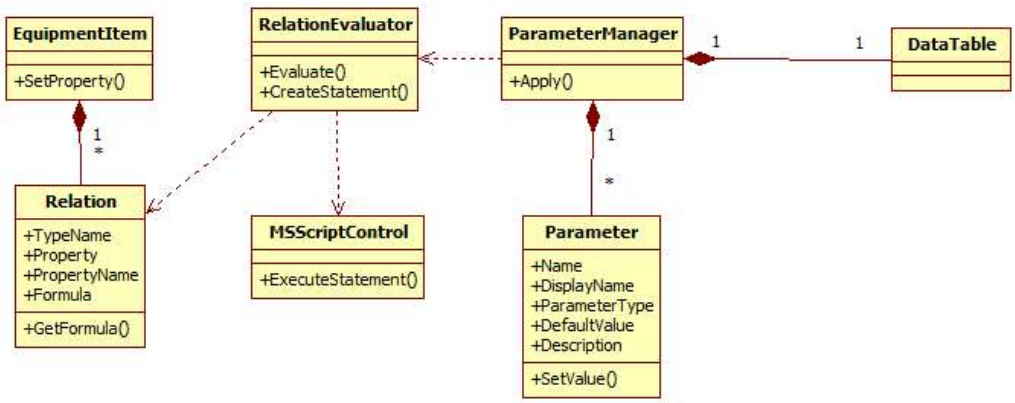
(3-1) 파라미터(속성) 및 관계 정의 기능

○ 파리미터(속성) 및 관계 정의 개발을 위해 클래스와 클래스 간의 관계를 설계하고 이를 UML 클래스 다이어그램으로 표현하였다. 파라미터 및 관계 정의에 참여하는 클래스들과 그 역할은 다음과 같다.

클래스 이름	역할
EquipmentItem	기자재 형상 속성 및 결과 형상을 나타낸다.
Relation	기자재 형상 속성과 파라미터의 관계를 나타낸다.
RelationEvaluator	기자재 속성값을 가지고 관계를 이용해 기자재 형상 속성의 값을 계산한다.
ParameterManager	기자재 속성(파라미터)과 파라미터 테이블을 관리한다.
Parameter	기자재 속성을 나타낸다.
DataTable	파라미터 테이블을 나타낸다.
MSScriptControl	Relation을 파싱하여 값을 계산한다.

[표. 파라미터 및 관계 정의에 참여하는 클래스와 그 역할]

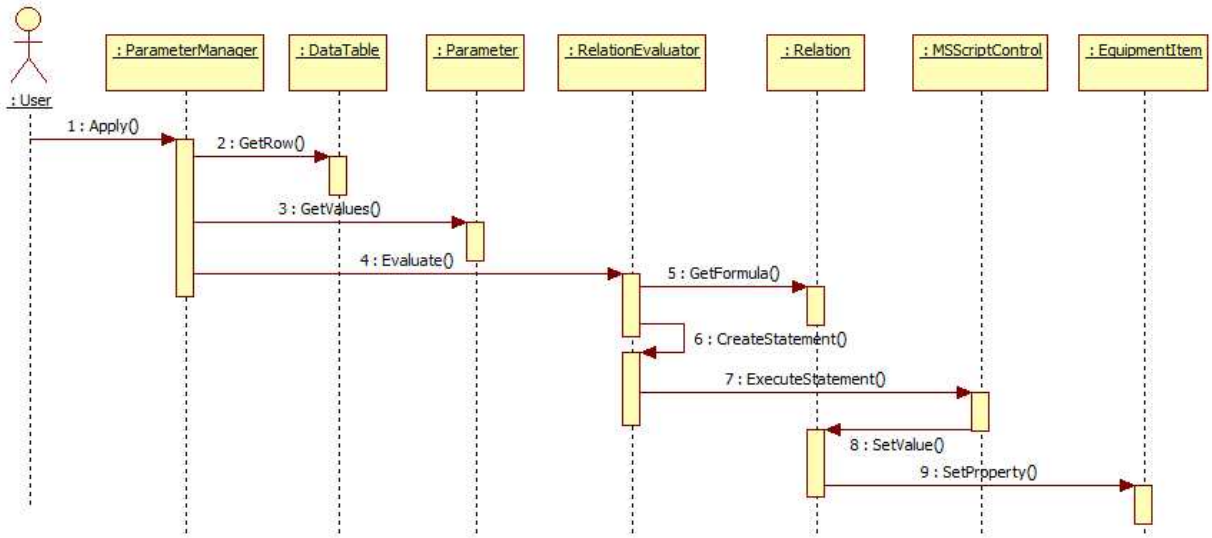
○ 클래스들 간의 관계는 아래 그림과 같다. EquipmentItem은 여러 개의 Relation을 포함하는데, 각 Relation을 통해 EquipmentItem의 형상 속성과 기자재 속성 관의 관계를 매핑한다. 각 기자재의 속성은 ParameterManager가 관리하고, 각 속성의 정보는 Parameter로 나타낸다. 그리고 기자재 속성들의 값을 테이블 파라메트릭 형태로 표현하기 위해 DataTable이 정의된다. ParameterManager는 DataTable의 한 행의 값을 적용하기 위해 RelationEvaluator에 의존하고, RelationEvaluator는 내부적으로 MSScriptControl을 이용한다. 또한 RelationEvaluator는 Relation의 Formula를 이용한다.



[그림. 클래스들 간의 관계를 나타내는 클래스 다이어그램]

○ DataTable의 속성값을 적용하는 과정을 표현하면 아래 그림의 스퀀스 다이어그램과 같다. ParameterManager는 DataTable의 한 행의 속성값을 적용해 기자재 형상을 변경한다. 이

때, 행의 속성을 구성하는 Parameter 값을 Relation을 통해 EquipmentItem의 형상 속성에 반영한다. 이 때, Relation이 가지고 있는 함수 관계(Formula)를 계산하기 위해 RelationEvaluator는 MSScriptControl을 이용한다. RelationEvaluator는 내부적으로 함수 관계에 해당하는 JScript 구문(statement)을 만들고, MSScriptControl은 만들어진 JScript 구문을 파싱해 해석한다. 그리고 해석된 값을 Relation과 매핑된 EquipmentItem의 형상 속성에 반영한다.

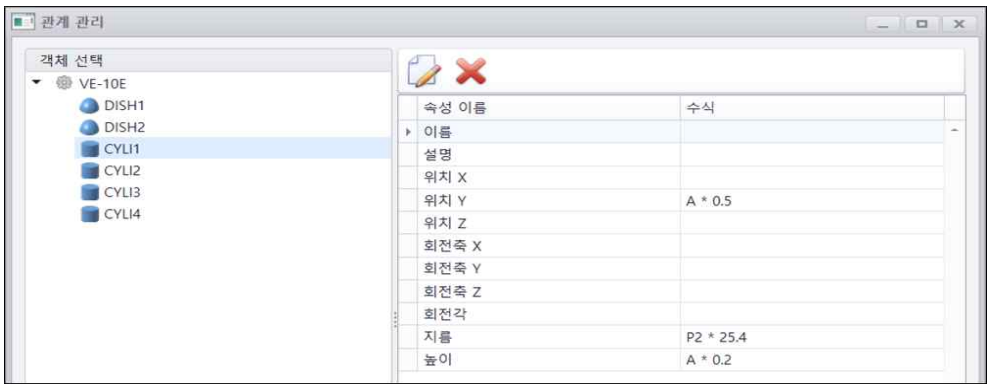


[그림. 속성 변경에 대한 시퀀스 다이어그램]

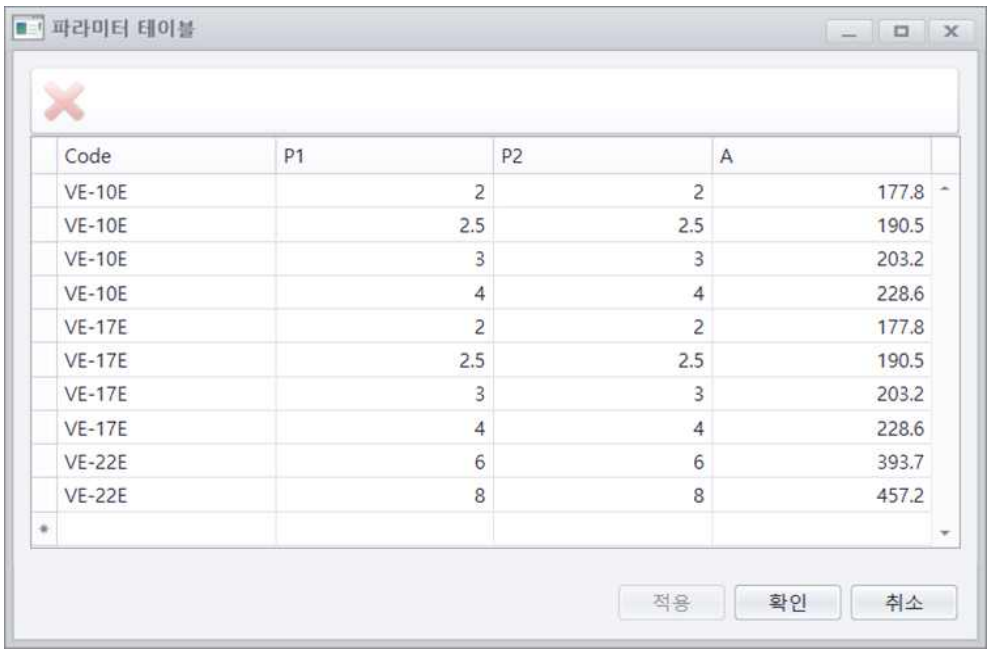
○ 아래 그림들은 Ball Valve 형상에 대해 정의한 기자재 속성, 관계 및 속성 테이블 구현 화면이다.



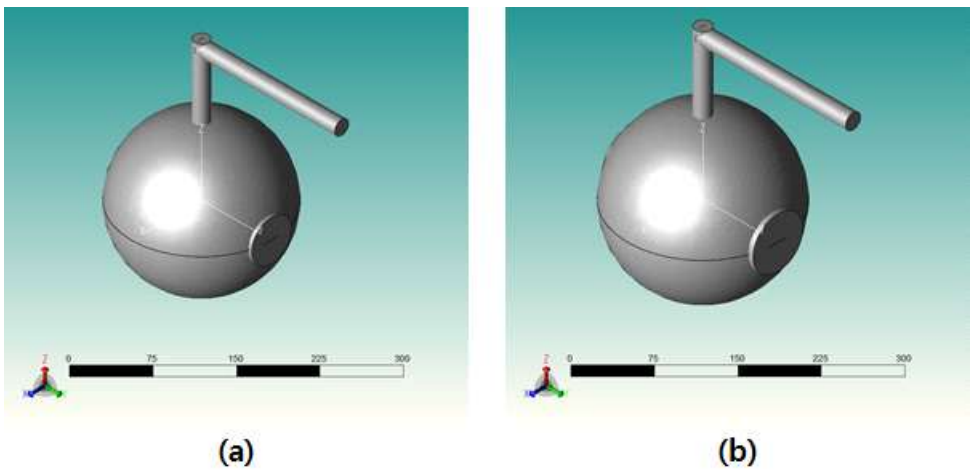
[그림. 기자재 속성(파라미터) 정의]



[그림. 기자재 속성과 형상 속성 매핑]



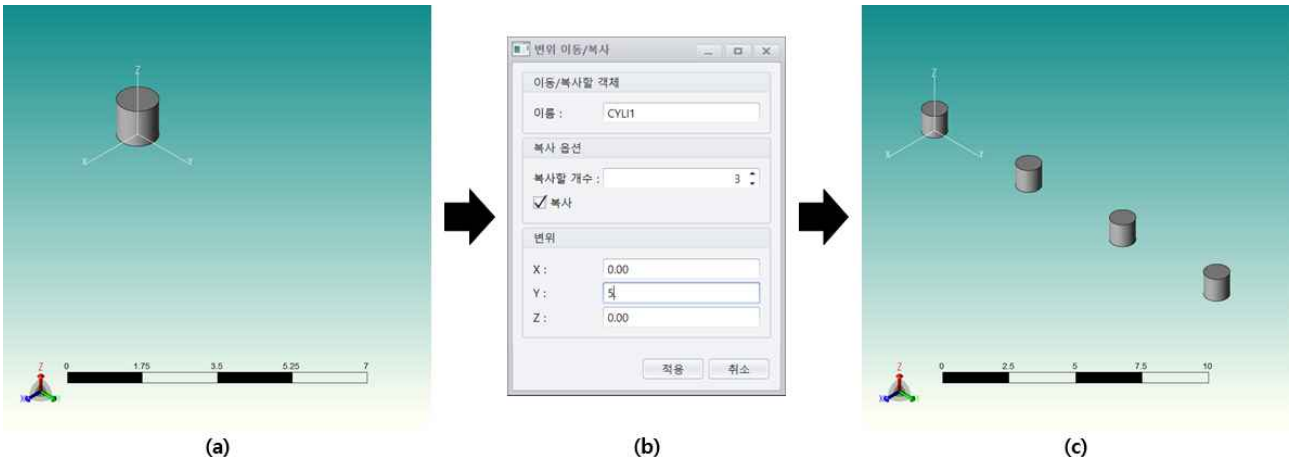
[그림. 기자재 속성 테이블 관리]



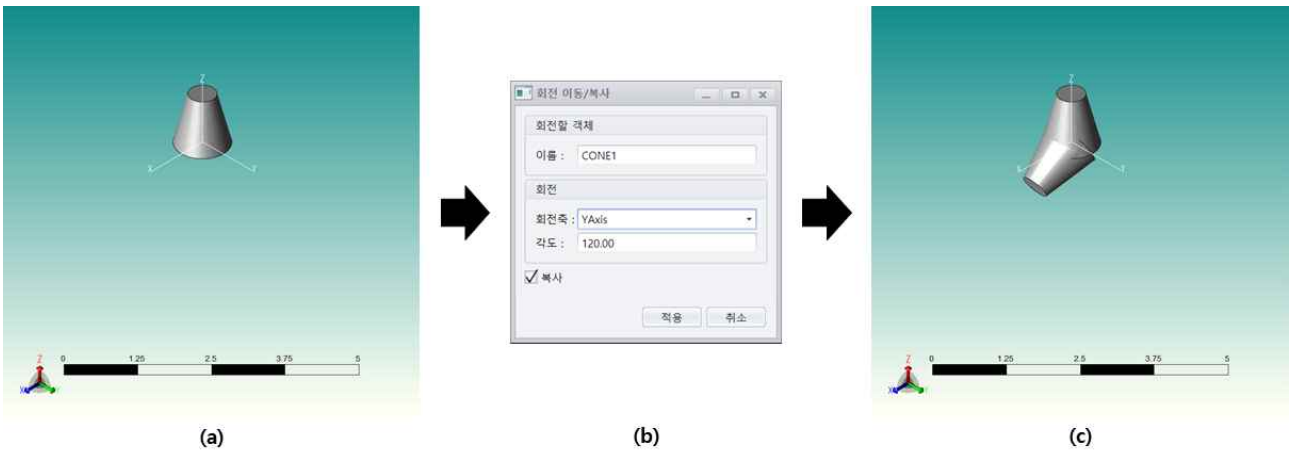
[그림. 기자재 속성 테이블 적용: (a) P1=2, P2=2, A=177.8, (b) P1=2.5, P2=2.5, A=190.5]

(3-2) 형상 수정 및 변환 기능

○ 기자재 형상 정의를 쉽게 할 수 있도록, 형상을 수정 및 변환하는 기능을 연구 개발하였다. 클립보드를 통해 구성 형상들을 복사, 이동, 삭제할 수 있는 편집 기능을 개발하였다. 형상을 이동 변환과 회전 변환을 이용해 쉽게 이동 및 복사할 수 있는 기능을 개발하였다. 다음 그림은 이동 변환과 회전 변환 개발 결과를 보여준다.



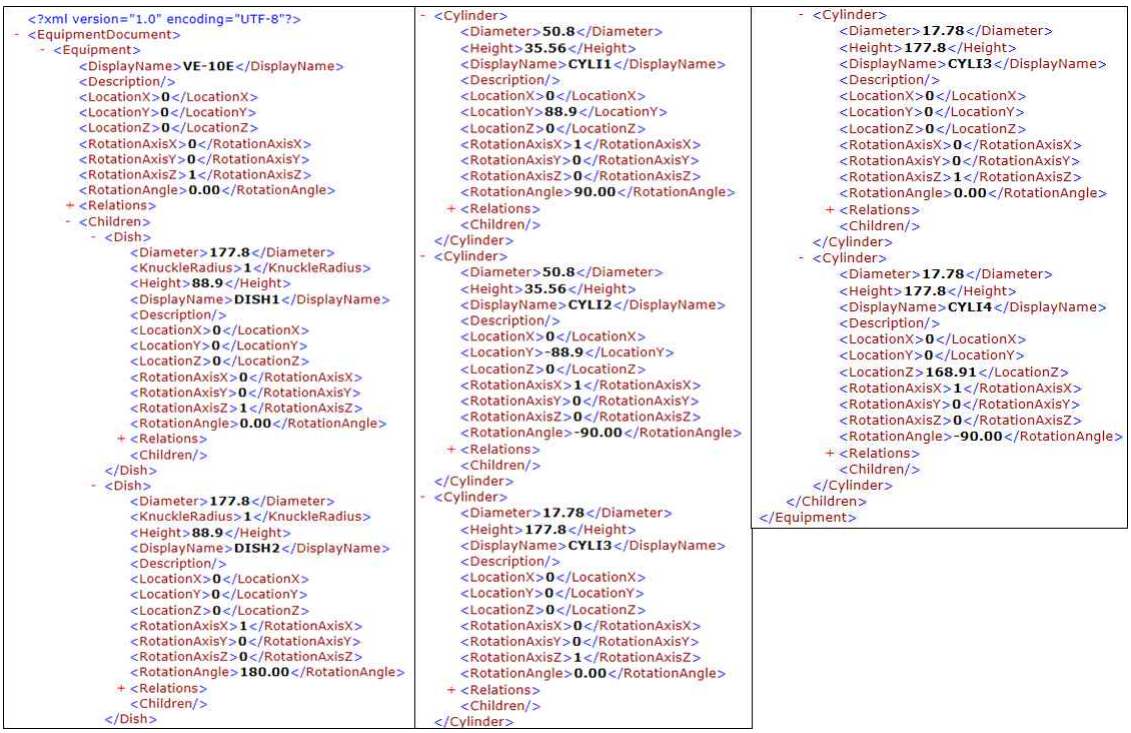
[그림. 이동 변환: (a) 원본 형상, (b) 이동 변환 옵션, (c) 이동 변환 결과]



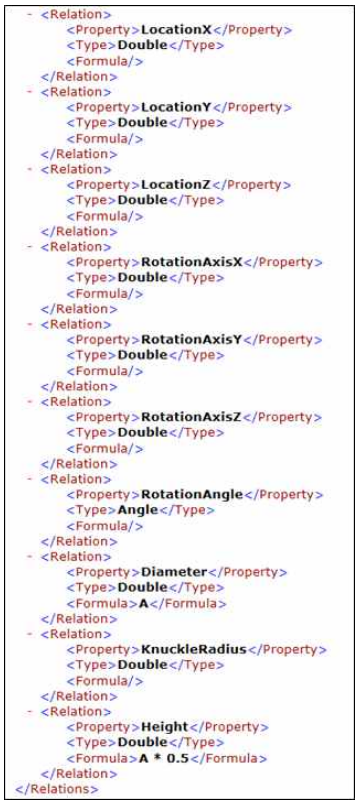
[그림. 회전 변환: (a) 원본 형상, (b) 회전 변환 옵션, (c) 회전 변환 결과]

(3-3) XML 파일 출력 기능

○ 정의한 기자재 형상을 카탈로그 관리 시스템에 탑재하기 위해 XML 형태의 중립파일로 출력할 수 있는 기능을 연구 개발하였다. XML 직렬화(serialization)을 이용해 사양 변경 모듈 내부의 데이터를 XML 파일로 출력하였다. 출력한 XML 파일에는 기자재 형상에 대한 구성 정보와 형상 속성, 기자재 속성(파라미터) 정보 및 형상 속성과 기자재 속성 간의 관계 정보가 포함되어 있다. 아래 그림은 Ball Valve에 대한 정보를 XML 파일로 보여준다.



[그림. 기자재 형상의 구성 정보 및 속성 정보의 XML 표현]



[그림. 기자재 형상 속성과 기자재 속성 간의 관계 정보의 XML 표현]

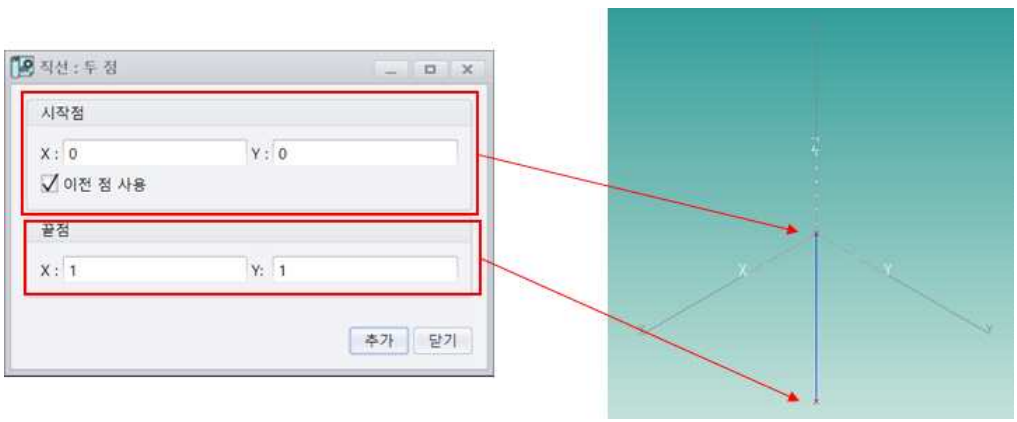
```
- <Parameters>
  - <Parameter>
      <Name>Code</Name>
      <ParameterType>String</ParameterType>
      <DefaultValue/>
      <Description>Industry Commodity Code</Description>
    </Parameter>
  - <Parameter>
      <Name>P1</Name>
      <ParameterType>Length</ParameterType>
      <DefaultValue/>
      <Description>NPD for Port 1 [in]</Description>
    </Parameter>
  - <Parameter>
      <Name>P2</Name>
      <ParameterType>Length</ParameterType>
      <DefaultValue/>
      <Description>NPD for Port 2 [in]</Description>
    </Parameter>
  - <Parameter>
      <Name>A</Name>
      <ParameterType>Length</ParameterType>
      <DefaultValue/>
      <Description>Face to Face [mm]</Description>
    </Parameter>
</Parameters>
```

[그림. 기자재 속성(파라미터) 정보의 XML 표현]

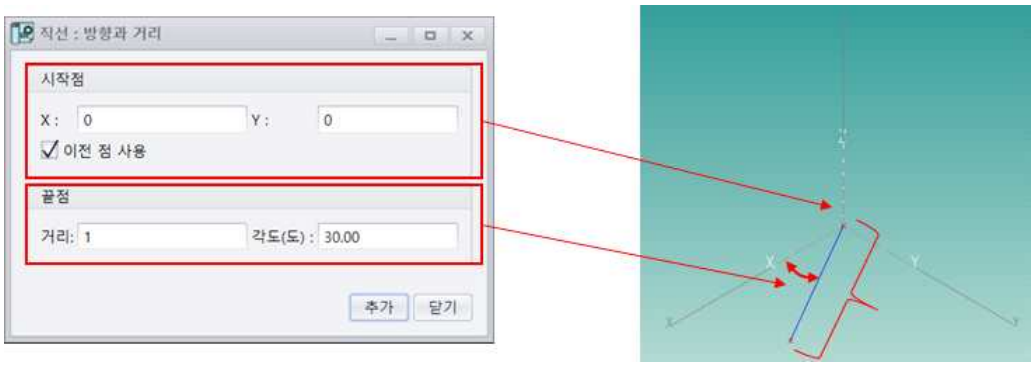
(3-4) 프로파일 요소 생성 기능

○ 사양변경 시스템 모듈은 기자재의 형상을 생성할 때, 2차원 프로파일 형상을 이용해 이를 직선 방향으로 돌출시키거나 회전시켜 3차원 형상을 정의하는 기능을 제공한다. 2차원 프로파일은 비파라메트릭 형상으로 선분이나 원호로 구성된다. 비록 선분이나 원호의 수학적 정의는 유일하더라도 이를 정의하는데 필요한 기본 데이터는 상황에 따라 다를 수 있다. 따라서 다양한 입력 방법으로 선분이나 원호를 정의하는 방법을 제공할 필요가 있다. 이를 위해 이번 연도에는 2차원 프로파일의 형상을 구성하는 선분과 원호를 다양한 방법으로 정의하는 기능을 개발하였다.

○ 두 가지 방법으로 선분을 생성하는 기능을 개발하였다. 1) 선분의 양 끝점을 이용해 선분 생성, 2) 시작점과 시작점에서의 방향과 거리를 이용해 선분 생성

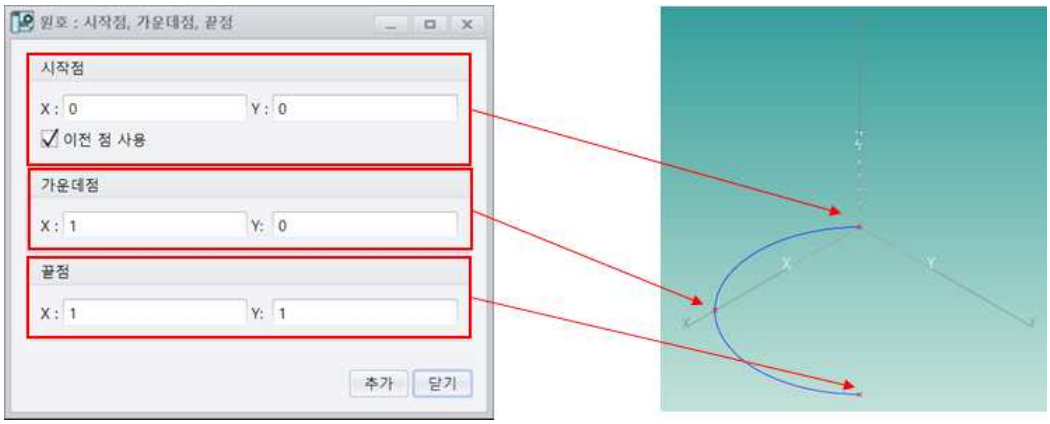


[그림. 선분의 양 끝점을 이용한 선분 생성]

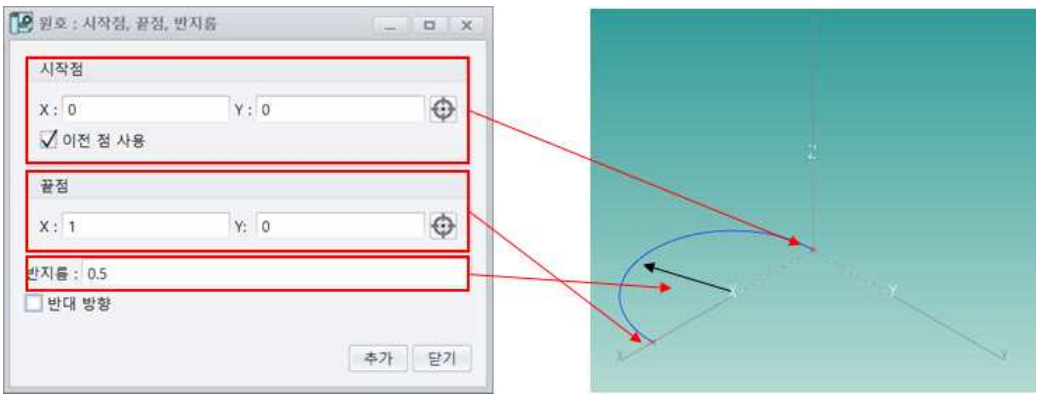


[그림. 시작점과 시작점에서의 방향과 거리를 이용한 선분 생성]

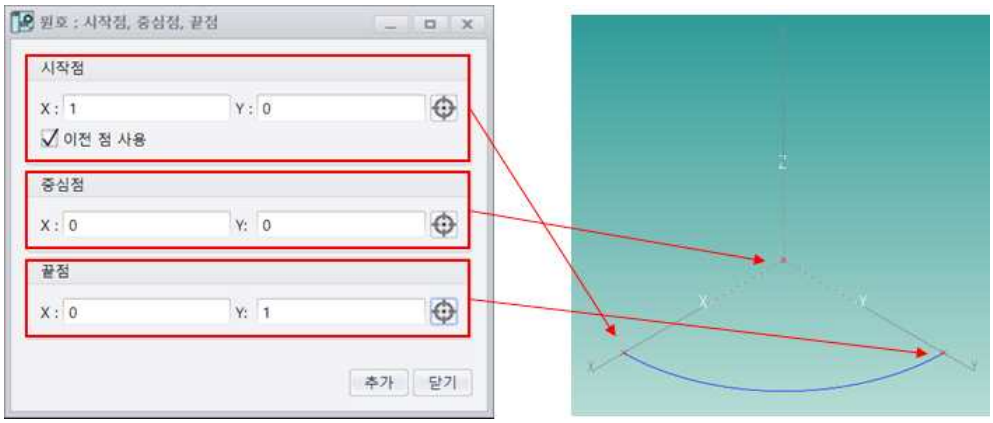
○ 세 가지 방법으로 원호를 생성하는 기능을 개발하였다. 1) 시작점, 가운데점, 끝점을 이용해 원호 생성, 2) 시작점, 끝점, 반지름을 이용해 원호 생성, 3) 시작점, 원의 중심점, 끝점을 이용해 원호 생성



[그림. 시작점, 가운데점, 끝점을 이용한 원호 생성]



[그림. 시작점, 가운데점, 끝점을 이용한 원호 생성]

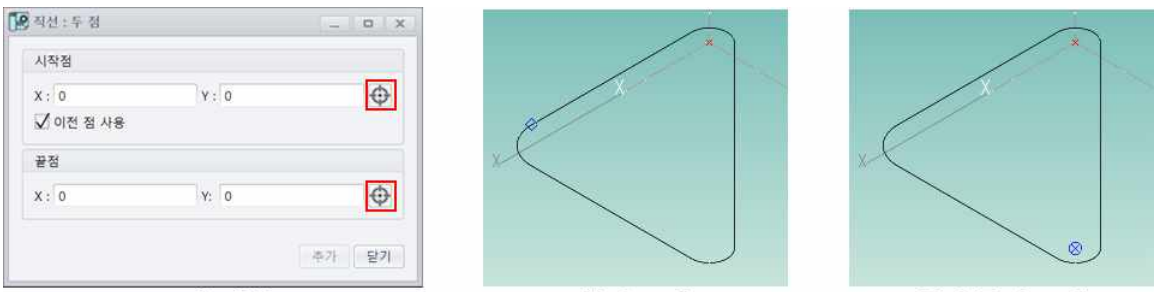


[그림. 시작점, 가운데점, 끝점을 이용한 원호 생성]

(3-5) 스냅 기능

○ 선분이나 원호를 정의할 때 시작점, 끝점과 같은 한 점의 좌표를 입력해야 하는데, 이를 사용자가 직접 입력하는 것은 쉽지 않다. 그리고 이러한 점들로 이미 프로파일에 생성된 선분이나 원호의 끝점을 선택하는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 이러한 점의 선택을 쉽게 할 수 있도록 스냅 기능을 개발하였다.

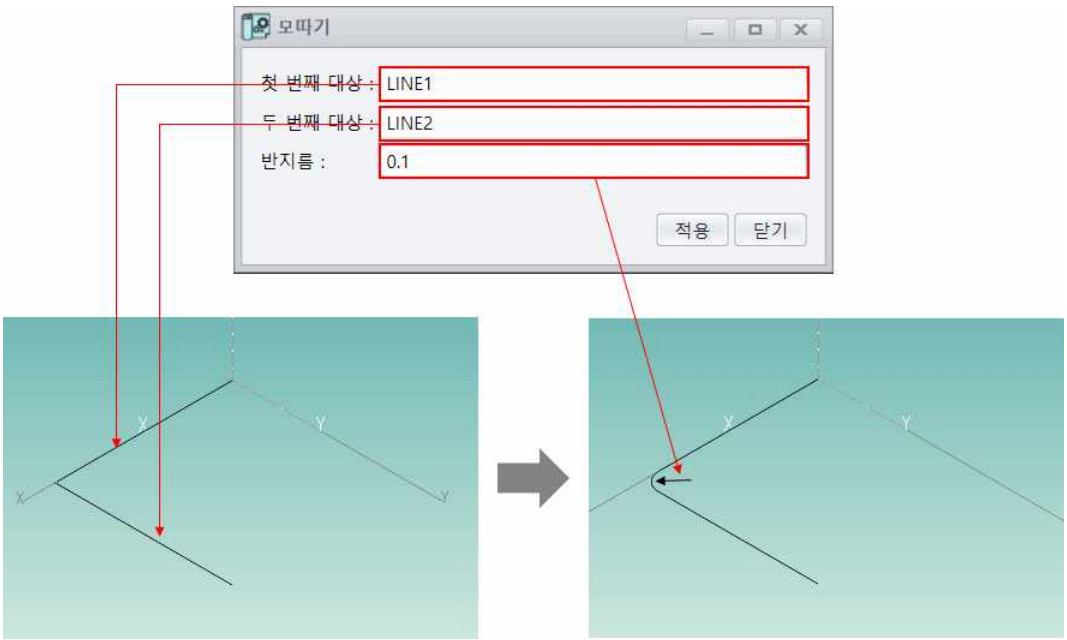
○ 점의 좌표 입력이 필요한 곳에는 스냅 기능을 실행할 수 있는 버튼이 붙어 있다. 사용자는 이 버튼을 누르면 프로파일 형상의 끝점이나 원의 중심을 마우스를 이용해 선택할 수 있다. 마우스 커서를 끝점 위치나 원호 중심에 가까지 가져가면 선택할 수 있는 부분이 강조되고, 단순히 마우스 클릭만으로 이 점들을 선택할 수 있다.



[그림. 스냅 기능]

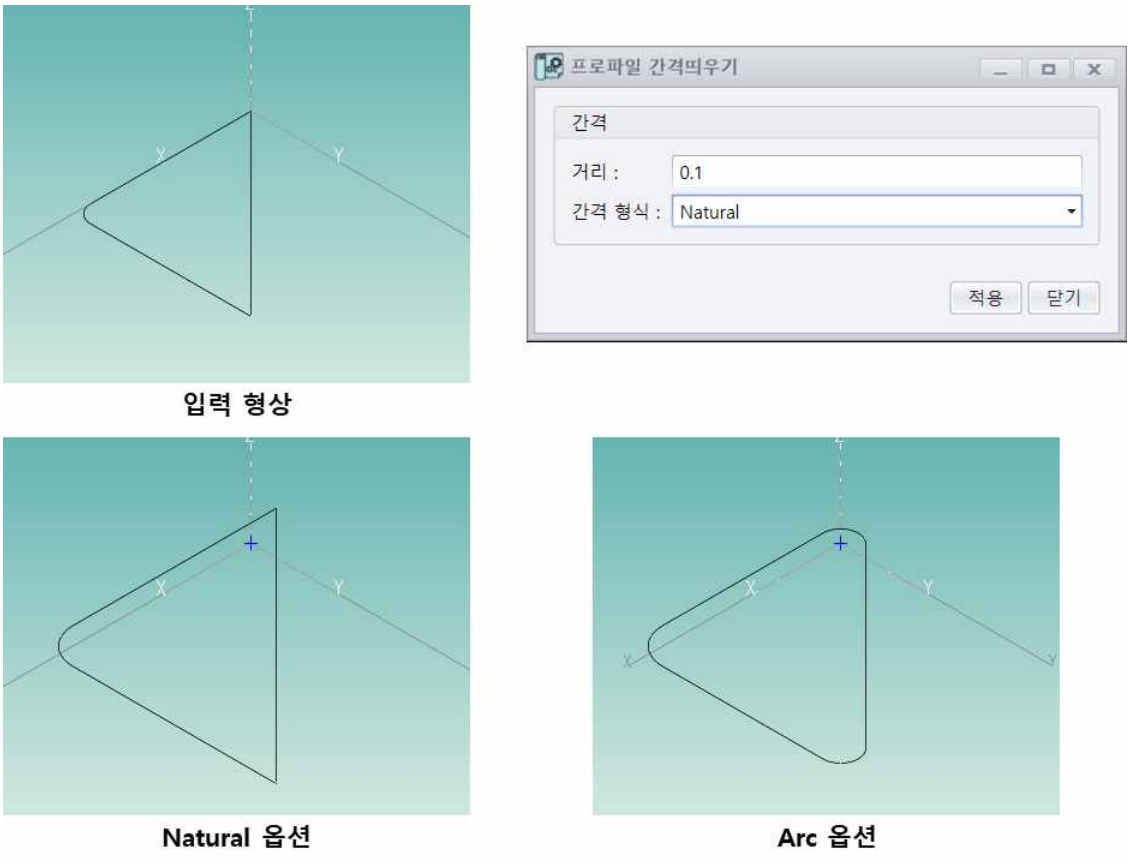
(3-6) 필렛 및 옵셋 기능

○ 필렛은 두 모서리가 만나는 꼭지점에 원호 형상을 생성하여, 두 모서리가 부드럽게 연결되도록 형상을 변경하는 기능이다. 필렛은 기자재 형상을 설계하는데 빈번이 사용되는 중요한 기능이다. 본 연구에서는 이러한 필렛을 생성하는 기능을 개발하였다. 아래 그림에서 두 개의 직선을 선택하고 반지름을 입력하면 두 직전을 반지름을 가지는 원호로 부드럽게 연결해 준다.



[그림. 필렛 기능]

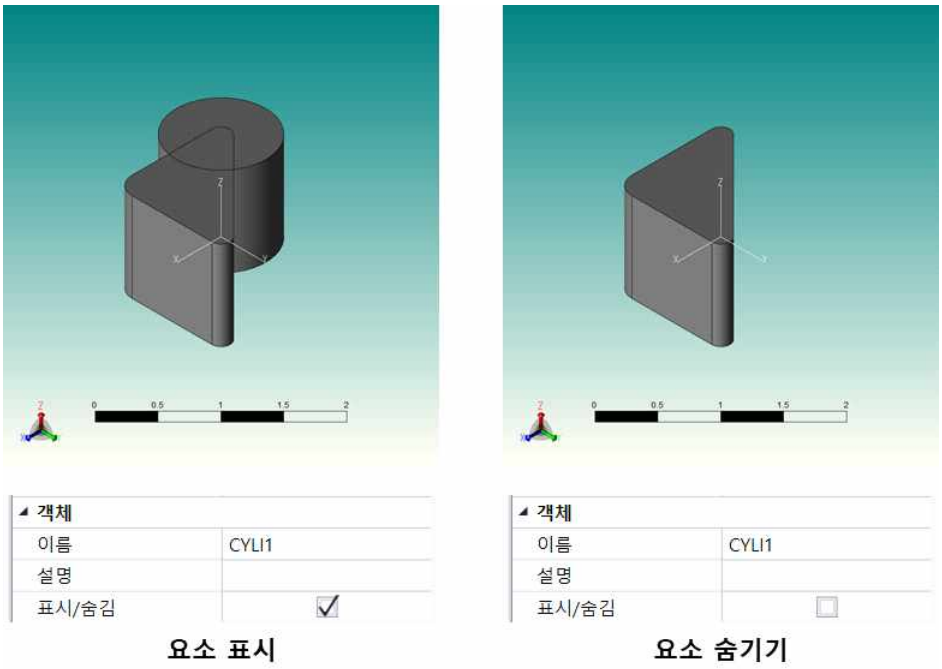
○ 옵셋은 프로파일을 주어진 각격 만큼 바깥쪽 또는 안쪽으로 늘이거나 줄여주는 기능이다. 간격 거리가 양수이면 바깥쪽으로 늘어나고, 간격 거리가 음수이면 안쪽으로 줄어든다. 두 직선이 만나서 꺾이는 모서리의 경우 옵셋으로 늘일 때 두 가지 옵션이 가능하다. 한 가지는 꺾이는 형상을 그대로 늘이는 것(Natural 옵션)이고, 다른 한 가지는 꺾이는 부분을 원호로 변경하여 부드럽게 연결되도록 늘이는 것(Arc 옵션)이다. 본 연구에서는 이러한 옵셋을 생성하는 기능을 개발하였고, 두 가지 옵션을 지원하도록 하였다. 아래 그림에서 옵셋 거리와 간격 형식(즉, 옵션)을 선택하면 프로파일에 옵션을 적용한다. 결과를 보면 옵션에 따라 결과 형상이 달라지는 것을 볼 수 있다.



[그림. 옵셋 기능]

(3-7) 부가 기능

○ 부가 기능으로 1) 요소를 삭제하는 기능과 2) 요소를 표시 또는 숨기는 기능을 개발하였다. 요소를 표시 또는 숨기는 기능은 실제로 삭제하지는 않았으나, 일시적으로 기자재 형상의 일부를 숨기고 싶을 때 사용하는 기능이다.



[그림. 요소 표시 또는 숨기기 기능]

(3-8) 프로파일 생성 기능

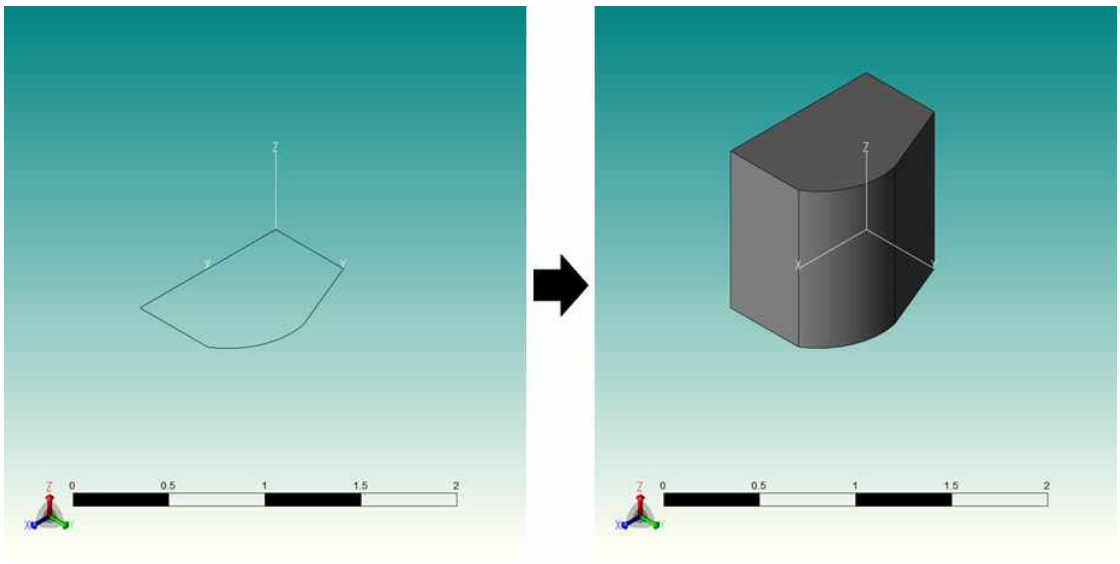
○ 프로파일 생성 기능은 Extrusion이나 Revolution의 단면 형상을 정의하는 기능이다. 기본적으로 선분과 원호를 정의하는 기능을 제공한다. 일반적으로 프로파일은 닫힌곡선을 그리기 때문에 선분과 원호를 이어 그린다. 따라서 사양변경 시스템 모듈에서도 연결된 곡선을 그릴 수 있는 기능을 제공한다. 아래 그림은 사양변경 시스템에서 제공하는 프로파일 생성 기능에 대한 화면이다.



[그림. 프로파일 생성 기능]

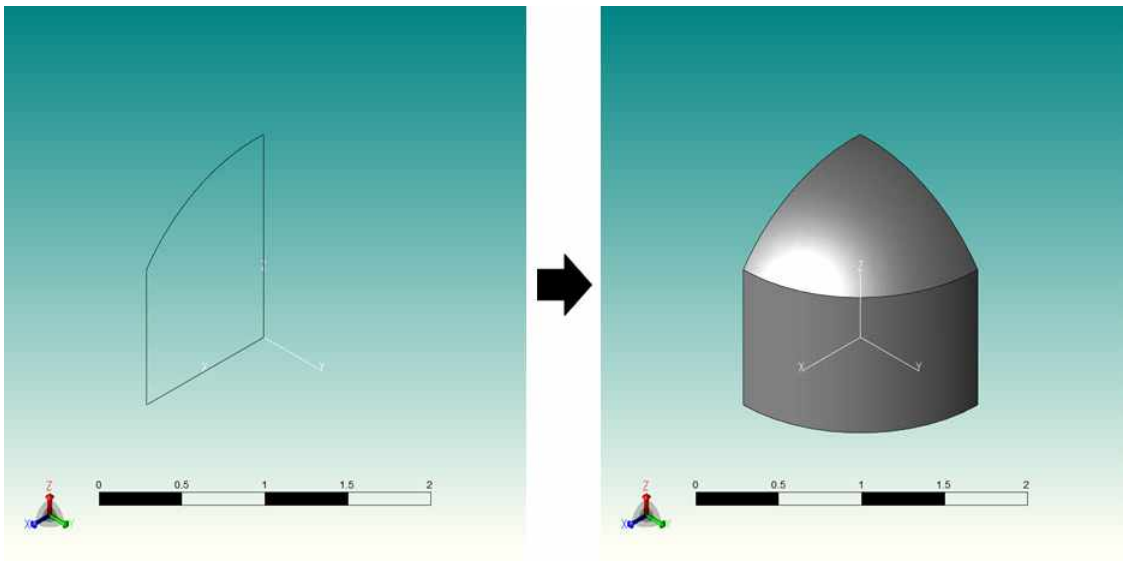
(3-9) Extrusion 및 Revolution 기능

○ 생성된 프로파일을 이용해 이를 직선 방향으로 돌출시켜 3차원 형상을 정의하는 Extrusion 기능을 개발하였다. 아래 그림에서와 같이, 프로파일을 정의하고 높이를 부여하면 프로파일에 높이를 부여한 3차원 형상이 생성된다.



[그림. Extrusion 생성 기능]

○ 유사한 방법으로, 생성된 프로파일을 이용해 이를 한 축을 중심으로 회전시켜 3차원 형상을 정의하는 Revolution 기능을 개발하였다. 아래 그림에서와 같이, 프로파일을 정의하고 회전축과 회전 각도를 부여하면 프로파일을 회전시킨 3차원 형상이 생성된다.

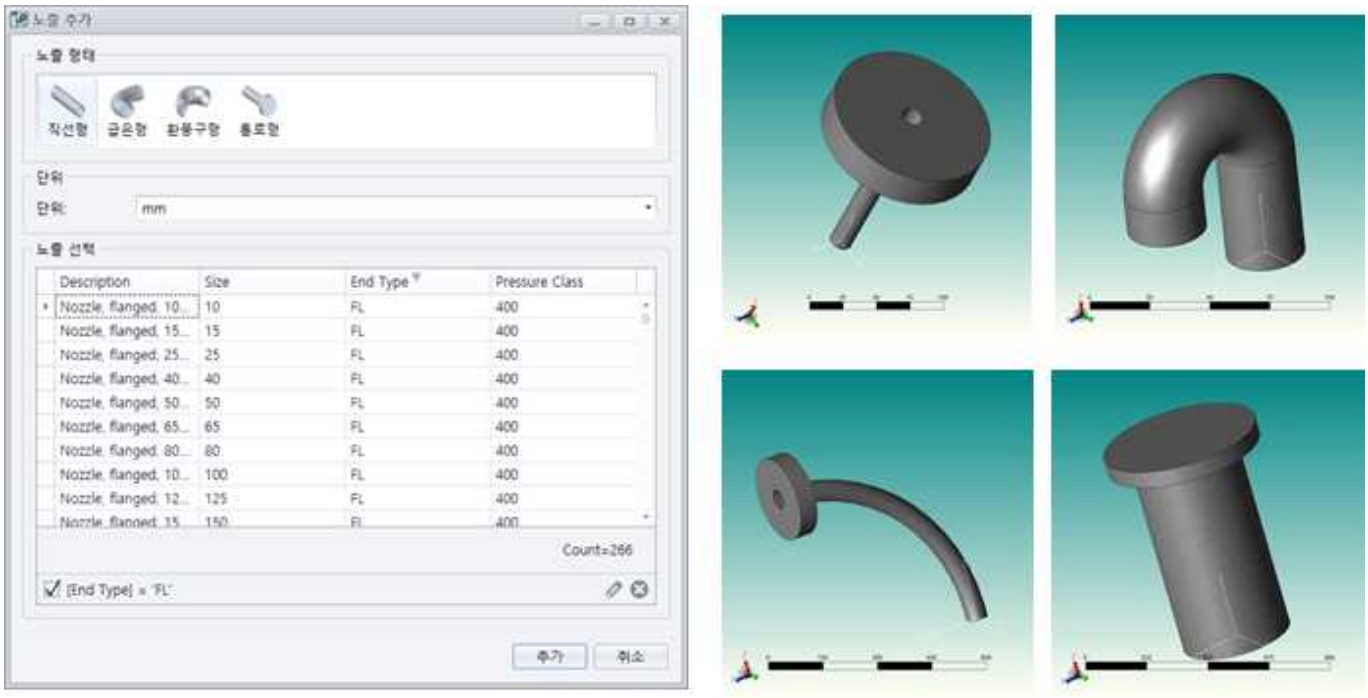


[그림. Revolution 생성 기능]

(3-10) 노즐 생성 기능

○ 기자재 형상을 정의할 때 입/출력 부분을 정의하기 위해서 노즐 형상이 사용된다. 노즐은 포트 위치를 가지고 있고, 카탈로그 형식으로 사양이 제공된다. 본 연구에서는 노즐 형상

을 정의하기 위한 분류체계 및 카탈로그를 정의하고 이를 기반으로 노즐 생성 기능을 구현하였다. 아래 그림은 노즐을 생성하기 위한 화면과 생성 결과를 보여준다.



〈노즐 카탈로그 기능〉 〈노즐 형상 모델링 기능〉

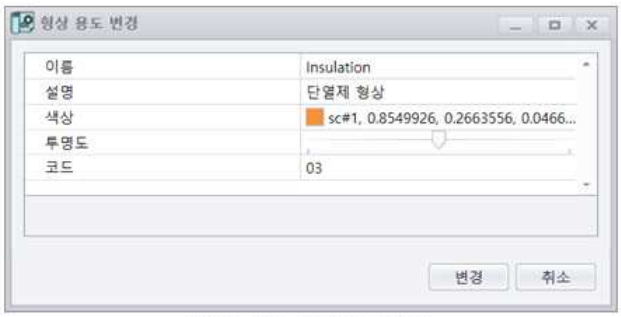
[그림. 노즐 생성 기능]

(3-11) 형상 용도 기능

○ 기자재 형상을 정의할 때에는 실제 물리적일 형상뿐만 아니라, 유지보수 공간, 작업 공간, 단열재 공간 등과 같은 실제 보이지 않는 공간을 함께 정의한다. 이를 형상용도(aspect)라고 하며, 아래 그림은 형상용도에 대한 예시를 보여준다. 본 연구에서는 형상용도를 관리하고 형상에 형상용도를 부여할 수 있는 기능을 개발하였다.



형상 용도 관리



형상 용도 추가/수정

[그림. 형상용도 관리 화면]

○ 아래 그림은 형상용도를 기자재 형상에 부여한 화면을 보여준다. 오른쪽의 속성 창에서 형상용도를 목록에서 선택할 수 있으며, 아래 그림에서는 "Insulation"을 선택하였다. 그러면 아래 그림의 왼쪽과 같이 형상이 "Insulation"에 부여된 색상과 투명도(여기서는 붉은색의 투명도 50%)로 화면에 표시된다.



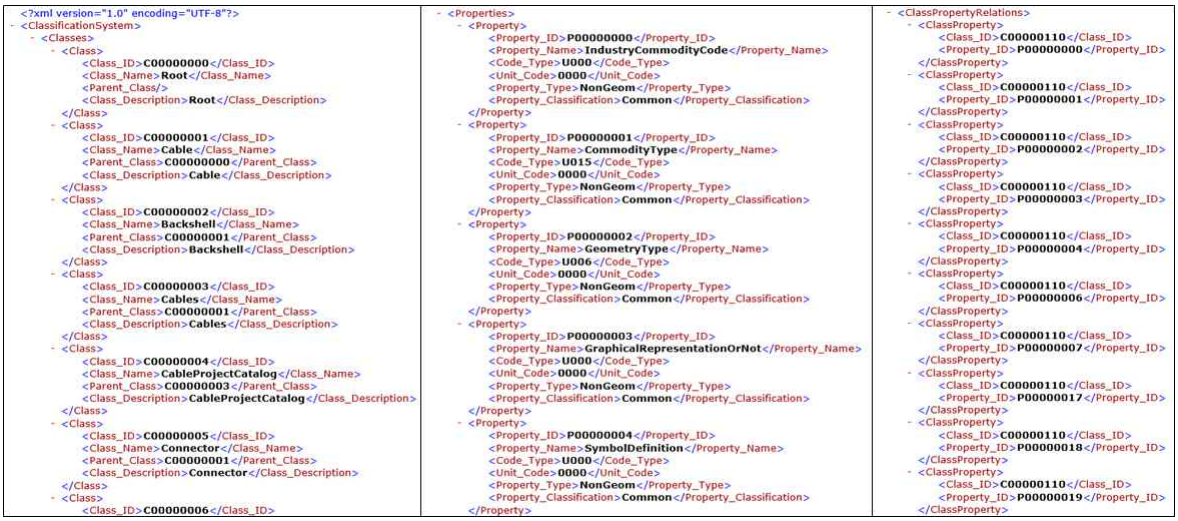
[그림. 형상용도를 부여한 형상]

(4) 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 통합 기능

(4-1) 분류체계 속성 연동 기능

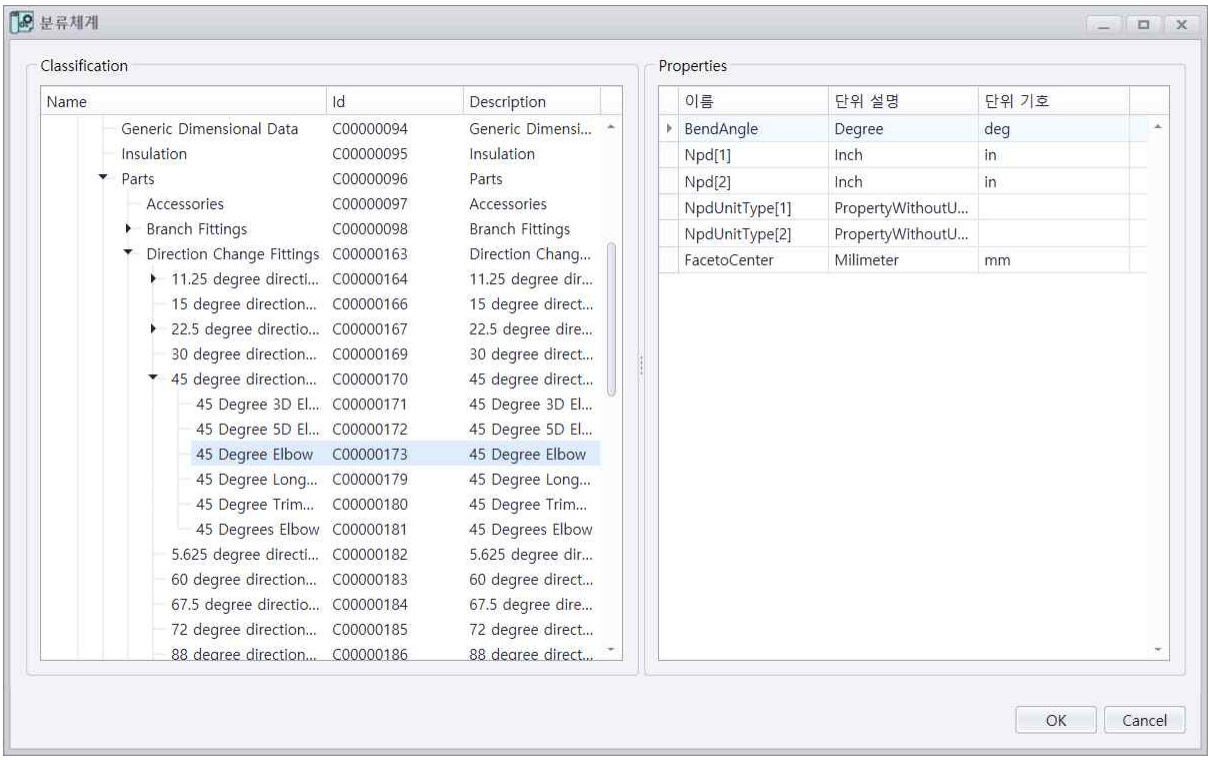
○ 사양변경 시스템 모듈은 기자재의 형상을 생성할 때, 기자재의 속성 정보와 기자재의 형상 간의 관계를 정의하는 기능을 제공한다. 그러나 기자재 속성 정보는 라이브러리 플랫폼이 관리하고 있기 때문에 관리지가 임의로 입력하는 것이 아니라, 라이브러리 플랫폼으로부터 가져와야 한다. 이를 위해 이번 연도에는 라이브러리 플랫폼의 분류체계 속성을 가져와 사양변경 시스템 모듈에 연동시키는 기능을 개발하였다.

○ 분류체계 정보는 XML 파일로 제공되며 아래 그림과 같이 되어있다. 이 파일에는 기자재에 대한 클래스 정의, 클래스 간의 관계, 속성 정의, 클래스와 속성 관계, 코드 정보 등이 포함되어 있다.



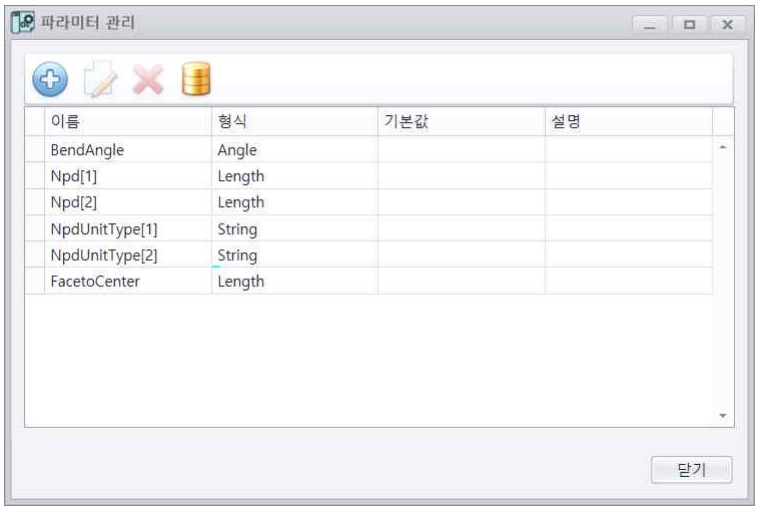
[그림. 분류체계 XML 파일]

○ 새 기자재를 생성할 때, 분류체계 XML 파일을 읽어 클래스 정보를 트리로 변환하여 아래 그림과 같이 분류체계 트리를 표시한다. 분류체계 트리 오른쪽에는 왼쪽에서 선택한 기자재의 형상 속성 정보를 표시한다.



[그림. 분류체계 트리]

○ 관리자가 분류체계 트리에서 가져올 기자재를 선택하면, 아래 그림과 같이, 사양변경 시스템 모듈은 선택한 기자재의 형상 속성을 가져와 사양변경 시스템의 파라미터로 추가한다. 파라미터는 관계 정의를 통해 기자재 형상과 연결될 수 있다.



[그림. 분류체계의 형상 속성과 파라미터]

(4-2) 배치 모드 지원 기능

○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 모듈은 카탈로그 생성 시 기자재의 형상 파일을 포함시켜야 한다. 이 때 기자재 형상은 카탈로그에 입력된 치수를 반영해야 한다. 이를 위해서는 배치 모드를 통해 카탈로그 생성 모듈과 같은 외부 시스템이 기자재의 형상을 변경할 수 있도록 해야 한다.

○ 사양변경 SW 모듈은 아래와 같은 커맨드 명령을 통해 사양을 변경할 수 있는 기능을 제공한다.

```
Equipier.exe Cap.eqp /table ParameterTable.xml
```

또는

```
Equipier.exe Cap.xml /step
```

○ 여기서 "Equipier.exe"는 사양변경 시스템 모듈 파일 이름, "Cap.eqp"와 "Cap.xml"은 기자재 파일이다. "/step" 옵션은 기자재를 STEP 파일(ISO 10303-203) 형식으로 저장하는 것이며, "/table" 옵션은 그 다음에 오는 파라미터 테이블 파일 정보(여기서는 ParameterTable.xml)를 읽어 사양이 변경된 다수의 기자재 파일을 생성하는 것이다.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <ParameterTable>
  - <Design>
      <FileName>Cap_1.xml</FileName>
    - <Parameter>
        <Name>Npd[1]</Name>
        <Value>12.7</Value>
      </Parameter>
    - <Parameter>
        <Name>NpdUnitType[1]</Name>
        <Value>in</Value>
      </Parameter>
    - <Parameter>
        <Name>FacetoEnd</Name>
        <Value>15.9</Value>
      </Parameter>
    </Design>
  - <Design>
      <FileName>Cap_2.stp</FileName>
    - <Parameter>
        <Name>Npd[1]</Name>
        <Value>25.4</Value>
      </Parameter>
    - <Parameter>
        <Name>NpdUnitType[1]</Name>
        <Value>in</Value>
      </Parameter>
    - <Parameter>
        <Name>FacetoEnd</Name>
        <Value>22.1</Value>
      </Parameter>
    </Design>
</ParameterTable>
```

[그림. 파라미터 테이블 파일 예시]

○ 파라미터 테이블 파일은 위의 그림과 같이 구성되어 있다. 한 개의 <Design/> 태그에 대해 한 개의 기자재 형상을 생성하며, <FieName/> 태그에 지정된 이름으로 저장한다. 이때, 확장자가 ".xml"이면 형상 스크립트 파일로, 확장자가 ".stp"이면 STEP 파일로 저장한다. <Parameter/> 태그는 변경할 파라미터 이름(<Name/> 태그)과 그 파라미터의 값(<Value /> 태그)을 포함한다. 사양변경 시스템 모듈은 이 파라미터들의 값으로 형상을 변경하고, 이를 파일로 저장한다. 아래 그림은 배치모드로 생성된 파일의 예시이다.

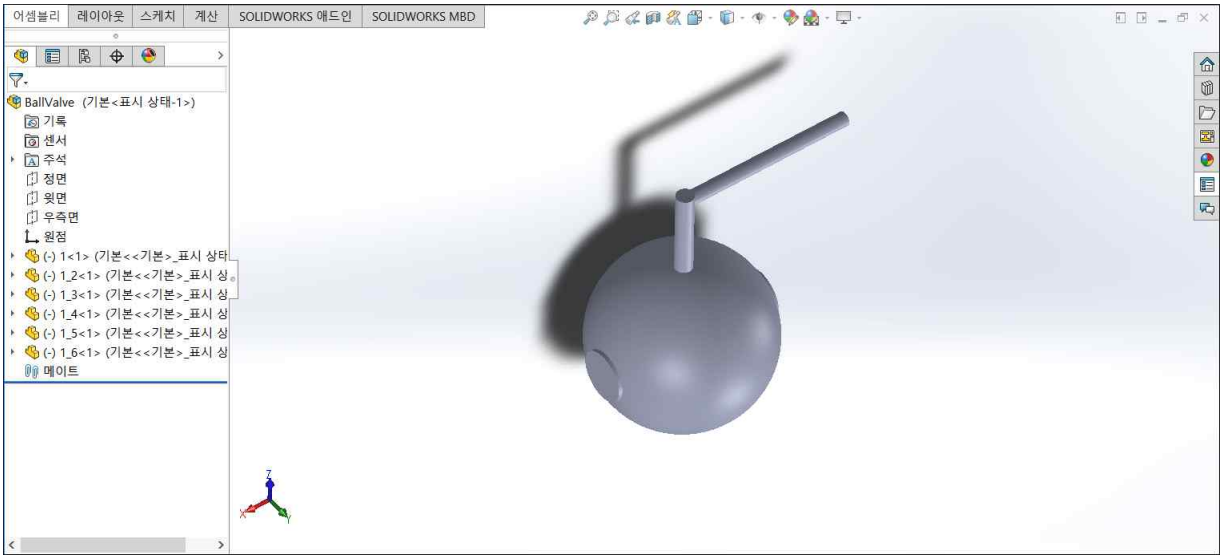


[그림. 배치모드로 생성된 파일]

(4-3) 표준(ISO 10303-203) 파일 출력 기능

○ 사양변경 SW 모듈이 기본적으로 제공하는 ".eqp" 파일은 이진 파일이기 때문에 외부 시스템과 연동 시 활용도가 떨어진다. 또한 외부 시스템에서 이를 파싱하여 이해하는 것도 매우 어렵기 때문에, 텍스트 형태의 표준 기반 파일 형식을 통해 연동하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 목적으로 국제표준인 ISO 10303-203(또는 STEP) 형식으로 기자재 형상을 출력하는 기능을 개발하였다.

○ 기자재 형상을 STEP 파일 형식으로 저장하기 위해 Spatial의 InterOp를 이용하였다. InterOp를 이용해 저장할 때, 기자재를 구성하는 단순 형상을 한 개의 파트로 변환하고, 이들을 묶어 조립체 형태로 출력하였다. 아래 그림은 Ball Valve를 STEP 파일로 저장한 다음 검증을 위해 SolidWorks에서 읽어온 화면이다.

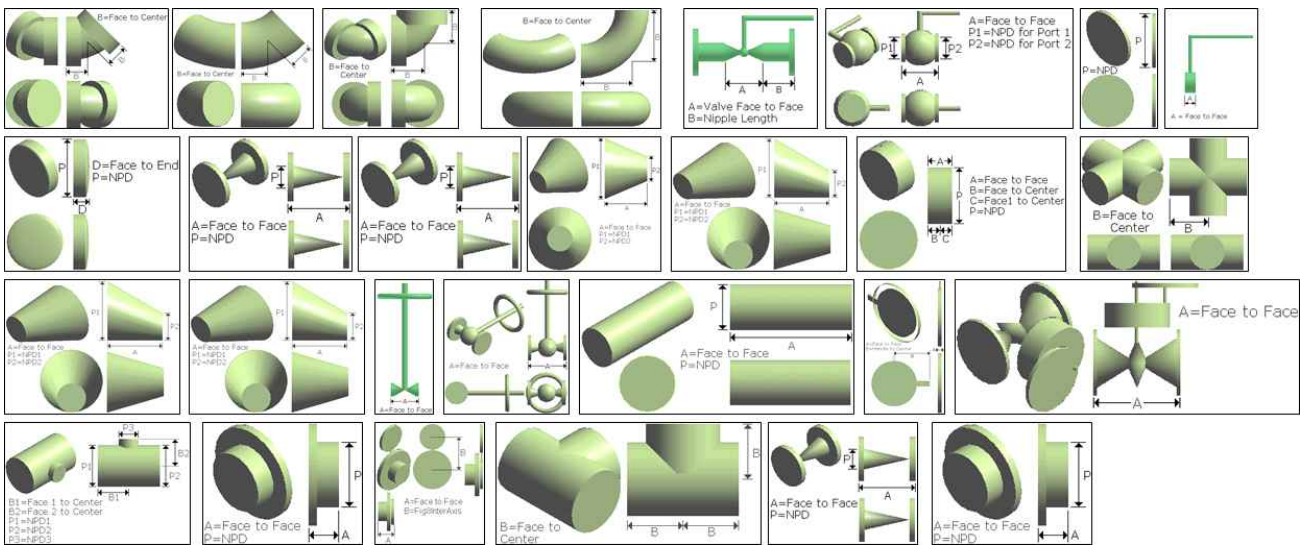


[그림. 출력한 STEP 파일을 SolidWorks에서 읽어온 화면]

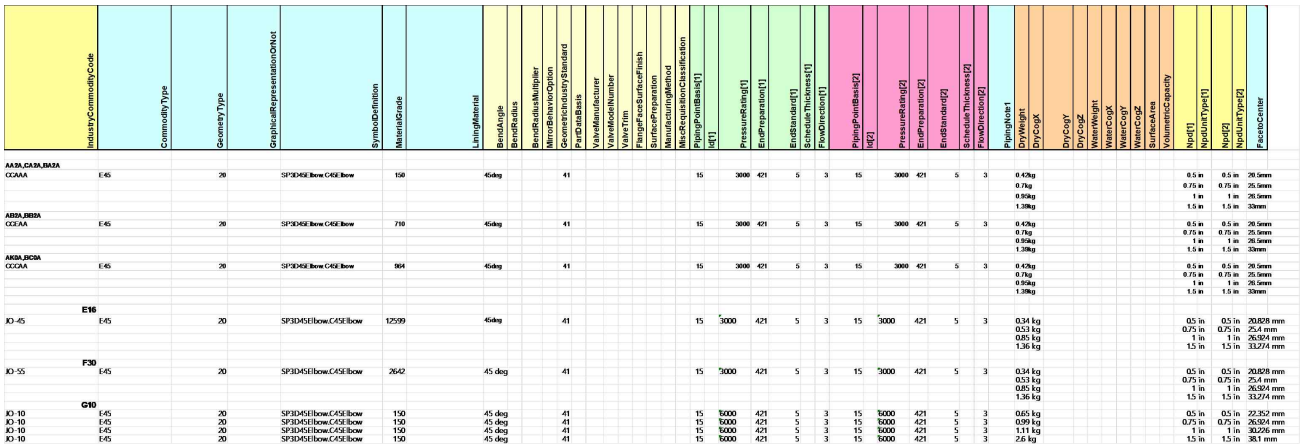
(5) 사양 변경 SW 모듈의 성능 평가 시험

(5-1) 성능 평가 시험용 데이터

○ 사양 변경 SW 모듈의 성능평가를 위해 피팅류 형상 중 형상 스크립트 생성이 가능한 28종을 대상으로 하였다. 다음 그림은 성능평가용 데이터의 이미지 도면 및 기자재 형상 생성을 위한 사양을 보여준다.



[그림. 사양 변경 SW 모듈의 성능평가시험용 데이터]



[그림. 사양 변경 SW 모듈의 성능평가시험용 데이터 사양 정보]

(5-2) 성능평가 방법 및 평가 결과

○ 사양 변경 SW 모듈의 성능평가는 성능평가 데이터를 가지고 해당 기자재를 모델링한 후 기자재 형상 스크립트 파일을 생성하는지를 확인하는 방법으로 진행한다.

○ 상기의 방법에 따라 사양변경 SW 모듈의 성능평가시험 시나리오 10항목을 선정하여 모듈의 성능평가시험을 실시하였다. 필요시 미리 준비된 성능평가시험용 데이터를 이용하여 시험을 수행하며 성능평가시험평가표에 Pass / Fail을 기록하고 성능평가시험 결과보고서에 첨부하였다. 10가지 항목의 시나리오에 대한 성능평가시험 방법은 다음과 같다. 성능평가시험은 기본적으로 black-box 시험 방식에 준하는 시험을 수행하고 입력 정보를 기준으로 요구로 하는 출력 정보가 나오는지 확인하는 방식으로 진행하였다.

○ 사양 변경 SW 모듈의 성능평가시험 결과는 다음 표와 같다. 사양 변경 SW 모듈의 성능평가시험을 테스트 한 결과 성능평가시험 시나리오 10항목에 대해서 모두 통과(Pass)됨을 확인하였다.

시나리오	시퀀스	시퀀스 내용	결과
기자재 카탈로그 데이터 등록	1	프로그램 시작	Pass
	2	분류체계 정보 요청	Pass
	3	분류체계 정보 표시	Pass
	4	기자재 선택	Pass
	5	형상 속성 정보 추가	Pass
	6	기자재 형상 정의	Pass
	7	형상과 속성 간 관계 정의	Pass
	8	기자재 스크립트 파일 저장	Pass
	9	기자재 스크립트 파일	Pass
	10	프로그램 종료	Pass

[그림. 사양 변경 SW 모듈의 성능평가시험 결과]

라) 결론

(1) 주요 결과

○ 사양 변경 기술의 요구사항 분석을 통해 사양 변경 SW 모듈을 설계하고 개발하였다. 개발된 SW 모듈의 유용성을 검증하기 위해 모듈시험 및 성능평가시험을 실시하였고, 모든 시험 항목에 대해 통과됨을 확인하였다. 그리고 성과 지표에 대한 6차년도 목표치인 사양 변경 성공률 70%를 달성하였다.

(2) 개발 SW의 사양

○ 사용 개발도구

- 개발 언어: C#, C++, C++/CLI

○ 구축환경

- 통합개발환경: Visual Studio 2015
- CPU : Intel(R) Core(TM) i7 이상
- RAM : 16.00 GB 이상
- HDD 또는 SSD : 512 GB 이상
- GPU : GeForce GTX 600급 이상

○ 의존관계

- 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 (지토):
  지토가 개발한 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼에서 카탈로그 목록 및 속성을 가져옴

○ 외부툴 사용특성

- GUI: WPF(windows presentation foundation), DevExpress
- 형상모델링 커널: ACIS
- 3차원 가시화: Hoops3D

(3) 기존 기술 대비 우수성

○ 기술수준

- 연구 전: 형상 변경 성공률 50% (* 최고국 기술수준 : 100%)

- 연구 후: 형상 변경 성공률 70% (* 최고국 기술수준 : 100%)

○ 경제성

- 연구 전: 기자재 카탈로그 형상 생성 및 교환 시 인력 및 시간 소요

- 연구 후: 중립 스크립트 이용으로 기자재 카탈로그 형상 생성 및 교환 시간 단축

○ 기존 기술 대비 우수성

- 중립 스크립트를 이용해 기자재 형상 정보를 쉽게 공유하고 교환할 수 있는 기술 마련

(4) 적용 가능 기술 분야

○ 기자재 라이브러리 구축에 많은 시간과 비용이 소모되는 EPC사 및 기자재 벤더

(5) 향후 계획

○ 사양 변경 SW 모듈의 추가검증을 위한 다양한 데이터 대상의 파일롯 플랜트 시험적용 수행

○ 사양 변경 SW 모듈의 추가적인 기능 개선 및 통합 안정화

○ 플랜트 업체 방문 및 현업종사자들과의 협의를 통한 개발기술의 실용화 추진 준비

마. [E] 시스템 시험적용 및 성능 평가 보고서

1) 시스템 성능평가 절차서 및 적용실험 보고서

가) 개요

○ 협업 지원 라이브러리 관리 시스템 시험적용 및 성능 평가는 개발한 라이브러리 관리 시스템의 적용 및 성능 검증을 위해 참여기업에서 제공하는 모듈러 플랜트 관련 데이터를 기반으로 시험 환경을 구축하여 실증 실험을 수행하는 것이 주 개발 업무이다. 이를 위해 대상 플랜트 선정 후, 적용 시나리오를 개발하여야 하며 적용 시나리오에 따라 실험 데이터를 수집하여 라이브러리 관리 시스템의 성능 평가 수행이 필요하다. 최종 산출물은 시스템 성능 평가 및 적용 실험 보고서이다.

○ 단계별 산출물로서 개발 모듈 및 통합 플랫폼의 기술 검증을 위해 1차년도에는 기업 현황 및 요구 분석, 2차년도에는 기능 시험을 수행하였으며, 3차년도에는 모듈시험, 4차년도에는 통합 시험, 5차년도에는 파일롯 플랜트 대상 개발 시스템 시험, 6차년도에는 최종 성능 평가를 수행하였다.

나) 수행 내용

○ 시스템 성능 평가 및 적용실험 보고서 작성을 위해 EPC사의 영산대(명세현 교수)의 용역을 통하여 진행되었다. 1차년도에는 설계 마스터 정보 현황 분석서, 기업 요구 분석서, 시스템 개발 사양서 작성을 완료하였다. 2차년도에는 설계명세서 1건과 4건의 기능시험절차서 및 보고서가 작성되었다.

○ 3차년도에는 SW모듈시험 절차서 및 보고서 5종이 작성되었다. 4차년도에는 통합시험 절차서 및 보고서 1건이 작성되었다. 5차년도 성능평가 및 적용실험 보고서 1건이 작성되었다. 6차년도에는 현대건설 현업 데이터를 이용한 실험 적용을 통한 실험을 통해 성능평가 및 적용실험 보고서를 작성 중 이다. 특히 6차년도에는 공인시험기관인 동의대IT부품융합연구소를 통해 SW시험평가인증을 수행하였다.

다) 상세 연구 내용

라) 결론

(1) 주요 결과

성과지표	성과지표의 설정근거	달성 및 목표치
시스템 시험적용 및 성능 평가 보고서	○ 설계 마스터 정보 현황 분석서 작성 ○ 기업 요구 분석서 작성, 시스템 개발 사양서 작성	1차년도 3건 달성 / 목표 3건
설계 명세서 및 기능 시험 절차서 작성 건수	2차년도 주 개발 업무인 기능 시험 절차서 개발은 각 세부 모듈 별로 모듈의 사용자 요구사항에 따른 기능과 성능평가지표를 만족하는지의 여부를 검증하기 위한 업무이므로 2차년도에 개발되는 4건의 개발 모듈에 대하여 각 모듈에 알맞은 시험절차서가 필요하므로 4건의 기능 시험 절차서 작성 건수를 성과지표로 정의함	2차년도 1건 달성 / 목표 1건 4건 달성 / 목표 4건
모듈시험 절차서 작성 건수	3차년도 주 개발 업무인 모듈시험 절차서 개발은 각 세부 모듈 별로 모듈의 사용자 요구사항에 따른 성능평가지표를 만족하는지의 여부를 검증하기 위한 업무이므로 3차년도에 개발되는 5건의 개발 모듈에 대하여 각 모듈에 알맞은 시험절차서가 필요하므로 5건의 기능 시험 절차서 작성 건수를 성과지표로 정의함	3차년도 5건 달성 / 목표 4건
통합 시험 절차서 및 보고서 작성 건수	4차년도 주 개발 업무인 통합 시험 절차서 개발은 각 세부 모듈 별로 통합 테스트의 시나리오를 만족하는지의 여부를 검증하기 위한 업무이므로 4차년도에 1개의 통합 시스템에 대하여 시나리오 별 시험절차서가 필요하므로 1건의 통합 시험 절차서 및 보고서 작성 건수를 성과지표로 정의함	4차년도 1건 달성 / 목표 1건
성능평가 및 적용실험 보고서 작성 건수	5차년도에 각 세부 모듈 별로 성능평가 지표를 만족했는지 여부와 함께 적용실험 수행 여부를 검증하기 위해 1건의 성능평가 및 적용실험 보고서 작성 건수를 성과지표로 정의함	5차년도 1건 달성 / 목표 1건
성능평가 및 적용실험 보고서 작성 건수	6차년도에 각 세부 모듈 별로 성능평가 지표를 만족했는지 여부와 함께 적용실험 수행 여부를 검증하기 위해 1건의 성능평가 및 적용실험 보고서 작성 건수를 성과지표로 정의함	6차년도 1건 달성 / 목표 1건

○ 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 주 개발 업무인 성능 평가 및 적용실험은 개발한 라이브러리 관리 시스템의 성능 검증 및 적용을 위해 참여기업에서 제공하는 모듈러 플랜트 관련 데이터를 기반으로 시험 환경을 구축하여 실증 실험을 수행하는 것이다. 이를 위해 대상 플랜트 선정 후, 적용 시나리오를 개발하여 적용 시나리오에 따라 실험 데이터를 선정/수집하여 라이브러리 관리 시스템의 성능평가를 수행하였다.

○ 1차년도부터 6차년도 까지 각 SW모듈의 설계서, 기능시험 절차서/보고서, SW모듈시험 절차서/보고서, 통합시험 절차서/보고서, 성능평가 절차서/적용실험 및 성능평가 보고서를 작성하였으며, 각 년차별로 계획했던 정량평가 목표를 모두 만족함을 확인 하여 라이브러리 관리 시스템의 현업 활용 가능성이 높은 수준임을 확인할 수 있었다. 이를 객관적으로 확인하기 위해, 6차년도에 공인시험기관인 동의대 IT부품융합연구소를 통해 SW시험평가 인증을 수행하였고, 과제 최종 정량적성과의 기준치를 달성하였다.

(2) 향후 계획

○ 기관별 개발 SW모듈 및 4세부 통합시스템인 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템은, 동의대 IT부품융합연구소의 SW시험인증을 완료하며 최종적으로 공인시험성적서를 발급받았다. 6차년도에 진행 중이던 현대건설 TestBed 데이터 시험적용은, 기관별 개발SW모듈의 추가 기능 개발을 완료한 상태이며, 최종적으로 4세부 통합SW시스템을 ㈜필즈엔지니어링 또는 ㈜플랜트에셋의 S3D에 탑재하여 파일롯 플랜트 시험적용을 완료할 예정이다.

2.3 연구개발 성과

가. 논문 게재 성과

	게재 연도	논문명	저자명	학술지명	Vol. (No.)	국내 외 구분	SCI 구분	등록· 기타 번호
1	2015	ISO 15926 기반 공정 플랜트 3D 설계 정보 통합 플랫폼의 개발	김병철; 문두환; 박상진; 김봉철; 명세현	한국CAD/CAM학회 논문집	20(4)	국내	일반	
2	2015	Graph-Based Simplification of Feature-Based ThreeDimensional Computer-Aided Design Models for Preserving Connectivity	Soonjo Kwon; Byungchul Kim; Duhwan Mun; Soonhung Han	Journal of Computing and Information Science in Engineering	15(3)	해외	SCI	
3	2015	Verification of product design using regulation knowledgebase and Web services	Ikjune Kim; Jaechul Lee; Byung Chul Kim; Jinsang Hwang; Chae Ho Lim; Duhwan Mun;	Journal of Mechanical Science and Technology	29(12)	해외	SCI	
4	2015	Enhanced volume decomposition minimizing overlapping volumes for the recognition of design features	Byung Chul Kim; Duhwan Mun	Journal of Mechanical Science and Technology	29(12)	해외	SCI	
5	2016	Aveva Marine과 SmartMarine 3D 간의 해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델 유사도 평가 시스템 개발	Jaesun Lee; Byung Chul Kim; Hyungki Kim; Sanguk Cheon; Mincheol Cho; Gwang Lee; Jin-Hyun Kim; Duhwan Mun; Soonhung Han	대한기계학회논문집 A	40(4)	국내	일반	
6	2016	Aveva Marine과 SmartMarine 3D간의 해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델의 배치모드 기반 비교 시스템 개발	Jaesun Lee; Byung Chul Kim; Sanguk Cheon; Mincheol Cho; Gwang Lee; Duhwan Mun	한국CAD/CAM학회 논문집	21(1)	국내	일반	
7	2016	Shape distribution-based retrieval of 3D CAD models at different levels of detail	Hyungki Kim; Moohyun Cha; Duhwan Mun	Multimedia Tools and Applications	Online First	해외	SCI	

8	2016	Toward standardized exchange of plant 3D CAD models using ISO 15926	Byung Chul Kim; Youngjun Jeon; Sangjin Park; Hans Teijgeler; David Leal; Duhwan Mun	Computer aided design	83(6)	해외	SCI	
9	2016	Enhancement of equipment-information sharing using 3D CAD simplification and digital catalog techniques in the plant industry	Soonjo Kwon;Byung Chul Kim;Hojin Hwang;Duhwan Mun;Soonhung Han	Concurrent Engineering: Research and Applications	24(3)	해외	SCI	
10	2016	CAD model simplification using feature simplification	Yeoun Yoon; Byung Chul Kim	Journal of Advanced Mechanical Design Systems, and Manufacturing	10(8)	해외	SCI	
11	2017	UG NX 기반3D CAD 조립체모델의단순화API의개발	Eun-seop Yu; Juho Lee; Jeong-youl Lee; Duhwan Mun	한국CDE학회 논문집	22	국내	일반	
12	2017	Shape distribution-based retrieval of 3D CAD models at different levels of detail	Hyungki Kim; Moohyun Cha; Duhwan Mun	MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS	76(14)	해외	SCI	
13	2017	Shape distribution-based retrieval of 3D CAD models at different levels of detail	Kim, H; Cha, M; Mun, D	MULTIMEDIA TOOLS AND APPLICATIONS	76(14)	국내	SCI	
14	2017	Toward standardized exchange of plant 3D CAD models using ISO 15926	Byung Chul Kim, Youngjun Jeon, Sangjin Park, Hans Teijgeler, David Leal, Duhwan Mun	Elsevier	83(6)	해외	SCI	
15	2018	중립 모델과 플랜트 3D CAD 시스템간의 기자재 카탈로그 데이터 번역 시스템 개발	Yoenju Bae; Duhwan Mun; Chanseok Park; Soonhung Han;	한국CDE학회 논문집	23(2)	국내	일반	
16	2018	플랜트의 3차원 설계를 지원하는 중립 모델 기반 카탈로그 생성 시스템 개발	Hyunoh Lee; Duhwan Mun; Yoenju Bae; Soonjo Kwon; Byung Chul Kim; Soonhung Han;	대한기계학회논문집 A	42(8)	국내	일반	
17	2018	User-assisted integrated method for controlling level of detail of large-scale B-rep assembly models	Kwon, S; Kim, BC; Mun, D; Han, S	INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING	31(9)	국내	SCI	

18	2018	Similarity comparison of original and remodeled plant 3D piping CAD models using quantitative evaluation metrics for offshore plants	Byung Chul Kim	Journal of Marine Science and Technology	23	해외	SCI	
19	2019	Assembly Solving for Neutral Re-Imported Product Models	Tahir Abbas Jauhar; Soonhung Han, Soonjo Kwon	Computer- Aided Design and Applications	17(1)	해외	일반	
20	2019	Point-Oriented Persistent Identification of Entities for Exchanging Parametric CAD Data	Mutahar Safdar; Soonhung Han, Soonjo Kwon, Ilhwan Song	Computer- Aided Design and Applications	17(2)	해외	일반	
21	2019	ISO 15926 기반 공정 플랜트 생애주기 데이터 가시화 플랫폼의 개발	김봉철; 이인혁; 김병철; 문두환;	한국CDE학회 논문집	24(1)	국내	일반	
22	2019	ISO 15926 표준 기반 기자재 사양 시트 데이터 교환을 위한 후처리기의 개발	이인혁; 김봉철; 김진현; 이기홍; 문두환;	대한기계학회논문집 A	43(5)	국내	일반	
23	2019	플랜트3D CAD 시스템과중립모델간의배관부품스펙-카탈로그데이터번역시스템개발	배연주; 이현오; 문두환; 이광; 한순흥	대한기계학회논문집 A	43	국내	일반	
24	2019	B-rep model simplification using selective and iterative volume decomposition to obtain finer multi-resolution models	Soonjo Kwon; Duhwan Mun; Byung Chul Kim; Soonhung Han; Hyo-Won Suh;	Computer aided design	112	국내	SCI	

나. 특허 성과

(1) 특허 출원

	구분	출원 연도	특허명	출원 기관	출원국	등록·기타 번호
1	출원	2015	기자재 정보 공유 시스템 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2016-0058006
2	출원	2015	기자재, 대형 기기 및 스키드 조립체를 지원하는 부품 카탈로 그 정보 관리 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2016-0183545
3	출원	2015	점군 데이터로부터 3차원 시설 배치 데이터를 생성하는 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2015-0018212
4	출원	2015	조립체 모델 비교 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2015-0172985

5	출원	2015	단위 특징형상 단순화를 이용한 CAD 모델의 특징형상기반 단순화 방법 및 시스템	동아대학교 산학협력단	대한민국	10-2015-0044481
6	출원	2016	3차원 스캔 데이터를 이용한 플랜트 설비의 3차원 모델 자동 생성 방법	한국과학기술원	대한민국	10-2015-0170852
7	출원	2016	EPC 협업 지원 시스템	(주)지토	대한민국	10-2016-0093623
8	출원	2016	최적 정밀도 결정을 통한 모델 단순화 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2016-0093628
9	출원	2016	질의 모델과 검색 대상 모델 간의 정밀도 차이를 고려한 모델 검색 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2016-0041545
10	출원	2016	형상 복잡도를 이용한 모델 간략화 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0051336
11	출원	2017	3D 프린팅 기반 유지보수 지원을 위한 부품 데이터베이스 관리 장치 및 방법, 그리고 3D 프린팅 기반 부품 유지보수 시스템	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2017-0167422
12	출원	2017	3차원 스캐닝을 통해 획득된 점군 데이터를 기반으로 피팅을 모델링하기 위한 3차원 모델링 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2018-0057977
13	출원	2018	기자재 카탈로그 데이터 변환 시스템	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2019-0042095
14	출원	2019	VR 모델 변환 시스템 및 이를 이용한 VR 모델 변환 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-2015-0060073

(2) 특허 등록

	구분	등록 연도	특허명	등록 기관	등록국	등록·기탁 번호
1	등록	2016	점군 데이터로부터 3차원 시설 배치 데이터를 생성하는 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1665446-0000
2	등록	2016	조립체 모델 비교 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1671908-0000
3	등록	2016	단위 특징형상 단순화를 이용한 CAD 모델의 특징형상기반 단순화 방법 및 시스템	동아대학교 산학협력단	대한민국	10-16409130000
4	등록	2017	기자재 정보 공유 시스템 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1715462-0000
5	등록	2017	형상 복잡도를 이용한 모델 간략화 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1765414-0000

6	등록	2017	기자재, 대형 기기 및 스키드 조립체를 지원하는 부품 카탈로그 정보 관리 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1791316-0000
7	등록	2018	EPC 협업 지원 시스템	(주)지토	대한민국	10-1865138-0000
8	등록	2018	질의 모델과 검색 대상 모델 간의 정밀도 차이를 고려한 모델 검색 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1839687-0000
9	등록	2018	경계 표현 기반 3차원 모델 단순화 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1846746-0000
10	등록	2018	3D 프린팅 기반 유지보수 지원을 위한 부품 데이터베이스 관리 장치 및 방법, 그리고 3D 프린팅 기반 부품 유지보수 시스템	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1886570-0000
11	등록	2019	3차원 스캐닝을 통해 획득된 점군 데이터를 기반으로 피팅을 모델링하기 위한 3차원 모델링 장치 및 방법	경북대학교 산학협력단	대한민국	10-1989700-0000

다. 기술요약정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록·기탁 번호
2019	협업 지원 라이브러리 형상/의미 기반 검색 및 교환 모듈	○ 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈은 일반 기자재와 높은 복잡도를 가지는 대형기기 및 스키드 설계 데이터를 3D CAD 형상 유사도 기준으로 검색하는 기능을 제공한다. 기존 키워드 검색뿐만 아닌 3D CAD 형상 정보를 기반으로 검색함으로써 정보 모델이 불완전하거나, 오류를 포함하는 경우에도 강건한 검색이 가능하며 설계자가 의도하는 기자재 및 대형기기, 스키드의 지능적 검색이 가능하다. ○ 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈은 라이브러리 내부의 국제 표준에 상응하는 구조로 된 데이터로부터 라이브러리와 연계가 되는 상용 플랜트 CAD 시스템으로의 데이터 출력을 하는 기능을 제공한다.	실용화 단계	

2019	협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계	○ 통합 라이브러리 관리 플랫폼은 협업 지원 라이브러리 데이터 및 협업 지원 라이브러리 카탈로그 데이터 관리, 협업 지원 라이브러리 기본 데이터 검색 및 정보 가시화, 협업 지원 라이브러리 분류체계 관리, 사용자 계정 및 접근 관리, 시스템 관리 등의 기능을 제공한다.	실용화 단계	
2019	협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 생성 SW 모듈	○ 형상 간략화 SW 모듈은 높은 복잡도(LOD, level-of-detail)를 갖는 3D CAD 모델을 사용 목적에 따라 자동으로 간략화하여 낮은 복잡도의 3D CAD 모델을 생성하는 기능을 제공한다. 이 기능을 통해 대용량의 3D CAD 모델을 간략화하기 위해 현업에서 소요되는 시간과 비용을 크게 절감할 수 있다. ○ 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈은 플랜트 건설 프로젝트에서 자주 사용하는 기자재에 대한 카탈로그 라이브러리를 구축하기 위한 카탈로그 생성 업무를 지원하는 기능을 제공한다. 모듈에서 생성되는 카탈로그 데이터는 본 연구에서 정의한 중립 모델 형식으로 3D 형상 정보, 사양 정보, 포트 정보가 포함되어 있다.	실용화 단계	
2019	협업 지원 라이브러리 사양 변경 모듈	○ 협업 단위 시스템 사양 변경 모듈은 카탈로그에 등록되어 있는 기자재의 사양 정보가 변경될 경우, 이에 맞추어 기자재의 3D CAD 모델을 자동으로 변경하는 기능을 한다. 기능의 구현을 위해 기자재 형상의 속성 변경이 가능한 형태로 기자재의 3차원 형상 정의, 속성 변경을 통한 기자재의 형상 변경, 형상 속성과 지자재 형상 간의 함수 관계 정의, 기자재 형상 스크립트 파일 생성 등의 기능이 제공된다.	실용화 단계	

라. 보고서 원문

	연도	보고서 구분(중간·최종)	제안	최종개정	작성기관	승인자
1	2015	형상/의미 기반 검색 및 교환 기술 현황 분석서	15-05-31	15-05-31	한국과학기술원	한순흥
2	2015	형상/의미 기반 검색 및 교환 요구 사항 명세서	15-05-31	15-05-31	한국과학기술원	한순흥
3	2015	기업 설계 마스터 정보 현황 및 기업 요구 분석서	15-05-31	15-05-31	4세부	한순흥
4	2015	시스템 개발 사양서	15-05-31	15-05-31	4세부	한순흥
5	2015	플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템 구성도	15-05-31	15-05-31	4세부	한순흥
6	2015	협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 기술 현황 분석서	15-05-31	15-05-31	지토	한순흥
7	2015	협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 기술 요구사항 명세서	15-05-31	15-05-31	지토	한순흥
8	2015	실용화 점검 결과 보고서	19-11-30	19-11-30	CCLSOFT	민병우
9	2015	협업 단위 시스템 형상 간략화 및 카탈로그 생성 기술 현황 분석서	15-05-31	15-05-31	경북대학교	한순흥
10	2015	협업 단위 시스템 형상 간략화 및 카탈로그 생성 기술 요구사항 명세서	15-05-31	15-05-31	경북대학교	한순흥
11	2015	협업 지원 라이브러리 사양 변경 기술 요구사항 명세서	15-05-31	15-05-31	동아대학교	한순흥
12	2015	협업 지원 라이브러리 사양 변경 기술 현황 분석서	15-05-31	15-05-31	동아대학교	한순흥
13	2018	형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 설계서	16-03-14	17-09-17	한국과학기술원	한순흥
14	2018	형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 기능시험 절차서	16-03-23	16-04-10	한국과학기술원	한순흥
15	2018	형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 기능시험 보고서	16-03-29	17-10-10	한국과학기술원	한순흥
16	2018	형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 및 표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈 SW 모듈시험 절차서	16-12-15	16-12-18	한국과학기술원	한순흥
17	2018	형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 SW 모듈시험 보고서	16-12-16	17-09-17	한국과학기술원	한순흥
18	2018	형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈 사용 지침서	18-11-15	18-11-15	한국과학기술원	한순흥
19	2018	표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈 설계서	16-03-17	18-11-21	한국과학기술원	한순흥
20	2018	표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈 기능시험 절차서	18-11-21	18-11-21	한국과학기술원	한순흥
21	2018	표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈 기능시험 보고서	16-03-29	18-11-21	한국과학기술원	한순흥
22	2018	표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈 SW 모듈시험 절차서	18-11-21	18-11-21	한국과학기술원	한순흥
23	2018	표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈 SW 모듈시험 보고서	17-10-25	18-11-21	한국과학기술원	한순흥
24	2018	표준 기반 중립 카탈로그(형상심볼) 변환 모듈 사용지침서	18-11-16	18-11-16	한국과학기술원	한순흥
25	2018	시스템 성능평가 및 적용실험 보고서	18-10-17	19-12-24	한국과학기술원	한순흥

26	2018	실용화 추진 활동 회의록	18-11-09	18-11-09	CCLSOFT	민병우
27	2018	협업지원라이브러리관리시스템 기능시험절차서	16-03-31	18-10-22	지토	한순흥
28	2018	협업지원라이브러리관리시스템 기능시험보고서	16-03-31	18-10-28	지토	한순흥
29	2018	협업지원라이브러리관리시스템 사용지침서	18-09-24	18-10-23	지토	한순흥
30	2018	표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈 설계서	17-10-09	17-10-09	경북대학교	한순흥
31	2018	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 설계서	15-11-12	18-04-12	경북대학교	한순흥
32	2018	형상 간략화 시스템 모듈 설계서	15-11-11	17-12-21	경북대학교	한순흥
33	2018	표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈 기능시험 절차서	17-10-20	17-10-20	경북대학교	한순흥
34	2018	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 기능시험 절차서	16-05-03	18-08-07	경북대학교	한순흥
35	2018	형상 간략화 시스템 모듈 기능시험 절차서	16-03-31	17-10-23	경북대학교	한순흥
36	2018	표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈 기능시험 보고서	17-10-20	17-10-20	경북대학교	한순흥
37	2018	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 기능시험 보고서	16-05-03	18-08-06	경북대학교	한순흥
38	2018	형상 간략화 시스템 모듈 기능시험 보고서	16-04-01	17-10-23	경북대학교	한순흥
39	2018	표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈 SW 모듈시험 절차서	17-10-20	17-10-20	경북대학교	한순흥
40	2018	3D 형상, 사양, 포트 정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 SW 모듈시험 절차서	16-12-11	18-09-05	경북대학교	한순흥
41	2018	형상 간략화 시스템 모듈 SW 모듈시험 절차서	16-12-11	17-10-20	경북대학교	한순흥
42	2018	표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈 SW 모듈시험 보고서	17-10-20	17-10-20	경북대학교	한순흥
43	2018	3D형상, 사양, 포트 정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 SW 모듈시험 보고서	16-12-11	18-09-05	경북대학교	한순흥
44	2018	형상 간략화 시스템 모듈 SW 모듈시험 보고서	16-12-11	17-10-20	경북대학교	한순흥
45	2018	표준 기반 중립 카탈로그(비형상데이터) 변환 모듈 사용지침서	18-07-18	18-07-18	경북대학교	한순흥
46	2018	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 시스템 모듈 사용지침서	18-07-12	18-07-12	경북대학교	한순흥
47	2018	형상 간략화 시스템 모듈 사용 지침서	18-01-15	18-01-28	경북대학교	한순흥
48	2018	협업지원라이브러리관리시스템 사양변경 SW 모듈 기능시험 절차서	16-03-31	18-10-26	동아대학교	한순흥
49	2018	협업지원라이브러리관리시스템 사양변경 SW 모듈 기능시험 보고서	16-04-01	18-11-05	동아대학교	한순흥
50	2018	협업지원라이브러리관리시스템 사양변경 SW 모듈시험 절차서	16-12-13	18-10-26	동아대학교	한순흥
51	2018	협업지원라이브러리관리시스템 사양변경 SW 모듈시험 보고서	16-12-11	18-11-07	동아대학교	한순흥
52	2018	협업지원라이브러리관리시스템 사양변경 SW 모듈 사용 지침서	18-11-10	18-11-10	동아대학교	한순흥

마. 소프트웨어 등록

	연도	소프트웨어명	SW 구분	등록권리자	등록·기탁 번호
1	2015	유지 파트 익스트렉터 버전1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2015-021115
2	2015	형상 비교용 에스에이티(SAT) 파일 변환기 버전 1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2015-032000
3	2016	플랜트 건설 협업을 위한 기자재 검색 시스템	시스템 SW	㈜지토	C-2016-011353
4	2016	형상/사양/포트 정합 시스템 버전1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2016-021559
5	2016	경계표현(B-rep) 기반 형상 간략화 시스템 버전1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2016-021558
6	2016	협업지원 라이브러리 관리 시스템	시스템 SW	㈜지토	C-2016-034519
7	2017	3차원 모델 검색기 1.0	시스템 SW	한국과학기술원	C-2017-003415
8	2017	플랜트 기자재 형상모델러	시스템 SW	동아대학교 산학협력단	C-2017-022515
9	2017	사용자 보조 대용량 경계표현(B-rep) 기반 3차원 캐드 (CAD) 모델 단순화 시스템 버전 1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2017-023258
10	2017	플랜트 협업지원을 위한 기자재 분류체계 및 카탈로그 관리 플랫폼	시스템 SW	㈜지토	C-2017-024583
11	2018	플랜트 협업지원 웹기반 통합관리 프로그램	시스템 SW	㈜지토	C-2018-029806
12	2019	형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 시스템 버전 2.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2019-003844
13	2019	사용자 보조 대용량 경계표현(B-rep) 기반 3차원 캐드(CAD) 모델 단순화 시스템 버전 2.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2019-003849
14	2019	중립 모델과 Intergraph S3D간의 스펙-카탈로그 데이터 변환기 버전 1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2019-003845
15	2019	중립 모델과 AVEVA PDMS간의 스펙-카탈로그 데이터 변환기 버전 1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2019-003846
16	2019	플랜트 기자재 카탈로그 데이터 번역 시스템 버전 1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2019-003850
17	2019	AutoCAD Plant 3D 플러그인 타입 형상 유사도 기반 피팅 검색 모듈 버전 1.0	시스템 SW	경북대학교 산학협력단	C-2019-003848
18	2019	플랜트 협업지원 라이브러리 구축 및 관리를 위한 통합 관리 프로그램 패키지	시스템 SW	㈜지토	C-2019-026716
19	2019	3차원모델검색기2.0	시스템 SW	한국과학기술원	C-2019-036089
20	2019	표준 기반 3차원 형상 심볼 변환기 1.0	시스템 SW	한국과학기술원	C-2019-041781

바. 연구성과의 국토교통R&D 사업관리시스템 등록

성과정보

구분		성과지표명		성과실적(건)	성과조회	성과입력	검증률(%)
경제적 성과		사업화/제품화(매출실적)		0	조회	입력	0%(0/0)
		현장적용에 의한 비용절감 또는 수입대체효과		0	조회	입력	0%(0/0)
공공적 성과		법 제정 및 개선		0	조회	입력	0%(0/0)
		설계기준, 시방서, 지침에 반영		0	조회	입력	0%(0/0)
		설계기준, 시방서, 지침에 제안		50	조회	입력	30%(15/50)
		정책제안		0	조회	입력	0%(0/0)
		정책채택		0	조회	입력	0%(0/0)
기술적 성과	지식재산권	특허	출원	14	조회	입력	71%(10/14)
			등록	11	조회	입력	91%(10/11)
		실용신안	출원	0	조회	입력	0%(0/0)
			등록	0	조회	입력	0%(0/0)
		디자인	출원	0	조회	입력	0%(0/0)
			등록	0	조회	입력	0%(0/0)
		소프트웨어(S/W)		20	조회	입력	95%(19/20)
		기타성과 (상표, 서비스 등)		0	조회	입력	0%(0/0)
	기술인증	신기술 지정 (제품인증, 품질인증 등 포함)		0	조회	입력	0%(0/0)
		표준 채택		0	조회	입력	0%(0/0)
	시제품 제작	시제품 제작		0	조회	입력	0%(0/0)
학술적 성과		국내외 학술지 게재	일반학술지	11	조회	입력	73%(8/11)
			SCI(E)학술지	13	조회	입력	77%(10/13)
		국내외 학술회의 발표		54	조회	입력	63%(34/54)
		저술		0	조회	입력	0%(0/0)
기타 성과		현장시험 및 검증		2	조회	입력	100%(2/2)
		국내외 장단기 연수지원 성과		0	조회	입력	0%(0/0)
		인력양성		16	조회	입력	69%(11/16)
		포상		9	조회	입력	67%(6/9)
		산학연간 기술지원		0	조회	입력	0%(0/0)
		연구개발 관련 홍보		0	조회	입력	0%(0/0)

○ 국토교통R&D 사업관리시스템(https://rnd.kaia.re.kr)에 4세부에서 발생한 성과를 등록하였다. 1차년도부터 6차년도까지 총 기간 동안 발생한 모든 성과를 기관별로 취합하였고, 과제 종료 시점인 2019년 12월 25일부로 최신화된 성과 목록을 시스템에 등록 완료하였다.

2.4 연구 결과

가. 기술적 성과

○ 기존의 3D CAD 모델을 3D 플랜트 CAD 사용자가 호출하여 사용함으로써, 기존 3D CAD 모델의 재설계 및 수정 과정에서 발생하는 오작 예방 효과 기대

○ 다양한 플랜트에서 사용 가능한 플랜트 장치 및 유닛 라이브러리를 구축한 후 모듈러 플랜트 모듈화 설계 과정에서 필요한 공용 장치 및 유닛을 검색하여 활용할 수 있는 지원 시스템 제공

○ 국내 모듈 설계 및 제작 업체들에 적용함으로써, 기술 이전을 통해 국내 기술력이 강화되는 효과 기대

○ 중립 스크립트를 이용해 기자재 형상을 정의하고, 이를 사용자에 맞는 파일 형식으로 변환할 수 있게 번역기를 제공함으로써 기자재 형상 정보를 쉽게 공유하고 교환할 수 있는 기술 마련

○ 하드웨어 중심의 플랜트 산업이라는 기존 이미지에서 벗어나 첨단 IT 기술이 접목된 지식 기반 소프트웨어 융합 플랜트 산업으로 변모

나. 경제적 성과

○ 기존 3D CAD 모델을, 최종 사용 3D 플랜트 CAD 프로그램 환경에서 호출하여 사용하고 기존 제품의 재설계 및 수정의 과정을 생략함으로써,, 공기단축 및 원가절감의 효과 기대

○ 건설 협업 엔지니어링을 위해서 협업 체계 지원 정보를 기준에 따라 분류하고 라이브러리를 구축하여 설계 및 건설 과정에서 활용함으로써 장치 및 유닛의 호환성 및 재활용성을 높이고 국내 모듈 업체의 모듈화 역량을 강화함으로써 해외 프로젝트 참여 가능

○ 수작업 또는 외주를 통해 수행되던 업무의 자동화를 통해 업무 효율 향상 및 외주 비용 절감

○ 중립 스크립트를 이용해 기자재 형상을 한 번만 정의하고, 필요 시 각 업체에 맞는 형태로 변환하는 것이 가능해져 프로젝트 초기에 카탈로그를 정의하기 위한 시간 단축 및 비용 감소

○ 외산 소프트웨어가 대부분 장악하고 있는 엔지니어링 소프트웨어 시장에서 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 국산화를 통해 기술의 해외 유출을 방지하고 및 수입대체 효과 기대

다. 결론

○ 당초 연구개발 목표 및 일정을 모두 달성 및 준수하였고, 주관 및 참여기관의 정량적 연구실적 목표치도 모두 달성하였음. 전반적으로 연구실적을 검토해본 결과, 연구를 성실히 수행하고 있다고 판단 됨. 6차년도에는 통합개발된 시스템 모듈의 성능 보완 및 안정화가 진행되었으며, 공인 인증기관에서 성능 평가 보고서를 확보하였음. 마지막으로 사업단에서 선정한 파일롯 플랜트에 대한 적용실험을 수행하여 시스템의 활용성을 실증하는 계기를 마련함. 결론적으로 통합 시스템의 현업 실용화 가능성이 높다고 판단됨.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1 목표

가. 총괄 성과점검기준표

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">핵심연구성과
(level1)</th><th rowspan="3">해당
기관</th><th colspan="2" rowspan="3">단위 성과
(level2)</th><th colspan="6">과제 전체년도 성과점검기준</th><th rowspan="3">가중치</th></tr>
<tr><th colspan="5">질적성과현황</th><th colspan="2">양적성과목표</th></tr>
<tr><th colspan="2">질적성과지표</th><th>목표치</th><th>측정방법</th><th>검증방법</th><th>계획</th><th>달성</th></tr>
<tr><td rowspan="2">A</td><td rowspan="2">협업 지원 라이브러리 형상/의미 기반 검색 및 교환 모듈</td><td>한국과학기술원</td><td>A-8</td><td>형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈</td><td>①</td><td>형상 검색 정확도</td><td>80%</td><td>(검색 성공한 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100</td><td>개발 모듈의 작동 시험을 통한 지표 측정 (모듈시험 절차서 기준)</td><td rowspan="2">▸ 특허:출원 1건
▸ 논문:
– 국외 SCI 2건
– 국내 학진 3건
▸ S/W등록:2건
▸ 보고서:
– 기술현황 분석서 1건
– 요구사항 명세서 1건
– 기능 시험 보고서 1건
– 모듈시험 보고서 1건</td><td rowspan="2">▸ 특허:출원 1건
▸ 논문:
– 국외 SCI 1건
– 국내 학진 2건
▸ S/W등록:1건
▸ 보고서:
– 기술현황 분석서 1건
– 요구사항 명세서 1건
– 기능 시험 보고서 2건
– 모듈시험 보고서 3건
– 외 7건</td><td rowspan="2">18</td></tr>
<tr><td>한국과학기술원</td><td>A-9</td><td>표준 기반 협업 지원 라이브러리 교환 모듈</td><td>①</td><td>외부 시스템 연동률</td><td>90%</td><td>(연동 성공한 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100</td><td>통합된 모듈의 작동 시험을 통한 지표 측정 (통합 시험 절차서 기준)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">B</td><td rowspan="3">협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 및 분류체계</td><td rowspan="3">㈜지토</td><td rowspan="3">B-7</td><td rowspan="3">협업 지원 라이브러리 관리 시스템</td><td>①</td><td>분류체계 기반 검색 정확도</td><td>90%</td><td>(검색 성공 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100</td><td>통합된 모듈의 작동 시험을 통한 지표 측정 (통합 시험 절차서 기준)</td><td rowspan="3">▸ 특허:출원 2건
▸ S/W등록:3건
▸ 보고서:
– 기술현황 분석서 1건
– 요구사항 명세서 1건
– 기능 시험 보고서 1건
– 모듈시험 보고서 1건</td><td rowspan="3">▸ 특허:
– 출원 1건(등록1)
– 등록 1건
▸ S/W등록:5건
▸ 보고서:
– 기술현황 분석서 1건
– 요구사항 명세서 1건
– 기능 시험 보고서 2건
– 모듈시험 보고서 2건
– 외 12건</td><td rowspan="3">31</td></tr>
<tr><td>②</td><td>키워드 검색 정확도</td><td>90%</td><td>(검색 성공 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100</td><td>통합된 모듈의 작동 시험을 통한 지표 측정 (통합 시험 절차서 기준)</td></tr>
<tr><td>③</td><td>조회/수정 기능</td><td>90%</td><td>(조회/수정 성공 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100</td><td>통합된 모듈의 작동 시험을 통한 지표 측정 (통합 시험 절차서 기준)</td></tr>
</table>

C	협업 지원 라이브러리 형상 간략화 및 카탈로그 생성 SW 모듈	경북대	C-5	형상 간략화 및 형상/사양/포트 정합 카탈로그 생성 SW 모듈	①	형상 간략화율	70%	(간략화된 3D CAD 데이터의 크기)/(원본 3D CAD 데이터의 크기)x100	통합된 모듈의 작동 시험을 통한 지표 측정 (통합 시험 절차서 기준)	▸ 특허:출원 2건 ▸ 논문: - 국외 SCI 2건 - 국내 학진 2건 ▸ S/W등록:2건 ▸ 보고서: - 기술현황 분석서 1건 - 요구사항 명세서 1건 - 기능 시험 보고서 1건 - 모듈시험 보고서 1건	▸ 특허: - 출원11건 (등록8) - 등록 9건 ▸ 논문: - 국외 SCI 7건 - 국내 학진 8건 ▸ S/W등록:11건 ▸ 보고서: - 기술현황 분석서 1건 - 요구사항 명세서 1건 - 기능 시험 보고서 3건 - 모듈시험 보고서 3건 - 사용 지침서 3건 - 외 9건	20
					②	카탈로그 정합 정보 종류 개수	3가지(3D CAD/포트/사양 정보)	라이브러리 입력용 카탈로그에 포함된 정보 종류 개수 확인	통합된 모듈의 작동 시험을 통한 지표 측정 (통합 시험 절차서 기준)			
D	협업 지원 라이브러리 사양변경 모듈	동아대	D-5	사양변경 모듈	①	형상변경 성공률	70%	(성공한 데이터 개수)/(테스트 데이터 개수)x100	통합된 모듈의 작동 시험 및 API를 통한 성과지표 측정 (통합 시험 절차서 기준)	▸ 특허:출원 1건 ▸ 논문: - 국외 SCI 1건 - 국내 학진 3건 ▸ S/W등록:1건 ▸ 보고서: - 기술현황 분석서 1건 - 요구사항 명세서 1건 - 기능 시험 보고서 1건 - 모듈시험 보고서 1건	▸ 특허: - 출원 1건 (등록1) - 등록 1건 ▸ 논문: - 국외 SCI 1건 - 국내 학진 3건 ▸ S/W등록:1건 ▸ 보고서: - 기술현황 분석서 1건 - 요구사항 명세서 1건 - 기능 시험 보고서 1건 - 모듈시험 보고서 1건 - 외 3건	20
E	시스템 시험적용 및 성능 평가 보고서	한국과학기술원	E-5	시스템 통합 시험 절차서 및 보고서	①	통합 시험 절차서 작성 건수	1건 (통합 시스템에 대한 시험 환경, 시험 방법, 시험 절차, 시험 데이터, 시험 결과)	작성 건수 확인	통합 시스템 시험 절차서 건수 확인	▸ 보고서: - 시스템 구성도 1건 - 시스템 개발 사양서 1건 - 기업 환황 및 요구 분석서 1건 - 설계 명세서 1건 - 기능 시험 절차서 4건 - 모듈시험 절차서 4건 - 통합 시험 보고서 1건 - 성능 평가 보고서 1건	▸ 보고서: - 시스템 구성도 1건 - 시스템 개발 사양서 1건 - 기업 환황 및 요구 분석서 1건 - 설계 명세서 1건 - 기능 시험 절차서 4건 - 모듈시험 절차서 4건 - 통합 시험 보고서 1건 - 성능 평가 보고서 1건	11
계												100

3.2 목표 달성여부

가. 목표 달성 요약

○ ‘플랜트 협업 지원 라이브러리 기술 개발’ 과제의 총괄 (1~6차년도) 달성 목표 양적 성과로는 특허출원, 국내학진 투고, 국외SCI 투고, SW등록, 보고서 작성 등이 있으며, 목표 대비 달성 성과수는 아래와 같다.

- 목표: 특허출원 6건 / 국내학진 투고 8건 / 국외SCI 투고 5건 / SW등록 8건 / 보고서 30건
- 달성: 특허출원 14건 / 국내학진 투고 11건 / 국외SCI 투고 13건 / SW등록 20건 / 보고서 50건

○ 과제 전체년도에 걸쳐, 달성 목표 성과를 초과 달성했으며, 목표 성과외에도 특허등록 11건, 학술발표 52건 등의 성과가 추가적으로 발생하였다.

- 추가발생성과: 특허등록 11건 / 학술발표 52건

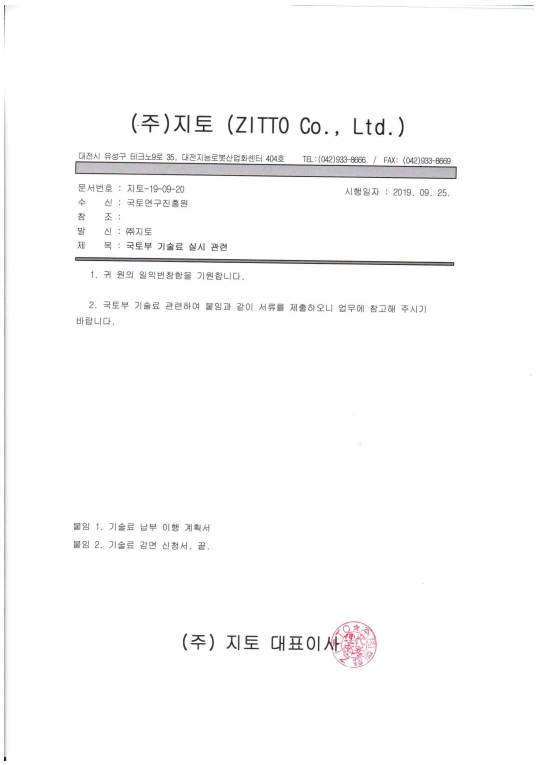
4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 기업화 추진 방안

1) 기술실시계약

○ 개발 기술의 자체 사용 및 이전을 위한 국토교통과학기술진흥원과의 기술실시계약이 진행 중이며, 과제 종료 시기인 2019년 12월 28일 기준 100일 이내에 계약을 완료할 예정임.

가) 기술실시계약 금액: 52,587,600원(과제 종료 후 90일 이내 조기납부 40%감면으로 계상)
나) 기술실시계약 대상: '플랜트 협업지원 라이브러리 관리 시스템'
다) 관련 진행 현황: 기술료 납부이행 계획서 및 공문 제출 / 국토진흥원 검토 요청
라) 예상 계약완료 시기: 2020년 3월



(주)지토 (ZITTO Co., Ltd.)

대전시 유성구 테크노9로 35, 대전지능로봇산업화센터 404호 TEL:(042)933-8666 / FAX: (042)933-8669

문서번호 : 지토-19-09-20 시행일자 : 2019. 09. 25.
수 신 : 국토연구진흥원
참 조 :
발 신 : ㈜지토
제 목 : 국토부 기술료 실시 관련

1. 귀 원의 일익번창함을 기원합니다.

2. 국토부 기술료 관련하여 붙임과 같이 서류를 제출하오니 업무에 참고해 주시기 바랍니다.

붙임 1. 기술료 납부 이행 계획서
붙임 2. 기술료 감면 신청서. 끝.

(주) 지토 대표이사

[사진. 기술실시계약 검토 요청 공문]

기술료 납부이행 계획서(영리기관 직접실시)

사업명	플랜트연구사업			
총괄과제명	플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발			
주관연구기관명	한국과학기술원	주관연구책임자	서효원	
총 연구기간	2014.12.29.~2019.12.28	참여기업명	㈜지토	
총 연구개발비 (단위: 천원)	정부출연금	기업부담금		
	12,637,000	4,654,006		
기술실시 대상과제명 (세부과제명)	협업 단위 시스템 정보 표현 기술 및 관리 플랫폼 기술 개발			
세부과제 총 연구개발비 (단위: 천원)	정부출연금	기업부담금	세부과제 연구책임자	
	876,460	560,069	민병우	
세부과제 총 연구기간	2014.12.29.~2019.12.28	참여기업명	㈜지토	
실시기술명	플랜트 건설 동시병행 협업 플랫폼 기술			
연구개발결과물 소유기관	기업유형	대기업( ), 중견기업 ( ), 중소기업 (√)		
	기업명	㈜지토	사업자등록번호	314-81-35858
	주소	대전광역시 유성구 테크노9로 35, 지능로봇산업화센터 404호		
	부서명	대표이사	담당자	민병우
	전화번호(휴대폰)	042-933-8666	e-mail	bwmin@zitto.co.kr
기술료(원)	87,646,000원 (정부출연료의 10%)			
정부납부 기술료(원)	52,587,600원 (일시납부 40% 감면)			
기술료 납부 방법	일시납부 (√), 분할납부 ( )			
기술료 감면 여부	조기납부	40 %	기타	%
기술료 납부 계획	구분	연/월/일	납부금액(원)	
	1 차	2020/03/31	52,587,600	
	2 차			
	3 차			
	4 차			
	5 차			
	계			
관련 성과물	※ 소프트웨어			
기타 특이사항				

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제43조제2항에 의거 연구개발성과를 작점실시하고자 "기술료 납부이행계획서"를 제출합니다.
첨부 : 사업자등록증 1부

2019 년 09 월 25 일

(연구개발결과물 소유기관장) (직인)

[사진. 기술료 납부이행 계획서 작성]

2) ㈜지토-㈜코리아엔지니어링 개발기술 공유 및 신규사업 진행

○ 플랜트 엔지니어링 업체인 ㈜코리아엔지니어링과 협력하여 실용화 관점의 요구사항들을 분석하여 이를 체계적으로 반영하고, 국내 EPC 업체와 협력 하에 보완계획을 수립하여 실용화를 추진하여 국내 중견/중소기업 플랜트 협업 시장으로의 확대 보급을 추진함. 위험도 낮은 소규모 플랜트 엔지니어링에 우선 적용 후, 상용급 플랜트로 확장하여 실용성을 향상할 예정임.

○ 상기 사업을 위해 (주)코리아 엔지니어링에서 '플랜트 협업지원 라이브러리 관리 시스템'의 베타 테스트용 시스템을 (주)지토로부터 구입하는 협의를 진행 중에 있음.

3) 실용화 관련 현업방문조사

○ 4세부에서 개발한 라이브러리 관리 시스템의 실질적 현업 적용을 위해, 5차년도부터 실용화 추진 활동을 하였다. 실용화 추진 활동은 4세부의 통합 플랫폼 개발 업체인 ㈜지토의 용역 업체로 선정된 ㈜CCL소프트(대표:조민철)에서 주도해서 진행하였다. 실용화 추진 활동의 목적은 개발 중인 통합 시스템 혹은 개별 모듈의 현업 적용 가능성을 문의하는 것이다. 이를 위해 현업의 요구사항을 청취하여 각 모듈의 현 상태를 진단하고 향후 보완 방향을 진단하였다. 궁극적으로는 실제 현업에 판매하고 실제 플랜트 프로젝트에 적용되는 것을 목표로 하고 있으며, 실용화 추진 활동은 2018년 5월부터 시작하여 총 8개의 업체에 대해 총 9회 진행하였다. 추가로 2개 업체에 대한 2회의 방문 및 협의가 예정되어 있으며, 해당 실용화 추진 활동의 일시 및 방문 업체 목록은 아래 표에 나타나 있다. 대우건설, 현대엔지니어링은 실제 플랜트 프로젝트를 수행하는 기관으로, 4세부 개발 모듈에 관심을 보였다. 이 두 업체는 개발 모듈의 잠재적 구매처가 될 수 있을 것으로 보인다. 타임텍, 인터그래프 코리아는 SW개발 업체로 자문 및 기술교류의 형태로 방문하였다. 특히 조선 해양 산업의 설계 SW를 개발하는 타임텍과는 기술 교류를 위한 MoU를 체결했으며, 인터그래프 코리아에서는 개발 시스템의 잠재적 적용 가능성을 높게 평가하였다. 모든 실용화 추진 활동에 대한 회의록은 하나로 취합되어 별도의 성과물로 제출될 예정이다.

	일시	방문기업	담당자	협의내용
1	2018-05-28	대우건설 IT기획팀	김성재 차장	국토부과제 소개 및 현업 담당자와의 협의
2	2018-06-27	현대엔지니어링 설계본부	조은상 박사/차장	국토부과제 소개 및 현업 담당자와의 협의
3	2018-07-30	대우건설 IT기획팀	김일섭 부장	국토부과제 중 4 세부과제의 연구결과 데모 및 현업담당자와의협의
4	2018-10-23	㈜타임텍	김덕용 대표	국토부과제 소개 및 시스템 개발 담당자와의 협의
5	2018-11-09	인터그래프코리아	손창영 이사	국토부과제 소개 및 사업개발 담당자와의 협의
6	2019-08-16	DSME정보시스템 기술정보부	김도형 차장	벤더 패키지 변환 이슈 조사
7	2019-10-02	삼성중공업 에너지플랜트센터	김태훈 수석	국토부과제(4세부) 및 벤더 패키지 이슈 조사
8	2019-10-16	현대중공업 조선시스템개발부	최광호 부서장	벤더 패키지 변환 이슈 조사
9	2019-10-18	삼성중공업 ICT기획	윤시록 프로	CAD 데이터 변환 관련 업무 협희
10	2019-10월중	MTC (DSME협력업체)	정상전 대표	벤더 패키지 변환 이슈 조사
11	2019-11월중	현대엔지니어링	조은상 박사/차장	벤더 패키지 변환 이슈 조사

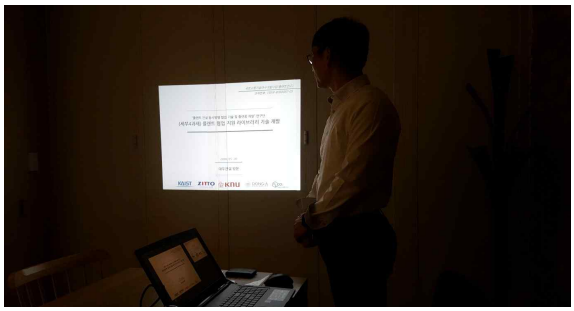
[표. 실용화 관련 현업방문 및 관련이슈 조사]



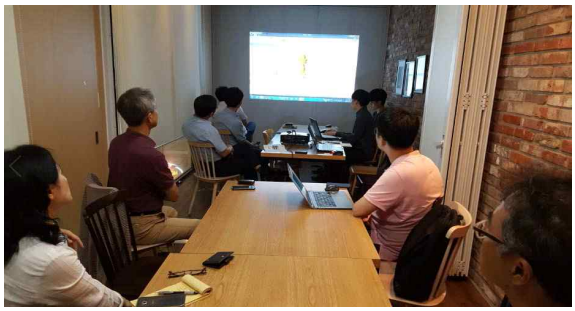
현대엔지니어링 방문 및 국토부 과제 소개



㈜타임텍 방문 및 국토부과제 소개

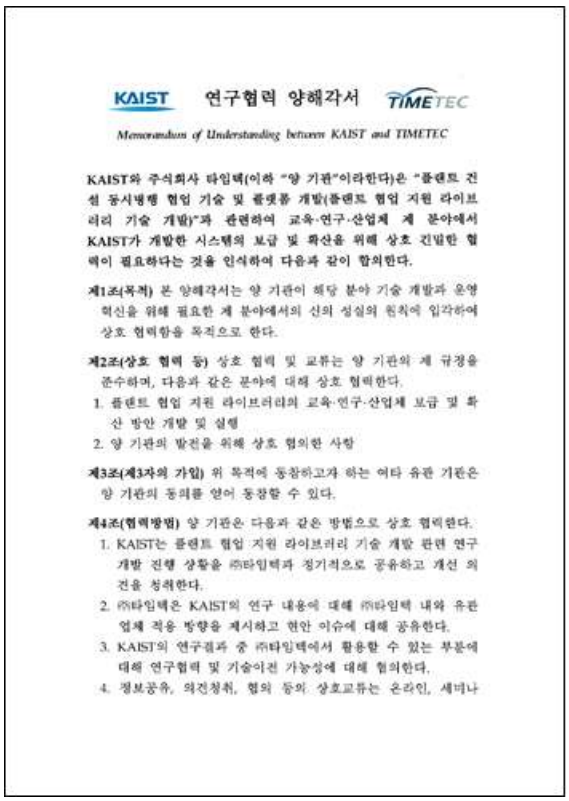


대우건설 1차 방문 및 국토부과제 소개



대우건설 2차 방문 및 4세부 연구결과 데모

[그림. 실용화 추진: EPC사 방문 및 국토부과제 소개]



KAIST 연구협력 양해각서 TIMETEC

Memorandum of Understanding between KAIST and TIMETEC

KAIST와 주식회사 타임텍(이하 "양 기관"이라한다)은 "플랜트 건설 동시병행 협업 기술 및 플랫폼 개발(플랜트 협업 지원 라이브러리 기술 개발)"과 관련하여 교육·연구·산업체 제 분야에서 KAIST가 개발한 시스템의 보급 및 확산을 위해 상호 긴밀한 협력이 필요하다는 것을 인식하여 다음과 같이 합의한다.

제1조(목적) 본 양해각서는 양 기관이 해당 분야 기술 개발과 운영 혁신을 위해 필요한 제 분야에서의 산의 성실의 원칙에 입각하여 상호 협력함을 목적으로 한다.

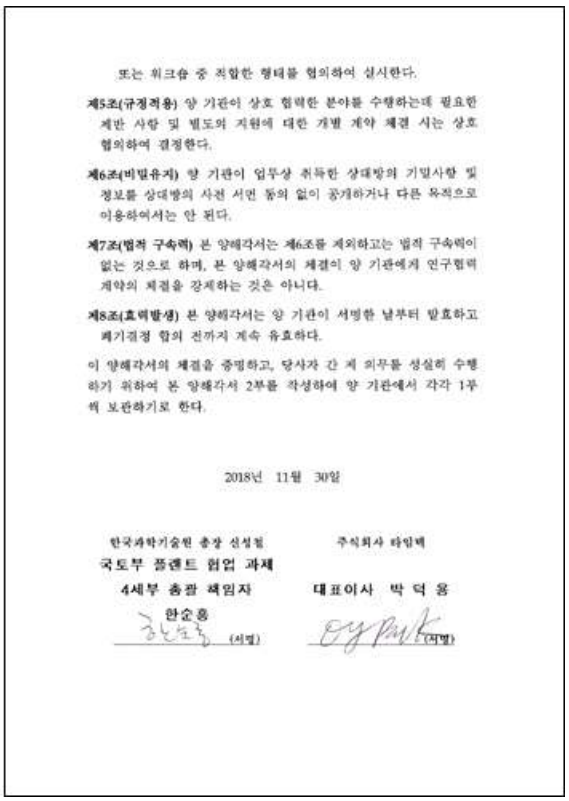
제2조(상호 협력 등) 상호 협력 및 교류는 양 기관의 제 규정을 준수하며, 다음과 같은 분야에 대해 상호 협력한다.

1. 플랜트 협업 지원 라이브러리의 교육·연구·산업체 보급 및 확산 방안 개발 및 실행
2. 양 기관의 발전을 위해 상호 협의한 사항

제3조(제3자의 가입) 위 목적에 동참하고자 하는 여타 유관 기관은 양 기관의 동의를 얻어 동참할 수 있다.

제4조(협력방법) 양 기관은 다음과 같은 방법으로 상호 협력한다.

1. KAIST는 플랜트 협업 지원 라이브러리 기술 개발 관련 연구개발 진행 상황을 ㈜타임텍과 정기적으로 공유하고 개선 의견을 청취한다.
2. ㈜타임텍은 KAIST의 연구 내용에 대해 ㈜타임텍 내와 유관 업체 적용 방향을 제시하고 현안 이슈에 대해 공유한다.
3. KAIST의 연구결과 중 ㈜타임텍에서 활용할 수 있는 부분에 대해 연구협력 및 기술이전 가능성에 대해 협의한다.
4. 정보공유, 의견청취, 협의 등의 상호교류는 온라인, 세미나



또는 워크숍 중 적합한 형태를 협의하여 실시한다.

제5조(규정적용) 양 기관이 상호 협력한 분야를 수행하는데 필요한 제반 사항 및 별도의 지원에 대한 개별 계약 체결 시는 상호 협의하여 결정한다.

제6조(비밀유지) 양 기관이 업무상 취득한 상대방의 기밀사항 및 정보를 상대방의 사전 서면 동의 없이 공개하거나 다른 목적으로 이용하여서는 안 된다.

제7조(법적 구속력) 본 양해각서는 제6조를 제외하고는 법적 구속력이 없는 것으로 하며, 본 양해각서의 체결이 양 기관에게 연구협력 계약의 체결을 강제하는 것은 아니다.

제8조(효력발생) 본 양해각서는 양 기관이 서명한 날부터 발효하고 폐기결정 합의 전까지 계속 유효하다.

이 양해각서의 체결을 증명하고, 당사자 간 제 의무를 성실히 수행하기 위하여 본 양해각서 2부를 작성하여 양 기관에서 각각 1부씩 보관하기로 한다.

2018년 11월 30일

한국과학기술원 총장 신성철
국토부 플랜트 협업 과제
4세부 총괄 책임자
한순흥 (서명)

주식회사 타임텍
대표이사 박 덕 용 (서명)

[그림. KAIST, TIMETEC MoU 체결 (기술개발 교류 협력)]

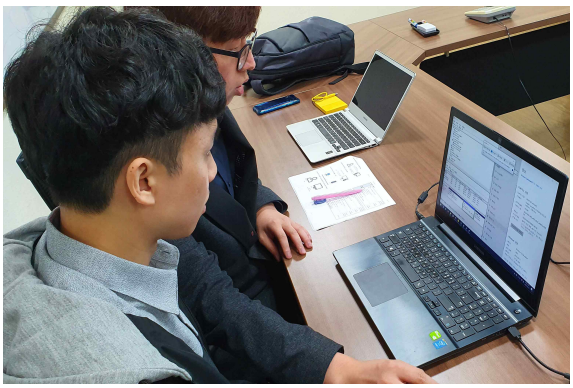
4) 개발SW시스템의 검증을 통한 실용화 성과 및 연계성 향상

○ 공인시험인증기관을 통한 SW시험평가

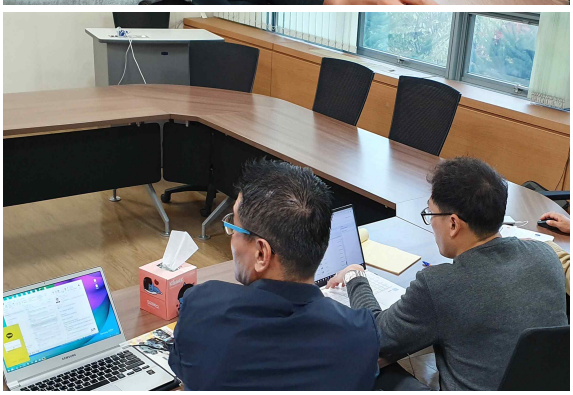
국제공인시험기관인 동의대학교IT부품융합연구소를 통해 4세부에서 개발한 SW시스템의 SW시험평가를 수행하였다. 2019년 10월 11일부터 진행된 4세부 통합SW시스템의 SW시험평가의 평가기준은, 본 과제의 최종목표 질적성과지표에 근거하여 설정하였다. 4세부 통합SW시스템을 구성하는 6개의 모듈은, 사전에 설정한 목표치를 모두 달성하며 성공적으로 SW시험평가를 완료하였다. 4세부 개발 통합SW시스템의 실용화를 위해, 개발SW시스템모듈들의 유지·보수를 통해 완성도를 높일 예정이다.

시험항목	시험기준 (신청자 제시기준)	시험반복수	개발기관
표준 기반 라이브러리 교환 모듈	외부 시스템 연동률 (90%)	3 회	한국과학기술원
형상/의미 기반 검색 모듈	형상검색정확도 (80%)	3 회	한국과학기술원
협업지원 라이브러리 관리 플랫폼	분류체계 기반 검색 정확도 (90%)	3 회	㈜지토
협업지원 라이브러리 관리 플랫폼	키워드 검색 정확도 (90%)	3 회	㈜지토
협업지원 라이브러리 관리 플랫폼	조회/수정 기능 (90%)	3 회	㈜지토
형상/사양/포트 정합카탈로그 생성 SW 모듈	카탈로그 정합 정보 종류 개수 (3D CAD/포트/사양 정보)	3 회	경북대학교
B-rep 기반 형상 간략화 SW 모듈	형상 간략화율 (70%)	3 회	경북대학교
협업지원 라이브러리 사양변경 SW모듈	형상 변경 성공률 (70%)	3회	동아대학교

[표. SW시험평가 기준표]



[그림. SW시험평가 수행]



[그림. 공인시험성적서]

○ 파일롯 플랜트 시험적용 및 검증

SW시험평가 외에 추가적인 검증을 위해, 4세부 개발 통합SW시스템의 파일롯 플랜트 적용을 수행하였다. 5차년도에는 참여기업인 ㈜필즈로부터 받은 TestBed 데이터에 대한 4세부 개발 시스템 검증을 수행하였다. 4세부의 5차년도 질적성과지표에 근거해 파일롯 플랜트 시험적용의 목표치를 설정하였고, 모듈별로 설정한 기준값을 모두 통과하며 성공적으로 검증을 완료하였다. 또한, 과제 마지막 차년도인 6차년도부터 추가적인 파일롯 플랜트 시험적용을 추진 중이다. 현대건설로부터 제공받은 TestBed 데이터 중 4세부 개발 통합SW시스템에 적합한 일부 데이터를 추출하였다. 이후 4세부 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 카탈로그를 구축 완료를 시작으로, 기관별 SW모듈단위의 시험적용을 완료한 상태이다. 현재, 추출한 신규 데이터를 대상으로, 4세부 참여기관들은 카탈로그 구축, 형상스크립트 생성, 플랫폼 업로드, 형상 및 사양 교환 등의 기능을 추가 개발 완료하였다. 최종적으로 현대건설 환경의 S3D에 탑재하여 파일롯 플랜트 시험적용을 수행하여, 문제없이 진행되는 것을 확인하였다. 이를 통해, 4세부 통합SW시스템의 검증 및 타 세부 개발 시스템과의 연계성을 확장할 수 있을 것으로 예상된다.

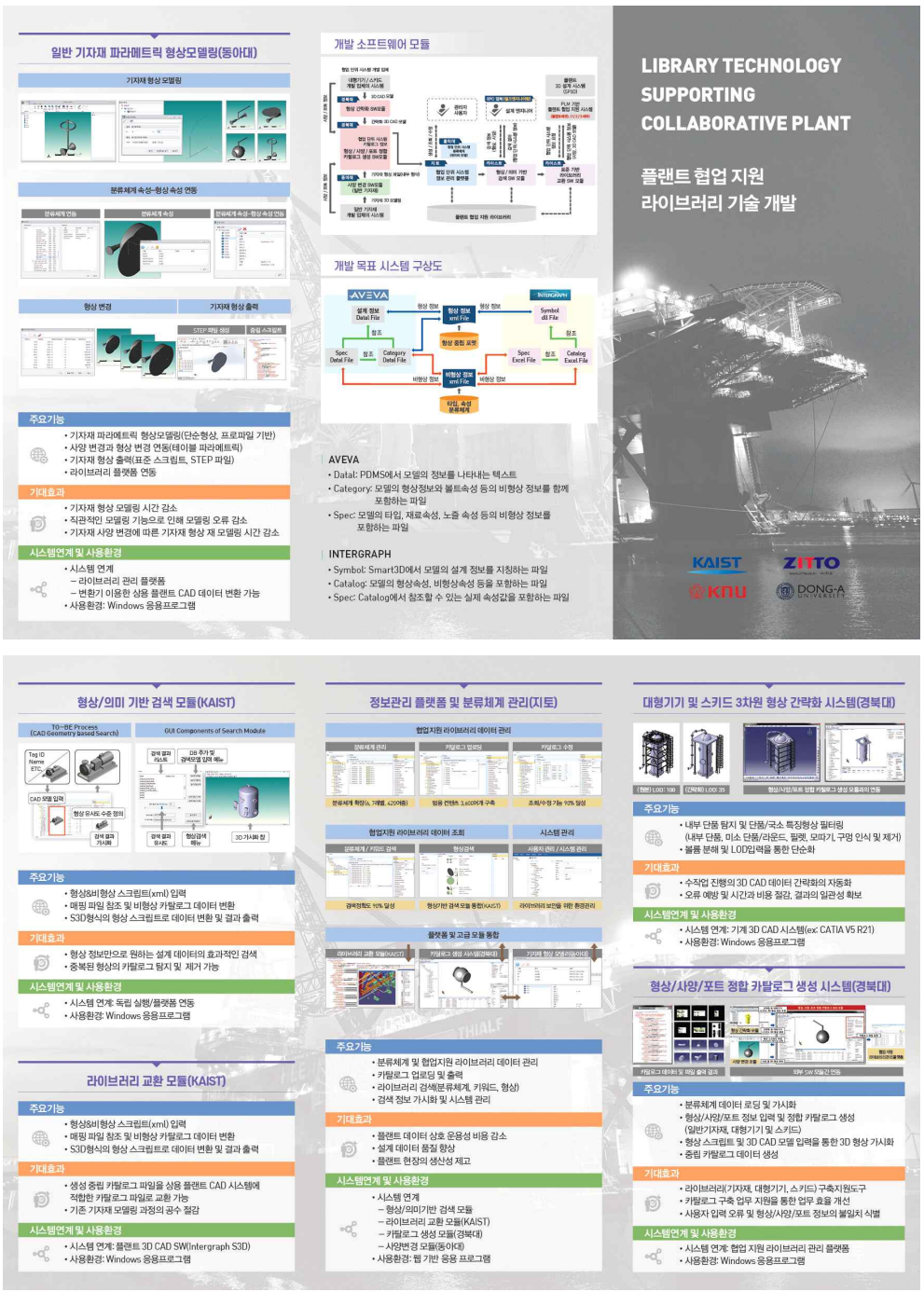


[그림. 4세부 현대건설 데이터 추출 관련 ㈜플랜트에셋 방문]

[그림. 현대건설 테스트베드 데이터 시험적용]

5) 개발 통합SW시스템의 실용화를 위한 홍보물 제작

○ 4세부 개발 통합SW시스템의 실용화를 위한 홍보용 팜플렛을 제작하였다. 개발 통합SW시스템에 대한 이해를 돕기 위한 목적으로, 실용화 목적 현업 방문 및 각종 행사 장소에서 배포하고 개발 통합SW시스템을 적극적으로 홍보하였다. 홍보용 팜플렛은 4세부 통합SW시스템을 구성하는 모듈들의 전반적인 개요 외에도 주요기능, 기대효과, 시스템연계 및 사용환경 등의 내용을 포함하고 있다.



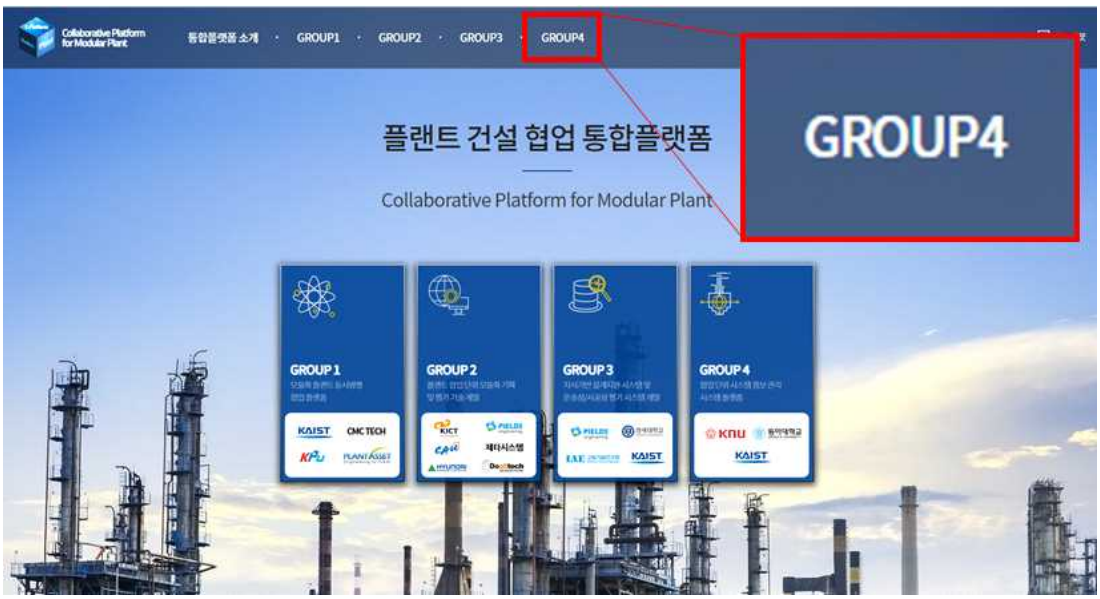
[그림. 4세부 통합SW시스템의 홍보물 (앞면, 뒷면)]

나. 세부 간 연계 방안

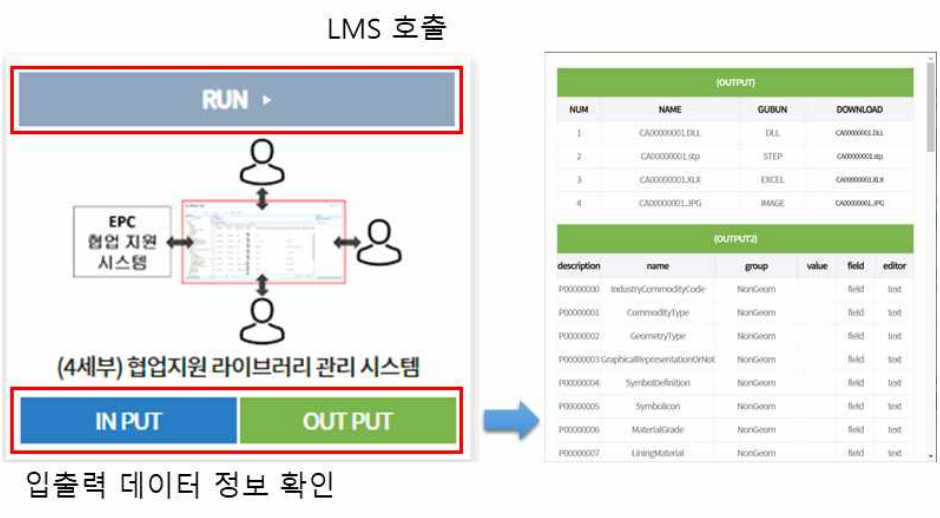
1) 연구단 통합SW플랫폼 구축

○ 타세부와의 산출물 연계 요약

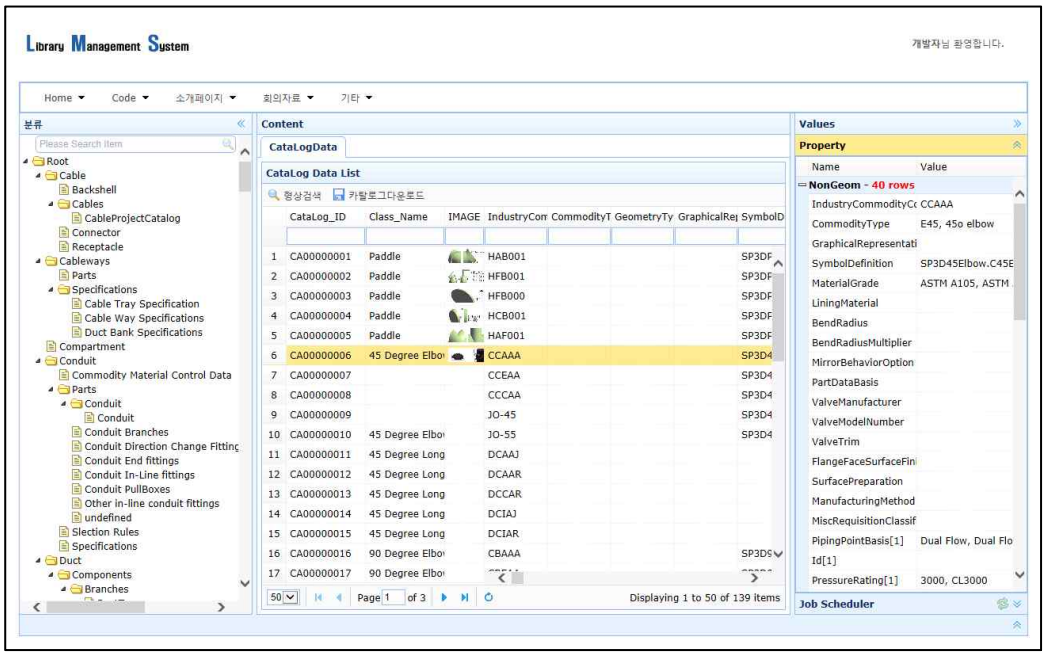
- 4세부 협업 지원 라이브러리 관리 시스템은, 3세부의 산출물인 플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리와 협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리를 시스템에 탑재
- 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템은 2세부의 협업 단위 모듈화 기획 및 평가 통합 시스템에 표준화된 협업 단위 시스템의 사양 및 형상 정보를 제공. 그리고, 3세부의 협업 단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이터의 상세 설계에 필요한 표준화 협업 단위 시스템의 형상 정보를 제공
- 위 정보들을 2세부와 3세부의 소프트웨어에 직접 제공하지는 않으나, 1세부의 플랜트 동시병행 협업 체계 지원 통합시스템을 통해 간접적으로 제공
- 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템은 1세부의 플랜트 동시병행 협업 체계 지원 통합시스템에 협업 단위 시스템에 대한 표준화된 정보를 제공. 협업 단위 시스템에 대한 정보에는 사양 정보, 형상 정보, 구성 정보, 분류체계 정보 등이 포함되며, 이 정보들은 형상/의미 기반 협업 단위 시스템 검색 모듈을 통해 검색 가능
- 플랜트 협업 지원 라이브러리 관리 시스템의 콘텐츠에 해당하는 라이브러리 데이터는 3세부의 산출물인 “플랜트 장치 및 유닛 조합 공용 라이브러리”와 “협업 단위 모듈 기능 표준화 설계 라이브러리”를 시스템에 탑재할 수 있고, 1세부의 플랜트 동시병행 협업 체계 지원 통합 시스템을 통해 2세부의 협업 단위 모듈화 기획 및 평가 통합 시스템과 3세부의 협업 단위 모듈화 지식 기반 시스템 및 시공성 평가 시뮬레이터에 간접적으로 정보를 제공 가능



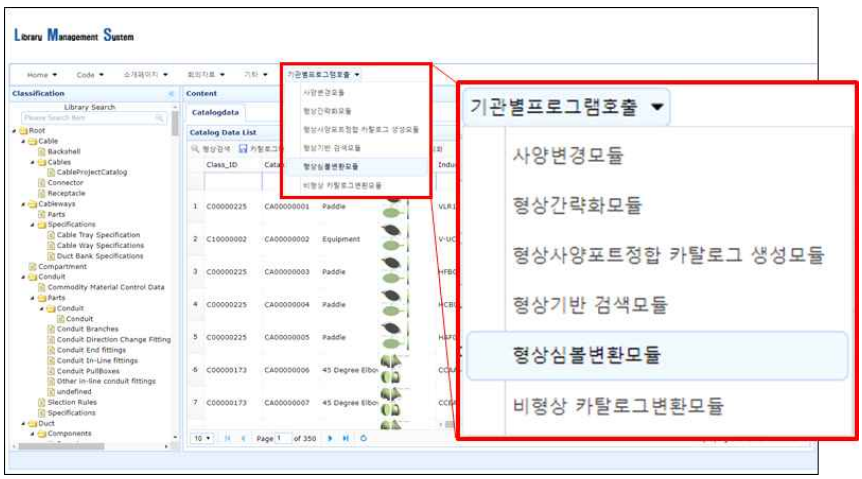
[그림. 연구단 통합플랫폼-4세부 통합SW시스템 연동 및 호출]



[그림. 4세부 통합SW시스템의 연구단 통합플랫폼의 연동 및 GUI 구성]



[그림. 호출된 협업 지원 라이브러리 관리 플랫폼 (Library Management System)]



[그림. LMS를 통한 기관별 개발SW모듈 호출]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 플랜트연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 플랜트연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.