Construction & Transportation R&D Report

가스플랜트사업단 상세기획 보고서

<제3핵심과제>

가스플랜트 사업단 상세 기획

2008. 04. 28

주관연구기관 / 고등기술연구원
협동연구기관 / 건설기술연구원, 현대엔지니어링

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

한국건설교통기술평가원장 귀하

본 보고서를 “가스플랜트 사업단 상세기획연구”(연구기간 : 2007.10.25 ~ 2008.02.24)의 최종보고서로 제출합니다.

2008.04.28

주관연구기관 : 고등기술연구원
이 사 장 김 덕 중
협동연구기관 : 한국건설기술연구원
원장직무대리 우 효 섭
현대엔지니어링
대표이사 김 중 겸

■ 총 괄 연 구 책 임 자 /	연구위원	윤 용 승	상세기획연구 총괄 책임
■ 주관연구기관 참여연구원 / (고등기술연구원)	연구위원(보)	유 영 돈	기술 동향분석
	수석연구원	염 충 섭	세부과제도출
	선임연구원	김 진 일	예산안 작성
	수석연구원	김 형 진	보고서작성
	선임연구원	성 호 진	세부과제도출
	선임연구원	김 수 현	세부과제도출
	연구원	박 준 성	보고서작성
	연구원	김 미 호	특허분석
■ 협동연구기관 참여연구원 / (한국건설기술연구원)	팀 장	김 태 형	총괄관리
	책임연구원	황 인 주	기반기술 분석
	책임연구원	김 병 화	보고서작성
	책임연구원	이 경 석	보고서작성
	연구원	손 병 후	보고서작성
	연구원	이 홍 철	사업 타당성 분석
	연구원	홍 진 일	특허 및 연구동향 분석
	연구원	채 한 식	연구동향 분석
■ 협동연구기관 참여연구원 / (현대엔지니어링)	차 장	전 석 구	총괄관리
	부 장	이 승 철	기반기술 분석
	부 장	황 희 수	보고서작성
	부 장	강 익 수	보고서작성
	부 장	김 연 분	보고서작성
	부 장	배 원 식	사업 타당성 분석
	부 장	김 명 성	특허 및 연구동향 분석
	차 장	김 선 욱	기반기술 분석
	부 장	박 홍 순	보고서작성
	과 장	백 승 혁	보고서작성
	과 장	구 도 균	보고서작성
	대 리	유 시 경	특허 및 연구동향 분석
	대 리	조 시 동	특허 및 연구동향 분석

빈 페이지

요약문

I. 제목

제3핵심과제: 대용량 LNG 플랜트 설계, 건설기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 상세기획의 가장 큰 목표는 가스플랜트사업단의 성공적인 사업 수행을 위하여 사업단 제3핵심과제인 “대용량 LNG 플랜트 설계, 건설 기술 개발” 과제의 세부과제 및 상세 연구내용을 합리적으로 도출하는 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

◆ 기술동향 및 이슈 분석
- 국내외 기술동향 및 변화 분석
- 국내 여건에서 기술개발 이슈 등 분석

◆ 과제 연구목표 및 연구내용, 추진 전략 수립
- 사업단의 추진방안, 연구성과 달성 방안 및 계획 수립
- 테스트베드와 연계한 사업화 방안 제시
- 단계별/연차별 연구내용 및 목표 제시
- 연구목표의 구체화 및 정량화

◆ 핵심과제별 연구개발사업제안서 (RFP) 제시
- 주요 세부과제 대상 도출
- 우선 순위 선정을 통한 세부과제 선정
- 개발목표 설정, 추진전략, 연구수행방법, 주요 연구내용, 연구성과의 활용방안 및 기대효과 등 제시

IV. 연구개발결과

본 기획연구에서는 다음과 같은 세부과제를 도출하였다.

핵심과제 (정부예산)	세부과제 (정부예산)	연구개발목표	연구개발 단계
제3핵심과제: 대용량 LNG 플랜트 설계, 건설기술 개발 (예산:359억원)	LNG 플랜트 설계 기술 개발 (예산:82억원)	• LNG 플랜트 FEED/기본, 상세설계 기술 개발 (계통, scale-up, 테스트베드 설계 등) • LNG 플랜트 공정제어기술 개발	응용 (지정공모)
	LNG 플랜트 건설 기술 개발 (예산:230억원)	• LNG 플랜트 테스트베드건설 (테스트베드용 구매 포함)	응용 (분리공모)
	LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술 개발 (예산:27억원)	• LNG 플랜트 통합운전환경 개발 • 웹기반 가스 플랜트 유지・보수시스템 개발	응용 (분리공모)
	초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발 (예산:20억원)	• 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발 • LNG 저장탱크 수명평가 기술개발	응용 (분리공모)

V. 연구개발결과의 활용계획

본 상세기획 연구결과는 가스플랜트 사업단의 제3핵심과제에 관한 내용으로 구성되어 있으며, 향후 과제의 공모 및 해당 과제 주관기관의 연구수행을 위한 기술개발로드맵 및 지침서로 활용될 수 있다.

- ◆ 제3핵심과제의 연구개발 기본방향의 이해
- ◆ 공모 과제의 목표 및 내용 작성을 위한 가이드라인
- ◆ 공모과제 수행을 위한 지침서 및 성과관리도구

SUMMARY

I. Title

Project No. 3 : Development of large scale LNG plant

II. Research Objectives

The objectives of this report are to draw reasonable sub-research projects of the core technology project No. 3 and to plan detailed aims and contents of research the projects.

III. Research Contents

- Analysis of the technologies trends related on the Project No. 3
  - Survey of technologies on LNG
  - Define of hints and key technology

- Establishment of research objects, contents, and strategies
  - Planning of sub-research project objectives, contents and strategies
  - Proposal of embodiment strategies of sub-research projects related to the test-bed application
  - Proposal of sub-research project contents and objectives with stages
  - Specified and quantitative the research objectives
  - Assessment of the research fund reliability

- Preparation of request for proposals
  - Selection of sub-research projects
  - Proposal of research objectives, strategies, methodologies, contents, and applications

IV. Results

Project name	Sub-project	Objectives of each projects	R&D type
The 3rd C.T.-Devel-opment of large scale LNG plant	Development of design technologies of LNG plant	• Development of FEED package of LNG plant • Development of system control technology of LNG plant	Application
	Development of construction technologies of LNG plant (test-bed)	• Development of construction technologies of LNG plant (test-bed)	Application
	Development of construction technologies for LNG plant	• Development of integrated operating environment for LNG plant • Development of Web-based maintenance management system	Application
	Development of advanced tank for LNG storage	• Development of LNG storage tank with volume of 250,000 kl • Development of advanced monitoring and	Application

V. Application of the report

The application of this report are listed as follows:

- A reference for selection of principal investigator of the core technology project No. 3
- A reference for research management of the core technology project No. 3
- A roadmap of gas plant technology

<제3핵심과제 목차>

제출문 ····· 1

요약문 ····· 3

1. 핵심과제 개요 ····· 1

가. 핵심과제 정의 및 비전 ····· 1

(1) 정의 ····· 1

(2) 비전 ····· 3

(3) 핵심과제 수행의 필요성 ····· 4

나. 핵심과제의 목표 ····· 9

(1) 최종목표 ····· 9

(2) 단계별 목표 및 수행내용 ····· 10

(3) 사업단과제와의 연계성 ····· 13

다. 핵심과제의 구성 ····· 16

(1) 세부과제 구성 ····· 16

(2) 연차별 목표 ····· 16

라. 추진전략 ····· 19

(1) 기본방향 ····· 19

(2) 추진전략 및 체계 ····· 20

(3) 기술개발 거시로드맵 ····· 22

2. 국내·외 산업전망, 기술 및 정책현황 ····· 25

가. 산업전망 ····· 25

(1) LNG 플랜트 건설 시장 현황 분석 ····· 25

(2) LNG 플랜트 건설 시장 예상 ····· 27

나. 기술 및 정책현황 ····· 29

(1) 천연가스 전처리기술 ····· 30

(2) 표준적인 Feed Gas 조성 결정 ····· 36
(3) 국내 연구 개발 동향 ····· 42
다. 기술수요 및 수준 ····· 45
(1) 선진기술수준 분석 ····· 45
(2) 국내 개발여건 분석 ····· 47
라. SWOT 분석 ····· 49

3. 세부과제의 목표 및 내용 ····· 53
가. 세부과제의 구성 ····· 53
나. 세부과제별 목표 및 내용 ····· 54
(1) 제1세부과제 : LNG 플랜트 설계기술 개발 ····· 54
(2) 제2세부과제 : LNG 플랜트 건설기술 개발 ····· 58
(3) 제3세부과제 : LNG 플랜트 운영 및 유지관리기술 개발 ····· 61
(4) 제4세부과제 : 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발 ····· 64
다. 세부과제 선정근거 ····· 69
(1) 전문가 기술위원회 운영 ····· 69
(2) 기존연구와의 중복배제·연계·활용 방안 반영 ····· 74
라. 성과목표 및 지표 ····· 76
(1) 핵심 및 세부과제별 성과목표, 성과지표 설정 ····· 76
(2) 성과목표와 지표 설정 근거 및 측정 방법 ····· 79

4. 테스트베드 ····· 83
가. 테스트베드 건설 추진의 타당성 ····· 83
(1) 테스트베드의 정의 ····· 83
(2) 테스트베드의 기술적 필요성 ····· 83
나. 테스트베드 구성 및 규모 시나리오 ····· 84
(1) 테스트베드의 기본조건 ····· 84
(2) 테스트베드 구성과 용량 ····· 86
(3) 테스트베드 시행 방안 ····· 88
(4) 기술개발 결과의 테스트베드 적용 ····· 88
다. 입지 시나리오 ····· 90

(1) 테스트베드(test-bed) 설치 가능지역 ····· 90
(2) 입지에 따른 영향인자 분석 ····· 93
(3) 전략적 입지 제안 검토 ····· 95
라. 테스트베드 사업비 산정 및 근거 ····· 99
마. 건설계획 ····· 110
바. 사후 활용계획 분석 ····· 111

5. 소요 연구비 ····· 113
가. 3핵심과제의 연구비 ····· 113
나. 세부과제의 연구비 ····· 114
(1) 3-1 세부과제 연구비 ····· 114
(2) 3-2 세부과제 연구비 ····· 116
(3) 3-3 세부과제 연구비 ····· 117
(4) 3-4 세부과제 연구비 ····· 119

6. 기술개발 효과 및 성과활용 방안 ····· 121
가. 사회적, 경제적, 기술적, 정책적 파급효과 ····· 121
(1) 사회·경제적 파급 효과 ····· 121
(2) 기술적 파급 효과 ····· 124
(3) 전략적 효과·정책적 기대효과 ····· 125
나. 성과활용방안 ····· 125

7. 핵심과제 RFP 및 공모방안 ····· 127
가. 핵심과제 RFP 작성기준 ····· 127
나. 핵심과제 RFP(안) ····· 128
다. 세부과제 RFP(안) ····· 139
라. 핵심과제 및 세부과제 공모방안 ····· 164

8. 참고문헌 ····· 166

<표 차례>

표 1.1 제3핵심과제 연구범위 ····· 2
표 1.2 제3핵심과제의 최종목표 및 세부목표 ····· 9
표 1.3 제3핵심과제의 단계별 목표 및 추진내용 ····· 12
표 1.4 제3핵심과제 세부과제 구성 ····· 16
표 1.5 제3핵심과제 연차별 목표설정(안) ····· 17
표 1.6 제3핵심과제의 선정, 수행, 활용단계에서 추진방향 ····· 20

표 2.1 LNG 플랜트 계약 사례와 수주 가격 추이 ····· 25
표 2.2 전 세계 LNG수요전망(단위 : 천연가스 10억m3) ····· 27
표 2.3 기존의 대형 LNG 플랜트 ····· 37
표 2.4 2004~2006년 사이의 LNG 플랜트 건설 ····· 37
표 2.5 LNG 플랜트별 licensor와 주된 contractor ····· 39
표 2.6 국내 LNG 저장탱크 건설현황 ····· 44
표 2.7 천연가스 액화공정에 따른 필요 설비, 효율, 생산량 및 경비 비교 ····· 46
표 2.8 천연가스액화플랜트 소요 자재/설비 수요 현황 및 예측 (억원/년) ····· 46
표 2.9 제3핵심과제 관련 국내기술보유현황 및 수준 ····· 48
표 2.10 제3핵심과제 핵심기술분야별 인프라 수준 ····· 48
표 2.11 LNG 플랜트 분야 기반역량 분석 ····· 49
표 2.12 플랜트기술 개발여건 SWOT 분석 ····· 50
표 2.13 기존 연구과제와의 중복성 검토 ····· 51

표 3.1 제3핵심과제 세부과제 구성 ····· 53
표 3.2 제1세부과제의 연차별 목표 및 내용 ····· 54
표 3.3 제1세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 ····· 57
표 3.4 제1세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 ····· 57
표 3.5 제2세부과제의 연차별 목표 및 내용 ····· 58
표 3.6 제2세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 ····· 60
표 3.7 제2세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 ····· 60

표 3.8 제3세부과제의 연차별 목표 및 내용 ····· 61
표 3.9 제3세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 ····· 64
표 3.10 제3세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 ····· 64
표 3.11 제4세부과제의 연차별 목표 및 내용 ····· 65
표 1.12 제4세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 ····· 68
표 3.13 제4세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 ····· 68
표 3.14 전문가위원회의 회의 일정과 내용 ····· 69
표 3.15 사전기획 대비 제1세부과제의 상세기획 내용 비교 ····· 70
표 3.16 사전기획 대비 제2세부과제의 상세기획 내용 비교 ····· 71
표 3.17 사전기획 대비 제3세부과제의 상세기획 내용 비교 ····· 72
표 3.18 기존 연구과제와의 중복성 검토 ····· 75
표 3.19 제1세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 ····· 76
표 3.20 제2세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 ····· 77
표 3.21 제3세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 ····· 77
표 3.22 제4세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 ····· 78
표 3.23 성과지표 선정근거 및 측정방법(학술지 게재 논문건수 (국내/국외)) ····· 79
표 3.24 성과지표 선정기준 및 측정방법(학술회의 발표 논문건수 (국내/국외)) ····· 79
표 3.25 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (핵심과제 연구보고서) ····· 79
표 3.26 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (특허출원 건수(국내/국외)) ····· 80
표 3.27 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (과제당 산학연 협력 활동 건수) ····· 81
표 3.28 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (산학연 기술지원 건수) ····· 81
표 3.29 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (해외진출을 위한 현장조사 실적) ····· 81
표 3.30 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (연구개발 관련 홍보건수) ····· 82
표 3.31 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (기술 확산을 위한 상호교류 정도) ····· 82

표 4.1 테스트베드의 기본조건 ····· 84
표 4.2 테스트베드 공모 시 평가기준 ····· 86
표 4.3 LNG 가치사슬상의 프로젝트비용 비교 ····· 93

표 4.4 Test-Bed 설치에 대한 기존 인수기지와 해외 가스전 상세 비교 ····· 94
표 4.5 한국가스공사 인천 LNG인수기지 설비 현황 (2007.01 현재) ····· 98
표 4.6 소형 LNG 플랜트 건설비용 분석표 ····· 100
표 4.7 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(종합) ····· 104
표 4.8 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(협약&설계관련) ····· 104
표 4.9 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(테스트베드 부품조립 관련) ····· 104
표 4.10 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(현장시공관련) ····· 105
표 4.11 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(시운전 및 기타관련) ····· 105
표 4.12 테스트베드 예산 비교 ····· 106
표 4.13 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(종합) ····· 107
표 4.14 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(협약&설계관련) ····· 107
표 4.15 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(테스트베드 부품조립 관련) ····· 107
표 4.16 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(현장시공관련) ····· 108
표 4.17 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(시운전 및 기타관련) ····· 108
표 4.18 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(테스트베드 운영관련) ····· 109

표 5.1 3핵심과제 세부과제별 예산 (단위 : 백만원) ····· 113
표 5.2 3핵심과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) ····· 113
표 5.3 3-1세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원) ····· 114
표 5.4 3-1세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) ····· 114
표 5.5 3-1세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) ····· 115
표 5.6 3-2세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원) ····· 116
표 5.7 3-2세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) ····· 116
표 5.8 3-2세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) ····· 116
표 5.9 3-3세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원) ····· 117
표 5.10 3-3세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) ····· 117
표 5.11 3-3세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) ····· 118
표 5.12 3-4세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원) ····· 119
표 5.13 3-4세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) ····· 119

표 5.14 3-4세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) ····· 120

표 6.1 LNG 플랜트 주요 설비/부품/자재의 과거 시장 규모와 2010년의 예상 치 ····· 122

표 7.1 제3핵심과제 RFP ····· 128
표 7.2 제3핵심과제의 세부과제 공모방안 (1～5점 척도) ····· 165
표 7.3 제1핵심과제의 세부과제 우선순위 (1～3점 척도) ····· 165

<그림 차례>

그림 1.1 천연가스 액화 생산에서 저장까지의 필요 공정과 설비 ····· 1
그림 1.2 가스플랜트사업단 과제 기본 방향 ····· 3
그림 1.3 엔지니어링 업무의 단계 ····· 4
그림 1.4 국내 기업의 가스플랜트분야 시장진입의 어려움 ····· 5
그림 1.5 가스플랜트 EPC 사업 수주의 경향 ····· 6
그림 1.6 사업단과제 수행 시 테스트베드의 필요성 ····· 7
그림 1.7. 일본의 LNG 분야 플랜트사업 및 유관사업분야 참여 기업 사례 ····· 8
그림 1.8 제2핵심과제와 제3핵심과제의 기술적 구분 ····· 13
그림 1.9 LNG 플랜트 FEED 절차 ····· 14
그림 1.10 제2, 3핵심과제세부과제 기술적 상호 연계성 ····· 15
그림 1.11 해외전문가 자문 분야 ····· 21
그림 1.12 제3핵심과제 거시기술개발로드맵 ····· 23
그림 1.13 제3핵심과제 성과로드맵 ····· 24

그림 2.1. LNG 플랜트 EPC 비용 변동 추이 ····· 27
그림 2.2 천연가스, LNG와 LNG 플랜트건설 수요 예측 ····· 29
그림 2.3 전형적인 LNG 플랜트의 공정흐름도. ····· 29
그림 2.4 Lab. 규모 실험장치의 간략도 ····· 32
그림 2.5 Loop형 pilot 장치 - 프랑스 IFP ····· 33
그림 2.6 주요 천연가스 액화플랜트 EPC 업체 ····· 39
그림 2.7. 해외선진기업 치요다의 LNG 플랜트 수주 ····· 41
그림 2.8. 해외선진기업 KBR의 LNG 플랜트 수주 ····· 41
그림 2.9. 선진 EPC 기업과 국내기업과의 차이 경쟁력 분석 ····· 45

그림 3.1 제1세부과제 기술개발 로드맵 ····· 56
그림 3.2 제1세부과제의 성과로드맵 ····· 56
그림 3.3 제2세부과제 기술개발 로드맵 ····· 59
그림 3.4 제2세부과제의 성과로드맵 ····· 60
그림 3.5 제3세부과제 기술개발 로드맵 ····· 63

그림 3.6 제3세부과제의 성과로드맵 ····· 63
그림 3.7 제4세부과제 기술개발 로드맵 ····· 67
그림 3.8 제4세부과제 성과 로드맵 ····· 67
그림 3.9 세부기술 도출과정 ····· 74

그림 4.1 테스트베드 구성 공정 사이클 후보 ····· 87
그림 4.2 테스트베드 구성 기본 요소 ····· 87
그림 4.3 세부과제 연구개발 결과의 테스트베드 적용 ····· 89
그림 4.4 국내 LNG 인수기지 현황 ····· 90
그림 4.5 동해-1 가스전 시설 개요 ····· 91
그림 4.6 동해가스전에 테스트베드 설치 시 추가 필요 설비 ····· 92
그림 4.7 인수기지 설치시의 테스트베드 구성안 ····· 94
그림 4.8 동해가스전, 일반지역, 해외가스전 설치 시 추가설비 포함 구성안 94
그림 4.9 인천 LNG인수기지 조감도 ····· 97
그림 4.10 인천 LNG인수기지 내 Test-Bed 위치 ····· 97
그림 4.11 테스트베드 LNG 플랜트의 공정 연결도 ····· 99
그림 4.12 중소형 LNG 플랜트 용량에 따른 건설비 ····· 101
그림 4.13 테스트베드 EPC 추진 계획 ····· 110

그림 6.1 세계 가스전 현황 ····· 121

1. 핵심과제 개요

가. 핵심과제 정의 및 비전

(1) 정의

건설교통기술연구개발사업에서 핵심과제는 사업단 과제를 구성하는 중추과제를 의미하며, 또한 테스트베드(test bed)는 대형 기술의 실용화를 목적으로 시범적용을 위한 시험 공간, 시설물, 시스템 등을 의미한다.

이러한 범주에서 제3핵심과제는 천연가스 액화공정기술을 기반으로 LNG 플랜트를 설계, 시공, 유지관리기술을 개발하기 위한 과제로 정의된다. 제3핵심과제는 응용기술의 성격을 가지고 있으며, 각 핵심과제에서 개발되는 기술의 검증을 위하여 테스트베드를 설계하며, 이를 실제 현장에 개발 기술로 시공하여 검증 및 보완과정을 지원한다.

천연가스 액화플랜트의 일반적인 공정 구성은 그림 1.1에서 보이는 바와 같이 전처리, 액화, 저장의 단계를 거치게 되며, 제2핵심과제에서 제시되는 공정 기초 데이터를 기반으로 제3핵심과제에서는 테스트베드 및 상용 플랜트 scale -up FEED 수행에 중점을 두고 있다.

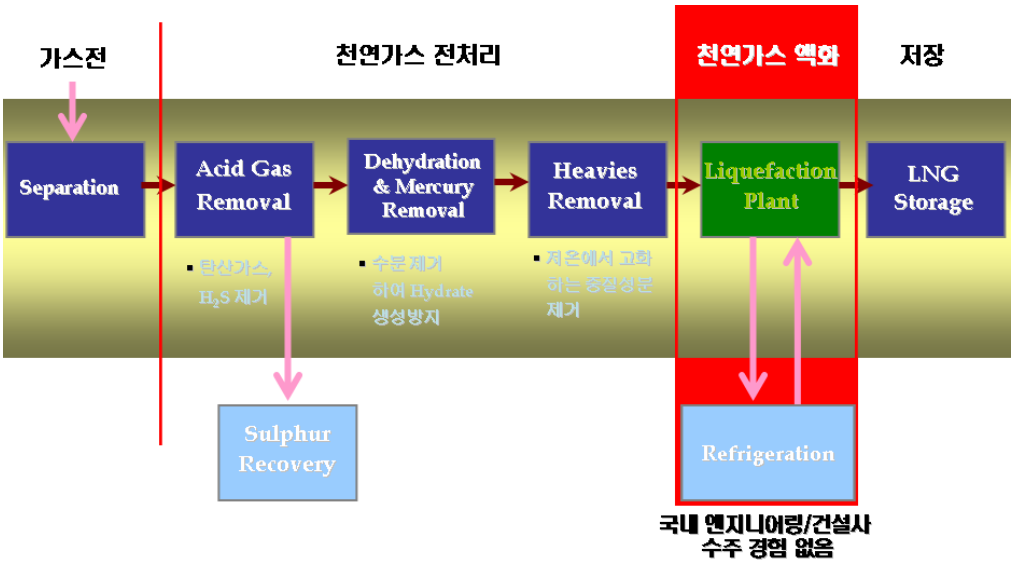


그림 1.1 천연가스 액화 생산에서 저장까지의 필요 공정과 설비

제3핵심과제의 기술개발 범위는 표 1.1과 같으며, LNG 테스트베드 및 플랜트 설계 및 시공기술, 안전하고 효율적인 운영을 위한 운전 및 유지관리기술,

차세대 LNG 저장탱크 설계기술과 이의 모니터링 및 수명연장기술을 포함한다.

표 1.1 제3핵심과제 연구범위

핵심과제	기술분야	연구범위
대용량 LNG 플랜트 설계/건설 기술 개발	LNG 플랜트 설계기술 개발	- 테스트베드 구성 및 설계기준 도출 - LNG 플랜트 FEED 보완 및 상세설계 - 테스트베드 운전지원 및 설계기준 검증 - 검증용 1kg/hr 급 BSU 설계/제작/운전 - 상용급 기자재 선정기준 및 설계 가이드라인 작성 - 상용급 LNG 플랜트 Scale-up 설계 - 5 MTPA급 LNG 플랜트 기본설계집 작성
	LNG 플랜트 건설기술 개발	- 테스트베드 설치 부지 조사 및 타당성 평가 - 테스트베드 설치 및 시공 - LNG 플랜트 시공 공기 단축기술 - LNG 플랜트 모듈화 시공기법
	LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술개발	- 통합운전정보관리 및 원격모니터링 시스템 (OIS) - 현장 센서진단 및 보정시스템 - 운전 최적화 시스템 - 플랜트 설계정보를 기반으로 하는 운전지원시스템 개발 - LNG 플랜트 위험도 정량화 방법론 구축 - LNG 플랜트 유지보수 DB 구축 - 유지보수시스템 XML 스키마 개발 - 원격모니터링시스템과 연계된 웹기반 시스템 개발
	초대용량 LNG 저장탱크 설계 기술 개발	- LNG저장탱크 사례분석 및 개선사항 도출 - 열유입 특성평가, 단열재 및 현수천장 모듈 영향을 통한 저장탱크 설계요소 정립 - 저장탱크구조물의 극저온 거동 특성평가 - 콘크리트 외부탱크 모듈화 시공법 및 Slip form 적용방안 개발 - 25만㎘급 저장탱크 모의설계 및 공인인증 획득 - LNG 저장탱크 첨단 모니터링 및 수명연장 기술 개발

(2) 비전

LNG 플랜트 해외사업 및 핵심기술 선두그룹의 경우에 시장 카르텔을 형성하고 있어 후발그룹의 신규 진입이 어렵고 과거 정유·화학, 발전 등과 달리 기술교류 및 제휴가 사실상 불가능한 여건이다.

과거 정유·화학, 발전 등과 달리 LNG, GTL 등과 같은 플랜트 건설사업의 경우에는 선두 기업의 이익 확보를 위하여 기술 및 사업제휴가 극히 제한적으로 이루어지고 있다.

최근에는 고유가, 에너지 확보 경쟁 등으로 인하여 해양, 중소규모 유전지역으로 시장이 확대되고 있으며, 이에 후발기업도 독자적인 특화기술개발과 후발그룹 또는 선두그룹과의 제휴를 통하여 시장진입을 시도하고 있다.

이러한 LNG 플랜트사업에 있어서 주요 기술변화로는 보다 대규모의 유전에 대용량의 공정과 장치로 집적된 플랜트를 설계, 건설하는 추세이며, 한편으로는 세계 각지의 해양 중소 가스전을 효율적으로 개발하기 위한 컴팩트(compact) FPSO에 집적한 LNG 플랜트 기술이 추진되고 있다.

본 사업단에서 제3핵심과제의 그림 1.2에 도시한 바와 같이 비전은 2013년 이후 선진기업과 경쟁이 가능한 설계 및 시공기술을 보유한 국가로 진입하는 것이며, 이러한 설계 및 건설기술을 기반으로 해외시장 진출을 추진하는 것이다.

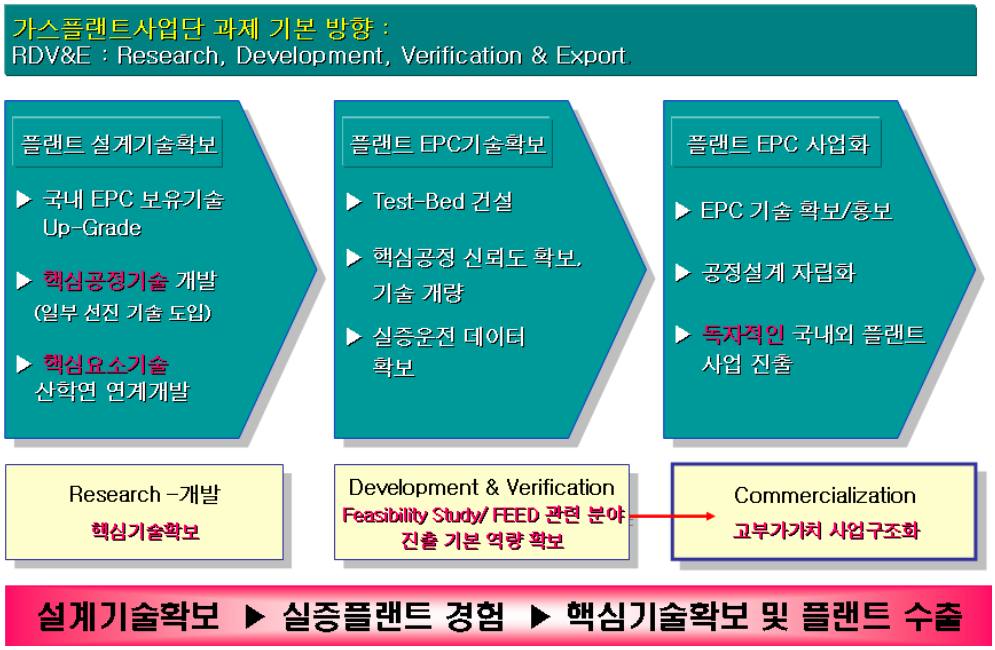


그림 1.2 가스플랜트사업단 과제 기본 방향

- 추진단계: 3단계, 6년 (2008-2013)

  · 1단계 (2008-2009): 설계기반 확보

  제3핵심과제의 효율적 추진을 위한 설계기반을 마련하고 중간진입기술과 개발기술을 구분하여 전략적인 LNG 플랜트 설계기술을 확보하는 단계임

  · 2단계 (2010-2011): 통합설계 및 건설기술 확보

  제1단계에서 확보된 설계기반을 토대로 각 핵심과제의 개발기술을 테스트베드로 통합하는 설계를 완성하고, 시공기술을 확보하는 단계임

  · 3단계 (2012-2013): 실용기술 확보

  제2단계에서 확보된 통합기술을 기반으로 LNG 테스트베드 실증 및 독자기술로서 실용성을 확보하는 단계임

(3) 핵심과제 수행의 필요성

◦ LNG 플랜트 EPC 사업 진입의 어려움

우리 기업의 LNG 플랜트 참여 형태는 대체로 전처리 및 시공분야가 주류를 이루고 있으며, 고도의 기술력과 경험을 요구하는 엔지니어링 분야의 타당성 조사, 기본설계를 포함하는 FEED와 전체 사업관리를 주도하는 PMC(project management consultancy) 역무의 수주에는 많은 제약조건을 안고 있다.

그림 1.3 엔지니어링 업무의 단계

LNG 플랜트는 핵심기술인 천연가스 액화공정 기술 및 핵심 EPC 기술은 일부 선진업체가 독점적으로 보유하고 있고, 국내 자체 기술개발사례가 없으며, 해외 사업 참여도 주변장치 설계 및 단순건설 영역에 국한되어 있다.

따라서 제2핵심과제의 공정기술과가 연계하여 효율적인 LNG 플랜트 설계 및 시공기술을 병행하여 확보할 필요가 있으며, 특히 테스트베드 실증을 기반으로 FEED (front end engineering and design) 능력과 해외시장에서 요구되는 EPC (engineering, procurement and construction) 능력을 확보하는 것이 관건이다.

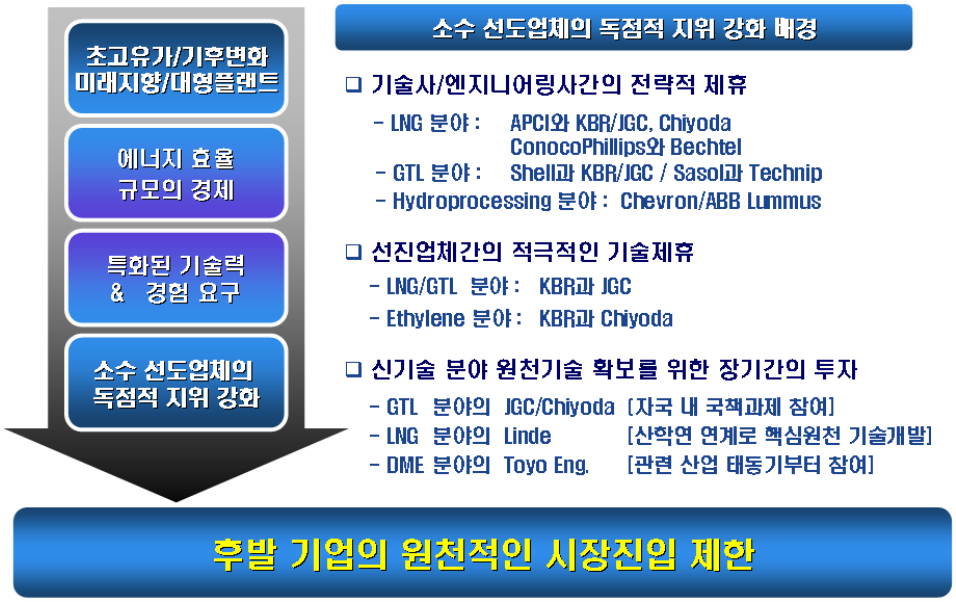


그림 1.4 국내 기업의 가스플랜트분야 시장진입의 어려움

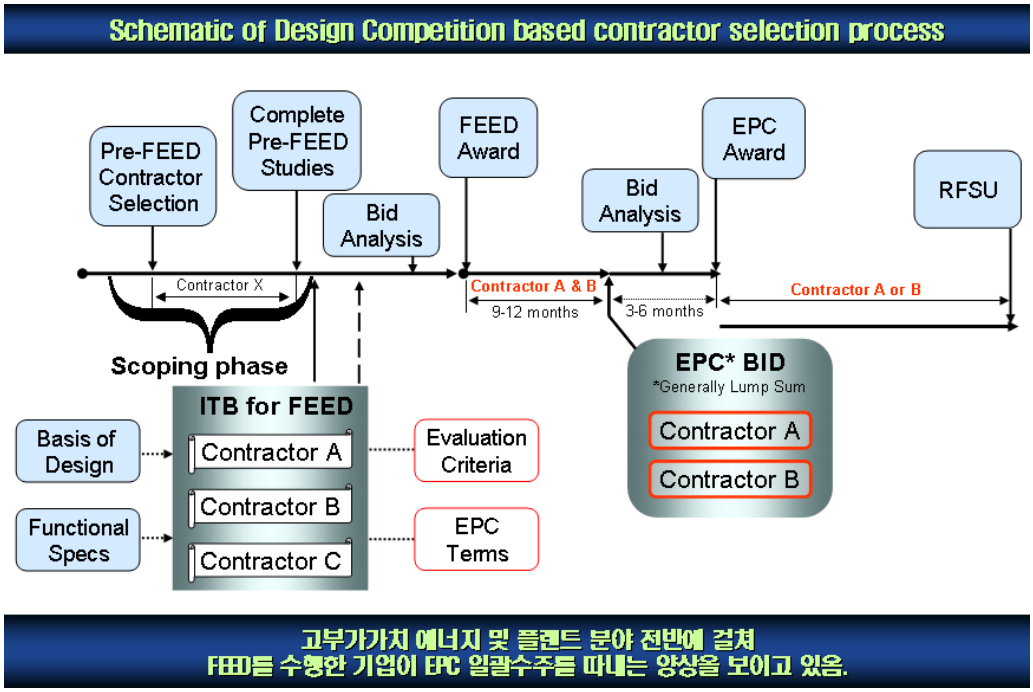


그림 1.5 가스플랜트 EPC 사업 수주의 경향

결국 플랜트엔지니어링 분야에서 향후 예상되는 샌드위치 상황을 타개하기 위해서는 우리 기업이 플랜트 산업 초기부터 확보해 온 상세설계, 기자재 조달 및 건설 관련 역량과 전문 인적 자원을 활용하여 프로젝트 초기 단계에서 수행되는 FEED 수주를 통한 종합적인 엔지니어링기술의 경쟁력 강화가 요구된다.

실제로 최근 LNG 등의 고부가가치 에너지관련 플랜트 분야에서는 초기 타당성 검토부터 FEED를 수행한 기업이 EPC 일괄수주를 따내는 양상을 보이고 있다. 타당성 검토, 기본 설계를 포함한 FEED 수행 시, 플랜트를 구성하는 단위 공정들을 포함하는 수많은 요소들이 복합적으로 고려되어 최적의 플랜트를 만들기 위한 밑그림이 그려진다.

또한, 100톤/일급 Test-Bed는 국내외 LNG 전처리 기술과 액화기술을 적용하여 대규모 예산이 투입되어 운전이 되는데, 건설 이전에 적용되는 기술과 연계된 공정에 대한 사전점검이 요구된다. 건설된 후에 공정설계상의 하자가 발견될 경우 전체 사업의 지연 및 예산배분에 어려움이 예산되므로, 시행오차를 최소화할 수 있는 전략적 수행이 필요하다. 국내에서 개발 예정인 열교환기 등 주요설비의 방식 등 사전점검을 통하여 실제 규모로 적용되어 운영될 때 예상되는 trouble-shooting 단계가 필요할 것으로 판단된다. 국내 고유 LNG 기술개발의 아이디어를 본 사업의 100톤/일급에 직접 적용하기에는 기술적 신뢰도가 낮은 경

우, 예비 시험을 통하여 적정성을 조기 판단할 도구로서 1kg/hr 급 규모 BSU(Bench Scale Unit) 설비가 유용할 수 있다.

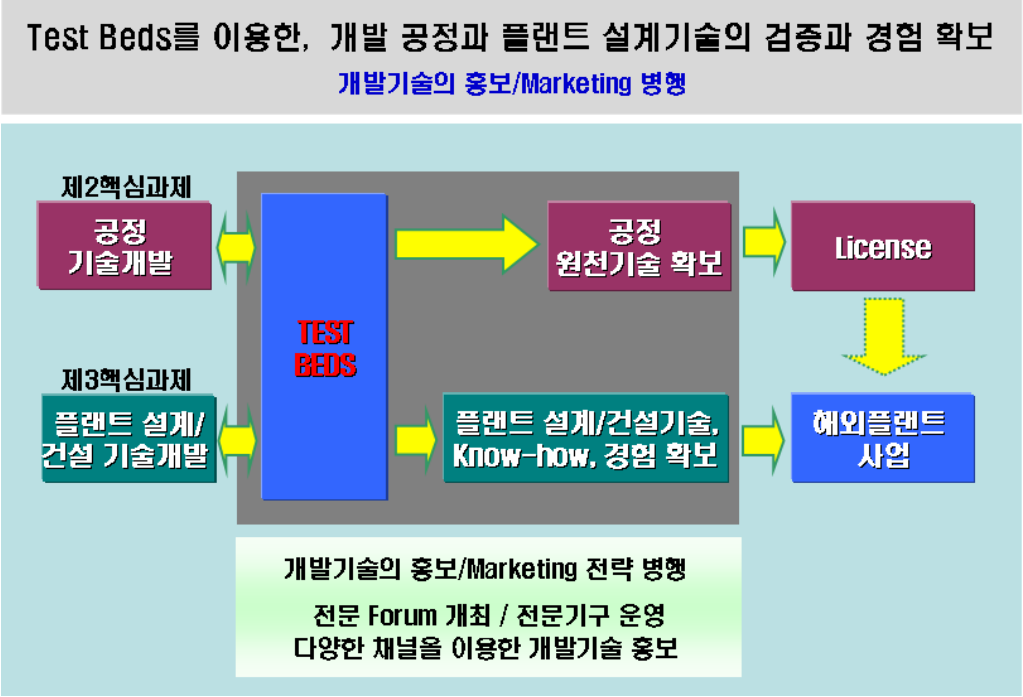


그림 1.6 사업단과제 수행 시 테스트베드의 필요성

이와 같이 기술 개발과 이의 건설사업화로 시너지효과를 극대화하기 위해서는 공정기술의 개발이 필수적이며, 상기 현황을 토대로 다음과 같이 필요성을 요약하였다.

◦ 설계, 시공 등 EPC 종합기술이 기획·개발형 사업의 성공요인
- 선두기업의 경우에 시장 카르텔 형성을 통하여 후발기업의 핵심영역 진출을 배제하고 기술혁신과 비용절감을 통한 우위 확보전략
- 후발기업의 경우에 경쟁기술 개발을 통하여 선진기업과 제휴하거나 독자사업에 적용하는 전략을 구사 (일본, 프랑스, 이탈리아 등)
- 일본의 사례: 경쟁/특화기술 확보 ⇒ 기술제휴, 해외 컨소시엄 참여
  · Chiyoda (과거): 우수한 액화·제조설비, LNG 인수설비 설계기술
  · JGC (현재): Biomass, DME 등 신에너지 독자기술 개발에 투자
  · JOGMEC (현재): GTL 개발 컨소시엄 주도

현재 세계 1위의 LNG 수입국인 일본은 1970년대부터 액화천연가스(LNG)를 기본적인 에너지원으로 채택하고, 이후 국가적이 차원에서의 관심과 지원을 바탕으로 LNG 생산/저장 분야에 필요한 원천설비기술을 개발하는 한편으로 자국 내 엔지니어링 기업들이 플랜트 설계/설비구매/건설 등의 전 분야에 참여하도록 하여 현재의 LNG 관련 플랜트 건설경기에 편승하여 고수익을 창출하고 있다.

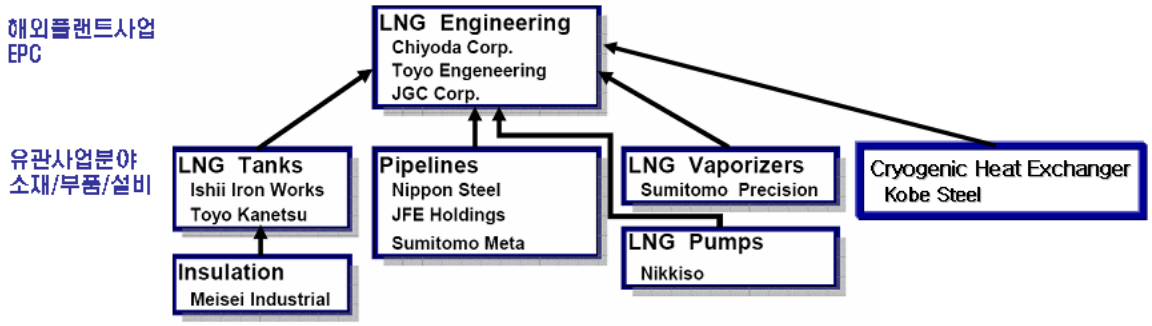


그림 1.7. 일본의 LNG 분야 플랜트사업 및 유관사업분야 참여 기업 사례

◦ 기술제휴, 사업진출 등에 활용 가능한 전략적 도구 확보가 필요

- 공정데이터는 사업의 기획, 설계, 조달, 시공, 운영/유지 등 수행과정에서 필수적으로 요구되는 데이터임
- 완성품으로 공정개발을 배제하더라고 기술체계상 공정데이터의 확보과정은 EPC 기술개발 과정에서 기본적으로 다룰 수밖에 없음
- 우리의 여건에서 경쟁기술 개발을 통하여 선진사와 기술을 제휴, 해외사업 공동 진출을 위한 전략적 도구로 활용할 필요가 있음

나. 핵심과제의 목표

(1) 최종목표

제3핵심과제의 최종목표는 100 톤/일 급 테스트베드 FEED 및 구축, 이에 기반한 대용량 (5 MTPA급) LNG 플랜트 기본설계 패키지 개발을 최종목표로 설정하였다.

그리고 LNG 플랜트 통합운전환경과 유지보수시스템, 대용량 LNG 탱크의 차세대 설계기술을 목표로 하고 있다. 표 1.2는 핵심과제 최종 목표 및 세부목표를 도식화 한 것이다.

표 1.2 제3핵심과제의 최종목표 및 세부목표

최종목표	세부목표
대용량 LNG 플랜트 설계, 건설기술 개발	- 100 톤/일 규모의 테스트베드 FEED 패키지 - LNG 플랜트 공정제어 기준정립 - 검증용 현장적합성평가 BSU(1kg/hr 급) 구축 - 5 MTPA급 대용량 LNG 플랜트 기본설계집 작성
	- 테스트베드 구축 - 테스트베드 시운전 데이터 확보 및 절차서 작성 - 모듈화 시공기술 - LNG 플랜트 건설표준 작성
	- LNG 플랜트 최적 통합운전환경 기술개발 - 웹기반 유지보수관리시스템
	- 지상식 완전방호식 LNG 저장탱크 설계기술 (25만 kl 이상) - LNG 탱크 전체의 경제성 및 공기 개선 - LNG 탱크 첨단 모니터링 및 수명연장기술

○ 제1핵심과제 총괄기여목표

- 전체 공정계통의 에너지효율 5% 향상
- 유지관리비 10% 저감
- 시공성 10% 개선

○ 세부기술 개발목표

- 100 톤/일급 규모의 테스트베드 구축
  - · 테스트베드 FEED 패키지
  - · 계통제어시스템 국산화
  - · 모듈화 시공기술

- 대용량 LNG 플랜트 기본설계 패키지
  - · 5 MTPA급
  - · 기본설계집

- LNG 플랜트 통합운전환경
  - · 통합 운정정보 및 원격관리시스템
  - · 웹기반 유지보수관리시스템
  - · 운전 최적화 시스템

- 초대용량 LNG 탱크 설계기술
  - · 지상식 완전방호식 LNG 저장탱크 설계 (25만 kl 이상)
  - · 첨단 모니터링 및 수명연장

(2) 단계별 목표 및 수행내용

제3핵심과제의 연구개발 기간은 총 6년으로, 기술개발 성과의 극대화를 위하여 표 1.3과 같이 3단계로 나누어 진행된다.

1단계는 2년으로 LNG 플랜트에 대한 해외 선진 사례에 대한 벤치마킹 등을 통하여 설계기반을 확립하고, 이에 대한 성과물로 테스트베드에 FEED, 상용급 개념설계, LNG 탱크의 설계 및 시공기술 개선사항 등을 제시한다.

2단계는 테스트베드 상세설계 및 시공을 통하여 건설과 개발기술의 검증과 보완 고정을 통하여 통합설계 및 시공기술을 확보하고, 이에 대한 성과물로 상용급 LNG 플랜트 최적화 및 Scale-up 설계, 100 톤/일 급 테스트베드 설치 및 시공, LNG 저장탱크의 설계기술 등을 제시한다.

3단계는 개발기술을 테스트베드 적용하여 성능과 scale-up 기술을 검증하

며, 5 Mt/y급 대용량 LNG 플랜트에 적용할 수 있는 기본공정설계 (Basic Process Design 혹은 Basic Design), 통합 제어 및 O&M 매뉴얼 작성, 세계최대 25만 kl급 탱크의 모의설계집 등을 제시한다.

표 1.3 제3핵심과제의 단계별 목표 및 추진내용

단계 목표	수행내용
1단계: 설계기반 확립	- FEED 벤치마킹 (해외 LNG 플랜트 FEED 사례 분석) - 테스트베드 구성 및 설계기준 확정 (설계기초, 열 및 물질수지, PFD 등) - 테스트베드 FEED 초기단계 시행 - BSU(Bench Scale Unit, 1kg/hr급) LNG 파일럿 설계 - 테스트베드 계통제어요소 - 플랜트 scale-up 기법 및 도구 - 상용급 LNG 플랜트 개념설계 (grand design)
	- 테스트베드 설치 부지 조사 및 타당성 평가 - 법규, 기준, 유틸리티 등 건설 준비 - LNG 플랜트 시공 공기 단축을 위한 기술적 사항 - LNG 플랜트 모듈화 시공기법 분석
	- 국내외 LNG 탱크의 설계 및 시공기술 개선사항 - 운전 중 누출감지 및 손상평가기법 - 지진에 의한 손상평가 시스템 - 극저온 시 단열재와 현수천정의 영향 고려한 열유동 해석 - 지진 시 지반의 액상화에 대한 정밀 예측기법
2단계: 통합성능 확보	- 테스트베드 FEED 보완 및 상세설계 - LNG 플랜트 공정별 계측기 기준, 제어반 - 설계 평가, HAZOP 등 제2세부과제로 이관 - 상용급 LNG 플랜트 최적화 및 Scale-up 설계 - 드라이버, 파워시스템 설계 가이드라인
	- BSU LNG 파일럿 제작/개발 - 테스트베드 구성 기자재 구매, 제작 - 테스트베드 설치 및 시공 - 중앙제어반 설치 및 시공 - 주요 국산화 핵심설비의 테스트베드 적용

	- LNG 플랜트 모듈화 시공체계 - 시공성 개선기술
	- 통합운영 환경시스템 구축 - 유지보수 관리시스템 구축 - 유지보수 /안전관리 DB 구축 - 운전지원 시스템 개발 - 최적 보수(정비)활동 - 검사데이터 경향분석 및 평가 모듈
	- Slip form 공법의 적용, 긴장재의 최적 배치 등 - 지진 시 지반의 액상화에 대한 개선대책 - 신형식 지상식 탱크의 개발 가능성 검토 - 운전 중 첨단 누출감지 및 손상평가알고리즘 - 고강도 콘크리트, 고강도 강재(철근 및 긴장재)의 적용성 - 극저온 시 재료거동: 콘크리트, 철근 및 긴장재
3단계: 실용기술 확보	- 테스트베드 운전을 통한 설계기술 검증 - 5 Mt/y 급 LNG 플랜트 기본설계집 완성 - 상용급 기자재 선정기준 및 가이드라인 - BSU LNG 파일럿 운전/분석
	- 테스트베드 시공 및 시운전 - LNG 플랜트 시공성 개선기술 - 현장관리기술
	- 현장 센서진단 및 보정시스템 구축, 테스트베드 검증 - 운전 최적화 시스템 구축 - 웹기반 유지보수 관리시스템 구축 - 테스트 베드를 통한 각종 시스템 검증
	- 외조의 모듈화 시공방법 - 세계최대 25만 kl급 탱크의 모의설계 - 시공성에 미치는 영향 - 지능형 누출감지 및 손상평가 시스템 - 해외 전문업체를 통한 설계기술 인증 획득

(3) 사업단과제와의 연계성

LNG 플랜트 기술개발은 기본적으로 그림 1.8에서 보이는 바와 같이 LNG 플랜트 가치사슬에 기반하고 있으며, 사업수행에 있어서 기술사와 엔지니어링/건설사간의 업무 구분에 기초를 두고 있다.

제3핵심과제는 LNG 플랜트 공정기술을 기반으로 응용설계에 중점을 두고 있으며, 이러한 설계 자료를 토대로 현장에 플랜트를 시공하는 기술에 개발하는 역을 부여하고 있다.

또한 시공 후 플랜트의 운영 및 유지관리에 관한 기술을 포함하고 있으며, 안정적인 시스템 운영과 경제성이 확보되는 운영, 효율적인 유지보수기술의 반영은 최근의 기술동향과도 일치한다.

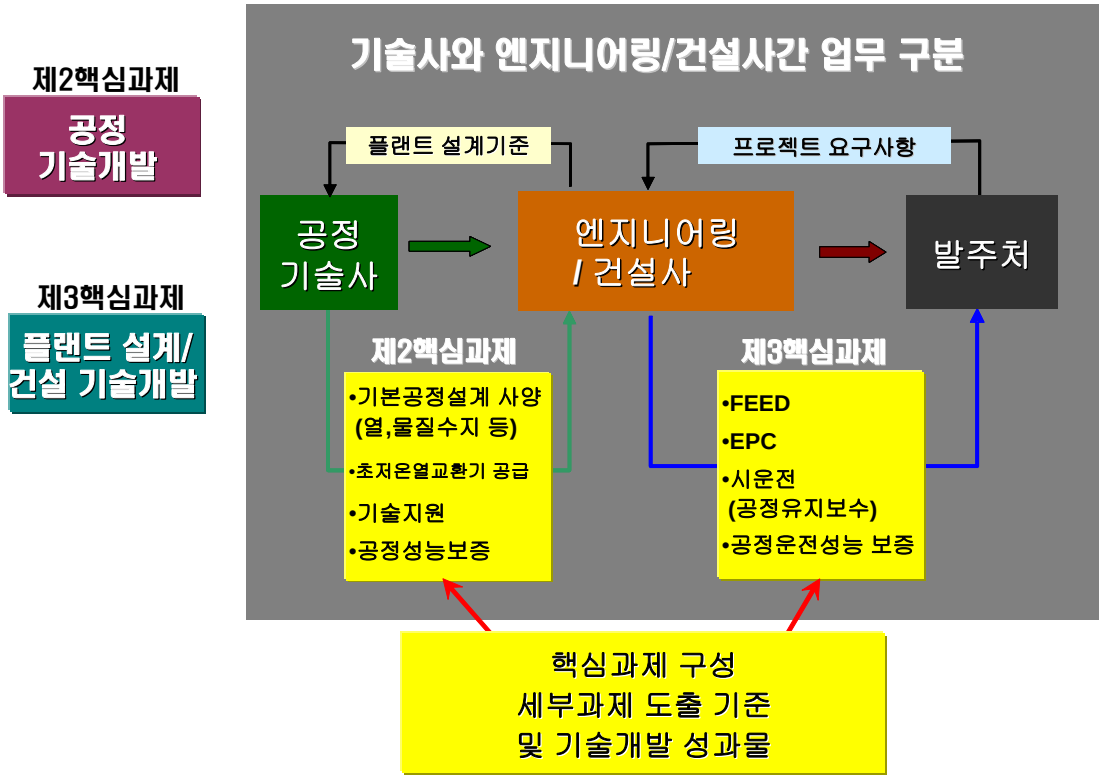


그림 1.8 제2핵심과제와 제3핵심과제의 기술적 구분

개념적인 플랜트 프로젝트의 사업 계획이 세워지고 상세설계 단계로 넘어갈 때, 최적의 기술적인 방법론과 해법을 찾기 위한 Front End Engineering and Design (FEED)이 수행된다. 체계적으로 수행된 FEED는 전체적인 프로젝트 진행의 효율을 증가시키며, 투자 회수율을 높일 수 있는 플랜트 설계의 기반 기술이며, EPC 분야의 독립적인 고부가가치 사업 분야로 형성되고 있다.

따라서 FEED에서 행해지는 업무를 이해하는 것이 플랜트 설계 기술 개발의 필요성을 파악하기 위한 필수 요소이다. FEED package 요소 및 제작절차를 그림 1.9에 도시하였다.

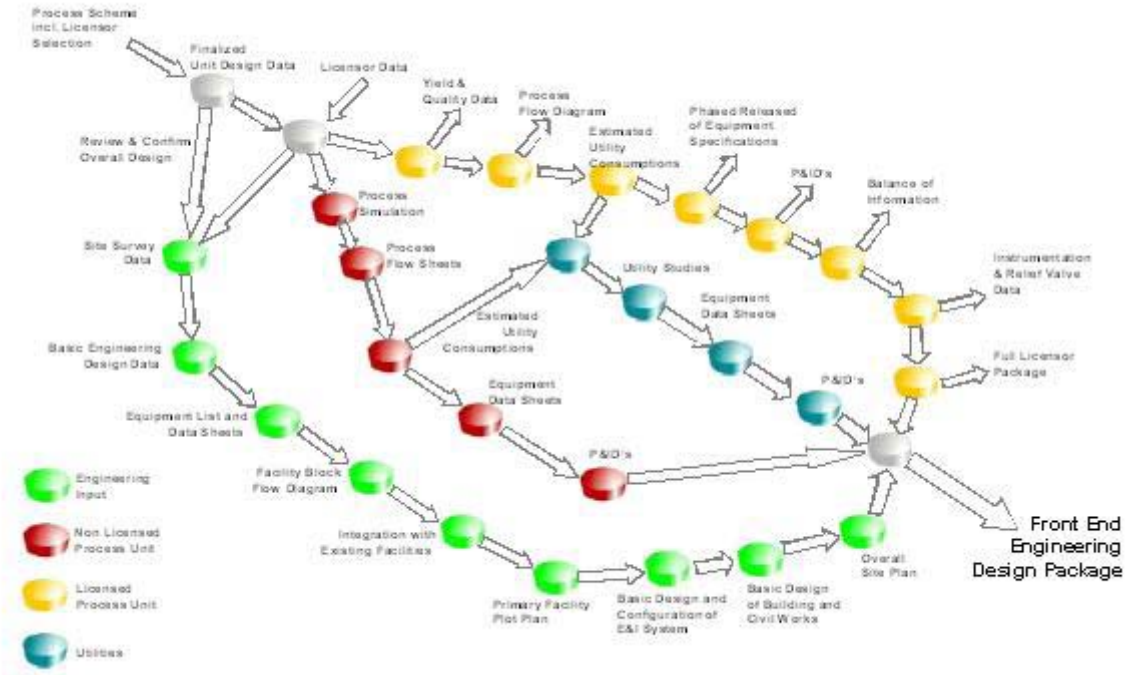


그림 1.9 LNG 플랜트 FEED 절차

한편, 제1핵심과제와는 공통기술인 사업관리, 엔지니어링 업무효율화 측면에서 연관성을 갖고 있으며, 성능향상을 위한 기술적인 측면에서는 시스템 모듈화, 핵심기자재로서 터보 익스팬더의 최적화 및 응용, 초저온 배관 및 펌프의 배치 등과 밀접한 관련을 갖고 있다.

그리고 테스트베드를 중심으로 다양한 설계 조건에 맞추어 입구 측의 가스 조성과 압력 등을 변화시켜 가면서 냉동 공정과 Heavy hydrocarbon 을 제거하는 공정과의 상호 열유동 관계, 냉매의 압축에 필요한 에너지, 그리고 LNG 생

산량에 미치는 여러 요소들에 대한 체계적인 연구를 수행하도록 설정되어 있다.

이러한 EPC 기술의 입증을 위해서 테스트베드에 대한 EPC를 수행하는 과정은 EPC 기술뿐만 아니라 개발 공정의 성능을 확인하는 과정으로, 개발된 공정 그 자체의 성능 입증뿐 아니라 이 과정을 거쳐서 여러 가지 알려지지 않았던 다양한 설계 인자들이 각각의 공정 계통에 어떤 작용을 하고, 최종적으로 LNG 생산에 어떤 영향을 미치는가를 확인할 수 있다.

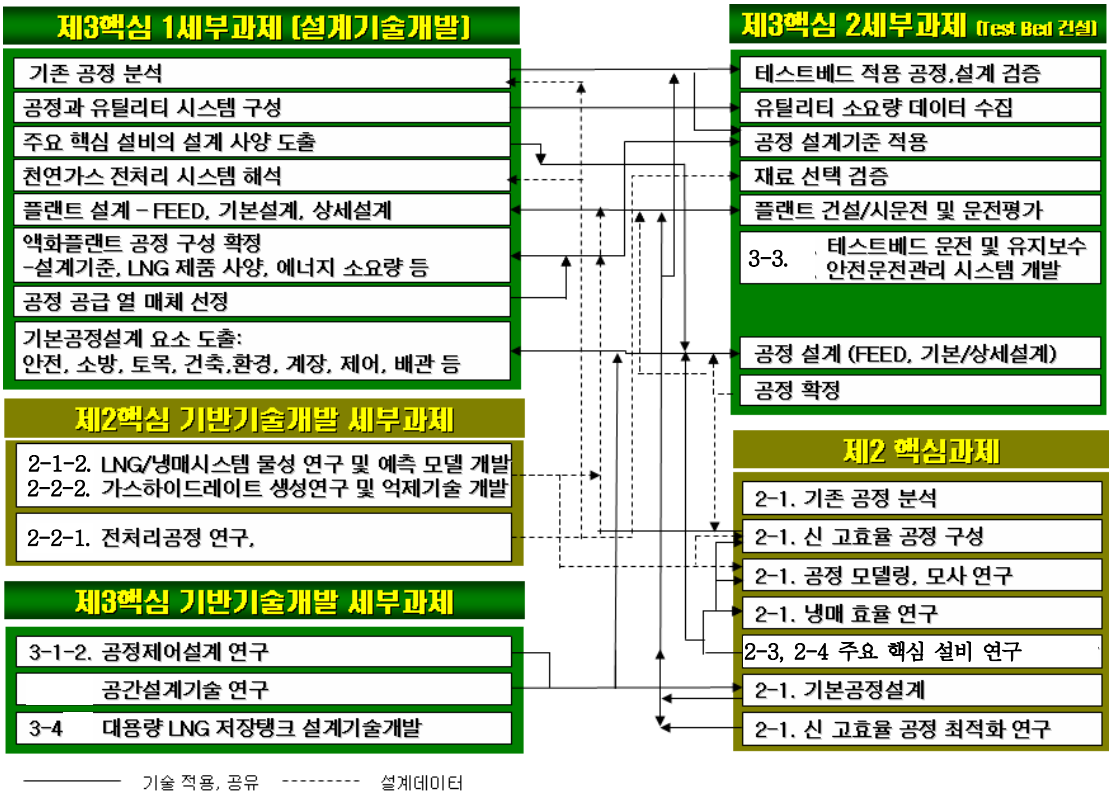


그림 1.10 핵심2, 3 과제의 세부과제 기술적 상호연계성

다. 핵심과제의 구성

(1) 세부과제 구성

그림 1.8에서 예시한 엔지니어링/건설사의 업무 내용을 기반으로, 세부과제는 사업단 LNG 가치사슬 내에서 설계, 시공, 운영 및 유지관리, 저장탱크 등을 대상으로 하였다. 제3핵심과제는 제2핵심과제의 공정기술 기반 위에서 설계 및 건설에 관한 기술개발 내용을 중점적으로 다루고 있어 응용기술의 성격이다.

그리고 본 상세기획에서는 가스 플랜트와 기술적 연관성과 기술동향, 미래 경쟁목표 등을 고려하여 아래와 같이 4개 분야를 도출하였으며, 주요 요소기술은 표 1.4에 요약하였다.

- 제1세부과제: LNG 플랜트 설계기술 개발
- 제2세부과제: LNG 플랜트 시공기술 개발
- 제3세부과제: LNG 플랜트 운전 및 유지관리기술 개발
- 제4세부과제: LNG 저장탱크 차세대 설계기술 개발

표 1.4 제3핵심과제 세부과제 구성

세부과제	세부과제 / 세세부과제 공모 구성	공모안
제1세부과제	LNG 플랜트 FEED/기본, 상세설계 기술 개발	지정공모
	LNG 플랜트 공정제어기술 개발	
제2세부과제	LNG 플랜트 건설기술 개발 (테스트베드)	분리공모
제3세부과제	LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술개발	분리공모
제4세부과제	초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발	분리공모
	LNG 저장탱크 수명평가기술 개발	

(2) 연차별 목표

제3핵심과제를 구성하는 세부과제를 고려한 연차별 목표는 표 1.5에 요약하였다.

표 1.5 제3핵심과제 연차별 목표설정(안)

단계	연차	목표
1단계	1차년도	- 선진 FEED 벤치마킹 및 사례 구축
	2차년도	- 테스트베드 부지 조사 및 타당성 평가 - 테스트베드 구성 및 기본설계 - 테스트베드 공정 사전검증용 BSU 설계
		- 기준, 유틸리티 등 설계
		- 통합제어 플랫폼 계통제어요소 제시
2단계	3차년도	- 테스트베드 FEED 보완 및 상세설계 - 테스트베드 사전검증용 BSU 시스템 구축
		- 테스트베드 구성 기자재 구매, 제작
		- 공정계통 통합제어로직 개발
		- LNG 탱크의 설계 및 시공기술 개선사항 도출 - 운전 중 누출감지 및 손상평가기법 개발 - 지진에 의한 손상평가기법 개발
	4차년도	- BSU 시스템 운전데이터 확보 - 상용급 LNG 플랜트 최적화 데이터 도출
		- 핵심설비의 테스트베드 적용 - LNG 플랜트 모듈화 시공체계 개발
		- 통합운전환경 시스템 구축 및 운전지원시스템 구축
		- 지진에 의한 액상화 개선대책 마련
3단계	5차년도	- 상용급 LNG 플랜트 Scale-up 설계 실시 - 테스트베드 운전을 통한 설계기술 검증

		- 테스트베드 시공 및 시운전 - LNG 플랜트 시공 공기 단축기법 개발
		- 플랜트 유지보수관리 DB 구축
		- 극저온 시 재료거동: 콘크리트, 철근 및 긴장재
	6차년도	- 5 Mt/y 급 LNG 플랜트 기본설계집 완성 - 상용급 기자재 선정기준 및 가이드라인
		- 운전최적화 기술
		- 통합 제어, O&M 매뉴얼 작성 - 보수(정비), 검사업무 체계 표준화
		- 세계최대 25만 kl급 탱크의 모의설계 실시 및 인증획득

라. 추진전략

(1) 기본방향

제3핵심과제의 연구개발 기간은 총 6년으로, 효과적인 기술개발과 성과관리를 위하여 단계별 2년씩 3단계로 구분하여 진행하며, 개발단계는 설계기반 확보, 통합설계 및 시공기술 확보, 실용기술 확보 순으로 진행된다.

LNG 플랜트는 해외 지향적인 사업으로서 제2핵심과제의 공정기술을 기반으로 EPC 능력 확보가 관건이며, 특히 대형화, 컴팩트화되는 플랜트 시스템과 다변화되는 시장 환경에 대응하기 위한 FEED 능력 확보는 필수적이다.

이에 제3핵심과제는 LNG 플랜트 설계기술과 시공기술, 운전 및 유지관리 기술, 차세대 탱크 설계기술을 대상으로 EPC 실용화 기술을 개발하는 것으로 방향을 설정하였다.

- LNG 플랜트사업 EPC 기술을 정의하고 전략기술과 중간진입기술을 구분하여 추진
- FEED에 중점을 두되, 이의 효율저인 실행을 위한 시공기술 개선을 포함
- 100톤/일 규모의 LNG Test-Bed에 적용될 전처리 액화의 공정구성과 제어로직, 운전특성 등의 현장 적용성 검증 및 국내외 주요 부품설비의 조기 검증을 위한 Bench Scale Unit (1kg/hr 급) 파일롯 시스템 기술 개발
- 세부과제는 설계, 시공, 운전 및 유지관리, 저장탱크 설계 등으로 구성
- 100 톤/일 급 테스트베드 구축을 통하여 개발기술의 실증적 검증을 전제

표 1.6 제3핵심과제의 선정, 수행, 활용단계에서 추진방향

구 분	추진방향	기준
과제선정	◦ 선택과 집중	- 공정의 전략적 중요성/개발 가능성 - 공정기술의 시장 및 기술 변화추세 - 기술적/경제적 기대효과 - 비교우위확보 가능성
과제수행	◦ 생산성 극대화	- 기초기술 도입, 응용기술개발 - 산·학·연 파트너쉽 유지 - 기술별 선도기관과 협력
결과활용	◦ 실용화	- 타 산업 연관효과 극대화 - 개발 기술의 보급 및 기술 실시 - 개발 DB 운영비 회수

(2) 추진전략 및 체계

앞서 설정한 추진방향에 따라 제3핵심과제의 구체적인 추진전략은 선진 FEED 사례의 벤치마킹 및 습득, 우수기술의 중간진입, 테스트베드 구축 및 개발기술의 검증 등으로 제시하였으며, 주요 전략별 내용은 다음과 같다.

○ 선진 FEED 사례 벤치마킹 및 습득

- 선진 기술개발체계/관련지식 등 습득을 통한 연구기반 마련
- 선진사례/우수사례 벤치마킹 (JGC, KBR, Chyoda, TECHNIP 등)
- 1단계 설계기반 확보, 2단계 통합설계 및 시공기술 확보, 3단계 LNG 플랜트 실용기술 확보
- 기술개발과정에서 기술적 확인이 필요한 예상 문제점 예측과 이에 대한 대책을 초기 단계에서부터 수립

○ 우수기술의 중간진입

- 새로운 설계, 시공기법과 우수한 IT, 최적화 기술의 접목을 병렬적으로 진행
- LNG 플랜트 설계, 시공기술 분류 및 선택과 집중: 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술
- 요구되는 기술수요와 투자효과, 투입 자원을 고려한 추진시기 결정

○ 해외전문가 그룹의 예상 역할과 자문의 범위 및 내용 :

- 기초 기반 기술의 결과에 대한 검증과 이의 설계 활용을 위한 검토
- 상업적으로 획득이 가능한 기존 공정 검토 및 개발 방향 제시

※ 전문가 자문 필요 해당분야 :

- System engineering
- Instrument
- Rotating Equipment (Gas Turbine and Compressor)
- Static Equipment
- Column and Vessel
- Fire Fighting
- Electrical Engineering
- Pre-commissioning, operation & performance test
- Sub-total of distance consulting for Benchmarking

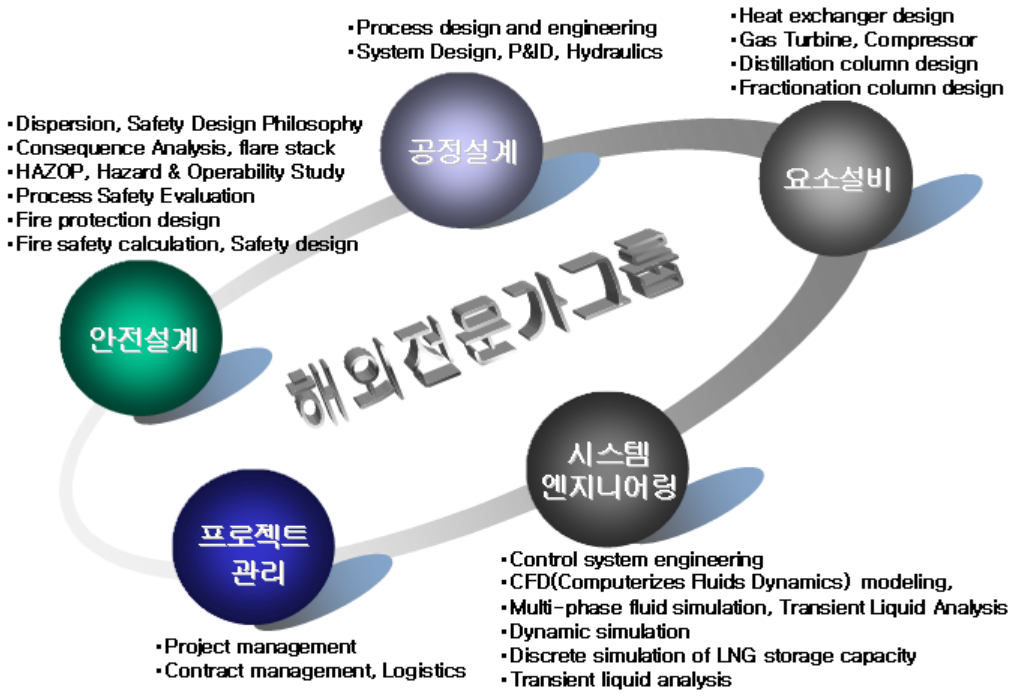


그림 1.11 해외전문가 자문 분야

○ 테스트베드 구축 및 활용

- 100 톤/일 급 테스트베드 설계 및 구축
- 설계기술의 성능평가 및 보완
- 개발기술의 적용 및 검증
- 설계 및 시공기술의 신뢰성 확보

(3) 기술개발 거시로드맵

제3핵심과제의 연구개발 기간은 총 6년으로, 효과적인 기술개발과 성과관리를 위하여 개발 단계를 구분하여 설계기반(1단계), 통합설계 및 시공기술(2단계), 테스트베드 및 실용기술(3단계) 순으로 진행된다.

1단계 2년간, 해외 대형 LNG 플랜트 프로젝트 FEED에 대한 Benchmarking을 수행하고, 테스트베드 초기 FEED와 상용급 LNG 플랜트 개념설계를 수행한다. 또한 테스트베드 부지조사 및 건설 타당성을 검증하고 시공공기 단축을 위한 기술적인 사항을 검토한다.

또한, BSU (1kg/hr 급) LNG pilot 시스템을 이동이 간편한 모듈형태로 구축하여 100톤/일급 최종 Test-Bed 공정 및 제어 로직 등 사전 점검, Tet-Bed에 적용될 국산부품 소형 적용시험, 조업조건별 운전특성 및 동특성 1차 자료 확보, Test-Bed에서 예상되는 trouble-shooting 자료 제공, Test-Bed 시운전 및 정상운전에서 발생하는 운전 문제점 해결을 위한 소규모 실험 및 해결방안 제시, 국내 고유모델 개발을 위한 개념 초기실험을 수행한다.

운전 및 유지관리를 위한 통합운전정보 관리 및 원격모니터링 기술개발을 수행하고, LNG 탱크의 설계 및 시공기술 개선 사항과 극저온 시 단열재와 현수천정의 영향 등에 관한 연구를 수행한다.

3단계에서는 테스트베드 완성과 운전을 통해 각 핵심과제에서 도출된 기술의 검증을 수행하고 평가 결과를 토대로 기술의 완성도를 제고한다. 또한 확보된 실증데이터를 기반으로 scale up 연구를 수행하여 5 MTPA 급 LNG 플랜트 기본 설계집을 완성한다.

그리고 LNG 플랜트 시공성 개선기술과 통합제어 및 O&M 매뉴얼, LNG 탱크 누출 감지 및 수명연장기술 등을 수행한다.

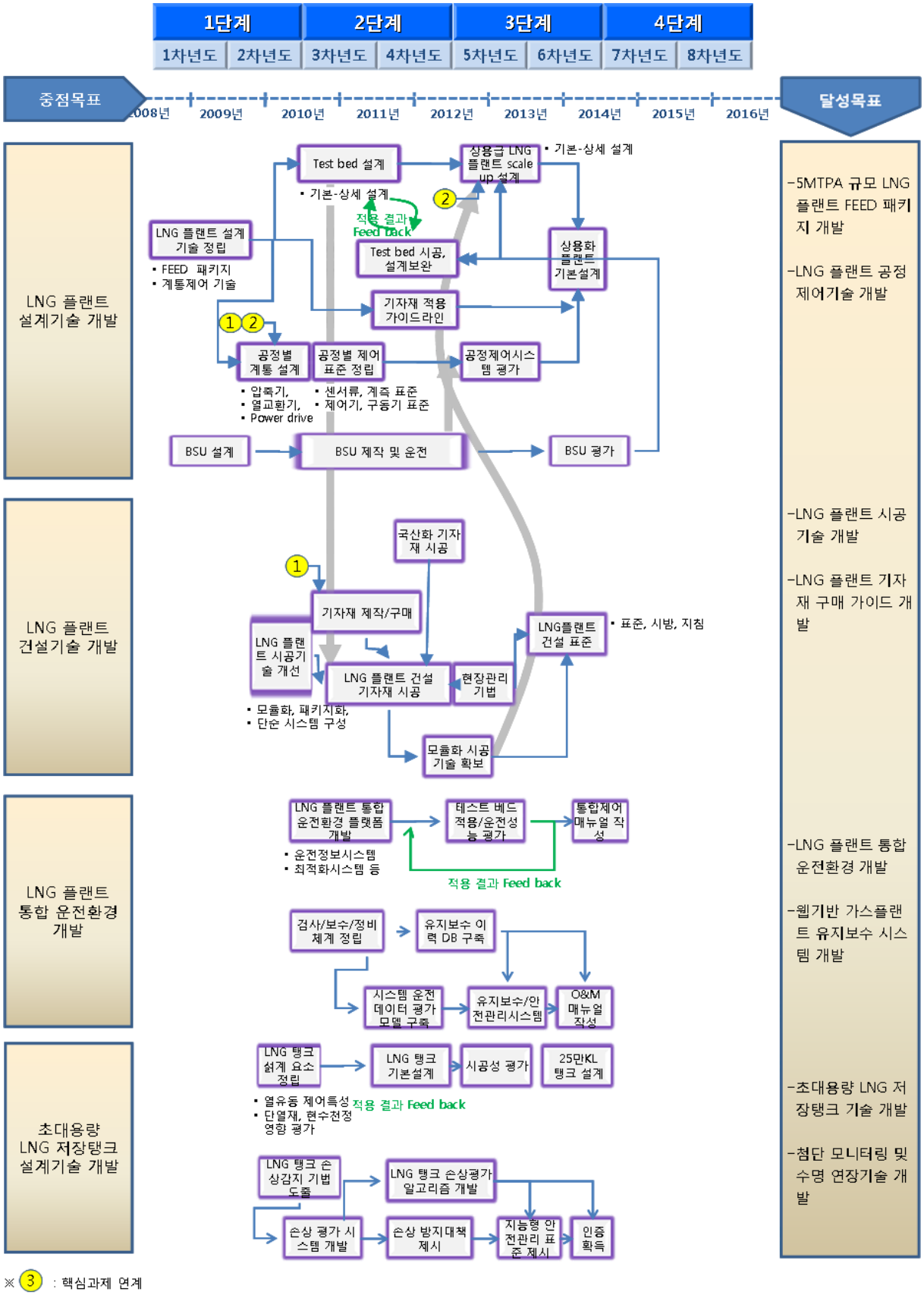


그림 1.12 핵심3과제 거시기술개발 로드맵

	1단계 (2008-2009) 설계 기반 확보	2단계 (2010-2011) 통합 성능 확보	3단계 (2012-2013) 실용 기술 확보	4단계 (2014-2015)
LNG 플랜트 설계기술 개발	• T.B. 구성 & 설계 • T.B. 계통 제어요소 정의 • BSU 설계/제작 • LNG 플랜트 개념설계 (grand design)	• T.B. 상세설계/평가 • LNG 플랜트 공정별 계측기준 • LNG 플랜트 대용량 scale-up 설계 기술 • 상용급 LNG 플랜트 최적화 기술 • BSU 운전/평가	• 테스트베드 설계기술 검증 • 5 MTPA급 LNG 플랜트 기본설계집(표준) • 상용급 기자재 선정기준 및 가이드라인	•
LNG 플랜트 건설기술 개발		• 테스트베드 설치, 시공 기술 • LNG 플랜트 시공 기술기준 • LNG 플랜트 모듈화 시공기법 • LNG 플랜트 기자재 구매 가이드	• LNG 플랜트 시공기술 • LNG 플랜트 모듈화 시공기술 • 현장관리기술	•
LNG 플랜트 운전 및 유지관리 기술 개발		• LNG 플랜트 적용센서, 모니터링 기법 정립 • 공정계통 관제시스템 • 최적 보수(정비) 계획 • 데이터 경향분석 및 평가 모듈 • LNG 플랜트 보수(정비), 검사업무 체계	• 플랜트 안전운전관리시스템 • 통합 제어, O&M 매뉴얼 작성 • 보수(정비), 검사업무 체계 표준화 • 플랜트 통합 운영, 유지/관리/보수 DB	•
초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발	• LNG 탱크 설계 개선(안) • LNG 탱크 누설/손상평가 기법 • LNG 탱크 지진 손상 평가 기법	• Slip form 공법 적용 기술 • 긴장재 최적 배치 기술 • 첨단 누출감지 및 손상평가 알고리즘 • 극저온 환경의 재료거동 (콘크리트, 철근 및 긴장재)	• LNG 탱크 모듈화 시공법 • 25만 kL급(세계최대) LNG 탱크 설계 • 지능형 누출감지 시스템 • 손상평가 시스템 • LNG 탱크 설계기술 인증 획득	•

※ T.B. : Test bed

그림 1.13 핵심 3과제 성과로드맵

2. 국내·외 산업전망, 기술 및 정책현황

가. 산업전망

(1) LNG 플랜트 건설 시장 현황 분석

LNG 플랜트 가격은 지속적으로 하락 경향을 보여 왔다 (표 2.1 참조). 1990년대 초반 LNG 플랜트의 톤 당 단가는 대략 300~400 달러 선에서 형성되었으나 2001년 12월 일본의 JGC가 미국의 KBR이 수주한 이집트 LNG 플랜트 (연산 250만톤 2계열)의 수주액은 1,200억엔으로,톤 당 단가는 192 달러로 감소되었다.

최근의 LNG 플랜트는 기존 플랜트 라인을 증설하는 확장 프로젝트가 많은데 확장 프로젝트에서는 기술 발전에 따른 유틸리티 등 신규 설비가 정비되고 있어 톤 당 단가가 100~150 달러 수준으로 감소하게 되었다. 이에 따라 90년대 초반 톤 당 300 달러 선에서 형성되던 단가가 내려가게 되었다.

현재, LNG 플랜트의 실적이 있는 엔지니어링 기업은 일본의 JGC, 치요다화공건설, 미국의 KBR 및 BECHTEL 등 4개 사 밖에 없다. 이에 따라 경쟁이 적은 시장임에도 불구하고 플랜트 가격 인하 경쟁이 치열하다.

최근 들어 LNG 플랜트의 주요 기기인 압축기의 성능이 향상되어 LNG 플랜트의 계열 당 생산량은 증가 경향에 있다.

트레인 1계열 당 년간 200만 톤 규모였던 생산 능력은 최근에는 500톤까지 증대되고 있다. 이로 인해 톤 당 단가를 상당 수준 내려도 채산성을 확보할 수 있게 되었고, 기술력 고도화가 LNG 플랜트의 사업 효율성을 향상시키고 있다.

표 2.1 LNG 플랜트 계약 사례와 수주 가격 추이

수주 시기	Contractor	국가	규모 (톤/년)	수주액 (원)	단가 (원/ton)
1992.4	JGC~Kellog	말레이지아	260만×3계열	1조5,200	194,750
1993.5	치요다화공건설	카타르	200만×2계열	1조7,100	427,500
1995.8	치요다화공건설	카타르	200만	5,700	285,000
1996.1	JGC~Kellog Technip~Snamprogetti	나이지리아	590만	1조9,000	194,750
1996.3	JGC~Kellog	카타르	250만×2계열	9,500	190,000

1996.6	치요다화공건설~미Foster·Wheeler	오만	350만×2계열	9,500	144,400
1997.6	JGC~Kellog	카타르	250만	3,800	152,000
1999.8	JGC~KBR	말레이지아	증강공사	3,800	
2000.1	JGC~KBR	말레이지아	380만	1조3,537	356,250
2001.4	치요다화공건설~Snamprogetti	카타르	235만×2계열	5,700	121,600
2001.4	JGC~KBR	오스트레일리아	210만×2계열	9,872	235,600
2001.12	JGC~Kellog	이집트	250만×2계열	9,120	182,400
2002.3	JGC~Kellog Technip~Snamprogetti	나이지리아	200만×2계열	9,500	95,000
2002.3	치요다화공건설~Snamprogetti	카타르	235만×2계열	5,462	114,950
2003.1	치요다화공건설~영Foster·Wheeler	카타르	330만	4,655	138,700

한편, LNG 플랜트의 건설비용 상승률은 2002년 이전에 1.5%, 2002년에 2.5%였으며, 2003년엔 4~5%, 2004년엔 9~18%, 2005년 이후에는 11% 이상으로, 향후 지속적인 증가가 예상된다.

이러한 경향은 2015년경에나 안정될 것으로 예상되는데, 그 원인으로는 건설 수요가 증가하고 있으나 건설에 필요한 고급 엔지니어와 EPC 업체의 부족, 자재 단가의 급상승과 열교환기, 압축기 등의 제작 업체의 부족 등이다.

결과적으로, 2003년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2005년 $275/TPA 이상으로 상승하였고 2008년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400~1200/TPA으로 예상된다.

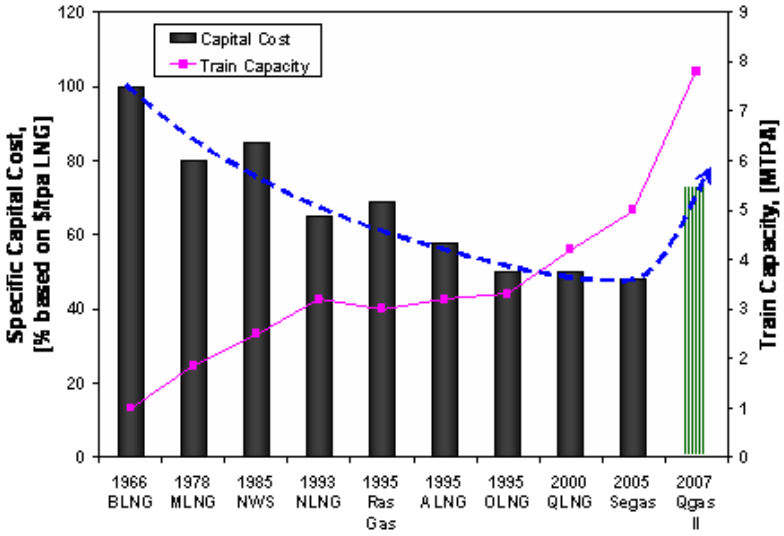


그림 2.1. LNG 플랜트 EPC 비용 변동 추이

(2) LNG 플랜트 건설 시장 예상

Oil & Gas Journal (2002)에 발표된 수요전망에 따르면, 2020년의 전세계 LNG 수요는 2002년의 2.4~3.5배에 달하는 3.6억m^3~5.2억m^3에 이를 것으로 전망된다. 2010년까지는 대서양 지역의 LNG 수요 증가분이 아/태지역의 수요증가분을 상회할 것으로 전망하고 있다.

표 2.2 전 세계 LNG수요전망 (단위 : 천연가스 10억m^3)

	2001	2002	2010	2015	2020
전세계 LNG수요	143	150	245~320	298~428	363~521
아시아 태평양 LNG수요	102	104	136~184	165~246	201~300
대서양지역 수요(잔여분)	41	44	109~136	133~182	161~221
아-태 지역 수요 증가	-	+2	+34~+82	+29~+82	+36~+53
대서양 지역 수요 증가	-	+3	+68~+95	+24~+46	+29~+39

LNG 수요 증가 요인은 다음과 같다.

<가격요인>

① 기술의 발달과 첨단장비의 출현으로 가스의 탐사·발견 비용이 계속 감소
② 가스전에서 생산된 가스를 LNG 플랜트까지 수송하는 해저배관망 건설 비용 하락
③ 트레인당 생산능력 증가를 통한 규모경제 실현
④ LNG수송선의 대형화 및 수송선 건조회사들의 경쟁으로 건조비용 하락
⑤ 전 세계적인 저금리 추세로 금융비용 감소
⑥ 기술발달과 액화설비의 표준화로 LNG프로젝트 완공기간 단축

<비가격 요인>

전 세계의 전체 국민소득이 증가하게 되면서, 사용이 간편한 연료인 천연가스에 대한 선호도, 즉 편리성의 상대가치가 증가할 것이라는 점과 현재 지구온난화 방지를 위한 기후변화협약의 추진으로 직접적인 환경규제가 강화될 것이라는 점이다.

<전세계 LNG 플랜트 수요전망>

세계 석유 메이저들은 LNG 수요 증가에 대비해 대책 마련에 나서고 있으며, 그림 2-2에 도시한 바와 같이 미국 ExxonMobil은 2015년 LNG 수요가 3억8000만톤까지 증가할 것으로 예상하고 있다.

LNG 플랜트의 수요는 2004년 1억3000만톤 에서 2010년 2억5000만톤으로 늘어나고, 천연가스 전체에서 차지하는 비중도 7%에서 11%로 높아질 전망이다.

2003년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2008년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400~1200/TPA으로 예상됨에 따라, LNG 플랜트의 건설 수요 투자 비용을 분석해보면, 2015년 연간 10조원에서 연간 30조원 수준으로 예측된다. 따라서, 평균적으로 2015년 경에는 연간 20조원의 LNG 플랜트 건설비용이 투자될 것으로 예측할 수 있다.

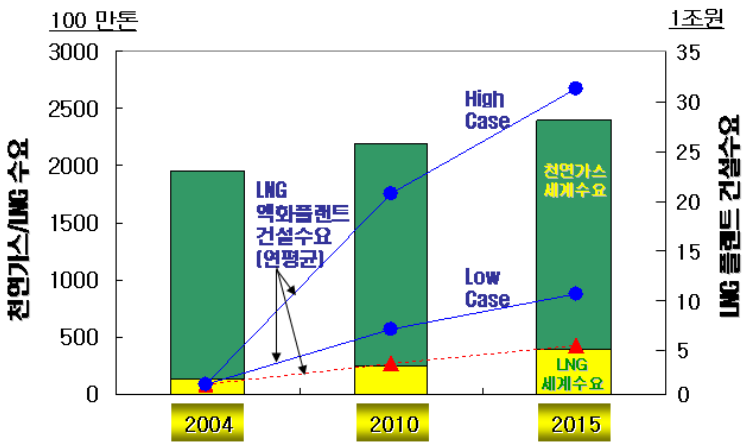


그림 2.2 천연가스, LNG와 LNG 플랜트건설 수요 예측

나. 기술 및 정책현황

그림 2.3은 주된 공정과 유틸리티를 포함하는 일반적인 LNG 플랜트를 구성하는 공정도이다. 소요 공정과 유틸리티는 입지 조건과 천연가스의 질과 궁극적인 LNG 제품사양에 크게 의존한다.

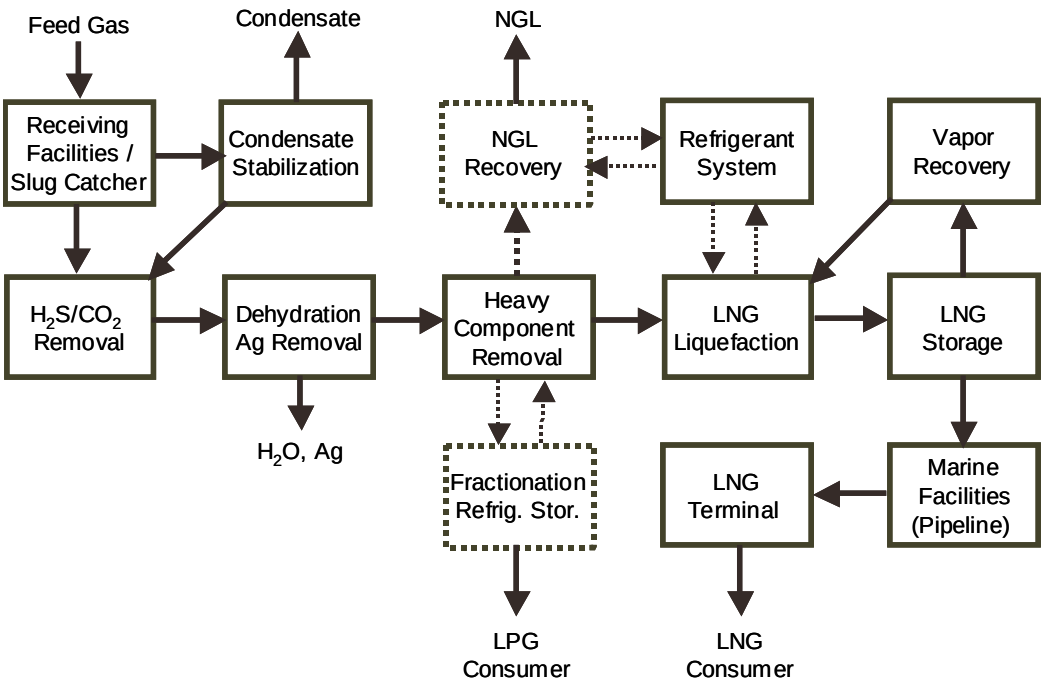


그림 2.3 전형적인 LNG 플랜트의 공정흐름도.

(1) 천연가스 전처리기술

천연가스 중 지표에 나와 감압할 때 응축하는 Condensate Gas전의 가스는 비교적 무거운 성분을 함유하지만 건조가스전 또는 수용성 가스로서 지하에 존재하는 것은 메탄가스가 대부분으로 메탄 이상의 무거운 성분을 거의 함유하지 않는다. 또 수반가는 석유와 함께 존재하기 때문에 가스의 조성은 메탄에서 고분자 탄화수소까지의 폭넓은 성분을 함유하고 있다.

이러한 천연가스는 다량의 탄산가스, 황화수소, 물 등의 불순물을 함유하고 있다. 이들 중 탄산가스, 황화수소는 장치에 부식을 일으키고 물은 공정 중에 가스수화물을 생기게 하여 운전 중의 장애원인도 되므로 이들 불순물들은 천연가스를 정제할 때 미리 제거한다.

천연가스는 산지에 따라 조성이 다른 것이 보통이다. 일반적으로 메탄(CH4)이 대부분이며 에탄(C2H6), 프로판(C3H8), 부탄(C4H10) 등의 중질분을 많이 포함하고 있으나 질소, 탄산가스, 유황화합물을 다량 포함한 것도 있다. 그러나 쉽게 액체화하는 중질분과 연료로서의 질을 떨어뜨리는 원인이 되는 불순물은 액화되기 전에 제거하여야 한다.

LNG는 다성분의 탄화수소로서 구성되기 때문에 성분이 다른 LNG를 동일한 저장탱크에 저장하는 경우 혼합이 나쁘면 층상화할 가능성이 있고, 그대로 장시간 저장하여 두면 증발에 의한 조성변화로 급격히 혼합하는 반전(Roll Over) 현상을 일으키든지, 탄산가스가 농축하여 고화 석출하는 일이 있다.

<가스 하이드레이트>

LNG가 수상에 누출되면 물과의 큰 온도차 때문에 폭발적으로 기화한다. 또한 LNG에 물이 들어가면 하이드레이트(Hydrate)나 얼음을 생성하여 장치 내에서 막히는 일이 있으므로 취급상 주의해야 한다.

메이져 오일/가스 업체를 중심으로 가스 하이레이트를 억제하기위한 다양한 연구 및 내부시험의 결과 각자 독특한 특성의 억제제 (inhibitor)를 보유하고 있다.

이제까지 알려진 가스 하이드레이트의 억제제로는 1)열역학적 (thermodynamic) 억제제, 2) 동적 (kinetic) 억제제, 3) 고분자형 (polymeric) 억제제, 4) 집괴 (anti-agglomeric) 억제제 등이 있다.

이들 억제제는 가스의 조성 및 온도, 압력 조건 등 상황에 따라 선택되며

그 사용 농도가 결정된다. 그러나 주어진 상황에서 효과적으로 가스 하이드레이트를 억제하는데 필요한 유효 성분의 투여량이나 혼합 비율 등을 예측하는 것은 매우 어렵다.

최근에는 개발된 억제제를 천연가스 액화 및 수송과정 뿐만 아니라 가스전 및 생산라인에도 직접 주입하는 기법이 현장 테스트에서도 상당한 효과를 보이고 있다. 효과적인 가스 하이드레이트 억제제 선정 및 이용을 위해서 다양한 환경에서 장기간의 테스트가 이루어지고 있다. 개발된 억제제의 현장 이용에 소요되는 시간이 과거에 비해 크게 단축되고 있다.

국내 LNG 및 오일 플랜트에서의 관련 기술개발 사례는 전무한 상황이며, 가스 하이드레이트 억제기술에 대한 인식 수준이 낮아, 저급 알콜 계열을 적량 투여하는 것으로 충분하다는 풍토가 건설 및 엔지니어링 업계에서조차 일반적이다.

국내에서도 열역학적 저해제 (저급 알콜류)의 효과에 대한 평형 연구가 90년대 후반부터 KAIST에서 실험실 규모로 수행되었으나 열역학적 저해제 투여량이 과다하며 후처리/회수 등 비효율적 문제가 있다.

현재까지 알려진 특허정보에 의하면 해외에서는 소량 (low dosage)을 투여하여 충분한 억제효과를 얻을 수 있는 혼합형 억제제 개발이 활발히 이루어지고 있다.

부식방지제, 거품방지제 등의 첨가제 등과 혼합된 억제제의 영향을 현장 테스트 하는 사실이 알려져 있으나 구체적인 물질 정보는 특허를 통해서 알 수밖에 없고, 공개된 물질이 매우 다양하여 실제 이용되는 물질을 확인 할 수 없다.

가스 하이드레이트 발생 억제효과를 보이는 물성기를 갖는 유사 화합물을 천연물질 (심해 어패류 체내 물질) 로부터 얻어내거나 인공합성 하려는 연구도 시도되고 있다.

국내 가스 하이드레이트 연구 인력은 그 숫자가 매우 적으며, 플랜트에 적용할 수준의 개발 연구나 공정 모사, 데이터베이스 구축 등 경험자는 거의 없는 상태이다.

가스 하이드레이트 억제제를 연구, 개발하기에는 선진국과의 격차가 현저하므로 저급 알콜류의 열역학적 억제제 이용을 최소화하는 방향, 혹은 기 공개되어 업계에 일반화된 만료특허의 억제제를 조합하여 효과를 극대화 할 수 있는 방향의 연구개발이 이루어져야 한다.

조합 및 최적화 기술은 국내 연구자들의 능력이 매우 뛰어나므로 공정모

사와 더불어 억제제 조합 및 다양한 상황에 대처하는 기법을 개발한다면 실제적 성과를 이룰 수 있다고 판단된다.

가스전에서 방출되는 천연가스류에 대하여 가스 하이드레이트 생성을 방지하기 위한 억제제 조합을 개발하고, 이를 유체 혼합물에 포함시키거나 혼합 하는 방법으로 LNG 플랜트 공정이 원활히 조업될 수 있는 운전조건을 확보하여 해당 데이터를 설계에 반영한다.

가스전으로부터 포집된 천연가스는 파이프라인을 통하여 LNG 플랜트로 이송되고 Slug Catcher에서 가스에 함유된 응축수 (associated condensate)를 제거한다. 천연가스는 일반적으로 가스전의 공급관을 통하여 높은 압력 (예를 들면, 90 bar 까지)으로 공급되며 가스압력은 플랜트의 운전 조건에 맞추어 조절된다.

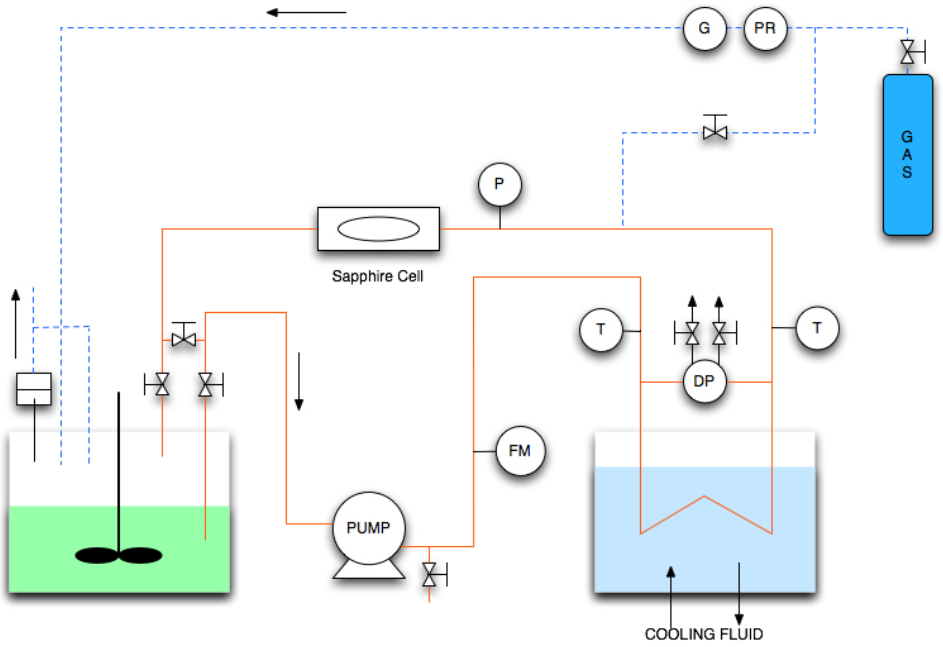


그림 2.4 Lab. 규모 실험장치의 간략도

그림 2.5 Loop형 pilot 장치 - 프랑스 IFP

<NGL 회수>

감압된 천연가스는 각각의 액화공정으로 공급되며, LNG 플랜트 공정설비로는 이산화탄소 제거설비, 물과 수은의 제거설비, 액화설비, 분류설비, 냉매의 저장 및 보충 설비 등으로 구성된다.

천연가스 중 제거되어지는 불순물로는 CO2, H2S, 수분과 수은이다. 이들이 제거된 가스는 냉매를 이용하여 냉각되어 에탄 이상의 무거운 성분 (Heavier Hydrocarbons, HC)을 분리한다. 무거운 성분의 가스가 분리된 가스의 성분은 주로 메탄이며, 이 후 가스는 극저온 (-162 ℃ 정도) 공정을 통하여 액화된다.

액화된 천연가스 (LNG)는 대기압 하에서 탱크에 저장되고, 냉각 공정에서 분리된 무거운 가스 성분인 에탄, 프로판 그리고 부탄은 각각의 분리 공정을 통하여 회수된다. 에탄은 일반적으로 다시 주입되어 액화된다. 프로판과 부탄은 주로 LPG (Liquefied Petroleum Gas)로 전환된다. 나머지 이들 보다 더 무거운 성분인 펜탄 이상의 가스는 가솔린 제품으로 판매된다.

플랜트 공정상 요구되어지는 유틸리티로는 1) 전력 생산을 위한 연료가스, 2) 냉각매체 (물 혹은 공기), 3) 가열매체 (스팀 혹은 오일 시스템) 그리고 4) 기타 계장에 이용되는 공기와 질소로 구성된다.

육상에 설치되는 대형 LNG 플랜트에 있어서 1) 액화공정 (Liquefaction) 2) 열교환기 (Heat exchanger technology) 그리고 3) 드라이버와 드라이버의 구성은 매우 중요하며 기술적으로 충분히 고려되어야 한다.

가스전으로부터 유입되는 천연가스에 존재하는 황화수소 (H_2S)와 이산화탄소 (CO_2)는 반드시 제거되어야 한다. 황화수소는 독성을 갖고 있으며, 금속 설비

들을 부식 시키고, 이산화탄소는 가스의 열량 (heating value)을 떨어뜨리고 천연가스 수송시의 낮은 온도와 높은 압력 하에서 고형화되기 때문이다..

수분 역시 제거되어져야 하는데 부식 문제를 발생시키고 하이드레이트(hydrate)를 형성하기 때문이다. 하이드레이트는 천연가스 수송시의 낮은 온도와 높은 압력 하에서 탄화수소와 수분과 물리화학적인 결합을 통해 얻어지는 흰색의 고형물로 파이프이송 효율을 떨어뜨린다. 수은을 제거하는 공정 역시 포함된다.

무거운 성분의 가스 (heavy hydrocarbon) 분리는 무거운 성분의 가스는 극저온 설비에서 결빙과 이로 인한 막힘 현상을 초래하므로 LNG 최종 제품 생산 공정 중에 분리되어야 한다.

무거운 성분의 가스가 많은 경우 (회수 후 경제성이 있을 정도로 주로 수반가스(associated gas)가 해당됨)에는 NGL (natural gas liquids) 형태로 회수하는 공정이 포함되어져야 한다. NGL로 회수되는 경우가 아니더라도 분리/회수 공정을 통해서 얻어진 무건운 성분의 가스는 LPG (C3 + C4) 등의 고부가가치 제품으로 전환되기도 한다.

<NGL Recovery Unit형식과 위치>

Fractionation설비의 위치는 크게 Stand Alone 형식과 Integrated 형식으로 나누어진다. 지금까지의 연구 결과를 보면 양자가 장단점이 있어서 어느 것이 바람직하다고 결론적으로 이야기 곤란하며 경우에 따라 적절한 설계 방식을 택하는 것이 일반적이다.

Stand Alone형식은 냉동사이클과는 별개로 사전에 원료가스로부터 Fractionation을 해서 NGL을 추출하고 난 후 냉동 사이클로 보내서 액화시키는 방식을 말한다. 반면에 Integrated 형식은 냉동 사이클과 NGL 추출설비가 서로 연계된 설비로 일반적으로 많이 볼 수 있는 공정이다.

Stand Alone은 미리 NGL을 추출시킨 다음 냉각 공정으로 보내기 때문에 초저온 주 열교환기의 부하가 줄어든다. 다시 표현하면 같은 주 초저온 열교환기로 더 많은LNG를 생산할 수 있다.

반면에 에너지 효율적 측면에선 Integrated 보다 다소 떨어지고 조금 더 많은 에너지가 소요된다. Integrated형식은 에너지 효율은 높으나 주 초저온 열교환기의 생산능력에 한계가 있을 경우 추가 LNG 생산이 어렵다.

설비운영과 설계조건에 따라 어느 것을 선택할 것인가를 검토할 수 있고

각각의 경우에 따른 운전성, 기술적 비교, 경제성 비교를 할 수 있는 기술력을 보유하는 것이 필요하다.

Feed Gas 의 조건이 Rich한지 아니면 Lean 여부에 따라 Fractionation여부와 그 정도를 판단해야한다. 이의 판단 기준을 정립할 필요가 있으며 이는 주로 기술적인 사항과 경제성을 평가하는 방법을 정립할 필요가 있다.

가능성이 많은 LNG 시장이 어디인지도 고려되어야 한다. 이에 따라 Heavy 의 Trim off여부 및 경제성을 검토한다. 생산된 NGL을 Refrigerant로 공급하는지의 여부가 NGL Extraction 설비의 Specification결정하는 중요한 요소이다.

천연가스 액화: 냉각과 액화 공정은 LNG 플랜트의 핵심으로 적용 대상 및 경험이 다른 다수의 라이센스 공정이 있다. 냉매를 사용한 천연가스의 냉각과 액화의 기본은 LNG 단위 생산량 대비 적은 양의 에너지가 요구되어지는 보다 열역학적으로 효과적인 공정을 얻는 것이다.

액화공정 (Liquefaction)은 일반적으로 LNG 전체 플랜트 설비금액의 30 ~ 40% 정도를 차지하며, 전체 공정의 효율 (efficiency) 운전용이성 (operability), 신뢰성 (reliability)을 결정하는 주된 요소이다. 주된 설비 항목으로 1) 냉매를 순환시키기 위한 compressor 와 2) compressor driver 그리고 냉매간의 열교환과 가스의 냉각과 액화를 위한 열교환기가 있다.

천연가스는 혼합물로서 광범위한 온도 범위에서 액화됨. 냉각되는 가스와 냉매 흐름간의 온도차를 최소화하기 위하여 주어진 온도 범위 내에서 하나 이상의 냉매를 사용하거나 온도 범위를 분할시킴으로 온도차를 좀 더 근접시키기 위하여 서로 다른 압력에 있는 냉매를 사용할 수 있다.

공정상 가스는 일상적으로 높은 압력(40 55 bar)으로 운전되는데, 이는 설비의 사이즈를 줄이고 보다 효율적인 냉각을 위한것이다. 냉매로는 순수한 성분만을 쓸 수도 있고 다양한 성분의 혼합물을 쓸 수 있으므로, 냉매의 조성도 하나의 중요한 조절변수로 고려되어짐. 혼합 냉매 (mixed refrigerant, MR)의 조성은 공정조건에 맞게 조절될 수 있다.

LNG 생산에는 플랜트의 생산규모가 경제성에 많은 영향을 미치며 일반적으로 액화능력의 크기가 커질수록 설비 투자 비용이 줄어든다. 이 때 한계 사항으로 작용하는 것은 compressor를 운전하기 위한 combustion gas turbine의 크기이다. Propane Pre cooled Mixed Refrigerant Process의 경우에는 spiral wound 열교환기의 size가 플랜트의 사이즈를 결정하는 한계 사항으로 작용한다.

천연가스는 풍부한 매장량과 완전연소로 Clean 에너지의 대명사로 일컬어지지만 가스 수송상의 어려움으로 파이프라인 가설이 경제적인 생산지 인근 국이 주요 고객이었다. 그러나 선박을 이용한 LNG 수송의 경제성이 입증되면서 지역적 제약을 벗어남으로써 세계 에너지 시장의 총아로 거듭나게 되었다.

전문가들의 분석에 의하면 2010년까지 세계 LNG 생산량은 현재의 2배로 증가하고, 수송을 위한 LNG 선박수도 160척에서 300척으로 늘어날 것으로 전망되고 있다. LNG는 천연가스를 섭씨 -162℃ 에서 액화한 것으로 부피가 가스의 1/600로 압축되어, 수송용 특수선박을 통해 세계 어디에든 공급이 가능하다.

(2) 표준적인 Feed Gas 조성 결정

Feed Gas 조성과 조건들 (즉 압력과 온도 조건 등)은 프로젝트 별로 달라진다. 어느 설계 조건일 경우 어느 프로세스가 가장 적합하다는 공식이 존재하지 않을뿐더러 간단하게 정의할 경우 프로세스 선정을 잘못 오도할 수 있기 때문에 프로젝트별로 가장 적합한 프로세스 선정은 가장 중요한 연구 목적물중의 하나이다.

이런 것을 조사한 논문도 찾아볼 수가 없는데 그 이유는 각 설계조건과 요구사항이 다르기 때문에 먼저 설계조건을 확인한 다음 거기에 맞는 최적의 프로세스를 찾기 위한 연구가 필요하다.

2003년 이전의 대형 LNG 플랜트의 기술별 건설 현황과 2004년 ~ 2006년 사이의 대형 LNG 플랜트의 기술별 건설 현황을 표 2.3와 2.4에 정리하였다.

표 2.3 기존의 대형 LNG 플랜트

Licensor	Process Technology	Total number of trains	Total Production [MTPA]	% of market production	Start up date	Largest train [MPTA]
APCI	PMR	53	107.5	88.1	1972 – present	3.3
	SMR	4	2.6	2.2	1970	0.65
Technip-L'AirLiquid	Teal (dual pressure SMR)	3	2.85	2.4	1972	0.95
	Classical cascade	3	1.2	1.0	1964	0.4
Pritchard	Prico (SMR)	3	3.6	3.0	1981	1.2
ConocoPhillips	Con LNG^{SM} (Cascade)	2	4.3	3.6	1969 – 1999	3.0
Total		67	119.05	100	-	-

표 2.4 2004~2006년 사이의 LNG 플랜트 건설

LNG plant Project	Country	Selected Process Technology	Largest Train (MPTA)	Planned Start Up
Atlantic LNG Train 4	Trinidad and Tobago	ConocoPhillips CoN LNG^{SM}	5.2	2006
Egyptian LNG trains 1/2	IDKU, Egypt		3.6/3/6	2005/ 2006
Darwin LNG	Australia		3.7	2005
Northwest Shelf Expansion, train 4	Australia	APCI PMR	4.2	2004
RASGAS Expansion, train 3 and 4	Qatar		4.7	2004-2005
Damietta LNG	Egypt		5.0	2004
Nigeria Plus, train 4 and 5	Nigeria		3.1	2005
Snohvit, Hammerfest	Norway	Statoil-Linde MFCP process	4.3	2006
Sakhalin	Russia	Shell DMR	4.8	

신규 LNG 플랜트 시장으로서, 새로운 기술들은 바지선(Barge)이나 수송선(Ship)에 공정을 설치하기 위하여 소규모화 (miniaturization) 되고 있다. Statoil

Linde의 MFCP 공정은 건설을 용이하게 하기 위한 바지선위에 설치되는 (Barge mounted) 공정이 대표적인 사례로 가스전이 원거리에 있어서 바지선이 공정설비의 영구적인 기초가 된다. Power와 Process heat 공급을 위해 aero derivative gas turbines이 사용되고 compressor로는 electric drive compressors가 사용된다. Shell은 부유 LNG 플랜트 (FLNG)에 DMR 공정을 도입하려 하고 있다.

LNG technology licensor들이 공정상 중점적으로 관심을 갖는 내용은 냉각 순환 공정에서 요구되어지는 압축량 (Compression)과 냉각 순환 공정을 운전하기 위한 Power 그리고 주 액화공정에 적용되는 열교환기의 선택과 설계 및 제작사항이다.

Kenai plant를 제외한 거의 모든 초기의 플랜트에서는 steam turbine driven compressor를 사용하였다. 현재는 combustion gas turbine (CGT)을 일반적으로 사용하고 있다. 일부 라이센서는 거대한 frame turbine을 사용하려는 반면에 일부는 LM6000나 Rolls Royce Trent와 같은 aero derivative CGT가 고려되어지고 있다. 이와 더불어 연도 (flue stack) 폐열 회수 시스템을 이용하여 steam turbine을 구동하는 것도 고려되어지고 있다.

최근까지 Spiral wound heat exchanger(SWHE)를 디자인하고 생산하는 APCI가 초저온열교환기 분야를 주도해왔다. Linde 역시 MCHE 설비를 생산했으며 Woodside에 의해 운전되는 Australia의 North West Shelf LNG 플랜트의 계열 IV에 적용되었다. Blazed aluminum plate fin heat exchangers (PFHE)가 새로운 선택사항으로 시장에 선보이고 있다. Bank에서 조립될 수 있는 장점이 있는 PFHE는 항공산업에서 최초로 설계된 것으로 가스 processing 플랜트의 극저온 냉각 공정에 적용되고 있다.

LNG 플랜트의 실적 (liquefaction process등 핵심 공정)이 있는 엔지니어링 기업은 일본의 JGC (Kellog), 치요다 화공건설, 미국의 KBR, BECHTEL이다. 천연가스 액화플랜트의 EPC 업체의 선택은 기술사에 따라 이미 사전에 정해진 경우가 대부분으로 Phillips의 Optimized Cascade 기술이나 Statoil Linde의 Mixed Fluid Cascade (MFC®) 기술의 경우 EPC Contractor로 각각 Bechtel과 Linde/Aker로 정해져 있는 상황이다.

반면 APCI 공정 기술은 다수의 EPC contractor에게 라이센스가 부여되나, 이 경우도 JGC/KBR과 Chiyoda가 형성한 카르텔에 의해 여타 EPC 업체의 기술사용 자체가 어려운 상황이다.

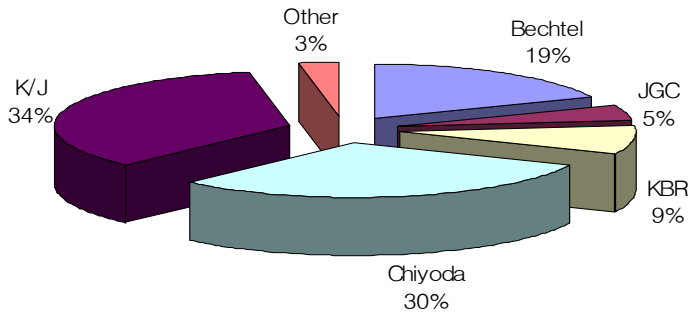


그림 2.6 주요 천연가스 액화플랜트 EPC 업체

LNG 플랜트별 licensor와 주된 contractor를 정리해 보면 다음의 표 2.5와 같다.

표 2.5 LNG 플랜트별 licensor와 주된 contractor

Location	Client	Start Year	Train #	Liquefied process	Contractor	Productivity per train
Arzew –GL4Z Algeria	SONATRACH	1964	Train 1	Cascade Teal	Technip / Pritchard	1.1
Kenai U.S.A.	Kenai LNG	1969	Train 1&2	Cascade Phillips	Bechtel	1.3
Marsa al Burayqah		1970	Train 1,2,3 & 4	APCI-SMR	Bechtel Snamprogetti	0.6 (0.75)
Skikda GL1-K Algeria (GL2-K Expansion) (GL3-K Expansion)	SONATRACH	1972 1981 1982	Train Train1 Train 1&2	Teal-SMR Prico-SMR Prico-SMR	Technip Kellog Kellog	0.9 (1.0) 1 1
Lumut Brunei	Brunei LNG	1972	Train 1,2, 3,4 & 5	APCI-MCR	JGC	1.3 (1.1)
Das Island Abu Dhabi	ADGAS	1977 1994	Train 1,2 Train 3	APCI-MCR	Chiyoda	1.2 2.5

Badak (Botang) Indonesia	PERTAMINA	1977 1983 1989 1993 1997 1999	Train A,B Train C,D Train E Train F Train G Train H	APCI-MCR	Bechtel Bechtel Chiyoda Chiyoda Chiyoda MW Kellog	1.6 (2.0) 1.6 (2.0) 2.6 2.6 2.7 3
Arun Indonesia	PERTAMINA	1978 1983 1986	Train 1,2,3 Train 4,5 Train 6	APCI-MCR	Bechtel Chiyoda JGC	1.5 1.7 1.7
Bethouia GL1-Z Algeria (Expansion GL3-Z)	SONATRACH	1978 1981	Train Train	APCI-MCR	Bechtel Kellog	1.5 1.5
Bintulu Malaysia MLNG DUA	Malaysia LNG Malaysia LNG DUA	1983 1995	Train Train	APCI-MCR	JGC/Kellog	2.7 2.7
Karratha NW Australia	Austrailian NW Shelf	1989 2004	Train 1,2,3 Train 4	APCI-MCR	JGC/Kellog (Kaiser)	2.5 4.2
Ras Laffan Qatar	Quatar Gas	1996 1998 2005	Train 1,2 Train 3 **Debottlenecking**	APCI-MCR	Chiyoda Chiyoda **Chiyoda/Technip**	2 2 1
		2007 2009 2010	Train 4,5 Train 6 Train 7		Chiyoda / Technip	
	RASGAS	1999 2004 2005	Train 1,2 Train 3 Train 4	APCI-MCR	JGC/KBR JGC/KBR Chiyoda/Snam	2.5 4.7 4.7
Point Fortin Trinidad	Atlantic LNG	1999 2002 2003	Train 1 Train 2 Train 3	Phillips Cascade	Bechtel	3 3.3 3.3
		Under Construction Train 4				
Bonny Island Nigeria	Bonny LNG	1999 1999 2005	Train 1,2 Train 3 Train 4,5	APCI-MCR	Technip-Snam KBR-JGC ("TSKJ")	2.95 2.95 4
Qalhat Oman	Oman LNG	2000	Train 1&2	APCI-MCR	Chiyoda Fosterwheeler	3.3
Bintulu Malaysia	Malaysia LNG Tiga	2002 2003	Train 1 Train 2	APCI-MCR	JGC-KBR	3.8 3.8
Damietta Egypt	**Spanish Egyptian Gas Company**	2004	Train 1	APCI-MCR	JGC-KBR	5
Qalhat Oman	Qalhat LNG	2005	Train 1	APCI-MCR	Chiyoda Fosterwheeler	3.3
Sakhalin Russia	Sakhalin Energy	2007 2008	Train 1 Train 2	Shell – DMR	Chiyoda / Toyo	4.8 4.8

치요다와 JGC/KBR의 수주 내역만을 간추려 보면 다음과 같다.

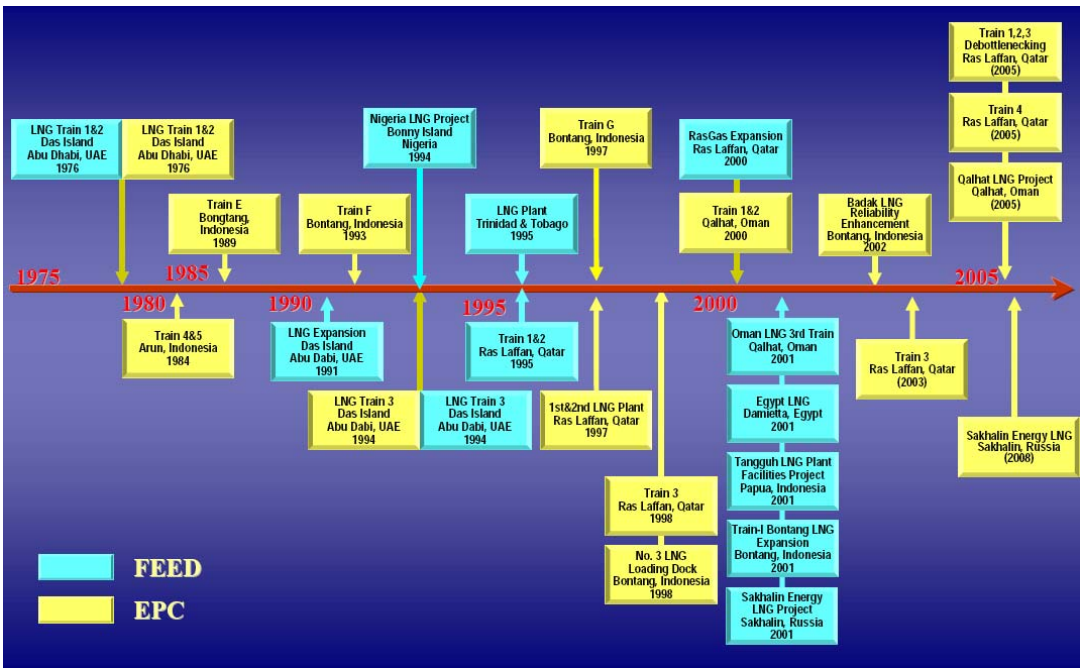


그림 2.7. 해외선진기업 치요다의 LNG 플랜트 수주

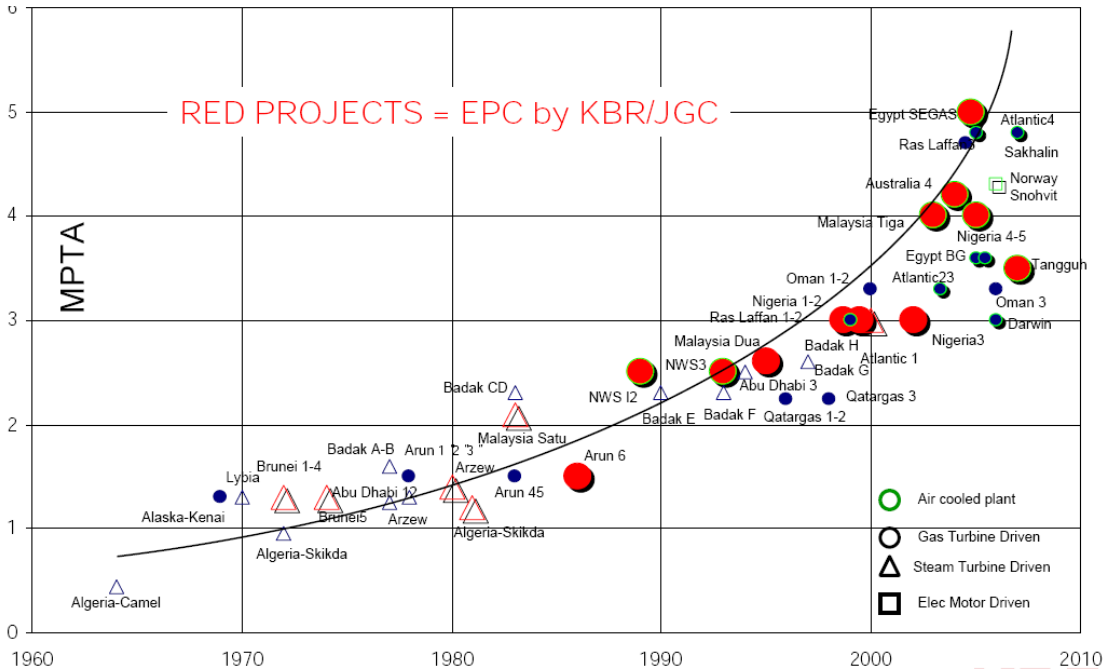


그림 2.8. 해외선진기업 KBR의 LNG 플랜트 수주

(3) 국내 연구 개발 동향

국내 가스플랜트는 자체 기술 개발보다는 외국으로부터 도입되는 기술 용역을 소화시키는 수준이며, 주 관심의 대상은 외국으로부터의 기술/설계사항을 도입하는 수준이다.

미국, 일본과의 플랜트 산업 각 부문에서의 수준을 평가해 보면 플랜트 설계 단계에서의 원천기술 개발 및 원천기술을 이용한 기본설계 부문이 취약하다.

국내 가스플랜트 산업현황은 주로 해외 가스전에서 생산된 액화천연가스(LNG)를 도입하여 공급하는 구조로 천연가스 공급을 위한 인수터미널과 저장탱크, 공급망 건설 등이 주된 산업이다.

국내의 LNG 플랜트 관련 기술개발 사례는 저장탱크 및 인수기지 등을 제외한 액화공정과 이의 응용기술 분야는 전무하다. 그리고 국내 업체의 LNG 플랜트 건설 사업에 참여한 내용은 국내에서 LNG 인수기지 및 저장탱크 등이며, 해외에서는 주된 액화 공정을 제외한 주변 장치 설계(sub-contractor) 및 건설 부문으로 제한되고 있는 실정이다.

천연가스가 추출되지 않는 국내 가스플랜트 시장은 LNG 생산시설 보다는 LNG 이송 및 저장시설에 한정되어 있는 이유로 현재까지 LNG 생산시설에 대한 연구 실적이 전무한 실정이다.

① 전처리공정: 국내의 EPC 업체에서는 다수의 프로젝트 경험을 보유하고 있으며, 생산된 가스의 수분을 Dehydration 공정으로 없애고 CO2, H2S 등의 불순물을 제거하는 공정으로 일반화된 기술(Open Technology)로 평가된다.

② 액화공정: 국내 업체는 천연가스 액화공정에 대한 원천기술과 응용설계 기술에 관한 연구실적이 없으며, EPC 프로젝트 수행 경험이 전무하다. 현재 산업자원부 주관으로 진행되고 있는 LNG 선박에서 발생하는 BOG (boil-off gas)의 재액화 시스템의 기술개발 사업이 국내에서 유일한 LNG 플랜트 관련 기술개발 사항이다.

③ 저장탱크: LNG 저장탱크의 경우에 국내 업체의 경우, 시공 및 일부 상세 설계에 참여한 경험 및 이를 바탕으로 자체적인 기본설계 능력을 갖춘 업체도 있으나 대외적으로 이에 대한 객관적인 검증이 이루어지지 못하였거나 독립적인 설계 수행능력 부족으로 인하여 해외 시장 진출에 어려움을 겪고 있는 상황이다.

LNG 저장탱크의 경우 특허를 가진 액화공정과는 달리 국제적 규격 및 코드에 따라 설계, 시공 및 안전성이 확보될 경우 원가 경쟁력을 갖추기만 한다면 약 50여기에 이르는 국내 LNG 저장탱크 시공경험을 갖춘 국내 업체들이 충분히 국제 EPC 턴키 시장에 진출 할 수 있는 기회를 창출 할 수 있다. 최근 들어 LNG 저장탱크 관련 핵심기술의 발전으로 인하여 저장탱크의 용량은 대형화 되어 가는 추세이며, 이는 LNG 저장탱크의 용량을 증가시키는 것이 저장용량대비 상대적인 시공비용을 절감할 수 있는 방안으로 평가되고 있다.

표 2.6 국내 LNG 저장탱크 건설현황

구 분 (기지명-호기)	탱크 형태		탱크 분류			방액제	용 량 (m3)	설계 압력 (mbar)	설계사	현 황
	내부탱크	외부탱크	방 호 형 식	기 초 형 식	설 치 위 치					
평택기지 11~14호기	9% Ni	〃	Full	저 부 가열식	〃	무	140,000	290	KOGAS	건설 중
통영기지 1~3호기	〃	〃	〃	〃	〃	"	“	〃	KHI	2002 완공
통영기지 4,5호기	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	TKK	2003 완공
통영기지 6,7호기	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	KOGAS	2005 완공
통영기지 8~10호기	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2006 완공
통영기지 11~14호기	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	건설 중
인천기지 11,12호기	멤브레인 SUS304	RC	Single	직접기초	지중	무	140,000	〃	MHI	2001 완공
인천기지 13,14호기	〃	〃	〃	강관파일	〃	〃	200,000	〃	IHI	2002 완공
인천기지 15~18호기	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	KHI	2004 완공
인천기지 19,20호기	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	KOGAS	2004 완공
포스코 광양기지 1,2호기	9% Ni	〃	Full	저 부 가열식	〃	무	100,000	290	Whessoe	2005 완공

* RC : Reinforced Concrete , PC : Prestressed Concrete

다. 기술수요 및 수준

(1) 선진기술수준 분석

사업별 기반역량을 전문가 의견을 토대로 인력 보유현황과 자금 지원수준, 연구개발 인프라, 기술 수준 등을 평가하였다.

플랜트 건설사업 전체 가치사슬(value chain)상에서 기획 및 기본설계, 유지관리 분야의 수준차이가 커 이에 대한 전략적 접근이 시급하다. 선진 건설·엔지니어링 업체는 전체 가치사슬을 다양한 형태로 모두 구사하며, 특정한 핵심기술(원천기술-지적재산권이나 노하우 등)로 특화를 하여 주로 라이센스 대여, 기본설계, FEED package 등 고부가가치 분야에 참여하고 있다.

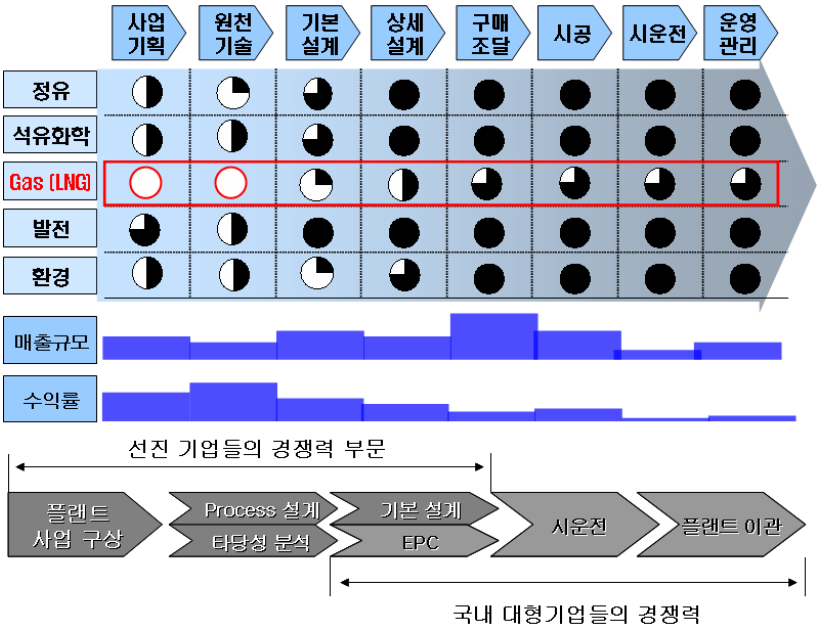


그림 2.9. 선진 EPC 기업과 국내기업과의 차이 경쟁력 분석
(동그라미의 색이 진해질수록 선진업체와의 기술력 차가 적음을 의미함)

천연가스 액화플랜트에 적용되는 기본적인 기술들에 대한 필요 설비, 효율, 생산량 및 경비 등의 비교 내용을 표 2.7에 나타내었다.

계열 효율 (efficiency)는 열효율 (thermal efficiency)라고도 불리우며, 최종 LNG 제품의 HHV (higher heating value)와 Feed gas의 HHV (higher heating value)의 비이다.

표 2.7 천연가스 액화공정에 따른 필요 설비, 효율, 생산량 및 경비 비교

Equipment and Cost Aspect		LNG Process Technology				
		C3MR	Cascade	DMR	SMR	N2 Expansion
Rotating Equipment	Precooling gas turbine	GE-7EA (+refrigerator)	2GE-5C (+helper)	GE-7EA (+helper)	N/A	GE-5C (+helper)
	Precooling compressor	4-stage centrifugal	2 3-stage centrifugal	3-stage centrifugal	N/A	4-stage centrifugal
	Liquefaction gas turbine	GE-7EA (+helper)	2GE-5C	GE-7EA (+helper)	2GE-7EA (+helper)	GE-7EA (+helper)
	Liquefaction compressor	Axial plus 2 stage centrifugal in tandem	Ethylene:23 stage centrifugal Methane :24 stage centrifugal 3casings	Axial plus 2 stage centrifugal in tandem	2 Axial plus single stage centrifugal in tandem	Axial nitrogen compressor; 3 expander compressor sets
Cryogenic heat-exchange equipment	Precooling exchanger	Kettle	Core-in-kettle	Spool-wound	Plate-Fin	Kettle
	Liquefaction exchanger	Spool-wound	Core-in-kettle /Pate-Fin	Spool-wound	Plate-Fin	Plate-Fin
Electrical generation: number of 20-MW turbo-generation		2.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Daily prodution per LNG Train in tons/day excluding process margin		11,900.0	10,000.0	13,100.0	11,300.0	6,540.0
Train efficiencies (%)		92.9	91.2	92.7	91.6	90.4
Indexed CAPEX Comparison		100.0	119.0	116.0	97.0	95.0
Plant availability (sd/a)		340.0	336.0	340.0	338.0	335.0
Annual Production (million metric tons/year, 2Trains)		7.9	6.6	8.7	7.4	4.3
Indexed specific costs (-)		100.0	143.0	105.0	103.0	175.0

표 2.12는 LNG 플랜트에 소요되는 주요 설비/부품/자재들의 과거 시장 규모와 2010년의 예상치 이다. 향후 LNG 플랜트 기술개발 시에 동반되는 타 유관산업 분야에 긍정적인 파급 효과를 얻을 수 있다.

표 2.8 천연가스액화플랜트 소요 자재/설비 수요 현황 및 예측 (억원/년)

천연가스액화플랜트 소요 자재/설비	2002	2003	2004	2005	2010
Actuators	19	28.5	28.5	28.5	66.5
Cold Boxes	5415	5814	7039.5	9158	10,659
Cryogenic system components	2375	2403.5	2451	3486.5	3562.5
Electric control units	19	28.5	57	47	76
Expanders	6764	7505	7714	8550	11,400
Fittings	19	28.5	28.5	38	66.5
Flanges and piping	95	114	142.5	161.5	190
Gauges	38	47.5	38	57	76
Heat exchangers/heat transfer technology	12,949	13,205	13,471	15,039	19,285

Hoses	133	161.5	199.5	247	323
Instrumentation	199.5	218.5	237.5	256.5	332.5
Insulation systems	1330	1444	1558	2622	3249
Metering/measurement systems	38	47.5	47.5	57	123.5
Pipe supports	114	123.5	152	180.5	266
Pressure vessels (Cryogenic)	693.5	950	741	912	1330
Pretreatment systems	256.5	294.5	351.5	361	418
Process components	627	655.5	826.5	893	1178
Refrigeration/Liquefaction systems	6707	7505	7657	9405	11,438
Safety equipment	4845	5434	5700	6868.5	8645
Sensors, detectors, monitoring systems	123.5	142.5	133	152	209
Solvents, lubricants and other chemicals	104.5	114	123.5	152	190
Tanks (field-erected storage)	408.5	541.5	779	912	1168.5
Tubes/tubing	237.5	503.5	551	636.5	712.5
Turbines	4750	5054	5310.5	6849.5	8550
Valves (Cryogenic)/Regulations	133	142.5	152	180.5	218.5

*주) 2004년 BOC 자료로 2010년 예측치는 현 원부자재비 상승률을 반영 시 3~8배 수준으로 평가해야할 것임.

(2) 국내 개발여건 분석

국내 건설기술 개발경험이 전무한 LNG 플랜트의 경우에 주요 분야의 기술수준 등이 전반적으로 낮게 평가되었으며, LNG FEED와 핵심 성격의 기술은 LNG 공정 데이터에 의존하며, 이의 확보를 전제로 설계기술은 선진기술 대비 70% 전후의 수준으로 평가되었으며, 시공기술은 유사 플랜트 상세설계 및 시공경험에 비추어 80% 수준으로 평가되었다.

제3핵심과제와 관련된 기술별 인프라를 조사한 결과를 표 2.10에 요약하였으며, 모든 경우에 인력은 동등한 수준을 평가되었으며, 시설, 지원수준 등에 있어서 부족하거나 다소 부족한 실태를 보이다. LNG 탱크의 경우에 한국가스공사의 기술도입과 국산화 과정을 거쳐 선진국 수준에 근접하고 있는 것으로 평가되었다.

플랜트 설계 및 시공분야에 있어서 타 공종인 건축 및 토목 분야에 비하여 연구시설 및 지원이 절대적으로 부족한 여건으로 분석되었으며, 중요한 건설기술로 집약하기에는 많은 기간과 투자가 선행되어야 할 것으로 보인다.

LNG 플랜트 설계 및 건설기술에 있어서 기술수준과 전문인력 보유 수준은 50% 수준이나 지원 여건은 30% 이하로 적극적인 개발 의지로 연구 인프라를 보강할 필요가 있다. 사업별 기반역량을 전문가 의견을 토대로 인력 보유현황과

자금 지원수준, 연구개발 인프라, 기술 수준 등을 표 2.9 ~ 표 2.11과 같이 종합평가하였다.

표 2.9 제3핵심과제 관련 국내기술보유현황 및 수준

항목	기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
설계기술	국내 주요 건설 및 엔지니어링사	유사 플랜트 상세설계	70
시공기술	국내 주요 건설사	유사플랜트 시공	80
운전 및 유지관리기술	나라콘트롤	에너지시스템 제어	70
	하니웰	지능형 설비시스템 제어	85
LNG 탱크	한국가스공사	LNG 탱크 기술도입 및 국산화	85
	대우건설	LNG 탱크 설계 검토	70

표 2.10 제3핵심과제 핵심기술분야별 인프라 수준

기술분야	인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
		부족	다소부족	동등	우월	보다우월
설계기술	연구인력			√		
	연구시설		√			
	지원수준	√				
시공기술	연구인력			√		
	연구시설		√			
	지원수준	√				
운전 및 유지관리기술	연구인력			√		
	연구시설		√			
	지원수준		√			
LNG 탱크	연구인력			√		
	연구시설			√		
	지원수준		√			

표 2.11 LNG 플랜트 분야 기반역량 분석

항목 / 기술명	인력보유	지원수준	개발인프라	기술수준
설계기술	보통	아주 낮음	낮음	보통
시공기술	약간 우수	아주 낮음	낮음	약간 우수
운전 및 유지관리기술	보통	아주 낮음	낮음	보통
LNG 탱크 설계기술	높음	보통	보통	야간 우수

라. SWOT 분석

기회요인으로는 세계 천연가스 수요의 증가에 따라 가스플랜트 건설수요가 증가할 것으로 예상되며, 또한 국가 R&D의 확대로 양호한 기술개발 여건을 들 수 있다.

위협요인으로는 기술경쟁의 심화와 선진사의 시장 카르텔을 들 수 있다. 우리의 강점으로는 IT관련 인프라와 우수인력을 평가할 수 있으며, 약점으로는 원천기술(촉매, 공정 등)과 엔지니어링 능력의 미비를 들 수 있다.

강점요인으로는 국내 건설 및 엔지니어링 업체가 우수한 인력을 보유하고 있으며, 석유화학이나 발전 등과 같은 유사 플랜트 상세설계 경험을 보유하고 있고, 국내 대학, 연구소 등의 초저온 관련 분야에 대한 기초연구 실적이 증가하는 추세이 있다. 특히 관련 기업들의 LNG 플랜트 사업분야 진출을 위한 사전 검토 및 선진기업과 제휴를 모색하는 등 기술개발 의지가 강하다.

약점요인으로는 앞서 국내 기반여건을 분석한 결과와도 일치하는 내용으로 관련 연구개발경험이 매우 부족한 실정이며, 해외 시장에서 LNG 플랜트 기본설계 경험이 전무하며, 기본설계 사항에 대한 데이터베이스 취약 등을 들 수 있다.

표 2.12 플랜트기술 개발여건 SWOT 분석

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="2"></th><th colspan="2">강점 (S)</th><th colspan="2">약점 (W)</th></tr>
<tr><td>시장</td><td>초저온 분야 핵심기술 개발 역량</td><td>시장</td><td>기획, 개발형 사업 부재</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2"></td><td>기술</td><td>대학, 연구소등의 초저온 관련 분야 기반연구 및 관련 설비에 대한 기초연구 실적과 경험 보유.</td><td>기술</td><td>-설계기반기술 취약
-기본설계 경험 부족
-기본공정설계 사항에 대한 이해 부족</td></tr>
<tr><td>국내 수준</td><td>개발의지 (산,학,연)</td><td>국내 수준</td><td>핵심 액화공정 연구/실적 부재</td></tr>
<tr><td rowspan="3">기회 (O)</td><td>시장</td><td>세계 각국의 에너지 안보차원접근으로 천연가스수요 증가</td><td colspan="2" rowspan="3">(SO 전략)

• 초저온 분야 기술 확대적용
• 천연가스 액화공정기술
• 요소원천기술 확보</td><td colspan="2" rowspan="3">(WO 전략)

• 설계,건설기술 연계 / 융합연구
(초저온 액화공정, 응용설계)
• R&D 기반 확충, 인력양성
• 테스트베드 성공적 운영</td></tr>
<tr><td>기술</td><td>실증개념의 테스트베드 조성</td></tr>
<tr><td>국내 수준</td><td>플랜트분야 국가 R&D 확대</td></tr>
<tr><td rowspan="3">위협 (T)</td><td>시장</td><td>글로벌 기술경쟁 증대
시장진입장벽
(기술, 카르텔)</td><td colspan="2" rowspan="3">(ST 전략)

• 국제 교류 확대
• 특성화, 국산화 소재, 장비
• 기술개발/실적 확보</td><td colspan="2" rowspan="3">(WT 전략)

• 선진업체 기술제휴
• 해외전문가 활용
• 특화/기반기술 지원 강화
• 현지화/동반진출 추진
• 연구 성과 홍보</td></tr>
<tr><td>기술</td><td>일부 독점기업의 시장
지배력 강화</td></tr>
<tr><td>국내 수준</td><td>액화공정 개발/설계/건설경험 부재</td></tr>
</table>

○ 기존연구와의 중복배제 · 연계 · 활용 방안 반영

타 부처 추진 연구과제의 연구 방향과 내용을 검토한 결과를 표 1.13에 나타내었다. 본 표에 나타나는 바와 같이 본 과제와의 중복성이 문제가 되는 과제는 없다. 일부 초저온 시스템용 밸브 개발에 대한 성과품을 사용할 여지는 충분히 있으므로, 본 과제 수행 중 테스트베드 건설시 밸브 류 개발 성과품의 적용 타당성에 대한 논의가 사업단 레벨에서 필요할 것이다.

표 2.13 기존 연구과제와의 중복성 검토

지원부처	과제명 (주관수행기관, 연구책임자)	연구기간	연구개요	중복성 검토
산업자원부	LNG BOG 재액화 장치 국산화 개발	2005,06~	- 체계 및 요소기기 해석과 설계기술 개발	가스플랜트사업단 과제의 개발 내용과 다른 FEED와 액화사이클 개발 --> 중복성 문제 없음
(부품소재	(㈜신영중공업, 홍의석)	2008,05	- BOG 재액화 250kg/h 처리능력급 pilot 장치 개발	
기술개발사업)			- Full scale system 설계(BOG 재액화 5000kg/h 처리능력)	
	액화가스용 극저온 Metal Seat Butterfly **Valve** 개발	2003,04~		초저온 공정에 대한 Valve류 개발로 향후 개발 성과품을 Test Bed에 적용 가능 가스플랜트사업단 과제와의 중복성 없음
	(㈜범한금속고업, 진교정)	2004,03		
	LNG선용 글로브 **밸브** 기술 개살	2006,06~		
	(㈜에이스브이)	2009,05		
	초저온용**밸브**의 선능시험 가방법에 대한 표준화연구	2005,06~		
	(서광공업㈜, 김윤철)	2007,05		
산업자원부	극저온 액체수소 저장, 운송설비의 **밸브류** 기술	2005	- 극저온(-253℃) 10bar 및 250bar의 액체수소 저장탱크의 각종 밸브류에 대한 설계기술 개발, 제작기술개발 및 시제품 제작	
(4개시도	(㈜에이스브이, 구윤회)			
전략산업육성2단계)	양방향 금속시트구조의 LNG 운반선용 극저온가스	2005	- LNG 선용 배관에 사용할 극저온 이중편심형 Butterfly Valve 개발	
	차단**밸브** 개발		- 배관 유형별 구조 특성 및 기능분석, PIV 와 CFD에 의한 유동 메커니즘 분석	
	(㈜범한금속공업, 박성준)		- 극저온(-196℃)조건의 핵심소재와 부품개발, 극저온ButterflyValve 최적구조설계 개발	
			- Hydraulic Actuator Type 시제품 제작 및 기능 평가, 성능평가 및 평가시스템 구축	
			- 제품의 반응성, 기밀성, 내구성, 화염시험을 통한 신뢰성 확보, 설계/양산 기술 확보	
과학기술부	극저온 냉동기 및 열전달 기구 해석 기법 개발	2001,09~	- 극저온 냉동기의 핵심 구성품인 압축기, 열교환기, 터빈, 고속모터/발전기, 모터 드라이브 및 Coldbox의 개발을 온료하고 시제품 1조를 제작, 조립	LNG 액화플랜트가 아닌 산업용 냉동기 관련기술개발로 가스플랜트사업단 과제와의 중복성 없음
(21C 프론티어연구	(차세대 초전도 응용기술개발사업단)	2004,07	- 최대용량 37,5kW, 회전수 100,000rpm의 초고속 동기 모터의 제작 및 성능 시험	
개발사업)	(㈜뉴로스, 김승우)			
산업자원부	300마력급 전동기 직결식 냉매 압축기 개발	2007,10~		
	(한국터보기계, 이헌석)	2010,09		
산업자원부	LNG **저장탱크**의 설계안전 규격 및 표준화 기술개발	2005,06~		저장탱크에 대한 표준화 내용으로 LNG 공정/설계기술 개발과제와의 중복성 문제 없음
(표준기술력	(한국가스안전공사, 권부길)	2008,05		
향상사업)				

빈 페이지

3. 세부과제의 목표 및 내용

가. 세부과제의 구성

제3핵심과제의 최종목표는 100 톤/일 급 테스트베드 FEED 및 구축, 이에 기반한 대용량 (5 MTPA급) LNG 플랜트 기본설계 패키지 개발 목표를 달성하기 위하여 구성된 세부과제는 다음과 같다.

- (제1세부과제) LNG 플랜트 설계기술 개발
- (제2세부과제) LNG 플랜트 건설기술 개발
- (제3세부과제) LNG 플랜트 운영 및 유지관리기술 개발
- (제4세부과제) 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발

표 3.1 제3핵심과제 세부과제 구성

세부과제	과제 번호	세부과제 / 세세부과제 공모 구성	공모
제1세부과제	3-1-1	FEED/기본, 상세설계 기술 개발	지정공모
	3-1-2	공정제어 기술 개발	분리공모
제2세부과제	3-2	LNG 플랜트 건설기술 개발	분리공모
제3세부과제	3-3	LNG 플랜트 운영/유지관리 기술개발	분리공모
제4세부과제	3-4-1	초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발	분리공모
	3-4-2	LNG 저장탱크 수명평가 기술개발	

나. 세부과제별 목표 및 내용

(1) 제1세부과제 : LNG 플랜트 설계기술 개발

◦ 과제의 정의

제1세부과제는 제2핵심과제의 공정 데이터와 해외 선진 FEED 사례를 기반으로 LNG 플랜트 기본설계 및 FEED 개발을 위한 설계기술로 정의되며, 100톤/일 급 테스트베드 FEED, 상용급 기본 설계집 등을 주요 연구내용으로 한다.

◦ 과제의 목표

- 100 톤/일급 규모의 테스트베드 FEED
  - · 테스트베드 FEED 패키지
  - · 공정제어 기술 정립
  - · 테스트베드 사전검증용 BSU 시스템 구축
- 대용량 LNG 플랜트 기본설계 패키지
  - · scale-up/down 기법
  - · 상용급 기본 설계집

◦ 연차별 목표 및 내용

제1세부과제는 1단계에서부터 3단계까지 수행되며 연차별 목표 및 내용은 표 3.2와 같다.

표 3.2 제1세부과제의 연차별 목표 및 내용

단계	연차	목표	내용
1단계	1	○ 선진 FEED 벤치마킹 및 사례 구축	○ 선진 FEED 사례 분석 - FEED 열·물질수지, PFD 등 분석
		○ LNG 플랜트 공정제어 시스템 공정제어 기준 정립	○ 공정제어 시스템 적용 사례 분석 ○ 공정별 제어요소 정립 - 전처리공정, 액화공정 등
	2	○ 테스트베드 구성 및 설계기준 도출	○ 테스트베드 건설사례 분석 ○ 테스트베드 설계기준 정립 - 설계기초, 열 및 물질수지 분석

			- 가스조성, 냉매, 생산량 기반 설계
		○ 테스트베드 공정제어시스템 설계기준 도출	○ 테스트베드 제어범위 정립 ○ 테스트베드 공정별 제어권 설정(통합제어시스템 연계) ○ 현장적합성평가용 BSU 설계
2단계	3	○ 테스트베드 FEED 보완 및 상세설계	○ FEED package 보완 - 열・물질수지 기반 기본 공정설계 - Hydraulic 기반 배관 설계 ○ 열교환기, 압축기 등 기자재 선정
		○ 테스트베드 공정제어 기술 연구	○ 공정별 계측/제어 기준 구축 ○ 현장적합성평가용 BSU 개발
	4	○ 상용급 LNG 플랜트 최적화 데이터 도출	○ 현장적합성평가용 BSU 적용시험 ○ 테스트베드 테스트, 운전데이터 수집 - 핵심기자재 운전데이터 수집 - 상용급 핵심 기자재 선정 기준 도출
3단계	5	○ 상용급 LNG 플랜트 scale-up 설계 ○ 테스트베드 운전 및 설계기술 검증	○ 상용급 LNG 플랜트 scale up 설계 - 공정・계통 제어시스템 모듈화 설계 - 기자재 data sheet, layout 작성 - 상용 시스템 공정제어 설계 ○ Test bed 시운전 및 설계보완 - 시운전 결과 이용(feed back) 설계보완 ○ BSU 운전결과 DB화 및 개선사항 도출
	6	○ 5 Mt/y급 LNG플랜트 기본설계집 작성 ○ 상용급 기자재 선정기준 및 가이드라인 작성	○ 상용 플랜트 설계/설치/운전 표준 작성 - 설계표준/지침 작성 - 기자재 선정기준/가이드 작성 - 설치시방/지침 작성 - 운전・유지보수가이드 작성

※“LNG플랜트 공정제어기술개발(3-1-2)”과제는 1핵심 1-2(동적 공정설계시뮬레이터 개발) 과제와 상호 연계 및 활용계획의 제시가 필요함.

◦ 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

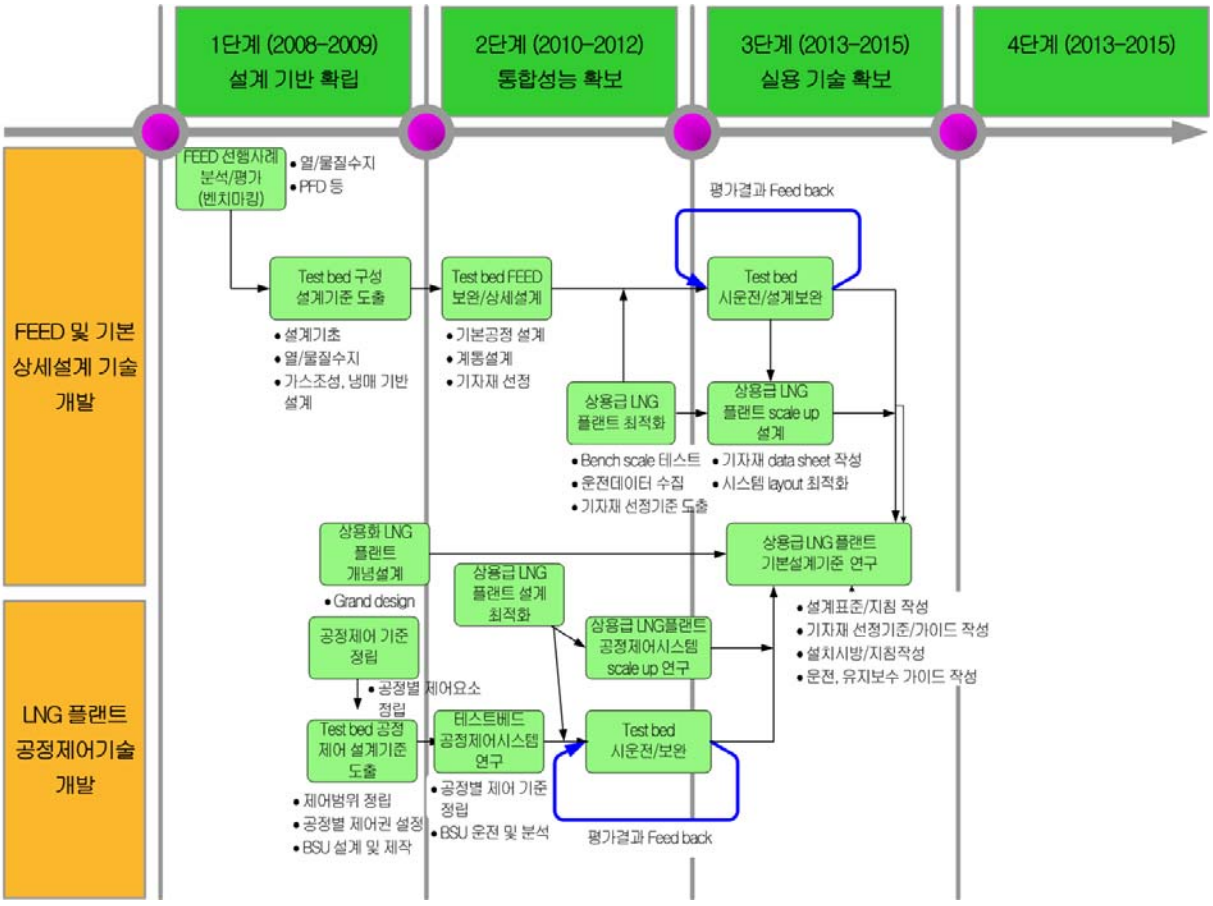


그림 3.1 제1세부과제 기술개발 로드맵

그림 3.2 제1세부과제의 성과로드맵

◦ 성과물 도출계획 구체화

표 3.3 제1세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

예상성과물	도출시기	도출계획
100 톤/일급 규모의 테스트베드 FEED 패키지	1-2단계	- 해외 LNG 플랜트 FEED 자료 벤치마킹 및 전문가 자문을 통해 FEED 기술적 구성 내용을 확보하고, - 제2핵심과제의 공정 기초 데이터를 기반으로 테스트베드 FEED를 수행 - 테스트베드 사전검증용 BSU 운전/분석을 통하여 예상 Trouble-shooting 최소화
대용량 LNG 플랜트 기본설계 패키지	3단계	- 테스트베드 FEED를 통하여 확보된 데이터를 기초로 개념설계를 수행 - 테스트베드 구축 및 실험 등을 통하여 검증된 데이터 및 시뮬레이션 기법을 활용하여 scale-up 설계를 수행

◦ 테스트베드 적용방안

표 3.4 제1세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

개발기술	Test bed 적용유무	Test bed 적용시기
100 톤/일급 규모의 테스트베드 FEED 패키지	O	2단계
테스트베드 사전검증용 BSU 시스템	O	2단계

(2) 제2세부과제 : LNG 플랜트 건설기술 개발

◦ 과제의 정의

3-1세부과제에서 제시하는 테스트베드 설계를 기반으로 시공을 수행하며, 공기단축 및 모듈화 시공 등에 관한 기술을 개발함.

◦ 과제의 목표

- 100 톤/일급 규모의 테스트베드 구축
  - · 테스트베드
  - · 계통제어시스템 국산화
  - · 모듈화 시공기술

◦ 연차별 목표 및 내용

제2세부과제는 2단계에서부터 3단계까지 수행되며 연차별 목표 및 내용은 표 3.5와 같다.

표 3.5 제2세부과제의 연차별 목표 및 내용

단계	연차	목표	내용
2단계	3	○ 테스트베드 부지조사 및 타당성 평가	○ Test bed 주변 환경 평가 - 냉각수 분포, 주변공기흐름 - 입지조건 타당성 평가 ○ Test bed 경제적 타당성 평가
		○ 테스트베드 건설 준비 (법규, 기준, 유틸리티 등)	○ Test bed 설치 지역 법규, 공업기준 등 검토 ○ Power, 유틸리티 공급망 확보
	4	○ 테스트베드 구성 기자재 구매, 제작	○ Test bed 기자재 제작 - 모듈화, package화 제작 ○ 기가재 Compact화 제작 ○ LNG 기자재 구매(발주) - 제작사 기술 검토/평가/발주
		○ 핵심설비 테스트베드	○ 주요장비 모듈화 시공

		적용 ○ LNG 플랜트 모듈화 시공체계 개발	○ 모듈화 시공체계 구축 ○ 통합제어시스템 설치
3단계	5	○ 테스트베드 시공 및 시운전 ○ LNG 플랜트 공기개선	○ Test bed 시운전/보완 ○ LNG 플랜트 공기 단축기법 개발 ○ LNG 플랜트 건설 노하우 DB화
	6	○ LNG 플랜트 현장 관리기술 개발	○ 표준시방, 지침 등 개발 ○ 현장관리 가이드(메뉴얼) 개발

◦ 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

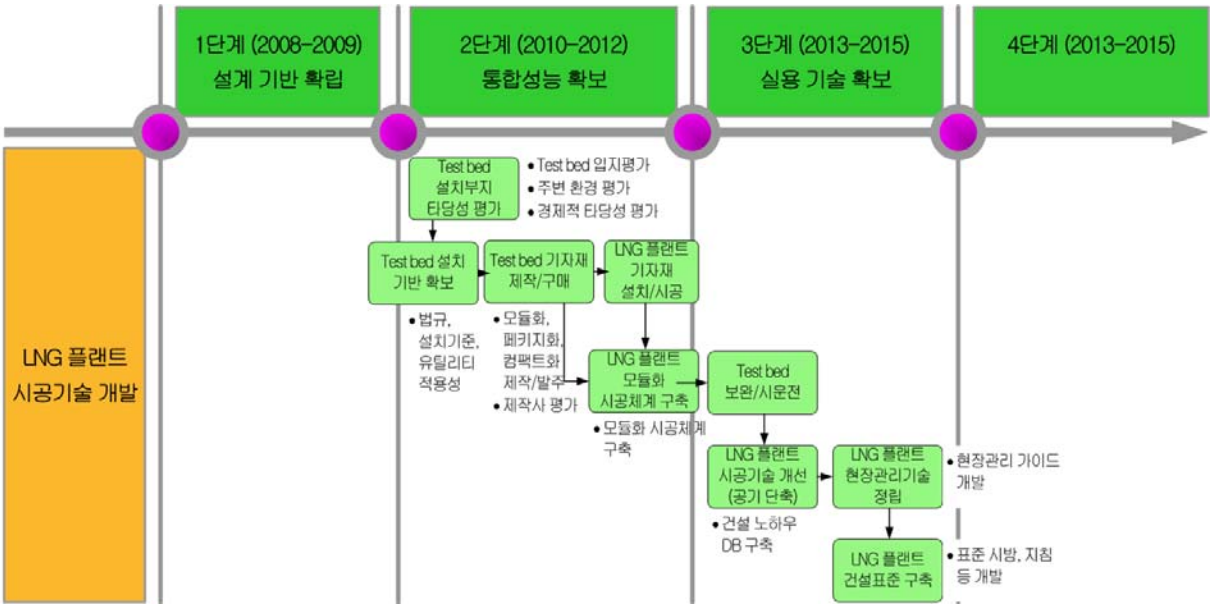


그림 3.3 제2세부과제 기술개발 로드맵

그림 3.4 제2세부과제의 성과로드맵

◦ 성과물 도출계획 구체화

표 3.6 제2세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

예상성과물	도출시기	도출계획
100 톤/일급 규모의 테스트베드	3단계	- 테스트베드 FEED를 기반으로 각 핵심과제에서 개발된 기술과 시스템의 적용성을 사전에 평가하고, - 평가결과를 보완하여 시스템 및 부품 등을 국산 제작 또는 도입을 통하여 테스트베드를 시공

◦ 테스트베드 적용방안

표 3.7 제2세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

개발기술	Test bed 적용유무	Test bed 적용시기
100 톤/일급 규모의 테스트베드	O	3단계

(3) 제3세부과제 : LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술 개발

◦ 과제의 정의

제3세부과제는 LNG 플랜트 운영을 위한 통합관리기술과 각종 시스템 및 모듈, 기자재의 유지보수를 위한 체계 및 관리시스템 개발을 위한 과제로 정의된다.

◦ 과제의 목표

- LNG 플랜트 최적통합운전환경 기술개발
  - · 통합운전정보관리 및 원격모니터링 시스템 (OIS, Operating Information System)
  - · 현장 센서진단 및 보정시스템 (Data Reconciliation)
  - · 운전 최적화 시스템

- 웹기반 LNG 플랜트 유지/보수관리시스템 기술개발
  - · 플랜트 운전지원시스템 개발
  - · LNG 플랜트 위험도 정량화 방법론 구축
  - · LNG 플랜트 유지보수 DB 구축
  - · 원격모니터링시스템과 연계된 웹기반 시스템 개발

◦ 연차별 목표 및 내용

표 3.8 제3세부과제의 연차별 목표 및 내용

단계	연차	목표	내용
2단계	3	○ 통합운영환경시스템 구축 방향 정립	○ 적용 사례 분석 ○ 각종 표준 정립 ○ 시스템 개발방향 정립 ○ 통합 운영정보 관리 요소제시 ○ 최적운영 로직 정립
		○ 유지/보수관리시스템 구	○ 적용 사례 분석

		축 방향 정립	○ 유지/보수관리시스템 개발방향 정립 ○ 안전관리 로직 정립 ○ 위험도 정량화 방법론 구축
	4	○ 통합운전정보관리 및 원격모니터링 시스템 구축	○ 필요 기자재 및 시스템 스펙 작성 ○ 현장 센서진단 및 보정방안 제시 ○ 운전 최적화 방안 제시
		○ 유지보수/안전관리 DB 구축	○ 유지보수 DB 자료 구축 및 분석 - 운전정보, 정비이력 등 ○ 사고사례 DB 구축 및 분석모듈 개발
		○ 운전지원시스템 개발	○ 플랜트 설계정보 데이터 핸드오버 도구 개발
3단계	5	○ 현장 센서진단 및 보정 시스템 구축	○ 공정운전 모델링 및 보정시스템 구축
		○ 운전 최적화 시스템 구축	○ 공정운전 모델링 및 운전 최적화시스템 구축
		○ 원격모니터링시스템과 연계된 웹기반 시스템 개발	○ 유지보수시스템 XML 스키마 개발 ○ 유지/보수관리시스템 개발
	6	○ 개발시스템 테스트베드 성능평가	○ 통합 운영 정보관리 및 모니터링 시스템 등 성능검증 ○ 유지 보수 관리시스템 성능 보완 및 검증

◦ 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

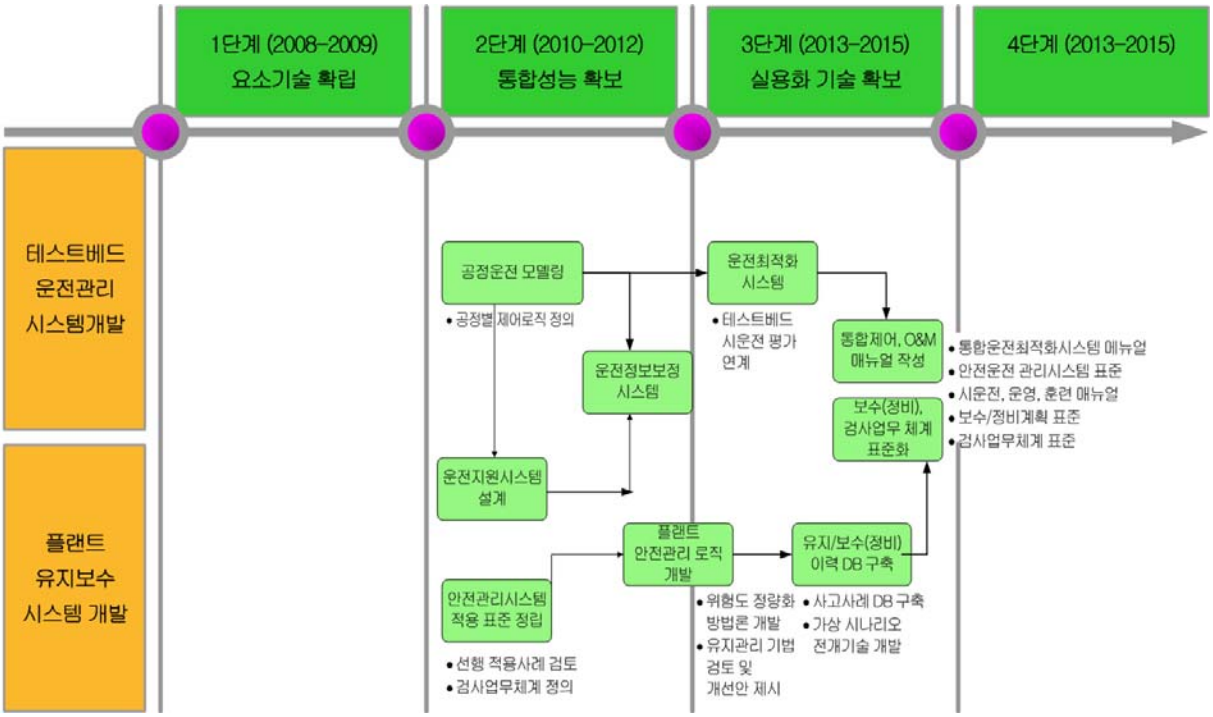


그림 3.5 제3세부과제의 기술개발 로드맵

그림 3.6 제3세부과제의 성과 로드맵

◦ 성과물 도출계획 구체화

표 3.9 제3세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

예상성과물	도출시기	도출계획
LNG 플랜트 통합운전환경	2단계	- 관련된 선진기술의 벤치마킹을 통하여 개발모델을 확립하고, - LNG 테스트베드 및 대용량 플랜트의 통합운영 및 최적화된 시스템 구축
LNG 플랜트 유지관리시스템	3단계	- LNG 플랜트 보수업무체계를 정립하고 해외 선진사례를 벤치마킹하고 - 국내 우수한 IT 기술을 접목하여 웹기반 유지보수관리시스템을 구현

◦ 테스트베드 적용방안

표 3.10 제3세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

개발기술	Test bed 적용유무	Test bed 적용시기
LNG 플랜트 통합운전환경	O	2-3단계
LNG 플랜트 유지관리시스템	O	3단계

(4) 제4세부과제 : 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발

◦ 과제의 정의

제4세부과제는 세계최대용량인 25만 kl 급 이상의 대용량 저장탱크의 설계기술을 개발하고, 저장탱크의 안전성제고를 위한 수명평가기술 등을 개발하는 과제임.

◦ 과제의 목표

- 초대용량 LNG 탱크 설계기술

· 지상식 완전방호식 LNG 저장탱크 설계 (25만 kl 이상)
· 경제성 및 공기 10% 개선

- 첨단 모니터링 및 수명평가기술
· 외부 손상평가기술
· 외부손상 보수/보강기술
· 누출 감시 및 진단기술

◦ 연차별 목표 및 내용

제2세부과제는 2단계에서부터 3단계까지 수행되며 연차별 목표 및 내용은 표 3.11과 같다.

(나) 단계별 추진일정

표 3.11 제4세부과제의 연차별 목표 및 내용

단계	연차	목표	내용
2단계	3	○LNG 탱크 기술 정립	○LNG 탱크 건설사례 분석 ○LNG 탱크 표준, 지침 및 기술 개선 사례 검토 ○LNG 탱크 개선사항/개선(안) 도출
		○LNG 누출감지, 손상 감지 기법 평가	○누출감시 시스템 평가/개선안 도출 ○손상감지 시스템 평가/개선안 도출 ○지진 영향 평가 시스템 정립/개선안 도출
		○LNG 탱크 설계요소 정의	○열유동 제어 특성 평가 ○단열재 및 현수천장 모듈 영향 평가
		○지진의한 손상 평가기법 개발	○지진 시 지반 액상화에 대한 정밀 예측 기법 개발 - 지반 수분 포화도, 지반 응결도 평가
	4	○탱크 구조물 극저온 거동 특성 평가	○LNG 탱크 부재 물성 검토/해석 - 콘크리트 - 철근 및 긴장재

			- 액상화에 대한 실험적 연구
		○ 운전중 누출감지 & 손상 평가 기법 개발	○ 초저온, 초고압 누설, 진도 센서류 개선 ○ 비파괴 손상 평가 알고리즘 개선 ○ 누출 감지 로직 정의 ○ 손상 평가 로직 정의
		○ LNG 탱크 기본설계	○ Slip form 공법 적용 ○ 긴장재 최적 배치 공법 적용
		○ 지진에 의한 액상화 개선대책 마련	○ 지반 액상화 방지 지반 개량대책 개발 - 다짐, 간극수압소산, 고결, 치환, 지하수위저하 원리 등 이용
3단계	5	○ 외조부 모듈화 시공법 개발	○ 외조의 모듈화 시공방법 개발 연구 - 벽체, 지붕의프리캐스트 시공법 등
		○ 지능형 안전관리 시스템 표준 제시	○ 지능형 안전관리시스템 설계 표준 작성 ○ 운전 매뉴얼/가이드 작성
	6	○ 25만 kL급(세계 최대) 탱크 모의설계 및 인증 획득	○ 세계최대 25만 kl급 탱크의 모의설계 - 내조/외조 설계 영향력 검토 - 시공성 및 영향력 검토 ○ 해외 전문 업체 설계 기술 인증 획득
		○ 첨단 누출감지 & 손상 평가 시스템 해외 전문 기관 인증	○ 해외 전문 업체 설계 기술 인증 획득

◦ 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

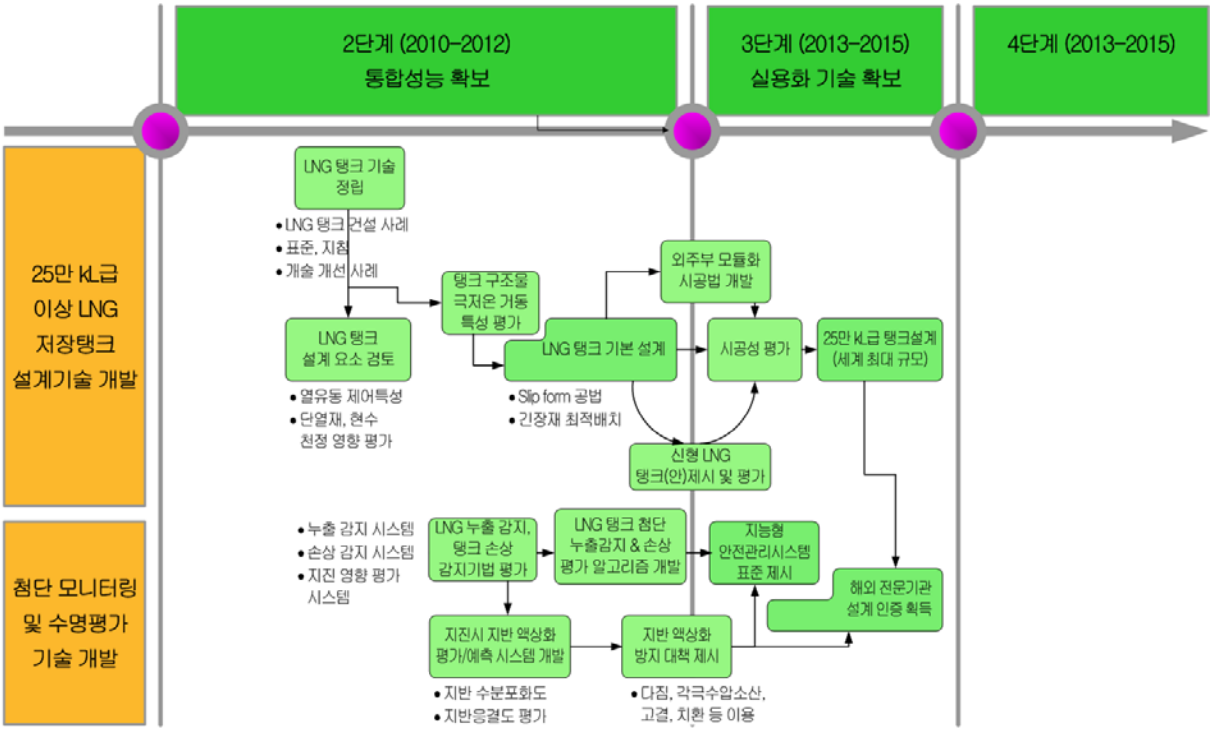


그림 3.7 제4세부과제 기술개발 로드맵

그림 3.8 제4세부과제 성과 로드맵

◦ 성과물 도출계획 구체화

표 1.12 제4세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

예상성과물	도출시기	도출계획
LNG 탱크 수명평가기법	3단계	- 기존 데이터베이스 및 해외사례를 기반으로 주요 손상메커니즘을 정립하고, - 발달된 국내 원자력/도시가스관련 검사기술을 접목하여 개발
초대용량 LNG 탱크 설계기술	3단계	- 국내외 LNG 탱크 설계 및 시공기술 개선사항을 벤치마킹하여 도출하고, - 단열, 지반 액상화, 구조재 배치, 모듈화 등 최적화 및 모의설계를 통하여 완성

◦ 테스트베드 적용방안

표 3.13 제4세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

개발기술	Test bed 적용유무	Test bed 적용시기
LNG 탱크 수명평가기법	-	3단계
초대용량 LNG 탱크 설계기술	-	3단계

다. 세부과제 선정근거

(1) 전문가 기술위원회 운영

천연가스 액화 공정 및 플랜트산업과 관련하여 수년간의 연구경험이 있는 한국과학기술원, 서울대, 고려대, 성균관대 등의 학계 교수진과 대림산업, 대우건설, 대성산업가스, 현대중공업 등의 기업 전문가들로 구성된 전문가위원회의 회의를 거쳐 핵심과제 및 세부과제의 연구제목과 연구목표 등을 결정하였다. 전문가위원회의 회의 일정과 내용을 다음의 표 3.14에 정리하였다.

표 3.14 전문가위원회의 회의 일정과 내용

차수	사전기획	상세기획
1차	2007년 11월19일 (대한상공회의소)	□ 가스플랜트사업단과제 소개 □ LNG 분야 사전기획 내용 검토 □ 상세기획연구 내용 및 추진방향 논의
2차	2007년 11월29일 (대한상공회의소)	□ 상세기획 주요 Points 대응 안 도출 □ 테스트베드의 전략적 필요성/위치/활용방안 □ 세부과제수요조사서를 기반으로 세부과제 및 과제간 조율안 논의 □ 향후 상세기획 추진 전략 논의
3차	2007년 12월11일 (대한상공회의소)	□ 핵심/세부과제, 전략 및 일정 안 검토 □ 상세기획 기본구도 협의 □ 세부과제 소그룹 확정 □ 향후 상세기획 추진 전략 논의
4차	2008년 1월14일 (현대엔지니어링)	□ 세부과제 구성 협의 □ 세부과제 추가 건에 대한 협의 □ 성과 목표/지표 설정안 논의

사전기획내용을 기반으로 하였으며, 전문가위원회의 회의와 해외전문가 자문 및 특허와 논문분석을 통해 사전기획 내용을 일부 수정, 보완하였다. 세부과제의 구성과 관련하여 사전기획과의 비교 및 선정배경에 대한 내용을 표 3.12, 표 3.15와 표 3.17에 정리하였다.

표 3.15 사전기획 대비 3핵심과 연관된 2-1세부과제의 상세기획 내용 비교

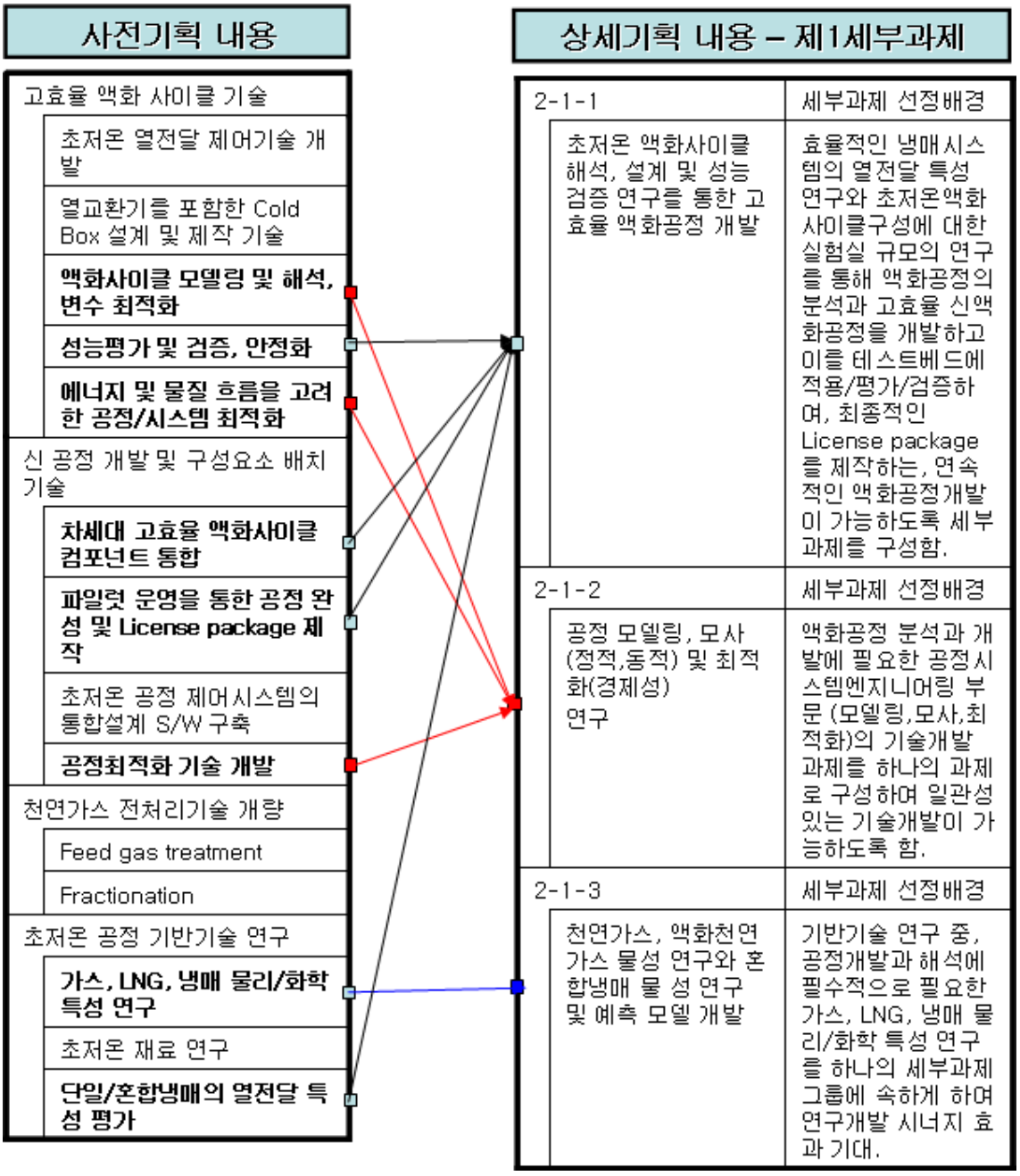


표 3.16 사전기획 대비 3핵심과 연관된 2-2세부과제의 상세기획 내용 비교

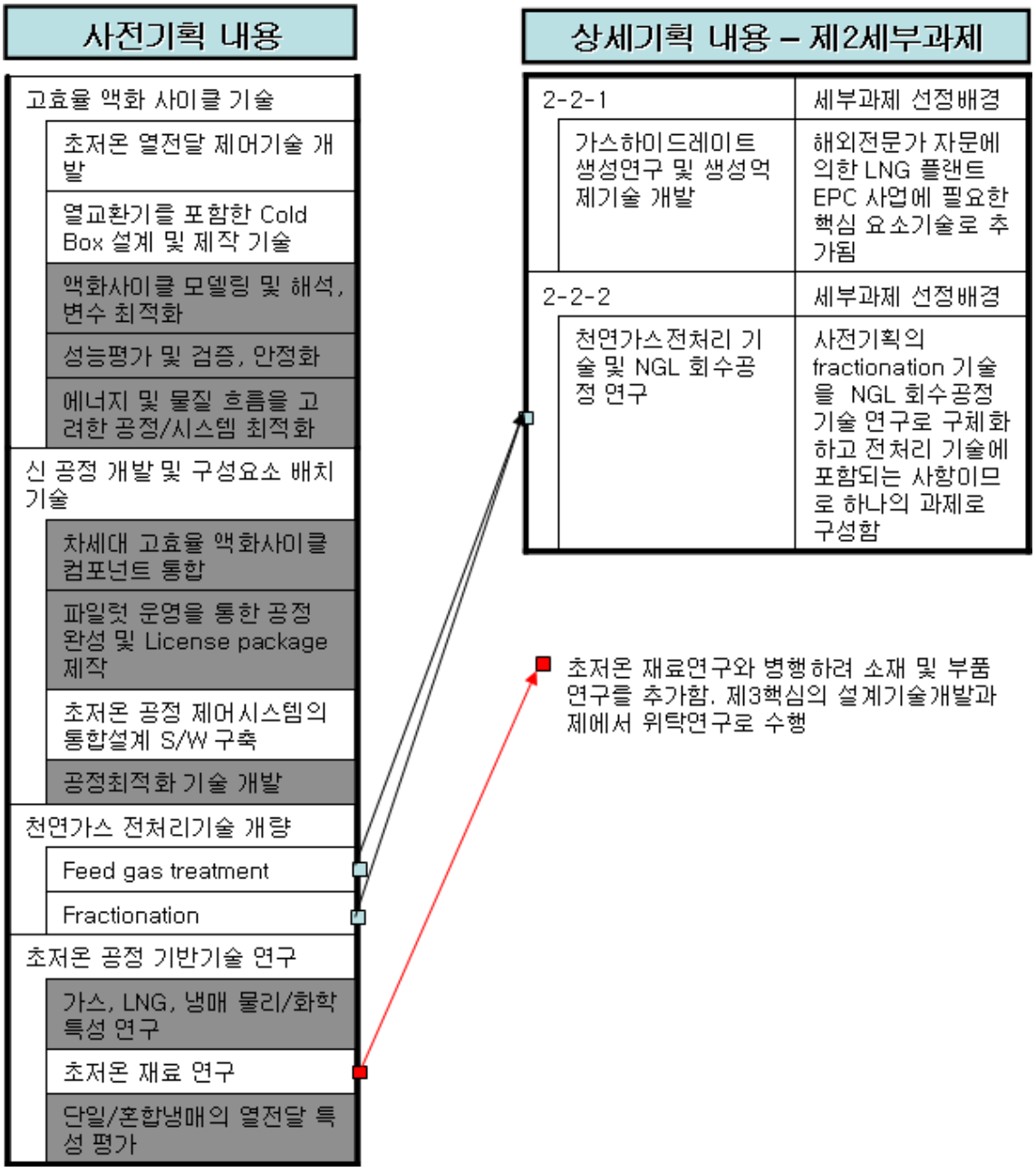
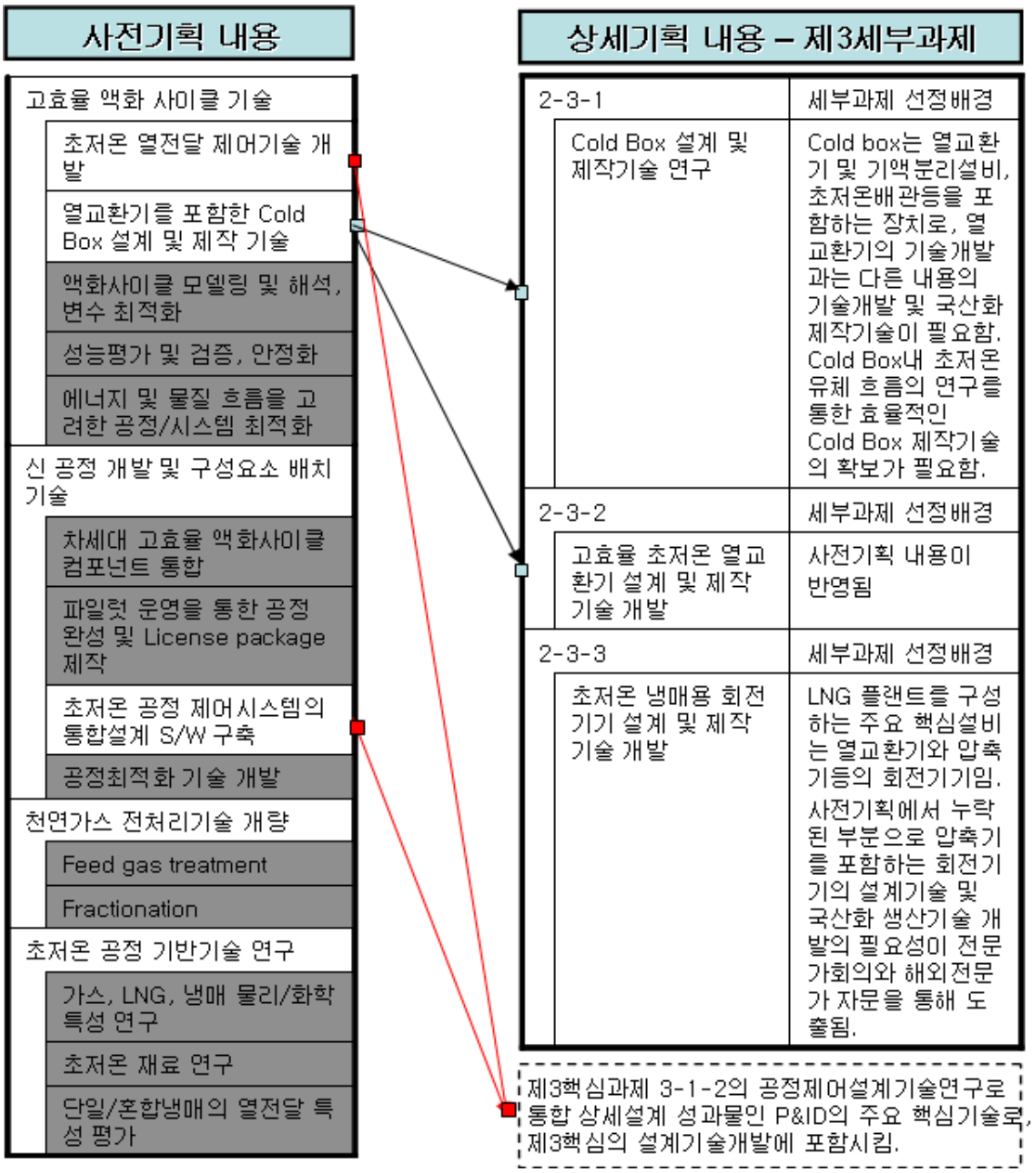


표 3.17 사전기획 대비 3핵심과 연관된 2-3세부과제의 상세기획 내용 비교



전문가위원회를 통한 LNG 플랜트 사업의 배경 및 기술동향 분석의 기준 사항과 내용은 다음과 같다.

① 기술동향조사의 범위

- 기술동향조사대상의 범위는 사전기획연구결과 도출된 LNG 플랜트 관련 핵심 기술을 조사대상 범위로 하되, 전문가의 의견을 수렴하여 최종 확정하였다.
- LNG 플랜트 관련분야 분석, 기술특성 정의 및 세부항목 내용을 바탕으로 범위를 설정하였다.
- 국가적으로 에너지 및 자원의 확보와 세계적인 환경규제 움직임에 관한 실태 조사를 통하여 대응논리 등을 강화하였다.

② 국내 선행연구 및 사례 공유

- 산업자원부, 과학기술부 등 국가 R&D 지원연구사례를 분석하였다.
- LNG 플랜트 관련 유사연구나 선행 연구 성과를 활용하거나 차별화하는 방안을 검토하였다.
- 전자저널, IEA, DOE 등 국제 에너지관련 보고서, 연구논문 등의 문헌을 조사하여 시장 및 산업동향을 파악하였다.
- 가스플랜트 관련업체 시장동향 조사자료, ENR 등을 분석함으로써 세계 시장의 방향 및 전망을 예측하였다.

③ 해외 전문가 자문

- LNG 플랜트 분야에서 다년간 기술개발과 실사업의 고급 엔지니어로서 CBI에 근무 중인 (전 KBR) 전문가 1인으로부터 사전 질의서 작성 및 준비작업을 통하여 자문의 효율성 제고하였다.

LNG 플랜트 연구개발 목표 달성을 위한 세부기술 도출을 위해 다음의 방법론이 적용되었다. 중점 연구 분야별 핵심과제 및 세부기술 도출은 설정된 사업 목표와 기술개발 내용 및 범위를 충족시키기 위하여 과학적이고 합리적인 다양한 방법들을 고려하였다.

LNG 플랜트 기술개발 과제 진행 개괄을 예시하면 다음의 그림과 같다. 각 단계에 맞는 핵심과제 및 세부기술의 도출이 필요하며 동시에 각 단계가 다음 단

계로 전파된 이후 검증 및 개선 방안에 대한 전략 역시 중요하다.

각계각층의 관련분야 전문가들의 의견 수렴을 위한 개발기술의 수요조사를 실시하였고, 중점분야의 전문가로 구성된 소그룹회의에 의한 전문가 판단법으로 세부기술(과제)을 도출하고 과제 간 기술연관성을 분석하였다.

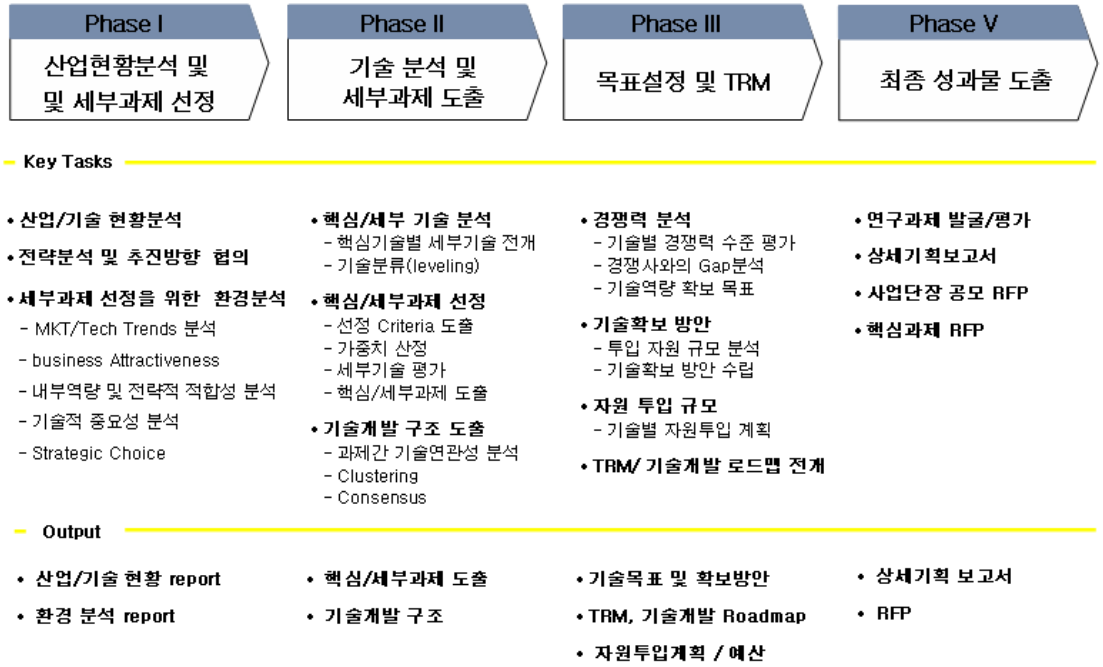


그림 3.9 세부기술 도출과정

(2) 기존연구와의 중복배제 · 연계 · 활용 방안 반영

타 부처 추진 연구과제의 연구 방향과 내용을 검토한 결과를 표 9에 나타내었다. 본 표에 나타나는 바와 같이 본 과제와의 중복성이 문제가 되는 과제는 없다.

일부 초저온 시스템용 밸브 개발에 대한 성과품을 사용할 여지는 충분히 있으므로, 본 과제 수행 중 테스트베드 건설시 밸브 류 개발 성과품의 적용 타당성에 대한 논의가 사업단 레벨에서 필요할 것이다.

표 3.18 기존 연구과제와의 중복성 검토

지원부처	과제명 (주관수행기관, 연구책임자)	연구기간	연구개요	중복성 검토
산업자원부 (부품소재 기술개발사업)	LNG BOG 재액화 장치 국산화 개발 (㈜신영중공업, 홍의석)	2005,06~ 2008,05	- 체계 및 요소기기 해석과 설계기술 개발 - BOG 재액화 250kg/h 처리능력급 pilot 장치 개발 - Full scale system 설계(BOG 재액화 5000kg/h 처리능력)	가스플랜트사업단 과제의 개발 내용과 다른 FEED와 액화사이클 개발 --> 중복성 문제 없음
	액화가스용 극저온 Metal Seat Butterfly **Valve** 개발 (㈜범한금속고업, 진교정)	2003,04~ 2004,03		초저온 공정에 대한 Valve류 개발로 향후 개발 성과품을 Test Bed에 적용 가능 가스플랜트사업단 과제와의 중복성 없음
	LNG선용 글로브 **밸브** 기술 개살 (㈜에이스브이)	2006,06~ 2009,05		
	초저온용**밸브**의 선능시험 가방법에 대한 표준화연구 (서광공업㈜, 김윤철)	2005,06~ 2007,05		
산업자원부 (4개시도 전략산업육성2단계)	극저온 액체수소 저장, 운송설비의 **밸브류** 기술 (㈜에이스브이, 구윤회)	2005	- 극저온(-253℃) 10bar 및 250bar의 액체수소 저장 탱크의 각종 밸브류에 대한 설계기술 개발, 제작기술개발 및 시제품 제작	
	양방향 금속시트구조의 LNG 운반선용 극저온가스 차단**밸브** 개발 (㈜범한금속공업, 박성준)	2005	- LNG 선용 배관에 사용할 극저온 이중편심형 Butterfly Valve 개발 - 배관 유형별 구조 특성 및 기능분석, PIV 와 CFD에 의한 유동 메커니즘 분석 - 극저온(-196℃)조건의 핵심소재와 부품개발, 극저온ButterflyValve 최적구조설계 개발 - Hydraulic Actuator Type 시제품 제작 및 기능 평가, 성능평가 및 평가시스템 구축 - 제품의 반응성, 기밀성, 내구성, 화염시험을 통한 신뢰성 확보, 설계/양산 기술 확보	
과학기술부 (21C 프론티어연구 개발사업)	극저온 냉동기 및 열전달 기구 해석 기법 개발 (차세대 초전도 응용기술개발사업단) (㈜뉴로스, 김승우)	2001,09~ 2004,07	- 극저온 냉동기의 핵심 구성품인 압축기, 열교환기, 터빈, 고속모터/발전기, 모터 드라이브 및 Coldbox의 개발을 온료하고 시제품 1조를 제작, 조립 - 최대용량 37.5kW, 회전수 100,000rpm의 초고속 동기 모터의 제작 및 성능 시험	LNG 액화플랜트가 아닌 산업용 냉동기 관련기술개발로 가스플랜트사업단 과제와의 중복성 없음
산업자원부	300마력급 전동기 직결식 냉매 압축기 개발 (한국터보기계, 이헌석)	2007,10~ 2010,09		
산업자원부 (표준기술력 향상사업)	LNG **저장탱크**의 설계안전 규격 및 표준화 기술개발 (한국가스안전공사, 권부길)	2005,06~ 2008,05		저장탱크에 대한 표준화 내용으로 LNG 공정/설계기술 개발과제와의 중복성 문제 없음

라. 성과목표 및 지표

(1) 핵심 및 세부과제별 성과목표, 성과지표 설정

본 과제의 수행 주체인 가스플랜트사업단은 건설교통부의 플랜트기술고도화사업 내에 속해있다. 따라서 사업단 과제의 성과목표 및 지표는 플랜트기술고도화사업의 그것에 포함되어야 한다.

플랜트고도화사업은 대규모 고부가가치 플랜트 건설 사업에 요구되는 핵심공정, 기본설계 및 플랜트 실증을 위한 사업이다.

표 3.19 제1세부과제의 단계별 성과목표 및 지표

구분	성과목표	지표 구분	성과지표	단계별			최종 목표치
				1	2	3	
결과	과학기술적 연구성과 향상	일반	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	1	3	3	7
		핵심	특허출원 건수(국내/국외)	-	4	4	8
		일반	학술회의 발표 논문건수 (국내/국외)	1	3	3	7
	기술개발 역량 향상	일반	과제당 산학연 협력 활동건수	4	4	4	12
		일반	세부과제 연구보고서	2	2	2	6
		핵심	산학연 기술지원 건수	-	3	3	6
		일반	해외진출을 위한 현장조사 실적	3	3	3	9
	사회,경제적 파급효과 증대	일반	연구개발 관련 홍보건수	-	2	2	4
		일반	기술 확산을 위한 상호교류정도	-	3	3	6

표 3.20 제2세부과제의 단계별 성과목표 및 지표

구분	성과목표	지표 구분	성과지표	단계별			최종 목표치
				1	2	3	
결과	과학기술적 연구성과 향상	일반	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	-	3	3	6
		핵심	특허출원 건수(국내/국외)	-	3	3	6
		일반	학술회의 발표 논문건수 (국내/국외)	-	3	3	6
	기술개발 역량 향상	일반	과제당 산학연 협력 활동건수	-	3	3	6
		일반	세부과제 연구보고서	-	1	1	2
		핵심	산학연 기술지원 건수	-	4	4	8
		일반	해외진출을 위한 현장조사 실적	-	4	4	8
	사회,경제적 파급효과 증대	일반	연구개발 관련 홍보건수	-	3	3	6
		일반	기술 확산을 위한 상호교류정도	-	3	3	6

표 3.21 제3세부과제의 단계별 성과목표 및 지표

구분	성과목표	지표 구분	성과지표	단계별			최종 목표치
				1	2	3	
결과	과학기술적 연구성과 향상	일반	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	-	4	5	9
		핵심	특허출원 건수(국내/국외)	-	3	3	6
		일반	학술회의 발표 논문건수 (국내/국외)	-	4	4	8
	기술개발 역량 향상	일반	과제당 산학연 협력 활동건수	-	4	5	9
		일반	세부과제 연구보고서	-	3	3	6
		핵심	산학연 기술지원 건수	-	3	3	6
		일반	해외진출을 위한 현장조사 실적	-	4	5	9
	사회,경제적 파급효과 증대	일반	연구개발 관련 홍보건수	-	2	2	4
		일반	기술 확산을 위한 상호교류정도	-	3	3	6

표 3.22 제4세부과제의 단계별 성과목표 및 지표

구분	성과목표	지표 구분	성과지표	단계별			최종 목표치
				1	2	3	
결과	과학기술적 연구성과 향상	일반	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	3	3	3	9
		핵심	특허출원 건수(국내/국외)	-	3	3	6
		일반	학술회의 발표 논문건수 (국내/국외)	2	3	3	8
	기술개발 역량 향상	일반	과제당 산학연 협력 활동건수	3	3	3	9
		일반	세부과제 연구보고서	2	2	2	6
		핵심	산학연 기술지원 건수	-	3	3	6
		일반	해외진출을 위한 현장조사 실적	3	3	3	9
	사회,경제적 파급효과 증대	일반	연구개발 관련 홍보건수	-	2	2	4
		일반	기술 확산을 위한 상호교류정도	-	3	3	6

(2) 성과목표와 지표 설정 근거 및 측정 방법

성과지표에 대한 선정근거 및 측정방법은 표 47부터 55에 각 지표별로 구분하여 나타내었다.

표 3.23 성과지표 선정근거 및 측정방법(학술지 게재 논문건수(국내/국외))

구분	핵심지표 (표준성과지표)
성과지표	학술지 게재 논문 건수 (국내/국외)
지표해설	● 국내 및 국외 학술지에 게재된 논문 건수
측정방법	● 국내외 학술지 논문게재 건수와 함께, 과제당 논문 건수, 연구비당 논문건수, 연구원 1인당 논문건수 ① 국내외 학술지 게제 논문 건수 ② 국내외학술지 게재 논문건수/사업의 총 과제 수 ③ 총 논문건수/총 연구사업비 (단위:1억원) ④ 국내외 학술지 게재 논문건수/사업 참여연구원 수

표 3.24 성과지표 선정기준 및 측정방법(학술회의 발표 논문건수(국내/국외))

구분	일반지표 (표준성과지표)
성과지표	학술회의 발표 논문건수 (국내/국외)
지표해설	● 국내 및 국외 학술회의에서 발표한 논문 건수
측정방법	● 학술회의 (학회)에 참가해 발표한 건수

표 3.25 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (핵심과제 연구보고서)

구분	일반지표 (고유지표)
성과지표	핵심과제 연구보고서
지표해설	● 사업단 총괄과제의 고유지표 ● 핵심과제에서 개발한 핵심기술에 대한 평가분석이 포함된 단계별 보고서
측정방법	● 보고서 권수

표 3.26 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (특허출원 건수(국내/국외))

구분	일반지표 (표준성과지표)
성과지표	특허출원 건수 (국내/국외)
지표해설	● 해당 사업의 평가대상기간 동안 출원된 특허건수 ○ 국내 특허출원 건수: 대한민국에서 지적재산권을 행사하기 위해 특허청에 출원된 특허 ○ 국제 특허출원 건수: 미국, 일본, 유럽 등 국외에서 지적재산권을 행사하기 위해 각 국가의 특허청에 출원한 특허
측정방법	● 해당 사업을 통해 산출된 특허출원 건수와 함께 과제당 특허출원 건수, 연구비당 특허출원 건수, 참여연구원당 특허출원 건수를 기재 ① 총 특허출원 건수 ② 총 특허출원 건수/사업의 총 과제 수 ③ 총 특허출원 건수/총 연구사업비 (단위:1억원) ④ 총 특허출원 건수/사업 참여연구원 수

표 3.27 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (과제당 산학연 협력 활동 건수)

구분	일반지표 (표준성과지표)
성과지표	과제당 산학연 협력 활동 건수
지표해설	● 해당 연구새발사업 수행으로 인하여 발생한 산학연 공동연구 활동 건수 ● 해당 사업으 1과제당 평균 산학연 활동건수 및 참여 연구원 1인당 산학연 협력 활동 건수 *산학연 협력 활동 건수는 산학연간 공동연구 관련 회의 개최, 공동 연구개발 실시 등의 실적
측정방법	● 사업 수행으로 인한 산학연 총 공동연구활동 건수와 함께, 해당 사업의 과제당 평균 산학연 활동건수와 참여연구원 1인당 산학연 활동 건수를 기재 ① 산학연 협력 활동 건수 ② 산학연 협력 활동 건수/해당 사업 과제 수 ③ 산학연 협력 활동 건수/참여 연구자 수

표 3.28 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (산학연 기술지원 건수)

구분	일반지표 (표준성과 지표)
성과지표	산학연 기술지원 건수
지표해설	● 현장기술지도, 기술상담, 교육훈련 및 홍보, 기술이전 등의 방법을 통해 산학연간 기술지원 실시 건수
측정방법	● 산학연간 기술지원 건수

표 3.29 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (해외진출을 위한 현장조사 실적)

구분	일반지표 (고유지표)
성과지표	해외진출을 위한 현장조사 실적
지표해설	● LNG 플랜트 건설후보지 조사, LNG 플랜트 관련 국제학회 참석 등 해외진출을 위한 현장조사 실적
측정방법	● 현장조사 회수 (조사 분석 자료가 근거로 첨부되어야 인정됨. 단순한 방문회수만으로는 인정 안됨)

표 3.30 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (연구개발 관련 홍보건수)

구분	일반지표 (표준성과 지표)
성과지표	연구개발 관련 홍보건수
지표해설	● 연구개발 성과에 대해 대국민, 정부 등을 대상으로 홍보, 교육 등의 노력을 기울였는지의 여부
측정방법	● 학술회의, 간담회, 세미나, 워크숍, 박람회, 공청회 등의 개최 건수 또는 정기간행물 발간 건수 등

표 3.31 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (기술 확산을 위한 상호교류 정도)

구분	일반지표 (표준성과 지표)
성과지표	기술 확산을 위한 상호교류 정도
지표해설	● 연구기관 (대학, 연구소) 및 민간 기업 등간의 기술개발 정보 교류 정도
측정방법	● 연구기관 및 민간기업 등과의 개발 기술 상호 교류 실적

4. 테스트베드

가. 테스트베드 건설 추진의 타당성

(1) 테스트베드의 정의

건설교통기술연구개발사업 사업단 운영관리지침 제 1장 총칙, 2. 용어의 정의에 의하면, 테스트베드(test-bed)라 함은 '대형기술의 실용화를 목적으로 시범 적용을 위한 시험 공간 시설물 시스템'을 말한다. LNG 테스트베드는 다음과 같은 목적으로 활용하고 한다.

- 개발기술의 실증적 검증을 위하여 적정 용량의 액화용량을 설정하고 전처리 및 액화공정으로 트레인을 설계 및 건설
- 소재・기기 의 국산화 실현을 위해 부분적으로 파일럿(pilot) 시험이 완료된 국산 시작품을 모듈(module) 형태로 적용하여 평가할 수 있도록 구성
- 각 모듈별로 측정 및 계측을 할 수 있는 모니터링 시스템과 저장 및 분석장치를 구비하여 Data 축적
- 건설공사의 내역을 표준품셈을 적용하여 공정하게 관리

(2) 테스트베드의 기술적 필요성

가스플랜트사업단은 해외시장에서 경쟁력이 있는 LNG 플랜트기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 6년간의 기술개발을 통하여 해외시장에서의 경쟁력을 확보하는 것으로 사업단에서 목표로 하는 상용모델의 용량은 현재 시장에 적용되는 크기인 5 Mt/y 규모의 플랜트이다.

막대한 비용이 들어가는 테스트베드는 향후 공사수주를 통해 이윤을 창출이 가능한 범위 내에서 투자가 이루어져야 하며, 다방면의 기반기술이 필요한 시범적용 플랜트의 성격을 가진다.

보수적인 LNG 플랜트 사업의 경우 기술의 적용 실적이나 참여 실적이 없는 경우에는 기술을 인정받기 어려우며, 실질적으로 발주처 입장에서는 10조원 이상의 대규모 투자비용이 들어가는 프로젝트에 실적과 경험이 없는 EPC 업체를 선정하기 어려운 여건이다.

이상과 같은 배경에서 실질적인 LNG 플랜트산업의 육성을 위한 테스트베드 구축은 기술개발과 동시에 병행하여 추진하여야 하며, 주요 논리는 다음과 같다.

◦ 기술 개발과 이의 건설사업화를 위한 연구가 동시에 추진되어 각 분야의 기반기술을 습득하고 그 결과물을 공유함으로 시너지효과를 극대화할 수 있으며, 궁극적으로는 테스트베드 운영과 그 운영 결과를 통해 양 과제의 기반기술이 검증(실증)되고, 최적화되어 개발 완료 시점에서 순수 국내 기술만으로 바로 실 사업 진출이 가능한 사업모델을 구축할 수 있다.

◦ LNG 플랜트는 국내에서 설계한 경험이 전무하고 향후 LNG 사업 진출 시, License가 확보되지 않은 상태에서 LNG 플랜트 EPC 사업 진출은 현실적으로 많은 어려움이 존재한다. 액화 공정 자체는 많이 알려진 기술로 간주되어 지기도 하지만 LNG산업의 보수성과 배타성을 생각할 때 경험이 없는 EPC 업체의 참여가 극히 제한되는 분야이다.

◦ EPC 기술의 입증을 위해서 테스트베드를 설계 및 건설하는 과정은 EPC 기술뿐만 아니라 개발 기술의 성능과 완성도를 확인하는 과정이다. 개발된 기술 그 자체의 성능 입증뿐 아니라 이 과정을 거쳐서 여러 가지 알려지지 않았던 다양한 설계 인자들이 각각의 공정 계통에 어떤 작용을 하고, 최종적으로 LNG 생산에 어떤 영향을 미치는가를 확인할 수 있는 과정으로 필수적이다.

나. 테스트베드 구성 및 규모 시나리오

(1) 테스트베드의 기본조건

테스트베드의 대전제는 각 핵심과제에서 개발된 기술의 실용화 및 실증화가 추진되도록 하여야 하며, 테스트베드는 LNG 플랜트 독자기술 확립을 위한 시범시설로서 사업목표를 달성하기 위한 기능을 보유하여 개발되는 기술의 조기 실용화 및 사업화를 유도할 수 있어야 한다.

또한 개발되는 실용화 기술과 요소 핵심설비의 국산화 기술 및 관련 기반원천기술에 대한 현장 적용성을 검증할 수 있는 기능을 보유하여야 한다. 이를 위해서는 테스트베드는 단순한 사업장이 아닌 실험시설 및 종합연구센터로서 조성되어야 한다.

표 4.1 테스트베드의 기본조건

항목	기본조건	내용 및 배경
기능	종합 연구기반으로서의 기능 보유	설계/건설 및 공정개발 성과물에 대한 실증실험뿐만 아니라 개발되는 실용화 기술과 요소 핵심설비의 국산화 기술 및 관련 기반 원천기술에 대한 현장 적용성을 검증할 수 있는 기능을 보유하여야 한다. 이를 위해서는 테스트베드는 단순한 사업장이 아닌 실험시설 및 종합연구센터로서 조성되어야 함
원료수급	천연가스 공급의 용이성	테스트베드를 저비용으로 효율적인 운전을 하기 위해서는 원료가 되는 천연가스의 공급이 주변 여건에 영향 받지 않고 원활하게 이루어져야 함
생산품(LNG)의 처리	LNG 소비/처리의 용이성	테스트베드를 통하여 생산되는 LNG의 효율적인 처리가 가능해야 한다. LNG 차량의 실용화가 이루어지지 않은 현재로서는 LNG 자체로서의 소비가 불가능하다. 따라서, 테스트베드 생산품인 LNG의 처리 방법이 마련되어야 함 (LNG 저장탱크, 재기화설비등의 유무등)
인허가사항	테스트베드 설치 인허가 취득의 용이성	테스트베드에 필요한 설비들이 고압의 회전기기와 천연가스를 다루고 있어 테스트베드 설치에 따른 인허가 취득의 문제가 없어야 함.
테스트베드 부지	부지확보	테스트베드의 부지로 최소 50m x 30m의 공간이 확보되어야 함.
추진일정	3,4차년도 건설 후 2년간 운전자료 축적	플랜트 기술의 충분한 검증을 위해서는 최소 2년 이상의 운전이 필요하며 이를 위해서는 4차년도까지 플랜트가 건설되야 함.
실현가능성	국내 인프라 및 기술수준을 고려하여 실현가능한 계획 하에 추진되어야함	개발기술은 최소한 lab- 혹은 bench- 규모의 소규모 실험설비를 이용한 테스트를 거친 후에 검증된 기술만이 실제 테스트베드의 기본 공정에 반영되어야 함. 기술적인 성숙도가 높지 않은 기술을 무리하게 도입하게 되면 최종적으로는 사업단 목표인 세계시장 진출을 위한 플랜트 기술개발을 달성하기 어려움. 기반기술 및 국산화에 대해서도 단계적인 도입을 원칙으로 하여야 할 것임.

테스트베드의 기본 조건을 기준으로 향후 사업단에서 테스트베드 설치 위치에 대한 공모 시에 평가기준은 다음과 같다.

표 4.2 테스트베드 공모 시 평가기준

1차분류	2차분류	고려사항	가중치
기반시설	연료 (천연가스)	테스트베드를 저비용으로 효율적인 운전을 하기 위해서 필요로 되어지는 원료의 원활한 공급 여부	**20**
	생산품의 처리	테스트베드 생산품인 LNG의 처리 방법이 마련되어야 함 (LNG 저장탱크, 재기화설비 등의 유무 등)	**20**
	유틸리티 지원	전기, 공기, 질소, 용수, 소방, 방재, 제어 기능의 지원 여부	**10**
부지	면적	테스트베드의 부지로 최소 50m x 30m의 공간이 확보되어야 함.	**15**
	인허가/대민환경영향	-테스트베드에 필요한 설비들이 고압의 회전기기와 천연가스를 다루고 있어 테스트베드 설치에 따른 인허가 취득의 문제가 없어야 함. -테스트베드 설치로 주민의 민원 발생가능성 여부	**15**
	종합 연구기반으로서의 기능	테스트베드 설치 위치가 단순한 사업장이 아닌 실험시설 및 종합연구센터로 조성될 수 있는 인프라 확보 여부	**10**
유지보수	유지보수 지원	유지보수 인원을 적정수준에서 확보할 수 있는지 여부	**10**

(2) 테스트베드 구성과 용량

테스트베드의 구성은 제2핵심과제의 기술개발 결과 도출되는 액화공정 사이클을 기본으로, 현재 LNG 플랜트의 최신 공정인 아래의 두 가지 기존 사이클 구성을 검토한 후 기존 액화 사이클과 국산화 액화 사이클을 이용한 두 계열로 이루어진다.

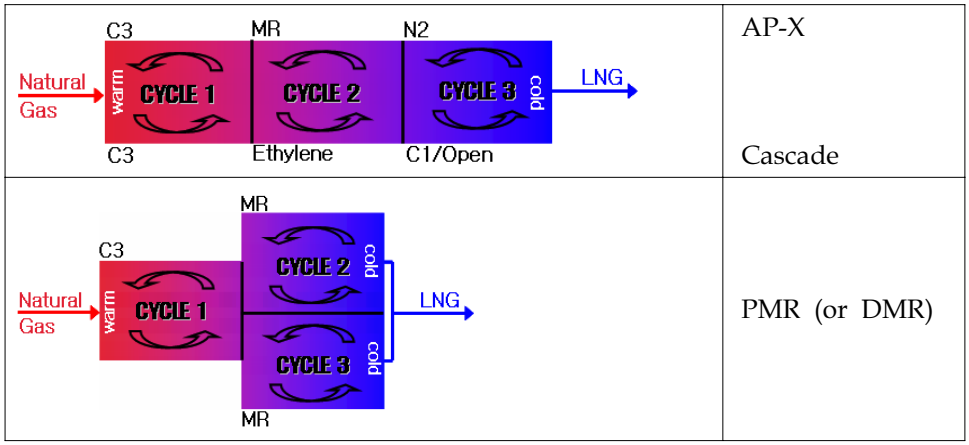


그림 4.1 테스트베드 구성 공정 사이클 후보

공정을 구성하는 기본요소와 인수기지의 BOG를 Feed Gad로 사용하는 경우를 상정하는 경우의 가상적인 테스트베드의 구성은 다음과 같다.

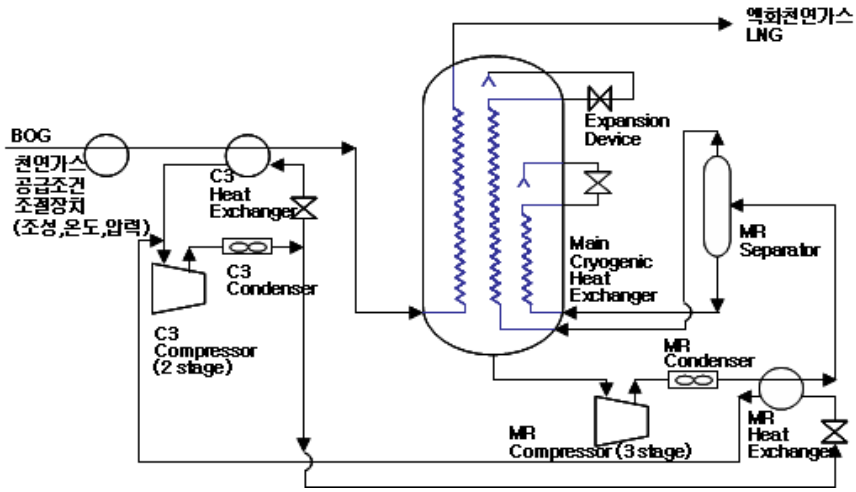


그림 4.2 테스트베드 구성 기본 요소

일반적인 공정의 경우에 적용되는 Scale-up을 고려한 테스트베드의 크기는 약 1/20- 50정도이나 액화설비의 특성상 압축과 열교환이 주된 기능을 하고 있으며 냉매의 열역학적 특성의 관찰과 이의 분석 시 오차를 줄이기 위해 최소 일일 100 톤 (시간당 4톤 정도)의 규모를 갖는 것으로 잠정 추진하되, 실 운전에 소요되는 압축기와 열교환기 등의 생산 규모에 맞추어 향후 1단계 종료 시점에서 다시 정의할 필요가 있다.

(3) 테스트베드 시행 방안

테스트베드는 모든 요소기술의 총합이며, 실증기술개발 및 검증을 위한 대형 연구개발시설이며, 대형화기술 개발을 위해 필수적인 “대형실험장치”이다. 단위 기술들이 테스트베드에서 검증이 된다는 점이 플랜트 고도화 사업의 큰 특징 중 하나이다. 가스플랜트 사업단에서는 테스트베드가 대형화 기술의 실현뿐 아니라, 각 단위기술의 검증을 통한 사업화에 큰 도움이 될 것으로 보고 있다.

테스트베드의 세부시행 방식은 공정 사이클의 적용 측면에서 두 가지 방안을 동시에 추진하도록 사전기획단계에서부터 기획되었다. 2핵심과제의 공정기술을 기반으로 기존 사이클 구성을 검토한 후 기존 사이클과 국산화 새로운 개발 사이클을 이용한 두 계열의 액화시스템을 구성하는 것이다.

주요 핵심 설비의 공급 측면에서도 두 가지 방안이 제시되는데, 첫번째 세부시행 방안은 검증된 설비들을 사용하는 것으로, 개발된 설계기술의 성과물을 설비에 기인하는 문제없이 검증할 수 있다. 두 번째 세부시행 방안은 플랜트 구성 주요핵심설비의 국산화 개발을 통해 제작하여 테스트베드에 적용하는 것이다. 이때는 테스트베드 건설의 어려움이 다소 증가될 수 있다.

첫 번째 안의 경우에는 만약 테스트베드가 정상작동을 하지 않는다면 그 원인을 설계 및 시공기술에서 찾아 빨리 수정할 수 있지만, 두 번째의 경우에는 원인분석요인이 늘어나게 된다. 즉. 정상작동을 방해하는 요소가 단지 설계 및 건설 기술의 부족함뿐만 아니라 핵심설비 성능의 부족함도 있기 때문에, 고려할 변수가 많아지기 때문이다.

두 번째 안의 경우 이같이 예상되는 어려움이 있지만, 플랜트 구성 설비를 사업단에서 직접 개발한 후, 개발된 설비를 이용해 테스트베드를 건설하는 것이 정부 R&D 사업의 취지에 좀 더 부합된다고 볼 수 있다.

따라서 주요 핵심설비의 국산화 공급 측면에서는 첫 번째 안을 적용하고, 테스트베드가 안정화되고 정상적인 테스트베드의 평가와 검증이 이루어진 이후 두 번째 세부시행 방식을 추진하는 것이 바람직한 방안으로 선정되었다.

(4) 기술개발 결과의 테스트베드 적용

세부과제 연구개발 결과의 테스트베드 적용(안)을 그림 4.3에 도시하였다.

① 제2핵심과제에서 새로운 액화공정에 대한 기본공정설계 패키지 제작

② 기존 LNG 플랜트 FEED 패키지 벤치마킹 등을 통한 설계기술개발을 바탕으로 제2핵심과제 성과물인 신액화공정의 기본공정설계 패키지를 기본으로 테스트베드의 기본설계를 포함한 FEED 패키지 작성, 이때 사용되는 입증된 설비는 주로 해외에서 도입.

③ 테스트베드의 EPC 수행

④ 테스트베드 운전 및 평가

⑤ 주요 핵심설비의 국산화 개발품을 안정화된 테스트베드 계열에 적용 및 검증과 실증화

⑥ 테스트베드 운전 및 평가를 통한 설계/건설 기술, 개발 공정, 플랜트통합유지관리 기술과 안전운전관리시스템의 검증과 테스트베드의 유지/보수를 통한 시스템화와 최적화

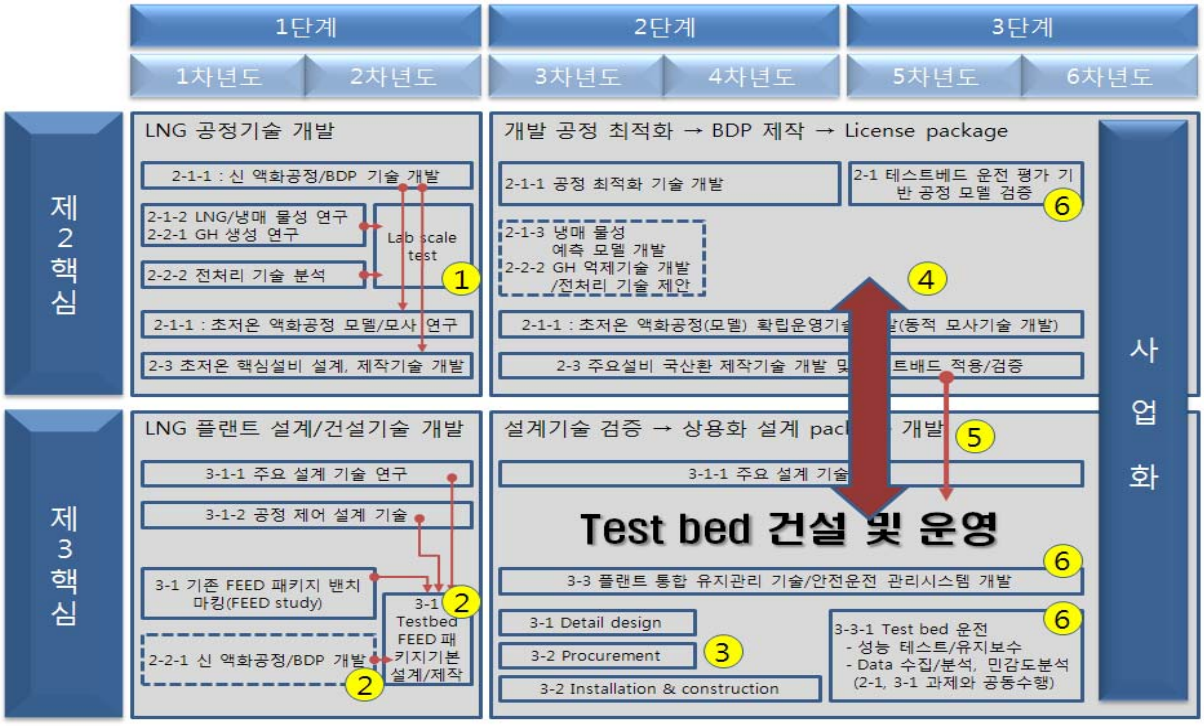


그림 4.3 세부과제 연구개발 결과의 테스트베드 적용

다. 입지 시나리오

(1) 테스트베드(test-bed) 설치 가능지역

국내 여건에서 테스트베드(test-bed)를 구축할 수 있는 범위는 LNG 인수기지와 동해가스전, 산업공단 등이 있으며, 예외적으로 우리 정부나 국내 기업이 사업기간 내 2단계에 해외 가스전을 확보할 경우에 소규모 해외 적용을 고려할 수 있다.

◦ LNG 인수기지

기존 가스공급시설과 전력 및 용수 등과 같은 유틸리티를 모두 갖추고 있어 초기 투입비용을 대폭 절감할 수 있을 것으로 분석되며, 향후 지속적인 인구클러스터로서 활용도가 높을 것으로 평가된다.

국내 LNG 인수기지는 인천, 평택, 광양과 통영에 있으며, 국내 공기업인 한국가스공사 인수기지(인천)에 테스트베드를 설치하는 경우 기존 기지건설경험과 주변 저온시설 설계 및 설치 경험을 이용할 수 있는 장점이 있다.

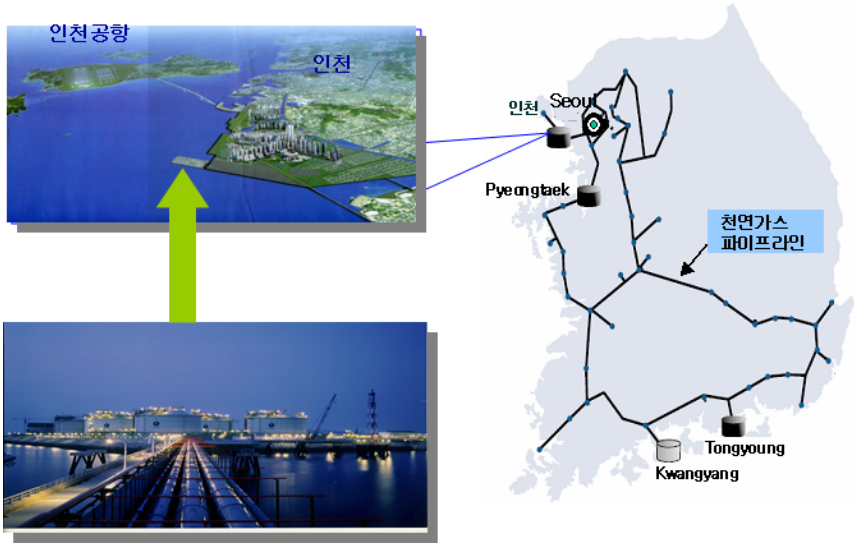


그림 4.4 국내 LNG 인수기지 현황

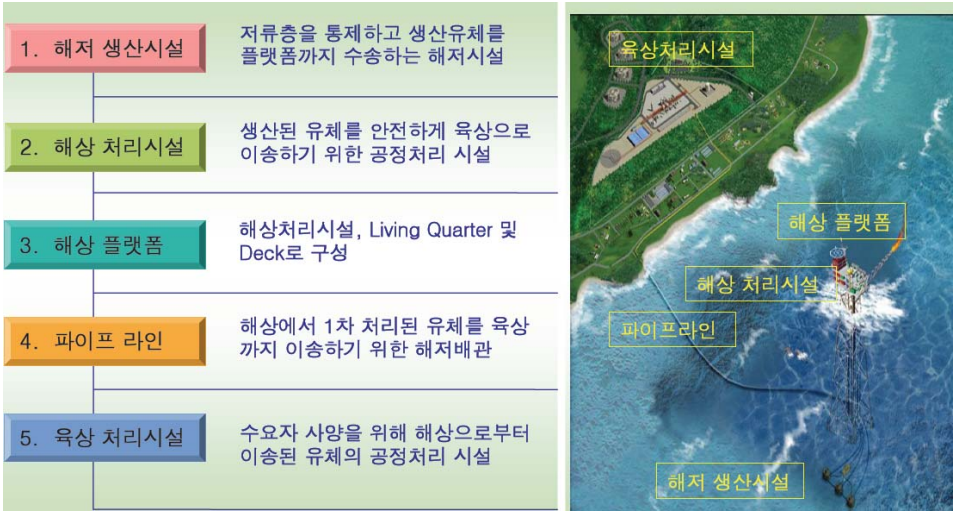


그림 4.5 동해-1 가스전 시설 개요

◦ 동해-1 가스전

동해-1 가스전은 울산 남동쪽 약 58㎞ 해상에 위치한 가스전으로 연간 약 40만 톤의 천연가스를 생산하고 있으며, 한국가스공사 주배관망을 통해 울산을 비롯한 경남지역에 공급되고 있다.

해상에서 생산된 천연가스는 육상의 정제시설을 거쳐 주배관망에 공급되며, 육상에는 LNG 플랜트의 전처리시설에 해당하는 설비가 갖추어져 있다:

- 가스와 응축물 분리시설 (슬러그 캐처)
- 가스의 수분제거 및 이슬점 강하 시설
- 응축물 안정화/저장 시설
- 열량조절설비

동해-1 가스전에서 생산되는 천연가스는 울산 및 경남지역의 소비자에게 공급되고 있어, 수급 조절 등의 이유로 테스트베드 적용을 수용하기 어려운 것으로 분석된다.

이외에도 동해-1 가스전의 육상 시설 위치에 테스트베드를 설치하고자 하는 경우에는 그림 4.6에서 보는 바와 같이 테스트베드에서 생산되는 LNG를 저장할 탱크와 생산된 LNG를 재기화하여 가스 상태로 주 배관망에 다시 주입해야하는 설비를 추가로 설치 (액화설비에 준하는 규모의 비용 투입이 필요함) 해야 하므로, 초기 비용은 측면에서 단점이 있다.

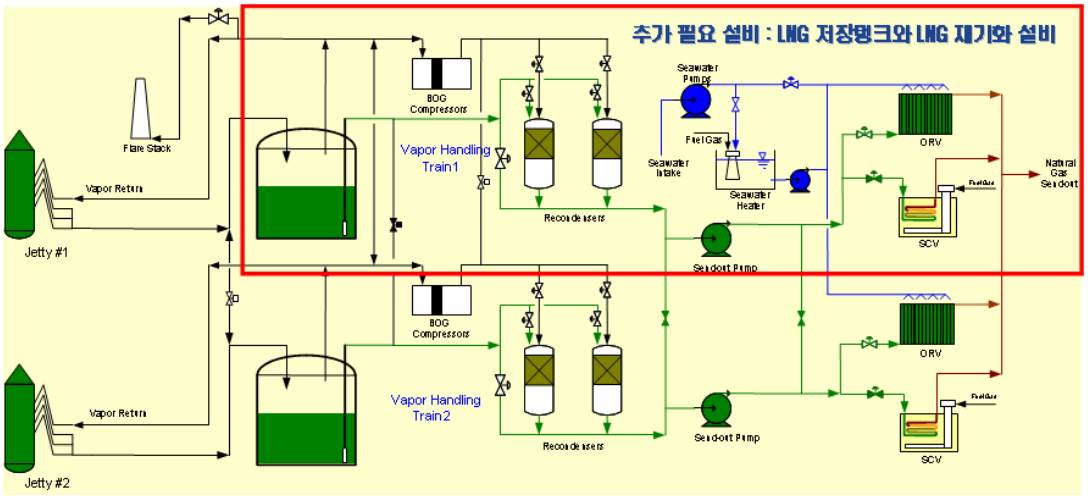


그림 4.6 동해가스전에 테스트베드 설치 시 추가 필요 설비

◦ 산업공단지역

산업공단지역은 부생 가스나 저온을 요구하는 시설이나 공정이 다수 존재하며, 이의 합리적 이용 차원에서 건설수요가 있을 것으로 예상된다. 이는 산업단지에 대규모로 소요되는 가스공급계통을 활용할 수 있으며, 현지의 부생 가스나 저온시설에 필요한 열 또는 가스를 공급하는 시설로 재화용할 수 있는 장점이 있다.

테스트베드에서 필요한 가스공급/처리시설과 전력 및 용수 등 유틸리티를 신규로 설치함으로 초기투자비용 과다 소요. 신규 설비 설치에 따른 인허가 사항에 애로가 있다.

◦ 해외 가스전 개발 시 반영

사업단에서 개발한 기술을 우리나라가 사업권을 행사할 수 있는 해외 가스전 개발 시에 액화공정장치 중심의 Test-Bed 구축을 고려할 수 있으며, 이 경우에는 설치규모, 연구진의 파견과 유지관리 문제 그리고 자산의 관리와 소멸 등에 관한 검토가 필요하다.

무엇보다도 해외 가스전에 테스트베드를 설치하기 위해서는 해외가스전을 소유하고 있는 소유주와의 협상이 우선되어야 할 것이며, 이를 위해서는 향후 사업단이 구성되고 정부부처의 지원과 사업단장 주도하에 전략적인 접근이 필요하다.

(2) 입지에 따른 영향인자 분석

설비 측면에서도 LNG 플랜트 이외에 추가적으로 동해-1 가스전에서 요구되는 수준의 설비가 필요하므로, 설비 투자만을 고려하더라도 인수기지에 설치하는 것에 비해 두 배 이상의 초기 설비투자비용이 필요할 것으로 판단된다.

천연가스 전처리, 유틸리티, LNG 저장과 수송에 들어가는 LNG 가치사슬상의 프로젝트비용을 총 비용과 대비하여 분석한 결과를 표 4.3에 요약하였다.

표 4.3 LNG 가치사슬상의 프로젝트비용 비교

	천연가스전처리	액화공정	NGL 분리	유틸리티	LNG 저장과 수송	합계
설비	4	14	1	10	1	**30**
자재	3	7	1	5	4	**20**
시공	4	6	2	8	15	**35**
기타	1	5	1	4	4	**15**
합계	**12**	**32**	**5**	**27**	**24**	**100**

Test-Bed의 기능은 천연가스를 액화하는 설비로, 우선 액화된 생산품인 LNG의 처리가 가능해야한다. 동해가스전을 포함한 일반 국내 지역은 액화된 LNG을 저장하고 이를 다시 기화하여 배관망에 연결하거나, 기화된 천연가스를 다시 Test-Bed로 액화해야 한다. 즉, 추가적인 저장 및 기화 설비가 필요하며, 이러한 LNG 저장 및 기화설비는 액화 Test-Bed에 버금가는 시설 투자비가 소요된다.

그리고 동해가스전을 포함한 국내 일반 지역의 설치는 비교에서 제외한다. 표 4.4에 기존 인수기지와 해외가스전에 설치 시에 따른 보다 상세한 비교 분석을 나타내었다.

해외 가스전의 사업권 획득 및 자산 관리, 그리고 가스공사 및 산업자원부의 정책적 문제에 대해서는 비교에서 제외하였다. 테스트베드의 설치부지는 표 4.4에서 제시하는 기본조건을 만족시켜야 한다.

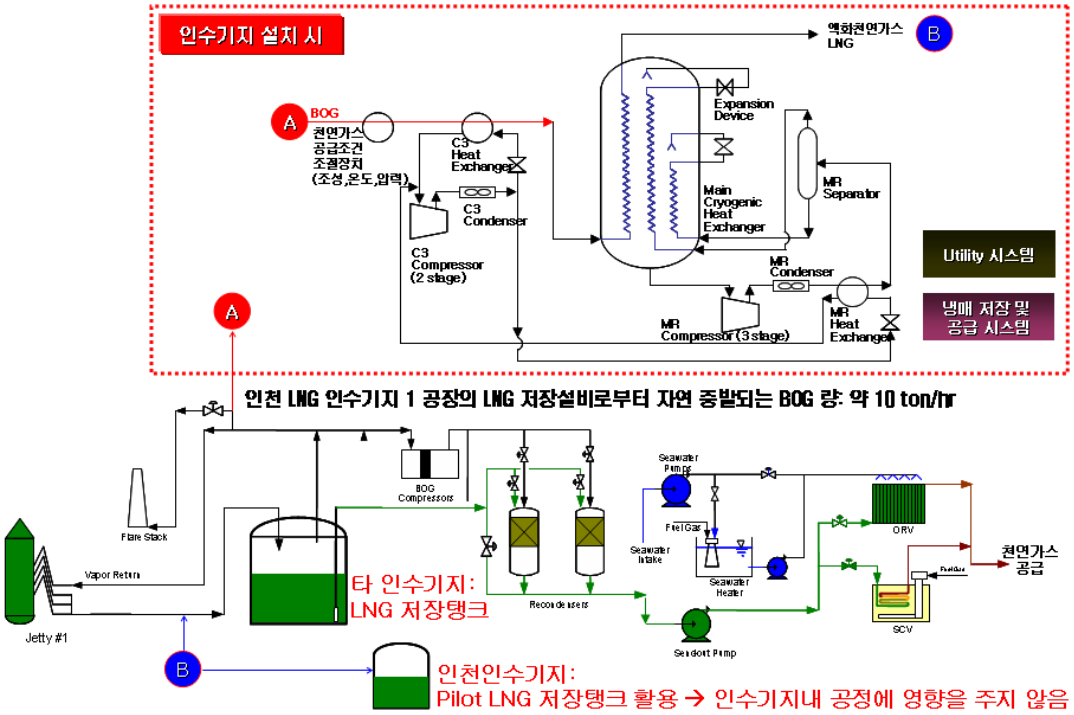


그림 4.7 인수기지 설치시의 테스트베드 구성안

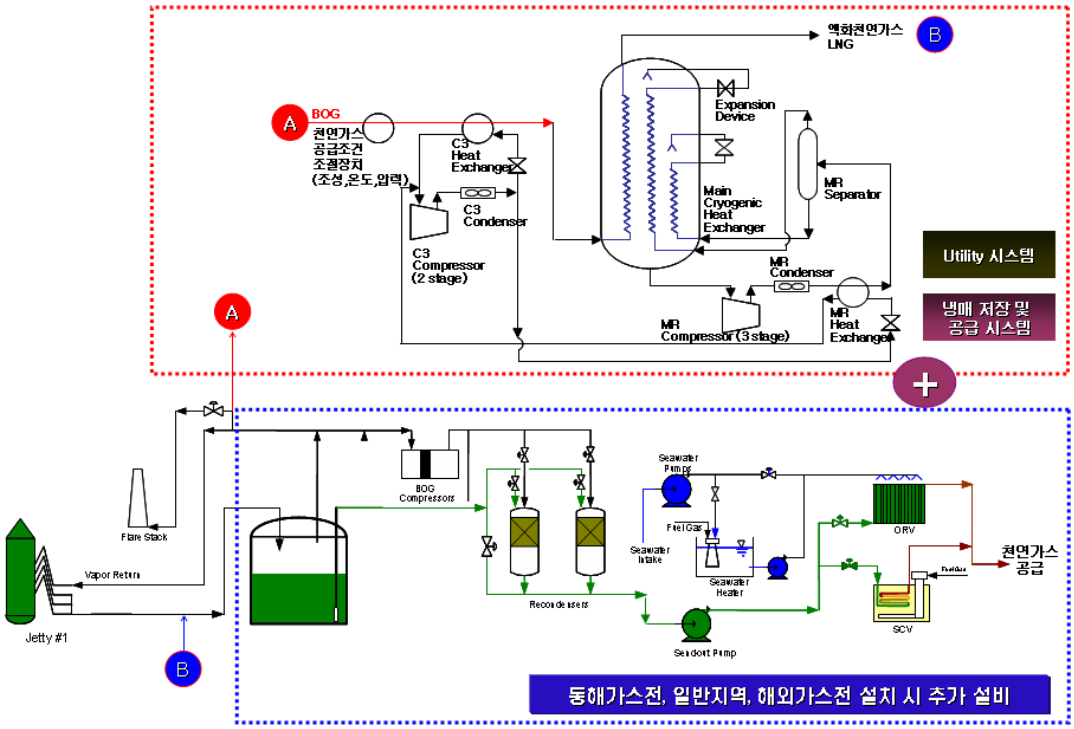


그림 4.8 동해가스전, 일반지역, 해외가스전 설치 시 추가설비 포함 구성안

표 4.4 Test-Bed 설치에 대한 기존 인수기지와 해외 가스전 상세 비교

구분	기존 인수기지	해외 가스전
연료 (천연가스)	-다양한 조성 및 조건이 가능: 천연가스·BOG·LNG의 합성 및 이를 통한 온도 및 압력 조건 생성 -전처리공정이 필요 없음	-Test를 위한 다양한 조성 및 조건 생성 제한적 -전처리 공정이 필수적으로 요구됨
생산품의 처리 (LNG)	-인수기지 저장탱크에 저장	-가스전 저장탱크에 저장 -저장탱크 및 출하설비의 설치 요구됨
요소기기 Test	-요소기기 Test 자유도가 높음 -새로운 기기의 적용 및 변경 가능 -국산화 요소기기 Test 가능	-가스전 수익성과 관련하여 요소기기 Test에는 제한적임
Utility 지원	-전기, Air, 질소, 용수, 소방, 방재, 제어의 지원 가능 -인수기지의 이중화된 지원으로 안전성이 높음	-Utility 설비의 건설 요구됨
인허가 사항	-상대적으로 용이함	
유지보수 지원	-한국가스기술공사의 유지보수 지원 가능 (가스공사)	-유지보수 인원이 필요
경제적 활용도	-운영을 통한 수익 창출 없음 -Test 이후 소규모 가스전에 이전 가능	-수익성을 통한 투자비 회수가 가능
시험의 지속성	-효율 향상을 위한 지속적 Test 가능	-설비 변경과 시운전 미흡으로 인한 손해를 해결하기 곤란함
연구인력 현장지원성	-관련 전문연구진 (21명)이 동일 장소에서 항시 연구하며 설비를 관리하고 있어서, 설비 설계에서 건설, 시운전까지 중단 없는 지원이 가능 (인천 인수기지)	-관련 연구원의 상시 근무 필요

(3) 전략적 입지 제안 검토

한국가스공사 인천 LNG 인수기지 내에 테스트베드를 설치하는 경우 장점

으로는 1) 인천 LNG인수기지 내에는 연구 설비를 위한 Test-Bed 지역이 있으며, 2) 현재 Pilot LNG 저장설비를 운영하고 있다는 점과 3) 현재, 선박 LNG화물창을 위한 Mock-up 탱크와 선박용 BOG 재액화 장치를 설치가 운영될 예정 (2008년 중)인 점 등이다.

또한 4) Test-Bed에 사용되는 LNG와 천연가스 배관은 인수기지와 연결되어 있으나, 자체적인 제어 및 Utility 설비로 독립적인 운영이 가능한 상태이다. 이로 인하여 Test-Bed에 사용될 LNG 및 천연가스의 손실 없이 다양한 Test를 수행할 수 있다. 특히, 선박용 BOG재액화화 장치는 질소 냉매를 이용하는 초저온 LNG 액화장치로 LNG 플랜트 운영에 좋은 비교 장치가 될 수 있다.

◦ 인천 LNG 인수기지 설비 현황

국내의 천연가스 설비는 크게 두 가지로 분리될 수 있다. 천연가스의 저장 및 기화 송출 설비인 LNG인수기지와 전국적으로 천연가스를 공급하는 공급망 설비이다.

LNG산지의 액화플랜트에서 생산된 LNG는 LNG선박으로 운반되어서 LNG인수기지의 LNG저장탱크에 저장되었다가, LNG인수기지에서 필요한 양만큼을 천연가스로 기화시켜서 전국적인 배관망을 통하여 수요처로 전달된다. 즉, 국내에서 천연가스가 액화된 LNG와 기화된 NG (Natural Gas)가 대단위로 공존하는 곳은 LNG 인수기지라고 할 수 있다.

◦ 인수기지 내 내 테스트베스 설치 위치 소개

2007년 현재 세계 최대 규모인 인천의 LNG인수기지를 LNG 플랜트 Test-Bed의 건설 및 운영을 위한 전략적 후보지로 세부사항 설정의 기준으로 활용한다.

이러한 사유는 인천의 LNG인수기지는 인수기지 본연의 LNG인수 및 저장, 천연가스 생산 외에도, Pilot 설비의 설치 및 운영을 위한 Test-Bed 지역이 있으며, 현재 Pilot Scale LNG저장설비가 설치되어 운영되고 있으며, LNG선박 저장탱크에 대한 Mock-up 설비 및 선박용 BOG 재액화장치가 설치되고 있다는 점이. 그림 57과 58에 인천 LNG인수기지의 조감도 및 Test-Bed 위치를 표시하였다.

그림 4.9 인천 LNG인수기지 조감도

그림 4.10 인천 LNG인수기지 내 Test-Bed 위치

인천 LNG인수기지의 설비 현황을 알아보면 표 4.5와 같다.

표 4.5 한국가스공사 인천 LNG인수기지 설비 현황 (2007.01 현재)

설비		단위	용량
Unloading Arm	LNG	6	3,700 m3/hr/unit
	BOG	2	11,000 m3/hr
	B.C.	2	500 m3/hr
LNG Storage Tank		10	100,000 kl/unit
		2	140,000 kl/unit
		6	200,000 kl/unit
		1	1,020 kl/unit
BOG Facilities	Compressor	10	12,000 m3/hr/unit
	Flare Stack	1	130 ton/hr
LNG Pump	Low Pressure	46	150 ton/hr/unit
	High Pressure	30	120 ton/hr/unit
Vaporizer	ORV	8	180 ton/hr/unit
	SMV	22	90 ton/hr/unit
Recondenser		4	30 ton/hr/unit
Metering Station		3	55~4,740 ton/hr
Co-generation Facility		3	9 MW/unit

기지 내에서 사용 가능한 천연가스는 크게 두 가지인데, LNG저장설비로부터 증발된 BOG (Boil-Off Gas)와 기지로부터 생산된 천연가스이다. 인천 LNG 인수기지 1 공장의 LNG 저장설비로부터 자연 증발되는 BOG 량은 약 10 ton/hr이며, 인천 인수기지에서 생산 가능한 천연가스는 3,420 ton/hr 이다.

◦ 기존설비와의 연결

건설 및 운영하려는 테스트베드는 천연가스 (BOG 혹은 생산된 가스)를 받아서 이를 액화시키는 장치이다. 본 장치는 대량의 천연가스가 필요하고, 생산된 LNG를 경제적으로 처리하기 위해서는 LNG인수기지와의 연결이 필수적이다. 이를 위해서 건설 및 운영될 테스트베드의 공정은 일차적으로 가스공사 연구개발원의 Pilot LNG 저장설비와 연결되며, Pilot LNG 저장설비는 인천 LNG인수기지와

연결되어 있다.

생산된 상온의 천연가스를 액화하기 위해서 인수기지 기화기와의 연결도 요구된다. 그림 4.11에 이러한 연결 개념도를 나타내었다. 특히, Pilot LNG저장설비와의 연계운전을 통하여 다양한 Utility를 공유할 수 있다. 특히, 테스트베드는 냉매를 이용하는 대용량의 압축기가 운영되는 설비로 많은 량의 전력이 소요되기에, 일차적으로는 대용량 전력의 수전이 가능해야 하며, 그밖에 계장용 Air, 질소, 그리고 용수 역시 Pilot LNG저장설비의 지원을 받을 수 있다.

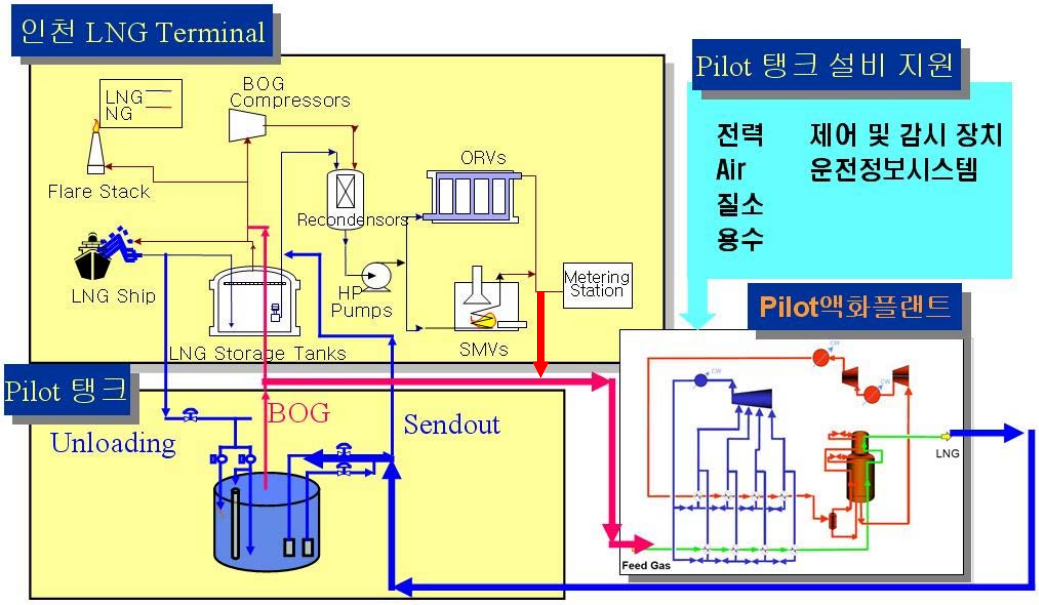


그림 4.11 테스트베드 LNG 플랜트의 공정 연결도

라. 테스트베드 사업비 산정 및 근거[1)]

테스트베드의 설계는 실제 LNG 플랜트 설계와 동일한 절차를 거치게 된다. 테스트베드는 다양한 시험기능을 하도록 설비를 구성해야 하므로 오히려 실제 플랜트보다도 더 복잡하고 시간이 더 걸리게 된다.

1) LNG 플랜트 분야 해외 전문가(Dr. Cho)의 자문 용역결과 도출된 내용임. 해외 전문가는 LNG 플랜트 주요 EPC 업체인 미국의 KBR에서 LNG 액화 공정 기술 개발과 액화기지의 최적설계, LNG 인수기지등의 설계 등을 주로 담당해왔으며 LNG 기술관련 특허 2개를 보유하고 있고 미국 텍사스주의 기술사로 등록되어있다.

테스트베드의 예상 규모는 사전기획과 상세기획중의 국내전문가위원회 및 해외전문가의 자문을 통해 시간당 2톤의 LNG를 생산하는 50 TPD (18,500 TPA. tonnes per annum)를 기준으로 선정했다.

이의 크기는 소형의 일반적인 크기인 약 20,000 TPA와 유사한 규모의 플랜트로, 대형 플랜트에 필요한 시설들의 scale up이 가능한 크기로 보았다.

표 4.6 소형 LNG 플랜트 건설비용 분석표

액화용량		산정비용		참조비용		Sources
TPA	TPD	US $M	억원	US $M	억원	
50,000	140	15	142.5	15	142.5	LNG express 2007년 3월26일
5,600	15	3	28.5	3	28.5	Global forum for flaring reduction, Thailand, 2007년 2월
32,850	100	19	180.5	38	361	Brazil by Praxair including gas processing
7,300	20	5	47.5	5	47.5	
73,000	200	14	133	12	114	
62,050	170	11	104.5	14	133	Including Gas storage, Texas, USA

* 산정비용: 2007년 3월 기준으로 저장탱크와 가스처리비용을 제외하여 참조비용 보정하여 산정한 비용
* 참조비용: 각각의 참조자료에서 얻은 건설 비용
* 환율 : 950원 /US $1

시나리오별 소요비용의 차이가 큰 것은 부대적인 유틸리티 시설, 즉 가스프로세싱 설비, 원료가스의 압력, 저장설비, 설비 위치 등의 외적인 요인이 따른 것이다. 시동에 따른 상대 가격 비교를 위해 가스프로세싱과 저장 설비 등을 제외한 금액으로 위의 건설비용을 분석하면 다음의 그림 4.12와 같다.

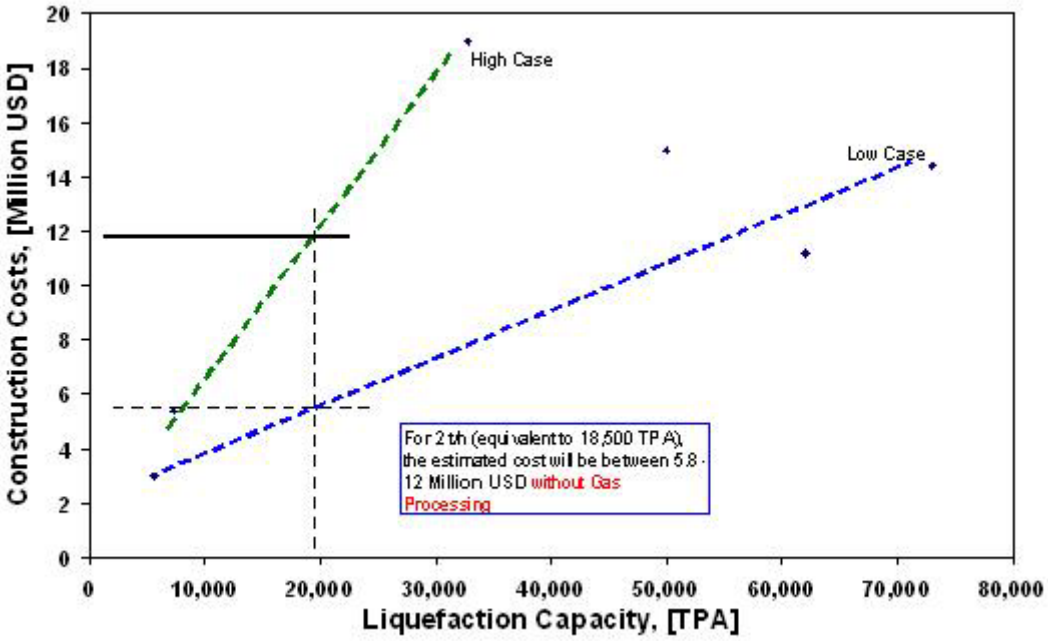


그림 4.12 중소형 LNG 플랜트 용량에 따른 건설비

50 TPD 테스트베드의 기자재비는 약 120억원 (US $ 12 million)이다. 이는 가스전처리 설비와 무거운 성분의 하이드로카본류의 추출 설비를 포함하지 않은 금액이다. (환율은 US $1에 1,000원 기준으로 작성함)

본 연구의 주된 목적은 여러 가지 설계인자가 어떻게 실제 운영에 영향을 미치는지를 연구 분석해서 궁극적으로는 설계 마진을 포함한 핵심기술을 습득하는데 있다. 이뿐 아니라 자체적으로 개발한 공정의 입증을 통해서 향후 설계기술을 확보하는 기본 자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

액화기지는 국내 LNG 인수기지에 설치하여 feed gas를 쉽게 확보하고 생산된 LNG를 기존의 저장탱크에 저장하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 그러나 인수기지에서 기화된 LNG를 Feed gas로 사용하면 원료가스의 다양한 변화를 구현하기가 곤란하다. 다양한 운전 조건 변경을 통해서 다양한 설계 조건의 검증을 구현하기 위해서는 아래와 같은 사항이 고려되어져야 한다.

- 원료가스의 압력변화
- 원료가스의 온도변화
- 원료가스의 성분변화

이를 위해서는 인수기지에서 공급받는 원료가스인 기화 LNG에 임의로 에탄, 프로판, 부탄 등을 주입할 수 있어야 한다. 또한 원료가스의 적절한 압력 변화를 조정라고 온도변화를 통해서 이들 요인이 전체적인 설비의 설계에 미치는 영향을 검증하기 위한 원료가스 압축, 가열, 냉각 설비 등이 필요하다. 그러므로 이러한 하이드로카본류의 저장, 가압, 주입설비 등의 추가가 필요하다.

임의로 조정한 원료가스의 조정에 따라 무거운 하이드로카본류를 분리하기 위한 설비의 설계와 운전에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 따라서 공정검증설비에는 소형 reboiler를 포함한 fractionation tower들을 포함해야 한다. 이러한 설비들이 기존의 설비에 추가되어져야 한다.

기존의 설비 가격들은 가장 경제적인 생산설비를 기준으로 거의 업체마다 표준화된 사양을 배경으로 작성되었으나, 본 연구 설비는 연구의 특성에 따라 설계 제작되어야 하므로 앞의 그림에서 High case를 기준으로 선정할 필요가 있다.

따라서 설치비를 포함한 50 TPD (18,500 TPA)의 예상 공사비는 120억원 (US $12 millon)이나 다음의 설비를 추가할 경우 약 140억원 (US $13 million) 정도가 될 것으로 보인다. 상세한 기자재비는 개발 공정의 윤곽이 잡히고 전체 설비에 대한 개략적인 사항의 정의가 되면 상세한 가격 산출이 가능할 것이다.

- 원료가스 조정 설비 / 원료가스 압축 설비
- 원료가스 가온/냉각 설비
- 가스 hydrate 처리 설비
- NGL fractionation 설비

실험의 목적으로 두개의 계열을 상정하고 있으며, 이러한 경우에 상기 설비를 제외한 부분의 중복성이 없으므로, 공사비 120억원과 설비비 140억원의 합인 260억원의 비용이 예상된다.

상기 제 비용은 2008년 현가 기준이며, 본 과제의 수행을 전제로 260억원에 향후 LNG 플랜트 관련 원자재 등에 대한 물가 상승율 10%를 추정하면, 2009년~2010년에 예상되는 테스트베드 건설비용 (기자재 및 시공비용)은 비용은 약 286억원으로 추정된다.

그리고 별도의 테스트베드를 설계비용은 일반적인 LNG 플랜트 프로젝트에서 적용되는 건설비용과 설계비용을 합한 총 비용의 5% 수준으로 산정하면 약

15억원이 산출된다. 이에 따라 운영비를 제외한 LNG 테스트베드 건설에 소요되는 제비용은 약 300억원으로 산출되었다. 또한 각 핵심과제에서 개발되는 기술의 적용성 평가를 위한 시험, 운영과정에 소모자재, 전력, 가스, 용수 등을 고려할 경우에 건설비의 약 10%인 약 30억원를 추정할 수 있다.

따라서 설계, 건설, 운영에 소요되는 제반 비용은 설계비 15억원과 건설비 286억원, 운영비 30억원을 합한 비용은 330억원(331억원을 편의상 330억원으로 약산)으로 평가하였다.

LNG 테스트베드 소요비용의 조달방법과 관련하여 대기업 및 중소기업 기준을 설정하였으며, 이에 대하여 정부와 민간 분담률에 대한 두 가지 시나리오를 다름과 같이 검토하여 제시하였다.

(테스트베드 정부/민간 비율 시나리오 1: 대기업 기준)

첫번째 시나리오는 대기업을 기준으로 검토하였으며, 이의 출연비율은 정부 50%, 민간 50%의 분담율을 기준으로 산정하였다. 또한 기본적으로 전담기관에서 제시한 외산자재구매와 토건 공사비 등의 비 R&D 성격으로 구분되는 비용에 대한 전액 민간부담 원칙에 준한 것이다.

테스트베드 정부/민간 비율 시나리오 1에 대한 테스트베드 비용의 구성은 세부 공사분야별로 다음의 표 4.7~4.10과 같이 산출하였다. 참고로, 각 표에서 '2핵심'으로 표기된 항목이 의미하는 것은 제2핵심과제에서 집행하는 민간부담 비용으로 주요 설비의 개발과 제작에 소요되는 비용이다. 이때 정부부담 비용도 제2핵심과제의 동일 과제에서 사용하게 된다. 그리고 각 표에서 '외산' 열 항목의 의미는 해외에서 구입하는 완제품 형태의 설비비용을 의미한다.

표 4.11의 테스트베드 예산에 대한 부문별 비율과 일반적인 상업화 LNG 플랜트의 프로젝트비용에 대한 것과 비교해 보면 유사한 정도의 예산을 얻은 것을 알 수 있다. 다만, 기타 비용은 계획 및 설계, 시운전 및 개발기술 적용 등에 따라 반복적인 작업이나 피드백 등에 소요되는 예산의 증가분으로 분석되었다.

따라서 테스트베드 건설예산은 총 300억원으로, 이중에서 정부와 민간의 투자액은 각각 150억원(50%)과 150억원(50%)으로 산정된다. 그리고 총 2년간의 운영경비 30억원(정부 25억, 민간 5억)을 포함할 경우에 총 건설 및 운영비는 330억원으로, 이중에서 정부와 민간의 투자액은 각각 175억원 (53%)과 155억원 (47%)으로 제시되었다.

표 4.7 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(종합)

구분	예산현황					
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%
핵심협약 & 설계	770			730	1,500	5.00
테스트베드 부품조립(주요기기)	9,662	1,944	5,130	9,147	18,809	62.7
현장시공	2,068			3,423	5,491	18.3
시운전 & 성능개선 & 핵심과제 적용	2,500			1,700	4,200	14.0
총계	15,000	1,944	5,130	15,000	30,000	100

표 4.8 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(협약&설계관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
가. 핵심협약									
1. 테스트베드부지선정 및 준비작업									
나. 설계									
1.기본설계									
-공정/시스템설계	160			160	320		R&D	대기업	O
-주요기기 사양확정	49			49	98		R&D	대기업	O
2.상세설계					0				
-상세 load 데이터 확정	70			70	140		R&D	대기업	O
-기기/배관/구조/전기/계장 설계	190			150	340		R&D	대기업	O
-토목/건축/설비 설계	141			141	282		R&D	대기업	O
3.현장설계 및 설계변경					0				
-현장설계변경 및 시공/시운전지원	50			50	100		R&D	대기업	O
-성능개선	50			50	100		R&D	대기업	O
-제2핵심 테스트베드 적용지원	60			60	120		R&D	대기업	O
소계	770			730	1,500	5.00			

표 4.9 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(테스트베드 부품조립관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
다. 테스트베드 부품조립(주요기기)									
1. 주요설비/자재 제작 및 구매									
1.1 전처리설비									
- NGL Fractionation	325			105	430		설계/조립	대/중	O
- BOG Compressor	458	193	450	643	1,101		외산/R&D	대/중	O
- Heater & Cooler	250			50	300		설계/조립	대/중	O
1.2 초저온 액화공정설비									
- Column, Vessel	288			63	351		설계/조립	중기	O
- Cold Box	688	263	630	893	1,581		외산/R&D	대/중	O
-Heat Exchanger	493	88	550	638	1,131		외산/R&D		
-Cooler	263			88	351		설계/조립	대/중	O
-냉매 Compressor & Driver	2,600	1,400	3,500	4,900	7,500		외산/R&D	대/중	O
-Miscellaneous	225			75	300		설계/조립	중기	O
1.3 냉매저장탱크	1,500			500	2,000		설계/조립	대/중	O

2.계장설비									
-제어설비 (DCS, PLC 등)	338			113	451		설계/조립	대/중	O
-현장계측기기 등	550			250	800		설계/조립	중기	O
3. 배관설비(Pipe, Valves 등)									
-초저온밸브/J-T 밸브	150			150	300		원자재설치	대/중	O
-초저온용 파이프	100			100	200		원자재설치	대/중	O
-기타	50			50	100		원자재설치	대/중	O
4. 전기설비	317			106	423		설계/조립	대/중	O
5. 소방, HVAC, 보온,도장	316			106	422		설계/조립	대/중	O
6. Chemicals(냉매 등)	422			141	563		설계/조립	중기	O
7. 기타기기-여유자재,실험설비 등	329			176	505		설계/조립	대/중	O
소계	9,662	1,944	5,130	9,147	18,809	62.7			

표 4.10 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(현장시공관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
라. 현장시공									
1.토목공사									
-기본조사비(지반조사)				57	57		토건공사	대기업	X
-토공사비(터파기,되메우기 등)				56	56		토건공사	대기업	X
-구조물공사비(콘크리트, 철골 등)				237	237		토건공사	대기업	X
-철골공사비(H-beam 제작, 설치 등)				130	130		토건공사	대기업	X
-말뚝공사비(PHC말뚝, 항타 등)				105	105		토건공사	대기업	X
-포장공사비(콘크리트 포장공사)				65	65		토건공사	대기업	X
2.건설공사				564	564		토건공사	대기업	X
3.설비공사(소방, HVAC, 보온, 도장)	140			140	280		공정설치	대/중	O
4.기계설치공사	564			564	1,128		공정설치	대기업	O
5.배관공사	420			420	840		공정설치	대기업	O
6.전기공사	494			494	988		공정설치	대기업	O
7.계장설비공사	450			450	900		공정설치	대기업	O
8.가설공사				141	141		공정설치	대기업	X
소계	2,068			3,423	5,491	18.3			

표 4.11 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 1(시운전 및 기타관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
마.시운전									
1.시운전준비	250			250	500		공정설치	대기업	O
2.시운전	200			200	400		공정설치	대기업	O
3.신뢰도 및 성능평가시험	100			100	200		공정설치	대기업	O
바. 성능개선/ 각 핵심과제 적용					0				
1.성능개선	1,000			700	1,700		공정설치	대기업	O
2.유지보수	450			250	700		공정설치	대기업	O
3. 각 핵심과제 성과적용	500			200	700		공정설치	대기업	O
소계	2,500			1,700	4,200	14.0			

표 4.12 테스트베드 예산 비교

구 분	설비자재	시공	기타	합계
테스트베드 예산	62.7%	18.3%	19.0%	100%
상용 LNG 플랜트	65.6%	18.8%	15.6%	100%

(테스트베드 정부/민간 비율 시나리오 2)

건설교통기술연구개발사업 사업단 운영관리지침(안) (2007.12)의 1장 총칙 2의 용어의 정의에 의하면 『'핵심과제'라 함은 사업단 과제를 구성하는 중추과제를 말한다.』라고 정의 되어 있다. 또한 『'테스트베드 (test bed)'라 함은 대형 기술의 실용화를 목적으로 시범적용을 위한 시험 공간, 시설물, 시스템 등을 말한다.』라고 정의되어 있다.

본 정의에 의하면 테스트베드 자체가 갖는 의미는 실험용 플랜트라는 것을 의미하며, 따라서 대규모의 투자가 동반되는 실험용 플랜트에 대한 정부의 대폭적인 지원으로 민간 현금 부담을 줄여 많은 민간기업의 사업단 과제 참여를 유도하는 것이 필요하다.

테스트베드에 대한 소유권을 정부에서 갖고 기술개발이 완료된 이후, 테스트베드 설비를 구매하고자 희망하는 민간기업이나 연구소등에 판매하는 방법이나 초저온 공정/설비 연구를 위한 공공 클러스터로서의 방법 등으로 투자비의 일정부분을 회수할 수 있는 방안을 사업단 차원에서 마련할 수 있을 것이다.

테스트베드 예산은 설계 및 건설비에 총 300억원에 대해서 토목건축 부문은 민간에서 전액 부담하고, 설계부문은 50% 비율을 적용하였으며, R&D 성격의 주요핵심개발과 운영관련은 정부 75%, 민간 25%의 분담율을 정하였다.

또한 테스트베드에 도입되는 부품국산제작과 외산기자재 및 공정설치 비용은 순수 실험설비 제작을 위한 비용으로 정부에서 전액 부담하는 내용으로 산정 하였다.

따라서 테스트베드 건설예산은 총 300억원으로, 이중에서 정부와 민간의 투자액은 각각 223.27억원(74.4%)과 76.73억원(25.6%)으로 산정된다. 그리고 총 2년간의 운영경비 30억원(정부 25억, 민간 5억)을 포함할 경우에 총 건설 및 운영비는 330억원으로, 이중에서 정부와 민간의 투자액은 각각 248.27억원 (75.23%)과 81.73억원 (24.77%)으로 제시되었다.

표 4.13 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(종합)

구분	예산현황					
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%
핵심협약 & 설계	1,050			450	1,500	5.0
테스트베드 부품조립(주요기기)	15,235	1,389	5,130	3,574	18,809	62.7
현장시공	3,102			2,389	5,491	18.3
시운전 & 성능개선 & 핵심과제 적용	2,940			1,260	4,200	14.0
테스트베드 운영 관련	2,500			500	3,000	
총계	24,827	1,389	5,130	8,173	33,000	100

표 4.14 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(협약&설계관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
가. 핵심협약									
1. 테스트베드부지선정 및 준비작업									
나. 설계									
1.기본설계									
-공정/시스템설계	224			96	320		R&D	대기업	O
-주요기기 사양확정	69			29	98		R&D	대기업	O
2.상세설계	0			0					
-상세 load 데이터 확정	98			42	140		R&D	대기업	O
-기기/배관/구조/전기/계장 설계	238			102	340		R&D	대기업	O
-토목/건축/설비 설계	197			85	282		R&D	대기업	O
3.현장설계 및 설계변경	0			0					
-현장설계변경 및 시공/시운전지원	70			30	100		R&D	대기업	O
-성능개선	70			30	100		R&D	대기업	O
-제2핵심 테스트베드 적용지원	84			36	120		R&D	대기업	O
소계	1,050			450	1,500	5.0			

표 4.15 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(테스트베드 부품조립관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
다. 테스트베드 부품조립(주요기기)									
1. 주요설비/자재 제작 및 구매									
1.1 전처리설비									
- NGL Fractionation	322			108	430		설계/조립	대/중	O
- BOG Compressor	863	138	450정부	238	1,101		외산/R&D	대/중	O
- Heater & Cooler	225			75	300		설계/조립	대/중	O
1.2 초저온 액화공정설비									
- Column, Vessel	263			88	351		설계/조립	중기	O
- Cold Box	1,185	188	630정부	396	1,581		외산/R&D	대/중	O
- Heat Exchanger	1,068	63	550정부	63	1,131		외산/R&D		
- Cooler	263			88	351		설계/조립	대/중	O
- 냉매 Compressor & Driver	6,500	1,000	3500정부	1,000	7,500		외산/R&D	대/중	O
- Miscellaneous	225			75	300		설계/조립	중기	O

1.3 냉매저장탱크	1,500			500	2,000		설계/조립	대/중	O
2.계장설비	0								
-제어설비 (DCS, PLC 등)	338			113	451		설계/조립	대/중	O
-현장계측기기 등	600			200	800		설계/조립	중기	O
3. 배관설비(Pipe, Valves 등)	0								
-초저온밸브/J-T 밸브	225			75	300		원자재설치	대/중	O
-초저온용 파이프	150			50	200		원자재설치	대/중	O
-기타	75			25	100		원자재설치	대/중	O
4. 전기설비	317			106	423		설계/조립	대/중	O
5. 소방, HVAC, 보온,도장	316			106	422		설계/조립	대/중	O
6. Chemicals (냉매 등)	422			141	563		설계/조립	중기	O
7. 기타기기-여유자재,실험실 설비 등	378			127	505		설계/조립	대/중	O
소계	15,235	1,389	5,130	3,574	18,809	62.7			

표 4.16 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(현장시공관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
라. 현장시공									
1.토목공사									
-기본조사비(지반조사)				57	57		토건공사	대기업	X
-토공사비(터파기,되메우기 등)				56	56		토건공사	대기업	X
-구조물공사비(콘크리트, 철골 등)				237	237		토건공사	대기업	X
-철골공사비(H-beam 제작, 설치 등)				130	130		토건공사	대기업	X
-말뚝공사비(PHC 말뚝, 항타 등)				105	105		토건공사	대기업	X
-포장공사비(콘크리트 포장공사)				65	65		토건공사	대기업	X
2.건설공사				564	564		토건공사	대기업	X
3.설비공사(소방, HVAC, 보온, 도장)	210			70	280		공정설치	대/중	O
4.기계설치공사	846			282	1,128		공정설치	대기업	O
5.배관공사	630			210	840		공정설치	대기업	O
6.전기공사	741			247	988		공정설치	대기업	O
7.계장설비공사	675			225	900		공정설치	대기업	O
8.가설공사				141	141		공정설치	대기업	X
소계	3,102			2,389	5,491	18.3			

표 4.17 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(시운전 및 기타관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
마.시운전									
1.시운전준비	350			150	500		공정설치	대/중	O
2.시운전	280			120	400		공정설치	대/중	O
3.신뢰도 및 성능평가시험	140			60	200		공정설치	대/중	O
바. 성능개선/제2핵심과제 적용	0			0					
1.성능개선	1,190			510	1,700		공정설치	대/중	O

2.유지보수	490		210	700		공정설치	대/중	O
3.2핵심 성과적용	490		210	700		공정설치	대/중	O
소계	2,940		1,260	4,200	14.0			

표 4.18 테스트베드 예산의 상세근거 - 시나리오 2(테스트베드 운영관련)

구분	예산현황						공종구분		
	정부	2핵심	외산	민간	합계	%	공종	주체	R&D
사. 테스트베드 운영비	2,500			500	3,000		R&D	대기업	O
총계	2,500			500	3,000				

LNG 플랜트 EPC (engineering, procurement and construction) 비용 관련 일반사항은 다음과 같다. 이러한 사항에 대한 이해는 테스트베드 설치비용을 가늠하는데 도움이 될 것이다.

1) LNG 플랜트는 투자비가 많이 드는 사업임:
- LNG 취급 관련 엄격한 디자인과 안전 규격이 필요하다.
- 운전요구 사항들을 만족시키기 위해 여러 단위 공정설비가 평행하게 설치된다.
- 초저온 온도에 견디기 위한 고가의 알로이금속 (alloy steel)이 다량 필요하다.
- 초저온, 가연성 유체를 처리하기 위한 특별한 drain과 vent 시스템들이 요구된다.

2) Escalation
- 2002년에는 2.5%였고 그 이전에는 1.5% 정도였음, 2003년엔 4~5%, 2004년엔 9~18% 이었고, 2005년 이후에는 11% 이상으로, 향후 지속적인 증가가 예상된다. 이러한 경향은 2015년경에나 안정될 것으로 예상됨
- 원인으로는, 건설 수요가 증가하고 있으나 건설에 필요한 고급 엔지니어와 EPC 업체의 부족, 재료가의 급상승과 열교환기, 압축기 등의 제작 업체의 부족 등이다.
- 결과적으로 2003년경 $150/TPA 프로젝트 비용이 2005년 $275/TPA 이상으로 상승하였다.
- 2008년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 $400~1200/TPA으로 예상됨.

마. 건설계획

전체 과제 수행과 연계한 테스트베드 구축 일정은 기술개발로드맵에서 보여진 바와 같다. 전체 기술개발로드맵 일정은 총 2단계로 진행되는 안이 제안되어지며, 테스트베드의 내용은 액화공정의 구성에 따라 실 운전에 소요되는 압축기와 열교환기 등의 생산 규모에 맞추어 향후 1단계 종료 시점에서 다시 정의할 필요가 있다.

테스트베드 구축과 관련된 구축 일정은 다음과 같다.

1) 테스트베드 Feed package 제작 및 기본 설계 (2차년도 중 총 6개월)
2) 테스트베드 상세설계 및 설비 구매와 건설 (3차년도부터 총 20개월)
구매에 오랜 시간을 요하는 열교환기의 발주는 3차년도 상반기에 실시함.
3) 테스트베드 운영 및 평가 (4차년도 4개월과 2단계에서 3단계까지 총 28개월)

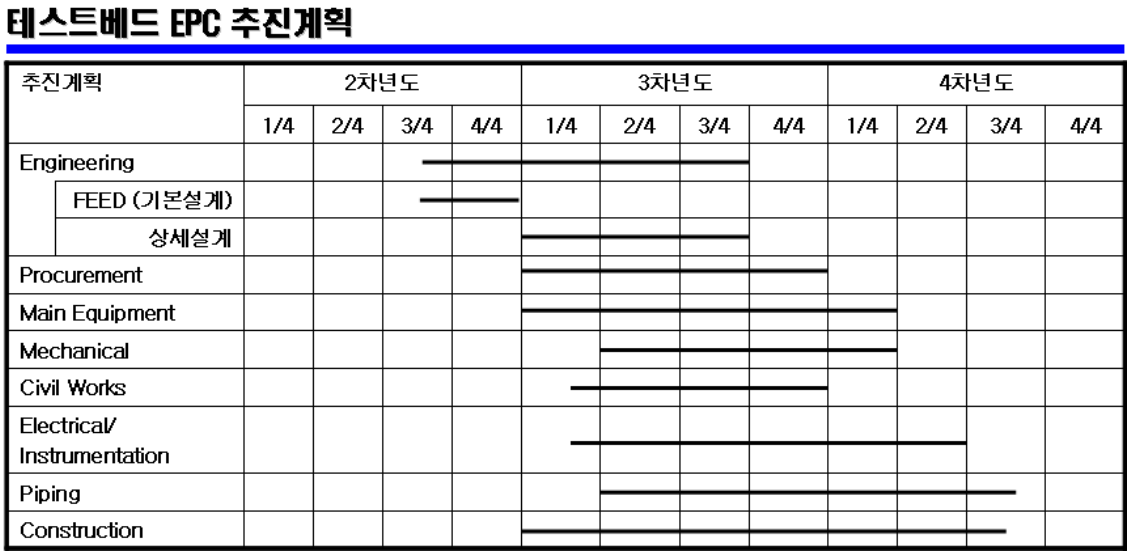


그림 4.13 테스트베드 EPC 추진 계획

테스트베드 건설 계획 종합
1) 액화 용량 : 100 TPD 2) 범위 : - 설비 구성: 전처리 공정 (원료가스 조정 설비, 가스 hydrate 처리 설비, NGL fractionation 설비), 액화공정 (열교환기와 압축기를 포함하는 사전냉각사이클, 초저온 주 액화사이클), 저장탱크 (냉매, 필요시 LNG) - 계열(계열):테스트베드는 기술검증을 위한 1개의 계열과 다양한 기술검토를 위한 1개의 추가 계열을 건설함. 3) 소요비용 : 300억원 (프로젝트 비용) + 30억원 (운영비용) 4) 기간 : 총 26개월 ※테스트베드 소요비용은 상세기획 당시의 환율(1$=1000원 기준), 원자재 및 원료비용(원자재 가격상승율 10% 기준)으로 테스트베드의 건설 및 운영시점에서의 비용 변동에 대한 반영 필요함.

바. 사후 활용계획 분석

○ 초저온액화 플랜트 연구기반 구축

○ 천연가스 가치사슬 확보전략으로 공공 연구개발투자 기반 마련

- 플랜트연구개발클러스터 구축,
- 기술개발과 공동 활용 촉진
- 차기 성장 동력 확보

○ 인수기지 BOG 재액화 설비로 활용

○ LNG 차량 보급에 따른 원격지 LNG 충전소 설비로 활용

○ 가스플랜트 value chain이 제한적인 국내 여건에서 대규모 연구개발사업 및 Test-bed구축을 통하여 기술의 신뢰성과 완성도 제고하고, 국내 공기업, 민간기업 주도의 해외 가스전 사업권과 연계하여 우리 기술의 적용이 가능할 것으로 예측되며, 현장 수행실적과 독자기술을 토대로 원격지 중소유전을 대상으로 기획, 개발형 건설사업 모델의 개발과 적용을 통하여 선진사와 제휴 등을 통하여 시장 경쟁력을 확보한다.

- 1단계: 국내 기업(석유공사, 가스공사, 민간기업 등)에서 개발하거나 사업권을 확보한 가스전을 중심으로 우선 적용하여 대외 신뢰도, 실적을 확보할 수 있으며, 필요시 선진기업과 기술제휴나 공동사업을 모색이 가능하다.

- 2단계: 선진사의 진출이 상대적으로 적은 원격지, 중소 가스전을 대상으로 기획, 개발형 사업을 추진하여 대외 인지도 및 실적을 확보할 수 있으며, 선진사와의 본격적인 기술제휴 및 컨소시엄 구성 등의 전략적 활용도가 크다.
- 3단계: 주요 해외 프로젝트에서 선진기업과 대등한 참여가 가능하며, 대규모 사업에 참여시 사업 위험 감소를 위한 컨소시엄 구성과 핵심기술 참여가 가능할 것임. 보다 구체적인 타당성은 검토가 이루어질 것이며, 사업단 착수, 후 총괄과제에서 지속적으로 시장 및 업계 전략을 모니터링하여 사업과 연계될 수 있는 방안을 제시한다.

5. 소요 연구비

가. 3핵심과제의 연구비

3핵심과제 연구개발비는 표 5.1과 같이 총 48,897백만원이며 정부출연금 35,900백만원, 민간부담금 현금 1,857백만원, 현물 11,140백만원이다. 3핵심과제의 민간 부담금은 중소기업 기준으로 책정하였다. 민간 부담금은 전체 연구비의 26.6%를 책정하였으며, 전체 민간 부담금 중 현물 85.7%, 현금 14.3%를 기준으로 하였다.각 세부과제의 비용은 과제의 업무 내용에 따라 예상되는 인건비 및 직접비를 산출하여 계상하였다.

표 5.1 3핵심과제 세부과제별 예산 (단위 : 백만원)

핵심과제	과제번호	세부과제	정부	민간		계
				현금	현물	
대용량 LNG 플랜트 설계, 건설기술	3-1	LNG 플랜트 설계기술 개발	8,200	360	2,159	10,719
	3-2	LNG 플랜트 건설기술 개발	23,000	1,252	7,513	31,765
	3-3	LNG 플랜트 운영 및 유지관리기술 개발	2,700	155	928	3,783
	3-4	초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발	2,000	90	540	2,630
	계		35,900	1,857	11,140	48,897

표 5.2 3핵심과제 연차별, 비목별 예산내역 (단위 : 백만원)

구분			1단계		2단계		3단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	
소요 예산	인건비		390	1,611	7,102	4,708	1,853	1,390	17,053
	직접사업비		277	1,800	13,221	8,917	3,323	1,091	28,629
	간접사업비		98	349	1,190	740	512	326	3,216
	위탁사업비		-	-	-	-	-	-	0
합계			765	3,760	21,513	14,365	5,687	2,807	48,897
재원 조달	정부		567	2,847	15,726	10,515	4,177	2,068	35,900
	민간	현금	28	130	828	550	216	105	1,857
		현물	170	783	4,959	3,300	1,294	634	11,140
합계			765	3,760	21,513	14,365	5,687	2,807	48,897

※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.

나. 세부과제의 연구비

(1) 3-1 세부과제 연구비

표 5.3 3-1세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원)

핵심과제	과제번호	세부과제	정부	민간		계
				현금	현물	
LNG 플랜트 설계기술 개발	3-1-1	FEED/기본, 상세설계 기술 개발	5,702	285	1,711	7,698
	3-1-2	공정 제어 기술 개발	2,498	75	449	3,022
	계		8,200	360	2,160	10,720

표 5.4 3-1세부과제 연차별, 비목별 예산내역 (단위 : 백만원)

구분			1단계		2단계		3단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	
소요	인건비		357	1,156	996	852	632	632	4,625
예산	직접사업비		339	1,703	1,393	703	499	498	5,135
	간접사업비		68	169	167	216	169	169	959
	위탁사업비		-	-	-	-	-	-	0
합계			765	3,028	2,556	1,771	1,300	1,299	10,719
재원조달	정부		567	2,295	1,945	1,364	1,015	1,014	8,200
	민간	현금	28	104	88	58	41	41	360
		현물	170	629	523	349	244	244	2,159
합계			765	3,028	2,556	1,771	1,300	1,300	10,719

표 5.5 3-1세부과제 연구개발비 산정근거 (단위 : 백만원)

구분		품명	금액
인건비		연구원(책임,선임,원) 기술원(특급,고급,중급)	4,625
직접비	기자재	공정설계 시스템(워크스테이션) 설계 소프트웨어 Matlab 등 CAD 시스템 플로터 데이터센터 공정 시뮬레이터 - Aspen Plus 10copy - ProII/Hysys 10copy - Hysis Dynamis 3copy - D-spice engineering 3copy - Zycad 2copy - AspenIcarus 2copy	1,700
	재료비	공정설계 DB 구축/운영 기타전산처리,재료비 모니터링 센서(온도, 습도, 유량, 압력 등) 구동 제어 엑츄에이터	607
	시작품	FEED 패키지 설계 계통 제어시스템 시스템 유지보수/보완 BSU(1kg/hr 급) 시스템	2,307
	기타	여비, 수용비, 기술정보활동비, 연구활동비 등	521
	소 계		5,135
위탁연구비			0
간접비		간접경비, 연구개발준비금 등	959
합 계			10,719

(2) 3-2 세부과제 연구비

표 5.6 3-2세부과제 예산 (단위 : 백만원)

핵심과제	과제번호	세부과제	정부	민간		계
				현금	현물	
LNG 플랜트 건설기술	3-2	LNG 플랜트 건설기술	23,000	1,252	7,513	31,765
	계		23,000	1,252	7,513	31,765

표 5.7 3-2세부과제 연차별, 비목별 예산내역 (단위 : 백만원)

구분			1단계		2단계		3단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	
소요예산	인건비		0	0	5,642	3,133	568	314	9,657
	직접사업비		0	0	11,290	7,263	1,788	221	20,562
	간접사업비		0	0	918	373	199	57	1,546
	위탁사업비		-	-	-	-	-	-	0
합계			0	0	17,850	10,769	2,554	592	31,765
재원조달	정부		0	0	12,970	7,831	1,825	374	23,000
	민간	현금	0	0	697	420	104	31	1,252
		현물	0	0	4,183	2,518	625	187	7,513
합계			0	0	17,850	10,769	2,554	592	31,765

표 5.8 3-2세부과제 연구개발비 산정근거 (단위 : 백만원)

구분		품명	금액
인건비		연구원(책임,선임,원) 기술원(특급,고급,중급)	9,657
직접비	기자재	테스트베드 예산 산정 근거 참조	943
	재료비	테스트베드 예산 산정 근거 참조	2,136

	시작품	테스트베드 예산 산정 근거 참조	15,803
	기타	여비, 수용비, 기술정보활동비, 연구활동비 등	1,680
	소 계		20,562
위탁연구비			
간접비		간접경비, 연구개발준비금 등	1,546
합 계			31,765

(3) 3-3 세부과제 연구비

표 5.9 3-3세부과제 예산 (단위 : 백만원)

핵심과제	과제번호	세부과제	정부	민간		계
				현금	현물	
LNG 플랜트 운영 및 유지관리기술 개발	3-3	LNG 플랜트 운영 및 유지관리기술 개발	2,700	155	928	3,783
	계		2,700	155	928	3,783

표 5.10 3-3세부과제 연차별, 비목별 예산내역 (단위 : 백만원)

구분			1단계		2단계		3단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	
소요예산	인건비		0	0	322	544	494	254	1,615
	직접사업비		0	0	324	593	681	209	1,807
	간접사업비		0	0	72	126	98	65	361
	위탁사업비		-	-	-	-	-	-	0
합계			0	0	718	1,264	1,273	528	3,783
재원조달	정부		0	0	512	894	912	382	2,700
	민간	현금	0	0	30	53	52	20	155
		현물	0	0	176	317	309	126	928
합계			0	0	718	1,264	1,273	528	3,783

표 5.11 3-3세부과제 연구개발비 산정근거 (단위 : 백만원)

구분		품명	금액
인건비		연구원(책임,선임,원) 기술원(특급,고급,중급)	1,615
직접비	기자재	통합 운전시스템 엔진(워크스테이션) 데이터센터 CAD 시스템 플로터 통합O&M/안전관리시스템개발도구(G2 2copy)	175
	재료비	시그널 컨버터 공정 시스템 운영 소요자재 기타 전산처리, 재료비	214
	시작품	통합운전 정보관리 및 원격모니터링 시스템 플랫폼 운전정보 보정시스템 시작품 통합 유지보수 관리시스템 운전최적화시스템 센서진단 및 보정시스템 시스템 유지보수/보완	1,039
	기타	여비, 수용비, 기술정보활동비, 연구활동비 등	345
	소 계		1,773
위탁연구비			0
간접비		간접경비, 연구개발준비금 등	361
합 계			3,749

(4) 3-4 세부과제 연구비

표 5.12 3-4세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원)

핵심과제	과제번호	세부과제	정부	민간		계
				현금	현물	
초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발	3-4-1	초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발	1,400	60	360	1,820
	3-4-2	LNG 저장탱크 수명평가 기술개발	600	30	180	810
	계		2,000	90	540	2,630

표 5.13 3-4세부과제 연차별, 비목별 예산내역 (단위 : 백만원)

구분			1단계		2단계		3단계		계
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	
소요예산	인건비		0	388	212	261	249	172	1,283
	직접사업비		0	245	120	237	245	170	1,017
	간접사업비		0	99	57	63	66	46	331
	위탁사업비		-	-	-	-	-	-	0
합계			0	732	389	561	560	388	2,630
재원조달	정부		0	552	299	426	425	298	2,000
	민간	현금	0	26	13	19	19	13	90
		현물	0	154	77	116	116	77	540
합계			0	732	389	561	560	388	2,630

표 5.14 3-4세부과제 연구개발비 산정근거 (단위 : 백만원)

구분		품명	금액
인건비		연구원(책임,선임,원) 기술원(특급,고급,중급)	1,283
직접비	기자재	시스템 해석/설계 시스템(워크스테이션) 구조해석 및 설계 SW 플로터	104
	재료비	극저온 실험체 제작 소요자재 액상화 실험체 제작 소요자재 온도 센서류 신장 센서류 변위 센서류 진동 센서류	430
	시작품	극저온 실험체 액상화 실험체 실험 보조 기구 제작	281
	기타	여비, 수용비, 기술정보활동비, 연구활동비 등	202
	소 계		1,017
위탁연구비		위탁연구과제 1, 설계기술 인증 과제 1	0
간접비		간접경비, 연구개발준비금 등	330
합 계			2,630

6. 기술개발 효과 및 성과활용 방안

가. 사회적, 경제적, 기술적, 정책적 파급효과

(1) 사회・경제적 파급 효과

해외 플랜트 건설 사업 참여시 수억 달러의 엔지니어링 및 건설 수입 가능하다. (해외플랜트 수주 기여액 : 1개 프로젝트 수주시 10조원 이상)

2015년 기준으로 LNG플랜트의 건설수요를 High case와 Low case의 중간 정도로 감안하면, 20조원 정도로 파악되며, 이중에서 5%의 시장점유율을 가정하면, 연간 약 1조원 규모의 시장에 진입할 수 있을 것으로 파악된다.

테스트베드 건설과 운영을 통한 국내 초저온액화 (LNG)분야 전문인력 양성 및 해외시장 참여시 국내 플랜트산업 활성화 및 신규 고용 효과 창출이 가능하다.

천연가스로부터 합성석유 제조기술의 확보에 의한 해외 미개발 가스전 (주로 0.5~5 Tcf 규모의 가스전)에서의 사업 참여시 막대한 기술료 지출 절감 및 사업 참여 기회 증대될 것으로 판단된다. (예: cross-licensing의 이점)

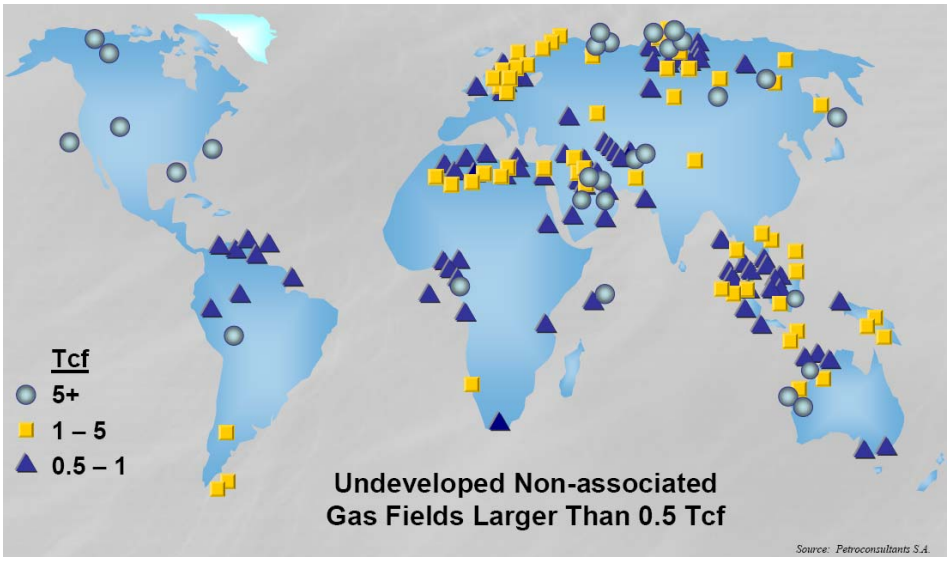


그림 6.1 세계 가스전 현황
(연산 3.3 백만톤 (MTPA)의 LNG를 생산하는 플랜트에 필요한 가스전의 규모는 5~6 Tcf (trillion cubic feet)임)

플랜트업체의 국산기자재 사용비율을 평균 51% 수준으로 담수분야는 70 ~

90%의 높은 국산화율을 보이는 반면, LNG 분야는 10~30%에 불과하여, 본 과제를 통해 50% 수준 이상으로 끌어올리면 중소기업 관련 플랜트 부품 소재 산업의 내수 유발 효과를 거둘 수 있다.

해외가스전에 진출하여 청정에너지 연료를 생산 도입하므로 국가에너지 자급률에 기여 : 1차 에너지 중 석유의존도를 낮출 수 있다. (2004년 의존도: 45.6% → 37%로 낮출 수 있음)

다음의 표는 액화플랜트에 소요되는 주요 설비/부품/자재들의 과거 시장 규모와 2010년의 예상 치로서 향후 액화플랜트 기술개발 시에 동반되는 타 유관 산업 분야에 긍정적인 파급 효과를 얻을 수 있다.

표 6.1 LNG 플랜트 주요 설비/부품/자재의 과거 시장 규모와 2010년의 예상 치

소요 자재/설비	2002	2003	2004	2005	2010
Actuators	19	28.5	28.5	28.5	66.5
Cold Boxes	5415	5814	7039.5	9158	10,659
Cryogenic system components	2375	2403.5	2451	3486.5	3562.5
Electric control units	19	28.5	57	47	76
Expanders	6764	7505	7714	8550	11,400
Fittings	19	28.5	28.5	38	66.5
Flanges and piping	95	114	142.5	161.5	190
Gauges	38	47.5	38	57	76
Heat exchangers / heat transfer technology	12,949	13,205	13,471	15,039	19,285
Hoses	133	161.5	199.5	247	323
Instrumentation	199.5	218.5	237.5	256.5	332.5
Insulation systems	1330	1444	1558	2622	3249
Metering/measurement systems	38	47.5	47.5	57	123.5
Pipe supports	114	123.5	152	180.5	266
Pressure vessels (Cryogenic)	693.5	950	741	912	1330
Pretreatment systems	256.5	294.5	351.5	361	418

Process components	627	655.5	826.5	893	1178
Refrigeration/Liquefaction systems	6707	7505	7657	9405	11,438
Safety equipment	4845	5434	5700	6868.5	8645
Sensors, monitoring systems	123.5	142.5	133	152	209
Lubricants and other chemicals	104.5	114	123.5	152	190
Tanks (field-erected storage)	408.5	541.5	779	912	1168.5
Tubes/tubing	237.5	503.5	551	636.5	712.5
Turbines	4750	5054	5310.5	6849.5	8550
Valves (Cryogenic)/Regulations	133	142.5	152	180.5	218.5

*주) 2004년 BOC 자료로 2010년 예측치는 현 원부자재비 상승률을 반영 시 3~8배 수준으로 평가해야할 것임.

차세대 LNG 탱크 설계기술을 통해 각 구조재료의 물량을 절감한 최적화된 단면 설계를 실시하고, 또한 시공법을 개선하여 공기를 단축할 경우 해외 시장 진출시 가격 경쟁력 있는 LNG 탱크 설계가 가능하여 매우 유리하다.

또한 LNG 탱크의 대용량화시 최적 단면에 대한 다각도의 분석 없이 막연히 콘크리트 단면을 두껍게 하고, 철근 및 긴장재의 양을 늘릴 경우 단면의 구조적 여유도가 너무 크게 되어 비경제적인 설계가 되기 쉽다. 따라서, 대용량화시 효율적인 탱크를 설계할 수 있는 최적화 기술을 확보하는 것은 해외에서 발주되는 대용량 탱크를 수주하기 위한 결정적인 요인이 될 수 있다.

상기 검증된 기술력 확보를 통한 세계시장 진출시, 매년 2개 Project(가장 일반화된 16만 kl×2기 기준, PJ 당)를 수주할 경우 약 2,500억원의 수주 효과가 있고 설계 자립에 따라 약 100 억원 정도의(EPC 총비용의 약 3~5% 설계비 기준시) 외화유출 대체효과를 거둘 수 있을 것이다.

LNG 탱크 설계기술은 국내에서 자립화에 어느정도 성공하였지만, 아직 해외에서는 인정받지 못 한 상태이며 해외 입찰시 기존 해외 설계사들의 견제가 심할 것으로 예상되는 부분이다. 이 연구과제의 성과를 바탕으로 해외 LNG 탱크 설계 시장에 진출할 경우 기존에 진출한 LNG 탱크 시공 분야와 더불어 해외 EPC 공사 전체를 자체 기술력으로 수주할 수 있는 발판이 마련되어 기술력 홍보

측면에서 국내외적으로 사회적 파급효과가 지대하다고 할 수 있다.

(2) 기술적 파급 효과

○ 국내 LNG 플랜트 기술을 보유 (현재 선진 기술 보유사들이 카르텔을 형성하고 기술이전을 하지 않고 있어 고부가가치 핵심사업에 국내 업체의 참여가 제한되고 있음)
○ LNG 플랜트 설계기술의 확보 (국내업체들의 해외 가스 플랜트 건설 사업 참여 가능, 액화공정의 Licensing도 가능)
○ Test-bed 건설 및 운영을 통한 시공 기술 및 관련 매뉴얼 확보 (우수한 실험기술 및 데이터/지식베이스 구축을 통한 예측 모델개발 및 공정의 최적화에 사용)
○ 테스트베드 건설 및 운영을 통한 노하우 축적으로 해외 기술시장 진출 교두보 확보
○ 주요 설비 및 핵심기기 국산화로 국내 장치 산업 경쟁력 향상이 기대됨. 향후 LNG 플랜트 기술개발 시에 동반되는 타 유관산업 분야에 긍정적인 파급 효과 기대.

지금까지 국내에서 주로 치중해 왔던 전형적인 LNG 탱크의 설계 및 시공법에 부가하여 최근의 국내외 연구를 참조하여 설계의 정밀도를 극대화함으로써 최적화되고 경제적인 단면을 도출할 수 있는 기반 기술을 확보하는 한편, 해외의 사례 또는 기타 구조물들의 사례로부터 공법 개선방안을 도출하여 LNG 탱크의 공기 및 시공비를 절감할 수 있는 근거를 마련하고자 한다. 이는 해외 시장으로의 진출시 후발주자로서 요구되는 차별화된 기술력 보유라는 면에서 막대한 기술적 파급효과가 있다. 과제 착수 및 종료시점을 기준으로 예상되는 기술수준은 선진국 대비(100%)로 다음과 같다.

- LNG 탱크 시공 : 80% → 95%
- LNG 탱크 설계 : 80% → 95%
- LNG 탱크 해석 : 90% → 100%
- 대용량 LNG 탱크 관련 기술 : 90% → 100%

- 신공법 관련 기술 : 60% → 80%
- 전문인력 보유 : 70% → 85%
- 연구 인프라 구축 : 80% → 90%

(3) 전략적 효과·정책적 기대효과

○ 테스트베드 보유 및 운영만으로 전 세계 기술 시장에 광고 효과 기대
○ 전략적, 정책적 관심과 노력을 기울여 경쟁력 있는 국산화 기술의 확보를 실현하여 해외플랜트 시장 진출을 위한 폭넓은 정책적 지원 유도
○ 연구개발에 다양한 국내기업들이 참여를 유도하므로 해외시장 진출 시 컨소시엄 구성으로 Risk 분산 및 사업 추진력 향상 가능
○ 고유가시대 도래와 불안한 세계 에너지시장에서의 자주적인 LNG 플랜트 공정, 설계기술의 확보와 해외 가스전 개발에 의한 국가 에너지 안보 구현

나. 성과활용방안

개발된 기술의 해외시장 진출을 위해서는 국내 공·사기업들이 개발하거나 확보한 해외의 가스전 (대규모 가스전, 고립지 가스전, 원격지 가스전, 유전에서의 수반가스등)에 공정/플랜트 기술과 금융이 어우러지는 자원 연계형 투자개발사업 컨소시엄을 구성함으로써, 궁극적으로는 해외 에너지자원개발과 연계한 해외플랜트 건설이 가능할 것이다.

LNG 가치사슬 요소 (천연가스 생산 - LNG 생산, 저장 - 운송 - 저장 - 재기화 - 소비)가 제한적인 국내 여건에서 대규모 연구개발사업 및 테스트베드 구축을 통하여 기술의 신뢰성과 완성도를 제고하여 국내 공기업, 민간 주도의 해외 가스전 사업권과 연계하여 우리 기술의 적용이 가능할 것이다.

현장 수행실적과 독자기술을 토대로 원격지 중소가스전을 대상으로 기획, 개발형 건설사업의 모델을 개발하고 적용함으로 시장 경쟁력을 강화할 수 있다.

- 1단계 : 국내기업(석유공사, 가스공사, 민간기업 등)에서 개발하거나 사업권을 확보한 가스전을 중심으로 우선 적용하여 대외 신뢰도, 실적을 확보할 수 있으며, 필요시 선진 기업과 기술제휴나 공동사업을 모색할 수 있는 교섭의 기반을 확보

-2단계 : 주로 대규모 가스전에 집중하고 있는 선진사의 진출이 상대적으로 적은 원격지, 중소가스전을 대상으로 전략적인 기획,개발형 사업을 추진하며 대외 인지도 및 실적을 확보할 수 있으며, 선진사와 본격적인 기술 제휴 및 컨소시엄 구성에 있어서 전략적 활용도가 큰 장점이 있음.

Test Bed 용량 25~50 TPD의 적정성 :
Test Bed 규모 적용 가능 사업 사례 → 중형 LNG 플랜트

1) 중국: Weizhou Island 원유 생산/저장 과정에서 소각 (flared) 되던 gas (수반천연가스)를 액화시켜 Guangxi 자치구역에 공급
→ (중형) 110 TPD LNG (Contractor: Salof Company)

2) 호주: North West Shelf로 부터 공급되는 천연가스 이용, 생산된 LNG는 Load Tanker (트럭)를 이용하여 natural gas power plants에 공급.
→ (중형) 160 TPD LNG (Contractor: Salof Company)

3) 중국: Chart의 NexGen Fueling Division은 2001년에 중국 최초로 LNG fueling station을 베이징에 설치함.
→ (소형) 15~ 50 TPD : 현재까지 40개의 LNG stations 설치.

7. 핵심과제 RFP 및 공모방안

가. 핵심과제 RFP 작성기준

제3핵심과제의 대한 RFP(request for proposal)는 다음과 같은 점을 고려하여 작성하였다.

- 관련 규정을 반영: 관리규정, 사업단 운영관리지침 등
- 사전기획에서 제시한 핵심 및 세부과제의 범위를 검토
- 상세기획에서 도출된 세부과제와 정량적인 목표 및 연구내용을 중심으로 작성
- 기업 설명회 및 공청회를 통한 외부 의견 반영
- 주관기관의 주도하는 지정공모과제와 협동기관의 참여가 요구되는 분리공모과제의 특성을 반영

제3핵심과제의 제안요구서(request for proposal)를 구성하는 골격과 반영내용은 다음과 같다.

- 과제명: 상세계획에서 도출된 제목을 반영
- 목표: 정량적, 정성적 목표로 구분하여 반영
- 필요성: 배경, 기술, 경제/사회적 필요성을 반영
- 기술동향: 세부과제에 해당하는 기술변화를 중심으로 반영
- 연구개발내용: 상세기획에서 도출된 세부과제별 중점 연구내용을 반영
- 추진전략 및 체계: 단계별 목표, 달성전략 등을 반영
- 성과물: 제품, 기술 등으로 구분하여 반영
- 실용화/사업화 방안: 테스트베드, 사업화방법 등을 반영
- 예산: 전담기관에서 조정한 내용을 반영
- 기타: 특별사항을 반영

나. 핵심과제 RFP(안)

앞서 작성기준을 토대로 제3핵심과제의 과제제안요구서(안)를 표 7.1과 같이 작성하였다.

표 7.1 제3핵심과제 RFP

연구과제명	핵심 3과제 : 대용량 LNG 플랜트 설계·건설 기술
1. 연구개발 목표	
	○ 천연가스 액화공정기술을 기반으로 LNG 플랜트를 기본(FEED 포함)/상세 설계, 시공, 유지관리기술을 개발하기 위한 과제임. 각 핵심과제에서 개발되는 기술의 실증을 위하여 테스트베드를 설계하며, 이를 실제 현장에 개발 기술로 시공하여 실증하여 실용화 기술개발이 목표임. ○ 제2핵심과제의 공정 데이터와 해외 선진 FEED 사례를 기반으로 LNG 플랜트 기본설계 및 FEED 개발을 위한 설계기술 개발 ○ 100 톤/일(50 톤/일 2기)급 테스트베드 FEED 및 시공 및 실증, 이에 기반한 대용량 (5 MTPA급) LNG 플랜트 기본설계 패키지 개발을 목표로 하고 있음. ○ 테스트베드를 기반으로 상세설계 및 시공기술개발, 이와 관련된 실현장을 상정하여 공기단축 및 모듈화 시공 등에 관한 기술 개발 ○ LNG 플랜트 운영을 위한 제어 및 통합관리기술과 각종 시스템 및 모듈, 기자재의 유지보수를 위한 체계 및 관리시스템 기술개발 ○ 20만 kl 급 이상의 대용량 저장탱크를 대상으로 외부 요인에 의한 안전성, 설계안정성, 모니터링 및 수명연장기술 ○ 핵심3과제 총괄기여목표 - 전체 공정계통의 에너지효율 5% 향상 - 유지관리비 10% 저감 - 시공성 10% 개선
2. 연구개발 필요성 및 기술 동향	
□ 연구개발의 필요성	○ LNG 플랜트는 성장사업으로서 산업의 전후방 연관효과가 94% 이상이며, 건설사업 건당 사업비가 1-10억 달러 이상으로 외화획득과 고부가가치 및 고용창출에 미치는 효과가 매우 큼 - 세계적으로 천연가스의 수요는 2030년까지 2002년 대비 약 2배 수준 증가할 것으로 전망

- 가스부문의 투자액은 향후 2030년까지 연평균 약 1000억 달러로 전망

  ※ 출처: IEA, World Energy Outlook, 2003.

○ 국내에 LNG 플랜트 분야의 가치사슬과 산업기반이 취약한 관계로 투자비가 큰 연구개발사업에 민간 주도의 추진과 사업화에 한계가 있음

- LNG 플랜트의 가치사슬(value chain)은 유전 탐사/개발 → 가스액화(초저온, 합성) → 수송 → 저장/보급 등으로 구성되나 우리나라는 현재 한국가스공사를 중심으로 '수입 저장과 보급' 분야만 관여하고 있는 실정임
- 반면에 우리나라와 여건이 유사한 일본은 전략적으로 에너지확보/해외시장 진출을 위하여 Pilot/Demo. Plant 건설을 단계적으로 지원 (JOGMEC 프로젝트를 통하여 약 67%를 정부지원)

○ 국내의 LNG 플랜트 참여 형태는 대체로 전처리 및 시공분야가 주류를 이루고 있으며, 고도의 기술력과 경험을 요구하는 엔지니어링 분야의 타당성 조사, 기본설계를 포함하는 FEED와 전체 사업관리를 주도하는 PMC(project management consultancy) 역무의 수주에는 많은 제약조건을 안고 있음.

○ 제2핵심과제의 공정기술과가 연계하여 효율적인 LNG 플랜트 설계 및 시공기술을 병행하여 확보할 필요가 있으며, 특히 테스트베드 실증을 기반으로 FEED (front end engineering and design) 능력과 해외시장에서 요구되는 EPC (engineering, procurement and construction) 능력을 확보하는 것이 시장진입 경쟁력 확보에 매우 중요함.

○ 플랜트엔지니어링 분야에서 향후 예상되는 샌드위치 상황을 타개하기 위해서는 우리 기업이 플랜트 산업 초기부터 확보해 온 상세설계, 기자재 조달 및 건설 관련 역량과 전문 인적 자원을 활용하여 프로젝트 초기 단계에서 수행되는 FEED 수주를 통한 종합적인 엔지니어링기술의 경쟁력 강화가 요구됨.

○ 보수적인 LNG 플랜트 건설시장의 특성상 해당분야의 신뢰성있는 기술의 보유 및 건설경험 유무가 시장 진입의 중요한 요소임.

- 과거 정유·석유화학, 발전 분야 공정기술은 선진기업과의 기술제휴·도입이 가능하였으나 대규모, 고부가가치 플랜트사업인 LNG, GTL분야의 경우에 선진기업의 기술이전 기피로 기술제휴·도입이 사실상 어려움.
- 우리의 여건에서 경쟁기술 개발을 통하여 선진사와 기술을 제휴, 해외사업 공동 진출을 위한 전략적 도구를 마련할 필요가 있음.

	○ 기술제휴, 사업진출 등에 활용 가능한 전략적 도구 확보가 필요 - 공정데이터는 사업의 기획, 설계, 조달, 시공, 운영/유지 등 수행과정에서 필수적으로 요구되는 데이터임 - 완성품으로 공정개발을 배제하더라고 기술체계상 공정데이터의 확보과정은 EPC 기술개발 과정에서 기본적으로 다룰 수밖에 없음 - 우리의 여건에서 경쟁기술 개발을 통하여 선진사와 기술을 제휴, 해외사업 공동 진출을 위한 전략적 도구로 활용할 필요가 있음 ○ LNG 플랜트는 다양한 학제와 원천기술, 응용기술이 집적되어 있는 Complex로서 해외시장 진입을 위한 EPC 필수기술(핵심기반 + 공정 + 설계 + 건설)의 개발을 위한 연구사업 추진이 필요함
□ 기술 동향	<국내> ○ 국내 LNG 관련 산업은 주로 해외에서 생산된 LNG를 도입하여 공급하는 구조로 천연가스 공급을 위한 인수터미널과 저장탱크, 공급망 건설로 국한되어져 있음. ○ 국내의 LNG 플랜트 관련 기술개발 사례로 LNG 저장탱크 및 재기화 관련 분야를 제외한 천연가스 액화 공정과 이의 응용기술 분야에 대한 연구 실적은 전무한 실정임. <국외> ○ LNG 플랜트의 천연가스 액화능력 증가에 따라 대형, 고효율 액화 공정을 제공하는 APCI, ConocoPhillips와 Statoil/ Linde 기술의 시장 점유율이 증가하고 있으며, 또한 이들 액화공정을 이용하여 열효율과 생산성을 최대화할 수 있는 종합 설계/건설 기술력이 지속적으로 요구되고 있음. ○ 이에 따라, 천연가스 액화플랜트의 EPC 업체의 선택은 이미 사전에 정해진 경우가 대부분으로 Phillips의 Optimized Cascade기술이나 Statoil-Linde의 Mixed Fluid Cascade (MFC®) 기술의 경우 EPC Contractor로 각각 Bechtel과 Linde/Aker로 정해져 있는 상황임. 반면 APCI 공정 기술은 다수의 EPC contractor에게 라이센스가 부여되지만, 이 경우도 JGC/KBR과 Chiyoda가 형성한 카르텔에 의해 여타 EPC 업체의 기술 사용 자체가 어려운 상황임. ○ 설계, 시공 등 EPC 종합기술이 기획·개발형 사업의 성공요인임. - 선두기업의 경우에 시장 카르텔 형성을 통하여 후발기업의 핵심 영역 진출을 배제하고 기술혁신과 비용절감을 통한 우위 확보 전략 - 후발기업의 경우에 경쟁기술 개발을 통하여 선진기업과 제휴하거나

독자사업에 적용하는 전략을 구사 (일본, 프랑스, 이탈리아 등)

- 일본의 사례: 경쟁/특화기술 확보 ⇒ 기술제휴, 해외 컨소시엄 참여
  - · Chiyoda (과거): 우수한 액화·제조설비, LNG 인수설비 설계 기술
  - · JGC (현재): Biomass, DME 등 신에너지 독자기술 개발에 투자
  - · JOGMEC (현재): GTL 개발 컨소시엄 주도

○ 세계 1위의 LNG 수입국인 일본은 1970년대부터 액화천연가스(LNG)를 기본적인 에너지원으로 채택하고, 이후 국가적이 차원에서의 관심과 지원을 바탕으로 LNG 생산/저장 분야에 필요한 원천설비 기술을 개발하는 한편으로 자국 내 엔지니어링 기업들이 플랜트 설계/설비구매/건설 등의 전 분야에 참여하도록 하여 현재의 LNG 관련 플랜트 건설경기에 편승하여 고수익을 창출

3. 연구개발 내용	

□ **과제 정의**

LNG 공정 데이터를 기초로 연관 계통을 설계하는 FEED 및 제어 기술, 설계를 기초로 현장 시공기술, 공기단축 및 모듈화 시공기술, 시공된 플랜트의 운전 및 유지관리에 관한 기술, 테스트베드 등을 개발하는 과제

□ **제1세부과제 : LNG 플랜트 설계기술 개발**

○ 연구개발 필요성

- 제2핵심과제의 공정기술과가 연계하여 테스트베드 실증을 기반으로 FEED 능력과 해외시장에서 요구되는 EPC (engineering, procurement and construction) 능력을 확보가 필요함.
- 국내의 기존의 플랜트 상세설계, 기자재 조달 및 건설 관련 역량과 전문 인적 자원을 활용하여 프로젝트 초기 단계에서 수행되는 FEED 수주를 통한 종합적인 엔지니어링기술의 경쟁력 강화가 요구됨.

○ 연구개발 내용

- FEED/기본, 상세설계 기술개발
  - 선진 FEED 벤치마킹 및 사례 구축(FEED 열·물질수지, PFD 등 분석)

- 테스트베드 구성 및 설계기준 도출(설계기초, 열 및 물질수지 분석, 가스조성, 냉매, 생산량 기반 설계)
- 테스트베드 FEED 패키지 및 상세설계, 열·물질수지 기반 기본 공정설계, Hydraulic 기반 배관 설계
- 테스트베드 운전을 통한 상용급 LNG 플랜트 최적화 데이터 도출
- 핵심기자재 운전데이터 수집/분석, 상용급 핵심 기자재 선정 기준 도출
- 테스트베드 설계&대용량 LNG 플랜트 scale-up 연구
- 5 Mt/y급 LNG플랜트 기본설계집 제시, 상용급 기자재 선정기준 및 가이드라인 제시

• 공정제어 기술 개발
- 공정제어 시스템 적용 사례 분석을 통한 LNG 플랜트 공정제어시스템 공정제어 기준 정립, 공정별 제어요소 정립
- 현장적용성평가 BSU(1톤/일급) 시스템 개발 및 운전연구
- 운전데이터 분석 및 테스트베드 공정제어시스템 연구
- Test-Bed에서 예상되는 trouble-shooting 자료 도출
- BSU 운전특성 및 동특성 자료 분석 연구
- 상용급 고유모델 개발을 위한 개념 초기실험 연구

※"LNG플랜트 공정제어기술개발(3-1-1)"과제는 1핵심 1-2(동적 공정설계시뮬레이터 개발) 과제와 상호 연계 및 활용계획의 제시가 필요함.

□ 제2세부과제 : LNG 플랜트 건설기술 개발

○ 연구개발 필요성

• 보수적인 LNG 플랜트 사업의 경우 기술의 적용 실적이나 참여 실적이 없는 경우에는 기술을 인정받기 어려우며, 실질적으로 발주처 입장에서는 10조원 이상의 대규모 투자비용이 들어가는 프로젝트에 실적과 경험이 없는 EPC 업체를 선정하기 어려운 여건이므로 테스트베드 건설경험이 절대적으로 필요함.

• 기술 개발과 이의 건설사업화를 위한 연구가 동시에 추진되어 각 분야의 기반기술을 습득하고 그 결과물을 공유함으로 시너지효과를 극대화할 수 있으며, 궁극적으로는 테스트베드 건설/운영과 그 운영 결과를 통해 양 과제의 기반기술이 검증(실증)되고, 최적화되어 개발 완료 시점에서 순수 국내 기술만으로 바로 실 사업 진출이 가능한 사업모델을 구축이 필요함.

• 액화 공정 자체는 많이 알려진 기술로 간주되어 지기도 하지만 LNG산업의 보수성과 배타성을 생각할 때 경험이 없는 EPC 업체의 참여가 극히 제한되는 분야임.
• 테스트베드 FEED를 기반으로 상세설계 및 시공을 수행하여 테스트베드 검증 및 현장적용성 평가시스템이 필요
• 관련된 실 현장을 상정하여 공기단축 및 모듈화 시공 등에 관한 기술

○ 연구개발 내용
• LNG 테스트베드 건설
- 테스트베드 부지조사 및 타당성 평가
- Test bed 설치 지역 법규, 공업기준 등 검토
- 테스트베드 구성 기자재 구매, 제작
- LNG 플랜트 모듈화 시공체계 개발
- 센서기반 시공 자동화 기술 개발
- 테스트베드 시공 및 시운전
- LNG 플랜트 공기개선 최적화 방안 등 도출
- LNG 플랜트 현장 관리기술 개발, 표준시방, 지침 등 개발, 현장관리 가이드(메뉴얼) 개발

□ 제3세부과제 : LNG 플랜트 운영 및 유지관리기술 개발
○ 연구개발 필요성
• 테스트베드 운영과정을 거쳐서 여러 가지 알려지지 않았던 다양한 설계 인자들이 각각의 공정 계통에 어떤 작용을 하고, 최종적으로 LNG 생산에 어떤 영향을 미치는가를 확인할 수 있는 과정이 반드시 필요함.
• LNG 플랜트 효율적 운영을 위한 제어 및 통합관리기술과 각종 시스템 및 모듈, 기자재의 유지보수를 위한 체계 및 관리시스템 개발이 필요함.

○ 연구개발 내용
• LNG 플랜트 통합운전환경 기술개발
- LNG 플랜트 원격제어 표준 연구
(프로토콜, 원격제어반, 제어환경 등, 센서류, 제어기류 등)
- 통합제어 플랫폼 계통 제어요소 제시
- RFID, RUBEE, ZIGBI, USN 등 적용기법 개발

- 안전관리시스템 적용 표준 연구
- LNG 플랜트 안전관리 로직 개발, 위험도 정량화 방법론 구축
- LNG 플랜트 유지보수/안전관리 DB 구축
- 통합 운전환경 시스템 개발

• 웹기반 가스플랜트 유지/보수시스템 기술개발
- 웹기반 시스템 프로토콜 제시
- 유지보수시스템 XML 스키마 개발
- 원격감시스템과 연계된 웹기반 시스템 개발 (UI 포함)

□ 제4세부과제 : 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발

○ 연구개발 필요성

• 국내 업체의 경우, LNG 저장탱크 시공 및 일부 상세 설계에 참여한 경험 및 이를 바탕으로 자체적인 기본설계 능력을 갖춘 업체도 있으나 대외적으로 이에 대한 객관적인 검증이 이루어지지 못하였거나 독립적인 설계 수행능력 부족으로 인하여 해외시장 진출에 어려움을 겪고 있는 상황임.
• 특허를 가진 액화공정과는 달리 국제적 규격 및 코드에 따라 설계, 시공 및 안전성이 확보될 경우 원가 경쟁력을 갖추기만 한다면 약 50여기에 이르는 국내 LNG 저장탱크 시공경험을 갖춘 국내 업체들이 충분히 국제 EPC 턴키 시장에 진출 할 수 있는 기회가 있기 때문에 특정부분의 기술개발의 필요성이 존재함.
• 최근 들어 LNG 저장탱크 관련 핵심기술의 발전으로 인하여 저장탱크의 용량은 대형화 되어가는 추세임.
• LNG 탱크의 대용량화시 최적 단면에 대한 다각도의 분석 없이 막연히 콘크리트 단면을 두껍게 하고, 철근 및 긴장재의 양을 늘릴 경우 단면의 구조적 여유도가 너무 크게 되어 비경제적인 설계가 되기 쉽다. 따라서, 대용량화시 효율적인 탱크를 설계할 수 있는 최적화 기술을 확보가 필요함.

○ 연구개발 내용

• 50kL급 이상 LNG 저장탱크 설계기술 개발
- LNG 탱크 표준, 지침 및 기술 개선, 구조최적화 등의 LNG 탱크 기술 정립
- 탱크 구조물 극저온 거동 특성 평가
- 지진에 의한 액상화 개선대책 마련
- 외조부 모듈화 시공 최적화기법 개발

	- 25만 kL급(세계 최대) 탱크 모의설계 및 인증획득 • 첨단 모니터링 및 수명 연장기술 개발 - 운전 중 첨단 누출감지 및 손상평가알고리즘 개발 - 극저온 시 콘크리트, 철근 및 보장재 파손 연구 - 지진에 의한 손상평가 시스템 개발 - 지진시 지반의 액상화에 대한 정밀 예측기법 - 지능형 안전관리 시스템 표준 제시
4. 연구개발의 추진 방법	
□ 추진전략	○ 국내 여건을 감안하여 국외 선진기관과 공동연구 추진 - 원천, 핵심기술에 대한 전략적인 공동연구 추진 - 개발기술을 기반으로 선진기업과 전략적 제휴방안 추진 - 선진기술개발체계/관련 지식 습득을 통한 독자 연구기반 마련 ○ 새로운 아이디어와 우수한 기술의 접목을 통한 융·복합 특화기술 추진 - 각종 요소 및 시스템에 IT, 마이크로(micro), 소재, USN, 자동화 등 우수한 기술을 접목하여 특화 경쟁력을 가지는 융·복합기술을 개발 ○ LNG 플랜트 사업수행에 중요한 핵심 가치사슬(Value Chain)에 연관된 기술을 중심으로 로드맵을 마련하고 사업전략과 연계하여 R&BD로 추진 - 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술을 전략적 특화기술로 재분류하여 선택과 집중을 실천 - 지식경제부 원천/요소기술 접목, 기존 LNG 인프라 활용하고 위험회피전략으로 기술경쟁체계(실증기술 중심 + 특화/기반기술)를 도입 ○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진 ○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트 베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심1, 2주관기관과의 협조체계를 구축
□ 추진체계	○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연구 추진 ○ 타 핵심주관기관과의 협업을 통한 기술 개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축 하여 추진할 것 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구

	추진방안을 모색
5. 최종 성과물 활용 방안	
□ 최종 성과물	○ LNG 플랜트 설계기술 - 100톤/일 규모의 테스트베드 FEED 패키지 - 대용량 LNG 플랜트 기본 설계 패키지(설계집) ○ LNG 플랜트 시공기술 - 테스트베드 및 테스트베드 계통 제어시스템 - 테스트베드 모듈화 시공기술 ○ LNG 플랜트 운전/유지관리기술 - LNG 플랜트 통합 운전환경 - 유지보수 관리시스템(유지보수시스템, O&M 매뉴얼 등) ○ 대용량 LNG 저장탱크 설계기술 - 20만 kL급 지상식/완전방호식 차세대 LNG 탱크 설계기술 (경제성 및 공기 10% 개선) - LNG 탱크 첨단 모니터링 및 수명연장기술
□ 실용화 또는 사업화 방안	○ LNG 플랜트 기술개발과제를 수행함으로, 플랜트사업 전후방 dynamics를 추구할 수 있음. ○ 개발된 기술의 해외시장 진출을 위해서는 국내 공·사기업들이 개발하거나 확보한 해외의 가스전 (대규모 가스전, 고립지 가스전, 원격지 가스전, 유전에서의 수반가스등)에 공정/플랜트 기술과 금융이 어우러지는 자원 연계형 투자개발사업 컨소시엄을 구성함으로써, 궁극적으로는 해외 에너지자원개발과 연계한 해외플랜트 건설의 사업화 가능 ○ 국내기업(석유공사, 가스공사, 민간기업 등)에서 개발하거나 사업권을 확보한 가스전을 중심으로 우선 적용하여 대외 신뢰도, 실적을 확보할 수 있으며, 필요시 선진 기업과 기술제휴나 공동사업을 모색할 수 있는 교섭의 기반을 확보가 가능함. ○ 주로 대규모 가스전에 집중하고 있는 선진사의 진출이 상대적으로 적은 원격지, 중소가스전을 대상으로 전략적인 기획,개발형 사업을 추진하며 대외 인지도 및 실적을 확보할 수 있으며, 선진사와 본격적인 기술 제휴 및 컨소시엄 구성에 있어서 전략적으로 연구결과물 사업화가 가능 ○ 테스트베드 규모의 차량용 LNG 충전소에 적용.
6. 사업 기간 및 소요예산(안)	
□ 전체	○ 총사업 기간 : 2008년 ~ 2013년(6년) - 1단계(2년) <정부지원금 : 34.1억원 이내>

1차년도 연구기간 : 2008년 8월 ~ 2009년 4월
2차년도 연구기간 : 2009년 4월 ~ 2010년 4월
- 2단계(2년) <정부지원금 : 262.4억원 이내>
- 3단계(2년) <정부지원금 : 62.5억원 이내>
○ 총연구비 : <정부지원금 : 359.0억원 이내>

※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능
※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.

7. 기타	

○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것.
※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 "예산적정성 검토", 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음

○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시
- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 "국토해양부소관 연구개발사업 운영규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

○ 추후 사업단 운영계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

○ 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

○ 사업단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개

발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 건설기술혁신사업「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제의 “분산공유 6대 실험시설” 적극 활용

다. 세부과제 RFP(안)

세부과제명	3-1-2 협동과제 : 공정제어 기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 핵심3과제의 3-1세부과제에 대한 협동과제로써 LNG 플랜트에 대한 공정제어 기술개발의 구체적인 연구개발 목표는 다음과 같음. - LNG액화공정에 대한 BSU (Bench Scale Unit: 1kg/hr 급)를 통한 100 톤/일 규모의 테스트베드의 공정구성 연구와 제어로직의 사전 점검 - 대용량 LNG 플랜트의 공정제어에 대한 기반기술 연구 ○ Test-Bed에 적용될 공정기술과 제어로직 등 실제 건설하기 전에 검증되어야 할 주요 부분들에 대한 운전 특성 사전 점검
2. 연구개발 필요성 및 기술 동향	
□ 연구개발의 필요성	○ LNG 플랜트는 성장사업으로서 산업의 전후방 연관효과가 94% 이상이며, 건설사업 건당 사업비가 1~10억 달러 이상으로 외화획득과 고부가가치 및 고용창출에 미치는 효과가 매우 큼 - 세계적으로 천연가스의 수요는 2030년까지 2002년 대비 약 2배 수준 증가할 것으로 전망 - 가스부문의 투자액은 향후 2030년까지 연평균 약 1000억 달러로 전망 ※ 출처: IEA, World Energy Outlook, 2003. ○ Test-Bed는 국내외 LNG 전처리 기술과 액화기술을 적용하여 대규모 예산이 투입되어 운전이 되는데, 건설 이전에 적용되는 기술과 연계된 공정에 대한 사전점검이 요구됨. 건설된 후에 공정설계상의 하자가 발견될 경우 전체 사업의 지연 및 예산배분에 어려움이 예산되므로, 시행오차를 최소화할 필요가 있음. ○ 국내 고유 LNG 기술개발의 아이디어를 본 사업의 100톤/일급에 직접 적용하기에는 기술적 신뢰도가 낮은 경우, 예비 시험을 통하여 적정성을 조기 판단할 도구로서 1 kg/hr급 규모 BSU 설비가 유용함
□ 기술 동향	<국내> ○ 국내의 LNG 플랜트 관련 기술개발 사례로 LNG 인수설비와 LNG 저장탱크, 그리고 BOG 재액화 관련 분야를 제외한 국내 업체는 천연가스 액화공정에 대한 원천기술과 응용설계기술에 관한

연구 실적은 없으며, 특히 EPC 프로젝트 수행 경험이 전무함. 현재 LNG 선박에서 발생하는 BOG (boil-off gas)의 재액화 장치의 기술개발 사업이 관련 연구사업으로 유일함.

<국외>

○ LNG 플랜트의 천연가스 액화능력 증가에 따라 대형, 고효율 액화 공정 기술의 시장 점유율이 증가하고 있음.

○ 천연가스 액화플랜트의 EPC 공사에 있어서 사전에 협력 업체가 결정되어지는 경우가 대부분으로 후발 업체의 시장 참여가 제한적임.

① Phillips의 Optimized Cascade기술이나 Statoil/Linde의 Mixed Fluid Cascade (MFC) 기술의 경우 EPC Contractor로 각각 Bechtel과 Linde/Aker로 정해져 있는 상황임.

② APCI 공정 기술은 다수의 EPC contractor에게 라이센스가 부여되지만, 이 경우도 JGC/KBR과 Chiyoda가 형성한 카르텔에 의해 여타 EPC 업체의 기술사용 자체가 어려운 상황임.

○ 천연가스 액화플랜트의 기술개발은 다각화로 설계와 액화공정 개발을 하나의 업체로 개발을 수행하는 경향이 있음.

○ 초저온 액화공정 기술에 대한 LNG 플랜트 적용 기술로는 APCI의 공정이 많이 사용되고 있으며, 이외에 ConocoPhillips, Pritchard, IFP-Axens, Technip-L'AirLiquid, Shell, Statoil-Linde, COSTAIN사 등에서 다양한 기술을 보유하고 있음.

3. 연구개발 내용	

□ **과제 정의**

본 과제에서는 2핵심과제의 공정데이터와 해외 선진 FEED 사례를 기반으로 LNG 플랜트에 대한 BSU를 구축하여 3핵심과제의 테스트베드 공정구성 연구과 제어로직의 사전 점검.

□ **연구개발 내용**

○ 기본 연구 및 BSU 설계

- LNG 플랜트 공정제어 시스템 공정제어 기준 정립(적용 사례 분석, 공정별 제어요소 정립)
- 테스트베드 공정제어시스템 설계기준 도출(테스트베드 제어 범위 정립, 공정별 제어권 설정, 현장적합성 평가용 BSU 설

	계) - 선진사례 조사 및 LNG 액화플랜트의 BSU(1 kg/hr 급) 기본 설계 - 복잡한 화학공정에 사용되는 APC (Advanced Process Control) 기법 적용기술 개발 - BSU 시스템을 이동이 간편한 모듈형태로 상세설계 및 제작 발주 ○ BSU 구축 및 시험 - LNG 플랜트에 대한 BSU (1 kg/hr급) 시스템 구축 - Test-Bed에 적용될 국산부품 소형 적용시험 - 실험조건별 운전특성 및 동특성 1차 자료 확보 - Test-Bed에서 예상되는 trouble-shooting 자료 확보 ○ LNG 플랜트에 적용될 공정제어 기준 정립 - 100톤/일급 최종 Test-Bed 공정 및 제어 로직 등 BSU 적용 사전 점검 - Test-Bed 시운전 및 정상운전에서 발생하는 운전 문제점 해결을 위한 소규모 실험 및 해결방안 제시 - 테스트베드 시운전 및 공정제어 시스템 보완(BSU 운전결과 DB 화 및 개선사항 도출)
4. 연구개발의 추진 방법	
□ 추진전략	○ 국내 여건을 감안하여 국외 선진기관과 공동연구 추진 - 원천, 핵심기술에 대한 전략적인 공동연구 추진 - 개발기술을 기반으로 선진기업과 전략적 제휴방안 추진 - 선진기술개발체계/관련 지식 습득을 통한 독자 연구기반 마련 ○ 새로운 아이디어와 우수한 기술의 접목을 통한 융·복합 특화기술 추진 - 각종 요소 및 시스템에 IT, 마이크로(micro), 소재, USN, 자동화 등 우수한 기술을 접목하여 특화 경쟁력을 가지는 융·복합기술을 개발 ○ LNG 플랜트 사업수행에 중요한 핵심 가치사슬(Value Chain)에 연관된 기술을 중심으로 로드맵을 마련하고 사업전략과 연계하여 R&BD로 추진 - 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술을 전략적 특화기술로 재분류하여 선택과 집중을 실천 - 지식경제부 원천/요소기술 접목, 기존 LNG 인프라 활용하고 위험회피전략으로 기술경쟁체계(실증기술 중심 + 특화/기반기술)를

	도입 ○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진 ○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트 베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심1, 2주관기관과의 협조체계를 구축
□ 추진체계	○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 3핵심과제의 총괄 및 사업단의 조정요구시 적극 협조 ○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연구 추진 ○ 타 핵심주관기관과의 협업을 통한 기술 개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축 하여 추진할 것 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구 추진방안을 모색
5. 최종 성과물 활용 방안	
□ 최종 성과물	○ 테스트베드 사전검증용 BSU 시스템 기술 자료 - 기본 및 상세설계 - BSU 주요 공정 및 제어로직 등 운전 특성 DB - 테스트베드 운전시 예상되는 BSU trouble-shooting DB - 국내 고유 LNG 개발기술 모델 초기 BSU 검증자료집 - APC 구성 및 설계 자료 ○ 테스트베드 사전검증용 BSU 시스템(1 kg/hr 급) - BSU 시스템 - 운영 결과 및 개선사항 자료 ○ 관련 연구보고서, 논문 및 특허 등(상세기획보고서 성과목표 참조)
□ 실용화 또는 사업화 방안	○ BSU의 결과는 Test-Bed 및 LNG 플랜트의 제어로직 및 제어운영 방안 구성에 사용됨. ○ 국내에서는 LNG 플랜트 분야의 가치사슬과 산업기반이 취약한 관계로 비교적 투자비가 큰 해외 EPC 사업에 민간 주도로 참여하는 것은 한계가 있으며, 정부차원의 적극적 지원과 산·학·연의 체계적인 협력을 통하여 개발된 FEED 기술이 적극 활용되기 위한 사업전략 마련이 필요. ○ 개발된 FEED 및 EPC 기술을 통해 해외시장 진출을 위해서는 국내 공·사기업들이 개발하거나 확보한 해외 가스전 (대규모 가스

	전, 고립지 가스전, 원격지 가스전, 유전에서의 수반가스등)에 공정/플랜트 기술과 금융이 어우러지는 자원 연계형 투자개발사업 컨소시엄을 구성함으로써 사업화 추진이 가능하며 궁극적으로는 해외 에너지자원개발과 연계한 종합적인 액화플랜트 기술 수출로 이어져야 함. ○ 국내기업(석유공사, 가스공사, 민간기업 등)에서 개발하거나 사업권을 확보한 가스전을 중심으로 우선 적용하여 대외 신뢰도, 실적을 확보할 수 있으며, 기술 확보시 선진기업과의 기술제휴, 공동사업 혹은 부분적 참여 등 전략적으로 선택 가능한 다양한 사업모델 추진 가능. ○ 향후 국내 유사 플랜트 관련 기술개발 및 핵심요소의 국산화 개발 등 에 활용 가능하며 특히 초저온 분야의 연구기반 구축에 활용이 기대됨.
6. 사업 기간 및 소요예산(안)	
□ 전체	○ 총사업 기간 : 2009년 ~ 2013년(5년) - 1단계(1년) <정부지원금 : 6.73억원 이내> 1차년도 연구기간 : 2009년 4월 ~ 2010년 4월 - 2단계(2년) <정부지원금 : 10.57억원 이내> - 3단계(2년) <정부지원금 : 7.68억원 이내> ○ 총연구비 : <정부지원금 : 24.98억원 이내> ※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능 ※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.
7. 기타	
○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것. ※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 “예산적정성 검토”, 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음 ○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시 ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 ○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과	

제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

○ 추후 사업단 운영계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

○ 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

○ 사업단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 건설기술혁신사업「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제의 “분산공유 6대 실험시설” 적극 활용

세부과제명	3-2 세부과제 : LNG 플랜트 건설기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 핵심3과제인 대용량 LNG 플랜트 설계, 건설기술 개발의 연구목표는 새로운 천연가스 액화공정기술을 기반으로 LNG 플랜트의 기본설계, 상세설계, 건설, 운영 및 유지관리 기술을 개발하는데 있음. ○ 핵심3과제의 3-2세부과제인 LNG 플랜트 건설기술 개발의 구체적인 연구개발 목표는 다음과 같음. - 일일 액화능력 100톤급(100톤급 2트레인, 개별운전) 규모의 테스트베드 구축 ○ 테스트베드는 3-1세부과제에서 수행된 설계를 기반으로 시공하며, 공기단축 및 모듈화 시공기술 개발을 주요 목표로 함.
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ LNG 플랜트 엔지니어링 사업은 성장사업으로서 산업의 전후방 연관효과가 94% 이상이며, 건설사업 건당 사업비가 1~10억 달러 이상으로 외화 획득과 고부가가치 및 고용창출에 미치는 효과가 매우 큼. - 세계적으로 천연가스의 수요는 2030년까지 2002년 대비 약 2배 수준 증가할 것으로 전망 - 가스부문의 투자액은 향후 2030년까지 연평균 약 1000억 달러로 전망 ※ 출처: IEA, World Energy Outlook, 2003. ○ LNG 플랜트는 다양한 학제와 원천기술, 응용기술이 집적되어 있는 복합플랜트로서 해외시장 진입을 위한 EPC 필수기술(핵심기반+공정+설계+건설) 개발을 위한 전략적이고 종합적인 연구사업 추진이 필요함. ○ LNG 플랜트사업은 핵심기술을 보유한 선두기업들이 시장 카르텔을 형성하고 있어 후발 그룹의 진입이 매우 어려우며, 기술장벽도 높아서 과거 정유·화학, 발전 분야와는 달리 기술교류와 제휴가 사실상 불가능한 실정임. 따라서 해외사업의 효과적 진출을 위해서는 선진기업과 경쟁이 가능한 독자적인 설계, 시공기술을 확보하고 있어야 함. ○ 핵심2과제의 새로운 공정기술 개발과 연계되어 독자적인 LNG 플랜트 설계(FEED 포함) 및 시공(EPC)기술을 확보하기 위해서는 파이롯트 플랜트 규모의 테스트베드를 구축하여 관련 기술 노하우를 확보하고 검증하는 것이 무엇보다도 중요함.

	○ 실질적으로 해외 플랜트 발주처 입장에서도 10조원 이상의 대규모 투자비용이 들어가는 프로젝트에 실적과 경험이 없는 EPC 업체를 선정하기 어려운 여건이므로 테스트베드 건설경험을 통한 실적 확보가 사업 성패의 절대적 요인임. ○ 또한 테스트베드 구축은 이를 통한 설계·시공 능력의 확보 및 검증 이외에도 개발 기자재 및 시스템 기술적용, 플랜트 운용 및 유지보수 노하우 확보, 대용량 플랜트 설계기술 등 실용화 사업 추진 시 필요한 기본 데이터 확보에 필수적임. ○ 3-2세부과제는 핵심과제 성공적 추진의 핵심 고리역할을 하는 중요한 단계에 위치하고 있으며 다른 세부과제들과 밀접한 연관성이 있어 체계적인 기술개발 로드맵에 따라 전략적으로 연구를 추진하여 각 연구 단계별로 성과물 공유와 유기적 협력을 통해 개발 완료 시점에서 바로 실 사업 진출이 가능하도록 사업모델 구축이 필요함.
□ 기술 동향	<국내> ○ 국내의 LNG 플랜트 관련 기술은 3개의 LNG인수기지를 구축·운영하고 있는 가스공사 주도로 주로 LNG 저장탱크 및 송출설비 분야에서 우수한 기술력을 보유하고 있으며, 석유공사에서는 동해-1 가스전에 해저 가스전 탐사 및 채굴 기술을 도입하여 적용한 사례가 있음. ○ 그러나, 현재 상당한 시장성이 있는 LNG 액화플랜트 설계·건설 등의 핵심기술은 아직까지 국내에서는 연구 및 개발 경험이 전무하고, 해외 선진업체와의 기술제휴도 어려워 천연가스 액화공정과 이의 응용기술 분야에 대한 연구 실적은 거의 전무한 실정임. <국외> ○ LNG 플랜트 액화기술은 ‘60년대 전반기에 확보되었고. 세계최대의 시장점유율을 갖는 APCI사를 비롯하여, ConocoPhilips, Shell, Statoil-Linde, IFP-Axens 등 상위 5개사가 현재 액화플랜트 사업의 핵심인 액화공정의 라이센스를 확보하고 있음. ○ 현재까지 실제 LNG 플랜트 구축 실적이 있는 엔지니어링 업체는 일본의 Chiyoda와 JGC, 미국 KBR과 Bechtel 등 4개 업체에 국한되며, 이러한 선두기업의 경우 상호 시장카르텔을 형성하여 후발기업의 핵심영역 진출을 차단하고 기술혁신과 비용절감을 통한 우위 확보 전략을 구축하고 있음. 예를 들어 Phillips의 Optimized Cascade기술이나 Statoil-Linde의 Mixed Fluid Cascade (MFC) 기술의 경우 EPC 업체로 각각 Bechtel과 Linde/Aker로 정해져 있는 상황이며, APCI 공정기술은 다수의 EPC 업체에게 라이센스가 부여

되지만, 이 경우도 KBR-JGC와 Chiyoda가 형성한 카르텔에 의해 여타 EPC 업체의 기술 사용 자체가 어려운 상황임.

○ 따라서, 후발기업의 경우 자체적인 경쟁기술 개발을 통하여 선진기업과 제휴하거나 독자사업에 적용하는 전략을 구사(일본, 프랑스, 이탈리아 등)하고 있음.

○ 최근 고유가, 에너지 확보 경쟁 등으로 LNG 액화플랜트 분야도 더욱 경쟁이 치열해지고 있는데, 천연가스 액화능력 증가가 요구되는 추세에 따라 대형, 고효율 액화 공정을 제공하는 APCI, ConocoPhillips와 Statoil-Linde 기술의 시장점유율이 증가하고 있을 뿐만 아니라, 또 한편으로는 중소규모의 가스전 개발에 맞도록 컴팩트한 FPSO(FLNG) 개발도 적극적으로 추진되고 있음.

○ LNG 액화플랜트 사업에 있어 설계·시공 등의 EPC 종합 기술의 전략적 개발이 사업의 핵심성공요인으로 부각되고 있는데, 예를 들어, 세계 1위의 LNG 수입국인 일본의 경우 1970년대부터 LNG를 기본적인 에너지원으로 채택하고, 이후 국가적이 차원에서의 관심과 지원을 바탕으로 LNG 생산·저장 분야에 필요한 원천 설비기술을 개발하는 한편으로 자국 내 엔지니어링 기업들이 플랜트 설계·설비 구매·건설 등의 전 분야에 참여하도록 적극적인 기술개발 노력을 기울여온 결과 현재 LNG 플랜트 건설경기 활성화에 편승하여 고수익을 창출하고 있음.

3. 연구개발 내용	

□ 과제 정의

3-2세부과제는 3-1세부과제에서 제공하는 테스트베드 설계를 기반으로 시공을 수행하며, 공기 단축 및 모듈화 시공 등에 관한 기술을 개발함.

□ 연구개발내용

○ 테스트베드 부지조사
- 테스트베드 주변 환경 분석

○ 테스트베드 건설 준비
- 테스트베드 설치 지역 법규, 공업기준 등 검토
- 파워, 유틸리티 공급망 확보

○ 테스트베드 구성 기자재 구매, 제작
- 테스트베드 기자재 제작
- 기자재 컴팩트화 제작
- LNG 기자재 구매/발주

	○ 핵심설비 테스트베드 적용 - 주요설비 모듈화 시공 ○ LNG 플랜트 모듈화 시공체계 개발 - 모듈화 시공체계 구축 - 통합제어시스템 설치 ○ 테스트베드 시공 및 시운전 - 테스트베드 시운전 및 보완 - 연구기간 내 테스트베드 운영 ○ LNG 플랜트 공기개선 - LNG 플랜트 공기단축 기법 개발 - LNG 플랜트 건설 노하우 DB화 ○ LNG 플랜트 현장 관리기술 개발 - 표준시방, 지침 등 개발 - 현장관리 가이드(메뉴얼) 개발
4. 연구개발의 추진방법	
□ 추진전략	○ 국내 여건을 감안하여 국외 선진기관과 공동연구 추진 - 원천, 핵심기술에 대한 전략적인 공동연구 추진 - 개발기술을 기반으로 선진기업과 전략적 제휴방안 추진 - 선진기술개발체계/관련 지식 습득을 통한 독자 연구기반 마련 ○ 새로운 아이디어와 우수한 기술의 접목을 통한 융·복합 특화기술 추진 - 각종 요소 및 시스템에 IT, 마이크로(micro), 소재, USN, 자동화 등 우수한 기술을 접목하여 특화 경쟁력을 가지는 융·복합기술을 개발 ○ LNG 플랜트 사업수행에 중요한 핵심 가치사슬(Value Chain)에 연관된 기술을 중심으로 로드맵을 마련하고 사업전략과 연계하여 R&BD로 추진 - 원천·일반·보유·중간진입·경쟁기술을 전략적 특화기술로 재분류하여 선택과 집중을 실천 - 지식경제부 원천·요소기술을 접목하고, 기존 LNG 인프라를 활용하고 위험회피전략으로 기술경쟁체계(실증기술 중심+특화/기반기술)를 도입 ○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진 ○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트 베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심1,2주관기관과

	의 협조체계를 구축
□ 추진체계	○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 사업단 및 핵심3과제의 총괄 및 조정 요구시 적극 협조 ○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연구 추진 ○ 타 핵심주관기관과의 협업을 통한 기술개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축하여 추진할 것 ○ 실용화 중심의 연구개발 사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구 추진방안을 모색
5. 최종 성과물 활용방안	
□ 최종 성과물	○ 일일 액화능력 100톤급(100톤급 2트레인 , 개별운전) 규모의 테스트베드 - 테스트베드 및 테스트베드 계통 제어시스템 - 테스트베드 모듈화 시공기술 - LNG 플랜트 시운전 데이터 및 시운전 절차서 - LNG 플랜트 건설 표준 ○ 관련 연구보고서, 논문 및 특허 등(상세기획보고서 성과목표 참조)
□ 실용화 또는 사업화 방안	○ 테스트베드 구축 후 활용방안 - 초저온 액화 플랜트 연구기반으로 지속적 활용 가능 - LNG 기지에서 발생되는 BOG의 재액화 설비로 활용 가능 - LNG 차량 보급에 따른 원격지 LNG 충전소 설비로 활용 가능 ○ 테스트베드 구축을 통한 관련기술의 신뢰성과 완성도를 제고하여 단계별로 다음과 같은 다양한 형태의 해외사업의 진출방안 모색. - 1단계 : 국내 기업이 확보한 해외 가스전 사업권과 연계 - 2단계 : 중소규모 가스전 대상으로 종합적 사업모델 개발 진출 - 3단계 : 대형화 프로젝트에 선진기업과 컨소시움 형태로 참여 ○ 1단계에서는 국내기업(석유공사, 가스공사, 민간기업 등)에서 개발하거나 사업권을 확보한 가스전을 중심으로 우선 적용하여 대외 신뢰도 및 실적을 확보할 수 있으며, 필요시 선진 기업과 기술제휴나 공동사업도 모색이 가능함. ○ 2단계에서는 주로 대규모 가스전에 집중하고 있는 선진회사와는 차별화하여 진출이 상대적으로 적은 원격지, 중소가스전을 대상으로 전략적인 기획·개발형 사업을 추진하여 대외 인지도 및 실적을 확보할 수 있으며, 선진사와 본격적인 기술 제휴 및 컨소시엄 구성에 있어서 전략적으로 연구결과물 사업화가 가능 ○ 3단계에서는 주요 해외 프로젝트에서 선진기업과 대등한 참여가

	가능하며, 대규모 사업에 참여시 사업 위험 감소를 위한 컨소시움 구성과 핵심기술참여가 가능할 것으로 전망.
6. 사업기간 및 소요예산	
□ 전체	○ 총사업기간 : 2010년 4월 18일 ~ 2014년 6월 17일 - 2단계('10.04~'12.04) : 정부지원금 208억원 이내 - 3단계('12.04~'14.06) : 정부지원금 22억원 이내 ○ 총연구비 : 정부출연금 230억원 이내 ※ 민간부담금은 사업공모시 별도 공고 예정 ※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능
7. 기 타	
○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것. ※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 "예산적정성 검토", 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음 ○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시 ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 ○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제 추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함 ○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 "국토해양부소관 연구개발사업 운영규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ○ 추후 사업단 운영계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음	

○ 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

○ ***테스트베드 건설추진방안 등 본 과제의 시행방법은 사업단장의 주관 하에 별도의 검토를 거쳐 최종 확정될 예정임.***

○ 사업단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 건설기술혁신사업「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제의 “분산공유 6대 실험시설” 적극 활용

세부과제명	3-3 세부과제 : LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 3핵심과제의 연구목표는 LNG 플랜트의 기본(FEED 포함)/상세 설계, 시공, 유지관리기술 등을 개발하는 것임. ○ LNG 플랜트 운영 및 유지관리기술개발의 구체적인 연구개발 목표는 다음과 같음. - LNG 플랜트 최적 통합운영환경 기술개발 - 웹기반 LNG 플랜트 유지/보수관리시스템 기술개발
2. 연구개발 필요성 및 기술 동향	
□ 연구개발의 필요성	○ LNG 플랜트는 성장사업으로서 산업의 전후방 연관효과가 94% 이상이며, 건설사업 건당 사업비가 1-10억 달러 이상으로 외화획득과 고부가가치 및 고용창출에 미치는 효과가 매우 큼 - 세계적으로 천연가스의 수요는 2030년까지 2002년 대비 약 2배 수준 증가할 것으로 전망 - 가스부문의 투자액은 향후 2030년까지 연평균 약 1000억 달러로 전망 ※ 출처: IEA, World Energy Outlook, 2003. ○ LNG 플랜트 기술 개발은 기본적으로 공정기술개발, 설계 및 건설 노하우, 플랜트 운영기술 확보 등 사업 수행에 필요한 역무가 가치사슬로 연계되어 있어, 어느 한 기술분야만 가지고는 액화플랜트 사업을 독자적으로 추진할 수 없는 구조임. ○ 데스트베드 구축 후 액화플랜트의 운용 및 유지관리 기술의 노하우를 확보하고, 이를 토대로 안정적인 시스템 운영과 효율적이고 경제적인 유지보수관리 기술을 확보하는 것은 실용화 과정의 필수 역무임. ○ 테스트베드 운영을 통해 여러 가지 알려지지 않았던 다양한 설계인자들이 각각의 공정 계통에 어떤 작용을 하고, 최종적으로 LNG 생산에 어떤 영향을 미치는가를 확인하고 이를 다시 설계에 반영하는 피드백 과정은 반드시 필요함. ○ 또한 3-3 세부과제는 핵심2과제 및 핵심3과제의 1,2 세부과제 수행의 성패를 검증함과 동시에 미비사항을 보완할 수 있는 단계에 위치하고 있으며, 검증된 수행 결과를 토대로 개발기술의 구체적인 사업화 방안과 전략 구축이 가능해짐.

□ 기술 동향	<국내> ○ 국내에서는 가스공사에서 LNG 재기화를 위한 생산기지를 오랜 기간 운영해왔으며, 다양한 형태의 기술적 운영노하우가 축적되어 있어 관련 운영기술을 해외에 수출하는 수준에까지 오른 것도 사실임. ○ 그러나, 아직까지 국내 업체는 플랜트 설비의 통합운영시스템을 독자적으로 개발할 수 있는 역량은 다소 부족한 것으로 평가되며, 더구나 액화플랜트는 기존의 재기화 플랜트와는 달리 구축 경험이 없는 생소한 분야임. <국외> ○ LNG 플랜트 액화기술은 '70년대 전반기에 이미 확보되었고. 세계최대의 시장점유율을 갖는 APCI사를 비롯하여, ConocoPhilips, Shell, Statoil-Linde, IFP-Axens 등 상위 5개사가 현재 액화플랜트 사업의 핵심인 액화공정의 라이센스를 확보하고 있음. ○ 현재까지 LNG 플랜트 구축의 선두업체는 일본과 미국의 합작사인 JGC/KBR으로 약 50% 점유율을 보유하고 있고, 그 뒤로 약 30% 점유율의 Chiyoda, 10% 정도의 Bechtel, Technip 등이 포진하고 있으며, 이러한 선두기업들은 상호 시장 카르텔 형성을 통하여 후발기업의 핵심영역 진출을 배제하고 기술혁신과 비용절감을 통한 우위 확보 전략을 구축하고 있음. ○ Snamprogetti, Linde 및 일본의 TEC 등 후발기업들은 경험축적과 기술특화로 사업진출의 기회를 노리고 있는데, 특히 Linde 사는 Statoil 사와 공동 개발한 MFCP 기술로 노르웨이 및 이란 사업진출을 추진 중이며, 특화된 극저온관련 기술력 확보로 선두그룹으로의 도약 가능성이 가장 큼. ○ LNG 플랜트의 운영/유지기술은 설계 및 건설이후 실용화 단계에서 요구되는 기술이므로 이러한 기술보유 또한 구축 및 운영 경험이 있는 업체로 국한됨. ○ 최근 고유가, 에너지 확보 경쟁, 온실가스 저감 노력 등에 따라 다양한 형태의 천연가스 개발 노력이 이루어고 있고, IT 및 인공지능 등의 첨단 기술의 발달로 이에 기반한 운영 및 제어시스템 개발이 이루어지고 있는 추세임.
3. 연구개발 내용	

□ 과제 정의

제3세부과제는 LNG 플랜트 최적운영을 위한 통합 관리 기술과 각종 기자재, 모듈 및 시스템의 유지보수를 위한 체계 및 관리시스템을 개발하기위한 과제로 정의된다.

□ 연구개발내용

○ LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술 개발

- LNG 플랜트 최적 통합운영환경 기술개발
  - ·통합운전정보관리 및 원격모니터링 시스템 (OIS, Operating Information System)
  - ·현장 센서진단 및 보정시스템 (Data Reconciliation)
  - ·운전 최적화 시스템
- 웹기반 LNG 플랜트 유지/보수관리시스템 기술개발
  - ·플랜트 설계정보를 기반으로 하는 운전지원시스템 개발 (설계정보 데이터 핸드오버(Hand-Over) 연구 포함)
  - ·LNG 플랜트 위험도 정량화 방법론 구축
  - ·LNG 플랜트 유지보수 DB 구축
  - ·유지보수시스템 XML 스키마 개발
  - ·원격모니터링시스템과 연계된 웹기반 시스템 개발 (UI 포함)

4. 연구개발의 추진 방법	

□ 추진전략

○ 국내 여건을 감안하여 국외 선진기관과 공동연구 추진

- 원천, 핵심기술에 대한 전략적인 공동연구 추진
- 개발기술을 기반으로 선진기업과 전략적 제휴방안 추진
- 선진기술개발체계/관련 지식 습득을 통한 독자 연구기반 마련

○ 새로운 아이디어와 우수한 기술의 접목을 통한 융·복합 특화기술 추진

- 각종 요소 및 시스템에 IT, 마이크로(micro), 소재, USN, 자동화 등 우수한 기술을 접목하여 특화 경쟁력을 가지는 융·복합기술을 개발

○ LNG 플랜트 사업수행에 중요한 핵심 가치사슬(Value Chain)에 연관된 기술을 중심으로 로드맵을 마련하고 사업전략과 연계하여 R&BD로 추진

- 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술을 전략적 특화기술로 재분류하여 선택과 집중을 실천
- 지식경제부 원천/요소기술 접목, 기존 LNG 인프라 활용하고

	위험회피전략으로 기술경쟁체계(실증기술 중심 + 특화/기반기술)를 도입 ○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진 ○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트 베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심1, 2주관기관과의 협조체계를 구축
□ 추진체계	○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 3핵심과제의 총괄 및 조정요구시 적극 협조 ○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연구 추진 ○ 타 핵심주관기관과의 협업을 통한 기술 개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축 하여 추진할 것 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구 추진방안을 모색
5. 최종 성과물 활용 방안	
□ 최종 성과물	○ 테스트베드용 최적 통합운영환경 구축 - 통합운전정보관리 및 원격모니터링 시스템 (OIS, Operating Information System) - 현장 센서진단 및 보정시스템 (Data Reconciliation) - 운전 최적화 시스템 ○ 테스트베드용 웹기반 LNG 플랜트 유지/보수관리시스템 - 플랜트 설계정보를 기반으로 하는 운전지원시스템 - 위험도 정량화 DB - LNG 플랜트 유지보수 DB - 유지보수시스템 XML 스키마 - 원격모니터링시스템과 연계된 웹기반 시스템 ○ 관련 연구보고서, 논문 및 특허 등(상세기획보고서 성과목표 참조)
□ 실용화 또는 사업화 방안	○ LNG 플랜트 운영유지관리 기술 확보 단계는 실용화 과정에 해당하며 실질적으로 사업 추진의 경쟁력 확보 여부를 결정하는 중요한 시점임. ○ 핵심2과제 및 다른 세부과제와 연계하여 기존 공정보다 효율적이고 경제적인 액화공정이 개발되고 이를 적용한 새로운 액화플랜트 통합운영시스템 개발이 완료되면 기술 경쟁력 확보에 따른 다양한 형태의 사업 진출이 가능해짐.

○ 따라서 테스트베드를 통한 실증 및 보완 과정을 거친 안정적이고 효율적인 액화플랜트 통합유지관리시스템을 확보하는 것이 중요함.

○ 개발된 LNG플랜트 통합운전환경 및 유지보수시스템은 실제 해외시장의 LNG 액화플랜트 건설 수주시 핵심요인이 될 뿐 아니라 향후 유사플랜트 분야의 시스템 개발에도 기반기술로써 활용이 기대됨.

○ 또한 운영기술의 확보로 관련 기자재, 모듈 및 시스템의 국산화와 비용절감형 신제품 개발에도 활용될 것으로 기대됨.

6. 사업 기간 및 소요예산(안)	
□ 전체	○ 총사업 기간 : 2010년 ~ 2013년(4년) - 2단계(2년) <정부지원금 : 14.0억원 이내> - 3단계(2년) <정부지원금 : 13.0억원 이내> ○ 총연구비 : <정부지원금 : 27.0억원 이내> ※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능 ※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.

7. 기타
○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것. ※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 “예산적정성 검토”, 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음 ○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시 ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 ○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

○ 추후 사업단 운영계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

○ 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

○ 사업단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 건설기술혁신사업「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제의 “분산공유 6대 실험시설” 적극 활용

세부과제명	3-4 세부과제 : 초대용량 LNG 저장탱크 설계기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ LNG 플랜트의 중요설비인 LNG저장탱크에 대한 초대용량 설계기술을 개발하는 것을 목표로 함. ○ 핵심3과제의 3-4세부과제로써 초대용량 LNG저장탱크 설계기술 개발의 구체적인 연구개발 목표는 다음과 같음. - 저장용량 25만㎘ 이상의 차세대 저장탱크 설계기술 개발 - LNG저장탱크 첨단 모니터링 및 수명연장 기술개발 ○ 초대용량 저장탱크 설계기술 개발은 25만㎘ 이상의 대용량으로 개발되며 선급 등 인증기관의 설계기술 인증획득을 목표로 추진. ○ 첨단 모니터링 및 수명연장기술 개발은 외부손상평가 및 보수·보강기술, 누출감시 및 진단기술 개발을 포함하여 추진
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ LNG 플랜트는 성장사업으로서 산업의 전후방 연관효과가 94% 이상이며, 건설사업 건당 사업비가 1~10억 달러 이상으로 외화 획득과 고부가가치 및 고용창출에 미치는 효과가 매우 큼 - 세계적으로 천연가스의 수요는 2030년까지 2002년 대비 약 2배 수준 증가할 것으로 전망 - 가스부문의 투자액은 향후 2030년까지 연평균 약 1000억 달러로 전망 ※ 출처: World Energy Outlook 2003, IEA ○ LNG 액화플랜트는 가스전에서 채굴된 천연가스의 전처리 기술, 액화공정기술, LNG저장기술 등이 필요한데 국내업체는 기술기반이 취약하여 주로 전처리 및 시공분야에만 참여하고 있음. ○ LNG 저장기술은 탱크 설계와 시공기술로 구분할 수 있는데, 가스공사에서 현재 20만㎘급 저장용량에 대한 설계 및 시공은 이미 적용 중에 있으며, 보다 효율적이고 대용량의 저장탱크 기술에 대하여는 추가적인 연구개발이 필요함. ○ 국내 건설업체의 경우, LNG저장탱크 시공 및 일부 상세설계에 참여한 경험 및 이를 바탕으로 자체적인 기본설계 능력을 갖춘 업체도 있으나 대외적으로 이에 대한 객관적인 검증이 이루어지지 못하였거나 독립적인 설계 수행능력 부족으로 인하여 해외시장 진출에 어려움을 겪고 있는 상황임. ○ 특허를 가진 액화공정과는 달리 저장탱크 분야는 국제적 규격 및 코드에 따라 설계, 시공되고 실증을 통한 안전성이 확보될 경우 원

	가 경쟁력을 갖추기만 한다면 약 50여기에 이르는 국내 LNG저장탱크 시공경험을 갖춘 국내 업체들이 충분히 국제 EPC 턴키 시장에 진출할 수 있는 기회가 있음. ○ LNG저장탱크의 대용량화시 콘크리트 외부탱크의 단면설계는 설계요구조건과 주변환경에 따라 최적화함으로서 경제적인 단면설계가 필요하고 이를 위한 기준설정이 필요함.
□ 기술 동향	<국내> ○ 국내의 LNG 플랜트 관련 기술개발은 LNG저장탱크 및 재기화를 위한 인수기지에 대하여는 건설사례는 있으나, LNG 액화공정과 이의 응용기술 분야에 대한 연구 및 적용실적은 전무한 상태임. ○ 국내 LNG터미널의 FEED 및 기본설계는 대부분 M.W.Kellogg 등 해외 선진기술사에서 수행하고 국내업체는 상세설계 또는 실시설계를 위주로 설계업무를 수행하였다. 평택생산기지 2공장의 경우 처음으로 가스공사에서 수행하였으나 해외 선진기술사에 비해 종합적이고 체계적인 기술 확보가 미흡한 실정임 ○ LNG저장탱크 설계기술은 가스공사에서 확보하고 있는데, 9% 니켈강 완전방호식의 경우 14만㎘급 11기를 통영기지와 평택기지에 적용하여 운전 중에 있고, 2005년에 개발된 20만㎘급 저장탱크는 통영기지 및 평택기지에 13기에 자체설계를 적용하고 있으며, ○ 멤브레인 기술의 경우 가스공사에서 자체적으로 원천기술을 개발한 후 연구시험용 1000㎘급 Pilot 저장탱크를 건설하여 기술을 검증하였고, 그 후 인천생산기지 20만㎘급 지중식 저장탱크 2기에 적용하여 2008년부터 운영 중에 있음. <국외> ○ LNG 인수기지의 핵심기자재인 저장탱크의 설계사로는 9% 니켈형 저장탱크는 CB&I, Whesssoe, Technigaz, Kogas, TKK, IHI 등이 있고, 멤브레인형 저장탱크는 Technigaz, Kogas, IHI, MHI, KHI, JFE 등이 있음. ○ 현재 계획되어 있는 인수기지는 대략 20여개로 이중 17개가 북중미에 집중되어있고 예정분(44기)의 절반 이상이 북중미에 집중되어 있어 향후 이 지역의 LNG 수요의 큰 성장세가 예상되며 따라서 저장탱크를 비롯한 EPC 사업의 수요증가도 예상됨. ○ LNG 인수기지 엔지니어링 설계기술은 별도의 특허가 필요치 않고 라이센스를 만드는 것이 중요하며, 9%니켈강 저장탱크의 경우도 특허와는 상관없으나 멤브레인형 저장탱크는 특허취득이 필요함. ○ 또한, 최근 9%니켈강의 가격상승과 자재조달의 어려움으로 인하여

	내조 및 외조가 모두 콘크리트 구조물로 이루어지는 콘크리트 저장탱크가 다시 부각되고 있음
3. 연구개발 내용	
	□ 과제 정의 - 3-4세부과제는 세계 최대용량인 25만㎘급 이상의 대용량 LNG저장탱크의 설계기술을 개발하고 개발기술에 대한 검증을 위하여 선급등 공인기관의 인증을 획득함. - LNG저장탱크의 안전성 제고를 위한 첨단 모니터링 시스템을 개발하고, 저장탱크의 장기 사용에 대한 수명평가기법을 개발하여 이를 기반으로 수명연장기술을 정립함. □ 연구개발 내용 ○ 초대용량 LNG저장탱크 설계기술 개발 - LNG저장탱크 건설사례 및 기술표준, 지침 등을 분석하여 개선사항 도출 - 열유입 특성평가, 단열재 및 현수천장 모듈 영향을 통한 저장탱크 설계요소 정립 - LNG저장탱크 부재 물성 검토를 통한 탱크 구조물의 극저온 거동 특성평가 - 콘크리트 외부탱크 모듈화 시공법 및 Slip form 적용방안 개발 - 25만㎘급 저장탱크 모의설계 및 공인인증 획득 ○ LNG저장탱크 수명평가 기술 개발 - LNG 누출이 저장탱크 구조물에 미치는 영향 분석 - LNG 누출감지 및 모니터링 기법 개발 - 지진에 의한 지반의 액상화 예측 및 평가기법 개발 - 지능형 첨단 안전관리시스템 표준 제시 - 장기 사용에 대한 LNG저장탱크의 잔류수명 예측기법 개발 - LNG저장탱크 수명연장기법 정립
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 국내 여건을 감안하여 국외 선진기관과 공동연구 추진 - 원천기술과 핵심기술에 대한 전략적인 공동연구 추진 - 개발기술을 기반으로 선진기업과 전략적 제휴방안 추진 - 선진 기술 및 지식 습득을 통한 독자 연구기반 마련 ○ 새로운 아이디어와 우수기술의 접목을 통한 융·복합 특화기술 추진 - 각종 요소 및 시스템에 IT, 마이크로(micro), 소재, USN, 자동화 등 우수기술을 접목하여 특화 경쟁력을 가지는 융·복합기술 개발

	○ LNG 플랜트 사업수행에 중요한 핵심 가치사슬(Value Chain)에 연관된 기술을 중심으로 로드맵을 마련하고 사업전략과 연계하여 R&BD로 추진 - 원천·일반·보유·중간진입·경쟁기술을 전략적 특화기술로 재분류하여 선택과 집중을 실천 - 지식경제부 원천·요소기술 접목, 기존 LNG 인프라 활용하고 위험회피 전략으로 기술경쟁체계(실증기술 중심+특화/기반기술) 도입 ○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진 ○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심1,2주관기관과의 협조체계를 구축
□ 추진체계	○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 사업단과 핵심3과제의 총괄 및 조정 요구시 적극 협조 ○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연구 추진 ○ 타 주관기관과의 협업을 통한 기술개발과제의 연계성을 확보하고 협조체계를 구축하여 추진할 것 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구 추진방안을 모색
5. 최종 성과물 활용방안	
□ 최종 성과물	○ 대용량 LNG 저장탱크 설계기술 - 25만㎘급 LNG저장탱크 표준설계 패키지 - 공인기관 인증서 ○ LNG저장탱크 첨단 모니터링 및 수명연장 기법 - LNG저장탱크 첨단 모니터링 기법 - 지반 액상화 예측·평가 기법 - LNG저장탱크 잔류수명평가 기법 - LNG저장탱크 수명연장 기법 ○ 관련 연구보고서, 논문 및 특허 등(상세기획보고서 성과목표 참조)
□ 실용화 또는 사업화 방안	○ 대용량 LNG 탱크 설계기술이 개발되면 국내 LNG인수기지에서는 설비 확충 계획 수립시 바로 적용 가능하여 실질적 활용이 가능함. ○ 현재까지의 국내 기술력은 아직 해외에서는 적극 인정받지 못한 상태이며 기존업체의 견제도 심할 것으로 예상되므로, 차세대 대용량 저장탱크 분야의 설계기술 확보는 시공분야와 더불어 해외 EPC 공

	사 전체를 자체 기술력으로 수주할 수 있는 발판 마련과 기술력 홍보에도 큰 의의. ○ 지금까지 확보한 LNG 저장탱크의 설계 및 시공기술에 부가하여 설계 정밀도 극대화 및 비용 최적화를 실현하고 건설공법의 개선방안을 도출하면 후발주자로서의 핸디캡을 극복하고 해외 EPC 사업 분야에서 경쟁력 확보가 가능. ○ 고유가와 에너지 확보경쟁으로 불안한 국제정세 속에서 EPC 전분야의 기술력 확보와 사업진출은 수익창출 뿐만 아니라 국가 에너지 안보 구현에 있어서도 매우 중요함.
6. 사업기간 및 소요예산	
□ 전체	○ 총사업기간 : 2009년 4월 18일 ~ 2014년 6월 17일 - 1단계('09.04~'10.04) : 정부지원금 5.52억원 이내 - 2단계('10.04~'12.04) : 정부지원금 7.25억원 이내 - 3단계('12.04~'14.06) : 정부지원금 7.23억원 이내 ○ 총연구비 : 정부출연금 20억원 이내 ※ 민간부담금은 사업공모시 별도 공고 예정 ※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능
7. 기 타	

○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것.
※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 "예산적정성 검토", 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음

○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시
- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연

구계획에 포함

○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

○ 추후 사업단 운영계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

○ 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음

○ 사업단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 건설기술혁신사업「분산공유형 건설연구 인프라 구축」과제의 “분산공유 6대 실험시설” 적극 활용

라. 핵심과제 및 세부과제 공모방안

제3핵심과제는 LNG 플랜트 설계 및 건설기술 개발에 관한 과제로서, 주관과제와 협동과제 그리고 위탁과제로 연구팀을 구성할 수 있도록 하였다.

보다 객관적으로 경쟁력을 갖춘 기업 및 연구기관의 응모가 가능하도록 통합형 지정공모와 분리공모의 형식을 도입하였으며, 핵심과제에서 중요도와 기초 및 기반성격, 새로운 아이디어 접근성, 경쟁효과 등을 고려하여 과제별 공모방안을 설정하였다.

다만, 특별한 경우 이외에는 세세부 과제까지 구분하기에는 과제의 통합성과 수행시기, 관리상 비효율성 등으로 인하여 무리가 있을 것으로 판단되며, 이에 세부과제 수준에서 공모성격을 검토하였다.

제1세부과제는 LNG 테스트베드 설계 및 대용량 설계모델, 제어기술을 개발하는 과제로서 핵심과제를 주관하는 기관이 수행하여야 하며, 중요도 측면과 기술의 통합성을 고려하여 지정 공모하는 것이 합리적이다.

제2세부과제는 LNG 테스트베드를 시공하고 관련된 시공기술을 개발하는 과제로서 각 핵심과제에서 개발되는 기술의 적용 및 검증을 위한 테스트베드 구축사업은 중요도와 응용 성격이 크므로 분리 공모하는 것이 바람직하다.

제3세부 및 제4세부과제는 중요도가 있으나 경쟁을 통하여 새로운 기술의 접목이 요구되는 분야로서 분리공모의 형태로 추진하는 것이 독창성과 우수성을 고려한 경쟁이 가능하여 적절한 것으로 판단된다.

또한, 사업단의 최종적인 목표달성을 위해서 각 세부과제의 우선순위는 ① 세계최고 수준과 경쟁할 수 있는 기술경쟁력 확보, ② 플랜트 시장점유율 및 부가가치 확대 가능성, ③ 미래수요에 부응한 전략적 투자 필요성 등을 고려하여 1~3 등급으로 구분되며, 향후 정책적 시급성, 중요성 및 예산 확보 여건 등 상황변화에 맞추어 추진시기 등을 조정할 수 있도록 제시하였다.

표 7.6 제3핵심과제의 세부과제 공모방안 (1～5점 척도)

세부과제	세세부과제 후보	평가항목 (지정공모 ← → 분리공모)				공모 방안
		중요도	기반	신기술	경쟁기술	
제1 세부과제	FEED/기본, 상세설계 기술 개발	5	3	3	3	지정
	공정 제어 기술 개발	4	5	3	3	분리
제2 세부과제	LNG 플랜트 건설기술 개발	4	4	3	3	분리
제3 세부과제	LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술 개발	4	3	4	5	분리
제4 세부과제	초대용량 LNG저장탱크 설계기술 개발	4	3	4	5	분리
	LNG저장탱크 수명평가 기술개발	4	3	4	5	분리

표 7.7 제3핵심과제의 세부과제 우선순위 (1～3점 척도)

제 3 핵심과제			
우선순위	과제번호	과제명	공모시기
1	3-1-1	FEED/기본, 상세설계 기술 개발	1단계
	3-2-1	LNG 플랜트 건설기술 개발	2단계
2	3-1-2	공정제어 기술 개발	1단계
	3-3-1	LNG 플랜트 운영 및 유지관리 기술 개발	2단계
	3-4-1	초대용량 LNG저장탱크 설계기술 개발	1단계
3	3-4-2	LNG저장탱크 수명평가 기술개발	1단계

8. 참고문헌

1. 류상수 (한국석유공사), “동해-1 가스전 적정개발을 위한 운영방식 및 고려사항”, 한국지질연구원 Workshop 자료, 2004년 11월.
2. 임영환 (한국건설교통기술평가원 건설사업본부장), “해수담수화 플랜트 연구개발사업 소개”, 플랜트이엔씨 (Vol. 12), pp8~15, 2007년 가을호.
3. Plant for Liquefying Natural Gas, Shell international Research Maatscappij B.V., WO 00/29797
4. M.Jager et. al., “Success Factors in new LNG plants", Hydrocarbon Engineering, October, 2004
5. "가스프로젝트-LNG에 GTL 플랜트가 뜬다", 화학저널 2007년 8월6일
6. "Liquefied Natural Gas (LNG)", Group Investment Research Special Topic, BANK JULIUS BAER & CO. LTD., 15 July 2005
7. Charles Durr et al, KBR, "LNG PROJECT DESIGN COMPETITION-A CONTRACTOR’S VIEWPOINT", 15th International conference and exhibition on LNG, 스페인 바르셀로나, 2007년 4월24~27일,
8. "샌드위치코리아 -비상구는 있다", 중앙일보, 2007년 9월21일
9. 가스플랜트사업단 사전기획연구보고서
10. All Alaska LNG Project Initial Report, Stone & Webster Management Consultants, Inc. October 2004
11. 海外プラントビジネス、高度化と空洞化の背景, 日本貿易保險, e NEXI, 2003. 4.
12. "LNG infrastructure", Business Communications Co., INC., September 2005
13. 장현승, 이복남, 구본상, “해외플랜트시장에서 국내업체의 경쟁력 제고 방안”, 건설산업동향 2007년 11월20일.
14. Jolinde M. Van de Graaf and Barend Pek, "Large-capacity LNG 계열s – The Shell Parallel Mixed Refrigerant Process“, pp41~44, Business Briefing : LNG Review, 2005
15. Doug Yates, P.E., "Thermal efficiency - Design, Lifecycle, and Environmental considerations in LNG plant design, GASTECH2002
16. Markus HAMMERDINGER, Josef FLECKINGER, Achim STOECKL, Rupert

KLUGE, “Helium Leak Detection in the Supply Chain for Liquefied Natural Gas (LNG)” ,ECNDT 2006 - Tu.2.6.4

17. Wesley R. Qualls, et.al., "Liquid expanders in the Phillips optimized cascade LNG process", GASTECH 2002
18. Christian DT Begazo, et.al., "Small-scale LNG plant technologies", Hydrocarbonworld 2007
19. Tim Cornitus, "Medium-scale liquefaction technology", Global forum-Flaring reduction gas utilization.
20. "Small-Scale Liquefaction Taps Into Niche Markets for LNG", [3/26/2007] http://www.lngexpress.com/showstory.asp?id=9414
21. KJ.Vink et.al., "BASELOAD LIQUEFACTION PROCESSES", HYDROCARBON ENGINEERING OCTOBER 1998.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술 연구개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술연구개발사업의 연구내용임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 안됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031) 381-6311
고등기술연구원 TEL 031) 219-2688
건설기술연구원 TEL 031) 369-0505
현대엔지니어링 TEL 02) 2166-8219

가스플랜트 사업단 상세기획

■ 발행일 / 2008. 04. 28.
■ 발행처 / 고등기술연구원
경기도 용인시 백암면 고안리 633-2
TEL : 031) 219-2678
■ 인쇄처 / 드림씨앤피
TEL : 031) 255-7234