

가스플랜트사업단 상세기획 보고서

〈제2핵심과제〉

# 가스플랜트 사업단 상세 기획

2008. 04. 28

주관연구기관 / 고등기술연구원  
협동연구기관 / 건설기술연구원, 현대엔지니어링

국 토 해 양 부  
한국건설교통기술평가원



빈 페이지

# 요약문

## I. 제목

제2핵심과제: 고효율 LNG 플랜트 공정기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 상세기획의 가장 큰 목표는 가스플랜트사업단의 성공적인 사업 수행을 위하여 사업단 제2핵심과제인 “고효율 LNG 플랜트 공정 기술 개발”의 세부과제 및 상세 연구내용을 합리적으로 도출하는 것이다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 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 활용 방안 및 기대효과 등 제시

#### IV. 연구개발결과

본 기획연구에서는 다음과 같은 세부과제를 도출하였다.

| 핵심과제<br>(정부예산)  | 세부과제<br>(정부예산)                     | 연구개발목표  | 연구개발<br>단계   |
|---|------------------------------------|---|--------------|
| 제2핵심과제:<br>고효율 LNG<br>플랜트 공정<br>기술 개발<br>(예산:221억<br>원) | 고효율 천연가스<br>액화공정 개발<br>(예산:74.1억원) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• LNG 사이클 모사 및 액화공정 개발 (성능 검증 연구를 통한 고효율 액화공정 개발 과 기본공정설계기술)</li> <li>• 천연가스 및 냉매 물성 DB 연구 (물성 연구 및 예측 모델 개발과 액화천연 가스 물성 등)</li> </ul> | 응용<br>(지정공모) |
|   | 천연가스 전처리<br>기술 개발<br>(예산:21억원)     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• NGL 회수공정 및 계통 통합기술 개발</li> <li>• 가스 하이드레이트 생성 억제기술 및 공정개발</li> </ul>   | 응용<br>(분리공모) |
|   | LNG 플랜트 열교<br>환기 개발<br>(예산:63.6억원) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• LNG 플랜트 열교환기 개발</li> </ul>   | 응용<br>(분리공모) |
|   | LNG 플랜트 압축<br>기 개발<br>(예산:52.3억원)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• LNG 플랜트 압축기 개발</li> </ul>  | 응용<br>(분리공모) |

#### V. 연구개발결과의 활용계획

본 상세기획 연구결과는 가스플랜트 사업단의 제2핵심과제에 관한 내용으로 구성되어 있으며, 향후 과제의 공모 및 해당 과제 주관기관의 연구수행을 위한 기술 개발로드맵 및 지침서로 활용될 수 있다.

- ◆ 제2핵심과제의 연구개발 기본방향의 이해
- ◆ 공모 과제의 목표 및 내용 작성을 위한 가이드라인
- ◆ 공모과제 수행을 위한 지침서 및 성과관리도구

# SUMMARY

## I. Title

**Project No. 2 : Development of high efficient LNG process technology**

## II. Research Objectives

The objectives of this report are to draw reasonable sub-research projects of the core technology project No. 2 and to plan detailed aims and contents of research the projects.

## III. Research Contents

- ♦ Analysis of the technologies trends related on the Project No. 2
  - 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        |
|--|--|---|-----------------|
| 2 C.T.-<br>Developm<br>ent of<br>high<br>efficient<br>LNG<br>process<br>technology | Development of high efficient LNG liquefaction process     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of LNG liquefaction process and cycle optimization</li> <li>• Research on property of refrigerant and natural gas</li> </ul> | Appli<br>cation |
|  | Development of pretreatment technologies of natural gas    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of integrated NGL process</li> <li>• Development of inhibitor technology of gas hydrate generation</li> </ul>                | Appli<br>cation |
|  | Development of heat exchanger for LNG liquefaction process | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of plate-fin type heat exchanger for LNG liquefaction process</li> </ul>   | Appli<br>cation |
|  | Development of compressor for LNG liquefaction process     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Development of compressor for LNG liquefaction process</li> </ul>  | Appli<br>cation |

#### 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. 2
- A reference for research management of the core technology project No. 2
- A roadmap of gas plant technology

# 목 차

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| 제 출 문 .....                          | 1         |
| 요 약 문 .....                          | 3         |
| <b>1. 핵심과제 개요 .....</b>              | <b>1</b>  |
| 가. 핵심과제 정의 및 비전 .....                | 1         |
| (1) 핵심과제의 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 .....                | 12        |
| 다. 핵심과제의 구성 .....                    | 14        |
| (1) 세부과제 구성 .....                    | 14        |
| (2) 연차별 목표 .....                     | 16        |
| 라. 추진전략 .....                        | 17        |
| (1) 기본방향 .....                       | 17        |
| (2) 추진전략 및 체계 .....                  | 17        |
| (3) 기술개발 거시로드맵 .....                 | 20        |
| <b>2. 국내·외 산업전망, 기술 및 정책현황 .....</b> | <b>23</b> |
| 가. 산업전망 .....                        | 23        |
| (1) LNG 플랜트 건설시장 현황 분석 .....         | 23        |
| (2) LNG 플랜트 건설시장 예상 .....            | 25        |
| 나. 기술 및 정책현황 .....                   | 27        |
| (1) 천연가스 전처리기술 .....                 | 27        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| (2) 표준적인 Feed Gas 조성 결정 .....      | 33         |
| (3) 초저온 액화공정기술 .....               | 35         |
| (4) 국내 연구 개발 동향 .....              | 50         |
| 다. 기술수요 및 수준 .....                 | 51         |
| (1) 핵심 액화공정기술 .....                | 51         |
| (2) 국내 개발여건 분석 .....               | 55         |
| <b>3. 세부과제의 목표 및 내용 .....</b>      | <b>61</b>  |
| 가. 세부과제의 구성 .....                  | 61         |
| 나. 세부과제별 목표 및 내용 .....             | 61         |
| (1) 제1세부과제 : 고효율 LNG 공정기술 개발 ..... | 61         |
| (2) 제2세부과제 : 천연가스 전처리기술 개발 .....   | 66         |
| (3) 제3세부과제 : LNG 플랜트 열교환기 개발 ..... | 70         |
| (4) 제4세부과제 : LNG 플랜트 압축기 개발 .....  | 74         |
| 다. 세부과제 선정근거 .....                 | 77         |
| (1) 전문가 기술위원회 운영 .....             | 77         |
| (2) 기존연구와의 중복배제·연계·활용 방안 반영 .....  | 82         |
| (3) 특허분석 .....                     | 83         |
| 라. 성과목표 및 지표 .....                 | 107        |
| (1) 핵심 및 세부과제별 성과목표, 성과지표 설정 ..... | 107        |
| (2) 성과목표와 지표 설정 근거 및 측정 방법 .....   | 110        |
| <b>4. 소요 연구비 .....</b>             | <b>113</b> |
| 가. 2핵심과제의 연구비 .....                | 113        |
| 나. 세부과제의 연구비 .....                 | 114        |
| (1) 2-1 세부과제 연구비 .....             | 114        |
| (2) 2-2 세부과제 연구비 .....             | 116        |
| (3) 2-3 세부과제 연구비 .....             | 118        |
| (4) 2-4 세부과제 연구비 .....             | 120        |
| <b>5. 기술개발 효과 및 성과활용 방안 .....</b>  | <b>123</b> |
| 가. 사회적, 경제적, 기술적, 정책적 파급효과 .....   | 123        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| (1) 사회·경제적 파급 효과 .....             | 123        |
| (2) 기술적 파급 효과 .....                | 126        |
| (3) 전략적 효과·정책적 기대효과 .....          | 126        |
| 나. 성과활용방안 .....                    | 127        |
| (1) 과제의 성과 .....                   | 127        |
| (2) 사업화, 실용화 연계 방안 .....           | 127        |
| <b>6. 핵심/세부과제 RFP 및 공모방안 .....</b> | <b>131</b> |
| 가. 핵심과제 RFP 작성기준 .....             | 131        |
| 나. 핵심과제 RFP(안) .....               | 132        |
| 다. 세부과제 RFP(안) .....               | 141        |
| 라. 핵심과제 및 세부과제 공모방안 .....          | 164        |
| <b>7. 참고문헌 .....</b>               | <b>167</b> |

# 표 차례

|  |    |
|--|----|
| 표 1.1 제2핵심과제 연구범위                                | 2  |
| 표 1.2 제2핵심과제 공동 수행의 경우와 미수행의 경우에 대한 비교           | 6  |
| 표 1.3 제2핵심과제의 최종 목표 및 세부 목표                      | 9  |
| 표 1.4 제2핵심과제의 단계별 목표 및 추진내용                      | 11 |
| 표 1.5 제2핵심과제 세부과제 구성                             | 16 |
| 표 1.6 제2핵심과제 연차별 목표설정(안)                         | 17 |
| 표 1.7 제2핵심과제의 선정, 수행, 활용단계에서 추진방향                | 18 |
| 표 1.8 건설기술교통 평가원과 연구협력 약정을 체결한 해외 기관             | 19 |
| 표 1.9 공동연구와 위탁연구 추진의 각 장단점                       | 20 |
| 표 2.1 LNG 플랜트 계약 사례와 수주 가격 추이                    | 25 |
| 표 2.2 전세계 LNG수요전망 (단위 : 천연가스 10억m <sup>3</sup> ) | 27 |
| 표 2.3 상용화 액화공정 기술                                | 38 |
| 표 2.4 상용액화공정 기술의 특징과 구성도                         | 39 |
| 표 2.5 다양화된 천연가스 액화플랜트 적용 기술                      | 42 |
| 표 2.6 공정별 사이클 구성 특성                              | 42 |
| 표 2.7 천연가스 액화공정에 따른 필요 설비, 효율, 생산량 및 경비 비교       | 44 |
| 표 2.8 천연가스액화플랜트 소요 자재/설비 수요현황 및 예측 (억원/년)        | 45 |
| 표 2.9 Cold Box 관련 국내 유사 연구개발 상황                  | 46 |
| 표 2.10 기존의 대형 LNG 플랜트                            | 50 |
| 표 2.11 2004~2006년 사이의 LNG 플랜트 건설                 | 51 |
| 표 2.12 제2핵심과제 관련 국내기술보유현황 및 수준                   | 58 |
| 표 2.13 제2핵심과제 핵심기술분야별 인프라 수준                     | 59 |
| 표 2.14 LNG 플랜트 분야 기반역량 분석                        | 59 |
| 표 2.15 플랜트기술 개발여건 SWOT 분석                        | 61 |
| 표 3.1 제2핵심과제 세부과제 구성                             | 63 |

|   |     |
|---|-----|
| 표 3.2 제1세부과제의 연차별 목표 및 내용 .....                   | 64  |
| 표 3.3 제1세부과제의 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 .....           | 67  |
| 표 3.4 제1세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 .....                 | 67  |
| 표 3.5 제2세부과제의 연차별 목표 및 내용 .....                   | 68  |
| 표 3.6 제2세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 .....            | 71  |
| 표 3.7 제2세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 .....                 | 71  |
| 표 3.8 제3세부과제의 연차별 목표 및 내용 .....                   | 73  |
| 표 3.9 제3세부과제의 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 .....           | 75  |
| 표 3.10 제3세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 .....                | 75  |
| 표 3.11 제4세부과제의 연차별 목표 및 내용 .....                  | 77  |
| 표 3.12 제4세부과제의 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획 .....          | 78  |
| 표 3.13 제4세부과제 성과의 테스트베드 적용방안 .....                | 78  |
| 표 3.14 전문가위원회의 회의 일정과 내용 .....                    | 79  |
| 표 3.15 사전기획 대비 제1세부과제의 상세기획 내용 비교 .....           | 80  |
| 표 3.16 사전기획 대비 제2세부과제의 상세기획 내용 비교 .....           | 81  |
| 표 3.17 사전기획 대비 제3세부과제의 상세기획 내용 비교 .....           | 82  |
| 표 3.18 기존 연구과제와의 중복성 검토 .....                     | 85  |
| 표 3.19 국가별 분석구간 및 특허건수 .....                      | 86  |
| 표 3.20 국가 간 상호 기술의 흐름 .....                       | 92  |
| 표 3.21 제1 세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 .....               | 109 |
| 표 3.22 제2 세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 .....               | 109 |
| 표 3.23 제3 세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 .....               | 110 |
| 표 3.24 제4 세부과제의 단계별 성과목표 및 지표 .....               | 111 |
| 표 3.25 성과지표 선정근거 및 측정방법 (학술지 게재 논문건수(국내/국외)) ..   | 112 |
| 표 3.26 성과지표 선정기준 및 측정방법 (학술회의 발표 논문건수(국내/국외))     | 112 |
| 표 3.27 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (핵심과제 연구보고서) .....       | 112 |
| 표 3.28 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (특허출원 건수(국내/국외)) .....   | 113 |
| 표 3.29 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (과제당 산학연 협력 활동 건수) ..... | 113 |
| 표 3.30 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (산학연 기술지원 건수) .....      | 114 |
| 표 3.31 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (해외진출을 위한 현장조사 실적) ..    | 114 |
| 표 3.32 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (연구개발 관련 홍보건수) .....     | 114 |

|  |     |
|--|-----|
| 표 3.33 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (기술 확산을 위한 상호교류 정도) ..                | 114 |
| 표 4.1 2핵심과제 세부과제별 예산 (단위 : 백만원) .....                          | 115 |
| 표 4.2 2핵심과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) .....                      | 116 |
| 표 4.3 2-1세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원) .....                       | 116 |
| 표 4.4 2-1세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) .....                    | 117 |
| 표 4.5 2-1세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) .....                       | 117 |
| 표 4.6 2-2세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원) .....                       | 118 |
| 표 4.7 2-2세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) .....                    | 119 |
| 표 4.8 2-2세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) .....                       | 119 |
| 표 4.9 2-3세부과제 예산 (단위 : 백만원) .....                              | 120 |
| 표 4.10 2-3세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) .....                   | 120 |
| 표 4.11 2-3세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) .....                      | 121 |
| 표 4.12 2-4 세부과제 예산 (단위 : 백만원) .....                            | 122 |
| 표 4.13 2-4세부과제 연차별, 비목별 예산내역(단위 : 백만원) .....                   | 122 |
| 표 4.14 2-4세부과제 연구개발비 산정근거(단위 : 백만원) .....                      | 123 |
| 표 5.1 액화플랜트에 소요되는 주요 설비/부품/자재들의 과거 시장 규모와<br>2010년의 예상 치 ..... | 127 |
| 표 6.1 제2핵심과제 RFP .....   | 134 |
| 표 6.2 제2핵심과제의 세부과제 공모방안 (1 ~ 5점 척도) .....                      | 171 |
| 표 6.3 제2핵심과제의 세부과제 우선순위 (1 ~ 3점 척도) .....                      | 171 |

# 그림 차례

|  |    |
|--|----|
| 그림 1.1 천연가스 액화 생산에서 저장까지의 필요 공정과 설비 .....        | 1  |
| 그림 1.2 제2핵심과제 기술개발의 비전 .....                     | 3  |
| 그림 1.3 일본의 LNG 플랜트사업 및 유관분야 참여사례 .....           | 4  |
| 그림 1.4 EPC 주계약자와 기술사의 업무 연계도 .....               | 13 |
| 그림 1.5 LNG 플랜트 FEED 절차 .....                     | 14 |
| 그림 1.6 핵심과제간 상호연계성 .....                         | 15 |
| 그림 1.7 해외전문가 자문 분야 .....                         | 20 |
| 그림 1.8 거시기술개발 로드맵 .....                          | 22 |
| 그림 1.9 거시 성과로드맵 .....                            | 23 |
| <br>   |    |
| 그림 2.1 LNG 플랜트 EPC 비용 변동 추이 .....                | 27 |
| 그림 2.2 천연가스, LNG와 LNG 플랜트건설 수요 예측 .....          | 28 |
| 그림 2.3 전형적인 LNG 플랜트의 공정흐름도. ....                 | 29 |
| 그림 2.4 Lab. 규모 실험장치의 간략도 .....                   | 32 |
| 그림 2.5 Loop형 pilot 장치 - 프랑스 IFP .....            | 32 |
| 그림 2.6 프로세스 선정의 개괄적인 Sequence .....              | 36 |
| 그림 2.7 액화사이클 기본 개념도 .....                        | 41 |
| 그림 2.8 AP-X 공정과 DMR 공정 .....                     | 43 |
| 그림 2.9 국내 LNG 소비현황 (2005, 자원에너지 통계, 산업자원부) ..... | 52 |
| 그림 2.10 C3MR 공정 개략도 .....                        | 54 |
| 그림 2.11 C3MR 공정의 천연가스 흐름도 .....                  | 55 |
| 그림 2.12 C3MR 공정의 C3 냉매 흐름도 .....                 | 56 |
| 그림 2.13 C3MR 공정의 냉매 흐름도 .....                    | 56 |
| 그림 2.14 선진 EPC 기업과 국내기업과의 차이 경쟁력 분석 .....        | 60 |
| <br>   |    |
| 그림 3.1 제1세부과제의 기술개발로드맵 .....                     | 66 |
| 그림 3.2 제1세부과제의 성과로드맵 .....                       | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| 그림 3.3 제2세부과제의 기술개발로드맵 .....           | 70  |
| 그림 3.4 제2세부과제의 성과로드맵 .....             | 70  |
| 그림 3.5 제3 및 4세부과제의 기술개발로드맵 .....       | 74  |
| 그림 3.6 제3 및 4세부과제의 성과로드맵 .....         | 74  |
| 그림 3.7 세부기술 도출과정 .....                 | 84  |
| 그림 3.8 포트폴리오로 본 LNG 공정기술 분야의 위치 .....  | 89  |
| 그림 3.9 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석 .....  | 90  |
| 그림 3.10 국가별 특허의 질적 수준 및 시장 확보력 .....   | 91  |
| 그림 3.11 주요국가의 기술력 지수 .....             | 91  |
| 그림 3.12 주요국가의 기술경쟁력 추이 .....           | 94  |
| 그림 3.13 천연가스 전처리 관련 기술흐름 분석 .....      | 103 |
| 그림 3.14 전처리 기술 특허의 흐름 .....            | 104 |
| 그림 3.15 천연가스 액화공정 기술흐름 분석 .....        | 105 |
| 그림 3.16 천연가스 액화공정특허 흐름 .....           | 106 |
| 그림 3.17 천연가스 액화관련 설비 기술흐름 분석 .....     | 107 |
| 그림 3.18 천연가스 액화관련 설비특허 흐름 .....        | 108 |
| <br>                                   |     |
| 그림 5.1 세계 가스전 현황 .....                 | 126 |
| 그림 5.2 중국 Weizhou섬의 LNG plant 전경 ..... | 132 |

# 1. 핵심과제 개요

## 가. 핵심과제 정의 및 비전

### (1) 핵심과제의 정의

건설교통기술연구개발사업에서 핵심과제는 사업단 과제를 구성하는 중추 과제를 의미하며, 본 사업단에서 제2핵심과제는 LNG 플랜트의 핵심분야인 천연가스 전처리 및 액화공정을 중점 대상으로 하고 있다.

이러한 범주에서 제2핵심과제는 초저온 냉각 사이클을 기본으로 고효율 및 대용량의 신 공정과 천연가스 액화과정에서 에너지 및 물질흐름에 영향을 미치는 물질의 제거 및 이용을 위하여 천연가스 전처리공정을 개발하기 위한 과제로 정의된다.

이러한 제2핵심과제는 원천기술과 응용기술의 성격을 동시에 가지고 있으며, 액화 사이클의 효율에 큰 영향을 미치는 핵심 기자재로 열교환기 및 냉매 압축기 국산화 개발을 포함한다.

천연가스 액화플랜트의 일반적인 공정 구성은 그림 1.1에서 보이는 바와 같이 전처리, 액화, 저장의 단계를 거치게 되며, 제2핵심과제에서는 전처리공정과 액화공정에 관한 연구개발을 수행한다. 제2핵심과제에서 제시되는 공정 기초 데이터는 제3핵심과제에서 수행하는 테스트베드 및 상용 플랜트 scale -up FEED 수행에 중요한 기반을 제공한다.

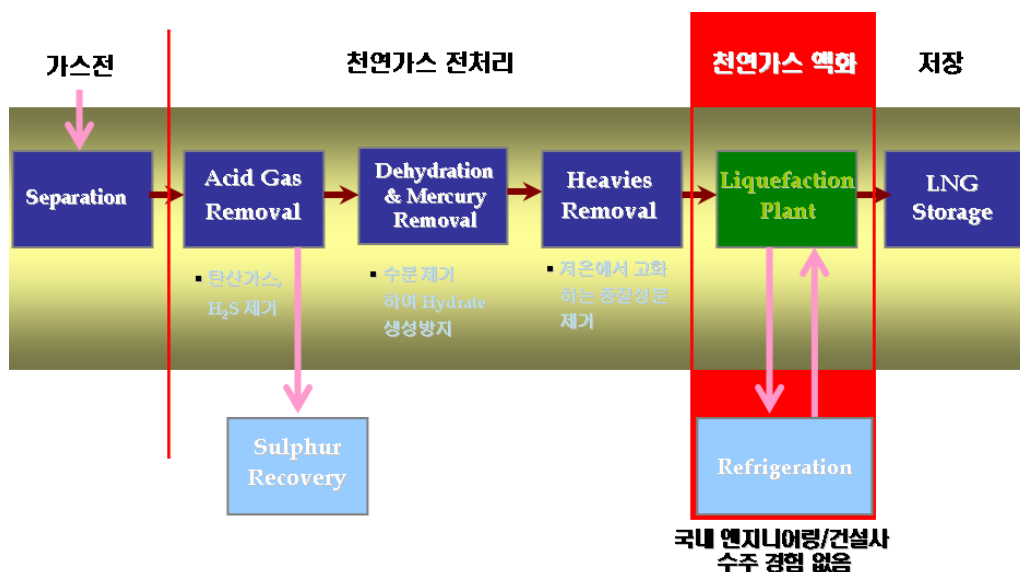


그림 1.1 천연가스 액화 생산에서 저장까지의 필요 공정과 설비

제2핵심과제에서 표 1.1에 정리한 바와 같이 기술개발 분야는 전처리공정에서 가스 하이드레이트(gas hydrate) 억제기와 NGL(natural gas liquids) 회수 및 계통 연계기술을 개발한다.

그리고 액화 공정에서 고효율 초저온 액화 사이클을 최적화 하고 이에 적합한 설비를 집적하여 고유의 신 공정을 개발하는 내용을 포함한다. 또한 액화공정을 구성하는 핵심 기자재로 열교환기와 압축기를 개발을 수행한다.

표 1.1 제2핵심과제 연구범위

| 핵심과제                | 기술분야                      | 연구범위   |
|---------------------|---------------------------|--|
| 고효율 LNG 플랜트 공정기술 개발 | 고효율 LNG 플랜트 기본공정설계기술      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대용량 LNG 플랜트에 적합한 고효율의 천연가스 액화 사이클 구성 및 공정</li> <li>- LNG 플랜트의 기본공정설계도서 (Basic Process design package)</li> <li>- 초저온 액화공정 적용 냉매시스템의 열물성 DB</li> <li>- Cold Box 설계 및 제작 기술 (100 톤/일) 급 테스트베드 적용 및 5MTPA 급 LNG 플랜트 적용 설비 설계)</li> </ul> |
|                     | LNG 플랜트 전처리 기술            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가스 하이드레이트 생성 메커니즘 규명과 이를 기초로 생성조건에 대한 DB</li> <li>- 가스 하이드레이트 생성 억제기법 및 기체를 개발하고 계통에 응용기법</li> <li>- LNG 액화과정에서 발생하는 NGL 회수 및 재이용 등 계통연계방법</li> </ul>   |
|                     | LNG 플랜트 초저온 핵심설비 설계/제작 기술 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 초저온 열교환기 설계기술 (plate-fin 형상, 재료, 용량, 운전조건 등)</li> <li>- 초저온 열교환기 국산화 제작기술 (plate-fin 생산, 현장 적용 등)</li> <li>- 혼합냉매 터보압축기 개발 (압축기 효율, 기계적 손실, 드라이버 연결 방법 등)</li> </ul>  |

## (2) 비전

과거 정유·화학, 발전 등과 달리 LNG, GTL 등과 같은 LNG 플랜트 건설 사업의 경우에는 고부가가치, 에너지·자원 확보 측면에서 세계 각국의 주요 관심사로서 자국의 이익 확보를 위하여 과감한 정책, 기술적인 투자를 추진하고 있다.

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.

이러한 LNG 플랜트사업에 있어서 주요 기술변화로는 보다 대규모의 유전에 대용량의 공정과 장치로 집적된 플랜트를 설계, 건설하는 추세이며, 이러한 플랜트의 성능과 효율, 비용 측면에서 타당성을 확보하기 위한 기술 및 인력 집약화가 가속화 되고 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.

본 사업단에서 제2핵심과제의 비전은 2013년 이후 선진기업과 경쟁이 가능한 특화기술을 보유한 국가로 진입하는 것이며, 또한 그림 1.2에 도시한 바와 같이 이러한 기술을 기반으로 해외시장 진출을 추진하는 것이다. 이러한 비전 달성을 위한 추진단계는 아래와 같다.

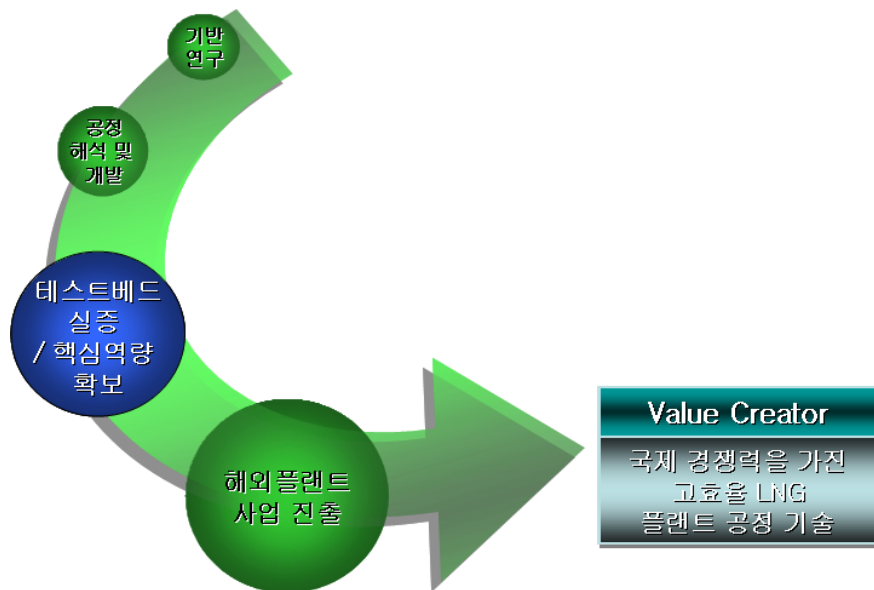


그림 1.2 제2핵심과제 기술개발의 비전

- 추진단계: 3단계, 6년 (2008-2013)

· 1단계 (2008-2009): 요소기술 확보

제2핵심과제의 효율적 추진을 위한 연구기반을 마련하고 중간진입기술과 개발기술을 구분하여 전략적인 LNG 공정 요소기술을 확보하는 단계임

· 2단계 (2010-2011): 중점기술 통합성능 확보

제1단계에서 확보된 요소기술을 토대로 제2핵심과제의 중점기술을 확보하는데 역량을 집중하여 LNG 공정 통합성능을 확보하는 단계임

· 3단계 (2012-2013): LNG 공정 실증 및 독자기술 확보

제2단계에서 확보된 중점기술을 기반으로 LNG 공정의 테스트베드 실증 및 독자기술로 완성하는 단계임

### (3) 핵심과제 수행의 필요성

세계 2위의 LNG 수입국인 우리나라로서는 세계 1위의 LNG 수입국인 일본의 사례를 검토해 볼 필요가 있다.

일본은 1970년대부터 액화천연가스 (LNG)를 기본 에너지원으로 채택하였다. 이후 국가적이 차원에서의 관심과 지원을 바탕으로 LNG 플랜트 분야의 원천기술을 개발하였고, 자국 내 엔지니어링 기업들이 플랜트 설계/설비구매/건설 등의 전 분야에 참여하여 현재의 LNG 관련 플랜트 건설경기에 편승하여 고수익을 창출하고 있다.

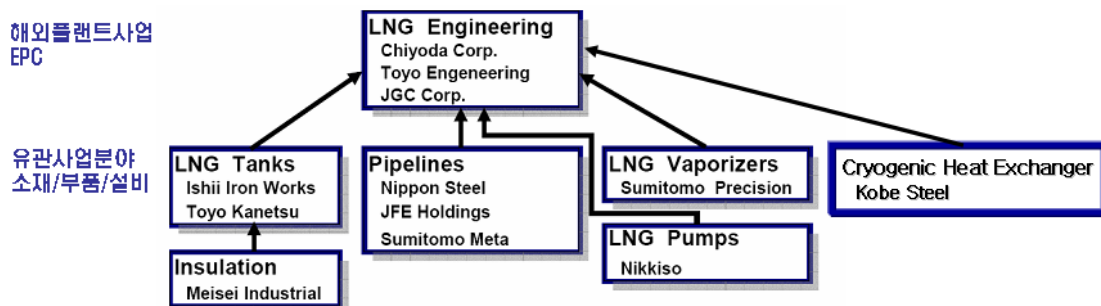


그림 1.3 일본의 LNG 플랜트사업 및 유관분야 참여사례

또한 LNG 플랜트는 핵심기술인 천연가스 전처리 및 액화기술을 일부 선

진업체가 독점적으로 보유하고 있다. 반면에 이러한 핵심기술에 대한 국내 자체 기술개발 사례가 없으며, 해외 사업 참여의 경우에도 전처리공정, 주변장치 설계 및 단순 건설 영역에 국한되어 있다.

해외 시장에서 우리나라의 플랜트 엔지니어링/건설 기업이 직면하고 있는 넷 크래커(nutcracker) 상황을 극복하기 위해서는 LNG 플랜트와 같은 유망 사업 분야의 핵심공정기술과 이의 테스트베드(test-bed) 실증, FEED(front-end engineering design) 능력 확보를 통해 기술 경쟁력을 확보하기 위한 중장기적인 민관, 산학연 공동의 기술개발 사업의 추진이 필요하다.

제2핵심과제는 LNG 플랜트 공정 기술사가 갖는 고유의 기술개발 목표로 하고 있다. 기본공정설계사양 (열, 물질수지를 포함하는 기본공정설계 패키지)과 초저온열교환기와 같은 핵심요소설비의 설계/제작 기술을 개발함으로써 제3핵심과제의 궁극적인 목표인 LNG 플랜트 EPC 수행을 위한 기반을 제공하는 중요한 기술이다.

한편, 공정을 개발하는 측면이 아닌, 외국의 기술사로부터 들여온 license로 플랜트 설계기술 개발만을 진행한다면, 상기와 같은 엔지니어링 지식은 확보하기 어려우며, 이러한 기술지식은 해외 선진 기술사가 결코 알려 주지 않는 정보로서 제2핵심과제인 액화 공정 개발과 제3핵심과제인 플랜트 건설기술 개발에 있어서 반드시 필요한 사항이다.

LNG 액화플랜트는 국내에서 설계한 경험이 전무하고, 향후 LNG 사업 진출 시, 라이선스(license)가 확보되지 않은 상태에서 LNG 플랜트 EPC 사업 진출은 현실적으로 많은 어려움이 존재한다.

액화 프로세스 자체는 많이 알려진 공개된 기술 (open art)로 간주되어 지기도 하지만 LNG 산업의 보수성과 배타성을 생각할 때 경험이 없는 EPC 업체의 참여가 극히 제한되는 분야이다. 표 1.2에는 해외 LNG 시장을 주도하는 EPC 업체들도 그들만의 프로세스를 가지고 있거나, 가질 수 있는 능력을 보유하고 있다

LNG 플랜트 EPC 시장의 배타적인 시장상황에 대처하는 측면에서도 국내의 독자적인 액화공정을 개발하여 이를 라이선스(license)화하는 공정개발 노력이 필요하며, 이를 위하여 신 액화공정 개발 과제의 수행이 필요하다.

제2핵심과제의 공동 수행의 경우와 미수행의 경우에 대한 비교를 표 1.2에 정리하였다.

표 1.2 제2핵심과제 공동 수행의 경우와 미수행의 경우에 대한 비교

| 구분       | 연구개발   | 미개발 (또는 license 구매/제휴)  |
|----------|--|---|
| 전략적 배경   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• License 구매 및 기술제휴의 현실적 어려움 (선두그룹의 시장카르텔, 기술이전 회피 등)</li> <li>• 전체 Value Chain에 미치는 영향이 매우 큼</li> <li>• 연관산업(부유식 플랜트, 기자재 등) 파급효과</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기업의 단기적인 사업모델에 적합</li> <li>• 주도적인 기획/개발형 사업을 전제 (가스전 개발/사업권, 주도적인 자본 투자 등)</li> </ul>  |
| 전략별 장점   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 성공 시 기술력 입증과 파급효과가 매우 큼</li> <li>• 선두/후발그룹과 전략적 기술제휴가 가능</li> <li>• 기획/개발형 사업, 고부가가치 분야 주도</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• License 구매/기술제휴 성공시에는 → 개발위험 회피, 단기적인 시장 진입이 가능</li> <li>• 실제 프로젝트의 기술적 안정성 제고</li> </ul>  |
| 문제점 및 한계 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 기술기반 및 개발경험이 빈약</li> <li>• 사업화 및 시장 진입에 소요기간 증가 (상업용 플랜트 건설 등)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• License 구매/기술제휴가 현실적으로 어려움</li> <li>• 설계/건설 실적이 없어 주도적 역할의 한계</li> <li>• LNG 플랜트 최적화를 통한 설계 기술 경쟁력 확보를 위한 핵심공정설계 지식 확보가 불가능함 ⇒ 지속적인 기술 종속, 고부가가치 분야 참여 제한</li> </ul> |
| 대안       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 해외 선진연구기관 또는 전문가 자문을 필수적으로 추진</li> <li>• 주요 특화기술을 중심으로 중간진입전략 추진             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요기술: 혼합냉매사이클, 핵심요소기기 설계최적화, 플랜트 최적화 설계기술, 에너지 최적화 등</li> <li>- 추진방법: 국내외 협동/위탁연구 ⇒ 독자 공정화, 개발기간 및 위험 감소</li> </ul> </li> <li>• 사업화 전략 마련: 해외 사업권, 국가 간 정책교류 등 연계방안 (총괄과제, 사업단장)</li> </ul> |   |

개발 기간을 최대한 단축시키며, 국가 기술 개발의 대 전제인 국내 기술의 액화공정 라이선스 확보와 실질적인 국가 플랜트산업의 육성을 위한 액화플랜트 건설기술 개발을 동시에 병행하여 추진하는 방안이 바람직하다.

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

- 고부가가치 플랜트 핵심기술 제휴·이전 기피
  - 과거 정유·석유화학, 발전 분야 공정기술은 선진기업과의 기술제휴·도입이 가능하였으나
  - 대규모, 고부가가치 플랜트사업인 LNG, GTL분야의 경우에 선진기업의 기술 이전 기피로 기술제휴·도입이 사실상 어려움
  - 이러한 여건에서 고부가가치 핵심분야인 사업 기획, 기본설계, 운영유지기술 등에 직접적으로 연계되는 공정기술의 확보는 불가피함
  - 또한 관련된 주요 기자재의 국산화 등은 국내 중소기업 등 산업 파급효과가 매우 큰 분야임을 감안할 때 전략적인 결정이 요구됨

※ 해외 사업에서 전처리공정, 상세설계, 시공분야 외에 진입이 어려움  
(특히 한국, 일본, 인도, 중국 등은 선진기업의 경계 대상)

- 핵심공정, EPC 기술이 대규모 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

※ 각국의 에너지 정책에서 자국의 사업 영향력을 확대하는 추세

- 기술제휴, 사업진출 등에 활용 가능한 전략적 도구 확보가 필요
  - 공정데이터는 사업의 기획, 설계, 조달, 시공, 운영/유지 등 수행과정에서 필수적으로 요구되는 데이터임
  - 완성품으로 공정개발을 배제하더라도 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

제2핵심과제의 최종목표는 고효율 (액화효율 92% 이상) 천연가스 액화공정 개발이며, 액화공정의 효율화를 위한 전처리기술과 열교환기 및 압축기의 개발을 목표로 설정하였다. 표 1.3에 핵심과제 최종 목표 및 세부 목표를 요약하였다.

표 1.3 제2핵심과제의 최종 목표 및 세부 목표

| 최종목표                       | 세부목표   |
|----------------------------|--|
| 대용량 LNG 플랜트에 적합한 고효율 공정 개발 | - 대용량 LNG 플랜트에 적합한 고효율의 천연가스 액화 사이클 개발<br>- 기본공정설계 (Basic Process Design 혹은 Basic Design) 패키지 제작 |
|                            | - NGL 회수 및 계통연계기술 개발<br>- 가스 하이드레이트 생성 억제기술 개발   |
|                            | - 초저온 열교환기(plate type) 개발<br>- 혼합냉매 압축기 개발   |

성과물로는 천연가스 액화공정의 기초 데이터, plate 형식의 열교환기, 혼합냉매 압축기, NGL 회수기술 및 계통연계기술, 수분제거공정, 콜드박스(cold box) pilot 집적체, 테스트베드 실증 데이터 등이다.

○ 제2핵심과제 총괄기여목표

- 에너지효율 5% 향상
- 유지관리비 10% 저감

○ 세부기술 개발목표

- LNG 액화공정
  - 트레인 효율 92% 이상
  - 100 톤/일급 테스트베드 액화공정

- 5 Mt/y급 LNG 액화공정 scale-up 모델
- 천연가스 전처리공정
  - NGL 회수공정 (에탄 99.5% 이상, 기타 응축물질 99.9% 이상)
  - 수분제거공정
  - 계통 통합방법
- 초저온 열교환기
  - 플레이트(plate) 방식
  - 열전달계수
  - 크기 10% 저감
  - 유지보수성 개선
- 혼합냉매 압축기
  - 혼합냉매 사용 가능
  - Mach No 0.85 이하
  - 에너지손실 저감
  - 유지보수성 개선

## (2) 단계별 목표 및 수행내용

제2핵심과제의 연구개발 기간은 총 6년으로, 기술개발 성과의 극대화를 위하여 3단계로 나누어 진행된다.

1단계는 2년으로 LNG 플랜트에 대한 해외 선진 기술 분석을 통한 고효율의 신 액화 사이클을 최적화 개발하고, 이에 적합한 냉매, LNG 등의 열역학적인 물성 DB를 구축한다. 이러한 데이터는 테스트베드 설계 및 시공을 위한 기초데이터로 각 핵심과제에 제공된다.

2단계에서는 1단계에서 도출된 성과를 토대로 주요 핵심설비들의 설계 사양 도출과 함께 pilot plant 설계 및 건설을 통하여 공정기술의 성능을 평가하고 국산화 개발을 수행하며, 공정계통의 효율화를 위한 수분제거공정과 NGL 회수공정이 개발을 수행한다.

3단계는 개발기술을 테스트베드 적용하여 성능과 scale-up 기술을 검증하며, 5 Mt/y급 대용량 LNG 플랜트에 적용할 수 있는 기본공정설계 (Basic Process Design 혹은 Basic Design) 패키지를 완성한다.

표 1.4 제2핵심과제의 단계별 목표 및 추진내용

| 단계 목표           | 수행내용   |
|-----------------|--|
| 1단계: 요소기술<br>확립 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 액화공정 사례 분석 및 신 공정 모델 구성</li> <li>- 냉매 최적 조합에 의한 열역학 사이클 모사 및 최적화</li> <li>- 초저온 열교환 공정의 엔트로피 생성 최소화</li> <li>- 냉매, LNG 등의 열역학적인 물성 실험</li> <li>- 테스트베드 공정 설계를 위한 기초데이터 제공</li> </ul> |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- FEED 가스 조성 및 공정영향 분석</li> <li>- 가스 하이드레이트 생성메커니즘</li> <li>- 가스 하이드레이트 생성 억제조건</li> <li>- NGL 발생특성과 영향 평가</li> </ul>   |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열교환기 분석 및 설계요구조건</li> <li>- 열교환기 재료 및 형상 해석 및 설계</li> <li>- 냉매 압축기 분석 및 설계요구조건</li> <li>- 압축기 운전조건 모사 및 최적 설계</li> </ul>  |
| 2단계: 통합성능<br>확보 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cold Box 열유동 해석</li> <li>- 혼합 냉매 등 열역학적인 물성 DB 구축</li> <li>- 사이클 구성 기기 설계 및 제작 요건</li> <li>- 초저온 액화 사이클 pilot scale 검증</li> <li>- 테스트베드 적용을 위한 기본공정설계 데이터 피드백</li> </ul>                |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가스전 수분제거공정 개발</li> <li>- 가스플랜트 수분제거공정 개발</li> <li>- NGL 회수공정 열수지 평가</li> <li>- 경제적 활용기법</li> </ul>  |
|                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열교환기 내 열유동 제어기술</li> <li>- Plate 설계 및 제작기술</li> <li>- 압축기 기계적 손실 방지 기구설계</li> <li>- 압축기 제작 및 평가</li> </ul>  |
| 3단계: 실용기술<br>확보 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발기술의 테스트베드 적용 및 실증</li> <li>- 5MTPA급 대용량 LNG 플랜트에 적용할 수 있는 기본공정설계패키지 (Basic Design Package, BDP)</li> </ul>  |

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수분제거공정 실용화</li> <li>- NGL 회수 및 계통 연계 실용화</li> <li>- Pilot scale 검증</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열교환기 및 압축기 보수기술</li> <li>- 테스트베드 집적 및 피드백</li> <li>- 열교환기 및 압축기 실용화</li> </ul> |

### (3) 사업단과제와의 연계성

#### ○ 핵심과제와 연계성

그림 1.4에 도시한 바와 같이 기본적으로 LNG 플랜트의 EPC 계약자는 발주자로부터 설계 및 건설에 관한 요구사항을 제공 받으며, 이를 토대로 적절한 기술을 선정하게 된다.

또한 공정 기술사로부터 설계 기준을 바탕으로 공정 설계를 위한 Heat & Material Balance와 같은 설계 자료를 제공받고, PFD, P&ID, 상세한 Heat & Material Balance 작성, 주요 기기의 Load sheet, Driver 선정, Heating /Cooling Medium 선정 작업등 전체 플랜트 설계 작업을 수행한다.

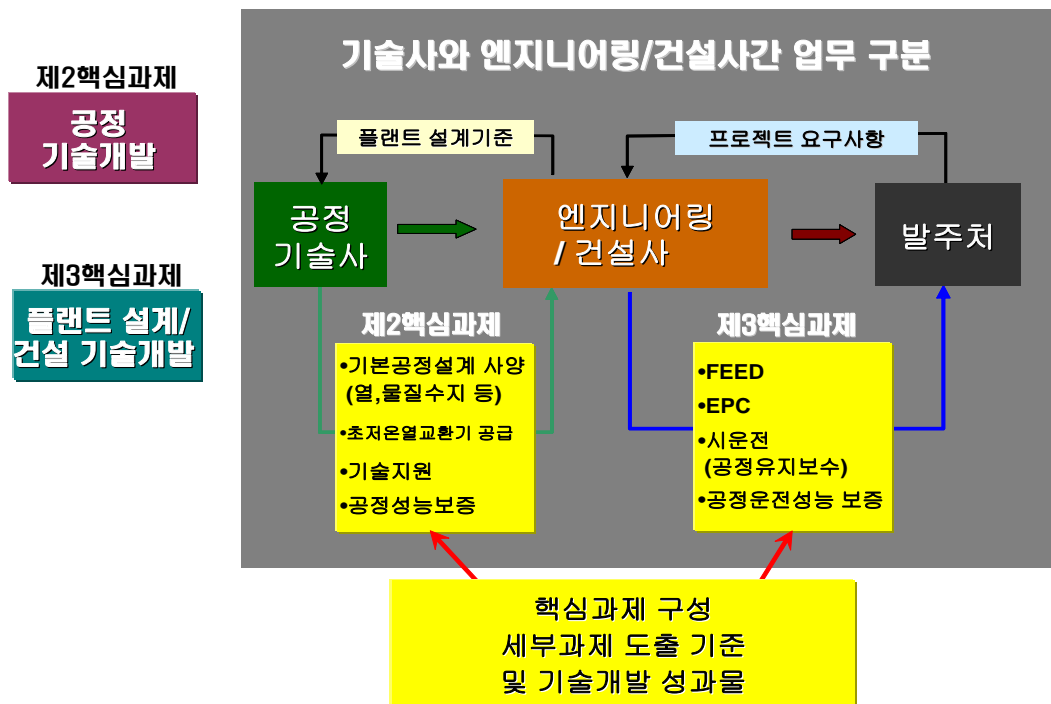


그림 1.4 EPC 주계약자와 기술사의 업무 연계도

개념적인 플랜트 프로젝트의 사업 계획이 세워지고 상세설계 단계로 넘어갈 때, 최적의 기술적인 방법론과 해법을 찾기 위한 Front End Engineering and Design (FEED)이 수행된다. 잘 계획되고 수행된 FEED는 전체적인 프로젝트 진행의 효율을 증가시키며, 투자회수율을 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 요소이며, FEED package 요소 및 제작절차는 그림 1.5에서 보인다.

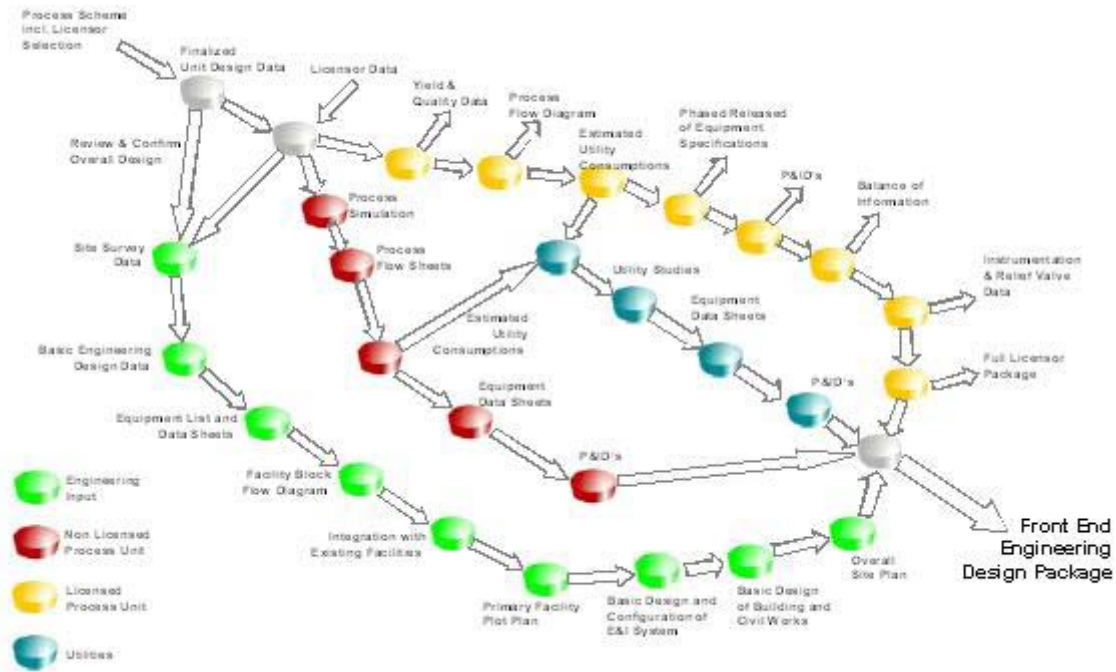


그림 1.5 LNG 플랜트 FEED 절차

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

그리고 테스트베드를 중심으로 다양한 설계 조건에 맞추어 입구 측의 가스 조성파 압력 등을 변화시켜 가면서 냉동 공정과 Heavy hydrocarbon 을 제거

하는 공정과의 상호 열유동 관계, 냉매의 압축에 필요한 에너지, 그리고 LNG 생산량에 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.

궁극적인 두 핵심과제와 테스트베드 프로젝트의 기술적 상호 연계성은 그림 1-6에서 보여 진다. LNG 분야 기술개발과제 수행을 위해서는 연구기관 및 참여 기업 간의 컨소시엄 구성을 통한 공동 투자, 연구개발이 필수적이다.

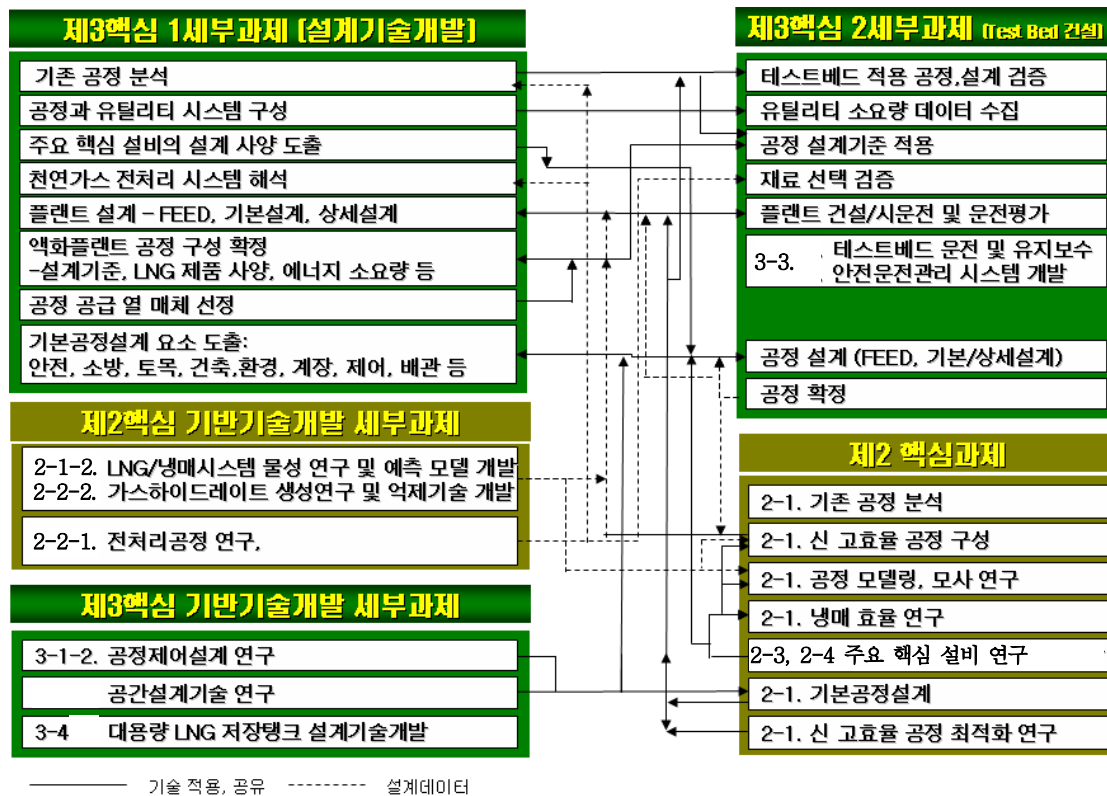


그림 1.6 핵심과제간 상호연계성

다. 핵심과제의 구성

(1) 세부과제 구성

그림 1.4에서 예시한 엔지니어링/건설사의 업무 내용을 기반으로, 세부과제는 사업단 LNG 가치사슬 내에서 전처리, 액화, 핵심기기를 대상으로 하였다.

그리고 본 상세기획에서는 가스 플랜트와 기술적 연관성과 기술동향, 미래 경쟁목표 등을 고려하여 아래와 같이 3개 분야를 도출하였으며, 주요 요소기술은 표 1.5에 요약하였다.

- 제1세부과제: 고효율 천연가스 액화공정 개발
- 제2세부과제: 천연가스 전처리기술 개발
- 제3세부과제: LNG 플랜트 열교환기 개발
- 제4세부과제: LNG 플랜트 압축기 개발

제2핵심과제의 세부과제는 테스트베드 구현을 통한 개발 공정의 검증 및 개선 과정을 수행하며, 테스트베드 구현에 필요한 초저온액화 공정 설계를 위한 설계기준의 기본 데이터들을 제공해야하는 실용화 기술개발의 성격이 강하다. 또한 미래 기술경쟁력을 확보하기 위해서는 제1핵심과제에서 다루고 있는 표준이나 인증, 사업관리 등 기반분야와 첨단기술의 접목을 통한 특화기술의 개발이 요구된다.

따라서 제1핵심과제인 기반기술과 제3핵심과제인 설계/건설기술과의 상호간 유기적인 협력 관계를 필요로 한다.

표 1.5 제2핵심과제 세부과제 구성

| 세부과제       | 세부과제 / 세세부과제 공모 구성        | 공모안  |
|------------|---------------------------|------|
| 제1<br>세부과제 | LNG 플랜트 사이클 모사 및 액화공정 개발  | 지정공모 |
|            | 천연가스 및 냉매 물성 DB 연구        | 분리공모 |
| 제2<br>세부과제 | NGL 회수공정 및 통합기술 개발        | 분리공모 |
|            | 가스 하이드레이트 생성 억제기술 및 공정 개발 |      |
| 제3<br>세부과제 | Cold Box용 플레이트 열교환기 개발    | 분리공모 |
| 제4<br>세부과제 | 천연가스 액화공정용 냉매 압축기 개발      | 분리공모 |

(2) 연차별 목표

제2핵심과제를 구성하는 세부과제를 고려한 연차별 목표는 표 1.6에 요약하였다.

표 1.6 제2핵심과제 연차별 목표설정(안)

| 단계  | 연차   | 목표  |
|-----|------|---|
| 1단계 | 1차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ LNG 초저온 액화/냉각 사이클에 대한 비교 검증</li> <li>◦ 엔트로피 생성 최소화 해석(EGM; Entropy Generation Minimization 또는 exergy 해석)</li> <li>◦ FEED 가스 조성, 공정영향 분석/검증</li> </ul>  |
|     | 2차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ LNG 냉매 최적 조합에 의한 열역학 사이클 설계</li> <li>◦ 가스 하이드레이트 생성 매커니즘 정립/개선</li> <li>◦ 천연가스, 냉매, 혼합가스 등 물성 정립(1)</li> <li>◦ 액화공정 및 기자재 설계/제작 요건 정립</li> </ul>   |
| 2단계 | 3차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ LNG 액화 사이클 최적화 설계(압력 손실 등 고려)</li> <li>◦ Cold box 열유동 해석</li> <li>◦ 천연가스, 냉매, 혼합가스 등 물성 정립(2)</li> <li>◦ 수분제거공정 개발</li> </ul>  |
|     | 4차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 초저온 냉매공정(시스템) 구성 및 냉각 특성 실험</li> <li>◦ NGL 회수공정 최적 모델</li> <li>◦ 테스트베드용 액화공정시스템 구성</li> </ul>  |
| 3단계 | 5차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Pilot plant 이용 개발 기술 적용 평가                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- LNG 액화 공정, 열교환기, 압축기 등</li> </ul> </li> <li>◦ 테스트베드 연계 실증 적용 시스템 설치</li> </ul>   |
|     | 6차년도 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 5 MTPA급, 5 Mt/y 가스플랜트 액화사이클 (트레인 효율 92% 이상)</li> <li>◦ 수분제거공정 실용화 기술</li> <li>◦ NGL 회수 및 통합연계 실용화기술</li> <li>◦ 플레이트 열교환기 실용화 기술</li> <li>◦ 천연가스 액화 압축기 실용화 기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mach No. 0.85 이상</li> </ul> </li> </ul> |

라. 추진전략

(1) 기본방향

LNG 플랜트는 해외 지향적인 사업으로서 제2핵심과제에서 공정기술의 국제 경쟁력 확보가 관건이며, 특히 대형화되는 플랜트시스템과 다변화되는 시장 환경에 대응하기 위한 추진전략이 필요하다.

이에 제2핵심과제는 LNG 전처리공정과 액화공정, 핵심 기자재를 대상으로 요소기술과 중점기술의 통합성능 확보에 기반을 두고 3단계에 걸쳐 실용화 기술을 개발하는 반향을 설정하였다.

- 독자적인 LNG 공정기술을 정의하고 전략기술과 중간진입기술을 구분하여 추진
- 초저온 액화 공정에 중점을 두되, 이의 효율성에 영향을 미치는 전처리, 열교환기 및 압축기의 개발을 포함
- 세부과제는 전처리, 액화공정, 핵심기자재 등으로 구성

표 1.7 제2핵심과제의 선정, 수행, 활용단계에서 추진방향

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

(2) 추진전략 및 체계

앞서 설정한 추진방향에 따라 제2핵심과제의 구체적인 추진전략은 선진

공정기술의 벤치마킹 및 FEED 사례 습득, 우수기술의 중간진입, 선진기관 공동연구, 테스트베드 검증 등으로 제시하였으며, 주요 전략별 내용은 다음과 같다.

○ 선진 공정기술 벤치마킹 및 FEED 사례 습득

- 선진 기술개발체계/관련지식 등 습득을 통한 연구기반 마련
- 선진사례/우수사례 벤치마킹 (노르웨이 SINTEF, NTNU, 미국의 GTI 등)
- 1단계 요소기술 확보, 2단계 중점기술 통합성능 확보, 3단계 LNG 실용화

○ 우수기술의 중간진입

- 새로운 소재와 우수한 IT, 최적화 기술의 접목을 병렬적으로 진행
- LNG공정 기술분류 및 선택과 집중: 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술
- 요구되는 기술수요와 투자효과, 투입 자원을 고려한 추진시기 결정

○ 국외 선진기관 공동연구

- 천연가스 액화공정에 관한 국내의 연구 실적이나 경험이 전무한 실정을 고려하여, 해외 업체, 연구기관과의 공동연구 추진
- 기술개발과정에서 기술적 확인이 필요한 예상 문제점 예측과 이에 대한 대책을 초기 단계에서부터 수립

표 1.8 건설기술교통 평가원과 연구협력 약정을 체결한 해외 기관

| 번호 | 체결 기관 (국가)               | 체결일자     | 협력예상 분야                |
|----|--------------------------|----------|------------------------|
| 1  | Harvard University (미국)  | '06.7.11 | 건축, 도시 분야              |
| 2  | SRI International (미국)   | '06.11.3 | 선진국 기술동향조사, 과학기술 정책 분야 |
| 3  | UC Berkeley (미국)         | '06.11.6 | 건설 및 교통 분야 전반          |
| 4  | Stanford University (미국) | '06.11.6 | 건설 및 교통 분야 전반          |
| 5  | 카지마 건설 (일본)              | '06.12.5 | 건설시공 분야                |
| 6  | 조다이 (일본)                 | '06.12.6 | 교량설계 분야                |
| 7  | 운수정책연구소 (일본)             | '06.12.7 | 물류 분야                  |
| 8  | 와세다 대학 (일본)              | '06.12.7 | 건설 및 교통 전반             |
| 9  | FIATECH (미국)             | '07.3.30 | 플랜트 분야                 |
| 10 | MITRE (미국)               | '07.6.15 | 항공 분야                  |
| 11 | FVV (독일)                 | '07.9.7  | 교통 분야 전반               |

표 1.9 공동연구와 위탁연구 추진의 각 장단점

|           | 국제 공동연구                                       | 국제 위탁연구   | 해외전문가 자문활용                     |
|-----------|---|---|--------------------------------|
| 장점        | -해외기관의 적극적인 참여 가능<br>-대외 이미지 제고 가능            | -지적재산권 소유권 단독 보유                                | -지적재산권 소유권 단독 보유               |
| 단점        | -지적재산권의 공동소유 가능성<br>-기관간 계약서 완성 시 까지 과다 시간 소요 | -해외기관에서 담당하는 부분에 국한된 업무                         | -정확한 기술개발 목적 제시가 없는 경우 자문효율 저하 |
| 실시 시 유념사항 | -지적재산권 소유권 문제 명확화 필요                          | -위탁연구 scope의 명확한 문서화<br>-발생 지적재산권 소유권리 계약서상 명문화 | -해외전문가의 국내 상주에 따른 비용 처리 문제     |

○ 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

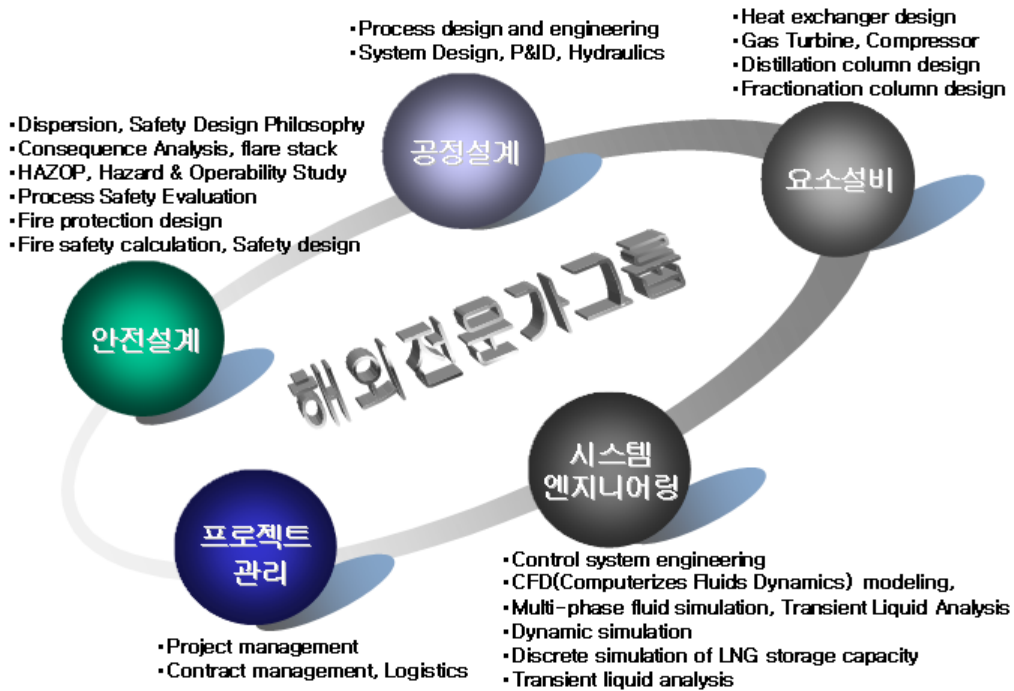


그림 1.7 해외전문가 자문 분야

※ 전문가 자문 필요 해당분야 :

- Process
- Dynamic simulation
- System engineering
- Process Safety
- Process Control
- Instrument
- Heat Exchanger
- 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

○ 테스트베드 적용 및 검증

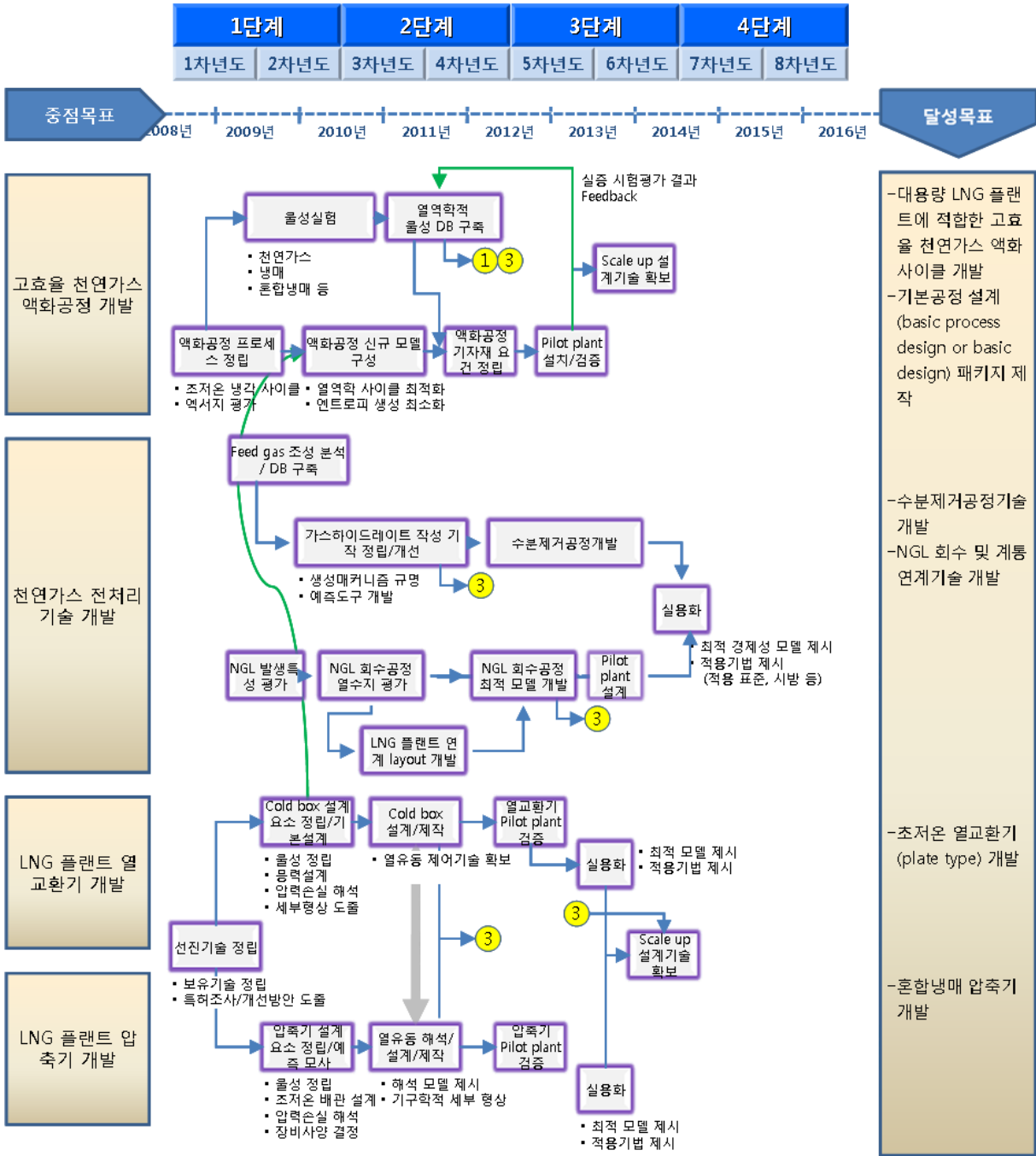
- 독자기술의 성능평가, 시험을 위한 시설 구축
- 연구 및 시험, 인증기반시설 구축방안
- 독자 개발 기술의 인지도 제고
- 부품 및 기자재의 신뢰성 확보

### (3) 기술개발 거시로드맵

세부과제를 추진함에 있어 총 6년간 연구개발이 이루어지며 기술개발 성과의 극대화를 위하여 총 3단계로 나누어 진행된다. 1단계는 2년으로 2단계는 2년, 3단계는 2년의 연구개발 기간으로 구성된다.

1단계 2년간, 초저온 액화 공정의 분석을 통한 개발공정의 설계기준을 확정하고, 냉매, LNG 등의 열역학적인 물성 DB를 개발 성과 등을 활용하여 고효율 액화공정을 디자인하고 이와 함께 핵심주요설비의 설계사양을 도출한다. 또한 이러한 성과물들을 제3핵심과제에 연계시켜 새로운 액화공정과 기존의 액화공정에 대한 2계열의 테스트베드를 위한 기본설계를 포함하는 FEED 패키지를 제작하는

것을 목표로 한다.



※ ③ : 핵심과제 연계

그림 1.8 거시기술개발 로드맵

2단계 2년간은 1단계에서 도출된 성과를 토대로 주요 핵심설비들의 설계 사양 도출과 함께 pilot plant 설계 및 건설을 통하여 공정기술의 성능을 평가하고 국산화 개발을 수행하며, 공정계통의 효율화를 위한 가스 하이드레이트 억제공

정과 NGL 회수공정이 개발을 수행한다.

3단계 2년간은 구체적인 테스트베드 구현과 운전을 통해 1단계에서 도출된 새로운 공정기술을 검증한다. 또한 테스트베드 운전을 통해 각종 설계 요소와 운전 데이터를 확보함으로써 공정 개발 내용에 대한 수정과 보완 작업을 수행하는 등의 scale up 연구를 통해 고효율 대용량 액화공정을 완성한다.

테스트베드 건설과 개발기술의 검증과 보완을 거쳐 최종 5차 년도에는 5MTPA급 대용량 LNG 플랜트에 적용할 수 있는 기본공정설계 (Process Design) 패키지를 완성하고, 주요 핵심설비들에 대한 국산화가 이루어진다.



그림 1.9 거시 성과로드맵

## 2. 국내·외 산업전망, 기술 및 정책현황

### 가. 산업전망

#### (1) LNG 플랜트 건설시장 현황 분석

<대형화 및 기술력 고도화에 따른 LNG 플랜트 프로젝트 비용 하락 (~2005년)>

아직 한국기업들이 완성할 수 없는 LNG 플랜트 가격도 하락 경향을 보여왔다. 1990년대 초반 LNG 플랜트의 톤 당 단가는 대략 300~400 달러 선에서 형성되었으나 2001년 12월 일본의 JGC가 미 KBR와 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 됨. 이에 따라 90년대 초반 톤 당 300 달러 선에서 형성되던 시세가 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. 다만 최근 들어 LNG 플랜트의 주요 기기인 압축기의 성능이 올라 LNG 플랜트의 계열 당 생산량은 증가 경향에 있다.

표 2.1에 정리한 바와 같이 트레인 1 계열 당 연산 200만 톤 규모였던 생산 능력은 최근에는 500톤까지 증대되고 있다. 이로 인해 톤 당 단가를 상당 수준 내려도 채산을 확보할 수 있게 되었고, 기술력 고도화가 LNG 플랜트의 사업 효율성을 올리고 있다.

표 2.1 LNG 플랜트 계약 사례와 수주 가격 추이

| 수주 시기  | Contractor | 국가    | 규모 (톤/년) | 수주액 (원) | 톤당 단가 (원) |
|--------|------------|-------|----------|---------|-----------|
| 1992.4 | JGC~Kellog | 말레이시아 | 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<br>Technip~Snamprogetti | 나이지리아   | 590만     | 1조9,000 | 194,750 |
| 1996.3  | JGC~Kellog                         | 카타르     | 250만×2계열 | 9,500   | 190,000 |
| 1996.6  | 치요다화공건설~<br>미Foster·Wheeler        | 오만      | 350만×2계열 | 9,500   | 144,400 |
| 1997.6  | JGC~Kellog                         | 카타르     | 250만     | 3,800   | 152,000 |
| 1999.8  | JGC~KBR                            | 말레이시아   | 증강공사     | 3,800   |         |
| 2000.1  | JGC~KBR                            | 말레이시아   | 380만     | 1조3,537 | 356,250 |
| 2001.4  | 치요다화공건설~<br>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<br>Technip~Snamprogetti | 나이지리아   | 200만×2계열 | 9,500   | 95,000  |
| 2002.3  | 치요다화공건설~<br>Snamprogetti           | 카타르     | 235만×2계열 | 5,462   | 114,950 |
| 2003.1  | 치요다화공건설~<br>영Foster·Wheeler        | 카타르     | 330만     | 4,655   | 138,700 |

<원부자재 가격 상승과 엔지니어 부족에 의한 프로젝트 비용의 상승 (2005년~)>

LNG 플랜트의 건설비용 상승률이 2002년에는 2.5%였고 그 이전에는 1.5% 정도였으나 2003년엔 4~5%, 2004년엔 9~18%였고, 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, 재료가의 급상승과 열교환기, 압축기등의 제작 업체의 부족 등이다.

결과적으로, 그림 2.1에 도시한 바와 같이 2003년경 \$150/TPA 프로젝트 비용이 2005년 \$275/TPA 이상으로 상승하였고 2008년 이후에는 대형 프로젝트 EPC 비용이 대략 \$400~1200/TPA으로 예상된다.

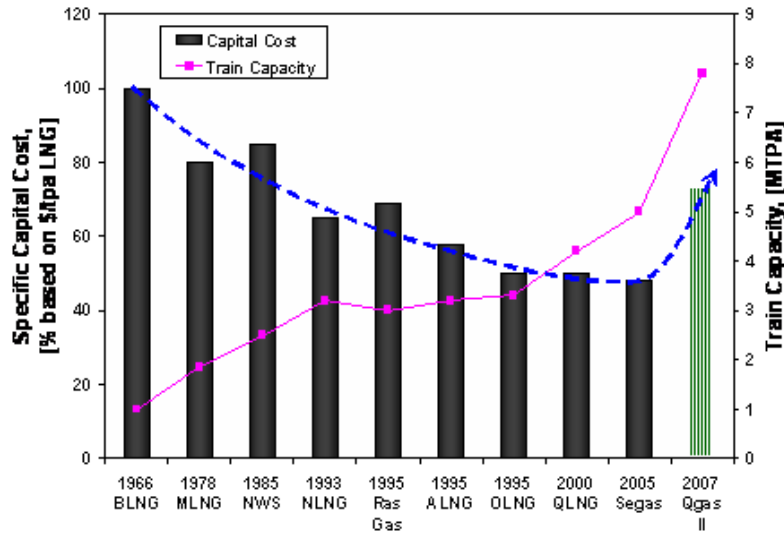


그림 2.1 LNG 플랜트 EPC 비용 변동 추이

## (2) LNG 플랜트 건설시장 예상

### <전세계 LNG 수요전망>

Oil & Gas Journal (2002)에 발표된 수요전망에 따르면, 2020년의 전세계 LNG 수요는 2002년의 2.4~3.5배에 달하는 3.6억<sup>3</sup>~5.2억<sup>3</sup>에 이를 것으로 전망. 2010년까지는 대서양지역의 LNG 수요 증가분이 아/태지역의 수요증가분을 상회할 것으로 전망하고 있다.

표 2.2 전세계 LNG수요전망 (단위 : 천연가스 10억<sup>3</sup>)

|               | 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 되면, 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 3억 8000만톤까지 증가할 것으로 예상하고 있다.

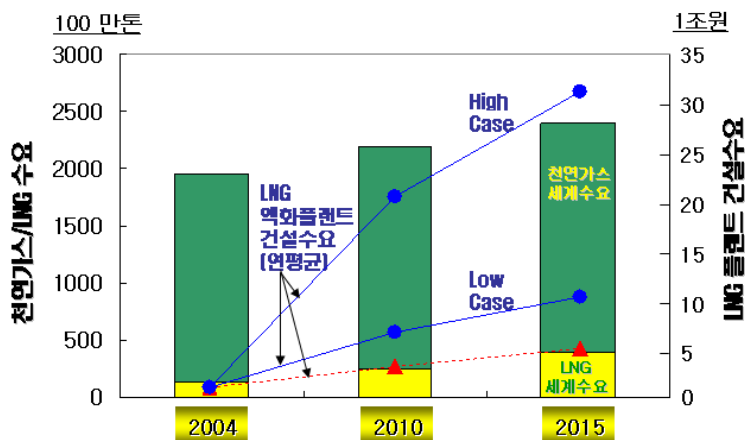


그림 2.2 천연가스, LNG와 LNG 플랜트건설 수요 예측

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

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

### 나. 기술 및 정책현황

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

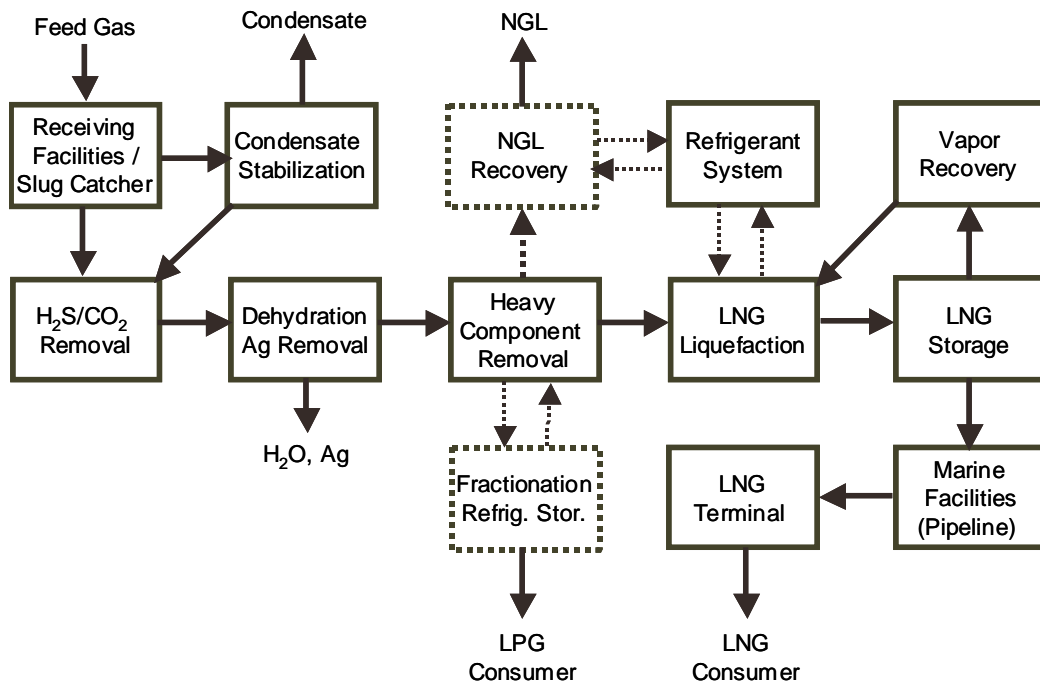


그림 2.3 전형적인 LNG 플랜트의 공정흐름도.

#### (1) 천연가스 전처리기술

천연가스 중 지표에 나와 감압할 때 응축하는 Condensate Gas전의 가스는 비교적 무거운 성분을 함유하지만 건조가스전 또는 수용성 가스로서 지하에 존재

하는 것은 메탄가스가 대부분으로 메탄이상의 무거운 성분을 거의 함유하지 않는다. 또 수반가는 석유와 함께 존재하기 때문에 가스의 조성은 메탄에서 고분자탄화수소까지의 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(CH<sub>4</sub>)이 대부분이며 에탄(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), 프로판(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), 부탄(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) 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 증상화할 가능성이 있고, 그대로 장시간 저장하여 두면 증발에 의한 조성변화로 급격히 혼합하는 소위 반전 (Roll Over)을 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.

메이저 오일/가스 업체를 중심으로 가스 하이드레이트를 억제하기 위한 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 가스 전 및 생산관에도 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 상황이다. 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 저해제는 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 공정모사와 더불어 억제제 조합 및 다양한 상황에 대처하는 기법을 개발한다면 실제적 성과를 이룰 수 있다고 판단된다.

가스전에서 방출되는 천연가스류에 대하여 가스 하이드레이트 생성을 방

지하기 위한 억제제 조합을 개발하고, 이를 유체 혼합물에 포함시키거나 혼합하는 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.

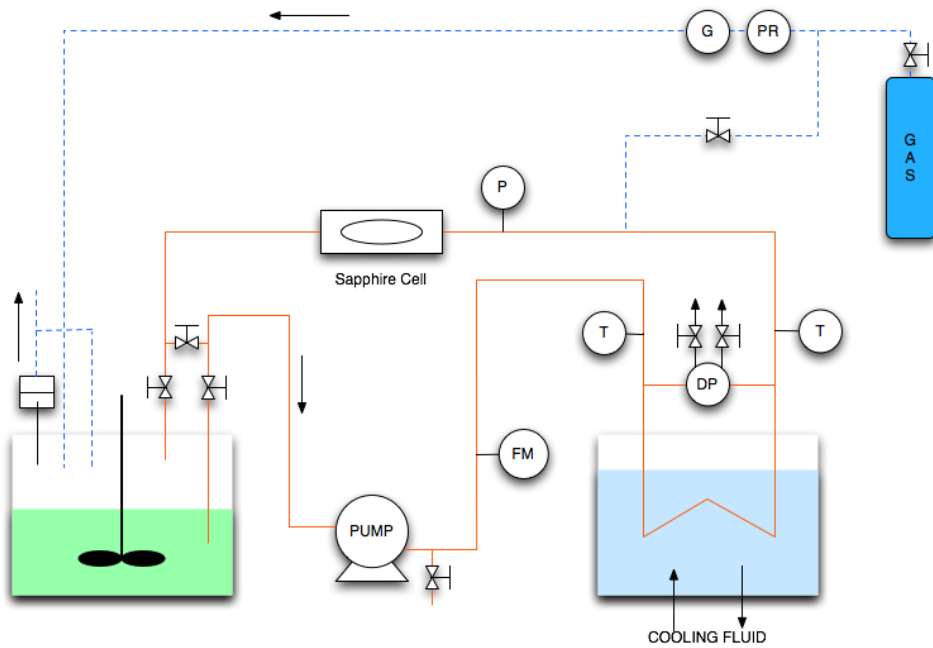


그림 2.4 Lab. 규모 실험장치의 간략도



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 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, 수분과 수은이다. 이들이 제거된 가스는 냉매를 이용하여 냉각되어 에탄 이상의 무거운 성분 (Heavier Hydrocarbons, HC)을 분리함. 무거운 성분의 가스가 분리된 가스의 성분은 주로 메탄이며, 이 후 가스는 극저온 (-162 °C 정도) 공정을 통하여 액화된다.

액화된 천연가스 (LNG)는 대기압 하에서 탱크에 저장됨. 냉각 공정에서 분리된 무거운 가스 성분인 에탄, 프로판 그리고 부탄은 각각의 분리 공정을 통하여 회수됨. 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<sub>2</sub>S)와 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)는 반드시 제거되어야 하며, 황화수소는 그 독성뿐만 아니라 금속 설비들을 부식 시키고, 이산화탄소는 가스의 열량 (heating value)을 떨어뜨리고 천연가스 수송시의 낮은 온도와 높은 압력 하에서 고형화 되기 때문임.

수분 역시 제거되어야 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 떨어뜨림. 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 수

반가스(associated gas)가 해당됨)에는 NGL (natural gas liquids) 형태로 회수하는 공정이 포함되어져야 한다. NGL로 회수되는 경우가 아니더라도 분리/회수 공정을 통해서 얻어진 무거운 성분의 가스는 LPG (C3 + C4) 등의 고부가가치 제품으로 전환되기도 한다.

#### <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 LNG시장이 어디인지도 고려되어야 한다. 이에 따라 Heavy의 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 라이선스 공정이 있다. 냉매를 사용한 천연가스의 냉각과 액

화의 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 위함임. 냉매로는 순수한 성분만을 쓸 수도 있고 다양한 성분의 혼합물을 쓸 수 있으므로, 냉매의 조성도 하나의 중요한 조절변수로 고려되어짐. 혼합 냉매 (mixed refrigerant, MR)의 조성은 공정 조건에 맞게 조절될 수 있다.

LNG 생산에는 플랜트의 생산규모가 경제성에 많은 영향을 미치며 일반적으로 액화능력의 크기가 커질수록 설비투자비용이 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 일컬어 지지만 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.

그림 2.6은 일반적인 프로세스 선정의 순서를 도표화하였다. 프로세스 선정에 있어서 가장 중요한 요소는 경제성이다. 이는 LNG 생산과 설비 크기, 또는 운전에 직접적으로 영향을 미치는 요소들을 고려하여 각종 사례의 분석연구를 하고 개략적인 경제성을 (설비투자비 + 운전비 + 유지관리비 + 설비의 가용성을 감안한 생산물에 의한 이윤 구조 등을 종합적으로 비교) 평가하여 최적의 프로세스를 찾아야한다.

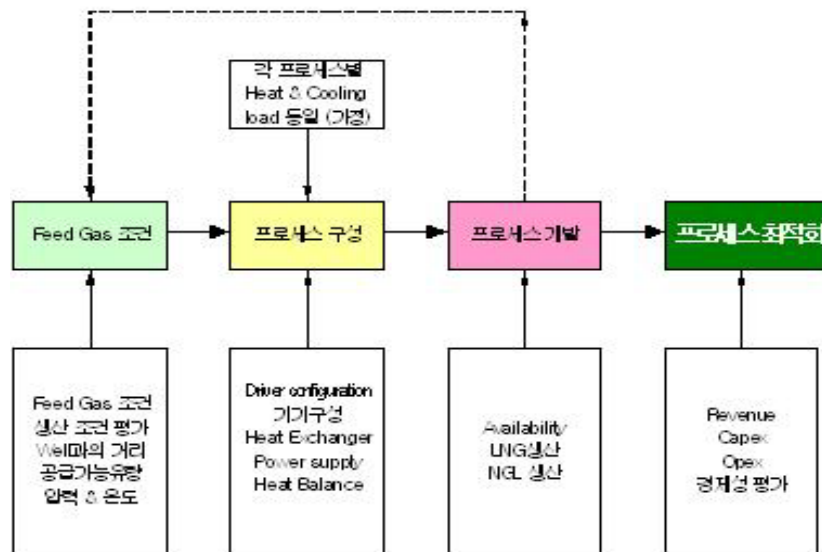


그림 2.6 프로세스 선정의 개괄적인 Sequence

이렇게 선정된 프로세스의 구체적인 설계진행과 더불어 여러 가지 경제성 평가를 시행하는 것이 일반적이다. 이에는 Heating Medium, Cooling Medium, Driver의 선택과 발전설비 등과의 조합과 메탄가스가 주성분인 LNG 이외의 메탄

가스 보다 무거운 성분의 하이드로 카본류들의 추출설비 위치와 소요 에너지양등을 고려할 필요가 있다.

가장 먼저 Feed Gas 조건을 규정할 필요가 있다. Feed Gas의 조건이 명확히 규정되지 않는 경우는 그리 흔치 않지만 프로젝트의 초기에는 Feed Gas조건이 정해진 값이 아닌 구간단위의 값들이 주어지는 경우가 있다. 이 경우에는 먼저 생산을 보증할 Feed Gas 조건을 찾고 설비의 용량을 규정할 Rich와 Lean Feed Gas 경우를 각각의 사례로 삼아서 위의 과정에 따라 프로세스 선정 검토를 해야 한다.

Feed Gas 조건 특히 압력 조건에 따라 생산되는 LNG량이 달라지고 또 프로세스, 구성도 약간 달라질 수 있다. 예를 들면 아주 초고압인 경우는 압축설비가 없어도 되고 또 역으로 Expander/Compressor를 사용할 수 있다.

Fractionation 설비의 운전은 항상 임계점 이하에서 운전이 되어야 하므로 이 고압의 가스를 Expander를 통해 Fraction 설비 전에 운전압력으로 떨어뜨리고 다시 Fraction 의 Overhead Stream을 Expander와 연계된 Compressor를 이용해서 압축해서 냉동 프로세스로 보내게 되면 높은 압력조건하에서 액화가 진행되므로 쉽게 액화될 뿐더러 LNG 생산량 자체가 늘어나게 된다.

그러나 이러한 여러 설계인자들을 처음에 다 고려하면 적절한 프로세스를 선정키가 곤란하다. 우선은 가장 가능성이 큰 경우를 기준으로 프로세스를 선정하고 또 프로세스를 개발해나가야 한다.

### (3) 초저온 액화공정기술

Cascade 공정이 최초로 적용된 것은 1965년 Technip L'AirLiquid (TEAC) 공정인 적용된 Algeria의 Arzew 플랜트이며, 이후 1969년에는 Alaska의 Kenai에 Philips Cascade Process가 1999년에 Trinidad의 Point Fortin에 Philips Optimized Cascade Process가 적용되었다.

Single flow mixed refrigerant 공정은 세 licensor에 의해 제공되어졌고 이들 라이선서에서 제공되는 디자인 사이에는 많은 차이가 있다. APCI는 1970년에 Libya의 Marsa el Brega에, TEAL과 Pritchard는 1972년과 1981년에 각각 Algeria의 Skidda에 적용됨. 특히 APCI는 1972년부터 1999년 사이에 8개국의 LNG baseload 플랜트에 PMR 공정 라이선스를 제공하였다.

현재 LNG baseload 플랜트에 적용되는 기술로는 APCI의 공정이 많이 사

용되고 있으며, LNG 플랜트 분야에서의 상용화 액화공정기술은 다음 표 2.3과 같다.

표 2.3 상용화 액화공정 기술

| Licensor                               | Technology   |
|--|--|
| Air Producers & Chemicals, Inc. (APCI) | SMR process Technology   |
|  | Propane Pre-cooled Mixed Refrigerant (PMR/ C3-MR) Process Technology                                 |
|  | AP-X™ Process Technology   |
| ConocoPhillips                         | Pure refrigerant cascade CoP LNG <sup>SM</sup> Process (formerly Phillips Optimized Cascade Process) |
| Pritchard                              | PRICO (Single Mixed Refrigerant -SMR- cycle) Technology  |
| IFP-Axens                              | Liquefin Technology  |
| Technip-L’AirLiquid (Snamprogetti)     | Tealarc (Double Pressure SMR) Process  |
|  | Tealarc (Double Cycle MR) cascade Process  |
| Shell                                  | Dual Mixed Refrigerant (DMR) Technology  |
| Statoil-Linde                          | Mixed Fluid Cascade (MFC®) Process Technology  |
| COSTAIN                                | Multi-stage mixed refrigerant cycle process  |

\*\* Pure refrigerant cascade; Propane, ethylene, methane cascade refrigerant cycle

현재 진행 중인 LNG project: 최근 육상의 대형 천연가스 액화플랜트에는 새로운 공정기술이 적용되고 있다. 그 중 하나는 Shell Global solutions International (SGSI)가 개발한 Dual Mixed Refrigerant (DM) Process로 Russia의 Sahalin II Project에 채택되었는데 Shell은 프로젝트 스폰서이기도 하다.

이와 유사한 사례로 Norway의 Snohvit LNG Project에는 Statoil Linde의 Mixed Fluid Cascade (MFC®) Process Technology가 채택되어졌는데, 이 경우 역시 Statoil이 Project Sponsor의 일원임. APCI는 MCRTM Process Technology에 nitrogen sub cooling loop를 포함시켜 AP X hybrid liquefaction process를 시장에 내놓고 있다.

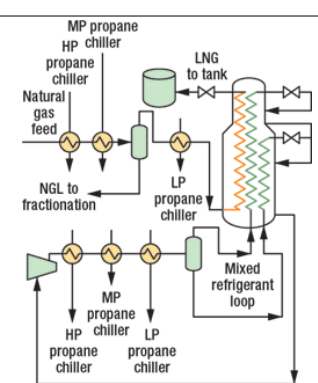
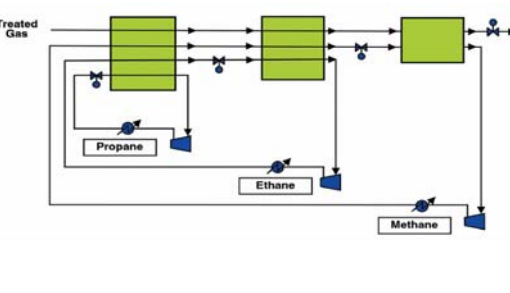
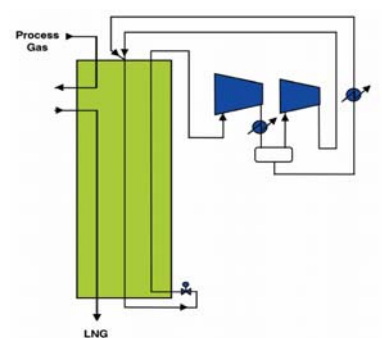
IFP (Institute Francais de Petrole)에서 개발한 LIQUEFIN 공정기술은

Axens이 라이선싱을 하고 있으며 현재까지는 상용공정에 적용된 사례는 없으나 BP 에서 상용화 공장에 적용하기 위한 평가 작업 진행 중인 것으로 알려져 있다.

현재 상용화된 액회공정 기술의 특징과 구성도를 표 2.4에 나타내었다.

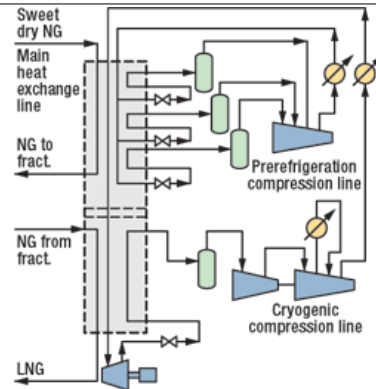
액화사이클의 수는 공정 효율을 결정하는 주요 요소로서 액회공정 기술을 보유하고 있는 기술사들은 자신들만의 고유한 사이클 구성을 갖는 플랜트를 공급하고 있다.

표 2.4 상용액회공정 기술의 특징과 구성도

|  |  |
|--|--|
| <p>APCI propane pre-cooled mixed refrigerant process</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2개의 공정구성(precooling/liquefaction cycle)</li> <li>- 용량 : 4.7 MTPA</li> <li>- Precooling cycle             <ul style="list-style-type: none"> <li>· 프로판을 냉매로 사용, -40℃ 까지 냉각</li> <li>· Kettle-type heat exchanger</li> <li>· 원심압축기</li> </ul> </li> <li>- MR cycle             <ul style="list-style-type: none"> <li>· -150~160℃ 까지 냉각</li> </ul> </li> </ul> |   |
| <p>Phillips optimized cascade process</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1960년대 Alaska 플랜트에서 이용했던 공정 수정, Atlantic LNG 플랜트에 이용</li> <li>- 용량 : 3.3 MTPA</li> <li>- 열교환기: PFHE, Brazed aluminum</li> <li>- 3개의 순수한 냉매 (프로판, 에틸렌, 메탄)를 이용한 cascade 공정</li> <li>- Precooling : core-in-kettle type exchanger</li> <li>- Frame 5 가스터빈</li> </ul>  |  |
| <p>Black &amp; Veatch PRICO process</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 단일 MR 공정(Algeria에서 사용)</li> <li>- Train capacity : 1.3 MTPA</li> <li>- MR 구성 : 질소, 메탄, 에탄, 프로판, 이소펜탄</li> <li>- 축류압축기(증기터빈으로 구동)</li> </ul>   |  |

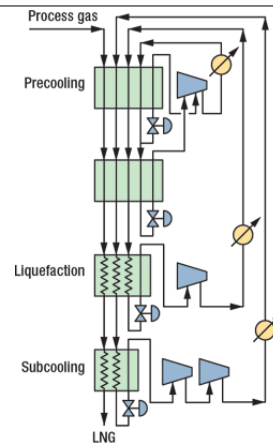
Axens Liquefin™ process

- 2개의 MR process(Dual MR)
- 용량 : 6 MTPA
- Precooling : 온도 -60℃, 3단계 압력 level 이용
- PFHE
  - 냉매 : 메탄, 에탄, 프로판, 부탄, 질소
  - 2개 drivers(Frame 7 GT)



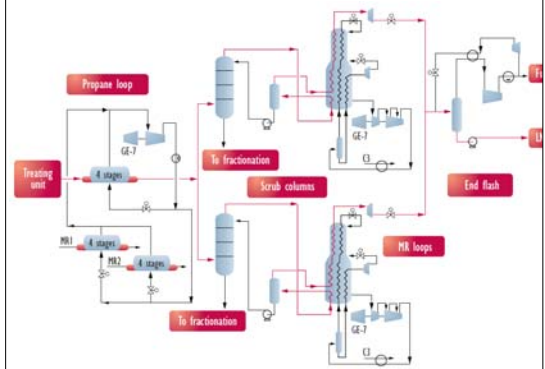
Statoil/Linde mixed fluid cascade process(MFCP)

- Snohvit LNG project(Ekofisk, Norway)
- 용량 : 4 MTPA
- Precooling : PFHE
- Liquefaction/Subcooling : SWHE
- 냉매 : 메탄, 에탄, 프로판, 질소 중 선택 (three mixed refrigerants)



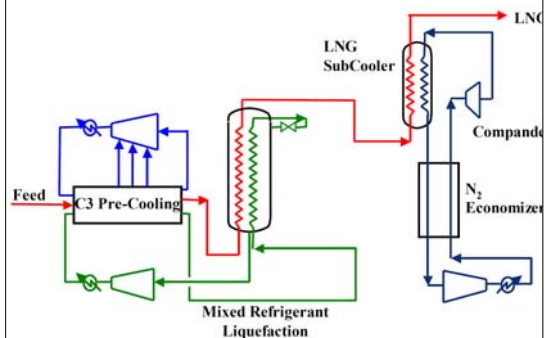
Shell PMR(Parallel MR) 공정

- 1개의 precooling cycle과 2개의 PMR 사이클
- 8 MTPA 까지 확장 가능
- 3개의 GE Frame 7 가스터빈
- 1개의 액화공정이 사고시 다른 1개의 생산량을 60%로 제한하고 있어 신뢰성을 향상시킨 액화공정임.



AP-X™ 액화공정

- 단일 트레인에서 높은 용량 달성
- C3MR의 효율성을 유지하면서 LNG 플랜트 비용감소, C3MR 공정의 대형화
- C3MR 공정의 개선: 혼합냉매 대신 단순/효율적인 질소 팽창기 Loop를 이용하여 LNG를 과냉각시킴.
- 추가적으로 MR 냉동 Loop가 예냉각에 이용되고, 질소가 과냉각에 이용됨



앞선 그림에서 보여지는 바와 같은 하나의 액화사이클은 높은 온도의 전처리 과정을 거친 천연가스를 냉각 시키고 응축시키는 과정을 거쳐 액화천연가스(LNG)를 얻는 일련의 과정이다.

이를 개념적으로 도식화하면 다음의 그림 2.4와 같다.



그림 2.7 액화사이클 기본 개념도

액화사이클 중 LNG를 생산하기 위한 초저온을 만들기 위해서 필요한 에너지는 냉매압축기를 통해 얻어지고 기화열이나 압축에 의해 생성되는 열은 냉각기 (air 혹은 water cooler)를 통해 제거된다.

이 때 필요한 에너지양에 따라 냉매압축기와 드라이버의 용량이 결정되고 전체 공정의 유량이 결정되며, 이러한 에너지양은 액화사이클의 구성, 천연가스의 상태, 그리고 냉각기에 공급 가능한 온도 조건에 크게 좌우된다.

현재까지 천연가스 액화플랜트에 적용되고 있는 액화사이클의 수와 적용된 냉매에 따른 액화공정은 표 2.5와 같다. 또한 천연가스 액화플랜트 적용 기술을 2002년 전후로 비교하면 다음과 같다.

표 2.5 다양화된 천연가스 액화플랜트 적용 기술

|                         | 2002년까지의 천연가스 액화플랜트 적용 기술 (%) | 2003~2010년까지의 천연가스 액화플랜트 적용 기술 (%) |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 총용량                     | 116 MTPA                      | 85 MTPA                            |
| 2 cycle, C3(Propane)-MR | 90                            | 33                                 |
| 2 cycle, Split-MR       | -                             | 11                                 |
| 3 cycle, Cascade        | 4                             | 11                                 |
| 3 cycle (AP-X, MFC)     | -                             | 25                                 |
| 3 cycle (DMR)           | -                             | 17                                 |
| Others                  | 6                             | 4                                  |

표 2.6 공정별 사이클 구성 특성

| 사이클 수               | 사이클 구성 | 공정                     |
|---------------------|--------|------------------------|
| 1<br>(Single-cycle) |        | SMR<br>N2 Expander     |
| 2<br>(Two-cycle)    |        | C3MR<br>N1/C1 Expander |
| 3<br>(Three-cycle)  |        | AP-X<br>Cascade        |
|                     |        | PMR (or DMR)           |

- \* SMR: Single Mixed Refrigerant
- \* C3MR: Propane (C3) precooled Mixed Refrigerant
- \* PMR: Parallel Mixed Refrigerant
- \* DMR: Dual Mixed Refrigerant

다양화되고 있는 천연가스 액화플랜트 적용 기술들을 보면, C3MR 기술이 LNG 플랜트 액화공정의 기반을 이루고 있으며, 최근의 기술 발전 방향은 C2MR 기술의 변형으로 APCI의 AP-X 공정이나, Shell의 PMR(혹은 DMR)과 같은 기술이 새롭게 LNG 플랜트에 적용되고 있다.

따라서 향후 가스플랜트사업단의 LNG 공정/설계/건설 기술개발의 주된 방향은 C3MR의 변형된 방식이나 또 다른 기술 시장의 한 축을 차지하고 있는 ConocoPhillips의 Cascade 방식의 변형된 방식으로 설정하는 것이 타당할 것으로 보인다.

C3MR의 변형으로 상업화 적용이 시작된 대표적인 기술을 그림 2.8에 도 시하였다.

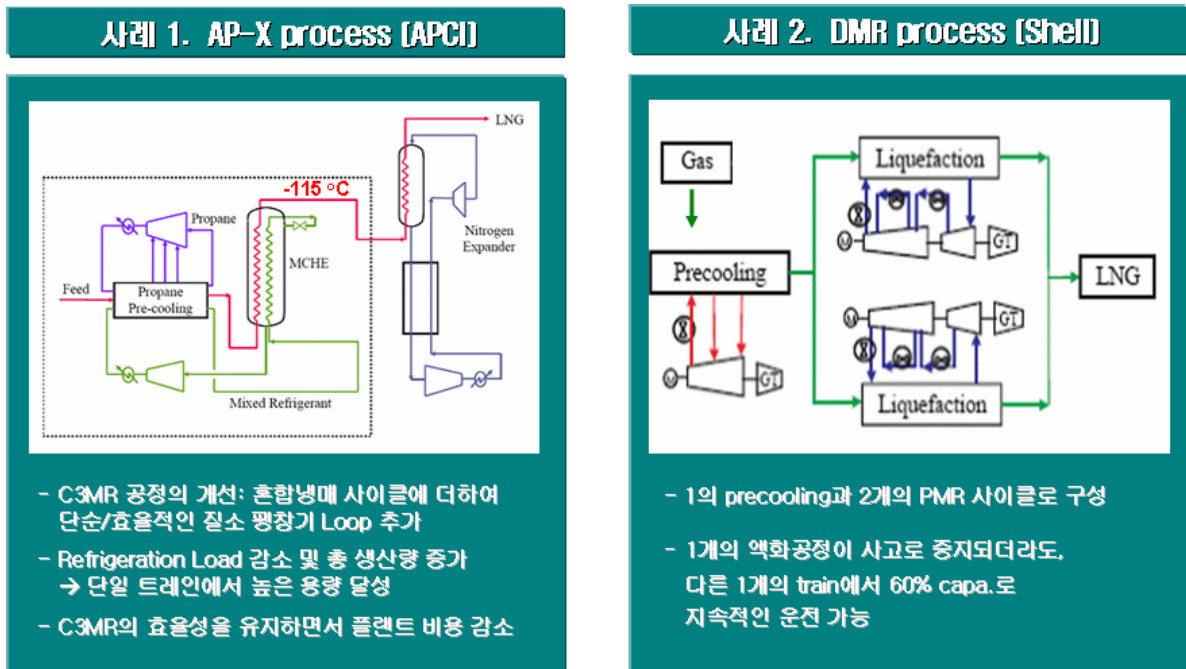


그림 2.8 AP-X 공정과 DMR 공정

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

트레인 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 2.8은 LNG 플랜트에 소요되는 주요 설비/부품/자재들의 과거 시장 규모와 2010년의 예상치 이다. 향후 LNG 플랜트 기술개발 시에 동반되는 타 유관 산업 분야에 긍정적인 파급 효과를 얻을 수 있다.

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<br>Methane :24 stage centrifugal<br>3casings | Axial plus 2 stage centrifugal in tandem | 2 Axial plus single stage centrifugal in tandem | Axial nitrogen compressor:<br>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 production 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 2.8 천연가스액화플랜트 소요 자재/설비 수요현황 및 예측 (억원/년)

| 천연가스액화플랜트 소요<br>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<br>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<br>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<br>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<br>systems       | 6707   | 7505   | 7657   | 9405   | 11,438 |
| Safety equipment                            | 4845   | 5434   | 5700   | 6868.5 | 8645   |
| Sensors, detectors,<br>monitoring systems   | 123.5  | 142.5  | 133    | 152    | 209    |
| Solvents, lubricants and<br>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<br>(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.

<주요 기자재-Cold box, 열교환기, 압축기>

Cold box는 산업용 가스를 생산하는 공장의 Air Separation Plant와 NF3 Plant에서 핵심적인 역할을 하는 장비이며, 국내의 설계 및 제조 기술은 아직까지 그 규모가 1 MPTA에도 못 미칠 정도로 작다. 현재 용량이 큰 cold box는 일본, 미국, 프랑스, 독일 등지에서 수입하고 있는 상황으로 국내의 초저온 기술 발전을 위해서는 반드시 필요하다.

미국 및 유럽 선진국에서는 설계 기술을 가지고 있으며, 국내에서는 대성 산업가스(주)에서 ASU 개발 시 사용하여 기술적으로 확립 단계이나 NG를 액화시키는 시스템과는 공정과 구조가 근본적으로 다르기 때문에 별도의 연구개발이 필요하다.

경쟁국으로는 미국과 유럽 주요 국가들로 이미 기술적으로 완성되어 전 세계에 공급하고 있으며, 지속적인 노하우의 축적으로 후발주자인 한국으로서는 추월하기가 쉽지 않은 상황이다. 더구나 많은 부분이 특허에 등록되어 있기 때문에 어려움이 더욱 클 것으로 예상된다.

일반적으로 cold box에는 열교환기, 팽창터빈, 초저온용기, 초저온밸브 및 제어용 밸브와 계측기기 등으로 구성되며, 각 장비 및 부품들은 배관과 제어용 신호 라인들로 연결된다. 상온과 초저온 사이의 온도 사이클에 의한 응력과 배관의 구성에 의한 압력 강하, cold box 내부의 수분 침투 방지, 재료의 온도 특성, 외부로부터의 열침입 등을 고려하여 설계 및 제작된다.

표 2.9 Cold Box 관련 국내 유사 연구개발 상황

| 주관 부처    | 관련 과제명  | 과제 목표  | 과제 내용  | 기간                   | 연구비<br>(단위:억원) |     |      | 비교·분석                                   |
|----------|---|--|--|----------------------|----------------|-----|------|---|
|          |   |  |  |                      | 정부             | 민간  | 계    |   |
| 산업자원부    | LFG 액화공정을 통한 LNG 생산 및 CO <sub>2</sub> 회수기술 개발 | 1000 GPD (1.6TPD) LNG 생산                         | - LFG 전처리 기술 개발<br>- LFG 액화 기술 개발<br>- CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> 분리 기술 개발 | 2007.7 ~ 2010.6 (3년) | 24             | 8.5 | 32.5 | 본 과제보다 규모가 작고, CO <sub>2</sub> 분리가 추가됨. |
| 에너지기술연구원 | 소형 ASU 개발                                     | 공기 흡입량 1200 Nm <sup>3</sup> /hr 액체 질소, 산소용 ASU개발 | - 공기를 액화시켜 질소와 산소 생산하는 ASU 개발  | 2006.8~ 2009.7 (3년)  | 4.6            | 4.8 | 9.4  | 유입가스가 공기이며, 소규모임.                       |

Cold box는 단열적 측면에서 perlite-vacuum(펄라이트-진공)형과 perlite with atmosphere(대기압 단열형)으로 구분할 수 있다. 전자의 경우에는 perlite를 cold box 내부에 충전한 후 진공펌프를 사용하여  $2 \times 10^{-2}$  torr까지 펌핑을 한다. 내부 공간이 크고, perlite 자체가 많은 가스 분자들을 품고 있기 때문에 원하는 진공을 얻기 위해서는 대용량의 진공펌프가 필요하다.

진공을 사용하기 때문에 단열성능이 뛰어나고, 상대적으로 작게 제작이 가능한 것이 장점이나, 제작이 까다롭고 진공을 장기간 유지하기 어렵기 때문에 주기적으로 진공작업을 해야 하는 단점이 있다. 후자의 경우에는 perlite를 충전하면 작업이 완료되어 제작이 간편한 장점이 있으나, 상대적으로 크기가 커지고, 단열성능도 전자보다 떨어지는 단점이 있다.

특히 cold box 내부가 초저온 상태이므로 외부 공기가 유입되어 수분이 축적될 수 있기 때문에 내부의 압력을 대기압보다 약간 높게 유지해야 한다. 이를 위하여 콜드 박스 하부에 질소 혹은 건조 공기를 계속적으로 불어 넣어주어야 하는 단점이 있다. 그럼에도 제작의 편리성 때문에 최근에는 후자를 선호하는 경향이 뚜렷하다.

콜드박스에는 expansion turbine이 부착된다. 예전에는 오일브레이크 혹은 에어브레이크를 사용하여 NG의 에너지를 회수하였는데 최근에는 에너지를 절약하는 측면에서 compander 혹은 boosting expander를 사용하여 유입되는 NG를 승압함으로써 에너지를 회수한다. 본 과제에서도 에너지 절약 혹은 효율을 상승시키기 위해서 compander를 사용하는 것이 좋을 것이다.

Compressor, cold box와 compander 혹은 expander의 수, 구성 및 사양은 액화공정을 어떻게 구성하는가에 따라 결정된다. 특히 혼합냉매를 사용하여 fractionation을 할 경우에는 혼합냉매의 구성에 따라 장비들이 결정된다.

현재 액화기에는 여러 가지 주 초저온 열교환기 형식이 사용되고 있는데 그 주류는 APCI의 Spiral wound type이 가장 폭넓게 사용되고 있다. APCI는 프로세스 (기본 Heat and Material Balance와 프로세스에 대한 성능 보증)와 주 열교환기를 제공한다.

5 MPTA액화기 기준으로서 이러한 열교환기 가격은 3,000만 달러 (2005년 기준)에 이른다. 그러나 그 내부의 상세정보는 전혀 공개되지 않고 철저히 Priority 설계로 분류된다. 이는 프로세스와 주 열교환기를 동시에 제공하는 사업 모델을 택하고 있기 때문이다. 반면에 Linde는 프로세스를 제공하는 것과는 별도로

로 동일한 Sprial Wound 형식의 열교환기를 제공한다.

APCI프로세스 다음으로 많이 사용되고 있는 Conocophillips사의 Optimized Cascade프로세스에는 Aluminum Brazing Plate Fin type 열교환기를 사용하고 있다. 이의 장점은 생산 가능한 회사가 많고 (약 4개사 정도) LNG 생산량을 늘이고자 하면 병렬로 증설할 수 있기 때문에 APCI에서 제공하는 Sprial Wound형식과는 달리 용량 증설에 유연성이 높다.

최근에는 영국의 Heatric사에서 개발한 Fusion Bonding 형식의 Printed Circuit Heat Exchangers (PCHEs)의 사용가능성에 대한 연구가 본격화 되었다. 이는 스텐레스판에 화학적인 Etching을 하여 유체의 유로를 만들고 이 판을 순간 고온으로 Fusion Bonding한 열교환기이다. 주로 Compact하고 내구성이 뛰어난 열교환기를 필요로 하는 Offshore에 주로 많이 이용되어왔다.

기존의 Aluminum Brazing Cold Box는 열교환하는 두 stream의 온도차가 50 °C 미만이어야 한다는 설계 조건 때문에 사용이 많이 제약되고 또 최고 사용 가능 압력도 제약이 따른다. 상시 운전인 경우에는 별 문제가 없으나 Cyclic Service의 경우에는 누설의 우려가 높다.

따라서 언급된 내용의 조건을 고려하면 새로운 액화프로세스에는 Aluminum Brazing Cold Box가 설비의 증설시 유연성을 더해주고 조달 가능한 업체가 다양하므로 가격 경쟁력 있는 설비를 쉽게 조달할 수 있는 장점이 있을 것으로 보인다. 그러나 운전 시 누설의 위험이 항상 상존하므로 예비 열교환기를 확보한다던가 아니면 Heatric의 열교환기를 사용하는 방안도 연구할 필요가 있다.

LNG 플랜트 액화설비는 혼합 냉매형을 주로 사용하며, 이 액화설비의 가장 중요한 설비는 냉매압축기라 할 수 있다. 따라서 LNG 액화플랜트의 올바른 사업화를 위해서는 핵심설비인 냉매압축기 기술을 반드시 확보하여야 한다.

냉매압축기의 미래의 기술은 고효율/무보수로 발전하고 있다. 즉, 앞으로 5년 이후에 사업화되어 경쟁력이 있는 기술을 개발해야 하므로, 터빈구동 대신에 전기구동을 선택하는 추세이며, 유도전동기 대신 영구자석 모터를 사용하여야 하며 불필요한 윤활오일의 압축을 피하기 위하여 무급유 베어링을 적용한 직결형 터보압축기를 개발하는 것이 바람직하다.

현재 LNG 액화설비용 압축기는 MAN Turbo, Atlas, GE 등 대형 전문업체에서 시장을 과점하고 있으며, 국내업체는 진출을 하지 못하고 있다. 이는 개발 의지와 기술이 있다 하더라도 고객이 선정하기에는 불안감이 있기 때문이다. 따라

서 정부과제로 플랜트를 개발하고자 할 때 국내제품을 적용하는 것이야말로 플랜트용 대형 압축기 시장에 참여하는 유일한 방법이다.

특히 MAN Turbo의 경우 1990년부터 MOPICO 라는 직결형 터보압축기를 지금까지 약 35기를 설치하여 4만 시간 이상 충분한 검증을 거쳤으며, 이제 그 적용범위를 확대해 나가고 있는 상황이다. 또한 Atlas Copco 등 대형 업체들도 직결형 압축기 개발을 시작한지 이미 상당한 시간이 경과되어 일반 산업용 장비에 적용하기 시작하였으며, 충분한 검증이 된 이후에는 고부가가치 플랜트에 적용하게 될 것으로 전망된다.

국내에서도 직결형에 대한 가능성을 인식하고, 1998년도부터 직결형에 대한 연구가 시작되었다. 정부지원으로 삼성테크윈이 초고속모터를 사용하여 175마력급 터보압축기를 2004년에 시장에 내 놓았고, 한국터보기계는 2003년부터 현재까지 50마력부터 300마력까지 직결형 터보 블로워를 900기 이상 공급하였으며, 100-300마력급 터보공기압축기를 상업화 하였고, 또한 뉴로스, 엔틀 등에서도 고속모터 직결형 터보 블로워를 생산하고 있다.

Atlas Copco Energas 는 BOG compressor 와 N2 Compander를 개발하여 LNG 선에 적용하고 있다. 여기서 Expander는 약 20%의 축동력의 회수하는 역할을 수행한다.

Dresser-Rand의 원심압축기가 가장 대표적으로 LNG용 냉매압축기로 적용되고 있으며, 하나의 축에 2-4개의 압축기를 설치하여 10,000RPM 이상에서 구동되고 있다. 모터 또는 엔진과 연결되는 부분이 있으므로, 고가의 Dry Gas Seal을 적용하고 있다. 여기에서 더 나아가 2006년에 이미 고속모터 직결형 제품(ICS)을 발표하고 상업운전을 준비 중에 있다.

선진국에서는 고속회전기계 기술에 대하여 대기업에서 기술을 확보하고 있어 더 이상 정부지원이 없으며, 고속모터 직결형 제품에 대한 개발만이 기업자체적으로 진행되고 있다.

우리나라에서는 플랜트용 고부가 중대형 고속회전기계에 대한 기술이 확보되어 있지 않으며, 이번 과제를 통하여 처음으로 정부지원으로 중대형 고속회전기계를 개발하게 되는 것으로 볼 수 있다.

2003년 이전의 대형 LNG 플랜트의 기술별 건설 현황과 2004년 ~ 2006년 사이의 대형 LNG 플랜트의 기술별 건설 현황을 표 2-10과 표 2-11에 정리하였다.

신규 LNG 플랜트 시장으로서, 새로운 기술들은 바지선(Barge)이나 수송선(Ship)에 공정을 설치하기 위하여 소규모화 (miniaturization) 되고 있음. 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 1) 냉각 순환 공정에서 요구되어지는 압축량 (Compression)과 냉각 순환 공정을 운전하기 위한 Power 그리고 2) 주 액화공정에 적용되는 열교환기의 선택과 설계 및 제작사항이다.

표 2.10 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 <sup>SM</sup> (Cascade) | 2                      | 4.3                     | 3.6                    | 1969 – 1999    | 3.0                  |
| Total               |                                 | 67                     | 119.05                  | 100                    | -              | -                    |

표 2.11 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 <sup>SM</sup> | 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                  |                  |

Kenai plant를 제외한 거의 모든 초기의 플랜트에서는 steam turbine driven compressor를 사용하였다. 현재는 combustion gas turbine (CGT)을 일반적으로 사용하고 있다. 일부 라이선서는 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 고려되고 있다.

최근까지 Spiral wound heat exchanger(SWHE)를 디자인하고 생산하는 APCI가 초저온열교환기 분야를 주도해왔음. Linde 역시 MCHE 설비를 생산했으며 Woodside에 의해 운전되는 Australia의 North West Shelf LNG 플랜트의 Train 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.

#### (4) 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.

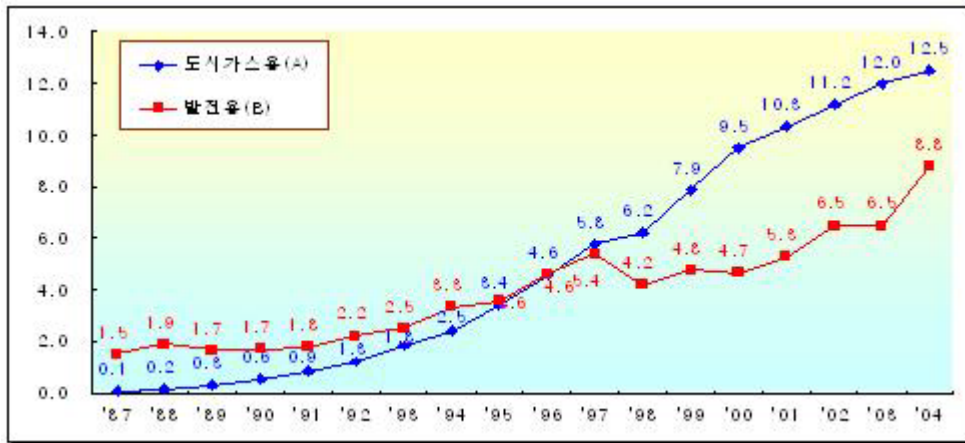


그림 2.9 국내 LNG 소비현황 (2005, 자원에너지 통계, 산업자원부)

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 건설사업에 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 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S 등의 불순물

을 제거하는 공정으로 일반화된 기술(open technology)로 평가된다.

② 액화공정: 국내 업체는 천연가스 액화공정에 대한 원천기술과 응용설계기술에 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 미흡하거나 독립적인 설계 수행능력 부족으로 인하여 해외 시장 진출에 어려움을 겪고 있는 상황이다.

LNG 저장탱크의 경우 특허를 가진 액화공정과 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 되어가는 추세이며, 이는 LNG 저장탱크의 용량 증가를 통하여 시공비용을 절감을 목적으로 하고 있다.

#### 다. 기술수요 및 수준

##### (1) 핵심 액화공정기술

그림 2.10은 대형 천연가스 액화플랜트에 적용되는 기본 공정인 C3MR (Propane Precooling Mixed Refrigerant ) 공정의 개략도이다. 그림 2-7에서 보듯이 LNG 플랜트를 구성하는 주요 기술사항은 다음과 같다.

- ① 효율적인 에너지 소비를 고려한 초저온 열교환망 구성 (공정기술)
- ② 고효율 저에너지 소비의 천연가스 액화를 위한 초저온 열교환 설비의 설계와 제작 (설비 설계/제작 기술):
  - C3 열교환기, C3 압축기
  - 초저온 주열교환기와 콜드박스
  - 냉매열교환기 냉매압축기와 드라이버

- 냉매 분리기, 냉매 컨덴서, C3 컨덴서
- 팽창기

③ 열교환망 구성에 따른 주요 설비의 배치기술 (설계기술) 이다.

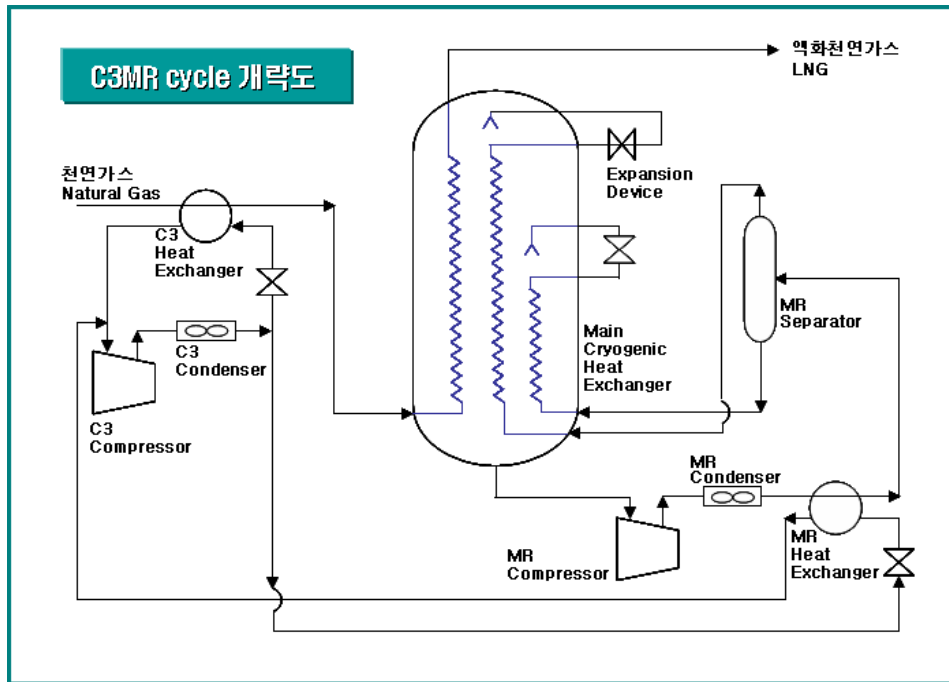


그림 2.10 C3MR 공정 개략도

천연가스는 프로판을 냉매로 사용하는 1차 냉각 열교환 공정을 거친 후 주 초저온 열교환기 (Main Cryogenic Heat Exchanger, MCHE)에서 혼합냉매를 이용한 열교환 공정을 거쳐  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 액화천연가스(LNG)로 전환된다 (그림 2.11).

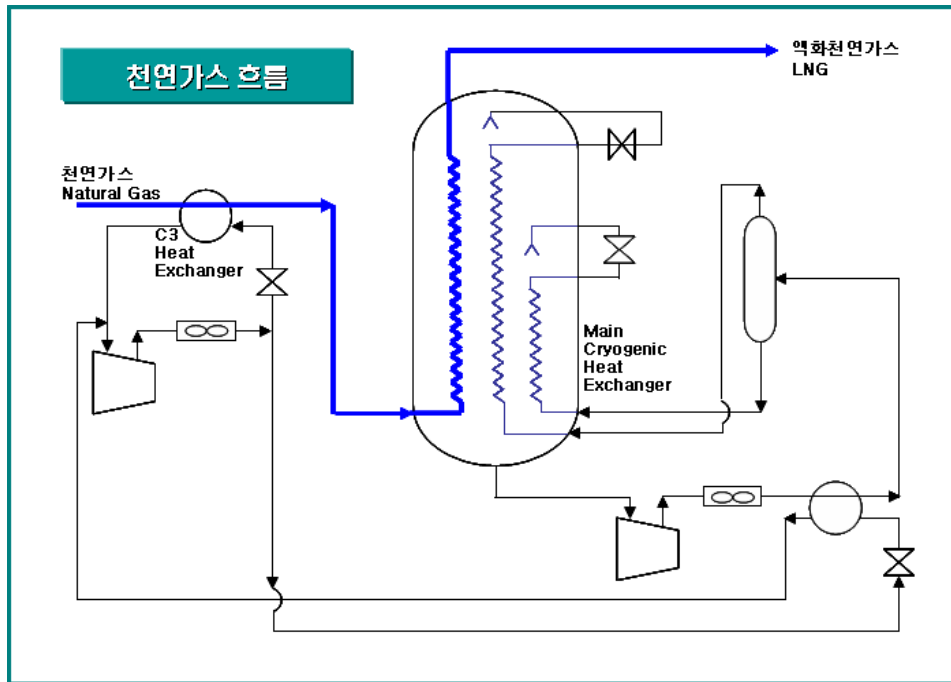


그림 2.11 C3 MR 공정의 천연가스 흐름도

정상운전 상태에서 천연가스는 프로판 냉매 이용 열교환기를 통과하며 1차 냉각되어지고, 이 때 기화된 프로판 냉매 흐름은 압축기를 통과하며 압력이 상승되며 압축열에 의해 온도가 상승된다.

기화와 압축에 의해 온도가 상승된 냉매는 보통 Air Cooler나 Water Cooler를 사용하는 응축기(Condenser)를 거치면서 냉각되고 액화되어짐. 액화된 냉매는 팽창설비 (Expanding device)를 거치며 압력이 낮아지고, 이렇게 낮아진 압력상태에서 열교환기를 거치면서 천연가스의 열을 흡수하여 기화된다 (그림 2-9).

응축기를 통과하며 액화된 프로판 냉매의 일부는 MCHE에 사용되는 혼합 냉매의 1차 냉각 열교환 (MR Heat Exchanger) 공정에 사용된다. 1차 냉각된 천연가스는 MCHE를 통과하며 혼합냉매와의 열교환을 통하여 액화됨. MCHE에서 혼합냉매는 천연가스와의 열교환으로 기화되고, 기화된 혼합냉매는 혼합냉매 압축기를 통과하며 압축되고 응축기와 혼합냉매 열교환기를 거치며 냉각되어진다.

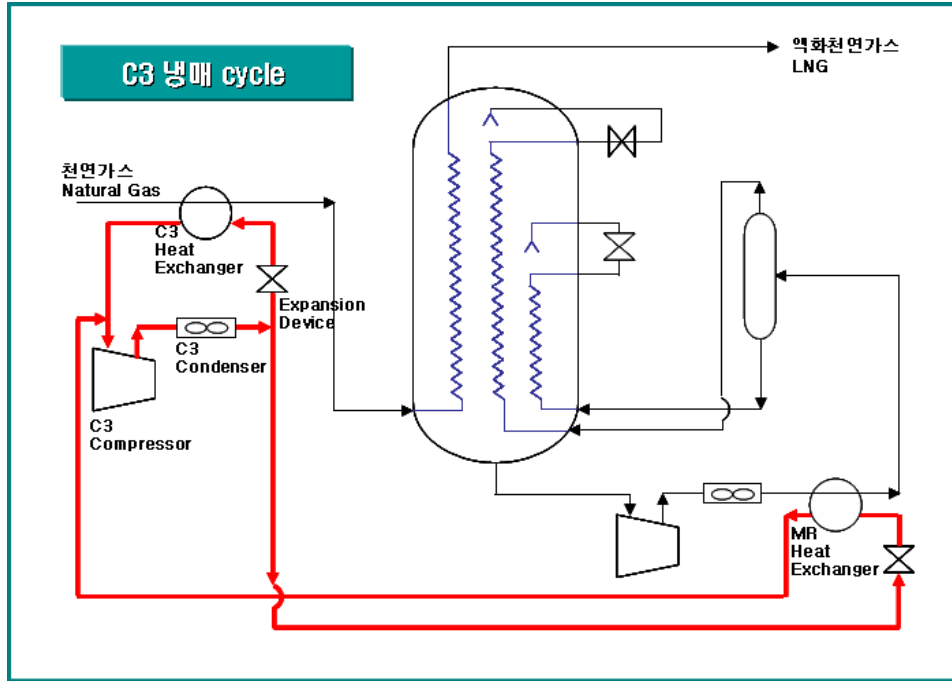


그림 2.12 C3MR 공정의 C3 냉매 흐름도

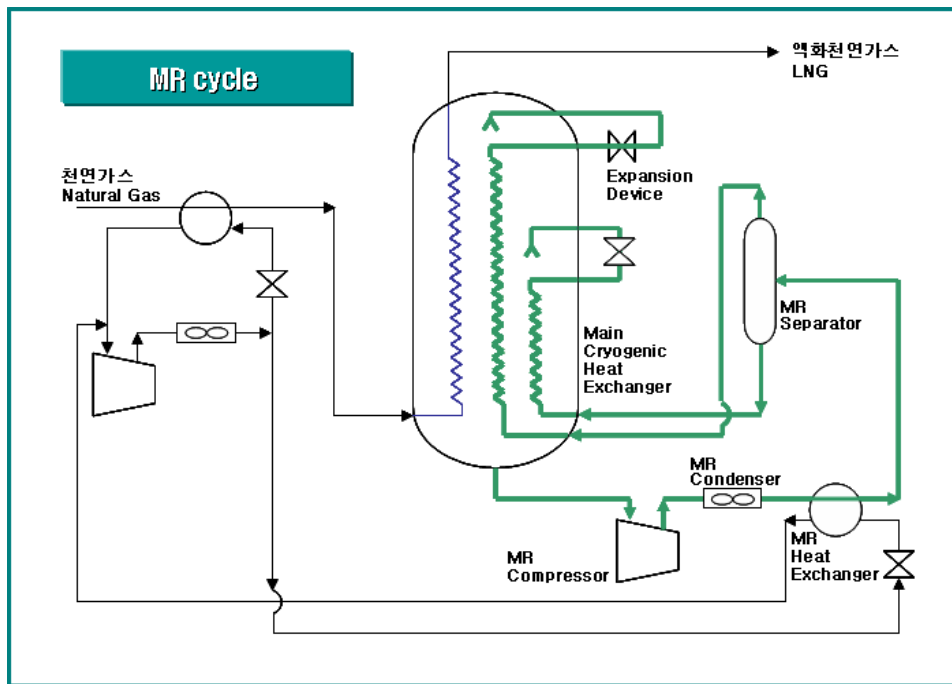


그림 2.13 C3MR 공정의 냉매 흐름도

냉각되어진 혼합냉매는 분리설비 (Separator)를 통과하며 무거운 액상성분과 가벼운 기상성분으로 분리되고 각각은 별도의 흐름을 통하여 MCHE에 유입되

며, MCHE 내에서 1차 냉각되어 유입된 천연가스와의 열교환을 통하여 과냉각된 혼합냉매는 각각 팽창설비를 통과하며 압력이 낮아지게 되고, 낮아진 압력 상태에서 기화하며 천연가스와의 열교환을 하게 되어 천연가스는 최종적으로 -162 °C의 액화천연가스(LNG)로 전환된다.

본 과정과 같이, 냉매 압축, 냉각, 팽창의 순환흐름과정을 통한 천연가스와의 열교환 과정이 물리적으로 일어나는 설비의 구성을 일반적으로 "한 train의 액화플랜트 (a single-train liquefaction plant)" 라고 한다.

냉매의 압축은 일반적으로 여러 단계의 압축기 조합으로 이루어지며, 압축기 사이에 냉각기 (inter-cooling)가 설치되는 series 형식으로 구성되거나 병렬로 구성된다. 압축기의 구동을 위한 드라이버(driver)로는 터빈, 전기모터, 공압모터 등이 사용되어진다. 프로판냉매 cycle에 적용되는 turbine으로는 steam turbine이 주로 사용되는데, 이는 증기 터빈을 운전하기 위해 필요한 증기를 혼합냉매압축기를 구동하는 가스 터빈의 배가스를 냉각하는 열을 회수하여 생산기도 한다.

응축기로는 주로 air-cooler나 water-cooler가 사용된다. 프로판냉매 열교환이나 혼합냉매열교환은 여러 단계의 열교환기의 조합으로 구성된다. 초저온 주 열교환기(MCHE)로는 냉각공정의 기술사에 따라 spiral-wound 형태나 plate-fin 형태의 열교환기가 사용된다.

## (2) 국내 개발여건 분석

국내 건설기술 개발경험이 전무한 LNG 플랜트의 경우에 주요 분야의 기술수준 등이 전반적으로 낮게 평가되었으며, LNG 액화공정과 같은 원천, 핵심 성격의 기술 등은 선진기술 대비 50% 전후의 수준으로 평가되었으며, 전처리기술은 비교적 공개기술이 많아 이보다 높은 70~80% 수준으로 평가되었다.

제2핵심과제와 관련된 기술별 인프라를 조사한 결과를 표 2.13에 요약하였으며, 모든 경우에 인력, 시설, 지원수준 등에 있어서 부족하거나 다소 부족한 실태를 보인다.

부분적으로 요소기술이나 선행기술이 추진되었으나 건설기술로 집약하기에는 많은 기간과 투자가 선행되어야 할 것으로 보인다. 또한 장기적인 시장 전망이 큰 분야로서 해외시장 진출 및 경쟁력을 확보하기 위해서는 허브(HUB)형 기반기술의 발굴과 지원여건의 구축이 필요하다.

대형 LNG 플랜트 개발/상용화하기 위한 수준은 전 분야에 20% 이하 수

준으로 중소형 LNG 플랜트 개발에서 얻어지는 연구 개발의 인프라 및 노하우의 꾸준한 축적이 필요하다.

표 2.12 제2핵심과제 관련 국내기술보유현황 및 수준

| 항목     | 기관      | 기술개발현황          | 수준<br>(국외대비) |
|--------|---------|-----------------|--------------|
| 액화공정기술 | 세종대학교   | 재액화기 공정해석       | 65           |
|        | KAIST   | 극저온 냉동기술        | 50           |
|        | 한국가스공사  | BOG 재액화, 초저온 저장 | 65           |
| 전처리기술  | 성균관대학교  | 개질공정            | 70           |
|        | 화학연구원   | 개질공정            | 80           |
| 열교환기   | KAIST   | 극저온 열교환기        | 55           |
|        | 유니슨     | 컴팩트 열교환기        | 75           |
|        | 생산기술연구원 | 시험평가            | 75           |
| 압축기    | 삼성 테크윈  | 압축기, 터빈         | 75           |
|        | 신영중공업   | 압축기             | 65           |
|        |         |                 |              |

표 2.13 제2핵심과제 핵심기술분야별 인프라 수준

| 기술분야   | 인프라 항목 | 선진국 대비 인프라 수준 |      |    |    |      |
|--------|--------|---------------|------|----|----|------|
|        |        | 부족            | 다소부족 | 동등 | 우월 | 보다우월 |
| 액화공정기술 | 연구인력   |               | √    |    |    |      |
|        | 연구시설   | √             |      |    |    |      |
|        | 지원수준   | √             |      |    |    |      |
| 전처리기술  | 연구인력   |               | √    |    |    |      |
|        | 연구시설   |               | √    |    |    |      |
|        | 지원수준   | √             |      |    |    |      |
| 열교환기   | 연구인력   |               | √    |    |    |      |
|        | 연구시설   |               | √    |    |    |      |
|        | 지원수준   |               | √    |    |    |      |
| 압축기    | 연구인력   |               | √    |    |    |      |
|        | 연구시설   |               | √    |    |    |      |
|        | 지원수준   | √             |      |    |    |      |

초저온 공정이 사용되는 기타 공정 기술 개발 분야 역시 해상액화기지용 액화플랜트 기술 개발을 제외하면 요소기술의 기술수준과 전문인력 보유 수준은 50% 수준이나 인프라 구축 수준이 30%로 적극적인 개발 의지로 연구 인프라를 보강하여 조속한 기술 확보가 가능하다.

사업별 기반역량을 전문가 의견을 토대로 인력 보유현황과 자금 지원수준, 연구개발 인프라, 기술 수준 등을 표 2.14가 같이 종합평가하였다.

표 2.14 LNG 플랜트 분야 기반역량 분석

| 기술명 \ 항목         | 인력보유 | 지원수준  | 개발인프라 | 기술수준 |
|------------------|------|-------|-------|------|
| 대형 천연가스 액화공정 기술  | 낮음   | 아주 낮음 | 아주 낮음 | 낮음   |
| 천연가스 전처리 기술      | 보통   | 아주 낮음 | 낮음    | 보통   |
| 초저온 소재 및 기자재 국산화 | 낮음   | 아주 낮음 | 낮음    | 낮음   |

라. SWOT 분석

플랜트 건설사업 전체 가치사슬(value chain)상에서 기획 및 기본설계, 유지관리 분야의 수준차이가 커 이에 대한 전략적 접근이 시급하다.

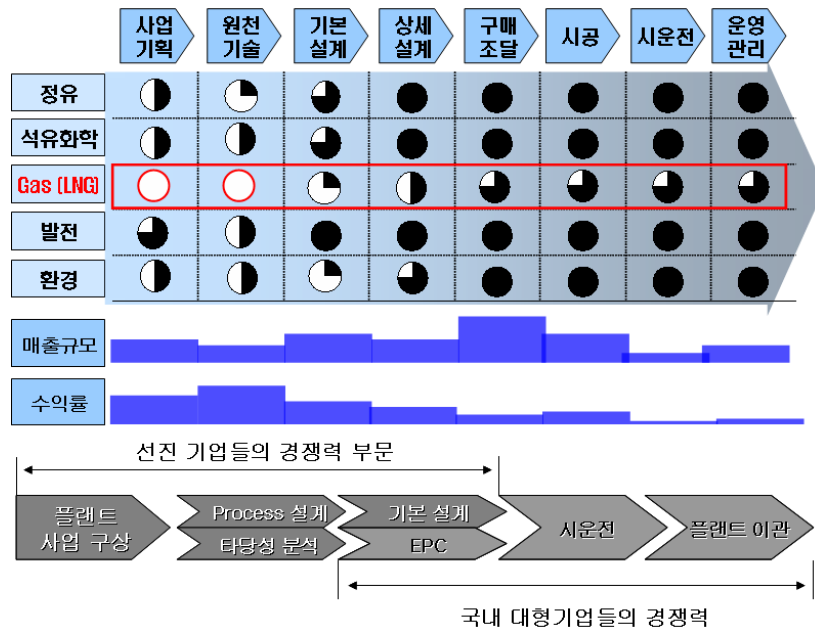


그림 2.14 선진 EPC 기업과 국내기업과의 차이 경쟁력 분석

선진 건설·엔지니어링 업체는 전체 가치사슬을 다양한 형태로 모두 구사하며, 특정한 핵심기술(원천기술-지적재산권이나 노하우 등)로 특화를 하여 주로 라이선스 대여, 기본설계, FEED package 등 고부가가치 분야에 참여하고 있다.

기회요인으로는 세계 천연가스 수요의 증가에 따라 LNG 플랜트 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(축매, 공정 등)과 엔지니어링 능력의 미비를 들 수 있다.

표 2.15 플랜트기술 개발여건 SWOT 분석

|        |       | 강점 (S)   |  | 약점 (W)  |  |
|--------|-------|--|--|---|--|
|        | 시장    | 초저온 분야 핵심기술 개발 역량                                    | 시장   | 기획, 개발형 사업 부재   |  |
|        | 기술    | 대학, 연구소등의 초저온 관련 분야 기반연구 및 관련 설비에 대한 기초연구 실적과 경험 보유. | 기술   | -설계기반기술 취약<br>-기본설계 경험 부족<br>-기본공정설계 사항에 대한 이해 부족   |  |
|        | 국내 수준 | 개발의지 (산,학,연)   | 국내 수준  | 핵심 액화공정 연구/실적 부재  |  |
| 기회 (O) | 시장    | 세계 각국의 에너지 안보차원접근으로 천연가스수요 증가                        | <b>(SO 전략)</b><br><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• 초저온 분야 기술 확대적용</li> <li>• 천연가스 액화공정기술</li> <li>• 요소원천기술 확보</li> </ul> | <b>(WO 전략)</b><br><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계,건설기술 연계 / 융합연구 (초저온 액화공정, 응용설계)</li> <li>• R&amp;D 기반 확충, 인력양성</li> <li>• 테스트베드 성공적 운영</li> </ul>         |  |
|        | 기술    | 실증개념의 테스트베드 조성                                       |  |   |  |
|        | 국내 수준 | 플랜트분야 국가 R&D 확대                                      |  |   |  |
| 위협 (T) | 시장    | 글로벌 기술경쟁 증대 시장진입장벽 (기술, 카르텔)                         | <b>(ST 전략)</b><br><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• 국제 교류 확대</li> <li>• 특성화, 국산화 소재, 장비</li> <li>• 기술개발/실적 확보</li> </ul>  | <b>(WT 전략)</b><br><br><ul style="list-style-type: none"> <li>• 선진업체 기술제휴</li> <li>• 해외전문가 활용</li> <li>• 특화/기반기술 지원 강화</li> <li>• 현지화/동반진출 추진</li> <li>• 연구 성과 홍보</li> </ul> |  |
|        | 기술    | 일부 독점기업의 시장 지배력 강화                                   |  |   |  |
|        | 국내 수준 | 액화공정 개발/설계/건설경험 부재                                   |  |   |  |

빈 페이지

### 3. 세부과제의 목표 및 내용

#### 가. 세부과제의 구성

고효율의 (액화효율 92%) LNG 플랜트 기본공정설계 (Basic Design) 기술 개발과 관련 개발 초저온 천연가스 액화공정의 특허 및 라이선스 확보 목표를 달성하기 위하여 구성된 세부과제는 다음과 같다.

- (제1세부과제) 고효율 LNG 공정기술 개발
- (제2세부과제) 천연가스 전처리기술 개발
- (제3세부과제) LNG 플랜트 열교환기 개발
- (제4세부과제) LNG 플랜트 압축기 개발

표 3.1 제2핵심과제 세부과제 구성

| 세부과제       | 과제 번호 | 세부과제 후보                 | 공모안  |
|------------|-------|-------------------------|------|
| 제1<br>세부과제 | 2-1-1 | LNG 사이클 모사 및 액화공정 개발    | 지정공모 |
|            | 2-1-2 | 천연가스 및 냉매 물성 연구 및 DB 구축 | 분리공모 |
| 제2<br>세부과제 | 2-2-1 | NGL 회수 공정 및 통합기술 개발     | 분리공모 |
|            | 2-2-2 | 가스하이드레이트 생성 억제기술 및 공정개발 |      |
| 제3<br>세부과제 | 2-3   | LNG 플랜트 열교환기 개발         | 분리공모 |
| 제4<br>세부과제 | 2-4   | LNG 플랜트 압축기 개발          | 분리공모 |

#### 나. 세부과제별 목표 및 내용

##### (1) 제1세부과제 : 고효율 LNG 공정기술 개발

##### ◦ 과제의 정의

제1세부과제는 고효율 (액화효율 92%) 천연가스 액화공정 데이터 및 특허를 확보하여 테스트베드 및 대용량(5 Mt/y)급 천연가스 액화공정을 개발하는 과제이다. 이를 위해서 핵심기술인 초저온 액화사이클을 최적화하고 천연가스 액화 플랜트 공정에 사용되는 냉매, LNG 등의 열역학적인 물성 DB 구축 등을 수행한다.

◦ 과제의 목표

- LNG 액화공정
  - 트레인 효율 92% 이상
  - 100 톤/일 급 테스트베드 액화공정
  - 5 Mt/y급 LNG 액화공정
- LNG 액화공정 물성 DB
  - 천연가스
  - 냉매
  - 부수가스

◦ 연차별 목표 및 내용

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

- LNG 액화를 위한 다양한 초저온 냉각 사이클에 대한 비교 분석
- 냉매의 최적 조합에 의한 열역학 사이클 설계
- 엔트로피 생성 최소화 해석  
(EGM; Entropy Generation Minimization 또는 exergy 해석)
- 플랜트 기기의 압력 손실을 고려한 실제 사이클의 최적화 설계
- 초저온 냉매시스템 구성 및 냉각 특성 실험 수행
- 테스트베드용 액화공정시스템 구성
- 테스트베드의 실험 결과를 토대로 액화공정시스템의 공정 설계 수정, 보완

표 3.2 제1세부과제의 연차별 목표 및 내용

| 단계  | 연차 | 목표                          | 내용   |
|-----|----|-----------------------------|--|
| 1단계 | 1  | ○ 액화공정 프로세스 정립              | ○ 선행 연구자료 분석<br>○ 선진사 기술협력 체계 구성                                   |
|     |    | ○ 천연가스/냉매 열역학적 물성, 조성 검증(1) | ○ 선행 연구자료 분석<br>○ LNG 플랜트 선행 건설/운영 DB 분석<br>○ 선진사의 상용 초저온 DB의 비교분석 |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
|   | 2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○액화공정 신규 모델 구성(1)</li> <li>○천연가스/냉매/혼합냉매 열역학적 물성, 조성 검증(2)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>○열역학 사이클 최적화</li> <li>○엔트로피 생성 최소화 액화공정 제시</li> <li>○천연가스, 냉매, 혼합냉매, 부수가스 열역학적 물성, 조성 시험/검증 -유동, 압축, 팽창, 전열 특성 등</li> </ul> |
| 2단계   | 3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○액화공정 신규 모델 보완/정립</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Cold box 열유동 해석 -열평형 해석, 엑서지 해석 -액화공정 공정 계통도 구현</li> <li>○Test bed 적용 모델 제시</li> </ul>                                     |
|   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○열역학적 DB 구축 (천연가스/냉매)</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○물성 시험 결과 종합</li> <li>○DB 플랫폼, GUI 등 개발</li> </ul>  |
|   | 4 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○액화공정 기자재 설계 제작 요건 정립</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○초저온, 초고압 운전특성 해석(응력 등)</li> <li>○액화공정 주요 기자재 표준화</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○Lab scale 평가/검증 (Test bed 건설 병행)</li> </ul> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○액화공정 시뮬레이터 제작/평가</li> <li>○평가 결과 feed back 및 설계 보완</li> </ul>        |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○천연가스/냉매 열역학적 DB 보완</li> </ul>               |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○천연가스/냉매 열역학적 DB pilot plant 적용 및 feedback</li> </ul>                 |  |
| 3단계   | 5 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○액화공정 적용(시공) 기술 표준 도출</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Pilot plant/Testbed 설치, 보완, 운전</li> <li>○Pilot plant/Testbed 운전결과 feedback</li> </ul>                                      |
|   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○천연가스/냉매/부수가스 열역학적 DB 적용/보완</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Pilot plant 및 Testbed 적용 평가</li> <li>○평가 결과 feedback/보완</li> </ul>   |
|   | 6 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○5MTPA 대용량 플랜트 설계</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○5MTPA LNG 액화 플랜트 basic design</li> <li>○BDP(기본공정 설계 패키지) 개발</li> <li>○라이선스 패키지 작성</li> </ul>                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>○천연가스/냉매/부수가스 열역학적 DB 적용/보완</li> </ul>       |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Pilot plant 및 Testbed 적용/feedback</li> </ul>                         |  |

○ 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

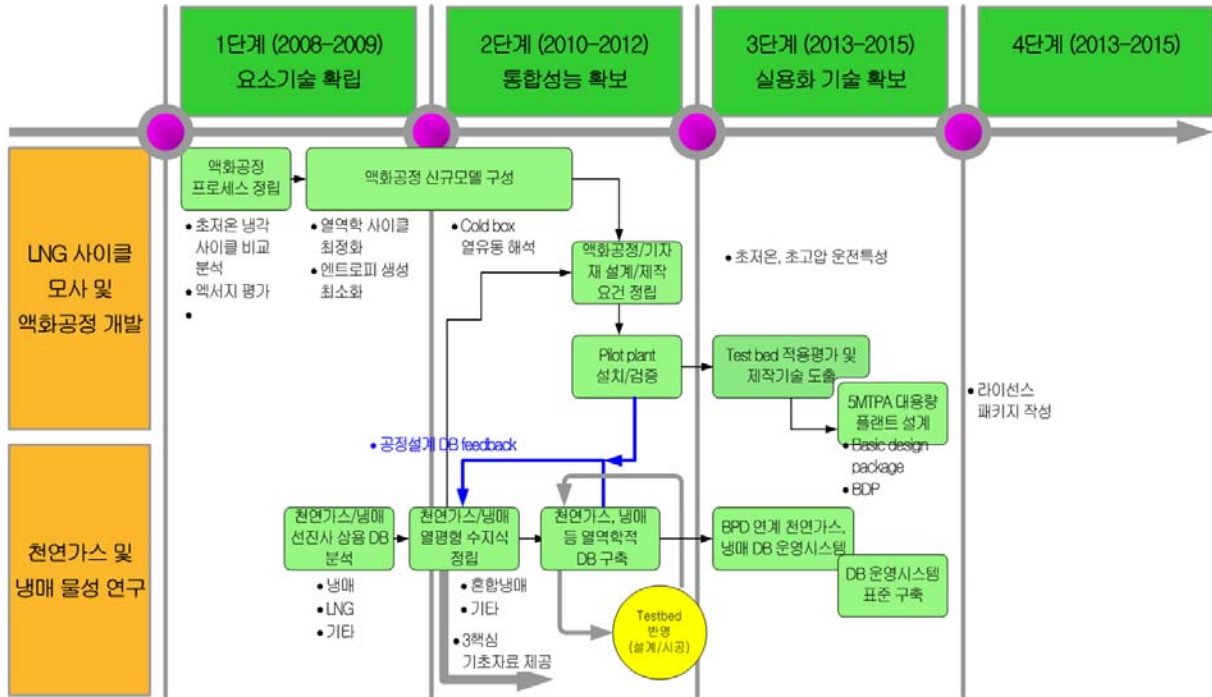


그림 3.1 제1세부과제의 기술개발로드맵



그림 3.2 제1세부과제의 성과로드맵

◦ 성과물 도출계획 구체화

표 3.3 제1세부과제의 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

| 예상성과물                           | 도출시기 | 도출계획   |
|---------------------------------|------|--|
| 초저온 사이클 냉매의 열물성 DB              | 2차년도 | - 1차년도 새로운 성분의 혼합냉매 선정 및 검토 결과와 상평형 측정 장치를 이용 열물성 DB 구축  |
| 냉매시스템 최적조합에 의한 LNG 테스트베드 기초 데이터 | 2차년도 | - 초저온 액화 사이클 최적화를 수행하여 신 공정의 테스트베드 적용을 위한기초 데이터 확보<br>: 냉매시스템의 열물성 DB 활용<br>: 공정 모델링 및 모사 결과의 활용 |
| LNG 액화공정 pilot plant            | 4차년도 | - 초저온 열교환 시스템 구성 및 액화 특성 실험 연구<br>- Cold box 열유동 최적화 설계 및 장치 구성을 통한 평가                           |
| 개발 공정의 경제성 검토 보고서               | 6차년도 | - LNG 플랜트 개발 공정의 최적화 및 경제성 검토  |
| 대용량 LNG 액화공정 설계패키지 (BDP)        |      | - 5MTPA급 대용량 LNG 플랜트에 적용할 수 있는 기본공정설계패키지 (BDP) 완성  |

◦ 테스트베드 적용방안

표 3.4 제1세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

| 개발기술                   | Test bed 적용유무 | Test bed 적용시기 |
|------------------------|---------------|---------------|
| ◦ LNG 테스트베드 기초데이터      | O             | 2단계           |
| ◦ LNG Cold box 설계 및 제작 | O             | 2단계           |

(2) 제2세부과제 : 천연가스 전처리기술 개발

◦ 과제의 정의

제2세부과제는 천연가스 전처리기술로서 수분제거기술, NGL 회수 및 계통연계기술을 개발하는 과제이다. 이는 액화공정의 에너지 효율을 향상시키고 운전의 안정성을 확보하는 데 중요한 기술이다.

◦ 과제의 목표

- NGL 회수공정
  - 에탄 99.5% 이상, 기타 응축물질 99.9% 이상
  - 계통에 통합방법
- 수분제거 공정개발
  - 생성 메커니즘 및 공정응용설계
  - 수분제거 공정개발
  - 계통에 통합방법

◦ 연차별 목표 및 내용

제2세부과제는 1단계에서부터 3단계까지 수행되며 연차별 목표 및 내용은 표 3-5와 같다.

표 3.5 제2세부과제의 연차별 목표 및 내용

| 단계  | 연차 | 목표   | 내용  |
|-----|----|--|---|
| 1단계 | 1  | ○ FEED gas 조성 정립                                 | ○ 선행 연구, 적용 사례 검토<br>○ 산지별 FEED gas 조성 분석<br>○ FEED gas 공정 영향력 분석           |
|     |    | ○ NGL 회수 공정 평가                                   | ○ 선행 사례 검토<br>○ LNG, NGL 조성 분석<br>○ Lab. scale 사전 평가                        |
|     | 2  | ○ 가스 하이드레이트 생성 기작 정립/억제제 기작 규명<br>○ NGL 회수공정 열수지 | ○ 주변환경에 따른 천연가스+물 반응 특성 규명 등<br>○ 가스전 및 전처리의 수분제거 공정분석<br>○ NGL 회수공정 열평형 해석 |

|     |   |                            |  |
|-----|---|----------------------------|--|
|     |   | 평가                         | -Stand alone/integrated type별 해석<br>-Feed gas rich/lean 상태별 해석<br>○소형 시뮬레이터 이용 시험/검증 |
| 2단계 | 3 | ○가스전 수분제거 공정개발             | ○선행 연구, 적용 사례 검토<br>-선진 기업 적용 사례, 공개 특허 등<br>○신공정 개발 및 설계                            |
|     |   | ○NGL 회수공정 LNG 플랜트 연계 계통 도출 | ○Stand alone/integrated type별 LNG 연계 계통 제시<br>○NGL 회수공정 기본설계 개발                      |
|     | 4 | ○Dehydration 공정개발 및 설계     | ○가스 하이드레이트 생성 모델 구축<br>○Lab. 시험을 통한 공정 평가/보완   |
|     |   | ○NGL 회수공정 최적 모델 개발         | ○NGL 회수공정 lab scale 평가<br>○LNG 시장별 NGL 회수공정 경제성 평가                                   |
| 3단계 | 5 | ○가스전 수분제거 공정검증             | ○Lab 시험을 통한 공정평가/보완  |
|     |   | ○NGL 회수공정 testbed 연계 실증 검증 | ○Test bed 연계 시공 및 시험/평가<br>○시험/평가 결과 feedback  |
|     | 6 | ○가스 플랜트 수분제거 공정설계          | ○최적 경제성 모델 제시<br>○적용기법 제시(적용 표준, 시방 등)   |
|     |   | ○NGL 회수공정 및 계통 실용화         | ○최적 경제성 모델 제시<br>○적용기법 제시(적용 표준, 시방 등)   |

◦ 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

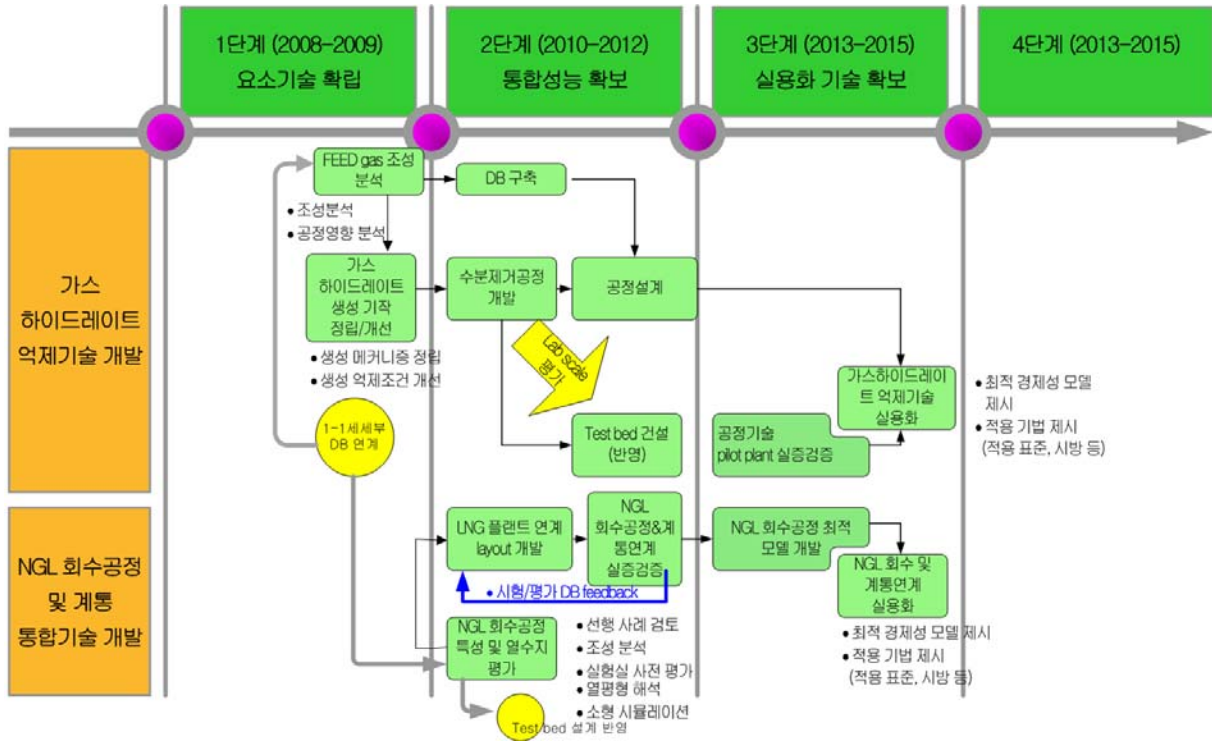


그림 3.3 제2세부과제의 기술개발로드맵



그림 3.4 제2세부과제의 성과로드맵

◦ 성과물 도출계획 구체화

표 3.6 제2세부과제 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

| 예상성과물            | 도출시기 | 도출계획   |
|------------------|------|--|
| 가스하이드레이트 생성메커니즘  | 2차년도 | - 가스하이드레이트 생성 메커니즘 : 원료가스의 다른 불순물과의 관계, 특히 수분과의 상호 작용, 그리고 이들이 원료가스의 압력과 온도 조건에 따른 가스 수화물 생성에 미치는 영향에 대한 상세한 기초연구                                  |
| 수분제거 공정설계        | 4차년도 | - 가스전 전처리에서 수분제거 공정개발 및 기본설계 완성  |
| NGL 회수공정         | 3차년도 | - NGL 회수 공정에 대한 테스트베드 적용 시나리오 제공: Feed Gas 의 조건이 Rich한지 아니면 Lean 여부에 따라 Fractionation여부와 그 정도를 판단, 기술적인 사항과 경제성을 평가하는 방법, Heavy 의 Trim off여부 및 경제성 |
| NGL 회수공정의 계통연계기술 | 5차년도 | - 합리적인 계통구성: 에너지 효율적 측면에선 Integrated 형식, NGL을 Refrigerant 로 공급하는지의 여부, NGL Extraction 설비의 Specification결정  |

◦ 테스트베드 적용방안

표 3.7 제2세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

| 개발기술       | Test bed 적용유무 | Test bed 적용시기 |
|------------|---------------|---------------|
| ◦ 수분제거 공정  | O             | 3단계           |
| ◦ NGL 회수공정 | O             | 3단계           |

### (3) 제3세부과제 : LNG 플랜트 열교환기 개발

#### ◦ 과제의 정의

제3세부과제는 제1세부과제에서 도출되는 액화사이클 기초 데이터를 활용하여 액화공정의 효율 향상에 영향을 미치는 핵심 기자재로 열교환기를 개발하는 과제이다. 개발된 핵심 기자재가 테스트베드에 적용시, 적용된 제품의 시운전 및 정비와 수리에 대한 지원을 수행한다.

#### ◦ 과제의 목표

- 초저온 열교환기
  - 플레이트(plate) 방식
  - 열전달계수
  - 크기 10% 저감
  - 유지보수성 10% 개선

#### ◦ 연차별 목표 및 내용

제3세부과제는 1단계에서부터 3단계까지 수행되며 연차별 목표 및 내용은 표 3.8과 같다.

- 압력과 온도 조건이 바뀔 경우의 전열 특성
- 다양한 냉매의 흐름과 제어
- Three phase flow에서의 전열 특성
- Flow 방향에 따른 성능 특성
- 열교환기 내부에서의 냉매 흐름의 제어기술
- 열교환기 형식에 따른 전열 특성 연구
- 열교환기 재질에 따른 전열 특성
- 내부식성 재료들이 전열 특성에 미치는 영향

표 3.8 제3세부과제의 연차별 목표 및 내용

| 단계  | 연차 | 목표  | 내용  |
|-----|----|---|---|
| 1단계 | 1  | ○ 열교환기 설계/제작<br>적용기술 정립                           | ○ 선진사 보유기술 정립<br>○ 특허조사, 개선·최적화 방안 도출<br>- Sprial wound type, palte fin type 등  |
|     | 2  | ○ 열교환기 설계요소 평가<br>○ 열교환기 기본설계                     | ○ 열교환기, 냉매(혼합냉매) 등 물성 정립<br>- 기초자료 조사, lab. scale test<br>○ 열교환기 type별 설계요소 평가<br>○ 열교환기 기본설계(plate type)<br>- Cold box 내 연관 구성품 연계 |
| 2단계 | 3  | ○ Cold box(열교환기)<br>설계/제작                         | ○ 열교환기(plate type) 설계/제작<br>- 선진기업(열교환기 제조사) 협력   |
|     | 4  | ○ 열교환기<br>- Pilot plant 적용/검증<br>- Test bed 연계 적용 | ○ 열교환기 실증 평가/보완<br>- Pilot plant 평가 : 다변수 적용 test<br>○ Test bed 적용  |
| 3단계 | 5  | ○ 열교환기 scale up 기술<br>확보                          | ○ Pilot plant 이용 열교환기, 압축기 용량<br>가감에 따른 운전 특성 평가/설계 보완  |
|     | 6  | ○ 성능개선 열교환기<br>실용화                                | ○ 최적 열교환기 표준 모델 제시<br>○ 열교환기 설계 표준, 제작 시방,<br>활용(운전) 가이드 등 작성   |

◦ 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

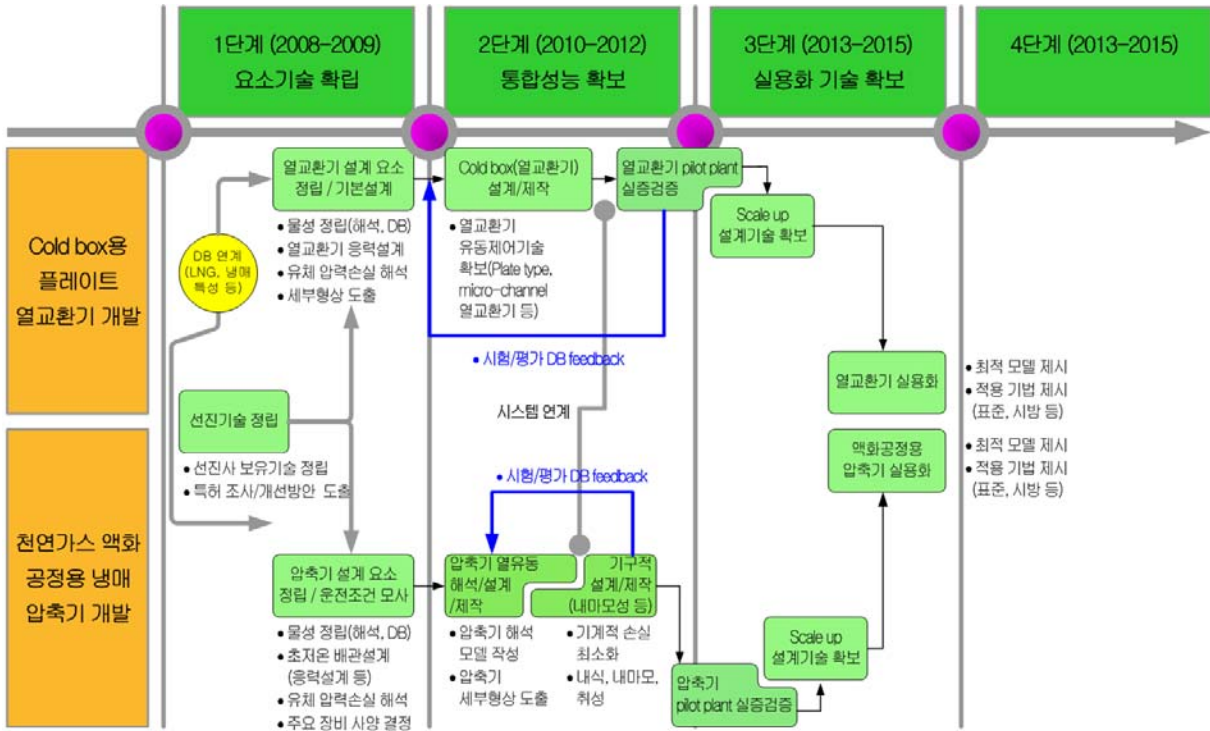


그림 3.5 제3 및 4세부과제의 기술개발로드맵



그림 3.6 제3 및 4세부과제의 성과로드맵

- 성과물 도출계획 구체화

표 3.9 제3세부과제의 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

| 예상성과물         | 도출시기 | 도출계획  |
|---------------|------|---|
| plate 설계자료    | 2단계  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고효율 초저온 열교환기 유로와 형상 등 형식을 선택</li> <li>- 전체 천연가스 액화공정의 효율을 향상시키고 부하 변동에 대한 특성을 예측</li> <li>- 열교환기 내부의 전열관계, 압력과 온도 조건에 따른 열교환기 특성, 성능 그리고 냉매의 흐름과 제어기술</li> </ul> |
| plate 열교환기 제작 | 3단계  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 재료 및 생산공법 표준화: 대형화에 따른 접합 기술 분석 및 개발 등</li> <li>- 성능 및 안정성 시험, 평가, 인증</li> <li>- 테스트베드 적용 및 피드백</li> </ul>   |

- 테스트베드 적용방안

표 3.10 제3세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

| 개발기술         | Test bed 적용유무 | Test bed 적용시기 |
|--------------|---------------|---------------|
| ◦ plate 열교환기 | ○             | 3단계           |

#### (4) 제4세부과제 : LNG 플랜트 압축기 개발

##### ◦ 과제의 정의

제4세부과제는 제1세부과제에서 도출되는 액화사이클 기초 데이터를 활용하여 액화공정의 효율 향상에 영향을 미치는 핵심 기자재로 압축기를 개발하는 과제이다. 개발된 핵심 기자재가 테스트베드에 적용시, 적용된 제품의 시운전 및 정비와 수리에 대한 지원을 수행한다.

##### ◦ 과제의 목표

- 혼합냉매 압축기
  - 혼합냉매 사용 가능
  - Mach No 0.85 이하
  - 에너지손실 저감
  - 유지보수성 10% 개선

##### ◦ 연차별 목표 및 내용

제4세부과제는 1단계에서부터 3단계까지 수행되며 연차별 목표 및 내용은 표 3.8과 같다.

- 압축기 내부에서의 유공압적 제어기술
- 압축기 형식에 따른 압축능력 특성 연구
- 압축기 형상에 따른 효율 특성
- 압축기구조들이 운전 특성에 미치는 영향

표 3.11 제4세부과제의 연차별 목표 및 내용

| 단계  | 연차 | 목표   | 내용  |
|-----|----|--|---|
| 1단계 | 1  | ○ 압축기 설계/제작<br>적용기술 정립   | ○ 선진사 보유기술 정립<br>○ 특허조사, 개선·최적화 방안 도출<br>- 터빈구동 방식<br>- 전기구동 방식 : 유도전동기, 영구자석   |
|     | 2  | ○ 압축기 설계요소 평가<br>○ 압축기 운전조건 모사                                   | ○ 압축기, 냉매(혼합냉매) 등 물성 정립<br>- 기초자료 조사, lab. scale test, 해석<br>○ 압축기 초저온 배관계통 응력 해석<br>○ 유체 압력손실 해석<br>○ 압축기 운전 모델 작성<br>○ 주요 구성품 사양 검토 |
| 2단계 | 3  | ○ 압축기 설계/제작  | ○ 압축기 설계<br>- 유공압적 해석(운전 모델 이용)<br>- 기구학적 해석(내식성, 내마모성 등 기계적 손실 반영)<br>○ 압축기 세부형상 도출<br>○ 선진기업 협력                                     |
|     | 4  | ○ 압축기 제작<br><br>○ 압축기<br>- Pilot plant 적용/검증<br>- Test bed 연계 적용 | ○ 주요 구성품 설계/제작<br>- 선진기업 협력<br><br>○ 압축기 실증 평가/보완<br>- Pilot plant 평가 : 다변수 적용 test<br>○ Test bed 적용                                  |
| 3단계 | 5  | ○ 압축기 scale up 기술 확보   | ○ Pilot plant 이용 압축기 용량 가감에 따른 운전 특성 평가/설계 보완<br>○ 압축기 용량 가감 설계기법 작성  |
|     | 6  | ○ 성능개선 압축기 실용화   | ○ 최적 압축기 표준 모델 제시<br>○ 압축기 설계 표준, 제작 시방, 활용(운전) 가이드 등 작성  |

- 시계열 미시기술개발 및 성과로드맵

그림 3.5 및 3.6 참고

- 성과물 도출계획 구체화

표 3.12 제4세부과제의 연구 성과물 및 구체적인 도출 계획

| 예상성과물        | 도출시기 | 도출계획   |
|--------------|------|--|
| 압축기 임펠러 설계자료 | 2단계  | - 고효율/무보수<br>- 드라이버 연결방법<br>- 임펠러 등 공력설계<br>- 기계적 손실저감기술     |
| 압축기 제작       | 3단계  | - 재료 및 생산공법 표준화<br>- 성능 및 안정성 시험, 평가, 인증<br>- 테스트베드 적용 및 피드백 |

- 테스트베드 적용방안

표 3.13 제4세부과제 성과의 테스트베드 적용방안

| 개발기술  | Test bed 적용유무 | Test bed 적용시기 |
|-------|---------------|---------------|
| ◦ 압축기 | ○             | 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 3.11에 정리하였다.

표 3.14 전문가위원회의 회의 일정과 내용

| 차수 | 사전기획                      | 상세기획  |
|----|---------------------------|---|
| 1차 | 2007년 11월19일<br>(대한상공회의소) | <input type="checkbox"/> 가스플랜트사업단과제 소개<br><input type="checkbox"/> LNG 분야 사전기획 내용 검토<br><input type="checkbox"/> 상세기획연구 내용 및 추진방향 논의  |
| 2차 | 2007년 11월29일<br>(대한상공회의소) | <input type="checkbox"/> 상세기획 주요 Points 대응 안 도출<br><input type="checkbox"/> 테스트베드의 전략적 필요성/위치/활용방안<br><input type="checkbox"/> 세부과제수요조사서를 기반으로 세부과제 및 과제간 조율안 논의<br><input type="checkbox"/> 향후 상세기획 추진 전략 논의 |
| 3차 | 2007년 12월11일<br>(대한상공회의소) | <input type="checkbox"/> 핵심/세부과제, 전략 및 일정 안 검토<br><input type="checkbox"/> 상세기획 기본구도 협의<br><input type="checkbox"/> 세부과제 소그룹 확정<br><input type="checkbox"/> 향후 상세기획 추진 전략 논의                                  |
| 4차 | 2008년 1월14일<br>(현대엔지니어링)  | <input type="checkbox"/> 세부과제 구성 협의<br><input type="checkbox"/> 세부과제 추가 건에 대한 협의<br><input type="checkbox"/> 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 3.13과 표 3.14에 정리하였다.

표 3.15 사전기획 대비 제1세부과제의 상세기획 내용 비교

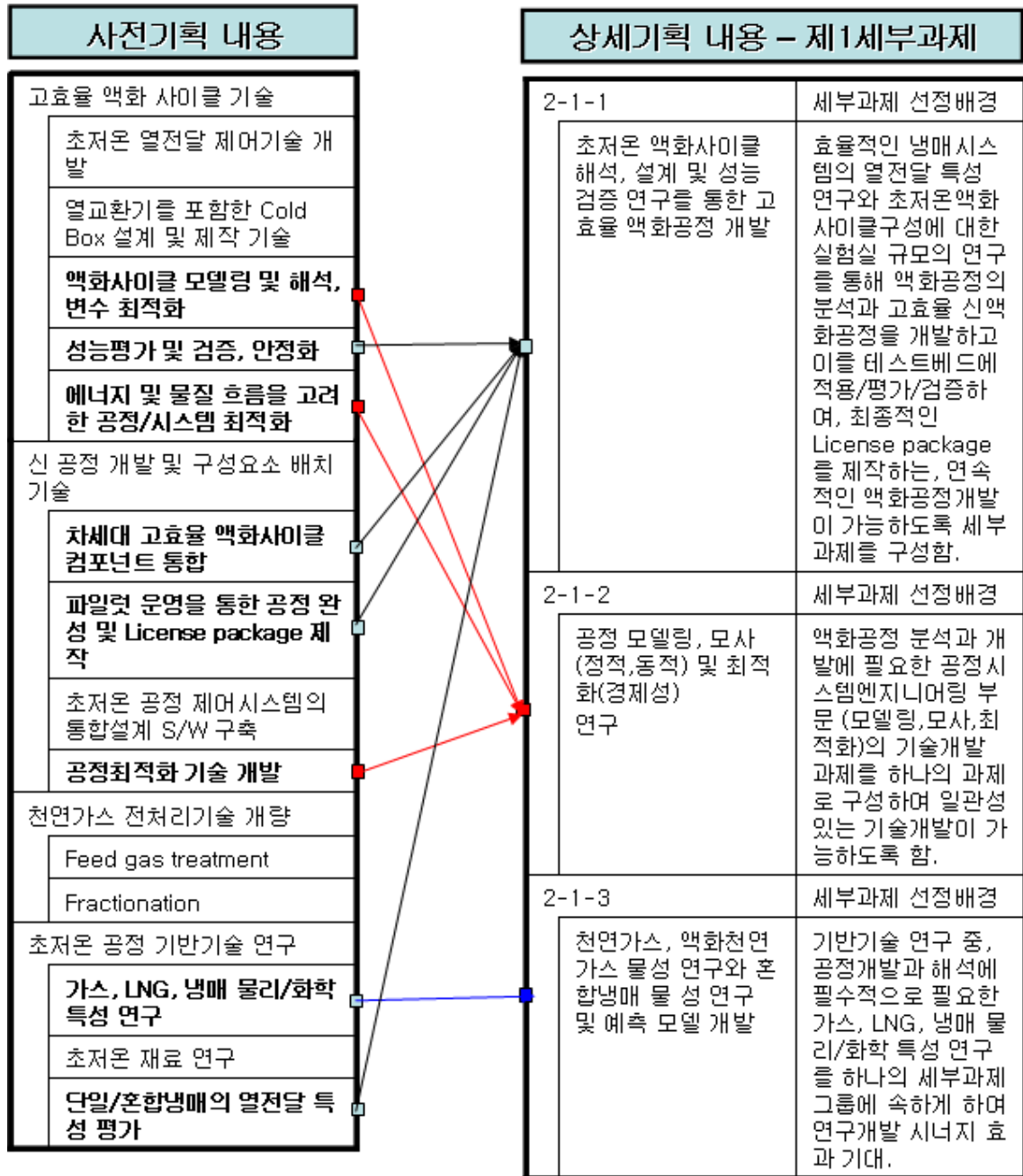


표 3.16 사전기획 대비 제2세부과제의 상세기획 내용 비교

| 사전기획 내용   | 상세기획 내용 - 제2세부과제                   |   |
|---|------------------------------------|---|
| <b>고효율 액화 사이클 기술</b><br>초저온 열전달 제어기술 개발<br>열교환기를 포함한 Cold Box 설계 및 제작 기술<br>액화사이클 모델링 및 해석, 변수 최적화<br>성능평가 및 검증, 안정화<br>에너지 및 물질 흐름을 고려한 공정/시스템 최적화 | 2-2-1<br>가스하이드레이트 생성연구 및 생성억제기술 개발 | 세부과제 선정배경<br>해외전문가 자문에 의한 LNG 플랜트 EPC 사업에 필요한 핵심 요소기술로 추가됨                                |
| <b>신 공정 개발 및 구성요소 배치 기술</b><br>차세대 고효율 액화사이클 컴포넌트 통합<br>파일럿 운영을 통한 공정 완성 및 License package 제작<br>초저온 공정 제어시스템의 통합설계 S/W 구축<br>공정최적화 기술 개발           | 2-2-2<br>천연가스전처리 기술 및 NGL 회수공정 연구  | 세부과제 선정배경<br>사전기획의 fractionation 기술을 NGL 회수공정 기술 연구로 구체화하고 전처리 기술에 포함되는 사항이므로 하나의 과제로 구성함 |
| <b>천연가스 전처리기술 개량</b><br>Feed gas treatment<br>Fractionation   |                                    |   |
| <b>초저온 공정 기반기술 연구</b><br>가스, LNG, 냉매 물리/화학 특성 연구<br>초저온 재료 연구<br>단일/혼합냉매의 열전달 특성 평가   |                                    |   |

■ 초저온 재료연구와 병행하여 소재 및 부품 연구를 추가함. 제3핵심의 설계기술개발과제에서 위탁연구로 수행

표 3.17 사전기획 대비 제3세부과제의 상세기획 내용 비교

| 사전기획 내용   | 상세기획 내용 - 제3세부과제   |  |
|---|--|--|
| <b>고효율 액화 사이클 기술</b><br>초저온 열전달 제어기술 개발<br>열교환기를 포함한 Cold Box 설계 및 제작 기술<br>액화사이클 모델링 및 해석, 변수 최적화<br>성능평가 및 검증, 안정화<br>에너지 및 물질 흐름을 고려한 공정/시스템 최적화 | 2-3-1  | <b>세부과제 선정배경</b><br>Cold Box 설계 및 제작기술 연구<br>Cold box는 열교환기 및 기액분리설비, 초저온배관등을 포함하는 장치로, 열교환기의 기술개발과는 다른 내용의 기술개발 및 국산화 제작기술이 필요함. Cold Box내 초저온 유체 흐름의 연구를 통한 효율적인 Cold Box 제작기술의 확보가 필요함. |
| <b>신 공정 개발 및 구성요소 배치 기술</b><br>차세대 고효율 액화사이클 컴포넌트 통합<br>파일럿 운영을 통한 공정 완성 및 License package 제작<br>초저온 공정 제어시스템의 통합설계 S/W 구축<br>공정최적화 기술 개발           | 2-3-2  | <b>세부과제 선정배경</b><br>고효율 초저온 열교환기 설계 및 제작 기술 개발<br>사전기획 내용이 반영됨   |
| <b>천연가스 전처리기술 개량</b><br>Feed gas treatment<br>Fractionation   | 2-3-3  | <b>세부과제 선정배경</b><br>초저온 냉매용 회전기기 설계 및 제작 기술 개발<br>LNG 플랜트를 구성하는 주요 핵심설비는 열교환기와 압축기등의 회전기기임. 사전기획에서 누락된 부분으로 압축기를 포함하는 회전기기의 설계기술 및 국산화 생산기술 개발의 필요성이 전문가회의와 해외전문가 자문을 통해 도출됨.              |
| <b>초저온 공정 기반기술 연구</b><br>가스, LNG, 냉매 물리/화학 특성 연구<br>초저온 재료 연구<br>단일/혼합냉매의 열전달 특성 평가   | 제3핵심과제 3-1-2의 공정제어설계기술연구로 통합 상세설계 성과물인 P&ID의 주요 핵심기술로, 제3핵심의 설계기술개발에 포함시킴. |  |

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 3.7 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<br>(주관수행기관, 연구책임자)  | 연구기간                | 연구개요  | 중복성 검토   |
|-------------------------------|---|---------------------|---|--|
| 산업자원부<br>(부품소재<br>기술개발사업)     | LNG BOG 재액화 장치 국산화 개발<br>(㈜신영중공업, 홍의석)                          | 2005.06~<br>2008.05 | - 체계 및 요소기기 해석과 설계기술 개발<br>- BOG 재액화 250kg/h 처리능력급 pilot 장치 개발<br>- Full scale system 설계(BOG 재액화 5000kg/h 처리능력)   | 가스플랜트사업단 과제의 개발 내용과 다른 FEED와 액화사이클 개발<br>--> 중복성 문제 없음 |
|                               | 액화가스용 극저온 Metal Seat Butterfly Valve 개발<br>(㈜범한금속공업, 진교정)       | 2003.04~<br>2004.03 |   | 초저온 공정에 대한 Valve류 개발로 향후 개발 성과품을 Test Bed에 적용 가능       |
|                               | LNG선용 글로브 밸브 기술 개발<br>(㈜에이스브이)                                  | 2006.06~<br>2009.05 |   | 가스플랜트사업단 과제와의 중복성 없음                                   |
|                               | 초저온용 밸브의 선형시험 가방법에 대한 표준화연구<br>(서광공업(주), 김운철)                   | 2005.06~<br>2007.05 |   |  |
| 산업자원부<br>(4개시도<br>전략산업육성2단계)  | 극저온 액체수소 저장, 운송설비의 밸브류 기술<br>(㈜에이스브이, 구유희)                      | 2005                | - 극저온(-253℃) 10bar 및 250bar의 액체수소 저장 탱크의 각종 밸브류에 대한 설계기술 개발, 제작기술개발 및 시제품 제작  |  |
|                               | 양방향 금속시트구조의 LNG 운반선용 극저온가스 차단밸브 개발<br>(㈜범한금속공업, 박성준)            | 2005                | - LNG 선용 배관에 사용할 극저온 이중편심형 Butterfly Valve 개발<br>- 배관 유형별 구조 특성 및 기능분석, PIV 와 CFD에 의한 유동 메커니즘 분석<br>- 극저온(-196℃)조건인 핵심소재와 부품개발, 극저온ButterflyValve 최적구조설계 개발<br>- Hydraulic Actuator Type 시제품 제작 및 기능 평가, 성능평가 및 평가시스템 구축<br>- 제품의 반응성, 기밀성, 내구성, 화염시험을 통한 신뢰성 확보, 설계/양산 기술 확보 |  |
| 과학기술부<br>(21C 프론티어연구<br>개발사업) | 극저온 냉동기 및 열전달 기구 해석 기법 개발<br>(차세대 초전도 응용기술개발사업단)<br>(㈜뉴로스, 김승우) | 2001.09~<br>2004.07 | - 극저온 냉동기의 핵심 구성품인 압축기, 열교환기, 터빈, 고속모터/발전기, 모터<br>드라이브 및 Coldbox의 개발을 완료하고 시제품 1조를 제작, 조립<br>- 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<br>(한국터보기계, 이현석)                       | 2007.10~<br>2010.09 |   |  |
| 산업자원부<br>(표준기술력<br>향상사업)      | LNG 저장탱크의 설계안전 규격 및 표준화 기술개발<br>(한국가스안전공사, 권부림)                 | 2005.06~<br>2008.05 |   | 저장탱크에 대한 표준화 내용으로 LNG 공정/설계기술 개발과제와의 중복성 문제 없음         |

### (3) 특허분석

주요 LNG 플랜트 공정/설계기술 키워드를 이용하여 특허청에 수행한 특허 분석 내용을 정리하였다

#### ◦ 특허 검색을 위한 주요 키워드

건설교통 기술분야는 복합기술 분야로 IPC/UPC 분류만으로는 특허문헌에 대한 정확한 검색이 불가능한 경우가 많아, 키워드 검색이 불가피하고, 적절한 검색식의 활용이 절대적으로 중요하다.

건설교통 기술분야의 특허 및 논문 검색을 위한 검색식 구성 예시 : 기술 분야별로 같은 용어에 대해 다양한 용어가 혼용되므로 검색식 구성을 위한 다양한 키워드에 대한 검색을 선행하였다.

|   |
|---|
| <p><b>재료 :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Natural Gas (NG), Liquefied Natural Gas (LNG)</li> </ul> <p><b>공정 : (process, system, plant)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Liquefaction, Cryogenic (liquefaction), Refrigeration</li> <li>- Refrigerant</li> </ul> <p><b>설비 :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cryogenic heat exchanger</li> <li>- Compressor/driver</li> <li>- Expander</li> <li>- Storage Tank</li> </ul> <p><b>조합 예)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LNG production</li> <li>- Cryogenic natural gas processing (plants)</li> <li>- (Natural) gas liquefaction process <ul style="list-style-type: none"> <li>- Liquefaction of Natural gas</li> </ul> </li> <li>- Refrigeration process for LNG production</li> <li>- Dual independent expander refrigerant cycles</li> <li>- Refrigerant system for LNG</li> </ul> |
|---|

◦ 특허 분석 범위

본 분석에서는 연구 성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여 1975년 1월 ~ 2005년 12월까지 출원 공개된 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개특허와 1976년 1월 ~ 2006년 12월까지 출원 등록된 미국등록특허를 분석 대상으로 하였다.

표 3.19 국가별 분석구간 및 특허건수

| 자료 구분            | 국 가 | 전체분석구간    | 정량분석 대상특허 | 정성분석 대상특허 |
|------------------|-----|-----------|-----------|-----------|
| 공개특허<br>(출원일 기준) | 한국  | 1975 ~ 현재 | 108       | 108       |
|                  | 일본  | 1975 ~ 현재 | 965       | 965       |
|                  | 유럽  | 1978 ~ 현재 | 309       | 309       |
| 등록특허<br>(등록일 기준) | 미국  | 1976 ~ 현재 | 450       | 466       |
| 합계               |     |           | 1,832     | 1,848     |

◦ 특히 분석 주요 결과

- 미국: 액화천연가스 공정 기술관련 특허 점유율 독보적 1위: 미국등록특허에서 LNG 공정관련 기술은 미국 출원인이 65%의 높은 점유율을 차지하는 것으로 나타났고, 유럽특허 역시 미국 출원인이 약 40%를 점유하는 것으로 나타났으며, 한국특허에서도 미국인 출원이 약 30%를 차지하여 외국출원인들 중 1위를 기록하였다.

미국은 시장력(PFS)를 포함한 5개의 분석지표에서 모두 1위를 차지하여 LNG 공정관련 기술 분야에서 기술경쟁력이 높은 국가로 나타났다. 미국특허에서 혁신리더는 미국의 Air Products and Chemicals사 42건, Praxair Technology사 12건, Helix Technology사 10건 순이다.

- 한국: 액화천연가스 공정 기술 경쟁력 종합 순위에서 하위권임: 한국은 건수(PN), 과학력(SS)과 같은 양적수준 평가지표와 기술력(TS), 영향력(PII)와 같은 질적 수준 평가지표에서 상위 10위 순위권에도 진입 하지 못하여 양적수준과 질적 수준 모두 낮은 것으로 분석되었다.

- 주요국가의 역점기술 분야는 한국과 독일은 '저장기술', 미국은 '액화공정 기술', 프랑스와 일본은 '전처리 기술' 분야에서 역량을 집중하고 있는 것으로 분석되었다.

- 액화천연가스 공정 기술 분야에서 미국과 유럽은 Air Products and Chemicals사가, 한국에서는 엘지전자 주식회사가 주요 혁신리더로 나타났다.

- 유럽특허에서 혁신리더는 미국의 AIR PRODUCTS AND CHEMICALS사와 네덜란드의 SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V.가 각각 22건을 보유하고 있고, 프랑스의 L'AIR LIQUIDE S.A.와 미국의 PRAXAIR TECHNOLOGY사가 12건을 보유하고 있다.

- 미국특허에서, 미국은 1992~2006년까지 양적 및 질적 수준이 증가하여 기술경쟁력이 높아지고 있으나, 일본은 최근 양적·질적 수준 모두 감소하여 LNG 공정관련 기술 분야의 기술경쟁력이 낮아지고 있는 것으로 판단되고, 한국은 다른 국가에 비해 양적·질적 수준이 매우 낮은 위치에 있는 것으로 분석되었다.

- 액화천연가스 공정 기술은 고효율 복합 사이클(cycle)방식으로 발전: 액화천연가스 공정 중 천연가스 액화공정 기술은 플랜트 사업성에 큰 영향을 미치는 인자로, 플랜트의 규모, 가스의 조성, 목적, 입지 등을 고려하여 기존의 개발된 사

이클(cycle)의 이점을 조합한 복합 사이클 형태로 발전하고 있다.

- 액화천연가스 공정 기술 중 천연가스 액화공정 기술 분야에서는 Air Products and Chemicals사의 폐쇄 루프 단일성분에 의한 냉동 사이클을 혼합성분 냉매 액화공정에 추가시켜 천연가스를 예비 냉각시키는 액화공정에 대한 US 4755200과 US 4277949가 가장 영향력 있는 특허 (C3MR 공정)이다.

- 액화천연가스 공정 기술은 거의 모든 분야에서 높은 특허장벽이 구축되어 있음: Air Products and Chemicals사 등 주요 출원인들은 천연가스 정제기술, 전처리 공정을 거친 천연가스를 초저온 열교환 장치를 통하여 액화시키는 액화공정기술 및 생산된 액화천연기스를 저장하는 기술 등에 끊임없는 개량발명과 공동연구개발을 통하여 차별화 및 기술적 장벽을 강화하고 있다.

- 액화천연가스 공정 기술은 기술개발 성숙기 단계로 친환경 에너지 관련 핵심 기술이자 주요 과제: 액화천연가스 공정 기술은 액화공정을 통하여 액체 연료로 전환하는 기술로서, 다양한 종류의 냉매시스템 구성과 초저온 열교환망의 구성이 열역학적 유용성, 건설비, 운전비 등을 감안하여 종합적으로 설계하는 것이 앞으로 액화천연가스 공정/설계 기술개발의 커다란 과제이다.

#### ① 포트폴리오로 본 LNG 공정기술 분야의 위치 (그림 3-9)

- 특허건수와 출원인수 변화의 상관관계를 통해 기술의 위치를 살펴보는 포트폴리오 기본 모델에서, 한국특허 및 유럽특허는 발전기 단계에 있는 것으로 나타났고, 미국특허 및 일본특허는 발전기 단계에서 성숙기 단계로 진입하고 있는 것으로 나타남

- LNG 공정기술 분야의 한국특허와 유럽특허 동향은 기술혁신의 주체인 출원인수와 기술혁신의 결과인 특허건수가 동시에 증가함에 따라, 포트폴리오 기본 모델에서 발전기에 해당하는 것으로 나타남. 미국특허와 일본특허는 발전기에서 성숙기로 넘어가고 있는 것으로 나타났음

#### ② 특허점유율에 따른 특허 증가율(그림 3.10)

- 한국특허는 저장기술 분야가, 미국, 일본, 유럽특허는 액화공정기술 분야가 다른 기술 분야에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타남. 특히, 한국은 액화공정기술의 특허증가율이 미국, 일본, 유럽에 비해 매우 저조하여 앞으로 연구개발 투자가 이루어져야 할 것으로 판단

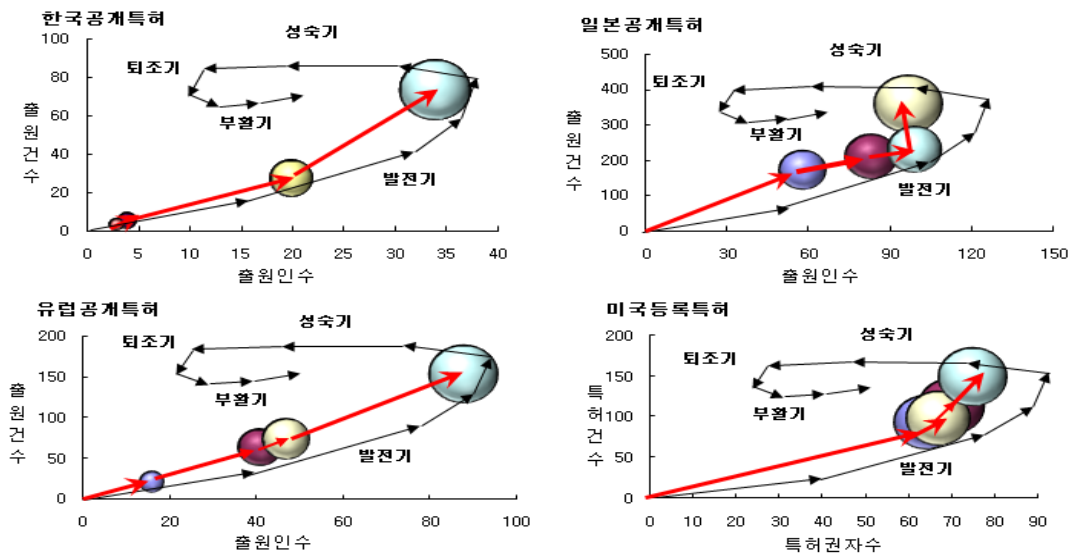


그림 3.8 포트폴리오로 본 LNG 공정기술 분야의 위치

- ※ 1. 분석구간 : 한국, 일본, 유럽 - '74-'81, '82-'89, '90-'97, '98-'05(출원년도)  
미국 - '75-'82, '83-'90, '91-'98, '99-'06(등록년도)
- 2. X축 : 출원인수(특허권자수), y축 : 출원건수(특허건수)

③ 질적 수준을 고려한 각국의 시장력 (그림 3.11)

- 특허가 기술적으로 영향을 미치는 정도(피인용도의 비율)와 연구주체가 시장(패밀리 특허)의 확보를 위한 노력하는 정도를 평가하기 위함
- 미국은 기술영향력과 시장성확보와의 관계가 평균을 상회하고 있고, 프랑스, 일본, 독일, 영국의 기술영향력은 평균을 넘어서고 있으나, 시장성확보에서는 아직 미국에 미치지 못하고 있는 것으로 나타남
- 한국의 경우 미국 내 등록건수가 적어서 기술영향력과 시장성 확보에 대한 정확한 언급이 불가함. 단, 미국 내에서의 한국의 특허 활동이 매우 미흡한 점이 나타나고 있음

④ 주요국가의 기술력 비교 (그림 3.12)

- 미국등록특허에서 기술수준을 측정하는 3가지 지표(특허등록건수, 영향력지수(PII), 기술력 지수(TS))를 통해 국가별 분포를 살펴본 결과, 미국은 특허등록건수, 영향력지수 및 기술력지수 모두에서 모두 1위를 차지하여 LNG 공정기술 분야에서 타국과 대비하여 양적수준과 질적 수준이 매우 높은 것으로 나타남

- 프랑스, 영국, 독일 및 캐나다는 두 구간 모두에서 특허등록건수, 영향력 지수 및 기술력지수가 증가하여 최근에 들어 양적수준 뿐만 아니라 질적 수준도 높아지고 있는 것으로 파악됨. 일본은 '97~01에 미국 다음으로 특허등록건수와 영향력지수가 높게 나타났으나, '02~06년도에 특허등록건수와 영향력지수 모두 감소하여 최근에 들어 양적수준과 질적 수준은 낮아지고 있는 것으로 나타남
- 한국은 단 한건도 인용되지 않은 것으로 나타났으며, 다른 나라에 비하여 질적 수준이나 양적수준이 매우 낮은 것으로 분석됨

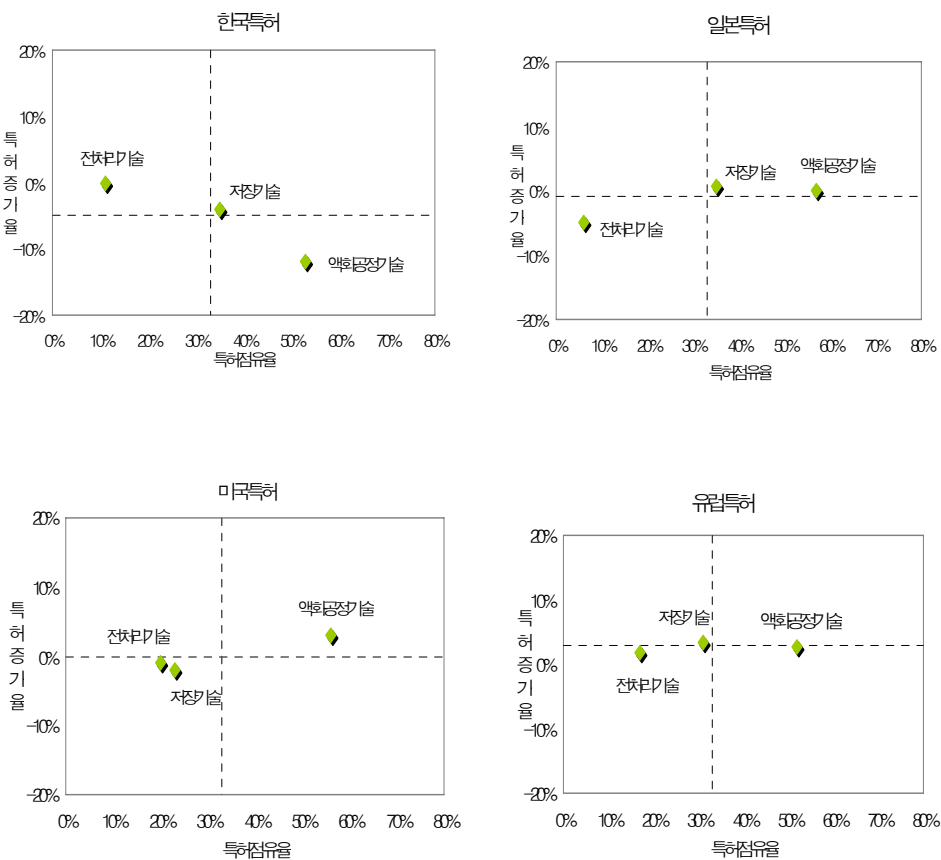


그림 3.9 특허점유율 및 증가율에 따른 포트폴리오 분석

1. 제 1출원인 기준
2. 분석구간: 한국, 일본, 유럽- '75~'05(출원년도), 미국- '76~'06(등록년도)
3. X축: 100%/기술분야 개수, Y축: 분석구간의 연평균 증가율의 기하평균값
4. 분석의미: 1사분면- 지속적으로 특허출원이 활발, 2사분면- 최근 특허출원이 활발, 3사분면- 초창기(도입기) 기술, 4사분면- 최근 특허출원이 감소추세

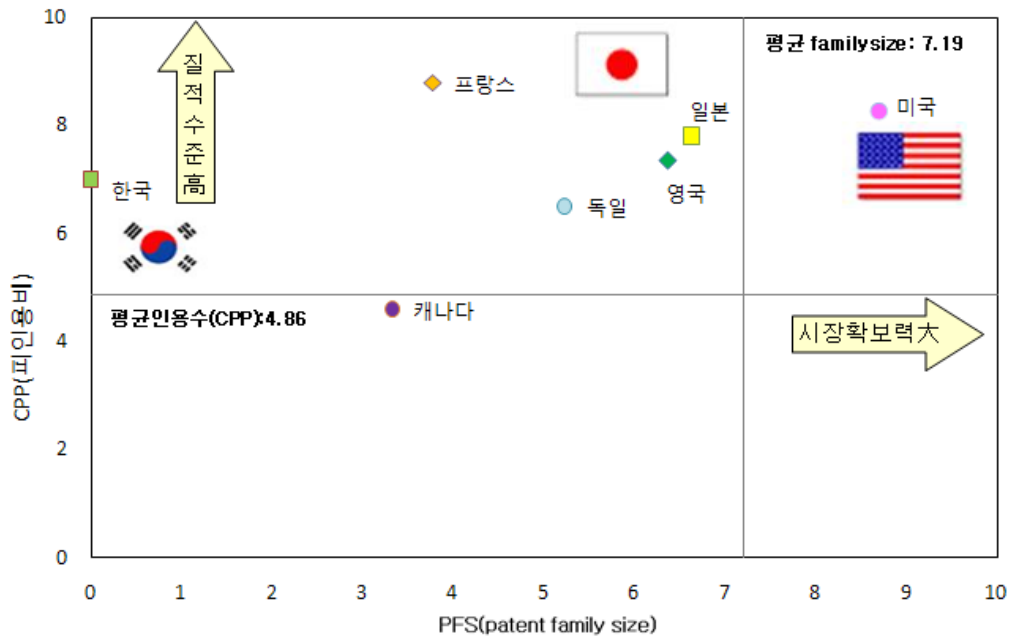


그림 3.10 국가별 특허의 질적 수준 및 시장 확보력

1. 분석구간: 미국특허 ~ 2006(등록년도), 중복분류 허용
2. X축: PFS=평균 PatentFamily수, Y축: 각국 특허의 평균 CPP(citation per patent)

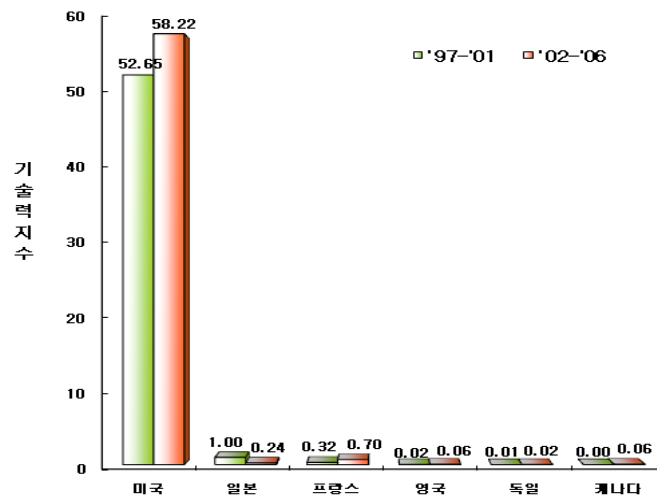


그림 3.11 주요국가의 기술력 지수

1. 분석구간: 미국특허 ~ 2006(등록년도)
2. 산출방법: 특허등록건수 X PII

⑤ 국가 간 상호 기술의 흐름 및 기술자립도

- 전 세계 국가는 미국 및 자국의 특허를 주로 모니터링 하여 자국 내 기술혁신을 수행하고 있음. 자국의 기술을 혁신활동에 이용하고 있는 국가(기술자립도가 큰 국가)는 미국이며, 그 다음으로 일본, 프랑스 및 독일도 기술자립도가 높은 편임

- 기술자립도(TI, Technology Independence)는 특정연구주체가 출원한 특허를 그 특정 연구주체에서 어느 정도 인용하였는지를 살펴보는 지표로서 자국의 기술을 자국의 특허출원에 많이 인용할수록 그 수치가 높음

표 3.20 국가 간 상호 기술의 흐름

| 특허 출원전 인용한 특허의 특허권자 국적 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     | 국<br>적 | 특허 등록 후 피인용된 특허의 특허권자 국적 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| AT                     | CA | CH | DE | FR | GB | IL | IT | JP | NL | NO | RU | US  |        | US                       | RU | NO | NL | JP | IT | IL | GB | FR | DE | CH | CA | AT |
| 0                      | 2  | 1  | 4  | 5  | 3  | 0  | 0  | 6  | 0  | 1  | 20 | 76  | US     | 81                       | 0  | 0  | 1  | 6  | 0  | 1  | 2  | 3  | 3  | 1  | 2  | 0  |
| 0                      | 0  | 33 | 33 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | RU     | 73                       | 0  | 0  | 0  | 14 | 0  | 0  | 3  | 5  | 5  | 0  | 0  | 0  |
| 0                      | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 80  | NO     | 80                       | 0  | 0  | 0  | 15 | 0  | 0  | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  | 0  |
| 0                      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 25 | 0  | 75  | NL     | 67                       | 0  | 0  | 0  | 33 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1                      | 1  | 2  | 8  | 4  | 5  | 0  | 1  | 23 | 1  | 0  | 1  | 49  | JP     | 65                       | 0  | 0  | 0  | 22 | 0  | 0  | 3  | 3  | 3  | 1  | 0  | 0  |
| 0                      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 100 | IT     | 58                       | 3  | 0  | 0  | 3  | 14 | 0  | 0  | 11 | 6  | 0  | 3  | 0  |
| 0                      | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 8  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  | 82  | IL     | 52                       | 0  | 0  | 4  | 26 | 0  | 9  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0  |
| 0                      | 0  | 5  | 10 | 8  | 3  | 0  | 0  | 5  | 0  | 0  | 0  | 70  | GB     | 81                       | 0  | 0  | 3  | 9  | 0  | 0  | 1  | 4  | 1  | 0  | 0  | 0  |
| 1                      | 1  | 0  | 13 | 31 | 2  | 0  | 3  | 2  | 0  | 0  | 2  | 45  | FR     | 66                       | 0  | 0  | 0  | 4  | 2  | 0  | 4  | 17 | 2  | 0  | 1  | 2  |
| 0                      | 1  | 1  | 26 | 4  | 1  | 1  | 4  | 7  | 5  | 0  | 0  | 53  | DE     | 64                       | 0  | 2  | 0  | 5  | 0  | 1  | 0  | 7  | 16 | 0  | 2  | 0  |
| 0                      | 0  | 0  | 20 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 60  | CH     | 50                       | 2  | 0  | 0  | 5  | 0  | 2  | 9  | 5  | 7  | 9  | 7  | 0  |
| 0                      | 4  | 0  | 0  | 4  | 1  | 0  | 4  | 3  | 0  | 1  | 1  | 77  | CA     | 84                       | 0  | 0  | 0  | 2  | 0  | 0  | 1  | 7  | 5  | 0  | 1  | 1  |
| 0                      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 100 | AT     | 40                       | 20 | 0  | 0  | 20 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 20 | 0  |

1. 분석구간: ~ 2006, 제1특허권자 국적 기준임

■ :기술 자립도

를 의미

2. 숫자는 인용 or 피인용한 특허의 국가별 점유율임

3. 좌측: 분석대상 국가의 전체 Backward Citation 중에서 국가별로 차지하는 비율

우측: 분석대상 국가의 전체 Forward Citation 중에서 국가별로 차지하는 비율

⑥ 주요국가의 특허경쟁력 추이

- 미국은 여타 국가에 비해 LNG 공정기술 분야 특허의 양적수준과 질적 수준이 가장 뛰어났으나, 질적 수준이 더욱 우세한 것으로 나타남

- 미국의 특허점유율과 인용점유율은 전 구간에서 모두 증가하는 추세에 있음

- 일본의 특허점유율과 인용점유율이 '92~'96년 각각 16.3%, 22.5%에서 '97~'01년 각각 11.6%, 10.9%로, '02~'06년 각각 4.3%, 5.5%로 전 구간에서 감소하는 것으로 나타나 최근 양적·질적 수준이 모두 감소하고 있어 LNG 공정기술 분야의 기술경쟁력이 낮아지고 있는 것으로 판단됨

- 프랑스는 특허점유율과 인용점유율이 '92~'96년 각각 10.2%, 7.2%에서 '97~'01년 각각 9.3%, 4.3%로 감소하였다가 '02~'06년 각각 10.8%, 6.7%로 증가하여 최근 들어 양적·질적 수준이 모두 상승하였음

- 한국은 다른 주요국에 비해 양적·질적으로 수준이 매우 낮은 위치에 있는 것으로 나타남

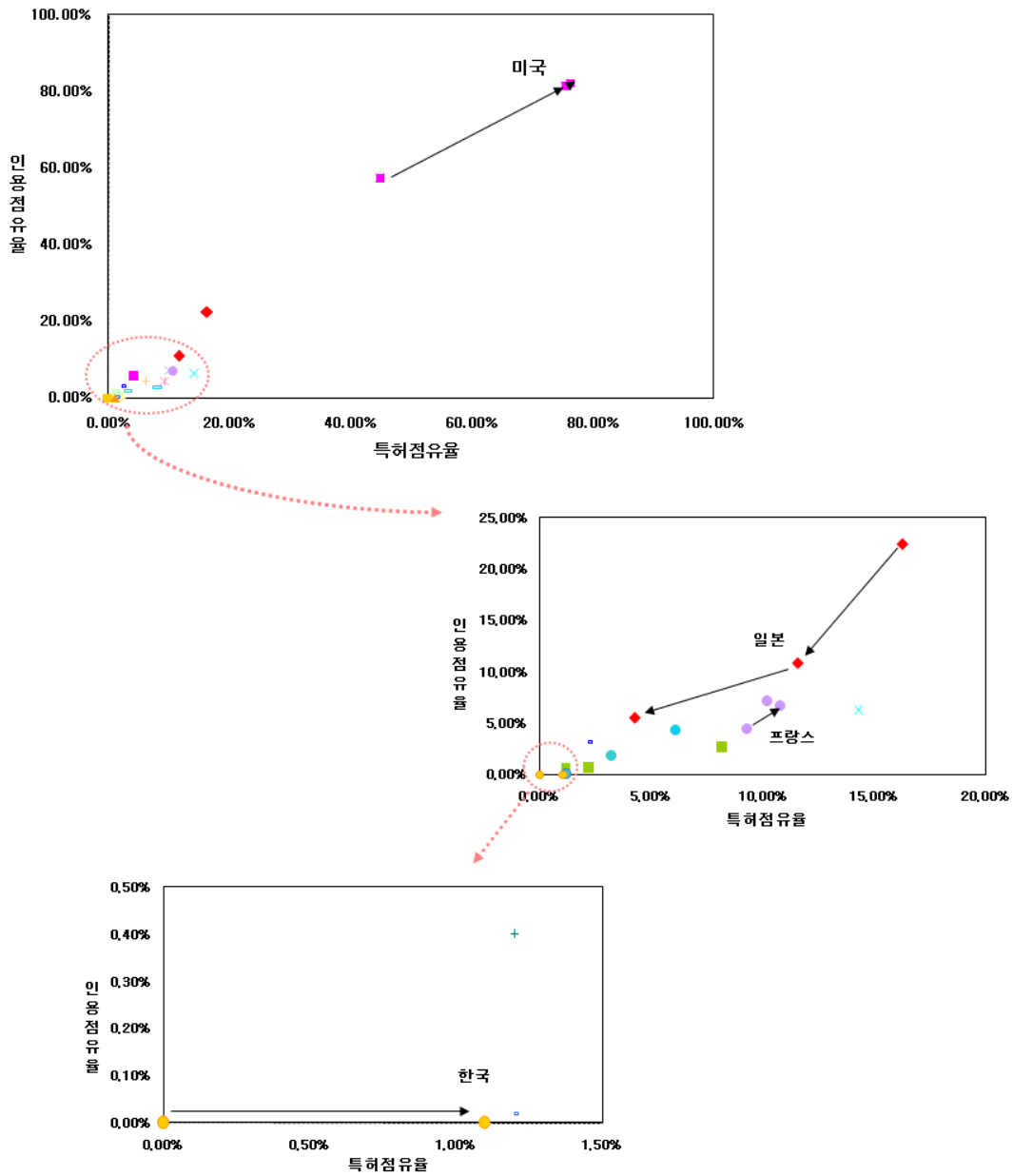


그림 3.12 주요국가의 기술경쟁력 추이

1. 분석구간: '92~'96, '97~'01, '02~'06, 중복분류 허용
2. X축: 전체특허 중에서 국가별 점유율  
Y축: 전체 Forward Citation중에서 국가별 점유율

⑦ LNG 플랜트 기술 분야의 연구개발 요지 및 관련 특허 요약

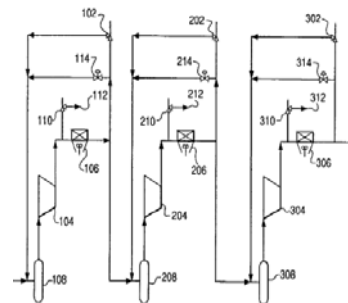
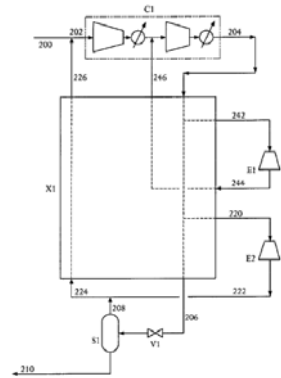
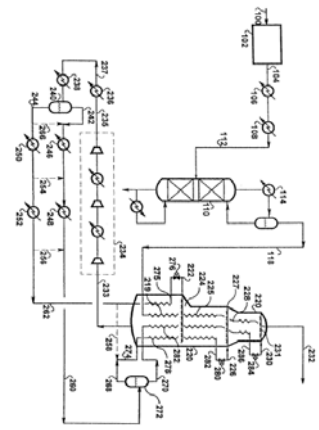
액화공정 분야의 연구개발 기술개요

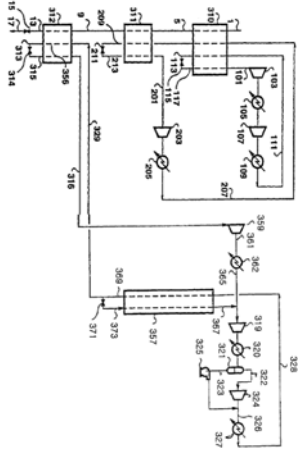
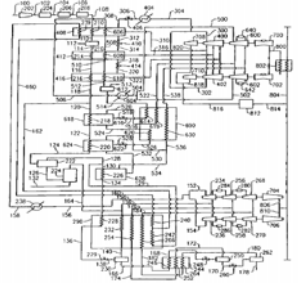
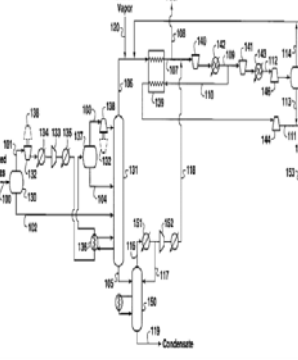
전처리 공정을 거친 천연가스를 초저온 열교환 장치를 통하여 액화시키는 기술로서, 다양한 종류의 냉매 시스템 구성과 초저온 열교환망 구성을 포함하는 액화천연가스 공정의 핵심기술임

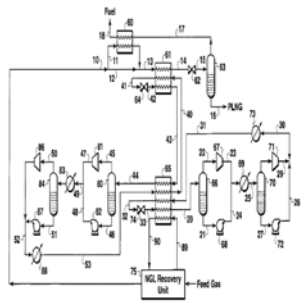
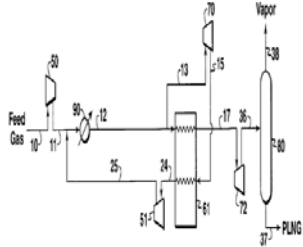
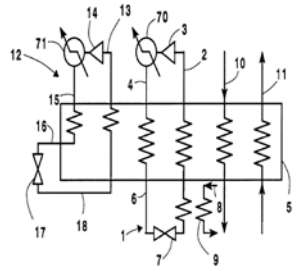
액화공정 기술 관련 주요 특허

| 등록번호   | 출원일   | 출원인                        | 대표도면 |
|--|---|----------------------------|------|
| US 4,755,200   | 1987.02.27  | Air Products and Chemicals |      |
| 제목   | Feed gas drier precooling in mixed refrigerant natural gas liquefaction processes   |                            |      |
| <p>프로판 또는 프레온과 같은 폐쇄 루프 단일성분에 의한 냉동 사이클을 단일 또는 이중의 혼합성분 냉매 액화공정에 추가시켜 공급재료를 예비 냉각시키는 것을 특징으로 하는 액화공정 제공</p>  |   |                            |      |
| 등록번호   | 출원일   | 출원인                        | 대표도면 |
| US 5,791,160   | 1997.07.24  | Air Products and Chemicals |      |
| 제목   | Method and apparatus for regulatory control of production and temperature in a mixed refrigerant liquefied natural gas facility |                            |      |
| <p>열교환기 및 폐쇄 루프 냉각 사이클을 사용하여 천연가스로부터의 액화 천연가스(LNG) 생산을 제어하는 시스템에 있어서, 상기 시스템은 설정된 생산값에 부합하도록 냉각과정을 조절함으로써 생산량 및 온도 모두를 별도로 직접 제어하는 것을 특징으로 하는 방법 및 장치 제공</p> |   |                            |      |
| 등록번호   | 출원일   | 출원인                        | 대표도면 |

|   |  |                            |      |
|---|--|----------------------------|------|
| US 6,347,532  | 1999.10.12   | Air Products and Chemicals |      |
| 제목  | Gas liquefaction process with partial condensation of mixed refrigerant at intermediate temperatures |                            |      |
| <p>냉각과 액화에 필요한 냉각 작용이, 별개의 냉각 시스템에 의해 예비 냉각되는 혼합 냉매 시스템에 의해 제공되는 액화 천연 가스 (LNG)의 생산 방법에 있어서, 혼합 냉매를 중간 온도에서 부분적으로 응축시키는 기체액화 방법 제공</p>  |  |                            |      |
| 등록번호  | 출원일  | 출원인                        | 대표도면 |
| US 6,484,533  | 2000.11.02   | Air Products and Chemicals |      |
| 제목  | Method and apparatus for the production of a liquid cryogen  |                            |      |
| <p>원료가스와 재순환가스를 포함하는 가스의 흐름을 중간 냉각되는 다단식의 재순환 압축기를 사용하여 압축하고, 압축한 가스를 냉각시키며, 냉각한 가스의 일부를 액화시키고, 다른 일부의 가스를 1 이상의 팽창 터빈으로 보내, 프로세스를 위해 열교환에 의하여 냉각 및 응축용의 한랭 부하를 공급하는 것을 특징으로 하는 액체 한랭제를 제조하기 위한 가스액화 방법 및 장치 제공</p> |  |                            |      |
| 등록번호  | 출원일  | 출원인                        | 대표도면 |
| US 7,069,733  | 2003.07.30   | Air Products and Chemicals |      |
| 제목  | Utilization of bogdown of single-shaft gas turbines to minimize relief flows in baseload LNG plants  |                            |      |
| <p>필요 동력이 최대 구동 장치 동력을 초과할 때 감속되는 유형의, 가스 압축기를 구동하는 구동 장치로서, 방출 압력이 지정 압력에 도달할 때, 압력 릴리프 장치를 통해 압축가스를 압축기 유입구로 재순환시키고, 이에 의해 압축기를 관통하는 질량 유량이 증가되는 것을 특징으로 하는 가스 압축 기구 제공</p>                                       |  |                            |      |
| 등록번호  | 등록일  | 특허권자                       | 대표도면 |



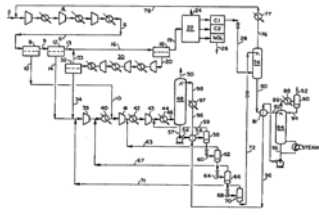
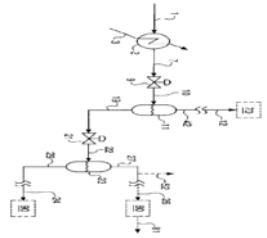
|  |   |                            |  |
|--|---|----------------------------|--|
| US 7,086,251   | 2004.02.19  | Air Products and Chemicals |  |
| 제목   | Integrated multiple-loop refrigeration process for gas liquefaction |                            |  |
| <p>가스는 가장 차가운 열교환 영역의 가장 높은 온도보다 높은 온도에서, 상기 영역에서 증발된 냉매로부터 유도된 보조 냉매의 증발에 의해 제공되는 추가의 냉장으로 각각의 냉매의 증발에 의해 적어도 두 온도 범위에서 연속적으로 냉각함으로써 액화되는 것을 특징으로 하는 가스 액화용 집적화된 다중 루프 냉각 공정 제공</p>   |   |                            |  |
| 등록번호   | 출원일   | 출원인                        | 대표도면   |
| US 6,691,531   | 2002.10.07  | ConocoPhillips             |   |
| 제목   | Driver and compressor system for natural gas liquefaction           |                            |  |
| <p>천연가스 액화 시스템은 기구적 드라이버와 압축기로 적절한 구조를 포함하여 열 재생 시스템이 액화 시스템에 이용되어 열효율을 향상시키고, 특정한 시동 시스템이 이용됨</p>   |   |                            |  |
| 등록번호   | 출원일   | 출원인                        | 대표도면   |
| US 6,023,942   | 1998.06.18  | Exxon Production Research  |  |
| 제목   | Process for liquefaction of natural gas                             |                            |  |
| <p>가스 스트림의 액화가 폐쇄 루프 다중 성분 냉동 시스템(45)에 의해 냉각되는 열 교환기(33)에서 유발되어 약 <math>-112^{\circ}\text{C}</math> (<math>-170^{\circ}\text{F}</math>) 이상의 온도 및 액체 생성물을 이의 기포점 또는 그 미만으로 존재하도록 하기에 충분한 압력을 갖는 메탄이 풍부한 액체 생성물이 제조되는, 메탄이 풍부한 가압 가스 스트림(10)의 액화 방법에 관한 것으로, 액화 가스 생성물을 약 <math>-112^{\circ}\text{C}</math> (<math>-170^{\circ}\text{F}</math>) 이상의 온도에서 저장수단(50)으로 도입시킴</p> |   |                            |  |
|   |   |                            |  |

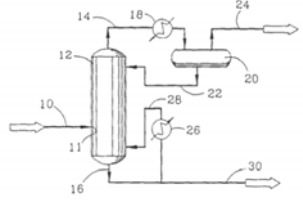
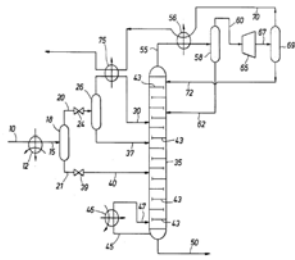
|   |   |                              |   |
|---|---|------------------------------|---|
| 등록번호  | 출원일   | 특허권자                         | 대표도면  |
| US 6,250,105  | 1999.12.16  | ExxonMobil Upstream Research |    |
| 제목  | Dual multi-component refrigeration cycles for liquefaction of natural gas                                 |                              |   |
| 천연 가스를 냉각 및 액화시키기 위한 로우-레벨 냉매 및 로우-레벨 냉매를 냉각시키기 위한 하이-레벨 냉매인 두개의 혼합 냉매를 두 개의 폐쇄 사이클로 사용하여, 온도가 -112℃를 초과하는 가압 액체 생성물을 제조하기 위해 천연 가스를 액화시키는 방법 제공  |   |                              |   |
| 등록번호  | 출원일   | 출원인                          | 대표도면  |
| US 6,378,330  | 2000.12.07  | ExxonMobil Upstream Research |   |
| 제목  | Process for making pressurized liquefied natural gas from pressurized natural gas using expansion cooling |                              |   |
| 11,000kPa 이상의 압력에 있는 가압 공급 스트림의 제1 부분(13)을 회수하고, 저압으로 엔트로피 팽창시켜 회수된 제1 부분을 냉각시키며, 일부분 이상 액화시킨다. 공급 스트림의 제2 부분을 팽창된 제1 부분과 간접 열 교환시킴으로써 냉각시키고, 제2 부분을 저압으로 팽창시켜 가스 스트림의 제2 부분을 일부분 이상 액화시키며, 액화된 제2 부분을 -112℃의 온도와 압력이 이의 기포점 압력 이상인 가압 생성물 스트림으로서 공정으로부터 분리시킴 |   |                              |   |
| 등록번호  | 출원일   | 출원인                          | 대표도면  |
| US 4,775,395  | 1998.12.30  | Praxair Technology           |  |
| 제목  | Variable load refrigeration system particularly for cryogenic temperatures                                |                              |   |
| 극저온을 포함하는 광범위한 온도 범위에 걸쳐 냉각을 발생시키는 방법으로서, 비독성, 비가연성, 오존 저소모성 또는 비소모성인 혼합물이 규정 성분으로부터 형성되고, 냉각 사이클에서 압축, 냉각, 팽창 및 가온 단계를 통해 가변 부하 형태로 유지되는 방법을 제공  |   |                              |   |

**전처리 기술 분야의 연구개발 기술개요**

생산된 천연가스에 포함된 여러 가지 불순물을 처리하는 기술로, 생산된 가스의 수분을 탈수 공정으로 없애거나, 이산화탄소, 황화수소 등의 불순물을 제거하는 공정으로 포함하는 기술임

**전처리 기술 관련 특허 요약**

| 등록번호  | 출원일   | 출원인                        | 대표도면   |
|---|---|----------------------------|--|
| US 4,589,896  | 1985.01.28  | Air Products and Chemicals |   |
| 제목  | Process for separating CO <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> S from hydrocarbons |                            |  |
| 다중막을 이용하여 이산화탄소, 황화수소 및 탄화수소가 풍부한 스트림으로부터 산성 가스 및 탄화수소를 함유하는 유입가스를 분리하기 위한 공정 제공                            |   |                            |  |
| 공개번호  | 출원일   | 출원인                        | 대표도면   |
| KR 2007-0075323   | 2007.1.10   | Air Products and Chemicals |  |
| 제목  | 헬륨 및 액화 천연 가스를 포함하는 천연 가스로부터의 생성물을 제조하기 위한 방법 및 기구                            |                            |  |
| 천연 가스로부터 상업용 생성물을 비용 효과적으로 제조하기 위한 방법으로, 액화 천연 가스 (LNG) 생성물, 조(crude) 헬륨, 및 임의적으로는 합성 가스를 제조하기 위한 조합된 방법 제공 |   |                            |  |

| 등록번호  | 출원일   | 특허권자          | 대표도면  |
|---|---|---------------|---|
| KR 0289546  | 1994.2.18   | 더 엠. 더블유. 켈로그 |  |
| 제목  | 천연가스 액화 전처리 방법  |               |   |
| 동결되는 C <sub>5+</sub> 성분을 제거하고 취급 및 선적이 용이한 LNG 산물을 제조하기 위해 단일 세정관을 사용하여 천연 가스류를 전처리하는 방법 제공             |   |               |   |
| 등록번호  | 출원일   | 출원인           | 대표도면  |
| US 5,960,644  | 1997.6.5  | Shell Oil     |  |
| 제목  | Removing carbon dioxide, ethane and heavier components from a natural gas |               |   |
| 5mol% 보다 높은 이산화탄소를 포함하는 이산화탄소, 에탄, 메탄을 포함하는 고압의 천연 가스 스트림에서 부분적인 응축 및 팽창을 이용하여 이산화탄소, 에탄을 제거하기 위한 방법 제공 |   |               |   |

|  |  |                              |      |
|--|--|------------------------------|------|
| 등록번호   | 출원일  | 출원인                          | 대표도면 |
| US 4,775,395   | 1987.10.16   | Institut Francais du Petrole |      |
| 제목   | Integrated process for the treatment of a methane-containing wet gas in order to remove water therefrom      |                              |      |
| <p>디에틸렌글리콜과 같은 글리콜 용매를 사용하여 메탄 및 물을 포함하는 가스에서 물을 적어도 일부 가스로부터 제거하는 집적화 공정 제공</p>                                       |  |                              |      |
| 등록번호   | 출원일  | 출원인                          | 대표도면 |
| US 5,782,958   | 1996.12.30   | Institut Francais du Petrole |      |
| 제목   | Process for the dehydration, deacidification and stripping of a natural gas, utilizing a mixture of solvents |                              |      |
| <p>가스를 메탄올과 접촉시킨 다음, 용매 혼합물과 접촉시킨 후에, 산성 가스를 제거시키고, 용매 혼합물은 감압 및 가열로 회수하는 것을 특징으로 하는 천연가스로부터 탈수 및 액체 탄화수소의 분리방법 제공</p> |  |                              |      |

액화공정 관련 설비기술 분야의 연구개발 기술개요

전처리 공정을 거친 천연가스를 초저온 열교환 장치를 통하여 액화시키는 설비 소재, 부품 관련 기술로서, 다양한 종류의 냉매 시스템 구성과 초저온 열교환망 구성을 포함하는 액화 천연가스 공정의 핵심기술임

액화공정 관련 설비기술 관련 주요 특허

| 등록번호   | 출원일  | 특허권자                       | 대표도면 |
|--|--|----------------------------|------|
| US 6,205,812   | 1999.12.03   | Praxair Technology         |      |
| 제목   | Cryogenic ultra cold hybrid liquefier  |                            |      |
| <p>생성물 유체를 초저온 상태에 이르도록 냉각 상태를 효과적으로 발생시키는 시스템에 관한 것으로, 활성 자성 재생기 또는 다성분 냉매 유체 사이클이 펄스 튜브 시스템에 의해 발생하는 열을 수용하기 위한 펄스 튜브 시스템과 일체를 이룬 시스템 제공</p>   |  |                            |      |
| 등록번호   | 출원일  | 출원인                        | 대표도면 |
| US 6,330,811   | 2000.06.29   | Praxair Technology         |      |
| 제목   | Compression system for cryogenic refrigeration with multicomponent refrigerant |                            |      |
| <p>다성분 냉매가 폴리알파올레핀 기제 오일로 윤활처리된 압축기에서 압축되고, 오일이 압축된 냉매로부터 제거되고, 압축된 냉매가 팽창되어 극저온에서 냉각을 발생시켜 냉각 수용기로 제공하는 냉각 발생 시스템 제공</p>  |  |                            |      |
| 등록번호   | 출원일  | 출원인                        | 대표도면 |
| JP 4009764   | 1998.02.05   | HITACHI PLANT ENG & CONSTR |      |
| 제목   | 액화가스용 펌프 장치  |                            |      |
| <p>펌프 축 5A와 그 펌프 축 5A를 회전 구동한 구동부와 펌프 축 5A에 따르고 구동부보다도 아래쪽의 위치에 설치되고, 흡입한 액화 가스를 승압한 날개바퀴 5C와 날개바퀴 5C로 승압한 액화 가스를 토출한 토출구멍과 펌프 축 5A를 지지한 다수 베어링으로 구성되고, 일전기 펌프 장치에 있어서 상기 베어링부에 단열 볼 베어링을 복수열 배치시킨 펌프 제공</p> |  |                            |      |
| 공개(등록번호)   | 출원일  | 출원인                        | 대표도면 |

|   |                        |            |                |      |
|---|------------------------|------------|----------------|------|
| KR 0133228  |                        | 1998.02.05 | 인터내셔널 비지네스 머신즈 |      |
| 제목  | 열교환기                   |            |                |      |
| <p>열교환기는 하우징(a housing)과, 상기 하우징내에 장착된 고형재 (a solid material)를 포함하는 저장용기와, 상기 저장용기의 온도를 제어하기 위한 온도제어수단과, 물질의 온도를 조절하기 위하여 상기 저장용기로부터 상기 물질로의 에너지 전달이 실행될 수 있도록 상기 저장용기와 상기 물질사이에 열접촉을 허용하는 에너지 교환수단(energy exchange means)을 포함함</p> |                        |            |                | 대표도면 |
| 공개(등록번호)  | 출원일                    | 출원인        |                |      |
| KR2002-0046707  | 2000.12.15             | 주식회사 포스코   |                |      |
| 제목  | 극저온 엘엔지 탱크용 고합금강 연주 방법 |            |                |      |
| <p>주조속도를 1.0~1.1m/분의 속도로 하고, 2차 냉각대에서 2차 냉각 비수량을 구간별로 각각 30~35, 330~340, 300~310, 220~230, 130~150, 240~260 l/분으로 하여 0.46~0.48 l/kg의 범위로 하여 연속 주조함을 특징으로 하는 극저온 LNG탱크용 고합금강 연주 방법</p>   |                        |            |                |      |

⑧ 기술 흐름(발전)도 분석

천연가스 전처리 기술, 천연가스 액화공정 기술, 액화공정 설비 관련 기술 및 액화천연가스 저장 기술에 대하여, 특히 피인용수와 폐밀리수가 많고 주요 출원인 특히 위주로 핵심특허를 선정한 후, 이를 시계열적으로 나열하였다.

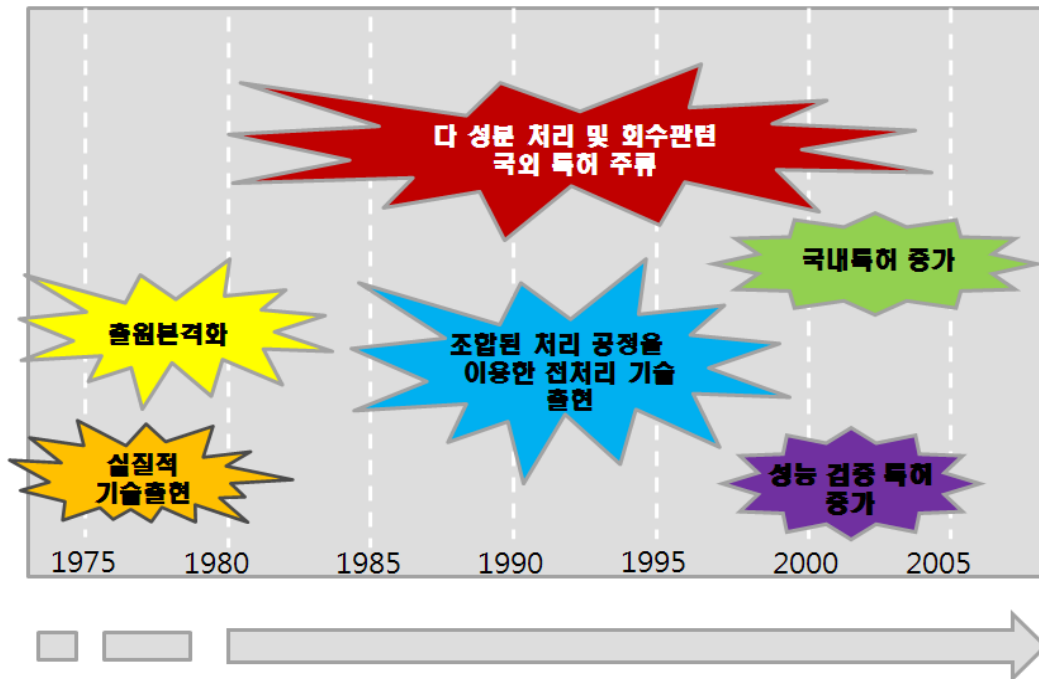


그림 3.13 천연가스 전처리 관련 기술흐름 분석

1970년 이후 천연가스 전처리 관련 특허의 실질적 출원이 시작되어, 1975년을 전후로 출원이 본격화되었다.

출원 초기에는 천연가스 중에 함유된 단일 성분을 제거시키는 천연가스 전처리 기술 관련 특허의 출원이 주류를 이루었고, 1985년대 이후부터 단일 처리 공정을 사용하여 다 성분의 복합 불순물을 처리 및 회수할 수 있는 전처리 기술 관련 특허가 나타나기 시작하였다.

2000년 이후로는 일반화 기술(open technology)로 평가되며, 공정 효율 및 안정성을 검증하는 관련 특허가 주류를 이루고 있고, 국내 특허가 증가하는 흐름을 보이고 있다.

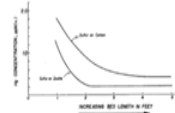

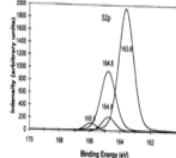
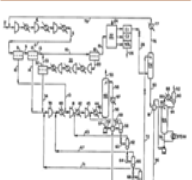

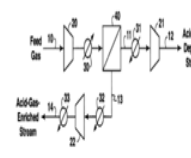
| ' 80  | ' 85   | ' 90  | ' 95  | ' 00   |
|---|--|---|---|--|
| <p>[ US 4101631 ]<br/>(출) 1976.11.3</p> <p>출원인: Union Carbide<br/>황 성분 함유된 제올라이트 분자 시브와의 접촉에 의해 수은을 선택적으로 화학적 흡착시키는 것을 특징으로 하는 공정</p>  | <p>[ US 4709118 ]<br/>(출) 1986.09.24</p> <p>출원인: Union Carbide<br/>실리카, 알루미늄, 또는 비활성 염기상에 비스무트, 주석 또는 그들의 혼합물과 접촉시켜 LNG로부터 수은을 제거하는 공정</p>  | <p>[ US 5401392 ]<br/>(출) 1993.11.8</p> <p>출원인: IFP<br/>다황화물, 전이금속화합물 등을 이용하여 탄화수소화합물에서 수은, 비소 및 황을 제거하는 방법</p> | <p>[ US 6136749 ]<br/>(출) 1998.07.15</p> <p>출원인: Corning<br/>플라스틱 렌즈로 압입된 황 혼합물을 작제를 이용하는 수은 제거 공정</p>        | <p>[ US 7048781 ]<br/>(출) 2003.10.7</p> <p>출원인: ADA Tech.<br/>내부 기질 표면에 다원자기의 금속화합물을 이용하는 수은포함 불순물을 제거하는 공정</p>  |
| <p>[ US 4474896 ]<br/>(출) 1983.3.31</p> <p>출원인: Union Carbide<br/>담체, 양이온 물질 및 다황화물로 구성된 수은 제거용 흡착제</p>   | <p>[ US 4589896 ]<br/>(출) 1985.1.28</p> <p>출원인: Air Products and Chemicals<br/>액화공정 입구부에 다수개의 막 유닛을 구비하여 산성가스를 제거하는 공정</p>                | <p>[ US 4589896 ]<br/>(출) 1985.1.28</p> <p>출원인: MTR<br/>개선된 막 유닛을 이용하여 다성분의 불순물을 여과시키는 천연가스 전처리 공정</p>          | <p>[ US 6128919 ]<br/>(출) 1998.09.22</p> <p>출원인: Messer<br/>저압 막분리를 이용하여 원료유인 스트림에서 산성가스를 제거 및 회수하는 공정</p>  | <p>[ US 6632266 ]<br/>(출) 2002.9.4</p> <p>출원인: ExxonMobil Upstream Research<br/>비산성 가스 성분 및 산성 가스 성분을 분리하는 고압 막을 이용하는 공정</p>  |

그림 3.14 전처리 기술 특허의 흐름

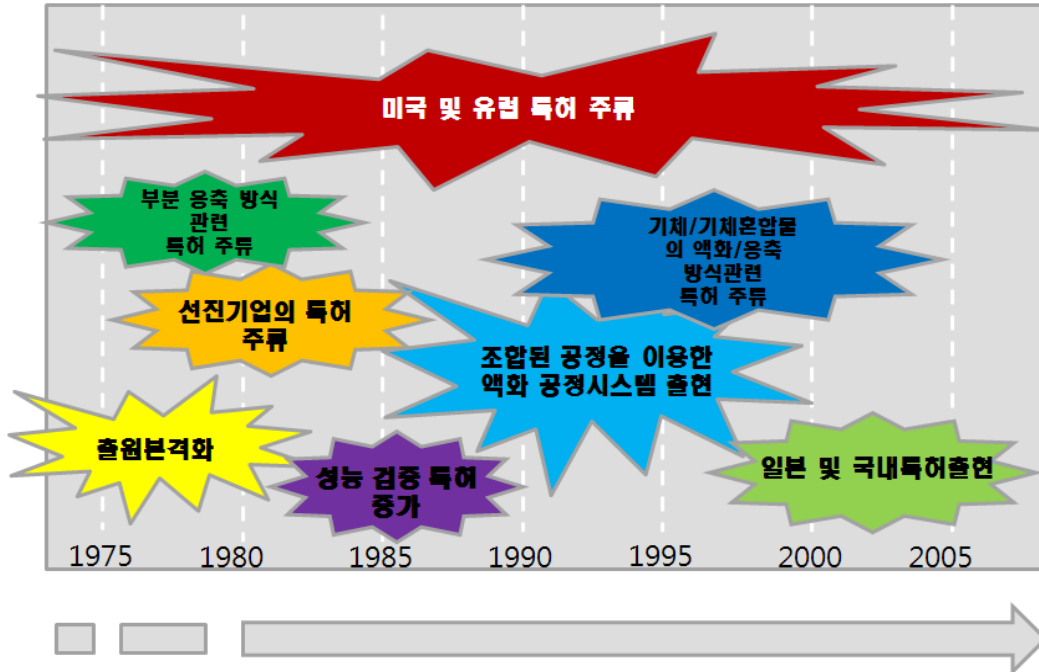


그림 3.15 천연가스 액화공정 기술흐름 분석

1970년 이전에 천연가스 액화공정 관련 특허의 실질적 출원이 시작되어, 1970년대 전후로 출원이 본격화되었다.

출원 초기에는 부분적인 응고에 의한 방식으로 천연가스를 액화시키는 기술 관련 특허의 출원이 주류를 이루었고, 1990년대 이후부터 기체/기체혼합물의 액화/응축 방식 기술 관련 특허가 나타나기 시작하였다.

천연가스의 액화공정 관련 특허는 주로 선진 엔지니어링 업체들이 보유하고 있으며, 미국 특허가 주류를 이루고 있는 것으로 조사되었고, 일본 및 국내 특허는 2000년 이후부터 출원되기 시작한 것으로 조사되었다.

1990년 이후로는 두 개 이상의 단일 사이클을 조합한 복합 사이클 공정 중심으로 출원이 이루어지고 있는 것으로 조사되었다.

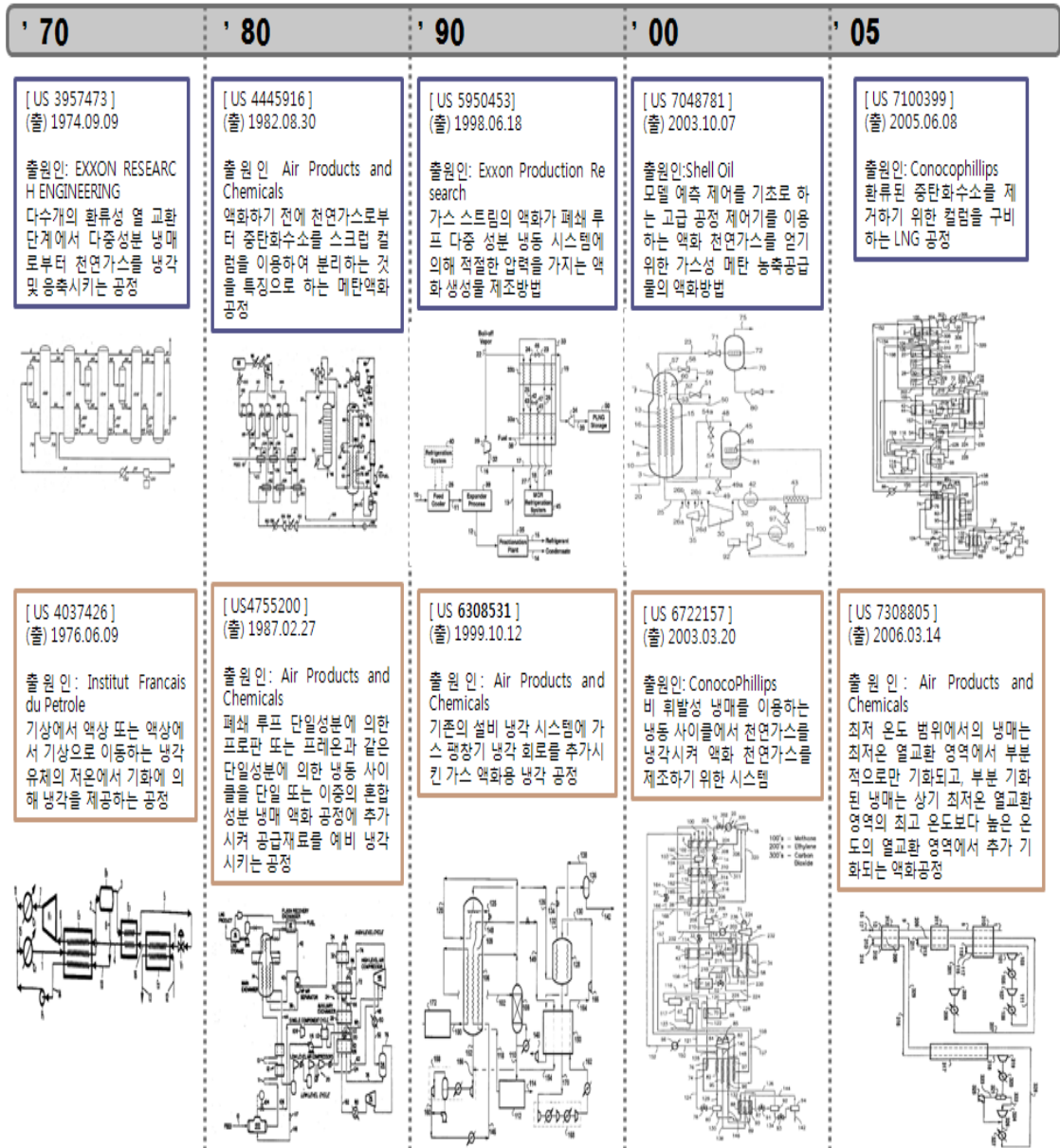


그림 3.16 천연가스 액화공정특허 흐름

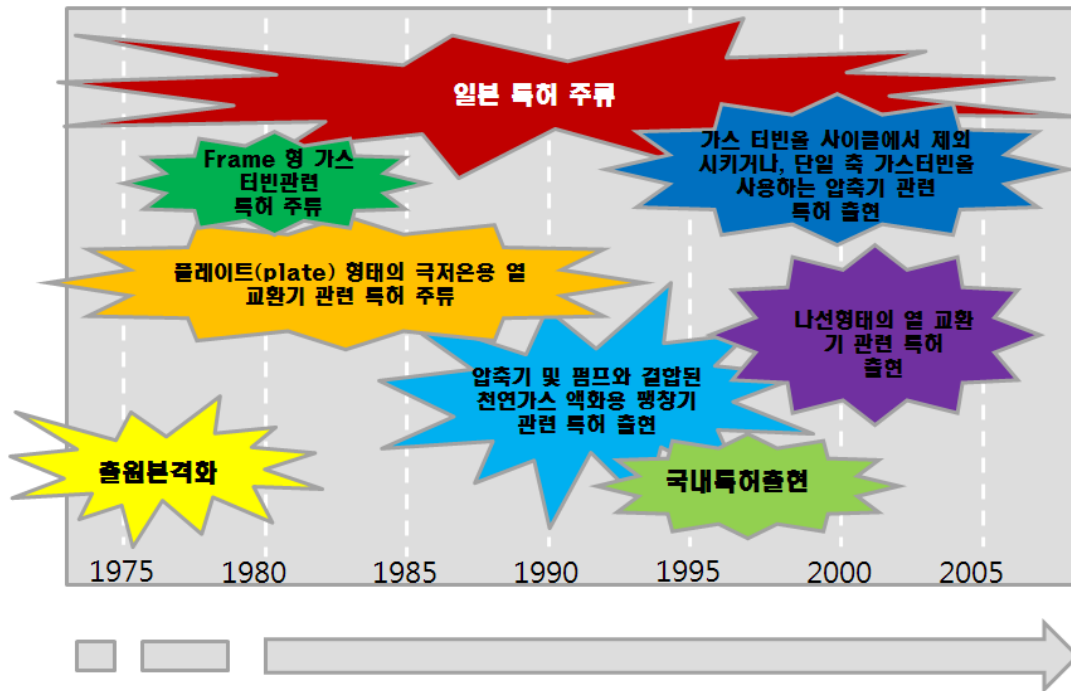


그림 3.17 천연가스 액화관련 설비 기술흐름 분석

1970년 이전에 천연가스 액화 설비기술 관련 특허의 실질적 출원이 시작되어, 1975년대 전후로 출원이 본격화되었음

출원 초기에는 플레이트 형태의 극저온용 열교환기, 릴리프 밸브가 내장된 압축기 관련 특허의 출원이 주류를 이루었고, 1990년대 이후부터 압축기 및 펌프와 결합된 팽창기, 나선형태의 열교환기 관련 특허가 나타나기 시작하였으며, 가스 터빈을 사이클에서 제외시키거나, 단일 축 가스터빈을 사용하는 압축기 관련 특허가 주류를 이룸

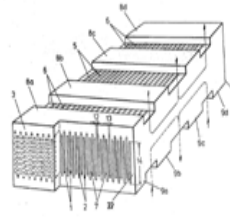
천연가스 액화 설비기술 관련 특허는 주로 일본 특허가 주류를 이루고, 국내 특허는 1990년 이후부터 출원되기 시작한 것으로 조사됨

' 70                      ' 80                      ' 90                      ' 00

[ US 4265302 ]  
(출) 1977.12.07

출원인: Rosenthal Techni k AG

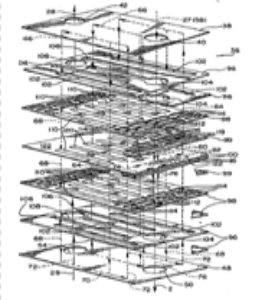
열교환 효율을 높이기 위 해 어긋나게 배열된 복수 개의 유체 연장 통로가 형 성된 세라믹 열교환기



[ US 4880055 ]  
(출) 1988.02.07

출원인: Sundstrand

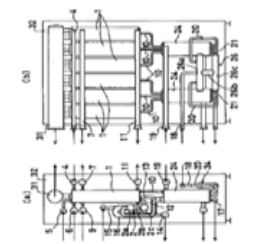
두 유체의 열교환을 위한 열 교환기에 있어서, 저중량, 소 형의 impingement plate 타 입의 천연가스 액화용 열교환기



[ JP 1996-159675 ]  
(출) 1994.12.09

출원인: KOBE STEEL

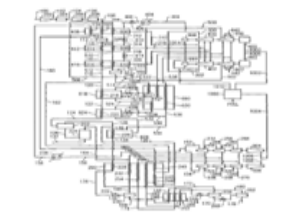
액화부에 플레이트 핀 열교환 기를 사용하고, 그 플레이트 핀 열교환기를 냉장 보관 용기 속에 은 단부를 상부에 냉 단 부를 아래쪽에 되도록 수직에 설치하는 것을 특징으로 하는 열교환기



[ US 7266976 ]  
(출) 2004.10.25

출원인: ConocoPhillips

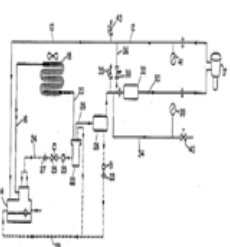
천연가스를 냉매와의 간접 열 교환을 통해서 냉각하기 위해 하나 이상의 수직 코인인 케틀 열교환기를 채용하는 열엔지 용수직 열교환기



[ JP 4799359 ]  
(출) 1979.12.29

출원인: KAWASAKI HEAVY

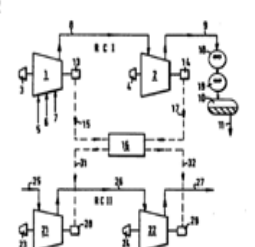
압축기의 방출라인과 흡입 라인 사이에 외부에서 조정 가능한 릴리프 밸브가 내장 되장되어 있는 극저온 냉각 압축기



[ US 4566885 ]  
(출) 1984.10.05

출원인: Shell Oil

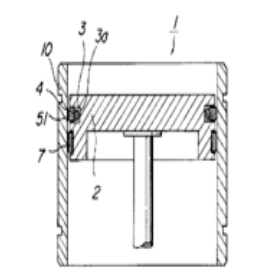
제1루프에서 압축기에 의해 낮은 동력이 소비되는 경우, 터빈 동력은 발전기로 전화 되고, 이 발전기는 제2루프 의 터빈에 의해 발생하는 전 력을 보충하는 폐쇄 루프 냉 각 사이클



[ JP 1998-274156 ]  
(출) 1997.03.27

출원인: SANYO ELECTRIC

높은 압력을 압축할 수 있고 수명의 연장시키기 위해, 피스톤 표면에 설치한 홈에 윤활성 에 우수한 수지계 피스톤링과 홈에 내장한 탄성체로된 링을 구비하는 저온압축기



[ US 7069733 ]  
(출) 2003.07.30

출 원 인 : Air Products and Chemicals

필요 동력이 최대 구동 장치 동 력을 초과할 때 감속되는 유형 의, 가스 압축기를 구동하는 단 일 축 가스 터빈을 사용하는 가 스 압축기

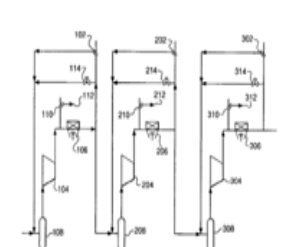


그림 3.18 천연가스 액화관련 설비특허 흐름

라. 성과목표 및 지표

(1) 핵심 및 세부과제별 성과목표, 성과지표 설정

본 과제가 수행 주체인 가스플랜트사업단은 건설교통부의 플랜트기술고도화사업 내에 속해있다. 따라서 사업단 과제의 성과목표 및 지표는 플랜트기술고도화사업의 그것에 포함되어야 한다. 참고로 플랜트고도화사업은 대규모 고부가가치 플랜트 건설 사업에 요구되는 핵심공정, 기본설계 및 플랜트 실증을 위한 사업이다.

표 3.21 제1 세부과제의 단계별 성과목표 및 지표

| 구분 | 성과목표           | 지표 구분 | 성과지표                 | 단계별 |   |   | 최종 목표치 |
|----|----------------|-------|----------------------|-----|---|---|--------|
|    |                |       |                      | 1   | 2 | 3 |        |
| 결과 | 과학기술적 연구 성과 향상 | 일반    | 학술지 게재 논문건수(국내/국외)   | 4   | 4 | 4 | 12     |
|    |                | 핵심    | 특허출원 건수(국내/국외)       | -   | 5 | 5 | 10     |
|    |                | 일반    | 학술회의 발표 논문건수 (국내/국외) | 4   | 5 | 5 | 14     |
|    | 기술개발 역량 향상     | 일반    | 과제당 산학연 협력 활동건수      | 5   | 5 | 5 | 15     |
|    |                | 일반    | 세부과제 연구보고서           | 3   | 3 | 3 | 9      |
|    |                | 핵심    | 산학연 기술지원 건수          | -   | 5 | 5 | 10     |
|    |                | 일반    | 해외진출을 위한 현장조사 실적     | 4   | 4 | 4 | 12     |
|    | 사회,경제적 파급효과 증대 | 일반    | 연구개발 관련 홍보건수         | -   | 4 | 4 | 8      |
|    |                | 일반    | 기술 확산을 위한 상호교류정도     | -   | 3 | 3 | 6      |

표 3.22 제2 세부과제의 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 | 3 | 9      |
|    |               | 일반    | 학술회의 발표 논문건수 (국내/국외) | 3   | 2 | 3 | 8      |
|    | 기술개발          | 일반    | 과제당 산학연 협력 활동건수      | 4   | 3 | 3 | 10     |

|                      |    |                  |   |   |   |    |
|----------------------|----|------------------|---|---|---|----|
| 역량 향상                | 일반 | 세부과제 연구보고서       | 3 | 3 | 3 | 9  |
|                      | 핵심 | 산학연 기술지원 건수      | 2 | 5 | 5 | 12 |
|                      | 일반 | 해외진출을 위한 현장조사 실적 | 4 | - | - | 4  |
| 사회,경제적<br>파급효과<br>증대 | 일반 | 연구개발 관련 홍보건수     | 4 | 5 | 5 | 14 |
|                      | 일반 | 기술 확산을 위한 상호교류정도 | 3 | 2 | 2 | 7  |

표 3.23 제3 세부과제의 단계별 성과목표 및 지표

| 구분 | 성과목표                 | 지표<br>구분 | 성과지표                 | 단계별 |   |   | 최종<br>목표치 |
|----|----------------------|----------|----------------------|-----|---|---|-----------|
|    |                      |          |                      | 1   | 2 | 3 |           |
| 결과 | 과학기술적<br>연구성과<br>향상  | 일반       | 학술지 게재 논문건수(국내/국외)   | 3   | 3 | 3 | 9         |
|    |                      | 핵심       | 특허출원 건수(국내/국외)       | 3   | 4 | 4 | 11        |
|    |                      | 일반       | 학술회의 발표 논문건수 (국내/국외) | 3   | 3 | 3 | 9         |
|    | 기술개발<br>역량 향상        | 일반       | 과제당 산학연 협력 활동건수      | 3   | 3 | 3 | 9         |
|    |                      | 일반       | 세부과제 연구보고서           | 2   | 2 | 2 | 6         |
|    |                      | 핵심       | 산학연 기술지원 건수          | 2   | 2 | 2 | 6         |
|    |                      | 일반       | 해외진출을 위한 현장조사 실적     | 3   | 3 | 3 | 9         |
|    | 사회,경제적<br>파급효과<br>증대 | 일반       | 연구개발 관련 홍보건수         | 3   | 3 | 3 | 9         |
|    |                      | 일반       | 기술 확산을 위한 상호교류정도     | 2   | 2 | 2 | 6         |

표 3.24 제4 세부과제의 단계별 성과목표 및 지표

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

(2) 성과목표와 지표 설정 근거 및 측정 방법

성과지표에 대한 선정근거 및 측정방법은 표 45부터 53에 각 지표별로 구분하여 나타내었다.

표 3.25 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 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 국내외 학술지 논문게재 건수와 함께, 과제당 논문 건수, 연구비당 논문건수, 연구원 1인당 논문건수</li> <li>① 국내외 학술지 게재 논문 건수</li> <li>② 국내외 학술지 게재 논문건수/사업의 총 과제 수</li> <li>③ 총 논문건수/총 연구사업비 (단위:1억원)</li> <li>④ 국내외 학술지 게재 논문건수/사업 참여연구원 수</li> </ul> |

표 3.26 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 3.27 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (핵심과제 연구보고서)

|      |   |
|------|---|
| 구분   | 일반지표 (고유지표)   |
| 성과지표 | 핵심과제 연구보고서  |
| 지표해설 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 사업단 총괄과제의 고유지표</li> <li>● 핵심과제에서 개발한 핵심기술에 대한 평가분석이 포함된 단계별 보고서</li> </ul> |
| 측정방법 | ● 보고서 권수  |

표 3.28 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (특허출원 건수(국내/국외))

|      |  |
|------|--|
| 구분   | 일반지표 (표준성과지표)  |
| 성과지표 | 특허출원 건수 (국내/국외)  |
| 지표해설 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 해당 사업의 평가대상기간 동안 출원된 특허건수             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 특허출원 건수: 대한민국에서 지적재산권을 행사하기 위해 특허청에 출원된 특허</li> <li>○ 국제 특허출원 건수: 미국, 일본, 유럽 등 국외에서 지적재산권을 행사하기 위해 각 국가의 특허청에 출원한 특허</li> </ul> </li> </ul>                                       |
| 측정방법 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 해당 사업을 통해 산출된 특허출원 건수와 함께 과제당 특허출원 건수, 연구비당 특허출원 건수, 참여연구원당 특허출원 건수를 기재             <ul style="list-style-type: none"> <li>① 총 특허출원 건수</li> <li>② 총 특허출원 건수/사업의 총 과제 수</li> <li>③ 총 특허출원 건수/총 연구사업비 (단위:1억원)</li> <li>④ 총 특허출원 건수/사업 참여연구원 수</li> </ul> </li> </ul> |

표 3.29 성과지표 선정 근거 및 측정방법 (과제당 산학연 협력 활동 건수)

|      |  |
|------|--|
| 구분   | 일반지표 (표준성과지표)  |
| 성과지표 | 과제당 산학연 협력 활동 건수   |
| 지표해설 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 해당 연구개발사업 수행으로 인하여 발생한 산학연 공동연구 활동 건수</li> <li>● 해당 사업의 1과제당 평균 산학연 활동건수 및 참여 연구원 1인당 산학연 협력 활동 건수             <ul style="list-style-type: none"> <li>*산학연 협력 활동 건수는 산학연간 공동연구 관련 회의 개최, 공동 연구개발 실시 등의 실적</li> </ul> </li> </ul>                |
| 측정방법 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 사업 수행으로 인한 산학연 총 공동연구활동 건수와 함께, 해당 사업의 과제당 평균 산학연 활동건수와 참여연구원 1인당 산학연 활동 건수를 기재             <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 산학연 협력 활동 건수</li> <li>2. 산학연 협력 활동 건수/해당 사업 과제 수</li> <li>3. 산학연 협력 활동 건수/참여 연구자 수</li> </ul> </li> </ul> |

표 3.30 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 3.31 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 안 됨)  |

표 3.32 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 3.33 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. 소요 연구비

##### 가. 2핵심과제의 연구비

2핵심과제 연구개발비는 표 4.1과 같이 총 29,100백만원이며 정부출연금 21,100백만원, 민간부담금 현금 1,133백만원, 현물 6,867백만원이다. 2핵심과제의 민간 부담금은 중소기업 기준으로 책정하였다. 민간 부담금은 전체 연구비의 27.5%를 책정하였으며, 전체 민간 부담금 중 현물 85.8%, 현금 14.2%를 기준으로 하였다. 각 세부과제의 비용은 과제의 업무 내용에 따라 예상되는 인건비 및 직접비를 산출하여 계상하였다.

표 4.1 2핵심과제 세부과제별 예산

(단위 : 백만원)

| 핵심과제                        | 과제<br>번호 | 세부과제                | 정부     | 민간    |       | 계      |
|-----------------------------|----------|---------------------|--------|-------|-------|--------|
|                             |          |                     |        | 현금    | 현물    |        |
| 고효율<br>LNG 플<br>랜트 공<br>정기술 | 2-1      | 고효율 천연가스 액화공정<br>개발 | 7,410  | 403   | 2,488 | 10,301 |
|                             | 2-2      | 천연가스 전처리 기술 개발      | 2,100  | 106   | 629   | 2,835  |
|                             | 2-3      | LNG 플랜트 열교환기 개발     | 6,364  | 342   | 2,053 | 8,759  |
|                             | 2-4      | LNG 플랜트 압축기 개발      | 5,226  | 283   | 1,693 | 7,202  |
|                             |          | 계                   | 21,100 | 1,134 | 6,863 | 29,097 |

표 4.2 2핵심과제 연차별, 비목별 예산내역 (단위 : 백만원)

| 구분       |       | 1단계   |       | 2단계   |       | 3단계   |       | 계      |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|          |       | 1차년도  | 2차년도  | 3차년도  | 4차년도  | 5차년도  | 6차년도  |        |       |
| 소요<br>예산 | 인건비   | 619   | 1,906 | 2,769 | 2,813 | 2,063 | 1,741 | 11,912 |       |
|          | 직접사업비 | 767   | 2,229 | 4,045 | 3,374 | 1,886 | 2,028 | 14,328 |       |
|          | 간접사업비 | 138   | 461   | 591   | 679   | 554   | 434   | 2,857  |       |
|          | 위탁사업비 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0      |       |
| 합계       |       | 1,524 | 4,596 | 7,405 | 6,866 | 4,503 | 4,203 | 29,097 |       |
| 재원<br>조달 | 정부    | 1,110 | 3,357 | 5,448 | 5,049 | 3,274 | 2,862 | 21,100 |       |
|          | 민간    | 현금    | 59    | 179   | 281   | 260   | 189   | 166    | 1,134 |
|          |       | 현물    | 335   | 1,060 | 1,676 | 1,557 | 1,040 | 1,175  | 6,863 |
| 합계       |       | 1,524 | 4,596 | 7,405 | 6,866 | 4,503 | 4,203 | 29,097 |       |

※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.

나. 세부과제의 연구비

(1) 2-1 세부과제 연구비

표 4.3 2-1세부과제 세세부과제별 예산 (단위 : 백만원)

| 핵심과제         | 과제<br>번호 | 세부과제                      | 정부    | 민간  |       | 계      |
|--------------|----------|---------------------------|-------|-----|-------|--------|
|              |          |                           |       | 현금  | 현물    |        |
| 고효율<br>천연가스  | 2-1-1    | LNG 사이클 모사 및<br>공정개발      | 6,206 | 343 | 2,127 | 8,676  |
| 액화 공<br>정 개발 | 2-1-2    | 천연가스 및 냉매 물성연구<br>및 DB 구축 | 1,204 | 60  | 361   | 1,625  |
| 계            |          |                           | 7,410 | 403 | 2,488 | 10,301 |

표 4.4 2-1세부과제 연차별, 비목별 예산내역 (단위 : 백만원)

| 구분       |       | 1단계  |       | 2단계   |       | 3단계   |       | 계      |       |
|----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
|          |       | 1차년도 | 2차년도  | 3차년도  | 4차년도  | 5차년도  | 6차년도  |        |       |
| 소요<br>예산 | 인건비   | 284  | 671   | 671   | 935   | 770   | 695   | 4,025  |       |
|          | 직접사업비 | 414  | 976   | 976   | 1,069 | 866   | 1,082 | 5,384  |       |
|          | 간접사업비 | 57   | 135   | 135   | 223   | 180   | 161   | 893    |       |
|          | 위탁사업비 | -    | -     | -     | -     | -     | -     | 0      |       |
| 합계       |       | 756  | 1,782 | 1,782 | 2,228 | 1,816 | 1,937 | 10,301 |       |
| 재원<br>조달 | 정부    | 560  | 1,324 | 1,324 | 1,655 | 1,324 | 1,223 | 7,410  |       |
|          | 민간    | 현금   | 28    | 66    | 66    | 82    | 84    | 77     | 403   |
|          |       | 현물   | 168   | 392   | 392   | 491   | 408   | 637    | 2,488 |
| 합계       |       | 756  | 1,782 | 1,782 | 2,228 | 1,816 | 1,937 | 10,301 |       |

표 4.5 2-1세부과제 연구개발비 산정근거 (단위 : 백만원)

| 구분  |     | 품명   | 금액    |
|-----|-----|--|-------|
| 인건비 |     | 연구원(책임,선임,원)<br>기술원(특급,고급,중급)                                  | 4,025 |
| 직접비 | 기자재 | 데이터센터<br>진공 장치<br>열 교환기<br>공정 해석 시스템(워크스테이션)<br>압축기<br>초저온 냉동기 | 1,767 |
|     | 재료비 | 가스류(메탄,에탄,프로판,질소등)<br>온도센서류(초저온)<br>압력센서류<br>밸브,튜브등            | 1,403 |

|       |     |  |        |
|-------|-----|--|--------|
|       | 시작품 | 액화 공정 시험장치<br>액화 사이클 통합 설계 플랫폼<br>액화 사이클 통합 설계 도구<br>혼합 냉매 냉동 시험장치<br>공정 최적 설계, 평가장치 | 1,556  |
|       | 기타  | 여비, 수용비, 기술정보활동비, 연구활동비 등  | 658    |
|       | 소 계 |  | 5,383  |
| 위탁연구비 |     |  |        |
| 간접비   |     | 간접경비, 연구개발준비금 등  | 893    |
| 합 계   |     |  | 10,301 |

(2) 2-2 세부과제 연구비

표 4.6 2-2세부과제 세세부과제별 예산

(단위 : 백만원)

| 핵심과제                 | 과제<br>번호 | 세부과제                    | 정부    | 민간  |     | 계     |
|----------------------|----------|-------------------------|-------|-----|-----|-------|
|                      |          |                         |       | 현금  | 현물  |       |
| 천연가스<br>전처리기<br>술 개발 | 2-2-1    | NGL 회수 공정 및 통합기술 개발     | 1,199 | 60  | 360 | 1,619 |
|                      | 2-2-2    | 가스하이드레이트 생성 억제기술 및 공정개발 | 901   | 45  | 270 | 1,216 |
|                      |          | 계                       | 2,100 | 105 | 630 | 2,835 |



|       |                 |  |       |
|-------|-----------------|--|-------|
|       | 소 계             |  | 1,403 |
| 위탁연구비 |                 |  |       |
| 간접비   | 간접경비, 연구개발준비금 등 |  | 265   |
| 합 계   |                 |  | 2,835 |

(3) 2-3 세부과제 연구비

표 4.9 2-3세부과제 예산

(단위 : 백만원)

| 핵심과제            | 과제번호 | 세부과제            | 정부    | 민간  |       | 계     |
|-----------------|------|-----------------|-------|-----|-------|-------|
|                 |      |                 |       | 현금  | 현물    |       |
| LNG 플랜트 열교환기 개발 | 2-3  | LNG 플랜트 열교환기 개발 | 6,364 | 342 | 2,053 | 8,759 |
| 계               |      |                 | 6,364 | 342 | 2,053 | 8,759 |

표 4.10 2-3세부과제 연차별, 비목별 예산내역

(단위 : 백만원)

| 구분    |       | 1단계  |       | 2단계   |       | 3단계   |      | 계     |       |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|       |       | 1차년도 | 2차년도  | 3차년도  | 4차년도  | 5차년도  | 6차년도 |       |       |
| 소요 예산 | 인건비   | 150  | 584   | 1,028 | 895   | 566   | 450  | 3,674 |       |
|       | 직접사업비 | 162  | 574   | 1,537 | 1,088 | 397   | 403  | 4,161 |       |
|       | 간접사업비 | 35   | 157   | 220   | 218   | 169   | 125  | 924   |       |
|       | 위탁사업비 | -    | -     | -     | -     | -     | -    | 0     |       |
| 합계    |       | 348  | 1,315 | 2,784 | 2,201 | 1,132 | 979  | 8,759 |       |
| 재원 조달 | 정부    | 250  | 945   | 2,040 | 1,608 | 817   | 704  | 6,364 |       |
|       | 민간    | 현금   | 14    | 53    | 106   | 85    | 45   | 39    | 342   |
|       |       | 현물   | 84    | 317   | 638   | 508   | 270  | 236   | 2,053 |
| 합계    |       | 348  | 1,315 | 2,784 | 2,201 | 1,132 | 979  | 8,759 |       |

표 4.11 2-3세부과제 연구개발비 산정근거

(단위 : 백만원)

| 구분    |     | 품명   | 금액    |
|-------|-----|--|-------|
| 인건비   |     | 연구원(책임,선임,원)<br>기술원(특급,고급,중급)  | 3,674 |
| 직접비   | 기자재 | 열유동 해석 시스템(워크스테이션)<br>계측장치<br>데이터센터<br>가스 핸들링 장치<br>CAD시스템                         | 1,042 |
|       | 재료비 | 가스류(메탄,에탄,프로판,질소등)<br>온도센서류(초저온):<br>밸브,튜브등<br>전산처리,재료비                            | 1,669 |
|       | 시작품 | 시험용 열교환기<br>열교환기 시험장치 플랫폼<br>열교환기 시험장치<br>열교환기 시험장치 플랫폼<br>열교환기 시작품<br>시스템 유지보수/보완 | 1,054 |
|       | 기타  | 여비, 수용비, 기술정보활동비, 연구활동비 등  | 396   |
|       | 소 계 |  | 4,161 |
| 위탁연구비 |     |  |       |
| 간접비   |     | 간접경비, 연구개발준비금 등  | 924   |
| 합 계   |     |  | 8,759 |

(4) 2-4 세부과제 연구비

표 4.12 2-4 세부과제 예산

(단위 : 백만원)

| 핵심과제           | 과제번호 | 세부과제           | 정부    | 민간  |       | 계     |
|----------------|------|----------------|-------|-----|-------|-------|
|                |      |                |       | 현금  | 현물    |       |
| LNG 플랜트 압축기 개발 | 2-4  | LNG 플랜트 압축기 개발 | 5,226 | 283 | 1,693 | 7,202 |
| 계              |      |                | 5,226 | 283 | 1,693 | 7,202 |

표 4.13 2-4세부과제 연차별, 비목별 예산내역

(단위 : 백만원)

| 구분       |       | 1단계  |      | 2단계   |       | 3단계  |      | 계     |       |
|----------|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
|          |       | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도  | 4차년도  | 5차년도 | 6차년도 |       |       |
| 소요<br>예산 | 인건비   | 181  | 422  | 846   | 736   | 464  | 370  | 3,019 |       |
|          | 직접사업비 | 196  | 415  | 1,264 | 894   | 325  | 331  | 3,426 |       |
|          | 간접사업비 | 43   | 114  | 181   | 179   | 138  | 103  | 757   |       |
|          | 위탁사업비 | -    | -    | -     | -     | -    | -    | 0     |       |
| 합계       |       | 420  | 951  | 2,291 | 1,809 | 927  | 804  | 7,202 |       |
| 재원<br>조달 | 정부    | 300  | 682  | 1,678 | 1,321 | 668  | 577  | 5,226 |       |
|          | 민간    | 현금   | 17   | 39    | 88    | 70   | 37   | 32    | 283   |
|          |       | 현물   | 103  | 230   | 525   | 418  | 222  | 195   | 1,693 |
| 합계       |       | 420  | 951  | 2,291 | 1,809 | 927  | 804  | 7,202 |       |

표 4.14 2-4세부과제 연구개발비 산정근거

(단위 : 백만원)

| 구분    |     | 품명   | 금액    |
|-------|-----|--|-------|
| 인건비   |     | 연구원(책임,선임,원)<br>기술원(특급,고급,중급)                          | 3,019 |
| 직접비   | 기자재 | 진공장치<br>계측장치<br>가스 핸들링 장치<br>CAD시스템<br>고온 고압로<br>누설탐지기 | 942   |
|       | 재료비 | 가스류(메탄,에탄,프로판,질소등)<br>압력센서류<br>밸브,튜브등<br>전산처리,재료비      | 1,069 |
|       | 시작품 | 시험용 압축기<br>압축기 시험장치<br>압축기 시작품<br>시스템 유지보수/보완          | 954   |
|       | 기타  | 여비, 수용비, 기술정보활동비, 연구활동비 등                              | 461   |
|       | 소 계 |  | 3,426 |
| 위탁연구비 |     |  |       |
| 간접비   |     | 간접경비, 연구개발준비금 등  | 757   |
| 합 계   |     |  | 7,202 |

# 빈 페이지

## 5. 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 가능 ( 해외플랜트 수주 기여액 : 1개 프로젝트 수주 시 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 파악됨.
- 테스트베드 건설과 운영을 통한 국내 초저온액화 (LNG)분야 전문 인력 양성
- 해외시장 참여시 국내 플랜트산업 활성화 및 신규 고용 효과 창출
- 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 증대 (예: cross-licensing의 이점)

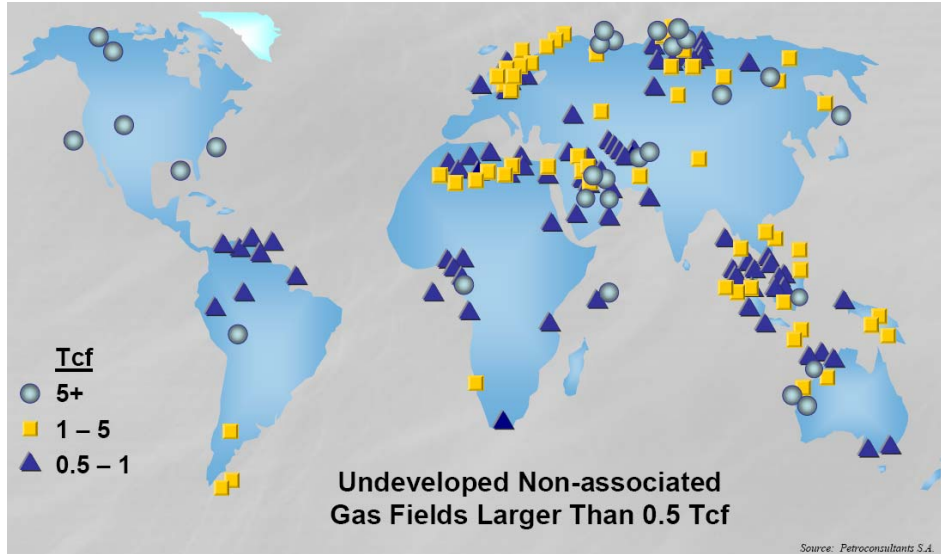


그림 5.1 세계 가스전 현황  
 (연산 3.3 백만톤 (MTPA)의 LNG를 생산하는 플랜트에 필요한  
 가스전의 규모는 5~6 Tcf (trillion cubic feet)임)

○ 플랜트업체의 국산기자재 사용비율을 평균 51% 수준으로 답수분야는 70 ~ 90%의 높은 국산화율을 보이는 반면, LNG 분야는 10~30%에 불과하여, 본 과제를 통해 50% 수준 이상으로 끌어올리면 중소기업 관련 플랜트 부품 소재 산업의 내수 유발 효과를 거둘 수 있음.

○ 해외가스전에 진출하여 청정에너지 연료를 생산 도입하므로 국가에너지 자급률에 기여 : 1차 에너지 중 석유의존도를 낮출 수 있음 (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 유관산업 분야에 긍정적인 파급 효과를 얻을 수 있음.

표 5.1 액화플랜트에 소요되는 주요 설비/부품/자재들의 과거 시장 규모와 2010년의 예상 치

| 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 /<br>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 3~8 배 수준으로 평가해야할 것임.

## (2) 기술적 파급 효과

- 국내 LNG 플랜트 기술을 보유 (현재 선진 기술 보유사들이 카르텔을 형성하고 기술이전을 하지 않고 있어 고부가가치 핵심 사업에 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.

## (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

### (1) 과제의 성과

- 고효율 대용량 LNG 공정 기술 및 핵심 인력 확보
- 초저온 액화 공정 기반기술 확보를 통한 유관 분야 기술 확장
- 고효율 대용량 LNG 플랜트 소요 설비 국산화
- 고효율 대용량 LNG 플랜트 해외 수주 기반 확보

### (2) 사업화, 실용화 연계 방안

○ 개발된 기술의 해외시장 진출을 위해서는 국내 공·사기업들이 개발하거나 확보한 해외의 가스전 (대규모 가스전, 고립지 가스전, 원격지 가스전, 유전에서 수반가스등)에 공정/플랜트 기술과 금융이 어우러지는 자원 연계형 투자개발사업 컨소시엄을 구성함으로써, 궁극적으로는 해외 에너지자원개발과 연계한 해외플랜트시장의 동반 진출 방안이 우선적으로 검토되어야 할 것이다.

#### (가) 관련 후속 사업개발의 전망

○ 현재 국내에서도 LNG를 차량용 연료로 이용하기 위한 정책 결정들이 이어지고 있다. 산업자원부는“가스안전기술심의위원회”의 의결 등을 거쳐 '07.9.6 액화천연가스(LNG)를 연료로 사용하는 자동차의 연료장치 및 제조·검사기준을 마련하여 고시하였고, 이로써 그 동안 안전기준이 없어 시험·연구 목적으로만 생산이 가능하던 LNG자동차의 상업적 생산이 가능하게 되는 등 LNG 자동차의 개발·보급을 위한 기반이 마련된 상태임.

○ 이와 같은 LNG의 차량 연료로서의 이용을 위해서는 LNG 충전소가 필수적이며, 충전소 적용을 위한 기술개발을 국내에서 수행된 바 없고, 관련 기술과 건설경험이 있는 기업이 전무한 상태이다.

○ 소형 LNG 플랜트는 차량용 충전소에 적용할 수 있다. 미국에서는 차량용 연료로 NG가 120 ~ 130 million gallons of gasoline/diesel을 대체하고 있고 (2002) 시장 점유율 10% 규모로 계속 증가 추세이다. 미국 내에 45개의 LNG fuel station과 2100 대의 LNG 차량이 있다. 테스트베드 규모의 LNG 플랜트는 대형 LNG 플랜트 관련 기술개발과 상용화를 목적으로 사용되는 실험설비 성격이지만, 한편으로는 테스트베드 만을 이용해서도 LNG fuel station용 상용화 기술로의 적용이 가능할 수 있다. 따라서 테스트베드의 안정적인 운전을 통한 공정 및 설계기술을 확보한 시점에서 LNG fueling station 적용을 위한 일부 기술적 사항들에 대한 연구를 통하여 단기간에 관련 시범화 사업은 물론 상용화에 기여할 수 있다.

○ LNG fueling station 이외에도, 관련 개발 기술은 Air separation unit이나, FPSO (Floating Production, Storage Offshore)등에도 적용가능하다. 특별히 FPSO 기술은 초고유가가 형성되기 이전에는 경제성 문제로 큰 주목을 받지 못했던, 중소규모의 해양 가스전의 개발에 적용할 수 있는 기술로 선박이나 바지선위에 중소형 규모의 LNG 플랜트를 설치하는 것으로 향후 초고유가시대에 수요가 증가될 것으로 전망되는 플랜트산업 분야이다. 본 가스플랜트사업단 과제를 통해 얻은 육상의 LNG 플랜트 기술에다 해양에서 부유하는 구조물에 올려 운전원이 없이도 효율적이고 경제적으로 LNG를 생산하고 안정적인 운전이 가능한 기술적 요소를 추가하는 기술을 개발하면 FPSO 상부에 올려지는 액화공정 EPC 분야의 시장진입이 가능하다. 이때, 조선사들과의 공동협력과제를 추진하게 되면, 액화공정 파트뿐만 아니라 FPSO 전체 구조물/설비의 통합 EPC 사업이 가능하게 될 수 있다.

#### (나) 테스트베드 연계 시장진입 전략

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

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

○ 단계별 시장진입 전략과 활용방안

- 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.

○ 중국 Weizhou Island (Beihai City, Guangxi Province) LNG plant

- Owner : Beihai XinAo Gas Company, Ltd
- Project 시작: 2004년 6월 29일 / CNY 150 million (USD 20 million)
- 처리 용량 : 150,000 Nm<sup>3</sup> gas /day (110 TPD LNG)
- Weizhou Island에 있는 China National Offshore Oil Corporation (CNOOC)의 유전에서 소각 (flared)되는 천연가스 (associated gas)를 액화시켜 Guangxi 자치구역에 공급.
- 300 TPD 규모로 액화 공정 용량 증가시키는 2차 건설계획 중이라 함

Weizhou Island 전경



그림 5.2 중국 Weizhou섬의 LNG plant 전경

-3단계: 주요 해외 프로젝트에서 선진기업과 대등한 참여가 가능하며, 대규모 사업에 참여시 사업 위험 감소를 위한 컨소시엄 구성과 핵심기술 참여가 가능할 것으로 예상된다.

## 6. 핵심과제 RFP 및 공모방안

### 가. 핵심과제 RFP 작성기준

제2핵심과제의 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 제안공모과제의 특성을 반영

제2핵심과제의 제안요구서(request for proposal)를 구성하는 골격과 반영 내용은 다음과 같다.

- 과제명: 상세기획에서 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 조정할 내용을 반영
- 기타: 특별사항을 반영

나. 핵심과제 RFP(안)

앞서 작성기준을 토대로 제2핵심과제의 과제제안요구서(안)를 표 6.1과 같이 작성하였다.

표 6.1 제2핵심과제 RFP

| 연구과제명               | 핵심 2과제 : 고효율 LNG 플랜트 공정기술 개발   |
|---------------------|--|
| 1. 연구개발 목표          |  |
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 초저온 냉각 사이클을 기본으로 고효율 및 대용량의 LNG 플랜트 신공정과 천연가스 액화과정에서 에너지 및 물질흐름에 영향을 미치는 물질의 제거 및 이용을 위하여 천연가스 전처리공정, 액화 사이클의 효율에 큰 영향을 미치는 핵심 기자재로 열교환기 및 냉매 압축기 등의 핵심부품 국산화 기술개발이 목표</li> <li>○ 고효율 (액화효율 92%) 천연가스 액화공정 기본공정설계 (Basic Design) 기술개발, 세계적인 경쟁력이 있는 관련 특허와 라이선스 확보 및 실용화 기술 개발</li> <li>○ 개발된 기술을 바탕으로 테스트베드 및 대용량(5 Mt/y)급 천연가스 액화공정 개발</li> <li>○ 초저온 액화사이클을 최적화하고 천연가스 액화플랜트 공정에 사용되는 냉매, LNG 등의 열역학적인 물성 DB 구축</li> <li>○ 에탄 99.5% 이상, 기타 응축물질 99.9% 이상의 NGL 회수공정 통합화 및 최적화 기술 개발</li> <li>○ 가스 하이드레이트 생성 메커니즘 규명, 공정응용설계, 생성 억제 기재 최적화 및 실용화 기술 개발</li> <li>○ Mach No 0.85 이하, 운전범위 35% 이상, 유지보수성 10% 개선된 혼합냉매 압축기 개발</li> <li>○ 플레이트 방식의 크기 10% 저감, 유지보수성 10% 개선된 초저온 열교환기 개발</li> <li>○ 핵심2과제 총괄기여목표               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지효율 5% 향상</li> <li>- 유지관리비 10% 저감</li> </ul> </li> </ul> |
| 2. 연구개발 필요성 및 기술 동향 |  |
| □ 연구개발의 필요성         | ○ 해외 시장에서 우리나라의 플랜트 엔지니어링/건설 기업의 기술 경쟁력 확보를 위하여 LNG 플랜트와 같은 유망 사업 분야의 핵심   |

공정기술 개발과 테스트베드(test-bed)를 이용한 실증, FEED (front-end engineering design) 능력 확보가 필요함.

- LNG 플랜트 EPC 시장의 배타적인 시장상황에 대처를 위하여 국내의 독자적인 액화공정을 개발 및 라이선스(license) 확보를 위한 신 액화공정 개발 과제의 수행이 필요함.
- 제3핵심과제의 궁극적인 목표인 LNG 플랜트 EPC 수행을 위하여 기본공정 설계, 초저온 열교환기와 같은 핵심요소설비의 설계/제작과 같은 공정기술 개발이 필수적임.

<국내 >

- 국내의 LNG 플랜트 관련 기술개발 사례로 LNG 저장탱크 및 재액화 관련 분야를 제외한 천연가스 액화 공정과 이의 응용기술 분야에 대한 연구 실적은 전무한 실정임.
- 분야별 기술동향
  - 전처리공정 : 천연가스의 수분, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S를 제거하는 일반화된 기술로 국내 EPC 업체에서 다수 프로젝트 수행 경험을 보유하고 있음.
  - 액화공정 : 국내 업체는 천연가스 액화공정에 대한 원천기술과 응용설계기술에 관한 연구 실적이 없으며, EPC 프로젝트 수행 경험이 전무함. 현재 LNG 선박에서 발생하는 BOG (boil-off gas)의 재액화 시스템의 기술개발 사업 관련 연구사업으로 유일함.
  - 저장탱크 : LNG 저장탱크의 경우 시공 및 일부 업체에서 상세설계 참여 경험 및 기본설계 능력을 갖추고 있으나 독자적 설계 능력 부족 및 검증 미흡으로 해외 시장 진출에 어려움을 겪고 있음.

□ 기술 동향

<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 라이선스가 부여되지만, 이 경우도 JGC/KBR과 Chiyoda가 형성한 카르텔에

의해 여타 EPC 업체의 기술사용 자체가 어려운 상황임.

○ 분야별 기술동향

- 가스하이드레이트 억제 : 소량의 억제제 사용으로 충분한 억제 효과를 얻을 수 있는 혼합형 억제제 개발이 활발히 이루어지고 있음. 다만 공개된 혼합물질이 매우 다양하여 실제 이용되는 물질을 확인 할 수 없음.
- NGL recovery : Fractionation 설비는 냉동사이클과의 연계에 따라 Stand Alone 형식과 Integrated 형식으로 나누어지며 현장 여건에 따라 선택적으로 이용되어짐.
- 초저온 액화공정 기술 : 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.
- 주요기자재(Cold box, 열교환기, 압축기) : 경쟁국으로는 미국과 유럽 주요 국가들로 이미 기술적으로 완성된 상태로서 전 세계에 주요 기자재를 공급하고 있음. 지속적인 노하우의 축적으로 후발주자(한국 등)의 추월이 쉽지 않은 상황임.

3. 연구개발 내용

□ 과제 정의

천연가스를 수송하기에 효과적인 액체상태로 변환하기 위하여 압축, 방열, 팽창, 냉각과정을 반복하는 초저온 냉동사이클을 이용하여 액화하는 기술과 이를 위한 전처리기술과 열교환기, 압축기 등을 개발하는 과제

□ 제1세부과제 : 고효율 LNG 공정기술 개발

○ 연구개발 필요성

- LNG 플랜트는 국내에서 설계한 경험이 전무하고 향후 LNG 사업 진출 시, License가 확보되지 않은 상태에서 LNG 플랜트 EPC 사업 진출은 현실적으로 많은 어려움이 존재함.
- 고효율 천연가스 액화공정 데이터 및 특허를 확보하여 테스트베드 및 대용량(5 Mt/y)급 천연가스 액화공정을 개발하는 과제임. 이를 위해서 핵심기술인 초저온 액화사이클을 최적화하는 기술개발이 요구됨.
- 천연가스 액화플랜트 공정에 사용되는 냉매, LNG 등의 열역학적인 물성 DB의 구축이 필요함.

○ 연구개발 내용

- LNG 사이클모사 및 액화공정개발
  - LNG 액화를 위한 다양한 초저온 냉각 사이클에 대한 비교 분석
  - 냉매의 최적 조합에 의한 열역학 사이클 설계
  - 엔트로피 생성 최소화 해석 (EGM; Entropy Generation Minimization 또는 exergy 해석)
  - 플랜트 기기의 압력 손실을 고려한 실제 사이클의 최적화 설계
  - 초저온 냉매시스템 구성 및 냉각 특성 실험 수행
  - 테스트베드용 액화공정시스템 구성
  - 테스트베드의 실험 결과를 토대로 액화공정시스템의 공정 설계 수정, 보완
- 천연가스 및 냉매물성 연구/DB 구축
  - 천연가스
  - 냉매
  - 부수가스

□ 제2세부과제 : 천연가스 전처리기술 개발

○ 연구개발 필요성

- 천연가스 전처리기술로서 가스 하이드레이트 억제기술, NGL 회수 및 계통연계기술을 개발하는 과제임.
- 액화공정의 에너지 효율을 향상시키고 최적의 운전 안정성을 확보하는 천연가스 전처리 기술 개발이 매우 중요함.

○ 연구개발 내용

- NGL(Natural Gas Liquids) 회수공정 및 계통연계기술개발
  - NGL 회수공정 열평형 해석 및 연계계통 기술 개발 (Stand alone/integrated type별, Feed gas rich/lean 상태별 해석)
  - NGL 회수공정 기본설계 개발
  - LNG 시장별 NGL 회수공정 경제성 평가
  - NGL 회수공정 최적 경제성 모델 및 적용기법 제시(적용 표준, 시방 등)
- 가스 하이드레이트 억제기술개발
  - 주변 환경(온도, 압력 등)별 가스하이드레이트 억제제 적용

효과 규명

- 가스 하이드레이트 억제제 적정량 산정법 개발(억제제 최소화/최적화 방안)
- 가스 하이드레이트 예측 기법(도구) 개발
- 천연가스(or 혼합물)+ 억제제 혼합방안, 운전조건(온도, 압력 등) 도출, 최적 경제성 모델 제시

□ 제3세부과제 : LNG 플랜트 열교환기 개발

○ 연구개발 필요성

제1세부과제에서 도출되는 액화사이클 기초 데이터를 활용하여 액화공정의 효율 향상에 영향을 미치는 핵심 기자재로 세계적인 경쟁력이 있는 열교환기 개발과 실용화가 요구됨

○ 연구개발 내용

- Cold box용 plate타입 열교환기 개발
  - 특허조사, 개선·최적화 방안 도출 (Spiral-wound type, plate-fin type 등)
  - 열교환기 설계요소 평가 및 열교환기 기본설계(압력과 온도 조건이 바뀔 경우의 전열 특성, 다양한 냉매의 흐름과 제어 등, Two phase flow에서의 전열 특성, Flow 방향에 따른 성능 특성, 열교환기 내부에서의 냉매 흐름의 제어기술)
  - 열교환기(plate fin type) 설계/제작
  - 열교환기 Pilot plant 적용/검증, Test bed 연계 적용 방안 제시
  - Pilot plant 이용 열교환기, 압축기 용량 가감에 따른 운전 특성 평가
  - 열교환기, 압축기 용량 가감 등의 Scale-up 설계기법 및 실용화방안 제시

□ 제4세부과제 : LNG 플랜트 압축기 개발

○ 연구개발 필요성

제1세부과제에서 도출되는 액화사이클 기초 데이터를 활용하여 액화공정의 효율 향상에 영향을 미치는 핵심 기자재로 세계적인 경쟁력이 있는 압축기 개발과 실용화가 요구됨

○ 연구개발 내용

- 천연가스 액화 공정용 냉매압축기 개발

- 특허조사, 개선·최적화 방안 도출(터빈구동 방식, 전기구동 방식 : 유도전동기, 영구자석 등)
- 압축기 설계요소 평가 및 압축기 운전조건 모사 제시
- 압축기 설계/제작 (유공압적 해석(운전 모델 이용), 기구학적 해석(내식성, 내마모성 등 기계적 손실 반영)
- 압축기 Pilot plant 적용/검증, Test bed 연계 적용 방안 제시
- Pilot plant 이용 압축기 용량 가감에 따른 운전 특성 평가
- 압축기 용량 가감 등의 Scale-up 설계기법 및 실용화방안 제시

#### 4. 연구개발의 추진 방법

- 선진 공정기술 벤치마킹 및 FEED 사례 분석
  - 선진 기술개발체계/관련지식 등 습득을 통한 연구기반 마련
  - 선진사례/우수사례 벤치마킹 (노르웨이 SINTEF, NTNU, 미국의 GTI 등)을 통해 시장 지향형 연구개발 추진
  - 1단계 요소기술 확보, 2단계 중점기술 통합성능 확보, 3단계 LNG 플랜트 실용화
- 우수기술의 중간진입
  - 새로운 소재와 우수한 IT, 최적화 기술의 접목을 병렬적으로 진행
  - LNG공정 기술분류 및 선택과 집중: 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술
- 추진전략
  - 요구되는 기술수요와 투자효과, 투입 자원을 고려한 추진시기 결정
- 국외 선진기관 공동연구
  - 천연가스 액화공정에 관한 국내의 연구 실적이나 경험이 전무한 실정을 고려하여, 해외 업체, 연구기관과의 공동연구 추진
  - 기술개발과정에서 기술적 확인이 필요한 예상 문제점 예측과 이에 대한 대책을 초기 단계에서부터 수립
- 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 핵심3주관기관과의 협조체계를 구축

- 추진체계
  - 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동

|                  |  |
|------------------|--|
|                  | <p>연구 추진</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 타 핵심주관기관과의 협업을 통한 기술 개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축 하여 추진할 것</li> <li>○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동 연구 추진방안을 모색</li> <li>○ 테스트베드 시행과 관련하여 핵심3주관기관(핵심연구책임자)이 각 핵심과제에서 개발된 기술을 검증 및 평가를 위한 협조 요청시 적극 협조할 것</li> </ul>  |
| 5. 최종 성과물 및 활용방안 |  |
| <p>□ 최종 성과물</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 제1세부과제 : 고효율 LNG 공정기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>• LNG 액화공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 트레이너 효율 92% 이상</li> <li>- 100 톤/일 급 테스트베드 액화공정</li> <li>- 5 Mt/y급 LNG 액화공정</li> </ul> </li> <li>• LNG 액화공정 물성 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 천연가스</li> <li>- 냉매</li> <li>- 부수가스</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 제2세부과제 : 천연가스 전처리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>• NGL 회수공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에탄 99.5% 이상, 기타 응축물질 99.9% 이상</li> <li>- 계통에 통합방법</li> </ul> </li> <li>• 가스 하이드레이트 억제기 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생성 메커니즘 및 공정응용설계</li> <li>- 생성 억제기재</li> <li>- 계통에 통합방법</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 제3세부과제 : LNG 플랜트 열교환기 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 초저온 열교환기 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 플레이트-핀(plate-fin) 방식 열교환기</li> <li>- 열전달계수 향상</li> <li>- 크기 10% 저감</li> <li>- 유지보수성 10% 개선</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 제4세부과제 : LNG 플랜트 압축기 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 혼합냉매 압축기 개발</li> </ul> </li> </ul> |

|   |   |
|---|---|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 혼합냉매 사용 가능 압축기 개발</li> <li>- Mach No 0.85 이하, 운전범위 35% 이상</li> <li>- 에너지손실 저감</li> <li>- 유지보수성 10% 개선</li> </ul>   |
| <input type="checkbox"/> 실용화 또는 사업화 방안                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 플랜트 기술개발과제를 수행함으로써, 플랜트사업 전후방 dynamics를 추구할 수 있음. LNG 액화플랜트에 소요되는 핵심 설비인 컴프레서, 팽창기, 열교환기 등의 국산화개발을 통해 LNG 플랜트뿐만 아니라 타 초저온공정플랜트 산업에도 적용이 가능함.</li> <li>○ 자원연계형 투자개발사업 컨소시엄 (자원개발+ 기술+ 금융)을 통한 플랜트 사업 추진: 우리나라의 공·사기업 주도의 해외 에너지자원개발을 통해 확보한 가스전에 개발 공정/설계/건설 기술 성과물을 적용함.           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 테스트베드 규모의 차량용 LNG 충전소에 적용.</li> <li>◦ 관련 개발기술은 공기분리장치나, FPSO (Floating Production, Storage Offshore)등에도 적용 가능함. 특별히 FPSO 기술은 초고유가가 형성되기 이전에는 경제성 문제로 큰 주목을 받지 못했던, 중소규모의 해양 가스전의 개발에 적용할 수 있는 기술로 선박이나 바지선위에 중소형 규모의 LNG 액화플랜트를 설치하는 것으로 향후 초고유가시대에 수요가 증가될 것으로 전망되는 플랜트산업 분야임.</li> </ul> </li> </ul> |
| 6. 사업 기간 및 소요예산   |   |
| <input type="checkbox"/> 전체                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총사업 기간 : 2008년 ~ 2013년(6년)           <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1단계(2년) &lt;정부지원금 : 54.8억원 이내&gt;               <ul style="list-style-type: none"> <li>1차년도 연구기간 : 2008년 8월 ~ 2009년 4월</li> <li>2차년도 연구기간 : 2009년 4월 ~ 2010년 4월</li> </ul> </li> <li>• 2단계(2년) &lt;정부지원금 : 99.2억원 이내&gt;</li> <li>• 3단계(2년) &lt;정부지원금 : 57억원 이내&gt;</li> </ul> </li> <li>○ 총연구비 : &lt;정부지원금 : 211.0억원 이내&gt;</li> </ul> <p>※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능</p> <p>※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.</p>  |
| 7. 기타   |   |
| <input type="checkbox"/> 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것. |   |

※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 “예산적정성 검토”, 선정평가 결과, 정부 예산 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

다. 세부과제 RFP(안)

| 세부과제명               | 2-1-2 협동과제 : 천연가스 및 냉매 물성연구 및 DB 구축  |
|---------------------|--|
| 1. 연구개발 목표          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 액화플랜트 EPC 필수기술 개발 및 독자 액화공정 라이선스 구축을 위하여, LNG 액화플랜트의 설계 및 운영에 적용될 천연가스 및 냉매의 물성연구</li> <li>○ 냉매, LNG 등에 대한 기존의 물성 자료 분석</li> <li>○ 냉매, LNG 등의 열역학적 Data에 대한 검증</li> <li>○ 초저온 액화사이클을 최적화하고 천연가스 액화플랜트 공정에 사용되는 냉매, LNG 등의 열역학적인 물성 DB 구축</li> <li>○ 2-1세부과제에서 사용되는 설계 및 simulation tool과 연구된 물성값이 연동되도록 DB 구축</li> </ul>  |
| 2. 연구개발 필요성 및 기술 동향 | <div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>○ LNG 플랜트는 성장사업으로서 산업의 전후방 연관효과가 94% 이상이며, 건설사업 건당 사업비가 1~10억 달러 이상으로 외화 획득과 고부가가치 및 고용창출에 미치는 효과가 매우 큼</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세계적으로 천연가스의 수요는 2030년까지 2002년 대비 약 2배 수준 증가할 것으로 전망</li> <li>- 가스부문의 투자액은 향후 2030년까지 연평균 약 1000억 달러로 전망</li> </ul> <p>※ 출처: IEA, World Energy Outlook, 2003.</p> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>○ 기존의 상업용 Simulation 및 설계 tool들에 적용된 물성값들이 LNG가 존재하는 극저온에서 오차가 많으므로 이들에 대한 보정이 필요.</p> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>○ LNG를 Simulation하고 설계하는 작업에서 물성값에 대한 오차는 개발된 액화공정에 대한 성능 신뢰도에 문제가 됨</p> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>○ 천연가스, 냉매, 혼합가스 등에 대한 초저온 거동 및 물성 DB 정립</p> </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> <p>&lt;국내&gt;</p> <p>○ 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.</p> </div> <div> <p>○ LNG 및 LNG플랜트용 냉매에 대한 체계적인 물성 연구는 전무함</p> </div> </div> |
| □ 연구개발의 필요성         |  |
| □ 기술 동향             |  |

상태로 LNG 설계 및 Simulation을 위한 물성 DB 구축이 요구됨

<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 후발업체의 시장 참여가 제한적임.
  - Phillips의 Optimized Cascade기술이나 Statoil/Linde의 Mixed Fluid Cascade (MFC) 기술의 경우 EPC Contractor로 각각 Bechtel과 Linde/Aker로 정해져 있는 상황임.
  - APCI 공정 기술은 다수의 EPC contractor에게 라이선스가 부여되지만, 이 경우도 JGC-KBR과 Chiyoda가 형성한 카르텔에 의해 여타 EPC 업체의 기술사용 자체가 어려운 상황임.
- 미국 및 유럽의 경우 체계적인 물성을 정립하여 각종 연구 및 설계에 활용되고 있음.

### 3. 연구개발 내용

#### ○ 과제 정의

본 과제는 핵심2과제의 각 세부과제에서 사용될 LNG 및 냉매의 물성 연구 및 이에 대한 DB 구축을 위한 2-1세부과제의 협동과제임

#### ○ 연구개발 내용

- 상용 물성 DB 구입 및 분석
- 기본 연구 및 기존의 물성값의 비교 분석
  - LNG 플랜트관련 공정에 대한 기반 연구
  - 선진사의 상용 물성 DB의 비교 분석 및 적용 방안 연구
  - 초저온 공정 해석에 적용될 열평형 수지식 정립
- 상용 Simulator에의 적용성 연구
  - 상용 Simulator에 사용되는 물성 Data의 비교 분석
  - 핵심과제에서 사용되는 상용 Simulator와 개발될 물성 DB의 연동
- LNG 및 냉매 물성 정립
  - LNG 및 냉매의 주요 물성인 기액 평형값 (Vapor Fraction), 엔탈피 계산법, 밀도 등에 대한 검증 (물성실험 등 검증방안 제시)
  - 타 핵심과제의 BSU(Bench Scale Unit)와 테스트베드의 운전

|  |   |
|--|---|
| <p>Data와의 비교 검증</p> <p>※ 본 과제를 통하여 상용 물성 DB 구입시 2-1세부주관기관과 사전 협의하여야 하고, 2-1세부과제 수행을 위하여 세부주관기관의 요청 시 무상으로 제공할 의무가 있음</p> |   |
| 4. 연구개발의 추진 방법   |   |
| □ 추진전략   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 여건을 감안하여 국외 선진기관과 공동연구 추진 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원천, 핵심기술에 대한 전략적인 공동연구 추진</li> <li>- 개발기술을 기반으로 선진기업과 전략적 제휴방안 추진</li> <li>- 선진기술개발체계/관련 지식 습득을 통한 독자 연구기반 마련</li> </ul> </li> <li>○ 새로운 아이디어와 우수한 기술의 접목을 통한 융·복합 특화기술 추진</li> <li>○ LNG 플랜트 사업수행에 중요한 핵심 가치사슬(Value Chain)에 연관된 기술을 중심으로 로드맵을 마련하고 사업전략과 연계하여 R&amp;BD로 추진 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술을 전략적 특화기술로 재분류하여 선택과 집중을 실천</li> <li>- 지식경제부 원천/요소기술 접목, 기존 LNG 인프라 활용하고 위험회피전략으로 기술경쟁체계(실증기술 중심 + 특화/기반기술)를 도입</li> </ul> </li> <li>○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진</li> <li>○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심1, 2주관기관과의 협조체계를 구축</li> </ul> |
| □ 추진체계   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 핵심과제의 총괄 및 사업단의 조정 요구시 적극 협조</li> <li>○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연구 추진</li> <li>○ 타 세부연구기관과의 협업을 통한 기술개발과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축하여 추진할 것</li> <li>○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구 추진방안을 모색</li> </ul>   |
| 5. 최종 성과물 활용 방안  |   |
| □ 최종 성과물   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 및 냉매 물성 기술 자료 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 물성 특성 기술자료</li> <li>- 상용 Simulator 및 상용 초저온 물성 자료와 비교 분석 자료</li> </ul> </li> </ul>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 및 냉매 물성 DB <ul style="list-style-type: none"> <li>- 범용 Application에서 활용이 가능한 Program 형태의 제작(예: VBA (MS의 Visual Basic for Application))</li> <li>- 상용 Simulator와 연계 적용되는 형태</li> <li>- Source Code 형태로 제작</li> </ul> </li> <li>○ 관련 연구보고서, 논문, 특허 등의 지적 재산권 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상세기획보고서의 목표치 기준에 따름.</li> </ul> </li> </ul>   |
| <input type="checkbox"/> 실용화 또는 사업화 방안 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 플랜트 관련 초저온 공정 분석과 설계에 적용</li> <li>○ 본 LNG 및 냉매 물성연구의 결과는 LNG 플랜트의 액화사이클 개발 및 기본설계 등에 적용됨.</li> <li>○ LNG 및 냉매 물성 DB는 자체로서도 상업적 가치는 있는 초저온 물성 정보로 LNG 플랜트 개발 사업에 초석이 됨.</li> <li>○ 테스트베드의 운전 성능 평가와 제어 알고리즘 개발의 기반기술임.</li> <li>○ 개발된 기술은 향후 국내 유사 플랜트 관련 기술개발 및 핵심요소의 국산화 개발 등에 활용 가능하며 특히 초저온 분야의 연구기반 구축에 활용이 기대됨.</li> </ul>   |
| <b>6. 사업 기간 및 소요예산(안)</b>              |  |
| <input type="checkbox"/> 전체            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총사업기간 : 2008년 11월 18일 ~ 2014년 6월 17일 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1단계('08.11~'10.04) : 정부지원금 3.03억원 이내 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차년도('08.11~'09.04) : 정부출연금 0.82억원</li> <li>• 2차년도('09.04~'10.04) : 정부출연금 2.21억원 이내</li> </ul> </li> <li>- 2단계('10.04~'12.04) : 정부지원금 4.97억원 이내</li> <li>- 3단계('12.04~'14.06) : 정부지원금 4.04억원 이내</li> </ul> </li> <li>○ 총연구비 : 정부출연금 12.04억원 이내</li> <br/> <li>※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능</li> <li>※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.</li> </ul> |
| <b>7. 기타</b>                           |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것. <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 “예산적정성 검토”, 선정평가 결과, 정부 예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음</li> </ul> </li> <br/> <li>○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시</li> </ul> </li> </ul>   |

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거 자료로 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

| 과제명                 | 2-2 세부과제 : 천연가스 전처리 기술 개발  |
|---------------------|--|
| 1. 연구개발 목표          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 플랜트 EPC 필수기술 개발 및 독자 액화공정 라이선스 구축을 위하여, LNG 플랜트 전처리공정의 핵심기술인 가스하이드레이트 생성 억제 및 NGL 회수공정 국산화 기술개발</li> <li>○ LNG 액화공정 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 가스하이드레이트 생성 억제 및 NGL 회수공정 국산화 기술 개발</li> <li>○ 에탄 99.5% 이상, 기타 응축물질 99.9% 이상의 회수가 가능한 NGL 공정의 개발 및 최적화 기술 개발</li> <li>○ 가스전에서부터 LNG 생산까지의 공정에 있어서, 가스하이드레이트 생성의 메커니즘 규명 및 제거 공정기술의 개발 및 수분제거 1 ppm 이하 성능의 Dehydration 공정 개발</li> </ul>  |
| 2. 연구개발 필요성 및 기술 동향 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 감압된 천연가스는 각각의 액화공정으로 공급되며, LNG 플랜트 공정설비로는 이산화탄소 제거설비, 물과 수은의 제거설비, 액화설비, 분류설비, 냉매의 저장 및 보충 설비 등으로 구성됨.</li> <li>○ 가스전에서 나온 천연가스 중 제거되어지는 불순물로는 보통 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, 수분과 수은임. 이중에서 수분은 천연가스와 함께 저온이 되면 하이드레이트(Hydrate)나 얼음을 생성하여 장치 내에서 막히는 일이 있으므로 취급상 주의해야 함.</li> </ul> <p data-bbox="193 1442 443 1525">□ 연구개발의 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가스전의 천연가스를 채취 시 다량의 수분이 함유될 수 있기에 일차적으로 이들 다량의 수분을 LNG액화플랜트로 보내지는 천연가스에서 제거되어야 함. 또한, LNG 액화플랜트 전처리 공정 중 하나인 Dehydration 공정의 개발이 요구됨.</li> <li>○ 무거운 성분의 가스 (heavy hydrocarbon)는 극저온 설비에서 결빙과 이로 인한 막힘 현상을 초래하므로 LNG 최종 제품 생산 공정 중에 반드시 분리되어야 함.</li> <li>○ 액화공정의 에너지 효율을 향상시키고 최적의 운전 안정성을 확보하는 천연가스 전처리 기술 개발이 매우 중요함.</li> </ul> |
| □ 기술 동향             | <국내 >  |

- 국내의 LNG플랜트 관련 기술개발 사례로 LNG 저장탱크 및 LNG 인수기지 기본설계, 그리고 BOG 재액화장치 분야를 제외한 LNG플랜트 분야에 대한 연구 실적은 전무.
- 가스 하이드레이트의 특성 생성 메카니즘 등에 대한 연구는 국내의 여러 연구소 및 학계에서 기초 연구를 하였으나, 실제 플랜트로의 응용을 위한 공정모사 및 설계 등에 대한 연구는 없음.
- 천연가스의 수분, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, 그리고 수은을 제거하는 공정관련 기술은 일반화된 기술로 국내 EPC 업체에서 다수의 프로젝트를 수행한 경험이 있음.

<국외>

- LNG 플랜트의 천연가스 액화능력 증가에 따라 대형, 고효율 액화 공정 기술의 시장 점유율이 증가하고 있음.
- 천연가스 액화플랜트의 기술개발 다각화로 설계와 액화공정 개발을 하나의 업체로 개발을 수행하는 경향이 있음.
- LNG생산 시 천연가스로부터 분리된 프로판과 부탄 등 중질 가스의 활용 가치상승으로 NGL 분리에 대한 연구가 활발함
- 중소 액화기지 등에 대한 관심도의 증가로 전처리 공정의 콤팩트설계에 대한 연구가 요구되고 있음

3. 연구개발 내용

□ 과제 정의

가스전에서부터 LNG생산에 이르기까지의 수분제거 공정 및 NGL 공정 설계 및 최적화 기술 개발

□ 연구개발내용

- NGL(Natural Gas Liquids) 회수공정 및 통합기술개발
  - NGL 회수공정 해석 및 계통연계 기술개발 (Stand alone/integrated type별, Feed gas rich/lean 상태별 해석)
  - NGL 회수공정 기본설계 개발
  - 개발된 공정에 대한 실험적 검증
  - LNG 산지별 NGL 회수공정 경제성 평가

|  |  |
|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- NGL 회수공정에 대한 최적화를 통한 경제적 모델 및 적용기법 제시(적용 표준, 시방 등)</li> <li>○ 가스 하이드레이트 생성 억제기술 및 공정개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가스 하이드레이트의 특성 및 생성 메카니즘 규명</li> <li>- 가스전의 천연가스로부터 다량의 수분 제거방안 개발</li> <li>- LNG 플랜트의 전처리 공정인 Dehydration 최적공정 도출 및 검증</li> <li>- 정립된 공정에 대한 테스트베드용 기본설계 및 검증</li> <li>- 산성가스 및 수은 제거공정 등 전처리 공정에 대한 콤팩트화 개념정립</li> </ul> </li> </ul> |
|--|--|

|                |  |
|----------------|--|
| 4. 연구개발의 추진 방법 |  |
|----------------|--|

|        |   |
|--------|---|
| □ 추진전략 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선진 공정기술 벤치마킹 및 FEED 사례 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 선진 기술개발체계/관련지식 등 습득을 통한 연구기반 마련</li> <li>- 선진사례/우수사례 벤치마킹 (노르웨이 SINTEF, NTNU, 미국의 GTI 등)을 통해 시장 지향형 연구개발 추진</li> </ul> </li> <li>○ 우수기술의 중간진입 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 소재와 우수한 IT, 최적화 기술의 접목을 병렬적으로 진행</li> <li>- LNG공정 기술분류 및 선택과 집중: 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술</li> <li>- 요구되는 기술수요와 투자효과, 투입 자원을 고려한 추진시기 결정</li> </ul> </li> <li>○ 국외 선진기관 공동연구 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 천연가스 액화공정에 관한 국내의 연구 실적이나 경험이 전무한 실정을 고려하여, 해외 업체, 연구기관과의 공동연구 추진</li> <li>- 기술개발과정에서 기술적 확인이 필요한 예상 문제점 예측과 이에 대한 대책을 초기 단계에서부터 수립</li> </ul> </li> <li>○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, Test-bed와의 연계를 반드시 포함하여 추진</li> <li>○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, Test-bed와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심3주관기관과의 협조체계를 구축</li> </ul> |
|--------|---|

|        |  |
|--------|--|
| □ 추진체계 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 2핵심과제의 총괄 및 조정요구시 적극 협조</li> <li>○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동</li> </ul> |
|--------|--|

|                         |  |
|-------------------------|--|
|                         | <p>연구 추진</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 타 핵심주관기관과의 협업을 통한 기술 개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축 하여 추진할 것</li> <li>○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동 연구 추진방안을 모색</li> <li>○ Test-bed 시행과 관련하여 핵심3주관기관(핵심연구책임자)이 각 핵심과제에서 개발된 기술을 검증 및 평가를 위한 협조 요청시 적극 협조할 것</li> </ul>   |
| <p>5. 최종 성과물 및 활용방안</p> |  |
| <p>□ 최종 성과물</p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ NGL 회수공정 <ul style="list-style-type: none"> <li>- LNG 액화공정의 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 공정기술 및 기본설계</li> <li>- 에탄 99.5% 이상, 기타 응축물질 99.9% 이상 분리 가능하도록 액화공정 계통에 통합방법 제시</li> <li>- 개발된 공정 검증용 실험장치</li> </ul> </li> <li>○ 가스 하이드레이트 억제기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생성 메커니즘 규명 및 공정응용설계</li> <li>- 가스전에서부터 LNG액화까지 수분제거 공정 최적화 및 기본설계</li> <li>- 테스트베드용 기본설계</li> </ul> </li> </ul>  |
| <p>□ 실용화 또는 사업화 방안</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가스플랜트 사업의 성공은 기본 검증인 Test-bed에 있으며, 실용화에 있어서 Test-bed 규모의 중소형 액화플랜트에 대한 사업화.</li> <li>○ 관련 개발기술은 공기분리장치나, FPSO (Floating Production, Storage Offshore)등에도 적용 가능함. 특별히 FPSO 기술은 초고유가가 형성되기 이전에는 경제성 문제로 큰 주목을 받지 못했던, 중소규모의 해양 가스전의 개발에 적용할 수 있는 기술로 선박이나 바지선위에 중소형 규모의 LNG 액화플랜트를 설치하는 것으로 향후 초고유가시대에 수요가 증가될 것으로 전망되는 플랜트산업 분야임.</li> <li>○ 천연가스 중질분의 가격 변동에 따른 중질분 분리 최적화를 통하여 운영중인 액화공정이라도 운영 최적화 사업을 수행할 수 있음.</li> <li>○ 자원연계형 투자개발사업 컨소시엄 (자원개발+기술+금융)을 통한 플랜트 사업 추진: 우리나라의 공·사기업 주도의 해외 에너지</li> </ul> |

|   |   |
|---|---|
| 지자원개발을 통해 확보한 가스전에 개발 공정/설계/건설 기술 성과물을 적용함. |   |
| 6. 사업 기간 및 소요예산                             |   |
| □ 전체  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총사업 기간 : 2009년 ~ 2013년(5년) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1단계(1년) &lt;정부지원금 : 4.06억원 이내&gt;<br/>1차년도 연구기간 : 2009년 4월 ~ 2010년 4월</li> <li>• 2단계(2년) &lt;정부지원금 : 8.7억원 이내&gt;</li> <li>• 3단계(2년) &lt;정부지원금 : 8.23억원 이내&gt;</li> </ul> </li> <li>○ 총연구비 : &lt;정부지원금 : 21.0억원 이내&gt;</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능</p> <p style="margin-left: 40px;">※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.</p>  |
| 7. 기타                                       |   |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것. <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 “예산적정성 검토”, 선정평가 결과, 정부 예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음</li> </ul> </li> <li>○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시</li> <li>※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용</li> </ul> </li> <li>○ 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</li> <li>○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함</li> </ul> </li> <li>○ 기업 참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능</li> <li>○ 추후 사업단 운영계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음</li> </ul> |

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
- 사업단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구 개발계획서의 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                              | 2-3 세부과제 : LNG 플랜트 열교환기 개발  |
|------------------------------------|---|
| 1. 연구개발 목표                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 액화플랜트 기술개발 및 독자 액화공정 라이선스 구축을 위하여, LNG 액화플랜트의 핵심 주요기기인 고효율의 초저온 열교환기의 기술개발</li> <li>○ LNG 액화공정의 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 초저온 열교환기의 설계기술 개발 및 국산화 제작기술 개발</li> <li>○ 가스플랜트사업의 테스트베드(일일 액화능력 100톤급)에서 신 액화공정에 적용될 초저온 열교환기 설계 및 국산화 제작</li> <li>○ ALPEMA (Brazed Aluminium Plate-Fin Heat Exchanger Manufacturers' Association) 기준에 의거한 플레이트 형 초저온 열교환기 개발</li> </ul>   |
| 2. 연구개발 필요성 및 기술 동향                |   |
| <input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 액화플랜트의 고부가가치는 액화공정 자체의 라이선스와 주요기기로 나누어짐. 초저온 열교환기는 액화공정의 특성이 표현되는 중요한 고부가가치의 설비임.</li> <li>○ 액화사이클의 특성은 초저온 열교환기의 제작성 및 운전 특성에 따라 현실화된다고 할 수 있을 정도로, 액화사이클의 설계 및 최적화와 밀접한 관계가 있음.</li> <li>○ 국내의 플레이트 핀형 열교환기의 개발 정도는 단지 Lab Scale의 규모로 산업적 의미가 있는 테스트베드 규모의 제작 경험은 없는 실정임.</li> <li>○ 공기 분리 및 초저온 분리 생산품의 기반기술로 고부가가치 기술임.</li> <li>○ 국제적 LNG 플랜트 시장에서 우리나라의 플랜트 엔지니어링/건설 기업의 기술 경쟁력 확보를 위해서는 핵심 공정기술 및 핵심 주요 기기의 국산화 개발과 테스트베드(test-bed)를 이용한 실증, FEED (front-end engineering design) 능력 확보가 필요함.</li> <li>○ 제3핵심과제의 궁극적인 목표인 LNG 플랜트 EPC 수행을 위해서는 기본공정의 설계, 그리고 초저온 열교환기와 같은 핵심요소설비의 설계 및 제작기술 개발이 필수적임.</li> </ul> |
| <input type="checkbox"/> 기술 동향     | <p>&lt;국내&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내의 LNG 플랜트 관련 기술개발 사례로 LNG 저장탱크 및 재액화 관련 분야를 제외한 천연가스 액화 공정과 이의 응용기술 분야에 대한 연구 실적은 전무임.</li> <li>○ 초저온 열교환기를 이용한 LNG의 생산은 Lab Scale의 소규모 실</li> </ul>   |

힘이 이루어진 정도로, 기술의 실증 규모인 테스트베드의 국산화 개발 관련 기술연구는 없음.

<국외>

- LNG 플랜트의 천연가스 액화능력 증가에 따라 대형, 고효율 액화 공정 기술의 시장 점유율이 증가하고 있음.
- 천연가스 액화플랜트의 기술개발 다각화로 설계와 액화공정 개발을 하나의 업체로 개발을 수행하는 경향이 있음.
- 열교환기에 대한 콤팩트화 설계의 연구개발이 진행되어 단일 트레인 당 처리 용량이 증가되는 추세임. 최근에는 7.8 MTPA의 용량이 실현화되고 10 MTPA 이상의 열교환기도 연구 개발되고 있음.
- 열교환기의 초대형화와 더불어 최근에는 중규모 (1~2 MPTA)의 열교환기의 효율화 역시 중요한 기술개발 대상임.

3. 연구개발 내용

○ **과제정의**

천연가스를 수송하기에 효과적인 액체상태로 변환하기 위하여 압축, 방열, 팽창, 냉각과정을 반복하는 초저온 냉동사이클을 이용한 천연가스 액화에 적합한 열교환기를 개발하는 과제

○ **연구개발내용**

□ 열교환기 기술개발

- Cold box 형태의 plate 타입 열교환기 개발
- 특허조사, 개선·최적화 방안 도출 (Spiral-wound type, plate-fin type 등)
- 열교환기 설계요소 평가 및 열교환기 기본설계(압력과 온도 조건이 바뀔 경우의 전열 특성, 다양한 냉매의 흐름과 제어 등, Two phase flow에서의 전열 특성, Flow 방향에 따른 성능 특성, 열교환기 내부에서의 냉매 흐름의 제어기술)
- 초저온 열교환기로 운전온도범위  $-180^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 이며, 허용압력은 60 bar 이상 가능
- 열교환기 내에 3 path가 가능한 Plate형으로 Effectiveness가 90% 이상

□ Test-bed 용 열교환기 개발

- 열교환기(plate type) 설계/제작 (설치지원 및 사후관리 포함)
- 테스트베드 연계 적용 방안 제시

|                       |   |
|-----------------------|---|
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열교환기에 대한 Test-bed의 Pilot plant 적용/검증</li> <li>- 테스트베드의 Pilot plant를 이용한 열교환기 및 압축기 용량 가감에 따른 운전 특성 평가</li> <li>□ 상용급 열교환기 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 열교환기, 압축기 용량 가감 등의 Scale-up 설계기법 및 실용화 방안 제시</li> <li>- LNG 액화공정의 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 초저온 열교환기의 설계기술 개발 및 국산화 제작기술 개발</li> </ul> </li> </ul>   |
| <b>4. 연구개발의 추진 방법</b> |   |
| □ 추진전략                | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선진 초저온 열교환기기술 벤치마킹 및 실증 사례 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 선진 기술개발체계/관련지식 등 습득을 통한 연구기반 마련</li> <li>- 선진사례/우수사례 벤치마킹 (C3MR, Cascade 공정 등에 대한 분석 및 ALPEMA의 제작사에 대한 벤치마킹 등)을 통해 시장 지향형 연구개발 추진</li> </ul> </li> <li>○ 우수기술의 중간진입 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 소재와 우수한 IT, 최적화 기술의 접목을 병렬적으로 진행</li> <li>- LNG공정 기술분류 및 선택과 집중: 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술</li> <li>- 요구되는 기술수요와 투자효과, 투입 자원을 고려한 추진시기 결정</li> </ul> </li> <li>○ 국외 선진기관 공동연구 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 천연가스 액화공정에 관한 국내의 연구 실적이나 경험이 전무한 실정을 고려하여, 해외 업체, 연구기관과의 공동연구 추진</li> <li>- 기술개발과정에서 기술적 확인이 필요한 예상 문제점 예측과 이에 대한 대책을 초기 단계에서부터 수립</li> </ul> </li> <li>○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진</li> <li>○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심3주관기관과의 협조체계를 구축</li> </ul> |
| □ 추진체계                | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 2핵심과제의 총괄 및 조정요구 시 적극 협조</li> <li>○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연</li> </ul>  |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>구 추진</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 타 핵심/세부주관기관과의 협업을 통한 기술 개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축 하여 추진할 것</li> <li>○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구 추진방안을 모색</li> <li>○ 테스트베드 시행과 관련하여 핵심3주관기관(핵심연구책임자)이 각 핵심과제에서 개발된 기술을 검증 및 평가를 위한 협조 요청시 적극 협조할 것</li> <li>○ 개발된 핵심 기자재가 테스트베드에 적용시, 적용된 제품의 시운전 및 정비와 수리에 대한 지원을 수행</li> </ul> |
|--|---|

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>5. 최종 성과물 및 활용방안</b> |  |
|-------------------------|--|

|          |   |
|----------|---|
| □ 최종 성과물 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 공정 열교환기 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 플레이트(plate) 방식 LNG 초저온 열교환기 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 초저온 열교환기로 운전 온도 범위 -180℃~60℃</li> <li>- 열교환기 허용압력 60 bar 이상 (2-1세부과제의 액화공정 설계에 따라 변동될 수 있음)</li> <li>- 열교환기 내에 3 path가 가능한 Plate 형으로 Effectiveness 가 90% 이상</li> </ul> </li> <li>• ALPEMA 기준에 부합된 설계 기술</li> </ul> </li> <li>○ 테스트베드에서 신 LNG액화공정용 열교환기 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 테스트베드용 초저온 열교환기</li> <li>• ALPEMA 기준에 부합된 설계</li> </ul> </li> <li>○ LNG 액화공정의 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 초저온 열교환기의 설계기술</li> <li>○ 관련 연구보고서, 논문, 특허 등의 지적 재산권 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상세기획보고서의 목표치 기준에 따름.</li> </ul> </li> </ul> |
|----------|---|

|                 |  |
|-----------------|--|
| □ 실용화 또는 사업화 방안 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가스플랜트 기술개발과제를 수행함으로써, 플랜트사업 전후방 기술 및 사업의 파급효과를 추구할 수 있음. LNG 액화플랜트에 소요되는 핵심설비인 열교환기 등의 국산화개발을 통해 LNG 플랜트뿐만 아니라, 공기분리와 초저온 고부가가치 가스 생산 등 타 초저온 공정플랜트 산업에도 적용이 가능함.</li> <li>○ 자원연계형 투자개발사업 컨소시엄 (자원개발+기술+금융)을 통한 플랜트 사업 추진: 우리나라의 공·사기업 주도의 해외 에너지자원개발을 통해 확보한 가스전에 개발 공정/설계/건설 기술 성과를 적용함.</li> </ul> |
|-----------------|--|

|                             |   |
|-----------------------------|---|
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가스플랜트 사업의 성공은 기본 검증인 테스트베드에 있으며, 실용화에 있어서 테스트베드 규모의 중소형 액화플랜트에 대한 사업화.</li> <li>○ 관련 개발기술은 공기분리장치나, FPSO (Floating Production, Storage Offshore)등에도 적용 가능함. 특별히 FPSO 기술은 초고유가가 형성되기 이전에는 경제성 문제로 큰 주목을 받지 못했던, 중소규모의 해양 가스전의 개발에 적용할 수 있는 기술로 선박이나 바지선위에 중소형 규모의 LNG 액화플랜트를 설치하는 것으로 향후 초고유가시대에 수요가 증가될 것으로 전망되는 플랜트산업 분야임.</li> </ul>   |
| <b>6. 사업 기간 및 소요예산</b>      |   |
| <input type="checkbox"/> 전체 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총사업기간 : 2008년 11월 18일 ~ 2014년 6월 17일 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1단계('08.11~'10.04) : 정부지원금 11.95억원 이내 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차년도('08.11~'09.04) : 정부출연금 2.5억원</li> <li>• 2차년도('09.04~'10.04) : 정부출연금 9.45억원 이내</li> </ul> </li> <li>- 2단계('10.04~'12.04) : 정부지원금 36.46억원 이내</li> <li>- 3단계('12.04~'14.06) : 정부지원금 15.21억원 이내</li> </ul> </li> <li>○ 총연구비 : 정부출연금 63.64억원 이내</li> <li>※ 연차별 정부출연금은 정부예산사정과 사업단운영계획 등에 따라 변경 가능</li> <li>※ 정부출연금은 미지급내부인건비가 포함되어 있지 않음.</li> </ul>        |
| <b>7. 기타</b>                |   |
|                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구개발계획서 작성시, 타 과제간 상호 연계·활용계획 명시할 것. <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 총 지원예산 및 연차별 지원예산은 향후 “예산적정성 검토”, 선정평가 결과, 정부 예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음</li> </ul> </li> <li>○ 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 필히 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시</li> <li>※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용</li> </ul> </li> <li>○ 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</li> </ul> |

- 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               | 2-4 세부과제 : LNG 플랜트 압축기 개발  |
|---------------------|--|
| 1. 연구개발 목표          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 액화플랜트 기술개발 및 독자 액화공정 라이선스 구축을 위하여, LNG 액화플랜트의 핵심 주요기기인 고효율 냉매 압축기의 기술개발</li> <li>○ LNG 액화공정의 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 냉매 압축기의 설계기술 개발 및 국산화 제작기술 개발</li> <li>○ 가스플랜트사업의 테스트베드(일일 액화능력 100톤급)에서 신 LNG 액화공정에 적용될 냉매 압축기의 설계 및 국산화 제작</li> <li>○ 개선된 혼합냉매 압축기 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 에너지손실 최소화</li> <li>• 고효율 터보압축기</li> </ul> </li> </ul>   |
| 2. 연구개발 필요성 및 기술 동향 |  |
| □ 연구개발의 필요성         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 액화플랜트의 고부가가치는 액화공정 자체의 라이선스와 주요기기로 나누어짐. 냉매 압축기는 액화공정의 효율 및 성능과 직결된 고부가가치의 설비임.</li> <li>○ 대용량의 액화사이클 특성 및 효율은 냉매 압축기의 용량 및 효율과 직결된다고 할 수 있을 정도로, 액화사이클의 설계 및 최적화와 밀접한 관계가 있음.</li> <li>○ 국내에서 생산되는 대용량 압축기는 단지 공기압축기 정도로 그 산업적 실용성에 비하여 개발이 미비한 실정임.</li> <li>○ 다양한 가스의 압축기 개발 기술은 정유 및 석유화학에서부터 가스 산업에 이르기 여러 산업에서 사용되는 고부가가치의 기반 기술임.</li> <li>○ 국제적 LNG 플랜트 시장에서 우리나라의 플랜트 엔지니어링/건설 기업의 기술 경쟁력 확보를 위해서는 핵심 공정기술 및 핵심 주요 기기의 국산화 개발과 테스트베드(test-bed)를 이용한 실증, FEED (front-end engineering design) 능력 확보가 필요함.</li> <li>○ 제3핵심과제의 궁극적인 목표인 LNG 플랜트 EPC 수행을 위해서는 기본공정의 설계, 그리고 냉매 압축기와 같은 핵심요소설비의 설계 및 제작기술 개발이 필수적임.</li> </ul> |
| □ 기술 동향             | <p>&lt;국내&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내의 LNG 플랜트 관련 기술개발 사례로 LNG 저장탱크 및 재액화 관련 분야를 제외한 천연가스 액화 공정과 이의 응용기술 분야에 대한 연구 실적은 전무함.</li> </ul>   |

- 공기 압축기와 블로워를 집중적으로 생산 공급하고 있는 실정으로 고부가가치인 냉매와 같은 특수가스의 대형 압축기 공급 실적은 없음.

<국외>

- LNG 플랜트의 천연가스 액화능력 증가에 따라 대형, 고효율 액화 공정 기술의 시장 점유율이 증가하고 있음.
- 냉매 압축기에 있어서 터빈구동 대신 운전 안전성과 유지보수가 쉬운 전기모터 구동에 대한 연구도 활발히 있음.
- 선박용 BOG 재액화장치의 경우에는 Compressor와 Expander를 하나의 기어박스로 연결하여, 약 20%의 축동력을 절약하는 형태로 개발되었음.
- LNG 액화설비에서 주로 사용되는 장비는 대형 전문업체들이 일반 산업용 장비로 오랜 시간 검증을 거치고 적용되었던 장비로, 높은 효율과 안전성에 중점을 두고 개발되어 왔음.
- 주요기자재인 열교환기와 압축기 기술은 미국과 유럽 주요 국가들이 이미 기술적으로 완성된 상태로서, 전 세계에 주요 기자재를 공급하고 있음. 지속적인 노하우의 축적으로 후발주자(한국 등)의 추월이 쉽지 않은 상황임.
- 압축기의 초대형화와 더불어 최근에는 중규모 (1~2 MPTA)의 압축기의 효율화 역시 중요한 기술개발 대상임.

3. 연구개발 내용

○ **과제정의**

천연가스를 수송하기에 효과적인 액체상태로 변환하기 위하여 압축, 방열, 팽창, 냉각과정을 반복하는 초저온 냉동사이클을 이용한 천연가스 액화에 적합한 압축기 등을 개발하는 과제

○ **연구개발 내용**

□ **압축기 기술개발**

- 천연가스 액화 공정용 냉매압축기 개발
- 특허조사, 개선·최적화 방안 도출 (터빈구동 방식, 전기구동 방식, Expander 형, 구동기 구성방안 등)
- 압축기 설계요소 평가 및 압축기 운전조건 모사 제시
- 압축기 설계/제작 (유공압적 해석(운전 모델 이용), 기구학적 해석 (내식성, 내마모성 등 기계적 손실 반영)

□ **Test-bed 용 압축기 개발 (설치지원 및 사후관리 포함)**

- 압축기 설계/제작

|                |  |
|----------------|--|
|                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테스트베드 연계 적용 방안 제시</li> <li>- 압축기의 테스트베드 적용/검증</li> <li>- 테스트베드의 Pilot Plant를 이용한 압축기 용량 가감에 따른 운전 특성 평가</li> <li>- Test-bed 용 터보 Expander 개발 및 제작</li> <li>□ 상용급 압축기 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 압축기 용량 가감 등의 Scale-up 설계기법 및 실용화방안 제시</li> <li>- 구동기 (Driver) 와 기동기 (Help Motor) 및 압축기 와 팽창기에 대한 최적 운영을 위한 구성 방안</li> <li>- LNG 액화공정의 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 냉매 압축기의 설계기술 개발 및 국산화 제작기술 개발</li> </ul> </li> </ul>   |
| 4. 연구개발의 추진 방법 |  |
| □ 추진전략         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선진 압축기 개발기술 벤치마킹 및 실증 사례 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 선진 기술개발체계/관련지식 등 습득을 통한 연구기반 마련</li> <li>- 선진사례/우수사례 벤치마킹 (GE, Siemens, Dresser-Rand, Atlas, Linde 등)을 통해 시장 지향형 연구개발 추진</li> </ul> </li> <li>○ 우수기술의 중간진입 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 소재와 우수한 IT, 최적화 기술의 접목을 병렬적으로 진행</li> <li>- LNG공정 기술분류 및 선택과 집중: 원천/일반/보유/중간진입/경쟁기술</li> <li>- 요구되는 기술수요와 투자효과, 투입 자원을 고려한 추진시기 결정</li> </ul> </li> <li>○ 국외 선진기관 공동연구 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 천연가스 액화공정에 관한 국내의 연구 실적이나 경험이 전무한 실정을 고려하여, 해외 업체, 연구기관과의 공동연구 추진</li> <li>- 기술개발과정에서 기술적 확인이 필요한 예상 문제점 예측과 이에 대한 대책을 초기 단계에서부터 수립</li> </ul> </li> <li>○ 성과목표를 구체적으로 제시하고 성과지표 달성을 증명할 수 있는 연구, 시험평가, 테스트베드와의 연계를 반드시 포함하여 추진</li> <li>○ 실용화 및 사업화 성과를 구체적으로 명시하고, 테스트베드와의 연계를 포함하여 추진하며 이를 위해 사업단 및 핵심3주관기관과의 협조체계를 구축</li> </ul> |
| □ 추진체계         | ○ 본 과제의 주관기관(연구책임자)은 2핵심과제의 총괄 및 조정요구  |

|                         |  |
|-------------------------|--|
|                         | <p>시 적극 협조</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선도적 위치에 있는 해외 및 국내 주요 기관 및 전문가와 공동연구 추진</li> <li>○ 타 핵심/세부주관기관과의 협업을 통한 기술 개발 과제 연계성 확보 및 협조체계를 구축 하여 추진할 것</li> <li>○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 가급적 산학연 공동연구 추진방안을 모색</li> <li>○ 테스트베드 시행과 관련하여 핵심3주관기관(핵심연구책임자)이 각 핵심과제에서 개발된 기술을 검증 및 평가를 위한 협조 요청시 적극 협조할 것</li> <li>○ 개발된 핵심 기자재가 테스트베드에 적용시, 적용된 제품의 시운전 및 정비와 수리에 대한 지원을 수행</li> </ul>  |
| <p>5. 최종 성과물 및 활용방안</p> |  |
| <p>□ 최종 성과물</p>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ LNG 플랜트 압축기 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 고효율 혼합냉매 압축기 기본설계</li> <li>• Mach No 0.85 이하</li> <li>• Variable Flow/Head Control<br/>(Turndown Ratio 30% 이상, Pressure Margin 10% 이상)</li> <li>• Dry Gas Seal and Seal Control System</li> </ul> </li> <li>○ 테스트베드에서 신 LNG액화공정에 적용될 냉매 압축기 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 소형 원심형 혼합냉매(MR) 압축기</li> <li>• Test-bed 용 터보 Expander</li> <li>• Variable Flow Control System</li> <li>• Dry Gas Seal &amp; Sealing System</li> </ul> </li> <li>○ LNG 액화공정의 생산능력 5 MTPA, 트레인 효율 92%에 부합되는 냉매 압축기 설계기술</li> <li>○ 관련 연구보고서, 논문, 특허 등의 지적 재산권 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상세기획보고서의 목표치 기준에 따름.</li> </ul> </li> </ul> |
| <p>□ 실용화 또는 사업화 방안</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가스플랜트 기술개발과제를 수행함으로써, 플랜트사업 전후방 기술 및 사업의 파급효과를 추구할 수 있음. LNG 액화플랜트에 소요되는 핵심설비인 냉매압축기 등의 국산화개발을 통해 LNG 플랜트뿐만 아니라, 공기분리와 초저온 고부가가치 가스 생산 등 타 초저온 공정플랜트 산업에도 적용이 가능함.</li> </ul>   |

- 다양한 가스의 압축기 개발 기술은 정유 및 석유화학에서부터 가스 산업에 이르기 여러 산업에서 사용되는 고부가가치의 기반 기술임.
- 자원연계형 투자개발사업 컨소시엄 (자원개발+기술+금융)을 통한 플랜트 사업 추진: 우리나라의 공·사기업 주도의 해외 에너지자원개발을 통해 확보한 가스전에 개발 공정/설계/건설 기술 성과물을 적용함.
- 가스플랜트 사업의 성공은 기본 검증인 테스트베드에 있으며, 실용화에 있어서 테스트베드 규모의 중소형 액화플랜트에 대한 사업화.
- 관련 개발기술은 공기분리장치나, FPSO (Floating Production, Storage Offshore)등에도 적용 가능함. 특별히 FPSO 기술은 초고유가가 형성되기 이전에는 경제성 문제로 큰 주목을 받지 못했던, 중소규모의 해양 가스전의 개발에 적용할 수 있는 기술로 선박이나 마지선위에 중소형 규모의 LNG 액화플랜트를 설치하는 것으로 향후 초고유가시대에 수요가 증가될 것으로 전망되는 플랜트산업 분야임.

6. 사업 기간 및 소요예산

- 전체
- 총사업기간 : 2008년 11월 18일 ~ 2014년 6월 17일
    - 1단계('08.11~'10.04) : 정부지원금 9.82억원 이내
      - 1차년도('08.11~'09.04) : 정부출연금 3.0억원
      - 2차년도('09.04~'10.04) : 정부출연금 6.82억원 이내
    - 2단계('10.04~'12.04) : 정부지원금 29.99억원 이내
    - 3단계('12.04~'14.06) : 정부지원금 12.45억원 이내
  - 총연구비 : 정부출연금 52.26억원 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, 정부 예산 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

라. 핵심과제 및 세부과제 공모방안

제2핵심과제는 LNG 공정기술 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 초저온 액화공정을 개발하는 과제로서 핵심과제를 주관하는 기관이 수행하여야 하며, 중요도 측면과 기술의 통합성을 고려하여 지정공모하는 것이 합리적이다.

제2세부과제 및 제3세부과제는 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 6.2 제2핵심과제의 세부과제 공모방안 (1~5점 척도)

| 세부과제       | 세세부과제 후보                | 평가항목<br>(지정공모 ← → 분리공모) |    |     |      | 공모방안 |
|------------|-------------------------|-------------------------|----|-----|------|------|
|            |                         | 중요도                     | 기반 | 신기술 | 경쟁기술 |      |
| 제1<br>세부과제 | LNG 사이클 모사 및 액화공정 개발    | 5                       | 3  | 3   | 3    | 지정   |
|            | 천연가스 및 냉매 물성 DB 연구      | 4                       | 5  | 3   | 3    | 분리   |
| 제2<br>세부과제 | NGL 회수 공정 및 통합기술 개발     | 4                       | 3  | 4   | 5    | 분리   |
|            | 가스하이드레이트 생성 억제기술 및 공정개발 | 3                       | 3  | 4   | 5    |      |
| 제3<br>세부과제 | LNG 플랜트 열교환기 개발         | 4                       | 3  | 4   | 5    | 분리   |
| 제4<br>세부과제 | LNG 플랜트 압축기 개발          | 4                       | 3  | 4   | 5    | 분리   |

표 6.3 제2핵심과제의 세부과제 우선순위 (1~3점 척도)

| 제 2 핵심과제 |       |                        |      |
|----------|-------|------------------------|------|
| 우선 순위    | 과제번호  | 과제명                    | 공모시기 |
| 1        | 2-1-1 | LNG사이클 모사 및 공정개발       | 1단계  |
|          | 2-3-1 | LNG 플랜트 열교환기 개발        |      |
|          | 2-4-1 | LNG 플랜트 압축기 개발         |      |
| 2        | 2-1-2 | 천연가스 및 냉매 물성연구 및 DB 구축 |      |
|          | 2-2-1 | NGL 회수공정 및 통합기술개발      |      |
| 3        | 2-2-2 | 가스하이드레이트 생성억제기술 및 공정개발 |      |

빈 페이지

## 7. 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”, 플랜트이앤씨 (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, 日本貿易保険, 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 Trains - 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",
22. 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 한국 건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술연구개발사업의 연구내용 임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개 하여서는 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