

# FEED 및 기본설계 기술

■ 최 광 호 / GS건설(주), kwangchoi@gsconst.co.kr

## Introduction

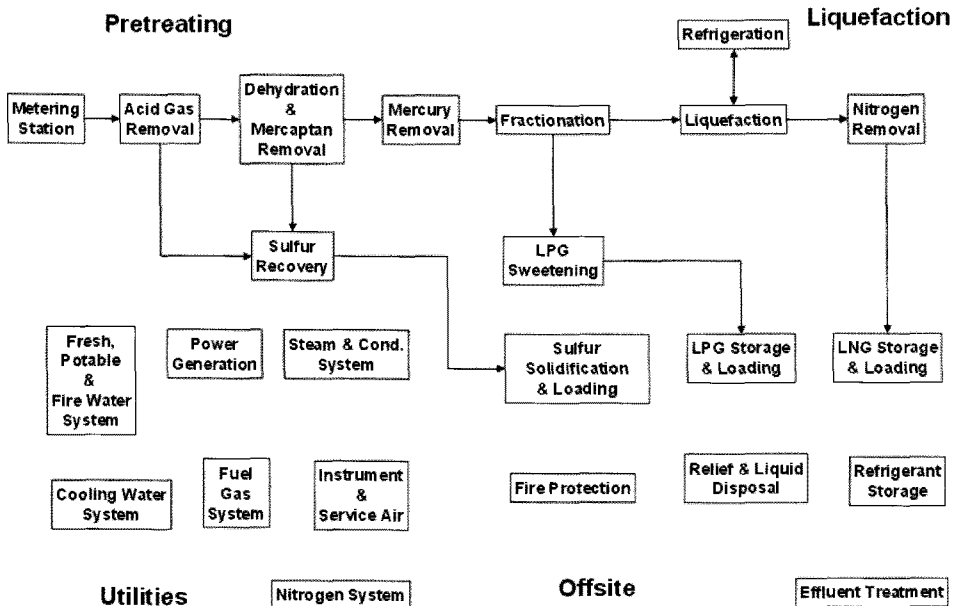
“대용량 LNG 플랜트 설계, 건설기술 개발” 과제는 천연가스 액화공정기술을 기반으로 액화 천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas) 플랜트를 설계, 시공, 유지관리 기술을 개발하기 위한 과제이다. 따라서 본 과제는 응용기술의 성격을 가지고 있으며, 각 핵심과제(LNG 플랜트 핵심기반기술 개발, 고효율 LNG 플랜트 공정기술 개발)에서 개발된 기술의 검증에 위하여 테스트 베드(test bed)를 설계하며, 이를 실제 현장에 개발 기술로 시공하여 검증 및 보완과정을 지원한다.

천연가스 액화플랜트의 일반적인 공정 구성은 그림 1에서 보이는 바와 같이 전처리, 액화, 저장의 단계를 거치게 되며, 특히 본 과제에서는 기반기술

및 공정기술 개발 과제에서 제시되는 공정 기초 데이터를 기반으로 테스트베드 설계 및 대용량 상용 플랜트의 기본설계(basic design) 수행에 중점을 두고 있다.

LNG 플랜트 해외사업 및 핵심기술 선두그룹의 경우에 시장 카르텔을 형성하고 있으며 관련 기술의 확산 및 보급에 대해 상당히 폐쇄적인 국제적 상황이며, 기술교류 및 제휴가 사실상 불가능하여 후발그룹의 기술 확보 및 신규 시장 진입이 어렵다. 즉, 과거 정유, 화학, 발전 등과 달리 LNG, GTL (gas to liquid) 등과 같은 신기술 플랜트 건설사업의 경우에는 선두 기업의 이익 확보를 위하여 기술 및 사업제휴가 극히 제한적으로 이루어지고 있다.

따라서 본 과제는 2013년 이후 선진기업과 경쟁이 가능한 설계 및 시공기술을 보유한 국가로 진입



[그림 1] Traditional Overall Block Diagram of LNG Process

하는 것이며, 이러한 설계 및 건설기술을 기반으로 해외시장 진출을 추진하는 것이다.

LNG 플랜트사업에 있어서 주요 기술변화로는 보다 대규모의 유전에 대용량의 공정과 장치로 집적된 플랜트를 설계, 건설하는 추세이며, 한편으로는 세계 각지의 해양 중소 가스전을 효율적으로 개발하기 위한 콤팩트(compact) FPSO(floating production storage offloading)에 집적한 LNG 플랜트 기술이 추진되고 있다.

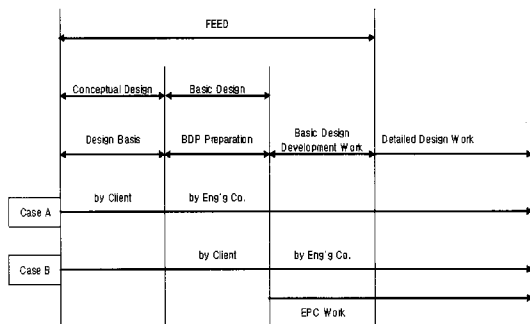
각기 선진사들의 LNG 액화기술에 대한 구체적인 논의는 타 세부과제의 저술내용으로 생략하고 본 고에서는 상용화 플랜트 건설에 필요한 "FEED 및 기본설계 기술"에 대하여 실무를 중심으로 소개하고자 한다.

### Basic Design

통상적으로 엔지니어링사의 기본설계 단계에서 하기와 같이 2 가지의 계약 형태로 구분될 수 있으며 그 형태에 따라 업무 영역도 달라지게 된다.

#### Case A: FEED Project

본 계약의 형태는 일반적으로 "FEED 프로젝트"라고 하여 사업주(client)로부터 제공된 설계 기준(design basis)에 맞추어 기본설계집(basic design package)작성 업무를 수행하며, 경우에 따라서는 사업주의 의향을 파악하여 설계기준(design basis)을 직접 작성하는 업무를 수행하거나 기본설계집의 보완(basic design development) 등 업무 영역



[그림 2] Basic Engineering Work Correlation with Client

을 넓혀서 진행하기도 한다.

#### Case B: EPC(Engineering-Procurement-Construction) Project

입찰 소개서(ITB, Introduction or Invitation To Bid)에 포함되어 있는 기본설계집(Basic Design Package)을 사업주로부터 받아서 상세설계(Detailed Eng'g Design)를 위한 추가 보완하는 업무를 수행한다. 이는 EPC 프로젝트의 초기 업무이며 이를 통해 작성된 결과물은 이후 상세설계업무의 근간이 된다.

상기 내용에서 보듯이 FEED의 업무는 크게 기본설계(Basic Design)을 통해서 기본설계집 (Basic Design Package)를 완성하는 업무와 건설사의 상세설계 업무의 기준을 만드는 Design Philosophy를 정립하는 업무를 수행하는 것으로 요약될 수 있다.

#### Objectives

기본설계(basic design)는 그 목적에 따라 하기의 경우에 수행되게 된다.

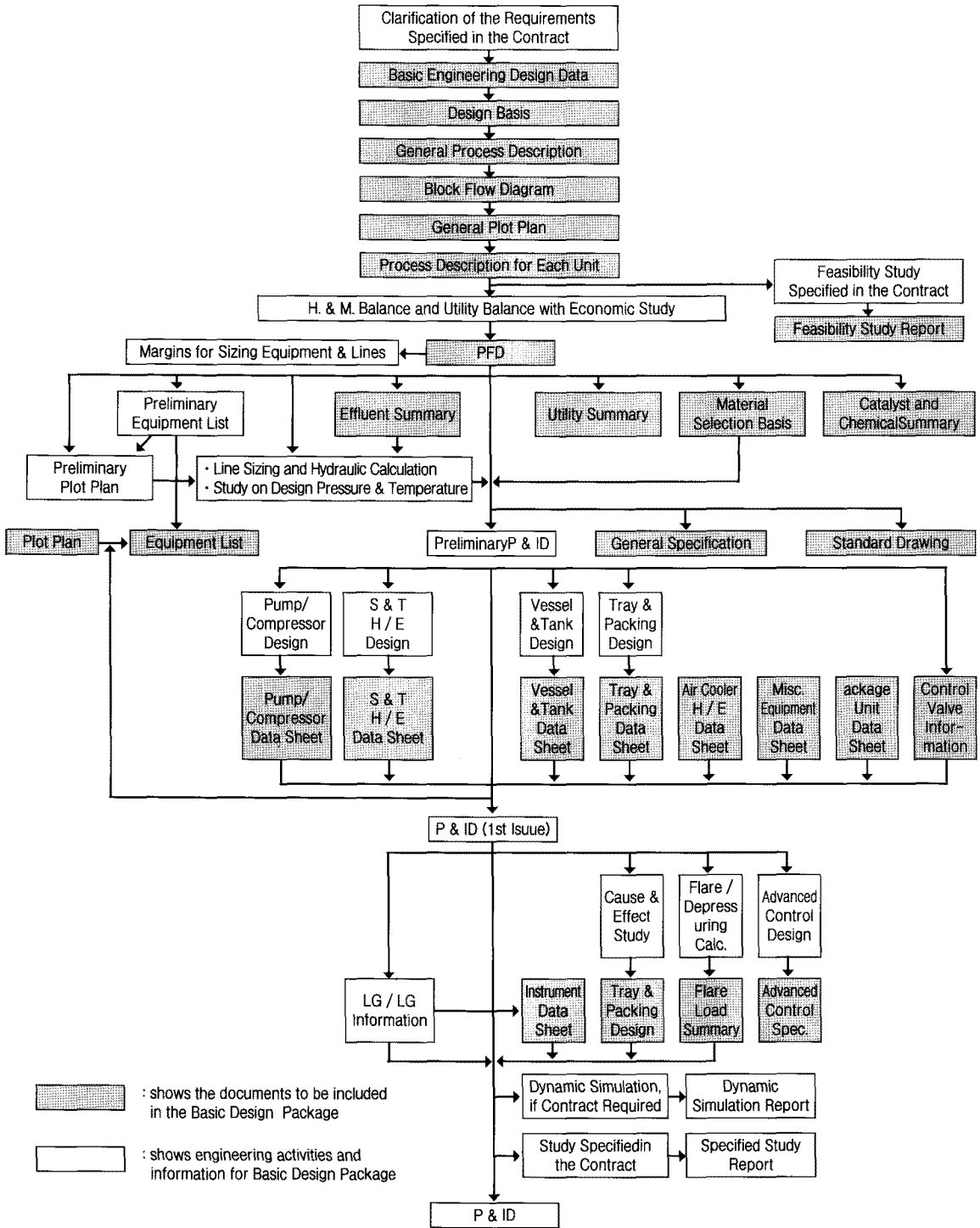
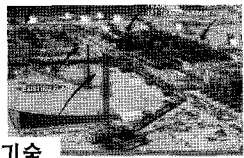
- 제안서(proposal) 또는 타당성 조사(feasibility study)를 위한 설계도서 작성
- 계약서에 의해서 FEED를 요청 받을 경우
- 계약서에서 언급된 설계도서 작성과 상세설계시에 필요한 설계정보를 작성

상기의 목적으로 기본설계(basic design)를 수행할 경우, BEDD(basic engineering design data), 프로젝트 설계사양(project specification), 사업주의 설계표준(client's standard), 설계기준(design basis)등이 근간이 되는데, 이는 사업주의 설계 요청사항을 충분히 반영하여야 하며, 경우에 따라서 좀더 경제적이고 실용적인 대안을 발견했다면 기본설계 업무가 시작되기 전에 사업주에 제안하고 협의를 하여야 한다.

#### Basic Design Package

기본설계집(basic design package)는 기본적으로 그림 3과 같이 엔지니어링 업무 흐름에 맞추어 진행된다.

사업주(client)와 기술선(licensor)의 정보로부터



[그림 3] Work Flow for Basic Design Package

BEDD, 설계기준(design basis)을 통해 설계 초기의 기준을 확립하고, 실제 건설 대상이 되는 공정의 설명(process description) 및 공정흐름을 단순한 블록 형태(BFD, block flow diagram)로 작성하고, 계략적인 배치도(ceneral plot plan)을 작성하여 전체 공정에 대한 흐름을 파악 할 수 있도록 정리한다.

이후, 공정모사(process simulation), 기술선(licensor)으로부터 해당 공정에 대한 상세정보를 바탕으로 하여 전체 공정에 대한 에너지 및 물질수지(heat & material balance)를 계산하고 공정에 대한 주요 제어 정보를 종합하여 공정흐름도(process flow diagram)을 작성한다.

기본설계 엔지니어는 상기 PFD 작성업무 이외에도, 공정모사 및 에너지 및 물질수지(heat & material balance)부터 도출된 공정 내의 모든 흐름에 대한 공정자료(process data)를 정립하여 모든 설비(equipment)에 대하여 관련 부서에서 구체적인 설계가 진행될 수 있도록 설비의 공정 설계 도서(equipment process data sheet)를 작성한다. 또한 공정 내에 존재하는 물질에 대한 각종 설계 정리자료(Effluent Summary, Catalyst & Chemical Summary 등)를 작성하는 업무를 수행한다.

상기 설비에 대한 설계와 동시에 배관(piping), 계장(instrument) 및 제어(control) 등에 대한 종합적인 정보를 P&ID(piping and instrument diagram)로 작성하여 공정에 대한 주요한 정보를 한 눈에 볼 수 있도록 작성한다. P&ID는 단순히 공정에 대한 정보만이 아닌 전 부문에 대한 정보를 표시하므로 설계업무에서 가장 중요한 결과물(deliverables)이어서, 실제 EPC 수행 업무가 진행되어 상세설계 시에는 여러 단계(FA: for approval, AFD: approval for design, AFC: approval for construction, as built 등)에 걸쳐서 사업주에 제출되고 승인을 받아야 한다.

위의 일련의 설계업무로부터 최종 작성된 기본설계집(Basic Design Package)에 포함되어야 할 항목(Content)은 표 1과 같다.

## Design Philosophy

최적의 설계를 수행하기 위해서는 기본설계

(basic design)의 목적(objectives), 기준(basis), 수준(grade), 귀책(responsibilities), 및 사전요건(preconditions) 등에 대한 설계 필로소피(design philosophy)가 정립되어야 한다.

Design Philosophy는 설계업무 시작 전에 확정되어야 하는데, 이는 사업주 및 기술선(process licensor)의 공정에 대한 요구사항을 바탕으로 확립한다.

### Basic Design Information

기본설계정보(basic design information)는 제안서(Proposal)를 위한 용도와 기획(planning), 평가(evaluation), 타당성(feasibility) 등의 조사(study) 목적으로 하는 용도로도 작성되기도 하는데 이는 실제 실행 업무와 작성 수준에 있어서 각기 차이를 두어 작성할 필요가 있다.

### Responsibility

성공적인 프로젝트 수행은 충분한 고려와 평가(well-thought-out and evaluated)를 거친 기본설계에 의해 결정된다. 따라서 기본설계를 수행한다는 것은 공정성능(process performance) 및 건설비용(plant cost)에 대한 책임을 가지고 설계업무를 수행한다고 할 수 있다.

#### • Process Performance Guarantee

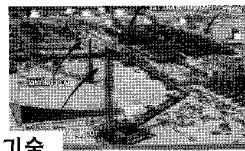
기본설계 엔지니어는 일반적으로, 기술선(licensor)에 의해 특정 설비에 대한 성능보장을 하는 부분을 제외하고, 성능보장 시운전을 통하여 사업주가 성능을 인정하여 엔지니어링 사에 허가(acceptance)를 부여하기까지 성능보장에 대한 책임이 따른다.

#### • Utility Guarantee

기본설계 엔지니어는, 기술선(licensor)에 의해 특정 설비에 대한 성능보장을 하는 부분을 제외하고, 유틸리티 사용량에 대한 성능 보장을 해야 한다.

#### • Mechanical Guarantee

상세설계, 기기제작, 건설을 제외하고 기본설계 엔지니어는 기본설계집(basic design package)에



<표 1> Content of BDP

Content of Basic Design Package			
1	PROCESS SPECIFICATION SECTION	3.1.3	Piping identification system
1.1	Basis of design	3.2	Piping process specifications
1.1.1	Project Description		
1.1.2	Duty of unit	4	INSTRUMENTATION PROCESS SPECIFICATION SECTION
1.1.3	Feeds specification		
1.1.4	Products specification	4.1	Instruments
1.1.5	Battery limit conditions	4.1.1	Flow
1.1.6	Utilities conditions and site information	4.1.2	Level
1.1.7	Operating conditions	4.1.3	Pressure
1.2	Unit description	4.1.4	Temperature
1.3	Heat and Material balances	4.1.5	Miscellaneous
1.4	Specifications of catalysts and chemicals	4.2	Valves
1.5	Utilities	4.2.1	Control
1.6	Waste effluents	4.2.2	On/Off
1.7	Materials of construction	4.3	Pressure safety valves
		4.4	Alarms
2	EQUIPMENT PROCESS SPECIFICATIONS SECTION	4.5	Analysis point
		4.6	Analyzers
2.1	Equipment list	4.7	Hand switch
2.2	Vessels	4.8	Shutdown logic and sequence logic
2.2.1	Drums	4.9	Special loop description
2.2.2	Columns		
2.3	Heat exchange equipment	5	DIAGRAMS SECTION
2.3.1	Heat exchangers	5.1	Symbols and standards
2.3.2	Air coolers	5.2	Overall Block Diagram
2.4	Rotating machines	5.3	Process flow diagrams
2.4.1	Pumps	5.4	Material selection diagrams
2.4.2	Compressors	5.5	Piping and instrumentation diagrams
2.4.3	Special Drivers – Motor or Gas Turbine	5.6	Plot plan
2.5	Special Package Items & Miscellaneous	5.7	Hazardous area classification diagrams
2.4.1	Main Cryogenic Heat Exchanger	5.8	Single line diagrams
2.4.2	Other Special Packages		
2.4.3	Miscellaneous	6	OPERATING GUIDELINE SECTION
		6.1	Preparation of Startup
3	PIPING PROCESS SPECIFICATIONS SECTION	6.2	Normal Operation
3.1	General notes	6.3	Startup Operation
3.1.1	Recommendations	6.4	Shutdown Operation
3.1.2	Process piping classes	6.5	Analytical Control

나열된 정보에 대하여 책임이 있다. 그러나 설비 제작사(vendor)는 해당 설비에 대하여 기계적 성능 보장을 해야 한다.

• Plant Cost

플랜트 건설의 주요 부분은 기본설계 정보(basic design information)에 의해 결정되므로 여유설계(over-design)을 지양하고 투자비를 최소화하는 방향으로 진행해야 한다.

플랜트는 최신의 산업규격(industrial standard)을 적용함으로써 성능과 안전에 있어서 사업주의 요구 조건을 만족시켜야 한다. 그러나 경우에 따라서는 소폭으로 추가 비용으로 플랜트 총 운전비용을 감소시킬 수 있으며 아래의 여러 설계 기준으로 설계를 진행 할 수 있다.

- Economical Design: 투자비를 최소화하는 경제 적 설계를 말한다.
- Optimum Design: 초기 투자비용과 운전비용을 함께 고려하여 최소화하는 설계를 말한다.(운전 비용은 주로 에너지 소모량에 비례한다.)
- Energy Conservation: 운전비용을 최소화하는 설계를 말한다.

Optimum Design의 경우, 사업주의 요구조건과 상충되거나 또는 예상투자비용을 넘길 수 있으므로 신중히 고려해야 한다. 따라서 이 경우는 적용 전에 프로젝트 매니저(project manager)로부터 정식 승인을 받아서 진행해야 한다.

**Design Preconditions**

업주로부터 별도의 요구조건이나 적용 설계기준이 없을 경우, 아래의 설계 사전조건(design preconditions)를 고려한다.

• Continuous Operating Period

공정설비는 별도의 조업중단(shutdown) 없이 통상 1년 간 연속 운전이 가능하도록 해야 하는데, 설비의 종류 및 그 재료 선택에 있어서 이점을 감안하여야 한다. 특히 주요 회전기기류 등은 8천 시간 운전 후, 검사 및 보수를 받도록 되어 있으므로 일반적으로 1년 이상의 연속운전은 비경제적인 경우가 많다.

• Consideration for Unusual Conditions

정상운전조건과는 별도로 플랜트는 조업시작(startup), 중단(shutdown), 비상(emergency) 및 대체 운전(alternative) 등을 고려하여 설계해야 한다. 특히 시험(testing), 퍼지(purge) 및 시료 채취부(sampling connection), 순환 배관(circulation lines), 플러깅 방지(plugging prevention), 및 촉매 재생(catalyst regeneration) 등 정상조업 이외의 다양한 조업 형태를 고려해야 한다.

• Emergency Operation

전체 공장의 정전(total power failure)의 상황에서는 설비의 고장, 작업자의 부상없이 순차적인 방법으로 최소의 운전인원을 통해서 조업중단(shutdown)이 진행될 수 있도록 해야 한다.

기본적으로 플랜트는, 적절한 경보장치(warning devices), 압력 방출(pressure relieving), 냉각(cooling), 비정상 온도제어로부터의 보호(temperature runaway protection), 비상 조업중단(emergency shutdown) 등의 장치를 제공하여, 패일 세이프(fail-safe)가 가능하도록 설계해야 한다. 이상의 안전장치 등이 설계에 반영되어 있을 경우, 압력 방출 밸브(depressuring valve)는 필요하지 않다.

• Turndown Ratio

공정설비는 사업주로부터 별도의 요구가 없을 경우 설계 용량(design capacity)로부터 통상 60%에서 운전이 가능하도록 설계해야 하는데 이는 조업시작(startup), 조업중단(shutdown) 등의 운전 조건을 감안한 것이다.

• Design Life

주요 기기의 내구 연한은 사업주의 별도 요구 기간 또는 엔지니어링사의 내부 기준을 통해 결정한다.

<표 2> Pump Spares

Damage	Spare
Minor loss of throughput	Common
Major loss of throughput	Full
Damage to equipment	Full
Damage to Personnel	Full



〈표 3〉 Equipment Maintenance Reason

Equipment	Predicted Reasons	Provision
Critical heat exchanger	Heavy Fouling	Bypass
Control valve for small size	Plugging	Block and bypass
Strainer	Cleaning	Spare
Utility supply system	Machanical failure	Spare

### • Pump and Compressor Spares

- Pump: 펌프에 대한 예비부품(spare) 공급 기준은 정상적 안전운전을 보장하기 위하여 하기 표 2의 기준을 감안하여 공급한다.
- Compressors: 회전 압축기 (centrifugal compressor)의 경우는 고가의 설비이고 견고한 설계를 토대로 제작되므로 통상 예비부품 (Spare)를 공급하지 않는다. 반면 연속운전을 하는 왕복 압축기(reciprocating compressor)의 경우, 보수를 위한 shutdown을 고려하여 최소 1세트의 예비부품(spare)가 필요하다. 계장 공급용 공기압축기(instrument air compressor)의 경우 일반적으로 예비부품(spares)가 충분히 (fully) 공급된다.

### • Driver for Pump and Compressors

- Electric Power Failure: 정전(power failure)을 감안하여 부가적으로 사용하는 펌프(spare pumps)는 스팀 터빈 타입(steam turbine driven type) 이어야 한다.
- Economical Choice: 100 kW 이상 급의 대용량 드라이버(driver)를 사용하는 경우에는 전력 사용량 및 터빈(turbine) - 모터(motor)의 투자비 및 운전비를 비교하여 결정한다.

### • Design Allowances

설계 여유(design allowances)는 사업주의 특별한 요구 사항이 없을 경우, 엔지니어링 사의 자체적인 기준에 의해 결정하며 설계의도 및 계산결과를 만족시켜야 한다.

### • Onstream Maintenance

표 3에 소개된 설비의 경우는 운전 중 정비(on-stream maintenance)가 가능하도록 해야한다.

## Conclusion

본 과제는 가스플랜트의 부가가치가 높은 분야의 기술경쟁력을 확보하여 글로벌 시장에 진입하기 위하여 천연 가스를 액체원료나 연료로 전환하는 LNG 원천기술과 설계/건설 기술의 자립을 통하여 국제 경쟁력을 확보하는 것이 목적이다.

상기 본문의 서술과 같이 엔지니어링 업무는 모든 공학적 지식이 집결된 유기적인 활동임과 동시에 본 천연가스 액화기술처럼 열교환기 및 압축기 개발에 있어서는 선행적 연구활동이 병행해서 진행해야 하는 종합적인 과제이다.

실적 및 안전성 등을 입증한 소수의 선진기업 카르텔이 지배하고 있는 가스플랜트 산업의 보수적 시장에 진입할 수 있는 국가 차원의 기술마케팅 전략이 필요하며, 후발 주자로서 수익성을 확보하기 위해서는 최단 시일 내 국제적으로 인정받는 기술 확보 전략이 수립이 필요하고 선진 기술 보유 국가 및 기업과 경쟁을 하기 위해서는 산-학-연 등의 관련 주체의 협력시스템과 정부의 관련 부처 간 협력을 강화하고, 선진기술 도입 및 자문 등 다양한 기술 확보 수단의 병행적 추진하여야 할 것이다.

## Acknowledgment

본 연구는 국토해양부 가스플랜트사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## Reference

1. Design Manual, GS 건설(주)
2. 플랜트 고도화 사업 “제 3 핵심과제 연구개발 계획서”, GS 건설, 가스플랜트사업단
3. “상세 기획 보고서”, 가스플랜트사업단

4. Arthur J. Kidnay, William R. Parrish :  
Fundamental of Natural Gas Processing: CRC,  
Taylor & Drancis, 2006
5. 류상수 (한국석유공사), "동해-1 가스전 적정  
개발을 위한 운영방식 및 고려사항", 한국지질  
연구원 Workshop 자료, 2004년 11월.
6. Plant for Liquefying Natural Gas, Shell  
international Research Maatscappij B.V., WO  
00/29797
7. "가스프로젝트-LNG에 GTL 플랜트가 뜬다", 화  
학저널 2007년 8월 6일
8. "LNG infrastructure", Business Communications  
Co., INC., September 2005
9. Jolinde M. Van de Graaf and Barend Pek,  
"Large-capacity LNG - The Shell Parallel  
Mixed Refrigerant Process", pp41 ~ 44,  
Business Briefing : LNG Review, 2005
10. Wesley R. Qualls, et.al., "Liquid expanders  
in the Phillips optimized cascade LNG  
process", GASTECH 2002
11. Christian DT Begazo, et.al., "Small-scale  
LNG plant technologies", Hydrocarbon  
world 2007