

1. 서론

최근 세계 경제의 침체는 금융위기에서 출발하여 실물경제 까지 위협하는 수준까지 이르고 있다. 이러한 위기에서 조선 산업은 2~3년 전 수주 받은 물량을 바탕으로 일정부분 위기를 견디어 내고 있지만, 세계 선박 발주량이 예전보다 줄어든 상황에서 위기감이 고조되고 있다. 이러한 세계 경제의 문제 뿐만 아니라, 중국 등의 후발 주자의 성장은 조선산업으로 하여금 고부가가치 선종 등으로 중심축의 변화를 강요하고 있다.

이러한 상황에서 국내 대형 조선소들은 매출과 수익 확대를 위해, 기존의 선종인 컨테이너선, 유조선, LNG (Liquefied Natural Gas)선 등 일반선은 물론 FPSO (Floating Production Storage and Offloading), Drillship, LNG-FPSO(LNG-Floating Production Storage and Offloading, Floating LNG, FLNG 이라고도 함)와 같은 특수선종 또한 큰 시장을 선점하려고 한다.

우리나라의 대형 조선사의 경우, 2000년대 들어서 주도하고 있는 선종 중의 하나는, LNG선 이다. LNG(Liquefied Natural Gas) 기술은 주성분이 메탄(CH₄)인 천연가스를 초저온(약 -162°C) 액화공정을 통하여 액체 연료로 전환하는 기술로서, 액화되면 부피가 가스 상태의 약 1/600로 감소하여 기체 상태의 천연가스에 비해 에너지 밀도가 높고, 운송이나 저장에 용이하다.

화석연료의 고갈, 청정에너지에 대한 요구 등으로 에너지의 수요가 급증함에 따라 세계적으로 LNG의 수요가 점차 증가하는 추세인데, 우리나라의 경우에는 에너지 생산에서 LNG가 담당하는 비중이 2005년 26%에 불과하였던 것이 점차 증가하여 2015년에는 50%를 초과할 전망이다. 또한 향후 천연가스 수요가 크게 증가할 가능성이 높은 가운데, 2008년 이후부터 중장 단기 계약이 만료되어 공급 부족이 예상되기 때문에 적기에 물량을 확보해야 할 필요성이 대두되고 있다.

천연가스는 지금까지 개발되어온 성숙된 육상 및 천해지역이 가스전보다는 심해에 대량으로 매장되어 있어서, 심해가스전의 개발과 부유식 구조물 Floater의 수요를 증대시키고, 새로운 LNG 운반선, FLNG 해상 천연가스 공급설비(LNG-FPSO, LNG-FSRU, SRV) 및 Pipe Line 등 천연가스와 관련된 기술개발을 필요로 하며, 최근에는 해양 가스전 개발의 경제성이 재

평가되어 해상에서 LNG를 생산하고 저장, 수송하는 새로운 개발 시스템이 요구되고 있다.

2. 본론

2.1 LNG Supply Chain

일반적으로 LNG 산업의 특징은 천연가스의 개발, 생산, 액화, 수송, 저장, 및 공급 등의 모든 단계가 고리처럼 연결된 일괄된 시스템화된 사업으로서 이를 LNG Supply Chain 이라 부른다.

개발: 가스전 개발의 타당성 평가

생산: 가스전에 포집된 가스는 전처리된 이후에 파이프 라인으로 육상 또는 해상 LNG플랜트까지 이송

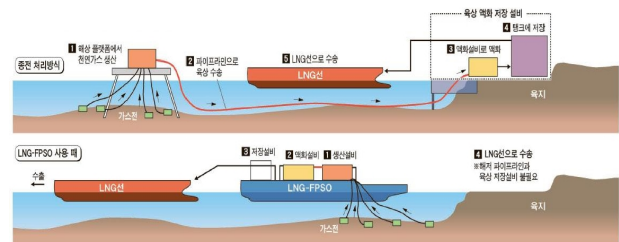
액화: 이송된 가스는 LNG플랜트 혹은 LNG-FPSO의 액화장치를 통해 액화시켜 저장됨

수송: 저장된 LNG는 선박을 통하여, LNG플랜트에서 LNG인수기지로, 또는 LNG-FPSO에서 LNG-FSRU로 이송됨

저장: 이송된 LNG는 LNG인수기지에 저장됨

재기화: 저장된 LNG는 재기화장치를 통하여 가스화됨

공급: 기화된 가스는 가정 또는 산업체로 전달됨



[LNG-FPSO의 정의 및 개념]



<해저가스 및 LNG 생산/저장/하역>

<LNG수송>

<저장 및 재기화>

Fig 1. LNG-FPSO를 이용한 LNG 공급사슬(Supply Chain)

LNG Value Chain에서 나타나듯이, 그 설비가 혹은 해상에 위치한다는 차이점으로 인하여 천연가스의 처리 및 하역에 있어서 많은 차이가 있는데 FLNG(LNG-FPSO 또는 LNG-FRSU/RV)와 LNG터미널(LNG 플랜트 또는 LNG 인수기지)로 나타난다.

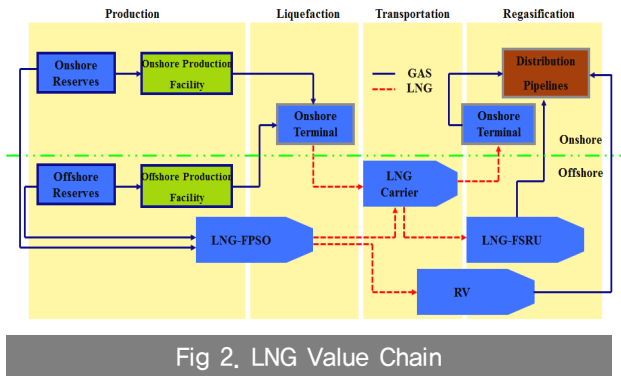


Fig 2. LNG Value Chain

LNG-FPSO는 육상의 LNG플랜트를 해상의 바지선 위에 올려놓은 형태이고, LNG-FRSU는 육상의 LNG인수기지를 해상의 바지선 위에 올려놓은 형태이다. RV의 경우는 LNG선박과 LNG인수기지의 기능이 합쳐진 형태이다.

2.2 LNG-FPSO의 필요성 및 고려사항

기존의 대규모 육상, 근해 가스전의 고갈로 인하여 육상 LNG플랜트는 점차 줄고 있는 추세이며, 아직도 상당한 매장량을 가지고 있는 중소규모의 해상 가스전 개발을 위해 LNG-FPSO의 필요성이 대두되고 있다.

그런데, 가스전 개발의 경제성 분석에 있어서 육상용 LNG 플랜트를 대신하여 LNG-FPSO를 고려하는 요인은 여러 가지가 있는데, 특히 LNG-FPSO의 적용을 적극적으로 검토해야 하는 이유는 다음과 같다.

- 지역 특성상 높은 임금이 요구됨(오지, 고임금 국가)
- 기술자의 부족에 따른 외지 기술자에 대한 추가 비용 및 건설 현장의 거주시설에 대한 과대한 건설비
- 육지에서 멀리 떨어진 심해고가의 해양처리 설비 및 장거리 해양배관이 요구되는 경우 경제적 요인 외에도 기타 정책 및 법규제한 있을 수 있음.
- 건설 및 운영에 대한 법규 제한 조건에 의하여 육상플랜트를 건설하기에는 많은 소요되며, 이에 따라 해상플랜트가 유리한 경우

- 지역 NIMBY주의
- 기타 인허가에 많은 시간 소요가 예상되는 지역

2.3 Plant Engineering Design Process

플랜트공사는 다양한 기술의 혼합체이다. 이 과정의 완성에는 공정, 기계, 전기, 계장, 배관, 토목, 건축, 소방 그리고 공기조화(HAVC) 등의 공학기반기술과 시운전기술이 필요하다. 그러므로 이 많은 분야의 기술들을 어떻게 조화시켜 원하는 플랜트를 완성하는가 하는 것이 프로젝트의 성공을 좌우한다. 즉 각 기술 간의 유연한 공정관리가 플랜트 프로젝트 성공수행의 핵심이라고 해도 과언이 아니다. 플랜트건설용 설계는 일반적으로 기본설계(Basic Design), 연결설계(FEED), 그리고 상세설계(Detailed Design)등 세가지로 구성된다.

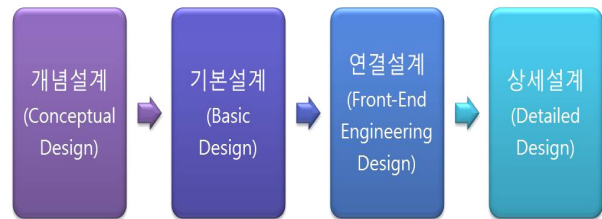


Fig 3. Engineering Design Process

개념설계(conceptual Design)에서는 고객이 Project를 착수할 때 기술적으로 가능한지, 채산성이 있는지, 사업으로서 가능성이 있는지 등을 사전에 충분히 검토할 필요가 있다. 이러한 기업화를 위한 조사, 또는 채산성 가능성 조사를 Feasibility Study라 하는데 그 Feasibility Study위한 설계를 개념설계라 한다.

기본설계(Basic Design)는 제조공정 설계에 대한 기술료를 지불하고 라이선서(Licenser)로부터 제조공정 기술의 시행권을 사와 기초설계를 수행하는 것을 의미한다. 그 결과로 공정 흐름도, 물질수지(material balance)작성, 기계/배관/계장/기본사양 확정, 주요 설비 배치도 확정 등이 도출된다.

연결설계(Front and End Engineering Design; FEED)는 상세설계의 전단부(Front)와 기본설계의 후단부(End)를 연결해 주는 설계라 하여 실무에서는 FEED(Front and End Engineering Design)라 통칭한다. FEED는 다수의 입찰자들이 동일한 기준과 이해를 가지고 견적가를 산출하여 응찰할 수 있도록 하는 것이 목적인 설계이다.

서로 다른 여러 라이선스를 동반하는 경우, P&ID(Piping &

Instrumentation Diagram) 및 사양(Specification) 표기법을 통일하여 입찰자 누구나 같은 조건하에 견적할 수 있도록 만들기 위한 설계라고 볼 수 있다. 여기에는 공개된 기술(Open Art Technology)과 현장관련 정보가 추가될 수 있다.

FEED에 입찰기간 동안 입찰자의 질문(Questionnaire)에 대한 설명서(Clarification Sheets)가 추가되면 그것이 플랜트용 역계약서의 기술사항(Technical Part) 계약서가 되는 것이 상례이다.

즉 계약 후 발주자의 요구사항변경(change order)이 발생하지 않는 범위 내에서 계약자가 상세설계를 수행하는데 어려움이 없게 하는 정도의 설계도로 볼 수 있다. 그러므로 FEED자체로는 완전한 설계도가 아니라 공정한 입찰조건을 제시하기 위한 설계 및 정보로 볼 수 있다.

상세설계(Detailed Design)에서는 기자재를 조달하고, 시공에 임할 수 있게 하는 설계로서 보통 EPC계약자가 수행한다. 계약자는 계약서에서 요구하는 모든 성능을 보장하여야 하므로, 상세설계 단계에서는 FEED에서의 오류를 모두 수정하거나 필요한 사항을 추가하는 역무도 수행할 필요가 있다. 따라서 상세설계 단계는 공정분야에서부터 FEED의 오류, 부정확 및 불일치를 찾아 수정하거나 추가하는 일을 수행하는 것이다.

2.4 LNG-FPSO FEED

LNG-FPSO와 같은 해양 플랜트는 크게 Topsides와 Hull의 두 부분으로 나눌 수 있다. Topside는 해양 플랜트의 상부로서 Oil 및 Gas의 생산을 주도 담당하고, Hull은 해양 플랜트의 하부로서 Oil 및 Gas의 저장을 주도 담당한다.

해양 플랜트는 그 특성상 Hull에 비해 Topside의 설계 비중이 월등히 높으며, 그 담당 부분에 따라, 프로세스 설계, 배관 설계, 기계 설계, 계장 설계, 전장 설계, 선장 설계 등으로 나뉘어진다. 이 중에서 프로세스 설계가 해양 플랜트 Topsides 설계의 핵심 부분이라 할 수 있다. 한편, 프로세스 설계는 그 구체화 정도에 따라 FEED와 상세 설계로 구분할 수 있다.

FEED단계에서는 발주자의 요구사항(예를 들면, Oil 및 Gas 하루 생산량 등)에 따라 Topsides에 설치되는 프로세스 시스템(Process System), 유틸리티 시스템(Utility System) 등의 종류, 사양 등을 결정하고, 상세 설계 단계에서는 FEED 단계에서 결정된 사항을 면밀히 검증하여 구체화하게 된다. 즉 FEED의 결과에 따라 상세 설계 기간이 달라질 수 있다. 따라서, 프로세스 FEED 설계는 해양 플랜트의 생산 능력과 건조 여부까지 결정하는 매우 중요한 설계 단계라 할 수 있다.

FEED를 수행하는 목적으로는, Topsides 전체 시스템의 용량을 결정하여 해당 Vendor로부터 이에 맞는 Technical Data를 받아 전체 시스템들의 Capacity를 결정하고, 전체 시스템들을 연결하는 배관들의 크기를 결정하게 된다. 이를 통해 전체 Topsides시스템과 및 배관들의 효율적인 배치가 가능하게 되고 Topsides Module 및 Weight 정보 등을 통해 설치 시 필요한 관련 장비들을 선정할 수 있다. 그리고 관련 Utility System 및 Electric / Instrument Control System 설계도 하게 된다.

그리고 가장 중요한 부분인 Topsides 전체 가격(CAPEX: CAPital EXpenditures)등을 예측할 수 있게 된다. 즉, FEED 결과물이 해양 플랜트의 전체 설계/생산 분야의 시작을 가능하게 하는 가장 중요하며, 향후 다른 분야 설계/생산 업무 및 그 프로젝트의 성공 여부도 좌우하게 된다.

2.5 LNG-FPSO FEED Deliverables

프로젝트의 진행은 계약부터 최종투자결정(FID: Final Investment Decision)까지 사실 무수히 많은 방법으로 행해질 수 있다.

다음 예는 한 엔지니어 업체의 FEED 진행 방법으로, FEED 진행과정 중 발생하는 이벤트와 결과물을 나타내고 있으며, 이 결과물을 생산하고자 하는 활동들이 결국 FEED의 작업범위(Scope of Work)이다.

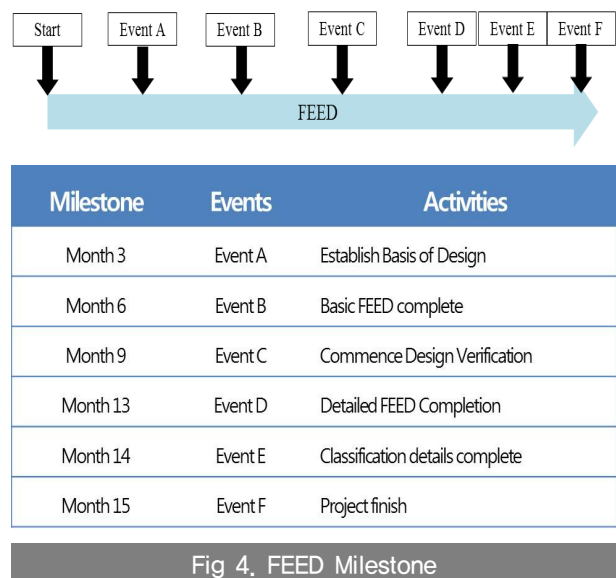


Fig 4. FEED Milestone

각 이벤트의 활동을 구체적으로 기술하려면 다음과 같다.

- Event A – Month 3
 - Award of Process Licensor Contractor
 - Basis of Design, Design Premises and Philosophies
 - Award of Turret Design Contract

- Event B – Month 6
 - Process Simulations
 - Process H&MBs (Heat& Material Balance)
 - Mechanical Data Sheets
 - Design Specifications
 - Initial CAD Model Review
 - Topsides/Hull Interfaces
 - Intermediate Issue of the Master Equipment
 - Freeze Primary Steelwork Framing, Plan Bracing and Truss

- Event C – Month 9
 - Commence Design Verification
 - Receipt of Suppliers Technical Data
 - Technical and Commercial Bid Evaluations
 - Piping and Structural Interface with Major Packages
 - Equipment & Pipe Modeling
 - Intermediate CAD Model Reviews
 - Update of PFDs (Process Flow Diagram) in Preparation for HAZOPs (HAZard and OPerability study)
 - Structural Steel Analyses

- Event D – Month 13
 - Complete Detail Design Documents Forming the Basis for Weight Estimates and MTOs (Material Take Off)
 - Update of PFDs in Preparation for HAZOPs
 - Verify Design by HAZOPs and SIL (Safety Integrity Level) Reviews
 - Primary & Secondary Structural Steelwork Drawings
 - Complete Model Reviews and FEED Plot Plans
 - Intermediate CAD Model Reviews

- Event E – Month 14
 - Classification Details Completed

- Event F – Month 15
 - Issue CAPEX Estimate

- Submit EPCIC (Engineering, Procurement, Construction, Installation and Commissioning) Proposal
- Completion

3. 결론

해양 플랜트 기술의 미래는 국내외 업체간의 경쟁에서 더 이상 값싼 노동력 및 기술 인건비에 있지 않고, 세계 최대의 대형 전문설비와 생산성 향상, 혁신적인 신 건조공법, 설계 상 세 엔지니어링뿐만 아니라, FEED 기본설계과정이 연계되어 총체적으로 창출되는 가격 경쟁력에 있다.

궁극적인 목적은 부가가치가 큰 LNG-FPSO 및 FPSO와 같은 공사를 수행하는 설계기술력에 달려 있다. 현재 국내 대형조선소에서 미흡한 설계 능력은 시급해 개선되어야 하며, 각 시스템 설계분야에서 능동적으로 설계능력 향상에 노력해야 할 것이다. 앞으로 이러한 설계 기술을 근간으로 Subsea 와 같은 심해 및 해양 공간 이용 개발 설계능력도 키워야 할 것이다.

끝으로, 해양플랜트의 FEED 수행 궁극적인 목적은, 개발 시 소요되는 가격, 무게 및 각 시스템 별 전체 배치를 추정하여 해당 Field Well에 대한 최종 개발 여부를 결정짓는 것이고, 나아가 천연가스 경제시대에 에너지사업 및 엔지니어링 사업으로 전화되어 가는 과정이라고 볼 수 있다.

참고 문헌

한국플랜트학회EPC기술위원회, 해외플랜트 프로젝트의 수행 특성, The Plant Journal Vol,6 No,2 June 2010

"LNG-FPSO 기획연구보고서 2010.4", LNG 플랜트 사업단 기획보고서, 한국 가스공사

Conn Fagan, "Floating Liquefied Gas Terminals", DNV Offshore Technical Guidance OTG-02, March 2011

Ji-Hyun Hwang, Myung-Il Roh, and Kyu-Yeul Lee, "Integrated engineering environment for the process FEED of offshore oil and gas production Plants", Ocean System Engineering, Vol, 2 No. 1 (2012) 49~68.

Graham Parker, "FPSO Design and Construction Guidance Manual", Reserve Technology Institute

Paik J.K, Thayamballi A., "Ship-Shaped Offshore Installations", Cambridge

The LNG Producer – A Generic Design with Great Adaptability, Wouter Pastoor, Kristine Lund & Tveitnes, FLEX LNG, OTC 19845

Introduction to FLNG FEED Study, Jinsang Park, Kiil Nam,
 Yoon Choon Kim, Hyundai Heavy Industries, OTC 24247
 The World FLNG Market Report 2011~2017, Douglas
 Westwood
 [특별기획]LNG플랜트사업 현황과 전망, 가스신문 2012.05.30
 KBR 기술자료



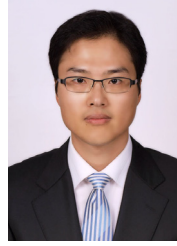
신 동 헌

- 1974년생
- 2002년 서울대학교 조선해양공학과 석사
- 현 재 : 현대중공업 조선사업본부
 FLNG전담팀 과장
- 관심분야 : FLNG, FPSO, DRILLSHIP
- 연 락 처 : 052-203-8443
- E - mail : donghunshin@hhi.co.kr



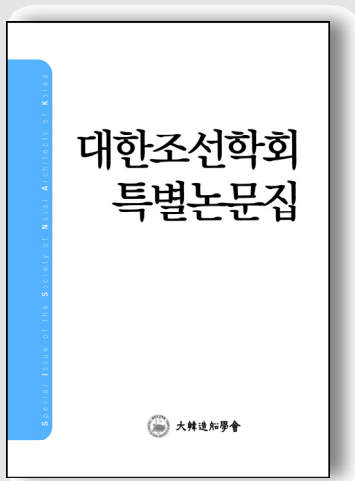
김 덕 기

- 1975년생
- 2009년 한국해양대학교 공학박사
- 현 재 : 현대중공업 조선사업본부
 FLNG전담팀 과장
- 관심분야 : LNG-FPSO, LNGC, FSRU,
 DRILLSHIP, SUBSEA
- 연 락 처 : 052-203-8441
- E - mail : sense315@hhi.co.kr



이 광 국

- 1976년생
- 2008년 서울대학교 조선해양공학 박사
- 현 재 : 경남대학교 조선해양공학과 조교수
- 관심분야 : 조선IT, M&S, PLM, 생산관리
- 연 락 처 : 055-249-2583
- E - mail : kklee@kyungnam.ac.kr



“대한조선학회 특별논문집 (2013)”이
 전자책으로 출간되었습니다.
 학회홈페이지(<http://www.snak.or.kr>)를
 방문하시면 열람하실 수 있습니다.