

LNG-FPSO에 대한 고찰

김덕기 (현대중공업)

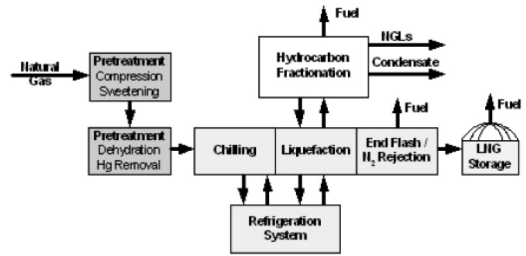


Fig. 2 LNG Plant Process Flow

1. LNG-FPSO 시장의 전망

최근 세계 경제의 침체는 금융위기에서 출발하여 실물경제까지 위협하는 수준까지 이르고 있다. 이러한 위기에서 조선산업은 2~3년 전 수주 받은 물량을 바탕으로 일정부분 위기를 견디어 내고 있지만, 세계 선박 발주량이 예전보다 줄어든 상황에서 위기감이 고조되고 있다. 이러한 세계 경제의 문제뿐만 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 Container선, 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 함와 같은 특수선종 또한 큰 시장을 형성하려고 한다(Fig. 1).

우리나라의 대형 조선 3사의 경우, 2000년대 들어서 주도하고 있는 선종 중의 하나는, LNG선 이다.

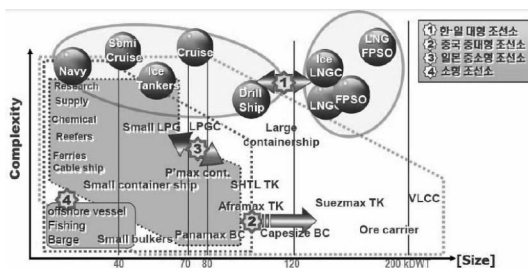


Fig.1 The market scale of shipbuilding

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 저장이 용이하다.

이렇게 생산된 LNG는 수요처에서 다시 기체로 전환하여 사용되며, 일반적인 LNG 생산 프로세스는 아래와 같다(Fig. 2)

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 Floater 의 수요를 증대시키고, 새로운 LNG 운반선, LNG-FPSO (FLNG) 해상 천연가스 공급 설비(LNG-FSRU, SRV) 및 Pipe Line 등 천연가스와 관련된 기술개발을 필요로 하고, 최근에는 해양 가스전 개발의 경제성이 재평가되어 해상에서 LNG를 생산하고 저장, 수송하는 새로운 개발 시스템이 요구되고 있다.

특히, FLNG는 해상 천연 가스전 근처에 위치하여 생산되는 가스를 처리하여 LNG로 액화하는 시설과 저장하는 탱크, 그리고 하역하는 설비를 탑재한 해상 구조물로 LNG의 생산, 처리, 보관 등이 가능하며, 필요에 따라 이동할 수 있다(Fig. 4). 따라서 해상에서 생산한 LNG를 육지까지 운반할 필요 없이,

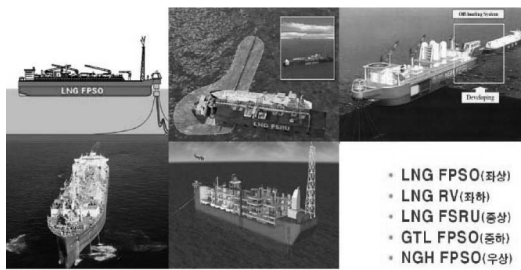


Fig. 3 offshore Production Units

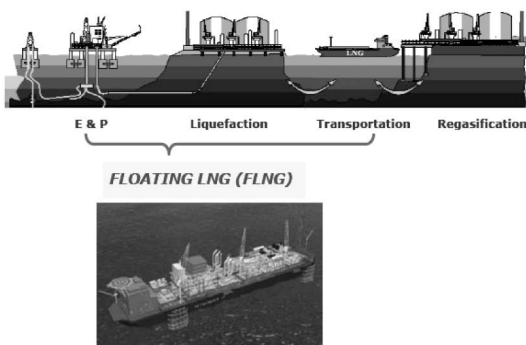


Fig. 4 Floating LNG Production

직접 수출할 수 있기 때문에 비용절감의 효과가 크다. FLNG 개발 이전 천연가스는 가스전에서 뽑아 올린 후 해저 파이프 라인을 통해 육상 LNG Plant에 저장해 두었다가 LNG선에 선적, 운송하여 왔으나 경제성이 점차 떨어지면서 해상공간에서의 생산, 저장, 하역이 새로운 대안으로 제시되었다.

국외에서는 FPSO 를 위한 액화 공정에 대한 논의가 많지만 국내에서는 아직 미비하다.

2. 천연가스 액화 공정 (Liquefaction Process)

가스전 개발과 가스생산분야는 가스전으로부터 천연가스를 추출하는 공정으로 공개된 기술이 많아 특허나 라인센스 (license)에 대한 구속이 낮은 편이며, 가스 생산을 위한 기자재나 장비에 제작기술이 보다 중요하게 평가된다. 그리고 가스 전처리 분야는 생산된 가스의 수분을 Dehydration 공정으로 없애고, CO₂, H₂S 등의 불순물을 제거하는 기술로서 역시 공개된 기술이 많다.

또한, 냉동 및 액화공정은 LNG Plant 설계에서의 핵심부분이며, 액화공정은 LNG Plant 비용의 30~40% 차지하며, 대표적인 주요설비는 압축기(Compressor), 열교환기(Heat Exchanger), 터빈 (Turbine) 등으로 구성되어 있다(Fig. 5).

현재, 국외에서는 FLNG를 위한 액화 공정에 대한 기술논의

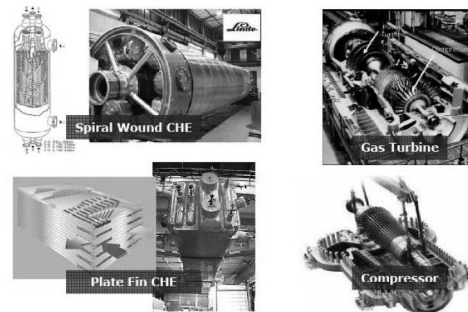


Fig. 5 Main Equipment of Liquefaction Plant

가 많지만, 국내에서는 아직 미비하며, 세계적인 Engineering사에서 다수의 액화 공정을 개발하고 있다.

특히, APCI 사의 기술이 주로 적용되고 있으며, 주요 액화공정의 특징으로는 다음과 같다.

- Propane/Mixed Refrigerant(C3/MR방식, APCI사); 현재 세계 시장 60% 이상 점유하고 있으며, 공칭생산용량 (Normal Production Capacity)으로는 연 4.7백만톤이다.
- Dual Mixed Refrigerant Process (DMR방식, Shell사) 방식; 프로판 압축기는 4.2MTPA 로 용량이 제한적이나 5MTPA까지 사용가능하며, 생산용량은 연간 4.8백만톤이다.
- Parallel Mixed Refrigerant (PMR방식, Shell사); 1개의 Pre-cooling 과 2개의 PMR 사이클로 구성되며, 8MTPA까지 확장이 가능하다.
- Optimized Cascade Process 방식(Conocophillips사); 초기 LNG Plant에 적용되었고, 3개의 순수한 냉매를 이용한 Cascade 공정이다.

아래 Fig.6은 LNG Plant의 액화공정에 대한 흐름도이며, Fig.7은 각 액화공정별 Train Capacity [MTPA] 및 사용 분포도를 보여주고 있다.

3. PROCESS AND UTILITY SYSTEM

서론에서 언급한 바와 같이, FLNG는 Offshore Gas Well로부터 Feed Gas를 받아서 필요한 Processing 을 통해 액화하여, 얻어지는 Cargo의 종류에 따라 LNG, LPG, Condesnate 등으로 분류 저장할 수 있는 해상 부유 구조물이다. 심해 가스전의 FLNG는 Seabed에 Turret Mooring 으로 고정되어 있으며, Well에서 Subsea Riser를 통해 Feed Gas를 받는다. 생산 저장된 LNG, LPG Condensate 는 Offloading System (Tandem 방식이나 Side-by-side 방식)

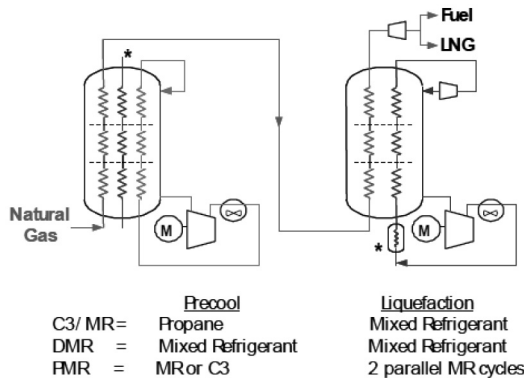


Fig. 6 Schematic representation of Process

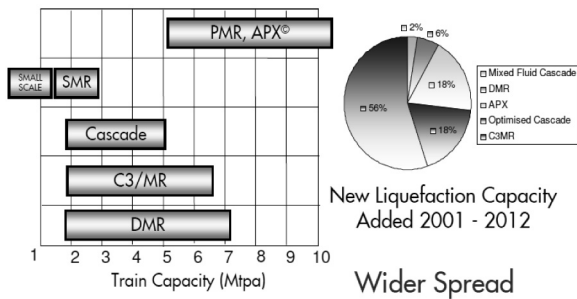


Fig. 7 Overview of FLNG Liquefaction Technologies

을 거쳐 Shuttle Tanker (LNG Carrier, LPG Carrier, Condensate Tanker)로 보내 준다.

FLNG Process System을 간단히 설명하면, 우선 Feed Gas의 성분으로 필요 유추가 결정되는 Slug Catcher, Gas/Liquid Separator, Condensate Stabilizer 에 더하여 LPG 생산여부에 따라 NGL Recovery Unit, Fractionation Unit, LPG Storage & Offloading System이 포함되며, 액화 장치에서 요구하는 불순물을 제거하기 위한, Pre-Treatment System (Acid Gas Removal System, Dehydrate System, Mercury Removal System) 과 Liquefaction System, Cargo Containment Storage System 등이 필요하다(Fig. 8).

그리고, Utility System으로 Power Generation 에는 Prime Mover에 따라 Gas Turbine, Boiler & Steam Turbine, DF(Duel Fuel Diesel Electric) 등이 적용되고, Power Generating System에 연료를 공급해 주기 위한, Fuel Gas Unit, Main Air Compressor System, Fresh Water, Lubrication Oil System 등이 설비되어야 한다(Fig. 9). 또한, Process Heating Medium 으로는 Steam or Hot Oil이 사용되며, 그 열원은 Combustion Boiler나 Gas Turbine의 Waste Heat Recovery System (WHRS)을 사용할 수 있다.

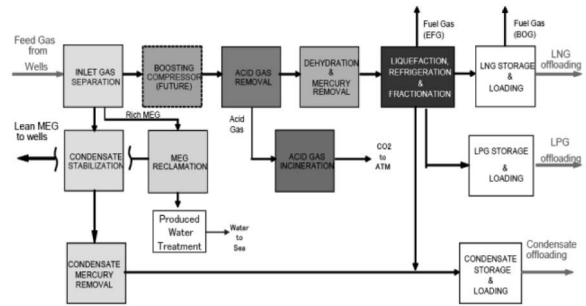


Fig. 8 Process Block Flow Diagram

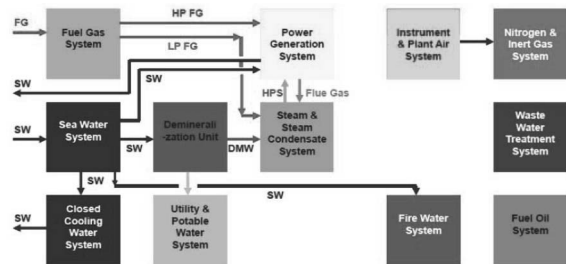


Fig. 9 Utility Block Flow Diagram

4. CARGO CONTAINMENT SYSTEM & OFFLOADING SYSTEM

CCS (Cargo Containment System) 는 Topside Process 에서 생산된 Cargo를 분류 저장할 수 있도록 Hullside에 설비된 Storage 용 Tank 이다. LNG tank 의 경우 재질과 형상에 Approved type에 따라 Spherical (MOSS), Membrane (GTT Mark III, No.96), SPB (IHI Self-Supporting Prismatic Type B) 등이 있다.

현재 당사에서 FEED (Front End Engineering Design, 기본설계공정) 수행하고 있는 FLNG에 적용한 SPB 방식은 직육면체로 만들어 잉여공간을 최소화 했으며, 화물 탱크 재료는 알루미늄합금이고 탱크 내부는 일반 탱크선의 내부와 유사하게 내구재 Centerline Longitudinal Bulkhead 및 Transverse Swash Bulkhead 로 보강이 되어 타 Tank type보다는 Sloshing 에 대한 영향을 줄여준다(Fig. 10).

아래 그림은 Cargo tank type별 특성비교를 간단히 도식화하였다(Fig. 11).

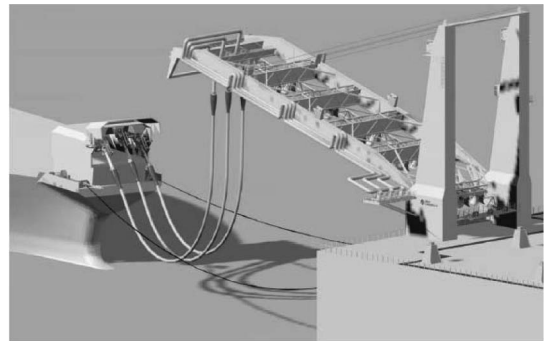
생산 저장된 LNG, LPG, Condensate 는 Tandem or Side-By-Side Offloading System을 이용하여 Shuttle Tank 등으로 이송한다(Fig. 9).

Tandem offloading 같은 경우, Soft Yoke Mooring & offloading system 과 flexible hose를 사용하고, Side-By-Side 방식은 두 선체의 Midship manifold간의 상대운동을 고려해서 설계된 loading arm을 사용한다. 해상상태가 비교적 온화한 해역에서는 Side-By-Side 방식을 해상상태가 가혹한 해역에서는 Tandem 방식을 적용하는 것이 유리하다(Fig. 12).

기존의 FSO 또는 FPSO 에 사용되어 온 Tandem 방식을 응용해서 LNG를 취급할 수 있도록 flexible cryogenic hose 또는 특별히 설계된 loading arm을 적용한다.

그 외, 주요 System으로는,

- Control & Safety System
 - Fire and Gas Detection System
 - ESD (Emergency Shutdown System)
 - Fire Fighting System
 - HVAC System
 - Public Address System
 - Telecom, & Radio System
 - Navigation Aids System
- 등이 있다.



(a) Tandem mode



(b) Side-by-side mode

Fig. 12 Offloading System

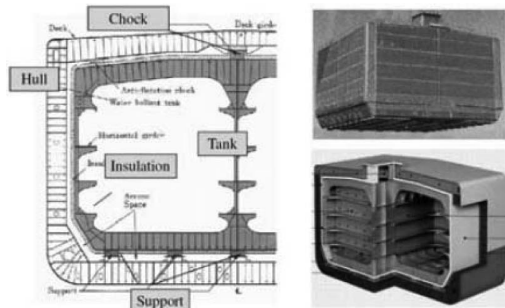


Fig. 10 Design of SPB Tank

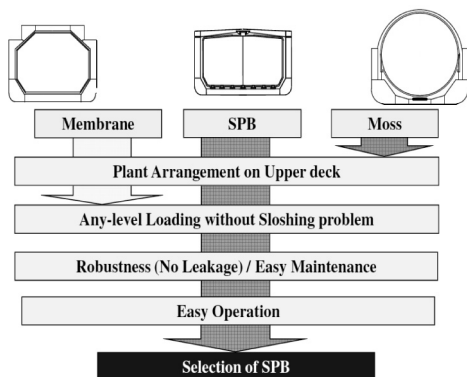


Fig. 11 Comparison Table of Cargo tanks

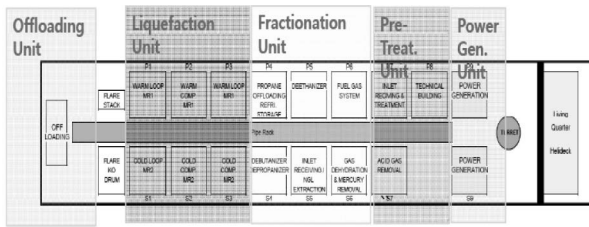
5. OVERALL DESIGN CONCEPT

앞에서 기술한 바와 같이, 전체적인 FLNG구조를 간단히 정리하면 천연가스를 액화시키는 Process 구조 (Topside)와 Cargo (LNG/LPG/ Condensate)를 저장시킬 수 있는 하부구조(Hullside)로 이루어진다(Fig. 13).

액화된 가스를 선적하고 Shuttle Tanker에 양하시키기 위해서는 화물저장 설비, LNG pump, Offloading System, Mooring 등의 설비로 갖추어야 한다. Cargo Tank는 LNG, LPG, Oil/ Condensate등을 적재할 수 있어야 하며, LNG Tank는 LNG선박에 적용되어 왔던 화물탱크방식이 동일하게 적용되나 Filling Ratio의 제한이 없어야 함으로 Motion과 Slushing에 대한 문제를 고려해야 한다.

6. 맺음말

기존의 대규모 육상, 근해 가스전의 고갈로 인하여 육상



(a) Topside Process Design Layout



(b) Overall FLNG Modeling

Fig. 13 FLNG Design Concept

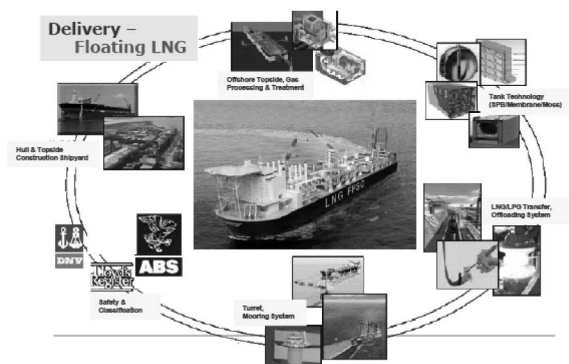


Fig. 14 FLNG Summary

LNG Plant는 점차 줄어들고 있는 추세이나, 해상에서 상당한 매장량을 갖고 있어 이를 개발하기 위한 해상구조물, FLNG와 같은 Offshore Project 수요가 증가할 것이다.

또한, 자연적, 정치사회적, 환경적 요인규제가 강화됨에 따라 onshore plant를 대체할 유망한 LNG 생산수단이 될 것이다. 이러한 시대적 요구에 대하여 LNG선 및 특수선 (FPSO, Drillship 등) 부분은 이미 건조능력이나 설계능력에 대해 세계 최고의 기술을 국내에서 가지고 있으나, FLNG에 대한 역화

공정선정, CCS Sloshing 문제, 미흡한 설계 능력, 시공 및 시운전 경험이 없어 각종 난제들이 발생할 것으로 보이나, 현재 기술로 극복 가능할 것으로 전망한다. 무엇보다도 현재 글로벌 경제 침체 위기로 인한 세계 Oil&Gas 메이저들의 해양 유전 개발 투자비용 문제가 먼저 해소되어, 이와 같은 부유식 생산 설비의 자본 투자가 있어야 한다.

마지막으로 필자의 관점에서 보면, 천연가스 경제시대에 해상 설비 시설의 개발은 더욱 확대될 전망으로 이에 따라 신개념의 천연가스 전환기술, 부유식 해상 생산설비인, FLNG와 같은 고부가가치 핵심기술개발, 고효율 공정기술, 기본설계, 핵심장비개발을 보유하고 선박 건조 능력을 키움으로써, 세계 1위 조선·해양산업강국으로써의 입지를 확보하지 않을까 생각된다.

참고문헌

- 지식경제부 조선현황 (2009)
- 산업자원부 해상LNG터미널엔지니어링기술개발 (2007)
- LNG FPSO기술동향 (Plant 2009 conference)
- 한국가스공사, <http://www.kogas.or.kr>
- 한국가스공사 연구개발원, 천연가스의 저온 액화공정 발표 자료(2009)
- ABS, Guide for Building and Classification Offshore LNG Terminal, 2004, April.
- Liquefaction Technology; Development through History, Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium (2009)



김덕기

- 1975년 3월 생
- 2009년 한국해양대학교 공학박사
- 관심분야 : LNG-FPSO, LNG, LPG, DRILLSHIP
- 현 재 : 현대중공업 조선사업본부 기본설계 2부
- 연락처 : 052-203-3692
- E-mail : sense315@hhi.co.kr