

LPG 선의 설계 및 건조 현황

김재신, 이윤식(현대중공업 부장)

1. 서론

LPG는 액화 석유 가스(Liquefied Petroleum Gas)의 약칭으로서 원유 정제 과정에서 부산물로 산출되는 Type과 Gas Field의 천연가스로부터 습득되는 Type이 있으며, 이것은 탄소 값이 3 혹은 4인 탄화수소 가스를 총칭 한 것으로 프로판, 부탄, Propylene, Butadiene 등 많은 종류가 있다.

한편 LPG의 분류에는 포함되지 않으나, LPG선이 동시에 운반하고 있는 것에는 암모니아가 있다.

LPG선의 특징으로는 가스를 선박에 대량으로 운반하기 위해서는 액화 상태로 운반해야만 부피를 줄일 수 있다. 통상 대형 LPG선은 대기압 하에서 냉각되어 액화상태(LPG: 약 -48°C)로 화물 탱크에 저장 운반하는 방법을 사용하고 있다.

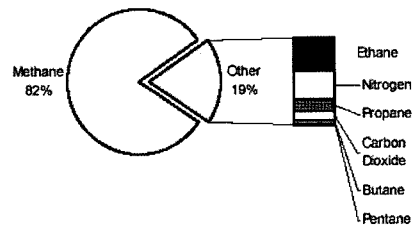
최근 대형 컨테이너선, LNG선과 더불어 대형 LPG선이 새로운 고부가 가치선으로 등장하고 있다. 현재 운항중인 대형LPG선은 약 105척인 반면 발주 잔량은 40여 척으로 신조량이 전체 선대의 40%나 차지하고 있으며, 노후선 교체를 감안하면 LPG선의 수요는 더욱 늘어날 것이다.

최근 들어 LPG선의 발주가 급증한 배경과, LPG의 수요, 공급 현황, 신조선에 대한 소개와 새롭게 적용된 신 공법에 대하여 소개하고자 한다.

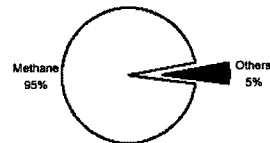
2. LPG의 특성과 성질

LPG란 Butane, Propane 혹은 이 두 가지의 혼합물을 의미하며, 정유과정에서는 약 4%정도의 LPG가 산출되며, 천연가스전에서 생산되는 천연가스에는 메탄 82-85%와 부탄, 프로판 등이 포함되어 있

Typical Natural Gas Composition



Typical LNG Composition



Item	비중	비등점	총발열량
Propane	0.582	- 42°C	약 12,000
Butane	0.602	- 0.5°C	약 11,000
Propylene	0.605	- 48°C	약 11,000

(발열량 단위 Kcal/Kg)

으나 LNG로 액화하는 과정에서 이것들은 제거되어야 한다. 과거에 천연가스 생산량이 소량일 때에는 태워버렸지만, 현재는 LNG수요량이 급격히 증가하여, 이 LPG를 모아서 수출용으로 쓰고, 또한 공해 방지 등을 이유로 이 소량의 LPG라도 대기 중에서 연소가 곧 금지될 가능성이 보이므로 향후 LPG의 수출량은 매우 증가할 것으로 보인다.

한편 LPG의 분류에는 포함되지 않으나, LPG선이 동시에 운반하고 있는 암모니아의 특성은 비중 0.682비등점 -33°C이다.

3. LPG 공급 및 수요 현황

(1) LPG 공급 측면

2004년 말 기준 전세계의 LPG 해상 물동량은 53 Mil. Ton으로 2010년까지 점차적으로 약 79 Mil. T 까지 증가할 것으로 예상되며 이는 2004년 대비 약 50%가 증가된 물동량인데, 그 이유는 중동 및 서 아프리카 지역에서의 생산량이 급격히 증가 할 것으로 예상된다.

향후 예상되는 물동량의 증가는 다음과 같다.

년도	증가율 (%)
2005	6
2006	5
2007	4
2008	12
2009	6
2010	5

(년 평균 약 7% 증가율)

주요 LPG 수출국으로 예상되는 나라는 주로 중동과 아프리카로, 중동의 카타르, 아부다비, 사우디아라비아, 이란, 아프리카의 나이지리아, 앙골라, 알제리, 적도 기니 등이다.

(2) LPG 수요 측면

현재까지는 LNG와 마찬가지로 일본, 한국이 주 LPG 소비국이었으나, 최근 미국, 중국 및 인도 등에서 LPG의 수요가 계속 증가하고 있는 추세이고, 동 국가 들의 경제 성장 전망이 좋아 향후에도 LPG의 수요는 계속적으로 증가 할 것으로 전망된다. 상기 주요 수요국 이외에도 전반적으로 전세계의 LPG 소비가 증가하고 있으므로, 공급 증가 분을 충분히 흡수 할 것으로 예상되며, 향후 해상 물동량이 지속적으로 증가 할 것으로 예측 됨에 따라 LPG선의 신조도 계속 늘어날 것이다.

4. LPG선의 수요/공급 및 신조 발주 전망

(1) LPG FLEET 현황

선형(M³)	척수	%	CBM	%
Handy (10-25K)	83	33	1295K	11
MGC (25-45K)	39	15	1264K	10
LGC (45-60K)	27	11	1540K	12
VLGC (over 60K)	105	41	8235K	67
Total	254	100	12336K	100

- 전세계 LPG FLEET 현황 (2005.8 현재)

구분 (선형)	On-order		HHI On-order		
	척수	M³	척수	M³	%
MGC	18	626K	7	245K	44
LGC	6	360	6	360	100
VLGC	40	3282K	23	1886K	58

- LPG On-order 현황 및 HHI 시장 점유율

상기 표에서 나타난 바와 같이 현재 운항중인 LPG 선은 총 254척이고 이중 VLGC가 105척이나 용량으로 나타내면 67%나 된다. 즉 척수로 보면 Handy Size 가 83척이지만 운송량으로 보면 VLGC가 많은 부분을 차지하고 있고, 특히 최근에는 40척의 VLGC가 발주된 것으로 보아 점점 LPG선의 크기가 대형화 하고 있다는 것을 알 수 있다.

(2) LPG선의 수요공급 현황 및 전망

해상 물동량의 증가, 미국, 중국 수입선의 다변화로 VLGC의 지속적인 수요증가가 예측되며, 2010년까지 연간 평균 10척 이상 발주가 될 것으로 예상된다. 여기에 연평균 3척 이상의 해체 선박이 있을 것으로 추측되어 이를 대체할 VLGC의 수요 및 규모의 경제 효과로 인한 대형화 선박의 선호로 인하여 2010년까지는 지속적인 VLGC의 수요가 늘 것으로 보인다. 현재 VLGC의 수주 잔량이 약 40척

이 되는 만큼, 이중 약 15척 정도가 건조 완료되는 2008년 경에 수급 균형이 이루어 질 것으로 예측된다. 특히 VLGC의 건조 경험이 있는 조선소는 현대, 대우, KHI 및 MHI 정도로 제한되어 있어 수주가 늘어 날 경우, 신규 조선소의 참여가 예상된다.

MGC 선의 경우 주종이 35K로 전체 선대 39척에 비하여 많은 16척이 발주된 상태이나 전부 용선이 확정 된 것으로 알려져 있으며 대량의 신규 발주는 기대하기 힘들나 실수요자를 중심으로 다소의 신규 발주 프로젝트가 있을 것으로 예상된다.

그리고 특이할 만한 사항으로는 최근 60K 급의 LPG선의 발주가 늘어나고 있다는 것이다. 이 Size의 LPG선은 대부분이 70년대 후반에 발주한 것으로 향후 2-5년 이내에 스크랩 되어야 하는 사항으로 대체 발주가 곧 이어질 전망이다. 작년 말 6척의 60K LPG 선이 발주되었고, 현재 전통적인 LPG 선사들이 동전형 신조 발주 의사를 가지고 내부 검토 중이거나 조선소와 협의 중으로 올해 초 몇 개의 프로젝트가 추진 될 가능성이 있다.

상기와 같은 이유로 향후 LPG선의 시장은 전반적으로 발전할 것이며 청정 원료로서 전세계 LPG 소비량의 증가로 인한 추가 선박의 발주는 늘어날 것이다. 주요 LPG선사로는 Bergesen, Naftomar, Yuyo, Exmar, NYK 등이 있다.

선형	SIZE	선주사	Capa.(M ³)
MGC	25-50K	Exmar	256K
		AP Moller	142K
		Bergesen	137K
LGC	50-70K	Bergesen	658K
		GOC	167K
		Solvang	112K
		STASCO	60K
VLGC	Over 70K	Bergesen	1630K
		Naftomar	712K
		Yuyo	629K
		NYK	547K

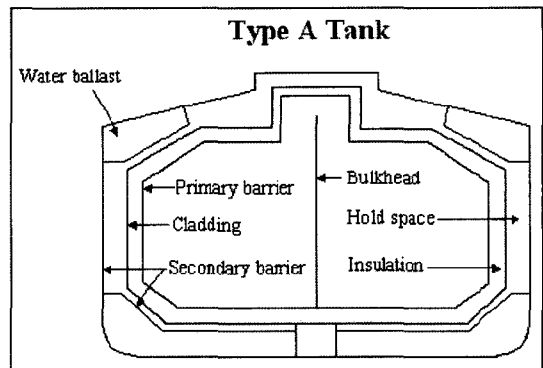
- LPGC 주요 선주사 선복량 현황

5. LPG 선의 설계 및 건조

(1) LPG선의 특성

Gas를 선박에 대량으로 운반하기 위해서는 액화 상태로 운반해야만 부피를 줄일 수 있다. 통상 대형 LPG선은 대기압 하에서 냉각되어 액화상태(약 48℃)로 화물탱크에 저장 운반하는 방법을 사용하고 있다. Gas 선은 특히 Leakage가 발생 했을 때 선체의 파괴 뿐만 아니라 증발가스의 확산으로 주위 환경에 대한 중대사고가 초래되므로 일반 화물선과 달리 화물의 격납 및 취급에 대한 구조 설비의 특별한 규정이 필요하며 다음과 같은 특성이 있다.

- 저온을 담을 수 있는 용기의 필요성과 저온성 재료
 - 저온을 적하, 양하 하는데 필요한 Cargo Handling System
 - 폭발 가능성을 감소시키기 위한 안전 대비 장치
 - BOG의 손실을 막기 위한 재액화장치
 - Cargo Control을 향해 중에 완전 자동화하고 가스누출 감소 및 안전을 위한 각종 장치
 - Sea Trial 후 Cargo System관련 Gas Trial
- 참고로 37.8℃ 에서 Vapor Pressure가 2.8KP/CM² 이상이면 Gas Code의 적용을 받으며, 일반적으로 LPG를 운송하는 배의 탱크는 "A" type 이다.



(2) LPG 선의 설계 및 건조

LPG선은 비중이 0.57-0.68인 프로판, 부탄, 암모

니아 및 에틸렌 등을 가압 또는 냉동의 방법을 사용하여 액화 상태로 수송하는 선박을 의미하며, 동 선박의 Cargo Containment 의 종류에 따라 완전 가압식, 반 가압-완전 냉동식, 완전 냉동식으로 나눌 수 있으나 20K급 이상은 완전 냉동식으로 운송은 도는 LPG선의 비등점(-48℃)과 같으며, 수송압력은 대기압 보다 약간 높다.(0.25-0.28bar). Cargo Containment 시스템은 Prismatic Type으로 탱크 재질은 -48℃에서 적용할 수 있는 저온강을 사용한다. 즉 Cargo 탱크, Cargo Tank Support & Chocks, Secondary Barrier 및 인접 선각구조에는 저온에서 필요한 자체 강도를 갖게 하기 위하여 저온강의 사용이 요구되어진다. 그리고 액화가스 운반선은 선급 자체 Rule 요구 뿐만 아니라 IGC의 요구 또한 동시에 적용되어져야 한다. 따라서 저온강 재질 결정에 있어 선급 Rule과 IGC 요구간의 차이점에 대한 충분한 사전 검토가 필요하다. 또한 Insulation 이 필요하고 재액화 플랜트를 설치하여야 한다.

대표적인 표준선으로는 22.5K, 35K, 60K, 75K, 82K 급 등이 개발되어 있으나, 본 내용에서는 현재 많이 건조하고 있는 35K 및 82K 급 LPG선의 설

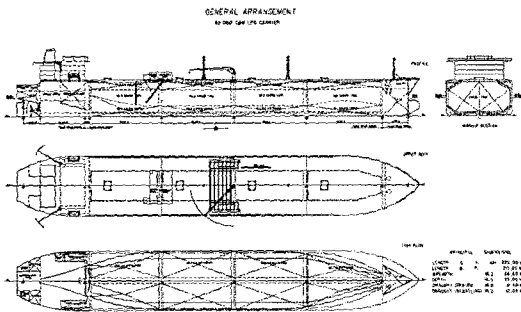
Draft(dd/ds)	9.5/10.4m	11.4/12m
DWT	22,800 mt	50,550mt
Cargo Hold	3×prismatic	4×prismatic
M/E	6S50MC-C	6S60MC-C
- MCR	9480kw,127	13560kw,105
- NCR	8540kw,122.6	12050kw,101
Speed	16.5kts w/sm	16.75kts
DK Tank(M ³)	1×240,1×100	-

- Principal Particulars for 35K & 82K LPGC

계에 대하여 주로 소개하고자 한다.

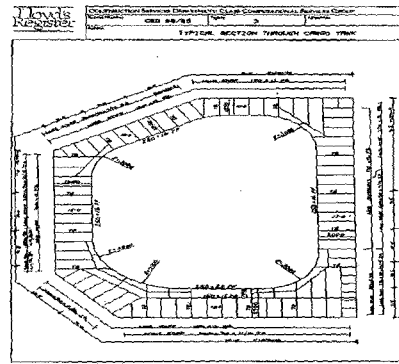
LPGC의 선체 Design Procedure는 다음과 같다.

1. Basic scantling of tank and hull structure
2. Global 3-D FEM analysis
3. Fine mesh model investigation in critical areas
4. Fatigue analysis based on 30 years life
5. Sloshing investigation
6. Hull temperature calculation.

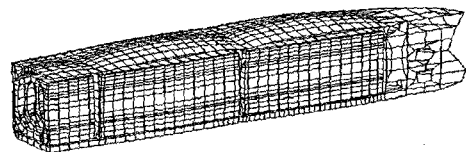


- 82K M³ LPGC General Arrangement

Description	35K	82K
Class	LR	DNV
LOA	174.2m	225m
LBP	165m	215m
Bmld	28m	36.6m
Dmld	17.8m	22m

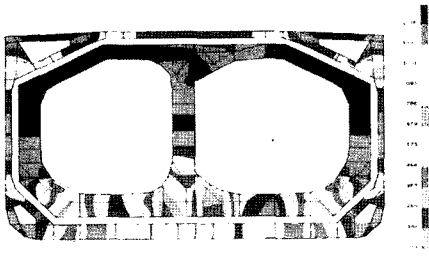


Basic Scantlings



Global 3-D FEM analysis

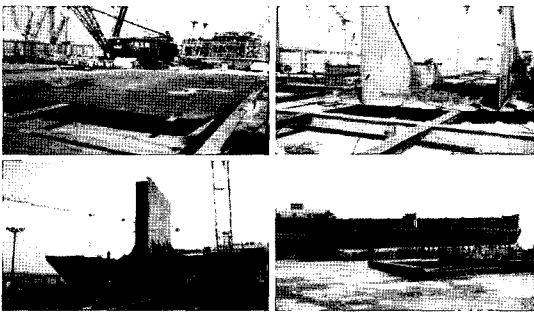
LPG선의 설계 특성으로는 Deep well type의 cargo pump를 각 탱크마다 Dome위에 배치하고, LPG



Stress level on midship

냉각용 compressor를 몇set씩 설치해야 하므로 상갑판 상에 compressor room 및 이를 위한 motor room 의 배치가 필요하다. 또한 clean inert gas 생산을 위한 inert gas generator를 설치해야 한다.

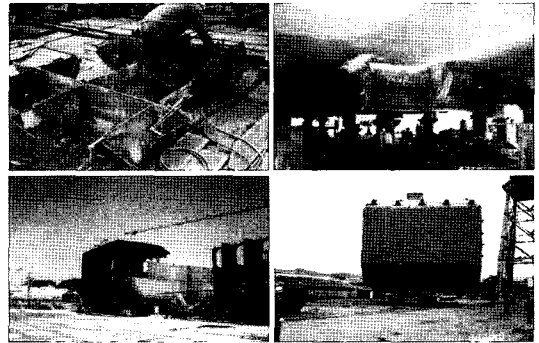
LPG선의 생산에 관한 사진은 하기와 같다.



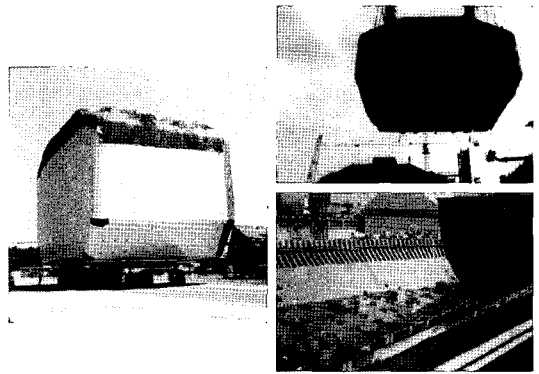
Tank shell plate welding and assembling work

2005년부터 시작된 LPG선의 급격한 발주 증가로 인하여 한때 저온강의 수급이 모자라는 현상도 나타났으며, 급증하는 저온강의 수요를 예측하지 못한 일부 철관 생산회사에서는 뒤늦게 개발을 서두르고 있는 실정이다.

보통 LPG cargo tank는 조선소에서 직접 제작하기 보다는 외주 제작품이고, 완성된 탱크를 가져다 놓을 야적장이 필요하며, Tank support check의 정도 관리에 많은 노력을 기울여야 한다. IGC code에 의거 cargo tank의 welding 부위를 100% radiographic 테스트 해야 하므로 숙련된 용접사가 필요하다. 또한 cargo piping 이 stainless steel 이므로 SUS 용접사가 필요하다.



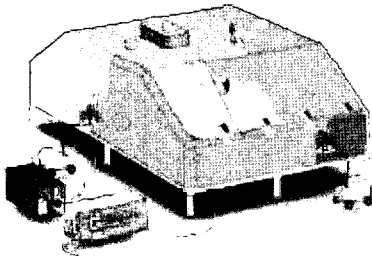
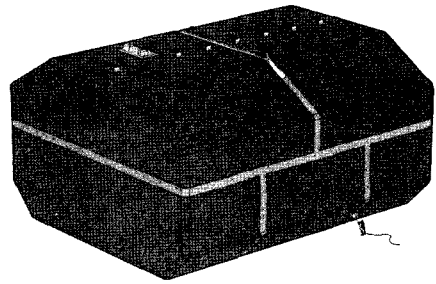
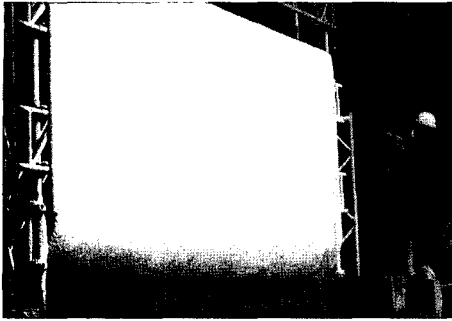
Completion of tank block



Cargo tank erection

LPG선의 건조가 완료되면 시운전 후 Gas Trial 을 해야 하는데, 일반적으로 여수 등의 국내 LPG 수출 터미널에 가서 LPG를 공급 받은 후, 공해 상으로 이동하여 Gas Trial을 수행한다. Gas Trial 기간은 보통 5-7일 정도 소요되며, Gas Trial 후 탱크 내에 남은 LPG는 별도의 Discharge를 하지 않고, 본선과 같이 인도 된다.

기존의 Foam In-Situ 방식은 Foam injection을 위한 material cladding 및 support, 족장이 필요하였으나, 최근 개발된 Spray 방식은 기존의 도장 방식과 유사하므로 별도의 support 및 족장 설치가 필요 없고, protected workshop 만 제공되면 가능하다. 기존의 작업 효율의 약 2배 이므로 많은 원가 절감이 기대되고 있다.



TI Spray Foam

가, 천연가스 생산지에서의 LPG소각 금지, 미국, 중국 등의 LPG수요증가에 따라, 새로운 시장으로 등장하고 있으며, LNG선과 마찬가지로 한국의 대형 조선소들이 70%이상 세계시장을 장악하고 있는 실정이다. 각 조선소들은 현재의 표준선을 바탕으로 좀 더 성능이 우수한 선형을 개발하고, 생산성 향상을 위한 신 건조 공법을 개발하여 계속 LPG선 시장에서 선두의 자리를 고수하여야 할 것이다.

6. 결 언

현재까지 틈새 시장으로만 생각 되어 왔던 LPG 선이, 천연가스 생산의 급증에 따른 LPG 공급 증

참고문헌

1. LPG Carriers : Market Prospects to 2015, Ocean Shipping Consultants Ltd.
2. ABS Gas Carriers, 2006. Module 20 & 21. ⚓

김 재 신 | 현대중공업 조선사업부문 기본설계2부 부장

이 윤 식 | 현대중공업 조선사업부문 기본설계2부 부장



- 1953년 4월생
- 1975년 서울대학교 졸업
- 관심분야 : LNG, LPG선
- E-mail : jskim@hhi.co.kr



- 1960년 6월생
- 1983년 서울대학교 졸업
- 관심분야 : LPG선
- E-mail : ysklee@hhi.co.kr