



# Membrane Type 화물탱크의 설계 및 생산기술

## - 한진중공업편

전 인 국 <(주)한진중공업 LNG선 사업부>

### 1. 서론

'94년 현대중공업에서 국내 최초로 Moss Type LNG선을 건조 인도하고 '95년 한진중공업에서 동양최초로 대형 Membrane Type LNG 선을 성공적으로 인도함으로써 국적 LNG선의 자국 건조시대가 본격적으로 시작되었는데 이러한 LNG선 건조에 있어서의 핵심기술은 무엇보다도 영하 160℃ 이하의 초저온상태인 액화천연가스(Liquefied Natural Gas)를 운반할 수 있는 화물탱크의 설계 및 생산기술에 있다라고 할 수 있다.

일반적으로 천연가스(Natural Gas)는 메탄(CH<sub>4</sub>)이 주성분으로서 약 85~95% 정도를 차지하고 있고 이외에 에탄, 프로판, 부탄 등이 소량 함유되어 있는 건성가스로서, 석유와 같은 화석연료가 연소할 때 발생하는 황화가스 성분이 거의 없는 청정에너지이며, 또한 원자력과 같은 방사능 누출사고의 염려도 없는 안전한 에너지로서 높은 안전성과 열효율 및 무공해 등의 장점으로 석유시대를 이어갈 대체 에너지로 각광을 받고 있다.

천연가스를 액화시키면 부피가 600분의 1로 감소하게 되는데 이 상태의 천연가스를 액화천연가스, 즉 LNG(Liquefied Natural Gas)라 한다. LNG의 주요특성은 비점이 -160℃ 이하로 쉽게 증발하며, 임계온도는 -82℃, 비중은 0.43~0.50으로 LPG의 약 70~80%이며, 천연가스의 비중은 상온 공기비중의 약 1/2로 공기보다 가볍다. 또한 연소범위가 공기중 5~15%로서 타 가스에 비해 연소하한값이 높고 메탄의 발열량은 13,300k-

cal/kg으로 탄화수소계 가스중에서 최대이며 석탄, 석유보다도 높고 독성 및 부식성이 없어 수송선박 및 육상기지의 관련기기 등에 무해하다.

이러한 특성을 지닌 LNG를 산업에 이용하기 위해서는 산지로부터의 수송문제가 결부되며, 해상수송의 경우 특수한 화물탱크를 갖춘 LNG 전용 수송선박을 필요로 하게 된다.

이하에서 당사가 건조한 130,000m<sup>3</sup>GT Membrane Type LNG선 "한진 평택"호를 중심으로 하여 Membrane Type 화물탱크의 설계 및 생산기술과 향후의 발전방향에 대하여 고찰해 보기로 한다.

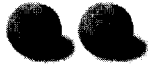
### 2. GT Membrane Type 화물탱크의 설계 및 생산기술

#### 2-1. LNG선 화물탱크의 특징

LNG의 특수성으로 인해 LNG선 화물탱크는 특수한 구조로 설계·제작되어야 하는데 가장 근본적인 문제는 초저온에 관한 대책으로서 일반적으로 다음과 같은 사항에 유념하여야 한다.

##### ① 초저온 재료의 사용

LNG는 -160℃ 이하의 초저온 상태로 수송되는 관계로 LNG선의 화물탱크의 구성 재료는 초저온에 대한 충분한 강도 확보, 공작성, 용접성 및 대형 탱크의 건조에 필요한 적정가격의 재료 확보가 중요하다.



② 열신축 대책

LNG선의 화물탱크는 건조당시 온도 인 상온에서 만재상태의 온도 즉, 180℃의 극심한 온도변화에 따른 불균일한 온도분포로 인해 열신축이 발생하며 이로 인한 과도한 열응력을 견딜 수 있어야 한다.

〈표 1〉 LNG선 화물탱크에 사용되는 초저온재료의 특성 비교표

	$\alpha\beta$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\alpha\beta$ (kg/mm <sup>2</sup> )	신장율 (%)	비중	young율 (kg/mm <sup>2</sup> )	팽창율 (1%)	열전도율 (cal/cm/S/°C)	적용
36%니켈강 (INVAR)	28.0	47.0	30	8.14	11.45x10 <sup>4</sup>	1.5 x 10 <sup>-6</sup>	0.092	GT Type
스텐레스강	18.0	49.0	40	7.85	2.1x10 <sup>4</sup>	18.7x 10 <sup>-6</sup>	0.055	TGZ Type
알루미늄합금	12.7	28.1	16	2.66	0.7x10 <sup>4</sup>	25x 10 <sup>-6</sup>	0.31	Moss Type

③ 방열

화물탱크, 화물이송용 기기 및 배관류에는 LNG의 증발을 방지하고 또한, 초저온 LNG가 선체강재와 직접 접촉할 경우의 강재 과냉각에 의한 취성과파괴의 위험을 방지하기 위하여 적절한 방열 시공을 하여야 한다.

며, 외판 손상시의 침수에 대비하여 탱크의 보호, 해상화재 발생시 LNG 화물탱크가 격리될 수 있도록 이중저탱크, 선축탱크구조로 되어야 한다.

2-2. GT Type Membrane 화물탱크의 설계

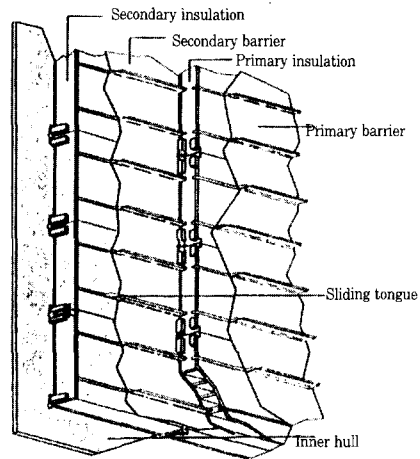
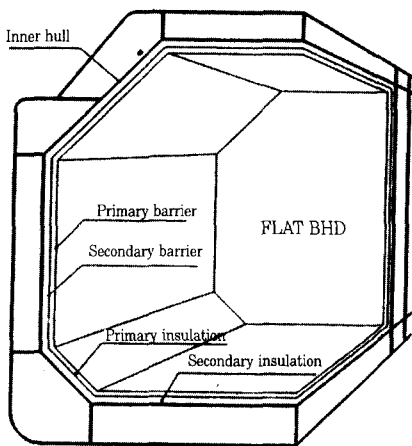
④ 2차 방벽

화물탱크의 누설시 선체강재가 과냉각되어 손상되는 것을 방지하며 약 15일간(회황 및 양하요구일수) LNG를 일시 격납할 수 있는 2차방벽의 설치가 필수적이다.

GT Type Membrane 화물탱크는 선체구조와 일체형으로 이중 선체구조의 Inner Hull 내부에 화물격납설비(Cargo Containment System)를 갖춘 것으로 주요 설계상 특징으로는 첫째, 초저온 대책으로서 0.7mm의 36% 니켈합금강인 Invar를 Membrane Barrier 로 채택한 것과 둘째, 방열대책으로서 화산재의 일종인 Perlite 단열재를 내부에 충전한 Wooden Box를 사용하여 Insulation Space를 이루어 방열 및 Membrane

⑤ 2중 선체구조

LNG는 폭발성, 가연성 화물의 특징을 가지므로 선박의 충돌, 좌초시 안전성이 대폭 향상되어야 하



〈그림 1〉 GT Membrane 화물탱크 구조

〈표 2〉 GT 화물탱크의 길이 및 단면형상 제한 대비표

	길 이					단 면 형 상		
	NO.1 TK	NO.2 TK	NO.3 TK	NO.4 TK	NO.5 TK	하부Slope높이	상부Slope높이	Slope각도
4개 화물 탱크	13%Lpp or 32.5m	17%Lpp or 42.5m	17%Lpp or 42.5m	15%Lpp or 32.5m	-	2.5M 이내	Tank 높이의 30%이내	135° 이내
5개 화물 탱크	10%Lpp	12%Lpp	15%Lpp	15%Lpp	13%Lpp			

Barrier를 지지할 수 있도록 한 점을 들 수 있다. 종래의 GT Type 화물창과는 달리 “한진 평택”호의 설계에서 특별히 고려된 것은 우물 井자 모양의 Invar Tube를 개발, 적용한 것으로서 화물탱크의 각 면을 결합시켜 일차 및 이차 방벽을 구성함과 동시에 Primary 및 Secondary Membrane Barrier에 작용하는 열신축응력을 선체구조로 전달할 수 있는 구조로 설계되었다.

GT Type Membrane 화물탱크의 내부구조를 그림 1에, 그리고 LNG선 화물탱크에 사용되는 초저온 재료의 특성비교를 표 1에 각각 나타내었다.

GT Type Membrane 화물탱크의 설계에서 유의해야 될 사항으로는 각 화물탱크의 길이 및 단면형상에 대한 제한으로서 선체운동에 의한 LNG 화물의 Sloshing Force를 고려하여 화물탱크의 개수에 따라 다음과 같이 정해져 있다

또한 운항중 자연적으로 발생하는 BOG(Boil Off Gas)량을 최소화시키기 위한 적정 방열두께의 결정도 주요한 사항으로 “한진 평택”호의 경우 일간 0.15% BOG Ratio에서 Secondary Insulation 300mm, Primary Insulation 230mm로서 총 530mm로 설계 되었다.

### 2-3. GT Type Membrane 화물탱크의 생산기술

#### 2-3-1. 화물탱크 생산기술

GT Membrane Type 화물탱크의 제작공정의 첫 단계는 이중 선체구조의 내부격벽(Inner Hull)을 이용하여 이차방벽 구조(Secondary Insulation & Barrier)를 만든후 강도검사 및 기밀검사(Strength & Tightness Test)를 실시하는

것이다. 그 다음 이차방벽과 단열두께 외에는 거의 동일한 형태의 일차방벽구조(Primary Insulation & Barrier)를 만들고 최종적으로 탱크기밀유지검사(Final Global Test)를 실시함으로써 화물탱크 제작을 종료하는 공정단계로 되어 있다.

여기에서 일차 및 이차방벽구조의 제작 공정을 좀 더 자세히 살펴보면 1차적으로 1.2M x 1.0M 표준규격의 단열박스(Insulation Box)를 생산하여 본선에 설치한 다음 주로 0.7mm의 인바특수강(Invar)을 가공하여 본선에 설치한 후 용접을 실시하며 최종적으로 Invar Membrane의 전 용접선에 대한 기밀시험을 수행하는 것으로 각각의 제작공정을 마치게 된다.

화물탱크제작에 대한 공정별 요소 생산기술은 첫째로 단열박스의 자동생산기술을 들 수 있다. 단열 Box는 방열목적뿐 아니라 Invar membrane Barrier를 지지하는 역할을 하므로 단열 Box 자체의 제작오차가 ±0.5mm이내에 들어야 되고 단열 Box간의 설치단차도 0.25~0.5mm이므로 이러한 정도를 만족시킬 수 있도록 단열 Box 제작의 자동화 기술이 필수적으로 요구된다. “한진 평택”호의 화물창 용적은 130,000m<sup>3</sup>로서 총 5만여개의 단열 Box가 생산 되었다.

다음으로는 인바자동용접기술을 들 수 있는데 전기저항 자동용접 및 Tig 자동용접기술이 주종을 이루고 있다. 전기저항용접은 약 40m 길이의 Invar Strake 길이방향에 적용하고 Tig 자동용접은 500mm 폭 방향에 주로 적용된다. “한진 평택”호에는 총연장 150,000m에 이르는 Invar 용접작업이 수행되었으며 이중 95%이상이 자동용접기술에 의해 시공되었다.

끝으로 화물창 기밀검사기술을 들 수 있는데 초당 0.7x10<sup>-4</sup> Torr. Liter의 극미한 누설까지 탐지할 수 있는 Tightness Test 시스템의 설치 및 검사기술과, 완성된 화물탱크를 24시간동안 -525mbar의 진공상태를 유지하여 평활 10시간 연속구간에서 대기온도 및 대기압의 변화를 고려



한 압력 변화가 약 3.5mbar이내의 기밀상태 유지를 확인할 수 있는 기밀 검사기술이 요구된다.

### 2-3-2. 화물탱크 생산공법

GT Membrane Type 화물탱크 제작과 관련한 주요 생산공법으로는 화물탱크제작 전용 내부족장시스템과 Side Opening 공법을 들 수 있다. 화물탱크제작 전용 내부족장시스템은 멤브레인 타입 화물탱크제작에는 필수 불가결한 것으로 화물탱크 천정면 공사를 위해서는 최상부 전면적에 걸친 족장판의 가설이 필요하다. 더우기약 1년간에 걸친 화물탱크제작 내부공사중 소요자재 및 장비이동, 생산인력에 대한 작업공간을 제공해야 할 뿐 아니라 내부족장이 화물탱크 바닥면에서 직접 지지되고 있기 때문에 경량화 되어야 하며, 특히 바닥면 공사를 위해서는 내부족장 구조물의 Lifting이 필요하므로 이러한 부분의 세부 운영방안까지 세세히 고려되어야만 한다.

“한진 평택”호의 경우 상기사항을 만족시키기 위하여 화물창 바닥면 지지구조를 최소화시키고 각 Floor의 끝단부를 Telescopic Type으로 설계하여 이차 및 일차방벽공사를 원활히 수행할 수 있도록 하였다. Side Opening 공법은 화물탱크 내부에 설치된 Pump Tower 설치공간을 이용하여 Deck 상부에서 모든 소요자재, 장비, 인력을 공급하는 종래의 방식에서 탈피, 물류흐름을 원활히 하고 Deck 초저온 배관작업과의 간섭을 최소화시키기 위해 선체외판에 Side Opening을 시공한 후 이차 및 일차방벽 공사를 완료하고 이 부분에 대해서는 제일 마지막으로 Containment 공사를 시공하도록 하는 공법이다. “한진 평택”호는 화물탱크 내부 족장시스템과 연계하여 Side Opening 높이인 3rd Level에 전체면적에 걸친 족장판을 가설하고 Pump Tower 공간에는 화물 Elevator를 설치, 운영하였다.

### 3. GT Type Membrane 화물탱크의 발전방향

앞장에서 GT Type Membrane 화물탱크의 설

계 및 생산기술과 “한진 평택”호 건조시 적용현황에 대하여 개략적으로 고찰하였다. 이 장에서는 향후의 발전방향에 대하여 논하기로 한다.

#### 3-1. GT No.96 Evolution System

이는 “한진 평택”호의 화물탱크 설계 및 생산기술을 일부 개선, 보완시킨 시스템으로서 주요설계 변경내용은 첫째, 화물창 내부 Upper Slope 및 천정면에 설치되는 Reinforced Insulation Box의 구조를 일반 Standard Type Box의 형상과 동일하게 하여 단열 Box 자동생산 Line의 생산효율을 극대화시키고 본선 설치작업을 용이하게 할 수 있도록 한 것이다.

다음은 Invar Tube의 구조 변경으로서 Invar Tube에 중형으로 작용하는 Thermal Stress 및 선체운동에 대한 F.E.M 해석 및 실물 모형시험을 거쳐 설계변경을 확정지은 것으로, 천정 및 바닥면의 Invar Tube 구조를 경량화 시키고 기타부분의 Invar Tube는 Invar Tube와 Invar Strake 간의 연결부인 Invar Strip 부재를 Invar Tube와 일체형으로 제작함으로써 본선 용접을 최소화시킬 수 있도록 하였다. 이 시스템은 당사가 한진해운으로부터 수주하여 '99년 7월 인도예정인 138,000m<sup>3</sup> LNG선에 적용될 계획으로 현재 기본설계가 진행중이다.

#### 3-2. GT 2000 System

이는 2000년이후를 겨냥한 차세대 GT Type Membrane 화물탱크 시스템으로 아직 실용화되어 있지 않고 현재 개념설계 및 실험이 진행중인 시스템이다. 기본구조로서 이차 및 일차방벽(Secondary & Primary Barrier)과 이차단열공간(Secondary Insulation Space)은 기존 시스템과 동일한 36% 니켈 합금강인 Invar와 단열 Box 시스템을 적용하고 일차단열공간(Primary Insulation Space)은 단열 Box 대신 Technigaz 시스템에서 채택하고 있는 Foam Panel을 적용

시키는 시스템이다.

Invar Membrane으로 선주가 요구하는 완벽한 이중방벽 구조를 만족시키면서 방열효과가 높은 Foam Panel을 일차 단열재로 사용하여 전체적인 방열두께를 줄이는 효과를 거둬으로써 동일 선박에서 화물탱크 용적을 늘릴 수 있도록 하는 것이 이 시스템의 개발 목적이다.

### 3-3. CS System

이는 프랑스 Gaz Transport사 및 Technigaz사가 선박부문의 합병을 통하여 양사의 GT No.96 System 및 TGZ MARK III System을 복합시킨 차차세대의 Membrane 화물탱크시스템으로 볼 수 있는데 현재는 개념 소개 단계에 있다.

기본구조로서 이차방열구조 및 이차방벽(Secondary Insulation Space & Secondary Barrier), 일차방열구조(Primary Insulation Space)는 기존의 TGZ MARK III System을 채택하고 일차방벽(Primary Barrier)만 GT Membrane Type의 Invar 특수강을 적용하는 것으로 되어 있다. 선박의 경제성 측면에서만 논하자면 가장 높

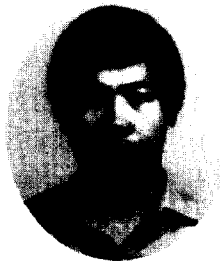
은 효율성을 가지고 있다고 볼 수 있으나 아직 검증되지 않은 시스템이다.

### 4. 결론

이상으로 GT Type Membrane 화물탱크의 설계 및 생산기술과 이에 대한 향후 발전방향에 대하여 당사에서 건조한 130,000m<sup>3</sup> LNG선 "한진 평택"호를 중심으로 하여 살펴 보았다.

우리나라는 현재 급증하는 국내 LNG 수요를 만족시키기 위해 경인지역외 전국적인 가스공급망의 확충 및 LNG 인수기지의 추가 건설과 함께 대량의 LNG 수송선박을 필요로 하고 있기 때문에 조선업계로서는 고부가가치선박인 LNG선 건조를 통한 첨단 조선기술력을 확보 할 수 있는 좋은 기회를 맞고 있다.

따라서 무리한 수주경쟁은 지양하고 LNG선 건조경험을 바탕으로 한 독자적인 건조기술로서 국내뿐 아니라 국제적인 LNG선 시장을 겨냥할 수 있도록 하여야 할 것이며 나아가 완전한 설계자립을 통하여 경제성 및 국제경쟁력을 키워 나가야 할 것이다.



### 전 인 국

- 1953년 11월 23일생
- 1976년 부산대학교 조선공학과 졸업
- 1981년~현재 (주)한진중공업 LNG선 사업부장
- 관심분야: LNG선 설계 및 생산기술, 생산관리