



# GAZ Transport & Technigaz Membrane (Mark-III)방식 LNG 선의 건조

김연중, 여세동, 김성인 <삼성중공업(주)>

## 1. 서언

GTT Mark-III TYPE의 화물격납설비는 2중 선각의 선체구조 내각에 방열 Panel을 Studbolt와 Epoxy Mastic으로 고착하고 그 내측에 액밀의 Membrane Sheet가 설치되어 화물창를 형성한다.

삼성중공업(주)에서는 실선건조에 앞서 문제점의 파악, 설계, 자재조달, 공작 및 검사기준의 설정을 위해 GTT No.96-2, Mark-III 양방식의 Mock-Up Tank를 건조하고 액체 질소에 의한 저온 실험을 실시하므로서 그 신뢰성, 안전성, 품질확보 및 작업성을 확인하고 기술 Know-How의 축적을 하면서 LNG선의 수주활동을 행하여 왔다.

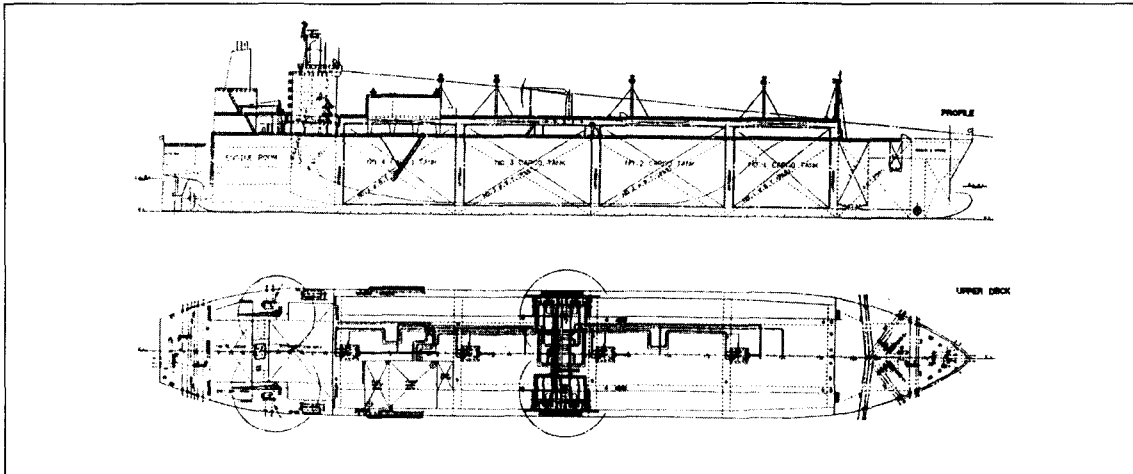
그결과로, 한국가스공사에서 발주한 138,000 m<sup>3</sup>형 Mark-III 방식 LNG선을 수주하고 1999년 12월 준공을 위하여 현재 설계 및 건조를 원만히 진행중에 있다.

본 논고에서는 이 Mark-III 방식 LNG선의 소개와 함께 이 방식의 방열재료의 제조방법, 품질관리 방법, 방열 PANEL의 사전조립방법, 선내 방열공사의 개략을 기술하고자 한다..

## 2. TGZ MARK-III 방식 화물격납설비

### 2.1 선체형상의 개요

본선의 일반배치도 및 주요요목을 각각 그림 1, 표 1에 나타낸다.



<그림 1> 138,000m<sup>3</sup>형 LNG선 일반 배치도

〈표 1〉 138,000m<sup>3</sup>형 LNG선 주요치수

전장	278.4 m
수선간장	266.0 m
형폭	42.6 m
계획흘수	11.3 m
재화중량	abt 69,200 TON
총 TON수	92,300 TON
선급	KR, ABS
화물 격납 방식	GTT MARK-Ⅲ
화물 TANK 용적	138,000 m <sup>3</sup>
주기	증기 터빈 1기 39,000 PS X 88 rpm
항해속력	20.3 kt

Mark-Ⅲ Membrane 방식은 LNG선중 화물 적재 효율이 좋고 주요촌법, 총 Ton수가 적으며 선교에서의 전망이 우수한 선체구조이고 안전한 운항이 확보되어 있다.

방열 Panel을 직접 지지하고 있는 내각구조의 신뢰성을 높이기 위해 Hold Part의 Deck를 포함한 완전 2중선체 구조로 되어있다.

## 2.2 화물격납설비 구조

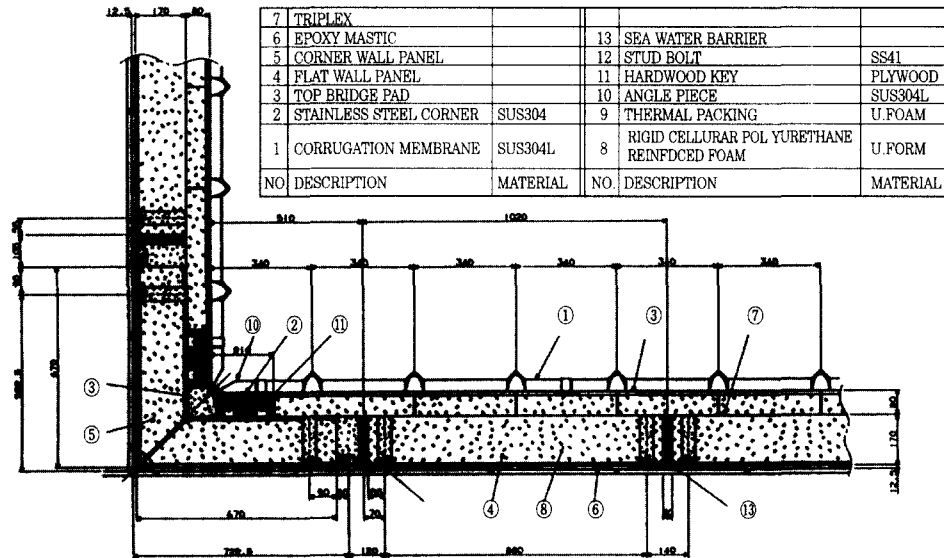
화물격납설비의 구조는 선체구조와 일체로된 방열방식이고 강화 폴리우레탄(R-PUF) 폼의 단열층에 의해 Tank 내외의 온도차 약200℃를 유지하고 있다.

1차방벽은 화물특성인 극저온에 의한 열수축과 선체변형에 의한 신축을 흡수하는 Corrugation을 가진 두께1.2mm의 스테인레스강 Membrane으로 구성되고 Membrane Sheet상호, Angle Piece 및 스테인레스 스틸 Corner(이하 SS Corner로 약칭) 중첩시켜 용접에 의해 액밀을 유지한다.

또한, 2차방벽은 트리플렉스(Al.Foil과 Glass Cloth의 복합재)로 접착에 의한 Tank 전면의 완전 2차방벽을 형성한다.

## 3. 방열재 및 MEMBRANE재의 제조법 및 품질 관리

구성하고 있는 자재별 중요자재의 제조 및 품질 관리는 다음과 같다.



〈그림 2〉 GTT Mark-Ⅲ 구조 단면도



### 3.1 강화 폴리우레탄(R-PUF)

#### (1) 제조방법

경질 RUP의 원료로 이소이안 나이트와 폴리올을 혼합후 발포 라인에 Fiber Glass의 매트를 공급하고 적정두께의 보드에 발포시킨다.

#### (2) 품질관리 방법

극저온 상태에서 이미 -196℃하에서 제반 물리적 성능을 검증한 후 GTT사에서 승인된 제품을 선정하고, 제조시에 Check하는 항목은 압축, 인장, 전단강도 등의 기계적성질, 열전달율, 독립기포율 등의 물리적 성질, 외관, 촌법, 균질성능과 특히 중요한 항목은 기계적 성질중의 밀도와 압축강도이고 전수 검사의 수행을 요구하고 있다.

### 3.2 트리플렉스

#### (1) 제조방법

본재료는 Al-Foil의 양면에 Glass Cloth를 접착한 것으로 두께는 약 0.7mm이다.

#### (2) 품질관리 방법

제품의 일부를 절취하여 인발강도와 인장강도를 검사한다. 또 외관검사도 행한다.

### 3.3 Membrane Sheet

#### (1) 제조방법

재료는 저온인성, 내식성, 가공성, 용접성이 우수하고 충분한 피로강도를 가진 오오스테나이트계 스테인레스강의 판두께 1.2mm의 SUS 304L이고 곡형성에 의해 Couprgation을 만든다. 이 Couprgation은 대소의 2종류가 있다.

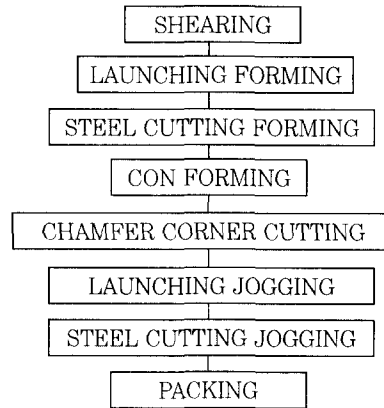
Couprgation의 표준 피치는 340mm이고 Membrane Sheet의 표준크기는 약 1m X 3m이다. Sheet의 표면에 상처가 나지 않도록 보호용 Cover를 양면에 붙여 성형가공을 한다.

그림 3에 Membrane Sheet의 제조공정을 나

타낸다.

#### (2) 품질관리 방법

Membrane Sheet 의 매 LOT마다 기계적 강도검사, 180° 곡시험, 부식시험을 한다. 또 제품에 대해서는 외관검사와 촌법검사를 행한다.



〈그림 3〉 Membrane Sheet 제조공정

## 4. 방열 Panel의 제작절차 및 품질관리

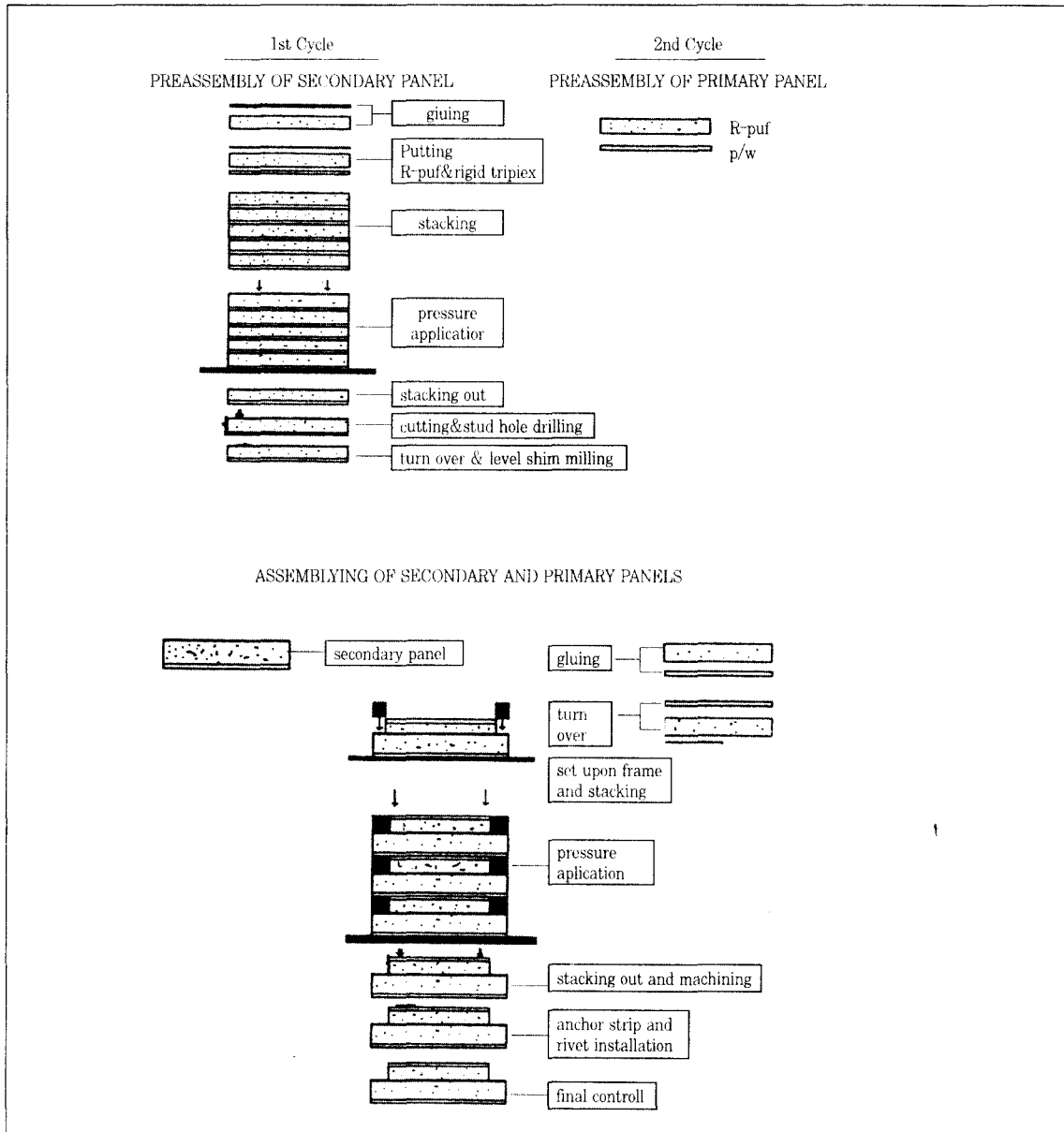
### 4.1 방열 PANEL의 제작

방열 Panel은 합판, R-PUF, 트리플렉스(Triplex)로 구성되어 있다. Panel의 표준 크기는 3m X 1m이며, 방열 Panel은 2가지로 구분된다. 즉 평면부의 Flat Panel과 Tank Corver부의 Corver Panel이다. 그림 4.1에 Flat Panel의 조립순서, 그림 4.2에 Corner Panel의 조립순서를 나타낸다.

### 4.2 방열 Panel 제작시 품질관리

#### (1) 구조용 자재로의 품질관리

Panel 제작시 구조강도의 보증을 제일로 생각하여야 한다. Panel은 Plywood, R-PUF, 트리플렉스를 접착하여 제작하고 각각의 재료강도 외에



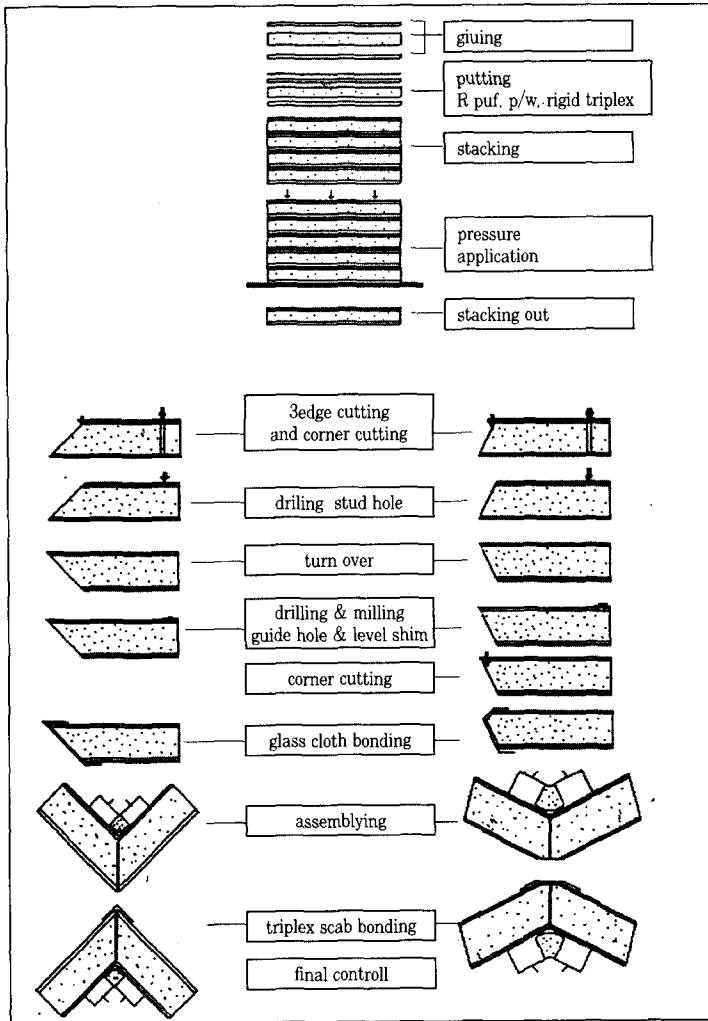
〈그림 4〉 Flat Panel의 조립

접착계수부의 강도특성이 요구되고 있다.

품질관리 항목은 접착제 자신의 품질, 2액형 접착제의 혼합비, 혼합상태의 확인, 사용시간, 압축 작업시의 접착층 두께의 관리, 경화과정의 온도와 압제압력, 유지시간 등이다.

(2) 설치시를 고려한 품질관리

층법정도의 확보가 중요한 작업이다. 두께층법은 부재를 접착 후에 소정의 두께가 되도록 가공한 것을 사용하기 위해 접착층의 두께, 부재의 소정두께 등의 가공조건을 사전에 충분히 검토해서 결정하고 있다.



〈그림 5〉 Corner Panel의 조립

Corner Panel은 평면 Panel을 여러 개 입체적으로 조합시킨 구조로 두께차분 및 면각도정도가 중요하게 되어 있다. 이 때문에 10mm의 SUS Plate를 꼭가공한 SUS Corner부재의 각도를 엄격하게 관리해서 만드는 것과 함께 Corner Panel 조립용 프레스 치구의 각도도 충분히 정도를 가진 것을 사용한다.

### 5. 화물창내 방열공사 및 품질관리

방열공사 순서 및 주요 품질관리 항목은 다음과

같다.

#### (1) Inner Hull 제작

- 용접부위 Visual Check.
- Flatness Check  $> \pm 7.5\text{mm} / 3\text{m}$ .
- Gas Tightness Test: 비눗물 Vacuum Box.

#### (2) Scaffolding 설치

- 소단위로 사전조립하여 Hull 탭재와 병행하여 설치

#### (3) Hull Marking 작업

- 각 Bulkhead 면을 중심 기준 Line 설정
- 기준 Line을 축으로 각 Stud Bolt Line 작업.
- Retainer Line 작업.

#### (4) Stud welding

- Stud Bolt의 인장시험 및 Bending Test 수행
- Welding Gun을 이용한 Stud Welding 수행
- Stud Bolt 용접후 수직도 Check.

#### (5) Retainer welding

- Marking Line을 따라 Retainer를 취부.
- 약 30mm 간격으로 양쪽 지그재그 용접.

#### (6) Levelling Wedge 설치

- 용접된 Stud Bolt에 컴퓨터로 측정한 Level의 높이 기록
- 기록에 따라 Template를 이용하여 Washer 및 Wooden Wedge 설치
- Leveling Washer 및 Wooden Wedge 설치 후 자체 기울기 및 Panel 단위로 평탄도 Check.

#### (7) Corner Panel 설치

- 3-Way Corner - 90° Corner - 135° Corner 순으로 설치함
- 설치된 Panel 인접한 Panel과의 위치 및 GAP

Leveling 상태 등을 Check.

(8) Flat Panel 설치

- 설치순서는 하부 Panel에서 상부 Panel로 Bottom 및 천정부 위는 중앙에서 외곽으로 설치.
- Panel의 운반 및 Turn Over 설치시에 Epoxy Mastic의 치짐 단락 현상이 발생하지 않도록 주의.

(9) 2차 방벽 설치

- 평판 Panel 사이, Corner Panel 사이에 완전한 2차 방벽 구성을 위해 Epoxy 접착재로 2차 방벽 Triplex를 부착함.
- Triplex 연결부 에는 75mm 이상 겹치도록 함.
- Air Bag을 이용하여 완전히 접합에 의해 압력을 가함.
- 연결부나 십자 겹침부에는 Local Vacuum Test.

(10) Top Bridge Pad설치

- 인접 Panel과의 단차는 0.5mm 이내 유지
- Epoxy Mastic을 주사하여 설치 후 양쪽 간격이 균일하게 되도록 JIG로 간격 조정.
- Epoxy Curing Time경과 후 Anchor Strip 설치.

6. 선내 Membrane 공사 및 품질관리

Membrane 공사 순서 및 주요 품질관리 내용은 다음과 같다.

(1) Membrane 설치

- Membrane 설치 구역별 Marking 시행.(각 Wall별)
- 설치순서는 천정부부터 아래로 설치해 나감 .
- Chamfer부에 설치되는 Membrane은 주름 간격이 다르므로 설치에 주의(340 X 240 피치)
- Dog Leg와 Angle Corner 부위의 Membrane 설치시 주름의 피치가 일치할 수 있도록 주의를 요함.
- Anchor Strip 과 Membrane의 Tack 용접시

Gap발생을 막아주기 위해 Tack 용접 Point의 국부 누름 Jig를 사용하여 Tack 용접 수행.

- Flat Wall의 겹침부는 30mm ±6mm으로 하며 Angle Corner 부위는 20mm ±6mm을 준수.
- 90° 및 135° Corner 부위 Marking시 Template 사용.
- Membrane 겹침부위의 용접은 피치 20 X 20 mm으로 완벽하게 수행.

(2) Membrane 용접

- 표면의 DRY 상태 및 Tack상태 Visual검사.
- 용접부에 쇼크, 스트레치, 아크 스트라크 TACK위치 결함 등을 찾아내어 수정 후 본용접 수행.
- 수동용접기와 자동TIG용접기는 본작업을 수행하기 전에 시편으로 용접조건을 검사한 후 실시.
- 수시로 텅스텐의 소모상태를 CHECK하고 다듬도록 함.
- 용접조건 사전검사이 용접위치에 따라 조건이 달라지므로 규정 TABLE에 의거 조정토록 함.
- 모든 용접은 사전용접 시험을 거친 자격자가 수행해야 함.

(3) Gas Done Membrane 설치

- 상부 DECK 와 연결 용접수행.
- 용접부 Visual 검사 및 100% Dye Check.
- Tank Access부 방열 작업.
- Membrane과 Piee 연결부의 용접 후 Visual 검사 및 100% Dye Check 수행.

(4) 암모니아 누설 Test

- 암모니아는 인체에 유해하고 폭발성을 가지며 동(구리)계열의 금속에도 영향을 가하므로 취급에 특히 주의 해야함.
- Test 온도는 20° C 정도 습도 50% 이하로 함.
- Test Paint는 표면으로부터 25 ~ 30cm의 거리를 두고 얇게 분사하여 폭이 50mm 정도가 되도록 함.
- IS 및 IBS에 N2 Filling 으로 O2함량을 줄임.
- 진공 -500mb로 3 ~ 4회 반복하여 O2 함량을 7%이하로 만들어 IS에는 N2를 IBS 에는



암모니아 25% + N2 가스를 주입하여 + 20mb로 만듦.(진공 작업시 IS와 IBS의 압력차는 50mb 이하로 함)

- Holding 시간중에 +20mb에 +50mb로 4 ~ 5회 반복.
  - IBS에 +20mb로 암모니아 주입 후 참조 Leak확인후 20시간 Holding후 Membrane Leak 상태를 Check.
  - Test가 끝나면 건조한 질소 가스 주입으로 IBS의 암모니아 와 질소 혼합가스를 모두 빼어내고 대기압 상태로 환원시킴.
  - 참조 Leak Hole을 용접 후 100% Dye Check 수행
  - Membrane 상에 도포된 Test Paint를 깨끗하게 제거.
- (5) Gas Dome Closing
- 화물창 내부 전체작업 사항 확인.
  - 화물창 내부 이물질 수거 및 청소 상태 확인후 최종 Closing 작업 수행.

## 7. 건조 설비

Membrane 방식 LNG선을 건조하기 위한 설비의 중점과제는 아래에 나타낸 것과 같다.

- ① 부재의 물류방법의 확립
- ② Hold 측에서 화물격납설비 부재의 설치 작업을 행할 작업작장의 정비
- ③ 효율적인 설치작업의 Tool & Jig 정비
- ④ Hold내의 작업환경(접착조건 등)의 정비
- ⑤ 용접 자동화율의 확대적용
- ⑥ 휴먼 에러의 최소화 대책수립

### 7.1 물류설비

방열 Panel 공장 → 부재창고 → LNG선(안벽계선)의 경로를 부재에 Damage를 입지 않도록 하고 화물창내 설치작업량, 선체 사이즈에서의 제약, 구내 설비류의 제한 등을 고려해서 상호간섭배제를 피하도록 물류관리에 성공하는 것을 목표

로 했다. 중점관리되는 부재는 방열 Panel이고 그 가운데 80%를 접하는 Flat Panel을 다단적인 대차를 컨테이너에 탑재해서 화물창내 이동한다.

Liquid Dome 측의 트렁크 Deck에 가설된 일시 Stock Yaed(선상 Stage)에 컨테이너를 탑재하고 가동식 대차를 Elevator로 이송하여 지정작업 측장에 배달한다.

### 7.2 Hold내 작업측장

본선의 작업측장은 여러 단으로 구성되고 최소한 2단은 전면측장이다. 측장의 사용목적에 따라 다음의 3구획으로 나누어 운영한다.

- ① 작업장 : 측장단부에 위치하고 방열부재, Membrane부재의 설치작업, 그 검사작업 등에 사용한다.
- ② 통로 : 작업장과 Stock장의 중간에 위치하고 물류의 교통로로서 역할을 가진다.
- ③ Stock장 : 부재 기자재 등의 일시 보관 장소로 이동한다.

기타의 특징으로서 측장단부에는 방열공사의 진척에 대해서 신축기능을 가진 측장지지각부는 이동 가능한 방식을 적용했다.

Liquid, Gas Dome 개구부에는 방풍우용 간이 House를 설치하고 있다. 부재, 기자재의 반입에는 액측면으로 사람의 출입은 Gas 측면으로 행하는 계단을 이용해서 이동한다.

### 7.3 Panel Handling의 기계화

Panel Handling의 작업조건으로서 ①전자세 ②중량물 ③시간제약(접착) 등이다.

이상에서 기계화의 목표로서 천정부, Upper부에 특수 설치장치, 리프터 등을 개발하고 적용한다. 이러한 수단에 의해 중량작업의 경감, 작업의 신속화, 정밀관리를 통해서 작업능률의

향상을 도모하고 있다. 기타의 부분에 있어서는 간이 방식으로 설치를 행한다.

#### 7.4 Hold용 작업환경

방열재의 접착경화시간, Membrane 용접부의 암모니아 Leak시험용 감지재의 반응 영향에 있어서 Hold내 분위기의 제한을 설정하고 있다. 이를 위해 공조장치를 설치하고 지정 기후를 유지한다.

#### 7.5 MembraneE 용접의 자동화

1.2mm 파형 스텐레스강의 용접의 안정된 품질의 확보, 용접능률의 향상 등의 과정의 대응책으로서 자동용접기를 이용해서 용접자동화의 확대를 도모하고 있다.

#### 8. 결 언

이상과 같이 GTT Mark-Ⅲ 방식의 방열재료의 제조방법, 품질관리 방법, 방열 PANEL의 이송 방법, 선내 방열공사의 개략을 기술했다.

당사는 세계적으로 초대형 Mark-Ⅲ TYPE LNG선의 성공적인 건조와 인도를 위해 지금까지 기술한 바와 같이 국산화 자재개발, 엄밀한 표준 작업 방법, 엄격한 품질관리 표준을 작성하여 사전 교육부터 철저히 관리하여 본선 건조 중 일어날 수 있는 휴먼 에러와 시행착오를 최소화하고 품질제일 및 무결함 선박을 건조할 수 있는 전반적인 체제를 갖추어서 선박을 적기에 성공적인 인도를 하기 위해서 철저한 준비를 하고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] GTT Technicad Document



김 연 중

- 1951년 1월 7일생
- 1977년 인하대 조선공학과 졸업
- 1977년~현재 삼성중공업 조선플랜트 선박개발 1팀장
- 관심분야: 극저온 공학 및 LNG 해상·육상기술



여 세 동

- 1958년 3월 2일생
- 1985년 울산대 건축학과 졸업
- 1985년~현재 삼성중공업(주) 선박개발 1팀
- 관심분야: 극저온 공학 및 LNG 해상·육상 기술