공학석사 학위청구논문

# 저온 저장탱크 제작법 개발

# The Development of Structural Design and Manufacturing for Cryogenic Storage Tank

지도교수 정 재 현

2005년 10월

한국해양대학교 대학원

기계시스템 공학과

최 동 준

本 論文을 崔東俊의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委 員 長　工學博士　尹相國　㊞

委　員　工學博士　鄭亨鎬　㊞

委　員　工學博士　鄭在鉉　㊞

2005 年　12 月　26日

韓國海洋大學校 海事産業大學院

機械시스템工學科

崔東俊

Abstract
**표 목 차**
**그림목차**

**제 1 장 서 론**
1.1 연구 필요성 및 배경 ····· 1
1.2 연구 목표 및 내용 ····· 2

**제 2 장 초저온 용기 설계**
2.1 초저온 용기의 구조 ····· 4
2.2 초저온 용기의 구조설계 ····· 8
2.3 초저온 용기용 금속재료 설계 ····· 14
2.4 초저온 용기의 안전장치 설계 ····· 19
2.5 초저온 용기의 단열 설계 ····· 25
2.6 진공단열 성능시험 ····· 28

**제 3 장 초저온 용기 제작**
3.1 용기 제작 검토 사항 ····· 31
3.2 초저온 용기의 제품검사 ····· 33
3.3 단열 침입 열량계산 ····· 35
3.4 저온 저장탱크 제작 예 ····· 36

**제 4 장 결론 및 향후 전망**
제 1절 결과 ····· 44
제 2절 향후 전망 ····· 44

**참고문헌** ····· 47

**부 록** ····· 49

# Abstract

After a Cryogenic fluid has been liquefied, it must be stored to keep liquid state as long as possible. Since the performance of the vessel depends to a great extent of stored san upon the effectiveness of cylinder, insulation, and suspension, the high efficiency cryogenic storage vessel was specially designed and evaluated in this study as follows:

1) the commercial size, i.e. 1,100 liter, of double shell vessel was designed and manufactured.

2) cryogenic materials were reviewed and applied

3) high vacuum adiabatic material was designed and tested

4) pressure controller and safety valve were designed

The test experiments was carried out to evaluate the storage performance of cryogenic liquid nitrogen in the designed tank under the condition of constant temperature and humidity

The result showed that heat penetration rate from the ambient to the inside stored fluid was well below the $0.002 kcal/hr℃L$, and therefore, the design was excellent to store the cryogenic liquid.

# 표 목 차

Table 2.1 초저온 용기 구조 개략도의 LEGEND

Table 2.2 초저온 용기 DESIGN DATA

Table 2.3 내압에 의한 동측 두께 계산

Table 2.4 내압에 의한 헤드 두께

Table 2.5 맨홀 커버 사양

Table 2.6 노즐목의 사양

Table 2.7 MINIMUM REQUIRED THICKNESS

Table 2.8 각 종 가스의 비점과 사용재료

Table 2.9 Chemical compositions of SUS 304 (wt%)

Table 2.10 Mechanical properties of SUS 304 at room and low temp.

Table 2.11 저장 탱크 사양

Table 2.12 안전밸브 설계사양

Table 2.13 환경계수

Table 2.14 비열용량계수

Table 2.15 시험용 저온 액화가스의 비점 및 기화열

Table 3.1 용기제작 검토사항

Table 3.2 초저온 용기의 제품검사

Table 3.3 진공도 검사

Table 3.4 침입열량 계산

Table 3.5 Fit-up inspection report

Table 3.6 Shell dimension check report

Table 3.7 PRESSURE TEST REPORT

# 그 림 목 차

Fig 2.1 저온 용기 구조 개략도

Fig 2.2 온도변화에 따른 SUS 304의 강도변화

Fig 3-1 저온 저장탱크 설계도면1

Fig 3-2 저온 저장탱크 설계도면2

Fig 3-3 저온 용기 주요제작 사진

# 제 1 장 서 론

## 1-1 연구의 필요성 및 배경

초저온 액화가스 용기는 산소, 질소, 알곤, 탄산가스, 아산화질소 및 천연가스(메탄)등 임계온도가 -50℃이하의 액화가스를 액체상태로 운반, 저장하고, 내장된 기화기나 별도로 설치된 기화기로 기화시켜서 기체상태의 가스를 소정의 압력, 온도, 유량으로 공급하기 위하여 사용하는 용기를 말한다.

초저온(Cryogenic)이라 함은 일반적으로 -150℃이하의 온도영역을 지칭하는 것으로서 초저온공학(Cryogenic engineering)은 첨단과학기술의 기초 기술에 해당한다. 초저온 기술은 초고순도 가스정제, 급속냉각, 고진공, 항공우주, 식품금속동결, 통신, 유전공학, 생명보존, 의학, 반도체 등의 첨단과학 산업전반에 기초적인 기술로서 광범위하게 활용되고 있다.

이러한, 초저온기술의 광범위한 활용으로 초저온 가스의 수요는 급증하고 있는 추세이다. 반도체산업과 관련분야의 활성화로 인해 산업용 가스(질소, 산소, 아르곤)와 의료용 특수가스(산소, 알곤, 헬륨 등)의 수요가 지속적으로 증가하고 있으며, 특히, 하절기 양식장의 녹조피해를 방지하는 기술로서 산소를 활용하는 방안이 매우 유효한 방법의 하나로 제기되어 산소 용기의 수요가 급증하고 있다

최근, 전 세계적으로 각종 난치병의 치료제로서 줄기세포에 대한 관심과 연구가 집중되고 있어 이를 냉동저장 할 수 있는 초저온 장비에 대한 요구가 증가하고 있으며, 생명공학에 대한 국내외의 집중적인 투자와 노력이 지속되고 있어 바이오-초저온용기 시장(Cryo-bio market)은 급성장 할 것으로 예상되고 있다.

또한, 청정에너지인 LNG(액화천연가스)의 이용분야가 산업용, 발전용에서 민생용, 차량용 분야로 확대되기 시작함으로써 초저온 저장탱크의 수요가 급증하고 있는 실정이다. 특히 도시가스배관 시공이 어려운 지역이 많음으로써 배관으로 가스를 공급하는 기존의 방식에서 저장용기에 의한 가스공급의 필요성 증대하고

있는데, 저장용기 및 부속기기의 개발이 완료되면 기존 에너지 분야에서의 LPG (액화석유가스)수요가 상대적으로 가격이 저렴하고 친환경적인 LNG로의 대체가 가속화 될 전망이다.

상온에서 기체상태로 존재하는 대부분의 가스들이 -40℃이상의 온도에서 액화되나 헬륨, 수소, 네온, 질소, 산소, 알곤, 공기, 메탄 등의 초저온 가스는 -150℃이하로 온도가 떨어져야만 액화가 되며, 액화 후에는 체적이 수백분의 1로 감소하게 된다. 초저온 가스를 액화상태로 저장하면 고압의 압축가스(기체상태)로 저장하는 것에 비하여 동일 크기의 저장용기에 비하여 저장능력을 수배로 증대시킬 수 있으며 충전압력을 보다 낮게 유지 할 수 있으므로 안전성이 크게 높아지되 된다.

기존의 대형 초저온 저장탱크는 용량이 크기 때문에 초기 투자비가 매우 높고, 저장탱크는 법적으로 고정 설치하여 사용하도록 규정되어 있어 이동이 불가능하며, 소형 초저온용기는 용량이 대부분 200~300㎏이하로서 사용량이 많을 경우에는 용기의 설치 대수도 많아지고 용기교환주기가 빨라지게 되어 안전관리와 유지보수측면에서 여러 가지 문제점이 발생하므로 저장능력 1TON급 초저온 액화가스 용기의 개발이 절실히 요구되고 있다.

이상의 결과를 고려하면, 초저온 저장탱크의 구조설계기술과 제작법의 확립이 시급한 실정이다.

## 1-2 연구 내용 및 목적

초저온 용기는 가스를 액체상태로 운반, 저장하고, 내장된 기화기나 별도로 설치된 기화기로 기화시켜서 기체상태의 가스를 소정의 압력, 온도, 유량으로 공급하기 위하여 사용하는 것으로서, 임계온도가 -50℃이하의 액화가스를 고압으로 충전하는 용기이다.

본 연구는 초저온 저장 탱크의 구조설계 및 제작법 개발을 목표로 하였으며 설계 제작한 저온 저장 탱크의 성능평가를 통하여 그 유효성을 입증하고자 한다.

주요 내용은 다음과 같다. 제2장에서는 저온 저장탱크의 구조설계를 위한 이론식 및 방법을 검토하였으며, 제3장에서는 2장에서 확립한 설계 사양에 따른 제작 방법을 게발하였으며, 제4장에서는 설계 제작한 저온 저장탱크의 성능을 시험하여 평가함으로써 개발의 유효성을 입증하고자 한다.

# 제 2 장  초저온 용기 설계

## 2.1 초저온 용기의 구조

초저온 용기 관련 국내 기술기준을 근거하고 기존 수입판매 중인 각종 초저온 용기의 문제점을 분석하여 개발한 용기의 구조 개략도 및 개략도의 LEGEND는 다음 Fig 2.1 및 Table 2.1과 같으며,Table 2.2는 DESIGN DATA를 정리한 것이다.

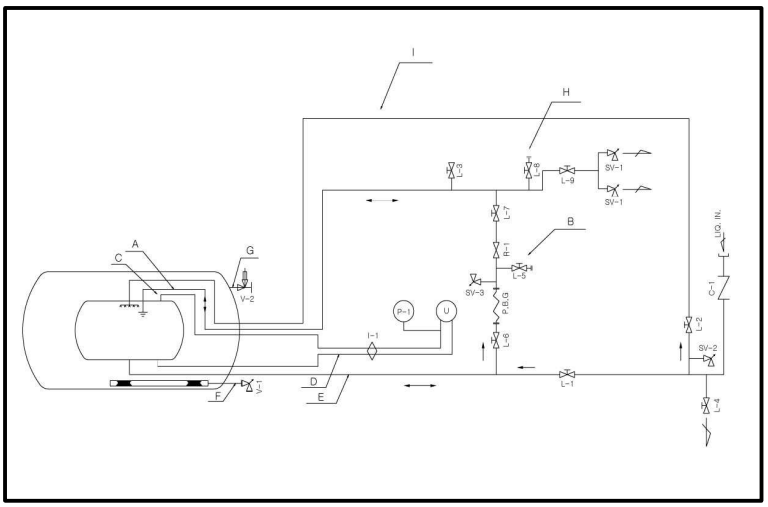



**Fig 2.1 저온 용기 구조 개략도**

충전된 액화가스는 -150 ℃이하의 초저온 상태이므로 고압가스안전관리법상 초저온 용기는 외부에서의 열침에 의한 액온의 상승 즉, 용기 압력의 상승을 방지하기 위하여 단열을 실시하여 침입 열량을 규정치 이하로 하여야 하고, 용기의 재료는 저온취성을 일으키지 않는 재료를 사용하여야 한다.

초저온 용기는 내조와 외조를 갖는 2중구조의 용기로서 오스테나이트계 스테인리스강으로 된 내조가 탄소강 등으로 된 외조의 내부공간에 설치된 이중의 구조를 가지고, 내조 상단의 내조상부헤드에 열전도가 적고 강도가 큰 재료의 지지재가 외조의 상단에 고정 지지된 구조를 가진다.

내조의 하부와 외조의 하부 사이에 내조받침대를 설치하고 그 사이에 퍼얼라이트를 진공으로 충진 시켜 단열 성능을 향상시킴과 동시에 내조와 외조의 상대변위를 없게 함으로써 내조와 외조의 파손을 줄인다.

이송과 사용상의 안전성 및 편의성을 위하여 격자상의 팰리트의 내측에 외조좌대와 완충재로써 팰리트에 지지되도록 구성한다.

Table 2.1 초저온 용기 구조 개략도의 LEGEND

| MARK | DESCRIPTION | MATERIAL | SIZE | REMARK |
|---|---|---|---|---|
| A | SAFETY/ OVER FLOW LINE | SUS304TP | 15A, S/40 | |
| B | VAPOR QUTLET LINE | SUS304TP | 15A, S/40 | |
| C | UPPER LEVEL G. CONN. LINE. | SUS304TP | 8A, S/40 | |
| D | BLTTOM LEVEL G. CONN.LINE | SUS304TP | 8A, S/40 | |
| E | BOTTOM FILLING LINE | SUS304TP | 20A, S/40 | |
| F | VACUUMIZING LINE | SUS304TP | 40A, S/40 | |
| G | VACUUM PROPE LINE | SUS304TP | 8A, S/40 | |
| H | VAPOR OUT LINE (SPARE) | SUS304TP | 10A, S/40 | |
| I | TOP FILLING LINE | SUS304TP | 20A, S/40 | |
| L-1 | BOTTOM FILLING V/V | BC6 | 20A | 30K |
| L-2 | TOP FILLING V/V | ↑ | 20A | 30K |
| L-3 | OVERFLOW / DRAIN | \| | 10A | 30K |
| L-4 | DRAIN | \| | 8A | 30K |
| L-5 | OUT VAPOR | \| | 15A | 30K |
| L-8 | GLOBE VALVE | \| | 10A | 30K |
| L-7 | P.B.C MAIN V/V | \| | 15A | 30K |
| L-8 | VAPOR OUT | \| | 8A | 30K |
| L-9 | S.V MAIN VALVE | \| | 15A | 30K |
| C-1 | CHECK VALVE | ↓ | 20A | 30K, SW |
| R-1 | RAGULATOR | BC6 | 15A | |
| SV-1 | IN. TANK SAFETY V/V | SUS304/BC8 | 15A | SP1=3.3 Mpa<br>SP2=3.3 Mpa |
| I-1 | pLG MAIN VALVE | C4641B | PT1/4B | 3-WAY V/V |
| L1 | LEVEL GAUGE | SUS304 | PT1/4B | - |
| P-1 | PRESSURE GAUGE | SUS304 | PT1/4B | ø100 × 5MPa |
| OS | OUT, TANK SAFETY | SS400 | | |
| V-1 | EVACUATION | SUS304 | 40A | |
| V-2 | VACUUM PROBE | SUS304 | 8A $^{3}$ | |

To be continued

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| PBC | PRESS. BUILD-UP | A6063S | 20NM / H | |
| SV-2 | LINE SAFETY V/V | BC5 | 8A | SP1=3.1 Mpa |
| SV-3 | LINE SAFETY V/V | BC5 | 8A | SP1=3.1 Mpa |
| 1 | INNER SHELL | SUS304 | 12t | |
| 2 | INNER HEAD | SUS304 | 12t | (2:1 ELLIP) |
| 3 | JACKET SHELL | SS400 | 7t | |
| 4 | JACKET HEAD | SS400 | 7t, | 10% DISH |
| 5 | SUPPORT LEG | SS400 | 9 t× 200× 200 | |
| 6 | ANCHOR B. N. W | SS400 | M20X400L | |
| 7 | LIFTING LOG(LOW) | SS400 | 19t | |
| 8 | LIFTING LUG(TOP) | SS400 | 19t | |

Table 2.2 초저온 용기 DESIGN DATA

| NO. | ITEM | | DESCRIPTION |
|---|---|---|---|
| 1 | CODE & STANDARD | | KS B 6733 & 고압가스안전관리법 |
| 2 | CAPACITY TON | | - |
| 3 | VOLUME M3 | | 1,100 |
| 4 | FLUID | | L-O2, L-N2, L-Ar |
| 5 | PRESSURE | DESIGN Mpa | 3.0 |
| | | OPERATING Mpa | 2.9 |
| 6 | TEMPERATURE | DESIGN ℃ | -196 ~ 40 |
| | | OPERATING ℃ | - |

To be continued

| | | | |
|---|---|---|---|
| 7 | TEST PRESSURE | HYDRAULIC Mpa | 4.5 |
| | | PNEUMATIC Mpa | - |
| 8 | RADIOGRAPHIC EXAMINATION | SHELL % | 100 |
| | | HEAD % | 100 |
| 9 | MAGNETIC TEST | | NOZZLE WELD PART |
| 10 | JOINT EFFICIENCY | SHELL | 100 |
| | | HEAD | 100 |
| 11 | INSULATION | THICKNESS | 258 MM (PERLITE) |
| | | COVER | - |
| 12 | VACUUMLATE TORR | | 5× 10-2 |
| 13 | CORROSION ALLOWANCE MM | | 0 |
| 14 | SURFACE PREP. | EXTERNAL | SHOT BLASTER SA 2 1/2 |
| | | INTERNAL | - |
| 15 | PAINTING | 1ST | - |
| | | FINAL COATING | EPOXY PRIMER(RED) 50/m |
| 16 | WEIGHT | EMPTY, kg | 2000 |
| | | FULL OF WATER, kg | - |
| | | OPERATING , kg | - |

## 2.2 초저온 용기의 구조설계

본 절에서는 초저온 용기 구조설계에 대해서 설명한다.

### 2.2.1 내용적 설계 (VOLUME CALCULATION)

내용적 설계에는 동측, 튜브측 재킷 용적을 계산하여 총 용적은 각각의 값을 합하여 구한다.

(1) 동측용적[1] (SHELL SIDE VOLUME)

동측용적은 다음 식으로 구한다.

$$V_S = \frac{\pi D^2}{4} \times L + \frac{\pi D^3}{24} \times 2 \qquad (2.1)$$

$$= \frac{\pi \times 0.900^{\,2}}{4} \times 1.429 + \frac{\pi 0.900^{\,3}}{24} \times 2$$

$$= 1.100 \ M^3$$

(2) 튜브측 재킷용적 (TUBE SIDE OF JACKET VOLUME)

튜브측 재킷용적은 다음 식으로 구한다.

$$V_C = 0.0 \qquad (2.2)$$

(3) 총 용적 (TOTAL VOLUME)

총 용적은 튜브측 재킷 용적과 동측 용적을 합하여 구한다.

$$V = V_S + V_C \qquad (2.3)$$

$$= 1.100 + 0.0$$

$$= 1.100 \ M^3$$

### 2.2.2 용량계산 (CAPACITY CALCULATION)

설계한 초저온 용기의 용량은 다음 식으로 계산한다.

$$W = 0.9 \times d \times V \quad (2.4)$$

$= 0.9 \times 1.06 \times 1,100 = 1,049$ KG($LO_2$의 3kg/㎤g에서 액밀도 1.06kg/ℓ 기준)

### 2.2.3 내압에 의한 동측 두께 계산[2)]

(CYLINDRICAL SHELL THICKNESS UNDER INTERNAL PRESSURE)

내압이 작용할 때 헤드두께를 구하기 위한 설계 값은 Table 2.3에 있다.

Table 2.3. 내압에 의한 동측 두께 계산

| Parameter | | Design value |
|---|---|---|
| PRESSURE | P | 3.0 MPa |
| TEMPERATURE | T | -196~40 ℃ |
| INSIDE DIAMETER | D | D = 900 *MM* |
| MATERIAL | (CORR.) | SUS304 |
| RADIOGRAPHY | | FULL ( 100% ) |
| JOINT EFFICIENCY | E | 1.0 |
| ALLOWABLE STRESS | S | 128 $N/MM^2$ |
| YIELD STRENGTH(0.2%) | Y | 362.6 $N/MM^2$ |
| TENSILE STRENGTH | K | 490 $N/MM^2$ |
| CORROSION ALLOWANCE | C.A | 0.0 *MM* |

그리고 다음과 같은 과정으로 동측 두께를 계산한다.

(1) 최소 요구 두께 (MINIMUM REQUIRED THICKNESS)

최소요구 두께는 다음 식으로 구한다.

$$t = \frac{P \times D}{2 \times S \times E - 1.2 \times P} \quad (2.5)$$

$$= \frac{(3.0) \times (900)}{2 \times (128) \times (1.0) - 1.2 \times (3.0)}$$

= 10.7 $mm$

(2) 설계 두께 (DESIGN THICKNESS)

설계 두께는 다음 식으로 구한다.

$$t_1 = t + CA = 10.7 + 0.0 = 10.7mm \quad (2.6)$$

(3) 공칭 두께 (NOMINAL THICKNESS)

공칭 두께는 다음과 같이 구한다.

$$tn = 12\ mm \quad (2.7)$$

### 2.2.4. 내압에 의한 헤드 두께

### (HEAD THICKNESS UNDER INTERNAL PRESSURE)

내압이 작용할 때 헤드 두께를 구하기 위한 설계 값은 Table 2.4에 있다.

**Table 2.4 내압에 의한 헤드 두께**

| Parameter | | Design value |
|---|---|---|
| PRESSURE | P | 3.0 MPa |
| TEMPERATURE | T | -196~40 ℃ |
| INSIDE DIAMETER | D | D = 900$mm$ |
| MATERIAL | (CORR.) | SUS304 |
| RADIOGRAPHY | | FULL ( 100% ) |
| JOINT EFFICIENCY | E | 1.0 |
| ALLOWABLE STRESS | S | 128 $N/mm^2$ |
| YIELD STRENGTH(0.2%) | Y | 362.6 $N/mm^2$ |
| TENSILE STRENGTH | K | 490$N/mm^2$ |
| CORROSION ALLOWANCE | C.A | 0.0$mm$ |
| TYPE OF HEAD | | 2:1 ELLIP |
| FACTOR | V | 1.0 |

그리고 다음과 같은 과정으로 헤드 두께를 구한다.

(1) 최소 요구 두께(MINIMUM REQUIRED THICKNESS)

최소 요구 두께는 다음 식으로 구한다.

$$t = \frac{P \times V \times D}{2 \times S \times E - 0.2 \times P} \quad (2.8)$$

$$= \frac{(3.0) \times (1.0) \times (900)}{2 \times (128) \times (1.0) - 0.2 \times (3.0)}$$

$$= 10.57 \quad mm$$

(2) 설계 두께 (DESIGN THICKNESS)

설계 두께는 다음 식으로 구한다.

$$t_1 = t + CA = (10.57) + 0.0 \quad = \quad 10.57 \quad mm \quad (2.9)$$

(3) 가공 후 최소 두께 (MINIMUM THICKNESS OF AFTER FORMING)

가공 후 최소 두께는 다음과 같다.

$$t_2 \quad = \quad - \quad mm \quad (2.10)$$

(4) 공정 두께 (NOMINAL THICKNESS )

공정 두께는 다음과 같다.

$$tn \quad = \quad 12 \quad mm \quad (2.11)$$

### 2.2.5 . 내압에 의한 맨홀 커버 두께

### (MANHOLE COVER THICKNESS UNDER INTERNAL PRESSURE)

내압이 작용할 때 맨홀커버두께는 다음과 같은 과정으로 구한다. 그리고 설계에 필요한 자료는 Table 2.5에 있다.

(1) 최소 요구 두께 (MIN. REQUIRED THICKNESS)

최소 요구 두께는 다음 식으로 구한다.

$$t = d \times \sqrt{\frac{ZCP}{1 \cdot S}} + CA \quad (2.12)$$

$$= \quad 29.58 \text{ mm}$$

z = 1.00

c = 0.2

(2) 사용 재료

사용재료는 다음과 같다.

SUS304 , 30 mm

Table 2.5 맨홀 커버 사양

| Parameter | | Design value |
|---|---|---|
| INTERNAL DESIGN PRESSURE | Pi | 3.0 Mpa |
| STATIC HEAD PRESSURE | Ps | 0.0 Mpa |
| DESIGN PRESSURE (P=Pi + Ps) | P | 3.5 Mpa |
| ALLOWABLE TENSILE STRESS (AT DESIGN TEMP) | S | 128 $N/MM^2$ |
| CORROSION ALLOWANCE | CA | 0.0 mm |
| DESIGN TEMPERATURE | T | -196 ~ 40 ℃ |
| INSIDE DIAMETER (CORRODED) | a | 400 mm |

## 2.2.6. 내압에 의한 노즐목 두께

(NOZZLE NECK THICKNESS UNDER INTERNAL PRESSURE)

노즐목 두께를 계산하기 위한 설계변수는 Table 2.6에 표시되어 있다.

Table 2.6 노즐목의 사양

| Parameter | | Design value |
|---|---|---|
| DESIGN PRESSURE | P | 3.0 Mpa |
| OUT SIDE DIAMETER | Do | - mm |
| ALLOWABLE TENSILE STRESS | S | 109 $N/MM^2$ |
| JOINT EFFICIENCY | E | 1.0 |
| CORROSION ALLOWANCE | CA | 0.0 mm |
| ACTUAL THICKNESS OF PIPE | ta | - mm |
| MIN. REQUIRED THICKNESS | t | - mm= $\frac{P \times Do}{2 \times S \times E + 0.8 \times P} + CA$ |

Table 2.7 은 상기 식에 따라 SUS304(SCH 40) PIPE의 MINIMUM

REQUIRED THICKNESS를 계산한 결과로서 실제 두께 ta가 t보다 크므로 설계가 타당함.

Table 2.7 MINIMUM REQUIRED THICKNESS

| SIZE | t (mm) | ta (mm) |
|---|---|---|
| 10A(17.3Φ) | 0.24 | 2.8 |
| 20A(27.2Φ) | 0.37 | 2.9 |
| 25A(34.0Φ) | 0.46 | 3.4 |
| 40A(48.6Φ) | 0.66 | 3.7 |
| 50A(60.5Φ) | 0.92 | 3.9 |

## 2.3 초저온 용기용 금속재료설계

초저온 용기용 금속재료의 선정을 위해 관련 기술 자료를 고찰하여 정리하였다. 일반적으로 초저온 구조용 재료로서 요구되는 성능에는 다음과 같은 항목들이 있다.[3)]

1) Young's modulus, 항복강도, 인장강도, 피로강도 등 기계적 성질

2) 충격흡수에너지, Kc 등 파괴인 성치

3) 용접 접합성을 포함한 가공성

4) 비열, 열전도도, 열팽창계수 등의 열물리적 성질

5) 비중, 자성, 전기절연성, 내방사성능 등의 물성

6) 가격

재료의 기계적 성질, 인성은 극저온 구조물에서 중요한 물성이며, 비열은 용기재료에서 특히 중요한데, 냉각시 냉매의 소비량은 그 가치를 결정한다.[4)]

또한 열전도율은 임입열의 평가에 필요한데 배관재, 열교환기재료에는 재료선택에 큰 판단기준이 된다. 비자성, 전기절연성은 초전도 코일재료에 필요한 특성이다. 특히 저온설비에서는 취성파괴가 일어나지 않는 조건이 중요하다. 따라서 저온구조용 재료는 충분한 파괴인성을 가져야만 한다. 파괴인성 요구치는 규격마

다 약간씩 다른데, 샤피충격시험으로부터 샤피흡수에너지값(vE), ASTM의 CT시험에서 응력집중계수(Kc), BS 5762의 COD시험에서 임계균열개구변위(δc)등을 구하여 사용한다.[5)]

표4는 각 종 가스의 비등점과 사용구조재료를 정리하여 나타낸 자료로서, 액화산소 및 액화질소 용기로 사용되는 스테인리스강, 9%Ni강 및 Al합금의 특성에 대하여 고찰하고자 한다.

### 2.3.1 9%Ni강[6)]

9%Ni강은 NNT(double-normalized and tempered)나 QT(quenched and tempered)와 같은 열처리를 통해 결정립을 미세화시킴으로서 페라이트계의 약점인 연성-취성 파괴천이(DBTT)를 -200℃이하로 저하시킨 소재이다. 이 합금은 1940년에 미국에서 3.5%Ni강으로 Pilot Plant를 건설함으로써 개발되기 시작하여, 1944년 INCO에서 9%Ni강을 개발하였고 1948년 Luckens Steel사에서 액화헬륨추출탑[7)]과 액체산소저장탱크용으로 9%Ni강을 제조 판매하였다. 그후 1960년 U.S. Steel, Chicago Bridge & Iron 및 INCO의 3개사가 공동으로 9%Ni강을 이용하여 극저온용 모형탱크를 대량 제작하여 대규모 파괴시험을 실시한 이래 9%Ni강의 안전성이 입증되어 초저온탱크용 소재로 널리 사용되고 있다. 그러나 실구조물 용접시에는 값비싼 Ni기 용접봉을 사용해야 하고, 자화가 되면 아크 흐름 때문에 용접이 불가능하며 용접성도 떨어지는 단점이 있다

Table 2.8 각 종 가스의 비점과 사용재료

| 물 질 | 절대온도 | 사용합금 | 재료구분 |
|---|---|---|---|
| 부탄 | 272.5K | 고장력강 | 저온재료 |
| 암모니아<br>프로판<br>프로필렌<br>유화카르복실<br>유화수소 | 239.6K<br>230.9K<br>225.3K<br>223K<br>213.5K | Al killed강<br>2.5%NI강 | |
| 탄산가스<br>아세칠렌<br>에탄<br>에칠렌 | 194.5K<br>189K<br>184.7K<br>169K | 3.5%Ni강 | |
| 크립톤<br>액화천연가스<br>메탄<br>산소<br>아르곤<br>불소<br>질소 | 120.1K<br>>120K<br>111.7K<br>90.1K<br>87.3K<br>85K<br>77.4K | 스테인레스강<br>9%Ni 강<br>Al합금 | 초저온재료 |
| 네온<br>중수소<br>수소<br>$Nb_3Sn$실용초전도선<br>NbTi실용초전도선<br>헬륨 | 27.1K<br>23.6K<br>20.2K<br>18.0K<br>9.6K<br>4.2K | 스테인레스강<br>Al합금<br>Ti합금<br>고 Mn강 | 극저온재료 |

### 2.3.2 AL 합금[6)]

5083Al은 4.5% Mg을 포함하고 있다. Al-Mg합금은 어닐링조건에서 사용되고 용접시 가열되는 동안 강도가 저하되지 않는다. 저온에서 충격값이 저하되지 않는 면심입방격자 구조이며 대형파괴 시험시 우수한 저온특성을 보이나 9% Ni강보다 강도는 낮아 7-70㎜의 판으로 사용되고 있다. 용접은 위치별로 자동 고전류 MIG와 DCSP TIG를 사용하고 있다.

### 2.3.3. 오스테나이트계 스테인리스강[6)]

SUS304 스테인리스강은 면심입방격자 구조로서 연성-취성천이온도가 존재하지 않아 -200℃이하의 온도에서도 높은 인성을 유지할 수 있고 용접성 및 성형성이 우수하며, 9% Ni강에 비해 1.5배의 열팽창계수를 갖고 있다.[9)]

Table 2.11과 같은 성분을 갖는 SUS 304의 건전성과 안전성을 확보하기 위해서는 온도변화에 따른 강도 및 파괴인성의 평가가 중요하며[10)], 그림2와 표6은 인장강도, 항복강도 및 연신율을 온도변화에 대하여 나타낸 것이다. 온도가 감소함에 따라 항복강도는 조금 증가하는 경향을 보이나 인장강도는 현저히 상승하였다. 또한 연신율은 111K의 경우 상온보다 약50%정도 급격히 감소하였으나 연성파괴 거동을 보이고 있다.

Table 2.9 Chemical compositions of SUS 304 (wt%)

| Material | C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SUS 304 | 0.05 | 1.2 | 0.021 | 0.008 | 0.41 | 18.02 | 8.6 |

Table 2.10 Mechanical properties of SUS 304 at room and low temp.

| Material | Temperature | Yield Strength σ(MPa) | Tensile strength σ(MPa) | Elongation (%) |
|---|---|---|---|---|
| SUS 304 | 293K (20℃) | 306.8 | 720.5 | 63.2 |
| | 193K (-80℃) | 496.9 | 1162.5 | 32.7 |
| | 153K (-120℃) | 507.5 | 1245.0 | 31.4 |
| | 111K (-162℃) | 550.7 | 1495.0 | 28.9 |

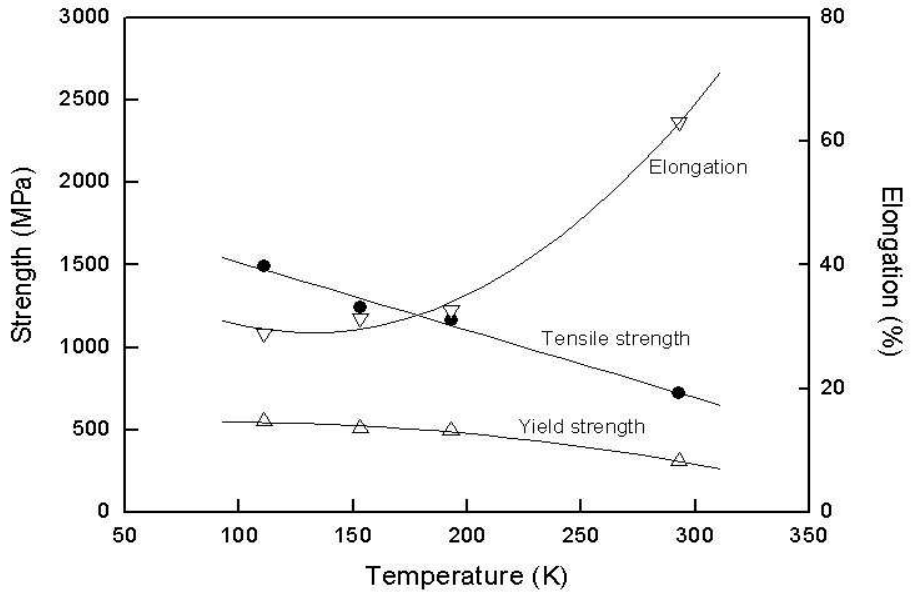



Fig 2.2 온도변화에 따른 SUS 304의 강도변화

## 2.4 초저온 용기의 안전장치설계

### 2.4.1 저장탱크 및 사용 안전밸브의 설계사양

저장탱크와 안전밸브 설계사항은 각각 Table 2.11 , Table 2.12 와 같다.

Table 2.11 저장 탱크 사양

| Parameter | Design value |
|---|---|
| 탱크형상 | 분말(Perlite)진공 단열형 초저온 저장탱크 |
| INNER VESSEL의 내경(mm) | 900 |
| INNER VESSEL의 사용두께(mm) | 12 |
| OUTER JACKET의 내경(mm) | 1,440 |
| OUTER JACKET의 사용두께(mm) | 6 |
| TL을 포함한 OUTER JACKET의 길이(mm) | 1,793 |
| OUTER JACKET의 외부표면적(㎡) | 12 |
| 단열재의 종류 | Perlite |
| 단열재의 열전도율(kcal/m.h.℃) | 0.002 |
| 단열층의 두께(m) | 0.258 |

Table 2.12 안전밸브 설계사양

| Parameter | Design value |
|---|---|
| SEAT DIAMETER(d) | 19mm |
| LIFT (I) | 1.2mm |
| INLET SIZE | MNPT - 1/2 |
| OUTLET SIZE | MNPT - 3/4 |
| BODY MATERIAL | BRONZE |
| 분출면적 (As = π.d.l) | 71.629 ㎟ |
| 안전밸브의 설정압력 | 3,600 Mpa 3600.00 kPa |
| 두 번째 안전밸브-(예비용) | 3,600 Mpa 3600.00 kPa |
| FLUID | L-02,L-N2,L-Ar |
| 수량 | 2 EA |

### 2.4.2 안전밸브의 분출부의 필요분출 면적

임계흐름압력이 배압보다 크거나 같은 경우에는 다음과 같은 식을 이용한다.

$$A = \frac{13160 \times W \times (T \times Z)^{0.5}}{C \times Kd \times Kb \times Kc \times P1 \times M^{0.5}} \quad (2.13)$$

여기서 A는 분출부의 필요한 유효면적 (㎟)이고, W는 1시간에 분출해야할 가스의 량(kg/h)이다.

용기 등의 내용물 이송설비 및 소화설비가 없는 경우에는 다음과 같은 식을 이용한다.

$$W = \frac{61000 \times A^{0.82} \times F}{L} \quad (2.14)$$

여기서

A : 저장탱크의 외부 표면적 : 12㎡

F : 단열된 압력용기가 받는 입열량에 따를 Table 2.10의 값 : 0.15
(Table 2.10에서 입열량은 1000h/i = 1000×0.002/0.258 = 7.752)

h : 단열재(Perlite)의 열전도율 (kcal/mh℃) : 0.002

I : 단열재의 두께 (m) : 0.258

L : 분출량 결정압력에 있어서의 액화가스 증발잠열 (kcal/kg)

C : 비열용량계수 (Table 2.14에 나타낸 값) :

Kd : 제작자의 설계분출계수(분출계수) : 0.975

Kb : 배압보정계수 (대기압일 경우) : 1

Kc : 안전밸브 설치에 관련된 정수 : 1

P1-1 : 첫번째 안전밸브의 분출량결정압력(kPa)
= (설정압력 × 1.1) + 101.3 = 4061.30

P1-2 : 두번째 안전밸브의 분출량결정압력(kPa)
= (설정압력 × 1.1) + 101.3 = 4061.30

P2 : 대기압을 포함하는 배압 (kPa) : 103.3

M : 가스의 분자량

T : 분출량 결정압력에서 가스의 절대온도(º K)

Z : 압축계수의 값

으로 정한다.

Table 2.13 환경계수

| 구분 | 압력용기의 환경 | F값 |
|---|---|---|
| 1 | 노출(Bare)된 압력용기 등 | 1 |
| 2 | 단열된 압력용기 등<br>(단열재의 전열계수 = k/t. 분출시 유체온도=15℃)<br>1) 19.5 Kcal/$m^2$·h·ºC<br>2) 9.8 Kcal/$m^2$·h·ºC<br>3) 4.9 Kcal/$m^2$·h·ºC<br>4) 3.3 Kcal/$m^2$·h·ºC<br>5) 2.4 Kcal/$m^2$·h·ºC<br>6) 2.0 Kcal/$m^2$·h·ºC<br>7) 1.6 Kcal/$m^2$·h·ºC | 0.3<br>0.15<br>0.075<br>0.05<br>0.0376<br>0.03<br>0.026 |
| 3 | 물 분무장치가 설치된 경우 | 1 |
| 4 | 감압시설 및 액이송설비가 설치된 경우 | 1 |
| 5 | 지상에 설치하고 흙으로 덮은 저장탱크 | 0.03 |
| 6 | 지하매설 저장탱크 | 0 |

※ Table 2.14 을 참조 할것

Table 2.14 비열용량계수

| k | C | k | C | k | C |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.15 | 332 | 1.51 | 365 | 1.87 | 392 |
| 1.16 | 333 | 1.52 | 366 | 1.88 | 393 |
| 1.17 | 334 | 1.53 | 367 | 1.89 | 393 |
| 1.18 | 335 | 1.54 | 368 | 1.90 | 394 |
| 1.19 | 336 | 1.55 | 369 | 1.91 | 395 |
| 1.20 | 337 | 1.56 | 369 | 1.92 | 395 |
| 1.21 | 338 | 1.57 | 370 | 1.93 | 396 |
| 1.22 | 339 | 1.58 | 371 | 1.94 | 397 |
| 1.23 | 340 | 1.59 | 372 | 1.95 | 397 |
| 1.24 | 341 | 1.60 | 373 | 1.96 | 398 |
| 1.25 | 342 | 1.61 | 373 | 1.97 | 398 |
| 1.26 | 343 | 1.62 | 374 | 1.98 | 399 |
| 1.27 | 344 | 1.63 | 375 | 1.99 | 400 |
| 1.28 | 345 | 1.64 | 376 | 2.00 | 400 |
| 1.29 | 346 | 1.65 | 376 | | |
| 1.30 | 347 | 1.66 | 377 | | |
| 1.31 | 348 | 1.67 | 378 | | |
| 1.32 | 349 | 1.68 | 379 | | |
| 1.33 | 350 | 1.69 | 379 | | |
| 1.34 | 351 | 1.70 | 380 | | |
| 1.35 | 352 | 1.71 | 381 | | |

(1) 내용물이 산소일 경우 필요분출 면적 계산

첫 번째 안전밸브의 설계는 다음과 같은 순서로 구한다.

(가) 1시간에 분출해야 할 가스의 양 (kg/h)

$$W = \frac{61000 \times A^{0.82} \times F}{L} \quad (2.14)$$

L : 분출량 결정압력에 있어서의 액화가스 증발 잠열 (kcal/kg) = 46

$$W = \frac{61000 \times 12^{0.82} \times 0.15}{46}$$

= 1526 kg/h

(나) 분출부의 필요한 유효면적 (㎟)

$$A = \frac{13160 \times W \times (T \times Z)^{0.5}}{C \times Kd \times Kb \times Kc \times P1 \times M^{0.5}} \quad (2.13)$$

k : 비열비 (Cp/Cv) = 1.41

Cp : 정압비열 : 29.427

Cv : 정적비열 : 20.817

C : 비열용량계수 (Table 2.14에 나타낸 값) = 357

M : 가스의 분자량 = 32

T : 분출량 결정압력에서 가스의 절대온도(ºK) = 121

Z : 그림4에 나타난 압축계수의 값 = 0.03

Tr : T/임계온도 = 0.78

Pr : P1/임계압력 = 0.08

$$A = \frac{13160 \times 1526 \times (121 \times 0.03)^{0.5}}{357 \times 0.975 \times 1 \times 1 \times 4061.3 \times 32^{0.5}}$$

= 4.785 ㎟

(2) 내용물이 질소 일 경우 필요 분출 면적 계산

첫 번째 안전밸브의 설계는 다음과 같은 순서로 구한다.

(가) 1시간에 분출해야할 가스의 량 (kg/h)

$$W = \frac{61000 \times A^{0.82} \times F}{L} \quad (2.14)$$

L : 분출량 결정압력에 있어서의 액화가스 증발 잠열 (kcal/kg) = 42

$$W = \frac{61000 \times 12^{0.82} \times 0.15}{42}$$

$$= 1671 \text{ kg/h}$$

(나) 분출부의 필요한 유효면적 (㎟)

$$A = \frac{13160 \times W \times (T \times Z)^{0.5}}{C \times Kd \times Kb \times Kc \times P1 \times M^{0.5}} \quad (2.13)$$

k : 비열비 (Cp/Cv) = 1.41

Cp : 정압비열 = 28.98

Cv : 정적비열 = 20.6

C : 비열용량계수 (표1에 나타낸 값) = 357

M : 가스의 분자량 = 28

T : 분출량 결정압력에서 가스의 절대온도(ºK) = 104.5

Z : 그림4에 나타난 압축계수의 값 = 0.08

Tr = T/임계온도 = 0.83

Pr = P1/임계압력 = 1.11

$$A = \frac{13160 \times 1671 \times (104.5 \times 0.08)^{0.5}}{357 \times 0.975 \times 1 \times 1 \times 4061.3 \times 28^{0.5}}$$

$$= 8.5 \text{ ㎟}$$

(3) 내용물이 알곤일 경우 필요분출 면적 계산

첫 번째 안전밸브의 설계는 다음과 같은 순서로 구한다.

(가) 1시간에 분출해야할 가스의 량 (kg/h)

$$W = \frac{61000 \times A^{0.82} \times F}{L} \quad (2.14)$$

L : 분출량 결정압력에 있어서의 액화가스 증발 잠열 (kcal/kg) = 35

$$W = \frac{61000 \times 12^{0.82} \times 0.15}{35}$$

$$= 2006 \text{ kg/h}$$

(나) 분출부의 필요한 유효면적 (㎟)

$$A = \frac{13160 \times W \times (T \times Z)^{0.5}}{C \times Kd \times Kb \times Kc \times P1 \times M^{0.5}} \quad (2.13)$$

k : 비열비 (Cp/Cv) = 1.67

Cp : 정압비열 = 20.83

Cv : 정적비열 = 12.48

C : 비열용량계수 (표1에 나타낸 값) = 378

M : 가스의 분자량 = 40

T : 분출량 결정압력에서 가스의 절대온도(ºK) = 118

Z : 압축계수의 값 = 0.06

Tr = T/임계온도 = 0.78

Pr = P1/임계압력 = 0.8

$$A = \frac{13160 \times 2006 \times (118 \times 0.06)^{0.5}}{357 \times 0.975 \times 1 \times 1 \times 4061.3 \times 40^{0.5}}$$

= 7.42 ㎟

따라서, 위 계산에 안전밸브의 필요분출면적 8.5는 안전밸브의 분출면적 71.629보다 작으므로 본 안전밸브의 선정은 적합하다.

## 2.5 초저온 용기의 단열설계

### 2.5.1 퍼얼라이트 진공단열법

초저온 용기는 철강재의 가공이나 부속품은 대부분 전문업체에서 생산된 제품을 사용하고 있고 국내 가공기술이 상당한 수준에 까지 도달되어 있으므로[11] 초저온 저장용기의 제조기술능력은 진공기술에 의해 결정된다고 해도 과언이 아니다.

우리나라의 연평균기온을 20℃로 가정 할 경우 가스를 저장하는 용기 내부와 외부의 온도는 비점이 영하 196℃인 질소는 216℃, 영하 162℃인 LNG는 18

2℃, 79℃인 탄산가스 99℃의 차이가 발생한다. 만일 단열을 통한 진공이 확보되지 못하면 온도가 상승, 액체상태인 가스가 기화되어 기체상태로 변하게 되며, 질소나 LNG의 경우 대략 600~700배의 부피가 증가해 용기 내에 엄청난 압력증가가 발생, 안전밸브를 통해 대기 중으로 가스를 분출시켜 가스를 사용할 수 없는 것은 물론 안전사고가 우려된다. 따라서 용기의 품질은 물론 용기의 수명까지 직결되므로 초저온용기의 완성도는 진공도에 달려 있다.

현재, 대부분의 초저온 저장탱크는 퍼얼라이트 진공단열법을 사용하고 있으며 내용기와 외용기의 지지대, 배관류를 제외한 단열층에서의 침입열량은 그 단열성능에 의하여 결정된다.

퍼얼라이트 진공단열에서 진공용 퍼얼라이트의 열전도율은 퍼얼라이트의 충전밀도에 따라 다소 차이가 있으나 이상적인 충전 밀도하에서의 열전도율은 대기압 초저온하에서 $2\times10^{-2}$ Kcal/㎡h℃ 정도이다. 그러나 대기온도와 초저온과의 온도차는 200℃전후 또는 그 이상이 되므로 유효하고 경제적인 단열시공을 하여야 한다. 소형 저장조일수록 내용적에 비하여 표면적이 증대하며 그만큼 침입열량의 비율도 커지게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하고 퍼얼라이트의 고유의 열전도율 $2\times10^{-2}$ Kcal/㎡h℃을 보다 효과적으로 이용하기 위하여 단열공간을 진공으로 한 것이 퍼얼라이트 진공 단열법이다.

진공도가 높으면 높을수록 진공 중에서의 공기분자의 확산속도가 늦어지며 열전도를 적게 할 수 있으나, 진공도가 지나치게 높으면 경제성이 적고 진공도로서의 의미가 별로 없다

여러가지 선행 연구결과에 의하면 퍼얼라이트 진공단열법에서는 어느 진공도 이하에서는 퍼얼라이트 고유의 열전도율에 지배되나 일정의 진공도 이상에서는 일정치의 열전도율을 갖게 된다. 이 조건의 진공도를 경제적으로 유효한 진공도라 부르고 있으며, 이 진공도는 $5\times10^{-2}$Torr로서 이때의 퍼얼라이트 진공단열의 열전도율은 $2.4\times10^{-3}$Kcal/㎡hr℃로 되어 퍼얼라이트 진공단열은 상압 퍼얼라이트 침입 열량에 비하여 1/10로 감소됨을 알 수 있다.

그러나 독일 등 일부 외국업체 들이 $2\times10^{-2}$Torr정도의 진공제품을 생산하기도 하지만, 대부분의 경우에는 국제적으로 통용되고 있는 미국의 ASME 코드에 맞추어 경제적으로 유효한 진공도라 할 수 있는 $5\times10^{-2}$Torr의 진공제품을 생산하고 있다.

퍼얼라이트 진공단열에 있어서 $5\times10^{-2}$Torr 이상의 진공도를 확보하기 위해서는 일반적인 가공기술은 물론 철강재 중에서의 배출가스, 퍼얼라이트 중의 수분 등이 진공 조건하에서 배출되어 진공도의 열하를 일으켜 단열성능을 저하시키므로, 이러한 문제를 해결하는 것이 초저온 저장용기의 제작의 핵심기술이다. 퍼얼라이트 진공단열법에 있어서 진공도 $5\times10^{-2}$ Torr 이하에서는 열전도율이 일정하여 침입열량도 일정하게 되나 일반적으로는 로타리 진공펌프로써 $1\times10^{-3}$ Torr 정도 까지 진공 배기시킨다.

### 2.5.2 슈퍼 인슐레이션 단열법

슈퍼 인슐레이션 단열법은 저장용량이 큰 저장조에는 구조상 및 경제성의 문제 때문에 일반적으로 많이 채용하고 있지 않으나, 운반용의 소형 초저온 용기(시중에는 175ℓ가 많다)와 같이 내용적에 비하여 표면적의 비가 큰 경우나 액화헬륨(LHe), 액체수소(LH2) 등과 같은 극저온 저장용기 등에 채용되고 있다.

슈퍼 인슐레이션 단열법은 전도, 대류 및 복사에 의한 열의 이동을 최소한으로 줄이도록 고안된 것으로 퍼얼라이트 진공단열의 단열두께에 비하여 약 1/10정도의 두께로 되므로 경량화, 소형화에는 가장 적당하다. 슈퍼 인슐레이션 단열법은 공기를 매체로 하여 생기는 대류열을 차단하기 위하여 퍼얼라이트 진공단열 보다도 고진공으로 만든다. 단열재는 퍼얼라이트 대신에 다층 단열재인 반사판을 여러 겹으로 내조 벽측에 감아둔 것으로 이 반사판은 내조에만 접촉하여 있으며, 외조 내벽에는 접촉되지 않도록 만든다. 이들 반사판은 외부에서 들어오는 복사열을 반사판의 각층에 의해 감온 시키어 외부에서 내조로 들어오는 복사열을 크게 줄여주는데 효과적이며, 매우 우수한 단열법의 하나이다.

반사판을 보통 은박지가 이용되고 있으며 감아 주는 매수는 허용 침입열량에 의하여 결정되나 175ℓ초저온 용기에는 20 ~ 25층 정도로 내조에 원통상으로 감으며, 반사판의 중간에는 중간 단열종이를 반사판의 열단락 방지용으로 함께 원통상으로 감아둔 구조이다.

외부에서의 복사열은 반사판의 각 층에 의하여 감온되어 외부에서 내조에 이르는 복사열을 크게 줄여 준다.

슈퍼 인슈레이션 단열의 진공도는 $1\times10^{-4}$ Torr 이하가 가장 효과적이며. 이때의 열전도율은 $5\times10^{-3}$ Kcal/㎡hr℃로 되어 퍼얼라이트 진공단열의 $2.3\times10^{-3}$ Kcal/㎡hr℃보다 적은 값이 되나 $10^{-3}$ ~ $10^{-4}$이하의 고진공 하에서는 철강재 중의 배출가스량이 보다 증가되므로 통상 이들의 배출가스(OUT GAS)는 저온 흡착제(MOLECULAR SIEVE)등에 의하여 흡착시킨다. 그러나 저장용기 등의 전처리가 완전하지 않으면 이 흡착제도 배출가스에 의하여 포화되어 진공도가 떨어지게 된다.

그러나 퍼얼라이트 진공단열법에서는 진공도가 $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$ 정도이므로 이들 흡착제를 필요로 하지 않으며, 진공도 유지의 기술도 충분히 확립되어 있다.

## 2.6 진공단열성능시험

초저온 용기의 성능을 좌우하는 진공단열성능에 대한 평가는 진공도시험이나 단열성능시험 등에 의하여 평가할 수 있다. 진공도시험은 Vacuum Detector를 이용하여 초저온 용기의 진공상태를 확인하여 단열성능을 평가하는 방법이며 비교적 용량이 큰 중대형 저장용기에 이용하고 있으며 헬륨테스트기와 같은 장비가 많이 보급되어 보다 쉽고 정확하게 성능을 평가할 수 있는 장점이 있다. 한편, 소형 저장용기의 경우는 고압가스안전관리법에서 규정하는 단열성능시험방법에 의해 성능을 평가하고 있다.

액체가 기화될 때에는 열(기화잠열)을 필요로 한다. 그러나 이 필요로 하는 열

을 공급받지 못한다면 이 액체는 기화할 수 없게 된다. 보온이 되지 않는 일반 병과 보온이 되는 병에 같은 양의 물을(물 대신 증발을 잘하는 알코올을 넣는다면 그 결과가 더 빠름) 넣고 일정한 시간 후에 확인해 본다면 보통의 병이 보온병보다 더 많은 양이 증발하여 남아 있는 액량이 적게 된다. 즉, 외부로부터 침입된 열에 의하여 액이 증발하게 되는데 보온병은 열의 침입이 작으므로(액의 증발을 위한 잠열의 공급이 작으므로) 액은 조금밖에 증발하지 않은 것이다. 이 경우 증발된 양이 2kg이고, 증발잠열이 80kcal/kg이라면 그 동안 80kcal/kg×2kg=160kcal 만큼의 열이 침입했다는 이야기가 되고, 이것이 10시간 동안의 결과라면 160kcal÷10hr=16kcal/hr로서 1시간당 16kcal가 이 물병에 침입했다는 것이 된다. 단열성능시험도 결국 이러한 원리를 이용한 것이다.

(1) 단열성능시험 방법

시험용으로 저온의 액화가스인 액화질소나 액화산소 또는 액화알곤을 용기 내용적의 1/3이상 1/2이하로 되게 충전하여 다른 모든 밸브는 닫은 채 가스방출 밸브만 열어 대기 중으로 가스가 기화 방출되도록 한다. 그리고는 얼마의 시간이 지난 후 저울이나 유량계를 이용하여 남아 있는 액량을 최초 액량과 비교함으로써 기화 방출된 양을 측정하고 다음의 식을 통해 침입열량을 산출해 낼 수 있다 (시험전에 용기를 충분하게 예냉시킨 후 실시해야 한다).

(2) 단열성능시험 산출식

$$Q = \frac{W \cdot q}{H \cdot \Delta t \cdot V} \qquad (2.15)$$

Q : 침입열량(kcal/hr·℃·ℓ)
W : 측정중의 기화 가스량(kg)
H : 측정시간(hr)
⊿t : 시험용 저온 액화가스의 비점과 외기온도차(℃)
V : 용기 내용적(ℓ)
q : 시험용 액화가스의 기화 잠열(kcal/kg)
단, 시험용 저온 액화가스의 비점 및 기화열은 다음 수치로 한다.

Table 2.15 시험용 저온 액화가스의 비점 및 기화열

| 시험용 액화가스의 종류 | 비 점(℃) | 기화잠열(kcal/kg) |
|---|---|---|
| 액화 질소 | -196 | 48 |
| 액화 산소 | -183 | 51 |
| 액화 알곤 | -186 | 38 |

(3) 판정기준

가. 내용적 1000ℓ 미만 : 침입열량 0.0005kcal/hr·℃·ℓ 이하일 것.

나. 내용적 1000ℓ 이상 : 침입열량 0.002kcal/hr·℃·ℓ 이하일 것.

(4) 이 시험기준에 부적합한(미달된, 불합격된) 용기는 단열장치를 수리 하거나 개조해서 재시험할 수 있다. 즉, 단열성능시험에 부적합 하더라도 용기 자체의 결함이 아니고 단열장치의 결함이므로 파기하지는 않는다.

# 제 3 장 초저온 용기 제작

## 3.1 용기제작 검토사항[12,13)]

Table 3.1 용기제작 검토사항

| 번호 | 검토항목 | 검 토 방 법 | 검 토 결 과 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 제작사양 | 제출된 설계도와 구조도를 검토하여 해당되는 수치를 기재 | 안지름 | 900mm | | | |
| | | | 길이 | 1,429mm | | | |
| | | | 내용적 | 1,100ℓ(1.100㎥) | | | |
| | | | 경판형상 | 2:1 Elliptical | | | |
| | | | 설계압력 | SHELL | 3.0 | MPa | |
| | | | | TUBE | - | | |
| | | | 설계온도 | SHELL | -196~40 | ℃ | |
| | | | | TUBE | - | | |
| 2 | 재 료 | 재료선정의 적정여부 확인 (사용금지 및 제한, 온도범위, 허용응력, 열처리 등) | 동체(SHELL) | SUS304 | | | |
| | | | 경판(HEAD) | SUS304 | | | |
| | | | 플랜지(FLANGE) | SUS304 | | | |
| | | | 관판(TUBE SHEET) | - | | | |
| | | | 관(TUBE, PIPE) | SUS304TP | | | |
| | | | 기타 내압부재 | SUS304 | | | |
| 3 | 두 께 | 적합여부 확인 | 허용 응력 | 용접 효율 | 계산 두께 | 사용 두께 | |
| | | 동체(SHELL) | 128 | 1.0 | 10.7 | 12 | |
| | | 경판(HEAD) | 128 | 1.0 | 10.57 | 12 | |
| | | 관판(TUBE SHEET) | - | - | - | - | |
| | | 관(TUBE, PIPE) | 109 | 1.0 | 0.24<br>0.92 | 2.8<br>3.9 | |
| 4 | 플 랜 지 | 플랜지 종류, 규격등의 적정여부 확인 | 종 류 | JIS STANDARD | | | |
| | | | 규 격 | 25A | | | |
| | | | 두 께 | 16mm | | | |
| 5 | 구멍보강 | 보강의 해당여부 및 보강재 부착방법 등의 적정여부 확인 | 최대구멍지름 | 해당없음 | | | |
| | | | 강도 계산 | 해당없음 | | | |
| | | | 부착방법 | 해당없음 | | | |

| 번호 | 검토항목 | 검 토 방 법 | 검 토 결 과 | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 용접 | 용접이음매 분류방법 및 이음매 종류에 따른 용접효율 적용의 적정여부 확인 | 분류방법 | 제15-1-25조에 의한 카테고리 분류 적정 |
| | | | 용접효율 | 제15-1-26조에 의한 효율적용 적정 |
| | | | 용접방법 | WPS 검토결과 적정 |
| 7 | 용접부 기계시험 | 이음매별 용접부기계시험의 종류, 방법 및 시험편 개수의 적정여부 확인 | 시험종류 | 인장, 이면, 표면 |
| | | | 시편개수 | 인장시험편 1,<br>이면, 표면굽힘시험편 1 |
| | | | 시험방법 | 제15-1-39조제2항<br>(공인검사기관-<br>중소기업청에 의뢰) |
| 8 | 비파괴 검사 | 비파괴검사의 종류, 실시방법의 적정여부 확인 | 검사종류 | RT, PT |
| | | | 실시방법 | 비파괴전문업체<br>(주)신한SIT에 위탁 |
| 9 | 열처리 | 열처리 대상여부 및 실시방법의 적정여부 확인 | 대상여부 | PWHT 제외<br>(탄소강 32mm 이하) |
| | | | 실시방법 | 해당없음 |
| 10 | 내압시험 | 내압시험방법 및 시험압력의 적정여부 확인 | 시험방법 | 수압시험 |
| | | | 시험압력 | 3.0×1.5(128/128)<br>= 4.5MPa |
| 11 | 기 타 | 특수규격 또는 특별규정 해당여부 확인 | 해 당 없 음 | |

## 3.2 초저온 용기의 제품검사

Table 3.2 초저온 용기의 제품검사

| 구분 | 검사항목 | 검 사 내 용 | 검사방법 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 재료검사 | - 외관검사 및 ID Trace | W | Cutting Plan / Y |
| | | - 재료검사성적서 확인 | R | MTC / Y |
| | | - 초음파탐상대상 및 실시여부 확인 | R | MTC or USTR / Y |
| 2 | 가공검사 | - 가공후 경판 외관검사 및 중요부위 실제두께 확인 | W | FIR / Y |
| 3 | 조립검사 (Fit-up) | - 루트간격 및 엇갈림 오차 확인 | SW | |
| | | - 조립상태, 진원도, 지주연직도 확인 | SW | DCR / Y |
| 4 | 기계시험 | - 용접부 기계적 특성 시험 확인 (인장, 충격, 굽힘,) | W | PTR / Y |
| 5 | 용접검사 | - 용접부 외관확인 | SW | Y |
| | | - 용접부 치수 확인 | SW | Y |
| | | - 용접사 기량실험 | SW | PQR & WPS / Y |
| 6 | 비파괴시험 | - RT 촬영 및 필름 리뷰<br>- 기타 NDE 확인 | R<br>R | NDE Report /Y |
| 7 | 내압 / 기밀시험 | - 내압/기밀시험 | H | PTR / Y |
| 8 | 진공단열시험 | - 진공단열성능시험 | H | VHTR/ Y |
| 9 | 기초검사 | - 레벨. 앵커볼트 수량 및 간격, 지주간 거리 | SW | FDR / Y |
| 10 | 최종검사 및 각인 | - 최종외관 및 각종 부착물<br>- 한국가스안전공사 제품검사<br>- 합격각인 | W<br>W<br>W | MDR/Y<br>CKGSC/Y<br>Y |
| **약어해설** | | CKGSC(Certificate of Korea Gas Safety Company),W(Witness), R(Review), C(Check), SW(Spot Witness), Y(Yes), N(No) DWG(Drawing), ITP(Inspection & Testing Procedure), MTC(Material Test Certificate), MCL(Material Check List), USTR(Ultrasonic Test Report), FIR(Formed Head Inspection Report), HTR(Heat Treatment Record), WPS(Welding Procedure Specification), PQR(Procedure Qualification Record), WPQ(Welder Performance Qualification), DCR(Dimension Check Record), PTR(Pressure Test Report), H(Holding), HSTR(Hydrostatic Test Record), NDE(Nondestructive Examination), DSR(Differential Settlement Record), FDR(Foundation Dimension Record), MDR(Manufacturer's Data Report), VHTR(Vacuum Hold Test Report) | | |

### 3.2.1 성능시험

성능 시험은 다음과 같은 순서로 한다.

**1)원통형 저장탱크 시험**

**소재 : SUS304**

**내용적 : 1,000,000리터**

**두께 : 12mm**

**설계온도 : -196~40℃**

**설계압력 : 3MPa**

**내압시험압력 : 4.5MPa**

**허용응력 : 128 N/㎟**

**충전가스 : LN2, LO2, LAR**

### 3.2.2 진공 시험 (VACUUMIZING HOLD TEST)

진공 시험은 다음과 같이 한다.

(1). CONFIRM TO TEST EQUIPMENT FOR VACUUM DEGREE.

1) VACUUM DETECTOR

A. MODEL : TELEDYNE, ATV 4/6

B. DETECTING RANGE ; 0.10 ~ 20 TORR, 0.13 ~ 20 mbar

0.001 ~ 1.0 TORR, 0.001 ~ 20 mbar

2) VACUUM SENSOR

A. MODEL : TELEDYNE, DV-6

(2). VACUUM DEGREE CHECK

Table 3.3

| DATE | VACUUM(Torr) | RESULT |
|---|---|---|
| 2004. 11 . 22 . | 0.04 | ACCEPT |

## 3.3. 단열침입 열량계산

단열침입 열량계산은 다음과 같이 한다.

(1). 침입 열량 계산

$$Q = \frac{W \times q}{h \times \triangle t \times V} \qquad (3.1)$$

$Q$ = 침입열량 ($kcal/Hr℃\ell$)

$W$ = 측정중 기화가스의 중량 ($kg$)

$$= \frac{\text{가스유량}}{\text{비체적} \times \frac{273 + GAS\text{출구온도}}{273}}$$

$q$ = 시험용 액화가스의 기화 잠열 $kcal/kg$ = 48

$H$ = 측정 시간 ($H$) = 1시간

$\triangle t$ = 시험용 액화가스의 비점과 대기온도차 (℃) = 179℃

$V$ = 용기의 내용적 (ℓ)

$$Q = \frac{1.105792684 \times 48}{1 \times 179 \times 1100} = 0.000269568\ \text{㎉} / Hr\ ℃\ \ell \quad < \quad 0.002 \rightarrow O.K$$

Table 3.4 침입 열량 계산

| 시험 액화 가스 | $L-N_2$ | 기화 가스 유량 | 0.93 LIT |
|---|---|---|---|
| 용기 내용적 | 1,100 | 기화 가스 중량 | 1.105792684 |
| 측정 기구명 | WET GAS METER (W-NK- -1A-) SHINAGAWA SEIKI CO. LTD.(JAPAN) | 측 정 시 간 | 1 시간 |
| 대기 온도 | 17℃ | 침 입 열 량 | 0.000269568 |
| 기화 가스 온도 | 14℃ | 시 험 일 자 | |

| 구분 / 가스명 | 비 체 적 ($m^2/kg$ 0℃ 1$atm$) | 비 점 (℃) | 기 화 잠 열 ($kcal/kg$) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 액화 질소 | 0.8 | -196 | 48 | |
| 액화 산소 | 0.7 | -183 | 51 | |
| 액화 알곤 | 0.56 | -186 | 38 | |

## 3.4 저온 저장탱크 제작 예

상기한 설계에 따라 저온저장탱크를 제작하였다.

Fig 3.1 저온 저장탱크 설계도면1

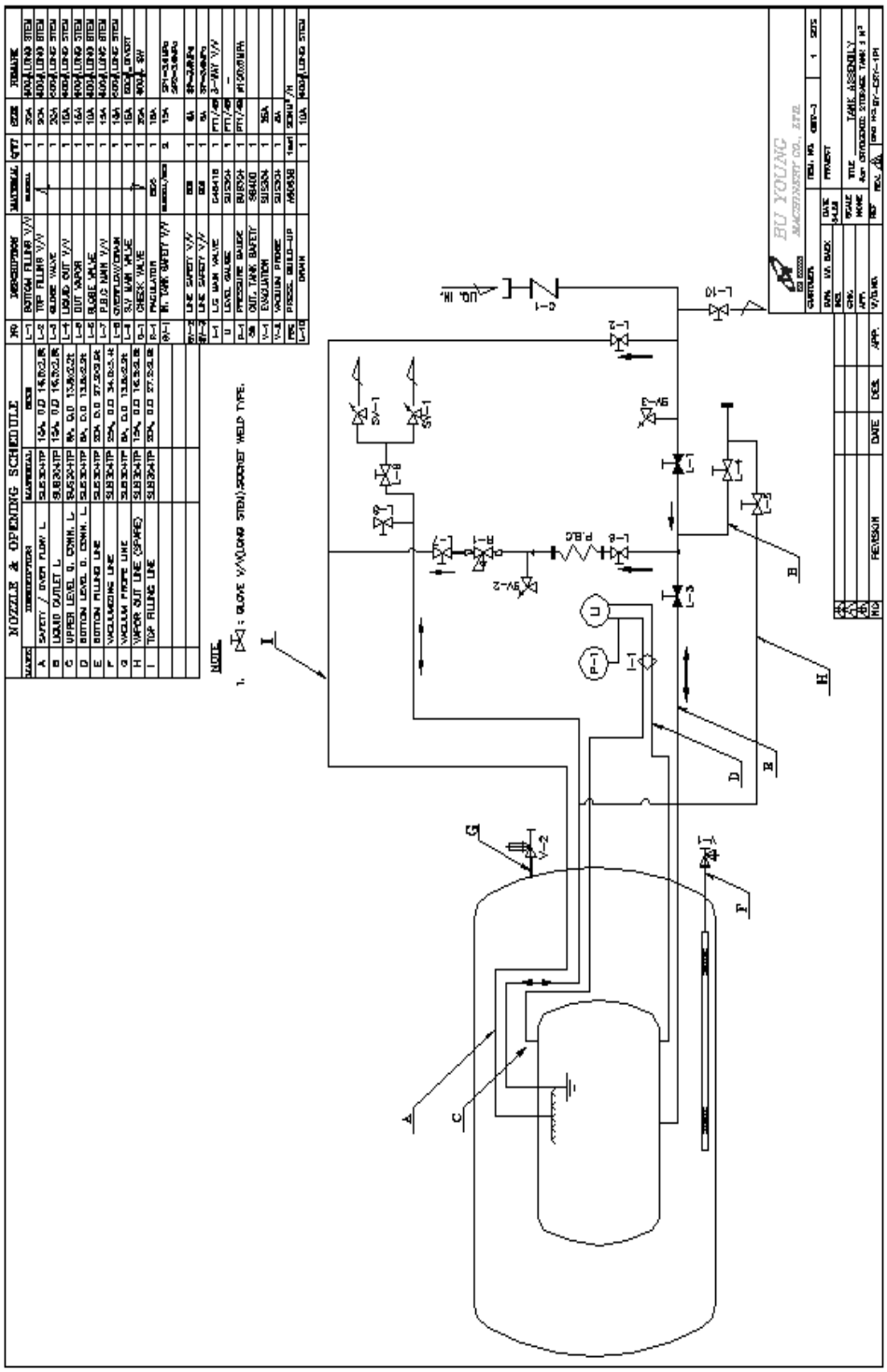


Fig 3.2 저온 저장탱크 설계도면2

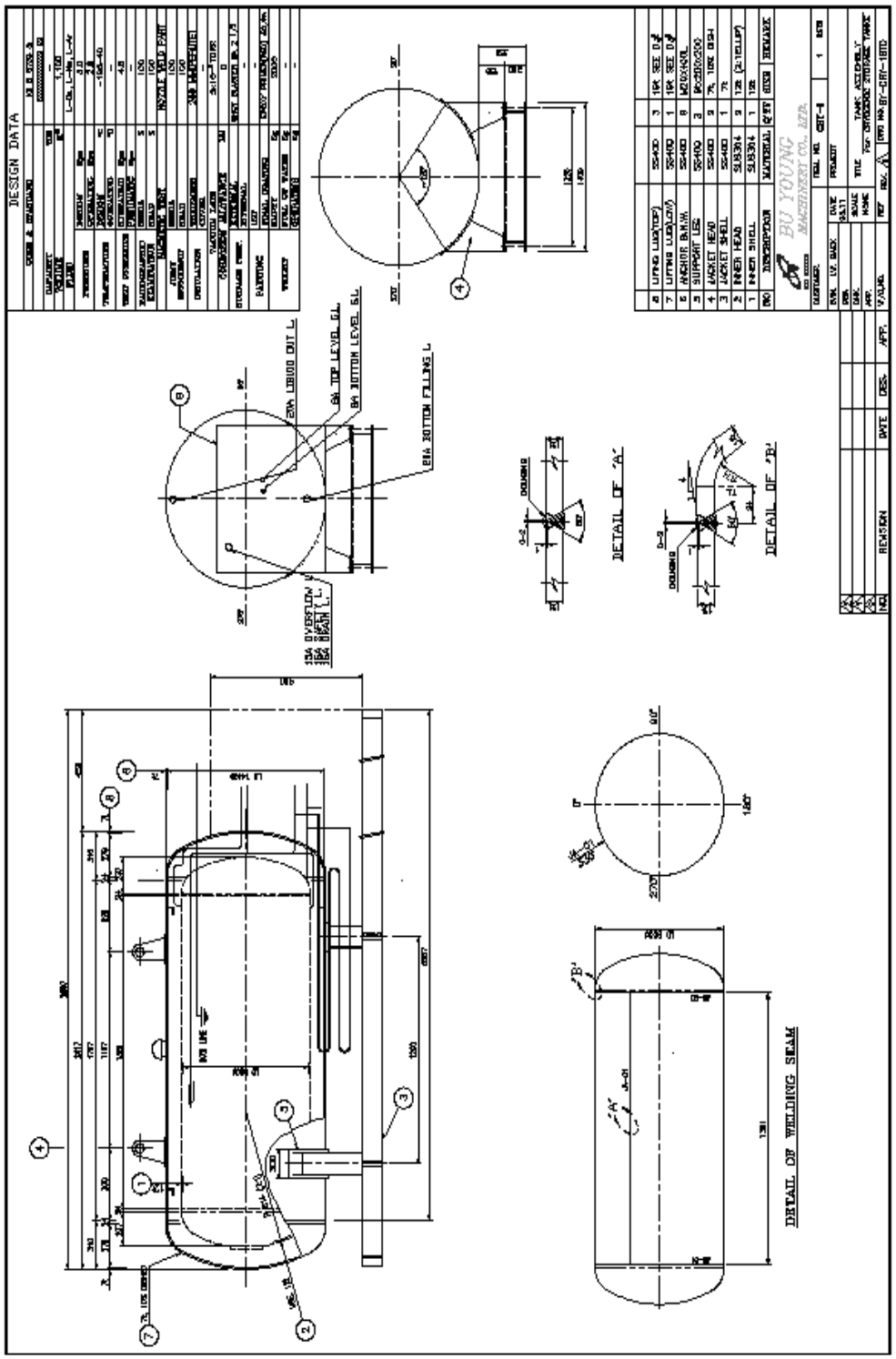
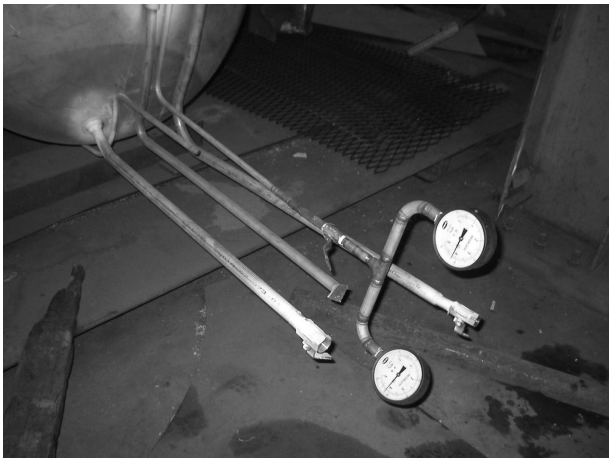
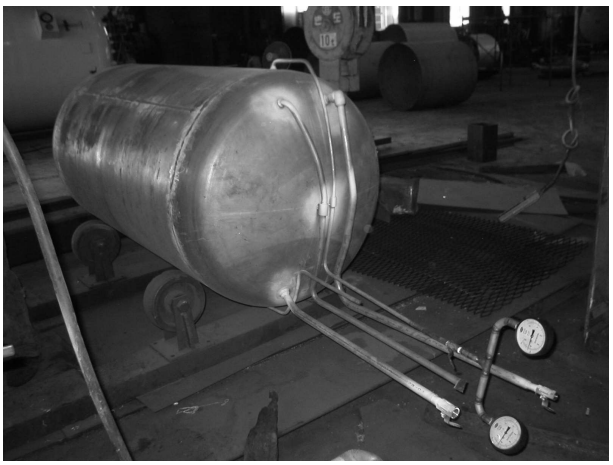
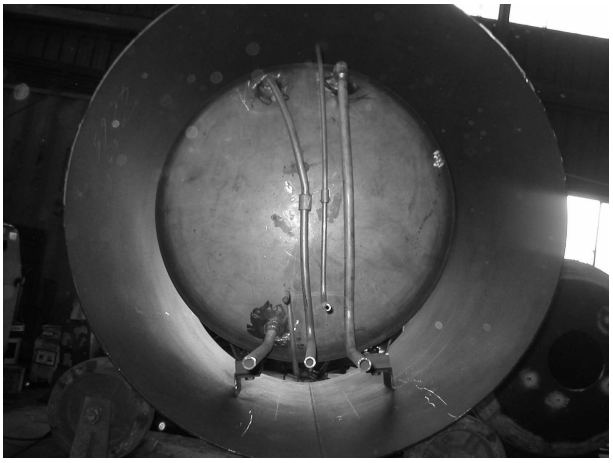


Fig 3.3 초저온 용기 주요 제작과정 사진







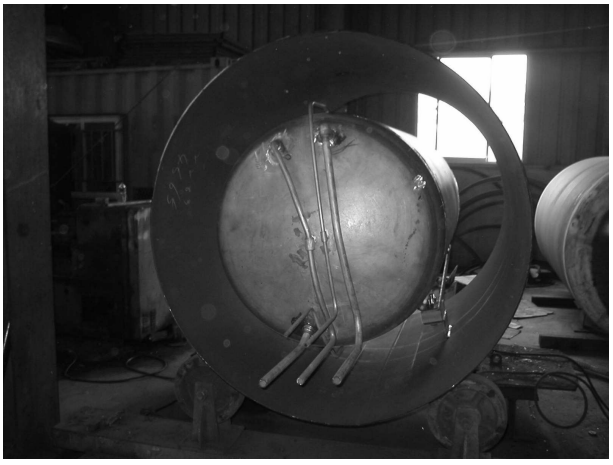
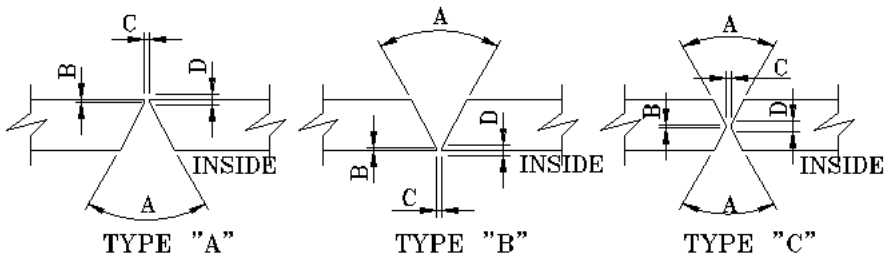


Table 3.5 Fit-up inspection report

**FIT-UP INSPECTION REPORT**




DETAIL OF BEVEL

| MARK-TYPE-SEAM NO. | | DIMENSION | | | | | | | | RESULT | DATE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DRAWING | | | | ACTUAL | | | | | |
| | | A | B | C | D | A | B | C | D | | |
| JA - 01 | "A" | 60′± 5′ | 0-1 | 0-2 | MAX 3.2 | 50 | 1 | 2 | 2 | ACCEPT | 2003. 10. . |
| JB - 01 | "A" | " | " | " | " | 50 | 1 | 1 | 3 | ACCEPT | " |
| JB - 02 | "A" | " | " | " | " | 52 | 1 | 1 | 2 | ACCEPT | " |
| -BLANK- | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

CHECK LOCATION SKETCH

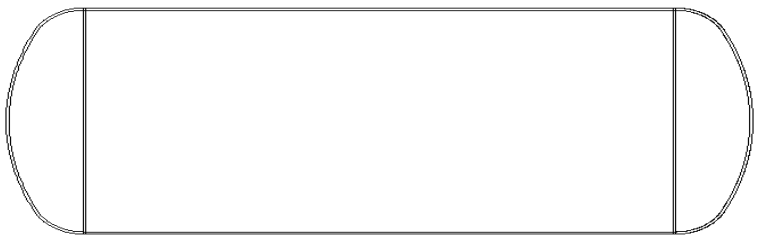
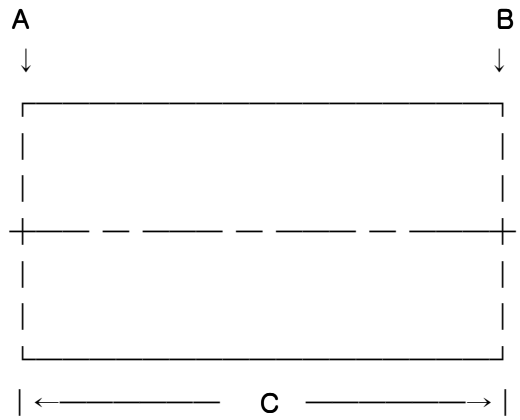


Table 3.6 Shell dimension check report

| SHELL DIMENSION CHECK REPORT | | | |
|---|---|---|---|
| CUSTOMER | | WORK NAME | CRYOGENIC STORAGE TANK |
| DRAWING NO. | BY-CRY-1STD(3.0MPa) | CODE | KS B 6733 / HPGSCL |
| ITEM NO/WORK NO | BY-1M$^3$ / BY-C-03-140 | LOCATION | BU YOUNG SHOP |




BLOCK "1"

| INDIA. | TOLER. | POSITION | 0° ~ 180° | 45° ~ 225° | 90° ~ 270° | 135° ~ 315° | 평 균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ID 900 × 1429L | MAX-MIN 16 | A | 901 | 902 | 901 | 900 | 901.33 |
| | | B | 902 | 900 | 901 | 902 | 901.00 |
| | | C | 1428 | 1430 | 1429 | 1428 | 1429.00 |
| | | D | -BLANK- | | | | |
| | | E | | | | | |
| | | F | | | | | |
| | | G | | | | | |
| | | H | | | | | |
| | | I | | | | | |
| | | J | | | | | |
| | | K | | | | | |

| RESULT | ■ ACCEPT. □ REJECT | DATE | 2003. 11 . 42 . |
|---|---|---|---|

Table 3.7 PRESSURE TEST REPORT

| DESIGN PRESSURE | | SHELL SIDE | COIL SIDE | PIPING SIDE | PRESSURE GAUGE |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 3.0 Mpa | - Mpa | - Mpa | |
| HYDRAULIC TEST | TYPE OF TEST | ■ WATER<br>☐ AIR<br>☐ N2 GAS | ☐ WATER<br>☐ AIR<br>☐ N2 GAS | ☐ WATER<br>☐ AIR<br>☐ N2 GAS | I.D NO. |
| | TEST PRESS. | 4.5 Mpa | -Mpa | - Mpa | |
| | TEST TEMP. | 15 ℃ | - ℃ | - ℃ | |
| | HOLDING TIME | 30 Min | - Min | - Min | |
| | DATE | 2004. 7 . 26 . | 2004. . . | 2004. . . | |
| | RESULT | ACCEPT | -BLANK- | -BLANK- | |
| PNEUMATIC TEST OR LEAK TEST | TYPE OF TEST | ☐ AIR<br>☐ N2 GAS<br>☐ | ☐ AIR<br>☐ N2 GAS<br>☐ | ☐ AIR<br>☐ N2 GAS<br>☐ | I.D NO. |
| | TEST PRESS. | - Mpa | - Mpa | - Mpa | |
| | TEST TEMP. | - ℃ | - ℃ | - ℃ | |
| | HOLDING TIME | - Min | - Min | - Min | |
| | DATE | 2004. . . | 2004. . . | 2004. . . | |
| | RESULT | -BLANK- | -BLANK- | -BLANK- | |

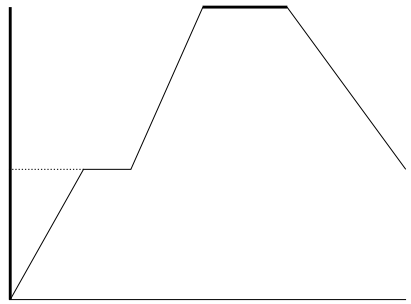
SKETCH

PSI = 6.89 KPa

= 7.03E-2 Mpa

P ( Mpa ) ← HOLD TIME→

Min. 30min.



T

※Pt=1.5(σt/σd)

Pt:내압시험압력

P:설계압력

σt:수압시험에서의 재료의 인장응력

σd:설계온도에서의 재료의 인장응력

Pt = 1.5 x 3 x (128 / 128)

= 4.5 Mpa

# 제4장 결　론 및 향후 전망

## 제 1 절 결　과

기술적인 측면으로는 초저온 액화가스 용기개발에 요구되는 고진공 단열기술 개발, 초저온용 내냉성 재료개발, 압력조절 및 안전장치의 제조기술 개발, 초저온 용기의 구조설계기술(2중구조) 등은 대형 초저온 저장탱크, LNG저장탱크, 초저온 냉동기 및 기타 초저온 냉각장치와 산업기계분야의 기술개발에 광범위하게 활용될 것으로 전망됨.

경제적인 측면으로는 소형용기의 대부분이 수입 중이므로 국산화개발 즉시 수입대체효과가 있으며, 당사가 계획 중인 중국, 동남아 및 중동시장을 대상으로 한 수출시장에서 주력상품의 하나가 될 것으로 기대됨.

효율적이고 안전성이 매우 높은 초저온 액화가스용기의 개발보급은 여러 초저온 기술 관련분야, 특히 최근 관심이 집중되고 있는 나노기술과 생명공학의 보존기술, 초정밀 센서냉각, 광통신소자의 냉각, 의료용 장비와 고온초전도체 응용 등 첨단 과학 분야의 연구개발을 촉진시키는데 직접/간접적인 파급효과가 있을 것으로 기대됨.

## 제 2 절 향후 전망

녹조방지용 산소공급 장비로 시스템화의 일환으로 여름철 해수면 온도상승으로 인한 민물, 바닷물의 녹조 현상완화를 위한 산소공급용으로 기존의 고압 압축가스용기나 대형 저장탱크를 대체하여 일체형 상품으로 제작공급하면 매우 효과적으로 사용될 것으로 전망.

민생용 연료공급설비로서 LNG(액화천연가스) 저장용기로 활용으로써 기존

LPG저장탱크 또는 LPG용기(집합시설)를 LNG로 대체 공급할 수 있는 전기를 마련하고 신규 연료설비 수요를 LNG로 전환.

일반 가스공급설비의 단순화로 기존에 소형용기를 여러 개 집합하여 사용하는 곳이나, 사용량에 비하여 부득이 과대한 저장탱크를 설치한 곳에서 본 용기로 대체하여 사용하면 경제성, 안전성 등 모든 측면에서 유리함. (전국적인 대체수요가 상당히 많음.)

지속적인 기술개발과 발전을 위한 초저온 저장용기 및 탱크시장의 문제점은 크게 나누어 자재가격의 급격한 인상과 수급 차질, 업체간 가격인하경쟁으로 대별할 수 있다. 초저온 저장용기 및 탱크의 주자재로 사용되는 스텐인리스와 철강재 가격이 국제적인 원자재 파동과 맞물려 최근 2년 사이에 대부분 배 이상으로 급등했다. 자재를 공급받는 데도 일부 제품은 6~7개월이 소요된다. 제조공정상 기본적으로 2~3개월의 제작기간이 소요되지만 소비자들은 발주 후 최대한 빠른 시일 내에 제품을 공급받기를 원해 제조업체가 어려움을 겪고 있다. 자재수급애로는 철강재 공급 업체인 포스코의 생산설비 증설이 제 때 안 이루어진데다 조선 자동차 등 대량 수요처의 수요증가와 우선적인 공급에 따른 수급 조절 때문으로 해석된다. 적절한 이윤을 확보하기 위해서는 급등한 자재가격을 반영해 제품가격을 인상하는 것이 당연하나 경기침체에다 신규업체들이 속속 진입해 품질이나 기술보다는 가격인하를 통한 수주에 열을 올리는 등 경쟁이 치열해지면서 이윤은 계속 줄어들고 있는 실정이다. 기업이 생존하는 한 기술개발을 통한 생산성 향상과 경쟁력제고는 절대적인 과제다. 국내 초저온 저장탱크 시장은 아직 성장세를 유지하고 있어 제조에 참여하는 업체가 계속 증가하고 있지만 신규시장 규모의 한계성 노출과 장기간의 교체주기로 머지않아 성장 한계에 봉착할 것으로 예상된다. 국내시장의 성장한계를 극복하기 위해서는 수출이 필수적이다. 변화하는 시장에 능동적으로 대비하여 수출을 증대시켜나가기 위해서는 가격경쟁

보다는 품질과 기술경쟁으로 전환하고 독자기술을 개발해야 한다. 세계최고의 제품을 가장 경제적인 가격에 공급할 수 있도록 독자적인 기술개발이 계속적으로 요구 된다.

# 참고 문헌


1. 中島 低溫工學, 21, 4(1980) p 197

2. T.Munakata, N Lior and I. Tanasawà, "A study of double-diffusive rollover in cylindrical enclosures",Proceedings of the ASME Heat Transfer Division, 1995 , pp 279 ~ 291

3. R.P. Reed and A.F. Clark, “Materials at low temperature”, ASM(1983) p 3905.

4. 石川, 日本金屬學會 會報, 28, 8(1981) p 692

5. 김영표, 김우식, 대한금속학회지, 9-6호(1996), pp248-254

6. Reed.R.P. and Toblen.R.L, "Deformation of Metastable Austenitic Steels at low Tempertures." Advance in Crygenic Engineering -Materials(1982), pp.49 ~ 56

7. 한국가스공사 연구보고서, “초저온설비용 신합금강 개발”, 1994. 12

8. C.T. Summers et al, Adv. in Cryo. Eng. Mat., 30(1984) p 343

9. Huang,G.L., Matlock, D.K. and Kauss, G., "Martensite Formation, Strain Rate Sensitivity, and Deformation Behavior of Type 304 Stainless steel Sheet," Metallurgical Transaction A, Vol.20A. 1989, pp.1239 ~ 1246

10. "Standard Test Method for Tention Testing of Metallic Materials," 1993 Annual Book of ASTM Standards, E8M-97

11. 오방원, 박사학위논문, 한국과학기술원 (1995)

12. 西村 新, 日本 鎔接學會誌, 58, 1(1989) p 24

13. 片山 典彦, 日本鎔接學會誌, 6, 2(1994) p 41

http://www.gasilbo.co.kr

http://www.koreacryo.com

http://home.freechal.com/igas

http://www.taylorwharton.com

http://www.hanbee-cyl.co.kr

http://www.doojin.com

http://www.hanjung-cryogenic.com

# 부 록

[ 별지 제 3 호서식 갑 ] 페이지( 1 )/(총 1)

## 시험성적서

제 2003 - 1981 호

신 청 인 ① 성 명 : 최동준 ② 주민등록번호 :
③ 주 소 : [604-826]부산 사하구 다대 1 동 1511-1
④ 상 호 : 부영기공㈜
⑤ 시 료 명 : 강재맞대기용접이음시편(140,P)
⑥ 시험방법 : KSB0833(`01),0832(`01)
⑦ 접수일자 : 2004 년 06 월 09 일 ⑧ 시험완료일자 : 2004 년 06 월 11 일
⑨ 시험결과 :

| 시험항목 | | 시험결과 |
|---|---|---|
| 인장강도 (N/㎟) | | 622 |
| 굽 힘 성 (180° × 2t) | 표면 | 이상없음 |
| | 이면 | 이상없음 |

끝.

WITNESSED BY: DATE: REVIEWED
INSPECTION DIVISION

이 성적은 신청인이 당청에 제출한 시료에 대하여 시행한 시험의 결과입니다.

원본대조필

▶ 기술책임자 윤기혁
▶ 시 험 자 이종훈
▶ 051-601-5151

2004 년 06 월 11 일

부 산 울 산 지 방 중 소 기 업 청 장

부산시 강서구 송정동 1633-1

49284-10241 일
95. 8. 30 승인

# LIQUID PENETRANT EXAMINATION REPORT
## 액체침투탐상검사 보고서

Page 1 of 1

INDT 國際非破壞檢査株式會社 INTERNATIONAL NONDESTRUCTIVE TESTING CO.,LTD

| | |
|---|---|
| 주문주/고객 Owner/Customer | 부영기공(주) |
| 보고서번호 Report No. | IBN-BY-PT-040702-1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Project Name 공 사 명 | | Dwg. No. 도면번호 | BY-CRY-1STD Rev. 개정 △ |
| Item Name / Item No. 제품명 / 제품번호 | CRYOGENIC STORAGE TANK 1M³ | MFG Serial No. 제조번호 | BY-C-03-140 |
| Material / Thickness 재 질 / 두 께 | SUS304 | Surface Condition 표 면 상 태 | □As Ground 연마 ■As Welded 용접 □As Cassed 주조 □As Machined 가공 |
| Test Temp. 검사온도 | 19 ℃ | Local Heating 국부가열 | □ Yes ■ No |
| Process of PT 침투탐상검사공정 | VC-S | Code/Procedure 규 격/절 차 서 | KS-B-0816 Rev. 개정 △ |

| | Brand 상표 | Type 종류 | Batch No. 제조번호 | Apply 적 용 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Penetrant 침 투 제 | NAMBANG CNA | P2 | 020505 | □Brush 솔질 ■Spray 분사 □Immerse 침지 | Dwell time 침투시간 10 min분 | |
| Emulsifier 유 화 제 | N/A | | | □Brush 솔질 □Spray 분사 □Immerse 침지 | Dwell time 유화시간 N/A min분 | |
| Remover 제 척 제 | NAMBANG CNA | R1-3 | 020504 | □Brush 솔질 □Spray 분사 □Immerse 침지 | Remove 제거 ■Handwipe 닦아냄. □wash 씻어냄. | |
| Developrer 현 상 제 | NAMBANG CNA | D4 | 020506 | □Brush 솔질 ■Spray 분사 □Immerse 침지 | Bleed out 현상시간 10 min분 | |
| Black Light 자 외 선 등 | □With 사용 | ■without 사용무 | Black Light No. 자외선등번호 N/A | Intensity 광도 N/A | □lx □μw/cm² | |

| Identification No. 확 인 번 호 | Accept 합 | Reject 불 | Interpretation 판 정 | Remarks 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| JA-01 | V | | NO RECORDABLE INDICATIONS | |
| JB-01, 02 | V | | NO RECORDABLE INDICATIONS | |
| NOZZLE | V | | NO RECORDABLE INDICATIONS | |
| | | | ~ BLANK ~ | |

□WITNESSED □REVIEWED
BY:
DATE: 7.3.04.2

KGS INSPECTION DIVISION

REMARKS(비고) : TANK IN SIDE WELD PART P.T

| | | | |
|---|---|---|---|
| Examined by 시 험 자 | Y. S. KIM | Level 레 벨 II | Date of Examination 검사일자 2004. 7. 2. |
| Approved by 승 인 자 | I. T. JEONG | Level 레 벨 III | □ Witnessed by □ Reviewed by |

INDT / PT - 01 - A(2) INTERNATIONAL NONDESTRUCTIVE TESTING CO.,LTD A4(210×297mm)

# 단열성능시험 성적서

| | | | |
|---|---|---|---|
| CUSTOMER | | WORK NAME | CRYOGENIC STORAGE TANK |
| DRAWING NO. | BY-CRY-1STD(3.0MPa) | CODE | KS B 6733 / HPGSCL |
| ITEM NO/WORK NO | BY-1M$^3$ / BY-C-03-140 | LOCATION | BU YOUNG SHOP |

1. 침 입 열 량 계 산

$Q = \frac{W \times q}{H \times \Delta t \times V}$

Q = 침입열량(kcal/Hr ℃ ℓ )

w = 측정중 기화가스의 중량(kg) = 가 스 유량 = 비체적 × $\frac{273 + GAS\ 출구온도}{273}$

q = 시험용 액화가스의 기화잠열(kcal/kg) = 48

H = 측정시간(H) = 1시간

Δt = 시험용 액화가스의 비점과 대기온도차 (℃) = 179℃

V = 용기의 내용적 (ℓ)

$Q = \frac{1.105792684 \times 48}{1 \times 179 \times 1100} = 0.000269568$ kcal/Hr ℃ ℓ < 0.002 → O.K

| | | | |
|---|---|---|---|
| 시험 액화가스 | L-$N_2$ | 기화 가스 유량 | 0.93 LIT |
| 용기 내용적 | 1,100 | 기화 가스 중량 | 1.105792684 |
| 측정 기구명 | WET GAS METER (W-NK- -1A- ) SHINAGAWA SEIKI CO.LTD.(JAPAN) | 측 정 시 간 | 1시간 |
| 대기 온도 | 17℃ | 침 입 열 량 | 0.000269568 |
| 기화 가스 온도 | 14℃ | 시 험 일 자 | 2004. 11. 22 |
| | | 차 량 번 호 | |

| 구분 / 가스명 | 비 체 적 ($m^2$/kg 0℃ 1 atm) | 비 점 (℃) | 기 화 잠 열 (kcal/kg) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 액 화 질 소 | 0.8 | -196 | 48 | |
| 액 화 산 소 | 0.7 | -183 | 51 | |
| 액 화 알 곤 | 0.56 | -186 | 38 | |

| | |
|---|---|
| WITNESSED BY : | APPROVED BY : |
| REVIEW BY : | CHECKED BY : |
| | INSPECTED BY : C. D. J |

BU YOUNG MACHINERY CO., LTD

# 감사의 글

먼저 이글을 쓸수 있게 해준 나의 사랑하는 아내 정경희 여사님 그리고 도와주신 한국해양대학교 정재현 교수님, 정형호 교수님, 윤상국 교수님, 업계외 김규호 사장님께 글을 바칩니다. 앞으로 더욱더 정진하여 관계업계및 산업체의 기술기반을 구축하는데 노력할것이며, 꾸준히 연구, 노력하겠습니다.

최 동 준