

# 액화천연가스용 저장탱크 제조의 시설 · 기술 · 검사 기준

Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of LNG Storage Tanks

가스기술기준위원회 심의 · 의결 : 2014년 10월 17일

산업통상자원부 승인 : 2014년 11월 17일



**가 스 기 술 기 준 위 원 회**

**위 원 장** 이 수 경 : 서울과학기술대학교 교수

**부위원장** 오 신 규 : 호서대학교 교수

**당 연 직** 조 응 환 : 산업통상자원부 에너지안전과장  
박 기 동 : 한국가스안전공사 부사장

**고압가스분야** 김 진 석 : 한국표준과학연구원 부원장  
김 청 균 : 홍익대학교 교수  
윤 기 봉 : 중앙대학교 교수  
하 동 명 : 세명대학교 교수  
김 창 기 : 한국기계연구원 책임연구원

**액화석유가스분야** 정 태 용 : 국민대학교 교수  
안 병 성 : 한국과학기술연구원 책임연구원  
윤 재 건 : 한성대학교 교수  
백 중 배 : 한국교통대학교 교수  
장 석 용 : 에스이피엔씨(주) 회장  
이 기 연 : 한국LPG산업협회 전무  
장 기 현 : (주)귀뚜라미 전무

**도시가스분야** 김 광 섭 : 대륜 E&S 상무  
오 신 규 : 호서대학교 교수  
이 수 경 : 서울과학기술대학교 교수  
고 재 욱 : 광운대학교 교수  
문 일 : 연세대학교 교수

이 기준은 「고압가스 안전관리법」 제22조의2, 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」 제27조의2 및 「도시가스사업법」 제17조의4에 따라 가스기술기준 위원회에서 정한 상세기준으로, 이 기준에 적합하면 동 법령의 해당 기준에 적합한 것으로 보도록 하고 있으므로 이 기준은 반드시 지켜야 합니다.







## 목 차

1. 일반사항 .....	1
1.1 적용범위 .....	1
1.2 기준의 효력 .....	1
1.3 다른 기준의 인정 .....	1
1.3.1 신기술 제품 검사기준 .....	1
1.4 용어정의 .....	2
1.5 기준의 준용(내용 없음) .....	3
1.6 경과조치 .....	3
2. 제조시설기준 .....	3
2.1 제조설비 .....	3
2.2 검사설비 .....	3
3. 제조기술기준 .....	4
3.1 설계 .....	4
3.2 재료 .....	4
3.3 두께(내용 없음) .....	4
3.4 구조 및 치수 .....	5
3.4.1 구조 .....	5
3.4.2 치수(내용 없음) .....	5
3.5 가공(내용 없음) .....	5
3.6 용접 .....	5
3.7 열처리 .....	5
3.7.1 성형후 열처리 .....	5
3.8 성능(내용 없음) .....	5
3.9 도장(내용 없음) .....	5
3.10 안전장치 부착(내용 없음) .....	5
3.11 부속장치 부착(내용 없음) .....	5
3.12 도색 및 표시 .....	6
3.12.1 탱크외면 도색(내용 없음) .....	6
3.12.2 가스종류 표시(내용 없음) .....	6
3.12.3 제품표시 .....	6

3.12.4 합격표시	6
3.13 제작 및 시공	6
3.13.1 지반조사	6
3.13.2 내진설계	9
3.13.3 기초공사	9
3.13.4 기초판 및 외벽공사	11
3.13.5 단열재시공	11
3.13.6 멤브레인 시공	12
3.13.7 지붕시공	12
3.13.8 그 밖의 제작 및 시공기준	13
4. 검사기준	13
4.1 검사종류	13
4.1.1 제조시설에 대한 검사	13
4.1.2 제품에 대한 검사	13
4.2 공정검사 대상심사(내용 없음)	13
4.3 검사항목	13
4.3.1 제조시설에 대한 검사	13
4.3.2 제품에 대한 검사	13
4.4 검사방법	14
4.4.1 제조시설에 대한 검사	14
4.4.2 제품에 대한 검사	14
5. 재검사기준(해당 없음)	17
6. 그 밖의 시설·기술·검사기준	17
부록 안전방호식 LNG 저장탱크 기준	18



## 액화천연가스용 저장탱크 제조의 시설·기술·검사 기준 (Facility/Technical/Inspection Code for Manufacture of LNG Storage Tanks)

### 1. 일반사항

#### 1.1 적용범위

이 기준은 「고압가스 안전관리법」(이하 “법”이라 한다) 제3조제5호에 따른 특정설비 중 액화천연가스 저장탱크(저장탱크 본체로부터 첫 번째 차단밸브 전단의 용접 이음부 또는 플랜지 이음부까지를 말한다. 이하 “저장탱크”라 한다)제조의 시설·기술·검사에 대하여 적용한다.

#### 1.2 기준의 효력

1.2.1 이 기준은 법 제22조의2제2항에 따라 가스기술기준위원회의 심의·의결(안전번호 제2014-8호 및 9호, 2014년 10월 17일)을 거쳐 산업통상자원부장관의 승인(산업통상자원부 공고 제2014-589호, 2014년 11월 17일)을 받은 것으로 법 제22조의2제1항에 따른 상세기준으로서의 효력을 가진다.

1.2.2 이 기준을 지키고 있는 경우에는 법 제22조의2제4항에 따라 「고압가스 안전관리법 시행규칙」(이하 “규칙”이라 한다) 별표 12에 적합한 것으로 본다.

#### 1.3 다른 기준의 인정

##### 1.3.1 신기술 제품 검사기준

1.3.1.1 규칙 별표 12제4호나목에 따라 저장탱크가 이 기준에 따른 검사기준에 적합하지 아니하나, 기술개발에 따른 새로운 저장탱크로서 안전관리를 저해하지 아니한다고 지식경제부장관의 인정을 받는 경우에는 그 저장탱크의 제조 및 검사방법을 그 저장탱크에 한정하여 적용할 수 있다.

1.3.1.2 저장탱크가 표 1.3.1.2에 따른 인정기준에 따라 해당 공인검사기관에서 검사를 받은 것에 대하여는 1.3.1.1에 따른 안전관리를 저해하지 아니한다고 지식경제부장관이 인정한 경우로 보아 검사특례 신청·심사 없이 해당 인정기준에 따라 검사를 실시할 수 있다.

표 1.3.1.2 외국 저장탱크의 인정기준 및 공인검사기관

인정규격	공인검사기관
ASME	NBBI인증검사원(AI : Authorized Inspector)
BS, HSE	HSE 또는 HSE인증기관
DIN, AD-Merkblatt	TUV
NF, CODAP	APAVE, BV
JIS, 고압가스보안법	경제산업성 원자력안전·보안원, 고압가스보안협회
지식경제부장관이 인정하는 규격	지식경제부장관이 인정하는 검사기관

## 1.4 용어정의

이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

**1.4.1** “지상식 저장탱크(Aboveground Storage Tank)”란 지표면 위에 설치하는 형태의 저장탱크를 말한다.

**1.4.2** “지중식 저장탱크(Inground Storage Tank)”란 액화천연가스의 최고 액면을 지표면과 동등 또는 그 이하가 되도록 설치하는 형태의 저장탱크를 말한다.

**1.4.3** “지하식 저장탱크(Underground Storage Tank)”란 지하에 설치하는 구조로서 콘크리트 지붕을 흙으로 완전히 덮어버린 형태의 저장탱크를 말한다.

**1.4.4** “단일방호식 저장탱크(Single Containment Tank)”란 탱크 외부에 방류독을 설치하여 탱크가 파괴되어 누출된 경우 액상의 가스가 체류되도록 하는 구조의 저장탱크를 말한다.

**1.4.5** “이중방호식 저장탱크(Double Containment Tank)”란 내부탱크와 외부탱크사이에 공간을 확보하여 내부탱크가 파괴되어 누출한 경우 외부탱크가 액상의 가스를 저장할 수 있으나 기상의 가스 누출을 방지할 수 없는 구조의 저장탱크를 말한다.

**1.4.6** “완전방호식 저장탱크(Full Containment Tank)”란 내부탱크가 파괴되어 액화천연가스가 누출될 경우 외부탱크로 액상뿐만 아니라 기상의 가스까지도 누출을 방지할 수 있는 구조의 저장탱크를 말한다.

**1.4.7** “내부탱크(Inner Tank)”란 액화천연가스와 직접 접촉하여 액화천연가스를 저장하기 위한 것으로서 자기 지지형(Self Supporting) 9% 니켈강, 알루미늄 합금 또는 멤브레인식 스테인리스강 등을 재료로 하여 만든 저장탱크의 안쪽 부분을 말한다.

**1.4.8** “외부탱크(Outer Tank)”란 내부탱크의 외면에 설치되는 것으로서 내부탱크를 지지하기 위하여

금속 또는 철근 콘크리트 등을 재료로 하여 만든 저장탱크의 바깥쪽 부분을 말한다.

### 1.5 기준의 준용(내용 없음)

### 1.6 경과조치

2000년 1월 3일 이전에 제조되었거나 2000년 1월 3일 당시에 제조 중이었던 저장탱크는 산업자원부 고시 제1999-169호 부칙에 따라 이 기준에 적합하게 제조된 것으로 본다.

## 2. 제조시설기준

### 2.1 제조설비

저장탱크를 제조하려는 자가 이 제조기술기준에 따라 저장탱크를 제조하기 위하여 갖추어야 할 제조설비(제조하는 저장탱크에 필요한 것만을 말한다)는 다음과 같다. 다만, 규칙 제5조제2항제3호에 따른 기술검토결과 해당 저장탱크의 안전관리에 지장을 줄 우려가 없다고 인정하는 범위 안에서 해당 저장탱크와 관련한 열처리 또는 도장을 전문으로 하는 전문업체의 설비를 이용하거나, 부품의 전문생산업체로부터 해당 저장탱크의 부품 등을 공급받아 사용하는 경우에는 그 설비를 갖추지 아니할 수 있다.

- (1) 용접설비
- (2) 성형설비
- (3) 철근 가공설비(콘크리트·강제의 저장탱크에만 적용한다)
- (4) 그 밖의 가공설비

### 2.2 검사설비

저장탱크를 제조하려는 자가 이 기준의 제조기술기준에 따라 저장탱크를 검사하기 위하여 갖추어야 하는 검사설비(제조하는 저장탱크에 필요한 것만을 말한다)는 다음과 같다.

- (1) 초음파두께측정기·나사계이지·버니어캘리퍼스 등 두께측정기
- (2) 내압시험설비
- (3) 기밀시험설비
- (4) 표준이 되는 압력계
- (5) 표준이 되는 온도계
- (6) 그 밖의 저장탱크 검사에 필요한 설비 및 기구

### 3. 제조기술기준

#### 3.1 설계

저장탱크의 설계는 그 저장탱크의 안전성을 확보하기 위하여 3.1부터 3.12까지에 적합하게 한다.

3.1.1 저장탱크는 정상적인 조건에서 안전하게 작동하는 것으로 한다.

3.1.2 저장탱크는 피로파손에 대하여 안전성이 확보되는 것으로 한다.

3.1.3 저장탱크 구조물은 연성이 우수하고, 국부적인 손상에도 유연성이 있는 것으로 한다.

3.1.4 저장탱크의 재질은 가공성이 우수한 것으로 한다.

3.1.5 저장탱크는 응력집중이 되지 아니하도록 설계한다.

3.1.6 저장탱크는 상태감시(Condition Monitoring) 및 유지·보수가 용이하게 한다.

3.1.7 외부탱크인 콘크리트 구조물은 탱크의 수명을 보증할 수 있는 것으로 한다.

3.1.8 사용된 구조물의 소재에 대한 강성(剛性)과 품질은 보증되는 것으로 한다.

3.1.9 멤브레인 설계 시는 정적하중과 반복하중을 고려하여 충분한 피로강도를 가진 것으로 한다.

3.1.10 저장탱크의 제작·시험·검사 등은 안전성 측면에서 설계에 반영하도록 한다.

3.1.11 그 밖에 필요한 사항은 설계 시방서에 따른다.

#### 3.2 재료

저장탱크의 재료는 그 저장탱크의 안전성을 확보하기 위하여 다음 기준에 따른다.

3.2.1 저장탱크의 재료는 철근 콘크리트, 9% 니켈강, 스테인리스강 등을 사용한다.

3.2.2 그 밖에 재료에 관련된 세부사항은 설계 시방서에 따른다.

#### 3.3 두께(내용 없음)

### 3.4 구조 및 치수

저장탱크는 그 저장탱크의 안전성 및 편리성을 확보하기 위하여 다음 기준에 따른 구조 및 치수를 가진 것으로 한다.

#### 3.4.1 구조

저장탱크의 구조는 외부탱크와 내부탱크로 구성한다.

#### 3.4.2 치수(내용 없음)

### 3.5 가공(내용 없음)

### 3.6 용접 <신설 11.1.3>

저장탱크는 그 저장탱크의 이음매의 기계적 강도 및 기밀성능을 확보하기 위하여 적절한 방법으로 용접하고, 용접절차서 및 용접사 인증은 KS B 6751(압력용기 - 용접일반) 또는 동등이상의 규격에 따른다.

### 3.7 열처리 <신설 11.1.3>

열처리가 필요한 재료로 제조한 저장탱크는 그 탱크의 안전성을 확보하기 위하여 다음 기준에 따라 열처리를 한다.

#### 3.7.1 성형후 열처리

냉간 성형한 9% 또는 5% 니켈강판은 냉간 성형으로 인한 변형율이 다음의 식을 통해 결정된 값이 3%를 초과하는 경우에는 응력제거 열처리를 하여야 한다. 이 경우 열처리 방법은 KS B 6750(압력용기- 설계 및 제조일반)에 따른다.

$$s = \frac{65t}{R_f} \left( 1 - \frac{R_f}{R_0} \right)$$

여기에서

$s$  = 변형률(%)

$t$  = 강판 두께(mm)

$R_f$  = 최종 반경(mm)

$R_0$  = 원래의 반경(mm)(평판의 경우 무한대)

### 3.8 성능(내용 없음)

### 3.9 도장(내용 없음)

### 3.10 안전장치 부착(내용 없음)

### 3.11 부속장치 부착(내용 없음)

### 3.12 도색 및 표시

#### 3.12.1 탱크외면 도색(내용 없음)


#### 3.12.2 가스종류 표시(내용 없음)

#### 3.12.3 제품표시

규칙 별표 24제4호에 따라 저장탱크의 제조자 또는 수입자는 금속박판에 다음 사항을 각인하여 이를 그 저장탱크의 보기 쉬운 곳에 떨어지지 아니하도록 부착한다.

- (1) 설계자
- (2) 제조자의 명칭 또는 약호
- (3) 사용하는 가스의 명칭
- (4) 제조번호 및 제조기간(연월일)
- (5) 사용재료명
- (6) 동체 및 경판의 두께(기호 : t, 단위 : mm)
- (7) 내용적(기호 : V, 단위 : L), 탱크형식 및 탱크용량
- (8) 설계압력(기호 : DP, 단위 : MPa)
- (9) 설계온도(기호 : DT, 단위 : ℃)
- (10) 검사기관의 명칭 또는 약호
- (11) 내압시험에 합격한 연월

#### 3.12.4 합격표시

규칙 별표 25 제1호에 따라 검사에 합격된 저장탱크에 대하여는 그림 3.12.4와 같이 자의 각인을 하고 합격증명서를 발급한다. <개정 09.5.15>



크기: 6 mm × 10 mm

그림 3.12.4 합격표시

### 3.13 제작 및 시공

저장탱크가 설치된 시설의 안전성 확보를 위한 제작·시공방법은 다음과 같다.

#### 3.13.1 지반조사

저장탱크의 지반조사는 다음 기준에 따라 실시한다.

**3.13.1.1** 저장탱크를 제작 설치할 경우 그 장소에서 유해한 영향을 미치는 부등침하 등의 원인의 유무에 대하여 제1차 지반조사를 한다.

**3.13.1.2** 1차 지반조사는 해당 장소에서 과거의 부등침하 등의 실적조사, 보링 등의 방법에 따라 실시한다.

**3.13.1.3** 1차 지반조사 후 연약지반 또는 부등침하의 우려가 있는 토지의 경우에는 설계 시방서에 따라 2차 지반조사를 한다. 그 밖에 지반조사 방법에 필요한 세부사항은 다음 기준 또는 설계 시방서에 따른다.

**3.13.1.3.1** 1차 지반조사 결과 그 장소가 습윤한 토지, 매립지로서 지반이 연약한 토지, 급경사지로서 붕괴의 우려가 있는 토지, 그 밖에 사태(沙汰), 부등침하 등이 일어나기 쉬운 토지인 경우에는 그 정도에 따라 성토, 지반개량, 옹벽설치 등의 조치를 강구한다.

**3.13.1.3.2** 3.13.1.3.1의 조치를 강구한 후 그 지반의 허용지지력도 또는 기초파일첨단(尖端)의 지반허용 지지력을 구하기 위하여 필요에 따라 다음 방법에 따른 2차 지반조사를 실시한다.

- (1) 보링(Boring)조사로 지반의 종류에 따라 필요한 깊이까지 굴착한다.
- (2) 표준관입시험(標準貫入試驗)은 KS F 2307(흙의 표준 관입 시험 방법)에 따라 N값을 구한다. <개정 14.11.17>
- (3) 배인(Vane)시험은 배인시험용 배인을 흙속으로 밀어 넣고 이를 회전시켜 최대 토오크(Torque) 또는 모멘트를 구한다.
- (4) 토질시험은 KS F 2314(흙의 1축 압축시험)에 따라 지반의 점착력, 지반의 단위 체적중량 및 1축 압축강도를 구하거나 3축 압축시험(원통형 시료에 고무 막을 씌운 것을 액체 속으로 넣어 축압 및 수직 압을 가한 상태에서 시료의 용적변화를 측정하는 방법으로 한다) 또는 직접전단(剪斷) 시험(시료를 상하로 분리된 전단 상자에 넣어 전단시험기로 전단력을 가하려는 방향과 직각의 방향으로 압축력을 가한 후 전단력을 가하여 전단하는 것으로 한다)에 따라 지반의 점착력 또는 내부 마찰력을 구한다.
- (5) 평판 재하시험(評判載荷試驗)은 KS F 2310(도로의 평판재하시험방법)에서 정하는 방법에 준해서 시험하여 항복하중(降伏荷重) 및 극한하중(極限荷重)을 구한다.
- (6) 파일재하시험은 수직으로 박은 파일에 수직정하중(垂直靜荷重)을 걸어 그때의 하중과 침하량을 측정하는 방법으로 항복하중 및 극한하중을 구한다.

**3.13.1.3.3** 3.13.1.3.2에 따라 2차 지반조사 결과를 기초로 식 (3.1) 또는 식 (3.2)에 따라 그 지반의 허용 지지력도를 구한다. 다만, 지반의 종류가 확인된 경우의 지반 허용 지지력도는 그 지반의 종류에 따라 각각 표 3.13.1.3.3①의 값(2가지 이상의 종류로 된 지반에서는 가장 작은 값)으로 한다.

표 3.13.1.3.3① 지반의 종류에 따른 허용지지력도

지반의 종류	허용지지력도(MPa)	지반의 종류	허용지지력도(MPa)
암반	1	조밀한 모래질 지반	0.2
단단하응결된모래층	0.5	단단한 점토질 지반	0.1
황토흙	0.3	점토질 지반	0.02
조밀한 자갈층	0.3	단단한 롬(loam)층	0.1
모래질 지반	0.05	롬(loam)층	0.05

$$q_a = \frac{1}{3}(\alpha C N_c + \frac{1}{10^6} \beta \gamma_1 B N_r + \frac{1}{10^6} \gamma_2 D_f N_q) \dots (3.1)$$

$$q_a = \frac{1}{3} N' \gamma_2 D_f + q_k \dots (3.2)$$

식 (3.1) 및 (3.2)에서

$q_a$  : 지반의 허용지지력도(MPa)

$\alpha$  및  $\beta$  : 기초하중면의 형상에 따른 표 3.13.1.3.3②에 기재하는 형상계수

표 3.13.1.3.3② 기초하중면의 형상계수

계수	기초하중면의 형상	
	원형	그 밖의 형상
$\alpha$	1.3	1.0+0.3 B/L
$\beta$	0.3	0.5-0.1 B/L

[비 고] 위 표에서 B 및 L은 각각 기초하중면의 짧은 변 또는 지름 및 긴 변 또는 긴 지름의 길이(m)를 표시한다.

C : 기초 하중면 아래에 있는 지반의 점착력(MPa)으로서 3축 압축시험 결과 (모오어의 응력원 (Mohr's circle)을 그려서 구한 값) , 1축 압축시험의 결과(흐트러지지 아니한 시료의 1축 압축시험 강도의 1/2) 또는 다음 식에서 계산한 값

$$\frac{0.06M}{\pi D^2(3H + D)}$$

여기에서

M : 배인 시험에서 최대 토오크 또는 모멘트(N·cm)

D : 배인의 직경(cm)

H : 배인의 축방향의 길이(cm)

B : 기초하중면의 짧은 변 또는 지름(m)

$N_c$ ,  $N_r$  및  $N_q$  : 지반의 내부 마찰력에 따른 표 3.13.1.3.3③에 기재하는 지지력 계수

표 3.13.1.3.3③ 지지력계수

지지력 계수	내 부 마 찰 각 도									
	0	5	10	15	20	25	28	32	36	40 이상
$N_c$	5.3	5.3	5.3	6.5	7.9	9.9	11.4	20.9	42.2	95.7
$N_r$	0	0	0	1.2	2.0	3.3	4.4	10.6	30.5	114.0
$N_q$	3.0	3.4	3.9	4.7	5.9	7.6	9.1	16.1	33.6	83.2

[비 고]

1. 내부마찰각은 직접전단시험의 결과(수직응력 : 전단응력선도의 경사각으로부터 구한 값) 또는 3축 압축 시험의 결과(모오어의 응력원을 그려서 구한 값)에 따라 구한 값 또는  $\sqrt{15N} + 15$ (N은 표준관입시험에 따라 30cm당 타격회수)로 한다.

2. 위의 표에 기재한 내부마찰각 그 밖의 내부 마찰각에 따른  $N_c$ ,  $N_r$ ,  $N_q$ 는 같은 표에 기재한 수치를 각각 직선적으로 보간(補間)한 수치로 한다.

$\gamma_1$  : 기초 하중면 아래에 있는 지반의 단위 체적중량 또는 지하수면 아래에 있는 경우에는 수중단위 체적중량(N/m<sup>3</sup>)

$\gamma_2$  : 기초 하중면보다 윗쪽에 있는 지반의 평균 단위 체적중량 또는 지하수면 아래에 있는 경우에는 수



중 단위 체적중량( $N/m^3$ )

$D_f$  : 기초에 근접한 최저 지반면으로부터 기초 하중면까지의 깊이(m)

$q_t$  : 평판재하시험에 의한 항복허중도의 1/2의 수치 또는 극한응력도의 1/3의 수치 중 작은 것( $N/MPa$ )

$N$  : 기초 하중면 아래의 지반의 종류에 따른 표 3.13.1.3.3④에 기재한 계수

표 3.13.1.3.3④ 지반의 종류에 따른 계수

계수 $N$	지 반 의 종 류
12	단단히 응결된 모래 또는 이와 유사한 지반
9	조밀한 모래질 지반 또는 이와 유사한 지반
6	단단한 점토질 지반 또는 이와 유사한 지반
3	모래질 지반 또는 이와 유사한 지반
3	점토질 지반 또는 이와 유사한 지반

### 3.13.2 내진설계

저장탱크의 내진설계는 다음 기준에 따른다.

3.13.2.1 지반진동에 대하여 내진성능 수준을 만족하는 것으로 한다.

3.13.2.2 지반진동으로 인한 사면붕괴, 액상화, 지반침하 등과 같은 지반파괴가 초래되더라도 내진성능수준을 만족하는 것으로 한다.

3.13.2.3 지진 시 구조물에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 내압, 운전하중, 온도하중, 연결된 다른 시설물과의 상대적인 변위 등의 영향을 고려한다.

3.13.2.4 지진 시 유체의 동압력(動壓力)의 영향과 액체표면의 요동에 따른 충격의 영향을 고려한다.

3.13.2.5 기초는 어떠한 경우에도 지반의 변형과 침하에도 그 지지 기능을 유지할 수 있도록 설계한다.

3.13.2.6 그 밖에 내진설계에 필요한 사항은 부록(내진설계 기술기준) 또는 설계 시방서에 따른다.

### 3.13.3 기초공사

저장탱크의 기초공사는 다음 기준에 따라 실시한다.

3.13.3.1 기초는 3.13.1.3.3에서 계산한 지반의 허용지지력도의 값이 해당 가스설비등, 그 내용물 및 그 기초에 따른 단위면적당 하중을 초과하도록 공사한다.

3.13.3.2 3.13.1.3.1에 따르는 것이 안전 확보상 곤란한 지반에서는 기초파일로 보강한 후 기초공사를 한다. 이 경우 3.13.3.2.1 또는 3.13.3.2.2에서 정하는 기초파일의 첨단지반허용지지력, 기초파일과 그 주위의 지반과의 마찰력 또는 기초파일의 허용지지력의 값이 해당 가스설비등, 그 내용물 및 기초의

하중을 초과하도록 공사한다.

**3.13.3.2.1** 지지파일은 다음 식에서 계산한 기초파일 침단의 지반허용지지력 또는 기초파일의 허용응력(주로 압축응력으로 하고 필요에 따라 굽힘응력 또는 전단응력을 고려한다) 중에서 작은 값으로 한다.

$$R_s = q_a AP \cdots (3.3)$$

$$R_a = Q_t \cdots (3.4)$$

$$R_a = \frac{F}{5S+0.1} \cdots (3.5)$$

$$R_a = \frac{30}{3} NA_p \cdots (3.6)$$

식(3.3)부터 식(3.6)까지에서

$R_a$  : 기초파일침단의 지반허용지지력(N)

$q_a$  : 식(3.1) 또는 식(3.2)에서 계산한 지반의 허용지지력도(N/m<sup>2</sup>)

$A_p$  : 기초파일침단의 유효 단면적(m<sup>2</sup>)

$Q_t$  : 파일재하시험에 의한 항복하중의 1/2의 수치 또는 극한응력의 1/3의 수치 중 작은 값(N)

$F$  : 해머 타격에너지(J)

$S$  : 기초파일의 최종 관입량(m)

$N$  : 기초파일침단 지반의 표준관입시험에 따른 타격회수(15를 초과할 때는 다음 식의  $N'$ 값으로 한다)

$$N' = 15 + \frac{1}{2}(N - 15)$$

여기에서

$N$  : 실 타격회수

$N'$  : 수정  $N$ 값

**3.13.3.2.2** 마찰파일은 다음 식에서 계산한 기초파일과 주위의 지반과의 마찰력 또는 기초파일의 허용지지력 중 작은 값으로 한다.

$$R_a = Q_t \cdots (3.7)$$

$$R_a = \frac{1}{3} \psi LC_a \cdots (3.8)$$

식 (3.7) 및 식 (3.8)에서

$R_a$  : 기초파일과 그 주위의 지반과의 마찰력(N)

$Q_t$  : 3.13.3.2.1에서의  $Q_t$ 와 같음

$\psi$  : 기초파일의 둘레길이(m)

$L$  : 기초파일의 매립깊이(m)

$C_a$  : 지반의 1축 압축강도의 1/2(3을 초과할 때는 3으로 한다) (N/m<sup>2</sup>)

**3.13.3.3** 3.13.3.2에서 계산한 기초파일의 침단지반허용지지력, 기초파일과 그 주위의 지반과의 마찰력 또는 기초파일의 허용지지력의 값이 해당 가스설비 등, 그 내용물 및 기초의 하중을 초과하도록 공사한다.

### 3.13.4 기초판 및 외벽공사

#### 3.13.4.1 콘크리트

3.13.4.1.1 콘크리트 배합은 필요한 강도·내구성·작업성을 고려하여 결정한다.

3.13.4.1.2 콘크리트 타설, 다짐 및 타계목 처리는 필요한 균등질의 콘크리트가 얻어질 수 있도록 한다.

3.13.4.1.3 콘크리트 타설한 후에는 저온, 건조, 급격한 온도변화 등에 영향을 받지 아니 하도록 양생한다.

#### 3.13.4.2 철근

3.13.4.2.1 철근은 사용조건에 따라 적절한 강도 및 성질을 가진 것을 사용한다.

3.13.4.2.2 철근은 재질이 손상되지 아니 하도록 가공하여 콘크리트 타설에 따라서 움직이지 아니 하도록 견고히 조립한다.

#### 3.13.4.3 프리 스트레스트 콘크리트(Prestressed Concrete 이하 "PC"라 한다)

3.13.4.3.1 PC 강도는 도입되는 프리 스트레스트에 따른 압축응력이 충분하도록 한다.

3.13.4.3.2 PC 강재에 주어지는 인장력에 대해서는 소요의 값이 감소되지 아니 하도록 프리 스트레스트 도입 관리를 수행한다.

3.13.4.3.3 PC 강재 및 형틀(Sheath)은 콘크리트 블록, 강재 등으로 견고히 지지해서 콘크리트 작업 시 이동하지 아니 하도록 한다.

3.13.4.3.4 형틀(Sheath) 안에 그라우팅(Grouting)을 수행할 때에는 물이나 기포가 남지 아니 하도록 시공한다.

#### 3.13.4.4 형틀 및 지보공(持堡孔)

3.13.4.4.1 형틀 및 지보공은 필요한 강도(強度)와 강성(剛性)을 가진 것으로 한다.

3.13.4.4.2 형틀 및 지보공은 기초판 등의 형상 및 치수가 정확히 확보될 수 있도록 설계하여 시공한다.

### 3.13.5 단열재시공

저장탱크에서 단열을 필요로 하는 곳에는 다음과 같은 단열재를 사용하고 설계에서 요구하는 열적 특성을 충분히 만족하는 재료를 사용한다.

3.13.5.1 성형 단열재는 열전도율이 낮고 압축강도가 높고 초저온에 견디는 것으로 한다.

3.13.5.2 단열재로 내부탱크와 외부탱크에 가해지는 수평하중과 수직하중은 최소로 한다.

3.13.5.3 초저온 액체의 입출에 따른 내부탱크의 수축과 팽창에 미치는 영향을 고려한다.

3.13.5.4 자연대류를 방지할 수 있도록 단열재는 투과성이 낮은 것으로 한다.

3.13.5.5 액화천연가스에 대하여 화학적으로 안정적인 단열재 재질을 사용한다.

3.13.5.6 단열재는 흡수성이 설계시방서에 명시된 허용범위 이내로 한다.

3.13.5.7 이중벽 탱크에 필라이트 분말로 충전한 경우는 시공을 한 후에 압밀에 대한 방지조치를 하는 것으로 한다.

### 3.13.6 멤브레인 시공

3.13.6.1 멤브레인을 프레스 가공한 경우는 단면 수축율이 멤브레인의 피로강도 이내에서 안전하게 운전할 수 있는 범위 내로 한다.

3.13.6.2 멤브레인을 벤딩 가공한 경우는 마디(Knot)부분에서의 형상이 균일하고, 치수 정밀도를 유지하여 피로에 따른 응력집중 현상이 없도록 한다.

3.13.6.3 멤브레인을 가공한 후에도 평면도(Flatness)를 균일하게 유지하여 멤브레인 패널 조립 시 불균일한 응력집중이나 잔류응력이 발생하지 아니 하도록 한다.

### 3.13.7 지붕시공

3.13.7.1 지붕은 구면으로 하고 지붕 뼈대로 지지되는 구조로 한다.

3.13.7.2 지붕은 가스압력, 자중 및 그 밖에 하중에 따른 좌굴(좌屈)에 대하여 충분한 강도를 가진 것으로 한다.

3.13.7.3 지붕의 곡률 반경은 탱크 내경의 0.8배~1.2배로 한다.

3.13.7.4 지붕에 대한 좌굴강도(Buckling Strength)를 검토하는 경우의 하중은 다음에 표시한 사항을 고려한다.

- (1) 가스압력
- (2) 탱크의 지붕판 및 지붕 뼈대의 중량
- (3) 지붕부위 단열재의 중량
- (4) 탱크 지붕에 부착된 기기 부속품의 중량

**3.13.8 그 밖의 제작 및 시공기준**

3.13.1부터 3.13.7까지에서 정하지 않은 사항은 설계시방서에 따른다.

**4. 검사기준****4.1 검사종류**

저장탱크의 검사는 제조시설에 대한 검사와 제품에 대한 검사로 구분한다.

**4.1.1 제조시설에 대한 검사**

제조시설에 대한 검사는 저장탱크를 제조하고자 하는 자가 저장탱크 제조시설의 설치공사 또는 변경공사를 완공한 때에 실시한다.

**4.1.2 제품에 대한 검사**

저장탱크에 대한 검사는 이 기준에 따른 제조기술기준과 검사기준에의 적합여부에 대하여 실시한다.

**4.1.2.1 설계단계검사(내용 없음)****4.1.2.2 생산단계검사**

저장탱크가 이 기준에 적합하게 제조되었는지 여부를 확인하기 위하여 생산단계검사를 실시한다.

**4.2 공정검사 대상심사(내용 없음)****4.3 검사항목****4.3.1 제조시설에 대한 검사**

제조자가 제조설비 및 검사설비를 갖추었는지 확인하기 위한 검사항목은 다음과 같다.

- (1) 2.1에 따른 제조설비 구비 여부
- (2) 2.2에 따른 검사설비 구비 여부

**4.3.2 제품에 대한 검사**

저장탱크가 이 제조기술기준에 적합하게 제조되었는지 확인하기 위한 검사항목은 다음과 같다.

**4.3.2.1 설계단계검사(내용 없음)****4.3.2.2 생산단계검사**

제조기술기준에의 적합 여부에 대하여 실시하는 생산단계검사의 검사항목은 다음과 같다.

- (1) 4.4.2.2.1(1-1)에 따른 제조기술기준 준수여부 확인
- (2) 4.4.2.2.1(1-2)에 따른 기초검사
- (3) 4.4.2.2.1(1-3)에 따른 외관 및 치수검사
- (4) 4.4.2.2.1(1-4)에 따른 재료검사(내부탱크)
- (5) 4.4.2.2.1(1-5)에 따른 철근콘크리트검사
- (6) 4.4.2.2.1(1-6)에 따른 초저온 용접부 및 외부탱크의 용접부 검사 <개정 14.11.17>
- (7) 4.4.2.2.1(1-7)에 따른 단열재검사
- (8) 4.4.2.2.1(1-8)에 따른 멤브레인검사
- (9) 4.4.2.2.1(1-9)에 따른 압력검사
- (10) 4.4.2.2.1(1-10)에 따른 그 밖의 검사

## 4.4 검사방법

### 4.4.1 제조시설에 대한 검사

제조시설에 대한 검사방법은 2.1. 및 2.2에 따른 제조시설 및 검사설비의 구비 여부를 확인하여 필요한 설비를 모두 구비한 경우 합격으로 한다.

### 4.4.2 제품에 대한 검사

#### 4.4.2.1 설계단계검사(내용 없음)

#### 4.4.2.2 생산단계검사

##### 4.4.2.2.1 제품확인검사

###### (1) 검사요령

저장탱크가 각 검사항목별 제조기준에 적합한지 판정하기 위한 제품검사방법은 다음과 같다.

###### (1-1) 제조기술기준 준수여부 확인

저장탱크가 3.1부터 3.12까지의 제조기술기준에 적합하게 제조되었는지 여부를 확인한다.

###### (1-2) 기초검사

저장탱크가 설치되는 기초가 설계 시방서의 기준에 따라 적합하게 시공되었는지 확인한다.

###### (1-3) 외관 및 치수검사

저장탱크 제작에 따른 공정별 철근 배근 등의 각 부재는 성형가공 후 외관 및 치수검사를 실시하여 유해한 손상 및 결함 여부를 확인한다.

###### (1-4) 재료검사(내부탱크)

(1-4-1) 재료는 화학성분, 기계적 성질 및 강도·치수 등에 관한 규격이 만족되는지 시험성적서(Mill sheet)등으로 확인한다.

(1-4-2) 재료는 외관검사를 실시하여 표면 또는 단면에 유해한 손상·결함 등이 없는 것으로 한다.

- (1-4-3) 재료는 필요에 따라 초음파탐상시험·방사선투과시험·파괴강도시험 등 물리적·기계적 시험을 실시한다.
- (1-4-4) (1-4-1)부터 (1-4-3)까지에서 정하지 아니한 사항은 설계 시방서에 따른다.
- (1-5) 철근콘크리트 검사
- (1-5-1) 슬럼프(Slump)시험은 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 따라 실시한다.
- (1-5-2) 공기량 시험은 KS F 2409(굳지 않은 콘크리트의 단위 용적 중량 및 공기량 시험방법), KS F 2449(굳지 않은 콘크리트의 용적에 의한 공기 함유량 시험방법) 또는 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법) 중에서 실시한다.
- (1-5-3) 압축강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 실시한다.
- (1-5-4) (1-5-1)부터 (1-5-3)까지에서 정하지 아니한 사항은 설계 시방서에 따른다.
- (1-6) 초저온 용접부 및 외부탱크의 용접부 검사 <개정 14.11.17>
- (1-6-1) 용접부의 기계적 검사
- (1-6-1-1) 맞대기 용접부는 KS B 0833(맞대기 용접이음의 인장시험방법)에 따라 제작된 시험편에 대하여 기계적 시험을 실시한다.
- (1-6-1-2) 맞대기 용접부 기계적 시험의 종류 및 시험편 수량 및 기준은 설계 시방서에 따른다.
- (1-6-1-3) 맞대기 용접부 중 그 구조 및 재료의 성질상 기계적 시험이 곤란한 경우에는 이를 생략할 수 있다.
- (1-6-2) 비파괴검사
- (1-6-2-1) 맞대기 용접부의 전체길이에 대해서는 방사선 투과시험을 실시한다. 다만, 다음의 경우에는 KS B 0816(침투탐상시험방법 및 침투지시모양의 분류)에 따른 침투탐상시험 또는 KS D 0213(철강 재료의 자분 탐상 시험 방법 및 자분 모양의 분류)에 따른 자분탐상시험을 실시할 수 있다. <개정 14.11.17>
- (1-6-2-1-1) 멤브레인의 맞대기 용접부 <신설 14.11.17>
- (1-6-2-1-2) H형강의 받침쇠를 사용한 맞대기 용접부 <신설 14.11.17>
- (1-6-2-1-3) 그 밖의 방사선 투과시험이 곤란한 맞대기 용접부 <신설 14.11.17>
- (1-6-2-2) 방사선투과시험 방법과 결과판정은 다음 기준에 따르고 재료의 종류를 고려한다.
- (1-6-2-2-1) 강재에 대한 용접 이음부 방사선 투과시험은 KS B 0845 (강 용접부의 방사선 투과시험방법 및 투과사진의 등급분류 방법)에 따라 실시하고, 투과사진은 화질이 보통급 이상 및 농도차 보통급 이상에서 등급분류 방법에 따라 2급 이상을 합격으로 한다.
- (1-6-2-2-2) 스테인리스 강재의 용접 이음부에 대한 방사선투과시험은 KS C 0237(스테인리스 강재의 용접 이음부에 대한 방사선 투과시험방법 및 투과사진등급 분류방법)에 따라 실시하고, 투과사진은 화질이 보통급 및 농도차 보통급 이상으로 등급분류방법에 따른 2급 이상을 합격으로 한다.
- (1-6-2-3) 방사선 투과시험에 불합격 시는 결함부를 제거하고 재 용접을 실시하여 그 부분에 방사선 투과시험을 다시 하여 이상이 없을 경우 합격으로 한다.
- (1-6-2-4) 그 밖의 용접부에 대해서는 설계 시방서에 따라 비파괴시험을 실시하여 용접부 결함 유무를 검사한다.
- (1-7) 단열재검사
- (1-7-1) 성형 단열재는 사용상 유해한 요철, 갈라짐, 휨과 같은 변형, 손상, 공동 등이 없는 것으로 하고, 사용조건에 적합한 치수 정밀도를 가진 것으로 한다.
- (1-7-2) 단열재의 열전도율이 설계 시방서를 만족하는지 시험성적서로 확인한다.
- (1-7-3) 단열재의 종류에 따라 압축강도가 설계 시방서를 만족하는지 단열재 제조자의 시험성적서로 확인한다.

**(1-8) 멤브레인검사**

멤브레인식 LNG저장탱크에 대해서는 다음 기준에 대하여 이상 유무를 확인하고 그 밖의 세부 검사기준은 설계 시방서에 따른다.

**(1-8-1)** 멤브레인 용접부에 대한 검사는 원칙적으로 암모니아 시험을 실시하여 이상이 없고 구조상 암모니아 시험이 어려운 경우는 진공시험을 실시할 수 있다.

**(1-8-2)** 진공시험은 누출 등 이상이 없는 것으로 한다.

**(1-8-3)** 용접 결함부위가 발견된 경우 보수 후 재시험을 실시한다.

**(1-9) 압력검사**

**(1-9-1)** 저장탱크의 내압강도 및 누출시험은 각각 실시하되, 형식별 적용구분은 표 4.4.2.2.1(1)과 같다.

표 4.4.2.2.1(1) 저장탱크 형식별 시험기준

구 분	내압·강도시험		누출시험	
	기압시험	충수시험	기밀시험	진공누출시험
지상식	△	○	△	△
지중식	○		△	△
지하식	○		△	△

[비고] 이 표에서 사용하는 기호의 뜻은 다음과 같다.  
 ○ : 반드시 실시  
 △ : 설계 시방서에 따라 병행 또는 선택적으로 실시

**(1-9-2)** 각각의 압력시험 항목별 시험방법은 다음과 같다.

**(1-9-2-1) 기압시험**

기상부에 공기 등과 같이 위험성이 없는 기체를 사용하여 최고 사용압력의 1.25배(지중·지하식은 설계압력의 1.5배) 이상으로 압력을 가하여 이상이 없는지 확인한다.

**(1-9-2-2) 충수시험**

측면판 최하부에 대하여 설계 액두압에 해당하는 수위의 1.25배 이상 높이까지(설계 액위까지를 한도로 함) 물을 채워 이상 유무를 확인한다.

**(1-9-2-3) 기밀시험**

탱크 내부에 공기·질소 등과 같이 위험성이 없는 기체를 사용하여 최고 사용압력의 1.25배(지중·지하식은 설계압력의 1.1배) 이상으로 압력을 가하여 용접부 외면에 비눗물 등을 바르고 누출이 없는지 확인한다. 단, 기밀시험 시 외면(이면)에 비눗물 등을 발라서 확인하기가 곤란한 경우는 진공 누출 시험으로 한다.

**(1-9-2-4) 진공누출시험**

바닥면판 및 환상판 용접부에 대하여 -53.3 kPa 이하에서 진공누출 시험을 실시하고, 용접부에 비눗물 등을 도포하여 누출 유무를 확인한다. 다만, 멤브레인식 저장탱크의 경우에는 암모니아 누출검사로 대체한다.

**(1-10) 그 밖의 검사**

그 밖에 저장탱크 제작사의 품질 및 성능확인을 위한 공정별 세부검사기준은 한국가스안전공사가 별도로 정하는 바에 따른다.

**(2) 합부판정**

저장탱크가 (1-1)부터 (1-10)까지와 6에 모두 적합한 경우 합격한 것으로 한다.



## 5. 재검사기준(해당 없음)

## 6. 그 밖의 시설·기술·검사기준

2부터 4까지에서 정하지 않은 사항에 대하여는 제작자가 제시한 설계시방서를 검토하여 한국가스안전공사가 인정하는 바에 따라 제작(시공) 및 검사를 받을 수 있다. 다만, 완전방호식 LNG저장탱크의 설계, 제조 및 검사기준은 이 기준의 부록에 따른다.

**부록**

**완전방호식 LNG 저장탱크 기준**  
**Code for Full-containment LNG Storage Tanks**

제정 : 2002. 3. 29.

**제 1장 일반기준****1. 적용 범위**

이 기준은 9% Ni강 완전방호식 LNG 저장탱크의 설계, 제조 및 검사 등에 대해서 적용하며, 전체적으로 제 1장 일반기준, 제 2장 9% Ni강식 내부탱크 기준, 제 3장 외부탱크 및 기초 기준으로 구성된다.

제 1장의 일반기준에는 LNG 저장탱크의 설계, 제조 및 검사와 관련한 일반적인 사항에 대하여 주로 규정하였고, 펌프, 펌프튜브, 밸브 및 계측장비등 보조장비는 설계에 영향을 미칠 경우에 한하여 규정하였다.

또한, LNG 저장탱크의 운전, 지진해석 및 안전에 대한 권고사항을 이 장의 부록에 수록하였다.

**2. 참고 문헌**

2.1 BS 7777 “Flat-bottomed, vertical, cylindrical storage tanks for low temperature service” , 1993

2.2 BS EN 1473 “Installation and equipment for liquefied natural gas-Design of onshore installations” , 1997

2.3 NFPA 59A “Production, storage, and handling of liquefied natural gas(LNG)” , 1990

2.4 API 620 “Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks” , 1997

**3. 용어 정의**

이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

**3.1** “LNG 저장탱크(storage tanks)” 라 함은 -162℃의 초저온 LNG를 저장하는 탱크를 말하며 이 기준의 적용을 받는 LNG 저장탱크의 범위는 저장탱크 본체로부터 차단밸브 전단의 용접 또는 플랜지 이음부까지이다. 이 기준의 9% Ni강식 저장탱크의 경우, 구조에 있어 내부탱크(바닥, 동체), 외부탱크(바닥, 벽체, 강재 돔(steel structure dome), 콘크리트 지붕 등), 단열재,

현수천정(suspended deck) 등으로 구성된다.(그림 1-1~1-2 참조)

**3.2** “9% Ni강 완전방호식 저장탱크” 라 함은 9% Ni강판으로 이루어진 내부탱크와 프리스트레스트 콘크리트 외부탱크로 구성된 이중 저장탱크를 말하며, 이 기준에서는 지상식 저장탱크에 한하여 규정한다.

이 탱크는 내부탱크와 외부탱크가 모두 독립적으로 저온 액체 및 기체를 저장할 수 있도록 설계 및 시공된 완전방호식(full containment type) 저장탱크로, 외부탱크는 내부탱크로부터 1 m에서 2 m사이에 설치해야 한다.

내부탱크는 정상적인 운전 조건 하에서는 저온 액체를 저장하고 외부지붕은 외부탱크로 지탱된다. 외부탱크는 사고발생 후 저온 액체를 저장할 수 있고 또한 누출된 LNG에서 발생된 증발가스를 제어하여 벤트시킬 수 있어야 한다.

**3.3** “지상식 저장탱크(aboveground storage tank)” 라 함은 지표면 위에 설치하는 형태의 저장탱크로 기초의 형식에 따라 저부기열식과 고상식으로 구분된다.

**3.4** “내부탱크(inner tank)” 라 함은 사용중 초저온 액체를 저장하도록 설계된 평저(flat-bottomed) 수직 원통형 금속 용기(cylinder)를 말한다.

**3.5** “외부탱크(outer tank)” 라 함은 내부탱크로부터 액누출이 발생하였을 경우 누출된 액체 및 기체를 저장하도록 설계된 평저 수직 용기를 말한다.

**3.6** “동체(shell)” 라 함은 일반적으로 금속재질의 수직 원통을 말한다.

**3.7** “벽체(wall)” 라 함은 일반적으로 콘크리트 재질의 수직 원통형 구조물을 말한다.

**3.8** “지붕(roof)” 이라 함은 저장탱크 내용물을 대기와 격리시키기 위해 외부탱크 벽체(wall)의 상부에 설치되는 구성요소를 말한다.

**3.9** “현수천정(suspended deck)” 이라 함은 지붕으로부터 들어오는 열의 단열 및 액의 증발을 제어하기 위해 지붕 아래에 설치되는 구조물을 말한다.

**3.10** “단열재(insulation)” 라 함은 외부로부터 내부탱크에 유입되는 열을 단열하기 위해 설치되는 구성부분을 말한다.

**3.11** “최고사용압력(maximum operating pressure)” 이라 함은 특별히 명시되지 않은 경우는 내부탱크의 증기공간에 작용하는 가스 압력이 사용상태에서 발생할 수 있는 최고압력을 말한다.

**3.12** “증발(boil-off)” 이라 함은 저장탱크 외부로부터 전도되는 열에 의해 저온 액체중 극소량이 기화하는 과정을 말한다.

**3.13** “롤오버(roll-over)” 라 함은 상이한 액체 밀도로 인하여 층상화된 액체의 불안정한 상태

가 바로잡히며 생기는 LNG의 급격한 물질 혼합 현상을 말하며, 일반적으로 상당한 양의 증발가스가 탱크 내부에서 방출되는 현상이 수반된다.

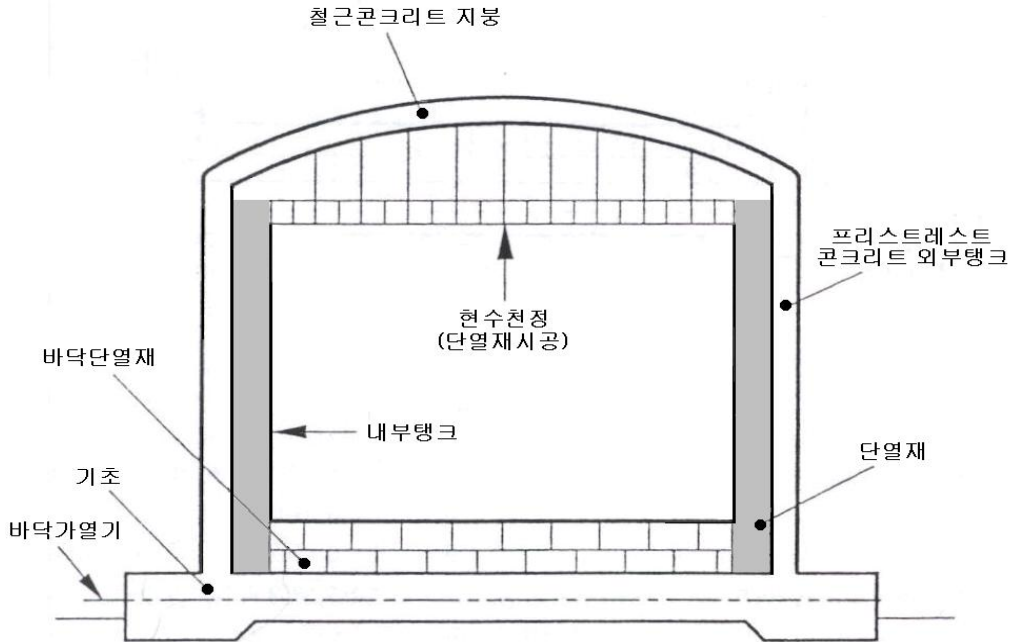


그림 1-1 9% Ni강식 저장탱크 예(지상식-저부가열식)

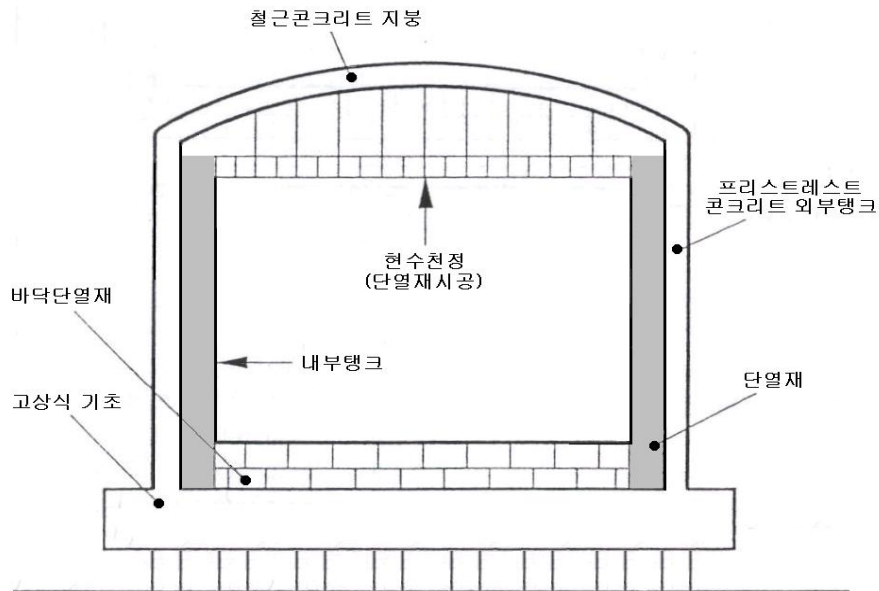


그림 1-2 9% Ni강식 저장탱크 예(지상식-고상식)

#### 4. 설계 조건

탱크는 최고사용압력(maximum operating pressure) 및 최저사용온도에 적합하도록 설계하여야 한다. 또한, 최고사용압력과 최저사용온도는 발주자에 의해 주어져야 한다.

탱크는 다음과 같은 하중 조건을 고려하여 설계시 적용하여야 한다.

## 4.1 정상하중 조건

### 4.1.1 고정하중

4.1.1.1 정상적인 하중 조건(normal load cases)들 중에서 주요 고정하중(dead load)은 다음과 같다.

- a) 탱크 무게
- b) 단열재 무게
- c) 지붕무게
- d) 단열재와 지지 구조물의 무게가 포함된 현수천정(suspended deck)의 무게
- e) 배관, 밸브, 플랫폼, 통로 및 난간 등과 같은 부속물의 무게
- f) 콘크리트 기초의 무게
- g) 콘크리트 벽체 무게

4.1.1.2 무게산정을 위하여 필요한 재료의 단위중량은 설계시 정한 특수사양 또는 건설표준에서 제시하는 값을 적용한다. 대표적인 재료의 단위중량은 다음과 같다.

- a) 철근 콘크리트 24.5 kN/m<sup>2</sup>(2,500 kgf/m<sup>2</sup>), 무근 콘크리트 23.0 kN/m<sup>2</sup>(2,350 kgf/m<sup>2</sup>)
- b) 강재 77.0 kN/m<sup>2</sup>(7,850 kgf/m<sup>2</sup>)
- c) 목재 7.8 kN/m<sup>2</sup>(800 kgf/m<sup>2</sup>)

### 4.1.2 재하하중

정상적인 하중 조건중 주요 재하하중(imposed loads)은 다음과 같다.

#### a) 일반하중

고정 지붕의 투영 면적에 대하여 1.2 kN/m<sup>2</sup>(122.4 kgf/m<sup>2</sup>)의 등분포 하중을 적용하여야 한다. 또한, 지붕은 어떤 위치에서든 300 mm×300 mm의 정사각형 면적 위에 5 kN(509.9 kgf)의 집중 하중을 지지할 수 있어야 한다.

지붕 플랫폼과 접근 통로 지역에 대해서도 2.4 kN/m<sup>2</sup>(244.7 kgf/m<sup>2</sup>)의 등분포 하중이 적용되어야 한다.

비고 1. 여기에는 설하중과 내부 부압하중이 모두 포함된다.

- 2. 현수천정에 대하여 설치 및 유지 보수를 고려한 최소한의 균등분포 하중은 1.0 kN/m<sup>2</sup>(102.0 kgf/m<sup>2</sup>)이어야 한다. 이것은 일시적 또는 영구적 하중으로 간주될 수 있으나 어떤 경우든 이 하중은 고정 지붕에 적용된다.

#### b) 설하중

일반하중의 항목 a)에 해당하는 하중 조건과 설계시의 고려사항들을 적용한다.

#### c) 내부 부압 하중

고정된 지붕이외의 다른 탱크 구성요소들을 위해서 설계는  $-0.5 \text{ kPa} (-5 \text{ mbar})$ 에 근거하여야 한다.

#### d) 단열재 압력 하중

9% Ni강식 저장탱크의 경우, 적절한 위치에서 내부탱크 동체 및 외부탱크 벽체는 환상공간에서 분말 단열재가 가하는 압력에 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.

분말 단열재는 내부탱크에는 외부 압력을, 외부탱크 벽체에는 내부 압력을 가한다. 분말 단열재 압력은 내부탱크의 바깥 면에 있는 탄성 흡수재(resilient blanket)에 의해 감소될 수 있다.

#### e) 내부 증기압력으로 인한 하중

외부탱크 설계시 설계조건에서 정해진 내부탱크의 설계압력 하중을 고려하여야 한다. 내부 압력은 LNG의 증기압이나 치환된 가스의 압력으로 인해 발생할 수 있으며 탱크 크기와 형식 및 운전 조건에 따라 다르므로 이를 고려하여 발주자가 명시해야 하며, 증기압력 설계조건들과도 일치하여야 한다.

#### f) 침하 하중

저장탱크와 그 기초는 탱크의 사용수명 동안 예측되는 최대침하 및 부등침하를 최대한 고려하여 설계해야 한다.

#### g) 기타 적용 하중

지붕과 연결된 배관, 밸브 또는 다른 부품들로부터 추가적으로 발생하는 상당한 하중이나 모멘트가 동체, 바닥 또는 지붕에 적용되지 않도록 설계되어야 한다. 그러한 하중이나 모멘트를 피할 수 없는 경우, 발주자와 계약자는 그것들의 성질과 크기를 합의해야 한다. 탱크와 배관 지지물의 침하도 또한 고려해야 한다.

### 4.1.3 액체 하중

액체하중은 다음과 같이 2가지가 있다.

a) 내부탱크: 내부탱크는 명시된 설계상의 최저온도에서 액체의 하중에 맞도록 설계되어야 한다. 설계 액위(design product level) 또는 최대 액위(maximum product level)는 내부탱크 동체의 최상부에서 0.5 m 아래의 높이보다 높아서는 안 된다.

b) 외부탱크: 외부탱크는 설계상의 최저온도에서 내부탱크의 LNG를 저장할 수 있도록 설계하여야 한다. 또한 증발가스와 접촉하는 부분은 증발 가스를 밀폐시킬 수 있도록 설계하여야 한다.

### 4.1.4 풍하중

풍하중에 관한 세부사항은 “건축물구조기준등에관한규칙”에 따른다.

### 4.1.5 충수 및 기밀시험 하중

충수시험은 내부탱크 또는 외부탱크에 명시된 최대 액위의 액두압에 해당하는 수위의 1.25배 이상 높이까지 물을 채워 실시해야 한다. 또한, 외부탱크의 지붕과 벽체는 설계압력의 1.25배의 압력으로 기밀시험을 실시하여야 한다.

### 4.1.6 부가 하중

시공 방법 및 운전준비와 운전정지시 발생될 수 있는 부가적인 하중을 모두 고려하여야 한다.

### 4.1.7 유도하중(induced loads)

#### 4.1.7.1 열하중(thermal loads)

외부탱크 구성요소들의 열팽창의 차이로 인한 탱크 변형(tank movement)에 대한 영향도 평가되어야 한다. 모든 탱크 부착물들은 탱크 구성요소들에 가해지는 열 하중과 모멘트를 최소화할 수 있도록 설계해야 한다.

## 4.2 특수 하중 조건

### 4.2.1 지진 하중

지진으로 인하여 발생하는 하중의 효과도 고려해야 한다.(부록 B참조)

### 4.2.2 외부 폭발과 그 영향

소유자의 경계내 또는 인접하고 있는 제 3자 소유의 부지 주변 환경 및 관련 설비 또는 다른 설비 항목들을 고려한 저장탱크의 위치에 따라 탱크 가까운 곳에서의 폭발 가능성에 대하여 다음 사항들을 고려하여야 한다.

#### a) 폭발로 인한 폭풍 또는 압력과

특별히 발주자가 요청한 경우에는 저장탱크 외부 인근에서 발생하는 폭발 영향에 대하여 설계시 고려하여야 한다.

#### b) 비행물체로 인한 충격하중

장탱크는 외부 폭발의 여파로 탱크에 부딪힐 수 있는 비행물체(missile)에 견딜 수 있어야 한다. 계산에 사용하는 비행물체의 크기와 속도는 발주자가 명시하여야 한다.

### 4.2.3 화재 위험

탱크 근처에서 발생하는 화재는 보통 열복사를 일으키고 탱크 구조물의 온도를 증가시킨다. 온도 상승으로 탱크 구조물의 강도가 약해지지 않도록 충분한 내화구조로 하여야 한다.

비고 고려하여야 할 화재로는 집액지역(impounding basin)에서 발생하는 화재, 플랜지 연결부(flange joint) 누출로 인한 화재, 대기로 방출되는 배관으로부터 발생하는 화재 및 인접 탱크에서 발생하는 화재 등이 있다.

화재 예상지점에서 퍼져 나오는 복사열(radiation heat flux)을 계산해야 한다. 열유속값(heat flux value)이 확정되었을 때, 구조물의 온도상승은 화재 방재 시스템 유무와 시스템의 신뢰성을 고려하여 결정해야 한다.

### 4.2.4 내부탱크의 누출

외부탱크는 내부탱크 동체와 외부탱크 벽체 사이에 있는 환상공간이 점차적으로 누출액으로 채워진다는 가정 하에 내부탱크의 LNG를 최대한 저장할 수 있도록 설계하고 시공하여야 한다.

표 1-1 9% Ni강 완전방호식 탱크와 관련된 하중 조건

구 분	하중 조건	탱크 구분	적용 여부
4.1	정상하중 조건		
4.1.1	고정하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	○ ○
4.1.2	재하하중		
4.1.2 a)	일반 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.1.2 b)	설하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.1.2 c)	내부 부압 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.1.2 d)	단열재 압력 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	○ ○
4.1.2 e)	내부 증기압력 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.1.2 f)	침하 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.1.2 g)	기타 적용 하중	적용 가능시	적용 가능시
4.1.3	액체 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	○ ○
4.1.4	풍 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.1.5	시험 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	○ ○
4.1.6	부가 하중	적용 가능시	적용 가능시
4.1.7	유도 하중		
4.1.7.1	열하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.2	특수 하중 조건		
4.2.1	지진 하중	내부탱크 콘크리트 외부탱크	○ ○
4.2.2	외부 폭발 및 영향	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.2.3	화재 위험	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
4.2.4	내부탱크의 누출	내부탱크 콘크리트 외부탱크	- ○
<p>비고 1. 표 1-1은 그림 1-1 및 1-2에 나타난 9% Ni강식 저장탱크의 적절한 하중 조건을 요약한 것이다. 각 항목에 해당하는 사항은 '○'로 표시하였다. 발주자에 의해 기타 하중이 명시된 경우에는 이에 따른 적절한 하중 조건이 선정되어야 하며 이를 위와 같은 표로 작성할 수 있다.</p> <p>2. 4절 이하에 명시된 하중 조건으로부터 각 구조에 대하여 적절한 하중을 선택한다.</p>			

## 5. 저장탱크 형식선정시 고려사항



### 5.1 일반 사항

발주자는 행정기관이 요구하는 사항, 하중의 영향, 그리고 설치 위치를 정하는데 필요한 조건과 고려사항을 참고하여 저장탱크 형식을 선택해야 한다.

### 5.2 저장탱크의 형식 선정 기준

저장탱크 형식의 선정시에 영향을 미치는 조건 및 고려사항 등은 다음과 같다.

#### 5.2.1 관리가 불가능한 기준

- a) 지진
- b) 바람, 눈, 기후
- c) 공장 외부로부터의 위험

#### 5.2.2 제한적 관리가 가능한 기준

- a) 공장 내의 비행물체
- b) 공장내부의 폭발로 인해 발생하는 충격파
- c) 보수 점검시의 위험
- d) 인접한 탱크 또는 설비에서 발생하는 화재
- e) 과충전(over-fill)
- f) 공정에 의한 과압(process overpressure)
- g) 롤오버(roll-over)
- h) 경미한 금속 파손 예) 누출
- i) 금속 피로
- j) 부식
- k) 바닥, 동체 또는 지붕에 부착된 배관물의 파손
- l) 기초 거동

#### 5.2.3 완전 관리가 가능한 기준

- a) 다른 시설과의 근접성
- b) 공장내의 제어실, 사무실 그리고 다른 건물과의 근접성
- c) 공장 외부에 있는 거주시설과의 근접성
- d) 행정기관의 요구사항
- e) 적용 설계 코드의 요구사항

## 6. 지질 조사

## 6.1 일반사항

기초의 설계와 시공에 앞서 자격있는 지반기술자에 의해 지질조사를 수행하여야 한다. 이러한 조사를 통해 부지 지반의 층상 및 물리적 특성을 결정해야 한다.

접지를 위해 요구되는 지반의 열전도성과 전기전도성을 결정해야 한다.

그 지역의 지질과 지표면 조건 및 인근지역의 유사한 구조물의 이력을 검토하여 지반에 대한 정보를 얻을 수 있다.

## 6.2 지하수 조사

탱크 예정 지역에 대한 지하수위의 계절적인 변화, 깊이 및 지하수 흐름을 상세하게 조사하여야 한다.

지반의 투수성 및 동결 용기에 대한 민감성에 관한 자료를 확인하여야 한다. 공사로 인한 지하수의 변화가능성을 고려하여야 한다.

## 7. 압력 조절

### 7.1 일반 사항

LNG 저장탱크는 설계상의 내부 정압과 부압이 과도하게 올라가지 않도록 방지해주는 시스템을 설치하여야 한다. 이 시스템은 안전 밸브가 수시로 열리는 현상을 방지하기 위하여 다량의 증발 가스를 충분히 주입하고 제거하는 기능을 가진 압력방출밸브 및 진공방지밸브로 구성되어야 한다. 안전 밸브의 방출가스는 대기 또는 소각벤트되어야 한다.

### 7.2 주요 과압방출 및 부압조절 시스템 설계

7.5.1 a) 내지 f)까지 설명된 조건들을 위해 내부와 외부탱크 모두는 다음 사항들을 저지할 수 있는 조절 시스템의 보호를 받아야 한다.

- a) 탱크 상부의 내부정압이 설계상의 내부정압의 10% 이상 초과
- b) 내부부압이 설계상의 내부부압을 0.25 kPa(2.5 mbar) 초과

비고 이들 제약조건들을 만족하기 위해서는 압력조절밸브가 설계상의 압력보다 낮은 압력에서 개방되도록 설정하여야 한다.

7.5.1 g)와 h)에 설명된 조건들을 만족시키기 위해서는 충분한 용량을 갖는 압력 조절 설비를 설치해야 한다. 이들 압력조절밸브는 설정압력이 설계상의 증기압력의 20% 이상 초과하지 않아야 한다.

1 개의 압력방출밸브의 용량이 이 절의 규정들을 충족시키더라도 검사와 보수유지를 위해서 최소

한 같은 용량의 예비방출밸브 1개를 설치하여야 한다.

다중 압력방출밸브가 벤트를 위해 필요한 경우 각각 제 기능을 수행하는 이들 밸브의 용량은 모두 동일해야 한다.

비고 2 개 이상의 압력 방출 및 조절밸브가 벤트를 위해 필요하다면 공정상의 과·부압이 생겼을 경우 한 개의 밸브만 먼저 작동하도록 설정해 놓는 것이 좋다.

압력방출밸브와 탱크 사이는 격리밸브를 설치하여야 한다. 또한, 조절시스템은 내부정압과 부압을 항상 조절하도록 설계하고 작동하여야 한다.

### 7.3 압력방출밸브의 위치

압력조절밸브는 밀봉상태가 손상되지 않도록 하여 탱크에 설치되어야 한다. 유지보수를 위한 접근 통로에 대한 규정을 만들어야 한다. 압력방출밸브는 벤트로 인해 저온의 증발가스가 외부탱크에 손상을 주지 않도록 배치해야 한다.

### 7.4 압력방출밸브의 설치

압력방출밸브는 사용조건에 적합한 재료로 제조하여야 한다. 압력조절밸브 시트와 작동 부분은 서리, 얼음 또는 부식에 의해 그 기능이 저하되지 않도록 설치되어야 한다.

### 7.5 압력방출시스템의 용량 결정

#### 7.5.1 최대 용량

최대 용량 결정시 다음의 사항에 대한 영향을 고려해야 한다.

- a) 충전시 발생하는 증발 가스
- b) LNG의 송출률
- c) 긴급 상황시 내용물을 방출할 수 있는 가능성
- d) 압축기의 흡입 용량
- e) 대기에서 탱크로의 열의 침투
- f) 대기압의 변화
- g) 화재 노출
- h) 다른 특수한 상황 등

최소 용량은 발주자와 계약자가 합의하여야 할 사항이나, “KGS H 002(고압가스특정제조시설) 8.14(안전장치의 설치)” 에서 정하는 분출면적 또는 유출면적 이상이어야 한다. 필요할 경우 콘크리트 지붕을 갖는 탱크에 있어서 부가적인 비상시 방출용량에 대해 고려하여야 한다. 그 목적은 이 기준의 적용 한계를 벗어나는 조건에서 과압을 피하기 위함이다.

## 8. 운전준비 및 운전정지

### 8.1 운전 준비

#### 8.1.1 일반 사항

운전 준비는 탱크를 최종 조립상태에서 일정량의 액을 저장할 수 있도록 저온 상태로 전환하는데 필요한 절차로 구성된다. 이 절차에서는 저장물을 저장하기 위한 최소조건을 규정하였다. 탱크는 정상적으로 운전된 후에야 비로소 완성된 것으로 간주된다. 포괄적인 운전 절차는 발주자와 계약자가 합의하여야 한다.

#### 8.1.2 육안검사

저장 탱크를 최종 밀폐하기 전에 탱크는 육안검사를 실시하여 명백한 물리적 손상이 없는지, 깨끗한지, 다른 외부 물질이 제거되었는지 그리고 모든 부착물과 계측기구들이 올바르게 설치되었는지를 점검하여야 한다.

비고 차단 플랜지의 부속물과 스톱 조각들을 제거함으로써 탱크는 공기를 포함한 가스, 액체 등과 같은 외부물질로부터 물리적으로 격리되었음을 이 단계에서 확인해야 한다.

#### 8.1.3 액중 펌프

배출 펌프가 액중에 잠기기 전에 다음의 예방조치를 취해야 한다.

- 펌프는 탱크의 충수시험(hydrostatic test) 전에 설치해서는 안 된다.
- 펌프를 설치하고 펌프의 회전방향을 확인하기 위해 이미 알고 있는 인입전기의 상회전(phase rotation) 반대방향으로 펌프가 회전하는지 점검해야 한다.
- 펌프는 기름기가 없는 따뜻하고 건조한 공기 또는 질소를 이용하여 완전히 건조해야 하고 유지, 관리하여야 한다.

#### 8.1.4 치환 이전의 밀폐

치환이 시작되기 전에 진입 개구부는 닫혀 있어야 한다. 압력 차의 발생을 방지하기 위하여 탱크는 대기로 벤트하여야 한다.

#### 8.1.5 치환과 최종건조

##### 8.1.5.1 치 환

가연성 가스용 탱크의 경우 폭발 가능한 대기 조건을 형성할 수 있으며 이는 치환작업을 하여 제거해야 한다. 치환작업은 보통 질소를 이용하여 실시한다.

잔존 산소의 양이 적어 폭발성 혼합물이 형성되지 않을 때까지 계속 치환해야 한다. 안전한 수준의 산소량을 계산하여야 하며 또한, 탱크 내부 조성물질의 불균질화 및 샘플링 에러가 발생할 가능성에 대비하여 안전여유율도 확보해야 한다.

### 8.1.5.2 최종 건조

정상적인 운전을 위해 탱크는 완전히 건조해야 한다.

- 비고 1. 건조시 특별한 주의가 필요한 곳은 단열재, 계측기용 배관 및 모든 초저온 배관물 등이다.  
2. 이슬점 측정은 일반적으로 건조 상태를 파악할 수 있는 가장 좋은 방법이다.

### 8.1.5.3 예방 조치

치환과 건조는 탱크내 한 지역의 치환작업이 다른 지역에 습기를 쌓이게 하는 방식으로 진행되어서는 안 된다.

환상공간을 치환하는 동안 내부탱크 바닥과의 압력차는 발주자와 계약자가 합의하여야 한다.

비고 바닥이 들어올려지는 현상이 발생할 수 있으므로 압력차가 크게 발생하지 않도록 하여야 한다.

과립형 단열재(granular insulant)를 사용할 경우 단열재가 치환 가스에 부유되지 않도록 적절한 예방조치를 취해야 한다.

### 8.1.5.4 치환의 완료

치환이 완료된 경우 다음 단계의 운전준비까지 탱크의 모든 부분은 치환 가스로 정압 상태를 유지해야 한다.

### 8.1.6 냉 각

충전하기 이전에 탱크는 액체의 과냉각과 열적 과응력을 방지하기 위해 제어된 속도로 냉각해야 한다. 최대 냉각 속도는 탱크 설계자가 명시해야 한다.

탱크의 냉각은 냉각 액체 분사를 통해 이루어진다. 냉각 과정을 감시(monitor)하기 위해 온도 측정기를 설치해야 한다. 냉각은 액이 탱크 바닥에 고일 때 완료된다.

### 8.1.7 운전 준비의 완료

운전준비 완료 후 특히, 처음으로 탱크를 채우고 비우는 동안에는 일정한 시간 간격으로 탱크의 상태를 감시해야 한다.

## 8.2 운전 정지

### 8.2.1 일반 사항

- LNG 저장탱크의 운전정지는 정상적인 작업 요건으로 간주하여서는 안 된다. 정상적인 작업인 경우 운전을 정지해서는 안 된다.
- 시스템 내 구성요소의 고장 및 파손으로 인하여 탱크 안으로 들어가야 할 필요가 있을 경우 반드시 운전을 정지해야 한다.

### 8.2.2 안 전

운전정지와 탱크내부 진입을 안전하게 수행하기 위하여 기본 시스템 설계에는 조사 및 수리를 위해 사람이 탱크내로 들어갈 수 있는 설비, 계측기구 및 안전 설비 등이 포함되어야 한다.

운전정지를 위한 설비는 탱크내로 들어가 체류할 동안 불활성 대기가 불필요하고 조사와 수리가 간편하게 이루어질 수 있도록 설계되고 구성되어야 한다. 일시정지를 통해 탱크 안으로 진입하는 작업과 재가동을 계획할 경우 다음의 사항을 고려해야 한다.

- a) 탱크를 비우고 치환작업을 하는 동안 탱크내 가스와 액을 기록하고 감시하는 계측기의 사용에 대한 규정
  - b) 효과적인 치환 운전을 위하여 수년간 특정 기간을 설정하여 그 기간동안의 운전조건을 기초로 한 탱크의 치환 절차에 대한 규정. 이것 역시 각각의 플랜트 설계 인자를 기초로 한다.
  - c) 치환이 이루어지는 동안 내부탱크와 외부탱크가 설계상의 한계를 초과하는 정압 및 부압하에 놓이지 않도록 하는 충분한 감시와 제어 장치에 대한 규정
  - d) 검사 및 수리 기간동안 탄화수소 또는 어떠한 위험 가스라도 오염되지 않았음을 확인하기 위하여 탱크내 공기를 정기적으로 채집하고 감시하는 계측기구에 대한 규정
- 시공에 들어가기 전 이용 가능한 탱크의 상세한 운전정지 절차가 만들어져야 한다.

## 9. 검사 및 탱크감시

### 9.1 일반 사항

LNG 저장탱크는 보통의 경우 수명이 다할 때까지 내부 검사를 하지 않는다. 그러나 사용중에는 바닥 가열장치나 침하에 대하여 감시하여야 한다.

### 9.2 장비

감시가 필요할 경우에는 공인검사기관의 검정품만을 사용하여야 한다.

## 부록 A 운전 지침(참고용)

### A.1 탱크 냉각

LNG 저장탱크는 저장되는 저온가스의 대기압 비등온도에 상응하는 운전온도를 갖는다. 즉, 일반적으로  $-165^{\circ}\text{C}$ 까지의 온도영역을 갖는다. 그러므로 탱크의 냉각이 요청되며 이 작업은 탱크의 건조와 치환 후에 시작된다. 일반적으로 탱크의 치환작업은 질소 또는 LNG 증발가스를 이용하여 실시한다. 따라서 냉각 작업은 탱크내에서 액화질소 또는 LNG로 진행한다.

내부탱크의 냉각이 서서히 일정한 속도로 진행되면 내부탱크의 수축만을 가져오는 결과를 가져올 것이다. 이 과정에서 수용하기 힘든 탱크 재질의 응력은 발생하지 않는다. 국부적 냉각은 온도 구배, 비정상적 수축 그리고 수용하기 힘든 응력 등을 발생시킨다. 조립과 용접시 생성된 기존의 응력과 결부될 경우 이들 응력들은 응력 집중지역에서 균열을 발생시킨다.

탱크의 냉각은 매우 조심스럽게 시작하여야 한다. 특수한 냉각표면 온도측정계를 내부탱크 바닥과 내부탱크 동체에 연결해야 한다. 인접한 온도계 사이의 온도차이 허용치는 설계자가 설정하여야 한다.

냉각시 질소를 사용하면 설계상의 온도, 즉 LNG 탱크의 경우  $-180^{\circ}\text{C}$  이하로 탱크를 과냉각시킬 수 있다. 이와 같은 과냉각을 피하기 위해서 주의 깊은 저온가스의 탱크 내 주입, 서냉 및 정확한 상시 온도 감시와 같은 조치를 취해야 한다.

### A.2 과충전 방지

정상적 운전시의 최고액위는 현장에서 운전조건을 기초로 한 시간간격을 이용하여 계산할 수 있으며 이를 통하여 단계식 과충전 보호시스템이 가능하다. 주목해야 할 대표적 액위는 그림 1-3에 주어져 있다. 거리 b는 선택된 시간간격 (예를 들면 1시간)과 공급 펌핑량(pump-in rate)을 기초로 결정된다.

최고 액위 차단 경보(level high, high alarm with cutout : LHHA(CO))는 액체 공급 계통에 트립기능(trip function)이 있어야 한다.

### A.3 과압 방지

정상적인 운전 압력은 증발 가스 압축기와 가스 및 액의 공급으로 유지된다. 만약 압력이 정상 운전 수준 이상으로 증가한다면 비상방출시스템을 통하여 과압의 가스는 플레어 또는 벤트로 방출될 것이다.

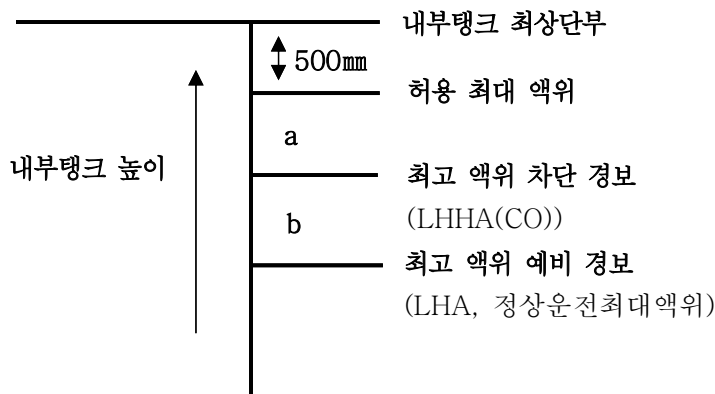


그림 1-3 액위 경보의 대표적인(예)

#### A.4 과도한 내부 부압의 방지

가스 및 액의 공급을 통하여 압력을 정상 운전 압력으로 유지하여야 한다. 압력이 낮아지면 증발 가스 압축기는 정지되고 탱크에서 액을 방출하는 작업은 중단될 것이다. 부가적으로 과도한 내부 부압 해소를 위해 가스 공급 시스템이 사용될 수 있다. 그러나 최종단계에서는 진공방지밸브가 개방되어 공기가 탱크 내로 들어와야 한다. 이는 일반적으로  $-0.5 \text{ kPa} (-5 \text{ mbarg})$ 의 압력에서 발생한다. 그러나 이것은 정상적인 상황에서는 결코 일어나지 않는 긴급 상황이다.

#### A.5 탱크 가열 시스템

탱크 하부의 지반이 너무 차가우면 서리가 지반내로 스며들어 주로 점토질의 지반에서 아이스 렌즈(ice lens)가 형성되고 아이스 렌즈가 커지게 되면 팽창력이 증가하여 탱크 또는 탱크의 부품(예를 들면 탱크 바닥 연결부)들이 들어올려지거나 손상을 입게된다. 이를 방지하기 위하여 가열 시스템을 작동하여야 한다. 가열시스템의 열원으로는 전기 또는 열매체를 사용할 수 있으며 연속 또는 불연속적으로 온도를 제어할 수 있어야 한다. 전기에 의한 경우는 자동 켜짐/꺼짐 스위치 시스템에 의해 가열시스템이 작동되어야 하며 가장 온도가 낮은 지역에서도 탱크의 기초가  $5^{\circ}\text{C}$ 에서  $10^{\circ}\text{C}$  사이의 온도 영역을 유지하도록 해야 한다. 탱크의 다른 기초 부분은 더 높은 온도를 나타낼 수도 있다.

전체 가열 시스템의 작동은 많은 센서를 통해 감시해야 한다. 이들 센서들은 탱크의 바닥 전체에 골고루 설치해야 한다.(그림 1-4 참조) 필요시 용도에 따라 벽체용 센서도 설치해야 한다. 이들 센서중 하나 이상은 경보 기능이 갖추어져야 한다. 일반적으로 저온 경보의 설정값은  $0^{\circ}\text{C}$ 이고 고온 경보는  $50^{\circ}\text{C}$ 이다.(그림 1-5 참조)

기초와 벽체에 대한 감시 시스템의 적절한 상시 제어는 매우 중요하다. 왜냐하면 이 감시 시스템은 탱크의 누출을 최초로 감지하기 때문이다. 누출 발생시 누출이 발생한 곳 근처에 위치한 센서는 급격한 온도 강하를 보여준다. 그러므로 매일 모든 바닥 설치 센서의 기록을 유지 관리해야 한다.

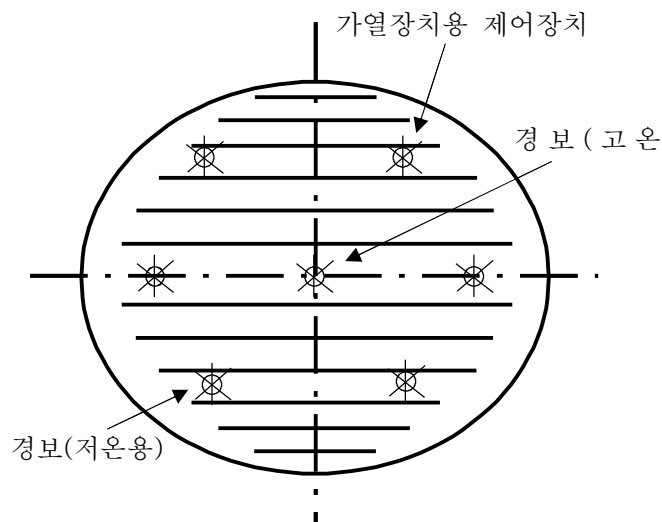


그림 1-4 탱크 바닥 아래에 설치되는 센서의 배열(전기가열식의 예)



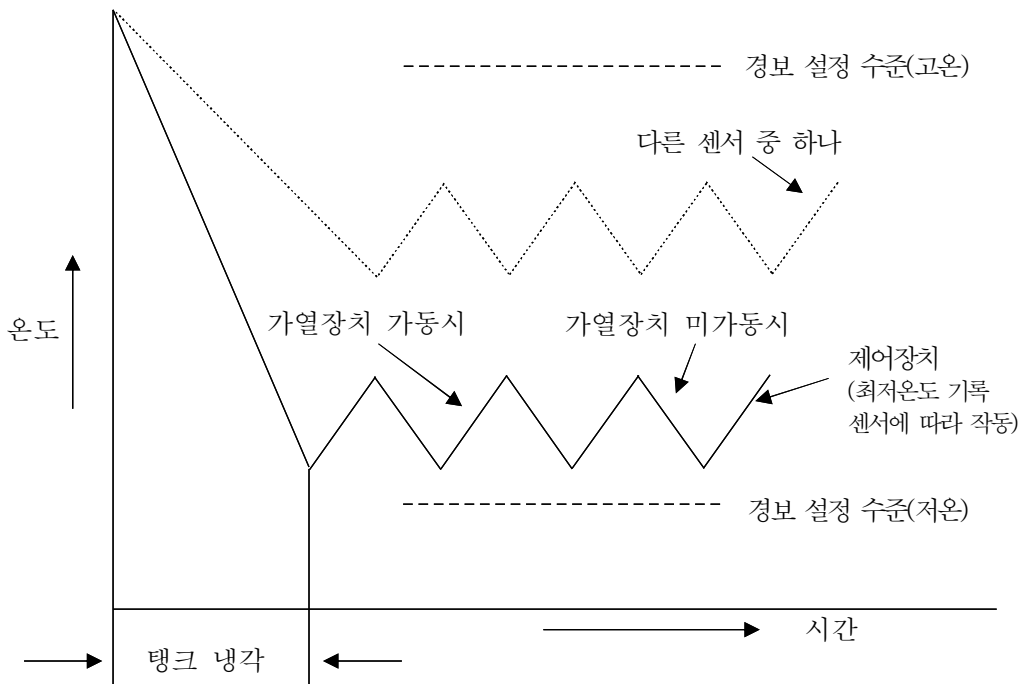


그림 1-5 대표적인 가열시간 기록 도표(전기가열식의 예)

비정상적인 상황임을 알 수 있는 다른 지표는 정상 사이클(duty cycle)의 변화 또는 가열할 때 들어가는 동력 소비량의 변화이다. 이것은 켜짐/꺼짐 시간의 변화를 가져온다. 정상적으로 가열시스템은 전체 운전시간의 40%에서 60%까지 가동되는데 갑작스럽게 100% 가동되면 이는 시스템 내에 어떤 문제가 있거나 누출이 발생했음을 나타내는 것이다. 가열이 이루어지는지의 여부를 매일 기록해 두는 것이 필요하다.

### A.6 환상공간의 액체

다음의 비정상적인 조건중의 하나로 인해 9% Ni강 내부탱크에 인접한 환상공간에 액체가 고여있을 수 있다.

- a) 내부탱크로부터의 유출(spillage)
- b) 내부탱크 바깥 면의 응축
- c) 내부탱크의 누출(leak)

만약 액체가 환상공간으로 유입되면 내부탱크와 바닥 단열재에 손상이 일어날 위험이 존재한다. 환상공간내 많은 양의 액체가 유입될 경우 설계방식에 따라서는 탱크바닥을 위로 부풀게 만들고 결과적으로는 내부탱크를 부상시킬 수도 있다. 이런 조건하에서는 동체 하단부에 손상(예: 좌굴)이 발생할 수 있다. 더욱이 액체가 바닥 단열재로 침투가 가능한 구조일 경우에는 내부 바닥 아래에 위치한 셀룰라 글라스 블록이 부상하게 되어 전체 단열 시스템은 교란되고 손상을 입게된다.(그림 1-6 참조)

만약 환상공간에서 액체가 검지되면 조심스럽게 제거해야 한다. 내부탱크의 동체가 좌굴될 가능성을 예방하기 위해 내부탱크의 액위가 환상공간에서의 액위보다 항상 높아지도록 펌프로 퍼내는 작업을 해야 한다. 환상공간에 있는 소량의 액은 환상공간 바닥에 위치한 특수한 벤트 시스템으로 제거할 수 있다. 뜨거운 가스 또는 질소는 증발현상을 가속하기 위해서 사용할 수 있다.

필라이트로 채워진 환상공간을 가진 탱크의 경우 유출을 제어할 액체 검지 도구를 설치하는 작업은 어렵다. 그러므로 액체를 제거하기 위해서 펌프는 적당하지 않다. 액체는 증발에 의해서만 제거할 수 있다. 내부탱크의 누출을 검지하기 위해서 환상공간 바닥에 온도를 검지할 수 있는 온도 센서를 설치해야 하며, 액체가 바닥 단열재로 침투 가능한 구조의 경우에는 탱크바닥에 있는 가열시스템을 감시함으로써 내부탱크의 누출을 검지할 수 있다.

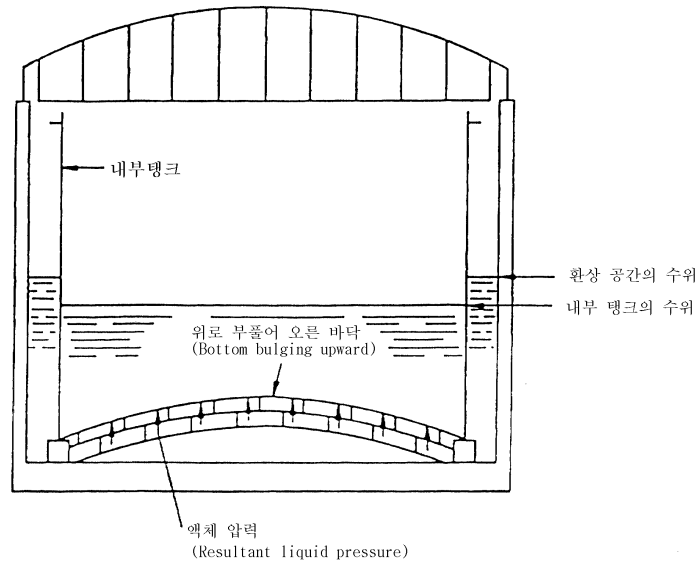


그림 1-6 내부탱크의 부양(floatation)

## 부록 B 지진 해석 방법에 대한 지침

### B.1 일반 사항

과거의 기록을 통해 특정지역이 활발한 지진활동의 위협을 안고 있거나 또는 그 지역의 지반 상태가 불안정하다는 것을 알았을 때 지반 특수 조사(site specific review)를 해야 한다.

지반 특수 조사의 목적은 주어진 발생 재현 기간 동안 지반응답스펙트럼(free field site response spectra)과 붕괴방지수준(safe shutdown earthquake)과 관련된 최대지반가속도(peak ground acceleration)를 결정하기 위함이다. 이것은 탱크 동체와 바닥 판의 지진거동해석을 위한 기초가 된다.

### B.2 해석적 방법

#### B.2.1 일반 사항

지진 해석 방법은 B.2.2에서 B.2.4에서 소개하였다. 탱크구조에 대한 정적인 해석과 동적인 해석은 명백한 차이가 있다.

#### B.2.2 정적 해석(static analysis)

탱크 구조에 대한 정적인 해석은 다음의 경우에 적용한다.

##### a) 내부탱크

##### b) 지진 활동이 별로 없는 지역에서의 콘크리트 외부탱크

콘크리트 탱크의 정적해석을 위해 “건축물구조기준등에관한규칙”을 사용할 수 있다.

#### B.2.3 동적 해석(dynamic analysis)

탱크 구조에 대한 완전한 동적 해석은 지진활동이 활발한 지역의 콘크리트 외부탱크에 대해 적용한다.

탱크 구조의 동적 해석을 위해서, 모드해석법(modal analysis) 또는 직접 적분법(direct integration technique)이 적용된 유한 요소 프로그램(finite element programme)을 사용할 수 있다. 이러한 계산을 위해서 들어가는 입력요소는 지반가속도의 시간이력(time history of ground acceleration) 또는 설계응답 스펙트럼(design response spectrum) 등이다.

#### B.2.4 요동

요동파(sloshing wave)의 높이를 계산하는 방법은 API 620 부록 L 8.1 등을 참고한다.

## 부록 C 안전 및 다른 측면에 대한 지침

### C.1 일반 사항

LNG의 저장과 관련해서는 2가지의 특별한 주의를 요한다. 첫 번째는 인공적으로 형성된 열조건(heat condition)을 통해 관련 액체가 그 상태(액체)로 유지된다는 것이다. 액체가 용기로부터 빠져나가게 되면 훨씬 큰 부피의 가스로 바뀔 것이다. 두 번째는 경제적 측면이다. LNG 저장탱크에 저장된 내용물은 매우 고가이다. 그러므로 이는 경제적 환경적 차원에서 저장된 LNG가 유출되어서는 안 된다는 것이다.

콘크리트 또는 금속으로 된 단일방호 저장시스템은 오랜 경험에 비춰볼 때 아무런 문제없이 수년 동안 운전될 수 있음이 증명되었다. 저온액화가스 저장의 안전 기록은 대단히 우수하다. 그러나 현대에 들어와 환경보호를 위한 요구가 거세지고 또한 사회적 위험에 따른 제약이 늘어났기 때문에 안전조치들은 더욱 향상되었으며, 종종 소유자 또는 시스템 운전자의 제어를 벗어나는 일들에 대해서도 방침을 강구하게 되었다.

이런 유형의 안전규제들은 행정기관의 요구조항과 규약에 구체화되어 있다. 이들 보호조항들은 나라마다 틀리고 심지어 같은 나라 내에서도 틀린 경우가 있다. 특정 지역에 대한 요구사항은 소유자/운전자와 관련 당국자 사이의 협의를 걸쳐 결정된다. 그 내용들을 설계 개념에 포함시키는 것은 소유자의 의무이다. 특정 지역에 대한 요구 사항들이 매우 상이하기 때문에 신속하고 강경한 규칙을 정하는 일은 매우 힘들다.

행정기관과 함께 소유자 및 운전자가 제안된 LNG 저장 장소와 설계를 위한 위험 분석과 시스템 분석을 하는 것이 보편적인 관행이 되고 있다. 이 분석에는 다양한 사고 시나리오에 대한 발생 가능성 평가와 안전조치에 대한 효과 등이 포함된다. 실제 발생한 사건들의 결과들을 고려해볼 때, 누출과 유출에 대한 물리적 관계를 얻을 수 있다.

동적 효과(dynamic effect)를 고려한 계산 모델 및 저장 시스템과 그 구성요소들의 응답 거동 등이 적용된다. 고찰해야 할 구성요소들에는 지지 시스템과 기초 지반 상호작용(foundation soil interaction) 등이 포함된다.

### C.2 압력 및 진공 조절

#### C.2.1 압력방출밸브

압력방출밸브는 내부탱크의 압력방출을 위하여 내부 진공방지밸브와 완전히 분리되어야 한다. 이를 위해서는 현수천정이 설치되었을 경우 이를 관통하는 인입 배관이 요구되는데 이는 방출 조건에서 차가운 증발가스가 외부 지붕과 현수천정 사이에 있는 따뜻한 공간사이로 유입되는 것을 방지한다. 이러한 배관의 효과는 방출밸브 용량의 계산에서 고려해야 할 요소이다.

저온용 저장 탱크용으로 고정하중식 압력방출밸브보다 파일럿형 압력방출밸브가 더 선호된다. 이들 밸브들은 설정압력에 도달할 때까지 견고한 상태로 있고 이 압력에 도달하면 완전히 개방된다.(그림 1-7과 1-8 참조)

이러한 비흐름 및 완전흐름 특성은 밸브시트에 얼음이 생기는 것을 방지한다. 얼음은 폐쇄 위치에서 누출의 원인이 된다.

파일럿형 압력방출밸브의 이점은 밸브 파일럿 설정을 설치 장소에서 직접 확인할 수 있다는 점이다. 파일럿은 대기압에 무관하게 작동되기 때문에 설정된 압력은 배압에 따라 변화되지 않는다. 이것은 벤트 또는 플레어 시스템 안으로 배출될 경우 중요하다.

이런 유형의 밸브의 단점은 탱크의 압력이 설정압력과 근사한 상태에서 파일럿 감지 라인이 막힐 경우 밸브의 방출압력이 설정압력보다 두 배나 높아질 수 있다는 점이다. 모든 탱크들에는 밸브 중의 하나가 오작동을 일으킬 경우를 대비하여 동일 용량의 예비 밸브를 설치하여야 한다.

C.2.2 진공방지밸브

분리형 안전 밸브는 다음의 이유로 인해 외부 지붕과 현수천정 사이의 증발가스 공간 안으로 공기가 들어오는 것을 허용하여야 한다.

- a) 긴 인입 배관이 있고 밸브상의 차압이 낮을 경우의 제한된 흐름
- b) 습한 공기가 차가운 내부탱크로 유입될 경우의 응축 문제

파일럿형 내부 진공방지밸브는 압력 보호용으로는 적당하지 않다. 왜냐하면 이 밸브 동작은 주 밸브 다이어프램 또는 벨로스의 파열이 일어날 경우에 대비한 안전장치(fail-safe)가 되지 못하기 때문이다. 전통적인 팻릿(pallet)형의 내부 진공방지밸브를 사용하여야 한다. 탱크는 보통 약간의 과압에서 운전되기 때문에 밸브를 견고하게 밀폐하기 위해서는 운전 압력과 밸브 설정 사이에 충분한 여유가 있어야 한다.

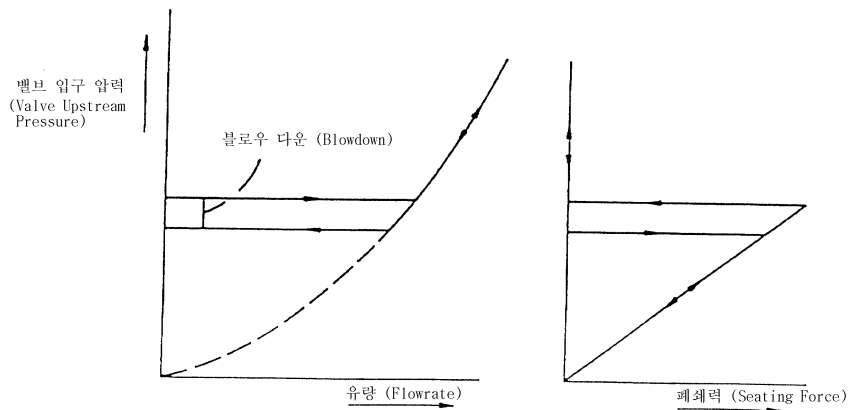


그림 1-7 파일럿형 압력방출밸브

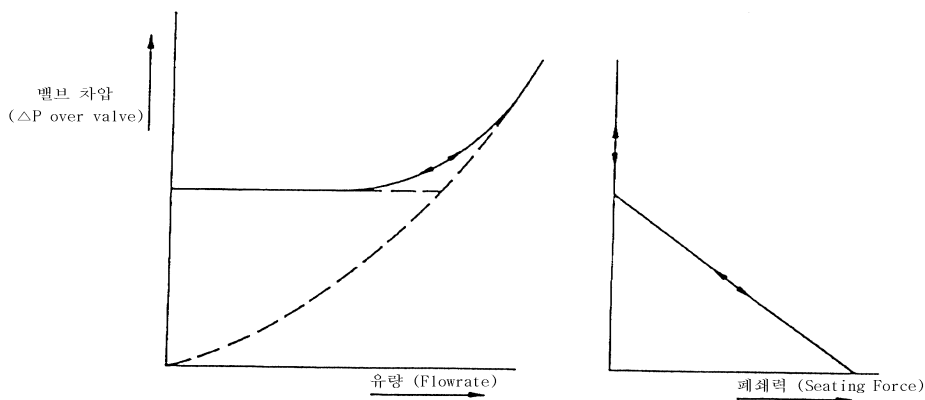


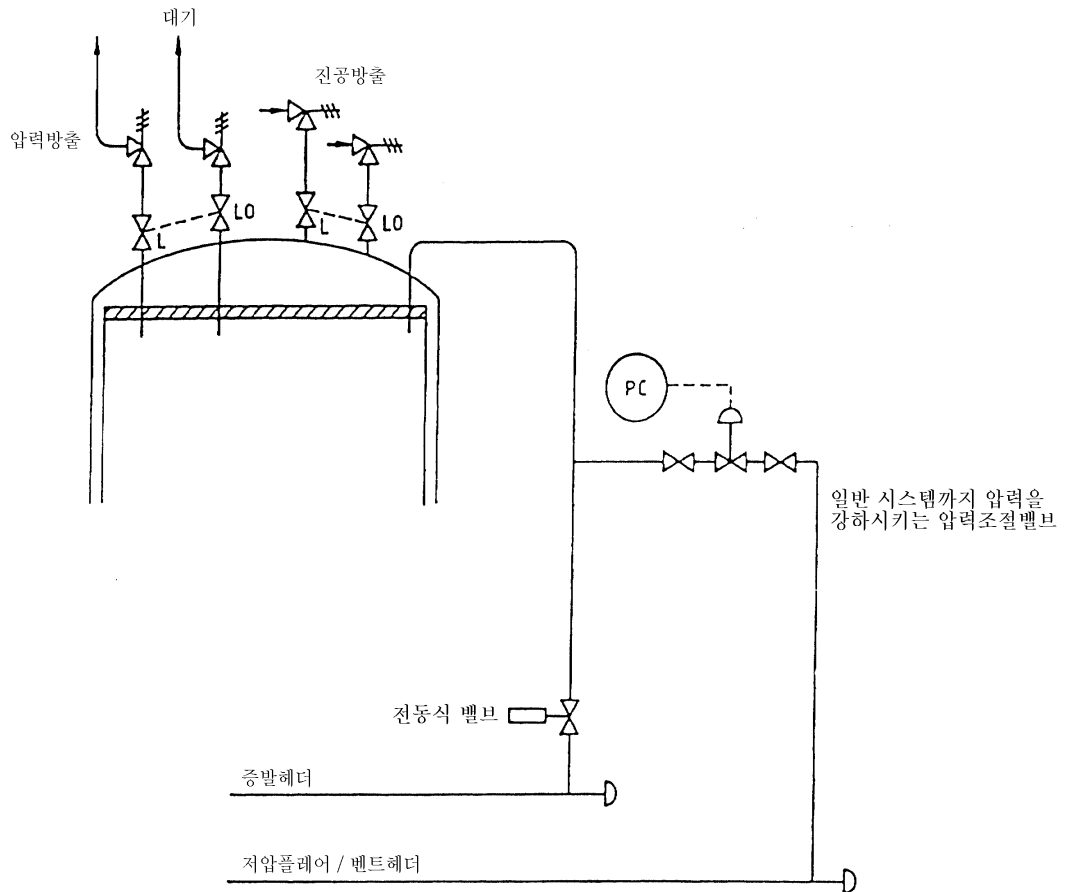
그림 1-8 고정하중식 압력방출밸브

### C.2.3 최대 압력 조절을 위한 밸브 설정(valve setting for maximum relief pressure)

압력방출밸브의 설정 압력(set pressure)이 설계상의 탱크 압력을 초과하지 않아야 한다. 조절 밸브의 용량은 외부 화재를 제외한 모든 긴급상황에 대비하여 최대 압력 조절이 설계 압력의 1.1 배를 초과하지 않도록 해야 한다. 화재 발생 상황에 대비한 최대 압력 조절은 설계 압력의 1.2배를 넘어서는 안 된다.

### C.2.4 예비 벤트용량

저온용 저장 탱크를 위한 내부 압력방출밸브와 내부 진공방지밸브는 잠금차단밸브(interlocked block valve)와 예비 밸브를 갖추어야 한다. 이렇게 함으로써 탱크를 대기에 개방시키지 않고서도 파손된 방출밸브를 교환할 수 있다.(그림 1-9 참조)



LO = 잠금 개방 (Locked Open)

L = 잠금 폐쇄 (Locked Closed)

(이 상태는 유지보수시의 경우이며, 정상 운전시에는 모든 밸브들은 고정개방 상태이다. 각셋트의 밸브들은 서로 인터록되어 있어서 단지 한쪽만이 어떠한 경우에는 고정폐쇄 상태가 된다.)

그림 1-9 플레이어용 압력방출밸브(PCVs) 및 대기 방출용 압력방출밸브, 진공방지밸브, 잠금차단밸브 및 예비밸브에 대한 배열(예)

### C.2.5 압축 증발가스의 방출

탱크 시스템 내에 있는 압축 증발가스의 방출은 다음과 같은 2 가지 방법이 있다.

#### a) 제어 시스템으로의 방출

탱크의 압력방출밸브로부터 방출된 증발가스는 안전한 배출이 이루어지도록 플레어 시스템으로 유도되어야 한다.

#### b) 대기로의 방출

증발가스는 대기로 직접 안전하게 벤트되어야 한다. 단 다음과 같은 문제점이 발생되지 않는 상태에서 이루어져야 한다.

1) 사람들이 일을 하고 있는 지상 또는 고상 구조물에서 인화성의 독성 혼합물 형성

2) 방출 지점에서 방출 증발가스의 점화

압력방출밸브로부터 대기로 배출되는 탄화수소 증발가스 흐름은 다음중의 1 가지 이유로 인해서 점화된다.

##### 1.1) 낙뢰

뇌우가 치는 동안 발생할 수 있는 동력 차단 또는 대기압력의 저하와 연관된 비상 조절을 제외하고는, 조절밸브의 개방과 동시에 번개가 발생할 개연성은 무시할 수 있다. 그러나 조절 밸브로부터의 누출은 번개불로 인한 점화의 가능성을 증가시킨다.

방출 배관 작업과 연결된 분말소화설비는 방출배관에 점화된 증발가스를 소화하기 위해 사용할 수 있다.

##### 1.2) 인접한 탱크의 화재

인접한 탱크에서 방사되는 열로 인해 탱크 돔 내부에서 팽창된 증발가스는 대기로 방출될 수 있다. 발산되는 증발가스가 점화되면 화재에서 생겨나는 추가적인 복사열은 더 많은 팽창을 일으킨다. 따라서 부가적인 벤트 용량이 요구되어 결국 지붕판 온도가 고온이 되는 결과를 초래한다. 불활성 가스 흡입 시스템은 원래 불꽃을 끄기 위해서 설계되는 것이 아니며, 적절한 물 분사 및 노출 보호 설비 등을 사용해야 한다.

## C.3 누출과 유출

### C.3.1 개요

누출(leakage) 혹은 유출(spillage)의 결과를 예측함에 있어 누출 또는 유출되는 부피와 LNG의 성질 모두를 고려해야 한다. 유출시 LNG는 유출된 액의 표면적과 직접적으로 관련된 속도로 증발한다.

소규모의 누출 또는 유출 현상이 발생하면, 정제될 가능성이 있는 가스(예: 지상식 탱크 바닥에서의 경우)의 강제 벤트가 필요할 수 있다. 대기 온도에서 공기보다 훨씬 가벼운 메탄과 같은 가스는 처음 방출되었을 때 보통 공기보다 밀도가 높고 낮게 깔리는 증발가스를 형성할 수 있다.

대규모 유출시, 유출된 액체의 표면적을 제한함으로써 증발가스 형성 속도를 제한하는 조치들이 일반적으로 취해진다. 콘크리트 방어벽(guard walls), 흙 방류둑(earth bund) 또는 원적 수집 지역에 이르는 통로 시스템 등이 이에 해당된다. 어떤 탱크들은 비슷한 이유들로 인해 지상보다 아래에 위치한다.

화재나 폭발 이외의 다른 이유로 인한 증발가스구름은 형성되지 않아야 한다. 예를 들어, 암모니아는 비교적 소규모로 농축되었을 때에도 매우 독성이 강하며 따라서 특별한 조치가 필요하다. 밀도가 높은 증발가스구름은 또한 질식(suffocation)을 일으킬 수 있으며, 액체와 증발가스의 낮은 온도도 위험하다.

### C.3.2 대기로의 외부 누출시 위험성

대기로 누출 될 때의 위험성은 다음의 사항들을 준수함으로써 최소화할 수 있다.

- a) 최대 액위 이하에 모든 탱크 연결부 설치를 피한다.
- b) 탱크와 주요 배관의 연결부에는 비상 원격제어를 사용하거나 또는 자동긴급차단밸브를 이용한다.

### C.3.3 국부적 내부 누출

LNG는 탱크안에 안전하게 기밀저장되어야 하며 각 탱크 바닥의 설계, 시공 및 검사, 그리고 동체 최하단부의 부착물에 대하여 세부적인 사항까지 주의하여야 할 필요가 있으며 이는 매우 중요한 사항이다. 지침은 외부와 내부탱크 모두에 적용되어야 한다. 누출방지는 충수시험후 내부탱크의 용접부위를 진공상자시험(vacuum box test)을 실시함으로써 더욱 확실하게 확인될 수 있다. 탱크의 내부 바닥 공간의 국부적 냉각은 외부탱크 바닥에 수용할 수 없을 정도의 높은 열응력을 발생시킬 수 있다. 열 응력에 의해 외부바닥이 균열될 가능성을 배제하기 위해 외부탱크 바닥 위에 방수 열 단열재로 된 적절한 보호층의 사용을 고려하거나 외부탱크 바닥과 동체 하단부에 맞는 양질의 저온 처리된 강재의 사용을 고려할 수 있다. 외부 콘크리트 탱크의 경우에 있어서 콘크리트가 직접 액체와 접촉하도록 설계되어 있지 않다면, 방호식 저장 탱크에는 적절한 양질의 저온용 강재가 외부탱크 바닥, 벽체 또는 라이너에 사용하여야 한다.

### C.3.4 과충전

과충전을 방지하기 위해 2 개의 개별적이고 독립적인 액위계를 설치하여야 한다. 액위계는 제어실에 설치되어 원격 판독과 운전 최대 액위 경보(high level alarm) 신호들을 제공하는 설비들을 갖추어야 한다. 이들 액위계를 지원하는 장치로서 개별적이고 독립적인 최대액위 예비경보(level high alarms : LHA), 허용 최대액위 차단경보(level, high, high alarms with cut out : LHHA(CO))를 사용할 수 있다. 허용 최대액위 차단경보는 자동액체인입밸브를 폐쇄하도록 연동이 되어 있어야 한다.(A.2 참조)

### C.3.5 사고로 인한 유출

사고로 유출된 LNG가 탱크 지붕이나 또는 벽체에 악영향을 미치지 않도록 외부탱크는 보호되어야 한다.

탱크 지붕 상부중 LNG의 유출 가능성이 가장 높은 곳은 노출된 플랜지형 연결부이다. 그러한 유출 발생 예상 지역은 저온용 강재 지붕을 설치하거나 집액 트레이 등을 설치하여 보호하여야 한다.

## C.4 탱크의 배치 및 간격

### C.4.1 안전거리

LNG 저장탱크는 그 외면으로부터 사업소경계까지 다음의 계산식에 의해서 얻은 거리 이상을 유지해야 한다.

$$L = C^3 \sqrt{143,000 W}$$

여기서,

L: 유지하여야 하는 거리(단위: m)

C: 0.576

W: 저장탱크 저장능력(단위: 톤)의 제곱근

### C.4.2 배치 및 간격

- a) 2개 이상의 제조소가 인접하여 있는 경우에는 그 제조소와 다른 제조소의 경계까지 20 m 이



상의 거리를 유지해야 한다.

- b) LNG 저장탱크는 그 외면으로부터 처리능력이 20만 $m^3$  이상인 압축기까지 30 m 이상의 거리를 유지해야 한다.
- c) 저장탱크와 다른 저장탱크와의 사이에는 두 저장탱크의 최대지름을 합산한 길이의 1/4 이상에 해당하는 거리를 유지해야 한다. 단, 저장탱크 상호간의 사이에 물분부장치를 설치한 경우에는 예외로 할 수 있다.

### C.5 화재 방재와 손실관리 시스템

콘크리트 외부탱크의 경우, 화재 발생률은 외부탱크 벽체나 슬래브 또는 지붕의 두께, 철근 위에 설치된 피복 두께 그리고 프리스트레싱 케이블의 위치 등의 영향을 받는다.

가연성 가스 검지기를 위험이 있는 설비군 주위에 설치하는 것이 바람직하다. 경보는 제어실에 설치하여야 한다. 필요시 이들 검지기들이 액체밸브와 연동되어 자동적으로 탱크 액체 밸브를 차단하여야 한다. 조기 경보를 위해서는 잠재적인 누출 위치, 배수로 및 웅덩이(impounding basin)의 기하학적 배치 등을 고려하여 가스검지기를 설치해야 한다.

### C.6 폭발과 충격에 대한 보호

위험한 액체를 다루는 산업설비에서 폭발의 가능성을 배제할 수는 없다. 그러한 사고가 발생할 가능성에 대한 분석이 위험성 평가의 한 부분이다. 설계개념의 기초를 제공하기 위해 물리적인 관계를 평가하여야 한다.

보통 외부 폭발압력과 외부 비산 물체의 충격 등이 위험분석에 포함된다. 폭발 하중은 시간에 의존하기 때문에, 완성된 저장 시스템에 미치는 폭발하중의 효과와 개별적 요소들을 결정하기 위해서는 총체적 동적 분석을 해야 한다. 여기에는 기초(foundation)도 포함된다.

### C.7 낙뢰 방지장치

구조물에는 낙뢰로 인한 손상과 화재를 방지하기 위해 적절한 보호장치를 설치하여야 한다. 구역별 요구조항들을 총체적으로 보호하여야 한다.

낙뢰로부터 탱크를 보호해야 하는 곳에는 다음의 지침이 주어진다.

탱크 상부 또는 내부에 있는 전기 장치와 케이블은 전기적으로 접지하여야 한다. 예를 들면 개스킷이나 층이 형성된 녹(rust layer)때문에 탱크와 전기적으로 고립된 금속 부분은 최대한 짧게 탱크에 연결되어야 한다.

### C.8 무선 발신기, 정전기 및 전기방식 시스템의 효과

어떤 상황에서는 가연성 물질이 강력한 전파 송신기 근처에 저장될 때 위험해 질 수 있다. 전파는 강제 구조물내의 충분한 에너지를 유도하여 20 km 거리에서도 불꽃을 일으킬 수 있다.

현장 전파 시스템(on-site radio system), 아마추어 그리고 CB 라디오의 일반적인 규정에 의하면 200 m 이상의 거리에서는 위험이 발생하지 않는다. 만약 위험이 상존할 가능성이 있다고 의심되면, 그 때에는 전문가의 조언을 구하여야 한다.

또한 정전기 전압이 접지되지 않은 금속재(metalwork)에서 발생할 수 있으며 불꽃이 생길 위험이 있다.

## 제 2장 9% Ni강식 내부탱크 기준

### 1. 적용 범위

이 장은 9% Ni강식 내부탱크(이하 “내부탱크” 라 한다)의 재료, 설계, 제조, 시험 및 검사 등에 대하여 적용한다. 내부탱크는 동판, 환상판, 바닥판, 단열재 및 현수천정 등으로 구성된다.

### 2. 참고 문헌

2.1 API 620 “Design and Construction of large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks” - Appendix Q “low-pressure storage tanks for liquefied hydrocarbon gases”, 1996

2.2 BS 7777 “Flat-bottomed, vertical, cylindrical storage tanks for low temperature service” - Part 2 “specification for the design and construction of single, double and full containment metal tanks for the storage of liquefied gas at temperatures down to -165°C”, 1993

### 3. 용어 정의

이 장에서 사용되는 용어는 제 1장의 용어정의에 따른다.

### 4. 재 료

#### 4.1 재 료

내부탱크의 대표적인 재료는 아래 표 2-1의 재료의 예와 같다.

표 2-1 내부탱크의 재료(예)

판 및 구조물 부재	배관	단조강
A353 <sup>1)</sup>	A 333 Grade 8 <sup>2)</sup>	A522
	B444(UNS-N06625), Gr.1	A182 Grade F304
	A334 Grade 8 <sup>2)</sup>	-
A553, Type 1 <sup>1)</sup>	B444(UNS-N06625), Gr.2	-
	A312, Grade 304	-
	A358, Grade 304	-

- 주 1) 동체가 ASTM A 353 또는 A 553 재료로 만들어 질 경우 배관 플랜지 또는 배관은 열처리로는 강화할 수 없는 오스테나이트계 스테인리스강으로 만들 수 있다.  
2) 이음매 없는 배관의 경우에만 해당된다.

## 4.2 충격 시험

9% Ni강은 다음의 4.2.1 및 4.2.2에 따라 충격시험을 실시하여 합격해야 하고, 그 밖의 사항은 발주자가 승인한 사양서에 따른다.

**4.2.1** 판으로 만들어진 구조물 부재를 포함하여 판에 대한 충격시험은 다음과 같이 실시한다.

- 충격시험편은 판의 압연방향에 대하여 가로방향(transverse)으로 채취해야 한다.
- 샤르피 V-노치 시험편은 충격 시험을 위해  $-196^{\circ}\text{C}(-320^{\circ}\text{F})$ 까지 냉각해야 한다. 시험에 관한 세부 사항은 ASTM 370을 참고한다.
- 가로방향 샤르피 V-노치 충격 값은 표 2-2에 적합해야 한다.
- 각 시험은 3개의 시험편에 대해 실시하고 각 시험편은 ASTM A353 및 A553에 따라 노치의 반대방향에 대해 0.38 mm(0.015 in) 이상 가로방향 팽창(lateral expansion)을 해야 한다.
- 재시험은 ASTM A353 및 A553에 따라 실시한다.

**4.2.2** 구조물 부재의 충격 시험은 다음과 같이 실시한다.

- 각 열처리 로트에서 각기 상이한 형태 별로 가장 두꺼운 부분에서 길이방향으로 채취한 3개의 시험편에 대해 시험해야 한다. 열처리 로트가 여러 가지 강도의 형태로 되어있을 경우에는 시험은 각 강도의 형태에 대하여 시험을 실시해야 한다.
- 샤르피 V-노치 시험편은 충격시험을 위해  $-196^{\circ}\text{C}(-320^{\circ}\text{F})$ 까지 냉각해야 한다.
- 길이방향 샤르피 V-노치 충격 시험값은 표 2-2에 적합해야 한다.
- 각 시험은 3개의 시험편에 대해 실시하고 각 시험편은 ASTM A353 및 A553에 따라 노치의 반대방향에 대해 0.38 mm(0.015 in) 이상 가로방향 팽창을 해야 한다.
- 재시험은 ASTM 353 및 A553에 따라야 한다.

**4.2.3** 단조강, 배관의 충격 시험은 다음과 같이 실시한다.

- 충격 시험 시험편은 각 열처리 로트에 포함된 각 히트로부터 채취해야 한다.
- 샤르피 V-노치 시험편은 충격시험을 위하여 A333(8등급) 및 A334강(8등급)에 대하여  $-320^{\circ}\text{F}$  까지 냉각해야 한다.
- 최소 샤르피 V-노치 충격값은 표 2-2의 세로방향 값을 따라야 한다.
- 각 시험은 3개의 시험편에 대해 실시하고 각 시험편은 ASTM A522, A333(8등급) 및 A334(8등급)에 따라 노치의 반대방향에 대해 0.38 mm(0.015 in) 이상 가로방향 팽창을 해야 한다.
- 재시험은 ASTM A 522, A333(8등급) 및 A334(8등급)에 따라 실시한다.

표 2-2 샤르피 V-노치 충격값

시험편의 크기 (mm)	가로방향(transverse)		세로방향(longitudinal)	
	요구값 <sup>1)</sup> (J)	최소값 <sup>2)</sup> (J)	요구값 <sup>1)</sup> (J)	최소값 <sup>2)</sup> (J)
10 × 10.00	27.1	21.7	33.9	27.1
10 × 7.50	20.3	16.3	25.8	21.7
10 × 6.67	17.6	13.6	23.1	17.6
10 × 5.00	13.6	10.8	17.6	13.6
10 × 3.33	9.5	6.8	10.8	9.5
10 × 2.50	6.8	5.4	8.1	6.8

주 1) 3개 시험편의 평균값을 말한다.

2) 재시험을 하지 않아도 되는 3개의 시험편중 최소값을 말한다.

### 4.3 구조용 형강

ASTM A353, A553 등과 같이 물리적 성질 및 화학 성분이 적합한 것을 사용해야 한다.

## 5. 설 계

### 5.1 저장 LNG의 중량

저장되는 LNG의 중량은 운전 온도의 범위 내에서의 LNG의 최대중량으로 가정해야 한다. 그러나 가정된 중량은 비중 0.47(밀도 469.34 kg/m<sup>3</sup>) 이상이어야 한다.

### 5.2 설계 온도

내부 탱크 구성요소들의 최저 설계온도는 -165℃ 이하이어야 한다.

비고 증발가스와 접촉할 경우 구성요소들의 설계온도는 최소 대기 온도와 증발된 액화가스 온도 중 낮은 값으로 해야 한다. 금속 온도를 최소 대기 온도 또는 냉동 온도 이상으로 유지시키는 단열재의 효과도 고려해야 한다.

### 5.3 설계허용응력

5.3.1 재료의 최대 설계허용응력(maximum allowable design stress)은 표 2-3과 같다.

5.3.2 표 2-3에 나와있는 볼트 강(bolting steel) 이외의 다른 용도로 쓰이는 재료들의 설계허용응력은 표 2-3과 같다.

용 인장응력은 재료의 규격최소인장강도의 1/3 또는 규격최소항복강도의 2/3 중에서 작은 값으로 한다.

허용시험응력은 11.1.3의 제한사항에 근거한다. 만약 용접 용가재가 특정 항복강도 또는 모재 금속의 규정 최소값 이하의 규정 최소항복 또는 극한 인장강도를 갖는다면, 모재금속의 허용응력은 7.1에서 결정된 대로 용접금속 및 열영향부 강도를 기초로 해야 한다.

표 2-3 최대 허용응력 값

ASTM 규격		응력 N/cm <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )			
		규정최소값		허용 응력	
		인장 강도	항복 강도	설 계	시 험
판 및 구조물 부재	A353	68,947(7,031)	51,711(5,273)	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
	A553, Type 1	68,947(7,031)	58,605(5,976)	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
배관	A333, Grade 8	68,947(7,031)	51,711(5,273)	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
	A334, Grade 8	68,947(7,031)	51,711(5,273)	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>
	B444(UNS-N06625), Gr.1	82,737(8,437)	41,368(4,218)	27,579(2812) <sup>2)</sup>	37,232(3,797) <sup>2)</sup>
	B444(UNS-N06625), Gr.2	68,948(7,031)	27,579(2,812)	20,684(2,109) <sup>2)</sup>	24,821(2,531) <sup>2)</sup>
	A312, Grade 304	51,710(5,273)	20,684(2,109)	15,513(1,582)	18,616(1,898)
	A358, Grade 304	51,710(5,273)	20,684(2,109)	15,513(1,582)	18,616(1,898)
단조강	A182 Grade F304	51,710(5,273)	20,684(2,109)	15,513(1,582)	18,616(1,898)
	A522	68,947(7,031)	51,711(5,273)	- <sup>1)</sup>	- <sup>1)</sup>

주 1) 이 재료들의 허용응력은 7.1과 5.3.2의 설계 규칙에 따라 용접금속 또는 모재금속의 낮은 항복강도와 인장강도를 기초로 한 것이다. 측정된 최소인장강도는 65,500 N/cm<sup>2</sup>(6,679 kgf/cm<sup>2</sup>) 이상이어야 하며 측정된 최소항복강도는 36,197 N/cm<sup>2</sup>(3,691 kgf/cm<sup>2</sup>) 이상이어야 한다. 허용응력을 결정하는데 사용되는 최대 허용값은 인장강도의 경우 68,947 N/cm<sup>2</sup>(7,031 kgf/cm<sup>2</sup>), 항복강도의 경우 39,990 N/cm<sup>2</sup>(4,078 kgf/cm<sup>2</sup>)이다.

2) A353, A553과 함께 사용될 경우에는 개구부 보강재용으로 사용하지 않는다.

**5.3.3** 운전조건에서의 허용인장응력(설계응력)은 인장강도의 1/3과 항복강도의 2/3 중 작은 값으로 한다. 수압조건에서의 허용인장응력은 인장강도의 55%와 항복강도의 85% 중 작은 값으로 한다. OBE(operating basic earthquake: 기능수행수준) 조건에서의 지진하중에 대한 허용인장응력은 설계응력의 1.33배로 한다. SSE(safe shutdown earthquake: 붕괴방지수준) 조건에서의 지진하중에 대한 허용인장응력은 항복강도를 적용한다.

**5.3.4** 판 또는 구조물 부재가 동체의 부상(shell uplift)을 억제하기 위한 앵커 바로서 사용되는 경우, 재료의 허용설계응력 및 허용시험응력은 각각 설계 및 과부하 시험 조건으로 사용해야 한다.

다.

5.3.5 허용 압축 응력은 API 620 3.5.4를 따라야 한다.

#### 5.4 동판 두께 계산

동판(shell plate) 각 단의 두께는 다음 식에 따라 계산해야 하며 또한 충수시험시 응력 제한 조건에 적합하여야 한다.

$$t = \frac{T}{St_s} + C$$

여기에서

t : 동판 요구두께(mm)

T : 원주방향의 단위 힘 = P×Rc(MPa·mm)

P : 두께를 구하려고 하는 단의 아래 끝에서 설계액면까지의 LNG 높이에 대한 환산압력(MPa)

Rc : 탱크의 안쪽 반지름(mm)

St<sub>s</sub> : 최대허용응력(MPa)

C : 부식여유(mm)

#### 5.5 바닥판

5.5.1 액체를 저장하는 탱크는 내부와 바닥의 나머지 부분의 겹치기 이음 사이에 최소한 600 mm (24 in)의 반경방향 폭을 가지며 동체 바깥에 최소 50 mm(2 in)의 돌출부를 갖는 맞대기 용접된 환상 바닥판을 가져야 한다. 다음에 의해 더 큰 환상판의 반경방향 폭( $L_{min}$ )이 요구된다.

강재에 대해

$$L_{min} = \frac{215.3t_b}{\sqrt{(H)(G)}} \quad (\text{mm})$$

여기서,

$t_b$  = 환상판의 공칭두께(mm)

H = 액체의 최대 높이(m)

G = 저장 LNG의 비중

5.5.2 환상판의 최소두께는 표 2-4와 같다.

5.5.3 환상판의 링은 환상형의 바깥 원주를 가져야 하지만 탱크 동체내에 환상판의 개수와 동일한 개수의 면을 갖는 정다각형의 형태를 가질 수 있다. 이들 조각들은 맞대기 용접을 해야 한다.

표 2-4 환상바닥판의 최소두께(mm)

동체 첫째단의 공칭두께( mm)	첫째단 벽(first shell course)의 설계 응력 <sup>주)</sup> N/cm <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )					
	≤13,100(1,336)	≤15,168(1,547)	≤17,237(1,758)	≤19,305(1,969)	≤21,374(2,180)	≤23,442(2,390)
19.0 이하	6.3(1/4 in)	6.3(1/4 in)	6.3(1/4 in)	7.1(9/32 in)	8.7(11/32 in)	10.3(13/32 in)
19.0 초과 25.4 이하	6.3(1/4 in)	6.3(1/4 in)	7.1(9/32 in)	8.7(11/32 in)	11.1(7/16 in)	13.5(17/32 in)
25.4 초과 31.7 이하	6.3(1/4 in)	6.3(1/4 in)	8.7(11/32 in)	11.1(7/16 in)	13.5(17/32 in)	24.2(21/22 in)
31.7 초과 38.1 이하	-	7.1(9/32 in)	10.3(13/32in)	10.3(13/32 in)	16.7(21/32 in)	19.8(25/32 in)

주) 이 표의 두께와 폭은 환상판의 전체 폭(full width)에 걸쳐 기초(foundation)가 균일하게 지지한다는 것을 근거로 한 것이다. 만약 기초가 특히 콘크리트 링월(concrete ringwall)의 내부에서 적절히 다져지지 않으면 침하로 인해 환상판에 추가의 응력이 발생한다. 환상 바닥판의 두께는 동체의 첫 번째 단의 두께를 초과할 필요는 없다.

응력은 공식  $[(50D)(HG)] \div t$  를 이용하여 계산된다.

여기서,  $D$  = 탱크의 공칭 직경(m)     $H$  = 탱크의 설계 최대 충전 높이(m)

$G$  = 설계 비중                       $t$  = 부식여유를 배제한 첫째단 동체의 설계 두께(mm)

5.5.4 동체의 첫 번째 단의 판은 완전용입용접으로 환상바닥판에 부착하여야 한다.

5.5.5 환상판의 맞대기 용접시에는 수직 용접부에서 300 mm(12 in) 이상 떨어져야 한다.

5.5.6 탱크 바닥의 3겹 또는 맞대기 이음매는 서로간 또는 환상판의 맞대기 용접부에서 300 mm (12 in) 이상 떨어져야 한다.

5.5.7 환상 바닥판 이외의 바닥판은 규정된 부식여유를 제외하고 4.8 mm(3/16 in)의 최소두께를 가져야 한다.

## 5.6 동체 보강링

5.6.1 동체 보강링(stiffening ring)은 탱크가 진공 또는 다른 특정 하중들의 영향을 받을 때 진 원도를 유지하기 위해 필요하다. 보강링을 설치할 경우에는 보강재와 동체를 5.6.2에서 5.6.5에 따라 용접을 한다.

5.6.2 보강링과 받침쇠 등은 “4. 재료”에 적합해야 한다. 보강링은 웨브(web)와 플랜지 사이의 반대면에 단속 용접을 사용한 판으로 제작할 수 있다.

5.6.3 19 mm(3/4 in)의 최소 반경을 갖는 1 개의 랫홀(rat hole)이 각각의 길이방향 동체 이음매와 링 접합 용접부에 갖추어져야 한다.(그림 2-1 참조)

5.6.4 모든 필릿 용접은 2 개 이상의 층(pass)으로 이루어져야 한다. 필릿 용접부의 끝부분은 랫

홀에서 50 mm(2 in) 떨어져야 하고(그림 2-1 참조) 이들 용접부는 랫홀에서 50 mm(2 in) 떨어져 시작하여 랫홀로부터 먼 쪽 방향으로 용접하여 용착시켜야 한다. 랫홀에서 50 mm(2 in) 부족한 필릿용접의 중단을 포함하는 세부내역에 대한 수용할 만한 대안은 스티프너의 한 면에서 반대면 까지 랫홀을 통해 계속적으로 용접하는 것이다. 필릿용접의 모든 크레이터는 뒷면 용접을 통해 수리해야 한다.

**5.6.5** 보강링의 인접한 단면사이의 이음매는 결합된 링벽 단면의 요구되는 관성 모멘트를 제공하도록 만들어져야 한다. 인접한 단면들 사이의 용접 이음매들은 전체 두께 그리고 완전용입 맞대기 용접으로 만들어진다. 보강링 맞대기 용접은 금속 받침쇠(backing strips)를 이용한다. 받침쇠와 이와 연관된 용접은 랫홀과 다른 모든 용접 이음매 끝 부분들에 유연한 윤곽을 주는 방식으로 이루어져야 한다. 모든 용접 층은 랫홀과 다른 용접 이음매 끝부분에서 시작하여 이러한 끝부분으로부터 멀어지도록 마무리하여야 한다. 층들은 매끄럽고 연속적인 용접을 위해 가장자리로부터 멀리 겹쳐지게 해야 한다.

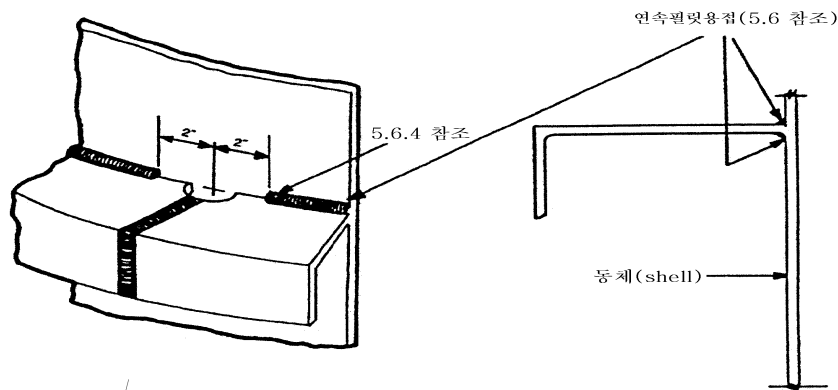


그림 2-1 보강링 용접(예)

## 6. 구성요소 설계

### 6.1 설계 하중의 조합

내부탱크는 액두, 정적인 단열재 압력, 사용기간후 내부탱크의 팽창에 따른 단열재 압력 등으로부터 발생하는 하중들의 가장 위험한 조합에 견디도록 설계해야 한다.

### 6.2 동체에 대한 최소 요구사항

내부 탱크의 원통형 동판의 공칭 두께는 어느 경우든 표 2-5의 값보다 커야 한다.



비고 원통형 동판의 공칭 두께는 시공된 상태의 탱크 동체 두께를 말한다.

표 2-5 내부 탱크 원통형 동체의 공칭 두께

공칭 원통 반지름(m)	공칭 판 두께(mm)
18.3 미만	4.8
18.3 이상 42.7 이하	6.3
42.7 초과 67.1 이하	7.9
67.1 초과	9.5

## 7. 용접 절차 인증

피복 용접봉과 9% 니켈강의 용접에 사용하는 피복되지 않은 와이어 용접봉은 AWS 5.11과 AWS 5.14에 규정된 것을 사용해야 한다.

### 7.1 용접 절차 인증

표준용접절차시험을 위한 사양과 최소극한인장강도(the minimum ultimate tensile strength)의 결정은 API 620 4.7에 따른다. 만약, 용가재의 지정최소항복강도나 인장강도가 모재보다 낮거나 용접절차인증시험시에 용착금속의 시험인장강도가 모재의 지정최소극한인장강도보다 작으며 용가재는 비지정항복강도를 갖게 된다. 이때 표 2-3의 최소항복강도와 인장강도가 5.3.1의 허용응력값을 결정하기 위해서는 AWS A5.11의 그림 9의 치수표준에 맞는 전용착금속 시험편 2개를 시험해야만 한다. 항복강도는 0.2% 윽셋 방식으로 결정한다.

### 7.2 9% Ni강의 충격시험

9% Ni강으로 만들어진 구성요소의 경우 충격시험은 7.2.1에서 7.2.5의 규정에 따라 각 용접 절차에 포함되어야 한다.

**7.2.1** 샤르피 V-노치 시험편은 용접금속 및 용접절차인증 시험편의 열영향부 또는 이중 시험편(duplicate test plate)으로부터 채취해야 한다.

**7.2.2** 용접 금속 충격 시험편은 용착금속에서 노치가 있는 용접부위를 위에서 아래로 가로질러 채취해야 한다. 시험편은 노치가 재료 표면에 수직방향이 되도록 하여야 한다. 시험편의 한 면은 일반적으로 표면으로부터 1.6 mm(1/16 in) 이하에서 채취하여야 한다.

**7.2.3** 열영향부의 충격 시험편은 용접부위를 가로질러서, 재료의 표면 가까운 부위에서 채취해야

한다. 시험편의 길이는 에칭을 한 후 열영향부에 노치를 만들 수 있을 만큼 충분해야 한다. 노치는 재료 표면에 대하여 수직방향으로 잘라야 하고, 가능한 한 절단부분에 많은 열영향부가 포함되게 해야 한다.

**7.2.4** 충격 시험 시험편은 4.2에 규정된 온도까지 냉각해야 한다.

**7.2.5** 요구되는 용접 금속 및 열영향부의 충격 값과 가로팽창 값은 각각 4.2.2의 c)항과 d)항에 규정된 값과 동일하여야 한다. 불규칙한 충격 값이 얻어질 경우에는 발주자와 제조자가 합의하여 재시험을 할 수 있다.

### 7.3 용접 절차

용접은 다음 절차에 적합하게 실시해야 한다.

- a) 개별 용접 층의 두께는 대체로 절차 자격 시험에 사용되는 두께보다 작아야 한다.
- b) 용접봉은 동일한 AWS 분류에 속하고 동일한 공칭 크기 이하여야 한다.
- c) 공칭 예열 및 층간 온도는 동일해야 한다.

### 7.4 용접 시험

**7.4.1** 용접 시험편은 맞대기 용접한 동판에 대해 용접하고 시험을 실시해야 한다. LNG 용접시험 회수는 7.4.2와 7.4.3을 근거로 결정해야 한다. 용접 시험은 7.4.4에 의해 실시한다. 시험편은 탱크용 동판 제작에 적용되는 용탕에서 생산된 판으로 만들어야 한다.

**7.4.2** 시험편은 탱크 동체 이음매에 필요한 용접봉을 사용하여 동일하게 검증된 용접 절차를 따라서 용접해야 한다. 시험편은 탱크 동체 이음매의 연장부로서 용접할 필요는 없지만 요청 및 검증된 위치에서 용접하여야 한다.

**7.4.3** 한번의 시험 용접은 각각의 사양과 판 재료등급으로 구성된 한 세트의 판에 대하여 실시해야 한다. 이때 동체의 모든 두께들을 대표하는 두께를 이용한다. 두께  $t$ 로 용접된 각 시험은  $2t$ 에서부터  $t/2$ 까지의 판 두께에도 유효해야 한다. 그러나 그 두께는 15.9 mm(5/8 in) 이상이어야 한다. 15.9 mm(5/8 in)보다 작은 판 두께에 대한 시험 용접은 용접되는 가장 얇은 동판을 위해 시행한다. 이 시험용접은  $t$ 에서  $2t$ 까지의 판 두께에 대하여 유효하다.

**7.4.4** 시험 용접은 각 탱크 동체를 용접하는데 이용되는 각 공정과 각 위치에 대해서 실시해야 한다. 그러나 수동 수직 용접은 모든 위치의 수동 용접을 인정한다. 원통형 동체의 자동 용접된 원주 이음에 대해서 시험 용접은 필요가 없다.

**7.4.5** 충격 시험편과 시험 절차는 7.2.1에서 7.2.5의 규정에 따라야 한다.

## 8. 제작 및 검사에 대한 요구사항

### 8.1 구성요소의 용접

8.1.1 탱크의 바닥부와 벽면에는 관통하는 개구부가 없도록 제작하여야 한다.

8.1.2 다음의 구성요소들은 이중 맞대기 용접을 사용하여 완전한 용입과 용융 상태로 결합되게 하여야 한다.

- a) 길이 및 원주방향의 동체 이음매
- b) 환상바닥판을 연결하는 이음매
- c) 동체 보강재(stiffener)를 연결하는 이음매. 완전용입 및 완전용융 이음을 위해 받침쇠를 사용할 수 있다.

8.1.3 필릿 용접은 다음의 규정에 따라 실시한다.

- a) 필릿 용접에 의해 결합되는 모든 구성요소들은 최소 두 개의 층(pass)을 가져야 한다.
- b) 9% 니켈 재료에 대하여 샌드블라스팅이나 다른 적절한 수단들을 사용하여 냉동 액체 및 증발 액화가스와 접촉하고 있는 필라 용접부위를 용접하기 전에 모든 판 모서리와 표면의 찌꺼기를 제거해야 한다. 피복 용접봉을 사용할 경우, 샌드블라스팅이나 다른 적절한 수단을 사용하여 최종 용접 층에서 발생하는 슬래그(slag)를 제거하여야 한다.
- c) 슬립 온(slip-on) 플랜지는 발주자가 특별히 승인할 경우에만 사용할 수 있다.

### 8.2 구성요소의 연결

모든 연결부위들은 완전용입 및 용융상태이어야 한다.

### 8.3 연결부위와 용접의 간격

25.4 mm(1 in) 두께를 초과하는 동체에 대하여 공칭 직경이 300 mm(12 in) 이상인 모든 개방 연결부위는 5.5.5와 5.6.4까지 기술된 맞대기 용접 및 필릿 용접의 간격을 유지하여야 한다.

### 8.4 액체 침투탐상시험

다음의 구성요소 용접은 필요시 응력 제거후 탱크의 충수시험 전에 액체 침투탐상시험을 해야 한다.

- a) 전길이 방사선투과시험을 실시하지 않는 모든 가로방향 및 원주방향의 맞대기 용접 이음매의 양면 모두
- b) 탱크의 원통형 동판을 환상바닥판(또는 환상판)에 접합하는 용접 이음매
- c) 전길이 방사선투과시험을 실시하지 않은 노즐과 맨홀벽의 용접부 및 넥과 플랜지의 용접부 등

을 포함한 모든 개방연결부의 용접부. 검사는 초층용접을 포함하여 용접 진행에 따라 모든 용착 금속 두께의 매 12.7 mm(1/2 in) 마다 실시한다.

d) 보강링 및 기타 압력을 받지 않는 부위(완전방호식의 내부 탱크에는 사실상 압력부가 없으나 LNG의 액위에 따른 압력이 직·간접적으로 작용하는 부분을 압력부로 간주하고 그러하지 않은 부분을 비압력부라 보면 된다)등과 같은 부착물의 모든 용접부위

e) 받침쇠가 남게 되는 모든 용접 이음은 용접 금속의 첫 번째 두 층(또는 비드)이 용착된 후 액체 침투탐상법을 이용하여 시험해야 한다.

## 8.5 방사선 투과시험

### 8.5.1 표면 준비

불합격 처리될 결함을 혼란시키거나 감출 수 있는 표면거칠기는 제거되어야 한다.

### 8.5.2 방사선 투과시험 범위

수직 및 수평방향 동체 이음매, 보강링 내부의 맞대기 용접 이음매, 환상판 사이의 맞대기 용접 이음매, 동체의 모든 맞대기 용접 이음매에 대해서는 전길이 방사선투과시험을 실시해야 한다. 단, 동체와 환상판과의 용접 이음매, 환상판과 바닥판과의 맞대기 용접 이음매 또는 바닥판 사이의 맞대기 이음매 등에 대해서는 방사선투과 시험을 실시할 수 없을 경우에는 다른 적절한 비파괴검사를 실시할 수 있다.

## 8.6 영구 부착물

9% 니켈강에 직접 용접되는 모든 영구적인 구조의 부착물은 동일한 재질이거나 열처리로 경화되지 않는 오스테나이트계 스테인리스강을 사용해야 한다.

## 8.7 비압력부

임시 조립정렬용 리그와 비계 뿐 만 아니라 패드, 기중 고리 및 다른 비압력부 등을 위한 용접은 8.1의 용접절차에 따라 실시해야 한다. 조립을 위해 부착된 리그(lug)는 제거해야 하며 용접 금속의 돌출 부분도 매끄러운 윤곽이 나타나도록 다듬질해야 한다. 리그를 제거할 때 가우징되거나 찢어진 판은 검증된 절차를 이용하여 수리해야 하며 매끄러운 윤곽을 갖도록 다듬어야 하고 그 부위는 액체 침투탐상법을 이용하여 검사해야 한다.

## 8.8 용접된 이음매의 수리

용접 이음매를 수리할 경우에는 검증된 용접절차를 따라 실시해야 한다.

## 8.9 재료의 표시

**8.9.1** 개개의 구성요소들이 재료 시험 성적서에서 확인될 수 있도록 구성요소의 재료를 표시하여야 한다.

**8.9.2** 모든 표시는 모재와 호환성이 있는 재료를 사용하여야 하며 9% Ni강은 각인(die stamp)을 하지 않아야 한다.

## 9. 탱크 구성요소의 공장 제작

### 9.1 판의 개선가공

판의 개선부위는 기계가공, 전단가공, 치핑, 그라인딩, 톱이용 절단 등의 방법을 이용하거나 또는 기계 작동형 절단 토치를 이용하여 절단하여야 한다.

맞대기 용접 이음매의 경우 전단가공을 10 mm 두께 이하의 판만 가능하고 발주자와 계약자의 합의에 따라 시행해야 한다. 전단 가공된 가장자리는 치핑, 기계가공 또는 그라인딩을 하여 매끄럽게 다듬어야 한다.

용접부에 유해한 라미네이션(laminations)은 보수하거나 판을 교체해야 한다. 모든 개선부위는 가공후 육안으로 검사해야 한다.

맞대기 용접된 판의 너비와 길이는 모두  $\pm 2$  mm의 공차 내에 있어야 한다.

판이 사각형이라는 것을 확인하기 위해, 각 가장자리에서 50 mm선을 그어 만든 직사각형을 가로 질러 측정된 대각선은 3 mm이상 차이가 나서는 안 된다.

### 9.2 압연 및 프레스싱

동판은 미리 지정된 곡률에 적합하도록 둥글게 말아야 한다.

## 10. 탱크 구성요소들의 현장 설치

### 10.1 기 초

기초에 관한 내용은 이 기준 제 3장에 따른다.

### 10.2 판의 설치

판은 설치하기 전에 설치절차를 작성해야 한다. 설치되는 동체의 첫째단은 수직도 및 진원도를

측정하는 동안, 가용접되거나 용접되기 전에 금속 클램프 또는 다른 장치로 제 위치에 고정하여야 한다.

용접하는 동안 동체의 첫째단의 수직이음매가 수축될 수 있다는 것을 고려해야 한다.

모든 겹치기 이음매에서 판은 용접이 진행되는 동안 접촉상태를 유지해야 한다.

금속 표면은 표면을 결합하기 전에 깨끗하게 청소해야 한다.

### 10.3 내부 탱크의 설치 공차

기초의 높이는 공사 전이나 공사 중 건설자가 점검해야 한다. 첫번째로 건설된 단을 용접한 후 탱크의 중심에서 탱크 동체 내부의 어느 지점까지 수평으로 측정했을 경우, 내부 반경 공차 (internal radial tolerance)는 표 2-6에 적합해야 한다. 전체 동체의 높이는 1/200 이상 수직에서 벗어나서는 안 된다.

표 2-6 탱크 반경 설치 공차

탱크 직경 D(m)	반경 공차(mm)
12.5 이하	± 13
12.5 초과 45 이하	± 19
45 초과	± 25

용접이 진행되는 동안 맞대기 용접에 의해 결합되는 판은 정확하게 서로 일치해야 하고 계속 제 위치를 유지해야 한다. 판이 어긋나더라도 다음의 범위는 벗어나서는 안 된다.

a) 완성된 수직 이음매의 경우

- 1) 두께 19 mm 이하인 판은 1.5 mm 또는 판 두께의 10% 중 큰 값
- 2) 두께 19 mm를 초과하는 판은 3 mm 또는 플레이트 두께의 10% 중 큰 값

b) 완성된 수평 이음매의 경우

- 1) 두께가 8 mm 이하인 판은 1.5 mm 또는 윗판 두께의 20% 중 큰 값
- 2) 두께가 8 mm를 초과하는 판은 3 mm 또는 윗판 두께의 20% 중 큰 값

전체적인 수직 공차는 설치된 각각의 개별단에 적용되어야 한다.

형태의 급격한 변화는 있어서는 안 된다. 수평 및 수직 이음매에서 동체의 형상은 1m의 표준 치수 길이에서 측정된 이론상 수치가 표 2-7에 규정된 값 이상으로 차이가 나서는 안 된다.

내부탱크는 설치중에 진원도, 치수 및 높이에 대하여 검사해야 한다.

표 2-7 탱크 동체의 형상 공차

동판 두께( <i>t</i> , mm)	형상 공차(mm)
12.5 이하	10
12.5 초과 25 이하	8
25 초과	8

## 10.4 판의 수동 절단

플레이트의 수동 절단은 9.1에 따라 실시한다.

## 10.5 비파괴 시험

액체침투탐상시험 및 방사선투과시험은 8.4 및 8.5에 따라 실시한다.

### 10.5.1 기밀시험

#### a) 진공상자시험의 범위

내부탱크의 바닥 이음매는 충수시험 전후 각각 해당길이 100%에 걸쳐 진공상자시험을 실시하여야 한다.

비고 내부탱크 이외의 진공상자시험 적용

- a) 지붕 덧판(roof liner)의 모든 용접부는 지붕 콘크리트 시공전에 진공상자시험을 실시한다.
- b) 외부탱크 안쪽면의 바닥과 측벽에 설치되는 증기/습기 방지막(vapor/moisture barrier), 그리고 내부탱크와 외부탱크의 바닥판 사이 및 모서리 주위에 설치되는 9% Ni 강제의 2차 방벽에 대해서는 후속 작업에 의해 용접이음매가 덮여지기 전에 진공상자시험을 실시한다.

#### b) 진공상자시험 절차

- 1) 바닥 이음매는 65 kPa(0.66 kgf/cm<sup>2</sup>) 절대압력을 이용하여 시험해야 한다. (즉, 35 kPa(0.36 kgf/cm<sup>2</sup>)의 진공압력)
- 2) 9% Ni강식 탱크의 경우 바닥 용접부위 및 바닥과 동체 연결 용접부위의 모든 시험 표면들은 슬래그 또는 먼지가 누설 감지를 방해하지 않도록 진공상자시험 전에 샌드블라스팅 또는 다른 적절한 방법으로 깨끗이 청소되어야 한다.

#### c) 동체와 바닥 접합부 시험

동체와 바닥사이의 접합부가 완전 용입 용접된 탱크의 경우에는 내부와 외부의 액체침투탐상시험 및 내부에 진공상자시험을 실시해야 한다.

## 11. 탱크의 충수 및 기밀 시험

### 11.1 일반 절차

11.1.1 기밀성 및 구조적 적절성에 대해 철저하게 점검하는 것은 내부 탱크에 대하여 매우 중요하다. 충수시험은 단열재 설치 전에 완료해야 한다. 시험은 설계액두압에 해당하는 수위의 1.25배 이상 높이까지 물로 탱크를 채우는 과정과 증발가스공간에 대한 설계 압력의 1.25배에 해당하는 과부하 공기압을 적용하는 과정으로 구성된다.

11.1.2 충수시험시 탱크의 어떤 부분도 재료의 규격 최소 항복강도의 85% 또는 재료의 규격 최

소 인장강도의 55%를 넘는 응력이 발생되지 않아야 한다.

## 11.2 시험용수의 수질

11.2.1 발주자는 이 기준에 따라 시험용수의 최소 수질을 명시해야 한다. 충수시험이 끝나면 탱크의 물은 즉각 배출하고 탱크는 청소하여 건조시킨다.

11.2.2 물은 대체로 깨끗하고 맑아야 한다.

11.2.3 물의  $pH$  는 6과 8.3사이에 있어야 한다.

11.2.4 물의 온도는 48.9°C(120°F) 이하이어야 한다.

11.2.5 11.2.2 및 11.2.4에 규정한 수질의 물 공급이 불가능하다면 발주자와 제조자 사이의 합의에 의해 적절한 약품주입(inhibitor: 예를 들면  $Na_2CO_3$  및/또는  $NaO_3$ )을 이용하는 대체 시험 방법을 사용할 수 있다.

## 11.3 충수시험

11.3.1 탱크는 물을 채우거나 비울 때 대기로 벤트되어야 한다.

11.3.2 물이 채워지는 동안, 탱크 동체의 바닥 및 링월(ring wall) 또는 슬래브의 꼭대기에 같은 거리로 배열된 최소 4개 지점의 고도를 점검해야 한다. 제 3장의 8.3.4의 허용한계를 초과하는 과도한 부등 침하 또는 단일 침하가 발생할 경우 물을 채우는 작업을 즉각 중단해야 한다. 발생한 침하를 평가하여 계속 물을 채워 넣을 지 여부를 결정한다.

11.3.3 탱크는 11.1.1에 규정한 설계 액두압에 해당하는 수위의 1.25배 이상 높이까지 물로 채워야 한다.

11.3.4 동체와 바닥 사이 모서리 부분의 용접을 포함하여 동체의 모든 용접부위는 육안으로 수밀성에 대하여 점검해야 한다.

## 11.4 기밀시험

11.4.1 충수시험 후 기밀시험이 시작되기 전에 내부탱크의 설계 액두압에 해당하는 수위까지 물을 비운다. 단, 공기압이 외부탱크에 작용하여 내부탱크는 공기압의 응력을 받지 않는 상부개방형 내부 탱크를 가진 완전방호식 탱크의 경우 충수시험 후 기밀시험이 시작되기 전에 내부탱크의 물



을 완전히 비울 수 있다. 기밀시험 압력은 증발가스 공간에 대한 설계압력의 1.25배로 한다.

11.4.2 시험 압력은 1시간 동안 유지해야 한다.

11.4.3 공기압은 설계압에 도달할 때까지 감소되어야 한다. 설계압에 도달한 후 외부 콘크리트 밖으로 노출된 모든 용접부는 용액막 검사를 실시한다.

## 12. 단열재

### 12.1 일반사항

#### 12.1.1 일반사항

바닥단열재는 바닥판을 통해 탱크 저장물을 지지할 수 있어야 한다. 제작사에서 정한 충전 밀도를 맞출 수 있게 환상 공간의 단열을 위한 충전재가 적절히 배치되어야 한다. 단열재의 보충이 가능하도록 규정되어야 한다.

단열재는 다음과 같이 구분된다.

- a) 탱크 바닥 단열재
- b) 외부탱크 벽체 내부 단열재
- c) 내부탱크 동체(shell) 외부 단열재
- d) 내부탱크와 외부탱크 사이공간 단열재
- e) 현수천정 단열재

바닥 단열을 위해 선택되는 재료는 요구되는 열 특성들뿐만 아니라 하중에 대한 저항능력을 가지고 있어야 한다. 표 2-8은 각 위치별 사용되는 단열재를 나타낸 것이다.

### 12.2 화학적 특성

단열재의 LNG에 대한 저항도는 정해져야만 한다. 단열재의 화학적 특성은 저장된 LNG와 화학 반응이 결코 일어나지 않도록 점검해야 한다.

비고 만약 수분이 폴리우레탄, 폴리이소시아뉴레이트(polyisocyanurate) 또는 페놀릭과 같은 단열재에 침투한다면 산성상태가 될 수 있다. 이것은 보호되지 않은 강재를 부식시킬 수 있으므로 수분을 반드시 제거해야 한다.

표 2-8 9% Ni강식 저장탱크의 단열재

단 열 재	탱크상의 위치				현수천정
	탱크 바닥	벽체(wall) 내부	동체(shell) 외부	내부/외부 탱크 사이공간	
셀룰라 글라스(Cellular glass)	○	○	○		
펄라이트 콘크리트 (Perlite concrete)	○				
발포성 콘크리트 (Foamed or aerated concrete)	○				
플라스틱폼(예:폴리스티렌) 콘크리트 (Plastics foam concrete)	○				
목재(timber)	○				
염화폴리비닐 폼 (Polyvinyl chloride foam)		○	○		
폴리이소시아나 폼 (polyisocyanurate foam)		○	○		
페놀릭 폼(Phenolic foam)		○	○		
폴리스티렌 폼(Polystyrene foam)		○	○		
폴리우레탄 폼(Polyurethane foam)		○	○		
유리강화 폴리우레탄 폼 (Glass reinforced polyurethane foam)		○	○		
유기모직 또는 유리섬유 피복 (Mineral wool or glass fibre blankets)			○ <sup>1)</sup>		○
충전 단열재; 펄라이트 또는 질석 (Loose fill insulants; expanded perlite or vermiculite)				○	○ <sup>2)</sup>

주 1) 기계적 특성을 위하여 일반적으로 충전단열재와 결합하여 사용함.  
2) 보통 백에 포장된 형태임.

### 12.3 기계적 특성

탱크 바닥에 설치하는 단열재는 부가되는 하중을 지지할 수 있어야 한다. 셀룰라 글라스를 위한 시험과 운전 조건에 해당하는 허용압축응력은 보장된 평균압축강도의 1/3배이거나 선택된 등급의 최소보장강도의 1/2배 중 낮은 값을 취해야 한다.

비고 같은 방식으로 다른 재료도 사용 가능하다. 그러나 평균값보다는 보증 최소 압축강도 값을 사용해야 한다.

단열재는 예상된 열범위 이상의 용도에도 적합해야 한다. 단열재의 기계적 특성은 냉각시 유도되는 힘과 사용중일 때의 열 사이클링을 견딜 수 있어야 한다.

단열재, 특히 플라스틱 폼이 제조과정 중에 폼(form)의 방향에 따라 변하는 특성(예: 비등방성)을 갖게될 경우, 그러한 변화는 설계 및 설치시에 고려되어야 한다.

비고 블록을 쌓아올리는 방식보다 스프레이 방식으로 하는 몇 가지 등급의 폴리우레탄 폼을 이용할 수 있는 통계를 위해 블록을 샘플 채취하고 설계에 규정된 특성과 일치하는지 점검해야 한다.

열의 구배로 발생하는 블록과 하부층 사이의 움직임의 차이도 고려해야 한다.

## 12.4 단열재의 설계

운전 및 긴급상태에 대비하여 단열의 유형과 수준을 설정하기 위하여 다음의 사항들을 고려해야 한다.

- a) 저장물의 최대허용증발을
- b) 외부 탱크 설계 온도
- c) 바닥 단열재의 허용하중 특성
- d) 내부탱크의 구조설계와 외부탱크 구조설계의 호환성
- e) LNG와 치환가스의 접촉시 사용의 적합성
- f) 예상되는 탱크의 부등침하(differential settlement)
- g) 단열재에 의해 내부와 외부 탱크에 부과되는 압력

단열재의 설계시 내부 탱크의 수축과 팽창을 고려해야 한다. 외부 탱크에 적용되는 단열 시스템에는 증기 차단막이 설치되어야 하고 또한 화재를 방지할 수 있어야 한다.

## 12.5 단열재의 설치

### 12.5.1 바닥 단열재

단열재는 깨끗하고 건조된 상태로 유지하여야 한다. 또한, 청결하고 건조한 표면위에 설치되어야 한다. 상층 표면은 기계적 손실을 막기 위해 보호되어야 한다.

비고 바닥 단열재의 상층 표면은 설치시 수분이 단열재로 들어가는 것을 막을 수 있도록 적절한 조치를 하여야 한다.

바닥 단열재가 블록으로 이뤄진 곳에서는 설치를 위한 수평층을 형성하기 위해서 외부 탱크 바닥 위에 콘크리트 스크리드(screed) 또는 모래 등을 이용해서 처리해야 한다. 이 스크리드는 수분 방지용 층을 덮어야 한다. 블록 사이에 수직 이음매는 엇갈려 배열해야 한다.

### 12.5.2 동체 및 현수천정의 단열

동체와 현수천정의 단열재가 설치되기 전에 내부와 외부 탱크는 요구되는 시험을 거쳐야 하며 탱크는 깨끗하고 건조한 상태를 유지해야 한다. 단열재료들은 깨끗하고 건조한 상태로 유지 관리되어야 한다. 시공되는 동안 내부와 외부탱크 사이의 공간에 습기가 침투하는 것을 방지하여야 한다.

분말 단열재가 사용될 경우, 내부탱크가 움직여 분말이 과도하게 충전되는 일이 발생하지 않도록 해야 한다. 분말은 지정된 수준만큼 설치되어야 한다.

### 13. 현수천정

현수천정은 지붕으로부터 들어오는 열의 단열 및 액의 증발을 제어하기 위해 지붕 아래에 설치되는 구조물로서 구성 요소별 재료는 일반적으로 다음과 같다.

- a) 현수천정: 알루미늄 합금, 18-8 스테인리스강 또는 이와 동등 이상의 재료
- b) 현수로드(rod): 18-8 스테인리스강 또는 이와 동등 이상의 재료

현수천정의 재료 및 설계는 발주자의 승인을 득해야 하고, 관련 표준을 따르며 다음의 조건을 만족해야 한다.

- a) 현수천정 및 행어(hanger)는 자중 및 보온재의 중량을 견딜 수 있도록 충분한 강도를 가진 것이어야 한다.
- b) 천정의 하부와 상부의 가스 차압이 발생하지 않는 구조이어야 한다.
- c) 지진 발생시, 현수 천정 주변의 구조에 치명적인 영향을 미치지 않도록 하여야 한다.

## 제 3장 외부탱크 및 기초 기준

### 1. 적용 범위

이 장에서는 프리스트레스트 콘크리트 외부탱크의 구성요소, 콘크리트 지붕, 탱크 기초 및 라이너의 설계와 시공에 대한 사항을 규정한다.

### 2. 참고 문헌

- 2.1 BS 7777 “Flat-bottomed, vertical, cylindrical storage tanks for low temperature service”, Part. 3 “Recommendations for the design and construction of prestressed and reinforced concrete tanks and tank foundations, and for the design and installation of tank insulation, tank liners and tank coatings”, 1993
- 2.2 prEN 265002 “Specification for the design, construction and installation of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage between -5°C and -165°C”
- 2.3 “콘크리트 표준시방서”, 건설교통부, 1999
- 2.4 “콘크리트 구조설계기준”, 건설교통부, 1999

### 3. 용어 정의

이 장에서 사용되는 용어는 제 1장의 용어정의에 따르고, 그 외의 용어정의는 다음과 같다.

- 3.1 “콘크리트(concrete)” 라 함은 시멘트, 물, 잔골재, 굵은 골재 및 필요에 따라 첨가되는 혼화재료를 구성재료로 하여 이들을 비벼서 만든 것을 말한다.
- 3.2 “철근콘크리트(reinforced concrete, RC)” 라 함은 철근을 사용한 콘크리트로서, 외력에 대해 양자가 일체로 작용하도록 한 것을 말한다.
- 3.3 “프리스트레스(prestress)” 라 함은 외력에 의해서 일어나는 인장응력을 소정의 한도로 상쇄할 수 있도록 미리 계획적으로 콘크리트에 주는 응력을 말한다.
- 3.4 “프리스트레싱(prestressing)” 이라 함은 프리스트레스를 주는 일을 말한다.
- 3.5 “PS강재(prestressing steel)” 라 함은 프리스트레스를 주기 위하여 사용하는 고강도의 강재를 말한다.
- 3.6 “긴장재(tendon)” 라 함은 콘크리트에 프리스트레스를 가하기 위하여 사용하는 강재로서 강선, PS강선, 강봉 또는 강연선 또는 이것을 묶은 것 등을 말한다.

3.7 “프리스트레스트 콘크리트(PSC; prestressed concrete)” 라 함은 외력에 의하여 일어나는 응력을 소정의 한도까지 상쇄할 수 있도록 미리 인공적으로 그 응력의 분포와 크기를 정하여 내력을 준 콘크리트를 말하며 PS콘크리트 또는 PSC라고 약칭하기도 한다.

3.8 “라이너(liner)” 라 함은 주로 지상식 LNG 저장탱크의 콘크리트 외부탱크 벽체 내부에 설치되는 강재(9% Ni강, 일반탄소강) 또는 비강재 재질의 부분으로 LNG의 증발가스와 수증기의 이동을 막는 역할을 한다.

3.9 “저온보호장치(TPS, thermal protection system)” 라 함은 저온으로부터 외부탱크를 보호하기 위한 단열조치(thermally insulating) 및 액밀구조(liquid tight structure)를 말한다.

#### 4. 설계 조건

이 장의 외부탱크 등의 설계에 따른 온도 및 압력조건은 제 1장의 설계조건에 따른다.

### 5. 재 료

#### 5.1 일반사항

외부탱크의 재료는 이 기준을 따라야 한다. 다른 재료를 사용할 경우는 최소한 5.2 내지 5.5에서 언급된 재료 특성 이상의 것을 사용해야 한다.

#### 5.2 PS 강재 및 앵커

비고 프리스트레스트 콘크리트는 철근 콘크리트의 한 형태로서 이질성 재료들로 구성되어 있으며, 콘크리트 내부의 PS 강재인 긴장재(tendon)에 적용된 인장력에 의해 압축상태를 유지한다. 운전 하중 상태에서 콘크리트에 잔류 압축력이 필요하다.

시공 기간 중 긴장재에 인장하중을 가함으로써 콘크리트 구조물에는 최대 하중이 발생하게 한다. 긴장재의 잭킹 응력(jacking stress)은 보통 극한인장강도의 65%에서 75%이다. 이후에는 긴장재에 적용된 응력은 건조수축(shrinkage), 릴렉세이션(relaxation) 및 크리프(creep)등으로 인하여 감소하게 되며 긴장재의 잔류응력을 구하기 위해서 프리스트레스 손실량을 계산한다. (부록 C 참조)

일반적으로 LNG 탱크를 위한 프리스트레스트 콘크리트는 긴장재가 콘크리트와 일체가 되어 작용하는 공법을 이용한다. 이는 주로 긴장재를 긴장한 후에 덩크 내를 시멘트 그라우팅하는 형태를 취한다. 신뢰할 만한 부착 방식이 사용되어야 하며 설계 온도 하에서 긴장재의 어떤 부분도 미끄러지는 현상(slippage)이 발생하여서는 안 된다.

시험 결과에 따르면 긴장재는 저온에서 상당한 연성을 유지한다. 노치 인성(notch toughness)은 감소될 수 있으나 주변의 강봉이나 강연선에 파손(failure)이 전파될 위험은 없다. 더욱이 파손된 봉이나 강연선 근처에는 강재와 콘크리트 사이의 결합력 때문에 완전한 강도가 회복된다.

저온용 철근과는 달리, PS 강재는 긴장과정 중 상온 하에서 최대 인장 응력(maximum tensile

stress)을 받는다.

강연선 또는 와이어의 노치 연성(notch ductility)은 허용될 수 있다. 왜냐하면 기계적인 손상 또는 압연 공정 등으로 인해서 고유의 균열 결함을 갖고 있는 프리스트레스봉 또는 와이어를 냉각하여도 취성파괴(brittle fracture)현상이 일어날 가능성은 없기 때문이다.

초기 변형 및 전달 손실의 결과로 프리스트레스가 이완되기 때문에, 저온의 균열의 경우에는 파괴(fracture)에 대한 임계 변형율(critical strain)에 도달하지 않는다. 그러므로 설계 온도에서 프리스트레스강의 강연선이나 긴장재에 실시하는 인성 시험은 반드시 할 필요는 없다.

### 5.2.1 긴장재

와이어, 강연선 또는 강봉의 형태로 된 PS 강재는 KS D 7002, KS D 3505, ASTM A416 또는 ASTM A421에 적합하여야 한다.

### 5.2.2 앵커

앵커는 정착된 PS 강재가 규격에 정해진 인장하중 값에 이르기 전에 파괴되거나 현저한 변형이 일어나는 일이 없는 구조 및 강도를 갖는 것이어야 한다.

앵커는 사용하기 전에 그 품질을 확인하기 위한 시험을 원칙적으로 실시해야 한다. 다만, 품질이 보증되고 실적이 있는 것은 시험을 생략할 수 있다.

## 5.3 콘크리트용 철근

### 5.3.1 상온에서의 사용

상온에서 사용되도록 설계된 철근은 KS D 3504에 적합한 것이어야 한다.

비고 이들 사양서는 인장 시험에서 연성(연신율)에 대한 조건을 제시한다. 발주자는 이 요구사항들이 충족되도록 활용 가능한 옵션을 이용할 수 있다.(5.3.2 참조)

### 5.3.2 상온에서 -20℃까지의 사용

정상 운전 또는 비상시의 설계 온도가 -20℃ 아래로 떨어지지 않는 철근콘크리트 구조물 또는 요소 설계를 위한 철근은 최소한 5.3.1을 따라야 한다.

비고 BS 4449는 저온 취성파괴의 위험을 방지하는 요구조건들을 포함하고 있지 않다. 그러나 철근콘크리트는 이질성분들로 구성된 재료이며 철근은 특성이 다른 구성 재료이다. 한 요소의 파괴는 다른 요소들에 파급되지 않고 인접한 요소들에 하중을 재분배하는 결과를 가져온다.

### 5.3.3 -20℃ 미만에서의 사용

정상 운전 또는 비상시의 설계 온도가 -20℃ 아래로 떨어지는 철근콘크리트 구조물 또는 요소 설계를 위한 철근은 5.3.4를 따라야 하며 추가로 다음 사항 중의 1 가지를 채택하여야 한다.

a) 5.3.4에서 제시하는 연성과 인성을 충족시키는 철근의 사용

비고 탄소 망간강, 9% 니켈강 또는 오스테나이트계 스테인리스강 등이 있다.

#### b) 철근 또는 PS 강재의 허용인장응력 값을 감소시켜 사용

- 비고 1. ANSI / NFPA 59A(1990)는  $-165^{\circ}\text{C}$  까지의 사용온도에서 철근의 최대 허용 인장응력을 제안하고 있다. 이는 상온에서의 허용응력 보다 훨씬 낮기 때문에 비경제적인 설계가 될 수 있으나 특수 철근을 사용할 수 없는 경우는 이를 고려할 수 있다.
2. 탱크의 설계 온도는 LNG 온도로 여겨지지만 철근의 설계온도는 콘크리트 부재에 분포하는 온도구배를 감안하여 계산할 수 있다.

사용온도  $-165^{\circ}\text{C}$  까지의 온도에서의 비인장 강재의 허용인장응력은 KS D 3504의 표 3에 따른다.

### 5.3.4 인성 및 연성

#### 5.3.4.1 일반사항

$-20^{\circ}\text{C}$  이하의 온도로 설계하는 경우 강재로 쓰이는 탄소강, 탄소-망간계강 또는 페라이트계 합금강(ferritic alloy) 등의 연성과 인성을 결정하여야 한다. 연성과 인성시험은 5.3.4.2를 따라야 한다.

비고 철근은 온도 저하에 따라 항복강도와 극한인장강도가 증가하는 반면 연성은 감소한다.

$-20^{\circ}\text{C}$  이상에서만 사용하거나 또는 하중이 가해지는 조건일 경우 그리고 콘크리트가 LNG 온도에 따르는 성능기준을 만족하지 않아도 되는 경우, 강재는 5.3.4.1에 규정된 인성에 대한 제안치를 따를 필요는 없다. 수축 제어, 내화 등과 같은 조건들에 대한 배근이 필요하다. 시험을 위하여 사용되는 모든 강도 등급에 대해 샘플을 채취하여야 한다.

#### 5.3.4.2 시험

철근의 제작절차는 발주자의 승인을 얻어야 하고, 인성 조건도 만족되어야 한다(5.3.4.3 참조). 시험기간동안에 시험편 온도는 가능한 일정해야 한다. 시험편의 어느 두 지점에서의 온도차이 또는 어느 한 지점에서의 온도와 설계온도 사이의 차이는  $5^{\circ}\text{C}$ 를 초과해서는 안 된다.

인장 시험은 BS 4449의 C.1.2와 C.1.4를 따르며 아래에 기술한 인장시험은 발주자가 제시한 해석상 설계온도하에서 노치된 철근 및 노치되지 않은 철근에 대하여 각각 수행되어야 한다. 노치된 시험편의 인장 시험 결과와 노치되지 않은 시험편의 시험 결과를 비교하여 설계 온도하에서의 노치감도(NS; notch sensitivity)를 결정한다.

비고 발주자는 온도/노치감도 변화그래프를 요구할 수 있다. 노치감도 비율(NSR; notch sensitivity ratio)은 충분한 시간 간격 하에서 변화곡선을 정확히 작도하여 구할 수 있다. 결과는 5.3.4.2의 규정이 충족되었음을 확인하기 위해 발주자에게 제출하여야 한다.

냉각실 내에서의 시험을 위하여 철근의 시험편을 강재 지름에 따라서 500 mm와 1,000 mm사이에서 절단해야 한다. 길이는 지름의 15배 이상이어야 한다.

시험 온도는 특수한 하중 조건하에서 발생하는 최저 온도(lowest design temperature)이어야



한다. 인장시험은 시험기간 동안의 변형률 결정을 위해 설계온도에서 시행하여야 한다. 노치되지 않은 강재의 경우, 인장 시험을 통하여 열간 압연 바인 경우에는 최저항복응력을, 냉간 압연 바인 경우에는 0.2% 내력(proof stress)을 결정해야 한다. 소성연신율(percentage plastic elongation)은 파단 지점으로부터 적어도 2d 떨어진 위치에서 최소 100 mm 이상(minimum gauge length :  $L_0$ )의 길이에 대하여 측정해야 한다. 여기서 d는 봉의 지름이다. (이것은 시험편의 수축이 시작되는 지점에서 측정될 수도 있는 가능성을 피하기 위한 것이다. 그림 3-1 a) 참조)  
 각 시험편은 적어도 3%의 소성연신율을 나타내야 하고, 노치감도 비율(NSR)은 다음과 같이 결정된다.

$$NSR = \frac{\text{노치된 강재의 인장강도}}{\text{노치되지 않은 강재의 0.2\% 내력}} \quad \text{또는}$$

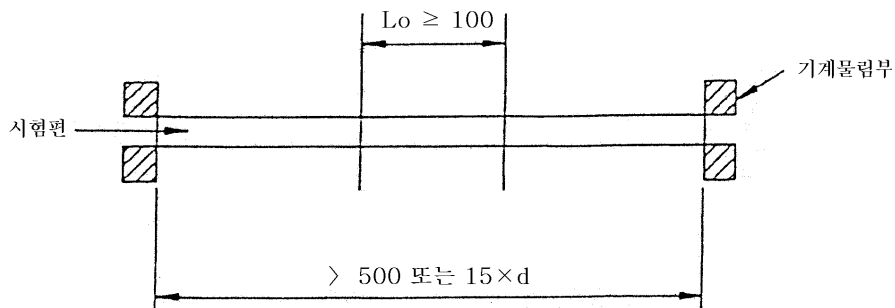
$$\frac{\text{노치된 강재의 인장강도}}{\text{노치되지 않은 강재의 최소항복응력}}$$

이 시험의 시험편은 동일한 강재의 근접한 위치에서 취한다. 적절한 시험편의 인성은  $NSR \geq 1$  이다. 노치된 강재 시험을 위한 시험편은 기계 물림부(machine grips) 사이의 중간 위치에 노치를 새긴다. 내부각도가 45° 이고 바닥 반지름이 0.25 mm인 V-노치가 사용된다. 기계 작동 기술과 허용오차는 BS EN10045-1을 따른다. 세로방향 리브바(rib bar)인 경우의 노치는 리브부 아래로 1 mm 깊이로 새긴다. 가로방향 리브바는 노치를 정상단부(crown)에 새긴다.(그림 3-1 참조) 전체 단면에 대한 소성연신율은 노치로부터 최소 2d 거리만큼 떨어져 최소 100 mm 길이(minimum gauge length)에 대하여 측정하였을 경우 1% 이상이어야 한다.(그림 3-2 b) 참조)

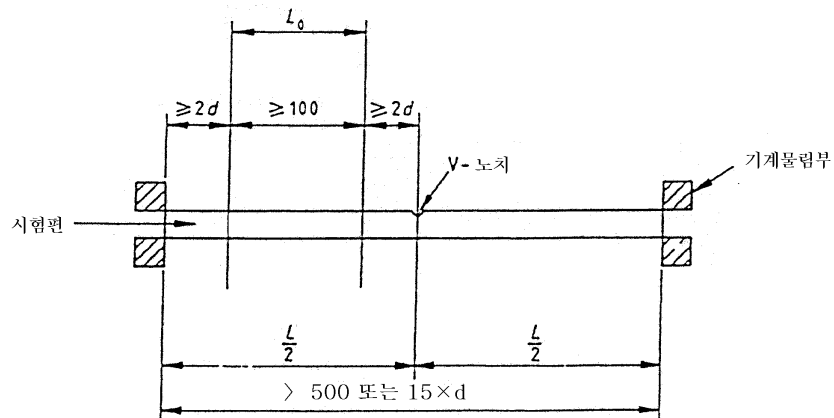
비고 위의 시험들은 직선인 강재에만 적용된다.

재시험은 BS 4449의 12절을 따른다. 시험편의 허용 작용율은 탄성범위 내에서는 최대 응력증가율이 분당 180 N/mm<sup>2</sup>(18.4 kgf/cm<sup>2</sup>), 소성범위 내에서는 최대 변형률이 분당 0.15% 가 되도록 제한해야한다.

소성연신율은 해당 인장 강도  $R_m$ 에서 원래의 길이( $L_0$ )의 영구백분율 증가값이다.



a) 노치없는 바



b) 노치된 바

그림 3-1 냉각실 내부에서 설계 온도하에서의 시험을 위한 보강재 시험편의 치수

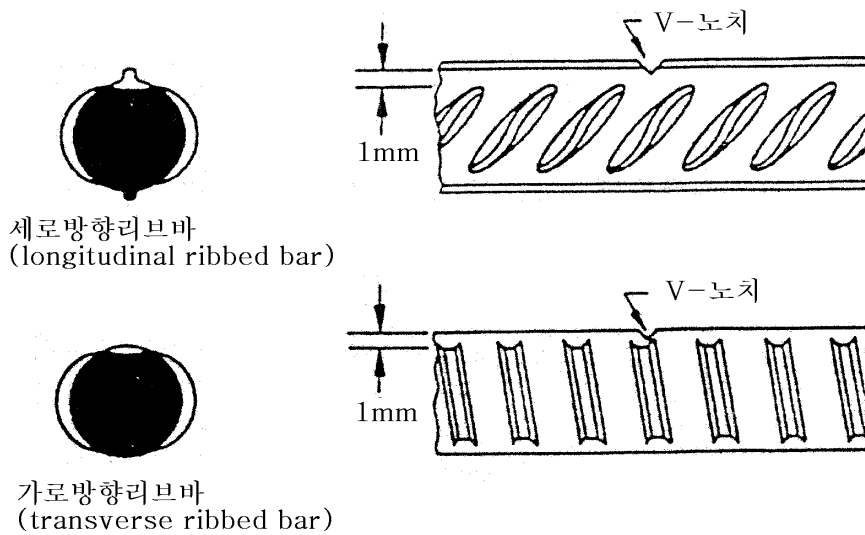


그림 3-2 철근의 노치

## 5.4 콘크리트

프리스트레스트 콘크리트의 설계기준강도  $f_{ck}$  는 35 N/mm<sup>2</sup>(350 kgf/cm<sup>2</sup>) 이상이어야 한다.

비고 콘크리트가 저온 하에서 사용되는 경우 강화되는 특성은 재질의 안전계수를 결정하는 데에 이용해서는 안 된다. 그러나 감소된 팽창계수는 사용해야 한다.

콘크리트는 다음 사항을 만족하도록 적절하게 배합되어야 한다.

- 수밀성
- 무균열성
- 내화성

- d) 저온에서의 거동
- e) 내구성
- f) 황산염과 염화물에 대한 저항성

콘크리트는 수분함량을 감소시킬 수 있도록 배합하여 내부의 얼음 형성으로 인한 내부 균열이 최소화되도록 하여야 한다. 물/시멘트 비는 0.5를 초과해서는 안 된다. 적절한 혼합에 의한 성능을 얻기 위해 혼화제(admixture)를 사용할 수도 있다.

비고 물/시멘트비가 낮으면 콘크리트 구조체 내의 간극수가 감소된다. 간극수가 얼게되면 약 9% 정도 팽창하게 된다. 팽창의 일부는 공극에서 흡수되나 수분이 과도할 경우는 콘크리트 내부에 균열이 발생할 수 있다.

콘크리트 혼합물은 5%까지 AE공기(entrained air)를 함유할 수 있다. 콘크리트가 동결, 용해를 반복할 경우는 시험을 통해 선택된 콘크리트가 적합하다는 것을 증명하여야 한다.

콘크리트의 혼합, 운반, 타설, 양생 등은 콘크리트표준시방서 시공편을 따른다

비고 그라운드 입상고로슬래그(ground granulated blast furnace slag : g.g.b.s)등을 일반 포트랜드 시멘트와 같이 사용할 수 있다. 이를 사용하면 두꺼운 콘크리트 단면에서 수화열을 감소시키는 데 도움이 되며 이는 초기 열 수축을 감소시킨다.

## 5.5 라이너

### 5.5.1 LNG에 노출되지 않는 강재 라이너

초저온에 노출되지 않는 콘크리트 외부탱크용 라이너의 재질은 일반 탄소강판을 사용한다.

### 5.5.2 LNG에 노출되는 강재 라이너

누출 또는 유출로 인해서 LNG와 접촉이 일어날 경우 라이너는 LNG 온도를 견딜 수 있는 9% Ni강판 또는 이와 동등 이상의 재료를 사용해야 한다.

일반적으로 LNG와 접촉 위험이 낮은 라이너는 단열재로 둘러싸인 경우나 소량의 누출 또는 유출로 인한 높이보다 위 부분에 있는 라이너를 들 수 있다.

### 5.5.3 비금속 라이너

비금속 라이너 재질에 대해서는 누출 및 내구성 시험을 실시하여야 한다.

## 6. 프리스트레스트 콘크리트 외부탱크

### 6.1 일반 사항

경제적 이유로 인해 일반적으로 철근콘크리트 탱크보다는 프리스트레스트 콘크리트 탱크가 사용된다.

비고 프리스트레싱 방법과 시스템은 부록 B에 간단히 설명되어 있다. 프리스트레스트 콘크리트의 기본원리는 미리 결정된 압축력을 부재 또는 구조물에 가하여 거동 특성을 변화시키는 것이다.

프리스트레스트 콘크리트 외부탱크의 적용 하중은 제1장 일반기준을 따른다.

## 6.2 프리스트레싱 시스템

원통형 탱크에 있어 원주방향의 프리스트레스는 콘크리트 벽체 내부의 덕트에 설치한 수평방향 긴장재로 벽체 바깥 면에 형성된 버팀벽(buttruss)과 버팀벽 사이를 연결하는 방법으로 가한다.

## 6.3 프리스트레스의 손실

- 비고 1. PS 강재의 총 응력 손실은 크리프, 수축, 마찰, 곡률 그리고 릴랙세이션(relaxation) 등으로 인한 각각의 손실을 합한 것이다.
2. 콘크리트에 가해진 프리스트레스는 일정한 기간에 걸쳐 다양한 손실로 인해 감소한다. 이는 주로 콘크리트의 수축, 크리프 및 강재의 릴랙세이션 등에 의해 발생한다. 긴장재에 의해 포스트 텐션(post-tension)을 줄 경우 앵커부의 활동과 긴장재와 덕트 사이에 마찰이 생긴다.
3. 프리스트레스의 손실이 발생한 후 적절한 수준의 응력을 보장하기 위해 고강도 강재와 높은 초기 인장력의 이용이 필요하다. 또한 35 N/mm<sup>2</sup>(350 kgf/cm<sup>2</sup>) 또는 그 이상의 강도를 갖는 고품질의 콘크리트를 사용하는 것이 필요하다.
4. 일반적으로 길이가 긴 긴장재를 배치하여 버팀벽에서의 밀집 현상을 줄이는 것이 바람직하다.

## 6.4 긴장재의 설계

비고 탱크 벽체에 프리스트레스를 주기 위해 일반적으로 긴장재를 콘크리트와 부착시키는 공법을 사용한다. 선형 긴장재가 이용될 경우, 긴장재를 금속 덕트 내에 설치한 후 그라우트하여 부착시키는 공법을 사용할 것인지 그렇지 않으면 현장 도착 전에 강연선 또는 봉을 개별적으로 윤활 처리하여 폴리에틸렌이나 폴리프로필렌 슬리브에 삽입하여 부착시키지 않는 공법을 사용할 것인지 선택해야 한다. 부착시키지 않는 공법은 덕트 없이 콘크리트 안으로 직접 매입되므로 후속 그라우팅 작업이 필요하지 않다.

상기 두 가지 공법은 모두 일반 사용 조건 하에서는 비슷한 역할을 한다. 그러나 특수한 조건 하에서는 거동이 상이하다. 부착시키는 공법의 경우는 수많은 미세 균열이 콘크리트 내에서 발생한다. 부착시키지 않는 공법의 경우는 소수의 넓은 균열이 나타나므로 균열을 억제하기 위해서 비인장 철근을 추가로 사용할 필요가 있다.

부착시키지 않는 공법의 기능은 앵커의 건전성에 달려있다. 반면 부착시키는 공법은 그라우트 처리를 하여 추가로 안전을 확보한다.

전달(transfer) 및 잔류응력도 고려해야 한다. 프리스트레스의 양은 모든 손실을 고려하여 계산하여야 한다.

비고 설계시에는 고려하지 않지만 콘크리트는 약간의 인장강도를 나타낸다. 저온에서 인장강도는 증가한다.

스트레스를 받지 않는 철근을 포함하여 긴장재의 총 인장하중 감당 능력은 설계 온도에서 콘크리트 탱크 벽체가 감당하는 인장하중 능력보다 커야 한다.

비고 이는 과부하시 탱크가 취성 형태로 급격 파괴되거나 파열되지 않도록 하기 위함이다. 특히 버팀벽에 인접해 있는 긴장재의 배치를 설계 초기단계에서 고려하여 실제적인 세부사항이 적용 가능하고 앵커와 엔드블록(end-block) 전체가 보강이 되도록 하여야 한다.

비고 이렇게 해야 이후의 콘크리트 타설과 다짐작업이 차질 없이 진행될 수 있다.

## 6.5 긴장재의 위치

수평 긴장재의 위치가 정해지면 응력분배와 내화성 등에 대한 고려를 해야 한다. 원주 방향의 PS 장재는 벽체의 중심에 있는 수직 긴장재의 바깥쪽에 위치해야 한다.

## 6.6 긴장재의 보호

긴장재는 탱크가 존속하는 동안 적절한 부식방지 시스템을 강구해 부식을 방지해야 한다. 긴장재는 적절한 보호조치를 해야 한다.

## 6.7 콘크리트 구조 설계

### 6.7.1 일반사항

콘크리트 구조 설계는 콘크리트구조설계기준(1999), BS 8110(1985), ACI 318(1995) 등을 따라야 한다. 탱크의 시공 및 운전 수명기간 동안 발생할 수 있는 하중조합을 결정해야 한다.

비고 BS 8110 Part 1은 시공과 정상 운전에 대한 하중과 재료 계수를 제시하고 있다. 화재, 지진 및 내부탱크의 누출 등과 같은 긴급사태에 대한 하중조합에 대해서는 어떤 계수도 제시하지 않았지만, 발생 가능성이 낮기 때문에 감소계수가 사용될 수 있다. (부록 A 참조)

### 6.7.2 응력

내부탱크의 누출로 인한 액체하중과 온도하중을 포함하여 최대설계하중 상태 하에서  $1.0\text{N/mm}^2(0.1\text{kgf/mm}^2)$ 의 최소잔류평균압축응력이 프리스트레스의 주응력 방향으로 작용하여야 한다.

비고 1. 모든 응력 손실에 대한 여유값이 있어야 한다.  
2. 발주자는 특수한 하중 및 조건들에 대한 다른 응력 요구조건들을 명시할 수도 있다.

잔류 압축부가 콘크리트 단면의 액밀성을 유지하는데 적절한지 여부를 평가하기 위해 일시적 또는 지속적인 상태의 여러 조건으로 인해 발생하는 열응력과 외부와 내부에서 발생하는 다른 응력을 조합하여 계산하여야 한다.

### 6.7.3 바닥

탱크 바닥(base)은 프리스트레스트 콘크리트 또는 철근 콘크리트이어야 한다.

### 6.7.4 벽체

정상적인 사용 상태일 때 프리스트레스트 콘크리트 벽체의 구성요소는 LNG 온도의 영향을 받지 않는 재질이어야 한다.

- 비고
1. LNG 저장 탱크 콘크리트 벽체의 설계와 시공은 이와 유사한 원통형 프리스트레스 구조물과 동일한 원리를 따른다. BS 8007과 같은 코드를 참고할 수 있다.
  2. 원주방향의 프리스트레스는 내부탱크의 저장물이 방출되는 사고로 인하여 내부 액체 하중을 받을 때 콘크리트 벽체를 압축상태로 유지하기 위해 사용된다.
  3. 수직방향 프리스트레스를 사용하면 내부탱크에서 누출이 일어났을 때 발생하는 부등응력을 벽체가 지지할 수 있다.

### 6.7.5 바닥과 벽체의 접합

바닥과 벽체의 접합부의 설계를 위해서는 다음 사항을 고려해야 한다.

- a) 액밀성 및 기밀성
- b) 방사방향의 부등 압축 거동 또는 변형
- c) 사용 상태 또는 특수한 상태에서 발생할 수 있는 방사방향의 수축이나 팽창
- d) 특수 하중에 대한 저항
- e) 접합부의 라이너와 단열재의 변형

- 비고
1. 벽체와 바닥의 접합부 설계는 전체 외부 탱크의 건전성(integrity)을 위해서는 필수적이다.
  2. 원주방향 프리스트레스가 작용하면 벽체는 수축하는 경향이 있다. 긴급상황 하에서 초저온 액체로 인한 내부압력이 벽체에 하중으로 작용할 경우, 벽체는 액체압력 때문에 이전의 압축력 보다 약간 적은 양만큼 팽창하는 경향이 있다. 이후에 이러한 팽창은 열효과로 인한 수축에 의해 몇 시간 안에 감소한다.
  3. 방사열 수축과 팽창은 열 충격에 의해 발생할 수 있다.
  4. 전형적인 특수 하중들은 폭풍, 화재 또는 지진 등이 있다.

접합부는 다음과 같은 세 가지 설계방식을 고려할 수 있다.

- a) 슬라이딩 이음(sliding joint)
- b) 핀 이음(pinned joint)
- c) 고정 이음(fixed joint)

LNG 저장탱크의 바닥과 벽체는 발주자와 계약자간의 별도의 합의가 없는 한 고정 이음으로 한다.(그림 3-3 참조)

- 비고 고정 이음의 경우 바닥 슬래브에 대한 벽체의 이동은 없다. 접합부는 상대적으로 큰 모멘트와 이 결

과로서 발생하는 전단력(shear)을 받도록 설계한다.

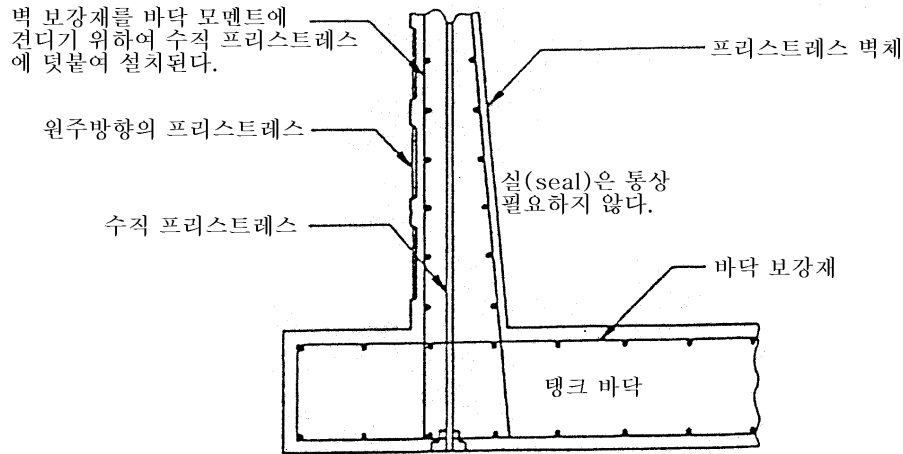


그림 3-3 고정이음(예)

### 6.7.6 지붕과 벽체의 접합

지붕과 벽체의 접합부 설계를 위해서는 다음 사항을 고려해야 한다.

- a) 기밀성
- b) 지붕에 의해 재하되는 방사방향 하중과 수직하중(수직하중은 위 또는 아래 방향)
- c) 지붕과 벽체의 상호작용으로 인한 방사방향 하중
- d) 폭풍, 화재, 지진 등과 같은 특수 하중

비고 콘크리트 지붕의 경우 일반적으로 벽체와 지붕 사이에는 일체식 연결방식이 이용된다.

### 6.7.7 지붕

탱크 지붕은 콘크리트 돔과 강재 돔으로 구성된다.

비고 탱크지붕은 인접 지역 화재로부터의 열유량(radiant heat flux)에 대해 탱크 사양서에 명시된 기간동안 견딜 수 있어야 한다.

계약자는 설계 하중조합의 상세한 내용을 발주자에 제출해야 한다. 하중조합은 발주자의 최소한의 요구사항이며 안전한 설계가 되도록 적절한 하중조건 및 하중조합을 설계에 반영해야 한다. 공사중이나 완공 후 또는 운전 중에 발생할 수 있는 모든 하중에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

지붕의 시공시 다음 사항을 주의하여야 한다.

- a) 콘크리트 타설시 비계를 사용하는 대신에 공기압을 사용하여 내부지지를 할 수 있으며, 다른 방법으로 할 경우에는 발주자의 승인을 득해야 한다.
- b) 강재 돔에 사용하는 철판은 콘크리트의 거푸집으로 사용할 수 있다.
- c) 지붕의 콘크리트 타설은 단층 혹은 2 개의 층으로 할 수 있다. 2 개의 층으로 하는 경우는 먼저 타설한 층이 균일한 두께가 되도록 주의해야 한다. 철근은 지붕의 표면과 수평이 되도록 해야 하며, 콘크리트에 완전히 묻히도록 한다.

### 6.7.8 내화성

긴급 상황시 인접한 탱크나 설비의 화재로부터 발생하는 방사열을 막기 위해서 프리스트레스 벽체가 필요할 수 있다. 발주자는 위험요소를 설정하기 위해 설계 매개변수를 명시해야 한다. 설계 매개변수는 일반적으로 실제 사건이 발생한 시점으로부터 특정시간 동안 열유량(heat flux)의 형태로 명시되어야 한다.

발주자는 인접 설비로부터 발생하는 화재 등의 위험 시나리오를 규정하고, 계약자는 온도구배, 열축적, 연소속도 등의 효과를 계산을 통해 증명해야 한다. 콘크리트는 원래 고온을 견디기에는 좋은 재료이지만, 과도한 균열이나 갈라짐을 막기 위해서는 사전 주의가 요구된다. 특히 긴장재를 부착시키지 않는 공법을 사용할 경우 앵커의 보호는 반드시 필요하다.

구조적 완전성을 유지하여 LNG를 저장해야 하며 붕괴가 일어나지 않도록 온도가 상승했을 때 콘크리트 벽체의 잔류 강도를 평가해야 한다. 화재에 의해 영향을 받기 쉬운 프리스트레스 콘크리트 탱크 벽체의 경우, 가장 중요한 요소는 노출 표면의 온도 상승률이다. 지나친 균열(spalling)이 발생하는 곳은 팽창성 코팅이나 메쉬(mesh)가 들어간 희생층의 사용을 고려해야 한다. 고상식 슬래브가 사용될 경우, 방사열에 노출된 탱크 바닥을 지지하는 교각들의 하중 지지력 측정이 필요하다.

## 7. 라이너 및 코팅

### 7.1 일반사항

습기 및 증기가 구조물을 통과하는 것을 방지하기 위해 라이너 또는 코팅을 콘크리트 내부 표면에 적용하여야 하며 다음과 같은 재료가 사용된다.

- a) 금속판 라이너
- b) 강화 또는 비강화 폴리머 코팅

비고 라이너 및 코팅은 구조물의 방액성을 확보하기 위해 사용할 수도 있다.

### 7.2 라이너

재질 선정이 적절한 경우 증기 및 방액성 재료로서 금속 라이너를 고려할 수 있다. 재질의 선정은 설계자가 결정하는 금속의 설계온도에 따라야 한다.

강판의 최소 두께는 3 mm 이어야 한다.

라이너 설계에 있어서는 구조물이 운전상태에 있을 때의 콘크리트의 크리프 또는 장기변형을 고려하여야 한다.

앵커링 시스템은 전단 및 인장을 함께 고려하여 설계하여야 한다.

### 7.3 코팅



증기차단막 또는 증기/액체 차단막으로 코팅을 적용할 수 있다. 두 경우 모두 콘크리트 표면에 직접적으로 코팅을 적용한다. 코팅 전에 콘크리트 표면을 샌드블라스팅하고 이어서 진공청소를 한다. 필요 없는 코팅 보조제 등의 찌꺼기는 제거하여야 한다.

코팅이 증기차단막으로 작용할 경우 다음 사항을 준수하여야 한다.

a) 최대 수증기 투수율 (max. water vapour permeability)은  $0.5 \text{ g/m}^2 \cdot 24\text{h}$  이어야 한다.

비고 현장과 동일한 온도/습도 조건하에서 ASTM E96에 따라 시험할 것을 권장한다.

b) 장기간 증기와 접촉한 후 코팅이 변질되어서는 안 된다.

비고 최소한 적어도 3개월 동안 증기 속에 담기두는 시험방법을 권장한다.

c) 콘크리트의 영향으로 코팅이 변질되어서는 안 된다. 코팅은 알칼리에 견디어야 한다.

비고 ASTM D 1647 또는 이와 동등한 시험방법을 권장한다.

d) 코팅과 콘크리트의 부착강도(bond strength)는  $1.0 \text{ MPa}$  이상이어야 한다.

비고 ISO 4624 또는 이와 동등한 시험방법을 권장한다.

e) 증기의 투과는  $0.1 \text{ g/m}^2 \cdot 24\text{h}$ 로 제한되는 것이 바람직하다.

## 7.4 콘크리트 외부탱크의 저온 보호 장치

콘크리트 외부탱크는 벽체와 바닥 슬래브가 강결(rigid connection)되므로 이의 연결부위 또는 바닥 슬래브에 제어할 수 없는 균열이 발생하는 것을 방지하기 위해 저온보호장치(TPS, Thermal Protection System)를 설치해야 한다. 이러한 균열은 내부탱크로부터 LNG 누출이 발생할 경우 일어날 수도 있다. 이 보호장치는 바닥 전체와 벽체의 아랫부분을 감싸서 보호하며 저온용 강판(이중 바닥)과 보냉재로 구성된다.

보호장치의 연직부분의 높이는 강결되는 코너 부위의 온도분포와 변형능력에 따라 결정되어야 한다. 재료의 선정과 설계요건은 이 기준 제 2장의 관련 조항을 따른다. 9% Ni강을 사용할 경우 강판의 최소 두께는 5 mm이다.

## 8. 기 초

### 8.1 일반 사항

LNG 저장 탱크의 기초는 설계하중을 지지하고 구조물의 건전성을 보장해야 한다.

비고 지반조건, 기후조건 및 저장형식 등이 매우 다양하기 때문에 모든 경우를 다 만족시키기는 어렵다.  
각각의 개별적인 경우에 대해서만 지반의 허용지지력과 기초 형식의 결정이 가능하다.

LNG 저장 탱크의 기초 설계는 다음 사항들을 고려해야 한다.

- a) 재하하중은 대부분의 총 중력 하중(total gravity load)을 나타낸다.
- b) 종종 최대 재하하중이 저장 액위에 따라 변할 수도 있다.
- c) LNG는 고집중 에너지(high concentration of energy)를 가지고 있으므로 사고로 방출될 경우 심각한 결과를 초래할 수 있다.
- d) 기초에 적절한 보호조치가 취해지지 않으면, LNG의 낮은 온도에 의해 지반의 종류에 따라 지반 동결 및 용기 등의 문제를 일으킬 수 있다.

## 8.2 부지 선정

부지 선정시에는 가능하면 다음과 같은 장소는 피해야 한다.

- a) 탱크의 일부는 암반 또는 단단하고 교란되지 않은 지반 위에 위치하고 다른 부분은 성토 지반 위에 위치하게 되는 부지, 요구되는 성토의 깊이가 다양한 지반 및 일부가 사전 압밀된 부지
- b) 습지 또는 압축성 토질이 지표면 아래에 있는 부지
- c) 지반의 안정성이 의심되는 지역으로 예를 들면 수심이 깊은 수로에 인접한 지역, 광산지역, 굴착 또는 매우 경사진 언덕, 카르스트 지형, 또는 용해되기 쉬운 약한 렌즈(lenses)를 포함하는 석고질 부지
- d) 탱크가 홍수에 노출되어 용기, 변형되거나 또는 씻겨 내려갈 가능성이 있는 부지, 지하수위가 낮아져서 추가적인 부등침하가 예상되는 부지
- e) 활성단층 근처 또는 지진시 액상화 가능 부지

## 8.3 기초 설계

### 8.3.1 일반 사항

탱크의 바닥 및 기초는 모든 하중을 적절한 지지층으로 전달되도록 설계하여야 한다. 탱크의 바닥 및 기초는 LNG가 누출되는 경우에도 불투수성이어야 하며, 예상되는 부등침하 및 총침하에 견딜 수 있어야 한다.

바닥 및 기초 설계는 지반과 구조물 상호작용의 특성, 액체 하중 및 기초 침하, 하부 지반의 동결 용기 및 지진 하중 등을 고려해야 한다.

### 8.3.2 하중 조건

구조물의 다양한 단계 예를 들면, 시공, 시험, 운전준비, 운전과 보수유지 등은 설계에 반영되어야 한다. 특수한 사태 예를 들면, 지진, 화재 등도 고려하여야 한다.

정상 운전 하중과 특수 하중 등은 제 1장 일반기준을 따라야 한다.

### 8.3.3 지반의 허용 지지력

지반의 허용 지지력을 결정하여야 한다.

비고 지반의 허용 지지력은 지질조사로 정해지며 이 조사에서 극한지반지지력과 침하에 대한 예측의 범위와 신뢰성 등을 고려한다. 전통적인 분석방법이외에도 지반과 구조의 상호작용을 분석하기 위해 현대 컴퓨터 기술을 이용할 수도 있다.

### 8.3.4 침 하

탱크의 수명동안 발생하는 최대의 총 침하 및 부등침하량은 허용침하한계 내에 있어야 한다.

허용침하한계는 시공허용오차를 제외한 탱크의 변형에 대한 최대값이어야 한다.

표 3-1의 부등침하 한계가 지침이 될 수 있다. 기초의 총 침하량은 기초가 점성토에 놓여 있을 때 압밀로 인해 커질 수 있다. 상기의 침하 한계는 탱크와 부대설비 설계의 특정 세부 조건을 충족시키기 위해 수정될 수 있고 발주자와 계약자가 합의하여야 한다. 대부분의 침하가 운전준비 전에 발생하지만, 인접 설비, 배관 및 다른 부분과의 연결을 위해 잔류 침하, 상대 침하가 허용되도록 설계해야 한다.

비고 허용침하한계값에 영향을 미치는 사항들은 다음과 같다. 그러나 다음 사항들에 한정되는 것은 아니다.

1. 탱크의 치수 및 중량비
2. 탱크 기초의 강성
3. 탱크와 그 구성요소의 강성
4. 조사의 신뢰성

표 3-1 부등침하 한계

침하 유형	부등침하 한계
탱크의 경사	1 : 500
탱크 원주에서 중심방향으로 방사형 선을 따라 탱크바닥 침하	1 : 300
탱크 원주 주변의 침하	1 : 500 그러나 탱크 경사의 최대 침하 한계를 초과해서는 안 된다.

침하는 시공, 충수시험, 운전준비와 운전 등을 포함하는 각 단계에서 측정해야 한다. 측정을 위하여 기초 내에 묻는 특수 덕트를 설치해야 한다. 설치되는 덕트의 위치와 수는 위험부분(critical area)에서 발생하는 총침하 및 부등침하 현상을 정확히 평가 가능하도록 배치해야 한다. 측정 주기는 침하 예상 시간 및 침하와 하중간의 변화율 측정을 위해 적절하게 결정해야 한다.

측정장비를 사용할 경우 정확성과 재현성은 구조물의 민감도와 일치해야 한다.

기초를 지지하는 하부 지반이 전체 탱크 하중을 지지하는데 큰 침하가 예상되는 경우에는 다음의 개선조치를 고려해야 한다.

- a) 부적합한 토질을 제거하고 동결이 잘 되지 않는 다짐된 조립토로 치환

- b) 진동 또는 동다짐에 의해서 연약하거나 느슨한 토질을 개선
- c) 임시 하중으로 선행 재하
- d) 선행 재하와 병행한 지표면 배수
- e) 화학적 또는 그라우트 주입에 의한 안정화
- f) 말뚝 기초

### 8.3.5 동결 응기

동결로 인한 응기현상(frost heave)은 피해야 한다.

비고 탱크 바닥에 단열재를 설치하더라도, 탱크 아래의 지면은 탱크에 열을 빼앗기게 된다. 이러한 지반의 열 손실로 인해서 동결 응기 현상이 발생한다.

동결 응기 현상을 피할 수 있는 일반적인 방법은 다음과 같다.

- a) 기층 내 또는 보다 일반적으로는 콘크리트 바닥 슬래브 안에 설치된 덕트 내부에 전기 가열 장치를 설치하거나 온수 순환 시스템의 사용
- b) 탱크 아래에 공기가 순환되도록 바닥 슬래브를 지상 위로 높임.

기초 설계자는 기초설계를 위해 예상되는 최저 제어 온도를 정해야 한다. 정상 운전 기간 중 탱크를 지지하는 지반이나 콘크리트는 4℃ 이상이어야 한다.

기초 지반이 건조 및 수축에 예민하다면 최대기초온도도 정해져야 한다.

만약 가열 시스템이 사용된다면 높은 증발률에 이르게 하는 과도한 온도를 최소화시키고 기능이나 성능을 감시할 수 있도록 설계되어야 한다. 설치시에는 재질의 열전달 특성의 변화, 특히 탱크 원주와 바닥 입구 주위에서의 변화들을 고려해야 한다.

가열시스템은 발열체 또는 온도 제어용으로 쓰이는 센서가 쉽게 교환될 수 있도록 설치되어야 한다. 시스템은 그 작동 상태를 규칙적으로 측정할 수 있도록 설계하여야 한다.

### 8.3.6 배 수

저장 탱크 지역은 기초 주위에 물이 고이지 않도록 배수가 되어야 한다. 여기에는 경우에 따라서는 소화수의 배출도 포함되어야 한다.

## 8.4 탱크 기초 형식

### 8.4.1 일반 사항

LNG 저장 탱크의 기초는 다음의 3가지 기초 형식을 고려할 수 있다.

- a) 확대 기초(surface raft)
- b) 말뚝 기초(pile supported base)
- c) 고상식 슬래브(elevated slab)

### 8.4.2 확대 기초(surface raft foundations)

설계 하중을 지지하는데 필요한 지반 특성을 지니고 있는 경우, 지반으로 직접 지지되는 철근콘크리트 부대기초를 고려할 수 있다.

비고 일반적으로 내부탱크와 외부탱크 벽체 아래 부분은 적용하중에 따라 기초 두께를 증가시킨다.

슬래브 설계시 사용중 또는 비상시의 국부적인 부등침하, 건조 수축, 크리프 및 열변형을 등의 효과에 대해 규정하여야 한다.

#### 8.4.3 말뚝 기초

지반 조건이 기초를 직접 지지할 수 없는 경우는 말뚝기초로 한다.

배토말뚝(displacement pile)을 사용할 경우, 동결로 인한 지반 또는 말뚝의 융기 현상을 고려해야 한다.

바닥 설계는 말뚝 강성을 고려해야 한다. 시공 완료 후 말뚝의 건전성을 점검하고 시험해야 한다.

- 비고
1. 건조 수축, 크리프 및 소규모 누출로 인한 열변화와 냉각점(cold spot) 등으로 인해서 바닥 수평 변형을 일으킨다. 이러한 변형의 총량은 바닥의 중심 쪽으로 갈수록 감소한다.
  2. 바닥 슬래브의 수직방향 열 구배로 인해 바닥과 강결된 말뚝에 모멘트가 발생한다.
  3. 말뚝과 바닥의 연결에 주의하여야 한다. 지반의 특성이 적절하면, 촘촘한 간격으로 된 가는 말뚝을 바닥에 고정음을 시킬 수 있다. 지름이 큰 현장 타설 말뚝이 사용되었을 경우, 탱크의 중심 근처에 위치한 말뚝에 대하여 고정음을 이용할 수 있으며 나머지 부분에 대해서는 슬라이딩 이음으로 할 수 있다.

#### 8.4.4 고상식 슬래브 기초

기열 장치를 설치하고 유지하기가 적합하지 않고 비경제적일 경우는 고상식 슬래브의 이용을 고려해 보아야 한다.

- 비고
1. 콘크리트 슬래브 탱크 바닥을 사용하면 공기가 아래로 자유로이 순환한다. 따라서 지지 기둥을 통하여 지면으로부터 탱크로 열 손실이 줄어든다.
  2. 말뚝을 연장하여 지지기둥으로 사용하거나 얇은 기초 위에 지지기둥을 설치할 수도 있다.

콘크리트 슬래브 아래의 공간은 조사 및 보수유지를 위하여 작업자의 통행이 가능하도록 지상에서 적어도 1.5 m 이상의 높이를 유지해야 한다. 탱크 아래 지면은 경사지게 하여 탱크 아래에 물이 고이지 않도록 해야 한다. 고상식 슬래브 기초 아래의 공간에는 가스 검지 장치를 설치하여야 한다.

8.4.3은 기둥이 말뚝 기초로 지지되든 또는 얇은 기초에 의해 지지되든 상관없이 고상식 슬래브에 적용된다. 유출로 인하여 아래의 공간을 저온 액화가스로 채울 위험이 있을 경우, 고상식 슬래브와 인접한 지면이 열로 인해 영향을 받을 가능성을 고려하여야 한다.

#### 8.5 수평 오차

벽판 아래 탱크 바닥의 수평오차는 10 m당  $\pm 6$  mm 그리고 원주 주위의 어느 두 점 사이는  $\pm 12$  mm를 넘지 않아야 한다.

## 부록 A 콘크리트 구조물의 설계 기준에 대한 지침

### A.1 일반 사항

BS 8110 Part 1 및 2는 한계 상태 방법(limit state methods)을 이용한 콘크리트 구조물의 설계를 다룬다. 관련 한계 상태에서의 단면해석을 위해 사용되는 설계 강도와 설계 하중을 결정하기 위해서, 부분 안전 계수(partial safety factors)가 재료의 강도와 하중에 적용된다. 적절한 수준의 안전성과 사용성(serviceability)을 확보하기 위하여 해석시 모든 관련 한계 상태들을 고려해야 한다. 통상적인 방법은 종종 극한 한계상태(ultimate limit state)로 나타나기도 하는 가장 극단적인 한계 상태에 근거하여 설계하고 그 다음 처짐과 균열 한계(deflection and cracking limitations)에 의해 부과되는 한계 상태인 사용성 한계 상태에 대해 점검해야 한다. 구조물은 동시에 상이한 유형의 하중들을 받게 된다. 즉 설계할 때 고려해야 할 다양한 유형의 하중 조합이 있다. 극단적인 상태는 1 개의 하중 값이 최대치이고 다른 조합된 하중이 최소치일 때 적용될 수 있다. 그러므로 2 개의 값은 해석 단면에 불리하게 작용하는지 또는 유리하게 작용하는지에 따라 부분 안전계수가 사용된다. 이 경우에 극한하중의 가장 복잡한 조합이 발생하게 된다.

### A.2 고려해야 할 하중 조건

일반적으로 탱크 발주자는 탱크 설계자가 고려해야 할 하중 조건들을 규정한다. 그러나 적절한 하중 조건들과 조합들을 적용하여 적절한 안전 설계를 보장하는 것은 설계자의 의무이다. 이러한 책임의 한 부분으로서 설계자는 탱크의 운전 수명동안 발생하는 모든 경우를 포괄하는 자세한 하중 총괄표를 작성하여야 한다. BS 7777 Part 1 7절에 나열된 특별 또는 비상시 하중은 반드시 평가하여야 하고 필수적인 고려사항으로 포함하여야 한다. 표 3-2는 프리스트레스 콘크리트 외부 탱크를 위한 전형적인 하중 총괄표 보여주고 있다.

### A.3 부분 안전 계수

일반 하중 조건일 때 강도 한계 상태(ULS)와 사용성 한계 상태(SLS)시 하중과 재질에 불리하게 또는 유리하게 적용되는 안전계수들이 BS 8110 Part 1에 제시되어 있다. 특수 하중 조건들을 위한 계수의 값은 표 3-3과 같다.

표 3-2 프리스트레스트 콘크리트 탱크를 위한 설계 하중 요약

하중 조건	정상 하중										비상 하중								
	시공		시험		냉각		운전		유지보수		누출		폭발		지진		화재		
	벽체	바닥	벽체	바닥	벽체	바닥	벽체	바닥	벽체	바닥	벽체	바닥	벽체	바닥	벽체	바닥	벽체	바닥	
콘크리트의 자중	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
강제탱크의 자중		○		○		○		○		○		○		○		○		○	
활 하중	(○)	○					○	○		○									
설계압력				○		○		○		○									
풍 하중	○		○		○														
PS 긴장력	○		○	(○)	○	(○)	○	(○)	○	(○)	○	(○)	○	(○)	○	(○)	○	(○)	○
건조 수축	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
크리프	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○									
온도차				(○)		(○)		○				○	○		○		○	○	○
누출												○	○						
폭발														○	(○)				
지진																○	○		
화재																		○	

\* 기호  
 ○ 적용 가능  
 (○) 필요 시 적용 (활중(adverse) 설계조건시에는 적용하지 않음)

표 3-3 특수 하중 조건을 위한 부분 하중 계수

조합 하중	하중 계수					
	고정하중		재하하중		특수하중	바람
	활중조건 (adverse)	완화조건 (beneficial)	활중조건 (adverse)	완화조건 (beneficial)		
운전하중 + 특수하중조건 (즉, 지진, 파열압, 외부충격, 화재, 내부탱크누출)	1.05	1.0	1.05	0	1.05	0.3 <sup>1)</sup>

주 1. 특수하중조건 고려시 사용되는 재료의 부분 하중 계수 값은 BS 8110 : Part 1을 따라야 한다.  
 2. 지진, 파열압, 외부충격 및 화재는 동시에 발생하지 않는 것으로 간주한다. 내부탱크 누출 및 화재는 함께 고려 할 수 있다. 또한 내부탱크 누출은 지진 하중과 함께 조합되어 발생할 수 있다.  
 예를 들면, 중대사건(main event)으로 인해 발생한 후충격(after-shock)은 실제 가능한 시나리오가 될 수 있다. 단, 화재 또는 지진과 함께 조합되어 적용됨.

## 부록 B 프리스트레스트 콘크리트

프리스트레싱은 다음과 같은 몇 가지 면에서 콘크리트의 거동을 변화시킨다.

### a) 인장 응력을 발생시키는 재하하중에 대한 저항 능력의 향상

콘크리트의 인장응력은 비교적 작으며(압축응력의 1/10 내지 1/5) 불확실하다. 인장응력을 발생시키는 하중을 받는 부재 또는 구조물 또는 그 일부분에 초기 압축력(pre-compression)을 발생시키기 위해 프리스트레싱을 가한다. 이 초기 압축력의 크기는 이후에 작용하는 인장력 이상이 되도록 설계된다. 콘크리트의 전단거동은 같은 방법으로 개선된다. 전단력을 결정하는 주 인장응력은 초기 압축력에 의해 상쇄된다.

### b) 인장파괴 양상의 변화

무근 콘크리트의 인장파괴는 취성파괴 양상을 나타낸다. 철근콘크리트에서는 철근에 의해 균열이 제거되거나 과하중으로 인한 균열은 과하중이 제거되어도 열려있게 된다. 부착방식의 프리스트레스트 콘크리트의 경우 철근 콘크리트에서와 같이 과하중에 의해 균열이 발생할 수 있으나 지속적인 프리스트레싱의 존재로 인해 과하중이 제거되면 균열이 닫히게 된다. 부착하지 않는 방식의 프리스트레스트 콘크리트의 경우는 소량의 넓은 균열이 발생한다는 점에서 거동이 상이하다. 그러나 과부하가 제거되면 균열은 사라진다. 부착식 철근과 비 부착식 긴장재를 같이 사용하면 균열폭과 간격을 제어할 수 있다.

### c) 변위에 대한 반응

철근콘크리트이든 프리스트레스트 콘크리트이든 모든 콘크리트 구조물은 건조 수축 또는 크리프로 인하여 치수에 변화가 생긴다. 프리스트레스트 콘크리트의 경우 적용하중으로 인한 크리프 이외에도 프리스트레싱력에 의한 변위를 설계시 고려해야 한다.

비고 프리스트레스를 주는 2가지 방법은 프리텐셔닝(pre-tensioning)과 포스트텐셔닝(post-tensioning)으로 알려져 있다. 이들은 PS 강재를 긴장하는 시점과 콘크리트의 타설에 차이가 있다. 프리텐셔닝은 주로 공장 제작시 적용된다. 긴장재는 독립적인 지지물에 지지되어 긴장되고 콘크리트는 긴장재 주위에 타설되어 긴장재와 결합한다. 인장력이 긴장재의 양 끝에서 제거되었을 때 인장력은 미리 제작된 단위 부재에 가해진다.

포스트텐셔닝은 대개 현장에서의 기술이다. 콘크리트를 인장력이 가해지지 않은 긴장재가 들어있는 쉬스(sheath)나 덕트 주위에 타설한다. 콘크리트가 적절한 강도를 지니게 될 때 긴장재는 유압 잭(hydraulic jack)을 이용하여 긴장된다. 긴장된 긴장재는 앵커에 의해 고정되고 잭의 압력은 해제되어 제거된다.

시멘트 그라우트는 긴장재를 보호할 뿐만 아니라 긴장재와 콘크리트 구조물을 결합하여 구조물의 거동 특히, 과부하 상태 하에서의 균열의 발생에 영향을 미친다.



## 부록 C 콘크리트 부재의 프리스트레싱 손실 계산에 대한 지침

### C.1 콘크리트의 건조수축 변형률(shrinkage strain)

콘크리트의 건조수축으로 인한 프리스트레스 손실은 콘크리트의 단위 길이당 건조수축률에 강재의 탄성계수(modulus of elasticity)를 곱하면 얻어진다. 실험값을 대신하여 콘크리트의 단위 길이당 건조수축률을  $100 \times 10^{-6}$ 으로 취할 수 있다.

### C.2 콘크리트의 크리프 변형률

콘크리트의 크리프 변형률(단위 응력당 및 단위 길이당 크리프)은 전달에 근거하고 있고 콘크리트가 28일 강도에 도달했을 때의 값으로 가정한다. 정확한 값을 대신하여 크리프 계수(creep coefficient)는 1.4 가 이용될 수 있다.

Young의 계수 값( $E_c$ )은 함수율, 전달의 효과적인 시기, 단면 두께, 대기의 상대 습도와 대기 온도 등에 따라 변한다(표 3-6 참조).

크리프 변형률은 크리프 계수를  $E_c$ 의 적절한 값으로 나눔으로써 얻어진다. 프리스트레스의 손실은 특정한 크리프 변형률을 전달할 때의 콘크리트 응력에 곱하고 다시 긴장재의 탄성 계수에 곱함으로써 얻어진다.

표 3-6 콘크리트의 크리프 변형

고 유 강 도 $f_{cu}$ N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	Young의 계수 $E_c$	
	평균 kN/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	대표 범위 kN/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )
40 (4.1)	28 (2855.2)	22 ~ 34 (2243.4 ~ 3467.0)
50 (5.1)	30 (3059.1)	24 ~ 36 (2447.3 ~ 3671.0)
60 (6.1)	32 (3263.1)	26 ~ 38 (2651.3 ~ 3875.9)

### C.3 탄성 변형

콘크리트의 탄성변형으로 인한 프리스트레스의 손실은 긴장재의 길이를 평균하여 긴장재에 인접한 콘크리트의 응력과 계수율을 곱한 값의 절반을 기준으로 하여 계산한다. 또는 프리스트레스의 손실은 긴장작업 순서에 따라 정확하게 계산할 수도 있다.

### C.4 PS 강재의 릴렉세이션

강재의 릴렉세이션으로 인한 손실은 제조업자가 제공하는 승인서(certificate of approval)에 있는 1000h 릴렉세이션 값에 Class 1의 고인장 와이어, 강연선 또는 강봉에 대해서 2.0 또는 Class 2의 고인장 와이어, 강연선 또는 봉에 대해서는 1.5를 곱함으로써 계산된다.

릴렉세이션 등급(class)은 BS 5896을 따른다.

만약 적절한 값을 제공하는 승인서가 없다면, 추정 값은 고인장 와이어 또는 강연선에 대해서

는 BS 5896 또는 고인장봉에 대해서는 BS 4486을 따라서 적절한 하중 상태에 대한 최대값을 취한다.

### C.5 덕트의 마찰

덕트의 곡률(curvature)로 인한 마찰로 발생하는 손실은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$P_x = P_o e^{ux/r_{ps}}$$

또한 덕트 형상의 뜻하지 않은 변형으로 인해 발생하는 마찰로 인한 손실은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$P_x = P_o e^{Kx}$$

여기서

$P_o$  잭킹 끝에서의 긴장재 내의 프리스트레스(kN)

$P_x$  잭으로부터  $x$  만큼 떨어진 거리 또는 응력 지점에서의 프리스트레스(kN)

$e$  Napierian 상용대수(m)

$x$  응력 지점 또는 만곡된 덕트의 탄젠트(tangent) 지점으로부터의 거리

$u$  마찰 계수

$r_{ps}$  만곡부 반지름(m)

$K$  덕트의 유형, 덕트의 내부 표면 그리고 콘크리트 타설시 거푸집 및 콘크리트 단면 내에서 위치 고정 방법 등에 따른 단위 미터 길이 당 계수이다.

보다 정확한 정보를 얻을 수 없으면, 마찰 상수를 위하여 다음의 값을 이용할 수 있다.

a) 덕트내의 강재 긴장재의 경우

$$u = 0.3$$

$$K = 33 \times 10^{-4}$$

b) 폴리텐(폴리에틸렌) 또는 폴리프로필렌 덕트내의 그리스 처리된 강연선(strand)의 경우

$$u = 0.12$$

$$K = 25 \times 10^{-4}$$

가스기술기준 중 관계법령과의 상이점

고압가스안전관리법시행규칙, 고압가스안전관리기준통합고시	가스기술기준(Code)	사 유
	- 해당없음 -	



### KGS Code 기호 및 일련번호 체계

KGS(Korea Gas Safety) Code는 가스관계법령에서 정한 시설·기술·검사 등의 기술적인 사항을 상세기준으로 정하여 코드화한 것으로 가스기술기준위원회에서 심의·의결하고 산업통상자원부에서 승인한 가스안전 분야의 기술기준입니다.



분 류	기 호	시 설 구 분	분 류	기 호	시 설 구 분	
제품(A) (Apparatus)	기구(A) (Appliances)	AA1xx	냉동장치류	제조·충전 (P) (Production)	FP1xx	고압가스 제조시설
		AA2xx	배관장치류		FP2xx	고압가스 충전시설
		AA3xx	밸브류		FP3xx	LP가스 충전시설
		AA4xx	압력조정장치류		FP4xx	도시가스 도매 제조시설
		AA5xx	호스류		FP5xx	도시가스 일반 제조시설
		AA6xx	경보차단장치류		FP6xx	도시가스 충전시설
		AA9xx	기타 기구류	판매·공급 (S) (Supply)	FS1xx	고압가스 판매시설
	연소기(B) (Burners)	AB1xx	보일러류		FS2xx	LP가스 판매시설
		AB2xx	히터류		FS3xx	LP가스 집단공급시설
		AB3xx	렌지류		FS4xx	도시가스 도매 공급시설
		AB9xx	기타 연소기류		FS5xx	도시가스 일반 공급시설
	용기(C) (Containers)	AC1xx	탱크류	저장·사용 (U) (Use)	FU1xx	고압가스 저장시설
		AC2xx	실린더류		FU2xx	고압가스 사용시설
		AC3xx	캔류		FU3xx	LP가스 저장시설
		AC4xx	복합재료 용기류		FU4xx	LP가스 사용시설
		AC9xx	기타 용기류		FU5xx	도시가스 사용시설
			일반(G) (General)	공통(C) (Common)	GC1xx	기본사항
					GC2xx	공통사항

