

## **B-3**

# **위험물저장탱크 목측시험의 시험방법 비교조사 및 불량사례분석**

**권경옥, 문덕인, 김종희, 사공성호**  
한국소방검정공사

## **A Comparison of test methods and analysis of failed exam on the visual test for oil storage tank**

**Kyungok Kwon, Deogin Mun, Jonghee Kim, and Sungho Sakong**  
*Hazardous Materials Tank Department of Korea Fire Equipment Inspection Corporation,*

### **I. 서론**

1960년대에서 1980년대 사이에 장치산업인 정유 또는 화학공장에는 많은 위험물저장탱크들이 증설되었으며 이들 위험물탱크설비들이 자체적인 검사에 의존하였기에 여러 가지 구조적인 문제점들이 내재되어 있다.

탱크의 용접 등이 완벽하게 되었다 하더라도 구조적인 문제를 안고 있으면 탱크의 하중의 불균형적 집중이나 침하 등과 같은 현상이 일어나 결국 많은 비용과 시간을 들여 만들어진 것이 단 기일내에 파괴되고, 많은 인명과 재산피해 및 환경오염의 악영향을 초래할 수 있다.

따라서 본 연구조사에서는 위험물저장탱크의 구조적인 결함을 찾기 위해서 시행되고 있는 국내외의 목측시험방법 및 종류를 비교 분석하고 업체별 목측시험 불량사례를 분석하여 개선점을 모색하였다.

### **II. 목측시험의 종류 및 시험방법**

목측시험이란 구조물의 검사에 있어서 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 부분으로 구조물의 건설에 있어서 치우침이나 침하 등을 각종 측정장비 등을 이용하여 측정함으로써 구조물이 안전하게 건설될 수 있도록 하기 위한 시험이다. 특정유위저장탱크 건설에 대한 목측시험의 종류에는 애플리판의 최소돌출치수, 충수시험, 수평도 및 수직도, 바닥판 요철측정, 진원도, 측판과 바닥판과의 각도측정, 측판각변형측정 등이 있다.

### **III. 침하의 종류**

탱크를 지지하는 기초 및 지반은 시간이 경과됨에 따라 각종 침하를 수반 하게 되

며 이러한 침하의 종류에 따라 검사방법도 다르게 적용되어야 한다. 일반적으로, 기초의 침하형식과 탱크부재강도와와의 관계는 균등침하, 경사침하(부등침하), 측판직하의 원주방향에 국부침하, 측판직하의 반경방향의 침하, 바닥판의 요철(凹凸)침하에 따라 관찰되어진다.

#### IV. 국내·외의 목측시험방법 비교분석

국내·외의 목측검사방법을 비교분석한 결과 국내 타기관이나 다른 외국의 규격보다 현소방법에서는 중요한 많은 부분의 검사항목이 빠져있음을 알 수 있었으며 그 비교분석한 내용은 다음 표 1과 2와 같이 나타났다.

표 1. 국내의 목측시험방법 비교

	국내소방법	산업안전관리공단	한국가스안전공사
수평도	측판최하단의 외면을 원주길이 방향으로 3m 내지 5m의 등간격을 두어 원의 중심에 대칭되는 점에 스케일을 세우고 레벨측정기등으로 수평도를 측정 (허용치) 탱크직경의 1/100	원주방향으로 등간격으로 최소 8 곳을 측정하며 측정점간의 최대 간격은 9m(허용치) -균일침하 : 없음 -면경사침하 : 탱크높이의 1/100 -비면경사침하: $S = \frac{3333L^2 \times Y}{2(E \times H)}$ (mm) -가장자리침하: B=0.37R	각 지주점을 기준점과 비교하여 1point씩 측정 (허용치) -침하량 0.5%를 초과시 : 1년간 매월 측정 -침하량 1%를 초과시 : 사용중지 후 보수
수직도	측판최상단의 외면을 원주길이 방향으로 3m 내지 5m의 등간격을 두어 원의 중심에 대칭되는 측판상부 또는 지붕판에 일정한 길이로 추를 매어달아 늘어뜨려 측판과의 간격을 측정 (허용치) 탱크높이의 1/200	수평도와 동일개소 (허용치) 탱크높이의 1/200	-
진원도	-	-	-
요철 측정	-	원주방향으로 등간격으로 최소 8 곳을 측정하며 측정점간의 최대 간격은 9m, 내측방향으로 D/3m (허용치) -탱크밀판침하: B=0.37R	-
측판과 바닥판과의 각도 측정	-	-	-
측판각변형 측정	-	-	-

표 2. 국외의 목측시험방법 비교

	일본소방법	JIS B 8501	API 650, 653
수평도	측판의 원주방향으로 3~5m의 등간격으로 설정하며 탱크 중심의 대칭되게 한다. (허용치) 탱크직경의 1/100	-	측판의 원주방향으로 등간격으로 최소8곳을 측정하며 측정점간의 최대간격은 9m(허용치) -균일침하 : 없음 -비면경사침하: $S = \frac{L^2 \times Y \times 11}{2(E \times H)}$ (in) -가장자리침하: B=0.37R
수직도	수평도와 동일개소 (허용치) 탱크높이의 1/200	측판최하단과 최상단의 사이에서 측정 (허용치) 탱크높이의 1/200	수평도와 동일개소 (허용치) 탱크높이의 1/200
진원도	수평도와 동일개소 (측판1판에 대해 2개소) (허용치) $\pm(13 + \frac{D-12}{5.5})$ D : 기준직경 (단, 직경이 12m 이하의 경우는 $\pm 13\text{mm}$ 이하로 한다)	최상단부 또는 최하단부로부터 1m 높이에 있어서, 탱크중심에서 수평으로 측정 한 반경의 허용차는 기준반경에 대해서 아래식에서 계산되어지는 값이하로 한다. (허용치) $\pm(13 + \frac{D-12}{5.5})$ D : 기준직경 (단, 직경이 12m 이하의 경우는 $\pm 13\text{mm}$ 이하로 한다)	탱크내경에서 최하단 코너로부터 1ft높이의 위치에서 측정 (허용치) 탱크직경(feet)      허용오차(in) 40 미만 $\pm \frac{1}{2}$ 40 이상~150 미만 $\pm \frac{3}{4}$ 150 이상~250 미만 $\pm 1$ 250 이상 $\pm 1 \frac{1}{2}$
요철 측정	측판의 원주방향으로 10m 등간격으로 탱크중심에 대칭되게 하며(해당점이 4 미만일 때는 4로 한다) 내측으로 5m(동심원의 수가 2미만일 때는 2로 한다)의 연결점	-	원주방향으로 등간격으로 최소 8곳을 측정하며 측정점간의 최대간격은 9m, 내측방향으로 D/3m (허용치) -탱크밀판침하: B=0.37R
측판과 바닥판과의 각도측정	탱크내면에서 측판과 저판과의 각도를 마이크로프로텍터 등으로 측정하며 원주방향을 따라 등간격 5m 이내로 한다. (허용치) 내면각 75°~95°	-	-
측판간 변형 측정	측판의 수평방향 및 수직방향에 있어서 용접부분의 각변형량을 길이 1m의 각변형측정용 형판을 이용하여 측정하며 측판 1매에 대하여 3개소로 한다. (허용치) 0±15mm ※판두께 10mm 미만의 연강에 있어서는 규정이 없음	측판의 수평방향 및 수직방향에 있어서 각변형량은 용접부분 또는 평면부에 있어서 길이 1m의 형판을 사용하여 측정. (허용치) 0±15mm ※판두께 10mm 미만의 연강에 있어서는 규정이 없음	-

## V. 목측시험 불량사례분석

### 1. 업체별 목측시험 불합격현황(정기점검-'98년 9월까지)

우리공사에서 1996. 7. 1부터 정기점검실시이후 '98년 9월까지의 불량사례를 분석하여 보면 정기점검을 실시한 대부분의 탱크에서 정도의 크기가 다를 뿐 어느 정도의 경사침

하 현상 및 부분침하 현상이 나타나고 있는 것을 알 수 있었으며, 그 중 허용치를 벗어나는 경우의 원인을 보면 지반침하의 원인과 제작당시의 시공불량으로 나타났다.

이 중에서 수직도의 불량은 원주방향으로 10m 범위 안에서 나오지만 국부적으로 5m 미만의 범위안에서도 나오는 것으로 밝혀졌다. 따라서 수직도 및 수평도의 포인트산정에서 API, 산업안전관리공단의 9m의 등간격보다는 현행 3~5m가 적절할 것으로 판단된다.

이들 탱크들은 지속적인 관리를 필요로 한다.

한국가스안전공사의 경우 탱크의 침하가 나타날 경우 검사주기를 단축하여 탱크안전도에 만전을 기하고 있다.

아래에 목측시험 불량사례를 표-5로 나타냈다.

표 5. 목측시험 불량사례

구분	규격	구분	허용치(mm)	측정최대치(mm)	측정최소치(mm)	비고
A사 '96년	직경:31.9m 높이:15.5m	수직	0±77.5	147.28	3.0	C.R.T
		수평	319	70	(최대-최소)	
B사 '97년	직경:37.8m 높이:15.24m	수직	0±76.2	-132.992	1.477	C.R.T
		수평	378.2	395	(최대-최소)	
C사 '97년	직경:36.57m 높이:15.34m	수직	0±76.725	143.579	3.719	C.R.T
		수평	365.76	91	(최대-최소)	

※ C.R.T : CONE ROOF TANK

가. A사의 부적합원인 분석

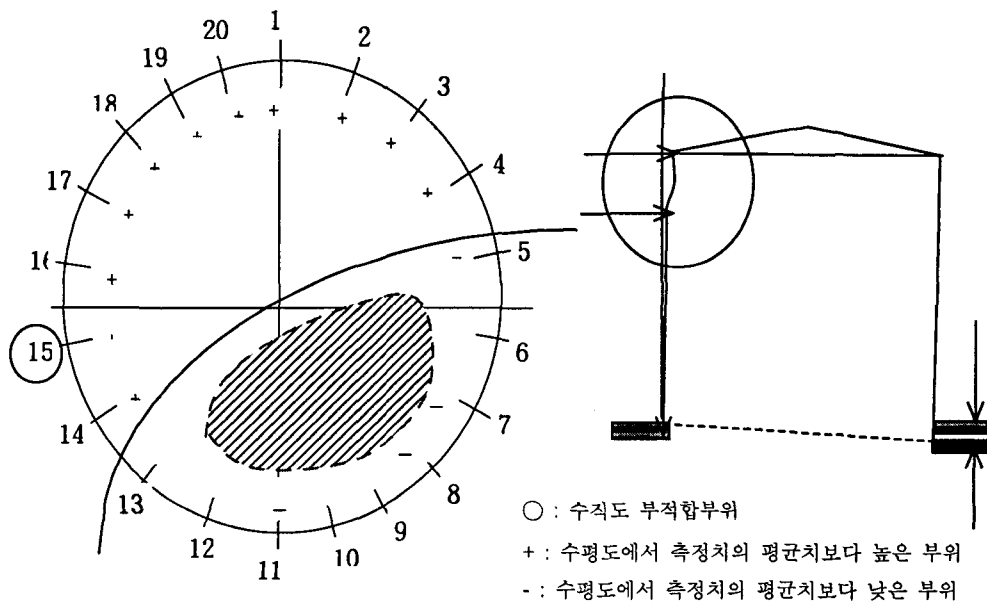


그림 1. A사의 부적합 원인

전체적인 경사 기울림이 70mm 정도 있으나 (허용치 319mm) 비교적 양호한 상태이며 15번부위의 측판상단부위에서만 수직도의 허용치(77.5mm)보다 +69.78mm가 벗어난 147.28mm로 나타났다.

이는 지반이 침하하여 나타나는 경사기울림에 의하여 수직도의 기울림이 발생한 것이 아니며 제작당시의 시공불량 또는 운전중의 부주의에 의한 좌굴현상으로 판단된다.

#### 나. B사의 부적합원인 분석

바닥판의 경사기울림이 전체적으로 허용치(378.2mm)보다 16.8mm를 벗어난 395mm로 나타났다. 수직도에서도 지대가 낮은 쪽(5~17)의 13번이 -132.992mm로 허용치(76.2mm)보다 56.792mm가 탱크외측으로 기울어 졌으며 지대가 높은 쪽(18~4)의 3번과 23번이 각

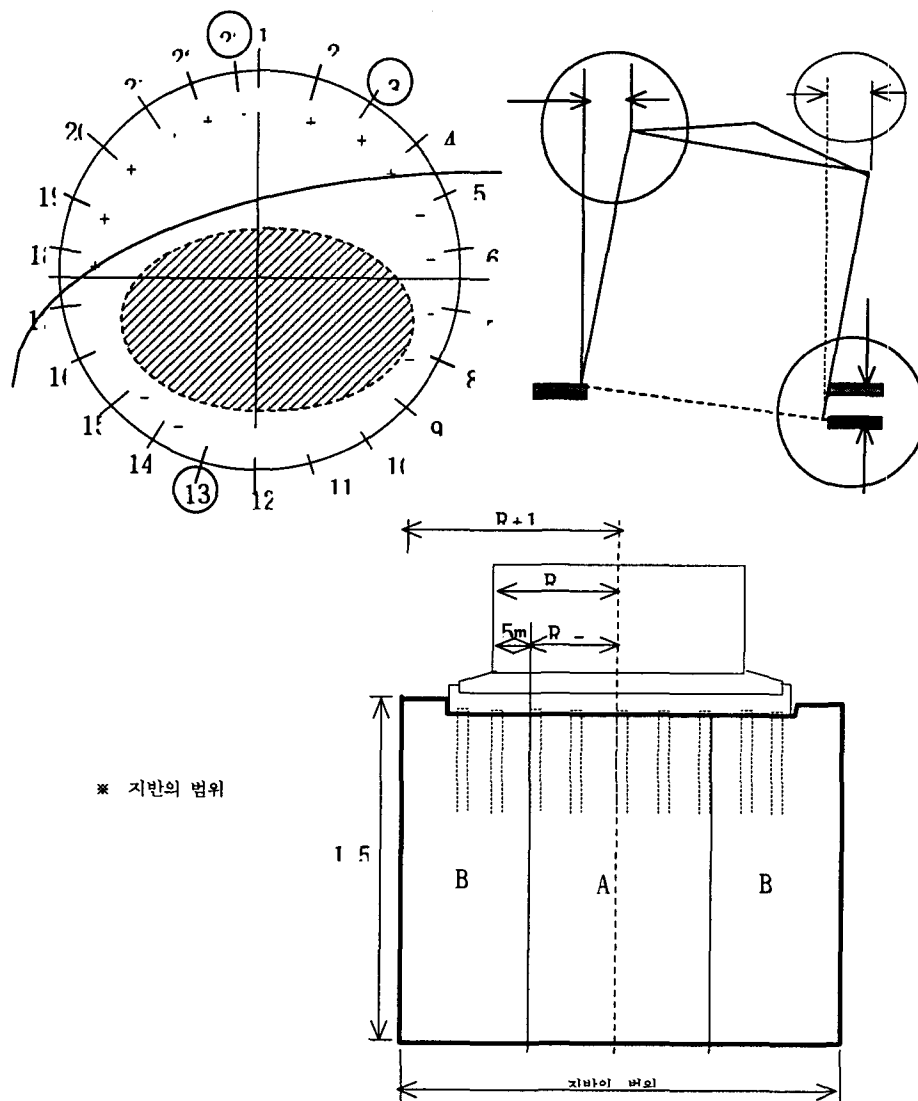


그림 2. B사의 부적합원인 분석

각 96.789mm와 78.318mm로 기준허용치보다 20.589mm, 2.118mm가 탱크내측으로 기울어져 전형적인 경사침하의 형태로 보인다.

이는 B사의 탱크설치 위치가 매립지이기 때문에 지반이 연약하여 경사침하의 현상이 일어난 것으로 판단된다.

다. C사의 부적합원인 분석

전체적인 경사 기울림은 보이지 않으며 비교적 양호한 상태이나 3번, 5번, 6번, 8번, 12번, 13번, 15번, 16번의 8개소에서 수직도의 허용치(76.725mm)를 벗어난 -130.18mm, +122.749mm, +143.579mm, -90.017mm, -116.05mm, -88.529mm, +119.774mm, +104.895mm로 나타나 탱크외측으로의 기울림과 탱크내측으로의 기울림이 반복되어 전체적인 뒤틀림현상이 보인다. 이는 지반의 침하와는 무관하며 탱크제작당시 시공불량으로 용접시 응력을 고려하지 않은 용접방법과 측판조립시 한쪽으로 치우친 상태에서 용접함으로써 전체적으로 탱크하부에서 상부로 올라가면서 뒤틀림 현상으로 발전한 것으로 판단된다.

라. 부적합요인에 대한 대책

옥외저장탱크의 목측시험 부적합의 원인은 지반의 침하와 제작당시의 부적절한 용접 방법 등으로 나타나고 있으며 이들의 부적합요인을 제거하기 위해서는 제작당시때부터 철저한 시공과 검사를 필요로 한다. 가스안전공사의 옥외저장탱크의 경우 제작당시때부터 기준점(벤치마크)를 설치하여 목측시험시 균일침하와 경사침하를 측정할 수 있도록 관리하고 있다.

목측시험의 포인트산정은 앞에서 언급했듯이 5m 이하의 범위에서도 부적합 요인이 발생하고 있고 대부분의 옥외저장탱크에서 경사침하의 현상이 발견되기 때문에 수직과 수평포인트는 현행되로 유지하고 여기에 바닥판의 요철시험과 가장자리 침하에 대해서 추가로 검사하는 것이 바람직하다고 생각된다.

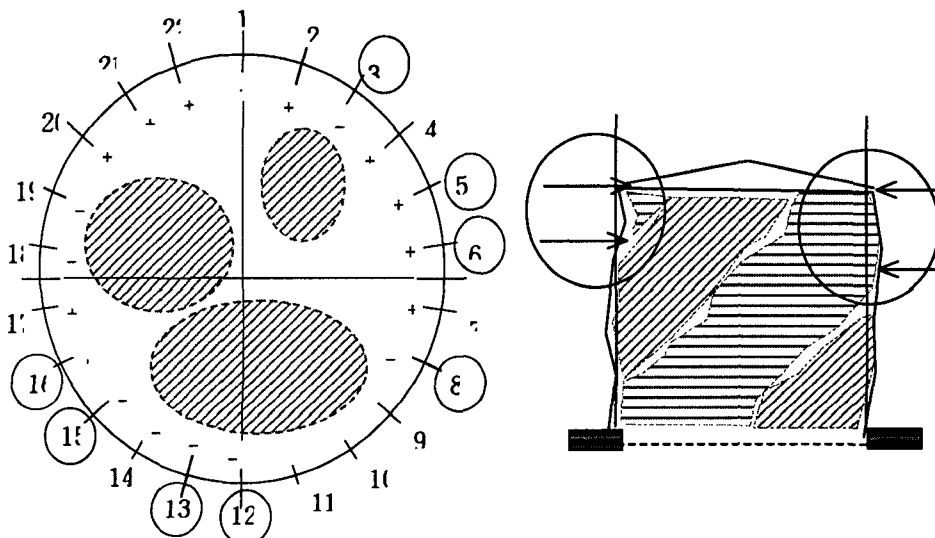


그림 3. C사의 부적합원인 분석

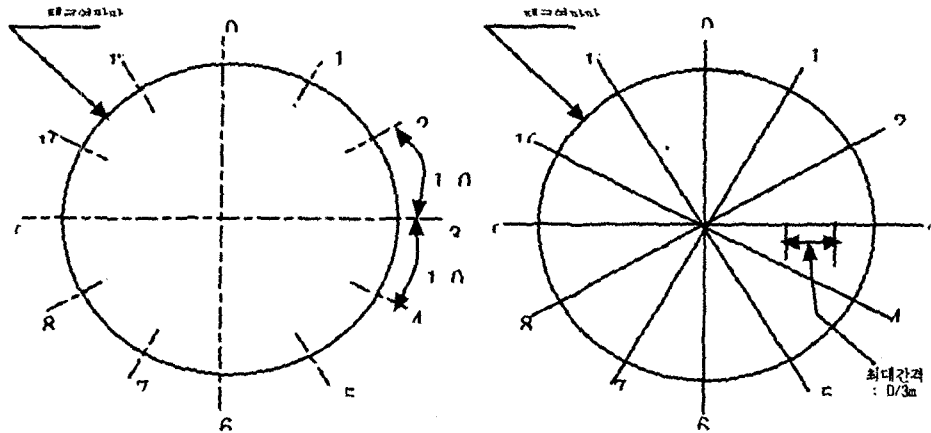


그림 4. 요철시험

(1) 국내에 도입필요한 목적시험

(가) 요철시험

현행 소방법에서는 바닥판의 국부적인 침하현상을 검사할 수 없으며 바닥판의 국부적인 침하현상은 바닥판 윗부분에는 압축응력을 아랫쪽에는 인장응력을 발생시키고 주위의 바닥판에도 인장응력을 발생시켜 용접부의 Crack를 유발시키는 요인이 된다.

API와 산업안전관리공단, 일본위험물보안협회에서도 바닥판의 요철의 측정을 규정하고 있으며 API와 산업안전관리공단의 경우 바닥판 측정점 포인트는 원주방향을 등간격으로 최소 8곳을 측정하며 측정점간의 최대간격은 9m, 내측방향으로는  $\frac{D}{3}$  m로 규정하고 있으며, 일본의 경우 측판의 원주방향으로 10m등간격으로 탱크중심에 대칭되게 하며 내측으로 5m의 동심원의 연결점을 측정점으로 규정하고 있다.

현행 소방법의 경우 수직도와 수평도의 포인트 산정이 일본과 유사하기 때문에 이 경우에도 10m의 등간격으로 하게되면 현재 시행되고 있는 수직, 수평포인트수와 연관되게 검사할 수 있다.

(나) 가장자리침하시험

가장자리 침하는 목적시험에 있어 주요관심사이다.

탱크동체의 하중이 집중되는 동체와 밑판의 용접부근에서만 나타나며 가장자리 침하의 경우는 구조적 안전성을 심각하게 검토하여야 한다. 특히, 측판하단부는 탱크의 구조상 응력을 가장 많이 받는 부분으로 가장자리침하의 검사외에 측판과 바닥판의 각도측정도 행하고 있다.

API와 산업안전관리공단에서도 가장자리침하의 측정을 규정하고 있으며 측정점 포인트의 위치는 원주방향으로 최대간격은 9m로 규정하고 있다. 현행 소방법의 수평도 측정만으로는 가장자리침하의 현상을 파악할 수 없기 때문에 추가로 검사해야할 부분으로 생각된다.

## VI. 결론

목측시험은 옥외저장탱크 제작시공에 있어서 비파괴검사, 누설검사와 같이 중요한 검사이다. 특히, 부상지붕형 옥외저장탱크에 있어서는 진원도 또는 수직도가 불량하면 부상지붕의 작동에 악영향을 주기 때문에 현장시공에 있어서는 측판의 조립 및 용접방법 등을 고려해서 비틀림의 발생을 적극적으로 막지 않으면 안된다. 또, 조립 중에도 측정을 세밀히 행하며 적절히 수정해 나갈 필요가 있다.

국내소방법과 산업안전관리공단, 한국가스안전공사, 일본소방법, JIS B 8501, API 650, API 653의 목측시험을 비교·분석결과 목측시험 중에 바닥판의 요철시험과 가장자리 침하등의 검사는 중요하며, 탱크안전의 지속적인 관리를 위해서는 탱크제작 완료 후의 검사만을 시행하는 것보다는 제작당시부터 기준점(벤치마크)을 설정하여 시험을 실시하고, 그 측정한 값에 의해 침하의 지속적인 관리를 하는 것이 좋은 방법인 것으로 나타났다. 불량사례 분석결과 정기점검을 실시한 대부분의 탱크에서 정도의 크기가 다를 뿐 어느 정도의 경사침하 현상 및 부분침하 현상이 나타나고 있는 것으로 나타났으며 그 중 허용치를 벗어나는 것은 지반침하의 원인과 제작당시의 시공불량으로 나타났으며 이 중에서 수직도의 불량은 원주방향으로 10m범위 안에서 나오지만 국부적으로 5m 미만의 범위안에서도 나오는 것으로 밝혀졌다. 따라서 수직도 및 수평도의 포인트산정에서 API 또는 산업안전관리공단의 9m의 등간격보다는 현행 3~5m가 적절할 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 위험물제조소등의정기점검기준(행정자치부고시 제1999-3호).
2. 위험물탱크안전성능시험기준(행정자치부고시 제2000-5호).
3. 특정옥외탱크저장소 기초·지반 심사실시세목 - 일본위험물보안기술협회.
4. 옥외저장탱크의 검사 및 계측자료 - 일본위험물보안기술협회.
5. 형상검사 자료 - 일본위험물보안기술협회.
6. JIS B 8501 - 일본공업규격.
7. API 650 - 미국석유협회.
8. API 653 - 미국석유협회.
9. 상압저장탱크의 검사 및 보수에 관한 지침 - 한국산업안전공단.