

# 인천 LNG 인수기지의 지상식 저장 탱크 시공

- Construction of Above-Ground Storage Tanks in Incheon LNG Receiving Terminal -



양인환\*



김종규\*\*

## 1. 머리말

국가 경제의 발전으로 에너지 소비는 매년 증가하고 있으나, 국내의 유일한 부존 에너지원인 무연탄은 채탄성의 악화와 공해 및 사용의 불편성 등으로 인하여 미래의 급증하는 에너지 수요를 충족하기 어려운 실정이다. 또한, 언제 발생할지 모르는 석유 위기에 대비하여 석유 의존도를 낮추고 석유 대체 에너지의 확보를 통해 에너지 공급원을 다변화하려는 정책에 따라 정부는 LNG(Liquefied Natural Gas, 액화천연가스)의 도입을 추진하고 있다. 지상식 LNG 저장탱크는 평택과 인천 LNG 인수기지에서 각각 10기가 건설되었으며, 근래에는 통영 인수기지에서도 5기가 시공 중에 있다. 천연가스의 임계 온도는  $-82.1^{\circ}\text{C}$ 이며,  $-162^{\circ}\text{C}$ 로 냉각시키면 부피가 1/600 상태의 LNG가 된다. LNG 저장탱크는 일반 콘크리트 구조물과는 달리 초저온성과 가연성 가스에 대한 충분한 기밀성을 가지는 구조물이어야 한다.

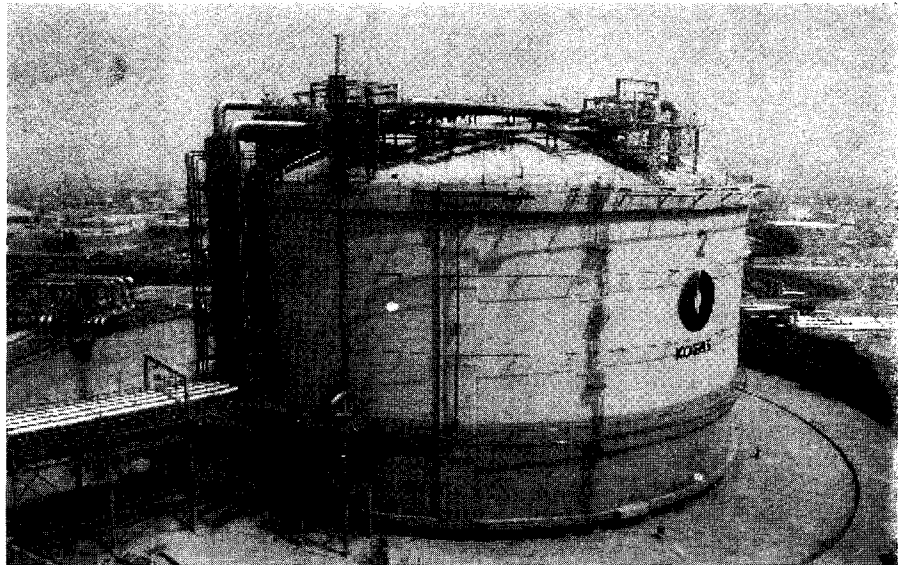


그림 1. 지상식 저장탱크의 전경

표 1. 지상식 LNG 저장탱크의 공사 개요

구 분	인천 LNG 인수기지 공사	인천 LNG 인수기지 1차 확장 공사	인천 LNG 인수기지 2차 확장 공사
발주처	한국가스공사	한국가스공사	한국가스공사
시공사	대림산업(주)	대림산업(주)	대림산업(주)
저장탱크	1, 2, 3호기	4, 5, 6호기	7, 8, 9, 10호기
공사 기간	1993. 8 ~ 1996. 10	1995. 6 ~ 1998. 12	1997. 2 ~ 2000. 8

\* 정회원, 대림산업(주) 기술연구소, 선임연구원

\*\* 대림산업(주) 인천 LNG 인수기지 현장 소장

이에 따라, 탱크 구조, 형식 선정, 설계 및 시공에 이르기까지 안전성 확보를 최우

선으로 한다. 본고에서는 최근 인천 LNG 인수기지에서 대림산업(주)에 의해 시공된 지상식 LNG 저장탱크의 시공 사례를 소개한다.

## 2. 저장탱크의 구조 개요

인천 LNG 인수기지의 지상식 저장탱크의 탱크당 저장 용량은 10만  $k$ 이며, 탱크는 외조(outer tank) 및 내조(inner tank)의 이중 구조로 시공되었다. 탱크의 외벽은 바닥 슬래브, 벽체, 보강 빔(ring beam) 및 지붕(roof)이 일체화된 콘크리트 구조물이다. 원형의 바닥 슬래브는 직경이 73m이고 두께는 1.0m이다. 원통형의 벽체는 프리스트레스트 콘크리트 구조물이며, 바닥 슬래브에서 보강 빔까지의 높이는 32.4m이며 내경은 70m이다. 보강 빔은 높이 2.6m, 두께 1.1m의 구조물이다. 구형 지붕은 내경 70m, 내측 높이는 9.4m, 지붕의 두께는 45cm이고 보강 빔의 현치 부분에서는 80cm 두께로 시공되었다. 내벽은 9% 니켈강으로 구성되었다. 내벽과 외벽 사이 및 바닥 슬래브에는 단열재인 펄라이트(perlite)로 충전된다. 외벽과 내벽의 간격은 1.0m이다. 탄소강으로 만들어진 vapour barrier를 탱크 외벽 안쪽에 설치하였고 외벽 표면은 페인팅으로 마감한다.

또한, 파이프 및 기계 기구 등을 탱크 지붕에 설치한다. 탱크 본체 구조물은 지진으로부터의 영향을 줄이기 위한 392개의 isolator pad에 의해 지지된다. Isolator는 페데스탈(pedestal) 상면과 탱크 본체의 바닥 슬래브 하면 사이에 위치한다. 페데스탈은 탱크 벽체 아래에서는 2열 원주 형태로 배치되고, 가운데 부분에서는 3.4m × 3.4m의 정 방향으로 배치되었다. 바닥 슬래브와 매트 기초 콘크리트의 간격은 1.5m이며, 추후 isolation pad를 검사하고 교체할 경우에 대비하여 1.5m의 공간을 확보하였다. 또한, 상부 구조물은 기반암까지 관입된 547개의 강관 파일로 지지된다.

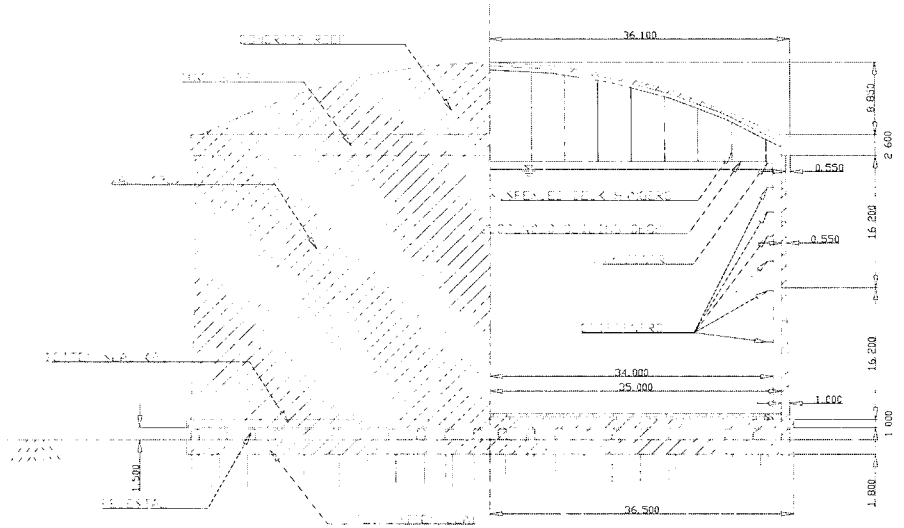


그림 2 지상식 탱크의 구조

## 3. 탱크 외조의 시공

지붕을 제외하고 외조의 바닥 슬래브, 벽체 및 벽체 보강 빔에는 원환방향으로 프리스트레싱을 하며, 벽체는 원환 방향과 연직 방향으로도 프리스트레싱을 한다. 프리스트레싱은 포스트-텐셔닝 방법을 적용한다. 철근의 덮개는 해수의 영향 유무와 화재시 화염에 저항하는 시간등을 고려하여 40 ~ 75mm로 결정하였다. 바닥 슬래브, 벽체 및 지붕의 안쪽 덮개는 40mm이고 바깥쪽 덮개는 50mm이다. 또한, 페데스탈의 덮개는 75mm이다. LNG 누출시 구조물의 충분한 안전성 확보를 위해 초저온체의 영향을 받는 탱크 안쪽에 배근되는 철근은 강도 4,600 kgf/cm<sup>2</sup>의 특수 철근을 사용하고 그 이외에 배근되는 철근은 강도 4,000 kgf/cm<sup>2</sup>의 철근을 사용한다. 각 부분의 시공 과정 및 특성은 다음과 같다.

### 3.1 바닥 슬래브의 시공

바닥 슬래브는 2부분으로 나누어 콘크리트를 타설하며, 철근은 시공 이음면의 철근망(metal lath)을 지나 바닥 슬래브 전체에 걸쳐 연속적으로 조립한다. 시공 이음면은 거칠어야 하고 레이턴스 및 기타 이물질은 깨끗이 제거해야 하며, 콘크리트

타설 전에 시공 이음면을 습윤 상태로 유지한다. 바닥 슬래브의 시공 순서를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 타워 크레인, H-형강 및 두께 15mm의 합판을 사용하여 하부 거푸집을 시공
- (2) Pocket former(벽체의 연직 텐던의 정착구용)를 탱크 중심의 기준점으로부터 정확한 거리와 각도에 설치
- (3) 철근 조립, 쉬스관 설치 및 기타 매설 자재 설치
- (4) 콘크리트를 두 구간으로 나누어 타설
- (5) 콘크리트 표면을 피니셔를 이용하여 마감(그림 3))

### 3.2 벽체의 시공

벽체는 각각 4.05m씩 8단으로 나누어 시공하고 시공 단계에 따라 연속적으로 프리스트레싱 작업을 한다. 탱크 시공 기간 동안 두개의 임시 개구부(5.0m × 2.0m와 3.0m × 2.0m)를 벽체 아래쪽에 설치하여 단열재 및 내조 시공에 소요되는 자재를 운반하는 통로로 이용하였다. 개구부는 철근 작업과 쉬스관의 설치가 완료된 후 마감한다. 벽체 시공 순서를 요약하면 다음과 같으며, 이 과정을 벽체 1단부터 8



그림 3. 바닥 슬래브의 콘크리트 타설

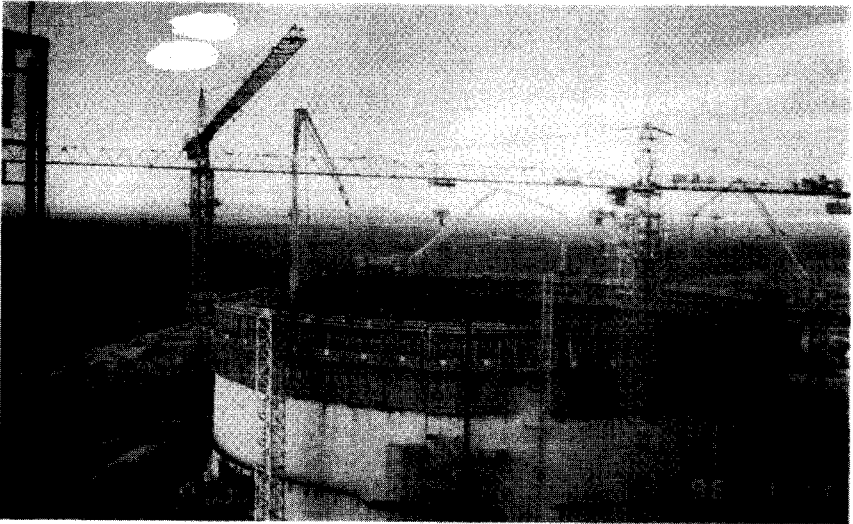


그림 4. 벽체 시공 전경

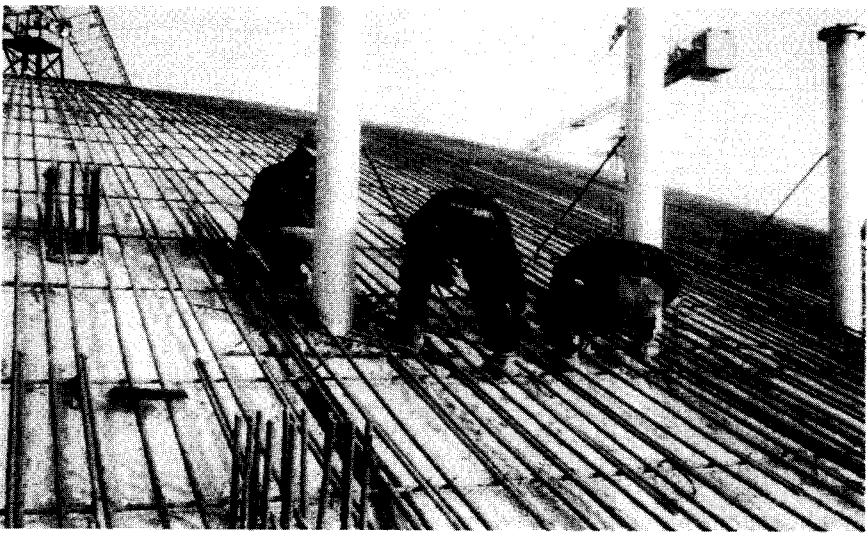


그림 5. 지붕의 철근 조립

단까지 반복 적용한다.

- (1) 시공 이음면을 거칠게 하기
- (2) 안쪽 면의 연직 철근 조립
- (3) 벽체의 vapour barrier plate 설치
- (4) 안쪽 면 거푸집 설치
- (5) 기타 철근 조립
- (6) 쉬스판 설치
- (7) 바깥 면 거푸집 설치
- (8) 콘크리트 타설
- (9) 양생

3.3 지붕의 시공

지붕 라이너(liner)는 바닥 슬래브 위에서 제작해서 공기압을 이용하여 최종 위치까지 부양한다. 지붕 라이너는 콘크리트 지붕 구체에 대하여 법면 방향으로 위치하는 rafter 위에 위치하는 5mm 두께의 강재 구조물이다. 지붕 라이너를 거푸집 역할로 하여 지붕 콘크리트는 2개의 층으로 나누어 타설한다. 첫 번째 층의 콘크리트를 타설하기 전에 지붕 라이너의 부양을 유지하기 위해 탱크 내부에 적절한 공기압을 계속 유지한다. 첫 번째 타설한 콘크리트의 압축강도를 확인한 후 두 번째 층의 철근 작업 및 콘크리트 타설을 수행한다(그림 5)).

지붕의 시공 순서를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 두께 25cm의 첫 번째 층의 콘크리트 타설 중에는 내부에 75 ~ 85 mbar의 공기압으로 지지하며, 콘크리트의 압축 강도가 135 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이 될 때 두 번째 층의 콘크리트를 타설
- (2) 내조 지붕의 공기 부양 후 보강 범 텐던의 50%에 대하여 프리스트레싱 작업
- (3) 두 번째 층의 압축강도가 270 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이 될 때 보강 범의 나머지 50% 텐던에 대한 프리스트레싱 작업 수행

### 3.4 프리스트레싱 작업

프리스트레싱은 Dywidag 포스트-텐서닝 공법을 적용하였다. 바닥 슬래브, 벽체 및 보강 빔에는 원환 방향으로 프리스트레스를 도입하며, 벽체에는 연직 방향 및 원환 방향으로 프리스트레스를 도입한다. 원환 방향으로 프리스트레스를 도입하는 각 수평 텐던에는 ASTM A406에 규정되어 있는 공칭 직경 0.6in.의 7연선 19가닥이 배치되며, 연직 텐던에는 공칭 직경 0.6in.의 7연선 9가닥이 배치된다. 원환 방향으로 바닥 슬래브에는 텐던이 6열 배치되며, 벽체에는 59열이 배치되고 보강 빔에는 8열이 배치된다. 또한, 벽체에는 1.64 m의 간격으로 연직 방향 텐던이 배치된다. 수평 텐던은 양단 긴장을 실시한다. 바닥 슬래브의 수평 텐던은 콘크리트의 압축 강도가 130 kgf/cm<sup>2</sup>에 도달하였을 때 소요 프리스트레스의 30%를 도입하며, 벽체 1단의 거푸집 제거 후 소요 프리스트레스의 100%를 도입한다. 벽체의 수평 텐던은 라이너의 공기 부양 후 지붕의 철근 작업을 시작하기 전에 벽체 7, 8단 프리스트레싱을 실시하고 보강 빔의 4열의 텐던에 대해 프리스트레싱을 한다. 보강 빔의 나머지 4열의 텐던에는 지붕의 2차 콘크리트 타설 후 소요의 콘크리트 압축 강도가 도달하였을 때 프리스트레스를 도입한다. 벽체의 연직 텐던은 지붕의 1차 콘크리트를 타설하기 위해 탱크 내부에 공기압을 가하기 전까지 프리스트레싱을 실시한다. 작업 통로 용도의 벽체 개구부에는 최종적으로 콘크리트 타설을 실시한 후 프리스트레스를 도입한다.

### 4. 탱크 내조의 시공

탱크의 지붕을 설치하는 방법은 공기 부양(air raising) 공법(〈그림 7〉)과 가설 크레인을 이용하는 공법으로 대별된다. 크레인 공법에 비해 공기 부양 공법은 안전성 및 경제성 측면에서 실용성이 있는 방법으로 지붕의 형태가 구형인 경우에 활용



그림 6. 벽체의 슈스관 조립

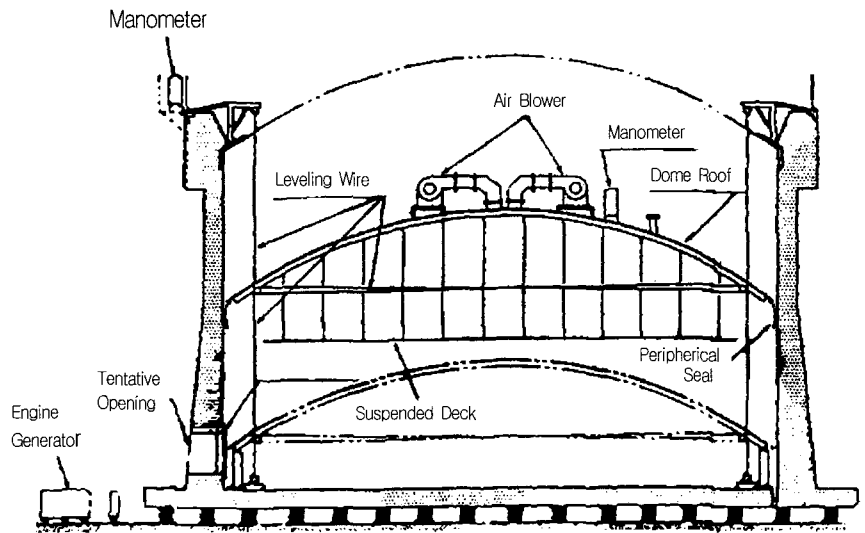


그림 7. 지붕의 공기 부양 공법

된다. 안전하고 성공적으로 지붕의 공기 부양을 실시하려면 탱크의 진원도(roundness), 밀폐성(sealing), 적절한 공기압 및 levelling system 등 4가지 중요한 기본 요건이 필요하다. 본 공사에서는 직경 70 m, 중량 480톤의 강재 지붕을 바닥 슬래브에서 지붕의 위치까지 32.5 m를 부양하였다. 지붕의 부양시 공기압은 12 g/cm<sup>2</sup>을 유지한다. 부양 속도는 200 ~ 600 mm/min이고 소요 시간은 2 ~ 3시간이다. 본 공법을 수행하기 위한 작업자 편성은 〈표 2〉와 같으며, 공법 진

행 과정은 다음과 같다.

- (1) 모든 작업자를 정 위치에 배치
- (2) 점검 및 보수 담당 인원은 밀폐 상태 및 suspended scaffolding과 levelling wire 간섭 상태를 탱크 내부에서 점검
- (3) 5분 간격으로 level 점검
- (4) 지붕이 corner lining plate에 약 2 m 정도 접근하면 air blower의 방출구를 서서히 닫으면서 부양 속도를 줄인다.

표 2 공기 부양 공법 작업자 편성

작업소	인원(명)	위 치	작업 내용
총괄(지휘)	2	보강 빔의 지휘소	• 탱크 내부의 압력 확인 • 지붕의 균형 확인 • 작업 총괄 지휘
안 전	2	• 보강 빔 위 • 탱크 주변 통제	안전 관리 감독
기 록	2	보강 빔의 지휘소	지붕의 레벨, 탱크의 내부 압력 및 부양 속도 기록
Blower 가동	4	지붕의 blower 위치	Blower 운전 (damper 조정)
레벨 측정	9	지붕 위 (0°, 90°, 180°, 270° )	지붕의 레벨을 5분마다 점검하여 지휘소에 보고
점검 및 보수	8	탱크 내부	• 밀폐 상태 확인 • Suspended scaffolding과 levelling wire 간섭 사항 확인
크레인 및 Rigger 작동	5	보강 빔 위(1명) 탱크 주변(4명)	지붕 균형 조정
위치고정 및 용접	62	Corner lining plate 위	• Corner lining plate에 holding jig 설치 • 지붕과 corner lining plate의 용접
전기 및 기계 작업	4	• Main power panel • 비상 발전기	• 전원 공급 이상 유무 확인 • 비상 전원 대기

- (5) Corner lining plate가 지붕에 접 축되면 위치 고정 및 용접 인원은 즉시 holding jig를 설치하고 roof plate와 corner lining plate의 접합부를 맞추고 용접을 실시한다.
- (6) 접합부의 용접이 끝나면 임시 작업

통로의 sealing plate levelling wire 및 vinyl seal을 제거한다.

### 5. 맺음말

인천 LNG 인수기지의 지상식 저장 탱

크의 시공에는 면진 장치, 초저온 상태를 유지하기 위한 단열 장치, 공기 부양 공법을 이용한 탱크의 지붕 설치 등 특수 장치 및 공법 등이 적용되었다. 과거에 이러한 특수 시공 방법은 외국 건설회사들이 시공 기술의 노출을 피하고자 비공개적으로 시공하였던 공법을 국내에서는 대림산업(주)가 처음으로 직접 시공한 것은 기술 축적 및 신공법 시행 측면에서 큰 의의가 있다. 이러한 경험을 바탕으로 특수한 선진 기술을 도입, 연구 검토하여 향후 공사에 적용시켜 기술 축적 및 기술을 개발하는 데 더욱 노력하여야 할 것으로 사료된다. □

### 참고문헌

1. 인천 LNG 인수기지 공사 건설지, 대림산업(주), 1996.
2. 인천 LNG 인수기지 1차 확장공사 건설지, 대림산업(주), 1998.
3. 인천 LNG 인수기지 2차 확장공사 건설지, 대림산업(주), 2000.
4. 김형근, "Roof Air Raising의 기술적 개요", 대림기술정보, 1995, 제1권, pp.55 ~ 61.