



## 02

## LNG 저장탱크 구조물의 유지관리 국외사례 및 국내현황

### Overseas Cases and Domestic Current Situation for Maintenance of LNG Storage Tank Structure



김정훈 Jung-Hoon Kim

한국가스안전공사  
가스안전연구원 안전연구실  
선임연구원  
jhkim223@kgs.or.kr

#### 1. 서론

LNG 산업의 핵심설비인 LNG 저장탱크는 1986년 상업운전 한 이후 현재 4개 기지에 총 67기의 탱크가 운전 중에 있으며 추가로 삼척생산기지가 건설 중에 있다. LNG 저장탱크의 경우 그 건설비용만 27만 kl의 경우 1,000억 원 이상으로, LNG 인수지지 및 액화기지의 핵심설비이다. 그러나 원자력 발전소와 같이 일정기간(30, 40년)을 설계수명으로 정하여 내구설계를 하고 있지 않고, 내구수명에 따른 적절한 수명관리가 이루어지고 있지 못하고 있다. 최근 LNG 저장탱크에 대한 문제점이 제기되면서 설계수명에 대한 논쟁도 있었다. 강재 내부탱크, PS 콘크리트 외부탱크, 단열재, 외부탱크 강재 라이너 등으로 구성된 LNG 저장탱크(그림 1, 2)는 요소별로 고려되는 설계조건<sup>1</sup>이 다르다.

초저온 액화가스를 저장하는 LNG 저장탱크의 특성상 현행 법령이나 규격에서는 일단 운전이 되면 정기보수(overhaul) 개념이 없이 수명기간 동안 운전을 계속할 수 있다. LNG 사용 역사가 국내에 비해 오래된 유럽, 미국, 일본 등 선진국에서는 1960년대부터 LNG 저장탱크를 운전해오고 있으니 대략 40년 이상 운전해 오고 있다. 이들 국가중 일본, 프랑스의 경우 노후화된 LNG 저장탱크에 대해서 자체적으로 잔여수명평가를 통해 수명을 연장하고 있고, 실제 40년 이상 운전되고 있는 사례도 다수 보고되고 있다<sup>2</sup>. 따라서 초대용량 LNG 저장탱크의 경우 건설 비용측면에서 막대한 자금이 소요되므로 설계수명 이후의 운전에도 관심이 고조되고 있다.

최근 2007년 이후 2개 생산기지에서 LNG 저장탱크 누출 문제가 사회적인 이슈로 제기된 바 있다. 현재 국



Fig. 1 건설 중인 완전방호식 LNG 저장탱크

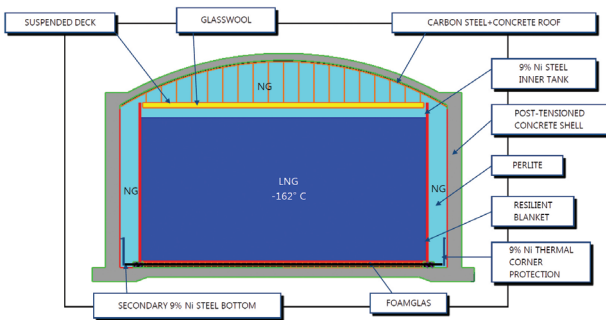


Fig. 2 완전방호식 LNG 저장탱크 단면도(저부가열식)

내에 건설된 LNG 저장탱크는 방호 형식 측면에서 보면, 최고의 안전성 기반으로 설계되는 완전방호식 탱크 및 멤브레인 탱크이다. 그러나 액화가스를 대용량으로 저장·처리하고 있어 근본적인 위험은 내재되어 있다<sup>3-5</sup>.

현재 관련 법령상 LNG 저장탱크에 대한 안전관리는 크게 신규설치검사, 안전성평가, 정기검사 및 정밀안전진단이 이루어지고 있다. LNG저장탱크는 고압가스안전관리법에 따른 특정설비로 KGS AC 115(액화천연가스용 저장탱크 제조의 시설·기술·검사 기준)에 따라 신규설치검사가 이루어지고, 타 초저온 탱크와 마찬가지로 재검사는 재검사에 따른 구조물 안전, 막대한 비용 등의 측면에서 이루어지지 않는다.

또한, 시설의 일부로서의 LNG 저장탱크(도시가스제조소)는 설치 후 15년이 되는 시점 및 그 이후 매 5년 마다 도시가스사업법에 따라 정밀안전진단 대상으로 저장탱크의 운영실태, 가스누출 유무 등에 대한 진단을 실시하고 있다. 그러나 이러한 현행 안전관리 규제들은 LNG

저장탱크의 안전확보를 위한 최소한의 요구조건으로 이루어져 있고, 체계적인 LNG 저장탱크의 수명관리에는 미치지 못하고 있는 실정이다.

따라서 국내 초대용량 LNG 저장탱크 및 노후 LNG 저장탱크의 신뢰성을 유지하면서 장기간 효과적으로 사용하고 운전비용을 절감하기 위해서 LNG 저장탱크의 유지관리 관련 수명평가 및 모니터링 기술을 개발하고 수명관리 시스템의 구축이 절실히 요구되는 시점이다.

본 기사에서는 해외 LNG저장탱크 유지관리 사례 및 국내의 유지관리 현황에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 해외 LNG 저장탱크 유지관리 사례

### 2.1 일본 동경가스 유지관리 사례

도쿄가스는 총 29기의 지하식 저장탱크를 운영하고 있는데, 그중 가장 오래 된 것은 약 40년 전에 건설되었다. 높은 수준의 신뢰성과 낮은 수준의 비용으로 LNG 저장탱크를 계속 운전하기 위해서는 오랜기간 동안 탱크의 노후화 정도를 산정하고 필요한 대책을 준비하면서 계속 사용하고 있다. 지붕이나 멤브레인과 같은 지하식 저장탱크의 주요 구조적 요소들의 노후화는 현재까지 표면화되지 않았으나 피로나 기타 원인들로 인한 손상은 운전과 안전에 큰 영향을 줄 수 있는데, 이들 요소들을 재래식 기술로서 점검하고 진단하기 위해서는 그 저장탱크를 비우고 공기로 치환한 후 정기보수(overhaul)할 필요가 있다. 이것은 막대한 비용과 장기간의 저장탱크

구분	노후화 현상	조치 및 처리
지상식 LNG 저장탱크	각 부분의 부식	검사, 진단 : 보수
	파일의 부식	검사, 진단 : 문제없음
	통기 저장탱크의 다이어프램 노후화	검사, 진단 : 교체
지하식 LNG 저장탱크	지붕의 피로	검사, 진단 : 문제없음
	멤브레인의 피로	검사, 진단 : 문제없음
	각 부분의 부식	검사, 진단 : 보수

Table. 1 도쿄가스 진단 및 보수사례

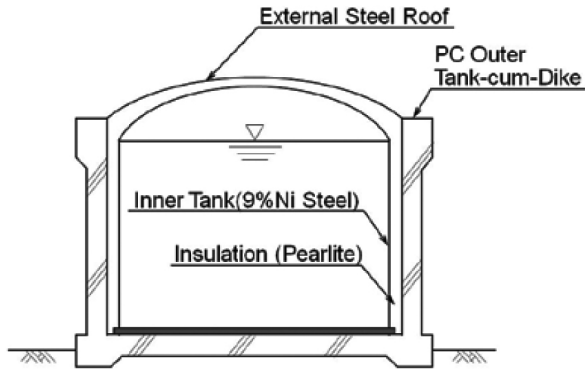


Fig. 3 일본 LNG PC 지상식 탱크 단면도



Fig. 5 저장탱크 내부 멤브레인

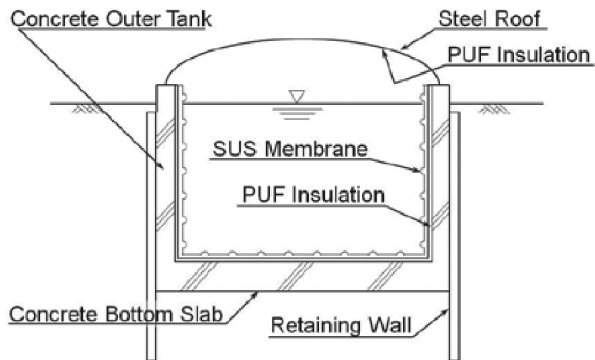


Fig. 4 일본 지중·지하식 저장탱크 단면도

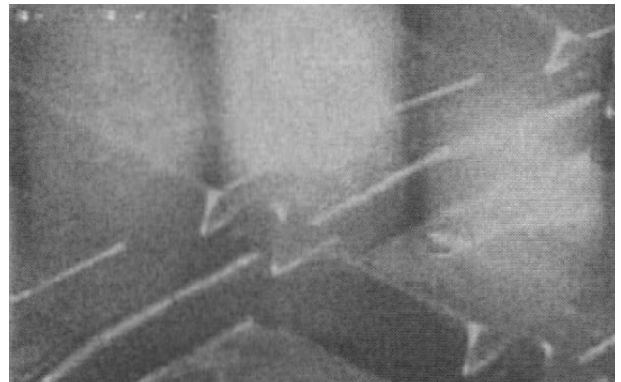


Fig. 6 바닥 멤브레인의 팽창

의 운전 정지를 수반하고 운영에 큰 손실을 줄 수 있어서 도쿄가스는 저장탱크의 사용정지 없이 점검하고 진단하는 기술을 개발해서 실제 저장탱크들에 이를 적용하고 있다<sup>6</sup>.

도쿄가스는 1969년과 1973년대에 운전을 시작한 네기시지마와 소데가우라기지의 지상식 LNG 저장탱크 및 지하식 LNG 저장탱크에 대해 노후화 현상을 규정하고 이에 대한 검사, 진단 및 수명평가를 표 1과 같이 실시하였다.

일본 LNG 저장탱크의 경우 지진이 많은 자연환경과 사양specification 중심의 일본 내 설계 및 시공 규격JGA RPAS, RPIS등으로 인해 세계적으로 일반화되지 않은 이중 강재 돔 구조의 LNG저장탱크(그림 3, 4)를 건설해 오고 있어서 외부로부터 비파괴검사가 가능한 시스템이다. 그러나 국내의 경우 단일지붕형이고 강화콘크리트로 덮여 있어 현실적인 비파괴 검사방법은 불가능한 실정이다.

다만, 시공단계에서 설치해서 지붕 강재라이너에 대한 변형 등의 실시간 모니터링이 가능한 방법이 있다면 추후 수명관리를 위해 검토해야 할 과제이다

도쿄가스는 분해검사를 하지 않고 저장탱크 내의 멤브레인을 점검할 목적으로 LNG액 내부를 잠영할 수 있는 내부 관측 장비를 개발하였다. 동 장비를 활용해 노후된 저장탱크의 내부를 점검한 결과 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

도쿄가스가 개발한 잠액식 관측장비의 특징은 다음과 같다.

- 초저온 LNG 액 내에서도 사용 가능
- 6 인치 노즐을 통하여 저장탱크 내에 삽입할 수 있는 소형
- 소수 인력으로 검사 가능한 소형 및 경량
- 약 1 주 이내의 내부탱크 점검 능력



Fig. 7 프랑스 Oxand사의 수명관리 프로그램

결과적으로 새로 개발한 장치들을 이용해 멤브레인에 비정상적인 변형이나 기타 유사한 문제들이 없음을 확인할 수 있었다. 그림 5와 그림 6은 멤브레인을 점검 시의 사진을 보여주고 있다.

### 2.2 프랑스 GdF SVEZ 유지관리 사례

최근 Svez와 기업합병을 통해 세계 4위의 에너지기업이 된 GdF는 몽투아기지의 120,000kl 용량 멤브레인 탱크 2기와 동일용량의 9% Ni강식 탱크 1기 및 FOS/MER 기지의 80,000kl 용량 9% Ni강식 탱크 1기를 포함한 총 4기의 LNG 저장탱크에 대해서 운전정지 후 내부 개방 검사를 통해 수명평가 및 수명연장을 실시하였다.

당초 2003년에 몽투아 기지 2개의 멤브레인 탱크의 1차 펌프에 소음이 발생하여 문제가 있음을 감지하고 개방검사를 결정하였으며, 콘크리트에 대한 건전성 확인은 2006년에 착수하였다. 강재 내부탱크 분야는 자체 기술인력을 통해 점검을 실시하였고, 콘크리트 외부탱크와 관련해서는 Oxand SA라는 전문컨설팅사의 컨설팅을 통해서 수명진단을 실시하였다.

내부 멤브레인의 건전성은 육안검사를 통해서 멤브레인의 형상치수 및 상태를 검사해서 이상이 없었고, 단열재의 경우 그 동안 운전이력을 통해 내부 단열공간<sup>HBS</sup>: Internal Insulation Space에서는 아무런 누출이 없었다고 한다. GdF는 내부탱크의 사다리 등 일부를 수리하고 4기의

탱크를 계속 운전 중에 있다.

Oxand SA는 프랑스 EdF사(프랑스 전력공사)가 출자한 회사로 원자력발전소 수명진단 컨설팅 전문회사이다. Oxand사는 최초 원자력발전소의 콘크리트 구조물에 대한 수명평가 전문기업으로 시작해서 최근에는 LNG산업에까지 사업영역을 확대하고 있다. Oxand사는 컨설팅을 위한 자체 수명평가 툴을 개발, 보유하고 있으며 다양한 수명관리분야의 컨설팅을 제공하고 있다. 다음 그림 6은 Oxand사의 컨설팅 툴과 제공 서비스에 대해 개략적으로 나타내고 있다.

### 3. 국내 LNG 저장탱크 유지관리 기술 현황

LNG 저장탱크에 대한 열화 요소로 내부탱크는 저온 열피로, 지붕 용접부 피로 등이 있고, 외부 콘크리트는 예응력 손실, 콘크리트 내구성, 파일 부식, 텐던 부식 등으로 구분할 수 있으며, 단열재에 대한 성능열화도 중요한 요소 중 하나로 예측된다. 표 2는 국내 LNG저장탱크의 주요형식으로 위치, 기초 및 내조탱크 형식으로 구분되며, 외조탱크는 프리스트레스 콘크리트 구조물이다.

국내의 LNG저장탱크 정밀안전진단은 크게 가스누출조사, 운전기록 분석, 지반침하 및 변형조사, 외관조사, 외부콘크리트 비파괴 조사로 나누어 시행되고 있다.

가스누출조사는 레이저메탄가스디텍터 등 가스누출정밀 감시장비로 진단 기간동안 진단대상 탱크 상부 설치 또는 인근 탱크 상부등에 설치하여 탱크 지붕에서의 가스누출을 상시 감시한다.

운전기록 분석에서는 저장탱크의 압력, 온도, 액위가 설계자료 및 관리기준에 부합하여 적정하게 운전되며

위치	기초	내조탱크 형식
지상식	고상식	9% Ni 탱크, Membrane 탱크
	저부 기열식	9% Ni 탱크, Membrane 탱크
지중식		9% Ni 탱크, Membrane 탱크

Table. 2 국내 LNG저장탱크의 형식



감시되고 있는지 확인하고, 저장탱크의 운전이 운전지침서 및 관리기준에 의거하여 적절하게 이루어지고 있는지 저장데이터를 분석하여 확인한다.

지반침하 및 변형조사에서는 액화천연가스 저장탱크의 부등침하, 장기적인 변형등에 의해 기울어진 현상의 유무와 정도를 확인하는데, 트랜시, 토탈스테이션 등을 이용한 측량조사를 통하여 지반의 변형 및 구조물 부등침하에 의한 이상여부를 확인한다.

외관조사는 외벽콘크리트 및 바닥슬래브에 대해 균열, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등의 상태변화를 측정하여 외관조사 망도에 표기하고 상태평가의 자료로 사용한다.

외부콘크리트 비파괴 조사는 반발경도와 초음파 측정을 통한 압축강도 추정, 초음파 속도차에 의한 균열깊이 측정, 철근의 부식상태를 알아보는 철근부식도 측정 및 철근의 배근상태와 피복두께를 알아보기 위한 철근 배근상태 측정을 한다.

#### 4. 맺음말

LNG 저장탱크는 액화플랜트 및 인수기지에서 고가의 핵심설비 중 하나이다. 또한, 최근 LNG 선박의 대형화에 발맞추어 LNG 저장탱크 또한 초대형화 추세에 있다.

이러한 중요설비에 대해서 신뢰도 수준을 유지하면서 수명연장을 통한 운전비용을 낮추려는 목표를 설정하고 수명평가 및 모니터링 기술의 개발 및 표준화가 선결되어야 한다.

LNG 저장탱크 유지관리 기술의 근본적인 안전성 향상을 위한 연구와 코드개정이 진행되고 있으며, 향후에 합리적이고 효율적인 유지관리가 실현될 것이다. ❖

#### ● 참고문헌 references ●

- 1 BS EN 14620-1~5(Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0°C and -165°C), CEN, (2006)
- 2 Kim, H.S., Hong, S.H., Seo, H.S., 2002, "Integrity comparison for various design specifications of corner protections in LNG storage tank", KIGAS, Vol.6, No 4.
- 3 Yoon Insu, Lee Yongwon, Hong seongho and Lee Yongwon, 1994, "Finite Element Analysis of Membrane for Liquefied Natural Gas,"Trans. of the KSME, Vol .18, No. 10, pp. 2797-2804
- 4 Kim, H.S., Hong, S.H., Seo, H.S., 2002, "A Study on the optimum design of corner protection for LNG storage tank." Trans. of the KSME, No. 11, pp. 51-57
- 5 Seung Rim Lee, Han Sang Kim, 2012, " The comparative risk assessment of LNG tank designs using FTA", KIGAS, Vol .16, No. 6, pp. 48-53
- 6 Tokyo Gas Co., Ltd, "Cases of Diagnoses and Life Extension Measures of LNG Facilities at Tokyo Gas Negishi and Sodegaura Receiving Terminals", LNG 2004