

완전방호식 LNG 저장탱크의 누설 안전성에 관한 연구

조승현 · 고영배 · 김청균

홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

A study on the Leak-Proof of Full Containment LNG Tank

Seung Hyun Cho · Young Bae Ko · Chung Kyun Kim

Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University

1. 서론

지상이나 해상에서 액상의 LNG를 안전하게 저장하고 운반하기 위해서는 특별히 제작된 초저온 저장탱크(멤브레인식 저장탱크와 9% 니켈강식 저장탱크)가 사용된다. 액화천연가스를 저장하는데 필요한 저장탱크는 어떠한 작동조건에서도 안전성을 충분히 확보해야 하기 때문에 설계의 안전성과 시스템에 대한 안전장치를 엄격하게 설치, 유지관리 되어야만 한다. 최근에 100,000kl 이상의 초대형 LNG 저장탱크가 널리 보급되고 저장탱크 모두를 초대형으로 건설하는 우리나라에서는 안전기준을 보다 강화시키고 있기 때문에 LNG 관련 업체에서는 많은 안전 기술개발을 추진하고 있다.

그러나 내부탱크가 파손되는 긴급 상황에서는 -162°C 의 초저온 액체가 PC 구조물로 제작된 외부탱크에 접촉하고 콘크리트 구조물의 내부로 침투하게 되면서 PC 구조물은 파손되고, LNG의 누설은 진행된다. 따라서 본 연구에서는 내부탱크와 외부탱크인 PC 구조물의 열병형 거동특성의 개념으로 내부탱크 및 외부탱크 구조물의 두께를 따라서 발생하는 온도평형과 이에 따른 누설에 걸리는 시간을 해석하여 LNG 저장탱크 시스템의 안전성에 대해 고찰하고자 한다.

또한, BS 7777 Part 8 8.7.2에 최소 잔류 평균 압축응력 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 을 만족해야 한다는 규정이 있는데, 여기서 도입된 완전 방호식 저장탱크의 콘크리트 두께의 10% 정도(두께가 1,100mm를 갖는 $140,000\text{m}^3$ 규모의 저장탱크에서는 최소압축구간을 100~160mm에 해당)에 해당하는 잔류압축구간(Residual compression zone)을 PC 구조물은 확보해야 안전하다고 적시하고 있다. 따라서 이러한 기준에 따라 정상상태에서 열평형에 도달하는 시간, PC 구조물이 파손되면서 누설에 걸리는 시간, 잔류압축구간을 도입한 누설 안전에 대해서도 해석하였다.

2. 해석조건 및 해석모델

2.1 가정

1) LNG 저장탱크의 안전성을 수치적 계산을 통해 해석하는 것은 대단히 어렵다. 내부탱크에 저장되어 있는 -162°C 의 초저온 액체가 외부로 누설된다는 것은 내부탱크와 외부탱크의 파손을

의미하지만 수치적 해석에서 구조물의 파손을 규명하기는 쉬운 과제가 아니다. 실제 대부분의 기계적 요소와 구조물에서 발생하는 파손은 실험을 통하여 해석하는 것이 일반적이다. 그러나 LNG 저장탱크와 같이 대규모의 구조물은 실험을 하기에는 막대한 비용, 시간, 안전성을 확보해야 하기 때문에 실험을 통한 해석도 불가능하다고 할 수 있다.

따라서, 본 해석에서는 내부탱크와 외부탱크의 양쪽 벽 온도를 -162°C 로 고정하여 각각의 내부온도가 -162°C 로 열적평형상태가 되면 구조물이 파손되어 LNG 액체가 누설되었다고 가정하였다.

2) LNG 저장탱크의 구조를 보면 Fig. 1과 같이 지상에서 5.1m를 기준으로 저장탱크의 아래부분과 윗부분의 구조가 다르게 설치되어 있다. 본 해석에서는 아랫부분의 corner protection과 아래·윗부분의 공통 소재인 vapor barrier는 모델링에서 제외하였다.

3) 실제의 PC 구조물에서 발생할 수 있는 누설특성을 해석하기 위해서는 외부탱크의 기하학적 형상이나 콘크리트 구조물의 내부에 상존하는 크랙, 각종 결함이나 기공, 불순물, 철근의 배열조건, 각종 부속장치의 설치로 인한 비대칭성과 불완전 특성을 모두 고려해야 하나 본 연구에서는 외부탱크 PC 구조물의 재질이 균일하다고 이상화하였다.

4) PC 구조물의 불완전성은 모델링 측면에서 강도해석에는 문제가 없으나, PC의 두께 벽면을 따라서 발생하는 -162°C 의 초저온 액체에 의한 누설 문제를 해석하기 위해서 잔류압축구간(Residual compression zone)의 개념을 도입하여 해석하였다. 이때 잔류압축구간이란 PC 콘크리트 구조물에서 균일한 재질특성을 갖는 완벽한 PC 구조물 두께를 잔류압축구간으로 정의될 수 있어서 하중에 대한 강도뿐만 아니라 LNG의 누설을 완벽하게 차단할 수 있는 구간을 의미한다. 이것은 BS 7777 Part 8에서 제시한 $1\text{N}/\text{mm}^2$ 의 기준을 따른 것이고, 일본에서는 정부, 학계, 가스업체(Osaka Gas, Tokyo Gas 등)의 전문가들이 공동으로 제시한 100mm를 기준으로 본 논문에서는 가혹한 조건인 80mm로 설계하여 해석하였다.

2.2 해석모델

유한요소 해석을 위한 $140,000\text{m}^3$ 규모의 LNG 저장탱크 측면을 중심으로 PC 구조물의 외부탱크, 단열재, 9% 니켈강재의 내부탱크의 모델을 Fig. 1에서 보여주고 있다. 그림에서 표시한 □ 콘크리트가 외부탱크로서 대기에 접하고, ⑥ 9% 니켈강이 LNG 저장탱크의 내벽을 이루는 소재로서 LNG 액체와 접하게 된다. LNG 저장탱크는 지상으로부터 5.1m를 기준으로 아래부분과 윗부분으로 나눌 수 있고, 각각의 구조에는 차이가 있다. 아랫부분에는 저장탱크의 내구성을 위해 Corner Protection이 있고, LNG 저장탱크의 Corner Protection과 바닥을 단열하기 위한 Formglass가 설치되어 있으며, 윗부분에는 내부탱크에서 발생 가능한 LNG 액체의 누설로부터 저온을 단열하여 외부탱크를 보호하기 위한 PUF가 설치되어 있다.

만약 내부탱크에 저장된 LNG 액체가 운전 중에 파손되어 누설이 발생하면 누설된 LNG는 온도 센서에 의해 감지되어 주펌프(Primary pump)는 내부탱크에 있는 LNG를 인접한 저장탱크에 이송하거나 저장탱크에 설치된 각종 안전장치가 작동하게 된다. 누설된 LNG 액체에 의해 단열재는 서서히 파손이 진행되고, LNG의 지속적인 누설은 외부탱크의 내벽측에 설치된 증발가스 차단벽(Vapor barrier)에 의해 지연 또는 차단되다가 PC 콘크리트 구조물은 LNG의 침입을 받게 된다. 이러한 누설과정에서 누설된 LNG는 바닥면에서 5m까지 설치된 코너 프로텍션(Corner protection) 높이까지는 LNG 액체가 차 올라올 때까지 9% 니켈강판에 의해 LNG 액체의 누설은 지연된다. LNG 액체의 PC 구조물로 침입은 궁극적으로 PC 구조물을 서서히 파손하지만 외부탱크를 BS 7777에 따라서 설계를 하게 되면 PC 구조물은 최소 100mm 이상의 잔류 압축 구간을 확보해야 하므로 이곳에서 LNG의 누설은 차단된다. 그러나 본 논문에서는 열악한 조건인 잔류

압축 구간의 두께를 80mm로 모델링하여 해석을 수행하였다.

LNG 저장탱크의 콘크리트 구조물인 외부탱크는 9% 니켈강처럼 완벽하게 제작된 PC 구조물로 볼 수가 없기 때문에 저장탱크의 설계 안전성을 검토하기 위해서는 잔류압축구역(Residual compression zone)이라는 개념을 도입하여 PC 구조물인 외부탱크에서 초저온 액체의 누설 차단성을 검토하는 기준으로 한다. LNG 저장탱크의 외부탱크에 해당하는 PC 구조물은 불완전하기 때문에 Fig. 2는 현실적으로 LNG 누설에 관련된 안전설계 개념으로 도입된 잔류압축구간(Residual compression zone)을 고려한 PC 구조물의 누설 안전성 해석을 위한 모델이다. PC 구조물의 저장탱크에 채워진 LNG 높이는 28.6m이고, 해석데이터는 14.3m에서 획득하였다.

내부탱크의 파손으로 유입된 -162°C 의 초저온 액체가 PC 구조물의 내측벽면에 직접 접촉하였다가 PC 구조물에 상존하는 내부 크랙이나 각종 결함을 따라 누설될 수 있는 불완전한 벽면이라고 가정할 경우에 -162°C 의 초저온 액체가 W_1 의 두께를 따라 누설된다는 것은 W_1 의 구간이

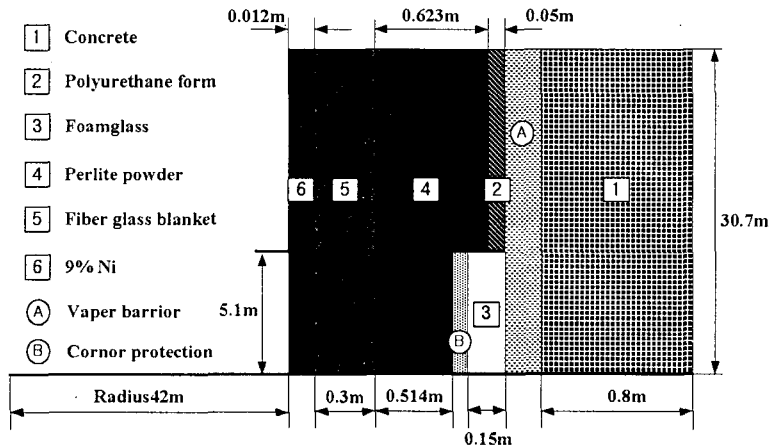


Fig. 1 LNG 저장탱크 벽면의 구조

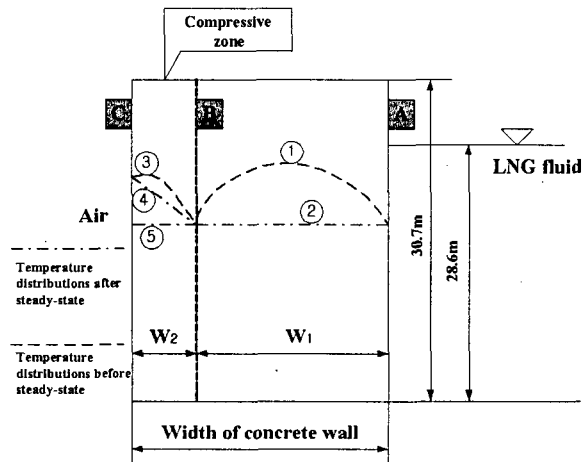


Fig. 2 잔류압축구역을 고려한 PC 구조물의 누설 안전성 해석 모델

초저온 액체의 온도 -162°C 로 열적평형이 된다는 것을 의미한다. 따라서 콘크리트의 불완전구간 W_1 을 LNG 액체가 완전히 누설되는데 소요되는 시간은 Fig. 2에서 온도분포가 ①에서 ②로 이동될 때 걸리는 시간을 계산하면 된다.

한편, -162°C 의 초저온 액체가 B에 도달하면 -162°C 의 B면과 상온 15°C 의 C면 사이의 온도차에 의해서 잔류압축구간 W_2 에서 온도분포가 ③과 같이 된다. 그리고 충분한 시간이 경과하면 열전도에 의해 정상 열평형 상태가 되어 온도분포가 ④와 같이 직선이 된다. 그러나 열적으로 안정된 평형상태 ④에서 다시 불안정한 LNG의 누설이 발생하면 외부탱크 외부벽면의 최초 대기온도인 15°C 가 -162°C 로 변하는 상태, 즉 압축구간 W_2 도 -162°C 의 초저온 액체가 통과되어 누설되었다고 가정하는 온도분포 ⑤의 누설 해석모델이 된다.

3. 해석결과 및 고찰

3.1 내부탱크(단열재)의 온도분포 및 누설시간 예측

-162°C 의 초저온 액체를 저장하고 있는 내부탱크는 여러개의 단열재로 이루어져 있어 외부의 온도로부터 내부의 초저온상태를 유지하고 있는데 $100,000\text{kl}$ 이상의 대규모 액체를 저장하고 있기 때문에 안전성 확보를 위하여 충분한 내구성인 요구된다. 그러나 내부탱크의 균열에 의해서 누설이 발생된다면 안전하게 LNG 액체를 이동시키기 위한 충분한 시간을 확보해야 한다. 따라서 LNG 액체의 누설시간을 예측하는 것은 LNG 저장탱크의 안전성확보에 대단히 중요한 요소이다.

Fig. 3(a)~(b)는 LNG 내부탱크의 두께에 따른 온도분포와 수평방향 온도변화율을 높이 2.55m 에서 내부탱크 두께에 따라 관찰한 결과로서 내부온도가 -162°C 로 열적평형이 되는 시간을 나타내고 있다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 내부탱크를 구성하고 있는 단열재는 단열성능이 대단히 우수해서 내부탱크의 내부온도가 -162°C 의 97%에 해당하는 -156.92°C 가 되는데 소요되는 시간은 약 45일이며, 98%인 -158.78°C 가 되는데는 약 50일이 소요되고 99%인 -160.85°C 가 되는데는 60일이 소요된다. 이와같은 결과로부터 LNG 액체의 누설시 저장탱크에 설치되어 있는 주펌프를 이용하여 외부로 액체를 이송하는데 충분한 시간적 여유가 있어 안전성 확보가 가능함을 확인하였다.

또한, 온도분포를 살펴보면 내부탱크 두께의 중심을 기준으로 오른쪽에서 온도의 하강이 늦게 발생하는데, 이것은 perlite powder보다 열전도가 낮은 foamglass가 설치되었기 때문이다.

이와 같이 내부의 수평방향 온도변화율을 위치에 따라 나타낸 그림이 Fig. 3(b)이다. 그림에서 내부탱크의 중심으로부터 멀리 떨어져있을수록 수평방향 온도변화율이 크게 나타나는데 이것은 내부탱크 내부로 유입되는 -162°C 의 초저온을 열전도가 낮아 단열성이 대단히 우수한 Fiber glass blanket과 Foamglass가 차단하기 때문이고, 내부탱크의 가운데 부분인 perlite powder에서는 온도전이가 상대적으로 원활해서 두께 위치에 따른 온도변화가 작기 때문에 수평방향 온도변화율이 작게 나타난다. 한편 두께의 오른쪽부분에서 수평방향 온도변화율이 (-)로 표현되는 것은 내부탱크의 온도가 15°C 이고, 내부탱크 오른쪽 벽면의 온도를 -162°C 로 설정하였기 때문에 온도변화($T_{i+1} - T_i$)가 (-)로 나타나기 때문이다.

Fig. 4(a)~(b)는 LNG 내부탱크의 두께에 따른 온도분포와 수평방향 온도변화율을 높이 14m 에서 내부탱크 두께에 따라 관찰한 결과로서 내부온도가 -162°C 로 열적평형이 되는 시간을 나타내고 있다. 내부탱크의 내부온도가 -162°C 의 97%에 해당하는 -157.25°C 가 되는데 소요되는 시간은 약 39일이며, 98%인 -158.81°C 가 되는데는 약 43일이 소요되고 99%인 -160.41°C 가 되는데는 50일이 소요되는데 이것은 높이 2.55m 에서 획득한 시간보다 각각 13.3%, 14%, 17.67%가 단축된 결과이다. Fig. 3과 Fig. 4의 결과를 정리하면 Table 1과 같다.

또한, 온도분포를 살펴보면 내부탱크 두께의 중심을 기준으로 좌·우가 비교적 균일하게 나타

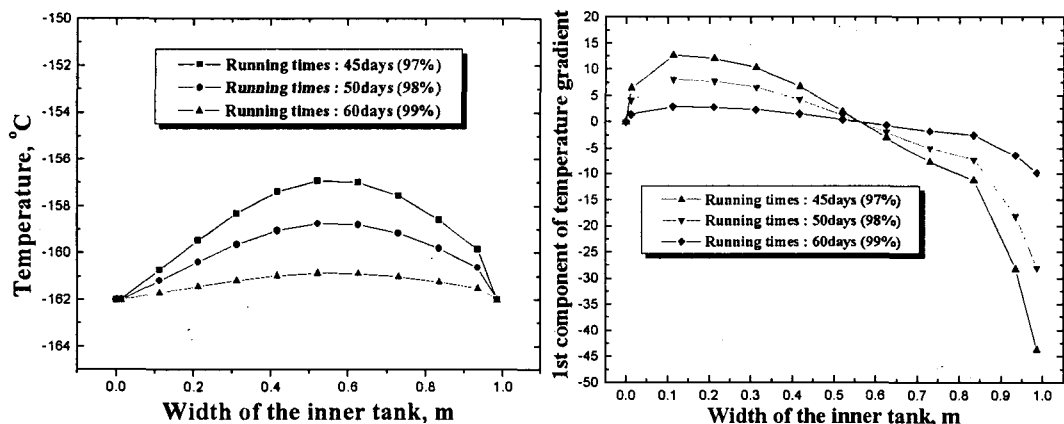
나고 오른쪽에서 온도의 하강이 약간 늦게 발생하는데 이것은 Fiber glass blanket과 perlite powder보다 열전도가 낮은 PUF가 설치되어 있기 때문이다. 이와같은 내부탱크 내부의 수평방향 온도변화율을 위치에 따라 나타낸 그림이 Fig. 4(b)이다. 그림에서 내부탱크의 중심으로부터 멀리 떨어져있을수록 온도변화율이 크게 나타나고, 중심에서 오른쪽이 왼쪽에 비하여 수평방향 온도변화율이 크게 발생하였는데 이것은 내부탱크 내부 오른쪽에 설치된 PUF가 온도의 전이를 차단시켜서 위치의 온도차가 크기 때문이다.

내부탱크의 가운데 부분인 perlite powder에서는 상대적으로 두께 위치에 따른 온도 전이가 원활해서 온도변화가 작기 때문에 수평방향 온도변화율이 작게 나타난다. 한편 높이 2.55m에서 획득한 결과인 Fig. 3(a)~(b)와 비교하면 수평방향 온도 변화율이 낮게 분포한다. 이것은 열전도가 상대적으로 높은 perlite powder의 두께가 5.1m이상에서 두껍기 때문에 온도분포가 5.1m 밑부분과 비교해서 균일하기 때문이다.

3.2 외부탱크 PC 구조물의 온도분포 및 누설시간 예측

3.2.1 잔류압축구간을 고려하지 않은 모델

Fig. 5(a)~(b)는 -162°C 의 초저온 액체가 내부탱크의 파손으로 누설되어 외부탱크와 접할 때 Fig. 2에서 표시한 잔류압축구간이 없는 외부탱크 PC구조물에서 발생한 온도분포와 수평방향 온도변화율을 14m 높이에서 관찰한 그림이다. 외부탱크 PC구조물은 콘크리트 단일재로 이루어져 있기 때문에 온도분포는 관찰높이에 상관없이 균일하다. 잔류압축구간이 없이 콘크리트가 불완전



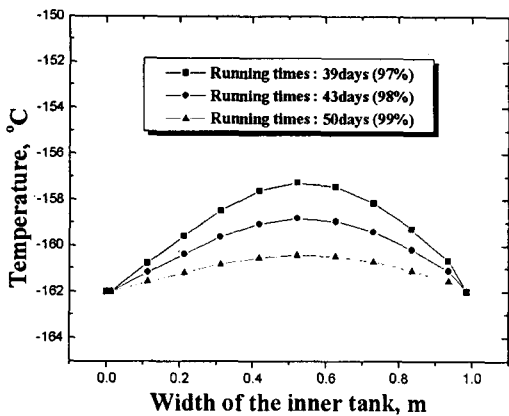
(a) 온도분포

(b) 수평방향 온도변화율(온도변화/두께변화)

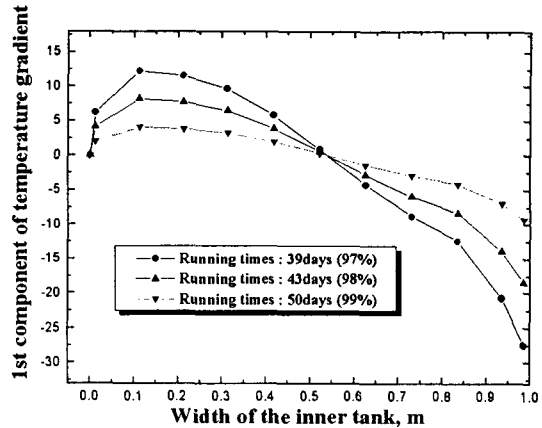
Fig. 3 높이 2.55m에서 관찰한 내부탱크 두께의 온도분포 및 온도변화율

Table 1. 높이에 따른 누설시간 비교

관찰위치 기준온도	높이 2.55m		높이 14m		비교
	온도(°C)	소요시간A(일)	온도(°C)	소요시간B(일)	
	온도(°C)	소요시간A(일)	온도(°C)	소요시간B(일)	$\frac{(B-A)}{A} \times 100$
97%	-156.92	45	-157.25	39	13.3% 감소
98%	-158.78	50	-158.81	43	14% 감소
99%	-160.85	60	-160.41	50	17.7% 감소



(a) 온도분포



(b) 수평방향 온도변화율(온도변화/두께변화)

Fig. 4 높이 14m에서 관찰한 내부탱크 두께의 온도분포 및 온도변화율

한 구조라고 가정하면, Fig. 5(a)에서 나타낸 바와 같이 외부탱크 내부의 온도가 -162°C 초저온 액체의 97%인 -157.22°C 로 냉각되는데 54시간이 소요되고, 98.1%인 -158.88°C 로 냉각되는데는 58시간, 99%인 -160.4°C 로 냉각되는데는 63시간이 소요되며 완전하게 -162°C 로 온도평형을 이루는데는 196시간이 걸린다. 이것은 외부탱크 내부의 온도가 -162°C 의 97%이상이면 내부탱크가 파손되어 액체가 누설되었다고 판단한다면 LNG 액체가 외부탱크를 통해 누설되는데 최단 2.3일에서 최장 8.1일이 소요된다. 이것은 LNG 저장탱크에 설치된 주펌프로 LNG 액체를 외부로 이송하는데 촉박하는 것을 의미한다. 따라서 LNG 저장탱크의 안전성을 확보하기 위해서는 외부탱크가 파손되기 전에 LNG 액체를 다른 곳으로 이송해야 하는데 내부탱크의 누설시간이 충분하기 때문에 LNG 저장탱크의 안전성은 충분히 확보된다.

Fig. 5(b)는 외부탱크의 내부에서 발생한 수평방향 온도변화율을 나타낸 그림이다. 외부탱크의 두께의 가운데를 중심으로 좌·우의 수평방향 온도변화율 크기가 동일하고, 내부의 온도가 -162°C 에 근접하게 냉각될수록 수평방향 온도변화율은 감소한다. 위에서 설명한 바와 같이 외부탱크에서도 두께 방향의 온도의 차이가 적은 내부에서 수평방향 온도변화율이 작게 발생하였다.

3.2.2 잔류압축구간을 고려한 모델

Fig. 6(a)~(b)는 -162°C 의 초저온 액체가 내부 결함이 존재하는 불완전 구간인 W_1 의 두께를 통해 누설되고, 완전한 잔류압축구간 W_2 의 두께를 통해서 다시 누설이 발생하는 최악의 상황이 발생하는 경우에 대한 불안정 모델이다. 불완전 구간(A-B구간) W_1 에서 -162°C 의 초저온 액체가 누설되어 불완전 구간 내 온도구배가 ①→②로 이동한 후, 잔류압축구간(B-C구간) W_2 에서도 누설이 발생하여 온도구배가 ③→⑤로 이동하여 전체 콘크리트의 온도가 -162°C 가 된다.

이것은 외부탱크가 모두 파손되는 긴급상황에 대한 누설 해석 모델이며, 이들의 해석결과를 Table 2에서 제시하고 있다. 초대형 저장탱크 $140,000\text{m}^3$ 규모의 저장탱크에서 최소 잔류압축구간 W_2 가 BS 7777에 의거 $100\text{mm}\sim 165\text{mm}$ 라는 점을 고려하고 본 논문에서 모델링한 80mm 를 감안한다면, 외부탱크 모두가 파손되는 최악의 경우는 누설에 필요한 최소시간 동안 안전한 잔류압축구간 W_2 에서는 6시간 정도 걸리고 PC 구조물의 불완전 구간인 W_1 에서는 118시간(4.92일)이 걸리는 것으로 예측된다.

잔류압축구간 W_2 에서는 누설이 발생할 때 온도분포가 ③→⑤와 같이 이동하는 것을 의미하기 때문에 W_2 에서 누설되는데 소요되는 최소 시간은 온도분포가 ③→⑤가 되는데 소요되는 시간

과 같다. 따라서 외부탱크 PC 구조물 두께의 10%에 잔류압축구간이 존재한다면 초저온 액체가 외부탱크를 통해 완전히 누설되는데 걸리는 시간은 잔류압축구간을 제외한 구간과 잔류압축구간을 포함하여 126시간(5.25일)이 된다.

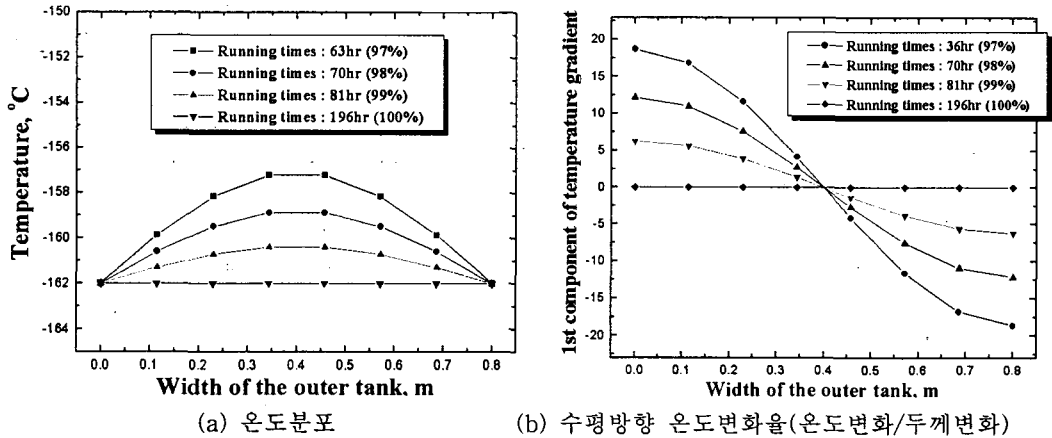


Fig. 5 잔류압축구간을 고려하지 않은 외부탱크 두께의 온도분포 및 온도변화율

Table 2. 온도분포가 Fig. 1의 ①→②의 과정을 거친 후 ③→⑤의 과정을 마치는데 소요되는 시간

잔류압축구간 두께		잔류압축구간을 제외한 두께		콘크리트 전체 두께
$(\frac{W_1}{W_1 + W_2}) \times 100$	Steady-State times (③→⑤)	$(\frac{W_2}{W_1 + W_2}) \times 100$	Steady-State times (①→②)	Total times
10%	6hour	90%	118hour	124hour

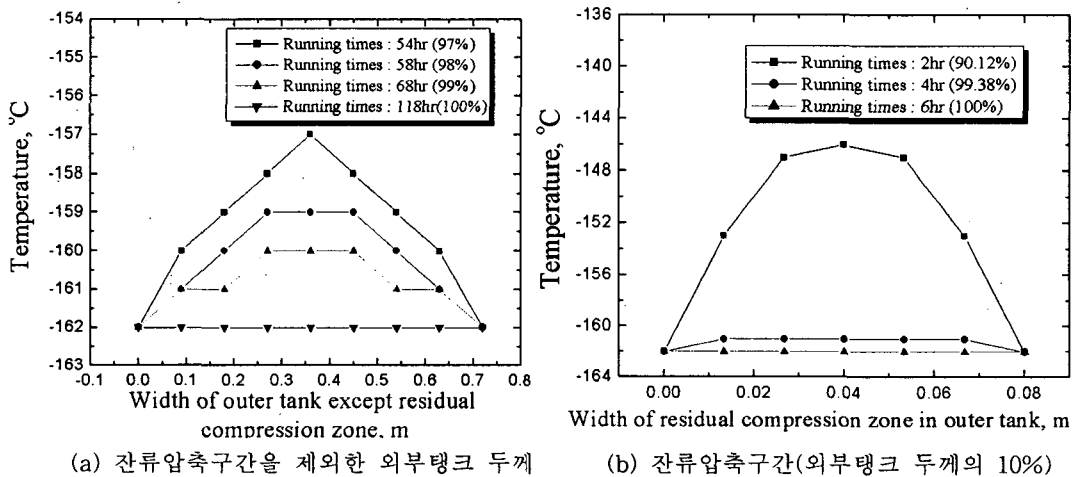


Fig. 6 잔류압축구간을 고려한 외부탱크 두께의 온도분포 및 온도변화율

내부탱크에서 누설이 되면 1차적으로 단열재 구간에서 온도센서에 의해 감지되고, 이어서 저장탱크에 설치된 각종 안전장치가 작동하게 되어 사전에 안전조치를 수행함으로써 LNG 저장탱크 시스템의 안전성을 확보하지만, 이러한 안전조치가 전혀 이루어지지 않은 경우라도 잔류압축구간을 외부탱크 두께의 10%(80mm)만을 고려한 경우는 누설하는데 걸리는 시간이 126간(5.25일)이 된다. 이것은 누설된 LNG가 PC 구조물의 내부에서 누설이 진행되는 동안 내부탱크에 설치된 송출용량이 330m³/hr인 2대의 주펌프(Primary pump)로 내부탱크에 저장하고 있는 LNG를 인접한 저장탱크에 펌핑아웃시켜 안전조치를 이행할 수 있는 충분한 시간을 확보한지 못한다는 것을 의미한다. 그러나 내부탱크에서 누설을 지연하는 시간이 위치에 따라 다르지만 최소 39일 이상이고 안전장치의 가동을 감안한다면 내부탱크의 LNG 액체 누설지연시간이 더 길어지기 때문에 LNG 누설시 응급조치할 수 있는 충분한 시간을 확보할 수 있다.

한편, 외부탱크의 누설을 효과적으로 차단할 수 있는 잔류압축구간 100~165mm를 확보하지 못하거나 불완전한 구간인 W₁에 콘크리트 타설이 불량하게 제조되면 콘크리트 타설이 불량하게 제조되면 앞에서 해석된 데이터는 신뢰성을 잃게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 9% 니켈강과 단열재로 이루어진 내부탱크와 외부탱크 두께의 10%를 잔류압축구간이라는 완벽한 구간으로 설정하는 BS 7777 규정을 만족하는 모델의 안전성을 누설시간을 계산하는 개념으로 해석하였다. 내부탱크는 열전도도가 대단히 낮은 단열재로 이루어져 있기 때문에 초저온 액체의 누설지연시간이 최소 39일 이상으로 비상시 주펌프로 저장탱크의 LNG 액체를 비우는데 충분한 시간을 확보할 수 있고 액체의 누설시 작동하는 안전장치까지 감안한다면 누설지연시간은 더욱 길어진다. 따라서 내부탱크의 강도를 포함한 내구성만 확보된다면 LNG 저장탱크의 안전성은 충분하다.

외부탱크가 압축잔류구간에서도 초저온 액체에 의한 누설이 발생할 수 있는 최악의 누설조건을 해석하면 6시간이 걸리고, 불완전하다는 콘크리트의 구간(콘크리트 두께의 90%)에서도 내부탱크로부터 누설된 초저온 액체의 누설을 지연시키는 시간인 118시간을 고려한다면 800mm 두께의 PC 구조물로 제작된 외부탱크가 -162℃ 초저온 액체의 누설에 의해 걸리는 총시간은 126시간(5.25일)이 걸리는 것으로 해석되었다.

내부탱크가 파손되어 외부탱크가 초저온 액체를 잠시 체류시키는 동안 내부탱크에 설치된 송출용량이 330m³/hr인 주펌프 2대를 가동하여 내부탱크에 있는 140,000m³ 규모의 LNG를 이웃하는 저장탱크에 이송한다고 가정하면 외부탱크에서 계산한 누설시간인 5.25일은 안전하지 않은 결과이다. 그러나 내부탱크의 파손에 따라 초저온 액체의 단열재에 의한 지연시간과 9% 니켈강재로 제작된 5m 높이의 코너 프로텍션에 의한 누설 액체의 저장은 약 1일 정도 더 저장할 수 있는 여유를 감안한다면 저장탱크는 안전하다고 할 수 있다.

5. 참고문헌

1. 한국가스안전공사, "LNG 저장탱크 검사기술 연구," 한국가스안전공사, 2000. 10
2. "MARC user's manual," Version K6.1, MARC Analysis Research Co., 1996.
3. Okamoto, H., Onoue, A., Ohtani, Y., Shono, S and Ogura, S., "The Design Method of Aboveground LNG Storage Tank," Nippon Kokan Technical Report, No. 42, pp. 161~168, 1984.