

# LNG 저장탱크 벽체의 동절기 온도균열제어 방안

## The Method of Thermal Crack Control about the LNG Tank Wall in Winter

손영준\*    하재담\*\*    엄태선\*\*\*    이종열\*\*\*\*    백승준\*\*\*\*\*    박찬규\*\*\*\*\*  
Son, Young Jun    Ha, Jae Dam    Um, Tai Sun    Lee, Jong Ryul    Baek, Seung Jun    Park, Chan Kyu

### ABSTRACT

Since the first underground LNG tank was constructed in Incheon, continuously many LNG tanks were constructed in Tongyoung and Pyongtaek. The storage capacity of LNG tank increased by 200,000kl and the structure size and the concrete mixing design has changed. The crack of concrete induced by the heat of hydration is a serious problem, particularly in massive concrete structures. In order to control the thermal crack of massive concrete, the low heat portland cement(type IV) is applied to bottom annular part, bottom central part, lower walls and ring beam.

In this study, in order to thermal crack control about the LNG tank wall(lot 8 of #16 Pyongtaek LNG tank) in winter, analysed the concrete temperature, the extension of term, the curing condition and the concrete mixing design. When the concrete mixing design is changed from OPC+FA25% to LHC+FA25%, the thermal crack index is 1.33 and satisfied with construction specifications(over 1.2).

### 요 약

1998년 인천 LNG 인수기지에 국내 최초로 14만kl의 지하식 저장탱크가 건설되는 것을 시작으로 20만kl의 지하식 저장탱크가 연이어 건설되었다. 또한, 평택 및 통영 LNG 인수기지에 14만kl 및 20만kl의 지상식 저장탱크가 건설되고 있다. 저장탱크의 용량 및 방식에 따라 저장탱크의 설계단면이 변화하였으며, 콘크리트에 요구되는 특성 또한 변화하였다. 특히, 수화열에 의한 온도균열 발생 확률이 높은 Bottom 및 하부벽체는 4종 저열포틀랜드시멘트가 적용되고 있다.

20만kl 용량인 지상탱크 평택 16호기 상부벽체에 대한 동절기 온도균열제어를 위해 양생방법, 타설간격 조절 및 배합변경에 따른 수화열 해석을 실시하였다. 기존 1종+FA25%인 배합을 적용시 목표균열지수를 만족하기 위해서는 보온양생 및 타설간격 증가 등 시공적 대책이 필요하며, 배합을 4종+FA15%로 변경시에는 추가적인 시공대책 없이 온도균열 제어가 가능한 것으로 나타났다.

- 
- \*     정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원
  - \*\*    정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 수석연구원
  - \*\*\*   정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장
  - \*\*\*\*   정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장
  - \*\*\*\*\*   정희원, 삼성물산(주) 평택 LNG 생산기지 #15~17현장 시험실장
  - \*\*\*\*\*   정희원, 삼성물산(주) 기술연구소 수석연구원

## 1. 서론

1998년 인천 LNG 인수기지에 국내 최초로 14만kl의 지하식 저장탱크가 건설되는 것을 시작으로 20만kl의 지하식 저장탱크가 연이어 건설되었다. 또한, 평택 및 통영 LNG 인수기지에 14만kl 및 20만kl의 지하식 저장탱크가 건설되고 있다. 저장탱크의 용량 및 방식에 따라 저장탱크의 설계단면이 변화하였으며, 콘크리트에 요구되는 특성 또한 변화하였다. 특히, 수화열에 의한 온도균열 발생 확률이 높은 Bottom 및 하부벽체는 4중 저열포틀랜드시멘트가 적용되고 있다. 20만kl 용량인 지상탱크 평택 16호기 상부벽체에 대한 동절기 온도균열제어를 위해 양생방법, 타설간격 조절 및 배합변경에 따른 온도균열검토를 실시하여 목표균열지수 1.2 이상 확보되는 온도균열제어 대책을 수립하고자 하였다.

## 2. 구조물 형상 및 콘크리트 특성

20만kl 용량인 평택 LNG 16호기 각 부재의 두께는 Bottom Annular Part 2.0m, Bottom Central Part 1.7m, 하부벽체 1.1~0.75m, 상부벽체 0.75m, Ring Beam 1.5m인 온도균열 발생 확률이 높은 매스콘크리트 구조물이다. 적용되는 콘크리트 규격은 Bottom Central Part는 20-30-15(91일)이며, Bottom Annular Part, 벽체, Ring Beam은 20-40-15(91일)이다. 특히, 수화열에 의한 온도균열발생 확률이 높은 Bottom Central Part, Bottom Annular Part, 하부벽체(1단~5단), Ring Beam은 4중 저열포틀랜드시멘트로 설계되어 있다.

표 1 부재별 콘크리트 배합종류 및 목표균열지수

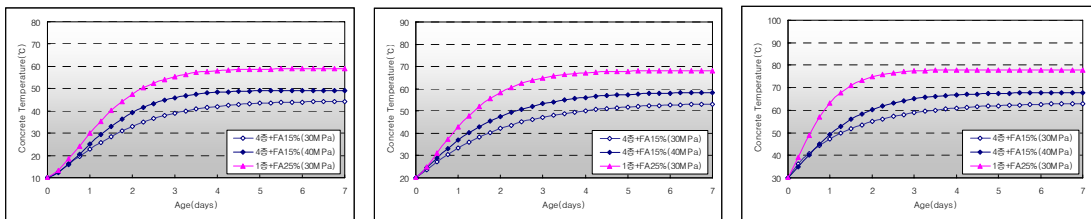
구분	Bottom Annular	Bottom Central	하부벽체 (1단~5단)	상부벽체 (6단~10단)	Ring Beam
적용배합	4중+FA15% (20-40-150)	4중+FA15% (20-30-150)	4중+FA15% (20-40-150)	1중+FA25% (20-40-150)	4중+FA15% (20-40-150)
목표균열지수	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2

표 2 콘크리트 배합

배합 구분	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )						
			W	B		S	G	AD	AE
				C	FA				
4중+FA15%(20-30-150)	46.1	46.8	163	302	53	821	942	3.20	0.0426
4중+FA15%(20-40-150)	40.0	44.5	162	345	61	763	958	3.25	0.0487
1중+FA25%(20-40-150)	38.0	43.5	165	325	108	723	950	3.90	0.0779

표 3 배합 및 타설온도별 단열온도상승 시험 결과

배합 종류 \ 온도	10℃			20℃			30℃		
	K(℃)	α	β	K(℃)	α	β	K(℃)	α	β
4중+FA15%(20-30-150)	34.4	0.463	1.259	33.6	0.508	1.081	33.4	0.727	0.919
4중+FA15%(20-40-150)	39.2	0.485	1.486	38.6	0.576	1.121	37.8	0.716	1.182
1중+FA25%(20-40-150)	48.9	0.525	1.477	48.1	0.647	1.306	47.9	1.178	1.230



a. 10℃

b. 20℃

c. 30℃

그림 1 배합 및 타설온도별 단열온도상승 시험 결과

### 3. 해석조건

평택 LNG 16호기 상부벽체(Wall 6~10단)의 타설계획은 표 4와 같으며, Wall 8단에 대한 조건별 온도균열지수를 검토하였다. 또한, 해석에 사용된 조건은 표 5와 같다.

표 4 콘크리트타설계획(16호기 상부벽체)

부재	16호기	
	타설시기	타설온도
Wall 6단	10/31	16.0℃
Wall 7단	11/13	16.0℃
Wall 8단	11/27	15.0℃
Wall 9단	12/11	12.0℃
Wall 10단	12/24	12.0℃

표 5 해석조건

열 특성 계수		시방서 제안 값	해석에 사용된 값
열전도율 (kcal/mhr℃)	콘크리트	2.2 ~ 2.4	2.3
	흙(지반)	-	1.7
비열 (kcal/kg℃)	콘크리트	0.25 ~ 0.30	0.25
	흙(지반)	-	0.20
단위 용적 중량 (kg/m <sup>3</sup> )	콘크리트	-	2,400
	흙(지반)	-	1,800
열팽창계수	콘크리트	-	1.0 × 10 <sup>-5</sup>
	흙(지반)	-	1.0 × 10 <sup>-5</sup>

모델링 및 수화열 분포는 그림 2와 같으며, 대칭조건을 고려하여 1/4 모델링을 하였다.

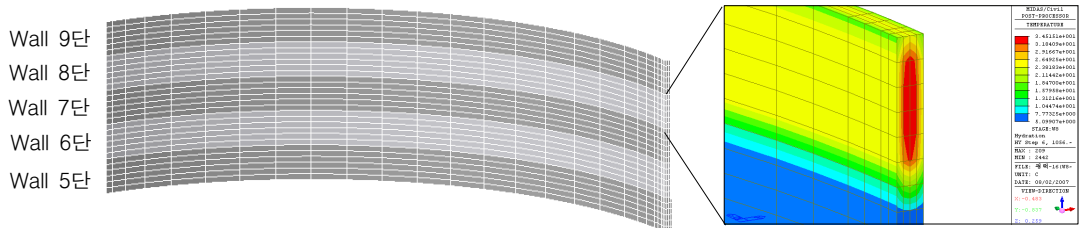
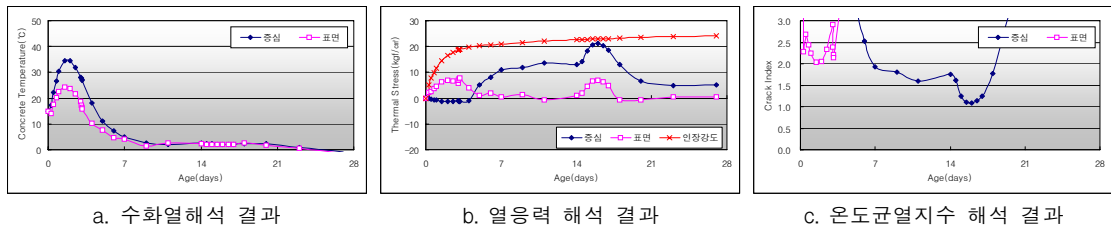


그림 2 해석에 사용된 모델링 및 수화열 분포

### 4. 해석결과

#### 4.1 기존 조건(타설온도 15℃, 타설간격 14일, 보온양생 미실시, 1층+FA25%)

기존 조건에서의 해석결과는 그림 3과 같으며, 균열지수는 1.08로 나타났다.



a. 수화열해석 결과

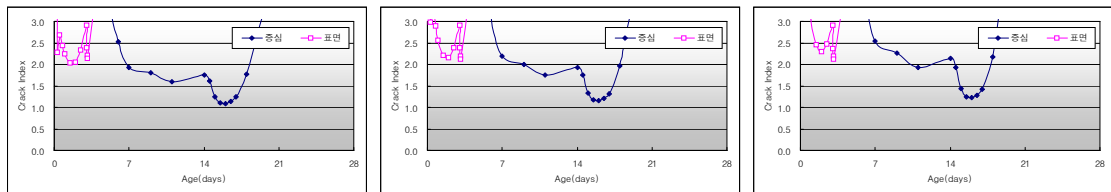
b. 열응력 해석 결과

c. 온도균열지수 해석 결과

그림 3 기존조건에서의 수화열 해석 결과

#### 4.2 타설온도 저감

타설온도 저감시 해석결과는 그림 4와 같으며, 타설온도가 11℃인 경우 균열지수는 1.22로 나타났다.



a. 기존조건(타설온도 15℃)

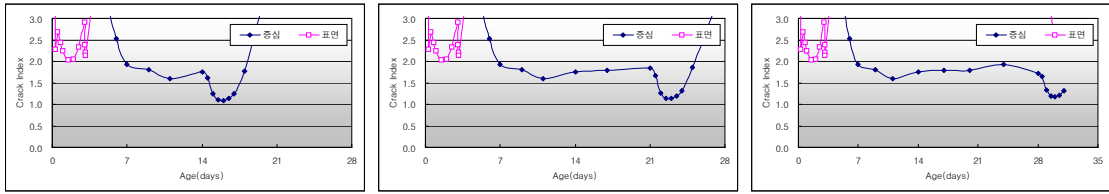
b. 타설온도 13℃

c. 타설온도 11℃

그림 4 타설온도 저감시 수화열 해석 결과

### 4.3 타설간격 증가

타설간격 증가시 해석결과는 그림 5와 같으며, 타설간격이 28인 경우 균열지수는 1.17로 나타났다.



a. 기존조건(타설간격 14일)

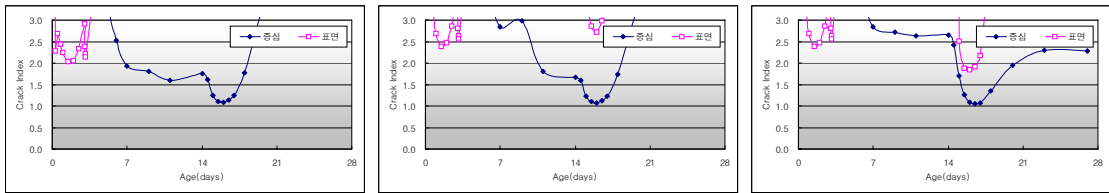
b. 타설간격 21일

c. 타설간격 28일

그림 5 타설간격 증가시 수화열 해석 결과

### 4.4 보온양생 실시

보온양생 실시시 해석결과는 그림 6과 같으며, 보온양생의 효과는 없는 것으로 나타났다.



a. 기존조건(보온양생 미실시)

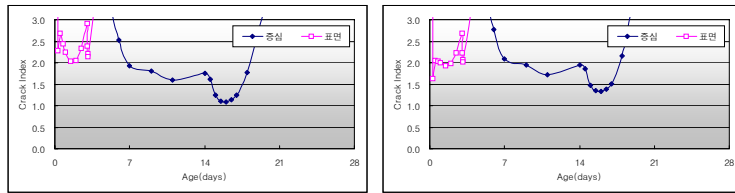
b. 보온양생 7일

c. 보온양생 14일

그림 6 보온양생 실시시 수화열 해석 결과

### 4.5 배합변경

수화열이 작은 4종 저열포틀랜드시멘트가 적용된 배합으로 변경시 해석결과는 그림 7과 같으며, 균열지수는 1.33으로 나타났다.



a. 기존조건(1종+FA15%)

b. 배합변경(4종+FA15%)

그림 7 배합변경시 수화열 해석 결과

## 5. 결론

LNG 저장탱크 상부벽체의 동절기 온도균열 제어를 위한 검토 결과는 다음과 같다.

- ① 벽체의 최소온도균열지수는 다음 단에 타설되는 콘크리트의 영향을 받아 나타났으며, 목표균열지수를 만족하기 위해서는 타설온도 저감, 타설간격 증가 및 배합변경 등의 대책이 필요한 것으로 나타났다.
- ② 특히, 수화열이 낮은 4종 저열포틀랜드시멘트 적용 배합을 사용하면, 타설간격을 증가할 필요가 없어 공기단축 효과가 있는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 하재담, "LNG 저장탱크에 요구되는 콘크리트의 특성", 콘크리트학회지 제15권 3호, 2003.5.
2. 구분창, "인천 LNG 지하탱크 Bottom의 온도균열제어", KCI 봄학술발표회, 2000.
3. 콘크리트표준시방서 제7장 매스콘크리트, 2003