

# 인천 LNG 지하탱크 #219 Bottom Slab시공 및 온도균열 안정성 평가

## Construction and Evaluation of Thermal Crack Stability about Bottom Slab of the #219 LNG Underground Tank in Incheon

손영준\*      하재담\*\*      엄태선\*\*\*      이종열\*\*\*\*      박종식\*\*\*\*\*  
Son, Young Jun      Ha, Jae Dam      Um, Tai Sun      Lee, Jong Ryul      Park, Jong Sik

---

### ABSTRACT

The crack of concrete induced by the heat of hydration is a serious problem, particularly in massive concrete structures. In order to control the temperature crack of massive concrete, the selection of appropriate materials like low heat cement, mixture materials, etc. is essential.

In this study, mix proportion using low heat portland cement and lime stone powder was designed and the best mix proportion, B-1, was selected. When bottom slab of the #219 LNG tank in Incheon was constructed, concrete temperature was measured. And thermal stress was analyzed about bottom slab of the LNG tank.

As results of the thermal analysis, crack index was 1.60 in bottom slab and satisfied with construction specifications(over 1.0).

---

### 1. 서론

인천 LNG 지하탱크는 대형 매스콘크리트 구조물로 수밀성, 안전성, 내구성을 확보하여야 하는 것은 물론이며, 특히 수화열에 의한 온도균열을 고려하여야 한다.

대형 매스콘크리트의 온도균열제어를 위해서는 설계적, 재료적, 시공적 방법을 적용할 수 있으며 설계적인 방법으로는 설계기준재령 연장, 균열유발출눈 설치 등이 있으며 재료적인 방법으로는 저발열형 시멘트 및 혼화재 사용 등이 있으며, 시공적인 방법으로는 1회 타설고 조절, 파이프쿨링 적용, 보온양생 등이 대표적이며 경제성, 시공성 등을 고려하여 최적의 방법을 선정하여야 한다.

인천 LNG 지하탱크 Bottom Slab의 수화열 저감을 위해 재료적인 방법으로 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 낮은 결합재량으로 인한 점성 확보 목적으로 석회석 미분말을 사용하여 배합설계를 하

---

- \*      정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원
- \*\*     정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 수석연구원(공학박사)
- \*\*\*   정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장(공학박사)
- \*\*\*\*   정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장
- \*\*\*\*\* 정희원, GS건설(주) 인천 LNG 생산기지 현장 품질시험실장

였다. 최종 결정된 배합에 대해서는 단열온도상승 시험을 실시하였으며, 콘크리트 타설 후 현장 계측 결과를 기초로 한 온도균열 안정성 평가를 실시하였다.

## 2. 사용재료 및 콘크리트 배합

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

시멘트는 수화열 저감을 위해 저열 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학적, 물리적 특성은 다음 표 1 및 표 2와 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 광물조성

항목	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
저열 포틀랜드 시멘트	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.5	31	48	3	11

표 2 시멘트의 물리적 특성 및 수화열

항목	밀도	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	용결(h:m)		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				수화열(cal/g)		
			초결	종결	3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
			저열 포틀랜드 시멘트	3.22	3,500	5:50	9:20	126	175	335	502

#### (2) 석회석 미분말

석회석 미분말은 수화열 저감 및 작업성 확보를 위해 사용했으며, 물리적 특성은 다음 표 3과 같다.

표 3 석회석 미분말의 물리적 특성

밀도	흡수율(%)	Blaine(sieve size:μm)		
		600	150	75
2.61	0.1	-	100	100

#### (3) 골재

잔 골재는 밀도가 2.60인 강사를 사용하였고, 굵은 골재는 밀도가 2.64이고 최대치수는 20mm인 쇠석을 사용하였으며, 물리적 특성은 다음 표 4와 같다.

표 4 골재의 물리적 특성

항목	밀도	흡수율(%)	조립률
잔 골재	2.60	0.95	2.68
굵은 골재	2.64	0.57	6.62

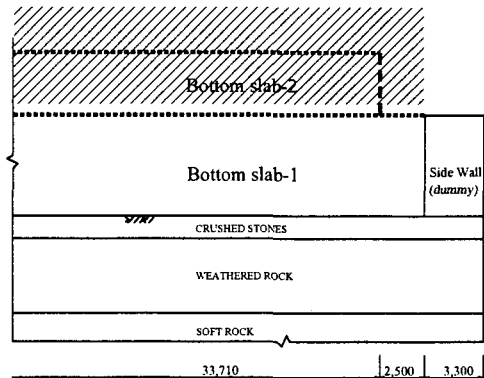


그림 2 Bottom Slab 개요

### 2.2 콘크리트 배합

레미콘 규격은 20-24(91일)-21으로 수화열 저감을 위해 작업성을 고려한 범위에서 최소한의 단위시멘트량을 사용하였으며, 수화열 저감 및 작업성 확보의 목적으로 석회석 미분말을 사용하여 배합설계

를 하였으며, 유동성 및 강도 특성 결과를 기초로 최종 배합을 선정하였다.

(1) 콘크리트 배합

배합은 W/B 44.0~50.0%, 단위시멘트량 215~244kg/m<sup>3</sup> 범위로 다음 표 5와 같이 실험하였다.

표 5 콘크리트 배합표

Mix No.	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	L.S.P	S	G	Ad(%)
B-1	47.0	43.0	163	236	111	751	1011	0.9
B-2	47.0	45.0	163	236	111	786	976	0.9
B-3	44.0	43.0	158	244	115	752	1013	0.9
B-4	44.0	45.0	158	244	115	787	977	0.9
B-5	47.0	43.0	158	229	108	761	1024	0.9
B-6	47.0	45.0	158	229	108	796	988	0.9
B-7	50.0	43.0	158	215	101	769	1034	0.9
B-8	50.0	45.0	158	215	101	808	998	0.9

(2) 유동특성 및 강도특성

각 배합에 따른 콘크리트의 유동특성 및 강도특성은 다음 표 6과 같으며, 목표슬럼프 210±30mm, 공기량 5±1%, 배합강도 28.8MPa를 만족하는 범위에서 경제성 및 작업성을 고려하여 최종 B-1 배합을 선정하였다.

표 6 각 배합에 따른 콘크리트의 유동특성 및 강도특성

Mix No.	슬럼프(mm)				공기량(%)				압축강도(MPa)			
	0분	30분	60분	90분	0분	30분	60분	90분	7days	28days	56days	91days
B-1	210	210	205	205	4.6	4.4	4.1	4.0	11.2	21.4	25.1	30.1
B-2	210	215	210	200	5.6	4.8	4.6	4.7	10.6	21.2	27.5	33.5
B-3	205	200	185	210	4.7	4.7	4.5	4.8	13.6	22.9	28.5	34.5
B-4	210	205	210	195	5.0	5.0	5.2	4.7	13.9	24.5	30.8	36.0
B-5	210	210	205	195	5.1	4.6	4.9	4.8	9.9	19.0	26.2	31.4
B-6	220	215	210	195	5.6	5.4	5.0	4.6	9.4	17.4	24.9	30.0
B-7	210	200	180	180	4.9	4.9	4.2	4.5	8.9	16.6	24.2	27.1
B-8	210	200	200	195	5.0	4.5	5.3	4.6	9.4	17.8	21.8	27.0

3. 현장계측 및 온도균열 안정성 평가

3.1 해석 조건

수화열 해석을 위한 조건은 다음 표 7과 같으며, 발열함수는 단열온도상승 시험을 통한 실험값이다.

표 7 수화열 해석 조건

타설온도	외기온도	발열함수		양생방법
		K(°C)	a	담수양생(30일)

22℃	일평균 기온	26.7	0.425	대류계수: 4.5kcal/m <sup>2</sup> hr℃
-----	--------	------	-------	----------------------------------

### 3.2 현장 계측과 해석 결과 비교

인천 LNG 지하탱크 Bottom Slab 중심부의 수화열 현장 계측 및 해석 결과는 다음 그림 2와 같다.

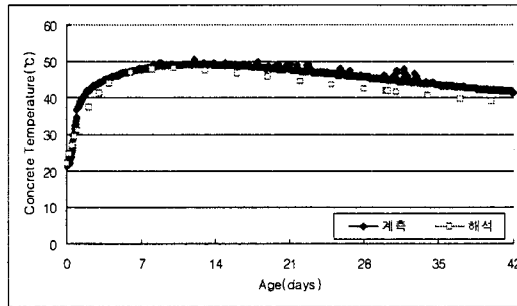
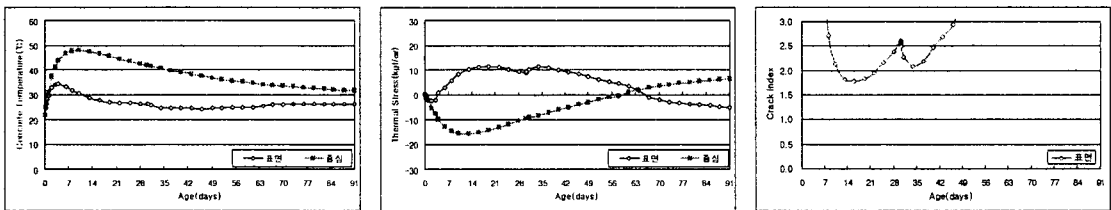


그림 2 Bottom Slab 중심부 현장 계측 및 해석 결과

### 3.3 온도균열 안정성 평가

수화열 해석 결과는 다음 그림 3의 (a)~(c)와 같으며, 최소 온도균열지수는 1.60으로 나타나 한국가스공사 시방서의 1.0이상을 만족하였다.



(a) 수화열 해석 결과

(b) 열응력 해석 결과

(c) 온도균열지수 해석 결과

그림 3 해석 결과

## 4. 결론

인천 LNG 지하탱크 219호기 Bottom Slab에 대하여 최적 배합 선정을 위한 실험, 일부재 시공 시 현장 계측 및 수화열 해석을 통한 온도균열 안정성 평가를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 배합 실험을 통하여 목표슬럼프 210±30mm, 공기량 5±1%, 배합강도 28.8MPa를 만족하는 배합 중 작업성 및 경제성을 고려하여 B-1 배합을 최종 배합으로 선정하였다.
- 2) 최종 선정된 B-1 배합으로 Bottom Slab를 타설하였으며, 수화열 현장 계측 및 해석을 실시했다. 그 결과 중심부 최대온도차는 약 1℃로 나타났으며, 열응력 및 최소 온도균열지수 산출 결과 1.60으로 나타나 공사시방서 1.0이상을 만족하는 것으로 나타났다.

### 참고 문헌

- 1) 구분창 외 5인, “인천 LNG 지하탱크 Bottom의 온도균열 제어”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, 2000
- 2) 콘크리트표준시방서 제7장 매스콘크리트, 2003
- 3) ACI Committee 207, “Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures”, Journal of ACI No.1. Vol 67, 1970