

# 인천 LNG지하탱크 Bottom의 온도균열제어

## Thermal Crack Control about Bottom of LNG in Incheon

구본창<sup>1</sup> 하상욱<sup>2</sup> 김동석<sup>3</sup> 하재담<sup>4</sup> 이종열<sup>5</sup> 권영호<sup>6</sup>

Koo, Bon-Chang Ha, Sang-Wook Kim, Dong-Seuk Ha, Jae-Dam Lee, Jong-Ryul Kwon, Young-Ho

### ABSTRACT

The crack of concrete induced by the heat of hydration is a serious problem, particularly in concrete structures such as bridge piers, thick walls, box type walls, mat-slab of nuclear reactor buildings, dams or foundations of high rise buildings, etc.. As a result of the temperature rise and restriction condition of foundation, the thermal stress which may induce the cracks can occur Therefore the various techniques of the thermal stress control in massive concrete have been widely used One of them is prediction of the thermal stress, besides low-heat cement which mitigates the temperature rise, design change which considers steel bar reinforcement, operation control and so on.

In this study, firstly it introduce the thermal cracks control technique by employing low-heat cement concrete, thermal stress analysis Secondly it shows the application of the cracks control technique like the bottom of No.15,16 Underground LNG Tank in Incheon.

### 1 서론

#### 1.1 배경

매스콘크리트의 온도균열 문제는 예전에는 콘크리트댐이나 부체치수가 큰 구조물에서만 발생하는 것으로 생각되어져 왔지만 구조물의 대형화·특수화·고강도화 되어감에 따라 주변에서 많은 매스콘크리트 공사가 이루어지면서 부각되고 있다. 매스콘크리트 공사는 일반콘크리트공사와는 달리 수화열에 의한 온도영향을 충분히 고려하지 않고 시공이 이루어질 경우 취약부에 균열발생이 예상되기 때문에 이의 예방에 많은 관심을 기울이고 있는 실정이다.

매스콘크리트에서는 온도상승시에는 단면내의 온도차에 의해 발생하는 내부구속응력과 최내온도에 도달한 후 온도강하시에 외부구속과 내부구속에 의한 두가지의 응력이 겹쳐진 복합응력이 문제가 되며, 각각의 상분의 대소에 따라 온도균열의 발생시기 및 발생양상도 달라진다

매스콘크리트의 시공시 발생하는 온도균열을 제어하기 위해서 구조물내의 수화열을 예측하는 해석기술의 개발과 더불어 지열포논랜드(지열) 시멘트와 같이 수화열이 적은 시멘트의 사용과 식회석 미분말이나 고도순레고 미분말 등의 포졸란 물질을 치환하여 수화발열량을 낮추는 매스콘크리트 제조기술 개발이 적용되어 오고 있다.

- 1. 김희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원
- 2. 김희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원
- 3. 김희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원
- 4. 김희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원
- 5. 김희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실
- 6. 김희원, 대우건설 인천 LNG 생산기지시설원장 품질시험실장

이것서는 인천 LNG 원상의 Bottom(기초)온도균열을 제어하기 위해서 구조물내의 수화열 및 온도응력 해석을 통하여 온도균열 발생 가능성에 대하여 정량적으로 평가하였다

### 1.2 개요

인천 LNG 지하탱크 #15, 16호기는 안지름 72m 에 높이 68.2m의 20만kl 의 용량으로 지하식, 멤브레인, 차수벽, 레인포스드 콘크리트 외벽으로 구성되어 있다. 이중 여기서 검토한 루위는 Bottom(이하기초)으로 기초의 경우 높이가 9.0m 이고 지름이 72m로 대형 매스구조물에 속한다. 이와 같은 매스콘크리트의 시공시 발생할 수 있는 온도균열을 제어하기 위해서 구조물내의 수화열을 예측하는 해석기술을 이용하여 저열포틀랜드(4종)시멘트에 석분30%(이하LP30)와 저열포틀랜드(4종)시멘트에 F/A30%(이하LF30)에 대하여 구조물의 수화열 및 온도응력을 해석하였다

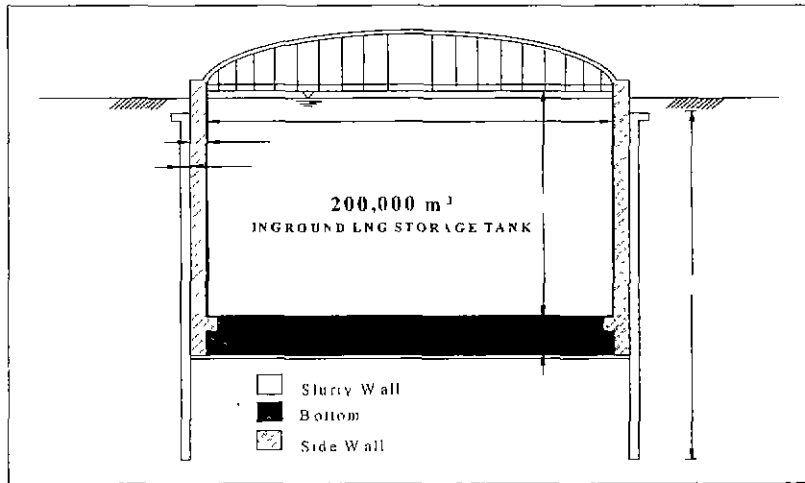


그림 1 인천LNG 지하탱크

## 2. 배합선정을 위한 실내시험

대상구조물의 배합조건은 다음 표에 나타내었다.

표 1 배합표

Mix	W/P (%)	s/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )		
			W	P	Ad.
LP30(330)	50.0	40.0	165	330	3,300
LF30(330)	50.0	40.0	165	330	3,300

## 3. 온도해석

### 3.1 온도해석을 위한 입력데이터

온도해석은 주벽에 대해 범용FEM 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 3차원 온도해석을 수행하였다. 온도해석을 수행하기 위하여 최대온도상승량 및 반응속도는 단위온도상승 실험을 통하여 구하였고, 인장도관 등의 열성 특성은 일반 콘크리트값이며 콘크리트의 외기온도는 현장조건을 적용하였다

해석부위조건은 2단으로 분할치기를 실시하고 1단치기후 91일 경과시점에서 2단콘크리트를 쳤다. 균일 열팽을 억제하는 철근은 무배근으로 가정하였다.

양생조건은 아래 표와 같이 양생기간별로 구분하였다 양생기간동안의 외기온도는 각월 평균 대기온도조건을 적용하였다.

표 2 입력 데이터

구분		단위	LP30(330)	LF30(330)
단위시멘트량		(kg/m <sup>3</sup> )	330	330
최대온도상승량(K)		(°C)	23.8	29.7
반응속도( $\alpha$ )		-	0.521	0.383
압축강도	7일	(kgf/cm <sup>2</sup> )	95	143
	28일		198	277
	91일		320	360
콘크리트 치기온도		(°C)	1단23°C, 2단23°C	
외기온도		(°C)	현장조건교려(6월~10월)	

표 3 지반의 물성치

부위	열전도율 (Kcal/mhr°C)	비열 (Kcal/kg°C)	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	포아송비	열팽창계수 1/°C
Weathered Rock	2.11	0.31	1938	3150	0.33	1×10 <sup>-5</sup>
Gravel	1.65	0.37	2018	3150	0.33	1×10 <sup>-5</sup>
Silty Sand ②	1.65	0.37	2018	2260	0.33	1×10 <sup>-5</sup>
Crash Stone	1.00	0.15	2092	300	0.33	1×10 <sup>-5</sup>
Slurry Wall	2.00	0.20	2400	300000	0.20	1×10 <sup>-5</sup>
Side Wall	2.00	0.20	2400	280000	0.20	1×10 <sup>-5</sup>

표 4 양생조건

양생방법	대류계수 $\alpha_{ca}$ (Kcal/m <sup>2</sup> hr°C)		
	단수-양생포	양생포	특별이없을때
사용기간	제1일~14일까지	제15일~28일까지	제29일~91일까지
$\alpha_{ca}$	5.31	6.98	16.28

표 5 월평균기온

월	6	7	8	9	10
평균기온(°C)	20.8	24.2	25.7	22.0	17.0

온도해석을 실시하면서 수화열 해석과 응력해석시에서는 기반까지 모델링을 하여 해석을 실시하였다. 다만 하부구속으로 해석을 실시하였다. 온도해석에 사용된 mesh는 다음 그림과 같다.

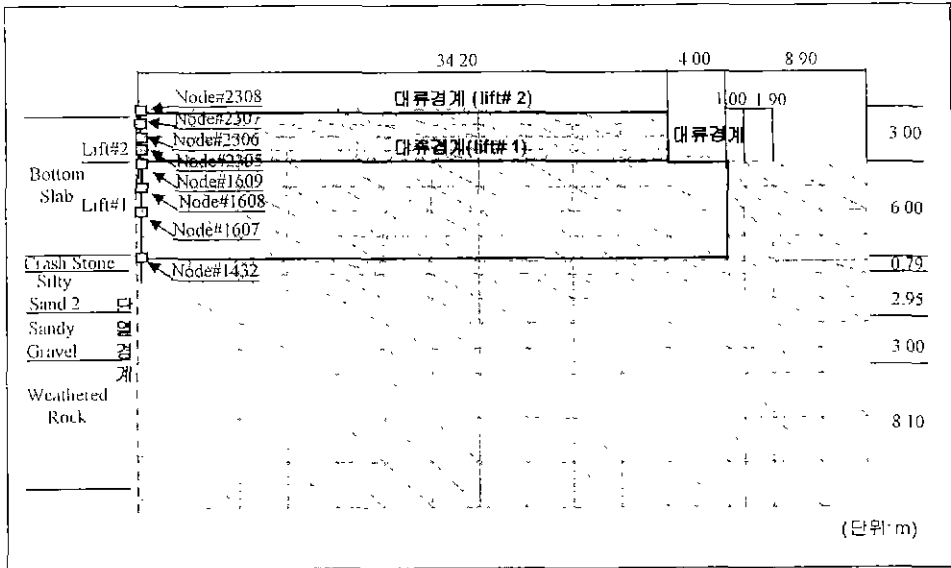


그림 2 온도해석부위

### 3.2 수화열해석결과

온도해석방법은 수화열해석시에는 3차원 비정상 열전도 유한요소해석기법을 사용하였고 본해석에는 콘크리트, 밀열 열전도율, 외기온도 등 시간의존성 물성치들을 고려하였다. 수화열 해석결과를 검토해 보면 1단의 중앙부에서 가장 높은 수화열을 나타낸다.

표 3 수화열 해석결과

구 분		LP30(330)	LF30(330)
Node#1432	최대온도(℃)	37.82	41.24
	도달시간(일)	7.0	7.0
Node#1607	최대온도(℃)	45.26	50.29
	도달시간(일)	7.0	7.0
Node#1609	최대온도(℃)	32.28	33.13
	도달시간(일)	2.0	3.0
Node#2305	최대온도(℃)	38.18	40.56
	도달시간(일)	3.0	5.0
Node#2306	최대온도(℃)	41.74	45.45
	도달시간(일)	5.0	5.0
Node#2308	최대온도(℃)	29.47	30.14
	도달시간(일)	2.0	2.0

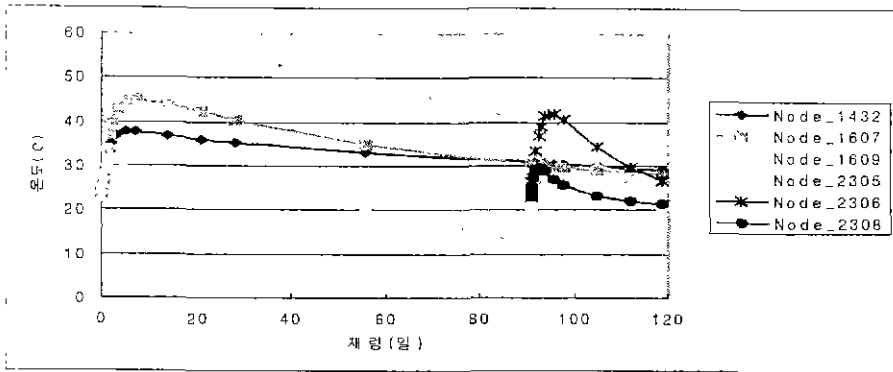


그림 3 LP30(330)의 수화열 해석

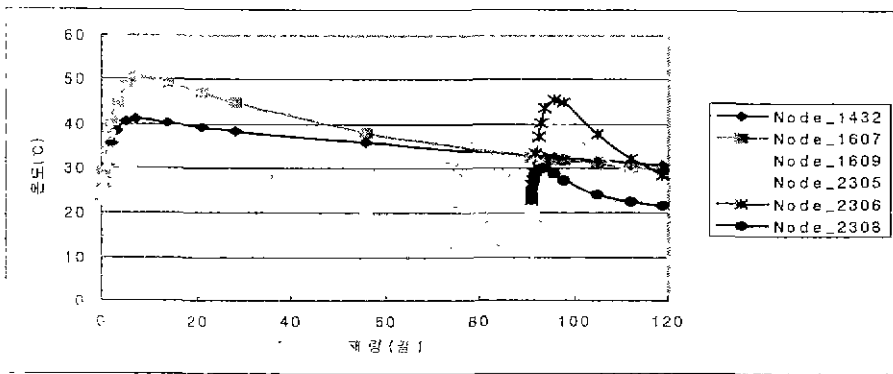


그림 4 LF30(330)의 수화열 해석

### 3.2 온도응력해석결과

온도응력방법은 해석시에 3차원 열응력 유한요소해석기법률 사용하였다. 본해석에서 탄성계수, 선팽창계수, 인장강도 등은 시건의존성 물성치로 고려하였다. 온도응력결과를 검토해 보면 수화열이 높은 부위에서 가장 큰 온도변형저수를 보임을 알 수 있고 여기서 LP30(330)배합이 타배합에 비해 온도변형저수에 더 유리한 효과를 발휘한다.

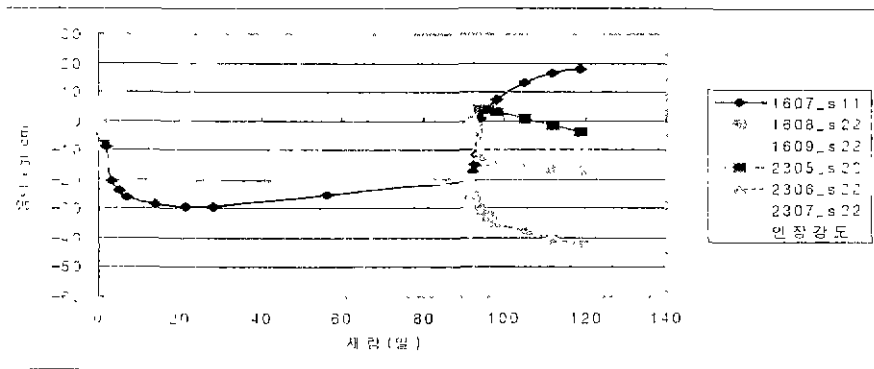


그림 5 LP30(330)의 온도응력 해석

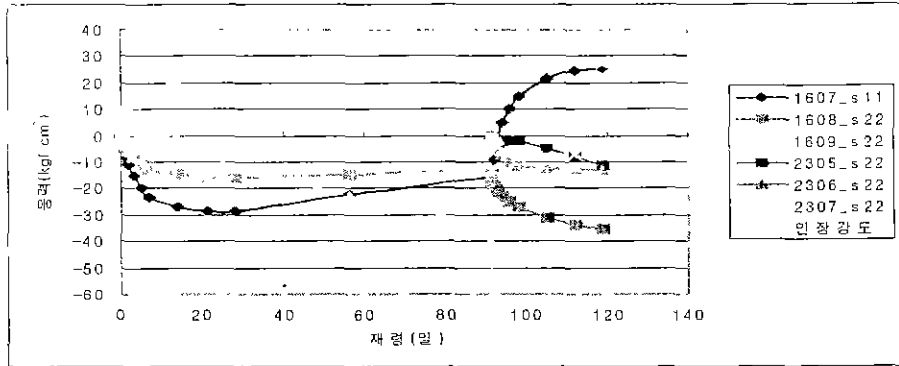


그림 6 LF30(330)의 온도응력 해석

표 4 온도균열지수

구 분	최소 온도균열지수
	Node#1607
LP30(330)	1.42
LF30(330)	1.06

#### 4 결론

최근 국내에는 고속신철관린공사, 대형교량공사 인천신공항이나 인천LNG생산기지등 대형 SOC 사업이 발주되어 공사가 진행되고 있는데 이러한 공사들 중에는 콘크리트 치기시 온도균열의 발생을 염두에 두고 시공해야할 부분이 많이 있다. 메스콘크리트 공사는 일반콘크리트공사와는 달리 충분한 균열 제어대책을 세워 놓지 않으면 구조물의 내력에도 영향을 미칠 수 있는 균열이 발생되어 여러 가지 문제를 야기시키기 때문에 균열발생에 대한 원인을 철저히 파악 대책을 수립해야한다.

메스콘크리트인 인천 LNG생산기지의 기초에는 수화열이 낮은 서열포틀랜드(4종)시멘트에 석회석미분말을 사용한 저발열 콘크리트를 적용하면 온도균열을 제어할 수 있고 콘크리트 치기 전 실측치에 난집현 온도해석을 수행하여 치기온도, 배합조건, 거푸집 탈형시기, 양생조건 등 가장 알맞은 조건을 선정하면 온도균열제어에 도움을 줄 수 있다.

#### 참고문헌

- 1) ACI Committee 307, "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures", Journal of ACI No.1, Vol 67, 1970
- 2) K. Matsui, N. Nishida, Y. Dobashi and Ushioda, "Sensitivity Analysis and Reliability Evaluation of Thermal Cracking in Mass Concrete", 1994.
- 3) 日本コンクリート協會, マスコンクリート温度応力研究委員会報告書, 1985
- 4) 하계담 외5인, "메스콘크리트에서 온도응력에 영향을 주는 인자에 관한 연구", KCI 1998년도 봄 학술발표회, 1998
- 5) 이상화, "주변환경조건을 고려한 온도이력 해석", KCI 제9권 3호 학회지, 1997
- 6) 구본길 외5인, "인천 LNG시하댐코 Sidewall의 온도균열 제어", KCI 기공 학술발표회, 1999