

# 인천 LNG지하탱크 Sidewall의 온도균열제어

## Temperature Crack Control about Sidewall of LNG in Inchon

구본창 \* 김동석 \*\* 하재담 \*\*\* 김기수 \*\*\*\* 최 롱 \*\*\*\*\* 최 웅 \*\*\*\*\*  
Koo, Bon-Chang Kim, Dong-Seuk Ha, Jae-Dam Kim, Ki-Soo Choi, Long Choi, woong

### ABSTRACT

The crack of concrete induced by the heat of hydration is a serious problem, particularly in concrete structures such as underground box structure, mat-slab of nuclear reactor buildings, dams or large footings, 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, pre-cooling which lowers the initial temperature of fresh concrete with ice flake, pipe cooling which cools the temperature of concrete with flowing water, design change which considers steel bar reinforcement, operation control and so on.

The objective of this paper is largely two folded. Firstly we introduce the cracks control technique by employing low-heat cement mix and thermal stress analysis. Secondly it show the application condition of the cracks control technique like sidewall of LNG in Inchon.

### 1. 서론

#### 1.1 배경

최근 구조물의 대형화·특수화·고강도로 인해 수화열에 의한 균열 피해가 매스 콘크리트 시공현장에서 주요 문제로 대두되고 있는데, 수화열에 의한 온도영향을 충분히 고려하지 않고 시공이 이루어질 경우 취약부에 균열발생이 예상되기 때문에 이의 예방에 많은 관심을 기울이고 있는 실정이다.

한편 콘크리트는 경화과정에서 수화발열에 의해 온도상승이 발생되는데, 콘크리트 열전도율이 낮아 부재 내·외부 온도차를 발생한다. 이러한 온도차와 구조물 하부구속에 의해 발생된 온도응력이 콘크리트 인장강도를 초과하면 구조물에 균열을 유발시킨다.

매스콘크리트의 시공시 발생하는 온도균열을 제어하기 위해서 최근까지 수화발열의 주원인이 되는 결합재의 수화발열특성을 파악하여 구조물내의 수화열을 예측하는 해석기술의 개발과 더불어 저열포틀랜드(4종)시멘트와 같이 수화열이 적은 시멘트의 사용과 고로슬래그 미분말(이하 S/G) 등의 포졸란 물질을 치환하여 수화발열량을 낮추는 매스콘크리트 제조기술 개발과 더불어 원재료를 냉각시키는

\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원

\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원

\*\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실장

\*\*\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소장

\*\*\*\*\* 현대건설 인천 LNG 인수기지 현장 시험실장

Pre-cooling 공법과 파이프관에 냉각수를 유입시키는 Pipe-cooling 공법 그리고, 적절한 온도철근을 배근하여 인장강도를 강화하는 방법 등이 활발히 진행되어 오고 있다.

여기서는 인천 LNG 현장의 Sidewall에서 온도해석 검토를 통해 매스 콘크리트의 온도제어 방법으로 저발열 콘크리트로 시공하여 균열을 저감코자 하였다.

### 1.2 개요

인천 LNG 지하탱크 #11,12호기는 안지름 64.704m 에 높이 65.552m의 14만kl 의 용량으로 지하식, 멤브레인, 차수벽, 레인포스드 콘크리트 외벽으로 구성되어 있다.

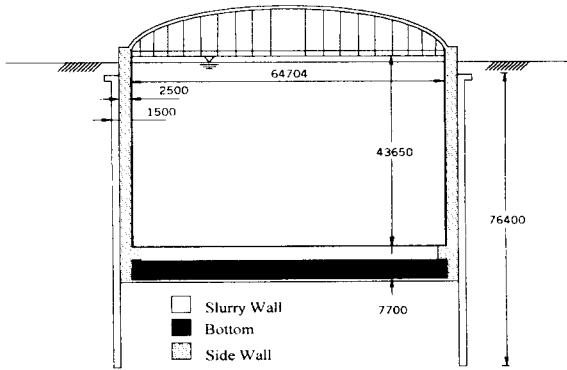


그림 1 인천LNG 지하탱크

이중 여기서 검토한 부위는 Side Wall(이하 측벽)으로 측벽의 경우 두께가 2.5m이고 지름이 64.704m이로 대형 매스구조물에 속한다. 이와 같은 매스콘크리트의 시공시 발생할 수 있는 온도균열을 제어하기 위해서 구조물내의 수화열을 예측하는 해석기술을 이용하여 저열포틀랜드(4종)시멘트에 고로슬래그 미분말(이하 S/G)을 25% 치환하여 구조물의 수화열 및 온도응력을 해석하였고 아울러 실무자에 온도센서를 매설하여 온도를 계측하였다.

## 2. 배합선정을 위한 실내시험

대상구조물의 배합조건은 다음표에 나타내었다.

표 1 배합표

Mix	W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					AD (Cx%)
			W	C	S/G	S	G	
측벽배합	50	40	160	240	80	729	1102	0.9

위의 배합에 따라 시험한 결과 다음의 표에 나타난 것과 같이 측벽은 작업성 및 강도를 만족하였다.

표 2 배합별 특성

Mix	시멘트 종류	Slump (cm)	Air Content (%)	재령별 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
				7d	28d	91d
측벽배합	4종+S/G(25%)	16.5	5.4	136	331	474

표 3 입력 데이터

## 3. 온도해석

### 3.1 온도해석을 위한 입력데이터

온도해석은 측벽에 대해 범용FEM 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 온도해석을 수행하였다.

온도해석을 수행하기 위하여 다음의 표에 나타난 것과 같이 최대온도상승량 및 반응속도는

특성	단위	측벽	
단위시멘트량	(kg/m <sup>3</sup> )	L240+S/G80	
외기온도	(°C)	인천 기상데이터 적용	
최대온도상승량(K)	(°C)	32.98	
반응속도( $\alpha$ )	-	0.221	
콘크리트 타설온도	(°C)	Lift1	23
		Lift2	25(Lift1타설후 60일)
		Lift3	27(Lift2타설후 30일)

단열온도상승 실험을 통하여 구하였고 열전도율 등의 열적 특성은 일반 콘크리트값이며 콘크리트의 외기온도는 현장조건을 적용하였다.

### 3.2 온도해석결과

수화열 해석을 통해 결과를 검토해 보면 lift2의 중앙부에서 53.7℃로 가장 높은 수화열을 나타낸다.

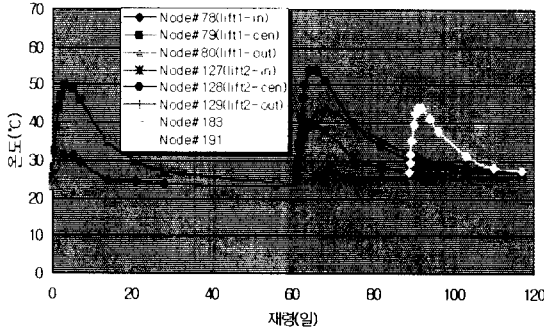


그림 2 축벽의 수화열해석

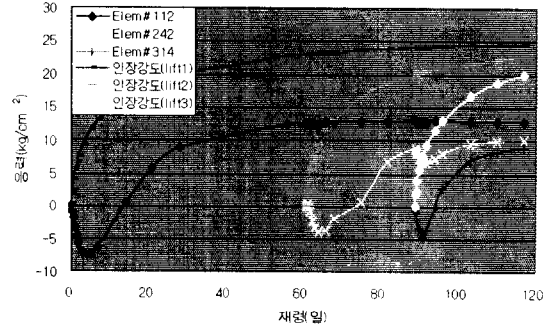


그림 3 축벽의 온도응력해석

축벽에 대한 온도해석에 의한 온도균열지수를 구하면 lift1이 온도균열에 가장 취약한 부위이다.

표 4 수화열 해석결과

구 분		수 화 열
Node#78 (Lift1 inside)	최대온도 (°C)	31.2
	도달시간(일)	5
Node#79 (Lift1 center)	최대온도 (°C)	49.9
	도달시간(일)	4
Node#80 (Lift1 outside)	최대온도 (°C)	40.9
	도달시간(일)	7
Node#127 (Lift2 inside)	최대온도 (°C)	39.9
	도달시간(일)	3
Node#128 (Lift2 center)	최대온도 (°C)	53.7
	도달시간(일)	5
Node#129 (Lift2 outside)	최대온도 (°C)	44.2
	도달시간(일)	5
Node#183	최대온도 (°C)	43.8
	도달시간(일)	3
Node#191	최대온도 (°C)	44.1
	도달시간(일)	3

표 5 온도해석에 의한 균열지수

Lift	발생부위	최소 온도균열지수	발생시기 (타설후(일))
1	Elem#112	1.81	61
2	Elem#242	2.24	49
3	Elem#314	2.25	21

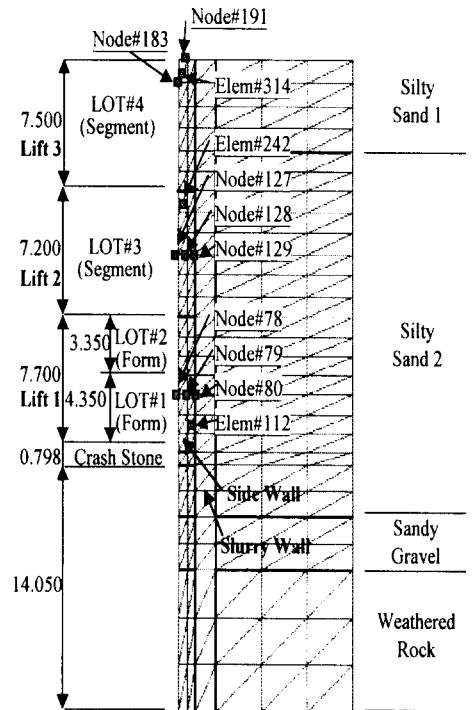


그림 4 수화열 해석부위

#### 4. 실구조물 현장계측과 온도해석결과 비교

온도해석 결과를 토대로 실구조물에 온도센서를 Lift1과 Lift2 중앙부 3곳에 온도센서를 설치하여 현장계측을 실시하였다.

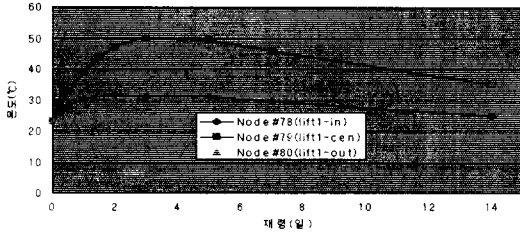


그림 5 Lift1의 온도해석결과

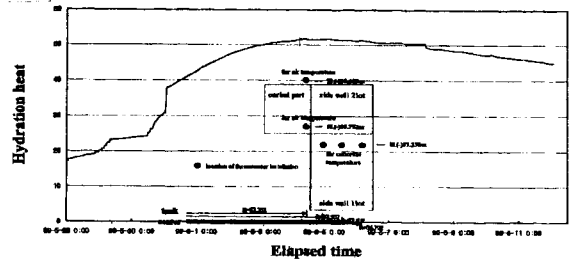


그림 6 Lift1의center부 수화열 계측결과

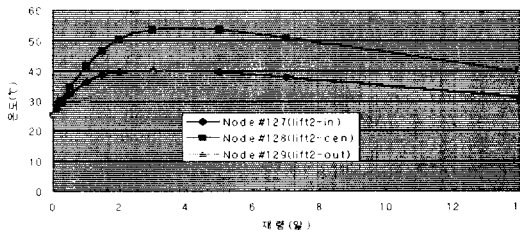


그림 7 Lift2의 온도해석결과

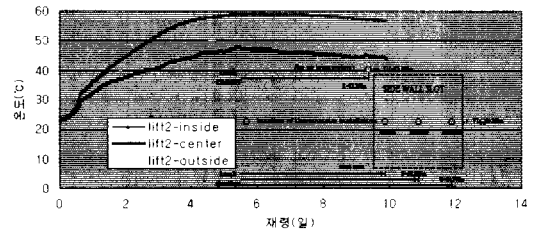


그림 8 Lift2의 수화열 계측결과

계측결과와 온도해석결과를 비교해 보면 계측결과가 온도해석에 비해 5°C정도 높은 값을 보이며 최대온도 도달시간이 늦는다. 이는 65m나 되는 부재지름을 2차원 온도해석에서는 무시하였기 때문이다.

표 6 수화열 해석결과와 계측결과 비교

수화열		Lift1		Lift2	
		해석결과	계측결과	해석결과	계측결과
Center	최대온도 (°C)	49.85	51.15	53.74	59.15
	도달시간 (시간)	3.00	6.00	5.00	6.17

#### 5. 결론

최근 인천신공항이나 인천LNG인수기지등 대형 SOC 사업이 많이 추진됨으로써 대형 매스 구조물의 중요도와 내구년한이 한층 높아지고 있으나 콘크리트의 온도특성 및 환경변화에 의한 영향으로 균열이 자주 발생되고 있다. 이러한 대형 매스구조물중의 하나인 인천 LNG 인수기지의 측벽에 수화열이 낮은 저열포틀랜드(4종)시멘트를 사용한 저발열 콘크리트를 적용하여 온도균열을 제어할 수 있었다. 또한 콘크리트 타설 전 실측치에 근접한 온도해석이 수행되어 타설온도, 배합조건, 거푸집 탈형시기, 양생조건 등을 선정하여 온도균열제어에 도움을 줄 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) 김기수 외5인, "매스콘크리트에서 온도응력에 영향을 주는 인자에 관한 연구", KCI 1998년도 봄 학술발표회, 1998.
- 2) 하재담 외5인, "한국 및 일본의 Belite rich cement를 사용한 자기충전형 콘크리트의 재료적 특성에 관한 연구", KCI 봄 학술발표회, 1998.
- 3) 구분창 외5인, "지하철 박스구조물의 온도균열제어", KCI 봄 학술발표회, 1999.