

# LNG 탱크 Roof의 온도균열 제어

## Thermal Crack Control of LNG Tank Roof

김태홍<sup>\*</sup>      하재담<sup>\*\*</sup>      유재상<sup>\*\*\*</sup>      이종열<sup>\*\*\*\*</sup>      권영호<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Tae-Hong Kim   Jae-Dam Ha   Jae-Sang Ryu   Jong-Ryul Lee   Young-Ho Kwon

### ABSTRACT

Concrete roof in In-Chon LNG tank #15~18 is a very important structure. Precise control of quality is needed. This roof has 0.6~1.5m thickness, 36.23m radius, and, 12.7m height. So in this structure thermal crack caused by hydration heat should be controled.

In this project belite cement plus LSP concrete is used. As a result of ambient temperature rising test and thermal analysis using FEM, this belite cement plus LSP concrete is expected to control the thermal crack well.

### 1. 서론

인천 LNG 인수기지 2차 확장공사 지하탱크 15~18호기 콘크리트 Roof는 그 구조물 형상 및 환경 조건 그리고 사용 배합을 고려할 때, 온도균열이 예상되는 구조물이다. 실제로 앞서 시공한 13~14호기 콘크리트 Roof의 하부에서 온도균열로 추정되는 균열이 발생하였다.

이에 따라 15~18호기 콘크리트 Roof의 시공에서는 저열포틀랜드 시멘트(이하 4종 시멘트)를 단독으로 사용한 13~14호기 콘크리트 Roof와는 달리 4종 시멘트의 25%를 석회석 미분말(LSP)로 치환한 배합을 적용하게 되었다. 또한, 콘크리트 관리 재령을 28일에서 91일로 늘림으로서 전체 결합재량을 13~14호기 콘크리트 Roof와 같은 수준으로 유지할 수 있었다.

본 연구에서는 콘크리트 Roof에 대한 일본 가지마건설의 추천 배합, 13~14호기 콘크리트 Roof에 적용되었던 배합, 그리고, 15~18호기 콘크리트 Roof에 적용된 배합 등 3가지 배합에 대하여 수화열 및 온도 응력 해석을 수행하여 기존 배합의 문제점을 지적하고 15~18호기 콘크리트 Roof 배합의 타당성 및 온도 균열 제어 효과를 증명하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 해석 조건

##### 2.1.1 구조물 모델링

콘크리트 Roof의 형상은 다음 그림 1과 같다.

- 
- \* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원
  - \*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원, 공학박사
  - \*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사
  - \*\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장
  - \*\*\*\*\* 정회원, 동양대학교 건축·실내디자인학부 교수, 공학박사

범용 유한요소 해석 프로그램, ABAQUS를 사용하여 수화열 및 온도응력 해석을 수행하였으며 구조물의 형상을 고려하여 축 대칭 요소를 이용하여 2D로 모델링 하였으며, 해석에 사용된 mesh 및 해석 결과 출력 위치는 다음 그림 2와 같다.

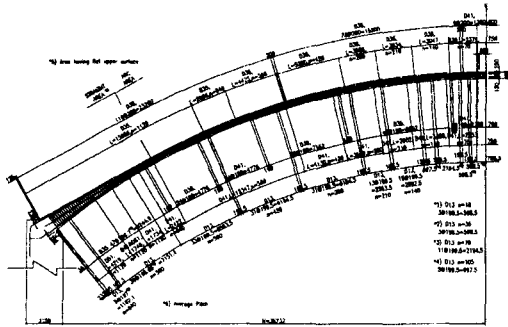


그림 4 구조물 형상(도면)

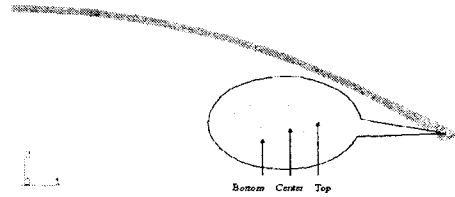


그림 5 유한요소 mesh 및 결과 출력 위치

### 2.1.2 수화열 해석 조건

콘크리트표준시방서 표 7.2를 근거로 다음 표 2와 같은 열계수는 값을 사용하였다.

표 1 콘크리트의 재료 특성값

구분		재료 특성값
열적 특성	비열	0.25kcal/kg °C
	열전도율	2.2kcal/mhr °C
	밀도	2,350kgf/m <sup>3</sup>
역학적 특성	열팽창계수	10×10 <sup>-6</sup> /°C

콘크리트 타설일(10월말, 10월 30일로 가정)로부터 인천의 20년간 일평균기온을 근거로 재령 21일(3주)간의 평균기온(9.07°C)을 외기온도로 하였다.

검토된 배합은 다음 표 4와 같다.

표 2 시방배합표(20-300-15)

Mix	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					
			W	B		S	G	AD
				C	LSP			
15~18호기(L+LSP)	43.4	43.0	155	268	89	737	1054	2.86
13~14호기(L)	40.8	42.0	155	380	-	770	1147	2.58
가지마건설(TB)	36.5	41.0	140	384	-	723	1170	2.69

위 표 2의 배합에서 15~18호기 배합은 4종 시멘트와 석회석 미분말을 치환한 배합(이하 L+LSP)이고, 13~14호기 배합은 벨라이트 시멘트를 사용한 배합(이하 L)이며, 가지마건설 추천 배합은 3성분계 시멘트를 사용한 배합(이하 TB)이다. 이중 L+LSP의 관리 재령은 91일 이고, L과 TB의 관리 재령은 28일 이다.

표 2의 배합에 대하여 단열온도상승시험을 통하여 구한 단열온도상승 특성치에 예상되는 타설온도 15°C를 고려하여 보정한 단열온도상승 특성값은 다음 표 3과 같다.

표 3 단열온도상승 특성값

배합명	단열온도상승 특성값	
	K(°C)	a
L+LSP	34.5	0.330
L	42.9	0.460
TB	44.6	0.496

재령별 양생조건 및 양생조건에 따른 열대류계수는 다음 표 4와 같다.

표 4 양생조건 및 양생조건에 따른 열대류계수

경계	양생방법	적용기간	열대류계수(kcal/mhr°C)
바닥	철재 거푸집	타설 일 ~ 재령 2주	12.0
	거푸집 제거	재령 2주 이후	12.0
상부	목재 거푸집	타설 일 ~ 재령 2주	7.0
	거푸집 제거	재령 2주 이후	12.0

### 2.1.3 온도응력 해석 조건

각 배합별 재령별 압축강도는 다음과 같다.

표 5 재령별 압축강도(kgf/cm<sup>2</sup>)

배합명 \ 재령	7	28	56	91
L+LSP	155	269	345	404
L	-	300	-	450
TB	-	300	-	490

여기서, L+LSP의 강도는 실험 결과이며, L과 TB의 강도는 설계 기준 강도에서 추정된 강도이다. 위 표 5 이외의 재령별 압축강도는 위에 나타난 강도와 콘크리트 표준시방서 식 7.6을 사용하여 구하였다. 또한, 재령별 인장강도 및 탄성계수는 콘크리트 표준시방서의 식 7.7 및 7.8을 사용하여 구하였다. 경계조건은 Roof의 하부가 벽체(Lot 9)에 의하여 '완전구속'되는 것으로 간주 하였다.

## 2.2 해석 결과

### 2.2.1 수화열 해석 결과

수화열 해석 결과를 배합별로 비교하여 나타내면 다음 그림 3과 같다.

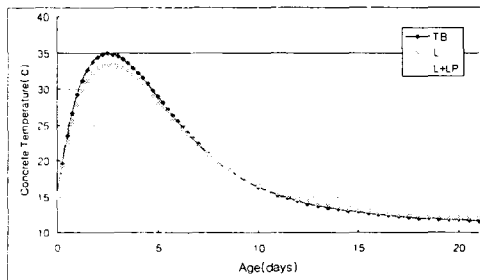


그림 6 수화열 해석 결과

## 2.2.2 온도응력 해석 결과

온도응력 해석 결과를 나타내면 다음 그림 4 및 5와 같다.

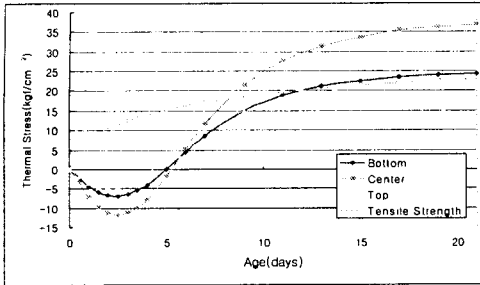


그림 7 온도응력(TB)

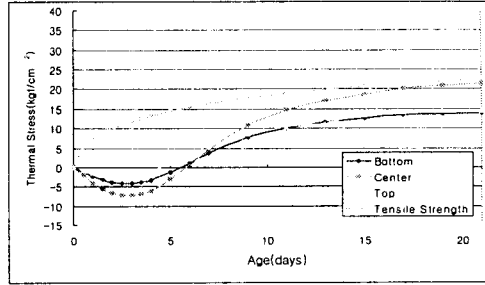


그림 8 온도응력(L)

## 2.2.3 온도균열지수

온도응력 해석 결과를 배합별로 중심부의 온도균열 지수를 비교하여 나타내면 다음 그림 6과 같다.

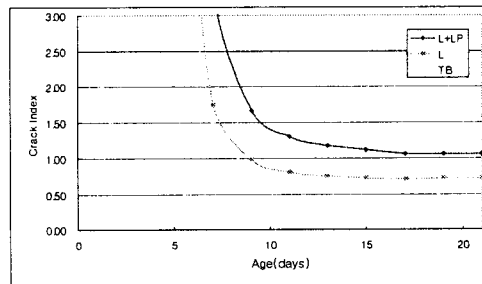


그림 9 온도균열지수

## 3. 결론

인천 LNG 인수기지 지하탱크 15~18호기 콘크리트 Roof 수화열 및 온도응력 해석 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 가지마건설의 추천 배합 또는 4종 시멘트 단독 배합을 사용할 경우, 구조물에 유해한 온도균열 발생이 판단된다.
2. 4종 시멘트에 석회석 미분말을 치환한 배합은 기존 가지마 건설과 4종 시멘트 배합에 비하여 온도균열 발생 가능성을 크게 저감하였으며, 온도균열 발생을 방지할 수 있을 것으로 기대된다.
4. 본 구조물과 같은 특수 매스콘크리트 구조물에서는 4종 시멘트를 사용하고 관리 재령을 91일로 하여야만 온도균열을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

1. 인천 LNG 인수기지 1공구 지하탱크 본체 추천 시멘트 및 추천 배합, 쌍용중앙연구소, 1998. 7.
2. Study on Thermal Cracking of Concrete Roof in INCHON LNG TERMINAL(#13,14), TAISEI CORPORATION, 2002. 2.
3. 콘크리트 Roof의 수화열 및 온도응력 검토, 인천 LNG 터미널(#15~18), 쌍용기술연구소, 2002. 8.