

# 슬래브형 매스콘크리트 구조물의 온도균열제어

## Temperature Crack Control in Slab Type's Mass Concrete Structures

김동석<sup>\*</sup>    구본창<sup>\*\*</sup>    하재담<sup>\*\*\*</sup>    진형하<sup>\*\*\*\*</sup>    오승제<sup>\*\*\*\*\*</sup>    변근주<sup>\*\*\*\*\*</sup>

Kim, Dong-Seuk    Koo, Bon-Chang    Ha, Jae-Dam    Jin, Hyung-Ha    Oh, Seung-Che    Byun, Keun-Joo

### ABSTRACT

The crack of concrete induced by the heat of hydration is a serious problem, particularly in concrete structures such as 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 Aim of this paper is to verify the effect of low heat blended cement in reducing thermal stress in slab type's mass concrete such as container harbor structures.

### 1. 서론

콘크리트는 재료특성상 휨강도와 인장강도가 낮고 균열에 대한 저항성이 매우 취약해 구조적으로 인장응력이 발생하는 부위에는 항상 균열발생의 가능성을 가지고 있다. 또한 발생된 균열은 콘크리트의 내력, 내구성, 수밀성 등을 저하시키거나 구조물의 외관을 손상시키는 등 각종 유해한 현상을 일으키는 요인으로 작용한다.

콘크리트 구조물의 균열발생 원인은 시멘트의 수화에 의한 온도응력, 자기수축 또는 건조수축, 설계 및 시공상의 결함 등 여러 가지 원인들이 있으며, 또한 실제 구조물에서 균열은 이러한 원인들의 복합작용에 의해 다양한 형태로 발생된다. 특히, 매스콘크리트 구조물의 경우 콘크리트 타설 후 시멘트의 수화열에 의한 부재의 체적변화와 구속조건에 따라 온도응력이 발생하고, 이러한 응력은 콘크리트의 건조수축과 함께 시공 초기단계에서 심각한 온도균열을 유발하고, 또한 이러한 온도균열은 구조물을 관통하는 특성을 가진다.

이에따라 매스콘크리트 구조물의 온도균열 제어 및 저감방안은 설계, 재료, 시공의 각 단계에서 적절한 대책을 수립하여 실시하는 것이 매우 중요하다 할 수 있으며, 설계상의 검토인자로서는 부재 단면 및 설계기준강도, 균열유발기준, 온도철근 배근 등이 있고, 재료적 측면에서는 가급적 수화열이 적은 저발열형 시멘트를 사용하는 방안과 시공측면에서 Pre-cooling 또는 Pipe-cooling에 의한 콘크리트의 온도상승을 억제하는 방안 등이 활용되고 있다.

\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원

\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

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

\*\*\*\* 정회원, 동아건설산업(주) 광양항만출장소 시공담당과장

\*\*\*\*\* 정회원, 동아건설산업(주) 광양항만출장소 소장

\*\*\*\*\* 정회원, 연세대학교 토목공학과 교수

따라서 본 연구는 수화열 및 온도응력 해석결과 구조물의 단면특성상 온도균열의 발생이 크게 예상되는 컨테이너부두 접안시설 매스콘크리트 구조물을 대상으로 기존의 1종시멘트를 사용한 기준배합(이하, 일반배합이라 명함.)과 저발열형 혼합시멘트를 사용한 시험배합(이하, 저열배합이라 명함.)의 시험시공과 함께 현장계측을 통해 사용재료적 측면에서의 수화열 및 온도응력 저감효과와 현장 적합성을 비교 검토하였다.

## 2. 시험시공 개요

### 2.1 대상구조물

컨테이너부두 접안시설 구조물은 단면이 3.5m(H)×4.5m(W)×21.0m(L)인 대형 매스콘크리트 구조물로서 구조물의 개요는 그림 1.과 같으며, 콘크리트 타설은 일반배합과 저열배합 모두 동일한 조건인 5일간격으로 3회 분할타설(1단:0.5m, 2단:1.4m, 3단:1.6m)을 실시하였다.

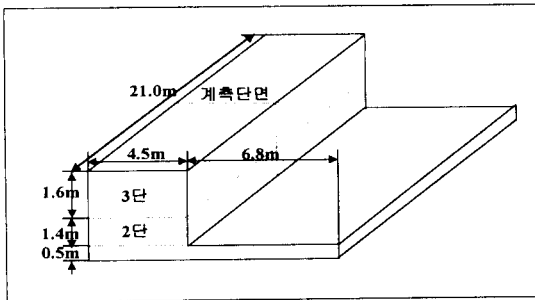


그림 1. 시험시공 구조물 개요

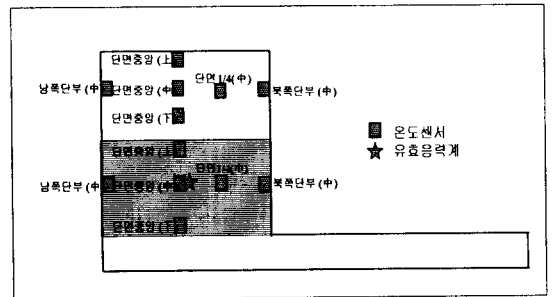


그림 2. 온도센서 및 유효응력계 매립위치

### 2.2 현장계측 내용 및 위치

컨테이너부두 상치콘크리트 구조물의 시험시공에 따른 현장계측 내용은 일반배합과 저열배합의 수화열 및 온도응력 비교검토를 위해 열전대(Thermo-Couple, K type)를 사용하여 2단 및 3단콘크리트의 온도분포를 계측하였다. 또한 콘크리트 유효응력계(GK-100-505, 日本)를 사용하여 2단콘크리트 단면 중심부에 작용하는 단면응력을 계측하였으며, 그 자세한 계측부위는 그림 2.에 나타내었다.

### 2.3 시험시공 배합 및 물성

시험시공 배합선정은 일반배합의 경우 기존 레미콘의 25-240-10규격배합을 적용하였으며, 저열배합은 저발열형 혼합시멘트를 사용한 실험실적 배합검토 및 레미콘 B/P실험을 통해 현장 요구Spec.을 만족하는 시험배합을 선정하였으며, 표 1.에 현장배합조건을 나타내었다. 또한 각 배합의 시험타설시 별도의 공시체를 제작하여 재령별 재료역학적 특성을 비교측정하였으며, 그 결과를 표 2.에 나타내었다.

표 1. 시험시공 현장배합표

배합구분 (25-240-10)	W/C (%)	S/A (%)	단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G	*AE제	**SP제
일반배합	47.7	44.5	165	346	806	1053	1.038	-
저열배합	46.0	45.0	152	330	814	1042	-	1.980

\* Ligace-UA(AE감수제), \*\* Phoenix R1(고성능 AE감수제)

표 2. 배합별 재료역학적 특성 비교

배합구분	Air (%)	Slump (cm)	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )			탄성계수(×10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )			인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			7일	28일	56일	7일	28일	56일	7일	28일	56일
일반배합	2.7	8.0	268	309	335	2.58	2.89	2.93	25.3	30.5	32.2
저열배합	2.5	9.5	173	276	355	2.35	2.66	3.03	17.4	25.8	31.5

### 3. 수화열 및 온도응력 해석

시험시공 대상 구조물의 균열발생 예측을 위해 그림 2.의 동일위치에서 수화열 및 온도응력에 대한 해석을 실시하였다. 해석을 위한 입력 Data경우 최대온도상승량 및 반응속도는 단열온도상승실험을 통하여 구하였고, 타설온도와 외기조건은 실제 현장조건을 고려하였으며, 기타 열적특성은 콘크리트의 일반적인 값을 사용하였다. 해석결과는 현장계측 결과와 비교를 위해 2단 콘크리트를 기준으로 표 4.에 나타내었으며, 온도응력은 현장계측 결과와 함께 그림 6. 및 그림 7.에 나타내었다.

### 4. 현장계측 결과

#### 4.1 수화열 계측

대상 구조물에 대한 온도응력 해석결과 온도균열이 예상되는 2단콘크리트에 대한 수화열 현장계측 결과를 그림 3. 및 그림 4.에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 각 부위별 일반배합 및 저열배합은 뚜렷한 온도차이를 보였다. 일반배합의 경우 부재 중심부의 최고온도가 약 71.0℃인 반면, 저열배합은 53.0℃로 계측되므로써 매스콘크리트에서 저열배합이 일반배합 대비 약 18℃ 정도의 수화열 저감효과를 보였다. 또한 최고온도 도달시간도 일반배합은 약 1.04일이나 저열배합의 경우 약 2.00일로 계측되어 결과적으로 저열배합이 온도응력 저감에 유리할 것으로 판단된다.

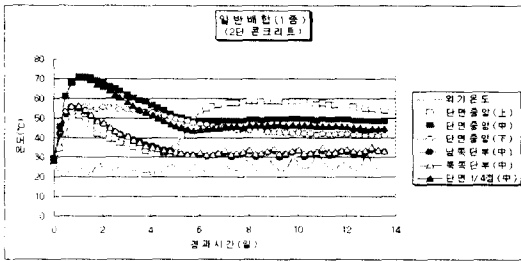


그림 3. 일반배합의 수화열 현장계측 결과

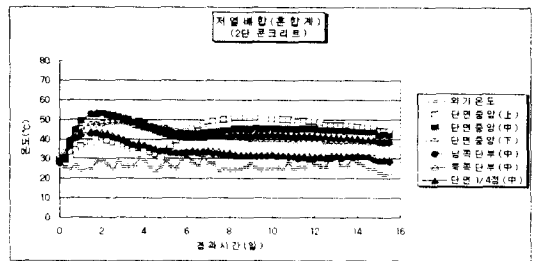


그림 4. 저열배합의 수화열 현장계측 결과

#### 4.2 온도응력 계측

콘크리트 유효응력계를 이용한 2단콘크리트의 온도응력 계측결과를 표 3. 및 그림 5.에 나타내었다. 그림 5.에서 보는바와 같이 일반 및 저열배합 모두 초기재령(약1.5일)에는 압축응력이 발생한 후 점차 인장응력으로 변하는 패턴은 유사하나 일반배합의 경우 5.7일을 경과하면서 인장응력이 4.69kg/cm<sup>2</sup>에서 46.86kg/cm<sup>2</sup>으로 급격히 증가되는 점으로 미루어 단면 내부에 유효응력계를 가로지르는 관통균열이 발생되었을 확율이 매우 높고, 이러한 인장응력은 7.0일이 경과하면서 207.04kg/cm<sup>2</sup>까지 증가되는 결과를 보였다. 반면에 저열배합은 6.5일 경과시 최대 인장응력이 2.41kg/cm<sup>2</sup>로 저열배합의 7일 인장강도 측정결과 17.4kg/cm<sup>2</sup>보다 훨씬 작은 결과로 계측됨으로써 수화열에 기인한 온도응력저감에 매우 유리하다는 것을 확인할 수 있었다.

표 3. 온도응력 현장계측 결과

배합구분	응력 계측결과		비 고
	최대 압축응력 (시점)	최대 인장응력 (시점)	
일반배합	- 18.65kg/cm <sup>2</sup> (1.5일)	+ 207.04kg/cm <sup>2</sup> (7.0일)	균열발생 추정 (46.86kg/cm <sup>2</sup> ) (5.7일)
저열배합	- 9.79kg/cm <sup>2</sup> (1.5일)	+ 2.41kg/cm <sup>2</sup> (6.5일)	-

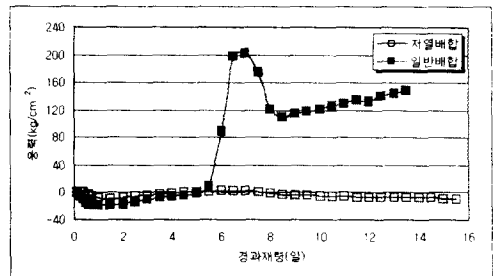


그림 5. 유효응력계에 의한 응력 계측결과

## 5. 해석결과와 계측결과와의 비교

### 5.1 수화열 비교

각 배합별 2단콘크리트에 대한 수화열 해석결과와 현장 계측결과(그림 3.~그림 4.)를 정리하여 표 4에 나타내었다. 각 부위별 최고온도의 경우 각 배합별 해석치와 실측치는 비교적 근사한 값을 가진다는 것을 알 수 있으며, 최고온도 도달시간은 약간의 편차를 가지는 것으로 나타났다.

표 4. 수화열 해석결과와 계측결과와의 비교

배합구분		2단 콘크리트									
		단면1/4(中)		남쪽단부(中)		단면중앙(下)		단면중앙(中)		단면중앙(上)	
		해석	계측	해석	계측	해석	계측	해석	계측	해석	계측
일반배합	최대온도(℃)	68.9	70.5	49.3	55.4	55.0	55.3	68.5	71.0	42.5	53.2
	도달시간(일)	1.5	1.04	1.0	0.75	2.0	1.29	1.5	1.04	1.0	1.04
저열배합	최대온도(℃)	54.3	53.3	41.8	42.9	44.5	48.5	54.1	53.0	37.9	40.7
	도달시간(일)	2.0	1.75	1.0	1.75	2.5	2.25	2.0	2.0	1.5	2.0

### 5.2 온도응력 비교

그림 6. 및 그림 7.는 온도응력에 대한 해석결과와 계측결과를 비교한 것이다. 그림에서 보는바와 같이 온도응력의 경우 수화열 비교결과와는 달리 단면응력의 특성상 다소 편차를 보이거나 온도응력 발생패턴은 비교적 유사하게 예측되며, 특히 균열발생 시점은 일반배합의 경우 해석상 균열발생 확율이 가장 높은 것으로 예상되는 약 6일 시점에서 실제 현장계측 응력이 급격하게 증가되는 것으로 계측됨에 따라 균열발생 시점에 대한 비교결과는 일치하는 것으로 예측되며, 또한 실제 이러한 시점에서 매스콘크리트 구조물은 관통균열이 발생할 확율이 매우 높은 것으로 평가된다.

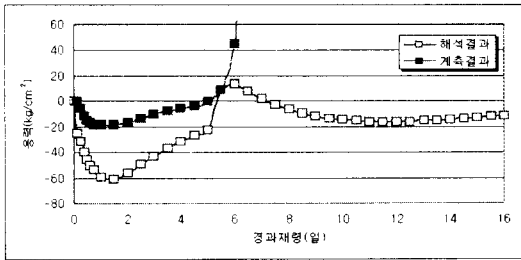


그림 6. 일반배합의 온도응력 해석 및 계측결과

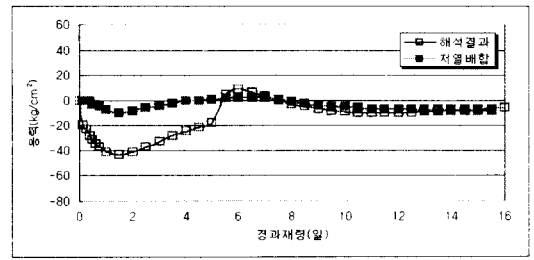


그림 7. 저열배합의 온도응력 해석 및 계측결과

## 6. 결론

매스콘크리트 구조물의 온도균열 제어 및 저감방안은 설계, 재료, 시공의 각 단계에서 적절한 대책을 수립하여 실시하는 것이 매우 중요하다. 본 시험시공 결과 컨테이너부두 접안시설과 같은 매스콘크리트 구조물은 설계와 시공측면에서의 제어대책은 경제적 비용상승을 수반하므로 재료상의 제어대책으로써 수화발열 특성이 가급적 낮은 저발열형 시멘트를 사용하는 것이 온도균열 저감에 매우 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

- 1) 김기수 외5인, "매스콘크리트에서 온도응력에 영향을 주는 인자에 관한 연구", KCI 1998년도 봄 학술발표회, 1998.
- 2) K. Matsui, N. Nishida, Y. Dobashi and Ushioda, "Sensitivity Analysis and Reliability Evaluation of Thermal Cracking in Mass Concrete", 1994.
- 3) 김진근 외1인, "매스콘크리트의 수화열 및 온도응력에 대한 영향요인", 콘크리트학회지, 1997. 6.