

콘크리트 BOX 구조물의 수화열에 의한 온도균열제어 대책

A Study on Minimizing for Hydration Heat Cracks of a Subway Concrete Box Structure

김 은 검^{*} 전 찬 기^{**} 전 중 규^{***} 배 상 일^{****}
Kim, Eun Kyum Jeon, Chan Ki Jeon, Joong Kyu Bae, Sang Il

ABSTRACT

The bigger of concrete structures by a construct technique improvement, and the increase of the cement quantity which is caused by with use of the high-strength concrete for the load-carrying-capacity and a durability cause temperature cracks by a heat of hydration. The temperature crack due to the heat of hydration classified a nonstructural crack. but it has a bad effect on durability of concrete structures. especially, in case of a subway concrete box structure, when a water-proof facilities is beaked on an outer-wall, the water leakage occurs through a penetration crack generated from a wall of the concrete structure too.

This paper, for the subway concrete box structure, which is located in chloride attack region, the use of blended cement, the temperature of air and concrete, was considered and analysed by a three dimensional finite element method.

1. 서론

지하철의 대형 BOX 구조물과 같이 매스콘크리트 구조물 시공 시 부재 표면과 내부와의 온도차나 부재 전체의 온도가 강하할 때의 수축변형 구속 등에 의해 응력이 생겨 균열 발생을 초래한다. 이렇게 균열이 발생될 경우, 구조물에 필요한 기능 및 품질을 손상시키지 않도록 온도균열을 제어하기 위해 적절한 콘크리트의 품질 및 시공방법의 선정 및 균열제어 철근의 배치 등의 조치를 취하여야 한다. 한편, 수화열에 의한 온도균열은 비구조 균열이지만, 장기 내구성 확보를 위해서는 적극적으로 억제할 필요가 있다.

특히, 본 연구에서 대상으로 하는 인천 송도 지하철 콘크리트 BOX 구조물과 같이 염해지역에 건설되는 구조물의 경우, 벽체에서 관통균열에 의한 누수가 발생하면 구조물의 외관은 물론 시멘트 경화체의 수화물 용출, 철근부식 등으로 구조물의 내구성 저하에 의한 내구수명 감소를 초래함으로써 유지관리에 많은 보수비용이 들어가게 된다.

본 논문에서는 인천 송도신도시에 지하철 콘크리트 BOX 구조물의 수화열에 의한 균열을 제어할

* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 시립인천전문대학 토목과 교수

*** 정회원, 코오롱건설(주) 기술연구소 대리

**** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사과정

목적으로 내구성에 유리한 광물질혼화제의 종류 및 혼입량을 달리하여 배합설계를 하였으며, 수화열에 의한 온도해석 및 응력해석을 실시하여 수화열에 균열제어에 유리한 최적의 배합을 제시한다.

2. 대상 구조물의 단면 특성 및 해석조건

2.1 대상 구조물 단면 형상

대상 구조물은 지하철 콘크리트 BOX 구조물로서 가장 대표적인 단면으로서 그림 1과 같이 그 형상은 길이 20m, 폭 9.8m, 높이 7.5m이며, 벽체의 두께는 1.0m이다. 그림 2는 해석에 사용된 유한요소 모델링을 나타낸 것이며, 좌우 대칭 구조물이므로 1/2해석을 전제로 모델링하였다.

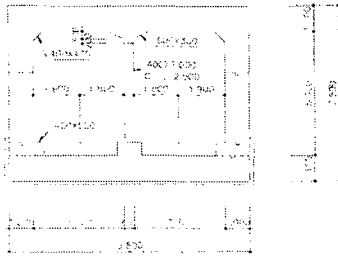


그림 1 대상 구조물의 단면도

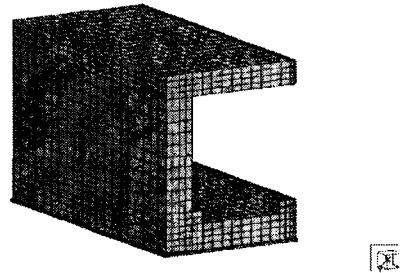


그림 2 대상 구조물의 유한요소 모델링

2.2 콘크리트의 배합설계 및 열적특성

본 실험에 사용된 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement, OPC 또는 O로 약함), 저발열 포틀랜드시멘트(Low Heat Portland Cement, L로 약함), 실리카폼(Silica Fume, SF로 약함), 고로슬래그 미분말(Ground Granulated Blast Furnace Slag, S로 약함) 및 플라이애쉬(Fly Ash, FA로 약함) 콘크리트 설계기준강도는 27MPa이며, 내구성 및 수화열에 의한 온도균열제어에 유리하다고 판단되는 6종류의 배합표를 표 1에 나타내었다.

또한, 표 2는 본 연구에 적용된 콘크리트 종류별 단열온도상승곡선 시험값 및 열적 특성치를 나타낸 것이다.

표 1 콘크리트의 배합표

Types	Air (%)	Slump (cm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m^3)							Ad1* (%)	Ad2** (%)
					W	Binder				S	G		
						C	BFS	FA	SF				
OPC	4.5±0.5	15±1.5	44.0	45.9	168	382	0	0	0	794	965	0.9	0.015
OS40	4.5±0.5	15±1.5	42.0	45.1	168	240	160	0	0	769	965	0.65	0.015
OS30FA10	4.5±0.5	15±1.5	42.0	44.7	168	240	120	40	0	759	968	0.62	0.02
OS30SF5	4.5±0.5	15±1.5	42.0	45.0	168	260	120	0	20	765	964	0.85	0.016
LS30	4.5±0.5	15±1.5	41.0	45.5	165	282	121	0	0	777	941	0.45	0.025

* : 고성능감수제, ** : AE제

표 2 구조물의 열적특성

사용시멘트		OPC	S40	OS30FA10	OS30FA20	OS30SF5	LS30
단열온도	Q_{∞}	49.6	54.2	53.6	48.6	48.8	48.7
상승 특성치	r	0.902	0.483	0.417	0.278	0.642	0.351
밀도	$\rho (kg/m^3)$	2,400					
열전도율	$k (W/m^{\circ}C)$	2.7					
비열	$C_p (KJ/kg^{\circ}C)$	1.05					

2.3 해석조건

콘크리트는 시공성을 감안하여 바닥슬래브, 벽체, 상부슬래브 순서로 3회 분할하여 타설하는 것으로 하였으며, 콘크리트를 타설할 때 굳지 않은 콘크리트의 온도는 각각 20℃로 하였다. 대기온도는 5~25℃의 범위로 정하였으며, 보온양생에는 일반적으로 사용하고 있는 보온 양생시트 1장을 사용하는 것으로 하였다.

3. 콘크리트의 온도해석 및 온도응력 해석 결과

3.1 온도해석 결과

보통 포틀랜드시멘트만을 사용할 경우 수화열은 부재에 따라 약간의 차이는 있지만, 대략 부재 내부의 최대 온도상승 값은 48.7~51.6℃로서 50℃ 정도를 나타낸다.

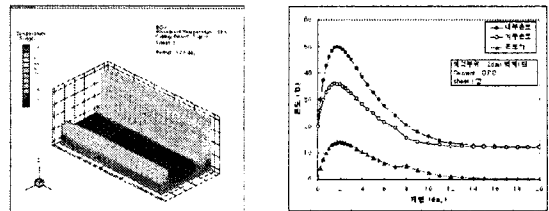
보통 포틀랜드시멘트에 고로슬래그 미분말을 40% 치환할 경우, 최대온도 저감효과는 대략 5℃, 고로슬래그 미분말 30%에 플라이애쉬를 10%첨가할 경우에는 7~8℃ 정도 인 것으로 해석되었다. 또한 고로슬래그 30%에 실리카폼을 첨가할 경우에는 보통 포틀랜드시멘트만을 사용한 경우에 비해 4℃ 정도 온도저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 저열 포틀랜드시멘트의 경우에는 수화열 저감효과가 매우 커서 약 10℃ 정도를 나타내었다.

특히, 보통 포틀랜드시멘트에 고로슬래그 30%에 플라이애쉬 20%를 치환한 콘크리트는 저열 포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트에 비해, 온도저감 효과가 3℃정도 더 큰 것으로 나타나 3성분계 결합재를 잘 적용하면, 수화열에 의한 온도균열 제어에 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다. 그림4는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였을 때의 벽체의 온도해석 결과를 나타낸 것이다.

3.2 온도응력해석 결과

바닥슬래브의 온도균열지수는 6종류의 모든 배합에서 온도균열지수가 1.2를 초과하여 목표로 하고 있는 균열제어에 문제가 없는 것으로 생각된다.

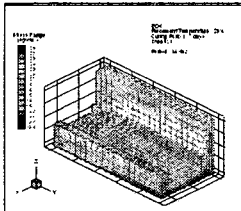
벽체의 경우, 3m로 분할하여 타설할 경우, 보통 포틀랜드시멘트에 고로슬래그 미분말 30%, 플라이애쉬 10%를 치환한 [OS30FA10] 배합 및 저열 포틀랜드시멘트에 고로슬래그 미분말 30%를 치환한



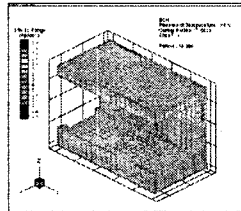
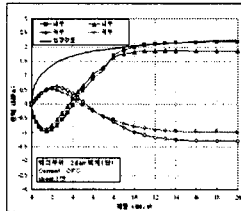
(a) 온도해석 결과 (b) 중앙단면의 온도분포
그림 4 벽체의 수화열 온도 해석 결과

[LS30] 배합의 경우까지 목표균열지수 1.2를 초과하였다.

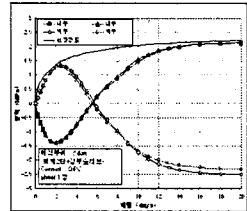
상부슬래브의 경우, 모든 배합에서 온도균열지수 1.2이상 확보되는 것으로 나타났다. 그림 5와 그림 6은 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였을 때의 벽체와 상부슬래브의 온도응력해석 결과를 나타낸 것이다.



(a) 온도응력해석 결과
그림 5 벽체의 수화열에 의한 응력해석 결과



(a) 온도응력해석 결과
그림 6 벽체의 수화열에 의한 응력해석 결과



4. 결론

1. 송도신도시를 통과하는 인천지하철과 같이 해양환경의 영향을 받는 콘크리트 구조물에 있어서, 수화열에 의한 온도균열을 합리적으로 제어하기 위한 목표 온도균열지수는 콘크리트표준시방서에서 제시하고 있는 [유해한 균열을 방지할 경우]의 조건과 [균열을 제어할 경우]의 조건의 경계값에 해당되는 1.2 이상으로 설정하는 것이 염해 저항성 제고를 위해 바람직하다고 본다.
2. [OS30SF5] 배합의 경우에는 [OPC] 배합의 경우에 비해 4℃ 정도 낮아져 다른 혼화재료에 비해 수화열 저감 효과가 적은 것으로 생각된다. 특히 저열포틀랜드시멘트의 경우에는 수화열 저감 효과가 매우 커서 약 10℃ 정도를 나타내었다.
3. [OS30FA20] 배합은 [LS30] 배합에 비해, 온도저감 효과가 3℃정도 더 큰 것으로 나타나 3성분계 결합재를 잘 적용하면, 수화열에 의한 온도균열 제어에 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.
4. 벽체의 경우, 3m로 분할하여 타설할 경우, [OS30FA20] 배합과 [OS30FA10] 배합 및 [LS30] 배합의 경우까지 3종류의 배합에서 목표균열지수 1.2를 초과하였다. 그러나 [OS30SF5]배합에서는 온도균열지수가 1.05로서 목표치를 1.2로 설정했을 경우 목표치에 미달하는 것으로 나타났다.
5. 이상의 검토 결과를 종합하여 보면, 표준단면에서 목표온도균열지수 1.2 이상 확보 가능한 배합은 바닥슬래브의 경우 6종류이며, 1단 벽체의 경우 3종류의 배합([OS30FA20], [OS30FA10], [LS30])이다. 따라서, 본선 구간 콘크리트 타설시 이상과 같은 검토 결과를 고려하여 현장에 적합한 배합을 선정·적용하는 것이 지하철 BOX 구조물의 유해한 온도균열을 제어하는데 효과적인 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김은겸, 김래현, 신치범, “유한요소법에 의한 매스콘크리트 구조물의 온도해석 프로그램 개발”, 한국 콘크리트학회 논문집, 제7권 6호, 1995. 12.