

외부구속을 받는 매스콘크리트 구조물의 수화열 해석

Numerical Analysis of Temperature and Stress Distribution in Mass Concrete Structure with External Restriction

김은겸^{*} 조선규^{**} 신치범^{***} 박영진^{****} 서동기^{****}
Kim Eun Kyum, Cho Sun Kyu, Shin Chee Bum, Park Young Jin, Seo Dong Gi

Abstract

Since the cement-water reaction is exothermic by nature, the temperature rise within a large concrete mass. Significant tensile stresses may develop from the volume change associated with the increase and decrease of the temperature with the mass concrete. These thermal stresses will cause temperature-related cracking in mass concrete structures. These typical type of mass concrete include mat foundation, bridge piers, thick walls, box type walls, tunnel linings, etc. Crack control methods can be considered at such stages as designing, selecting the materials, and detailing the construction method.

In this paper, the effect of placing of crack control joint or construction joint was analysed by a three dimensional finite element method. As a result, using this method, crack control can be easily performed for structures such as wall-type structures.

1. 서론

매스콘크리트 구조물 시공시 시멘트의 수화열에 의한 온도균열 문제가 구조물의 사용성 및 내구성을 증진시키기 위한 관점에서 관심이 높아져 가고 있다. 수화열에 의한 온도균열이 발생하게 되면 벽체식 구조물인 경우 관통균열이 발생하게 되며, 슬래브식 구조물의 경우에는 표면균열이 발생하게 되어 구조물의 내구성, 방수성, 미관은 물론 궁극에 가서는 내하력을 감소시킬 수 있는 요인이 될 수 있다.

본 논문은 먼저 친 기초 콘크리트에 의해 외부구속을 받는 터널 라이닝에 대해 온도균열 저감 대책을 수립하기 위한 것으로서, 터널 길이 54 m를 27 m 및 15 m씩 분할하여 시공이음부를 두는 것으로 하여 온도 및 온도응력해석을 실시하였다.

-
- * 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수
 - ** 정회원, 아주대학교 화학공학과 부교수
 - *** 정회원, 코오롱 건설기술연구소 책임연구원
 - **** 정회원, 코오롱 건설기술연구소 전임연구원

해석에서는 해석대상 터널구조물이 놓이는 지역의 기후조건과 콘크리트 배합에 사용될 시멘트의 종류, 콘크리트의 치기온도, 양생조건 등을 고려하였으며, 사용된 해석 프로그램은 본인들이 개발한 3차원 유한요소프로그램을 적용하였다.

2. 구조물의 단면형상 및 해석조건

2.1 구조물의 단면형상

구조물은 도로 터널로서 그 형상은 길이 54 m, 높이 7.8 m, 폭 17.2 m이며, 터널 단면의 두께는 0.8~1.8m인 변단면을 가지고 있다. 해석은 터널 길이 중간(터널 길이 27m로 해석)에 시공이음부를 두는 경우와 3개소에 시공이음부를 두는 경우(터널 길이 15m로 해석) 2가지로 실시하였다.

그림 1 및 그림 2는 해석에 사용된 유한요소 mesh를 나타낸 것으로서 modeling에서는 전체 node수 4288개, element수 3375개로 구성하였다.

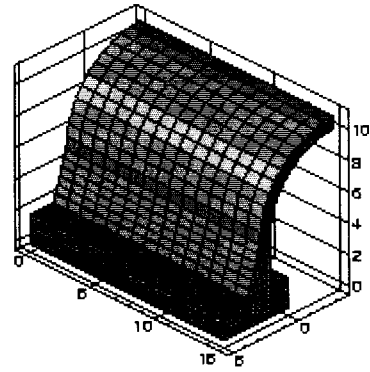
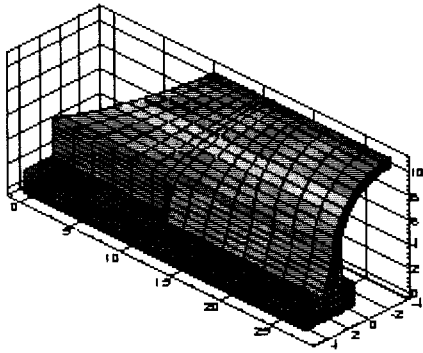


그림 1. L=27m인 경우 사용된 유한요소 Mesh

그림 2. L=15m인 경우 사용된 유한요소 Mesh

2.2 콘크리트의 열적특성

해석에 사용된 콘크리트의 열적특성치는 표 1에 나타낸 바와 같다

3. 콘크리트 온도해석 및 시험결과

3.1 콘크리트의 온도해석 결과

온도해석에 사용된 대기온도는 20℃, 콘크리트의 치기온도는 20℃로 설정하여 온도해석을 실시하였다. 그림 3 및 그림 4는 두가지 조건에 대한 온도해석 결과를 나타낸 것으로서 콘크리트 내부의 최고 온도는 두 경우 모두 66.0℃를 나타내었다.

그림 5 및 그림 6은 두가지 조건에서 내부온도가 최대가 되는 시점에서의 길이방향 중간지점의 내외부 온도분포를 나타낸 것이다.

표 1. 해석에 사용된 콘크리트의 열적 특성치

콘크리트의 열적 특성		1종 시멘트	
		기초	터널본체
단열온도상승 특성치	Q_{∞}	52.6	57.0
	$r(day^{-1})$	1.332	1.484
밀도	$\rho(kg/m^3)$	2400	2400
열전도율	$k(kcal/m h^{\circ}C)$	2.1	2.1
비열	$C_p(kcal/kg^{\circ}C)$	0.25	0.25

표 2. 수화열에 의한 온도해석 결과

구조별		최대 온도 ($^{\circ}C$)	표면 온도 ($^{\circ}C$)	온도차 ($^{\circ}C$)
터널 길이	27 m인 경우	66.0	41.0	26.5
	15 m인 경우	66.0	41.0	27.0

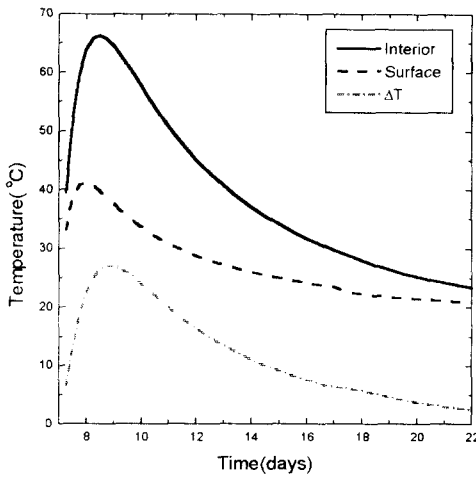


그림 3. L=27m인 경우 재령별 온도해석결과

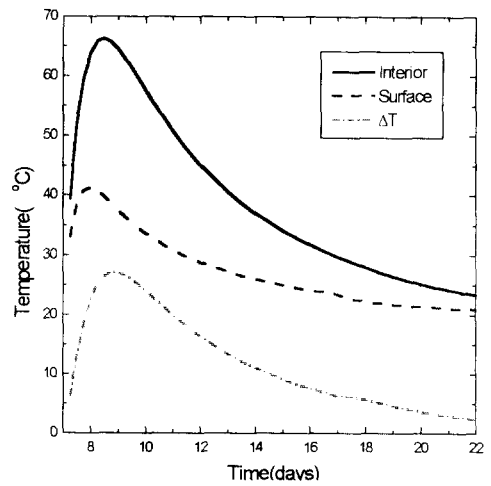


그림 4. L=15m인 경우 재령별 온도해석결과

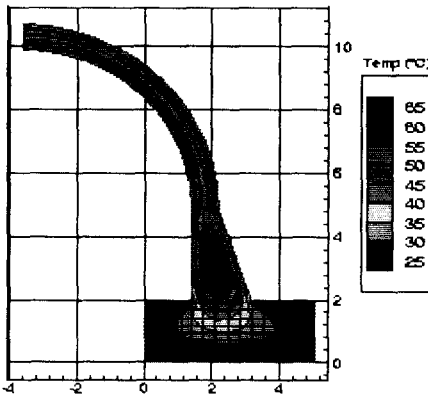


그림 5. L=27m인 경우 온도응력분포

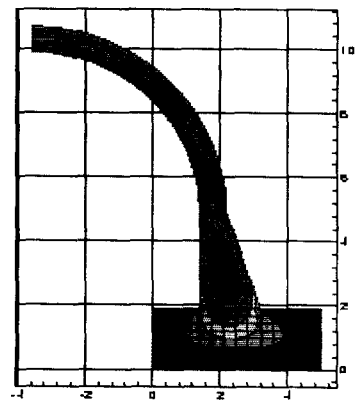


그림 6. L=15m인 경우 온도응력분포

3.2 응력해석 결과

그림 7 및 그림 8은 재령별 온도응력의 변화를 나타낸 것이고, 그림 9 및 그림 10은 재령 15일에서의 온도응력분포를 나타낸 것이다. 이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이, $L=27\text{ m}$ 로 해석한 경우에는 온도균열지수는 기초부와 터널본체가 연결되는 콘크리트 표면부근에서 0.63~1.04, 내부에서는 0.42~0.94의 범위로 분포하고 있어 콘크리트표준시방서에서 제시하고 있는 「유해한 균열발생을 제한하는 경우」의 온도균열지수 0.7~1.2의 값에 미달하고 있으며, 특히 콘크리트 내부에서의 온도균열지수가 작은 값을 나타냄으로서 유해한 균열발생 가능성이 높아지고 있다.

그림 8의 $L=15\text{ m}$ 로 온도응력해석을 실시한 결과에 의하면, 콘크리트 표면부의 온도균열지수는 0.76~1.82, 내부에서는 0.46~1.62의 범위에 있다. 즉, 표면부 콘크리트의 온도균열지수는 목표치 0.7을 모두 초과하고 있어 유해한 균열발생 확률은 높지 않은 것으로 나타나고 있으나, 콘크리트 내부의 온도균열지수로서는 유해한 균열발생 확률이 다소 높게 나타나고 있다. 그러나 그 범위는 매우 적은 부위에 국한되어 있으므로 유해한 온도균열발생 우려는 적을 것으로 판단된다.

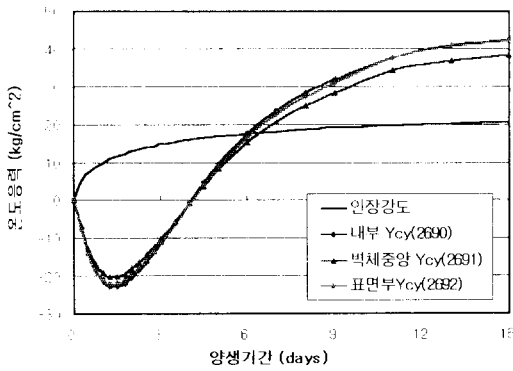


그림 7. $L=27\text{m}$ 인 경우 재령별 온도응력

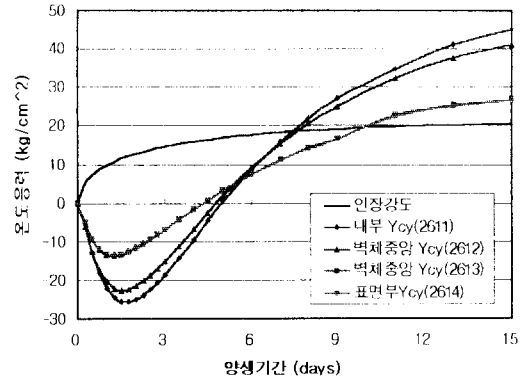


그림 8. $L=15\text{m}$ 인 경우 재령별 온도응력

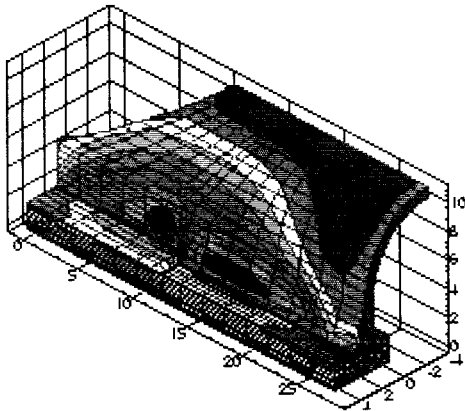


그림 9. $L=27\text{m}$ 인 경우 온도응력분포

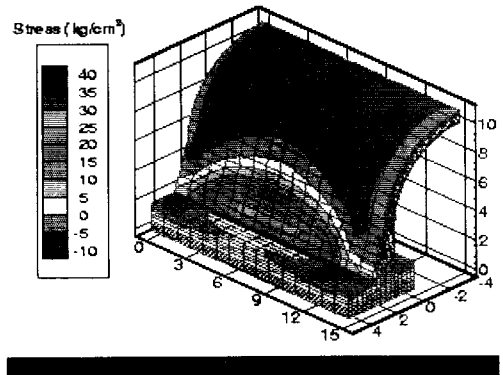


그림 10. $L=15\text{m}$ 인 경우 온도응력분포