

철근콘크리트 박스구조물의 시공변수에 따른 수화온도 및 열응력 특성 비교 연구

Parametric Studies on the Temperature and Thermal Stresses According to Construction Condition of RC Box Structures

오 병 환^{*} 최 성 철^{**} 이 명 섭^{***} 박 해 균^{****} 주 태 성^{*****} 안 경 철^{*****}
Oh, Byung Hwan Choi, Seong Cheol Lee, Myung Sub Park, Hae Kyun Joo, Tae Sung Ahn, Kyung Cheol

ABSTRACT

Recently, the underground reinforced concrete(RC) box structures have been increasingly built in Korea. In such structures, the heat of hydration may cause serious cracking problems. The RC box structures are classified in this category that needs much attention to control the hydration heat during construction.

The purpose of the present study is to analyse the parameters which are related to the thermal crackings of the box structures. In this study, the quantitative studies of thermal stresses according to construction conditions in the RC box structures are thoroughly analysed. Major influencing variables are studied through the finite element analysis which affect the thermal cracking of RC box structures.

1. 서 론

최근 들어 지하 철근 콘크리트 박스 구조물의 건설이 증가하고 있으며 지하 철근콘크리트 박스 구조물의 균열의 제어 및 저감의 중요성이 대두되고 있다. 지하 박스 구조물의 균열 및 저감은 매우 중요한 문제이나 상대적으로 시공현장이 외부에 노출되어 있지 않고 사용중에도 접근이 어려워 다른 구조물에 비하여 균열에 대한 대책이 미흡했던 것이 사실이다. 또한 일부 지하 박스 구조물의 경우 여러 가지 요인에 의한 균열이 심각하여 보수보강이나 재시공 등으로 크나큰 경제적 손실을 입었던 예도

* 정회원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정회원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 대학원

*** 삼성물산(주) 건설부문 토목기술팀 부장

**** 삼성물산(주) 건설부문 토목기술팀 과장

***** (주)한진중공업 기술연구소 차장

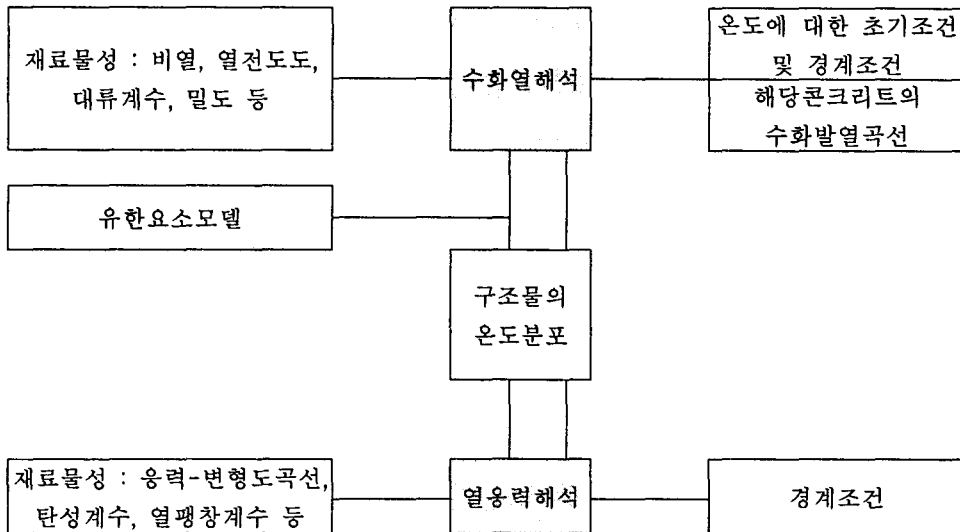
***** 바우컨선탄트(주) 기술연구소 이사

있다.

따라서, 본 연구는 지하 철근콘크리트 박스 구조물의 시공변수별로 수화열 및 열응력 해석을 수행하여 시공변수에 따른 수화열 및 열응력 특성을 정량적으로 분석함으로써 지하 RC 박스구조물의 온도균열을 제어하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 지하 철근콘크리트 박스 구조물의 수화열 및 열응력 해석 알고리즘

유한요소법에 의한 온도해석 및 열응력해석기법에는 여러 가지가 있으나 가장 일반적으로 쓰이는 방법은, 먼저 온도분포는 온도에 관련된 제반 관련식을 유한요소화하여 구하며 이때의 결과값인 구조물내의 온도분포를 열응력해석의 입력값으로 하여 열응력을 계산하게 된다



3. 구조물의 자원 및 해석 모델

표 1 해석 모델의 재료 물성

물 성	사용재료	콘크리트
비열(kcal/kg · °C) 및 밀도(kg/m ³)		0.25, 2300
열전도율(kcal/m · hr · °C)		2.2
대류계수 (kcal/m ² · hr · °C)	대기노출면	10
	철제거푸집	10
외기 · 타설 · 바닥슬래브 온도(°C)		20
압축강도 및 탄성계수(kg/cm ²)		270, 250,000
열팽창계수(/ °C) 및 포아송비		10.0 ⁻⁶ , 0.2

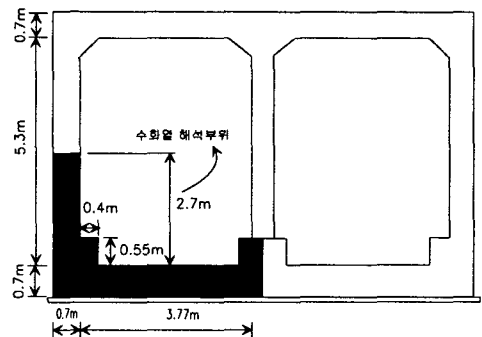


그림 1 해석 대상 구조물

4. 재료특성에 따른 온도 및 열응력 영향분석

해석의 주요변수는 배합 종류(플라이애쉬 콘크리트와 보통시멘트 콘크리트)에 따라 정하였다. 즉 단위시멘트량의 0%, 20%를 플라이애쉬로 치환한 배합을 변수로 정하여 플라이애쉬 콘크리트의 온도 응력 감소 효과를 분석하였다. 1단 벽체부의 온도응력은 수화발열 정도에 따라 차이를 보이므로 단면 종류는 단면의 두께 0.7m, 타설길이 30m, 타설높이 2.7m에 대하여 해석을 수행하였다.

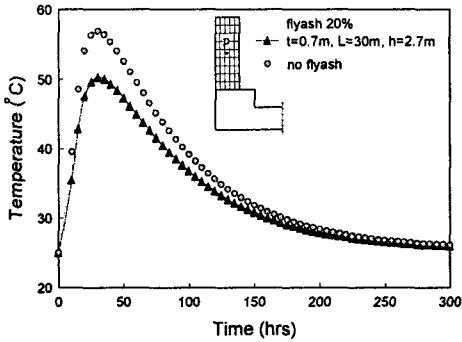


그림 2 온도 이력 변화

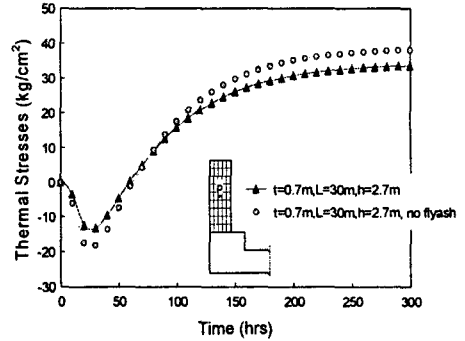


그림 3 열응력 이력 변화

해석결과 플라이애쉬 콘크리트를 사용한 경우 대략 각 단면에서 7~8°C의 온도 감소효과를 얻을 수 있으며 단면중앙에서 약 6~8 kg/cm²의 열응력 감소효과를 얻을수 있었다.

5. 시공요인에 따른 온도 및 열응력 영향분석

1단 벽체부의 수화열 및 열응력은 단면의 제원에 따라 차이를 보이므로 단면종류를 단면두께, 타설 길이, 타설높이에 대하여 그 영향을 살펴보았다. 단면의 두께는 0.7m, 0.9m, 1.5m로 정하였으며 적정 타설길이 및 타설높이를 도출하기 위하여 타설길이를 30m, 20m, 10m의 3종류와 타설높이 2.1m, 2.7m, 3.3m의 3종류에 대하여 해석을 수행하였다.

표 2 시공요인에 따른 해석변수

해석 변수	단면 종류		
	두께 0.7m	두께 0.9m	두께 1.5m
타설 길이	30m, 20m, 10m	30m, 20m, 10m	30m, 20m, 10m
타설 높이	2.1m, 2.7m, 3.3m	2.7m	2.7m
배합 종류	보통시멘트 콘크리트	보통시멘트 콘크리트	보통시멘트 콘크리트

5.1 타설두께에 따른 영향 분석

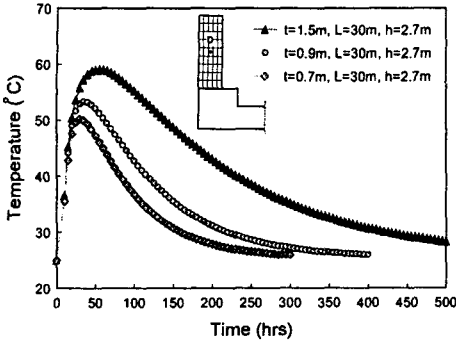


그림 4 타설두께에 따른 온도 이력 변화

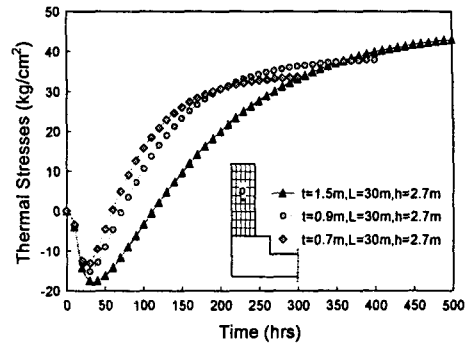


그림 5 타설두께에 따른 열응력 이력 변화

그림 4는 단면두께가 0.7m, 0.9m, 1.5m로 변할때 보통시멘트 콘크리트의 온도이력을 나타내고 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 타설두께에 따라서 최대온도는 각각 50.3°C, 53.4°C, 59.1°C로 단면두께가 증가할수록 온도상승량이 커져 온도응력이 클 것으로 예상된다.

그림 5는 단면두께가 0.7m, 0.9m, 1.5m로 변할때 보통시멘트 콘크리트의 열응력 이력을 나타내고 있다. 각각의 최대인장응력은 33.7, 37.9, 43.2kg/cm²으로 단면두께가 증가할수록 온도응력이 커지므로 온도균열이 발생할 가능성이 증가한다.

5.2 타설높이 및 길이에 따른 영향 분석

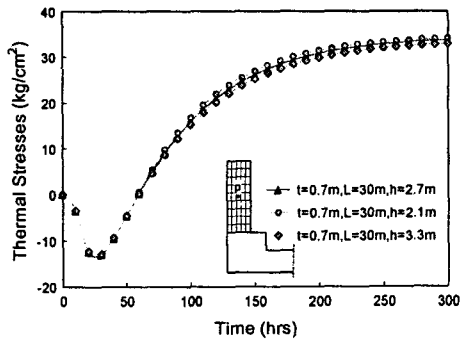


그림 6 타설높이에 따른 열응력 이력 변화

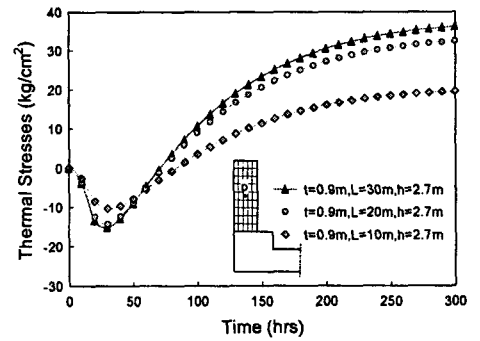


그림 7 타설길이에 따른 열응력 이력 변화

타설높이에 따른 온도이력의 변화는 크게 발생하지 않았으며 열응력해석에서도 역시 열응력 이력의 변화는 그림 6에서 알 수 있듯이 별로 크지 않음을 알 수 있다. 오히려 타설높이를 낮게 하는 것이 구속도를 증가시켜 온도균열 제어에 불리한 작용을 할 가능성도 있다. 그림 7은 타설길이에 따른 열응력의 발생 양상을 보인 것으로, 30m로 타설하는 경우와 비교할 때 타설길이를 20m 정도로 줄여도 온도응력은 크게 감소되지 않는 것으로 나타났다. 이는 타설길이를 20m까지 감소시켜도 구속도를 충분히 완화시킬 수 없으므로 따라서 온도균열을 제어하기 위해서는 타설길이를 이보다 훨씬 더 줄이는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

5.3 구속체의 강성에 따른 영향 분석

피구속체로서 벽체에 발생하는 응력은 구속체인 바닥 슬래브의 구속작용에 의해 발생하게 되며 바닥슬래브의 강성에 따라 구속작용에 차이가 발생하게 되므로 벽체에 발생하는 응력도 변화하게 된다. 따라서 바닥 슬래브의 강성을 변화시켜 가면서 이에 따라 벽체에 발생하는 응력을 계산하여 그 크기를 비교함으로써 구속체의 강성에 따른 영향을 분석하였다.

해석 변수는 바닥슬래브의 압축강도의 크기를 바꿈으로써 탄성계수의 크기를 변화시켜 가면서 응력의 변화를 살펴보았다. 해석에 사용된 압축강도의 크기는 100kg/cm², 270kg/cm², 410kg/cm², 600kg/cm²를 사용하였다.

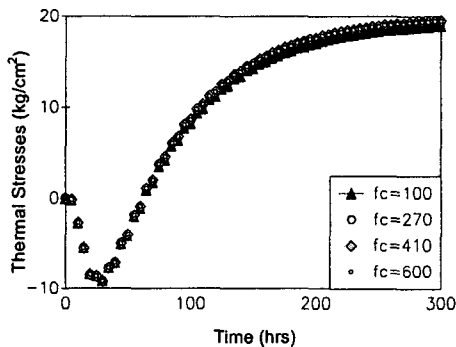


그림 8 구속체 강성에 따른 열응력 이력변화(벽체하부)

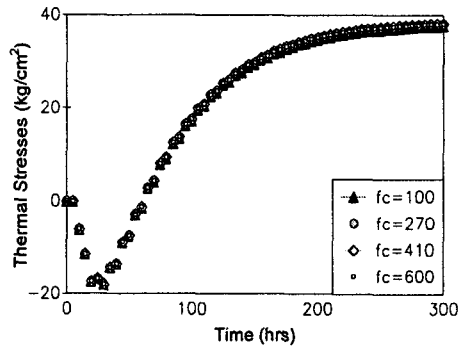


그림 9 구속체 강성에 따른 열응력 이력변화(벽체중앙부)

해석결과 바닥슬래브의 강성의 변화에 따라 발생하는 벽체의 열응력 크기는 바닥슬래브 강성의 증가에 따라 벽체의 응력의 크기는 증가하는 경향을 보였으나 그 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

6. 결 론

철근콘크리트 박스 구조물의 시공변수에 따른 수화열 및 열응력 특성에 관한 해석을 수행하여 각 변수에 대한 영향을 분석하였다. 시멘트의 종류, 타설높이, 타설길이, 타설두께, 구속체의 강성, 타설순서, 타설시간간격 등 시공요인에 따라서 구조물의 각 위치에서 발생하게 되는 온도이력 및 열응력 이력을 정량적으로 산출하였다.

철근콘크리트 박스구조물의 시공 중 발생하게 되는 수화열 및 열응력 해석결과 타설길이의 변화에 따른 열응력의 변화가 가장 지배적인 것으로 나타났으며 그 다음으로 타설두께에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 특히 타설길이가 30m에서 20m로 줄어들 경우 열응력 이력의 변화에 미치는 영향이 크지 않으나 10m로 줄어들 경우에는 많은 변화가 발생하고 있음을 알 수 있다.

타설높이, 구속체의 강성, 타설시간간격 등은 수화열 및 열응력 이력의 변화에 미치는 영향이 미약한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1996), "콘크리트 표준시방서," p. 228-250.
2. ACI Committee 207 (1994), "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures," ACI Manual of Concrete Practice, 207.1R.
3. ACI Committee 207 (1994), "Effect of Restraint, Volume Change and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete," ACI Manual of Concrete Practice, 207.2R.
4. Calson, R. W.(1979), "Causes and Control of Cracking in Unreinforced Mass Concrete," ACI Journal, Vol. 76, No. 7, pp. 881-837.
5. Emborg, M. (1989). "Thermal stresses in concrete structures at early age," PhD thesis, Div. of Struct. Engrg., Lulea University of Technology., Lulea, Sweden, No.73D.