

대기온도를 고려한 지하철 콘크리트 Box 구조물의 수화열에 의한 온도균열제어 대책

A Counterplan of temperature crack control by a heat of hydration of Subway concrete box structure concerned External Temperature

노현섭* 김은겸** 양신추***
Roh, Hyun-Sup Kim, Eun-Kyum Yang, Sin, Chu

ABSTRACT

The subway concrete box structure can't establish expansion joint because of animal power delivery of the subway rail. In this case, As increase of structure volume, it is subjected to cause temperature crack. 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, examined a condition of temperature crack occurrence by a heat of hydration concerned external temperature from analysing by a three dimensional finite element method.

1. 서론

지하철 철근콘크리트 Box 구조물은 레일의 축력전달 때문에 신축이음을 설치하지 않고 20m 정도를 하나의 스패스로 하는 시공이음을 두어 콘크리트를 타설하기 때문에 수화열로 인한 온도균열 발생 가능성이 높다. 또한, 대기온도와 콘크리트 타설온도의 차가 커지게 되면 콘크리트 내외부의 온도차가 커져 응력의 증가로 균열제어에 악영향을 미치게 된다. 특히, 벽체는 먼저 타설한 바닥슬래브의 구속을 받아 관통균열이 발생하며, 이러한 관통균열은 누수 및 백화현상을 초래하여 유지관리 비용의 증대로 인하여 경제적 손실은 물론, 지하철의 안정적인 관리에도 나쁜 영향을 초래할 수 있다. 따라서 수화열에 의한 온도균열 발생을 소정의 수준으로 억제할 수 있는 시공기술을 확보하는 것은 지하철 시공에서 매우 중요한 사안이 되고 있다.

본 연구는 지하철 콘크리트 Box 구조물의 대기온도 변화와 균열유발준위의 설치를 고려하여 온도균열 발생 가능성의 정도를 3차원 유한요소 해석을 통해 검토하였으며, 이 결과를 지하철 9호선 개착식 Box 구조물의 수화열에 의한 온도균열을 제어할 목적으로 수행하였으며, 3차원 유한요소 해석 및 시험시공을 통해 효과적인 시공방법을 제안하였다.

2. 구조물의 해석 조건

2.1 구조물의 단면형상

대상 구조물은 지하철 9호선 시험시공에 사용한 단면으로 길이 18m, 폭 10.6m, 높이 7.6m이며, 벽체

* 서울산업대학교 철도전문대학원, 철도건설공학과, 정회원(학생회원)

E-mail : pumal4@snut.ac.kr

TEL : (02)970-6507 FAX : (02)948-0043

** 서울산업대학교 철도전문대학원 교수

*** 철도가술연구원 철도전문대학원 겸임교수

의 두께는 1.0m이다. 그림1과 그림2는 각각 실제 구조물의 형상과, 3차원 유한요소해석시 사용한 mesh를 나타낸 것이다. 구조물의 해석은 좌우 대칭이므로 1/2해석을 수행하였다.

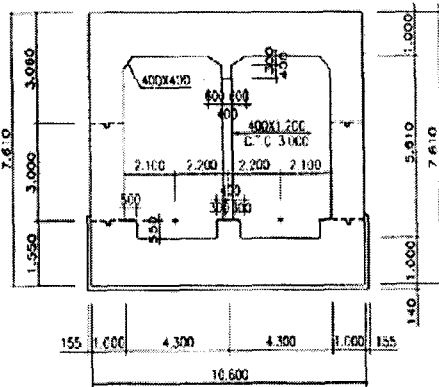


그림 1. 실제 구조물의 형상

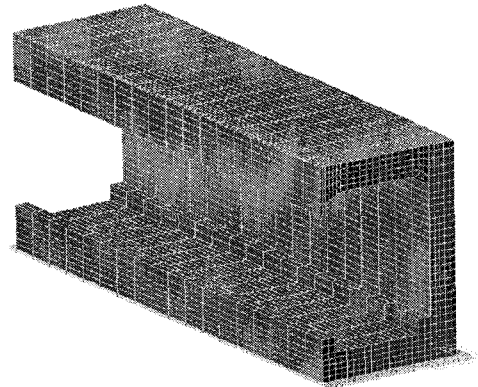
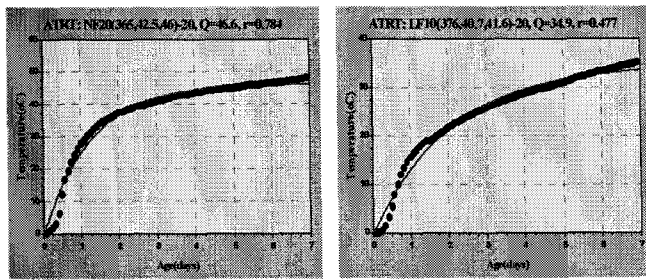


그림 2. 유한요소 mesh

2.2 콘크리트의 열적특성

본 연구에 적용된 콘크리트는 1종 보통포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬 20%를 첨가한 콘크리트 (1종+FA20)와 4종 저발열 시멘트에 플라이애쉬 10%(4종+FA10)를 첨가한 콘크리트이며, 이 둘의 단일온도 상승 시험을 수행하여 열적 특성치를 측정하였다. 그림 3은 두 콘크리트의 단일온도상승 곡선을 나타낸 것이고, 표 1.은 구조물의 열적특성을 나타낸 것이다.



1종+플라이 애쉬 20% 4종+플라이 애쉬 10%

그림 3. 단일온도상승 곡선

표 1. 콘크리트의 열적 특성

| 설계기준강도(MPa) | | 27 | |
|-------------------|---------------------------------|----------|-------|
| 단일온도 상승 특성치 | Q_{∞} | 1종+FA20% | 46.6 |
| | | 4종+FA10% | 34.9 |
| 특성치 | r (day) | 1종+FA20% | 0.784 |
| | | 4종+FA10% | 0.477 |
| 밀도 | ρ (kg/m^3) | 2400 | |
| 열전도율 | k ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) | 2.1 | |
| 비열 | C_p ($J/kg \cdot ^\circ C$) | 0.25 | |

2.3 해석조건

콘크리트의 타설은 지하철 Box 구조물의 시공성을 고려하여 길이 18m로, 바닥슬래브, 벽체, 상부 슬래브 순서로 타설하는 것으로 하였으며, 콘크리트를 타설시 굳지않은 콘크리트의 온도는 각각 20, 25, 30℃의 수준으로 하였다. 대기온도의 변화에 대한 고려를 알아보기 위해 그 범위를 5℃씩 변화시켜 5~25℃ 까지 해석하였고, 보온양생에는 일반적으로 사용하고 있는 보온양생 sheet 1장을 사용하였다. 또한, 벽체부의 경우는 바닥슬래브의 구속으로 인해 균열발생의 위험도가 높기 때문에 그 대책으로써, 균열유발줄눈을 설치하여 그 효과를 평가하였다.

3. 해석결과

3.1 온도해석 결과

표 2는 벽체의 온도해석 결과를 나타낸 것으로, 1종+FA20%를 사용한 경우 균열유발줄눈과 관계없이 최고온도는 50.3℃까지 상승하였으며, 내외부 온도차는 최고 11.4℃를 나타내었다.

4종+FA10%를 사용한 경우, 최고온도는 40.2℃, 내외부 온도차는 최고 9.7℃로서 1종+FA20%를 사용할 경우보다 수화열이 상당히 감소됨을 알 수 있다.

표 2. 벽체부의 온도해석 결과

| 해석부위 | 사용시멘트 | 대기온도 | 타설온도 | 최고온도 | 최고온도차 | 최고온도 발생시기 | 최대온도차 발생시기 |
|------|---------------------------|------|------|------|-------|-----------|------------|
| 벽체 | 1종+FA20% | 5 | 20 | 43.5 | 13.8 | 1.75 | 2.00 |
| | | 10 | | 45.0 | 12.6 | 1.75 | 2.00 |
| | | 15 | | 46.7 | 11.4 | 2.00 | 2.25 |
| | | 20 | | 48.4 | 10.2 | 2.00 | 2.25 |
| | | 25 | | 50.3 | 9.1 | 2.25 | 2.50 |
| | 1종+FA20% 균열유발기준 2개소 | 5 | 20 | 43.5 | 13.8 | 1.75 | 2.00 |
| | | 10 | | 45.0 | 12.6 | 1.75 | 2.00 |
| | | 15 | | 46.7 | 11.4 | 2.00 | 2.25 |
| | | 20 | | 48.4 | 10.2 | 2.00 | 2.25 |
| | | 25 | | 50.3 | 9.1 | 2.25 | 2.50 |
| | 4종+FA10% | 5 | 20 | 31.7 | 9.7 | 2.00 | 2.25 |
| | | 10 | | 33.5 | 8.5 | 2.00 | 2.00 |
| | | 15 | | 35.5 | 7.4 | 2.00 | 2.50 |
| | | 20 | | 37.7 | 6.4 | 2.75 | 3.00 |
| | | 25 | | 40.2 | 5.5 | 3.00 | 3.0 |

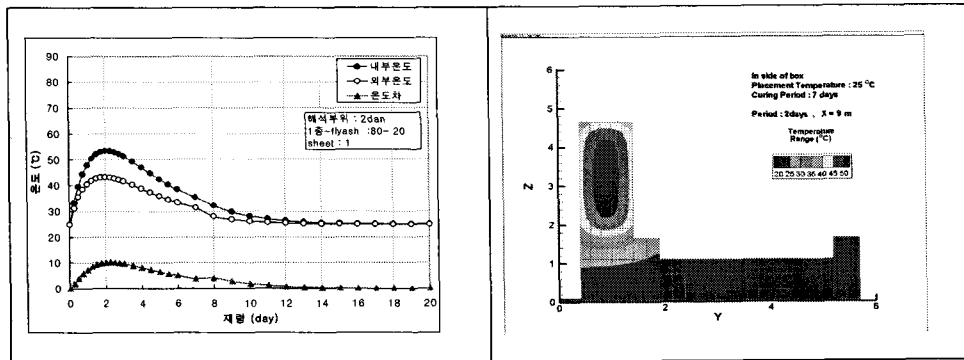


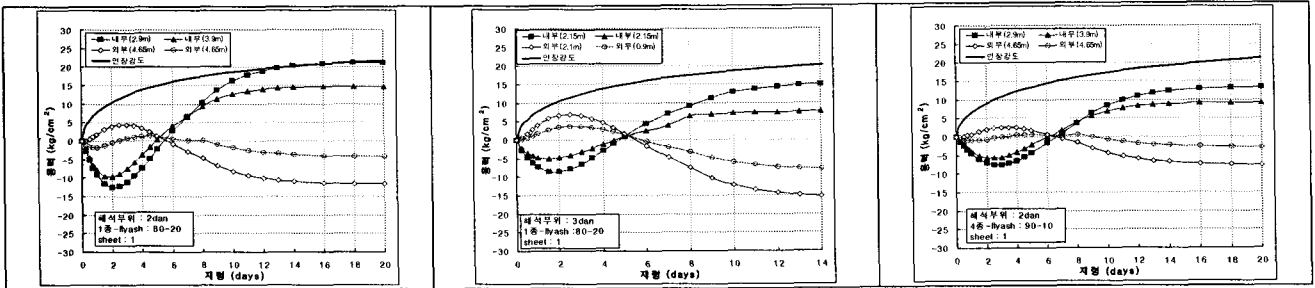
그림 4. 벽체부의 온도해석 결과 예(1종+FA20%,18m)

3.2 온도응력해석 결과

표 3. 벽체부의 온도응력해석 결과

| 해석부위 | 사용시멘트 | 대기온도 | 타설온도 | 인장강도 | 수화열에 의한 인장응력 | 온도균열 지수(Icr) | 균열지수 평가재령 |
|------|---------------------------|------|------|------|-----------------|-----------------|--------------|
| 벽체 | 1종+FA20% | 5 | 20 | 20.8 | 27.0 | 0.77 | 16 |
| | | 10 | | 20.8 | 24.8 | 0.84 | 16 |
| | | 15 | | 20.2 | 21.9 | 0.93 | 14 |
| | | 20 | | 20.8 | 20.2 | 1.03 | 16 |
| | | 25 | | 20.2 | 17.3 | 1.17 | 14 |
| | 1종+FA20% 균열유발기준 2개소 | 5 | 20 | 20.2 | 18.9 | 1.07 | 14 |
| | | 10 | | 20.2 | 17.6 | 1.15 | 14 |
| | | 15 | | 20.2 | 16.2 | 1.25 | 14 |
| | | 20 | | 20.2 | 14.6 | 1.38 | 14 |
| | | 25 | | 19.9 | 12.7 | 1.56 | 13 |
| | 4종+FA10% | 5 | 20 | 20.0 | 18.5 | 1.08 | 16 |
| | | 10 | | 20.0 | 16.5 | 1.22 | 16 |
| | | 15 | | 20.0 | 14.4 | 1.39 | 16 |
| | | 20 | | 20.0 | 12.3 | 1.63 | 16 |
| | | 25 | | 20.0 | 10.0 | 1.99 | 16 |

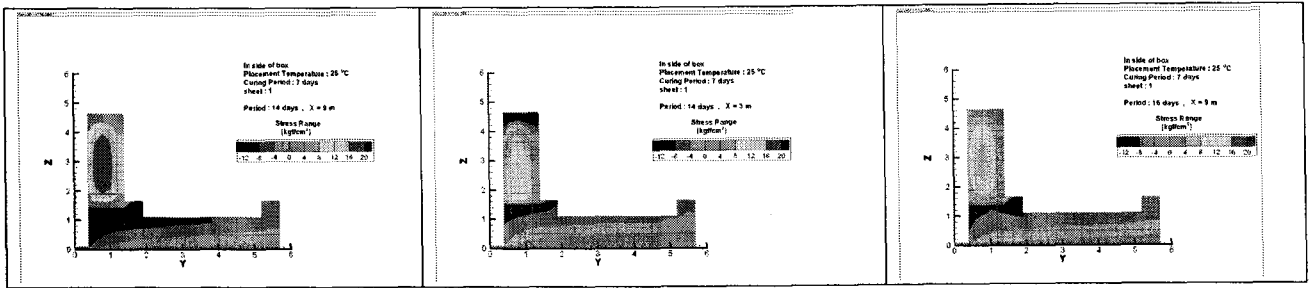
벽체부의 응력해석 결과, 1종+FA20%를 사용할 경우, 모든 대기온도에서 설계목표치의 온도균열지수 1.2에 미치지 못하여 균열의 발생이 높은 것으로 평가되었다. 하지만, 균열유발줄눈을 2개소 사용함에 따라 온도균열지수가 대기온도가 5,10℃의 경우를 제외하고는 설계목표치에 도달함을 보여 균열억제에 있어 효과적임을 알 수 있었다. 표 3.에서 볼 수 있듯이 외기온도가 5℃인 경우에는 온도균열억제 대책으로도 목표치를 도달하지 못한 결과를 보여 콘크리트 타설시 대기온도는 10℃ 이상이 되어야 함을 알 수 있다. 그림 5와 그림 6은 온도응력해석의 결과로 콘크리트 내부 인장응력의 인장강도 초과 여부를 도식한 것과 해석 단면의 온도 분포를 각각 나타낸 것이다.



1종+FA20%

1종+FA20%, 균열유발줄눈 2개소
그림 5. 벽체부의 온도해석 결과 예

4종+FA10%



1종+FA20%

1종+FA20%, 균열유발줄눈 2개소
그림 6. 벽체부의 온도해석 결과 예 (1종+FA20%,18m)

4종+FA10%

4. 결론

1. 바닥슬래브 및 상부슬래브의 경우에는 온도해석 결과 1종+FA20%를 사용한 경우 온도균열지수가 목표치 1.2이상으로서 플라이애쉬 치환만으로 유해한 균열을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타났다.
2. 벽체의 경우, 온도균열지수의 설계목표치 1.2를 만족시키기 위해서는 저발열시멘트를 사용하거나 또는 1종+FA20%를 사용할 경우 적어도 1개 지간당 균열유발줄눈을 2개소 설치해야 하는 것으로 평가된다.
3. 벽체의 경우 대기온도가 10℃ 이하로 낮아지면 온도균열지수가 1.2이하를 나타내어 늦가을이나 동절기에 콘크리트를 타설할 경우 콘크리트 주변온도가 10℃이상이 되도록 적절한 보온조치를 강구하는 것이 바람직하다.

5. 참고문헌

1. 김은겸, 김래현, 신치범, “유한요소법에 의한 매스콘크리트 구조물의 온도해석 프로그램 개발”, 한국콘크리트학회 논문집, 제7권 6호, 1995.12