

# 철근콘크리트 박스형 구조물의 적정 타설 길이 산정

김 학 수

호남대학교

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

콘크리트 구조물에서 발생하는 균열은 심각한 구조적 결함을 야기시킬 뿐만 아니라 내구성의 강도와 외관의 손상을 초래하여 사용성을 저하시킨다. 이러한 균열은 여러 가지 요인에 의해 발생되며 균열이 구조물에 미치는 영향도 다양각색이다. 구조물에 균열이 존재한다고 하여 항상 그 구조물이 불안한 것도 아니며 그 크기와 위치, 원인 등에 따라 안전할 수도 있다. 따라서 균열이 발생한 콘크리트 구조물에서는 발생한 균열의 원인을 파악하고 정확하게 구조물을 해석한 후 그 안전성 여부를 평가하여 합당한 보수대책을 수립하는 것이 균열문제를 해결하는 방안이다. 그러나 지금까지 지하철을 1호선부터 8호선까지 시공하여 왔으나 구조물 벽체에 발생하는 균열에 대해서는 거푸집 해체 시부터 발생한 균열 개소가 몇 개이며 이것이 보수 후 어떻게 진행되었는가는 그간의 자료가 없다. 또한 균열이 발생되었다는 자체만으로도 부실 시공이라는 좋지 않은 명칭이 항상 따라 다니기 때문에 균열이 발생하면 바로 보수하여 균열이 발생되지 않은 것처럼 보이는 것이 우리 기술의 현 주소라 하겠다. 따라서 본문에서는 지하철 시공 시 발생한 균열을 참고로 균열발생을 저감시킬 수 있는 방안에 대해 검토하였다.

### 1.2 박스형 구조물의 균열 특징

철근 콘크리트 박스형 구조물은 콘크리트 타설 후 약 7~10일 정도에 거푸집을 제거하게 된다. 이때 박스의 측벽을 조사하면 1Span(약30m)에 약 2~3개소의 균열이 발생되어 있다. 그리고 추후 인접부에 콘크리트를 계속 연결하여 콘크리트를 타설하게 되면 시간 경과 후 측벽에 0.1~0.2mm 정도의 균열이 4~5m 간격으로 발생된다.

### 1.3 철근콘크리트 박스형 구조의 균열현상과 발생원인

Table 1 구조물의 일반적인 균열현상과 발생원인

균열현상	발생원인
상부슬래브중앙부 하면의 종방향 단면	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 하중증대, 초과하중</li> <li>2) 단면부족</li> <li>3) 측벽토압의 감소</li> <li>4) 장기하중에 의한 휨균열</li> <li>5) 구속과 건조수축</li> </ol>
상부슬래브 단부 하면의 종방향 단면	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 측벽토압의 증대(편토압)</li> <li>2) 전철근 절곡위치와 과오 및 정착길이 부족</li> <li>3) 시공시 되메우기 시공순서의 불량(동다짐,편재하)</li> <li>4) 기초의 부등침하</li> <li>5) 지진</li> <li>6) 구속과 건조수축</li> </ol>
상부 슬래브 하면의 사방향 균열	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 기초의 부등침하에 의한 비틀림 작용</li> <li>2) 구속과 건조수축</li> </ol>
상부 슬래브 하면의 횡방향 균열	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 지반침하에 의한 모멘트 철근 부족</li> <li>2) 콘크리트의 각종 줄눈의 시공불량</li> <li>3) 연속타설에 따른 건조수축 및 온도 응력</li> </ol>
측벽 수평균열	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 토압의 증대(편토압)</li> <li>2) 지진</li> <li>3) 시공줄눈, cold joint, 신축줄눈의 시공불량</li> <li>4) 콘크리트의 급속타설</li> </ol>
측벽 수직균열	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 시공중의 구속과 수화열</li> <li>2) 시공중의 건조수축 및 온도 변화</li> <li>3) 온도 및 건조수축철근의 부족</li> <li>4) 지반침하에 의한 모멘트 철근의 부족</li> <li>5) 시공줄눈, cold joint, 신축줄눈의 시공불량</li> <li>6) 지반의 부등침하</li> <li>7) 시공순서의 불량</li> </ol>
측벽 사방향균열	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 지반의 부등침하에 의한 비틀림 작용</li> <li>2) 구속과 건조수축</li> </ol>

본 연구의 대상균열은 위 표의 측벽수직균열에 해당하며, 측벽수직균열의 발생원인중 균열의 형태와 발생시기를 볼 때 초기에는 바닥 콘크리트의 구속 및 수화열에 의한 온도 균열이며 추후에 2~3m로 발생하는 균열은 건조수축이 원인인 것으로 판단된다.

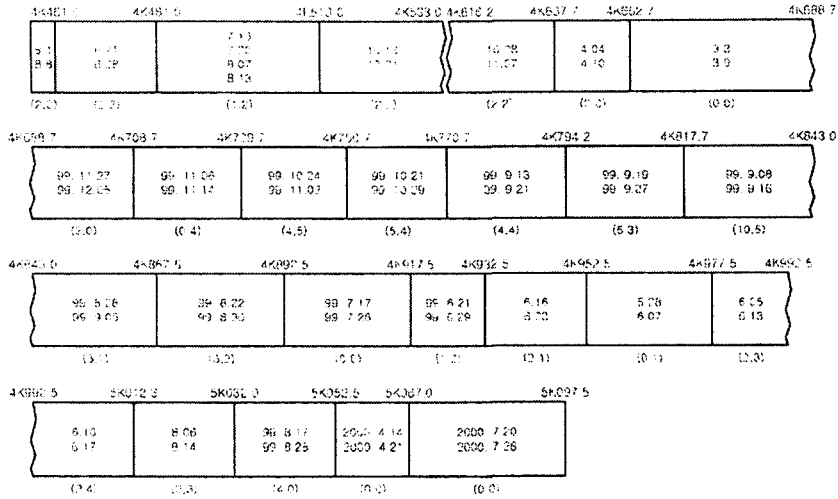


Fig. 1 균열발생조사 사례

## 2. 철근콘크리트 박스 구조물의 수화열 해석

### 2.1 개요

지하철 벽체와 같이 단면이 두꺼운 매스콘크리트에서는 온도상승 시에는 단면내의 온도차에 의해 발생하는 내부구속 응력이 주로 문제가 되지만, 최대 온도에 도달한 후 온도강하 시에는 외부구속과 내부구속에 의한 두 가지의 응력이 겹쳐진 복합응력이 문제가 되며, 각각의 성분의 대소에 따라 온도균열의 발생시기 및 발생양상도 달라진다. 지하철 박스 구조물의 시공 단계에 있어 1단 벽체의 콘크리트 타설 후거푸집을 제거하고 보면 벽체에 수직균열이 빈번하게 발생되고 있다. 이러한 균열은 벽체 콘크리트 타설 후 콘크리트가 경화하는 과정에서 발생하는 수화열에 의해 주로 영향을 받으며 그 발생시기는 콘크리트 타설 후 수 일내에 발생하는 것이 일반적이다. 따라서 수화열 해석에 사용한 박스구조물의 단면은 Fig. 2와 같으며 구조해석 모델은 Fig. 3과 같다. 시공단계는 외부구속을 고려하기 위하여 하부슬래브와 현치부를 기타설한 후 1단 벽체부를 시공하는 경우를 대상으로 하여 해석하였다.

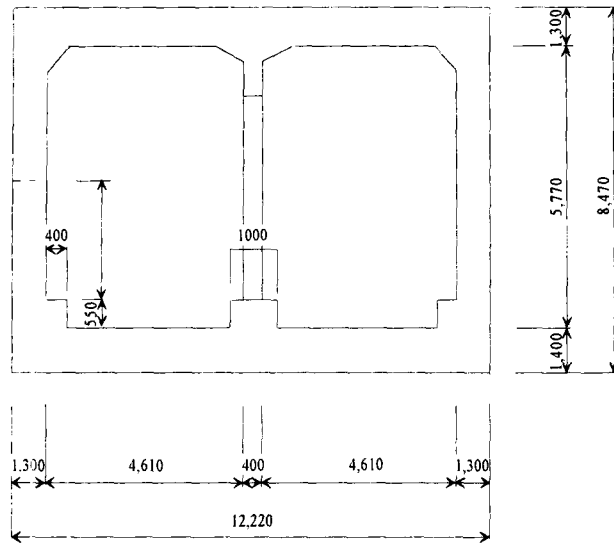


Fig. 2 구조해석 대상 구조물

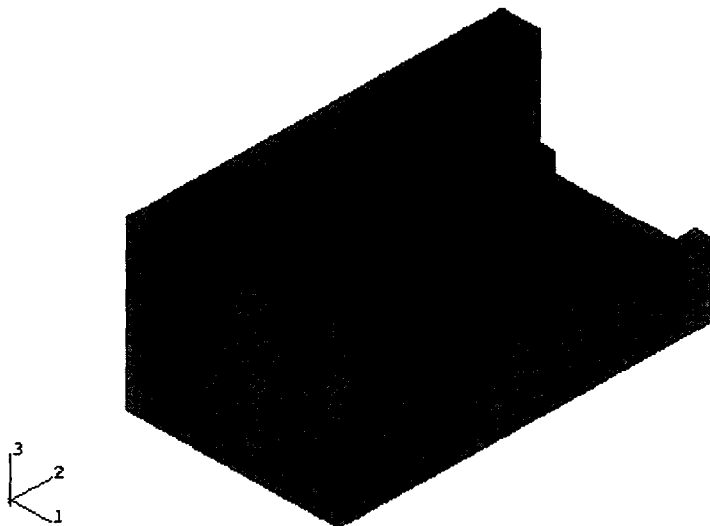


Fig. 3 구조 해석 모델

1단 벽체에 대한 수화열에 의한 온도응력 해석에 사용한 콘크리트의 역학적 특성은 Table 2에 나타내었다.

1단 벽체에 대한 수화열 해석에 사용한 콘크리트의 열적 특성은 Table 3에 정리한 것과 같다. 해석의 초기 및 경계조건으로 콘크리트 타설 온도와 외기 온도는 20℃로, 대류계수는 거푸집을 설치하는 면과 대기에 노출되는 면을 구분하여 적용하였다.

Table 2 해석모델의 역학적물성

물 성	사용재료	콘크리트
	열팽창계수(/°C)	$10.3 \times 10^{-6}$
	28일 압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )	240
	28일 탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )	232,000
	28일 인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )	31

Table 3 해석모델의 재료물성

물 성	사용재료	콘크리트
	비열(kcal/kg · °C)	0.27
	밀도(kg/m <sup>3</sup> )	2300
	열전도율 (kcal/m · hr · °C)	2.3
대류계수 (kcal/m <sup>2</sup> · hr · °C)	노출면	9
	거푸집면	5
	외기 및 타설온도(°C)	20
	사용시멘트량(kg/m <sup>3</sup> )	363

## 2.2 타설길이에 대한 영향 분석

1단 벽체부의 수화열 및 열응력은 수화발열 정도에 따라 차이를 보이므로 단면종류는 단면의 두께에 따라 0.7m, 1.0m, 1.3m로 정하였다. 지하 박스 구조물의 적정 타설길이를 도출하기 위하여 각각 30m, 20m, 15m, 10m의 4가지 타설길이에 대해 수화열해석을 수행하였으며, 이때 타설높이 2.7m이다. 수화열 및 열응력 해석의 주요변수는 단면 두께, 타설길이이며 Table 4와 같다.

Table 4 주요 해석변수

해석 변수	단면 종류		
	두께 0.7m	두께 1.0m	두께 1.3m
타설 길이	30m, 20m, 15m, 10m	30m, 20m, 15m, 10m	30m, 20m, 15m, 10m

### 2.3 종방향 타설길이에 따른 영향 분석

두께 1.3 m의 지하 박스 구조물의 벽체를 종방향으로 10m, 15m, 20m, 30m 길이로 시공하였을 때 동일한 조건에서 중앙 단면에서의 발생하는 온도는 타설 길이에 관계없이 거의 비슷한 값을 나타내었으며 Fig. 4에 이를 나타내었다.

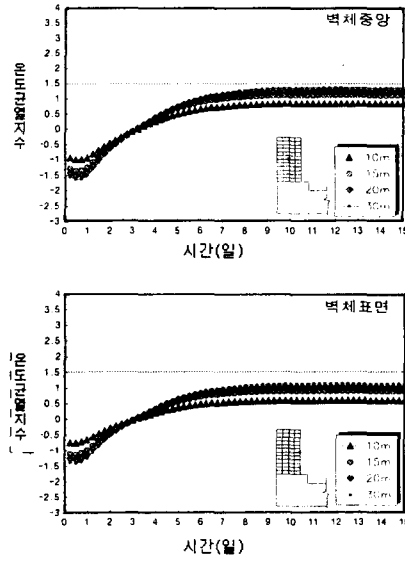


Fig. 4 타설길이에 따른 온도균열지수 이력 (단면두께 0.7m)

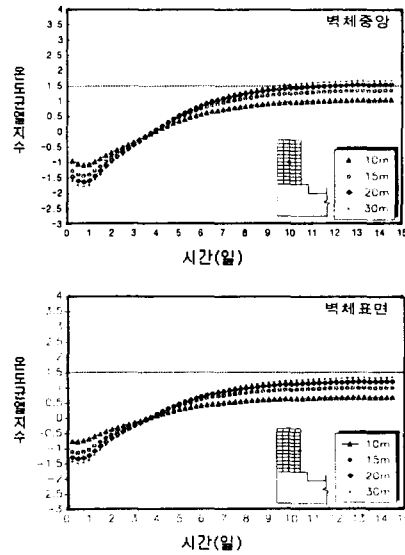


Fig.5타설길이에 따른 온도균열지수이력(단면두께 1.0m)

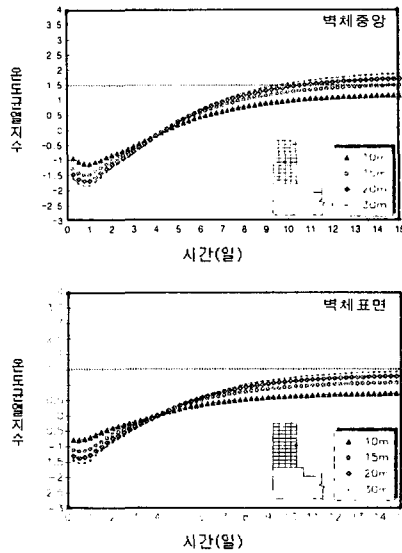


Fig. 6 타설길이에 따른 온도균열지수 이력 (단면두께 1.3m)

균열발생에 대한 안정성의 척도를 온도균열지수라고 하며 수화열에 의한 해석 결과 콘크리트의 인장강도와 온도응력의 비로서 온도균열지수를 구한다.

$$\text{온도균열지수 } I_{cr}(t) = f_{sp}(t) / f_t(t)$$

$f_t(t)$  : 재령 t일에서의 수화열에 의하여 생긴 부재 내부의 온도응력 최대값

$f_{sp}(t)$  : 재령 t일에서의 콘크리트의 인장강도

온도균열지수는 구조물의 중요도, 기능, 환경조건 등에 대응할 수 있도록 선정하여야 하며, 철근이 배치된 일반적인 구조물에서의 표준적인 온도균열지수의 값은 다음과 같다.

균열을 방지할 경우	1.5 이상
균열 발생을 제한할 경우	1.2 이상 1.5 미만
유해한 균열 발생을 제한할 경우	0.7 이상 1.2 미만

따라서 본 해석의 경우와 같이 단면 두께가 1.0m, 1.3m인 경우 유해한 온도 균열의 발생을 제한하는 경우 콘크리트의 타설길이가 극히 짧아지고 저발열 콘크리트를 사용하여 경제성 및 시공성을 저해하는 문제가 생길 수 있으므로 균열의 발생을 제한하는 단계인 온도균열지수 1.5미만을 관리기준치로 삼는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Fig. 4~6은 시간에 따른 단면 두께별, 타설길이별 온도균열지수의 이력을 나타내었다. 이를 살펴보면 타설길이가 길어질수록, 단면두께가 두꺼울수록 온도균열지수의 크

기는 커지는 것을 알 수 있으며, 본 예제와 같은 지하철 박스 구조물 단면에서는 균열을 제한할 수 있는 정도의 온도균열지수를 유지하기 위한 적정 타설 길이는 15m 정도인 것으로 계산되었다.

### 3. 결 론

본 연구는 지하박스 구조물을 시공할 때 수화열에 의한 초기균열을 제어하기 위해 벽체의 단면두께와 타설길이를 변화시키면서 구도해석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1)현재와 같이 많이 시공되는 지간인 30m 인 경우에는 수화열에 의한 균열을 피할 수 없다.

(2)균열을 방지하기 위한 타설길이는 온도균열지수를 1.5를 적용할 경우 15m 이내인 것으로 계산되었다.

### 참고문헌

1. 김진근 외 4인, “시멘트 및 콘크리트의 수화발열특성에 관한 연구”, 콘크리트학회 논문집, Vol. 7, No. 4, 1991.12.
2. 이순환 외 4인, “지하 철근콘크리트 박스구조물의 균열제어 시공기술 개발”, 콘크리트학회논문집, Vol. 11, No. 5, 1999.11.
3. 이순환 외 4인, “철근콘크리트 박스형 구조물의 균열저감 시공기술 및 현장적용”, 대우건설기술, Vol. 12, No. 1, 2000. 3.
4. ACI Committee 224, “Crack Control in Concrete Structure”, American Concrete Institute, 1984.
5. 이순환 외 4인, “철근콘크리트 박스형 구조물의 균열제어 시공기술 개발”, 대우건설기술, 2000. 3.