

# 매트기초의 온도균열에 미치는 시공조건의 영향에 관한 연구

## A Study on the Effect of the Construction Conditions on a Thermal Crack of Mat Foundation

○ 이도범\*      김호락\*\*      최일호\*\*\*  
Lee, Do-Bum      Kim, Hyo-Rak      Choi, Il-Ho

### Abstract

Recently, a structure has been larger and higher under the improvement of construction technique. So, a mass concrete constructions that a mat foundation thickness of structure is over 80cm have been many. Also, because of the reason of high strength of concrete, the matter of thermal crack have become an important task to be solved absolutely.

In a cause of a thermal crack occurrence, there are material used, mixture of concrete, construction condition and so forth. In this study, we executed temperature and stress analysis of mat foundation to know the effect of the construction condition on a thermal crack of mat foundation. And we evaluated quantitatively about the occurrence possibility of thermal crack using the hydration heat analysis program. By using of this analysis technique, we will can control skilfully the quality of a mat foundation in advance.

키워드 : 매트기초, 온도균열, 시공조건, 해석기법

Keywords : Mat Foundation, Thermal Crack, Construction Condition, Analysis Technique

### 1. 서론

최근 건설기술의 진보와 발달로 건축물이 대형화 및 초고층화 되어 가고 있다. 이에 따라 콘크리트로 시공되는 건축물의 매트기초 또한 그 규모가 커짐에 따라 두께가 80cm를 넘는 매스콘크리트로 시공되는 경우가 많아졌고, 또한 콘크리트가 점차 고강도화 되어 가면서 과다의 수화열 발생에 따른 온도균열 문제가 콘크리트의 품질확보에 있어 새롭게 해결해야만 하는 중요한 과제로 등장하게 되었다. 한편, 온도균열은 일반적으로 그 폭이 크고, 구조물을 관통함으로써 구조물의 수밀성, 내구성 및 미관에 치명적인 영향을 미치게 되므로 특별한 주의가 요구되고 있다.

구조물의 온도균열 발생에 대한 대책으로 해석프로그램을 사용하여 구조물의 온도를 해석하여 온도균열 발생을 예측하는 해석기술과 함께 콘크리트의 단위시멘트량의 저감을 목적으로 다양한 포졸란계의 혼화재료를 치환하여 사용한 매스콘크리트의 제조기술 등 다양한 측면에서 구조물의 온도균열을 저감하기 위한 기술의 개발이 이루어지고 있다.

한편, 매트기초의 온도균열 발생에 영향을 미치는 요인에는 단위시멘트량, 결합재 및 혼화제의 종류 등과 같은 사용재료, 물시멘트비와 잔골재율과 같은 배합과 콘크리트의 설계기준강도, 타설시기 및 양생방법 등과 같은 시공조건 등 다양하다.

본 연구에서는 다양한 시공조건에 따른 매트기초의 온도균열 발생에 대한 기본적인 자료제공을 목적으로 해석기법을 이용하여 매트기초의 온도 및 응력해석을 수행함으로써 다양한 조건에 따라 발생이 예상되는 온도균열의 정량적인 평가를 실시하였다.

### 2. 온도 및 응력해석 조건

매트기초의 온도 및 응력해석에는 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS5.5를 사용하였다. 매트기초의 형상은 20m(단변)×40m(장변)×2m(두께) 크기의 직육면체이고, 해석을 위한 매트기초는 그림 1과 같이 매트기초의 1/4크기를 24192개의 element가 되도록 메쉬를 나누어 모델링하였다.

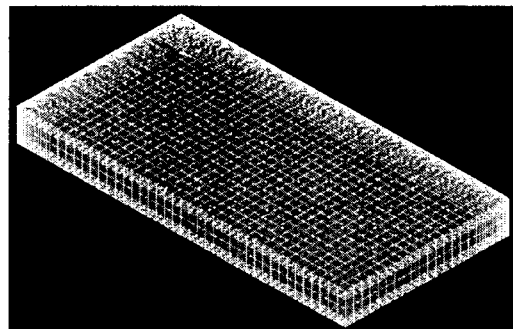


그림 1. 매트기초 모델링(메쉬 분할)

\* 대림산업(주) 기술연구소 부장, 정희원  
\*\* 대림산업(주) 기술연구소 차장, 정희원  
\*\*\* 대림산업(주) 기술연구소 연구원, 정희원

한편, 해석 수행 시의 재료물성 입력 데이터는 표 1과 같다. 그리고, 시공조건은 매트기초 타설 콘크리트의 설계기준 강도, 타설 시기 및 양생방법의 3가지 인자로 정하였고, 그 수준은 다음과 같다.

표 1. 재료물성 입력 DATA

재료	콘크리트	철근
밀도(kg/m <sup>3</sup> )	2,300	-
비열(J/kg°C)	1,150	-
열전도율(W/m°C)	2.7	-
열팽창계수	11.8×10 <sup>-6</sup>	11.8×10 <sup>-6</sup>
포아송비	0.167	0.167
탄성계수(MPa)	콘크리트표준시방서 제안식	2.0×10 <sup>4</sup>

### 2.1 타설 콘크리트의 설계기준강도

설계기준강도의 차이에 따른 수화발열특성을 고려하여 콘크리트의 설계기준강도 조건은 24MPa와 30MPa의 2가지로 정하였고, 각각의 콘크리트 배합은 표 2와 같다.

콘크리트의 온도해석을 수행하기 위한 단열온도상승식은 시방서에서 제안하고 있는 식에 초기의 응결지연을 고려한  $Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-r(t-t_0)})$ 식을 사용하였다. 여기서,  $Q(t)$ 는 재령 t일에서의 단열온도상승량(°C),  $Q_{\infty}$ 는 최종단열온도상승량(°C), r은 온도상승속도,  $t_0$ 는 수화발열 지연시간이다. 한편, 콘크리트의 열특성을 파악하기 위해 그림 2와 같이 단열온도상승실험결과와 온도해석결과를 비교하여 설계기준강도 24MPa 및 30MPa인 콘크리트의 열특성값은 각각  $Q_{\infty}=52.5$ ,  $r=1.516$ ,  $t_0=0.2$ 와  $Q_{\infty}=57.2$ ,  $r=2.223$ ,  $t_0=0.2$ 인 것을 알 수 있었다.

표 2. 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )				AE감수제
		물	시멘트	잔골재	굵은골재	
40	42	160	400	726	989	
50	42	181	360	707	989	

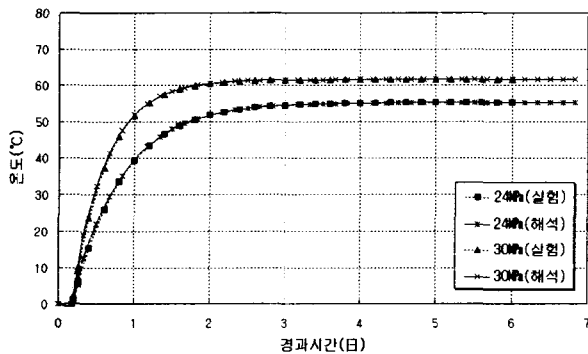


그림 2. 단열온도상승실험 및 해석결과 비교

### 2.2 매트기초 타설시기

매트기초의 콘크리트 타설시기 조건은 동절기(1월)와 하절기(8월)로 정하였고, 최근 5년간(1999년~2003년)의 기상청 자료(평균·최고·최저온도)를 이용하여 그림 3과 같이 4시간 단위로 대기온도를 설정하였다.

그리고, 콘크리트 초기온도는 타설 시의 대기온도와 시방서 기준을 고려하여 동절기(1월)에는 10°C, 하절기(8월)에는 25°C로 설정하였다.

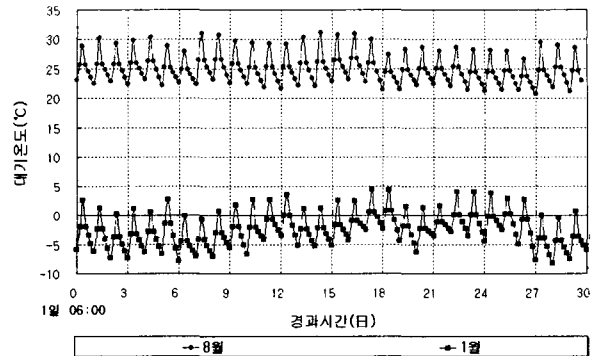


그림 3. 단열온도상승실험 및 해석결과 비교

### 2.3 매트기초 타설후 양생방법

매트기초 타설 후의 양생방법은 노출(이하 case1), 염화비닐(이하 case2), 염화비닐+양생포(이하 case3) 및 염화비닐+발포폴리스티렌+양생포(이하 case4)의 4가지 방법으로 설정하였다.

각각의 양생방법에 따른 열전달계수는 표 3과 같다. 한편, 여름과 겨울의 노출조건 적용 시에는 풍속 1%미만의 미풍으로 가정하여 열전달계수를 정하였다.

표 3. 양생방법에 따른 열전달계수

양생방법	열전달계수(W/m <sup>2</sup> °C)
노출	11.63
염화비닐	7.56
염화비닐+양생포	4.07
염화비닐+발포폴리스티렌+양생포	1.86

### 3. 온도해석결과

ANSYS5.5에서 온도해석에 사용된 요소로는 8절점을 가진 3차원 요소인 Solid70이다. 이 Solid70요소는 온도해석 전용 요소로서 각 절점에 대하여 온도에 대한 1자유도(D.O.F)를 가지고 있으며, 정상 또는 비정상 온도해석이 가능하다. ANSYS5.5를 사용한 매트기초의 온도해석결과는 그림 4와 같다.

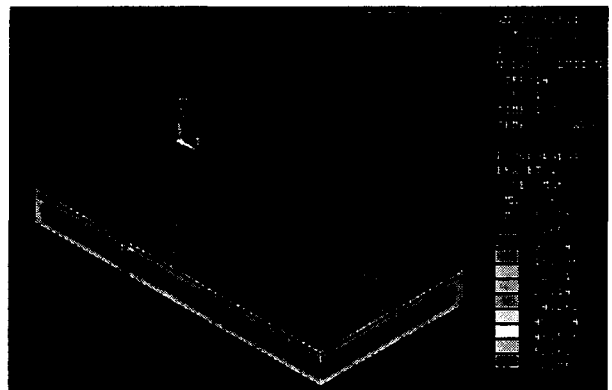


그림 4. 온도해석결과

### 3.1 설계기준강도

설계기준강도 24MPa 및 30MPa 콘크리트로 1월 타설 시의 온도해석결과는 그림 5와 같고, 온도결과 위치는 해석수행 시 최고온도를 기록한 중앙 부위이다.

중앙 부위의 최고온도는 설계기준강도 24MPa의 경우 재령 2.2일에 58.8℃, 30MPa의 경우 재령 1.8일에 67.1℃로 강도 증가에 따라 최고온도는 약 9℃정도 증가되었다. 상부 표면과의 최고온도차는 설계기준강도 24MPa의 경우 35℃, 30MPa의 경우 39℃로 -2.5℃내외의 대기온도의 영향으로 표면부 온도가 저하되어 온도차가 크게 나타난 것으로, 부재 내·외부 온도차에 따른 온도균열의 발생이 예상된다.

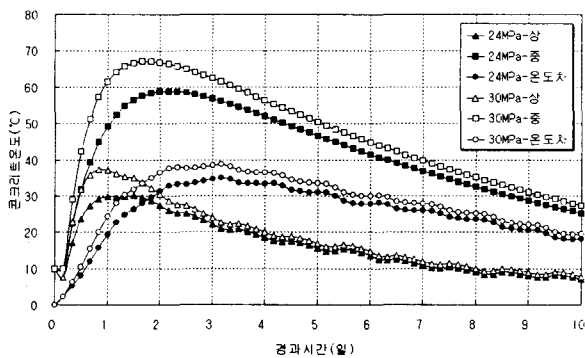


그림 5. 설계기준강도별 온도해석결과(1월 타설)

### 3.2 타설시기

설계기준강도 30MPa의 콘크리트로 1월 및 8월 타설 시의 중앙 부위의 온도해석결과는 그림 6과 같다.

1월 및 8월 타설 시의 콘크리트온도는 각각 10℃와 25℃이고, 대기온도는 각각 -2.5℃와 25℃내외이다. 이렇게 하절기(8월) 타설 시에는 콘크리트 초기온도와 대기온도의 영향으로 최고온도는 약 8℃정도 상승되었으나, 상부 표면부의 온도가 증가함에 따라 부재의 내·외부 온도차는 약 11℃정도 감소한 28℃정도로 온도균열발생에 있어서는 동절기보다 하절기 타설의 경우 더욱 안전할 것으로 판단된다.

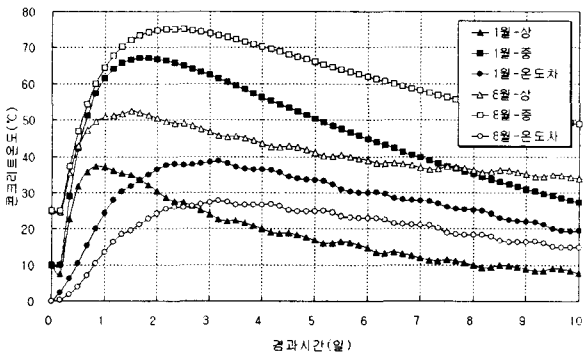


그림 6. 타설 시기별 온도해석결과(설계기준강도 30MPa)

### 3.3 양생방법

설계기준강도 30MPa의 콘크리트로 동절기 타설 시, 4가지의 보양방법에 따른 중앙 부위의 온도해석결과는 그림 7과 같다.

콘크리트의 낮은 열전달율로 인해 4가지의 다른 보양방법의 적용에 따른 중앙의 중심부 최고온도는 67~68℃ 정도로 차이가 없었지만, 표면부의 최고온도는 37~58℃정도로 양생방법의 종류에 따라 큰 차이의 결과를 보여주었다. case3과 case4의 보양방법 적용 시의 부재 내·외부 최고온도차는 각각 약 23℃와 12℃정도로 온도균열발생에 있어 안전할 것으로 판단된다.

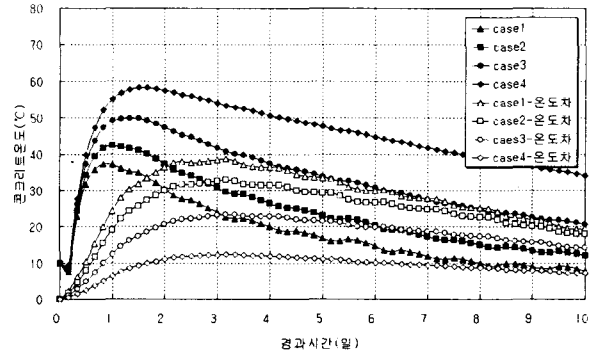


그림 7. 양생방법별 온도해석결과

## 4. 응력해석결과

ANSYS5.5에서 응력해석에 사용된 요소로는 Solid65를 사용하였다. Solid65요소는 각 절점당 x, y, z의 3개의 변위자유도를 가진 8절점 3차원 솔리드 요소이며, 인장영역에서의 균열과 압축영역에서의 압괴(crushing)를 묘사할 수 있다. 한편, 응력해석결과를 통해 균열지수를 산정하여, 최종적으로 각각의 시공조건에 따른 온도균열 발생가능성에 대하여 정량적인 평가를 실시하였다.

### 4.1 설계기준강도

설계기준강도 24MPa 및 30MPa 콘크리트로 1월 타설 시의 균열지수 평가결과는 그림 8과 같고, 온도균열 평가위치는 온도해석수행 시에 최고온도를 기록한 중앙 부위이다.

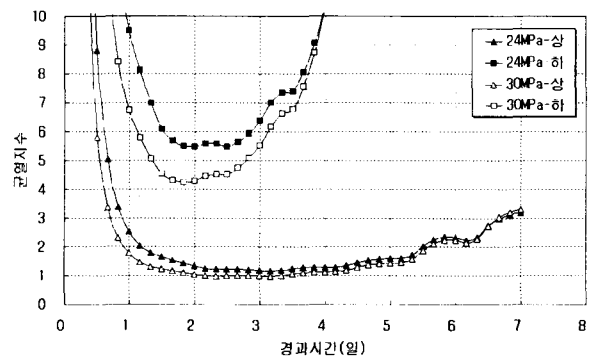


그림 8. 설계기준강도별 균열지수 평가결과(1월 타설)

부재의 중심은 압축력이 작용하여 온도균열발생에 대해서 안전하였다. 그리고, 하부의 경우에는 균열지수가 4이상으로 유해한 균열을 제한하는 안전한 수준이었으나, 상부의 경우

설계기준강도 24MPa은 1.16, 30MPa은 0.98로 유해한 균열발생을 제한하는 수준의 결과를 보여주었다. 한편, 높은 강도의 콘크리트로 시공 시에는 온도균열의 발생 가능성이 더욱 높아지는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 타설시기

설계기준강도 30MPa의 콘크리트로 1월 및 8월 타설 시 중앙 부위의 균열지수 평가결과가 그림 9와 같다. 상부 위치에서 1월 및 8월 타설 시의 최저 균열지수는 각각 0.98 및 1.14로 매트기초를 하절기에 시공함으로써 온도균열의 저감을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

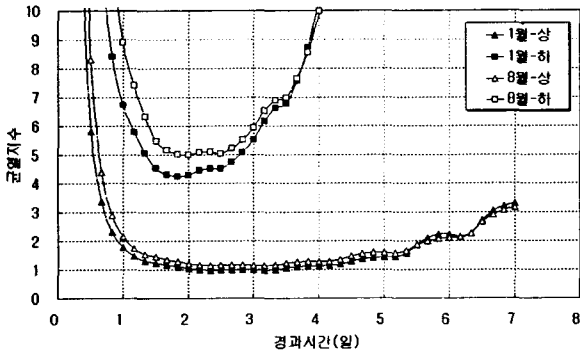


그림 9. 타설 시기별 균열지수 평가결과(설계기준강도 30MPa)

#### 4.3 양생방법

설계기준강도 30MPa의 콘크리트로 동절기 타설 시, 4가지의 보양방법에 따른 중앙 및 모서리 부위의 균열지수 평가결과는 그림 10과 같다.

노출조건이 아닌 case2, case3 및 case4의 보양방법 적용 시에는 그림 10과 같이 모두 1.2이상의 균열지수로 균열발생을 제한하는 수준의 결과이었고, 특히, 1.86W/m<sup>2</sup>℃의 열전달계수를 지닌 case4의 양생방법 적용 시에는 균열지수 9이상의 값으로 과한 양생방법이 될 것으로 판단된다.

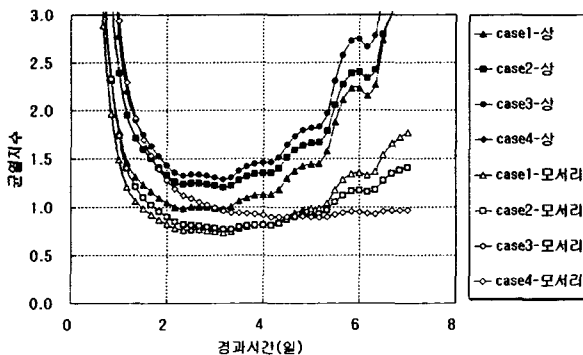


그림 10. 양생방법별 균열지수 평가결과

한편, 모서리의 경우에는 측면부(거푸집면)에서 받는 대기 온도의 영향으로 어떠한 양생방법을 적용하더라도 균열지수가 1이하로 온도균열의 발생 가능성이 매우 높았다. 따라서, 동절기 시공 시 온도균열의 발생을 제어하기 위해서는 상부면 뿐만이 아닌 거푸집면의 보양이 추가로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 타설 콘크리트의 강도가 24MPa에서 30MPa로 높아짐에 따라 최고온도는 9℃ 증가되고, 이에 따라 균열지수는 0.2 증가되어 온도균열의 발생 가능성이 더욱 높다.
- 2) 동절기보다 하절기에 시공 시, 콘크리트 초기온도가 높음에도 불구하고 대기온도 영향에 따른 부재의 내·외부 온도차가 더욱 작아 온도균열저감에 더욱 유리하다.
- 3) 동절기 시공 시, 온도균열의 발생을 막기 위해서는 상부면에 노출조건이 아닌 최소한 7W/m<sup>2</sup>℃ 이하의 열전달계수를 지닌 양생방법을 적용해야 하고, 측면의 거푸집면에도 추가의 보양이 계획되어야 한다.

### 참 고 문 헌

1. 대한건축학회, “건축실계자료집-환경계획편”, 1994. 4
2. 한국콘크리트학회, “콘크리트표준시방서”, 2003. 5
3. 대림산업(주), “매스콘크리트 균열제어 방안연구 및 시공지침”, 2000. 7
4. 이상수 외 3인, “매스콘크리트의 배합설계 및 온도균열제어에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 2001. 5