

# 매트기초의 온도균열 제어에 관한 연구

## A Study on the Control of Thermal Crack of the Mat Foundation

이 도 범\*  
Lee, Do Bum

김 효 락\*\*  
Kim, Hyo Rak

박 지 훈\*\*\*  
Park, Ji Hoon

최 일 호\*\*\*  
Choi, Il Ho

### ABSTRACT

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

In this study, we executed temperature and stress analysis of mat foundation. And we evaluated quantitatively about the possibility of thermal crack by using hydration heat analysis program.

Because of this analysis technique, we could control skilfully the quality of mat foundation in a construction.

### 1. 서론

최근에는 건설기술의 진보와 발달로 건축물이 대형화 및 초고층화 되어 가고 있다. 이에 따라 건축물의 매트기초도 규모가 커짐에 따라 그 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 등장하였다. 한편, 온도균열은 일반적으로 그 폭이 크고, 구조물을 관통하게 되어 구조물의 수밀성, 내구성 및 미관에 치명적인 영향을 미치게 되므로 각별한 주의가 요구된다.

구조물의 온도균열 발생에 대한 대책으로 해석프로그램을 통해 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.

본 연구에서는 초고층 아파트 매트기초의 품질관리를 목적으로 매트기초의 시공에 앞서 유한요소해석 프로그램을 사용하여 매스콘크리트 타설 후의 양생조건에 따라 발생이 예상되는 온도균열의 정량적인 평가를 수행하였다.

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

## 2. 콘크리트 배합 및 특성

### 2.1 콘크리트 배합 및 강도

초고층 아파트 매트기초의 타설을 목적으로 배합·설계된 설계기준강도 30MPa 콘크리트의 배합 및 재령별 압축강도 시험결과는 표 1과 같다. 콘크리트 배합에는 수화열 저감을 목적으로 포졸란계 혼화제인 플라이애쉬를 단위시멘트량의 20% 치환하여 사용하였고, 혼화제에는 단위수량을 최소화하기 위하여 E사의 고성능(AE)감수제를 사용하였다. 한편, 온도균열의 정량적인 평가를 위해 재령(1, 3, 7 및 28일)에 따른 압축강도시험을 실시하였다. 콘크리트의 압축강도와 계산식에 의해 구한 인장강도를 도식화하면 그림 1과 같다.

표 1 콘크리트 배합표

W/B (%)	S/a (%)	FA/B (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )						압축강도 시험결과(MPa)			
			W	C	FA	S	G	AD	1일	3일	7일	28일
40.0	44.0	20	168	335	84	743	971	5.45	7.6	15.8	24.2	33.5

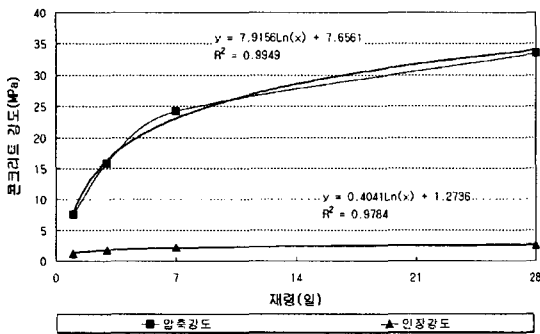


그림 1 재령에 따른 콘크리트의 압축강도와 인장강도

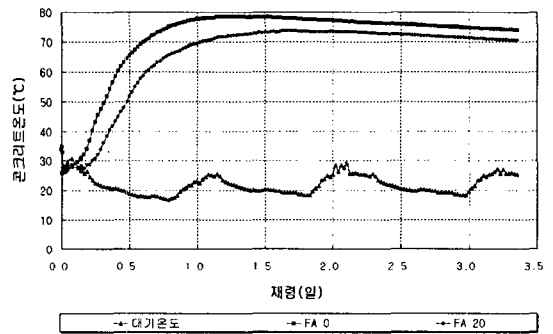


그림 2 수화열 Mock-up시험 결과

### 2.2 수화열 Mock-up시험

플라이애쉬 사용에 따른 콘크리트의 수화열 저감을 확인하기 위해 플라이애쉬를 시멘트량의 20% 치환한 배합과 플라이애쉬를 사용하지 않은 배합의 수화열 Mock-up 시험을 실시하였다. 시험체는 그림 3과 같이 길이 1.2M의 입방체 형상으로 합판을 사용하여 거푸집을 만들었으며, 내측에는 두께 20cm의 단열재를 사용하여 외기온도의 영향을 가능한 적게 받도록 하였다. 콘크리트의 온도는 T형 Thermo-couple과 데이터로거(TDS-102)를 사용하여 매 30분마다 계측하였다.

수화열 Mock-up시험 결과는 그림 2와 같이 플라이애쉬를 20% 치환한 배합이 플라이애쉬의 사용으로 단위시멘트량의 저감과 포졸란 반응에 따른 수화발열 지연효과의 영향으로 최고온도에 있어서는 약 5°C 정도 낮았고, 최고온도 도달시간에 있어서는 약 13시간 정도 지연되었다.

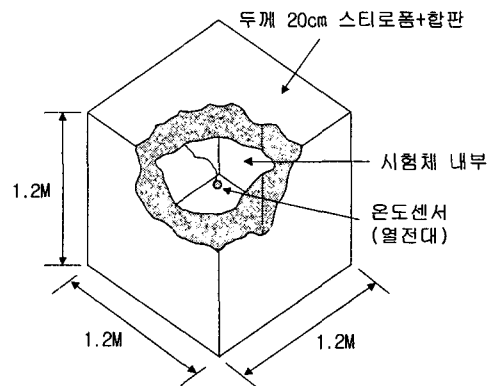


그림 3 Mock-up 시험체 형상

한편, 콘크리트의 온도해석을 수행하기 위한 단열온도상승식은 시방서에서 제안하고 있는 식에 초기 응결에 따른 지연을 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. Mock-up시험결과, 플라이애쉬를 사용하지 않은 콘크리트는  $Q_{\infty}=50.5$ ,  $r=2.7$ ,  $t_0=0.2$ 로 나타난 반면, 플라이애쉬를 20% 치환한 콘크리트는  $Q_{\infty}=47.3$ ,  $r=3.8$ ,  $t_0=0.1$ 인 것으로 나타났다.

### 3. 콘크리트 온도해석

매트기초의 온도 및 응력 해석에는 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS 5.5를 사용하였다. 한편, 엘리베이터 PIT부 기초의 온도해석 결과를 통해 적절한 양생방법을 선정할 후, 그 양생조건에서 고층부 매트기초의 온도 및 응력해석을 수행하여 발생이 예상되는 온도균열에 대한 정량적인 평가를 실시하였다.

#### 3.1 부재형상 및 경계조건

엘리베이터 PIT부 기초의 형상은 13.5m×8.8m×2.5m 크기의 직육면체이고, 고층부 매트기초의 형상은 그림 4와 같다.

온도해석을 위한 경계조건으로 대기온도는 최근 20년 동안의 기상청 자료를 이용하였고, 콘크리트의 초기온도는 타설 시(PIT부 기초 10월, 고층부 매트기초 11월)의 대기온도를 고려하여 가정하였다. 기초 하부는 연약지반 위의 버림콘크리트에 의한 온도 형향을 받고, 측면은 유로폼의 거푸집으로 쌓여져 있으며, 상부 양생조건은 표 2와 같이 4가지 양생방법을 적용하였다.

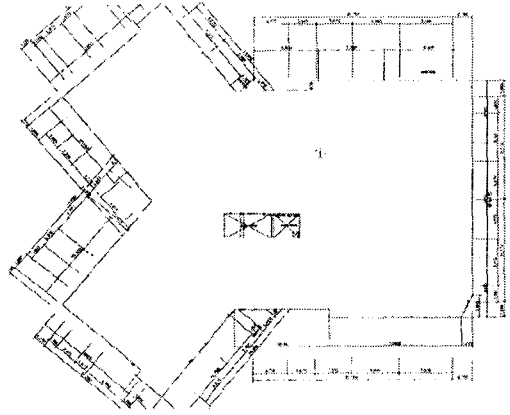


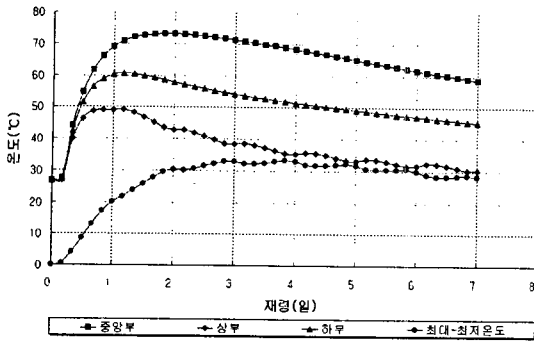
그림 4 고층부 매트기초 형상

표 2 양생조건

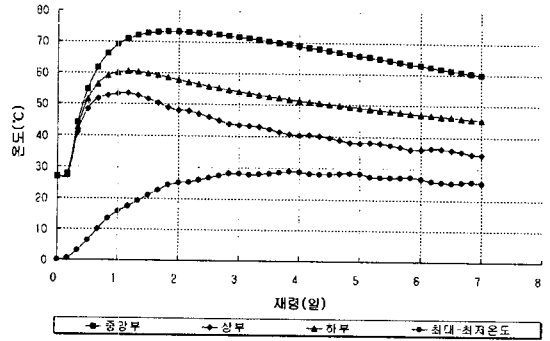
구분	양생방법	열전달계수(kcal/m <sup>2</sup> h°C)
Case 1	노출 + 살수	10.0
Case 2	염화비닐	6.5
Case 3	염화비닐 + 양생포	3.5
Case 4	염화비닐 + 발포폴리스티렌 + 양생포	1.8

#### 3.2. 온도해석 결과

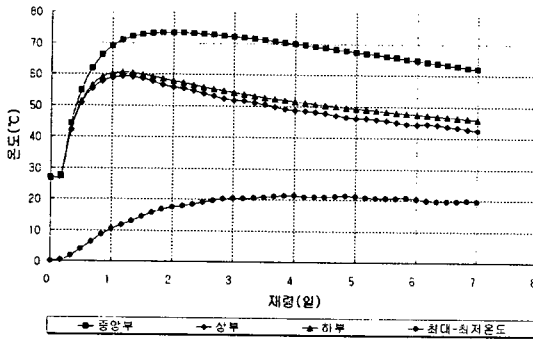
PIT 기초의 온도해석결과는 그림 5와 같다. 모든 보양조건에서 중앙부의 콘크리트 온도는 재령 2일에 최고온도인 73°C까지 올라갔으나, 상부와 하부의 온도는 보양조건에 따라 상이한 결과가 나타났다. 즉, Case 1과 Case 2의 보양조건 적용 시에는 높은 열전달계수로 인한 열손실이 크기 때문에 내·외부 온도차가 30°C 정도로 컸으며, Case 3과 Case 4의 보양방법 적용 시에는 Case 1과 Case 2에 비해 보양효과가 좋아 내·외부 온도차가 20°C 정도의 결과를 보여주었다. 한편, 약산식을 이용하여 내부구속에 의한 온도균열지수 산정 결과는 Case 1의 경우 0.78, Case 2의 경우 0.90, Case 3의 경우 1.22, Case 4의 경우 1.33이었다.



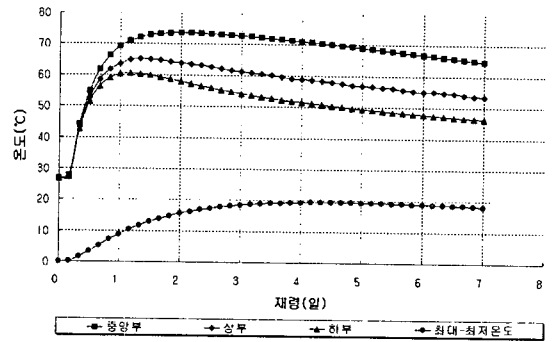
Case 1



Case 2



Case 3



Case 4

그림 5 엘리베이터 PIT부 기초 온도해석결과

#### 4. 온도균열 평가

Case 3의 보양조건에서의 고층부 매트기초에 발생하는 응력을 계산한 결과, 응력은 초기 잠시 압축으로 작용하다 인장으로 바뀌었고, 하부에서 발생하는 인장응력이 상부보다 더욱 크게 나타났다. 이는 하부에서 콘크리트의 경화와 함께 발생하는 외부구속에 의한 영향과 온도해석결과를 통해 알 수 있었던 더욱 큰 온도차에 의해 발생하는 내부구속의 영향에 의한 결과라고 판단된다. 그리고, 수직방향보다는 수평방향으로 더욱 큰 인장응력이 작용하였는데, 이를 통해 수직으로 발생이 예상되는 균열에 대한 대책이 더욱 필요할 것으로 생각된다. 응력해석결과에 근거하여 산정한 균열지수는 그림 6과 같다. 그 값은 1.15로 유해한 균열발생을 제한하는 수준의 결과로 나타났다.

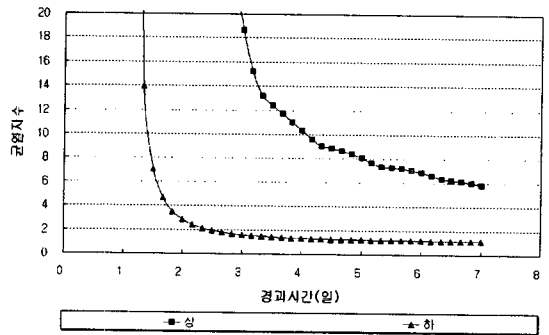


그림 6 온도균열지수

#### 5. 결론

본 연구를 통해 사전 해석기법 통해 매트기초의 온도 및 응력해석을 수행함으로써, 동절기 초고층 아파트 매트기초의 원활한 시공을 수행할 수 있었다.