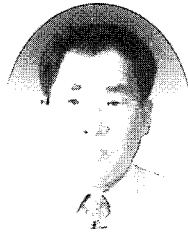
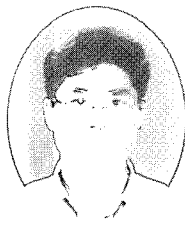


공동주택 트랜스퍼 거더에 적용된 매스콘크리트의 온도계측 사례

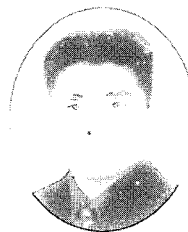
- A Temperature Measuring of Mass Concrete for Transfer Girder
in Apartment Housing -



이도범*
Lee, Do Bum



김효락**
Kim, Hyo Rak



박지훈***
Park, Ji Hoon



최일호***
Choi, Il Ho

1. 머리말

최근 공동주택에 있어 지상에 면하고 있는 1층은 프라이버시 침해 등의 거주성 문제로 입주하기를 꺼려하여 분양이 상대적으로 잘 되지 않고, 또한 주어진 협소한 대지를 최대한 활용하여 아파트 단지를 조성해야 하기 때문에 1층의 공간을 필로티로 활용하는 설계가 많이 시도되고 있는 추세이다. 한편, 이러한 필로티를 구조적으로 해결하기 위해서는 상부 슬래브와 벽체로 구성된 벽식구조가 하중전이층 통해 하부에서 1방향 및 2방향 슬래브와 라멘 구조로 바뀌면서 벽체를 통해 내려오는 하중을 받기 위해 트랜스퍼 거더(하중전이보)의 설계 및 시공이 필요하다.

당사에서 시공 중인 대구 수성 대림아파트는 지하 2층 및 지상 30층의 8개동 규모로, 타워형 5개동과 판상형 3개동으로 나누어져 있는데, 타워형 5개동에는 1층의 공간을 필로티로 활용하기 위해 트랜스퍼 거더 부재가 설계되어 있다. 당 현장의 트랜스퍼 거더는 최대 2.2m × 2.4m

의 부재로 그 크기로 인해 높은 수화열 발생이 예상됨에 따라 시공에 있어 특별한 주의 및 관리가 필요하다.

이에 당사에서는 트랜스퍼 거더 부재의 크기에 따른 매스 콘크리트의 발열특성과 구조적인 중요도를 고려하여 향후 유사한 공사에서의 자료가 활용될 수 있도록 매스 콘크리트 시공에 따른 콘크리트의 사전 수화열 Mock-up 시험결과와 현장에서의 트랜스퍼 거더의 온도계측결과를 중심으로 소개하고자 한다.

- 공사명: 대구수성4가 재건축 아파트 신축공사
- 발주처: 수성4가 재건축조합.
(주)코보스톤건설
- 설계사: (주)당주 종합건축사 사무소
- 공사기간: 2002. 7. 1 ~ 2005. 5. 31
- 대지위치: 대구시 수성구 수성4가
1115-16번지 외 269필지
- 연면적: 13만 2,118 m² (3만 9,966평)
- 구조: 철근 콘크리트 조
- 규모: 지하 2층, 지상 30층, 8개동
- 콘크리트 압축강도
 - 타워형(지하 층 ~ 7층 바닥): 30 MPa
 - 타워형(7층 ~ 17층 바닥): 27 MPa
 - 타워형(17층 이상), 판상형: 24 MPa
- 온도계측 위치: 102동
- 온도계측 기간: 2003. 6. 9 ~ 6. 22

2. 현장 개요

대구 수성 대림아파트 현장의 개요는 다음과 같고, 조감도와 필로티 시공현황은 <그림 1> 및 <그림 2>와 같다.

3. 수화열 Mock-up시험

트랜스퍼 거더 부재의 매스 콘크리트 시공에는 수화열 저감을 목적으로 저발열

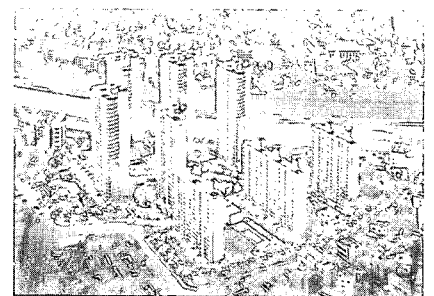


그림 1. 조감도

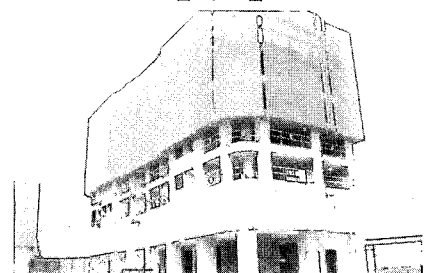


그림 2. 102동 필로티 시공사진

* 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀장
** 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 차장
*** 정희원, 대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀 연구원

표 1. 콘크리트 배합표

구분	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)						
			W	C	FA	S1	S2	G	AD
일반*	43.0	44.0	178	414	0	487	263	973	4.14
저발열*	43.0	44.0	178	331	83	487	263	973	4.14

* 일반과 저발열의 명칭은 배합구분을 위해 사용

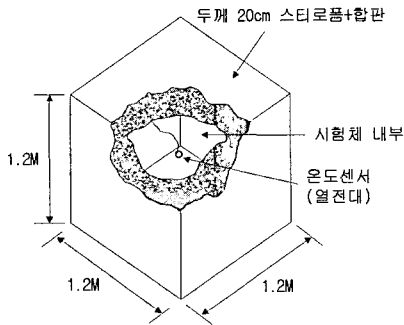


그림 3. Mock-up 시험체 형상

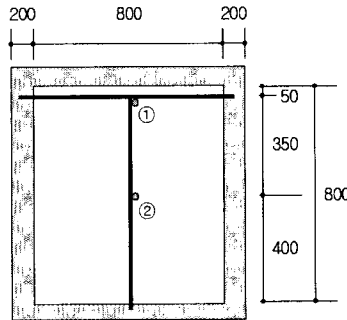
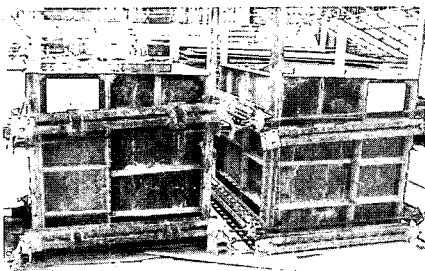
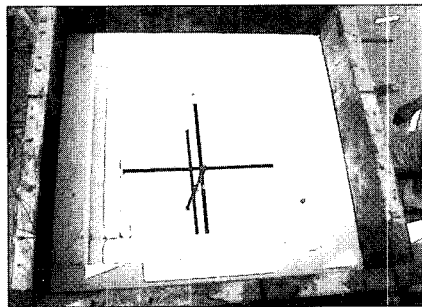


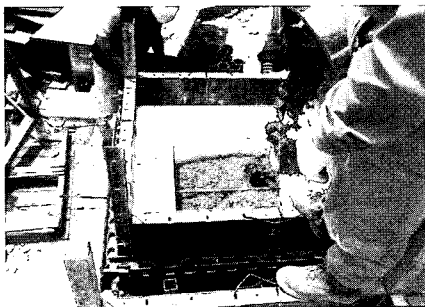
그림 4. 온도계측용 센서 위치



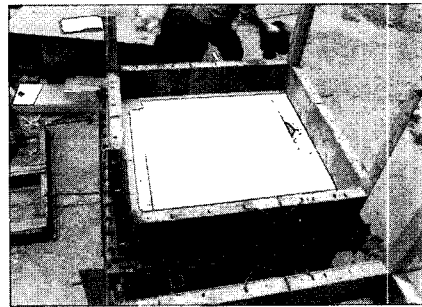
a. 시험체 형상



b. 시험체 내부



c. 콘크리트 타설 중



d. 콘크리트 타설완료 후

그림 5. Mock-up 시험

형의 콘크리트 사용을 계획하였으며, 그 콘크리트의 수화열 발생에 따른 발열특성을 평가하기 위해 Mock-up 시험을 실시하였다.

3.1 콘크리트 배합

트랜스퍼 거더의 매스부재에 타설되는 콘크리트는 수화열 발생의 저감을 목적으

로 혼화제로는 플라이 애쉬가 사용되었고, 혼화제로는 지연형의 고성능 AE감수제가 사용되어 배합설계 되었다. 이상과 같이 수화열 Mock-up 시험에 사용된 25-30-15 규격 레미콘의 배합은 <표 1>과 같다. <표 1>에서 W는 물, C는 시멘트, FA는 플라이 애쉬, S1은 강사, S2는 부순모래, G는 자갈, AD는 혼화제로서, 당 현장의 레미콘 납품 공장에서는 지역의 특

성으로 인해 부순모래와 강사를 잔골재로 배합설계에 사용하였다.

한편, 수화열 Mock-up 시험은 플라이 애쉬의 사용에 따른 수화열 저감효과를 확인하기 위해 <표 1>과 같이 플라이 애쉬를 사용하지 않은 일반배합과 플라이 애쉬를 시멘트 중량의 20% 치환한 저발열 배합의 2가지 배합의 콘크리트에 대해서 수행하였다.

3.2 시험체

수화열 Mock-up 시험에 사용된 시험체의 형상과 콘크리트의 온도계측을 위한 센서 설치 위치는 <그림 3> 및 <그림 4>와 같다.

수화열 Mock-up 시험의 시험체는 길이 1.2m의 입방체 형상으로 합판을 사용하여 거푸집을 만들었으며, 합판의 내측에는 두께 20cm의 스티로폼을 붙여주었다. 이것은 수화열 발생에 따른 콘크리트의 온도계측 시, 단열을 목적으로 설치한 것으로 외기온도의 영향을 가능한 적게 하기 위한 것이다.

콘크리트 온도 계측용 센서에는 T type의 Thermo-couple를 사용하였으며, 그 설치 위치는 <그림 4>와 같이 상부로부터 5cm의 깊이(위치 ①)와 중심부(위치 ②)로 하였다. 온도 계측에는 데이터로거(TDS-102) 계측장비를 사용하여 타설 후, 매 30분마다 측정하였다.

Mock-up 시험 수행시의 시험체 형상과 내부모습 및 콘크리트 타설모습은 <그림 5>와 같다.

3.3 시험결과

일반 및 저발열 배합의 콘크리트에 대한 Mock-up 시험 결과, 최고온도와 그 시점까지의 소요시간은 <표 2>와 같다.

단위시멘트량의 20%를 플라이 애쉬로 치환한 저발열 배합은 시멘트만을 사용한 일반 배합에 비해 최고온도에 있어서는 약 3°C 낮았고, 최고온도 시점까지 소요된

시간에 있어서는 약 6~7시간 정도 늦춰졌다. 따라서, 트랜스퍼 거더 시공에 있어 플라이 에쉬를 사용한 저발열 배합의 콘크리트를 사용함으로써 온도저감의 효과를 거둘 수 있을 것이다.

타설 후 경과시간에 따른 콘크리트 배합 및 계측 위치별 온도이력은 <그림 6>과 같다. 실험결과를 통해 트랜스퍼 거더 시공 시의 콘크리트 온도는 약 재령 2일에 최대가 될 것을 예측할 수 있었다.

표 2. Mock-up 시험 결과

구분	최고온도	소요시간
일반	68.3°C	2.13일
저발열	65.4°C	2.40일

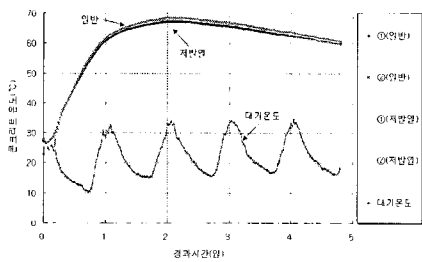


그림 6. 배합 및 측정위치별 온도이력곡선

4. 트랜스퍼 거더 온도계측

당 현장의 트랜스퍼 거더는 최대 2.2m × 2.4m의 부재로, 그 크기로 인해 매스 콘크리트 시공으로 간주될 수 있다. 한편, 지상에 위치하고 있는 거더는 지하에 위치한 매트기초 부재와는 달리 외부구속의 영향은 다소 작을 것으로 판단되지만, 부재

크기로 인한 내·외부 온도차에 따른 내부 구속의 영향은 발생할 것으로 판단된다. 이에 트랜스퍼 거더 시공 시, 실 구조물의 계측을 통해 향후 유사한 공사에서의 유용한 자료로 활용될 수 있도록 그 안전성에 대한 검토를 계획하였다.

4.1 온도계측 위치

트랜스퍼 거더의 형상 및 온도계측 위치는 <그림 7>과 같다. 트랜스퍼 거더의 온도계측 위치는 중앙부와 측면부의 상(①), 중(②), 하(③)의 6지점으로 하였다. 한편, 상과 하의 위치는 상부와 하부로부터 각각 10cm 위치에, 중의 위치는 상부로부터 120cm 위치로 정하였다. 그리고, 콘크리트의 온도계측에는 Mock-up 시험의 경우와 동일하게 T type의 Thermo-couple과 데이터로거(TDS-102)를 사용하여 콘크리트 타설 후 매 30분마다 측정하였다.

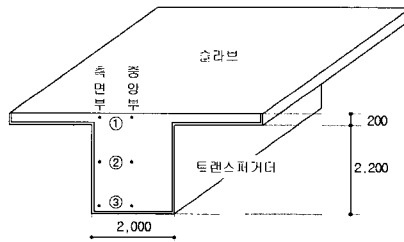


그림 7. 트랜스퍼 거더 형상 및 온도계측 위치

4.2 온도계측 결과

트랜스퍼 거더의 온도계측결과는 <그림 8> 및 <그림 9>와 같다.

Mock-up시험에서 최고 온도까지의 소

요시간을 예측했듯이 중앙부의 최고온도는 ②위치에서 재령 2.2일에 77.0°C였고, 측면부의 최고온도는 ②위치에서 재령 2.0일에 75.4°C였다. 한편, 내·외부 최고 온도차(②-①)는 중앙부의 경우 재령 2.9일에 35.3°C였고, 측면부의 경우 재령 3.7일에 35.7°C로 일반적으로 안전한 값으로 제안되고 있는 25°C를 상회하였다. 이는 열전달률이 낮은 콘크리트의 특성으로 인해 중심은 수화열이 발생하는 한편 열전달이 잘 되지 않아 온도가 높고, 상부는 대기온도의 영향으로 온도가 외부로 쉽게 전달되어 온도가 낮기 때문이다. 따라서, 내·외부 온도차에 따른 내부구속의 영향이 클 것으로 판단된다.

4.3 균열발생 평가

온도 계측 결과, 내·외부 온도차에 따른 내부구속에 의한 온도균열 발생이 예상됨에 따라 온도응력 계산식을 이용하여 온도균열지수를 산정하여 균열발생에 대한 안전성 평가를 하였다.

1, 3, 5, 7 및 28일 재령의 압축강도 측정을 통해 <그림 10>과 같이 재령에 따른 압축강도 추정식을 도출하였다. 압축강도 추정식은 다음과 같다.

$$f_{ca}(t) = 87.04 \ln(t) + 58.57$$

내부구속에 의한 발생응력의 계산에는 다음 식을 사용하였다. 여기서 $\sigma_{l, max}$ 는 최대 내부구속응력, t_s 는 단면 온도차가 최

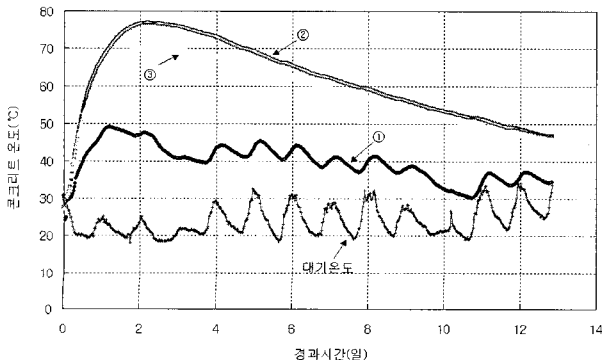


그림 8. 트랜스퍼 거더 온도계측결과(중심부)

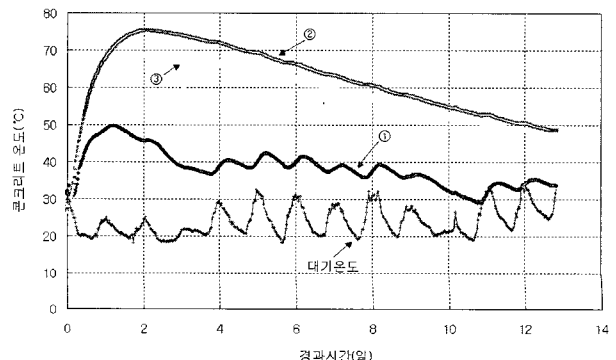


그림 9. 트랜스퍼 거더 온도계측결과(측면부)

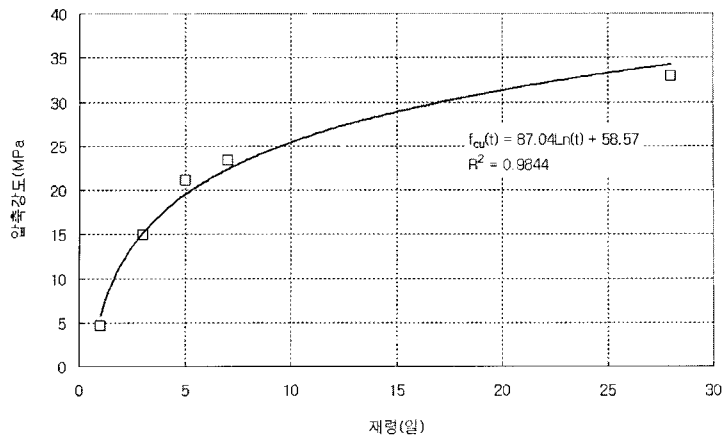


그림 10. 압축강도 추정곡선

대일 때의 재령, $E_c(t)$ 는 재령 t 일에서의 크리프를 고려한 유효탄성계수, ν 는 콘크리트의 포아송비(0.167), α_c 는 콘크리트의 열팽창계수(10^{-5}), $Td_{MAX}(t)$ 는 재령 t 일에서의 단면 온도차의 최대값이다.

$$\sigma_{l,max} = \frac{2 \alpha_c E_c(t)}{3(1-\nu)} \times Td_{MAX}(t)$$

: 대칭온도분포

$$\sigma_{l,max} = \frac{3 \alpha_c E_c(t)}{8(1-\nu)} \times Td_{MAX}(t)$$

: 비대칭온도분포

최대 단면온도차는 재령 3.7일에 35.7°C이고, 재령 3.7일에서의 압축강도와 인

장강도는 각각 17 MPa 및 15 MPa이다. 한편, 유효탄성계수 $E_c(t)$ 는 14,114 MPa로 내부구속에 의해 발생이 예상되는 최대 응력은 2.3 MPa이다. 따라서, 내부구속에 의한 균열지수는 0.64로 유해한 균열발생이 가능한 수치로 나타났다.

5. 맺음말

최근 공동주택 설계 시 1층에 필로티 설계를 하면서 트랜스퍼 거더가 매스 콘크리트로 시공되고 있다. 이에 Mock-up 시험과 현장 온도계측을 수행한 결과, 부재의 내·외부 온도차에 따른 내부구속의 영향이 큰 것으로 나타났다. 따라서, 트랜스퍼 거더 시공에 있어서도 콘크리트 온도저

감을 위한 노력이 더욱 필요할 것이다. 한편, 내부구속에 의한 균열지수가 0.64로 매우 낮은 값임에도 불구하고 트랜스퍼 거더 시공 후에 균열의 발생유무를 조사한 결과, 어떠한 균열도 찾아볼 수 없었다. 이에, 트랜스퍼 거더의 온도균열 발생에 대한 검토 시에는 단지 콘크리트 온도만을 가지고 판단하는 것이 아닌 보다 정밀한 방법을 사용하여 그 안정성에 대해 판단해야 할 것이다.

금번 트랜스퍼 거더는 매트기초와 달리 외부구속에 의한 영향은 적을 것으로 판단하여, 단지 온도 계측 자료만을 가지고 내부구속의 영향에 대해서만 검토하였으나, 추후 유효요소 해석기법을 통해 내부구속 및 외부구속조건의 영향을 복합적으로 고려한 안전성 평가를 계획하였다. 그리고, 금번 트랜스퍼 거더 계측은 하절기에 실시된 것으로, 향후 동절기 시공 시의 온도계측을 통해 더욱 많은 기초 자료를 확보할 계획이다. 한편, 트랜스퍼 거더는 매트 기초와 같은 지하 구조물과는 달리 지상층의 부재로서 조기의 거푸집 탈형 등과 같은 조건으로 콘크리트의 강도상승에 따른 과다 수화열 발생이 예상되므로 향후 트랜스퍼 거더 시공 또한 매트기초와 같이 매스 콘크리트 공사로서 많은 주의가 필요할 것으로 생각된다. □

"면진구조물의 설계"

◆ 소개

면진은 지진피해의 가능성을 완화시키거나 감소시키기 위한 간단한 구조설계 방법이다. 그러나 현재로서는 복잡한 시방서로 인해 면진구조물을 해석하고 설계 및 적용하기가 어렵다. 이 책은 면진구조물에 대한 해석과 설계에 관련된 개념과 절차, 그리고 관련시방서의 발전과정에 관하여 독자들에게 소개하고 이해하는데 도움을 주기 위한 지침서이다. 이 책은 면진에 관한 대학원 과정의 수업교재로서 뿐만이 아니라 실무에 면진설계를 필요로 하는 건축물 및 토목구조물 설계에 기여하고 면진기술을 배우고자하는 학생 또는 기술자들에게 좋은 참고도서가 되기를 바란다.

- 저 자 : 김종인 · 이종현 · 김두기 공역
- 출판일 : 2003년 9월
- 정 가 : 18,000원
- 출판사 : 구미서관
- 페이지 : 409쪽
- ISBN : 89-8225-350-5

