

분당 파크뷰 현장 - 매스 콘크리트 시공사례

- Execution of Mass Concrete in PARKVIEW -



안상구*



이철우**



신희섭***

1. 머리말

현대문명의 발전과 생활수준의 향상에 따라 최근 우리나라의 주거시설은 초고층화, 대규모화, 복합화 되는 추세에 있으며, 이에 따라 주상복합, 오피스텔 등의 새로운 주거형태 및 생활문화가 형성되고, 또한 종래의 단순하고 획일적인 아파트에서 탈피하여 주변환경과 단지의 경관 등을 고려한 다양한 형태로 발전되어 가고 있다.

이와 같은 주거환경의 변화에 부응하여, 국내·외 건설업계에서 선도적인 역할을 담당하여온 (주)포스코건설과 SK건설(주)은 컨소시엄을 구성하여, 경기도 성남시 분당구 정자동 6번지 3만여 평의 부지 위에 새로운 형태의 주거시설로서 연면적 13만 2,000여 평, 30층~35층 아파트 13개 동의 대규모 주상복합 아파트인 파크뷰 프로젝트를 2004년 5월말 준공을 목표로 현재 순조롭게 공사를 진행중이다.

2001년 12월 8일 612동 매트 콘크리트 타설을 시작으로 42일만에 604동, 605동 매트 콘크리트 타설을 완료함에 따

라 파크뷰 아파트 13개 동의 매트 기초공사를 완벽하게 끝마치고, 현재는 매트 기초공사를 바탕으로 골조공사에 박차를 가하고 있다.

프로젝트 수행을 위한 아파트 매트 기초공사에만 4만 2,000여 m³의 콘크리트(레미콘믹서트럭 7,000대)가 투입되는 대형 신축공사로 절대공기(37개월) 준수를 위하여 기초 및 대부분의 지하층 철근 콘크리트 구조체 공사를 동절기에 완료해야 했다. 따라서 한중 콘크리트 품질관리가 공기준수에 무엇보다 중요한 항목이었다.

특히, 동절기 콘크리트의 품질은 현장에서의 보양방법에 의해 품질 및 공기가 결정되는 경우가 많다. 표준시방서에는 한중 콘크리트의 양생온도 및 기간 등에 대한 관리기준이 제시되어 있지만 구체적인 보양 및 급열방법에 대해서는 명확한 제시가 없으므로, 현장별 특성에 맞추어 보양 및 급열 양생을 결정해야 할 필요가 있으나 그 성능을 요소별로 수치화 하기가 어렵다. 따라서 전산해석을 통하여 우선 온도응력을 예측하여 보양 및 급열방법을 결정하고, 시공시 실제 수화열 및 온도응력 등

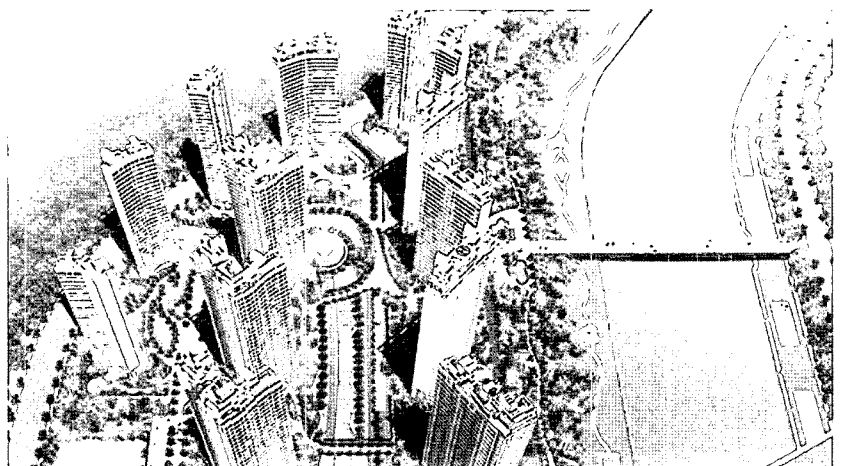


그림 1. 분당 파크뷰 조감도(Top View)

* (주)포스코건설 기술연구소 건설기술연구팀 과장
** (주)포스코건설 건축사업본부 건축기술팀 과장
*** (주)포스코건설 건축사업본부 분당파크뷰 2공구장

을 실시간으로 계측 및 분석하여 응력유발 상황을 모니터링 할 필요가 있다. 이러한 계측결과를 활용하여 건조수축, 계절별 온도변화 등의 추가적인 인장응력에 의한 균열문제에 대처하고 양생관리 함으로써 품질을 향상시킨 사례를 소개하고자 한다.

2. 공사 개요

- 공사명 : 분당 파크뷰 신축공사
- 시행사 : 에이치원개발(주)
- 시공사 : (주)포스코건설, SK건설(주)
- 공사기간 : 2001. 5 ~ 2004. 5
- 건축면적 : 5만 9,078 m²
- 연면적 : 43만 7,190 m²
- 구 조 : 철근 콘크리트 벽식구조
- 규 모 : 지하 1층, 지상 30 ~ 35층 (Deck System)
- 세대수 : 총 13개 동 1,829세대 (33PY ~ 95PY)

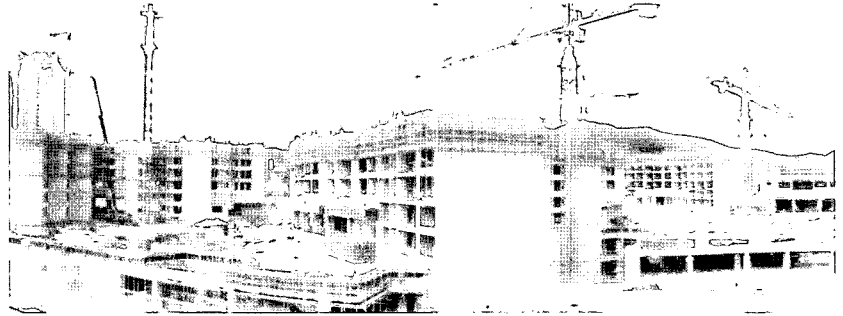
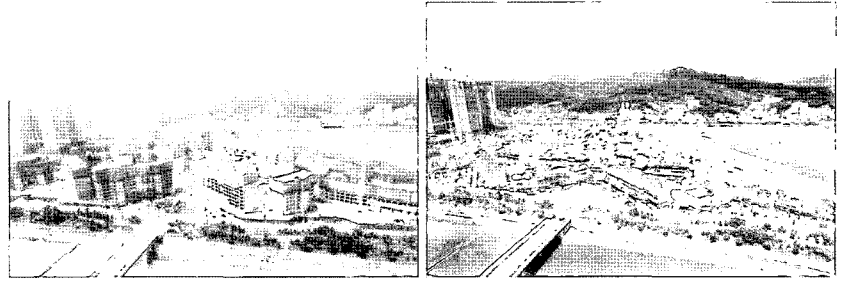


그림 2 현장 전경

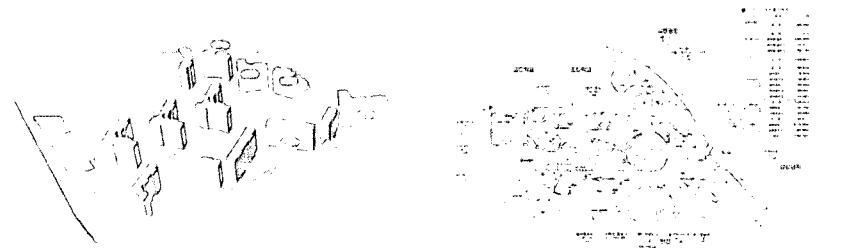


그림 3. 동별 배치도

2.1 적용기준

2.1.1 하중

- 건축물 하중기준 및 해설(2000년 개정)
- 참고기준 : UBC 97, ATC 3-06, ANSI/ASCE 7-95, NBCC

2.1.2 철근 콘크리트 부재설계

- 통합 콘크리트 구조설계 기준(1999)
- 참고기준 : ACI 318-95, ACI 318-99

2.1.3 슬래브 사용상 평가(수직진동)

- 건축물의 진동에 관한 주거성능 평가 지침 동해설(일본건축학회)

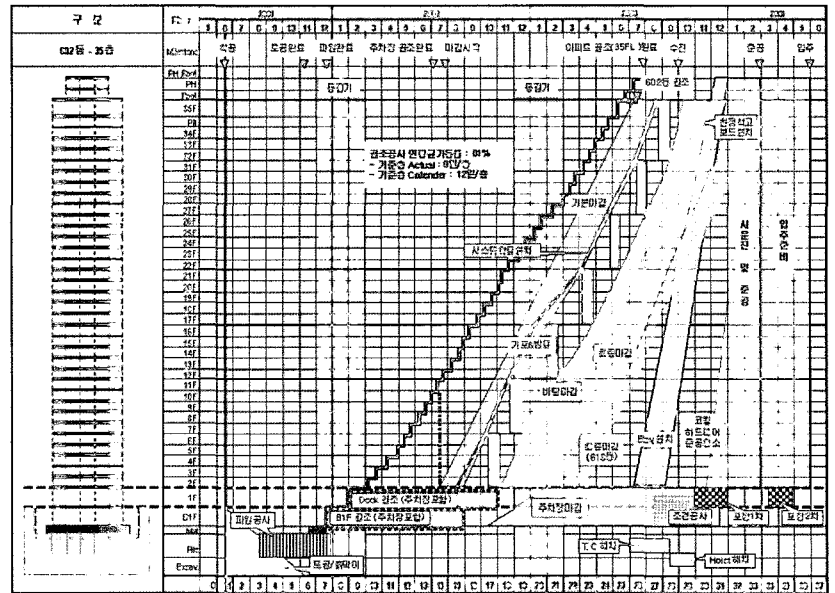


그림 4. 공사 Schdule

2.2 사용재료

2.2.1 콘크리트

- 전단벽, 기둥 : $f_{ck} = 240 \sim 350 \text{ kgf/cm}^2$
- Deck, 지상 1층, 주차장 : $f_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$

- 기초 : $f_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$
- 아파트 슬래브 : 전단벽체와 동일 강도

2.2.2 철근

- SD 40($f_y = 4,000 \text{ kgf/cm}^2$)

3. 수화열 계측 및 시공관리

3.1 배합비

본 과업의 대상구조물인 파크뷰 아파트

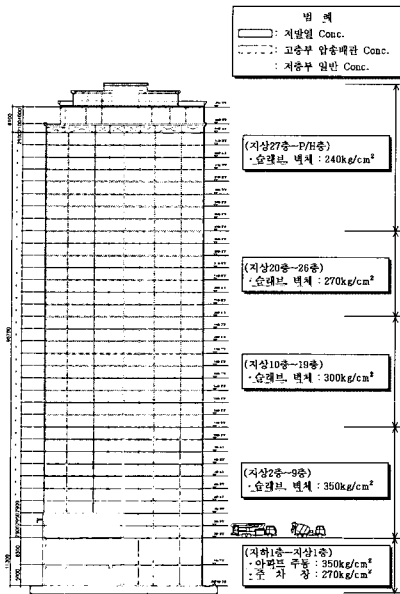


그림 5. 층별 / 부위별 Concrete 적용 현황

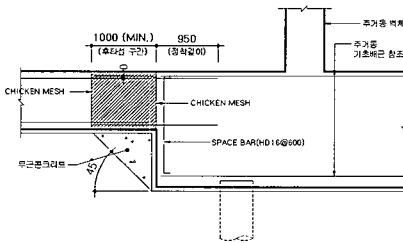


그림 6. 기초 상세도

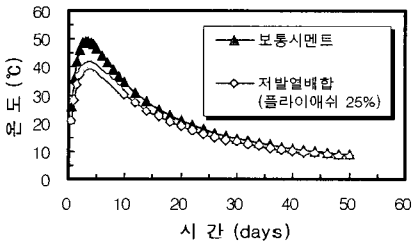


그림 7. 저발열 배합의 온도저감효과 (외기온도 5°C, 타설온도 10°C 적용)

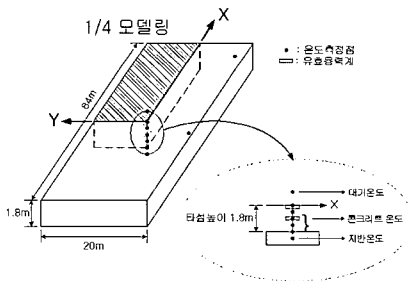


그림 8. 매트 기초부 온도(9EA) 및 응력(2EA) 계측센서 설치현황

612동은 파일 기초 위에 설계된 아파트의 기초 매트가 가로 84m, 세로 20m, 높

표 1. 레미콘 배합표

	W/C (%)	S/a (%)	C (kg/m ³)	F/A (kg/m ³)	W (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	혼화제 (kg/m ³)
S사 (f _{ck} = 270 kg/cm ²)	39.7	46.3	287	96	152	811	944	5.75

이 1.8m로서 매스 콘크리트 구조체이며, 이러한 매스 콘크리트의 시공시에는 콘크리트의 수화반응에 의하여 발생하는 수화열로 인해 단면 내·외부에서 유해한 온도균열이 발생하게 되는 경우가 많다.

이러한 유해 균열의 방지 또는 억제를 위하여 수화열 대책이 요구되므로, 온도상승량의 저감을 위하여 보통 시멘트 콘크리트 배합보다 플라이 애쉬를 혼입(25%)한 저발열 콘크리트 배합이 수화열 해석결과 (<그림 7> 참조) 8°C 내외의 온도저감 효과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

이러한 온도저감 효과에 의하여 표면부 인장응력은 보통 시멘트 배합보다 감소하고, 동결기 중의 콘크리트 양생관리 대책에 의하여 온도제어가 가능할 것으로 판단되어 단열온도상승시험결과 가장 낮게 측정된 S사 배합비를 선정하였다.

3.2 온도균열관리를 위한 온도 및 응력 계측

3.2.1 온도 및 응력 계측 위치

수화열 해석은 실제 시공상황을 정확히 묘사하기 매우 어렵고, 특히 한중 매스콘크리트 온도관리 및 양생관리를 위하여 온도 계측이 필요하다. 그러므로 본 구조물에 예상되는 외부구속 응력을 정확히 평가하기 위하여 응력계측을 통하여 응력발생상황을 모니터링 할 필요가 있으므로, <그림 8>과 같이 온도센서(Thermocouple)와 응력센서(콘크리트 유효응력계)를 매설하여 타설 후 시간에 따른 온도와 온도응력을 계측하였다. 또한 온도 및 응력 해석시의 노출조건 고려를 위하여 실제 외기온도와 보온 천막내의 온도를 동시에 측정하였다.

<사진 1>은 온도 센서를 설치한 후의 모습이며, <사진 2>는 유효응력계 설치한 후 타설 장면이다.

3.2.2 온도 및 응력 계측 결과

계측 위치에서 타설 후 약 40일까지의 온도 및 응력을 측정하였으며, 계측 결과를 분석하면 다음과 같다.

측정 자료에서 불연속적인 자료가 보이는 것은 7일째 현장 작업자의 부주의로 인하여 측정 센서를 파손하였기 때문이며, 타설 후 11일에서 19일까지의 자료가 없는 것은 장비의 설정상의 문제 때문이지만 다행히 손실 데이터는 전체적인 거동과 현장의 문제점을 파악하는 데에는 큰 영향을 미치지 않았다.

<그림 9~그림 11>은 전체 온도계측



사진 1. 콘크리트 타설 전 온도센서 설치 장면 (T-Type Thermocouple)



사진 2 유효응력계 설치 후 타설 장면

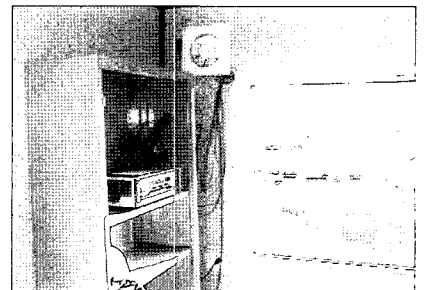


사진 3. 온도 및 응력 계측 장면

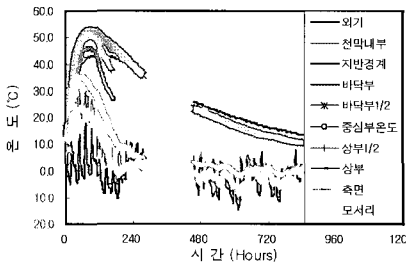


그림 9. 온도계측 결과

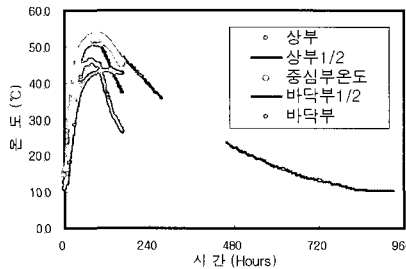


그림 10. 온도계측 결과(중양부)

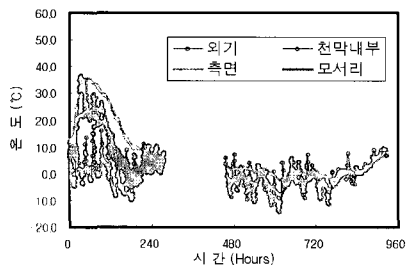


그림 11. 온도계측 결과(외측부)

위치에서 시간에 따른 온도변화를 타설 후 약 40일까지 나타낸 것으로, <그림 10>은 중앙부의 온도계측 결과이고, <그림 11>은 외측부의 온도계측 결과이다. 중심부 최고온도 도달시간은 약 타설 후 86 ~ 92 시간(약 4일)이 될 때이며, 최고온도 유지시간이 비교적 길게 나타나고 있는 것은 보온 천막 설치와 급열 양생의 영향에 의한 것으로 판단된다.

<그림 12>는 응력계측 결과를 나타낸 그림으로 중심부의 응력은 압축을 보이고 있으며, 표면부의 응력은 서서히 인장응력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것은 <그림 9>에서 상부와 천막 내부온도의 변화를 보면 알 수 있듯이 표면부는 처음에 온도 상승에 따른 압축응력 발생 후에 표면부의 온도가 하강함에 따라 내·외부의 온도차이에 따른 인장응력 발생에 의한 것이다. 그리고 중심부는 아직 최고온도까지 도달하여 그 온도가 떨어지지 않아서 압축 응력 상태를 보인다.

3.2.3 온도 및 응력 해석결과

현장에서 계측한 외기온도 및 천막 내부온도를 경계조건으로 사용하여 수화열 해석 및 응력 해석을 수행하였으며, 현장 계측결과와 비교하였다. 현장 조건을 고려한 해석 결과는 현장 계측값과 비교적 일치하는 경향을 보이고 있으며, 이를 기본으로 천막내부 온도를 5°C, 20°C로 바꾸어 가면서 양생온도에 따른 수화열 발현과 온도응력 양상을 고찰하였다.

온도해석 결과를 <그림 13>에 나타내었으며, 해석결과와 현장 계측결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

이상에서 수행한 온도 및 응력 해석을 바탕으로 천막 내부의 양생온도에 따른 온도 및 응력발현 양상을 고찰하였으며, 이로부터 천막내부의 최적 양생온도 범위를 해석을 통하여 재검토하였다. 그 결과 <그림 14 ~ 그림 15>에서 알 수 있듯이, 중심부의 온도발현 양상은 실제 계측한 천막 내부의 온도를 고려한 경우와 천막내부 온도를 5°C 또는 20°C로 일정하게 한 경우와 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 중심부의 온도가 외부의 경계조건에 의하여 쉽게 영향을 받지 않기 때문이다. 그러나 표면부의 응력은 경계조건으로 주어진 온도(실제 측정값, 5°C 또는 20°C)에 따라서 영향을 크게

받는 것을 관찰할 수 있으며, 경계조건(천막 내부온도)이 5°C인 경우가 경계조건이 20°C인 경우보다 큰 인장응력을 유발하는 것으로 나타났다. 이는 내외부의 온도차이에 따라서 온도응력이 더 크게 나타난다는 것을 의미하는 것으로 실제 계측 값과 해석 값을 비교하여 추정하면, 천막내부의 온도를 5°C에서 20°C에 가까운 온도로 장시간 양생을 할 경우 온도응력을 크게 감소시킬 수 있음을 의미한다.

3.3 품질향상을 위한 시공관리

파크뷰 아파트 매트 기초부는 <사진 4 ~ 사진 6>과 같이 콘크리트 타설 전 천막으로 외기와 차단 보양작업을 실시하고 타설 후 비닐 + 양생포 보양을 실시하였으며, 4일간(12월 8일 ~ 12일) 열풍기 4대(열풍기 용량: 100,000 kcal/hr)를 설치하여 급열 양생을 실시하였다. 온도계측 결과 타설 후 약 4일에 최고온도 53°C를 나타냈고, 이 때 표면부 온도는 45°C로 급열 양생으로 내·외부 온도차가 8°C 정도를 보였다.

그러나 타설 후 4일 경과시 급열양생 양생 중단 후, 3일 간 중심부 온도는 약 8°C 강하하는데 비하여 표면부는 약 20°C

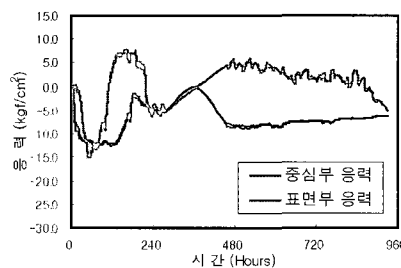


그림 12. 응력계측 결과

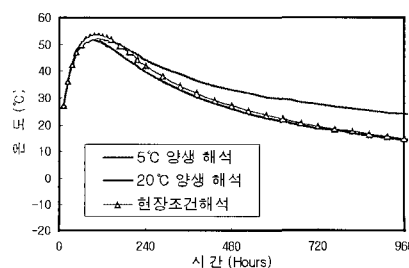


그림 14. 양생온도에 따른 최대온도 비교

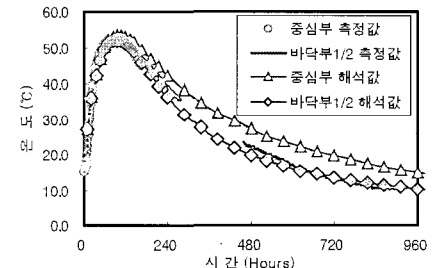


그림 13. 중심부 및 바닥부 1/2 온도 비교

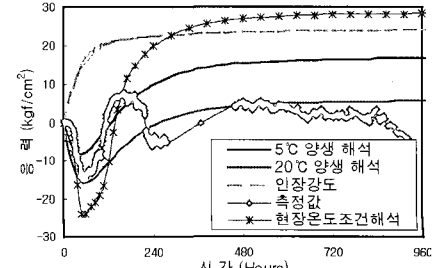


그림 15. 양생온도에 따른 해석응력과 계측 응력 비교

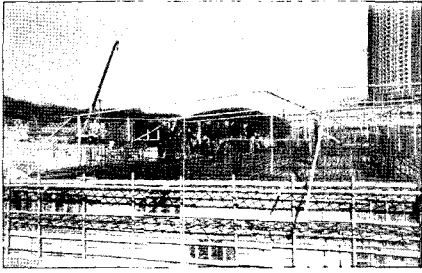


사진 4. 콘크리트 타설 전 천막으로 외기와 차단 보양 작업

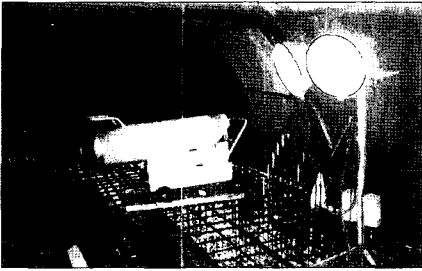


사진 5. 천막으로 외기와 차단 후 열풍기 가동 급열

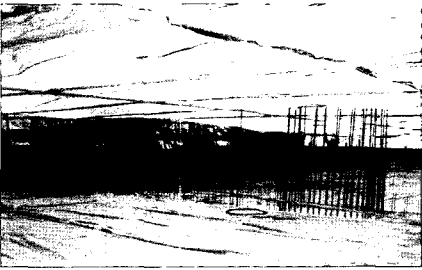


사진 6. 천막으로 외기와 차단 보양중인 내부 전경(매트 기초 타설 후)

온도강하를 보였으며, 측면과 모서리에서 측정된 최대 온도차가 가장 커 측면 및 모서리부의 온도강하에 대한 관리대책이 요구됨을 알 수 있다.

온도강하 경향은 유효응력계의 측정결과에서도 동일한 경향을 확인할 수 있다. 타설 후 온도상승시기는 콘크리트의 팽창이 지반의 구속에 의하여 압축응력 상태에

있지만, 급열 양생을 중단한 이후 3일간 급격한 표면부 온도하강에 의하여 표면부 응력이 압축응력 상태에서 인장응력으로 변화하는 결과를 나타냈다. 이 때 최대 인장응력은 약 7~8 kgf/cm²(동일한 양생 조건의 압축강도 171 kgf/cm²로부터 추정된 인장강도는 18 kgf/cm²)를 보였고, 다행히 타설 후 8일 이후의 대기 기온이 상승하여 인장응력은 더 이상 증가하지 않았으나 더욱 세심한 온도균열 관리가 필요할 것으로 판단되어, 인접 610동은 12월 21일 타설하여 10일간 급열 양생 한 후 천막을 제거하였다.

〈그림 16〉에서 알 수 있듯이 콘크리트 중앙 상부의 온도가 천막제거 시점에서 15.4°C이고 이때를 온도균열지수로 나타내면 0.96으로 아주 양호한 상태로 관리되었음을 의미한다. 이는 현장에서 균열의 발생을 관찰할 수 없었던 결과와도 잘 일치한다. 따라서 콘크리트 내·외부의 온도차를 적정한 수준이하가 될 때까지 급열 양생을 실시한 후 양생천막을 제거하여야 균열을 적극적으로 제어할 수 있으며, 목표 균열지수를 정하여 관리하여야 함을 알 수 있다.

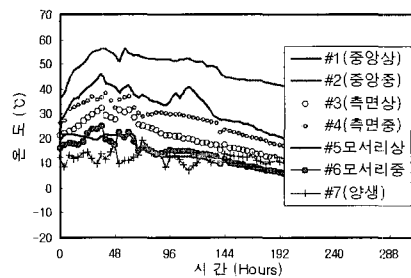


그림 16. 인접동 매트 기초부 온도 계측결과

4. 맺음말

유한요소해석을 통한 온도 및 응력 검토결과는 현장 계측결과와 비교적 잘 일치하였으며, 현장 온도관리를 위한 계측결과와 해석 값 그리고 표면부에 발생한 균열 상태를 검토한 결과 동절기에도 급열양생 기간을 확보하면 충분히 온도균열을 제어할 수 있음을 확인하였다.

또한 동해방지와 콘크리트 소요강도 확보 측면에서 뿐만 아니라 온도균열제어를 위하여 양생관리기간 동안 온도 계측관리는 필수적인 것으로 판단된다.

최근 국내·외의 건설시장을 살펴보면 대형건축물 및 초고층 아파트가 여러 곳에서 빈번히 건설되고 있다. 이와 같은 대형 매스콘크리트 건축물은 전용프로그램을 이용한 수화열 사전 해석, Mock up Test, Real Time 계측 등으로 관리되어 품질을 확보해야 한다.

이러한 공사현장의 성공적인 시공은 매스콘크리트의 특성 및 콘크리트 재료에 대한 실용적이며 체계적인 연구와 더불어, 효율적인 공사방법 및 공사관리에 대한 현장자체의 노력에 힘입은 바가 크다고 생각된다. 따라서 앞으로 더욱 치열해질 국내·외 건설시장에서 국내건설업체의 시공 품질 향상과 기술력 확보를 위해서는 현장 자체의 기술개발 노력과 실용적인 연구가 지속적으로 병행되어야 할 것으로 판단된다. □