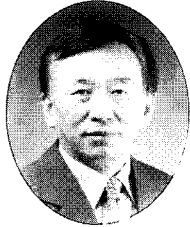


# 초고층 건물 매트 기초의 수화열 제어 시공 사례

- An Application of Thermal Crack Control in Mat Foundation of the High Rise Building -



서영화\*  
Seo, Young Hwa



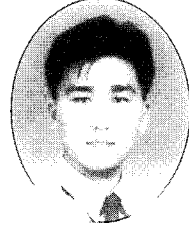
조규일\*\*  
Cho, Kyu Il



조성한\*\*\*  
Cho, Seong Han



김태준\*\*\*\*  
Kim, Tae Jun



손명수\*\*\*\*\*  
Shon, Myung Soo

## 1. 서 론

LG건설에서 시공하고 있는 서울특별시 용산구 한강로에 위치한 LG 용산에클라트 현장은 아파트 3개동(32/34층), 오피스텔 2개동(36층) 규모이며, 공사기간은 2002년 10월에 시작되어 2005년 12월에 완료되는 주거시설과 업무시설이 복합된 건축물이다. 용산구는 2006년까지 이 일대를 33 ~ 35층 규모의 사무용 빌딩과 판매시설, 스포츠센터 등이 어우러진 국제업무단지로 조성한다는 계획을 추진 중이어서, 향후 이 지역을 대표하는 랜드마크격의 주상복합단지가 될 것으로 기대된다. <그림 1>이 용산 에클라트의 조감도이고, <표 1>은 공사 개요를 나타낸 것이며, <표 2>는 구조설계기준을 나타낸 것이다.

건물의 기초는 콘크리트 강도 24 MPa (독립기초용)와 30 MPa(매트기초용)로 구성되어 있는데, 30 MPa 규격 콘크리트는 매트 기초에 타설되는 콘크리트임을 감안하여 수화열을 저감시킬 수 있도록 플라이 애쉬를 치환하여 사용하였고, 유동성 확보

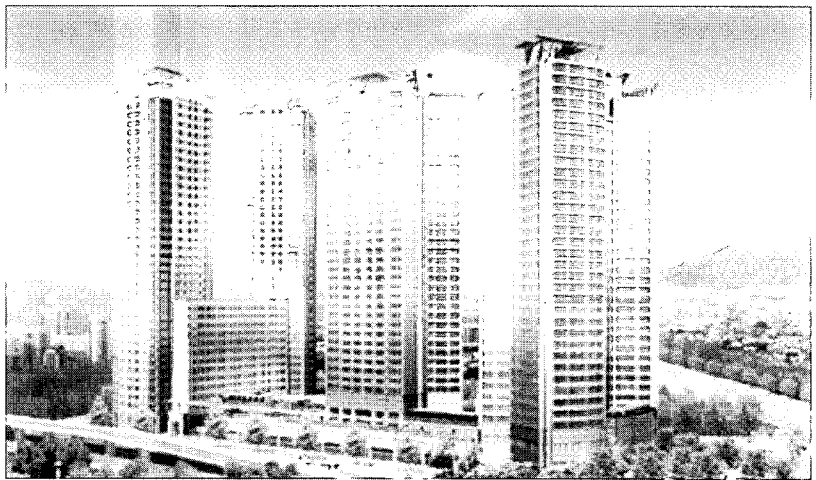


그림 1. LG 용산 에클라트 조감도

및 건조수축에 의한 균열을 최소화하기 위하여 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하였다. 폴리카본산계 혼화제는 나프탈렌계 혼화제보다 슬럼프 유지능력이 우수한 것으로 알려져 있는데, 최근 LG화학 등의 원료생산업체의 참여로 경제성까지 갖추어 그 사용량이 증가할 것으로 예상된다. 본 글에서는 매트 기초의 시공계획 부분과 타설 결과를 중심으로 다루고자 한다.

표 1. 건물 개요

공사명	LG 용산에클라트 신축공사	
위치	서울특별시 용산구 한강로1가 50-1번지 외	
용도	복합용도(업무시설, 공동주택, 근생)	
발주처	(주)모간아담스코리아	
설계/감리	건축사사무소우도/(주)전인건축사무소	
구조설계	창&민우구조사무소	
공사기간	2002. 10. ~ 2005. 12. (39개월)	
대지면적	1만 3,506 m <sup>2</sup> (4,092평)	
건축면적	7,307 m <sup>2</sup> (2,214평)	
연면적	14만 8,907 m <sup>2</sup> (45,123평)	
용적률	789.56 %	건폐율 54.10 %
구조	· 오피스텔 : 라멘조 · 상가 : 라멘조지하	· 아파트 : 벽식구조 · 주차장 : 라멘조
공사규모	· 아파트 3개동(32/34층) : 310세대 · 오피스텔 2개동(36층) : 995세대	
주차대수	· 아파트 : 581대 · 업무시설 : 678대 · 근린생활시설 : 35대	

\* 정회원, LG건설 기술본부장 부사장

\*\* LG건설 건축기술담당 상무

\*\*\* LG건설 연구개발팀장

\*\*\*\* LG건설 연구개발팀 대리

\*\*\*\*\* 정회원, LG건설 연구개발팀 대리

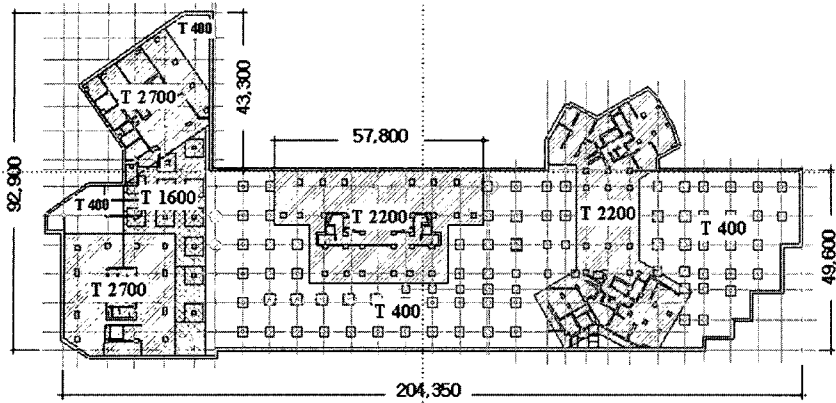


그림 2 매트 기초의 위치 및 형태

표 2 구조설계기준

설계 기준	· 콘크리트 구조설계 기준/· 건축물 하중 규준 및 해설
철근 강도	· SD40( $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$ ) - KSD 3504 · SD50( $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$ ) - KSD 3504 : HD25 이상 철근
철골 강도	· SS400( $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$ ) - KSD 3503 · SM490A( $f_y = 330 \text{ N/mm}^2$ ) - KSD 3515
콘크리트 강도	· 기둥, 벽체 : 24, 27, 30, 40, 50 $\text{N/mm}^2$ · 보, 슬래브 : 24, 30, 36 $\text{N/mm}^2$ · 기초 : 24, 30 $\text{N/mm}^2$

표 3. 저발열 콘크리트 요구성능 및 배합설계 방향

항목	저발열 콘크리트 요구성능	배합설계 방향
설계기준 강도	30 MPa	· 수화열 억제 · 단위시멘트량 최소화, 플라이 애쉬 20 ~ 30 % 대체
콘크리트 종류	저발열 콘크리트	· 유동성 확보 및 건조수축균열 최소화 · W/B 최소화, 고성능 감수제 사용
슬럼프 플로우	55 ± 10 cm	→ 변수 : 플라이 애쉬 치환율, 고성능 감수제 종류

## 2. 매트 기초 시공계획

〈그림 2〉에 나타낸 것과 같이 T1600, T2200 및 T2700의 3개 존(zone)은 오피스동 및 아파트동 매트기초로서 콘크리트 설계강도는 30 MPa이며 타설높이는 2.2 ~ 2.7 m에 이른다. T400으로 표기된 부분은 독립기초 및 슬래브로서 콘크리트 설계강도가 24 MPa이다. 타설된 콘크리트의 양이 약 1만 6,000  $\text{m}^3$ 에 달하는 대형 매스 구조물로서 콘크리트 공급은 고려산업개발과 고려하이믹스 2개 회사가 참여하였다.

### 2.1 매트 기초 콘크리트 배합설계

매트 기초 콘크리트의 배합은 온도균열을 저감하기 위해서 기본적으로 저발열 콘크리트로 설계하였으며 워커빌리티가 확보되는 범위 내에서 단위시멘트량과 단위수량을 최소화하는 배합을 적용하였다. 이와 같은 요구성능을 만족시키기 위하여 〈표 3〉에 나타낸 것과 같이 플라이 애쉬를 20 %, 30 %의 2수준으로 하고, 고성능 감수제는 나프탈렌계와 폴리카본산계로 구분하여 비교실험을 실시하여 사용혼화제 및 최적배합비를 결정하였다. 또한 인장변형률에 대한 저항능력을 갖도록 잔골재율은

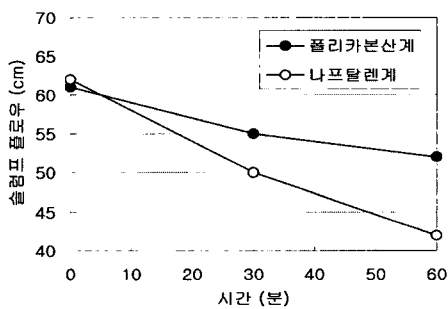


그림 3. 슬럼프 플로우 경시변화(FA 30%)

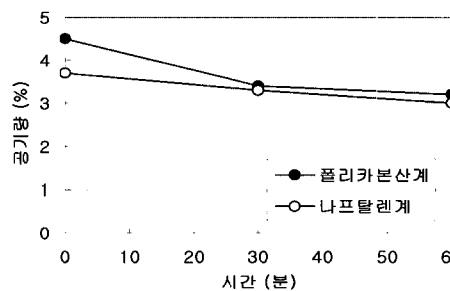


그림 5. 공기량 경시변화(FA 30%)

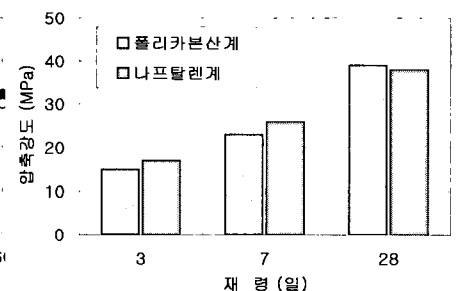


그림 7. 압축강도 시험결과(FA 30%)

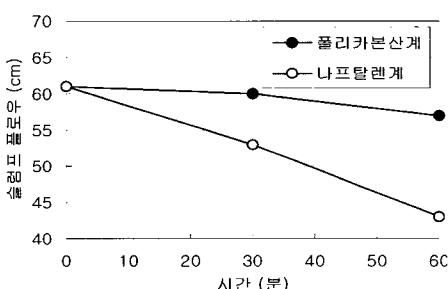


그림 4. 슬럼프 플로우 경시변화(FA 20%)

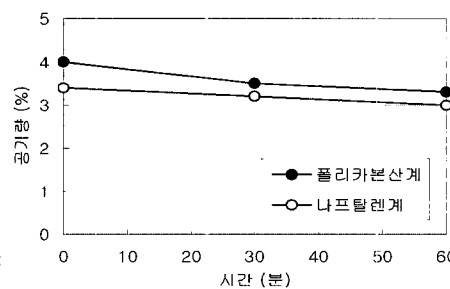


그림 6. 공기량 경시변화(FA 20%)

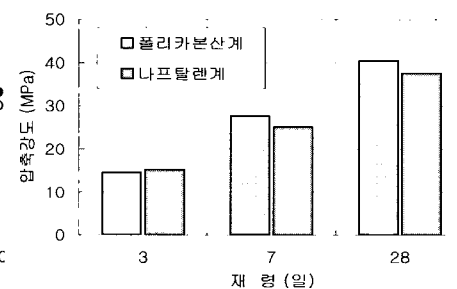


그림 8. 압축강도 시험결과(FA 20%)

표 4. 저발열 콘크리트 시방배합표 구분

구분	W/B	S/a	FA	W	C	F	S	G	AD	혼화제 종류
FA30%	40.6	44.0	30%	160	275	119	760	974	5.12	폴리카본산계
FA20%	40.6	44.0	20%	160	315	79	767	984	5.12	폴리카본산계

표 5. 온도균열 저감공법의 현장 적용성

저감 방안	내용	현장 조건	적용성
프리쿨링 (pre-cooling)	-콘크리트의 타설온도를 저하시켜 구조물에서의 온도균열발생 및 내재하게 될 온도응력을 저감시키는 방법	-본 현장에 납품하는 2개 레미콘사는 프리쿨링 시설을 갖추고 있지 않음	X
파이프쿨링 (pipe-cooling)	-콘크리트 타설 전에 파이프를 배관하고 타설 직후부터 파이프에 냉각수를 순환시켜 콘크리트의 내부온도를 저감시키는 방법	-국내사용빈도가 많고 경제적인 방법이나 냉각수 온도 및 통수기간 등에 있어 주의를 요함	◎
보온 거푸집 사용	-내부와 표면의 온도차에 의한 급격한 변화가 생기지 않도록 단열재로 표면을 피복하는 방법	-현장조건에 따라 부분적으로 사용이 가능함	○
수평 분할 타설	수화열 저감을 위하여 적합한 공법이나 시공이음면에 레이턴스가 발생할 수 있다.	-레이턴스 문제로 본 현장과 같이 넓은 면적의 매트콘크리트에는 부적합	X
수직 분할 타설	-온도균열이 발생하지 않을 만큼 부재를 수직분할 하여 콘크리트를 타설하는 방법	-시공이음면을 라스 거푸집을 이용할 경우 특별한 이음면 처리가 필요하지 않아 매우 적용성이 높음	◎
플라이 애쉬 사용	-시멘트량의 20%로 치환함으로써 단위시멘트량의 감소 및 수화반응속도를 지연시켜 온도균열을 저감하는 방법	-수화열 저감효과 매우 커서 온도균열 방지효과가 크지만 강도발현이 느리므로 거푸집 제거시 주의를 요함	◎

표 6. 온도균열지수 해석 결과 요약

		온도균열지수	유해균열 발생여부	
Zone 1 (A, B 동)	분할타설시	section 1	0.71	
		section 2	0.77	
		section 3	0.73	
Zone 2 (C 동)	일괄타설시	0.54	유해균열 발생가능성 높음	
	파이프쿨링시		0.71	
		분할타설시	section 1	0.88
	section 2	0.76		
Zone 3 (D, E 동)	일괄타설시	0.53	유해균열 발생가능성 높음	
	파이프쿨링시		0.72	
		분할타설시	section 1	0.83
			section 2	0.75
	section 3		0.79	

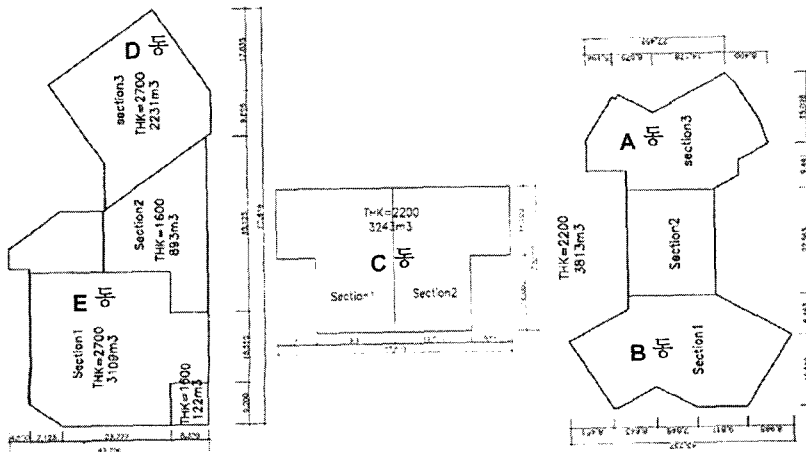


그림 9. 수직 분할 타설 평면도

최소화하는 방향으로 하였다.

플라이 애쉬 치환율과 고성능 감수제의 종류에 따른 콘크리트의 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 로스, 공기량, 압축강도 시험을 실시하였고 그 결과를 <그림 3~8>에 나타내었다. 시험결과 슬럼프 유지 성능 및 압축강도 발현에서 폴리카본산계 고성능 감수제가 나프탈렌계 보다 우수한 성능을 나타내었다. 따라서 본 현장에서는 플라이 애쉬 치환율은 20~30%로 하고 고성능 감수제는 폴리카본산계를 사용하기로 결정하였다. <표 4>에 매트 기초용 저발열 콘크리트의 배합을 나타내었다.

### 2.2 매트 콘크리트 수화열 해석

용산에클라트현장의 매트기초는 타설높이가 2.2~2.7m에 이르는 대형구조물로 콘크리트 타설 시에 수화열에 의한 온도균열의 발생이 예상되어 적절한 온도균열 저감대책이 필요하였다. 현장에 적합한 최적의 온도균열 저감공법을 선정하기 위하여 <표 5>에 나타난 6가지 방안에 대하여 현장시공성 및 경제성을 기준으로 적용성을 판단한 결과, 콘크리트 배합은 플라이 애쉬를 사용한 저발열 콘크리트로 설계되어 있어 배합조건 이외에 파이프쿨링 및 수직 분할 타설공법을 고려하였다.

매트 기초의 수화열 해석은 한국과학기술원(KAIST)과 LG건설이 공동 개발한 수화열해석 전용프로그램을 이용하여 본사 기술본부에서 전술한 2가지 경우에 대하여 실시하였고, 현장특성에 맞추어 평가한 결과를 바탕으로 시공성 및 경제성을 고려하여 수직분할 타설공법으로 결정하였다. <표 6>에는 수화열 해석을 통해 도출한 온도균열지수 해석 결과를 요약하였고, <그림 9>에는 해석결과를 바탕으로 결정한 수직 분할 타설 평면도를 나타내었다.

### 2.3 균열 제어 대책

매트 기초의 수화열에 의한 온도하중 및 건조수축 등에 의한 균열발생을 제어하

는 설계상의 방법으로는 온도철근을 보강하는 방법이 있다.

내부구속이 탁월한 매트 기초 콘크리트와 같은 매스 구조물에서는 온도균열 발생이 예상되고 균열폭의 제어가 필요한 경우 부재의 표면 측면을 시작으로 균열이 발생하기 쉬우므로 표면부에 소요량의 철근을 배치하는 것이 균열제어에 효과적인 방법이다. 따라서, 본 현장에서는 저면에서의 구속도의 영향, 콘크리트 온도강하량, 균열간격, 균열제어폭 등을 고려하여 각 존의 각 섹션(section)이 만나는 면과 취약부분을 중심으로 온도철근을 보강하였다.

### 2.4 수화열 계측 계획

매트 기초의 효율적인 양생관리를 위해 <사진 1, 2>와 같이 각 존에 온도센서를 설치하여 각 지점의 온도를 관리하였다. 온도계측에 사용된 계측기는 TDS-303이며, 온도센서는 각 존마다 콘크리트 중심부 및 표면부와 대기온도부에 설치하였다.

### 2.5 양생 및 균열제어 계획

매트 기초의 양생은 <표 7>에 나타난 것과 같이 폴리에틸렌 필름(비닐)과 양생포로 보존하는 것으로 계획하였다. 일반적으로 수행하는 습윤양생 대신에 단열효과를 극대화하고 콘크리트에서 발생하는 습기를 차단하여 습윤양생을 실시하도록 하였다. 또한, 양생기간동안 발생할 수 있는 우천에 대비하여 천막을 덮어 급격한 온도변화를 줄이고자 하였고, 절대 물을 뿌리는 행위를 금지하도록 하였다. 보온 양생은 콘크리트 중심부 온도와 평균 외기온도의 차이가 20°C 이하로 떨어지는 시점에 종료하는 것으로 하였다.

### 3. 매트 기초 시공 결과

매트 기초 타설은 2003년 3월 18일 E동 타워기초에 첫 타설을 시작으로 하여 2003년 7월 7일 C동 매트기초까지 약 1만 6,000 m<sup>3</sup>의 콘크리트를 약 4개월에

표 7. 예상 양생기간 및 양생방법

	양생기간													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
콘크리트 타설	■													
1겹(비닐덮기) 습윤양생		■												
2겹(비닐 + 양생포)			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1겹(비닐덮기)								■	■	■	■	■	■	■

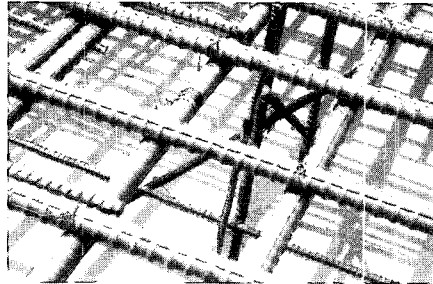


사진 1. 온도계측 센서



사진 2. 수화열 계측

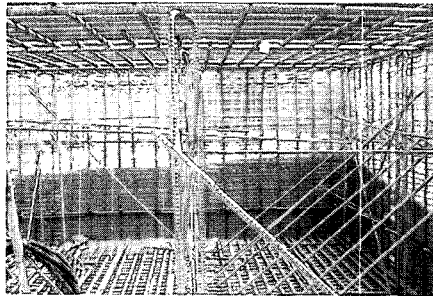


사진 3. 매트 기초 배근 및 라스폼

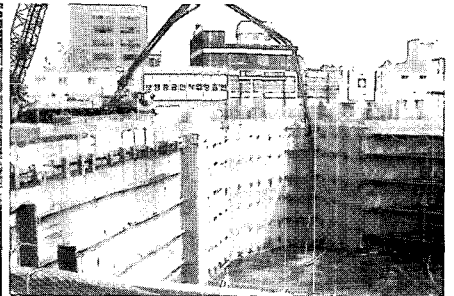


사진 4. 콘크리트 펌프카 타설 광경

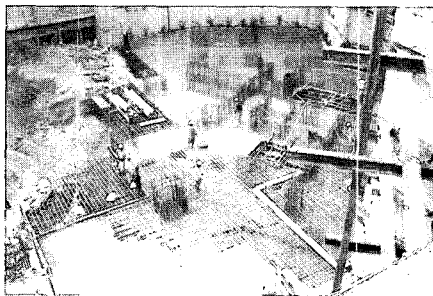


사진 5. 매트 기초 타설 중의 광경

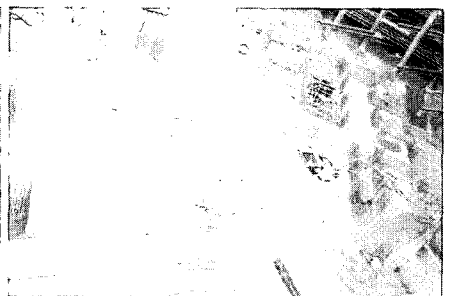


사진 6. 양생포로 양생 중인 광경

걸쳐 분할 타설하여 완료하였다. <사진 3~6>에 콘크리트 타설 및 양생 광경을 나타내었다.

### 3.1 현장 시험 결과

매트 기초 콘크리트의 슬럼프 플로우 현장기준은 55 ± 10 cm로서, 2개 레미콘사에 대하여 공장 및 현장에서 측정한 슬럼프 플로우 결과는 운반 및 타설시간 2시간(하절기 90분) 이내 소요시간에서 모두 품질기준을 만족하였다.

콘크리트의 압축강도는 재령 28일에 설계 기준 강도인 30 MPa를 충분히 만족시켜 강도 면에서 매우 안정적임을 알 수 있었다. <표 8>에 현장에서 측정한 타설 위치별 슬럼프 플로우 및 압축강도 측정결과를 요약하여 나타내었다.

### 3.2 온도 계측 결과

매트 기초의 각 존에 온도센서를 설치하여 온도를 계측하였다. 온도센서는 각 존마다 콘크리트 중심부, 표면부 및 거푸

표 8. 압축강도 측정결과

타설위치	규격	타설일자	타설량 (m <sup>3</sup> )	타설온도 (°C)	슬럼프 플로우(cm)	7일 (MPa)	28일 (MPa)
A동 MAT	25-30-55	2003. 5. 27	1,402	24.9	54 ~ 60	26.9	33.5
B동 MAT	25-30-55	2003. 6. 27	2,634	24.2	57 ~ 60	29.6	36.9
C동 MAT	25-30-55	2003. 7. 7	3,306	26.0	53 ~ 63	31.7	38.0
D동 MAT	25-30-55	2003. 6. 2	2,410	28.5	54 ~ 61	25.4	33.0
E동 MAT	25-30-55	2003. 5. 22	1,702	24.4	53 ~ 62	24.1	32.9

집 외부에 설치하였다. 본고에서는 다량의 콘크리트가 타설되는 B동 매트(2,600 m<sup>3</sup>), D동 매트(2,410 m<sup>3</sup>)와 비교적 소량이 타설되는 D동 타워(168 m<sup>3</sup>) 및 E동 타워(407 m<sup>3</sup>)의 측정결과를 제시하였다.

B동 및 D동의 매트의 경우에는 각 기초를 2개 부분으로 나누고 2개의 레미콘 회사를 선정하여 콘크리트를 타설함으로써 콘크리트의 물성시험 및 타설에 따른 품질 변동의 관리에 어려움이 많았지만, 사전 업무협의 및 적절한 시간배분을 통하여 원활하게 매트 콘크리트 타설을 할 수 있었다. 각 기초부에는 외기온도와 더불어 중심부 2지점과 표면부 2지점에서 2시간마다 수화열 계측을 실시하였고, 그 결과를 <그림 9~12>에 나타내었다.

B동과 D동의 매트 기초부분에 대한 측정 결과를 보면 중심부와 표면부의 최대

온도차가 각각 19.0°C 및 21°C를 나타내었는데 이는 두 매트기초의 타설량이 거의 동일하기 때문인 것으로 판단된다. 최대온도의 경우에는 36시간에 중심부에서 각각 68.5°C 및 78.6°C를 나타내었는데 이는 타설 시의 외기온도 차이 때문인 것으로 판단된다.

D동과 E동의 타워 기초부분에 대한 측정 결과에서는 두 기초의 크기가 유사하여 중심부와 표면부의 최대 온도차가 각각 23°C로 동일한 결과를 나타내었다. 최대 온도의 경우에도 두 기초 모두 60시간에서 각각 73°C 및 65°C를 나타내었는데 두 결과가 다르게 나타난 것은 타설 시의 외기온도의 영향이다.

참고로, D동 타워기초의 온도가 3일 이후 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 수화열 측정부위 주변의 작업으로 인

한 양생포의 조기 제거가 그 원인으로 추정된다. 그러나 양생포 제거부위를 최소화하여 작업을 진행한 결과, 내외부 온도차를 25°C 이내로 관리할 수 있었고 구조적으로 유해한 균열도 발생하지 않았다.

양생 종료 후 균열조사를 실시한 결과 수화열에 의한 온도균열로 추정되는 균열을 발생하지 않은 것으로 보아 대량의 매스 콘크리트 타설이라는 점을 고려한다면, 매우 양호한 품질관리가 이루어졌다고 판단된다.

#### 4. 맺음말

LG 용산에클라트 현장의 매트 기초 시공 시 내부의 수화열에 의한 균열을 사전에 예측하고 이에 대한 적절한 콘크리트 관리를 통하여 균열의 발생을 최소화시킴으로써 콘크리트 구조물의 품질을 향상시키고, 유동성 및 작업성이 우수한 고품질의 콘크리트를 제조하여 시공성의 향상을 통한 원가 절감이 이루어질 수 있도록 하였다. 매트 기초용 콘크리트는 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하여 운반 및 타설시간 2시간(하절기 90분) 이내 소요시간에서 슬럼프 플로우 관리 규격인 55 ± 10 cm를 모두 만족시켰을 뿐만 아니라, 다량의 콘크리트를 철근 배근간격이 조밀한 상태에서 다량의 콘크리트 타설이 이루어지는 불리한 조건임에도 불구하고, 다짐이 어려운 모퉁이 부분까지도 콘크리트의 충진이 양호하게 이루어질 수 있도록 하였다. 콘크리트의 수화열에 의한 온도균열을 제어하기 위하여 수화열 전용해석 프로그램을 이용한 사전 온도해석과 내외부 온도차를 줄이기 위한 적절한 시공 및 양생방법을 실시한 현장 및 지원부서의 노력에 의하여 전반적으로 콘크리트의 중심부와 표면부의 온도차를 25°C 이내로 제어할 수 있었고, 결과적으로 구조물에 유해한 균열은 발생하지 않았다.

끝으로 본고가 매스 콘크리트를 공사하고자 하는 설계자 및 시공자들에게 수화열에 의한 온도 균열 제어 대책의 한 사례가 되어 좋은 품질을 달성하는데 참고가 되었으면 한다. □

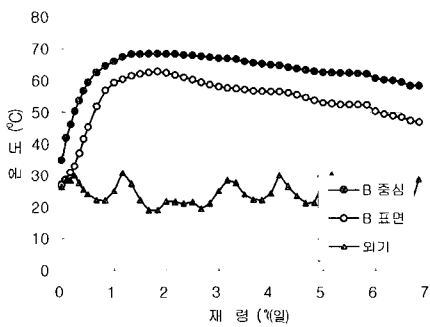


그림 9. B동 매트 수화열 측정결과

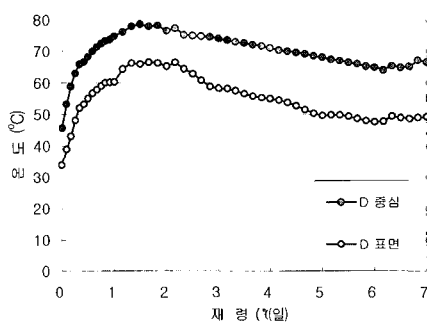


그림 10. D동 매트 수화열 측정결과

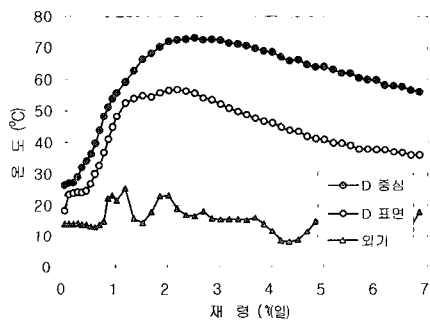


그림 11. D동 타워 수화열 측정결과

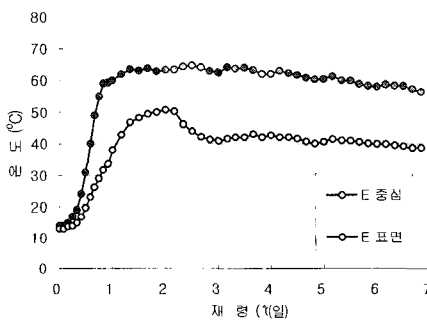


그림 12. E동 타워 수화열 측정결과