

# 고강도-고성능 콘크리트의 모의 부재 및 실대 구조물 시공 실험

## An Constructive Experiment through Mock-up and Monolith of High-Strength High-Performance Concrete

김태영\*                      이영호\*\*                      정현수\*\*\*  
Kim, Tae Young      Lee, Young Ho      Chung, Heon Soo

---

### Abstract

In this experiment high-strength concrete of good workability is made by means of either replacing unit cement quantity to fly-ash by 20% or using low heat cement to reduce the internal hydration heat suggested as the fault of concrete. Concrete is poured through ready mixed concrete to test the ability of applying to the substantial works and is carried out the test of flowing and core strength and record of temperature of imitating specimens. It is capable to apply high-strength concrete replaced to fly-ash by 20% to the substantial works through the experiment.

---

### 1. 서 론

고강도-고성능 콘크리트는 건설 공사에서 콘크리트 강도 증진 및 작업성 향상을 위하여 개발하였다. 콘크리트의 고강도화에 따른 단위 시멘트량의 증가는 수화열 발생량의 증가로 부재내 온도 상승을 초래 하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 시멘트를 플라이 애쉬로 대체하거나 저발열 시멘트를 사용한다. 본 연구에서는 실내 실험을 통하여 얻은 배합으로 레미콘을 사용하여 실대 구조물 및 모의 부재에 콘크리트를 타설하고 유동성 측정 시험과 강도 시험을 실시 하였으며, 부재 내부의 수화열에 의한 온도 특성을 고찰하였다.

---

\* 정회원, 중앙대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 정회원, 중앙대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원, 중앙대학교 건축공학과 교수

## 2. 실험개요

### 2.1 실험계획 및 사용재료

본 연구는 고강도-고성능 콘크리트에 있어서 부재 내부에 발생하는 수화열을 감소시키기 위하여 보통 포틀랜드 시멘트를 플라이 애쉬로 20% 치환하거나 저발열 시멘트를 사용하여 작업성이 우수한 고강도 콘크리트를 레미콘으로 제조하여 공사체 강도, 부재의 온도 이력, 코아강도 시험을 통하여 고강도-고성능 콘크리트 실용화를 연구 목적으로 한다. 본 실험에 앞서 실시한 실내 배합 실험의 결과를 바탕으로 하여, 보통 포틀랜드 시멘트의 20%를 플라이 애쉬로 치환하여 목표강도 420kg/cm<sup>2</sup>와 500kg/cm<sup>2</sup>의 콘크리트와 저발열 시멘트를 사용하여 목표강도 500kg/cm<sup>2</sup>의 콘크리트로 실대 구조물 및 모의 부재 적용 실험을 하였다. 본 실험에 사용한 시멘트는 국내에서 시판되는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)와 저발열 시멘트(LHC)이고, 혼화제는 보령 화력 발전소산 플라이 애쉬이다. 골재는 레미콘 회사에서 일반적으로 사용되는 최대치수 25mm 쇄석과 세척한 해사를 사용하였고, 고성능 감수제는 국내 J회사 제품으로 나프탈린계 Phenix을 사용하였다. 사용재료의 물리적 성질은 표 1, 결합재의 화학적 성분은 표 2와 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

항목 시 료 명	용결시간		압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			분 말 도 ㎎/g	비 중 t/m <sup>3</sup>	흐 름 값 cm	미소수화열 (cal/g)		
	초결 (분)	종결	3일	7일	28일				1일	2일	3일
O P C	175	6:10	225	313	357	3243	3.15	-	-	-	-
L H C	335	7:35	107	177	378	3928	2.73	83	23	36	42

표 2 결합재의 화학적 성분

항목 시 료 명	Si O <sub>2</sub> (%)	MgO (%)	S O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ti O <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	장열 감량
OPC	21.2	3.4	2.1	2.9	0.3	5.39	62.6	0.04	0.9	0.15	0.12	0.76
LHC	34.7	4.2	2.4	2.4	0.8	12.9	38.5	0.18	0.7	0.22	0.17	1.70
Fly- Ash	69.5	0.5	0.1	4.3	1.7	21.1	1.35	0.25	0.8	0.08	0.22	4.12

### 2.2 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 유동성 확보를 위하여 잔골재율을 38~43%, 고성능 감수제는 1.7~2.0%로 하고, 물·결합재비는 목표강도를 얻기 위해 28%, 34%로 하였다. 저발열 시멘트의 경우 플라이 애쉬를 치

표 3 설계 배합표

단위 : (kg/m<sup>3</sup>)

배합명	W/Cm (%)	물	시멘트	모래	자갈	잔골재율	Fly-Ash	AD.	비고
500N-F20	28	154	440	698.0	945.6	42.0	110 (20%)	11.0 (2.0%)	OPC
420N-F20	34	154	360	750.3	975.6	43.0	90 (20%)	7.65 (1.7%)	OPC
500L-F0	28	154	550	665.2	901.2	38.0	0	11.0 (2.0%)	LHC

\*( )안의 숫자는 결합재(시멘트량+Fly Ash량)에 대한 비율

환하지 않았으며, 그의 배합에서는 플라이 애쉬를 단위 시멘트량의 20%로 치환 하였다. 본 실험에 적용한 콘크리트 배합은 표 3과 같다.

## 2.2 시험체 형상 및 온도 측정

모의 부재는 크기 1m의 정방형 매스 콘크리트로 양측면을 두께 40cm 스티로폼으로 열의 출입을 차단하였으며, 실대 구조물은 아파트 건물에 일반적으로 적용되는 높이 2.7m, 벽 두께 25cm, 기둥 90×90cm, 보 30×70cm의 실대형 실험체로 푸집은 콘크리트 타설시 충전 상황을 육안 관찰 할 수 있도록 전면을 투명 아크릴 판으로 제작하였다.

시험체의 각 위치에 열전대를 매입하고 Data Logger(TDS-302)를 사용하여 부재 내부 온도가 대기온도와 같아지는 7일 동안 매 30분 간격으로 연속하여 측정하였다. 실대 구조물 및 모의 부재 시험체 형상은 그림 1~2와 같다.

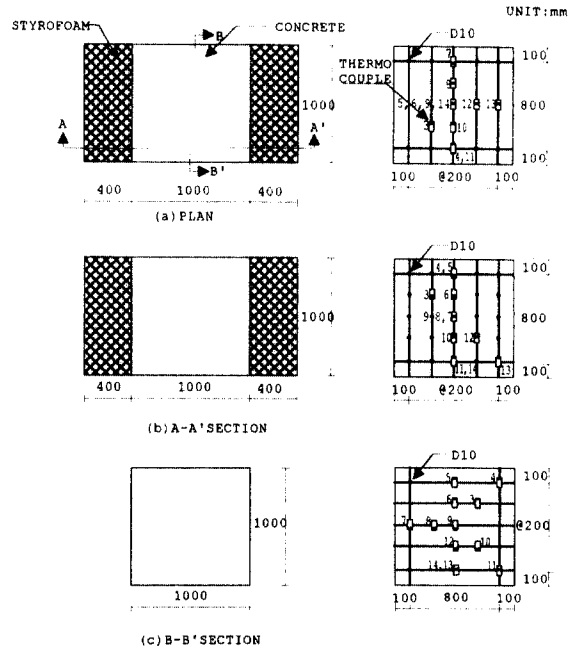


그림 1 100cm 모의 부재 형상 및 열전대 위치

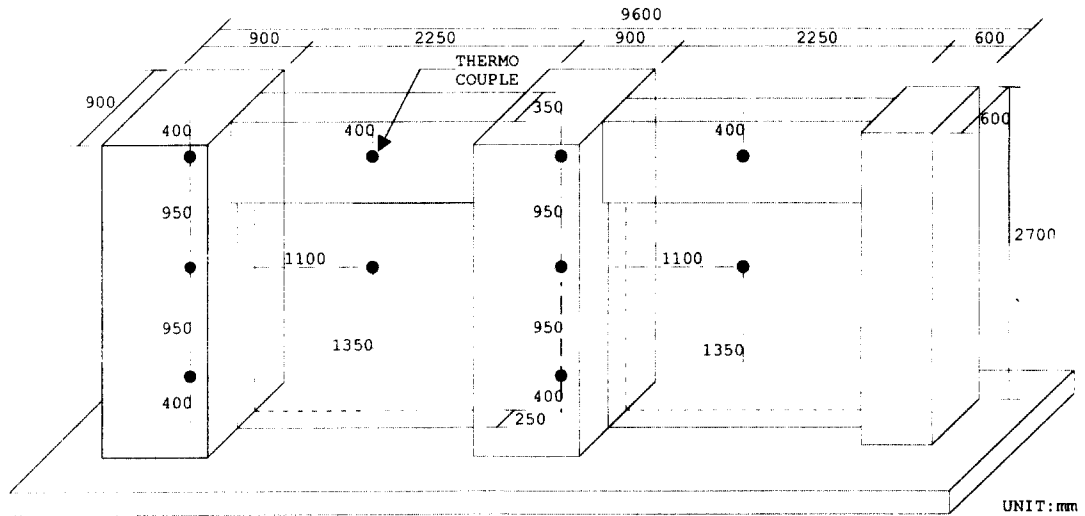


그림 2 실대 구조물 형상 및 열전대 위치

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 성상

굳지않은 콘크리트의 유동 성능을 확인하기 위하여 슬럼프 콘을 이용한 슬럼프 시험과 L-플로우 시험을 실시하였으며 그 결과는 표 4와 같다. 슬럼프 플로우 측정시 재료 분리 현상 유무를 육안 관찰하였으며 본 실험에서는 모든 배합에서 재료 분리 현상이 보이지 않았고, 우수한 워커빌리티를 확인할 수 있었다. 따라서, 실대 구조물 및 모의부재 타설시 펌프카를 이용하고 진동기는 전혀 사용하지 않았으나, 타설시 투명 아크릴 거푸집을 통해 작업성이 우수하게 채워짐을 육안으로 관찰하였고, 거푸집을 탈형한 후에 밀실하게 충전된 것을 확인하였다. 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 대부분 모든 배합에서 목표값을 만족하였으며, 일부 배합에서만 약간 적은 값을 보였으나 타설시 작업성 저하는 나타나지 않았다. 비빔후 슬럼프 로스 현상은 약 2시간 정도까지는 보이지 않았다.

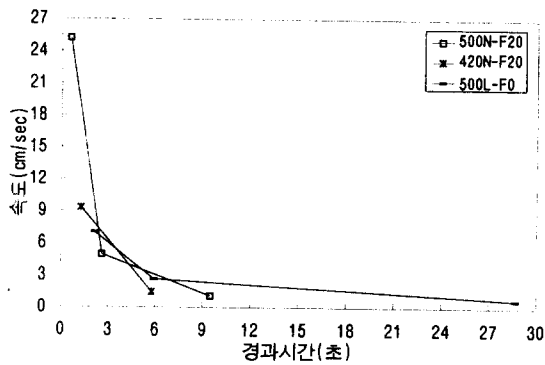


그림 2 L-플로우 시험에서 경과시간에 따른 속도

표 4 프레쉬 콘크리트의 시험 결과

배합명	슬럼프	슬럼프 플로우	L-플로우도달시간(초)			공기량 (%)	경과시간
			30cm	50cm	최종도달거리/시간		
500N-F20	26.0	40×45	-	-	-	-	비빔 직후
	26.5	55×57	1.19	5.24	65/19	0.7	2.0
420N-F20	23.5	32×31	-	-	-	-	비빔 직후
	24.3	46×46	0.43	2.58	63/11.58	1.0	2.0
500L-F0	27.0	62×65	-	-	-	-	비빔 직후
	27.2	74×72	4.27	11.86	82/57.41	4.1	2.5

#### 3.2 공시체 및 코아 강도 시험 결과

공시체는  $\phi 10 \times 20$ cm 크기로 각 재령에서 3개씩 제작하였고, 양생방법은 대기양생(7~18°C), 20±2°C 항온수조에서 수중양생을 하였다. 재령에 따른 공시체 압축강도 시험결과를 그림 3에 나타냈다. 각 배합에서 대기양생한 공시체가 수중양생한 것에 비해 낮은 결과를 보이며, 플라이 애쉬 치환한 공시체는 초기 강도 발현이 낮게 나타났다. 초기 재령인 7일에서는 대부분 300kg/cm<sup>2</sup> 이상의 강도를 나타냈으며, 재령 28일 강도는 목표강도보다 약간 낮은 값을 보였으나, 재령 56일에

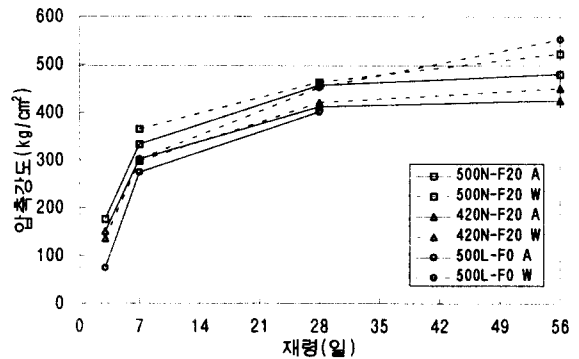
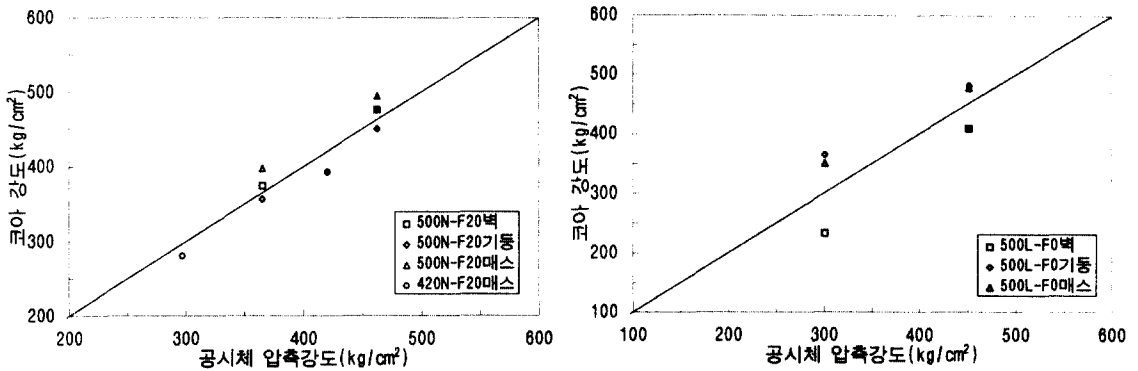


그림 3 재령에 따른 공시체 압축강도

는 모든 배합에서 목표 강도를 상회하였다. 보통 시멘트를 사용하고 플라이 애쉬를 치환한 배합의 경우 재령 3일에는 28일 강도의 32~39%로 낮은 값을 보이며, 재령 7일 이후에는 28일 압축강도의 70% 이상을 발현됨을 확인하였다. 플라이 애쉬를 치환하지 않고 저발열 시멘트만을 사용한 500L-F0는 재령 3일에 28일 강도의 19%로 매우 낮은 값을 보이며, 재령 7일에는 67~68%로 보통 시멘트와 유사한 비교적 양호한 값을 나타내었다.

콘크리트 타설후 시험체에서 재령 7일과 28일에 코아를 채취 하였다. 실대 구조물에서 코아 채취는 수평 방향으로 채취 하였으며, 모의 부재는 수직 방향으로 부재를 관통하여 모두 부재 중심에서 채취 하였다. 채취한 코아는 길이 20cm로 절단한후 양측면을 연마기로 가공한 뒤 압축강도 시험을 실시하였다. 재령 7일과 28일의 각 배치에서 제작한 공시체와 동일 배치로 타설한 부재에서 채취한 코아의 관계를 그림 4에 나타냈다. 그림 중에 백색 표시는 재령 7일의 각 배합에 따른 실험 결과이며 흑색 표시는 재령 28일의 실험값이다.

코아 강도 시험결과는 각 재령의 공시체강도와 유사한 값을 보이고 있다.



(a) 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우

(b) 저발열 시멘트를 사용한 경우

그림 4 공시체강도와 코아 강도관계

### 3.3 적산온도와 코아강도의 관계

적산온도와 코아 압축강도의 관계는 그림 5와 같다. 적산온도는 Ohzagi<sup>31)</sup>의 숙성도 이론에 의한 값으로 종축의 강도값은 재령 7일의 각 부재의 코아 강도를 나타낸 것이다. 그림과 같이 적산 온도가 증가함에 따라 배합 조건에 관계없이 일정하게 가하는 경향을 보여 주고 있다. 이로써 콘크리트 부재내의 수화열에 의한 온도를 이용하여 콘크리트의 압축강도를 추정할 수 있다고 생각된다.

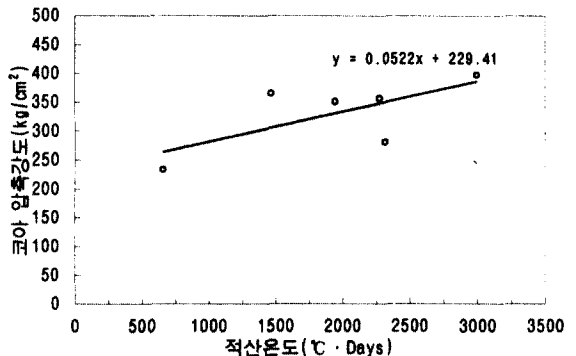


그림 5 적산온도와 코아 압축강도의 관계

### 3.4 부재 내부 온도 이력

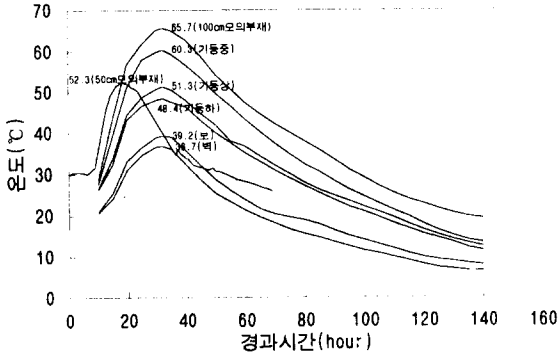


그림 6 (a) 500N-F20 모의부재 내부 온도이력

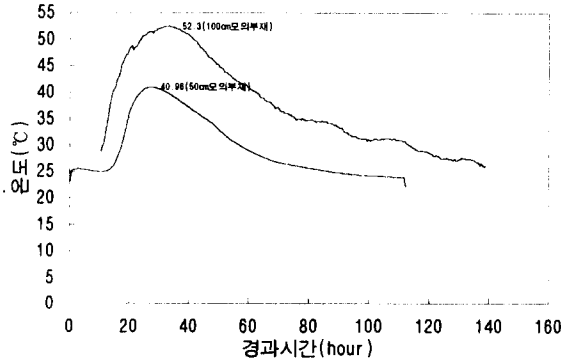


그림 6 (b) 420N-F20 모의부재 내부 온도이력

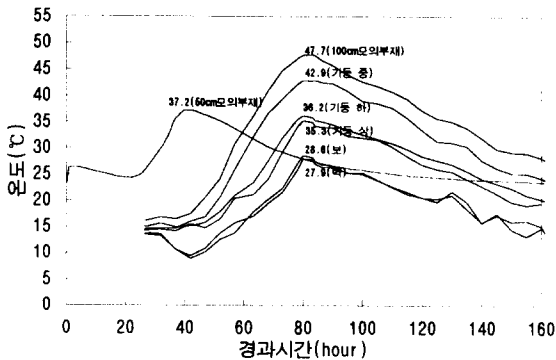


그림 6 (c) 500L-F0 모의부재 내부 온도이력

50cm 축소 모의 부재, 100cm 모의 부재 및 실대 구조물의 콘크리트 타설후 경과 시간에 따른 온도 이력을 종합하여 그림 6에 나타냈다. 그림중 50cm 및 100cm 모의 부재는 Point 9지점의 온도 이력을 표시한 것이고, 그외 온도 이력 곡선은 각각의 배합 실대 구조물의 90×90cm 기둥의 상,중,하부 단면 중심, 35×70cm 보 중심, 두께 25cm 벽 중심부의 온도 이력을 나타낸 것이다. 500N-F20 부재의 온도 이력에서 실내 배합 실험에서 제작하고 온도이력을 측정된 결과로 50cm 모의 부재는 최고 온도 52.3℃에 초기 휴지 기간을 제외하고 온도 상승 시작부터 약 10시간이 소요되었고, 본 실험에서 100cm 모의 부재는 약 20시간에 65.7℃이며, 실대 구조물 중 90cm 기둥의 중심부 최고온도는 60.3℃이었다. 420N-F20 부재에서는 50cm 모의 부재의 최고 온도는 약 12시간에 40.96℃이고, 100cm 모의 부재의 온도 이력은 약 22시간 경과하여 최고 온도 52.3℃에 도달하였다. 저발열 시멘트를 사용한 500L-F0 50cm 축소모의 부재 Point 9의 최고 온도는 타설후 약 15시간 경과한 뒤 37.2℃이며, 100cm 모의 부재는 약 40시간에 47.7℃이고, 실대 구조물 중 기둥중심부 최고 온도는 약 40시간 경과후 42.9℃에 도달하였다. 이로서, 부재 크기가 커짐에 따라 시멘트 종류에 관계없이 최고 온도의 증가 및 도달 시간이 지연됨을 알 수 있다.

### 3.5 모의 부재 내외부 온도차

모의 부재의 체적 중심인 Point 9와 표면에서 10cm위치한 Point 4에서의 온도차를 그림 7에 나타냈다. 각 배합의 온도차 곡선은 그림 7의 실내 실험 온도차 곡선의 일정한 외기 조건과 달리 주위 온도의 변화가 심하여 모의 부재 내외부 온도차는 상승과 하강을 반복하

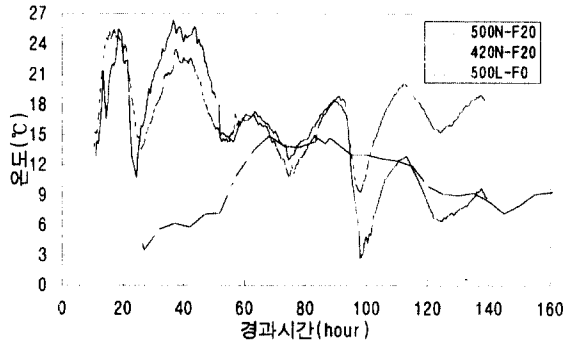


그림 7 100cm 모의 부재 중심과 표면부의 온도차 이력

#### 4. 결 론

실내 예비 배합실험 결과를 바탕으로 목표강도 420kg/cm<sup>2</sup>와 500kg/cm<sup>2</sup>로 설정하고, 플라이 애쉬 20% 치환한 보통 포틀랜드 시멘트와 저발열 시멘트만을 사용하여 레미콘 공장에서 콘크리트를 제조하여 실험대 구조물 및 모의 부재에 진동기 다짐 없이 타설하였다. 타설후 열전대를 이용하여 온도를 측정 하였으며, 각 재령에서 실험대 구조물의 코어를 채취하여 공시체 강도와 비교하였다. 본 실험대 구조물 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 물·결합제비 34%와 28%로 혼화제를 1.7%과 2.0% 첨가한 목표강도 420kg/cm<sup>2</sup>와 500kg/cm<sup>2</sup>의 콘크리트는 슬럼프 25cm 이상, 슬럼프 플로우 약 60cm정도의 우수한 워커빌리티를 2시간 정도 확보 할 수 있다.
- 2) 공시체 압축강도는 420N-F20에서 재령 28일, 500N-F20과 500L-F0에서는 재령 56일만에 목표강도를 만족하였으며, 초기 재령시 강도는 플라이 애쉬 혼입의 영향으로 낮지만 재령 7일 이후에는 28일 강도의 70% 이상을 발현하고, 재령 28일 이후에도 공시체 강도는 계속하여 증가하였다. 재령에 따른 코어 강도는 각 재령의 공시체 강도 보다 약간 높았으며, 코어의 적산온도가 높을수록 압축 강도는 증가한다.
- 3) 100cm 모의 부재 및 실험대 구조물에 콘크리트 타설후 진동다짐 없이도 밀실하게 충전됨을 확인하였고, 부재내 최고 온도는 500N-F20에서 벽과 보는 36.7, 39.2°C이고, 50cm 모의 부재는 52.3°C이며 이보다 단면이 큰 90cm 기둥 중심부와 100cm 모의 부재 중심의 최고 온도는 60.3, 65.7°C이었다  
500L-F0에서는 각 부재의 크기에 따라 27.9~47.7°C를 보였으며, 420N-F20 100cm 모의 부재 중심부 최고 온도는 52.3°C이었다.
- 4) 모의 부재 내부 온도는 외부 온도에 비해 최고 약 15~27°C 높았으나 표면 균열은 육안 관찰로 확인되지 않았다. 본 실험을 통하여 단위 시멘트량 증가에 따른 부재 내부의 온도 상승을 저감하기 위해 플라이 애쉬를 사용하고, 고성능 감수제를 사용하면 작업성이 우수한 고강도-고성능 콘크리트의 실용화가 가능하리라 사료된다.

는 경향을 보이고 있다. 부재 내외부 최대 온도차에 있어서 실내 실험의 50cm 축소 모의 부재의 경우 모든 부재에서 10°C이하였으나, 본 장의 100cm 모의 부재의 내외부 온도차는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우 약 27°C이고, 저발열 시멘트를 사용한 경우 내외부 최대 온도차는 약 15°C 정도 이었다. 부재가 커짐에 따라 내외부 온도차는 커지고, 외기의 온도 조건에 따라 표면부의 온도변화가 심하여 내외부 온도차는 외기온도의 영향을 크게받음을 알 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 (주)코오롱건설의 연구비 지원으로 수행된 연구로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 山崎康行 外, 高強度・高流動 콘크리트의 實大施工實驗 日本建築學會 學術講演梗概集, 1995.
2. 塚山陸一, マッシュ 鐵筋コンクリートの 溫度上昇ならびに溫度 ひび割れに 關する 基礎研究. 東大學位論文, 昭和 49年 3月.
3. 大崎幸雄 外, 溫度ひびわれ發生危險度の簡易評價システムについて. 第7回 콘크리트 工學年次論文報告集 技術報告 1995. pp.657-660.