

시멘트종류를 변화시킨 프리캐스트 고강도 콘크리트의 실험적 연구 - 수화열 온도특성을 중심으로 -

An Experimental Study of Precast concrete Alters Cement Types of High-Strength Concrete

박 홍 이* 김 성 진** 백 민 수*** 이 승 훈**** 박 병 근***** 정 상 진*****
Park, Heung-Lee Kim, Sung-Jin Paik, Min-Su Lee, Seung-Hoon Park, Byung-Keun Jung, Sang-Jin

Abstract

As architectures have recently become high-risers and mega-structured, stable high strength products have been ensured. Accordingly, use of precast concrete accouplement has been increased in order to facilitate air compression and rationalize construction.

Since not only external heating but also internal temperature rise caused by the accumulation of cement hydration heat in manufacturing process, precast concrete members with large cross-section used for high-rise mega-structure's columns and beams may exhibit different temperature history compared to the precast concrete members for wall and sub-floor with relatively small cross-sections.

Therefore, this study aims to elucidate the characteristics of temperature history of mass concrete members cast with high-strength concrete for precast concrete application.

In this study, large cross-sectional precast concrete mock-up, unit cement quantity, and temperature histories in manufacturing precast concrete member under different curing condition were inclusively investigated.

키 워 드 : 프리캐스트콘크리트, 수화열, 고온이력, 증기양생, 고강도 콘크리트

Keywords : Precast concrete, Heat of hydration, High temperature history, Steam curing, High-strength

1. 서 론

최근 건축 구조물의 고층화·대형화에 따라 안정된 고강도 콘크리트의 품질을 확보하며 공기단축 및 시공의 합리화를 도모하기 위해 프리캐스트 콘크리트 (Precast Concrete) 공법이 증가하고 있다. 지하층 구조 등 일부 구조에만 사용되고 있는 조립식 콘크리트 공법을 고층의 지상구조에 널리 활용하기 위해서는 기존의 현장타설 콘크리트와는 차별된 고강도 프리캐스트 콘크리트 경쟁력의 확보가 필요하다.

고층·대형 건축물에 사용되는 단면치수가 큰 프리캐스트 부재는 제작 과정 중에 외부에서의 가열에 의한 열의 유입과 시멘트 수화열의 축적에 의한 내부에서의 온도 상승이 동시에 작용하게 된다. 따라서, 단면치수가 상대적으로 작은 프리캐스트 부재와는 다른 온도이력특성을 나타내며, 이는 강도 발현에

큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 일반적으로 부재 제조시 사용되는 콘크리트 배합을 정하는 경우나 품질관리를 행하는 경우에는, 프리캐스트 콘크리트 부재와 동일한 양생조건으로 양생한 원주공시체의 강도시험결과를 대용하고 있다. 즉, 동일한 가열양생조 안에서 양생한 프리캐스트 콘크리트 부재와 원주형공시체는 동일한 온도이력특성 및 동일한 강도특성을 나타내고 있다. 그러나, 단면치수가 큰 프리캐스트 콘크리트부재의 경우 부재양생공시체와 상이한 온도이력특성을 나타낼 것으로 판단된다.

이에 본 실험은 단면치수가 큰 콘크리트 부재의 강도발현에 영향을 미치는 온도요인을 분석 후 이를 고강도 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete)의 연구 자료로서 활용하는데 목적이 있다.

* 단국대 대학원 석사과정, 정회원,

** 단국대 대학원 박사과정, 정회원,

*** 단국대 건축대학 겸임교수, 정회원,

**** 삼성물산(주)건설부문 기술연구센터 수석연구원, 정회원

***** 삼성물산(주)건설부문 기술연구센터 기술전략팀장, 정회원

***** 단국대 건축대학 건축공학과 교수, 정회원

2. 실험 계획

2.1 사용재료

2.1.1 결합재

시멘트는 국내 S사 보통포틀랜드시멘트, 조강시멘트, 저열시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질 및 광물조성은 표 1, 2 와 같다. 실리카폼은 노르웨이산(Undensified)으로 SiO₂ 함유량 94%를 사용하였다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

구 분	밀 도 (g/mm ³)	분말도 (cm ² /g)	응결시간(시간:분)	
			초 결	종 결
N	3.15	3,177	4 : 00	7 : 00
H	3.13	4,615	2 : 40	5 : 10
L	3.20	3,697	5 : 20	7 : 40

표 2. 시멘트의 광물조성

구 분	시멘트 종 류	화합물 성분(%)			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
N	1 종	49	23	10	9
H	3 종	59	16	12	8
L	4 종	31	48	3	11

2.1.2 골재

잔골재는 인천산 해사로 조립률 2.78을 사용하였으며, 굵은 골재는 19mm로 경기도 광주산 쇄석을 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질

구 분	생산지	최대치수 (mm)	밀 도 (g/mm ³)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	조립률
잔골재	인천산 해사	5.0	2.61	0.97	1,590	2.78
굵은골재	광주산 쇄석	19.0	2.71	0.95	1,523	6.45

2.1.3 혼화제

본 실험에서 사용된 혼화제는 고유동성 확보를 위하여 폴리 카본산계 초고강도 콘크리트용 고성능감수제를 사용하였다.

2.2 콘크리트 배합비

표 4. 배 합 표

구 분	양생 온도 (°C)	W/B (%)	S/a (%)	단위 재료량(kg/m ³)				SP (%)	
				W	Binder		S		G
					C	SF			
N	35	25	39	160	21	244	381	1.1	
	50								
	65								
H	50					190	380		
L	50					186	383		

본 실험에서는 설계기준강도 80MPa를 목표로 단위수량은 160kg/m³으로 고정 하였으며 W/B는 25%로 하였다.

2.3 모의부재 제작

실제 기둥을 축소모의부재로 가정하여 연속되는 프리캐스트 콘크리트 모의부재 시험체를 제작하였다.

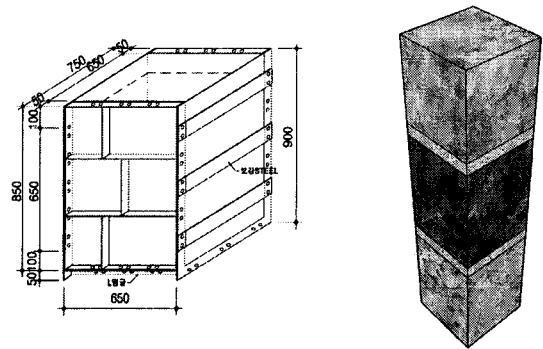


그림 1. 모의부재 제작

2.4 양생온도 및 온도측정위치

모의부재의 양생최고온도를 그림 2와 같이 각 3수준으로 설정 하였다.

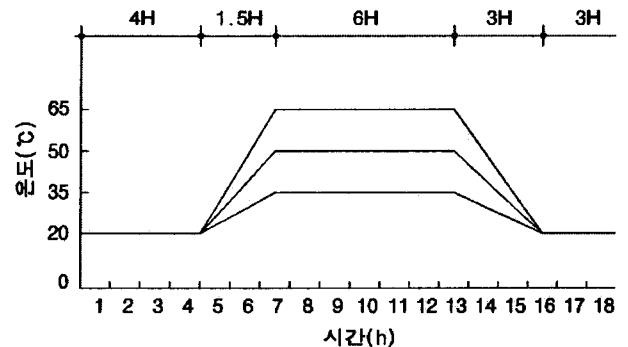


그림 2. 세부 증기양생 온도이력

기둥부재의 수화열 특성을 검토하기 위하여 모의부재의 중심과 표면에 온도 센서를 설치하여 부재 내부의 콘크리트 수화열을 3일간 측정 하였다.

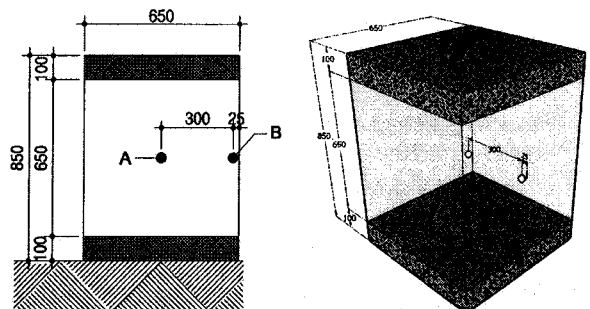
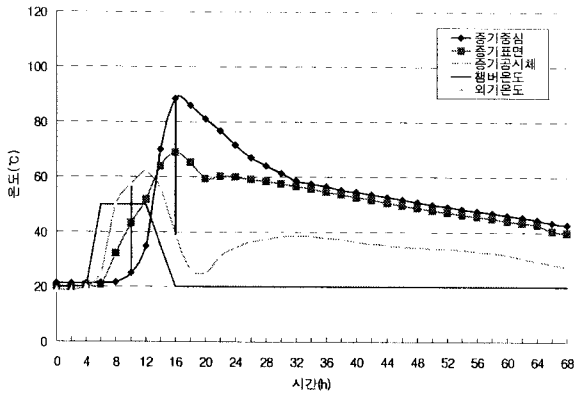


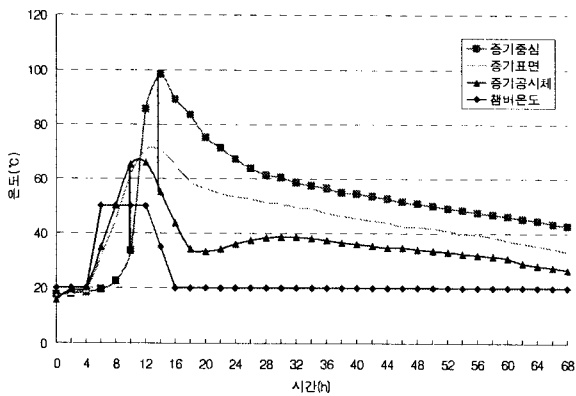
그림 3. 모의부재 제작

3. 실험결과 및 분석

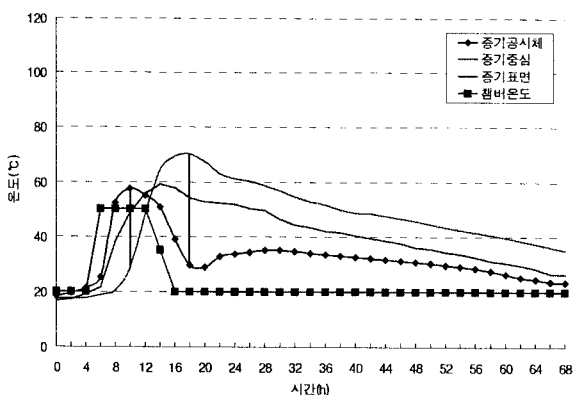
그림 4은 시멘트종류별 모의부재의 중심부, 표면부 및 증기 공시체의 온도이력을 비교하였으며, 표 5에 모의부재의 온도를 나타내었다.



a. 1종 모의부재와 공시체 비교



b. 3종 모의부재와 공시체 비교



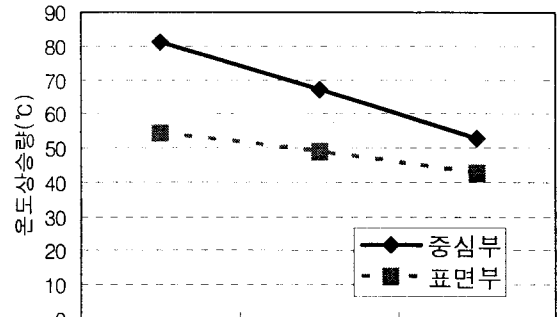
c. 4종 모의부재와 공시체 비교

그림 4. 결합재별 부재와 공시체와의 관계

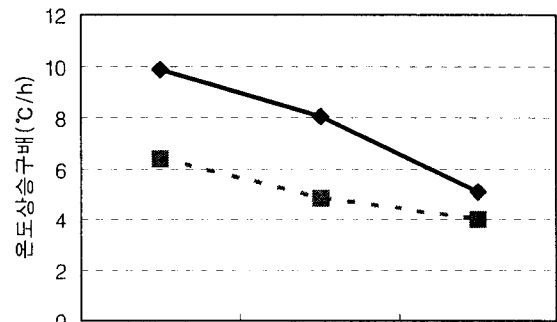
표 9. 부재 단면치수별 최고온도

W/B (%)	구 분	증기양생(°C)	
		중심부	표면부
25	N	88.5	65.9
	H	98.3	70.7
	L	70.3	59.3

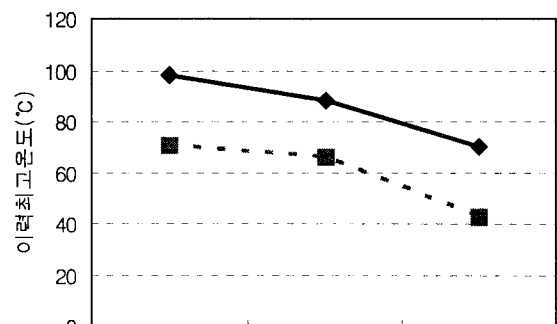
그림 5에 시멘트 종류별 온도상승량(°C), 온도상승구배(°C/h), 이력최고온도(°C)를 나타내었다.



a. 온도 상승량 비교



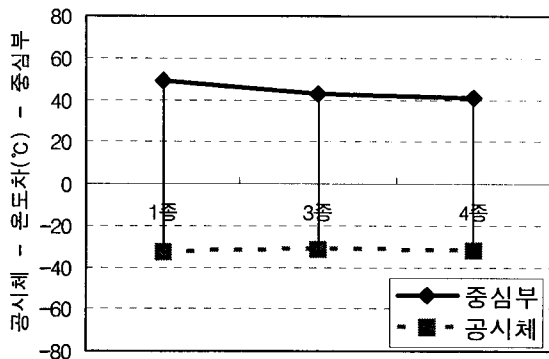
b. 온도 상승량 구배 비교



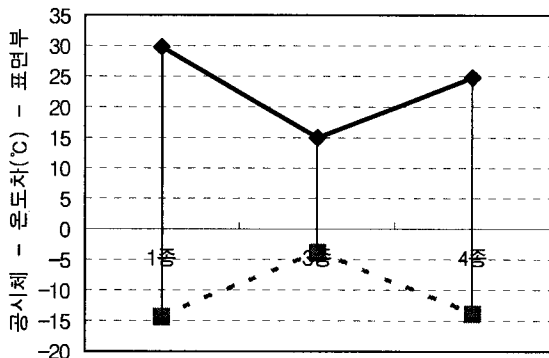
c. 이력최고온도 비교

그림 5. 결합재별 부재의 수화특성

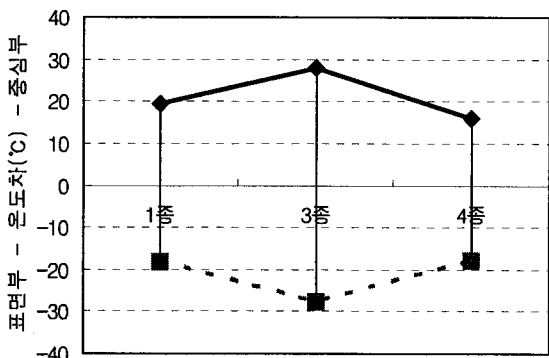
그림 6으로부터, 모의부재 중심부, 표면부 및 공시체의 동일한 시각에서 측정된 온도를 비교하였다. 그림에서 (-),(+) 비교는 모의부재 및 공시체에서 각각의 최고온도차이점에서의 양자의 범위를 나타낸 그래프이다. (-)는 공시체의 온도가 부재 중심부의 온도보다 높은 경우를 나타내고 있으며 (+)는 중심부의 온도가 공시체의 온도보다 높은 경우를 나타내고 있다.



a. 중심부 및 공시체 비교



b. 표면부 및 공시체 비교



c. 중심부 및 표면부 비교

그림 6. 결합재별 부재와 공시체의 온도특성

4종(L)에서 중심부(70.3°C)와 표면부(59.3°C)의 온도이력 차이가 가장 낮은 것으로 나타났다. 이에 비해, 모의부재 1종(N)과 3종(H)에서는 중심부(88.5°C, 98.3°C)와 표면부(69.8°C, 70.7°C)의 온도이력 차이가 크고, 중심부는 표면부보다 온도상승이 2~3h 지연 되었으나, 온도상승량이 크고, 12h~14h 이후에는 표면부보다 고온이 되었다.

또한, 모의부재와 증기공시체와의 큰 온도특성차이를 알 수 있었다. 콘크리트는 열전도율이 매우 낮아 부재두께가 클수록 부재 내부의 시멘트 수화열이 외부로 방출되지 않고 내부에

축적되기 때문에, 본 실험에 사용된 650mm 콘크리트부재보다 단면치수가 큰 부재 제조시에는 수화열이 낮은 저열시멘트를 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

- (1) 시멘트종류별 모의부재와 공시체와의 온도특성에 있어서 부재 중심부 및 표면부의 온도와 공시체의 온도 차이가 큰 것을 알 수 있다. 따라서, 단면치수가 큰 콘크리트 부재 제조시 부재 중심부 및 표면부 각각의 양생온도에서 양생한 공시체의 품질관리가 필요할 것으로 판단된다.
- (2) 크리트는 열전도율이 매우 낮아 부재 내부의 수화열 축적으로 인해 내·외부의 온도차가 큰 것을 알 수 있었다. 단위시멘트량이 많은 부재일수록 중심부의 이력최고온도, 온도상승량 및 온도상승경사가 크며 특히, 고강시멘트 경우에 있어서 현저했다. 따라서, 본 실험에 사용된 650mm 콘크리트 모의부재보다 단면치수가 큰 모의부재를 증기양생으로 제조하는 경우, 수화열이 낮은 저열시멘트를 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

- 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 “2단계 BK21 사업”의 지원비를 받았음 -

참 고 문 헌

1. 타워형 주거용 건축을 위한 프리캐스트 콘크리트 시스템개발, 대한건축학회 학회지, 2007.
2. 공민호, 고강도 매스콘크리트의 강도발현에 미치는 고온이력의 영향, 단국대학교 박사학위 논문, 2007.
3. 김영주, 高溫履歴이 콘크리트의 強度發現에 미치는 영향에 관한 實驗的 研究, 단국대학교 석사학위 논문, 2006.
4. 김학영, 고온이력이 콘크리트의 강도발현에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2006. 10.
5. 백민수, 플라이애시를 다량 치환한 콘크리트의 수화열 및 강도특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 2003.
6. 정상진 외, 수화열에 의한 온도이력이 시멘트 모르타르의 강도특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구 대한건축학회 논문집 1998.
7. 정상진 외 5인, 고강도 콘크리트 실용화에 관한 연구 대한건축학회 논문집 1995.
8. 정상진 외 5인, 매스콘크리트의 계절에 따른 온도이력과 압축강도에 관한 실험 대한건축학회, 2005. 11.
9. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, 2005.