

시멘트종류를 변화시킨 프리캐스트 고강도 콘크리트의 실험적 연구 - 압축강도특성을 중심으로 -

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

박 흥 이* 기 전 도* 김 성 진** 이 회 근*** 박 병 근**** 정 상 진*****
Park, Heung-Lee Ki, Jun-Do Kim, Sung-jin Lee, Hoi-Keun Park, Byung-Keun Jung, Sang-Jin

Abstract

Recently, as architectural concrete structures become high-rise and megastructured, concrete become high-strengthened and, by ensuring products of more stability, and rationalization of construction are required, large cross-sectional precast concrete members such as columns show large temperature increase in manufacturing process not only by external heating but also by concrete itself's hydration heating.

Therefore, it is expected that specimen for management to predict strength and compression strength of precast concrete member shows different strength characteristics.

Concerning this, in order to suggest strength characteristics of high strength mass concrete suitable for precast concrete application, this study comprises the inclusive investigations on the relations between core strength and the strength characteristics per member cross-section dimensional value and per water-bonding material ratio value.

키 워 드 : 매스콘크리트, 프리캐스트콘크리트, 증기양생, 고강도 콘크리트
Keywords : Mass concrete, Precast Concrete, Steam Curing, High-strength concrete

1. 서 론

최근 건축 구조물은 초고층 주상복합 아파트 등의 수요 증가로 인하여 건축물이 초고층화 및 대형화되고 있다. 건축물이 초고층화, 대형화됨에 따라 고강도 콘크리트의 사용이 늘어나고 품질확보에 대한 검토가 필요하여 전체 공사비에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 공사기간이 장기화되고 있다.

따라서 최근 고강도 콘크리트를 사용한 건축물의 문제점과 시공 상의 편의를 도모하기 위한 일환으로 품질관리가 용이할 뿐만 아니라 현장에서의 콘크리트 양생시간을 단축시켜 공기 단축이 가능하며 시공 합리화를 위하여¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 고강도 프리캐스트 콘크리트(high strength precast concrete)의 필요성이 대두되고 있으나 현재까지의 연구는 고강도, 매스, 프리캐스트 각각의 실험으로 한정되어 있다. 따라서 고강도 매스 프리캐스트 콘크리트 강도특성의 총괄적인 파악이 필요하다.

프리캐스트 콘크리트 부재의 일반적인 품질관리 기법으로

부재와 동일한 조건으로 증기양생을 실시한 관리용 공시체를 이용하여 강도시험으로 대응하고 있는 실정이다. 이는 프리캐스트 콘크리트 부재와 관리용 공시체가 동일한 온도이력특성 및 강도특성을 나타낸다는 이론에 의거하고 있다.

하지만 고층 및 대형 건축물에 사용되는 단면치수가 큰 기둥 등의 프리캐스트 콘크리트 부재는 제조과정에 있어서 외부로부터의 가열 뿐 만 아니라, 콘크리트 자체의 수화열에 의하여 높은 온도상승을 나타낸다.⁵⁾ 따라서, 부재치수가 증가할수록 내부의 수화 반응에 따른 열의 전도가 지연됨에 따라 부재 내외부의 온도차에 의해 열응력이 발생⁶⁾하게 된다.

이에 본 연구는 양생최고온도조건 및 시멘트종류를 실험 인자로 하여 부재를 제작하였으며, 각 부재의 강도특성을 중심으로 연구하였다.

2. 실험 계획

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

결합재는 아래 표에 표시한 성질의 각 포틀랜드시멘트를 사

* 단국대 대학원 석사과정, 정회원
** 단국대 대학원 박사과정, 정회원
*** 삼성물산(주)건설부문 기술연구센터 선임연구원, 정회원
**** 삼성물산(주)건설부문 기술연구센터 기술전략팀장, 정회원
***** 단국대 건축대학 건축공학과 교수, 정회원

용하였다. 국내 S사 1종, 3종, 4종을 사용하였으며, 물리적 성질 및 광물조성을 표 1,2에 표시한다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

구 분	종 류	밀 도 (g/mm ³)	분말도 (cm ² /g)	응결시간(시간:분)	
				초 결	종 결
N	1 종	3.15	3,177	4 : 00	7 : 00
H	3 종	3.13	4,615	2 : 40	5 : 10
L	4 종	3.20	3,697	5 : 20	7 : 40

모의부재 각각의 호칭은 시멘트종류별로 1종(보통포틀랜드시멘트)은 N, 3종(조강시멘트)은 H, 4종(저열시멘트)은 L로 나타내었다.

표 2. 시멘트의 광물조성

구 분	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

실리카폼은 노르웨이산(Undensified)으로 SiO₂ 함유량 94%를 사용하였다.

2.1.2 골재

잔골재는 조립률 2.78의 인천산 해사를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수는 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 모의부재 제작계획

2.2.1 모의부재 제작

모의부재 적용은 유동특성 및 강도특성을 만족하는 배합으로 결정하였다. 실제 연속된 기동부재를 가정하여 상·하부 단열을 실시한 프리캐스트 콘크리트 모의부재 시험체를 제작하였다.

표 5. 축소 모의부재 제작계획

구 분	시멘트 종류	양생조건	증기양생시 최고온도(°C)	부재크기 (mm)
	본	N	기중양생	35, 50, 65
H		50		x
L			증기양생	x

정육면체 650mm의 모의부재 기동을 가정한 제작계획을 표 5에 나타내었다. 단열재는 두께 100mm인 발포폴리스티렌 1호(스티로폼)를 사용하였다.

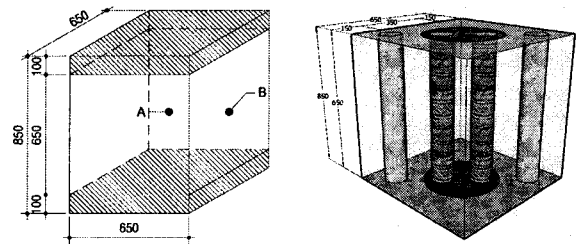


그림 1. 모의부재 치수 및 코어 채취위치

2.2.2 배합계획

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

표 6. 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	189	21	244	381	1.1
	50								
	65								
H	50						243	380	
L	50						245	383	

2.2.3 양생조건

모의부재의 양생최고온도를 그림 2와 같이 각 3수준으로 설정하였다.

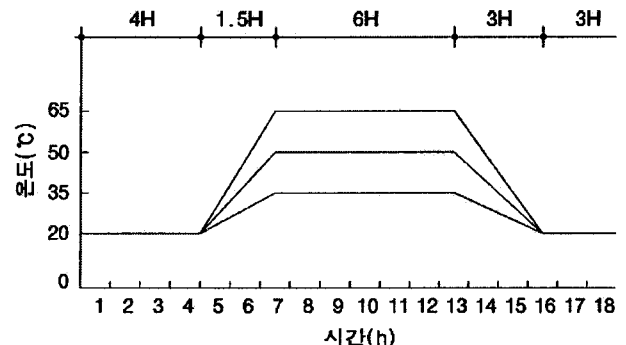


그림 2. 세부 증기양생 온도이력

3. 실험결과 및 고찰

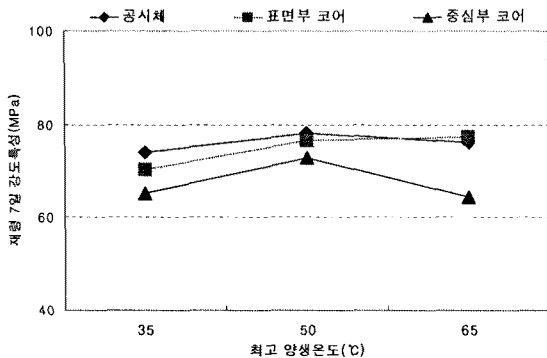
3.1 양생최고온도별 강도특성

동일한 가열조건에서 양생하였음에도 불구하고 모의부재의 중심부 및 표면부 부위의 온도차이로 인하여, 실제 강도특성이 다르다는 것을 알 수 있었다. 그래서, 초기 온도이력특성을 나타내는 지표로서 양생최고온도와 강도특성과의 관계를 검토하였다. 보통포틀랜드시멘트(1종)를 35℃, 50℃, 65℃의 3수준으로 양생최고온도를 설정하여 부재 중심부, 부재 표면부, 증기공시체를 같은 척도로 비교 및 검토하였다.

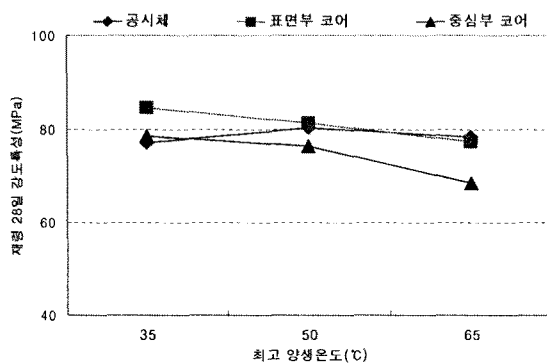
표 9. 모의부재의 강도시험 결과

번호	가열최고온도(℃)	강도시험 결과 (MPa)					
		7일			28일		
		중심	표면	공시체	중심	표면	공시체
N	35	65.2	70.2	74.0	78.6	84.7	86.3
	50	72.9	76.6	77.3	76.4	81.4	86.0
	65	64.4	77.3	76.2	68.4	77.4	78.5

표 9를 보면 온도가 높아질수록 초기재령에 있어서의 강도값은 크게 나타났으며, 장기재령에 있어서의 강도값은 반대로 저하하는 현상이 나타났다. 이는, 콘크리트의 장기 강도발현에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 최고온도인 것을 알 수 있었다. 초기온도이력의 차이로 인해서 강도특성에 차이가 생긴다는 것을 그림 3에 나타내었다.



a. 최고가열온도별 강도특성(재령7일)



b. 최고가열온도별 강도특성(재령28일)

그림 3. 양생최고온도별 부재 강도특성

3.2 시멘트종류별 모의부재와 공시체와의 관계

일반적으로 콘크리트부재에 사용하는 콘크리트를 조합하는 경우 증기공시체의 강도 시험값을 대용하고 있다. 이는, 동일 양생조건에서 양생한 콘크리트 모의부재와 증기양생 공시체는 동일한 강도특성을 가진다는 생각에 의거하고 있다. 그러나 지금까지의 검토결과를 보면 단위시멘트량이 많고 부재의 단면 치수가 큰 콘크리트 부재는 다른 강도특성을 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 다음 그림 4은 모의부재의 실제적인 강도와 증기공시체와의 관계를 검토하였다.

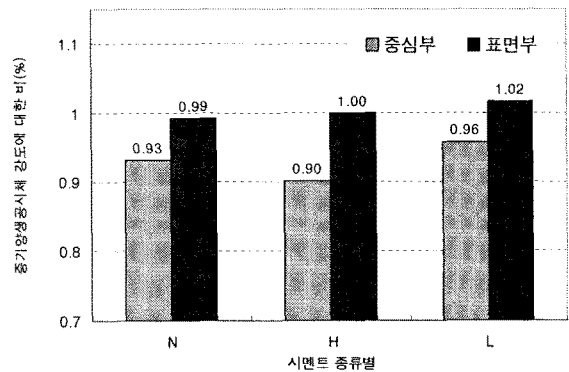


그림 4. 재령28일 공시체에 대한 모의부재 강도비율

H(조강)에 있어서 중심부 코어강도와 표면부 코어강도비율 차가 가장 큰 것을 알 수 있었다. H(조강)와는 달리 L(저열)에서는 증기양생 공시체에 대한 중심부 및 표면부 코어강도값의 비율이 큰 것으로 나타났다. 이는, 단면치수가 큰 콘크리트 부재에서는 중심부나 표면부의 강도특성이 다르다는 것이다. 이러한 콘크리트 부재를 제조할 경우에는 중심부 및 표면부 각각의 동일양생온도에서 양생한 공시체의 강도값이 비교된 후에 품질관리 되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

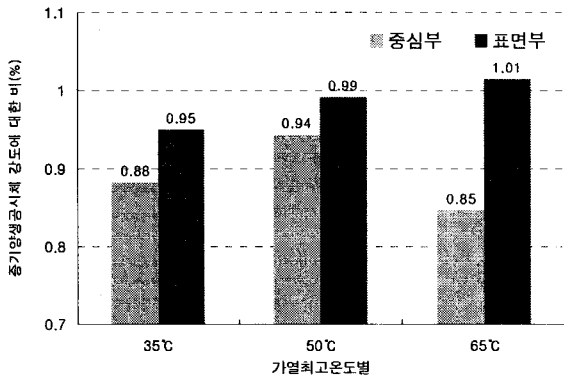
3.3 양생최고온도별 모의부재와 공시체와의 관계

지금까지의 실험한 내용을 면밀히 검토한 결과, 초기온도이력의 차이에 있어서 강도특성에 차이가 생긴다는 것을 알 수 있었다. 콘크리트 장기강도발현에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 최고온도인 것으로 나타났다. 이력최고온도와 각 재령에 있어서 중심부 코어강도 및 표면부 코어강도의 증기양생 공시체 강도에 대한 재령 7일, 재령 28일 강도비율 관계를 그림 5에 나타내었다.

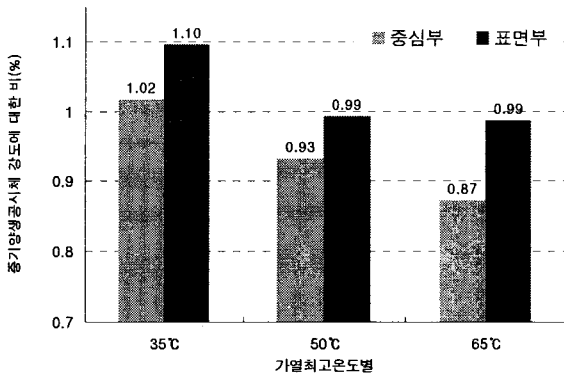
재령 7일 양생최고온도 50℃에 있어서 콘크리트 모의부재 중심부 코어 및 표면부 코어강도의 비율이 높게 나타났으며, 65℃ 경우 표면부 코어강도비율이 가장 높게 나타났지만 중심부 코어와의 강도비율 차가 크게 나타났다. 이는 콘크리트의 열전도율이 매우 낮아 부재두께가 클수록 부재 내부의 시멘트 수화열이 외부로 방출되지 않으며, 가열양생조 내부에 직접 노

출되어 부재표면부에 직접 온도이력을 받아 내부에 축적되기
때문으로 판단된다.

초기 고온이력을 받는 프리캐스트 콘크리트에서 장기
적인 강도발현을 저해하는 것이 양생최고온도라는 것
을 알 수 있었다.



a. 부재와 공시체의 강도비율(재령7일)



b. 부재와 공시체의 강도비율(재령28일)

그림 5. 모의부재의 강도비율

재령 28일 양생최고온도 65°C에서는 재령 7일과는 반대로
부재 중심부 코어 및 표면부 코어의 강도비율이 가장 낮게 나
타났으며, 강도비율 차이 또한 가장 크게 나타났다. 35°C에서 중
심부 코어 및 표면부 코어강도가 가장 높은 것을 알 수 있었다.

양생최고온도가 50°C를 넘는 경우, 재령 7일에 있어서 중
심부 코어강도 및 표면부 코어강도의 차이가 큰 것으로 나타
났으며, 양생최고온도가 가장 낮은 35°C가 재령 28일 강도비
율에 있어서 가장 큰 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

(1) 시멘트종류별 콘크리트 증기양생 모의부재 제작에 있
어서 동일 부재라고 하여도 중심부 및 표면부의 경향
은 시멘트 수화열량이 큰 조강시멘트를 사용한 경우
가장 높았으며, 수화열량이 적은 저열시멘트를 사용
한 경우 가장 낮은 것을 알 수 있었다. 본 실험에서는

(2) 양생최고온도별 콘크리트 모의부재의 증기양생 공시
체에 대한 중심부, 표면부 코어강도비율은 재령 7일
의 경우 65°C가 중심부 및 표면부의 강도비율차가 가
장 크게 나타났으며, 재령 28일의 경우 35°C의 중심부
및 표면부 코어강도비율이 가장 높은 것으로 나타났다.
보통포틀랜드시멘트를 사용하여 모의부재 제작시 양
생최고온도를 35°C, 50°C, 65°C 3수준으로 설정하여
증기양생을 실시한 결과, 재령 7일에 있어서 온도가 높아
질수록 강도값은 크게 나타났으며, 재령 28일에서는 온도
가 높을수록 강도값이 작아지는 경향을 알 수 있었다.

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

참 고 문 헌

1. 강경인 외 4인, 초고층 주상복합 프리캐스트 콘크리트 구조
물의 경제성 분석에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집,
2005.
2. 강수민 외 1인, PC공법의 국내외 현황분석, 대림기술정보,
2006.
3. 공민호, 고강도 매스콘크리트의 강도발현에 미치는 고온이
력의 영향, 박사학위 논문, 단국대학교 건축공학과, 2007.
4. 노인철, 양생온도 변화가 고성능 콘크리트의 압축강도에 미
치는 영향에 관한 연구, 한국건축시공학회논문집, v.2 n.4,
2002.
5. 박홍근 외 7인, 타워형 주거용 건축을 위한 프리캐스트 콘
크리트 시스템 개발, 대한건축학회 학회지, 2007.
6. 정상진 외 1인, 상압증기양생에 의한 모르타의 강도발현성
에 관한 기초연구, 대한건축학회 논문집, 1995.
7. 정상진 외 3인, 프리캐스트 콘크리트의 제조 및 공법, 한국
건축시공학회지, v.2 n.2(통권 제4호) 2002.
8. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트 공학, 기문당, 2005.
9. 石中正人 外 4名, 超高强度プレキャストコンクリートに關す
る實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2006.
10. 早川光敬 外 2名, 初期に高温履歴を受ける低熱ポルトラン
ドセメント・高强度用結合材を用いた高强度結合材ベースト
の強度發現性狀と微細構造, 日本建築學會構造r系論文報告集,
第568号, 7-13, 2003.