

프리캐스트 콘크리트 적용을 위한 고강도 매스 콘크리트 부재의 강도 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Strength Characteristics of Mass Concrete Cast with High-Strength Concrete for Precast Application.

박 조 현* **김 성 진**** **백 민 수***** **이 승 훈****** **박 병 근******* **정 상 진*******
Park, Jo-Hyun Kim, Sung-Jin Paik, Min-Su Lee, Seung-Hoon 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, air compression and rationalization of construction are required. In general, product management test of precast concrete member, specimen for management cured in the same condition with precast concrete member is substitutively used for strength test. However, 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 temperature history and strength characteristics. Concerning this, in order to suggest temperature history and strength characteristics of high strength mass concrete suitable for precast concrete application, this study comprises the inclusive investigations on the relations between management specimen with similar temperature history and core strength, and the strength characteristics per member cross-section dimensional value and per water-bonding material ratio value.

키워드 : 고강도콘크리트, 프리캐스트 콘크리트, 증기양생
Keywords : high-strength concrete, precast concrete, steam curing

1. 서 론

최근 100층 이상의 초고층 건물에 대한 관심이 증가하면서 콘크리트는 고강도화 되고 있다. 품질관리가 용이할 뿐 만 아니라 현장에서 콘크리트 양생시간을 단축시켜 공기단축 및 시공의 합리화를 위하여 고강도 프리캐스트 콘크리트 (precast concrete)의 필요성이 대두되고 있다.

단면치수가 작은 부재에 사용되어 온 프리캐스트 콘크리트의 품질관리 방법의 적용성 평가를 위하여, 단면치수가 큰 프리캐스트 콘크리트 부재에 대한 검토가 필요하다. 일반적으로 프리캐스트 콘크리트 부재의 품질관리를 실시할 경우 프리캐스트 콘크리트 부재와 동일한 양생을 시킨 관리용 공시체의 강도시험으로 대응하고 있는 실정이다. 즉 동일한 증기 양생조건 하에서 프리캐스트 콘크리트 부재와 관리용 공시체는 동일한 온도이력특성 및 강도 특성을 나타낸다는 생각에 의거하고 있는 것이다.

하지만 고층·대형 건축물에 사용되는 단면치수가 큰 기둥 등의 프리캐스트 콘크리트 부재는 제조과정에 있어서 외부로부터의 가열 뿐 만 아니라, 콘크리트 자체의 수화열에 의해 높은 온도 상승을 나타낸다. 또한, 수화 반응에 따른 열의 전도가 지연됨에 따라 부재 내외부의 온도차에 의해 열응력이 발생하게 된다. 그러므로 프리캐스트 콘크리트 부재의 압축강도와 강도추정을 위한 관리용 공시체는 다른 온도이력특성 및 강도특성을 나타낸다고 예상된다.

이에 본 연구는 프리캐스트 적용을 위한 고강도 매스콘크리트 부재의 온도이력 특성 및 강도특성을 제시하기 위하여 고강도 매스콘크리트 기둥부재를 제작한 후, 증기양생을 실시한 경우의 수화열 및 코어강도를 측정하였으며 유사한 온도이력을 부여한 관리용 공시체를 제작하여 코어강도와의 관계를 비교 분석하며, 부재단면치수별, 물-결합재비별 강도특성을 총괄적으로 검토하는데 목적이 있다.

2. 실험 연구

2.1 재료 및 배합비

본 실험에서 사용한 재료 및 콘크리트 배합비를 표 1, 표 2에 각각 나타내었다.

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대 대학원 박사과정
*** 정회원, 단국대 건축대학 시간강사
**** 정회원, (주)삼성물산 건설부문 기술연구소 수석연구원
***** 정회원, (주)삼성물산 건설부문 기술연구소 소장
***** 정회원, 단국대 건축대학 건축공학과 교수

표 1. 사용재료의 품질

시멘트(C)	보통포틀랜드시멘트(OPC) 밀도 : 3.15, 비표면적 3,200cm ² /g
잔골재(S)	밀도 : 2.61, 흡수율 : 0.97, 조립율 : 2.78
굵은 골재(G)	밀도 : 2.71, 흡수율 : 0.95, 조립율 : 6.45
실리카폼(SF)	노르웨이산 (Undensified), 밀도 : 2.11, SiO ₂ : 94%
고성능감수제(SP)	폴리카본산계, 밀도 : 1.04

표 2. 콘크리트 배합비

W/B (%)	S/a (%)	W (Kg/m ³)	단위중량 배합(Kg/m ³)					
			B	C	SF	S	G	SP(%)
30	42	160	533	496	37	717	1059	0.8
25	39	160	640	595	44	652	1015	1.1
20	37	160	800	744	56	567	961	1.3

배합사항으로는 설계기준강도 80MPa(W/B=25%)를 만족하는 배합을 기준으로 계획하였다. 유동특성을 만족시키기 위한 목표 슬럼프 플로우는 60±5cm, 공기량은 1.5±0.5%로 정하였다.

2.2 시편 제작 및 증기양생법

실제 연속된 부재를 가정한 단면치수가 다른 3종류의 프리캐스트 콘크리트 모의부재 시험체를 제작하여 그림 1에 나타내었다. 650mm인 기둥, 450mm B보, 200mm인 슬라브 단열매스부재를 제작하고 모의부재의 단면방향치수를 부재두께로 정의하였다. 단열재는 두께100mm인 발포폴리스티렌(스티로폼)을 사용하였다.

증기양생은 프리캐스트 콘크리트 제작 시 통상적으로 사용되는 온도이력을 사용하였다. 단, 고강도 콘크리트임을 고려하여 최고양생온도를 50℃로 제한하였으며, 세부 증기양생 온도이력과 증기양생기를 그림 2와 사진 1에 나타냈다.

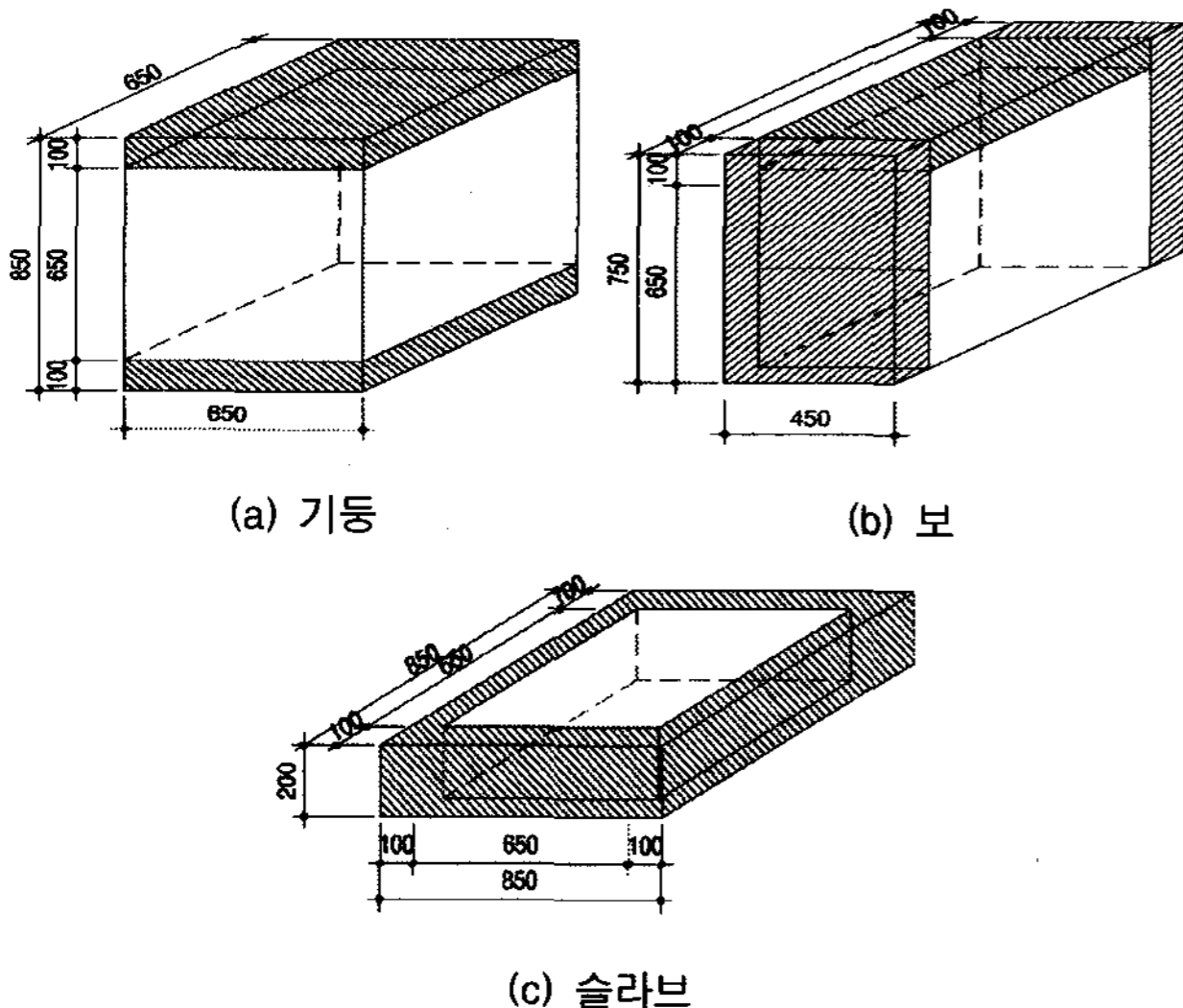


그림 1. 부재 치수별 형상

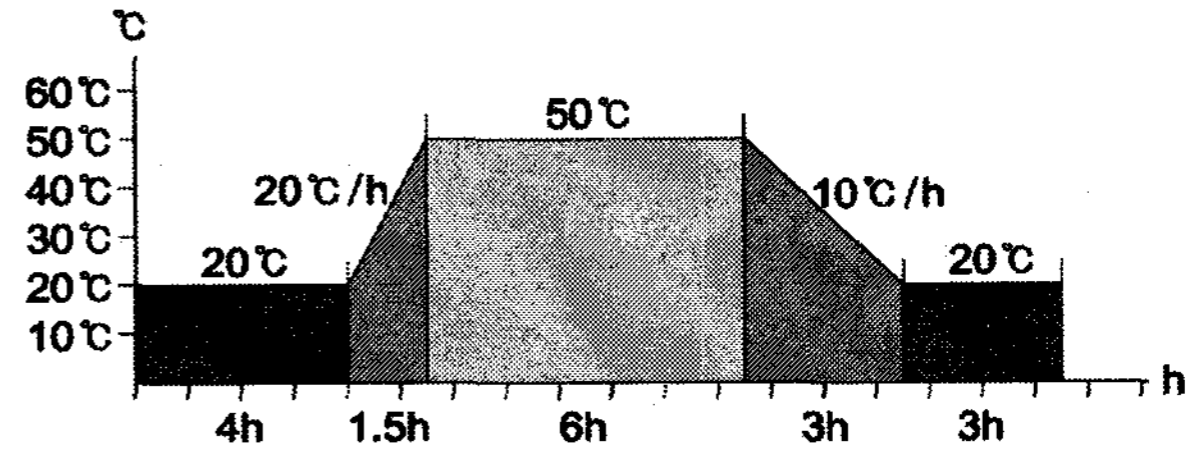


그림 2. 증기양생이력

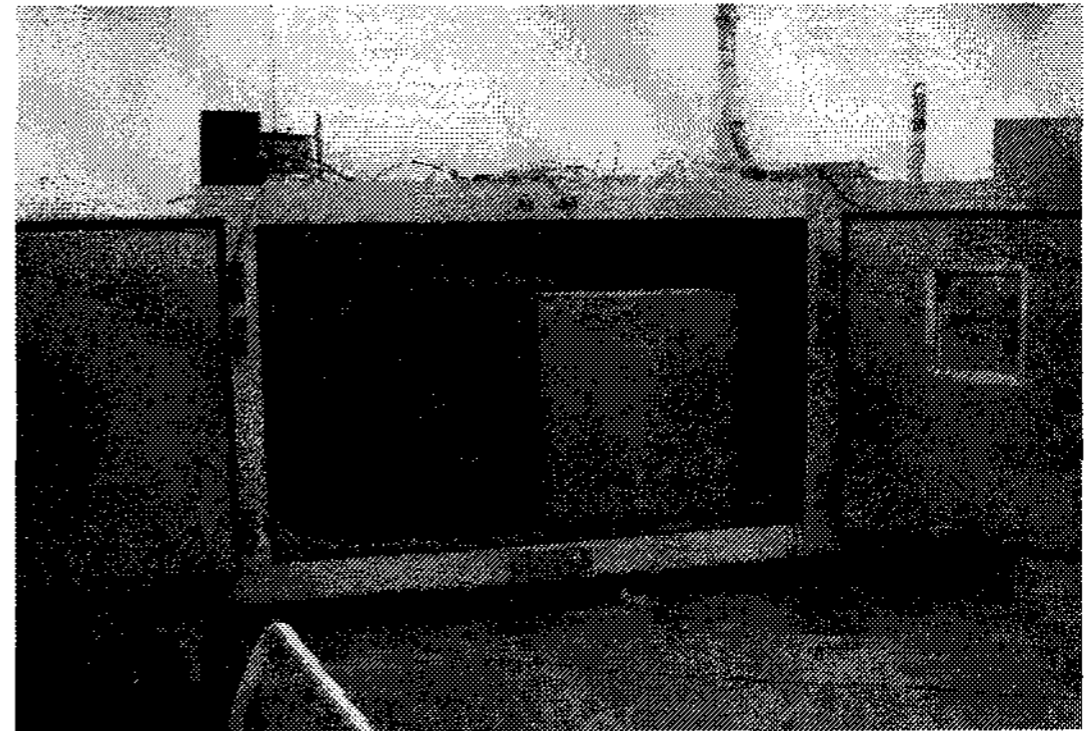


사진 1. 증기양생기

2.3 실험 방법

2.3.1 유동특성

굳지 않은 콘크리트의 유동특성을 평가하기 위하여 공기량(KS F 2421), 슬럼프 플로우(KS F 2594)에 대한 시험을 각각 실시하였다.

2.3.2 강도특성

콘크리트 품질 특성을 분석하기 위한 시험으로 압축강도 시험은 소정기간 양생이 끝난 후 KS F 2405에 따라 측정하였다. 구조체 강도를 평가하기 위한 코어는 재령 14, 28일에 중심부와 표면부에서 각각 채취하여 코어 강도를 측정하였으며, 3개 코어의 평균값을 시험결과로 채택하였다. 관리용 공시체 양생방법으로는 20±3℃의 수중에서 양생한 표준수중양생, 일평균 기온이 7℃인 외기에 노출된 현장대기양생, 공기와 수분의 차단을 위한 현장밀봉양생 3종류의 양생방법을 실시하여 소정의 재령일에 양생조건별 압축강도를 측정하였다.

2.3.3 온도 특성

각각의 모의부재에서 측정된 최고온도이력을 이력최고온도라고 정의하였다. 증기양생을 실시하지 않은 부재와 실시한 부재의 중심부, 표면부에 온도센서(thermocouple)를 설치하여 온도변화를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 유동특성 평가

콘크리트 배합 직 후 굳지 않은 콘크리트의 공기량과 슬럼프 플로우는 각각 1.5±0.5%, 65±5cm로 모두 목표값을 만족하였다.

3.2 강도 특성

3.2.1 관리용 공시체

증기양생의 유무에 따른 강도의 증진성을 비교하기 위하여 증기양생을 실시하지 않은 경우와 실시한 경우의 양생방법별 강도를 측정하여 그림 3와 같은 결과를 얻었다. 증기양생을 받은 콘크리트는 수화가 촉진되기 때문에 초기에 높은 강도를 얻을 수 있다. 양생온도 이력 후 탈형시의 강도는 높지만, 재령의 경과에 따른 강도증진은 저하된다. 하지만 탈형 시에 재령 28일에서 80~90%의 강도를 얻을 수 있다.

또한, 증기양생 콘크리트는 보통양생 콘크리트에 비해 증기양생 후의 양생방법이 압축강도의 증진성에 미치는 영향력이 적어지는 경향을 나타냈다.

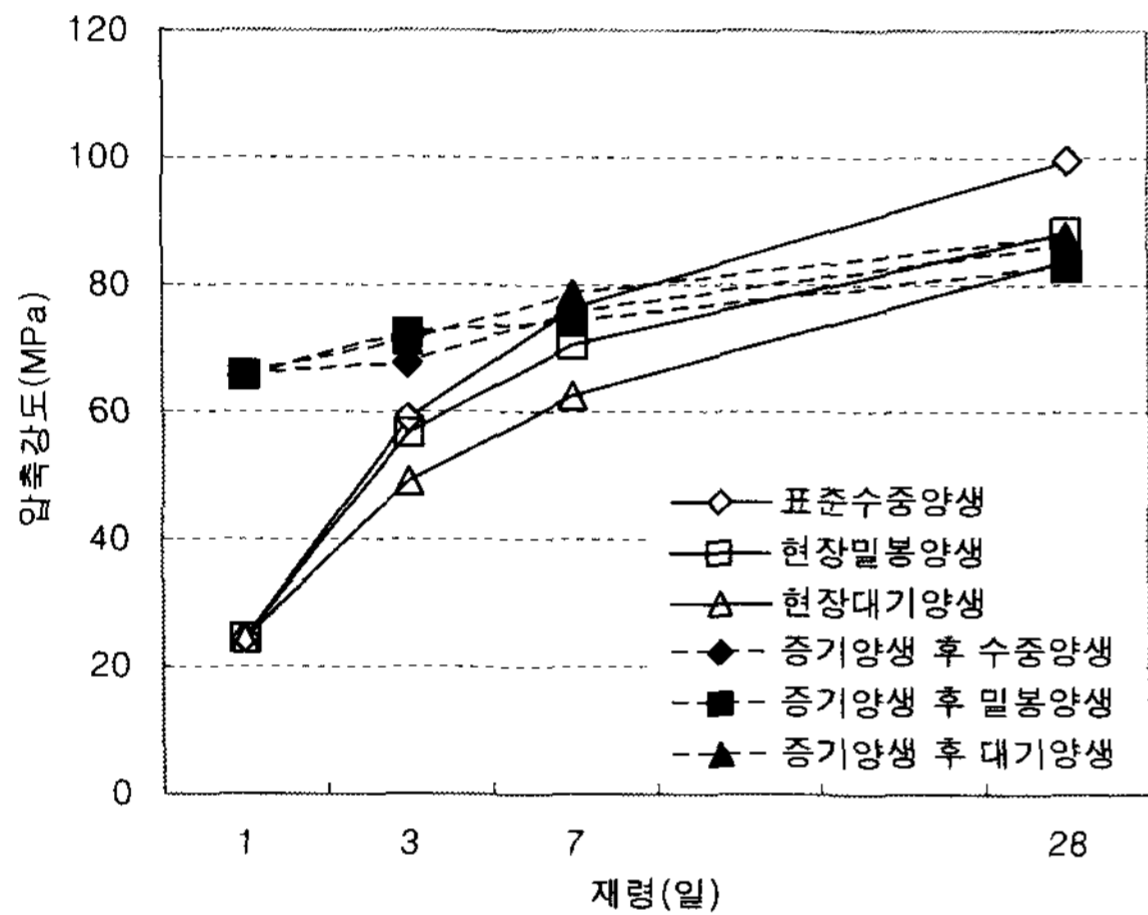


그림 3. 양생방법별 관리용 공시체의 강도특성

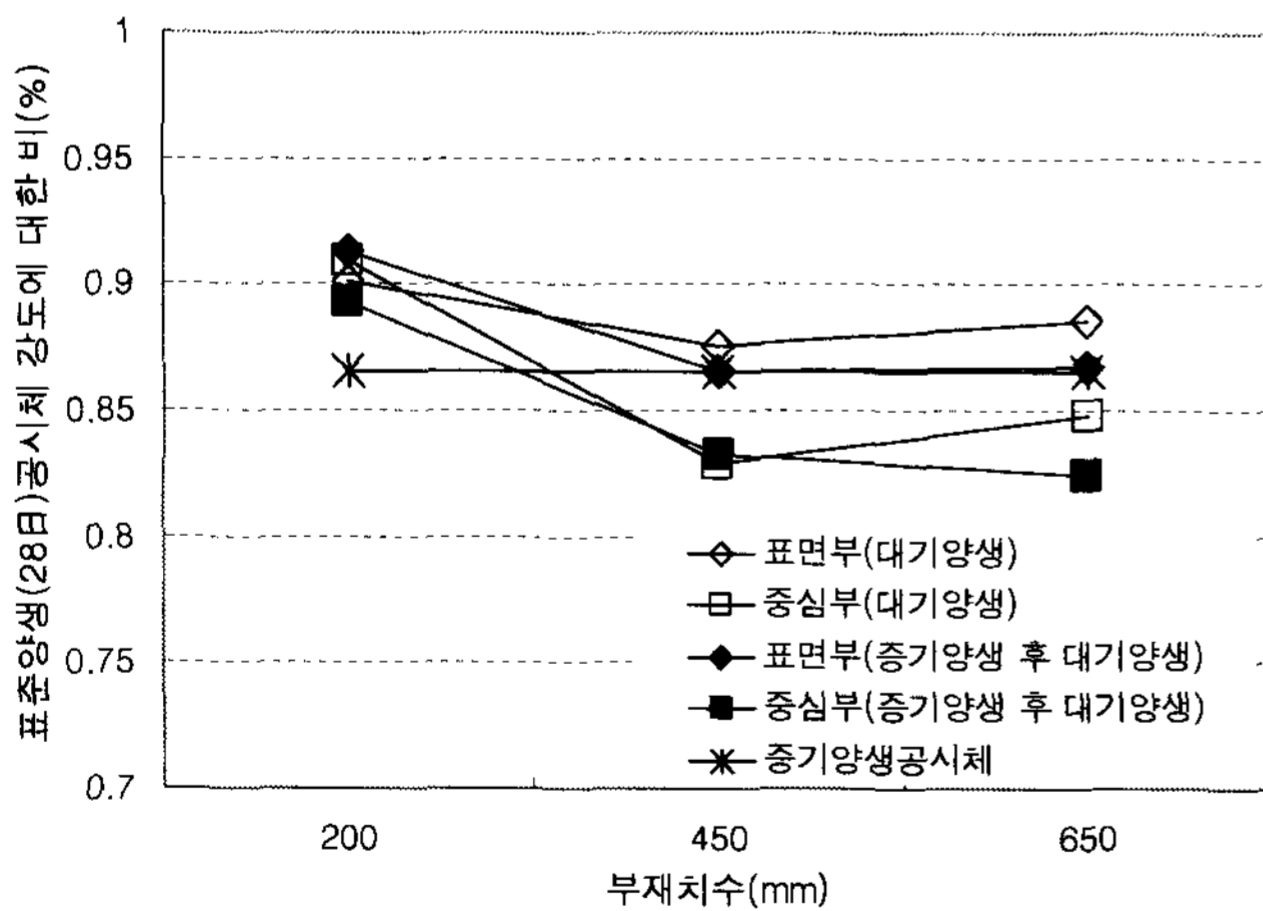


그림 4. 부재치수에 따른 강도특성

3.2.2 코어 강도

1) 부재 치수 차이에 따른 강도특성

표준수증양생을 실시한 관리용 공시체의 강도를 기준으로 하여 부재 치수에 따른 강도발현율을 그림 4에 나타냈다. 모의 부재의 치수가 증가할수록 중심부 코어와 표면부 코어의 강도차가 발생하는 경향이 나타났다. 중심부의 온도이력은 수화열에 크게 의존하기 때문에 부재 두께가 두꺼워 질수록 수화열의 외부 방출이 어려워지고, 부재 내부에 축적된다. 따라서 부재 치수가 증가할수록 관리용 공시체와의 온도이력이 다르고 높

은 온도이력을 받게 되므로 장기강도에서 강도증진이 정체되는 것으로 나타났다. 하지만 부재치수가 450mm이상 증가하면 중심부와 표면부의 강도차는 일정한 것으로 나타났다.

2) 물-결합재비에 따른 강도특성

표준수증양생을 실시한 관리용 공시체의 강도를 기준으로 하여 물-결합재비에 따른 강도비율을 그림 5에 나타내었다. 물-결합재비가 작을수록, 즉 단위시멘트량이 많은 콘크리트일수록 시멘트 수화열로 인한 온도상승량이 커지고, 높은 온도이력을 받게 된다. 따라서 중심부에서는 초기고온이력의 영향으로 콘크리트의 장기강도증진이 정체되는 경향이 나타난다. 하지만 본 실험에서는 너무 낮은 물-결합재비로 인하여 물-결합재비의 변화에 따른 중심부와 표면부의 강도차이는 물-결합재비에 상관없이 일정하게 나타났다.

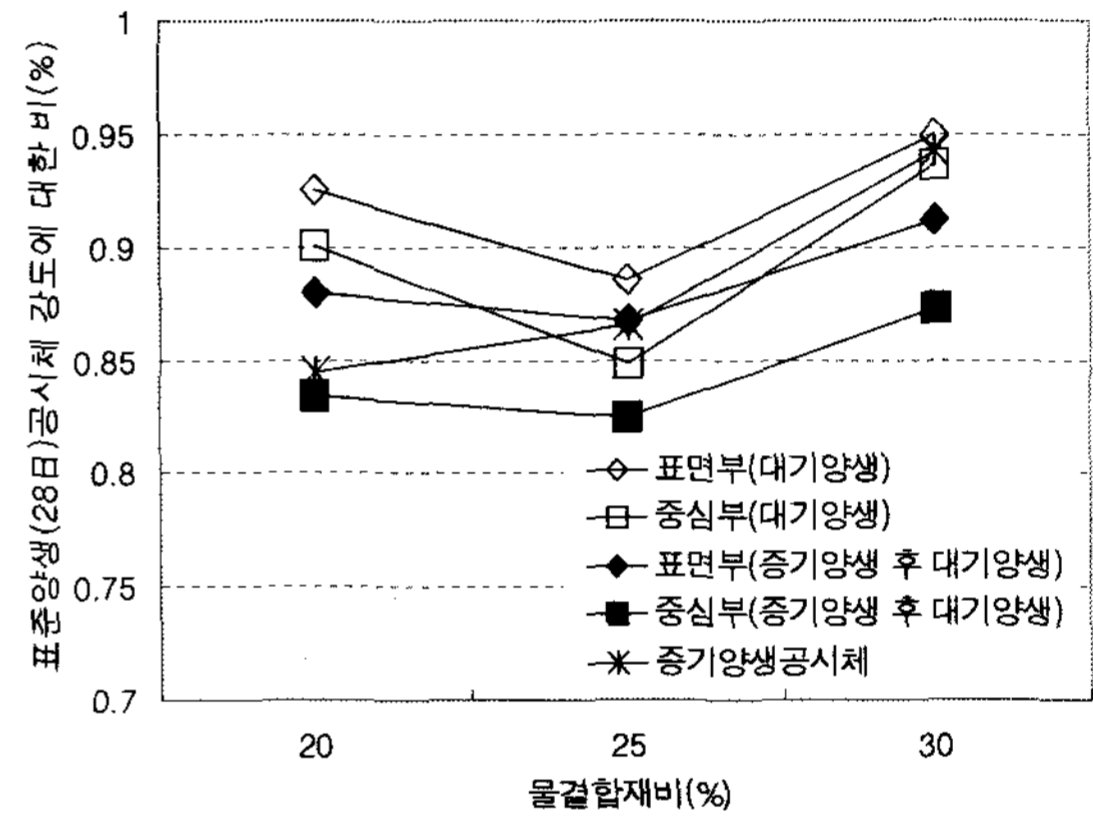


그림 5. 물-결합재비에 따른 강도특성

3) 코어강도와 관리용 공시체 강도와와의 관계

증기양생을 실시한 관리용 공시체의 강도에 대한 부재치수에 따른 강도비율을 그림 6에 나타냈다. 슬라브 부재에서의 코어강도는 증기양생공시체 강도를 상회하고 있고, 중심부와 표면부 코어의 강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

부재 치수가 증가할수록 내부의 수화열로 인하여 최고온도이력이 높아지므로 코어강도가 증기양생공시체의 강도보다 낮은 것으로 사료된다.

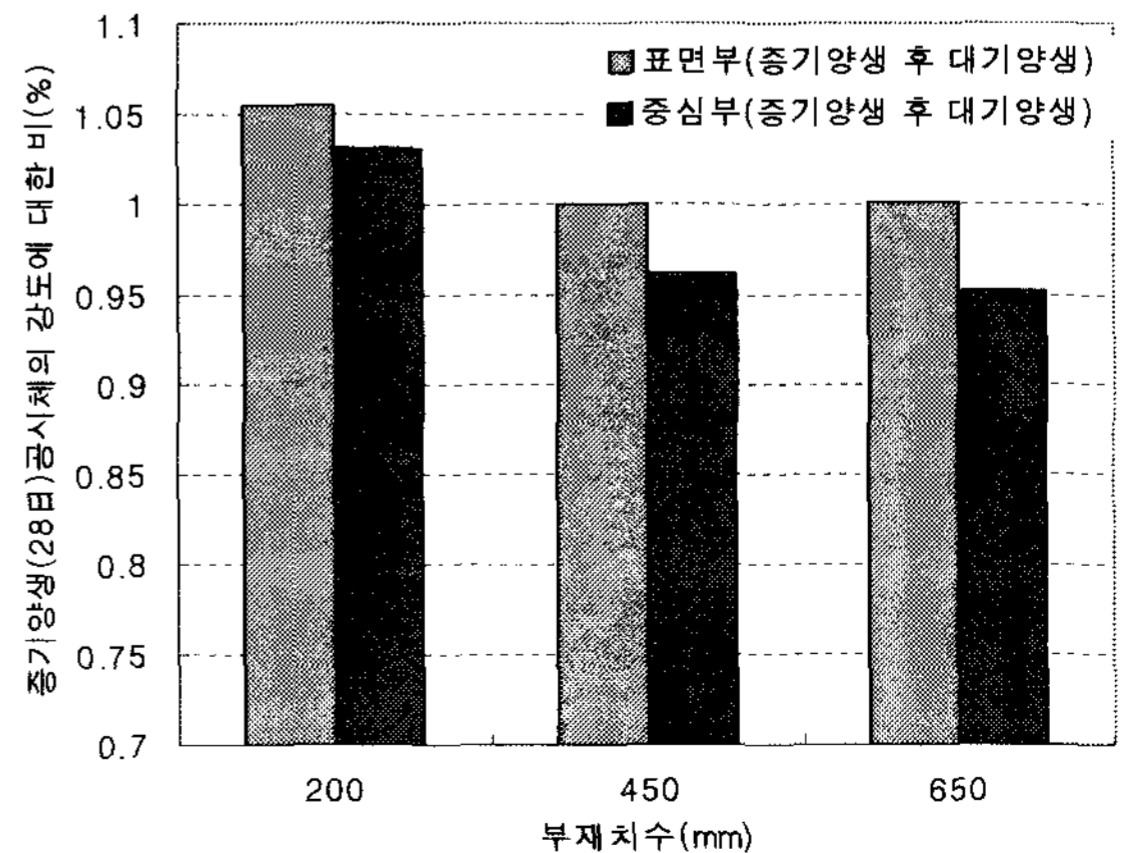


그림 6. 증기양생을 부재와 관리용 공시체의 강도비교

3.3 온도 특성

물-결합재비가 25%인 기둥 부재의 증기양생 유무에 따른 온도 특성을 그림 7에 나타냈다. 가열 양생을 한 기둥의 온도이력은 수화반응이 일어나기 전 표면부의 온도가 증기양생의 영향으로 더 높게 나타났다. 그 후 중심부의 온도가 더 높게 나타나고 타설 후 16시간에서 중심부 88.4℃, 표면부 68.9℃의 고온이 확인되었다. 그 후 온도는 서서히 하강하는 것을 알 수 있다.

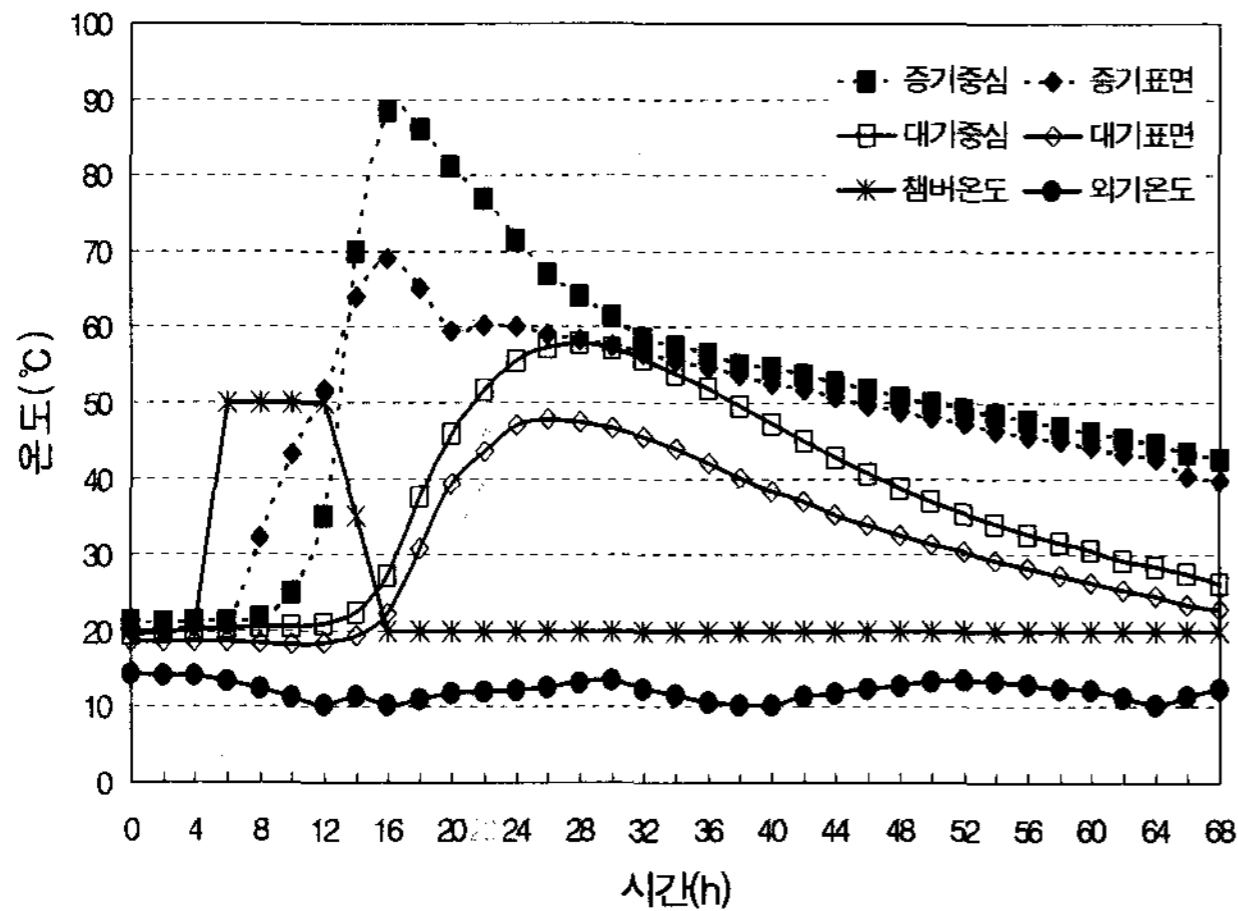


그림 7. 증기양생의 유무에 따른 수화열 특성

3.4 이력최고온도와 강도특성과의 관계

표준수중양생을 실시한 관리용 공시체의 강도를 기준으로 하여 이력최고온도에 따른 강도비율을 그림 8에 나타내었다. 이력최고온도가 같으면 온도상승기울기의 영향을 받게 되므로 증기양생공시체의 강도가 저하되는 경향을 나타내었다. 중심부의 강도발현은 표면부, 증기양생 공시체와 비교하여 높은 온도 이력을 받기 때문에 낮은 것으로 사료된다.

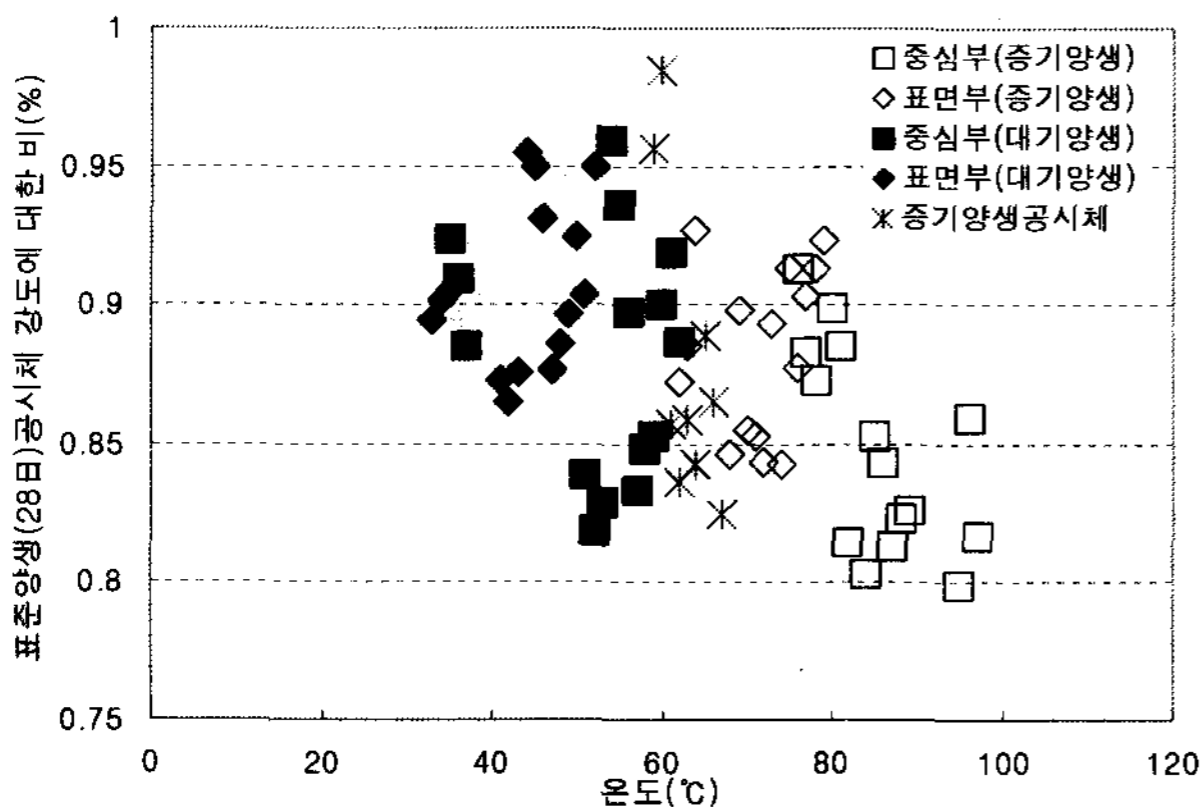


그림 8. 이력최고온도와 강도특성과의 관계

4. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 초기에 50℃의 온도를 가하면 수화가 촉진되어 7일까지의 강도는 증가하나 28일 강도는 저하하게 된다. 또한 증기양생 후 양생방법에 대한 압축강도의 증진성은 차이가 적은 것으로 나타났다.
- 2) 단면치수가 큰 콘크리트 부재는 내부의 수화열로 인하여 중심부의 강도는 표면부에 비해 작게 된다. 부재치수가 450mm를 초과하면 강도 차이는 일정한 것으로 나타났다.
- 3) 고강도 콘크리트의 물-결합재비의 변화에 따른 중심부와 표면부의 강도 차이는 적은 것으로 나타났다. 표준양생한 공시체와의 강도비는 물-결합재비 30%가 가장 큰 것으로 나타났다.
- 4) 단면치수에 따른 관리용 공시체의 28일 강도를 비교해 본 결과, 단면치수가 작은 슬라브 부재는 중심부와 표면부 모두 높게 나타났으며 단면치수가 큰 보와 기둥 부재의 중심부 강도는 높은 수화열로 인해 낮은 강도를 나타냈다.

참고 문헌

1. 광영근(1995). 상압증기양생에 의한 모르타의 강도발현성에 관한 기초 연구. 대한건축학회논문집.
2. 공민호(2007). 고강도 매스콘크리트의 강도발현에 미치는 고온이력의 영향 박사학위 논문, 단국대학교.
3. 김생빈(1996). 촉진양생이 콘크리트의 탈형압축강도에 미치는 영향에 관한 연구. 대한건축학회논문집.
4. 박홍근외 7인(2007, 07). "타워형 주거용 건축을 위한 프리캐스트 콘크리트 시스템개발", 대한건축학회 학회지.
5. 정상진 외(2006). 초고강도 콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표, pp. 37~40.
6. 한국콘크리트학회(2005). "최신콘크리트 공학", 기문당.