

# 보온재를 사용한 고강도 매스 콘크리트의 품질관리에 관한 연구

## An Experimental Study on Quality Management of Strength in High Strength Mass Concrete Structure Using Thermal Insulation Material

조규현*	백민수**	김성식***	임남기****	이영도*****
Cho, Kyu-Hyun	Back, Min-Soo	Kim, Sung-Sik	Lim, Nam-Gi	Lee, Young-Do

### Abstract

This study is a basic experiment on quality management of the compression strength of high strength concrete, aiming at quality management of high strength mass concrete by giving the temperature hysteresis of the mass test pieces to managerial test pieces. Different from ordinary concrete, high strength concrete generally shows the temperature high rising caused by hydration heat inside the concrete. It is known that, in mass concrete, thermal stress occurs due to the difference in temperature between the inside and the outside, which causes a significant difference in compression strength between structure beams and managerial test pieces. It is also reported that there is a large difference between the compression strength of cylindrical managerial test pieces of standard underwater curing and the strength of structure beam concrete.

Thus, this study made concrete test pieces in an optimal mix ratio for each strength level, and also created thermal insulation curing box and managerial test pieces. Then it carried out comparative analysis in relation to core strength and suggested equipment and a technique that can control the strength of high strength concrete mass more conveniently and accurately.

키워드 : 보온양생, 수화열

Keywords : Thermal Insulation Curing, Hydratin Heat

## 1. 서론

현재 건축 구조물의 경우 고층화 및 대형화 되는 추세이며, 이에 따라 건설 재료인 콘크리트가 보통강도에서 고강도 콘크리트로의 사용이 증가하고 있는 실정이다. 초고층 건물의 기초 및 기둥등의 특수 구조물에 쓰이는 고강도 매스콘크리트의 경우 대형화된 부재로 인하여 높은 수화열을 나타내기 때문에 보통콘크리트와는 달리 양생이나 관리에 있어 세심한 주의가 요구하게 된다. 하지만, 고강도 매스 콘크리트는 보통강도 매스 콘크리트와는 달리 콘크리트 내부의 수화열에 의하여 상당히 높은 온도상승을 나타내며, 매스 콘크리트일 경우 내외부의 온도차에 의해 열응력이 발생하게 되어 구조체의 압축강도와 관리용 공시체의 압축강도에 현저한 차이가 나타나는 것으로 알려져 있다. 또한 표준수중양생한 원주형 관리용 공시체의

압축강도와 구조체 콘크리트의 코어 압축강도와는 강도발현에 있어 상이한 차이가 나는 것으로 보고되고 있다.

이러한 차이는 재료외에 구조체 부재의 크기, 제철등 여러 가지 요인에 따라 다르기 때문에 레미콘 공장 및 현장에서 부재실험으로 확인하고 있다. 그러나 부재실험에 있어 실험체를 장기간 보관하는 장소가 필요하고 또한 비용도 많이 들기 때문에 보다 간편하고 정확한 구조체 콘크리트의 평가 방법이 요구된다.

이에 본 연구에서는 강도별 배합비로 콘크리트 부재를 제작하여 매스 부재와 유사한 온도이력을 부여 할 수 있는 보온양생함 및 관리용 공시체를 제작한 후 코어 강도와 수화 온도이력과 압축강도를 비교분석하여 고강도 콘크리트 부재의 강도를 보다 간단하고 정확하게 관리 할 수 있는 장치와 기법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

본 연구의 실험계획 및 실험 인자는 표 1과 같다. 보온양생함 제작에 앞서 보온재의 열전도율이 콘크리트 수화반응에

\* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 겸임교수

\*\*\* 정회원, 대흥 ENG 전무

\*\*\*\* 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수

\*\*\*\*\* 정회원, 경동대학교 건축공학과 교수

미치는 영향을 알아보기 위하여 보온재의 종류를 KS 1호와 KS 4호로 제작하여 관리용 공시체의 수화열을 측정하였다. 그리고, 보온재의 두께가 단열양생함 내부의 콘크리트 수화반응에 미치는 영향을 알아보기 위하여 결정된 보온재로 두께 100, 200mm의 보온양생함을 제작하였다. 그리고, 매스 콘크리트 부재를 제작한 후 결정된 배합을 이용하여 콘크리트를 타설하여 매스 콘크리트 부재와 보온양생함의 수화온도를 비교 하였다. 그리고 매스 부재의 압축강도 관리를 위한 공시체는 표준수중양생, 대기양생, 현장봉합양생, 현장수중양생, 보온양생 THK100mm, 보온양생 THK 200mm, 코어강도의 7수준으로 하여 양생종류별로 제작하여 재령별로 코어강도와 양생종류별 압축강도를 비교분석하였다.

표 1. 실험인자와 수준 및 측정항목

실험인자		수준	
보온재 열전도율 실험	시험체 배합	2	400kgf/cm <sup>2</sup> , 800kgf/cm <sup>2</sup>
	양생방법	1	보온양생
	보온양생함	2	KS 1호, KS 4호
	수화열	2	보온양생함 내부 중앙
매스부재 실험	시험체 배합	4	240, 400, 600, 800kgf/cm <sup>2</sup>
	양생방법	1	대기양생
	양생환경	1	서중환경
	수화온도	2	매스 부재 중앙부 보온양생함 내부
	관리용 공시체	7	표준수중양생, 대기양생 현장수중양생, 현장봉합양생 THK 100 보온양생, THK 200 보온양생, 코어
재령	4	7, 14, 28, 91일	

### 2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애시는 보령산을 사용하였다. 그리고, 잔골재의 경우 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 쇄석을 사용하였다. 240kgf/cm<sup>2</sup>의 보통 강도 콘크리트는 25mm로, 400kgf/cm<sup>2</sup>이상의 고강도 콘크리트는 20mm 이하로 입도 조정하여 사용하였다. 혼화제는 국내에서 시판·사용되고 있는 D사의 혼화제를 사용하였으며, 400, 600kgf/cm<sup>2</sup>의 경우 AE제를 보조 혼화제로 사용하였다.

표 2. 사용재료

구분	수준	
결합재	시멘트	1종 보통포틀랜드 시멘트 비중 : 3.15 분말도 : 3200cm <sup>3</sup> /g
	플라이애쉬	분말도 : 3,084cm <sup>3</sup> /g 비중 : 2.11
	실리카흄	분말도 : 220,000cm <sup>3</sup> /g 비중 : 2.14
골재	잔골재	세척사, 최대치수 : 5mm 비중 : 2.62 조립율 : 2.78
	굵은골재	쇄석 최대치수 : 20mm, 25mm 비중 : 2.62 조립율 : 6.38
혼화제	고성능 AE감수제	나프탈렌계 고성능 AE감수제
	AE제	10배 희석

### 2.2 배합계획

실험에 사용된 콘크리트 배합은 표 3에 나타내었다. 보통 강도 콘크리트인 240kgf/cm<sup>2</sup>와 고강도 콘크리트인 400, 600, 800kgf/cm<sup>2</sup>으로 하였다. 각 배합 모두 플라이애시 치환율을 15%로 고정하였으며, 800kgf/cm<sup>2</sup>는 충분한 강도 발현을 위하여 실리카흄의 치환율을 10%로 하였다.

표 3. 부재실험 배합표

목표 강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/B	S/a	용적중량(kg/m <sup>3</sup> )							
			W	C	FA	SF	S	G	SP(kg)	AE(g)
240	50.1	46.5	168	285	50	0	835	968	1.68	
400	37.0	45	168	386	68	0	764	940	4.46	90.93
600	27.8	40	168	513	91	0	630	952	10.14	12.7
800	22.3	39	168	564	113	75	551	907	17.61	

### 2.3 보온양생함

보온양생함의 형상은 그림 1,2,3,4와 같이 제작하였다. 주재료는 발포폴리스틸렌으로 제작을 하였고, 제품사양은 KS 1호, KS 4호를 이용하여 제작을 하였다. 보온재의 비중에 따른 열전도율을 표 4에 나타내었다. 재단은 우드락 커트용 열선을 이용하였으며, 보온양생함에 삽입될 몰드는 내외경이 각각  $\phi$  100mm와  $\phi$ 114mm인 배관용 PVC관을 이용하여 지름과 높이의 비를 1:2로 하여 제작하였다.(이하 PVC 몰드라 함) PVC 몰드 밀판은 OHP필름을 이용하였으며, 완성된 PVC몰드와 보온양생함은 사진 1,2와 같다.

표 4. 보온재 성형품 비중에 따른 열전도율

종류	비중	열전도율
KS 1호품	0.030 이상	$\lambda = 0.026 + 0.00012\theta$
KS 4호품	0.015 이상	$\lambda = 0.031 + 0.00012\theta$

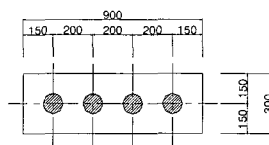


그림1. THK 100mm 보온양생함 평면도

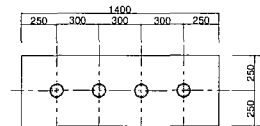


그림2. THK 200mm 보온양생함 평면도

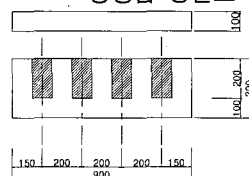


그림3. THK 100mm 보온양생함 단면도

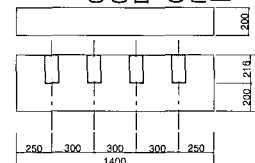


그림4. THK 200mm 보온양생함 단면도

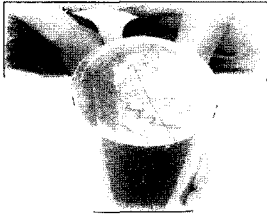


사진 1. PVC 몰드

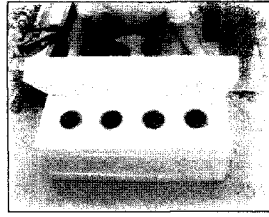


사진 2. 완성된 보온양생함

### 2.4 매스부재 압축강도 관리를 위한 관리용 공시체 제작

매스부재의 압축강도 관리를 위한 관리용 공시체 제작은 콘크리트 타설시 시료를 채취하여 표준수중양생, 현장수중양생, 대기양생, 현장봉합양생, 보온양생 THK100mm, 보온양생 THK200mm으로 양생을 실시를 하였다. 보온양생의 경우 콘크리트의 온도가 외기와 비슷해 질때까지 보온양생을 실시한 후 보온양생함 밖으로 꺼내어 수분증발 방지를 위하여 소정의 재령일까지 현장봉합 양생을 실시하였다.

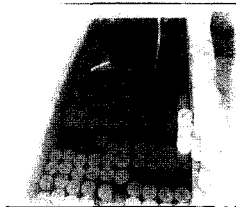


사진 3. 표준수중양생

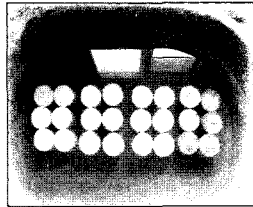


사진 4. 현장수중양생

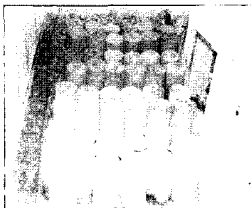


사진 5. 대기양생



사진 6. 현장봉합양생

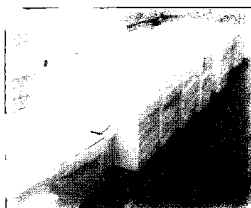


사진 7. 보온양생

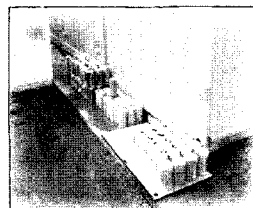


사진 8. 보온양생후 현장 봉합양생

### 2.5 부재시험

매스부재 시험체는 기초부재로 가정하여 가로, 세로, 높이를 1,000mm×1,000mm×1,000mm 크기로 제작한 후 강도별 콘크리트를 타설하였다. 수화온도 측정을 위한 온도센서(sensor)는 콘크리트 타설 전에 시험체의 내부 중앙에 센서를 매입하고, 타설 직후부터 자동온도 기록장치를 이용하여 1시간 간격으로 콘크리트의 수화온도 변화를 측정하였다. 매스부재내 온도센서를 설치하는 사진 9와 같이 하였다. 압축강도 측정을 위한 코어는 재령 7, 14, 28, 91일에 코어를 채취하였

으며 코어 채취 위치는 그림 5, 6 및 사진 10과 같다.

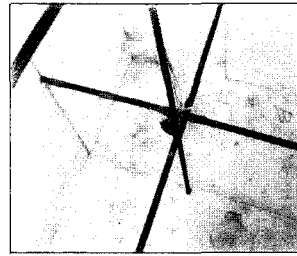


사진 9. 매스부재 온도센서 설치

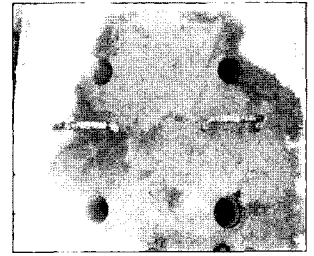


사진 10. 코어 채취 위치

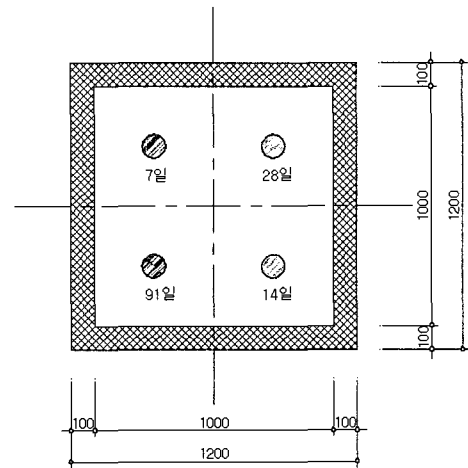


그림 5. 코어 채취위치-평면(단위:mm)

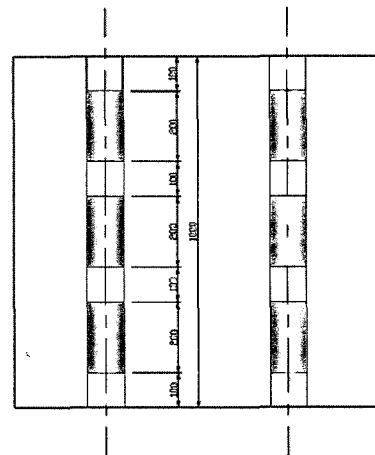


그림 6. 코어 채취위치-단면(단위:mm)

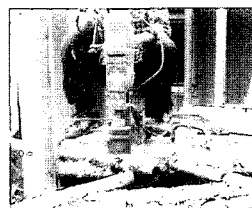


사진 11. 코어 채취



사진 12. 코어 절단

### 3. 실험결과 분석 및 고찰

#### 3.1 보온재의 열전도율에 따른 수화발열 특성

매스 부재실험에 앞서 매스부재의 압축강도 관리를 위한 보온양생함 제작을 위한 보온재의 열전도율에 따른 콘크리트 수화온도 측정결과는 그림 7, 8과 같다.

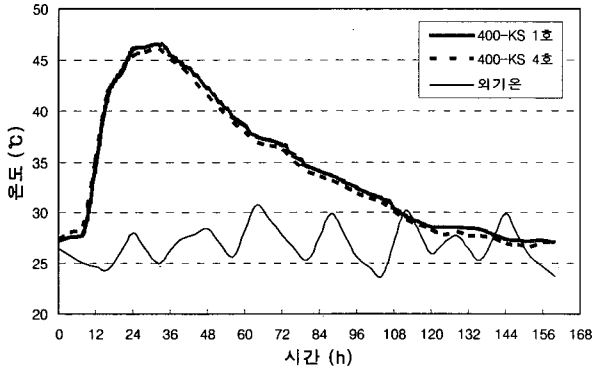


그림 7. 보온양생함의 열전도율에 따른 수화열 분포(fck=400kgf/cm<sup>2</sup>)

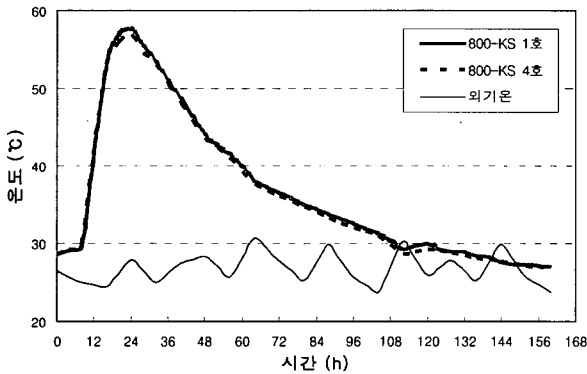


그림 8. 보온양생함의 열전도율에 따른 수화열 분포(fck=800kgf/cm<sup>2</sup>)

설계기준강도 400kgf/cm<sup>2</sup>의 시험체 경우 KS 1호의 보온양생함에서 타설 32시간 경과후 46.6°C의 최고 온도를 나타내었다. KS 4호의 경우는 타설 32시간 경과후 45.8°C의 최고 온도를 나타내었다. 800kgf/cm<sup>2</sup> 시험체는 KS 1호의 단열양생함에서 24시간 경과후 56.5°C의 최고온도를 나타내었으며 KS 4호의 경우는 24시간 경과후 56.1°C의 최고온도를 나타내었다.

보온재의 열전도율에 의한 온도차이는 콘크리트의 강도에 관계없이 약 1°C이내에서 KS 1호가 높게 나타났고 콘크리트 타설후 최고온도 도달시간은 KS 1호와 KS 4호가 유사한 경향을 나타내어 콘크리트의 수화발열 특성에 미치는 보온양생함의 열전도율 차이는 미약한 것으로 판단된다.

따라서, KS 1호와 KS 4호의 열전도율에 따른 콘크리트 내부 수화반응에 의한 온도이력이 거의 유사하게 나타났다.

그러므로, 보온양생함 제작에 있어 경제성 면과 제작성을 고려하여 KS 4호로 보온양생함 제작을 하였다.

#### 3.2 매스부재와 보온양생조의 수화발열 특성

강도별 매스 부재의 중심부 수화온도 및 보온양생함 내부의 콘크리트 수화온도의 측정 결과를 그림 9에 나타내고 있다.

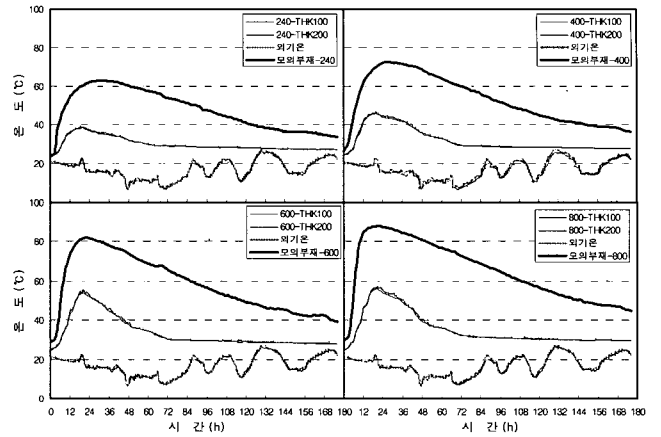


그림 9. 강도별 매스부재 중심부 온도 및 보온양생함 수화온도 분포

240kgf/cm<sup>2</sup>, 400kgf/cm<sup>2</sup>, 600kgf/cm<sup>2</sup>, 800kgf/cm<sup>2</sup> 부재의 콘크리트 수화발열 특성은 각각 중심부 최고 온도가 62.8°C, 72.5°C, 81.1°C, 88.1°C를 나타내었고, 타설후 최고 온도에 도달 시간은 31시간, 27시간, 23시간, 21시간으로 나타났다. THK 100mm 보온양생함의 경우 강도별로 최고온도가 38.5°C, 45.8°C, 53.2°C, 56.1°C를 나타내었고, THK 200mm 보온양생함에 있어서는 39.1°C, 46.5°C, 53.8°C, 57°C를 각각 나타내었다. 두께에 따른 보온양생함의 내부의 수화온도분포가 거의 유사하게 나타나 그림에서는 거의 유사한 온도 분포 곡선을 나타내었다. 그리고, 최고온도 도달시간은 25시간, 23시간, 21시간, 20시간으로 보온양생함의 두께에 따른 최고온도 도달시간은 유사한 것으로 나타났다. 강도별 매스부재의 최고온도와 THK 100mm 보온양생함의 최고온도 차이는 24.3°C, 26.7°C, 27.9°C, 32°C를 나타내었고, THK 200mm 보온양생함의 최고온도와의 차이는 23.7°C, 26°C, 27.3°C, 31.1°C를 나타내었다. 최고온도에 도달하는 시간차이는 THK 100mm, THK 200mm 모두 6시간, 4시간, 2시간, 1시간으로 나타나강도가 높아질수록 부재 중심부의 온도와 보온양생함 내부의 온도 차이가 높아지는 것으로 나타났다. 그러나, 최고온도에 도달하는 시간은 강도가 높아질수록 짧아 지는 것으로 나타났다. 그리고, 보온재의 두께에 따른 보온양생함 내부의 콘크리트 수화발열 특성의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

#### 3.3 재령별 코어강도와 양생종류별 압축강도

재령별 코어 공시체와 관리용 공시체와의 압축강도를 그림 10에 나타내고 있다. 아래의 그림에서 보는 바와 같이 모든 강도에 있어 보온양생함의 두께에 따른 압축강도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 초기재령인 7일에 있어 모든 매스 부재의 압축강도가 타 양생법에 의한 관리용 공시체보다 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 이는 타설초기의 높은 외기온 및 수화온도에 의해 초기재령에서 높은 강도발

현을 한 것으로 생각된다. 관리용 공시체에 있어 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 경우에서 보온양생을 실시한 관리용 공시체가 가장 높은 압축강도를 발현하였다. 이는, 보온양생함의 외기에 대한 보온효과로 인하여 양생함 내부의 콘크리트 수화열이 방열되지 않고 관리용 공시체에 부여되어 초기의 압축강도가 타 양생법에 의한 관리용 공시체의 압축강도 보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

그리고, 장기 재령 일수록 코어 압축 강도값이 대기양생 관리용 공시체를 제외한 나머지 관리용 공시체의 압축강도와 비교해서 낮은 압축강도를 발현하였다. 그러나, 보온양생을 실시한 관리용 공시체의 경우에 있어 보온양생함의 두께에 관계없이 압축강도 발현이 코어 압축강도와 유사한 압축강도를 발현하였다. 이는 관리용 공시체 콘크리트 타설후 외기온에 의한 영향이 보온재에 의하여 차단되어, 관리용 공시체의 적정한 수화반응이 지속적으로 이루어져, 매스 부재의 수화발열 특성과 유사한 수화열이 발생되어 모든 재령에서 코어 압축강도와 유사한 강도발현을 한 것으로 생각되어진다.

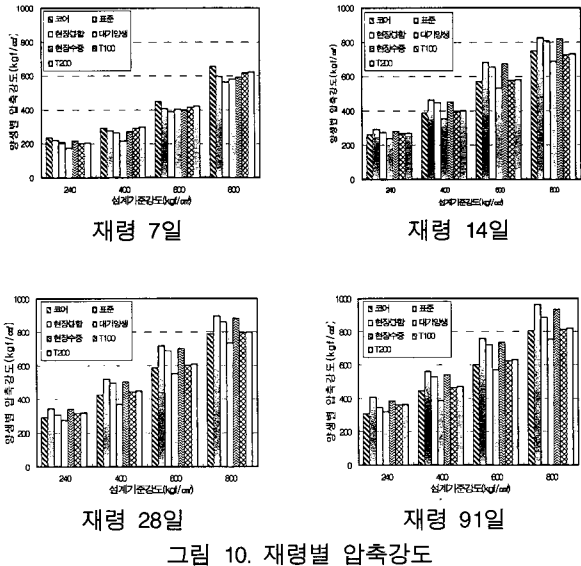


그림 10. 재령별 압축강도

### 3.4 양생 종류에 따른 재령별 압축강도 증진율

재령별 압축강도의 증진율을 그림 11에 나타내었다. 설계 기준강도에 관계없이 모든 코어 압축강도의 증진이 유사한 경향을 나타내었다. 이는 콘크리트 타설 초기의 높은 수화 온도로 인하여 초기강도 발현이 높은 반면, 장기재령일수록 초기재령에서의 높은 수화온도로 인하여 결합수의 증발 및 수화과정에서 발생하는 화학 생성물이 강도에 유리한 물질을 생성하지 못하여 장기강도 증진이 낮은 것으로 생각 되어진다. 240kgf/cm<sup>2</sup>의 관리용 공시체의 경우 모든 경우에 있어 코어 압축강도와 상이한 강도 증진을 나타내었다. 그러나, 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 고강도 콘크리트의 경우에 있어 보온양생 관리용 공시체가 초기강도 발현 및 장기강도 증진율이 유사한 경향을 나타내었다. 그리고, 고강도 콘크리트 일수록 코어 압축강도와 거의 유사한 압축강도 발현 및 증진이 나타났다. 이는 매스 부재의 수화온도와 보온양생함 내부의 콘크리트 수화온도가 고강도 콘크리트일수록 최고온도에 도달하는 시

간이 유사해지는 경향에 의한 것으로 사료 되어진다.

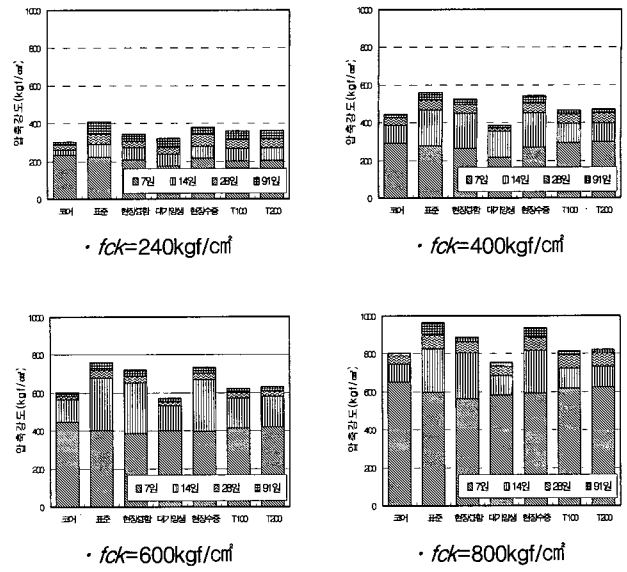
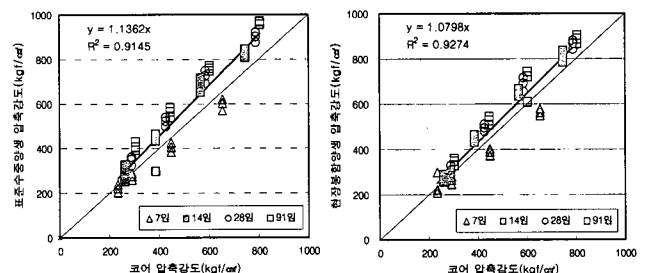


그림 11. 재령별 압축강도 증진율

### 3.5 코어 압축강도와 관리용 공시체 압축강도 상관관계

코어 압축강도와 관리용 공시체와의 압축강도 상관관계를 그림 12에 나타내었다. 240kgf/cm<sup>2</sup>의 시험체의 경우 표준수중양생, 현장수중양생을 제외한 양생법에서 재령에 관계없이 코어 강도와 유사한 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 표준수중양생을 실시한 관리용 공시체의 경우 초기재령인 7일의 압축강도를 제외하고 모든 재령에서 상당히 높은 압축강도를 발현하여 코어 압축강도와의 상관성이 저하되는 것으로 나타났다. 그리고, 현장보습양생, 현장수중양생의 경우 코어 압축강도와의 상관성이 표준수중양생보다 다소 높은 상관성을 나타내었으나, 장기재령 발현면에서 코어 압축강도보다 높은 강도발현을 하였다. 이는 높은 외기온에서도 수분공급이 지속적으로 이루어져 코어 압축강도와는 달리 장기강도 발현이 증가되어 코어 압축강도 보다 높은 압축강도 발현을 한것으로 판단된다. 그러나, 보온양생을 실시한 관리용 공시체의 경우 보온양생함의 두께에 상관없이 코어 압축강도와의 관계가 y=x의 함수관계를 나타내어 코어 압축강도와의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이는, 관리용 공시체에 타 종류의 양생법에 의한 것과는 달리 보온양생 공시체에 매스 부재의 수화 온도이력과 유사한 온도이력이 발생하여 유사한 강도발현을 한 것으로 생각되어진다.



코어 : 표준수중양생

코어 : 현장보습양생

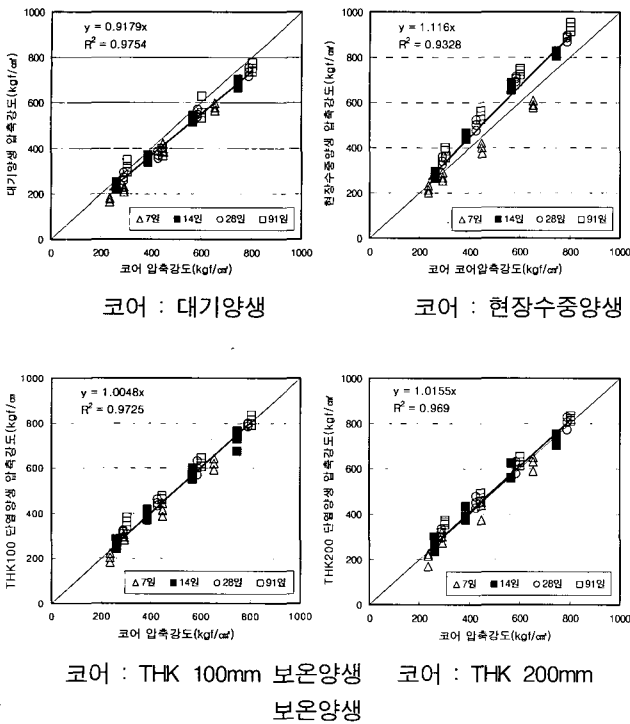


그림 12. 코어압축강도와 관리용 공시체의 압축강도 상관성

#### 4. 결 론

보온양생 관리용 공시체를 이용하여 고강도 매스 콘크리트 압축강도 관리에 관하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 보온양생함의 열전도율에 따른 수화발열 특성은 KS 1호와 KS 4호의 보온양생함에서 콘크리트 수화발열 특성이 거의 같이 나타나 보온재의 열전도율은 관리용 공시체의 수화반응에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 강도가 높아질수록 부재 중심부의 온도와 보온양생함 내부의 온도차이가 높아지는 것으로 나타났으나, 최고온도에 도달하는 시간은 강도가 높아질수록 짧아지는 것으로 나타났다.
- 3) 초기재령의 경우 코어 압축강도와 보온양생 관리용 공시체가 유사한 강도 발현을 하는 것으로 나타나 초기의 높은 수화온도로 인하여 초기강도 증진이 코어 압축강도와 비슷한 것으로 나타났다.
- 4) 재령에 따른 압축강도는 240kgf/cm<sup>2</sup>의 경우 수중양생에 의한 방법을 제외한 양생법에서 코어 강도와 유사한 강도발현을 하였다. 그러나, 고강도 콘크리트의 경우 보온양생 관리용 공시체가 강도발현 및 강도 증진이 코어의 압축강도 발현과 유사한 경향을 나타내었다.

5) 코어 압축강도와 관리용 공시체의 압축강도 상관성에 있어 표준 및 현장수중양생과 현장봉함양생의 경우 코어 압축강도와의 상관관계가 낮은 것으로 나타났으나, 고강도 매스 콘크리트의 수화온도 이력과 유사한 수화온도 이력이 발생한 보온양생 관리용 공시체의 경우 코어 강도와 높은 상관성을 나타내었다.

이상의 결과로부터 매스부재가 가지는 온도이력을 보온양생을 이용한 관리용 공시체에 부여하여 강도관리를 하면 현재의 강도관리 방법인 표준수중양생법 보다 정확한 강도관리가 이루어 질것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 佐藤 孝外, “高强度コンクリートの構造体コンクリート強度平價に關する實驗的研究”, 日本建築學會大會學術講演梗概彙, 2002.8
2. 백민수, “플라이애시를 대량 사용한 콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구”, 단국대학교 박사학위 논문, 2003
3. 정상진 외, “건축재료학”, 보성각, 1999
4. 坂野宏行外 “低發熱セメントを用いた高强度コンクリートの住構造體強度に關する比較調査” 콘크리트工學年次論文彙, vol.24, No.1, 2002
5. 黒羽健嗣外 “Fc600kgf/cm<sup>2</sup>の高强度コンクリートを用いた超高層建築物の施工”, 콘크리트工學, vol.33, No.9, pp.29-39, 1995.9