

# 단열양생을 이용한 고강도 콘크리트 압축강도 추정에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Estimation of Strength in High Strength Concrete Structure Using Simple Adiabatic Curing

조규현\* 김제섭\* 황병준\* 공민호\*\* 백민수\*\*\* 정상진\*\*\*\*  
Cho, Kyu Hyun Kim, Je Sub Hwang, Byung Jun Gong, Min Ho Back, Min Soo Jung, Sang Jin

### Abstract

The present study is a basic experiment on the estimation of the compression strength of high strength concrete, aiming at estimating the compression strength of mass test pieces of high strength concrete by giving the temperature hysteresis of the mass test pieces to managerial test pieces.

Thus, this study made concrete test pieces in an optimal mix ratio for each strength level, and also created adiabatic curing tank 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.

### 1. 서론

서중조건하에서 고강도 콘크리트는 보통강도 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 있고, 또한 표준수중양생한 원주형 관리용 공시체의 압축강도와 구조체 콘크리트의 강도에는 많은 차이가 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 차이는 재료외에 구조체 부재의 크기, 계절등 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 본연구에서는 강도별 배합비로 콘크리트 부재를 제작하여 매스 부재와 유사한 온도이력을 부여 할 수 있는 단열양생조 및 관리용 공시체를 제작한 후 코어 강도와와의 관계를 비교분석하여 고강도 콘크리트 부재의 강도를 보다 간단하고 정확하게 관리 할 수 있는 장치와 기법을 제시하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

\* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

\*\*\* 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 겸임교수

\*\*\*\* 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

본 연구의 실험계획 및 실험 인자는 표. 1과 같다. 단열양생조 제작에 앞서 단열재의 열전도율이 콘크리트 수화반응에 미치는 영향을 알아보기 위하여 단열재의 종류를 KS 1호와 KS 4호의 2수준으로 제작하여 공시체의 수화열을 측정하였으며, 결정된 단열재로 두께 100, 200mm의 단열양생조를 제작하였다. 그리고, 매스 콘크리트 부재를 제작한 후 결정된 배합을 이용하여 콘크리트를 타설하여 매스 콘크리트 부재와 단열양생조의 수화열을 비교 하였고, 공시체는 표준수중양생, 대기양생, 현장봉합양생, 현장수중양생, 단열양생 THK100mm, THK 200mm, 코어강도의 7수준으로 하여 양생종류별로 제작하여 재령별로 코어강도와 양생종류별 압축강도를 비교분석하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 플라이애시는 보령산을 사용하였으며, 잔골재의 경우 세척사를 사용하였고, 굵은 골재는 경기도 퇴촌의 쇠석을 사용하였으며 20mm와 25mm 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 1. 실험인자와 수준 및 측정항목표

실험인자		수준	
단열재 열전도율 실험	시험체 배합	2	400kgf/cm <sup>2</sup> , 800kgf/cm <sup>2</sup>
	양생방법	1	단열양생
	단열양생조	2	KS 1호, KS 4호
	수화열	2	단열양생조 내부 중앙
매스부재 실험	시험체배합	4	240, 400, 600, 800kgf/cm <sup>2</sup>
	양생방법	1	단열양생
	양생환경	1	서중환경
	수화열	3	중앙부, 단열양생조 내부
	공시체	7	표준수중양생, 대기양생 현장수중양생, 현장봉합양생 THK 100 단열양생, THK 200 단열양생, 코어
	재령	4	7, 14, 28, 91일

2. 사용재료

구분		수준	
결합재	시멘트	1종 보통포틀랜드 시멘트 비중 : 3.15	
	플라이애쉬	분말도 : 3,084cm <sup>2</sup> /g 비중 : 2.11	
	실리카흄	분말도 : 220,000 비중 : 2.14	
골재	잔골재	세척사, 최대치수 : 5mm 비중 : 2.62 조립율 : 2.78	
	굵은골재	갯자갈 최대치수 : 20mm, 25mm 비중 : 2.62 조립율 : 6.38	
혼화제	고성능 AE감수제	나프탈렌계 고성능 AE감수제	
	AE제	10배 희석	

## 2.3 배합

실험에 사용된 콘크리트 배합은 표. 3에서 보는 바와 같이 보통강도 콘크리트인 240kgf/cm<sup>2</sup>과 고강도 콘크리트 400, 600, 800kgf/cm<sup>2</sup>의 4수준으로 하였고, 각 배합 모두 플라이애시 치환율 15%로 고정하였으며, 800kgf/cm<sup>2</sup>는 실리카흄의 치환율 10%로 하였다.

표 3. 부재실험 배합표

목표 강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	W/B	S/a	용적중량(kg/m <sup>3</sup> )							
			240	C	FA	Si	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	

## 2.4 단열양생조

주재료는 일반적으로 시중에서 사용되는 발포폴리스틸렌으로 제작을 하였고, 제품사양은 KS 1호, KS 4호를 이용하여 제작을 하였다. 재단은 우드락 커트용 열선을 이용하였으며, 단열양생조에 삽입될 몰드는 내외경이 각각 Ø100mm와 Ø114mm인 배관용 PVC관을 이용하여 지름과 높이의 비를 1:2로 하여 제작하였고(이하 PVC 몰드라 함) PVC 몰드 밀판은 OHP필름을 이용하였다. 완성된 PVC몰드와 단열양생조는 사진 1,2와 같다.

## 2.5 부재실험

매스부재 시험체는 5면 단열, 1면개방으로 한 기초부재로 가정하여 가로, 세로, 높이를 1,000mm×1,000mm×1,000mm크기로 제작한 후 강도별 콘크리트를 타설하였다. 수화열 측정을 위한 열전대(sensor)는 콘크리트 타설 전에 시험체의 내부 중앙에 센서를 매입하고, 타설 직후부터 자동온도기록장치(수화열 측정기)를 이용하여 1시간 간격으로 콘크리트의 수화온도 변화를 측정하였으며 측정을 위한 코어는 재령 7, 14, 28, 91일에 코어를 채취하였으며 코어 채취 위치는 그림 1과 같다.

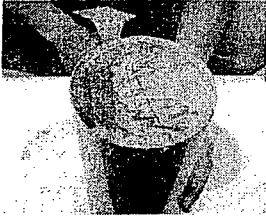


사진 1. PVC 몰드

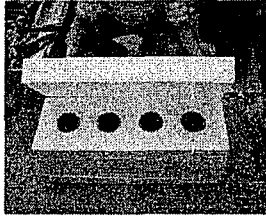


사진 2. 단열양생조

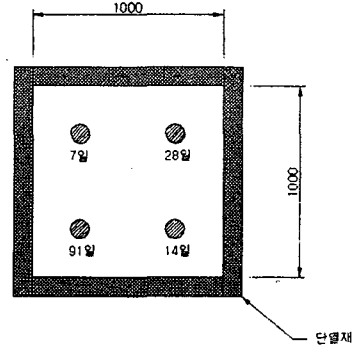


그림 1. 코어 채취 위치

## 3. 실험결과 분석 및 고찰

### 3.1 단열재의 열전도율에 따른 수화발열 특성

단열양생조 제작에 앞서 단열재의 열전도율이 콘크리트 수화반응에 미치는 영향을 알아보기 위하여 단열재의 열전도율에 따른 수화열 측정 결과를 그림 6에 나타내었다. KS 1호와 KS 4호의 열전도율에 따른 콘크리트 내부 수화열의 최고온도에 도달하는 시간이 거의 같으므로 단열양생조 제작에 있어 단열재의 열전도율에 따른 내부의 콘크리트 수화온도는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 단열재의 열전도율은 단열양생조 내부의 콘크리트 수화반응에 커다란 영향을 미치지 않는 것으로 나타나, 경제성 면과 제작 용이성에서 KS 4호로 단열양생조 제작을 하여도 커다란 무리가 없을 것으로 판단된다.

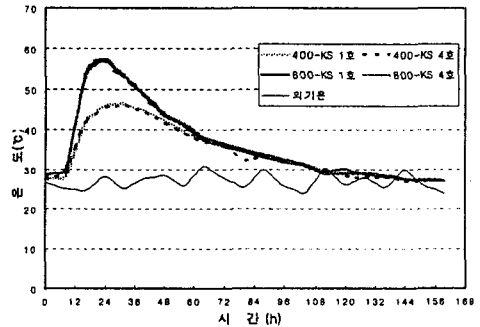


그림 2. 열전도율에 따른 단열양생조 내부 수화온도분포

### 3.2 강도별 매스부재와 단열양생조의

#### 수화발열 특성

강도별 부재의 중심부 수화열 측정 결과를 그림 3에 나타내고 있다. 240kgf/cm<sup>2</sup>, 400kgf/cm<sup>2</sup>, 600kgf/cm<sup>2</sup>, 800kgf/cm<sup>2</sup> 부재의 수화열 특성은 강도가 높아질수록 부재 중심부의 온도와 단열양생조내부의 온도차이가 높아지는 것으로 나타났으나, 최고온도에 도달하는 시간은 강도가 높아질수록 짧아지는 것으로 나타났다.

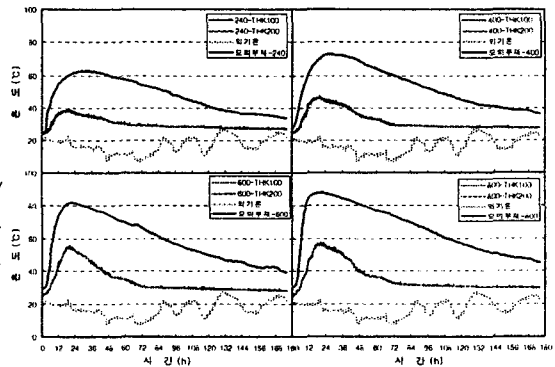


그림 3. 강도별 매스부재 중심부 온도 및 단열양생조 수화온도 분포

### 3.3 재령별 코어강도와 양생종류별 압축강도

재령별 코어 공시체와 관리용 공시체와의 압축강도를 그림 4에 나타내고 있다. 모든 강도에 있어 단열양생조의 두께에 따른 압축강도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 재령 7일에서의 코어 공시체와 관리용 공시체의 특성은 강도 240kgf/cm<sup>2</sup>에서는 코어공시체의 강도가 관리용 공시체의 압축강도보다 높게 나타나고, 단열양생 공시체의 강도값 보다 표준수중양생, 현장수중양생, 현장 봉함양생이 코어공시체 강도와 유사한 강도값을 나타내낸 반면에 400kgf/cm<sup>2</sup>, 600kgf/cm<sup>2</sup>, 800kgf/cm<sup>2</sup>의 경우는 대기양생을 제외한 관리용 공시체의 압축강도가 모두 높게 나타났다. 초기재령에 있어 코어 공시체의 강도와 유사한 강도값을 나타냈다. 이는, 고강도 매스 콘크리트 부재가 가지는 온도이력과 유사한 온도 이력을 단열양생 공시체에 부여한 것으로 생각된다. 재령 28일에 있어서는 모든 강도에 있어 표준수중양생이 가장 높은 값을 나타냈으며, 다음으로는 현장수중양생, 현장봉함양생 순으로 높은 강도성상을 보였으나, 코어 강도값과 단열양생의 강도값이 유사하게 나타났다. 240kgf/cm<sup>2</sup>의 경우 단열양생한 공시체가 코어 공시체 보다 높은 압축강도를 나타내었는데 고강도 콘크리트에 비하여 초기의 낮은 수화열로 인하여 장기강도 증진이 높아진 것으로 생각되어진다. 매스부재의 강도 증진률은 부재의 중심부 온도가 높을수록 28일에서 91일의 압축강도 증진은 101~102%로 나타나 중심부 온도가 70℃ 이상일 경우 강도의 증진은 거의 없는 것으로 나타났으며, 단열양생의 강도 증진율은 매스콘크리트보다 약간 높은 경향을 나타냈으나, 타 종류의 양생 공시체보다 코어공시체와의 증진율도 유사한 것으로 나타났다. 이는 타설후 매스 부재가 가지는 온도이력과 유사한 온도이력을 단열양생 공시체에 부여하여 장기강도 증진이 더디게 나타난 결과로 판단되며, 콘크리트의 강도가 고강도일수록 부재와 유사한 온도이력을 나타낸 단열양생 공시체로 콘크리트의 강도관리를 하면 보다 정확한 관리를 할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

고강도 콘크리트 매스 부재 및 관리용 공시체의 수화발열 및 압축강도 특성에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 강도가 높아질수록 부재 중심부의 온도와 단열양생조 내부의 온도차이가 높아지는 것으로 나타났으나, 최고온도에 도달하는 시간은 강도가 높아질수록 짧아지는 것으로 나타났다. 이는 단위 시멘트량의 차이에 의해 기인된 것으로 생각되어진다.
- (2) 재령 28일에 있어 400kgf/cm<sup>2</sup>, 600kgf/cm<sup>2</sup>, 800kgf/cm<sup>2</sup> 강도에 있어 표준수중양생>현장수중양생>현장 봉함양생>코어, 단열양생>대기양생의 순으로 나타났다.
- (3) 부재의 중심온도가 70℃ 이상이면 장기강도 증진률이 낮은 것으로 나타났으며, 단열양생을 실시한 공시체 역시 이와 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타났다. 초기의 높은 수화열로 인하여 장기강도의 강도증진을 방해한 것으로 판단되었다.

#### 참고문헌

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

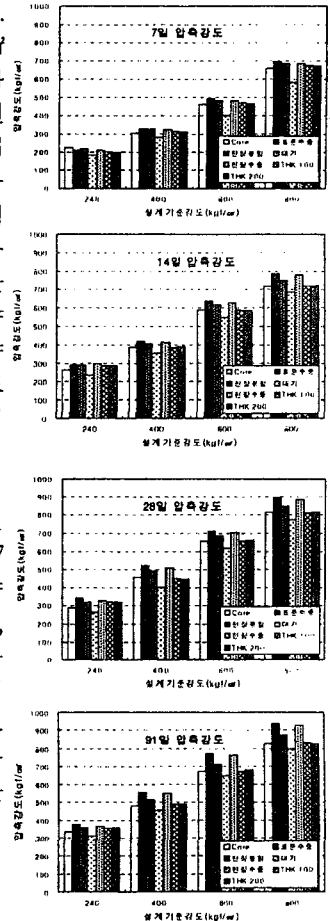


그림 4. 재령별 압축강도