

# 매스콘크리트의 高強度化에 관한 實驗的 연구

## Experimental Study on High Strength Mass Concrete

이 하 성*	곽 영 근*	천 용 호*
Lee, Ha Sung	Kwak, Young Keun	Chun, Yong Ho
	정 상 진**	정 헌 수***
	Jung, Sang Jin	Jung, Heon Soo

### ABSTRACT

This study is for estimating strength of mass concrete by finding out temperature and strength distribution of member inside through manufacture actual model in summer and winter

#### I. 서언

현대의 구조물이 초고층화, 대형화되어감에 따라 보다 합리적이며 경제적인 구조시스템이 요구되고 있다. 이에 따라서 보다 효용이 높은 건설재료를 필요로 하게 되었으며, 이를 위한 방안으로 현재까지 가장 보편적인 건설재료인 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 추진되고 있다. 이의 일환으로서 고강도 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 고강도 콘크리트의 높은 취성과 낮은 연성 등이 근본적으로 문제시 되고 있다. 특히 고강도 콘크리트 부재가 매스화 되었을 경우 높은 단위시멘트량으로 인한 수화열때문에 내부온도가 상승하여 보통 콘크리트와는 상이한 강도발현을 나타낸다.

초고층 건물의 기초 또는 기둥, LNG지하탱크, 원자력발전소의 격납용기등의 특수구조물에 쓰이는 고강도 콘크리트는 부재가 크기 때문에 보통 콘크리트와는 달리 양생이나 관리에 있어서 세심한 주의를 필요로 한다.

본 연구는 이러한 고강도 매스콘크리트의 강도 발현 특성을 규명하고자 하기와 동기에 걸쳐 2차례 실험부재를 제작하여 수화열에 의한 온도 분포와 강도분포를 파악하여 적산온도와 압축강도와의 관계를 고찰하였다. 또한 부재의 강도를

추정할 수 있는 공시체 관리방법을 제시하고자 한다.

#### II. 실험개요

##### 2.1 사용재료 및 콘크리트배합

본 실험에 사용한 콘크리트는 시공성과 강도발현성이 우수한 배합비의 콘크리트를 적용하여 시멘트는 제1종 포틀랜드시멘트를 사용하고 모래는 미사리산을 사용했으며 조골재는 안양석산의 최대치수 25mm인 쇄석을 사용하였다. 고성능 감수제는 MIGHT-2000WH를 사용하여 단위수량 170kg/m<sup>3</sup>의 원비빔 콘크리트의 소요슬럼프를 확보하였다. 본 실험에 사용한 콘크리트 배합은 표 1과 같다.

표 1 콘크리트 배합표

W/C (%)	SP제 첨가율 (%)	S/A (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )				슬럼프 cm
			물	시멘트	세골재	조골재	
30	1.0	43	170	567	702	941	20

##### 2.2 부재모델의 종류

고강도 매스콘크리트 부재의 수화열에 따른 강도성상을 파악하기 위하여 타설시기를 夏期와 冬期로 나누어 각각 다른 2개의 부재를 타설하였다.

##### 1) 하기타설부재

본 연구는 한국과학재단의 지원에 의해서 실험 되었음.

\* 단국대 대학원

\*\* 단국대 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\* 중앙대 건축과 교수, 공학박사

표 2에 나타내는 바와 같이 일반현장에서 콘크리트를 타설하는 것과 동일하게 아무런 조치를 취하지 않은 부재(이하 無冷却部材라 칭함)와 콘크리트를 비빌때에 액체질소를 분사하여 타설 온도를 5℃정도 낮춘 부재(이하 冷却部材라 칭함)가 있다.

### 2) 동기타설부재

표 2에 나타내는 바와 같이 1m이상의 매스부재의 중심부로 가정하여 全面을 단열한 부재(이하 全面斷熱部材라 칭함)와 두께1m의 벽체의 일부분을 가정하여 2면을 개방하고 나머지 4면을 단열한 부재(이하 2面開放部材라 칭함)가 있다.

### 2.3 관리용 공시체의 종류

전절에서 기술한 바와 같이 고강도 콘크리트는 높은 단위시멘트량으로 인한 수화열이 높기 때문에 보통콘크리트와는 상이한 강도특성을 나타낸다. 특히 부재가 매스일 경우는 그 특성이 더욱 다르게 나타난다. 따라서 현장에서 보통콘크리트의 강도를 확인 하기 위하여 행해지고 있는 수중양생한 공시체로는 고강도 매스콘크리트의 강도를 정확히 추정할 수 없다. 본 실험에서는 4종류의 공시체 양생방법을 실시하여 재령에 따라 부재의 강도와 비교하여 고강도 매스콘크리트의 부재 강도를 추정하기 위한 공시체 양생방법을 제시하고자 한다. 양생조건과 종류를 표 3에 나타낸다.

### 2.4 부재모델내부의 온도측정

본 실험은 신대방동에 위치한 아파트 건설현장에서 실시 하였으며, 부재모델내부의 온도성상을 파악하기 위하여 그림 1에 나타낸 위치에 열전대를 매설하였다. 모델부재내부의 수화열에 의한 온도는 자동온도기록장치(TDS-301, 동경측기)를 사용하여 30분 간격으로 내부의 온도를 측정하였다. 또한 부재 타설과 동시에 관리용 공시체를 제작하여 각종 양생별로 분류하였다.

### 2.5 部材모델의 코아공시체採取

제작한 부재모델 내부의 강도발현 성상을 파악하기 위하여 각 재령에 따라 그림 1에 나타낸 것과 같은 위치에서 코아채취기를 사용하여 지름 10cm의 코아시험체를 채취하였다. 채취한 코아

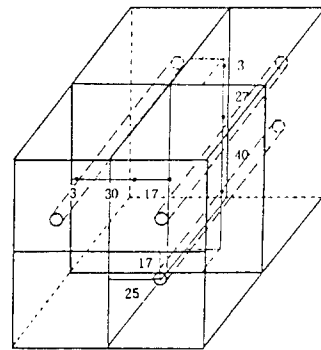
시험체는 절단기를 사용하여  $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 의 공시체로 제작하여 압축강도를 측정하였다. 또한 실험 부재와 같은 재령에서 각기 다른 방식으로 양생한 관리용공시체의 강도시험을 병행하여 실시하였다.

표 2 부재모델의 종류

타설 시기	부재 종류	부재크기	코아채취 재령 (일)
하기	무냉각 부재	1×1×1 M	14, 28, 90
	냉각 부재		
동기	전면단열 부재	1×1×1 M	14, 28, 90
	2면개방 부재		

표 3 양생조건과 부재모델의 종류

양생조건	양생한 부재모델의 종류	재령 (일)
수중양생	소부재 - 4종류	7, 14, 28, 90
밀봉양생	무냉각 제외 - 3종류	
기중양생	소부재 - 4종류	
단열양생	무냉각 제외 - 3종류	
표준양생	동기타설부재 - 1종류	



부재모델 1x1x1M

그림 1 열전대 위치 및 코아채취 위치

## III. 결과 및 분석

### 3.1 부재모델내부의 온도분포 비교

본 실험에서는 동기와 하기로 타설시기를 달리 하여 각각 2개의 서로 다른 부재를 타설 하였으나, 본 절에서는 각 타설시기의 대표적인 부재를 선정하여 그 온도분포를 비교해 보고자 한다. 하기에 타설한 無冷却부재와 동기에 타설한

2面開放부재의 콘크리트 수화에 따른 내부온도 분포를 그림 2에 나타낸다.

두 부재는 같은 재료를 사용하여 동일한 방법으로 타설시지만 달리하여 제작하였으나, 그림에서 보는 바와 같이 각 부재의 위치에 따라 온도분포를 달리하고 있다. 이는 주로 콘크리트의 타설온도에 기인하는 것으로 사료된다. 두 부재의 타설온도를 보면, 하기에 타설한 부재는 약 30℃정도이고, 동기에 타설한 부재는 약 15℃정도로 나타나고 있다. 또한 두 부재의 최고 온도차이는 중심부에서 8.9℃, 표면부에서 13.9℃를 나타내고 있다.

이 결과로서, 콘크리트의 수화온도는 타설온도에 따라 달라질 수 있으며, 타설온도를 낮춤으로서 콘크리트의 수화온도를 낮추어 매스콘크리트의 온도응력에 의한 균열을 줄이고 강도를 증진시킬 수 있을것으로 사료된다.

### 3.2 부재모델 내부의 압축강도 분포

#### 1) 하기타설부재의 압축강도 분포

소정의 재령에 따라 부재모델로부터 채취한 코아의 압축강도 시험결과를 표 4에 나타내고 있다. 표에 의하면 두 부재 모두 중심부위가 표면부위에 비하여 낮은 강도 발현을 보이고 있다. 무냉각부재의 28일 강도를 보면 표면부가 464kg/cm<sup>2</sup>이고 중심부가 426kg/cm<sup>2</sup>로서 중심부의 강도가 표면부의 강도에 비하여 10% 정도 낮게 나타나고 있다. 이러한 경향은 90일강도에서도 같게 나타나고 있어서, 장기강도에 있어서도 중심부의 강도는 표면부에 비하여 불리한 것으로 나타났다.

타설온도를 5℃정도 낮춘 냉각부재의 28일 강도는 무냉각부재의 강도에 비하여 6~11% 정도의 증가를 보이고 있다. 그러나 냉각부재 역시 무냉각부재에서 보여졌던 중심부의 강도가 낮게 나타나는 경향을 보이고 있다.

#### 2) 동기타설부재의 압축강도 분포

동기에 타설한 부재모델로 부터 채취한 코아의 압축강도를 표 5에 나타낸다. 표에 나타난 바와 같이 2面開放부재를 보면 28日 강도에서 표면부의 강도는 496.5kg/cm<sup>2</sup>이고 중심부의 강도는 448kg/cm<sup>2</sup>로서 중심부의 강도가 표면부의 강도

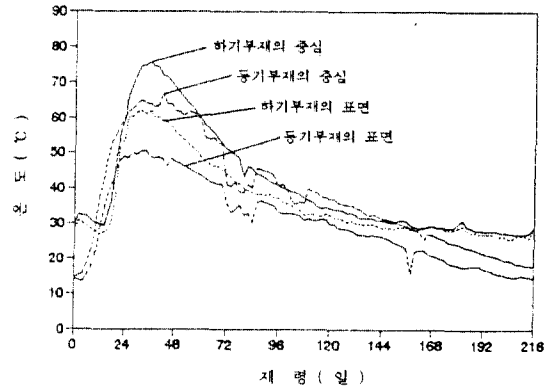


그림 2 부재내부의 온도분포

표 4 하기타설부재의 압축강도 분포

부재 종류	표면에서의 거리 (cm)	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
		14일	28일	90일
냉각	0-20	497	521	562
	20-40	464	501	545
	40-60	410	450	495
	20-40	460	489	540
무냉각	0-20	475	513	560
	0-20	438	458	510
	20-40	420	453	501
	40-60	370	426	438
	20-40	393	440	505
	0-20	430	470	518

표 5 동기타설부재의 압축강도 분포

부재 종류	표면에서의 거리 (cm)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
		14일	28일	90일
전면 단열	0-20	460	500	552
	20-40	446	481	545
	40-60	433	462	532
	20-40	454	489	539
2면 개방	0-20	457	493	543
	0-20	450	504	579
	20-40	445	479	559
	40-60	433	448	541
	20-40	444	471	562
	0-20	453	489	584

에 비하여 9%정도 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 90일 강도에서는 7%정도 중심부가 낮게 나타나고 있다.

반면에 全面斷熱부재는 전재령에 걸쳐서 중심부와 표면부의 강도가 비슷하게 나타나고 있다. 이는 단열로 인해 중심부와 표면부의 수화온도가 비슷했던 것에 기인한 것으로 사료된다.

### 3.3 적산온도

적산온도의 이론은 한랭지에서의 한중콘크리트와 중기양생 콘크리트공사에서 콘크리트 양생기간을 정하는 경우에 재령대신에 아래의 식에 의해 계산된 적산온도를 적용하는 방식이다.

$$M = \sum_{t=0}^{\infty} (\theta + 10) \Delta t$$

M : 적산온도 ( °C · day )

θ : 콘크리트의 평균양생온도

Δt : 시간 ( 일 또는 시간 )

본 실험에서는 콘크리트의 타설시 미리 설치해 둔 열전대를 통하여 콘크리트의 양생시 온도를 측정하여 적산온도를 산출해 내고 또한 부재내부의 각부분의 강도를 측정함으로써 적산온도와 압축강도의 관계를 검토해 보았다. 그 결과 네 가지 부재에서 각기 다른 관계식을 얻을 수 있었다.

그림 3과 그림 4에 부재모델내부의 온도로 부터 구한 적산온도와 압축강도와의 관계를 하기와 동기로 나누어 나타낸다.

### 3.4 부재모델강도와 관리용공시체강도의 관계

하기와 동기로 나누어 2차례에 걸쳐 제작된 실험부재의 강도와 각종 관리용공시체가 강도를 표 6과 그림 5에 나타낸다.

하기와 동기의 실험부재의 압축강도는 91일강도에서 각각 515kg/cm<sup>2</sup>, 540kg/cm<sup>2</sup>을 보이고 있다. 하기부재의 압축강도는 재령 초기인 14일강도에서는 관리용공시체의 같은재령 강도보다 높은 460kg/cm<sup>2</sup>을 보이고 있으나, 이 후로는 강도 증가가 둔해져서 장기재령에서는 관리용공시체의 강도에 미치지 못하고 있다. 이러한 강도의

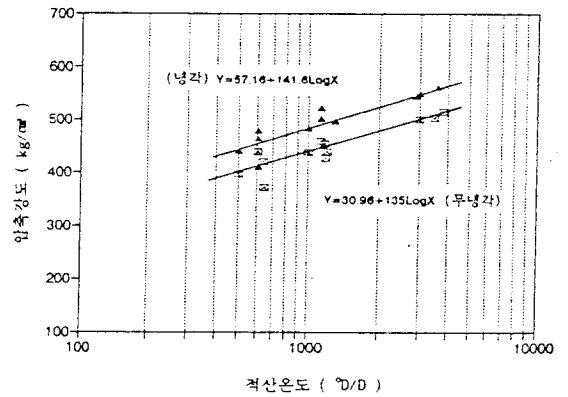


그림 3 하기부재의 적산온도와 압축강도 관계

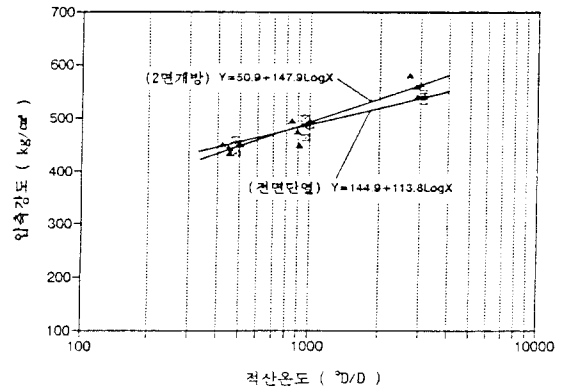


그림 4 동기부재의 적산온도와 압축강도 관계

표 6 부재의 강도와 관리용 공시체의 강도

타설 시기	공시체 종류	압축강도 ( kg/cm <sup>2</sup> )			
		7일	14일	28일	91일
하기	수중양생	395	445	471	581
	기중양생	315	338	375	420
	단열양생	420	450	462	553
	부재코아	-	460	495	540
동기	표준양생	340	401	510	630
	기중양생	300	320	351	370
	단열양생	365	432	487	561
	부재코아	-	445	485	542

증가경향은 동기부재에서도 같게 나타내고 있다.

이에 반하여, 표준양생한 공시체의 압축강도는 실험부재의 압축강도에 비해서 초기재령에서는 낮은 강도발현을 보이고 있으나, 장기재령에서는 계속적인 강도증가를 보여 재령91일에는 약 15%정도 높은 강도를 보이고 있다. 이 원인은 주로 초기 수화열에 따른 온도이력의 차이에 따른 것으로 사료된다. 또한 대기방치한 공시체의 강도는 실험부재의 강도나 다른 공시체의 강도와는 많은 차이를 보이고 있다. 하기의 경우 높은 대기온도의 영향으로 수분의 증발이 과다하여 콘크리트의 수화에 필요한 수분이 부족했던 것으로 사료된다. 또한 동기의 경우는 양생초기에 콘크리트가 동결되어 강도의 성상이 이루어 지지 못한 것으로 사료된다. 또한 단열양생한 공시체의 압축강도 발현경향은 대부분 실험부재에서 채취한 코아의 강도에 근접하고 있다. 이 원인은 공시체의 초기재령의 온도이력이 실험부재의 온도이력과 일치했기 때문으로 사료된다.

따라서 고강도 콘크리트의 강도관리를 위한 공시체의 양생은 양생초기부터 부재의 온도이력과 공시체의 온도이력을 일치시킴으로써 부재의 강도를 정확하게 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

#### IV. 결론

1) 하기에 타설한 부재에 있어서 타설온도를 5°C 낮춘 冷却부재의 중심부온도는 無冷却부재의 중심부온도보다 타설온도를 낮춘만큼 낮은 수화온도를 보이고 있다. 이로서 하기에 타설하는 고강도 매스콘크리트는 액체질소등을 사용하여 타설온도를 낮춤으로써 강도를 유리하게 할 수 있다.

2) 타설온도와 양생온도가 높은 夏期打設부재는 타설온도와 양생온도가 낮은 冬期打設부재보다 초기재령에서는 높은 강도를 나타내지만, 장기재령으로 갈수록 강도의 증가가 둔화되어 결국 冬期打設부재의 강도보다 낮은 강도를 나타낸다.

3) 冬期에 타설한 부재는 夏期에 타설한 부재에 비하여 타설온도가 낮은 만큼, 낮은 수화온

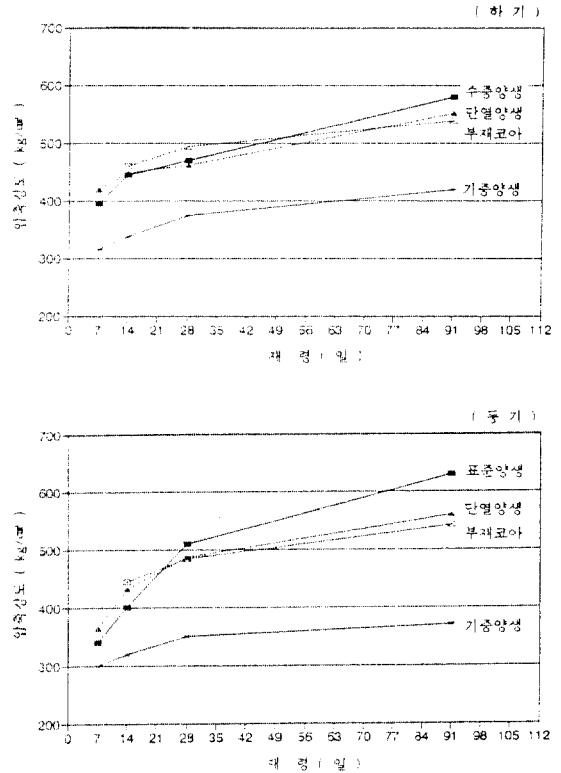


그림 5 부재강도와 관리용 공시체 강도

도를 보이고 있고 강도상으로도 유리한 것으로 나타났다. 그러므로 우수한 고강도 매스콘크리트를 제작하기 위해서는 가능한한 타설온도를 낮추어 낮은온도에서 장기간 양생시키는 것이 강도상 가장 유리할 것으로 사료된다.

4) 冬期에 타설한 부재에 있어서 全面을 단열한 부재의 표면부와 중심부의 수화온도는 거의 일치하였으며, 이로 인하여 강도상에서도 표면부와 중심부의 강도차가 생기지 않고 고른 분포를 나타내었다.

5) 매스콘크리트의 내부양생온도로 부터 積算溫度를 산출해내어 壓縮強度와의 관계를 나타냄으로써 콘크리트의 압축강도를 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

6) 매스콘크리트 부재의 강도를 추정하기 위한 管理用 供試體는 단열한 공시체가 가장 근사한 강도를 나타내고 있으며, 이는 초기양생의 溫度履歴이 일치했기 때문으로 사료된다.