

# 고강도 콘크리트의 역학적 특성 및 현장 타설 실험 연구

An Experimental Study on Mechanical Behavior and Field Placement of High Strength Concrete

오 병 환\*, 정 원 기\*\*, 이 동 근\*\*, 장 봉 석\*\*\*  
Oh, Byung Hwan Chung, Won Ki, Lee, Dong Geun, Jang, Bong Seok

## Abstract

High strength concrete increasingly used in various countries. Recently, great attention is also paid to the high strength concrete in this country. To promote the actual application of high strength concrete, several series of high strength concrete have been made and applied to actual structures. The mechanical properties and the temperature rise due to generation of hydration heat have been also studied. The present study provides a firm base for the actual application of high strength concrete in the field.

### 1. 서론

최근 들어 고강도 콘크리트의 사용이 세계적으로 급격히 증가하고 있고, 국내에서도 고강도 콘크리트를 현장에 적용한 몇몇 예가 보고되고 있으며, 그 강도는  $500\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 700\text{kg}/\text{cm}^2$  정도로 알려져 있다. 그러나, 우리나라에서는 아직도 고강도 콘크리트 개발 및 연구가 미흡한 실정이다. 본 연구는 이보다 높은  $600\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $800\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $1,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고강도 콘크리트를 수화열 측정을 위한 1차 실험과 아파트 본 구조물에 실제 적용한 2차 실험을 수행하여 고강도 콘크리트의 현장 적용성을 평가하고 고강도 콘크리트의 역학적 특성 규명의 기초 자료를 확보함에 그 목적이 있다.

### 2. 고강도 콘크리트의 현장 타설

#### 2.1 실험 개요

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 현장 적용성과 역학적 특성 시험을 위하여 현장에서 배치 플랜트를 이용하여 실험을

수행하였다. 1차 시험은 고강도 콘크리트의 수화열 발생 특성을 알아보기 위하여 정입방체의 시험체를 제작하여, 타설 후 시험체 내부의 온도를 측정하였다. 2차 실험은 아파트 1층 벽체에 고강도 콘크리트를 현장 타설하여 내부 온도, 콘크리트의 변형도, 철근의 압축 변형도를 측정하였으며, 강도 비교용 dummy wall도 타설하였다.

#### 2.2 실험 변수 및 배합

본 연구의 실험 변수는  $600\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $800\text{kg}/\text{cm}^2$  그리고  $1,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 세가지 배합으로 하였으며, 각 변수의 배합표는 표.1에 나타내었다.

#### 2.3 공시체 제작 및 양생

공시체의 제작은 현장 타설시의 레미콘을 사용하여 현장 제작하였으며, 제작후 시험실로 옮겨서 습윤 양생하였다.

#### 2.4 고강도 콘크리트의 수화열 발생

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 수화

\* 서울대학교 토목공학과 교수

\*\* 동아건설(주)

\*\*\* 서울대학교 토목공학과 박사과정

표.1 강도별 배합표

강도	600 (kg/cm <sup>2</sup> )	800 (kg/cm <sup>2</sup> )	1,000 (kg/cm <sup>2</sup> )	
W/C	0.30	0.28	0.26	
S/A(%)	38	38	38	
혼화재(%)	1.8	2.0	2.2	
단위 재료량 (kg/m <sup>3</sup> )	C	540	540	540
	F	60	-	-
	SF	-	60	60
	W	180	168	156
	FA	605	615	594
	CA	995	1014	1067

\* 1000강도는 3종 시멘트 사용

열 발생 특성을 알아보기 위하여 1.5×1.5×1.5m<sup>3</sup> 크기의 입방체 시험체를 제작하여 현장에서 타설하여 시험체 중심에서의 온도를 측정하였다. 온도 측정 결과는 600kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 타설후 29시간 만에 최고 온도 88.8℃, 800kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 타설후 18시간 후에 84.0℃, 1,000kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 타설후 16시간 후에 84.6℃에 도달하였다. 타설 직전 초기 온도는 600kg/cm<sup>2</sup> 배합인 경우 29.0℃, 800kg/cm<sup>2</sup> 배합인 경우 32.0℃, 1,000kg/cm<sup>2</sup> 배합인 경우는 31.0℃였다.

### 3. 강도 및 역학적 시험

#### 3.1 개요

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 역학적 성질을 규명하기 위해 각종 강도 시험, 탄성계수 시험과 성능 시험을 수행하였다.

#### 3.2 강도 시험 및 응력-변형도 관계

본 연구에서는 각 배합 강도별로 3일, 7일, 그리고 28일의 재령별 압축 강도를 측정하였다. 강도 시험 결과 600kg/cm<sup>2</sup>

배합의 경우 28일 강도가 707kg/cm<sup>2</sup>, 800kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 825kg/cm<sup>2</sup>, 1,000kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 977kg/cm<sup>2</sup>로 양호한 결과를 보였다. 시험 결과는 표.2에 나타내었다.

현장에서 양생한 콘크리트와 시험실 내에서 양생한 콘크리트의 강도를 비교하기 위하여 600kg/cm<sup>2</sup> 배합과 800kg/cm<sup>2</sup> 배합에 대하여 dummy wall에서 코어를 채취하여 압축강도 시험을 수행하였다. 그 결과 600kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 압축강도 785kg/cm<sup>2</sup>, 800kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 압축강도 865kg/cm<sup>2</sup>로 시험실 내에서 양생한 것보다 강도가 5~10% 정도 더 크게 나타났다. 이것은 본 타설시 현장의 대기 온도가 이상 기온 현상으로 증기 양생 효과를 가져와서 생긴 결과로 사료된다.

표.2 각 배합별 강도 특성

시험명		배합강도			비고
		600	800	1,000	
압축 강도 (kg/ cm <sup>2</sup> )	3일	454	582	682	
	7일	523	704	798	
	28일	707	825	977	
	Core	785	865	-	
할렬인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		55	66	82	
		50	55	58	추정식
탄성계수 (×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )		3.1	3.7	4.1	
		3.5	3.7	4.0	추정식

28일 할렬인장 강도 시험 결과 600kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 55kg/cm<sup>2</sup>, 800kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 66kg/cm<sup>2</sup>, 1,000kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우 82kg/cm<sup>2</sup> 이었다.

응력-변형도 관계는 일반강도의 콘크리트와는 달리 초기 경사도(탄성계수)가 크며, 최고응력점에서의 변형도가 증가하

고, 압축강도에 도달한 후 급격한 파괴 양상을 보였다.

### 3.3 탄성계수

본 연구에서는 28일 압축강도 시험수행 시 응력-변형도 곡선을 이용하여 탄성계수를 측정하였다. 그 결과 600kg/cm<sup>2</sup>, 800kg/cm<sup>2</sup>, 1,000kg/cm<sup>2</sup> 강도에 대해서 각각 3.1×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>, 3.7×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>, 4.1×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>로 Nilson의 제안식의 값인 3.48×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>, 3.70×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>, 3.97×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>와 비슷한 경향을 보였다.

### 3.4 투수성

콘크리트의 투수성은 자연 상태의 수압 또는 기압에 의하여 실험하는 것이 보통인데 이러한 방법은 많은 시간이 소요되고 이러한 방법에 대한 결과 또한 장시간의 시험으로 인하여 많은 문제점이 노출되고 있고 결과 또한 만족스럽지 못하다고 사료되어 본 연구에서는 염소이온법에 의한 투수시험을 수행하였다.

### 3.5 동결융해 시험

본 연구에서는 수중급속 동결융해시험법(KS F 3456)을 사용하여 동결융해 저항성에 대한 시험을 하였다. 이 시험은 현재 계속 실험중에 있어 자료 분석 중이다.

표.3 염소이온법에 의한 시험결과

측정치 강도	압축 강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	공기량 (%)	전하량 (C)
S-600	707	1.9	1,287
S-800	825	1.7	0,594
S-1000	977	1.4	1,089
N380*	354		1742

\* : N380은 w/c=0.43의 보통 콘크리트

## 4. 실제 구조물에의 현장 타설

### 4.1 개요

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 현장 적용성에 대한 평가를 수행하기 위하여 아파트 1층 벽체에 현장 타설을 수행하며, 현장 타설시에 고려해야 할 것들 즉, 현장 타설시 시험실 내에서와 같이 배합 강도가 발현되는가와 현장 작업시 문제가 되는 슬럼프에 중점을 두어 현장 타설 실험을 진행하였다.

### 4.2 타설 시공 및 측정

현장 타설 고강도 콘크리트의 강도는 코아를 채취하여 압축강도를 시험한 결과 앞에서 언급했듯이 매우 양호한 결과를 보였으며, 현장 타설시 슬럼프는 배치 플랜트에서 현장 도착 시간(약 20~30분)을 기준으로 하여, 600kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우는 90분 후 까지 슬럼프가 18cm로 유지되어 현장 적용시 무다짐 콘크리트로 사

표.4 시간에 따른 Slump와 퍼진 직경의 변화

(단위:cm)

시간 강도	도착 직후		15분 후		30분 후		45분 후		60분 후		90분 후	
	Slump	D'	Slump	D'	Slump	D'	Slump	D'	Slump	D'	Slump	D'
600kg/cm <sup>2</sup>	25	48	24	45	23	42	22	38	21	37	18	30
800kg/cm <sup>2</sup>	17	30	15	25	11	21	7	20	5	20	3	20
1,000kg/cm <sup>2</sup>	21	36	16	27	11	23	6	20	5	20	3	20

용할 수 있을 것으로 사료되며, 800kg/cm<sup>2</sup> 배합과 1,000kg/cm<sup>2</sup> 배합의 경우는 30분 이후에는 슬럼프가 급격히 감소함을 보이고 있어 이에 대한 적절한 보완이 요구된다. 이와 같은 결과는 600의 경우 플라이애쉬 사용으로 유동성의 증가를 가져온 것으로 사료되며 800과 1,000는 실리카흄의 사용으로 유동성의 저하가 큰 것으로 사료된다. 또한, 고성능 유동화제의 성능도 슬럼프 감소에 영향을 미치므로 개선된 고성능 유동화제를 개발하는 것이 바람직하다.

## 5. 결론

본 연구 결과 고강도 콘크리트는 일반 강도의 콘크리트와 비교하여 탄성계수,

압축강도 등이 매우 향상되고 투수성도 작으나, 시멘트량이 많아서 매우 높은 수화열을 발생하게 되므로 적절한 대책을 수립해야 할 것으로 사료된다. 또한, 현장 타설시 슬럼프가 600kg/cm<sup>2</sup> 배합에 대해서는 아주 좋은 결과를 보였으나, 800kg/cm<sup>2</sup> 배합과 1,000kg/cm<sup>2</sup> 배합은 슬럼프가 약 1시간이 지나면서 급격히 감소하는 경향을 보이므로 이에 대한 추후 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 오 병환, '특수 콘크리트', 대한토목학회논문집, 제3권 4호, 1991.
2. ACI Manual, 1992.
3. A. M. Neville, 'Properties of Concrete', 3rd edition, 1981.

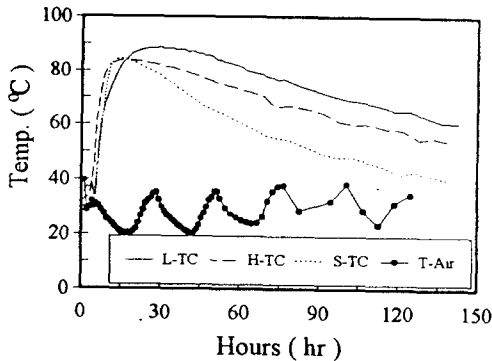


그림.1 시간에 따른 온도변화

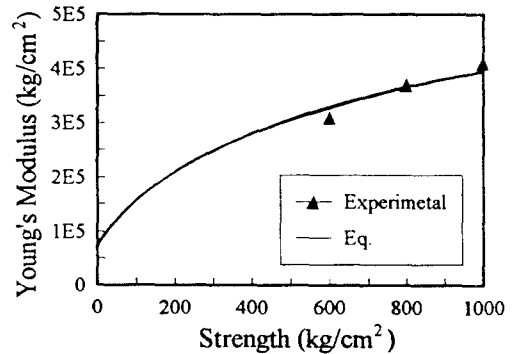


그림.3 압축강도에 따른 탄성계수

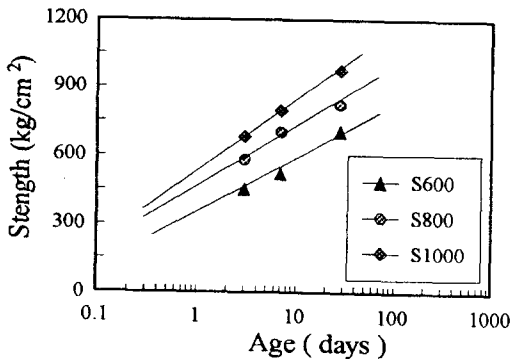


그림.2 재령별 압축강도

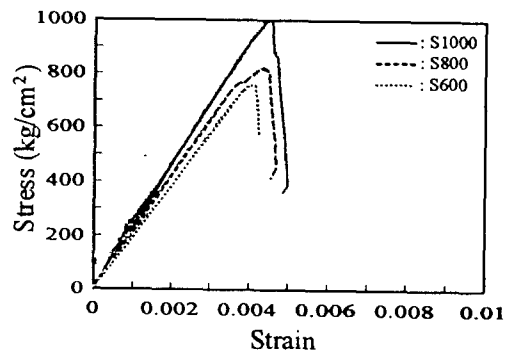


그림.4 응력-변형도 곡선