

# 양생온도 변화가 고성능 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구

## A Study on the Effects of Curing Temperature for Compressive Strength of High Performance Concrete

노인철\*

Ro, In-Cheul

### ABSTRACT

The object of this study is to define the characteristics of high performance concrete with varying compressive strength of concrete and curing temperature. The major test variables are 1) high strength concrete(500kg/cm<sup>2</sup>) and ordinary strength concrete(240kg/cm<sup>2</sup>) compressive strength, 2) curing temperature and condition, 3) concrete curing age, 4) three types of cement.

From the test results were shown that curing temperature and curing conditions were also very effective for high strength concrete and ordinary strength concrete, and concrete were largely effected by cement type and temperature during the hydration reaction process.

This paper describes the effect of curing temperature for strength and characteristics of high performance concrete.

키워드 : 압축강도, 고성능콘크리트, 고강도 콘크리트, 보통강도 콘크리트, 양생온도, 콘크리트 채령, 3가지 종류의 시멘트, Keywords : compressive strength, high performance concrete, high strength concrete, ordinary strength concrete, curing temperature, concrete curing age, three types of cement,

### 1. 서론

최근 건축 구조물이 대형화, 대경간화, 초고층화 되어 가고 건설 공사의 질적 내용이 고품질화, 복잡화됨에 따른 합리적인 구조 시스템 개발의 필요성 및 콘크리트 성능에 대한 요구가 다양화되어 사회적 여건 변화에 따른 획기적인 시공성 개선과 고강도화 및 고성능 콘크리트를 제조하기 위한 재료 자체의 기능과 성능 향상을 위한 연구의 필요성이 대두되고 있다<sup>1-4)</sup>.

고성능 콘크리트는 고유동성, 고충전성, 고강도성 및 고내구성을 발휘하는 성능이 우수한 콘크리트로 정의<sup>4)</sup> 할 수 있으나 그 나라의 건설환경에 따라 다르게 발전하고 있다. 본 논문에서의 고성능 콘크리트는 여러 종류의 성능이 다른 시멘트를 사용하여 제조한 고강도 콘크리트를 고려한 개념이며, 현 단계에 가장 접근하기 쉬운 설계기준강도(Fc) 500kg/cm<sup>2</sup> 전후의 고강도 및 고성능 콘크리트의 개발은 경제적인면 및 현실적인 시공조건을 감안하는 것이 바람직하며, 콘크리트를 고강도화 할수록 그 성능은 현저하게 개선되어 양호한 결과를 나타내는 것으로 보고되고 있다<sup>6,7)</sup>.

이러한 요구에 부응하기 위해서는 무엇보다 콘크리트 제조에 필수적인 시멘트의 특성을 명확히 파악하고 용도에 적합하게 사용하여 콘크리트의 성능을 향상시켜야 할 것이고<sup>1,8)</sup>, 이를 위한 한가지 방안이 양생방법을 고온이나 고압으로

함으로서 강도 발현을 높이거나 증진시킬 수 있다. 콘크리트는 반드시 물을 사용해야 하는 기본적인 특성을 가지고 있기 때문에 시멘트의 수화반응을 촉진시키기 위해 취해지는 고온 양생에 의한 방법은 시멘트 페이스트의 공간이 시멘트 수화 생성물로서 소요의 정도로 충전 될 때까지 콘크리트를 포수 상태로 유지시켜 시멘트의 수화작용을 촉진시키고 수화 정도를 높여 주는데 그 목적이 있다<sup>9,10)</sup>.

따라서 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 양생 온도와 배합 조건 변화에 따른 고강도 및 보통 강도 콘크리트의 압축강도를 알아보기 위해 하절기 초기 양생 조건을 향한 항습 실험기에서 인공적으로 부여하여 고성능 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 대해 실험적으로 연구하여 이들에 관한 기본적인 자료를 제시하고자 하였고, 이를 위해 다음과 같은 3가지 사항에 역점을 두어 연구를 수행하였다.

첫째, 고강도 및 보통 강도 콘크리트의 초기 양생온도와 배합 조건 변화에 따른 실험실 공시체의 채령별 특성을 규명하고,

둘째, 고성능 콘크리트의 압축강도를 시멘트 종류별, 양생 조건별로 파악하였으며,

셋째, 국내에 시판되고 있는 3가지 종류의 시멘트(1종, 2종, 3종)를 사용한 고강도 및 보통 강도의 콘크리트를 제조하여 초기 양생 조건이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하여 향후 고성능 콘크리트의 품질관리 방안의 참고 자료로 활용하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

\* 정희원, 영진전문대학 건축디자인계열 교수, 건축 기술사

## 2. 실험

### 2.1 실험계획

본 실험을 위해 국내에 생산되고 있는 보통 포틀랜드 시멘트(제1종), 중용열 시멘트(제2종) 및 조강 시멘트(제3종)로 구분하여 설계기준 압축강도 500kg/cm<sup>2</sup>의 고강도 콘크리트와 240kg/cm<sup>2</sup>의 보통 강도 콘크리트를 제조하기 위해 먼저 실험실에서 제1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여 배합비를 정하였다.

재령별 원통형 실린더(φ10×20cm)의 압축강도 실험을 통해 콘크리트 종류별 표준 배합비를 표1과 같이 선정하였으며, 이에 따라 시멘트의 종류에 관계없이 동일 배합비를 적용한 설계기준 강도의 콘크리트를 제조하였다.

표 1. 콘크리트 종류별 표준 배합표

구분	W/C (%)	S/A (%)	S/P (%)	단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )					슬럼프	공기량	
				C	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	G	W			
500 kg/cm <sup>2</sup>	1종	30	41	1.5	567	403.2	268.8	966	170	20 cm	2.1%
	2종										
	3종										
240 kg/cm <sup>2</sup>	1종	50.7	48	0.3	367	507.3	338.2	916	186	14.5 cm	5.9%
	2종										
	3종										

※S<sub>1</sub>: 쇄사(부순모래) 60%, S<sub>2</sub>: 강모래(자연사)40%

또한 본 연구의 실험 방법으로 콘크리트의 혼합은 실험실용 강제 팬 믹서(1회 용량 50리터)를 이용하여 굵은골재, 잔골재, 시멘트 및 혼화제의 순서로 투입하여 저속(20rpm)으로 30초간 건비빔한 후 물과 고성능 감수제를 넣고 2분간 비벼서 콘크리트를 제조하였다.

콘크리트 온도를 23±2℃로 유지시키기 위하여 실험실 온도에 따라 배합수의 온도를 조절하여 사용하였으며, 슬럼프 실험 및 공기량은 KS F 2402와 KS F 2421에 따라 실시하였고 본 연구의 실험 변수를 다음과 같이 적용하였다.

#### 1) 설계기준 압축강도

- (1) 고강도 콘크리트 : 500kg/cm<sup>2</sup>
- (2) 일반강도 콘크리트 : 240kg/cm<sup>2</sup>

#### 2) 시멘트의 종류

- (1) 제1종: 보통 포틀랜드 시멘트
- (2) 제2종: 중용열 시멘트

- (3) 제3종: 조강 시멘트

#### 3) 양생조건

- (1) 항온항습조 속 3일간 양생 후 수중 양생
- (2) 표준 수중 양생
- (3) 대기 양생

#### 4) 항온항습 실험조 속 양생온도

- (1) 온도 : 30℃, 50℃, 60℃
- (2) 습도 : 60%로 일정하게 유지

#### 5) 재령: 3일, 7일, 14일, 28일, 56일

### 2.2 사용재료

실험에 사용된 시멘트는 성능별로 국내에서 생산되는 3가지 종류를 사용하였는데 제1종 포틀랜드 시멘트 및 제3종 조강시멘트는 S사 제품을 사용하였고, 2종 중용열시멘트는 H사의 제품을 사용하였으며, 고성능 AE감수제는 J사 제품을 사용하였고 물은 경기도 시화지구 공업용수를 사용하였다.

잔골재는 쇄사(부순모래)와 강모래(자연사)를 각각 60%와 40%로 혼합하여 사용하였다. 이상과 같은 각 재료들의 특성이 표2~4에 나타나 있다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

구분	비중	응결(분)		안정율 (%)	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
		초결	종결			3일	7일	28일
보통(제1종)	3.16	260	365	0.174	3490	192	271	376
중용열(제2종)	3.21	270	380	0.096	3268	154	221	362
조강(제3종)	3.12	190	304	0.080	4412	283	367	467

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	종류	최대치수	비중	흡수율 (%)	조립율	마모감량 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	산지
굵은골재	쇄석	25mm	2.62	0.86	6.9	21.5	1,551	남양석산
	강사	-	2.59	0.86	2.58	-	1,500	청화6공구
잔골재	쇄사	-	2.6	0.78	2.53	-	1,500	남양석산



사진 1. 1회용 몰드 공시체 종류별 제작

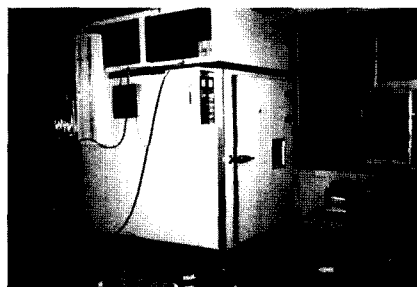


사진 2. 항온항습 실험기 전경



사진 3. 항온조 내부 공시체 양생 전경

표 4. 고성능 감수제의 물리적 성질

색상	형태	주 성분	비중	PH	고형분
암갈색	액체	Naphthalene	1.22	7.5	42%

### 2.3 공시체 제작 및 실험방법

실험공시체의 제작은 강도별, 양생 조건별로 4회에 걸쳐 총 540개를 제작하였으며, 표준양생과 대기양생 공시체는 일반 플라스틱 몰드를 사용하였고, 항온항습 실험조 속에서 양생되는 공시체는 사진1과 같이 1회용 몰드를 사용하였다.

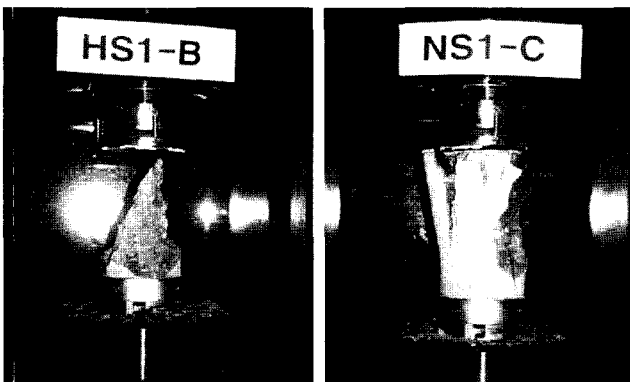
실험 여건상 공시체 제작 후 3~4시간이 지난 상태에서 몰드 거꾸집체로 사진2 및 사진3과 같이 항온항습조 속에 넣어 인공 양생을 시켰고, 압축강도 실험은 KS F 2405에 따라 각 3개 1조를 기본으로 하여 실험에 임하였다.

이때 공시체의 압축강도(Compressive strength) 실험에 사용된 기기는 200톤 용량의 U.T.M 압축강도 시험기이며, 공시체의 캡핑(Capping)방법으로는 강도 테스트 전에 고강도 유황 콤파운드 캡핑 방법을 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 일반사항

실험실 실험에서는 공시체를 항온항습 실험조 속에서 양생 온도 조건 별로 3일간의 양생을 시킨 후 실험 전까지 재령별로 표준 수중 양생을 하여 콘크리트의 압축강도를 실험하였고, 항온항습 속에서 인공 양생시킨 공시체와 표준수중 양생한 공시체 및 현장 대기 방치한 공시체의 특성을 강도별로 비교 분석하여 표5에 평균 압축강도 값과 28일 강도에 대한 백분율(%)을 표시하였으며, 콘크리트 파괴 양상은 사진4와 같이 나타났다.



a) 고강도 1종콘크리트      b) 보통 1종콘크리트  
사진 4. 콘크리트 파괴 양상

### 3.2 실험결과 및 분석

#### 1) 표준 수중 양생 공시체의 압축강도 비교

그림 1에서 표준 양생 공시체의 압축강도 특성은 고강도콘크리트에서는 재령 3일에서 콘크리트가 480kg/cm<sup>2</sup>, 1종 및 2

종 콘크리트에서는 330kg/cm<sup>2</sup>과 336kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

표 5. 콘크리트 평균 강도 강도 값(단위:kg/cm<sup>2</sup>)

종류	양생	고강도 콘크리트					보통 콘크리트				
		3일	7일	14일	28일	56일	3일	7일	14일	28일	56일
1종	표준	330	501	570	655	742	148	263	294	351	377
		(50)	(76)	(87)	(100)	(113)	(50)	(75)	(84)	(100)	(107)
	대기	309	539	644	657	665	165	233	265	280	315
		(47)	(82)	(98)	(100)	(101)	(62)	(83)	(95)	(100)	(113)
	30°C	339	409	497	558	645	141	180	196	216	270
		(61)	(73)	(89)	(100)	(116)	(72)	(83)	(91)	(100)	(125)
50°C	527	553	570	588	601	184	212	220	227	287	
	(90)	(94)	(97)	(100)	(102)	(84)	(93)	(97)	(100)	(126)	
60°C	558	598	607	632	659	214	230	235	249	284	
	(88)	(95)	(96)	(100)	(104)	(91)	(92)	(94)	(100)	(114)	
2종	표준	336	467	617	694	775	182	283	300	342	413
		(48)	(67)	(89)	(100)	(112)	(61)	(83)	(88)	(100)	(121)
	대기	340	556	589	626	692	169	223	260	280	319
		(54)	(89)	(94)	(100)	(111)	(65)	(80)	(93)	(100)	(114)
	30°C	466	483	531	592	688	133	171	199	283	318
		(79)	(82)	(90)	(100)	(116)	(47)	(60)	(70)	(100)	(112)
50°C	506	543	586	591	599	215	249	271	284	300	
	(86)	(92)	(99)	(100)	(101)	(79)	(88)	(95)	(100)	(106)	
60°C	603	666	681	703	719	241	256	260	281	329	
	(86)	(95)	(97)	(100)	(102)	(86)	(91)	(93)	(100)	(117)	
3종	표준	480	569	632	710	790	282	370	397	405	458
		(68)	(80)	(89)	(100)	(111)	(71)	(91)	(98)	(100)	(113)
	대기	450	581	650	714	762	262	317	356	358	405
		(63)	(81)	(91)	(100)	(107)	(74)	(89)	(99)	(100)	(113)
	30°C	590	615	639	697	730	148	210	266	308	338
		(85)	(88)	(92)	(100)	(105)	(56)	(68)	(86)	(100)	(110)
50°C	624	676	689	693	723	219	273	283	339	354	
	(90)	(98)	(99)	(100)	(104)	(77)	(81)	(83)	(100)	(104)	
60°C	630	689	702	733	747	248	294	305	319	335	
	(86)	(94)	(96)	(100)	(102)	(81)	(92)	(96)	(100)	(105)	

※ ( ) : 28일 압축강도에 대한 백분율(%) 임

표준 양생

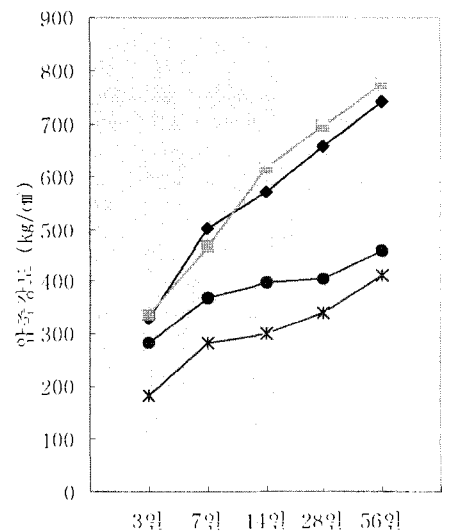


그림 1. 표준 수중 양생 강도 비교

재령7일에서는 2종 보다 1종콘크리트가 34kg/cm<sup>2</sup>의 강도가 더 발현되었으나 재령14일 이후의 56일까지의 강도 크기의 순서는 3종 콘크리트, 2종 콘크리트, 1종 콘크리트의 순으로 나타났고, 재령 28일에서는 1종 콘크리트가 655kg/cm<sup>2</sup>, 2종 콘크리트 694kg/cm<sup>2</sup>, 3종 콘크리트가 710kg/cm<sup>2</sup>의 강도 발현을 보였다.

보통 콘크리트에서는 재령3일에서 3종 콘크리트의 공시체가 282kg/cm<sup>2</sup>, 1종 및 2종콘크리트는 각각 148kg/cm<sup>2</sup>, 182kg/cm<sup>2</sup>를 보이고 있으며 재령 7일 이후의 강도 발현의 변화가 완만함을 알 수 있었다.

재령 28일에서는 3종 콘크리트가 405kg/cm<sup>2</sup>으로 나타난 반면에 고강도에서 와는 달리 1종 콘크리트가 351kg/cm<sup>2</sup>로 2종 콘크리트 보다 9kg/cm<sup>2</sup>의 강도가 더 발현되었으나 재령 56일에서는 고강도와 같이 1종 콘크리트(377kg/cm<sup>2</sup>) 2종콘크리트(413kg/cm<sup>2</sup>) 3종 콘크리트(458kg/cm<sup>2</sup>)의 순서로 나타났고, 재령 28일까지의 1종 및 2종 콘크리트의 압축강도 차이는 유사하게 나타났다

2) 대기 양생 공시체의 압축강도 비교

그림 2, 대기양생에서는 배합일자에 따른 대기의 습도 및 온도의 심한 변화가 있었을 것으로 사료되나, 보통강도 콘크리트에서는 1종 및 2종콘크리트의 강도가 표준 양생에서도 언급되었듯이 거의 유사하게 나타나고 있으며, 재령 28일에서는 동일 강도를 보이고 있다.

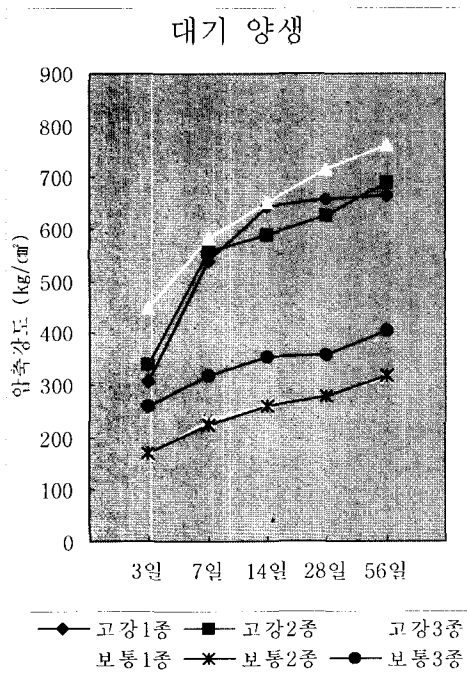


그림 2. 대기 양생 강도 비교

보통 3종 콘크리트의 강도 발현은 1종콘크리트와 비교해 볼 때, 재령 56일 까지 78kg/cm<sup>2</sup> ~ 97kg/cm<sup>2</sup>의 일정한 강도의 차이를 보이고 있으며, 고강도 콘크리트에서는 재령7일 까지 3종, 2종, 1종 콘크리트의 강도 순서를 보이고 있다.

재령14일 및 28일에서는 1종콘크리트가 2종보다 상당한 강

도로 높게 나타나고 있으나, 재령56일에서는 2종콘크리트가 1종보다 27kg/cm<sup>2</sup> 정도의 강도가 더 발현 됨을 알 수 있었다.

3) 항온항습 실험조 30°C 3일간 인공양생 후 표준양생 공시체의 압축강도 비교

그림 3에서 재령3일 보통콘크리트의 강도는 133kg/cm<sup>2</sup> ~ 148kg/cm<sup>2</sup>으로 거의 유사하게 나타났으나 고강도에서는 강도의 차이가 3종콘크리트 590kg/cm<sup>2</sup>, 2종콘크리트466kg/cm<sup>2</sup>, 1종콘크리트의 강도가 339kg/cm<sup>2</sup>으로 크게 벌어지고 있으나 재령이 길어질수록 강도의 차이가 조금씩 줄어들어 재령 28일에서는 3종콘크리트, 2종 콘크리트, 1종 콘크리트가 각각 697kg/cm<sup>2</sup>, 592kg/cm<sup>2</sup>, 558kg/cm<sup>2</sup>을 나타내고 있다.

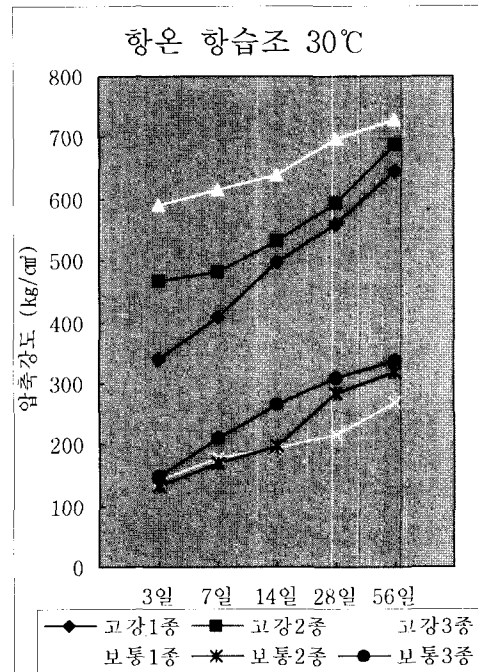


그림 3. 항온 항습조 속 30°C 강도 비교

재령 56일에서는 다소 차이가 줄어들면서 3종 콘크리트에서 730kg/cm<sup>2</sup>, 2종 콘크리트에서는 688kg/cm<sup>2</sup>, 1종 콘크리트가 645kg/cm<sup>2</sup>을 보이고 있었다. 특히 3종 콘크리트는 3일 강도가 28일 강도의 85%를 나타내어 조기에 강도가 발현 됨을 알 수 있고, 2종 콘크리트에서는 79%, 1종콘크리트에서는 61%의 강도율을 보이고 있다.

보통 콘크리트에서 1종 및 2종콘크리트는 재령3일, 7일, 14일에서 압축강도의 차이가 개략적으로 10kg/cm<sup>2</sup> 미만으로 유사하게 나타나고 있으나, 재령28일 및 56일에서는 압축강도의 차이가 다소 벌어지는 것으로 나났으며, 특히 1종콘크리트 및 2종콘크리트에서 급격한 강도의 차이가 발생됨을 알 수 있다.

4) 항온항습 실험조 50°C 3일간 인공양생 후 표준양생 공시체의 압축강도 비교

그림 4, 고강도콘크리트에서는 콘크리트 종류에 관계없이 초기 3일 강도가 재령 28일 강도의 86% ~ 90%를 보이고 있어

고온양생시 초기에 상당한 강도가 발현됨을 알 수 있고, 1종 및 2종콘크리트는 거의 같은 강도를 보였다.

cm<sup>2</sup>, 235kg/cm<sup>2</sup>~305kg/cm<sup>2</sup>, 249 kg/cm<sup>2</sup> ~ 319kg/cm<sup>2</sup>, 284kg/cm<sup>2</sup>~335kg/cm<sup>2</sup>의 강도를 나타내고 있다.

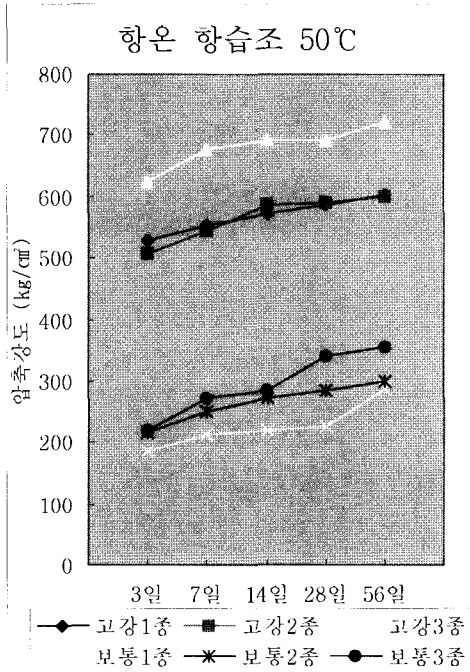


그림 4. 항온 항습조 속 50°C 강도 비교

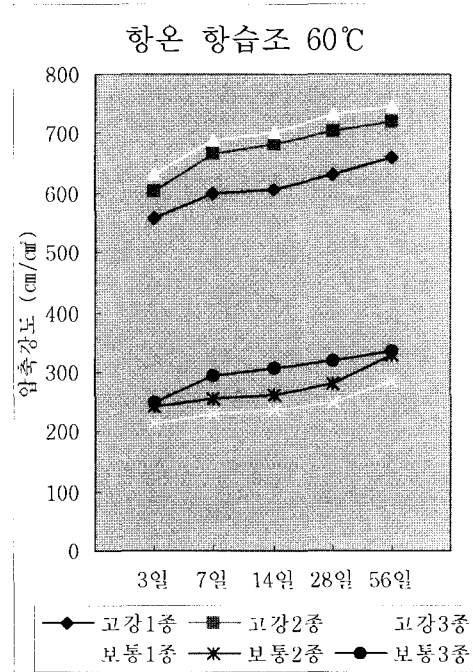


그림 5. 항온 항습조 속 60°C 강도 비교

특히 재령 28일 및 56일에서는 3kg/cm<sup>2</sup> 이내의 유사한 강도가 발현되었고, 고강도 3종콘크리트는 1종콘크리트에 비해 재령 3일 7일 14일 28일 56일 강도의 차이가 각 97kg/cm<sup>2</sup>, 123kg/cm<sup>2</sup>, 122kg/cm<sup>2</sup>, 105kg/cm<sup>2</sup>, 122kg/cm<sup>2</sup>를 보이고 있다.

보통 콘크리트에서는 재령 3일 강도가 2종 및 3종콘크리트에서 2종 콘크리트가 오히려 3종콘크리트 보다 4kg/cm<sup>2</sup>의 강도가 더 많이 발현되었으나 재령 28일에서는 3종 2종 1종콘크리트가 각각 339kg/cm<sup>2</sup>, 284kg/cm<sup>2</sup>, 227kg/cm<sup>2</sup>로 표준양생의 강도와 유사함을 보였고, 재령 56일 장기 강도에서는 3종콘크리트가 354kg/cm<sup>2</sup>를, 2종 콘크리트가 300kg/cm<sup>2</sup>를, 1종콘크리트가 287kg/cm<sup>2</sup>의 강도를 보여 2종 및 1종콘크리트의 강도의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있었다.

#### 5) 항온항습 실험조 60°C 3일간 인공양생 후 표준 양생 공시체의 압축강도 비교

그림 5에서는 3종 보통강도 콘크리트에서 만이 초기 재령 3일 강도가 28일 강도의 78%로 나타났고, 나머지 고강도 1종, 2종, 3종콘크리트 및 보통 1종, 2종콘크리트의 강도는 36% ~ 88%로 거의 일정하게 나타나고 있으며, 항온항습조속 3일의 고온양생으로 인해 초기에 상당한 강도가 발현 되었음을 알 수 있고, 고강도에서는 콘크리트 종류에 관계없이 각 재령별 강도 발현의 차이가 일정하게 나타나고 있다.

보통강도 콘크리트에서는 재령 3일의 1종콘크리트 강도 214kg/cm<sup>2</sup>, 2종 및 3종콘크리트에서는 241kg/cm<sup>2</sup>와 248kg/cm<sup>2</sup>으로 7kg/cm<sup>2</sup>의 차이로 유사한 강도 발현을 보이고 있으나 재령 7일, 14일, 28일, 56일까지는 1종, 2종, 3종콘크리트의 압축강도의 범위가 각 230kg/cm<sup>2</sup> ~ 294kg/cm<sup>2</sup>

## 4. 결 론

3가지 종류의 시멘트를 사용하여 제조한 설계기준 압축강도 500kg/cm<sup>2</sup>의 고강도 콘크리트 및 240kg/cm<sup>2</sup>의 보통강도 콘크리트에 대하여 양생 조건별 재령별로 변수를 주어 제작된 콘크리트 공시체 540개의 실험 결과들을 종합 분석하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초기 양생 온도가 고온 일수록 초기 강도율은 증진되고 후기 강도율은 저하되는 경향을 보였다.
- 2) 전반적으로 3종 시멘트를 사용하여 제작된 고강도 콘크리트 및 보통강도 콘크리트가 재령에 관계없이 1종 및 2종 콘크리트 보다 높은 강도를 나타냈고, 1종 콘크리트와 2종 콘크리트를 비교해 볼 때는 정도의 차이는 있지만 2종 중용열 콘크리트가 대체로 높은 강도를 보였다.
- 3) 제1종 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트에서는 3일 압축강도가 28일 강도와 비교시 항온항습조 50°C 및 60°C 양생된 공시체에서 88~90%의 강도율이 발현된 반면에 표준 양생된 공시체에서는 60% 정도로 나타났으나, 56일 장기 강도에서는 28일 강도 대비 13% 이상의 강도율이 향상되었고, 보통 콘크리트에서는 28일 압축강도가 표준 양생에서 항온조속 공시체에 비해 29~38% 정도 높게 나타났다.
- 4) 제2종 고강도 콘크리트에서는 양생 조건별로 품질의 변동이 심하게 나타났고, 보통 콘크리트에서는 28일 표준양생 압축강도에 비해 타 양생조건에서는 17~18% 적게 고른 강도율을 보였다.

- 5) 제3종 시멘트를 사용한 고강도 콘크리트에서는 양생조건에 관계없이 재령 28일 압축강도의 차이가 5% 이내의 변동 폭을 보인 반면, 일반강도 콘크리트에서는 28일 표준양생 압축 강도율보다 항온항습조 속의 공시체가 16~25% 정도 적게 나타났다.

끝으로 본 연구에서 3가지 종류의 시멘트(1종, 2종, 3종)로 제조한 고강도 콘크리트와 일반강도 콘크리트에 여러 가지 변수를 적용하여 압축강도 실험을 시행하였고, 향후 전반적인 강도 특성에 관한 보다 깊은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. 신성우, "고강도-유동화 콘크리트의 제조 및 시공성", 97년 콘크리트 기술 세미나, 고려산업개발, 1997.01.
2. 김화중, "제올라이트 분말을 이용한 콘크리트의 초유화에 관한 실험적 연구", 레미콘, 1997. 01, pp.16~17.
3. 김무한외 2인, "건축재료학" 문운당, 2000.01.
4. 배수호외 3인, "고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 품질 특성에 관한 연구", 콘크리트 학회지1994. 12, pp.135~136.
5. 김형만외 2인, "고성능 철근콘크리트보의 휨거동에 대한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집, 13권 제4호 통권 제102호, 1997.04.
6. 한천구, "고강도콘크리트의 개발 및 내구성에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 93.09.
7. 한천구의 4인, "고성능 콘크리트의 특성에 미치는 배합요인의 영향", 대한건축학회 논문집, 11권11호 통권 85호, 1995. 11.
8. 신성우, "고강도 콘크리트의 개발현황과 방향", 레미콘, 1994.
9. 신성우외 2인, "양생온도를 고려한 콘크리트의 강도특성", 대한건축학회논문집, 제11권10호 통권84호, 1995.10, pp.397~398.
10. 나 종남, "양생조건이 고강도 콘크리트 압축강도에 미치는 영향에 관한연구", 한양대학교 석사학위논문, 1995. 05. 18, pp.101.
11. CEB-FIB, Bulletin D' Information No.197, High-strength concrete state of the art report, Aug. 1990.
12. Carraquillo, R.L., Nilson, A.H., and Slate, F.O., "Properties of high - strength concrete subjected to short-term load," ACI Journal, V. 78, No. 3, May-June 1981.
13. 정상진, "건축시공재료", 보성각, 2000.10.
14. 대한 건축학회, "고강도 고성능 콘크리트 제조시공 및 설계", 1996.
15. "콘크리트 표준 사양서", 건설교통부, 2000년.
16. K.M.Page, Pumpin ghigh-strength concrete on world' stallest concrete buildtng, concrete international, January 1990.
17. Parrot, L.J., "The properties of high strength concrete," Technical report no. 42.417, Cement and concrete association, Wexham spring, 1969. 12