

# 축진양생에 의한 온도이력이 고강도 모르타르의 강도발현에 미치는 영향

## An Effects of the Strength Development of High Strength Mortar under Temperature History by Steam Curing

권희성\*      최응규\*\*      임남기\*\*\*      이영도\*\*\*\*      정상진\*\*\*\*\*

Kwon, Hee-Sung    Choi, Eung-Kyu    Lim, Nam-Ki    Lee, Young-Do    Jung, Sang-Jin

### Abstract

The present study performed low-pressure steam curing with mortar specimens in order to examine the temperature profile and strength development of steam curing in high-strength specimens of 100MPa. In addition, as a basic research to utilize PC products, we examined the effects of curing temperature and time in steam curing cycle on strength development resulting from the hydration of cement within the range of high strength by changing four factors affecting the quality of PC displacement time, peak curing temperature, peak temperature duration, and ascending and descending gradient of temperature - in various patterns, and analyzed the optimal strength development characteristic based on the relation between temperature profile and strength development. With regard to the high-temperature curing characteristic of PC, we performed an experiment on the strength characteristic according to the temperature profile of high-strength mortar, and from the results of the experiment according to curing characteristic, displacement time, peak curing temperature, peak temperature duration, and ascending and descending gradient of temperature, we drew conclusions as follows.

키워드 : 온도이력, 고강도 모르타르, 증기양생

Keywords : Temperature History, High Strength Mortar, Steam Curing

## 1. 서론

현재 건설기술 분야에 있어서 기술적인 가치에 비해 실용화 되지 못하고 있는 공법 중의 하나가 바로 축진양생을 통한 프리캐스트 콘크리트 등의 공장부재 제작 공법이다. PC공법은 제2차 세계대전 이후에 폐허가 된 프랑스의 주택난을 해결하기 위해 대량생산 및 공업화공법을 주택건설에 도입하면서 시작되었다.

축진양생을 통해 공장에서 제작한 건축물의 콘크리트 부재를 현장 운반하여 조립하게 되면 빠른 시간 내에 강도발현을 일으켜 제작된 즉시 사용할 수 있으며, 품질관리가 용이할 뿐만 아니라 정밀시공을 통해 효율성을 높일 수 있다. 그러나 조립식 공법에 의한 시공기술 부족과 제품생산에 있어서 품질관리의 미흡으로 인해 지하층 구조 등의 일부분에만 적용되고 있다.

축진양생으로써의 기존 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. 三中 建郎의 3人<sup>1)</sup>이 실시한 굵은 골재의 종류, 물시멘트비, 양

생온도를 달리한 실험에서도 양생온도가 높을수록 초기재령에서 높은 강도발현을 일으키지만, 장기재령에서는 반대되는 현상이 일어나며 물시멘트비가 높을수록 강도의 차이가 확실하게 나타난다고 기술하고 있다.

Paul Klieger<sup>2)</sup>는 비빔, 타설, 양생온도를 25~120°F (-3.7~49.1°C)의 범위에서 설정하여 압축강도를 연구 조사하였다. 그 결과 재령 1, 3, 7일에서는 타설 온도와 양생온도가 높을수록 강도가 크고 재령 91일 및 365일에서는 온도가 높을수록 강도가 낮아진다고 보고하였으며, 장기재령에 대해서 최적의 온도조건이 있다고 보고하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 축진양생을 통한 양생 프로세스가 시멘트 강도에 미치는 영향을 연구 대상으로 정하였다. 그리고 모르타르 시험체를 제작하여 W/B별로 그에 적합한 온도이력을 검토하여 적정 수준의 강도발현성과 더불어 추후 축진양생에 관련된 실험의 기초자료로써 활용하고자 한다.

## 2. 실험 계획 및 방법

### 2.1 실험개요

본 연구는 축진양생에 따른 시멘트 강도발현에 대한 기초적

\* 정회원, 단국대 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 호서대 건축공학과 교수

\*\*\* 정회원, 동명대 건축대학 건축공학과 교수

\*\*\*\* 정회원, 경동대 건축토목공학부 건축공학과 교수

\*\*\*\*\* 정회원, 단국대 건축대학 건축공학과 교수

인 측면으로써 양생주기에 있어서 양생온도 및 시간이 고강도의 범위 안에서 시멘트의 수화에 따른 강도발현에 미치는 영향에 대하여 series의 온도 패턴을 다양하게 변화시켜 온도이력 조건과 강도발현성의 관계로부터 적정의 강도발현 특성을 검토해 보고자 한다.

축진양생 방법으로는 증기를 콘크리트 주변에 보내 습윤 상태로 가열하여 콘크리트의 경화를 촉진시키는 양생방법으로 대기압에서, 즉 온도가 100℃ 이하인 경우에서 행하는 상압증기양생(常壓蒸氣養生)을 실시하였다.

현재 콘크리트의 강도 발현에 대한 영향을 미치는 주요소로써 시멘트페이스트의 조직으로 인한 변수가 큰 것으로 보고되고 있으며, 축진양생에 있어서 콘크리트의 경우, 굵은 골재의 입도 및 입형의 변화가 시멘트의 수화에 따른 강도발현에 미치는 영향과 시험체 내부에 생기는 온도기울기를 무시할 수 없기 때문에 이를 최대한 배제하기 위하여 시험체의 치수를 줄이고 표준사를 사용하였으며, 이러한 영향을 받을 수 있는 외부인자들을 최대한 배제할 수 있는 모르타르 시험체를 제작하여 실험을 실시하였다. 상압에서의 증기양생에 의한 콘크리트는 초기강도에서부터 재령의 경과에 따른 강도 발현율이 일반양생과는 다른 경향을 나타낸다고 보고되고 있다.<sup>3)5)6)</sup> 또한 동일한 증기양생의 조건에서도 고강도화 됨에 따라 온도이력이 강도발현에 영향을 준다고 보고되고 있다. 이는 고온의 영향이 일반강도와는 다르게 고강도에서는 좀 더 높은 저항력을 가짐으로써 장기강도의 불리함을 극복할 수 있다는 가정에 기초하여 설계기준강도 60~100MPa의 범위에서 고강도화 될수록 축진양생조건이 강도발현에 미치는 영향에 대해 검토하였다.

2.2 실험계획

2.2.1 사용재료

1) 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 A사 포틀랜드시멘트이며, 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정성	응결시간(hour)		압축강도(MPa)		
			초 결	종 결	3일	7일	28일
3.15	3,200	양 호	4	6	19.8	27.2	38.9

2) 잔골재

본 실험에서 사용한 잔골재는 KS L 5100에서 규정되어 있는 주문진 표준사를 사용하였으며, 잔골재의 물리적 성질은 표 2에 나타내었다.

표 2. 잔골재의 물리적 성질

최대 치수 (mm)	표준 밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	실적율 (%)	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m <sup>3</sup> )
5.0	2.6	61.2	2.87	1.02	1,590

3) 실리카폼

본 실험에서 사용한 노르웨이산(Undensified)의 실리카폼에 대해 그 물리적 특성을 표 3에 나타내었다.

표 3. 실리카폼의 물리적 · 화학적 성질

단위수량비 (%)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub> (%)	감열감량 (%)	습분 (%)
100	2.11	220,000	94	1.0	0.2

4) 고성능 감수제

본 실험에 사용된 혼화제는 고유동성 확보를 위해 진한 암갈색 액상체인 밀도 1.06±0.05g/cm<sup>3</sup>의 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하였다.

2.2.2 배합

본 실험에 적용하기 위한 최종 배합은 표 4와 같다.

표 4. 최종 배합표

W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량 배합(kg/m <sup>3</sup> )			
		C	SF	S	SP(%)
30	225	698	53	1324	0.5
25	225	837	63	1196	0.7
20	225	1046	79	1004	1.0

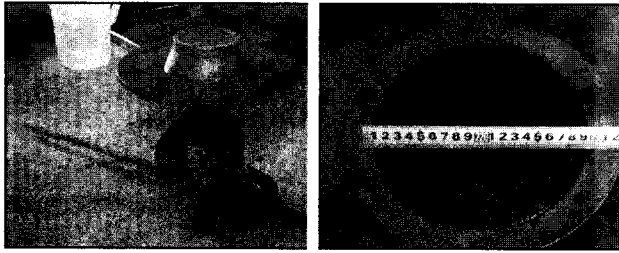
실험에 사용될 시멘트 모르타르 제작을 위한 모르타르의 비빔은 KS L 5109에 규정되어 있는 모르타르 비빔기를 사용하여 약 3분간 혼합하였다. 배합사항으로는 W/B에 따라 설계기준강도 각각 60MPa, 80MPa, 100MPa를 만족하는 배합을 계획하였다.

표 5. 테이블 플로우

W/B (%)	설계기준강도 (MPa)	Table Flow (mm)
30	60	160±10
25	80	180±10
20	100	200±10

굳지 않은 모르타르의 유동특성을 평가하기 위하여 사진 1과 같이 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 고강도 모르타르의

플로우 실험을 실시하였다. 모르타르 제조 후 유동성 측정은 KS L 5111에 준하여 플로우 실험을 하였다.



(a) 플로우 테이블 (b) 플로우 측정

사진 1. 플로우 테이블 및 플로우 실험

모르타르의 배합 시 혼화제량을 조절하기 위하여 테이블 플로우 값을 정하였고, 예비실험을 통해서 질량비율을 정하였다. 그리고 각각의 W/B별로 동일한 평가를 위해 시험체 제작시마다 플로우를 측정하여 물성을 확인하여 실험의 정확성을 높였다.

### 2.3 시험체의 제작 및 양생

모르타르 시험체의 제작을 위해 사진 2와 같은 모르타르 비빔기를 사용하였다. 실험의 양생방법으로는 표준수증양생, 밀봉양생, 그리고 시험체를 증기양생한 후 즉시 표준밀봉을 실시하여 양생에 따른 강도발현에 관해 측정하였다.

모르타르 강도 특성을 분석하기 위한 시험으로써, 압축강도 시험은 소정기간 양생이 끝난 후 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)의 시험방법에 따라 50×50×50mm의 공시체를 제작하여 측정하였다. 휨강도 시험은 KS F 2476에 준하여 40×40×160mm의 공시체를 사용하였다. 양생조건별로 각각 재령 1일, 3일, 7일, 28일에 압축 및 휨강도를 측정하였으며, 3개 공시체의 평균값을 시험결과로 채택하였다.

### 2.4 축진양생 조건

표 6 및 표 7과 같이 축진양생 요인 중에서 전치시간, 양생 최고온도, 최고온도유지시간, 온도상승 및 하강시의 구배를 변화시켜 그에 따른 압축 및 휨강도 발현성과의 관계를 검토하였다.

패턴변화에 따른 기준이 되는 온도이력 조건인 T1은 전치시간 4h, 온도구배는 10℃/h로 하였고 양생최고온도는 70℃, 최고온도 유지시간은 6h로 하였으며, 이 기준 패턴에 따라 표 6과 같이 각 조건별로 나누어 시간 및 온도를 변화시켰다. 증기양생기 안에서 가열양생 시 온도조건과 실제온도의 차이는 ±2℃의 범위 내에서 제어하였다. 한 패턴의 증기양생이 끝난 후에 바로 탈형을 실시하고 램을 이용해 밀봉하여 온도차가 최대한 발생하지 않는 20±2℃의 상온에서 보관하였다.

사진 3은 실험의 온도조건에 따라 물을 가열하여 자동으로 온도를 제어하는 증기양생기의 모습이며 상온의 온도에서 95℃까지 제어가 가능하다.



사진 2. 모르타르 비빔기



사진 3. 증기양생기

표 6. series별 온도이력조건

구 분	전치 시간 (h)	최고 온도 (℃)	최고온도 유지시간 (h)	온도 구배 (℃/h)	1Cycle (h)	
S	-	-	-	-	-	
M	-	-	-	-	-	
series	T1	4	70	6	10	20
	T2	8	70	6	10	24
	T3	4	90	6	10	24
	T4	4	70	12	10	26
	T5	4	70	6	20	15

\* S: 증기양생하지 않은 표준수증양생 공시체

\* M: 증기양생하지 않은 밀봉양생 공시체

표 7. 모르타르 시험체 개수

시험체명	압축강도 (EA)				휨강도 (EA)				소 계
	1일	3일	7일	28일	1일	3일	7일	28일	
S	9	9	9	9	3	3	3	3	48
M	9	9	9	9	3	3	3	3	48
series	T1	9	9	9	9	3	3	3	48
	T2	9	9	9	9	3	3	3	48
	T3	9	9	9	9	3	3	3	48
	T4	9	9	9	9	3	3	3	48
	T5	9	9	9	9	3	3	3	48
시험체 제작 합계	63	63	63	63	21	21	21	21	336

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 배합에 따른 유동특성

각각의 W/B별로 시험체 제작시마다 동일한 물성을 확보하기 위하여 매회 굳지 않은 모르타르의 유동특성을 알아보기 위한 실험으로써 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 모르타르의 플로우 실험을 실시하였다.

모르타르의 배합시 혼화제량을 조절하기 위하여 테이블 플

로우 값을 정하여 예비실험을 통해서 질량비율을 정하였으며 각각의 시험체 제작시마다 동일한 물성을 확인하기 위해 플로우 테스트를 실시하였다. 모든 배합에서 유동특성을 만족시키기 위한 목표 플로우 값 160±10mm (W/B 30%), 180±10mm (W/B 25%), 200±10mm (W/B 20%)을 그림 1과 같이 확인하였다.

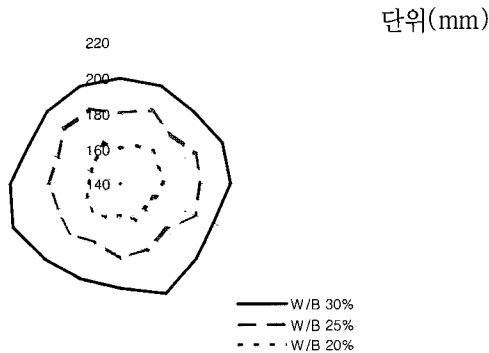


그림 1. W/B에 따른 플로우 값

### 3.2 온도이력 조건에 따른 압축강도 특성

#### 3.2.1 온도이력별 압축강도 발현율 특성 (W/B 30%)

그림 2는 압축강도에 대한 W/B 30%의 누적 압축강도 발현율로써 S(수중양생)의 28일 강도 값을 기준으로 하여 각 재령에 따라 그래프로 나타내고 있다. 재령 1일에서 S-W30과 M-W30에 비해 T-W30의 강도 증진이 커짐을 알 수 있다. 이는 경화와 응결과정에서 고온의 환경으로 인해 화합물간의 반응이 빠르게 일어난 결과이다. M의 경우 1일에서 40%에도 도달하지 못한 반면, T의 경우에는 약 70%이상의 발현율을 나타내었다.

그러나 재령 3일 이후로는 촉진양생한 공시체의 강도 증진이 현저히 줄게 되어 7일이 지난 시점에서 가열하지 않은 공시체의 강도보다 비교적 낮아졌다. 최종 28일에서는 T1, T3, T5의 강도가 각각 98.4%, 100.7%, 96.6%로 수중양생한 공시체와의 차이가 최대 3.4%로써 큰 차이를 나타내지 않았다. T3-W30의 경우, 가열양생 공시체 중 유일하게 수중양생한 공시체보다 미세하게 강도증진의 효과를 보였다. T3-W30은 최고온도 90℃로 가열한 공시체로써 재령 초기에 91.1%의 강도발현을 일으키면서 강도에 효과적인 반응을 보였다. 반면에 T2-W30의 경우, 재령 28일에서 표준수중양생에 비해 12.8%의 강도저하를 보였다. 이는 온도이력에 있어서 전치시간이 충분하면 재료가 가열되기 전에 충분한 조직형성시간을 확보함으로써 강도저하를 완화시키지만, 한편으로는 전치시간의 증가와 강도발현이 반드시 비례하지는 않는다는 것을 나타낸다. 또한 전체적으로 배합 시 혼입한 실리카폼의 높은 분체량으로 인해 미세 공극량이 줄어들어 열에 의한 팽창에 효과

를 볼 수 있었다.

표 8. 압축강도 발현율 (W/B30%)

구분	강도 발현율 (%)			
	1일	3일	7일	28일
S-W30	38.3	61.6	84.5	100
M-W30	38.3	64.3	82.7	97.5
T1-W30	74.6	90.6	93.1	98.4
T2-W30	69.6	79.4	81.5	87.2
T3-W30	91.1	95.2	95.8	100.7
T4-W30	74.9	77.1	79.9	86.6
T5-W30	76.9	81.3	91.4	96.6

\* 강도 발현율(%): S(수중양생, 20±3℃) 재령 28일 강도를 기준으로 한 재령 t일에 대한 강도 발현율

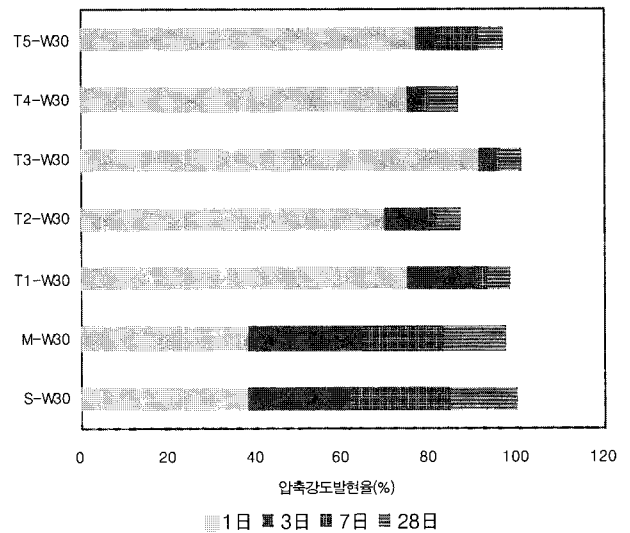


그림 2. 압축강도 누적 발현율 (W/B30%)

#### 3.2.2 온도이력별 압축강도 발현율 특성 (W/B 25%)

그림 3은 압축강도에 대한 W/B 25%의 누적 압축강도 발현율이다. 25% 또한 재령 1일에서 S-W25과 M-W25에 비해 T-W25의 강도 증진이 커짐을 알 수 있다. 촉진양생을 실시했을 경우, 재령 1일에서 최소 60%에서 최대 85%까지 강도 증진을 보였다. 그러나 가열하지 않은 S, M-W25의 경우 36.4%의 비교적 낮은 강도발현을 일으켰다. 재령 28일에서 90℃로 가열 양생한 T3-W25는 97.7%의 강도발현을 보이며 밀봉양생한 M-W25보다 2.4%의 강도증진 효과를 보였다. 또한 촉진양생을 실시한 타 인자보다 월등히 높은 강도발현을 나타내었다. 반면에 전치 4h, 최고온도 70℃, 온도구배 10℃/h에서 최고온도유지시간만 2배로 늘려 12h으로 변화를 준 T4-W25의 경우에는 83.2%로 인자들 중에서 가장 낮은 강도발현을 일으켰다. 이는 유지시간이 길어진다는 것은 곧 최고온도 점에서의 노출시간이 늘어남을 뜻하며, 그에 따라 높은 온도로 인해 수화반응을 촉진시켜 내부의 물리적 구조 생성에

있어서 불리한 영향을 준다.<sup>4)</sup> 이처럼 수화과정에 있어서 최고 온도 점에서의 온도와 지속시간의 영향이 크며, 두 요소간의 적절한 비율이 요구된다고 사료된다.

표 9. 압축강도 발현율 (W/B25%)

구분	강도 발현율 (%)			
	1일	3일	7일	28일
S-W25	36.4	65.9	77.7	100
M-W25	36.4	63.7	76.2	95.3
T1-W25	69.3	77.1	80.4	90.8
T2-W25	72.9	77.5	80.0	83.2
T3-W25	85.7	88.8	94.7	97.7
T4-W25	62.2	68.2	71.4	82.4
T5-W25	72.8	77.7	81.4	84.9

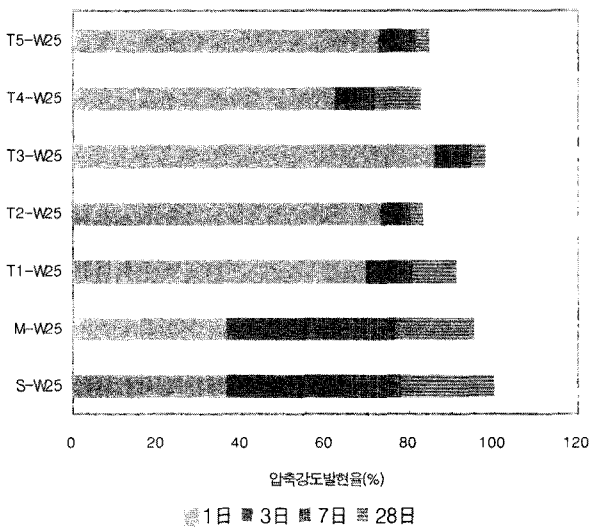


그림 3. 압축강도 누적 발현율 (W/B25%)

### 3.2.3 온도이력별 압축강도 발현율 특성 (W/B 20%)

그림 4는 압축강도에 대한 W/B 20%의 누적 압축강도 발현율을 나타낸 것이다.

W/B 20%의 경우, W/B 30%, 25%에 비해 인자간의 강도 발현의 차이가 줄어드는 것을 알 수 있다. 재령 28일에서는 수중양생인 S-W20과 비교하여 모두 93% 이상의 강도발현을 보였다. 또한 W/B 20%에서도 가열양생한 공시체 중에서 T3-W20이 가장 높은 강도증진을 보임을 알 수 있다. 또한 S-W20보다도 오히려 2.4%의 증진효과를 보았다. 이런 경향은 W/B가 낮아짐에 따라 강도증진의 효과가 비례하여 높아지는 것을 알 수 있다. 이와 같이 W/B가 낮아짐에 따라 수화 내부조직이 고온에서의 저항력을 지니게 되어 급격한 수화반응에 대해 안정성을 갖게 된다고 보고되고 있다.

반면에 T4-W20의 경우, 가열 양생한 인자 중에서 가장 낮은 93.5%의 강도 발현율을 나타내었다. 이는 70℃의 고온가열이 12시간의 장시간동안 지속됨에 따라 고온에서의 수화 및 경화과정에 있어서 불리한 영향을 줄 수 있으며 그로 인해 재령 경과에 따른 강도증진이 가장 낮아졌다. T5-W20 또한 높은 온도구배 20℃/h로 인해 시험체 내·외부의 온도차가 발생하여 강도증진에 영향을 끼칠 수 있다고 사료된다.

표 10. 압축강도 발현율 (W/B20%)

구분	강도 발현율 (%)			
	1일	3일	7일	28일
S-W20	42.9	61.0	76.6	100
M-W20	42.9	63.2	73.4	97.8
T1-W20	77.2	84.3	93.8	96.2
T2-W20	85.2	89.0	92.4	100.6
T3-W20	94.3	96.1	99.8	102.4
T4-W20	77.0	81.8	91.7	93.5
T5-W20	86.2	88.1	91.2	94.4

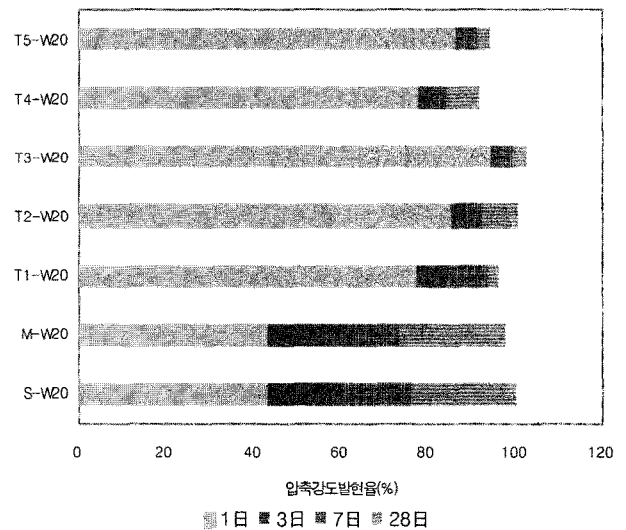


그림 4. 압축강도 누적 발현율 (W/B20%)

### 3.3 온도이력 조건에 따른 휨강도 특성

그림 5는 온도조건의 변화에 따른 재령 28일의 휨강도발현율의 특성을 보여주고 있다.

전치 4h, 최고온도 70℃, 최고온도유지시간 6h, 온도구배 10℃/h의 이력을 가한 T1-W25는 가열 양생한 타 공시체에 비교해 비교적 낮은 초기강도를 나타냈다. 그러나 재령 7일 이후로도 지속적으로 높은 장기강도 발현율을 보이며 밀봉양생한 M-W25의 수준까지 강도가 상승했다.

T4-W25, T5-W25의 휨강도 발현을 살펴보면, 동일한

W/B의 압축강도와 유사한 경향을 보이며 상대적으로 낮은 강도발현을 나타내고 있다. 이는 각각 최고온도에서의 지속시간과 온도상승 및 하강구배를 변화시킨 공시체로써 빠른 온도의 변화를 수반한 고온양생으로 인해 재료간의 열팽창율의 차이와 수화생성물의 미세조직이 불균질하게 배열되어 입자간의 결합력에 영향을 줌으로써 장기재령에서 강도증진율의 저하를 일으킨 것으로 사료된다.<sup>7)</sup>

최고온도 90℃에서 축진양생한 T3-W25는 앞선 압축강도의 경향과 유사하게 온도이력을 가한 인자 중에 가장 높은 강도증진을 나타내었다. 수중양생한 공시체보다 3.4% 낮은 수치를 보였으나 초기 1일 재령의 강도에서 이미 80%의 강도에 도달한 것을 알 수 있다.

표 11. 휨강도 발현율 (W/B25%)

구분	강도 발현율 (%)			
	1일	3일	7일	28일
S-W25	36.1	65.4	79.3	100.0
M-W25	36.1	63.2	75.6	94.5
T1-W25	68.8	76.6	79.8	94.0
T2-W25	71.6	75.9	79.3	83.6
T3-W25	80.2	85.3	91.4	96.6
T4-W25	64.7	69.8	76.7	81.9
T5-W25	73.3	77.6	81.0	85.3

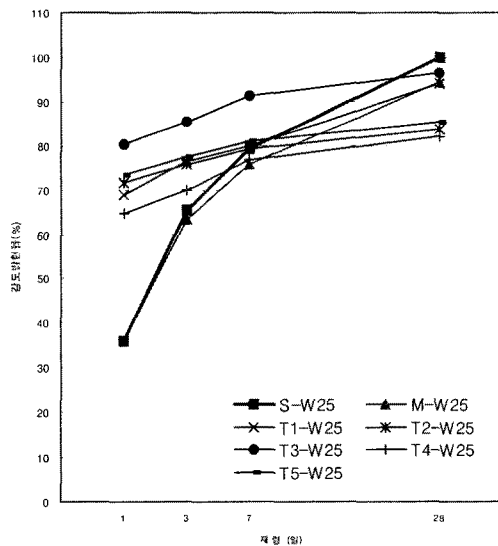


그림 5. 휨강도 발현율 (W/B25%)

### 3.4 압축강도와 휨강도의 상관성

중기양생에 의한 고강도 모르타르의 압축강도 및 휨강도 간의 관계를 그림 6에 나타내었다. 압축강도와 휨강도의 관계에 관한 회귀분석 결과로써 다음과 같은 결정 계수를 도출할 수 있었다.

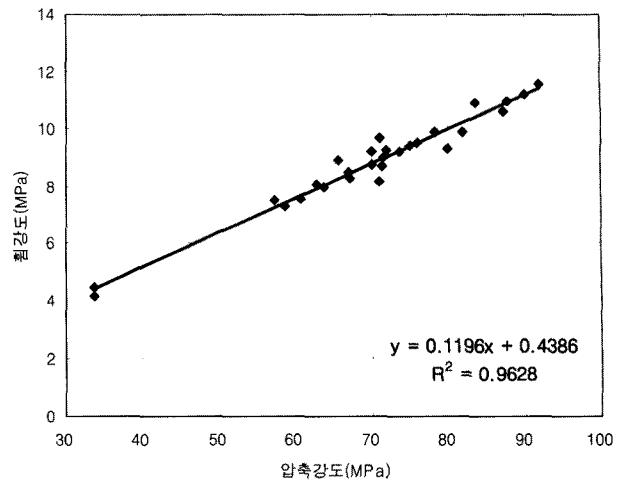


그림 6. 압축강도와 휨강도의 관계

## 4. 결 론

축진양생을 실시한 W/B비별 고강도 모르타르의 온도이력에 따른 강도특성에 관한 실험의 결과는 다음과 같다.

- (1) W/B가 낮을수록 장시간의 전양생시간에 대한 고온의 저항력이 커져 강도저하의 영향을 덜 받았으며, 수화반응에 필요한 일정시간 이후에는 강도가 일정해지는 경향을 나타내었다.
- (2) 고온양생에 따른 강도특성에서는 70℃ 고온의 지속시간이 길어질수록 강도에 불리한 경향을 나타내었으나 배합에 따라 적절한 양생최고온도가 있었으며 W/B비가 낮을수록 고온에 유리하였다.
- (3) W/B가 낮아질수록 고온에 대한 시멘트의 저항성이 커짐에 따라 장기강도의 증진율은 떨어지지만, W/B에 따라 고온양생 시 시멘트의 취약성을 극복하고 90℃의 고온에서도 강도증진의 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (4) 재령 28일의 축진양생에 따른 온도이력의 변화에 대해 압축강도와 휨강도는 유사한 경향을 나타내었으며, 인자범위 내 온도상승 및 하강기울기의 증가에 따라 평균 4%의 미세한 강도저하가 나타났다.

축진양생을 실시할 경우, 100MPa급의 고강도에서는 일반 강도와는 다른 강도발현에 적합한 온도이력의 성향이 나타날 수 있다는 전제하에 좀 더 세밀하고 다양한 패턴 연구가 필요하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 백민수, 水和熱에 의한 온도履歷이 시멘트 모르타르의 강도특성에 미치는 영향에 관한 實驗的 研究, 석사논문, pp.20~31, 1997
2. 정상진 외, 常壓蒸氣養生에 의한 모르타르의 強度發現性에 관한 基礎研究, 대한건축학회 논문집 11권 1호, 1995
3. 정상진 외, 초기 고온이력을 받은 시멘트 모르타르의 압축강도 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집(구조계) 22 권 3호, 2006
4. 한국콘크리트학회 편, 최신 콘크리트 공학, pp.214~ 215, 2005
5. Klieger Paul, Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete strength, Journal of American Concrete Institute, pp.1063~1081, 1958
6. 三中 建郎외 3人, 初期材齡ての高溫養生條件におる超高強度 コソクリートの強度發現に及ぼす骨材品質の影響, 「コソクリート工學年次論文報告集」, 日本コソクリート工學協會, 1995

(접수 2008. 6. 17, 심사 2008. 7. 28, 게재확정 2008. 8. 4)