

# 양생방법에 따른 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

## The Experimental Study of Characteristics of Concrete Strength according to the pattern of curing

이준구\*      윤상대\*\*      박광수\*\*\*      최광선\*\*\*\*      김명원\*

Lee, Joon Gu    Youn, Sang Dai    Park, Kwang Su    Choi, Kwang Sun    Kim, MOUNG Won

### Abstract

The purpose of this study is to investigate the mechanical properties of precast concrete cured by accelerated curing methods such as, steam curing method and warm water curing method varying maximum temperature of curing along to the period of curing. Some specimens are cured by accelerated curing method(warm water curing method) and then deposited in the storehouse. The others are deposited in the storehouse directly. All of these are cured until being tested to compare these two group's mechanical characteristics for each period 3days, 7days, 28days.

The goal of this comparison is to estimate the efficiency of accelerated curing method in the case of precast concrete stocked in the field or warehouse for a long term and to make guide line for factory manager to make a economical products of concrete of a good quality. We can conclude some guide lines 1) It is not efficient to cure concrete with accelerated method at higher than 80°C. 2) The continuing of curing period more than 36hr makes damage to concrete in using accelerated curing method. 3) The strength revelation of concrete cured by accelerated curing methods, added rice husk ash more delayed than OPC concrete done but the strength of maximum value is higher than OPC concrete. 4) It is not efficient to use accelerated curing method in the case of storing the products for more than 7days in the aspect of mechanical properties

### 1. 서론

양질의 콘크리트를 만들어내기 위해선 많은 노력과 정성이 필요하다. 특히, 현장타설 콘크리트의 경우 타설의 시점에 따라 환경적 요인, 계절적 요인, 사용재료의 여건등의 영향을 받기 때문에 더욱 그렇다. 또한 타설후의 관리가 타설보다 더 중요시되고 있다. 아무리 작은 단면의 구조물을 시공하더라도 거푸집이 필요하며 콘크리트 타설에 필요한 제반장비는 모두 갖추어져야 한다. 이러한 문제점의 해결의 일환으로 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete)가 등장하게 된 것이다. 공사비의 절감, 공기의 단축, 계절적 영향의 최소화, 품질관리노력의 최소화, 거푸집이 불필요하다는 점등의 장점을 들고 있는 반면 운반비용, 운반도중 국부파손, 부재종류에 따라서는 설치비용과 연결부위의 일체성의 문제점 및 연결부위 마무리 등의 문제점들도 거론되고 있다.

프리캐스트 콘크리트의 제조는 대부분 증기양생 등을 통한 촉진양생으로 생산하고 있다. 프리캐스트 콘크리트제품의 생산시간은 경제성과 직결되기 때문에 가능한 짧은 공정관리가 이루어져야 한다.

\* 정회원, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 연구원

\*\* 정회원, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원

\*\*\* 정회원, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원

\*\*\*\* 정회원, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 책임연구원

증기양생이나 온수양생 등의 촉진양생으로 하나의 완성된 제품이 생산되기까지의 소요시간은 제품에 따라서 다르지만, 대체로 배치플랜트가동, 타설, 진동, 운반, 전양생, 상승기간, 지속기간, 하강기간, 후양생, 탈형, 야적까지의 시간으로 나누어질 것이다.

생산하는 제품과 생산공장의 규모에 따라 다르지만 인건비 및 경비를 절감하기 위해서는 많은 공정에 필요한 시간을 단축하고 있는 실정이다. 그러나 실제 프리캐스트 콘크리트제품이 사용되는 시점은 다양하다. 양생직후 현장으로 운반되어 시공되어야 하는 경우가 있을 수 있고 야적장에서 장시간 야적되어야 하는 경우도 발생할 것이다. 또는 현장으로 운반되어져 시공되기 전에 야적되어져 있을 수 있다. 이렇듯 다양한 경우가 발생할 수 있는 콘크리트제품인데도 불구하고 양생과정이나 완성된 제품에 대한 품질관리기준이 미약하여 열악한 제품이 현장으로 유입되고 있다.

본 연구에서는 프리캐스트 콘크리트 양생방법중 촉진양생방법(증기양생, 온수양생)에서 양생최고 온도(50, 60, 70, 80, 90℃)를 변화시키면서 양생지속시간(12, 15, 24, 36, 48시간)의 변화에 따른 역학적특성을 비교분석하였으며, 순수일반양생(기건양생, 표준양생)과 촉진양생후 일반양생(기건양생, 표준양생)을 통하여 재령별압축강도 및 인장강도를 비교분석하여 촉진양생후 장기야적 될 경우의 촉진양생의 효율성측면을 검토하여 양질의 콘크리트생산 및 경제적인 제품생산을 할 수 있는 기준의 정립에 그 목적을 두었다.

프리캐스트 공장마다 적용하고 있는 기준이 다르다. 보다 많은 연구가 이루어져 제품의 요구조건에 따른 기준이 정립되어 효율적인 품질관리로 기준에 맞는 제품을 생산하여 건설시장에서 인정받을 수 있는 제품이 생산될 수 있도록 해야 할 것이다. 또한, 프리캐스트 콘크리트제품의 치수나 역학적 측면의 관리뿐만 아니라 콘크리트의 내구성 측면을 검토한 품질관리기준의 정립이 필요하다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

시멘트는 시중에서 구입한 보통 포틀랜드 시멘트(A사 제품)를 사용하였으며, 그 물리적 성질을 표1과 같다.

#### 2.1.2 골재

본 연구에 사용된 골재시료로서 잔골재는 남한강(경기 여주)산 하천사, 굵은골재는 안성 (경기)산 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 각각 표2 및 표3과 같다.

#### 2.1.3 혼화재료

##### 1) 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 AE감수제(표준형, K사)로서 그 품질특성은 표4와 같다.

##### 2) 혼화제(왕겨재)

왕겨를 고온(600℃)소각후 불밀을 통해 미세분쇄한 것으로 고분말 왕겨재와 고성능감수제를 혼입한 콘크리트의 유동성은 고로슬래그분말과 고성능감수제를 혼입한 콘크리트와 같이 점성을 갖으며 유동성을 확보하고 있기 때문에 재료분리저항성이 강하면서 시공성을 갖출수 있다. 왕겨재 성분의 90%정도가 SiO<sub>2</sub>로 실리카흙과 비슷하며 이를 혼입한 콘크리트의 역학적 특성은 실리카흙을 혼입한 콘크리트보다 우수한 것으로 본 연구기관에서 기 실험을 통하여 규명한 바 있으며 본 연구에서는 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 프리캐스트 콘크리트제품에의 활용에 관한 실험을 그 목적으로 하고 있으며 품질특성은 표5와 같다.

표1 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종 류	비 중	응결시간		분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
		초결(min)	종결(hr)		$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$
보 통 포틀랜드	3.14	228	6.14	3,338	190	218	310

표2 잔골재의 물리적 성질

항목	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/m <sup>3</sup> )	200번체통과량 (%)	조립율
하천사 (여주)	2.57	1.08	1.560	1.8	2.65

표3 굵은골재의 물리적 성질

항목	굵은골재 최대치수(mm)	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (tf/m <sup>3</sup> )	조립율	마모율 (%)
부순돌 (안성)	19	2.71	0.6	1.553	6.53	28.2

표4 화학혼화제의 품질 특성

비중	pH	고형분 (%)	표준사용량(%) (시멘트중량비)	주 성분	비 고
1.21	8	41	0.2 ~ 2.0	Sodium salt of a sulfurnate naphthalene	액 상

표5 혼화제의 품질 특성

혼화제 종류	비중	분말도(cm <sup>2</sup> /g)	비 고
왕겨재	2.06	21.6* (*D50:유효입경)	동진벼 왕겨를 연소로에 의해 고온(600℃)소각 후, 분쇄

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 온도변화에 따른 축진양생의 역학적 특성

프리캐스트 콘크리트제품의 축진양생방법중 증기양생과 온수양생방법을 택하여 양생최고온도를 50~90℃까지 10℃씩 변화시키면서 최고온도에 따른 콘크리트의 역학적특성을 비교분석하였다. 본 연구를 위하여 대형 콘테이너를 특수제작하여 자동온도제어 및 증기발생실과 증기분무장치가 설치된 증기실, 전기히터가 장치된 대형 수조를 설치한 온수양생실을 갖추었다. 콘크리트 배합시 배합의 영향과 배합실내의 환경적 영향을 최소화하기 위해 비교대상 시험체는 동일 배합으로 모두 제작하였으며 다짐은 일정시간동안 진동테이블다짐으로 공시체를 제작하였다. 콘크리트타설 후 3시간동안 전양생을 실시하였으며 온도상승시간을 3시간으로하였다. 양생시간은 상승시간을 포함하여 12, 15, 24, 36, 48시간마다 압축강도와 인장강도를 측정하였다. 48시간양생 시험체가 양생되기 이전엔 그 이전시간양생 시험체의 양산실 내부에서의 하강시간이 확보되지 못하기 때문에 자연방식하여 압축강도 및 인장강도시험을 실시하였다. 또한 OPC콘크리트와 왕겨재교분말을 혼입콘크리트를 제작하여 서로 비교분석하였다. 축진양생된공시체의 압축강도 및 인장강도시험은 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)와 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험 방법)에 따라 각 양생시간별로 실시하였다. 일반적으로 프리캐

스트 콘크리트제품제조공장에서 적용하고 있는 기준보다 양생시간을 길게까지 측정한 이유는 실험적 연구의 목적이기도 하지만 본연구기관에서 연구중인 왕겨재를 생산하는 과정에서 발생하는 열에너지를 활용할 수 있기 때문에 콘크리트의 품질과 내구성측면에서 유리하다면 적용가능하다는 전제에서 실시한 것이다.

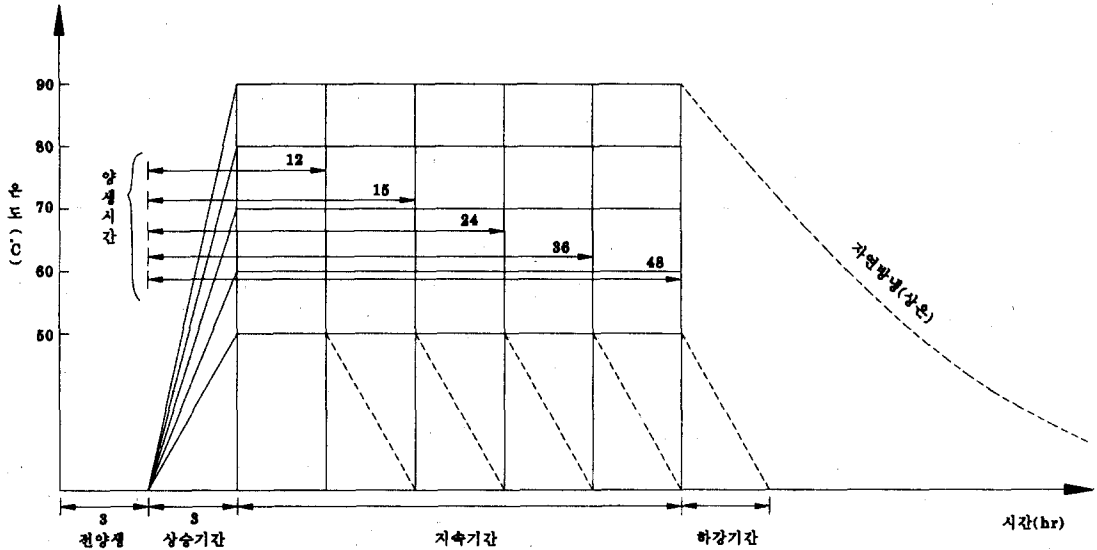


그림1 최고온도와 양생시간

2.2.2 순수일반양생과 촉진양생후 일반양생의 역학적 특성

프리캐스트 콘크리트 제품의 촉진양생후의 콘크리트 강도특성의 변화를 분석하기 위하여 상승시간을 포함하여 양생시간 15시간동안 촉진양생하여 기건양생시켰다. 촉진양생용 시험체와 동일한 배치에서 제작한 시험체를 순수 기건양생 및 표준양생시켜 3일, 7일, 28일재령에서 촉진양생후 기건양생시킨 시험체와 함께 강도시험을 실시하여 그 특성을 비교분석하였다. 또한 OPC콘크리트와 왕겨재고분말을 혼입콘크리트를 제작하여 서로 비교분석하였다.

촉진양생후의 콘크리트 강도특성의 변화를 분석하기위해 제작된 공시체는 KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 따랐다. 촉진양생된 공시체와 표준 및 기건양생된공시체의 압축강도 및 인장강도시험은 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)와 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)에 따라 각 재령별로 실시하였다.

표6 콘크리트의 배합표

단위결합재량 (kg/m <sup>3</sup> )	물-결합재비(%)	혼화재 종류 (혼입률)(%)	잔골재율 (%)	슬럼프 (cm)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )					고성능 AE 감수제 (B×%)
					물	시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	
400	42.5	OPC	45	17	170	400	0	786	1,021	1.2
	42.5	왕겨재 10%	45	16	170	360	40	786	1,021	1.3

### 2.2.3 프리캐스트 콘크리트 제품의 기준

프리캐스트 콘크리트제품중 많은 종류가 KS규격화되어 있으나 그 기준의 대부분이 치수나 강선의 수에 국한되어 있으며 양생기준은 미미한 실정이다. 예를 들면 프리텐션방식의 원심력 PC말뚝(KS F 4303)의 경우 「만족할 만한 결과를 얻을 수 있는 방법으로 양생하여야 한다.」라고 정하고 있으며, PC전주(KS F 4304)는 「품질에 악영향을 미치지 않는 방법으로 양생하여야 한다.」고 정하고 있다. 프리텐션방식 진동 PC말뚝의 경우는 나름대로의 기준을 제시하고 있으나 제품생산공장의 여건에 맞추기는 열악하다.

표7 KS F 4307 「프리텐션방식 진동PC말뚝」 증기양생

전양생	온도상승율	최고온도	지속시간	온도하강	후양생
2hr	20℃/hr이하	65℃	4~10hr	상온으로 서서히 내린다.	습윤양생 3일이상

### 3. 결과분석 및 고찰

#### 3.1 온도변화에 따른 축진양생의 역학적특성

1) 증기양생의 양생최고온도에 따른 양생시간별 강도특성을 비교분석한 결과 그림2(a)~(d)와 같다. 왕겨재를 혼입하지 않은 OPC콘크리트의 압축강도를 양생최고 온도60, 70, 80℃에서 측정한 결과 그림 2(a)와 같이 36시간까지는 지속적인 강도증가를 보이나 그 이상으로 양생시간을 지속하면 오히려 압축강도가 60℃의 경우만 제외하고 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 축진양생으로 초기에는 수화반응이 촉진되어 강도발현이 조기에 나타나나 양생시간이 길어지면 오히려 수화조직에 악영향을 주어 강도발현이 떨어지는 것으로 판단된다.

2) 또한 양생온도 60℃에서는 초기에는 강도발현이 70℃나 80℃보다 저조하나 양생시간이 길어지더라도 계속적인 강도증가경향을 보인데 반해 70℃, 80℃의 경우 양생시간 36시간이 지나면 강도가 낮아지는 경향을 보인다.

3) 양생온도에 관계없이 48시간의 양생시간이 지나면 강도값이 한점에 모이는 것을 알 수 있다. 이는 동일한 배합의 공시체를 다른 최고양생온도로 양생하더라도 일정에너지(도시)를 얻게되면 일정한 강도를 발현하는 것으로 판단된다.

4) 그림2 (b)는 왕겨재를 10%혼입한 경우의 양생최고온도의 변화에 따른 압축강도특성을 나타낸 그림이다. OPC콘크리트의 경우(그림 2(a))와 유사한 경향을 보이고 있으며 OPC의 경우보다 36시간 양생시간에서 최고값이 더 큰 것으로 나타났다.

5) 그림2(c)는 OPC콘크리트의 인장강도의 경향을 나타내고 있다. 양생최고온도에 관계없이 지속시간이 길어질수록 인장강도는 증가하는 경향을 보인다. 그림2(a)나(b)에서와 같이 48시간양생시점에서 인장강도가 한점으로 모이는 것을 관찰할 수 있다.

6) 그림2(d)는 왕겨재 10%를 혼입한 콘크리트의 양생최고온도의 증기양생에 따른 인장강도를 나타내고 있다. OPC콘크리트(그림 2(c))와 경향은 비슷하나 36시간이상 양생시점에서 OPC보다 높은 강도를 보인다.

7) 그림 3 (a)~(d)는 온수양생의 양생최고온도에 따른 양생시간별 강도특성을 나타내고 있다. 양생최고온도가 낮은 경우 양생지속시간이 길어짐에 따라 압축강도나 인장강도가 증가하는 경향을 유지하나 양생최고온도가 높아질수록 짧은 지속시간에서 최고강도를 보이고 양생시간이 계속되면 강도가 떨

어지는 경향을 보인다. 이는 1)에서 언급한 것과 같이 양생초기에는 수화반응이 촉진되어 강도발현이 초기에 나타나나 양생시간이 길어지면 오히려 수화조직에 악영향을 주어 강도발현이 떨어지는 것으로 판단된다

50℃~80℃까지는 36시간까지 양생시간을 지속하더라도 강도증진 경향이 있으나 90℃에서는 24시간까지 강도증진경향이 있다.

8) 중기양생의 경우에서처럼 온수양생에서도 3)에서 언급한 바와 같이 48시간의 양생지속시간에서 압축 및 인장강도의 값이 한점에 모이는 것을 관찰할 수 있다. 이는 동일한 배합의 공시체를 다른 최고양생온도로 양생하더라도 일정에너지(도시)를 얻게되면 일정한 강도를 발현하는 것으로 판단된다.

### 3.2 순수일반양생과 촉진양생후 일반양생의 역학적 특성

1) 온수양생을 상승시간을 포함하여 양생시간 15시간지속한 후 기건양생을 3일, 7일, 28일 시킨 공시체(온수&기건)와 순수기건, 표준양생한 공시체와 비교하여 그림 4 (a)~(d)에 도시하였다.

그림 4 (a), (b)는 기건과 비교한 것인데 3일 재령에서는 OPC콘크리트 경우 순수기건양생한 공시체보다 184%~272%까지 강도발현이 되지만 7일재령에서는 101%~136%, 28일재령에서는 83%~95%까지 떨어져 강도역전현상이 나타난다.

2) 그림 4 (b)는 왕겨재를 혼입한 경우를 서로 비교한 것인데 3일 재령에서는 순수기건양생한 공시체보다 264%~323%까지 강도발현이 되지만 7일재령에서는 115%~138%, 28일재령에서는 93%~105%까지 떨어지는 것으로 나타났다.

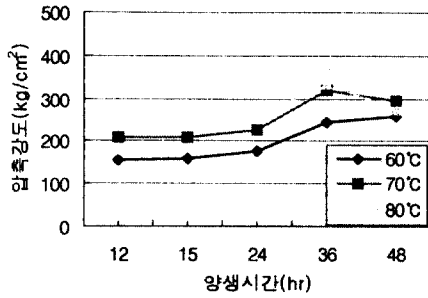
이는 촉진양생후 장기간 기건양생을 시키게되는 경우 굳이 많은 비용을 부담하면서 초기에 강도를 발현시킬 필요가 없음을 나타낸다.

3) 그림 4 (c), (d)는 표준양생과 비교하여 백분율로 표시한 것인데 3일 재령에서는 OPC콘크리트 경우 순수기건양생한 공시체보다 86%~127%까지 강도발현이 되지만 7일재령에서는 73%~99%, 28일재령에서는 78%~89%까지 떨어져 강도역전현상이 나타난다. 최고양생온도 60℃의 경우는 3일재령에서조차 뒤지는 경향을 보인다.

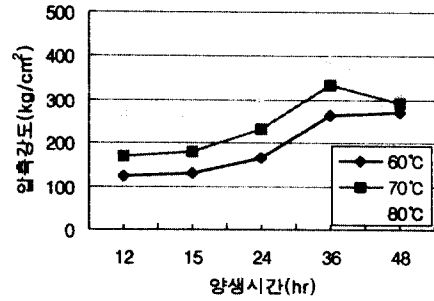
4) 그림 4 (d)는 왕겨재를 혼입한 경우인데 OPC콘크리트와 유사한경향을 보이며 OPC보다 다소 높은 비율로 나타났다.

## 4. 결 론

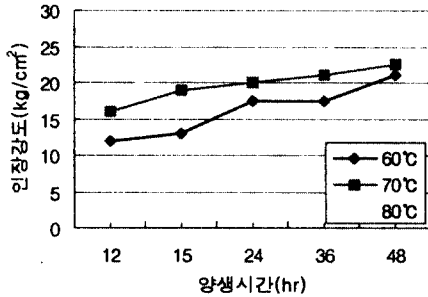
- 1) 촉진양생시 최고양생온도를 80℃이상으로 올리는 것은 비효율적이다.
- 2) 촉진양생시 양생지속시간을 36시간이상 지속시키는 것은 콘크리트에 악영향을 준다.
- 3) 왕겨재를 혼입한 콘크리트의 촉진양생결과는 OPC콘크리트보다 강도발현이 지연되나 최고값은 크다.
- 4) 촉진양생후 양생된 콘크리트를 장기간(7일이상) 야적할 경우 기건양생이나 표준양생을 한 경우보다 역학적 측면에서는 비효율적이다.



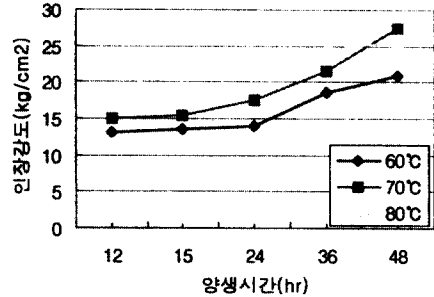
(a) (왕겨재 혼입율 0%)



(b) (왕겨재 혼입율 10%)

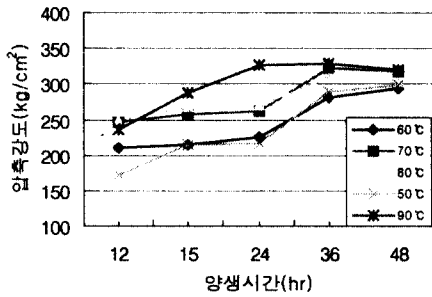


(c) (왕겨재 혼입율 0%)

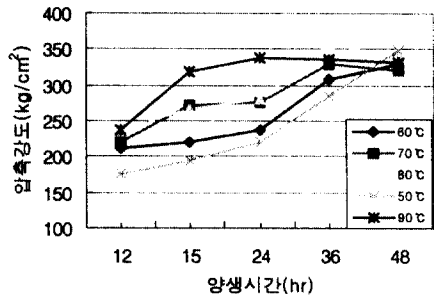


(d) (왕겨재 혼입율 10%)

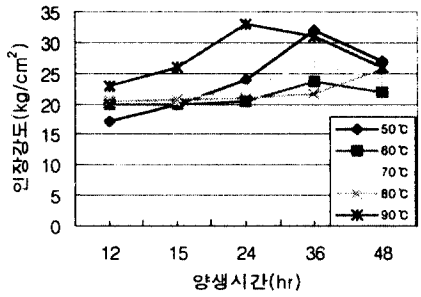
그림 2 양생 최고온도별 양생시간에 따른 강도특성 (중기양생) (a)~(d)



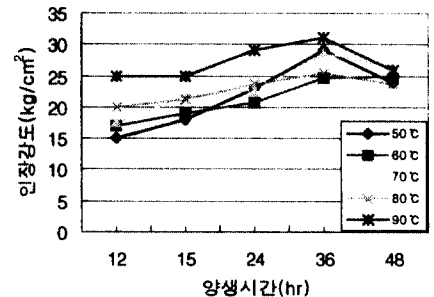
(a) (왕겨재 혼입율 0%)



(b) (왕겨재 혼입율 10%)

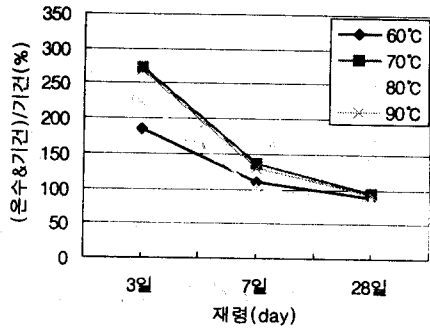


(c) (왕겨재 혼입율 0%)

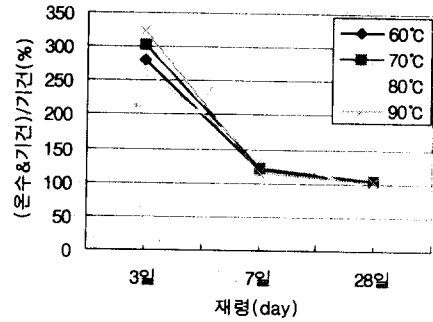


(d) (왕겨재 혼입율 10%)

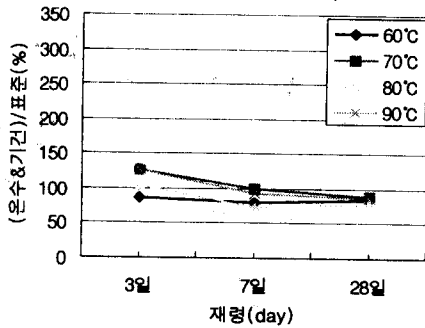
그림 3 양생 최고온도별 양생시간에 따른 강도특성 (온수양생) (a)~(d)



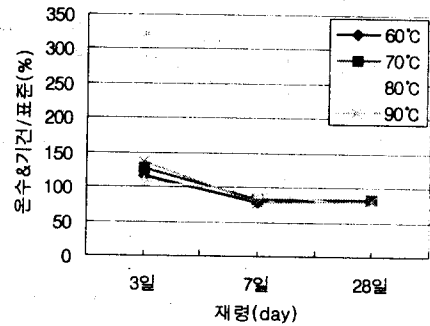
(a) (왕겨재 혼입율 0%)



(b) (왕겨재 혼입율 10%)



(c) (왕겨재 혼입율 0%)



(d) (왕겨재 혼입율 10%)

그림 4 양생최고온도별 양생시간에 따른 강도특성 (온수양생) (a)~(d)

## 참 고 문 헌

1. 홍 성 목 : "프리캐스트 콘크리트 공법활용의 필요성 및 특성", 콘크리트학회 논문집, 제6권 5호 1994. 10
2. 최세규의 2인 : "축진양생이 콘크리트의 28일 압축강도에 미치는 영향에 관한연구" 콘크리트학회 논문집 제8권 4호 1996.8
3. 윤상대의 3인 : "콘크리트용 혼화재료로서 왕겨활용에 관한 연구", 농어촌진흥공사 농어촌연구원 연구보고서, 1997. 12
4. 杉田修一·庄谷征美 : "ポゾラン材としてのモミ力"ら灰の有効利用に關する基礎的研究, 土木學會論文集, 1995. 11, pp.43~52
5. 杉田修一 : "無駄力ら 가值入의轉換", セメント・コンクリート, No.550, 1992.12, pp.36~38