

# 常壓蒸氣養生에 의한 모르타의 強度發現性에 관한 基礎研究

A Preliminary Study on Mortar Strength Development by  
Low-Pressure Steam Curing Method

곽 영 근\*                      정 상 진\*\*

Kwak, Young Keun      Jung, Sang Jin

---

## Abstract

Prefab Construction known for durable construction skill prompting high productivity in developed country is not yet settled in Korea. This situation of prefab construction results from lack of skill, specialists and quality control. In introducing skill, All equipments are thoughtlessly imported without inside eudeavor for development. Regardless of production of goods, basic study for production of goods, construction and structure is not available.

The object of this study is curing method in the production process of PC concrete product. From change of curing temperature and curing period which would be factors of product quality in PC concrete production, and research of optimized steam curing condition from relations between curing condition and strength development, basic data of concrete steam curing method will be presented.

---

## I. 서론

지난 88년부터 정부는 주택난 해결을 위해 주택 200만호 건설을 추진해 왔으며, 매년 50~60만호의 주택건설을 목표로 하고 있다. 이와같은 대량의 주택을 건설하기 위해서는 대량생산, 공기단축등의 장점을 지닌 Pre Cast구조의 확대가 불가피하다. 이미 국내 유수의 건설업체들이 공업화 주택을 생산하고 있거나 또는 막대한 자본을 투입하여 PC공장을 건설해 조만간 공업화주택에 박차를 가할 예정이다. 그러나 현재로서는 PC구조에 대한 부정적 이미지 때문에 공업화주

택의 생산계획에 상당한 차질을 빚고 있다. 선진국에서는 생산성 높고 견고한 시공방법으로 인식되어 있는 조립식 공법이 아직도 우리나라에서는 외면당하고 정착되지 못하고 있다. 이러한 실정은 조립식 공법의 시공기술 낙후와 기술자의 부족 그리고 제품생산과정에서의 품질관리 미흡등을 원인으로 들 수 있으며, 또한 조립식 공법의 기술이 최근에 서둘러 도입되었기 때문이다. 또한 기술을 도입함에 있어서도 자체적으로 개발하려는 노력없이 세트화된 장비일체를 무분별하게 도입하여 적용하는데 문제가 있다. 비록 기계를 가동하여 제품을 생산해 내고는 있지만 제품의 생산, 시공, 구조등에 관한 기초적인 연구가 없이 선진기술의 도입에만 의존한다

---

\* 정희원, 단국대 대학원생

\* 정희원, 단국대 건축공학과 조교수, 공학박사

면 그 기술은 결코 우리의 기술이 아니며, 또한 공업화건설에 있어서 기술축적은 더욱 늦춰질 수 밖에 없는 것이다.

따라서 본 연구에서는 PC콘크리트 제품의 제조기법에 있어서 증기양생방법을 연구 대상으로 하며, PC콘크리트 제품의 생산에 있어 제품의 품질에 중요한 요인으로 작용하는 전치시간과 양생온도 및 양생시간등을 변화시켜 양생조건과 강도발현성의 관계로부터 최적의 증기양생조건을 검토하여, 콘크리트의 증기양생방법의 기초자료를 제시하고자 한다.

## II. 실험 개요

본 실험은 프리캐스트 콘크리트 제품을 제조함에 있어서 증기양생에 관한 실험으로써, 콘크리트를 증기양생하는 과정에서 양생조건 변화에 따른 콘크리트의 강도발현성을 검토하여, 콘크리트 증기양생의 최적양생조건을 구하기 위한 실험이다. 본 실험의 인자를 <표1>에 나타낸다.

### 2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 모래는 주문진産 標準砂를 사용하였다. 사용한 물은 식수인 수도물을 사용하였으며, 사용전 24시간이상 정제하여 두었다가 사용하였다.

### 2.2 모르터의 배합

본 실험에서는 콘크리트 증기양생에 있어서 온도의 영향을 세밀하게 검토하기 위하여 일반적인 굵은골재나 잔골재를 사용하지 않고, 가능한 균질의 시험체를 얻기 위하여 標準砂를 사용한 시멘트 모르터를 4×4×16cm의 공시체로 제작하여 증기양생을 실시하였다. 모르터의 배합을 <표2>에 나타낸다.

### 2.3 양생방법

#### 1) 전치시간의 영향

증기양생에 있어서 전치시간의 영향을 검토하기 위하여 공시체를 타설한 후 <그림1>에서 나타난 것과 같이 20±2℃, RH 90%이상의 養生室에 각각 0.5, 2, 4, 8시간동안 전치양생을 한다. 그리고 양생실의 온도를 18℃/hr로 昇溫시키고, 양생온도 80℃에서 4시간동안 유지했다.

#### 2) 양생온도와 유지시간의 영향

<표 1> 시험조건 및 인자의 수준

인 자 (제어인자)	단 위	수준의 내용
증기양생방법	전치시간	( hr ) 0.5, 2, 4, 8
	전치시간의 온도	( ℃ ) 20
	온도상승속도	( ℃/hr ) 10~20
	양생 온도	( ℃ ) 40, 60, 80
	양생 시간	( hr ) 2, 4, 6, 8, 12
	후양생온도	( ℃ ) 20
물탈배합	후양생방법	수중, 대기중
	시멘트의 종류	보통포틀랜드시멘트
배합	물 / 시멘트 비	( % ) 40
	Flow	( cm ) 14
공시체	비빔온도	( ℃ ) 20~25, 50, 70
	비빔시간	( min ) 3.0
	공시체의 크기	( cm ) 4×4×16

인 자 (표시인자)	단 위	수준의 내용
제 령	( 일 )	1, 7, 28, 56
시험의 내용		압축강도

<표2> 모르터의 배합

W/C (%)	단위시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	모래량 (kg/m <sup>3</sup> )	Flow (cm)
40	450	180	900	14

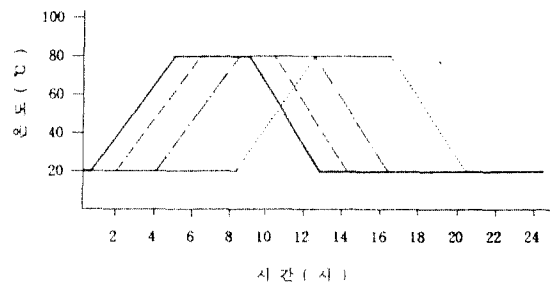


그림 1 전치시간의 변화

증기양생시 양생온도와 양생시간이 강도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 양생실에서 4시간의 전치양생을 한 후 <그림2>에 나타난 것과 같

이 200분동안에 소정의 양생온도 40, 60, 80℃까지 승온시키고 각각의 양생온도에서 2, 4, 6, 8, 12 시간동안 유지했다.

### 3) 타설온도의 영향

타설온도가 강도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 물과 모래를 가열하여 모르타의 비빔온도와 타설온도를 약 50℃와 70℃로하여 <그림3>에 나타낸 것과 같이 양생하였다. 이 실험에서는 타설온도를 높게함으로써 단시간의 양생으로 조기에 높은 강도를 얻고자 한다. 따라서 본 양생에서는 전체양생시간을 12시간으로 하여 양생하였으며, 강도시험도 재령12시간에서 실시하였다.

### 4) 증기양생후의 양생방법에 따른 영향

증기양생을 끝낸 공시체를 탈형즉시 水中養生과 大氣養生으로 나누어 각각 양생하여 後養生방법에 따른 강도증진성의 차이를 비교했다. 이것은 프리캐스트 콘크리트부재를 생산할 경우 탈형까지의 기간이 짧고 그 이후는 공기중에서 양생되기 때문에 콘크리트가 건조되어진 경우의 강도증진성을 검토하기 위함이다. 수중양생은 20±2℃의 수중에서 양생하였으며, 대기양생은 실내의 대기중 실온에서 양생하였다.

## III. 실험결과 및 고찰

### 3.1 전치시간의 영향

전치시간의 영향은 <그림4>에 나타난 것과 같이 전치양생 4시간이 각 재령에서 가장 양호한 강도발현을 보이고 있다. 재령 1일에서의 압축강도는 전치 4시간에서 가장 높은 280kg/cm<sup>2</sup>인 것과 비교해서 전치 8시간의 경우에는 260kg/cm<sup>2</sup>, 전치 2시간에서는 221kg/cm<sup>2</sup>으로 나타나, 전치 4시간 보다 짧은 전치시간쪽이 긴 전치시간에 비해 강도저하가 컸다. 또한 장시간 전치시킨 공시체는 장기재령이 됨에 따라 가장 높은 강도를 보인 전치 4시간의 강도에 근접하지만 단시간 전치시킨 것은 장기재령에서도 회복하지 못하고 低強度로 나타나고 있다.

### 3.2 양생온도와 유지시간의 영향

40, 60, 80℃ 등 각각의 양생온도에서 유지시간을 2, 4, 6, 8, 12시간으로 변화시켜서 각 양생온도에서 유지시간의 영향을 검토한 결과를 표 3에

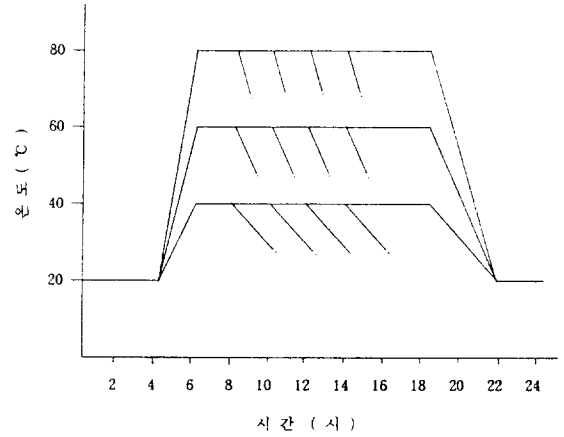


그림 2 양생온도와 유지시간의 변화

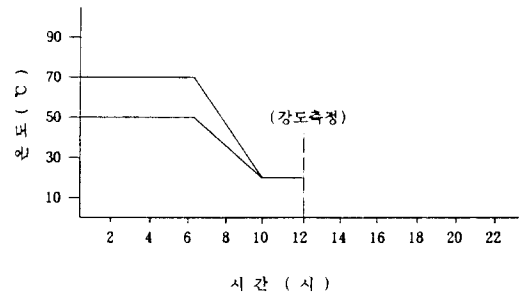


그림 3 타설온도의 변화

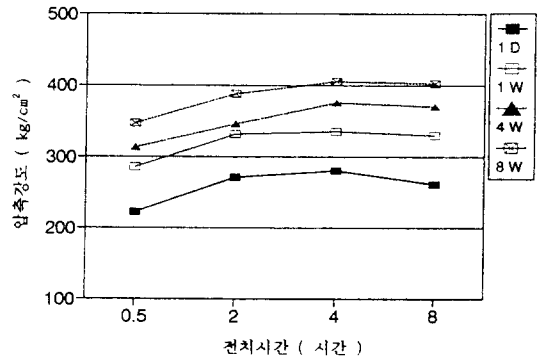


그림 4 전치시간의 영향에 따른 강도성상

나타내고, 각 양생온도별로 구분하여 고찰하고자 한다.

### 1) 양생온도 80℃에서의 영향

<그림5>에 나타난 바와 같이 재령 1일에서는

양생시간 4시간 이상의 양생은  $280\text{kg}/\text{cm}^2$  이상으로서 큰 차이없이 거의 일정치를 나타내고 있다. 그러나 장기재령에서는 대체로 양생시간이 짧은것이 강도의 증진이 양호하여, 양생 2,4시간의 재령 56일에서  $400\text{kg}/\text{cm}^2$  이상의 강도를 보였으며, 양생시간이 길어질수록 강도의 증진이 둔화되었다. 또한 28일 이후에는 표준양생한 공시체의 강도가 가장 높게 나타남으로 해서 증기양생에 의한 방법이 표준양생보다 장기강도에서 불리함을 알 수 있다.

### 2) 양생온도 $60^\circ\text{C}$ 에서의 영향

<그림6>에 나타난 바와 같이  $60^\circ\text{C}$ 에서는 양생시간이 길수록 재령 1일의 강도는 높아지지만, 양생 7일재령에서는 양생시간의 구분없이 거의 일정한 강도를 보이고 있다. 장기재령에서는  $80^\circ\text{C}$ 에서와 같은 경향을 보이고 있어서, 양생시간이 길수록 강도의 증진이 둔화된다. 양생시간 6시간 이하의 재령 56일의 강도는  $408\sim 427\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 보이고 있으며, 6시간 이상의 양생시간에서는 강도의 저하가 컸다.

### 3) $40^\circ\text{C}$ 에서의 영향

<그림7>에 나타나는 바와 같이  $40^\circ\text{C}$ 양생에서는 증기양생의 영향이 보여지는것은 재령 7일까지이고, 그 이후의 재령에서는 양생시간이 다른 경우라도 표준양생한 공시체와 거의 같은 강도를 나타내고 있어서 증기양생에 따른 특별한 효과는 보여지지 않는다.

### 3.3 타설온도의 영향

콘크리트의 증기양생시 콘크리트의 타설온도의 영향을 검토한 결과를 <표4>와 <그림8>에 나타낸다. 표에 나타난 바와 같이 양생이 끝난 직후인 재령 12시간에서는  $70^\circ\text{C}$ 에 타설한 공시체의 강도가  $247\text{kg}/\text{cm}^2$  으로서  $50^\circ\text{C}$ 에 타설한 공시체보다 높게 나타난다. 그러나 재령 7일 이후에서는  $50^\circ\text{C}$ 에 타설한 공시체의 강도가  $354\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로  $70^\circ\text{C}$ 에 타설한 공시체보다 높게 나타난다. 또한 일반적인 방법으로 증기양생한 공시체와 비교해 보면, 재령 7일까지는 타설온도를 높은 공시체의 강도가 어떠한 양생조건에서 양생한 공시체보다도 높게 나타났다. 그러나 이후의 재령에서는 강도의 증진이 둔화되어 재령 56일

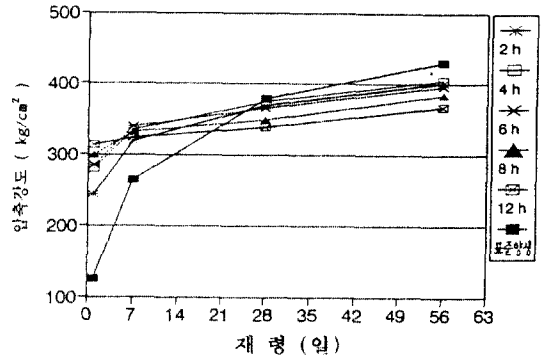


그림 5  $80^\circ\text{C}$ 에서의 양생시간에 따른 강도성상

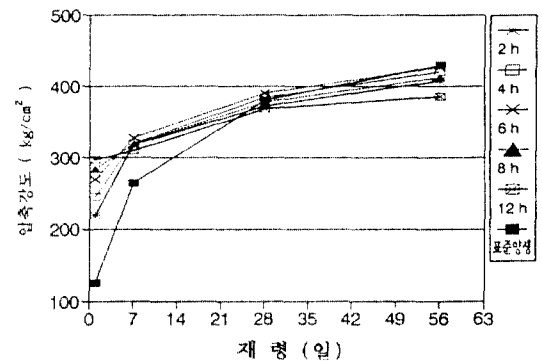


그림 6  $60^\circ\text{C}$ 에서의 양생시간에 따른 강도성상

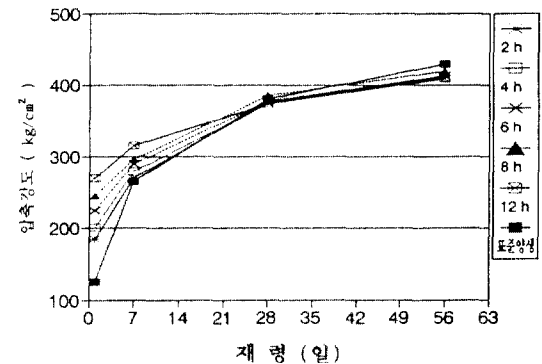


그림 7  $40^\circ\text{C}$ 에서의 양생시간에 따른 강도성상

<표 4> 타설온도에 따른 강도성상

양생온도 ( $^\circ\text{C}$ )	압축강도 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )			
	12시간	7일	28일	56일
50	234	354	370	372
70	247	351	365	366

1. 각 재령에서 공시체 3개를 측정함.

에서도 보통양생조건에서 양생한 공시체의 28일 강도의 수준에서 머물렀다.

### 3.4 증기양생후의 양생방법에 따른 영향

普通養生 콘크리트는 탈형후 大氣養生을 하면 水中養生한것에 비해 강도의 증진성이 떨어진다 는것은 이미 널리 알려진 바이다. 그러나 蒸氣養生 콘크리트에서는 이러한 경향이 많이 줄어들고, 오히려 재령 28일까지는 대기양생시킨것이 수증양생한 공시체보다 강도가 크게 나타났다. <표5>에 나타난 바와 같이 수증양생한 공시체의 재령 7일강도가 각각 328, 335kg/cm<sup>2</sup>인것에 비해, 대기양생한 공시체의 동재령의 강도는 337, 345kg/cm<sup>2</sup>을 나타내고 있다. 즉, 증기양생 콘크리트는 보통양생 콘크리트에 비해 그 후의 양생 방법이 압축강도의 증진성에 미치는 영향력이 적어지고, 또 재령의 진행에 따른 강도의 저하도 줄어들음을 알수있다.

### 3.5 積算養生溫度와 壓縮強度의 관계

증기양생 콘크리트의 각 재령에 따른 강도발현과 적산양생온도의 관계로 부터 소요재령과 소요강도에 가장 적합한 증기양생방법을 구하고자 한다. 적산양생온도의 계산에는 0℃를 기준으로 해서 증기발생중의 값만을 적산하고, 냉각기간의 값은 포함시키지 않았다.

적산양생온도  $M = \int_0^t \theta dt$  (t:양생시간-hr,

$\theta$ :양생온도-℃)와 같이 구하였다.

#### 1) 80℃ 양생

<그림9>에 나타난 바와 같이 재령 1일,7일에서 적산온도  $M=700℃ \cdot hr$ (양생 8시간)까지는  $M$ 의 증가에 수반하여 강도발현이 상승한다. 그러나 이 이상의 적산온도에서는 양생효과는 상승하지 않고 일정치를 나타낸다. 7일 이후의 재령에서는 480℃·hr(양생 4시간)전후에서 가장 높은 강도를 보이고 있어서 재령28일에 375kg/cm<sup>2</sup>, 56일에는 405kg/cm<sup>2</sup>를 나타낸다. 또한 480℃·hr이상에서는  $M$ 의 증가에 따르는 강도발현이 저하된다.

#### 2) 60℃ 양생

60℃에서의 양생적산온도와 압축강도의 관계를 <그림10>에 나타낸다. 그림에서 보는 바와

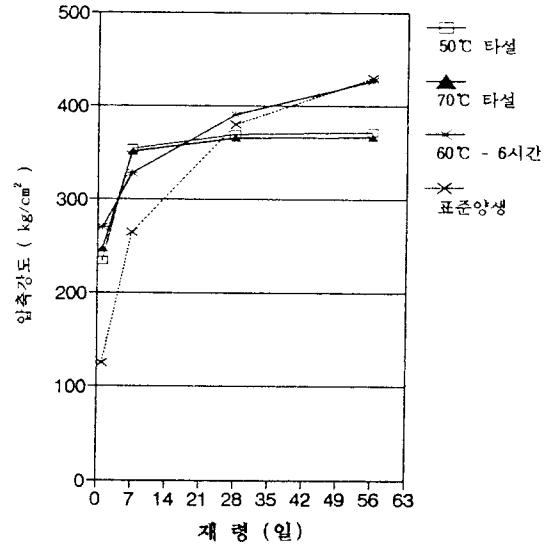


그림 8 타설온도에 따른 강도성장

<표 5> 후양생방법에 따른 강도성장

후양생 방법	증기양생 방법	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			
		1일	7일	28일	56일
수증양생	60℃-6시간	270	328	390	427
	80℃-4시간	280	335	375	405
공중양생	60℃-6시간	270	337	392	420
	80℃-4시간	280	345	379	401

1. 각 재령에서 공시체 3개를 측정함.

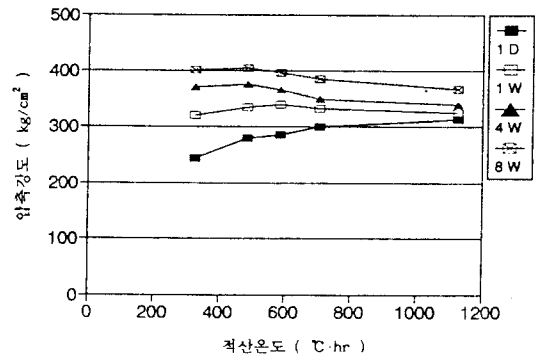


그림 9 적산양생온도와 압축강도의 관계(80℃)

같이 재령 1일에서는  $M$ 의 증가에 따라 강도발현이 상승한다. 재령 7일에서는  $M=500℃ \cdot hr$ (양생 6시간)까지는  $M$ 의 증가에 따라 강도의 상승

이 있으나, 이 이상에서는 양생효과가 떨어지고 있다. 그러나 다른 온도와 비교해서 장기재령에서의 강도증가는 비교적 좋고  $M$ 의 증가에 수반되는 강도저하도 적어서 본 실험의 범위내에서는 가장 우수한 양생온도라고 할 수 있다.

### 3) 40℃ 양생

<그림11>에 나타난 바와 같이 재령 1일, 7일에서는  $M$ 의 증가에 따라 강도의 증가가 보여지고 있으나, 그 이후의 재령에서는 적산온도의 영향을 받지 않고 거의 일정한 강도를 보이고 있어서 증기양생의 특별한 효과는 보여지지 않는다.

4) 積算養生溫度와 壓縮強度의 관계를 요약하면 다음과 같다.

(1) 초기강도가 높고 장기강도에서도 좋은 효과를 얻을 수 있는 적산온도는 <표6>과 같다.

<표 6> 최적 적산양생온도

양생온도	최적적산양생온도 (℃·hr)
80	400 ~ 500
60	500 ~ 600
40	400 ~ 600

(2) 강도발현은 양생온도에 따라 영향이 커지고 각각의 온도에 따라 동일한 적산양생온도에서도 강도의 발현은 차이가 난다.

(3) 전반적으로 양생시간이 길수록, 양생온도가 높을수록 장기재령에서의 강도증진이 저하된다.

## IV. 결론

1. 전치시간의 효과는 전치 4시간에서 가장 우수하게 나타났으며, 이보다 짧은 전치시간쪽은 긴 전치시간에 비해 강도저하가 컸다.

2. 증기양생은 각각의 온도에 따라 적절한 양생시간이 필요하다. 양생온도 80℃에서는 4시간이, 60℃에서는 6시간이 가장 우수한 강도를 보였으며, 또한 각 온도에서의 최적양생시간보다 오랜시간 양생한 것은 단시간 양생한 것보다 장기강도에서 불리하다.

3. 양생온도 40℃에 있어서 재령 7일 이후에서는 양생시간이 다른 경우라도 표준양생한 공시

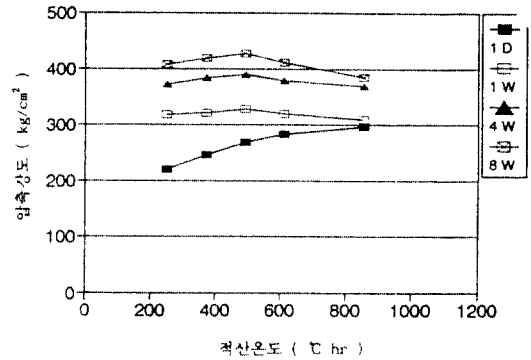


그림 10 적산양생온도와 압축강도의 관계(60℃)

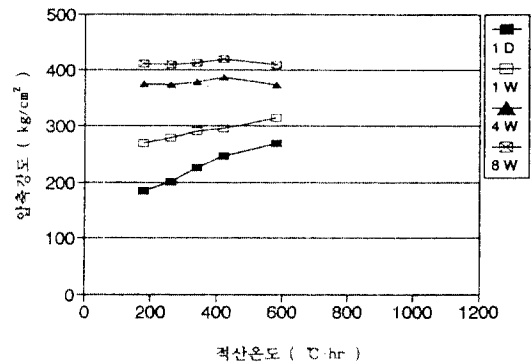


그림 11 적산양생온도와 압축강도의 관계(40℃)

체와 거의 같은 강도를 나타내고 있어서 증기양생에 따른 특별한 효과는 보여지지 않는다.

4. 타설온도를 높이고 全養生시간을 12시간으로 한 결과, 초기재령에서는 높은 강도를 얻을 수 있었지만, 장기재령에서는 강도증진이 둔화되어 보통증기양생한 경우의 28일강도 수준에서 그쳤다.

5. 증기양생후 大氣養生한 공시체의 강도는 水中養生한 공시체의 강도보다 재령 28일까지는 크게 나타나고, 재령의 진행에 수반되는 강도발현율의 감소도 적다.

6. 강도발현은 양생온도에 따라 영향이 커지고, 각각의 온도에 따라 동일한 적산양생온도에서도 강도의 발현은 차이가 난다. 초기강도가 높고 장기강도에서도 좋은 효과를 얻을 수 있는 적산온도는 양생온도 80℃에서는 400~500℃·hr 이고, 양생온도 60℃에서는 500~600℃·hr 였다.