

# 양 생

송 종 택 (단국대학교 재료공학과 교수)

## 1. 머릿말

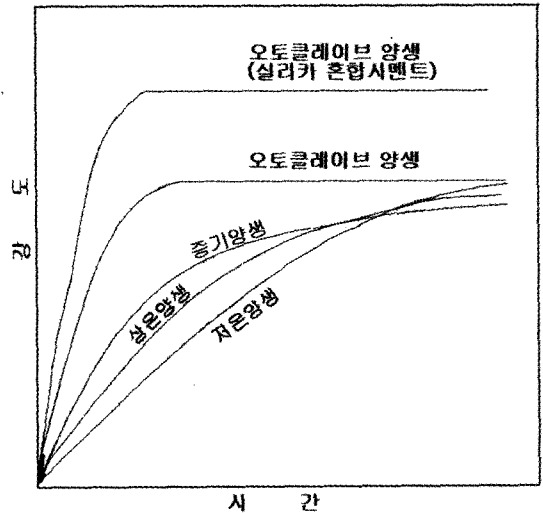
시멘트의 수화반응은 다성분계의 복잡한 반응이며, 온도, 압력, 수량 등 많은 요인에 의해 영향을 받아서 변화한다. 이 때문에 콘크리트의 타설 후, 소정의 물성이 발현하기까지 외계의 변화에 의해 보호하는 것을 양생이라고 한다. 즉, 양생의 원칙은

- ① 콘크리트의 경화 중, 적당한 온도로 보지하며, 충분한 습분을 가지게 할 것,
- ② 콘크리트가 충분히 경화할 때까지, 충격이나 과도한 하중등 유해한 외력을 가하지 않도록 보호할 것,
- ③ 바람, 비, 서리, 햇빛등의 기상작용에 대하여, 콘크리트의 노출면을 보호하는 일이다.

따라서, 이 목적을 위해서는 습윤양생이나 온도제어양생을 행함과 동시에 유해한 작용에 대하여 보호하는 것이 중요하다. 또 양생방법에는 콘크리트의 경화를 빠르게 할 목적으로 증기양생등의 촉진양생도 행하여진다. 본고에서는 먼저 시멘트의 수화반응과 양생온도를 알아본 후, 습윤양생, 유해한 작용에 대한 보호, 촉진양생등의 순으로 기술한다.

## 2. 시멘트의 수화반응과 양생온도

시멘트의 수화에 있어서 양생온도의 영향은 주로 수화생성물의 창조성과 수화속도의 변화로 확인된다. 100°C 이하의 온도영역에서는 온도가 높을수록

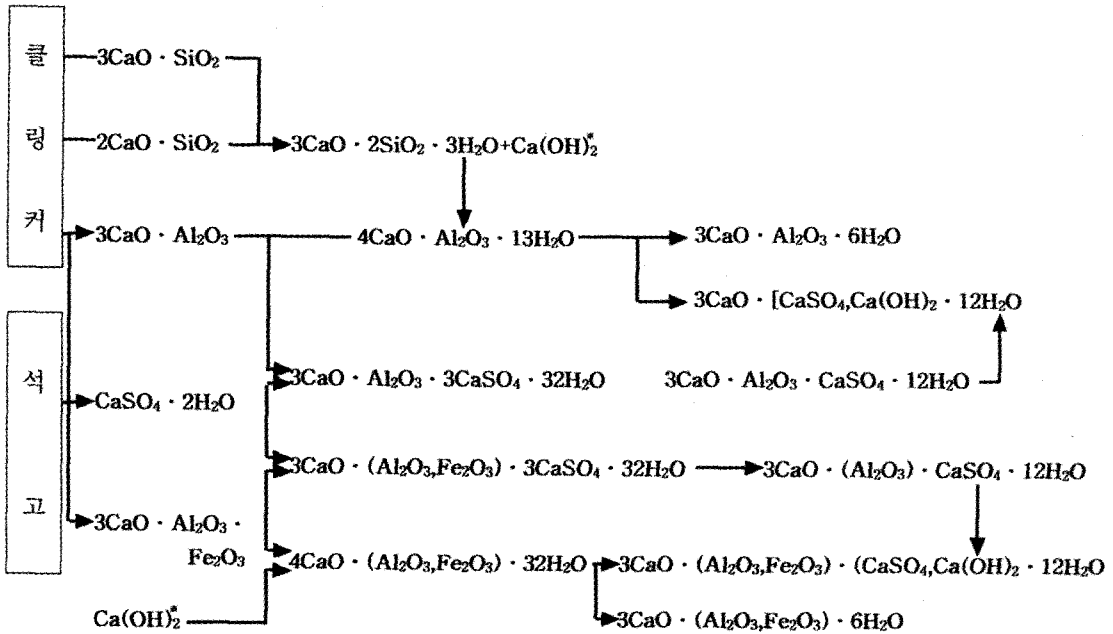


<그림-1> 양생온도와 강도의 개념도

초기의 수화가 촉진되지만, 장기적으로 본 경우 복잡한 거동을 나타내게 된다. 한편, 수화생성물은 그 물리화학적 성질에 있어서 100°C 이하의 경우, 본질적으로 양생온도와 무관계하다.

<그림-1>은 시멘트 경화체의 강도 혹은 수화반응률과 재령의 관계를 개념적으로 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 온도에 의한 영향이 큰 것을 알 수 있다. 일반적으로 화학반응은 온도의존성이 크며, 온도가 10도 변하면 반응속도는 2배나 변화한다고 알려져 있다.

시멘트의 경우는 확실히 온도에 의한 영향이 크다. 즉, 재령에 의한 온도의존성이 인정되어 수화반



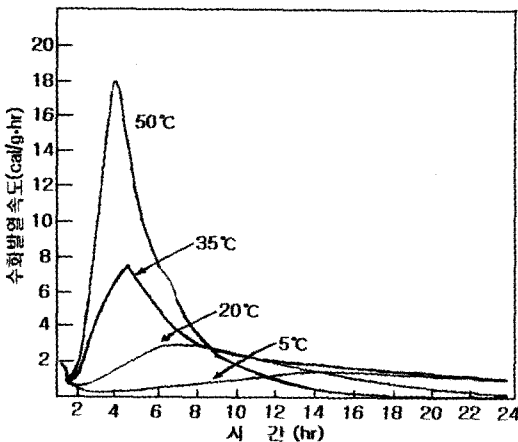
〈그림-2〉 포틀랜드시멘트의 수화반응

응 메카니즘을 이해하는 것을 어렵게 하고 있다. 반응 온도의 온도의존성을 활성화에너지로서 고찰하면, 포틀랜드시멘트의 경우 겔보기의 활성화에너지는 일정하지 않으나, 수화가 진행함에 따라 8kcal/mol에서 2.3kcal/mol로 감소하는 것이 알려져 있다.

〈그림-2〉는 포틀랜드시멘트의 정성적인 수화반응식을 나타내고 있다. 실제로는 매우 복잡한 다성분계의 반응이며, 온도에 의해서도 미묘하게 변화한다. 시멘트의 수화반응을 이해하는 경우, 시멘트중 약 75%를 차지해서 경화 및 강도발현의 주된 역할을 하는 C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S 등의 칼슘실리케이트 상에 착목하는 것이 좋다. 시멘트 초기의 수화반응과정을 측정하는 방법으로서 전도형 열량계가 유효하다.

〈그림-3〉은 포틀랜드시멘트의 온도에 의한 수화발열속도의 차를 나타낸 것이다. 그림 중의 피크는 제2피크라고 하여, C<sub>3</sub>S의 수화발열에 의존한다. 이것으로부터 시멘트 초기의 반응은 높아질수록 촉진되는 것을 알 수 있다. 즉, 이것이 초기의 강도발현성과 온도와의 연관을 뒷받침하는 것으로 생각할 수 있다.

### 3. 습윤양생



〈그림-3〉 포틀랜드시멘트의 초기수화발열속도 곡선

습윤양생에는 콘크리트에 수분을 공급하는 방법

(수중양생, 살수양생, 습포양생등)과 수분이 날아가는 것을 방지하는 방법(피막양생, 시트양생등)이 있다. 수중양생은 가장 완전한 습윤양생이지만, 실제의 구조물에서 이것을 행하는 것은 매우 곤란하다.

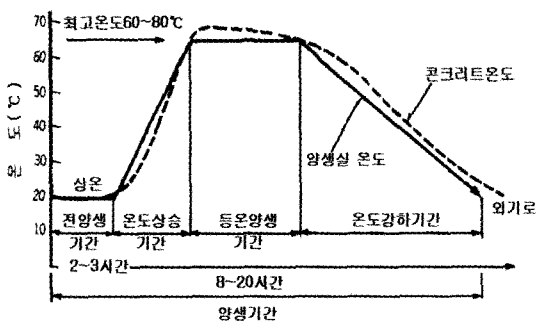
일반적으로는 콘크리트 파일, 폴 등 콘크리트제품의 양생에 이용된다. 살수양생은 가장 널리 이용되고 있으며, 스프링클러나 핀홀을 뚫은 비닐 호스에 의해서 콘크리트표면에 살수하는 방법이다. 너무 저온수를 이용하면 콘크리트표면과 내부의 온도차가 커져서 해가 될 수 있다.

또한 부분적인 건조는 균열의 원인으로 된다. 습포양생은 마포 또는 물로 적신 짚으로 만든 자리 등으로 콘크리트의 노출면을 덮는 것이며, 수분유지의 햇막음, 바람막음, 온도유지등의 효과도 기대할 수 있으므로 가장 간단하고 확실한 방법이다. 피막양생은 콘크리트표면에 피막양생제를 살포 또는 도포하여 표면에 막을 만들어서, 수분을 외부로의 증발을 방지해서 수화를 진행시키는 방법이다.

양생제로서는 일반적으로 합성수지계(염화비닐계) 혹은 유지계(아스팔트유제)가 이용되고 있다. 또한, 피막도포가 곤란한 경우에는 방수지나 불투수성의 얇은 시트로 타설면을 덮어서, 물의 증발을 막는 방법이 이용되고 있다.

#### 4. 진동, 충격, 하중에 대한 보호

양생중 콘크리트에 진동·충격이 작용하면, 압축강



<그림-4> 증기양생시의 양생조건

도나 휨강도보다도 타설이음매의 강도가 저하하거나 또한 철근과의 부착력이 일정하지 않는 등 악영향을 미칠 수 있으므로, 될 수 있는 대로 콘크리트를 정치하여 양생하는 것이 바람직하다. 또한, 충분히 경화하지 않은 콘크리트에 과대한 하중이 걸리면, 크리프에 위해서 휨이 커지거나 균열이 생길 수 있기 때문에 형틀이나 지지대의 존치기간을 엄수하는 것이 중요하다.

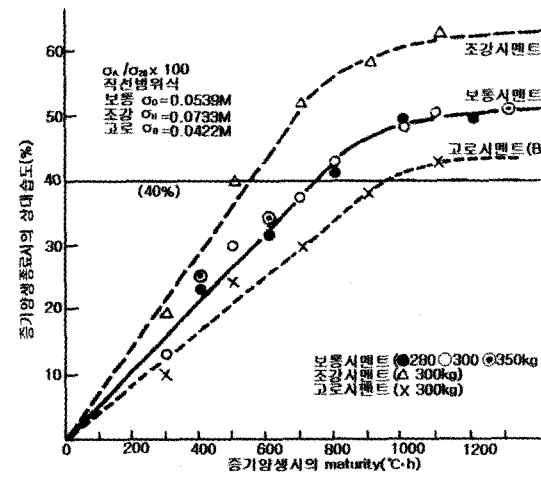
### 5. 축진 양생

#### 가. 증기양생

증기양생은 콘크리트 제품공장에서 경화축진을 위해 널리 이용되고 있는 상압증기에 의한 양생방법이다.

증기양생을 행하는 경우, 일반적으로 <그림-4>와 같이 통기 개시 전에 2~3시간의 전양생시간을 두고 나서 완만하게 온도를 올린다. 최고온도를 일정시간 60~80°C로 유지한 후, 서서히 온도를 내려 상온에 가까워지면 제품을 양생실로부터 꺼낸다.

성형 후, 전양생을 하지 않고 통기하거나, 급격히 온도를 올리거나, 최고온도를 너무 높게 하거나, 급



<그림-5> Maturity와 증기양생종료후의 압축강도와의 관계

격히 냉각하면, 제품에 균열이 생기며 장기재령강도가 내려가기도 하는 위험이 있으므로, 주의가 꼭 필요하다. 통상 증기양생은 1일 1사이클의 공정으로 행하지만, 조강포틀랜드시멘트를 이용하거나, 고온에서 혼련한 포틀랜드시멘트를 이용하면 1일 2사이클의 증기양생도 가능하다. 증기양생할 때 양생온도와 시간의 곱을 「maturity」(양생도시 :  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ )라고 한다. 제품의 탈형강도와와의 관계는 <그림-5>와 같이  $1000^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$  까지는 직선관계로 나타나며, 소정의 탈형강도를 얻기 위해서 필요한 양생시간의 기준을 얻을 수 있다.

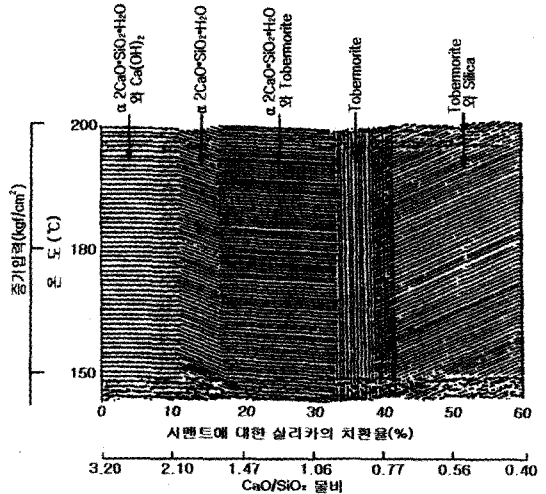
또, 증기양생을 행한 콘크리트제품은 재령 28일에 있어서 표준양생의 강도에 비하여 10~15% 정도 낮은 강도가 된다. 이 때문에 증기양생 후에 약간의 기간 습윤양생을 행하는 것은 강도나 탄성적 성질등을 향상시키기 위해서 유리하다.

### 나. 오토클레이브 양생

오토클레이브 양생은 오토클레이브에 제품을 넣고 고온고압에 의해 양생하는 것으로, 고강도 파일이나 기포콘크리트 제품 등의 양생에 이용된다. 콘크리트를 고온고압증기하에서 양생하면, 시멘트중의 실리카와 칼슘이 결합하여 토버모라이트의 결정 또는 준결정을 형성하기 때문에 단시간으로 고강도가 얻어지는 것이다. 이와 같은 반응을 수열반응이라고 한다.

이 반응에서 생성되는 칼슘실리케이트 수화물은 실리카분이 많이 결합한 토버모라이트이기 때문에, 부족한 실리카분은 실리카질의 분말을 첨가하든가 골재중의 실리카분이 반응에 기여한다. 여기에서 어느 정도의 압력, 온도, 실리카분이 필요하는가에 관해서는 <그림-6>이 좋은 기준으로 된다.

이것에 의하면, CaO가 SiO<sub>2</sub>의 0.7~1의 범위에서는 토버모라이트만이 생성하여 가장 바람직한 상태로 된다. 양생하는 온도가 180 $^{\circ}\text{C}$  이상으로 되면,  $\alpha$



<그림-6> 오토클레이브 양생에 의한 수화생성물

$\text{C}_2\text{SH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 생성하여 강도가 저하하여, 양생시간이 길어지면 토버모라이트의 결정형이 변화하거나 조노틀라이트( $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}$ )가 생성한다고 알려져 있다. 또한, 200 $^{\circ}\text{C}$  이상인 경우에는 자이로라이트( $\text{C}_2\text{S}_2\text{H}_2$ )와 같은 불안정한 결정이 생긴다고 한다. 고온고압 양생한 콘크리트는 고성능감수제와의 병용에 의해서  $1000\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$  이상의 고강도가 얻어진다. 그러나 인장 및 휨강도는 압축강도만큼 향상되지 않으며, 탄성계수는 약간 낮다.

또한, 건조수축이나 크리프는 상온에서 습윤양생한 경우에 비교해서 상당히 작다. 한편, 조직은 치밀해지며 유리  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 Al분이 고정되기 때문에 내황산성의 향상이 인정되고 있다.

### 다. 그 밖의 양생

그 밖의 촉진양생의 방법으로서, 전기양생, 전열양생, 가압양생, 고주파양생 및 적외선양생 등이 있다. 이들 양생방법중에서 전기양생이나, 전열양생등은 벌써 실제 생산과정에 적용되어 제품이 만들어지고 있다. ▲