

# 고온에 노출된 콘크리트의 수열온도 추정을 위한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Supposed Heating Temperature of Exposed Concrete at High Temperature

장재봉\* 이의배\* 조봉석\*\* 김용로\*\* 권영진\*\*\* 김무한\*\*\*\*  
Jang, Jea bong Lee, Eui Bae Cho, Bong Suk Kim, Yong Ro Kwon, Young Jin Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

If concrete structure is exposed to high temperature such as long-term fire, damages affecting partial or whole structure system may occur.

Therefore accurate diagnosis of deterioration is needed based on mechanism of fire deterioration in general concrete structures. Fundamental information and data on the properties of concrete exposed to high temperature are necessary.

Especially, the amount of fire damage done to concrete depends on the materials, the standard design compressive strength of concrete, and heated temperature. So, the object of this study is to present data for supposed heated Temperature of deteriorated concrete by fire

### 1. 서론

콘크리트구조부재가 화재 등과 같은 고온에 장시간 노출될 경우 부분적 혹은 전체구조시스템에 심각한 영향을 끼칠 수 있는 손상이 발생할 수 있으며 이러한 콘크리트의 화재피해 상황은 콘크리트에 사용된 재료와 설계기준 강도 등에 따라 영향을 받게 되며 수열온도에 따라 그 피해 상황 역시 다르게 나타나게 된다.<sup>1)</sup> 이러한 이유로 화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 재사용 여부 및 보수·보강의 결정을 위해서는 콘크리트 구조물의 성능저하를 정확히 진단할 필요가 있으며,<sup>2)</sup> 이를 위해서는 화재 피해를 입은 콘크리트의 성능 저하에 관한 기초 자료가 반드시 필요하고, 수열온도를 정확히 추정할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 다양한 콘크리트를 제작하여 화재를 상정한 고온 환경에 노출시켜 공학적 특성을 검토함으로써 화재피해를 입은 콘크리트의 성능 저하에 관한 기초 자료를 확보하고, 대표적인 콘

- 
- \* 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정
  - \*\* 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사과정
  - \*\*\* 정희원, 호서대학교 환경안전공학부 소방학과 교수·공학박사
  - \*\*\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수·공학박사

크리트의 비파괴시험방법인 초음파속도 추정법을<sup>3)</sup> 고온 환경에 노출시킨 콘크리트에 적용하여 수열온도 추정의 가능성을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 사용재료

본 연구의 실험계획은 표 1에 나타낸 바와 같이 콘크리트의 수열온도 추정을 위한 데이터 확보를 목적으로 설계기준강도를 21, 24, 30, 40, 50, 60, 80Mpa의 7수준으로 설정한 후 각각 100, 200, 300, 400, 600, 800℃의 목표수열온도로 3시간 가열한 다음 잔존압축강도 및 초음파 속도를 측정하였으며 잔존 압축강도, 잔존 압축강도율, 초음파속도 등의 관계를 검토 하였으며, 본 연구에 사용된 재료는 표 2에 나타낸 바와 같다.

### 2.2 실험 방법

시험체는 표 1 실험 계획에 따라 콘크리트를 배합하여  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주형 시험체를 제작·성형하고 24시간 후 탈형한 다음  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , RH 60%의 대기중에서 28일간 기건 양생을 실시한 후 공시체 내·외부의 온도차를 최소한으로 하여 온도 응력을 줄이고 균일한 수열온도를 유지하기 위해 각 목표 수열 온도에서 바닥용 내화시험 가열로를 사용하여 시험체를 각각 상온, 100, 200, 300, 400, 600, 800℃에서 3시간 가열한 후 초음파속도, 압축강도 등의 공학적 특성을 측정하였다.

초음파속도는 영국 C.N.S Electronics 사의 Pundit를 사용하여 측정하였고, 압축강도는 비폭열시험체를 기준으로 KS F 2405 콘크리트의 압축 강도시험 방법에 준하여 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 가열온도별 잔존 압축강도 및 잔존 압축강도율

그림 1은 설계기준강도별로 각각 100, 200, 300, 400, 600, 800℃의 목표수열온도로 3시간 동안 가열한 시험체의 잔존 압축강도를 나타낸 것으로서 수열온도가 높아질수록 잔존 압축강도가 낮아지는 것으로 나타났으며 설계기준강도 30Mpa 이하의 경우에는 400℃이상의 가열온도에서 강도 저하가 크게 나타났으며 설계기준 강도40Mpa 이상에서는 300℃이상의 가열온도에서 강도저하가 크게 나타났다.

또한 잔존 압축강도율은 100, 200, 300, 400, 600, 800℃의 각 목표 수열온도에서 평균 95.63, 98.21, 83.72, 65.03, 33.38, 11.41%로 나타났으며 800℃에서 3시간 가열한 경우에는 설계기준강도

표 1. 실험 계획

배합명	W/C (%)	설계기준 강도 (Mpa)	가 열 온 도 (°C)	가 열 시 간 (Min.)
210	55	21	비가열 100 200 300 400 600 800	180
240	50	24		
300	45	30		
400	40	40		
500	30	50		
600	27	60		
800	25	80		

표 2. 사용재료의 물리적 성질

종 류	물 리 적 성 질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : $3630\text{cm}^2/\text{g}$
잔골재 (5mm)	인천산 세척사, 비중 : 2.57, 흡수율 : 1.25%, 조립율 : 2.41
굵 은 골 재 (20mm)	퇴촌산 부순자갈, 비중 : 2.65, 흡수율 : 1.39%, 조립율 : 6.02

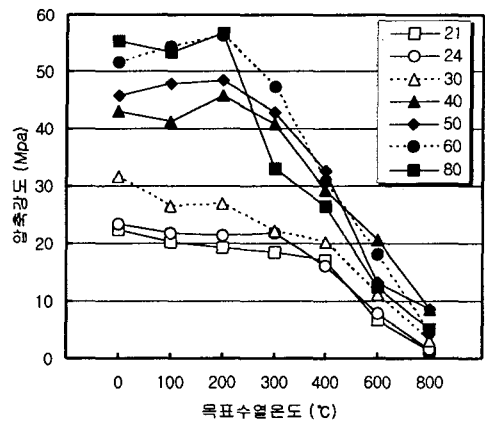


그림 1. 설계기준강도별 가열온도에 따른 잔존 압축강도

에 관계없이 잔존 압축강도율이 20% 이하로 나타나 수열온도가 증가할수록 잔존 압축강도율이 낮아지는 것으로 나타났으며, 가열온도별 설계기준 강도에 따른 잔존 압축강도율을 나타낸 그림 2에서 보는 바와 같이 설계기준강도 40, 50, 60Mpa의 경우가 다소 높게 나타나는 경향을 나타내었으며, 특히 설계기준 강도 40, 50, 60Mpa의 경우 100℃ 가열에서는 각각 96.06, 105.11, 105.24%, 200℃ 가열에서는 106.58, 106.12, 109.09%로 나타나 가열하지 않은 경우보다도 높게 나타났다.

### 3.2 가열온도와 잔존 압축강도율의 관계

그림 3은 잔존 압축강도율과 목표 수열온도의 관계를 나타낸 것으로서 목표 수열온도 200℃로 가열한 경우가 목표수열온도 100℃로 가열한 경우보다 잔존 압축강도율이 평균 2.58% 높게 나타났으나, 설계기준 강도 21, 24Mpa의 경우에서는 100℃로 가열한 시험체보다 각각 3.82, 1.26% 낮게 나타났고, 600℃ 이상의 수열온도에서는 모든 시험체가 50%이하의 잔존 압축강도율을 보였다.

또한 가열온도와 잔존 압축강도율의 상관계수는 0.9509로서 수열온도는 잔존 압축강도율과 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 나타나 수열온도를 정밀하게 추정한다면 잔존 압축강도율을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3 가열온도와 초음파속도의 관계

초음파속도와 목표 수열온도의 상관계수는 그림 4에 나타낸 바와 같이 0.9412로서 초음파속도와 수열온도는 높은 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 가열온도가 높아질수록 초음파속도가 낮아지는 것으로 나타났다.

각 목표 수열온도별 초음파속도는 100℃에서 4.36~3.85Km/s, 200℃에서 4.18~3.40Km/s 300℃ 및 400℃에서 각각 3.98~3.25 및 3.45~2.85Km/s로 나타났으며 600℃ 및 800℃에서는 각각 2.38~1.32 및 1.98~1.29Km/s로 나타나 콘크리트의 안전 한계로 생각되는 500℃를 기준으로 500℃이하에서는 최고 4.36Km/s부터 2.85Km/s까지의 범위로 나타났고 500℃이상의 온도 범위에서는 2.38~1.29 Km/s의 범위로 나타나 초

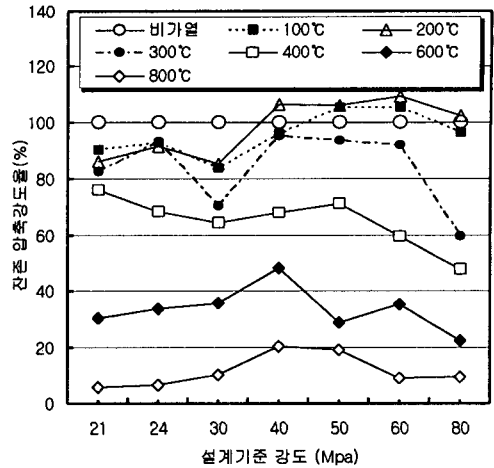


그림 2. 가열온도별 설계기준 강도에 따른 잔존 압축강도율

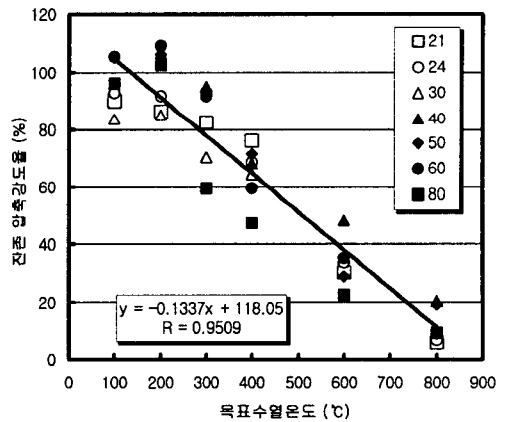


그림 3. 가열온도와 잔존 압축강도율

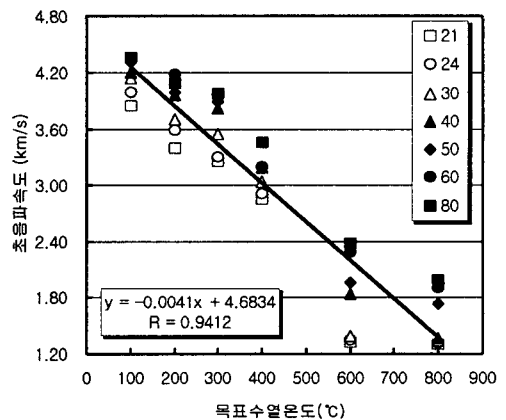


그림 4. 가열온도와 초음파속도

음파속도법을 통해 콘크리트의 안전 한계로 생각되는 500℃이상의 고온을 받은 부분을 측정할 수 있는 것으로 나타났으며 각 목표 수열온도별로 초음파 속도의 범위대가 형성되고 있어 초음파 속도법을 적용하여 정밀한 수열온도의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.4 초음파속도와 잔존 압축강도의 관계

그림 5는 잔존 압축강도와 초음파속도와의 관계를 나타낸 것으로서 초음파 속도가 높게 측정될수록 잔존 압축강도가 높게 나타나는 경향을 보이고 있으며 상관계수는 0.8131로 나타나 초음파속도법으로 잔존 압축강도의 추정은 가능한 것으로 나타났다. 그러나 가열온도가 높아질수록 초음파 속도가 넓게 분포되어 압축강도와의 관계가 모호해짐으로서 500℃이상의 실제 화재 피해를 입은 콘크리트의 초음파 속도법을 적용한 직접적인 잔존 압축강도 추정을 위해서는 향후 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

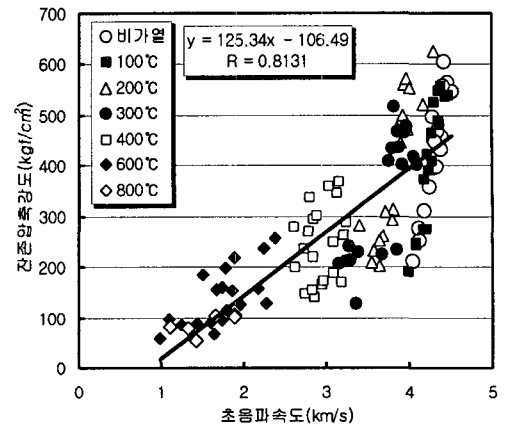


그림 5. 잔존 압축강도와 초음파속도

## 4. 결 론

고온에 노출된 콘크리트의 수열온도 추정을 위한 실험적 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 압축강도 및 잔존 압축강도율은 수열온도가 높아질수록 낮아지는 것으로 나타났으며 400℃이상으로 가열한 경우에 있어서는 모든 시험체에서 강도저하를 나타내었고, 600℃ 이상의 수열온도에서는 50%이하의 잔존 압축강도율을 보였으며 목표 수열온도 800℃에서 3시간 가열한 경우 설계기준강도에 관계없이 잔존 압축강도율이 20% 이하로 나타났다.

2) 초음파속도법을 통해 콘크리트의 안전 한계로 생각되는 500℃이상의 고온을 받은 부분을 측정할 수 있는 것으로 나타났으며 각 목표 수열온도별로 초음파 속도의 범위대가 형성되고 있어 초음파 속도법을 적용하여 수열온도의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 김무한 외, “화재에 의해 성능 저하된 콘크리트 구조물의 진단 및 보수공법에 관한 연구”, 한국 화재·소방학회 춘계학술논문 발표회 논문집, 2003. 4, pp.230~235
2. 권영진, “화재 피해를 입은 철근 콘크리트 구조물의 조사, 평가 및 리해빌리테이션 방안”, 한국 화재·소방학회 하계심포지움, 2003. 8, pp.1~24
3. L.T. Phan, “Fire Performance of High-Strength concrete : A Report of the State-of-the-Art”, Building and fire research laboratory national institute of standards and technology, 1996. 10
4. 김상규 외, “고강도 콘크리트의 시공 및 품질관리 지침작성에 관한 연구” 대한주택공사 주택도시연구원 2002. 6