

# 고온에 노출된 철근콘크리트 보의 역학적 특성에 관한 실험연구

## Experimental Study on the Mechanical Behavior of Reinforced Concrete Beams Exposed to High Temperature

최 광 호\*      이 중 원\*\*      음 영 훈\*\*\*  
Choi, Kwang Ho    Lee, Joong Won    Eum, Young Hoon

### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the flexural behavior of reinforced concrete beam members exposed to high temperature. In order to study the flexural behaviors, the 17 specimens have been tested with variables of reinforcement ratios( $0.5\rho_{max}$ ,  $\rho_{min}$ ), heating conditions(nonheating, 400°C, 600°C, 800°C heating and 1 hour preservation) and loading state(stressed and residual state).

The results show that the stiffness and strength of specimens are lower when they are exposed to higher temperature and the pattern of crack and color of specimens exposed to fire are different from ordinary concrete members.

### 1. 서론

화재 피해를 입은 철근콘크리트의 성능평가에 대한 연구는 현재 국내에서는 화재안전규정, 내화구조 기준 및 콘크리트 재료특성에 관한 연구 등으로 수행되고 있으나, 화재안전규정과 내화구조기준 연구는 화재시 안전과 내화 설계 시 고려하여야 되는 사양 기준에 초점을 맞추고 있어 실제로 손상깊이 추정이나 강도복원 특성 등 화재피해 성능평가를 위한 사후조치에 사용하기에는 미흡하다.

화재 피해를 입은 철근콘크리트 구조물의 균열 양상은 노후화 건축물의 열화에 의한 균열과는 양상이 다르다. 현장에서는 이러한 고온을 받는 열적 특성이 고려되지 않고 내구성 진단에 보정치를 적용하는 방법을 택하고 있으나 합리적인 평가를 위해서는 구조물의 화재 정도에 영향을 미치는 매개변수들을 고찰하고 각 변수별 구조내력과 강성, 내구성의 변화를 반영한 성능평가방법에 대한 연구가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 화재 후를 대상으로 가열온도, 철근비, 피복두께를 변수로 한 철근콘크리트 보의 역학적 특성을 실험적으로 파악하여, 구조물의 안전성 및 손상도 평가의 기초 자료로서 활용하고자 한다.

### 2. 시험개요

#### 2.1 시험체 계획

- \* 정회원, 남서울대학교 건축학과 부교수
- \*\* 정회원, 안산공과대학 건축과 조교수
- \*\*\* 정회원, 남서울대학교 건축학과 석사과정

이 연구에 사용된 시험체는 단면을 180×250mm으로, 길이를 전기로 크기를 고려하여 1800mm로 하였다. 가열 조건 및 인장절근비에 따른 보의 휨 거동을 파악하기 위하여 휨 파괴가 전단 파괴보다 먼저 발생하도록 시험체를 설계하였다. 시험체 상세는 그림 1과 같고, 시험체 별 변수 조건을 표 1에 나타낸다.

시험체 압축강도 측정용 공시체는  $\phi 150 \times 300$ mm 몰드를 사용하여 KS F 2405에 따라 제작하고, 시험체와 동일한 조건으로 양생한다. 압축시험 결과는 설계치 27 MPa와 유사한 값으로 나타났으며, 철근은 SD 40 재질을 사용한다.

## 2.2 가열 및 가력방법

본 연구의 시험을 위하여 사진 1과 같은 전기로를 제작한다. 전기로 사양으로, 내부 치수를 1300×900×800mm로 하고, 두께 100mm의 세라믹 판에 열선을 배선한다. 3면 수열조건을 위해 보 윗면은 단열하고, 시험체 단부 지지를 위해 전기로 마구리에 홈을 둔다. 전기로 내부의 온도조건을 일정하게 하기위해 3개의 온도조절기를 설치하고, 용량은 1시간에 1000℃ 가열을 위해 60kw로 한다.

가열은 전기로 특성 상 표준 내화곡선을 구현하지 못하고, 그림 2와 같이 400℃, 600℃, 800℃까지 선형증가 시키고 이 후 1시간 그 온도를 지속시킨다. 가력조건은 그림 3의 좌측과 같이 가열된 시험체를 상온에서 냉각시킨 후 가력하는 “가열 후 가력”과, 화재 시 용력상태를 모사하기 위해 그림 3의 우측과 같이 가열 전 용력상태의 시험체를 가열하면서 동시에 가력하는 “가열상태 가력”으로 한다. 가열 후 가력 전경은 사진 2에 나타나 있고, 가열상태 가력은 그림 4와 사진 3과 같다.

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 균열 및 파괴 양상

그림 5는 C1P2-R계열 시험체의 가열 후 발생한 균열형태를 나타낸다. 표면이 변색되어 핑크 색을

표 1 실험체 일람표

시험체 명	주근비	피복 두께 (cm)	상온재 하실험 (L-20)	가 열 조 건					
				간온실험			가열재하실험		
				400℃ (R-400)	600℃ (R-600)	800℃ (R-800)	400℃ (L-400)	600℃ (L-600)	800℃ (L-800)
C1P1	2-D10 (p <sub>min</sub> )	2	○				○	○	○
C2P1		4	○			○			
C3P1		6	○			○			
C1P2	2-D16 (0.5p <sub>max</sub> )	2	○	○					
C2P2		4	○			○			
C3P2		6	○			○			

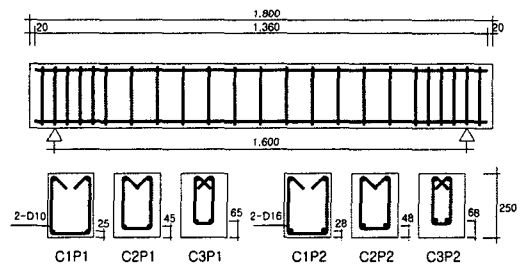


그림 1 시험체 상세



사진 1 전기로

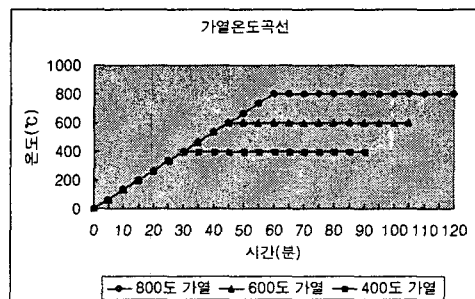


그림 2 가열온도곡선

떠었고, 600℃ 이상 가열되는 경우 미세 균열이 전면에서 퍼졌다. 균열 발생 밀도는 수열온도가 800℃인 시험체가 가장 높았다. 가력 중에는 중앙부 하단의 미세 균열이 휨 균열로 진전되었으며, 압축축으로 확장되었다. 최종 파괴양상은 연성파괴인 휨인장 파괴가 발생하였다.

### 3.2 시험체별 잔존 휨강도 비교

시험체별로 상온과 800℃ 수열 후의 최대내력을 비교하였다. 철근비가  $\rho_{min}$ 인 C1계열 시험체에서 피복두께가 2cm로 가장 작은 C1P1시험체의 저감률이 82%로 나타났으며, 피복두께가 커질수록 저감률 폭이 작아졌다. 철근비가  $1/2 \rho_{max}$ 인 P2계열에서 피복두께의 차이에 따라 저감률이 크지 않았는데, 이는 콘크리트 강도가 고온에 의해 감소하고, 이에 대응되는 철근이 항복되지 않고 내력을 발휘하였기 때문으로 여겨진다. 한편, 모든 가열 후 시험체는 상온 시험체에 비해 탄성계수의 저하를 분명히 나타내었다.

### 3.3 가열온도별 잔존 휨강도 비교

C1P2 시험체가 400℃, 600℃, 800℃를 받은 후 잔존 내력과 상온 시의 내력을 비교하였으며 그 결과는 표 3, 그림 6과 같다. 400℃ 가열 후 잔존 휨강도와 탄성계수는 상온 시에 비해 차이가 없었다. 600℃에서부터 강도 저감이 발생하였고, 800℃에서는 그 저감률이 92%를 나타내었다.

### 3.4 가열상태 재하 시 휨강도 비교

C1P1 시험체를 대상으로 가열온도를 변화시키면서 가열상태 재하를 실시하였고, 그 결과는 그림 7과 같다. 가열 전 15kN까지 하중을 재하하고, 그 상태에서 목표 온도까지 가열하였으며, 30분 지속한 후 추가 가력하였다. 15kN이 유지된 시간이 400℃수열 시험체는 60분, 600℃수열 시험체는 75분, 800℃수열 시험체는 90분이었는데, 400℃와 600℃수열 시험체의 처짐 증가율 차이는 거의 없었으며, 800℃수열 시험체 증가율 폭은 400℃ 수열 시험체에 비해 두 배 이상 되었다.

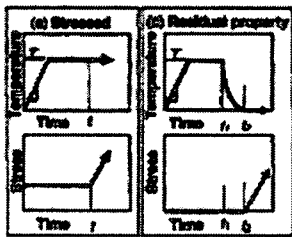


그림 3 가력조건

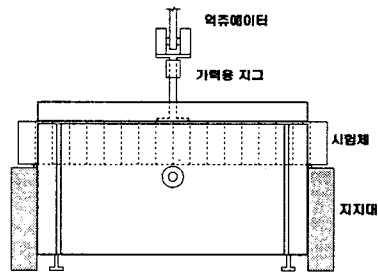


그림 4 가열상태 가력방법

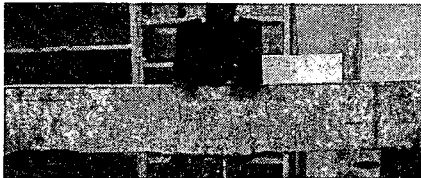


사진 2 가열 후 가력



사진 3 가열상태 가력

표 2 시험체별 800℃ 수열 후 잔존강도 비

	C1P1	C2P1	C3P1	C1P2	C2P2	C3P2
저감률(%)	82	91	93	92	93	94

표 3 가열온도별 잔존 휨강도 비

	잔존휨강도비(%)			
	상온	400℃	600℃	800℃
C1P2	100	100	98	92

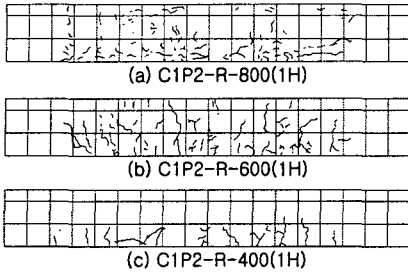


그림 5 가열 후 균열양상

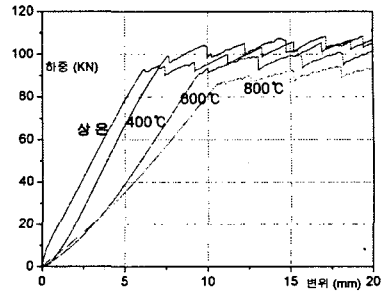
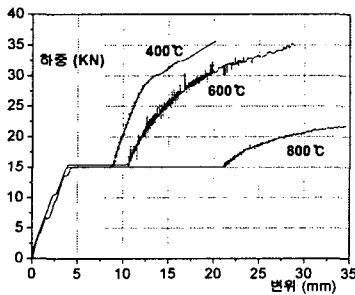
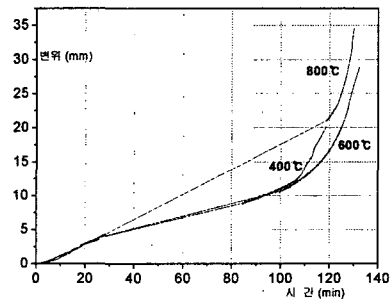


그림 6 가열온도 별 잔존강도 비



(a) 휨강도 비교



(b) 처짐 비교

그림 7 가열상태 재하 시 온도별 휨강도 및 처짐 비교 (C1P1시험체)

#### 4. 결론

본 연구에서는 철근비와 피복두께를 변수로 한 철근콘크리트 보 시험체를 대상으로 가열온도와 가력 방법을 변수로 하여 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시험체별로 상온과 800°C 수열 후의 거동비교에서 모든 시험체의 탄성계수의 저하가 나타났으며, 최대 내력은 피복두께가 커질수록 저감률이 폭이 작아졌다.
- 2) C1P2 시험체가 400°C, 600°C, 800°C를 받은 후 잔존 내력과 상온 시의 내력을 비교한 결과, 400°C 가열 후 잔존 휨강도와 탄성계수는 상온 시에 비해 차이가 없었다. 600°C에서부터 강도 저감이 발생하였고, 800°C에서는 그 저감률이 92%를 나타내었다.
- 3) C1P1 시험체를 대상으로 가열온도를 변화시키면서 가열상태로 재하한 결과, 400°C와 600°C수열 시험체의 처짐 증가율 차이는 거의 없었으며, 800°C수열 시험체 증가율 폭은 400°C 수열 시험체에 비해 두 배 이상 되었다.

#### 감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Sarshar and G.A. Houry, "Material and nviromental factors influencing the compressive strength of unsealed cement paste and concrete at high temp.", Magazine of concrete research, 1993.3.
2. 이상호 외 1인, "고온을 받는 철근콘크리트 보 및 기둥부재의 강도저하에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집 20권 7호, 2004.7.