

# 화재시 고강도 콘크리트 부재의 폭렬성상에 따른 잔존강도

## Residual strength of spalled high-performance concrete members subjected to fire

최 은 규\*                      신 영 수\*\*  
Choi, Eun Gyu                Shin, Yeong Soo

---

### ABSTRACT

This study is aimed to investigate the residual strength of fire damaged high-performance concrete flexural and compressive members. The compressive strength of specimens is 55MPa and the main parameter for comparison is the exposure time to fire. In case of beams, the cover thickness made the differences in spalled section area, residual strength and serviceability. The exposure time to fire did not affect on the spalled section area in case of compressive members without loading. However, the residual strength and stiffness was reduced by the time exposed to fire. This study can be used to estimate the performance of fire damaged high-strength concrete structural members for reusing and to give the information for repairing and strengthening.

### 요 약

본 연구는 화재피해를 입은 고강도 철근 콘크리트 구조부재의 폭렬발생시 구조성능을 파악하기 위한 연구로 압축강도 55MPa의 휨 부재와 압축부재를 화재피해를 입은 시간을 주요변수로 30분, 60분 및 90분간 화재 실험을 실시하였다. 휨 부재의 경우 피복두께에 따라 폭렬의 정도와 구조성능의 감소에서 차이를 보였으며, 피복 두께가 두꺼운 경우에 폭렬 면적 및 잔존강도의 감소폭이 크게 나타났다. 압축부재의 경우 폭렬로 인해 손실된 면적의 양은 화재피해를 입은 시간에 영향을 크게 받지 않았으나, 잔존강도의 경우 콘크리트가 고온에 오래 노출될수록 큰 감소폭을 보였고, 부재강성의 감소폭은 더욱 크게 나타났다. 따라서 고강도 콘크리트구조물에 화재가 발생하였을 경우 폭렬의 양상과 화재피해를 입은 시간에 따라 구조물의 잔존강도를 예측 할 수 있으며, 이를 이용하여 구조물의 재사용 여부의 판단 및 보수·보강에 필요한 자료를 제시할 수 있다.

---

\* 정회원, 이화여자대학교 건축학과 Post Doc.

\*\* 정회원, 이화여자대학교 건축학과 교수

# 1. 서 론

최근 고강도 콘크리트의 사용이 증가하면서 이의 안전한 사용을 위해 고강도 콘크리트의 화재시 폭발에 대한 고려 및 대책이 활발히 연구되고 있으며, 최근에는 신축구조물의 경우 폭발에 대한 검토가 의무화되었다. 구조물이 내화성을 만족하려면 3시간의 내화시험을 견뎌야 하지만, 일반적으로 건축물에 화재가 발생하였을 경우 1시간 내에 진화되는 경우가 많다. 따라서 구조물에 화재가 발생하고 단 시간내에 진화되었을 경우 구조물의 재사용 여부 및 성능을 판단하기 위한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 고강도 철근 콘크리트 구조물이 화재피해를 입었을 경우 시간에 따른 폭발의 성장과 이에 따른 구조성능의 저하를 실험에 의해 분석하고 이를 예측 할 수 있는 식을 제안하였다.

# 2. 실험내용 및 방법

고강도 철근콘크리트 구조부재의 화재시 폭발성장 및 잔존 강도를 알아보기 위한 보 부재와 기둥부재의 상세를 그림 1과 그림 2에 각각 나타내었다. 각 부재는 타설후 6개월간 양생하여 가열실험을 실시하였으며, 콘크리트 설계 압축강도는 55MPa이다. 보 부재는 화재시 표 1과 같이 4점 가력을 한 상태에서 실험을 실시하였고, 기둥부재는 하중을 가하지 않은 상태에서 수평가열로에서 가열 실험을 실시하였다. 가열시 온도는 그림 3과 같이 ISO 834 표준가열곡선을 따랐으며, 각 시험체 별로 30분, 60분 또는 90분 동안 가열하였다. 가열실험을 실시한 후 대기중에 한 달간 양생하여 각 시험체 별로 가력실험을 실시하였다. 가력실험은 보는 가열실험과 동일하게 4점 재하 하였으며 기둥은 중심가력을 하였다.

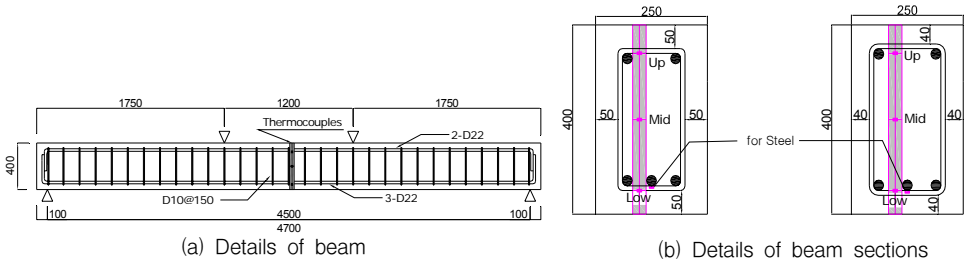


그림 1 Configuration of fire test beam and sections (unit: mm)

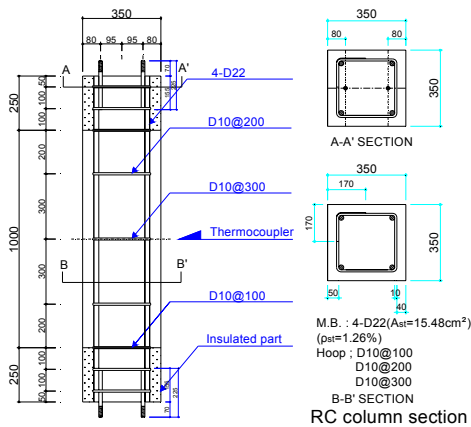


그림 2 Configuration of fire test column and sections

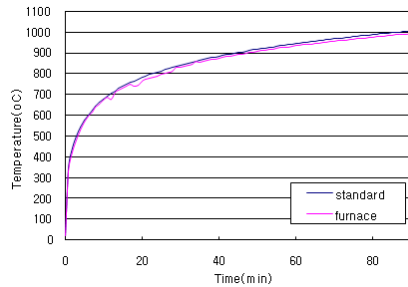


그림 3 ISO 834 standard fire curve

### 3. 구조부재의 폭렬성상 및 잔존강도

보 부재의 경우 화재실험을 시작한 후 10분이 경과하면서 폭렬현상이 시작되어 40분까지 격렬한 폭렬현상이 계속되었다(그림 4). 이러한 폭렬현상으로 피복두께가 40mm인 부재는 90분 고온에 노출된 후 평균 87.31%, 50mm인 부재는 83.46의 단면 잔존율을 보였다. 각각의 경우에 최대하중의 잔존율을 살펴보면 0.86 과 0.59로 피복이 50mm일 경우 강도저하가 큰 것으로 나타났다. 사용성의 측면에서도 처짐이 L/240일 때의 하중의 감소를 비교해보면 피복이 40mm일 경우 0.63, 50mm일 경우 0.38로 역시 피복이 두꺼운 시험체의 감소율이 더 크게 나타났다(표 1). 보 부재의 시간에 따른 구조성능의 저하를 예측하기 위한 식을 표 2에 제안 하고 각 식에 필요한 변수를 함께 나타내었다.

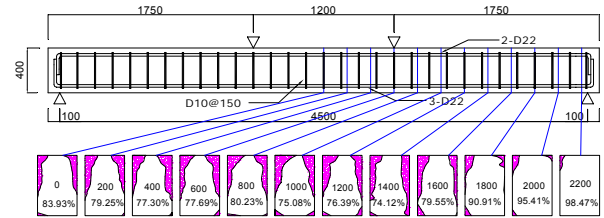
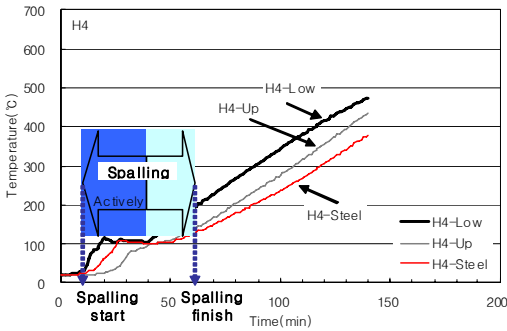


그림 4 Spalling time during fire test of HSC (H4)

그림 5 The cross sections of a specimen after spalling (H5)

표 1 Summary of beam specimens

Specimen	Exposure time to fire (min)	Initial loading on beams (kN)	Cover (mm)	Remain area after spalling (%)	Max. moment (kN-m)	Reduction ratio	Load/deflection at max. load/3	Reduction ratio	Load at L/240	Reduction ratio
H4-0	0	-	40	-	185.6	1.00	15.09	1.00	187.7	1.00
H4-1	60	96.3	40	-	162.3	0.87	8.70	0.58	135.2	0.72
H4-2	90	96.3	40	87.31	159.0	0.86	7.48	0.50	118.8	0.63
H5-0	0	-	50	-	180.2	1.00	15.48	1.00	180.8	1.00
H5-1	60	96.3	50	-	141.5	0.78	6.71	0.43	109.2	0.60
H5-2	90	96.3	50	83.46	106.7	0.59	4.07	0.26	68.6	0.38

표 2 Applying equations and variables for estimating

		40mm cover	50mm cover
Max. load capacity reduction	Variables	B: -0.0019	C: -3, D: -0.0017
	Applying equation	$R = \exp^{Bt}$	$R = C \times 10^{-5}t^2 - Dt + 1$
Stiffness reduction	Variables	B: -0.0082	B: -0.0146
	Applying equation	$R = \exp^{Bt}$	$R = \exp^{Bt}$
Serviceability reduction at $\delta=L/240$	Variables	B: -0.0052	C: -1, D: -0.006
	Applying equation	$R = \exp^{Bt}$	$R = C \times 10^{-5}t^2 - Dt + 1$

R: Reduction factor, t: Fire damaged time (min.)

표 3은 기둥 시험체의 변수 및 결과를 나타낸 것으로 PP섬유를 혼입하지 않아 폭렬이 발생한 경우 시험체의 평균 잔존단면적은 약 91%로 무게 손실률과 마찬가지로 10%이내였다. 그러나 폭렬로 인한 단면손실 이외에도 화재시간에 따라 잔존 강도 및 강성의 저하가 증가함을 알 수 있었다. 이는 고온에 노출되는 시간에 따라 콘크리트의 강도가 저하되어 생기는 현상으로 각 시간별로 구조성능의 저하를 예측 할 수 있는 식을 식(1)에 제안하고 각 경우의 "A"에 대한 상수를 표 4에 나타내었다.

표 3 Summary of column specimens

No.	Section type	PP fiber (vol.%)	Fire test time (min)	Remain section ratio (%)	Loss ratio (%)	Weight (kg)	Loss ratio (%)	500°C isotherm depth (mm)	Residual load capacity	Residual stiffness
1	COOC	0	0	-	-	444	-	-	1.00	1.00
2	CO1C	0	30	92.8	7.2	407	8.33	0	0.60	0.54
3	CO2C	0	60	90.5	9.5	407	8.33	0	0.49	0.34
4	CO3C	0	90	92.7	7.3	-	-	27	0.48	0.29
5	C1OC	0.1	0	-	-	-	-	-	1.00	1.00
6	C11C	0.1	30	99.8	0.2	-	-	0	0.79	0.76
7	C12C	0.1	60	100	0	-	-	0	0.64	0.59
8	C13C	0.1	90	100	0	-	-	0	0.53	0.41

$$R = \exp^{At} \quad \text{식(1)}$$

표 4 Variable "A" for equation (1)

	Spalling (C0)	No spalling (C1)
"A" for max. load capacity reduction	-	-0.0074
"A" for stiffness reduction	-0.0154	-0.0095

#### 4. 결 론

고강도 콘크리트 휨 및 압축부재의 폭렬에 의한 구조성능의 변화를 알아보기 위한 본 연구에서의 결론은 다음과 같다.

1) 고강도 철근콘크리트 휨 부재는 90분간 고온에 노출되었을 경우 약 85%의 단면 잔존율을 보였으며 이 때, 피복의 두께가 50mm인 경우의 잔존강도가 40mm인 경우보다 낮게 나타났다. 사용성 측면에 있어서도 50mm인 경우 감소율이 상대적으로 크게 나타났다.

2) 폭렬이 발생한 고강도 철근 콘크리트 기둥은 30분에서 90분 사이에 고온에 노출되었을 경우 약 91%의 단면 잔존율을 보였으며, 이때 잔존강도는 48%~60%, 강성은 29%~54%의 잔존율을 보였다. 폭렬이 발생하지 않은 경우, 잔존강도는 53%~79%, 강성은 41%~76%의 잔존율을 보였다.

#### 감사의 글

이 연구는 2004년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호 : R01-2004-000-10348-0

#### 참고문헌

1. 최은규, "Performance Assessment of High Strength Concrete Members subjected to Fire", 이화여자대학교 박사학위 논문, 2008.