

# 화재 피해를 입은 일반강도 RC 보의 보수성능

## Structural Behavior of Retrofitted RC beams with Fire Damages

안 주 희\*      신 영 수\*\*      이 차 돈\*\*\*      홍 성 길\*\*\*\*  
Ahn, Joo Hee    Shin, Yeong Soo    Lee, Cha Don    Hong, Sung Gul

### ABSTRACT

This paper is to evaluate practically the techniques and materials of repair for RC elements with fire damages as well as to investigate the structural behavior of RC beams according to pre- or post-repair after fire-damages. For this purpose, normal concrete flexural specimens were exposed to high temperatures by the ISO 834 specification. After natural cooling and post-fire-curing in a natural environment for 2 months, the specimens were repaired with polymer cement mortar for 1 month curing.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조의 건축은 날로 대형화, 고층화되는 추세로 화재발생은 인명 및 재산 피해는 물론 막대한 국가적 손실을 초래하고 있다. 통계에 의하면 국내 화재건수는 연간 30,000건 이상에 달하고 있는 실정이다. 한편, 수많은 구조물이 심한 화재 피해 후 대부분 보수보강되어 재사용되고 있음에도, 이들 화해를 입은 콘크리트 부재의 잔존강도 평가 및 보수 후의 구조적 성능 평가에 대한 연구는 매우 미진한 상황이다. 본 연구에서는 화재 피해정도가 다른 철근콘크리트 보 시험체를 보수하기 위해 적절한 보수재료와 보수과정을 선택하고, 보수 후 구조적 거동을 평가하고자 한다. 우선, 화재노출시간과 피복깊이가 다른 일반강도 철근콘크리트 보 시험체의 화재피해 깊이를 추정하고, C사의 폴리머시멘트 모르터를 사용하여 단면복구 공법에 의해 보수한 후, 잔존강도 실험을 통해 주요변수인 가열시간과 피복깊이에 따른 거동에 대해 살펴보겠다.

### 2. 실험계획 및 제작

#### 2.1 실험재료

콘크리트는 균등한 질을 확보하기 위해 [25-210-12] 규격의 레미콘을 진동다짐하여 타설하였다. 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트 1종, 잔골재는 인천에서 세척한 세척사(해사), 굵은 골재는 경기도 광주 퇴촌이 산지인 25mm 자갈을 사용하였다. 콘크리트 배합비와 사용재료의 물성은 표 1, 표 2 와 같다.

\* 정희원, 이화여자대학교 건축학과 석사과정

\*\* 정희원, 이화여자대학교 건축학과 교수

\*\*\* 정희원, 중앙대학교 건축공학과 교수

\*\*\*\* 정희원, 서울대학교 건축학과 교수

표 1 콘크리트의 배합비

W/C (%)	S/A (%)	단위 재료량 (kg/m³)					
		물	결 합 제		잔골재	굵은 골재(25mm)	혼화제
			보통 포틀랜드 시멘트	플라이애쉬	비중: 2.60	비중: 2.64	AE감수제
51.2	49.8	140	315	27	913	893	1.71

표 2 콘크리트, 철근의 기본 물성 (단위 : kgf/cm²)

콘크리트	양생	공칭압축강도	압축강도	인장강도	탄성계수	철근	공칭인장강도	종류	인장강도	탄성계수
	28일	210	218.4	26.2	2.29×10 <sup>5</sup>		4,000	D10	4,647	1.83×10 <sup>9</sup>
							D22	4,250	1.80×10 <sup>9</sup>	

단면수복재료의 경우, 확립된 규격과 기준은 없으나 치수안정성인 경화수축, 건조수축 등이 적고, 열팽창계수, 탄성계수, 투습성 등이 콘크리트와 유사한 폴리머 시멘트계가 유리하므로 이를 선택하였다. 본 연구에서 사용된 C사의 폴리머시멘트 모르타르는 포틀랜드 시멘트 및 특정한 화학 첨가제들로 이루어져 있다. 같은 파렛트에 있는 폴리머시멘트 모르타르의 시험성적서 내용은 표 3 과 같다.

표 3 폴리머 시멘트 모르타르의 기본 물성 (물질의 특성 : 상온 24℃, 단위 : kgf/cm²)

	압축강도	인장강도	휨강도	부착강도	수축율	
양생	7일	28일	28일	28일	-	28일
측정치	490.6	608.9	31.6	86.7	18	None

## 2.2 시험체 제작

시험체는 건설교통부 표준인 "극한강도 설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준"에 의하여 설계하였다. 철근콘크리트 보는 단면치수 25cm×40cm, 철근량은 최대철근비( $\rho_{max} = 0.75\rho_b = 0.01707$ )를 기준으로 주근이 3-D22, 길이 4.7m인 장방형 복근보로 제작하였으며, 전단파괴를 방지하기 위하여 D10 철근을 15cm 간격으로 배근하였다. 시험체는 먼저 철근을 조립하고 열전대를 부착한 후 거푸집 내에 설치하고 콘크리트를 타설하였다. 이후 1주일간 양생하고 거푸집 탈형을 하고, 가열 실험을 위해 3개월간 양생을 하였다. 가열 실험 중의 지속하중은 일반 사무실의 활하중으로 가정하고 D+0.4L로 계산한 8.88tf을 적용하였다. 가열 실험 후에는 자연상태에서 가열된 시험체를 식히고 2개월간 자연대기 중에 방치하여 後양생과정을 거쳤다. 보수 시험체 제작을 위해 화해를 입은 U형의 불건전부위 콘크리트를 제거하고 단면수복공법으로 보수하고 1개월간 양생한 후에 잔존강도실험을 수행하였다. 시험체의 주요변수는 화재노출시간과 피복두께, 보수유무로 하였다. 시험체 상세와 개요는 아래의 표 4, 그림 1 과 같다.

표 4 시험체 계획

시험체명	가열시간	보수	피복두께	시험체명	가열시간	보수	피복두께	시험체명	가열시간	보수	피복두께
T-4	-	-	4cm	T-5	-	-	5cm	SR-4	1시간	○	4cm
S-4	1시간	-		S-5	1시간	-		LR-4	2시간	○	
L-4	2시간	-		L-5	2시간	-		SR-5	1시간	○	5cm
F-4	failure	-		F-5	failure	-		LR-5	2시간	○	

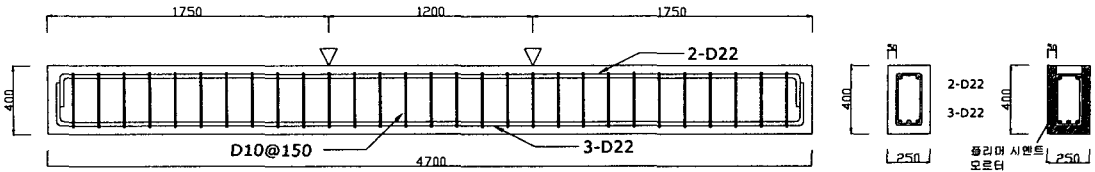


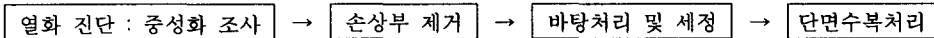
그림 1 시험체 상세 및 보수 전후 시험체 단면

### 3. 실험내용 및 방법

#### 3.1 화재실험 후 단면복구 보수과정

화재실험을 위한 시험체는 수평 가열로에 단순지지 상태에서 순지간거리 4.5m로 설치하고, 초기 하중 8.88tf까지 가력한 후, 이 하중을 유지한 상태에서 국제 표준인 ISO 834 기준을 따라 가열하였다. 부재 내부의 온도는 시험체 제작시 부착한 열전대로 측정하였고, 가열 온도에 따른 변위는 보의 중앙점과 1/4 지점에서 측정하였다. 화재피해깊이는 중성화 조사를 통하여 추정하였고, 비교적 대규모 보수가 요구되므로, 콘크리트의 불건전부를 제거하여 결손부에 보수재료로 충전하는 단면수복공법을 실시하였다. 단면복구 과정은 표 5와 같다.

표 5 단면복구 보수공법의 흐름도



#### 3.2 잔존강도 실험

화재 후 부재의 잔존 강도를 평가하기 위한 잔존강도 실험은 가열실험과 동일하게 단순지지 상태에서 실험하였으며, 지간거리는 실험실 여건상 4.0 m로 하였다. 하중 점 하부에 로드셀(Load cell)을 설치하여 재하 하중을 측정하였고 시험체의 중앙과 1/4 지점에 LVDT를 설치하여 분석하였다.

### 4. 실험 결과 및 분석

#### 4.1 중성화 조사

중성화 조사를 위해 콘크리트 표면의 일부를 파취하고 파단면에 1%의 페놀프탈레인 용액을 분무하여, 시험체가 적색반응을 보이는 중성화 깊이를 평균하였다. 측정된 깊이는 피복별, 또는 가열시간별로 큰 차이가 없었으며, 약 4cm~6cm 정도로 측정되었다. 이는 가열 전 초기 하중을 재하 시 균열이 발생하여, 가열 시 균열사이에 중성화가 진행되어 내구성에 문제가 발생한 것으로 판단된다.

#### 4.2 하중-처짐 곡선에 관한 분석

시험체의 중앙 하부에서 측정된 시험체의 하중-처짐 곡선에서 가력실험에 의한 최대하중  $P_{max}$  값을 구하고, 건설교통부 설계기준에 의한  $M_n$ ,  $M_n^*$  를 계산하였다. 원 시험체인 T-4, T-5 시험체와 1시간, 2시간 가열한 시험체의 최대하중값을 비교한 결과, 원 시험체보다 약 3~7%정도의 내력 손실을 입었다. 또한, 보수 전과 후의 최대하중값을 비교한 결과 화해를 입었을 당시보다 약 8~10% 정도의 내력이 회복되었음을 알 수 있다.

표 6 최대 하중값 비교

시험체명	T-4	S-4	SR-4	L-4	LR-4	T-5	S-5	L-5	LR-5
$P_{max}$ (tonf)	22.04	20.54	22.12	20.65	22.30	19.98	19.44	19.14	21.10
$M_n$ (tf · m)	13.33	-	-	-	-	12.86	-	-	-
$M_n^*$ (tf · m)	14.10	-	-	-	-	13.61	-	-	-
$P_{max}$ / 원시험체의 $P_{max}$	1.00	0.93	1.00	0.94	1.01	1.00	0.97	0.96	1.06
보수後 $P_{max}$ / 보수前 $P_{max}$	-	1.0	1.08	1.0	1.08	-	1.0	1.0	1.10

$M_n$  :  $f_{ck} = 210 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $f_y = 4000 \text{ kgf/cm}^2$  에 의한 계산값

$M_n^*$  : 압축실험 ( $f_{ck} = 218.4 \text{ kgf/cm}^2$ ) 및 인장실험 (D22 :  $f_y = 4250 \text{ kgf/cm}^2$ ) 에 의한 계산값

원 시험체와 보수 후 시험체의 구조적 거동을 비교한 결과, 1~6% 정도 내력이 향상되었다. 그림 2, 그림 3 의 그래프는 피복 4cm 계열과 피복 5cm 계열 시험체의 하중-처짐 곡선이다.

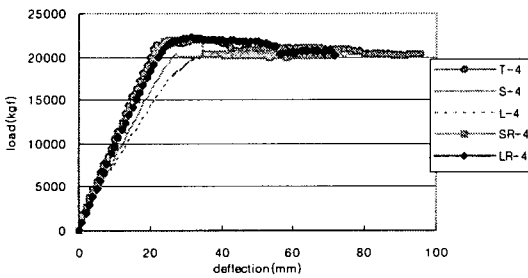


그림 2 피복 4cm 시험체 하중-처짐곡선

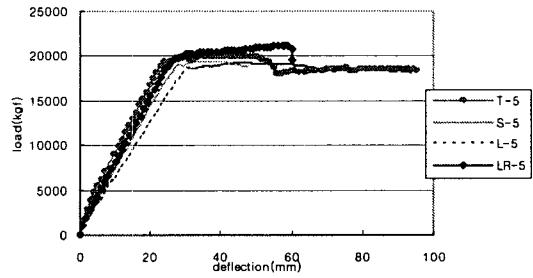


그림 3 피복 5cm 시험체 하중-처짐곡선

#### 4. 결론

본 연구에서 화재 피해를 입은 일반강도 RC보에 관한 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

1) 화재 실험 후 중성화 깊이는 피복별 또는 가열시간별로 큰 차이가 없이 콘크리트 표면에서부터 약 4cm~6cm 정도로 측정되었다. 이는 가열 전 초기 하중을 재하 시 균열이 발생하여, 가열 시 균열사이 에 부분적으로 중성화가 진행되어 내구성에 문제가 발생한 것으로 판단된다.

2) 원 시험체인 T-4, T-5 시험체와 1시간, 2시간 가열한 시험체의 최대하중값을 비교한 결과, 원 시험체보다 약 3~7% 정도의 내력 손실을 입었다. 보수 전과 후의 최대하중값을 비교한 결과 화해를 입었을 당시보다 약 8~10% 정도의 내력이 회복되었음을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 지원 하에 이루어진 연구로, 실험에 도움을 주신 삼성건설, 방재시험연구원, (주)콘크리닉에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. T.Z. Harmathy, "Fire Safety Design and Concrete", Longman Scientific & Technical, 1993
2. C.S. Poon, S. Azhar, M. Anson, Y.L. Wong, "Strength and durability recovery of fire-damaged concrete after post-fire-curing", Cement and Concrete Research, 31, 2001
3. 이소진, "화재 피해를 입은 일반강도 철근 콘크리트 휨부재의 구조성능에 관한 연구", 이화여자대학교 석사학위논문, 2002
4. 허은진, "철근콘크리트 휨부재의 내화성능에 관한 해석적 연구", 부산대학교 석사학위논문, 2001