

**A-03**

보수재료의 종류 및 깊이에 따른 고강도 RC 부재의 내화성능에  
관한 연구

김상용\*, 이재영\*, 한병찬\*\*, 김재환\*\*, 권영진\*\*\*  
호서대학교 소방방재학과\*, (주)AMS 엔지니어링\*\*,  
호서대학교 소방방재학과 교수·공박\*\*\*,

A Syudy on the fireproof properties  
of high strength concrete member by repaired  
with fireproof & repair mortar

Sang-Yong Kim\*, Jae-Young Lee\*, Byung-Chan Han\*\*, Jae-Hwan Kim\*\*,  
Young-Jin Kwon\*\*\*,

*Hoseo University of Fire Protection Engineering\**, *AMS Eng. Co. Ltd\*\**,  
*Hoseo University Professor of Department of Fire Protection Engineering\*\*\**,

1. 서론

최근 사회의 발달로 경제적 편의성에 의해 건물이 대형화와 복합화를 거치며 초고층 건물의 시공이 증가 하고 있다. 초고층 건물이 증가함에 따라 대형 건물 등에서의 화재 사례가 증가하고 있고, 복합 건축물 이라는 특성상 여러 기능을 갖추고, 불특정 다수인이 이용하기 때문에 그 피해가 매우 심각한 것을 알 수 있다.

초고층 건물의 경우, 구조체의 내구성을 위하여 압축강도가 높은 고강도 콘크리트를 사용하는데, 이 고강도 콘크리트의 경우 열에 취약한 특성이 있어 화재 발생 시 폭발발생 위험성이 높아, 구조체의 붕괴 등 2차적 피해로 대형 참사가 발생할 가능성이 매우 크다. 때문에 기존에는 초고층 구조물에서의 구조체 콘크리트 내화대책으로 합성 섬유 등을 혼입하는 공법 등 시공 시에 폭발을 억제 할 수 있도록 하는 방법에 대하여 중점적으로 연구하고 있지만, 이러한 대책은 신설용에서만 사용이 가능하여 터널이나 지하철도 기설구조물의 내화대책으로는 사용이 곤란한 실정이다.

또한, 사용 연수가 증가됨에 따라 노후화된 기설구조물에서의 각종 열화현상이 급격히 증대되고 있어 보수·보강공사가 활발히 진행되고 있으나, 내화대책을 고려한 경우는 전무한 실정이며, 기설구조물의 안전성을 확보하기 위해서는 내구성 회복과 내화성 향상을 위한 대책이 동시에 필요한 실정이다.

따라서, 보수재의 보수 성능과 내화성능을 동시에 만족시킬 수 있는 고 인성 내화보수모르타르(이하, ECC)를 개발하였으며, 본 연구에서는 상기의 ECC에 의해 보수된 고강도 콘크리트 판부재의 내화특성을 실험적으로 비교·검증하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구는 각 보수재료로 보수된 고강도 콘크리트 판부재의 내화특성을 비교·검증하기 위한 실험으로서, 보수재료의 종류를 FRCC와 ECC의 2종류로 설정하였으며, 실험계획은 표-1에 나타난 바와 같다. 그림1은 실험체의 모습을 나타낸 것으로 모체 콘크리트 100%, 0%, 50%로 실험체를 제작하여 보수재에 의한 복구두께를 0(무보수), 100, 50 mm로 설정한 후 깊이별로 열전대(NO1~9)를 설치하여 ISO 834(3hr.)곡선 하에서 각 깊이별 수열온도, 폭열 및 균열성상, 중성화깊이를 측정·평가하여 비교할 수 있도록 하였다.

표-1. 실험계획

구분	보수재 종류	복구두께 (mm)	열전대 위치	설계기준강도 Fck (Mpa)	가열 곡선	평가 항목
I	FRCC	0	그림-1 참조	80	ISO 곡선 (3hr.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>가열시간-수열온도 관계</li> <li>폭열 및 균열성상</li> <li>중성화 깊이</li> </ul>
		50				
100						
II	ECC	0				
		50				
		100				

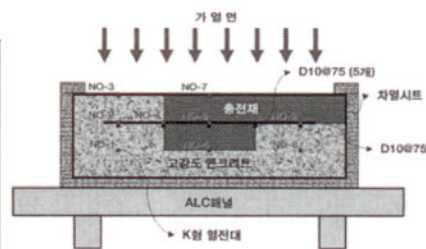


그림-1. 시험체의 형상 및 가열실험개요

### 2.2 사용재료 및 배합

표2와 3은 본 실험에 사용되는 모체 콘크리트, FRCC 및 ECC의 배합을 나타낸 것이다. 모체콘크리트는 설계기준강도 80 MPa의 고강도콘크리트를 사용하였으며, W/B는 22.5%, FA/B는 15%, BFS/B는 20%, S/a는 46%로 설정하였다. 또한, FRCC와 ECC의 매트릭스는 프리믹스형 폴리머시멘트모르타르를 사용하였으며, FRCC의 섬유로는 길이 15mm의 폴리프로필렌(PP) 섬유를 0.3 vol.%, ECC의 섬유로는 길이 12mm, 직경 39µm의 고장력 폴리비닐알콜(PVA) 섬유를 2.0 vol.% 혼입 사용하였다.

### 2.3 시험체의 개요 및 제작방법

시험체는 크기 450 × 450 × 300 mm의 RC 판 부재를 3등분(각각 15 cm)으로 하여 보수두께를 0, 50, 100 mm로 변화시켰으며, 가열 시험 시 각 위치에서의 수열온도를 측정하기 위해 K형 열전대를 매립하여 제작하였으며 그 제작과정은 사진1.과 같다.

우선, 모체콘크리트를 타설하고 7일간 기준양생 한 후, 보수부위의 표면을 브러쉬로 처리한 다음 각 보수재료를 도포하였으며, 도포 후 재령 28일간 기중양생을 실시하여 시험체 제작을 완료하였다.

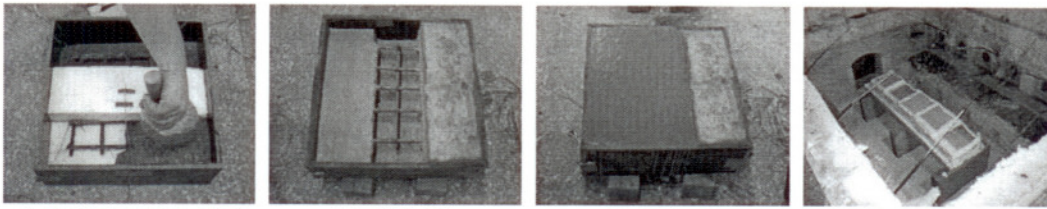
표-2. 모체콘크리트의 배합

W/C (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )							슬럼프 플로우 (cm)
	W	C	FA	BFS	S	G	Ad	
22.5	168	485	112	149	629	764	8.9	63

표-3. FRCC 및 ECC의 배합

구분	W/M (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )			플로우 (mm)
		물	프리믹스분체	섬유(vol.%)	
FRCC	18.5	303	1640	0.3	192
ECC	18.5	303	1640	2.0	147





a) 모체콘크리트 타설      b) 충전 전      c) 충전 후      d) 가열로 설치장면

사진1. 시험체 제작과정

### 2.4 실험방법

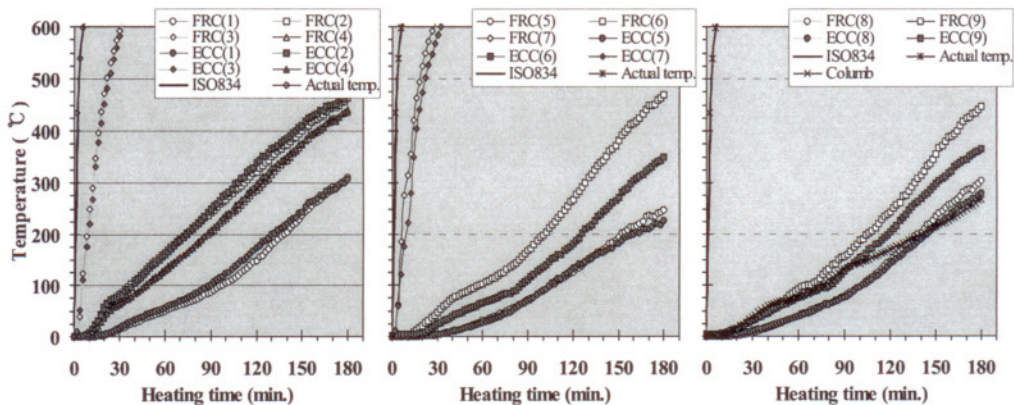
위의 제작과정을 거친 모체 콘크리트에 보수된 RC 판부재의 내화가열시험은 ISO 834 곡선(3시간)에 준하여 한국방재시험연구원에서 실시하였으며, 가열시 가열시간과 각 부위에서의 수열온도를 측정하였다. 또한, 가열 종료 후에는 폭열 및 균열성상과 증산화 깊이를 각각 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 가열시간-수열온도의 관계

그림-2는 가열시험 시 각 부위에서의 가열시간에 따른 수열온도의 변화를 나타낸 것이며, 표-3 및 표-4는 각 시간별 측정위치에서의 최고수열온도를 나타낸 것이며, 그림-2(a)는 무보수 부분인 고강도콘크리트의 깊이별 수열온도와 콘크리트와 보수재 계면에서의 수열온도를 나타낸 것으로서 무보수 부위에서는 두 시험체 모두 유사한 수열 온도 특성을 보였다.

그림-2(b)는 100 mm 보수부위에서의 깊이별 수열온도를 나타낸 것으로, 두 시험체 모두 유사한 경향을 보였으나(No.7), 50 mm 깊이(No.6)에서의 최고온도는 FRCC의 경우 468℃, ECC의 경우 350℃로 ECC가 약 118℃ 정도 낮게 나타나 FRCC보다 내화성능이 더 우수한 것으로 나타났다. 또한, 그림-2(c)는 50 mm 보수부위에서의 깊이별 수열온도의 변화를 나타낸 것으로 100mm(No.8)깊이 에서의 수열온도는 유사하나 50



(a) 무보수 부분

(b) 100 mm 보수부분

(c) 50 mm 보수부

그림-2. 가열시간-수열온도의 관계

mm(No.9) 깊이에서의 최고수열온도는 FRCC의 경우 446℃, ECC의 경우 365℃로 ECC가 약 81℃ 낮게 나타났다.

한편, 그림 중 \*는 크기 600×600×800 mm인 시험체를 대상으로 동일 가열곡선 및 깊이에서의 수열온도를 나타낸 것으로, 본 실험에 비해 약 60분 이후에서의 수열온도 상승기울기가 매우 낮게 나타났으며, 이는 시험체 크기에 따른 열용량의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

표-3. FRCC 시험체의 시간별 최고수열온도

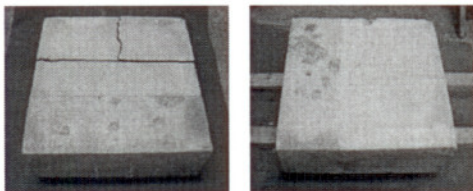
구분	측정부위	깊이(mm)	1 hr.	2 hr.	3 hr.
FRCC 보수	무보수 부위	100	50	147	309
		50	164	321	462
		0	764	925	1015
	계면	50	131	285	441
	100mm 보수부위	100	30	124	247
		50	103	268	468
		0	766	943	1043
	50mm 보수부위	100	40	146	303
		50	91	242	446

표-4. ECC 시험체의 시간별 최고수열온도

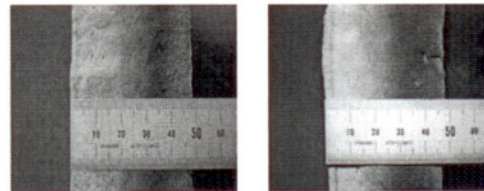
구분	측정부위	깊이(mm)	1 hr.	2 hr.	3 hr.
ECC 보수	무보수 부위	100	56	174	307
		50	160	338	469
		0	770	945	1031
	계면	50	129	299	438
	100mm 보수부위	100	26	133	226
		50	65	182	350
		0	749	939	1034
	50mm 보수부위	100	38	140	279
		50	75	205	365

### 3.2 폭렬 및 균열성상과 중성화 깊이의 변화

사진-2는 가열시험 종료 후 각 시험체의 외관을 나타낸 것으로, 무 보수부인 고강도콘크리트에서는 폭렬현상이 다소 발생하였으나, 보수부인 FRCC 및 ECC에서는 폭렬이 전혀 발생하지 않았다. 한편, FRCC 보수 시험체의 경우 50 mm 및 100 mm 보수부계면에서 가열 중 심각한 균열이 발생하였고, 50 mm 보수부의 들뜸 파괴가 발생하였으나, ECC 보수 시험체의 경우에는 유해할 만한 균열 및 들뜸은 발생하지 않았다. 또한, 사진-3은 가열 후 보수층의 중성화 깊이를 나타낸 것으로, FRCC는 평균 20.4 mm, ECC는 평균 12.8 mm로 나타나 ECC의 경우가 화재 시 보다 우수한 중성화 저항성을 보였다.



(a) FRCC 보수 시험체 (b) ECC 보수 시험체  
사진-2. 가열시험 종료 후 시험체 외관



(a) FRCC (b) ECC  
사진-3. 가열 후 중성화 깊이

## 4. 결론

보수재료의 종류 및 깊이에 따른 고강도 RC 부재의 내화성능에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 무보수 부분인 고강도 콘크리트의 내화시험 결과 두 시험체 모두 유사한 수열온도 특성을 보였다.



- 2) FRCC 및 ECC로 보수된 판부재의 내화시험결과, ISO 834곡선에 의한 3시간 가열 후 깊이 100mm에서는 두 시험체 모두 유사한 성향을 나타냈지만, 50 mm에서의 최고수열온도는 FRCC가 ECC보다 약 118℃ 높게 나타나 ECC의 내화성능이 우수하다는 것을 확인하였다.
- 3) FRCC로 보수된 시험체는 보수깊이의 단차가 있는 부위에서 심각한 균열 및 들뜸이 발생된 반면, ECC의 경우에는 유해할 만한 균열이 발생하지 않았으며, 중성화 깊이도 ECC가 작게 나타났다.
- 4) 본 연구를 통하여 개발된 ECC 내화보수 모르타르를 노후화된 건물에 피복 및 충전함으로서 화재 후 고강도 콘크리트의 물성저하를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2004-000-10348-0)의 지원으로 수행되었습니다.

#### 5. 참고 문헌

1. 한병찬, 김재환, 이재영, 권영진, “화재온도를 받는 고강도콘크리트 내화층의 폭렬에 관한 실험적 연구” 한국 콘크리트 학회 2007년도 봄 학술 발표회 논문집, Vol.19, No.1, pp.259-262
2. MORIYAMA Mamoru, Lim Seung Chan, ROKUGO Keitetsu, “일본 고속도로 터널에 있어서 내화성능 확보방안에 대하여” 한국 구조물 진단학회 제 10권 제 5호 터널 내화 특집기사 pp.31-39
3. 장재봉, 신영수, 권영진, 김무한, “고온을 받은 콘크리트의 공학적 특성”, 한국 화재 소방 학회 논문지, 1738-7167, 제18권 1호, PP. 31-36
4. 한민철, 허영선, 한천구, 고강도 콘크리트의 폭렬발생 및 방지 메커니즘, 한국 콘크리트 학회지, Vol.19, No.1, 2007
5. 한병찬, 김재환, 임승환, 나오후루 모리, 전용재, 권영진, “고인성 시멘트 복합체를 사용한 국내외 보수공법의 현황” 한국 콘크리트 학회 2006년도 콘크리트 학회지, Vol.18, No.2, pp.56-63
6. 장재봉, 나철성, 김영덕, 김재환, 권영진, 김무한, “섬유종류및 혼입률에 따른 고성능 콘크리트의 폭렬저감 효과에 관한 실험적 연구” 한국 콘크리트 학회 2005년도 봄 학술 발표회 논문집, Vol.17, No.1