

## 탄소판으로 보강한 철근콘크리트 부재의 내화대책

Countermeasure Obtaining Fire Resistance of Reinforced Concrete Member Strengthened by Carbon Plate



박형철\*  
Hyung-Choel Park



이명호\*\*  
Myung-Ho Lee



오보환\*\*\*  
Bohwan Oh

### 1. 서론

리모델링 공사를 할 때 내력증대가 필요한 곳에 보강을 실시한다. 대부분의 경우 보강절차가 간단하고 효과가 우수한 에폭시 부착공법을 선호한다. 하지만 화재시 거동에 대한 대책은 전무한 실정이다. 현황 및 문제점은 다음과 같다.

- (1) 부착공법에 사용되는 에폭시 유리의 전이온도가 60~80°C로 매우 낮기 때문에 화재시는 보강효과가 전혀 없다고 가정하고 설계 및 시공을 하도록 요구하고 있다<사진 1>. 즉, 보강전의 구조체가 보강후의 사용하중을 견디도록 설계한다.
- (2) 일본의 경우 지진과 화재가 동시에 발생하지 않는다는 가정하에 내화 피복을 실시하지 않고 있으나 대부분의 경우 형력에 대한 보강을 주로 실시한다. 하지만 국내의 경우 중력하중에 대한 보강을 주로 실시하기 때문에 화재시 구



사진 1. 탄소판을 이용한 슬래브 힘보강(대우건설, 2008)

\* 정희원, 대우건설 기술연구원 수석연구원

phc@dwconst.co.kr

\*\* 대우건설 기술연구원 선임연구원

\*\*\* 정희원, 대우건설 기술연구원 연구위원

조성능이 저하되면 구조물의 손상으로 인한 문제가 발생할 가능성이 높다.

- (3) 공동주택 리모델링의 경우 기존 벽체를 제거할 경우 부도멘트 구간이 정모멘트 구간으로 바뀌게 되어 보강효과가 상실되면 사용하중을 지지할 수 없게 될 수 있다.
- (4) 에폭시의 경우 화재에 노출되면 유독가스를 배출할 것으로 예상되는데, 공동주택에 부착공법을 적용할 경우 이에 대한 대책이 필요하다.
- (5) 보강재가 화재시에 원구조체에서 탈락하지 않는다면 화재 후에도 재사용할 수 있어 복구비용을 줄일 수 있는 여지가 있다고 판단된다.

본 기사에서는 기존 문헌 고찰을 통해 화재시 탄소섬유시트 보강공법의 대책을 검토하고, 탄소판 보강 부재의 거동을 평가한 실험데이터를 이용하여 탄소판 보강공법의 화재시 대책을 모색한다.

### 2. 문헌고찰

ACI440.2R-021) 및 콘크리트구조설계기준(대한건축학회, 2008)<sup>2)</sup>에는 FRP 화재안전에 대해서 다음과 같이 기술하고 있다.

- (1) FRP 보강공법의 구성재료인 에폭시/섬유 등은 열에 취약한 재료로 화재시의 고온과 수지의 낮은 온도저항성을 고려하면 FRP 시스템은 화재발생시 보강성능을 전혀 기대할 수 없다.
- (2) 더욱이 내화성을 제고하기 위해 단열재(절연재)를 설치하는 것은 그 요구되는 양이 현실적이지 못하기 때문에 실제적으로 불가능하다.
- (3) FRP 시스템이 상실될 경우에도 최소한 사용 고정하중과 활하중에 의한 부재력에 대해서는 보강전의 구조체로 저항할 수 있어야 한다고 언급하며 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$\phi R_n \geq (1.2S_{DL} + 0.8S_{LL})$$

여기서,  $\phi R_n$ : 보강전 부재강도

$1.2S_{DL} + 0.8S_{LL}$ : 부재의 소요강도

하지만 이와 달리 FRP 보강재 표면에 내화피복을 실시하여 내화성을 확보하기 위한 연구도 캐나다 연구진을 중심으로 진행되었다<sup>3,5)</sup>. 연구결과 25, 38 mm 내화피복을 실시한 보 실험체는 4시간 내화성능 충족하는 것으로 확인되었으며, 19 mm 피복을 실시한 슬래브는 2시간, 38 mm 피복을 실시한 슬래브는 4시간의 내화성능을 충족하는 것으로 확인되었다. <그림 1>은 실험체 단면형상이고, <그림 2>은 실험결과 그래프, <표 1>은 실험결과이다.

국내의 강제 내화성능 인증기준은 설치된 열전대의 평균값이 538℃, 최고온도 649℃를 넘지 않으면 인증서가 주어진다. 하지

만 예폭시의 유리전이온도는 일반적으로 60 ~ 80℃로 강제 인중온도의 1/10 정도이기 때문에 단순히 판단한다면 10배 두께가 필요하므로 피복두께가 현실적이지 못해 시공이 불가능한 구조가 된다.

그러나 강재에 비하여 콘크리트 부재는 열전도율이 작고, 상당한 열을 흡수해 줄 수 있을 것이라 판단되어 예상보다는 내화피복시 상당한 효과가 있을 것으로 예측되었다. 또한 <그림 3>와 같이 강재용 내화뿔철제 3시간용 시험결과를 참조하면 내화피복제 이면의 온도는 표면온도와는 다르게 초기 기열기가 작고 일정한 시간이 지나면 온도가 상승하지 않고 정체되다가 급격하게 온도가 증가하는 양상을 나타내는 것을 알 수 있다. <그림 1>에 나타난 것과 같이 예폭시 유리전이온도에 해당하는 80℃를 기준으로 할 경우 약 60분 정도의 내화성능 확보가 가능하다고 판단된다. 이에 콘크리트의 열전도율과 열흡수량을 고려할

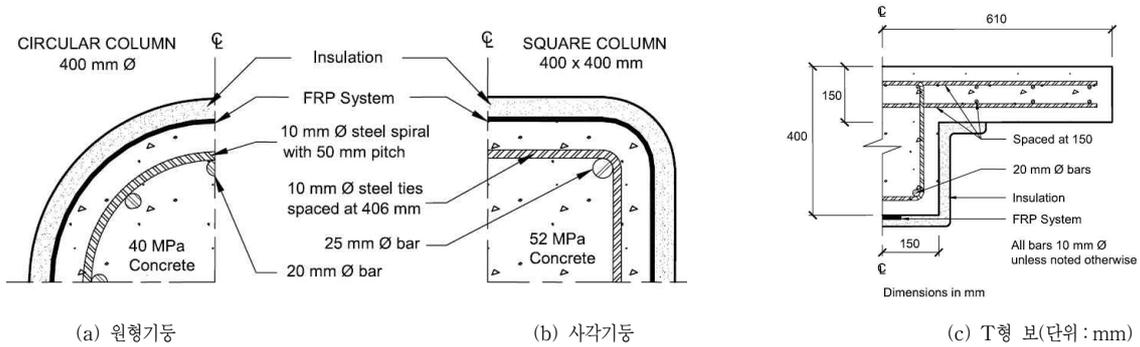


그림 1. 실험체 단면 형상(기둥 길이 3,810 mm, 보길이 3,900 mm)<sup>3)</sup>

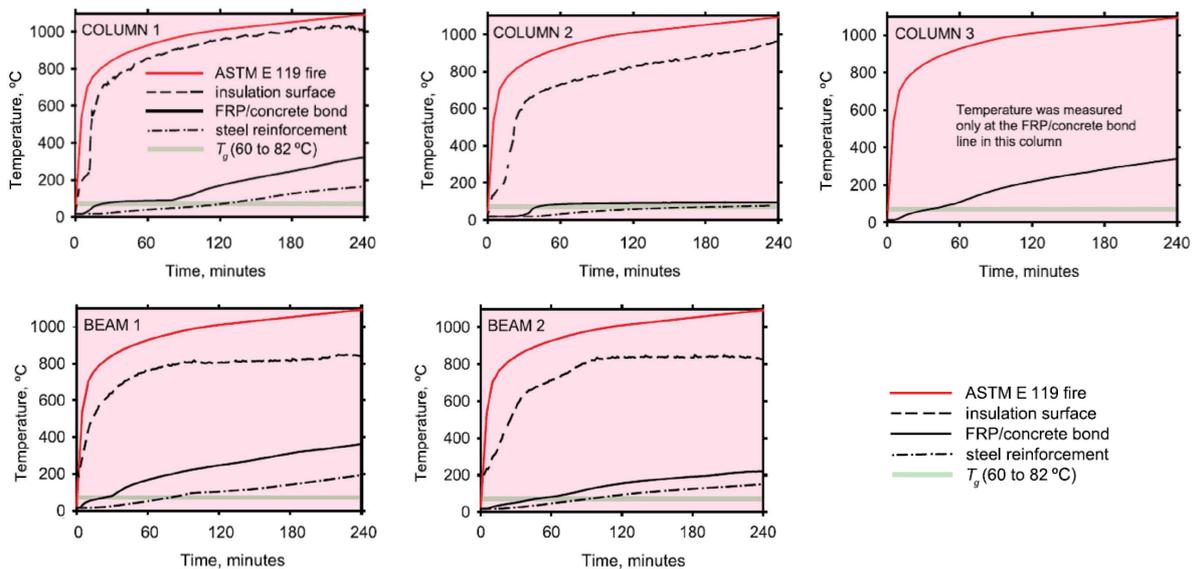


그림 2. 실험결과 그래프<sup>3)</sup>

표 1. 실험결과<sup>3)</sup>

부재	보강전 사용하중	보강후 사용하중	단열두께	내화시간	단열두께를 고려한 내화시간*
Column 1	1,996 kN (449 kip) <sup>†</sup>	2,515 kN (565 kip) <sup>‡</sup>	32 mm (1.25 in.)	> 5 hours	4 hours
Column 2	1,996 kN (449 kip) <sup>†</sup>	2,515 kN (565 kip) <sup>‡</sup>	57 mm (2.25 in.)	> 5 hours	4 hours
Column 3	2,700 kN (607 kip) <sup>†</sup>	2,884 kN (648 kip) <sup>§</sup>	38 mm (1.5 in.)	> 4 hours	4 hours
Slab 1	-	-	19 mm (0.75 in.)	> 2 hours	2 hours
Slab 2	-	-	38 mm (1.5 in.)	> 4 hours	2 hours
T-beam 1	28 kN/m (1.92 kip/ft) <sup>  </sup>	34 kN/m (2.33 kip/ft) <sup>  </sup>	25 mm (1 in.)	> 4 hours	4 hours
T-beam 2	28 kN/m (1.92 kip/ft) <sup>  </sup>	34 kN/m (2.33 kip/ft) <sup>  </sup>	38 mm (1.5 in.)	> 4 hours	4 hours

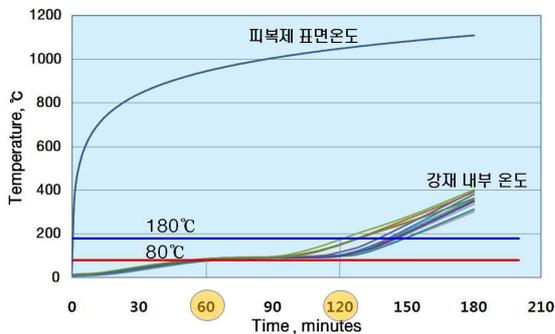


그림 3. 강재용 내화뿔칠제 3시간용 시험결과(한국그레이스 제공)

경우 가정했던 것보다는 상당한 내화성능이 있을 것으로 판단되었다. 또한 기존연구에서 화재를 받은 탄소섬유시트의 인장강도 시험에서는 260°C의 온도 환경 하에 2시간 방치한 후라도 강도 저하를 일으키지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 화재 등의 영향을 받더라도 260°C 이상으로 CFRP 경화체의 온도가 상승하지 않도록 내열처리를 실시하면 상온으로 냉각한 후에는 열이력 이전 인장강도를 기대할 수 있다고 언급하고 있다<sup>4)</sup>.

부착강도 측면에서는 약 180°C부터 부착성능 저하가 시작되고 약 210°C에서 부착강도가 크게 저하하는 것이 확인되었다<sup>4)</sup>.

이 때문에 부착강도에서만 본 탄소섬유시트 보강공법의 화재에 대한 내력저하를 방지하기 위해서 시트표면온도를 200°C 이하, 가능하면 180°C 이하로 내화피복이 피복재 종류에 따라 두께가 필요하다고 언급하고 있다. 이에 따라 실험결과를 분석하여 예폭시 층이 180°C에 도달하는 시간도 평가하였다. <그림 3>를 참조하면 3시간 내화피복 실험체에서 180°C까지 도달하는데에는 2시간 정도 소요되는 것으로 판단되었으나 이 역시 철근콘크리트 부재에서는 도달시간이 길 것으로 판단된다.

이를 확인하기 위하여 탄소판 보강부재에 기존 강재를 대상으로 시공중인 내화뿔칠제 및 내화도료제를 대상으로 어느 정도의 성능이 발휘되는지를 실험으로 평가하였다.

### 3. 내화실험<sup>6)</sup>

#### 3.1 실험체 계획

내화피복제와 내화피복두께에 따른 내화성능을 평가하였다. 본 실험의 내화피복제는 강재를 대상으로 인증을 취득한 제품으로 같은 두께로 시공하였다.

실험체는 비가력으로 계획하였고, 실험체 형상은 <그림 4>와 같다. 실험체 전체 크기는 500 mm × 600 mm이며, 탄소판은 100 mm × 300 mm으로 계획하였다. 콘크리트 표면에 흙을 낸 후 열전대를 설치하였다.

탄소판 표면에는 피복제의 부착력 향상을 위해 규사를 도포하고 이후 내화피복을 실시하였다. 실험체는 2개씩 가열하였다.

<사진 2>는 실험전경이고, <사진 3>은 내화도료를 도포한

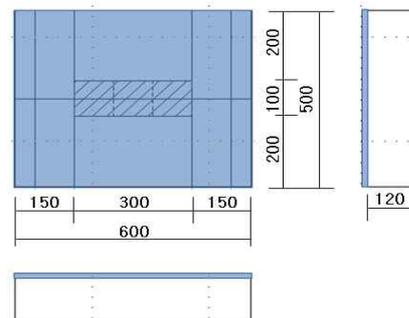


그림 4. 실험체 형상(단위: mm)



사진 2. 실험 전경



사진 3. 실험 종료 후 실험체 사진

실험체의 실험종료 후 사진이다.

실험체 일람은 <표 2>와 같다. 데이터의 신뢰를 위해 동일한 실험체를 3개 제작하여 수행하였고 실험은 표준가열곡선에 따라 수행하였다. 열전대는 콘크리트와 탄소판 사이(이후, 에폭시층), 탄소판과 내화피복재 사이(이후, 탄소판 표면)에 각각 2개씩 설치하였다.

### 3.2 실험결과

실험결과 그래프 중 일부는 <그림 5~7>이다. 내화피복이 없는 실험체는 가열 직후 온도가 상승하기 시작하여 80°C에 도달하는데 3분 16초밖에 소요되지 않았다.

표 2. 실험체 계획

구분	표기	적용제품	내화시간 (강제)	두께(mm)
실험체 1	내화피복 없음.	-		-
실험체 2	내화뿔칠 1시간	FC-COAT	1H	10
실험체 3	내화뿔칠 2시간		2H	20
실험체 4	내화뿔칠 3시간		3H	30
실험체 5	내화도료 1시간	FC-MAX	1H	1.75
실험체 6	내화도료 2시간		2H	4.4

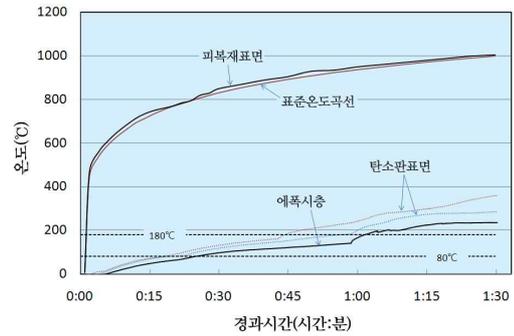


그림 5. 실험체 2: 내화뿔칠 1시간 실험체

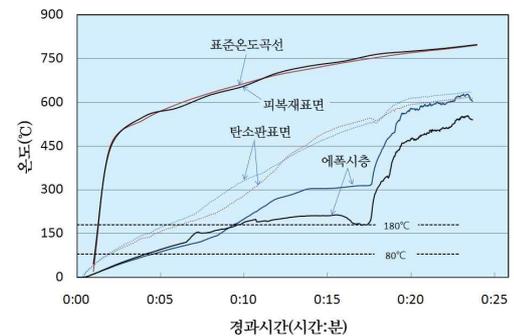


그림 6. 실험체 1: 내화피복 없음 실험체

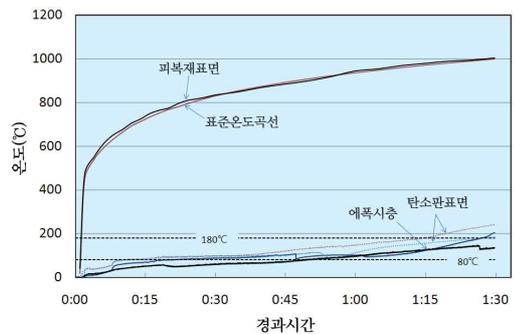


그림 7. 실험체 5: 내화도료 1시간 실험체

내화뿔칠 실험체는 피복두께가 10, 20, 30 mm로 가열이 시작된 후 일정시간이 지나면서 에폭시층 온도가 상승하기 시작하여 일정한 기울기로 온도가 상승하였다. 내화도료 실험체는 가열 직후 내화뿔칠 실험체의 온도 상승기울기보다 훨씬 큰 속도로 온도가 상승한 후 일정시간이 지난후 온도 상승이 없이 일정시간을 지속하였다. 이는 내화도료는 온도 상승에 의해 도료가 팽창한 이후에 화재에 저항하는 메커니즘에 기인하는 것으로 판단된다. 이와는 달리 뿔칠제는 팽창이 없이 화재에 저항한다. 강재를 대상으로 내화인증을 취득한 시간을 기준으로 할 경우 60°C까지 도달시간은 25~39%, 80°C까지 도달시간은 40~

63%, 180°C까지 도달시간은 87 ~ 153%의 양상을 나타내었다. 실험결과를 분석한 결과 80°C를 기준으로 할 경우 기존의 강재를 대상으로 인증을 취득한 두께로 콘크리트 부재에 적용하더라도 최소 40% 이상의 성능을 확보하는 것이 가능하다는 것이 확인되었다. 이는 콘크리트가 강재에 비해 열전도율이 작고, 열 흡수 능력도 크기 때문인 것으로 판단된다.

또한 화재이후 상온에서 부착력을 기대할 수 있는 180°C를 기준으로 할 경우 내화피복재의 성능이 일부 개선되면 제시된 내화시간 이내에 화재가 종료되면 상온에서 부착력을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 현재의 내화피복재의 성능을 일정부분 개선한다면 예폭시 부착공법의 내화성능을 확보하는 것이 가능하고, 현재의 기술수준으로도 최소대피시간을 확보하는 것이 가능해 예폭시 보강공법 시공시 적용이 가능하다고 판단된다.

#### 4. 결론

기존 강재를 대상으로 인증을 취득한 내화피복재를 대상으로 한 실험결과 예폭시의 유리전이온도인 80°C를 기준으로 할 경우 최소 40% 이상의 내화성능을 확보하는 것이 가능함이 확인하였다. 강재를 대상으로 인증을 취득한 내화피복두께를 이용하여 화재시 최소대피시간을 확보하는 것이 가능하다고 판단된다. 향후 가력실험을 통해 부착공법의 내화성능에 대한 연구를 지속할 예정이다.

현재 부착공법의 내화성능확보에 대한 연구가 미진한 상황이고, 활용 가능한 데이터도 절대적으로 부족한 상황이다. 향후 부착공법의 내화대책에 대한 활발한 연구가 진행되기를 기원한다. □

#### 참고문헌

1. ACI 440.2R-02, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, 2002.
2. 대한건축학회, 「국토해양부 제정 콘크리트 구조설계기준 건축구조물 설계 예제집」, 2008.
3. Venkatesh Kodur, Luke A. Bisby, and Mark F. Green, FRP Retrofitted Concrete under Fire Conditions, Concrete International, Dec., 2006, pp. 37 ~ 44.
4. 이한승, '섬유시트로 보강된 철근 콘크리트 구조부재의 방내화 성능', 콘크리트학회지, Vol. 4, No. 2, 2002. 3.
5. Kodur, V.K.R., and Baingo, D., Fire Resistance of FRP Reinforced Concrete Slabs, IRC Internal Report No. 758, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada, 1998, 37 pp.
6. 이명호, 박형철, 오보환, '내화피복 철근콘크리트 부재의 온도특성', 대한건축학회 학술발표대회논문집(구조계) Vol. 30, No. 1, (통권 제 54집), 2010. 10.

담당 편집위원 :

김옥중(대림산업(주) 기술연구소) kimoj@dic.co.kr

▶ 학회 홈페이지(www.kci.or.kr)에서도 구매가 가능합니다.

## 제2판 콘크리트용 앵커 설계법 및 예제집

| 한국콘크리트학회 편 | 343쪽(A4변형) | KCI-M-10-005 |

| 비회원 20,000원, 회원 16,000원 | 출판사 기문당 | 2010년 06월 15일 개정판 발행 |

### ■ 소 개

2007년 「콘크리트구조설계기준」에 '콘크리트용 앵커설계법'이 새롭게 신설되면서, 실무기술자와 학생들에게 앵커설계의 개념과 배경을 설명하고자 하였다. 1판 발간 이후 ACI 318-08에 앵커설계법에 대한 새로운 개념이 도입되었으며, 기계식 후설치앵커에 대한 평가지침이 국내에는 없어 「콘크리트구조설계기준」의 범위를 벗어나는 후설치앵커의 성능평가는 미국기준에 따라 수행되어야 했다.

이에 우리학회 전문위원회인 정착이음위원회에서는 발전된 설계/평가/시방을 반영하고, 독자의 요구를 수용하기 위해 2판을 준비하였다.

