

# 박막형 고강도 폴리머 및 열화원인별 적용 몰탈내에 섬유로드를 삽입하는 RC 구조물의 보강공법 연구

## Flexural Reinforcement of RC Structures with composite fiber rods inserted in high strength special purposed polymer mortar for various deteriorated conditions.

정 원 용 \*      이 상 근 \*\*      박 홍 진 \*\*\*  
Chung, Won Yong      Lee, Sang Keun      Park, Hong Jin

### ABSTRACT

In recent years, RC structures need reinforcement due to physical and chemical deterioration, reduction of serviceability and structural capacity. For reinforcement of RC structures, steel plate attachment, area increase and composite fiber sheet attachment methods are used, but there are some problems like weight increase, workability, quality control and fire resistance capacity. This study presents the effectiveness of flexural reinforcement of RC beams using composite rods that are inserted in high strength special purposed polymer mortar.

#### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 시공 후 각종 자연현상이나 인위적인 물리작용을 받으며, 사용 연수가 더해질수록 화학적인 변형 등 노화가 진행되어 구조내력이 부족하거나 사용성이 저하되어 보수 및 보강을 필요로 하고 있다. 그동안 주로 사용되어온 보강공법으로는 강판접착공법, 단면증설법 및 섬유시트 접착에 의한 보강공법이 있으나, 중량의 증가, 시공성, 품질관리 및 기존 구조체와의 일체성에 문제가 제기되고 있으며 화재 발생시 급속한 손상에 따른 강도저하 및 유독가스 배출에 따른 문제점이 있었다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 신기술 제59호로 지정된 부착 및 인성이 우수한 몰탈 내에 탄소, 유리 및 아라미드 섬유를 이용한 가넷함침 로드를 삽입하여 보강하는 기술을 개발하여 콘크리트 구조물에 대한 합리적인 보강방법을 마련하였다.

- \* 정회원, (주)리폼시스템 이사
- \*\* (주)리폼시스템 대표이사
- \*\*\* (주)리폼시스템 전무이사

## 2. 섬유로드의 제작 및 보강공법

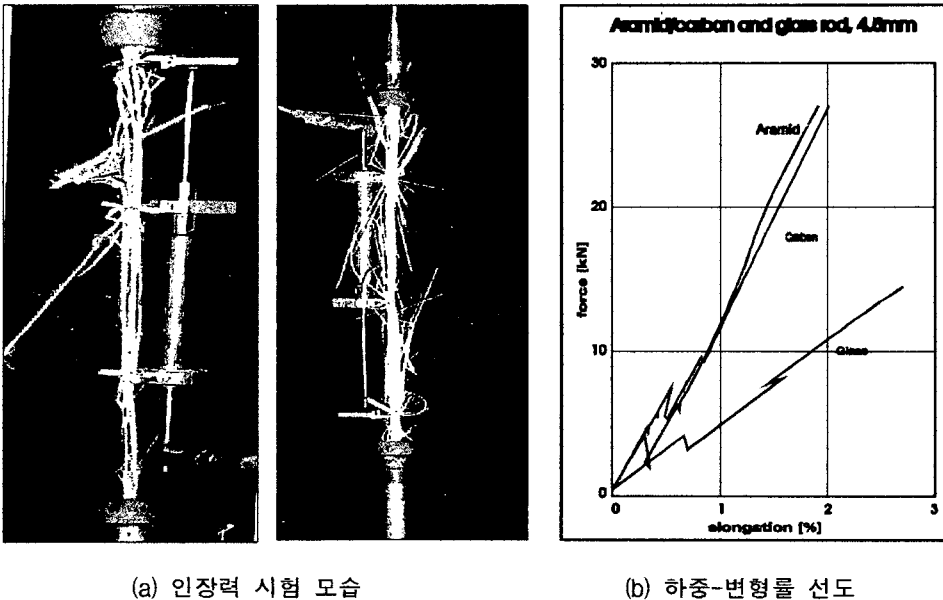
### 2.1 섬유로드

기존의 복합소재 섬유시트 보강공법상의 현장 합침 수작업에 따른 시공성 및 품질의 문제를 해결하기 위해 공장에서 섬유와 수지를 일정비율 함침하여 성형 가공하는 기계적 공법을 이용하여 로드 형태로 성형 후 부착력을 향상시키기 위해 표면에 가넷 (규사의 일종)을 함침시켰다. 표 1은 제작된 섬유로드의 기계적 특성을 보여주고 있으며, 그림 1에는 섬유로드의 인장력 시험 모습 및 하중 - 변형률 선도를 보여주고 있다.

표 1. 섬유로드의 기계적 특성

제 품	항복강도* (kgf/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
철근 SD30	3,000 이상	4,500 ~ 6,100
SD40	4,000 ~ 5,200	5,700 이상
유리섬유 ROD	2,400	8,000
아라미드 섬유 ROD	4,200	14,000
탄소+ 아라미드 섬유 ROD	6,000	20,000
탄소섬유 ROD	6,900	23,000

주) \* : 항복강도는 인장강도×0.3을 적용



(a) 인장력 시험 모습

(b) 하중-변형률 선도

그림 1. 섬유로드의 인장력 시험모습 및 하중-변형률 선도

## 2.2 가넷합침재

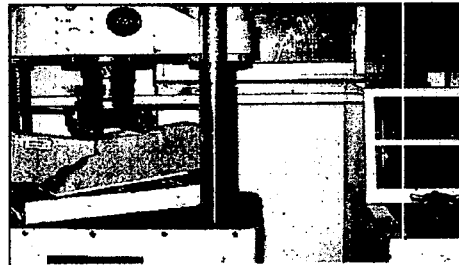
가넷은 300 $\mu$ m ~ 800 $\mu$ m 크기의 세골재로 보통 강모래나 규사와 달리 많은 각을 가지고 있기 때문에 접착되는 면적이 넓어 압축강도, 굴곡강도, 접착강도 등과 같은 물성치가 크다. 그림 2에는 보 시험체의 휨 인장 시험 모습을 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 가넷합침 전의 로드 보강 시험체는 중앙부위에서 로드의 뽀힘(Slip)에 의해 파괴되었으나, 가넷합침 로드를 사용한 보강 시험체는 단부 콘크리트의 전단 파괴가 발생되어 충분한 부착효과가 있는 것으로 나타났다.

## 2.3 수성저온 및 조강 경화성 폴리머 몰탈

섬유로드 합침 모르타르로 사용되는 제품의 특성은 아크릴수지 및 무기질의 결합에 의해 내약품성 및 고알칼리성(PH 13)이며, 압축강도 및 휨 강도가 크기 때문에 얇게 도포하여도 내마모성이 우수하며 균열이 발생되지 않는다. 또한 강한 침투접착성 및 조기 경화성이 있어 어떠한 시공조건에서도 박리되지 않는다. 표 2에는 수성저온 및 조강경화성 폴리머 몰탈의 물성과 내구성능을 보여주고 있다.<sup>(1)</sup>



(a) 표면가넷무처리 (인장력:시험데이터 참조) (뽀힘현상 발생)



(b) 섬유 ROD 표면 가넷처리 (인장력:시험데이터 참조) (뽀힘현상이 없이 받침부 전단부 파괴)

그림 2. 보 시험체의 휨 인장시험

표 2. 수성저온 및 조강경화성 폴리머몰탈의 물성과 내구성능

시험항목	단위	시험결과			시험방법
		재령 3일	재령 7일	재령 14일	
부착강도	kgf/cm <sup>2</sup>	23.4	25.1	28.5	KS F 4918
압축강도	kgf/cm <sup>2</sup>	487			KS L 5105
휨 강도	kgf/cm <sup>2</sup>	208			KS F 2477
흡수비	-	0.2			KS F 2451
투수비		0.4			
열팽창계수	/°C	13.4×10 <sup>-6</sup>			KS F 2424
건조수축율	%	0.03			(다이알 게이지 방법)
내마모율	%	0.5			KS F 2812

## 2.4 섬유로드 보강공법

동일한 인장력을 갖는 철근에 비해 단면의 초기 및 증량을 현저히 줄이고 20~30mm 두께의 박층의 폴탈내에 삽입함으로써 기존의 표면부착식 보강공법의 단점을 보완하였다. 외부 하중 작용시 접착 계면의 파괴를 방지하기 위해 케미컬앵커나 세트앵카로 로드를 고정시키고, 보의 경우에는 단부에 U형 섬유시트를 접착 시공하여 계면박리 및 전단균열 억제 효과를 가져올 수 있도록 하였다. 그림 3~5에는 섬유로드의 형상 및 부재형식별 보강 방법을 보여주고 있으며, 표 3에는 섬유로드 보강공법의 시공순서를 보여주고 있다.

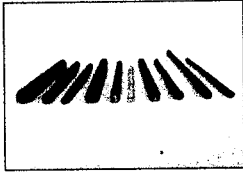


그림 3. 섬유로드 형상

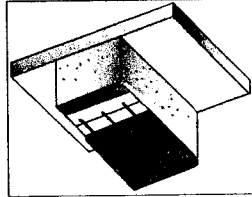


그림 4. 빔 보강 모습

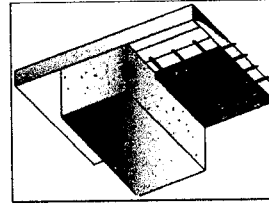


그림 5. 슬래브 보강 모습

표 3. 섬유로드 보강 공법의 시공순서

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     하지처리 및 프라이머도포                 </div>	손상, 노후화 및 균열이 발생한 콘크리트 열화층을 고압세척으로 제거하고 부착을 좋게 하기 위해 표면을 거칠게 처리한다. 철근의 방청 및 기존 콘크리트 구체 및 표면강화를 위해 H.E.-256을 도포한다.
↓	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     에폭시 주입                 </div>	하지처리를 한 후 손상 부위에 에폭시를 주입한다. 균열이 발행되지 않은 경우 이 과정을 생략한다.
↓	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     G&amp;W 모르터 바르기                 </div>	기존 콘크리트와 G&W 모르터 사이의 부착을 좋게 하기 위해 G&W 모르터를 1차적으로 얇게 바른다.
↓	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     특수하게 제작한 섬유로드 정착                 </div>	얇게 바른 G&W 모르터위에 메쉬형태나 봉형태의 섬유로드를 정착한다.
↓	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     표 면 마 감                 </div>	신 보강재 위에 다시 G&W 모르터를 바른다. 경우에 따라서는 부착파괴가 발생되지 않도록 양단부를 앵카볼트로 정착시킨다.
↓	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                     양 생                 </div>	G&W 모르터를 양생시킨다. 보통 2주일이 소요되며, 공기를 단축하기 위해서는 초속경 모르터를 사용한다.

### 3. 섬유로드로 보강된 RC 부재의 내화성능 시험

콘크리트 부재의 보강공법으로 주로 사용중인 복합소재 접착공법은 화재 발생에 따른 소재의 열화에 의해 유독가스 발생 및 접착강도가 크게 저하되어 구조적인 성능도 급속히 손상된다. 이에 따라 보강용 섬유로드를 내화성의 에폭시계 및 아크릴계 접착제와 가넷을 함유한 후 몰탈내에 매설시키는 공법을 적용함으로써 내화성능을 향상시키게 되었다.<sup>(2)</sup>

#### 3.1 실험체 제작 및 시험방법

크기 230×230×40mm의 콘크리트 판에 각종 보강공법을 적용한 후에 내화피복재료 및 피복두께를 달리하여 제작한 실험체를 대상으로 표준 가열곡선에 의한 내화시험을 실시하였다. 표 4. 및 그림 6에는 내화성능 실험체의 실험변수 및 형상을 보여주고 있다.

#### 3.2 실험결과

벽용 가열로를 사용하여 ISO 834의 표준가열 곡선에 따라 2시간 가열시험을 수행하였으며, 가열시험결과 섬유시트 보강공법의 경우 1시간 및 2시간의 내화성능을 확보하기 위해서는 40mm 또는 60mm의 몰탈을 피복해야 할 것으로 나타났다. 섬유로드로 보강한 시험체의 경우 기존 보강 몰탈의 영향으로 인해 박층의 단열 몰탈을 피복함에 의해서도 내화성능을 충분히 발휘하는 것으로 나타났다. 표 5에는 시험체의 실험결과에 따른 각 보강 공법별 필요 내화피복 두께를 보여주고 있다.

표 4. 내화성능 실험체의 실험변수

보강공법	피복재료	피복두께 (2시간 내화)
1 탄소섬유 시트보강(CFS)	기존몰탈	40, 50, 60mm
2 탄소섬유 시트보강(CFS)	단열몰탈	40, 50, 60mm
3 아라미드섬유 시트보강(ARS)	단열몰탈	40, 50, 60mm
4 아라미드-탄소섬유 복합로드 보강 (ARCF-Rod)	단열몰탈	10, 20, 30, 40mm (조강몰탈 두께 : 30mm)
5 아라미드-탄소섬유 복합 로드보강 (ARCF-Rod)	단열몰탈	40, 50, 60mm (조강몰탈 두께 : 20mm)

표 5. 각 보강 공법별 필요 내화피복 두께

보강공법	피복재료	필요 내화피복 두께	
		1시간내화	2시간내화
1 탄소섬유 시트보강(CFS)	기존몰탈	50mm	60mm 이상
2 탄소섬유 시트보강(CFS)	단열몰탈	50mm	60mm 이상
3 아라미드섬유 시트보강(ARS)	단열몰탈	60mm	60mm 이상
4 아라미드-탄소섬유 복합로드 보강 (ARCF-Rod)	단열몰탈	10mm	40mm
5 아라미드-탄소섬유 복합 로드보강 (ARCF-Rod)	단열몰탈	20mm	50mm

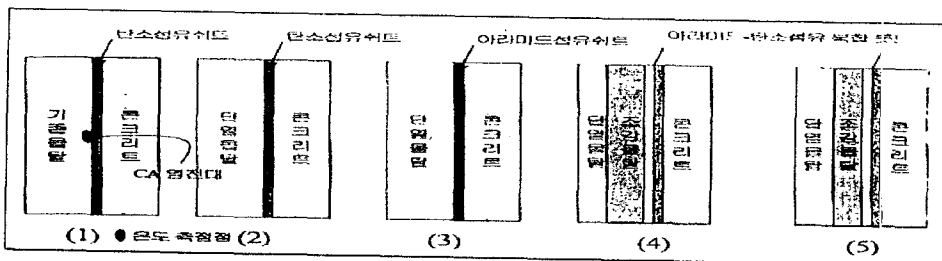


그림 6. 내화성능 실험체의 형상

#### 4. 섬유로드로 보강된 RC 부재의 휨 보강 효과 시험

RC 부재의 휨 보강 효과를 파악하기 위해 로드, 메쉬 및 시트형태로 가공한 복합소재 보강재를 여러가지 방법으로 보 시험체의 하부에 보강하여 적용성을 파악하였다.<sup>(2)</sup>

##### 4.1 실험체 제작 및 실험방법

표 6 및 그림 7에는 각종 실험체의 명칭 및 형상을 보여주고 있다. 실험방법은 100 tonf 규모의 만능 시험기를 이용하여 보 실험체 중앙부에서 4점가력 시험을 수행하였다.

##### 4.2 실험결과

표 7 에는 실험체의 실험결과를 보여주고 있으며, 표에서 보는 바와 같이 섬유로드로 보강된 시험체 번호 3~6의 경우에 보강효과 및 연성지수가 최대 60% 및 24% 씩 향상된 것으로 나타났다. 특히 시트 및 메쉬 형태의 보강시험체에 비해서도 파괴하중 및 연성이 증가되어, 내력 및 연성증진 효과 모두가 우수한 것으로 나타났다.

표 6. 보강 실험체의 명칭

NO	실험체명	시공방법	사용재료	초기균열	실험변수
1	FBN				· 기준실험체
2	RT-TP	보강모르터 사용	아라미드 ROD	무균열	· 실험체 밀면 일부보강
3	RT-TA				· 실험체 밀면 전체 보강
4	RT-TPSU				· 실험체 밀면 일부보강 · 실험체 측면 U자형 보강
5	ST-TASU	보강모르터 & 에폭시 접착제 사용	아라미드 ROD & 아라미드 Sheet	균열도입	· 실험체 밀면 전체 보강 · 실험체 측면 U자형 보강
6	crRT-TASU				· 실험체 밀면 전체 보강 · 실험체 측면 U자형 보강
7	AM-TPSI	보강모르터 사용	아라미드 Mesh	무균열	· 실험체 밀면 전체 보강 · 실험체 측면 I자형 보강
8	GM-TPSI		유리섬유 Mesh		
9	CM-TPSI		탄소섬유 Mesh		
10	AS-TPSI	에폭시 접착제 사용	아라미드 Sheet		
11	CS-TPSI		탄소섬유 Sheet		

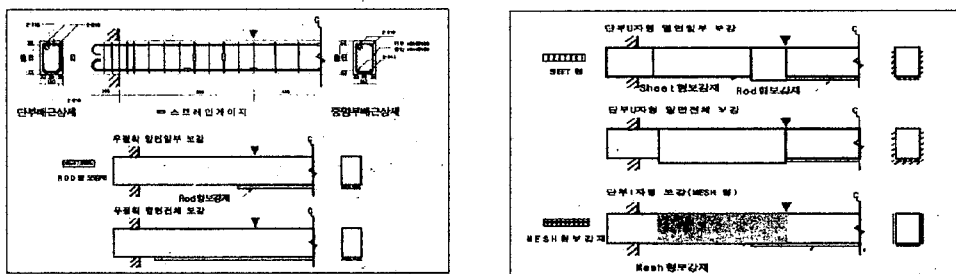


그림 7. 보강 실험체의 형상

표 7. 실험체별 시험결과 비교

NO	실험체명	$P_y$ (tonf)	$\delta_y$ (mm)	$P_{max}$ (tonf)	$\delta_{max}$ (mm)	$P_{max}/P_y$	$\delta_{max}/\delta_y$
1	FB-N	9.86	13.78	11.40	20.70	1.16	-
2	RT-TP	12.34	14.22	13.08	21.63	1.06	1.52
3	RT-TA	14.22	17.42	17.24	34.12	1.21	1.96
4	RT-TPSU	12.50	15.66	15.36	60.19	1.23	3.84
5	RT-TASU	12.68	15.87	18.25	45.32	1.44	2.86
6	crRT-TASU	13.68	15.58	17.84	47.19	1.30	3.03
7	AM-TPSI	10.05	13.28	12.50	27.75	1.24	2.09
8	GM-TPSI	10.19	13.53	12.68	30.81	1.24	2.28
9	CM-TPSI	11.47	12.96	14.02	44.56	1.22	3.44
10	AS-TPSI	10.18	13.24	13.15	35.74	1.29	2.70
11	CS-TPSI	11.05	15.47	12.74	38.53	1.15	2.50



그림 8. 시공전 모습



그림 9. 치핑 및 고압세척후 모습

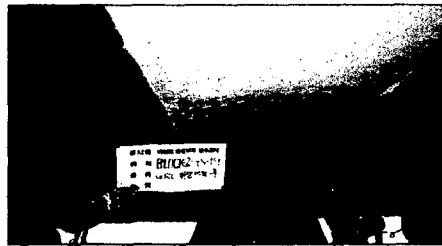


그림 10. 물탈에 의한 바탕조정후 모습

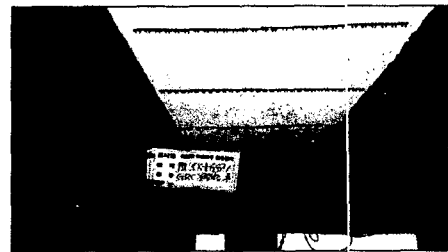


그림 11. 브라켓 설치후 모습

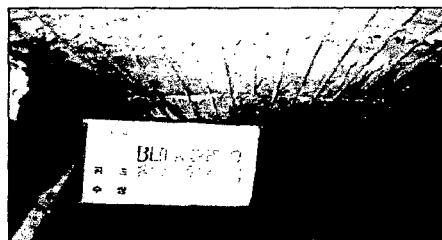


그림 12. 섬유로드 설치후 모습

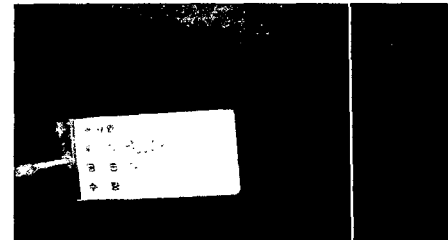


그림 13. 물탈에 의한 마감시공후 모습

## 5. 시공사례

그림 8~13 에는 여천 중흥부두 잔교의 콘크리트 보에 대한 섬유로드 보강공법 시공현황을 보여주고 있다. 그림 8과 같은 열화된 콘크리트 보를 내염화 특수 몰탈을 이용한 섬유로드 함침 공법에 의해 그림 14와 같이 완벽하게 보수 보강된 모습을 보여주고 있다.

## 6. 기존 공법의 문제점 검토

- 1) 기존 접착공법에 사용중인 에폭시 접착제는 콘크리트와의 탄성계수 및 열팽창계수 등의 물성치에 차이가 있어 접착계면의 조기 박리 등으로 장기적인 내구성이 저하된다.
- 2) 온도가 높거나 습도가 클 경우 에폭시의 부착력에 영향을 미친다.
- 3) 상부 콘크리트로부터의 누수현상 발생시 체수로 인한 접착부위의 열화가 진행된다.
- 4) 화재 발생시 에폭시 접착제 및 복합소재 수지의 내화성능 부족으로 유독가스발생 및 구조적인 성능이 급격히 손상된다.
- 5) 접착제 단부의 응력 집중에 따라 계면박리 및 취성파괴를 유발한다.

## 7. 결 론

본 연구에서는 섬유로드를 이용한 몰탈 함침 보강공법에 대한 보강효과 및 적용성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 섬유로드의 인장강도는 사용재료에 따라 철근의 약 2배~6배의 값을 나타내었다.
- 2) 섬유로드 표면에 가넷을 함침할 경우 섬유로드의 뿔힘 현상을 방지 할 수 있는 충분한 부착력이 있는 것으로 나타났다.
- 3) 수성저온 및 조강 경화성 폴리머 몰탈의 사용으로 섬유로드 공법의 내화성능이 향상되었다.
- 4) 보 시험체의 휨 시험결과 강도 및 연성 증진 효과가 우수한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- 1) 서울산업대학교, “콘크리트 구조물의 유지관리를 위한 보수, 보강재료의 성능평가 및 현장 시공기술 적용에 관한 연구(II)”, 2000. 6
- 2) 한양대학교, “신 보강재를 이용한 콘크리트 구조물의 보수, 보강 효과에 관한 구조성능평가”, 2000. 4