

# Sprayed FRP 공법에 의한 콘크리트 구조물의 보수·보강법 개발에 관한 연구

- 철근콘크리트 보의 보강성능 평가 -

## Repair and Strengthening Methods for Concrete Structures using Sprayed Fiber Reinforced Polymers

- Strengthening Performance of Reinforced Concrete Beams -

이 강 석\* 손 영 선\*\* 변 인 회\*\* 이 문 성\*\*\* 나 정 민\*\*\*\* 이 리 형\*\*\*\*\*  
Lee, Kang Seok Son, Young-Sun Byeon, In Hee Lee, Moon Sung Na, Jung-Min Lee, Li-Hyung

### ABSTRACT

The main purpose of this study is to develop a Sprayed FRP repair and strengthening method, which is a new technique for strengthening the existing concrete structures by mixing carbon or glass shot fibers and the epoxy or vinyl ester resins with high-speed compressed air in open air and randomly spraying the mixture onto the concrete surface. At present, the Sprayed FRP repair and strengthening method using the epoxy resin has not been fully discussed.

In this study, a series of experiments are carried out to evaluate the strengthening effects of the flexural and shear concrete beams strengthened with the Sprayed FRP method. The results revealed that the strengthening effects of the flexural and shear specimens are similar, compared to those of the FRP sheet.

### 1. 서론

보수·보강을 필요로 하는 콘크리트 구조물의 안전성 검토 및 적절한 유지관리를 위한 콘크리트 구조물의 보수·보강방법으로는 강판보강법, 철골브레이스보강법, 단면증설법, 벽체신설법 및 최근 내구성이 우수한 탄소·유리·아라미드섬유 등의 경량의 복합신소재를 이용한 FRP 보강법 등이 널리 사용되어 지고 있다. 그러나 FRP 보강법은 재료 자체가 갖는 이방성 문제, 사전표면처리 작업의 난점, 비교적 고가의 소재를 사용함에 따른 경제적 문제되고 있어 향후 시공성 및 경제성이 탁월한 새로운 보수·보강기술의 개발이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 탄소 및 유리 단섬유(Short Fiber)와 에폭시 및 비닐에스테르 수지(Resin)를 외기에서 혼합하여 요철이 많은 콘크리트 표면에 고속의 압찰공기로 랜덤하게 분사하여 기존의 콘크리트 구조물을 보강하는 새로운 공법 즉, Sprayed FRP 보수·보강 공법을 개발하는 것으로 Sprayed FRP 공법을 이용하여 보강된 철근콘크리트 휨 및 전단 보의 보강성능을 실험적 연구를 토대로 평가하고자 한다.

\* 정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터(ERC) 연구조교수, 공학박사

\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 BK21 지속가능 건축기술 전문 인력 양성사업단 Post-Doc, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 상영엔지니어링(주) 대표이사, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축환경공학과 교수, 공학박사

## 2. 연구 내용 및 방법

표 1에는 선행연구결과인 유리 및 탄소섬유와 에폭시 및 비닐에스테르 수지의 배합비율, 단섬유의 길이 등 각종 재료 물성을 파악하여 현행 FRP Sheet 1겹의 강도를 발휘하는데 필요한 최적의 물성을 나타내었다. 본 연구에서는 표1에 나타난 재료시험결과를 바탕으로 Sprayed FRP 공법의 보수·보강 효과를 파악하기 위하여 BINKS Poly Craft(주)의 기자재를 이용하여 휨 및 전단 보에 각각의 변수를 이용하여 각각 해당하는 두께로 부재에 보강하여 부재의 Sprayed FRP 보강성능을 평가하였다.

표 1 재료시험 결과를 통한 보강재료의 변수

종 류	단섬유길이 (cm)	수지의 종류 및 배합비율		보강두께(mm)	
		에폭시	비닐에스테르	에폭시	비닐에스테르
유리섬유	3.8	1:2	1:2	4.2	4.4
탄소섬유	3.8	1:2	1:2	3	4

## 3. 실험

설계압축강도 24MPa의 콘크리트를 사용한 휨 실험체의 형상은 길이 3.1m, 순지간 2.7m, 단면크기 150×250mm로 휨파괴가 진행되도록 상단근과 하단근 각각 SD 40의 2-D10과 2-D13을 배근하고, 전단 파괴가 일어나지 않도록 전단보강근 D10을 중앙부 150mm, 단부 100mm 간격으로 배근하였다.

전단실험체는 길이 2.2m, 순지간 0.5m, 단면크기 200×300mm의 전단스팬비(a/d)가 3.0으로 설계압축강도 30MPa의 콘크리트를 사용하였다. 상단근과 하단근 각각 SD 40의 2-D13과 2-D22을 주철근으로 배근하고, 전단보강근 SD30의 D10을 250mm 간격으로 배근하였다. 보강재료는 시트타입과 로빙(Roving)타입의 유리 및 탄소섬유와 에폭시, 비닐에스테르 수지를 사용하였다.

후술하는 표3에 나타난 바와 같이, 휨보는 기준실험체 및 유리단섬유시트로 보강한 비교실험체를 포함하여 총 11개의 실험체로 4개의 실험체에 유리단섬유와 에폭시 및 비닐에스테르 4개의 탄소단섬유 보강 실험체 수지를 이용하여 Sprayed FRP의 밀면, U형으로 보강하였으며, 나머지 3개의 경우 양생기간으로 인하여 실험을 실시하지 못하였다. 전단실험체의 경우 기준 실험체를 포함하여 각각 11개로 유리, 탄소단섬유와 에폭시, 비닐에스테르 수지를 이용한 Sprayed FRP의 측면, U형 보강한 실험체 8개와 비교를 위한 유리 및 탄소섬유시트 보강 실험체 2개로 구성되어 있으며, 실험체 상세는 그림 1과 같다.

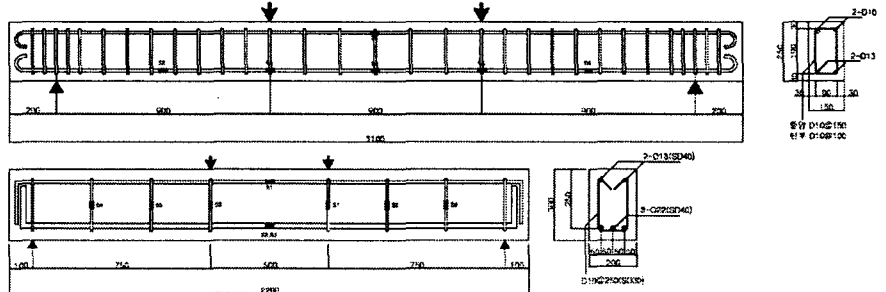


그림 1 휨 및 전단 보의 실험체 상세

## 4. 실험 결과 분석

### 4.1. 파괴 양상

휨 실험체는 전반적으로 중앙부에서 시작된 Sprayed FRP 보강재의 파단 및 박리가 일어나면서 최종 파괴되었으나, 그림 2(1)에 나타난 불완전 경화를 보인 유리단섬유와 비닐에스테르 수지로 보강한 B-VG-SB의 경우는 중앙부에서 시작된 박리가 단부로 급격하게 진행되면서 파괴되었다. 한편, 전단 실험체의 경우 유리섬유시트로 보강한 비교실험체와 유리단섬유와 에폭시 수지로 보강한 SB-EG-SI

(그림2[2]), 탄소단섬유와 에폭시수지로 보강한 SB-EC-SI(그림 2[3])의 경우 전단구간에서 보강재가 콘크리트와 함께 박리되면서 휨 파괴모드로 최종 파괴되었으며, 나머지 실험체는 모두 보강재의 파단 및 박리가 일어나면서 전단파괴모드로 파괴되었다.

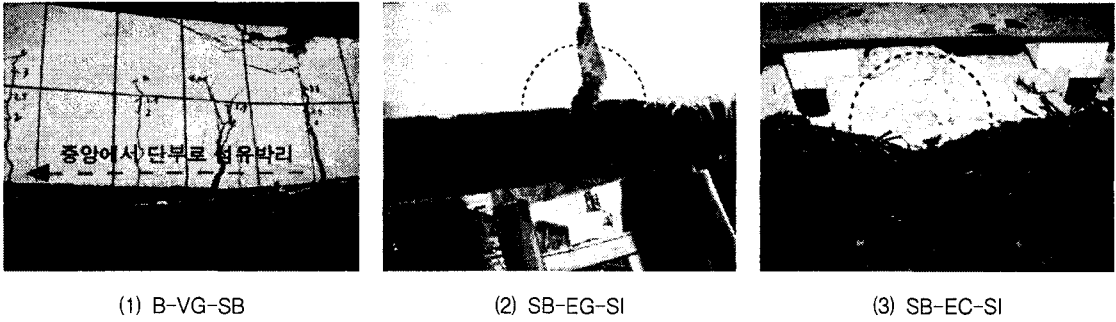


그림 2 Sprayed FRP로 보강된 실험체의 파괴양상

#### 4.2. 실험결과

유리 및 탄소섬유와 에폭시 및 비닐에스테르 수지를 사용한 Sprayed FRP로 보강된 실험체의 실험 결과는 표 3(실험결과 일람표) 및 그림 3~5(보강 방법에 따른 하중-변위 곡선)에 각각 나타내었다. 그림 3에 나타난 휨보의 경우, Sprayed FRP로 보강된 실험체는 기준 실험체 이상, 유리섬유시트로 보강한 비교실험체의 유리섬유시트가 고강도시트(일반강도의 약 1.5배)임을 고려한다면 비교실험체와 동등 혹은 그 이상의 보강효과(강도)가 나타난 것으로 사료된다. 또한 표3에 나타난 설계두께와 시공두께와의 차이를 단순 두께와 강도의 비로 보정할 경우 유사한 강도를 나타내는 B-EG-SB를 제외한 모든 실험체가 비교실험체보다 월등히 높은 강도를 발현 할 것으로 추측된다. 향후 두께에 따른 강도증진 효과에 대한 상세한 검토가 필요하지만, 보강형태에 따라서는 밀면보강보다 U형 보강이 에폭시 1.5배, 비닐에스테르 1.4배의 보강효과가 나타났다. 전단보의 경우, 그림 4 및 5와 같이 기준 실험체 이상의 보강효과가 나타났으며, 그림 4의 유리단섬유 보강 실험체는 SB-VG-SI를 제외한 나머지 모두 유리섬유시트의 비교실험체 이상의 강도가 나왔으며, 보정강도로 비교해본결과 4개의 실험체 모두 비교실험체에 비해 약 1.2~1.6배의 보강효과가 예상되며, 보강방법의 다른 영향은 작은 것으로 나타났다. 그림 5의 탄소단섬유 실험체의 실험결과를 보면 탄소섬유시트 보강 비교실험체와 유사한 강도가 나타났으나(SB-EG-SI), 4개의 실험체 모두 불완전 경화로 인하여 부재와 함께 거동하지 못하고 보강재의 조기박리현상이 발생되어 최종적으로 파괴하였다.

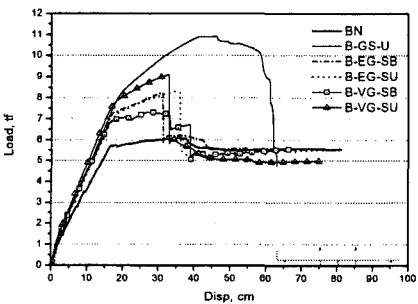


그림 3 휨보의 하중-변위 곡선

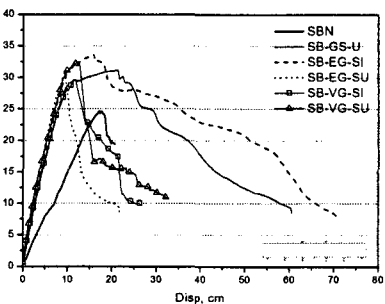


그림 4 전단보의 하중-변위 곡선 1

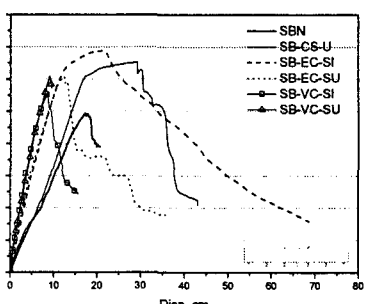


그림 5 전단보의 하중-변위 곡선 2

표 3 실험결과 일람표

실험체명	보강재	보강 방법	Cracking		Maximum		보강		P <sub>u</sub> 보정값†		파괴 모드
			P <sub>cr</sub>	δ <sub>cr</sub>	P <sub>u</sub>	δ <sub>u</sub>	두께	비율%†	강도	두께	
BN	무보강	-	1.34	2.85	6.08	35.55	-	-	-	-	휨파괴
B-GS-U	유리섬유시트	U형	-	-	10.88	41.17	-	-	-	-	휨파괴
B-EG-SB	유리단섬유+에폭시	밀면	1.95	1.12	8.24	31.24	4.9	+16.7	12.36	10.30	휨파괴
B-EG-SU	유리단섬유+에폭시	U형	2.25	1.34	8.30	35.45	3.15	-25	12.45	15.56	휨파괴
B-VG-SB	유리단섬유+비닐에스테르	밀면	1.12	1.61	7.30	27.57	3.48	-20.9	10.95	13.24	휨파괴
B-VG-SU	유리단섬유+비닐에스테르	U형	1.28	1.78	9.09	32.90	2.93	-33.4	13.64	18.19	휨파괴
SBN	무보강	-	3.71	2.16	-	-	-	-	-	-	전단
SB-CS-U	탄소섬유시트	U형	-	-	32.66	29.07	-	-	-	-	휨파괴
SB-GS-U	유리섬유시트	U형	-	-	31.14	21.34	-	-	-	-	휨파괴
SB-EG-SI	유리단섬유+에폭시	측면	7.64	1.76	33.57	15.89	4.73	+14.1	50.36	43.25	휨파괴
SB-EG-SU	유리단섬유+에폭시	U형	5.45	1.04	30.68	9.4	4.40	+4.8	46.02	43.81	전단
SB-VG-SI	유리단섬유+비닐에스테르	측면	6.13	1.55	26.82	12.68	3.8	-13.6	40.28	45.70	전단
SB-VG-SU	유리단섬유+비닐에스테르	U형	7.45	1.51	32.48	12.47	2.72	-38.2	48.72	67.33	전단
SB-EC-SI	탄소단섬유+에폭시	측면	7.16	2.38	34.36	21.38	2.70	-10.0	-	38.13	휨파괴
SB-EC-SU	탄소단섬유+에폭시	U형	6.60	1.84	30.42	12.21	2.69	-1.3	-	30.82	전단
SB-VC-SI	탄소단섬유+비닐에스테르	측면	2.65	0.44	27.69	8.50	4.59	+14.7	-	23.62	전단
SB-VC-SU	탄소단섬유+비닐에스테르	U형	6.99	1.62	30.53	9.02	3.3	-17.5	-	35.87	전단

†설계두께에 대한 시공두께의 비율 †단순 강도에 의한 강도 보정 및 시공두께 보정값

5. 결론

- 1) Sprayed FRP의 휨 및 전단보의 보강효과는 일반 FRP Sheet와 유사한 보강효과를 나타냈으며, 설계두께로 시공이 가능할 경우 보강효과에 대한 기대치는 매우 높은 것으로 판단된다.
- 2) 전단보의 경우 측면보강된 실험체는 U형 보강에 비하여 전단내력이 다소 감소하지만, 보강방법에 따른 전체 전단성능에 미치는 영향은 작은 것으로 나타났다.
- 3) 향후, 휨보의 B-VG-SB실험체 및 전단보의 탄소단섬유 보강에서 나타난 불완전 경화로 인한 조기박리, 두께보정의 정확도에 관한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 GS건설(주)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 연구에 많은 도움을 주신 상영엔지니어링(주), 정도이앤피(주), (주)콘크리닉에 감사드립니다.

참고문헌

1. Toshiyuki Kanakubo, Tomoki Furuta, Keisuke Takahashi and Takeshi Nemoto "SPRAYED FIBER-REINFORCED POLYMERS FOR STRENGTHENING OF CONCRETE STRUCTURES". URL <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/kanakubo/>.
2. Bindiganavile, V. and Banthia, N. 2002. "Impact Resistance of Ultra High Strength Fiber Reinforced Cement Composites". ACI Materials Journal, Vol. 99, No. 6, November-December 2002, pp. 543-548. American Concrete Institute.