

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

- 철근콘크리트 전단기둥의 보강성능 평가 -

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

- Strengthening performance of Reinforced Concrete Shear Columns -

이 강 석\* 변 인 희\*\* 손 영 선\*\*\* 이 문 성\*\*\* 이 성 호\*\*\*\* 이 리 형\*\*\*\*  
Lee, Kang Seok Byeon, In Hee Son, Young-Sun Lee, Moon Sung, Li, Cheng-Hao Lee, Li-Hyung

### ABSTRACT

In this study, a seismic performance of reinforced concrete columns strengthened by a sprayed fiber reinforced polymer (SFRP) is investigated. For this purpose, six column specimens approximately scaled into 2/3, are designed and tested under a constant axial load, 10% of the nominal axial strength of column, and pseudo-static reversed cyclic lateral loading system. Four specimens are strengthened by Sprayed FRP using different combinations of short fibers (carbon or glass fiber) and resins (epoxy or vinyl ester). For comparison, the test investigated in this study also includes a specimen strengthened using carbon fiber reinforced polymer (CFRP), and also a control specimen without strengthening.

The results revealed that specimens strengthened using SFRP showed a improved structure behavior, compared to control specimen, in terms of strength, ductility, lateral drift capacity, and energy-absorbtion capacity. In addition, compared to the specimen strengthened using CFRP, Sprayed FRP-strengthened specimens reasonably showed a equivalent seismic performance.

### 1. 서론

Sprayed FRP 보강법은 탄소 및 유리 단섬유(short fiber)와 에폭시 및 비닐 에스테르 수지(Resin)을 외기에서 혼합하여 철근 콘크리트 구조물 표면에 분사를 통하여 보강하는 방법이다. 기존 연속 섬유 시트 보강법과 비교하여 향상된 시공성 및 인건비 절감의 장점을 갖고 있다.

하지만 국내·외적으로 Sprayed FRP 공법에 관한 연구 결과는 드문 것이 현실이다. 기존 연구자들에 의하여 수행된 Sprayed FRP 보강법에 관한 연구는 비닐에스테르가 중심이 된 재료 특성을 규명하는데 초점이 맞추어 졌으며 에폭시 수지를 이용한 연구는 전무하다. 한편, Fruta<sup>1)</sup> 및 Bantia<sup>2)</sup>의 경우는 구조체와 FRP 보강체와의 부착 및 정착 특성에 대해서도 다루었으며, 특히 구조적 거동을 보를 중심으로 파악하였다.

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

\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과 석사과정

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

\*\*\*\* 정회원, 북경공업대학교 건축공정학원 부교수, 공학박사

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

본 연구의 목적은 Sprayed FRP 공법을 이용하여 보강된 철근콘크리트 전단 파괴형 기둥의 내진보강 성능을 실험적으로 규명하는데 있다. 이러한 목적을 수행하기 위하여 2/3 크기로 축소된 총 6개의 기둥 실험체를 제작하였다. 4개의 실험체는 선행의 재료시험 결과를 바탕으로 단섬유 (유리 및 탄소 단섬유) 와 수지 (에폭시 또는 비닐 에스테르)를 조합하여 Sprayed FRP로 보강하였다. 비교 목적을 위하여 고강도 탄소 섬유 시트로 보강된 실험체 1개와 보강 되지 않은 실험체 1개를 포함하였다. 구조 실험은 일정한 축하중 (0.1 Agfc)과 반복 횡하중을 이용하여 수행하였다.

## 2. 재료시험 및 보강 방법

구조실험에 앞서, 선행 연구에서 Sprayed FRP 공법에서 단섬유 길이, 섬유와 수지의 배합비율의 최적치를 재료시험을 실시하여 제안하였다. 또한 현행 탄소 섬유 시트와 구조적 성능 비교를 위하여, Sheet 1겹의 강도를 발휘하는데 필요한 두께를 결정하였다. 재료시험 변수와 시험결과는 표1에 나타낸 바와 같고, 재료시험 결과 유리섬유와 탄소섬유 모두 3.8cm길이의 배합비가 1:2일 때 최적 인장강도와 탄성계수를 나타내었다. 구조 실험용 실험체(4개)를 BINKS Poly Craft(주)의 기자재를 이용하여 목표 보강두께로 분사하여 제작하였다.

표 1 재료시험 일람

섬유	재료 시험 변수				재료 시험 결과						
	단섬유길이 [cm]				최적 변수*	최대 인장응력 [kg/cm <sup>2</sup> ]		보강두께 [mm]			
	배합비율†		배합비율 ‡			VE	E	VE	E		
유리섬유	1.4	2.8	3.8	5.6	1:4, 1:3, 1:2	1:3, 1:2.5, 1:2	3.8/1:2	1131.48	1193.05	4.2	4.4
탄소섬유	2.8		3.8		1:3, 1:2	1:2.5, 1:2	3.8/1:2	1290.64	1898.07	3	4

Note: †섬유:비닐에스테르; ‡섬유:에폭시; \*섬유길이/배합비율; VE: Vinyl ester; E: Epoxy.

## 3. 실험체 계획, 설치 및 측정 장치

실험계획, 실험체 설치 및 측정 장치를 그림 1에 나타내며, 모든 실험체는 보강을 하지 않은 상태의 표준 실험체와 동일하게 제작하였다.(표2 실험체 일람 참조) 표준 실험체는 전단파괴가 발생되도록 설계하였다. 축력은 0.1f'cAg 값인 48ton을 실험체 양쪽에 설치된 100t Actuator를 이용하여 가력하였으며, 반력벽에 설치된 200t Actuator를 이용하여 변위제어 방식으로 수평하중을 가력 하였다. 한편, 실험체에 역대칭 모멘트가 발생하도록 횡력을 가하는 Actuator의 가력 포인트를 실험체의 중심에 일치시켰으며, 횡 변위는 수평 부재각에 따라 1/400, 1/200, 1/100, 1/67, 1/50, 1/33, 1/20, 1/15까지 각 3cycle씩 단계별로 점중 가력 하였다.

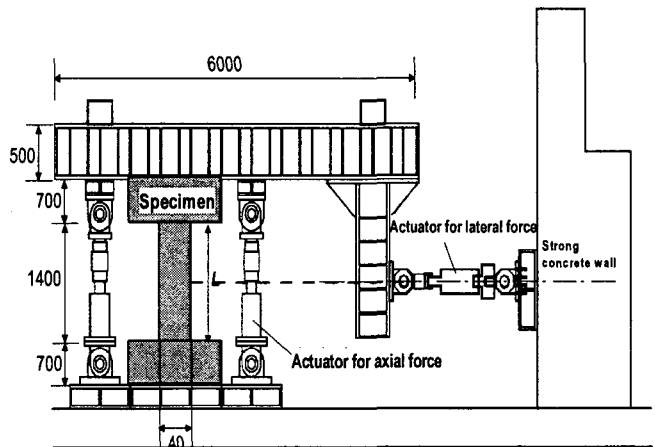


그림 1. 실험체 설치

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 실험 결과

그림 2에서 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내었고, 실험체 일람 및 분석을 표2에서 정리하였다. 모든 실험체의 최종 파괴 모드는 전단에 의해 지배되었으며, Sprayed FRP 보강 실험체의 경우 기준 실험체 대비 약

10%~30%의 강도증진을 보였다. 실험체 중 고강도 섬유 시트 보강 실험체(C-CFS)가 가장 큰 최대강도를 나타냈고, Sprayed FRP 보강 실험체 가운데 최대 강도를 나타낸 C-S-GE 실험체는 C-CFS 강도의 80%를 확보하였다. 한편, Sprayed FRP 보강 방법에 따른 강도 증가의 차이는 다소 있는 것으로 판단되며, 향후 변형능력과 더불어 상세한 검토가 필요하다고 사료된다.

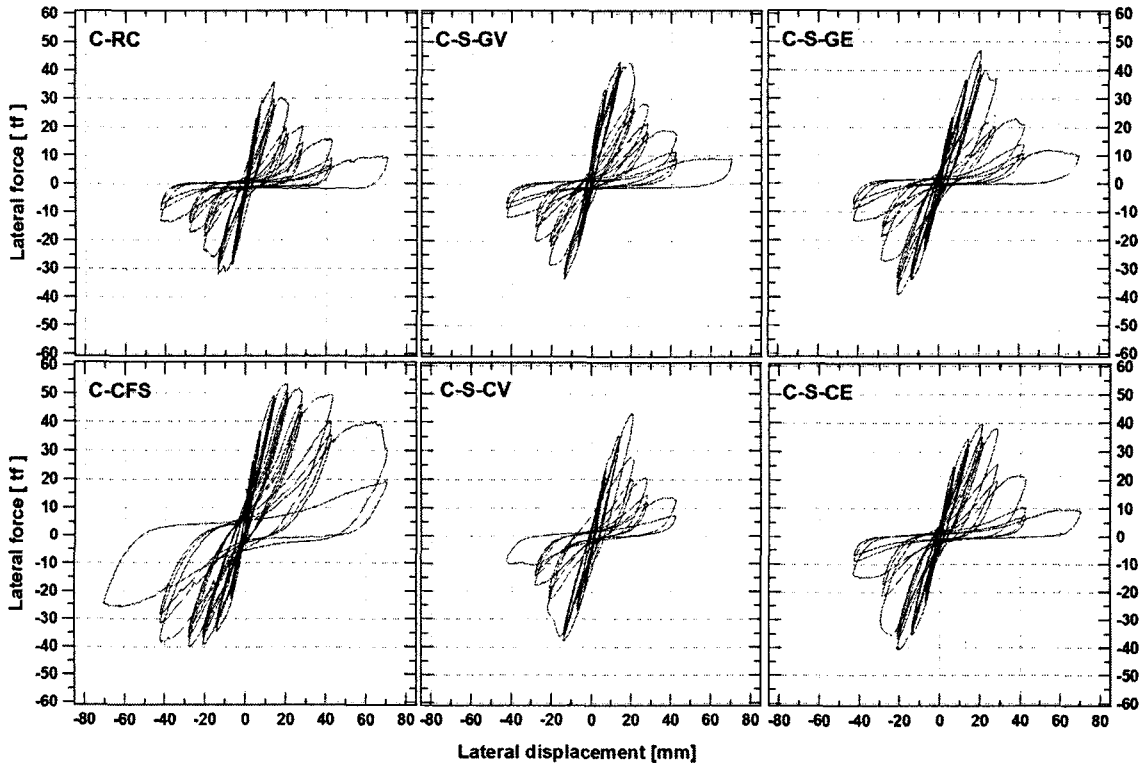


그림 2. 하중-변위 곡선

표2. 실험체 일람 및 분석

Mark	$\rho_s$ [%]	$\rho_w$ [%]	$Q_{max}$ [tonf]	$\delta_{max}$ [mm]	최종파괴양상	보강 종류		
C-RC	0.97	0.14	36.0	14.1	-	N.A	N.A	N.A
			-32.1	-14.0				
C-S-GV	0.97	0.14	42.9	13.8	보강재박리	Sprayed	유리 단섬유	비닐 에스테르
			-33.4	-14.0				
C-S-GE	0.97	0.14	46.9	21.0	실험체+보강재박리	Sprayed	유리 단섬유	에폭시
			-38.7	-19.5				
C-S-CV	0.97	0.14	43.2	20.5	실험체+보강재박리	Sprayed	탄소 단섬유	비닐 에스테르
			-36.2	-13.9				
C-S-CE	0.97	0.14	39.8	21.0	실험체+보강재박리	Sprayed	탄소 단섬유	에폭시
			-40.5	-20.9				
C-CFS	0.97	0.14	53.2	20.6	시트박리	Sheet	탄소섬유시트	에폭시
			-39.9	-27.8				

Note: S/D : 전단 스패너,  $\rho_s$ : 휨철근비,  $\rho_w$ : 전단 철근비  $Q_{max}$ : 최대 내력  $\delta_{max}$ : 최대변위

S:spray G:glass fiber C:carbon fiber CFS:carbon fiber sheet V:vinyl ester resin E:epoxy resin

