

구조적 손상을 입은 철근콘크리트 보의 전단보강 효과에 관한 연구

A Study on the Shear Strengthening Effect of Reinforced Concrete Beams with Structural Damage

신용석* 김정훈** 김정섭*** 김광석**** 조철희*****
Shin, Yong-Seok Kim, Jeong-Hoon Kim, Jeong-Sup Kim, Kwang-Seok Cho, Cheol-Hee

Abstract

This study examines shear capacity performance and structural characteristics of reinforced concrete beam using carbon fiber sheet(CFS), glass fiber sheet(GFS), glass fiber steel plate(GSP) and carbon fiber bar CB) which are reinforcing materials for reinforced concrete beam in order to produce similar condition to repair and reinforce actual structure and aims to provide data available in designing and constructing reinforced concrete structures under the structural damage. This study obtains the following conclusions.

After considering the shear experiment results, it was indicated that the CB reinforced test object was the best in the shear capacity improvement and ductility capacity as it was contained in the concrete and was all operated. Also, GFS reinforced test object indicated the reduced flexural capacity but good shear capacity.

GSP reinforced test object had bigger reinforcing strength than other reinforcing test objects. On the other hand, it showed the lowest reinforcement effect as compared section thickness of reinforced material because it showed the bigger relativity a section thickness of reinforced material. If the adherence to the concrete is improved, it will seem to show bigger reinforcement effect.

키워드 : 선가력, 전단 보강, 섬유시트, 유리섬유-강판 복합플레이트, 매입형 탄소섬유막대
Keywords : pre-loading, Shear Strengthening, Fiber Sheet, Glass-Fiber-Steel Plate, Carbon Fiber Bar

1. 서 론

사용하중 초과 및 단면 손실에 따른 부재 내력 부족에 의해 구조적 손상을 입은 철근콘크리트 구조물에 보수-보강이 필요하다.

철근콘크리트 부재의 보강은 강판, 섬유시트 등을 부착하거나, 또는 외부의 post-tensioning에 의해서 이루어지고 있다.

그중 강판보강은 자중, 보강 방법의 제한성, 환경조건에 대한 내후성 등의 문제점으로 인하여, 최근에는 시공성, 가공성, 경량성 그리고 강도적인 측면 등 여러 가지 장점을 지닌 섬유계 보강재(탄소섬유시트, 유리섬유시트, 탄소섬유막대 등)의 사용이 일반화 되고 있으며, 이에 따른 연구도 증대되고 있는 실정이다.

그러나 사용이 증가되고 있는 섬유계 보강재는 시공지침이나 명확한 기준 등이 제정되어 있지 않기 때문에 보강재의 제

품설명서나 제작회사의 시공지침 등에 의존하여 보강공사를 수행하는 실정이다.

따라서 명확한 시공지침의 정립과 기준의 제정이 요구되며, 실제 적용 가능한 보강방법의 연구가 수반되어야 한다.

본 연구는 선가력 후 섬유계 보강재인 탄소섬유시트(CFS)와 유리섬유시트(GFS) 유리섬유-강판 복합플레이트(Glass Fiber-Steel Plate ; 이하 GSP), 매입형 탄소섬유막대(이하 CB) 등을 사용하여 보강한 철근콘크리트 보의 전단 내력 성능 및 구조적 특성을 파악한다. 또한 구조물의 특성에 따른 적절한 보강방법을 검토하여 구조적 손상을 받은 철근콘크리트 구조물의 전단 보강 설계 및 시공에 적용할 수 있는 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 실험 계획 및 재료

2.1 실험계획

본 연구에서는 보강재의 종류에 따라 3개씩 철근콘크리트 보 실험체를 제작한다. 실험체는 동일 단면 및 동일 배근량을 가지는 복근보로 제작한다.

* 조선대학교 건축공학과 박사과정, 정회원
** 조선대학교 군사학부 교수, 정회원, 교신저자 (kimjh1950@chosun.ac.kr)
*** 조선대학교 건축학부 교수, 정회원
**** 서강정보대학 건축과 교수, 정회원
***** (주)한국구조안전연구원 대표이사, 정회원

콘크리트의 강도는 설계기준강도(f_{ck})가 24MPa, 슬럼프값은 12cm인 레미콘을 사용한다.

실험체는 강도설계법으로 동일하게 설계하며, 실험체의 크기는 그림 1과 같이 150(b)×250(D)×2,100(L)mm로 제작한다. 실험체에 사용된 철근은 SD400을 사용하여 상·하부에는 HD13 배근하고, 스티립은 250mm 간격의 D10을 사용하며 피복두께는 30mm로 한다.

철근은 거푸집에 넣기 전에 철근 스트레인게이지(Strain Gauge ; 이하 S.G)를 부착하여 조립하고, 철근 양끝에는 충분한 길이의 갈고리를 만들어 실험도중 콘크리트와 철근간의 부착강도가 저하되지 않도록 한다.

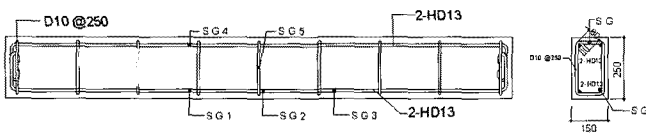
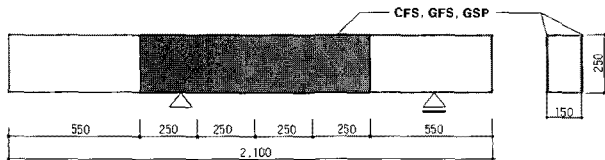
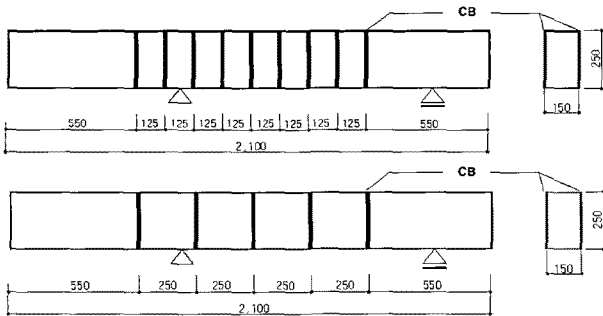


그림 1. 실험체의 철근 배근 상세도



(a) CFS, GFS, GSP 전단 보강 실험체



(b) CB 사용 전단 보강 실험체

그림 2. 보강 재료별 전단보강 실험체 보강도



(a) GSP 보강 (b) CB 보강

그림 3. GSP, CB 전단 보강 전경

섬유계시트(탄소섬유시트, 유리섬유시트), 유리섬유-강판 복합플레이트, 매입형 탄소막대, 에폭시수지는 제조회사에서

공인시험기관에 의뢰하여 얻은 시험성적서의 물성값을 적용한다. 예비실험에서는 강도별 기준실험체를 완전 파괴될 때까지 가력후 최대 내력을 파악하여 기준실험체의 최대내력으로 결정한다.

실험체는 기준실험체의 극한 최대하중의 약 80%로 가력하여 손상을 입히고, 가력에 의해 발생한 균열에 대해 에폭시 보수 후 보강재료 별로 에폭시 정착공법으로 보강을 실시한다.

본 실험에서는 각 변수별로 보강한 실험체에 대해 가력초기에는 하중제어 방식, 항복이후에는 변위제어 방식으로, 완전파괴 될 때까지 3등분점 2점가력 방법으로 가력하여, 각각의 변수에 따른 구조적 특징 및 보강효과를 비교 검토한다.

표 1. 실험체의 분류

No	실험체명	보강위치	보강재종류	개수	보강길이
1	SNN	측면	기준실험체	3	-
2	SLR-1CFS		CFS	3	0.48ℓ
3	SLR-2CFS		CFS	3	
4	SLR-1GFS		GFS	3	
5	SLR-2GFS		GFS	3	
6	SLR-GSP		GSP	3	
7	SLR-1CB		CB	3	
8	SLR-2CB		CB	3	

2.2 사용재료

본 실험에 사용된 재료는 K.S규준에 정하는 것을 사용하였으며, 재료별 성질은 표 2 ~ 표 4와 같다.

표 2. 콘크리트 배합

물-시멘트 비(%)	잔골재율 (%)	콘크리트 배합량(kg/m ³)			
		시멘트	물	잔골재	굵은골재 AD
47.8	46.5	393	188	768	902

표 3. 철근의 물리적 성질

구분	단면적 (mm ²)	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)
D10	71	388.0	486.5	28.2
D13	127	487.3	607.2	14.3

표 4. 보강재료의 물리적 성질

종 류	두께 (mm)	탄성계수 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)
CFS	0.11	2.35×10 ⁶	3,550
GFS	1.30	2.52×10 ⁶	560
GSP	10	1.53×10 ⁸	3,100
CB	6	1.53×10 ⁶	1,670

3. 실험 방법

본 실험은 재령 30일이 경과한 후 그림 4와 같이 만능구조 실험기가 설치된 실험실에서 실시하며 단순지지 상태로 내민

연속보의 형태를 갖추어 DT1과 DT2의 위치에서 순수한 전단력을 받도록 보를 설치하여 실험체가 완전 파괴될 때까지 가력 후 극한 전단내력을 결정한다.

균열의 진행 상황은 하중을 가력하면서 하중 단계에 따라 발생하는 균열을 유성펜을 사용하여 위치와 하중을 표시하면서 파악한다.

가력은 초기에는 1kN의 단위의 하중 제어 방식으로 가력하며 항복 이후에는 변위 2mm마다 데이터를 측정하는 변위 제어 방식으로 재하한다. 가력관 상부에 Load Cell을 설치하여 가력단계에 따른 하중을 측정한다.

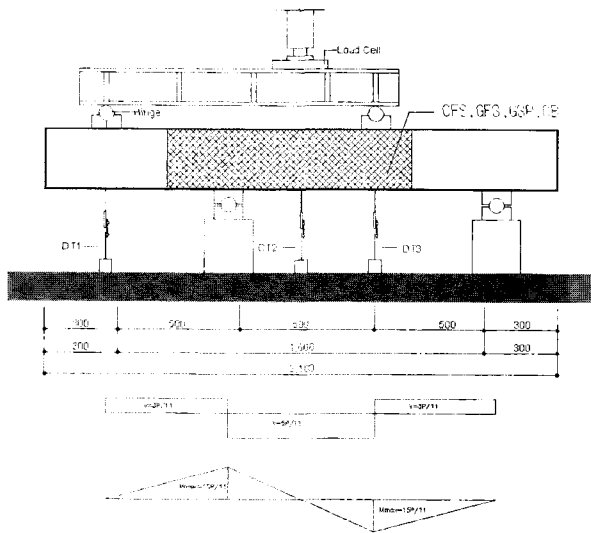


그림 4. 가력장치 및 측정장치

한 실험체는 32.8~36.5% 정도 전단내력이 증가하였다.

표 5. CFS 전단보강 실험체별 실험결과

실험체명	초기 균열		항복하중		극한전단하중		
	P_{cr} (kN)	P_{ys} (kN)	δ_{ys} (mm)	실험값/기준값	P_{us} (kN)	δ_{us} (mm)	실험값/기준값
SNN-1	58.5	92.3	2.74	0.91	130.8	4.30	0.99
SNN-2	66.6	104.7	3.22	1.02	130.2	4.48	0.99
SNN-3	63.0	108.3	2.68	1.06	134.0	4.24	1.01
SLR-1CFS1	99.1	119.2	3.48	1.17	148.5	4.82	1.13
SLR-1CFS1	100.2	143.5	5.02	1.41	175.2	7.74	1.33
SLR-1CFS3	107.4	128.3	3.92	1.26	151.1	5.17	1.15
SLR-2CFS1	118.5	139.6	5.41	1.37	174.2	8.75	1.32
SLR-2CFS2	104.7	123.2	4.15	1.21	154.8	6.86	1.18
SLR-2CFS3	106.5	129.1	3.84	1.27	161.5	6.66	1.23
SLR-1GFS1	85.9	137.0	4.22	1.35	170.4	5.99	1.29
SLR-1GFS2	81.7	138.1	4.32	1.36	171.6	6.48	1.30
SLR-1GFS3	86.4	139.0	3.14	1.37	169.8	4.66	1.29
SLR-1GFS1	85.9	137.0	4.22	1.35	170.4	5.99	1.29
SLR-1GFS2	81.7	138.1	4.32	1.36	171.6	6.48	1.30
SLR-1GFS3	86.4	139.0	3.14	1.37	169.8	4.66	1.29
SLR-2GFS1	89.1	142.4	3.86	1.40	178.4	6.38	1.35
SLR-2GFS2	90.3	139.2	3.62	1.37	174.9	6.64	1.33
SLR-2GFS3	88.6	143.0	4.00	1.40	179.8	5.90	1.37
SLR-GSP1	95.6	186.3	4.34	1.83	233.0	5.72	1.77
SLR-GSP2	98.8	181.4	4.44	1.78	226.4	5.42	1.72
SLR-GSP3	96.8	190.0	3.40	1.87	237.4	6.02	1.80
SLR-1CB1	67.8	134.0	4.38	1.32	167.6	6.76	1.27
SLR-1CB2	63.1	132.5	3.70	1.30	166.0	6.26	1.26
SLR-1CB3	67.4	133.3	4.28	1.31	168.0	6.28	1.28
SLR-2CB1	69.3	146.5	3.62	1.44	182.6	5.94	1.39
SLR-2CB2	70.0	151.0	4.50	1.48	189.6	7.26	1.44
SLR-2CB3	69.4	140.0	4.52	1.38	174.8	7.30	1.33

4. 실험 결과 및 분석

4.1 실험결과

보강재료, 보강접수에 따른 전단보강 실험체의 실험결과는 표 5 및 그림 5~그림 12와 같다.

전단 보강 실험체별 내력 증가는 모든 보강 실험체가 기준 실험체보다 높게 나왔으며, CFS 보강 실험체가 22.2%, GFS 보강 실험체가 32.2%, GSP 보강 실험체가 76.4%, CB 보강 실험체가 32.7% 정도 내력증가를 나타내어 보강 실험체 중 GSP보강 실험체가 가장 높은 내력 증가를 보였다.

CFS 전단 보강한 실험체별 실험 결과, 기준실험체에 비해 1점으로 보강한 실험체는 12.8~33.0% 정도, 2점으로 보강한 실험체는 17.5~32.3% 정도 전단내력이 증가하였다.

전단보강 접수에 따라 비교했을 경우, 2점으로 보강한 실험체가 1점으로 보강한 실험체보다 3.9% 정도 높게 나타났다.

GFS 전단 보강한 실험체별 실험 결과, 기준실험체에 비해 1점으로 보강한 실험체는 28.9~30.3% 정도, 2점으로 보강

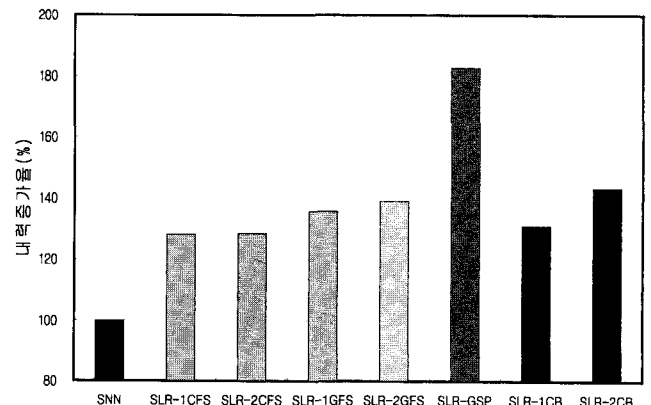


그림 5. 전단 보강 실험체별 극한내력 증가율

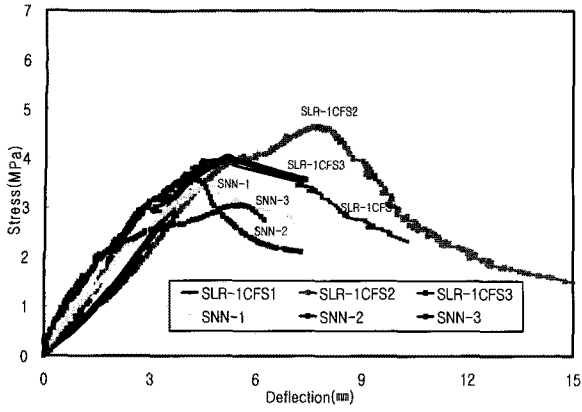


그림 6. 1CFS 전단보강 실험체별 응력-처짐 곡선

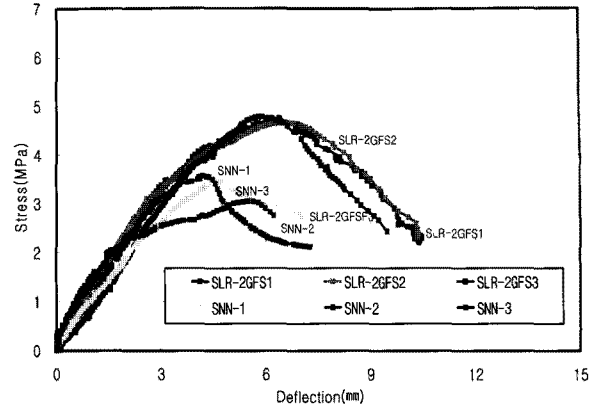


그림 9. 2GFS 전단보강 실험체별 응력-처짐 곡선

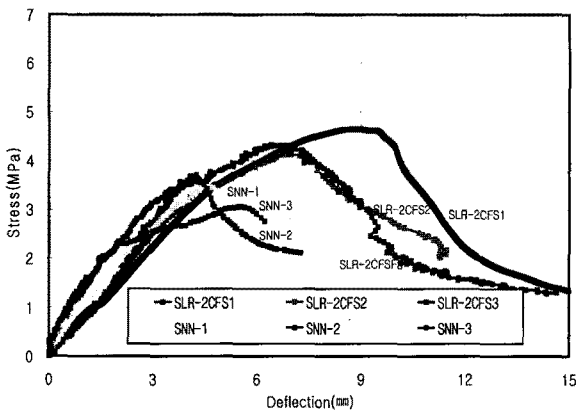


그림 7. 2CFS 전단보강 실험체별 응력-처짐 곡선

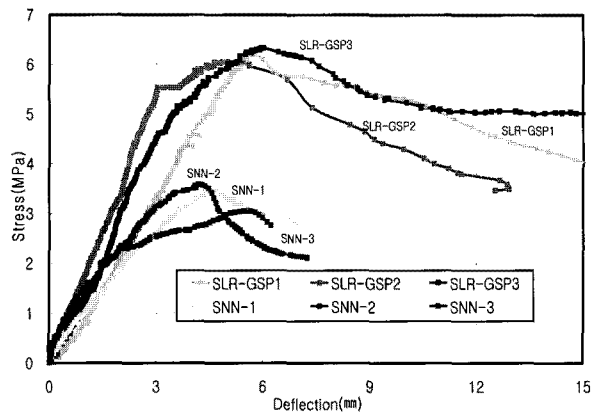


그림 10. GSP 전단보강 실험체별 응력-처짐 곡선

전단보강 겹수에 따라 비교했을 경우, 2점으로 보강한 실험체가 1점으로 보강한 실험체보다 5.4% 정도 내력증가를 보였다. 이는 앞의 CFS 전단보강 실험체와 마찬가지로 보강 겹수 증가에 따라 미비한 내력 증가를 보인 것은 보강겹수의 증가에 비해 콘크리트 모체와의 부착력성능은 유사하여 보강재의 재료적 특성을 제대로 발휘하지 못한 것으로 사료된다.

따라서 CFS, GFS로 전단보강함에 있어서 충분한 부착강도가 확보된다면 1점으로 보강여도 충분한 보강효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

GSP 전단 보강한 실험체별 실험 결과, GSP가 다른 보강재에 비해 보강재의 단면 및 강도 등으로 인해서 다른보강 실험체에 비해서 71.9~80.3%의 높은 내력을 보였다.

CB 전단 보강한 실험체별 실험 결과, 보강을 250mm 간격으로 보강한 실험체는 26.0~27.6% 정도, 125mm 간격으로 보강한 실험체는 32.7~44.0% 정도 전단내력이 증가하였다.

CB 전단 보강 간격에 따라 비교했을 경우, 125mm 간격으로 보강한 실험체가 250mm 간격으로 보강한 실험체보다 11.5% 높은 내력 증가를 보였다.

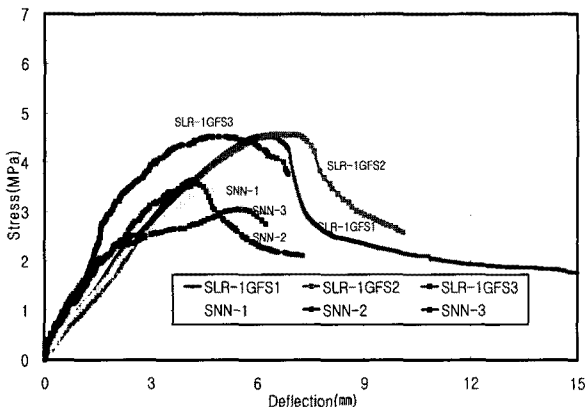


그림 8. 1GFS 전단보강 실험체별 응력-처짐 곡선

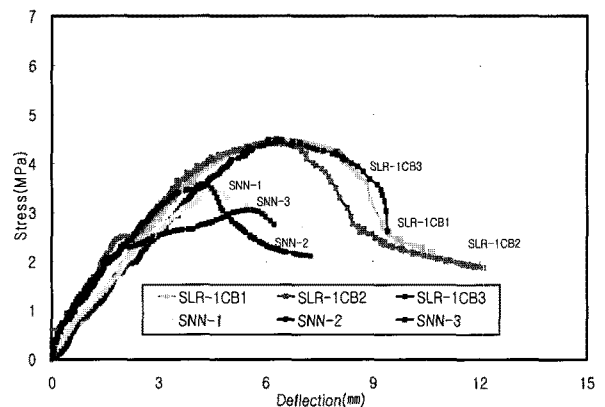


그림 11. 1CB 전단보강 실험체별 응력-처짐 곡선

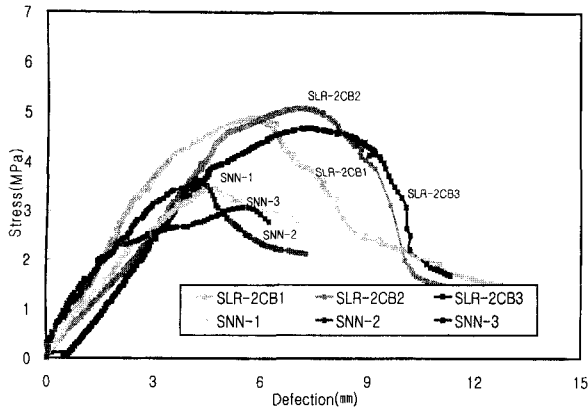


그림 12. 2CB 전단보강 실험체별 응력-처짐 곡선

4.2 실험체의 파괴형태

기준 실험체의 극한하중의 80%로 선가력 했을 때의 변위는 $\delta_{max}=7.3mm$ 정도였으며, 보의 손상정도는 미세한 균열 (균열 폭 0.1mm 미만)이 보의 중앙부 및 단부에서 시작되어 단부로 전단균열이 증가되는 양상을 나타냈다.

선가력 후 보강재별로 전단 보강한 실험체의 파괴 양상은 표 6 및 그림 13과 같다.

표 6. 전단보강 실험체별 파괴형태

실험체명	파괴형상	비고
SLR-1CFS1	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1CFS1	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1CFS3	단부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-2CFS1	중앙부 전단파괴	
SLR-2CFS2	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-2CFS3	중앙부 전단파괴	
SLR-1GFS1	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1GFS2	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1GFS3	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-2GFS1	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-2GFS2	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-2GFS3	중앙부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1GSP1	단부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1GSP2	단부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1GSP3	단부 전단파괴 + 보강재 박리	
SLR-1CB1	중앙부 전단파괴	
SLR-1CB2	중앙부 전단파괴	
SLR-1CB3	중앙부 전단파괴	
SLR-2CB1	중앙부 전단파괴	
SLR-2CB2	중앙부 전단파괴	
SLR-2CB3	중앙부 전단파괴	

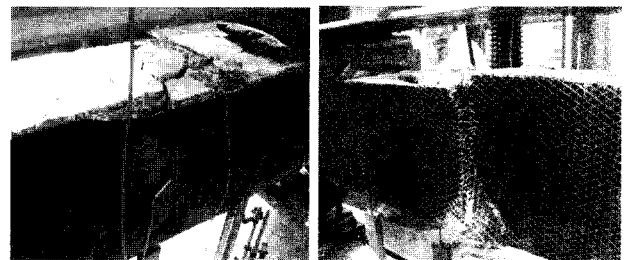
CFS 전단보강 실험체의 파괴는 1CFS1, 1CFS2, 2CFS2 실험체는 중앙부가 전단파괴되어 보강재가 분리되면서 파괴되었다. 1CFS3 실험체는 단부 전단파괴 되어 보강재가 분리

되면서 파괴되었다. 2CFS1, 2CFS3 실험체는 중앙부에서 전단파괴 되었다.

GFS 전단보강 실험체의 파괴는 모든 실험체가 중앙부 전단파괴에 의해서 보강재가 분리되면서 파괴되었다.

GSP1, GSP2 전단보강 실험체의 파괴는 다른 보강재와 달리 단부 전단파괴 되었다. 이는 GSP로 전단 보강했을 경우 보강재 자체의 내력은 큰데 반해서 콘크리트와 부착성이 떨어져 콘크리트와 보강재가 분리되면서 단부에서 전단파괴가 일어난 것으로 사료된다.

CB 전단보강 실험체의 파괴는 모든 실험체가 중앙부에서 전단파괴 되었으며 콘크리트와 매입형 탄소막대가 일체성이 확보되면서 보강재의 분리 현상은 나타내지 않은 것으로 사료된다.



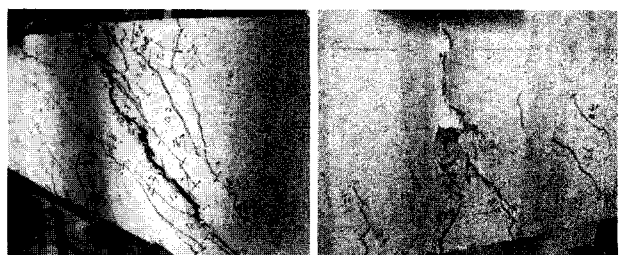
(a) CFS 전단 보강 실험체



(b) GFS 전단 보강 실험체



(c) GSP 전단 보강 실험체



(d) CB 전단 보강 실험체

그림 13. 실험체별 파괴형태

4.3 보강재 단면적에 대한 보강효과

보강 실험체의 보강효과는 보강재의 인장강도에 실험체의 전단 보강재 단면적을 곱하여 보의 단면적으로 나누어서 보강하중을 구하였으며, 이를 실험체별 극한 전단하중과 비교하였다.

전단 보강실험체별 보강재 단면적에 대한 실험체의 보강효과는 표 7, 그림 14와 같으며 CFS 전단 보강 실험체의 경우 1CFS 실험체는 140% 정도, 2CFS 실험체는 70% 정도 보강 단면적에 대한 보강효과를 보였다.

보강접수(보강재 단면적)에 따라 비교했을 경우 1점으로 전단 보강한 실험체가 2점으로 전단 보강한 실험체보다 보강 단면적 대비 50%정도 높은 보강효과를 나타내었다.

표 7. 전단 보강 단면적에 대한 실험체별 보강효과

실험체명	보강재 인장강도 (MPa)	보강 단면적 (mm ²)	보단면적 (mm ²)	보강 하중 (kN)	최대하중/보강하중
SLR-1CFS	3,550	33	37,500	3.1	1.7
SLR-2CFS	3,550	66		6.2	0.7
SLR-1GFS	560	390		5.8	0.8
SLR-2GFS	560	780		11.6	0.7
SLR-GSP	3,100	900		74.4	0.1
SLR-1CB	1,670	158		7.0	0.6
SLR-2CB	1,670	315		14.0	0.3

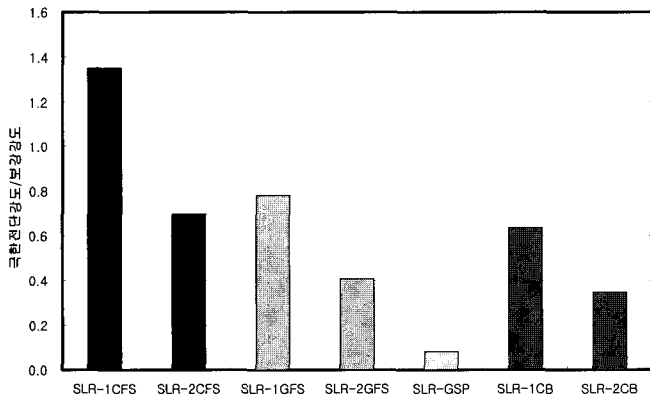


그림 14. 전단 보강재 단면적에 대한 실험체별 보강효과

GFS 전단 보강 실험체의 경우 1GFS 실험체는 80% 정도, 2GFS 실험체는 40% 정도 보강재 단면적에 대한 보강효과를 보였다.

GFS 보강접수(보강재 단면적)에 따라 비교했을 경우 1점으로 전단 보강한 실험체가 2점으로 전단 보강한 실험체보다 보강재 단면적에 대한 50%정도 높은 보강효과를 나타내어 앞의 CFS 보강효과와 마찬가지로 GFS도 보강접수가 증가하여도 보강하는 콘크리트 면과 섬유시트가 부착성이 유사하여 보강재 단면적 대비 보강효과는 증대되지 않는 것으로 사료된다.

GSP 실험체는 8% 정도로 다른 보강재에 비해 보강 단면적

에 대한 보강효과는 다소 저하되는 것으로 나타났다. 이는 GSP 보강재의 단면이 상대적으로 큰데 비해 GSP 보강 실험체가 파괴될 때 보강재와 콘크리트 모체와의 부착성능은 유사한데 기인한 것으로 사료된다.

CB 전단 보강 실험체의 경우 1CB 실험체는 60% 정도, 2CB 실험체는 30% 정도 보강재 단면적에 대한 보강효과를 보였다.

CB 보강간격(보강재 단면적)에 따라 비교했을 경우 250mm 간격으로 전단 보강한 실험체가 125mm간격으로 전단 보강한 실험체보다 높은 보강효과를 나타내어 앞의 CFS, GFS 보강효과와 마찬가지로 CB 보강실험체도 보강재 단면적이 증가하여도 보강하는 콘크리트 면과 보강재의 부착성이 유사하여 보강효과는 보강재 단면 증가비에 따라 증대되지 않는 것으로 사료된다.

4.4 실험체의 연성평가

보는 전단 및 휨에 대해 동시에 저항하는 특성을 갖는 부재로서, 부재의 연성을 평가하기 위해서 부재 항복시의 처짐을 기준으로 하여 부재 파괴시의 처짐을 비율적으로 나타낸다.

본 논문에서는 구조물이 견딜 수 있는 최대하중을 더 이상 지지할 수 없을 때 파괴된다고 하는 파괴의 개념에 따라 ACI Committee 363의 연성계수를 정의하는 다음 식을 적용한다.

$$\mu_u = \delta_u / \delta_y$$

μ_u : 최대하중시의 연성계수

δ_u : 최대하중에 대응하는 변위

δ_y : 부재항복시의 변위

표 8. 전단 보강 실험체별 연성 비교

실험체명	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ_u	연성비 (실험값/기준값)
SNN-1	2.88	4.34	1.51	1.00
SLR-1CFS	4.14	5.91	1.42	0.93
SLR-2CFS	4.47	7.42	1.67	1.10
SLR-1GFS	3.89	5.71	1.47	0.97
SLR-2GFS	3.83	6.31	1.65	1.09
SLR-GSP	4.06	5.72	1.44	0.95
SLR-1CB	4.12	6.43	1.57	1.04
SLR-2CB	4.21	6.83	1.62	1.07

CFS 전단 보강실험체의 연성은 기준실험체에 비해 1점으로 보강한 실험체는 7% 감소하였으며 2점으로 보강한 실험체는 10% 증가하였다.

CFS 보강접수에 따라 비교했을 경우 2점으로 보강한 실험체가 1점으로 보강한 실험체에 비해 17% 연성 증가를 보였다.

GFS 보강접수에 따라 비교했을 경우 2겹으로 보강한 실험체가 1겹으로 보강한 실험체에 비해 12% 연성 증가를 보였다. 앞의 CFS 보강 실험체와 마찬가지로 보강접수의 증가에 의해서 최대하중의 변위가 증가하여 기준실험체에 비해 1겹 보강 실험체는 3% 감소, 2겹으로 보강한 실험체는 9% 증가를 보였다.

GSP 전단 보강실험체의 연성은 기준실험체에 비해 5% 낮게 나타났다.

CB 전단 보강실험체의 연성은 기준실험체에 비해 보강 간격 125mm 실험체가 4%, 250mm 실험체는 7% 연성이 높게 나타났다.

CB 전단 보강 간격에 따라 비교했을 경우, 보강 간격 250mm 실험체가 125mm 실험체보다 3% 정도 연성 증가를 보였다.

보강재별 전단 보강 실험체의 연성 능력을 정리하면 GSP 전단보강 실험체는 CFS와 GFS 비해 낮은 연성을 보이는 것은 유리섬유-강판 복합플레이트 판재의 자체 강성 증대에 의해서 CFS, GFS 보강에 비해 다소 낮은 연성을 보이는 것으로 사료된다. CB 전단 실험체의 경우는 콘크리트 모체에 매입되므로 해서 구조체와 일체 거동함으로써 기준실험체에 비해 높은 연성을 나타낸 것으로 사료된다.

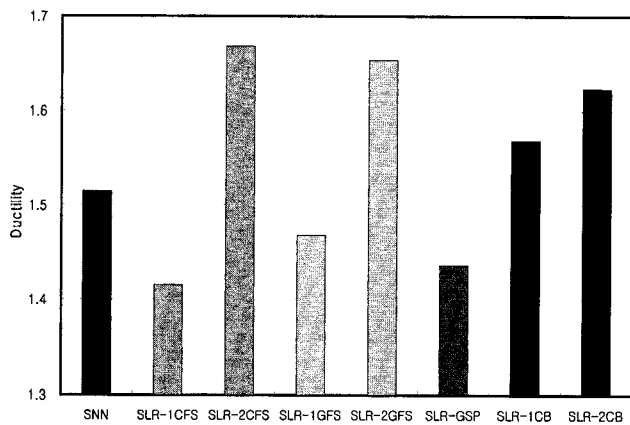


그림 17. 전단 보강 실험체별 연성 비교

4.5 실험체의 강성평가

강성은 일반적으로 하중-처짐 곡선의 기울기로 정의된다. 부재에 대한 강성은 초기강성(KE)과 소성역에서의 강성(KP)으로 나눌 수 있으며, 다음 식과 같이 정의 된다.

$$\text{초기강성} : K_E = \frac{P_{ys}}{\delta_{ys}}$$

$$\text{소성역의 강성} : K_P = \frac{P_{us} - P_{ys}}{\delta_{us} - \delta_{ys}}$$

P_{us} : 극한 전단하중(N)

δ_{us} : 극한 전단하중일 때의 변위(mm)

P_{ys} : 항복 전단하중(N)

δ_{ys} : 극한 전단하중 일때의 변위(mm)

표 9. 전단 보강 실험체별 강성 비교

실험체명	K_E	초기 강성비 (실험값/기준값)	K_P	소성역 강성비 (실험값/기준값)
SNN-1	3.55	1.00	2.05	1.00
SLR-1CFS	3.19	0.90	1.73	0.84
SLR-2CFS	2.97	0.84	1.12	0.55
SLR-1GFS	3.62	1.02	1.82	0.89
SLR-2GFS	3.70	1.04	1.52	0.74
SLR-GSP	4.66	1.31	3.26	1.59
SLR-1CB	3.11	0.88	1.74	0.85
SLR-2CB	3.36	0.94	1.40	0.68

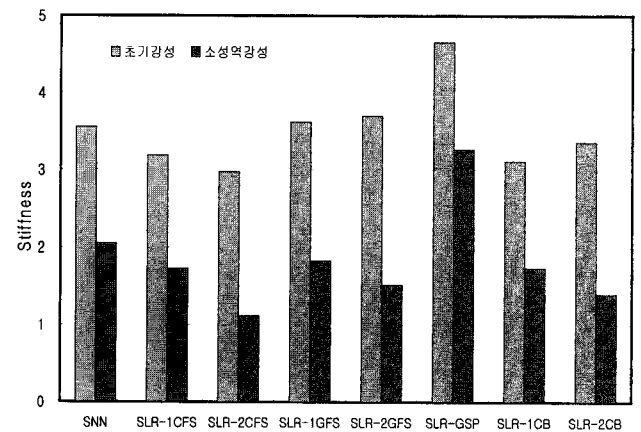


그림 18. 전단 보강 실험체별 강성 비교

CFS 전단 보강은 대체적으로 기준실험체에 비해 초기강성은 4.4~24.1% 정도, 소성역 강성은 12.5~58.6% 정도 낮게 나타났다.

CFS 보강 접수에 따라 초기강성을 비교했을 경우, 1겹으로 보강한 실험체가 2겹으로 보강한 실험체보다 7.2% 정도 강성이 높은 경향을 보였다.

소성역 강성은 1겹으로 보강한 실험체가 2겹으로 보강한 실험체보다 54.4% 정도 강성이 높은 경향을 보였다.

GFS 전단 보강은 대체적으로 기준실험체에 비해 초기강성은 1.1~12.7% 정도, 소성역 강성은 19.0~54.0% 정도 낮게 나타났다.

GFS 전단 보강 실험체 경우 초기강성은 2겹으로 보강한 실험체가 1겹으로 보강한 실험체보다 2.2% 정도 강성이 높은 경향을 보였다.

소성역 강성은 2겹으로 보강한 실험체가 1겹으로 보강한 실험체보다 20.2% 정도 강성이 높은 경향을 보였으며

CFS 전단 보강실험체와 마찬가지로 GFS 보강접수가 증가

할수록 전단 보강에 대한 강성은 낮은 경향을 보여 전단 보강 접수가 증가할수록 강성은 증가하는 것으로 사료된다.

GSP 전단 보강 실험체의 초기강성은 31.0% 정도, 소성역 강성은 59.4% 정도 기준 실험체의 강성 보다 높게 나타났다.

이는 다른 탄소섬유와 유리섬유시트와 달리 GSP가 판재 성질에 의한 것으로 연성은 떨어지고 강성은 증가한 것으로 사료된다.

CB 전단 보강 실험체의 경우 초기강성은 보강 간격 125mm 실험체는 12.4% 정도, 250mm 실험체는 5.6% 정도 기준 실험체에 비해 낮게 나타났다.

CB 전단 보강 실험체의 소성역 강성은 250mm 간격 실험체는 15.2%, 125mm 간격 실험체는 31.7%가 기준실험체에 비해 낮게 나타났다.

CB 전단 보강간격에 따라 초기강성을 비교했을 경우, 125mm 간격으로 보강한 실험체가 250mm 간격으로 보강한 실험체보다 24.1% 정도 강성이 높은 경향을 보였다.

5. 결 론

본 연구는 철근콘크리트 보에 대해 선가력하여 손상을 발생 후 CFS, GFS, GSP, CB 보강재별로 전단 보강에 따른 보강 효과, 연성, 강성 등을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 보강 실험체의 파괴 성상은 CFS 전단 보강 실험체의 경우, 중앙부의 전단파괴와 중앙부 및 단부에서 전단파괴에 따른 보강재가 박리되면서 파괴되었다.

GFS 전단 보강실험체의 경우, 중앙부에서 전단균열에 의한 보강재가 박리되면서 파괴되었다. GSP 전단 보강 실험체의 경우, 단부에서 전단균열에 의해 보강재가 박리되면서 파괴되었다. CB 전단 보강실험체의 경우 중앙부의 전단균열에 의해서 파괴되었다.

2) 보강 실험체별 내력 증가는 모든 보강 실험체가 기준 실험체보다 높게 나왔으며, CFS 보강 실험체가 120%, GFS 보강 실험체가 130%, GSP 보강 실험체가 180%, CB 보강 실험체가 130% 내력증가를 나타내어 보강 실험체 중 GSP보강 실험체가 가장 높은 내력 증가를 보였다.

3) CFS, GFS 전단보강 접수에 따라 비교했을 경우, 2겹으로 보강한 실험체가 1겹으로 보강한 실험체보다 미비한 내력증가를 보였다. 이는 보강접수의 증가에 비해 콘크리트 모체와의 부착력이 유사하여 보강재의 재료적 특성을 제대로 발휘하지 못한 것으로 사료된다.

따라서 CFS, GFS로 전단보강함에 있어서 충분한 부착 강도가 확보된다면 1겹의 보강만으로도 보강효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

4) 보강 재료별 전단 보강한 보강재의 단면적에 대한 보강 효과는 CFS가 102%로 가장 높았으며, GSP가 8%로 가장 낮게 나타났다. 이는 다른 보강재와 달리 GSP의 보강재 단면이 상대적으로 큰 편이지만 콘크리트 면과의 부착성은 유사하여 보강재의 단면적에 대한 보강효과는 상대적으로 적은 것으로 사료된다.

5) 보강 재료별 전단 실험체의 연성능력은 기준실험체에 비해 CB 보강 실험체가 106%, CFS 보강 실험체가 102%, GFS가 103%로 높고, GSP 보강 실험체는 95%로 낮게 나타났다.

이는 섬유계 보강재의 경우 연성이 우수한 것으로 판단되며, GSP 보강 실험체의 경우는 판재 특성상 자체 강성이 커서 연성이 저하되는 것으로 판단된다.

6) 보강 실험체의 강성은 기준실험체에 비해 보강 실험체 중 GSP 보강 실험체가 초기강성 및 소성역 강성이 높게 나왔으며, 다른 보강 실험체는 기준 실험체에 비해 다소 저하되는 경향을 보였다. 이는 보강재가 가지는 단면 강성의 차이 때문으로 사료된다.

7) 전단 보강 실험결과를 종합하면, CB 보강 실험체가 콘크리트 내부에 매입되어 일체 거동함으로써 전단내력 향상 및 연성능력 면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. GSP 전단 보강 실험체의 경우 다른 보강 실험체에 비해 가장 높은 내력 증가를 보였으나 상대적으로 보강재의 단면적이 커서 보강재의 단면적 기준으로 볼 때 가장 낮은 보강효과를 나타내었으며 콘크리트와 부착성만 개선한다면 보다 큰 보강효과를 발휘할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2007학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 김정섭외 2인, 전단 보강근이 없는 섬유보강 철근콘크리트 보의 특성에 관한 실험적 연구, 한국건축시공학회 논문집, 제3권 3호, pp.83~90, 2003.9
2. 김정섭외 3인, 선가력 후 휨 보강한 RC보의 보강 효과에 관

한 연구, 한국구조물진단유지관리학회 논문집, 제 10권 6호
pp.183~190, 2006.11

- b. 대한건축학회, 건축구조설계기준, 2005
- i. 백승민 외 2인, 구조적 손상을 받은 RC 보의 전단보강 효과에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제 20권 2호, pp.47~54, 1998, 2004.02
- ii. 신성우, 반병렬, 안종문, 조인철, 김영수, 조삼재, 탄소섬유시트의 보강량 및 정착길이가 RC보의 휨거동에 미치는 영향, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, pp.570~584, 1998
- iii. 심종성, 한만엽, 김규선, 이인범, 강판으로 보강된 RC보의 조기파괴제어에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트 학회학술논문집, pp.585~591, 1998
- iv. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 2007

(접수 2008. 5. 29, 심사 2008. 8. 1, 게재확정 2008. 10. 14)