

보강재를 사용한 철근 콘크리트 보의 내력보강에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Improved Bearing-Capacity of Reinforced Concrete Beam Using Reinforcement Materials

홍상균*
Hong, Sang Kyun

박기철**
Park, Ki Choul

정현수***
Chung, Heon Soo

Abstract

In this paper, It is the effect of using fiber sheet (Carbon Fiber Sheet & Aramid Fiber Sheet) and Steel Plate for reinforced concrete beam. 25 specimens are tested, 16 specimens for bending capacity and the other are for shear capacity.

In the case of bending testing, the kind and quantity of the reinforcement materials, the bondage and the existence of crack were selected as experimental variables. and In the case of shear testing, It is testified the effect of reinforcement with the variables of the method of reinforcement (side type and U type).

As a result, Using the reinforcement materials can increase the capacity of bending and shear stress.

1. 서 론

철근콘크리트 구조물이 최근 삼풍백화점 붕괴등 대형사고로 인한 안정성에 대한 관심이 높아질 뿐만 아니라, 기존 철근콘크리트 구조물에 있어 노후화, 철근 부식에 의한 단면손실과 과다하중 등으로 구조물의 내력보강 필요성이 대두되고 있다.

철근콘크리트 보의 보강방법으로는 강판접착공법과 신소재섬유 접착방법이 널리 사용되고 있다. 신소재섬유인 탄소섬유, 아라미드섬유는 시공성이 용이하며, 가볍고, 고강도라는 장점이 있으나, 강재와

* 중앙대학교 건축공학과 석사과정

** 한국건설안전기술협회 전문위원, 공박

*** 중앙대학교 건축공학과 교수, 공박

달리 소성변형이 없어 파괴시 취성파괴를 유발한다. 따라서 철근콘크리트 부재에 있어서의 보강효과에 대해서 명확히 할 필요가 있다.

본 연구에서는, 섬유시트인 탄소섬유, 아라미드섬유 및 강판을 이용하여 철근 콘크리트 보부재의 휨 및 전단내력을 보강하고 그 효과에 대해 실험적으로 비교 분석하였다.

2. 철근콘크리트 보 부재의 휨보강실험

2.1 실험개요

(1) 시험체의 계획 및 형상

시험체는 휨파괴가 선행되도록 주근은 상하단근 각각 2-D13을, 전단보강근은 6인 고강도철근을 10cm간격으로 배근한 $a/d=5.0$ 인 휨시험체 15개를 제작하였다. No.1(BSN-1,2)시험체는 보강재로 보강하지 않은 시험체이며 그 외의 시험체는 보강재로 보강하였다. 탄소섬유와 아라미드보강은 보강량, 보강방법 및 균열유무를, 강판보강은 두께와 균열유무를 변수로 보강효과를 검토하였다. 실험변수로서 초기균열은 철근이 항복하고 균열 폭이 0.3mm 이상이 되는 부재각 $1/100rad(\delta=1.1cm)$ 까지 재하한 시험체에 에폭시로 보수한 후, 다시 보강재로 보강하였다.

그림 2.1은 시험체의 형상을, 그림 2.2에는 보강재의 보강방법을 그림으로 나타냈다. 표 2.1은 실험변수에 의한 시험체 일람과 실험결과를 나타냈다.

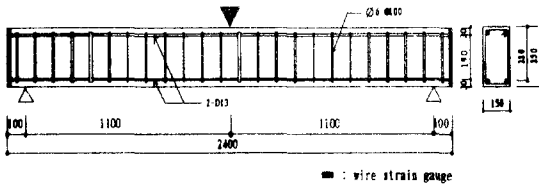


그림 2.1 시험체 형상 및 치수

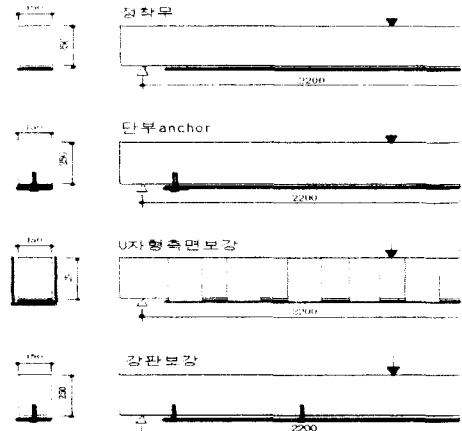


그림 2.2 시험체의 보강형상

표 2.1 시험체 일람 및 실험결과

No	시험체명	배근	보강방법		초기 균열	실험값(ton)			계산값(ton)			δy (cm)	δmax (cm)	$\delta max / \delta y$
			보강재료	정착방법		Pc	Py	Pmax	Pc	Py	Pmax			
1	BFN-1	Pt=0.769	보강무		무	0.8	3.6	4.2	0.93	3.48	4.00	0.93	5.84	6.3
	BFN-2					0.9	3.9	4.5						
2	BFC1	(2-D13)	탄소섬유 1ply	무	무	1.0	4.1	4.4		3.78	4.22	0.6	0.87	1.5
3	BFC1-P				유	1.3	4.4	4.7				0.57	0.91	1.6
4	BFC2	(2-D13)	탄소섬유 2ply	단부 anchor	무	1.0	4.3	4.9		4.07	4.84	0.63	0.93	1.5
5	BFC2-AP				유	1.1	3.8	4.6				0.45	0.68	1.5
6	BFP1	Pe=0.769	아라미드 1ply	무	유	1.2	4.2	5.2		3.85	5.22	0.57	2.40	4.2
7	BFP1-P				유	1.3	4.6	5.1				0.75	3.47	4.6
8	BFP1-U	(2-D13)	U자형 측면보강	단부 anchor	무	1.1	4.1	6.1		6.08	6.08	0.57	7.35	12.9
9	BFP1-A				무	1.2	4.1	5.8				0.59	9.40	15.9
10	BFP2	Pw=0.37	아라미드 2ply	무	무	1.1	4.3	5.3		4.30	5.22	0.60	2.62	4.4
11	BFP2-AP				유	1.2	4.3	6.1				0.61	5.27	8.6
12	BFS1	(Ø6@100)	강판 (2.3mm)	무	유	1.5	8.0	9.4		7.78	8.5	0.81	7.07	8.7
13	BFS1-P				유	1.9	8.7	10				0.74	6.41	8.7
14	BFS2		강판 (4.5mm)		무	-	-	9.2	11.61	11.90	-	0.73	-	

계산값 (Pc는 菅野式($Pc=11.8 \times \sqrt{f'c} \times Zc/a \times 2$), Py, Pmax는 e-function method)
 δy =항복시 처짐, δmax =극한하중시 처짐

(2) 사용재료

실험에 사용한 탄소섬유는 Cross배열이고 아라미드는 일방향배열 시트로, 주근과 같은 방향으로 보강하였다. 탄소섬유와 아라미드의 역학적 성질은 표 2.2에 나타났다. 섬유시트 접착은 에폭 시수지계 접착제를 사용하였다.

콘크리트는 설계강도 210 kg/cm²인 레미콘으로 타설하였으며 28일 압축강도는 226 kg/cm²을 보였다. 표 2.3은 철근의 역학적 성질을, 표 2.4는 콘크리트의 역학적 성질을 나타냈다.

표 2.3 철근의 역학적 성질

철근	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	연계수 ($\times 10^3$ /kg/cm ²)	연신율 (%)
D13	3,780	5,394	1.84	23
Ø6	14,285	17,036	2.01	21

표 2.2 보강재의 재료특성

종류	인장강도 (kg/cm ²)	설계탄성율E ($\times 10^6$ kg/cm ²)	파단변형 ($\times 10^{-3}$)	파단신도 (%)	밀도 (g/cm ³)
탄소섬유	25,000	2.4	10417	1.46	1.82
아라미드	22,500	1.19	18908	2.5	1.44
강판(2.3mm)	3,200	1.8	1780	-	7.86

표 2.4 콘크리트의 역학적 성질

압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)	Slump (cm)
226	2.35×10^6	9

(3) 가력 및 측정방법

시험체 재하는 그림 2.3과 같이 단순보형 집중하중형식으로 가력하였고, 시험체가 파괴할 때까지 재하하였다. 실험 도중에는 철근의 변형을 wire strain gauge로, 섬유시트는 복합재료용 wire strain gauge를 부착하여 TDS-302로 측정하였다. 시험체변위는 가력집 하단부 중앙에 설치한 100mm전기식 변위계로 측정하였다.

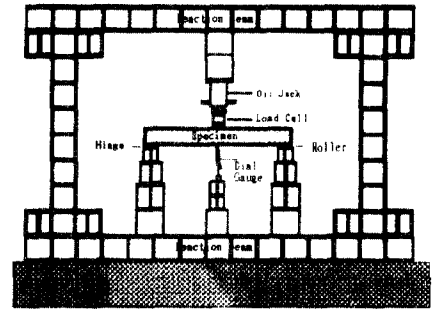


그림 2.3 단순보형 휨시험체의 가력 및 측정

2.2 실험결과 및 고찰

(1) 시험체의 파괴상황

그림 2.4에 파괴 후의 대표적 균열형상을 나타냈다. 보강하지 않은 BSN-1,2는 전형적인 휨파괴를 하였다. 탄소섬유로 보강한 시험체인 No.2 - No.5는 중앙 하단부 부근의 균열부위에서 탄소섬유가 파단되었으며, 그 후 파단이외의 영역에서는 탄소섬유가 균열을 저지하여 파단부위에서 국부적으로 균열이 확장하면서 콘크리트가 떨어져 나갔다.

아라미드 일방향으로만 보강한 시험체인 No.6 No.7, No.10은 중앙 하단부 균열부위로부터 하중 그림 2.4 시험체 파괴상황 이 증가함에 따라 점차 단부쪽으로 바리가 진전되었다. 아라미드면과 에폭시함침된 콘크리트가 일체화되어 함께 떨어진 것으로 보아 에폭시접착강도는 양호한 것으로 나타났다.

(2) 하중과 변위 관계

각 시험체의 하중-변위곡선을 그림 2.5(a), (b)에 나타냈다. 그림 2.5(a)에서 보강시험체의 휨강성

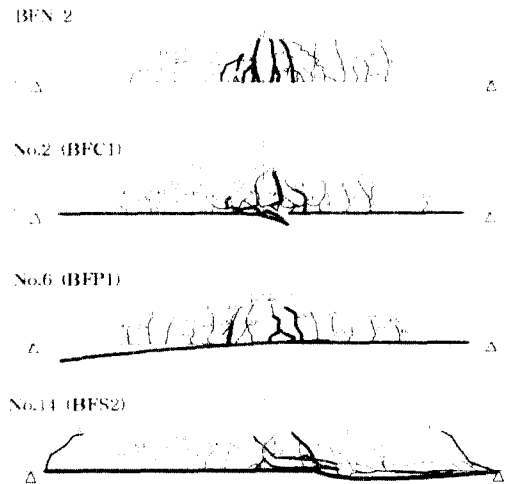
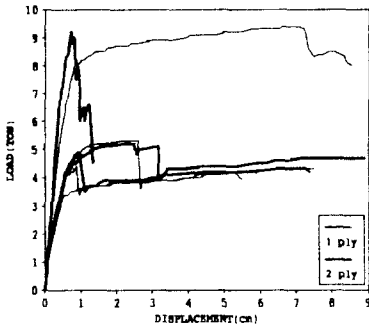
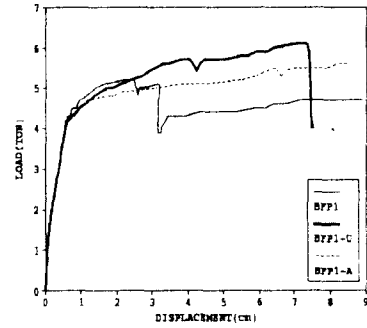


그림 2.4 시험체 파괴상황

은, 섬유보강재로 보강한 시험체의 경우 철근항복이전의 강성은 동일하나 철근항복이후의 강성은 보강량이 증가함에 따라 높아졌다. 강판 보강한 시험체의 경우 철근항복시까지의 강성은 섬유보강재에 비하여 현저히 증가한다. 철근항복 이후, 2.3mm 강판보강한 시험체는 철근콘크리트 보와 동일 성상을 보이고, 4.5mm 강판보강한 No.14시험체는 2.3mm강판보강 시험체보다 높은 하중에서 철근항복 전에 단부 철판 박리에 의해 급격히 파괴하였다. 그림 2.5(b)는 아라미드 보강시험체로서 보강방법에 따른 하중변위로, 박리를 막기 위한 단부앵커와 U자형 측면정착이 내력 및 변위에 효과적임을 보이고 있다.



(a) 보강재 차이에 의한 하중-변위곡선



(b) 아라미드 보강방법에 따른 하중-변위

그림 2.5 하중-변위곡선

(4) 휨보강효과의 평가

그림 2.6(a), (b)는 주근과 보강재의 변형을 나타낸 것이다. 그림 2.7는 보강한 시험체의 휨내력산정을 위하여 재료저감계수(α)를 적용하여 e-function 해석값과 실험값을 비교한 것으로 시트의 인장강도 저감계수가 0.5~0.6일 때 해석값에 유사하였다. 또한, 실험시 탄소섬유시트의 파괴시 변형은 약 5000~6000 μ 정도이고, 아라미드 보강시험체의 면전단에 의한 박리시 시트 변형은 약 10000~11000 μ 로 파단시 변형의 약 50% 정도를 나타내고 있다.

3. 철근콘크리트 보 부재의 전단보강실험

3.1 실험개요

(1) 시험체의 계획 및 형상

총 8개의 시험체로, No.1~No.5의 시험체는 전단보강근을 사용하지 않고, No.6~No.8 시험체는

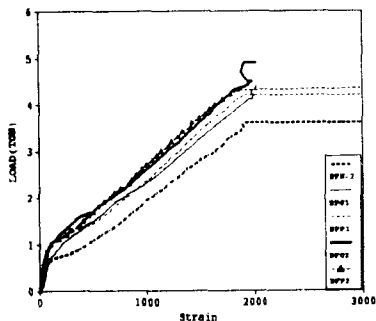


그림 2.6(a) 하중과 주근 변형관계

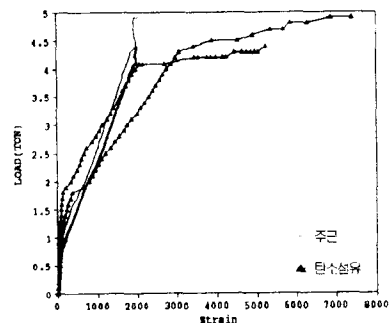


그림 2.6(b) 주근과 보강재의 변형

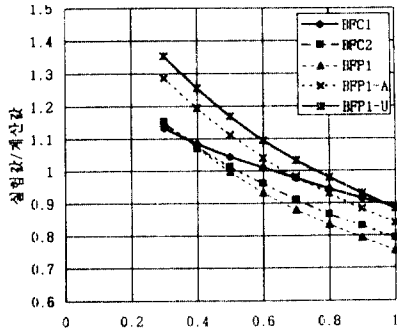


그림 2.7 보강재의 저강계수

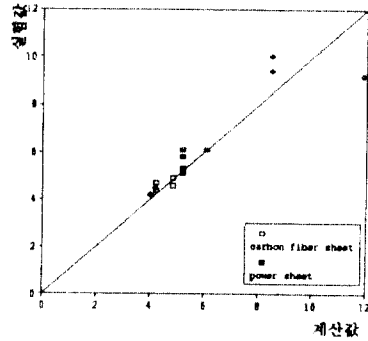


그림 2.8 휨극한하중의 실험값과 계산값비교

Pw=0.25%전단보강근을 사용하였다. 전단보강근을 가진 시험체는 사인장균열을 발생시켜 에폭시로 보수한 후 보강재로 보강하여 전단보강효과를 파악하였다. 실험변수로는 보강재종류, 보강방법으로 하였으며, 보강방법으로는 측면보강과 측면 및 하면(이하 U자형)보강을 하였다. 표 3.1에 시험체 일람과 실험결과를 나타냈으며, 그림 3.1에 시험체형상 및 치수를 나타냈다.

표 3.1 시험체 일람 및 실험결과

No.	시험체명	배근		보강유무		초기 균열	Pw' (%)	Pw' · σw** (kg/cm ²)	실험값(ton) expQu	실험값/계산값	
		주근	전단 보강근	보강재료	보강방법					expQu/荒川式	expQu/Chung식
1	BSN-0	Pt=1.81% (3-D16)	Pw=0	보강무		무	0	0	9.0	1.03	0.98
2	BSC1-0-W			탄소섬유 1ply	측면		0.109	27.25	15.8	0.92	0.72
3	BSC1-0-U				U자형				16.3	0.95	0.74
4	BSP1-0-W			아라미드 1ply	측면		0.324	72.90	16.3	0.74	0.60
5	BSP1-0-U				U자형				17.9	1.81	0.68
6	BSN-0.25	Pc=1.21% (2-D16)	Pw=0.25% (∅6@150)	보강무		사인장 균열	0.25	13.39	17.2	1.19	1.01
7	BSC1-0.25-U			탄소섬유 1ply 강판(2.3mm)	U자형		0.359	40.64	24.9	1.30	1.06
8	BSS1-0.25-W				측면		3.32	115.79	39.1	1.55	1.28

* Pw' = Ps + Pm

(Ps = 2 × As / (b × s), Pm = bm / b, bm = 보강재두께)

** Pw' · σw = Ps · σs + Pm · σm

(2) 사용 재료

주근은 3-D16 고강도철근을 사용하여 휨항복내력을 높여 전단파괴를 유도하였다. 보강재는 휨시험체에 사용한 것과 동일재료이며, 일방향 섬유인 아라미드는 보부재의 직각방향인 보강근방향으로 보강하였다. 표 3.2에 철근의 역학적 성질을 나타냈다.

3.2 실험결과 및 고찰

그림 3.2는 하중-변위곡선을, 그림 3.3은 보강재의 보강효과를 나타냈다. 보강방법에 따른 차이는 탄소섬유의 경우는 파단하여 내력차이는 거의 보이지 않으나, 아라미드섬유를 U자형보강한 시험체는 측면보강시험체보다 약 22%정도 보강재내력이 증가했다. 또한 철판보강이 섬유시트보다 보강효과가 크게 나타났다.

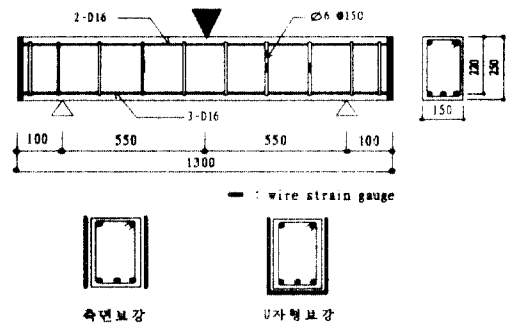
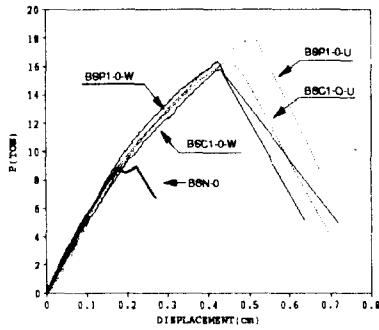


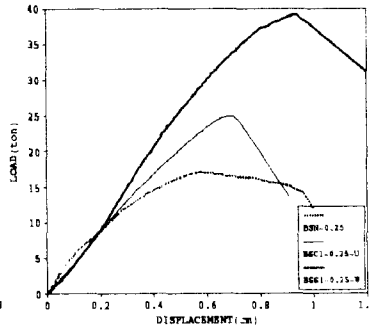
그림 3.1 시험체형상 및 보강방법

표 3.2 철근의 역학적 성질

철근	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	연계수 (×10 ³ kg/cm ²)	연신율 (%)	
D16	인장근	9095	9673	1.92	9
	압축근	3517	5168	1.84	20
∅6	5356	6571	2.05	10	



(a) Pw=0 시험체



(b) Pw=0.25% 시험체

그림 3.2 하중-변위곡선

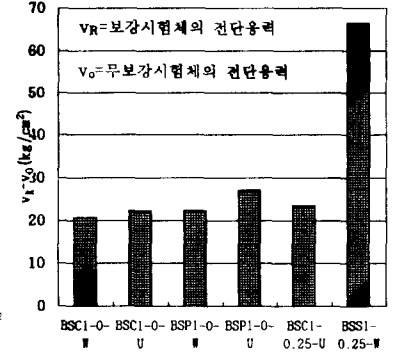


그림 3.3 보강재의 보강효과

4. 결 론

섬유시트와 강판을 이용하여 철근콘크리트 보 부재의 휨 및 전단 보강한 23개의 시험체의 휨, 전단 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 섬유시트와 강판으로 보강한 시험체의 휨극한내력은 1.04-2.09배, 전단내력은 1.75-2.27배 향상되었다. 파괴양상은, 휨 및 전단에 있어 탄소섬유로 보강한 시험체 경우 시트의 파단으로, 아라미드 보강시험체는 시트의 박리에 의해서 극한내력에 도달하였다. 강판보강시험체는 콘크리트 압괴하거나 강판박리에 의해서 파괴하였다.
- (2) 휨시험체에 미리 초기균열을 주고서 예폭시로 균열을 보수한 후, 섬유시트 및 강판으로 보강한 시험체의 극한내력은 균열을 주지 않고 보강한 시험체의 내력과 유사하여 보강효과를 알 수 있다.
- (3) 휨실험에서 탄소섬유 보강시험체는 보강재량이 증가할 수록 내력은 증가하나, 연성효과는 없는 반면, 아라미드섬유 보강시험체는 시트의 박리를 막기 위하여 단부앵커정착 및 시트 U자형 정착을 함으로써 휨내력 및 연성능력을 효과적으로 향상시켰다.
- (4) 전단실험에서 탄소섬유로 보강한 시험체는 시트파단으로 전단극한내력에 도달하고, 아라미드로 보강한 시험체는 시트박리로 극한내력에 도달하므로 시트의 박리를 막기 위한 U자형은 전단보강 효과가 우수했다.

● 참고문헌 ●

1. 連續纖維補強材의 콘크리트構造物への適用, 日本土木學會
2. 笹原 厚, 長 稔, 木吉康一, "炭素纖維およびポリアミド纖維を接着したRCばりの曲げ補強性能に関する研究 (その12)", 日本建築學會大會學術講演梗概集 昭和 61年 8月
3. 박기철, "高強度 鐵筋콘크리트 部在의 耐力 및 變形性狀에 관한 實驗的 研究", 中央大學校大學院 博士學位 論文, 1992

감사의 글

본 연구는 (주)청조엔지니어링의 연구비 지원으로 수행된 연구로서 관계자 여러분께 감사드립니다.