

탄소 섬유, 아라미드 섬유, 강판을 이용한

# 철근콘크리트 보의 휨 및 전단 내력 보강에 관한 실험적 연구

박 기 철 / 우리 협회 전문위원, 공학박사

〈 목 차 〉

1장 서론
1.1 연구 배경 및 목적
1.2 연구의 범위 및 방법
2장 휨 보강 실험
2.1 시험체 계획 및 형상
2.2 사용 재료
2.3 실험 방법
2.4 실험 결과
3장 전단보강 실험
3.1 시험체 계획 및 형상
3.2 사용재료
3.3 실험결과
4장 결 론

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

철근콘크리트 구조물은 내구성, 내화성 및 내진성 등 다양한 장점에도 불구하고, 국내에서는 준공된지 20년이 채 지나지 않은 일부 철근콘크리트조 아파트가 재건축되고 있으며, 심지어 크고 작은 구조물의 붕괴사고가 발생되어 우리 모

두를 안타깝게 하고 있다.

이러한 배경에서 철근콘크리트 구조물의 노후화, 철근부식에 의한 단면손실, 용도변경으로 인한 과하중 작용 등의 대처 방안으로 구조체의 내력 보강을 위한 보강기술의 확립이 요구되고 있다.

철근콘크리트 구조물의 보강공법은 일반적으로 강판 및 H형강 접착 공법, 단면의 확장공법 및 부재의 신설공법 등이 있는데, 강판 및 H형강 접착공법은 주로 주근 및 전단보강근량이 부족할 때 사용되고, 단면의 확장공법 및 부재의 신설공법은 철근량의 부족이나 콘크리트 단면의 부족 등에 대한 내력보강을 목적으로 쓰이는 공법이다. 그러나 이러한 공법들은 보강재에 의해 구조물의 지중이 증가하고, 시공시 보강재 설치 공간 확보가 요구되고, 기존 설비시설이 설치된 경우에는 시설들을 일부 제거해야 하는 불편함이 있다. 최근 들어 탄소섬유와 아라미드 섬유 등의 신소재 섬유를 콘크리트 표면에 접착하여 내력을 보강시키는 신소재 섬유 접착공법에 대한 연구가 활발히 진행되어 실용화 단계에 이르고 있다.

본 연구는 철근콘크리트 보 부재의 휨 및 전단보강에 섬유시트인 탄소섬유, 아라미드 섬유

및 강판을 보강재로 사용하여 보 부재의 휨 및 전단내력에 미치는 보강효과를 실험적으로 비교 분석하여 보강방법의 개선방향 제시와 실제 구조체에 적용을 위한 기초자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

### 가. 휨보강 실험

철근콘크리트(R.C) 보 부재의 휨보강효과를 파악하기 위하여 휨파괴가 선행하도록 전단보강근비(Pw)와 인장철근비(Pt = 0.769%)를 결정하였다. 보의 전단스팬비(a/d)는 5.0이며, 보폭 15cm, 총 25cm인 시험체를 15개 제작하였다. 2개의 시험체는 보강하지 않은 일반 R.C보의 휨거동을 파악하고 그의 보강 시험체와 보강효과를 비교 검토하였다.

휨보강 시험체의 보강재 종류는 탄소섬유, 아라미드 섬유 및 강판을 사용하였다. 섬유보강 시험체는 보강재의 겹수에 따른 내력보강효과를 평가하였고, 강판은 아라미드 섬유의 1겹, 2겹의 인장력과 동일하게 계획하기 위해 2.3mm, 4.5mm로 두께를 결정하였으나 강판의 인장강도가 처음 예상보다 높아짐에 따라 단순한 휨내력 증가비교에 대한 평가는 어렵게 되었다. 또한 초기균열의 유무가 보강효과에 미치는 영향을 파악하기 위하여 5개의 시험체는 주근이 항복하는 부재각 1/100 rad( $\theta=1.1\text{cm}$ ) 정도까지 재하하였으며, 이때 시험체는 0.3mm 이상의 균열이 발생되었고, 균열은 에폭시로 보수한 후 각 보강재로 접착보강하였다.

보강방법은 각 보강재별로 다음과 같이 보강방법을 변화시켜 보강효과를 비교 검토하였다.

- 1) 탄소섬유  
에폭시 접착보강

에폭시 접착한 후 단부 앵커볼트 보강

2) 아라미드 섬유

에폭시 접착보강

에폭시 접착한 후 단부 앵커볼트 보강

에폭시 접착한 후 U자형 측면 정착보강

3) 강판

앵커볼트를 50cm 간격으로 고정하고 에폭시 접착보강

### 나. 전단보강실험

철근콘크리트 보의 전단보강효과를 파악하기 위하여 휨파괴가 선행되지 않도록 주근을 고강도 철근 HD16( $f_y=9,095\text{kg/cm}^2$ ) 8개(Pt=1.81%)로 모든 시험체에 동일하게 배근하였으며, 전단보강근비는 0, 0.25%로 각각 5개와 3개씩 시험체를 제작하였다.

전단보강근이 없는 시험체는 탄소섬유와 아라미드섬유를 접착하여 보강하였고, 보강방법은 시험체 측면 접착과 U자형 접착을 하였다. 전단보강근비 0.25%인 시험체는 초기 균열에 의한 보강효과를 파악하기 위하여 사인장 균열을 발생시켜 에폭시로 보수한 후 탄소섬유와 강판으로 보강하여 전단보강근과 보강재의 응력분담을 비교 분석하였다.

## 2. 휨 보강 실험

### 2.1 시험체 계획 및 형상

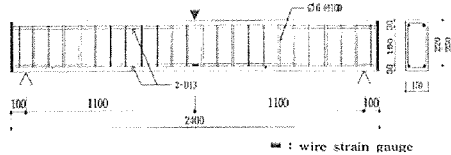
시험체는 총길이 2.4m, 순지간 2.2m, 단면의 크기(b×D) 15cm×25cm인 장방향 단면의 단순보형 시험체 15개를 동일하게 제작하였다. 주근은 휨파괴가 선행하도록 상하단근에 각각 SD35( $f_y=3500\text{kg/cm}^2$ )의 2-D13을 배근하였고, 전단보강근은 전단파괴가 일어나지 않도록 고강도 철근( $f_y=11,960\text{kg/cm}^2$ )인  $\phi 6$ 을 10cm 간격

〈표 2.1〉 보형 휨시험체 일람

No.	시험체명	배근	보강방법		초기균열
			보강재료	정착방법	
1	BFN-1	Pt = 0.769% (2 - D13)  Pc = 0.769% (2 - D13)  Pw = 0.37% ( $\phi$ 6@100)	보강무		무
	BFN-2				
2	BFC1		탄소섬유 1겹	무	무
3	BFC1-P				유
4	BFC2		탄소섬유 2겹	단부앵커볼트	무
5	BFC2-AP				유
6	BFP1		아라미드 1겹	무	무
7	BFP1-P				유
8	BFP1-U				U자형 측면정착
9	BFP1-A		아라미드 2겹	단부앵커볼트	무
10	BFP2				유
11	BFP2-AP		강판(2.3mm)	앵커볼트 (50cm 간격)	무
12	BFS1				유
13	BFS1-P		강판(4.5mm)		무
14	BFS2	유			

으로 배근하였다. 실험변수는 보강재 종류, 보강재의 겹수, 보강전의 초기균열 유무, 정착방법 등이다. 보강재의 겹수는 아라미드 섬유와 탄소섬유는 1겹과 2겹이며, 강판은 두께가 2.3mm와 4.5mm로 2종류이다.

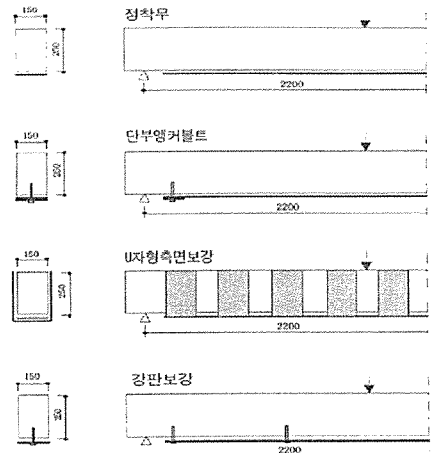
Wire Strain Gauge는 가력점 아래부분 하단근과 전단보강근에 부착하였으며, 보강재 부



〈그림 2.1〉 시험체의 형상과 치수

위에도 복합재료용 Wire Strain Gauge를 부착하여 변형도를 측정하였다. 〈표 2.1〉은 실험변수에 따른 시험체 일람을 나타냈다.

〈그림 2.1〉은 시험체의 형상과 치수를, 〈그림 2.2〉는 보강재의 보강방법을 각각 나타낸 것이다.



〈그림 2.2〉 시험체 보강형상

〈표 2.2〉 콘크리트의 역학적 성질

설계강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump (cm)
210	226	21	$2.35 \times 10^5$	9

## 2.2 사용재료

### 가. 콘크리트

콘크리트 설계강도 210kg/cm<sup>2</sup>급으로 레미콘 회사에 주문하여 타설하였으며 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 콘크리트 압축강도용 공시체 크기는 직경 10cm, 높이 20cm이며, 양생 28일에 압축강도를 측정하였다.

### 나. 철근

철근은 주근으로 D13이형철근을, 전단보강근은  $\phi$ 6원형강선을 각각 사용하였다. 〈표 2.3〉에 철근의 역학적 성질을 나타내고 있다.

### 다. 보강재

보강재로 사용한 탄소섬유는 일본산제품으로 재료특성은 제품안내서의 특성을 사용하였고, 아라미드 섬유는 원사를 미국에서 수입하여 제품으로 만든 것으로 한국 원사직물 시험연구원 에서 시험한 결과를 사용하였다. 강관은 한국 공업규격에 따른 13호 인장시험편을 제작하여 시험하였다.

〈표 2.3〉 철근의 역학적 성질

철근 종류	항복강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	영계수 ( $\times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup> )	항복변형 ( $\times 10^{-6}$ )	연신율 (%)
D13	3.780	5.461	1.84	2.054	23.1
$\phi$ 6	11.960	14.714	2.01	5.950	20.6

## 2.3 실험 방법

휨 및 전단실험시 가력은 200ton 용량의 Strong Frame의 Oil Jack 선단에 정착한 100ton 용량의 Load Cell을 사용하여 단순보 형식의 1점 집중재하를 하였다. 주근 및 보강재의 변형은 Wire Strain Guage를 정적변형도 측정기(TDS-302)에 연결하여 매 재하시마다 측정하였으며, 시험체 처짐을 가력점 하단부 중앙에 설치한 100mm 전기식 변위계로 측정하였다.

## 2.4 휨 실험 결과

### 가. 파괴 현황

#### 1) 무보강시험체(BFN1, BFN2)

전형적인 휨파괴 양상을 보였으며 초기 휨균열이 0.8t~0.9t 정도에서 발생되었다. 중앙부의 균열은 하중 증가에 따라 계속 확장되었으며 약 3.5t에서 0.3mm 균열이 발생하였고, 이후 3.6~3.9t 정도에서 주근이 항복하였다.

#### 2) 탄소섬유 보강시험체

(BFC1, BFC2, BFC1-P, BF2-AP)

탄소섬유 보강시험체인 BFC1과 BFC2의 초기균열은 1.0t에서 발생하였고, 하중이 증가하면서 중앙 하단부의 균열 부위에서 에폭시 접착이 떨어지는 소리와 함께 탄소섬유가 파단하였다. 그 후 시트파단 부위 이외의 영역에서는 탄소섬유시트가 균열발생을 저지하여 섬유파단부위에서 응력 집중현상이 발생되어 균열이 확장되면서 파괴에 이르렀다.

〈표 2.4〉 섬유시트의 역학적 성질

종 류	인장강도(kg)	탄성계수( $\times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup> )	파단시 변형( $\times 10^6$ )	밀도(g/cm <sup>3</sup> )
탄소섬유	25,000	2.4	10,417	1.82
아라미드 섬유	22,500	1.19	18,908	1.44

〈표 2.5〉 강판의 역학적 성질

항복강도(kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )	탄성계수( $\times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup> )	항복변형( $\times 10^6$ )	연 신 율(%)
3,233	4,694	1.93	1,675	41

3) 아라미드 섬유보강 시험체

(BFP1, BFP1-P, BFP1-A, BFP2, BFP2-AP)

아라미드 섬유 보강시험체인 BFP1, BFP1-2, BFP2 시험체는 0.3mm 균열이 발생한 직후 에폭시 접착면에서 박리 신호음이 들리고, 중앙하단부 균열부위에서 먼저 박리되어 하중이 증가함에 따라 점차 단부쪽으로 진전되었다. 박리된 아라미드면은 에폭시로 함침된 콘크리트와 함께 떨어진 것으로 보아 에폭시 접착력은 양호한 것으로 평가되었다.

아라미드 섬유를 U자형으로 측면정착한 BFP1-U 시험체는 중앙하단부 균열면에서 박리가 일어났으나 측면정착에 의해 박리가 진전하지 못하고 중앙부 U자형 정착면에서 아라미드 섬유가 파단하였다.

4) 강판보강 시험체(BFS1, BFS1-P, BFS2)

강판 2.3mm로 보강한 BFS1과 BFS1-P 시험체는 단부 강판보강 부위에서 사인장균열

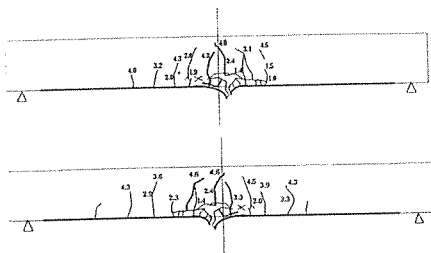
이 각각 7.3, 9.2t에서 나타났고 하중이 증가함에 따라 중앙부 앵커볼트 사이의 강판이 콘크리트면과 박리가 일어났으며, 압축측 콘크리트가 압괴하여 파괴되었다.

강판 4.5mm로 보강한 시험체는 사인장균열이 7.0t에서 발생하였고, 단부의 앵커볼트가 주위 콘크리트를 물고 떨어지면서 철판이 항복강도에 이르기 이전에 파괴되었다.

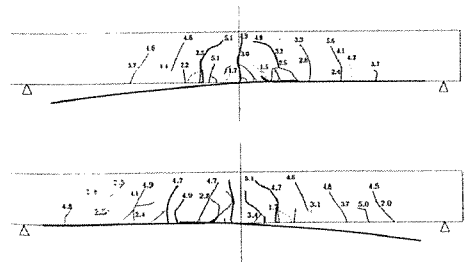
〈그림 2.3〉은 시험체별 파괴양상을 보여주고 있다.

나. 실험 결과

〈표2.6〉은 휨 시험체의 실험결과 일람을 나타냈으며, 초기균열하중  $P_c$ , 철근항복하중  $P_y$ , 최대하중을  $P_{max}$ 로 표시하였다. 계산값에서 초기균열하중은 菅野式을 이용하여 구하였으며, 항복하중과 최대하중은 e-function Method를 이용하여 산정하였다.



〈그림 2.3 A〉 파괴상황(BFC2-AP)



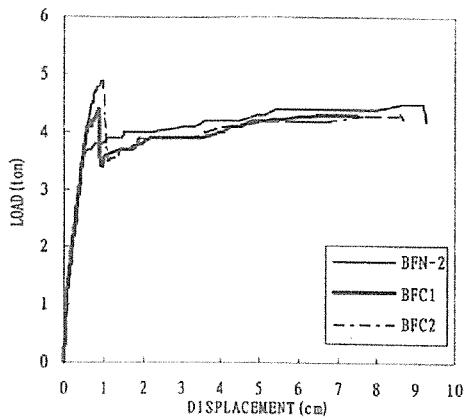
〈그림 2.3 B〉 파괴상황(BFP2-AP)

〈표 2.6〉 보형 휨시험체 실험결과 일람표

No.	시험체명	실험값(ton)			계산값(ton)			$\delta_y$ (cm)	$\delta_{max}$ (cm)	$\delta_{max}/\delta_y$
		$P_c$	$P_y$	$P_{max}$	$P_c$	$P_y$	$P_{max}$			
1	BFN-1	0.8	3.6	4.2	0.93	3.48	4.00	0.93	5.84	6.28
	BFN-2	0.9	3.9	4.5		3.48	4.20	1.20	9.10	7.58
2	BFC1	1.0	4.1	4.4		3.78	4.95	0.60	0.87	1.45
3	BFC1-P	1.3	4.4	4.7		4.07	6.19	0.57	0.91	1.60
4	BFC2	1.0	4.3	4.9		4.07	6.19	0.63	0.93	1.48
5	BFC2-AP	1.1	3.8	4.6		4.07	6.19	0.45	0.68	1.51
6	BFP1	1.2	4.2	5.2		3.85	6.91	0.57	2.40	4.21
7	BFP1-P	1.3	4.6	5.1				0.75	3.47	4.63
8	BFP1-U	1.1	4.1	6.1				0.57	7.35	12.89
9	BFP1-A	1.2	4.1	5.8		4.30	9.50	0.59	9.40	15.93
10	BFP2	1.1	4.3	5.3				0.60	2.62	4.37
11	BFP2-AP	1.2	4.3	6.1		4.30	9.50	0.61	5.27	8.64
12	BFS1	1.5	8.0	9.4		7.78	8.70	0.81	7.07	8.73
13	BFS1-P	1.9	8.7	10				0.74	6.41	8.66
14	BFS2	-	-	9.2	11.61	11.90	-	0.73	-	

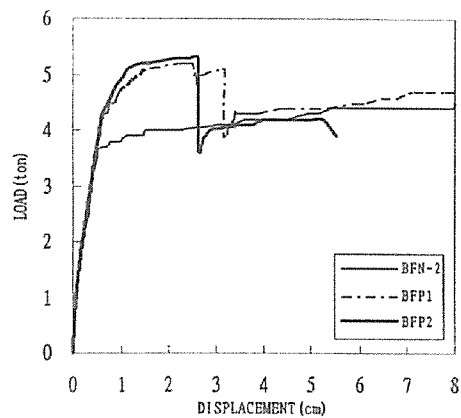
다. 하중과 변위와의 관계

〈그림 2.4〉는 탄소섬유 보강시험체의 하중-변위 곡선으로 휨강성은 철근항복 이전에 보강하지 않은 시험체와 거의 동일하고, 철근항복 이후 보강재량이 증가할 수록 내력향상을 보였다.

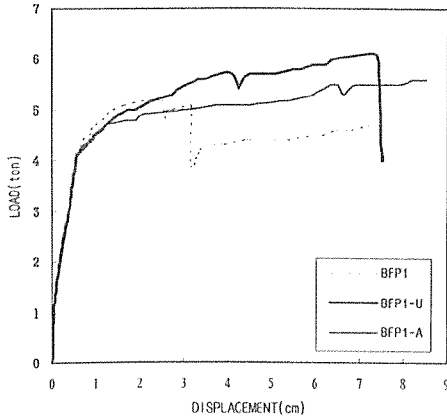


〈그림 2.4〉 탄소섬유 보강시험체의 하중-변위곡선

그러나 최대내력시 변위는 보강하지 않은 시험체의 최대내력시 변위의 약 1/10 정도로 상당히 작은 값을 보이고 있다. 이것은 탄소섬유의 탄성계수가 높은 반면, 신장율이 작은 것에 따른 시트파단으로 최대내력에 도달하였기 때문이다.



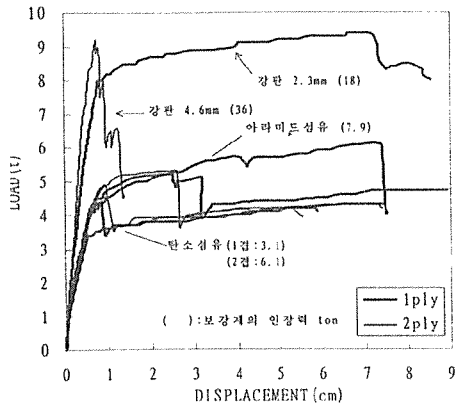
〈그림 2.5〉 아라미드섬유 보강시험체의 하중-변위곡선



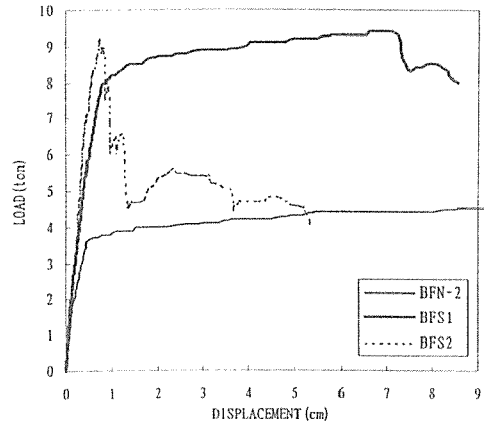
〈그림 2.6〉 아라미드섬유 보강시험체의 정착유무에 따른 하중-변위곡선

〈그림 2.5〉는 아라미드섬유 보강시험체의 하중-변위 곡선으로 철근항복 이전의 휨강성은 보강하지 않은 시험체와 거의 동일하고, 철근항복 이후 섬유시트가 휨인장력을 분담하여 내력이 증가하다가 시트의 박리로 내력증가는 멈추어 항복변형의 4~5배 정도에서 시트가 완전히 박리되면서 급격한 내력저하를 나타냈다.

〈그림 2.6〉은 아라미드 섬유를 정착보강한 시험체의 하중-변위 곡선에 대하여 나타낸 것으로 정착 보강하지 않은 시험체는 2~3cm 정도의



〈그림 2.8〉 보강재 종류에 따른 하중-변위곡선



〈그림 2.7〉 강판 보강시험체의 하중-변위곡선

치점에서 최대내력을 나타냈지만 단부 앵커볼트 정착과 U자형 측면정착 보강시험체는 시트박리에 의해 일시적인 내력저하를 약간 보이나, 앵커볼트 정착과 U자형 측면 정착보강이 내력 및 연성에 효과적인 것으로 나타났다.

〈그림 2.7〉은 강판보강한 시험체의 하중-변위 곡선으로 2.3mm 강판보강한 BFS1시험체의 강성은 철근항복시까지 보강하지 않은 BFN시험체보다 크며, 철근항복 이후 BFS1시험체는 보강이 없는 R.C보와 유사한 휨거동을 나타내고 있다.

4.5mm 강판보강한 BFS2시험체는 철근항복 이전 단부강판 박리에 의해 강판이 항복하기 이전에 취성파괴를 보이고 있다. 〈그림 2.8〉은 보강재 종류에 따른 하중-변위 곡선으로 팔호 안에 각 보강재의 인장력을 함께 나타냈다. 그림에서 섬유시트 보강시험체는 철근항복까지의 강성은 강판시험체보다 떨어지고 각 보강재의 인장력 차이에 의해 최대 내력의 증가는 계면박리로 다소 차이가 있으나 보강재로 보강함으로써 내력이 향상하는 것을 알 수 있다.

〈표 3.1〉 보형 전단시험체 일람

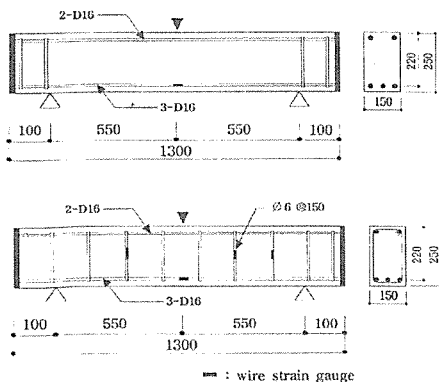
No.	시험체명	배근		보강 유무		초기 균열	Pw' * (%)	Pw' σw ** (kg/cm <sup>2</sup> )	
		주근	전단보강근	보강재료	보강방법				
1	BSN-0	Pt=1.81% (3-D16) Pc=1.21% (2-D16)	Pw=0	보강 무		무	0	0	
2	BSC1-0-W			탄소섬유 1겹	측면 U자형		0.109	27.25	
3	BSC1-0-U						아라미드 1겹	측면 U자형	0.324
4	BSP1-0-W			탄소섬유1겹	U자형				사인장 균열
5	BSP1-0-U						강판(2.3mm)	측면	
6	BSN-0.25	3.32	115.79						
7	BSC1-0.25-U								
8	BSS1-0.25-W								

### 3. 전단보강 실험

#### 3.1 시험체 계획 및 형상

시험체는 폭 15cm, 총 25cm인 장방향 단면의 단순보형 시험체로 실험구간은 전단스팬비 (a/d) 2.5인 1.1m로 제작하였다.

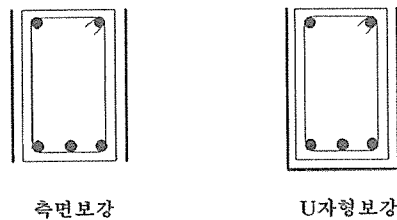
주근은 휨과파괴를 방지하기 위하여 하단근은 항복강도 9,095kg/cm<sup>2</sup>인 3-D16을, 상단근은 SD35(fy=3,500kg/cm<sup>2</sup>)의 2-D13을 배근하였다. 또한 부착과파괴 방지와 주근 위치고정을 위하여 단부에 1.5cm강판을 설치하여 주근과 용접하였다.



〈그림 3.1〉 시험체의 형상과 치수

〈그림 3.1〉은 시험체의 형상과 치수를, 〈그림 3.2〉는 보강재의 보강방법을 나타냈다. 〈표 3.1〉은 실험변수에 따른 시험체 일람을 보여주고 있다. 시험체는 총 8개이며, 그중 5개는 전단보강근을 사용하지 않고 나머지 시험체는 전단보강근비를 0.25%로 하였다. 전단보강근비 0.25%인 경우 전단보강근은 φ6을 15cm 간격으로 배근하였다.

일반철근용 Wire Strain Gauge는 가력점 부분 하단근, 가력점과 지지점 사이의 전단보강근에 각각 부착하여 변형도를 측정하였으며, 또한 복합재료용 Wire Strain Gauge를 전단보강



〈그림 3.2〉 시험체 보강방법



(표 3.2) 철근의 역학적 성질

철 근		항복강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	영계수 (× 10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	연신율 (%)
D16	인장근	9,095	9,673	1.92	9
	압축근	3,517	5,163	1.84	20
φ6		5,356	6,071	2.05	10

근과 동일위치에 부착하여 보강재의 변형도를 측정하였다.

### 3.2 사용 재료

콘크리트와 보강재는 휨실험에 사용한 것과 동일하다.

인장측 주근은 휨파괴가 선행하지 않도록 항복강도 9,095kg/cm<sup>2</sup>인 D16을, 압축측 주근은 항복강도 3,517kg/cm<sup>2</sup>인 D16을, 전단보강근은 φ6 원형강선을 각각 사용하였다.

(표 3.2)는 철근의 역학적 성질을 나타낸 시험결과이다.

### 3.3 실험 결과

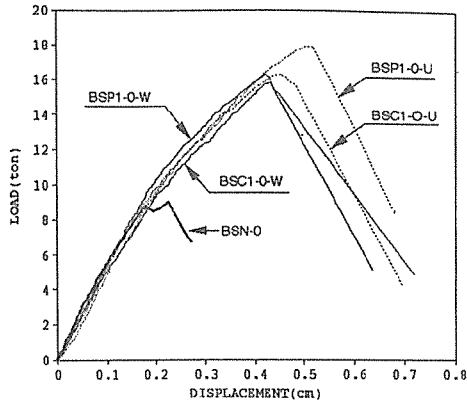
가. 파괴 상황

보강재와 전단보강근이 없는 BSN-0 시험체는 휨균열이 선행하고 시험체 중앙부에서 지지점과 가력점을 연결하는 사인장균열이 발생한 후 사인장 파괴하였다. 전단보강근 비가 0.25%인 BSN-0.25시험체는 사인장균열 발생 이후 전단보강근의 전단저항으로 크랙 수의 증가와 전단크랙의 폭을 제어하며 지속적인 내력증가를 보이면서 전단보강근이 항복강도에 도달한 후 전단파괴되었다.

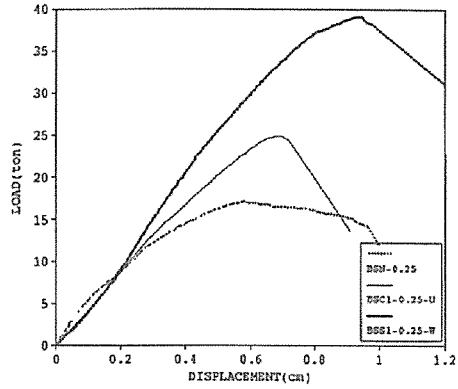
전단보강근이 없는 시험체로 탄소섬유 보강시험체는 측면접착, U자형 접착에 관계없이 지지점과 가력점을 연결하는 전단균열을 따라 탄소섬유가 급격히 파단하였고, 아라미드섬유 측면접착한 시험체는 지지점과 가력점을 연결하는 부위에서 양쪽으로 시트가 박리하였다. 전단보강근비가 0.25%이며, 탄소섬유를 U자형으로

(표 3.3) 보형 전단시험체 실험결과 일람표

No.	시 험 체 명	실험값 expQu (ton)	실험값/계산값				
			expQu/calQu				
			공식 1	공식 2	공식 3	공식 4	공식 5
1	BSN-0	9.0	1.61	1.03	0.99	1.76	0.98
2	BSC1-0-W	15.8	1.40	0.94	1.00	0.82	0.73
3	BSC1-0-U	16.3	1.44	0.97	1.03	0.85	0.75
4	BSC1-0-W	16.3	0.72	0.74	0.72	0.68	0.60
5	BSP1-0-U	17.9	0.79	0.81	0.80	0.75	0.68
6	BSN-0.25	17.2	0.95	1.19	0.94	1.13	1.01
7	BSC1-0.25-U	24.9	1.02	1.34	1.23	1.08	1.08
8	BSS1-0.25-W	39.1	1.03	1.55	1.54	1.63	1.28



〈그림 3.3〉 Pw = 0 시험체의 하중-변위관계

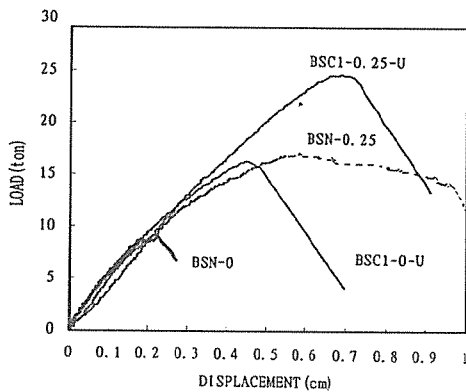


〈그림 3.4〉 Pw=0.25% 시험체의 하중-변위관계

보강한 시험체는 전단 균열에 의해 콘크리트가 떨어지면서 탄소섬유가 박리하여 급격한 내력저하를 보이며 단부 압축측에서 탄소섬유가 파단하였다. 강관두께 0.23mm로 측면보강한 시험체는 앵커 볼트 보강효과로 인하여 전단압축과괴되었다.

나. 실험 결과

전단시험체의 실험결과는 〈표 3.3〉에 실험값과 전단강도 추정식에 의한 이론값과 비교하여 나타냈다.



〈그림 3.5〉 탄소섬유 보강시험체의 하중-변위관계

공식 1. 일본건축학 지침식(A법)

$$V_u = b \cdot j_t \cdot p'_w \cdot w \sigma_y \cdot \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot \nu \cdot f'_c / 2$$

공식 2. 荒川식

$$V_{mean} = (0.115k_u \cdot k_p \cdot (180 + f'_c) / (a/d + 0.12) + 2.7 \sqrt{p'_w w \sigma_y}) bjd$$

공식 3. 福原식

$$st V_u = (0.12k_u \cdot k_p \cdot (180 + f'_c) / (a/d + 0.12) + \alpha p'_w \cdot w \sigma_y) bjd$$

$$sc V_u = (0.124 p'_w \cdot w \sigma_y + 820p_c + 0.14f'_c \sqrt{d/a}) bjd$$

공식 4. Mattock식

$$st V_u = ((0.504 \sqrt{f'_c} + 176 \cdot p_t \cdot d/a) + 1.75 p'_w \cdot w \sigma_y) bd$$

$$3.5 \leq p'_w \cdot w \sigma_y < (0.06 f'_c \sqrt{d/a})$$

$$st V_u = ((0.504 \sqrt{f'_c} + 176 p_t d/a) + (0.5 p'_w w \sigma_y + 0.075 f'_c \sqrt{d/a})) bd$$

$$0.06 f'_c \sqrt{d/a} \leq p'_w \cdot w \sigma_y \leq 44$$

공식 5. 朴琦哲식

$$st V_u = (K_1 \cdot K_2 (3.02 \sqrt[3]{f'_c}) / \sqrt{a/d} + 174 p_t) + (0.18a/d + 0.567) p'_w w \sigma_y) bd$$

$$sc V_u = ((29.85 \sqrt[3]{f'_c - 130}) \sqrt{d/a} + (0.089 \sqrt{a/d} + 0.04) p'_w w \sigma_y) bd$$

다. 하중과 변위의 관계

〈그림 3.3〉은 전단보강근비가 없는 경우의 하중-처짐곡선을 나타낸 것이다. 섬유보강 시험체의 강성은 전단초기균열 발생이후 완만한 곡선을 보이고 있으며, 아라미드 섬유를 U자형으로 접착보강한 경우 내력 및 변위가 증가하였다. 섬유시트 보강시험체의 전단극한내력은 보강하지 않은 BSN-0시험체에 비해서 탄소섬유 보강은 1.76~1.81배, 아라미드 섬유보강은 1.81~1.99배 증가하였다.

〈그림 3.4〉는 전단보강근비가 0.25%인 경우의 하중-처짐 곡선을 나타낸 것이다. 보강시험체의 초기강성은 보강전 사인장균열로 인해 BSN-0.25시험체의 강성을 하회하고 있으나, 전단초기 균열발생 이후 보강재의 보강효과로 인하여 강성이 커지는 것을 알 수 있다.

보강시험체의 전단극한내력은 보강하지 않은 BSN-0.25시험체보다 탄소섬유와 강판으로 보강한 시험체가 1.45, 2.27배 증가하였다.

〈그림 3.5〉는 탄소섬유 보강시험체의 보강효과를 나타낸 것이다. BSN-0.25와 BSC1-0-U 시험체의 전단내력이 거의 일치하여 전단보강근비 0.25%와 탄소섬유 보강효과가 유사한 결과를 나타냈다.

#### 4. 결 론

본 연구는 탄소섬유, 아라미드 섬유, 강판으로 보강한 철근콘크리트 보의 및 전단 보강효과를 파악하기 위하여, 휨시험체의 변동인자로 보강재의 종류, 보강방법, 균열유무 및 보강재량으로 하여 15개의 시험체를 제작하고, 전단시험체의 변동인자로 전단보강근비, 보강재의 중

류 및 보강방법으로 하여 시험체 8개를 제작하여 보강효과를 비교 분석하였다. 실험결과는 다음과 같다.

(1) 휨보강 실험에서 보강시험체의 휨내력은 보강하지 않은 시험체의 휨내력보다 탄소섬유는 1.01~1.13배, 아라미드 섬유는 1.17~1.40배, 그리고 강판은 2.11~2.30배 각각 증가하였다. 전단실험에서 보강 시험체의 전단내력은 보강하지 않은 시험체의 전단내력보다 탄소섬유는 1.45~1.81배, 아라미드 섬유는 1.81~1.99배, 그리고 강판은 2.27배씩 각각 증가하였다.

(2) 휨 및 전단시험체의 파괴양상에 있어서, 탄소섬유 보강시험체는 섬유파단으로, 아라미드섬유 보강시험체는 시트의 박리에 의해서 최대내력에 도달하였다. 그리고 강판보강시험체는 강판박리와 콘크리트 압괴로 파괴하였다.

(3) 미리 초기균열을 주고서 에폭시로 보수한 후, 각 보강재로 보강한 휨시험체의 최대내력은 균열을 주지 않고 보강한 시험체의 최대내력과 유사하여 에폭시 보강효과가 확인되었다.

(4) 휨보강 실험에서 탄소섬유 보강시험체는 보강재량이 증가할수록 내력은 증가하나 연성은 증가하지 않는 반면, 아라미드섬유 보강시험체는 시트가 박리되어 보강재량의 증가에 따른 내력증가는 없으나, 단부앵커볼트 정착 및 시트 U자형 정착보강을 함으로써 휨내력 및 연성능력을 효과적으로 향상시켰다.

(5) 전단보강 실험에서, 아라미드섬유로 보강한 시험체는 시트박리로 종국내력에 도달하여 U자형 방법으로 접착보강함으로써 전단보강효과를 향상시켰다.