

# FRP Bar를 휨 및 전단보강근으로 사용한 콘크리트 보의 전단강도

## Shear strength of concrete beam using FRP Bars for flexure and shear reinforcements

박 현 영\*      장 희 석\*\*      김 명 식\*\*      김 희 성\*\*\*  
Park, Hyun Young      Jang, Hee Suk      Kim, Myung Sik      Kim, Hee Sung

### ABSTRACT

This paper presents shear strength of concrete beam using FRP bars for flexure and shear reinforcements. Generally, the material properties of FRP bar are different from steel reinforcement. So, the shear strength correction factor is proposed through the experimental results.

### 1. 서 론

FRP Bar를 철근대체재로 사용하고자 하는 연구가 최근에 이루어지고 있지만 이들 대부분은 부착이나 휨에 관한 내용이 대부분이고 전단에 대한 연구는 국외에서만 행해졌으며<sup>1-3)</sup>, 국내에서는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 FRP Bar를 철근 대체재로서 휨 또는 전단보강근으로 사용한 콘크리트 보에 대하여 전단강도를 중심으로 조사하고자 한다.

### 2. 실 험

#### 2.1 시험체 제작

본 실험에서는 제원이 150×250×2400mm(순경간 2200mm)인 콘크리트 보를 제작하였다. 휨 또는 전단보강근으로 FRP Bar를 사용하였으며, 사용된 FRP Bar는 국내 (주)D건설에서 생산한 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer), GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer), HFRP(Hybrid Fiber Reinforced Polymer) Bar의 3종류이다. 이들과의 비교를 위하여 철근을 휨 또는 전단보강근으로 사용한 콘크리트 보도 제작하였다. 사용재료에 대한 재료 특성치는 표 1과 같다. 여기서 극한변형률은 파괴강도를 탄성계수로 나눈 값이다. 단, 철근은 항복강도를 탄성계수로 나눈 항복변형률이다.

표 1 재료 특성치

사용재료	탄성계수(MPa)	항복강도(MPa)	파괴강도(MPa)	극한변형률
STEEL	204,000	300	440	0.001475
CFRP	121,470.6	-	1,879.2	0.015470
GFRP	33,950.5	-	965.3	0.028433
HFRP	66,378.4	735.9	765.7	0.011535

\*정회원, 부경대학교 대학원 석사과정

\*\*정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

\*\*\*정회원, 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원

보 제작에 있어서 먼저 전단철근이 없는 경우와 있는 경우를 구분하여 보들을 제작하였다. 휨보강근으로서 철근을 사용한 경우는 D13 2본을, CFRP, GFRP, HFRP Bar를 사용한 경우는  $\phi 9\text{mm}$  2본을 각각 보의 하부에 배치하였다. 전단철근이 있는 경우의 보는 D10 전단철근을 100mm 간격으로 배치하였다. 또한 비교를 위하여 철근의 연결시 사용하는 결속선으로 FRP Bar를 직사각형 형태로 조립하여 전단보강근으로 사용한 보도 제작하였다. 이 경우에는 휨 및 전단보강근으로서 각각 동일한 종류의 FRP Bar를 사용하였다. 콘크리트 보 제작시 보 내부의 휨보강근 중앙 하면에 변형을 측정 게이지를 부착하였다. 보는 콘크리트 타설 후 6개월 정도 야외에서 기건 양생되었고, 시험 당일 측정된 콘크리트 공시체의 평균압축강도는 30.8MPa이었다. 모든 경우에 대한 보는 3개씩 제작하여 실험 결과값들의 평균치를 사용함으로써 실험의 정확성을 기하였다. 이들 보 시험체의 종류를 표 2에 정리하여 나타내었다.

표 2 시험체별 보강근 방법 및 실험결과

시험체 명	휨보강근 종류	전단보강근 종류	최대하중 평균치 (kN)	최대하중시 처짐 평균치 (mm)	전단강도 보정계수 ( $\alpha_{FRP}$ )	총전단력 (kN)	콘크리트 전단력 (kN)	전단보강근 전단력 (kN)	
SN-series	S-N-SN	STEEL	-	58.96	59.259	-	29.48	29.48	0
	C-N-SN	CFRP	-	47.51	20.230	1.34	23.76	23.76	0
	G-N-SN	GFRP	-	32.71	28.389	3.30	16.36	16.36	0
	H-N-SN	HFRP	-	21.78	27.157	1.12	10.89	10.89	0
SS-series	S-N-SS	STEEL	STEEL	59.54	54.124	-	29.77	29.48	0.29
	C-N-SS	CFRP	STEEL	93.45	42.448	1.34	46.73	23.76	22.97
	G-N-SS	GFRP	STEEL	54.57	48.749	3.30	27.29	16.36	10.93
	H-N-SS	HFRP	STEEL	36.00	54.357	1.12	18.00	10.89	7.11
SF-series	C-N-SC	CFRP	CFRP	79.77	38.834	1.34	39.89	23.76	16.13
	G-N-SG	GFRP	GFRP	54.57	59.329	3.30	27.29	16.36	10.93
	H-N-SH	HFRP	HFRP	21.55	24.512	1.12	10.78	10.89	0

## 2.2 실험

MTS사의 250kN 용량의 Actuator를 이용하여 1mm/min의 재하속도로 보가 파괴될 때까지 4점 가력하였다. 휨보강근의 인장변형률, 콘크리트 보 상부의 콘크리트 압축변형률을 측정하였다. 또한 가력된 하중은 Load cell을, 그리고 보 중앙점 하부의 처짐은 LVDT를 사용하여 측정하였다.

## 2.3 실험결과 및 분석

본 실험에서의 재하과정은 4점 가력이므로 최대하중의 절반이 콘크리트 보의 전단력이 된다. 표 2와 그림 1 및 그림 2에 각 시험체별 최대하중과 최대하중시 처짐의 평균값을 나타내었다. 그림에서 SN-series는 전단보강을 하지 않은 경우, SS-series는 철근으로 전단보강을 한 경우, SF-series는 휨보강근과 동일한 FRP Bar로 전단보강을 한 경우이다. 결과에서 알 수 있듯이 FRP Bar들을 휨보강근으로 사용한 경우에는 철근에 비하여 탄성계수는 낮지만 높은 강도 및 취성거동으로 인하여 처짐이 작게 발생하는 것을 알 수 있다. 최대하중시 처짐을 나타낸 그림 2에서 G-N-SG 시험체의 처짐이 큰 것은 다른 재료에 비하여 극한변형률이 상대적으로 큰 GFRP로 휨 및 전단보강을 하였기 때문으로 판단된다. SN-series에서 콘크리트 보의 전단력은 전단보강근이 없으므로 전적으로 콘크리트가 부담한다고 볼 수 있다. ACI에서 콘크리트의 전단력 계산에 사용하는 식(1)을 이용하여 철근을 휨보강근으로 사용한 경우의 전단력 계산을 해보면 실험치와 유사한 결과를 주지만, FRP Bar를 사용한 경우에

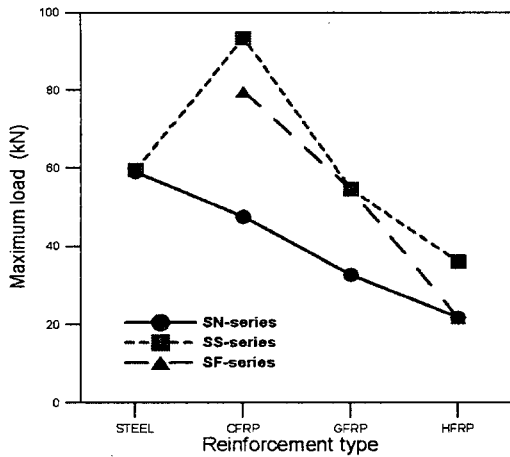


그림 1 보강근 종류에 따른 최대 하중

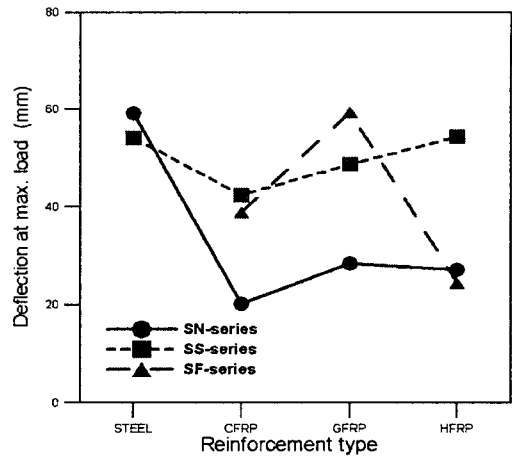


그림 2 보강근 종류에 따른 최대 하중시 처짐

는 과대평가되는 것을 그림 1에서 알 수 있다. 그러나 국외의 문헌에서 FRP Bar를 휨보강근으로 사용한 경우에 콘크리트의 전단력 평가에 관해 연구된 내용을 참조하여 콘크리트의 전단력을 식(2)와 같이 놓고, 본 실험결과들로부터 식(2)의  $\alpha_{FRP}$  값을 구해보면  $\alpha_{FRP}$ 는 FRP Bar의 종류에 따라서 표 2와 같다.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d \quad (1) \quad ; \quad V_{CF} = \alpha_{FRP} \frac{E_{FRP}}{E_s} \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d \quad (2)$$

그림 3은 각 보강근의 극한변형률에 대한 전단강도 보정계수  $\alpha_{FRP}$ 를 나타낸 것이고, 그림 4는 철근에 대한 FRP Bar의 극한강도비에 따른 전단강도 보정계수와 철근의 탄성계수에 대한 FRP Bar의 탄성계수비의 곱( $\beta_{FRP} = \alpha_{FRP} E_{FRP} / E_s$ )의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 FRP Bar 종류에 관계없이 재료특성치로부터 콘크리트의 전단강도 보정계수를 결정할 수 있으며, 휨보강근의 극한강도

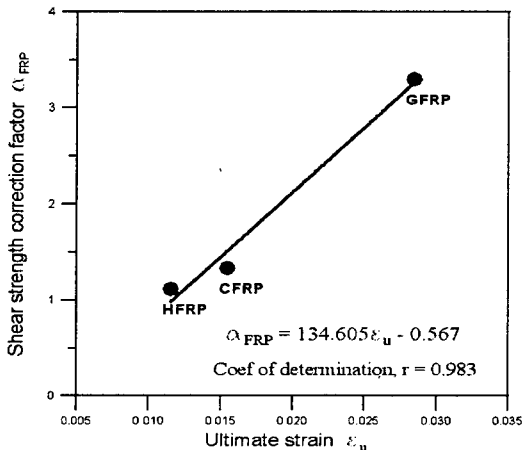


그림 3 극한변형률에 따른 전단강도 보정계수

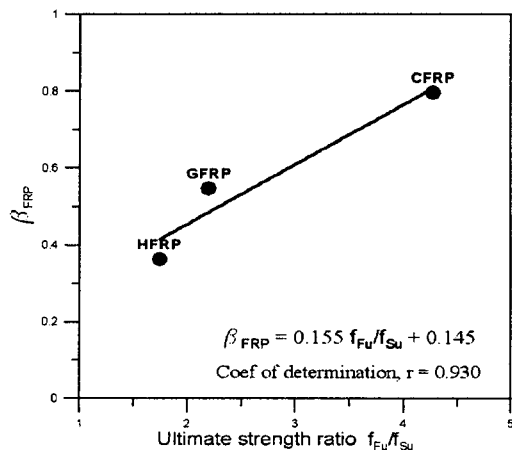


그림 4 극한강도비에 따른 전단강도 보정계수

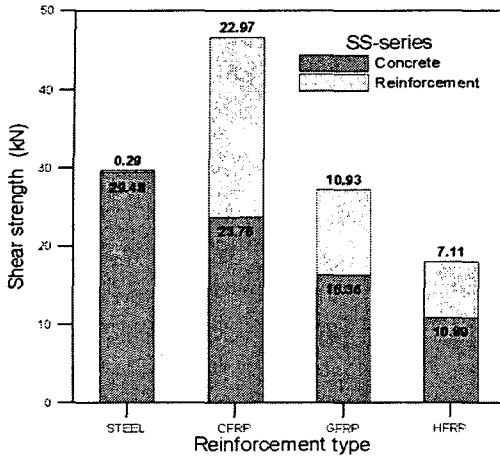


그림 5 철근으로 전단보강한 콘크리트보의 전단강도

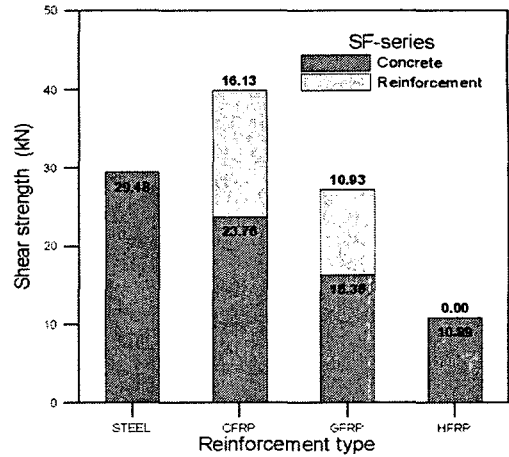


그림 6 FRP Bar로 전단보강한 콘크리트보의 전단강도

비가 작을수록 식(1)에 의한 콘크리트의 전단강도는 과대평가됨을 알 수 있다.

그림 5 및 그림 6은 철근 및 FRP Bar로 전단보강한 콘크리트보의 전단강도를 콘크리트와 전단보강근으로 나누어 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 FRP Bar로 전단보강한 보는 철근으로 보강한 보의 전단강도와 유사한 전단성능을 나타내고 있어, 절곡하지 않고 결속선으로 조립을 한 FRP Bar의 전단보강효과가 뛰어나 전단보강근으로 사용가능함을 알 수 있다.

### 3. 결론

- 1) 전단보강근 없이 FRP Bar를 휨 보강근으로 사용한 경우에 콘크리트가 나타내는 전단력을 식(2)와 같은 공식을 사용하여 나타내는 경우에 전단강도 보정계수  $\alpha_{FRP}$ 는 FRP Bar의 종류에 따라서 1.12~3.30,  $\beta_{FRP}$ 는 0.364~0.797의 범위에 있음을 알 수 있었다.
- 2) FRP Bar를 결속선으로 조립하여 전단보강근으로 사용한 경우와 철근을 전단보강근으로 사용한 경우의 비교에 있어서 FRP Bar의 전단보강의 경우, 철근과 유사한 전단보강효과를 나타내고 있어 FRP Bar를 사용한 전단보강이 가능함을 알 수 있었다.
- 3) FRP Bar를 휨보강근으로 사용함과 동시에 철근 및 FRP Bar를 전단보강근으로 사용하고 과다 휨보강으로 전단에 지배를 받는 콘크리트 보의 경우, 전단보강근이 보의 전단력에 기여하는 부분은 40~49% 범위에 있는 것으로 판단되었다.

### 참고문헌

- 1) J.R.Yost, S.P.Gross, and D.W.Dinehart, "Shear strength of normal strength concrete beams reinforced with deformed GFRP bars", Journal of Composites for Construction, Vol.5, N0.4, 2001, pp.268-275.
- 2) D.H.Deitz, I.E.Harik, and H.Gesund, "One-way slabs reinforced with glass fiber reinforced polymer reinforcing bars", 4th International Symposium on FRP Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI SP 188-25, 1999, pp.279-286.
- 3) C.R.Michaluk, S.H.Rizkalla G.Tadros, and B.Benmokrane, "Flexural behavior of one-way concrete slabs reinforced by fiber reinforced plastic reinforcements", ACI Structural Journal, Vol. 95, No.3, 1998, pp.353-365.