

FRP Bar를 사용한 고강도 콘크리트 보의 콘크리트 전단강도

Concrete Shear Strength of High Strength Concrete Beams Reinforced with FRP Bars

윤형수*
Yun, Hyeong Su

장희석**
Jang, Hee Suk

김희성***
Kim, Hee Sung

ABSTRACT

This study evaluates the concrete shear strength for normal and high strength concrete beams reinforced with 3 type FRP bars (CFRP, GFRP, HFRP). Experimental results obtained from twenty-four simply supported concrete beams are compared with values predicted by FRP shear strength expressions proposed in the various literatures, including the ACI Committee 318 and ACI Committee 440. The shear strength correction factors are proposed through the regression analysis.

1. 서론

지난 200년 동안 건설재료의 기술은 비약적인 발전을 거듭했다. 1980년대 말, 1990년대 초 국제적인 냉전의 종식과 함께 사회간접시설의 노후화에 대한 보수의 필요성이 대두됨에 따라, 건설재료 역시 철근이 가지는 단점을 보완하기 위하여 복합재료의 건설 분야 활용에 대한 연구가 집중되었다. 이에 따라 철근의 대체 재료로서 FRP bar가 주목받아 왔고, 현재 FRP bar를 사용한 부재에 대한 실험과 연구가 증가하고 있는 실정이다. FRP bar는 상대적으로 낮은 탄성계수와 항복점이 없는 높은 인장강도를 가지고 있으며 철근에 비해 낮은 다월저항능력을 가진다. ACI 시방서에 따르면 철근콘크리트 단면의 공칭전단강도 V_n 은 콘크리트 전단강도 V_c 와 전단철근의 전단 강도 V_s 의 합으로 구해진다. 그러나 철근을 대신하여 FRP bar를 사용하였을 경우, FRP bar의 고유한 특성으로 인하여 콘크리트 전단강도 V_c 의 수정은 불가피하게 된다. 본 연구에서는 3종류의 FRP (CFRP, GFRP, HFRP) bar를 철근을 대신하여 사용한 보통강도와 고강도 콘크리트 보를 제작하여, FRP bar 보강보의 콘크리트 전단성능을 실험적으로 분석하였다.

2. 실험

2.1 사용재료 및 배합설계

본 실험에서 보 시험체 제작에 사용된 보통 콘크리트의 설계기준강도는 27MPa이었으며, 고강도 콘크리트의 설계기준강도는 55MPa이었다. 실험 당일 측정된 콘크리트 공시체의 보통강도의 압축강도는 30.8MPa이었으며, 고강도는 57.8MPa이었다. 실험에 사용된 콘크리트 배합표는 Table 1과 같고 D13 철근 및 $\phi 9$ mm FRP bar의 재료특성은 Table 2에 정리하였다.

*정회원, 부경대학교 토목공학과 석사과정, E-mail: civil-yun@nate.com

**정회원, 부경대학교 토목공학과 교수, E-mail: janghs@pknu.ac.kr

***정회원, 동서대학교 건설공학부 전임강사, E-mail: amadeus@dongseo.ac.kr

Table 1. Mix proportion of concrete

Design Strength (MPa)	Slump (mm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				AE water reducer (g/m ³)
					C	W	S	G	
27	12	4.5	45.5	45.9	363	165	818	1000	1810
55	21	4.2	32.2	43.0	480	155	730	975	4800

Table 2. Property of reinforcement bars

Reinforcement	Elastic modulus (MPa)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Remark
Steel bar	200,000	300	440	D13
CFRP bar	122,000	-	2,135	φ9
GFRP bar	41,000	-	1,020	φ9
HFRP bar	60,000	600	670	φ9

2.2 시험체 및 실험 방법

실험에 사용된 콘크리트 보는 150×250×2400mm(지간 2200mm)로 제작되었으며, 휨보강근으로 사용된 FRP bar는 D건설주식회사에서 생산되는 φ9mm의 CFRP, GFRP, HFRP bar 3종류이다. 실험은 Steel Frame을 반력벽에 T자 형태로 설치하고 MTS 사의 250kN Actuator를 부착시켜 1mm/min의 변위제어로 보가 파괴될 때까지 가력 하였다. 가력된 하중은 Load Cell로 측정하였으며 보 중앙 하부에 LVDT를 설치하여 보의 처짐을 측정하였다. 사용된 시험체의 시험체 명에 대한 설명과 세부상세는 Fig.1과 Table 3에 나타내었다.

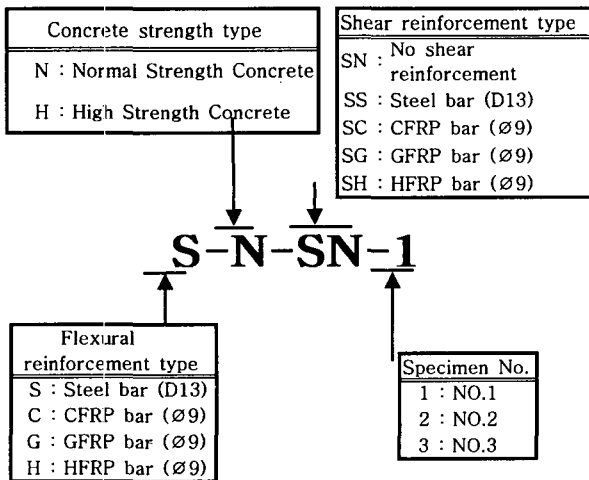


Table 3 Specimen details

Specimen code	Flexural reinforcement type	Concrete Strength
S-N-SN-1,2,3	Steel bar	Normal Strength Concrete
C-N-SN-1,2,3	CFRP bar	
G-N-SN-1,2,3	GFRP bar	
H-N-SN-1,2,3	HFRP bar	
S-H-SN-1,2,3	Steel bar	High Strength Concrete
C-H-SN-1,2,3	CFRP bar	
G-H-SN-1,2,3	GFRP bar	
H-H-SN-1,2,3	HFRP bar	

Fig. 1 Explanation of specimen code

3. 실험 결과

Table 4에 실험으로부터 구한 최대하중, 처짐, 파괴모드를 정리하여 나타내었다. 본 실험에서는 4점 가력 휨 실험을 실시하였고 전단 보강근이 없으므로 보의 전단력을 모두 콘크리트가 부담하게 되며, 이때 최대하중의 절반이 콘크리트가 발휘하는 전단력(V_c)에 해당한다. 콘크리트의 전단력은 식 (1)에 의하여 구한다.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b_w d \quad (1)$$

일반적으로 FRP bar 콘크리트 보에 식 (1)을 적용하면 콘크리트 전단강도가 과대평가 되는 경향이 있으므로 FRP bar 콘크리트 보에서는 식 (2), (3)을 사용한다. Table 4의 실험결과 값을 이용하여 식 (2), (3)에 나타낸 α_f , β_f 값을 Table 5에 정리하였다.

$$V_{cf} = \alpha_f \frac{E_f}{E_s} \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b_w d \quad (2)$$

$$V_{cf} = \beta_f \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b_w d \quad (3)$$

Table 4. Test results

Specimen code	Max. load (kN)	Average of max. load(kN)	Deflection (mm)	Failure type	Specimen code	Max. load (kN)	Average of max. load(kN)	Deflection (mm)	Failure type
S-N-SN-1	59.47	58.96	60.29	Diagonal	S-H-SN-1	57.39	58.19	67.86	Flexural
S-N-SN-2	59.68		61.05	Flexural	S-H-SN-2	57.34		81.34	Flexural
S-N-SN-3	57.74		56.44	Flexural	S-H-SN-3	59.84		87.86	Diagonal
C-N-SN-1	44.25	47.51	18.05	Diagonal	C-H-SN-1	60.04	56.24	34.34	Diagonal
C-N-SN-2	48.57		20.77	Diagonal	C-H-SN-2	52.93		18.89	Diagonal
C-N-SN-3	49.70		21.87	Diagonal	C-H-SN-3	55.76		23.78	Diagonal
G-N-SN-1	33.64	32.71	28.16	Diagonal	G-H-SN-1	40.58	41.59	58.12	Diagonal
G-N-SN-2	31.77		28.62	Diagonal	G-H-SN-2	40.86		37.33	Diagonal
-	-		-	-	G-H-SN-3	43.32		59.55	Diagonal
H-N-SN-1	18.89	21.78	17.65	Flexural	H-H-SN-2	30.09	31.28	44.03	Diagonal
H-N-SN-2	24.67		36.97	Flexural	H-H-SN-3	32.47		55.05	Flexural

Table 5. α_f and β_f for FRP bar reinforced concrete beam

Specimens	E_f (MPa)	Shear force (kN)	α_f	$\beta_f (= \alpha \frac{E_f}{E_s})$	Specimen	E_f (MPa)	Shear force (kN)	α_f	$\beta_f (= \alpha \frac{E_f}{E_s})$
C-N-SN-1	122,000	22.13	1.213	0.738	C-H-SN-1	122,000	30.02	1.212	0.739
C-N-SN-2		24.29	1.332	0.811	C-H-SN-2		26.47	1.068	0.652
C-N-SN-3		24.85	1.362	0.830	C-H-SN-3		27.88	1.125	0.686
G-N-SN-1	41,000	16.82	2.744	0.562	G-H-SN-1	41,000	20.29	2.437	0.500
G-N-SN-2		15.89	2.592	0.531	G-H-SN-2		20.40	2.454	0.503
-		-	-	-	G-H-SN-3		21.66	2.602	0.533
H-N-SN-1	60,000	9.45	1.053	0.315	H-H-SN-2	60,000	15.04	1.234	0.370
H-N-SN-2		12.34	1.375	0.414	H-H-SN-3		16.24	1.333	0.400

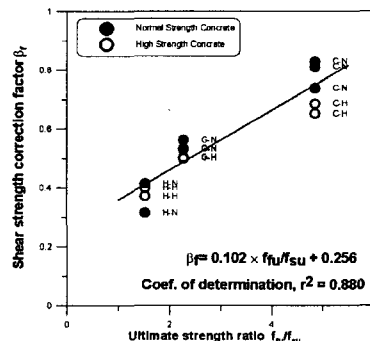
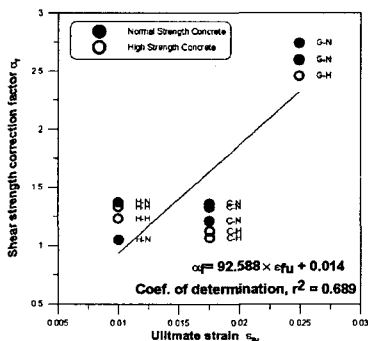


Fig. 2 Shear strength correction factor according to ultimate strain Fig. 3 Shear strength correction factor according to ultimate strength ratio

Fig. 2과 3에 실험결과 구해진 전단강도 보정계수 α_f , β_f 를 회귀분석한 결과를 나타내었다. 여기서 α_f 보다 β_f 의 결정계수가 더 크다는 것을 알 수 있으며, 이는 β_f 식을 사용하는 것이 더욱 합리적임을 의미한다. 회귀분석으로 구한 β_f 회귀모델식은 Fig. 4와 Table 6에서 보는 바와 같이 Michaluk 이하 기타 다른 식들에 비하여 계산값과 실험값이 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다. 그리고, ACI 440은 지나치게 과소평가하는 경향을 보였다.

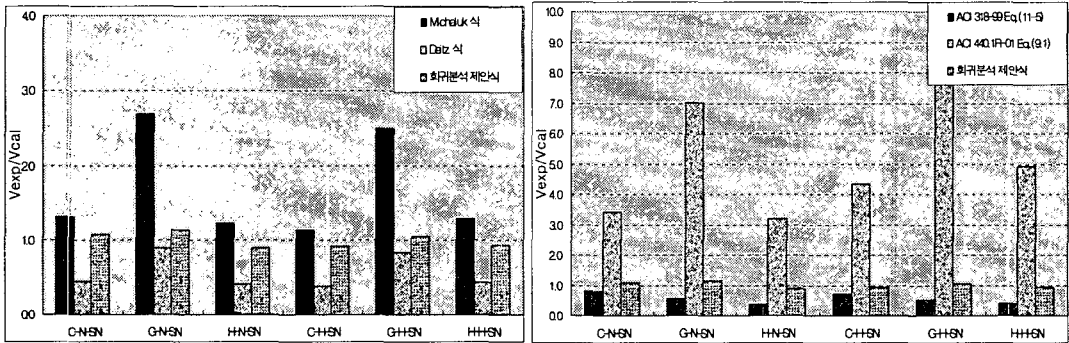


Fig. 4 Comparison of regression model and other models (mean values)

Table 6. Ratio of V_{exp}/V_{cal}

Specimen code	Micha-luk	Deitz	ACI 318	ACI 440	β_f -model	Specimen code	Micha-luk	Deitz	ACI 318	ACI 440	β_f -model
C-N-SN-1	1.223	0.408	0.774	3.184	0.918	C-H-SN-1	1.212	0.404	0.768	4.643	0.910
C-N-SN-2	1.343	0.448	0.850	3.495	1.008	C-H-SN-2	1.068	0.358	0.677	4.085	0.802
C-N-SN-3	1.374	0.458	0.870	3.576	1.032	C-H-SN-3	1.125	0.375	0.713	4.304	0.845
G-N-SN-1	2.767	0.922	0.589	7.203	1.027	G-H-SN-1	2.437	0.812	0.519	9.320	0.904
G-N-SN-2	2.613	0.841	0.556	6.802	0.970	G-H-SN-2	2.454	0.818	0.523	9.385	0.911
-	-	-	-	-	-	G-H-SN-3	2.602	0.867	0.554	9.950	0.966
H-N-SN-1	1.062	0.354	0.331	2.764	0.669	H-H-SN-2	1.235	0.412	0.385	4.722	0.778
H-N-SN-2	1.387	0.462	0.432	3.609	0.874	H-H-SN-3	1.333	0.444	0.415	5.097	0.839

* ACI 318-99 Eq. (11-5), ACI 440.1R-01 Eq. (9.1)

4. 결론

본 연구에서는 3종류의 FRP bar를 휨 보강근으로 사용한 보통강도 콘크리트 보와 고강도 콘크리트 보의 콘크리트 전단력을 평가 하였다. 철근과 FRP bar의 탄성계수를 이용한 전단강도보정계수 β_f 를 도출하였으며, β_f 를 극한강도비와 회귀분석하여 새로운 전단강도예측식을 제안하였다. 실험 결과와 여러 가지 전단강도 제안모델을 비교한 결과, ACI 318은 과대평가하는 반면, 최근에 발간된 ACI 440은 지나치게 과소평가하는 경향을 나타냈다.

참고문헌

- Gross S. P. , Yost J. R. , and Dinehart D. W. , (2002) "Shear Strength of Normal and High Strength Concrete Beams Reinforced With GFRP Bars", American Society of Civil Engineers, Kona, HI. pp.426-437.
- J.R.Yost, S.P.Gross, and D.W.Dinehart, (2001)"Shear strength of normal strength concrete beams reinforced with deformed GFRP bars", Journal of Composites for Construction, Vol.5, No.4, pp.268-275.
- C.R.Michaluk, S.H.Rizkalla G.Tadros, and B.Benmokrane, (1998) "Flexural behavior of one-way concrete slabs reinforced by fiber reinforced plastic reinforcements", ACI Structural Journal, Vol. 95, No.3, pp.353-365.