

섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Strengthened by Fiber Reinforced Polymer

황 현 복* 이 정 윤**
Hwang, Hyun-Bok Lee, Jung-Yoon

ABSTRACT

The research reported in this paper provides the test results of eleven reinforced concrete beams strengthened with FRP composites. Three parameters were considered in this investigation: the amount of FRP composites, the types of bonding schemes(continuous sheets or strips), and the material types of FRP composites (Carbon or Glass). The experimental results indicated that because the rupture strain of FRP composites was relatively higher than the yield strain of steel bars, the RC beams strengthened with FRP composites failed due to concrete crushing before the FRP composites arrived at its rupture strain. The compatibility-aided truss model showed reasonable agreement between the predicted and experimental shear stress-strain curves of the beams throughout the entire loading history.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 시간의 경과에 따른 구조물의 성능 저하, 건축물의 증축 및 용도변경에 의한 하중의 증가, 우발하중에 의한 구조물의 기능상실 등의 문제가 발생하므로 구조물에 대한 보수·보강이 필요하다. 기존의 보수·보강에 사용되고 있는 강판보강법은 구조물과 일체성 확보 및 시공이 어렵고 보강재의 자중이 무거워 취급이 어렵지만, 섬유보강재(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)를 이용한 보강법은 보강재의 자중이 가볍고, 시공이 간편하며, 부식에 강하기 때문에 사용범위가 점차 확대되고 있다.

본 연구에서는 기존 연구자들인 Chaallal 등¹⁾, Thiantafillou 등²⁾, Khalifa 등³⁾, Teng 등⁴⁾은 실험에 근거하여 섬유의 파단강도에 강도저감계수를 사용하여 전단내력을 평가하였다. 본 연구에서는 이론적으로 유도된 유효변형률을 사용하여 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도를 평가하였다.⁵⁾ 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단 강도 평가의 타당성을 입증하기 위하여 11개의 섬유보강 철근콘크리트 보를

* 정희원, 성균관대학교 건축공학과 석사과정

** 정희원, 성균관대학교 건축공학과 조교수

제작하였으며, 기존 연구자들의 식과 제안식을 비교 분석해 보았다.

2. 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단실험 계획

섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도 평가를 위하여 그림 1과 같이 실험체를 제작하였다. 전단보강근의 간격은 11개 실험체 모두 같으며 섬유의 보강량과 섬유의 재료(CFRP, GFRP)를 변수로 하였다.

11개의 보 실험체는 휨과괴 이전에 전단과괴에 도달하도록 표 1과 같이 계획하였다. 그림 1은 실험체 배근현황 및 FRP보강, 스트레인 게이지 부착 위치를 나타낸다. FRP의 보강은 탄소섬유와 유리섬유를 사용하였으며, 보강방법으로는 전면보강과 부분보강의 래핑(wrapping)으로 하였다. 게이지는 주인장철근의 변형률을 확인하기 위하여 하단의 주인장철근의 중앙부에 설치하여 측정하였으며, 전단보강철근의 변형률을 확인하기 위하여 전단위험단면에서 전단보강철근의 좌우로 하여 총 3개의 게이지를 부착하여 측정하였다. 또한 섬유의 변형률을 확인하기 위하여 전단위험단면에서 좌우로 총 3개의 게이지를 부착하여 측정하였다. 주 압축·인장철근의 항복강도는 524.5MPa, 전단보강근의 항복강도는 300MPa 이었다.

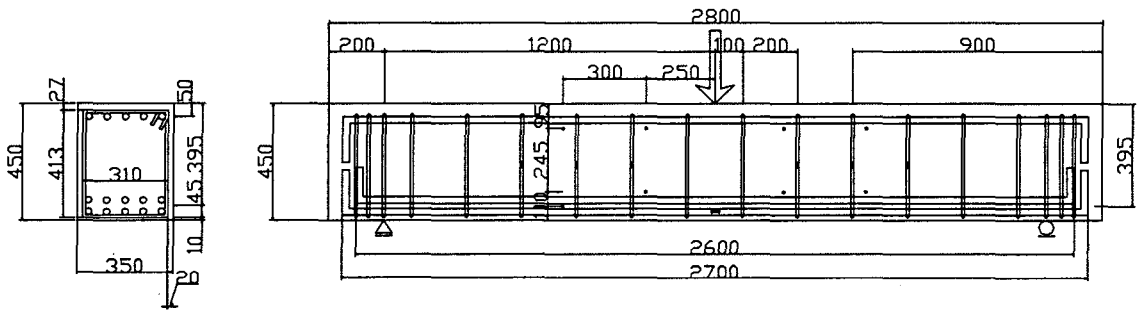


그림 1. 철근배근 상세 및 게이지 위치

표 1. 섬유보강 철근콘크리트 보의 실험체 일람표

실험체명	f_{ck} [MPa]	ρ_l [%]	ρ_t [%]	ρ_{fp} [%]	전단보강 간격[mm]	섬유보강 매수	섬유보강 타입	
R0	35	367	0.204	-	20	-	-	
CA1				0.063		1	Steel	
CA2				0.126		2		
GA1				0.266		1		
GA2				0.572		2		
GA3				0.858		3		
GA4				1.144		4		
GB1a				0.065		1		Fib
GB1				0.143		1		
GB3				0.266		3		
GB5				0.429		5		

표 2. 섬유보강 철근콘크리트 보의 실험결과

실험체명	ρ_{fp} [%]	최대이중 [kN]	차입 [mm]	$\frac{P_{max}}{P_0}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_0}$
R0	-	7825	127	1.0	1.0
CA1	0.063	12065	306	1.5	24
CA2	0.126	14320	418	1.8	33
GA1	0.266	9380	185	1.2	15
GA2	0.572	11030	265	1.4	21
GA3	0.858	11625	320	1.5	25
GA4	1.144	13790	453	1.8	36
GB1a	0.065	6380	140	0.8	1.1
GB1	0.143	7125	143	0.9	1.1
GB3	0.266	8650	190	1.1	1.5
GB5	0.429	10265	295	1.3	23

3. 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단실험 결과

CA2를 제외한 모든 실험체에서 전단파괴를 일으켰으며, CA2는 인장철근이 항복하고 이후 파괴하는 휨전단파괴를 보였다. 모든 실험체에서 최대하중후 전단균열이 생기고 섬유가 파단하여 파괴되었다. 표 2과 그림 2에서와 같이 섬유의 보강형태나 재료에 상관없이 섬유의 보강량이 증가할수록 하중이 증가하였다.

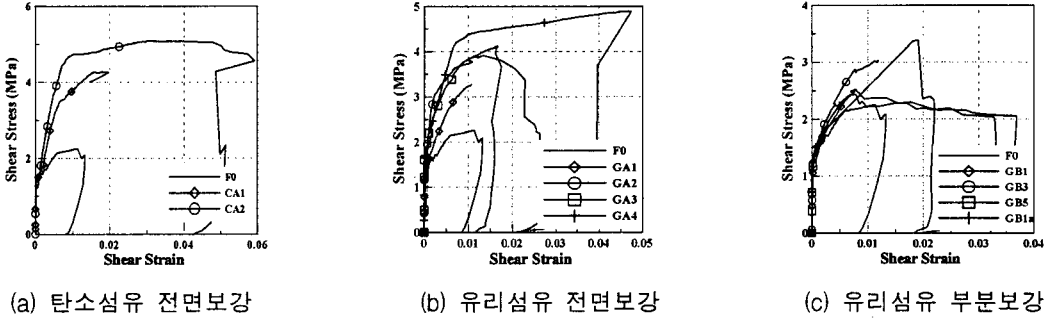


그림 2. 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단응력-변형률 곡선

4. 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단거동 평가

섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도 평가를 위하여 적합조건을 이용한 트러스모델에 의하여 이론적으로 유도된 최대 FRP량을 이용하여 섬유의 유효변형률을 이론적으로 유도하였다.^{5),6)} 이론적으로 구한 섬유의 유효변형률 타당성을 입증하기 위하여 본 연구의 실험결과와 비교하였다.

그림 3과 같이 이론적으로 유도한 유효변형률과 실험결과에 대한 섬유의 변형률을 비교한 결과 섬유의 변형률을 잘 예측하고 있음을 볼 수 있다.

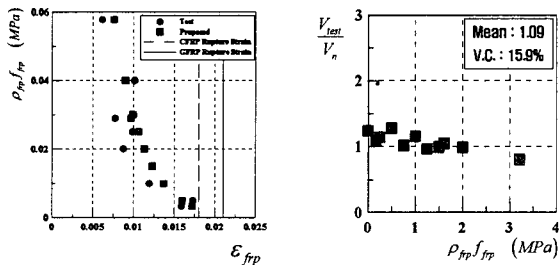


그림 3. 유효변형률과 실험결과 비교 (a) Chaallal 식

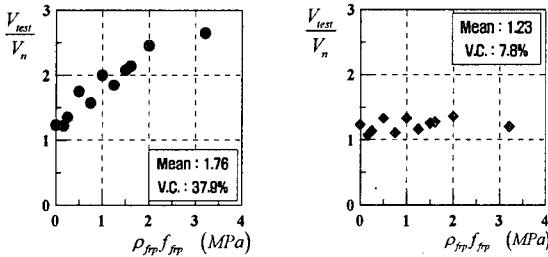


그림 4. 기존 연구자 및 제안식과 실험결과 비교 (b) Triantafillou 식 (c) 제안식

표 3. 타 연구자와의 실험결과 비교표

실험체명	$\rho_{frp} f_{frp}$ (MPa)	V_{test}/V_n		
		Chaallal	Triantafillou	제안식
F0	0	1.23	1.23	1.23
CA1	1.61	1.04	2.14	1.28
CA2	321	-	-	-
GA1	0.50	1.27	1.75	1.33
GA2	1.00	1.15	2.00	1.33
GA3	1.50	0.99	2.08	1.25
GA4	2.00	0.98	2.46	1.36
GB1a	0.17	1.09	1.22	1.07
GB1	0.25	1.14	1.35	1.14
GB3	0.75	1.01	1.57	1.11
GB5	1.25	0.96	1.85	1.16
평균		1.09	1.76	1.23
변동계수 [%]		15.9	37.9	7.8

기존 연구자 Chaallal과 Triantafillou의 식을 실험결과와 비교하였으며, 본 연구의 제안식을 통해 얻은 유효변형률을 적용하여 이론적으로 구한 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도를 비교하였다. 그림 4의 (a)는 Chaallal의 식과 실험결과 비교를 비교한 것으로 평균 1.09 변동계수 15.9%, (b)는 Triantafillou의 식과 실험결과를 비교한 것으로 평균 1.76 변동계수 37.9%, (c)는 본 연구의 제안식을 통하여 구한 결과와 실험결과를 비교한 것으로 평균 1.23 변동계수 7.8%였다. 본 연구에서 제안된 식을 실험결과와 비교하여 보았을 때 기존연구자들 보다 잘 예측하고 있으며 섬유의 재료나 보강량이 증가하여도 일정하게 평가함을 보였다.

5. 결론

- (1) 기존 연구자들의 평가식은 섬유의 강도저감계수와 유효변형률에 대하여 실험에 의존한 일정한 값을 사용함으로써 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도를 과대 또는 과소평가하는 경향을 보였다.
- (2) 본 연구에서 제안된 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도 평가법을 이용하여 본 연구에서 수행한 12개의 섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도 실험결과를 예측한 결과, 평균 1.23 변동계수 7.8%로 잘 예측하였으며 섬유의 재료와 보강량이 증가함에도 일정하게 평가하였다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 학술진흥재단의 선도연구자지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2004-041-d00741)

참고 문헌

1. Chaallal, O., Nollet, M. J., and Perraton, D., "Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Fiber-Reinforced-Plastic Plates: Design Guidelines for Shear and Flexure," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 25, No. 4, 1998, pp. 692-704.
2. Triantafillou, T. C., "Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites", *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No. 2, 1998, pp. 107-115.
3. Khalifa, A., Tumialan, G., Nanni, A., and Aziz, A., "Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of RC Flexural Members," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol. 2, No. 4, 1998, pp. 195-203.
4. Chen, J. F. and Teng, J. G., "Shear Capacity of Fiber-Reinforced Polymer-Strengthened Reinforced Concrete Beams: Fiber Reinforced Polymer Rupture," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No. 5, 2003, pp. 615-625.
5. 황현복, 이정윤, "섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도 평가," 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 한국콘크리트 학회, Vol. 16, No. 2, 2004, pp. 401-404
6. 황현복, "FRP로 보강된 철근콘크리트 보의 전단강도 평가," 성균관대학교 석사학위 논문, 2004