

탄소와 유리 섬유로 제작된 하이브리드 바의 섬유 배치에 따른 인장성능 실험

Tension Test of Hybrid Bars with Carbon and Glass Fibers

유 영 준* 박 지 선* 박 영 환** 유 영 찬** 김 금 환*** 김 형 열**

You, Young Jun Park, Ji Sun Park, Young Hwan You, Young Chan Kim, Keung Hwan Kim, Hyeong Yeol

ABSTRACT

Fiber Reinforced Polymers are recognized as the alternative materials for solving the problem due to the excellent corrosion-resistant property, light-weight and higher strength than steel. Glass fiber is superior to other fibers from the economical point of view but the mechanical property is not. For this reason, researches to improve the mechanical property of glass fiber reinforced polymer rebar has been conducted and it emerged as a solution to make the bar as a hybrid type with carbon fibers. This paper presents results of experimental program to investigate the scattering effectiveness of carbon fibers in glass FRP bar.

1. 서론

섬유복합재료(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)를 이용하여 바를 제작할 경우 주로 사용되는 섬유는 탄소, 아라미드, 유리 섬유로 이 중 탄소섬유가 철근과 유사한 강성을 가지며 인장강도가 가장 높은 장점이 있으나 고가인 관계로 상대적으로 경제적인 유리섬유가 많이 사용된다.

그러나 표 1에서 보는 바와 같이 유리섬유의 경우 철근에 비해 강성이 낮으며 다른 섬유와 마찬가지로 FRP 특성상 취성 파괴를 일으키는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고자 두 가지 이상의 섬유를 혼합하여 제작하는 하이브리드(hybrid)형 섬유 복합체에 대

표 1 철근과 FRP 재료의 비교(S. Kocaoz et. al., 2005)

	Steel	GFRP	CFRP	AFRP
항복 강도 [MPa]	276-517	NA	NA	NA
인장 강도 [MPa]	482-689	482-1585	600-3688	1724-2537
탄성 계수 [GPa]	200	35-51	103-579	41-125
극한 변형률 [%]	6-12	1.2-3.1	0.5-1.9	1.9-4.4

한 연구가 진행되었다(Bunsell, 1974; Pitkethly, 1987; Bakis, 2001).

하이브리드 복합체의 파괴 변형률은 구성 섬유 중 연신율이 작은 섬유의 파괴 변형률과 다르게 나

*정회원, 한국건설기술연구원 연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

***정회원, 한국건설기술연구원 선임연구부장

타나기도 하는데, 이러한 효과를 "hybrid effect"라 한다. 복합체 내에 연신율이 작은 섬유 비율이 적고 집중이 덜 될수록 하이브리드 효과가 좋아지는 것으로 보고되어 있다(Pitkethly, 1987; Kretsis, 1987).






본 연구에서는 GFRP 바의 성능을 개선하기 위하여 탄소섬유를 일정 부분 포함시켜 탄소섬유의 분포 방법에 따른 거동 차이를 살펴보고자 실험을 실시하였다.

2. 실험 계획

FRP 바는 유리/탄소섬유와 함께 개질 비닐에스터 수지를 사용하여 제작하였다.

실험변수는 섬유의 체적비에 따라 표 2와 같이 5개의 변수를 설정하였으며, 변수당 4개씩의 시편을 제작하였다. 실험은 890 kN 용량의 만능시험기와 ASTM D3916-02에서 제시되어 있는 규격에 따라 제작한 그립(grip)으로 바의 양 쪽 끝을 잡고 가력속도 0.45mm/sec의 변위제어로 실험하였다.

표 2 Type of Specimens

Group	A	B	C	D	E
Fiber volume fraction ^a	G 70%	C 50%	G 36% C 18%	G 36% C 18%	G 36% C 18%
Resin ^b	VE	VE	VE	VE	VE
Carbon-fiber placement	None	Full	In core	On surface	Dispersed
Label	A-VE	B-VE	C-VE	D-VE	E-VE
Cross Section					

^a G=glass; C=carbon

^b VE=epoxy modified vinylester

3. 실험결과

그림 1~그림 4는 각 시편의 하중-변위 곡선을 나타내고, 표 3은 측정값과 계산값을 보여준다. 한 가지 재료로 만들어진 FRP 바(그림 1)의 경우에는 전형적인 선형적 증가 후의 취성 파괴거동을 나타내었고, 유리와 탄소를 혼합한 하이브리드 바의 경우에는 최대하중 후 어느 정도 단계적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

일종 이상의 섬유로 제작된 하이브리드 복합체의 특성값은 식 (1)과 같은 혼합법칙(mixed rule)에 의해 계산할 수 있다.

$$P_H = P_G V_G + P_C V_C \quad (1)$$

여기서, P_H 는 계산하고자 하는 특성 값이고, P_G , P_C 는 개별 재료의 특성값, V_G 와 V_C 는 상대적 체적비로써 $V_G + V_C = 1$ 이다.

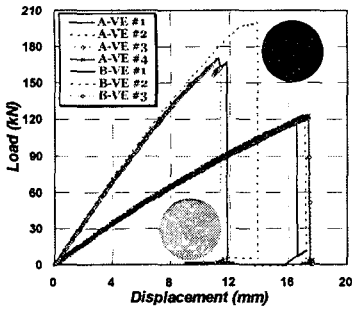


그림 1 Load-Displ. (A-VE, B-VE)

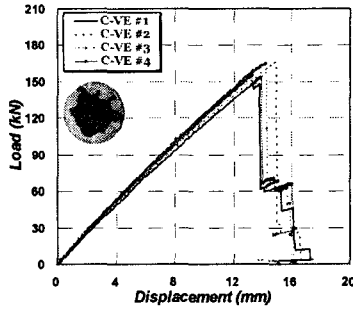


그림 2 Load-Displ. (C-VE)

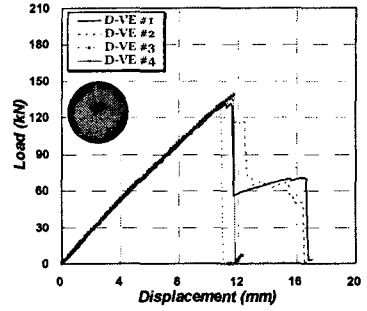


그림 3 Load-Displ. (D-VE)

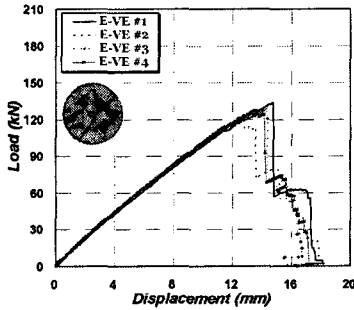


그림 4 Load-Displ. (E-VE)

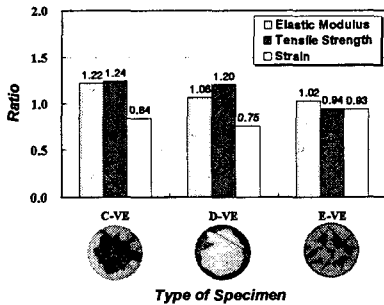


그림 5 Capacity Ratio

표 3 Results of Tension Test

Label	Cross-Section	Measured	Calculated	
		Tensile Strength ^b (COV)	Elastic Modulus ^c	Ultimate strain ^d
A-VE	0.7A ^a	1,356 [MPa] (2.0)	65 [GPa]	2.09 [%]
B-VE	0.5A	2,827 [MPa] (10.6)	237 [GPa]	1.20 [%]
C-VE	0.54A	2,243 [MPa] (6.5)	151 [GPa]	1.48 [%]
D-VE	0.54A	1,956 [MPa] (3.4)	146 [GPa]	1.34 [%]
E-VE	0.54A	1,884 [MPa] (3.2)	115 [GPa]	1.63 [%]

^a $A = d^2 * \pi / 4$, $d = 12.7 \text{mm}$

^b avg. value dividing max. load by cross-section area

^c avg. value derived from stress-strain ranging 50%~75% of max. tensile strength (CSA Standard)

^d dividing avg. tensile strength by calculated elastic modulus

COV : coefficient of variation

표 3에서 인장강도는 수지 면적은 무시하고 최대하중을 섬유만의 면적으로 나누어 계산하였다. 계산된 유리 및 탄소의 개별적 인장강도에 대해 체적비를 적용하여 식 (1)에 의해 계산하면 하이브리드 바의 인장강도는 1,846 MPa, 탄성계수 122 GPa, 파단 변형률 1.51%의 값을 얻을 수 있다.

하이브리드 바의 계산값을 기준으로 하여 실험값을 비교해 보면(그림 5), 인장강도와 탄성계수의 경우 유리섬유가 외측에 존재하고 탄소섬유가 중앙에 위치하는 것이(C-VE) 반대의 경우(D-VE)보다 높은 값을 나타내었고, 탄소가 내측에 존재하더라도 집중시키지 않고 산포시키면(E-VE) 성능은 감소하

는 것으로 나타났다.

하이브리드 효과를 나타내는 연신율을 살펴보면 탄소를 외측에 위치시키는 것보다는 내부에 집중시키는 것이 유리하다. 그러나 이 두 경우에 하이브리드 효과는 나타나지 않았고, 탄소를 내부에 산포시켰을 경우에만 하이브리드 효과가 나타나 연성 차원에서는 이러한 방식이 유리한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 GFRP 바의 성능을 개선하기 위하여 FRP 바의 섬유 혼합과 배치에 따른 인장성능을 실험적으로 평가한 것으로 실험을 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 유리와 탄소섬유를 사용하여 하이브리드 바를 제작할 경우에 탄소섬유를 중앙에 위치시키는 것이 좀 더 높은 인장강도와 탄성계수 값을 얻을 수 있다.
- 2) 탄소섬유를 바의 단면 내에 산포시키는 것보다는 중앙에 집중시키는 것이 좀 더 높은 인장강도와 탄성계수 값을 얻을 수 있다.
- 3) 유리와 탄소섬유로 제작된 하이브리드 바의 인장강도는 혼합법칙(mixed rule)에 의한 계산값보다 2%~22% 높은 값을 나타내었다.
- 4) 탄소섬유를 단면 내에 산포시킬 경우 연신율이 탄소섬유의 연신율보다 커지는 하이브리드 효과가 나타났다.

감사의 글

본 연구는 공공기술연구회 2004년도 정책연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발" 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) A. R. Bunsell and B. Harris, "Hybrid carbon and glass fibre composites", *Composites*, Vol.5, No.4, pp.157-164, 1974.
- 2) C.E. Bakis, A. Nanni, J.A. Terrosky, S.W. Koehler, "Self-monitoring, pseudo-ductile, hybrid FRP reinforcement rods for concrete applications", *Composites Science and Technology*, Vol.61, No.6, pp.815-823, 2001.
- 3) M. J. Pitkethly, M. G. Bader, "Failure modes of hybrid composites consisting of carbon fibre bundles dispersed in a glass fibre epoxy resin matrix", *Journal of physics*, Vol.20, No.3, pp.315-322, 1987.
- 4) S. Kocaoz, V.A. Samaranayake, A. Nanni, "Tensile characterization of glass FRP bars", *Composites Part B* 36, pp.127-134, 2005