

하이브리드 섬유강화 복합재료 리바의 연성효과

최명선*·한길영**·이동기**·안동기**

(Ductile Effect of Hybrid Fiber Reinforced Composite Rebar)

Choi myung-sun* · Han gil-young** · Lee Dong-gi** · Ahn Dong-gue**

Key Words: Glass Fiber, Carbon Fiber, Kevlar Fiber, Hybrid, Rebar

Abstract

This paper describes the need for a ductile of Fiber Reinforced Plastic(FRP) reinforcement for concrete structures. The criteria to be met by the FRP, which are based on the properties of the steel rebar it is to replace, are threefold: high initial modulus, a definite yield point and a high level of ultimate strain.

It is shown that the use of a fiber architecture based design methodology facilitates the optimization of the performance of FRP through material and geometric hybrid. Ductile hybrid FRP bars were successfully fabricated at 3mm and 5mm nominal diameters using an in-line braiding and pultrusion process.

1. 서 론

교량상판, 포장도로, 고가도로, 폐수처리시설, 항구 등과 같은 강화 콘크리트 구조물은 공해, 열악한 환경 등에 노출로 인하여 제 수명을 다하지 못하고 있으며, 안전에 영향을 주고 있다는 지적이 있다.¹⁾

섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Plastics : FRP)는 비강도, 비강성, 내구성, 내식성, 경량성 등이 우수하기 때문에 강을 대체할 수 있는 재료로 관심이 집중되고 있다. 콘크리트 내에서 강부식에 대체할 수 있는 방법으로 에폭시를 코팅한 리바가 사용되고 있다. 최근에는 유리, 탄소, 아라미드 섬유로 제작한 섬유강화 복합재료가 Saadatmanesh and Ehsani등에 의하여 다양하게 응용되고 있다.

Keeslar, Powers²⁾등의 보고에 의하면 에폭시를 코팅한 리바는 여전히 사용중에 심각한 부식이 나타남을 보고하였다. Rasheeduzzaf³⁾등은 고알칼리성인 콘크리트 내에서 에폭시로 코팅한 리바의 심각한 부식 문제점을 발견하였다. 반면에 탄

소섬유와 아라미드섬유를 강화제로한 FRP는 강에 비해서 비강도가 우수할 뿐만 아니라 부식에 대한 저항이 훨씬 더 우수하다. 이러한 우수한 장점이 있음에도 불구하고 콘크리트 강화제로써 FRP의 채택은 고가의 제작비, 신기술과의 친밀성 결여등을 이유로 늦어지고 있다. 또한 FRP를 이용하는데 중요한 장애요인으로 연성결여가 커다란 문제점으로 지적되고 있다. FRP강화재의 응력-변형을 거동은 극한하중에 이를때까지 선형적 탄성변형이 필수적이며 취성 파괴를 한다. 따라서 곁힘 하중을 받고있는 부재에서의 이러한 바의 인장 거동은 연성이 매우 적게 나타남을 보여준다.

FRP의 장점을 충분히 활용하기 위해서 생산비용이 저렴하고 인위적인 방법으로라도 연성을 갖는 FRP개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 유리, 탄소, 케블라 섬유를 이용하여 섬유구조를 일 방향 장섬유와 케블라-유리섬유, 케블라-탄소섬유의 하이브리드 구조로 설계하여 섬유구조에 대해서 인위적인 방법으로 연성을 부여하는 방법을 연구하였다. 이와 같은 섬유구조에 대

해서 인장실험을 행하여 일방향 섬유와 하이브리드 구조 섬유에 대한 응력-변형을 선도를 비교하였다. 브레이드 트루전법(Braidtrusion process)을 이용하여 직경 $\phi 3$, $\phi 5$ 의 FRP리바를 제작하여 인장시험을 행하여 철근의 응력-변형을 선도와 비교하였다.

2. 시험편 제작 및 실험방법

본 실험에 사용된 강화재인 섬유는 한국화이버사의 유리섬유(ER 4400 J)를 사용하였으며, 기지(matrix)재료는 열 경화성 폴리에스터(polyester)를 사용하였다. FRP리바를 제작하기 위하여 펄트루전(pultrusion)법으로 제작하였으며 Fig.1에 펄트루전법의 개략도를 도시하였다.

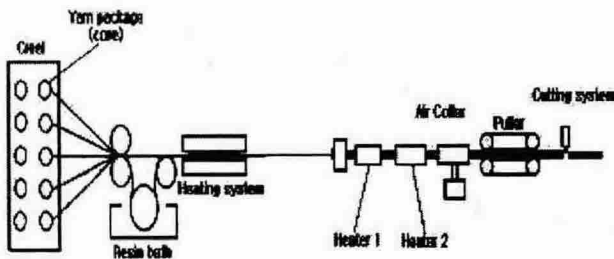


Fig.1 Schematic of the Pultrusion Process

리바의 직경은 $\phi 3\text{mm}$ 로써 GFRP, G&KFRP, CFRP, C&KFRP의 4가지 type으로 하여 기지에 따라 8가지 종류의 리바를 일방향으로 성형하였다.

성형 전 인장강도 및 응력-변형을 예측하기 위하여 Glass Fiber, Kevlar Fiber, Carbon Fiber를 ASTM D-3379-75를 참조하여 시험편을 제작하였다.

리바(rebar)는 유리섬유에 열경화성 폴리에스터 수지와 액체 경화제, 분말 경화제, 이형제, 첨가제를 180 : 1 : 1.25 : 1 : 35의 비율로 혼합하여 섬유가 충분히 함침된 후 금형을 지날 수 있도록 분당 40cm길이로 성형하였으며, 금형의 온도는 100°C 에서 약 5분간 예열하여 120°C 에서 성형할 수 있도록 하였다.

Fig.2는 성형후 인장강도를 예측하기 위한 유리섬유 인장 시험편을 사진으로 도시하였으며, 시험편의 치수와 형상은 Fig.3에 도시 하였다.



(a) Glass Fiber Iyarn



(b) Carbon Fiber Iyarn



(c) Kevlar Fiber Iyarn

Fig.2 Photographs of yarn tensile specimen

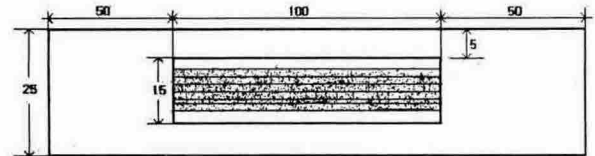


Fig.3 Configuration of yarn tensile specimen

얀(yarn)의 인장시험은 Fig.4와 같은 재료시험기(Instron 4206, 15ton)를 사용하였으며 크로스헤드 스피드는 $2.54\text{mm}/\text{min}$ 로 각 조건에 대하여 5개씩의 시험편을 제작하여 실험 하였다

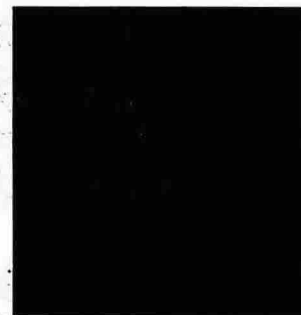


Fig.4 Tensile testing machine Instron 4206 $\phi 3\text{mm}$ GFRP의 인장시험은 재료시험기(SGA-A-30G, 30ton)를 사용하였으며 크로스헤드 스피드는 $2.54\text{mm}/\text{min}$ 로 5개의 시험편을 제작하여 실험 하였다.

Fig.5는 $\phi 3\text{mm}$ 의 인장시험편을 사진으로 도시하였고, ASTM D3039규격을 참조하여 Fig.6에 인장시험편의 형상을 도시 하였다.



Fig.5 Photographs of $\phi 3$ mm tensile specimen

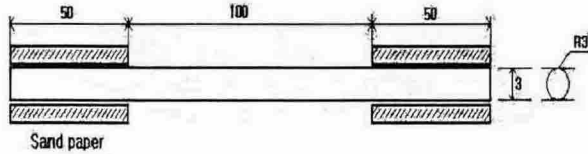


Fig.6 Configuration of tensile specimen

인장시험시 그립부에서 발생하는 응력집중과 슬립을 피하기 위하여 그립부에 샌드페이퍼를 부착하여 시험편을 제작하였다.

$\phi 3$ mm 리바 시험편의 섬유함유율은 전기로(Electric Furnace)를 사용하여 600°C 에서 약2시간 유지시킨 후에 1/10,000g까지 측정이 가능한 분석용 정밀 전자 저울을 이용해 실온 상태에서 시험편의 중량을 측정하여 이들의 비를 백분율로 나타내었다. 이 때 시험편은 각 조건에 5개씩 제작하여 실험 하였으며, 연소 전, 후의 사진을 Fig.7에 나타내었다.



(a) before combustion



(b) after combustion

Fig.7 Photographs of specimens before and after of combustion

Table.1 Fiber volume fraction of specimens

specimens	$\phi 3$ mm GFRP	$\phi 3$ mm G-KFRP	$\phi 3$ mm CFRP	$\phi 3$ mm C-KFRP
fiber volume fraction(%)	64.78	70.93	50.89	53.56

3. 결과 및 고찰

Fig. 8,9,10는 Glass fiber, Carbon Fiber, Kevlar Fiber의 인장시험 결과이며, 평균 최대하중과 최대 하중점에서의 변형율을 table 2에 나타내었다.

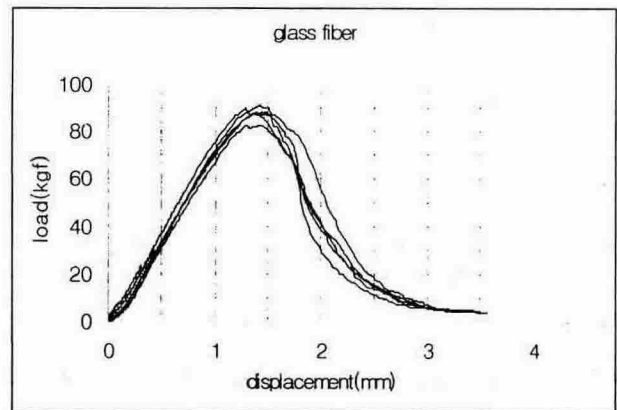


Fig.8 Results of tensile test of Glass fiber

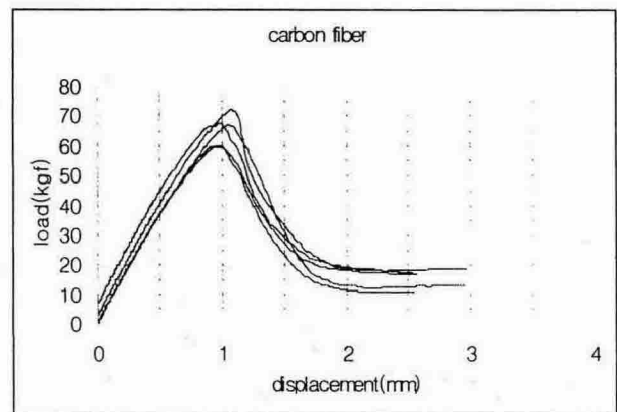


Fig.9 Results of tensile test of Carbon fiber

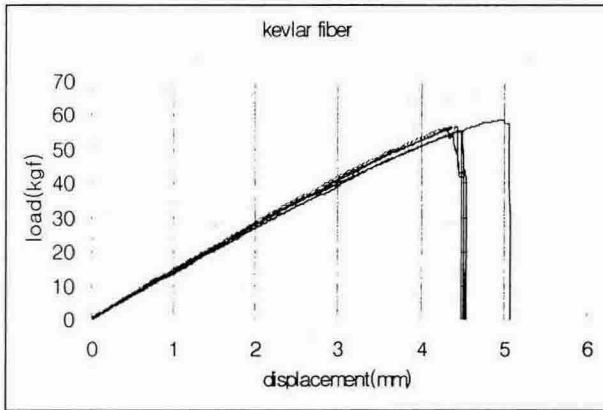


Fig.10 Results of tensile test of Kevlar fiber

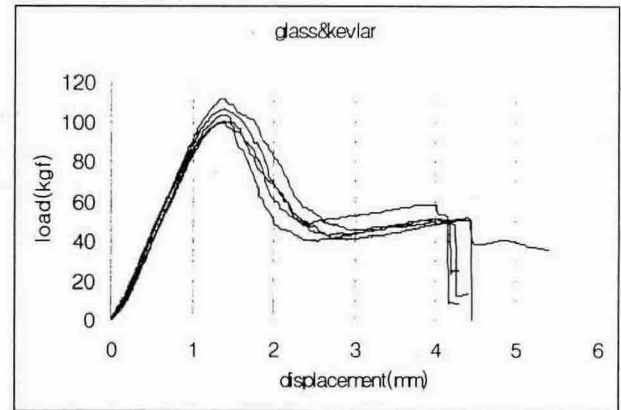


Fig.11 Results of tensile test of Glass&Kevlar fiber

Table.2 Result of tensile test of Fiber specimens

	Load at Max Load(kgf)	Strain(mm) at Max Load	Load(g) per diner at Max Load
glass fiber	87.94	1.38	2.220
carbon fiber	65.14	1.03	8.041
kevlar fiber	56.38	4.52	16.485

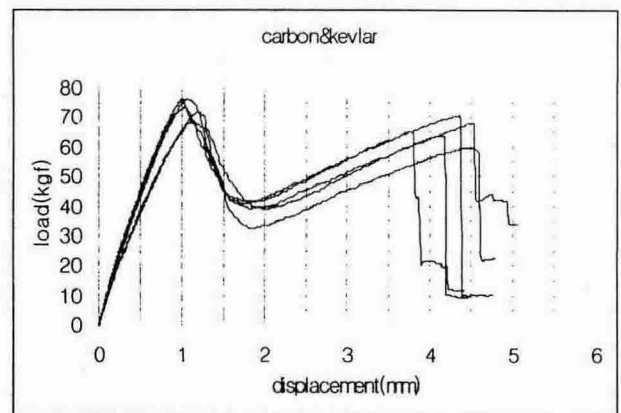


Fig.12 Results of tensile test of Carbon&Kevlar fiber

Fig. 11, 12는 Glass Fiber와 Carbon Fiber에 Kevlar Fiber를 하이브리드화 하여 인장시험한 결과 이다. 최대하중과 최대하중점에서의 변형율은 Glass&Kevlar 하이브리드는 104.37kgf, 1.41mm, Carbon&Kevlar 하이브리드가 73.2kgf, 1.10mm로 나타났다.

각 실험의결과 모두 최대 하중점에서 파단되지 않고 약 2mm의 변형을 한 후 이차 파단점을 지나 파단 되는 것을 알 수 있었다

Fig. 13은 Glass Fiber를 Vinylester수지를 이용한 3mm Rebar의 인장시험 결과이고, Fig. 14는 Kevlar Fiber와 Hybrid화 한 3mm Rebar의 인장 시험 결과이다.

최대 하중과 최대하중점에서 변형율은 Hybrid화된 3mm Rebar가 약 40kgf, 5.4% 우수한 것으로 나타났다.

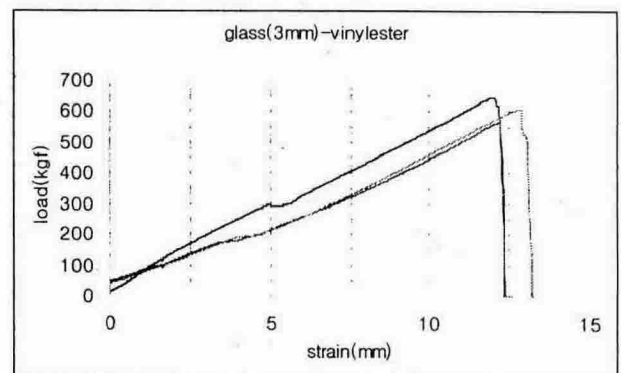


Fig.13 Results of tensile test of Glass(Vinylester) Rebar(3mm)

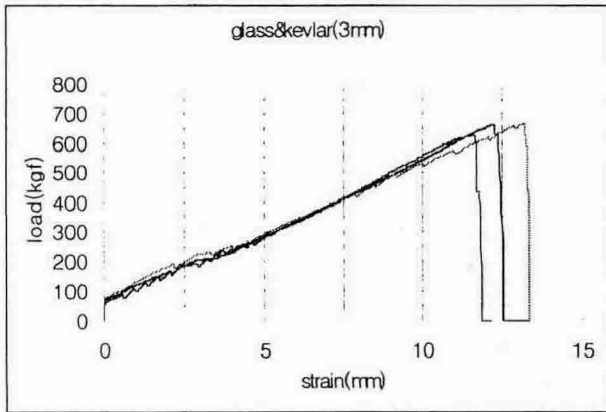


Fig.14 Result of tensile test of Glass&kevlar Hybrid Rebar(3mm)

Fig.15는 Glass Fiber를 polyester수지를 이용한 3mm Rebar의 인장시험 결과이고, Fig. 16은 Kevlar Fiber와 Hybrid화 한 3mm Rebar의 인장 시험 결과이다.

최대 하중과 최대하중점에서 변형율은 Hybrid화 된 3mm Rebar가 약 55kgf, 18.7% 우수한 것으로 나타났다.

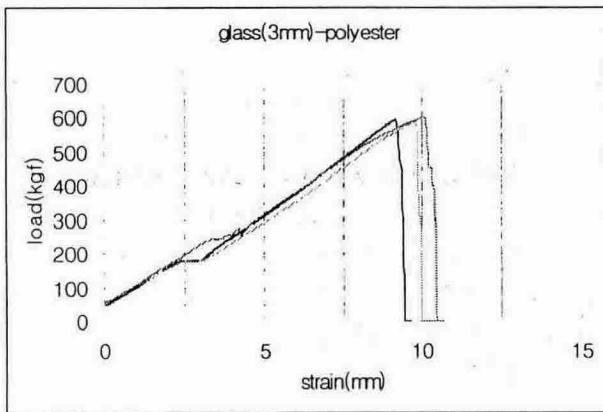


Fig.15 Results of tensile test of Glass(Polyester) Rebar(3mm)

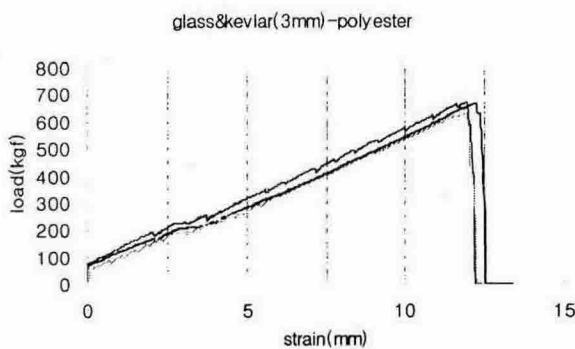


Fig.16 Results of tensile test of Glass&Kevlar Hybrid Rebar(3mm)

Table.3에 수지에 따른 Hybrid화된 3mm리바의 최대하중과 최대하중점에서의 변형율을 나타내었다.

Table.3 Max Load and Strain at Max load of Glass Rebar and Hybrid Rebar

specimen		Glass Fiber Rebar			Glass&Kevlar Hybrid Rebar		
		1	2	3	1	2	3
Vinylester	Max load (kgf)	605.5	635.5	579	656	661.5	620.5
	strain at Max load (mm)	11.8	11.0	12.2	13.2	12.2	11.6
Polyester	Max load (kgf)	596	602.5	588	665	662	624.5
	strain at Max load (mm)	9.17	10.1	9.81	12.2	11.6	11.9

Reference

- 1) Ramakrishna V., "Materials and properties of Fiber Concrete", Madras, India, Vol., 1987, pp. 2.3~2.23
- 2) Keesler, R. J, and Powers, R. G, Corrosion of epoxy-coated Rebar-Keys Segmental Bridge-Monroe Country, Report No. 88-89 Florida Department of Transportation, Material office, 1998
- 3) Rasheeduzzafar, A, Dakhil, F, Bada Performance of Corrosion Reinforcing Steels in Chloride-Bearing Concrete, ACI Materials Journal, Vol.89, No.5 pp 439-448.1992