

콘크리트 구조물용 하이브리드 섬유강화 복합재료 리바 물성에 관한 실험적연구

배시연* · 신용욱** · 한길영*** · 이동기**** · 심재기*****

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Hybrid Fiber Reinforced Plastic(FRP) Rebar for Concrete Structure

Si Yon Bae, Yong Wok Shin, Gil Young Han, Dong Gi Lee, Jae Gi Sim

Key Words: Rebar(리바), Fiber Reinforced Plastic(섬유강화 복합재료 : FRP), Steel Bar(철근)
Hybrid FRP Rebar(하이브리드 FRP리바)

Abstract

This paper describes the need for a ductile Fiber Reinforced Plastic(FRP) reinforcement for concrete structures. Using the material hybrid and geometric hybrid, it is demonstrated that the pseudo-ductility characteristic can be generated in FRP rebar.

Ductile hybrid FRP bars were successfully fabricated at 4mm and 10mm nominal diameters using an hand lay up method. Tensile specimens from these bars were tested and compared with behavior of FRP rebar and steel bar

1. 서 론

포장도로, 교량, 철도, 항만, 공항, 댐, 터널 등과 같은 철근(steel bar)을 강화재로 사용한 콘크리트 구조물들은 강화재인 강이 부식으로 인하여 빠른 열화 때문에 제 수명을 다하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 부식의 원인은 열악한 환경, 염분, 화학적인 산업재해 등의 노출에 기인한다.

미국의 연방고속도로 관리협회¹⁾(Federal Highway Administration : FHWA)에 따르면 1993년 미국에서의 고속도로 교량의 약 23%가 구조적 결함이 있었다는 보고가 있었으며, 주원인은 철근의 빠른 부식때문이라고 하였다. 미국에서 건설비 1200억\$중에서 240억\$을 고속도로 유지보수비로, 새로운 고속도로 건설비로 320억\$을 지출하

였다고 하였으며, 낮은 고속도로의 유지보수비용이 새로운 고속도로 건설비보다 향후 10년간은 더 많이 지출될 것으로 전망하였다.

우리나라의 경우도 예외일 수는 없을 것이다. 따라서 철근을 대체할 수 있는 고강도, 고강성, 경량, 내진, 내식성 재료의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이며, 보수 보강법의 개발에 대한 필요성이 증대되고 있다. 미국, 일본 등과 같은 선진국에서는 이러한 강이 부식에 대처하기 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있으며, 많은 연구결과가 발표되고 있다.

Keeslar²⁾등은 리바에 에폭시(epoxy)를 코팅하여 사용한 결과 사용중 리바에 여전히 부식이 심하게 나타나고 있음을 보고하였다.

Rasheeduzzafar³⁾등은 에폭시로 코팅한 리바를 높은 염화 콘크리트에서 실험한 결과 심각한 부식문제를 발견하였다고 하였다.

Nanni⁴⁾등은 강(steel)에 에폭시를 모재로 한 아라미드 섬유를 브레이딩(braiding)한 bar를 실험하여 응력-변형률 거동이 선형적임과 Hybrid화의 장점을 발표하였으나 코어(core)재인 steel에서는 여

* 조선대 대학원
** 조선대 대학원
*** 조선대 공대
**** 조선대 공대
***** 조선대 공대

전히 부식이 진행됨을 지적하였다. 그러나 탄소와 아라미드 섬유 강화 복합재료(FRP)는 강에 비해서 비강도가 뛰어난 뿐만 아니라 내식성이 우수한 재료임이 발표되었다. 이러한 우수한 장점이 있음에도 불구하고 콘크리트 구조물의 강화재로서 FRP선택은 고비용(High Cost), 신기술(New Technology)과의 친밀성 결여와 같은 이유로 사용이 지연되고 있다.

FRP강화재의 인장 응력-변형을 거동은 극한 하중과 파손에 이를 때까지 선형적인 탄성이 필수적이며, FRP의 장점을 충분히 활용하기 위해서는 연성과 충분한 강성도를 가질 수 있는 저비용 복합재료 개발의 필요성이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 유리, 탄소, 케블라 섬유에 에폭시를 함침시킨 FRP 리바(FRP rebar)와 탄소섬유/케블라섬유, 케블라섬유/유리섬유, 유리섬유/탄소섬유 비를 7:3, 8:2, 6:4의 비율로 하여 직경이 ϕ 4mm, ϕ 10mm인 FRP리바를 핸드레이업(hand lay-up)법으로 제작하였으며, 연소법으로 섬유함유율을 구하고 인장 실험을 행하여 steel bar와의 인장응력-변형을 거동과의 관계를 비교하였으며, 이러한 데이터(data)를 기초로 하여 펄트루전법(pultrusion process)으로 하이브리드 FRP 리바(hybrid FRP rebar)를 제작하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

본 실험에 사용된 섬유는 한국화이버사의 유리 섬유, 일본 아라미드사의 케블라섬유, 일본 MITSUBISHI사의 탄소섬유를 사용하였으며 재료의 기본물성은 Table 1과 같다.

Table. 1 Mechanical properties of Materials

Materials	Tensile strength (kg/cm ²)	Tensile Modulus (10 ³ kg/cm ²)	Elongation (%)	Density (g/cm ³)
Carbon fiber (T-300)	360	23.5	0.8	1.76
Kevlar fiber	280	7.28	0.18	1.44

본 연구에서는 FRP 리바를 제작하기 위하여 유리, 케블라, 탄소섬유를 사용하였으며 기지(matrix)재료는 상온경화형 에폭시(epoxy)를 사용하여 핸드레이업(Hand lay up)법으로 제작하였

다. 리바(rebar)의 직경 ϕ 4mm인 경우 유리, 탄소, 케블라 각각의 섬유에 에폭시(epoxy)를 함침하여 제작하였으며, 직경 ϕ 10mm인 경우는 유리, 탄소, 케블라 섬유강화 복합재료(FRP) 리바와 탄소섬유/케블라 섬유, 케블라 섬유/유리섬유, 유리섬유/탄소섬유를 각각 7:3, 8:2, 6:4의 비율로 혼합한 하이브리드(Hybrid)형 구조로 하여 섬유를 수지에 충분히 함침시킨후 리바제작용 금형에 충전하여 상온에서 24시간 유지시킨후 탈형하였다. 리바 제작용 금형(mold)은 금형제작용 실리콘(silicon)과 steel bar를 이용하여 제작하였다. 시험편은 각 조건에 대해서 5개씩 제작하였다. FRP리바 시험편의 섬유함유율(fiber volume fraction)은 탄소 섬유 강화 복합재료(CFRP) 리바(rebar)와 유리섬유강화 복합재료(GFRP)리바는 전기 오븐(oven)을 사용하여 600℃에서 2시간, 케블라 섬유강화 복합재료(KFRP)리바는 400℃에서 2시간 유지시킨 후 정밀 전자 밸런스(balance)를 이용하여 중량을 측정하여 구하였으며를 Table 2에 나타내었다.

Table. 2 Fiber Volume Fraction of FRP Rebar

materials	Fiber Volume Fraction
CFRP Rebar (ϕ 4mm)	26.84%
GFRP Rebar (ϕ 4mm)	56.52%
KFRP Rebar (ϕ 4mm)	33.50%

Fig. 1은 직경 ϕ 4mm인 FRP 리바 시험편 사진을 도시하였다. 시험편은 ASTM(D309)규격을 참조하여 제작하였으며, Fig. 2에 시험편의 형상을 도시하였다.

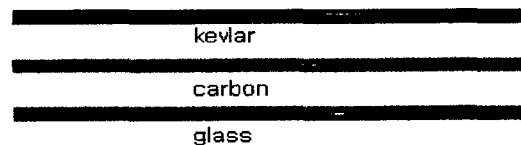


Fig. 1. Photographs of FRP Rebar tensile Specimen with nominal diameter ϕ 4mm

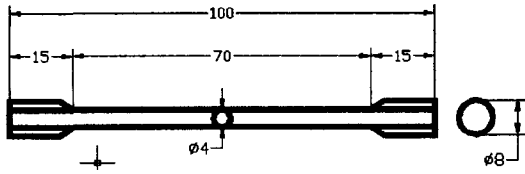


Fig. 2. Configuration of tensile Specimen with nominal diameter $\phi 4mm$



Fig. 3 Photographs of FRP Rebar tensile Specimen with nominal diameter $\phi 10mm$

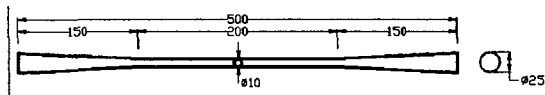


Fig. 4. Configuration of tensile Specimen with nominal diameter $\phi 10mm$

Fig. 2와 같이 직경 $\phi 4mm$ 인 시험편은 인장시험시 그립(grip)부의 응력집중을 피하기 위하여 Sand Paper를 감아서 그립(grip)부를 제작하였다. Fig. 3은 직경 $\phi 10mm$ 인 FRP 리바 시험편 사진을 도시하였으며, 인장시험시 grip부에서 발생하는 응력집중을 피하기 위하여 시험편의 양단에 탄소섬유를 길이 방향의 수직으로 감아서 탭(tap)을 만든후 선반으로 테이퍼(taper)가공을 하였으며 연강을 시험편의 grip부와 같게 taper를 갖게 가공한 후 강력 접착제인 AW106과 경화재 HO953을 100:80의 중량비로 혼합하여 접착하였다. Fig. 4는 직경이 10mm인 인장시험편의 형상을 도시하였다.

인장시험은 재료시험기(Instron 4206, 15ton)를 사용하여 cross head speed는 $2mm/min$ 으로 상온에서 실험하였다. 각 조건에 대해서 5개씩의 시험편을 제작하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 직경이 4mm인 유리섬유 강화 복합재료 리바에 대한 인장시험의 결과로서 파괴하중과 응력은 각각 $673Kgf$, $54Kg/mm^2$ 를 나타내었으며 최대하중점에서 변위는 6.04%를 보였다.

Fig. 6은 직경이 4mm인 케블라 섬유 강화 복합재료 리바에 대한 인장시험 결과이며 파괴하중과 응력은 각각 $836Kgf$, $66.5Kg/mm^2$ 를 나타내었으며, 최대하중점에서 변위는 10%를 보였다.

Fig. 7은 직경이 4mm인 탄소섬유 강화 복합재료 리바에 대한 인장시험 결과이며 파괴하중과 응력은 각각 $1153Kgf$, $92Kg/mm^2$ 를 나타내었으며, 최대하중점에서 변위는 7.4%를 보였다.

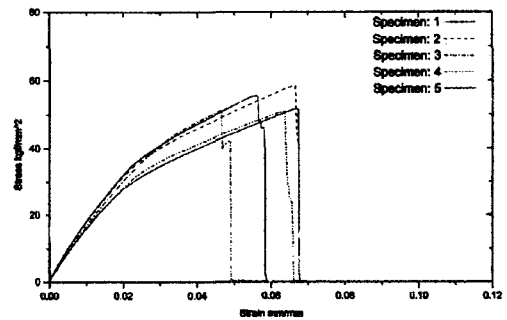


Fig. 5 Result of tensile test of GFRP Rebar ($\phi 4mm$)

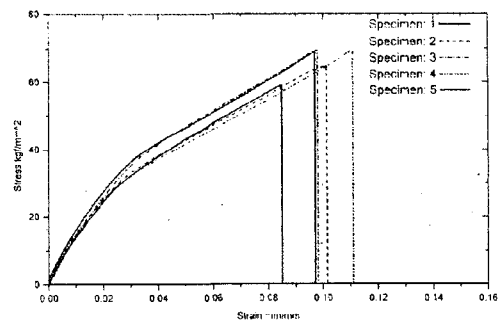


Fig. 6 Result of tensile test of kevlar FRP Rebar ($\phi 4mm$)

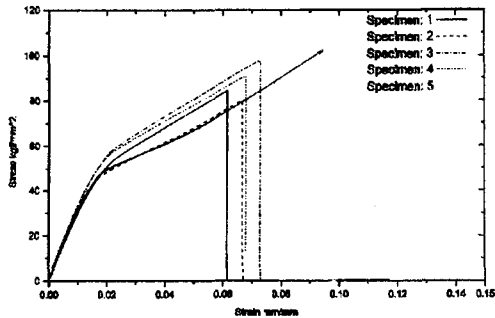


Fig. 7 Result of tensile test of CFRP Rebar
(ø 4mm)

Fig.8은 직경이4mm GFRP, CFRP, KFRP 리바의 인장실험후 파괴상태를 도시한 사진이다. 3종류 모두 대나무가 파괴된 형상과 유사한 형태로 나타났다.



(a) GFRP



(b) CFRP



(c) KFRP

Fig. 8 Tensile specimens of tensile fracture

4. 결론

하이브리드 섬유강화 복합재료리바의 물성을

실험적 연구를 통해서 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직경이 4mm인 FRP 리바의 인장강도는 CFRP,KFRP,GFRP 리바순으로 각각 91.7 Kg/mm^2 , 66.5 Kg/mm^2 , 53.6 Kg/mm^2 였으며 직경이 10mm인 철근의 인장강도보다 높게 나타났다.
2. 변형율은 KFRP, CFRP, GFRP 순으로 높게 나타났으며 각각 10%, 7.4%, 6% 임을 보였다.

참고문헌

- (1) Industrial Outlook 1994, U.S. Department of Commerce, International Trade Administration. pp 5-11.1994
- (2) Keesler, R.J, and powers, R.G, Corrosion of epoxy-coated Rebars-keys segmental Bridge-Monroe Country, Report No.88-89 Florida Department of Transportation, Materials office, Gainesville Florida,1998
- (3) Rasheeduzzafar, A, Dakhil, F, Bada Performance of Corrosion Reinfring Steels in Chloride-Bearing Concrete, ACI Materials Journal, Vol.89, No.5 pp 439-448.1992
- (4) Nanni, A, Henneke, M. J and Okamoto. J, Behavior of Concrete Beams with Hybrid Reinforcement, Construction and Building Materials, Vol.8, No.2, pp89-95.1994