

브레이드 투루전법에 의한 콘크리트 구조물용 케블라-유리섬유 강화 복합재료 리바 특성

최명선*·곽상묵*·배시연*·이동기**·심재기**·한길영**

Characteristics of Kevlar-Glass fiber reinforced plastic for Concrete Structure by the Braidtrusion process

Choi Myung-sun* · Gwak Sang-muk* · Bae Si-yon* · Lee Dong-gi** · Sim Jea-gi**
Han Gil-young**

Key Words: Glass Fiber Reinforced Plastic(유리섬유 강화 복합재료:GFRP), Braidtrusion process (브레이드 투루전법), Hybrid Rebar(하이브리드 리바)

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 Ø3mm and Ø10mm nominal diameters using the braidtrusion process. Tensile and bending specimens from these bars were tested and compared with behavior of stress-strain of steel bar and GFRP rebar

1. 서 론

강화 콘크리트 구조물인 포장도로, 고가도로, 터널 교량상판 등은 모든 산업 사회에서 중요한 기초 구조로 사용 되고 있다. 콘크리트 구조물이 공해, 다른요인들에 의해서 열악한 환경으로 수명이 짧아지고 있으며, 바닷가에 설치된 교량들은 파도와 바람에 실려온 염분이 콘크리트 내로 침투해 철근을 부식 시킴으로써 수명을 단축하고 안전에 영향을 주고 있다는 지적이 대두되고 있다¹⁾

이러한 구조물들의 보수, 보강법은 건축된 시설물들에 대해서 더욱더 경제적인 선택을 하게 되었다. 최근 유리섬유 강화 플라스틱 리바와 같

은 섬유강화 플라스틱(Fiber Reinforced Plastic:FRP) 재료들이 콘크리트 구조물용 강화 재료로서 세계적인 큰 관심을 갖게 되었다.

많은 엔지니어(engineer)들은 부식으로 인한 환경에서 강리바에 의한 콘크리트 구조물의 강화재의 결함을 극복할 수 있는 가장 혁신적인 재료중의 하나로서 FRP를 고려 하였다.²⁾

FRP는 강에 비해서 부식에 대한 저항성이 높고, 높은 인장강도와 경량성을 가지고 있다. 특히 바닷물과 근접해 있는곳의 구조물 건축, 전자적으로 중성을 요하는곳, 절연을 요하는 곳, 염분에 과다 노출된 곳 등에서 FRP는 크게 각광을 받고 있다.

미국, 일본 등과 같은 선진국의 경우는 강의 부식에 대처하기 위한 여러가지 연구가 진행되고 있으며 많은 연구 결과가 발표되고 있다. Keeslar³⁾ 등은 리바에 에폭시(epoxy)를 코팅하여 사용한 결과 사용중 리바에 여전히 부식이 심하게 나타남을 보고 하였다. Rasheeduzzafar⁴⁾ 등은 에폭시로 코팅한 리바를 높은 염화 콘크리트에서 실험한

* 조선대학교 대학원

** 조선대학교 기계공학부

결과 심각한 부식을 발견 하였다. Nanni⁵⁾등은 강에 에폭시를 모재로한 아라미드 섬유를 브레이딩(braiding)한 바를 실험하여 응력-변형을 거동이 선형적임과 하이브리드(hybrid)화의 장점을 발표 하였으나 코어(core)재인 강에서는 여전히 부식이 진행됨을 지적 하였으나 탄소와 아라미드 섬유강화 복합재료는 강에 비해서 비강도와 내식성이 우수함을 발표하였다.

그러나 FRP는 우수한 장점이 있음에도 불구하고 콘크리트 구조물용 강화재로 사용하기 위해서는 몇가지 문제점을 가지고 있다. 주된 문제점으로 높은 가격, 낮은 탄성계수, 연성결여, 설계가이드라인 결여와같은 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 철근 대체용 섬유강화 복합재료로 탄소섬유에 비하여 가격이 저렴한 유리섬유를 강화재로 사용하였다. 기지재료(matrix)는 유리섬유와 친화력이 우수한 폴리에스터(polyester)와 비닐에스터(vinylester)를 사용하여 직경 $\varnothing 3\text{mm}$ 와 $\varnothing 10\text{mm}$ 인 FRP리바를 브레이드 투루전법에 의하여 제작하였다. 난연성을 실험하기 위해서는 $\varnothing 10\text{mm}$ 인 GFRP리바를 에폭시 수지와 난연제를 첨가하여 핸드레이업법으로 제작 하였다. 브레이드 투루전법에 의하여 제작한 하이브리드 리바는 코어부는 유리섬유, 슬리브(sleeve)부는 연성이 우수한 케블라 섬유를 사용하였다. 슬리브부는 콘크리트와의 접착강도를 증가시키기 위하여 요철을 갖도록 브레이딩할 수 있는 섬유구조로 설계 하였다. 난연성 실험을 위해 수지에 특수한 난연제를 첨가하여 $\varnothing 10\text{mm}$ 인 GFRP리바를 상온에서 핸드레이업법으로 성형 하였으며, 150°C , 250°C , 350°C 등으로 온도를 변화시켜 굽힘강도와 리바의 상태를 관찰 하였다. $\varnothing 3\text{mm}$ 인 FRP리바는 인장 실험을 하였으며, $\varnothing 10\text{mm}$ 인 FRP리바는 굽힘 실험을 실시하여 인장, 굽힘강도를 철근과 비교 하였다. 또한 FRP리바의 인장, 굽힘시험으로 철근과의 응력-변형을 거동과의 관계를 실험적으로 비교 하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 시험편 제작 및 실험방법

본 실험에 사용된 강화재인 섬유는 한국화이버사의 유리섬유(ER 4400 J)를 사용하였으며, 기지(matrix)재료는 폴리에스터(polyester)와 비닐에스

터(vinylester)를 사용하였다. 철근(steel bar) 대체용 FRP리바를 제작하기 위하여 브레이드투루전(braidtrusion) 방법으로 제작하였으며 Fig.1에 브레이드투루전법의 개략도를 도시하였다.

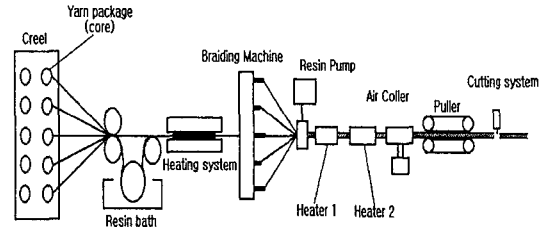


Fig.1 Schematic of the Braidtrusion Process

GFRP리바의 직경은 $\varnothing 3\text{mm}$, $\varnothing 10\text{mm}$ 의 유리섬유를 일방향으로 성형 하였다.

리바(rebar)는 유리섬유에 비닐에스터 수지와 액체 경화제, 분말 경화제, 이형제, 첨가제를 180 : 1 : 1.25 : 1 : 35의 비율로 혼합하여 섬유가 충분히 함침된후 금형을 지날수 있도록 분당 40cm길 이로 성형 하였으며, 금형의 온도는 100°C 에서 약 5분간 예열하여 120°C 에서 성형할 수 있도록 하였다.

난연성 실험을 하기위한 리바는 핸드레이업(H-and lay up)법으로 제작하였다. 기지(matrix)재료는 상온경화형 에폭시(epoxy)를 사용하여, 난연제가 섞인 에폭시 수지에 유리섬유를 충분히 함침시킨 후 리바 제작용 금형에 충전하여 상온에서 24시간 유지시킨 후 탈형 하였다. 리바 제작용 금형(mold)은 금형 제작용 실리콘(silicon)과 steel bar를 이용하여 제작 하였으며 사진을 Fig.2에도시하였다.

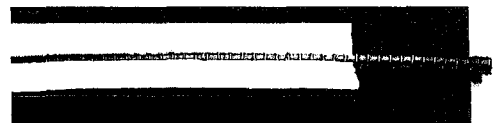


Fig.2 Photograph of FRP Rebar mold

$\varnothing 3\text{mm}$ GFRP, CFRP 리바의 인장시험은 재료 시험기 (Instron 4206, 15ton)를 사용 하였으며 크로스헤드 스피드는 $2.54\text{mm}/\text{min}$ 으로 각각 5개의

시험편을 제작하여 실험 하였다.

Fig.3은 Ø3mm의 인장 시험편을 사진으로 도시하였고, ASTM D3039규격을 참조하였으며, Fig.4에 인장시험편의 형상을 도시 하였다.

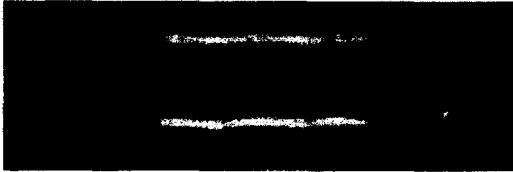


Fig.3 Photographs of Ø3mm tensile specimen

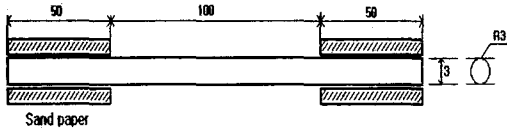


Fig.4 Configuration of tensile specimen

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

Ø10mm, Ø3mm인 GFRP리바의 시험편의 유리 와 탄소 섬유함유율은 전기로(Electric Furnace)를 사용하여 600℃에서 약2시간유지시킨 후에 1/10,000g까지 측정이 가능한 분석용 정밀 전자저울을 이용해 실온 상태에서 시험편의 중량을 측정하여 이들의 비를 백분율로 나타내었다. 이때 시험편은 각 조건에 5개씩 제작 하여 실험 하였으며, 연소 전, 후의 사진을 Fig.5에 나타내었다.



Fig.6 Photographs of specimens before and after of combustion

Table.1 Fiber volume fraction of specimens

specimens	Ø10mm	Ø3mm	Ø3mm
	GFRP	GFRP	CFRP
fiber volume fraction	68.96%	80.60%	40.33%

비닐에스터 수지를 사용한 Ø10mmGFRP리바와 핸드레이업법에 의해 난연제를 첨가하여 에폭시 수지를 모재로 사용한 Ø10mm리바 시험편의 굽힘 시험은 재료 시험기 (Instron 4206, 15ton)를 사용 하였으며 크로스헤드 스피드는 2.54mm/min로 각 조건에 대하여 5개씩의 시험편을 제작하여 실험 하였다. Fig.7에 굽힘 시험편과 Fig.8에 난연성 실험을위한 굽힘시험편의 사진을 도시하였다. 굽힘시험편은 ASTM D790규격을 참조하여 제작 하였으며, 굽힘 강도는 다음식으로 계산 하였다.

$$\sigma = \frac{8PL}{\pi d^3}$$

σ = bending stress P = load (kg/mm²)

L = length of span

시험편의 밀도는 다음식으로 계산하였다.⁶⁾

$$\rho_c = (\rho_f v_f) + \rho_m (1 - v_f)$$

ρ_f = fiber density

v_f = fiber volume fraction

ρ_m = matrix density

ρ_c = composite density



Fig.7 Photographs of bending specimens by the braidtrusion process



Fig.8 Photographs of bending specimens by the hand-layup

Fig.9에 굽힘 시험편의 형상을 도시 하였다.

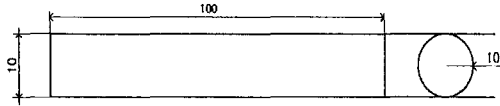


Fig.9 Configuration of bending specimen

3. 결과 및 고찰

3.1 철근과 GFRP의 응력-변형을 거동

Fig.10은 직경이 10mm인 철근과 Ø3mm인 GFRP리바의 인장시험결과를 응력-변형을 선도로 비교한 것이다. 철근의 파괴하중과 응력은 각각 4,327kgf, 55kg/mm²를 나타내었으며, 항복점에서의 변형율은 약 6.2%로 나타났다.

Ø3mm인 GFRP리바는 평균최대하중과 인장강도가 1346kgf, 190.5kgf/mm²이고 항복점에서의 변형율은 15.03%로 나타났다.

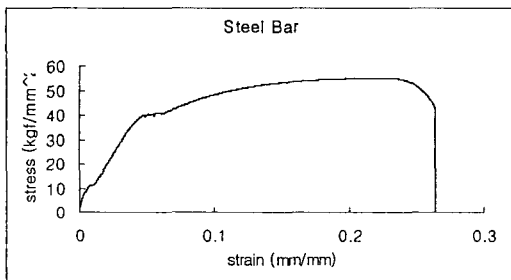
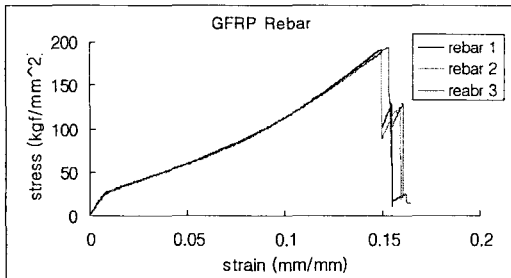


Fig.10 Result of tensile test of steel bar and Ø3mm GFRP Rebar

3.2 철근과 CFRP의 응력-변형을 거동

Fig.11은 직경이 Ø3mm인 섬유함유율이 약 40%인 CFRP리바의 인장시험결과를 응력-변형을 선도로 비교한 것이다. Ø3mm인 CFRP리바는 평

균최대하중과 인장강도가 921.32kgf, 130.34kgf/mm²이고 항복점에서의 변형율은 약12.9%로 나타났다. CFRP리바의 인장강도가 GFRP리바보다 낮게 나온것은 섬유 함유율이 Ø3mm인경우는 CFRP리바는 GFRP리바의 1/2로 제작 되었기 때문이다.

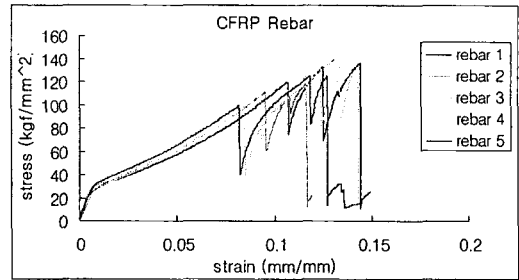


Fig.11 Result of tensile test of Ø3mm CFRP Rebar

3.3 철근과 수지의 종류에 따른 GFRP리바의 굽힘시험 결과

Fig.12와 Fig.13은 강화재를 유리섬유로하고 기지재료를 폴리에스터 수지와 비닐 에스터 수지를 사용했을경우의 하중-변위선도이다. 유리섬유와 폴리에스터 수지로 제작된 리바의 경우 평균 최대 굽힘 하중이 346.64kgf, 항복점에서의 변위가 4.714mm로 나타났다. 굽힘강도는 82.364kgf/m²으로 나타났으며, 유리섬유와 비닐에스터 수지로 제작된 리바의 경우 평균 최대 굽힘하중이 339.06kgf, 항복점에서의 변위가 4.282mm, 굽힘강도는 80.582kgf/mm²으로 나타났다.

Fig.14는 철근의 굽힘시험 결과를 하중-변위선도로 나타 내었다. 항복점에서의 굽힘응력은 70.71kgf/mm², 항복점에의 변위는 1.661mm로 나타났다.

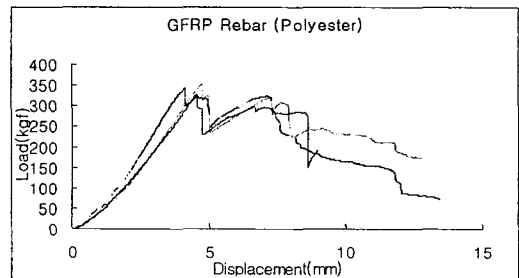


Fig.12 Result of bending test of Ø10mm Rebar

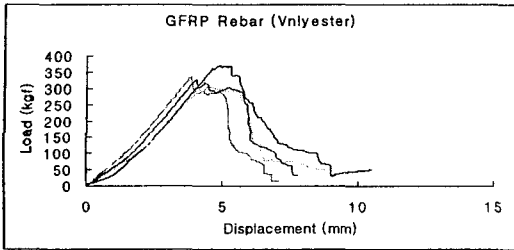


Fig.13 Result of bending test of Ø10mm Rebar

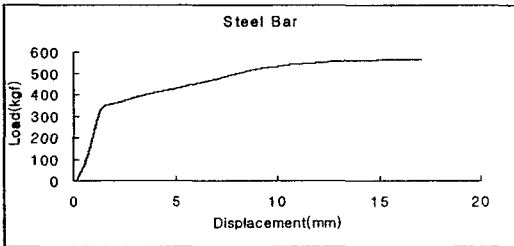


Fig.14 Result of bending test of Ø10mm Steel bar

3.5 비강도와 가격에 대한 강도

Fig.15는 Ø10mm철근과 Ø3mm GFRP, CFRP 리바의 비강도를 비교한 것이다. GFRP, CFRP 밀도는 각각 2.45g/cm³, 2.05g/mm³로 나타났다.

GFRP, CFRP리바는 철근보다 비강도가 각각 약 10배와 9.5배로 우수함을 나타냈다. 또한 Fig.16는 철근과 GFRP, CFRP리바의 가격에 대한 강도를 그래프로 나타낸 것이다. 가격은 중량에 대한 가격으로 산정 하였다.

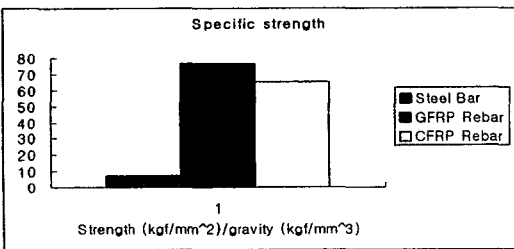


Fig.15 Specific Strength of steel, GFRP and CFRP

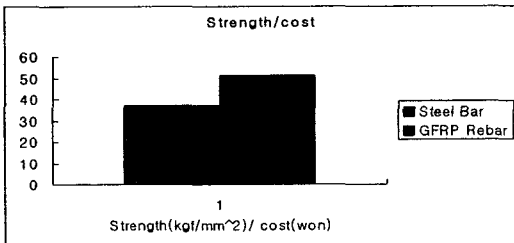


Fig.16 Strength about cost of steel and GFRP

4. 결론

1. 직경이 10mm인 철근과 Ø3mm인 GFRP리바의 인장응력은 55kg/mm²과 190.5kgf/mm²으로 약3.5배 정도 높게 나타났으며, 항복점에서의 변형률 또한 6.2%와 15.03%로 높게 나타났다.
2. GFRP리바의 굽힘강도는 철근 보다 약 15%가 높게 나타남을 알수 있었다.
3. GFRP, CFRP리바의 비강도가 철근에 비해 각각 10배와 9.5배로 높게 나타났음을 알수 있었고, GFRP리바의 경우 가격에 대한 강도가 72.61% 우수 함을 알수 있었다.

후 기

이 논문은 사단법인 부품산업 테크노 센터의 장비지원과 조선대학교 수송 기계 부품연구 센터의 연구비의 지원을 받아 연구 되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Ramakrishna V., "Materials and properties of Fiber Concrete", Madras, India, Vol., 1987, pp. 2.3~2.23
- 2) Chen, W, and Carson, J. L., "Stress-strain Properties of Random wire Reinforced Concrete", ACI Journal, Proceedings, Vol. 68, No. 12, 1971, pp. 933~936
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) Marcel Ddkker, Inc., " Fiber Reinforced Composite ", 1993, pp. 81~82