

브레이드 투루전법에 의한 콘크리트 구조물용 하이브리드 섬유강화 복합재료 리바 개발

최명선* · 한길영** · 이동기** · 심재기**

(Development of Hybrid Fiber Reinforced Plastics Rebar for Concrete Structure by the Braidtrusion Process)

Choi Myung-sun* · Han Gil-young** · Lee Dong-gi** · Sim Jea-gi**

Key Words: Glass Fiber Reinforced Plastic(유리섬유 강화 복합재료:GFRP), Hollow type bar(중공형바), Solid type bar(실축형바), Steel bar(철근), Braidtrusion process(브레이드투루전법)

Abstract

This paper describes the design methodology, manufacturing process, rebar tensile and bending properties. Braidtrusion is a direct Composite fabrication technique utilizing an in-line braiding and pultrusion process. The produced Composite rebar exhibits ductile stress-strain behavior similar to that of conventional steel bar. Various rebar diameters ranging from modeling scale(3mm) to full-scale prototype of 9.5mm have been produced Glass Fiber Reinforced Plastics(GFRP) rebar were successfully fabricated at ϕ 8.5mm and ϕ 9.5mm nominal diameters of solid and hollow type using a braidtrusion process. Tensile and bending specimens were tested and compared with behavior of stress-strain of GFRP rebar and steel bar.

1. 서론

최근 지하철, 터널, 고가도로, 교량상판등의 콘크리트 구조물이 공해등과 같은 열악한 환경으로 수명이 짧아지고 있으며, 바닥에 설치된 교량들은 파도와 바람에 실려온 염분이 콘크리트 속으로 침투해 철근을 부식시킴으로써 수명을 단축하고 안전에 영향을 주고 있다는 지적이 대두되고 있다.¹⁾

섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Plastics : FRP)는 강에 비하여 비강도, 비강성, 비자성, 비전도성, 경량성등이 우수하다. 특히 바닥물과 근

접해 있는곳의 구조물 건축, 전자적으로 중성을 요하는 곳, 절연을 요하는 곳, 염분에 과다 노출된 곳 등에서 FRP는 크게 각광을 받고 있다. 콘크리트 구조물용 강화재인 FRP리바(rebar)와 같은 섬유강화 복합재료가 여러기간 산업 분야에서 세계적으로 관심을 갖게 되었다.

한편 FRP는 강에 비하여 고가이며, 낮은 탄성계수, 연성결여, 신소재로서 친밀성 결여등이 활용에 장애요소가 되고 있다. 그러나 고가인 문제점은 제조방법에 의하여 크게 영향을 받고 있으며 끊임없는 연구개발로 인하여 가격을 낮출 수 있는 기술이 개발되고 있다.^{2),3)} 낮은 탄성계수와 연성결여에 대한 문제점들은 FRP재료의 공학적인 단점으로 앞으로 해결되어야할 과제로 고려되고 있다.^{4),5),6)}

본 연구에서는 철근 대체용 섬유강화 복합재료 리바를 개발하기 위하여 탄소섬유에 비하여 가격이 훨씬 저렴한 유리섬유를 강화재로 사용하였

* 조선대학교 기계공학부 대학원

** 조선대학교 기계공학부 교수

다. 유리섬유의 1yarn, 2yarns, 3yarns의 인장과 단 하중을 실험하여 성형후 인장강도를 예측하였다, 기지재료(matrix)는 유리섬유와 친화력이 우수한 불포화 폴리에스터를 사용하여 직경 ϕ 3mm, ϕ 8.5mm, ϕ 9.5mm인 실축형 FRP리바와 내·외경이 각각 ϕ 3mm, ϕ 8.5mm인 중공형, ϕ 3mm, ϕ 9.5mm인 중공형 리바를 제작하여 ϕ 3mm인 실축형은 인장시험을 실시하여 GFRP리바의 인장강도와 연신율을 측정하였으며, ϕ 8.5mm, ϕ 9.5mm인 실축형과 중공형은 3점 굽힘시험을 실시하여 굽힘강도를 평가하여 철근과 비교하였다.

FRP리바는 브레이드투루전(braidtrusion)법을 이용하여 제작하였으며 코어(core)부는 유리섬유, 슬리브(sleeve)부는 연성이 우수한 케블라 섬유를 사용하였다. 슬리브 부는 콘크리트와의 접착강도를 증가시키기 위하여 요철을 갖도록 브레이딩할수 있는 섬유구조를 설계하였다. 섬유함유율은 연소법으로 측정하였으며, FRP리바의 인장, 굽힘시험을 행하여 철근과의 응력-변형을 거동과의 관계를 실험적으로 비교 하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1절 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. 철근(steel bar) 대체용 FRP리바를 제작하기 위하여 브레이드투루전(braidtrusion)법으로 제작하였으며 Fig.1에 브레이드투루전법의 개략도를 도시하였다.

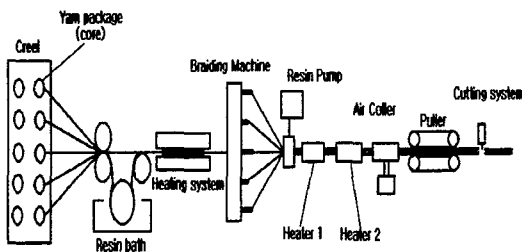


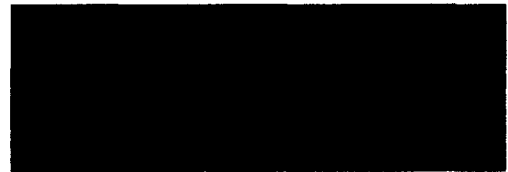
Fig.1 Schematic of the Braidtrusion Process

GFRP리바의 직경은 ϕ 3mm, ϕ 8.5mm, ϕ 9.5mm인 실축형(solid type)과 외경이 8.5mm, 9.5mm 내경이 3mm인 중공형(hollow type)의 5종류로서 유리섬유를 일방향으로 성형 하였다.

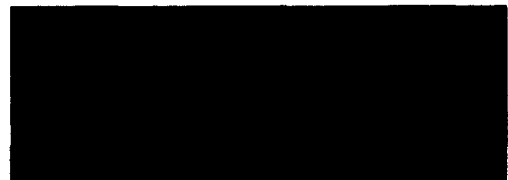
성형후 인장강도를 예측하기 위하여 1yarn, 2yarns, 3yarns 의 유리섬유를 절단하여 시험편을 제작하였다.

리바(rebar)는 유리섬유에 열경화성 폴리에스터 수지와 액체 경화제, 분말 경화제, 이형제, 첨가제를 180 : 1 : 1.25 : 1 : 35의 비율로 혼합하여 섬유가 충분히 함침된후 금형을 지날수 있도록 분당 40cm길이로 성형하였으며, 금형의 온도는 120℃에서 약 5분간 예열하여 160℃에서 성형할 수 있도록 하였다.

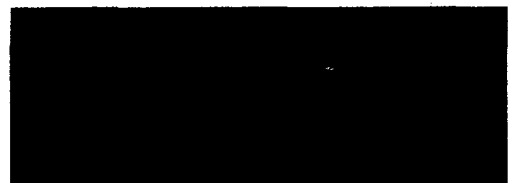
Fig.2는 성형후 인장강도를 예측하기 위한 유리섬유 인장 시험편을 사진으로 도시하였으며, 시험편의 치수와 형상은 Fig.3에 도시 하였다.



(a) 1 yarn



(b) 2 yarn



(c) 3 yarn

Fig.2 Photographs of yarn tensile specimen

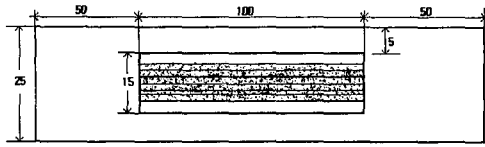


Fig.3 Configuration of yarn tensile specimen

인장시험시 그립부에서 발생하는 슬립현상을 피하기 위하여 섬유에 수지를 함침하여 시험편을 제작하였다.

φ3mmGFRP의 인장시험은 재료시험기(SGA-A-30G, 30ton)를 사용하였으며 크로스헤드 스피드는 2.54mm/min로 5개의 시험편을 제작하여 실험하였다.

Fig.4는 φ3mm의 인장시험편을 사진으로 도시하였고, ASTM D3039규격을 참조하여 Fig.5에 인장시험편의 형상을 도시 하였다.

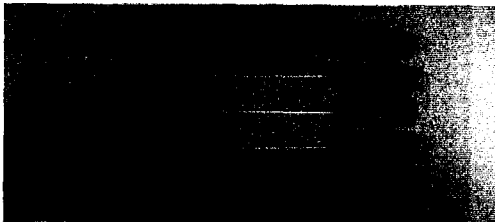


Fig.4 Photographs of φ3mm tensile specimen

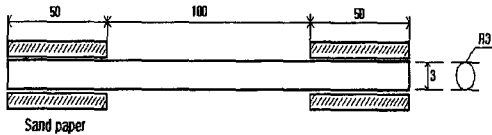


Fig.5 Configuration of tensile specimen

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

φ8.5mm, φ9.5mm의 실축형과 외경이 φ8.5mm, φ9.5mm 내경이 φ3mm인 GFRP리바의 시험편의 섬유함유율은 전기로(Electric Furnace)를 사용하여 600℃에서 약2시간유지시킨 후에 1/10,000g

까지 측정이 가능한 분석용 정밀 전자 저울을 이용해 실온 상태에서 시험편의 중량을 측정하여 이들의 비를 백분율로 나타내었다. 이 때 시험편은 각 조건에 5개씩 제작 하여 실험 하였으며, 연소 전, 후의 사진을 Fig.6에 나타내었다.



(a) before combustion



(b) after combustion

Fig.6 Photographs of specimens before and after of combustion

Table.1 Fiber volume fraction of specimens

dia.of specimens	φ8.5mm solid	φ8.5mm hollow	φ9.5mm solid	φ9.5mm hollow
fiber volume fraction	71.08%	63.17%	59.74%	68.17%

φ8.5mm, φ9.5mm의 실축형과 외경이 φ8.5mm, φ9.5mm 내경이 φ3mm인 GFRP리바의 시험편의 굽힘 시험은 재료시험기(Instron 4206, 15ton)를 사용하였으며 로스헤드 스피드는 2.54mm/min로 각 조건에 대하여 5개씩의 시험편을 제작하여 실험 하였다.

Fig.7에 굽힘시험편의 사진을 도시하였다.

굽힘시험편은 ASTM D790규격을 참조하여 제작 하였으며, 굽힘강도는 다음식으로 계산 하였다.

$$\sigma = \frac{8PL}{\pi d^3} (\text{solid type}) \dots \dots \dots (2-1)$$

$$\sigma = \frac{8PL}{\pi d_2^3 (1-x^4)} (\text{hollow type}) \dots \dots \dots (2-2)$$

$\sigma = \text{bending stress}$

$P = \text{load (kg/mm}^2\text{)}$

$L = \text{length of span}$

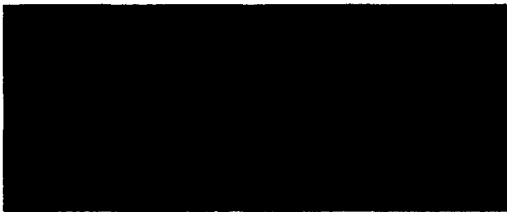
Fig.8에 굽힘시험편의 형상을 도시 하였다.



(a) ϕ 8.5mm solid type



(b) ϕ 8.5mm hollow type

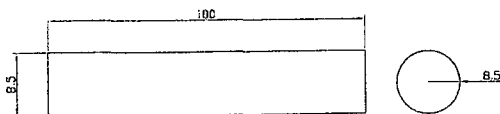


(c) ϕ 9.5mm solid type

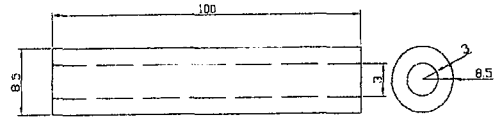


(d) ϕ 9.5mm hollow type

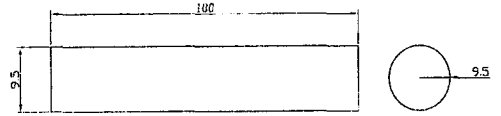
Fig.7 Photographs of bending specimens



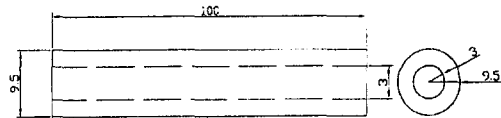
(a) ϕ 8.5mm solid type



(b) ϕ 8.5mm hollow type



(c) ϕ 9.5mm solid type



(d) ϕ 9.5mm hollow type

Fig.8 Configuration of bending specimen

3. 결과 및 고찰

3.1절 결과 및 고찰

Fig.9는 직경이 10mm인 철근의 인장시험 결과로써 파괴하중과 응력은 각각 4327kgf, 55kg/mm²를 나타내었으며, 항복점에서 변형율은 약 7.2%로 나타났다. Fig.10은 유리섬유 yarn의 인장시험 결과이고, Fig.11은 ϕ 3mm인 GFRP리바의 인장시험 결과이다. 1yarn에서의 최대하중은 101.8kgf, 2yarns에서의 최대하중은 209.4kgf, 3yarns에서의 최대하중은 322.8kgf를 나타내었으며, 최대하중점에서의 변형율은 각각 2.2%, 2.3%, 2.7%를 나타냈다. ϕ 3mm리바의 평균최대하중과 인장강도는 576kgf, 80.6kgf/mm²이고 변형율은 10.4%로 나타났다.

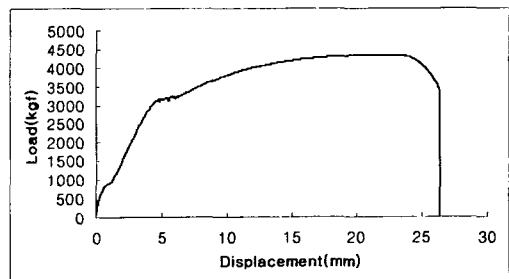
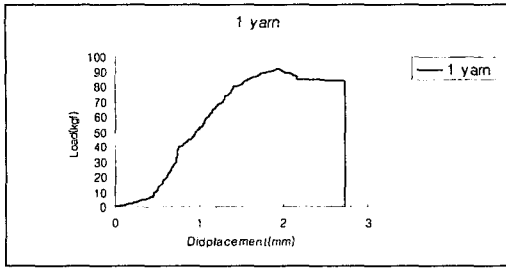
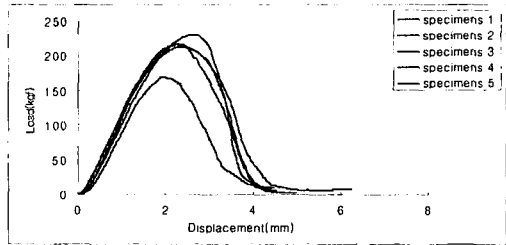


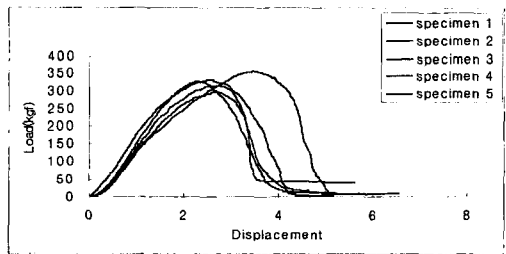
Fig.9 Result of tensile test of steel bar



(a) Result of tensile test of 1yarn



(b) Result of tensile test of 2yarn



(c) Result of tensile test of 3yarn

Fig.10 Result of tensile test of Glass Fiber

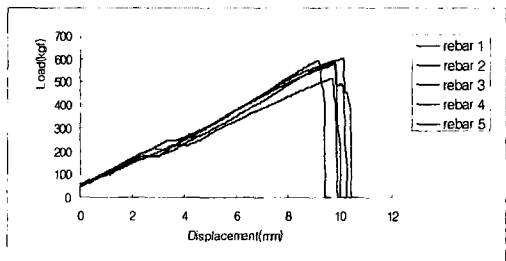


Fig.11 Result of tensile test of ϕ 3mm Rebar

철근과 GFRP리바 실축형의 인장강도를 비교한 결과 ϕ 3mm리바가 46%높게 나타났으며 항복점에서의 변형율은 GFRP리바가 약 3%높게 나타났다.

Fig. 12는 직경 ϕ 10mm인 철근의 굽힘시험결과로서 항복점에서의 굽힘응력은 70.71kgf/mm로 측정되었다.

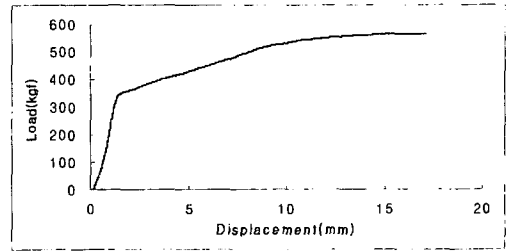


Fig.12 Result of bending test of steel bar

Fig.13, Fig.14는 직경 ϕ 8.5mm, ϕ 9.5mm인 실축형 GFRP리바의 굽힘시험결과를 나타내었고, Fig.15, Fig.16은 외경이 ϕ 8.5mm, ϕ 9.5mm이고 내경이 ϕ 3mm인 중공형 리바의 굽힘시험 결과를 나타내었다.

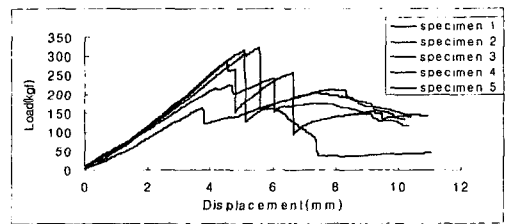


Fig.13 Result of bending test of ϕ 8.5mm rebar solid type

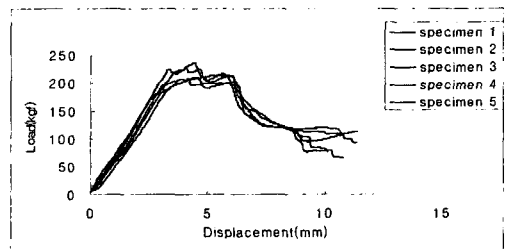


Fig.14 Result of bending test of ϕ 9.5mm rebar solid type

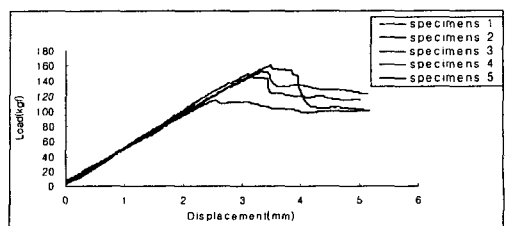


Fig.15 Result of bending test of $\phi 8.5\text{mm}$ rebar hollow type

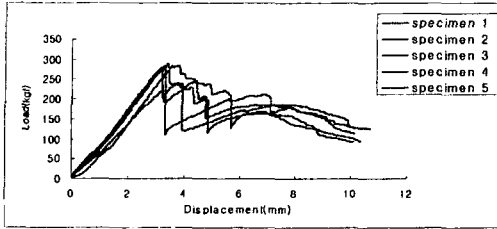


Fig.16 Result of bending test of $\phi 9.5\text{mm}$ rebar hollow type

$\phi 8.5\text{mm}$ 실축형과 $\phi 9.5\text{mm}$ 인 실축형 GFRP리바의 굽힘강도가 각각 $91.1\text{kgf}/\text{mm}^2$, $52.08\text{kgf}/\text{mm}^2$ 이고, $\phi 8.5\text{mm}$ 중공형과 $\phi 9.5\text{mm}$ 인 중공형 GFRP리바의 굽힘강도는 각각 $60.1\text{kgf}/\text{mm}^2$, $74.98\text{kgf}/\text{mm}^2$ 를 나타냈다.

굽힘강도는 $\phi 8.5\text{mm}$ 실축형과 $\phi 9.5\text{mm}$ 인 중공형시험편은 철근보다 약 29%와 6%로 높게 나타났으며, $\phi 8.5\text{mm}$ 중공형과 $\phi 9.5\text{mm}$ 인 실축형 시험편은 약 16%와 26% 낮게 나타났다. 섬유 함유율에 따라서 굽힘강도에 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig.17에 인장시험후 사진을 도시하였고, Fig.18은 굽힘시험 후 사진을 도시하였다.

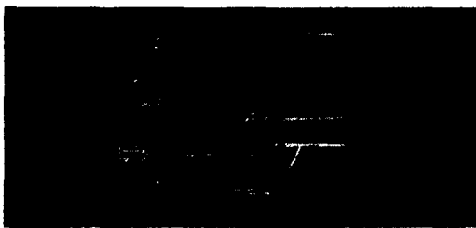


Fig.17 Photographs fracture after tensile test



(a) $\phi 8.5\text{mm}$ solid type



(b) $\phi 8.5\text{mm}$ hollow type



(c) $\phi 9.5\text{mm}$ solid type



(d) $\phi 9.5\text{mm}$ hollow type

Fig.18 Photographs fracture after bending test

4. 결론

브레이드투루전법에 의해 제작한 Hybrid GFRP리바의 기계적 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직경 $\phi 10\text{mm}$ 인 철근과 직경 $\phi 3\text{mm}$ 인 실축형 GFRP리바의 인장강도는 각각 $51\text{kgf}/\text{mm}^2$, $80.6\text{kgf}/\text{mm}^2$ 으로 철근보다 약 1.5배 정도 높게 나타남을 알 수 있었다.
2. 굽힘강도는 $\phi 8.5\text{mm}$ 실축형과 $\phi 9.5\text{mm}$ 중공형의 경우 철근보다 각각 29%와 6% 높게 나타났으나 $\phi 8.5\text{mm}$ 중공형과 $\phi 9.5\text{mm}$ 실축형의 경우 철근보다 약 16%와 26% 낮게 나타났다.
3. $\phi 10\text{mm}$ 철근의 항복점에서의 변형율은 7.2%, $\phi 3\text{mm}$ GFRP리바의 변형율은 10.4%로 철근에 비하여 변형율이 약간 높게 나타남을 확인할 수

있었다.

후기

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

참고문헌

- 1) Ramakrishnan 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 County, Report No. 88-89 Florida Department of Transportation, Material office, 1998
- 4) Ammon Katz, Neta Berman., "Molding the effect of high temperature on the bond of FRP reinforcing bars to concrete", Cement & Concrete composites, vol. 22, 2000, pp. 433~443
- 5) Saleh Hamed Alsayed., "Flexural behavior of concrete beams reinforced with GFRP bars", Cement & concrete composite, vol. 20, 1998, pp. 1~11
- 6) S.H.Alsayed, Y.A.Al-Salloum, T.H, Almusallam., "Performance of glass fiber reinforced plastic has as a reinforcing material for concrete structures", Department of civil Engineering, 2000, pp. 555~567