

중공형 GFRP리바의 기계적 특성에 관한 연구

한길영* · 이동기* · 오환교* · 홍석주* · 신용욱** · 배시연**

(A Study on the Mechanical Characteristics of Hollow Type Glass Fiber Reinforced Plastics Re-bar)

Gil Young Han* · Dong Gi Lee* · Hwan Gyo Oh* · Seok Ju Hong*
· Yong Wook Shin** · Si Yon Bae**

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

Abstract

In this paper was studied on the mechanical characteristics of Glass Fiber Reinforced Plastics(GFRP) of the steel bar it is to replace. The advantage of FRP such as high strength, low weight and chemical inertness or noncorrosiveness can be fully exploited.

GFRP bar were successfully fabricated at 10mm nominal diameters of solid and hollow types using a pultrusion method. Tensile and bending specimens from this bar were tested and compared with behavior of GFRP rebar and steel bar.

1. 서론

최근 지하철, 터널, 고가도로 콘크리트 등이 공해병으로 수명이 짧아지고 있으며, 바닷가교량들은 소금 병을 앓고 있다. 바닷가에 설치된 교량들은 파도와 바람에 실려온 염분이 콘크리트 속으로 침투해 철근을 부식 시킴으로써 수명을 단축하고 안전에 영향을 주고 있다는 지적이 대두되고 있다. 특히 국내 최장의 해상 교량인 서해대교의 경우 완공도 되기 전에 곳곳에 다량의 염분이 침투한 것으로 드러나 대책마련이 시급하다는 지적이다¹⁾.

해양 환경에서 내식성과 내구성을 갖는 철근 및 철골대체용 복합소재 개발에 대한 필

요성이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 섬유 보강 콘크리트는 선진국의 경우 강섬유, 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드섬유, 자연 섬유 등의 여러 형태의 섬유 보강 콘크리트가 다양한 분야에서 응용되어 그 역학적 우수성 및 경제성이 인정되고 있는 신 소재이다. 기존 콘크리트에 비하여 우수한 물성과 경제성을 확보할 수 있는 섬유강화 콘크리트는 선진국에서는 광범위하게 사용되고 있으나 국내의 경우 아직 초보적인 단계로 연구자료나 실험적 자료들이 부족한 실정이다²⁾.

따라서 본 연구에서는 철근 대체용 섬유 강화 복합재료 바를 개발하기 위하여 탄소 섬유와 아라미드 섬유에 비하여 가격이 20배 이상 저렴한 유리섬유를 이용하여 직경 ϕ 9.5mm인 실축형과 외경 8mm, 내경 5mm인 중공형 유리섬유강화 복합재료바를 펄트루전(pultrusion)법으로 제작하여 인장, 굽힘 강

* 조선대학교 기계공학부 교수

** 조선대학교 기계공학부 대학원

도를 실험을 통해 평가하였으며 탄소섬유 와 아라미드 섬유를 이용하여 핸드 레이업법 (hand lay up method)으로 제작한 리바와 인장강도를 비교하였다.

연소법으로 섬유함유율을 측정하고 CFRP, KFRP 와 GFRP 리바의 섬유 함유율을 비교 하였으며, 인장실험을 행하여 철근과의 인장 응력-변형을 거동과의 관계를 실험적으로 비교하였다.

2. 시험편 및 실험방법

본 실험에 사용된 강화재인 섬유는 한국 화이바사의 유리섬유(ER 4400)를 사용하였으며, 기지(matrix)재료는 열경화성 폴리에스터(polyester)를 사용하였다. 철근(steel bar) 대체용 FRP리바를 제작하기 위하여 펄트루전(pultrusion)법으로 제작하였으며 Fig. 1에 펄트루전법의 개략도를 도시하였다.

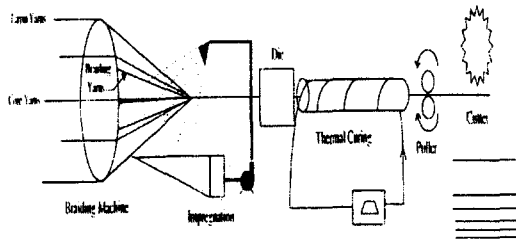


Fig. 1 Schematic of a Pultrusion Process

GFRP리바의 직경은 ϕ 9.5mm인 실축형 (solid type)과 외경이 8mm, 내경이 5mm인 중공형의 2종류로서 유리섬유를 일방향으로 성형하였다.

리바(Re-bar)는 유리섬유에 열경화성 폴리에스터 수지와 경화제를 혼합하여 충분히 함침시킨 후 160 °C로 10분간 예열한 후 200 °C에서 분당 약 1m길이를 성형할 수 있도록 하였다.

GFRP리바 시험편의 섬유함유율 (Fiber volume fraction)은 전기오븐(oven)을 사용하여 600 °C에서 약 2시간 유지시킨 후에 1/10,000(g)까지 측정이 가능한 분석용 정밀

전자 저울을 이용해 실온상태에서 시험편의 중량을 측정하여 이들의 비를 백분율로 나타내었다. 이 때 시험편은 각 조건에 5개씩 제작하여 실험하였으며, 연소 전, 후의 사진을 Fig. 2에 도시하였다.

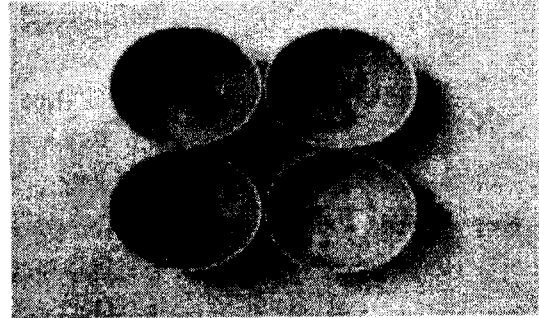
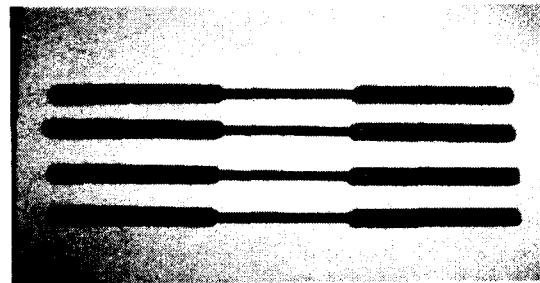
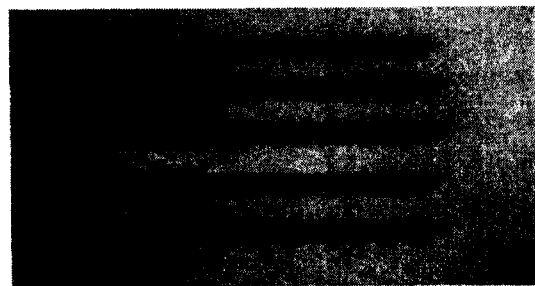


Fig. 2 Photographs of specimens before and after of combustion

Fig. 3은 펄트루전법에 의해 제작한 직경 ϕ 9.5mm인 GFRP리바 인장시험편 사진을 도시하였다. 시험편은 ASTM D3039규격을 참조하여 제작하였으며, Fig. 4에 시험편의 형상을 도시하였다.



(a) solid type



(b) hollow type

Fig. 3 Photographs of tensile specimen

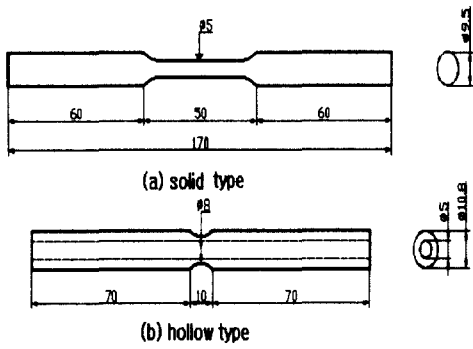


Fig. 4 Configuration of tensile specimen

인장실험시 그립(grip)부에서 발생하는 응력집중을 피하기 위하여 실축형 시험편은 평행부를 선반으로 테이퍼(taper)가공하였다.

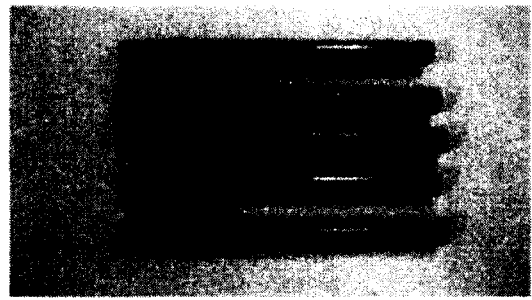
중공형 시험편은 중앙에 10mm를 라운드(round) 가공하였으며, 코어(core) 부분에 4.9mm 와이어를 본딩(bonding)하여 실험하였다.

GFRP 리바의 인장실험은 재료시험기(Instron 4206, 15ton)를 사용하였으며 크로스 헤드 스피드(cross head speed)는 2mm/min로 상온에서 각 조건에 대해서 5개씩의 시험편을 제작하여 실험하였다.

Fig. 5에 굽힘시험편의 사진을 도시하였다. 굽힘시험편은 ASTM D790규격을 참조하여 제작하였으며 Fig. 6에 굽힘시험편의 형상을 도시하였다.



(a) solid type



(b) hollow type

Fig. 5 Photographs of bending specimens

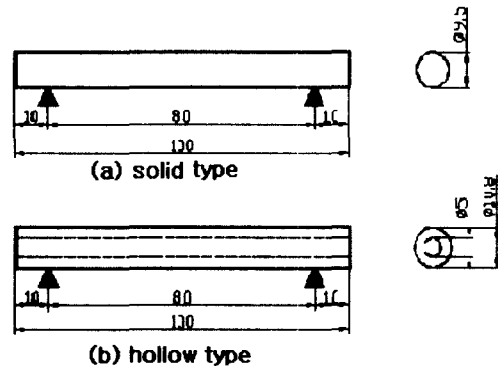


Fig. 6 Configuration of bending specimen

3. 결과 및 고찰

Fig. 7은 직경이 10mm인 철근의 인장실험 결과로써 파괴하중과 응력은 각각 4327kgf, 55kg/mm²를 나타내었으며, 최대하중점에서 변형율은 약 40%로 나타났다. Fig. 8은 시험편의 평행부 직경 ϕ 4.9mm인 실축형 GFRP 리바에 대한 인장실험의 결과로써 파괴하중과 응력은 각각 939.5kgf, 51kg/mm²를 나타내었으며, 최대하중점에서 변형율은 약 10%로 나타났다.

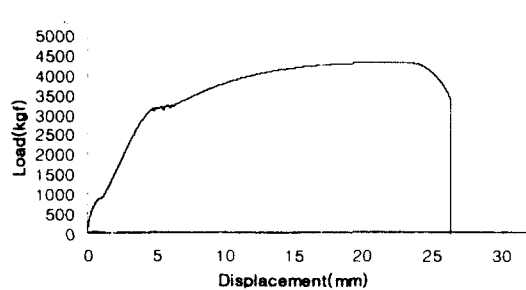


Fig. 7 Result of tensile test of steel bar

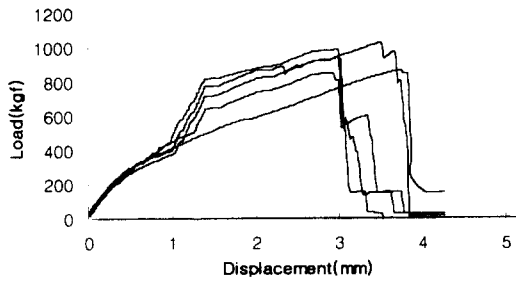


Fig. 8 Result of tensile test of solid type

Fig. 9는 중앙라운드부의 외경이 8mm, 내경이 5mm인 중공형 GFRP리바에 대한 인장시험의 결과로서 파괴하중과 응력은 각각 1498.4kgf, 50.5kg/mm²로 나타났으며, 최대하중점에서 변형율은 약 60%로 나타났다.

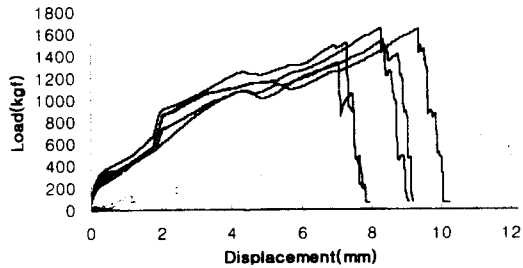


Fig. 9 Result of tensile test of hollow type

철근과 GFRP리바의 실축형, 중공형의 인장강도를 비교한 결과 철근이 약간 높게 나타났으나, 변형율은 중공형 GFRP리바가 철근보다 약 20%가 높게 나타남을 알 수 있었으며, 응력-변형을 선도의 경우도 중공형의 경우는 철근과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 10은 직경 ϕ 10mm인 철근의 굽힘시험 결과로써 굽힘응력은 115.1kg/mm²로 측정되었다.

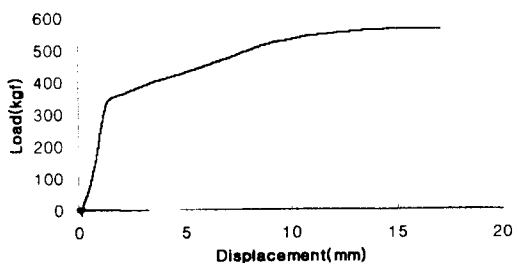


Fig. 10 Result of bending test of steel bar

Fig. 11, Fig. 12는 직경 ϕ 9.5mm인 실축형 GFRP리바와 외경이 8mm, 내경이 5mm인 중공형 GFRP리바에 대한 굽힘시험결과를 나타냈다.

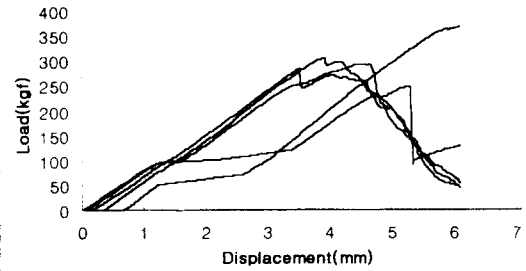


Fig. 11 Result of bending test of solid type

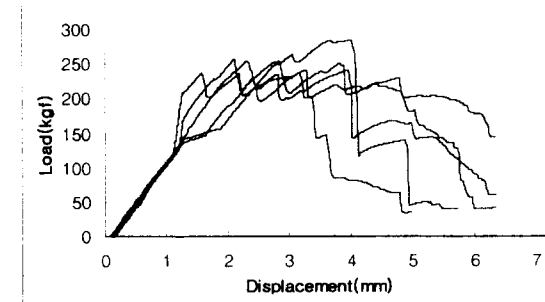
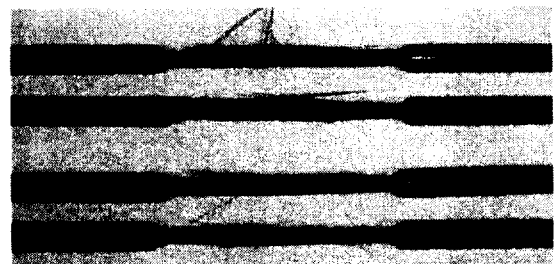


Fig. 12 Result of bending test of hollow type

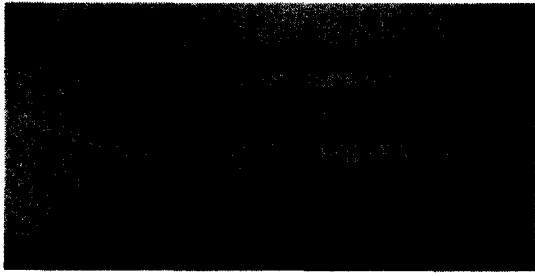
ϕ 9.5mm인 실축형 GFRP리바의 굽힘강도는 73kg/mm²이고, 중공형 GFRP리바는 119.26kg/mm²를 나타냈다.

굽힘강도는 중공형 GFRP리바가 철근보다 약간 높게 나타났으며 응력-변형을 선도도 철근과 중공형 GFRP리바의 경우는 유사한 형태를 얻을 수 있었다.

Fig. 13, Fig. 14는 각각 인장, 굽힘시험 후 GFRP리바의 파괴형태를 도시하였다.

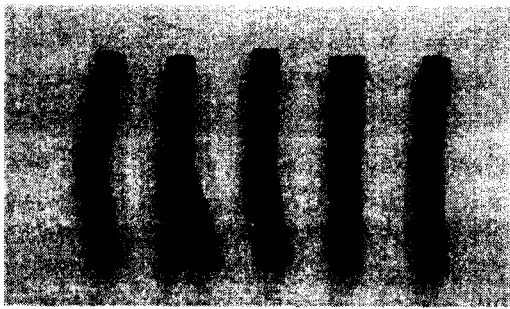


(a) solid type

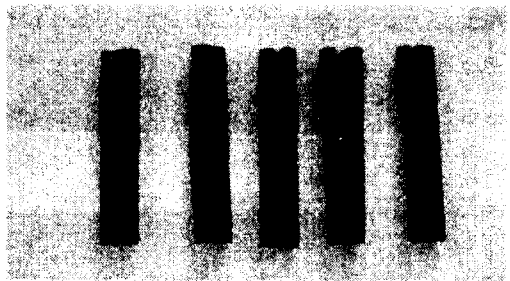


(b) hollow type

Fig. 13 Photographs fracture after tensile test



(a) solid type



(b) hollow type

Fig. 14 Photographs fracture after bending test

4. 결론

GFRP리바의 기계적 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직경 ϕ 10mm인 철근과 직경 ϕ 4.9mm인 실축형 GFRP리바, 외경이 8mm, 내경이 5mm인 중공형 GFRP리바의 인장강도는 각각 55kg/mm², 51kg/mm², 50.5kg/mm²를 얻었으나 변형율은 중공형 GFRP리바가 철근보다 약 20% 높게 나타

남을 알 수 있었다.

2. 굽힘강도는 철근보다 중공형 GFRP리바가 약 3.4%가 높게 나타났으며, 굽힘 응력-변형률 선도도는 철근과 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 사단법인 부품산업 테크노센터의 장비지원과 광주, 전남테크노 파크의 연구비의 지원을 받아 연구되었으며, 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