

해수 환경에서의 철근과 GFRP 리바의 굽힘 강도 특성에 관한 연구

한길영*·이동기*·곽상묵**·배시연**·김기성***

*조선대학교 기계공학부

**조선대학교 대학원 기계공학과

***인하대학교 공과대학 선박해양공학과

A study on the bending strength characteristics of steel bar and GFRP rebar in salt water surroundings

GIL-YOUNG HAN*, DONG-GI LEE*, SANG-MUK KWAK**, SI-YON BAE**, KI-SUNG KIM***

*Department of Mechanical Engineering Chosun University

**Department of Mechanical Engineering Graduate School Chosun University

***Department of Naval Architecture and Ocean Engineering Inha University

KEY WORDS : Glass Fiber Reinforced Plastic(유리섬유 강화 복합재료:GFRP), Absorption Properties(흡수 특성), Rebar(리바), Steel Bar(철근)

ABSTRACT : This paper describes the need for a ductile Fiber Reinforced Plastics (FRP) reinforcement for concrete structures. To promote the degradation of the adhesive condition at the fiber/matrix micro interface without matrix dissolution loss were carried out in salt water surrounding.

The absorption properties and the bending strength were compared about GFRP rebar and steel bar.

1. 서 론

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.

섬유강화복합재료(Fiber Reinforced Composites)는 금속재료에 비하여 비강도(Strength/Density), 비강성(Modulus/Density), 내식성 등이 우수하기 때문에 여러 산업분야에 사용이 점점 확대되고 있는 추세이다.

이러한 폭넓은 사용에도 불구하고 아직까지 산업용구조재료로서 수분, 자외선, 염분등 특수한 환경

에서의 복합재료의 기계적 특성에 대한 정량적인 자료가 부족한 실정이다.

특히 바닷가에 설치된 구조물들은 파도와 바람에 실려온 염분이 콘크리트 내부로 침투해 철근을 부식 시킴으로써 수명을 단축시키고, 안전에 심각한 영향을 주고 있다는 지적이 대두되고 있다.¹⁾

이러한 구조물들의 보수, 보강법은 기간산업의 구조물들에 대해서 더욱더 경제적인 선택을 하게 되었다. 최근 유리섬유 강화 플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastic:GFRP)재료들이 콘크리트 구조물용 강화재료로서 세계적인 큰 관심을 갖게 되었다. 많은 엔지니어(engineer)들은 부식으로 인한 환경에서 강리바에 의한 콘크리트 구조물의 강화제의 결함을 극복할 수 있는 가장 혁신적인 재료중의 하나로서 FRP를 고려하였다.²⁾

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

미국, 일본 등과 같은 선진국의 경우는 강의 부식

*조선대학교 기계공학부

E-mail : kybhan@mail.chosun.ac.kr

TEL : (062)230-7130 FAX : (062)230-7055

**조선대학교 대학원 기계공학과

***인하대학교 공과대학 선박해양공학과

에 대처하기 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있으며 많은 연구 결과가 발표되고 있다. Keeslar³⁾ 등은 리바에 에폭시(epoxy)를 코팅하여 사용한 결과 사용 중 리바에 여전히 부식이 심하게 나타남을 보고하였다. Rasheeduzzafar⁴⁾ 등은 에폭시로 코팅한 리바를 높은 염화 콘크리트에서 실험한 결과 심각한 부식을 발견하였다. Nanni⁵⁾ 등은 강에 에폭시를 모재로한 아라미드 섬유를 브레이딩(braiding)한 바를 실험하여 응력-변형률 기동이 선형적임과 하이브리드(hybrid)화의 장점을 발표하였으나 코어(core)재인 강에서는 여전히 부식이 진행됨을 지적하였으나 탄소와 아라미드 섬유강화 복합재료는 강에 비해서 비강도와 내식성이 우수함을 발표하였다.

복합재료에 사용되는 유리섬유는 주변환경으로부터 습기를 거의 흡수하지 않으며, 흡수하더라도 그 양은 무시할 수 있을 정도의 매우 적은 양이다. 그러나 복합재료의 수지는 주변환경의 변화에 의해 습기를 흡수하기도 하고 탈수하기도 한다. 이러한 수지의 특성은 복합재료의 열화를 가속시키며, 장시간 열악한 수분환경에 노출시키는 섬유와 수지의 열화 및 섬유와 수지의 접촉부분인 계면에서 박리(debonding)가 생길 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 $\varnothing 10\text{mm}$ 인 철근과 철근에 폴리에스터(polyester)를 코팅한 코팅철근, 철근에 kevlar 섬유를 브레이딩하여 폴리에스터를 코팅한 시험편을 제작하여 해수환경에서의 부식과 굽힘 강도 특성을 실험적으로 고찰하였다.

염분이 3.5wt%인 해수환경하에서 철근 대체용으로 개발된 GFRP 리바를 염수분무장치를 이용하여 90일 동안 침지하여 GFRP 리바의 부식과 흡습특성을 고찰하였으며, 포화흡습율과 흡습을 증가에 따른 굽힘 강도의 변화를 실험적으로 고찰하였다.

2. 시험편 제작 및 실험

본 실험에 사용된 강화재인 섬유는 한국화이버사의 유리섬유(ER 440G J)와 미국 듀폰사의 kevlar-29를 사용하였으며, 기지(matrix) 재료는 폴리에스터(polyester)를 사용하였다. 철근(steel bar) 대체용 GFRP 리바를 제작하기 위하여 펄트루전법으로 제작하였으며 Fig. 1에 펄트루전법의 개략도를 도시하였다.

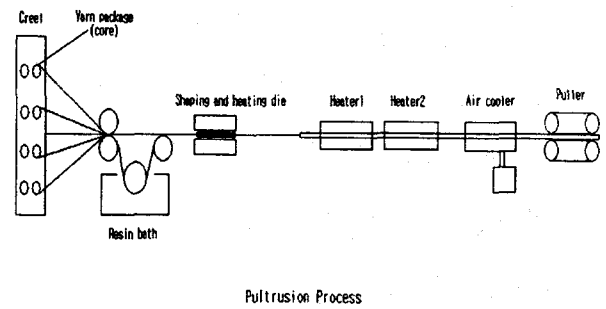


Fig. 1 Schematic diagram of the Pultrusion Process

펄트루전법은 높은 섬유함유율을 가지는 고분자복합 재료를 제조하기 위하여 사용되는 연속공정이다. GFRP 리바의 직경은 $\varnothing 5\text{mm}$ 의 유리섬유 일방향으로 제작하였다. 리바(rebar)는 유리섬유에 폴리에스터 수지와 액체 경화제, 분말 경화제, 이형제, 첨가제를 혼합하여 섬유가 충분히 함침된후 금형을 지날 수 있도록 분당 40cm 길이로 성형 하였으며, 금형의 온도는 100°C 에서 약 5분간 예열하여 120°C 에서 성형할 수 있도록 하였다.

철근대체용 GFRP 리바는 콘크리트와의 접착강도를 증가시키기 위하여 슬리브(sleeve) 부분을 kevlar 섬유로 브레이딩하여 제작하였다. Fig. 2에 GFRP 리바와 HGFRP(Hybrid Glass Fiber Reinforced Plastic:HGFRP) 리바의 사진을 도시하였다.

부식실험을 하기 위하여 기존의 철근에 폴리에스터 수지를 코팅한 폴리에스터 코팅 철근과 철근에 연성이 우수한 케블라 섬유를 브레이딩하여 폴리에스터 수지를 코팅한 세 가지 시험편을 제작하여 3.5wt%의 염분을 희석한 수중에 침지하여 부식에 따른 강도 저하를 관찰하였으며 Fig. 3, Fig. 4에 시험편의 사진을 각각 도시하였다.

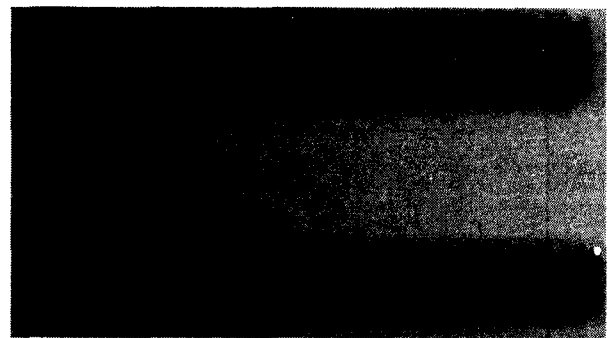


Fig. 2 Photograph of HGFRP rebar and GFRP rebar specimens

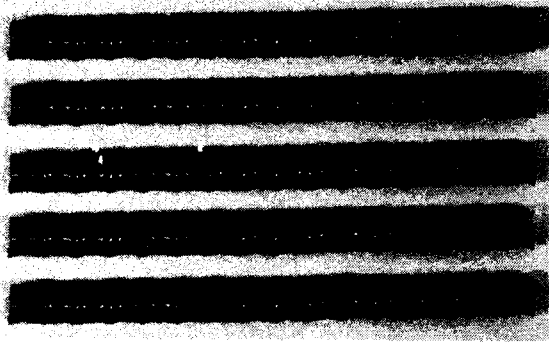


Fig. 3 Photograph of coated steel bar specimens

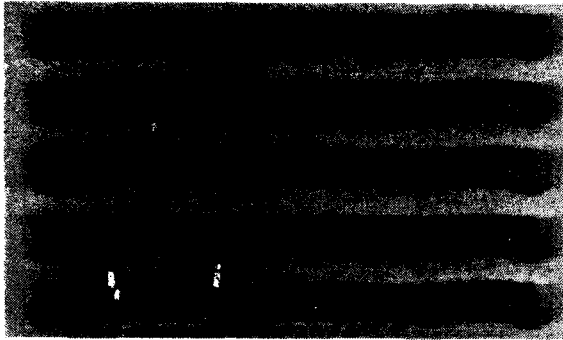


Fig. 4 Photograph of braiding steel bar specimens

Ø.5mm. GFRP 리바의 시험편의 유리 섬유함유율은 전기로(Bamford Sheffield S30 2AU)를 사용하여 600℃에서 약 2시간 유지시킨 후에 1/10,000g까지 측정이 가능한 분석용 정밀 전자 저울(Hr-300)을 이용하여 실온에서 시험편의 중량을 측정한 결과 유리 섬유 함유율이 60wt%로 측정되었다. 연소 전 후의 사진을 Fig. 5에 나타내었다

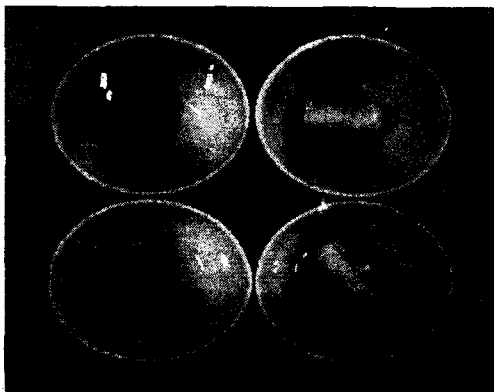


Fig. 5 Photographs of specimens before and after of combustion

Ø.5mm GFRP 리바와 코팅 철근의 굽힘 시험은 재료 시험기 (Instron 4206, 15ton)를 사용하였으며 크로스헤드 스피드는 2.54mm/min로 각 조건에 대하여 5개씩의 시험편을 제작하여 실험하였다. 굽힘 시험편은 ASTM D790 규격을 참조하여 제작하였으며, 굽힘 강도는 다음 식으로 계산하였다.

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

σ = bending stress (kg/mm²)

P = load (kg)

L = length of span

d = diameter of specimens (mm)

3. 결과 및 고찰

3. 1 흡습이론

GFRP 리바의 흡습율은 식 (1)을 이용하여 구하였다.⁶⁾

$$M = \frac{W_m - W_d}{W_d} \times 100 \quad (1)$$

여기서 M : 수분 흡습율 (%)

W_d : 흡습전 시험편 무게 (g)

W_m : 흡습후 시험편 무게 (g)

흡습확산계수는 Fick의 법칙을 이용하여 식 (2)와 같이 구하였다.⁷⁾

$$D = \frac{\pi}{16} \left(\frac{M_2 - M_1}{M_\infty - M_0} \right)^2 \left(\frac{d}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \right)^2 \quad (2)$$

여기서 d : 시험편지름 (mm)

M : 수분 흡습율

M_0 : 초기 흡습율

M_∞ : 포화 흡습율

t : 시간 (sec)

흡습율의 측정은 흡습개시 직전에 1/10,000(g)까지 측정가능한분석용정밀전자저울을이용하여실온상태에서 습기를 제거한 시험편의중량을 측정하고, 매 측정 때마다 흡습 시험편의 중량을 측정하여 이들의

비율 백분율로 나타내었다. 3.5% 염수속에 침적한 GFRP 리바의 흡습율 변화를 Fig. 6에 나타내었다.

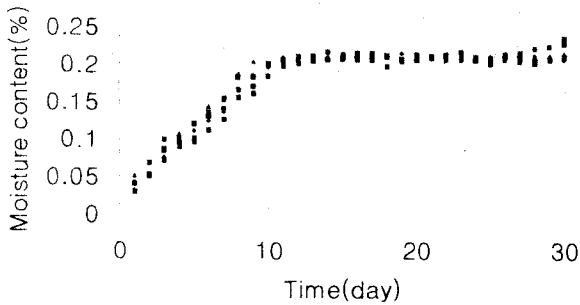


Fig.6 Result of moisture absorption test

3. 2 흡습율 증가에 따른 굽힘 강도 변화

수분함유량의 백분율은 (1) 식으로 계산하여 이 값이 더 이상 증가되지 않을 때까지 계속 시험하였으며, 흡습효과가 GFRP 리바의 잔류강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 포화흡습상태에서의 GFRP 리바 시험편에 대해 UTM (INSTRON 4206)을 이용하여 굽힘 시험에 의해 잔류강도를 구하여 흡습전과 비교하였다. 또, 포화 흡습 후에도 일정 간격으로 굽힘 잔류강도를 측정하여 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9에 각각 나타내었다.

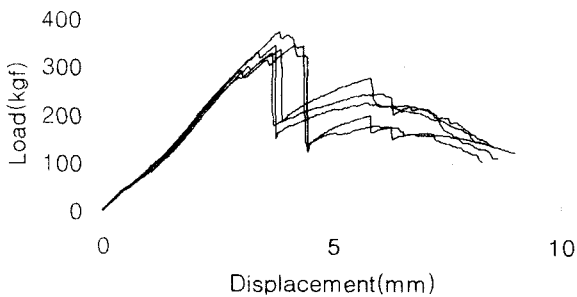


Fig. 7 The relationship of bending load and displacement ($bendingstrength=83.383kg/mm^2$)

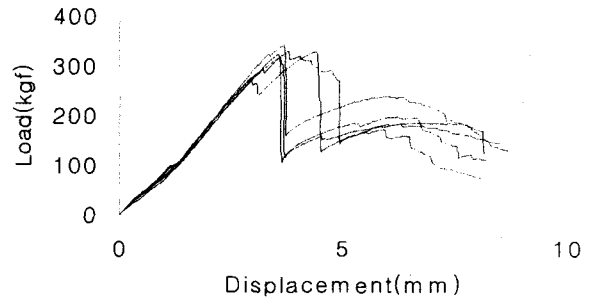


Fig. 8 The relationship of bending load and displacement (10day) ($bendingstrength=77.907kg/mm^2$)

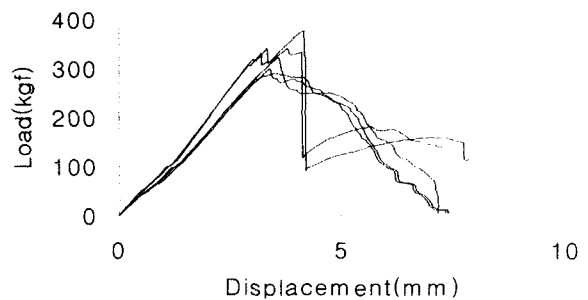


Fig. 9 The relationship of bending load and displacement (30day) ($bendingstrength=77.541kg/mm^2$)

흡습전의 굽힘 강도는 $82.383kg/mm^2$ 인테 비해 포화흡습상태에 도달한 10일경과 후의 굽힘 강도는 $77.907kg/mm^2$ 로 약 5.4%가 감소되었으며, 또, 30일이 경과한 후의 굽힘 강도는 $77.541kg/mm^2$ 로 약 0.05%가 감소되었다. 즉, 포화 흡습에 도달하기까지는 굽힘 강도가 계속 저하되지만 포화 흡습상태 이후부터는 더 이상 저하되지 않는다는 사실을 알 수 있다.

3. 3 일반 철근과 코팅철근의 부식에 따른 굽힘 강도 비교

Ø10mm인 철근과 폴리에스터 코팅 철근, 철근에 연성이 우수한 케블라 섬유를 브레이딩하여 폴리에스터 수지를 코팅한 세 가지 경우의 시험편을 72시간(3일) 동안 3.5wt% 염수에 침적하여 각각 굽힘 시험하여 Fig. 10에 나타내었다.

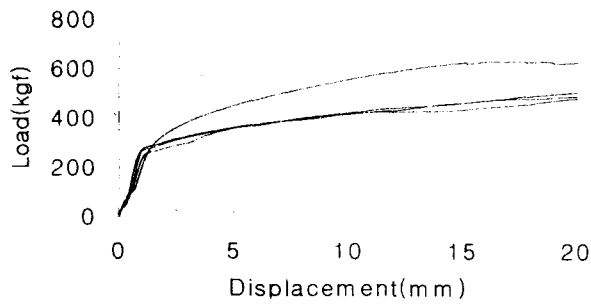


Fig. 10 The relationship of bending load and displacement of steel bar

Fig. 10에서 볼 수 있듯이 $\phi 10\text{mm}$ 철근을 그대로 염수에 침지시켰을 경우에는 부식에 의한 강도 저하가 나타나지만 폴리에스터 수지로 코팅한 경우와 케블라 섬유로 브레이딩하여 코팅한 경우는 부식에 의한 강도 저하가 거의 없었다.

4. 결론

해수 분위기에서 철근과 GFRP 리바의 잔류강도에 미치는 영향에 대해 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 흡습율과 굽힘 강도의 관계에서 포화 흡습을 인 0.2%부근까지는 계속 저하 하다가 포화흡습을 이후부터는 강도 저하가 거의 없이 일정하게 나타남을 알 수 있었다.
- (2) $\phi 10\text{mm}$ 철근에 폴리에스터 수지를 코팅한 경우나 케블라 섬유로 브레이딩하여 폴리에스터 수지를 코팅한 경우 코팅하지 않은 경우보다 염분에 의한 부식에 따른 강도 저하가 거의 없는 것으로 나타났다.

후 기

이 논문은 사단법인 부품산업 테크노 센터의 장비지원과 조선대학교 수송 기계 부품연구 센터의 연구비 지원을 받아 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

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) 한길영, 이동기(1995). "흡습효과가 섬유강화 고분자 복합재료의 압축·굽힘 잔류강도에 미치는 영향", 한국해양공학회지, 제9권, 제2호, pp316

7) 한길영, 이동기(1995). "흡습효과가 섬유강화 고분자 복합재료의 압축·굽힘 잔류강도에 미치는 영향", 한국해양공학회지, 제9권, 제2호, pp316~317.