콘크리트 보강용 하이브리드 FRP 리바의 특성

The properties of hybrid FRP rebar for concrete structures

원 종 필* 박 찬 기** 황 금 식** 윤 종 환**
Won, Jong-Pil Park, Chan-Gi Hwang, Kum-Sik Yoon, Jong-Hwan

ABSTRACT

The corrosion of steel rebars has been the major cause of the reinforced concrete deterioration. It is FRP rebar that is developed to solve problem of such steel rebar. FRP rebar in concrete structures should be used as a substitute of steel rebars for that cases in which aggressive environment produce high steel corrosion, or lightweight is an important design factor, or transportation cost increase significantly with the weight of the materials. But FRP rebar have only linearly elastic behavior; whereas, steel rebar has linear elastic behavior up to the yield point followed by large plastic deformation and strain hardening. Thus, the current FRP rebars are not suitable concrete reinforcement where a large amount of plastic deformation prior to collapse in required.

The main objective of this study was to develop new type of hybrid FRP rebar. The manufacture of the hybrid FRP rebar was achieved pultrusion, braiding and filament winding techniques. Tensile and interlaminar shear test results of hybrid FRP rebar can provide its excellent tensile strength-strain behavior and interlaminar stress-strain behavior.

1. 서론

철근콘크리트 구조물에 있어서 철근의 부식은 구조성능 저하의 주요 원인이다. 특히 해양 및 수리구조물, 교량구조물 등과 같이 수분에 직접적으로 접촉해 있는 콘크리트 구조물에서 철근의 부식으로 인한 문제는 더욱더 심각한 실정으로 그에 대한 방지대책이 많이 요구되어 오고 있으나 명확한 해결책은 제시하지 못하고 있다.[1,3,4,5,6,7] FRP 리바는 선탄성적인 응력-변형률 거동을 가지고 있는데 반해 보강철근은 초기항복점 까지는 선탄성적인 거동을 보여주지만 이후 큰 소성변형과 변형경화거동을 보여준다.[3] 보강철근의 항복 후에 발생하는 소성변형은 휨부재의 파괴가 발생하기 전에 지속적으로 하중을 전달함과 동시에 큰 연성거동을 발생시킨다. 콘크리트 구조물에서 보강철근이 갖는 소성변형 구간이 없다면 작은 파괴하중의 증가에도 어떠한 사전경고도 없이 급격한 파괴 즉 취성파괴를 발생시킨다.[3] 또한 지진하중, 풍하중, 차량하중 등 동적하중을 받는 구조물의 설계에서 소성변형 매카니즘은 꼭 필요한 것으로 재료의 변형에 의한 에너지의 발산과 반복하중에 의한 구조물에 부과된 에너지의 많은 양을 흡수하는데 사용된다. 따라서 현재 개발된 FRP 재료는 파괴 전에 소성변형이 필요한 콘크리트 보강재로서는 적당하지 않다.[3] 따라서 본 연구에서는 FRP 리바의 취성적 성질을 갖는 단점을 해결하고자 재료복합 모델과 기하학적 복합 모델을 적용하여 3%이상의 소성변형 구간을 갖는 하이브리드 FRP 리바(Hybrid FRP rebar)를 개발하고 그 성능을 평가하고자 한다.

* 정회원 건국대학교 지역건설환경공학과 교수
** 정회원 건국대학교 대학원

2) Calculate design lateral force capacity, under axial load.

3) Construct acceleration-displacement (or force-displacement) spectrum capacity.

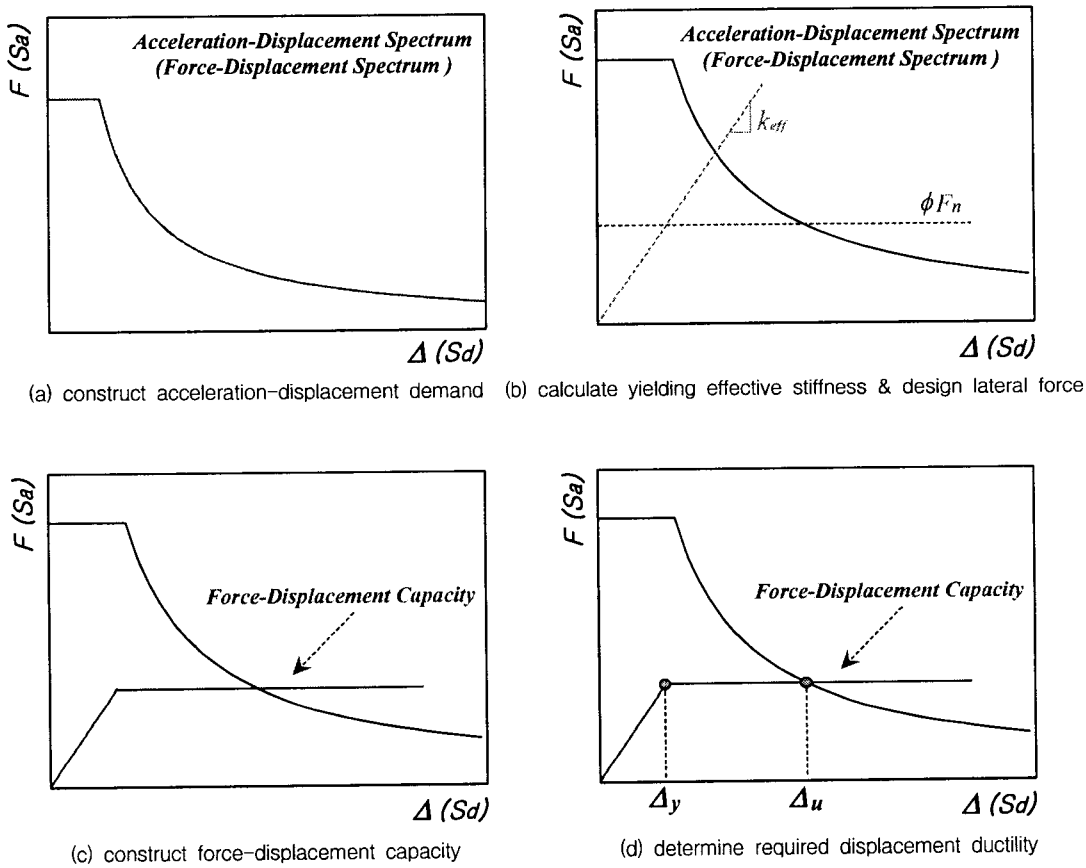
Step 4. : Determine required displacement ductility.

$$req'd \quad \mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \tag{4}$$

Step 5. : Determine required curvature ductility from required displacement ductility.

Step 6. : Determine required confinement steel ratio.

Step 7. : Design transverse reinforcement.



(a) construct acceleration-displacement demand (b) calculate yielding effective stiffness & design lateral force

(c) construct force-displacement capacity (d) determine required displacement ductility

Fig. 1 New seismic design concept based on ductility demand

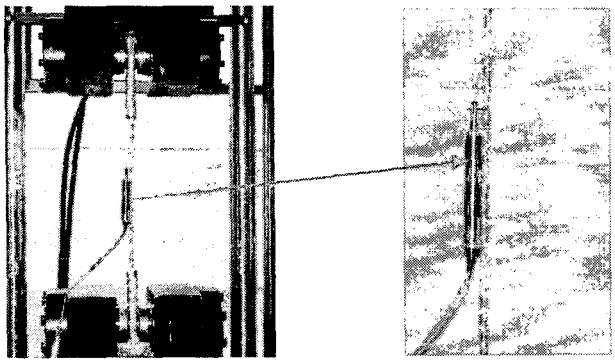


Fig. 3 Tensile test set-up

3.2.2 전단강도(Interlaminar Shear Stress)

전단특성을 평가하기 위하여 ASTM D 4475(Standard Test Method for Apparent Horizontal Shear Strength of Pultruded Reinforced Plastic Rods by in Short-Beam Method)의 방법을 사용하였다.[2] 시험은 허용용량 5ton의 변위를 조절할 수 있는 UTM을 사용하여 변위의 속도를 1.3mm/min로 하여 실험을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 FRP 리바 시험공시체와 실험장치는 Fig. 4와 같으며 Fig. 5는 전단강도실험 모습이다.

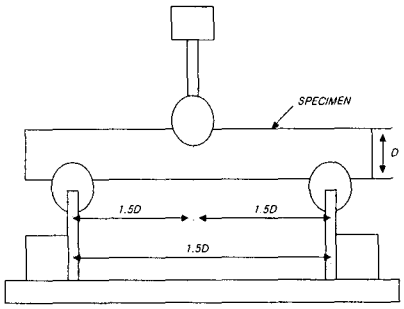


Fig. 4 Span configuration for 3D span

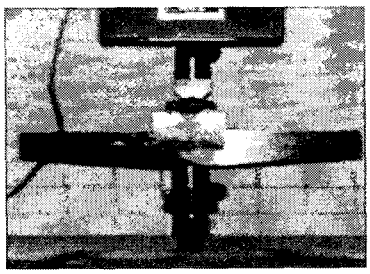


Fig. 5 ISS test set-up

4. 실험결과

4.1 인장특성

CFRP, GFRP 및 AFRP 리바의 인장시험결과 모든 FRP 리바는 파괴되기 전까지 선형적인 거동을 보여 주었으며 인장강도 특성 결과는 Fig. 6 및 Fig. 7과 같다. CFRP 리바의 경우 인장강도가 19,263 kgf/cm^{2}으로 가장 큰 강도를 보여주었으며 변형률은 1.66%으로 나타났다. GFRP 리바의 인장강도는 8,650 kgf/cm^{2}으로 나타났으며 변형률은 2.26%임을 알 수 있었다. AFRP 리바의 인장 특성을 살펴보면 인장강도는 18,580 kgf/cm^{2}이며 변형률은 3.46%이었다.

본 연구에서 개발된 하이브리드 FRP 리바의 인장특성은 위에서 설명한 CFRP, GFRP, AFRP 리바와 전혀 다른 거동을 보여주었다(Fig. 6). 하이브리드 FRP 리바는 변형률이 작은 섬유가 파괴된 후 변

형률이 큰 섬유가 하중에 저항하기 때문에 변형률이 작은 섬유가 파괴된 후 변형률이 큰 섬유가 파괴될 때까지 소성변형구간을 발생시켰다. 하이브리드 FRP 리바의 항복강도는 8,061kgf/cm^{2}이며 항복변형률은 1.45%, 극한강도는 9,251kgf/cm^{2}이며 극한변형률은 3.45%로 3%이상의 높은 소성변형률을 보여주었다(Fig. 7).

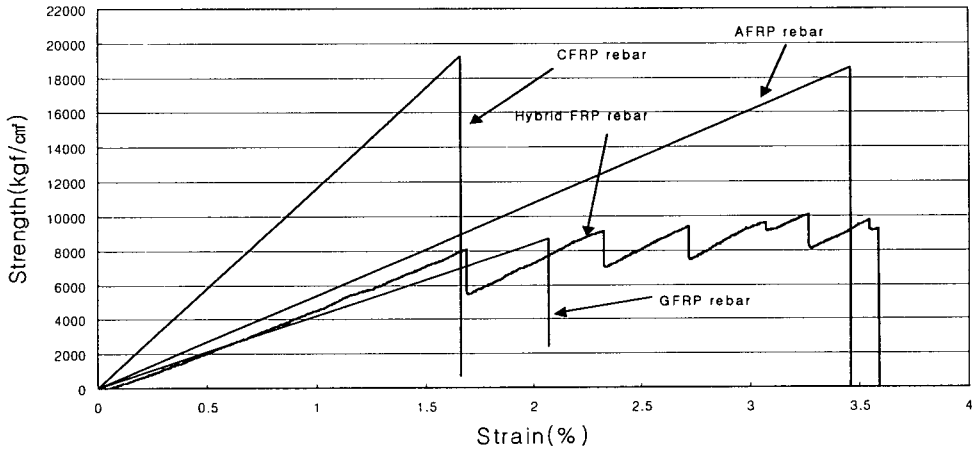


Fig. 6 Tensile strength-strain behavior of FRP rebar

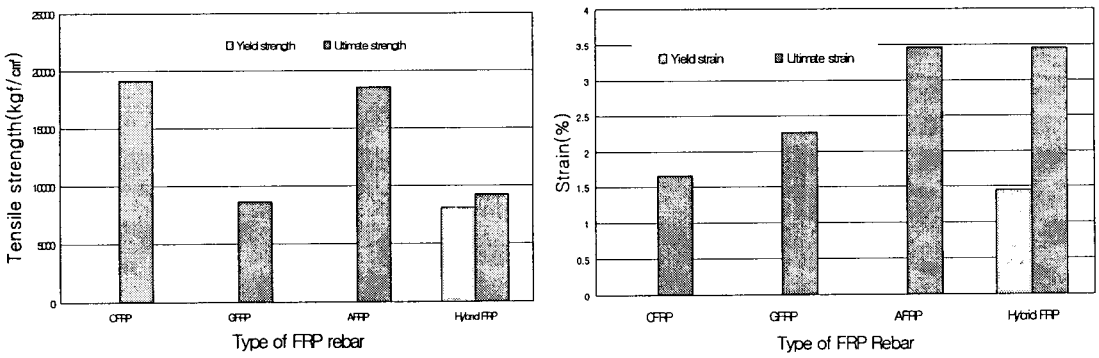


Fig. 7 Tensile properties of FRP rebar

4.2 전단강도(ISS) 실험결과

FRP 리바의 횡방향 특성은 FRP 리바의 섬유가 길이방향으로 일정하게 배열됨으로써 매트릭스수지의 영향을 받는다. 따라서 길이방향에 비하여 횡방향 강도는 매우 약한 특성을 가지고 있다. FRP 리바가 횡방향으로 힘을 받을 때 대부분의 파괴는 내부계면 분리에 의하여 발생한다. CFRP 및 GFRP 리바의 전단강도 실험결과는 FRP 리바의 수직 및 횡방향으로 균열이 발생하면서 계면의 분리에 의한 파괴가 발생하였다. 실험결과는 Fig. 8 및 9와 같다. AFRP 리바의 전단강도 실험결과는 FRP 리바의 수직 및 횡방향으로 균열이 발생에 의한 리바의 계면 분리에 의한 파괴보다는 리바의 지압에 의한 파

괴가 주로 발생하였다. 즉 하중에 의한 집중응력이 작용하여 리바가 파괴된 후 아라미드 섬유가 지속적으로 하중을 유지하였기 때문이다. AFRP 리바의 전단강도 특성은 Fig. 8 및 Fig. 9에 나타내었다. 하이브리드 FRP 리바는 변형률이 작은 섬유의 초기 파괴후 변형률이 큰 섬유가 응력에 저항하며 지속적으로 응력이 증가하다가 내부계면의 파괴 없이 지압파괴에 의하여 최종적으로 파괴가 발생하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 하이브리드 FRP 리바는 섬유의 일방향에 의한 압출성형방법이 아닌 3차원 제직방법을 사용했기 때문이다. 하이브리드 FRP 리바의 전단강도 특성은 Fig. 8 및 Fig. 9에 나타내었다.

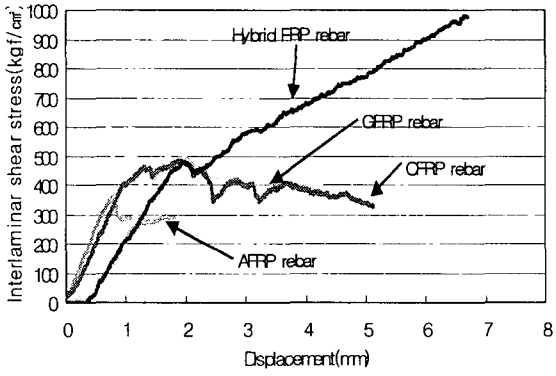


Fig. 8 ISS-displacement curve of FRP rebar

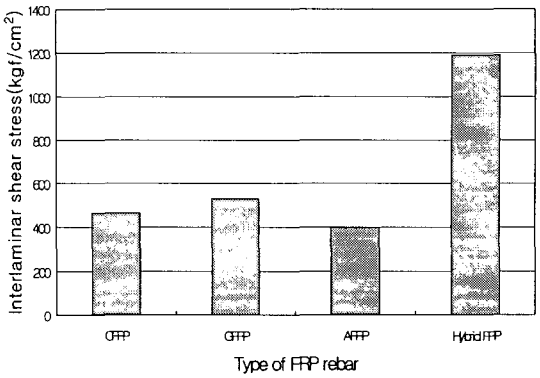


Fig. 9 Result of Interlaminar shear stress

5. 결 론

현재 외국에서 사용되고 있는 FRP 리바는 파괴가 발생하기 전까지 선형적인 거동을 하는 취성적 성질을 가지고 있다. 이와 같은 취성적 성질은 콘크리트 구조물의 보강재료로 사용되어 급격한 파괴에 의한 안정성에 문제를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 FRP 리바의 취성적 성질을 개선하여 소성변형구간을 갖게 하는 하이브리드 FRP 리바를 개발하고 성능을 평가하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 현재 사용되고 있는 CFRP, GFRP, AFRP 리바는 파괴전까지 선형적인 거동을 하는 취성적 성질을 가지고 있으나 본 연구에서 개발한 하이브리드 FRP 리바는 3% 이상의 소성변형 구간을 가지고 있어 일반 콘크리트 구조물의 보강용 및 지진하중, 풍하중, 차량하중 등 동적하중을 받는 콘크리트 구조물의 설계에 사용되어 안전성 및 신뢰성 확보에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이라 판단된다.
2. FRP 리바의 ISS 실험결과 CFRP, GFRP 및 AFRP 리바는 내부 계면의 분리에 위한 수직균열 및 수평균열이 발생하여 파괴되는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 리바의 생산방법이 일방향으로서 섬유의 배열 특성에 기인하는 것이다.
3. 하이브리드 FRP 리바의 ISS 특성은 재료 자체의 파괴변형률이 작은 섬유가 파괴변형률에 도달하여 파괴된 후 재료자체의 파괴변형률이 큰 섬유가 섬유의 파괴가 발생할 때까지 지속적으로 응력에 저항하기 때문에 계속해서 응력이 증가하는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 리바의 제조방법이 3차원으로 제직되어 내부계면에 의한 분리를 막기 때문에 전단파괴는 지압응력에 의한 파괴가 발생하도록 했기 때문에 변형률이 큰 섬유가 지속적으로 하중에 저항 할 수 있기 때문이다.

참고문헌

1. ACI. (2000). Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP bars American Concrete Institute Committee 440.
2. ASTM D 4475. (1996). Standard Test Method for Apparent Horizontal Shear Strength of Pultruted Reinforced Plastic Rods By The Short Beam Method. November
3. A. Nanni, Bakis, C.E., and Terosky, J.A. (1996). Smart Pseudo-Ductile, Reinforcing Rods for Concrete: Manufacture and Test. Proc. 1st Int. Conf. On Composites in Infrastructures, ICCI 96, Tucson, Arizona: 95-108.
4. A. Nanni (1993). Fiber-Reinforced Plastics (FRP) Reinforcement for Concrete Structures Properties and Applications. Elsevier Pub. Co. Inc., NY: 167-188.
5. Benmokrane, B., and Masmoudi, R. (1996). FRP C-Bar as Reinforcing Rod for Concrete Structures. Proc. Of Advanced Composite Materials in Bridges and Structure 2nd International Conference, Ed. M.M.El-Badry, Montreal, Quebec, Canada, August
6. Castro, P.F., and Carino, N.J. (1998). Tensile and Non-Destructive Testing of FRP bars. J. Comp. Constr., Vol. 2, No. 1, February: 17-27
7. Erki, M.A., and Ritzkalla, S.H. (1993). Anchorages for FRP Reinforcement. Concrete Int., Vol. 15, No. 6: 54-59.