

콘크리트 보강용 FRP 리바의 개발 및 내구 특성

Development and Durability Characteristics of FRP Reinforcing Bar for Concrete Structures

원종필 · 박찬기* · 윤종환 · 황금식 · 조용진(건국대)

Won, Jong Pil · Park, Chan Gi · Yoon, Jong Han · Hwang, Kum Sik · Cho, Yong Jin

Abstract

The corrosion of steel reinforcing bar(re-bar) has been the major cause of the reinforced concrete deterioration. FRP(Fiber-reinforced polymer) reinforcing bar has emerged as one of the most promising and affordable solutions to the corrosion problems of steel reinforcement in structural concrete. In this study, long-term durability performance of FRP re-bar were evaluated. The mechanical and durability properties of two type of CFRP- and GFRP re-bar were investigated; the FRP re-bars were subjected to alkaline solution, acid solution, salt solution and deionized water. The mechanical and durability properties were investigated by performing tensile and short beam tests. Experimental results confirmed the desirable resistance of FRP re-bar to aggressive chemical environment.

I. 서론

사회 간접자본 시설의 건설에 주로 사용되는 철근콘크리트 구조물은 철근의 부식으로 인한 구조성능의 저하가 주요한 관심이 되고 있다. 특히 해양 및 수리구조물 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.^(1,2) 현재 보강 철근의 부식에 대한 문제점을 해결하고자 개발된 재료 중 FRP 보강근(Fiber Reinforced Polymer re-bar)은 콘크리트 보강철근의 부식에 대한 문제점을 해결할 우수한 재료로서 그 사용 가능성이 매우 높다. FRP 보강근은 강도가 높으면서도 부식에 대한 우려가 없으며 보강재료로서 사용될 경우 강도/중량비가 커 콘크리트 구조물의 자중을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.^(1,2) 그러나 이러한 특성에도 불구하고 FRP 보강근은 고가이며 내구성에 대한 실제적인 시험자료의 부족 및 설계기준의 미정립화로 인하여 그 사용이 제한되어 왔다.^(1,2) 따라서 본 연구에서는 콘크리트 보강용으로 FRP 보강근을 개발하고 개발된 FRP 보강근이 콘크리트 구조물의 보강재료로 적용되어 장기적인 환경조건에 노출되었을 때의 내구성능을 평가함으로써 FRP 보강근의 기초적인 자료로 활용하고자 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 FRP 보강근을 4가지 종류의 화학적 열화 환경에 노출시킨 후의 장기 내구성능을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험재료

본 연구에서는 기존 해외에서 상용화되어 있는 FRP 보강근이 섬유배열의 일방향 배열에 의하여 압축 및 전단하중을 받을 때 섬유의 배열 방향에 따라 쪼개짐(층간분리)에 의한 파괴가 일어나는데 이를 방지하기 위하여 FRP 보강근의 표면을 3차원제직(3D-braiding)기법을 이용하여 처리하는 공정을 도입하여 제작하였다(Fig. 1). 또한 본 연구에서는 개발된 FRP 보강근의 역학적 특성 및 내구성능을 비교 평가하기 위하여 현재 외국에서 사용되고 있는 제품으로 표면을 규사 코팅한 CFRP 보강근(캐나다 ISO Rod), 규사코팅과 나선형 wrap을 표면에 처리한 GFRP 보강근(미국 Aslan re-bar)과 비교 시험을 실시하였다. 본 연구에서 사용된 FRP 보강근의 모습은 Fig. 1과 같다.

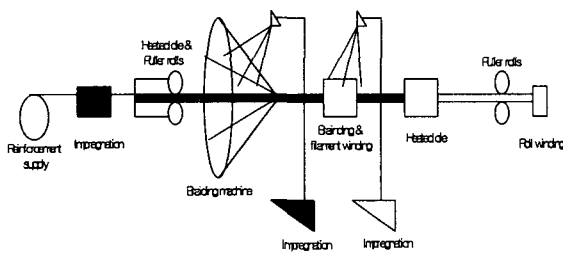


Fig. 1 Manufacturing systems of FRP re-bar

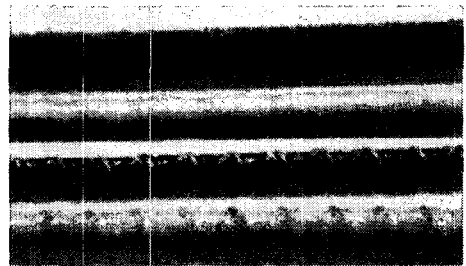


Fig. 2 Photo of FRP re-bars

2. 실험환경 및 방법

FRP 보강근의 내구성능을 평가하기 위하여 본 연구에서는 콘크리트 보강재료로서 FRP 보강근이 받을 수 있는 화학적 환경을 기존의 연구자들에서 제시된 환경조건을 참고로 알칼리, 산, 염해, 중성환경을 고려하였다. 축진열화를 위하여 실험은 각 용액의 온도를 60℃로 하여 재령 50일간 침지하는 방법을 사용하였다. 또한 FRP 보강근의 내구성능을 평가하기 위하여 축진열화 환경에 노출시킨 후 ACI 440위원회의 규정에 의한 인장특성 및 ASTM D 4475에 의한 전단특성(Interlaminar shear stress: ISS) 시험을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

FRP 보강근의 내구성에 대한 명확한 평가 기준은 지금까지 제시되고 있지 않으나 FRP 보강근이 상용화되어 있는 많은 국가에서는 각국의 환경조건에 맞게 환경영향계수를 결정하여 설계에 적용하여 사용하고 있다. 그러나 직접적으로 환경영향계수를 결정하기 위한 내구성의 기준은 제시되어 있지 않았다. 다만 ACI 440 위원회의 규정과 실험결과를 기본으로하여 2001년 Nanni는 각종 축진환경에 환경영향계수와 인장 및 ISS의 관계를 제시하였는데 축진열화환경에 노출시킨 FRP 보강근의 인장강도는 75%이하로 감소하여서는 안되며 ISS는 65%이하로 감소하여서는 안된다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 위의 환경조건을 위와 평가기준에 따라 개발한 FRP 보강근의 내구특성을 평가하였다.

1. 전단특성

FRP 보강근의 ISS는 FRP 보강근의 생산방법과 매트릭스 수지에 의하여 큰 영향을 받는다. 이와 같은 이유는 일반적으로 FRP 보강근의 생산에 사용되는 압출성형(Pultrusion) 방법의 경우 섬유가 일방향으로 배열되어 생산되기 때문에 전단하중을 받을 경우 섬유와 매트릭스 수지의 분리(층간분리)에 의한 쪼개짐 파괴가 주로 발생하기 때문이다. 따라서 개발된 CFRP 보강근 및 GFRP 보강근은 이와 같은 FRP 보강근의 단점을 해결하기 위하여 FRP 보강근의 표면에 3차원제직을 통하여 섬유와 매트릭스의 분리에 의하여 발생할 수 있는 쪼개짐을 최소화하였다. 시험결과 CFRP 보강근 및 GFRP 보강근에서 전단강도가 각각 76.8MPa과 70.1MPa으로 ISO CFRP 보강근(46.7MPa), Aslan GFRP(53.2MPa) 보강근 보다 우수한 결과를 보여주었다(Fig. 3). 개발된 CFRP 보강근 및 ISO CFRP 보강근의 잔류강도 시험 결과는 Fig. 3과 같다. 잔류강도 시험결과를 살펴보면 50일간 노출 후 개발된 CFRP 보강근은 모두 90%이상의 잔류강도를 가지고 있으며 ISO CFRP 보강근은 80%이상의 잔류강도를 보여주었다. 이는 평가 기준인 잔류강도 65%를 모두 만족하는 결과로서 내구성이 우수하다고 할 수 있다. 또한 개발된 CFRP 보강근은 ISO CFRP 보강근보다 우수한 내구성을 보여주었다. 축진환경에 50일간 노출 후 개발된 GFRP 보강근의 ISS는 모두 80%이상의 잔류강도를 가지고 있으며 GFRP Aslan 보강근은 70%이상의 잔류강도를 보여주었다.(Fig. 3) 이는 평가 기준인 잔류 강도 65%를 모두 만족하는 결과로서 내구성이 우수하다고 할 수 있다.

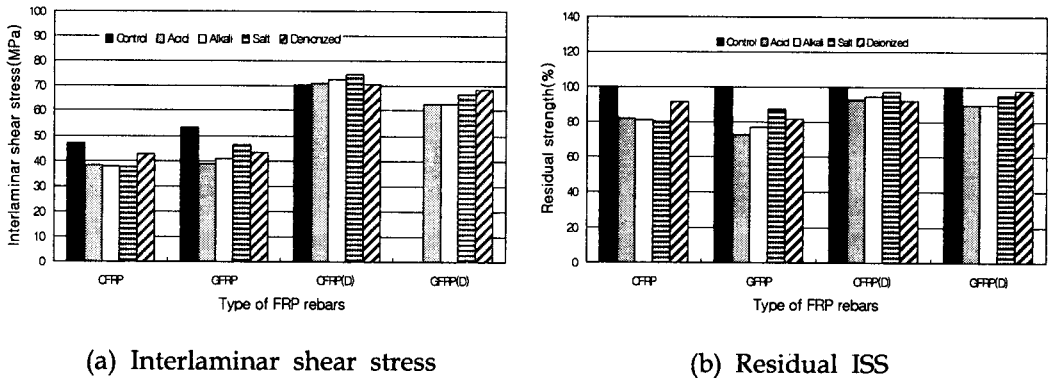
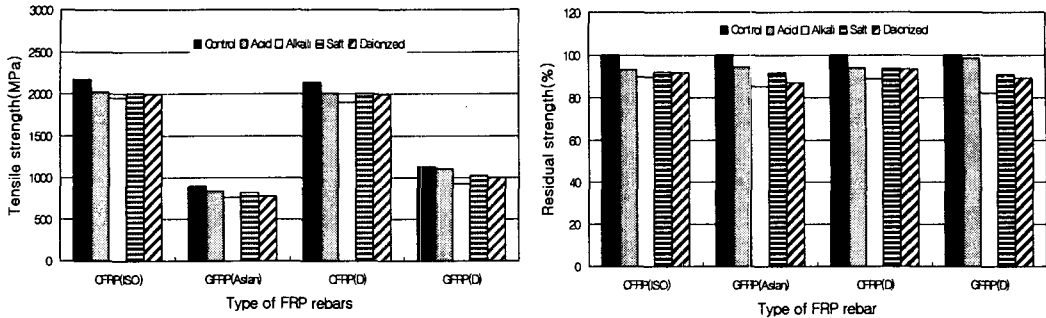


Fig. 3 Short beam test result of FRP re-bar

2. 인장 특성

FRP 보강근의 인장시험결과 ISO CFRP 보강근의 인장강도는 2,179.5MPa으로 가장 높게 나타났다. 개발된 CFRP 보강근의 인장강도는 2,135.5MPa으로 ISO CFRP 보강근과 비교하여 약간 작은 값을 나타내었다. 또한 개발된 GFRP 보강근은 인장강도 892.4MPa으로 Aslan GFRP 보강근의 인장강도 892.4MPa 보다 높은 값을 보여주었다(Fig. 4). 개발된 CFRP 보강근 및 ISO CFRP 보강근의 잔류인장강도 시험결과는 Fig. 4와 같다. 잔류인장강도 시험결과를 살펴보면 50일간 노출 후 개발된 CFRP 보강근 및 ISO FRP 보강근의 잔류 인장강도가 모두 90%정도로 평가기준인 잔류 인장강도 75%이상을 모두 만족하는 우수

한 저항성을 보여주었다. 개발된 GFRP 리마 및 Aslan GFRP 보강근의 잔류 인장강도 시험결과 50일간 노출 후의 인장강도는 기준 공시체와 비교하여 80%이상으로 평가기준인 잔류 인장강도 75%이상을 모두 만족하는 우수한 내구성을 나타내었다(Fig. 4).



(a) Tensile strength

(b) Residual tensile strength

Fig. 4 Tensile test results of FRP re-bar: (a) tensile strength, (b) residual strength

IV. 결론

본 연구는 콘크리트 구조물의 철근부식으로 인한 문제를 해결하고자 철근대체재료로서 사용 가능성이 높은 CFRP 보강근 및 GFRP 보강근을 개발하고 개발된 FRP 보강근과 현재 해외에서 사용하고 있는 FRP 보강근의 역학적 특성 및 화학적 열화환경에 의한 내구성능을 촉진열화시험을 통하여 평가하였다.

1. 개발된 CFRP 보강근 및 GFRP 보강근의 압축강도 및 전단시험 결과 현재 사용되고 있는 CFRP ISO 보강근, GFRP Aslan 보강근과 비교하여 우수한 강도특성을 나타내었다. 이와 같은 결과는 기존 FRP 보강근이 쪼개짐 파괴에 의하여 주로 파괴가 발생하는데 본 연구에서 개발한 FRP 보강근은 섬유 표면의 3차원 제직처리를 실시하여 섬유의 일방향 배열로 인한 FRP 보강근의 쪼개짐 파괴를 방지하였기 때문이다.
2. 개발된 CFRP 보강근 및 CFRP ISO 보강근, 개발된 GFRP 보강근 및 GFRP Aslan 보강근을 촉진환경하에 노출시킨 후 전단 및 인장시험을 통하여 평가한 내구성능은 모두 평가기준을 모두 만족하였다.

본 연구는 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며 참여기업인 동원건설(주)에 감사 드립니다.

참고문헌

1. ACI, (2000), "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP bars", American Concrete Institute Committee 440.
2. Nanni, A., Francesco, M.,(2001), "Mechanical properties and durability of FRP rods", CIES 00-22, Darpartment of Civil Engineering, University of Missouri-Rolla, U.S.A.