

# 알칼리 환경하에서 콘크리트 보강용 GFRP rebar의 열화현상 평가

## Deterioration of GFRP rebar in alkaline solution

원종필\* 이수진\*\* 장창일\*\* 박찬기\*\*\* 김정훈\*\* 박영환\*\*\*\*  
Won, Jong Pil Lee, Su Jin Jang Chang Il Park, Chan Gi Kim, Jung Hoon Park, Young Hwan

### ABSTRACT

The corrosion of steel reinforcing bar has been the major cause of the reinforced concrete deterioration. GFRP(Glass 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. However, GFRP rebar is prone to deteriorate due to other degradation mechanisms than those for steel. The high alkalinity of concrete, for instance, is a possible degradation source. This paper presents the long-term deterioration of the GFRP rebar under alkali environmental condition.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 철근의 부식으로 인한 구조성능 및 내구성능 저하가 큰 문제점으로 대두되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 개발된 재료 중 GFRP 보강근(Glass Fiber Reinforced Polymer rebar)은 보강철근의 부식에 대한 문제점을 해결할 수 있는 우수한 재료로서 그 사용이 점차 증가하고 있다. GFRP 보강근은 우수한 부식저항성, 고강도를 가지며 강도에 대한 중량비가 매우 커 신축 및 내하력이 저하된 콘크리트 구조물에 적용되어 자중을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 특성에도 불구하고 고가이며 기존의 보강철근이 가지고 있는 휨보강을 위한 연성을 가지고 있지 못하며 내구성에 대한 실제적인 시험자료 및 설계기준의 부족으로 그 사용이 제한되었다.

본 연구에서는 콘크리트 보강용으로 개발된 GFRP 보강근이 콘크리트 구조물의 보강재료로 적용되어 장기적인 알칼리 환경조건에 노출되었을 때 인장강도를 측정하고 강도저하 매커니즘을 SEM(Scanning Electron Microscope)과 MIP(Mercury Intrusion Porosimetry)의 결과를 통하여 분석하였다.

### 2. 실험계획 및 방법

\* 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수

\*\* 정회원, 건국대학교 대학원 석사과정

\*\*\* 정회원, 건국대학교 전임연구원

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

## 2.1 GFRP 보강근

촉진열화시험에 사용된 GFRP 보강근은 인장강도 690MPa, 탄성계수 40.8GPa, 공칭직경 12.7mm의 미국 Hughes brothers사 Aslan 100 GFRP 보강근을 사용하였다.

## 2.2 촉진열화환경

GFRP 보강근의 열화현상을 관찰하기 위해 알칼리 환경조건을 고려하였으며 촉진환경 노출 후 인장 시험을 실시하여 그 성능을 평가하였다. 알칼리 환경을 모사하기 위해서 수산화칼슘(KOH), 수산화나트륨(NaOH), 그리고 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )를 각각 1.4%, 1%, 0.16% 사용하여 콘크리트 공극수와 비슷한 pH 12.6, 촉진온도 60℃의 환경을 조성하였으며 300일간 침지시켰다.

## 2.3 시험방법

### 2.3.1 인장특성

본 연구에서 GFRP 보강근의 인장거동을 평가하기 위해 ACI 440에서 제시하고 있는 기준에 따라 인장시험을 실시하였다. ACI 440K에서는 GFRP 보강근의 시험길이는 직경의 40배 이상으로 규정되어 있으며 최소 길이 역시 100mm 이상으로 규정하고 있다.

### 2.3.2 미세구조분석

촉진열화환경에 노출 후 GFRP 보강근의 미세구조를 분석하기 위해 MIP를 이용하여 공극량을 측정하고 SEM을 이용하여 표면의 형상변화를 관찰하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 인장특성

알칼리 환경에 노출시킨 후 GFRP 보강근의 인장강도 시험결과는 그림 1에 나타내었다. 시험결과 60℃ 알칼리 용액에 침지한 시간이 증가할수록 잔류인장강도의 감소를 보여주었다. 60일까지 노출 시 강도보유율이 80% 이상을 보여주었으나 90일 이상 노출시 인장강도가 크게 감소하여 80%이하의 강도보유율을 보였다. 한편 그 이상의 노출기간에서는 눈에 띄는 강도감소는 나타나지 않았다.

### 3.2 미세구조분석

그림 2는 GFRP 보강근의 알칼리 환경 침지 후 침지기간에 따른 공극분포를 나타낸 것이다. 30일, 60일 침지 후 누적 수는 압입량은 약간의 증가를 보이고 있다. 반면 90일 이상 침지시켰을 경우 수는 압입량이 눈에 띄게 증가하였으며 이는 섬유를 둘러싼 폴리머 매트릭스의 열화가 진행되

어 매트릭스의 박리와 micro-균열이 발생하고 이를 통해 알칼리 용액이 침투하여 GFRP 보강근의 열화가 가속화된 것으로 판단된다. 이는 90일 이후 인장강도가 감소하는 현상을 설명해줄 수 있다.

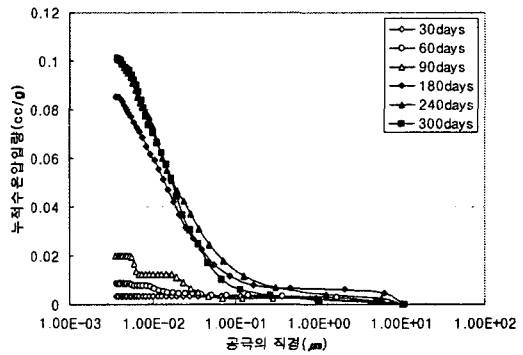
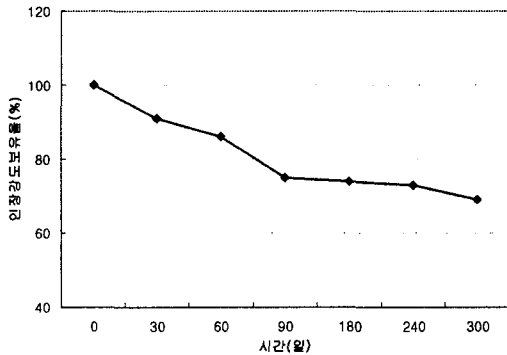


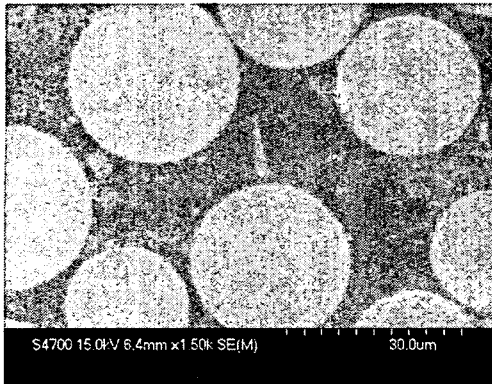
그림 1 알칼리 용액 침지시간에 따른 인장강도 변화      그림 2 알칼리 용액 침지시간에 따른 공극분포 변화

그림 3은 알칼리 용액에 침지시켰을 때 시간에 따른 GFRP 보강근 표면의 SEM 사진이다. 알칼리 환경에 노출된 시간이 증가할수록 폴리머 매트릭스가 열화 되어 공극의 양이 증가하고 이를 통한 표면의 열화가 촉진되는 것을 알 수 있다. 또 발생한 micro-균열을 통해 침투한 알칼리 성분이 섬유-매트릭스 경계면까지 확산되어 섬유의 열화가 진행된 것을 관찰할 수 있다.

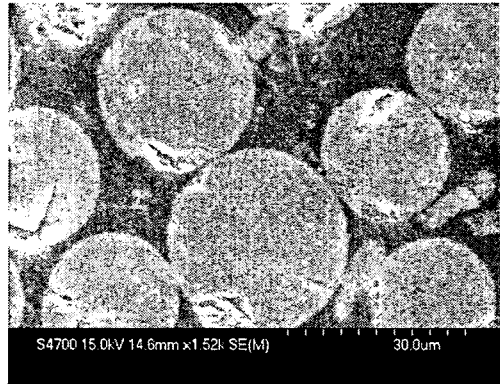
계면의 열화로 인해 알칼리 용액에 노출된 유리섬유는 침지시간이 길어질수록 표면손실이 증가할 뿐만 아니라 표면이 깊게 패이기도 하여 높은 pH의 알칼리 환경에 노출되는 면적이 늘어남으로써 더욱 많은 열화가 진행되어 결국 인장강도의 감소를 유발한다. SEM 분석결과도 인장강도 감소 매커니즘을 잘 보여준다.

#### 4. 결론

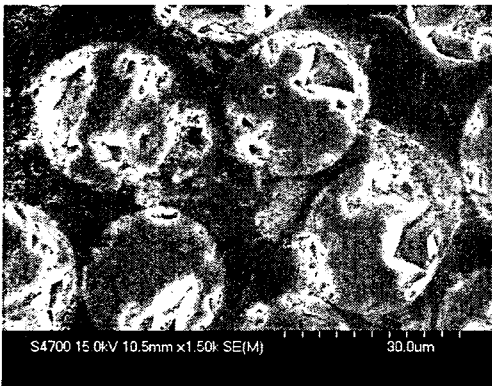
1. 알칼리 환경에 노출시키지 않은 GFRP 보강근과 비교했을 때 60°C 알칼리 환경에 노출시킨 GFRP 보강근의 인장강도는 노출시간이 증가할수록 강도감소가 뚜렷이 나타났다.
2. MIP를 이용해 열화된 GFRP 보강근의 누적수은압입량을 측정한 결과 알칼리 환경에 노출시간이 증가할수록 누적수은압입량도 증가하였다. 이러한 현상은 SEM 관찰을 통해서도 같은 결과를 관찰할 수 있었다. 즉 밀실한 구조였던 GFRP 보강근이 알칼리 용액에 침지되면서 수분이 레진에 흡수되고 폴리머 매트릭스의 가스화로 박리와 micro-균열이 발생하게 되고 이것을 통해 수분 및 화학성분이 확산되어 섬유-매트릭스간의 계면열화와 표면침식이 일어났다.



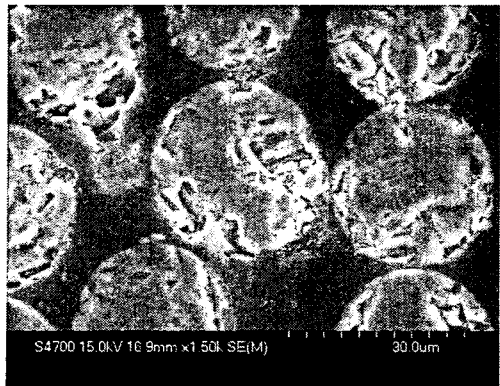
(a) Control



(b) 60일



(c) 180일



(d) 300일

그림 3 노출기간에 따른 GFRP 보강근의 단면

### 감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2005년도 정책연구사업인 “FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발”의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 박찬기, 원종필, 유정길, (2003), 화학적 환경에 노출된 콘크리트 보강용 FRP 보강근의 장기효과, 한국콘크리트학회 논문집 제 15권, 제 6호, pp.811~819
2. Dejke V., (2001), Durability of FRP Reinforcement in Concrete, Department of Building Materials, Chalmers University of Technology, Sweden
3. Vijay P.V., (1999), Aging and Design of Concrete Members Reinforced with GFRP Bars, Department of Civil Engineering, West Virginia University, West Virginia, USA