

# 반복하중을 받는 GFRP 보강근의 부착특성

## Bond Behavior of GFRP Rebars Embedded in Concrete Under Cyclic Loading

정연걸\*

Cheong, Yeon Geol

이종구\*\*

Yi, Chong Ku

이정윤\*\*\*

Lee, Jung Yoon

### ABSTRACT

The cost of repairing the deterioration of concrete structures due to corrosion of the reinforcement steel has been the prominent figure in the maintenance of the reinforced-concrete infrastructures. As an alternative material to steel reinforcement, the use of Fiber Reinforced Polymer (FRP) bar in concrete is being actively studied for the high resistance of chemical environment and high strength to weight ratio properties of FRP. However, there remain various aspects of FRP properties that still need to be studied before the standard design criteria can be established. One of the imminent issues is the bond between FRP and concrete. In this study, the bond-behavior of FRP bars in concrete is investigated via the pullout test with three varying parameters: surface condition of FRP bars, concrete compression strength, and cyclic loading patterns. As a result of experiment, the bond strength of GFRP increased with the concrete compression strength increasing and decreased with applying cyclic load.

### 요약

염해에 노출이 심한 구조물이나 교량의 상판의 보강철근 부식으로 인한 콘크리트 구조물의 구조성능 및 내구성능의 저하가 큰 문제로 대두되고 있다. 이에 최근 활발히 연구가 진행 중인 섬유보강근(Fiber Reinforced Polymer Bar, 이하 FRP 보강근)은 높은 화학적 내구성, 고강도, 경량성 등에 의하여 철근을 대체할 콘크리트 보강재로 그 가치를 인정받아 미국, 유럽, 캐나다 등에서는 이미 FRP 보강근의 설계지침서가 발표되었다. 하지만 아직 FRP 보강근을 이형철근과 같이 높은 신뢰성을 가지는 보강재로 사용하기에는 파악해야 할 구조적 문제가 많이 있는데 그 중 하나가 콘크리트와의 부착성능이다. FRP 보강근의 부착성능은 콘크리트 압축강도에 크게 영향을 받는 이형철근과 달리 섬유종류, 외피 표면 상태 등 여러 가지 요소에 의한 복합적 영향을 받는 부착특성을 보인다. 이에 본 연구에서는 외피 표면 상태, 콘크리트 압축강도, 반복하중 작용 등을 변수로 하는 GFRP 보강근으로 보강된 일 방향 인장-인발 시편의 부착실험을 통하여 GFRP 보강근의 부착특성을 관찰하고자 하였다. 실험결과 콘크리트 압축강도의 증가에 따라 GFRP 보강근의 부착강도는 증가하였으며 반복하중의 작용에 의하여 단조하중에서의 부착강도에 비하여 GFRP 보강근의 부착강도는 감소하는 결과를 보였다.

\*정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

\*\*정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 조교수

\*\*\*정회원, 성균관대학교 건축공학과 부교수

## 1. 서론

FRP(Fiber Reinforced Polymer) 보강근의 부착거동에 있어서 가장 중요한 부분은 FRP 보강근과 콘크리트 사이의 표면에서의 거동이다. 이형철근과는 달리 FRP 보강근은 표면 상태에 따라 콘크리트와의 부착거동에 많은 차이를 보이기 때문에 FRP 보강근의 부착거동에 있어 표면 상태의 영향에 관한 연구는 필수적이다. 또한 현재 반복하중 작용시의 FRP 보강근의 부착거동에 관한 연구도 많이 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 GFRP 보강근으로 보강된 콘크리트 시편의 부착실험을 통하여 표면 형상과 반복하중 작용에 의한 GFRP 보강근의 부착거동의 변화를 파악하고자 한다.

## 2. FRP 보강근의 반복하중 실험방법

### 2.1 재료 특성

실험에 사용된 보강근의 종류는 이형철근, 모래분사형 GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer, 이하 GFRP-SC), 나선형 GFRP(이하 GFRP-HW)의 3가지이며, 콘크리트 압축강도는 재령 28일 평균 24.7MPa, 41.0MPa, 72.8MPa(배합 강도 25MPa, 40MPa, 70MPa)이다. GFRP 보강근의 종류 중 GFRP-SC의 경우는 직선형 보강근의 표면에 모래를 분사시켜 부착성능을 확보하였으며 GFRP-HW는 표면에 섬유를 꼬아 마디를 형성하여 부착성능을 확보하였다. GFRP 보강근의 형상은 그림 1과 같다.

표 1 보강근의 물리적 특성

종류	공칭직경 (mm)	단면적 (mm <sup>2</sup> )	섬유 종류	섬유함유량 (%)	비중 (g/cm <sup>3</sup> )	항복응력 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
이형철근	12.7	126.7	-	-	7.90	410	560	200
GFRP-SC	12.7	129.0	E-Glass	70.0	2.04	N/A	690	42.0
GFRP-HW	12.7	144.8	E-Glass	70.0	2.00	N/A	617	40.8



(a) GFRP-SC



(b) GFRP-HW

그림 1 GFRP 보강근의 형상

### 2.2 실험체 상세 및 실험 방법

반복하중의 영향을 받는 GFRP 보강근의 부착거동을 관찰하기 위하여 총 108개의 시편을 제작하여 표 2와 같이 명기하였다. 실험에 사용된 실험체는 그림 2와 같이 제작하였으며 하중 재하 시스템은 그림 3과 같이 계획하였다. 부착길이는 순수 부착거동의 관찰을 위하여 시편의 중앙에 위치시켰으며 부착길이는 보강근 공칭 직경의 5배로 제작하였다. 실험변수는 단조하중 최대 부착응력일 때의 미끌림 값( $S_{max}$ )을 기준으로 하여 크기와 횟수를 변화시켜 그림 4와 같이 3가지 패턴의 하중에 대하여 실험하였다. 실험은 하중제어 방식으로 0.37kN/sec.의 속도로 가력 하였다.

표 2 실험체 일람표

$\frac{S}{\textcircled{1}} \frac{25}{\textcircled{2}} \frac{M-1}{\textcircled{3}} \frac{1}{\textcircled{4}}$	① : 보강근의 종류	S : 이형철근	② : 콘크리트압축강도
		SC : GFRP-SC	
		HW : GFRP-HW	
	③ : 하중 패턴	M : 단조하중	④ : 시편번호(1~3)
	C1~3 : 반복하중 1~3		

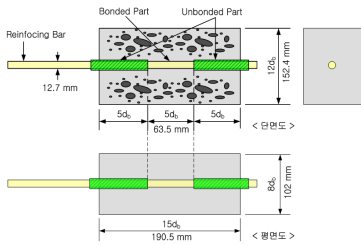


그림 2 실험체의 형상 및 치수

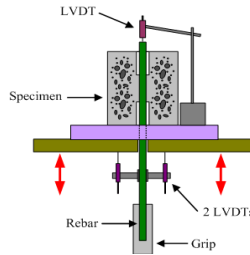


그림 3 하중 재하 시스템

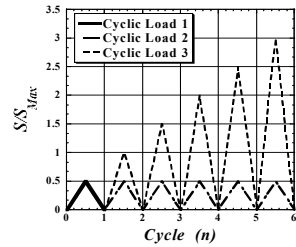
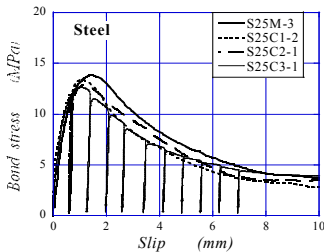


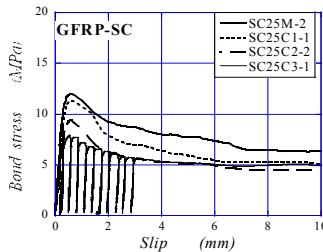
그림 4 반복하중 패턴

### 3. 실험결과 및 분석

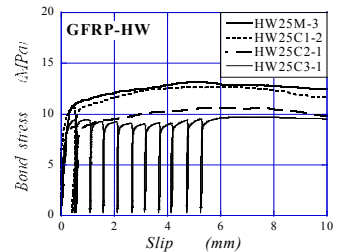
실험결과 보강근의 종류에 관계없이 콘크리트 압축강도의 증가에 따라 부착강도는 증가하였으며 반복하중 횟수의 증가에 따라 부착강도는 단조하중을 받는 시편의 부착강도에 비하여 감소하는 경향을 보였다. 보강근의 종류에 따른 부착응력-미끌림 관계는 그림 5~7과 같으며 콘크리트 압축강도의 영향에 의한 보강근의 부착강도의 변화는 그림 8과 같다.



(a) 이형철근

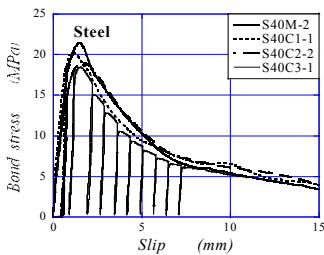


(b) GFRP-SC

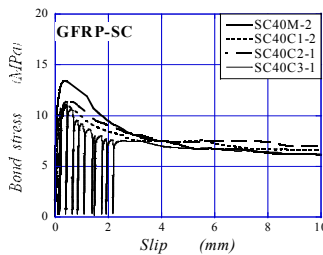


(c) GFRP-HW

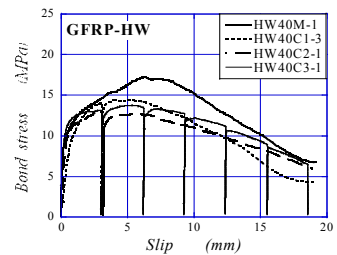
그림 5 부착응력-미끌림 관계( $f_{ck} = 25\text{MPa}$ )



(a) 이형철근



(b) GFRP-SC



(c) GFRP-HW

그림 6 부착응력-미끌림 관계( $f_{ck} = 40\text{MPa}$ )

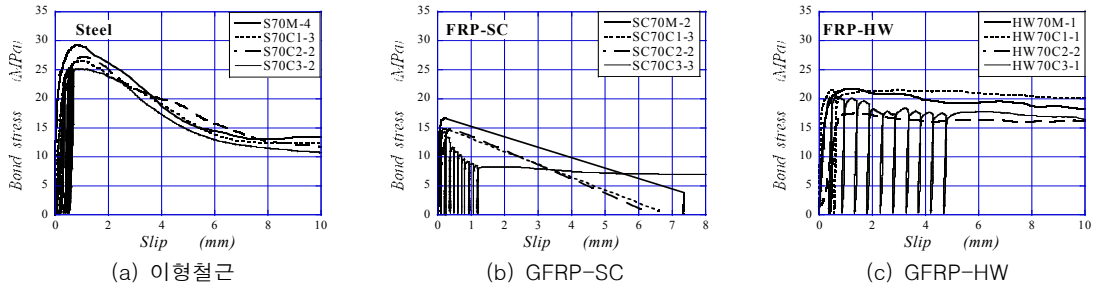


그림 7 부착응력-미끄러짐 관계 ( $f_{ck} = 70\text{MPa}$ )

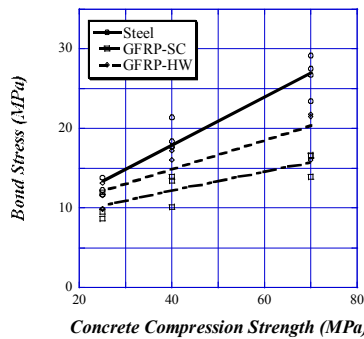


그림 8 콘크리트 압축강도에 따른 이형철근, GFRP 보강근의 부착강도 변화

#### 4. 결론

본 실험결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 압축강도의 증가에 따라 GFRP 보강근의 부착강도는 증가하였다.
- (2) 반복하중 횟수의 증가에 따라 GFRP 보강근의 부착강도는 감소하는 경향을 보였다.
- (3) 결론 (2)의 GFRP 보강근의 부착강도 감소의 영향요소에 관한 추가적인 분석이 요구된다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국학술진흥재단 기초연구지원사업(기초자연과학, KRF-2007-D00845)에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. M. Alavi-Fard and H. Marzouk, "Bond Behavior of High Strength Concrete under Reversed Pull-out Cyclic Loading," Can. J. Civ. Eng. Vol.29, pp.191-200.
2. R. Eligehausen, E. P. Popov and V.V. Bertero, "Load Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bars Under Generalized Excitations," Report No. UCB/EERC82-83, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, Oct. 1983.
3. Z. Achillides, "Bond behaviour of FRP bars in concrete," Ph.D. thesis, Centre for Cement and Concrete, Dept. of Civil and Structural Eng., The University of Sheffield, July, 1998.