

콘크리트 강도가 GFRP 복합재료 보강근의 부착강도에 미치는 영향

Effect of Concrete Strength on the Bond Strength of Glass Fiber Reinforced Polymer Bars

김태영* 박지선** 이정윤*** 유영찬**** 김금환****
Kim, Tae Young Park, Ji Sun Lee, Jung Yoon You, Young Chan Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

Glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars gain increasingly more attention as a reinforcing option for concrete because of their corrosion resistance and non-magnetism. GFRP reinforcement for concrete does not have the same shape as steel reinforcement. Therefore, the bond performance of FRP bars, unlike that of steel, is dependent on their design, manufacture and mechanical properties. This paper studied the effect of high strength concrete on the bond strength of GFRP bars. Twenty-nine specimens having different compressive strength of concrete were tested in order to examine the bond behavior of GFRP bars.

1. 서론

철근은 콘크리트는 부착성능이 뛰어나며, 철근의 열팽창계수가 콘크리트의 열팽창계수와 유사하기 때문에 콘크리트의 인장강도를 보완하기 위하여 많이 사용되고 있으나, 콘크리트의 중성화에 따라 부식하기 쉽고 전자기의 영향을 받아 이에 대한 대책이 요구된다. 근년 개발된 FRP 보강근은 내부식성이 뛰어나며 전자기의 영향을 적게 받기 때문에 철근의 대체재로서 평가되고 있다. 그러나 콘크리트구조물에 사용하기 위해서는 콘크리트와 FRP 보강근의 부착성능을 평가하고 구조설계에서 요구하는 정착길이 및 이음길이에 대한 제시가 필요하다.

이 연구에서는 FRP 보강근의 부착강도에 가장 중요한 영향 요소의 하나로 평가되는 콘크리트의 압축강도가 FRP 보강근의 부착강도에 미치는 영향을 평가하였다. 연구에서는 5가지 종류의 압축강도를 가진 콘크리트에 철근과 GFRP 보강근을 매립하여 각 보강근의 부착성능을 실험적으로 비교·평가하였다.

*정회원, 성균관대학교 대학원 석사과정

**정회원, 한국건설기술연구원 연구원

***정회원, 성균관대학교 대학원 조교수

****정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

실험체 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도는 25, 35, 40, 55, 90MPa를 채택하였다. 정확성을 기하기 위해서 직접 배합설계를 통한 콘크리트 압축강도 실험 후 제작하였으며 배합비는 표 1과 같다. 보강근은 철근, 모래분사형 GFRP, 나선형 GFRP의 3가지 유형이다. 보강근의 공칭 직경은 D13으로 12.7mm이며 GFRP 보강근은 동일한 구성 재료를 가지며 E-Glass 섬유와 비닐에스터로 구성되었다. 표 2는 실험에 사용한 철근 및 GFRP 보강근의 물리적 특성을 나타낸다. 그림 1과 그림 2는 보강근의 형상을 나타낸다.

표1. 콘크리트의 배합설계

압축 강도 (MPa)	W/C (%)	잔골재율 (%)	슬럼프 (cm)	단위재료량(kg/m³)						
				시멘트	물	잔골재	굵은 골재	실리카흄	고성능 감수제	
25	53	40	6.5	319	172	868	945	-	-	
35	45	40.1	7	394	177	697	1040	-	-	
40	55	43	8.5	400	220	745	995	-	-	
55	40	35	6	523	209	569	1040	52.3	-	
90	29	38	12	530	169	629	1026	53	15.9	

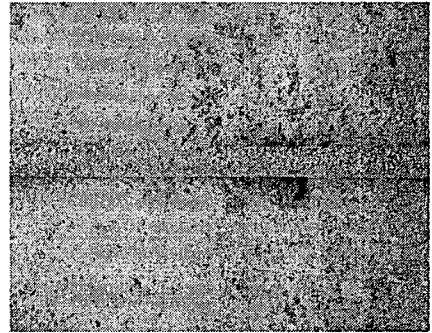


그림 1 모래분사형 GFRP 보강근

표2. 보강근의 물리적 특성

종류	공칭 직경 (mm)	단면 적 (mm²)	섬유 종류	섬유 함유량 (%)	비중 (g/cm³)	항복 응력 (MPa)	인장 강도 (MPa)	탄성 계수 (GPa)	비고
이형철근	12.7	126.7	-	-	7.90	410	560	200	국내 산
모래분사형 GFRP	12.7	129.0	E-Glass	70.0	2.04	N/A	690	42.0	캐나다 산
나선형 GFRP	12.7	144.8	E-Glass	70.0	2.00	N/A	617	40.8	미국 산

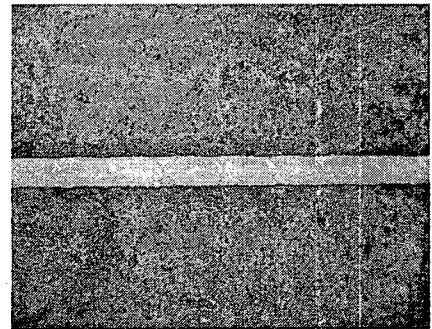


그림 2 나선형 GFRP 보강근

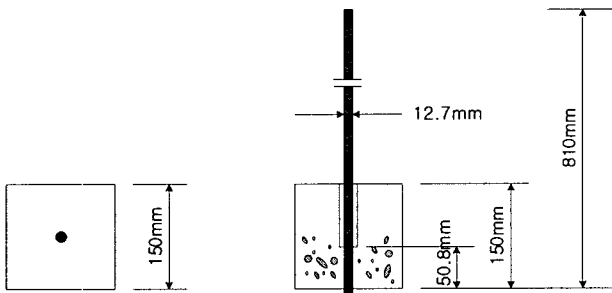


그림 3 시험체의 형상 및 치수

실험체는 CSA S802-02 규격에 따라 제작하였으며, 그림 3과 같이 한 면의 길이가 150mm인 콘크리트 입방체에 1개의 보강근을 수직방향으로 중심축에 매입하여 콘크리트를 타설, 양생하였다. 실험체의 문힘 길이는 보강근의 공칭 지름의 4배로 하였다.

CSA S802-02 규준에 따라서 실험을 실시하였다. 하중은 22,000N/min의 속도로 가력하였으며, LVDT로 각 하중단계에 대응하는 변위(미끌림) 및 변형률을 측정하였다.

3. 실험결과

보강근(철근, 모래분사형 GFRP, 나선형 GFRP)의 종류에 따라서 달라지는 부착응력-미끄러짐 관계를 그림 4에 표시하였다. 그림에서는 3개의 실험값 중에서 대표적 거동을 나타낸 1개 실험체의 부착응력-미끄러짐 관계를 선택하여 표시하였다. 그림에서 최대 부착응력에 도달하기까지 세 가지 보강근의 부착응력-미끄러짐 관계는 매우 유사함을 알 수 있다. 부착강도의 크기는 철근, 나선형 GFRP, 모래분사형 GFRP의 순서이었으며, 최대 부착 응력에 상응하는 최대 미끄러짐 값은 모래분사형 GFRP, 철근, 나선형 GFRP 순서이었다. 부착강도에 도달한 이후에 철근과 모래분사형 GFRP는 일정한 기울기(탄성기울기의 약 20%)로 부착응력이 감소하였다. 특히, 약 90 MPa의 고강도 콘크리트에서는 철근과 모래분사형 GFRP의 부착응력이 급격하게 감소하는 경향을 나타냈다. 한편, 나선형 GFRP는 최대 부착 강도에 도달한 이후에도 부착응력은 매우 완만한 기울기로 감소하여 다른 거동을 보였다.

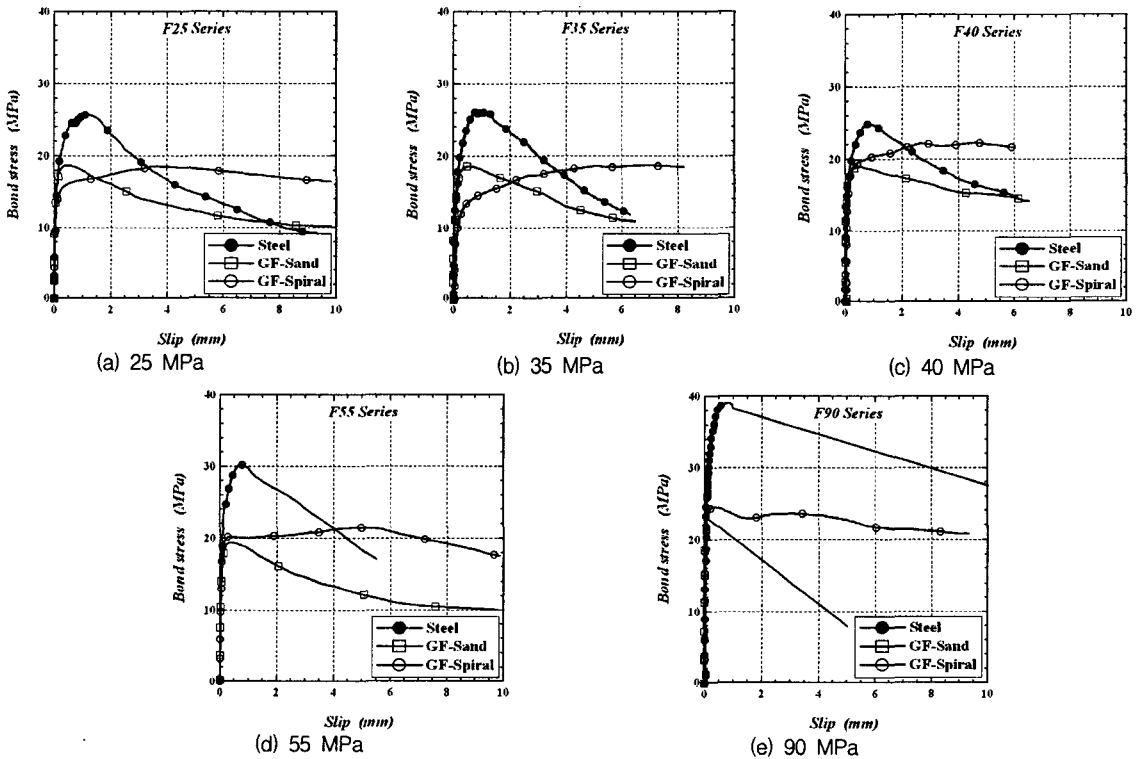
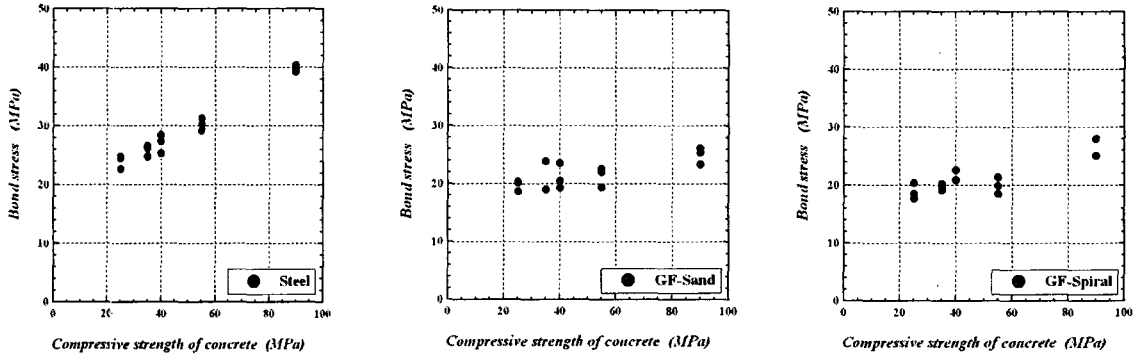


그림 4 보강근의 부착 응력-미끄러짐 관계

4. 콘크리트의 압축강도의 영향

콘크리트의 압축강도의 변화에 따라서 증가하는 부착강도의 변화를 살펴보면, 그림 5와 같이 철근은 콘크리트 압축강도의 증가에 따라서 일정한 기울기로 증가하지만, 모래분사형과 나선형 GFRP보강근은 콘크리트 압축강도가 증가하여도 부착강도 증가 비율은 매우 작음을 알 수 있다. 이와 같이 GFEP 보강근 과 철근의 부착강도에 콘크리트의 압축강도가 미치는 영향이 상이하게 나타나는 이유는 GFRP 보강근은 돌기의 강성이 철근에 비하여 상대적으로 약하며 돌기를 접착하는 레진의 전단강도가 낮기

때문이다. 콘크리트의 압축강도가 철근에 미치는 영향에 대하여 ACI나 CEB-FIB에서는 $\sqrt{f_{ck}}$ 에 비례하여 철근의 부착강도가 증가하는 식을 사용하고 있다. 그러나 GFRP 보강근은 콘크리트 압축강도가 증가하여도 부착강도는 크게 증가하지 않으므로 실제값을 과대평가할 수 있는 위험이 있다. 따라서 GFRP의 특성을 고려한 새로운 평가식이 필요할 것으로 판단된다.



(a) 철근

(b) 모래분사형 GFRP 보강근

(c) 나선형 GFRP 보강근

그림 5 콘크리트 압축강도의 변화에 의한 부착응력-미끄러짐 관계

5. 결론

- (1) 철근은 콘크리트 압축강도의 증가에 따라서 일정한 기울기로 부착강도가 증가하였지만, 모래분사형과 나선형 GFRP 보강근은 콘크리트 압축강도가 증가하여도 부착강도 증가 비율은 매우 작았다.
- (2) 기존의 철근 부착강도 평가식과 같이 $\sqrt{f_{ck}}$ 에 비례하여 철근의 부착강도가 증가하는 식을 사용할 경우 GFRP 보강근의 부착강도를 과대평가할 수 있는 위험이 있었다. 따라서 콘크리트의 압축강도와 GFRP 보강근의 부착강도와의 관계는 GFRP의 특성을 고려한 새로운 평가식이 필요할 것으로 판단된다.
- (3) 최대 부착응력에 도달하기까지 세 가지 보강근(철근, 모래분사형 GFRP, 나선형 GFRP)의 부착응력-미끄러짐 관계는 매우 유사하였지만, 부착강도에 도달한 이후에 부착거동은 상이하였다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2004년도 정책연구사업의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. 이준구, 문인, 염환석, 김우 (2001). 고강도 콘크리트의 부착특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 13(5), pp.499-506.
2. Achillides, Z. (1998). Bond behaviour of FRP bars in concrete, PhD thesis, Centre for Cement and Concrete, Dept. of Civil and Structural Eng., The University of Shellfield.
3. Roman Okelo and Robert L. Yuan, (2005). Bond Strength of Fiber Reinforced Polymer Rebars in Normal Strength Concrete, Journal of Composites for Construction, ASCE, 9(3), pp.203-213.