

# GFRP 복합재료 보강근의 부착강도 평가

## Bond Strength of Glass Fiber Reinforced Polymer Bars

김태영\*      박지선\*\*      이정윤\*\*\*      유영찬\*\*\*\*      박영환\*\*\*\*  
Kim, Tae-Young   Park, Ji-Sun   Lee, Jung-Yoon   You, Young-Chan   Park, Young-Hwan

---

### ABSTRACT

Glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars gain increasingly more attention in the civil engineering community. 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. It was tested in order to examine the bond behavior of GFRP bars under different compressive strength of concrete. Test results showed that the bond strength of GFRP increased with the compressive strength of concrete.

---

#### 1. 서론

철근과 콘크리트는 부착성능이 뛰어나며, 철근의 열팽창계수가 콘크리트의 열팽창계수와 유사하기 때문에 콘크리트의 인장강도를 보완하기 위하여 많이 사용되고 있다. 그러나 시간의 경과에 따라 재료 자체가 자연적으로 노후화되며, 주변 환경의 변화 등에 의하여 부재 및 재료 자체의 성능이 점차 저하되고 사용성이 저하되기도 한다. 최근 개발된 FRP 보강재는 비부식성, 높은 인장강도, 경량성, 비전기 전작성 등의 뛰어난 장점을 갖고 있기 때문에 철근콘크리트 구조물의 철근 및 프리스트레싱 텐던의 약점을 보완할 수 있는 재료로 평가받고 있다. FRP 보강재가 갖고 있는 재료적인 장점을 활용하여 콘크리트 구조물에 사용하기 위해서는 콘크리트와 FRP 보강재의 부착성능을 평가하고 구조설계에서 요구하는 정착길이 및 이음길이에 대한 제시가 필요하다.

FRP 보강재의 연구내용은 아직까지 FRP 보강재의 재료특성 등 일반적인 내용에 국한되어 있으며 부착/정착, 휨모멘트, 전단과 같은 구조적 분야에 대해서는 연구자에 따라 상이한 이론만이 제안되었을 뿐, FRP 보강근을 실제 구조물의 설계 및 시공에 실제적으로 도움을 주기에는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 FRP 보강근의 부착강도에 중요한 영향 요소의 하나로 평가되는 콘크리트의 압축강도가 FRP 보강근의 부착강도에 미치는 영향을 GFRP 보강근을 이용하여 부착성능을 실험적으로 비교·평가하였다.

---

\* 정회원, 성균관대학교 대학원 석사과정

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

\*\*\* 정회원, 성균관대학교 대학원 조교수

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사

## 2. 직접인발실험

실험체 제작에 사용된 콘크리트의 압축강도는 25, 35, 40, 55, 90MPa이며 보강근은 철근, 모래분사형 GFRP, 나선형 GFRP의 3가지 유형이다. 실험체는 CSA S802-02 규격에 따라 제작되었다. 실험체는 그림 1과 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. 그림 2와 3은 GFRP 보강근의 형상이다.

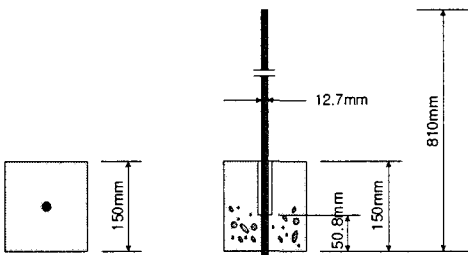


그림 1 시험체의 형상 및 치수

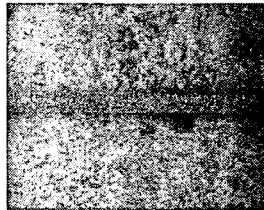


그림 2 모래분사형 GFRP 보강근

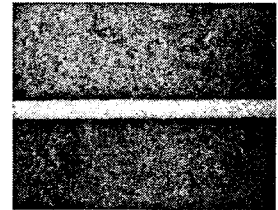


그림 3 나선형 GFRP 보강근

## 3. 실험결과

### 3.1 실험체의 파괴 양상

실험체의 파괴양상은 콘크리트의 압축강도의 차이와 보강근의 종류에 따라서 다르게 나타났다. 철근의 경우, 콘크리트 압축강도가 저강도(25MPa)와 보통강도(35,40MPa)에서는 보강근의 뽑힘에 의하여 파괴되었고 고강도(90MPa)에서는 콘크리트의 쪼갬에 의하여 파괴되었다. 모래분사형 GFRP 보강근은 콘크리트와 맞물림을 일으키는 규사코팅 외피의 벗겨짐에 의하여 파괴되었고 콘크리트가 고강도로 갈수록 취성적인 거동을 나타냈었다. 나선형 GFRP 보강근은 최대하중에 도달한 이후에도 내력이 서서히 감소하는 거동을 보였으며 파괴는 수직로 구성된 돌기의 파괴에 의하여 나타났다. 콘크리트 압축강도가 증가할수록 GFRP 보강근의 손상정도가 컸으며, 보강근에 작용하는 압력이 증가하여 GFRP 보강근의 부착강도가 증가하였다.

### 3.2 부착응력-미끌림 관계

최대 부착응력에 도달하기까지 세 가지 보강근의 부착응력-미끌림 관계는 매우 유사하였다. 부착강도의 크기는 철근, 나선형 GFRP, 모래분사형 GFRP의 순서이었으며, 최대 부착응력에 상응하는 최대 미끌림 값은 모래분사형 GFRP, 철근, 나선형 GFRP 순서이었다. 부착응력에 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 부착응력에 도달한 이후에도 부착응력은 매우 완만한 기울기로 감소하여 서로 상이한 거동을 보였다.

#### 4. 콘크리트의 압축강도의 영향

콘크리트의 압축강도를 변화시킨 실험체의 부착강도 및 이에 상응하는 최대 변형률을 정리하여 표 1에 표시하였다. 또한 콘크리트의 압축강도의 변화에 따른 철근과 GFRP의 부착강도의 변화를 그림 4에 표시하였다. 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 보강근과 철근의 부착강도에 콘크리트의 압축강도가 미치는 영향이 상이하게 나타나는 이유는 GFRP 보강근은 돌기의 강성이 철근에 비하여 상대적으로 약하며 돌기를 접촉하는 레진의 전단강도가 낮기 때문이다.

콘크리트의 압축강도가 철근에 미치는 영향에 대하여 ACI나 CEB-FIB에서는  $\sqrt{f_{ck}}$ 에 비례하여 철근의 부착강도가 증가하는 식을 채택하고 있다. FRP 보강근과 콘크리트 압축강도의 영향에 대해서는 연구자에 따라서 의견이 상이하다. Okelo<sup>3</sup>등은 실험결과에 근거하여 FRP 보강근이  $\sqrt{f_{ck}}$ 에 비례하여 증가하는 식을 제안하였다. 그러나 Achilides<sup>2</sup>는 FRP 보강근은 콘크리트 압축강도가 약 50MPa 이후에는 증가하지 않는다고 주장하였다. Okelo<sup>3</sup>등과 Achilides<sup>2</sup>의 연구는 모두 콘크리트 압축강도 약 50MPa 이하의 실험결과에 근거한 결과로써 50MPa 이상의 콘크리트의 압축강도가 FRP 보강근의 부착강도에 미치는 영향에 대한 연구는 극히 드문 실정이다.

이 연구에서는 콘크리트의 압축강도를 90MPa까지 증가시켜 콘크리트의 압축강도의 영향을 측정하였다. 콘크리트의 압축강도가 GFRP 보강근의 부착강도에 미치는 영향을 기존 연구자의 제안식에 근거하여 식(1)과 같이 나타내었다.

$$\mu = \alpha (f_{ck})^\beta \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

표 1 실험체의 부착강도 및 최대 변형률

Specimens	Maximum bond strength (MPa)	Maximum bond strain (mm)	
F25 series	F25A1	24.59	0.66
	F25A2	22.77	0.56
	F25A3	24.79	0.47
	F25B1	20.4	0.31
	F25B2	18.7	0.47
	F25B3	20.17	0.4
	F25C1	17.67	5.5
	F25C2	20.41	4.7
	F25C3	18.59	3.71
F35 series	F35A1	26.65	1.13
	F35A2	24.85	1.03
	F35A3	26.20	1.02
	F35B1	23.92	0.30
	F35B2	-	-
	F35B3	19.09	0.68
	F35C1	19.20	7.00
	F35C2	19.70	3.00
	F35C3	20.28	5.70
F40 series	F40A1	25.36	0.83
	F40A2	28.49	1.08
	F40A3	27.44	1.08
	F40B1	19.34	0.58

Specimens	Maximum bond strength (MPa)	Maximum bond strain (mm)	
F40 series	F40B2	23.60	0.25
	F40B3	20.59	0.43
	F40C1	22.62	4.83
	F40C2	20.87	5.10
	F40C3	20.99	4.60
F55 series	F55A1	29.28	0.72
	F55A2	30.28	0.74
	F55A3	31.31	1.08
	F55B1	22.15	0.21
	F55B2	19.39	0.39
	F55B3	22.63	0.43
	F55C1	21.45	5.15
	F55C2	18.51	6.81
F90 series	F90A1	39.96	-
	F90A2	39.20	0.40
	F90A3	40.40	1.05
	F90B1	23.38	0.10
	F90B2	25.44	0.10
	F90B3	26.20	0.13
	F90C1	25.05	0.38
	F90C2	28.05	0.35
	F90C3	25.20	0.50

그림 4는 콘크리트의 압축강도의 변화에 따른 보강근의 부착강도를 나타내고 있다. 실선은 식(1)의  $\beta$ 를 0.5로 가정하고 철근과 GFRP 보강근의 실험값과 비교한 결과이다.  $\beta$ 가 0.5일때 식(1)은 콘크리트의 압축강도의 변화에 따른 철근의 부착강도를 잘 예측하고 있음을 알 수 있다. 그러나 GFRP 보강근에 대하여  $\beta$ 를 0.5로 할 경우에 예측값은 실제값을 과대평가할 위험이 있다. 따라서 실험결과를 잘 예측하는  $\beta$ 는 0.5보다 0.33이 바람직하다.

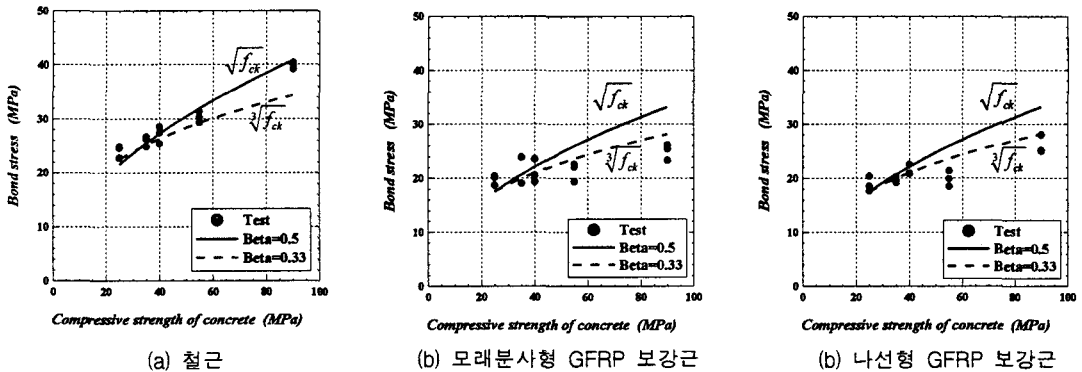


그림 4 콘크리트 압축강도의 변화에 의한 부착응력-미끌림 관계

## 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 경우에 GFRP 보강근의 부착강도를 과대평가할 수 있는 위험이 있으므로  $\sqrt{f_{ck}}/1.5$ 으로 하는 것이 바람직하다.
- (3) 최대 부착응력에 도달하기까지 세 가지 보강근(철근, 모래분사형 GFRP, 나선형 GFRP)의 부착응력-미끌림 관계는 매우 유사하였지만, 부착강도에 도달한 이후에 부착거동은 상이하였다.

## 감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2005년도 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.