

# GFRP Rebar의 부착특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Bond Characteristics of Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar

박지선\*    유영찬\*\*    박영환\*\*    최기선\*    김형열\*\*    김금환\*\*\*

Park, Ji-Sun You, Young-Chan Park, Young-Hwan Choi, Ki-Sun Kim, Hyeong-Yeol Kim, Keung-Hwan

### ABSTRACT

This study is to investigate the bond characteristics of glass fiber reinforced polymer(GFRP) reinforcing bars in concrete by pullout test experimentally. Three different types of GFRP bars with different surface deformations were considered in this study. Also, standard deformed steel reinforcing bar with or without epoxy-coating were included for the comparisons of bond strength. All test procedures including specimens preparation, test apparatus and measuring devices were made according to the recommendation of CSA(Canadian Standards Association) Standard S806-02.

From the test results, it was found that small surface indentations contributed to increase the bond strength of GFRP bar significantly. Based on the limited test results till now, the bond strength of GFRP bar with sand-coated deformation commercially available in foreign market is around 80% of that of steel deformed bars.

### 1. 서론

국내에서도 영구적인 건설재료로 인식되었던 철근콘크리트 구조물에 염해나 중성화 등과 같은 원인에 의한 손상이 발생하고 있으며, 이들 손상에 대한 유지관리비용이 증대되어 사회적 관심으로 부각되고 있다. 이와 같은 성능저하 원인은 철근의 부식현상에 근본적인 원인이 있는 것으로 고려되고 있으며, 이에 따라 부식 환경에서도 자유롭게 사용할 수 있는 FRP 보강재에 대한 연구에 관심이 집중되고 있다. FRP 보강재는 자중이 작고 취급이 쉬울 뿐 아니라, 최근에 구조적 성능 및 사용성 등에 있어서도 철근과 동등한 성능을 지니는 제품이 선진외국에서 개발되면서, 철근이나 강연선의 대체 재료로써 사용범위가 점차 확대되고 있다. 이러한 장점을 지니는 FRP 보강재가 하중의 작용에 대하여 충분한 강도와 강성을 가지는 보강재로서의 기능을 발휘하기 위해서는 콘크리트와 FRP 보강재가 각각 충분한 강도를 가지는 것은 물론이거니와, 이 양자 사이의 부착강도가 충분해야한다.

본 연구에서는 여러 종류의 FRP 보강재 중, 생산비 측면에서 상대적으로 비교우위인 GFRP 보강재

\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구부장

에 대하여 외피의 형태와 콘크리트의 타설 방향에 따른 부착 성능을 파악하고, 기존의 철근 및 에폭시 코팅 철근과의 부착성을 비교하기 위하여 총 30개의 시험체를 제작하여 부착 용력과 변형을 관계를 고찰해보았다.

## 2. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 GFRP 보강근의 부착 특성을 파악하기 위하여 보강재의 외피 형태와 콘크리트 타설 방향을 주요변수로 선정하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 GFRP 보강근의 외피형태는 원형, 나선형, 그리고 모래를 분사하여 표면처리한 보강재이다. 각각의 외피 형태별 GFRP 보강근에 대하여 수직 문힘과 수평 문힘의 2종류에 대하여 실험하였다. 수직 문힘 시험체의 경우, 시험편의 한 면의 길이가 150mm인 콘크리트 입방체에 1개의 GFRP 보강재를 수직방향으로 중심축에 문힘으로써 콘크리트를 타설, 양생하였다. 수평 문힘 시험체는 크기가 150×150×300mm인 콘크리트 입방체로, 제작 후 2개의 부분으로 나눌 수 있도록 3형의 홈을 입방체의 마주보는 양면에 보강재의 축과 평행하게 입방체의 중앙에 설치한다. 보강재의 긴 부분을 수평방향으로 하고, 수직방향에서 콘크리트를 타설하여 시험체를 제작하였다. 보강재를 수평방향으로 문힘 시험체는 양생 후, 중심축에 하중을 가하여 크기가 150×150×150mm인 두개의 콘크리트 입방체로 쪼개어 상부 보강재와 하부 보강재에 대한 위치의 영향을 평가할 수 있도록 하였다. 모든 시험체의 문힘 길이는 CSA(Canadian Standards Association) S806-02 에서 제시한 값에 따라 GFRP 보강재의 공칭직경의 4배, 4d(50.8mm)로 하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 수직, 수평 문힘 시험체이다. 실험에 사용된 보강재는 동일 rod에서 채취한 것이며, 콘크리트의 압축강도  $f_{ck}$ 는 30MPa이고 GFRP 보강재에 대한 물리적 특성은 표 1과 같다.

실험은 최대 200tf 용량의 만능시험기를 사용하여 GFRP 보강재의 돌출된 부분의 단부에 인장하중을 가력하였다. 하중은 단계별로 증가시키면서 200kg씩 가하였으며, 시험체의 끝편과 보강재의 자유단과 하중단에서의 슬립은 LVDT를 이용하여 측정하였다.

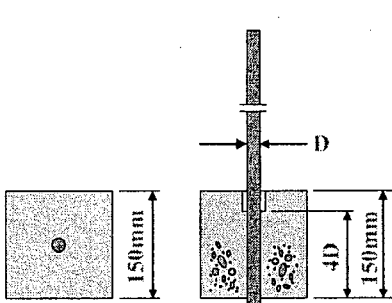


그림 1 수직 문힘 시험체

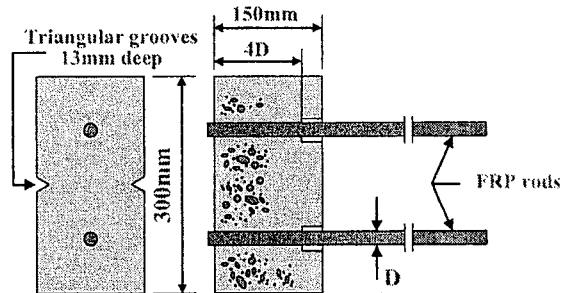


그림 2 수평 문힘 시험체

표 1 GFRP 보강재의 물리적 특성

외피형태	공칭직경 (mm)	단면적 (mm <sup>2</sup> )	구성 재료		섬유 함유량(%)	비중 (g/m <sup>3</sup> )	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	비고
			섬유	수지					
원형	12.7	126.61	E-Glass	Vinyl Ester	80.8	2.57	689	41.3	국내제작
나선형	12.7	144.85	E-Glass	Vinyl Ester	70.0	2.00	690	40.8	미국
모래분사형	12.7	129.00	E-Glass	Vinyl Ester	70.0	2.04	617	42.0	캐나다

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 3은 GFRP 보강재와 철근 및 에폭시 코팅 철근의 부착응력-자유단 슬립의 관계를 비교한 것이다. 또한, 표 2는 보강재의 최대 부착 응력과 최대 부착 응력시의 자유단에서의 슬립을 나타낸다.

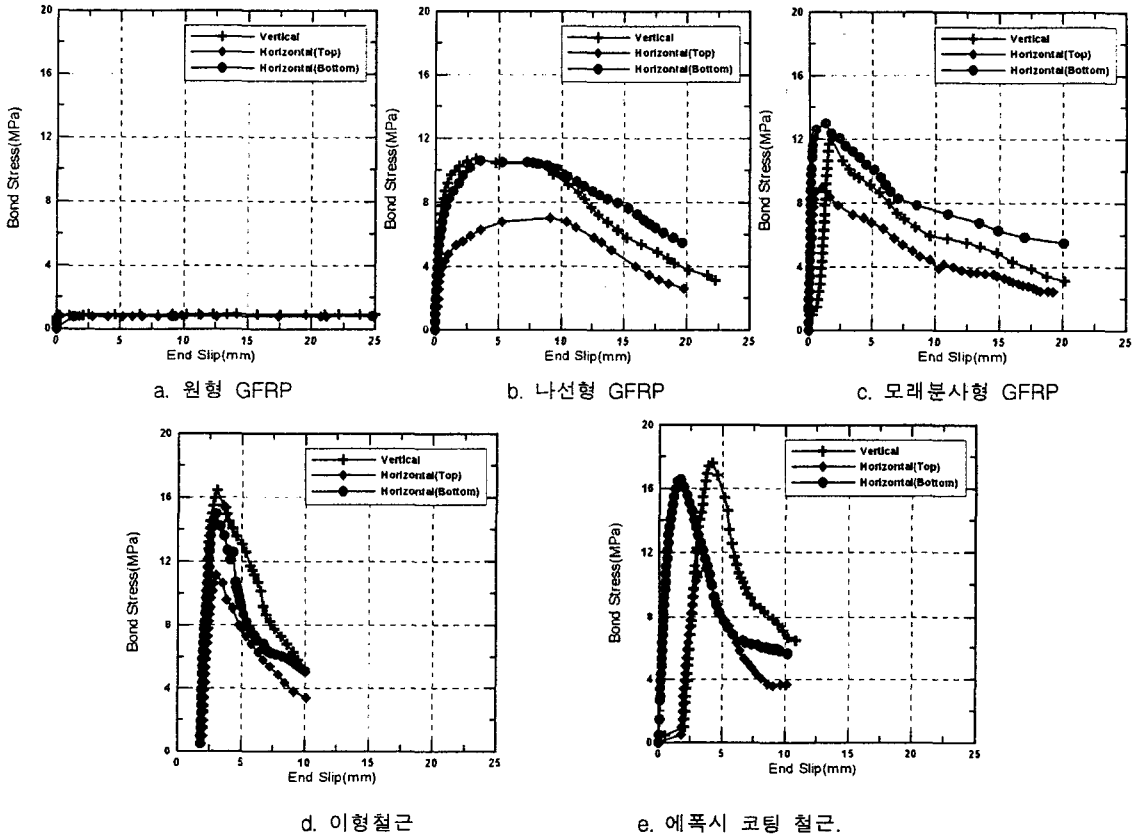


그림 3. 보강재의 부착 응력-자유단 슬립 곡선

표 2 보강재의 최대 부착 응력과 최대 부착 응력시의 하중단 슬립

단위: MPa

종류 측정값	원형GFRP			나선형 GFRP			모래분사형 GFRP			이형철근			에폭시 코팅 철근		
	수직	수평		수직	수평		수직	수평		수직	수평		수직	수평	
		상	하		상	하		상	하		상	하			
최대 부착응력	0.97	0.97	0.97	10.69	7.01	10.59	11.95	8.95	12.96	15.96	11.13	14.95	17.61	10.98	16.54
하중단부슬립	0.18	0.33	0.15	3.19	3.61	3.51	1.79	1.05	1.26	1.48	2.99	3.02	1.43	4.09	2.16

각 시험체의 하중-슬립 관계를 비교해 보면, 그림 3에서 보는 바와 같이, 시험체의 하중-자유단에서의 슬립관계는 원형 GFRP bar를 제외하고 초기값에 다소 차이가 있을 뿐 모든 시험체에서 거의 유사한 양상을 나타내고 있다. 즉, 어떠한 표면처리 없이 매끈한 외피를 갖는 원형의 GFRP 보강재의 경우, 보강근의 문힘 방향에 관계없이 부착응력이 1MPa에도 도달하지도 못한 채 슬립이 크게 발생하여 부착성능이 제대로 발휘되지 않았다. 그러나 나선형의 외피를 갖는 GFRP 보강근은, 수직 문힘 시험체

의 경우 최대 부착응력이 10.69MPa, 수평 문힘 시험체에 대해서는 상부의 보강재와 하부의 보강재가 각각 7.01MPa, 10.59MPa의 최대 부착응력을 나타내었다. 또한 모래분사형 외피를 갖는 GFRP 보강재의 최대 부착응력은 수직 문힘형의 경우, 11.95MPa 수평 문힘형의 상부 보강재는 8.95MPa, 하부 보강재는 12.96MPa로 나선형 외피를 갖는 GFRP 보강재의 부착성능보다 다소 큰 부착응력을 나타내었다. 따라서 제한된 실험결과에 의하면, GFRP bar의 경우도 작은 크기의 표면요철에 의해 부착강도가 크게 증가되는 것을 알 수 있으며, 수평 문힘 시험체에서 상부 보강재와 하부 보강재에 대한 부착 성능을 비교하면 상부의 보강재가 하부의 보강재에 비하여 약 40% 내외의 부착 성능이 저하되는 것으로 나타났었다.

한편, 철근 및 에폭시 코팅 철근의 경우에는 수직 문힘형과 수평 문힘형 모두 GFRP 보강재에 비하여 보다 큰 부착 성능을 나타내었지만, 최대 부착 응력 후, 부착 응력이 다소 급격하게 감소되었다. 원형 GFRP 보강재를 제외한 나머지 보강재의 경우, 보강근의 수직 문힘형과 수평 문힘형의 하부 보강재의 부착 성능은 큰 차이를 나타나지 않아, 콘크리트 타설 방향이 부착 성능에 끼치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 파악되었다. 재료의 종류차이에 따른 부착강도 실험결과를 종합하여 비교해 보면, 나선형 및 모래분사형 GFRP 보강재의 평균부착강도는 철근과 비교하여 각각 약 40%, 24% 정도로 저하되는 것으로 나타나, 구조설계시 적절한 고려가 필요한 것으로 파악되었다.

#### 4. 결론

(1) 나선형이나 모래분사형 GFRP 보강재의 부착강도는 매끈한 표면의 GFRP와 비교하여 약 10배정도 큰 값을 나타냄으로써 작은 크기의 표면요철에 의해 부착강도가 크게 증가되는 것을 알 수 있었으며, 부착강도를 높이기 위한 외피의 형태 및 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

(2) 콘크리트의 타설방향(수직·수평)에 의한 부착성능의 영향은 적었지만, 수평 문힘의 경우, 상부 보강재가 하부 보강재에 비하여 부착성능이 약 40%정도 적은 것으로 나타났다.

(3) 나선형 및 모래분사형 GFRP 보강재의 평균부착강도는 철근과 비교하여 각각 약 40%, 24% 정도로 저하되는 것으로 나타나, 구조설계시 적절한 고려가 필요한 것으로 파악되었다.

#### 감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2003년도 정책연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발"의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. Canadian Standard Association, "Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers," Canadian Standard Association, May, 2002.
2. American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete(Using Simple Beam with Center-Point Loading)(ASTM C293-79)," Annual Book of ASTM Standards , Vol 04.02, 1993.
3. L. Javier Malvar, "Tensile and Bond Properties of GFRP Reinforcing Bars," *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.3, May-June, 1995, pp.276-285.
4. L. Javier Malvar, J. V. Cox, "Bond between Carbon Fiber Reinforced Polymer Bars and Concrete. I: Experimental Study," *Journal of Composites for Construction*, Vol.7, No.2, May, 2003, pp.154-163.