

GFRP 보강근의 단면 위치에 따른 부착특성

Bond Characteristics of Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar according to the Bar Location

박 지 선* 박 영 환** 유 영 준* 황 금 식*** 김 공 환****

Park, Ji-Sun Park, Young-Hwan You, Young-Jun Hwang, Geum-Sic, Kim, Keung-Hwan

ABSTRACT

The bond characteristics of three different types of glass fiber reinforced polymer(GFRP) reinforcing bars with different surface deformations were studied experimentally. Each specimen consisted of a concrete prism, 150 by 150 mm on each edge, with the longer axis in the vertical direction. Two rebars were embedded in each specimen, perpendicular to the longer axis and parallel to and equidistant from the sides of the prism. In vertical direction, one rebar was located at 75 mm from the bottom of the prism, and the other 225 mm from the bottom. All testing procedures including specimens preparation, set-up of test equipments and measuring devices were made according to the recommendations of CSA Standard S806-02. It was found that the bottom reinforcements showed higher bond stress than that of the top rebars.

1. 서론

FRP 보강근의 부착거동은 기본적으로 콘크리트 속에서의 정착강도에 영향을 미치는 다양한 변수들에 의해 지배되므로 철근의 부착거동과 동일한 개념으로 이해할 수 있으나, 철근과는 달리 FRP는 이방성 재료이고 철근과 비교하여 역학적으로 많은 차이점을 가지고 있기 때문에 FRP 부착거동은 철근의 부착거동과는 다른 양상을 나타낸다.

FRP 보강근의 부착거동에 영향을 주는 요소로는 보강근의 단면형상 및 표면처리, 마디형상, 지름, 콘크리트 압축강도, 탄성계수, 구속력, 포아송 비, 단면에서 보강근의 위치, 콘크리트의 피복두께, 썩기 효과, 부착길이 효과, 온도변화에 의한 영향, 반복하중의 변화 등 매우 다양하다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 FRP 보강근의 부착성능에 영향을 끼치는 다양한 인자 중, 콘크리트 단면내에서 보강근의 위치에 의한 부착응력과 변형률 관계를 살펴보고자 한다. 아울러 여러 종류의

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정회원, 동원건설주식회사 기술개발부 대리

**** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

FRP 보강근 중, 생산비 측면에서 상대적으로 비교우위인 GFRP 보강근을 선정하여 직접인발시험을 통해 부착특성을 고찰하였다.

2. 정착길이에 대한 보강근의 단면내 위치보정계수

정착길이는 단면에서 보강근의 설계기준항복강도를 발현하는 데 필요한 최소한의 묻힘길이로 정의되며 통상 직접인발시험을 통해 얻어진 콘크리트에 대한 평균부착응력에 기초하여 부착응력에 영향을 끼치는 보정계수를 곱하여 산정할 수 있다.

2.1 CSA Standard S806-02¹⁾

CSA Standard S806-02에서는 인장력을 받는 FRP 보강근의 정착길이를 다음과 같이 제안한다.

$$l_d = 1.15 \frac{k_1 k_2 k_3 k_4 k_5}{d_{cs}} \frac{f_f}{\sqrt{f'_c}} A_b \quad (1)$$

여기서 l_d 는 정착길이, k_1 은 FRP 보강근의 위치계수로 상부근(정착길이 또는 이음부 아래 300 mm를 초과되게 굳지 않은 콘크리트를 친 수평철근)은 1.3, 나머지는 1.0, k_2 , k_3 , k_4 , k_5 는 각각 콘크리트의 밀도계수, 단면크기 계수, 섬유계수, 외피형상계수는 나타낸다. f_f 는 FRP 보강근의 인장강도, f'_c 은 콘크리트 압축강도, A_b 는 FRP 보강근의 단면적이다.

2.2 ACI 440.1R-06³⁾

ACI 440.1R-06에서는 Ehsani 등⁴⁾과 Mosley⁵⁾의 보강근의 단면에서의 위치에 의한 부착특성 연구 결과를 토대로 Wambeke와 Shield 등⁶⁾이 제안한 위치보정계수를 제안하고 있다. 이 지침서에서는 보강근의 단면에서의 위치에 대한 부착특성 연구를 토대로 보강근의 정착길이 또는 이음부 아래로 300 mm이상의 콘크리트가 타설되는 수평근에 대하여 기준 정착길이에 위치보정계수 α 값을 1.5를 곱하는 것으로 제안한다.

3. 부착성능 평가 실험

3.1 실험계획 및 방법

본 연구에서는 FRP 보강근의 단면내 위치에 의한 부착특성을 파악하기 위하여 직접인발 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 GFRP 보강근의 종류는 나선으로 만입된(indented) 마디부를 갖는 나선형 GFRP 보강근, 외피에 모래를 분사하여 표면처리한 모래분사형 GFRP 보강근, 이형철근과 유사한 형태의 마디를 갖는 이형의 GFRP 보강근의 3종이었다.

시험체는 크기가 150×150×300 mm인 콘크리트 입방체로 양생 후 ASTM C293에서 제시한 방법에 따라 중심축에 하중을 가하여 크기가 150×150×150mm인 두개의 콘크리트 입방체로 쪼개어 상부 보강재와 하부 보강재에 대한 위치의 영향을 평가할 수 있도록 하였다. 모든 시험체의 묻힘길이는 Canadian Standard Association 기준에서 제시한 값에 따라 GFRP 보강재의 공칭직경의 4배, 4d

(50.8mm)로 하였다. 그림 1은 시험체의 형상 및 치수를 나타낸다. 실험에 사용된 보강재는 동일 롯트에서 채취한 것이며, 콘크리트의 압축강도 f_{ck} 는 36MPa이고 GFRP 보강재에 대한 물리적 특성은 표 1과 같다.

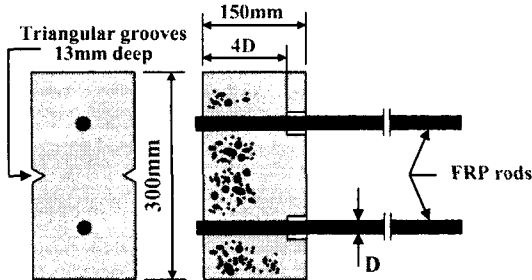


그림 1 시험체 치수 및 형상

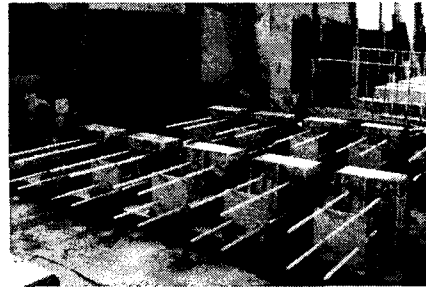


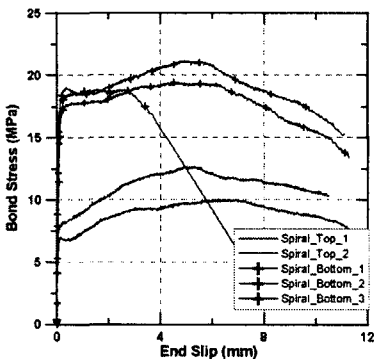
그림 2 시험체 제작

표 1 GFRP 보강근의 물리적 특성

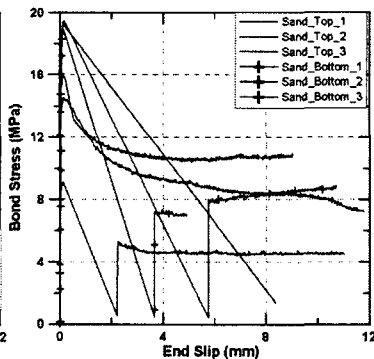
외피형태	공칭지름(mm)	단면적(mm ²)	수지종류	섬유함유량(%)	인장강도(MPa)	탄성계수(GPa)
나선형	12.7	145	Vinyl Ester	70	690	41
모래분사형		129			710	46
이형		129			1,050	51

표 2 GFRP 보강근의 최대 부착강도와 최대 부착강도시의 자유단 슬립

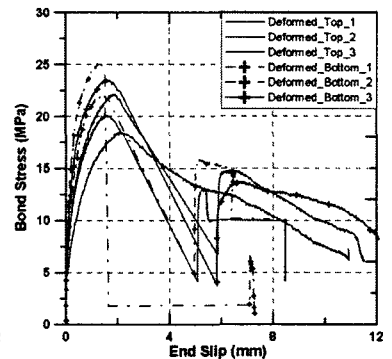
	나선형 GFRP				모래분사형 GFRP				이형 GFRP			
	상부		하부		상부		하부		상부		하부	
최대부착강도 (MPa)	11.17	13.32	19.84	19.27	14.57	13.22	18.90	19.24	21.10	19.87	25.07	23.54
	10.03		19.07		15.95		19.34		20.07		21.94	
	12.75		18.89		9.13		19.47		18.45		23.60	
자유단슬립 (mm)	3.525	5.09	2.115	2.652	0.165	0.143	0.125	0.137	1.910	1.870	1.280	1.408
	6.835		3.225		0.145		1.525		1.340			
	4.910		2.615		0.120		2.175		1.604			



a. 나선형 GFRP



b. 모래분사형 GFRP 보강근



c. 이형 GFRP 보강근

그림 3. GFRP 보강근의 부착응력-자유단 슬립 곡선

3.2 실험결과 및 고찰

표2와 그림 3은 보강근의 단면내 위치에서의 부착응력 특성평가 실험결과를 종합정리한 것이다. 나선형, 모래분사, 이형 GFRP 보강근 모두 하부에 비하여 상부에 보강근을 매립한 경우, 부착강도가 20~46% 낮게 발현되었다. 즉 나선형 및 모래분사형 보강근의 경우, 상부보강근 및 하부보강근의 평균 최대부착강도가 각각 약 13, 19MPa를 나타내었으며, 이형 보강근의 경우, 상부 및 하부에 대하여 각각 약 20, 24MPa를 발현하였다. 이와 같은 현상은 콘크리트를 타설하는 동안 혼입된 공기가 콘크리트의 응결이 끝나기 전에 윗면으로 떠오르다가 상부 보강근의 하단부에 갇힌 채 굳어져 부착저항이 감소된 것으로 판단된다.

이형 GFRP 보강근의 경우, 상·하부의 보강근의 부착강도가 비교대상 보강근에 대하여 모두 높게 나타났으며, 이와 같은 실험결과는 이형의 마디형태가 주변 콘크리트와의 맞물림작용이 효과적으로 발휘되어 상대적으로 높은 성능을 나타낸 것으로 판단된다.

4. 결론

GFRP 보강근의 단면내 위치에 따른 부착 특성에 관한 실험결과를 분석한 결론은 다음과 같다.

(1) 상부보강근은 하부보강근과 비교하여 부착강도가 약 20~46% 정도 낮게 발현되었다. 이와 같은 현상은 콘크리트 타설시, 혼입된 공기가 콘크리트의 응결이 끝나기 전에 윗면으로 떠오르다가 상부 보강근의 하단부에 갇힌 채 굳어져 부착저항이 감소된 것으로 판단된다.

(2) 보강근별 부착특성을 살펴보면, 나선형 및 모래분사형 GFRP 보강근의 경우, 상·하부 보강근에 대하여 각각 약 13, 19MPa의 유사한 부착성능을 발휘하였으나 이형 GFRP 보강근의 경우, 상대적으로 높은 20, 24MPa의 최대부착강도를 나타내었다. 즉, 이형의 마디형태가 주변 콘크리트와의 맞물림 작용이 효과적으로 발휘되어 상대적으로 높은 성능을 나타낸 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 정책연구사업의 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. ACI Committee 440, *Guide for the Design and Construction of Concrete Reforced with FRP Bars*, American Concrete Institute, May, 2006.
4. Ehsani, M. R.; Saadatmanesh, H.; and Tao, S., 1996a, "Design Recommendation for Bond of GFRP Rebars to Concrete," *Journal of Structural Engineering*, V. 122, No. 3, pp.247-257.
5. Mosely, C.P., 2002, "Bond Performance of Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement in Concrete," MS thesis, Purdue University, West Lafayette, Ind.
6. Wambeke, B., and Shield, C., 2006, "Development Length of Glass Fiber Reinforced Polymer Bars in Concrete," *ACI Structural Journal*, V.103, No.1, Jan.-Feb., pp.11-17.