

하이브리드 FRP 보강근의 상대 리브면적에 따른 부착 특성

Bond Characteristics of Hybrid Fiber Polymer Reinforcing bars with Different Relative Rib Area

박지선* 유영찬** 박영환** 유영준* 김형열** 김금환***

Park, Ji Sun You, Young Chan Park, Young Hwan You, Young Jun Kim, Hyeong Yeol Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

The bond characteristics of two types hybrid FRP (fiber reinforced polymer) reinforcing bars with different rib geometry were analyzed experimentally. Two types of hybrid FRP reinforcing bars such as spiral and cross type with different relative rib area were considered in this test. 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.

From the test results, it was found that cross type hybrid FRP reinforcing bars showed the higher bond strength than that of spiral type's due to the higher relative rib area.

1. 서론

철근콘크리트 구조물에 있어서 콘크리트의 열화나 염해에 의한 철근의 부식은 구조물의 장기 내구성을 저하시키는 주요요인이다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 최근 부식환경에 자유로운 섬유복합재료(Fiber Reinforced Plastics, 이하 FRP)를 철근의 대체재로 사용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 한편, 이와 같이 FRP로 보강한 콘크리트 구조물이 하중작용에 대하여 충분한 강도 및 강성을 발현하기 위해서는 콘크리트와 FRP 보강근의 부착특성이 우선적으로 명확히 규명되어야 한다. FRP 보강근은 등방성 재료인 철근과 비교하여 구성재료 및 성형원리에 따라 다양한 재료적·역학적 특성을 지닌다. 그러나 현행 FRP 보강근을 이용한 콘크리트 구조물의 설계 및 시공에 관한 대부분의 설계지침과 보고서에서는 철근콘크리트 구조물에 관한 설계 원리를 차용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 FRP 보강근과 콘크리트 부착강도 발현의 주요 인자인 상대 리브면적(relative rib area)에 따른 부착특성을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 탄소 및 유리섬유를 사용한 나선형 및 교차형 마디를 갖는 하이브리드형 FRP 보강근을 제작하였으며 직접 인발(direct pull-out)시험을 실시하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

2. 이형마디를 갖는 FRP 보강근의 부착특성

2.1 부착 거동

그림 1은 짧은 부착길이를 갖는 FRP 보강근의 콘크리트에 대한 부착거동을 낸다. FRP 보강근의 콘크리트에 대한 부착은 초기 OA 구간에서 접착력이 주로 발생하다가 A점을 기준으로 화학적 접착력은 소멸되며, 지압력이 주된 부착 메커니즘으로 작용한다. 이 구간에서는 부착응력에 의하여 발생한 주인장응력이 콘크리트의 인장응력에 도달하여 마디의 끝부분으로부터 미세 균열이 발생하며 슬립이 발생된다. 그러나 FRP 보강근은 마디의 연화(soft)된 재료적 특성으로 인하여 이와 같은 슬립이 발생하는 시점이 철근에 비하여 상대적으로 지연된다. 한편, BC 구간에서는 주변콘크리트와 FRP 보강근의 지압력이 상당히 증가된다. 만약, FRP 보강근 및 콘크리트에 대한 충분한 구속력이 작용할 경우, 콘크리트의 조개짐 없이 최대 부착강도(D 지점)에 도달할 수 있다. 최대 부착강도에 도달한 후는 표면 마디의 전단 박리, 콘크리트의 전단 파괴 혹은 양자의 복합 모드나 압착 뺨힘 등에 의하여 파괴에 도달한다. 그림에서 τ_a , τ_b , τ_{sp} 는 각각 A, B 및 조개짐이 발생하는 시점의 부착응력이다., τ^* 는 각각 최대 부착응력 및 파괴 후 콘크리트 면과의 마찰에 의한 부착력을 나타낸다.

2.2 상대 리브면적

대부분의 이형마디를 갖는 FRP 보강근의 부착저항은 주변 콘크리트와 FRP 보강근의 마디형상에 따른 기계적인 맞물림(mechanical interlocking)에 의하여 발생하는 지압력이 지배적으로 작용한다. 각 보강근의 마디형상은 마디 간격 및 높이를 함수로 하여 식 1과 같이 상대 리브면적으로 나타낼 수 있다. 그림 2는 이형 FRP 보강근에서의 지압 및 전단 면적을 나타낸다.

$$f_r = \frac{A_r}{\pi d_b S_r} = \frac{\text{Bearing area}}{\text{Shearing area}} \quad (\text{식 1})$$

여기서 f_r 은 상대 리브면적, A_r 은 지압면적, d_b 는 공칭 지름, S_r 은 마디 간격이다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험 재료 및 변수

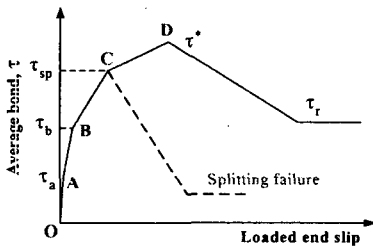


그림 1 짧은 부착길이를 갖는 FRP 보강근의 부착거동

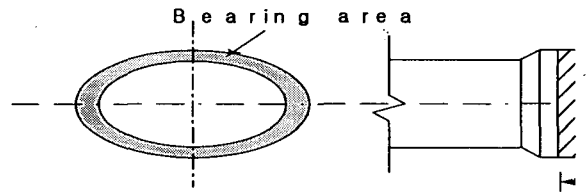


그림 2 이형 FRP 보강근의 형상

본 연구에서는 마디형상에 따른 부착특성을 파악하기 위하여 그림 3과 같이 나선형과 교차형의 마디를 갖는 지름 약 13 mm의 하이브리드형 보강근을 제작하였다. 보강근은 탄소 및 유리강화 섬유를 사용하여 하이브리드형태로 제작되었으며 수지는 비닐에스테르를 사용하였다. 그림 3, 4는 각각 본 연구에서 제작한 나선형 및 하이브리드형 FRP 보강근의 형상과 마디 형상을 나타내며, 표 1은 FRP 보강근의 물리적 특성 및 상대 리브면적을 나타낸다.

3.2 실험 방법

상대 리브면적에 따른 부착특성을 파악하기 위하여 Canadian Standard Association(이하, CSA) 규준에서 제시하는 직접 인발 시험법에 따라 부착성능을 파악하였다. 모든 시험편은 한 면의 길이가 150mm인 콘크리트 입방체에 1개의 FRP 보강근을 수직방향으로 중심축에 매입하여 콘크리트를 타설, 양생하여 제작하였다. 시험체의 부착길이는 보강근의 공칭지름의 4배(약 52 mm)로 하였다. 가력속도는 변위제어로 0.9 mm/min 속도로 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 나선형 하이브리드 FRP 보강근

나선형 FRP 보강근의 경우, 평균 최대부착응력의 분포는 약 11 MPa을 나타내었다. 전체적인 거동은 최대 부착응력 도달 후, 1차적으로 부착응력이 급격히 감소된 다음에 최대 부착응력에 상응하는 크기의 부착응력만큼 회복된 후 완만하게 부착 응력이 감소하였다. 이와 같은 현상은 콘크리트 내에 묻힌 보강근의 마디의 일부가 부분적으로 파단되어 부착저항이 감소하다가, 잔류 FRP 보강근 마디의 콘크리트에 대한 지압력이 한계값에 도달하면서 슬립이 지속적으로 발생한 것으로 판단된다.

4.2 교차형 하이브리드 FRP 보강근

교차형 FRP 보강근의 경우도 전반적인 파괴모드는 나선형 하이브리드 FRP 보강근의 경우와 유사하였으나, 평균 최대부착응력은 약 13 MPa 로 나선형 FRP 보강근에 비하여 약 20 % 향상된 부착강도를 발현하였다. 이와 같은 현상은 나선형 하이브리드 FRP 보강근에 비하여 주변 콘크리트와의 부착에서 발생하는 지압력을 부담하는 마디부의 면적이 하이브리드형이 크기 때문에 보다 큰 부착성능을 발휘할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다. 부착응력-슬립 거동은 앞서 기술한 나선형 하이브리드 FRP 보강근과 유사하였고, 실험 종료 후 보강근의 박리 및 손상을 관찰할 수 있었다.

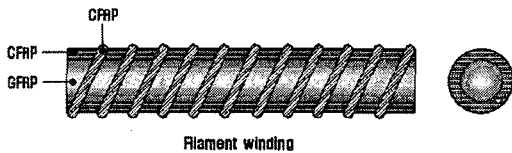


그림 3 나선형 하이브리드 FRP 보강근

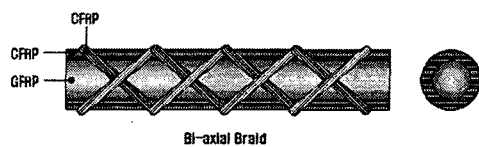
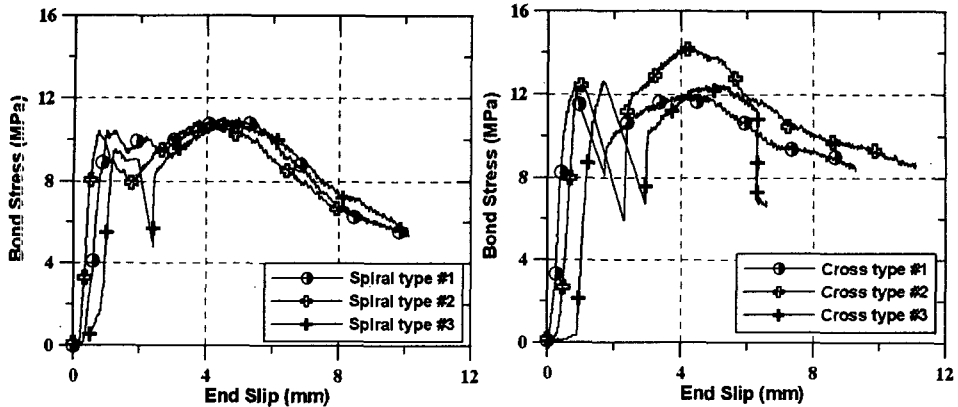


그림 4 교차형 하이브리드 FRP 보강근

표 1 GFRP 보강근의 물리적 특성

시험체명	공칭지름 (mm)	섬유함유량 (%)		수지종류	마디 치수 (mm)		상대 리브 면적(mm ²)
		탄소	E-glass		높이	간격	
나선형	13	54	45	Vinyl Este	0.785	6	0.12
교차형	13	54	45	Vinyl Este	0.785	3	0.24



a. 나선형(Spiral type) FRP 보강근

b. 교차형(Cross type) FRP 보강근

그림 5 하이브리드 FRP 보강근의 부착 응력-슬립 관계

5. 결론

- (1) 교차형 하이브리드 FRP 보강근이 나선형 하이브리드 FRP 보강근 보다 약 20% 향상된 부착강도를 발휘하였다. 이와 같은 현상은 교차형 하이브리드 FRP 보강근의 경우, 콘크리트와의 부착 메커니즘에서 발생하는 지압력을 부담하는 마디부의 면적, 즉 상대 리브면적이 크기 때문인 것으로 판단된다.
- (2) 나선형 및 교차형 FRP 보강근의 대부분의 부착 시험체가 최대 부착응력에 도달한 후 일시적인 부착응력의 감소/회복 현상이 발생하였다. 이와 같은 현상은 FRP 보강근 마디와 콘크리트의 지압력에 의하여 발휘되던 부착성능이 마디의 부분적인 박리로 인하여 일시적으로 저하된 후, 콘크리트 내에 매립된 나머지 부분의 FRP 보강근에서의 마디로 인한 지압력으로 부착성능이 재발휘된 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2004년도 정책연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발"의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발(1차년도) 2004.
2. CEB Task Group 2.5, Bond of Reinforcement in Concrete, International Federation for Structural Concrete(*fib*), August, 2000.
3. ACI Committee 440, Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete institute, May, 2003.
4. Rehm G. Evaluation criteria for high-bond rebars(in German), Festschrift Rüschi.
5. Canadian Standard Association, "Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers," Canadian Standard Association, May, 2002.