

FRP Rebar의 부착거동 해석

Analytical Study on the Bond Behavior of FRP Rebar in Concrete

유 영 준* 박 영 환** 박 지 선* 유 영 찬** 김형열** 김금환***

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

Abstract

Reinforced concrete structures have been used for a long time. However, corrosion problem in reinforcing steel is inevitable, which results in the degradation of performance and the shortening of the life of structures. To overcome such problems, FRP(Fiber Reinforced Polymer) rebars have been developed. Due to their corrosion resistance and their superior mechanical properties, FRP rebars are increasingly applied to concrete structures in other countries.

To obtain the composite action between FRP rebars and concrete, sufficient bond between two materials must be secured. But, the behavior of FRP rebars is different from that of steel rebars. Therefore, it is necessary to understand and develop the proper bond mechanism of FRP rebars to use them in concrete structures. This paper presents analytical results to investigate the bond-slip relationship between FRP rebars and concrete based on pull out tests.

1. 연구 배경 및 목적

철근 콘크리트 구조물은 경제적이며 성능이 우수한 구조물로서 사용되어 왔다. 그러나, 공용 중에 철근은 부식과 같은 열화가 진행되어 목표한 소정의 성능을 발휘하지 못하게 되므로 인해 이에 대한 보수·보강이 추가로 이루어지고 있다. 이러한 열화를 근본적으로 차단하기 위해 철근을 대체하기 위한 FRP bar가 최근에 개발되어 사용되고 있다. FRP bar는 훌륭한 내부식성을 가지고 있고 철근과 비슷한 기계적 성질을 가지고 있지만, FRP bar는 철근과 달리 bar의 재료와 표면을 처리하는 방법이 다양하여 이에 따라 콘크리트 속에서의 거동이 달라지게 된다.

본 연구에서는 여러 가지 제원의 FRP bar를 콘크리트 속에 매립하여 인발시험을 수행한 결과를 토대로 콘크리트와 FRP bar 사이의 부착 거동을 이해하고 예측하기 위해 유한요소 해석을 실시하였다.

2. 실험 개요

* 한국건설기술연구원 연구원

** 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 한국건설기술연구원 연구위원

실험에 사용된 FRP bar는 공칭직경이 12.7mm인 유리섬유 제품으로서 표면이 나선형과 모래를 코팅한 두 종류이다(그림 1). 인장강도와 탄성계수는 나선형의 경우 690MPa, 40.8GPa, 모래 코팅의 경우 617MPa, 42.0GPa이다. 두 종류의 FRP bar에는 모두 Vinyl Ester수지가 사용되었으며, 섬유함유량은 70%이다. 인발시편은 압축강도가 30MPa인 콘크리트를 150×150×150mm의 블록으로 제작하였으며(그림 4), 슬립은 bar의 자유단과 하중단에서 측정되었다.

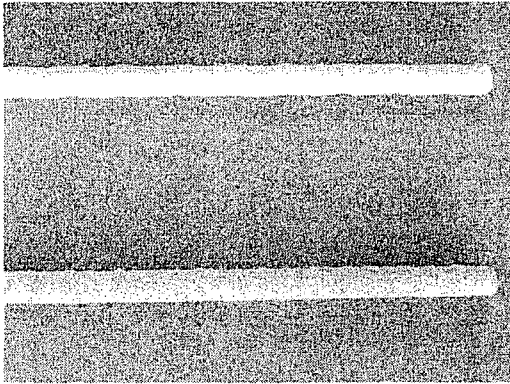


그림 1 FRP Rebar

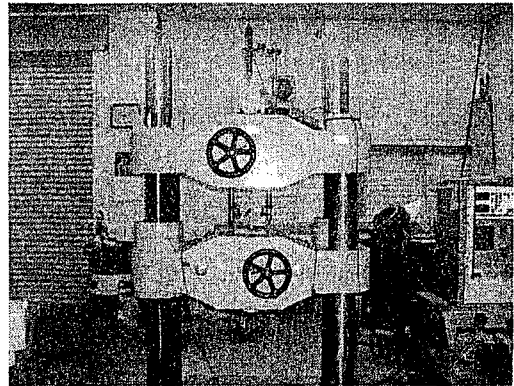


그림 2 실험 전경

3. 유한요소해석

3.1 부착-슬립 해석 모델

콘크리트와 FRP rebar 사이의 상호작용을 포함하는 RC 부재의 거동을 수치해석하기 위해서는 부착-슬립 구성법칙을 나타내는 해석 모델이 필요하다. 철근에 대해서는 과거에 많은 모델이 제안되었지만 FRP rebar에 대해서는 광범위한 연구가 필요한 실정이다.

콘크리트와 FRP rebar 사이에 작용하는 메카니즘은 rebar와 콘크리트 사이의 점착(adhesion), rebar 표면의 미세구조에 의한 마찰(friction), rebar 형상에 따른 맞물림(interlocking)이다. 그러나 rebar와 콘크리트 사이에 슬립이 발생하는 순간에 점착은 감소되고, 잔류 부착강도는 주로 마찰과 맞물림에 좌우된다고 가정하여 해석 모델을 단순화시킬 수 있다(Burong Zhang, 2001).

FRP rebar에 대해 부착 현상을 처음으로 모델링한 것은 Malvar(1994)로 다양한 외피 형상을 가진 GFRP bar에 대해 광범위한 실험을 수행하였다. 실험결과로부터 Malvar는 전반적인 부착거동 표현하는 모델을 제안하였고, 이 모델은 두 개의 경험적 상수(F와 G)에 의해 지배된다.

Faoro(1992), Alunno Rosetti 등(1995) 그리고 Cosenza 등(1995)은 Eligehausen 등(1983, BEP Model)이 이형 철근에 대해 개발한 부착-슬립 모델을 FRP rebar에 적용하였다(그림 3.(a)). 또한, 이 모델에서 softening branch를 수정하여 Cosenza 등(1996)은 수정된 BPE 모델을 그림 3.(b)와 같이 제안하였다. 이러한 모델들은 최대 부착강도와 최대 슬립, 잔류 부착강도 외에도 곡선식 보정계수 등의 매개변수를 필요로 하는데, 이러한 값은 FRP rebar의 인발시험으로부터 얻을 수 있다. Burong(2001)은 이러한 매개변수를 상수로 하는 모델을 제안하였다(그림 3.(c)).

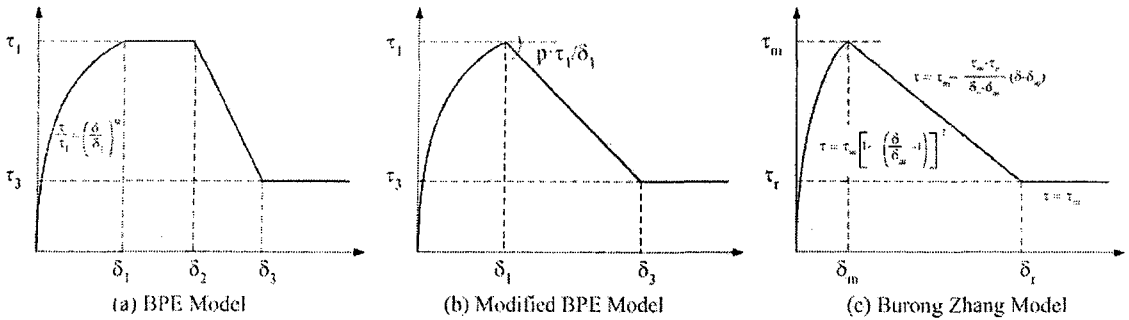


그림 3 콘크리트 속의 FRP bar의 부착거동 해석 모델

3.2 유한요소해석

본 연구에서는 FRP rebar 인발시편을 범용 프로그램인 DIANA를 이용하여 2차원으로 모델링하였다(그림 4). 2차원 모델을 위해 FRP rebar는 등가면적의 사각형 단면으로 환산하여 적용하였으며, FRP rebar는 탄성체로, 콘크리트에는 smeared crack을 적용하여 비선형 해석을 실시하였다.

콘크리트와 FRP rebar 사이에는 계면요소(interface element; bond-slip)를 사용하여 서술한 모델에 따라 재료적 거동을 하도록 하였다. 부착-슬립을 모사하는 DIANA의 계면요소는 전단방향에 대해서는 주어진 모델에 따라 재료적 거동을 하지만, 수직방향에 대해서는 탄성거동을 하는 특징을 가지고 있다.

부착-슬립의 특성값은 반복해석을 통하여 해석과 실험결과와 일치하는 값을 도출하였고, FRP rebar의 표면형상에 따라 서로 다른 모델을 적용하였다. 그림 4에 모델링한 시편의 메쉬와 경계조건을 나타내었다.

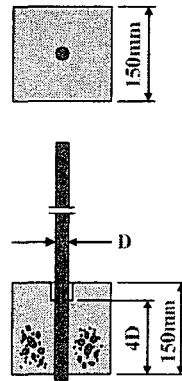


그림 4 인발시편 제원과 F.E.M. MESH

3.3 해석 결과

다양한 모델과 특성값을 적용하여 유한요소해석을 수행한 결과, 표면에 모래가 코팅된 FRP rebar의 경우에는 최대 부착강도 발현 후 급격한 부착강도 저하를 보이는 모델을 적용하는 것이 그 거동을 좀더 잘 묘사했으며(그림 5), 표면이 나선형인 경우에는 이러한 모델보다는 일반 이형철근에 적용하는 모델의 경우가 좀더 실험결과와 일치하는 결과를 나타냈다(그림 6).

모래 코팅된 표면을 가진 FRP rebar의 경우 해석에 사용된 α 값은 0.1이며, 이에 대한 거동을 Burong의 모델과 비교하였다. 수정된 BPE의 모델의 경우에는 실험결과로부터 α 값을 도출해내야 하지만 Burong의 모델을 적용할 경우에는 이러한 과정없이 거동을 잘 묘사하고 있음을 그림 5에서 볼 수 있다. 표면이 나선형인 FRP rebar에 대해서도 동일한 α 값이 사용되었으며 해석값은 실험결과와 거의 일치하고 있음을 볼 수 있다(그림 6).

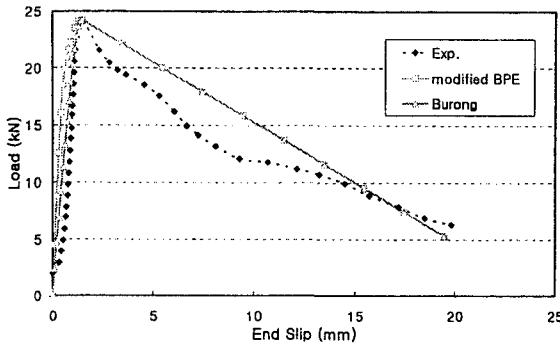


그림 7 Load-Slip curve(모래 코팅)

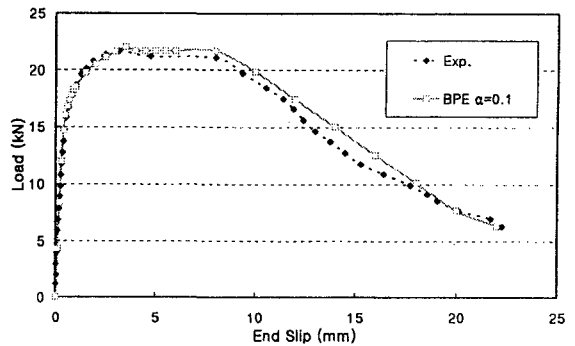


그림 8 Load-Slip curve(나선형)

4. 결론

본 연구결과를 통하여 도출된 결론은 다음과 같으며, 향후 FRP rebar의 표면형태에 따라 일반적으로 적용할 수 있는 모델의 개발 및 해석 방법에 대한 추후 연구가 필요하다.

- (1) FRP rebar와 콘크리트 사이의 부착-슬립 거동은 rebar의 표면 형태와 처리방법에 따라 거동이 달라지므로 rebar 타입에 적절한 해석 모델을 적용해야 한다.
- (2) 모래가 코팅된 FRP rebar의 경우에는 최대 부착강도 발현 후 급격한 부착강도의 저하를 보였고, 표면이 나선형인 경우에는 이형철근과 유사한 거동을 나타냈다.
- (3) 부착길이에 따른 해석모델의 적정성 평가가 필요하며, 이에 따른 인발시험의 쪼개짐 파괴에 대한 해석모델이 필요하다.

감사의 글

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

참고문헌

1. Malvar, L. J., Bondg stress-slip characteristics of FRP rebars, Rep. TR-2013-SHR, Naval Fac. Engrg. Service Ctr., Port Hueneme, Calif, 1994.
2. Cosenza, E., Manfredi, G. & Realfonzo, R., Behavior and Modeling of Bond of FRP Rebars to Concrete, Journal of Composites for Construction, Vol. 1, No. 2, 1997.
3. Burong Zhang & Brahim Benmokrane, Pullout Bond Properties of Fiber-Reinforced Polymer Tendons to Grout, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14, No. 5, 2001.
4. TNO Building and Construction Research, DIANA Finite Element Analysis, User's Manual release 8.1, 2002.