

쉬트형 FRP와 콘크리트의 부착특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Bond Characteristics for FRP Sheet-Concrete Interface

고훈범* 고만영**
Ko, Hune-Bum Ko, Man-Young

ABSTRACT

In this study, six specimens were prepared for two type FRP sheets(carbon and polyacetal) to evaluate the behavior of FRP-concrete interfacial bond. A direct tensile test was conducted and the test results show that fiber type influences both bond strength and the shape of strain distribution. The failure mode for carbon type specimens seems to bond failure between concrete and FRP, but for polyacetal type indicates interface failure between FRP and epoxy. The local bond stress-slip relations were obtained from test results, and it was shown good shape for the polyacetal type. But for the carbon type it was scattered.

1. 서론

FRP 쉬트에 의해 보강된 콘크리트 구조물의 역학적 성능은 콘크리트와 FRP 쉬트와의 부착거동에 따라 크게 영향을 받는다. 이러한 부착특성은 FRP 시트의 강성, 접착제 특성, 콘크리트 강도와 표면상태, 경과시간, 환경변동 등에 크게 영향을 받는다고 알려져 있지만 이러한 영향인자가 복합적으로 부착특성에 영향을 미치기 때문에 정량적으로 파악하는 것은 쉽지 않다고 할 수 있다. 현재까지의 연구 결과로는 다음과 같이 정성적으로 설명하는 것이 타당할 듯 하다. (1) FRP 쉬트의 인장강성(영계수X 쉬트 두께)이 클수록 부착강도는 증가한다. (2) 부착길이가 길수록 부착강도는 증가하지만 특정 길이 이상이 되면 거의 일정하게 된다. (3) FRP 쉬트의 폭은 최대부착응력에 영향을 미친다. (4) 콘크리트 또는 모르타르의 압축강도의 증가는 부착강도 증가로 이어진다. (5) 콘크리트 표면처리 방법에 따라 부착강도는 영향을 받는다. (6) FRP쉬트를 접착하는 모르타르의 함수상태가 부착강도에 영향을 미친다. 결과적으로 이러한 원인에 의해 FRP 쉬트로 보강된 구조물이 파괴에 이르기 때문에 부착파괴시 발생하는 FRP 쉬트와 콘크리트의 역학적 거동을 밝히는 일은 매우 중요하다 할 수 있다. 본 연구에서는 FRP 쉬트와 콘크리트의 부착특성을 파악하기 위하여 FRP 쉬트로 가장 많이 사용되고 있는 탄소섬유와 신소재로서 연성이 뛰어난 폴리아세탈 섬유를 보강재료로 사용하여 콘크리트 블록 시험체를 만들고 일축재하로 인장력을 가하여 기초적인 부착거동을 파악하는 것을 목적으로 하고 있다. 또한 FRP 쉬트와 콘크리트의 부착특성에 대하여 국부 부착응력과 슬립 관계를 검토하였다.

* 정회원, 인하공업전문대학 부교수

** 정회원, 제주한라대학 조교수

2. 실험개요

본 연구에 사용된 FRP 쉬트는 탄소섬유쉬트와 폴리아세탈 쉬트로서 표1에 역학적 특성 값을 표시하였다. 폴리아세탈 쉬트는 탄소섬유 쉬트와 비교해서 매우 작은 탄성계수와 1/2이하의 낮은 인장강도 값을 가지고 있으나 탄소섬유 쉬트의 단점을 보완한 연성을 가지고 있는 섬유이다. 콘크리트는 최대크기가

표 1 FRP 쉬트의 특성

FRP 타입	탄성계수 (GPa)	인장강도 (MPa)	평균쉬트두께 (mm)
탄소섬유	261	4,340	0.33
폴리아세탈	40	1,900	0.368

20mm인 굵은골재를 선택하였으며 압축강도는 37.9MPa, 인장강도는 3.2MPa를 보여 주었다. 실험에 사용된 시험체는 그림 1과 같으며 각 FRP 쉬트에 3개의 시험체가 제작되었다. 시험체는 타설 후 실온(20-30℃)에서 플라스틱 쉬트로 보온 습윤양생을 실시하였다. 형틀제거는 타설 후 1주일일 경과한 후에 이루어 졌으며 시험체는 실험 전 까지 기중양생 상태로 보관되었다. FRP 접착전에 콘크리트 표면을 샌드그라인더로 처리하였다. 변형률 게이지(strain gauge)는 2mm의 측정길이를 가진 게이지를 사용하였으며 그림 1에 보여 지는 것과 같이 전 후면에 각각 7개씩 시험체 당 총 14개의 게이지가 사용되었다. 재하시에 시험 중앙부분에서만 균열이 발생되어 인장하중이 FRP 쉬트에만 작용하도록 시험 전에 망치로 시험체 중앙부분에 미리 균열을 유도하기 위해 만든 홈을 타격하여 균열을 발생시켰다. 실험은 200ton 만능시험기에 의해 철근을 통한 시험체에 직접 인장력을 가하여 FRP 쉬트 부착파괴를 유도하였다. 시험체 설치상황은 사진 1과 같다. 중앙부분의 변위를 측정하기 위하여 4방향에 변위계를 설치하였으며 측정길이는 80mm였다.

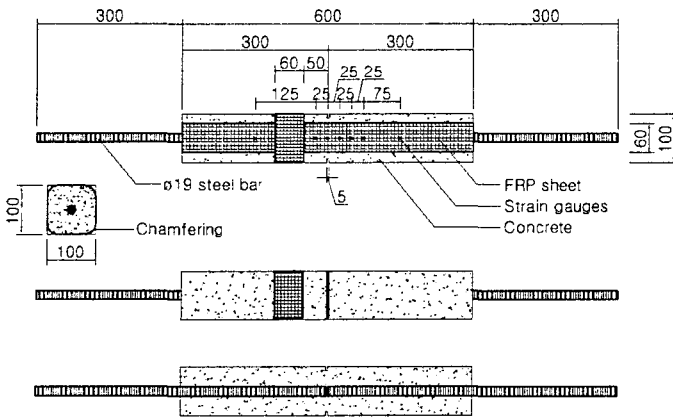


그림 1 시험체 개요

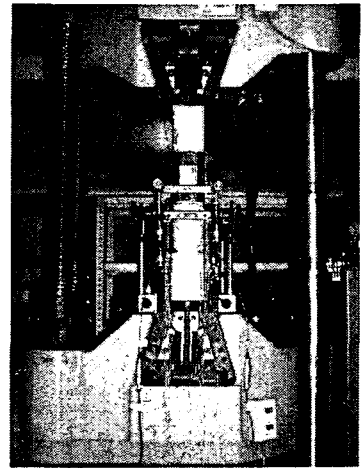


사진 1 시험광경

3. 실험결과

표2는 실험결과 값을 나타내고 있으며 그림2에는 하중과 변위관계를 나타내고 있다. 하중과 변위관계 곡선을 살펴보면, CF(탄소섬유 쉬트 시험체)와 PAF(폴리아세탈 쉬트 시험체)는 매우 다른 거동을 보여 주고 있는데 CF는 초기 기물기가 급하고 최대하중은 PAF의 3.5배이며, 최대 변위는 0.1배로 취성거동을 보여주고 있다. 반면 PAF는 FRP 쉬트의 단점을 보완하는 연성거동을 보여주고 있으나 최대하중은 CF에 비해 매우 낮은 값을 나타내고 있다.

표 2 실험결과 값

시험체명	최대하중 (kN)	최대변위 (mm)	파괴모드
CF-1	76.8	0.69	부착파괴
CF-2	67.4	0.38	부착파괴
CF-3	67.5	0.32	부착파괴
평균	70.5	0.46	
PAF-1	18.5	4.75	계면파괴
PAF-2	20.2	5.03	계면파괴
PAF-3	18.3	4.40	계면파괴
평균	19.0	4.72	

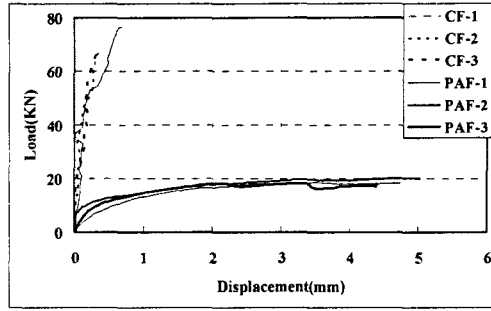


그림 2 하중과 변위관계

시험체 파괴형상의 대표적인 예는 사진2와 사진3과 같다. CF인 경우 축방향 인장력에 의하여 시험 전 시험체 중앙부의 흠에 미리 발생시킨 균열이 발전하여 최대하중에 도달하자마자 파괴음과 함께 슈트가 콘크리트로부터 박리 되었는데, 박리는 중앙부분에서 끝부분으로 진전되었다. 연성이 전혀 없는 취성 파괴였으며 시험체 파괴형상모드는 사진에서 보이는 것과 같이 파괴 후 섬유 슈트에 콘크리트 미세 덩어리가 부착되어 있는 것으로 보아 콘크리트와 FRP 슈트 사이의 부착파괴라고 판단된다. PAF인 경우 CF와 다른 양상으로 파괴되었는데 최대하중에 도달하기까지 연성적인 거동을 하였으며 파괴형상모드도 사진3에서 보이는 것과 같이 접착제가 콘크리트 표면과 슈트에서 잔존해 있어 섬유슈트와 접착제 사이에서 계면파괴가 발생한 것으로 판단된다.



사진 2 파괴형상 상세(CF-3)

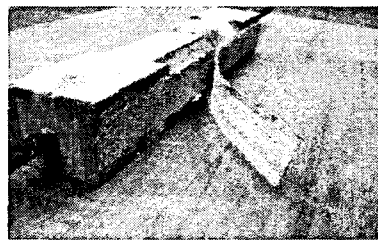


사진 3 파괴형상 상세(PAF-2)

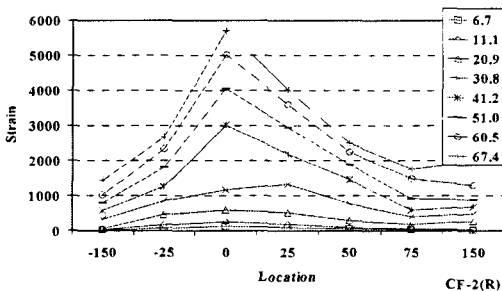


그림 3 변형률 분포(CF-2-R)

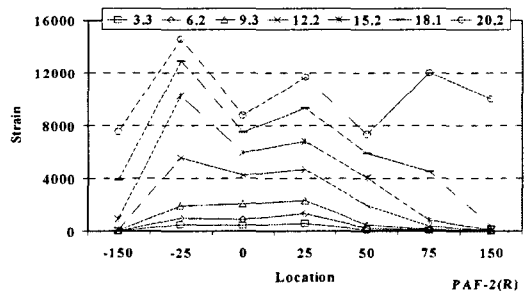


그림 4 변형률 분포(PAF-2-R)

그림3과 그림4는 CF-2와 PAF-2시험체의 하중 단계별 변형률 분포를 나타내었다. 본 연구에서는 중간점(0)에서 +위치의 변형률만을 유효변형률로 취급했다. 전체적으로 하중이 증가할수록 시험체 중간위치(0)에서 단부쪽으로 변형률이 증가하는 것을 알 수 있으며 가력 초기 보다는 가력 후기에 변형이 급속도로 일어나고 있다고 할 수 있다. CF-2인 경우 150mm부근에서 부착응력에 도달한 경우 1000 μ 이상의

변형률이 관찰되어 유효부착길이가 150mm를 초과하는 결과를 보여주고 있으며 PAF시험체인 경우 최고하중에 도달하기 전까지는 변형률이 거의 관찰되지 않아 유효부착길이가 150mm이하라고 판단될 수 있다. 이론적으로는 0의 위치에서 +방향으로 응력이 전달되기 때문에 국부적으로도 일정한 부착력을 갖고 있다면 그림 3과 같이 +방향으로 변형률은 감소해야 하지만 경우에 따라서 0의 위치에서 보다 높게 나타나서 지그재그 형태의 변형률 분포가 관찰된다. 그것은 국부적으로 콘크리트 단부표면에서 부분적인 부착변동이 발생했기 때문이라고 판단된다.

4. 국부 부착응력과 미끄러짐 관계 분석

그림5와 그림6은 대표적인 국부 부착응력과 슬립 관계를 나타낸 것으로 CF-1인 경우 관계를 나타낸 만한 곡선형태를 보여주지 못했다. PAF-1인 경우 모든 위치에서 국부 부착응력과 슬립 관계를 잘 보여주고 있지만 위치에 따라 부착응력이 -의 값을 보이고 있는 곳도 발견된다. 이러한 결과는 응력측정위치에의 골재유무, 콘크리트 표층의 저항정도 차이, 우발적인 박리전개 등을 이유로 꼽을 수 있다. 국부 부착응력 값은 이러한 이유로 변동이 있어 표준편차를 구하여 편차에 벗어난 값은 제외하고 평균값을 구하였다. 최대값은 1.9MPa에서 2.9MPa의 범위에 있으며 슈트 종류에 따른 차이는 발견되지 않았다.

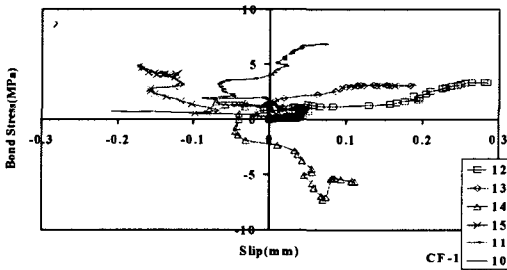


그림 5 부착응력-슬립관계(CF-1-F)

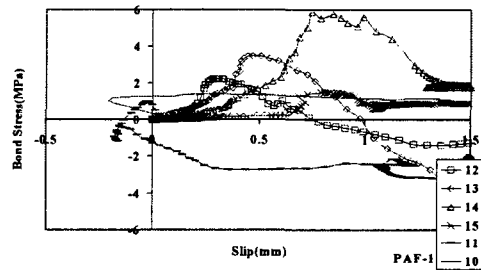


그림 6 부착응력-슬립관계(PAF-1-F)

5. 결론

본 연구에서는 CF와 PAF를 사용하여 FRP와 콘크리트의 부착특성을 살펴보았다. CF는 초기 기울기가 급하고 최대하중은 PAF의 3.5배이며, 최대 변위는 0.1배로 취성거동을, PAF는 연성거동을 보여주고 있다. 파괴모드는 CF인 경우 콘크리트와 FRP 슈트사이의 부착파괴라고 판단되며 PAF인 경우 섬유슈트와 접착제 사이에서 계면파괴가 발생한 것으로 판단된다. 유효부착길이는 CF인 경우 150mm를 초과하는 결과를 보여 주었으며 PAF인 경우 150mm이하라고 판단되었다. 결과적으로 슈트 강성이 클수록 최대하중도 증대하고 슈트 변형률 분포상의 분포구간도 길게 된다.

참고문헌

1. 양동석, 고병순, 박선규, 유영찬(2004). 콘크리트와 탄소섬유판 계면의 본드-슬립모델 산정, 한국 콘크리트 학회 가을 학술발표회 논문집, Vol.16, No.2, pp.635-638
2. 岳尾弘洋, 松下博通, 牧角龍憲, 長島玄太郎(1997), CFRP 接着工法における炭素纖維シート の付着特性, 콘크리트工學年次論文報告集, 1997.6, vol 19-2, no.2263, pp1599-1604
3. Nakaba, K., Kanakubo, T., Furuta, T., and Yoshizawa, H. (2001). "Bond Behavior between Fiber-Reinforced Polymer Fibers and Concrete." ACI Struct. J., 359-367.