

# 콘크리트 표면처리와 CFRP 단부정착 방법에 따른 부착특성실험

## Experimental Study on the Bond Behavior with Concrete Surface Preparation and Anchorage Type of CFRP

유 영 준\*      조 정 래\*\*      정 우 태\*\*\*      박 종 섭\*\*\*\*      박 영 환\*\*\*\*  
You, Young Jun    Cho, Jeong Rae    Jung, Woo Tai    Park, Jong Sup    Park, Young Hwan

### ABSTRACT

For strengthening deteriorated concrete structures, externally bonded FRP sheets or plates using epoxy resins are widely used. For the external FRP composites to be effective in improving the performance of the structure, bond between FRP composites and concrete is required.

In general, the most frequently observed failure mode in FRP strengthened concrete structures is debonding failure at the interfacial section between FRP and concrete. Therefore, it is very important to find out the interfacial behavior properties.

This paper presents experimental results of the relationship of concrete and FRP sheet for some conditions including concrete compressive strength, concrete surface preparation to observe the bond behavior between concrete and FRP sheet and various anchorage types to increase the bond capacity of FRP sheet.

### 1. 서론

최근 널리 사용되고 있는 섬유 보강공법은 콘크리트 구조물에 작용하는 응력을 표면에 부착한 섬유 보강재가 부담하도록 하여 보강효과를 얻고자 하는 공법이다. 따라서 콘크리트와 보강재가 일체거동을 하기 위해서는 충분한 부착력이 확보되어야 하며, 이것이 확보되지 못한 경우에는 목표한 보강효과를 얻을 수 없다.

일반적으로 섬유쉬트의 부착성능은 크게 접착면에 수직으로 작용하는 응력에 저항하는 부착강도와 접착면에서 전단응력에 저항하는 인장전단 부착강도로 나뉘어지며, 섬유보강재를 이용하여 휨보강된 콘크리트 구조물의 계면파괴 원인은 대부분 계면에서의 전단에 기인한다고 알려져 있다.

\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

본 연구에서는 계면에서의 전단에 의한 콘크리트와 섬유유닛 사이의 인장전단 부착거동을 파악하기 위하여 콘크리트의 압축강도와 표면처리방법, 섬유유닛의 부착조건에 따른 변화 등 다양한 변수를 설정하여 실험을 실시하였고, 또한 섬유유닛의 부착성능을 향상시키기 위하여 에폭시 접착 외에 섬유유닛을 정착시키는 방법에 대하여도 실험을 실시하였다.

## 2. 실험개요 및 변수

### 2.1 실험개요

실험에 사용된 슈트는 탄소섬유슈트로서 국내 H사에서 생산하는 설계두께 0.11mm, 인장강도 35,500kgf/cm<sup>2</sup>, 탄성계수 2.35×10<sup>6</sup>kgf/cm<sup>2</sup>인 제품이다.

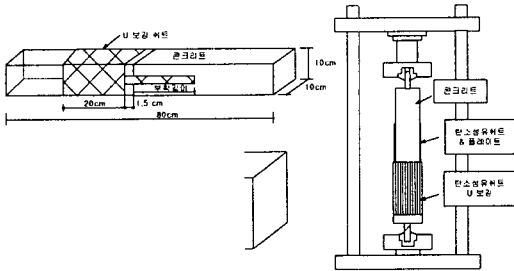


그림 13 인장전단 부착실험 시편제원과 개요  
표 2 콘크리트와 슈트에 대한 실험변수

표면처리	무처리 + 슈트 그라인딩 + 프라이머 + 슈트 그라인딩 + 슈트
부착길이	10, 15, 20, 25, 35cm
부착폭	2, 3, 4, 5, 6cm
슈트두께	1, 2, 3매

시편은 그림 1과 같은 제원으로 양쪽에서 인장이 가능하도록 철근을 심은 두 개의 콘크리트 블록을 제작한 후, 콘크리트에 부착한 슈트의 한 쪽에서만 파괴가 발생하도록 한 쪽은 탄소섬유슈트로 보강하였다. 시편은 각 실험변수에 대해 3개씩 제작하였다.

하중은 KS F 2241 [유리섬유 강화 플라스틱의 인장 실험방법]에 준하여 2mm/min의 속도로 가력하였다.

### 2.2 실험변수

모재가 되는 콘크리트는 135, 210, 270kgf/cm<sup>2</sup>세 가지 압축강도로 설계하였으며, 콘크리트 표면을

표 1 정착 및 부착방법에 대한 실험변수

변수	Profile
부착면적 확대	
부착면적 축소	
두께 증가	
요철	
U자형 자켓	
단부 감기	
강판 매립 (앵커유)	
강판 매립 (앵커유)	
강재 덧댐판	
강재 샌드위치	

처리하는 방법, 보강재의 부착길이와 폭, 두께, 보강재의 정착방법을 고려하여 실험변수를 설정하였다. 각 변수의 개요를 표 1과 표 2에 나타내었으며, 시편의 기본 조건은 콘크리트 표면만을 그라인더를 사용하여 평평하게 갈아낸 후, 슈트의 폭을 5cm로 하여 15cm에 해당하는 길이만큼 부착한 시편이며, 보강매수는 1매이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 콘크리트 표면 처리별 특성

세 가지 콘크리트 압축강도에 대해 콘크리트 표면에 어떠한 조치도 취하지 않고 슈트를 부착한 경우와 그라인더로 표면을 갈아낸 후 슈트를 부착한 경우, 표면을 갈아내고 프라이머를 도포한 후 슈트를 부착한 경우에 대한 실험을 실시하였고, 결과를 그림 2에 나타내었다.

실험결과는 어떤 일정한 경향을 보이지 않았으나 각 압축강도별로 콘크리트 표면을 깨끗이 그라인딩 한 후 프라이머를 도포한 경우가 도포하지 않은 경우보다 더 낮은 값을 나타내는 것으로 보아 표면을 강화시키기 위한 프라이머는 섬유슈트와의 부착성을 증진시키기보다는 오히려 성능을 감소시키는 것으로 판단된다. 이것은 콘크리트 표면의 미세한 공극 속으로 에폭시가 침투되어 부착강도에 긍정적인 효과를 주는데 반해 프라이머를 도포할 경우에는 에폭시가 콘크리트 표면에 침투할 수 없어 부착강도에 부정적인 효과를 초래하는 것으로 사료된다.

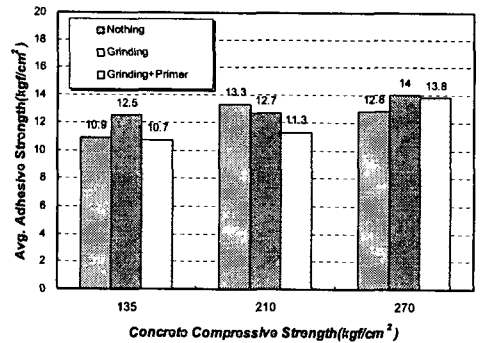


그림 2 콘크리트 표면처리별 평균부착강도

#### 3.2 부착길이별 특성

부착길이가 부착강도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 콘크리트 압축강도 135, 270kgf/cm<sup>2</sup>에 대해 부착길이를 10~35cm로 변화시켜가며 실험을 실시하였다.

실험결과는 부착길이가 증가함에 따라 최대하중은 증가하였으나 평균 부착강도는 낮아지는 결과를 나타내었다. 이는 극한상태에서 변형률과 부착응력이 분포하는 일정한 영향길이가 존재하므로 부착저항력의 크기가 일정해지기 때문인 것으로 판단되며, 그림 3의 측정된 위치별 변형률 분포에서와 같이 전체 부착면 중 일정부분만이 부착응력을 발생시키는 것을 확인할 수 있었다.

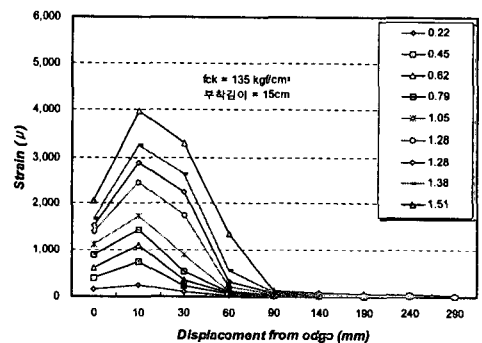


그림 3 하중단계에 따른 위치별 변형률

#### 3.3 보강폭과 매수의 변화

콘크리트 압축강도 270kgf/cm<sup>2</sup>, 부착길이가 15cm인 시편에 대하여 보강폭과 매수의 변화가 부착강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 실험을 실시하였다.

최대하중은 보강폭이 증가할수록 증가하나 그림 4에서 보듯이 부착강도는 감소하는 경향을 보이며

특히 폭 5cm와 6cm일 경우에는 거의 같은 값을 나타내고 있는 것으로 보아 소정의 면적 이상으로 부착면적을 확보하는 것은 큰 의미가 없을 것으로 사료된다.

보강매수를 증가시킬 경우에는 최대하중이 증가하며, 이에 따라 평균부착강도도 그림 5와 같이 비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.

### 3.4 부착면적, 두께 및 시공방식의 변화

콘크리트 압축강도가 210kgf/cm<sup>2</sup>인 시편에 대해 표 2와 같은 변수들을 실험하였다.

실험결과 부착면적확대의 경우 기준시험체에 비해 최대하중이 12% 향상되었으며, 슈트 단부에 슈트 한 장을 덧대어 두께를 증가시켰을 경우에는 15%의 효과 상승이 있었다. 부착면적확대의 경우에도 두께가 증가함은 물론 보강슈트의 폭 이외에 부착면적이 늘어남으로 인해 부착강도의 상승이 있었지만, 이때의 섬유슈트 방향은 보강재의 방향과 동일하지 않았기 때문에, 일방향성을 지닌 탄소섬유슈트의 특성상, 부착면적을 확대시킨 경우보다는 보강용 섬유슈트와 동일한 방향으로 저항하도록 시공한 경우가 효과가 더 좋은 것으로 나타났다.

보강재 단부를 U자형으로 감싼 경우에는 부착면적확대의 경우와 같이 섬유슈트의 방향이 동일하지 않기 때문에 하중방향에 대한 저항성은 없지만 콘크리트의 양측면과의 부착력이 추가되므로 상당히 높은 부착강도가 발현되었다.

콘크리트에 요철을 형성하여 에폭시로 충전한 경우에는 부착강도가 오히려 떨어지는 결과가 나왔다. 요철은 부착면적을 넓게 하고, 전단에 저항하는 역할을 하여 부착강도가 커질 것으로 예상하였으나, 요철로 인한 부착면적의 확대로 구속력이 증가하여 유효부착길이가 줄어드는 현상은 추가 구속력을 가진 다른 시편과 비슷하지만, 초기균열에 의한 충격에너지 등을 섬유슈트가 흡수하지 못하고 그대로 전달하여 순간적인 파괴가 일어난 것으로 판단된다.

섬유슈트를 단부를 말아서 시공한 경우에는 요철의 경우와 비슷한 경우이겠지만, 요철시공과는 달리 슈트 단부 자체가 콘크리트에 매립되어 있어 10% 정도의 부착강도 증가가 나타났다.

섬유슈트 단부의 면적을 줄인 부착면적축소의 경우에도 부착강도가 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 하중이 증가됨에 따라 단부에 집중되는 응력이 부착면적이 축소함으로 인해 분산되기 때문으로 판단된다.

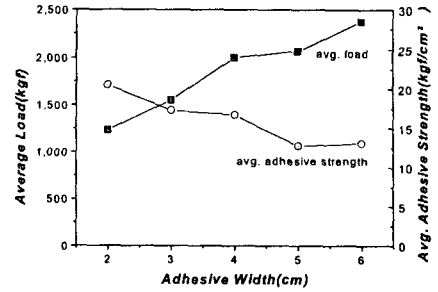


그림 4 보강폭별 변화

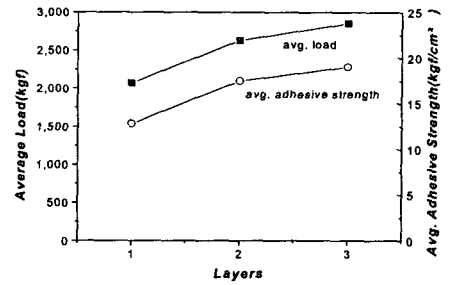


그림 5 보강매수별 변화

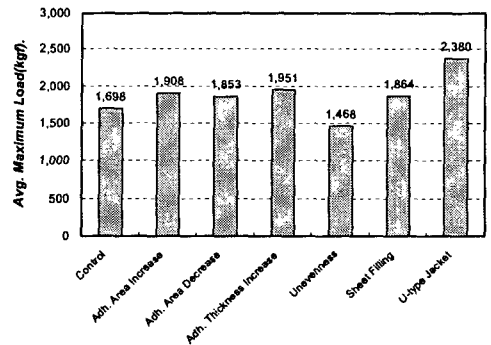


그림 6 부착 실험변수에 대한 최대하중

### 3.5 정착방식의 변화

FRP 보강재의 부착응력을 향상시키기 위해 슈트 단부를 외적으로 구속하는 방법으로 시공을 실시하여 실험을 수행하였다.

외적인 구속이란 표 2에 나타낸 바와 같이 보강재와 에폭시의 부착성능을 높이기 위해 부착성능이 콘크리트보다 우수한 강재판을 보강재 단부 위치의 콘크리트에 매립한 것을 뜻한다.

그러나, 에폭시를 사용하여 콘크리트에 강판을 매립한 후 단순히 섬유슈트 단부를 강판에 부착시켜 부착강도를 높이려는 방법은 별다른 효과가 없었고, 매립된 강판을 앵커를 사용하여 단단히 고정시킨 경우에는 13%의 최대하중 증가가 관찰되었다. 이는 매립된 강판에 응력이 전달되면서 강판과 콘크리트 사이의 슬립 등과 같은 미세한 영향이 앵커로 강판을 고정시키므로 인해 감소되어 부착강도를 상승시킨 것으로 판단된다.

FRP 보강재의 위·아래를 샌드위치식으로 강판을 덧댔을 경우에는 19%의 최대하중 증가가 나타났다. 이 경우에는 등방성 재료인 강판이 보강재는 물론 보강재 아래의 강판과도 부착되어 있어서 부착면적이 상하로 확대되어 더 나은 부착강도가 발현된 것이다. 그러나, 보강재 하부에 강판을 매립하지 않더라도 보강재에 강판을 덧대고 앵커로 단단히 고정하면 강판과의 부착력은 물론 앵커의 구속력으로 인해 보다 나은 부착성능을 얻을 수 있다.

그러므로, 섬유슈트를 단순히 콘크리트에 부착시키는 것보다는 보강재 단부의 부착면적을 상하로 넓히면 좀 더 나은 부착효과를 얻을 수 있고, 보강재의 단부가 콘크리트에 일체화되도록 하는 방법이 좀더 효과적인 방안이라 할 수 있겠다.

### 4. 결론

본 연구는 콘크리트와 FRP sheet 사이의 인장전단 부착거동을 알아보기 위한 실험으로 다양한 부착방법과 정착방법에 대해 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트의 압축강도가 높을수록 부착효과는 유리하게 나타나며, 콘크리트 표면에 프라이머를 도포하는 것은 프라이머를 도포하지 않는 경우보다 불리하다.
- 2) 섬유슈트의 보강폭이 증가할수록 최대하중은 증가하지만 평균 부착강도는 감소하고, 보강매수가 증가할 경우에는 최대하중과 평균부착강도 모두 증가한다.
- 3) 섬유슈트의 부착면적, 부착두께를 증가시킴으로써 좀더 높은 부착강도를 얻을 수 있다.
- 4) FRP 보강재의 부착방법은 섬유슈트 단부의 부착면적을 넓히고, 강판과 같은 부속물을 사용하여 섬유슈트의 단부를 단단히 정착시키는 방법이 효과적이다.

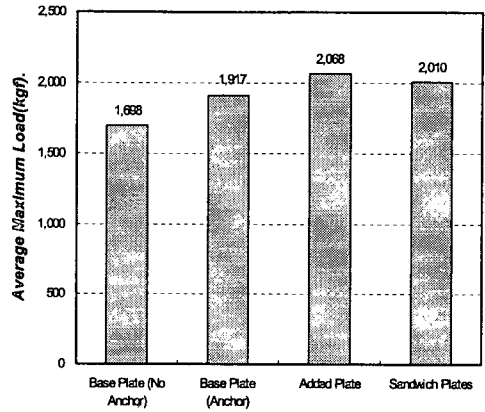


그림 7 부착 실험변수에 대한 최대하중

## 참고문헌

1. J. G. Teng, et al., "FRP-strengthened RC structures", John Wiley & Sons, 2002.
2. 한국건설기술연구원, "콘크리트 교량의 보수·보강재료 품질기준 및 공법 평가기준 개발", 2001.
3. 한국건설기술연구원, "노후 교량의 성능향상 기술 개발", 2002.