

# 1면과 2면 인장전단 실험 방법에 따른 부착성능에 관한 실험적 연구

## Experimental Study by Single and Double Face Shear Test of Bond Ability between Carbon Fiber Reinforced Plate and Concrete.

강 대 언\*      우 현 수\*\*      최 기 선\*\*\*      양 원 직\*      유 영 찬\*\*\*\*      이 원 호\*\*\*\*\*  
Kang, Dae Eon      Woo, Hyun Su      Choi, Ki Sun      Yang, Won Jik      You, Young Chan      Yi, Waon Ho

### ABSTRACT

The objective of this study is to find out discrepancy in ability of bond behavior between Carbon fiber-reinforced polymer(CFRP Plate) and concrete by method of experiment. For the objective, single and double face shear test were tested. From the experimental results, it was analyzed bond strength of FRP to concrete, distribution of stress and strain of FRP. The bond strength and the effective bond length was evaluated by the theory of existing studies. Effective bond length of single face test was smaller than it of double face test.

### 1. 서론

우리나라에서는 노후화된 건축물에 대하여 강판부착공법, 단면증설공법, 외부 프리스트레싱 보강공법 등을 사용하여 왔으나 1990년대 이후 다양한 종류의 FRP보강공법이 대체되는 경향을 보이고 있다. 특히 새로운 FRP 보강공법들은 FRP재료의 고강도, 경량성, 부식 저항성 및 시공의 용이성 이외에도, 신소재를 건설재료로 응용한다는 하이테크적 이미지 등으로 인해 이전의 보강방법에 비하여 많은 시공이 이루어지고 있고, 앞으로의 전망도 더욱 광범위하게 사용될 것으로 예상되고 있다.

이런 이유로 탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 부재의 보강효과에 대한 실험연구는 국내와 일본의 경우 90년대 중반 이후부터 활발히 진행되었으며, 특히 국내의 경우 많은 연구결과가 보고되고 있다. 그러나 체계적 실험 방법이나, 실험 규준이 정해지지 않아 실험 결과의 적용이 어려운 실정이다. 한편, 기존의 많은 연구자들은 FRP보강재의 기본적인 부착성능을 평가하는데 1면전단과 2면전단 실험을 수행하여, 부착강도와 유효부착길이를 산정하는 식을 제안하였다. 그러나, 1면전단과 2면전단 실험방법은 부착성능 메커니즘의 근본적인 차이가 있음에도 불구하고 한가지의 식으로 사용되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실험규준 작성에 있어 기초적인 자료를 제공하는 목적으로 1면전단과 2면전단의 실험 방법 차이에 따른 탄소섬유 플레이트 보강재(이하, CFRP Plate)와 콘크리트의 부착성능을 검토하였다.

\* 정회원, 광운대학교 에센스 구조연구센터 연구교수, 공학박사  
\*\* 정회원, 광운대학교 대학원 석사과정  
\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 연구원, 공학석사  
\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사

## 2. 응력 분산 메커니즘

시험체의 응력분산 메커니즘은 그림 1과 같다. 1면전단 시험체의 경우 하중을 가력하면 CFRP Plate에 인장응력이 발생하여 인장응력이 CFRP Plate와 콘크리트의 부착면에서 전단응력으로 전달된다. 또한 부착면의 전단응력은 콘크리트 시험체의 압축응력으로 전달되어, 최종적으로 상부지지 플레이트에 하중이 도달하게 된다. 반면 2면전단 시험체의 경우 하중을 가력하면 철근에 인장응력이 발생하여 인장응력은 실험블록에 인장응력으로 전달된다. 또한 실험블록의 인장응력은 콘크리트와 CFRP Plate의 부착면에서 전단응력으로 전달되고, CFRP Plate에서 인장응력으로 되어 최종적으로 정착블록에 전달된다. 이에 따라 1면전단 시험체의 경우 콘크리트 시험체의 변형은 하중 가력단에서 최고의 변형을 하게 되고, 보강재의 유효부착길이를 넘어선 구간은 변형이 거의 없어 유효부착길이 내에서 모든 하중이 분산된다. 한편 2면전단 시험체의 경우 콘크리트 시험체의 중앙단은 변형이 거의 없고, 유효부착길이를 넘어선 부분은 최고의 변형을 하게 되어, 그 변형이 콘크리트 실험블록 끝단까지 지속되어 CFRP Plate에 부착응력으로 작용할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 이런 1면전단과 2면전단의 부착성능의 차이를 실험을 통해 비교하였다.

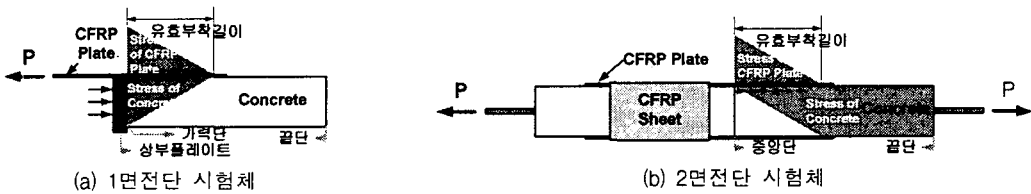


그림 1 하중 가력 시 응력 분포

## 3. 실험

본 실험에서 1면전단과 2면전단의 실험 방법에 따른 유효부착길이와 부착강도의 변화를 검토하기 위하여, 부착길이를 변수로 1면전단 실험과 2면전단 실험을 실시하였다.

### 3.1. 시험체 계획

1면전단과 2면전단 시험체의 형상을 각각 그림 2와 그림 3에 표현하였다. 1면전단 시험체는 참고문헌 2)를 참고로 하였고, 2면전단 시험체는 참고문헌 3)을 참고로 하여 제작하였다. 시험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계강도  $300\text{kgf/cm}^2$ 이고, CFRP Plate는 폭 30mm로 동일한 제품을 사용하여 제작하였다. 시험체는 부착길이를 50, 100, 150, 200, 250mm로 총 5개의 변수로 제작하였으며, 시험체의 일람표는 표 1과 같다.

표 1 시험체 일람표

부착길이 (L)	1면전단 시험체	2면전단 시험체
50mm	1CP50	2CP50
100mm	1CP100	2CP100
150mm	1CP150	2CP150
200mm	1CP200	2CP200
250mm	1CP250	2CP250

1 CP 250  
부착길이  
CFRP Plate  
실험 블록

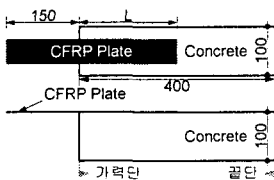


그림 2 1면전단 시험체 형상

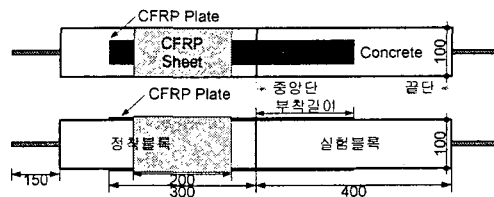


그림 3 2면전단 시험체 형상

### 3.2. 실험 방법

1면전단 실험에서 부착강도를 측정하기 위한 가력장치는 그림 4에 나타낸 바와 같이 UTM을 이용하여였고, CFRP Plate에 순수 인장력이 작용되도록 상부고정 플레이트와 지지볼트를 사용하여 시험체를 고정하였다. 상부에 설치된 가력장치는 볼 베어링 장치로 회전이 가능하여 CFRP Plate에 순수 인장력이 도입되도록 설치되어있다. 2면전단의 경우 그림 5에 나타낸바와 같이 25tonf 액추에이터(actuator)를 이용하여 미리 제작된 프레임에 고정시켰다. 콘크리트와 CFRP Plate의 전단 부착강도 실험을 위한 하중가력방법은 두 실험 방법 모두 0.5mm/min 속도의 변위제어로 가력 하였다. 또한 변형도를 측정하기 위해 스트레인 게이지를 CFRP Plate에 20mm간격으로 부착하였다.

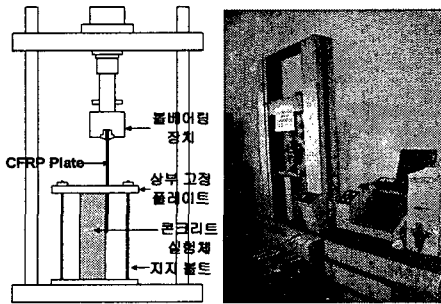


그림 4 1면전단 시험체 설치도

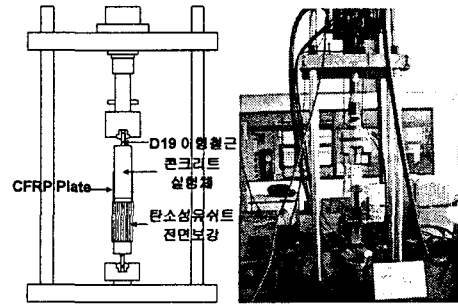


그림 5 2면전단 시험체 설치도

### 4. 실험 결과 및 분석

기존의 연구에 따르면 유효부착길이는 크게 2가지 방법으로 산정할 수 있다. 하나는 부착길이별 부착강도 그래프에서 2개의 성향이 다른 회귀직선을 그어 유효부착길이를 산정하는 방법(이하, 정산법)<sup>2)</sup>이고, 다른 하나는 Maeda가 제안한 방법으로 균열하중단계의 변형도 분포 그래프를 그려 변형도가 분포하는 구간까지를 유효부착길이를 산정하는 방법(이하, 간편법)<sup>4)</sup>이다. 본 연구에서는 2가지 방법을 모두 적용하여 부착성능을 검토하였다.

#### 4.1. 변형도 분포

1면전단과 2면전단 시험체에 따른 변형도 분포의 변화를 그림 6에서 비교하였다. 본문 2에서 서술한 것과 같이 CFRP Plate의 단부쪽에서 2면전단 시험체의 변형도가 1면전단 시험체의 변형도보다 높게 분포되어 있음을 알 수 있다.

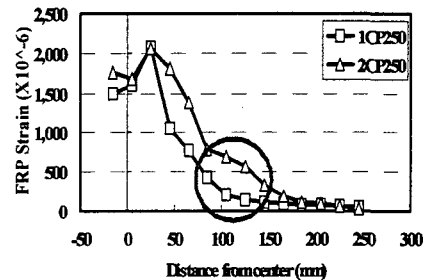
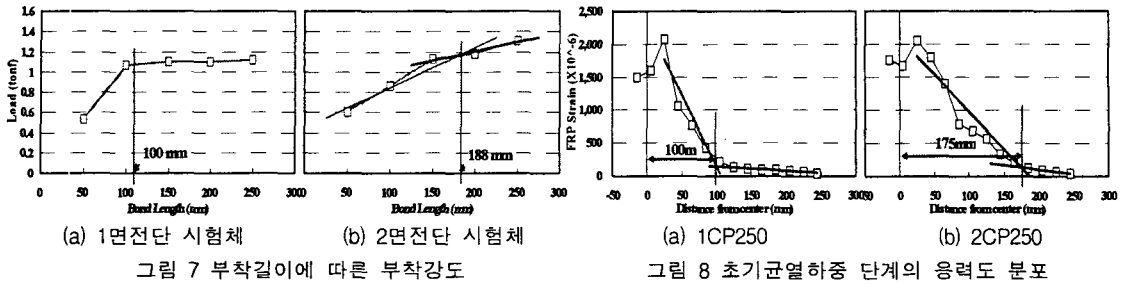


그림 6 변형도 분포

#### 4.2. 유효부착길이

정산법으로 산정한 결과를 그림 7에, 간편법으로 산정한 결과를 그림 8에 각각 나타내었다. 1면전단 시험체의 유효부착길이는 정산법으로는 100mm, 간편법으로는 105mm로 산정되었다. 또한 2면전단 시험체의 유효부착길이는 정산법으로는 183mm, 간편법으로는 175mm로 산정되었다. 1면전단 시험체의 유효부착길이가 2면전단 시험체보다 작은 값으로 나타난 이유는 전술한 바와 같이 응력분산 메커니즘에 차이에 기인한다고 사료된다.



(a) 1면전단 시험체

(b) 2면전단 시험체

그림 7 부착길이에 따른 부착강도

(a) 1CP250

(b) 2CP250

그림 8 초기균열하중 단계의 응력도 분포

### 4.3. 부착강도

그림 7에서 보면 실험 방법별 부착강도를 보면 2면전단 시험체가 1.3tonf이고, 1면전단 시험체가 1.1tonf정도였다. 부착강도는 증가하였지만 유효부착길이에 비하여 적은 증가폭을 보였고, 이에 대해서는 1면전단 시험체의 경우 콘크리트 시험체가 압축변형을 하여 균열에 대한 저항성이 높아진 반면 2면전단 시험체의 경우 인장변형을 하여 균열에 취약한 면을 보여서 나타난 현상으로 파악된다. 따라서 1면전단과 2면전단에 있어 부착강도를 산정하는 식을 다르게 책정하는 것이 타당하다고 사료된다.

### 5. 결론

이상의 실험 결과를 분석하여 얻은 결론을 기술하면 다음과 같다.

- 1) 유효부착길이는 1면전단 시험체가 2면전단 시험체보다 83%정도 낮게 산정되었으며, 이는 콘크리트 시험체가 1면전단 실험에서는 압축변형을 하고, 2면전단 시험체에서는 인장변형을 하여 나타난 응력분산 메커니즘의 차이에 기인한 현상으로 판단된다.
- 2) 부착강도의 경우 1면전단 시험체가 2면전단 시험체보다 18%정도 낮게 나왔다. 이는 기존 제안식에 비추어 보면 유효부착길이가 증가한 만큼 부착강도도 증가해야 하지만 1면전단의 콘크리트 시험체는 압축변형을 하는 반면 2면전단 콘크리트 시험체는 인장변형을 하여 균열저항성능이 낮아졌기 때문이라고 판단된다.
- 3) 실제 FRP보강재를 사용한 부재의 보강에 있어 부착응력이 분산되는 메커니즘은 2면전단 시험체의 경우와 유사한 경우가 많다고 사료되므로 기본적인 FRP보강재의 부착성능을 검토하는데 있어서는 2면전단 실험이 적합할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. Chen, J. F. and Teng, J. G.(2001), "Anchorage strength models for FRP and Steel plates bonded to concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 127, No. 7, pp. 784~791
2. 산·학·연 공동연구개발사업 최종보고서(1999), "건축구조물 보수·보강공법의 성능평가에 관한 연구", 건설교통부, 한국건설기술연구원, 134~158.
3. (JSCE-E 543-2000), "Test method for bond properties of continuous fiber sheets to concrete"
4. Toshiya MAEDA at all (1997). A STUDY ON BOND MECHANISM OF CARBON FIBER SHEET. Proceedings of the Third International Symposium. JCI. Volume 1. 279~286
5. Kasumassa Nakaba at all (2001), "Bond Behavior between Fiber-Reinforced Polymer Laminates and Concrete", ACI Structural Journal, V.98, No. 3, 359~367