

# CFRP로 전단보강된 철근콘크리트 보의 크기효과

## The Size Effect of the Shear Strengths of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon FRP

지광습\* 김기홍\*\* 김진근\*\*\*

Zi, Goang Seup Kim, Ki Hong Kim, Jin Keun

### ABSTRACT

Presented are the results of recent tests on diagonal shear failure of reinforced concrete beams which are externally reinforced in the transverse direction by a unidirectional carbon fiber reinforced polymer, instead of the traditional steel stirrups. Three different series of the beams with different shear reinforcements, i.e. U-wrapping with carbon sheet, U-wrapping with carbon strips and full wrapping with carbon strips were tested. Those beams were geometrically similar, and the size range is 1:1.9:4. The failure of the beams are characterized by delamination, crushing of concrete and distributed shear cracks. It is found that the size effect is much weaker than that of the reference beams without CFRP. Therefore CFRP sheet may be used as the transverse reinforcement with a minor size effect. However, it is not clear that the same conclusion can be drawn in other sizes. Further researches are recommended.

### 1. 서론

섬유보강수지(Fiber reinforced polymers; FRP)는 전통적인 구조재료인 철강과 콘크리트와 비교하여 상대적으로 높은 비강도와 내부식성, 탁월한 시공성 등의 장점을 가지고 있다. 하지만 비용문제 때문에 재료가 대규모로 사용되어야 하는 토목구조물에는 그 사용이 제한적이었다. 그러므로 FRP의 장점을 최소의 비용으로 토목 구조물에 적용시키고자 하는 연구가 지난 10여년간 많은 연구자들에 의해 수행되었다. 그 연구의 성과로서 FRP는 기존 구조물의 내하력 및 내구성을 증진시키고 공용수명을 연장시키는 보수 및 보강재료로 광범위하게 사용되고 있다(Aprile 등, Colotti 등, El-Mihilmy 등)<sup>(1)(2)(3)</sup>. FRP를 이용해서 보수·보강하는 기법은 보, 슬래브, 벽체, 기둥 등 다양한 구조부위에 적용될 수 있으며 보수·보강을 통해 얻는 구체적인 목적은 보강대상에 따라 달라진다.

FRP로 보강된 보의 파괴모드는 (1) FRP의 파단, (2) 박리, 혹은 (3) 콘크리트의 압축파괴로 특징지어진다(El-Mihilmy 등)<sup>(3)</sup>. 이 세가지 파괴모드는 연성파괴가 아닌 취성파괴로서 축차적인 파괴특성을 보이므로, 전체단면의 동시적인 소성거동을 가정하는 한계상태 해석만으로는 그 특성을 기술하는데 한계가 있을 것으로 예상된다. 휨강도의 경우는 취성거동을 고려하지 않고서도 만족스러운 예측결과

\*정회원, 고려대학교 조교수

\*\*정회원, 한국과학기술원 석사과정

\*\*\*정회원, 한국과학기술원 정교수

(El-Mihilmy 등)<sup>(3)</sup>를 보여주었는데 이는 보의 하면에 부착된 FRP에 응력구배가 거의 없어서 전체 판이 동시에 최대 응력에 도달하는 점에 기인한다. 구조물의 파괴거동을 기술할 때 파괴역학적 특성을 고려해야 하며, 구조물의 공칭강도가 그 크기에 따라 달라지게 되는 소위 크기효과(size effect)가 존재하게 된다(Bazant 등, Zi 등)<sup>(4)(5)(6)</sup>. Bazant 등<sup>(4)</sup>은 스티럽이 없는 철근 콘크리트 보의 전단강도에 매우 큰 크기효과가 있음을 실험을 통해 증명했으며 ACI 실험데이터의 큰 분산이 이 크기효과 때문에 기인할 수도 있음을 보였다. 앞서 언급했듯이 FRP로 보강된 보가 가지는 취성 파괴특성 때문에 이 형태의 보의 전단강도에도 크기효과가 존재할 수 있으며, 이 논문에서는 이의 실험적 연구결과를 보였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험개요

이 연구에서 다른 부착방법으로 탄소섬유판으로 전단보강한 철근콘크리트 보의 크기별 보강효과를 평가하기 위하여 사용된 실험변수는 무보강(R0), 3면보강(R1), 4면보강(R2), 띠모양보강(R3)의 탄소섬유판의 네 가지 부착형태와 높이 15cm, 29.2cm, 60cm인 세 가지 크기에 따라 총 실험체 26개를 제작하였다.

### 2.2 사용재료

이 연구에서 사용한 콘크리트는 설계강도 35MPa, 슬럼프 15.0±2.5cm으로 설계된 레미콘 제품을 사용하였다. 실험체에 사용된 철근은 설계항복응력 400MPa인 D16, D22, D32 철근을 사용하였고, 탄소섬유판은 폭 50cm, 두께 0.11mm를 사용하였다. 실험에 사용된 콘크리트와 탄소섬유판의 물리적 특성은 표 1과 같다

### 2.3 시험체 제작

전단보강효과에 대해 크기별 효과를 고려하기 위해 보의 폭은 15cm로 일정하게 하고 높이와 길이만 변화시켰다. 실험체의 단면과 실험체 형상은 다음과 같이 제작하였다. 전단보강효과를 평가하기 위해 전단파괴를 유도하도록 스티럽은 배근하지 않고 인장철근과 압축철근만 같은 철근비로 배근하였다.

### 2.4 재하 및 측정 방법

탄소섬유판으로 전단보강한 철근콘크리트보의 전단 내력평가를 위한 하중재하는 4점 재하를 하였다. 시험체의 변위를 측정하기 위해 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 지점부의 변형을 보정하기 위해 양단 아래쪽 지점부에도 변위계를 설치하였다. 하부 인장철근의 지간 중앙에 변형률게이지를 2개씩 콘크리트 타설 전 설치하였고, 실험할 때에는 콘크리트 변형률게이지를 지간 중앙부 지점에 콘크리트 상면에 2개와 위면에서 높이 1/4지점과 1/2지점의 옆면에 앞뒤 2개씩 설치하여 측정하였다.

표 1 사용재료의 성질

콘크리트		탄소섬유판	
압축강도(MPa)	25.5	두께(mm)	0.11
		인장강도(kgf/cm폭)	390

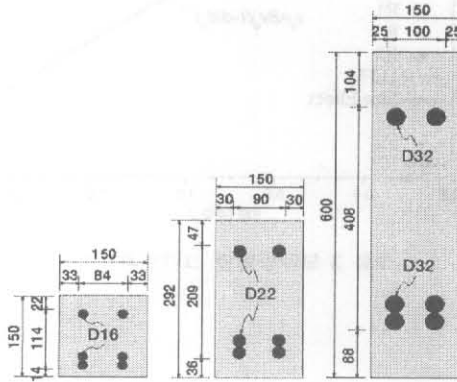


그림 1 실험체 단면 형상 (단위:mm)

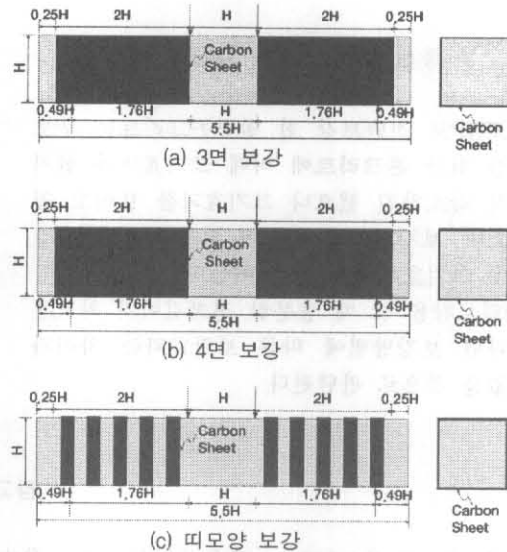


그림 2 보강 방법

### 3. 실험결과 및 고찰

모든 경우에 보강에 사용된 CFRP(탄소섬유보강수지) 쉬트는 시험종료 때까지 파단되지 않았다. 보강 쉬트의 박리는 3면보강(R1) 시편에서 관찰되었으며, 띠모양 보강(R3)에서는 띠 사이의 옆면에서 박리가 발생하였고, 4면보강(R2)에서는 박리가 발생하지 않았다. 3면보강 시편은 무보강 시편(R0)의 전단 균열과 같은 단일 전단균열이 보강쉬트가 박리된 부분에 크게 형성되었다. 띠모양 보강시편에서는 작은 크기의 시편은 균열이 각 띠 사이에 균일하게 분포되어 형성되어 일반적인 전단균열과는 다른 양상을 보였지만, 큰 시편의 경우는 전체적인 균열 양상이 일반적인 전단균열과 비슷하였다. 4면보강 시편의 균열패턴은 보강쉬트 때문에 쉽게 확인할 수는 없지만, 실험 후 쉬트를 제거한 후 확인한 결과 균열 양상은 일반적인 전단 균열과 비슷하였다.

보강방법별로 계측된 최대 전단강도를 해당크기와 함께 log함수로 도시하였다(그림 3). 무보강 시편의 크기효과는 Bazant 등<sup>(4)</sup>의 결과대로 큰 크기효과를 보였다. 하지만 보강시편의 경우 모든 경우에서 크기효과가 현저히 줄어들었다. 삼면보강시편의 경우는 크기가 증가하면서 오히려 강도가 증가했는데, 3면 보강을 한 작은 크기의 시편은 탄소섬유판의 정착길이가 확보되지 않아 다른 보강방법보다 보강 효과가 떨어진 것으로 보인다. 4면보강과 띠모양으로 보강 후 크기효과의 지수는 0.081로서 무보강시의 지수인 0.377보다 크게 개선되었다. 이 크기효과를 모든 경우에 적용할 수 있는가에 대해서는 아직도 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 그 이유로는 (1) 4면보강과 띠모양으로 보강된 제일 작은 시편의 거동에서는 취성도가 거의 없으나, 크기가 증가하면서 취성도가 늘어나는 점과 (2) 시험중 보강쉬트의 파단이 일어나지 않은 점을 들 수 있다. 분명한 사실은 보강쉬트의 파단이 일어나지 않을 경우 크기효과가 크게 줄어든다는 것이다.

#### 4. 결론

이 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) CFRP로 전단보강 한 철근콘크리트는 무보강 철근 콘크리트에 비해 크기효과가 현저히 감소하긴 했으나 크기효과를 보이고 있으며, 보강취트의 파단이 일어나지 않을 경우 크기효과가 크게 줄어든다.
- 2) 3면보강을 할 때 충분한 정착길이가 확보된다면 보강방법에 따른 보강효과는 차이가 없을 것으로 판단된다.

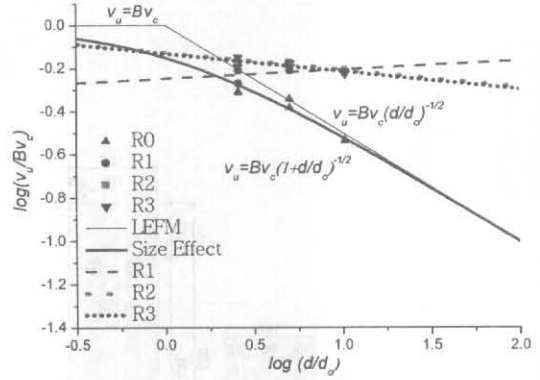


그림 3 보강방법별 크기효과

#### 참고문헌

1. A. Aprile, E. Spacone, and S. Limkatanyu. Role of bond in RC beams strengthened with steel and FRP plates. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 127(12):1445-1452, 2002.
2. V. Colotti and G. Spadea. Shear strength of RC beams strengthened with bonded steel or FRP plates. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 127(4):367-373, 2001.
3. M. El-Mihilmy and J. W. Tedesco. Analysis of reinforced concrete beams strengthened with FRP laminates. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 126(6):684-691, 2000.
4. Z. P. Bazant and M. T. Kazemi. Size effect on diagonal shear failure of beams without stirrups. *ACI Structural Journal*, 88(3):268-276, 1991.
5. Z. P. Bazant, Q. Yu, and F. Zi. Choice of concrete fracture test for a standard. *International Journal of Fracture*, 118:303-337, 2003.
6. G. Zi and Z. P. Bazant. Eigenvalue method for computing size effect of cohesive cracks with residual stress, with application to kink bands in composites. *International Journal of Engineering Science*, 41(13-14):1519-1534, 2003.