

# 탄소섬유시트(CFS)로 보강된 철근콘크리트 보의 전단내력에 관한 연구

## A Study on the Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Carbon Fiber Sheets

권철성\* 김하용\* 권우현\*\* 백승민\*\*\* 곽윤근\*\*\*\*  
Gwon, Chul Sung Kim, Ha Yong Gwon, Woo Hyun Baek, Seung Min Kwak, Yoon Keun

### ABSTRACT

This paper deals with the shear strengthening effect of RC beams strengthened with carbon fiber sheets. Fifteen strengthened RC beams(including control beam) were experimentally evaluated to determine improvements in shear strength. The major parameters of experiment variables are fiber sheet strengthening ratios and strengthening methods of fiber sheet(I-S, I-W, U-S, U-W type). Reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber sheets were tested under the combined control of load. Considering strengthening ratios and strengthening methods of fiber sheet, shear capacity and failure mode of test specimens were evaluated.

The results show that shear capacity of beams strengthened with fiber sheet is about 28.82% in IS type, 20.49% in IW type, 26.04% in US type, 28.70% in UW type higher than the strength of control beam.

### 1. 서론

최근에 이르러 건축물의 유지관리 분야 및 리모델링에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 사회적인 요구의 변화와 설계의 표준이 향상되면서 안전성에 대한 요구들도 증가함에 따라 콘크리트 구조물의 보수·보강 공법에 관한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다. 특히, 보강섬유 접착공법은 재료가 가벼워 운반성, 가공성, 시공성이 뛰어나고 특성면에서 내화학성, 내부식성, 내피로성이 우수하다. 이러한 보강섬유재를 사용한 보강방법은 연구가와 엔지니어 사이에서 흥미롭게 연구되어지고 있고 타당성 있게 받아들여지고 있다. 또한 실제 현장에서의 적용이 점차 대중화되고 있다. 보강섬유로 철근콘크리트 보를 보강하는 것에 대해 많은 연구가 있었으나, 대부분 휨성능의 개선을 위한 연구에 집중되었고, 전단성능의 규명에 대한 연구는 그리 많지 않다. 따라서 본 연구는 보강섬유재로 널리 사용되는 탄소섬유시트(CFS)를 사용하여 보강량에 따른 전단내력 변화와 보강유형 및 형태에 따른 구조적 거동 및 보강효과를 파악하고, 경제적이고 효율적인 보강방법을 제시함으로써 합리적 설계를 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

\*정회원, 금오공과대학교 건축공학과 석사과정

\*\*정회원, 금오공과대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\*정회원, 금오공과대학교 건축공학과, 공학박사

\*\*\*\*정회원, 금오공과대학교 건축공학과 교수, 공학박사

## 2. 실험

### 2.1 실험체 개요

본 연구에서는 그림 1과 같은 RC보에서 전단 보강효과를 규명하기 위해 총15개의 실험체로 전단실험을 하였다. 실험체의 종류는 표 1과 같다.

실험체는 control보 1개, CFS로 전단보강된 시험체 14개로 I형 8개, U형 6개이다. 이 I형은 보강량(25%, 38%, 50%, 전단구간 전면)에 따라 4종류로 나누었다. 또한 보강형태를 변수로 하여 25%, 38% 시험체에서는 CFS를 전단구간에 균등히 나누어 붙인 것(S형), 나누지 않고 보강량을 그대로 붙인 것(W형)으로, 50%는 나누어 붙인 것(H형)으로 I형은 총 8개의 시험체로 구성하였다. 또한 U형은 I형과 기본적으로 같지만 25% 시험체는 S형만 있고, 50% 시험체에서는 H형을 제외하였다. 본 연구에서는 전단스팬비가 3인 철근콘크리트 실험체로 크기는 125×250×2000으로 전단파괴가 발생할 수 있도록 인장철근은 2-D13, 전단보강근 없이 배근하였다. 철근은 SD40 고강도 이형철근을 사용하였고, 사용된 콘크리트의 28일 평균압축강도는 26.11 MPa이다.

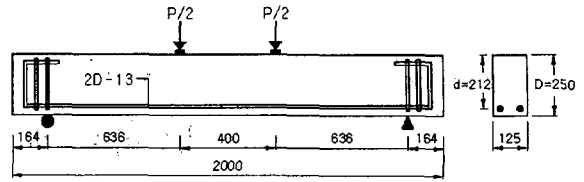


그림 1. 전단시험체의 형태

표 1. 실험체의 종류

실험체명	보강재길이 (mm)	보강재폭 (mm)	보강 유형
SC	-	-	control보
SI-S-25	318	250	I형, S형
SI-W-25	318	250	I형, W형
SI-S-38	483.4	250	I형, S형
SI-W-38	483.4	250	I형, W형
SI-S-50	636	250	I형, S형
SI-W-50	636	250	I형, W형
SI-H-50	1272	125	I형, H형
SI-A	1272	250	I형, A형
SU-S-25	318	250	U형, S형
SU-S-38	483.4	250	U형, S형
SU-W-38	483.4	250	U형, W형
SU-S-50	636	250	U형, S형
SU-W-50	636	250	U형, W형
SU-A	1272	250	U형, A형

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 실험체의 파괴형태

CFS로 보강된 실험체의 파괴는 크게 세가지로 구분할 수 있으며, 파괴양상을 살펴보면 중앙부 인장파괴(T), 단부의 전단파괴 및 보강재가 분리되는 형상(S+R), 단부 전단파괴(S)의 3종류로 나눌 수 있다. 본 실험에서 나타난 실험결과를 표 2에 나타내었다. 실험결과 나타난 파괴양상은 보강시험체 14개 중 11개의 실험체가 중앙부인장파괴로 나타나 가장 많았고, 단부전단파괴와 박리가 같이 나타난 것이 2개의 시험체에서 관찰되었으며, 나머지 1개의 시험체에서 단부 전단파괴의 양상을 보였다. 본 실험에서 나타난 파괴양상을 살펴보면, control보의 경우, 균열은 실험체의 순수 휨구간에서 처음 발생하여, 하중이 증가함에 따라 균열도 보춤의 2/3정도부근까지 진행하였으며 전단균열도 발생하였다. control보의 최종적 파괴의 양상은 지점부위의 콘크리트에서 발생하는 사인장균열이 가력점까지 이르는 것으로, 전단균열의 전달로 인한 전형적인 전단파괴의 양상을 나타냈다. 중앙부인장파괴는 control보와 같은 균열양상을 보였지

표 2. 보강보의 실험결과

보명	최대전단력 (kN)	증가율 (%)	파괴양상
SC	35.31	100.00	전단파괴
SI-S-25	47.07	133.33	중앙부인장파괴
SI-W-25	41.19	116.67	박리·전단파괴
SI-S-38	45.60	129.17	중앙부인장파괴
SI-W-38	44.13	125.00	중앙부인장파괴
SI-S-50	47.07	133.33	중앙부인장파괴
SI-W-50	42.66	120.83	중앙부인장파괴
SI-H-50	38.74	109.72	전단파괴
SI-A	42.17	119.44	중앙부인장파괴
SU-S-25	46.09	130.56	중앙부인장파괴
SU-S-38	41.19	116.67	박리·전단파괴
SU-W-38	47.07	133.33	중앙부인장파괴
SU-S-50	45.60	129.17	중앙부인장파괴
SU-W-50	44.13	125.00	중앙부인장파괴
SU-A	45.11	127.78	중앙부인장파괴

만 탄소섬유시트의 보강으로 인해 전단균열 발생이 억제되거나 균열이 발생되어도 확대, 성장하지 못하여 최종적으로 중앙부인장파괴되었다. 단부 박리·전단파괴는 균열이 발생한 실험체가 최대휨내력에 가까워지면서 변위가 증대되고 전단균열도 계속 진전되어 이 전단균열에 저항하는 CFS가 콘크리트와 박리되면서 전단파괴에 이르는 양상을 보였다. 단부전단파괴 된 SI-H-50인 경우 낮은 하중에서는 중앙부에 균열이 발생하여 하중이 증가함에 따라 급격한 전단균열이 발생하면서 CFS가 파단되면서 전단파괴되었다. 이 실험체는 보춤의 상하로 CFS를 보강한 형태로 부착길이를 길게 하여 전단균열의 발생을 억제하여 전단보강의 효과를 기대하였으나, 내력증가는 9.72%로 기대에 못미쳤다. 이것은 전단용력은 보춤의 중앙부에서 최대이므로, 상하부의 CFS 보강은 효과적이지 못한 것을 알 수 있다.

### 3.2 하중-처짐관계

CFS로 보강한 콘크리트보의 내력특성을 평가하기 위해 시험체의 하중-처짐 관계를 그림 2에 나타내었다. 그림 2는 38%보강 시험체로 하중-처짐은 그림에 나타난 것과 같이 최대 하중 이전에는 곡선의 형태와 기울기가 유사한 것을 알 수 있다. 기준시험체의 경우 최대하중 이후 급격한 내력 감소를 보였으나, CFS로 보강한 실험체는 최대하중 이후 기준시험체보다 완만한 내력감소를 보이거나 SU-S-38시험체는 박리가 일어난 후 사인장균열이 급격히 진행되어 전단파괴 되면서 취성적인 파괴양상을 보였다.

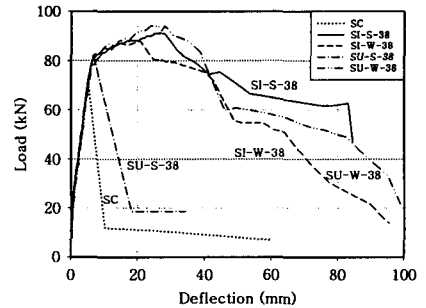


그림 2. 38% 보강시 하중-처짐 곡선

### 3.3 보강변수에 대한 보강효과

#### 3.3.1 보강유형에 따른 보강효과

보강유형(I형, U형보강)에 따른 보강효과를 그림 3에 나타내었다. 먼저 I형 보강유형의 보강효과를 살펴보면, 25%는 1.25배, 38%는 1.27배, 50%는 1.27배, 100%는 1.19배의 보강효과가 있었다. U형의 보강효과는 25%는 1.31배, 38%는 1.25배, 50%는 1.27배, 100%는 1.28배이다. I형과 U형의 보강효과를 비교하면, I형은 평균 25.39%, U형은 평균 27.08%의 보강효과를 보여서 I형보다 U형 보강유형이 미소하나마 보강효과가 좋다.

본 실험에서는 CFS와 콘크리트 계면에서 박리가 많이 일어나지 않았고 중앙부인장파괴 되어서 밀면을 보강함으로써 부착면적을 크게하여 박리를 방지하기 위한 U형보강은 I형보강유형과 비교하여 보강효과에 대한 차이는 크게 없는 것으로 판단된다.

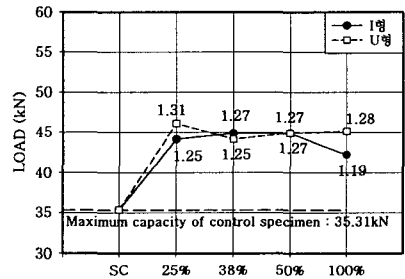


그림 3. I형과 U형보강법의 보강효과

#### 3.3.2 보강형태에 따른 보강효과

보강형태(S형, W형)에 따른 보강효과를 그림 4에 나타내었다. 보강형태 S형에서 25%는 1.32배, 38%는 1.23배, 50%는 1.31배이고, 보강형태 W형에서 25%는 1.17배, 38%는 1.29배, 50%는 1.23배의 보강효과가 보였다. S형과 W형의 보강효과는, S형은 평균 28.70%, W형은 평균 24.17%의 내력증가가 있었다. 따라서, S형 보강형태가 W형 보강형태보다 보강효과가 좋고,

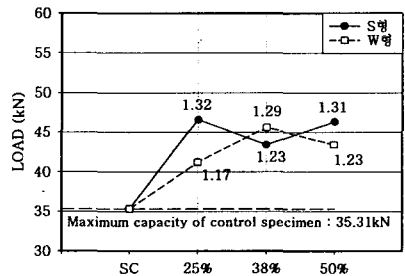


그림 4. S형과 W형보강법의 보강효과

균열의 발생이나 진행상황을 파악할 수 있는 S형 보강형태가 장점이 있는 것으로 판단된다.

### 3.3.3 보강량에 따른 보강효과

보강량에 따른 보강효과를 그림 4에 나타내었다. 기준시험체에 대해 CFS로 보강한 실험체들은 평균 1.26배의 내력이 증가하였다. 기준시험체의 최대내력과 비교하여 각 보강량에 따른 보강효과를 살펴보면 보강량 25%는 1.27배, 38%는 1.26배, 50%는 1.27배, 100%는 1.24배로 나타났다. 각 보강량에 따른 보강효과는 50%, 25%, 38%, 100%의 순서로 보강량과 보강효과는 비례하지 않는 것으로 나타났다.

본 실험에서는 보강량이 25%만 되어도 전단보강이 충분히 되어 파괴양상이 전단파괴에서 중앙부인장파괴로 바뀐 것을 알 수 있었다.

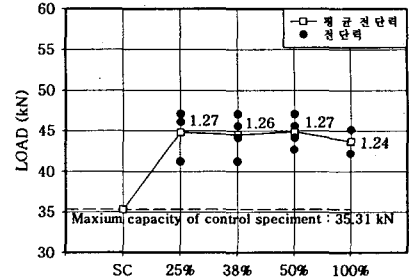


그림 5. 보강량에 따른 보강효과

## 4. 결론

본 연구에서는 탄소섬유시트의 보강량, 보강유형(I형, U형) 및 보강형태(S형, W형)에 따른 보강효과를 규명하기 위해 전단실험을 하였고, 얻어진 실험결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기준시험체의 최대전단내력과 보강시험체의 최대전단내력을 비교했을 때, 약 1.26배의 보강효과를 나타내었으며, 보강유형, 보강형태에 따라 16.67%~33.33% 내력이 증가 되었다.
- (2) 보강유형에 따른 보강효과는 비슷하게 나타났다. I형은 평균 25.39%, U형은 평균 27.08%의 내력 증가를 보여서 I형보다 U형이 미소하나마 보강효과가 좋은 것을 알 수 있다. 본 실험에서는 CFS와 콘크리트 계면에서 박리가 많이 일어나지 않았고 중앙부인장파괴 되어서 밀면을 보강함으로써 부착면적을 크게하여 박리를 방지하기 위한 U형보강은 I형보강유형과 비교하여 보강효과에 대한 차이는 크게 없는 것으로 판단된다.
- (3) CFS로 보강시 보강후 균열의 발생이나 진행상황을 파악할 수 있는 S형과 그렇지 않은 W형의 보강증가효율을 비교했을 때, S형은 평균 28.70%, W형은 평균 24.17%로 내력증가율이 비슷하게 나타났다. 따라서 미소하나마 보강효과가 좋고 보강 후 사후관리 측면에서 장점이 있는 S형이 유리한 것을 알 수 있다.
- (4) 보강량이 증가함에 따라 보강효과가 비례하여 증가하지 않은 것은 본 실험에서 전단보강량이 25%만 되어도 실험체가 최대 휨 내력에 도달되어 중앙부 인장파괴가 발생한 것이다. 이것은 기준시험체의 전단파괴와 비교하여 CFS를 보강함으로 파괴양상을 휨파괴로 바꾼 것으로 사료된다. 좀 더 정확한 보강량에 따른 보강효과를 규명하기 위해 앞으로 많은 실험과 연구가 행해져야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 김찬동, 안재혁, 박천석, 「纖維시트로 보강된 鐵筋콘크리트보의 剪斷耐力에 관한 實驗的 研究」 대한건축학회 연합논문집 3권 2호(통권7호), pp. 91~96, 2001
2. 이원호, 임재형, 백영수, 「탄소섬유시트로 전단 보강된 철근콘크리트 보의 보강효과」 대한건축학회 논문집 구조계, 17권 12호(통권158호), pp. 27~34, 2001
3. 김성수, 윤승조, 김연동, 이우진, 「CFS로 보강된 RC보의 구조내력에 관한 연구」 대한건축학회 논문집 구조계, 18권 4호(통권162호), pp. 27~34, 2002