

# 탄소섬유시트로 전단 보강된 철근콘크리트 기둥의 성능 평가

## The Performance of Shear Strengthened Reinforced Concrete Columns with Carbon Fiber Sheets

강경완<sup>\*</sup>      하상수<sup>\*\*</sup>      나정민<sup>\*\*\*</sup>      이용택<sup>\*\*\*\*</sup>      이리형<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kang, Kyoung-Wan    Ha, Sang-Soo    Na, Jung-Min    Lee, Yong-Taeg    Lee, Li-Hyung

### ABSTRACT

R/C columns, one of the main structural members of reinforced concrete structures, usually sustain the axial forces of combined dead loads and live loads. When subjected to lateral loads, however, they are repeatedly subjected to bending moment, shearing forces and brittle failure such as shear failure can occur. This failure mode is not desirable and extra reinforcement is usually needed to induce a ductile failure.

The design equation which is used to evaluate the maximum shear strength of a R/C column is still unsatisfactory. The objective of this study was, therefore, to evaluate the hysteretic strengthening effect and the maximum shear strength of R/C columns strengthened using the carbon fiber sheets. Experimental tests were carried out to evaluate the effect of the carbon fibers on the seismic performance of the R/C columns under anti-symmetrical by acting moment. According to this study, it may be suggested that the shear strengths of the strengthened R/C column were adequate to induce ductile failures.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 재료, 시공, 환경, 구조적인 요인 등에 따라 시공직후 또는 시간이 경과되면서 내력저하 등 각종 하자가 발생되어 보수·보강하는 건물이 수가 날로 증가하고 있다. 특히, 철근콘크리트 기둥의 경우, 건물의 용도변경 등으로 초기 설계하중보다 증가되거나, 철근부식 등으로 내력이 저하되는 경우에는 휨 및 전단보강을 하여야 한다. 최근, 일본의 지진피해(1995년 한신지진)에서 붕괴된 건물의 대부분은 기둥의 전단보강비가 낮았다는 것에 주목하여야 하며, 이로부터 철근콘크리트 기둥의 전단 보강은 내진 성능을 향상시키는데 중요한 요인이라는 것을 알 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet, 이하 "CFS"라 칭함)로 전단 보강된 철근콘크리트 기둥의 전단성능을 평가하기 위하여 우리 나라 극한강도 설계법으로 기둥 시험체를 설계 및 제작하며, 실험으로부터 CFS로 전단 보강된 R/C 기둥의 이력특성, 최대강도의 변화 등을 평가하고, 전단보강 설계법을 도출하여 합리적인 보강설계법 제정에 필요한 자료를 얻는 것을 목적으로 한다.

\* 한양대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 한양대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정희원, 청운대학교 건축공학과 교수·공학

\*\*\*\* 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수·공학

본 연구는 초대형구조시스템 연구센터 및 '97 한국과학재단 산학협력 연구과제(과제번호: 97-2 14 01-01-3) 연구비 지원에 의해 이루어진 결과의 일부로서, 이에 감사드립니다.

## 2. 실험

CFS의 보강방법과 보강량을 주요 실험변수로 하여 전단과괴가 선행되도록 기둥 시험체를 제작하며, 실험방법은 일정 축력 및 반복 횡하중을 가하도록 계획하였다. 기둥의 부족한 전단내력에 대해 CFS를 수평방향으로 보강하여 CFS의 양을 조금씩 증가시킴에 따라 전단내력의 향상효과와 기둥의 연성확보 여부를 부재각을 통해 확인하였다. 시험체는 무보강 시험체 4개와 보강량 및 보강방법을 변수로 하는 시험체 7개 총 11개였다. 기둥의 단면은 30×30cm의 정방형이며 기둥 높이는 90cm였다. 그리고 실험장치와의 연결을 위하여 주두 부분의 단면을 90×70cm, 높이 60cm로 계획하였다. 축력은  $0.15f_{ck}A_g$ 으로 실험이 진행되는 동안 일정하게 유지되도록 하였으며, 횡력은 시험체에 역대칭 모멘트가 발생하도록 가력 포인트를 시험체의 중심에 맞추어 계획된 변위이력에 따라 가력하였다. 횡력이 가력되는 동안 축하중에 의한 면외좌굴이 발생하지 않도록 Guide Frame과 Ball Jig를 설치하였다. 시험체 단면특성을 표 1 및 그림 1에 나타내었으며, 시험체 설치상황은 그림 2, 변위이력은 그림 3에 나타내었다.

$$\sum P_w = {}_sP_w + \frac{f_w}{s\sigma_{wy}} \times {}_fP_w \quad (1)$$

$\sum P_w$  : 총전단보강율,  ${}_sP_w$  : 후프의 전단보강율,  ${}_fP_w$  : CFS의 전단보강율

표 1 시험체 일람표

분류	시험체명	배근 및 보강		전단보강비(%)		
		전단보강	보강방법	CFS ( ${}_sP_w$ )	전단근 ( ${}_fP_w$ )	합계 ( $\sum P_w$ )
RC형	RC-015	7-D6 @130	-	-	0.151	0.151
	RC-059	11-D10 @80			0.592	0.592
	RC-079	16-D10 @60			0.789	0.789
	RC-118	22-D10 @40			1.183	1.183
CFS 보강형	CF-026	7-D6@130+W40	수평	0.0228	0.148	0.259
	CF-031	7-D6@130+W60	수평	0.0342		0.314
	CF-038	7-D6@130+W85	수평	0.0484		0.381
	CF-050	7-D6 @130+1겹	수평	0.0740		0.503
	CF-086	7-D6 @130+2겹	수평	0.1480		0.856
	CF-062	7-D6 @130+W300	수평	0.0987		0.621
	CF-VH	7-D6 @130+2겹	수직+수평	0.0740		0.503

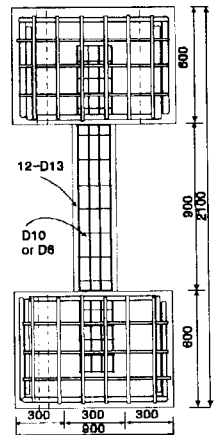


그림 1 시험체 (단위:mm)

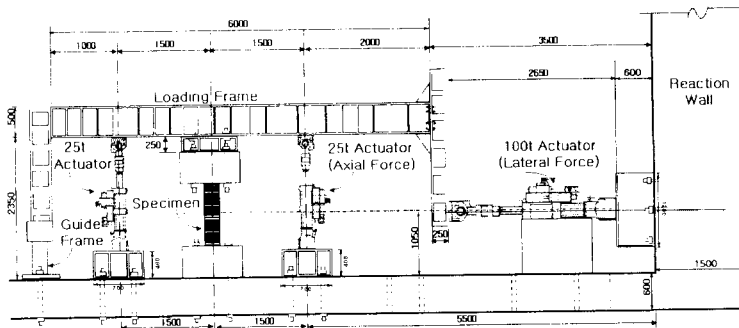


그림 2 시험체 Setting (단위:mm)

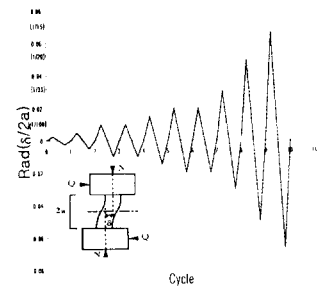


그림 3 Loading Cycle

### 3. 실험결과

#### 3.1 파괴양상

대부분의 시험체가 1 cycle 이후 주두 접합부에서 미세한 휨 균열이 발생하고 2~3 cycle에서 상하단에 전단균열이 발생하기 시작하였다. 보강하지 않은 시험체의 경우 전단보강비가 작을수록 초기 전단균열이 고르게 분산되지 못한 반면, 전단보강비가 클수록 전단균열이 전체적으로 확산되어 고르게 분포하였다. CFS로 보강된 시험체도 상하단에 초기 전단균열이 발생하여 중앙으로 확산되어 갔으며, 대부분 상하단의 CFS가 최대내력 이후 파단하고 그 부분에서 콘크리트 박리가 발생하기 시작하였다.

#### 3.2 하중-변위 곡선 및 연성능력

대표적인 시험체의 하중-변위 곡선을 그림 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 기준 시험체를 제외한 모든 시험체의 주관이 3~5 cycle에서 항복하였으며, 최대내력은 기준 시험체를 제외하고는 5 cycle에서 발생되었다. 또한 전단보강비가 클수록 최대내력이 증가하였으나 보강량에 비해 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 시험체의 초기강성은 거의 비슷하게 나타나 보강량과는 큰 관계가 없음을 보여주었으나, 연성 및 변형능력에 있어서는 보강량에 비례하여 증가하였다. 또한, 전단보강근 또는 CFS의 보강량이 클수록 강성 및 강도 저하가 작기 때문에 에너지 소산능력은 향상되었다.

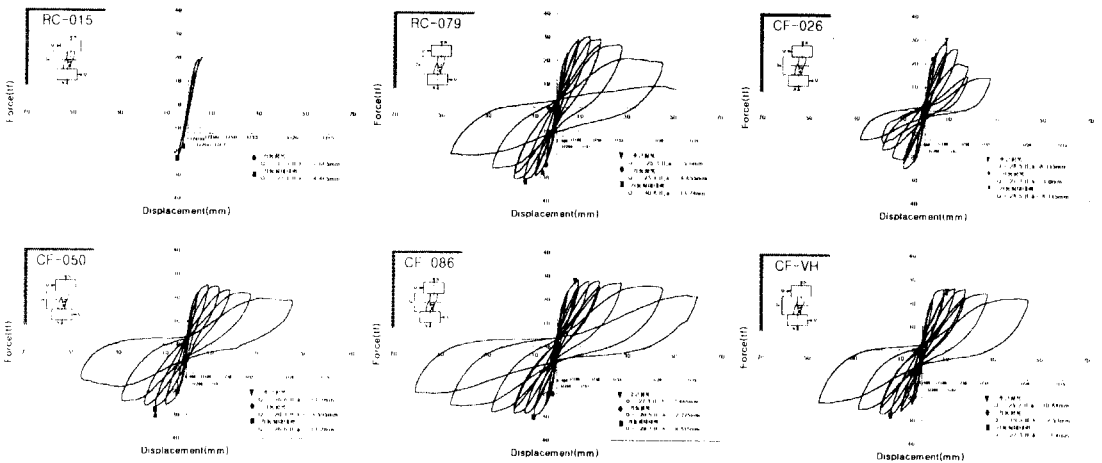


그림 4 시험체의 하중-변위 곡선 비교

#### 3.3 강도평가

본 연구에서 강도평가는 일본방재협회 기술발표(1997년 2월)의 전단내력식에서 강도저감계수( $\alpha$ )에 대한 변환식을 구하여 최소값 1.0를 도출하였고(그림 5 참조), 이를 적용하여 실험값과 이론값을 비교한 결과 18% 내외의 오차를 보이며 안전측에서 전단내력을 평가할 수 있다고 판단된다(그림 6 참조).

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 \cdot \rho_t^{0.23} \cdot (180 + \sigma_B)}{\frac{M}{Qd} + 0.12} + 2.7 \cdot \sqrt{s\rho_u \cdot s\sigma_{uy} + \alpha \cdot \rho_u \cdot f\sigma_u} + 0.1 \cdot \sigma_0 \right\} \cdot b \cdot j \quad (2)$$

$\rho_t$  : 인장철근비,  $\sigma_B$  : 콘크리트의 압축강도,  $M/Qd$  : 전단스팬비,  $\sigma_0$  : 축응력,  $b$  : 기둥의 폭,

$j$  : 압축력과 인장력의 거리,  $s\sigma_{uy}$  : 띠철근의 항복강도,  $f\sigma_u$  : CFS의 인장강도

$$\alpha = \frac{\left[ \left( \frac{Q_{su}}{b_j} - \frac{0.053\rho_l^{0.23}(180 + \sigma_B)}{M/Q_d + 0.12} - 0.1\sigma_0 \right) / 2.7 \right]^2 - s\rho_u s\sigma_{uy}}{\rho_u \rho_{\sigma_u}} \quad (3)$$

표 2 실험결과와 진단내력식의 비교 ( $\alpha=0.67$ 은 일본에서 권장하는 값)

시험체명	Q <sub>test</sub> (t)	$\alpha=0.67$		$\alpha=1$	
		Q <sub>su</sub> (t)	Q <sub>test</sub> /Q <sub>su</sub>	Q <sub>su</sub> (t)	Q <sub>test</sub> /Q <sub>su</sub>
RC-015	21.6	20.76	1.038	20.76	1.038
RC-059	26.3	26.42	0.996	26.42	0.996
RC-079	30.6	28.18	1.084	28.18	1.084
RC-118	31.7	31.15	1.016	31.15	1.016
CF-026	26.8	22.02	1.215	22.56	1.186
CF-031	26.0	22.57	1.152	23.31	1.115
CF-038	27.7	23.20	1.194	24.17	1.146
CF-050	26.0	24.23	1.073	25.53	1.018
CF-086	28.8	26.71	1.078	28.73	1.002
CF-062	27.8	25.13	1.104	26.70	1.039
CF-VH	26.8	24.23	1.104	25.53	1.048

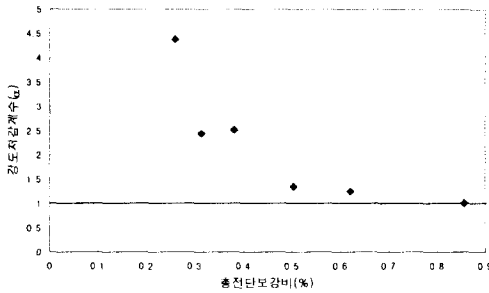


그림 5 강도저감계수 도출

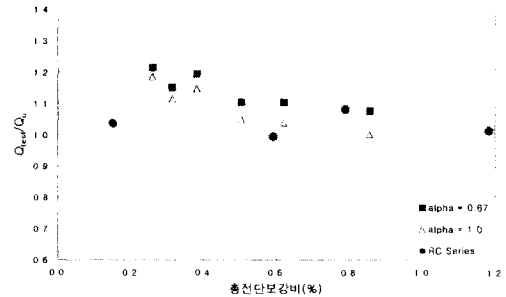


그림 6 총진단보강비에 따른 실험값/이론값

#### 4. 결론

- 1) CFS 보강량을 증가시킴으로써 기둥의 진단내력이 향상된다는 것을 알 수 있었다.
- 2) CFS로 진단보강된 R/C기둥의 최대 진단내력은 일본방재협회의 진단내력식을 사용할 경우, 제한된 본 연구에 대해서 CFS에 대한 강도저감계수 1.0을 적용하면 잘 예측할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 무보강 시험체에서 진단보강비가 증가할수록 시험체 단부에서 휨 항복이 먼저 발생되었으며, 진단 균열의 발생이 억제된 것으로 나타났다.
- 4) 진단보강비가 증가할수록 에너지 소산능력 및 변형능력이 증가한 것으로 나타났다.
- 5) CFS의 보강량이 증가할수록 연성비와 변형능력이 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.
- 6) 최대 진단내력 평가시 CFS의 진단보강 효과는 CFS와 락철근의 강도비( $\sigma_w/\sigma_v$ )를 사용하여 CFS를 락철근비로 치환하는 방법을 이용함으로써 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 5. 참고문헌

- 1) 連続纖維補講材のコンクリート構造への應用, 1998年 9月 11日, 日本建築學會・構造委員會
- 2) Yasuhiro Matsuzaki의 4명 "Ductility of Retrofitted RC Columns with Continuous Fiber Sheets", Non-Metallic(FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Vol. 1, 1997