

# 탄소섬유쉬트로 횡구속된 RC기둥의 압축거동

## Axial Compressive Behavior of R/C Columns Confined with Carbon Fiber Sheets

신 성 우<sup>\*</sup> 이 광 수<sup>\*\*</sup> 심 성 택<sup>\*\*\*</sup> 송 민 성<sup>\*\*\*</sup>  
Shin, Sung Woo Lee, Kwang Soo Shim, Sung Tack Song, Min Sung

### ABSTRACT

External Confinement of concrete in CFS enhances strength and ductility of concrete columns. This paper presents the test results on the study of reinforced concrete columns strengthened with carbon fiber sheets. The purpose of this research is to evaluate the CFS confinement characteristics of square reinforced concrete columns and the CFS efficiency. The tests were performed with different lateral reinforcement ratios, CFS reinforcement ratios and concrete strength. Test results were characterized according to maximum loads and lateral strain of CFS.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 구조물의 결함 및 자연적인 노후화와 증축 및 설계변경에 따른 기둥 내력증가 요구시에 보수·보강의 필요성이 크게 증가하고 있다. 이러한 필요성의 증가로 인하여 새로운 보수보강 기술이 끊임없이 개발되어 왔다. 기둥부재의 보강은 단면증설법이나 강판보강법이 많이 이용되고 있으나, 높은 인건비, 강판연결의 어려움, 강판의 부식문제, 단면의 일체성 확보 등의 어려움으로 그 사용이 제한적이었다. 탄소섬유쉬트의 경우에는 단위 무게당 높은 강도, 무한정 사용가능한 길이, 간단한 시공, 일체성확보의 용이, 내부식성 등으로 인하여 강판보강법보다 선호하는 공법으로 인식되고 있다. 탄소섬유쉬트에 의해 콘크리트를 구속하면 큰 에너지 소산능력을 가지게 할 뿐만 아니라 상당량의 강도와 연성을 증가시킨다. CFS보강에 대한 설계법은 힘의 평형이나, 재료의 성질 등에 대해서는 현재 철근콘크리트 구조에서 사용하고 있는 기본 원리와 동일하다. 현재의 설계방법은 기존의 철근을 보강한 콘크리트 기둥에 대한 모델을 단순하게 확장하여 사용하고 있다. 따라서 콘크리트 강도에 따른 고려, 연성거동을 유지할 수 있는 보강강도의 한계, CFS의 강도감소계수 등과 같은 기준이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 중심축력을 받는 CFS로 구속한 철근콘크리트기둥의 거동과 CFS의 내력증진 효과에 대해 알아보려고 한다.

\*정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

\*\*정회원, 여주대학교 건축학과 부교수

\*\*\*정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

## 2. 실험

### 2.1 실험체 제작 및 측정

폭 20cm, 높이 70cm인 각형실험체로 콘크리트의 압축강도는  $330\text{kgf/cm}^2$ ,  $538\text{kgf/cm}^2$ 이고 철근의 항복강도는 띠철근(D10), 주근(D13)이 각각  $4320\text{kgf/cm}^2$ ,  $4204\text{kgf/cm}^2$ 를 사용하였다. 보강된 CFS는 인장강도  $40,000\text{kgf/cm}^2$ , 탄성계수  $2.53 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ 인 무수지 일방향 CARBONEX SHEET-NR73을 사용하였다. 실험체의 상세는 그림 1과 같으며 CFS의 보강량은 ACI에서 제한하는 띠철근 산정식에 CFS의 면적과 설계강도를 환산하여 보강하였다.

측변위를 측정하기 위해 LVDT를 설치하였고 실험체 중앙에 주근, 띠철근, CFS, 콘크리트에 각각 2개의 스트레인 게이지를 부착하여 각각의 변형을 측정하였다. 실험은 MTS Rock Machine(최대용량 280tonf)을 사용하여 수행하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 실험체의 상·하부를 보강하고 철판을 대어 상부의 하중이 균등하게 실험체에 작용하도록 하였고 횡보강(띠철근+CFS)에 따른 연성변화의 거동을 관찰하기 위해 변위조절방식으로 가력하였다.

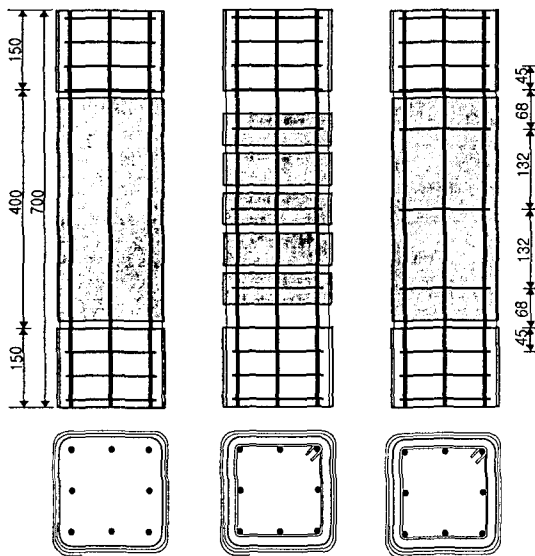


그림 1 실험체 상세도

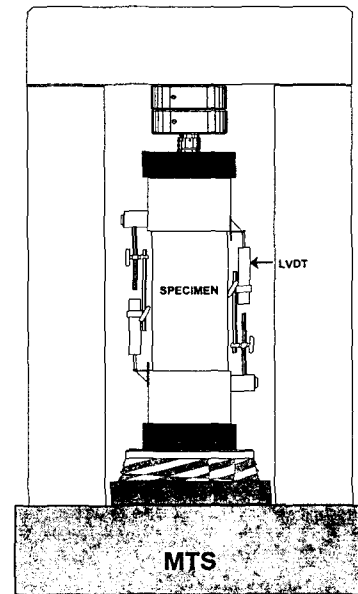


그림 2 실험체 설치상황

### 2.2 실험결과 및 분석

보강된 실험체의 경우에는 실험체의 중간부분에서 CFS가 부분적으로 파단되기 시작하여 하중이 증가함에 따라 파단되는 CFS부위가 증가하면서 하중이 감소하는 연성적인 거동을 보였다. 특히 2ply 이상 보강한 실험체는 최대강도가 주근의 항복후에 나타났다. 실험을 통해 얻은 결과는 표 1과 같다.

표 1 압축실험 결과

실험체명	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\rho_s$ (%)	$\rho_{cfs}$ (%)	최대강도 상태			$\epsilon_y$	$\epsilon_{max}$		
				$\sigma_{max}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	축변형률	횡변형률				
PNC	330	0	0	264	0.002024	-	0.001862	0.002392		
NC-0-0			0	400.725	0.002207	0.000454	0.001742	0.0036		
NC-0-50			50	448.6	0.003086	0.001009	0.002344	0.020733		
NC-0-100			100	472.575	0.00404	0.001231	0.00242	0.023147		
NC-0-125			125	467.5	0.002683	0.000294	0.00223	0.020733		
NC-0-150			150	477.65	0.00415	0.00226	0.002372	0.020942		
NC-0-200			200	454.9	0.02298	-	0.002325	0.030325		
NC-0-250			250	567.35	0.0194	0.009789	0.002257	0.026		
NC-0-0-C			0	399.075	0.0022	0.000934	0.001874	0.005333		
NC-50-0-C			50	0	402.6	0.0032	0.000737	0.002428	0.012629	
NC-100-0-C			100	0	448.325	0.003392	0.000956	0.002458	0.020676	
NC-0-100-C			0	100	432.425	0.003178	0.003368	0.002217	0.011397	
NC-50-50-C			50	50	413.25	0.003757	0.002649	0.002511	0.013657	
NC-50-100-C			100	456.7	0.002946	0.002727	0.002689	0.020122		
NC-50-200-C			200	482.7	0.019943	0.010333	0.002478	0.027258		
NC-50-300-C			300	622.75	0.029297	0.011031	0.002486	0.036216		
NC-50-400-C			400	647.6	0.043887	0.008845	0.002507	0.055775		
NC-50-500-C			500	708.12	0.04761	0.008062	0.002487	0.04761		
HC-0-0-C			538	0	0	585	0.004625	-	0.0046	0.015
HC-0-100-C					100	632.5	0.004288	0.0032307	0.0043	0.0043
HC-0-100-C	100	620			0.005163	0.0041725	0.0053	0.0055		
HC-50-50-C	50	50		605	0.01095	0.003563	0.0042	0.011		
HC-50-100-C		100		640.75	0.005675	0.002956	0.0057	0.0038		

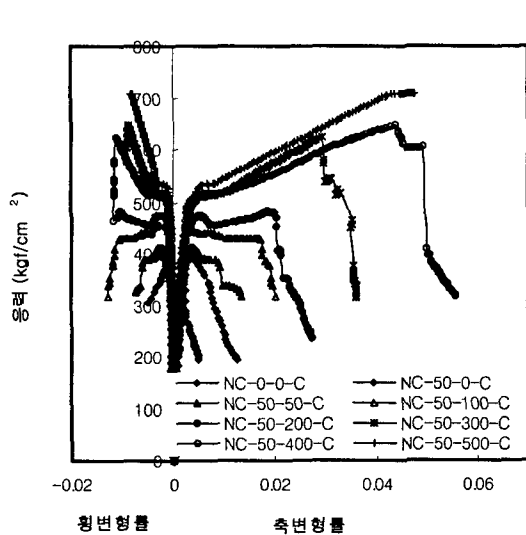


그림 3 응력-변형률 곡선

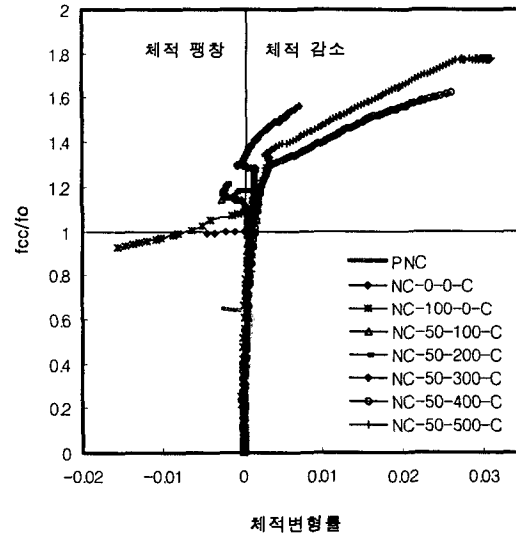


그림 4 실험체의 체적변형률

횡보강이 되지 않은 실험체의 경우에는 초기에는 체적이 감소하다 하중이 증가함에 따라 체적이 급

격히 팽창하여 파괴되는 반면 보강된 실험체는 초기에는 같은 거동을 보이거나 점차 띠철근과 CFS의 횡구속 효과에 의해서 횡방향으로의 팽창이 억제되어 체적이 줄어들게 된다(그림 4).

### 3. 탄소섬유슈트의 강도감소계수

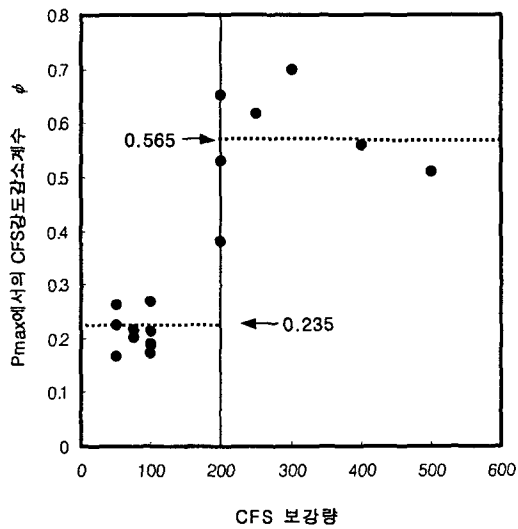


그림 5 CFS보강량에 따른 강도감소계수

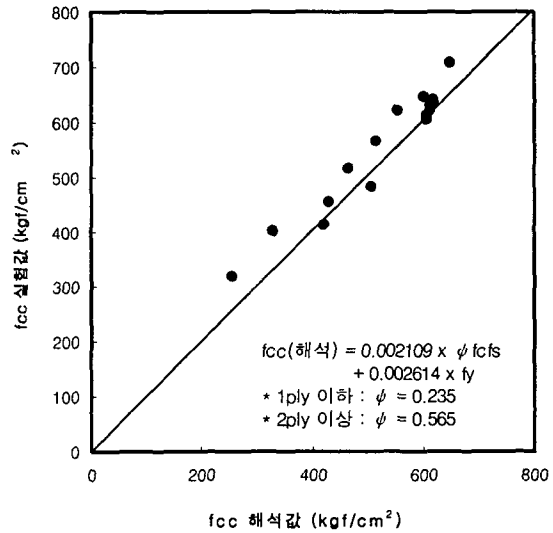


그림 6 강도감소계수에 따른 최대강도

CFS를 1ply이하로 보강할 경우에는 0.235, 2ply이상 보강하였을 경우에는 0.565의 CFS 강도감소계수  $\phi$ 를 나타내었다. 이 강도감소계수를 기존 이론(Mander, J. B. et al(1988), Yung C. Wang and Jose I. Restrepo(2001))을 적용하여  $f_{cc}$ 값을 구하고 실험값과 비교한 결과 대부분 안전측으로 나타났다.

### 4. 탄소섬유슈트의 내력 평가

표 2 CFS와 띠철근의 내력평가

실험체명	$f_{max}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_{oc}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_{tie}$		$f_{cfs}$		전체보강량		
					보강효과 (kgf/cm <sup>2</sup> )	증가비 (%)	보강효과 (kgf/cm <sup>2</sup> )	증가비 (%)	보강효과 (kgf/cm <sup>2</sup> )	증가비 (%)	
NC-0-50	448.6	273.36	106.97	341.63	-	-	68.27	15.22	68.27	15.22	
NC-0-100	472.58			365.59	-	-	92.23	19.52	92.23	19.52	
NC-0-125	467.5			360.53	-	-	87.17	18.53	87.17	18.53	
NC-0-150	477.65			370.68	-	-	97.32	20.37	97.32	20.37	
NC-0-200	454.9			347.93	-	-	74.57	16.39	74.57	16.39	
NC-0-225	517.33			410.36	-	-	136.99	26.48	136.99	26.48	
NC-0-250	567.35			460.38	-	-	187.02	32.96	187.02	32.96	
NC-50-0-C	402.6			295.63	22.27	5.53	-	-	22.27	5.53	
NC-50-50-C	413.25			306.28	22.27	5.39	10.65	2.58	32.92	7.97	
NC-50-100-C	456.7			349.73	22.27	4.88	54.1	11.85	76.37	16.73	
NC-50-200-C	482.9			375.93	22.27	4.62	80.1	16.62	102.37	21.24	
NC-50-300-C	622.75			121.31	501.44	22.27	3.58	205.81	33.05	228.08	36.63
NC-50-400-C	647.6			132.51	515.09	22.27	3.44	219.46	33.89	241.73	37.33
NC-50-500-C	708.12			134.92	573.2	22.27	3.14	277.57	39.2	299.84	42.34

$$f_{max} = f_s + f_c \quad f_{max} : \text{실험체의 최대 내력} \quad f_{tie} : \text{띠철근에 의한 내력}$$

$$f_c = f_{oc} + f_{tie} + f_{cfs} \quad f_s : \text{주근에 의한 내력} \quad f_{cfs} : \text{CFS에 의한 내력}$$

$$f_{oc} : \text{콘크리트에 의한 내력}$$

위의 식에 따라 띠철근과 CFS의 내력을 평가하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 3ply에서 큰 내력증진을 보였으며 그후에는 다시 약간씩의 내력 증진을 보였다. 또한 3ply이상에서는 띠철근과 CFS의 보강효과의 증가 외에도 주근의 변형경화에 의해서  $f_s$ 가 증가하는 것을 볼 수 있다.

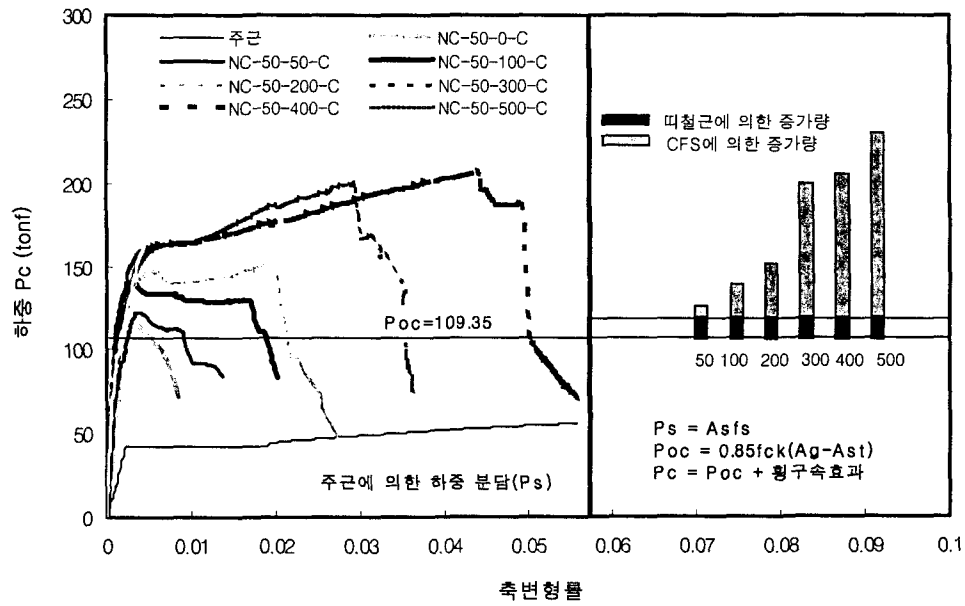


그림 7 CFS와 띠철근의 내력산정

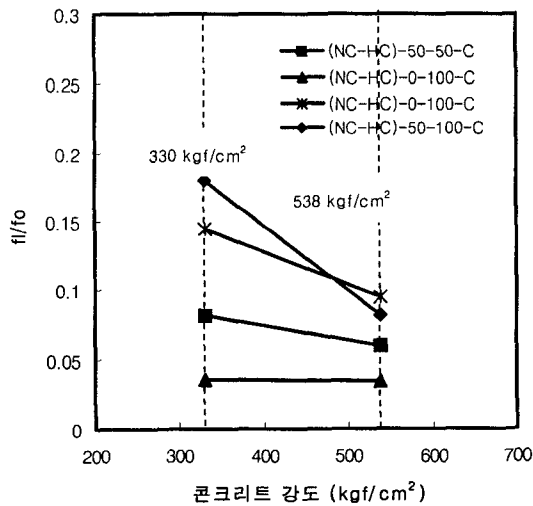


그림 8 콘크리트 강도에 따른 보강효과

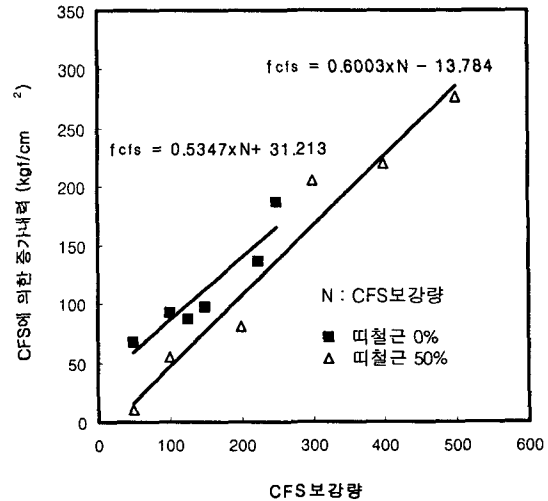


그림 9 띠철근의 유·무에 따른 제안식

보통강도 콘크리트의 경우에는  $0.75 f_{cc} \sim 0.8 f_{cc}$  정도에서 임계응력이 발생하여 균열의 수가 증가하면서 체적이 급격히 증가한다. 체적팽창은 띠철근과 CFS의 횡구속력을 유발시켜 횡구속력을 유발시키게 된다. 반면에 강도가 고강도로 갈수록 임계응력은  $0.9 f_{cc}$  정도가 되고 가해진 응력방향과 비교적 평행하게 골재가 파단되면서 파괴가 일어나 횡변형률이 보통강도보다 작아진다. 따라서 횡구속력 또한 작아지는 경향이 있다.(그림 8) 띠철근이 있는 경우에는 띠철근과 CFS가 동시에 횡구속력을 유발시키므로 CFS만으로 보강한 경우보다 CFS의 보강 효율이 더 작아지는 경향을 보이고 있다. (그림 9)

## 5. 결론

- (1) CFS보강시에 3ply 이상에서 큰 강도의 증가가 있었으며, 1ply 이하에서 0.235, 2ply 이상에서는 0.565의 CFS의 강도감소계수를 보였으며 CFS의 효율적인 사용을 위해서는 최소 2ply 이상을 시공해야 할 것으로 사료된다. 콘크리트 강도면에 있어서는 강도가 높아질수록 횡구속 효과는 작아지는 경향을 보였다.
- (2) CFS의 정확한 강도감소계수를 적용하기 위해서는 하중가력시 CFS의 변형도에 대한 한계를 설정하기 위한 연구가 필요하며, CFS로 보강된 기둥의 정확한 횡구속효과를 알기 위해서는 띠철근과 CFS가 동시에 횡구속력을 발생시킬 때의 횡구속메커니즘에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2001년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구 되었음.

## 참고문헌

1. 황준호, "탄소섬유쉬트로 횡보강된 R/C 단주의 압축거동", 한양대학교 석사학위논문, 1998
2. Amir Mirmiran and Mohsen Shahawy, "Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites", ASCE, May, 1997, pp. 583~590.
3. Michel Saman, Amir Mirmiran and Mohsen Shahawy, "Model of Concrete Confined by Fiber Composites", ASCE, September, 1998, pp. 1025~1031.
4. Saatcioglu, M. et al., "Strength and Ductility of Confined Concrete", ASCE, June, 1992, 118(6), pp. 1590~1607.
5. Mander, J. B. et al. "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, August, 1988, 114(8), pp. 1804~1826.
7. 천성철 외 3인, "탄소섬유로 횡구속된 콘크리트의 강도특성에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 18권 2호, 1998, 10, pp. 335~340.
8. Shamim A. Sheikh and S. M. Uzumeri, ASCE, December, 1982, 108(12), pp. 2703~2721
9. Salim Razvi and Murat Saatcioglu, "Confinement Model for High-Strength Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, March, 1999, 125(3), pp. 281~289.
10. Yung C. Wang and Jose I. Restrepo, "Investigation of Concentrically Loaded Reinforced Concrete Columns Confined with Glass Fiber-Reinforced Polymer Jackets", ACI Structural Journal, May - June, 2001, pp. 377~385.