

탄소섬유시트로 횡보강된 R/C단주의 압축거동

Axial Compressive Behavior of the R/C Short Columns Strengthened with CFS

신 성 우* 반 병 열** 이 광 수*** 안 종 문**** 황 준 호****

Shin, Sung-Woo Bahn, Byong-Youl Lee, Kwang-Soo Ahn, Jong-Moon Hwang, Jun-Ho

Abstract

To observe the confinement effects of Carbon Fiber Sheet(CFS) on the high-strength R/C short columns, Fifteen specimens with CFS were manufactured and tested under uni-axial compressive load. Major variables of this study are amount, spacing, type of CFS and amount of transverse steel. Increasing the amount of transverse steel and CFS, compressive strength and axial rigidity is improved. R/C columns with transverse steel and CFS exhibited less axial stress than columns with only CFS. From the test results, it is shown that the area confined with transverse steel and CFS is considerably important to evaluate axial stress of R/C short columns.

Key words : Carbon fiber sheet, R/C short column, Uni-axial compressive load, axial stress

1. 서 론

구조물에서 기둥은 하중을 지지하는 중요한 역할을 하고 있다. 최근에는 기둥에 대한 내력증진 방안이나 횡보강근의 구속효과 및 기둥의 연성을 확보하기 위한 다양한 연구가 진행중이고 이런

연구들은 구조체의 강도 및 연성설계를 주로 다루고 있다. 그러나 최근에는 구조물의 설계뿐만 아니라 구조내력이 저하되거나 사용성이 떨어진 구조체에 대한 많은 보수·보강이 이루어지고 있다. 그럼에도 불구하고 보수·보강방법에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 일부 강판을 이용한

* 한양대학교 건축공학과 교수
** 대전대학교 건축공학과 교수
*** 여주대학교 건축공학과 교수
**** 한양대학교 건축공학과 대학원

• 본 논문에 대한 토의를 1999년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 1999년 4월호 토론결과를 게재하겠습니다.

실험이 진행되고 있지만 시공성이나 자중면에서 유리한 탄소섬유쉬트의 보강효과에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

따라서 보수·보강에 주로 사용되는 탄소섬유쉬트의 구조적특성에 관한 연구가 필요하며, 본 연구에서는 중심축력을 받는 고강도($f'c=538\text{kg/cm}^2$) 철근콘크리트 단주(short columns)를 대상으로 주근양과 기둥단면은 일정하게 유지하고 탄소섬유쉬트와 에폭시를 사용하여 보강하기로 한다.

본 연구의 목적은 탄소섬유쉬트로 보강된 단주의 축응력-축변형도 및 전채변형관계 등을 관찰하며 그 결과를 바탕으로 R/C단주에 보강된 탄소섬유쉬트가 주근과 횡보강근에 미치는 영향 및 탄소섬유쉬트만에 의한 보강효과 평가를 위한 자료를 제공하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험

2.1 사용재료

2.1.1 콘크리트 및 철근

본 연구에 사용된 콘크리트의 압축강도는 538kg/cm^2 이고 철근(D10)의 항복강도는 3366kg/cm^2 이며 재료의 특성은 Table 1과 Table 2에 나타나 있다.

Table 1. 콘크리트의 압축강도 시험결과

구분 재령	EC(kg/cm ²)	$f'c$ (kg/cm ²)	$\epsilon_u(\times 10^{-6})$
58일	2.86×10^9	538	3211

Table 2. 철근의 인장강도 시험결과

종류	ES(kg/cm ²)	f_y (kg/cm ²)	$\epsilon_y(\times 10^{-6})$
D10	1.73×10^9	3366	1943

2.1.2 탄소섬유쉬트(Carbon Fiber Sheet) 및 에폭시

본 실험에서 사용된 탄소섬유쉬트(이하 CFS)는 무수지 일방향 탄소섬유쉬트인 CARBONEX

SHEET-NR72 이고 일반적인 재료 성질은 Table 3 과 Table 4에 나타나있다.

Table 3. CFS의 재료적 성질

설계강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ^폭)	설계탄성율 (kg/cm ²)	인장탄성율 (kg/cm ^폭)
39644	436	2.68×10^6	29448

Table 4. 에폭시수지의 물성

인장강도 (kg/cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)	휨강도 (kg/cm ²)	전단강도 (kg/cm ²)
400	750	700	300

시험방법: ASTM D 3039에 의함.

2.2 실험

2.2.1 실험계획

콘크리트의 강도와 주근을 일정하게 하였고 횡보강근비, CFS 보강비, 보강방법을 주요 변수로 하였으며 실험체 상세는 Fig 1과 같다. 기둥의 구속효과에 큰 영향을 미치는 횡보강근비를 0, 50 그리고 100%로 하였고, CFS의 보강량은 현재 규준이 없으므로 CFS가 부재와 일체화하여 거동하는 것으로 가정하여 ACI에서 제한하는 횡보강근 산정식에 CFS의 면적과 설계강도를 환산하여 0, 50, 75, 100, 200 그리고 300%로 보강하였다. 보강 방법은 strip, patch, patch continuous의 세가지 방법으로 선정하였다.

2.2.2 하중재하 및 측정방법

실험체는 MTS Rock Machine(최대용량 270ton)을 사용하였다. 실험체의 상부와 하부에 철골로 CAP을 씌워 단부보강을 하였고 그 위·아래에 철판(steel plate thick : 50mm)을 대어 상부의 하중이 균등하게 실험체에 작용하도록 하여 실험체는 변위조절방식으로 가력하였다. 실험시 각 자료취득을 위한 방법으로는 실험체 양쪽에 설치된 LVDT로 실험체 중앙부의 변위를 측정하였으며, 콘크리트와 철근, 그리고 CFS의 변형율은 Strain Gauge를 부착하여

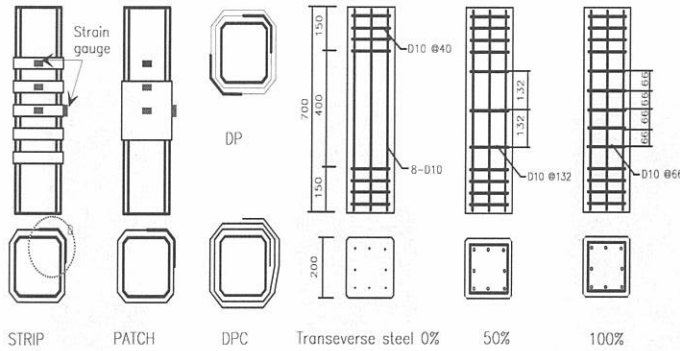


Fig. 1. 실험체 상세도

실험체명

HC-50-100-DS

HC : 콘크리트 압축강도

$$f'c = 538 \text{ kg/cm}^2$$

50 : 횡보강근비

100 : 탄소섬유보강비

DS : Strip형

DP : Patch형

Data Logger로 받아들였다.(Fig. 2)

3. 실험결과 및 고찰

실험결과는 파괴상황, 축응력-축변형도, CFS와 주근 그리고 횡보강근의 변형, 최대하중, CFS의 보강효과로 나누어 분석하였고 실험체에 대한 실험결과는 Table 5과 같다.

3.1 실험체 파괴양상

Fig.3은 대표적인 실험체의 최종파괴를 나타낸

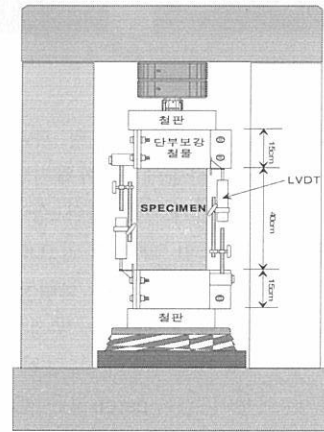


Fig. 2. 실험체 설치상황

Table 5. 실험결과 일람표

실험체명	횡보강근비 (%)	횡보강근 채적비	CFS 보강비(%)	CFS 채적비	전체 보강비	전체보강 채적비	실험결과			
							Pmax (ton)	σ_{max} (kg/cm ²)	ϵ_y	ϵ_{max}
HC-100-0	100	0.0107	0	0	100	0.0107	235	587.5	0.0045	0.0084
HC-0-0	0	0			0	0	218	545	0.0046	0.0150
HC-50-0	50	0.00535	0	0	50	0.00535	229	572.5	0.005	0.0130
HC-0-100-DS	0	0	100	0.0107	100	0.0107	237	592.5	0.0043	0.0043
HC-0-100-DP							232	580	0.0053	0.0055
HC-0-200-DP	0	0	200	0.0214	200	0.0214	240.2	600.5	0.005	0.0050
HC-0-200-DPC							252.5	631.3	0.0049	0.0092
HC-0-300-DP	0	0	300	0.0321	300	0.0321	259	647.5	0.0053	0.0102
*HC-0-300-DPC							-	-	-	-
HC-50-50-DS	50	0.00535	50	0.00535	100	0.0107	226	565	0.0062	0.0062
HC-50-50-DP							230	575	0.0042	0.0110
HC-50-75-DS	50	0.00535	75	0.00803	125	0.01338	233	582.5	0.0057	0.0069
HC-50-75-DP							237	592.5	0.0045	0.0045
HC-50-100-DS	50	0.00535	100	0.0107	150	0.01605	239.5	598.8	0.004	0.0045
HC-50-100-DP							240.3	600.8	0.0038	0.0057

* failed specimen

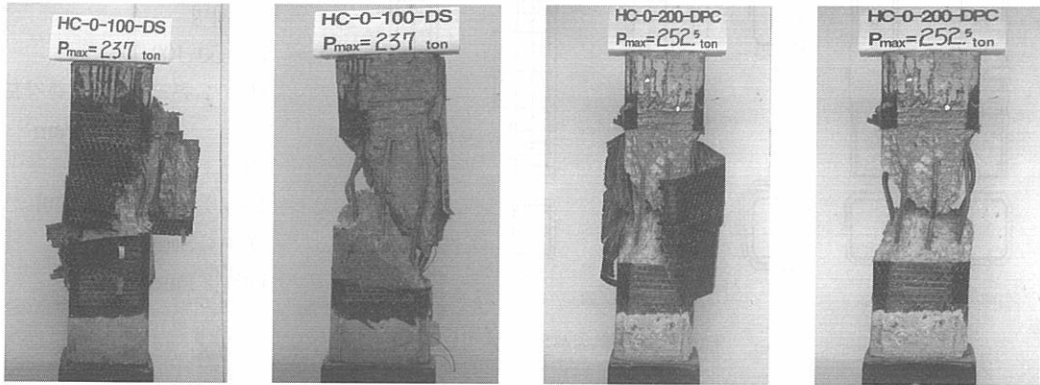


Fig. 3. 실험체 파괴상황

것으로 코아(core)콘크리트가 거의 파괴되었다. 실험체 대부분은 최대하중에 가까워지면서 CFS를 접착하고 있는 에폭시가 균열음과 동시에 박리하기 시작하면서 급작스런 파괴를 일으켰다.

횡보강근과 CFS가 보강된 실험체 대부분은 CFS가 배근된 사이에서 파괴가 발생했고 strip형은 실험체 중간 높이에서부터 보강된 CFS가 차례로 파괴가 이루어지나 patch형은 CFS가 전체적으로 파괴되었다. 파괴된 실험체를 자세히 살펴보면 파괴가 45°~70°의 각을 이루며 파괴된 것을 관찰할 수 있다.

3.2 축응력-축변형도 곡선

Fig. 4는 횡보강근이 없고 CFS만으로 코아콘크

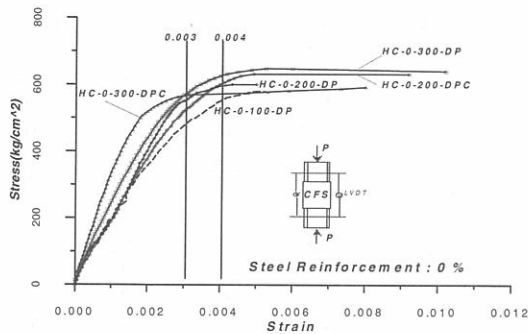


Fig. 4. 축응력-변형도 곡선(횡보강근 0%)

리트를 구속한 실험체에 대한 축응력-축변형도 곡선을 나타낸 것으로서, CFS량이 증가할수록 축변형도가 증가하고 최대내력도 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 5와 같이 횡보강근과 CFS가 동시에 보강된 실험체는 최대내력의 증가는 크지않으나 CFS량이 증가함에 따라 축강성(axial rigidity)이 증가하였고 축변형도는 CFS만 보강된 실험체들과 비슷하게 나타났다. 최대내력시 축변형도는 대부분의 실험체에서 0.004를 나타내고 있다. 특히 횡보강근이 보강되지 않은 실험체는 내력이 감소하지 않고 계속 증가하고 있다. 이는 횡보강근에 의해 구속되는 코아콘크리트의 기동단면은 주근의 내부에 국한되나 CFS는 기동단면 전체를 구속함으로써 Fig과 같은 경향을 보이는 것으로

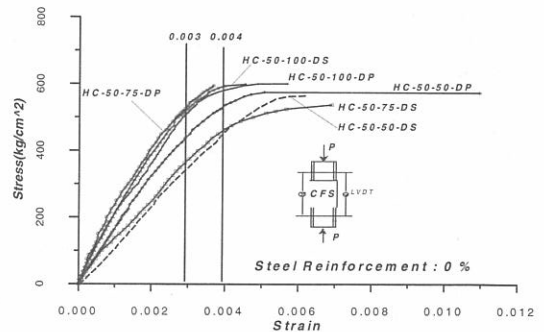


Fig. 5. 축응력-변형도 곡선(횡보강근 50%)

판단된다. 또한 횡보강근이 50% 보강된 실험체들보다 CFS만으로 보강된 실험체들의 축강성과 축변형이 높음을 알 수 있으며 이러한 실험결과는 향후 RC기둥의 보강에 중요한 이론적 근거가 될 수 있을 것으로 보여진다. 그리고 strip형보다 patch형의 축강성과 축응력이 더 높게 나타났다.

3.3 CFS, 주근 및 횡보강근의 하중-변형도

CFS로 보강된 기둥 실험체의 측정위치에 따른 변형율이 Fig. 6과 Fig. 7에 나타나 있다. CFS의 변형은 patch형의 경우 중앙부가 가장 크며, strip형의 경우는 위치에 따라 고른 분포를 보이고 있다. 특히 횡보강근이 배근된 실험체는 CFS의 변형이 큰부분은 횡보강근의 변형이 적게 나타나고 CFS의 변형이 작은부분은 횡보강근의 변형이 크게 나타나고 있다. 이는 CFS로 보강된 R/C기둥

에서 횡구속효과가 CFS와 횡보강근이 상호보완적으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한, 이러한 변형분포는 3.2절에서 논의된 CFS만으로 횡보강된 실험체와 CFS와 횡보강근으로 구속된 실험체의 축응력-축변형도 거동 차이를 추가적으로 설명하고 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 주근과 횡보강근, 그리고 CFS의 변형도를 나타낸 것으로 주근이 항복하기 전에는 횡보강근과 CFS는 거의 변형을 하지 않고 주근이 항복한 후에 횡보강근과 CFS의 변형이 급격하게 증가하고 있다. 특히 Fig.9는 전체보강량에 따른 변형도를 나타낸 것으로 CFS만으로 보강된 실험체의 구속효과가 횡보강근과 CFS가 함께 보강된 실험체나 횡보강근만으로 보강된 실험체보다 훨씬 뛰어남을 알 수 있다. 이는 CFS가 구속하는 기둥의 단면적이 횡보강근만으로 보강된 것보다 더 크기 때문인 것으로 보여진다.

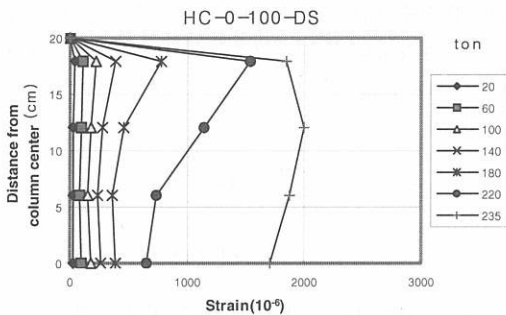


Fig. 6. 하중단계별 변형도(횡보강근 0%)

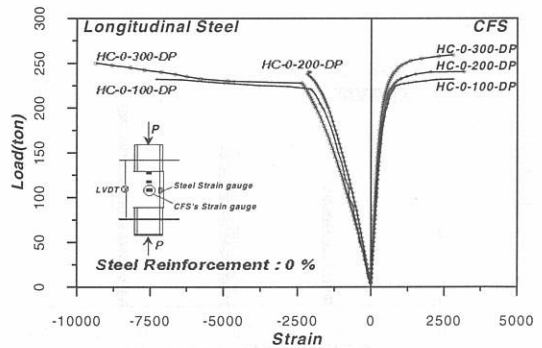


Fig. 8. 전체 변형도 (횡보강근 0%)

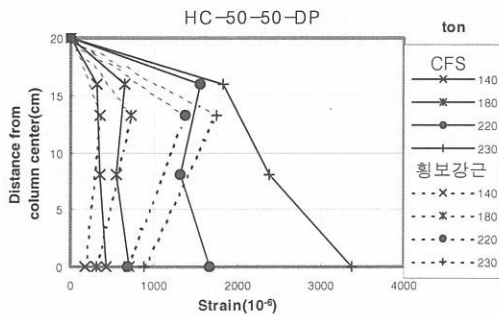


Fig. 7. 하중단계별 변형도(횡보강근 50%)

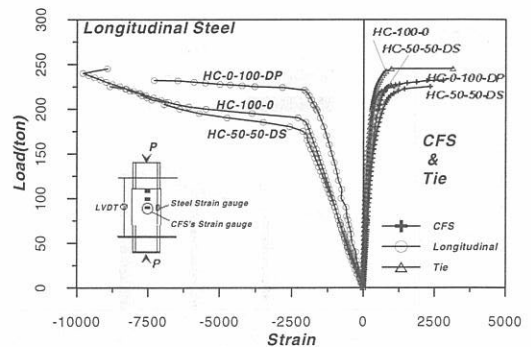


Fig. 9. 전체 변형도(전체보강량 100%)

3.4 최대하중

Fig. 10은 횡보강근이 배근되지 않은 실험체들의 최대하중을 나타낸 것으로 CFS보강량이 증가함에 따라 최대하중이 증가하고 있다. Fig. 11은 횡보강근이 50%보강된 실험체들의 CFS보강량 증가에 따른 최대하중의 변화를 나타낸 것으로 대부분의 실험체가 CFS보강량이 증가함에 따라 최대하중이 증가하고 있다. Fig. 10과 Fig. 11을 비교해보면 횡보강근이 배근된 실험체보다 횡보강근이 배근되지 않고 CFS만이 보강된 실험체의 최대하중이 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이는 CFS가 구속하는 기둥의 단면적이 횡보강근만으로 구속하는 것보다 더 크기 때문에 최대하중이 다소 증가하는 것으로 판단된다. 그리고 patch형 보다는 patch continuous형의 강도가 크게 나타났다.

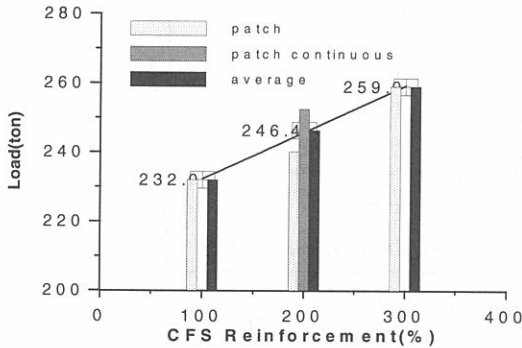


Fig. 10. 최대하중변화 (횡보강근 0%)

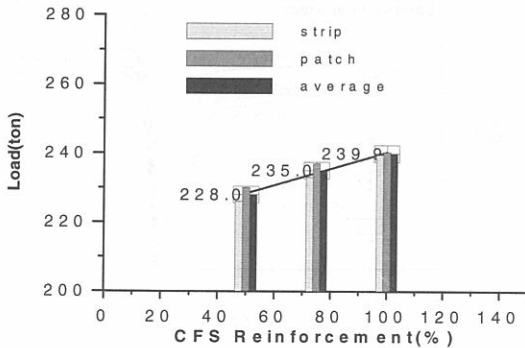


Fig. 11. 최대하중변화 (횡보강근 50%)

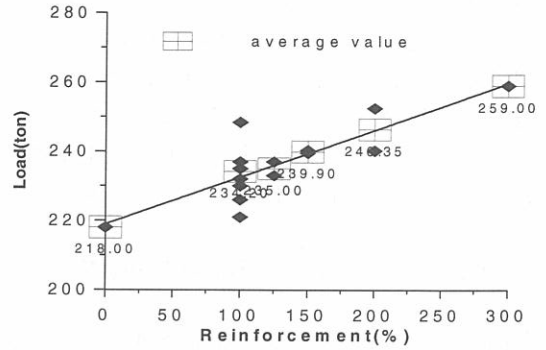


Fig. 12. 전체보강량에 따른 최대하중변화

3.5 CFS 보강효과

Table 6은 CFS의 보강효과를 정량적으로 나타낸 것이다. 전단보강이 없는 HC-0-0 실험체의 최대내력을 콘크리트가 분담하는 내력의 기준으로 정하고, HC-50-0와 HC-100-0의 내력에서 HC-0-0의 내력을 뺀 값을 횡보강근의 보강효과라고 가정했다. 이를 간단한 수식으로 표현하면 다음식과 같다.

$$f'_{cc} = f'_{co} + f'_{trans} + f'_{cfs} \quad (1)$$

f'_{cc} : 실험체의 최대내력

f'_{co} : HC-0-0 실험체의 최대내력

f'_{trans} : 횡보강근의 내력

f'_{cfs} : CFS의 내력

윗 식으로부터 Fig.13 과 Fig. 14를 얻을 수 있다. Fig에서 나타나듯이 CFS보강량이 증가할수록 CFS의 내력분담 효과가 증가하고 있음을 알 수 있다. 횡보강근과 CFS의 보강량이 같은 경우는 주로 횡보강근이 내력을 분담하고 있고 CFS보강량이 횡보강근보다 큰 경우에는 CFS의 내력분담 효과가 다소 선형적으로 증가하는 것으로 나

Table 6. 횡보강근 및 CFS의 보강효과

실험체명	f'cc (kg/cm ²)	f'co (kg/cm ²)	f'trans		f'cfs		전체보강량	
			보강효과 (kg/cm ²)	증가비 (%)	보강효과 (kg/cm ²)	증가비 (%)	보강효과 (kg/cm ²)	증가비 (%)
HC-0-0	545	545	-	-	-	-	-	-
HC-50-0	572.4		27.5	4.8	-	-	27.5	4.8
HC-100-0	587.5		42.5	7.23	-	-	42.5	7.23
HC-0-100-DS	592.5		-	-	47.5	8.02	47.5	8.02
HC-0-100-DP	580		-	-	35	6.13	35	6.13
HC-0-200-DP	600.5		-	-	55.5	9.24	55.5	9.24
HC-0-200-DPC	631.3		-	-	86.25	13.66	86.25	13.66
HC-0-300-DP	647.5		-	-	102.5	15.83	102.5	15.83
*HC-0-300-DPC	592.5		-	-	-	-	-	-
HC-50-50-DS	565		27.5	4.86	-7.5	-1.33	20	3.53
HC-50-50-DP	575		27.5	4.78	2.5	0.43	30	5.21
HC-50-75-DS	582.5		27.5	4.72	10	1.72	37.5	6.44
HC-50-75-DP	592.5		27.5	4.64	20	3.38	47.5	8.02
HC-50-100-DS	598.8		27.5	4.59	26.25	4.38	53.75	8.97
HC-50-100-DP	600.8		27.5	4.58	28.25	4.7	55.75	9.28

* failed specimen

$$f'_{cc} = f'_{co} + f'_{trans} + f'_{cfs}$$

f'cc : 실험체의 최대내력 f'co : HC-0-0 실험체의 최대내력 f'trans : 횡보강근의 내력 f'cfs : CFS의 내력

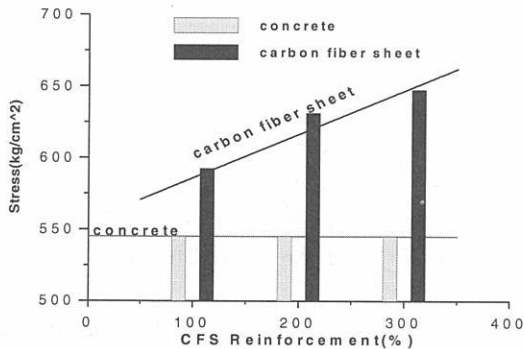


Fig. 13. CFS의 내력분담효과 (횡보강근 0%)

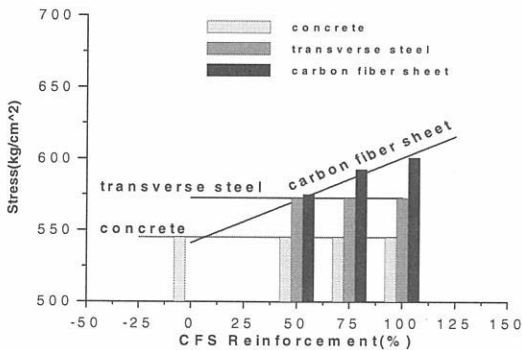


Fig. 14. CFS의 내력분담효과 (횡보강근 50%)

타났다. 그리고 Fig. 13에서 나타난 것처럼 횡보강근이 없을 때는 CFS의 내력분담효과가 더욱 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 15는 모든 실험체에 대한 각 재료의 내력분담효과를 나타낸 그래프이며, 콘크리트가 분담하는 내력을 기준으로 횡보강근과 CFS의 내력증가 비율을 나타내었다. 전체 보강량이 증가함에 따라 횡구속효과가 증가함을 알 수 있으며, 특히 횡보강근이 없고 CFS가 200% 또는 300%보강된 실험체의 경우 횡보강근이 보강된 실험체와 비교

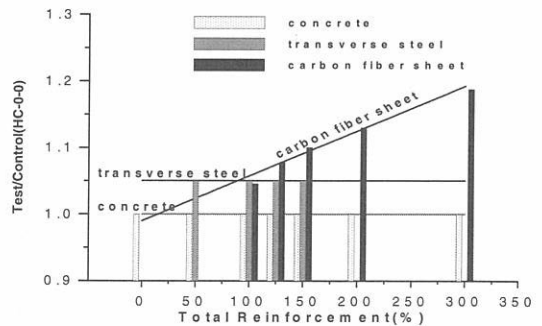


Fig. 15. 전체보강량에 따른 내력분담

했을 때 비교적 많은 내력증진효과가 나타나고 있으며 증가비율은 전체내력의 약 15%정도를 증대시키는 효과가 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) CFS를 보강했을 경우 CFS의 파괴는 갑작스럽게 일어나지만 최대하중시 축변형도는 0.004~0.005정도로 횡보강근만을 보강한 기둥실험체의 축변형도와 비슷하게 나타났다.
- 2) 횡보강근과 CFS의 보강량이 증가할수록 내력은 증가하고 횡보강근만을 보강하거나 횡보강근과 CFS를 보강하는 것보다는 CFS만을 보강하는 것이 축강성과 최대내력 증가에 보다 효과적이다.
- 3) 단주에서 CFS는 횡보강근을 배근했을 경우는 0~5%, CFS만을 보강했을 때는 8~15%의 내력을 증가시킨다.
- 4) 보강방법으로는 strip형보다 patch형이 내력증진이나 구속효과가 더 뛰어나다. 따라서 보강공사의 문제뿐만 아니라 구조성능면에서 patch형을 사용하는 것이 더 유리하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구를 진행함에 있어 세심한 지원을 해주신 STRESS(한양대학교 초대형구조시스템연구센터)와 (주)한국카본, 그리고 성암건설 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 三上 浩, 岸 徳光, 小山田 欣裕, 谷本 俊充, “軸衝撃荷重下におけるFRPテープ補強RC柱の横拘束効果”, 콘크리트工學年次論文報告書, Vol. 19, No. 2, 1997
2. Murat Saatcioglu, Salim R. Razvi, “Strength and Ductility of Confined Concrete” Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 6 June, 1992
3. 小傘禮 建一, 田垣 欣也, 中塚 侑, “炭素纖維シートによるコンファインドコンクリートの強度・變形特性”, 콘크리트工學年次論文報告書, Vol. 19, No. 2, 1997
4. 崎野健治, 孫 玉平, “コンファインド高強度コンクリートの中心壓縮性狀に関する實驗的研究”, 콘크리트工學年次論文報告書, Vol. 15, No. 2, 1993
5. 신성우 등, “탄소섬유쉬트로 횡구속된 콘크리트의 압축거동”, 한국구조물진단학회 가을학술발표논문집, 1997, Vol. 1, No. 1, pp. 241-246

(접수일자 : 98.10.20)