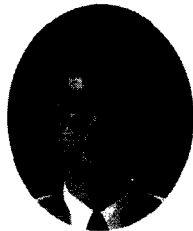


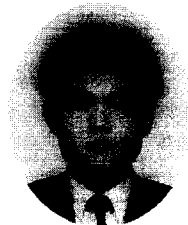
# 일정축력하의 탄소섬유시트 보강기둥의 횡가력시 거동특성에 관한 실험연구

Behavior of Concrete Columns Confined by Carbon Fiber Sheets  
under a Constant Axial Force with Reversed Cyclic  
Lateral Loading.



천성철\*

Chun Sung-Chul



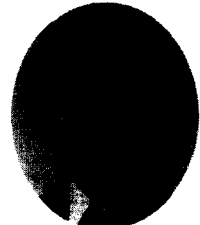
박형철\*\*

Park Hyung-Chul



안재현\*\*\*

Ahn Jae-Hyen



박철림\*\*\*\*

Park Chil-Lim

## ABSTRACT

An investigation was conducted into the flexural behavior of earthquake damaged reinforced concrete columns repaired with carbon fiber sheets.

Six column specimens were tested to failure under reversed cyclic loading. Two columns were specimens for control with no sheets and tested. These columns were repaired with carbon fiber sheets and retested to evaluate the effect of the confinement of the carbon fiber on the damaged column. Another two columns were repaired and tested with no pre-cyclic loading.

The test specimens were designed to model single bent under a constant axial force with reversed cyclic lateral loading. Carbon fiber sheets were used to repair damaged concrete columns in the critically stressed areas near the column footing joint and the physical, mechanical properties of carbon fiber sheets are described. The performance of repaired columns in terms of their hysteretic response is evaluated and compared to those of the original columns.

The results indicate that the repair technique with carbon fiber sheets is highly effective. Both flexural strength and displacement ductility of repaired columns were higher than those of the original columns.

Keywords : Carbon Fiber, Repaired Column, Lateral Loading

\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 주임연구원

\*\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 선임연구원

\*\*\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 책임연구원

\*\*\*\* 정회원, (주)대우건설 고문

·본 논문에 대한 토의를 1999년 8월 30일까지 학회로 보  
내 주시면 1999년 월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

건설업에 있어 복합재료의 사용은 최근 들어 외국에서 사용이 급격히 증가하고 있으며 국내에서도 점차 사용이 확대되고 있다. 이것은 기본적으로 이들 복합재료들의 고강도, 경량, 내부식성, 사용상의 다양성 및 편의성에 기인한다고 볼 수 있다.

철근콘크리트 구조물의 보강재로 사용되는 복합재료로는 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드섬유 등이 있으며 그 중에서도 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet: CFS) 복합재료는 경량, 고탄성, 고인장강도를 가지므로 국내에서 가장 많이 사용하고 있으며 그 적용이 증가하고 있다.

국내에서의 탄소섬유시트에 관한 연구사례를 보면 주로 휨제인 보에 관한 사례나 공시체를 이용한 단순압축시험이 대부분을 차지하고 있으며 일정축력하에서 횡력작용시 즉 지진시에 기둥의 보강효과에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 일정축력하에서 반복횡력을 받는 기둥의 탄소섬유 보강시의 구조거동을 확인하기 위해 실시되었으며 6개의 실험체를 가력하였다.

먼저 탄소섬유시트를 보강하지 않은 기둥에 대한 실험을 통하여 기본내력을 파악하고 탄소섬유의 보강매수를 2매와 3매의 경우 그리고 기둥에 사전가력을 통해 손상을 입힌 실험체, 전혀 손상을 주지않은 기둥에 탄소섬유시트를 보강한 실험체에 대한 실험을 통해 매수(보강비:  $\rho_{cf}$ )에 따른 거동의 차이, 사전가력의 유무에 따른 거동의 차이를 평가하고 보수보강의 적합성을 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험계획

먼저 컨트롤용으로 2개의 실험체를 일정축력( $0.35P_0$ )을 가한 상태에서 최대내력의 80%로 내려져하가 발생할 때까지 반복 횡가력을 실시함으로써 무보강 실험체의 기본내력을 파악하고, 이 실험체를 보수, 보강하여 손상을 입은 기둥의 보수 후 구조성능을 파악하기 위한 실험체로 사용

하였다. 또한 사전손상을 입지 않은 기둥에 탄소섬유시트를 보강한 실험체에 대한 실험을 통하여 무보강 기둥, 사전가력하여 보수보강한 기둥, 사전가력하지 않고 보강한 기둥의 구조거동을 비교하였다.

보강실험체는 전면을 횡 방향으로 CFS를 보강하고 Stub와의 연결부위는 5mm를 띄워서 콘크리트와 CFS와의 축방향 간섭을 방지하였다.

보강공사는 보수보강 전문업체에 의뢰하여 다음의 순서로 실시하였다. ①표면정리 ②프라이머 도포( $0.3\text{kg}/\text{m}^2$ ), ③프라이머 건조 및 표면정리(1일), ④접착용 수지도포( $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ ), ⑤탄소섬유시트의 부착, ⑥침착용 수지도포( $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ ), ⑦양생(14일).

사전 가력한 실험체는 손상된 힌지 발생부위의 콘크리트를 제거한 후 동일한 압축강도의 모르터를 타설하여 4주 양생 후 탄소섬유시트를 보강하고, 약 2주일 보양한 후 가력을 실시하였다. 축하중시의 기둥의 최대축하중강도( $P_0$ )를 파악하기 위해 동일단면의 기둥에 대한 중심축하중실험을 실시하여  $P_0$ 를 결정하였으며 실험결과  $P_0$ 가 93.1ton으로 나타났다. 실험시 축하중은 CFS의 연성증대효과 등을 확실하게 나타내 수 있도록 일반적인 건축물에서의 축력범위 보다는 약간 높은 축력에 해당하는  $0.35P_0$ (32ton)로 결정하였으며, 각 실험체별 상세는 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of test column

Columns	Sheets of CFS	$\rho_{cf}^*$ (%)	Remarks
S2-PH	Control		Used for S2-PHR after loading
S3-PH			Used for S3-PHR after loading
S2-PHR	2	0.44	Repaired with CFS (Preloading)
S3-PHR	3	0.66	
S2-H	2	0.44	Repaired with CFS (None preloading)
S3-H	3	0.66	
N-C0	-	-	For determining $P_0$

$$* \rho_{cf} = 4 \times N \times t_{cf} / d$$

$\rho_{cf}$ : CFS의 보강비, N: 매수,  $t_{cf}$ : CFS의 두께, d: 기둥폭

실험체 명에서 S2, S3는 슈트 보강매수를 나타내며, PH type은 무보강실험체, PHR type은 기둥의 주근이 항복하고 콘크리트의 피복이 박락되어 기둥에 상당한 손상이 발생되었다고 판단되는 최대내력의 80% 수준으로 내력저하가 발생할 때 까지 사전가력을 한 후, 힌지 발생부위의 콘크리트를 완전히 제거하고, 모르터를 타설하여 28일 양생 후, 탄소섬유슈트로 보강한 것을 나타내며, H type은 사전가력하지 않은 기둥에 탄소섬유슈트를 보강한 기둥, N-CO는 P. 결정용 기둥을 나타낸다.

## 2.2 구조재 및 보강재의 재료특성

### 2.2.1 콘크리트

Table 2 Measured properties of concrete

Columns	Compressive strength	Elastic modulus	Remarks
S2-H, S3-H	266 (kg/cm <sup>2</sup> )	2.45x10 <sup>5</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	
S2-PH, S3-PH	335	2.6x10 <sup>5</sup>	
S2-PHR, S3-PHR	295	-	Mortar
N-CO	252	2.38x10 <sup>5</sup>	

콘크리트는 레미콘을 사용하고 210kg/cm<sup>2</sup>를 설계기준강도로 설정하였으나 압축강도 시험결과 설계기준강도와 많은 차이를 나타내었다. 손상된 기둥부위의 보수재료는 동일 설계압축강도의 모르터를 사용하였다.

압축강도 공시체는 실험체와 동일조건에서 노천양생하였으며 시험결과는 3개 공시체의 평균값으로 하였다

### 2.2.2 철근

Table 3 Measured properties of rebar

Rebar	Yield strength	Tensile strength	Elastic modulus	Elongation
D10	3,957 (kg/cm <sup>2</sup> )	6,090 (kg/cm <sup>2</sup> )	1.85x10 <sup>6</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	24.7 (%)
D13	3,942	6,758	1.92x10 <sup>6</sup>	22.1

철근은 SD40, 기둥주근은 D13, 전단보강근은 D10을 사용했으며 시험결과는 Table 3과 같다.

### 2.2.3 탄소섬유슈트 및 에폭시

탄소섬유슈트 및 에폭시수지는 일본 T사의 제품을 사용하였다. 탄소섬유슈트의 물성치는 제조회사의 제공자료를 사용하였으며 에폭시수지는 시험값이다.

Table 4 properties of CFS and epoxy resin

Carbon fiber sheets	Tensile strength	Elastic modulus	Thickness
	35.500 kg/cm <sup>2</sup>	2.35x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	0.11 mm
Epoxy resin	Compressive strength	Elastic modulus	Tensile strength
	812.9kg/cm <sup>2</sup>	507.2kg/cm <sup>2</sup>	691.5 kg/cm <sup>2</sup>
	Elongation	Poisson's ratio	Tensile elastic modulus
	3.76 %	0.38	33.4x10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>

## 2.3 실험체의 설계

본 실험체의 기둥단면은 200x200으로 설계, 제작되었다(Fig1). 실험체의 단면은 본 실험체와 동일한 단면을 가진 기둥에 탄소섬유슈트를 시공

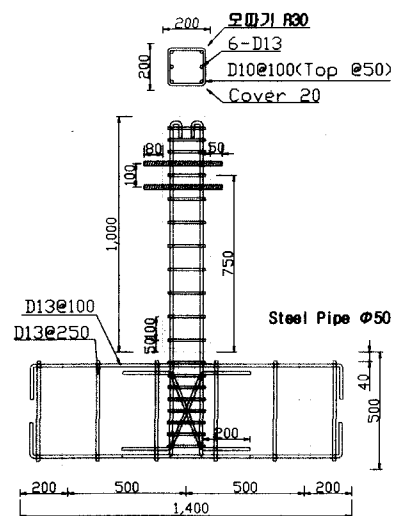


Fig. 1 Design details of test columns

하고 중심압축력을 가하는 실험체의 최대내력이 실험에 사용된 시험기(200ton Actuator)의 최대용량을 초과하지 않도록 단면을 결정하였다. 철근배근은 극한강도 설계기준에 따랐으며 전단보강근은 건교부의 내진설계지침에 의해 배근되었다.

주근은 6-D13, 전단보강근은 D10-@100으로 배근되었으며 탄소섬유보강 실험체는 기둥모서리를  $r=30$ 으로 모따기를 실시하여 탄소섬유슈트에 응력이 집중하는 것을 방지하였다.

손상된 구조체를 재현하기 위한 사전가력의 정도는 보강하지 않은 기본실험체가 최대내력을 지니 최대내력의 80%로 저하할 때 까지 정부반복가력을 실시하여 손상을 준 후 탄소섬유슈트로 보강하는 것으로 하였다.

## 2.4 실험방법

### 2.4.1 실험체 설치

기둥을 반력상에 고정하는 Stub는  $1,400 \times 900 \times 500$ 의 크기로 제작되었으며 Stub내의 홀간격은 반력상의 구멍간격에 맞게 500mm로 설계되었다 (Fig 1).

총 6본의 강봉에 20ton/本の 프리스트레스를 가함으로써 반력상에 완전히 고정시켜 횡가력시 스티브부분의 들림현상이 발생하지 않도록 하였다(Fig2).

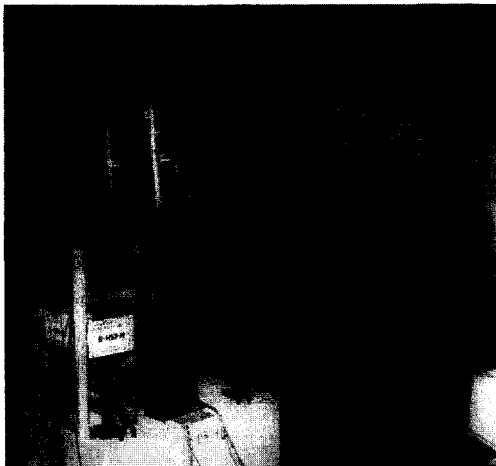


Fig. 2 Test set up of column

축력은 기둥상부에 설치된 120ton 용량의 유압잭으로 Fig 2에서와 같이 기둥 옆에 설치된 강봉에 인장력을 가하여 도입하였으며, 횡력은 50ton 용량의 Actuator를 반력벽에 고정시켜 가력하였다. 시간의 경과에 따른 유압잭의 압력감소를 방지하여 일정축력을 유지하기 위해 유압잭에 일정하중 유지장치를 사용하여 유압의 감소로 인한 축력의 감소를 방지하였다. 또한 기둥에 횡가력시 기둥의 비틀림을 방지하기 위해 비틀림 방지장치를 사용하여 기둥이 일정방향으로 거동하도록 하였다.

### 2.4.2 가력방법

기둥에  $0.35P_0$ 의 일정축력을 유지하면서 반복 횡가력을 실시하였다(Fig 2).

가력순서는 먼저 +, - 방향의 항복변위를 구한 후 양자를 평균한 값을 기준변위 ( $\delta_y = (\delta_y^+ + \delta_y^-)/2$ )로 하여 기준변위의 2, 3, 4, 8, 12, 16배의 순서로 정부 반복가력을 실시하였다 (Fig3). 항복시까지의 하중제어로 가력하였으며, 항복이후는 변위제어로 실험을 실시하였다.

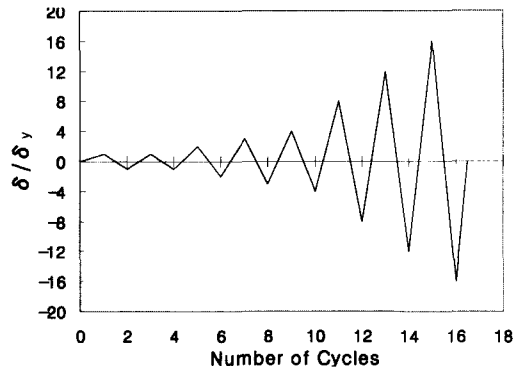


Fig. 3 Loading sequence for all test columns

### 2.4.3 데이터 측정방법

기둥의 횡변형 및 축변형은 스트레인게이지식 변위계를 사용하고 철근 및 후프근, 탄소섬유슈트의 변형율은 스트레인게이지를 사용하여 측정하였다. 기둥의 축력은 스트레인게이지식 하중계를 사용하였으며, 횡력의 측정은 스트레인게이지식 하중계 및 Actuator내장의 로드셀을 이용하여 측정하여 양자를 비교하면서 가력을 실시하였다.

### 3. 실험결과

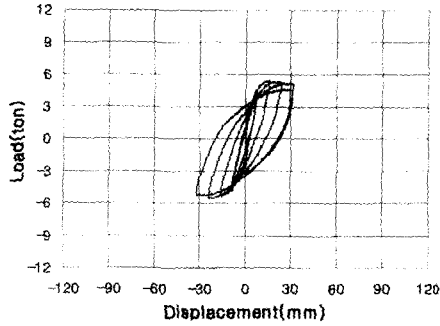
Fig4는 각 실험체별 하중-변위곡선을 나타낸 것으로 보강한 기둥의 일반적인 특성은 무보강기둥에 비해 큰 횡변형 저항능력을 나타냈으며 최대내력의 상승, 연성의 증대등 구조성능에 있어 무보강기둥에 비해 우수한 것으로 나타났다. 다만 사전가력한 기둥의 경우 무보강기둥에 비해 초기 강성이 다소 저하되는 것으로 나타났다. 최대내력

의 90%로 내력이 저하한 시점까지의 포락선 (EnvelopeCurve)을 통해 각 실험체별 전체적인 거동을 설명하고 보강대수, 사전가력의 유무에 따른 영향을 검토하기 위해 모멘트 저항성능, 에너지 흡수능력, 강성변화 등을 비교, 분석하였다.

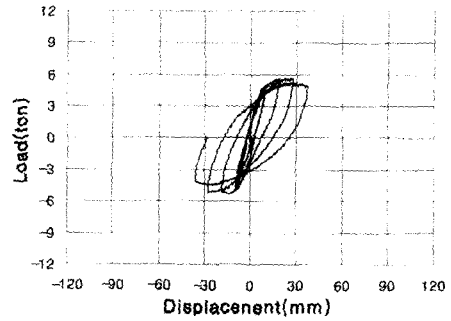
#### 3.1 포락선의 비교

##### 3.1.1 사전가력의 유무에 따른 비교

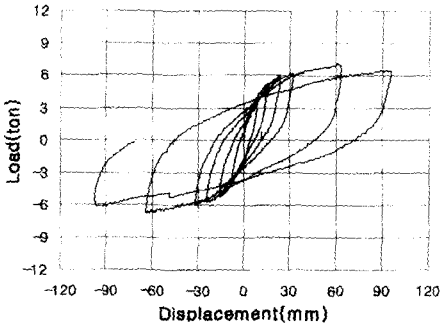
사전가력 없이 탄소섬유쉬트로 보강한 실험체



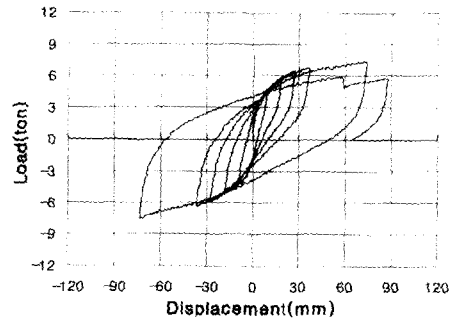
(a) S2-PH



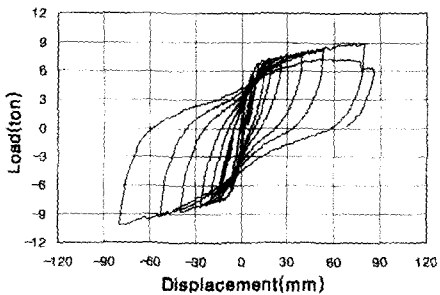
(d) S3-PH



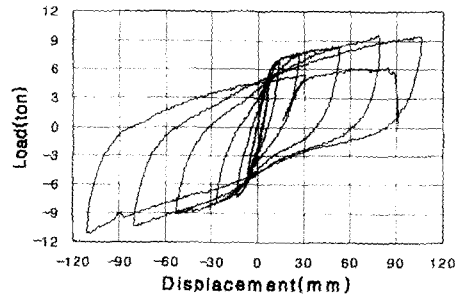
(b) S2-PHR



(e) S3-PHR



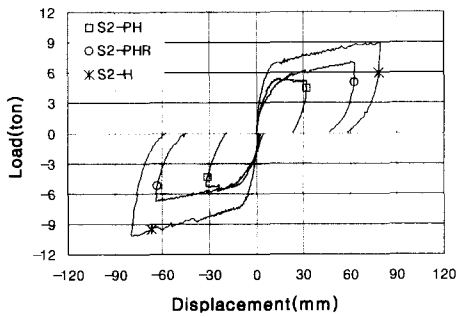
(c) S2-H



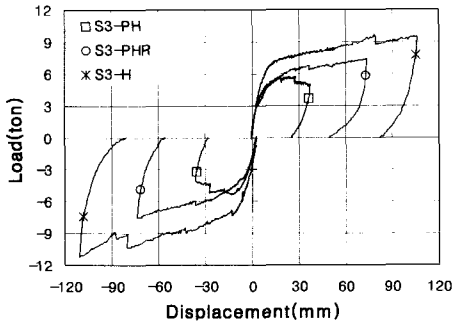
(f) S3-H

Fig. 4 Hysteretic response of test columns

(Fig5의 S2-H, S3-H)의 경우 초기강성, 최대 내력, 연성도, 에너지 흡수능력등 모든 면에서 상당한 증가를 나타냈으며, 사전가력하여 기동에 손상을 준 실험체(Fig5의 S2-PHR, S3-PHR)를 보수한 경우는 사전가력하지 않은 실험체에 비해서는 최대내력, 연성, 에너지흡수능력에서 다소 저하하나, 무보강실험체에 비해서는 초기강성만이 다소 떨어지고 그 외 항목에 대해서는 상당한 증가를 나타내고 있다. 즉 사전가력한 경우 사전가력하지 않은 기동에 비해 다소 성능이 떨어지나 무보강실험체에 비해서는 상당히 향상된 성능을 보여주고 있다.



(a) 2 sheets



(b) 3 sheets

Fig. 5 Comparison of flexural strength envelopes

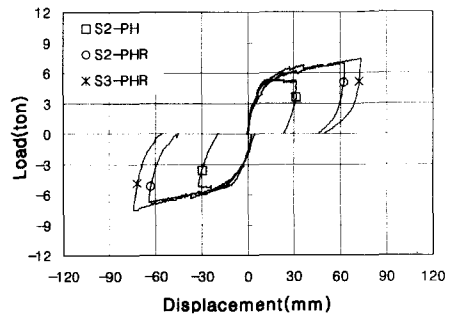
### 3.1.2 보강매수에 따른 비교

Fig6의 (a)에서 보듯이 사전가력한 경우의 매수에 따른 거동은 2매보강, 3매보강 모두 무보강에 비해 최대내력, 연성도, 에너지흡수등에 있어 상당한 증가를 나타내고 있으며, 2매보강과 3매보강을 비교할 경우 연성도와 에너지 흡수에서

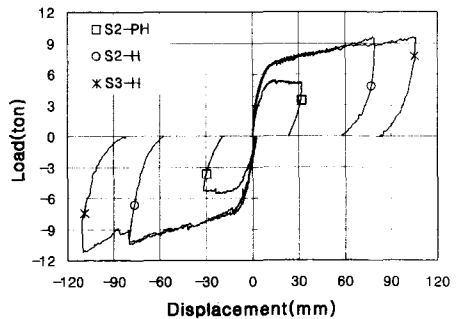
사전가력한 실험체가 약간의 차이를 나타낼 뿐 비슷한 거동형태를 보여주고 있다.

따라서 3매 보강한 실험체는 2매보강에 비해 최대내력과 에너지 흡수능력에서 약간의 증가를 보이고 있으나 전체적으로 양쪽이 비슷한 거동을 나타내었다.

사전가력하지 않은 실험체별 비교는 Fig6의 (b)에서와 같이 2매보강, 3매보강 모두 무보강 실험체에 비해 상당한 내력 및 연성도 증가를 보여주고 있으나, 보강매수에 따른 차이는 연성도에 있어 3매 보강이 다소 상승하나 그 외는 거의 동일한 성능을 보여주고 있다. 따라서 본 실험에서는 2매( $\rho_{cf}=0.44$ )와 3매( $\rho_{cf}=0.66$ )의 경우 보강매수(보강비)에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.



(a) Preloading



(b) None Preloading

Fig. 6 Comparison of flexural strength envelopes

## 3.2 모멘트 및 파괴양상

계산치는 일정한 축력을 받는 철근콘크리트 기

등의 최대휨내력을 건교부 규준에 따라 구한 것이다. 탄소섬유쉬트로 보강된 기둥은 횡구속효과에 의해 압축내력이 증진되는데, 본 연구에서는 Mander<sup>(7)</sup>의 식(1)에 따라 횡구속된 콘크리트의 최대강도( $f_{cc}$ )를 구하였다.

여기서  $f_{co}$ 는 무보강 콘크리트의 최대강도이고 횡구속압( $f_t$ )은 Fig7 (a)의 원리로 산정된다. 단면형상계수( $\kappa_s$ )는 유효 구속면적과 전체단면적과의 비로 결정되는데, 원형은 전단면이 유효하게 구속되고, 각형은 Fig7의 (b)와 같이 각면 중앙에서 0.25D 깊이 지점을 꼭지점으로 하는 2차포물선을 그리고 이 영역을 제외한 가운데 부분만이 유효하게 구속된다. 이 방법으로 계산된 정사각형의 단면형상계수는 0.33이다.

Table 5 Comparisons of moment capacity

Columns	Calculated (ton · m)	Measured (ton · m)	measured/calculated	ratio
S2-PH	4.14	① 3.85	0.93	-
S3-PH	4.14	② 3.86	0.93	-
S2-PHR	-	③ 4.35	-	1.13 (③/①)
S3-PHR	-	④ 4.52	-	1.17 (④/②)
S2-H	4.5	⑤ 5.60	1.24	1.46 (⑤/①)
S3-H	4.6	⑥ 6.15	1.34	1.59 (⑥/②)

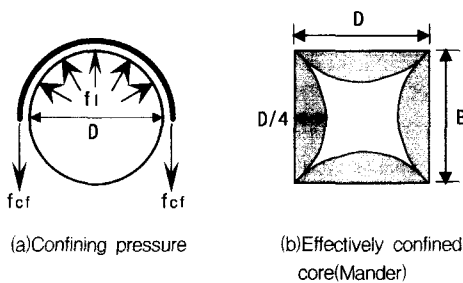


Fig. 7 Confining action

$$f_{cc} = f_{co} \left( 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_t}{f_{co}}} - 2 \frac{f_t}{f_{co}} - 1.254 \right) \quad (1)$$

$$f_t = \frac{2 f_{cf} t_{cf}}{D} \kappa_s$$

보강된 실험체의 최대휨내력이 계산치와 다소 차이를 보이고 있다(Table 5). 이것은 횡구속된 콘크리트가 강도 뿐 아니라 연성도 크게 증대되어, 인장철근이 변형경화(Strain hardening)를 겪게 되어 휨 내력이 증진된 것으로 생각된다.

실험치만으로 보강효과를 비교하면 사전가력한 경우는 2매 보강시 약 13%, 3매 보강시 약 17%의 모멘트증가를 보였으며, 사전가력하지 않은 경우는 2매 보강의 경우 약 46%, 3매 보강한 경우는 약 59%의 증가를 나타내고 있다.

CFS로 보강된 기둥의 파괴양상은 기둥의 인장철근이 항복한 후 완만한 하중증가와 함께 상당한 연성을 나타냈으며 최종적으로는 압축축에서 CFS의 파단에 의해 파괴가 발생하였다(fig. 8).

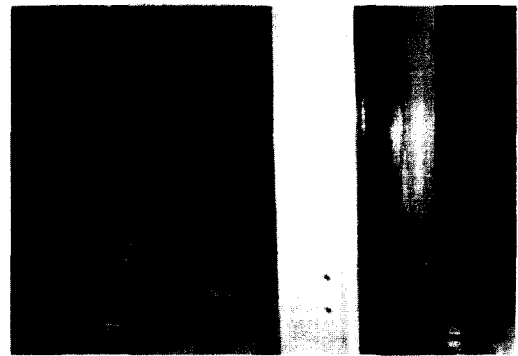


Fig. 8 Damaged region of the column after testing

CFS는 반복하중의 작용에 의해 압축축 콘크리트가 기둥의 모서리 부분을 제외한 중앙부에서 배부름현상이 발생하였으며 축변형으로 인해 횡방향으로 국부적인 주름이 발생하였다. 이러한 배부름현상은 사전손상을 입은 기둥에서 좀더 심한 양상을 나타내었다.

이 주름부분에서 부분적인 파단이 발생(내력저하 없음)한 이후 CFS의 인장파단에 의해 최종적인 파괴에 도달하였다.

### 3.3 에너지 흡수

#### 3.3.1 사전가력 유무에 따른 비교

구조체의 에너지 흡수능력은 하중-변위곡선의 면적으로 계산된다. 본 실험에서는 최대내력의 약

Table 6 Comparisons of energy dissipation

Columns		Energy (t · mm)	Ratio for control	Remarks
2 sheets	① S2-PH	262	-	
	② S2-PHR	642	2.45	②/①
	③ S2-H	1156	4.41	③/①
3 sheets	④ S3-PH	316	-	
	⑤ S3-PHR	798	2.53	⑤/④
	⑥ S3-H	1675	5.30	⑥/④

90%정도까지 내력이 저하한 시점까지의 포락선의 면적으로 각 실험체의 에너지 흡수능력을 비교하였다

Table 6에서 보듯이 사전가력을 하지 않은 실험체(S2-H, S3-H)는 무보강(S2-PH, S3-PH)에 비해 2배 보강의 경우 약 4.4배, 3배 보강의 경우 5.3배의 에너지 흡수능력을 가지며 손상을 받은 실험체라도 무보강실험체에 비해 2, 3배보강 모두 약 2.5배의 에너지 흡수능력을 나타내었다.

따라서 손상을 입지 않은 기둥은 물론 손상을 입은 기둥을 보수한 경우에 있어서도 충분한 에너지흡수능력을 발휘하는 것을 보여주고 있다.

### 3.3.2 보강매수에 따른 비교

Table 7에서 보듯이 사전가력한 경우는 2배 보강이 2.45배, 3배 보강이 3.05배의 에너지 흡수능력의 증가를 보였으며, 사전가력하지 않은 경우는 4.41배, 6.39배의 증가를 나타내었다.

사전가력한 경우가 사전가력하지 않은 경우에

Table 7 Comparisons of energy dissipation

Columns		Energy (t · mm)	Ratio for control	Remarks
Preloading	① S2-PH	262	-	
	② S2-PHR	642	2.45	②/①
	③ S3-PHR	798	3.05	③/①
None Preloading	④ S2-PH	262	-	
	⑤ S2-H	1156	4.41	⑤/④
	⑥ S3-H	1675	6.39	⑥/④

비해서는 보강매수에 따른 상승효과가 높지 않으나 무보강에 비해서는 충분한 상승효과를 나타내고 있다.

### 3.4 수평변위에 따른 강성변화

강성의 평가는 각 사이클당 최대하중을 최대변위로 나눈 값으로 정부방향에 대한 강성을 산출하고 그 평균값을 취하였다.

Table 8은 각 사이클당 평균 강성값을 나타낸 것이다

Table 8 Stiffness of columns at each loading cycle

Cycle	S2-PH	S3-PH	S2-PHR	S3-PHR	S2-H	S3-H
1	0.57	0.52	0.48	0.48	0.91	0.83
2	0.34	0.29	0.33	0.3	0.55	0.54
3	0.23	0.2	0.24	0.21	0.38	-
4	0.16	0.12	0.19	0.18	0.29	0.29
6	-	-	-	-	0.21	-
8	-	-	0.11	0.1	0.17	0.16
12	-	-	-	-	0.12	0.12
16	-	-	-	-	-	0.1

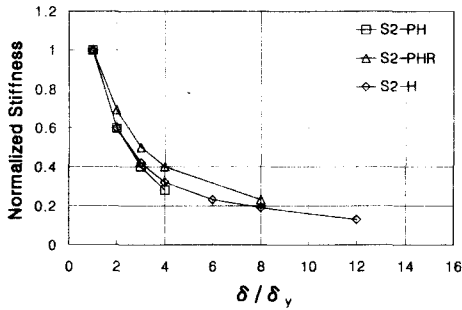
#### 3.4.1 사전가력에 따른 비교

비교를 위해 각 사이클당 계산된 강성은 첫 번째 사이클의 강성으로 나누어 무차원화(Normalized)한 값을 세로축에 표시하고 가로축은 항복변위에 대한 상대변위의 비로 나타내었다.

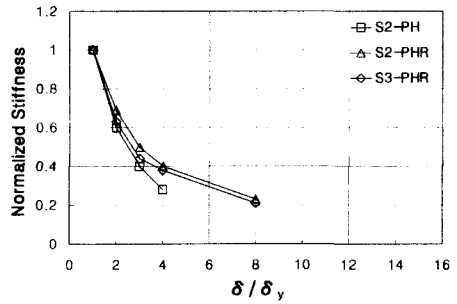
Fig 9에서 보면 보강한 실험체의 경우가 무보강 실험체(S2-PH, S3-PH)에 비해 강성저하가 작은 것을 알 수 있으며 항복변위에 대한 상대변위의 경우도 사전가력하지 않은 3매(S3-H)의 경우 약 4배, 사전가력한 3매의 경우(S3-PHR)는 2배의 변형능력을 나타내고 있다.

사전가력한 경우가 사전가력하지 않은 경우에 비해 강성저하가 낮은 것은 사전가력한 실험체의 경우 사전가력에 의해 손상되어 초기강성이 작아 상대적으로 강성저하율이 낮게 나타나고 있다.

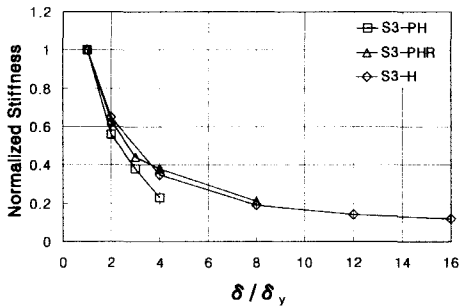




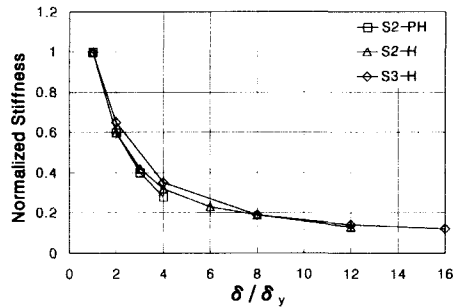
(a) 2 Sheets



(a) Preloading



(b) 3 Sheets



(b) None preloading

Fig. 9 Normalized stiffness versus relative displacement for yield displacement

Fig. 10 Normalized stiffness versus relative displacement for yield displacement

### 3.4.2 보강매수에 따른 비교

사전가력한 실험체(Fig10의 (a))는 2매, 3매 모두 무보강실험체에 비해 강성저하가 낮으며, 3매 보강보다 2매 보강의 경우가 강성저하가 낮은 것은 2매 보강의 경우 초기강성이 낮아 상대적으로 강성저하율이 낮게 나타나고 있다. 사전가력하지 않은 실험체의 경우(Fig10의 (b))는 보강매수가 증가함에 따라 강성저하율이 낮아지는 것을 알 수 있으며 전체적으로 매수에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

## 4. 결론

일정축력을 받는 기둥의 횡력에 대한 거동을 탄소섬유쉬트의 보강매수와 기둥의 손상유무를 변수로 하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 손상을 입은 기둥에 탄소섬유쉬트를 2매, 3

매 보강한 경우 무보강에 비해 약 13%, 17%, 손상을 입지않은 기둥에 탄소섬유쉬트를 보강한 경우는 각각 46%, 59%의 모멘트저항능의 증진 효과를 나타내었다.

(2) 에너지흡수능력에 있어 사전가력한 경우는 사전가력하지 않은 경우에 비해 약 50%의 저하가 발생하나 무보강실험체에 비해 약 2.5배의 에너지흡수능력의 상승효과를 나타내었다.

(3) 손상을 받은 기둥은 약 2배, 손상을 받지 않은 기둥은 3~4배의 연성증대를 나타냈다.

(4) 초기강성은 사전가력에 의한 콘크리트 균열, 철근과 콘크리트의 부착성능저하 등의 원인에 의해 사전가력한 경우가 가장 작게 나타났다. 그러나 강성저하는 사전가력한 경우가 가장 작게 나타났으며 이는 초기강성이 작아 상대적인 강성저하율이 낮기 때문이다.

(5) 전체적으로 손상을 입은 철근콘크리트 기둥에 탄소섬유쉬트를 보강한 경우 2, 3매 모두 모멘트, 연성, 에너지 흡수능력등이 상승하여 상당

한 보강효과를 나타내는 것으로 나타났으며, 손상을 입지 않은 기둥에 탄소섬유쉬트를 보강한 경우와 무보강 기둥의 중간정도의 성능을 나타내었다. 그러나 보강매수의 증가에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다

(6)보강된 실험체의 최대휨내력은 계산치가 실험치에 비해 상당히 낮은 값을 나타냈으며 따라서 이를 보다 정확히 평가하기 위해서는 탄소섬유쉬트와 같은 복합재료로 휨보강시의 응력-변형도의 정확한 모델링에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

1. Yan Xiao, Rui Ma, "Seismic Retrofit of RC Circular Columns Using Prefabricated Composite Jacketing", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 10, October, 1997, pp.1357-1364.
2. Amir Mirmiran and Mohsen Shahawy, "Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 5, May, 1997, pp.583-590
3. Hamid Saadatmanesh, M ohammad R. Ehsani, and Limin Jin, "Repair of Earthquake-Damaged RC Columns with FRP Wraps", ACI Structural Journal, March-April, V. 94, No. 2, 1997, pp.206-215.
4. Murat Saatcioglu, Amir H. Salamat, and Salim R. Razvi, "Confined Columns under Eccentric Loading", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 11, November, 1995, pp.1547-1556.
5. M. Rodriguez and R. Park "Seismic Load Tests on Reinforced Concrete Columns Strengthened by Jacketing", ACI Structural Journal, V. 91, No. 2, March-April, 1994, pp.150-159.
6. Yuk Hon Chai, M. J. Nigel Priestley, and Frieder Seible, "Seismic Retrofit of Circular Bridge Columns for Enhanced Flexural Performance", ACI Structural Journal, V. 88, No. 5, September-October, 1991, pp.572-584.
7. J. B. Mander, M. J. N. Priestley, and R. Park, "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8, August, 1988, pp.1804-1825.
8. 宇治公隆, "シート狀連續炭素纖維による既設鐵筋コンクリート構造物の耐震補強", 大成建設技術研究所報, 第26號, 1993, pp.133-142.
9. 勝保英雄, 武田壽一, "炭素纖維による既存鐵筋コンクリート柱の耐震補強に關する研究(3)", 大林組技術研究所報, No. 38, 1989, pp.54-58.
10. 勝保英雄, 武田壽一, "炭素纖維による既存鐵筋コンクリート柱の耐震補強に關する研究(2)", 大林組技術研究所報, No. 34, 1987, pp.114-118.

### 요 약

본 연구는 철근콘크리트 기둥에 탄소섬유쉬트를 보강하고 일정축력(0.35P<sub>0</sub>)을 가한 상태에서 정, 반복 휨가력을 실시하여 탄소섬유쉬트의 보강효과를 검증하기 위한 것으로, 탄소섬유쉬트의 보강매수에 따른 보강효과와 차이, 손상을 받은 기둥을 보수후 탄소섬유쉬트를 보강한 경우와 손상을 받지 않은 기둥에 탄소섬유쉬트를 보강한 경우의 거동의 차이를 실험을 통해 검증하였다. 탄소섬유쉬트의 보강매수는 2매와 3매 2종류에 관해 검토하였으며 보강매수에 따른 차이는 에너지 흡수능력에서 약간의 차이를 보일 뿐 최대내력, 강성저하율등에 있어서는 비슷한 거동을 나타내었다.

최대내력의 80% 수준까지 내력저하가 발생하도록 사전가력하여 탄소섬유쉬트를 보강한 기둥과 전혀 손상을 주지 않은 기둥에 탄소섬유쉬트를 보강한 기둥의 거동은, 손상을 준 기둥의 초기강성만이 탄소섬유쉬트를 보강하지 않은 기둥에 비해 저하하나, 최대내력, 에너지 흡수능력, 연성등에 있어서는 무보강실험체에 비해 우수한 성능을 나타내었으며, 따라서 전체적으로 지진등으로 상당한 손상을 입은 기둥이라도 손상부 보수 후 탄소섬유쉬트로 보강하면 상당한 성능의 향상을 기할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 보강매수에 따른 내력증진효과는 2매보강( $\rho_{ef}=0.44\%$ )과 3매보강( $\rho_{ef}=0.66\%$ )의 경우 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

(접수일자 : 1998. 10. 26)