

# 탄소섬유판으로 횡보강된 콘크리트 압축부재의 구조거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Structural Behavior of Reinforced Concrete Compressive Members Rehabilitated with Carbon Fiber Laminate

이 희 경\* 김 성 철\* 유 성 훈\* 김 중 구\*\* 정 란\*\*\*  
Lee, Hee-Kyoung Kim, Sung-Chul Yoo, Seong-Hoon Kim, Joong-Koo Chung, Lan

### ABSTRACT

In this study, compressive strengths of reinforced concrete compression members rehabilitated with C.F.L were analyzed from the test. Test parameters are spacing, spliced length, and section area of rehabilitation material. Displacement, failure load were measured during test. The failure mode and ultimate load were analyzed from these measured data.

Test result shows that closer spacing of C.F.L is more effective. Strengthening with 1-ply C.F.L is more effective than that of specimen with 2-ply C.F.L. The compressive capacity of specimen spliced ( $\pi \cdot D$ )/2 shows almost similar strength to that of non-spliced specimen. The ultimate load carrying capacity of specimen strengthened with C.F.L is increased to 1.11~1.68 times of that of non-rehabilitation specimen.

key words : compression member, carbon fiber laminate, rehabilitation, reinforcing effect

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물의 압축부재는 재료의 강도부족, 설계변경에 의한 과하중 등의 요인으로 압축 능력과 휨능력의 부족으로 압축부재의 보수 및 보강을 필요로 하는 경우가 많다. 압축부재는 압축능력이 부족할 경우 콘크리트에 의한 단면 증대, 강판의 부착 등의 방법으로 보강되고 있다. 그러나 이러한 보강방법은 콘크리트 기둥과 보강재의 일체성을 확보하기 어렵고 실제로 시공하기도 쉽지 않다. 이에 비해 탄소섬유판의 부착보강방법은 비교적 시공이 용이하여 경제적이며, 콘크리트 기둥과 보다 일체성을 확보할 수 있다.

본 연구는 탄소섬유판을 이용, 압축부재를 횡보강하여 그에 따른 보강효과와 파괴양상을 비교 분석한다. 분석 결과 횡방향으로 구속된 압축부재의 구조적 거동의 특성을 파악하여 기둥의 압축강도 부족으로 인한 부재의 내력을 보강하는 보강방법 수립에 기초적 자료를 제공하고자 하는데 연구의 목적이 있다.

\* 정회원, 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 한국안전진단기술연구소 소장, 공학박사

\*\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 연구담당이사

## 2. 실험계획

### 2.1 시험체 계획

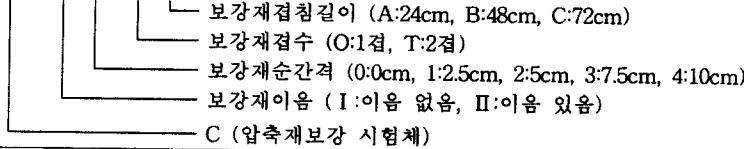
시험체는 실험실의 조건과 시험체의 구조적 거동을 적합하게 나타낼 수 있는 크기로 계획하였다. 시험체의 크기는 지름과 길이의 비가 1:4가 되도록  $\phi 15\text{cm} \times 60\text{cm}$ 으로 하였고, 보강재는 나선으로 감기 용이한 두께 0.2mm의 탄소섬유판으로 보강하였다.

연구의 목적을 위하여 각 변수에 3개씩 총 30개의 시험체를 계획하였으며 각각의 시험체 변수별 상세는 표1과 같다.

표1 시험체 변수별 상세

시험체명	개수	보강재 폭 (cm)	보강재 순간격 (cm)	보강재 접수 (겹)	보강재 이음길이 (cm)	시험체명	개수	보강재 폭 (cm)	보강재 순간격 (cm)	보강재 접수 (겹)	보강재 이음길이 (cm)
CN	3					C-I4-O	3	2.5	10.0	1	-
C-I0-O	3	2.5	0	1	-	C-II1-T	3	2.5	5.0	2	-
C-I1-O	3	2.5	2.5	1	-	C-II1-TA	3	2.5	5.0	2	24
C-I2-O	3	2.5	5	1	-	C-II1-TB	3	2.5	5.0	2	48
C-I3-O	3	2.5	7.5	1	-	C-II1-TC	3	2.5	5.0	2	72

### C-I1-TA



### 2.2 시험체 제작

압축부재 횡보강시험체 제작에 사용된 콘크리트는 예상압축강도  $210\text{kg/cm}^2$ 이고, 슬럼프 12cm, 최대 굵은 골재치수 25mm인 기성품 콘크리트를 레미콘 회사에서 주문 의뢰하여 사용하였다. 시험체의 타설시 진동다짐을 실시하였으며, 동시에 공시체 20개를 제작하였다. 시험체의 양생온도는  $15\sim 16^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 공시체는 KS F 2405에 따라서 지름 10cm, 높이 20cm의 원주형 공시체를 제작하였으며, 시험체와 동일한 조건으로 양생하였다. 공시체의 28일 압축강도 실험결과 콘크리트의 평균 압축강도는  $197\text{kg/cm}^2$  이었다.

사용된 콘크리트의 배합표 및 보강재의 역학적 성질은 표2와 같다.

표2 (a) 콘크리트 배합표

배합강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	W/C (%)	배합중량 ( $\text{kg/m}^3$ )				슬럼프 (cm)
		물	시멘트	모래	자갈	
210	54.7	179	327	864	951	12

표2 (b) 보강재의 특성

종류	인장강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	설계탄성계수 ( $\text{kg/cm}^2$ )	비고
탄소섬유판	$1.95 \times 10^4$	$1.55 \times 10^6$	TZ-307사용

표2 (c) 보강용 접착재료의 특성

종류	배합비		압축강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	접착강도 ( $\text{kg/cm}^2$ )	TYPE
	주제	경화제			
에폭시 모르터	3	1	316	162	이액형 대기양생

### 2.3 시험체 보강

보강재인 탄소섬유판은 시험체에 부착하기 전에 보강재의 표면을 사포로 갈고 깨끗이 닦아냈다. 그 다음에 시험체에는 에폭시 모르터를 일정 두께로 도포 하였다. 보강재는 각각의 변수에 따라 간격, 접

수, 이음길이에 변화를 주어 시험체에 접착하였다. 보강 후 시험체 단부의 파괴를 방지하기 위하여 상·하 단부 부분은 폭 10cm, 길이 150cm의 보강재로 감아서 보강을 하였다. 보강 후 시험체의 형상은 그림1과 같다.

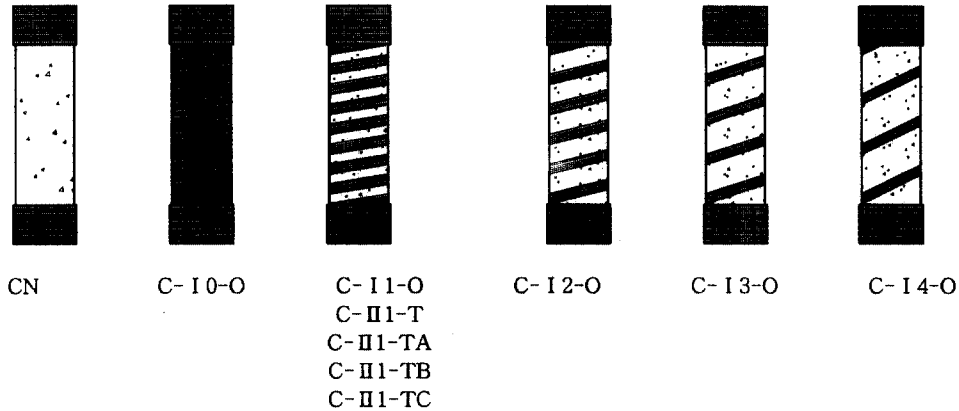


그림1 압축부재 보강시험체

### 3. 실험

#### 3.1 시험체 설치 및 가력

만능시험기 가력대의 중앙부에 하중측정기를 설치한 후 시험체를 하중측정기의 중앙부에 올려놓고 수평기를 이용하여 시험체의 수직·수평을 유지하여 편심이 발생하지 않도록 시험체를 설치했다. 변위의 측정은 시험체의 상·하단부에 철물을 설치하고 철물 위에 좌·우 양측에 변위측정기(L.V.D.T)를 설치하여 축방향변위를 측정하였다. 측정위치와 가력은 그림2와 같다. 하중의 가력은 예상최대하중의 75%에서부터 변위제어방식(Displacement Control)에 의해 하중을 가력하였으며 최대하중 이후 보강재가 파단되어 시험체가 파괴되면 가력을 중지하였다. 가력시의 하중측정기의 하중과 변위측정기의 변위는 자료취득기(UCAM-5BT)를 이용하여 취득하였다.

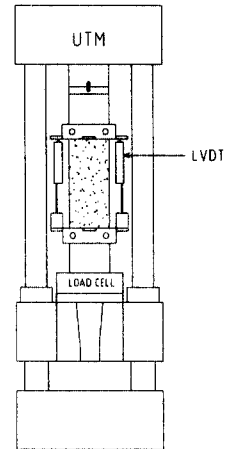


그림2 압축재보강 시험체의 설치 상황

#### 3.2 실험결과

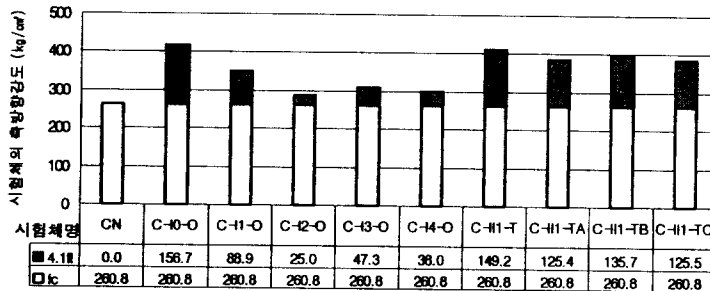
보강된 모든 시험체는 전반적으로 상당한 인성을 보이다 보강재의 파단에 의하여 급격히 파괴되는 양상을 보였다. 시험체는 파괴시에 큰 폭발음과 함께 파괴되었으며 파괴된 시험체는 원뿔모양의 형태를 나타냈다. 보강된 모든 시험체는 보강재의 간격이나 겹수에 관계없이 최대하중에 도달하였다. 시험체가 파괴되기 전까지 시험체 자체에는 균열이나 박리현상이 나타나지 않았고, 단지 접착제로 사용된 에폭시 모르타만이 균열과 박리현상을 보였다. 균열과 박리현상은 각 시험체들의 예상최대하중의 65% 정도 가력 이후 에폭시 모르타가 박리되는 작은 소리를 내기 시작하였다. 각 시험체들의 예상최대하중 90~95% 정도 가력 이후 에폭시 모르타가 균열을 시작하여 박리되며 작은 파편들이 튀었다. 균열과 박리의 정도는 보강재의 보강 간격이 넓어질수록 약간씩 증가하였다.

시험체 각각의 실험결과는 다음과 같고, 각 변수의 최대하중과 변위는 같은 변수의 시험체들의 평

값으로 기록하였다. 변수별 평균최대하중과 평균변위는 표3과 같다.

표3 시험체 변수별 실험결과

시험체명	최대하중 일 때				시험체명	최대하중 일 때			
	하중 (ton)	평균하중 (ton)	변위 (mm)	평균변위 (mm)		하중 (ton)	평균하중 (ton)	변위 (mm)	평균변위 (mm)
CN-1	42.97	46.07	1.15	1.39	C-I 4-O1	45.96	52.78	1.41	1.62
CN-2	50.66		1.54		C-I 4-O2	51.50		1.77	
CN-3	44.58		1.48		C-I 4-O3	60.88		1.69	
C-I 0-O1	64.50	73.75	5.60	6.32	C-II 1-T1	67.38	72.43	6.60	6.40
C-I 0-O2	78.50		5.44		C-II 1-T2	76.63		7.70	
C-I 0-O3	78.26		7.92		C-II 1-T3	73.29		4.91	
C-I 1-O1	55.52	61.78	2.02	3.39	C-II 1-TA1	73.86	68.21	5.85	5.01
C-I 1-O2	51.55		1.91		C-II 1-TA2	59.96		5.34	
C-I 1-O3	78.26		6.24		C-II 1-TA3	70.80		3.85	
C-I 2-O1	52.91	50.49	1.39	1.68	C-II 1-TB1	69.10	70.04	2.83	5.82
C-I 2-O2	45.26		1.74		C-II 1-TB2	67.52		8.32	
C-I 2-O3	53.30		1.92		C-II 1-TB3	73.51		6.30	
C-I 3-O1	57.61	54.42	2.70	1.89	C-II 1-TC1	64.61	63.23	5.56	5.61
C-I 3-O2	54.84		1.57		C-II 1-TC2	63.34		4.84	
C-I 3-O3	50.80		1.41		C-II 1-TC3	61.74		6.44	



■ 4.1f<sub>i</sub> 보강재의 휨보강에 의한 추가응력  
 □ f<sub>c</sub> 휨보강되지 않은 콘크리트 압축강도

그림3 시험체 변수별 축방향강도

#### 4. 분석 및 고찰

##### 4.1 기존의 제안식에 따른 비교

실험결과 얻어진 최대하중과 기존에 제안된 휨보강된 콘크리트 압축강도 산정식에 의한 계산값을 비교하여 표4에 나타내었다.

- 휨보강된 콘크리트 압축강도 산정에 관한 Richart et al.의 제안식<sup>1)</sup>

$$\bullet f_{oc} = f_o + 4.1f_i$$

- f<sub>oc</sub> : 휨보강된 콘크리트의 압축강도
- f<sub>o</sub> : 휨보강되지 않은 콘크리트의 압축강도
- f<sub>i</sub> : 보강재의 휨보강응력

$$\cdot f_l = (2A_{CL} \times f_{CL}) / (d_c \times S)$$

- $A_{CL}$  : 보강재의 단면적
- $f_{CL}$  : 보강재의 인장강도
- $d_c$  : 횡보강된 콘크리트의 단면적의 지름
- $S$  : 보강재의 중심사이 간격

표4 기존의 제안식에 따른 최대하중의 비교

시험체명	예상횡보강응력			예상하중 (ton)	최대하중 (ton)	최대하중/예상하중	시험체명	예상횡보강응력			예상하중 (ton)	최대하중 (ton)	최대하중/예상하중
	$f_{oc}$	$f_o$	$f_L$					$f_{oc}$	$f_o$	$f_L$			
CN	247.0	247.0	0		43.78	1.00	C-I 4-O	389.6	247.0	10.4	51.17	48.73	0.95
C-I 0-O	460.2	247.0	52.0	81.32	73.58	0.91	C-II 1-T	460.2	247.0	52.0	81.32	72.43	0.89
C-I 1-O	353.6	247.0	26.0	62.48	61.78	0.99	C-II 1-TA	460.2	247.0	52.0	81.32	68.26	0.84
C-I 2-O	317.9	247.0	17.3	56.17	50.34	0.90	C-II 1-TB	460.2	247.0	52.0	81.32	70.04	0.86
C-I 3-O	300.3	247.0	13.0	53.06	54.42	1.03	C-II 1-TC	460.2	247.0	52.0	81.32	63.23	0.78

보강효과는 보강재를 한 겹 사용한 시험체들이 평균 0.96배이며, 평균 0.84배로 나타난 보강재를 두 겹 사용한 시험체들보다 더 우수한 것으로 나타났다. 따라서 기존 제안식을 적용하여 보강재를 두 겹 사용한 기둥은 불안전축인 것으로 판단된다.

#### 4.2 보강재 간격에 따른 비교

ACI CODE<sup>2)</sup>에서는 압축재 횡보강 나선철근의 순간적은 최대 3in(7.5cm)이하로 정하고 있다. 따라서 본 실험에서는 보강재의 보강간격은 보강재 순간적으로 나타내었다. 보강재의 순간적은 ACI 규준범위 이내인 0in(0cm), 1in(2.5cm), 2in(5cm), 3in(7.5cm) 간격과 ACI 규준범위 이상인 4in(10cm)간격으로 변수를 두어 보강재의 간격에 따른 보강효과를 비교하였다.

실험결과 변수에 따른 하중-변위곡선은 그림4와 같다. 실험결과 얻어진 최대하중과 예상하중을 비교하여 보면 각각의 변수마다 미소한 차이를 나타내나 보강재의 간격이 규준범위 이상인 10cm 이상의 간격에서도 보강효과는 있는 것으로 나타났다. 그러나, 보강재의 간격이 좁을수록 동일하중에서의 변위가 작고 연성이 크게 나타나, 에너지 흡수가 요구되는 내진구조인 경우 간격이 좁을수록 유리할 것으로 판단된다.

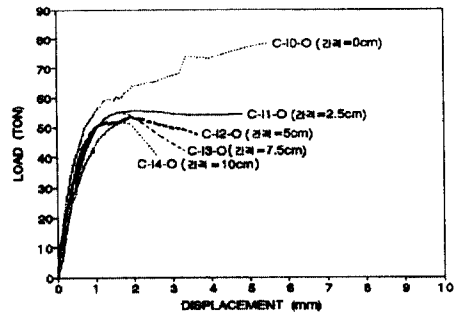


그림4 보강재 간격에 따른 영향 비교

#### 4.3 보강재 이음길이에 따른 비교

압축부재 횡보강시에 보강재의 이음이 있을 경우 보강재의 이음길이가 압축부재의 횡보강 효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 보강재의 이음길이에 변수를 두어 비교하였다. 실험결과 변수에 따른 하중-변위곡선은 그림5와 같다. 실험결과 보강재의 이음이 없이 하나의 보강재로 보강한 시험체가 가장 높은 최대하중과 높은 연성을 나타내었다. 보강재 이음길이가 24cm(0.5×시험체둘레), 48cm(1.0×시험체둘레), 72cm(1.5×시험체둘레)인 시험체들의 이음부분의 초기파리는 보강재의 이음길이가 길수록 높은 하중에서 나타나기는 했으나, 시험체 파괴시 보강재 파단부분

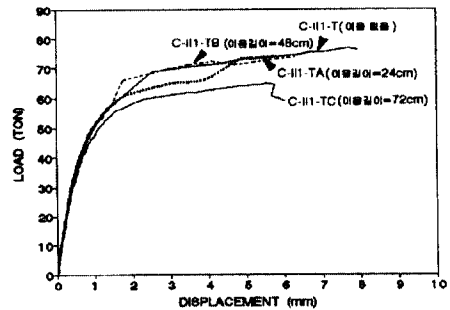


그림5 보강재 이음길이에 따른 영향 비교

은 이음부분이 아니었다. 이러한 결과로 보강재의 겹침이음 길이는 일정길이(0.5×시험체둘레)이상이면 압축부재의 횡보강 효과에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

#### 4.4 보강량에 따른 비교

압축부재 횡보강시 동일 보강량 일 때, 보강재의 겹수와 간격이 미치는 영향을 알아보기 위하여 보강재의 보강량은 동일하게 하고 간격과 겹수를 상이하게 변수를 두어 비교 하였다.

실험결과에 따른 하중-변위곡선은 그림6과 같다. 실험결과 압축부재의 횡보강시 보강재의 보강량이 동일하면 최대 하중도 거의 동일하게 나타났다. 그러나 보강재의 겹수가 두겹인 시험체가 한겹인 시험체보다 초기항복하중과 연성이 더 큰 것으로 나타났다

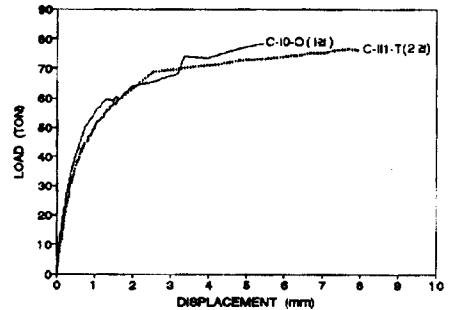


그림6 보강재 보강겹수에 따른 영향

### 5. 결 론

콘크리트 압축부재의 횡보강효과를 파악하기 위하여 탄소섬유판으로 보강한 압축부재시험체의 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 무보강 시험체는 파괴 후 내력이 갑자기 저하되는 취성파괴양상을 보이는 반면, 탄소섬유 판으로 보강된 시험체는 최대내력에 도달하여도 변형이 증가하는 연성파괴 양상을 나타내었다.

(2) 보강재의 간격이 좁을수록, 즉 보강량이 많을수록 보강효과는 증대되었다. 또한 보강량에 따른 보강 효과는 기존에 제안된 횡보강된 콘크리트 압축강도 산정식에 의한 값과 거의 일치하였으나, 두겹 보강인 경우 제안식을 다소 하향시키는 수정이 필요한 것으로 판단된다.

(3) 보강재의 간격이 좁을수록 동일하중에서의 변형이 작고, 연성이 증대되었다. 따라서 구조물의 내진성능을 향상시키고자 할 경우 보강재의 간격을 좁게 하면 매우 효과적일 것으로 판단된다.

(4) 보강부분의 이음길이를 시험체 둘레의 반 이상으로 하는 경우, 이음이 없는 시험체와 그 보강효과가 같게 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 신원건축환경기술연구소의 연구비 지원으로 수행된 연구로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) F. E. Richart, A. Brandtzaeg, and R. L. Brown, "A Study of the Failure of Concrete Under Combined Compressive Stresses", University of Illinois Engineering Experimental Station, Bulletin No. 185, 1928, 104pp.
- 2) ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95)," American Concrete Institute, Detroit.