

# 강제정착장치를 이용한 탄소섬유 보강보의 휨 성능 개선에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Improvement of Flexural Behaviors of RC Beams with CFS using End-Anchorage

이 재 춘 \*    이 우 철 \*\*    김 동 환 \*\*\*    김 성 도 \*\*\*\*    정 진 환 \*\*\*\*\*  
Lee, Jae-Chun    Lee, woo-cheol    Kim, Dong-Hwan    Kim, Seong Do    Cheung, Jin-Hwan

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경

철근콘크리트 구조물의 사용성 향상과 강도회복을 목적으로 하는 보수 및 보강공법은 공공의 안전성, 구조적 적절성, 환경에 미치는 영향, 사용성 및 미관 그리고 균열, 박리 및 표면붕괴 등 성능저하의 정도에 따라 선택 및 적용된다. 구조물의 사용성이나 내력 측면에서 휨 부재를 보강하는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다. 그 방법으로서 단면증설, 외부 프리스트레싱 방법과 중간기둥 증설에 의한 순지간 저감방법, 풀리머 함침, 보강판의 접착 등이 있다. 최근에는 내부식성, 내화학적 및 내피로성 등의 장점을 지닌 섬유시트(Fiber Sheet)를 이용하여 에폭시로 접착하는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나, 기초자료가 매우 부족하여, 이에 대한 실험적 연구가 요망된다.

#### 1.2 연구 목적

섬유보강재는 보강효과가 입증되고 있으나 보강재가 단부에서 조기에 탈락하거나, 보강 설계 하중보다 작은 값에서 탈락이 발생하는 경향을 보이고 있다. 특히, 구조물이 반복하중이나 피로하중을 받게 될 경우 조기탈락한 보강재는 안전성을 확보하여야 한다. 이에 대한 연구로서, 보강재의 내력을 증가 시키고 동시에 탈락을 방지하여 신뢰성을 확보하기 위한 실험을 수행하였다.

구조물이 외부의 영향으로 철근이 손상되었다고 가정하여 시험체를 제작하고, 탄소섬유시트로 보강하였다. 보강된 시험체는 기초실험에서 정착효과가 입증된 강제정착장치가 사용되었으며, 시험체가 손상되기 전의 거동을 목적으로 실험을 수행·검토하였다. 섬유시공은 자중을 받는 상태에서 실시하고, 각 시험체를 기준시험체와 비교하여 부착력 증대효과를 검증하였다. 그리고, 실험변수에 따른 강도특성, 변형특성, 파괴양상 등을 고찰함으로써 강제정착장치를 설치한 철근콘크리트 보의 보강효과와 안전성에 대해 연구하였다.

\* 정회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정

\*\* 정회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, (주)한국엔지니어링 대표이사

\*\*\*\* 정회원, 강성대학교 토목공학과 부교수

\*\*\*\*\* 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수

## 2. 실험계획

### 2.1 시험체의 계획

#### 2.1.1 시험체의 단면

시험체의 크기는 그림1과 같이  $40 \times 20 \times 340\text{cm}$ 이고, 순수 휨파괴를 유도하기 위하여 순지간 거리를  $320\text{cm}$ 로 하여 중앙지점에서 가력하였다. 시험체는 극한강도 설계법에 따라 설계되었으며, 최소 철근비를 넘도록하기 위해 3-D13을 배근하였다. 세 개의 철근 중 중앙철근을 절단하여 사용중인 구조물의 인장철근이 손상을 입었다고 가정하였다. 보강시험체 단부에는 강제정착장치를 설치하고, 정착부와 탄소섬유쉬트의 보강효과에 대하여 실험하였다(그림1 참조). 정착장치는 양 단부의 홈에 강봉( $\phi 10\text{mm}$ )을 넣은 후 강판( $15 \times 20 \text{ cm}$ )을 대고 앵커볼트로 고정하였다.

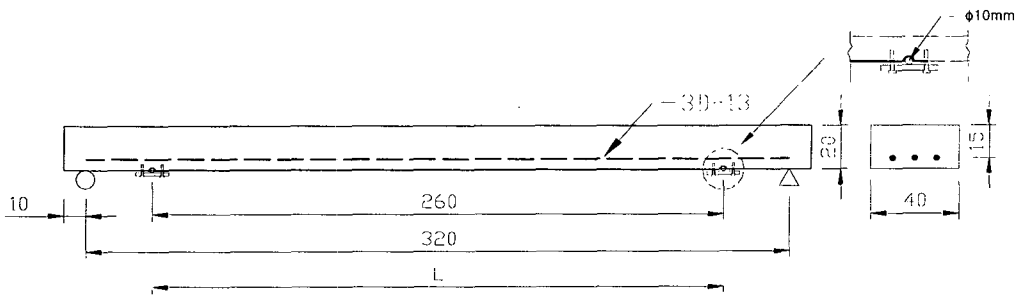


그림 1 시험체 단면

#### 2.1.2 실험변수

실험 변수로는 섬유쉬트의 보강 유무, 강제정착장치 유무, 인장철근의 절단 여부, 프라이머 도포길이와 섬유쉬트 보강 겹수로서 총 12개의 시험체를 제작하였다.

표 1 실험변수에 따른 분류

	시험체 종류	철근절단 유부	보강길이 (cm)	정착장치유부	보강겹수 (ply)	보강폭 (cm)	프라이머 도포 길이 (cm)	시험체 개수
기준 시험체	B_S	×		×				2
	B_DS	○		×				
보강 시험체	FC_S 1	×	260	○	1	10	270	2
	NF_D 1	○	260	×	1	10		
정착 시험체	FC_D 1	○	260	○	1	10	10	3
	FC_D 2	○	260	○	2	10	10	3
	FC_D 1A	○	260	○	1	10	270	1
	FC_D 2A	○	260	○	2	10		1
계								12

## 2.2 실험 재료

### 2.2.1 콘크리트와 철근

콘크리트와 철근의 재료특성치는 <표 2>, <표 3>과 같다. 콘크리트는 실험실에서 거푸집을 제작하여 타설하였고, 약 60일 동안 기건양생을 실시하였다.

표 2 콘크리트 재료 물성

구 분	물성치
압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	240
공기량(%)	4.5
슬럼프(cm)	12

표 3 철근의 재료 물성

구 분	물성치
종 류	D13(1.267cm <sup>2</sup> )
항복강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	4000
탄성계수(kgf/cm <sup>2</sup> )	2.0 × 10 <sup>6</sup>

### 2.2.2 섬유쉬트와 에폭시

보강재로는 철근과 탄성계수가 유사한 탄소섬유쉬트를 사용하였다. 사용된 탄소섬유쉬트와 에폭시의 역학적 성질을 <표 4>, <표 5>에 나타내었다.

표 4 섬유쉬트 재료 물성

구 분	탄소섬유
탄성계수(kgf/cm <sup>2</sup> )	2.35 × 10 <sup>6</sup>
설계두께(mm)	0.11
인장강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	35000

표 5 에폭시 재료 물성

구 분	에폭시
인장 강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	400
압축 강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	750
전단 강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	300

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 섬유쉬트 및 정착장치의 부착

섬유 및 정착장치의 부착과 설치는 시험체가 자중을 받고 있는 상태에서 실시하였고, 탄소섬유쉬트를 부착한 후 강봉을 매입하고 정착장치를 설치하였다.

### 2.3.2 시험체의 재하 및 측정방법

시험체는 균열상황과 파괴상황을 정확히 관찰할 수 있도록 측면을 흰색 페인트로 칠한 후 건조시키고, 가로 5cm, 세로 10cm 단위로 격자를 그어 표시하였다. 시험체의 표면에 그라인딩을 실시하여 표면의 요철을 최소화하고, 강봉이 매입될 홈은 섬유가 파단을 방지하기 위하여 라운딩을 실시하였다. 하중은 50tonf Actuator를 사용하여 섬유가 파단되거나 탈락될 때까지 재하하였다. 기준시험체 항복하중의 80%까지 하중제어로 가력하고, 이후 2.5mm/min로 변위제어로 가력하였다. 처짐은 각 시험체의 지간중앙 하단면에 측정범위가 10cm인 변위계(LVDT)를 설치하여 측정하였다(그림 2 참조). 인장철근 중앙점에서의 변형률은 타설

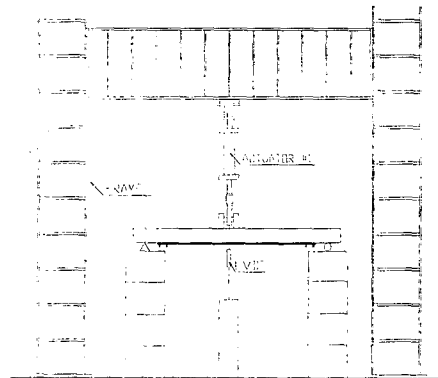


그림 2 실험체 가력 장치

전 매입된 strain gage로 측정하였다. 또한 보강재에 일정간격으로 strain gage를 부착하여 변형률을 측정하였다. 시험체에 하중을 가했을 때 로드셀을 통하여 전달되는 하중의 크기와 자동변위계 및 변형 게이지 값은 Data Acquisition System을 통하여 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 파괴양상

파괴양상은 전 시험체에 걸쳐 전형적인 휨파괴를 보이고 있다. 정착장치가 없는 NF\_DS1 시험체는 항복하중 이후 중앙부의 탄소섬유쉬트가 박리되면서 지점부까지 탈락되었다. 정착장치가 있는 FC\_D1 군 시험체는 탄소섬유쉬트의 박리가 지점부까지 진행되었으나, 정착장치로 인해 완전히 탈락하지 않고 처짐 증가 후 단부에서 탄소섬유쉬트가 파단되거나 탈락되는 연성거동을 나타내었다. FC\_D2군 시험체는 중앙부를 중심으로 섬유쉬트의 박리가 단부까지 진행되었으나 정착장치에서 섬유쉬트가 파단되는 현상은 나타나지 않았다. 그러나 FC\_D2-1 시험체의 경우 처짐의 증가로 중앙부에서 우측 지점까지 계면박리가 진행되면서 정착장치에서의 섬유파단과 함께 콘크리트가 파괴되었다. 이것은 인장력을 받던 탄소섬유가 강봉매입 부분에서 파단되는 것과 동시에 인장력이 철근으로 전달되어 응력이 갑자기 상승되어 철근의 인장파괴로 판단된다.

기준 시험체는 폭이 큰 균열들이 중앙부에 집중하였으나, 정착장치 섬유보강시험체는 기준 시험체에 비해 균열 진전 속도가 느리고, 보 길이가 전체에 걸쳐 비교적 작은 폭의 균열이 발생하였다. 항복하중에 이를 때까지 부착된 탄소섬유쉬트가 철근의 응력을 분배하는 것으로 일체거동을 한다는 것을 알 수 있었다.

#### 3.2 하중-처짐 곡선

보강시험체의 하중-처짐 곡선은 <그림 3>~<그림 5>와 같다. 보강시험체의 하중-처짐 곡선에서 인장철근이 항복한 이후 탄소섬유쉬트의 부착파괴가 발생하였다. 정착장치를 시공한 시험체는 기준시험체에 비해 강성의 증가를 보이며 연성거동을 나타내었다. 이는 섬유쉬트의 박리 후에도 강제정착장치에 의해 콘크리트 파괴시까지 하중을 지속적으로 받아주고 있다고 판단된다.

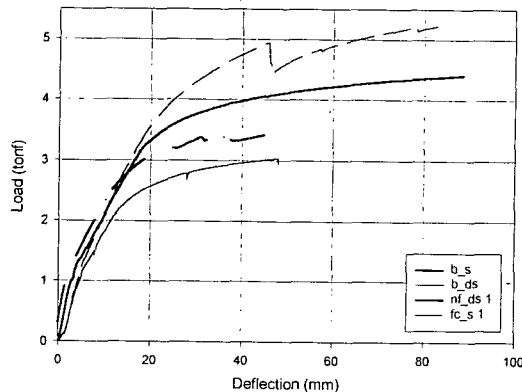


그림 3 기본시험체의 하중-처짐 곡선

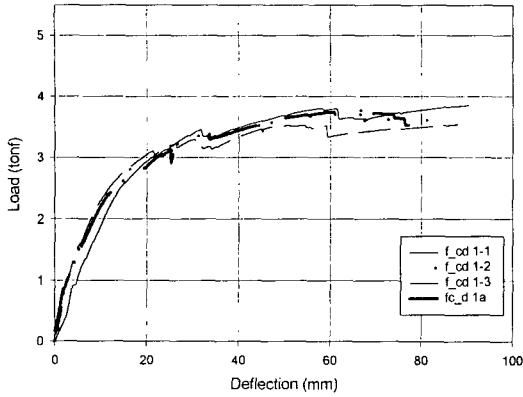


그림 4 1점 보강시험체의 하중-처짐 곡선

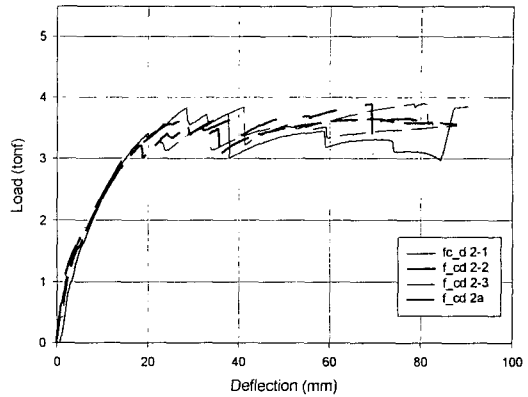


그림 5 2점 보강시험체의 하중-처짐 곡선

표 6 CFS 보강보의 실험결과

시험체명	항복하중 (tonf)		처짐 (mm)		균열양상
	이론값	실험값	이론값	실험값	
B_S	2.28	2.58	11.15	8.46	휨 파괴
B_DS	1.80	1.82	9.74	10.08	휨 파괴
NF_DS 1	1.92	2.18	9.85	9.21	단부 섬유 탈락
FC_S 1	2.75	2.95	14.03	15.09	정착부 섬유 파단
FC_D 1-1	1.92	2.18	9.85	11.68	단부 섬유 탈락
FC-D 1-2		2.27		10.28	단부 섬유 탈락re
FC_D 1-3		2.25		9.54	정착부 섬유 파단
FC_D 1A		2.30		10.86	정착부 섬유 파단
FC_D 2A	2.10	2.37	9.94	9.73	단부 섬유 탈락
FC_D 2-1		2.42		10.46	콘트리트 파괴
FC_D 2-2		2.49		10.31	단부 섬유 탈락
FC_D 2-3		2.66		11.58	단부 섬유 탈락

### 3.3 보강효과

#### (1) 중앙부 철근의 절단 유무

FC\_D1군과 FC\_D2군의 보강효과는 <표 6>에 나타내었다. 정착장치가 있는 시험체는 기준시험체의 항복하중과 유사하게 나타났으며 정착력을 증대시키는 것으로 나타났다. 그러나, 정착장치가 없는 NF\_DS1 시험체는 항복하중 이후 부착면의 박리가 급격히 진행되어 단부에서 탈락되었다.

#### (2) 보강접수

1점 보강한 FC\_D1군 시험체에 비해 2점 보강한 FC\_D2군 시험체가 균열진척도가 작게 나타났다. 하중-처짐 곡선의 기울기를 분석한 결과, 2점 보강시험체가 강성이 증대되어 균열억제효과가 있음을 확인하였다.

### (3) 프라이머 도포 길이

프라이머를 270cm 보강한 시험체와 정착장치 부근에 10cm 도포한 시험체의 실험결과는 크게 다르지 않았다. 실험결과에서는 보강시험체의 프라이머 도포 길이에 대한 거동차이를 확인할 수 없었다.

## 4. 결론

1. 탄소섬유쉬트에 대한 보강량은 프로그램을 사용하여 적용하였다. 기준시험체의 항복하중에 대한 보강은 탄소섬유쉬트를 2겹 보강한 시험체와 동일하도록 하였다. <표 6>에 나타난 실험결과를 통해 계산치와 유사한 것을 확인하였다. 이는 정착장치로 보강된 탄소섬유쉬트가 손상된 철근의 인장력을 받아들일 수 있으며, 탄소섬유 보강에 대한 신뢰성을 높여줄 수 있다고 판단된다.
2. 보강시험체의 대부분이 중앙균열부에서 박리가 시작되었으며, 중국에는 정착장치 부근에서 섬유파단이 발생하였다. 정착장치가 없는 NF\_DS1 보강시험체는 항복하중 이후 섬유탈락이 발생하였고, 정착장치가 있는 약간의 보강시험체는 내력증진을 보이면서 섬유의 박리 후 정착장치에 의해 연성이 크게 증가하였다. 이는 최대하중 이후 보강의 신뢰성을 확보함을 알 수 있었다.
3. 2겹 보강한 시험체는 1겹 보강한 시험체에 비해 정착부 섬유 파단시까지 처짐은 크게 달라지지 않았지만, 철근 항복 이전까지의 균열폭은 1겹 보강시험체에 비하여 상당히 작았다.

## 참고문헌

- 1) 이영재, “강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판으로 휨보강된 철근콘크리트 슬래브의 구조적 거동”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 1998
- 2) 구은숙외, “CFS의 휨보강성능에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트 학회 논문집, 1998
- 3) 한만엽외, “사용중인 구조물의 손상상태에 따른 부재의 보강설계에 관한 연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), 1999
- 4) 박홍용, “AFRP 보강 철근콘크리트 슬래브에 대한 사용하중의 검토” 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), 1999
- 5) R.PRAK and T.PAULAY, “Reinforced Concrete Structures”, 1974
- 6) 한만엽외, “탄소섬유 보강공법의 조기 탈락 방지 공법 개발 연구”, 콘크리트학회 논문집, 2000
- 7) 심중성외, “탄소섬유쉬트로 보강된 철근콘크리트 보의 계면박리에 대한 해석적 연구”, 콘크리트 학회지 제11권 2호, 1999.4