

# 탄소섬유 보강판을 이용한 철근콘크리트 보의 휨성능 개선에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Flexural Strength of RC Beam Strengthened by Carbon Fiber Reinforced Plate

한상훈\*      허 열\*\*      조홍동\*\*\*      홍기남\*\*\*\*      박명준\*\*\*\*\*  
Han, Sang Hoon      Heo, Yol      Cho, Hong Dong      Hong, Kee Nam      Park, Myung Joon

### ABSTRACT

Recently, Carbon Fiber Reinforced Plates are widely used to strengthen the RC beams. But the behaviour of the RC beams which is strengthened with the CFRP is not clearly defined yet. So, this experimental study was carried out for reinforced concrete beams with epoxy-bonded CFRP plates. This study is selected experimental variables which are strengthening plate length, pre-loading before reinforcement and the method of anchoring the plate ends. This study investigates the strengthening effect of the RC beams by adhesion of the CFRP, and CFRP as to the respective variables.

### 1. 서론

손상된 콘크리트 구조물을 보강재를 이용하여 보강하는 방법으로는 강판 또는 각종 섬유쉬트 및 섬유 보강판의 부착, 그리고 섬유판의 외부 포스트텐서닝 등이 주로 사용되고 있으며 이 방법들은 구조물의 내하력 증가에 성공적으로 적용되어 실구조물에의 적용이 점차로 증가하여 왔다. 그러나 이 중 강판 접착방법은 부재 단면 크기의 변화가 거의 없고 시공이 간편한 반면, 강판의 과도한크기와 자중으로 인한 시공후의 합성작용과 부식 등의 문제점 그리고 이로 인한 내구성 저하 등으로 점차 다른 재료로의 대체가 필요해 졌으며 이러한 상황에서 강도가 높고 경량이며 내부식성, 내화학적 등의 장점을 지닌 탄소, 유리, 아라미드 등과 같은 재료들이 많은 주목을 받고 있다. 특히 이들 신소재들 중 탄소섬유가 많은 관심을 끌고 있는데 탄소섬유쉬트(Carbon Fiber Sheet : 이하 CFS)보다 내구성 향상이 우월한 탄소섬유 보강판(Carbon Fiber Reinforced Plates : 이하 CFRP)을 이용한 구조물의 내하력 증진

- \*     정희원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
- \*\*    충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
- \*\*\*   충북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정수료
- \*\*\*\*   충북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
- \*\*\*\*\*   충북대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

공법과 관련된 많은 실험과 이론적 연구가 수행되고 있으며 실제 구조물에 시공되고 있다. 그러나 선형탄성적인 재료 성질로 인하여 파괴시 급작스런 취성파괴를 보이는 것으로 알려져 그 보강효과를 명확히 규명하기가 매우 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 CFRP를 보강한 RC보의 휨거동 및 내하력 실험을 통하여 그 효과를 확인하고 세 가지 보강변수 ①선하중 여부, ②보강길이, ③단부보강여부에 따른 보강효과에 대해 검증하고자 한다.

## 2. 실험 계획

### 2.1 실험 재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내용 1종 포틀랜드 시멘트를 이용하였으며, 굵은 골재의 최대치수는 25mm이하의 조골재를 사용한 레미콘 제품을 사용하였다. 콘크리트 강도는 재령 28일에서 측정된 압축 공시체의 평균 강도를 기준으로 하였으며 압축강도는  $\phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$  크기의 원통형 공시체를 제작하여 28일간 습윤양생한 후 실험하였다. 설계 배합강도는  $210\text{kgf/cm}^2$ , 슬럼프는 10cm, 공기량 4.5%, 28일 압축강도는  $212\text{kgf/cm}^2$ 이다. 철근은 항복응력이  $3552\text{kgf/cm}^2$ 인 철근을 사용하였으며 압축측에는 2D10을, 인장측에는 2D13을 배근하였다. 그리고 CFRP는 스위스 S&P사의 2000/200 제품을 사용하였다.

표 2.1 보수·보강 재료의 역학적 성질

물성 항목 재료	항복강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	압축강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	인장강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	탄성계수 ( $\text{kgf/cm}^2$ )
콘크리트	-	212	21	$2.17 \times 10^5$
Epoxy	-	839	269	$7.65 \times 10^4$
철근	3552	-	5218	$2 \times 10^6$
CFRP	22863	-	22863	$1.99 \times 10^6$

### 2.2 실험 변수와 시험체 제작

본 연구에서는 실험변수로서 선하중중의 제하 여부, 보강길이, 단부보강의 유·무를 고려하였으며 이를 토대로 총 13개의 시험체를 제작하였다. RC보 시험체의 단면치수와 배근상세는 그림 2.1과 같고 각각의 실험변수를 표 2.2에 나타내었다. 보의 폭 및 높이는 각각 15cm, 25cm이며 순지간 길이는 200

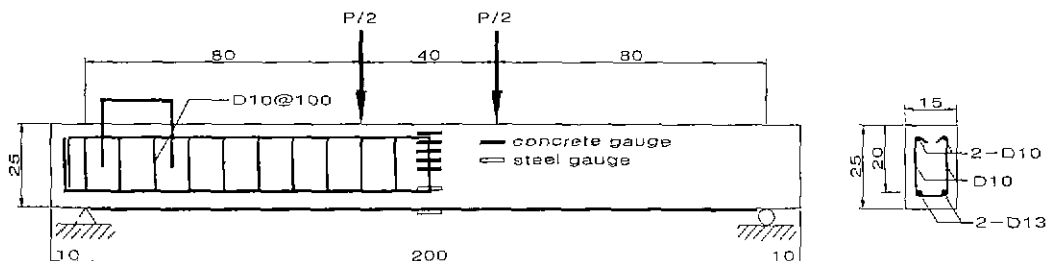


그림 2.1 시험체의 형상 및 제원 (단위 : cm)

표 2.2 실험 변수 상세

부재명칭	스팬비	선행하중재하	보강길이	단부보강 유·무
BC1	a/d : 4	-	-	-
BN-6U		극한하중의 0%	0.6L	O
BN-6N				×
BN-8U			0.8L	O
BN-8N				×
BN-10U			1L	O
BN-10N				×
BP-6U		극한하중의 75%	0.6L	O
BP-6N				×
BP-8U			0.8L	O
BP-8N				×
BP-10U			1L	O
BP-10N				×

cm, 총길이는 220cm이다. 철근비( $\rho$ )는 평형철근비의 33%를 배근하였고 시험 중 발생할 수도 있는 전단파괴를 방지하기 위하여 D10 스티럽을 10cm 간격으로 충분히 배근하였다.

### 2.3 하중재하 및 측정 방법

재하실험은 100tonf용량의 U.T.M을 50tonf으로 조정된 후 4점재하방식에 의하여 지지점을 부재에 맞추고, 그 위에 보 시험체를 설치하였다. 중앙부 처짐을 측정하기 위하여 실험체 중앙부에 변위 측정기(LVDT)를 설치하고, Data Logger에 리드선으로 변위측정기와 변형도 gauge를 연결하여 모든 gauge의 이상유무를 측정한 후 초기화 하였다. 시험체 설치 후 파괴시까지 하중조절방식으로 재하시켰으며, 재하과정에서 하중 단계별 균열진전 양상을 시험체에 직접 도시하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 파괴양상

시험결과 대부분의 CFRP 보강시험체는 중앙부 휨균열에 의한 콘크리트의 균열이 CFRP 단부로 진행되는 양상을 나타내었으며, 보강길이가 짧은 0.6L의 경우에서 단부파괴 내지는 정착보강부파괴의 형태를 나타내었다. 보강길이비가 0.6L인 시험체 BP-6N에서 보강재가 콘크리트를 물고 떨어지는 rip-off파괴가 나타났는데 이는 보강단부에 발생하는 응력의 집중현상으로 인한 것으로 보인다. 이러한 응력 집중 현상에 의한 파괴는 특히 보강길이가 짧은 보에서 잘 일어났는데 이는 선행하중의 여부와 관계없이 상대적으로 보강길이가 짧은 BN-6U, BN-8U, BP-6U에서의 정착보강부 CFS가 파단되면서 발생한 정착보강부 파괴에서도 잘 나타났다. 보강길이가 긴 실험보에서는 정착보강부 이전의 보 중앙부에서 보강재의 박리가 발생하는 계면파괴가 발생했다. 그림 31은 보강길이별 하중-처짐선도와 측면 보강여부에 따른 하중-처짐선도를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 보강된 RC보는 강도와 강성면에서 보강하지 않은 보에 비하여 상당한 증가를 보였고 강도와 강성의 향상에 비례하여 그만큼 연성이 감소하였으며 이에 따라 급작스럽게 파괴가 되는 취성 계면 박리파괴의 양상이 나타났다

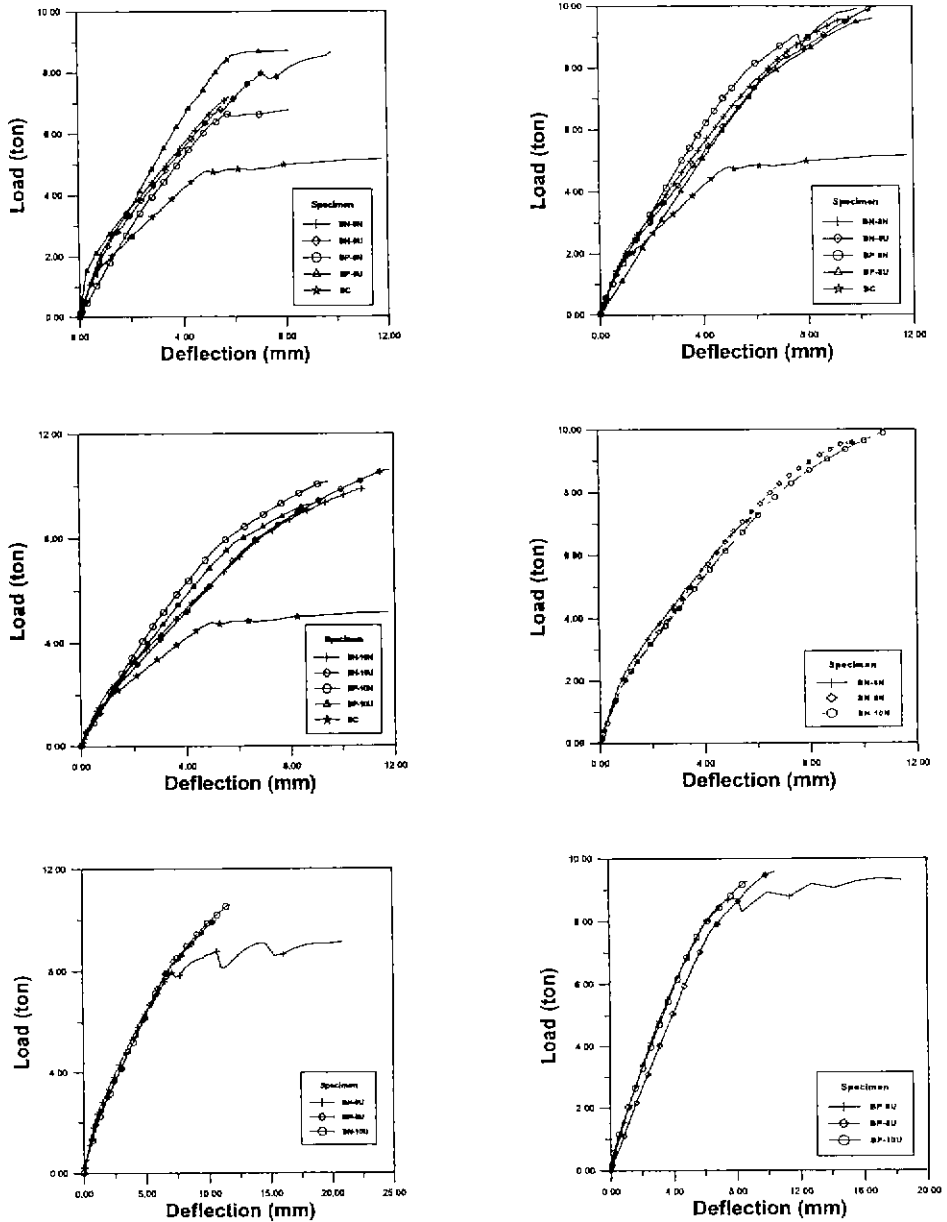


그림 3.1 보강 시험체의 하중-처짐선도

### 3.1.1 선하중의 영향

선하중으로 인한 균열이 CFRP의 보강효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 극한 하중의 75% 하중을 재하하여 균열을 발생시키고 이 보들을 CFRP로 보강하여 균열에 대한 보강효과를 살펴보았다 기준시험체 BC1의 하중-처짐 곡선을 보면 초기균열하중인 1.5tonf를 전후하여 기울기가 감소하는 것

표 3.1 실험결과와 파괴모드

시험체명	초기균열하중	항복		최대		지배적인 파괴모드
	$P_{cr}$ (tonf)	$P_y$ (tonf)	$\delta_y$ (mm)	$P_{max}$ (tonf)	$\delta_{max}$ (mm)	
BC	15	4.826	5.821	5.495	35.285	휨파괴
BN-6N	27	5.178	27.749	7.193	5.792	계면파괴
BN-8N	3.1	6.289	4.68	9.659	9.844	계면파괴
BN-10N	1.4	7.166	5.944	9.873	10.77	계면파괴
BN-6U	1.1	7.498	6.419	9.118	20.913	정착보강부파괴
BN-8U	1.9	6.698	5.365	9.97	10.687	정착보강부파괴
BN-10U	2.1	6.717	5.4	10.585	11.833	계면파괴
BP-6N	1.3	6.749	8.149	6.749	8.149	단부파괴
BP-8N	1.4	7.236	5.023	9.087	9.971	계면파괴
BP-10N	1.3	7.463	4.998	10.143	9.374	계면파괴
BP-6U	1.5	7.481	5.571	9.357	6.998	정착보강부파괴
BP-8U	1.3	7.331	6.056	9.589	10.506	계면파괴
BP-10U	1.4	7.457	5.473	9.263	8.742	계면파괴

이 명확하게 나타나며 항복하중 5.1tonf에서 처짐이 크게 증가하다가 최대하중 5.5tonf를 지나서는 처짐의 계속되는 증가와 함께 하중이 서서히 감소하는 전형적인 RC보의 하중-처짐 곡선을 나타냈다. 반면에 보강 길이에 따른 하중-처짐곡선의 그림은 선재하를 극한강도의 75%까지 가한 후 보강한 시험체들로 초기균열발생 하중인 약 1.4tonf를 전후하여 기울기의 변화가 거의 나타나지 않고 재하 초기부터 항복까지 기울기가 거의 직선에 가까운 것으로 나타났다.

### 3.1.2 보강길이의 영향

그림 3.1의 보강길이에 따른 하중-처짐 곡선을 보면 보강길이의 증가에 따라 최대하중의 크기가 증가하고 처짐은 길이 변수에 영향을 받지 않으며 보가 최대하중을 받을 때까지는 보강 길이와 관계없이 그 거동이 거의 비슷한 것을 볼 수가 있다. 기준 시험체들의 보강효과를 보면 보강전 극한하중이 5.495tonf이던 시험체가 선하중 없이 1.0L의 길이로 CFRP를 부착한 뒤로 9.817tonf을 받아서 약 80%의 최대하중 증가효과를 나타내었고 선하중의 재하없이 1.0L의 길이로 CFRP를 보강하고 측면에 CFS를 보강한 경우는 약 93%의 최대하중 증가효과를 나타내었다.

### 3.1.3 단부보강여부의 영향

금번 연구에서는 보강 단부를 CFS로 다시 정착보강하여 단부 보강을 한 시험체와 하지 않은 시험체로 나누어 CFRP의 최대효과를 살펴보도록 했다. 선하중을 가하지 않고 측면보강을 한 부재와 측면보강을 하지 않은 부재에서는 보강길이가 짧을 수록 측면 보강의 효과가 두드러지게 나타났는데 이는 보강길이가 짧아서 나타나는 조기 계면박리파괴를 측면 보강한 CFS가 효과적으로 구속시켜주었음을 나타낸다. 정착 단부의 측면보강 효과는 0.6L, 0.8L, 1.0L에서 각각 약30%, 3%, 7%가량의 내력 증가를 보였다.

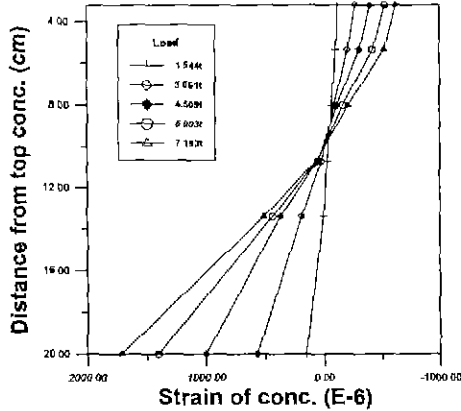


그림 3.2 BN-6N의 종립축 이동

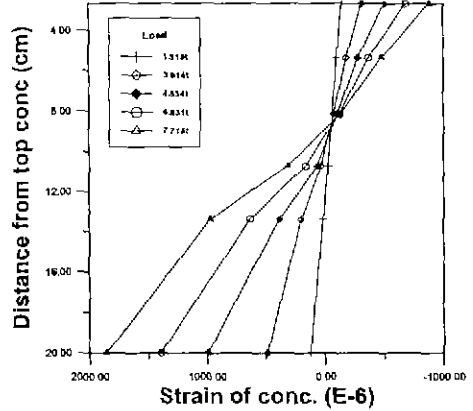


그림 3.3 BN-6U의 종립축 이동

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. CFRP의 보강효과는 보강길이 비가 클수록 휨내력에 대한 보강효과 즉, 최대하중이 증가하는 것으로 나타났다. 보강을 하지 않은 보에 비하여 6L로 보강한 경우는 31%, 0.8L로 보강한 경우는 76%, 1.0L로 보강한 경우는 80%의 최대 하중 증가효과를 나타냈다.
2. CFRP의 정착단부 보강 여부에 따른 보강효과는 U-type으로 시험체 높이만큼 측면을 보강한 경우가 보강을 하지 않은 경우보다 0.6L의 경우 약 30%, 0.8L의 경우 약 4%, 1.0L의 경우 약 8%의 보강 증가효과를 나타내어 보강길이가 짧을수록 정착단부보강이 효과적임을 나타내었다.
3. 선하중에 의한 균열이 생긴 보에의 보강은 균열이 없는 보에 대한 보강의 효과와 그다지 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 선하중에 의한 균열이 있는 보를 보강한 경우와 균열이 없는 보를 보강한 경우의 극한 하중에 대한 백분율이 평균 4%에도 미치지 못하는 것으로 나타났다.
4. CFRP는 보강길이에 관계없이 재료의 특성상 연성이 크지 않으나 짧은 보강 길이를 갖는 경우 측면을 U-type으로 보강하면 측면 보강을 하지 않은 경우에 비하여 균열이 없을 때 162%, 균열이 있을 때 143% 증가하여 연성을 확보하는데 도움이 되는 것으로 나타났다.

#### REFERENCES

1. Alfarabi sharif, I.A.Basunbul "Strengthening of initially Loaded Reinforced Concrete Beams using FRP Plates", ACI Structural Journal, 1994. 3-4, V. 91, NO. 2, pp160~168
2. 심종성, 김규선, 이석무, 김경민, "GFRP로 보강된 RC보의 휨특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회논문집, 제10권, 1호, 1998, 5월, pp.559~565
3. ACI, "Repairs of Concrete Structures-Assessments, Methods and Risks", Seminar Course Manual /SCM-21, 1989
4. 이현호, 구은숙, 이리형, "탄소섬유수트르 휨보강한 RC보의舉動에 관한 實驗的 考察", 人韓建築學會論文集, 제14권, 6호, 1998, 6월, pp.77~84