

# 탄소섬유 Rod로 성능향상된 R/C보의 휨 거동 연구

## The Study on Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened with the Carbon Fiber Rod

심종성\*      문도영\*\*      김영호\*\*\*      김동희\*\*\*  
Jong-Sung Sim      Do-Young Mun      Young-Ho Kim      Dong-Hee Kim

### ABSTRACT

The concrete beam is quickly required to be replaced or strengthened due to decreasing load carrying capacity. Flexural tests on 3.1m long reinforced concrete beams with carbon fiber rod are reported. The selected experimental variable is the method of the anchoring beam. The effects of this variable in overall behavior are discussed. This paper considered relation of load-displacement and load-strain. The maximum load was increased to the static behavior of the R/C beam strengthened with CFR rod. The results indicated generally that the flexural strength of strengthening beam was increased. It was required a proper anchorage system and can be led the ductility of beams of a carbon-fiber rod.

### 1. 서론

콘크리트 구조물은 공용년수에 따른 사용수명 저하, 환경적 요인으로 인한 노후화, 시공단계에서의 제작오차 등으로 인해 성능이 저하될 수 있는데, 이러한 경우 구조물이 현재 보유하고 있는 성능을 원상태 혹은 그 이상의 성능을 갖도록 적절한 조치를 취함으로써 안전성을 향상시켜야 한다. 현재 콘크리트 구조물의 보강방법에 사용되는 보강재료로는 강판 또는 연속섬유보강판 등이 사용되고 있다. 특히 강판접착공법은 검증된 보강효과와 시공성 때문에 실 구조물에 폭 넓게 적용되어 왔지만 재료의 취급과 과도한 자중으로 인한 시공상의 문제, 온도변화 부식과 같은 내구성의 문제점 등이 노출되면서 이 결함을 보완할 수 있는 신소재 탄소섬유를 이용한 보강공법이 많은 관심을 끌고 있다[ 1 ].

그러므로 본 논문에서 연구하고자 하는 탄소섬유 Rod를 적용한 철근콘크리트 휨 부재는 고강도, 내염화, 내화학적성을 가지고 있어서 내력증진 및 내구력을 향상시키고, 재료물성이 콘크리트와 같은 시멘트 계통으로 수축팽창에 의한 계면 박리가 일어나지 않으며, 몰탈내 삼입과 내화몰탈 도포로 화재에 대응할 수 있고, 철근과 같이 녹이 슬지 않는 장점이 있다. 또한 고강도 폴리머 몰탈로 단면을 overlay하여 철근 콘크리트 구조물을 보강함으로써 기존의 철근과 같은 부착성능의 향상을 기대할 수

\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정

있으며, 몰탈에 의한 균열 분산효과에 의하여 구조물 전체가 연성적인 파괴에 도달할 것으로 기대된다 [ 2 ]. 따라서 본 연구에서는 탄소섬유를 봉형태로 성형한 Rod형 보강재를 철근콘크리트 보에 적용하여 보강 변수별, 균열 및 파괴양상, 하중·변위선도, 보강재의 변형률을 통하여 보강성능 향상효과를 고찰하고자 한다.

## 2. 실험계획

### 2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계강도가  $240\text{kgf/cm}^2$ 으로 설계된 레미콘제품을 사용하였으며, 철근의 항복응력은  $4000\text{kgf/cm}^2$ 인 철근을 사용하였으며, 인장축에 2D13, 압축부에 2D10을 배근하였다. Rod는 RE-MCI(탄소섬유 Rod)를 사용하였다. 시험체에 압축강도가  $487\text{kgf/cm}^2$ 인 고강도 몰탈을 이용하여 Rod를 보강하였다. 사용재료의 역학적 성질은 다음 표1에 나타내었다[ 5 ].

표 1 보강시험체에 사용된 재료의 역학적 성질

재료 \ 물성	항복강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	극한강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	탄성계수 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	파단시 변형률
철근	4,000	4,500	$2.00 \times 10^6$	-
Rod	-	21,700	$1.20 \times 10^6$	$12,547 \times 10^{-6}$

### 2.2 실험변수

본 연구의 보강 실험 변수로는 밑면전체를 보강 후 단부의 정착단의 조건에 따라 Anchor bolt가 단부에 위치한 경우(BS-EA)와 Anchor bolt가 전체경간에 등간격으로 위치한 경우(BS-CA)를 변수로 하였다.

표 2 실험변수 및 시험체의 명칭

변수	시험체명	개수
무보강	BC	1
단부Anchor Bolt 정착	BS-EA	1
전면Anchor Bolt 정착	BS-CA	1

### 2.3 시험체의 제작

철근 콘크리트 보시험체의 단면치수 및 배근상세는 그림1과 같다. 보의 폭 및 높이는 각각 15cm 및 25cm이며 경간 길이는 270cm, 총길이는 310cm이다. 시험체의 전단파괴를 막기 위하여 D10 스테럽을 10cm 간격으로 설치하였다. 단부Anchor Bolt 정착은 두 지점에 앵커를 각각 3개씩 2줄로 설치하였고, 전

면Anchor Bolt 정착은 중앙에서 양쪽 지점 방향으로 각각 5개씩 일렬로 설치하였다. 보강재의 strain gauge는 보의 중앙, 보의 중앙에서 지점 방향으로 45cm, 90cm 떨어진 세 지점에 각각 2개씩 설치하여, 총 6개를 설치하였다.

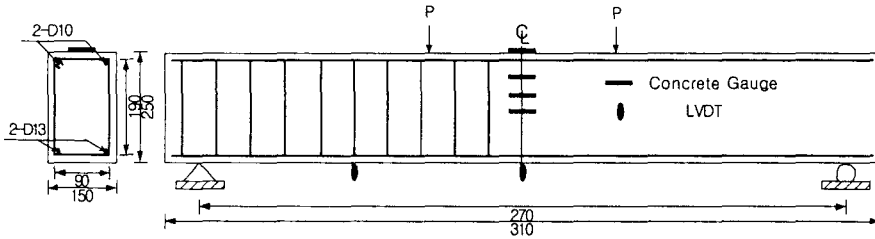
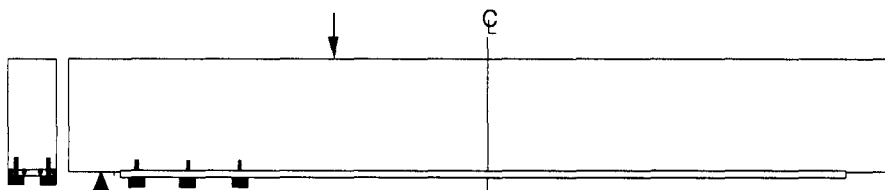
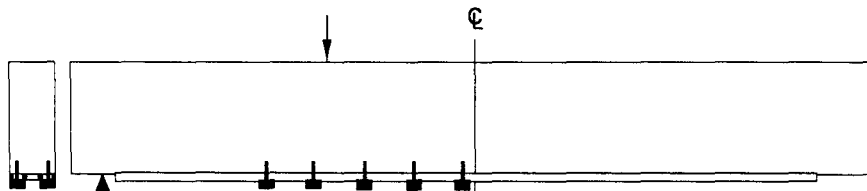


그림 1 RC Beam 제원 및 배근도



단부 Anchor Bolt 정착 (BS-EA)



전면 Anchor Bolt 정착 (BS-CA)

그림 2 보강방법

#### 2.4 하중재하 및 측정 방법

본 실험에서는 시험체의 휨성능평가를 위한 하중재하는 10tf규모의 UTM기기를 사용하여 4점 재하를 실시하였으며 재하하중량을 측정하기 위하여 로드셀을 설치하였다. 보시험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙부와 1/4지점에 변위계를 설치하였으며, 인장철근의 항복여부를 판단하기 위해 주철근 중앙부에 Strain gauge를 설치하였다. 하중이 증가함에 따라 콘크리트의 변형률을 측정하기 위해 콘크리트 gauge를 보시험체 상단면에 1개를 부착하고, 상부 측면에 그림1과 같이 보의 상단부에서부터 3cm, 8cm, 13cm의 위치에 콘크리트 gauge를 부착하였다. 이와 같이 설치한 센서로부터 나오는 데이터는 TDS601이용하여 검토하였다[ 5 ].

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 균열 및 파괴양상

무보강 시험체는 휨균열로 인해 시험체의 중앙에서 최대 균열폭이 12mm 발생하였다. 그러나 보강 시험체는 Anchor Bolt에 의해 균열이 억제되어 최대 균열폭이 불과 2mm였고, 미세한 균열들이 중앙에서 지점방향으로 옮겨지는 형태로 나타났다. 균열의 수에서는 무보강 시험체가 적었지만 균열폭은 상당히 넓었고, 보강 시험체 경우 균열의 수는 많았지만 균열의 폭은 상당히 작게 나타났다. 그리고 초기 균열하중은 BS-EA 시험체와 BS-CA 시험체 각각 0.96tonf, 1.17tonf으로 측정되었다.

단부 및 전면보강 시험체의 정적 파괴는 무보강 시험체와는 달리 콘크리트의 상단 압축부에서 압괴에 의한 파괴가 일어났다. 무보강의 시험체는 주철근의 항복 이후 휨파괴에 도달하였지만, 보강 시험체는 주철근의 항복 이후 상단 압축부에서 압괴에 의한 파괴가 일어났다. 즉, 보강 시험체는 파보강 되었음을 알 수 있었다.

#### 3.2 시험체별 하중-변위 관계

시험체별 하중-변위 관계는 그림 3에 나타나 있다. 무보강 시험체는 약 1.5tonf에서 초기 균열이 발생하였다. 4.0tonf에서 주철근이 항복하면서 균열이 진전되어 방사형으로 퍼져 나갔다. 4.8tonf에서 최대 변형 46mm에 도달한 후 휨 파괴되었다. BS-EA 시험체는 항복시 변위가 12mm로 나타났으며, 재하하중이 극한상태에 이르렀을 때 변위는 36mm 나타났다. 항복한 이후에는 BS-CA 시험체도 유사한 거동을 보였으며, 대략 7.5tonf에서 극한상태에 이르렀다. 이 때의 변위는 약 55mm로 나타났다.

항복한 이후 파괴시까지 BS-EA와 BS-CA는 강성과 강도가 향상된 대신 연성손실로 인하여 취성 파괴하는 것이 전형적인 콘크리트의 파괴양상을 나타내고 있다[ 4 , 5 ].

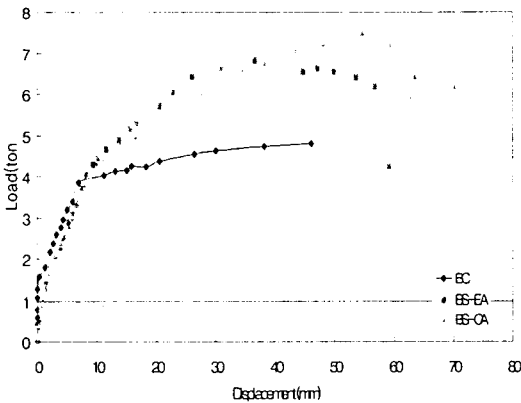


그림 3 시험체별 하중-변위 관계

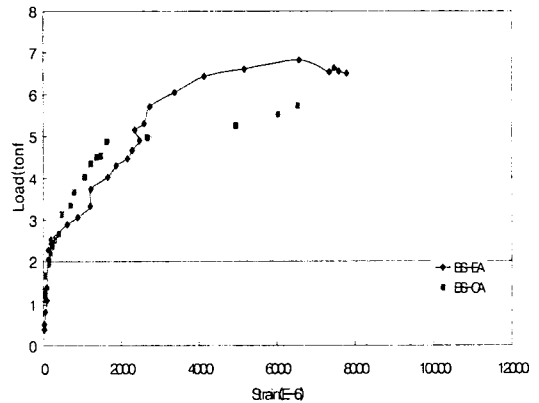


그림 4 보강재의 하중-변형률 관계

#### 3.3 보강재의 하중-변형률 관계

그림 4는 보강 시험체의 주철근 gauge 위치와 같은 위치인, 보강재에 부착한 gauge의 하중-변형률 관계를 나타내었다. BS-CA의 보강재는 2.5tonf일 때 항복하였고, 이때의 변형률은 0.0005였다. BS-EA의 보강재도 BS-CA와 거의 유사한 지점에서 항복하였다. BS-CA와 BS-EA 보강재는 주철근

이 항복하기 전에 이미 항복을 하였다. 그러나 BS-CA의 보강재는 무보강 주철근보다 극한강도가 크지만, BS-EA의 보강재는 항복하고 난 뒤에도 변형률이 증가하면서 극한강도에 도달하였다. 따라서 항복강도에 있어서는 BS-EA 보강재와 BS-CA보강재는 거의 유사한 강도를 발현하였지만, BS-EA 보강재는 항복한 후 충분한 연성을 확보할 수 있는 것을 알 수 있다

### 3.4 보강시험체의 보강효과

보강시험체의 보강효과는 무보강시험체의 파괴하중을 기준으로 하여 각 보강시험체의 파괴하중을 퍼센트(%)로 표시하여 보강효과를 나타내었다. 무보강시험체와 보강시험체의 주철근 항복하중은 거의 비슷하였고, 파괴하중의 경우 무보강시험체는 4.8tonf일 때 파괴되었고 BS-EA 시험체는 6.8tonf, BS-CA 시험체는 7.5tonf일때 파괴되었다. 이때의 각각의 보강효과는 142% , 156% 이었다. 즉, BS-EA 시험체는 약 40%, BS-CA 시험체는 50%의 보강효과를 각각 나타내었다. BS-EA 시험체보다 BS-CA 시험체는 약 10%의 보강효과가 증대된 것을 알 수 있다.

표 3 보강시험체의 파괴하중 및 보강효과

Specimen	주철근의 항복하중 (tonf)	파괴하중 (tonf)	보강효과 (%)
BC	4.0	4.8	100
BS-EA	4.3	6.8	142
BS-CA	4.4	7.5	156

## 4. 결론

본 연구에서는 RC보의 성능 향상을 위해 탄소섬유 Rod로 보강된 총3개의 보 시험체의 정적 구조성능평가를 수행하였다. 보강변수로 전면을 앵커로 보강한 시험체의 경우 단부 보강된 시험체보다 파괴강도가 큰 것으로 나타났고, 보강효과도 약 14%정도 증대되는 것으로 나타났다. 단부 보강된 시험체와 전면 보강된 시험체 모두 철근의 항복 이후 콘크리트의 상부가 압괴되면서 휨파괴 된 것으로 나타났다.

전면 앵커 보강된 시험체의 경우는 단부 앵커 보강된 시험체에 비해 높은 초기균열 하중을 보임으로써 균열제어 효과가 우수한 것으로 판단된다.

각 보강변수에 따라 무보강 시험체와의 보강효과를 분석해보면 앵커 단부 보강과 앵커 전면 보강 시 각각 42%, 56%의 성능향상 효과가 있는 것으로 나타났지만, 보강된 모든 시험체가 상부압축파괴를 보임으로써 적절한 보강설계가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 연구는 (주)리폼시스템에서 주관하는 “고강도 폴리머 몰탈 및 섬유 rod를 적용한 콘크리트 구조물의 정·동적 시험에 의한 성능향상 효과 분석”을 수행함으로써 얻어진 결과이며, 저자들은 (주)리폼시스템의 후원에 감사의 뜻을 전합니다.

## 참 고 문 헌

1. 김경민, “CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위 논문, 1999.
2. 심종성, “콘크리트 교량 바닥판에 대한 보수·보강 공법의 효과분석”, 한국도로공사, 2000.
3. 배인환, “강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트 보의 휨해석 및 설계기법 연구”, 한양대학교 박사학위 논문, 1998.
4. 심종성, 오홍섭, 류승무, 박성재, “GFS로 성능향상된 교량 바닥판의 정적 보강효과”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 2001, pp739-744.
5. 심종성, 김규선, 이석무, 김경민, “GFRP로 보강된 RC보의 휨특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, 1998, pp559-565.