

# 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판으로 휨보강된

## 철근콘크리트보의 구조적 거동

### Structural behavior of R/C Beam Strengthened with Steel Plate, Carbon Fiber Sheets, and Carbon Fiber Laminate.

이 영 재\*      문 희 증\*      이 경 언\*\*      정 상 진\*\*\*      정 란\*\*\*\*

Lee, Young Jea   Moon, Heui Jeung   Lee, Kyung Un   Jung, Sang Jin   Chung, Lan

#### ABSTRACT

In recent years, strengthening of beam by steel plate, carbon fiber sheets, and carbon fiber laminate is spotlighted in order to repair and rehabilitation of R/C structures. In this study, 3 method of rehabilitation technic are analyzed from the tests. Test parameters are the width of cracks, the method of repair and rehabilitation, the magnitude of existing load. Deflection, failure load, strains of reinforcing bar, strains of sheet and plates are measured during tests. The failure mode and ultimate load are analyzed from these measured data.

Test result shows that the width of cracks and the magnitude of existing load do not make any difference of ultimate flexural capacity.

key words : repair, rehabilitation, steel plate, carbon fiber sheet, carbon fiber laminate, existing load, deflection, failure mode

#### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 과도한 하중과 유지관리의 소홀등 여러 가지 이유로 보수·보강을 필요로 하는 경우가 많다. 이에 대해 국내에서는 철근콘크리트구조체의 보강방법으로 강판, 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판을 사용하고 있다. 탄소섬유쉬트와 탄소섬유판은 매우 큰 인장강도와 탄성계수를 가지고 있어서 강판보다 효율성이 높을뿐만 아니라 운반 및 취급이 용이하여 최근에 일반화 되어가고 있는 추세이다. 하지만 국내에서는 이들의 사용에 대한 적용의 기준과 상호평가가 미흡한 실정이다. 또 기존의 처짐과 균열이 발생한 부재의 보수·보강에 대한 연구<sup>1),2),3)</sup>가 이루어지고 있으나 미세균열에 대한 보수의 효율성 여부와 균열의 크기에 따른 여러재료의 보강효과에 대한 연구가 부족한 실정이다.

이 연구는 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판의 보수·보강을 균열폭이 다른 철근 콘크리트 휨부재에 대하여 보수·보강시 하중의 재하상태를 달리하여 보수·보강을 시행한 후 보강된 시험체를 재가력한 실험 결과를 분석함으로써 실제상황에 보다 가까운 상태에서 보수·보강효과를 검토하는데 연구의 목적이 있다.

\* 정회원, 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정  
\*\* 정회원, 단국대학교 대학원 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사 연구담당 이사

## 2. 실험

### 2.1 시험체 계획

시험체는 변수에 따라 10개를 제작하였으며 시험체의 크기는 폭 30cm, 층 50cm, 길이 3.4m이다. 철근배근의 경우 상부주근은 3-D19, 하부주근은 2-D19, 스테럽은 단부(한쪽 1150cm)의 경우에 D10@110, 중앙부위(110cm)의 경우에 D10@220으로 제작하였다.

이 시험체는 당초 상부주근을 2-D19, 하부주근을 3-D19로 계획하였으나 실험중의 실수로 인하여 시험체를 거꾸로 가력하게 되었다. 철근의 변형을 측정하기 위한 측정기는 하부 인장근중 가운데와 외곽부의 철근의 중앙에 1개씩, 총 2개의 변형률측정기(STRAIN GAGE)를 부착하였다. 시험체의 형상 및 배근, 변형률측정기 설치위치는 다음 그림1과 같다.

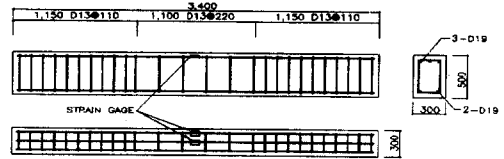


그림1 보수·보강 보 시험체의 형상 및 배근, 변형률측정기 설치위치

### 2.2 사용재료

이 시험체의 제작에 사용된 재료의 역학적 특성은 표1~표4에서 보는 바와 같다.

### 2.3 실험 방법

보수·보강된 시험체를 수평으로 놓고 용량 100ton의 가력기를 사용하였으며 시험체와 가력기를 사용하였으며 시험체와 가력기의 사이에 로드셀을 설치하고 하중을 측정하였다. 시험체의 중앙부위에 전자식 변위측정기를 설치하여 처짐을 측정하였고 UCAM 5BT로 자료를 취득하였다. 시험체의 설치는 그림2와 같다.

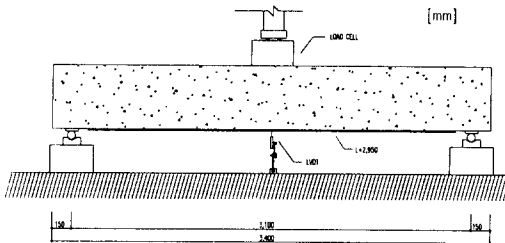


그림2 휨보강 시험체 설치상황 (Test Set-Up)

### 2.4 실험 변수

각 시험체의 변수는 표5와 같다.

표1 콘크리트의 배합표

설계압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	슬럼프(cm)
270	45	41	8

표2 콘크리트의 압축강도 시험

지름 (cm)	단면적 (cm <sup>2</sup> )	평균파괴하중 (ton)	평균압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
10	78.54	24.85	329

표3 강판의 역학적성질

구분	호칭	항복강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )
강판	SS41	2380	3400	1.8 × 10 <sup>6</sup>

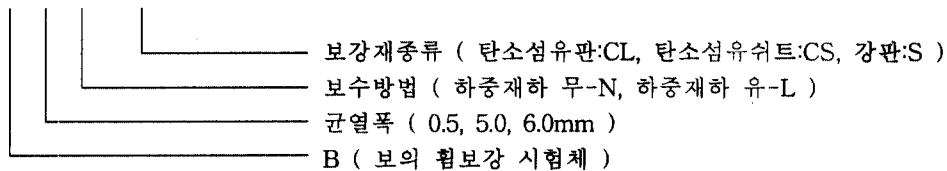
표4 탄소섬유슈트와 탄소섬유판의 역학적성질

종류	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	탄성률 (kg/cm <sup>2</sup> )
탄소섬유슈트	43600	2.45 × 10 <sup>6</sup>
탄소섬유판	19500	1.55 × 10 <sup>6</sup>

표5 시험체 변수

시험체명	균열폭	보강재	보강시 하중재하 유·무
BN	0.0	-	-
B05N-S	0.5	강판	하중 제거후 보수·보강
B05N-CS	0.5	탄소섬유슈트	하중 제거후 보수·보강
B05N-CL	0.5	탄소섬유판	하중 제거후 보수·보강
B50N-S	5.0	강판	하중 제거후 보수·보강
B50N-CS	5.0	탄소섬유슈트	하중 제거후 보수·보강
B50N-CL	5.0	탄소섬유판	하중 제거후 보수·보강
B60L-S	6.0	강판	하중 재하상태에서 보수·보강
B60L-CS	6.0	탄소섬유슈트	하중 재하상태에서 보수·보강
B60L-CL	6.0	탄소섬유판	하중 재하상태에서 보수·보강

### B05L-CL



## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 실험 결과

보강된 시험체의 실험결과는 휨균열이 발생하면서 중앙부 또는 단부에서 콘크리트면과 보강재의 박리가 일어나면서 급격히 취성파괴에 이르렀다. 탄소섬유슈트와 탄소섬유판은 일정한 연성구간을 보이고 있지만 강판으로 보강한 경우에는 최대하중에 도달한 후에 급격한 파괴양상을 보이고 있다. 각 변수에 대한 파괴의 양상은 3.2에 나타나있다. 각변수에 따른 시험체의 실험결과는 다음의 표6에 나타나 있다.

표6 시험체의 실험결과

시험체명	유발 균열폭 (mm)	보강시의 하중 유·무	최대내력 ( ton )	최대내력시의 처짐량 (mm)	무보강 시험체와의 보강효과 비율 ( % )
BN	-	-	18.2	45.8	100
B05N-S	0.5	무	27.0	6.0	148.4
B05N-CS	0.5	무	26.6	19.6	146.2
B05N-CL	0.5	무	32.5	31.3	178.6
B50N-S	5.0	무	31.6	7.2	173.6
B50N-CS	5.0	무	29.0	22.6	159.3
B50N-CL	5.0	무	32.9	35.1	180.8
B60L-S	6.0	유	33.9	8.8	186.3
B60L-CS	6.0	유	29.2	20.3	160.4
B60L-CL	6.0	유	30.9	27.6	169.8

### 3.2 파괴양상

휨보강된 보의 파괴형상을 다음과 같이 분류하였다.

- 1) 보강재의 인장파괴
- 2) 부재와 보강재의 박리
- 3) 인장부위 콘크리트의 파괴
- 4) 접착제의 접착불량
- 5) 콘크리트의 지압파괴
- 7) 에폭시주입의 불량
- 8) 전단 균열의 발생

이 실험에서는 위의 파괴양상들이 복합적으로 나타나 파괴에 도달하였다. 대부분 보강재의 인장파괴 양상을 보이다가 보강재가 파단에 이르기 전에 인장측 콘크리트가 파괴 되면서 단부쪽의 보강재가 박리되는 양상을 보였다. 중앙부의 보강재가 콘크리트와 함께 박리되면서 벌어지기 때문에 단부쪽에서는 상대적으로 힘을 덜 받고 접착면으로 힘이 집중되어 보강재가 콘크리트와의 접합면에서 떨어져 나가는 것으로 판단된다. 이러한 파괴양상을 각 시험체별로 비교해 보면 표7과 같다.

표7 변수별 시험체 파괴양상분류

시험체명	파괴형상
B05N-S	1)+2)+3)
B05N-CS	1)+2)+3)
B05N-CL	1)+2)+3)+7)
B50N-S	1)+2)+3)
B50N-CS	1)+2)+3)+7)
B50N-CL	1)+2)+3)
B60L-S	1)+2)+3)+8)
B60L-CS	1)+2)+3)
B60L-CL	1)+2)+3)+4)+5)

### 3.3 균열폭에 대한 보강효과의 비교

보의 휨보강시험체의 경우 0.5, 5.0, 6.0mm의 균열을 부재에 발생시킨 후 탄소섬유판, 탄소섬유슈트, 강판으로 각각 보강을 한후에 균열폭에 따른 내력의 차이를 비교해 보았다. 실험결과 각 변수에 따른 하중-처짐곡선은 그림3과 같으며, 각 변수별 하중과 처짐량의 차이는 표6에 나타나 있다.

전체적으로 볼 때 거의 비슷한 내력을 보여주고 있으나 균열이 큰 부재가 대체로 내력이 약간 크게 나타났다. 이는 보수를 함에 있어서 에폭시 주입의 용이함의 유무가 영향을 미쳤던 것으로 판단된다. 0.5mm의 미세한 균열에 대한 에폭시의 주입은 시공상의 어려움과 중앙부에 발생한 0.5mm이하의 균열을 발견하기가 어려웠고, 같은 압력으로 에폭시를 주입했을 때 작은폭의 균열에 비해 큰폭의 균열에 에폭시 주입이 용이 했으므로 내력에 차이를 보였던 것으로 사료된다.

### 3.4 보강시의 재하하중 유·무에 대한 보강효과의 비교

본 연구에서는 하중이 재하된 상태에서 보수·보강을 시행하고 이때의 부재의 거동과 하중이 제거된 상태에서의 보수·보강을 시행한 시험체의 구조적인 거동을 서로 비교 하였다.

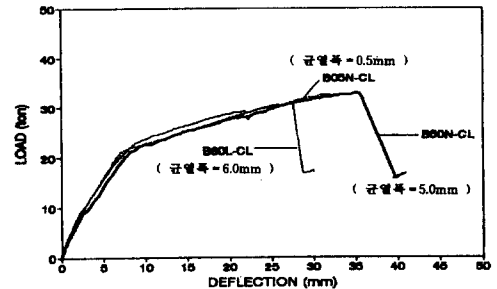


그림3 (a) 서로 다른 균열폭을 가진 보의 탄소섬유판 보강 시험체의 하중-처짐곡선 비교

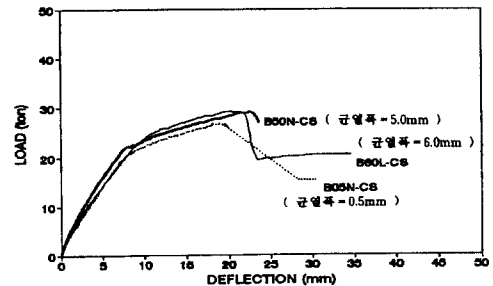


그림3 (b) 서로 다른 균열폭을 가진 보의 탄소섬유슈트 보강 시험체의 하중-처짐곡선 비교

그림4에서 보는 바와 같이 탄소섬유판을 사용해서 보강한 B50N-CL 및 B60L-CL의 경우, 하중이 제거된 상태에서 보강한 B60L-CL이 하중을 제하한 상태에서 보강한 B50N-CL 보다 내력이 작았고 파괴하중에서의 변위량도 작았다. 그러나 탄소섬유슈트로 보강한 시험체는 그러한 경향을 거의 보이지 않고 있으며 강판으로 보강한 시험체는 오히려 그 반대의 경향을 보이고 있다. 전체적으로 보아 무보강시험체의 내력 18.2ton 보다 대략 60~85%정도 증진된 29.1~33.9ton정도의 최대 내력을 보여주고 있어 보강효과는 확실한 것으로 판단되나 보강시의 하중유·무에 따른 내력차가 약 2ton 정도로 무보강 시험체의 10% 내외 이므로 하중을 제거한 후 보강을 하거나 재하된 상태에서 보강을 하여도 내력에 큰영향을 끼치는 것은 아닌 것으로 판단된다.

### 3.5 보강재의 종류에 따른 영향

보강재의 종류에 따른 보의 하중-처짐곡선은 그림5에서 보는 바와 같이 보강재의 종류에 따라서는 두께 0.6mm의 탄소섬유판으로 보강된 시험체가 폭 0.5mm의 균열에서는 두께 4.5mm의 강판보다 1.2배, 3ply의 탄소섬유 슈트보다는 1.22배의 보강내력이 증가됨을 보였다.

또한 강판으로 보강된 시험체는 탄소섬유슈트로 보강된 시험체의 내력과 거의 비슷한 크기를 보여주었으며, 특히 전체적으로 강판보강 시험체의 처짐량이 현저하게 작게 나타나 있는데 이는 양쪽 단부의 앵커에 의한 구속력에 기인한 것으로 보인다. 같은폭의 균열을 발생시킨 시험체에서 서로 다른 종류의 보강재를 부착시킨 경우 내력 상으로는 큰차이를 보여주고 않고 있다. 그러나 강판으로 보강시킨 시험체 B05N-S, B50N-S, B60L-S는 하중초기 단계에서 앵커의 부착 성능이 충분치 않아 강판이 시험체의 콘크리트면에서 쉽게 박리되어 이후 탄소섬유슈트나 탄소섬유판으로 보강시킨 시험체보다 강도가 저하되어 에너지 흡수 능력이 현저히 감소되었다.

탄소섬유슈트와 탄소섬유판은 비슷한 거동을 보이거나 탄소섬유판이 좀더 큰 연성구간을 보이고 있다. 탄소섬유슈트와 탄소섬유판의 물성은 비슷하기 때문에 재료적인 차이보다는 접착제의 성능에서 차이를 보이고 있는 것으로 판단된다.

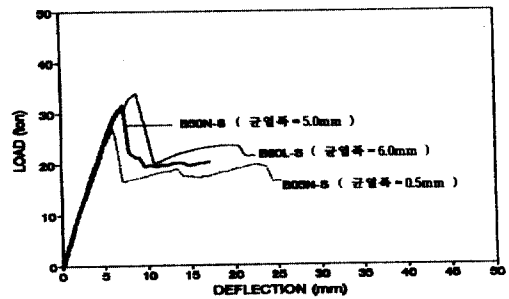


그림3 (c) 서로 다른 균열폭을 가진 보의 강판보강 시험체의 하중-처짐곡선 비교

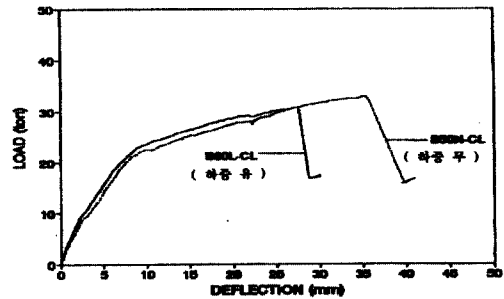


그림4 (a) 보강시 하중·유무에 따른 보의 탄소섬유판 보강시험체의 하중-처짐곡선 비교

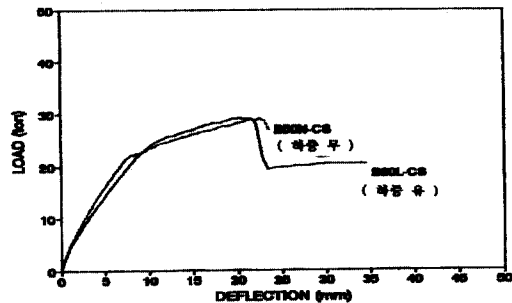


그림4 (b) 보강시 하중·유무에 따른 보의 탄소섬유슈트 보강시험체의 하중-처짐곡선 비교

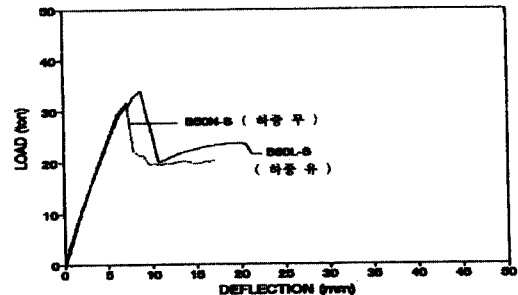


그림4 (c) 보강시 하중·유무에 따른 보의 강판 보강시험체의 하중-처짐곡선 비교

또 시공상의 에폭시주입과 보강재의 부착방법에 따라서 부착강도 변화에 의한 부재 성능이 크게 좌우되므로 시공에 특별한 주의가 요망된다.

#### 4. 결 론

철근콘크리트 휨부재의 휨보강 효과를 파악하기 위하여 강판, 탄소섬유쉬트, 탄소섬유판으로 보강한 시험체의 실험결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기존 보강재료인 강재와 신재료인 탄소섬유판 및 탄소섬유쉬트의 보강 효과는 매우 뚜렷하여 무보강인 경우에 비하여 본 실험의 경우, 46.2~86% 정도의 보강효과를 나타내었다.

(2) 균열폭의 크기에 따른 보강 효과를 고찰한 결과, 일단 보강된 시험체는 균열폭의 크기나 보강재료에 관계없이 보강효과가 거의 비슷한 것으로 나타났다.

(3) 보강이 수행될 당시 하중의 유무에 의한 보강효과를 고찰한 결과, 하중이 재하된 상태에서 보강하거나 하중을 제거한 후에 보강을 수행하여도 내력에는 큰차이가 없는 것으로 나타났다.

(4) 보강재의 종류에 따른 보강효과를 고찰한 결과 강판으로 보강시킨 시험체 B05N-S, B50N-S, B60L-S는 하중초기 단계에서 에폭시의 부착성능이 충분치 않아 강판이 시험체의 콘크리트면에서 쉽게 박리되어 이후 탄소섬유쉬트나 탄소섬유판으로 보강시킨 시험체보다 강도가 급격히 저하되어 에너지 흡수 능력이 현저히 감소되었다.

본 연구의 결과에 따르면 신재료인 탄소섬유를 사용하여 휨재를 보강하는 방안은 강재를 사용하여 보강하는 방법보다 경제성 및 실용성 측면에서 효과적인 것으로 판단되므로 내구성 및 내화성능에 관한 보다 많은 연구를 통하여 이를 활성화 하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 (주)삼성물산 건설부문의 연구비 지원과 삼우 아이티의 연구비 지원으로 수행된 연구로서 관계자 여러분께 감사합니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 한국콘크리트학회 논문집 "97 봄 학술발표회 제9권 1호", 한국콘크리트학회, 1997, pp. 557~610
- 2) "탄소섬유쉬트 보강공법", T. S. BOND 건설공업, 1994
- 3) "철근콘크리트 구조물의 균열 평가 및 제어대책에 관한연구", 건설교통부 1996

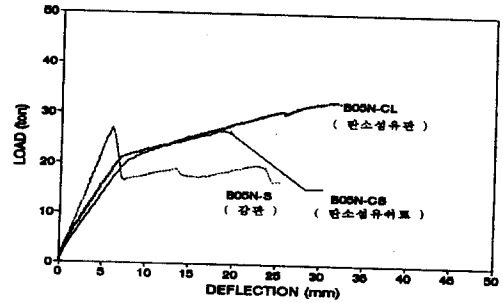


그림5 a 균열폭 0.5mm를 가진 보의 보강재료에 따른 하중-처짐곡선 비교

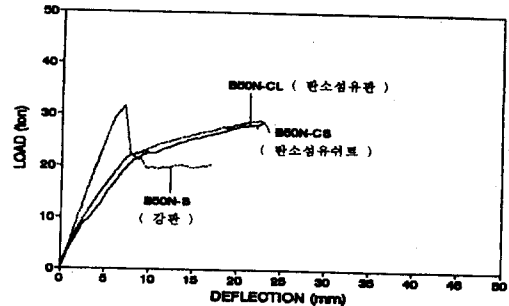


그림5 b 균열폭 5.0mm를 가진 보의 보강재료에 따른 하중-처짐곡선 비교

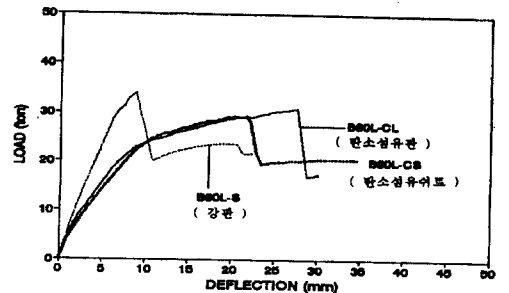


그림5 c 균열폭 6.0mm를 가진 보의 보강재료에 따른 하중-처짐곡선 비교