

## 강연선 및 탄소섬유쉬트로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨거동 특성

양동석<sup>1)\*</sup> · 박선규<sup>1)</sup> · 이용학<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>성균관대학교 토목환경공학과 <sup>2)</sup>건국대학교 토목공학과

(2001년 9월 10일 원고접수, 2002년 1월 23일 심사완료)

### Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with Steel Strand and Carbon Fiber Sheet

Dong-Suk Yang<sup>1)\*</sup>, Sun-Kyu Park<sup>1)</sup>, and Yong-Hak Lee<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, 440-746, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Civil Engineering, Konkuk University, 143-701, Korea

(Received September 10, 2001, Accepted January 23, 2002)

#### ABSTRACT

With deterioration of the nation's infrastructure comes the growing, need for effective means of rehabilitating structures. Possibly one for the most challenging tasks is to upgrade the overall capacity of concrete structure. Therefore, considerable efforts are still being made to develop new construction materials.

Rehabilitation of damaged RC structures occasionally requires the removal and replacement of concrete in the tension zone of the structural members. Typical situation where the tension zone repair is necessary is when the concrete in the tension zone in beams or slabs has spalled off as a result of corrosion in the bottom reinforcing bars or due to extensive fire. The rehabilitation of such conditions normally involves the removal of the concrete beyond the reinforcement bars, cleaning or replacing the tensile bars and reinstatement of concrete to cover the steel bars the original shape and size.

This study focused on the flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened by steel strand and carbon fiber sheet in the tension zone. The properties of beams are 15×25 cm rectangular and over a 200 cm span. Test parameters in this experimental study were strengthening methods, jacking volume, the number of sheet. We investigated the flexural behavior of simply supported RC beams which are strengthened with the carbon fiber sheet, monotonic loads.

Attention is concentrated upon overall bending capacity, deflection, ductility index, failure mode and crack development of repaired and rehabilitated beams.

**Keywords :** steel strand, carbon fiber sheet, flexural behavior ductility index

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 시공단계에서부터 시간이 경과함에 따라 설계에서 예측하지 못했던 여러 가지 변화를 받게된다. 시공중의 설계변경 및 시공불량, 구조물의 완공 후의 용도변경에 따른 하중 증가, 구조물 지역의 환경변화, 시간의 경과에 따른 재료특성의 변화 등이 있다. 구조물에 발생하는 이러한 변화가 반드시 불리한 것만은 아니지만 구조물에서 허용할 수 있는 한도를 파악하기 위해서 구조물의 유지관리 시스템이 확보되어야 한다. 정기적인 점검을 통해 구조물의 변화상태를 파악하여 그 후 필요한 보수대책, 보강공법 또는 극단적인 경우 해체하여 재건설

하는 방안을 수립해야 한다<sup>1,2)</sup>.

현재 사용되고 있는 철근콘크리트 보수·보강공법들은 각종 섬유 혹은 철판을 보강재로 사용하고 에폭시 수지와 같은 보수재료를 사용하여 슬래브 혹은 보의 하면을 감싸는 방법을 사용해 왔다. 기존 보강공법들은 콘크리트에 에폭시 수지를 사용하여 각종 보강재를 부착하여 세종류 이상의 복합체로 보강되며, 이들 재료간의 서로 다른 물성 차이와 접착계면간의 거동차이로 계면균열의 발생 및 보강재의 탈락현상 등 문제점이 발생하고 있다<sup>3~7)</sup>.

본 연구에서는 현장조건과 유사한 실험조건을 만들기 위해서 인장축 콘크리트 부재의 박리와 탈락으로 단면손실이 발생하였다고 가정하고, 폴리머 시멘트계 페이스트로 보수한 후 강연선으로 보강한 시험체, 에폭시 주입공법으로 보수한 후 탄소섬유쉬트로 보강한 시험체와 표준시험체 등 총 8개의 시험체를 제작하였다. 강연선의 긴장량과 탄

\* Corresponding author

Tel : 031-290-7530 Fax : 031-290-7549

E-mail : yds0619@dreamwiz.com

소섬유쉬트의 보강겹수 등을 실험변수로 선택하여 휨실험을 실시하였다. 실험결과로부터 각 실험변수의 영향에 따른 균열형태, 파괴형상, 항복하중과 극한하중 등을 표준시험체와 비교·분석하여 보강된 시험체의 보강효과를 파악하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

본 연구에서는 현장조건과 유사한 실험조건을 만들기 위해서 인장축 콘크리트 부재의 박리와 탈락으로 단면손실이 발생하였다고 가정하고 보수재료인 폴리머 시멘트 페이스트를 이용하여 보수한 후 강연선에 포스트텐션(post-tension) 도입시켜 긴장량(4 tonf, 8 tonf, 12 tonf)을 변수로 하여 시험체를 제작하였다. 또한, 예폭시 주입공법으로 균열을 보수한 후 탄소섬유쉬트의 보강겹수(1겹, 2겹, 3겹)을 실험변수로 하여 3개의 시험체를 제작하였다. 그리고 보강된 시험체를 비교하기 위하여 표준시험체와 폴리머시멘트 페이스트로만 보수된 시험체를 제작하여 총 8개의 시험체를 제작하였다. 본 실험에서 사용된 시험체명과 실험변수는 Table 1과 같다.

### 2.2 실험재료

#### 2.2.1 콘크리트 및 철근

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계기준강도가 240 kgf/cm<sup>2</sup>

인 레미콘 제품을 사용하였으며 슬럼프 값은 12 cm였다. 시험체의 배근에는  $f_y = 3500 \text{ kgf/cm}^2$ 인 D6과  $f_y = 4000 \text{ kgf/cm}^2$ 인 D10, D16 철근을 사용하였다. 콘크리트 공시체의 재령 28일 압축강도는 295 kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다. 실험에 사용된 콘크리트의 배합비와 철근의 물성치는 Table 2~3과 같으며, 사용된 강연선의 물성치는 Table 4와 같다<sup>89)</sup>.

#### 2.2.2 폴리머 시멘트 페이스트

본 실험에서 사용된 폴리머 시멘트 페이스트는 경화가 빠르고 저밀도의 폴리머 특성을 강화하는 고강도 페이스트이다. 공극의 구조적 보수와 고층 건축물에 흡손 사용을 가능하게 하고 수평, 수직면 모두 렌더링(rendering)과 프로파일링(profiling)을 가능하게 한다. 폴리머 시멘트 페이스트의 배합비와 역학적 성질은 Table 5~6과 같다.

#### 2.2.3 탄소섬유 쉬트

본 실험에 사용된 탄소섬유쉬트는 석유정제 부산물인 pitch를 약 1000~2500 °C의 고온에서 탄화시킨 고순도 탄소결정의 섬유를 지칭하며, 섬유를 구성하는 탄소원자의

Table 3 Properties of reinforcing bar

| Kind     | Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Yield strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Elongation (%) |
|----------|---|---------------------------------------|----------------|
| SD40 D10 | 6165                                    | 4810                                  | 18.5           |
| SD40 D16 | 6170                                    | 5045                                  | 17.1           |

Table 1 Beams and parameter

| Parameter       |                                     | Beam  | Tension bar | Compression bar | Stirrup | Remarks         |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-------------|-----------------|---------|-----------------|
| Control beam    |                                     | STD16 | 2-D16       | 2-D10           | D6      |                 |
| Repair beam     |                                     | MTD16 |             |                 |         |                 |
| Strengthen beam | Polmer-Cement Mortar + Post-Tension | JMD4  |             |                 |         | Jacking 4 tonf  |
|                 |                                     | JMD8  |             |                 |         | Jacking 8 tonf  |
|                 |                                     | JMD12 |             |                 |         | Jacking 12 tonf |
|                 | Carbon fiber sheet                  | CTD1  |             |                 |         | 1 layer         |
|                 |                                     | CTD2  |             |                 |         | 2 layer         |
|                 |                                     | CTD3  | 3 layer     |                 |         |                 |

Table 2 Concrete mixing

| Cement (kg/m <sup>3</sup> ) | Water (kg/m <sup>3</sup> ) | Fine aggregate (kg/m <sup>3</sup> ) | Coarse aggregate (kg/m <sup>3</sup> ) | Admixture (kg/m <sup>3</sup> ) | W/C (%) | Fine total aggregate ratio (%) |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------|--------------------------------|
| 337                         | 165                        | 914                                 | 868                                   | 0.67                           | 48.8    | 51.5                           |

Table 4 Properties of steel strand

| Kind    | Diameter (mm) | Area (mm <sup>2</sup> ) | Weight (kg/km) | Load (kgf) | Elongation (%) |
|---------|---------------|-------------------------|----------------|------------|----------------|
| SWPC 7B | 12.7          | 98.71                   | 774            | 18,700     | 3.5이상          |

결정구조 때문에 매우 강한 강도를 가지게 된다. 1970년부터 레저 및 스포츠용품에 먼저 사용되었으며 최근 건설용으로 개발되었다. 탄소섬유쉬트는 탄성율의 차이에 의하여 몇 종류가 있으나 본 실험에서 사용한 것은 한국의 S사에서 개발한 탄소섬유쉬트 제품이며, 그 역학적 성질은 Table 7과 같다.

### 2.2.4 에폭시 접착제

접착제의 사용목적이나 환경 등에 따라 사용되는 에폭시 종류가 달라지므로 접착제 선택에 주의하여야 한다. 본 실험의 경우에 있어서도 균열주입용 에폭시와 탄소섬유쉬트 접착용 에폭시 등 2가지를 사용하였으며, 에폭시 종류별 물성은 Table 8에 정리하였다.

### 2.3 시험체 제작

본 실험에서 사용된 시험체는 건설부에서 제정한 “국한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계규준”에 준하여 설계하였다<sup>10)</sup>. 철근은 최대철근비( $\rho_{max} = 0.75\rho_b$ ) 미만으로 배근하였으며, 또한 건조수축을 축소하고 전단철근을 설치하기 위하여 복철근보로 설계하였다. 전단력의 영향을 최소화하기 위하여 전단배근은 유효높이의 약 1/2간격(10cm)으로 배근하였다.

시험체는 단면치수 15 cm×25 cm, 유효높이(d=22 cm),

압축철근 2-D10, 총길이 220 cm, 지간길이 200 cm의 직사각형 복철근보로 제작하였으며, 전단철근은 D6철근을 10 cm간격으로 배근하였다. 특히, MTD16, JMD계열 시험체는 인장측 바닥에서 8 cm까지 폴리머 시멘트 페이스트로 타설함으로써, 균열에 의한 콘크리트의 박리 및 탈락현상을 가정하여 현장의 보수조건과 유사하게 보를 제작하였다.

각 실험변수별 시험체의 형상은 Fig. 1과 같다.

### 2.4 재하 및 측정방법

철근콘크리트 보의 휨 실험을 위한 하중재하는 프레임에서 유압잭으로 2점 재하하였으며, 유압잭 하부면에 로드셀을 설치하였다. 보 시험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며 콘크리트를 타설하기 전에 인장철근, 압축철근과 전단철근에 스트레인 게이지를 2개씩 설치하여 변형률을 측정하였다.(Fig. 2) 또한, 강연선으로 보강된 시험체는 강연선의 중앙에 스트레인 게이지를 부착하였고, 탄소섬유쉬트로 보강된 시험체는 탄소섬유쉬트(CFS)의 끝단과 중앙에 스트레인 게이지를 부착하여 하중의 증가에 따른 변형률을 측정하였다.(Fig. 3) 이와 같이 설치한 센서로부터 나오는 결과는 EDX-1500A로 받아들여 컴퓨터를 이용하여 데이터를 정리하였다. 또한, 콘크리트 및 폴리머 시멘트 페이스트의 강도는 Table 9와 같다.

## 3. 실험결과

### 3.1 시험체의 실험결과

폴리머 시멘트 페이스트로 보수한 후 강연선으로 보강

Table 5 Mixing of the polymer cement paste

| Polymer-cement content (kg/m <sup>3</sup> ) | Water (kg/m <sup>3</sup> ) | W/C  | Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---|----------------------------|------|---|
| 1535  | 215                        | 0.14 | 480   |

Table 6 Mechanical properties of the polymer cement paste

| Density (kg/m <sup>3</sup> ) | Bond strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Modulus of elasticity (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Permeability coefficient (m/sec) | Oxygen diffusion coefficient (cm <sup>2</sup> /sec) |
|------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------------|---|
| 1700~1750                    | 440                                  | 2.0×10 <sup>5</sup>                          | 9.65×10 <sup>-15</sup>           | 2.72×10 <sup>-4</sup>                               |

Table 7 Mechanical properties of the carbon fiber sheet

| Name    | Thickness (mm) | Weight (g/m <sup>2</sup> ) | Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Modulus of elasticity (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Strain at failure (%) |
|---------|----------------|----------------------------|---|--|-----------------------|
| SK-N200 | 0.111          | 200                        | 35,500                                  | 2.35×10 <sup>6</sup>                         | 1.5                   |

Table 8 Kinds and mechanical properties of epoxy resins

| Kind           | Name   | Specific gravity | Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Tensile-shear strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Modulus of elasticity-compression (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------|------------------|---|---|---|--|
| Crack-injected | D-2001 | 1.10±0.05        | 300 ↑                                   | 700 ↑                                       | 100 ↑   | 10000 ↑  |
| CFS-adhesive   | SKRN   | 1.17±0.05        | 300 ↑                                   | 350 ↑                                       | 100 ↑   | 10000 ↑  |

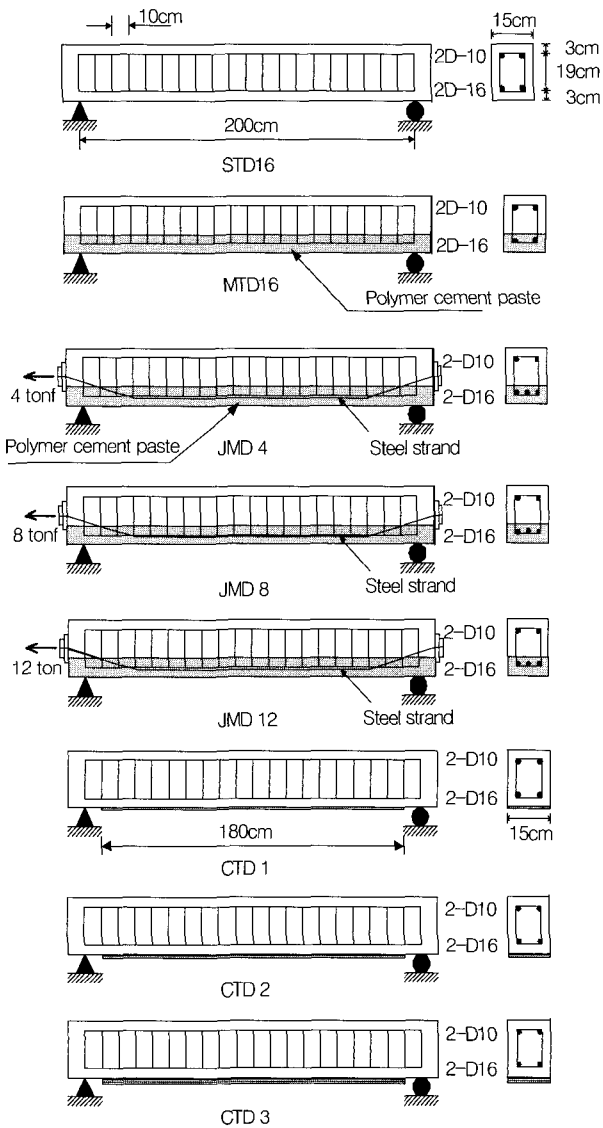


Fig. 1 Shape of beams

Table 10 Results

| Beams | Crack load    |             |               | Yield load    |             |               | Ultimate load | Failure                         |
|-------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------------------------|
|       | Theory (tonf) | Test (tonf) | Test / Theory | Theory (tonf) | Test (tonf) | Test / Theory | Test (tonf)   |                                 |
| STD16 | 2.16          | 2.7         | 1.25          | 9.48          | 9.1         | 0.96          | 10.1          | Flexural failure                |
| MTD16 |               | 3.0         | 1.39          |               | 8.7         | 0.92          | 9.6           | Flexural failure + Delamination |
| JMD4  | 3.36          | 4.4         | 1.19          | 11.76         | 10.0        | 0.85          | 11.9          | -                               |
| JMD8  | 4.91          | 4.5         | 0.92          | 13.36         | 12.0        | 0.90          | 13.8          | -                               |
| JMD12 | 6.49          | 5.6         | 0.86          | 14.91         | 12.5        | 0.84          | 14.8          | -                               |
| CTD1  | 2.19          | 5.0         | 2.28          | 11.79         | 10.1        | 0.85          | 12.2          | Sheet fracture                  |
| CTD3  | 2.21          | 5.1         | 2.31          | 13.98         | 10.8        | 0.77          | 13.7          | Rip-off                         |
| CTD3  | 2.24          | 5.6         | 2.50          | 16.05         | 11.5        | 0.72          | 14.2          | End-Delamination                |

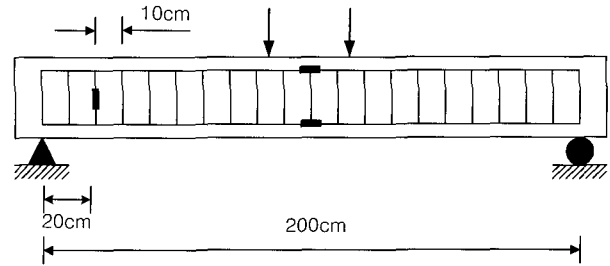


Fig. 2 Location of steel strain gauge

한 시험체와 탄소섬유쉬트로 보강한 시험체에 대한 휨 실험 결과를 종합하면 Table 10과 같다.

### 3.2 하중-처짐, 하중-철근변형률 관계

폴리머 시멘트 페이스트로 보수하고 긴장량을 실험변수로 하여 보강한 시험체(JMD4, JMD8, JMD12)와 먼저 15mm 처짐이 발생하여 항복할 때까지 1차가력을 실시하여 균열을 예폭시로 보수한 후 탄소섬유쉬트를 보강접수별로 시공한 시험체(CTD1, CTD2, CTD3)의 하중-처짐 곡선과 하중-철근변형률 곡선은 Fig. 4, 5와 같다.

Fig. 4의 하중-처짐 곡선에서 표준시험체(STD16)보다 탄소섬유쉬트로 보강한 시험체가 보강접수별로 21%, 36%, 41%정도의 보강효과 증진되는 것으로 측정되었으나 극한 하중에서 급격히 파괴가 발생하는 취성파괴 현상이 뚜렷이

Table 9 Strengths of concrete and polymer cement paste (unit: kgf/cm<sup>2</sup>)

| Item                       | Concrete | Polymer cement paste |
|----------------------------|----------|----------------------|
| Compressive strength       | 356      | 489                  |
| Splitting tensile strength | 16       | 19                   |
| Modulus of rupture         | 49       | 51                   |

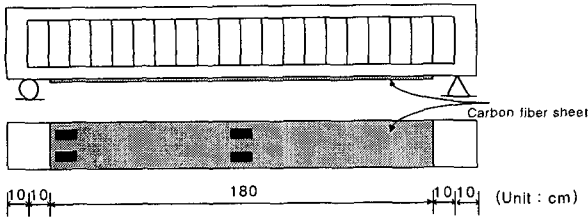


Fig. 3 Location of strain gauge of carbon fiber sheet

이 나타났다. 탄소섬유쉬트의 보강접수가 증가할수록 최대 처짐도 감소하는 것으로 나타났다.

강연선으로 보강된 시험체의 경우에는 초기의 시험체의 솟음량이 0.5~1.5 mm가 발생하였고, 극한하중도 표준시험체보다 긴장량에 따라 18%, 37%, 47% 정도의 보강 효과가 있었다.

Fig. 5의 보강시험체의 하중에 따른 철근변형을 곡선에서는 표준시험체(STD16)만 압축철근과 인장철근이 항복하였지만, 보강된 시험체는 보강재(탄소섬유쉬트, 강연선)가 인장철근과 함께 하중을 부담하여 압축철근과 인장철근이 항복하지 않는 것으로 나타났다.

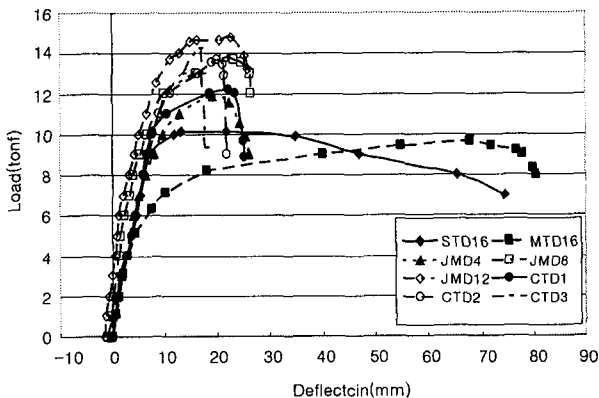


Fig. 4 Load-deflection curve of beams

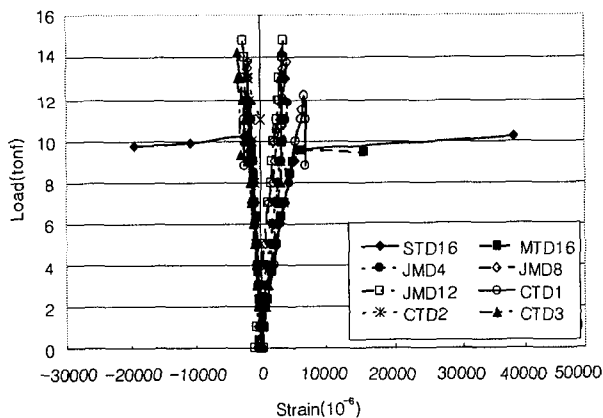


Fig. 5 Load-strain curve of beams

### 3.3 하중-강연선 · 하중-CFS의 변형률 관계

폴리머 시멘트 페이스트로 보수한 후 강연선으로 보강된 시험체(JMD4, JMD8, JMD12)의 지간중앙에서 하중-강연선의 변형률 곡선은 Fig. 6과 같고, 먼저 15 mm까지 1차가력을 실시하여 균열을 예폭시로 보수한 후 탄소섬유쉬트를 보강접수별(1접, 2접, 3접)로 시공한 시험체(CTD1, CTD2, CTD3)의 지간중앙에서 하중-탄소섬유쉬트(CFS)의 변형률 곡선은 Fig. 7과 같다.

Fig. 6의 하중에 따른 탄소섬유쉬트의 변형률인 경우에는 강연선으로 보강된 시험체와 같이 초기의 하중에서는 선형적으로 변형을 하지만 약 10~11 tonf 이후에는 철근의 항복으로 인한 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 7에서 강연선을 이용하여 보강된 시험체 경우, 하중이 증가함에 따라 지간중앙에서의 강연선 변형률은 천천히 증가하였으며, 10~12 tonf에서는 급격히 증가하는 양상을 보였다. 이것은 초기의 하중은 인장 및 압축철근에 의해 지지하지만 철근 항복한 후의 하중에 대해서는 강연선이 지지하기 때문에 급격히 변형률이 증가하는 것으로 사료된다.

### 3.4 파괴양상

본 실험을 통하여 탄소섬유쉬트로 보강된 시험체의 경우에는 1접으로 보강된 시험체(CTD1)의 경우에는 바람직한 파괴로 볼 수 있는 지간중앙부에서의 보강재 인장파단으로 인하여 최종파괴가 발생하였다. 그러나 2접으로 보강된 시험체(CTD2)의 경우에는 보강재가 콘크리트를 몰고 떨어지는 콘크리트 피복분리형상이 발생되었으며, 3접으로 보강된 시험체(CTD3)는 콘크리트와 보강재 계면사이의 부착력의 부족으로 발생할 수 있는 박리파괴가 발생되었다.

폴리머 시멘트 페이스트로 보수한 후 강연선으로 보강된 시험체의 경우, 초기의 포스트 텐션으로 인한 솟음량이 약 0.5~1.5 mm가 발생되었고, 수평균열이 발생된 하중은 6.5~10.0 tonf으로 폴리머시멘트 페이스트로 보수한 시험체(MTD16)의 4.5 tonf보다는 약 44~122%로 균열억제 효과가 상당히 좋았다. 극한하중에 도달 후 급격한 하중의 감소로 인한 취성적인 파괴양상이 나타났다.(Fig. 8)

### 3.5 시험체의 연성지수

본 실험에서는 시험체가 항복할 때의 처짐과 극한 하중에 도달할 때의 처짐의 비로 표현되는 연성지수(ductility index)를 사용하여 부재의 안전성을 평가하였다. 보강시험체의 연성지수는 Table 11과 같다.

Table 11에서 보강시험체의 연성지수가 표준시험체에 비해서 약 50% 정도 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 강연선으로 보강된 시험체의 경우에는 긴장량이 증가

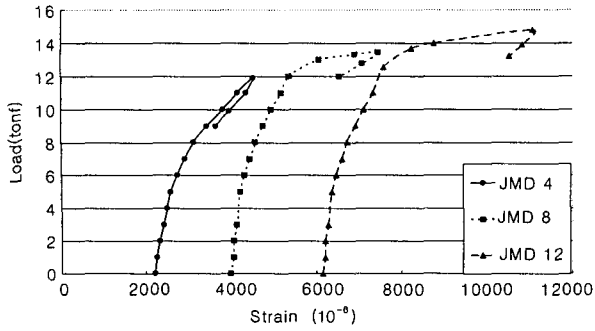


Fig. 6 Load-strain of strand curve of beams

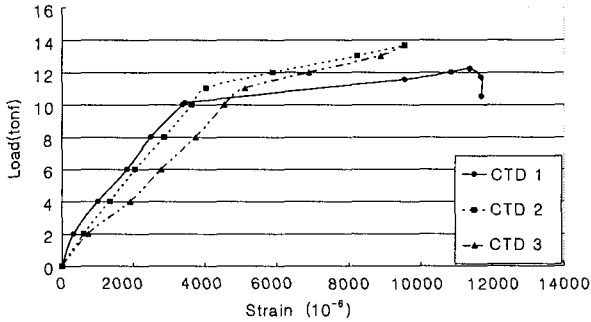


Fig. 7 Load-strain of CFS curve of beams

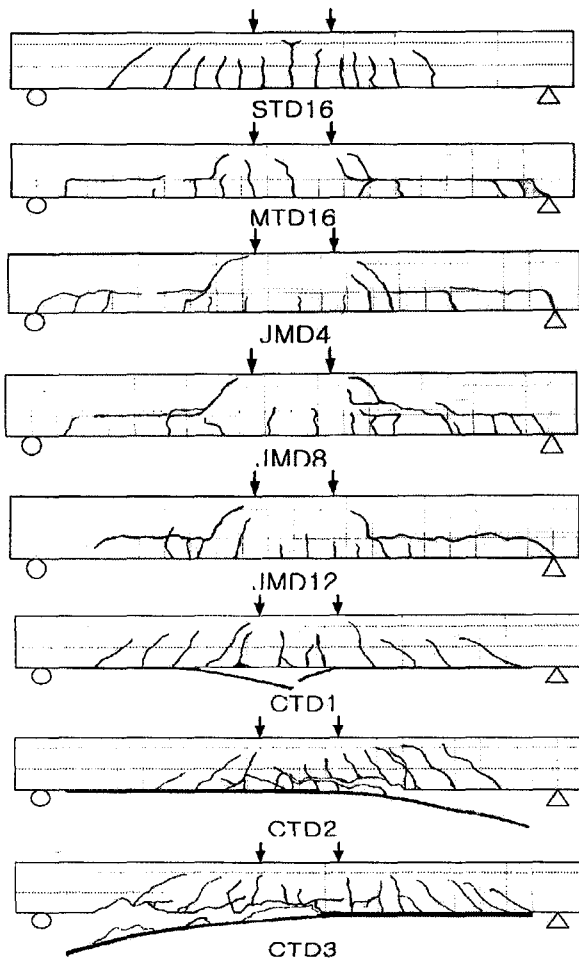


Fig. 8 Failure mode of beams

Table 11 Ductility index

| Beams | Yield load  |                 | Ultimate load |                 | Ductility index |
|-------|-------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
|       | Load (tonf) | Deflection (mm) | Load (tonf)   | Deflection (mm) |                 |
| STD16 | 9.1         | 7.2             | 10.1          | 32.9            | 4.57            |
| MTD16 | 8.7         | 11.0            | 9.6           | 68.0            | 6.18            |
| JMD4  | 10.0        | 9.6             | 11.9          | 20.4            | 2.13            |
| JMD8  | 12.0        | 10.0            | 13.8          | 21.6            | 2.16            |
| JMD12 | 12.5        | 9.8             | 14.8          | 22.8            | 2.33            |
| CTD1  | 10.1        | 7.6             | 12.2          | 22.3            | 2.93            |
| CTD2  | 10.8        | 8.8             | 13.7          | 20.4            | 2.32            |
| CTD3  | 11.5        | 7.6             | 14.2          | 16.8            | 1.66            |

하지만 연성지수는 거의 같거나 조금 높아지는 것으로 평가되었고, 탄소섬유쉬트 보강시험체의 경우에는 보강접수가 1점일때가 2.93으로 가장 높게 측정되었으나 오히려 보강접수가 증가함에 따라 연성지수가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 보강시험체는 연성파괴가 아닌 취성파괴 양상을 보이고 있기 때문이라 하겠다.

특히, 탄소섬유쉬트 경우에는 1점일 때가 가장 유리한 것으로 나타났고, 강연선에 의한 보강시험체의 경우에는 보강량이 증가할수록 더 유리하다고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 폴리머 시멘트 페이스트로 보수한 후 강연선을 이용하여 보강한 시험체와 에폭시 주입공법으로 보수한 후 탄소섬유쉬트로 보강한 시험체에 대하여 휨 실험을 수행한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 폴리머 시멘트 페이스트로 보수한 후 포스트텐션을 도입한 보강시험체의 항복하중은 표준시험체에 비해서 약 10~37%, 극한하중은 약 18~47% 정도의 보강효과가 있었다.
- 2) 탄소섬유쉬트 보강시험체는 표준시험체의 항복하중에 비해서 약 11~26%, 극한하중에 비해서 21~41%의 보강효과가 있었다.
- 3) 강연선으로 보강된 시험체는 포스트텐션에 의해서 표준시험체보다 균열의 수가 약 50%정도 감소되었고, 긴장량과는 상관없이 처짐량이 유사하였지만 탄소섬유쉬트 보강시험체는 보강접수가 증가할수록 처짐량이 감소되어 취성적인 파괴가 발생되었다.
- 4) 폴리머 시멘트 페이스트와 강연선으로 보강된 시험체는 긴장량이 증가할수록 연성지수는 거의 같거나 조금 높아지는 것으로 평가되었고, 탄소섬유쉬트 보강시험체는 보강접수가 증가함에 따라 연성지수가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 연성으로 볼 때, 탄소섬유쉬트

보강시험체의 경우에는 보강접수가 1겹일 때가 가장 유리하며, 강연선에 의한 보강시험체의 경우에는 보강량이 증가할수록 더 유리하는 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 심종성, "콘크리트 구조물의 보수·보강기법의 최근 연구 동향," 한국콘크리트학회지, 제7권 6호, 1995, pp. 64~73.
2. 한만엽, "보수·보강재료 및 공법개발 연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제9권, 제 1호, 1997, pp. 592~597.
3. 김성철, 이희경, 유성훈, 김중구, 정 란, "철근콘 크리트 보의 휨내력보강 공법에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권, 2호, 1997, pp.715~720.
4. 신영수, 홍기섭, 최완철, 홍영균, "탄소섬유쉬트르 밀면 보강된 철근콘크리트 보의 구조적 거동," 대한건축학회 논문집, 제11권 8호, 1995, pp.249~257.
5. 오용복, "철근콘크리트 보의 외부보강판 부착으로 인한 보강효과에 관한 연구," 서울대학교, 박사학위 논문, 1997
6. Ghaleb, B. N., "Strengthening of Damaged Reinforced Concrete Beams by External Fiberglass Plates," MSc Thesis, King Fahd University of Petroleum and Minerals, 1992.
7. Zibra, Y. N., et al, "Guideline Toward the Design of Reinforced Concrete Beams with External Plates," *ACI Structural Journal*, Vol.91, No.6, 1994, pp. 639~646.
8. 양동석, 박선규, "폴리머시멘트 모르타르를 RC보의 휨 성능평가," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제12권 2호, 2000, pp.479~484.
9. 양동석, 한경봉, 박선규, "시멘트계 보수재료를 이용한 철근콘크리트 보의 휨내력 특성에 대한 실험적 고찰," 대한토목학회 논문집, 제21권 2-A호, 2001, pp.287~294.
10. 건설교통부, 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 1994.

### 요 약

현재 국내에서는 급속한 근대화 과정 중에서 시공시부터 부실하게 건설된 콘크리트 구조물의 사용기간이 짧아짐에 따라 구조물의 노후화가 심각하게 진행되고 있는 실정이다. 특히, 교량의 경우에는 교통량과 교통하중의 증가 등으로 인한 손상이 가속화되어 교량의 안전성에 심각한 문제가 발생되고 있다.

본 연구에서는 콘크리트의 부재가 균열에 의해 박리·탈락되었다고 가정한 후, 인장하단에서 8cm까지 폴리머 시멘트 페이스트로 보수한 후 강연선을 이용하여 보강한 시험체, 에폭시 주입공법으로 균열을 보수한 후, 탄소섬유쉬트를 사용하여 보강한 시험체와 표준시험체 등 8개의 보를 제작하였다. 시험체의 제원은 단면 15×25 cm, 지간길이 200 cm, 총길이 220 cm이고, 강연선의 긴장량과 탄소섬유쉬트의 보강접수를 실험변수를 선택하여 휨 실험을 실시하였다.

실험결과 폴리머 시멘트 페이스트와 포스트 강연선을 이용한 시험체와 탄소섬유쉬트 보강시험체는 표준시험체보다 상당히 큰 보강효과를 보였다. 탄소섬유쉬트 보강시험체는 1겹으로 보강할 경우에 보강재의 지간 중앙의 인장파단이 발생되어 보강효율이 가장 높았으며 보강접수가 감소할수록 취성적인 파괴가 발생되어 보강성능이 저하되었다. 그러나, 강연선을 이용한 시험체는 긴장량이 증가할수록 보강효과가 선형적으로 증가하여 어느 정도까지는 상당히 큰 보강효과를 나타내었다.

**핵심용어** : 강연선, 탄소섬유쉬트, 휨거동, 연성지수