

## 탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보의 시공불량시 휨 거동에 관한 연구

A Study on Flexural Behavior of Externally Reinforced R.C. Beam  
with Carbon Fiber Sheet : In Case of Constructional Deficiencies

박현정\*                      이홍주\*\*                      박성수\*\*\*  
Park, Hyun-Jung            Lee, Hong-Ju                Park, Sung-Soo

### Abstract

The flexural behavior of the reinforced concrete (RC) structure upgraded by external reinforcements was examined in this study. It is well known that the incorporation of carbon fiber sheet (CFS) with concrete is one of the most effective ways to strengthen the RC structure. Complete bonding is required between CFS and concrete in order to make the RC structure provide its full function until the time the RC structures serve. Many studies have reported that construction deficiencies have caused the debonding of the CFS from concrete before the RC structure with CFS reaches its ultimate capacity.

This research took a systematic look at the failure mechanism, macroscopic load-deformation characteristics, the maximum load applied, and maximum bending moment when construction deficiencies exist. The results of the experiment conducted were compared with theoretically derived values. In the future, the results of this investigation will help minimize the factors of construction deficiencies, which may occur when CFS is used to reinforce a RC structure. The experiment was manipulated with steel reinforcement ratio and piles of CFS on a total of 14 beams (20cm × 30cm × 210cm).

The results showed that internal moment capacity increased even when construction deficiencies existed. However, RC structures with CFS in the field still contain a considerable level of potential risks.

**keywords** : Flexural Behavior, External Reinforcement, Carbon Fiber Sheet, Construction Deficiencies, Complete Bonding, Debonding, Moment Capacity, Potential Risk

\* 정회원 부산대 생산기술연구소 선임연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 부산영남대 건설계원 교육전문 교교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 부산대 건축공학과 교수, 공학박사

E-mail : july29@bit.or.kr 011-551-7217

• 본 논문에 대한 토의권 2002년 3월 31일까지 학회로 보낸 후  
후시엔 2002년 7월호에 토의권자를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

철근콘크리트 구조물의 보강공법 중 탄소섬유시트 보강공법은 탄소관 섬유형태로 가공함으로써, 원에 비해 경량이고, 철근에 비해 약 10배 높은 인장강도를 가지면서, 부식의 문제가 없고, 시공시 공기가 짧고, 내후성 등이 우수하기 때문에 철근콘크리트 구조물의 보강공법으로서 많이 이용되고 있다. 그러나, 본 공법은 선분적인 기술을 가진 보강업체가 부족하고, 이렇다 할 보강규준이 제시되어 있지 않다는 현실이 시공의 가능성을 제한할 수 없다는 단점도 있다. 탄소섬유시트의 실제 시공시 불량이 발생한다면 보강된 구조물의 거동은 예상할 수 없는 경우와 다르므로 상당한 위험을 초래할 수 있다.

일반적으로 철근콘크리트 보의 하부에 외부 보강재가 부착되어 있을 경우의 파손형태는 보강재와 콘크리트 면 사이의 계면박리에 의한 파손, 지점부 근처에서 선단 등에 의해 콘크리트가 붕괴 탈락하는 단부박리에 의한 파손, 시트와 콘크리트면 사이의 탈락에 의한 파손, 충분한 휨강도에 도달한 후 보강재의 양장 파단에 의한 파손 등으로 분류할 수 있다. 그러나, 이러한 파괴양상들 중에서 보강된 보의 휨강도에 도달하기 전에 보강재의 탈락에 의한 파손이 일어날 경우, 보의 정확한 휨강도를 예측할 수는 없다.

본 연구에서도 2회에 걸친 실험에서 보강재와 콘크리트 면 사이의 시공 불량으로 보의 탈락에 의한 파괴가 발생하였다(Fig. 1 참조). 이러한 현상은 단지 실험에서만뿐만 아니라 현실에서도 충분히 일어날 가능성이 있다고 보여진다. 이에 시공 불량시 보강된 보에서 발생하는 현상 및 이를 방지 대책을 파악함으로써 시공된 시공불량 구조물의 안전성판단을 가능하게 하



Fig. 1 탄소섬유시트의 탈락

고, 향후 탄소섬유시트 보강시 발생할 수 있는 시공불량 요소의 최소화 시키고자 한다.

그리고, 가장 중요한 보강재료인 탄소섬유시트는 섬유 함유량이 따라 그 재료성질이 많이 차이가 나기 때문에 재료자체의 성질을 정확히 파악하지 못해도 보강량을 제시한다는 것은 상당히 위험한 상태라 고려할 수가 있다.

따라서, 본 연구에서는 탄소섬유시트의 재료성질을 먼저 행하여 재료의 가장 중요한 성질인 탄성계수를 구명하고, 실험을 통한 시공불량시 보의 파손특성, 좌측변위 관계, 최대내력 등을 파악하고, 시공불량 요소와 그 때의 거동을 분석하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시험체 계획

시험체는 균형휨근비에 대한 인장휨근비와 보강철수관 변수로 하여 총 15개를 제작하였고, 시험체의 형상은 Fig. 2에, 시험체의 종류는 Table 1에 나타내었다.

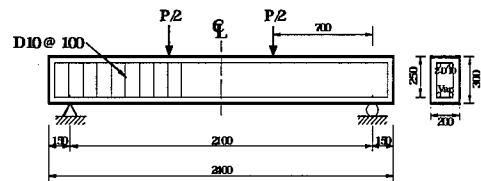


Fig. 2 시험체의 형상 및 배근

Table 1 시험체의 종류

시험체명	인장휨근비	보강철수
B1-D13-0	$\rho = 0.51$ ( $\rho'/\rho_s = 16.3\%$ )	0
B1-D13-1		1
B1-D13-2		2
B1-D13-3		3
B1-D13-4		4
B2-D16-0	$\rho = 0.80$ ( $\rho'/\rho_s = 25.6\%$ )	0
B2-D16-1		1
B2-D16-2		2
B2-D16-3		3
B2-D16-4		4
B3-D19-0	$\rho = 1.15$ ( $\rho'/\rho_s = 36.7\%$ )	0
B3-D19-1		1
B3-D19-2		2
B3-D19-3		3
B3-D19-4		4

시험체의 설치는 전철교통부 제정 '콘크리트 구조 설계기준'(1999)을 적용하였다. 단면의 크기는 20cm×30cm(유효깊이 25cm), 경간은 240cm(순경간 210cm)로 하며, 양측에는 2-D10을, 인장측에는 2-D13, 2-D16, 2-D19와 3경유를 배치하고, 선단보강근은 D10을 10cm 간격으로 선 구간 배치하였다.

## 2.2 시험체 보강

손상을 입히지 않은 시험체의 밑면 인장부에 탄소섬유시트를 폭 18cm, 길이 200cm로 경간길이 전체에 걸쳐 부착하였다. 또한 탄소섬유시트가 모의 단부에서 탈락하는 것을 방지하고, 휨 보강이 증가할수록 상대적으로 취약해지는 선단부에서의 보강효과를 인기 위하여 탄소섬유시트의 단부에 폭 20cm, 높이 30cm(모의 높이) 만큼 U형 밴드를 같이 정착시켰다.

1절 보강 시험체 3개를 가력한 결과 1차 실험편과 마찬가지로 U형 밴드와 모 중앙부 사이가 탈락하는 현상(Fig. 1)이 나타난다. 나머지 11개의 시험체는 보강의 최대 내력에 도달할 때까지 견딜 수 있게 하기 위하여, 순수 휨 구간을 피하여 기존 U형 밴드의 단부에서 안쪽으로 20cm 떨어진 곳에 폭 10cm, 높이 30cm의 U형 밴드를 재시공하였다. (Fig. 3 참조)

일반적으로 탄소섬유시트의 보강 시공방법은 다음과 같다.

- (1) 바탕처리 : 콘크리트 밑면을 그라인딩 하고 파인 부품을 파티클 사용하여 시공면을 평탄하게 한다. 이때 표면에 발생한 흠의 깊이가 3mm 이상 되는 부분은 흠의 깊이를 넓혀 피티 재료가 충분히 채워질 수 있도록 해야한다.
- (2) 프라이머 도포 : 프라이머는 후속 도장되는 도료와의 부착력을 향상시켜 수는 2배형 상온 경화용

에폭시 도료로서, 2회 도포하고 10시간 이상 경화시킨다. 이때 콘크리트 표면의 흠이 프라이머가 충분히 침투하도록 한다.

- (3) 접착용 수지 도포 : 2배형 상온경화용 에폭시 레진으로서, 수지와 경화제를 4 : 1 또는 2 : 1의 비율로 혼합하고 2회 도포한다. 이때 배합하는 방식이 제정의 사양서 대로 배합해야 한다.
- (4) 탄소섬유시트 부착 : 탄소섬유시트와 침유방향이 수직축 방향과 평행하도록 부착시킨 후 로울러로 충분히 분질러 카포를 빼 준다. 이 때 여러 겹을 시공할 경우 겹마다 1시간 정도의 시간을 두고 시공을 해야 한다.
- (5) 함침용 수지 도포 : 끝부분 탄소섬유시트 위에 함침용 에폭시 수지를 도포하여 완전히 정착되도록 한다.
- (6) 양생 : 에폭시가 충분한 접착성능을 발휘할 수 있도록, 평균기온은 13℃ 이상에서 일주일 이상 양생시킨다.

## 2.3 시용재료

### 2.3.1 콘크리트

본 실험에서 사용된 콘크리트는 설계기준강도가 240 kg/cm<sup>2</sup>인 레미콘 재종을 사용하였고, 압축시험 결과 나타난 재료의 성질은 Table 2와 같다. Table 2에서 탄성계수는 실험에 의한 압축강도값 이용하여  $15000\sqrt{f_{ck}}$ 로 구한 값이다.

Table 2 콘크리트의 재료적 성질

압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )
240	319	$2.68 \times 10^6$

### 2.3.2 철근

철근은 SD35인 D10, D13, D16, D19를 사용하였으며, 인장시험 결과 항복강도는 Table 3과 같고 탄성계수는  $2.0 \times 10^6$  kgf/cm<sup>2</sup>를 사용하였다.

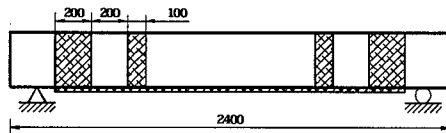


Fig. 3 탄소섬유시트 보강

Table 3 최근의 재료적 특징

종류	제 선	항복강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )
D10	SD35	3697
D13	SD35	3445
D16	SD35	3599
D19	SD35	3795

### 2.3.3 탄소섬유시트

보강제로 사용한 탄소섬유시트는 1수)한국가분 제철연고탄성 탄소섬유로서 제조업체에서 제시한 설계 두께는 0.11mm~0.167mm이다. 본 연구에서는 ASTM D638에 의거하여 재료시험을 행하여 용려-변형률 선도(Fig. 4)로부터 탄성계수를 구하였으며, 시트의 재료 특성은 Table 4와 같다.

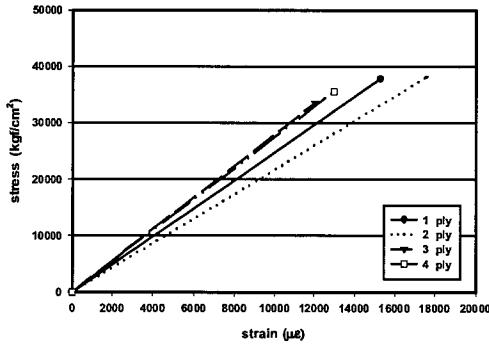


Fig. 4 탄소섬유시트 인장시험선 용려-변형률 선도

Table 4 탄소섬유시트의 재료적 특성

편수	단위 무게 ( $\text{g/cm}^2$ )	탄성계수 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	최대인장력 ( $\text{kg}$ )
1편	300	$2.19 \times 10^6$	620.6
2편	300	$2.29 \times 10^6$	1855.7
3편	300	$2.60 \times 10^6$	2183.2
4편	300	$2.65 \times 10^6$	3089.2

### 2.3.4 접착제

콘크리트와 탄소섬유시트라는 원천히 다른 두 개의 이종 재료가 하나의 구조체로서 성능을 발휘하기 위해

서는 무엇보다도 강력한 접착성능이 확보되어야 한다.

탄소섬유시트의 접착제용으로 2회형 상온경화용 에폭시 레진을 쓰는데, 이 때 주제와 경화제의 배합이 적절하게 이루어져야 한다. 접착제의 분성치는 제조업체에서 제시한 값을 따랐으며, Table 5와 같다.

Table 5 접착제의 재료 조성

안축강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	인장강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	압축강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	인장율차역 (%)
620	450	110	95

## 2.4 측정 방법 및 기력장치

시험체는 양쪽 단부에서 각각 15cm 떨어진 점에 강제 모멘트를 설치하여 회전에 대한 구속이 없도록 하였으며, 순수 휨구간이 70cm가 되도록 가력빔을 설치하고, 100ton 용량의 여류에이터를 사용하여 4점 휨 실험으로 실시하였다. 가력방법은 변위제어방식으로 하였고, 가력속도는 0.8 mm/min으로 하였다.

철근콘크리트 보와 보강제가 일체로 시공을 하는지 확인하기 위하여 콘크리트용 변형률 게이지(60mm)를 보 중앙부 상단에 1개, 측면에 높이방향에 대하여 5cm 간격으로 5개 부착하였으며, 인장부근의 변형률을 파악하기 위하여 수근 중앙부에 철근용 변형률 게이지(5mm) 각각 1개씩을 콘크리트 타설 전에 부착하였다. 보강된 탄소섬유시트와 변형률은 중앙부에 보의 폭 방향으로 3개 부착하여 측정하였고, 보와 중앙부에 변위계를 설치하여 치짐을 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 파괴양상

기존의 문헌들에서 탄소섬유시트로 보강된 보의 일반적인 파괴양상을 살펴보면 탄소섬유시트가 파단되는 인장파괴, 탄소섬유시트와 순수 무착파괴, 탄소섬유시트의 정착보강부 파괴, 탄소섬유시트의 뒤틀림 등의 현상이 나타난다.

본 연구에서 실험한 바에 따르면 시험체 모두가 보자체의 휨강도에 도달하기 전에 팽라되는 현상이 발생되었다. 이런 경우 최대내력에는 미치지 못하나 어느 정도의 내력은 확보가 되므로 사용자의 입장에서는 전혀 의심의 여지가 없다. 하지만 구조적인 측면에서 보면 하중을 받고 있다가 갑자기 탄소섬유시트가 탈락되는 경우 상당히 위험한 상황을 초래할 수가 있으므로 상당한 주의가 요해야 한다.

본 실험에서 보강하지 않은 기존 시험체의 경우에는 보의 중앙에서부터 균열이 나타나기 시작하여 차츰 상부로 심전되다가 콘크리트의 변형률이 3000 $\mu$  이상까지 도달하는 전형적인 골짜기의 현상을 나타내었다.

그러나, 보강된 보에서의 파괴양상은 시험시 최대하중의 61~66% 정도에서 함침된 탄소섬유시트가 보의 하부로부터 떨어져기 시작하는 초점음 보이는 소리가 상대적으로 나기 시작하다가, 최대하중의 79~84% 정도가 되었을 때 L형 밴드 압축(중앙부)에서부터 탄소섬유시트의 탈락이 서서히 진행되면서 변저가 많이 발생하고 탈락율도 심해졌다. 하중을 더 가하면 최대하중에 도달한 후 급작스러운 소리와 함께 탄소섬유시트의 중앙부가 탈락되며, 순간적으로 L형으로 고정되어 있던 부분이 떨어져면서 안쪽으로 밑의 비리는 현상이 나타났다. 이때 압축부 콘크리트의 변형률은 ACI에서 규정하고 있는 극한변형률인 0.003에 미치지 못하였고, 탄소섬유시트 역시 인장 좌단 변형률에도 도달하지 않은 상태에서 탈락되어 버리기 때문에 이런 형태의 좌낙은 보강절제식과 제안이 불가능해진다.

또한, 3겹으로 보강한 B2-D16-3 시험체의 경우는 함침된 탄소섬유시트의 겹과 겹 사이가 분리되는 현상을 볼 수 있었는데, 이는 탄소섬유시트가 제대로 부착이 되지 않은 상태에서 여러 겹을 동시에 시공했기 때문으로, 여러 겹의 탄소섬유시트를 시공할 때에는 겹마다 1시간 정도의 시간을 두고 시공을 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

### 3.2 시공품질 요소 및 분석

본 연구와 실험 결과, 대부분의 시험체에서 보강보의 휨강도에 도달되기 전에 탄소섬유시트가 탈락되는

현상이 나타났다. 이렇게 충분한 강도에 도달하지 못하고 탈락되는 현상의 원인은 예측시 자체의 품질이 문제가 있거나, 시공시 표면처리, 예측시 수제와 경화제의 혼합비, 탄소섬유시트 함침시 경화시간, 수지함침량, 보강후 양생시간 등 여러 요인에 문제가 있기 때문이라 할 수 있다.

따라서, 2.2장에서 언급하였던 시공과정 중 시공품질이 발생한 것으로 추정되는 단점은 다음과 같다.

단계 ①, ②에서는 일단 그라인딩시 카슬의 무속으로 번이 고르게 그라인딩 되게 많아 시공면이 평탄해져 못하여 탄소섬유시트의 부착이 균일하게 이루어지지 않았으며, 그라인딩 후 파인 부분의 크기가 3mm 이상되는 무위에서 넓게 패는 작업을 생략하고 피티처리 함으로 인해 공기가 포함되어 가포방성의 기포가 많았을 것으로 판단된다. 또한 흠이 깊었기 때문에 프라이머가 충분히 도포되지 않아 접착능력이 저하되었을 것으로 판단된다.

단계 ③의 예측시 혼합시, 현재 국내에서 생산되는 탄소섬유시트 함침용 예측시 레진의 수제와 경화제의 혼합비는 1 : 1, 2 : 1의 2종류가 있고, 제종의 사양서에 따라 전자저울 등으로 정확하게 계량하여 혼합해야 하는데 계량시 대충 조절함으로써 수제와 경화제가 원천리게 혼합되지 않아 접착력이 상당히 저하되었던 것으로 판단된다.

단계 ④에서 탄소섬유시트 접착시 보통 보의 하부에 무착하여 내력을 견딜 수 있게 하므로 상상을 향해 작업하는 경우가 많은데, 이 때 작업이 어려워 로울러로 충분히 분지되지 못하고 도배하는 정도밖에 되지 않아 함침된 탄소섬유시트 내의 기포가 제거되지 않고 남아 있는 경우가 많다. 본 연구에서는 보통 뒤집어 놓고 탄소섬유시트를 필착하였음에도 불구하고 기포가 원천리게 제거되지 않았으며, 2겹 이상 시공시 겹마다 시간을 두고 시공하지 않고 2~3겹을 한꺼번에 시공함으로써 인히 완전히 무착되지 않은 것으로 판단된다.

### 3.3 하중-변위 관계

#### 3.3.1 B1-D13 ( $\rho_f/\rho_s=16.3\%$ ) 시험체

균형절근비에 대한 인장절근비가 16.3%인 B1-D13

시험체 그릇에 대한 하중-변위 관계를 Fig. 5에 나타내었다. B1-D13-1 시험체는 데이터 오류로 판단되어 나타내지 않았다.

Fig. 5에서 보강접수가 증가할수록 최대하중시의 치짐은 조금씩 감소하고, 최대하중은 붕괴강 시험체에 비해 1접 보강일 때 71.12%만큼 증가하였고, 2접 보강일 때는 114.8%만큼, 3접 보강일 때는 123.47%만큼이 증가하였음을 알 수 있었다. 기존에 제시된 보강비의 이론식에 근거하여 최대하중을 구해보면 1접 보강일 때 71.43%만큼, 2접 보강일 때 148.81%, 3접 보강일 때 222.05%만큼 증가해야 하나, 실험결과에 따르면 탄소섬유시트의 탈락으로 각 접수에 따라 95%, 77%, 56% 정도밖에 보강효과를 발휘하지 못한 것으로 나타났다.<sup>10)</sup>

그리고, 붕괴강 시험체는 파괴하중에 근접하면서 보가 파단에 이르기까지 변위가 증가하는 선형적인 연성효과를 보였으나, 보강된 시험체는 어느 정도의 하중에 도달한 후에는 탄소섬유시트의 탈락에 의하여 연성능력을 거의 발휘하지 못하고 보가 급작스럽게 파괴되었다.

### 3.3.2 B2-D16 ( $\rho_f/\rho_s=25.6\%$ ) 시험체

균형철근비에 대한 안장철근비가 25.6%인 B2-D16 시험체 그릇에 대한 하중-변위 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

B1-D13 그릇과 마찬가지로 보강접수가 증가할수록

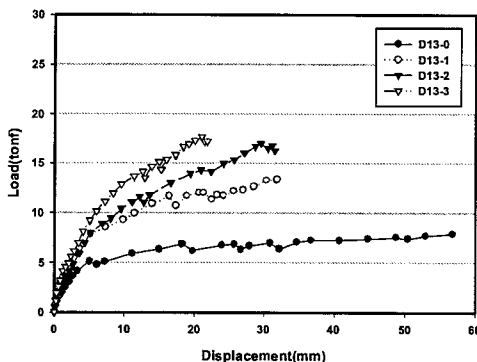


Fig. 5 보강접수에 따른 하중-변위 관계 ( $\rho_f/\rho_s = 16.3\%$ )

최대하중시의 치짐은 차츰 감소하는 경향을 보였다. 최대하중은 붕괴강 시험체와 비교하여 보면 1접 보강일 때 66.2%만큼, 2접 보강일 때 74.2%만큼, 3접 보강일 때 112.3%만큼, 4접 보강일 때 102.4%만큼이 증가함을 알 수 있었다. 이 값을 역시 기존 제한식에 의한 값과 비교했을 때 각 접수에 따라 143%, 78%, 78%, 51% 정도와 보강효과를 가지는 것으로 나타났다. 여기서 보강접수가 증가할수록 보강효과는 더 줄어들어 가는 경향을 보였는데, 이는 보강두께가 증가할수록 시공상의 문제점(3.2절의 단계 4)항이 가중되어 탈락현상이 빨리 진행되었기 때문으로 판단된다.

### 3.3.3 B3-D19 ( $\rho_f/\rho_s=36.7\%$ ) 시험체

균형철근비에 대한 안장철근비가 36.7%인 B3-D19 시험체 그릇에 대한 하중-변위 관계를 Fig. 7에 나타내었다.

3접 보강 시험체는 급작스러운 탈락이 일어나 치짐의 측정에 실패하여 자료는 생략하였다. 최대하중은 붕괴강 시험체와 비교하여 보면 1접 보강일 때 40.9%, 2접 보강일 때 44.3%, 3접 보강일 때 53.1%, 4접 보강일 때 80.03%가 증가함을 알 수 있었고, 역시 기존 제한식에 의한 값과 비교해 보면 각 접수에 따라 157%, 75%, 59%, 66% 정도의 보강효과를 가지는 것으로 나타나 역시 보강량이 많을수록 보강효과는 감소함을 알 수 있어 보강량이 많을수록 시공비용의 요소가 많이 미침을 알 수 있었다.

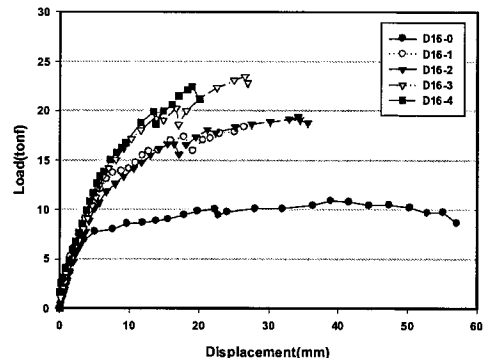


Fig. 6 보강접수에 따른 하중-변위 관계 ( $\rho_f/\rho_s = 25.6\%$ )

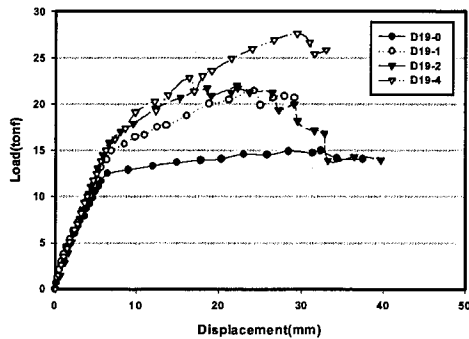


Fig. 7 보강경수에 따른 하중-변위 관계 ( $\rho/\rho_1 = 36.7\%$ )

### 3.4 최대내력에 의한 보강효과

시험체의 최대모멘트에 대한 실험값과 기존의 보강 모 제단력에 의한 이론값을 비교하여 Table 6에 나타 내었다.<sup>10)</sup>

Table 6을 보면 인장철근비가 증가함에 따라 최대 하중도 높아지며, 실험값의 이론값에 대한 비율은  $\rho/\rho_c$ 가 16.3 %인 경우 0.81-1.20,  $\rho/\rho_c$ 가 25.6%인 경우 0.78-1.28,  $\rho/\rho_c$ 가 36.7%인 경우 0.87-

Table 6 최대모멘트 비교

시험체명	실험값 (tf · m)	이론값 (tf · m)	실험값 이론값	실험값 비교 (ratio)	이론값 비교 (ratio)
B1 D13 0	2.77	2.27	1.22	1	1
B1 D13 1	4.74	3.94	1.20	1.71	1.74
B1 D13-2	5.95	5.67	1.04	2.15	2.49
B1 D13 3	6.19	7.35	0.84	2.23	3.23
B2 D16 0	3.88	3.45	1.12	1	1
B2 D16-1	6.43	5.02	1.28	1.66	1.46
B2 D16 2	6.77	6.71	1.01	1.74	1.94
B2 D16 3	8.21	6.35	0.98	2.12	2.42
B2 D16-4	7.85	9.95	0.78	2.02	2.88
B3 D19 0	5.33	5.01	1.06	1	1
B3 D19 1	7.50	6.30	1.19	1.41	1.26
B3 D19-2	7.68	7.94	0.96	1.44	1.58
B3 D19 3	8.14	9.54	0.85	1.53	1.90
B3 D19 4	9.66	11.09	0.87	1.81	2.21

1.19로, 보강경수가 증가할수록 보강재의 조기탈락으로 인해 비교적 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

철근콘크리트 보와 하부에 탄소섬유시트를 보강할 때, 시공불량사 발생하는 현상을 실험을 통해 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 무차이 불강한 경우 보강된 보의 최대하중은 탄소섬유시트로 보강된 보의 일반적인 파괴양상과는 달리 탈락의 조짐을 보이는 소리가 상대적으로 나타나지 않으며, 최대강도 도달이전에 탄소섬유시트가 아주 매끈하게 탈락하는 현상을 나타내었다.
- 2) 철근비와 보강경수에 대한 보강효과인 실험치와 이론치의 비에 대해 평가 해본 결과,  $\rho/\rho_c$ 가 16.3%인 경우는 각각 95%, 77%, 56%(4점은 측정실패)이고  $\rho/\rho_c$ 가 25.6%인 경우는 각각 143%, 78%, 78%, 51%, 그리고  $\rho/\rho_c$ 가 36.7%인 경우는 각각 157%, 75%, 59%, 66%로 나타나 보강경수가 많을수록 시공불량의 영향이 많이 미침을 알 수 있었다.
- 3) 탄소섬유시트로 보강된 시험체의 저강은 보의 밑면과 보강재가 충분히 부착되지 못하면 보 전체가 일체시동을 하지 못하고 거의 좌부에 도달하였을 때는 양호한 보강보에 비해 갑작스런 큰 지진이 발생하게 되므로, 실제 보강보에 있어 미소한 지진이 발생한 경우 주의할 요할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- 4) 보강경수가 1-4경까지 변화할 때 최대 내력의 증가율을 각각의 인장철근비에 대해 분석해 보면, 인장철근비가 작을수록 그리고 보강량이 많을수록 최대내력의 증가율은 감소하는 경향이 있었다. 그러므로 시공불량일 경우, 낮은 인장철근비에서 내력의 승대를 얻기 위해 많은 양의 보강을 실시할 때는 더욱 철저한 시공관리가 요구된다.
- 5) 보강 후 시험체의 최대모멘트를 보강 전과 비교 하면, 이론식에 의한 증가율보다는 낮지만 시공

불량이 되더라도 약간의 내력증가 효과는 보이는 것으로 나타났다. 이 때문에 설계 현장에 시공되는 탄소섬유시트 보강 구조체의 특성은 드러나지 않는 위험이 내재되어 있다고 판단된다. 따라서, 시공시 선충한 수의사항을 고려하지 않은 보강보에 대해서는 치장이나 현재 받고 있는 하중상태를 평가하는 등, 항상 세밀한 관찰을 통한 관리가 요망된다.

### 참 고 문 헌

1. 김철부, "국한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계 기준 및 해석", 1990
2. 김명수, 홍기섭, 최관철, 홍영준, "탄소섬유시트로 밀면 보강된 철근콘크리트보의 구조적 거동", 대한건축학회논문집 11권8호 통권82호 1995년 8월, pp. 249-257
3. 오용복, "철근콘크리트 보의 외부보강판 정착으로 인한 보강효과에 관한 연구", 서울대 대학원 박사학위논문, 1997, 8
4. (주) 대우건설기술연구소, "한국리본 탄소섬유시트 보강보의 성능평가실험", (주) 한국리본, 1997, 11.
5. 신정수, 민병립, 단종문, 조인철, 김명수, 조삼재, "탄소섬유시트와 보강망 및 정착김이 RC보의 휨거동에 미치는 영향", 한국콘크리트학회 1998년 봄 학술대회 논문집 pp. 579-581
6. 신정수 외, "탄소섬유시트 보강부재의 구조성능 연구", 1998, 6, 한양대학교 공학기술연구소
7. Y. N. Ztraba, M. H. Baloch, I. A. Basunbul, A. M. Sharif, A. K. Azad, and G. J. Al-Sulaimani, "Guidelines toward the Design of Reinforced Concrete Beams with External Plates", ACI Structural Journal November-December 1994, pp. 639-646
8. Hota V. S., Gangaffao, and P. V. VJay, "Bending Behavior of Concrete Beams Wrapped with Carbon Fabric", Journal of Structural Engineering, January 1996, pp. 3-10
9. Alfarabi Sharif, G. J. Al-Sulaimani, I. A. Basunbul, M. H. Baloch, and B. N. Ghaleb, "Strengthening of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Plates", ACI Structural Journal, March-April 1994, pp. 160-168

(접수일자 : 2001년 3월 30일)