

# 탄소섬유시트 보강보 휨해석에 영향을 미치는 섬유시트 인장강도 감소계수 평가

## Evaluation of CFS Tensile Strength Reduction Factor for Bending Analysis of RC Beams Strengthened with Carbon Fiber Sheets.

윤진섭\*      이우철\*\*      정진환\*\*\*      김성도\*\*\*      조백순\*\*\*  
Yun, Jin Seob    Lee, Woo Cheol    Cheung, Jin Hwan,    Kim, Seong Do,    Cho, Baik Soon

### ABSTRACT

Carbon fiber sheet is attractive due to its good tensile strength, resistance to corrosion, and low weight. The strengthening of concrete structures with externally bonded carbon fiber sheets is increasingly being used for repair and rehabilitation of existing structures. However CFS strengthened beams break down under the service loads. As rupture strain is not reached ultimate value, reduction of the tensile strength is recommended. This study evaluate CFS tensile strength reduction factor which is required to analyze bending moment.

### 1. 서 론

철근 콘크리트 구조물은 사용하중의 증가로 인해 구조물의 손상이 가속화되고, 노후화로 인해 심각한 균열이나 처짐이 발생하여 보수 및 보강이 요구된다. 철근 콘크리트 구조물의 내력 증진을 위한 보강공법에는 여러 가지가 있으나, 현재 섬유시트 부착공법이 주류를 이루고 있다. 섬유시트 부착공법 중에서, 탄소섬유시트 부착공법은 인장강도가 뛰어나고, 부식에 대한 저항성이 크며, 자중이 적어서 효과적인 보강공법으로 인정받고 있다. 그렇지만, 탄소섬유시트로 보강된 구조물은 설계하중 보다 작은 하중에서 조기 탈락하는 경우가 발생되고 있다. 이는 환경적 요인, 구조물의 상태, 그리고 시공상의 이유에 따라 좌우될 수 있는 것으로, 탄소섬유시트의 파단변형률을 ACI Committee 440은 인장파단변형률의 85%로, 대한건축학회(1997)는 인장파단변형률의 70%로 설계에 반영할 것을 추천하고 있다.

본 연구에서는 휨해석에 영향을 미치는 탄소섬유시트의 파단강도를 적절히 평가하기 위해 섬유시트 인장강도 감소계수 개념을 제안하였다. 탄소섬유시트로 휨보강한 RC보에 대한 기존의 실험데이터를 수집하여 단부정착유무, 보강길이, 철근비, 섬유 보강비에 따라 분석하여 감소계수를 평가하였다.

\* 정회원 · 부산대학교 토목공학과 · 석사과정

\*\* 정회원 · 부산대학교 토목공학과 · 박사수료

\*\*\* 정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수

\*\*\*\* 정회원 · 경상대학교 건설환경공학부 교수

\*\*\*\*\* 정회원 · 인제대학교 토목공학과 교수

## 2. 공칭 모멘트 계산식 및 강도감소계수 F의 계산방법

### 2.1 공칭모멘트 계산식

그림 1은 강도설계법을 이용한 보강단면의 복철근보에 대한 변형률 분포도와 응력 분포도를 나타내고 있다. 힘의 평형조건을 적용하여 등가직사각형 깊이  $a$ 를 구하였고, 휨강도  $M_n$ 은 섬유시트에 대한 내력 모멘트로 산정하였다. 이때, F는 탄소보강섬유시트의 강도를 적절히 판단하기 위한 값으로 섬유시트 인장강도 감소계수(이하 감소계수)이다.

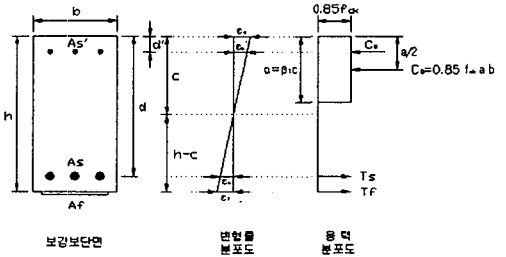


그림 3. 복철근보의 변형률 분포도, 응력분포도

$$(1) a = \frac{A_s f_y - A_s' f_y + F A_f f_{fu}}{0.85 f_{ck} b}$$

$$(2) M_n = C_s (h - d') + C_c (h - \frac{a}{2}) - T_s (h - d) = f_y A_s' (h - d') + 0.85 f_{ck} a b (h - \frac{a}{2}) - f_y A_s (h - d)$$

### 2.2 감소계수 F의 계산방법

감소계수 F는 실험에서 구한 극한모멘트  $M_{n,exp}$ 를 제안된 모멘트산정식의 내력 모멘트와 같다고 보고 (2)식에 (1)식을 대입한 후 F에 대하여 정리해서 구하였다.

$$F = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$A = A_f^2 f_{fu}^2$$

$$B = A_f f_{fu} (2A_s f_y - 2A_s' f_y - 1.7 f_{ck} b h)$$

$$C = A_s^2 f_y^2 - A_s' f_y^2 - 2A_s A_s' f_y^2 - 1.7 f_{ck} b (f_y A_s d - f_y A_s' d' - M_{n,exp})$$

## 3. 변수별 영향 분석

### 3.1 각 연구자별 실험변수

본 연구에서 사용된 각 연구자별 실험변수를 정리하면 다음과 같다.

표 1. 연구자별 실험변수

연구자	섬유보강접수	철근비	단부보강방법	보강길이
조백순 외 <sup>1)</sup>	○	○		
박홍응 외 <sup>2)</sup>	○		○	○
박중열 외 <sup>3)</sup>		○	○	
박상열 외 <sup>4)</sup>	○		○	
신성우 외 <sup>5)</sup>				○

### 3.2 실험변수별 강도증가비 및 감소계수 F

무보강보의 휨강도에 대한 섬유시트 보강보의 휨강도를 강도증가비라 정의하였고, 보강효과를 실험 변수별로 비교하여 그 때의 감소계수 F를 구해보았다.

#### 3.2.1 단부정착 유무

단부 보강 없이 섬유시트를 부착한 보에 비해 단부를 U형으로 보강했을 경우와 단부의 U형 보강과 함께 Anchor를 사용한 경우에 강도증가비와 감소계수 F는 증가하였다. 결국, 단부정착방법이 섬유탈락을 방지하여 강도증진에 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 3.2.2 보강길이

보강길이가 길어짐에 따라 강도증가비와 감소계수가 증가하였지만, 그 양은 미비하였다. 보강길이를 0.5L 이상 할 경우 별다른 영향이 없는 것으로 나타났다.

#### 3.2.3 철근비

철근비가 커짐에 따라 기준 시험체에 대한 강도증가비는 작아졌다. 그러나 감소계수 F는 크게 차이가 나지 않았다. 결국, 철근비는 감소계수에 별다른 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다.

#### 3.3.4 섬유보강비

섬유보강비가 커짐에 따라 강도증가비는 커졌으나 감소계수는 작아졌다. 섬유보강비에 따른 감소계수와 강도증가비는 다른 실험변수와 비교해 볼 때 변동폭이 크게 나타났다. 따라서, 섬유보강비를 크게 할 경우 감소계수의 선택은 신중한 판단을 요구한다.

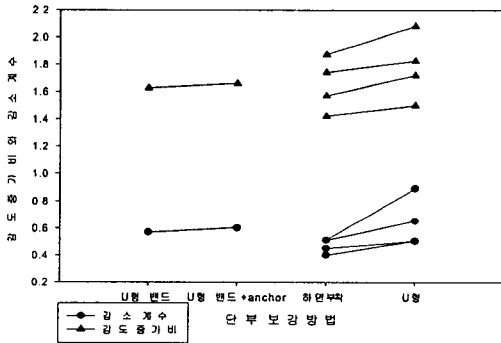


그림 4. 단부보강방법에 따른 강도증가비와 감소계수

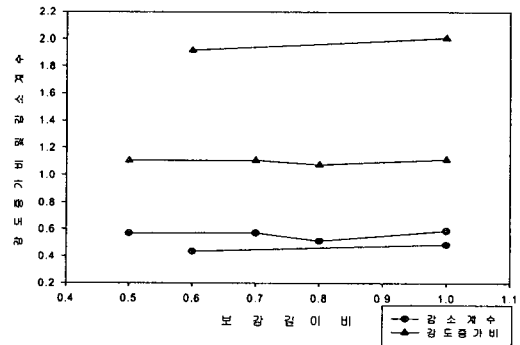


그림 5. 보강길이에 따른 강도증가비와 감소계수

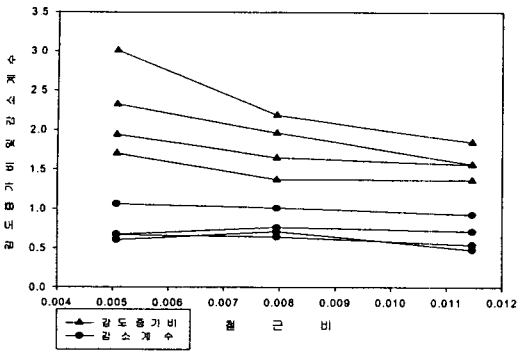


그림 6. 철근비에 따른 강도증가비와 감소계수

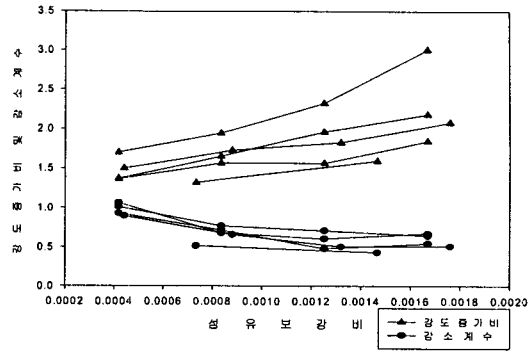


그림 7. 섬유보강비에 따른 강도증가와 감소계수

#### 4. 결론

본 연구에서는 탄소섬유시트로 휨보강한 RC보에 대해 실험 데이터를 수집하고 분석하여 양호한 보강방법 및 성능을 파악하고 감소계수를 평가하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 단부를 U형이나 Anchor로 보강하는 것은 강도 증진효과가 있었다.
- 2) 보강길이를 0.5L 이상으로 할 경우 보강길이의 증가에 따른 강도증진 효과가 없었다.
- 3) 강도증가비는 철근비가 증가함에 따라 감소하였고, 섬유보강비가 커질수록 증가하였다. 그러나, 강도감소계수 F는 보강접수에 따라 감소하였고, 철근비에 따른 영향은 거의 없었다.
- 4) 김성도 외<sup>6)</sup>에서는 섬유시트에 적용된 강도감소계수가 0.5~0.95의 범위로 제안되어 있음을 보여준다. 이 값은 본 연구에서 구한 감소계수와 다소 차이가 있었다. 따라서, 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 조백순, 정진환, 김성도, 박대효, 이우철, “강도설계법으로 산정된 탄소섬유시트 보강 철근콘크리트 보의 공칭 휨모멘트”, 한국콘크리트학회 2002년도 가을학술발표회 논문집
2. 박홍용, “FRP 보강 철근콘크리트 슬래브의 휨 거동”, 한국콘크리트학회 논문집 2000년 6월
3. 박중열 “탄소섬유판으로 보강된 철근콘크리트 보의 보강방법에 따른 휨 성능 개선”, 대한토목학회 논문집 2002년 7월
4. 박상렬, “탄소 FRP 슈트로 휨 보강된 RC 보의 보강효과에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 2001년 11월
5. 신성우, “탄소섬유시트 보강 길이에 따른 R/C보의 휨거동”, 구조물진단학회지 vol 2, No1
6. 김성도, “R.C.보에 부착된 섬유시트의 파단변형을 평가에 관한 실험적 연구”, 한국구조물진단학회 2003년 7월