

탄소섬유 및 유리섬유로 보강한 합성보의 내력산정과 보강효과에 대한 연구

A Study on the Strength Capacity and the Strengthening Effects of
Steel Reinforced Concrete(SRC) Beams with Carbon Fiber Sheets(CFS)
and Glass Fiber Sheets (GFS)

김희규* 신영수** 최완철*** 홍기섭**** 홍영균****
Kim, Hee-Kyu Shin, Young-Soo Choi, Oan-Chul Hong, Gi-Suop Hong, Young-Kyun

Abstract

This study is on the strength capacity and the strengthening effects of carbon fiber sheets (CFS) and glass fiber sheets(GFS) on steel reinforced concrete(SRC) beams. SRC beams are often used on high-rise building construction to save story height and construction cost. However, there are no strengthening design code in Korea and most engineers design it as steel beams ignored the composite effect of reinforced concrete.

Test results on steel reinforced concrete beams reveal that the strength capacity of SRC beam is more than simple addition of steel and reinforced concrete beams.

In case of steel reinforced concrete beams, ultimate moment capacity of strengthening beam of carbon fiber sheets is 120% of non-strengthening one.

1. 서론

최근 국내에서는 노후한 기존 건축·토목 구조물의 사용성, 내구연한, 구조내력 증가를 위해 보수 및 보강공사가 많이 행해지고 있다. 보수와 보강은 구조물의 사용연한을 증가시키고 구조체의 안전성 확보를 위하여 필수적인 것으로 우리나라 실정에 알맞고 경제적인 보수 및 보강재료와 공법 개발이 절

* 정회원, 홍익대 대학원 석사과정

** 정회원, 이화여대 조교수

*** 정회원, 숭실대 부교수

**** 정회원, 홍익대 조교수

실히 요구된다.

그러나, 보강공사는 정확한 구조내력 평가가 선행되고 그에 따른 접착제와 보강재료의 선택이 이루어져야 하지만, 대부분의 보강공사가 정확한 구조내력 평가가 되지 않은 상태에서 재래식 공법과 약식 설계방법을 주로 사용하여 경제성이 뒤떨어지고 설계기술도 발전하지 못하고 있는 실정이다.

합성보는 특성이 서로 다른 재료, 즉 콘크리트와 강재를 조합하여 사용한 구조부재이므로 그 단면효과가 우수한 반면에 해석과 설계가 상대적으로 복잡하다. 합성구조에 대한 국내의 기준을 살펴보면, 대한건축학회의 “강구조 한계상태 설계기준(안) 및 해설¹⁾”에서는 합성보 설계의 경우 두 가지로 구분하고 있는데, 첫번째는 철근 및 콘크리트의 효과를 무시하고 단순철골보와 같이 설계하는 것이다. 이때의 설계휨강도는 $\phi_b \cdot M_n$ 으로 산정하는데, ϕ_b 는 0.90이고, M_n 값은 소성모멘트 M_p 로 구한다.

두번째, 탄성응력분포로 산정하는 경우의 설계휨강도도 $\phi_b \cdot M_n$ 으로 산정하는데, ϕ_b 는 0.90이고 M_n 값은 탄성응력분포에서 구하게 되며, 철근콘크리트보와 철골보를 분리해서 단순합산하는 방법으로 산정하고 있다. 그러나, 외국의 실험보고에는 합성보의 내력은 단순합산한 구조내력 이상으로 설계되어야 한다고 보고하고 있다.^{2), 3)}

이러한 구조내력 산정공식은 국가에 따라 또는 설계자에 따라 각각 상이한 설계식을 제안하고 있다.

따라서 본 연구는 단순철골보와 철근콘크리트보와의 비교를 통해 합성보의 구조내력을 평가하고 탄소섬유 및 유리섬유를 부착하여 보강한 합성보의 구조내력 증가 효과를 검증함으로써 보강설계에 대한 기초자료를 제시하는 데 목적을 두고 있다.

2. 재료특성 및 단면 형상

2.1 재료특성

본 연구에서 사용한 재료는 표 1에 나타나 있는데⁴⁾, 콘크리트 강도는 28일 기준 210kg/cm²으로 하였고, 철근은 항복강도 4,000kg/cm²인 SD 40, H형강은 항복강도 2400kg/cm²인 SS 400 제품을 사용하였다.

보강재로 사용한 탄소섬유쉬트와 유리섬유쉬트는 모두 외국산 제품으로 탄소섬유쉬트는 CFS-CI-30 제품이고, 유리섬유쉬트는 TYFO S'를 사용하였다.

표 1 재료별 특성

구 분	설계강도 (kg/cm ²)	최대강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)	신장률(%)	설계두께 (cm)
콘크리트	210	210	2.17×10^4	0.3	—
철 근	4,000	5,000	2.03×10^5	16	—
철 골	2,400	5,500	2.03×10^5	17	—
탄소섬유쉬트 (CFS-CI-30)	35,500	35,500	2.35×10^6	1.5	0.0165
유리섬유쉬트 (TYFO S')	4,570	4,570	2.10×10^5	2.0	0.13

2.2 단면 형상

철골보는 H-148×100×6×9를 사용하였는데, 단위길이당 중량 w=21.1kg/m, 단면적 A=26.84

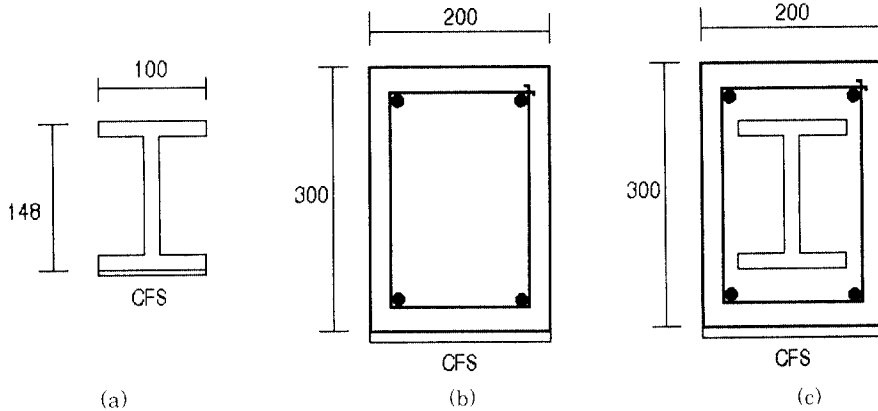


그림 1 시험체 단면형상

cm², 단면계수 $Z_x = 138\text{cm}^3$, 길이 3.0m인 시험체로 가정하였다.

철근콘크리트보는 길이 3.0m에 단면치수 20cm×30cm로 하였고, 인장철근은 2-D22 및 3-D22를 사용하고, 압축철근은 2-D16을 사용하였다. 그리고 전단보강근은 D10을 30cm 간격이 되도록 배근하여 전단에 충분히 저항하는 것으로 가정하였다.

합성보는 철근콘크리트보 시험체에 H-148×100×6×9 H형강을 포함하는 길이 3.0m 시험체로 가정하였다.

보강 시험체는 섬유 매수를 변수로 설정하였는데, 무보강 시험체에 같은 폭의 길이 2.4m로 탄소섬유 및 유리섬유슈트를 2매 부착한 시험체로 가정하였다.

3. 보강단면의 내력산정

3.1 개요

본 장에서는 순수철골보, 철근콘크리트보 및 합성보 부재의 휨내력을 이론적으로 산정하고, 각각의 시험체에 탄소섬유슈트와 유리섬유슈트로 보강했을 때의 보강내력을 탄성해석적 방법으로 구함으로써 향후 실험값과의 비교를 통해 보다 근거있는 보강설계법의 기초를 마련하고자 한다.

3.2 보강 전 단면의 해석

무보강 시험체의 단면내력은 2.2절에서 나타낸 단면을 사용하여 강구조 한계상태설계법과 콘크리트 극한강도 설계법에 의거하여 산정하였는데, 각 단면의 치수와 내력모멘트는 표 2에 나타나 있다.

표 2 무보강 시험체의 단면내력

시험체	단면 치수(mm)	내력모멘트(t·m)
철골보	H-148×100×6×9	3.0
철근콘크리트보	200(B)×300(H)	7.0
합성보	200(B)×300(H)	11.0

3.3 보강 후 단면의 해석

보강 시험체의 단면내력은 2.2절에서 나타낸 단면을 사용하였고, 철골보, 철근콘크리트보 및 합성보 시험체 하단에 탄소섬유슈트 2매를 부착하여 보강한 단면을 해석하였다.

1) 철골보

① 중립축거리 산정

$$\begin{aligned} \epsilon_{cs} &= \epsilon_y = 0.00118 \\ \epsilon_s &= 0.00118(10.3-x)/x \\ \epsilon_{cf} &= 0.00118(14.8-x)/x \\ C &= A_f f_y \\ T1 &= A_f f_s \\ T2 &= A_{cf} f_{cf} \\ C &= T1 + T2 \text{에서} \\ x &= 5.35 \text{cm} \end{aligned}$$

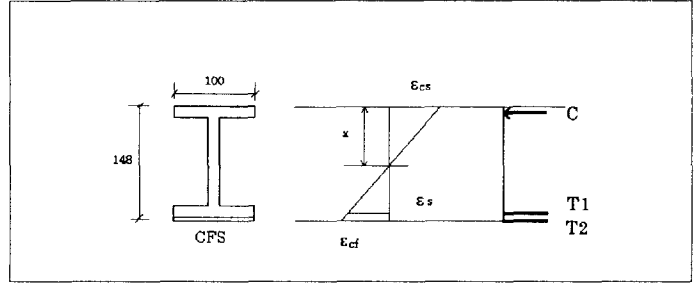


그림 2

② 공칭모멘트 산정

$$Mn = 323490 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 3.23 \text{t} \cdot \text{m}$$

2) 철근콘크리트보

① 변형도 검토

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \epsilon_y = 0.0019 \\ \epsilon_c &= \epsilon_u = 0.003 \\ \epsilon_{cf} &= 0.003(h-x)/x \end{aligned}$$

② 중립축거리 산정

$$\begin{aligned} C &= 0.85 f'_c a b \\ T1 &= A_s f_y \\ T2 &= A_{cf} f_{cf} = A_{cf} \epsilon_{cf} E_{cf} \\ C &= T1 + T2 \end{aligned}$$

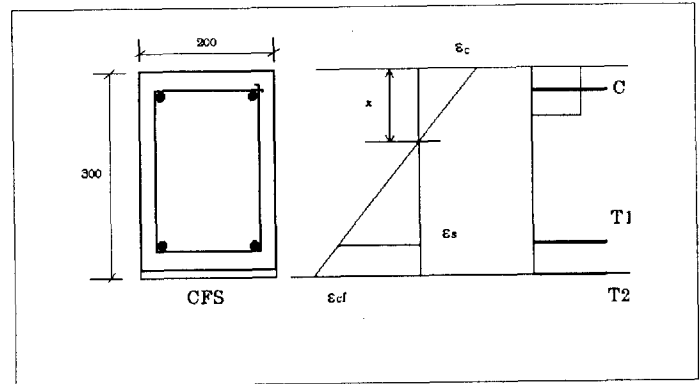


그림 3

$$\begin{aligned} &= A_s f_y + A_{cf} \epsilon_{cf} E_{cf} \\ &= 0.7225 f'_c b x \\ &= 0.7225 f'_c b 0.003h / (0.003 + \epsilon_{cf}) \end{aligned}$$

$$A_s f_y + A_{cf} \epsilon_{cf} E_{cf} + A_s f_y \epsilon_{cf} / 0.003 + A_{cf} E_{cf} \epsilon_{cf}^2 / 0.003 - 0.7225 f'_c b h = 0$$

$$\epsilon_{cf} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = A_{cf} E_{cf} / 0.003$$

$$b = A_{cf} E_{cf} + A_s f_y / 0.003$$

$$c = A_s f_y + 0.7225 f'_c b h$$

$$\epsilon_{cf} = 0.0042$$

$$x = 12.4 \text{cm}$$

③ 공칭모멘트 산정

$$\begin{aligned} Mn &= C(x-a/2) + T1(d-x) + T2(h-x) \\ &= 837880 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 8.38 \text{t} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

3) 합성보

① 변형도 검토

$$\begin{aligned} \epsilon_s = \epsilon_y &= 0.0019 \\ \epsilon_{ss} = \epsilon_y &= 0.00114 \\ \epsilon_v = \epsilon_{ti} &= 0.003 \\ \epsilon_{cs} &= \epsilon_c (x - ds) / x \\ \epsilon_{cb} &= \epsilon_c (x - d') / x \\ \epsilon_{ct} &= 0.003 (h - x) / x \end{aligned}$$

② 중립축거리 산정

$$\begin{aligned} C_c &= 0.85 f'_c a b \\ T1 &= A_s f_y \\ T2 &= A_{ct} f_{ct} = A_{ct} \epsilon_{ct} E_{ct} \\ T3 &= A_t f'_t \\ C_{cb} &= A_s' f_s \\ C_{cs} &= A_t f'_t \\ C_c + C_{cs} + C_{cb} &= T1 + T2 + T3 \\ x &= 9.98 \text{cm}, a = 8.84 \text{cm} \end{aligned}$$

③ 공칭모멘트 산정

$$\begin{aligned} Mn &= C_c (x - a/2) + C_{cb} (x - d') + C_{cs} (x - ds) + T1 (d - x) + T2 (h - x) + T3 (h - ds - x) \\ &= 1307 \text{t} \cdot \text{cm} = 13.1 \text{t} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

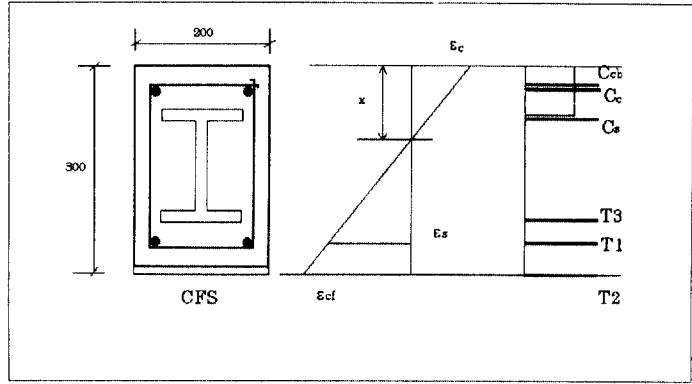


그림 4

3.4 보강내력분석

시험체	무보강 시험체 내력모멘트(t·m)	보강 시험체(2 ply) 내력모멘트(t·m)	보강내력 증가효과
철골보	3.0	3.2	7%
철근콘크리트보	7.0	8.38	19%
합성보	11.0	13.1	20%

4. 결 론

합성보의 휨내력과 보강후의 내력을 파악하기 위해 수행한 이론적 해석결과에 따른 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 합성보의 구조내력은 순수철골보와 철근콘크리트보의 합산내력보다 약 10% 정도의 내력 증가 효과를 보였다.
- (2) 보강한 합성보의 구조내력은 무보강 단면의 경우와 마찬가지로, 보강철골보와 보강한 철근콘크리트보의 합산내력보다 약 10% 정도 증가한 것으로 나타났다.
- (3) 탄소섬유쉬트로 보강한 철골보의 경우는 내력증가 현상이 둔한 반면, 철근콘크리트보와 합성보의 경우는 약 20% 정도의 보강효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 강구조 한계상태설계기준(안)및 해설, 대한건축학회, 1995
2. "A Method to Estimate the Moment and Rotation Angle Relationships of SRC Beam Members"
H. Sakata and A. Wada, Proceedings of EASEC-S, 1995
3. "A New Approach for the Prediction of SRC Beam-Column Strength" C.C Weng and S. I. Yen,
Proceedings of EASEC-5, 1995
4. 최완철, 연구석, 홍영균, "철근콘크리트 보수보강 재료 및 공법", 한국콘크리트학회지 제 7권 6호, 1995.12.