



엠보싱 웹를 가지는 충전형 합성보의 휨내력 평가

이준섭¹ · 신경재^{2*} · 이희두³ · 김소영⁴

¹박사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학부, ²교수, 경북대학교, 건설환경에너지공학부,
³전임연구원, 경북대학교, 건설안전기술연구소, ⁴박사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학부

Flexural Strength of Filled Composite Beams with Embossing Webs

Lee, Jun Seop¹, Shin, Kyung Jae^{2*}, Lee, He Du³, Kim, So Yeong⁴

¹Doctor's Course, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

²Professor, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

³Research Fellow, Architectural Safety Technology Institute, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

⁴Doctor's Course, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

Abstract - Composite beam is a structural members that use shear connector between concrete slabs and H-shaped steel beams to act as a single member. In composite beams, shear couplings are very important as the composite ratio is determined by the extent to which the horizontal shear force between the concrete and the steel beam is sustained. This study produced composite beams using angled connectors instead of stud connectors and embossed webs instead of flatbed webs of H-shaped steel, unlike conventional composite beams. Based on this, U-shaped composite beams with embossed webs are constructed in a real-size form and the effects of post-composition behavior and shear coupler variables are analyzed through a bending experiment.

Keywords - Infiled Composite Beam, Concrete Filled, Horizontal Shear, Composite Effects

1. 서론

현대의 건축물은 국토의 용적률을 높이기 위해 고층화, 장스팬화가 이루어져 가고 있다. 이에 재료 사용의 경제성과 구조 방식의 효율성 등을 만족시킬 수 있는 구조형식의 선택이 매우 중요한 문제로 떠오르고 있다. 단일 재료의 활용으로는 부재의 크기를 증가시키면 충분한 내력을 확보할 수 있으나, 재료 사용의 증가로 인해 경제성을 충족시키지 못하는 현실이다. 이로 인해 현재 콘크리트와 강재를 함께 사용한 합성부재의 사용이 증가하고 있다.

합성부재 중 합성보는 콘크리트와 강재의 장점을 활용하기 위해 전단 연결재를 사용하여 부재의 효율성을 얻는 구조이다. 철

골보와 콘크리트의 슬래브 사이의 경계면에서 발생하는 수평 전단력에 저항하기 위해 일반적으로 스테드 앵커를 사용하고 있다. 현재 기존에 사용되고 있는 합성보는 노출형으로 철골보 위에 콘크리트 슬라브를 설치하는 것이 대다수이며 많은 연구가 진행되어 왔다^{1),2)}. 현재 콘크리트와 철골보 사이의 부착강도 증가를 위해 U자형 충전형 합성보에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^{3),4)}. 충전형 합성보에서 전단 연결재를 사용할 경우 콘크리트의 측압을 견디기 위해 추가적인 간격유지재가 필요할 수 있다. 하지만 앵글형 전단 연결재를 사용할 경우 전단 연결재의 역할뿐만 아니라 간격 유지재로서의 역할을 동시에 기대할 수 있어 본 연구에서는 앵글형 전단 연결재를 사용하였다.

Fig. 1.과 같은 엠보싱 웹를 사용한 보는 평판 웹를 가지는 보에 비해 강도 및 연성이 우수한 것을 선행 연구를 통해 확인하였다^{5),6)}. 또한 엠보싱 웹는 웹 자체의 굴곡 때문에 U형 강재 단면과 콘크리트 사이의 전단 연결재로서의 역할을 동시에 기대할 수 있다고 판단하였다. 본 논문은 이를 바탕으로 엠보싱 웹를 가지는 U자형 합성보를 실험체로 제작하고, 가력 실험을 통해 합성 후의 거동 및 전단 연결재 변수에 따른 영향을 분석하고자 한다.

Note.-Discussion open until December 31, 2019. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on April 12, 2019; revised May 03, 2019; approved on May 04, 2019.

Copyright © 2019 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-53-950-5591 Fax. +82-53-950-5590

E-mail. shin@knu.ac.kr



Fig. 1. Embossing web

2. 실험 계획

2.1 실험 계획 및 방법

합성보에서 최대 강도를 결정하는 중요한 요소는 콘크리트와 철골보의 합성율이며 합성율은 전단 연결재에 따라 결정된다. 이에 본 연구에서는 웨브의 형상, 전단 연결재의 간격에 따라 변수를 설정하였다. Table 1은 실험체 명칭과 그에 따른 변수를 정리한 것이다. 실험체의 총 높이는 804 mm로 동일하게 정하였으며, 철골의 웨브는 SS275 ($F_y=275$ MPa), 플랜지와 전단 연결재는 SM355 ($F_y=355$ MPa) 강재를 사용하였다. 실험체의 변수는 크게 웨브의 형상에 따라 평판 웨브와 엠보싱 웨브로 나뉘지며, 그 다음 변수로 전단 연결재의 간격에 따라 실험체를 결정하였다.

Fig. 2는 충전형 합성보의 단면이다. 콘크리트 슬래브의 크기는 실험 조건 및 가력 범위 등을 고려하여 1,000 mm × 180 mm (폭×두께)로 하였다. 철골의 웨브 사이즈는 선행 연구⁷⁾의 철골 실험과 비교를 위하여 동일한 사이즈로 제작하였다. Fig. 3은 전단 연결재의 모습으로 앵글형 전단 연결재를 플랜지 상단부에 용접을 통해 연결하였다. 전단 연결재의 두께는 6 mm로 하였으며, 앵글 용접량은 전단 연결재로서의 충분한 내력을 가지도록 산정하였고, 용접 방향은 시공성을 고려하여 앵글의 길이 방향으로 하였다.

Table 1. Test specimens

No.	Specimens	Composite rate (%)	Spacing between stud (mm)	Composite Beam depth (mm)	Steel					Slab	
					Web height (mm)	Web thickness (mm)	Top flange width (mm)	Bottom flange width (mm)	Flange thickness (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)
1	H-600-150	100	150	804	600	4	200	340	12	1000	180
2	I-600-150	100	150								
3	I-600-250	100	250								
4	I-600-400	100	400								
5	I-600-800	67	800								

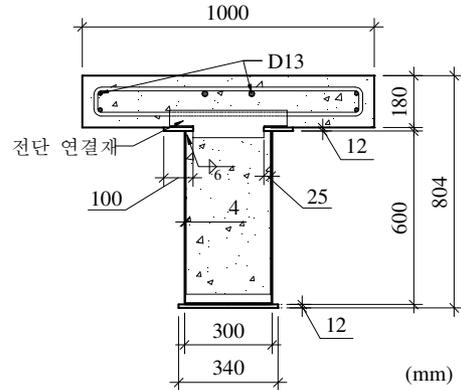
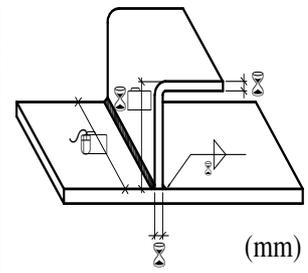


Fig. 2. Cross section of specimens



(a) Angle stud of beam



(b) detail

Fig. 3. Angle stud

Fig. 4는 실험체 설치 모습이다. 실험체의 가력 길이는 선행 연구⁷⁾의 휨 실험과의 동일하게 7,560 mm이고, 가력 지점간의 거리는 1,150 mm이다. 실험체 가력은 용량 10 MN의 만능재료시험기 (Universal Testing Machine, UTM)를 이용하여 2점 가력하였고, 가력 속도는 0.05 mm/sec 로 변위제어 하였다. 실험은 최대 하중 이후 최대 하중의 80%로 강도가 저감이 일어나면 종료하였다.

보의 처짐을 측정 하기 위해 보 중앙과 가력 지점에 변위계를 설치하였으며, 콘크리트와 철골 사이의 슬립을 측정하기 위해 양

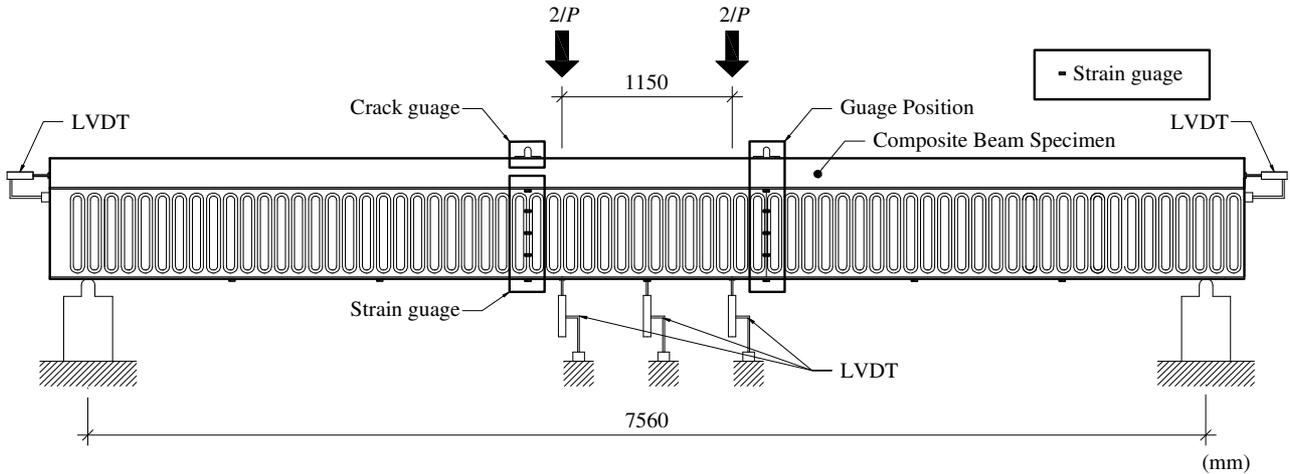


Fig. 4. Test set-up

단 끝에도 변위계를 설치하였다. 소성 중립축을 찾기 위해 가력 지점 부근에 스트레인 게이지를 설치하였으며, 콘크리트의 변형률 측정을 위해 슬라브 상단에 크랙 게이지를 설치하였다. 또한 플랜지의 항복을 파악하기 위해 가력 지점에서 1,000 mm 간격으로 스트레인 게이지를 부착하였다.

2.2 재료 시험

합성보에 휩성능 평가를 위해 실험체에 사용된 재료에 대한 재료 시험을 실시하여 재료의 강도를 측정하였다. 철골에 사용된 강재는 SS275(웹)와 SM355(플랜지)로 금속재료 인장시험편(KS B 0801)에서 판모양 정형 시험편 5호에 따라 제작하였다^[11]. 시험 방법은 금속재료 인장시험방법(KS B 0802)에서 제시한 시험 방법에 따라 실시하였다^[12]. 강재와 철근의 연신률 측정을 위해 연신률 측정계를 이용하여 측정하였다. 콘크리트의 압축 강도 시험은 원형 공시체 시험 규정(KS F 2405)에 따라 수행하였다^[13]. Fig. 5는 시험편 설치 모습으로 각 시험은 300 kN 용량의 만능재료시험기에서 진행하였고, 하중은 시험기의 로드셀로 측정을 하였다.

Table 2는 재료 시험 결과로 웹에 사용된 SS275의 항복강도는 403.0 MPa, 인장강도는 492.5 MPa로 나타났다. SM355 중 각 각 플랜지에 사용된 두께 12 mm의 강재는 항복강도는 379.5.0 MPa, 인장강도는 546.2 MPa, 전단 연결재에 사용된 두께 6 mm의 강재는 항복강도는 333.0 MPa, 인장강도는 478.2 MPa로 측정되었다. 콘크리트의 평균 28일 강도는 11.9 MPa로 나타났으며, 이는 실험체 제작 기간 동안 한파로 인해 초기 동해 피해가 발생하였기 때문이다. 실험체 계획단계에서 합성율을 변수로 철골보와 전단 연결재를 제작하였으나 콘크리트의 항복강도가 설계

시보다 많이 저감됨에 따라 Table 1의 합성율의 계획이 100%와 67%로 구분되게 되었다.

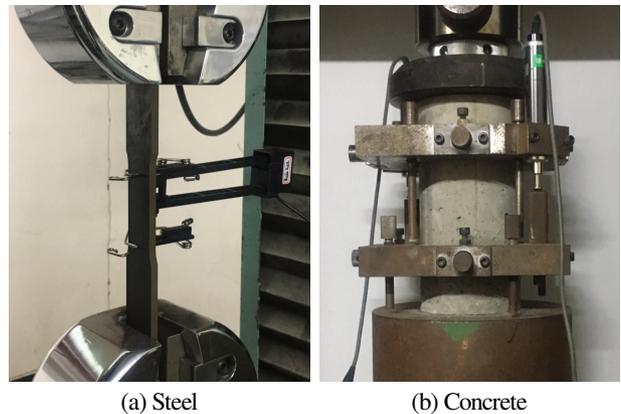


Fig. 5. Material Test

Table 2. Result of material tests

Coupon	t (mm)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	Elongation (%)	E_s (MPa)
SS275	4.0	403.0	492.5	17.6	210×10^3
SM355	6.0	333.0	478.2	15.7	
SM355	12.0	379.5	546.2	16.0	
Concrete	$f_{ck} = 11.87 \text{ MPa}$ $E_c = 4,700\sqrt{f_{ck}} = 16192.9 \text{ GPa}$				

t = 시험체의 두께, F_y = 강재의 항복 강도,
 F_u = 강재의 인장 강도, E_s = 강재의 탄성계수,
 f_{ck} = 콘크리트의 압축 강도, E_c = 콘크리트의 탄성계수

3. 실험 결과

3.1 실험 결과

Fig. 6.은 100 % 합성율인 경우 평판 웨브(H-600-150)와 엠보싱 웨브(I-600-150)의 실험결과를 비교한 하중-처짐 곡선이다. 평판 웨브를 가지는 실험체는 탄성적인 거동을 하다 최대 하중 이후 연성적인 거동을 하지 못하고 항복하는 것을 확인할 수 있었다. 엠보싱 웨브를 가지는 실험체는 평판 웨브 실험체에 비해 최대 강도는 낮게 나타났지만, 항복 후 변형 능력이 뛰어난 것을 확인하였다. 선행 연구를 통해 엠보싱 웨브의 초기 강성이 기존의 평판 웨브보다 약한 것을 확인하였고, 본 실험에서도 이와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

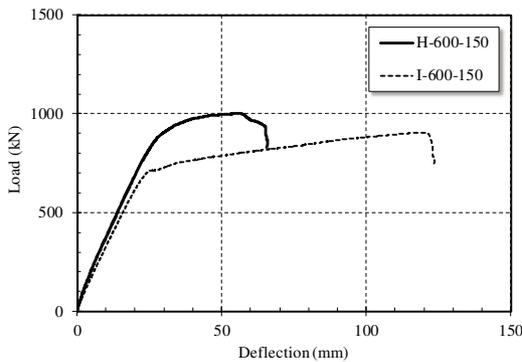


Fig. 6. Load-deflection curve (H web vs I web)

Fig. 7.은 엠보싱 웨브를 가지는 실험체의 하중-처짐 곡선이다. 전단 연결재의 간격이 조밀해수록 최대 강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 합성율이 낮을수록 실험체의 변형 능력이 우수한 것으로 나타났다.

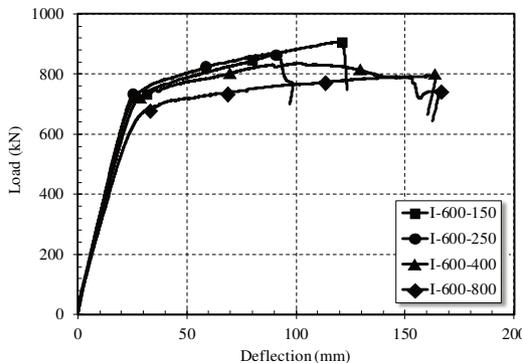


Fig. 7. Load-deflection curve of I-specimens

Table 3은 실험체의 항복 강도(P_y)와 인장 강도(P_u)를 정리하였다. 실험 결과 최대 강도는 H-600-150 실험체가 1001.12 kN으로 나타났고, 최소 강도는 I-600-800 실험체가 790.91 kN으로 나타났다. 최대 처짐은 I-600-800 실험체로 150.6 mm였으며, 최소 처짐은 H-600-150 실험체로 54.79 mm로 나타났다. P_y 는 가력 하부 플랜지의 변형률이 항복 변형률에 도달하는 시점으로 산정하였으며, P_u 는 최대 강도를 나타낸다. 실험체의 항복하중에 대한 최대하중의 비는 1.16~1.23으로 균등한 분포로 나타났다. 실험 결과 전단 연결재의 간격이 좁을수록 강도가 증가하는 경향을 보였으며, 전단 연결재의 간격이 넓을수록 변형 능력이 뛰어난 것을 확인하였다.

Table 3. Bending test result

No.	Specimens	P_y (kN)	P_u (kN)	$\frac{P_u}{P_y}$	δ_y (mm)	δ_u (mm)
1	H-600-150	864.27	1001.12	1.16	26.94	54.79
2	I-600-150	738.51	906.19	1.23	26.34	118.65
3	I-600-250	726.18	867.35	1.19	24.84	88.31
4	I-600-400	722.49	835.91	1.16	28.20	100.93
5	I-600-800	647.89	790.91	1.22	26.79	150.60

Fig. 8.은 실험체별 하중-슬립 곡선이다. 슬립은 실험체의 양단 끝에 설치한 LVDT의 결과값이다. 전단 연결재의 간격이 조밀해 질수록 실험체의 슬립이 거의 발생하지 않는 것을 확인하였다. 실험체 중 슬립이 발생한 실험체는 I-600-800로 슬립이 북쪽으로 최대 6 mm, 남쪽으로 20 mm가 발생하는 것으로 나타났다. 실험 결과를 통해 전단 연결재의 슬립이 발생할 경우 실험체의 변형 능력이 컸으며, 슬립이 발생하지 않을 경우 변형 능력이 낮은 것을 확인하였다. 또한 선행 연구⁹⁾를 통해 전단 연결재의 방향에 따른 강도 차이가 크게 없는 것을 확인하였다. 하지만 Fig. 11.과 같이 모든 실험체의 전단 연결재의 항복 방향이 슬립의 방향과 동일한 방향으로 가는 것을 나타냈다.

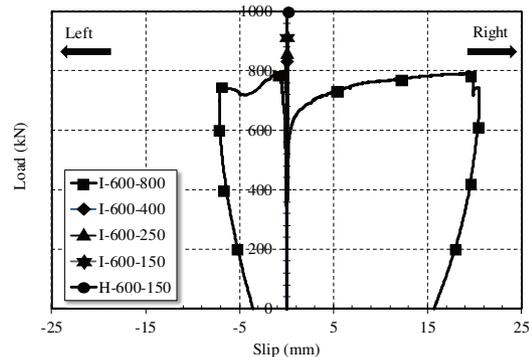


Fig. 8. Load-slip curve

3.2 파괴 모드

Fig. 9.는 실험체별 실험 종료된 후 모습이다. 선행 연구¹⁸⁾에서 엠보싱 웨브를 가지는 실험체의 휨실험 파괴 형상은 가력부 플랜지 압축 좌굴과 휨파괴 형상이 발생하였다. 하지만 본 연구에서는 플랜지의 압축 좌굴이 발생하지 않았고 이는 콘크리트의 슬래브의 영향으로 판단된다. 평판 웨브를 가지는 실험체는 선행 연구에서 웨브 좌굴이 발생하여 실험체의 항복이 발생하였지만 본 연구의 실험에서는 콘크리트의 충전 때문에 웨브의 좌굴이 발생하지 않았다고 사료된다. 이로 인해 실험체 대다수가 최대 하중 이후 Fig. 10.과 같게 가력부 콘크리트 슬래브의 압괴로 하중이 저하되어 실험을 종료하였다.

I-600-800 실험체를 제외한 실험체들은 전단 연결재의 항복이 일어나지 않고 먼저 콘크리트 압괴가 일어나 실험체의 강도가 저하되었다. I-600-800 실험체는 최대 하중에 도달한 이후 Fig. 11.과 같이 전단 연결재의 항복이 발생하고 콘크리트의 압괴가 일어나 하중이 감소하는 것으로 나타났다. Fig. 12.는 I-600-800 실험체의 실험 종료 후 콘크리트와 철골 부 사이의 모습으로 상단 슬래브와 보 콘크리트에 슬립이 발생하여 균열이 발생한 것을 확인하였다.



(a) H-600-150



(b) I-600-150



(c) I-600-250



(d) I-600-400



(e) I-600-800

Fig. 9. Failure mode



Fig. 10. Failure mode of slab



Fig. 11. Failure mode of stud



Fig. 12. Separation between steel and concrete

4. 이론 계산 및 고찰

4.1 합성보 이론 계산

실험체의 내력 평가를 위해 합성보 설계식(KBC2016)을 참고하여 합성보의 내력을 평가하였다¹⁰⁾. 합성보 설계 시 식 (1)과 같이 합성보의 판폭두께비에 따라 설계휨강도를 구하는 식이 달라진다.

$$h/t_w \leq 3.76\sqrt{E/F_y} \quad (1)$$

여기서, E = 탄성 계수,

F_y = 항복 강도,

h = 웨브의 높이,

t_w = 웨브의 두께

위의 조건을 만족시키는 합성보는 소성응력분포로 가정하여 설계휨강도를 산정한다. 본 연구의 실험체는 모두 위의 조건을 만족하므로 Fig. 13.과 같이 소성응력분포로 하여 정모멘트를 산정하였다.

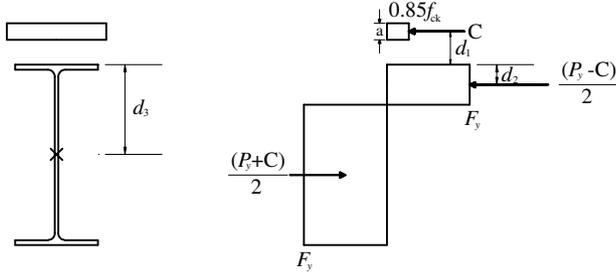


Fig. 13. Plastic stress distribution

위의 과정을 참고하여 소성응력분포로 슬래브의 압축력 C 는 식 (2)~(4) 중 최솟값으로 한다. 본 논문에서는 Q_n 은 선행 연구⁹⁾를 통해 실험된 전단 연결재의 실험 강도($Q_n = 206.3$ kN)를 활용하여 계산을 진행하였다.

$$C = A_{sw} F_y + 2A_{sf} F_y \quad (2)$$

$$C = 0.85 f_{ck} A_c \quad (3)$$

$$C = \sum Q_n \quad (4)$$

여기서, A_c = 유효폭 안에 있는 콘크리트 슬래브의 면적
 A_s = 강재단면의 총단면적
 A_{sf} = 강재플랜지의 단면적
 A_{sw} = 강재웨브의 단면적
 f_{ck} = 콘크리트의 설계기준압축강도
 F_y = 강재의 설계기준항복강도
 $\sum Q_n$ = 정모멘트가 최대가 되는 위치와 모멘트가 0인 위치 사이에 있는 전단 연결재 앵커의 공칭강도의 합

식 (5)는 정모멘트 구간의 설계 휨강도를 계산하는 식으로합성 효과로 인해 횡좌굴이 발생하지 않는 것으로 가정하여 휨강도를 산정한다.

$$M_n = C(d_1 + d_2) + P_y(d_3 - d_2) \quad (5)$$

여기서, d_1 = 콘크리트의 압축력 C 의 중심으로부터 강재 단면의 상단까지의 거리
 d_2 = 강재단면의 압축력 중심으로부터 강재 단면의 상단까지 거리(강재단면에 압축력이 없는 경우에는 0)
 $d_3 = P_y$ 로부터 강재단면의 상단까지의 거리
 P_y = 강재단면의 인장강도

Table 4는 이론 해석 결과를 바탕으로 정리한 것이다. $M_{theo.}$, $P_{theo.}$ 는 재료시험을 통한 강재와 콘크리트의 항복 강도를 기반으로 산정한 강도로 합성율이 동일할 경우 전단 연결재의 간격과 상관없이 동일한 값이 나오는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 합성율이 낮아지면 강도가 줄어들었고, 전단 연결재의 간격에 따라 강도의 영향이 있는 것을 확인하였다.

$M_{test}/M_{theo.}$ 는 0.89 ~ 1.07로 설계식과 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, I-600-800 실험체의 경우 1.27로 합성율이 낮을수록 전단 연결재의 강도가 영향을 많이 있으므로 설계식과의 차이가 큰 차이가 나타난다고 판단된다.

휨재에서 변형 능력인 연성은 중요한 요소로 최대 하중에 약 70 ~ 80 %까지 하중이 저감되었을 때로 평가하는 경우가 많다. 이를 활용하여 본 논문에서는 최대 강도 이후 최대 강도의 80 % 강도가 발휘될 때의 처짐을 활용하여 변형 능력을 평가하였다. μ 는 변형 능력으로 동일한 합성율 100 %라도 전단 연결재의 간격이 더 조밀할 경우 휨강도는 증가하지만, 변형 능력은 크게 2배 정도 차이 나는 것을 확인하였다. 이는 전단 연결재의 강도가 너무 강할 경우 수평 전단력보다 콘크리트 강도가 약해 콘크리트의 압괴가 먼저 발생하여 휨강도의 저감이 발생하기 때문이라고 판단된다. E_n 은 에너지 소산 능력으로 하중-처짐 곡선의 내부 면적으로 산출하였

Table 4. Comparison of test and theoretical results

No.	Specimens	Design composite ratio (%)	Stud spacing (mm)	$M_{theo.}$ (kN·m)	M_{test} (kN·m)	$P_{theo.}$ (kN)	P_{test} (kN)	$\frac{M_{test}}{M_{theo.}}$	$\mu = \frac{\delta_{0.8P_n}}{\delta_y}$	E_n (kN·m)
1	H-600-150	100	150	1516.96	1616.81	939.30	1001.12	1.07	2.41	42.80
2	I-600-150	100	150	1516.96	1463.50	939.30	906.19	0.96	4.67	83.55
3	I-600-250	100	250	1516.96	1400.77	939.30	867.35	0.92	3.90	59.20
4	I-600-400	100	400	1516.96	1349.99	939.30	835.91	0.89	5.69	93.37
5	I-600-800	67	800	1004.04	1277.32	621.70	790.91	1.27	6.06	81.95

여기서, $M_{theo.}$ = 재료시험을 바탕으로 한 최대휨강도, M_{test} = 실험 결과에 의한 최대 휨강도, $P_{theo.}$ = 실험 결과에 의한 최대 강도, P_{test} = 재료시험을 바탕으로 한 최대강도, μ = 변형 능력, $\delta_{0.8P_n}$ = 실험체의 최대 하중 이후 최대 하중의 80 %일 때의 처짐, E_n = 부재의 에너지 소산 능력

다. 에너지소산능력 또한 변형 능력과 유사한 경향을 보이는 것을 확인하였다.

4.2 소성중립축 분포

소성 중립축 위치를 확인하기 위해 Fig. 14.에 나타낸 것과 같이 스트레인 게이지를 부착하였다. 실험체의 항복을 확인하기 위해 각 재료별 변형률을 선정하였다. 콘크리트의 경우 $3000 \mu\epsilon$ 로 일반적인 콘크리트의 변형률로 확인하였으며, 강재의 경우 재료시험을 바탕으로 $1800 \mu\epsilon$ 로 산정하였다. Fig. 14. ~ 18.은 각 실험체별 강도별 스트레인 분포로 100 kN당 각 게이지의 변형률을 표시하였으며, Theory는 이론적으로 계산한 소성 중립축의 위치이다.

모든 실험체는 항복 강도까지 탄성적인 거동을 하다가 하부 플랜지가 항복하고, 후에 콘크리트가 항복하면서 파괴가 일어난 것이라 판단된다. 소성중립축의 위치는 각 실험체별로 450, 470, 452, 446, 371 mm로 I-600-800 실험체의 경우 웹 중앙 부근에 위치하였으며, 다른 실험체는 웹 상단부에 위치하는 것을 확인할 수 있었다. 동일한 합성율 100 %일 경우 전단 연결재의 간격이 변화해도 수평 전단력의 최솟값이 콘크리트나 철골의 영향을 받으므로 소성중립축의 위치는 이론상 변화가 없다. 이를 바탕으로 실험 결과도 동일하게 소성중립축의 위치는 변화하지 않는 것으로 나타났다. 합성율이 낮아지면 수평 전단력의 최솟값이 낮아져 중립축이 아래로 내려오는 것을 확인하였다.

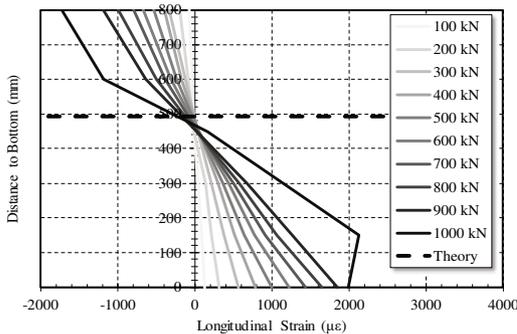


Fig. 14. H-600-150 Longitudinal strain distributions

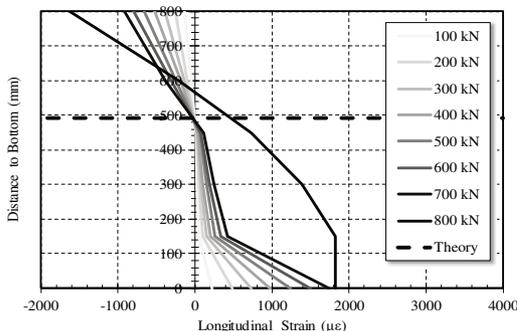


Fig. 15. I-600-150 Longitudinal strain distributions

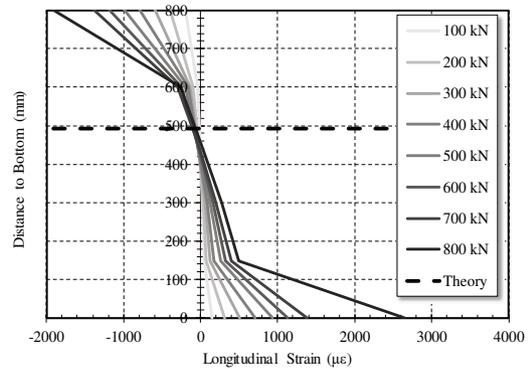


Fig. 16. I-600-250 Longitudinal strain distributions

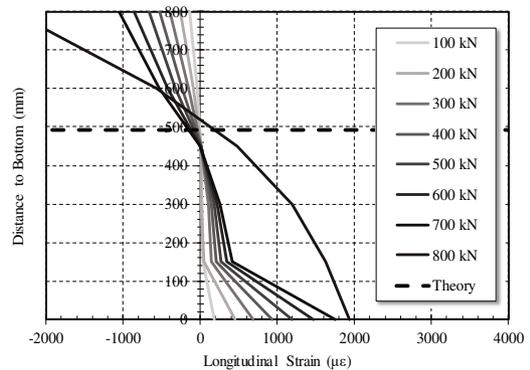


Fig. 17. I-600-400 Longitudinal strain distributions

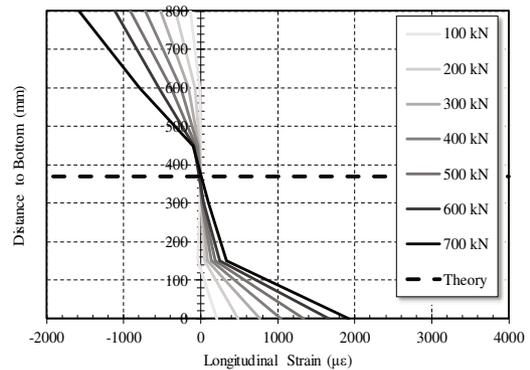


Fig. 18. I-600-800 Longitudinal strain distributions

5. 결론

본 실험은 엠보싱 웹를 가지는 합성보와 평판 웹를 가지는 합성보를 비교하고, 전단 연결재의 간격에 따른 강도 분석을 위해 4점 가력 실험을 수행하였다. 실험을 바탕으로 본 실험의 합성보의 구조적인 성능에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 엠보싱 웹를 가지는 합성보의 경우 평판 웹를 가지는 합

성보에 비해 최대 강도 및 휨강성은 낮게 나타났지만, 변형 능력은 평판 웹를 가지는 합성보에 약 2배 정도로 크게 나타났다.

- (2) 전단 연결재의 간격이 넓어질수록 최대 강도는 감소하는 것으로 나타났으나 변형 능력은 간격이 좁아질수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 합성율이 100% 이상의 전단 연결재를 설치할 경우 강도의 증가에 비해 변형 능력의 감소가 큰 것으로 나타났다.
- (3) 합성율 100% 이상의 전단 연결재를 설치할 경우 최대 강도는 미비하게 증가하는 경향을 보였으나, 에너지 소산 능력과 변형 능력은 감소하는 경향을 보였다. 이를 통해 과도한 전단 연결재의 설치는 효율적인 설계가 되지 않는다고 판단된다.
- (4) 본 실험에서는 KBC2016 노출형 콘크리트 합성보의 내력 평가식을 통하여 내력을 산정하고 비교하였으며, 본 실험체는 충전형 합성보로 인장부 콘크리트의 영향이 미비하므로 충전형 합성보 내력 평가식으로 사용 가능할 것이라 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2018년 IS 중공업과 한국강구조학회의 엠보싱 웹를 가지는 T형 합성보의 내력평가에 관한 연구의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌(References)

- [1] 김영주, 배재훈, 안태상, 최종권(2015) 앵글을 전단연결재로 사용하는 합성보의 휨성능, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제1호, pp.63-75.
Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Choi, J.G. (2015) Flexural Capacity of the Composite Beam Using Angle as a Shear Connector, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.1, pp.63-75 (in Korean).
- [2] Zhao, H., and Yuan, Y. (2012) Experimental Studies on Composite Beams with High-Strength Steel and Concrete, *Steel and Composite Structures*, Techno-Press, Vol.10, No.4, pp.297-307.
- [3] 김성배, 조성현, 오광수, 전용한, 최영한, 김상섭(2016) 춤이 작은 신형상 고성능 하이브리드 합성보의 휨성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제28권, 제3호, pp.151-162.
Kim, S.B., Cho, S.H., Oh, K.S., Jeon, Y.H., Choi, Y.H., and Kim, S.S. (2016) Bending Performance Evaluation of Hybrid Composite Beam with Low Depth and New Shape, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.3, pp.151-162 (in Korean).
- [4] 김성배, 김상섭, 이원록, 김정연, 이승배, 유덕수, 김대회(2012) 신형상 U형 하이브리드 합성보의 휨성능에 대한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제5호, pp.521-534.
Kim, S.B., Kim, S.S., Lee, W.R., Kim, J.Y., Lee, S.B., Ryu, D.S., and Kim, D.H. (2012) Study on the Flexible Strength of U-Shape Hybrid Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.24, No.5, pp.521-534 (in Korean).
- [5] 윤명호, 이윤희, 이예슬(2013) 부분매입형 신형상 합성보의 단면성능에 관한 연구, 한국복합신소재구조학회논문집, 한국복합신소재구조학회, 제4권, 제3호, pp.7-12.
Yoon, M.H., Lee, Y.H., and Lee, Y.S. (2013) A Study on Section Properties of Partially Concrete-Filled New Type Composite Beam, *Journal of Korean Society for Advanced Composite Structures*, KOSACS, Vol.4, No.3, pp.7-12 (in Korean).
- [6] 김상모, 김규석(2003) T형 합성보의 내력평가에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제15권, 제4호, pp.467-474.
Kim, S.M., and Kim, K.S. (2003) A Study on the Strength Evaluation for T-Type Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.15, No.4, pp.467-474 (in Korean).
- [7] 박한민, 이희두, 신경재, 이수현, 채일수(2017) 엠보싱 웹를 가지는 보 부재의 실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제29권, 제6호, pp.479-486.
Park, H.-M., Lee, H.-D., Shin, K.-J., Lee, S.-H., and Chae, I.S. (2017) Experimental Study on Steel Beam with Embossment Web, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.6, pp.479-486 (in Korean).
- [8] 한국강구조학회(2016) 엠보싱 웹를 가지는 보 부재(IEB) 구조성능평가. 최종보고서, 연구보고서, 한국강구조학회. KSSC (2016) *Performance Evaluation of a Beam Member (IEB) Structure with Embossing Web: The Final Report, Research Report*, KSSC, Korea (in Korean).

- [9] 한국강구조학회(2019) 엠보싱 웨브를 가지는 T형 합성보의 내력평가에 관한 실험적 연구: 최종보고서, 연구보고서, 한국강구조학회.
KSSC (2019) *Experimental Study on the Strength Evaluation of T-Shaped Composite Beams with Embossed Webs: The Final Report, Research Report*, KSSC, Korea (in Korean).
- [10] 대한건축학회(2016) 건축구조기준 및 해설, 기문당.
Architectural Institute of Korea (2016) *Korean Building Code and Commentary*, Kimoon dang, Korea (in Korean).
- [11] 국가기술표준원(2007) 금속 재료 인장 시험편(KS B 0801: 2007).
Korean Agency for Technology and Standards (2007) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [12] 국가기술표준원(2003) 금속 재료 인장 시험 방법(KS B 0802: 2003).
Korean Agency for Technology and Standards (2003) *Method of Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0802: 2003), Korea (in Korean).
- [13] 국가기술표준원(2017) 콘크리트 압축 강도 시험방법(KS F 2405: 2017).
Korean Agency for Technology and Standards (2017) *Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete* (KS F 2405: 2017), Korea (in Korean).

요 약: 일반적으로 합성보는 콘크리트 슬래브와 H형강 철골보 사이에 전단 연결재를 사용하여 단일 부재로 거동하게 하는 구조부재이다. 합성보에서 전단 연결재는 콘크리트와 철골보 사이의 수평 전단력을 견디는 정도에 따라 합성율이 결정되어 매우 중요하다. 본 연구는 기존의 합성보와 달리 H형강의 평판 웨브 대신 엠보싱 웨브를 사용하고, 전단 연결재 대신 앵글형 커넥터를 사용한 충전형 합성보를 제작하였다. 이를 바탕으로 엠보싱 웨브를 가지는 U자형 합성보를 실험체로 제작하고, 가력 실험을 통해 합성 후의 거동 및 전단 연결재 변수에 따른 영향을 분석하고자 한다.

핵심용어: 충전형 합성보, 콘크리트 채움, 수평전단력, 합성효과
