

동해 피해를 받은 엠보싱 웨브를 가지는 합성보의 내력평가

유철호¹ · 신경재^{2*} · 이준섭³

¹석사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학과, ²교수, 경북대학교, 건설환경에너지공학과,

³박사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학과

Strength Evaluation of Composite Beams with Embossing Webs by Concrete Freezing Damage

Yoo, Chul-Ho¹, Shin, Kyung-Jae^{2*}, Lee, Jun-Seop³

¹Graduate Student (Master's Course), School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

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

³Graduate Student (Doctor's Course), School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

Abstract - In the composite beams, the composite rate is determined mainly by shear connectors. But curing at low temperatures after placing concrete on the composite beam affects the strength of the concrete. It affects the strength of concrete, the proper composite rate does not appear, even if it is designed as a complete composite beam with shear connectors. In this study, to find out how much influence on the composite beams with freezing damage, composite beams were made real-size form using angle type shear connectors and embossing web and curing concrete at low temperatures. After that, strength evaluation was carried out through load test. The results show that freezing damage has reduced composite rate and strength of the composite beam decreases and the deformation capability increases as the composite rate decreases.

Keywords - Filled composite beam, Composite rate, Embossing web, Freezing damage, Strength evaluation

1. 서론

현대 사회에서 건축물들은 한정된 토지 내에서 최대한 효율적으로 설계되어야 하는 추세이다. 이러한 이유로 인해 건물의 고층화가 이루어지고 있고, 건물의 고층화에 따라 건물의 안전성과 비용이 큰 이슈로 대두되고 있다. 특히, 건물의 경제성에 있어 고층 건물에 단일 부재만을 사용하게 되면 큰 비용이 발생할 것이다. 그러나 강재와 콘크리트를 함께 사용하여 둘의 장점을 살린 합성 부재를 사용할 경우, 비용 절감 효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.^[1]

합성 부재 중 Fig. 1과 같은 합성보의 경우 설계에 있어서

콘크리트는 매우 중요한 변수로 적용된다. 하지만 양생 과정에서 콘크리트가 저온으로 인한 동해 피해를 받을 경우는 곧 콘크리트 강도에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 콘크리트 강도는 곧 합성보의 합성율에 영향을 주게 된다^{[2],[3]}.



Fig. 1. Composite beam

합성보의 합성율은 전단 연결재 설계를 통해 판단되는데, 합성보 전단 연결재는 주로 스티드 앵커형, 앵글형(channel type) 전단 연결재를 사용한다. 선행 연구를 통해 앵글형 전단 연결재를 사용할 경우 스티드 앵커와 비교하였을 때 넓

Note.-Discussion open until June 30, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on September 03, 2020; revised September 22, 2020; approved on October 12, 2020.

Copyright © 2020 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

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

E-mail. shin@knu.ac.kr

동해 피해를 받은 엠보싱 웨브를 가지는 합성보의 내력평가

은 간격을 두어 시공이 가능하고, 이를 통해 경제성이 높아질 것으로 판단되어 본 연구에서는 앵글형 전단 연결재를 사용하였다^{[4],[6]}.

합성보의 강재의 경우 선행 연구를 통해 평판 웨브에 비하여 엠보싱 웨브를 가질 때 연성능력이 우수한 것을 확인하였으며 엠보싱 모양으로 합성 효과가 증가할 것으로 판단되어 엠보싱 웨브를 가지는 합성보로 제작하였다^{[7],[11]}.

본 논문에서는 앵글형 전단 연결재, 엠보싱 웨브를 가지고, 콘크리트 양생 과정에서 동해 피해를 받도록 하였으며, 실험대형으로 제작하였다. 동해 피해에 따른 합성보 내력평가를 실시하기 위해 가력 실험 후 내력 변화를 확인하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험계획 및 방법

본 실험에서 동해 피해에 따른 내력평가를 진행하기 위해 합성보 내력에 영향을 주는 요소에 변수를 두었다. 중요한 변수인 동해 피해는 콘크리트 양생 시 낮은 온도에서 양생을 진행하여 콘크리트 강도에 영향을 미치도록 진행하였다.

합성율의 경우 전단 연결재의 설계를 통해 결정되는데, 본 실험에서는 Fig. 2와 같은 앵글형 전단 연결재를 사용하였으며, 간격을 달리하여 합성율을 다르게 설계하였다. 용접은 충분한 내력을 가질 수 있도록 길이 방향으로 양면 용접하였다.

웨브의 경우 두께는 3.2 mm, 춤은 400 mm로 설계하였고, 합성보 슬래브의 경우 실험 환경을 고려하여 폭 1,000 mm, 두께 180 mm로 산정하였다. 슬래브를 포함한 합성보의 총 높이는 604 mm이다. 실험체 중 하나는 엠보싱 웨브가 아닌 평판 웨브를 사용하여 차이를 확인하고자 한다. Table 1은 실험체와 변수를, Fig. 3은 합성보의 단면을 보여준다.

Table 1. Test specimens

No.	Specimen	Composite rate (%)	Spacing stud (mm)	Composite beam depth (mm)	Web height (mm)	Web thickness (mm)	Top flange width (mm)	Bottom flange width (mm)	Flange thickness (mm)
1	H-400-100	100	150	604	400	3.2	200	340	12
2	I-400-100	100							
3	I-400-70	70							
4	I-400-40	40							
5	I-400-0	0							

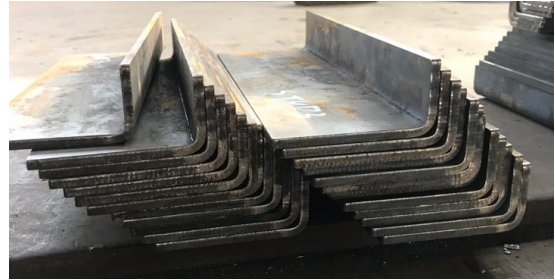


Fig. 2. L-shaped shear connector

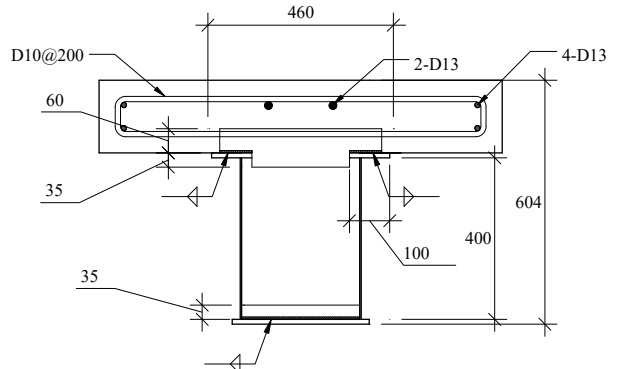


Fig. 3. Cross section of composite beam

실험체의 강재의 경우 웨브는 SS275($F_y = 275$ MPa), 플랜지와 앵글형 전단 연결재는 SM355($F_y = 355$ MPa)를 사용하였다. 실험체의 처짐과 콘크리트와 철골 사이의 슬립을 측정하기 위해 LVDT를 각각 실험체 중앙 하단, 가력 지점 하단과 양단 끝에 설치하였다. 추가로, 소성중립축과 콘크리트의 변형률을 확인하기 위해 가력 위치에 스트레인 게이지와 크랙 게이지를 부착하였다. 실험체는 10 MN의 만능재료시험기(universal testing machine, UTM)를 이용하여 0.05 mm/sec 변위 제어로 2점 가력하였으며 최대 하중 이후 80%의 강도 저감이 발생하면 가력을 종료하였다. Fig. 4는 실험 설정 모습을 보여준다.

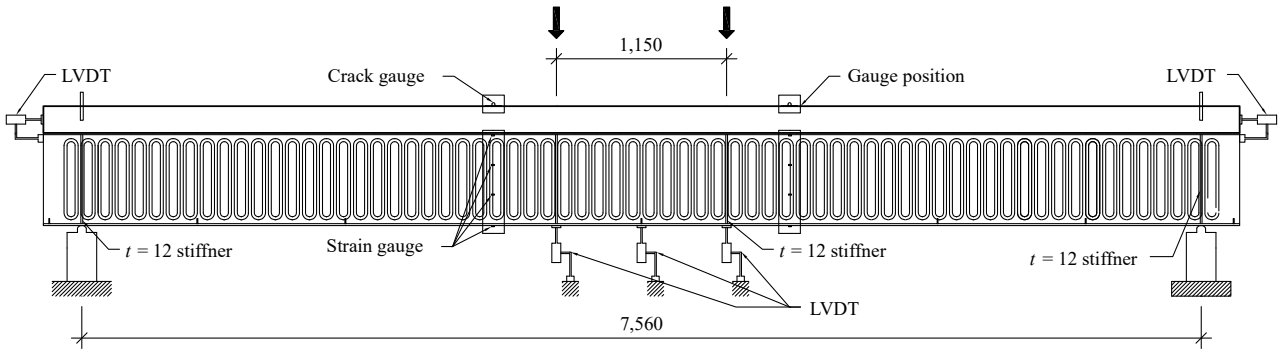


Fig. 4. Composite beam test set-up

2.2 재료시험

실험에 앞서 실험체에 사용된 강재와 콘크리트의 재료 시험을 실시하여 각각의 강도를 측정하였다. 먼저 웨브에 쓰인 SS275 강재, 플랜지와 앵글형 전단 연결재에 쓰인 SM355 강재를 금속재료 인장시험편(KS B 0801)을 참고하여 판 모양 정형 5호 시험편으로 제작하였다^[12]. 콘크리트 압축 강도 시험을 위해 원형 공시체 시험 규정(KS F 2405)에 따라 공시체를 양생하였다^[13]. 동해 피해를 가정하기 위해 양생 평균 온도는 1 °C - 5 °C에서 양생을 실시하였다. Fig. 5는 강재 인장 시험편과 콘크리트 공시체를 보여준다.

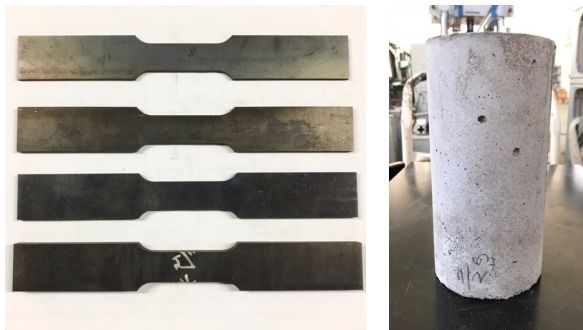


Fig. 5. Steel & concrete material test coupons

강재는 인장시험방법(KS B 0802)에 제시된 시험 방법으로 재료시험을 진행하였고, 강재의 연신을 측정하기 위해 시험편의 표점 거리에 연신을 측정계를 부착하였다^[14].

콘크리트 압축 강도 시험은 구좌를 활용하여 편심을 줄여 변형률을 측정하였다. 두 재료시험은 300 kN 용량의 만능 재료 시험기로 실시하였으며 하중은 시험기의 로드셀로 측정하였다.

강재 재료시험 결과 웨브로 사용된 SS275의 항복강도는 450.9 MPa, 인장강도는 513.7 MPa로 나타났다. 전단 연결재

로 사용된 강재 SM355 6 mm와 플랜지로 사용된 12 mm는 각각 항복강도 333.0 MPa, 379.5 MPa, 인장강도 478.2 MPa, 546.2 MPa로 나타났다. 콘크리트의 평균 28일 강도는 11.87 MPa로 기존 24 MPa로 계획하였던 콘크리트 압축 강도보다 낮게 나타나게 되어 동해 피해를 받은 변수로 활용할 수 있다고 판단된다. Table 2는 재료시험 결과를 나타낸다.

Table 2. Material test

Type	<i>t</i> (mm)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	Elongation (%)
SS275	3.2	450.9	513.7	38.4
SM355	6.0	333.0	478.2	30.5
SM355	12.0	379.5	546.2	33.1
Concrete	$f_{ck} = 11.87 \text{ MPa}$ $E_c = 8500 \sqrt[3]{f_{cu}} = 21,360.5 \text{ MPa}$ $f_{cu} = f_{ck} + \Delta f$ $\Delta f = 4 \text{ MPa} (f_{ck} \leq 40 \text{ MPa})$			

t = thickness of coupons, F_y = yield strength of steel, F_u = tensile strength of steel, f_{ck} = compressive strength of concrete, E_c = modulus of elasticity of concrete, f_{cu} = average compressive strength of concrete

콘크리트 강도가 낮게 측정됨에 따라 초기 계획하였던 합성비의 합성율에 영향을 미치게 되었다. 기존 100 %, 70 %, 40 %, 0%로 계획하였던 합성율은 콘크리트 강도 저감에 따라 전단 연결재 설계를 바탕으로 재계산한 결과 100 % 합성율과 65 % 합성율 두 가지로 나뉘게 되었다. 합성율 계산은 이후 이론 계산 및 고찰에서 추가적으로 더 다룰 것이다.

재료 시험을 통해 동해 피해가 합성비 가력 실험 이전인 합성비의 설계부터 영향을 미치게 된다는 것을 확인할 수 있다.

3. 실험결과

3.1 실험결과

먼저, 웹 종류에 따른 비교를 진행하기 위해 평판 웹(H-400-100) 실험체와 엠보싱 웹(I-400-100) 실험체 실험을 진행하였다. 실험 결과 평판 웹의 최대 강도는 602.28 kN, 엠보싱 웹의 최대 강도는 534.74 kN으로 나타났다. 두 실험체 모두 연성적인 거동을 보이지 못하고 항복하였는데, 이는 실험체가 동해 피해를 받아 콘크리트 압축 강도가 낮아져 콘크리트 압괴가 발생하였기 때문이라고 판단된다. 최대 강도는 평판 웹이 더 높게 나타났지만, 실험체의 거동은 크게 차이가 나지 않은 것을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 두 실험체의 하중-처짐 곡선을 나타낸다.

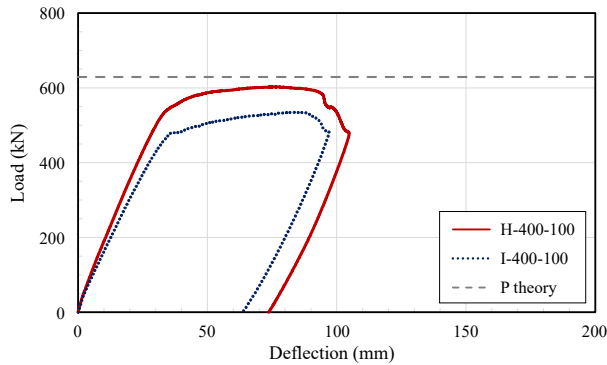


Fig. 6. Load-deflection curve of H and I-specimens

이후 엠보싱 웹를 가지고, 동해 피해를 받아 합성율이 100 %, 65 %로 나누어진 합성보 실험을 진행하였다. 전단 연결재의 간격이 넓어질수록 최대 강도가 떨어졌지만, 동해 피해로 인해 전체적으로 강도 차이가 크게 나타나지 않았다. Fig. 7은 실험체의 하중-처짐 곡선을 나타낸다.

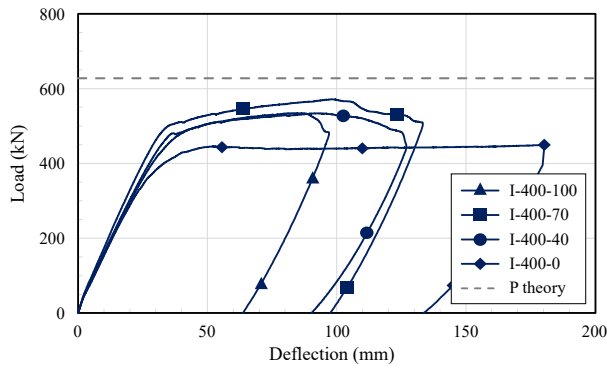


Fig. 7. Load-deflection curve of I-specimens

합성보 휨성능 평가 결과는 Table 3과 같다. 표에서 콘크리트 양생 과정 중 동해 피해를 받아 나타난 콘크리트 압축 강도를 새로 적용하였을 때의 합성율은 실험체의 (%)와 같다. P_y 는 가력하였을 때 항복상태에 도달하였을 때를 나타내고, P_{max} 의 경우 최대 강도를 나타낸다. I-400-0 실험체가 304.53 kN으로 최소 강도를 보였고, 마찬가지로 193.83 mm로 최대 처짐을 보였다. 전단 연결재의 간격이 좁을수록 강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었지만 동해 피해로 인한 합성율의 변화로 인해 큰 차이는 나타나지 않았다.

Table 3. Test result

No.	Specimen (%)	P_y (kN)	P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_{max} (mm)
1	H-400-100 (100 %)	432.13	602.28	25.17	76.21
2	I-400-100 (100 %)	367.41	534.47	24.88	82.4
3	I-400-70 (100 %)	403.78	571.45	25.28	97.58
4	I-400-40 (100 %)	366.79	534.47	25.62	93.02
5	I-400-0 (65 %)	304.53	451.25	21.36	193.83

실험체 양단 끝에 설치한 LVDT의 결과값을 바탕으로 하중에 따른 슬립을 확인해보았다. 전단 연결재를 과도하게 배치하였던 H-400-100 실험체와 I-400-100 실험체의 경우 오히려 수평 미끄러짐이 발생하여 슬립이 나타난 것으로 판단된다. 이를 제외하면 기존 설계 합성율이 가장 낮은 실험체인 I-400-0 실험체에서 최대 12.38 mm의 슬립이 실험 장소 기준으로 남쪽 방향으로 나타난 것을 확인할 수 있었다. Fig. 8은 실험체별 하중-슬립 곡선을 나타낸다.

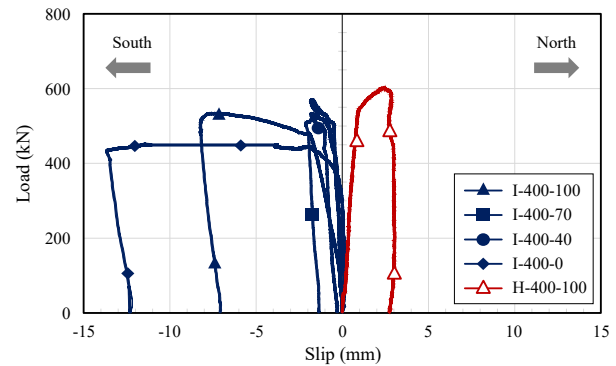


Fig. 8. Load-slip curve

3.2 파괴 형상

Fig. 9는 각 실험체들의 실험 종료 후 파괴 형상을 나타낸다. 실험을 진행하기 전 모든 실험체 가력 실험의 파괴 형상은 2점 가력 위치의 플랜지의 압축 좌굴 및 휨파괴가 예상되었지만, 실제 결과로는 I-400-0 실험체를 제외한 나머지 실험체의 경우 가력부 플랜지의 압축 좌굴 현상이 발생하지 않았다. 이는 콘크리트 충전으로 인한 슬래브의 영향으로 판단된다. I-400-0 실험체의 경우 기존 합성울 설계를 0%로 설계하였던 것처럼 전단 연결재 간의 간격이 넓기 때문에 Fig. 10과 같이 전단 연결재 파괴 형상을 보였으며, 플

랜지 압축 좌굴 형상을 보였다. 나머지 실험체들은 최대하중 도달 이후 전단 연결재 파괴 현상이 일어나지 않았다.

본 실험은 최대하중 이후 하중이 저하되기 시작할 때 종료하였다. I-400-0 실험체의 경우, 최대하중 도달 이후 전단 연결재의 항복, 파괴 그리고 Fig. 11과 같이 콘크리트 압괴 현상이 순차적으로 발생하였고, 나머지 실험체들은 전단 연결재의 항복 이전 콘크리트 압괴 현상으로 인해 하중이 감소하였다. 콘크리트 압괴 현상은 실험체의 동해 피해 영향으로 인해 빠르게 발생한 것으로 사료된다. Fig. 12는 I-400-0 실험체 측면의 슬립 발생 형상을 보여준다.



(a) H-400-100



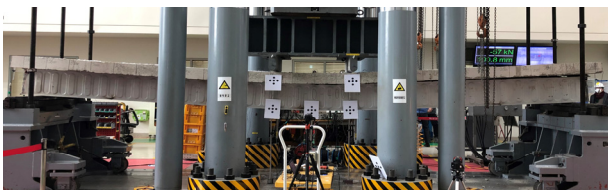
(b) I-400-100



(c) I-400-70



(d) I-400-40



(e) I-400-0

Fig. 9. Destructive shape



Fig. 10. Destructive shape of shear connector



Fig. 11. Destructive shape of concrete slab



Fig. 12. I-400-0 slip shape

4. 이론 계산 및 고찰

4.1 합성보 설계 이론 계산

합성보 실험체를 설계할 때 설계식(KDC 41 31 00)을 참고하여 합성보의 이론값을 계산하여 설계하였다^[15]. 합성보의 설계식은 식 (1)과 같이 웨브 부재의 크기에 따라 시작하며 이를 통해 설계휨강도가 달라진다.

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

여기서, E = 탄성 계수,
 F_y = 항복 강도,
 h = 웨브의 높이,
 t_w = 웨브의 두께

본 논문의 실험체는 위의 조건을 모두 만족하므로 Fig. 13과 같이 소성응력분포로 하여 정모멘트를 산정하였다.

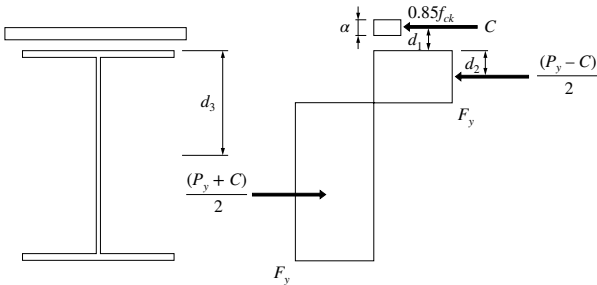


Fig. 13. Stress distribution of positive moment

위를 참고한 소성응력분포를 통해 실험체의 콘크리트 슬래브의 압축력 C 의 경우 아래의 식 (2) - 식 (4) 중 최솟값으로 산정한다. 식 (4)에서 Q_n 의 경우 전단 연결재의 강도이며, 본 연구에서는 앵글형 전단 연결재를 사용했으므로 식 (5), C형강 앵커의 공칭강도(KBC 2016)을 참고하여 산정하였다^[14].

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

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

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

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_a\sqrt{f_{ck}E_c} \quad (5)$$

여기서, A_c = 유효폭 안에 있는 콘크리트 슬래브의 면적,

A_s = 강재단면의 총단면적,

A_{sf} = 강재플랜지의 단면적,

A_{sw} = 강재웨브의 단면적,

E_c = 콘크리트의 탄성계수,

f_{ck} = 콘크리트의 설계기준압축강도,

F_y = 강재의 설계기준항복강도,

L_a = 강재 앵커의 길이,

$\sum Q_n$ = 정모멘트가 최대가 되는 위와 모멘트가 0이

되는 위치 사이의 강재 앵커 공칭강도의 합,

t_f = 강재 앵커의 플랜지의 두께,

t_w = 강재 앵커의 웨브의 두께

식 (6)은 위를 참고하여 산정된 Q_n 과 설계 시 사용된 전단 연결재 개수를 통해 합성보의 합성율을 구할 수 있다. 식 (7)은 C형강 앵커 설계식으로, 국내에서 명확히 제시된 설계식이 존재하지 않아 선행 연구결과를 참고하여 사용하였으며, 정모멘트 구간의 설계휨강도를 계산하는 것으로서 슬래브와의 합성 효과가 발현된 이후에는 구속 효과로 인하여 횡좌굴이 발생하지 않는 것으로 산정한다.

$$\text{Composite rate} = \frac{Q_n \times n}{V_s} \quad (6)$$

$$M_n = 0.5(d - t_f)P_y + (h_r + 0.5t_c + 0.5t_f)C_e \quad (7)$$

여기서, C_e = 콘크리트 슬래브의 유효압축력,

d = 강재 하단부부터 상당부 플랜지 중심까지의 거리,

h_r = 강재와 콘크리트 슬래브 사이의 거리,

n = 전단 연결재의 개수,

P_y = 강재단면의 인장강도,

Q_n = 강재 앵커의 공칭강도,

t_c = 콘크리트 슬래브의 두께,

t_f = 강재 웨브의 두께,

V_s = 합성보의 수평전단력

실험체 이론 설계값 및 합성율, 그리고 실험체 실험 결과 값은 Table 4와 같다. M_{theory} 와 P_{theory} 의 경우 동해 피해를 받은 실험체의 재료시험 및 최대 강도를 기반으로 산정하였고, M_{test} 와 P_{test} 는 실험체 실험결과이다. 동해 피해로 인해 재료 강도가 현저히 떨어짐에 따라 전단 연결재의 간격을 기반으로 설계하였던 합성율은 재계산 결과 I-400-0 실험체를 제외하고 전부 같은 합성율을 보였다.

Table 4. Test and theoretical results

No.	Specimen	Spacing stud (mm)	Design composite rate (%)	Actual composite rate (%)	M_{theory} (kN·m)	M_{test} (kN·m)	P_{theory} (kN)	P_{test} (kN)	$\frac{M_{test}}{M_{theory}}$	$\mu = \frac{\delta_{0.8P}}{\delta_y}$
1	H-400-100	150	100	100	1,015.33	972.68	628.69	602.28	0.96	4.16
2	I-400-100	150	100	100	1,015.33	863.17	628.69	534.47	0.85	3.79
3	I-400-70	250	70	100	1,015.33	922.89	628.69	571.45	0.91	5.18
4	I-400-40	400	40	100	1,015.33	863.17	628.69	534.47	0.85	4.93
5	I-400-0	800	0	65	668.67	728.77	414.04	451.25	1.09	10.91

M_{theory} = maximum bending strength based on material test, M_{test} = maximum bending strength based on test results, P_{theory} = Maximum strength based on material test, P_{test} = maximum strength based on test results, μ = deformation capacity, $\delta_{0.8P}$ = deflection of experiments at 80 % of maximum load after maximum load.

이에 따라 실험결과 기반의 최대휨강도 및 최대 강도는 재료시험 기반 값과 차이를 보였다.

평판 웹 그리고 엠보싱 웹 실험체인 I-400-100과 H-400-100 실험체를 비교했을 때, 엠보싱 웹의 합성 효과를 기대하였으나, 실험체의 휨과괴로 인하여 엠보싱 웹의 장점이 발휘하지 못해 최대 강도가 더 낮게 나타났다.

동해 피해 영향을 받아 합성율이 100%가 된 실험체들의 경우 유사한 강도를 보였다. 합성율이 65%인 I-400-0 실험체는 100% 합성율을 가지는 실험체와 비교하였을 때 강도가 85%로 감소한 것을 확인하였다. 변형 능력의 경우 최대 하중의 약 80%까지 저감되었을 때 평가하였으며 합성율이 0%인 I-400-0 실험체를 제외한 나머지 실험체는 유사한 경향을 보였다.

4.2 소성중립축 분포

소성중립축을 확인하기 위해서 스트레인 게이지를 부착하였다. 항복을 확인하기 위해 실험체의 콘크리트, 강재별로 나누어 변형률을 확인하였는데 재료시험을 기준으로 콘크리트는 $3,000 \mu\epsilon$, 강재의 경우 $1,800 \mu\epsilon$ 로 산정하였다. 실험체의 강도별 스트레인 분포로 100 kN당 게이지의 변형률을 표시하였다. Theory는 이론적으로 계산된 소성중립축의 위치이며 다음과 같은 계산식을 통해 소성중립축을 산정하였으며, 식 (11)은 소성중립축의 계산식으로서 축소하여 표기하였다. 또한, 식 (11)에서의 인장 내력은 식 (2)와 동일한 값으로 계산을 진행하였다.

- 소성중립축 위치 웹 내부

$$C \leq P_{yw} \tag{8}$$

- 소성중립축 위치 플랜지 내부

$$P_{yw} < C < P_y \tag{9}$$

- 소성중립축 위치 슬래브 내부

$$C \geq P_y \tag{10}$$

$$t_{fx} = \frac{F_y A_s - C_e}{2F_y t_f} \tag{11}$$

여기서, A_s = 강재 단면의 총 단면적,
 C_e = 콘크리트 슬래브 압축력,
 F_y = 강재의 설계기준항복강도,
 P_y = 강재 보 전체 단면의 항복 축력,
 P_{yw} = 강재 보 웹 단면의 항복 축력,
 t_f = 강재 플랜지의 두께,
 t_{fx} = 상부 플랜지 끝에서 소성중립축까지의 거리

위 식을 바탕으로 소성중립축이 강재의 상부 플랜지 내에 있다고 판단하여 이론값을 산정하였을 때, 하부 플랜지 바닥에서부터 이론적 소성 중립축의 위치는 약 413.75 mm이다.

실험 결과 전체적으로 실험체 모두 소성중립축 위치는 이론값보다 낮게 나타났으며 상부 플랜지보다 하부인 강재의 웹에서 나타났다. 이는 동해 피해 영향으로 콘크리트 강도에 영향이 미쳐 수평 전단력의 최솟값이 낮아짐으로써 소성중립축이 아래로 내려오는 것으로 사료된다. 합성보에 있어서 소성중립축의 위치가 중요하므로 제작 시 주의가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 14부터 Fig. 18은 실험체별 강도의 스트레인 분포를 나타낸다.

동해 피해를 받은 엠보싱 웨브를 가지는 합성보의 내력평가

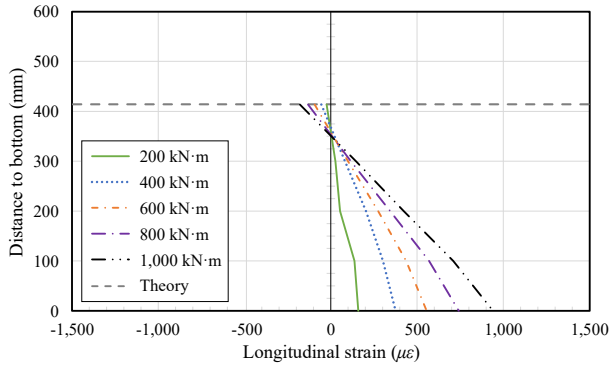


Fig. 14. H-400-100 longitudinal strain distributions

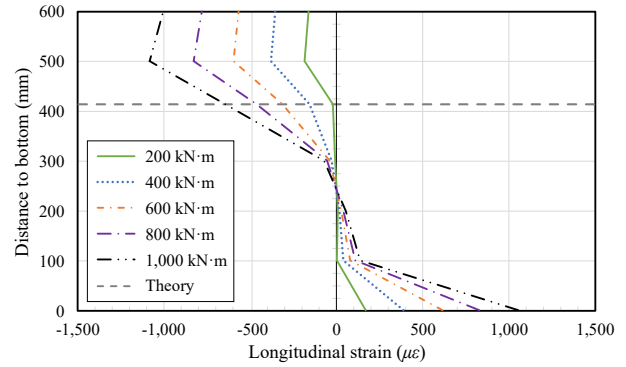


Fig. 18. I-400-0 Longitudinal strain distributions

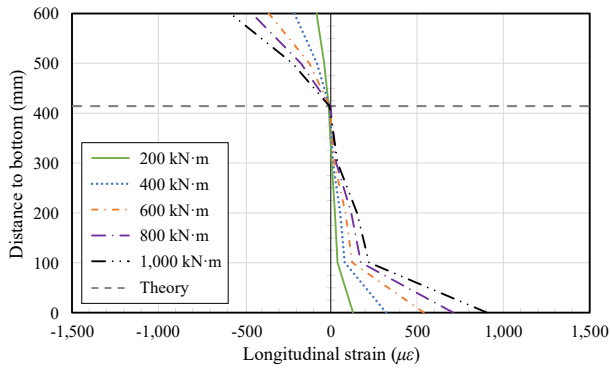


Fig. 15. I-400-100 longitudinal strain distributions

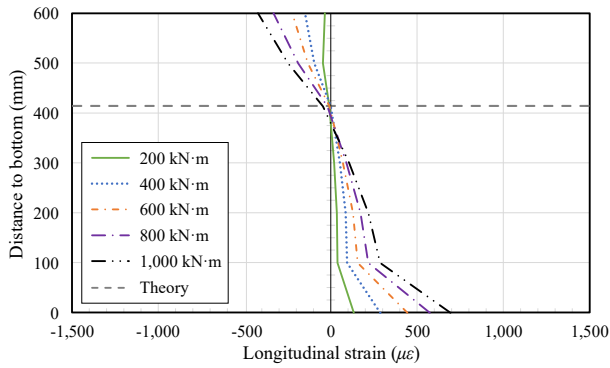


Fig. 16. I-400-70 longitudinal strain distributions

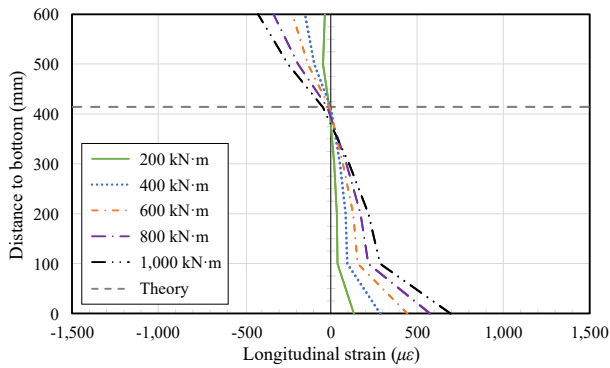


Fig. 17. I-400-40 longitudinal strain distributions

5. 결론

본 논문은 저온에서 콘크리트를 양생하여 합성보를 제작하였다. 엠보싱 웨브를 가지고, 전단 연결재 간격에 따른 합성율을 비교하여 내력 평가를 진행하고자 하였으나, 저온에서의 콘크리트 양생으로 인해 콘크리트 강도에 영향을 주게 되었다. 이에 동해 피해를 받은 합성보의 합성율을 재계산하여 내력평가를 진행할 수 있었다. 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 본 논문에서는 합성보에서 엠보싱으로 인해 합성 효과가 증가할 것으로 판단하였다. 하지만 엠보싱 웨브를 가지는 합성보의 경우가 평판 웨브에 비해 강도 및 변형 능력이 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 엠보싱 웨브의 경우 전단 강도에 있어서 큰 장점을 나타내지만, 본 실험체의 경우 휨파괴로 인해 엠보싱 웨브의 장점이 발휘되지 못하였다고 판단된다.
- (2) 동해 피해 영향을 받은 합성보의 최대 강도는 합성율이 100%일 경우 전단 연결재의 간격에 상관없이 유사한 강도를 나타냈다. 이것은 과도한 전단 연결재 설계로 인해 오히려 수평 미끄럼이 발생하였기 때문이라 판단되며, 합성율이 65%인 실험체는 100%인 실험체에 비해 강도가 85%로 감소하는 것으로 나타났다. 이를 통해 동해 피해를 받을 경우 합성율이 100%이면 전단 연결재의 간격은 최대 강도에 영향이 없는 것으로 판단된다.
- (3) 소성중립축의 경우 콘크리트의 강도가 동해 피해 영향으로 인해 수평 전단력에 영향을 주어 이론적인 소성중립축의 위치인 상부 플랜지보다 하부인 합성

보의 웹에서 나타났다. 합성보에 있어 소성증립축 위치가 중요하므로 제작 시 주의가 필요하다고 판단된다.

- (4) 본 실험을 통해 합성보에 있어서 동해 영향은 합성율에 매우 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 합성보에서는 합성율은 최대 강도와 변형 능력에 큰 영향을 주므로 건물의 붕괴 위험에 큰 영향을 준다고 판단된다. 합성보의 경우 현장 타설이 대다수이므로, 낮은 기온일 경우 현장 타설을 지양해야 된다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2018년 IS 중공업과 한국강구조학회의 ‘엠보싱 웹브를 가지는 T형 합성보의 내력평가에 관한 연구’의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌(References)

- [1] Jun, S.C., Han, K.H., Lee, C.H., and Kim, J.W. (2017) Flexural Testing of Asymmetric Hybrid Composite Beams Fabricated from High-Strength Steels, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 29, No.3, pp.217-228 (in Korean).
- [2] Kim, J.-K., Moon, Y.-H., Eo, S.-K., and Choi, E.-K. (1998) The Effect of Different Curing Time and Temperature on Compressive Strength of Concrete, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.10, No. 3, pp.143-152 (in Korean).
- [3] Kim, S.B., and Lee, D.H. (1997) Behaviours of Concrete at Very Low Temperatures, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.9, No.4, pp.31-41 (in Korean).
- [4] Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Jang, D.W. (2014) Push-out Test on Welded Angle Shear Connectors Used in Composite Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.3, pp.155-167 (in Korean).
- [5] 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.27, No.1, pp.63-75 (in Korean).
- [6] Lee, M.-K., Shin, K.-J., Lee, J.-S., and Chae, I.-S. (2019) Push-out Test on Evaluation of Shear Strength Using Angle Shear Connectors, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.6, pp.413-421 (in Korean).
- [7] 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] Lee, J.S., Shin, K.J., Lee, H.D., and Kim, S.Y. (2019) Flexural Strength of Filled Composite Beams with Embossing Webs, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.3, pp.187-197 (in Korean).
- [9] Chae, I.-S., Kim, H.-S., and Park, H.-M. (2019) Production Processes and Structural Performances of Steel Beams with a Embossed Web, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.4, pp.32-37 (in Korean).
- [10] KSSC (2016) *Performance Evaluation of a Beam Member (IEB) Structure with Embossing Web: The Final Report*, Research Report, KSSC, Korea (in Korean).
- [11] 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).
- [12] Korean Agency for Technology and Standards (2007) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).

요 약 : 합성보에 있어서 합성율을 설계하는 것은 매우 중요한 과정이며, 합성율을 결정하는 데는 일반적으로 합성보의 전단 연결재 간격에 따라 달라진다. 하지만 합성보에 콘크리트를 양생하는 과정에서 저온으로 인한 동해 피해가 발생할 경우 콘크리트 강도 저감으로 인해 합성율 설계에 영향을 미치게 된다. 본 연구는 앵글형 전단 연결재를, 강재의 경우 엠보싱 웹브와 일반 평판 웹브를 사용하여 실험으로 제작하였으며 콘크리트 타설 후 저온에서의 양생 과정을 거쳐 동해 피해를 받도록 하였다. 이후 합성율을 재계산한 뒤, 정적 시험인 가력 실험을 통하여 내력의 변화를 확인하여 내력 평가를 진행하고자 한다. 실험 결과 동해 피해를 받았을 경우 합성율에 영향을 미치게 되어 변화가 발생했으며, 합성율이 낮아질수록 강도는 떨어지며, 변형 능력은 올라가는 것으로 확인하였다.

핵심용어 : 충전형 합성보, 합성율, 엠보싱 웹브, 동해 피해, 내력 평가