

춤 300 mm 신형상 딥 데크의 휨과 전단성능 평가

최인락^{1*} · 이경률² · 전상현³ · 경제환⁴

¹부교수, 호서대학교, 건축토목환경공학부, ²석사과정, 호서대학교, 재난안전시스템학과,
³대표이사, (주)지원이엔지, ⁴부장, (주)제일테크노스

Flexure and Shear Performance Evaluation of New Deep Deck with 300 mm Depth

Choi, In Rak^{1*}, Lee, Gyung Ryul², Jeon, Sang Hyeon³, Kyung, Jae Hwan⁴

¹Associate Professor, Dept. of Architecture and Civil Engineering, Hoseo University, Asan, 31499, Korea
²Graduate Student (Master Course), Dept. of Disaster Safety System, Hoseo University, Asan, 31499, Korea
³CEO, G-One ENG Co., Ltd., Seoul, 08592, Korea
⁴Director, Jeil Technos Co., Ltd., Seoul, 05836, Korea

Abstract - In this study, bending and shear tests were conducted to evaluate the structural performance of 300 mm depth new-shaped deep deck to be applied to a long span structure during construction. Test parameters were thickness and span of deck, and shear span, and the flexural and shear strength of the deck was evaluated according to cold-formed steel design code AISI S100-16. Bending test results showed that the flexural strength of test specimens were 92 % - 96 % of the nominal flexural strength calculated by the effective width method, and the initial stiffness was similar to the value calculated by the effective moment of inertia. Also the shear test results showed that the shorter the shear span, the greater the shear strength in all test specimens, and the experimentally calculated shear buckling coefficient to consider folding and embossment in the web showed a distribution of 13.7 - 30.1. Conservatively, the shear strength of the deck was evaluated by applying the shear buckling coefficient of 11.5, and the shear strength was found to be 1.17 - 2.58 times larger than the nominal shear strength.

Keywords - Deep deck, Structural performance test, Flexural strength, Shear strength, Shear buckling coefficient

1. 서론

최근 건축물의 바닥 슬래브 공사에는 노동력 절감과 현장 공기 단축을 위하여 기존의 재래식 슬래브 공사 대신에 데크 플레이트 공법의 적용이 일반화되고 있다. 특히 건축공사의 품질확보 요구와 건설인력의 인건비 상승 등으로 이러한 현상은 가속화되고 있다. 일반적으로 바닥 슬래브 공사에는 춤 150 mm 내외의 철선 일체형 트러스 데크가 많이 사용하고 있으며, 최근에는 춤 200 mm 이상인 춤이 깊은 데크

(deep deck)도 많이 적용되고 있다. 국내 J사에서는 골 간격 600 mm, 춤 250 mm, 두께 1.1 mm - 1.4 mm인 아연도강판 재질의 춤이 깊은 CAP 데크를 개발하여 가설지주 없이 최대 7 m 스패의 바닥 슬래브에 사용하고 있다^[1]. 또한, 단위 폭 (600 mm) 당 2개의 골을 배치함으로써 콘크리트 타설시 상부골의 처짐, 골 복부의 배부름 현상 및 국부변형에 대한 저항능력을 개선한 더블 리브 춤이 깊은 데크 플레이트(double rib deep deck plate, D-deck)가 개발되었다^[2]. 최근에는 장스팬 구조에 무동바리로 시공하기 위하여 데크 상부를 캡플레이트로 보강한 구조^[3]나 춤 300 mm 이상의 대형 단면도 개발 및 현장적용이 이루어지고 있다.

춤이 깊은 데크는 얇은 두께의 판재를 사용하여 부재의 판폭두께비가 큰 부재를 적용하기 때문에 일반적으로 압축 부재의 국부좌굴에 의해 전재강도가 결정된다. 따라서 이러한 데크를 설계하기 위해서는 일반 강구조설계기준이 아닌 냉간성형강 설계기준을 적용하게 된다. 국내 냉간성형강 구

Note.-Discussion open until April 30, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on July 04, 2021; revised on September 02, 2021; approved on September 16, 2021.

Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-41-540-5777 Fax. +82-41-540-5778

E-mail. irchoi@hoseo.edu

조설계기준^[4]은 허용강도법에 기반하여 1998년에 제정되었으며, 합성테크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설^[5]도 마찬가지로 1998년 제정되어 유효폭법(effective width method)을 기반으로 테크의 시공중이나 경화 후 합성슬래브에 대한 설계방법을 허용응력법 기반으로 제시하고 있다. 그러나 이러한 설계기준들은 이후 개정작업이 이루어지지 않고 있으며, 최근 개정된 강재규격을 반영하지 못하고 있다. 따라서, 최신 강구조설계방법인 하중저항계수설계법에 의한 냉간성형강 기준 마련이 필요한 실정이다.

미국의 냉간성형강 설계기준인 AISI S100-16^[6]에서는 두께 25 mm(1 in.) 이하의 냉간성형강 부재에 적용할 수 있는 설계기준을 허용강도설계법과 한계상태설계법, 하중저항계수설계법에 근거하여 제시하고 있다. 최근 국내에서도 이에 기반하여 KDS 41 30 30 냉간성형강 설계기준(안)^[7]이 제안되어 있다. 국내에서 춤이 깊은 테크의 시공 중 구조성능 평가는 아직까지 허용강도설계법에 따라서 이루어지고 있으나, 건축물 강구조설계기준^[8]과 같이 하중저항계수설계법에 의한 냉간성형강 설계기준에 따라 평가할 필요가 있다.

본 연구에서는 춤이 깊은 테크를 최대 8.4 m 장스팬 구조에 적용하기 위하여 국내 J사에서 개발한 춤 300 mm, 두께 1.1 mm, 1.4 mm의 테크(Fig. 1 참조)에 대한 시공 중 구조성능을 평가하기 위하여 휨실험과 전단실험을 진행하였다. 또한, 휨 및 전단실험결과를 하중저항계수설계법에 의한 냉간성형강 설계기준 AISI S100-16^[6]을 적용하여 평가해 보고자 한다.

2. 춤이 깊은 테크의 강도 산정

춤이 깊은 테크의 휨 및 전단강도는 미국의 냉간성형강 설계기준인 AISI S100-16^[6]에 제시된 유효폭법에 기반하여 산정하였다. 유효폭법은 단면의 요소들을 플랜지와 웨브로 분리하고 국부좌굴이 발생한 뒤 발현되는 후좌굴강도를 고려하여 설계하는 방법으로 계산식은 보강요소의 유무에 따라 다르게 적용한다. 춤이 깊은 테크의 강도 산정을 위한 산정식을 요약하면 다음과 같다.

2.1 보강요소 플랜지 유효폭

Fig. 1과 같이 절곡이 있는 플랜지의 보강요소는 단일 또는 다중의 스티프너가 배치한 경우에 대한 구속판요소의 유효

폭 산정식을 적용하여 다음과 같이 계산한다(Fig. 2 참조).

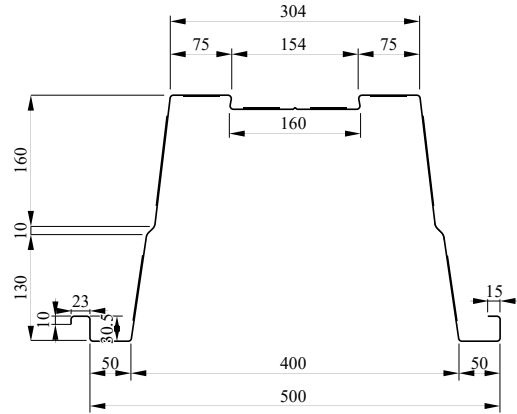


Fig. 1. Detail of CAP Deck III (Unit: mm)

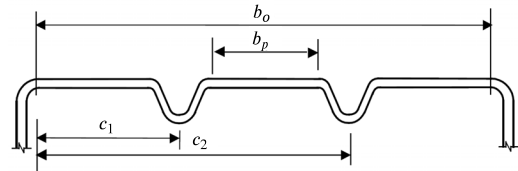


Fig. 2. Detail of plate widths and stiffener locations^[6]

$$b_e = \rho \left(\frac{A_g}{t} \right) \quad (1)$$

여기서, b_e = 스티프너를 포함한 판요소의 도심에서의 유효 폭

A_g = 스티프너를 포함한 판요소의 총 단면적

ρ = 감소계수

t = 요소 두께

$\lambda \leq 0.673$ 일 때, $\rho = 1$

$\lambda > 0.673$ 일 때, $\rho = (1 - 0.22/\lambda)\lambda$

$$\lambda = \text{세장비}, \sqrt{\frac{f}{F_{cr1}}} \quad (2)$$

f = 고려하는 요소의 압축응력(= F_y 가정)

$$F_{cr1} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{b_o} \right)^2 \quad (3)$$

k = 판좌굴계수

E = 강재의 탄성계수

μ = 강재의 푸아송비

b_o = 압축플랜지의 최외단부 폭.

판좌굴계수 k 는 다음에 정의된 Rk_d 와 k_{loc} 중에서 작은 값으로 산정한다.

$$k = \min(Rk_d, k_{loc}) \quad (4)$$

$b_o/h < 1$ 인 경우, $R = 2$.

$$b_o/h \geq 1 \text{인 경우, } R = \frac{11 - b_o/h}{5} \geq \frac{1}{2}.$$

$$k_d = \frac{(1 + \beta^2)^2 + \gamma(1 + n)}{\beta^2 1 + \delta(n + 1)} \quad (5)$$

$$k_{loc} = 4(b_o/b_p)^2 \quad (6)$$

여기서, R = 단면형상변형 판좌굴계수에 대한 수정계수

k_d = 단면형상변형좌굴에 대한 판좌굴계수

k_{loc} = 국부적 부분요소 좌굴에 대한 판좌굴계수

h = 구속판요소에 인접한 요소의 폭(웹 높이)

n = 요소의 스티프너 개수

b_p = Fig. 2에 나타낸 가장 큰 부분요소의 평판 폭

$$\beta = 1 + \gamma(n + 1)^{\frac{1}{4}}$$

$$\gamma = \frac{10.92I_{sp}}{b_o t^3}$$

$$\delta = \frac{A_s}{b_o t}$$

I_{sp} = 판요소 평판부의 중심선에 대한 스티프너의 단면2차모멘트

A_s = 스티프너의 총 단면적.

2.2 웹의 유효폭

웹에 모멘트 구배가 있을 경우 웹의 절곡 유무와 관계없이 판좌굴계수 k 와 유효폭은 다음과 같이 산정한다.

$$k = 4 + 2(1 + \psi)^3 + 2(1 + \psi) \quad (7)$$

$$b_1 = b_e/(3 + \psi) \quad (8)$$

$$b_2 = b_e/2 \quad (\psi > 0.236) \quad (9a)$$

$$b_2 = b_e - b_1 \quad (\psi \leq 0.236) \quad (9b)$$

$$b_e = \rho h \quad (10)$$

여기서, $\psi = |f_2/f_1|$

b_1, b_2 = 유효폭

b_e = 식 (2)에서 f 대신 f_1 을 적용하여 산정한 유효폭

f_1, f_2 = 유효단면에 대하여 산정, Fig. 2에 나타낸 응력.

$b_1 + b_2$ 는 유효단면을 기초로 산정한 웹의 압축영역을 초과할 수 없다(Fig. 3 참조).

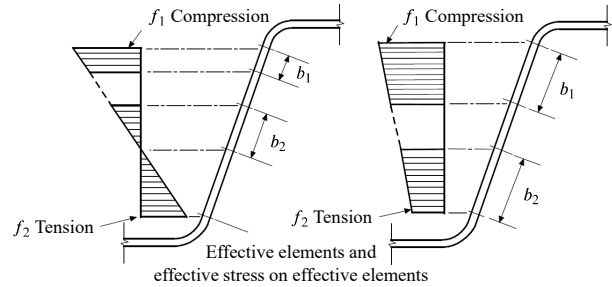


Fig. 3. Stress of web and other constraint plate element^[6]

2.3 전단강도

춤이 깊은 데크와 같이 세장한 단면의 공칭전단강도 V_n 은 다음과 같이 탄성좌굴강도식으로 산정된다.

$$V_n = V_{cr} \quad (\lambda_v > 1.227) \quad (11)$$

여기서,

$$V_{cr} = 0.904Ek_v t^3/h \quad (12)$$

$$\lambda_v = \sqrt{V_y/V_{cr}}$$

V_y = 단면의 항복전단력(= $0.6A_w F_y$)

A_w = 웹의 단면적(= ht)

F_y = 설계항복강도

k_v = 전단좌굴계수(= 5.34).

3. 데크 휨실험

3.1 실험계획

Fig. 4는 신형상 데크의 휨성능 평가를 위한 실험 세팅을 나타낸다. 데크의 두께와 길이를 변수로 2골로 구성된 총 6개의 데크 실험체에 대해 휨실험을 진행하였다. 휨실험에 사용한 데크의 폭은 500 mm로 두께 1.1 mm와 1.4 mm를 총 6 m와 4 m 길이로 동일한 변수에 대해 각각 2개씩 제작하였다. 데크의 단부는 45도 각도의 현치로 마무리하였다(Fig. 4 참조). 데크 상단의 가력부에 집중하중이 작용하여 데크의 국부변형이 발생하는 것을 방지하기 위하여 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 데크의 단면형상에 따라 목재를 가공하여 만

든 폭 150 mm의 목재 가력판을 제작하여 이를 데크 상부에 설치한 후 가력하였다. 또한, 가력부 데크 바닥에는 데크가 벌어지는 것을 방지하기 위하여 데크 하단에 폭 50 mm, 길이 1 m의 강재 띠판을 스크류로 설치하였다.

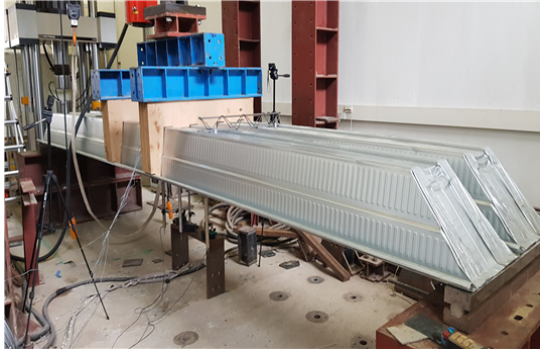


Fig. 4. Test set-up for bending test

실험은 500 kN 용량의 actuator를 사용하여 변위제어 방식으로 진행하였으며, 실험체 상부에 2점 집중하중을 가력하였다. 가력점 사이의 거리는 실험체 길이에 상관없이 동일하게 800 mm이다. 데크의 처짐을 측정하기 위하여 LVDT를 중앙부와 가력점 하단에 총 3개를 설치하였다.

Table 1은 실험체에 사용된 데크의 소재인장시험결과를 나타낸다. KS B 0801^[9]에 따라 5호 시험편으로 두께별 시험편을 1개씩 제작하여 소재인장시험을 진행하였다. 시험 결과, KS D 3854 건축구조용 표면처리 경량형강^[10]의 SGC295 강종에 대한 기계적 성질에 규정된 항복강도($F_y = 295$ MPa 이상)과 인장강도($F_u = 400$ MPa 이상), 연신율(18 % 이상) 규격을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 1. Results of coupon test

Thickness (mm)	Yield stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Elongation (%)	Yield ratio (%)
1.1	372	440	38	84.5
1.4	376	463	37	81.2

3.2 실험결과

3.2.1 하중-변위 관계

휨실험 결과를 요약하여 Table 2에 정리하였다. Fig. 5와 Fig. 6는 각각 실험체들의 하중-변위 관계와 최종 파괴형상을 나타낸다. 길이 6 m 실험체의 휨실험 결과, 두께 1.1 mm 데크를 사용한 F11-6-01은 하중 28 kN에서 상부 압축플랜지에 좌굴이 발생하기 시작하였고 이후 최대하중에 도달하면서 압축플랜지의 좌굴변형과 목재 가력판 하부에서 데크의 국부적 변형이 같이 증가하며 하중 감소가 발생하여 실험을 종료하였다. 동일한 변수의 F11-6-02 실험체의 경우 하중 31 kN에서 상부플랜지에 좌굴이 발생하기 시작하였고 최대하중에 도달한 이후에는 동일하게 압축플랜지, 목재 가력판 하부의 데크에서 좌굴변형이 증가하며 하중 감소가 발생하여 실험을 종료하였다. 6 m 길이에 두께 1.4 mm 데크를 사용한 F14-6-01은 하중 47 kN에서 좌측 가력부의 상부플랜지가 데크 안쪽 방향으로 변형하기 시작하였고 이후 하중 49 kN에서 상부 압축플랜지에 국부좌굴이 발생하기 시작하였다. 최대하중에 도달하면서 상부플랜지와 가력부 하단의 변형이 증가하며 하중 감소가 발생하여 실험을 종료하였

Table 2. Summary of bending test results

Specimen*	A (mm ² /m)	I_{eff} (mm ⁴ /m)	y_p^{***} (mm)	P_{test} (kN)	M_{test} (kN·m/m)	M_n (kN·m/m)	M_{test}/M_n
F11-6-01	2,495.1	24.3×10^6	139	31.3	40.7	44.5	0.92
F11-6-02	2,495.1	24.3×10^6	139	32.5	42.2	44.5	0.95
F14-6-01	3,175.6	34.5×10^6	150	50.0	64.9	67.9	0.96
F14-6-02**	3,175.6	34.5×10^6	150	45.2	58.8	67.9	0.87
F11-4-01	2,495.1	24.3×10^6	139	54.0	43.2	44.5	0.97
F11-4-02	2,495.1	24.3×10^6	139	55.1	44.1	44.5	0.99

*On the specimen name, (1) two digits after "F" indicate thickness of deck (11 = 1.1 mm, 14 = 1.4 mm); (2) one digit between two hyphens specifies total length of the test specimen.

**without timber loading plate

***neutral axis of effective section measured from the bottom of the deck

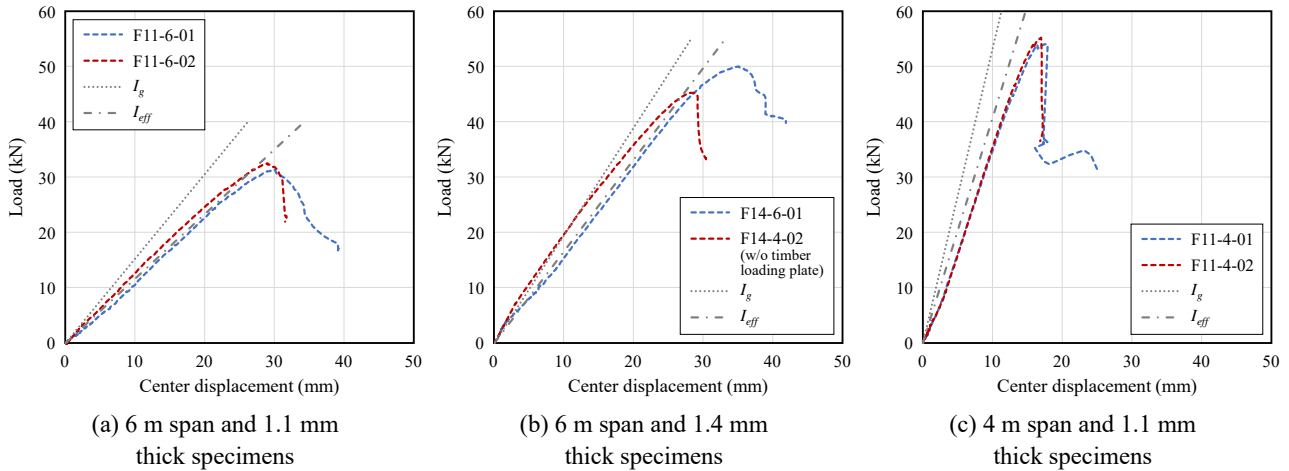


Fig. 5. Load - displacement relationship of bending test specimens

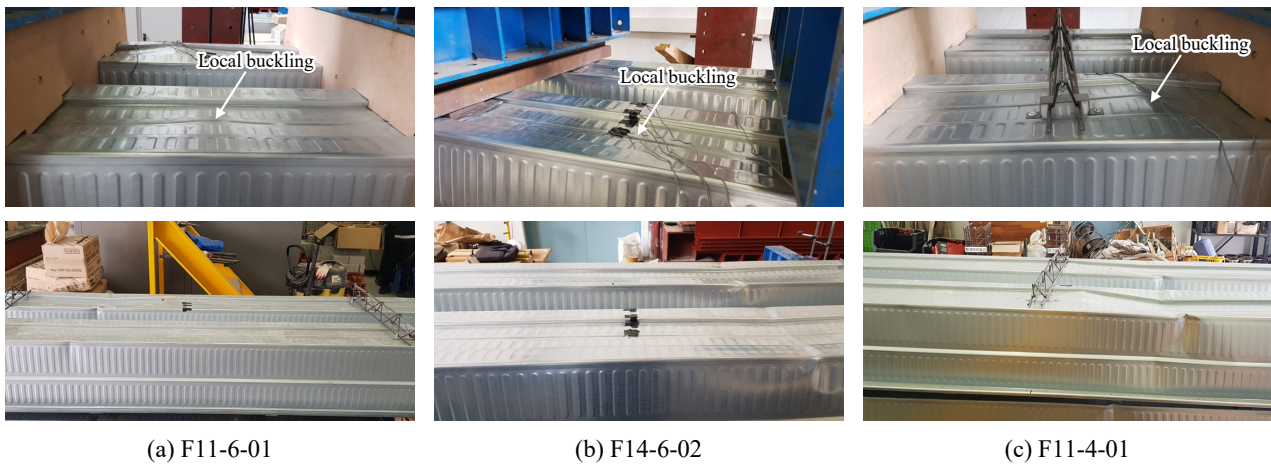


Fig. 6. Failure mode of bending test specimens

다. 동일한 변수의 F14-6-02 실험체는 목재 가력판을 사용하지 않고 철재 힌지를 가력부에 두어 직접 데크의 상부플랜지를 가력하며 진행하였다. 하중 43 kN에서 가력부의 상부플랜지가 데크 안쪽 방향으로 변형하기 시작하였고 이후 하중 45 kN에서 좌측 가력부 하단이 국부적으로 변형하면서 웹에서도 면외방향으로 변형이 증가하였다(Fig. 6(b) 참조). 최대하중에 도달한 이후 상부플랜지의 좌굴변형이 증가하면서 하중 감소가 발생하여 실험을 종료하였다.

4 m 길이에 두께 1.1 mm 데크를 사용한 F11-4-01 실험체는 하중 45 kN에서 약간의 하중 감소와 함께 상부플랜지에서 좌굴이 발생하기 시작하였다. 최대하중에 도달하면서 압축플랜지의 좌굴변형과 목재 가력판 하부에서 데크의 찌그러짐 변형이 증가하면서 하중 감소가 발생하여 실험을 종료하였다. 동일한 변수의 F11-4-02 실험체는 하중 48 kN에서 상부플랜지에 좌굴이 발생하기 시작하였고 최대하중 이후

모든 압축플랜지의 좌굴변형과 가력부의 변형이 증가하였으며, 하중 감소가 발생하여 실험을 종료하였다.

3.2.2 초기강성 및 내력 비교

Fig. 5에 데크의 전체단면에 대한 단면2차모멘트(I_g)와 유효단면2차모멘트(I_{eff})를 적용하여 산정한 초기강성을 비교하여 나타내었다. 데크의 단면성능은 2장의 유효폭법을 적용하여 도출하였으며, 데크의 단위폭 당 유효단면2차모멘트 I_{eff} 는 1.1 mm 두께 데크의 경우 $24.3 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$, 1.4 m 두께 데크의 경우 $34.5 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$ 를 적용하였다.

1.1 mm 두께의 데크를 사용한 4 m 길이의 실험체의 경우 다른 실험체에 비해 초기강성이 다소 저하되는 경향을 보였지만 전체적으로 전체단면에 대한 단면2차모멘트를 적용한 경우보다 유효단면2차모멘트를 적용하여 산정한 초기강성이 실험결과와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

Table 2는 휨실험 결과에 의한 휨모멘트 강도 M_{test} 를 유효폭법에 의해 산정한 단면계수를 적용하여 계산한 공칭휨강도 M_n 과 비교한 결과를 보여준다. 길이 6 m 데크의 휨실험 결과 데크의 휨강도는 공칭휨강도에 대하여 87% - 96%의 수준으로 나타났고 두께가 얇은 1.1 mm 데크의 경우 휨강도는 공칭휨강도 대비 92% - 95% 수준으로 나타나 가력부의 변형이 데크의 전체적인 안정성에 불리하게 작용한 것으로 판단된다. 반면에 두께 1.4 mm 데크의 경우 휨강도는 공칭휨강도 대비 87% - 96% 수준으로 목재 가력판을 사용하지 않은 F14-6-02 실험체에서 가력점 상부 압축플랜지의 조기변형으로 인해 초기 강성이 증가하였으나 강도는 크게 저하되는 것을 볼 수 있다.

4. 데크 전단실험

4.1 실험계획

Fig. 7은 데크의 전단성능을 평가하기 위한 실험 세팅을 보여준다. 휨실험과 마찬가지로 데크의 두께와 전단경간을 변수로 총 4개의 실험체를 계획하였고, 휨실험과 달리 1골의 데크에 대해 실험을 진행하였다. 전단실험에 사용한 데크는 휨실험과 동일하게 폭 500 mm, 높이 300 mm이며, 데크의 길이는 모두 1.8 m로 동일하지만 지점 사이의 거리를 조정하여 전단을 받는 목재가력판 사이의 순전단경간은 각각 300 mm와 600 mm로 계획하였다. 또한, 휨실험과 마찬가지로 가력부와 지점에서 데크의 국부변형이 발생하는 것을 방지하기 위해 데크를 상하부에서 감싸는 폭 150 mm의 목재가력판을 설치하였다. 전단경간 600 mm 실험체에서는 데크 하단부가 벌어지는 것을 방지하기 위하여 폭 50 mm, 길이 500 mm의 강재 띠판을 데크 하단부에 스크류로 설치하였다.

실험은 3,000 kN 용량의 actuator를 사용하여 변위제어 방식으로 진행하였으며, 목재 가력판을 실험체 중앙에 2개, 좌우측 각 지점에 1개씩 총 4개를 설치하고 실험체 중앙의 폭 300 mm인 목재가력판을 가력하는 방식으로 진행하였다. 데크의 처짐 측정을 위하여 LVDT를 가력부 하단부에 2개 설치하였다. 전단실험에 사용한 데크의 재료강도는 휨실험에 사용한 데크와 동일하다.



Fig. 7. Test set-up for shear test

4.2 실험결과

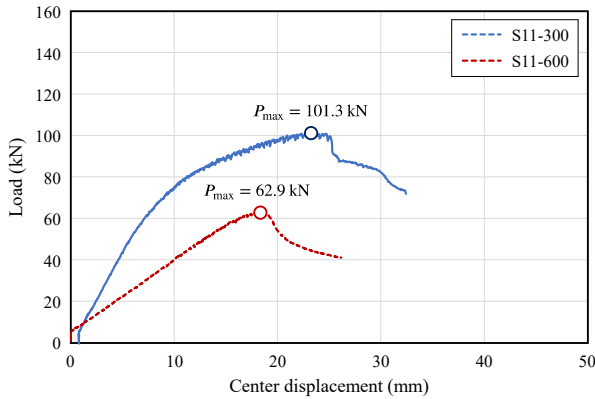
4.2.1 하중-변위 관계

전단실험결과를 정리하여 Table 3에 나타냈다. Figs. 8-9은 전단실험체의 하중-변위 관계와 실험종료 후 파괴모드를 나타낸다. 실험 결과 두께 1.1 mm, 순전단경간 300 mm 실험체인 S11-300은 하중 94 kN에서 국부좌굴이 데크 중앙부 상부플랜지에서 발생하기 시작하였다. 하중 100 kN에 도달한 후 웹에 좌굴이 발생하였고, 최대하중 101.3 kN에 도달했을 때 가력부 좌측 웹에서 전단좌굴이 발생하면서 하중이 감소하여 실험을 종료하였다. 두께 1.1 mm, 순전단경간 600 mm 실험체인 S11-600은 하중 62.5 kN에서 데크 중앙

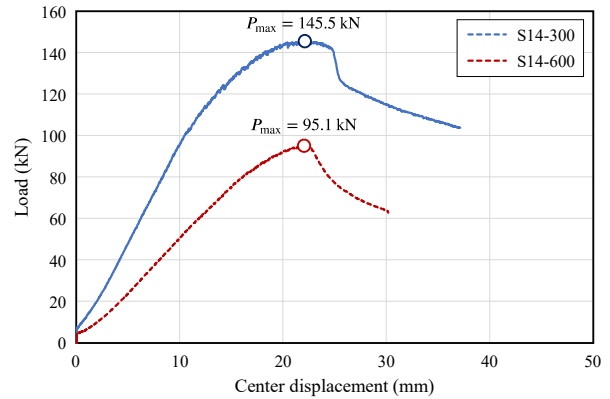
Table 3. Summary of shear test results

Specimen*	Shear span (mm)	P_{test} (kN)	V_{test}		$\frac{V_{test}}{V_{cr}/k_v}$	V_n (kN)	V_{test}/V_n
			(kN)	(kN/m)			
S11-300	300	101.3	50.6	101.3	30.1	39.3	2.58
S11-600	600	62.9	31.5	62.9	18.7	39.3	1.60
S14-300	300	145.5	72.7	145.5	20.9	81.2	1.79
S14-600	600	95.1	47.5	95.1	13.7	81.2	1.17

*On the specimen name, (1) two digits after "S" indicate thickness of deck (11 = 1.1 mm, 14 = 1.4 mm); (2) three digits at the end specifies shear span of the test specimen.



(a) S11 specimens



(b) S14 specimens

Fig. 8. Load - displacement relationship of shear test specimens



(a) S11-300



(b) S14-300



(c) S14-600

Fig. 9. Failure mode of shear test specimens

부 상부플랜지에서 국부좌굴이 발생하기 시작하였으며, 최대하중 62.9 kN에 도달했을 때 데크 가력부를 중심으로 좌굴 변형이 증가하면서 하중이 감소하여 실험을 종료하였다.

두께 1.4 mm, 순전단경간 300 mm 실험체인 S14-300은 하중 124 kN에 도달했을 때 데크 중앙부 상부 플랜지에 국부좌굴이 발생하기 시작하였다. 최대하중 145.5 kN에 도달한 이후에는 데크의 웹에 전단좌굴이 발생하면서 하중이 감소하여 실험을 종료하였다. 두께 1.4 mm, 순전단경간 600 mm 실험체인 S14-600은 하중 80.3 kN에서 데크 중앙부 상부 플랜지에 국부좌굴이 발생하기 시작하였다. 하중 94.3 kN에서 중앙부 우측 목재 가력판 중심으로 변형이 증가하였고, 최대하중 95.1 kN에 도달한 이후에는 좌굴 변형이 증가하면서 하중이 감소하여 실험을 종료하였다.

4.2.2 내력 비교

Table 3에 3점 가력에 따른 실험체의 전단강도 V_{test} 를 계산하여 나타내었다. 공칭전단강도(V_n) 산정을 위하여 전단좌굴계수 k_v 를 실험적으로 평가하고자 실험체의 전단강도 V_{test} 를 식 (12)의 V_{cr}/k_v 로 나누어 계산하였다. Table 3에 나

타낸 것과 같이 전단실험결과로 도출한 k_v 값은 13.7~30.1의 분포를 보였으며, 순전단경간이 300 mm인 경우 전단경간 600 mm인 경우보다 더 큰 전단좌굴계수값을 보였다. 냉간 성형강 설계기준 AISI S100-16^[6]에서는 실험조건과 같이 횡방향 스티프너가 설치된 경우 강판의 전단좌굴계수 k_v 는 강판의 경계조건을 단순지지 조건으로 가정하여 $a/h > 1.0$ 인 경우 $5.34 + 4.0/(a/h)^2$ 로 산정한다. 여기서, a 는 횡방향 스티프너간의 순간격, h 는 웹의 높이를 나타낸다. 전단실험체에서 a/h 값은 1.0과 2.0에 해당하므로 설계기준에 의한 k_v 값은 각각 9.34와 6.34에 해당한다. 따라서, 실험에 의한 전단좌굴계수는 설계기준에서 제안하는 값보다 2.16~3.22배 큰 값을 보여주었다.

Table 3의 V_n 은 횡방향 스티프너를 설치하지 않은 일반조건의 전단강도 산정에 적용하기 위하여 설계기준의 절곡이 없는 웹에 대한 전단좌굴계수 5.34를 2.16배한 11.5로 계산하여 나타내었다. 두께 1.1 mm 실험체의 경우 실험체의 전단강도는 공칭전단강도 대비 1.60~2.58배 큰 값으로 나타났다. 두께 1.4 mm 실험체의 경우 1.17~1.79배 큰 값으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 장스팬 구조에 적용하기 위한 춤 300 mm 신형상 춤이 깊은 데크의 시공 중 구조성능을 평가하기 위하여 휨실험과 전단실험을 진행하였다. 주요 실험변수는 데크의 두께, 길이 및 전단경간이며, 데크의 휨강도 및 전단강도를 냉간성형강 설계기준인 AISI S100-16에 따라 평가하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 길이 6 m, 두께 1.1 mm, 1.4 mm 제품의 2골 실험체에 대한 휨실험 결과, 실험체의 휨강도(M_{test})는 냉간성형강 기준의 유효폭법에 따른 단면계수를 적용하여 산정한 공칭휨강도 대비 92 % - 96 %의 값으로 나타났다. 두께가 얇은 1.1 mm 데크의 경우 가력부의 변형이 데크의 안정성에 불리하게 작용하여 강도가 좀 더 낮게 평가되었다.
- (2) 길이 4 m, 두께 1.1 mm 제품에 대한 휨실험 결과, 실험체의 휨강도는 공칭휨강도 대비 97 % - 99 % 수준으로 나타났으며, 상대적으로 실험체의 스패인이 짧아질 경우 휨강도가 증가하는 경향을 보였다.
- (3) 실험체의 초기강성의 경우 1.1 mm 두께의 데크를 사용한 4 m 길이의 실험체에서는 초기 강성이 다소 저하되는 경향을 보였지만 전체적으로 유효폭을 고려한 유효단면2차모멘트를 적용하여 실험체의 초기강성을 근사적으로 예측할 수 있었다.
- (4) 순전단경간 300 mm와 600 mm에 대한 데크의 전단 실험 결과 데크 두께에 상관없이 전단경간이 짧을수록 전단강도가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 전단경간이 증가하는 경우에는 데크의 두께에 따라 전단강도가 증가하였다.
- (5) 웨브에 절곡 및 엠보싱이 있는 데크의 전단좌굴계수를 실험적으로 산정하기 위하여 전단강도를 전단좌굴계수를 제외한 탄성좌굴강도로 나누어 비교한 결과 전단좌굴계수는 13.7 - 30.1의 분포를 보였으며, 설계기준에서 횡방향 스티프너가 설치된 조건의 전단좌굴계수 대비 2.16~3.22배 큰 값을 나타냈다.
- (6) 횡방향 스티프너를 미설치한 일반조건에서 데크의 전단강도를 보수적으로 평가하기 위하여 실험결과를 통해 절곡이 없는 웨브에 대한 전단좌굴계수(= 5.34)를 2.16배한 11.5로 적용하였으며, 실험체의 전단강도는 공칭전단강도 대비 1.17~2.58배 큰 값으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2020년 제일테크노스의 연구비 지원에 의한 연구로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- [1] Jeil Technos (2003) *Structural Design Guide for Floor-Height-Saving Composite Floor Method Using Composite Deep Deck Plate*, Jeil Technos, Korea (in Korean).
- [2] Heo, I., Han, S.-J., Choi, S.-H., Kim, K.S., and Kim, S.-B. (2019) Experimental Study on Structural Behavior of Double Ribbed Deep-Deck Plate Under Construction Loads, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.23, No.7, pp.49-57 (in Korean).
- [3] Park, K.Y., Nam, Y.S., Choi, Y.H., Kim, Y.H., and Choi, S.M. (2013) Improvement of Flexural Performance for Deep-Deck Plate Using Cap Plate, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 25, No.5, pp.555-567 (in Korean).
- [4] Architectural Institute of Korea (1998) *Design Specification for Cold-Formed Steel Section*, AIK, Korea (in Korean).
- [5] Architectural Institute of Korea (1998) *Composite Deck Slab Standard (Proposal) and Commentary*, AIK, Korea (in Korean).
- [6] American Iron and Steel Institute (2016) *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* (AISI S100-16), USA.
- [7] Cho, B.-H., and Lee, C.-H. (2021) Design Code for Cold-Formed Steel Structural Members, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 33, No.3, pp.8-11 (in Korean).
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019) *Korean Building Code for Steel Structures* (KDS 41 30 00: 2019), Korea (in Korean).
- [9] Korean Agency for Technology and Standards (2017) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [10] Korean Agency for Technology and Standards (2018) *Zinc-Coated Light Gauge Steels for Structure* (KS D 3854: 2018), Korea (in Korean).

요 약 : 본 연구에서는 장스팬 구조에 적용하기 위한 춤 300 mm 신형상 춤이 깊은 데크에 대한 시공 중 구조성능을 평가하기 위하여 휨실험과 전단실험을 진행하였다. 주요 실험변수는 데크의 두께, 길이 및 전단경간이며, 데크의 휨강도 및 전단강도를 냉간성형강 설계 기준인 AISI S100-16에 따라 평가하였다. 휨실험 결과 실험체의 휨강도는 유효폭법으로 산정한 공칭휨강도 대비 92 % - 96 %의 값으로 나타났으며, 초기강성은 유효단면2차모멘트로 산정한 값과 유사한 값으로 나타났다. 전단실험 결과 모든 실험체에서 전단경간이 짧을수록 전단강도가 증가하는 경향을 보였으며, 웹에 절곡 및 엠보싱을 고려하기 위하여 실험적으로 산정한 전단좌굴계수는 13.7 - 30.1의 분포를 보였다. 보수적으로 전단좌굴계수를 11.5로 적용하여 데크의 전단강도를 평가하였으며 전단강도는 공칭전단강도 대비 1.17~2.58배 큰 값으로 나타났다.

핵심용어 : 춤이 깊은 데크, 구조성능실험, 휨성능, 전단성능, 전단좌굴계수
