

춤 300 mm 신형상 딥 데크의 시공 중 처짐성능 평가

최인락^{1*} · 이경률² · 전상현³ · 경제환⁴

¹부교수, 호서대학교, 건축토목환경공학부, ²석사과정, 호서대학교, 재난안전시스템학과,

³대표이사, (주)지원이엔지, ⁴부장, (주)제일테크노스

Deflection Performance Evaluation of New Deep Deck with 300 mm Depth During Construction Loads

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, large-scale mock-up tests were performed to verify the deflection performance of newly developed 300 mm depth, 1.1 mm and 1.4 mm thickness deep deck during construction loads. Sand loading test and concrete casting test were conducted with test parameters of thickness of deck, loading span, and installation of support. Measured deflection of the deck was compared with the calculated deflection by applying the effective section modulus of the deck, and strains of the deck were analyzed. Test results showed that a relatively large deflection occurred in the initial stage of loading, and in 6.6 m span (net span of 6.1 m) at the final stage, 1.25 and 1.29 times larger deflection than that of calculated deflection occurred in the sand loading test and the concrete casting test, respectively. And these were 1.02 and 1.2 times in 8.4 m span (net span of 7.9 m) tests, respectively. The deflection occurring on the deck was less than 1/180 of the span, it was possible to control the final deflection by introducing the initial camber to the deck. Measured strain values showed that the deck was in an elastic range even at the final load stage of 130 mm of topping concrete.

Keywords - Deep deck, Mock-up test, Deflection, Deflection limit, Effective section modulus

1. 서론

최근 건축물의 바닥 슬래브 공사에는 노동력 절감과 간편한 시공, 공기단축 등을 위해 기존의 거푸집 설치 후 철근을 배근하는 재래식 공법 대신 데크 플레이트를 사용한 공법의 적용이 일반화되고 있다. 특히 건축공사의 품질확보 요구와 건설인력의 인건비 상승 등으로 이러한 현상은 가속화되고 있다. 일반적으로 슬래브 공사에 사용되는 데크 플레이트는

춤이 75 mm 내외인 거푸집용 또는 구조용 데크, 춤 150 mm 내외의 철선 일체형 트러스 데크를 사용하고 있다. 이들 데크는 보의 간격이 3 m - 4 m인 경우에 현장 적용성이 우수한 것으로 알려져 있다^[1]. 이외에도 슬림 플로어 구조 및 장스팬 바닥 슬래브 구조에 적용하기 위한 춤이 200 mm 이상인 deep deck(춤이 깊은 데크)가 활용되고 있다. 국내 J사에서는 골 간격 600 mm, 춤 250 mm, 두께 1.1 mm - 1.4 mm인 아연도강판 재질의 춤이 깊은 데크를 개발하여 동바리 설치 없이 최대 7 m 스패의 바닥 슬래브에 사용하고 있다^[2]. 최근에는 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 개발되어 현장에 적용되고 있다^[3].

춤이 깊은 데크를 일정 길이 이상(약 4 m - 6 m)의 스패에

Note.-Discussion open until April 30, 2022. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 27, 2021; revised on July 24, 2021; approved on August 11, 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

사용할 경우 시공단계에서 과도한 처짐과 같은 사용성 문제와 데크의 국부좌굴 등 안정성 문제가 발생하여 장스팬 슬래브 적용에 한계가 존재한다. Jeon *et al.*^[1]은 춤 250 mm인 데크의 단부를 캡 플레이트로 보강하고 6 m 이상의 스패에 무동바리로 적용하여 데크의 처짐조건($L/180$ 또는 30 mm)을 만족하는 연구결과를 얻었지만, 최근 RC조 지하주차장에 일반적으로 사용되는 8.4m 스패에 무동바리로 적용하기 위해서는 춤이 증가한 새로운 단면 형상의 개발과 데크의 영구 처짐을 제한하기 위한 캄버 도입이 필요하다.

본 연구에서는 최대 8.4 m 장스팬 구조에 적용하기 위해 개발된 국내 J사의 춤 300 mm 신형상 춤이 깊은 데크(Fig. 1 참조)를 사용하여 시공 중 데크 플레이트의 처짐성능을 평가하기 위한 실험을 진행하였다. 실험용 프레임 구조에 최대 $L/160$ 의 캄버를 도입한 신형상 데크를 설치하여 모래재하 실험과 콘크리트 타설실험을 진행하였다. 또한, 국내외 춤이 깊은 데크 바닥구조의 시공단계에서의 처짐 산정방식과 제한규정을 분석하여 신형상 데크의 처짐성능을 평가하고자 한다.

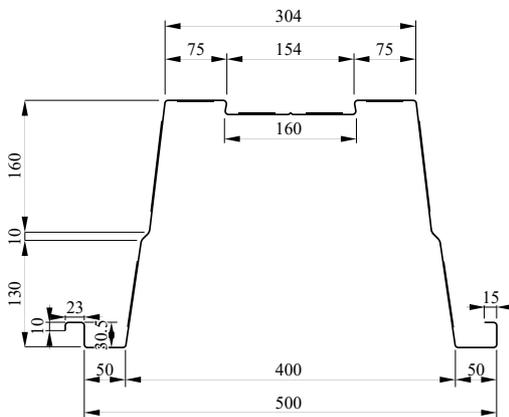


Fig. 1. Detail of deep deck (Unit: mm)

2. 시공시 데크의 처짐 산정

2.1 국내기준

춤이 깊은 데크는 일반적으로 얇은 두께의 판재를 사용하여 부재의 판폭두께비가 크기 때문에 압축부재의 국부좌굴에 의해 전체강도가 결정된다. 따라서 부재내력 및 처짐 산정시 유효폭(effective width) 개념을 도입하여 단면계수를 산정한다.

합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설^[4]에서는 데크의

압축부분의 유효폭(b_e)은 항복강도 240 MPa의 강재를 기준으로 산정하여 $50t$ (t = 데크의 판두께, mm)로 규정하고 있다. 또한, 시공시 발생하는 데크의 휨응력은 허용휨응력을 넘지 않아야 하며, 시공하중에 대한 데크의 처짐 산정시 하중은 데크와 콘크리트의 자중과 시공하중 1.5 kN/m^2 을 고려하여 산정한다. 이때 산정한 처짐값(δ)은 $L/180$ 을 넘지 않도록 규정한다.

2.2 AISI S100-16

미국의 냉간성형강 설계기준 AISI S100-16^[5]에서는 데크의 강도나 처짐 산정시 유효폭법(effective width method)이나 직접강도법(direct strength method)을 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 여기서, 판요소의 유효폭은 강도산정과 처짐과 같은 사용성 검토를 위한 유효폭으로 구분하여 산정할 수 있으며, 보수적으로 강도산정을 위한 유효폭을 사용성 검토를 위해서도 적용할 수 있다.

본 연구에서는 AISI S100-16^[5]의 유효폭법을 적용하여 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 데크 상단의 압축플랜지의 굴형상을 반영하여 중간스티프너가 있는 경우에 대한 판좌굴계수로 스티프너 사이의 국부적 부분요소의 좌굴에 대한 판좌굴계수(k_{loc})를 데크 두께에 따라 산정하여 플랜지의 유효폭을 계산하였으며, 웨브의 경우에도 작용하는 모멘트 구배에 따라 등변응력을 받는 웨브의 판좌굴계수(k)를 산정하여 웨브의 유효폭을 계산하고 이를 반영하여 최종적으로 데크 단면의 유효단면계수를 도출하였다.

2.3 데크의 처짐 한계

국내 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설^[4]에서는 데크의 처짐을 산정할 때 데크의 전체 단면이 유효한 것으로 가정하여 산정한 단면2차모멘트를 사용하고 여기에 처짐계산용 계수($C=1.2$)를 곱하여 처짐을 계산한다. 즉, 부재의 실제 처짐은 전단면이 유효한 것으로 가정하여 산정한 처짐보다 더 크게 나타날 수 있기 때문에 이를 고려하기 위해 처짐계산용 계수를 도입하였다. 또한, 처짐 산정시 데크의 시공시 작업하중은 1.5 kN/m^2 을 고려하도록 제안하고 있다. 데크의 처짐한계는 국외 기준과 유사하게 $L/180$ 으로 규정하였다. 이외에 데크의 시공시 작업하중과 처짐한계에 대한 국내 기준은 현재 없는 실정이다.

국외의 경우 AISI S100-16^[5]에서는 유효폭법에 의한 유효단면2차모멘트 I_{eff} 를 적용하여 처짐을 산정하거나 직접

강도법에 의해 산정된 공칭휨강도와 부재에 작용하는 사용하중에 의한 휨모멘트의 비율로 부재의 전체단면2차모멘트 I_g 를 감소시킨 유효단면2차모멘트 I_{eff} 를 산정하여 처짐을 계산하도록 하고 있다. 유로코드(Eurocode) EN 1994-1-1^[6]에서는 냉간성형강 설계기준 EN 1993-1-3^[7]에 따라 유효폭법을 적용하여 유효단면2차모멘트를 산정하고 이를 이용하여 처짐을 계산하도록 하고 있다.

처짐 산정을 위해 고려하는 시공 중 작업하중의 경우, 앞서 언급한 것과 같이 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설(1998)에서는 시공시 작업하중(1.5 kN/m²)을 고정하중과 함께 고려하는 반면, 미국의 SDI C-2017^[8]과 유로코드 EN 1994-1-1^[6]에서는 처짐 산정시 작업하중은 임시하중으로 간주하며, 시공하중에 대해 데크는 탄성상태에 있는 것으로 가정하여 시공 중 처짐은 콘크리트와 데크 강판의 자중으로만 산정한다.

처짐 한계의 경우 미국의 SDI C-2017^[8]과 유로코드 EN 1994-1-1^[6]에서는 폰딩을 고려하지 않는 경우 스패의 1/180로 규정하고 있으며, 최대 처짐값을 20 mm로 제한하고 있다(SDI C-2017의 경우 19 mm). 따라서, 3.6 m 이상의 스패에 데크를 적용하는 경우 처짐 한계인 20 mm에 의해 처짐 제한값이 산정된다. SDI C-2017^[8]의 경우 데크의 높이는 75 mm (3 in.) 이하인 것을 대상으로 하고 있으며, EN 1994-1-1^[6]의 경우에도 별도의 규정은 존재하지 않지만 현재 유럽에서 적용되고 있는 데크의 최대 높이가 225 mm인 점을 감안하면 최대 6 m 이내에 적용하는 데크에 관한 규정으로 파악할 수 있다. 따라서, 장스패에 적용하는 데크의 경우 최대 처짐값 규정을 만족하기 위해서는 캠버를 도입하는 등 별도의 조치가 필요함을 알 수 있다.

3. 모래재하실험

3.1 실험계획

Fig. 2는 모래재하실험을 위한 프레임 구성과 데크 설치계획을 나타낸다. 모래재하실험에서는 두께 1.1 mm와 1.4 mm의 신형상 데크 플레이트 4장으로 구성하여 스패 6.6 m(순스패 6.1 m), 폭 2 m의 모듈 1개와 스패 8.4 m(순스패 7.9 m), 폭 2 m의 모듈 2개를 하부에 동바리를 설치하여 지지한 철골프레임에 설치하였다. 8.4 m 스패에 1.1 mm 두께의 데크를 적용한 S300-1.1T-8.4S 모듈은 데크의 중앙부 하단에

150 mm × 150 mm 각목을 600 mm 간격으로 설치하고 하단에 동바리를 설치하였다(Fig. 2 참조). 한편 데크의 횡방향 안정성 향상을 위해 Jeon *et al.*^[11]이 제안한 횡분배용 철선 트러스를 데크의 중앙과 단부의 1.5 m 지점에 각각 설치하였다(Fig. 4(a) 참조).

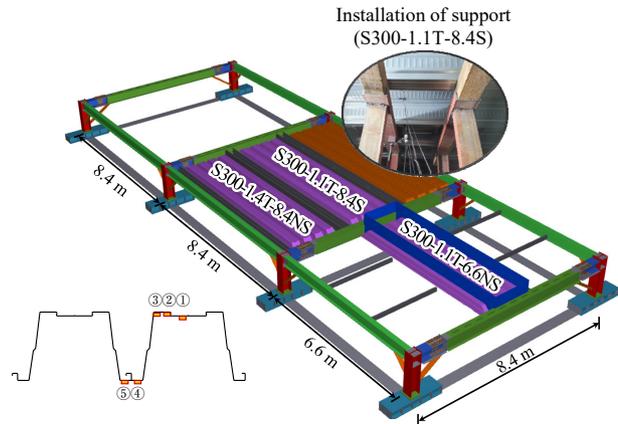


Fig. 2. Test set-up for sand loading test

모래재하실험은 Fig. 3에 나타난 것과 같이 단계별로 재하하중을 증가시켜 진행하였다. 재하시 사용한 모래의 밀도 측정값 15.8 kN/m³를 기준으로 산정한 모래재하의 높이에 따른 단계별 재하 하중과 이를 토핑 콘크리트 두께로 환산한 값을 Fig. 3에 나타내었다. 골재움에 해당하는 데크의 평균 높이는 95 mm로 산정하여 계산하였다. 모래는 굴착기를 사용하여 데크 상부로 재하하였으며, Fig. 4에 나타난 것과 같이 1단계 골재움부터 각 단계별로 재하를 진행하였다. 데크에 적용하는 토핑 콘크리트 두께가 120 mm 정도임을 감안하여 동바리를 설치하지 않은 S300-1.1T-6.6NS와 S300-1.4T-8.4NS 실험체는 4단계까지 모래재하실험을 진행하였고, 동바리를 설치한 S300-1.1T-8.4S 실험체는 최대 5단계까지 모래를 재하하였다.

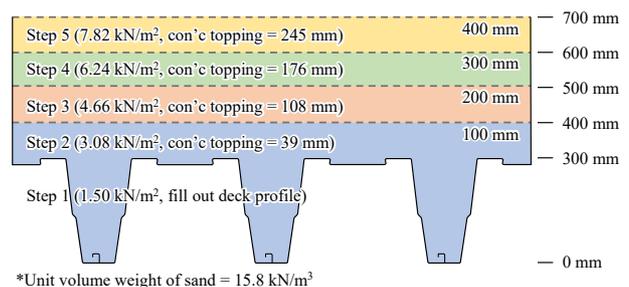


Fig. 3. Loading steps and applied loads for sand loading test



Fig. 4. Test procedure for sand loading test

모래재하실험 시 테크의 처짐을 계측하기 위하여 스펠 중앙부와 1/4, 3/4 지점에 4개씩 총 12개의 LVDT를 설치하였고, 변형 계측을 위하여 스펠 중앙부와 1/4지점에 각각 5개의 스트레인 게이지를 설치하였다(Fig. 2 참조).

3.2 실험결과

3.2.1 소재인장시험

모래재하 실험에 사용된 테크의 재료강도를 파악하기 위하여 KS B 0801^[9]에 따라 5호 시험편으로 시편을 제작하여 소재인장시험을 진행하였다. Table 1은 소재인장시험 결과를 나타낸다.

Table 1. Tension coupon test results

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

시험결과, KS D 3854 건축구조용 표면처리 경량형강^[10]의 SGC295 강종에 대한 기계적 성질에 규정된 항복점($F_y = 295 \text{ MPa}$ 이상)과 인장강도($F_u = 400 \text{ MPa}$ 이상), 연신율(18% 이상) 규격을 만족하는 것으로 나타났다.

3.2.2 처짐 계측결과

Table 2는 모래재하실험의 각 실험체별 재하단계에 따른 테크의 처짐 계측값을 나타내며, 테크를 지지하는 프레임은 동바리를 설치하여 처짐이 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 여기서, 예상처짐은 2.2항에서 언급한 것과 같이 AISI S100-16^[5]의 유효폭법을 적용하여 산정한 유효단면2차모멘트를 사용하였고, 각 실험체의 스펠을 적용하여 계산하였다. 처짐 산정에 사용한 테크의 단위폭 당 유효단면2차모멘트는 1.1 mm 두께 테크의 경우 $24.3 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$, 1.4 mm 두께 테크의 경우 $34.5 \times 10^6 \text{ mm}^4/\text{m}$ 이다.

Table 2. Sand loading test results

Specimen	δ_{\max} (mm)			δ_{cal} (mm)	$\frac{\delta_{\max}}{\delta_{cal}}$	
	1/4	1/2	3/4			
S300-1.1T-6.6NS	Step 1	6.4	7.4	6.9	5.3	1.39
	Step 2	12.0	15.0	12.7	10.9	1.38
	Step 3	16.1	20.1	16.7	16.5	1.22
	Step 4	21.9	27.6	22.7	22.0	1.25
S300-1.4T-8.4NS	Step 1	7.2	12.5	9.3	10.5	1.19
	Step 2	15.5	22.6	16.7	21.6	1.05
	Step 3	24.0	32.4	24.2	32.6	0.99
	Step 4	31.8	44.4	32.9	43.7	1.02
S300-1.1T-8.4S	Step 1	2.1	0.7	2.6	0.3	7.78
	Step 2	3.5	1.1	3.8	0.6	5.64
	Step 3	4.6	1.5	5.2	0.9	5.11
	Step 4	6.2	1.9	6.4	1.2	4.70
	Step 5	7.3	2.3	7.8	1.5	4.52

모래재하실험 결과, 동바리를 설치하지 않은 1.1 mm 두께의 6.6 m 스펠 실험체 S300-1.1T-6.6NS는 최종 4단계 재하하중(6.24 kN/m^2)에서 스펠 중앙부 최대처짐이 27.6 mm 발생하여 예상처짐 22.0 mm보다 약 1.25배 큰 처짐이 발생한 것으로 계측되었다. 또한, 동바리를 설치하지 않은 1.4 mm 두께의 8.4 m 스펠 실험체 S300-1.4T-8.4NS는 마찬가지로 최종 4단계 하중에 대해 스펠 중앙부 최대처짐이 44.4 mm 발생

하였고, 예상처짐 43.7mm에 근사한 값으로 계측되었다. 동바리를 설치한 1.1 m 두께의 8.4 m 스펠 실험체 S300-1.1T-8.4S는 데크 중앙부에 설치한 동바리의 각목과 데크 지지부의 변형으로 약간의 처짐이 발생하였으며, 스펠에 가해진 최종 5단계 재하하중(7.82 kN/m²)에 대해 스펠의 3/4지점에서 계측한 최대처짐이 7.8mm로, 예상처짐인 1.5mm보다 다소 큰 처짐이 발생하였지만 처짐의 절대량은 크지 않은 수준이었다. 또한 모든 실험체에서 하중 재하 초기단계에서 예상처짐 대비 큰 처짐이 발생한 것으로 나타났다.

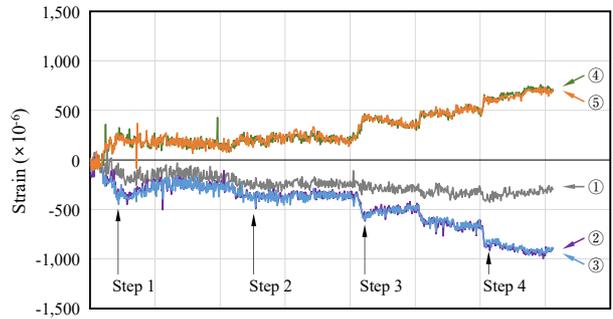
3.2.3 단면의 변형률 분포

각 데크의 중앙부에 부착한 스트레인 게이지를 통한 변형률 계측결과는 Fig. 5와 같다. ①~③은 데크 상부 플랜지에서 계측한 변형률값이고, ④와 ⑤는 데크 하부 플랜지에서 계측한 변형률값을 나타낸다(Fig. 2 참조). 모래재하실험의 변형률 계측 결과, S300-1.4T-8.4NS 실험체의 경우 게이지 선 연장에 따른 노이즈 증가로 인해 일부 계측값에서 큰 변동폭을 보이는 계측값이 나타났다. 하지만 이를 제외하고 계측된 최대 변형률값은 1,000×10⁻⁶ mm/mm 이내로, 실험에 사용한 두께 1.1 mm와 1.4 mm 데크의 항복변형률값이 1,770×10⁻⁶ mm/mm와 1,790×10⁻⁶ mm/mm인 것을 감안하면 데크는 최종 재하단계에서 모두 탄성구간에 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 데크의 압축변형률과 인장변형률은 유사한 값을 보였지만, 데크의 유효단면에 대한 중립축이 데크 춤의 중앙부 하단에 위치하여 압축변형률이 인장변형률값보다 좀 더 큰 값을 보였다.

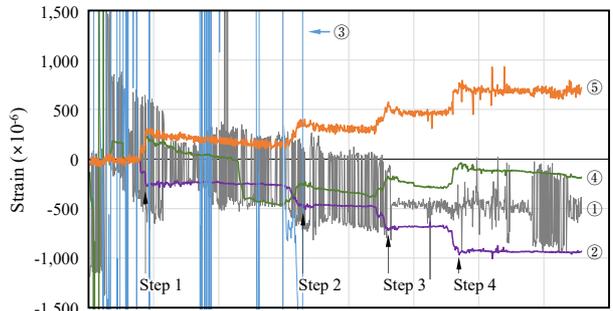
4. 콘크리트 타설실험

4.1 실험계획

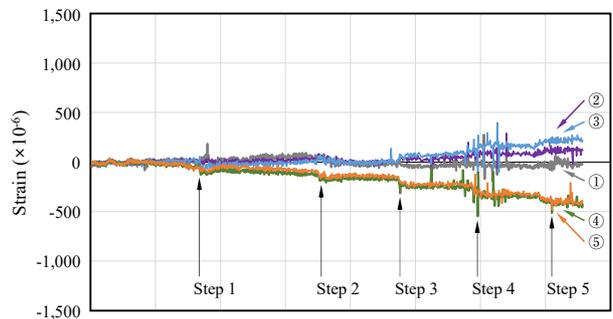
Fig. 6는 콘크리트 타설실험을 위한 프레임 구성과 데크 설치계획을 나타낸다. 콘크리트 타설실험에서도 모래재하 실험과 동일한 두께 1.1 mm와 1.4 mm의 신형상 데크 플레이트를 6.6 m 스펠과 8.4 m 스펠에 적용하였으며, 보의 폭을 제외한 순스패는 각각 6.1 m와 7.9 m이다. 8.4 m 스펠에 1.1 mm 두께의 데크를 적용한 C300-1.1T-8.4S 실험체는 데크의 중앙부 하단에 150 mm × 150 mm 각목을 1열로 설치하고 하단에 동바리를 설치하였다. 데크의 횡방향 안정성을 향상시키기 위해 횡분배 철선 트러스를 데크의 중앙과 좌우측 스펠 끝단에서 1.5 m 떨어뜨려 설치하였고 실제 슬



(a) S300-1.1T-6.6NS (positive moment)



(b) S300-1.4T-8.4NS (positive moment)



(c) S300-1.1T-8.4S (negative moment)

Fig. 5. Strain distribution of test specimen

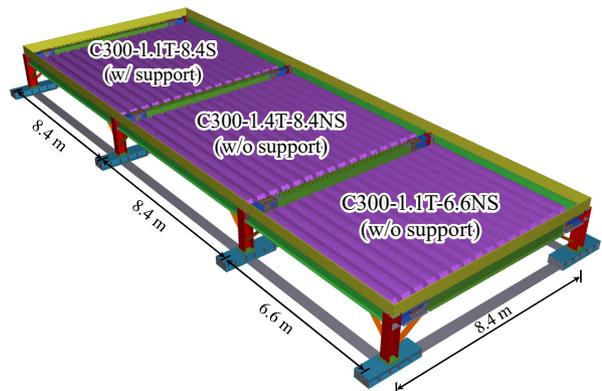


Fig. 6. Test set-up for concrete casting test

래브 설계조건과 동일하게 철근을 배근하였다. 데크 설치 후 측정된 데크의 캠버그는 두께 1.1 mm 데크의 경우 20 mm, 1.4 mm 데크의 경우 49 mm로 나타났다.

본 콘크리트 타설실험에 사용된 콘크리트는 설계압축강도 24 MPa, 슬럼프 150 mm이었으며, 콘크리트 품질시험 결과 현장에 반입된 콘크리트 슬럼프값은 141 mm로 나타났다. 타설된 콘크리트의 밀도는 KS F 2409^[11]에 따라 공기량 측정용기로 계측하였으며, 2.21 kg/m³로 나타났다.

콘크리트 타설은 실제 현장 타설조건과 동일하게 펌프카와 진동다짐기를 사용하여 4명의 인부가 순차적으로 진행하였다. 콘크리트타설실험은 모래재하실험과 동일하게 프레임에 설치된 3개 실험체 모듈의 데크 골채움을 진행한 후 다시 데크의 토핑 콘크리트 타설 두께인 130 mm까지 타설을 진행하였다(Fig. 7 참조).



Fig. 7. Test procedure for concrete casting test

콘크리트 타설실험시 데크의 처짐 측정을 위하여 데크의 중앙부와 1/4지점, 3/4지점에 총 12개의 LVDT를 설치하였고, 데크의 상대적인 처짐을 측정하기 위하여 데크를 거치한 보에서도 추가적으로 LVDT를 설치하였다. 또한, 콘크리트 타설시 데크의 변형률을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 모래재하실험과 동일한 위치에 설치하였다.

4.2 실험결과

4.2.1 처짐 계측결과

Table 3는 콘크리트타설실험의 각 실험체의 타설 단계별 콘크리트 타설 완료 후 계측한 처짐값과 예상처짐을 나타낸

다. 여기서, G_L 과 G_R 은 각각 데크의 좌우측에 위치한 거더의 처짐값을 나타내며, 예상처짐은 모래재하실험과 마찬가지로 각 실험체별 스패닝에 대한 데크의 유효단면2차모멘트를 사용하여 계산하였다. 콘크리트 자중은 계측된 콘크리트 밀도를 기준으로 계산하였으며, 1단계 골채움 단계의 경우 2.06 kN/m², 2단계 130 mm 두께의 토핑 콘크리트 타설시 4.87 kN/m²의 등분포하중이 작용하는 것으로 산정하였다.

Table 3. Concrete casting test results

Specimen		δ_{max} (mm)					δ_{cal} (mm)	$\frac{\delta_{max}}{\delta_{cal}}$
		G_L	1/4	1/2	3/4	G_R		
C300-1.1T-6.6NS	Step 1	12.6	17.9 (7.3)	20.8 (12.0)	16.1 (9.2)	5.0	7.3	1.66
	Step 2	20.7	30.7 (13.3)	36.3 (22.2)	27.5 (16.7)	7.5	17.2	1.29
C300-1.4T-8.4NS	Step 1	9.9	27.1 (16.5)	33.4 (22.1)	28.4 (16.5)	12.6	14.4	1.54
	Step 2	16.2	47.4 (30.1)	59.4 (40.9)	50.2 (30.6)	20.7	34.1	1.20
C300-1.1T-8.4S	Step 1	3.0	8.4 (3.0)	7.7	9.9 (3.4)	9.9	0.5	6.44
	Step 2	4.6	12.0 (5.1)	9.2	14.4 (4.0)	16.2	1.3	4.09

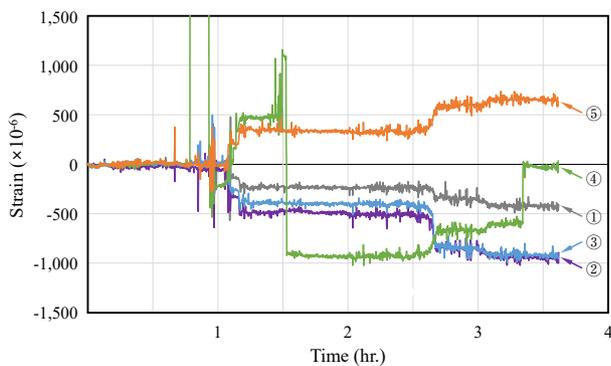
콘크리트 타설실험 결과 동바리를 설치하지 않은 C300-1.1T-6.6NS 실험체는 콘크리트 타설 완료시 데크 중앙부의 최대처짐이 36.3 mm 발생하였으며, 데크 양단부 보의 처짐을 제외하면 순처짐은 22.2 mm(L/275)가 발생한 것으로 계측되었다. 이는 예상처짐인 18 mm보다 약 1.29배 큰 것으로 나타났다. 마찬가지로 동바리를 설치하지 않은 C300-1.4T-8.4NS 실험체는 콘크리트 타설 완료시 데크 중앙부의 최대 처짐이 59.4 mm 발생하였으며, 데크 양단부의 보의 처짐을 제외하면 순처짐은 40.9 mm(L/193)로 나타났다. 이는 데크의 예상처짐인 37.4 mm보다 약 1.2배 큰 값을 나타냈다. 동바리를 설치한 C300-1.1T-8.4S 실험체는 콘크리트 타설 완료시 3/4지점에서 계측한 최대처짐이 14.4 mm로 나타났고, 보에서 발생한 처짐을 제외한 순처짐은 5.1 mm로, 데크의 예상처짐인 1.3 mm보다는 다소 큰 처짐이 발생하였지만 처짐의 절대량은 크지 않은 수준이었다.

모든 실험체에서 모래재하실험과 마찬가지로 초기 재하 단계에서의 처짐이 최종단계에서의 처짐보다 상대적으로 크게 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 무동바리 실험체들에

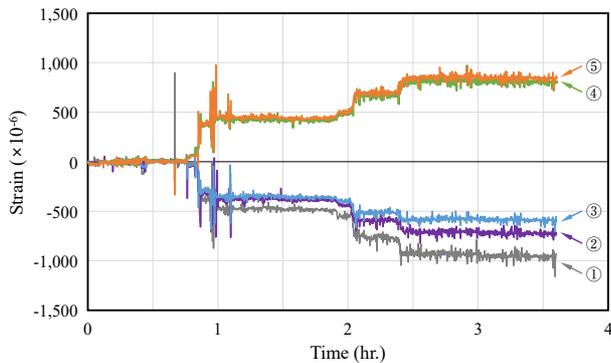
서 초기 캠버값을 제외한 최종 처짐은 순스팬(L)의 1/180을 초과하지는 않았으나 SDI C-2017^[8]과 유로코드 EN 1994-1-1^[6]에서 처짐한계로 제한하고 있는 20 mm는 초과하여 나타났다. 다만, 데크에 도입된 초기 캠버량(C300-1.1T-6.6NS = 20 mm, C300-1.4T-8.4NS = 49 mm)을 감안하면 이 규정을 만족하는 것으로 나타났다.

4.2.2 단면의 변형률 분포

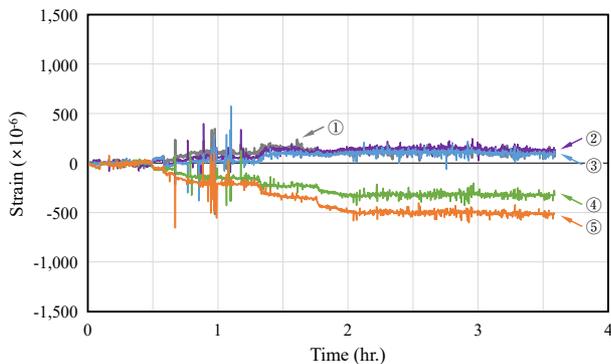
콘크리트 타설실험의 데크 중앙부에 부착한 스트레인 게이지를 통한 변형률 계측결과는 Fig. 8과 같다. 모래재하실



(a) C300-1.1T-6.6NS (positive moment)



(b) C300-1.4T-8.4NS (positive moment)



(c) C300-1.1T-8.4S (negative moment)

Fig. 8. Strain distribution of test specimen

험과 마찬가지로 ①~③은 데크 상부 플랜지에 부착한 게이지의 변형률값이고 ④, ⑤는 데크 하부 플랜지에 부착한 게이지의 변형률값이다. 계측은 콘크리트 타설 종료 후 1시간까지 지속되었다. 변형률 계측결과, 스펠에 상관없이 계측된 변형률값은 최대 $1,000 \times 10^{-6}$ mm/mm 정도로, 모래재하실험결과와 마찬가지로 콘크리트 타설 완료시까지 데크는 탄성구간에 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 2.3항에서 언급한 것과 같이 시공하중에 대해 데크는 탄성상태에 있으므로 미국의 SDI C-2017^[8]과 유로코드 EN 1994-1-1^[6]과 같이 작업하중으로 인한 데크의 처짐은 콘크리트 타설 완료시 복원된다고 가정하여 처짐 산정에는 반영하지 않는 것이 타당함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 J사의 춤이 300 mm, 두께가 1.1 mm 및 1.4 mm인 신형상 데크에 대한 시공 중 데크의 처짐성능을 평가하기 위하여 실험실 실험을 진행하였다. 데크의 두께, 적용 스펠, 동바리 설치조건을 변수로 모래재하실험과 콘크리트타설실험을 진행하였으며, 데크의 처짐값을 유효 단면2차모멘트를 적용하여 산정한 예상처짐과 비교하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 무동바리 조건의 모래재하실험 결과 1.1 mm 두께의 데크를 사용한 6.6m 스펠(순스팬 6.1m)의 S300-1.1T-6.6NS 실험체는 4단계 하중(재하하중 6.24 kN/m^2)에서 중앙부 최대 처짐값은 27.6 mm로, 데크의 예상처짐값인 22.0 mm보다 약 1.25배 큰 값으로 계측되었다. 동일한 무동바리 조건의 1.4 mm 두께의 데크를 사용한 8.4 m 스펠(순스팬 7.9 m)의 S300-1.4T-8.4NS에서는 마찬가지로 4단계 하중(재하하중 6.24 kN/m^2)에서 중앙부 최대 처짐값은 44.4 mm로, 예상처짐값인 43.7 mm와 유사한 값으로 나타났다.
- (2) 동바리 설치 조건의 1.1 mm 두께의 8.4 m 스펠(순스팬 7.9 m)의 S300-1.1T-8.4S 데크는 모래재하실험 결과 최종 5단계 하중(7.82 kN/m^2)에서 최대 처짐값이 7.8 mm로 나타났으며, 이 때의 예상처짐인 1.5 mm보다는 다소 큰 처짐이 발생하였지만 처짐의 절대량은 크지 않은 수준이었다.
- (3) 무동바리 조건의 콘크리트 타설실험 결과 1.1 mm 두

계의 데크를 사용한 6.6m 스펠(순스팬 6.1m)의 C300-1.1T-6.6NS는 토핑 콘크리트 130 mm의 2단계 하중(재하하중 4.87 kN/m²)에서 양단 보의 처짐을 제외한 중앙부 최대 순처짐은 22.2 mm(L/275)로, 예상처짐값인 17.2 mm보다 1.29배 큰 값으로 나타났다. 동일한 무동바리 조건에서 1.4mm 두께의 데크를 사용한 8.4 m 스펠(순스팬 7.9 m)의 C300-1.4T-8.4NS 실험체는 마찬가지로 토핑 콘크리트 130 mm의 2단계 하중(재하하중 4.87 kN/m²)에서 중앙부 최대 순처짐은 40.9 mm(L/193)로, 예상처짐값인 34.1 mm 대비 약 1.2배 큰 처짐이 발생하였다.

- (4) 동바리 설치 조건에서 1.1 mm 두께의 데크를 사용한 8.4 m 스펠(순스팬 7.9 m)의 C300-1.1T-8.4S 실험체는 토핑 콘크리트 130 mm의 2단계 하중(4.87 kN/m²)에서 최대 순처짐은 3/4 지점에서 5.1 mm로, 예상처짐값인 1.3 mm보다는 다소 큰 처짐이 발생하였지만 처짐의 절대량은 크지 않은 수준이었다.
- (5) 모든 실험체에서 재하 초기단계에서의 처짐이 상대적으로 더 크게 발생하였으며, 무동바리 조건의 실험결과 데크의 최대처짐값은 유효폭범으로 산정한 유효단면2차모멘트를 적용하여 계산한 예상처짐 대비 1.02~1.29배 큰 값으로 나타났다.
- (6) 무동바리 조건의 콘크리트 타설실험 결과 데크의 최종 처짐값은 기준의 한계처짐값인 L/180을 만족하였으며, 데크의 초기 캠버 도입으로 최대 처짐 제한값인 20 mm 규정을 만족할 수 있었다.
- (7) 데크에 부착한 스트레인 게이지를 통한 변형률 계측 결과 모래재하 실험과 콘크리트 타설실험 모두에서 데크의 최대 변형률값은 1,000×10⁻⁶ mm/mm 정도로 최종 재하하중 단계에서 데크는 탄성범위에 있으며, 작업하중으로 인한 데크의 처짐은 복원된다고 가정하여 처짐 산정에는 반영하지 않는 것이 타당함을 알 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌(References)

- [1] Jeon, S.H., Kyung, J.H., Kim, Y.H., Choi, S.M., and Yang, I.S. (2015) Deflection Evaluation of the Constructing-Load Carrying Capacity for Deep Decking Floor System Reinforced with Both Ends Cap Plates, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.2, pp.155-167 (in Korean).
- [2] Jeil Technos (2003) *Structural Design Guide for Floor-Height-Saving Composite Floor Method Using Composite Deep Deck Plate*, Jeil Technos, Korea (in Korean).
- [3] 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).
- [4] Architectural Institute of Korea (1998) *Composite Deck Slab Standard (Proposal) and Commentary*, AIK, Korea (in Korean).
- [5] American Iron and Steel Institute (2016) *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* (AISI S100-16), USA.
- [6] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (EN 1994-1-1: 2004), Belgium.
- [7] European Committee for Standardization (2006) *Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-3: General Rules – Supplementary Rules for Cold-Formed Members and Sheeting* (EN 1993-1-3: 2006), Belgium.
- [8] American National Standards Institute, and Steel Deck Institute (2017) *Composite Steel Floor Deck-Slabs* (SDI C-2017), USA.
- [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).
- [11] Korean Agency for Technology and Standards (2016) *Standard Test Method for Unit Weight and Air Content (Gravimetric) of Fresh Concrete* (KS F 2409: 2016), Korea (in Korean).

요 약 : 본 연구에서는 국내 J사의 춤 300 mm, 두께 1.1 mm 및 1.4 mm인 신형상 데크에 대한 시공 중 데크의 처짐성능을 검증하기 위하여 실험실 실험을 진행하였다. 데크의 두께, 적용 스패, 동바리 설치조건을 변수로 모래재하실험과 콘크리트 타설실험을 진행하였으며, 데크의 처짐값을 데크의 유효단면2차모멘트를 적용하여 산정한 예상처짐값과 비교하고 데크의 변형률 게이지값을 분석하였다. 실험결과 재하 초기단계에서 상대적으로 큰 처짐이 발생하였으며, 최종단계 하중에서 6.6 m 스패(순스패 6.1 m)의 경우 모래재하실험과 콘크리트 타설실험에서 예상처짐 대비 각각 1.25배와 1.29배 큰 처짐이 발생하였고, 8.4 m 스패(순스패 7.9 m)의 경우 각각 1.02배와 1.2배 큰 처짐이 발생하였다. 데크에 발생하는 처짐은 스패의 1/180 이하로, 데크에 초기 캠버값을 도입하여 최종 처짐 발생량을 제어할 수 있었다. 변형률 계측결과 토폰 콘크리트 130 mm의 최종하중 단계에서도 데크는 탄성상태에 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 춤이 깊은 데크, 실험실 실험, 처짐, 처짐한계, 유효단면계수
