

캡 플레이트로 단부 보강한 춤이 깊은 데크의 시공중 처짐성능평가

전상현¹ · 경제환² · 김영호³ · 최성모⁴ · 양일승^{5*}

¹대표이사, (주)지원이엔지, 공학석사, ²부장, (주)제일테크노스, 공학석사, ³부소장, 세진특허법률사무소, 공학박사
⁴교수, 서울시립대학교, 건축공학과, ⁵교수, 동신대학교, 건축공학과

Deflection Evaluation of the Constructing-load Carrying Capacity for Deep Decking Floor System Reinforced with Both Ends Cap Plates

Jeon, Sang Hyun¹, Kyung, Jae Hwan², Kim, Young Ho³, Choi, Sung Mo⁴, Yang, Il Seung^{5*}

¹Master, G-One ENG, Seoul, 158-778, Korea

²Master, JEIL Technos, PoHang, 137-803, Korea

³Ph.D., SEJIN Patent&Law Office, Seoul, 135-080, Korea

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

⁵Professor, Department of Architectural Engineering, DongSin University, Naju, 520-714, Korea

Abstract - If of application of the deep decking floor in long span more than 6m, the deflection caused by the construction load occurred high. Because the constructing-works and safety by this deflection, take actually supports to laborers working on the deck. However, installed supports are having difficultly such as the restricted passage, deficiency of working space, and lowering of efficiency. And toward-opening deck is seen as local buckling of web plate, flexural-torsional buckling, and gradually opening of corrugated decking. In this study, we will suggest a deep decking floor system that reinforced with both ends cap plates for toward-opneing decking change from opening to closing. The constructing deflection of a deep decking more than 6m must be satisfied 30mm and $L/180$ as proposed. Full-scale field tests loading by sand conducted a deep decking reinforced with and without cap plate. In conclusion, the specimen reinforced with cap plates have shown that to ensure the negative moment $wl^2/18$. And constructing-deflection of deep decking shown that to satisfy the evaluation value ($L/180$ or 30mm).

Keywords - Deep deck, Cap plate, Sequential ends, Partly fixed condition, Deflection

1. 서론

1.1 연구의 목적

국내 건설시장은 건축물의 고층화, 고품질화에 따른 부가가치의 상승요구 등 새로운 건설환경의 조성과 함께 구조물을 경제적인 방법에 의해서 단기간에 완성하도록 요구하고

있다. 이에 건설현장에서는 노동력절감, 간편한 시공, 공기 단축 등을 위해 슬래브 공사에서 종래의 합판 거푸집 대신 데크(deck) 시스템을 사용하는 것이 보편화되었다. 일반적으로 데크는 춤이 75mm 내외인 거푸집용 또는 구조용 데크, 150mm 내외의 철근트러스 일체형 데크를 사용하고 있다. 이들 데크는 보와 보 간격이 3~4m인 경우에 현장 적용성이 우수하다.

1990년대 초부터 유럽과 북미 등지에서 슬림플로어 시스템의 연구^{[1],[2]}가 활발히 진행되어 왔으며, 춤이 200mm 이상인 Deep deck(춤이 깊은 데크)이 활용되고 있다. 국내 J사에서는 골 간격 600mm, 춤 250mm, 두께 1.2~1.4t인 아연도강판 재질의 춤이 깊은 데크를 개발하여 가설지주 없이 최대 6m 스패의 바닥판에 사용하고 있다.^[3] 춤이 깊은 데크를 일정 길이 이상(약 6m)의 스패에 사용할 경우 시공단계에

Note.-Discussion open until October 31, 2015. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on May 8, 2014; revised September 26, 2014; approved on December 31, 2014.

Copyright © 2015 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-61-330-3129 Fax. +82-61-330-2909

E-mail. Yang1698@dsu.ac.kr

서 과도한 처짐발생의 사용성 문제로 인해 가설지주를 설치하고 있으며, 데크의 골 사이가 일반 데크에 비해 상대적으로 크고 춤이 깊은 개방형 단면의 형상으로 인해 콘크리트 타설시 상부 플레이트의 변형과 국부좌굴 등의 안정성 문제가 발생하여 이를 보완하기 위한 추가 공정이 필요하게 된다.

본 연구는 Deep deck의 활용에서 콘크리트 타설시 발생하는 안정성과 사용성 문제를 개선할 수 있는 방안을 마련하고 그 효과를 평가하기 위한 실험적 연구를 수행하고자 한다

1.2 연구내용 및 평가방법

본 연구는 시공 중 콘크리트가 타설되고 경화되어 합성바닥판으로 거동하기 이전까지 단계에 대한 것으로 하고, 적용되는 데크는 국내 J사의 춤이 250mm, 두께 1.2mm의 데크를 사용하였다. 우선, 국내외 합성데크 바닥구조의 성능평가와 분석방법을 파악하고 시공단계에서의 처짐 산정방식과 제한규정의 조사를 통해 Deep deck의 처짐성능 평가지침을 제시하였다. 또한, Deep Deck의 예비실험을 통해 기존방식의 문제점 분석과 처짐에 대한 성능 개선방안을 제시하고, 모래를 사용한 재하실험을 실시하였다. 이를 통해 연속화 실험체의 단부 구속도 평가 및 본 연구진에 의해 제시된 처짐제한 기준(안)을 사용하여 단부 보강된 Deep deck의 처짐성능을 평가하였다.

2. 시공 시 합성데크의 국내외 관련기준

Deep deck는 부재의 판폭 두께비가 크기 때문에 전체적인 좌굴 이전에 국부좌굴에 의해 전체강도가 결정된다. 따라서 복잡한 응력의 분포를 유효폭이란 개념을 도입하여 적용한다^{[4],[5],[6]}.

2.1 국내기준

데크에서 압축부분의 유효폭(b_e)은 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설에서, $50t$ (t :데크의 판두께, mm)로 규정하고 있다. 또한, 시공시 발생하는 데크의 휨응력은 허용휨응력을 넘지 않도록 규정하고 있다^[4].

그리고, 데크의 처짐산정은 시공시 하중은 데크자중 및 시공하중 1.5kN/m^2 를 고려하여 적용한다. 또한, 식 (1), (2)에서 산정한 처짐값(δ)은 $\delta \leq \frac{l}{180}$ 의 값을 만족해야 한다.

단순보

$$\delta = C \frac{5}{384} \frac{\omega_{TWL} l_x^4}{E_s I_s} \tag{1}$$

연속보

$$\delta = C \frac{1}{185} \frac{\omega_{TWL} l_x^4}{E_s I_s} \tag{2}$$

- 여기서, I_s : 데크의 단면2차모멘트(mm^4)
- E_s : 강재의 탄성계수(N/mm^2)
- ω_{TWL} : 시공시의 전체하중($\omega_{DL} + \omega_{WL}$) (N/mm^2)
- l_x : 스패ん길이(mm)
- C : 처짐계산용 계수. 압축을 받는 데크의 실제 폭(b_d)과 유효폭(b_e)의 비에 따라 다음의 값을 사용한다.
 - $\cdot b_d > b_e$: $C = 1.2$ (실제폭이 유효폭보다 큰 경우)
 - $\cdot b_d \leq b_e$: $C = 1.0$ (실제폭이 유효폭보다 작은 경우)
- ω_{DL} : 데크와 콘크리트의 자중
- ω_{WL} : 시공 시 작업하중(1.5kN/m^2)

2.2 미국 AISI/ASCE

유효폭은 중간 스티프너 유무에 따라 구분하고 있다. 중간 스티프너가 없는 경우는 균일한 압축응력을 받는 경우로 다소 보수적이지만 간단한 방법을 제시한다^{[5],[6]}.

$$\text{유효폭}(b_{eff}) \quad \text{if } \lambda \leq 0.673 \quad b_{eff} = w \tag{3}$$

$$\text{if } \lambda > 0.673 \quad b_{eff} = \rho \times w \tag{4}$$

$$\rho = \frac{(1 - 0.22/\lambda)}{\lambda} \tag{5}$$

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k}} \left(\frac{w}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}} \tag{6}$$

- 여기서, w : 평판부의 폭(mm), ρ : 판좌굴 감소계수
- λ : 상대 세장비, t : 판 두께(mm)
- f : 압축응력(사용성 검토를 위한 하중이 작용시)
- k : 판좌굴 계수. 웨브에 의해 지지된 구속판 요소에 대해서는 단순지지로 가정하여 4를 사용.

다른 형태의 요소에 대해서는 다른 값들이 지정되어 있음.

$$E : \text{탄성계수}(N/mm^2)$$

한편, 중간 스티프너를 갖는 경우는 다음 식에 의한다.

$$b_c = \rho \left(\frac{A_g}{t} \right) \tag{7}$$

$$\rho = \begin{cases} 1 & \text{when } \lambda \leq 0.676 \\ \frac{(1-0.22/\lambda)}{\lambda} & \text{when } \lambda > 0.676 \end{cases} \tag{8}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{f}{F_{cr}}} = \frac{1.052}{\sqrt{k}} \left(\frac{b_0}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}} \tag{9}$$

휨응력은 현장시공에 따른 데크의 거동을 고려 횡좌굴의 가능성이 배제되어 작용 모멘트는 항복강도에 의해 결정된다.

$$M_n = S_c F_y \tag{10}$$

여기서, S_c : 압축연단이나 인장연단이 F_y 일 때 산정된 유효 단면계수(mm^3)
 F_y : 항복강도(N/mm^2)

AISI에서는 시공시 처짐에 대해서 원래 사용목적의 기능에 지장이 없도록 설계해야 한다고 언급하고 ASCE (ASCE9-1)에서 고정하중의 처짐으로 $\delta \leq \frac{l}{180}$ 또는 20mm 중 작은 값으로 규정하고 있다.

2.3 기타 각국의 처짐 제한값

유럽의 Euro code는 처짐산정 시 단면성질은 유효폭을

Table 1. Provisions for deck deflection during construction

Country	Local buckling	Deflection limit	Applied load
Europe (EN)	Effective width	Min. $[L/180, 20mm]$	Dead load
United kingdom (BS)	Effective width	Min. $[L/180, 20mm]$	Dead load
		Min. $[L/180, 30mm]$	Dead load +Ponding effect

*Dead load = 2.5kN/m²

이용하고 있으며, 하중은 데크의 자중과 콘크리트의 자중만 고려하고 시공하중은 제외한다. 이때 콘크리트의 자중을 24kN/m²에서 1을 더한 25kN/m²로 적용한다. 단, 폰딩현상에 대해서는 슬래브두께의 10%를 초과하지 않을 경우 그 영향이 미미한 것으로 판단하고 있다^{[7],[8],[9]}. 영국BSI 처짐산정은 단면성질은 유효폭을 이용하며, 데크의 자중과 콘크리트의 자중만 고려하여 처짐을 산정하나 폰딩현상에 대해서는 고려할 경우와 고려하지 않을 경우를 나누어서 판단하고 있다^[10].

2.4 처짐산정 제안식

본 연구의 처짐산정을 위한 평가는 다음과 같이 제시할 수 있다. 국내 J사가 현재 6m이상의 경우 동바리를 설치하여 데크를 사용하고 있으며 7m이상의 경우에는 제한값인 $L/180$ 을 고려하면 39mm까지 허용되지만, 폰딩현상 등 불합리한 문제를 발생시킨다. 따라서 영국 BS규준에 폰딩현상을 고려하여 제시된 규준과 비교검토하면 다음과 같다.

국내 J사의 춤이 깊은 데크의 슬래브 두께는 최소 350mm 이므로 데크 중앙부의 처짐을 30mm 이내로 제한할 경우 슬래브 두께의 1/10을 초과하지 않으므로 영국 BS규준에 의하면 폰딩을 적용하지 않아도 되는 조건이다. 또한 국내 기준에서 데크의 시공단계의 사용성 평가를 위한 검토하중에서 시공하중 1.5kN/m²를 포함할 경우, 영국 BS규준에서 폰딩효과를 고려할 경우보다 보수적인 처짐 제한이다. 따라서 본 연구에서 처짐의 성능평가를 위하여 다음과 같이 제안한다.

$$\delta = CK \frac{w_{DL} + w_{WL}}{EI_s} \leq \min \left[\frac{L}{180}, 30mm \right] \tag{11}$$

여기서, C : 처짐 계수 $b_d > b_c$: C = 1.2
 $b_d \leq b_c$: C = 1.0

Table 2. Comparison of the applied load considering the ponding effect

Country	Deflection limit	Dead load (kN/m ²)	Additional load (Construction load, kN/m ²)
Korea	Min. $[L/180, 30mm]$	4.04	1.5
United kingdom (BS)	Min. $[L/130, 30mm]$	4.20	0.5

- K : 처짐 산정용 계수. 즉, 단순보의 경우: $5L^4/384$
- w_{DL} : 고정하중(데크중량+콘크리트 중량= $2.4kN/m^3$)
- w_{WL} : 작업하중 = $1.5kN/m^2$
- I_s : 데크의 전 단면2차모멘트

3. 처짐성능 개선 방안

본 연구대상의 제품은 국내 J사에서 생산하고 있는 Deep deck으로 춤이 25mm이고 데크에 대한 형상은 Fig. 1과 같으며 단면성능은 Table 3에서 보여주고 있다.

3.1 데크 형상으로서의 문제점

Deep deck은 초기 건설현장에서 적용되면서 시공 중 가설지주의 설치와 춤이 깊은 데크의 개방형 단면으로 인한 휨 비틀림 등 형상 불안정성으로 작업효율성이 지적되었다. 가설지주를 설치하는 장스팬 현장의 경우에도 콘크리트 타설

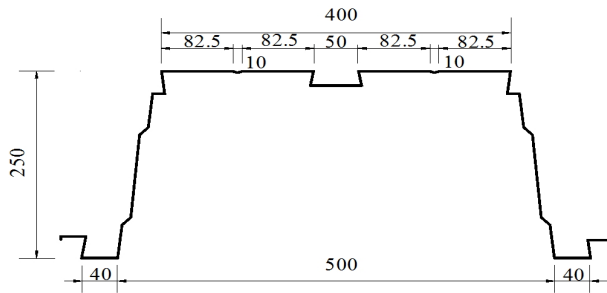


Fig. 1. Deep deck detail (Depth 250mm)

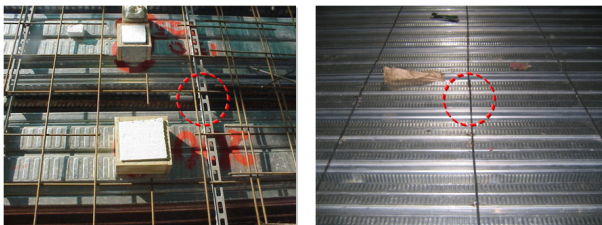


Fig. 2. Prevent flaring of the upper deck

Table 3. Section performance of the deep deck

Depth (mm)	t (mm)	W (kg/m ²)	A _s (cm ² /m)	I _x (cm ⁴ /m)	Z _t (cm ³ /m)
250	1.2	19.95	24.42	2200	140
	1.4	23.22	28.49	2567	164

시 데크 골 상부의 벌어짐, 데크 평탄부의 과도한 상대처짐, 데크 골 측면의 배부름 현상 등이 발생하여, Fig. 2의 우측 사진과 같이 데크와 직각 방향으로 철근을 용접하는 방식으로 시공하고 있다. Fig. 2의 좌측 사진은 영국 Corus사의 SD 225 SLIM DEK의 보강철물의 시공 사진으로 국내의 철근 용접방식보다 개선된 방식을 보여주고 있다. 국내 J사의 Deep deck의 시공단계에서 안정성과 처짐 성능을 확보하기 위해서는 데크 골 상부의 벌어짐을 방지하기 위한 조치가 필요하며, 추가적으로 데크의 단면성능을 증가할 수 있는 방안이 필요하다.

3.2 데크형상 개선방안

3.2.1 캡 플레이트 설치

Deep deck의 문제는 데크가 박판이라는 것과 개방형 단면이라는 점이다. 이러한 문제를 효과적으로 개선하기 위해 단면의 폐쇄화로 데크의 기하학적 변형을 방지하기 위하여 개방된 골 상부에 캡 플레이트를 설치하는 방안을 고안하였다^{[11],[12],[13]}. 즉, Fig. 3과 같이 개방형 단면을 폐단면으로 만들어 불안정성을 극복하고 부가적으로 데크 단면의 휨 강성을 증대시키고자 한다.

캡플레이트를 포함한 단면성질을 계산하여 Table 4와 같다. 캡플레이트를 설치할 경우의 단면적은 순수 데크의 단면적 대비 Hat형은 43%, Flat형은 약 38% 정도 증가한다. 처짐산정에 중요한 변수인 단면2차모멘트는 순수 데크에 비해

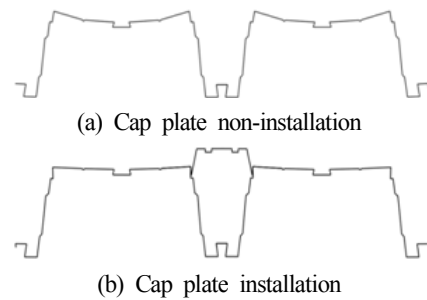


Fig. 3. Cap plate installation in upper part of the deck

Table 4. section performance considering the cap plate

	t (mm)	A _s (cm ² /m)	I _x (cm ⁴ /m)	Z _t (cm ³ /m)
Deck	1.2	24.4	2200	140.7
Add Hat type	1.2	34.8	3097	168.7
Add Flat type	1.2	33.6	2777	152.8

Table 5. Deflection according to the cap plate installation position and length

position	cap plate length used in L/2 span (mm)					
	0	750	1250	1750	2250	3000
Center	24.9 (1.00)	22.1 (0.89)	20.4 (0.82)	19.1 (0.77)	18.2 (0.73)	17.7 (0.71)
Ends	24.9 (1.00)	24.3 (0.98)	23.4 (0.94)	22.1 (0.89)	20.5 (0.82)	17.7 (0.71)

Hat형은 40%, Flat형은 약 26% 정도 증가하여 Hat형의 캡 플레이트를 사용하는 것이 처짐성능 향상에 유리하다.

콘크리트 토평두께를 100mm로 시공단계의 사용성 검토를 위한 고정하중과 시공하중의(5.54kN/m²)으로 춤이 깊은 데크의 골 상부에 Hat형 캡플레이트가 설치되는 것을 고려하여 단순지지 조건에 대한 처짐을 검토하였다.

캡플레이트의 설치 위치는 스패의 중앙부와 단부로 구분하여 검토하였다. 단부에는 중앙부 캡플레이트 길이를 1/2 나누어 설치하였다. Table 5에서의 캡플레이트의 길이는 전체 길이의 1/2 스패에 사용된 캡플레이트의 길이를 나타낸 것이다.

Table 5에 정리된 값을 보면 전체 스패의 1/4인, 길이 1,500mm (Table 5에서는 750mm)의 캡플레이트를 중앙부에 설치할 경우 처짐이 11%로 감소한 반면, 중앙부에 설치한 캡플레이트를 양단부에 나누어 설치할 경우에는 처짐이 2%로 감소한다. 캡플레이트 길이 1,750mm를 각각 양단부에 설치하여야 중앙부에 1,500mm 길이의 캡플레이트를 설치한 효과를 얻을 수 있는 것이다.

3.2.2 횡분배 트러스 설치

Fig. 4에서와 같이 J사의 Deep deck 설치현장에서는 데크의 횡방향 안정성을 보완하기 위하여 D13의 철근을 골의 직각방향으로 배치하고 용접 접합시키고 있다. 이러한 설치 방법은 철판 및 철근의 용접으로 인해 용접부위에 구멍이 생겨 누수가 가능성이 있으며 강성이 약해 추가 보강이 불가능하다. 따라서 횡방향 철근의 효율성을 고려하여 보다 강성이 큰 횡분배 트러스를 개선방안으로 제안하며 목적은 다음과 같다.

- (1) 골과 골 사이의 연결부재로 단속 캡의 역할
- (2) 골에 집중되는 콘크리트 하중을 분산하는 역할
- (3) 슬래브의 상단 철근 배근시 스페이서로서의 역할

3.2.3 단부 연속화를 통한 처짐성능 향상

캡 플레이트를 Deep deck 전체에 설치할 경우 순수 데크의 처짐에 비하여 30%정도 처짐이 감소되는 것으로 평가되는데 이것은 보강하지 않은 데크에 비하여 강재량이 43% 증가되어 얻어지는 결과이다. 반면, Fig. 4(a) 단순지지 조건의 춤이 깊은 데크의 설치조건을 Fig. 4(b) 단부 연속조건으로 변경할 경우는 데크의 단부 연속화를 통해 강재량의 증가를 최소화하면서 처짐량을 감소시킬 수 있다. 양단고정보의 처짐이 단순보에서의 처짐에 비해 약 1/5수준에 불과하므로 단부 연속화로 데크 중앙부의 처짐량을 감소시킬 수 있다. 다만, 춤이 깊은 데크가 지지되는 보와의 간섭으로 데크 자체를 연속시킬 수 없기 때문에 단부 연속화는 캡 플레이트 또는 캡플레이트와 철근 등의 매개체를 통해 구현하여야 한다. 철골 접합부의 거동에 있어서 모멘트저항이 발휘할 수 있

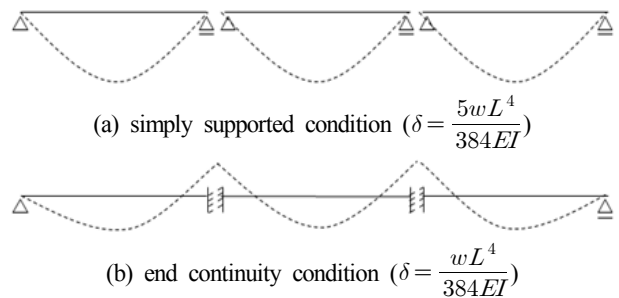


Fig. 4. Improvement of deflection performance through the end of serialization

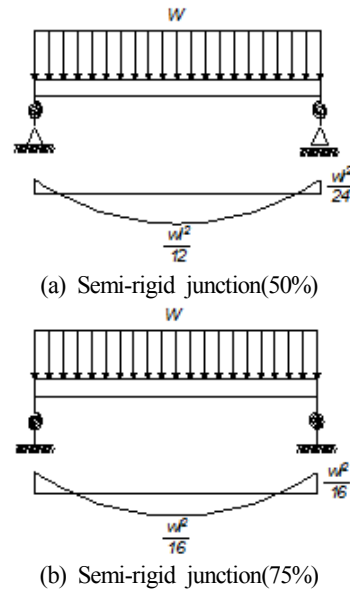


Fig. 5. Negative moment resistance efficiency of the semi-rigid junction

는 정도에 따라 전단(단순)접합은 0~20%, 반강접 접합은 20~90%, 강접합은 90~100%범위의 모멘트에 대한 저항성능을 갖는 것으로 분류한다^[14]. 단부 연속화가 Fig. 5에서 도시한 반강접 접합부가 부모멘트 $wl^2/24 \sim wl^2/16$ (50~75%) 범주에서 저항할 경우, 데크 중앙부에서의 처짐은 단순접합에서의 최대 처짐 대비 40~60% 수준으로 감소될 것으로 기대된다.

4. 예비실험

4.1 실험체 계획

두께 1.2mm, 춤이 깊은 데크를 이용하여 3경간 연속조건과 비교 평가를 위한 1경간 단순지지 조건을 대상으로 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 Deep Deck 4장으로 구성된 폭 2.4m, 스패 길이 7.5m (순스패 7.1m)의 실물대 실험체로 제작하였다. 실험체는 지지조건과 Cap plate의 설치를 고려하여 다음과 같이 계획하였다.

3경간 단부 연속 실험체(RC-2)는 캡플레이트 효과를 구현하기 위해 두께 1.6mm, 폭 300mm, 길이 1,200mm의 아연도강판을 양단부와 중앙부에 부착하였으며, 단부와 중앙

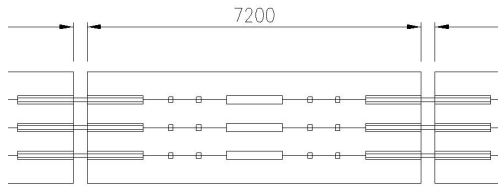


Fig. 6. Continuous specimen shape

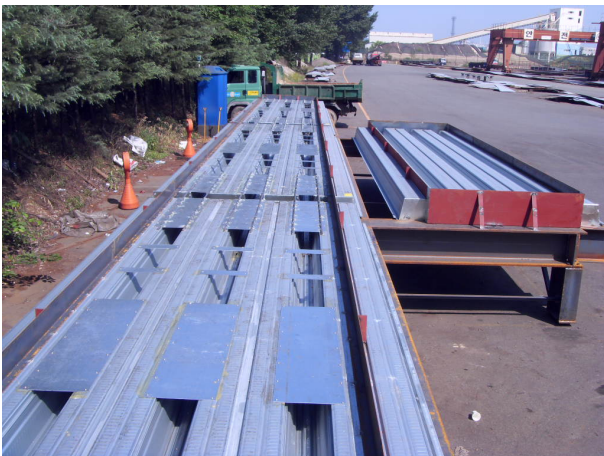


Fig. 7. preliminary specimens

부 캡플레이트 사이에 600mm 간격으로 두께 1.6mm, 폭 300mm, 길이 100mm의 아연도강판을 추가 부착하였다. 단부 연속화를 위해 데크 골 상부에 캡플레이트와 연결하는 2-HD16 철근을 골 하부에 연결 플레이트를 설치하였다.

재하실험에 이용할 재료는 모래를 선택하였으며, 콘크리트 토핑두께 100mm의 하중과 동일한 조건을 구현하기 위해 데크 골을 포함한 평균두께 240mm까지 모래를 도포하도록 계획하였다.

- 1) SS-1 : 단순지지 실험체(Cap plate 미설치)^[15]
- 2) RC-2 : 3경간 단부 연속 실험체(Cap plate 설치)

4.2 예비실험 결과

최종 하중조건인 모래를 재하한 후, 데크 하부의 변형상태는 Fig. 8과 같다. 단부 연속의 RC-2 실험체와 달리 단순지지 조건인 SS-1 실험체의 경우 골 상부 평탄부 플레이트의 골 직각방향으로의 처짐과 국부좌굴의 변형이 관찰되었다.

모래 재하의 평균 높이가 90mm인 경우(데크의 골을 채움



(a) Simply supported deck [SS-1 Specimen]



(b) End part continuity deck [RC-2 Specimen]

Fig. 8. Deflection of the deck

Table 6. Preliminary experimental results

Specimen	Step	Loading height of the sand	Deflection
SS-1	1	90mm	14.5mm
	2	240mm	52.0mm
RC-2	1	90mm	4.5mm
	2	240mm	17.0mm

Table 7. Comparison of the calculated and experimental deflection

Specimen	Experimental deflection (mm)	Calculated deflection (mm)	Deflection limit $L/180$ (mm)	Experiment /Calculation
SS-1	52	33.8	39.4	153.8%
RC-2	17	33.8	39.4	50.3%

하중)와 모래 재하의 평균 높이가 240mm인 경우(콘크리트 토핑두께 100mm 하중)인 경우 2가지 경우로 나누어 처짐을 측정하였으며 결과는 다음 Table 6와 같다.

4.3 규준식과의 비교검토

단순지지 조건에서 등분포 하중(3.84kN/m²)이 재하되는 데크의 경우, 국내의 합성데크 바닥구조 설계기준(안)에 의산식에 의해 처짐(δ)및 제한값을 산정하였으며, 실험에 의한 결과값을 비교하면 Table 7과 같다. SS-1 실험체의 데크 중앙부 처짐 52mm는 규준식에 의한 단순지지 조건의 처짐인 33.8mm보다 53.8% 큰 수치이며, RC-2 실험체 데크 중앙부의 처짐 17mm는 규준식에 의한 단순지지 조건의 처짐인 33.8mm보다 50.3% 작은 수치이다. RC-2 실험체의 데크 중앙부 처짐은 단부 연속화로 인해 SS-1 실험체의 데크 중앙부 처짐보다 35mm 작으며, 비율로는 1/3 수준이다. 예비 실험을 통해 단부 연속화는 데크 중앙부의 처짐량을 줄이기 위한 효과적인 개선방안으로 사료되며, 캡플레이트 형상, 연결철근의 직경, 접합방식을 보완할 경우 단부 연속화는 반강접 접합부의 부모멘트 저항성능을 $wl^2/20 \sim wl^2/16$ 수준까지 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

5. 재하실험

5.1 실험개요

본 실험은 길이 6m + 7m + 6m로 구성된 3연속 스패의

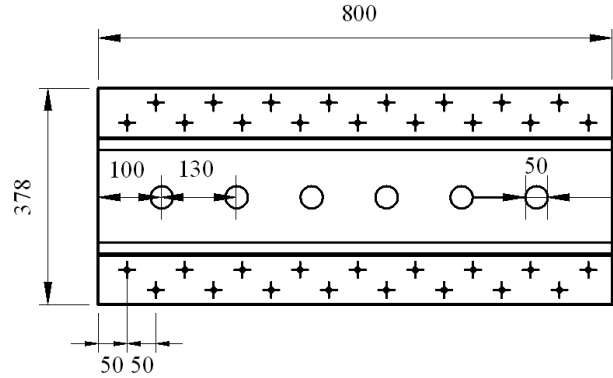


Fig. 9. Cap plate detail

Table 8. Main parameters of specimen

Specimen	Contiguous states	t (mm)	Lateral truss
SS-C00-K	Discontinuity	-	O
SS-C00-O	Discontinuity	-	X
SS-C12-K	Discontinuity	1.2	O
RC-C12-K	Continuously reinforced	1.2	O
RC-C16-K	Continuously reinforced	1.6	O
CC-C16-K	Continuously cap plate	1.6	O

CC-C16-K
 Presence of Lateral Truss
 Cap Plate Thickness
 (C00: Non, C12: 1.2mm, C16: 1.6mm)
 Continuous
 (SS:Non, RC:Re-bar, CC:Cap Plate)

실물대 실험체를 제작하여 시공단계에 $L/180$ 또는 30mm의 처짐 제한을 만족하는지 평가하였다. 하중은 콘크리트의 토핑두께를 120mm로 설정하였으며, 모래의 비중을 재하실험 시작 시 측정하고 그리고 완료한 후 측정하여 불리한 완료 시점으로 비중을 적용하였으며, 모래가 포설된 높이를 6개소 이상 측정하여 이를 산술 평균하여 비중을 곱하여 평가 하중으로 산정하였다. 캡플레이트와 데크의 상부면은 직경나사(직경6.3mm)를 사용하여 결합하였으며, 배치는 50mm 간격으로 2열 배치하였습니다.

본 실험의 주요변수는 단부 연속화 유무, 연속화 방법(철근 또는 캡플레이트), 캡플레이트의 두께로 총 6개의 실험체를 제작하였다(단순보 3개, 연속보 3개). 단순보 SS시리즈 실험체인 SS-C00-K와 SS-C00-O의 실험체는 캡플레이트를 설치하지 않고 횡분배 트러스의 유무를 두고 제작된 실험

험체 이고, SS-C12-K 실험체 경우는 캡플레이트를 단부에 설치하여 Deep Deck 단면을 폐단면화를 한 실험체이다. 단 순보 실험체는 기존 현장에서 사용하는 공법과 동일한 단 순 지지 상태로, 본 논문에서 제시한 단부 연속화의 성능을 비 교하기 위해 포함하였다.

5.2 가력 및 측정방법

본 실험에서는 데크의 상부면에서 콘크리트 표면까지의 토핑두께를 120mm로 설정하였고 시공 중 작업하중은 국내 규준에 나와 있는 1.5kN/m²로 설정하였으며 하중은 모래로 사용하였다.

재하실험은 Table 9에 나타난 것과 같이 1Step에서는 데 크플레이트의 골이 채워질 때, 2단계는 콘크리트의 토핑두 께가 120mm 일 때와 동일한 높이로 모래를 재하하였을 때,

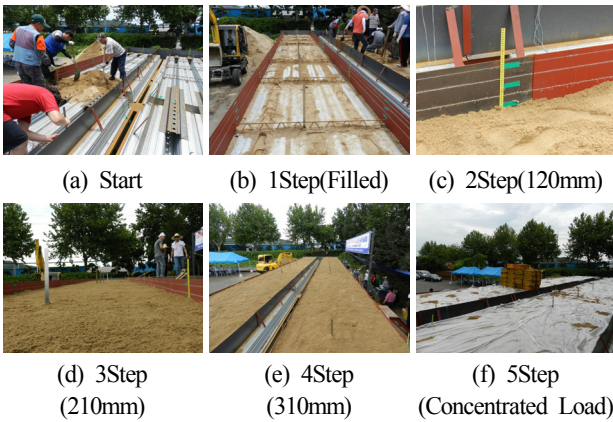


Fig. 10. Loading in accordance with the steps

Table 9. Load calculation for each step

Step	loading target	Sand loading height (m)	Load per unit area (kN/m ²)	Cumulative load (kN/m ²)
1Step	fill	fill	0.96	0.96
2Step	Concrete topping height	0.12	1.92	2.88
3Step	Concrete topping weight	0.21 (+0.09)	1.44	4.32
4Step	Construction load(add to 1.5kN/m ²)	0.31 (+0.1)	1.60	5.92
5Step	Concentrated load (add to 10kN)	Concentrated load	-	-

3단계는 콘크리트의 토핑두께가 120mm 일 때의 중량과 동 일한 중량의 모래를 재하하였을 때, 마지막으로 4번째 단 계는 시공하중 1.5kN/m²이 작용할 때 하중과 동일한 중량을 모래로 재하한 경우이다.

실험체의 변위는 변위계(LVDT)와 스트레인 게이지를 활 용하여 측정하였다. 수직 처짐은 중앙스팬에서는 3개의 변 위계를 사용하여 중앙부와 양 단부로부터 L/4 지점의 변위 를 측정하였고, 좌우측의 스팬에서는 스팬의 중앙부와 중앙 스팬의 단부에서 L/4 지점의 변위만을 측정하였다.

5.3 재료시험

실험체 제작에 사용된 강재의 기계적 성질을 파악하기 위 해 Deep Deck의 가공 전후와 캡플레이트에서 강재시편을 3 개를 절취하였다. 본 시험은 50ton 피로 만능 시험기(UTM)

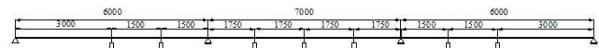


Fig. 11. LVDT installation location

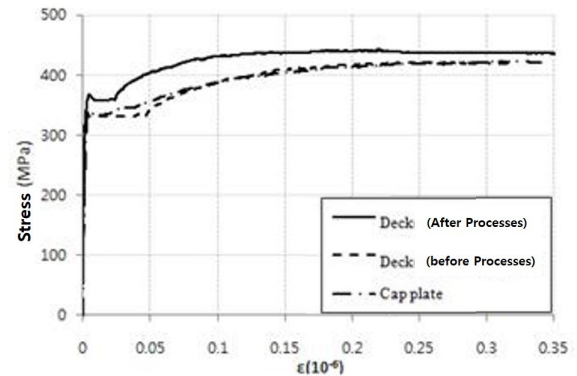


Fig. 12. Stress-strain curve of deep deck, cap plate

Table 10. Deep deck and cap plate mechanical characters

	Thic- kness (mm)	F _y (MPa)	F _u (MPa)	F _y /F _u	Elongation	E (GPa)	Steel Grade
Deck -Before Processing	1.21	338.4	423.3	79	32.32	200.3	SGC 400
Deck -After Processing	1.22	373.7	447.5	83	33.45	201.6	SGC 400
Cap Plate	1.21	333.2	422.7	78	30.04	194.2	SS 400

을 사용하여 3mm이하의 박판에 대한 KS B 0801의 금속재료 인장시험편 규정에 따라 13B호 시험편을 제작하여 인장 시험을 실시하였다. 각 시험편에 Strain gauge를 부착하여 응력-변형도 관계를 파악하였다. 각 시험편을 평균하여 항복강도(F_y), 인장강도(F_u), 항복비(F_y/F_u), 연신율, 탄성계수(GPa) 등을 Table 10에 나타내었고, 응력-변형도 관계를 Fig. 12에 나타내었다.

5.4 실험결과

실험은 단순보 실험체인 SS-C00-0을 경우 모래재하 3 단계에서 64.2mm의 과도한 처짐이 발생한 후 안전성 측면에서 실험을 중지하였다. 그 외 실험체의 변위측정은 가력시작부터 종료시까지 계속 이루어졌으며, 3단계 재하 후와 4 단계 재하 후 작업시의 영향이 배제된 상태에서 측정값을 받

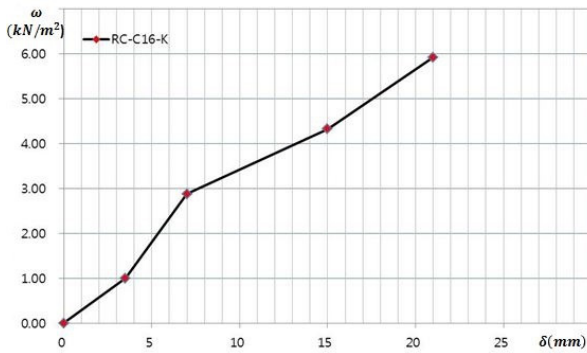


Fig. 13. Center deflection in each load step: RC-C16-K

Table 11. Sand loading test results(center deflection)

Specimens	Span (m)	3Step (mm)	4Step (mm)
SS-C00-0_Central span	7	64.2	-
SS-C00-K_Right span	6	22.0	28.5
SS-C12-K_Left span	6	19.2	27.6
RC-C12-K_Central span	7	17.0	21.8
RC-C12-K_Right span	6	15.0	20.4
RC-C12-K_Left span	6	14.5	19.9
RC-C16-K_Central span	7	14.7	20.7
RC-C16-K_Right span	6	12.0	16.3
RC-C16-K_Left span	6	13.3	19.8
CC-C16-K_Central span	7	13.9	21.1
CC-C16-K_Right span	6	10.7	16.6
CC-C16-K_Left span	6	13.3	20.7

춰하여 Table 11에 정리하였다. Fig. 13~14는 실험체별로 모든 단계의 중앙부 처짐값을 그래프로 나타내었다.

5.5 실험결과 분석 및 고찰

5.5.1 단순지지 실험체의 처짐 비교

단순지지 조건의 SS-시리즈에서 중앙부 3단계 처짐은 처짐성능 개선방안을 적용하지 않은 처짐 35.9mm 대비 84% 큰 64.2mm의 처짐이 발생하였으나, 층이 깊은 데크의 기하학적 변형을 방지하기 위하여 개방된 골 상부에 설치한 캡플레이트와 횡분배 트러스를 설치한 실험체는 규준의 탄성해석에 의한 처짐 26.6mm 대비 7% 큰 28.5mm의 처짐이 발생하여 처짐성능이 규준의 수준까지 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 좌측, 우측 6m 스패ンは 각각 19.2mm, 22mm로

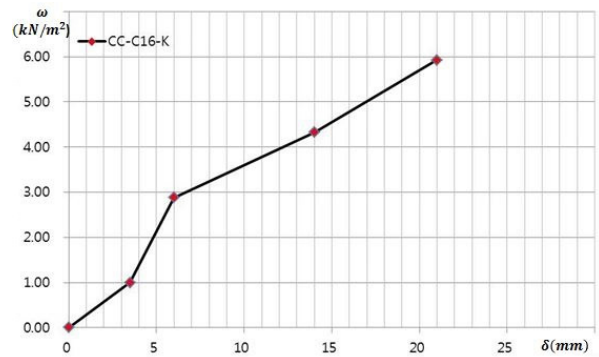


Fig. 14. Center deflection in each load step: CC-C16-K

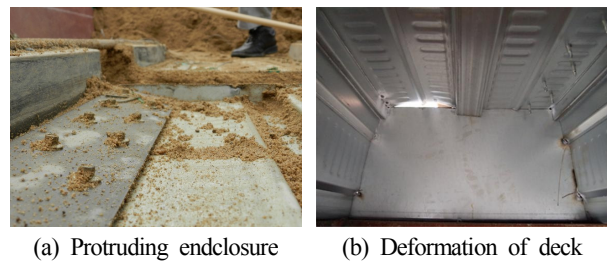


Fig. 15. After the experiment proceeds

Table 12. Comparison of the calculated and experimental deflection

Specimens	Experimental deflection(mm)	Calculated deflection (mm)	Experiment/Calculation
SS-C00-0	64.2	35.9	1.788
SS-C00-K	28.5	26.6	1.071
SS-C12-K	27.6	26.6	1.038

계측되었고, 데크 길이가 6m에서 7m로 16.7%증가할 경우 탄성조건에서 처짐은 85% 증가하나 실험에서는 약 200% 증가하였다. 규준에 의한 처짐산정은 식(3)에 의해 산정하였고 실험에 의한 처짐과의 비교를 Table 12에 나타내었다.

5.5.2 연속화 유무에 의한 처짐 비교

SS-C00-O 실험체가 64.2mm의 처짐이 발생한 반면, 연속화된 실험체인 RC-C12-K의 중앙부 처짐은 17mm, RC-C16-K 실험체의 중앙부 처짐은 14.7mm, CC-C16-K의 실험체의 중앙부 처짐은 13.9mm로 각각 26%, 23%, 22%로 연속화하지 않은 경우(SS-C00-O 실험체)에 비하여 1/5수준으로 처짐이 크게 감소하였다.

5.5.3 연속화 방법에 의한 처짐비교

두께 1.2mm의 캡플레이트로 연속화한 RC-C12-K 실험체의 처짐이 두께 1.6mm의 캡플레이트로 연속화한 RC-C16-K, CC-C16-K 실험체의 처짐보다 전반적으로 크게 나타났다. 두께 1.2mm의 캡플레이트 사용한 실험체의 처짐 기울기를

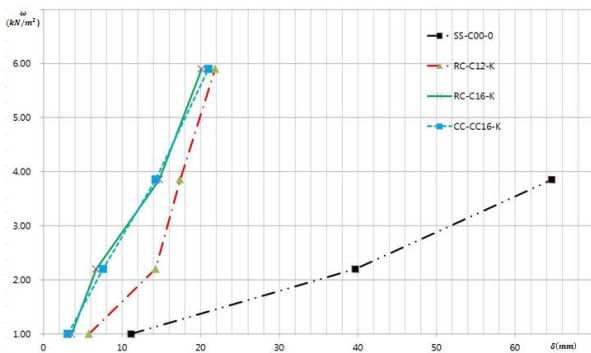


Fig. 16. Load-deflection curves of each specimens

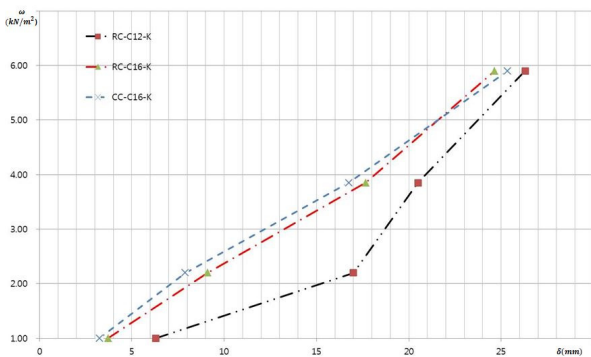


Fig. 17. Load-deflection curves in central span of the continuity specimens

살펴보면 하중재하 2단계에서 상대적으로 처짐이 증가한 반면 두께 1.6mm의 캡플레이트 사용한 실험체는 하중재하 2 단계에서 상대적으로 감소된 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 캡플레이트 두께가 작을 경우 초기 재하단계에서 캡플레이트 변형 등의 문제로 인한 것으로 추정된다.

중앙부 스패에서 두께 1.6mm, 1.2mm의 캡플레이트를 사용한 실험체간의 상대적인 처짐은 하중재하 3단계에서는 82~86%로 차이가 낮으나, 4단계로 하중이 증가한 후에는 95~97%로 차이가 줄었다.

두께 1.6mm의 캡플레이트를 사용한 실험체간의 처짐 차이는 4%이내이며, 캡플레이트 자체를 연속화한 CC-C16-K 실험체가 3단계까지 처짐이 4% 작았으나 4단계로 하중이 증가한 후에는 역으로 2% 크게 나타났다.

5.5.4 단부 구속도 평가

단부 연속화 실험체의 단부 구속도 평가는 규준의 처짐산정식에서 단부부분고정단 개념으로 100% 고정조건인 부모멘트 $wl^2/12$ 에서 50% 부분고정조건인 부모멘트 $wl^2/24$ 로 산정한 데크 중앙부 처짐과 비교하여 분석하였다.

단부 연속화한 실험체에서 7m스팬의 양단 연속조건에서의 최종 처짐은 규준식에서 단부 부모멘트 $wl^2/16 \sim wl^2/18$ 를 고려하여 산정한 처짐 범위에 있다. 하중-처짐 곡선을 살펴보면 두께 1.2mm의 캡플레이트를 사용한 실험체 RC-C12-K의 중간 하중 재하단계에서 규준식의 처짐 기울기선의 상부에 있어 정량적으로 시스템의 단부 구속도를 평가하기 어렵다. 두께 1.6mm의 캡플레이트 사용한 두 실험체는 전반적으로 규준식의 단부 부모멘트 $wl^2/18$ 조건의 처짐 기울기선 하부에서 유지하며, 최종 처짐은 단부 부모멘트 $wl^2/18$ 조건의 처짐 대비 90~92%로 단부 연속화의 구속도

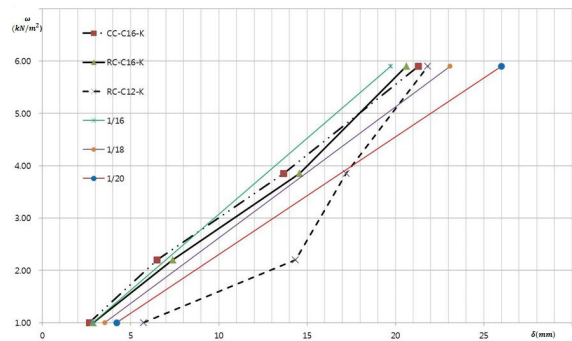


Fig. 18. Load-deflection curves in central span of each specimens

는 부모멘트 $wl^2/18$ 로 평가된다.

5.5.5 규준의 처짐제한과 비교

모래재하 실험 결과의 처짐을 규준에서 제시하고 있는 처짐제한과 비교하였다. 비교 대상으로는 국내 규준인 합성테크 바닥구조 설계기준(안)과 미국의 ASCE기준, 그리고 2.4에서 제시한 처짐제한이다.

Table 13. Comparison of deflection

Specimen (Span)	3Step(mm)			4Step(mm)			
	experiment	ASCE	Remarked	experiment	Domestic	Suggest	Remarked
SS-C00-0 Central span (7m)	64.2	20.0	NG	-	38.8	30.0	NG
SS-C00-K Right span (6m)	22.0	20.0	NG	28.5	33.3	30.0	OK
SS-C12-K Left span (6m)	19.2	20.0	OK	27.6	33.3	30.0	OK
RC-C12-K Central span (7m)	17.0	20.0	OK	21.8	38.8	30.0	OK
RC-C12-K Right span (6m)	15.0	20.0	OK	20.4	33.3	30.0	OK
RC-C12-K Left span (6m)	14.5	20.0	OK	19.9	33.3	30.0	OK
RC-C16-K Central span (7m)	14.7	20.0	OK	20.7	38.8	30.0	OK
RC-C16-K Right span (6m)	12.0	20.0	OK	16.3	33.3	30.0	OK
RC-C16-K Left span (6m)	13.3	20.0	OK	19.8	33.3	30.0	OK
CC-C16-K Central span (7m)	13.9	20.0	OK	21.1	38.8	30.0	OK
CC-C16-K Right span (6m)	10.7	20.0	OK	16.6	33.3	30.0	OK
CC-C16-K Left span (6m)	13.3	20.0	OK	20.7	33.3	30.0	OK

본 실험에서는 단계 3의 하중이 고정하중만을 고려한 것이고 단계 4의 처짐은 작업하중을 포함한 것이며 각 단계에 따른 처짐제한과 비교는 Table 13에 나타내었다.

Table 13에서 단계 3에서의 처짐은 단순지지 실험체를 제외하고 모든 연속화 실험체에서 미국의 ASCE기준을 만족하고 있다. 또한, 시공하중을 고려한 단계 4에서도 모든 연속화 실험체의 처짐이 국내 규준과 본 연구에서 제안한 처짐제한 기준을 만족하고 있다.

6. 결론

본 연구에서는 캡플레이트로 단부 보강한 춤이 깊은 데크의 시공중 처짐성능 평가를 위해 실물대 실험체를 제작하여 모래 재하실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 단순지지 실험체(SS-C00-0)에서 64.2mm의 처짐이 발생하였으나, 골 상부에 캡 플레이트와 횡분배 트러스를 설치한 실험체는 28.5mm의 처짐이 발생하여 처짐성능이 규준의 수준까지 향상되는 것을 확인하였다.
- (2) 단부 연속화한 실험체는 연속화하지 않은 실험체에 비해 양단 연속조건의 중앙부 스패에서 처짐이 1/5로, 일단 연속조건인 우측과 좌측 스패는 2/3로 감소하였다. 또한, 캡플레이트 보강과 단부 연속화로 춤이 깊은 데크의 처짐을 최대 1/5까지 감소하였다.
- (3) 단부 연속화에서 캡플레이트의 영향을 비교한 결과, 캡플레이트의 두께가 두꺼운 경우와 캡플레이트로 직접 연속화한 경우에 데크 단면의 저항 성능은 향상되지만, 시공단계 평가인 모래재하 4단계 하중에서 처짐은 5% 정도의 미소한 차이만을 보이고 있어 단부 연속화 방식에 의한 영향은 큰 차이가 없었다.
- (4) 단부 연속화에 사용된 캡플레이트의 두께가 1.2mm인 경우 캡플레이트의 강성이 작아 데크의 변형을 충분히 제어하지 못하므로 캡플레이트의 두께는 1.4mm 또는 1.6mm를 사용하여야 할 것으로 판단된다.
- (5) 양단 연속화 실험체의 경우, 1.6mm 두께의 캡플레이트를 사용한 두 실험체의 처짐은 규준식의 단부 부모멘트 $wl^2/18$ 조건의 처짐 기율기선 하부에 위치, 4단계에서의 처짐도 단부 부모멘트 $wl^2/18$ 조건의 처짐 대비 90~92%

수준이므로 단부 연속화의 구속도는 부모멘트 $wl^2/18$ 로 평가하여 단부 연속화한 데크의 처짐을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

- (6) 영국 BS기준과 동일한 수준인 $L/180$ 또는 30mm 이내로 제안하였으며, 캡플레이트와 횡분배 트러스에 의한 단면의 안정화와 단부 연속화로 춤이 깊은 데크 실험체의 처짐은 평가 처짐 값을 만족하는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화 지원사업의 연구비지원(201405212002)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] 신태송(2003) 데크플레이트의 휨 강도에 관한 기준 비교 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제15권, 제1호, pp.25-31
Shin, T.S. (2004) An Investigation into differences between codes for the Moment Strength of Deck Plates, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.15, No.1, pp.25-31
- [2] 허병욱, 곽명근, 배규웅, 정삼민(2007) 강판성형 합성보의 휨성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제19권, 제3호, pp.247-258.
Heo, B.W., Kwak, M.K., Bae, K.W., and Jung, S.M. (2007) Flexural Capacity of the Profiled Steel Composite Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.19, No.3, pp.247-258.
- [3] 제일테크노스(2003) 춤이 깊은 합성 데크플레이트를 사용한 층 고절감형 합성 바닥판 공법 구조설계지침, 제일테크노스.
- [4] 대한건축학회(1998) 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설.
Architectural Institute of Korea, composite Deck Slab Standard (Proposal), *Architetural Institute of Korea* (in Korean).
- [5] ASCE Standards (1992) Standard Practice for Construction and Inspection of Composite Slabs, American Society of Civil Engineers.
- [6] ANSI/ASCE 3-91 (1991) Standard for the structural design of composite Slabs.
- [7] EN 1991-1-6 (2005) Eurocode 1. Action on structures. General actions. Action during execution.
- [8] EN 1993-1-3 (2006) Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Supplementary rules for cold-fomed members and sheeting.
- [9] EN 1994-1-1 (2004) Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structure.
- [10] BS 5950-4 (1994) Structural use of steelwork in building. Code of practice for design of composite slabs with profiled steel sheeting.
- [11] 박기연, 남윤선, 최영환, 김영호, 최성모(2013) 캡플레이트를 이용한 장스팬용 춤이 깊은 데크의 휨성능 개선, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제5호, pp.555-567.
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.
- [12] 전상현, 박기연, 이성희, 김영호, 최성모(2011) 캡을 활용한 춤이 깊은 강재 데크의 휨내력에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제31권, 제2호, pp.227-228.
Jeon, S.H., Park, K.Y., Lee, S.H., Kim, Y.H., and Choi, S.M. (2011) An Experimental Analysis on the Flexural Strength of Deep Deck Strengthening with Cap Plates, *Architectural Institute of Korea*, AIK, Vol.31, No.2, pp.227-228.
- [13] 박기연, 전상현, 김영호, 최성모(2013) 직결나사 연결 접합부에 관한 구조성능평가 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제5호, pp.543-553.
Prk, K.Y., Jeon, S.H., Kim, Y.H., and Choi, S.M. (2013) A Study of Structural Performance of Self-Drilling Screw Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.5, pp.543-553.
- [14] 한국강구조학회(2009) KBC2009 강구조설계, 구미서관.
- [15] 박기연, 이성희, 김영호, 최성모(2011) Deep-Deck의 시공중 안전성 평가를 위한 현장재하실험, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제31권, 제2호, pp.223-224.
Park, K.Y., Lee, S.H., Kim, Y.H., and Choi, S.M. (2011) Field Instrumentation for Safety Assessment under Construction of Deep Deck Plate, *Architectural Institute of Korea*, AIK, Vol.31, No.2, pp.223-224.

요 약 : 춤이 깊은 데크를 6m 이상 장스팬 바닥에 사용할 경우에는 시공단계에서 데크의 발생하는 많은 처짐에 의한 작업자 및 시공 안전을 고려하여 가설지주를 사용하는 것이 통상적이었다. 그러나 시공안전은 확보하였지만, 가설지주의 설치에 작업자의 통로제한, 공간의 협소, 능률의 감소 등으로 시공성의 문제가 발생한, 이는 춤이 깊은 데크는 상부 개방인 골 형태로 인한 벌어짐이나 박판으로 인한 웨브 크리플링, 데크의 상부 플렌지의 국부처짐 등의 불안정성 문제가 발생할 수 있고, 이로 인해 개방형 데크의 황-비틀림 좌굴과 같은 구조적 문제가 발생할 수 있다. 본 연구는 시공단계 동안 작용하중에 대한 춤이 깊은 데크의 제한 처짐 값을 제안하며, 장스팬의 구조안정성을 확보하고자 춤이 깊은 데크의 단부에 캡플레이트로 보강한 후 시공단계하중을 모래 재하 방법으로 실물실험 제작하여 실험을 실험하였다. 실험 결과 개선안 캡플레이트 적용 유무에 따라 발생 처짐량이 최대 1/5 감소하였고, 모든 특히 단부를 연속화한 실험체의 경우, 처짐이 국내 표준과 제안 처짐 값($L/180$, 30mm)을 만족하였다.

핵심용어 : 춤이 깊은 데크, 캡 플레이트, 연속화, 반강접, 처짐
