

# 매달 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨거동에 관한 연구

배 규 웅<sup>1)</sup> · 이 상 섭<sup>2)\*</sup> · 박 금 성<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 선임연구위원, 한국건설기술연구원 <sup>2)</sup> 수석연구위원, 한국건설기술연구원 <sup>3)</sup> 연구위원, 한국건설기술연구원

## An Experimental Study on the Flexural Behavior for the Slabs using the Suspending Deck plate

Bae, Kyu Woong<sup>1)</sup> Lee, Sang Sup<sup>2)\*</sup> Park, Keum Sung<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Senior Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, 411-712, Korea

<sup>2)</sup> Senior Researcher, Korea Institute of Construction Technology, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, 411-712, Korea

<sup>3)</sup> Research Fellow, Korea Institute of Construction Technology, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, 411-712, Korea

**ABSTRACT** : The purpose of the this paper is experimentally to investigate flexural behavior of slabs with suspending the deck plate. The main experimental parameters are the depth and thickness of the deck plate, slab span, rebar and support conditions. Total number of six specimens were tested and manufactured in slabs under vertical load. Based on the results of the test, the flexural behavior for slabs is determined according to the vertical deformation of the slabs, regardless of the main experimental parameters. Bending rebar reinforcement in the rib cross-section specimens can be evaluated significantly higher initial stiffness, crack stiffness and flexural strength. Result of the comparison of the theory value appeared to be fairly well matched to average 1.05.

**KEYWORDS** : deck plate, suspending shape, deck depth, slabs, flexural performance

### 1. 서 론

전체 구조체 중에서 보 및 슬래브로 구성되는 바닥판은 골조공사비의 70% 이상을 차지하며, 고층화 될수록 건물의 중량, 가용면적, 재료절감, 에너지절감 등의 경제성에서 매우 큰 영향을 미치기 때문에 바닥판의 층고절감 및 경량의 장스팬 기술의 필요성은 더욱 증대되고 있다<sup>(1),(2),(3)</sup>.

공작물 형태의 주차장의 경우, 주차전용 건축물에 적용되는 별도의 제한(건폐율, 용적율, 내화구조 및 내진설계 대상) 규정이 필요하지 않는 주차시설 건축물이다. 특히 공작물 주차장의 전체 높이가 8m 이하로 건설되도록 규정되어 있다. 따라서 평면 대지위에 주차가 가능한 몇 개 층으로 최적 공

간을 확보하기 위해서는 바닥판의 층고절감뿐만 아니라 기둥 없이 장스팬이 가능한 합성공법의 적용이 절실히 요구된다.

층이 비교적 큰 기존의 골형 텍스는 지지형으로 비대칭 철골보의 단면 형상이 반드시 필요하고, 비대칭 형상의 강재 보가 상당히 고가이며, 엔드클로저 아연도강판을 현장 용접처리하기 때문에 용접부 부식이나 누수 등의 하자 발생 요인이 된다. 또한, 지지하는 골형 텍스를 적용하기 위해 거더와 보를 결합하는 상황이 발생하는데 이 부분의 접합이 매우 복잡해지며, 콘크리트를 활용한 장스팬 복합보와의 결합이 상당히 어렵다는 단점을 지니고 있다<sup>(4),(5)</sup>.

이에 본 연구에서는 철골조 공작물 형태의 주차장 바닥시 스템에 층고를 획기적으로 절감이 가능하고 자중감소뿐만 아니라 지지형의 골데크 형상의 단점을 보완하기 위하여 지지하는 골데크 대신에 강재 보의 상부 플랜지면에 고정용 강재 막대를 이용하여 데크를 매다는 형상으로 개발하고자하였다<sup>(6)</sup>.

이러한 매달 형상의 데크는 고정용 강재막대가 필요하나 기존 대칭 및 비대칭 단면 이용이 가능하고, 강재 보의 층의 변화나 콘크리트 장스팬 복합보와의 대응성이 뛰어나며, 데크 현장 조립시 오차수립 가능하다. 또한, 데크플레이트의 폭을

Note.-Discussion open until August 31, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 19, 2012; revised December 17, 2012; approved on February 6, 2013. © KSSC 2013

\* Corresponding author

Tel. +82-31-910-0768 Fax. +82-31-910-0392  
E-mail: lss0371@kict.re.kr

750mm로 하여 기존 데크 대비 바닥 작업량을 감소시키는 이점을 지니고 있다.

매달 거푸집형 데크플레이트를 현장에 적용하기 위해서는 상부면에 콘크리트를 타설한 슬래브에 대하여 데크플레이트의 거푸집 역할 가능성 및 인장 보강근 역할, 보강철근 등을 고려한 실대형 슬래브의 휨거동을 평가하기 위한 실험연구가 선행되어야 한다.

이러한 실험적 연구를 통해 단부에서의 데크플레이트 면과 콘크리트 간의 부착성능, 슬래브의 휨강도 및 강성, 파괴형태 등의 변화여부와 더불어 전반적인 구조적 거동을 평가하고 실제 설계되는 이론식과의 비교 및 검증은 통해 구조적 안전성을 정량적으로 평가하고자한다.

## 2. 실험

### 2.1 강재 인장강도 시험

휨성능 슬래브 실험체 제작에 사용된 강재의 물리적 성능을 파악하기 위하여 KS B 0801의 금속재료 인장시험편 규정에 따라 강재 인장시험편을 제작하였고, KS D 0802의 금속재료 시험방법에 따라 시험을 수행하였다. 데크플레이트는 일반 용융아연도금관을 사용하였다<sup>[7]</sup>.

Table 1. Test results of tensile strength

Items	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$\epsilon_y$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\sigma_y/\sigma_u$	$El_o$ (%)
Deck-1.0	245	338	2,157	0.72	34
Deck-1.2	302	366	1,756	0.82	33
D10	441	680	2,205	0.65	23
D16	433	592	2,165	0.73	21
D19	439	563	2,195	0.78	18

$\sigma_y$ : 항복응력도,  $\sigma_u$ : 인장강도,  $\sigma_y/\sigma_u$ : 항복비,  $El_o$ : 연신율

인장강도 시험결과, 데크플레이트의 항복응력도 값은 245~302MPa의 분포를 나타내었고, 항복비는 0.72~0.82로 다소 높게 나타났다. 철근의 항복응력도 값은 433~441MPa의 분포를 보였고, 항복비는 0.65~0.78의 범위로 나타났다.

### 2.2 콘크리트 압축강도 시험

데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨성능 실험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 24MPa로 계획하였다. 콘크리트 압축강도 시험용 공시체는 KS F 2403에 정해진 방법

에 따라 제작하였으며, 실험체 제작에 투입된 레미콘의 수에 따라 각각 3개씩 총 12개의 시험체를 제작하였다. 콘크리트 압축강도 시험은 KS F 2405의 시험방법에 따라 1000kN 유압식 만능 시험기(U.T.M)를 사용하여 실시하였다. 휨실험 당일 수행한 콘크리트의 압축강도는 평균 28MPa로 나타났다.

## 2.3 실험 계획 및 방법

### 2.3.1 개요

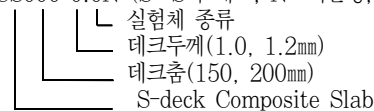
매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨성능 실험은 실제 하중 작용시 대상 단면의 내하능력, 처짐 및 변형 성상을 파악하기 위한 실험으로서 본 연구에서는 중앙에 정모멘트를 받는 실험으로 계획하였다. 가력은 단순보 형식의 2점 재하에 의해 정모멘트(데크플레이트가 인장측이 되는 휨)를 받도록 하였으며 전단파괴에 앞서 휨파괴가 선행하도록 스펙 중앙부를 중심으로 좌우 각 0.5m 지점에 4점으로 가력하였다.

휨성능 실험체는 데크의 춤(150mm, 200mm), 데크 두께(1.0mm, 1.2mm), 스펙(4m, 4.5m, 4.8m), 철근보강 유무 및 단부지지 조건(단순, 고정)에 따라서 실제의 설계조건을 감안하여 계획하였다. 본 연구에서 새롭게 개발한 신형상의 춤이 깊은 매달 거푸집형의 데크플레이트는 프레스로 절판 및 절곡 가공에 의한 인력 작업으로 총 6개의 실험체를 제작하여 휨성능 실험을 수행하였다. 휨성능 실험체 일람은 Table 2에 나타내었으며, 데크플레이트 단면형상 및 실험체의 형상은 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

Table 2. Test Specimens

Specimens	Deck Depth (mm)	Support Condition	Deck Thickness (mm)	Top Thickness (mm)	Re-bar	Clear Length (m)
SCS150-1.0N	150	단순	1.0	100	무	4.0
SCS150-1.0R	150	단순	1.0	100	유 (HD16)	4.0
SCS200-1.0N	200	단순	1.0	100	무	4.5
SCS200-1.0R	200	단순	1.0	100	유 (HD19)	4.5
SCS200-1.2R	200	단순	1.2	100	유 (HD19)	4.8
SCS200-1.2F	200	고정	1.2	100	유 (HD19)	4.8

SCS000-0.0N (S: S사 데크, N: 기본형, F: 고정형, R: 철근보강)



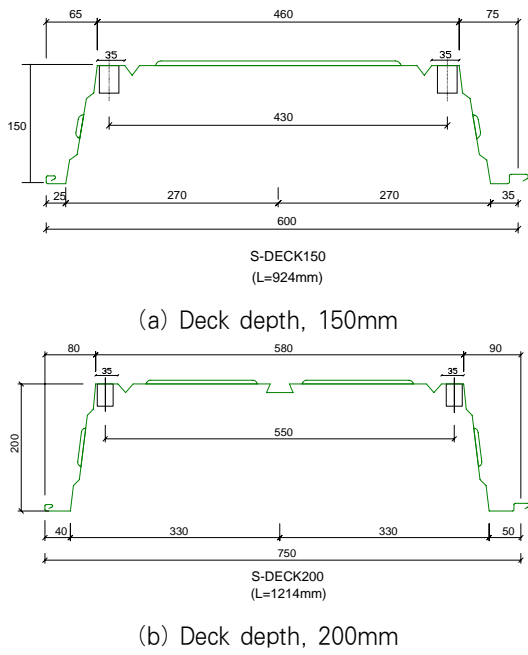
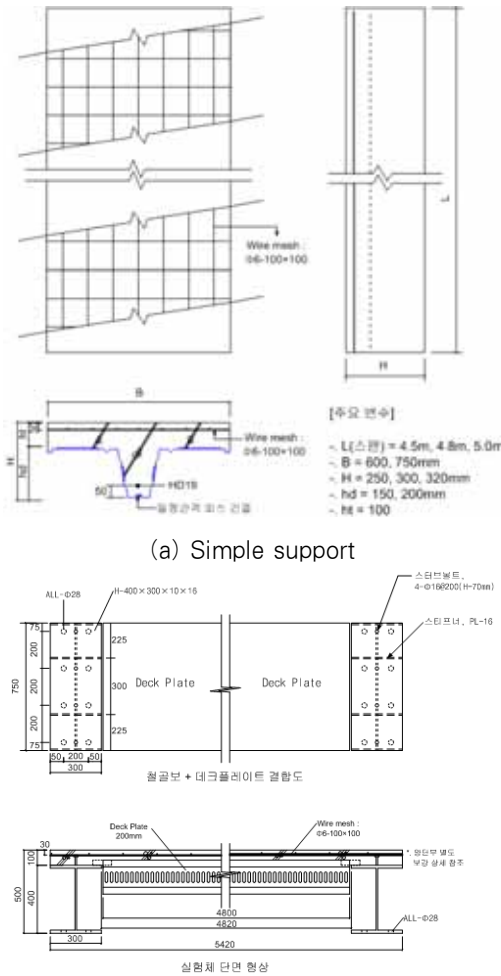


Fig. 1 Cross-sectional shape of deck plate



(b) Fixed Support

Fig. 2 Shape and details of the slab flexural specimens

### 2.3.2 가력 및 측정방법

슬래브 휨실험체의 가력방법은 변위제어를 하였으며 가력 속도는 초당 0.05mm로 가력하였다. 가력장치는 Fig. 3과 같이 매달 거푸집형 데크플레이트 형상으로 걸침부를 힌지조건으로 구현하기 위해 데크플레이트 좌우 플랜지면 하부에 힌지용 구좌를 각 2개씩 총 4개를 단부에 설치하였다. 가력은 1000kN 액추에이터(Actuator)를 사용하였으며 가력보를 사용하여 L/4의 전단스팬을 이용한 2점 선형가력 함으로써 등분포하중의 효과를 최대한 반영하고자 하였으나, 슬래브의 순수 휨거동 평가를 위해 스패ん 중앙에서 좌우 0.5m 떨어진 위치에 가력점을 위치시켜 2점으로 선형가력 하였다. 또한, 가력시 가력지점에서의 국부변형이나 미끄러짐을 방지하기 위해 가력 지점 콘크리트면 위에 고무패드를 설치하였다.

슬래브의 중앙부 처짐을 측정하기 위해 Fig. 3과 같이 2개의 변위계(LVDT 200mm: D1, D2)를 설치하여 처짐을 측정하였으며, 데크플레이트와 콘크리트 사이에서 발생하는 엔드 슬립(End-Slip)의 양을 측정하기 위해 양단부에 2개의 변위계(LVDT 50mm : D3, D4)를 설치하여 단부의 슬립량을 측정하였다.

변형률의 측정을 위해 실험체의 스패ん 중앙부에서 데크플레이트 하부와 콘크리트 측면 및 상부면에 와이어스트레인게이지를 부착하여 하중변화에 따른 변형률을 측정하였다.

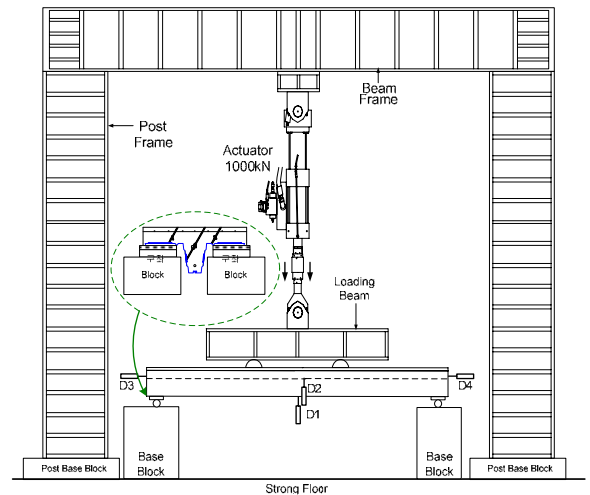


Fig. 3 Test set-up

### 3. 실험결과 분석 및 고찰

매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨성능 실험결과를 Table 3에 정리하여 나타내었다. 실험 항복하중 ( $P_y$ )값은 Fig. 4와 같이 하중-변위 곡선에서 원점과 최대하

중의 1/3되는 점을 연결한 선분(a)을 초기접선강성 값으로 하고, 이 선분과 변위축이 이루는 각의 1/3이 되는 선분을 원점에서 그은 후(b), 실험값과 외접하도록 평행 이동시켜 선분을 만들고(c), 처음에 그은 초기접선강성 선분과 만나는 접점을 평가한 값이다. 표에는 초기강성( $K_i$ ), 균열 후 강성( $K_{cr}$ ), 초기균열 발생시 하중( $P_{cr}$ ), 실험 항복하중( $P_y$ ), 실험 최대하중( $P_{max}$ ), 항복하중시 중앙부 처짐( $\delta_y$ ), 최대하중시 중앙부 처짐( $\delta_{max}$ )을 정리하여 나타내었다.

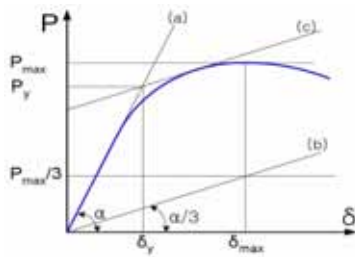


Fig. 4 Definition of the yield load

Table 3. Test results

Specimens	${}^e K_i$ (kN/mm)	${}^e K_{cr}$ (kN/mm)	${}^e P_{cr}$ (kN)	${}^e P_y$ (kN)	${}^e P_{max}$ (kN)	${}^e \delta_y$ (mm)	${}^e \delta_{max}$ (mm)
SCS150-1.0N	7.08	3.36	7.08	16.20	16.38	7.65	7.74
SCS150-1.0R	6.40	3.84	12.53	26.57	44.49	7.35	29.90
SCS200-1.0N	4.36	2.90	7.39	10.90	11.53	4.70	18.14
SCS200-1.0R	5.54	2.40	20.29	33.90	53.60	15.31	73.37
SCS200-1.2R	6.57	2.33	17.74	32.45	54.11	19.26	91.74
SCS200-1.2F	5.52	3.31	17.90	38.27	52.34	20.45	67.75

${}^e K_i$ : 초기강성,  ${}^e K_{cr}$ : 균열 후 강성,  ${}^e P_{cr}$ : 초기균열 발생시 하중,  ${}^e P_y$ : 실험 항복하중,  ${}^e P_{max}$ : 실험 최대하중,  ${}^e \delta_y$ : 항복하중시 중앙부 처짐,  ${}^e \delta_{max}$ : 최대하중시 중앙부 처짐

### 3.1 실험체 파괴형태 및 거동

매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브 휨성능 평가를 위해 각 실험체의 균열발생 및 파괴양상을 Fig. 5~Fig. 10에 나타내었다. 슬래브 실험체 중 데크 춤이나 스펠길이에 관계없이 데크플레이트 리브단면 내에 휨철근의 유무에 따라서 파괴양상이 상당히 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

#### 3.1.1 SCS150-1.0N 실험체

매달 거푸집형 데크플레이트의 리브단면 내에 휨철근이 배

근되지 않은 SCS150-1.0N형 실험체의 경우, Fig. 5에서 알 수 있듯이 가력점 부근에서 슬래브의 토핑 상부면에 종방향으로 큰 균열이 발생하는 파괴 양상을 나타내었다. 1차 슬립현상이 관찰된 이후 하중과 변형이 증가하면서 최대하중 이후 양단부에서 데크플레이트와 콘크리트의 부착파괴로 인한 슬래브 측면과 토핑 상부면에 균열이 증대되면서 급격한 하중저하 현상이 나타났다.



(a) Loading point crack (b) Local buckling  
Fig. 5 Fracture mode of specimens (SCS150-1.0N)

이후 큰 하중 증가 없이 휨변형만 지속적으로 증가하였으며, 데크 상부플랜지와 콘크리트면의 부착파괴로 탈락하면서 또한 동시에 프레스 절곡 데크플레이트 웨브면과 상부 플레지면 사이에서 국부적인 좌굴변형이 발생하면서 최종적인 파괴로 가력이 종료되었다.

#### 3.1.2 SCS150-1.0R 실험체

리브단면 내에 휨철근이 배근된 SCS150-1.0R형 실험체의 경우, Fig. 6에서 알 수 있듯이 가력점 부근에서 슬래브 콘크리트 두께 면으로 초기 휨균열이 발생하는 일반적인 휨 파괴 양상을 나타내었다. 이후, 하중이 증가하면서 휨균열과 더불어 사인장 균열이 나타남을 관찰할 수 있었다.

리브단면 내에 휨철근이 배근되지 않은 실험체와는 달리 연속적인 부착파괴 이후 취성적 거동을 관찰할 수 있었는데, 이러한 현상은 균열발생 및 진행 패턴이 웨브면 균열 발생 이후 가력점에 휨균열이 나타났으며, 하중증가와 더불어 사인장 전단균열이 발생하면서 리브단면 내에 배근된 철근과 콘크리트간의 상호 작용력이 발휘되지 않은 요인으로 판단된다. 이는 철근에 부착된 스트레인게이지의 변형률이 아직 항복하지 않은 것으로도 확인할 수 있었다.



(a) Flexural and shear cracks (b) Bond failure  
Fig. 6 Fracture mode of specimens (SCS150-1.0R)

### 3.1.3 SCS200-1.0N 실험체

리브단면 내에 휨철근이 배근되지 않은 SCS200-1.0N형 실험체의 경우, Fig. 7에서 알 수 있듯이 가력점 부근에서 슬래브 콘크리트 두께와 토폭 상부면에 종방향으로 큰 균열이 발생하는 양상을 나타내었다. 하중과 변형이 증가하면서 최대하중 이후 가력점 근방에서 슬래브 측면과 토폭 상부면에 균열이 증대되면서 하중저하 현상이 나타났다.

이후 큰 하중 증가 없이 휨변형만 지속적으로 증가하였으며, 데크 상부플랜지와 콘크리트면의 부착파괴로 탈락하면서 또한 동시에 절곡된 데크플레이트 웨브면과 상부플랜지면 사이에서 국부적인 좌굴변형이 미소하게 발생하면서 최종적인 파괴로 가력이 종료되었다.



(a) Loading point crack (b) Topping Crack  
Fig. 7 Fracture mode of specimens (SCS200-1.0N)

### 3.1.4 SCS200-1.0R 실험체

데크 강판두께가 1.0mm이면서 리브단면 내에 휨철근이 배근된 SCS200-1.0R형 실험체의 경우, Fig. 8에서 알 수 있듯이 가력점 부근과 중앙부에서 슬래브 콘크리트 면으로 초기 휨균열이 발생하는 휨파괴 양상을 나타내었다. 하중이 증가하면서 휨균열과 더불어 사인장 균열이 나타남을 관찰할 수 있었다. 데크와 콘크리트 간의 연속적인 부착파괴가 관찰되었으며, 하중과 변형이 미소하게 증가하면서 슬래브 측면에 사인장 균열이 확대되면서 급격한 하중저하 현상 없이 최대 하중 이후 데크플레이트 절곡 코너부를 중심으로 국부좌굴 변형으로 하중저하 현상이 나타나 가력을 종료하였다.

리브단면 내에 휨철근이 배근되지 않은 실험체와는 달리 상당히 좋은 연성적 거동을 관찰할 수 있었는데, 이는 리브단



(a) Deck bending deformation (b) Bond failure  
Fig. 8 Fracture mode of specimens (SCS200-1.0R)

면 내에 배근된 철근과 콘크리트간의 상호 작용력이 발휘된 요인으로 판단되며, 철근에 부착된 스트레인지이지의 변형률이 항복에 도달하여 소성변형 영역으로 확대되면서 철근의 변형경화도에 기인하는 현상에 의해 나타난 것으로도 생각된다.

### 3.1.5 SCS200-1.2R 실험체

데크 강판두께가 1.2mm이면서 리브단면 내에 휨철근이 배근된 SCS200-1.2R형 실험체의 경우, Fig. 9에서 알 수 있듯이 가력점 부근과 중앙부에서 슬래브 콘크리트 면으로 초기 휨균열이 발생하는 전형적인 휨거동 양상을 나타내었다. 이후, 하중이 증가하면서 휨균열과 더불어 사인장 균열이 나타남을 관찰할 수 있었다. 연쇄적인 부착파괴 이후 하중과 변형이 증가하면서 슬래브 측면에 휨균열 및 사인장 균열이 확대되면서 급격한 하중저하 현상 없이 최대하중 이후 데크플레이트 절곡 코너부가 국부좌굴 변형하면서 하중저하 현상이 나타나 가력을 종료하였다.

이는 리브단면 내에 휨철근이 배근되지 않은 실험체와는 달리 3차 부착파괴 이후 상당한 연성적 거동을 관찰할 수 있었는데, 이러한 현상은 균열발생 및 진행 패턴이 웨브면 균열 발생 이후 가력점에 휨균열이 나타났으며, 이후 하중증가와 더불어 사인장 전단균열이 발생하면서 리브단면 내에 배근된 철근과 콘크리트간의 상호 작용력이 발휘된 요인으로 판단된다.

매듭 거푸집형 데크플레이트의 휨변형 저항 및 철근과 콘크리트간의 충분한 부착력으로 급격한 취성적 거동 대신에 상당히 큰 연성적 거동을 보인 것으로 판단된다.



(a) Flexural and shear cracks (b) Central bond failure  
Fig. 9 Fracture mode of specimens (SCS200-1.2R)

### 3.1.6 SCS200-1.2F 실험체

매듭 거푸집형 데크플레이트의 강판두께가 1.2mm이고 양단부가 고정된 형태로 리브단면 내에 휨철근이 배근된 SCS200-1.2F형 실험체의 경우, Fig. 10에서 알 수 있듯이 가력점 부근과 중앙부에서 슬래브 콘크리트면으로 초기 휨균열이 발생하였다. 하중이 증가하면서 휨균열과 더불어 사인장 균열이 나타남을 관찰할 수 있었다. 이후 하중과 변형이 미소하게 증가하면서 단부에서 어떠한 슬립현상이나 부착파괴는 나타나지 않았다. 하중과 변형이 증가하면서 슬래브 측면에



휨균열 및 사인장 균열이 확대되면서 급격한 하중저하 현상 없이 최대하중 이후 데크플레이트 절곡 코너부가 국부좌굴 변형하는 현상이 관찰되었다.

최대하중 도달시 가력점에서의 균열 폭은 비교적 작은 폭으로 나타났는데, 이러한 균열 폭의 감소는 양단 고정부의 저항 및 휨철근으로 인하여 슬래브가 합성 거동한 영향으로 판단된다. 이러한 양단 반고정한 실험체는 동일한 실험체에 비해 휨강도 및 강성이 상당히 크게 나타났으며, 최대하중 상황에서 고정 단부에서 매달 거푸집형 데크플레이트의 슬립량은 대략 2mm 정도로 아주 미소하게 나타남을 알 수 있었다.



(a) Deck bonded failure (b) End slip

Fig. 10 Fracture mode of specimens (SCS200-1.2F)

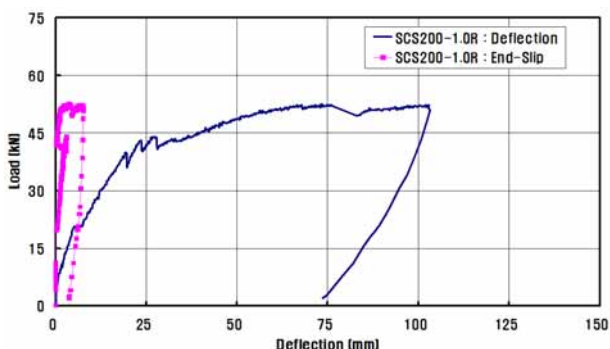


Fig. 11 Load-deformation curves

### 3.2 하중-변형 관계

#### 3.2.1 하중-처짐 및 하중-엔드슬립

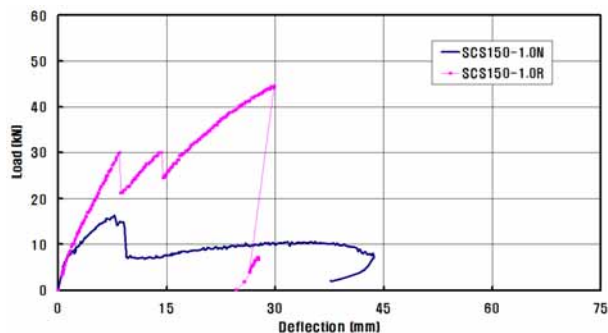
매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨성능은 Fig. 11에 나타낸 바와 같이 수직방향 처짐이 양단부의 부착으로 인한 슬립량에 비해 상당히 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 이러한 슬래브의 휨강도는 중앙부의 처짐으로 인한 변형에 의해 지배됨을 알 수 있다<sup>[8]</sup>.

#### 3.2.2 하중-수직처짐

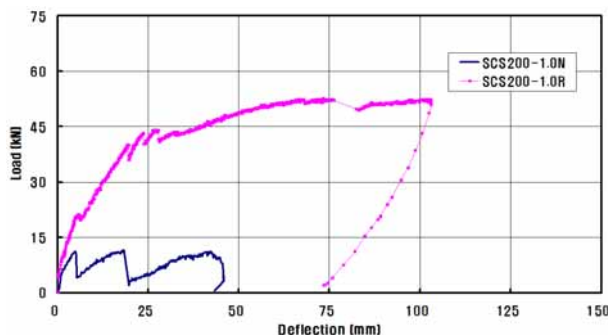
매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브에서 리브단 면 내에 휨철근 유무에 따른 하중-처짐 관계를 Fig. 12(a), (b)에 나타내었다. 보는바와 같이 데크 층과 관계없이 휨철

근이 없는 실험체에 비해 휨철근이 배근된 실험체가 초기강성 및 균열강성, 휨강도 측면에서 상당히 높게 평가됨을 알 수 있다. 특히, 데크 층이 200mm인 실험체의 경우에는 휨강성 및 휨강도뿐만 아니라 연성적인 거동을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 데크 층의 깊이에 관계없이 휨철근이 없는 경우 양단부의 슬립으로 인한 부착과괴가 선행하여 나타났고, 그 이후 하중증가에 따른 매달 거푸집형 데크플레이트가 하중 변형능력을 발휘하지 못하는 요인으로 생각된다.

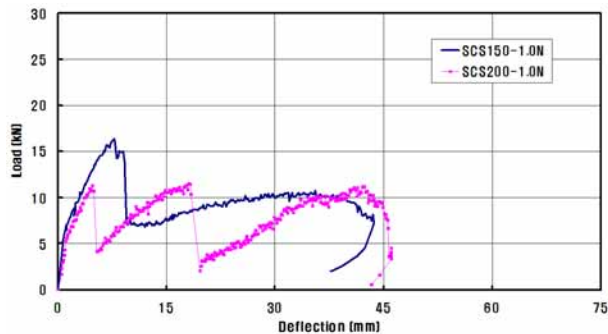
Fig. 12(c)에는 데크 두께는 같고 데크 층의 변화에 따른 하중-처짐 관계를 나타낸 것으로 데크 층이 150mm에서 200mm로 증가하지만 데크 스펀이 4.5m에서 4.8m로 같이 증가되기 때문에 슬래브의 강성 및 내력이 선형적으로 비례하여 증가하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 데크 층과 스펀이 변화하고 있지만, 양단부의 슬립현상 및 데크와 콘크리트 면의 부착과괴 형태는 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.



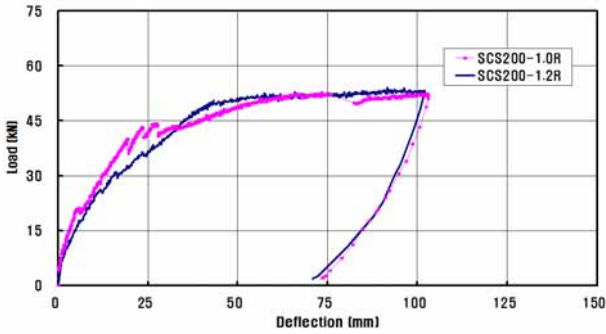
(a) Comparison of rebar or non-rebar (SCS150)



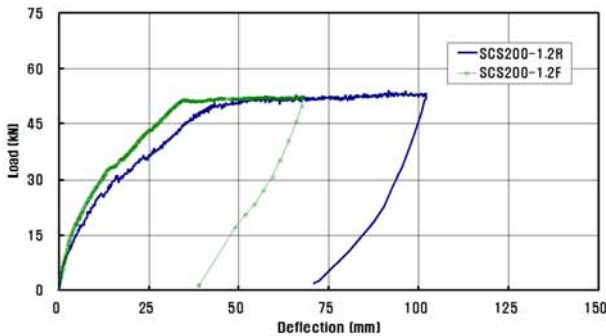
(b) Comparison of rebar or non-rebar (SCS200)



(c) Comparison of deck depth change



(d) Comparison of change deck thickness & span



(e) Comparison of support change

Fig. 12 Load-deflection curves

Fig. 12(d)에서 보는 바와 같이 데크 두께 및 스패변화에 따른 하중-처짐 관계곡선으로 데크 춤이 같고, 리브단면 내에 동일한 직경의 휨철근이 배근된 형상으로 강성 및 내력 측면에서 데크 두께가 작은 실험체가 비교적 선형으로 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 슬래브의 스패가 4.5m에서 4.8m로 변화하기 때문으로 판단된다. 하지만, 양단부의 슬립으로 인한 데크와 콘크리트면 사이의 부착파괴, 항복이후 하중증가에 따른 변형능력 등의 전반적인 구조적인 거동은 유사하게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 12(e)에는 단부 지지조건에 따른 하중-처짐 관계를 나타낸 것으로 단부 지지조건이 고정형인 SCS200-1.2F 실험체가 강성 및 내력에 있어 다소 상승하였으며, 항복하중 이후 하중과 변형의 증가는 미소한 것을 알 수 있다. 또한, 최대하중의 크기는 비슷하지만 중앙부 처짐은 양단 구속으로 인해 상당히 작게 나타남을 알 수 있다. 하중의 감소와 증가가 반복되는 등 다소 불안정한 거동을 나타냈는데, 이는 단부 인장측 콘크리트의 균열확대로 인한 단부 압축측의 와이어메쉬의 파단과 함께 모멘트 재분배 효과로 인한 것으로 판단된다.

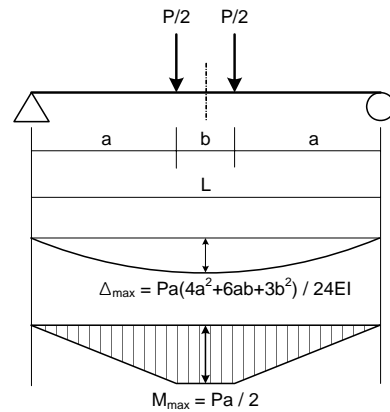
### 3.3 강성 및 내력 평가

매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨강성 및

내력을 평가하기 위해서 실제 실험에서 가력한 방법에 따라 이론강성( ${}_tK_i$ ,  ${}_tK_{cr}$ ) 및 공칭 휨모멘트( $M_n$ )의 값으로 이론하중( $P_n$ )을 계산하여 실험으로부터 구한 강성( $K_i$ ,  $K_{cr}$ ) 및 항복하중( $P_y$ )와 비교하여 슬래브의 구조 성능을 평가하고자 한다<sup>[9]</sup>.

#### 3.3.1 단순 지지형

단순 지지형의 경우에는 슬래브에 휨 거동이 구현되도록 하기 위해서 모델링된 중앙부 중심에서 좌우 0.5m 지점에 4등분하여 가력한 것이다. 아래의 그림에 나타낸바와 같이 매달 거푸집형 슬래브의 강성 및 휨 내력을 평가하기 위하여 식(1), (2) 및 식(3)을 이용하여 이론강성 및 공칭 휨모멘트와 그에 따른 하중을 계산할 수 있다<sup>[9],[10]</sup>.



$${}_tK_i = \frac{24EI_g}{a(4a^2 + 6ab + 3b^2)} \quad (1)$$

$${}_tK_{cr} = \frac{24EI_e}{a(4a^2 + 6ab + 3b^2)} \quad (2)$$

여기서,  ${}_tK_i$  : 이론 초기강성  
 ${}_tK_{cr}$  : 이론 균열 후 강성  
 $I_g$  : 단면2차모멘트  
 $I_e$  : 유효단면2차모멘트(=  $(I_g + I_{cr})/2$ )

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right), \quad (3)$$

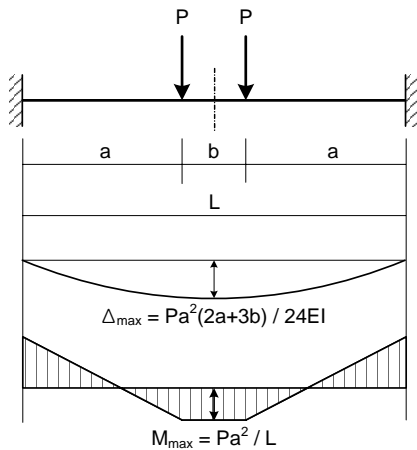
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f_{ck} \cdot b_e}$$

$$P_n = \frac{2M_n}{a}$$

여기서,  $A_s$  : 철근단면적  
 $f_y$  : 철근의 항복응력  
 $L$  : 스패  
 $f_{ck}$  : 콘크리트 압축강도  
 $b_e$  : 슬래브 유효폭

### 3.3.2 고정형

지점이 고정형의 경우에도 마찬가지로 슬래브에 휨 거동이 발생되도록 하기 위해서 모델링된 중앙부의 중심에서 좌우 0.5m인 위치에 4등분하여 단부가 고정부를 형상하도록 가력한 경우이다. 아래의 그림에 나타난 바와 같이 매달 거푸집형 슬래브의 강성 및 내력을 평가하기 위하여 식(4), (5) 및 식(6)을 이용하여 이론강성 및 공칭 휨모멘트와 그에 따른 하중을 계산할 수 있다<sup>(10),(11)</sup>.



$${}_tK_i = \frac{24EI_g}{a^2(2a+3b)} \quad (4)$$

$${}_tK_{cr} = \frac{24EI_e}{a^2(2a+3b)} \quad (5)$$

여기서,  ${}_tK_i$  : 이론 초기강성  
 ${}_tK_{cr}$  : 이론 균열 후 강성  
 $I_g$  : 단면2차모멘트  
 $I_e$  : 유효단면2차모멘트(=  $(I_g + I_{cr})/2$ )

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right),$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f_{ck} \cdot b_e}, \quad (6)$$

$$P_n = \frac{2M_n L}{a^2}$$

여기서,  $A_s$  : 철근단면적  
 $f_y$  : 철근의 항복응력  
 $L$  : 스패  
 $f_{ck}$  : 콘크리트 압축강도  
 $b_e$  : 슬래브 유효폭

이상과 같이 이론식으로부터 구한 강성 및 휨 강도를 실험값과 비교하여 Table 4에 정리하여 나타내었다.

실험값에 대한 이론값의 비교결과, 공칭하중에 대한 실험 항복하중의 비( $P_y/P_n$ )는 전단부착 파괴로 조기에 가력이 종료된 SCS150-1.0N와 SCS200-1.0N 실험체를 제외하고 0.94~1.12의 분포로 평균 1.05로 나타났으며, 분포도 측면에서 변동계수는 0.065로 나타나 상당히 잘 일치하는 결과를 나타냈다.

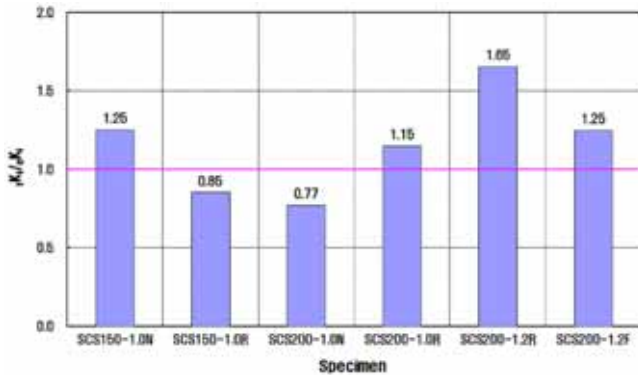
초기강성의 실험값에 대한 이론값( ${}_eK_i/{}_tK_i$ )의 분포는 0.77~1.65의 분포로 평균 1.12로 나타났으며, 분포도 측면에서 변동계수는 0.275로 다소 큰 편차를 나타내었다. 한편, 균열 후 강성의 실험값에 대한 이론값( ${}_eK_{cr}/{}_tK_i$ )의 분포는 1.10~2.80의 분포로 평균 1.79로 나타났으며, 분포도 측면에서 변동계수는 0.349로 상당히 큰 편차를 보였다.

Table 4. 실험 및 이론값의 비교

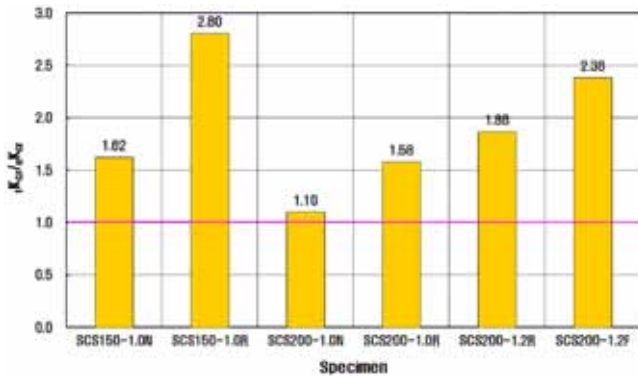
Specimens	${}_eK_i$	${}_tK_i$	${}_eK_i$	${}_eK_{cr}$	${}_tK_{cr}$	${}_eK_{cr}$	$P_n$	${}_eP_y$	${}_eP_y/P_n$
	(kN/mm)		${}_tK_i$	(kN/mm)		${}_tK_{cr}$	(kN)	(kN)	
SCS150-1.0N	7.08	5.65	1.25	3.36	2.07	1.62	-	16.20	-
SCS150-1.0R	6.40	7.52	0.85	3.84	1.37	2.80	30.39	28.57	0.94
SCS200-1.0N	4.36	5.66	0.77	2.90	2.64	1.10	-	10.90	-
SCS200-1.0R	5.54	4.82	1.15	2.40	1.52	1.58	31.37	33.90	1.08
SCS200-1.2R	6.57	3.97	1.65	2.33	1.25	1.86	28.90	32.45	1.12
SCS200-1.2F	5.52	4.43	1.25	3.31	1.39	2.38	35.50	38.27	1.05
Avg.			1.15			1.89			1.05
COV			0.276			0.323			0.065

Fig. 13의 (a)~(c)는 매달 거푸집형 슬래브 휨성능 평가를 위해 실험에서 나타난 실험값에 대한 이론값의 비를 초기 강성, 균열 후 강성 및 항복내력별로 정리하여 각각 나타낸 것이다. 실험값에 대한 이론값의 초기강성 비를 나타내는 Fig. 13에서 (a)의 경우, 실험체의 각 변수별 영향에 의한 강성의 증가율에 비례하는 분포로 나타남을 알 수 있으며 특히 SCS200-1.2R과 SCS200-1.2F 실험체의 실험 강성값이 이론값에 비해 상당히 우수함을 알 수 있다. 다만, SCS150-1.0R 실험체의 경우 다소 낮게 나타났는데 이는 상부 콘크리트면의 관통균열이 발생한 요인과 거푸집형 데크

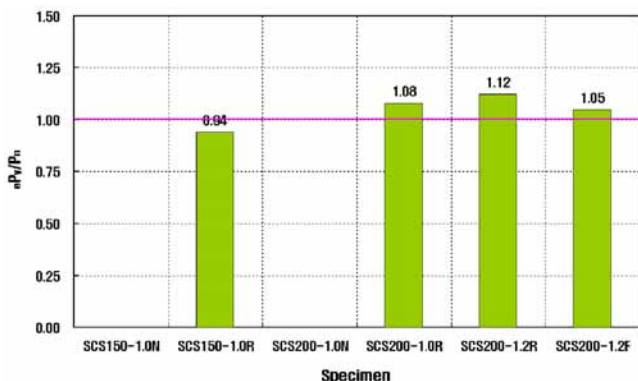




(a) Initial stiffness



(b) Crack stiffness



(c) Yield load

Fig. 13 Curve comparison of experimental and theoretical value

의 실험체 제작 및 탈형시 진동과 충격 등의 요인으로 균열 발생이 가력점에서 단순 지지점 사이에서 휨거동과 더불어 전단거동이 동시에 나타난 요인으로 판단된다.

Fig. 13의 (b)는 균열 후 강성에 대한 평가로 실험값에 대한 이론값의 비로서 초기강성의 경우와 마찬가지로 실험체의 각 변수별 영향에 의한 강성의 증가율에 비례하는 분포로 나타남을 알 수 있고, 이론 초기 강성값에 비하여 실험결과와 더욱 일치하는 것을 알 수 있으며, 모든 실험체에서 상당히 좋은 대응과 평가가 되었음을 알 수 있다.

항복하중의 실험값에 대한 이론값의 비를 나타내는 Fig. 13의 (c)의 경우, 각 실험체가 이론 하중값과 상당히 좋은 평가가 이루어짐을 알 수 있다. 단, SCS150-1.0N와 SCS200-1.0N 실험체의 경우 가력초기에 전단부착파괴 및 콘크리트 상부면에 관통균열이 일어남으로 인하여 본래의 내력을 충분히 발휘하지 못하고 있어 직접비교는 하지 않았다.

매달 형상의 데크플레이트를 합성구조용 바닥판으로 사용하기 위해서는 향후 콘크리트와 데크플레이트의 합성효과를 높일 수 있는 방안이 모색되어야 하며, 이에 대한 구조 성능 평가가 함께 진행되어야 할 것으로 생각된다. 더불어 화재시의 고온에 의하여 생기는 구조부재의 주요한 강재부분의 온도상승을 일정한 한도 이하로 억제하여 부재내력 저하 방지 및 내화안전성 확보를 위한 후속 연구가 체계적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

이상과 같이 매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨성능 실험결과를 정리하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 실험결과, 휨철근의 유무에 따라 매달 거푸집형 슬래브는 각기 다른 파괴거동을 나타내었다.
- (2) 매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨성능은 수직방향 처짐이 양단부의 부착으로 인한 슬립량에 비해 상당히 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 이러한 슬래브의 휨강도는 중앙부의 처짐으로 인한 변형에 의해 지배됨을 알 수 있다.
- (3) 매달 거푸집형 데크플레이트를 이용한 슬래브에서 데크 층의 깊이에 관계없이 리브단면 내에 휨철근이 배근된 실험체가 초기강성 및 균열강성, 휨강도 측면에서 상당히 높게 평가됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 데크 층의 깊이에 관계없이 보강철근이 없는 경우 양단부의 슬립으로 인한 부착파괴가 선행하여 나타났고, 그 이후 하중 증가에 따른 매달 거푸집형 데크플레이트가 하중 변형능력을 발휘하지 못하는 요인으로 평가할 수 있다.
- (4) 실험값에 대한 이론값의 비교결과, 공칭하중에 대한 실험항복하중의 비( $P_y/P_n$ )는 전단 부착파괴로 조기에 가력이 종료된 SCS150-1.0N와 SCS200-1.0N 실험체를 제외하고 0.94~1.12의 분포로 평균 1.05로 나타났으며, 분포도 측면에서 변동계수는 0.065로 나타나 상당히 잘 일치하는 결과를 나타내었다.
- (5) 초기강성의 실험값에 대한 이론값( $K_i/K_t$ )의 분포는 0.77~1.65의 분포로 평균 1.12로 나타났으며, 분포도

측면에서 변동계수는 0.275로 다소 큰 편차를 나타내었다. 한편, 균열 후 강성의 실험값에 대한 이론값( $eK_{cr}/tK_{cr}$ )의 분포는 1.10~2.80의 분포로 평균 1.79로 나타났으며, 분포도 측면에서 변동계수는 0.349로 상당히 큰 편차를 나타내었다.

- (6) 매달 형상의 데크플레이트를 합성바닥판으로 사용하기 위해서는 향후 콘크리트와 데크플레이트의 합성효과를 높일 수 있는 방안이 모색되어야 하며, 내화 성능 확보를 위한 후속 연구가 체계적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

### 감사의 글

본 논문은 2012년도 한국건설기술연구원 주요사업(탈현장 초고속 주택 구조 기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌(References)

[1] SCI (1989) *Design of Composite Slabs and Beams with Steel Decking*, The Steel Construction Institute.

[2] 김상섭, 유덕수, 부윤섭(2012) 자중저감 철선일체형 중공 데크플레이트 슬래브의 휨 및 전단내력에 대한 구조성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권 4호, pp.411-422.  
Kim, S.S., Ryu, D.S., and Boo, Y.S. (2012) Structural Performance Evaluation on Flexural and Shear Capacity for Weight Reducing Steel Wire-Integrated Void Deck Plate Slab, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 24, No. 4, pp. 411-422 (in Korean).

[3] 김상섭, 박동수, 부윤섭(2012) 자중저감 철선일체형 중공 데크플레이트 슬래브를 사용한 합성보의 휨내력 및 CO<sub>2</sub> 감소량 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제 24권 3호, pp.313-323.  
Kim, S.S., Park, D.S., and Boo, Y.S. (2012) Flexural Capacity and CO<sub>2</sub> Reduction Evaluation for Composite Beam with Weight Reducing Steel Wire-Integrated Void Deck Plate slab, *Journal of Korean Society of Steel*

*Construction*, KSSC, Vol. 24, No. 3, pp.313-323 (in Korean).

[4] 한국건설기술연구원, 제일테크노스, 삼성중공업(2003) 층이 깊은 합성데크를 사용한 슬림플로어 공법의 개발, 한국건설기술연구원.  
Korea Institute of Construction Technology, JEIL-TECHNOS, Samsung Heavy Industries (2003) *A Study on the Development of Slim Floor System using the Composite Deep Deck Plate*, Korea Institute of Construction Technology.

[5] 신태송(2003) 데크플레이트의 휨 강도에 관한 기준 비교 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제15권 1호(통권 62호), pp.25-31.  
Shin, T.S. (2003) 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 (in Korean).

[6] 박금성, 이상섭, 배규웅(2011) 매다는 데크플레이트 재하 성능 평가, 한국강구조학회학술발표논문집, 한국강구조학회, 제22권, pp.55-56.  
Park, K.S., Lee, S.S., and Bae, K.W. (2011) Evaluation on the Loading Performance for the Hanging Deck Plate, *Proceeding of Annual Conference Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.55-56 (in Korean).

[7] 대한건축학회(2009) 건축구조설계기준 및 해설(KBC 2009), 대한건축학회.  
AIK (2009) *Korea building code and commentary - structural*, Architectural Institute of Korea (in Korean).

[8] 대한건축학회(1996) 데크플레이트를 사용한 합성바닥판 구조에 관한 연구, 대한건축학회.  
AIK (1996) *A Study on the structure of the composite slabs using a deck plate*, Architectural Institute of Korea (in Korean).

[9] Eurocode 4 (2005) *Design of Composite Steel and Concrete Structures Part1-General Rules and Rules for Buildings*, 1992, 5th Revised draft, March.

[10] ACI (2008) *Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI318-08)*, American Concrete Institute.

[11] ASCE (1992) *Standard for the Structural Design of Composite Slabs*, ANSI/ASCE 3-91.

**요 약:** 매달 데크플레이트를 이용한 슬래브의 휨거동을 실험적으로 조사하기 위한 것이 본 논문의 목적이다. 슬래브의 휨성능을 평가하기 위한 실험의 주요 변수로는 데크의 춤과 두께, 스펠, 철근보강 유무 및 단부지지 조건(단순, 고정)이다. 이러한 슬래브에 수직하중이 작용하도록 총 6개의 실험체를 제작하여 실험하였다. 실험결과, 주요변수와 관계없이 슬래브의 내력은 수직방향 휨변형에 의해 지배됨을 알 수 있다. 또한, 리브단면 내에 휨철근이 배근된 실험체가 초기강성 및 균열강성, 휨강도 측면에서 상당히 높게 평가됨을 알 수 있다. 이론값과의 내력 비교결과, 평균 1.05로 상당히 잘 일치하는 것으로 나타났다.

**핵심 용어:** 데크플레이트, 매달 형상, 데크춤, 슬래브, 휨성능