



## 층간소음 대응형 경량합성바닥판에 대한 휨성능 평가

배규웅<sup>1</sup> · 이상섭<sup>2\*</sup> · 박금성<sup>3</sup> · 허병욱<sup>3</sup> · 홍성엽<sup>4</sup>

<sup>1</sup>선임연구위원, 한국건설기술연구원 <sup>2</sup>수석연구원, 한국건설기술연구원  
<sup>3</sup>연구위원, 한국건설기술연구원 <sup>4</sup>전임연구원, 한국건설기술연구원

### Evaluation on Flexural Performance for Light-Weight Composite Floor with Sound Reduction System

Bae, Kyu Woong<sup>1</sup>, Lee, Sang Sup<sup>2\*</sup>, Park, Keum Sung<sup>3</sup>, Heo, Byung Wook<sup>3</sup>, Hong, Sung Yub<sup>4</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  
<sup>4</sup>Researcher, Korea Institute of Construction Technology, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, 411-712, Korea

**Abstract** - The purpose of this study is to propose structural technologies on the light-weight composite floor systems in the unit modular and to evaluate structural performance of the composite floor through flexural experiments. The flexural experiments were carried out on total nine specimens(each three type in shape) using steel flat deck and truss deck. From the results of test, all specimens showed the same failure patterns which exhibited deflection at the center of the specimens due to flexural deformation before concrete crushing at the upper of specimens. Also, we know that the proposed floors satisfied in serviceability and would be safe sufficiently. The ratio of experimental yield load by theoretical nominal load was the distribution of 0.86 to 1.27 with an average 1.04. Coefficient of variation in distribution showed good agreement

**Keywords** - Unit Modular, Deck Plate, Light-weight Composite Floor, Flexural Performance

### 1. 서론

모듈러 유닛 적층공법에서 합성바닥판을 포함한 수평부재는 모듈러 전체 중량의 70%이상을 차지하고, 공동주택 거주자의 사용성 제한에 매우 엄격한 기준이 적용되는 구조부재이다. 특히, 국내의 주택 바닥시스템은 바닥 온돌 시스템을 적용하기 때문에 기존의 선진국의 바닥판 시스템을 적용하는데 한계가 있으며 차음기준 또한 국외보다 국내의 기준이 엄격하여 경량의 바닥판은 그 기준치를 만족시키기에

는 매우 어려운 상황이다.

국내의 경우, 경량콘크리트가 일반화되어 있지 않고 비교적 고가의 제작비용이 소요되기 때문에 경량화에 대한 제약도 많은 실정이다. 또한, 재활용성을 제외한 기존 RC주택과 공업화 모듈러 주택의 순수 총 공사비를 비교해보면 외부 마감 공사와 바닥 공사의 비용이 RC 주택대비 10~15% 높아<sup>[1]</sup> 단기간으로 볼 때 RC주택에 비해 경쟁력을 확보할 수 없는 실정이다.

이러한 문제점들을 해결하여 공업화 모듈러 주택시장에서 경쟁력을 확보하고, 더 나아가 고층형의 공동주택 규모에 적용하기 위해서는 각종 성능(구조, 차음, 내화 등)을 만족하면서 경량인 경제적인 바닥판을 개발하는 것이 요구되어진다.

국내의 모듈러 건축물 바닥판에 대한 선행 연구로서, 모듈러 제작사 현황 조사를 통해 모듈러 바닥판의 구조와 바닥충격음 성능에 대해 단순 분석하였고<sup>[2]</sup>, 데크 및 중공 PC

Note.-Discussion open until December 31, 2014. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 29, 2013; revised March 20, 2014; approved on June 10, 2014.

Copyright © 2014 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-31-910-0768 Fax. +82-31-910-0361

E-mail. lss0371@kict.re.kr

슬래브를 포함한 5종의 바닥판 시스템을 대상으로 단순 휨 실험을 수행하여 휨강도 및 처짐과 진동에 관한 사용성 평가 연구를 수행하였다<sup>[3]</sup>. 이와 같이 국내 모듈러 제작사 현황 및 수행 연구들은 저층 소규모 건축물을 대상으로 연구가 진행되어 왔으며, 모듈러 유닛 적층공법의 고층화 구현을 위한 연구개발은 상당히 미진한 실정이다. 그러나, 유럽을 중심으로 국외에서는 다양한 형태의 건축물에 모듈러 공법이 광범위하게 적용하고 있을 뿐만 아니라 모듈러 적층공법의 고층화를 위한 기술개발과 더불어 현장적용을 위한 시도가 활발히 이루어지고 있다.

유닛 모듈러 전용 합성바닥판의 개발에 있어 가장 중요한 요소는 층간소음에 대처할 수 있는 구조 상세를 개선하는 것으로 기존의 재래식 공법을 사용할 경우, 벽식 구조에서는 층간소음 방지를 위해 콘크리트 두께 210mm 이상, 마감모르타르 50mm 이상이 필요하기 때문에 엄청난 중량의 증가로 시공 시 양중문제 등으로 조립식 공법의 장점이 크게 위축될 수 있어 별도의 구조상세가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 층간소음에 대응할 수 있는 유닛모듈러 경량합성바닥 구조시스템을 제안하고, 이러한 바닥판의 휨성능에 대해 실험적으로 평가하여, 향후 고층형 유닛모듈러 적층 시스템에서 경량합성바닥판에 대한 합리적인 설계가 가능한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 휨성능 평가 실험

### 2.1 바닥판 상세 도출

기존 모듈러 유닛의 바닥판 구조는 철근 배근량 및 콘크리트 사용량이 과다하여 유닛의 자중이 증가하고 이에 따른 운반비 증가, 양중의 어려움 등의 문제점이 있었을 뿐만 아니라, 온돌층을 현장에서 시공하여야 하기 때문에 바닥판 제작공정이 복잡하여 공기가 길어지고 비용이 증가되는 등의 문제점과 함께, 층간소음 확보에도 어려움이 있었다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 데크플레이트를 활용하여 바닥판의 프리캐브화로 공기 단축과 콘크리트 중량을 감소시켜 최적의 합성바닥판을 도출하여 경량성을 확보하고자 하였다. 또한, 층간소음을 고려하여 구조체 단면 내에 단열재(EPS)설치와 바닥판 적층단면 계획 등으로 층간소음을 저감하고자 하였다.

#### 2.1.1 데크형 바닥구조시스템(SDT)

데크형 바닥구조시스템은 평데크(Flat Deck) 하부 강판 위에 단열재를 설치하고, 그 위에 콘크리트가 타설되는 바닥구조 형상이다. 콘크리트를 사용하여 공장에서 프리캐스트화 하는데 거푸집 설치 없이 제작이 가능하다. 당연내화구조를 확보하기 위해 콘크리트 두께가 100mm인 단면상세와 경량성을 확보하기 위하여 최소두께 60mm인 단면상세로 분류 하였다. Fig. 1은 데크형 바닥구조시스템의 단면상세를 보여주고 있다.

#### 2.1.2 트러스형 바닥구조시스템(STT)

Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 트러스형 바닥구조시스템은 모듈러 하부 보 사이에 구성되는 바닥시스템에서 중공재가 내부에 설치된 형태로 프리캐브화함으로써 현장에서

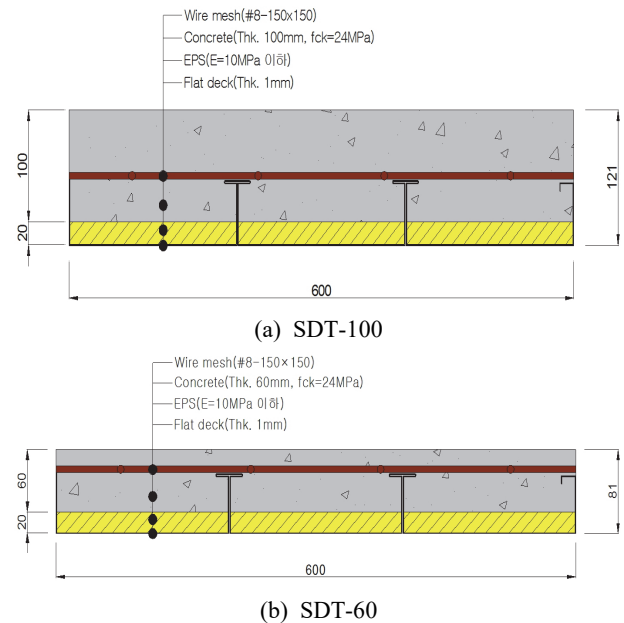


Fig. 1. Steel flat deck type (SDT)

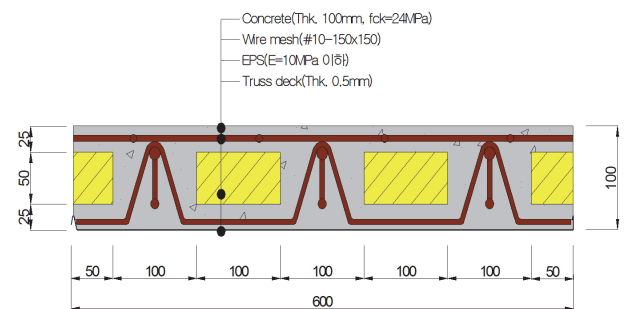


Fig. 2. Steel truss deck type (STT)

의 거푸집 설치와 철근 배근 과정을 생략할 수 있다. 이로 인해 공사기간을 단축하고 시공오차를 줄일 수 있으며, 진동과 소음 등의 바닥충격음과 콘크리트 중량을 감소시킬 수 있는 바닥구조 시스템이다. 특히, 이러한 트러스형 바닥구조시스템은 철근트러스 데크(Truss Deck)에 콘크리트 두께 100mm로 구성하여 내화성을 확보하였으며, 경량성을 확보하기 위해 단면 중앙부에서 구조적 기능을 하지 않는 콘크리트 부분을 최소화하여 단열재로 중공부를 형성함으로써 바닥판의 효율성을 극대화한 시스템이다.

## 2.2 실험체 계획

모듈러 공법은 유닛 박스를 공장에서 제작하고 운반하여 현장에서 양중, 적층 그리고 조립의 공정으로 시공되어진다. 유닛 박스에서 전체 무게의 70% 이상을 차지하는 바닥판에서 경량성을 확보하기 위해 바닥판의 중공화 및 최소 구조설계기준을 만족시키는 최적의 구조 단면으로 합성바닥판의 단면 형상을 도출하였다.

본 실험에서 사용한 평데크와 철근트러스 데크는 기존 제품을 사용해야하기 때문에 유사한 철근비 조건이 되도록 실험체를 계획하여 제작하였다. Table 1은 실험체 일람을 보여주고 있다.

본 실험에서는 모듈러 합성바닥판의 단위면적당 하중재하성능 및 처짐을 평가하기 위하여 데크형 바닥구조시스템

Table 1. Test specimens

Specimens	Deck system	Deck thick. (mm)	Re-bar	Width (mm)	Length (mm)
SDT100-A	Flat Deck	1.0	Non	600	3,000
SDT100-B					
SDT100-C					
SDT60-A	Flat Deck	1.0	Non	600	3,000
SDT60-B					
SDT60-C					
STT-A	Truss Deck	0.5	HD16	600	3,000
STT-B					
STT-C					

\* AAA 00 - X

- A, B, C : Number
- 100 : Thick. 100mm
- 60 : Thick. 60mm
- SDT : Steel flat deck type
- STT : Steel truss deck type

의 콘크리트 두께를 변수로 SDT100실험체와 SDT60실험체 그리고 트러스형 바닥구조시스템인 STT실험체를 대상으로 각각 3개씩 총 9개의 실험체를 계획하였다.

합성바닥판의 구조성능평가를 위해 합성바닥판 단면 형태에 따른 휨강도와 변형성상 및 파괴모드, 사용성 등에 대해 실험적으로 평가하고 향후 유닛 모듈러 적층 구조시스템의 고층화에 대비한 경량합성바닥판의 합리적인 구조설계가 가능한 기초적인 자료를 제공하고자 하는 목적으로 구조성능 평가 실험을 계획하여 수행하였다.

## 2.3 재료 시험

### 2.3.1 강재 인장강도 시험

경량합성바닥판 실험체 제작에 사용된 강재의 물리적 성능을 파악하기 위하여 KS B 0801<sup>[4]</sup>의 금속재료 인장시험편 규정에 따라 강재 인장시험편을 제작하였고, KS B 0802<sup>[5]</sup>의 금속재료 시험방법에 따라 시험을 수행하였다. 평데크는 구조용 용융아연도금강판(SGC 400)을 사용하였고, 철근트러스 데크는 일반 용융아연도금강판(SGCC)을 사용하였다. 시험결과는 Table 2에 정리하였다.

### 2.3.2 콘크리트 압축강도 시험

본 실험에 사용된 콘크리트의 설계기준 강도는 24MPa와 40MPa이며, 배합비는 Table 3에 정리하여 나타내었다.

Table 2. Test results of tensile strength

Items	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$\epsilon_y$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\sigma_y/\sigma_u$	$El_o$
D16	433	592	2,165	0.73	21
Flat deck	312	431	2,205	0.72	28
Truss deck	255	348	2,157	0.73	33

$\sigma_y$ : Yield strength,  $\sigma_u$ : Tensile strength

$\epsilon_y$ : Strain,  $\sigma_y/\sigma_u$ : Yield ratio,  $El_o$ : Strain ratio

Table 3. Test results of compressive strength

$f_r$ (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Requirement ( $kg/m^3$ )					$f_{cu}$ (MPa)
			Water	Cement	f.a	c.a	AE	
24	48	27.5	165	344	860	968	1.72	26.2

$f_r$ : Compressive strength of concrete mix design

f.a: Fine aggregate, c.a: Coarse aggregate,

AE: AE agent,  $f_{cu}$ : Average compressive strength

KS F 2403<sup>[6]</sup>에 따라  $\Phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 의 원통형 몰드에 콘크리트 강도에 따라 12개씩 총 24개의 공시체를 콘크리트 타설과 동시에 제작하여 휨성능 실험체와 동일한 조건으로 양생하였다. 콘크리트의 강도시험은 KS F 2405<sup>[7]</sup>에 따라 만능시험기(Universal Testing Machine)를 사용하여 실시하였으며, 정확한 강도 산정을 위해 건축구조기준(KBC) 0502.2.2.1<sup>[8]</sup>에 의해 강도보정계수 0.97를 적용하였다. 공시체의 평균 압축강도값은 26.2MPa와 44.7MPa로 나타났다.

### 2.4 가력 및 측정 방법

경량합성바닥판에 대한 휨성능 실험은 Fig. 3과 같이 실험체 양 단부를 힌지점 상부 위에 올려놓고 휨 파괴를 유도하기 위해 실험체의 중앙부에서  $l/5$  거리에 2점 단조가력하였다. 하중 가력은 실험체가 항복하중 이후 최대하중으로 진입하여 실험체가 휨변형으로 더 이상 가력하기에 불안정한 상태가 되었을 때 종료하였다.

합성바닥판에 대한 휨성능 평가를 위해 UTM(Universal Testing Machine, 만능 재료 시험기)을 사용하여 변위계로 가력 하였으며, 가력 속도는 ASTM C39에서 규정하고 있는 압축강도 공시체에 대한 하중 가력속도를 응용하여 0.2mm/sec로 가력 하였다. 휨변형으로 인한 처짐을 측정하기 위해 200mm의 변위까지 측정할 수 있는 총 3개의 선

형 변위측정기(LVDT)를 실험체 중앙과 가력지점 위치 하단면에 각각 설치하여 각 단계별 하중과 변위를 측정하였다.

## 3. 실험 결과 분석 및 고찰

### 3.1 휨거동 및 파괴형태

유닛 모듈러 적층 공법에 이용하는 경량합성바닥판에 대한 휨성능 평가를 위해 3가지의 형상에 대해 각각 3개씩 총 9개의 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 1방향 슬래브는 비교적 강성이 작아 시공이나 사용성 측면에서 우선 안전성이 확보되어야 한다. 이에 일차적으로 바닥판의 사용하중 상태에 따른 처짐제한을 검토하였다. 사용하중은 공동주택의 발코니를 기준으로 기본등분포할하중  $3.0\text{kN/m}^2$ 으로 적용하였으며 처짐제한치는 보의 순경간( $L_n$ )  $1/360$ 로 하였다. 사용하중과 처짐 제한값은 식 (1), (2)와 같다.

$$\cdot \text{사용하중} : 3.0\text{kN/m}^2 \times 3\text{m} \times 0.6\text{m} = 5.4\text{kN} \quad (1)$$

$$\cdot \text{처짐제한치} : L_n/360 = 3000\text{mm}/360 = 8.33\text{mm} \quad (2)$$

바닥판의 단면 형상에 따른 하중-변위 관계 및 실험적 파괴 거동을 면밀히 관찰하였다. 실험결과, 실험체의 파괴양상은 단면 형상에 따라 다른 거동 형태를 보였으며, 동일한 단면 형상의 실험체에서는 모두 동일한 파괴양상을 보였다.

#### 3.1.1 데크형-100 바닥구조시스템(SDT100)

실험에서 나타난 파괴형상과 하중-변위 관계를 각각 Fig. 4~5에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이, SDT100-A 바닥구조 실험체의 초기 균열은 하중 34kN일 때 우측 가력부 부근에서 발생하였으며 점차적으로 가력부와 실험체 중앙부에서 양단 끝으로 휨균열이 확대되었다. 이후 휨균열이 전단균열로 진전되면서 하중 38kN에서 콘크리트와 데크의 기계적 부착강도 이상 될 때 실험체 양쪽 단부에서 데크가 탈착되면서 약 10mm 정도의 슬립이 발생하였다. 최대하중은 변위 113mm 부근에서 45kN으로 나타났으며 콘크리트 상부 면에서 압괴가 발생하여 실험을 종료하였다.

SDT100-B 바닥구조 실험체의 초기균열은 하중 36kN일 때 우측 가력부 부근에서 발생하였으며 점차적으로 양단 끝으로 휨균열이 확산되었다. 하중 40kN일 때, 실험체 양단

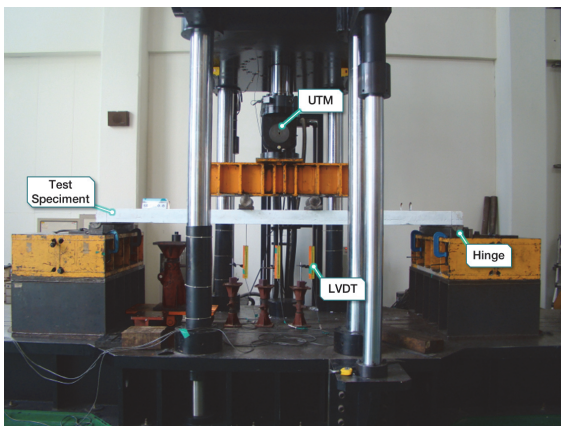
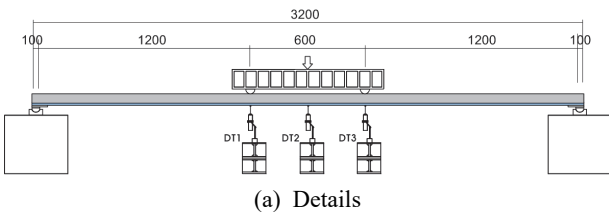


Fig. 3. Bending strength test of floor



끝에서 콘크리트와 데크가 탈락되면서 약 9mm 정도의 슬립이 발생하였다. 최대하중은 143mm 변위에서 46kN으로 나타났으며 전체적으로 휨과괴 거동을 보였다.

SDT100-C 바닥구조 실험체 또한 동일한 단면의 바닥구조 실험체들과 유사한 파괴 양상을 나타냈으며, 초기균열은 하중 36.5kN에서 가력부 부근에서 발생하였다. 초기균열 후 실험체 중앙부에서 양단 끝으로 휨균열이 확산되었으며 하중 40.5kN에서 양단부에서 데크와 콘크리트가 박리되면서 약 9mm 정도의 슬립이 발생하였다. 최대하중은 변위 136mm일 때 45kN이며 최종적으로 콘크리트 상부면에 압괴가 발생하여 실험을 종료하였다.

Fig. 5의 SDT100 바닥구조 실험체의 하중-변위 관계 곡선에서 보여주는 바와 같이 화학적 부착력 상실에 의한 초기슬립의 발생으로 35kN 이후에 강성 변화가 일어나고 있는 것을 확인할 수 있다. 탄성구간 이후 완만한 소성구간으로 이어져 연성파괴 거동으로 바닥판 설계에서 가장 이상적인 거동을 보여주고 있다. 고정하중(D)과 활하중(L)에 대한 사용하중상태에서 바닥판은 탄성구간에 위치하고 있으며 구조적으로 상당한 안전율을 확보하고 있는 것으로 판단된다. 또한, 활하중(=5.4kN)에 대한 처짐 제한(=8.33mm) 값보다 작게 평가되어 사용성 측면에서도 우수한 것으로 나타났다.

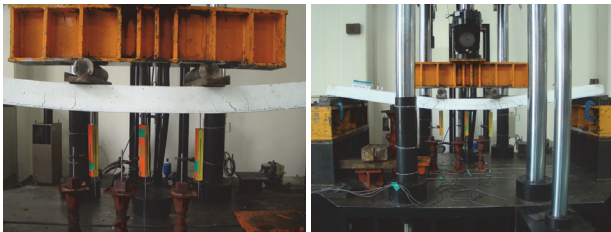


Fig. 4. Fracture mode of specimens (SDT100)

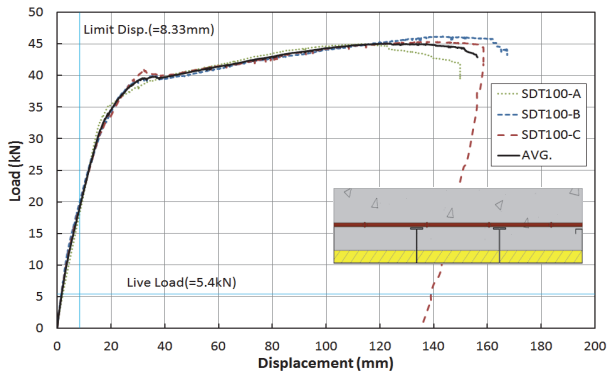


Fig. 5. Load-displacement curves (SDT100)

### 3.1.2 데크형-60 바닥구조시스템(SDT60)

SDT60 바닥구조 실험체의 파괴형상과 하중-변위 관계를 각각 Fig. 6~7에서 보여주고 있다. SDT60-A, SDT60-B 그리고 SDT60-C 바닥구조 실험체의 초기균열하중은 각각 17.3kN, 16.2kN 그리고 17kN으로 가력부 부근에서 발생하였으며 점차적으로 실험체 양 단부로 휨균열이 확산되었다.

이후 휨균열이 전단균열로 진전되면서 SDT60-A, SDT60-B 그리고 SDT60-C 바닥구조 실험체의 하중이 각각 23kN, 24kN 그리고 26kN일 때, 콘크리트와 데크가 탈락되면서 대부분 약 2mm의 슬립이 발생하였다. SDT60-A, SDT60-B 그리고 SDT60-C 바닥구조 실험체의 최대하중은 각각의 변위가 156mm, 160mm 그리고 132mm일 때, 27kN, 29kN 그리고 30kN 정도로 나타났다.

SDT60 바닥구조 실험체는 SDT100 바닥구조 실험체와 동일하게 항복이후 하중과 변형이 지속적으로 완만히 증가하는 이상적인 연성파괴 거동으로 보여주고 있다. 고정하중(D)과 활하중(L)에 대한 사용하중상태에서 바닥판은 탄성구간에 위치하고 있으며 구조적으로 상당한 안전율을 확보하고 있는 것으로 판단된다. 또한, 활하중(=5.4kN)에 대한 처짐 제한(=8.33mm) 값보다 작게 평가되어 사용성 측면에서도 다소 우수한 것으로 나타났다.

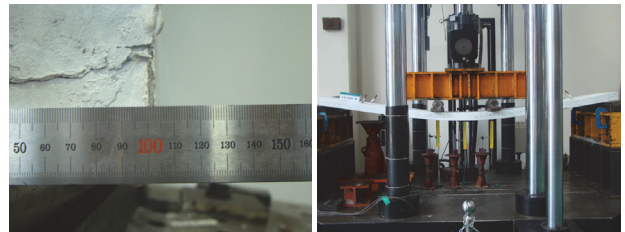


Fig. 6. Fracture mode of specimens (SDT60)

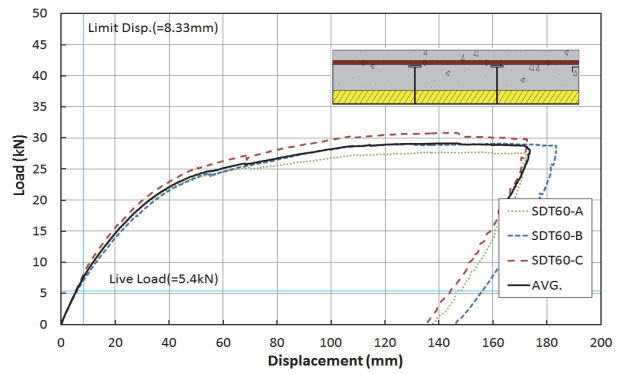


Fig. 7. Load-displacement curves (SDT60)

### 3.1.3 트러스형 바닥구조시스템(STT)

STT 바닥구조 실험체의 파괴형상과 하중-변위 관계를 각각 Fig. 8~9에서 보여주고 있다. STT-A, STT-B 그리고 STT-C 바닥구조 실험체의 초기균열하중은 각각 15.5kN, 17.6kN 그리고 12.6kN으로 대부분 실험체 중앙부에서 발생하였으며 점차적으로 실험체 양 단부 방향으로 20mm 간격의 휨균열이 발생하면서 확대되었다. 이후 휨균열이 전단균열로 진전되면서 STT-A, STT-B 그리고 STT-C 바닥구조 실험체의 하중이 각각 31.5kN, 27.8kN 그리고 35.7kN일 때, 콘크리트와 데크가 부착파괴 되면서 약 7mm 정도의 슬립이 발생하였다. STT-A, STT-B 그리고 STT-C 바닥구조 실험체의 최대하중은 각각의 변위가 68mm, 62mm 그리고 64mm일 때, 44kN, 45kN 그리고 45kN으로 나타났으며 콘크리트 상부 면에서 압괴가 발생하여 가력을 종료하였다.

사용하중 상태에서 바닥판은 탄성구간에 위치하고 있으며 구조적으로 상당한 안전율을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

또한, 활하중(=5.4kN)에 대한 처짐도 제한(=8.33mm) 값보다 작게 평가되어 사용성 측면에서도 우수한 것으로 나타났다. 하지만, STT 바닥구조실험체는 항복이후 상부 압축 트러스근의 좌굴로 급격한 하중감소로 이어지는 취성적인



Fig. 8. Fracture mode of specimens (STT)

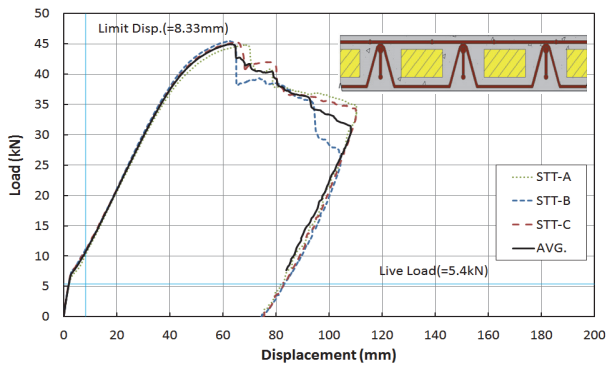


Fig. 9. Load-displacement curves (STT)

파괴 거동을 보여주고 있다. 이는 철근트러스 데크 합성슬래브의 전형적인 파괴거동 양상을 보이거나 설계에 반영하는데 문제는 없는 것으로 판단된다.

### 3.2 강성 및 내력 평가

유닛 모듈러 적층공법에 적용하기 위한 경량합성바닥판의 휨성능 실험결과 및 이론적 평가를 수행하였으며, 휨실험에 대한 초기강성( $eK_i$ ), 항복하중( $P_y$ ), 최대하중( $P_u$ ) 그리고 항복시의 변위( $\delta_y$ ) 및 최대하중시의 변위( $\delta_u$ ) 그리고 연성율( $D_R$ ) 등을 Table 4에 정리하여 나타내었다. 실험 항복하중( $P_y$ ) 값은 Fig. 10와 같이 하중-변위 곡선에서 원점과 최대하중의 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), 초기접선강성 선분과 만나는

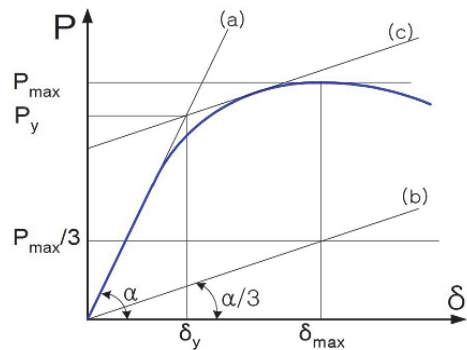


Fig. 10. Definition of the yield load

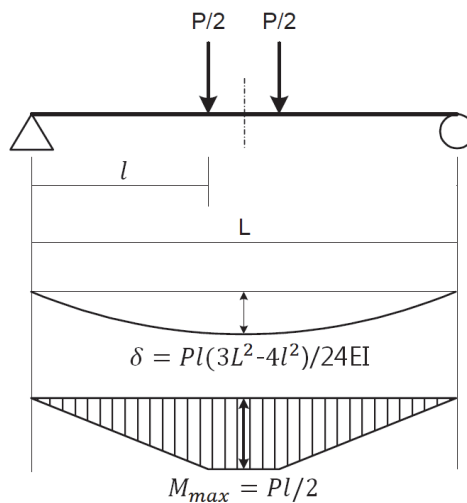


Fig. 11. Moment-deflection relationship by two point load

점점으로 평가한 값이다<sup>[9],[10]</sup>.

합성바닥판에 대한 휨강성 및 내력을 평가하기 위해서 Fig. 11과 같이 실제 실험의 가력방법에 따라 발생하는 처짐과 모멘트 관계를 이용하여 유도된 식 (3)으로부터 구한 이론강성( $tK_i$ ,  $tK_{cr}$ ) 및 공칭 휨모멘트( $M_n$ )의 값으로 이론하중( $P_n$ )을 계산한다. 실험으로부터 구한 강성( $K_i$ ,  $K_{cr}$ ) 및 항복하중( $P_y$ )을 산정하여 이론값과 실험값의 비교를 통해 바닥판의 구조성능을 평가하고자 한다<sup>[11],[12],[13],[14],[15]</sup>.

$$\delta = \frac{P \cdot l}{24EI} (3L^2 - 4l^2) \quad (3)$$

여기서,  $P$ : 하중

$L$ : 스패길이

$l$ : 지점과 가력점 사이의 거리

$$tK_i = \frac{24EI_y}{l(3L^2 - 4l^2)} \quad (4)$$

$$tK_{cr} = \frac{24EI_c}{l(3L^2 - 4l^2)} \quad (5)$$

여기서,  $tK_i$ : 이론 초기강성

$tK_{cr}$ : 이론 균열 후 강성

$I_y$ : 단면2차모멘트

$I_e$ : 유효단면2차모멘트(= $[I_y + I_{cr}]/2$ )

$I_{cr}$ : 균열단면2차모멘트

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right), \quad a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f_{ck} \cdot b_e}$$

$$\therefore P_n = \frac{2M_n}{l} \quad (6)$$

여기서,  $A_s$ : 철근단면적

$f_y$ : 철근의 항복응력

$a$ : 등가응력블록 깊이

$d$ : 콘크리트 압축연단에서부터 인장철근까지 거리

$f_{ck}$ : 콘크리트 압축강도

$b_e$ : 슬래브 유효폭

합성바닥판의 단면2차모멘트 산정시 총 단면에서 단열층 재를 제외한 나머지 콘크리트 부위를 기준으로 SDT 실험체는 직사각형 단면으로 STT형 실험체는 I자형 단면으로 형

Table 4. Comparison between test results and theoretical value

Specimen	$P_i$ (kN)	$\delta_i$ (mm)	$P_y$ (kN)	$P_n$ (kN)	$\frac{P_y}{P_n}$	$\delta_y$ (mm)	$P_u$ (kN)	$\delta_u$ (mm)	$eK_i$ (kN/mm)	$tK_i$ (kN/mm)	$eK_{cr}$ (kN/mm)	$tK_{cr}$ (kN/mm)	$\frac{eK_i}{tK_i}$	$\frac{eK_{cr}}{tK_{cr}}$	$\mu$
SDT100-A	33.89	17.46	38.82	45.17	0.86	32.86	45.02	113.04	1.94	1.76	0.32	1.09	1.10	0.29	3.44
SDT100-B	35.93	22.00	39.98		0.89	35.66	46.23	143.44	1.63		0.30		0.93	0.28	4.02
SDT100-C	36.42	23.6	40.54		0.90	31.44	45.36	135.9	1.54		0.53		0.88	0.49	4.32
SDT60-A	17.27	25.86	23.90	25.35	0.94	52.46	27.75	156.08	0.67	0.46	0.25	0.35	1.46	0.71	2.95
SDT60-B	16.17	24.76	24.12		0.95	52.78	29.12	160.92	0.65		0.28		1.41	0.80	3.04
SDT60-C	16.98	21.34	26.43		1.04	56.22	30.84	132.2	0.79		0.27		1.72	0.77	2.16
STT-A	15.43	14.28	43.14	34.95	1.23	55.52	44.87	68.16	1.08	1.31	0.67	0.53	0.82	1.23	1.23
STT-B	17.56	16.10	44.62		1.27	56.42	45.49	62.22	1.09		0.67		0.83	1.23	1.10
STT-C	12.57	10.14	44.11		1.26	55.70	45.27	64.36	1.24		0.69		0.94	1.30	1.16
Avg.	-	-	-	-	1.04	-	-	-	-	-	-	-	1.12	0.79	-
CV	-	-	-	-	0.154	-	-	-	-	-	-	-	0.276	0.473	-

※  $P_i$ : Load under initial crack(kN),  $\delta_i$ : Middle of displacement under initial crack(mm),  $P_y$ : Yield load(kN),  $P_n$ : Theoretical nominal strength(kN),  $\delta_y$ : Middle of displacement under yield load(mm),  $P_u$ : Maximum load in the test(kN),  $\delta_u$ : Middle of displacement under maximum load(mm),  $eK_i$ : Experimental initial Stiffness(kN/mm),  $tK_i$ : Theoretical initial Stiffness (kN/mm),  $eK_{cr}$ : Experimental Cracked Stiffness(kN/mm),  $tK_{cr}$ : Theoretical Cracked Stiffness(kN/mm),  $eK_i/tK_i$ : Experimental initial Stiffness/Theoretical initial Stiffness,  $eK_{cr}/tK_{cr}$ : Experimental Cracked Stiffness/Theoretical Cracked Stiffness,  $\mu$ : Ductility rate, Avg.: Average value, CV: Coefficient of variation

성하여 산정하였다.

Table 4에서 보는바와 같이 내력이 가장 낮게 평가된 SDT60 실험체를 기준으로 SDT100 실험체의 항복하중 측면에서는 1.56~1.61의 범위로 나타났으며, STT 실험체는 1.73~1.79의 범위로 가장 높은 것으로 평가되었다.

최대하중측면에서 SDT60 실험체를 기준으로 SDT100 실험체는 1.54~1.58의 범위로 나타났으며 STT 실험체는 1.53~1.55의 범위로 나타나 SDT100 실험체가 가장 높은 것으로 평가되었다.

초기강성측면에서는 SDT100 실험체는 2.19~2.75의 범위를 보였으며 STT 실험체는 1.54~1.76의 범위를 나타냈다. SDT100 실험체와 STT 실험체는 유사한 내력을 보였지만 SDT60 실험체는 경량성을 확보하기 위해 콘크리트 등가깊이를 60mm로 계획하였기 때문에 단면성능 측면에서 다른 실험체들 보다 떨어져 내력이 작게 평가된 것으로 사료된다.

연성능력측면에서는 단면형상에 따라 연성율의 크기는 1.10~4.32의 범위이며, STT→SDT60→SDT100의 순으로 크게 나타남을 알 수 있다. 특히 STT 실험체가 다른 실험체에 비해 연성능력 측면에서 성능저하가 나타난 것은 최대하중 이후 압축 트러스근의 국부좌굴 현상으로 인한 취성적인 휨파괴 거동에 기인한 것으로 판단된다.

이론값에 대한 실험값의 비교결과는 Table 4와 Fig. 12에서 보여주고 있다. 항복하중의 실험값에 대한 이론값의 비를 나타내는 Fig. 12(a)의 경우, 공칭하중에 대한 실험 항복하중의 비( $P_y/P_n$ )는 0.86~1.27의 분포로 평균 1.04로 나타났으며, 분포도 측면에서 0.154로 나타나 비교적 좋은 결과를 나타냈다. STT형 실험체가 SDT형 실험체 보다 공칭하중에 대한 실험 항복하중의 비가 크게 나타났는데, 이는 공칭하중( $P_n$ ) 계산시 압축철근과 인장철근만을 고려하여 산정한 값으로 래티스근이 바닥판의 내력 상승에 일부 기여하여 실험값이 다소 높게 나온 것으로 판단된다.

이론값에 대한 실험값의 초기강성 비를 나타내는 Fig. 12(b)의 경우, 초기강성의 비( $K_i/tK_i$ )의 분포는 0.82~1.72의 분포로 평균 1.12로 나타났으며 분포도 측면에서 변동계수는 0.276으로 잘 일치하는 결과를 보였다.

이론값에 대한 실험값의 균열 후 강성비를 나타내는 Fig. 12(c)의 경우, 균열 후 강성비( $K_{cr}/tK_{cr}$ )의 분포는 0.29~1.30의 분포로 평균 0.79로 나타났으며 분포도 측면에서 변동계수는 0.473으로 다소 큰 편차를 보였다. 이는 단면2차

모멘트 산정시 인장철근까지의 위치(d)를 계산할 때 SDT100의 실험체와 SDT60의 실험체의 유효층 깊이가 이론상 차이가 크지만 실제 거동에서는 콘크리트와 데크 사이에 있는 단열층재로 인해 레이어가 분리되어 완전 합성거동이 나타나지 않아 강성차이가 있는 것으로 판단된다.

본 연구는 경량성 및 차음성능을 확보하기 위해 데크플레이트와 중공재를 사용하여 진동과 소음전달 등을 최소화 가능한 바닥판 단면형상을 도출하였다. 이러한 경량합성바

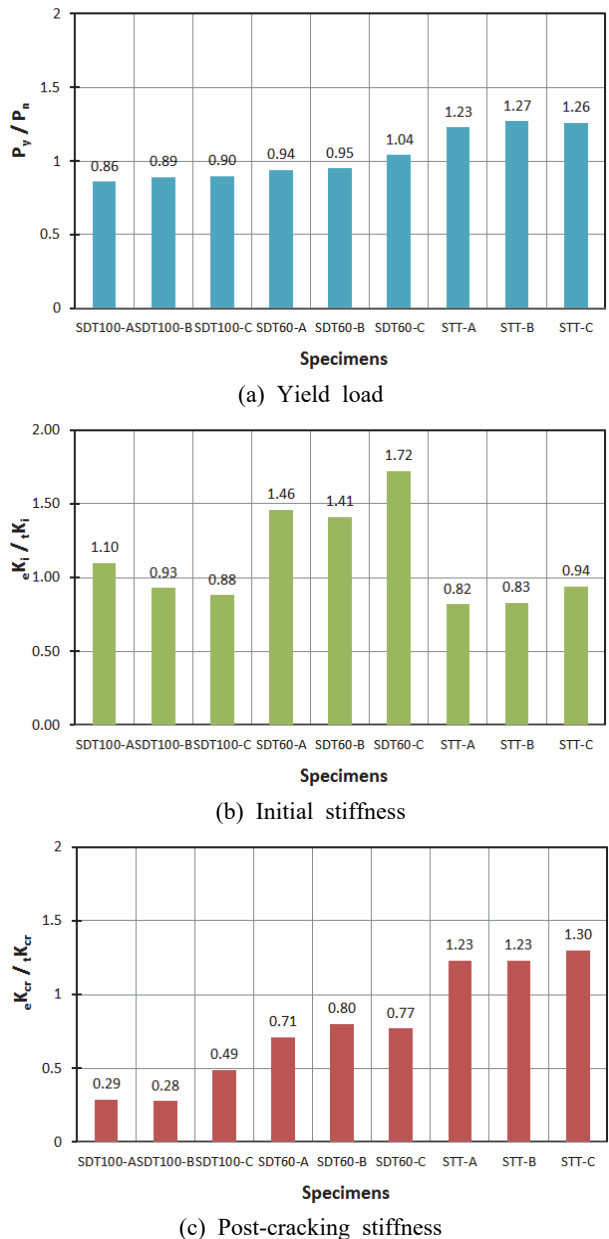


Fig. 12. Curve comparison between test results and theoretical value



다판에 대한 휨실험을 수행한 결과, 주택의 사용하중 상태에서는 모든 형상의 바닥판 실험체는 구조적으로 안전하고 사용성 측면에서도 우수한 것으로 나타났다. 제안된 형상의 합성바닥판을 고층형의 유닛 모듈러 주택의 바닥판으로 상용화하기 위해서는 구조성능은 물론 차음 및 내화성능 확보가 가능토록 하기 위한 후속 연구가 체계적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 층간소음에 대응할 수 있는 고층형의 유닛모듈러 경량합성 바닥구조 시스템을 제안하고, 이러한 바닥판에 대한 휨성능을 실험적으로 평가하였다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 경량합성바닥판의 휨거동을 관찰한 결과, 실험체의 파괴형태는 모두 동일한 파괴양상으로 바닥판의 중앙부의 처짐으로 인한 휨변형에 의해 지배되었으며 종국으로 바닥판 상부에 콘크리트 압괴가 발생함을 알 수 있었다.
- (2) 고정하중과 활하중에 대한 사용하중 상태에서 경량합성바닥판은 탄성구간에 위치하고 있으며 구조적으로 상당한 안전율을 확보할 뿐만 아니라 사용성 측면에서도 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 실험결과, 항복하중은 SDT60→SDT100→STT순으로 크게 나타났으며, 최대하중은 SDT60→STT→SDT100순이고 연성율은 STT→SDT60→SDT100의 순으로 크게 나타남을 알 수 있다. 특히 연성율 측면에서 STT실험체는 최대하중 이후 상부 압축 트러스근의 좌굴로 급격한 하중감소로 이어지는 취성파괴 거동으로 보여주고 있어 철근비 검토를 통한 연성적 설계가 고려되어야 할 것으로 생각된다.
- (4) 이론적 공칭하중에 대한 실험 항복하중의 비는 0.86~1.27의 분포로 평균 1.04로 나타났으며, 분포도 측면에서 변동계수는 0.154로 나타나 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.
- (5) 초기강성의 실험값에 대한 이론값의 분포는 0.82~1.72의 범위로 평균 1.12로 나타났으며 분포도 측면에서 변동계수는 0.276으로 나타났다.

- (6) 균열 후 강성의 실험값에 대한 이론값의 분포는 0.29~1.30의 분포로 평균 0.79로 나타났으며 분포도 측면에서 변동계수는 0.473으로 다소 큰 편차를 보였다.
- (7) 경량합성바닥판은 사용하중(=5.4kN)과 처짐(=8.33mm) 제한값을 모두 만족하였으며, 사용하중에 비해 5~8배 정도 큰 내력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.
- (8) 제안된 형상의 합성바닥판을 고층형의 유닛 모듈러 주택의 바닥판으로 상용화하기 위해서는 보다 상세한 구조성능은 물론 차음 및 내화성능 확보를 위한 후속 연구가 체계적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(탈현장 초고속 주택 구조안전성 기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌(References)

- [1] 이창재, 왕우철, 이원학, 임석호(2012) 모듈러 건축의 경제성 분석 연구, 대한건축학회 2012년 추계학술발표대회 논문집, 대한건축학회, pp.99-100.  
Lee, C.-J., Wang, W.-C., Lee, W.-H., and Lim, S.-H. (2012) Study on Modular Construction of Economic Analysis, *Proceeding of Annual Autumn Conference of Architectural Institute of Korea*, AIK, pp.99-100 (in Korean).
- [2] 송영학, 임석호, 이가경, 이원학(2011) 국내 모듈러건축 및 제작사 현황조사 연구, 대한건축학회 2011년 추계학술발표대회 논문집 - 계획계, 대한건축학회, pp.65-66.  
Song, Y.-H., Lim, S.-H., Lee, G.-K., and Lee, W.-H. (2011) A Study of Current State Examination for Prefab Architecture and Manufacturer, *Proceeding of Annual Autumn Conference of Architectural Institute of Korea*, AIK, pp. 65-66 (in Korean).
- [3] 이재균, 박지훈, 조봉호(2009) 모듈러 건축물을 위한 바닥판 시스템의 구조성능 실험, 대한건축학회논문집-구조계, 대한건축학회, 제25권, 제2호, pp.19-28.  
Lee, J.-G., Park, J.-H., and Cho, B.-H. (2009) Structural Performance Tests of Slab Systems for Modular Building Structures, *Journal of Architectural Institute of Korea - Structures & Construction*, AIK, Vol.25, No.2, pp.19-28 (in Korean).

- Korean).
- [4] 국가기술표준원(2007) 금속재료 인장시험편(KS B 0801: 2007).  
Korean Agency for Technology and Standards (2007) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [5] 국가기술표준원(2008) 금속 재료 인장 시험 방법(KS B 0802: 2008).  
Korean Agency for Technology and Standards (2008) *Method of Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0802: 2008), Korea (in Korean).
- [6] 국가기술표준원(2010) 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법(KS F 2403: 2010).  
Korean Agency for Technology and Standards (2010) *Standard Test Method of Making and Curing Concrete Specimens* (KS F 2403: 2010), Korea (in Korean).
- [7] 국가기술표준원(2010) 콘크리트 압축 강도 시험방법(KS F 2405: 2010).  
Korean Agency for Technology and Standards (2010) *Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete* (KS F 2405: 2010), Korea (in Korean).
- [8] 대한건축학회(2009) 건축구조기준 (KBC 2009) 및 해설, 기문당.  
Architectural Institute of Korea (2009) *Korea Building Code (KBC 2009) and Commentary*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [9] 허병욱, 광명근, 배규웅, 정상민, 강석규(2007) 트러스 데크를 사용한 강판성형 합성보의 휨성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제19권, 제4호, pp.413-423.  
Heo, B.W., Kwak, M.K., Bae, K.W., Jung, S.M., and Kang, S.K. (2007) Flexural Capacity of the Profiled Steel Composite Beams with Truss Deck Plate, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.19, No.4, pp.413-423 (in Korean).
- [10] 배규웅, 이상섭, 박금성(2013) 매달 테크플레이트를 이용한 슬래브의 휨거동에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제1호, pp.25-34.  
Bae, K.W., Lee, S.S., and Park, K.S. (2013) An Experimental Study on the Flexural Behaviour for the Slabs Using the Suspending Deck Plate, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.1, pp.25-34 (in Korean).
- [11] 박금성, 이상섭, 배규웅(2011) 매다는 테크플레이트 재하 성능 평가, 한국강구조학회 2011년 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.55-56.  
Park, K.S., Lee, S.S., and Bae, K.W. (2011) Evaluation on the Loading Performance for the Hanging Deck Plate, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.55-56 (in Korean).
- [12] 김상섭, 유덕수, 부윤섭(2012) 자중저감 철선일체형 중공 테크플레이트 슬래브의 휨 및 전단내력에 대한 구조성능평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제4호, 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).
- [13] European Committee for Standardization (1992) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1: General Rules and Rules for Buildings* (5th Revised Draft), Belgium.
- [14] American Concrete Institute (2007) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*, USA.
- [15] American Society of Civil Engineers (1991) *Standard for the Structural Design of Composite Slabs (ANSI/ASCE 3-91)*, USA.

**요 약** : 층간소음에 대응할 수 있는 유닛모듈러 경량합성바닥 구조시스템을 제안하고, 이러한 바닥판에 대한 내력 및 거동을 실험연구를 통해 평가하고자 하는 것이 본 연구의 목표이다. 평데크와 철근트러스 데크를 활용하여 제안된 형상별로 각각 3개씩 총 9개의 경량합성바닥 판 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 실험결과, 실험체의 파괴 형태는 바닥판의 중앙부에서 처짐으로 인한 휨변형에 의해 지배되었으며 종국으로 바닥 상부에 콘크리트 압괴가 발생하는 동일한 파괴양상을 나타내었다. 또한, 사용하중 상태에서는 구조적으로 안전하고, 사용성 측면에서도 우수한 것으로 나타났다. 이론적 공칭하중에 대한 실험 항복하중의 비는 0.86~1.27의 분포로 평균 1.04로 나타났으며, 분포도 측면에서 변동계수는 0.154로 나타나 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 유닛 모듈러, 테크플레이트, 경량합성바닥판, 휨성능