

# 사다리꼴 형상의 경량체를 가진 데크형 중공슬래브의 휨 및 전단성능에 대한 실험적 연구

김필중<sup>1</sup> · 김상모<sup>2</sup> · 박준혁<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>교수, 인천대학교, 도시건축학부, <sup>2</sup>대표이사, (주)반석티브이에스, <sup>3</sup>연구원, (주)반석티브이에스

## Experimental Study on Bending and Shear Performance of Deck Type Void Slab with Trapezoidal Hollow Ball

Kim, Pil Jung<sup>1</sup>, Kim, Sang Mo<sup>2</sup>, Park, Joon Hyuk<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Division of Architecture and Urban Design, Incheon University, Incheon, 22012, Korea

<sup>2</sup>Chief Technology Officer, TVS COREA Co.,Ltd., Seoul, 05854, Korea

<sup>3</sup>Research Worker, TVS COREA Co.,Ltd., Seoul, 05854, Korea

**Abstract** - In this study, a trapezoidal hollow ball is used, instead of a spherical hollow ball commonly used in void slab, to secure the high hollow ratio in the deck type void slab. The bending and shear performance was measured with consideration for the shape change of the hollow ball. And to confirm the effect of deck plate and truss wire on shear performance, experiments were performed depending on the installation directions of the one-way deck plate. As a result, the bending performance of the deck type void slab with a trapezoidal hollow ball was similar to that of the void slab with a spherical hollow ball. However, according to the data of shear strength examined, the contribution of shear performance enhancement of the truss wire had a more effect on the shear performance of deck type void slab, rather than the influence by changing of the shape of hollow ball. In the previous studies, the shear strength is reduced to about 60%, due to the reduction of the effective section of concrete by installation of hollow ball. But in this experiment, the maximum load of specimen, in which the deck was installed in horizontal direction, so expected to have no influence on the shear performance, was only reduced to about 87%, due to the truss framework of truss wire.

**Keywords** - Deck type void slab, Shape of hollow ball, Deck installation direction, Shear strength, Bending force

### 1. 서론

최근 건설현장에 활발히 적용되고 있는 중공슬래브는 건축물의 경량화를 목적으로 슬래브 내에 경량체를 삽입하여 콘크리트의 일부분을 삭제함에 따라 자중을 줄이는 공법이다. 중공슬래브는 구조적인 효율성을 극대화한 기술이면서도 생산단계에서 약 30%정도 탄소발생을 줄이는 친환경 공

법으로, 적용이 확산되고 있다.

Fig. 1과 같이 중공슬래브는 콘크리트의 단면에서 중앙부에 위치하는 콘크리트 부분을 삭제하여 자중을 줄이는 방식으로 휨내력에는 큰 변화가 없어 주로 휨모멘트가 크게 작용하는 슬래브에서 효율적으로 적용 가능한 바닥구조이다.

이때, 콘크리트 단면 손실로 인한 전단내력 감소에 대응하기 위해 전단력이 크게 작용하는 부분에는 경량체를 배치하지 않아 전단에 대한 안전성 또한 확보할 수 있다.

Note.-Discussion open until June 30, 2018. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 15, 2017; revised October 25, 2017; approved on November 6, 2017.

Copyright © 2017 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-2-583-6088 Fax. +82-2-583-6089

E-mail. tvscorea@daum.net

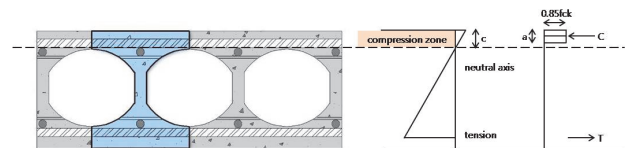


Fig. 1. Void slab section with flexure at ultimate

기존 이방향 중공슬래브 공법들의 차이는 경량체의 형상과 경량체를 유니트화 하는 방법에 따라 구별된다. 경량체의 형상이 중공슬래브 내부의 응력흐름에 영향을 주어 전단내력에 가장 크게 영향을 주는 요인이다. 해외제품의 경우 경량체 형상이 대부분 구형(spherical)에 가깝다. 구형의 경량체를 갖는 제품들의 연구논문들의 내용을 보면 구조적인 거동이 유사하게 보인다. 다만, 경량체의 규격, 유니트의 구성 방법 그리고 시공방법에 차이가 있을 뿐이다<sup>[1],[2],[3],[4],[5],[6]</sup>.

근래에 현장작업자의 인력수급난이 가중됨에 따라 일반 거푸집공사의 단가 상승 문제로 데크를 사용하는 것이 일반화되고 있으며, 중공슬래브 또한 데크형의 효율적인 적용이 요구되고 있다<sup>[7],[8],[9],[10]</sup>. 그러나 구형의 경량체를 트러스철선을 가진 데크플레이트에 적용할 경우 슬래브의 두께는 물론 철선 간격의 제한조건에 따라 중공률이 크게 줄어들게 된다.

본 연구에서는 중공률을 극대화한 형상을 개발하고 이 형상으로 인한 전단내력이 감소될 것으로 예상되는 부분은 데크의 트러스 철선의 거동으로 보완이 가능하다고 판단되어, 콘크리트 타설과 전선관 배관 등의 시공성을 고려한 사다리꼴 경량체의 형상을 개발하였다. 구조성능에 가장 크게 영향을 주는 경량체 형상이 변화함에 따른 중공슬래브의 전단 및 휨내력 성능을 확인하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

기존의 이방향 데크형 중공슬래브는 Fig. 2와 같이 두가지의 형태로 적용되고 있다. 트러스형 데크는 트러스거더의 간격이 300mm이고, 높이가 약 300mm까지만 생산되기 때문에 적용 시 기둥간격에 따른 슬래브의 두께변화에 한계가 있어 350mm 이상의 슬래브 두께인 경우에는 하부철근만을 일체로 생산되는 V-데크에 적용한다.

Fig. 2(b)의 V-데크에 중공슬래브 적용 방법은, 데크에 선 조립된 일방향 철근의 상부에 직각방향의 부근을 배근한

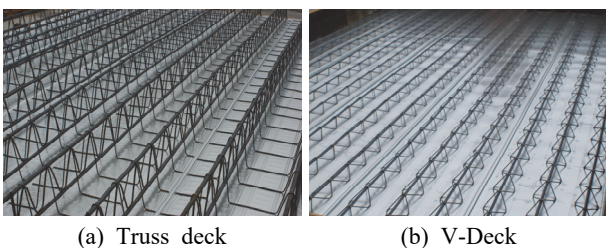


Fig. 2. Type of deck plate

뒤 패널형태의 중공체를 설치하는 것이다. 적용 및 설치가 비교적 어렵지 않지만, 역학적 거동이 일반거푸집형과 같고, 하부에 동바리를 촘촘히 배치해야 한다.

Fig. 2(a)의 트러스형 데크는 상하부 철근과 판재가 일체로 결합되어 있어 동바리의 간격을 크게 늘릴 수 있는 장점이 있으나, 중공슬래브 적용을 위해선 경량체를 라인형태로 제작해야하는 문제가 있으며, 트러스거더 사이에 기존에 사용되던 형상의 경량체를 배치 할 경우 트러스거더의 간섭이 발생하기 때문에 경량체의 크기를 줄여야 한다. 그 결과 중공률이 현저히 줄어들어 중공슬래브의 적용효과가 감소한다.

이에 경량체를 사다리꼴 형상으로 변경할 경우 트러스거더의 간섭을 줄이면서 중공률을 높일 수 있으나, 응력집중에 의한 전단내력의 저하가 우려된다.

그러나 트러스형 데크는 사재를 보유하고 있어 전단 보강효과를 가지게 되므로 사다리꼴 경량체 형상에 따른 전단내력 감소를 보완할 수 있다. 다만, 트러스 거더의 직각방향 전단력에 대해서는 정확한 전단내력에 대한 구조성능을 확인할 필요가 있기 때문에 실험계획에 반영하였다.

따라서 개선된 데크형 중공슬래브의 내력 및 강성평가와 데크설치 방향에 따른 구조특성을 검토하기 위하여 경량체가 없는 Solid와 경량체가 설치된 실험체의 휨내력을 실험하였으며, 경량체 및 데크의 트러스 방향에 따라 길이방향(주근방향), 폭방향(부근방향)으로 설치한 후 전단내력을 실험하였다.

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 데크플레이트를 사용한 중공슬래브의 데크 설치방향에 따른 구조성능을 평가하기 위하여 휨 및 전단내력을 검토하고자 한다.

우선 휨내력을 평가하기 위한 실험체는 트러스데크에 경량체의 유무를 변수로 2개를 제작하였으며, 실험체의 크기는 두께 280mm, 길이 6,400mm, 폭 1,100mm이다.

전단내력을 평가하기 위한 실험체는 경량체의 유무 및 경량체와 데크의 설치방향 등 3개의 실험체를 제작하였으며, 실험체의 크기는 두께 280mm, 길이 3,000mm, 폭 1,100mm이다.

전체 실험체의 제원 및 철근 배근은 Table 1과 같다.

Fig. 3은 길이방향의 데크플레이트에 만든 휨 실험체의 길이방향 수직 단면이다. (a) MT-N1-13는 경량체를 삽입하지 않은 실험체, (b) MT-V1-13은 경량체를 삽입한 실험체이고, 주근 보강과 배력근, 그리고 경량체의 배치형상을 도면에 표현하였다.

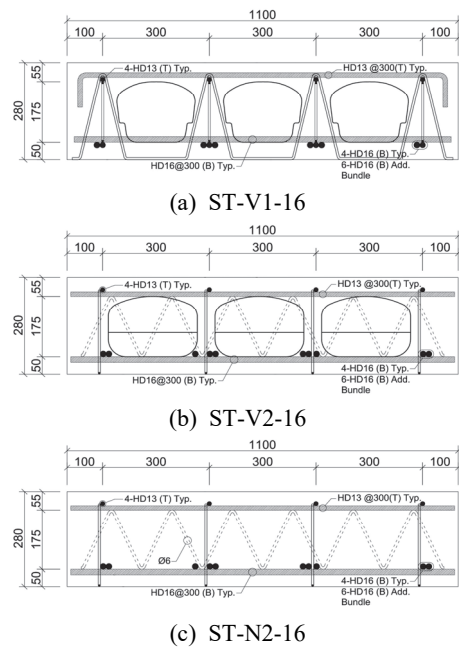
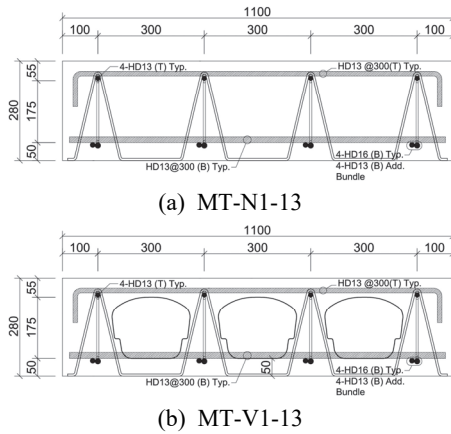
**Table 1.** Schedule of experiments

Type		Deck type	Depth (mm)	Width (mm)	Length (mm)	Void ball	Truss direct.	Truss bar	Lattice	Top main re-bar	Bottom main re-bar*	Dist. re-bar
For bending	MT-N1-13	Truss Deck	280	1,100	6,400	no	Longitudinal	HD13+HD16	∅6	Truss bar	(4-HD16)+4-HD13	HD13@300
	yes					Longitudinal	HD13+HD16	∅6	Truss bar	(4-HD16)+4-HD13	HD13@300	
For shear	ST-V1-16	Truss Deck	280	1,100	3,000	yes	Longitudinal	HD13+HD16	∅6	Truss bar	(4-HD16)+6-HD16	HD13@300
	yes					Horizontal	HD13+HD16	∅6	HD13@300	10-HD16	Truss bar	
	no					Horizontal	HD13+HD16	∅6	HD13@300	10-HD16	Truss bar	

MT - N1 - 13

bottom main re-bar\*: (Truss bar) + Add bar

- └─ Dia. of additional re-bar (13:HD13, 16:HD16)
- └─ N: nothing, V: arrangement void ball, Truss direction (1:Longitudinal, 2:Horizontal)
- └─ MT: for bending moment with truss deck, ST: for shear force with truss deck



**Fig. 3.** Section of experiments for bending test

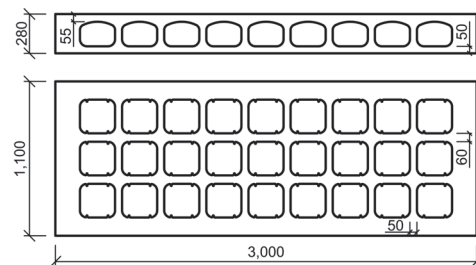
**Fig. 4.** Section of experiments for shear test

Fig. 4는 전단 실험체 길이방향의 수직 단면으로, (a) ST-V1-16은 길이방향의 데크플레이트에 배력근과 주근 보강 그리고 경량체를 배치하였고, (b) ST-V2-16은 트러스 철선이 전단내력에 영향을 주지 않도록 데크플레이트를 폭 방향으로 설치하였고, (c) ST-N2-16은 경량체만 삭제하고 (b) 실험체와 동일하게 제작하였다.

Fig. 5는 전단 실험체의 경량체 배치도이다.

## 2.2 실험체 제작

트러스형상을 갖는 철근 일체형 데크플레이트는 슬래브의 주근역할을 하는 트러스와 트러스 사이에 경량체를 설치하는 형태로 일방향 슬래브의 성능을 갖도록 제작하였으며,



**Fig. 5.** Void arrangement for shear test

상부철근이 D13, 하부철근이 D16, 사재는  $\varnothing 6$ 이며, 철근트러스의 간격은 300mm이다.

트러스형 데크에 최적화하여 계획된 경량체는, 경량체 상

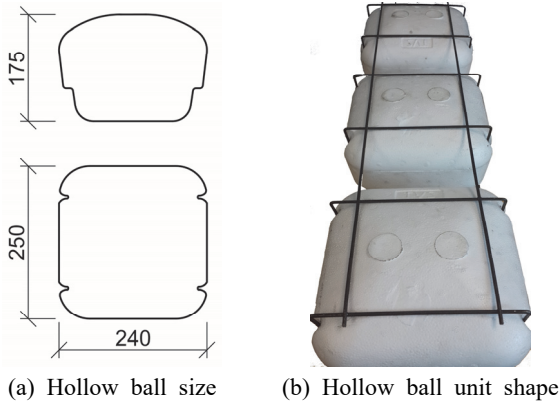


Fig. 6. Shape of hollow ball

부의 집중하중에 따른 편칭에 대해 보다 유리하도록 상부는 곡면 형태로, 응력집중현상을 줄이기 위해 모서리는 곡면형상으로, 콘크리트의 채움이 원활하며 전선관 배관 시 간섭이 최소화 되도록 하부는 폭을 줄여 사다리꼴의 단면을 갖도록 구성되었고, 전체적으로 사다리꼴형태의 구형 형상에 가깝게 개발되었다.

경량체의 구체적 형상은 Fig. 6과 같다.

경량체의 유니트 구성은 일방향 철근일체형 데크에 적용이 가능하도록 라인형태로 계획하였고 와이어메쉬를 절곡하여 일체화하였다. 슬래브 두께 280mm에서 중공률은 32.4%를 확보하도록 하였으며, 1개 유니트의 구성은 6개의 경량체를 와이어메쉬로 엮은 형태로 총길이는 1.8m이다.

Fig. 7은 실험체 제작과정 및 형상을 보여주는 사진이다.

### 2.3 재료 시험

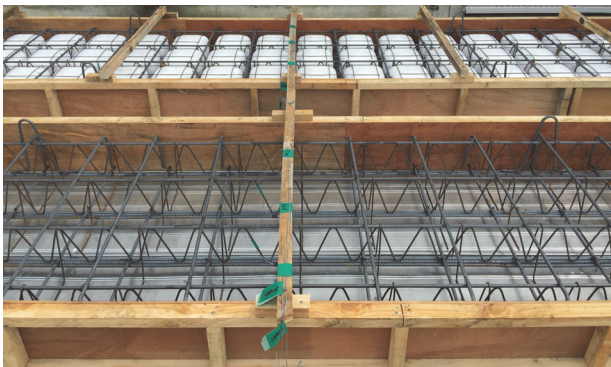
실험에 사용된 콘크리트의 설계강도 및 배합설계는 Table 2와 같다.

콘크리트 타설 시 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량을 측정하였고, KS F 2405에 따라서  $\varnothing 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 의 원통형 공시체를 제작해 실험체와 동일한 조건으로 양생하여 압축강도를 측정하였다. 슬럼프, 공기량 및 압축강도는 Table 3과 같다.

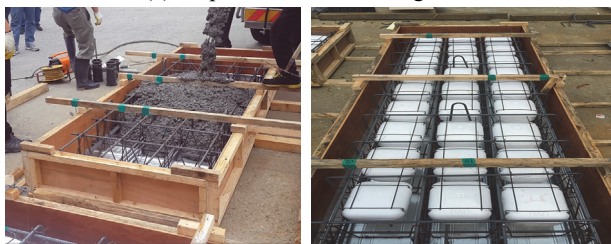
철근은 SD400 강종의 HD13, HD16, 철선은  $\varnothing 6$ , 데크플레이트 강판은 두께 0.5mm의 아연도 강판을 사용하였으며, 물리적 성질은 Tables 4~6과 같다.

### 2.4 가력 및 계측계획

휨실험체는 양단에서 200mm씩 떨어진 곳에 반력힌지를 위



(a) Experiment for bending test



(b) Experiment for shear (solid) (c) Experiment for shear (void)



(d) Experiment for shear (void, horizontal dir.)

Fig. 7. Experiments in production

Table 2. Concrete components

Fck (MPa)	W/B (%)	S/a (%)	weight per unit volume (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S	G	FA	AD
24	54.4	53.1	161	253	952	853	46	2.37

Note: Fck: design strength, W/B: water-binder ratio, S/a: sand to aggregate ratio, W: water, C: cement, S: sand, G: gravel, FA: fly ash, AD: admixture

Table 3. Result of concrete test

slump (mm)	air volume (%)	compressive strength (MPa)
120	4.5	28.7

**Table 4.** Properties of reinforced bar

Type	Elongation (%)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
D13	18	462	615
D16	18	444	610

**Table 5.** Properties of bar in deck plate

Type	Elongation (%)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
D13	21	481	607
D16	18	490	606
∅6	-	-	573

**Table 6.** Properties of steel plate in deck plate

Type	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Galvanizing amount (g/m <sup>2</sup> )
SGC570-Z12	651	606	128

치시키고, 상부의 중앙에서 500mm씩 떨어진 곳에 가력힌지를 위치시켰다.

본 연구에서는 데크플레이트를 사용한 중공슬래브의 휨 및 전단내력을 평가하기 위하여 Figs. 8~11과 같이 2점 가력방식을 적용하였다.

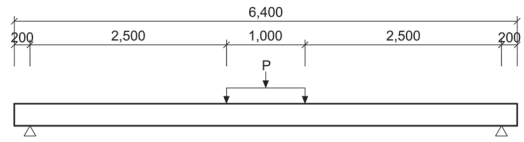
실험체의 처짐측정은 실험체의 중앙부 및 가력위치의 하부에 LVDT를 설치하여 측정하였고, 모든 실험체는 콘크리트 표면에 균열성상을 명확하게 관찰하기 위해 하중 단계별로 선으로 표시하였다.

전단실험체는 양단에서 250mm씩 떨어진 곳에 반력힌지를 위치시키고, 순수한 사인장과곡에 의한 전단내력을 평가하기 위해 지점에서 가력점의 거리를 슬래브단면의 유효높이 2.5배 이상이 되도록  $L=3.0d=3 \times 250=750\text{mm}$ 에 위치한 곳에 가력힌지를 두었다.

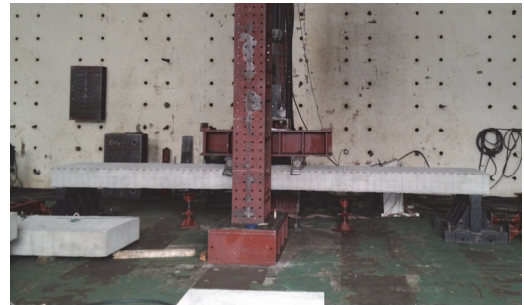
휨 및 전단실험체 모두 가력프레임을 설치하고, 2,000kN 액츄레이터를 사용하여 가력하였다.

가력은 2mm/min의 속도로 변위제어를 하였다.

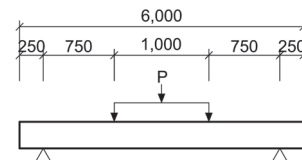
주인장철근의 변형을 측정하기 위해 보강된 주근과 트러스철선의 전단력에 대한 거동을 보기 위해 사재에 스틸게이지를 부착하였으며, 중립축의 변화를 파악하기 위해 실험체의 중앙부 측면의 압축측에 Fig. 12의 (b)와 같이 콘크리트게이지를 부착하였다.



**Fig. 8.** Concentrated loading for bending test



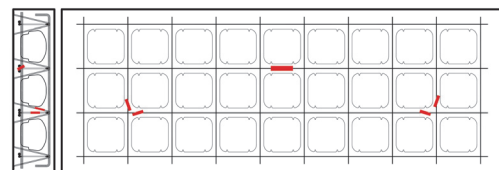
**Fig. 9.** Setting for bending test



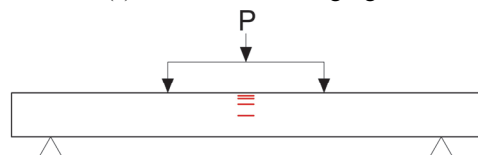
**Fig. 10.** Concentrated loading for shear test



**Fig. 11.** Setting for shear test



(a) Location of steel gauge



(b) Location of concrete gauge

**Fig. 12.** Location of gauge

### 3. 실험결과

#### 3.1 휨내력실험

##### 3.1.1 휨내력 계산

휨내력평가는 재료 시험 결과를 고려하였으며, 산출 식 (1) 과 식 (2)에 의한 값으로 인장철근과 거푸집 데크강판 각각의 피복두께와 항복강도를 고려하여 극한내력(Pn1)을 평가하고 거푸집용도의 데크강판을 제외한 인장철근만의 내력(Pn2)을 평가하여 실험 결과와 비교하였다.

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = \frac{P_n}{2} \times l_1 \quad (1)$$

$$P_n = \frac{2M_n}{l_1} = \frac{2A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}{l_1} \quad (2)$$

여기서,  $M_n$ : 휨강도(kN·mm)

$A_s$ : 인장철근 단면적(mm<sup>2</sup>)

$f_y$ : 철근의 항복강도(MPa)

$d$ : 인장철근 유효깊이(mm)

$a$ : 등가응력분포 깊이(mm)

$l_1$ : 지점에서 가력지점까지 거리(mm)

데크형 중공슬래브의 예상 휨강도는 콘크리트 구조설계 기준에 따라 식 (1), (2)에 의해 산정하였다<sup>[1],[2],[6]</sup>.

##### 3.1.2. 실험결과

Table 7은 휨 실험결과를 분석하여 정리한 것이다.

Pcr은 실험에 의한 초기균열하중이며, Fig. 13과 같이 초기강성 기울기와 최대하중 시 변위를 연결하여 만나는 변위를 항복변위( $\delta_y$ )로 하였고 이때의 내력을 항복하중( $P_y$ )으

로 정의하였다.

이와 같이 휨강성을 판단한 결과 경량체를 설치한 MT-V1-13(중공슬래브)의 강성이 경량체를 설치하지 않은 MT-N1-13(Solid) 실험체보다 오히려 14%정도 크게 나타났다. 이는 Deck 철판의 건전성에 의한 영향으로 판단된다.

Pmax1는 실험체의 최대하중으로 응력계산식 (1), (2)를 사용하여 구한 값과 비교할 때 SOLID 실험체에서는 데크 강판의 영향까지 고려한 최대 산출내력 대비 91%, 중공슬래브 실험체에서는 103%의 내력을 보였다.

실험값이 이론치에 비해 다소 떨어진 부분은 거푸집용 데크 강판의 단면 건전성에 따른 결과로 판단되며, 중공슬래브 실험체의 최대내력이 SOLID 실험체의 값보다 약 13% 크게 나타난 것은 중공체에 의한 지중감소 및 데크철판의 건전성에 의한 영향으로 오히려 중공슬래브에서 더 크게 나타난 것으로 판단된다.

거푸집용 데크강판이 파단된 이후의 최대하중인 Pmax2와 인장철근의 내력 Pn2를 평가한 결과 SOLID실험체 및 중공슬래브 실험체 각각 97%, 105%로 나타났다.

콘크리트(24MPa) 및 철근(SD400)의 강도를 설계기준강

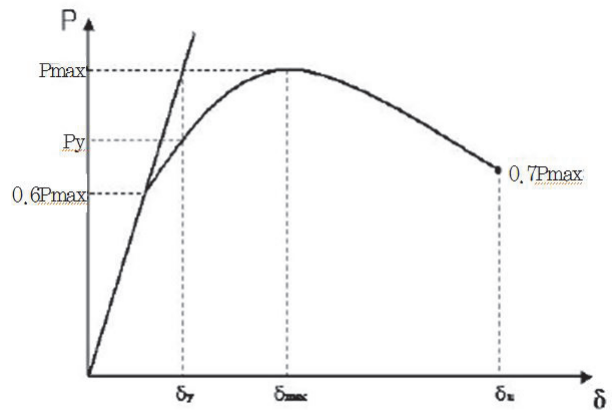


Fig. 13. Determining the yield strength of the experiments

Table 7. Experimental results and analysis for bending moment

type	Pcr	$\delta_{cr}$	$P_y$	$\delta_y$	$P_y/\delta_y$	Pmax1	Pn1	Pmax1/Pn1	Pmax2	Pn2	Pmax2/Pn2	Pn	Pmax2/Pn
MT-N1-13	25.0	4.8	143.9	56.4	2.55	158.7	174.5	0.91	106.6	109.4	0.97	94.5	1.12
MT-V1-13	33.0	7.2	166.7	57.2	2.91	179.0		1.03	115.0		1.05		1.22

MT-N1-13: Solid slab type, MT-V1-13: Void slab type

Pmax1: Maximum load, Pmax2: Maximum load after failure of deck plate, Pn: Maximum force calculated by considering design strength

Pn1: Maximum force calculated by considering experimental strength of re-bar and deck plate,

Pn2: Maximum force calculated by considering experimental strength of re-bar only

도로 적용했을 때 계산한 최대내력  $P_n$ 과 비교할 경우 각각 112%, 122%로 모든 실험체에서 이론적인 극한하중을 초과하는 것으로 나타났다.

### 3.1.3 최대내력 및 파괴형상

MT-N1-13 실험체는 데크형 중공슬래브 중 경량체를 설치하지 않은 실험체로 트러스 하부 주근에 4-HD13를 추가 배근하였으며, 25kN에서 초기균열이 발생하였다. 최대하중 158.66kN에서 데크플레이트 하부철판이 찢어지면서 하중이 95.00kN으로 급격히 떨어진 후, 인장철근의 지지로 평균 103kN에서  $\pm 3$ kN이내의 소폭 상승된 하중을 거의 일정하게 유지하면서 변형량이 증가되었다.

MT-N1-13 실험체와 모든 조건을 동일하게 하고 경량체를 설치한 MT-V1-13 실험체는 33kN에서 초기균열이 발생하였다. 최대하중 178.95kN에서 데크플레이트 하부철판이 찢어지면서, 급격히 하중저하를 나타낸 후 인장철근의 지지만으로

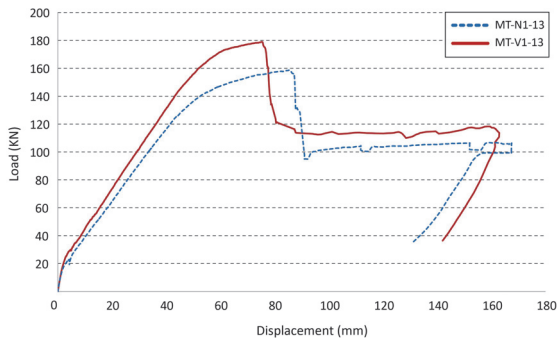


Fig. 14. Load-deflection curves of bending test

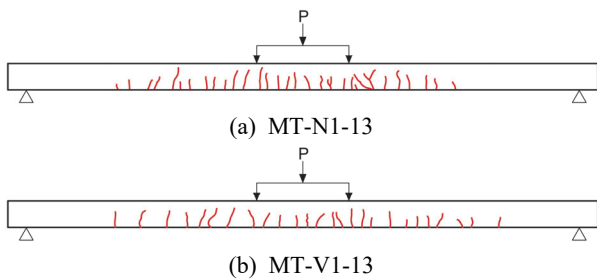


Fig. 15. Crack map of bending test



Fig. 16. Failure Shape of experiments for bending test

111kN에서  $\pm 1$ kN 하중을 거의 일정하게 유지하면서 변형량이 증가되었다.

Fig. 14은 휨실험체 하중-변위 그래프이며, Fig. 15은 휨실험체의 균열형상을 나타낸 것이며, Fig.16는 휨 실험체의 파괴양상이다.

### 3.1.4 중립축의 변화

경량체가 있는 실험체와 솔리드단면을 가진 실험체의 중립축의 변화를 확인하기 위해 Fig. 17과 같이 콘크리트게이지를 부착하여 확인한 결과 Fig. 18과 같다. 상단에 위치한 C1, C2 게이지는 처음부터 압축측 변형을 일관되게 보여주고 있으며, 단면의 중앙부에 위치한 C4게이지는 초기균열발생 전까지는 거의 변형의 변화가 없지만 이후 인장변형이 발생한 것을 알 수 있다. C3게이지는 미소하게 압축변형이 발생하다가 탄성영역 이후에는 인장변형으로 변화하는 것을 볼 수 있다. 이로부터 최대내력에 도달할 때의 중립축의 위치가 C3(콘크리트 상단에서 60mm)의 직상부에 위치한 것을 알 수 있다.

$$a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{0.85f_{ck}b}, \quad c = a/\beta \quad (3)$$

식 (3)으로부터 데크플레이트의 철판부분과 인장철근의 인장강도, 그리고 콘크리트 실험압축강도를 고려한 응력블

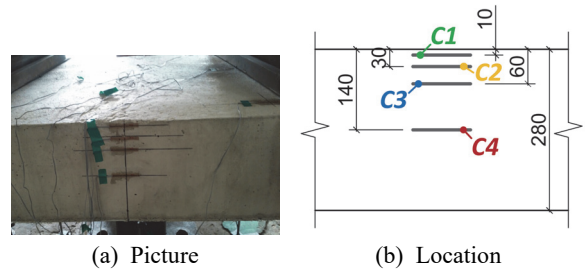


Fig. 17. Location of gauge for finding neutral axis

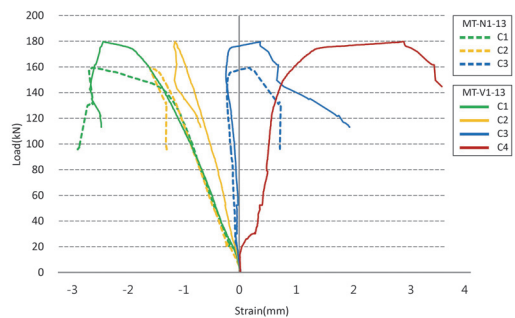


Fig. 18. Load-strain curves of bending test

록으로부터 중립축을 계산한 결과 중립축의 위치는 압축측 인 상단부에서 약 51mm에 위치하였다.

실험값이 계산치보다 약간 크게 나타난 것은 실험체 상부 압축측의 콘크리트 표면상태가 고르지 못한 부분의 영향으로 판단된다. 경량체의 유무에 따라 표기된 점선과 실선의 그래프에서 보는 바와 같이 중립축의 위치는 거의 일치하는 것으로 보인다. 이는 응력블록의 위치가 경량체 상부에 있어 휨내력에도 거의 변화가 없는 결과와 같은 이유로 판단된다.

### 3.2 전단내력실험

#### 3.2.1 전단내력 계산

데크형 중공슬래브의 예상 전단강도는 콘크리트 구조설계 기준에 따라 식 (4), (5)에 의해 산정하였다.

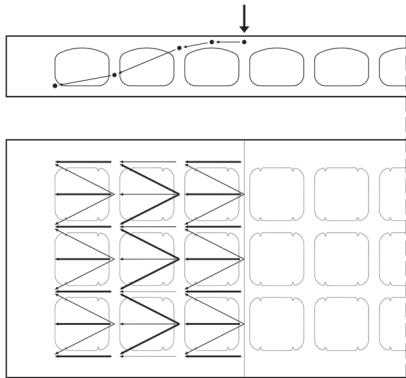


Fig. 19. Trussed framework

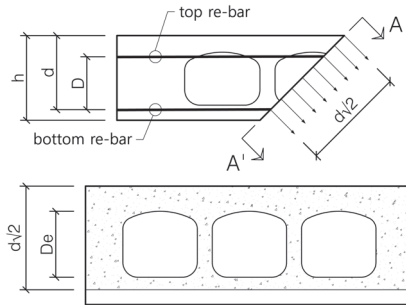


Fig. 20. Effective cross-section area

Table 8. Ratio of effective cross-section area

Type	Ase (mm <sup>2</sup> )	Ave (mm <sup>2</sup> )	Ratio
Longitudinal	370,185	211,311	57%
Horizontal	345,299	186,425	54%

Note: Ase: Effective area of solid section

Ave: Effective area of void slab section

$$V_n = V_c + V_s = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d + \frac{A_v f_y d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (4)$$

$$P_{n2} = 2 V_n \quad (5)$$

여기서,  $f_y$ : 철근의 항복강도(MPa)

$d$ : 인장철근 유효깊이(mm)

$V_n$ : 전단강도(kN)

$A_v$ : 전단보강근 단면적(mm<sup>2</sup>)

$s$ : 스티럽 간격(mm)

$\alpha$ : 스티럽 경사각(°)

Markus Aldejohnn는 이방향 중공슬래브에서 전단의 경우, Figs. 19 및 20과 같이 전단응력은 45°방향으로 트러스 프레임 거동을 하기 때문에 중공부에 의한 단면결손에 따른 전단내력을 저감해야 할 경우 전단면을 45°방향의 콘크리트 유효단면으로 환산하여 전단내력을 평가하도록 제안하고 있다<sup>[11],[12],[13],[14],[15]</sup>.

이와 같은 방법을 적용하여 실험에 사용된 중공슬래브의 유효단면적 비를 검토한 값은 Table 8과 같다. 이는 기존연구의 결과와 큰 차이가 없는 수치로, 기존연구에서 제안하는 전단강도 값의 저감량과 거의 유사함을 알 수 있다<sup>[1],[3],[5]</sup>.

#### 3.2.2 실험결과

전단실험에 사용된 실험체는 휨실험체와 같은 트러스데크를 사용하여 경량체 설치 유무 및 트러스데크의 방향(길이방향, 폭방향)을 변수로 총 3개를 실험(Table 9)하였다.

데크의 방향성에 따른 구조성능은 폭방향으로 설치한 실험체와 길이방향으로 설치한 실험체의 Pmax 값을 비교하여 보면 폭방향으로 설치한 실험체에서 구조성능이 약 30%정도 감소하는 것으로 측정됐다.

트러스 사재가 전단에 영향이 적을 것으로 예상된 폭방향 실험체의 유효단면적은 54%로 강도 저감계수를 0.5~0.6으로 사용하는 것이 타당하다고 판단되나, 전단실험시 비교대상인 ST-N2-16 실험체 대비 최대내력비는 약 86%로 예상보다 값이 크게 나타났다.

Solid 실험체의 경우, 상부 중앙의 콘크리트가 압괴되면서 내력을 충분히 발휘하지 못하여 유효단면적과 전단강도와의 정확한 상관성을 확인하지 못하였으나 기존 연구에 따라 전단강도감소계수를 0.6으로 적용하는 것보다는 저감량이 작



**Table 9.** Experimental results and analysis for Shear force

type	Pcr	$\delta_{cr}$	Pmax	2Vc	2Vs	Pn3	Pn3 (application)	Pmax/Pn3	Pn1	Pn2
ST-V1-16	172	7.13	649.58	467.5	281.5	562.0	2 (0.6Vc+Vs)	1.16	780.6	559.6
ST-V2-16	118	6.72	457.44	467.5	-	280.5	2 (0.6Vc)	1.63	-	541.9
ST-N2-16	150	5.26	526.11	467.5	-	467.5	2Vc	1.12	-	541.9

Pmax: Maximum test load, Pn1: Strength calculated by considering area of re-bar and steel plate,  
 Pn2: Strength calculated by considering only re-bar area,  
 Pn3: Maximum shear strength calculated by considering void section of concrete and diagonal wire section of truss

을 것으로 판단된다.

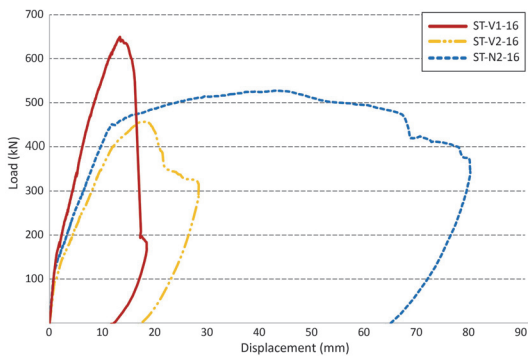
콘크리트 전단강도 감소계수를 0.6으로 적용하여 전단내력을 산정했을 때 본 실험에서 길이방향으로 경량체를 설치한 실험체는 최대하중이 예상 전단내력(0.6Vc+Vs)의 116% 값으로 측정되었고, 폭방향으로 경량체를 설치한 실험체는 최대하중이 예상 전단내력(0.6Vc)의 163% 값을 나타냈다.

경량체를 길이방향으로 설치한 실험체에서는 트러스철근의 상하부 철근뿐만 아니라 사재 또한 전단에 구조적인 거동을 하여 예상전단내력을 상회하는 최대하중 값을 얻은 것으로 판단된다.

또한 폭방향으로 설치한 실험체에서는 트러스 철근의 내력이 길이방향으로 설치한 실험체에 비해 구조적인 역할을 충분히 하지는 못했지만 폭방향의 트러스철근도 어느 정도 내력에 영향을 미쳐 예상 전단내력보다 최대하중이 크게 나타난 것으로 판단된다.

**3.2.3 최대내력 및 파괴형상**

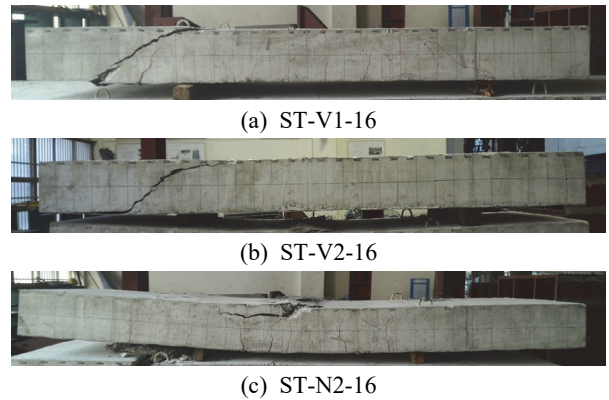
ST-V1-16 실험체는 경량체를 설치하고 철근트러스를 길이방향으로 설치한 실험체로 172kN에서 초기 균열이 발생하였고, 최대하중은 649.58kN으로 나타났다. 가력지점에서 지점사이에서 전단균열이 발생하면서 전형적인 전단파괴 양상



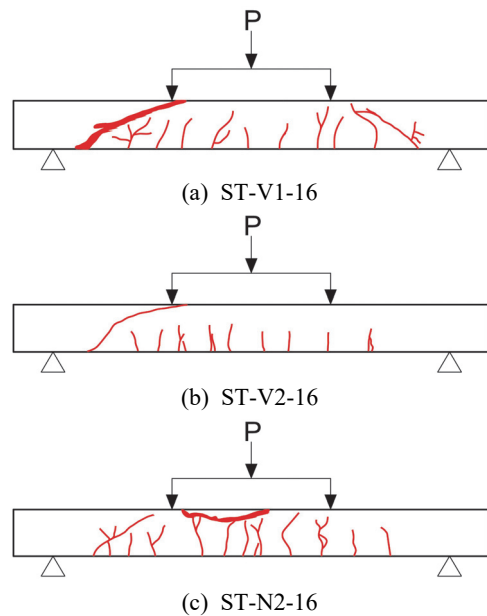
**Fig. 21.** Load-deflection curves of shear test

을 보였다.

ST-N2-16 (Solid) 실험체는 경량체를 설치하지 않고 철근트러스를 폭방향으로 설치한 실험체로 하중 150kN에서 초기 균열이 발생하였고, 최대하중은 526.11kN으로 나타났다.



**Fig. 22.** Failure shape of experiments for shear test



**Fig. 23.** Crack map of shear test

가력값이 커지면서 초기발생한 전단균열이 증가하다가 가력 지점 중간부분에서 압축측 콘크리트가 압괴되면서 시험체가 보유하는 휨내력(541.9kN)의 97%에서 휨파괴가 발생하여 전단파괴와 달리 연성파괴형상을 보였다.

ST-V2-16실험체는 경량체를 설치하고 철근트러스를 폭 방향으로 설치하여 Solid 실험체와 직접비교하기 위한 실험체로 118kN에서 초기 균열이 발생하였고, 최대하중은 457.44 kN로 가력지점과 지점사이에 전단균열이 발생하면서 전단파괴되었다.

Fig. 21는 전단실험체의 하중-변위 곡선이고, Fig. 22은 전단 실험체의 파괴양상 사진이며, Fig. 23는 전단 실험체의 파괴양상을 그림으로 나타낸 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서, 데크형 중공슬래브의 구조성능을 확인한 실험의 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 시공성이 향상된 데크형 중공슬래브의 휨성능을 실험한 결과, 철근비가 동일할 경우 경량체 설치 유무와 관계없이 휨성능은 유사한 것으로 나타났다.
- (2) 데크의 방향성에 따른 중공슬래브의 전단성능은 트러스를 길이방향으로 설치하였을 경우 트러스철근의 구조적 역할로 트러스를 폭방향으로 설치한 실험체보다 약 30% 정도의 전단성능이 증가하는 것으로 나타났다.
- (3) 데크를 폭방향으로 설치하였을 경우에도 트러스거더의 사재가 전단내력 증가에 영향을 주어 콘크리트만의 전단내력으로 계산된 전단내력보다 최대하중이 더 크게 나타난 것으로 분석된다.
- (4) 철근일체형 데크플레이트에 적용한 중공슬래브의 전단성능을 실험한 결과, 중공슬래브의 전단성능은 Solid 슬래브가 휨파괴 되면서 충분한 내력을 확보하지 못하였기 때문에 정확한 상관성은 확인하지 못하였으나, 기존에 연구된 콘크리트 부분의 전단내력 감소계수 0.6을 적용한 값보다는 큰 것으로 확인되었다.

#### 감사의 글

본 논문은 인천대학교 2016년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었다.

#### 참고문헌(References)

- [1] 김상모, 장태영, 김상섭(2009) 이방향 중공슬래브의 구조 성능평가, 대한건축학회논문집-구조계, 대한건축학회, 제25권, 제8호, pp.35-42.  
Kim, S.-M., Jang, T.-Y., and Kim, S.-S. (2009) Structural Performance Tests of Two-Way Void Slabs, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.25, No.8, pp.35-42 (in Korean).
- [2] 주은희, 김상모, 강지연, 김형근, 박홍근(2011) 데크플레이트를 사용한 중공슬래브의 경량체 설치방법에 따른 구조 성능 평가, 대한건축학회논문집-구조계, 대한건축학회, 제27권, 제3호, pp.31-38.  
Joo, E.-H., Kim, S.-M., Kang, J.-Y., Kim, H.-G., and Park, H.-G. (2011) Structural Performance Tests on Installation Method of Void Former for Void Slab Using Deck Plate, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.27, No.3 pp.31-38 (in Korean)
- [3] 한군호, 김상대, 김상모, 주영규(2011) DECK형 중공(中空) 슬래브 전단성능 평가, 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제11권, 제4호, pp.1-7.  
Han, J.H., Kim, S.D., Kim, S.M., and Ju, Y.K. (2011) Evaluation of Shear Behaviour of Void Slabs with Deck, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol.11, No.4, pp.1-7 (in Korean).
- [4] 김용주, 채한식, 김화중(2005) 데크플레이트 합성슬래브의 전단부착강도 산정을 위한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집-구조계, 대한건축학회, 제25권, 제1호, pp.237-240.  
Kim, Y.-J., Chae, H.-S., and Kim, W.-J. (2005) A Study of the Experimental for the Shear Bond Strength of Deck Plate Composite Slabs, *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.25, No.1, pp.237-240 (in Korean).
- [5] 한군호, 류재호, 주영규, 김재진, 김상대(2011) 데크를 이용한 TVS 중공슬래브의 전단 성능 평가, 대한건축학회 학술발표대회논문집-구조계, 대한건축학회, 제31권, 제2호, pp.119-120.  
Han, J.-H., Ryu, J.-H., Ju, Y.-K., Kim, J.-K., and Kim, S.-D. (2011) Shear Capacity of TVS Void Slabs with Deck, *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol. 31, No.2, pp.119-120 (in Korean).
- [6] 한군호, 류재호, 주영규, 김상모, 김상대(2011) 데크를 이용한 TVS 중공슬래브의 휨 성능 평가, 대한건축학회 학술발표대회논문집-구조계, 대한건축학회, 제31권, 제2호,

pp.115-116.

Han, J.-H., Ryu, J.-H., Ju., Y.-K., Kim, S.-M., and Kim, S.-D. (2011) Bending Capacity of TVS Void Slabs with Deck, *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.31, No.2, pp.115-116 (in Korean).

- [7] 신태송(2003) 테크플레이트의 휨 강도에 관한 기준 비교 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제15권, 제1호, 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).

- [8] 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).

- [9] 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 (in Korean).

- [10] 배규웅, 이상섭, 박금성, 허병욱, 홍성엽(2014) 층간소음 대응형 경량합성바닥판에 대한 휨성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제3호, pp.241-250.

Bae, K.W., Lee, S.S., Park, K.S., Heo, B.W., and Hong, S.Y. (2014) Evaluation on Flexural Performance for Light-Weight Composite Floor with Sound Reduction System, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.3, pp.241-250 (in Korean).

- [11] Aldejohann, M., and Schnellenbach-Held, M. (2002) Investigations on the Shear Capacity of Biaxial Hollow Slabs: Test Setup and Test Program, *Darmstadt Concrete*, Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt, Vol.17, pp.1-8.

- [12] Aldejohann, M., and Schnellenbach-Held, M. (2003) Investigations on the Shear Capacity of Biaxial Hollow Slabs: Test Results and Evaluation, *Darmstadt Concrete*, Institut für Massivbau, Technische Universität Darmstadt, Vol.18, pp.1-11.

- [13] Schnellenbach-Held, M., and Aldejohann, M. (2005) Zweiachsiges Hohlkörperdecken in Theorie und Versuchen (Biaxial Hollow Slabs in Theory and Tests), *Betonwerk und Fertigteil-Technik*, Vol.71, No.10, pp.50-59 (in German).

- [14] Leonhardt, F. (1965) Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs, *Magazine of Concrete Research*, ICE Publishing, Vol.17, No.53, pp.187-198.

- [15] Bubbledeck UK Head Office (2006) *Bubbledeck Tests and Reports Summary (June 2006 Issue 1)*, Bubbledeck, UK.

---

**요 약 :** 본 연구에서는 테크형 중공슬래브의 중공률을 확보하기 위한 방안으로 기존의 중공슬래브에 일반적으로 사용되는 구형형상의 경량체 대신 사다리꼴 형상의 경량체를 적용하고, 이에 따른 휨 및 전단 내력 성능을 실험을 통해 확인하였으며, 일방향 테크플레이트의 설치방향에 따른 구조특성을 검토하였다. 그 결과 휨내력 측면에서는 기존 구형형상의 경량체를 가진 중공슬래브와 동등한 수준의 성능을 발휘하는 것을 확인하였으며, 전단내력 측면에서는 경량체 형상 변화에 따른 차이보다는 테크플레이트의 트러스철근의 기여에 따라 큰 전단내력성능을 발휘하는 것을 확인하였다. 중공체 설치시 콘크리트 유효단면의 감소로, 전단 강도가 약 50~60% 정도로 저하된다는 기존 연구에 따른 계산한 전단내력값과 비교하였을 때, 폭방향으로 테크를 설치하여 트러스철근이 전단에 영향을 미치지 않을 것으로 가정한 실험체도 트러스철근의 트러스프레임 거동에 의한 영향으로 저감 전 값 대비 87%의 성능을 보여 기존 연구에 따른 계산전단내력보다 최대하중이 더 크게 나타났다.

**핵심용어 :** 테크형 중공슬래브, 경량체형상, 테크방향, 휨내력, 전단내력

---