



T형 데크 플레이트 중공형 슬래브의 구조성능 및 사용성능

홍은애¹⁾ · 정란¹⁾ · 백인관¹⁾ · 윤성호²⁾ · 조승호^{1)*}

¹⁾단국대학교 건축공학과 ²⁾(주)광장구조기술사사무소

Structural Performance and Usability of Void Slab Established in T-deck Plate

Eun-Ae Hong,¹⁾ Lan Chung,¹⁾ In-Kwan Paik,¹⁾ Sung-Ho Yun,²⁾ and Seung-Ho Cho^{1)*}

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Yongin 448-701, Korea

²⁾KwangJang Structural Co. Ltd., Seoul 137-875, Korea

ABSTRACT In recent years, extension of life span of buildings is becoming an important issue in our society. To improve the life span of buildings, rhamen structure construction and long-spanned structures are advantageous. And in order to achieve this goal, structural elements of buildings must be light and slender. As an alternative method, general porous slabs are used frequently domestically and internationally. But the study on the porous slabs using T-deck plate and assembly of light weight precast construction is insufficient at present. In this study, flexural and fatigue tests were performed on six specimens to verify structural performance and serviceability. The main parameters of the specimens were light weight and T-deck plate construction possibility as well as slab thickness. The test results indicated that the strength of porous slabs using T-deck plate and assembly of light weight were much better than general RC slabs and porous slabs without T-deck plate. And stiffness was much better than that of other tested slabs.

Keywords : void slab, T-deck plate, long span, bending performance, vibration performance

1. 서 론

건축물의 LCC 분석 결과에 따른 건축물에 대한 수명연장기술, 즉 건축물의 장수명화를 실현하기 위해서는 요구되어지는 공간의 다변화에 따른 대응이 필요하게 된다. 공동주택의 경우를 예로 들면, 현 세대를 거쳐 다음 세대의 생활패턴에 대한 변화를 예측하기는 매우 어려운 일이며 세대가 바뀌어감에 따라 공간에 대한 요구 또한 계속해서 변할 것으로 예측된다. 예측하기 어려운 공간에 대한 수요에 대응하기 위해서는 장스팬으로 구성된 공간에 비내력벽 형태의 공간분할을 하여 사용하는 것이 이상적이며 이를 실현하기 위한 공동주택의 구조형태는 벽식 구조보다는 장스팬의 라멘구조형태가 더욱 바람직할 것으로 판단된다. 이러한 장스팬 구조는 구성하는 부재의 경량화가 필수조건이 되며, 콘크리트 슬래브의 성능을 그대로 유지한 채 부재의 단면2차 모멘트를 극대화시켜 휨 저항에 유리한 I형 구조로 형성된 중공슬래브는 슬래브뿐만 아니라 슬래브와 연결되는 1차 구조부재

의 하중부담까지 감소하게 되므로 장스팬 구조에 최적화된 슬래브 시스템이라 할 수 있다.

중공슬래브는 일본과 유럽 등지에서는 보편적으로 사용되고 있지만, 국내에서는 경량성형재의 부력방지와 침하방지, 즉 정확한 중공부분을 형성하기 어렵기 때문에 신뢰성 확보가 어렵고 정확한 중공부분의 형성을 위한 공사비용의 증가로 인하여 사용을 기피하고 있는 실정이다. 중공슬래브와 관련한 연구는 오래전부터 계속되어왔고 현재는 대부분 경량성형재의 부력방지에 초점이 맞춰져 있다. 데크 플레이트 공법과 중공슬래브 공법을 융복합하여 이 연구에서 개발하고자 하는 ‘T형 데크 플레이트와 경량성형재를 사용한 중공슬래브(이하, 보이드데크 슬래브, Voiddeck Slab)’는 두 공법의 장점만을 취하여 쉽고 정확하게 중공부분을 형성할 수 있고 콘크리트 타설 후에 거푸집의 해체작업이 생략되며 철근콘크리트 물량이 감소됨으로써 시공성과 경제성을 크게 향상시킬 것으로 예상된다.¹⁾

데크 플레이트에 적용하는 경량성형재의 개발을 완료하고 완성된 보이드데크 슬래브 시스템에 대한 실험적 연구를 통해 구조 성능을 검증하고 신뢰성을 확보하는 것이 이 연구의 목표이다.²⁾

*Corresponding author E-mail : shcho71@dankook.ac.kr

Received June 5, 2012, Revised September 27, 2012,

Accepted October 12, 2012

©2012 by Korea Concrete Institute

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

보이드데크 슬래브의 휨 및 진동성능을 파악하기 위하여 T형 데크 플레이트를 사용한 두께 300 mm 보이드데크 슬래브 실험체(VD-300)를 기준으로 하여 동일한 두께인 철근콘크리트 슬래브 실험체(RC-300)와 데크 플레이트가 없는 중공슬래브 실험체(V-300)로 3종류를 계획하였고, 여기에 300 mm와 400 mm로 두께의 변수를 주어 총 6개의 실험체를 계획하여 제작하였다. 휨 성능을 파악하기 위하여 전단경간비(a/d)는 9.2, 6.6으로 휨 파괴를 유도하도록 계획하였다. 실험체에 대한 계획 및 변수에 대한 사항과 실험체 표기방법은 Table 1에서 보는 바와 같다. 이 실험에서는 경량 성형재를 삽입한 중공슬래브와 일반 철근콘크리트 슬래브를 비교하여 슬래브 자중의 감소에 따른 구조 성능과 데크 플레이트의 영향을 확인하고자 하였다.

Fig. 1은 T형 데크 플레이트와 경량성형재로 구성된 보이드데크 슬래브 시스템으로 (a)는 OO공장 신축공사 현장에 보이드데크 슬래브를 적용하는 모습이고, (b)와 (c)는 데크 플레이트와 경량성형재를 전용 조립장치를 이용하여 90° 회전시켜 고정하는 방법과 철근 배근 후 콘크리트를 타설하는 과정을 형상화한 것이다.

Fig. 2는 보이드데크 슬래브 실험체의 단면 형상으로, 실제 현장에 적용시와 동일하게 실험을 계획하고 제작하였다.

Table 2에서는 일반 철근콘크리트 슬래브와 경량성형재 한 개를 포함한 중공슬래브의 단면적을 비교하였다. 일반 철근콘크리트 슬래브의 단면적은 $1.8 \times 10^5 \text{ mm}^2$ 이나 경량성형재를 사용한 중공슬래브의 단면적은 $1.1 \times 10^5 \text{ mm}^2$ 로 일반 철근콘크리트에 비하여 약 38.8% 감소한다. 이와 같은 단면적 절감효과를 토대로 경량성형재를 사용한 중공슬래브의 단면2차모멘트를 비교해보았다. 두께 300 mm 실험체의 경우, 일반 철근콘크리트 슬래브의 단면2차 모멘트는 $1.55 \times 10^9 \text{ mm}^4$ 이고 경량성형재를 사용한 중공슬래

브의 단면2차 모멘트는 $1.26 \times 10^9 \text{ mm}^4$ 로 일반 철근콘크리트보다 약 18.7% 감소한다. 두께 400 mm인 실험체도 비교해보면 Table 2에서 보는 바와 같이 일반 철근콘크리트 슬래브의 단면2차 모멘트보다 경량성형재를 사용한 중공슬래브의 단면2차 모멘트가 약 23.9% 감소하는 것으로 나타났다.

실험체의 크기는 길이 6000 mm, 폭 600 mm이고 상하부 철근으로는 설계기준항복강도 400 MPa인 D13과 D16

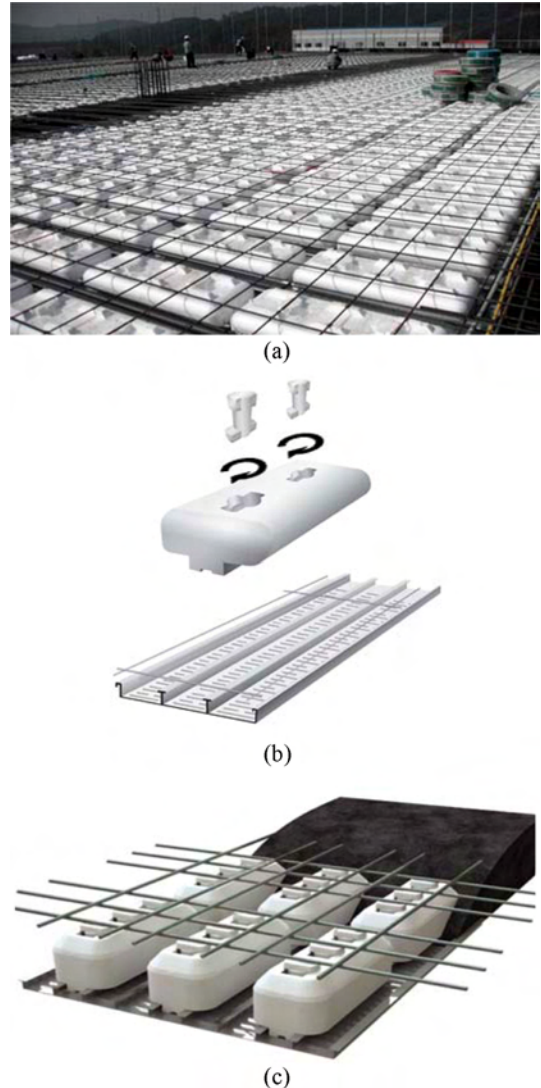


Fig. 1 Voiddeck slab system

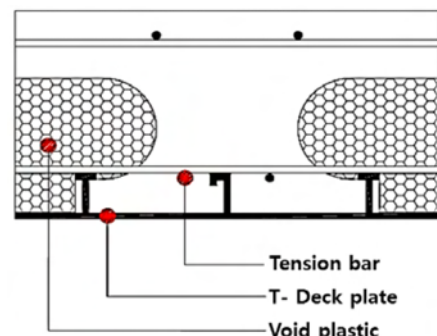


Fig. 2 Vertical section of void plastic applied void slab

Table 1 Specimens of RC slabs

Specimens	Slab thickness (mm)	Deck plate	Void plastic
RC-300	300	X	X
V-300	300		O
VD-300	300	O	O
RC-400	400	X	X
V-400	400		O
VD-400	400	O	O

Slab type-VD: specimens using deck plate and polystyrene

V: specimens using polystyrene

RC: general RC concrete specimens

Slab thickness - 300, 400 mm

Table 2 Comparison of theoretical value

Specimens	Cross section area (mm ²)	Moment of inertia (mm ⁴)
RC-300	1.8×10 ⁵	1.55×10 ⁹
V-300	1.1×10 ⁵	1.26×10 ⁹
VD-300	1.2×10 ⁵	1.26×10 ⁹
RC-400	2.4×10 ⁵	3.59×10 ⁹
V-400	1.3×10 ⁵	2.73×10 ⁹
VD-400	1.4×10 ⁵	2.73×10 ⁹

을 각각 사용하였다. 상부 보조근은 D10을 350 mm 간격으로 배근하고, 하부 보조근은 D10을 1050 mm 간격으로 배근하였다. 실험체에 대한 단면 형상은 Fig. 3과 같으며, 휨 실험과 진동 실험에 모두 사용하였다.

2.2 사용재료

이 실험에서 사용한 콘크리트의 압축강도는 24 MPa로

Table 3에서 보는 바와 같이 배합하여 레미콘 타설하고 자연양생을 하였다. 공시체는 KS F 2405에 따라 지름 100 mm, 높이 200 mm의 원주형 공시체를 실험체 타설과 동시에 6개를 제작하여, 7일, 14일, 28일 콘크리트 압축강도 시험을 실시하였으며, 압축강도시험을 통해 파악된 콘크리트의 평균압축강도는 27.6 MPa로 나타났다.

이 실험에서는 설계기준항복강도 $f_y = 400$ MPa의 D10, D13, D16 등 3가지 철근을 사용하였다. KS B 0802에 따라 인장실험을 하였으며 실험 결과는 Table 4에서 보는 바와 같으며, 실험체에 사용된 데크 플레이트의 단면 성능은 Table 5와 같다.

2.3 실험체 제작

실험체는 경기도 여주에 있는 전문 PC공장에서 제작하였다. 실험체 제작은 거푸집 설치, T형 데크 플레이트 설치, 하부철근 조립, 경량성형재 설치, 상부철근 조립, 콘크리트 타설 및 양생의 순서로 진행되었다.

2.4 실험 방법

2.4.1 휨 실험

이 연구에서는 단순지지 2점 가력 휨 실험을 수행하였다. 이 실험에서는 최대용량이 2000 kN인 만능시험기를 사용하여 3 mm/min의 속도로 변위제어하였다. 가력되는 하중은 최대용량이 1000 kN 로드셀을 사용하여 측정하였고, 가력점 중앙 하부에 200 mm 선형 변위계(LVDT)를 설치하여 중앙부의 처짐을 측정하였다. 설치된 로드셀 및 선형 변위계로부터 측정되는 데이터는 데이터로거로 받

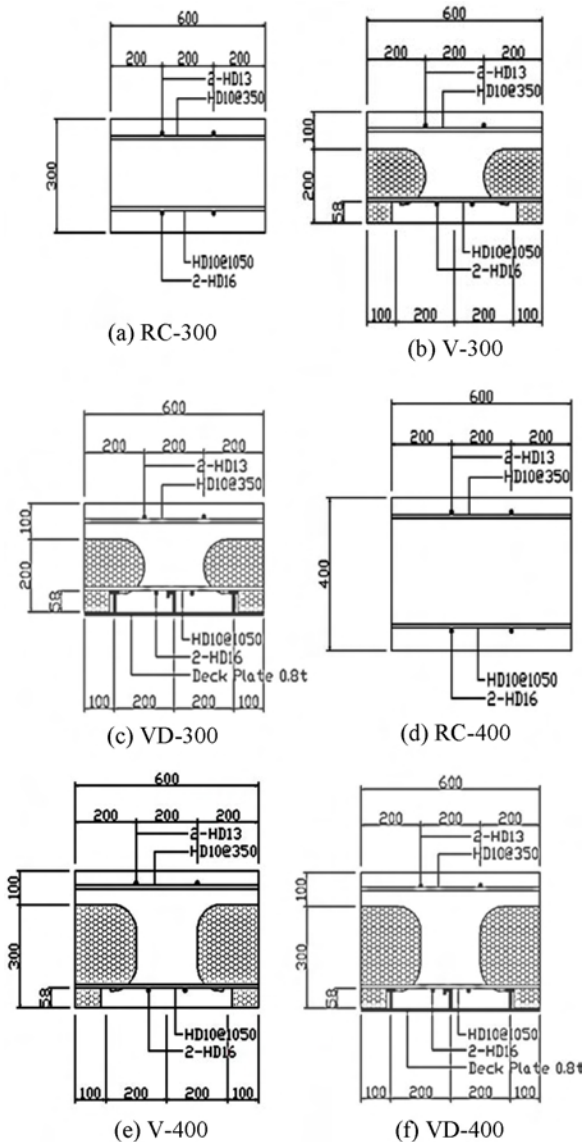


Fig. 3 Sectional view of specimens (unit: mm)

Table 3 Mixing properties of concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					Slump (mm)	Air content (%)
		W	C	S	G	AE		
49.4	47.5	162	328	882	993	1.64	80	3.5

Table 4 Properties of rebar

Type of rebar	f_y (MPa)	f_u (MPa)
D10	446	642
D13	461	655
D16	444	652

Table 5 Properties of deck-plate

Item	Note	
Thickness (mm)	0.8	
Weight (kg/m ³)	12.49	
Section properties	A_{st} (cm ² /m)	15.67
	X_s (cm)	1.781
	I_s (cm ⁴ /m)	76.91
	Z_{c+} (cm ³ /m)	43.19
	Z_{c-} (cm ³ /m)	19.14

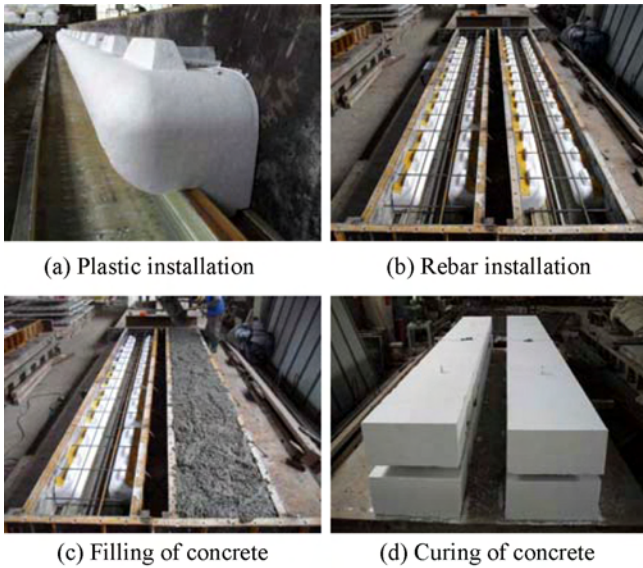


Fig. 4 Specimen preparation

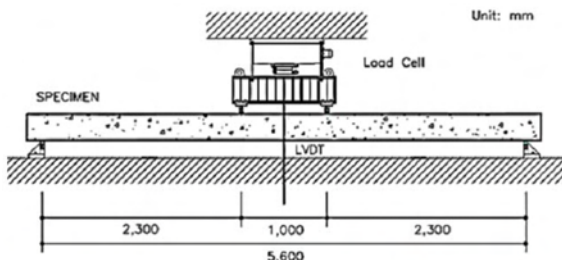


Fig. 5 Bending test setup

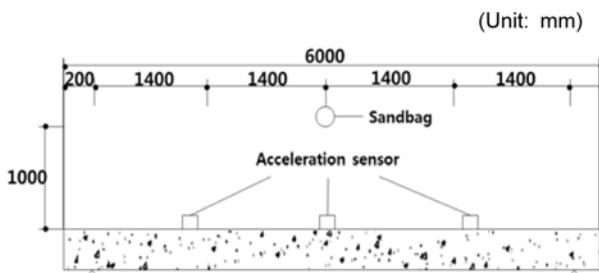
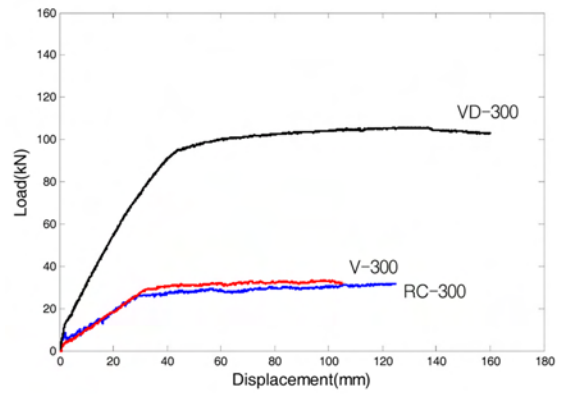


Fig. 6 Vibration test setup

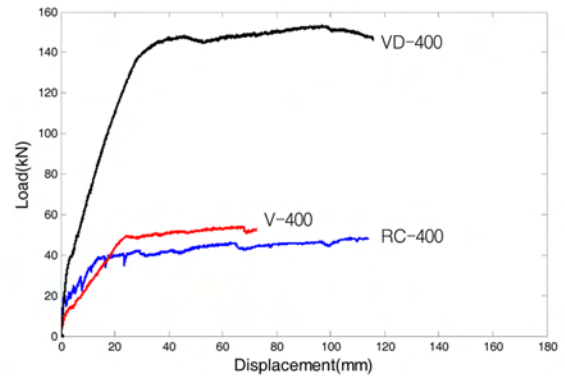
아래 컴퓨터를 이용하여 데이터를 수집하였다.³⁾

2.4.2 진동 실험

휨 실험에 앞서 부재의 강성을 측정하기 위한 진동 실험을 수행하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이, 49 kN의 모래주머니를 1 m 높이에서 실험체 중앙에 자유낙하하는 충격실험을 수행하였고, 10초간 가속도 데이터를 측정하였다. 경계지점은 단순지지하였고, 가속도는 슬래브의 모드



(a) Slab thickness-300



(b) Slab thickness-400

Fig. 7 Load-displacement curves

형상을 파악하기 위하여 슬래브의 중앙부 두 곳과 양쪽 1/4지점의 두 곳에 설치한 총 4개의 가속도계를 이용하여 측정하였다. 이 중 중앙부의 2개는 충격에 의한 계측기의 탈락 등의 훼손을 고려하여 설치하였다. 진동응답계측비는 8채널(NI PXI-1042Q)을 사용하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 휨 실험

RC-300 실험체의 파괴형태는 휨 파괴양상으로 나타났다. 실험체의 초기균열은 하중 6.5 kN일 때 발생하였으며, 이때의 변위는 2.1 mm이다. 이후 휨 균열이 나타나면서 항복되었다. 항복 시의 하중은 23.5 kN이며, 이때의 변위는 29.4 mm이고, 항복 후에 하중의 증가에 비하여 변위의 증가 폭이 커지면서 하중이 감소하여 실험을 종료하였다. 최대하중은 32.1 kN이고, 이때의 변위는 123.1 mm로 나타났다.

V-300 실험체의 초기균열은 하중 4.0 kN일 때 발생하였으며, 이때의 변위는 1.1 mm로 나타났다. 이후 휨 균열이 나타나면서 항복되었다. 항복 시의 하중은 29.2 kN이며, 이때의 변위는 30.5 mm이다. 항복 후에 하중의 증가에 비하여 변위의 증가 폭이 커지면서 하중이 감소하여 실험을 종료하였다. 초기에 전단균열 없이 중앙의 경량성형재 부분에 휨 파괴가 집중되었으며, 최대하중은

33.5 kN이고, 이때의 변위는 101.6 mm로 나타났다.

VD-300 실험체는 초기균열이 13.3 kN일 때 발생하였으며, 이때 변위는 2.6 mm이고 초기균열은 실험체 양쪽 1/4 지점에서 사인장 균열이 육안으로 관찰되었다. 이후에 경량성형재가 박리되는 듯한 소리가 발생했으며, 휨 균열이 나타나면서 항복하였다. 항복 시의 하중은 92.6 kN이며, 이때의 변위는 43.4 mm이다. 항복 후에 하중의 증가에 비해 변위의 증가 폭이 커지면서 하중이 감소하여 실험을 종료하였고, 최대하중은 105.8 kN이고, 이때의 변위는 128.3 mm이다.

Fig. 8은 VD-300과 VD-400 실험체의 균열형상이다. 동일 조건의 두께 400 mm의 실험체들도 300 mm 실험체들과 비슷한 파괴양상을 가지며 파괴되었으며, 실험 결과는 Table 6에서 보는 바와 같다.

Table 7에서는 콘크리트구조설계기준에서 규정하고 있는 공칭강도와 실험에 의한 항복강도를 비교하였다. 초기균열 전 강성과 초기균열 후의 강성의 교점으로 균열 하중을 확인하였고, 초기균열 후의 강성과 항복 후의 강성의 교점으로 항복하중을 확인하였다. 휨실험을 통하여 측정된 항복하중을 토대로 경량성형재를 사용한 중공슬래브의 공칭강도는 콘크리트구조설계기준⁴⁾에 따라서 식 (1)에 의해서 산정하였다.

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

여기서, M_n 은 공칭휨강도(kN·mm), A_s 는 인장철근의 단면적(mm²), d 는 인장철근의 유효깊이(mm), f_y 는 철근의 항복강도(MPa), a 는 등가응력분포의 깊이(mm), l 은 지점에서 가력점까지의 거리(mm)이다.

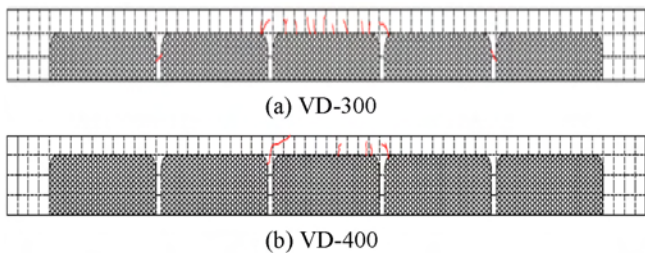


Fig. 8 Crack shape of specimens

Table 6 Test result

Specimens	Cracking load		Yield load		Maximum load	
	kN	mm	kN	mm	kN	mm
RC-300	6.5	2.1	23.5	29.4	32.1	123.1
V-300	4.0	1.1	29.2	30.5	33.5	101.6
VD-300	13.3	2.6	92.6	43.4	105.8	128.3
RC-400	17.9	2.9	36.5	16.3	48.6	110.8
V-400	15.2	3.6	49.1	24.2	54.5	75.8
VD-400	40.6	6.1	142.0	31.3	153.2	96.9

Table 7 Strength comparison of each specimens from bending test

Specimen	Nominal strength P_n (kN)	Yield strength P_y (kN)
RC-300	20.3	23.5
V-300	25.8	29.2
VD-300	75.7*	92.6
RC-400	29.1	36.6
V-400	37.7	49.1
VD-400	110.3*	142.0

*Nominal strength considering deck plate

또한, 실험체에 사용된 데크 플레이트의 영향을 고려하기 위하여 대한건축학회에서 발행한 합성데크 바닥구조 설계기준(안) 해설^{5,6)}을 참조로 식 (2), (3), (4)를 이용하여 인장축 단면계수를 구한 후에, KS D 3506에서 실험체에 사용된 데크 플레이트의 최소 항복점값을 이용하여 식 (5)로 산정하였다.

$$Z_{ct} = \frac{I_{cn}}{n(h - X_n)} \quad (2)$$

$$I_{cn} = \frac{bX_n^3}{3} + nI_s + nA_{st}(d_t - X_n)^2 \quad (3)$$

$$X_n = \frac{-nA_{st} + \sqrt{n^2 A_{st}^2 + 2nbA_{st}d_t}}{b} \quad (4)$$

여기서, I_{cn} 은 합성슬래브의 중립축에 대한 유효등가단면 2차 모멘트(mm⁴), Z_{ct} 는 합성슬래브의 인장축 유효등가단면계수(mm³), n 은 콘크리트에 대한 데크 플레이트의 탄성계수비, h 는 합성슬래브의 총두께(mm), X_n 은 압축연단에서 중립축까지의 거리(mm), b 는 데크 플레이트의 단위폭, 골의 피치(mm), I_s 는 데크 플레이트의 등가단면 2차 모멘트(mm⁴), A_{st} 는 데크 플레이트의 단면적(mm²), d_t 는 압축연단으로부터 데크 플레이트의 중심까지의 거리(mm)이다.

$$P_n = \frac{2M_n}{l} = \frac{2}{l} A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) + f_t Z_{ct} \quad (5)$$

Fig. 7과 Table 6, 7에서 보는 바와 같이 각 실험체들은 대체로 이론적으로 예측한 휨 강도 이상의 최대하중을 발휘하였으며, 최대하중은 항복하중의 107.9~136.6% 정도로 나타났다.

경량성형재를 사용한 중공슬래브는 일반 철근콘크리트 슬래브와 비교하면 높은 항복하중을 가지는 것으로 평가되었다. V-300 실험체와 RC-300 실험체를 비교하면 약 24.3%, V-400 실험체와 RC-400 실험체를 비교하면 약 34.2% 이상의 높은 항복하중을 가지는 것으로 나타났다. 이는 경량성형재로 설치로 인한 중공률에 따른 자중의 감소에 의해 항복하중이 커진 것으로 사료된다.

이와 같은 결과에 근거하여 경량성형재를 사용한 중공

슬래브와 데크 플레이트와 경량성형재를 사용한 슬래브는 예상공칭강도보다 높은 강도에서 항복하였으며, 이에 따라 철근콘크리트 슬래브의 현행 설계기준의 공칭강도에 대한 규정을 사용하여 휨강도 설계를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 진동 실험

진동실험은 모래주머니(49 kN) 낙하에 의해 발생한 충

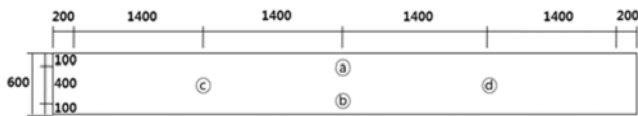


Fig. 9 Installation location of acceleration measuring instrument (unit: mm)

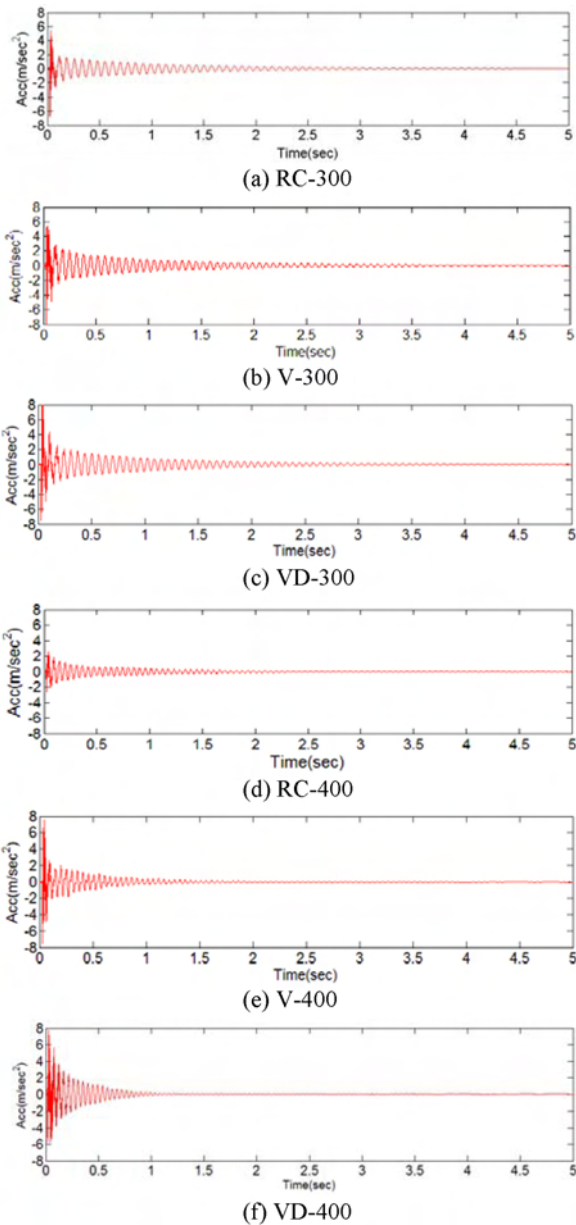


Fig. 10 Transient curve of specimens (unit: mm)

격을 Fig. 10과 같이 슬래브에 발생한 자유진동이력을 바탕으로, 고속 푸리에 변환(FFT)을 수행한 후 그에 따른 고유진동수를 확인하였다. Fig. 11은 슬래브 두께에 따른 실험체별 진동수 분석 결과를 나타낸 것으로 중공단면이 적용된 실험체의 진동수가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

실험체별 감쇠비는 Fig. 10의 자유진동이력을 바탕으로 식 (6)의 대수감소법을^{7,8)} 사용하여 파악하였다.

$$\zeta = 1/2\pi \times \ln(x_i/x_{i+1}) \quad (6)$$

모든 실험체는 중앙의 2곳과 양쪽 1/4지점에서 거의 같은 고유진동수와 감쇠비를 나타냈으며, 이 연구에서는 Fig. 9에서 위치에서의 실험체들의 결과만을 비교하였다. 진동 실험에서 측정된 시간이력곡선과 고속 푸리에 변환(FFT) 분석 결과는 Fig. 10, 11에서 보는 바와 같으며, 감쇠율

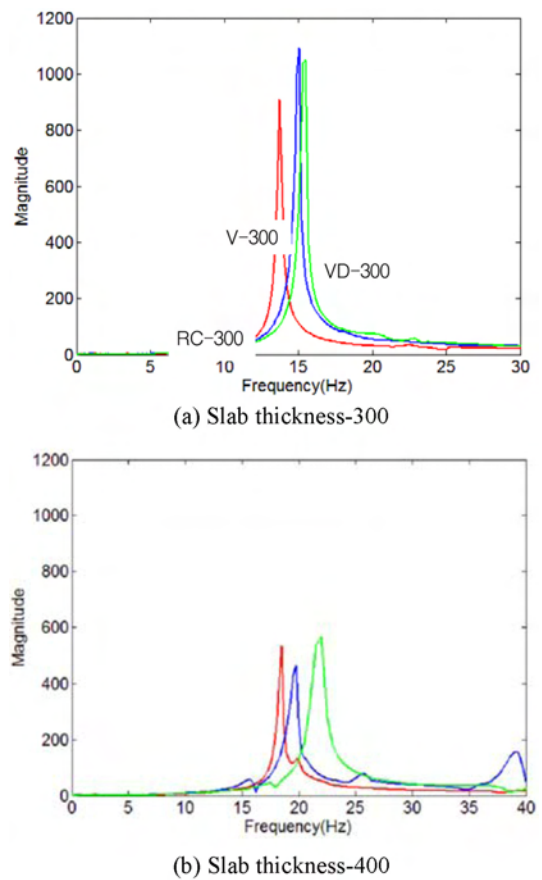


Fig. 11 Natural frequency of specimens

Table 8 The result of vibration performance test

Specimen	Damping ratio (%)	Natural frequency (Hz)
RC-300	0.91	13.71
V-300	0.81	15.06
VD-300	0.84	15.50
RC-400	1.38	18.51
V-400	1.04	19.76
VD-400	1.06	21.99

과 고유진동수를 Table 8에 제시하였다.^{9,10)}

실험체 RC-300의 고유진동수를 V-300, VD-300의 고유진동수와 비교한 결과 고유진동수는 경량성형재가 사용될 경우 9.8%, 경량성형재와 데크 플레이트가 사용될 경우 13.06% 증가하는 것으로 나타났다. 이와 동일한 경향은 슬래브 두께 400 mm인 실험체들에도 나타났다. 실험체 RC-400의 고유진동수를 V-400, VD-400의 고유진동수와 비교한 결과 고유진동수는 경량성형재가 사용될 경우 6.8%, 경량성형재와 데크 플레이트가 사용될 경우 18.8% 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 중공이 있는 경우의 고유진동수가 중공이 없는 경우의 고유진동수보다 증가하는 이유는 중공으로 인한 모드강성(modal stiffness)의 감소량보다 모드질량(modal mass)의 감소량이 더욱 크기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 중공에 의해 실험체의 질량과 강성은 모두 감소하게 되나, 질량에 비해 강성이 더 적게 감소하게 되어 고유진동수가 증가하게 되는 것으로 판단된다.

일반적으로 보행진동수가 1.5~2.0 Hz인 것을 감안하여, CEN EC 3/1¹¹⁾에서는 보행바닥인 경우 3 Hz, 리듬운동의 바닥인 경우 5 Hz로 바닥판의 최소 고유진동수를 규정하고 있다. 또한 일본건축학회¹²⁾에서는 3 Hz, 영국규준¹³⁾에서는 5 Hz로 규정하고 있다. 이 실험체들 중 고유진동수가 가장 작은 RC-300 실험체의 고유진동수는 13.71 Hz이므로 사무소나 아파트에서 보행자의 보행으로 바닥진동의 문제가 발생할 우려는 거의 없는 것으로 분석할 수 있다. 또한, 합성데크 바닥구조 설계규준⁶⁾에서는 슬래브의 고유진동수가 15 Hz 이상이 되도록 요구하고 있다. T형 데크 플레이트를 사용한 실험체 VD-300과 VD-400의 고유진동수는 각각 15.50 Hz, 21.99 Hz로 15 Hz 이상으로 합성데크 바닥구조 설계규준에 만족하였다.

진동실험을 통하여 측정한 각 실험체의 진동수를 이용하여 일반화된 단자유도 시스템에 대한 단면 2차 모멘트를 구할 수 있다. 일반화된 단자유도 시스템에서 형상함수 $\psi(x)$, 등가질량 \bar{m} , 등가강성 \bar{k} 은 다음 식을 이용하여 산정하였다.

$$\psi(x) = \sin\frac{\pi x}{L} \quad (7)$$

$$\bar{m} = \int_0^L m(x)[\psi(x)]^2 dx = \frac{mL}{2} \quad (8)$$

$$\bar{k} = \int_0^L EI(x)[\psi''(x)]^2 dx = \frac{\pi^4 EI}{2L^3} \quad (9)$$

여기서, L 은 실험체의 길이(mm), m 은 단위길이 당 질량(kN/mm), E 는 탄성계수(kN/mm²), w_n 은 고유진동수(Hz)이다.

이때 $\bar{k} = \bar{m}w_n^2$ 이므로, 단면2차 모멘트는 식 (8)과 (9)로부터 (10)이 산정된다.

$$\bar{I} = \frac{w_n^2 mL^4}{\pi^4 E} \quad (10)$$

Table 9 Comparison of stiffness at non-crack section

Specimen	Theoretical value		Experimental value	
	Non-crack section (kN/mm)	Crack section (kN/mm)	Vibration test (kN/mm)	Bending test (kN/mm)
VD-300	9.69	4.01	8.82	5.12
V-300	9.69	2.72	8.32	3.64
RC-300	11.96	2.72	10.57	3.10
VD-400	21.10	7.47	21.05	6.66
V-400	21.09	5.64	17.44	4.22
RC-400	27.72	5.64	30.10	6.17

식 (10)을 이용하여 산정한 단자유도 시스템의 강성과 휨 실험을 통한 탄성구간에서의 강성의 차이를 비교하였다. 비교한 결과는 다음 Table 9에서 보는 바와 같다

또한 콘크리트구조설계기준⁴⁾에서 규정하는 비균열환산 단면에 대한 강성과 휨 실험에서의 초기하중에 대한 강성을 구하였다. 비균열환산단면을 이용한 이론적 단면2차 모멘트 값으로 강성을 구한 식은 식 (11)에 나타내었다.¹⁴⁾

$$k = \frac{48EI}{l(3L^2 - 4l^2)} \quad (11)$$

여기서, l 은 지점에서 가력점까지의 거리(mm)이다.

Table 9에 나타나듯이, 진동실험을 통해서 구한 강성은 비균열단면을 사용하여 구한 이론적 예측치와 0.2~17.31%의 차이를 보였다. 반면 휨 실험에서 초기균열 단면에서 구한 강성은 9.39~33.82%로 균열단면을 사용하여 구한 이론적 예측치와 상대적으로 큰 차이를 나타냈다. 또한 비균열단면의 강성은 단면적 손실이 없는 RC-300, RC-400 실험체의 강성이 크게 나타났고, 균열단면의 강성은 단면적 감소에 따른 영향보다는 자중 감소 및 데크 플레이트의 영향이 크게 작용하여 VD-300, VD-400 실험체의 강성이 크게 나타났다고 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 철근콘크리트 슬래브의 구조성능을 확보하면서 자중을 감소시키는 공법으로 제안된 데크 플레이트와 경량성형재 조립체를 사용한 중공슬래브 공법, 즉 보이드데크 슬래브 공법의 구조 및 사용성능을 검토하는 것을 목적으로 하였다. 개발된 공법의 구조성능과 사용성능 평가를 위하여 경량성형재의 유·무, 데크 플레이트의 유·무, 슬래브 두께의 변화에 변수를 두어 총 6개의 실험체에 대한 단순지지 2점 가력 휨 실험 및 충격하중에 대한 진동실험을 수행하였다. 이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모든 경량성형재와 데크 플레이트를 사용한 중공슬래브는 공칭강도보다 높은 강도에서 항복하였으며, 이러한 결과를 통하여 일반적인 철근콘크리트 슬래브의 현행기준의 공칭강도에 대한 규정을 사용하여

경량성형재를 사용한 중공슬래브의 휨 강도 설계를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

- 2) 경량성형재를 사용한 슬래브의 중공에 따른 고유진동수의 변화를 검토하기 위하여 동일한 슬래브 두께의 중공이 없는 슬래브의 고유진동수를 검토해본 결과, 경량성형재를 사용한 중공이 슬래브의 고유진동수를 더 증가시키는 것으로 확인되었다. 이는 중공에 의해 질량과 강성이 모두 감소하게 되나, 질량에 비해 강성이 더 적게 감소하게 되어 고유진동수가 증가하게 되는 것으로 나타났다.
- 3) 경량성형재와 데크 플레이트를 사용한 슬래브의 진동실험으로 얻어진 최소고유진동수는 RC-300 실험체가 13.71 Hz로 일반적으로 보행진동수가 1.5~2.0 Hz 인 것을 감안하여, CEN EC 3/1¹¹⁾에서는 보행바닥인 경우 3 Hz, 일본건축학회¹²⁾에서는 3 Hz, 영국규준¹³⁾에서는 5 Hz로 최소고유진동수를 규정하고 있어 사무소나 아파트에서 보행자의 보행으로 바닥진동의 문제가 발생할 우려는 거의 없는 것으로 사료된다.
- 4) T형 데크 플레이트를 사용한 실험체 VD-300과 VD-400의 고유진동수는 각각 15.50 Hz, 21.99 Hz로 15 Hz 이상으로 합성테크 바닥구조 설계기준에 만족하였다.
- 5) 경량성형재를 사용한 중공슬래브는 일반적인 철근콘크리트 슬래브에 비하여 자중은 작지만 강성은 뛰어나기 때문에 경간을 증가할 수 있고, 철근과 콘크리트양을 절약할 수 있으며, 고정하중의 감소만큼 하중저항능력 증가를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이다(과제번호 : NRF-2009-0087321).

참고문헌

1. Ro, Y. G., "Assembly Lightweight for Fixed Installation on

the T-type Deck Plate and Lightweight Slab Structure with Assembly Lightweight," Patent of Korea, 10-0936593, 2010.

2. Lee, W. S., Cho, S. H., Lee, S. H., Cho, S. G., and Chung, Lan., "Flexural Strength and Stiffness of Hollow-core Slabs," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 25, No. 1, 2009, pp. 49-56.
3. Yoon, M. H., Choi, C. S., Eom, C. H., and Kim, D. K., "An Experimental Study on the Structural Performance of the Composite Slabs with the New-Shape Deckplate," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 16, No. 1, 2000, pp. 53-60.
4. MLTM, *Concrete Design Code*, Korea Concrete Institute, 2007, 328 pp.
5. Ju, G. S. and Park, S. M., "Flexural Strength for Composite Slabs with Deck Plates," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 17, No. 8, 2001, pp. 75-84.
6. Architectural Institute of Korea, *The Seminar of the Study on the Composite Deck Floor System*, AIK, 1998.
7. Yoon, S. W., "Damping Ratio of Light Gauge Steel-Framed Floors," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 16, No. 7, 2010, pp. 17-24.
8. Chopra, A. K., *Dynamics of Structures*, 2004, pp. 81-84.
9. Ham, H. J., Kwak, N. H., and Eun, H. C., "A Study on Vibrational Analysis of Floor slab at Moment Resisting Frame System," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 23, No. 9, 2007, pp. 73-80.
10. Hong, S. G., Yang, D. H., Jung, J. H., and Yim, B. H., "Flexural Behavior of Hybrid Beam of Reduced Story Height," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 19, No. 5, 2007, pp. 557-567.
11. Eurocode 3 Design of Steel Structure, CEN, 1998.
12. AIJ, "Evaluation of Residential Performance of Vibration on Building Structures (建築物の振動に関する居住性能評価指針 同解説)," 1991.
13. British Standards Institution, *Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz)*, BSI, 1984.
14. Yang, K. H., Kim, D. J., Lee, E. T., and Chung, H. S., "Evaluation of Effective Moment of Inertia and Allowable Span-Depth Ratio for Controlling Deflection in Composite Slabs Reinforced with Steel Decking," *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 20, No. 15, 2004, pp. 19-26.

요약 최근 들어 건축물의 LCC 분석 결과에 따른 건축물에 대한 수명연장기술 즉, 건축물의 장수명화가 화두로 떠오르고 있다. 건축물의 장수명화를 실현하기 위해서는 요구되어지는 공간의 다변화에 따른 대응이 필요하게 된다. 건축물의 장수명화를 위해서는 라멘구조가 필수요소이며 이와 더불어서 장스팬 구조 또한 필수적 요소가 되는 것이다. 또한 건축물의 고층화, 대형화, 모듈화 되어감에 따라 장스팬 구조의 필요성이 점차 확대되고 있으며, 실현을 위해서는 구성하고 있는 부재의 경량화가 기본 조건이 된다. 이에 콘크리트 슬래브의 성능을 그대로 유지한 채 부재의 단면2차모멘트를 극대화 시켜 휨 저항에 유리한 I형 구조로 형성된 중공 슬래브로 개발한 T형 데크 플레이트와 경량성형재 조립체를 사용한 중공슬래브의 휨 및 진동성능을 파악하기 위하여 실험을 수행하고 그 결과 분석을 통하여 일반적인 철근콘크리트 슬래브의 현행기준의 공칭강도에 대한 규정을 사용하여 경량성형재를 사용한 중공슬래브의 휨 강도 설계를 수행할 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 중공슬래브, T형 데크 플레이트, 장스팬, 휨성능, 진동성능