

# 공동주택 뜬바닥 구조층 구성에 따른 바닥충격음 차단성능 실험적 연구

## Parametric Study on Floor Impact Sound with Design Factors of Layers Composing a Floating Floor in Multi-Residential Buildings

양 홍 석\* · 김 태 민†  
Hong-Seok Yang\* and TaeMin Kim†

(Received January 17, 2020 ; Revised February 13, 2020 ; Accepted February 20, 2020)

**Key Words :** Floor Impact Sound(바닥충격음), Floating Floor(뜬바닥 구조), Design Factor(설계변수), Construction Method(시공방법), Impact Source(충격원)

### ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the main factors in the control of floor impact sound with various design and construction methods of a floating floor. The factors that were considered include the thicknesses of the resilient and mass layers and construction order of the lightweight concrete to secure a floor flatness. The results, which were measured at mock-up housing units, showed that increasing the thickness of the resilient layer loading the same mass is effective in controlling the amplification due to mass-spring-mass resonance at 63 Hz. The sound reduction by increasing the thickness of the cement mortar from 40 mm to 80 mm was analyzed using 6 dB of a bang machine, 8 dB of a rubber ball, and 8 dB of a tapping machine in the single number quantity. According to the construction order of the lightweight concrete, the reduction effect in the single number quantity was similar to each other. The relationship between the floor impact sound reduction and different heavyweight impact sources showed a high correlation coefficient of over 0.9 at below 63 Hz, and a relatively low correlation coefficient at 125 Hz ~ 250 Hz. This result indicates a different subjective response related to floor impact sound reduction with different heavyweight impact sources.

### 1. 서 론

공동주택 층간 바닥충격음 차단성능 향상을 위한 다양한 기술적 노력이 기울여지고 있다.

준공 후 바닥충격음 차단 목표성능을 달성하기 위

해서는 설계단계에서부터 건축물 구조형식, 평면형태, 완충바닥, 천장 등을 포함한 복합 시스템에 대한 유기적인 소음진동 제어 기법이 반영되어야 한다. 더불어, 시공단계에서는 바닥충격음 차단성능 구현과 관련된 품질요인(일정한 슬래브 두께 확보, 평활도, 천장 시공 시 완전한 체결 등)에 대한 시공품의 질 확보

† Corresponding Author ; Member, Land and Housing Institute, Korea Land and Housing Cooperation, Researcher  
E-mail : ktaemin@lh.or.kr

\* Member, Land and Housing Institute, Korea Land and Housing Cooperation, Researcher

# A part of this paper was presented at the KSNVE 2019 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Jong Kwan Ryu

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

가 필요하다.

현재, 국내 신축 공동주택의 약 90% 이상이 타 구조(무량판, 기동식 구조 등) 대비 공기 단축 및 공사비 절감 등의 장점을 이유로 벽식구조로 건설되고 있으며<sup>(1)</sup>, 제한적인 범위에서 슬래브 두께 증가 등을 통한 바닥충격을 저감형 골조방식이 적용되고 있다. 바닥충격을 저감형 평면개발에 대한 일부 연구<sup>(2, 3)</sup>가 진행되었으나, 그 유효성에 대한 실증 부족 및 설계 변경(장단변비, 내력벽 위치 등) 범위 제약 등의 한계가 발생하고 있다.

구조·평면 형식 변화의 한계로 인해 그동안 슬래브 상부에 설치되는 완충 자재 중심의 연구개발이 진행되어 왔다<sup>(4-6)</sup>. 국내 제도 측면에서도 완충 바닥구조 개발 중심의 사전 인정제도를 도입하여 자재 개발을 유도하고 있다<sup>(7)</sup>. 제도 도입 이후, 인정 바닥구조를 현장에 적용하여 바닥충격을 저감대책을 수립하고 있으나, 인정성능 대비 현장성능 구현 비율이 낮고, 전체적으로 성능이 저하되는 현상이 나타나는 것으로 보고되고 있다<sup>(8)</sup>.

공동주택에 적용되는 뜬바닥 구조는 일반적으로 완충재, 경량기포콘크리트, 마감모르타르 등 이질재료로 적층되는 다층 구조다. 건설사에서는 완충 바닥구조의 총 두께에 관한 설계기준 수립 후 인정 바닥구조 선정을 통해 저감대책을 수립하고 있다. 현재 국내 공동주택에 설치되는 뜬바닥 구조는 완충재 30 mm 또는 60 mm를 적용하여 총 두께 110 mm 내외로 표준화 되고 있는 추세이며, 제한된 두께 범위 내에서 완충재의 재질, 형상 변화를 통해 바닥충격을 제어하기 위해 노력하고 있다. 그러나 뜬바닥 구조를 구성하는 개별 층의 두께, 설치순서 변화에 따른 차단성능 변화에 대한 체계적인 실증 검증은 부족한 실정이다.

이에, 이 연구에서는 뜬바닥 구조를 구성하는 개별 층의 설계요인 및 평할도 시공품질 관리를 위한 시공순서 변화에 따른 바닥충격을 실험하고 주요 제어요인을 분석하고자 한다. 추가적으로, 뱅머신과 고무공충량충격원 간 저감량 상관성을 분석하여 표준충격원 변화에 따른 차단성능 변화 영향도를 검토하였다.

## 2. 뜬바닥 구조 바닥충격을 제어 요인

완충재는 바닥충격을 저감 및 단열을 위해 뜬바닥 구

조용으로 보편적으로 사용되고 있다. 국내에서는 EPS(expanded poly-styrene), EVA(ethylene-vinyl acetate) 등 단열성 완충재가 차음성능, 비용, 시공성 등 종합적인 측면을 고려하여 높은 비율로 현장에 설치되고 있다<sup>(9)</sup>.

뜬바닥 구조는 완충재, 경량기포콘크리트(이하 경량기포), 마감모르타르(이하 마감몰탈), 표면 마감재로 구성되며, 상부 충격에 의해 각 바닥 구성층 간 거동 현상이 발생되어 충격을 하부세대로 전달하게 된다. 바닥 구조를 통해 전달되는 바닥충격음에 대한 전달특성 분석을 위한 실험 및 예측 연구는 다양하게 시도되어 왔다<sup>(10, 11)</sup>.

이 중 ISO 12354-2<sup>(12)</sup>에서는 뜬바닥 구조의 바닥충격을 저감 및 공진주파수에 관한 예측식을 제시하고 있다.

$$\Delta L = 30 \lg \frac{f}{f_0} \text{ dB} \tag{1}$$

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ Hz} \tag{2}$$

여기서,

- $\Delta L$  : 바닥충격을 저감량, dB
- $f$  : 옥타브 밴드 주파수, Hz
- $f_0$  : 뜬바닥 구조 공진주파수, Hz
- $s'$  : 동탄성계수, MN/m<sup>3</sup>
- $m'$  : 면밀도, kg/m<sup>2</sup>

식 (1)과 같이 뜬바닥 구조의 바닥충격을 저감량은 완충재와 누름층의 분리에 의해 발생하는 1자유도 공진주파수에 의해 영향을 받으며, 공진주파수 대비 옥타브 밴드 주파수 대역이 높아질수록 저감량이 상승하는 것을 알 수 있다. 공진주파수는 식 (2)와 같이 동탄성계수가 낮고 면밀도가 높을수록 낮아지는 상관성을 갖게 된다. ISO 12354-2에서는 면밀도와 동탄성계수 변화에 따라 선형적으로 저감량이 변하는 것으로 제시하고 있다.

국내 공동주택에 설치되는 경량기포(밀도 약 500 kg/m<sup>3</sup>)와 마감몰탈(밀도 약 2400 kg/m<sup>3</sup>)의 두께는 일반적으로 각 40 mm로서 누름층의 총 면밀도는 110 kg/m<sup>2</sup> 내외이며, 완충재의 동탄성계수는 10 ~ 40 MN/m<sup>3</sup>의 범위를 갖는다. 이에 따라, 뜬바닥 구조의 1자유도 공진주파수는 약 48 Hz ~ 96 Hz 범위에

분포하는 것을 알 수 있다.

경량충격원과 달리 뱅머신 중량충격원은 63 Hz 옥타브 밴드 주파수에서 높은 충격력을 발생시킨다. 옥타브 밴드 주파수 63 Hz의 밴드폭은 44 Hz~88 Hz이며, 이는 뜬바닥 구조 공법의 공진주파수 범위와 상당 영역 중첩이 되어 공진현상으로 인해 중량충격음 차단성능 저하 요인으로 작용하게 된다.

중량충격음 개선을 위해서는 뜬바닥 구조의 공진 주파수를 평가대역 범위 밖에서 발생하도록 완충재와 상부 하중판의 물성치를 설계해야 한다. 이상적으로는 진동전달률(transmissibility) 특성에 의한 증폭현상을 제어하기 위해  $\sqrt{2}f_0 < 44$  Hz (옥타브 밴드 중심

주파수 63 Hz 하한 주파수)에서 발생되도록 진동제어 설계가 필요하다.

### 3. 실험개요

#### 3.1 실험대상 및 조건

이 연구에서는 벽식구조 실증주택 2개 세대(전용면적 59 m<sup>2</sup>, 84 m<sup>2</sup>)를 대상으로 거실부 바닥(슬래브 두께 210 mm)에 뜬바닥 구조 시험체를 설치하여 바닥충격음 차단성능 실험을 진행하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 해당 세대 평면 및 뜬바닥 구조 시험체 시공 사진을 보여주며, Table 1은 각 세대 평면의 설계치수, 시험체 면적, 수습실 부피 등을 나타낸다.

이 실험에서는 Fig. 3과 같이 완충재가 설치되는 바닥면의 평활도 개선효과 등을 고려하여, 뜬바닥 구조 조건을 경량기포 선시공(case 1)과 완충재 선시공(case 2) 공법으로 구분하였다. 각 공법에 대해 Table 2와 같이 완충재 및 마감물탈 두께 변화에 따라 총 5가지의 시험체 조건을 설정하였다. 바닥 평활도 확보를 위해 경량기포를 슬래브 표면에 설치하는 case 1 조건에서는 59 m<sup>2</sup> 세대 거실에 시험체를 설치하여 완충재 두께 변화에 따라 case 1-1, 1-2 조건으로 설정하여 실험

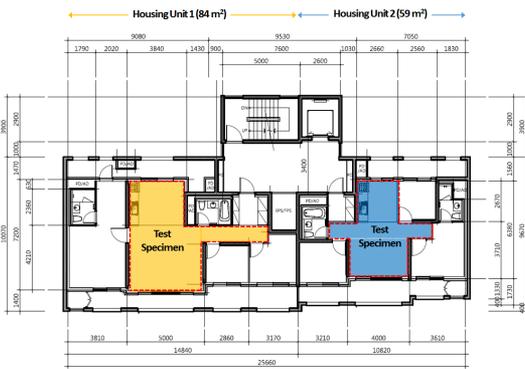


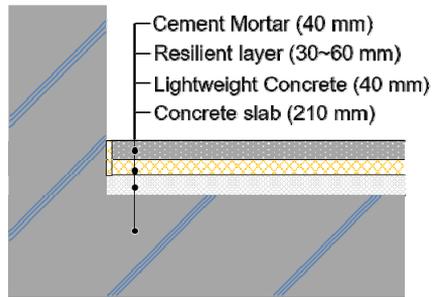
Fig. 1 Floor plan of the studied housing units



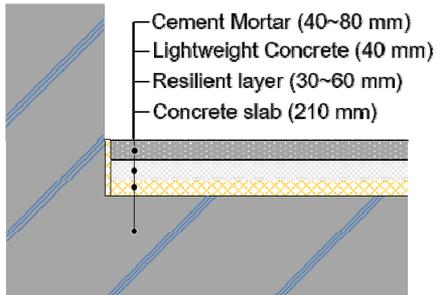
Fig. 2 View of installing the specimen

Table 1 Dimensional properties of the living room

Floor type (m <sup>2</sup> )	Width (m)	Depth (m)	Height (m)	Specimen area (m <sup>2</sup> )	Room volume (m <sup>3</sup> )	Width to depth ratio
59	4.0	6.4	2.3	23.2	53.4	1:1.6
84	5.0	7.2	2.3	35.9	82.6	1:1.4



(a) Case 1 : lightweight concrete on top of the slab



(b) Case 2 : resilient layer on top of the slab

Fig. 3 Cross section of the studied floating floor structure

을 진행하였다. 반면, case 2 조건에서는 84 m<sup>2</sup> 세대 거실에 완충재를 슬래브 표면에 설치하여 완충재 및 마감몰탈 두께에 따라 case 2-1, 2-2, 2-3 조건으로 설치하였다.

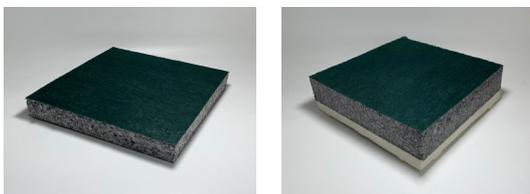
바닥 슬래브 하부 천장구조는 경량철골로 지지된 석고보드 9.5 mm로 마감되었으며, 공기층 170 mm가 설치된 이중 천장 구조로 시공되었다. 수음실의 바닥은 맨슬래브 조건이었으며, 벽체 표면은 페인트로 마감되었다.

완충재 물성치 변화에 따른 영향도 분석을 위해 Fig. 4와 같이 국내에서 높은 비율로 설치되고 있는 EPS 30 mm 완충재(평판형)와 총 두께 60 mm의 EVA 20 mm (요철형) + EPS 40 mm 완충재(평판형) 2종을 선정하였다. Table 3은 각 완충재의 음향 물성치 실험결과를 보여주며, 동탄성계수의 범위는 14.6 MN/m<sup>3</sup> ~ 18.2 MN/m<sup>3</sup>인 것을 알 수 있다.

완충재가 설치된 뜬바닥 구조의 진동전달률은 식 (3)

**Table 2** Description of layers composing the floating floors (L : lightweight concrete, C : cement mortar)

Floor type (m <sup>2</sup> )	Case No.	Structure of the floating floor (mm)			
		1st layer	2nd layer	3rd layer	Total thickness
59	Case 1-1	L (40)	EVA(20)+EPS(40)	C (40)	140
	Case 1-2		EPS(30)		110
84	Case 2-1	EVA(20)+EPS(40)	L (40)	C (40)	140
	Case 2-2			C (80)	110
	Case 2-3	EPS(30)			150



(a) EPS 30 mm (b) EVA 20 mm + EPS 40 mm

**Fig. 4** Specimen of the resilient material

**Table 3** Acoustic properties of the resilient materials

Type of resilient material		Thickness (mm)		Dynamic stiffness (MN/m <sup>3</sup> )		Loss factor		Density (kg/m <sup>3</sup> )	
EPS		30		18.2		0.13		19.4	
EVA + EPS	EVA	20	60	29.3	14.6	0.14	0.13	55.6	31.1
	EPS	40		30.7		0.17		18.6	

에 의해 공진주파수와 댐핑계수에 의해 결정되어 가진 충격에 대한 하부 세대 진동 전달 특성에 영향을 주게 된다. 이 연구에서 적용된 시료의 물성치를 활용하여 식에 적용했을 경우, 각 시험체 조건에 대해 Fig. 5와 같은 특성을 보이게 된다. 뜬바닥 구조에 의한 진동 증폭현상은  $\sqrt{2}f_0$  이하까지 발생하며 각 시험체에 대한 공진주파수와 증폭 상한 주파수는 Table 4에 나타난다. 분석결과, 5가지 시험체에 대한 고유진동수는 46.9 Hz ~ 69.7 Hz 범위에서 발생하며, 이는 Fig. 5와 같이 1/1 옥타브 밴드 63 Hz 대역의 상·하한 주파수 대역(44 Hz ~ 88 Hz) 내에 위치하는 것을 알 수 있다.

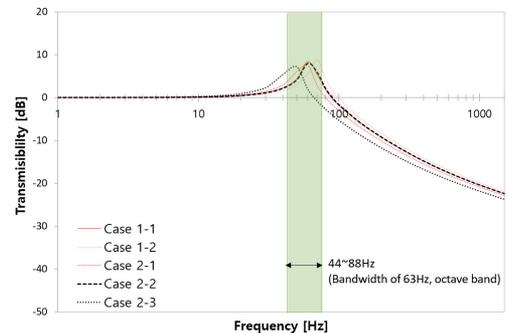
$$T = \sqrt{\frac{1 + \left(2\zeta \frac{f_d}{f_n}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta \frac{f_d}{f_n}\right)^2}} \quad (3)$$

여기서,

$f_d$  : 가진주파수, Hz

$f_n$  : 공진주파수, Hz

$\zeta$  : 댐핑계수



**Fig. 5** Transmissibility with frequencies for each floating floor structure

**Table 4** Resonance frequency and transmissibility of the specimens

	Case of the specimens				
	Case 1-1	Case 1-2	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3
$f_0$ (Hz)	62.4	69.7	56.8	63.4	46.9
$\sqrt{2}f_0$ (Hz)	88.2	98.5	80.3	89.6	66.3
Transmissibility in maximum (dB)	8.4	8.9	7.5	8.0	7.1

### 3.2 실험내용

이 실험에서는 뜬바닥 구조 설치조건에서의 중량, 경량 바닥충격음 차단성능 실험과 더불어, 맨슬래브 조건에서의 가속도 주파수 응답함수와 수음실의 음향 공진 모드 측정을 통해 바닥 진동과 실내 음장 특성을 분석하였다.

바닥 진동 특성 분석을 위해 59 m<sup>2</sup>, 84 m<sup>2</sup> 타입 세대 거실 공간을 대상으로 FFT 분석기(Test.Lab, Siemens)에 임팩트 해머(086D50, PCB)와 가속도계(352C33, PCB)를 연결하여 모드 테스트를 수행하였다. 가속도계는 바닥 상부 2개 지점에 고정하고 임팩트 해머 가진점을 이동하며 가속도 응답을 측정하였다. 가속도계는 가속도 신호가 유효하게 입력될 것으로 예상되는 거실 및 주방 중앙부 인근에 설치하였다. 임팩트 해머에는 고무팁을 부착하여 약 250 Hz까지의 저주파수 대역에서 0.9 이상의 재현성(coherence)을 확보하였다. 84 타입은 3차 모드까지의 형상 확인하기 위해 45개의 격자(그리드 간격: 약 100 cm)를 구성하였으며, 59 타입은 보다 정밀한 분석을 위해 89개의 격자(그리드 간격: 50 cm)를 구성하였다. Fig. 6은 바닥 모드 테스트를 위해서 구성된 59, 84 타입의 거실 공간 측정 지점을 보여준다.

수음실의 음향 공진 모드는 무지향성 스피커(Ntek, Omni 4")를 주방 모서리 벽면부 하단 50 cm에 배치하여 백색소음을 20초간 발생 시킨 후, 거실 반대편 모서리 벽면부 상단 50 cm 지점(높이 1.8 m)에 마이크로폰(GRAS, Type 146 AE)을 설치하여 측정하였다. 음향 신호는 주파수 밴드폭은 1 Hz 간격으로 설정 후, FFT 분석기를 이용하여 분석하였다.

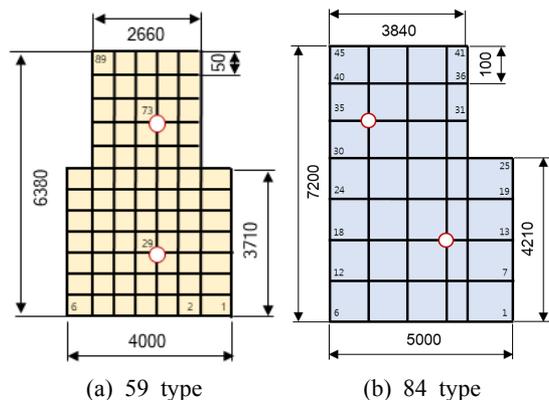


Fig. 6 Schematic diagram of the grid on the floor for vibrational modal test

중량 및 경량 바닥충격음 차단성능은 표준 충격원 뱅머신(RION, FI-02), 고무공(RION, YI-01), 태핑머신(Ntek, TPM-PRO)을 이용하여 KS F 2810과 KS F 2863에 따라 가진점과 수음점 각 5지점에서 측정하였다. 측정지점은 중앙점을 포함하여 59, 84 타입 평면에 대해 고시 상 거실 바닥면적 기준(14 m<sup>2</sup>)을 적용하여 벽면 모서리로부터 각 50 cm, 75 cm 이격하였다. 수음실에 설치된 마이크로폰은 1.2 m 높이로 설치하였으며, FFT 분석기(SA-02, RION)에 연결하여 1/3 옥타브 밴드 주파수 대역에 대한 바닥충격음 레벨을 측정 후, 바닥충격음 차단성능 단일수치 평가량을 계산하였다.

## 4. 실험결과

### 4.1. 바닥진동 및 실내음장 특성

저주파수 대역에서의 바닥진동 및 실내음장 모드 밀도는 중량충격음 차단성능에 높은 영향을 주며, 시험체 설치장소인 59 m<sup>2</sup>, 84 m<sup>2</sup> 평면의 실증주택은 각기 상이한 바닥진동과 수음실 음장 특성을 나타낼 것으로 판단되어, 이에 따른 바닥 진동 및 수음실 음장

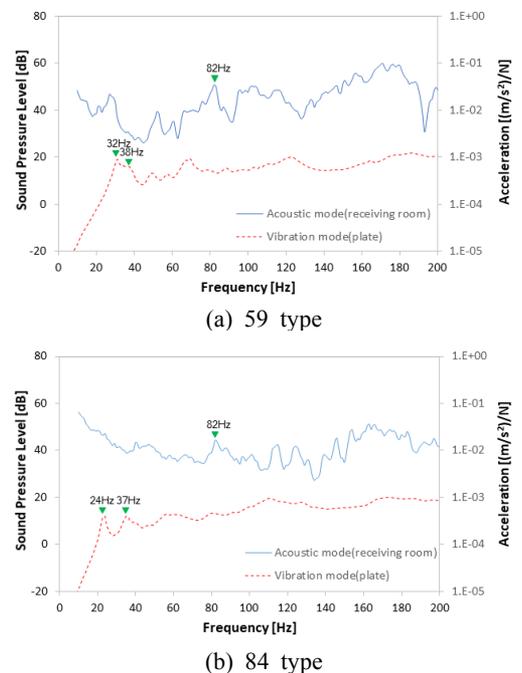


Fig. 7 Measured result for vibration (plate) and acoustic (receiving room) modes at different housing units in 1 Hz narrow band

모드 측정을 선행하였다.

59 타입 평면에 대한 실험결과, Fig. 7(a)와 같이 바닥 진동 1차, 2차 공진 모드는 각각 32 Hz, 38 Hz에서 발생하여 옥타브 밴드 63 Hz 대역 하한 주파수 미만에서 발생하는 것으로 분석되었다. 수음실 음향 공진 모드는 1/1 옥타브 밴드 63 Hz 대역 범위 중 82 Hz에

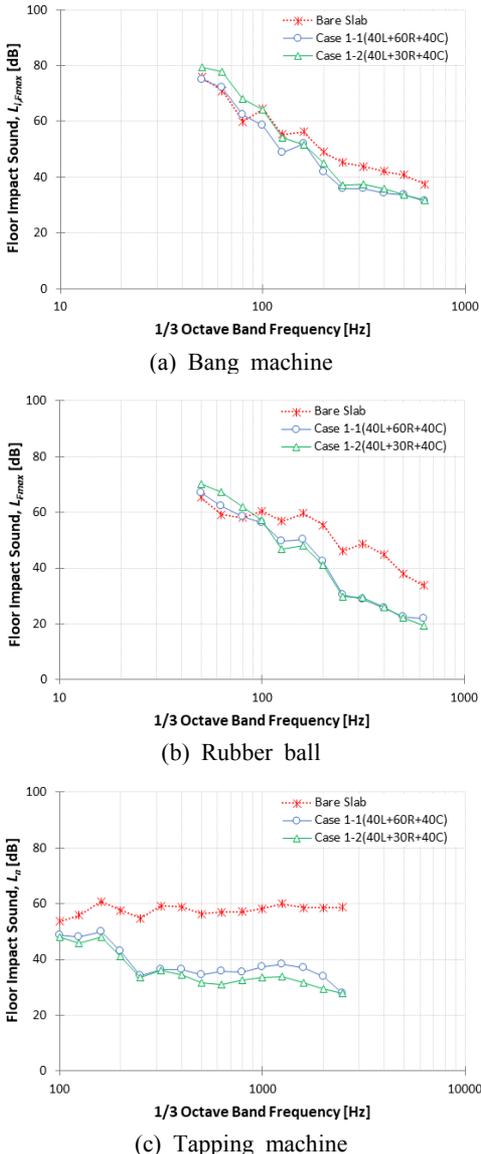
서 증폭 현상이 발생하는 것으로 분석되었다. Fig. 7(b)는 84 타입 평면에 대한 실험결과를 보여주며, 바닥 진동 1차, 2차 공진 모드는 각 24 Hz, 37 Hz로서, 59 타입 대비 넓은 바닥판 크기로 인해 상대적으로 낮은 주파수에서 발생하는 것으로 분석되었다. 수음실 음향 공진 모드에 대해서는 59 타입 평면과 유사하게 82 Hz에서 증폭현상이 발생되어, 뜬바닥 구조 설계 시 해당 주파수에 대한 공진 현상 억제 기술 설계가 필요할 것으로 판단된다.

위 결과와 같이, 평면 유형에 따라 상이한 바닥 진동과 수음실 음향 모드 특성을 보이며, 완충재 설치에 따른 공진 모드와의 연동으로 인해 저주파수 영역에서의 바닥충격음 특성이 변화할 것으로 판단된다.

#### 4.2. 바닥충격음 차단성능 및 저감량

Fig. 8은 경량기포 선타설 공법(case 1)에 대한 중량, 경량 충격원 변화에 따른 1/3 옥타브 밴드 주파수 바닥충격음 차단성능 결과를 보여준다. 뱅머신에 대한 분석결과, case 1-2(완충재 30 mm)에서 case 1-1(완충재 60 mm)과 비교하여 100 Hz 미만에서 맨슬래브 조건 대비 높은 바닥충격음 증폭현상이 나타나는 것을 알 수 있다. 이는, case 1-2에 설치된 완충재의 동탄성계수가 case 1-1에 비해 상대적으로 높아, 공진 주파수가 더 높은 대역에서 발생하며 진동전달률 최대치가 더 높은 것이 주요 원인으로 추정된다. 100 Hz 이상의 주파수 대역에서는 case 1-1, 1-2 조건 모두에서 맨슬래브 조건 대비 바닥충격음이 저감되는 효과를 보이며, 이는 주파수가 높아질수록 명확해지는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 고무공 충격원에 대해서도 뱅머신 충격원과 유사한 결과가 나타나고 있으며, 100 Hz 이상의 주파수 대역에서는 완충재에 의한 저감효과가 뱅머신 대비 더욱 뚜렷한 것을 알 수 있다. 경량충격음 측정결과에서는 case 1-1, 1-2 모두에 대해 전 주파수 대역에서 바닥충격음이 저감되는 현상이 나타났다. 그러나 완충재 60 mm 구조 대비 30 mm 구조에서 상대적으로 낮은 경량충격음이 발생한 것으로 분석되었다.

완충재 선시공 공법에 대한 측정결과는 Fig. 9에 나타나며, 맨슬래브 대비 바닥충격음 차단성능은 경량 기포 선시공 공법과 유사한 것을 알 수 있다. 뱅머신과 고무공의 경우, case 2-2(완충재 30 mm 설치)에

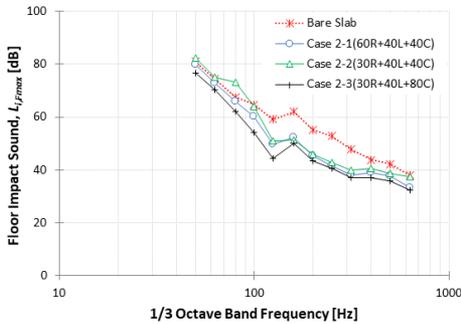


**Fig. 8** Measured floor impact sound at 1/3 octave band for the case installing the lightweight concrete on the slab according to different impact sources (L : lightweight concrete, R : resilient material, C : cement mortar)

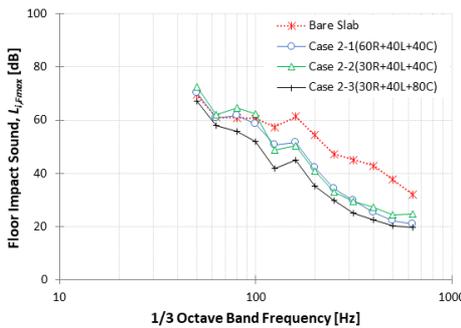
대해 100 Hz 미만의 주파수 대역에서 맨슬래브 대비 바닥충격음이 공진에 의해 증폭되는 반면, case 2-1 (완충재 60 mm 설치)에서는 증폭효과가 제어된 것을 알 수 있다. 마감몰탈 두께가 80 mm 설치 (40 mm 타설 후 40 mm 추가 타설)된 case 2-3에서는 뱅머신, 고무공, 태핑머신 모두에 대해 전주파수 대역에서 가장 낮은 바닥충격음을 보이는 것으로 분석되었다. 이는, 완충재 상부에 높은면밀도의 하층이 가해지면서 공진

주파수가 저하되며, 진동전달률 최대치 또한 낮아짐에 따라 발생한 현상으로 추정된다.

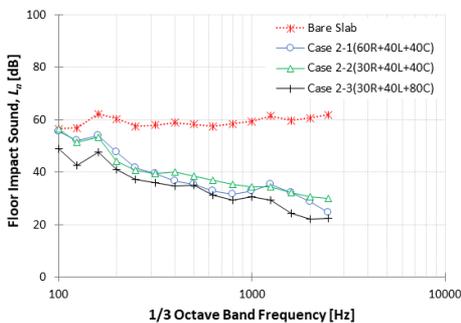
Table 5는 각 뜬바닥 구조 시험체 조건 및 충격원별 바닥충격음 차단성능 단일수치 결과를 보여준다. 맨슬래브의 바닥충격음 차단성능은 59 타입에 대해 단일수치 기준 뱅머신 50 dB, 고무공 47 dB, 태핑머신 65 dB로 분석되었다. 이는 뜬바닥 구조 설치 전 맨슬래브 자체에서도 중량충격음(뱅머신) 최저기준 50 dB를 충족하나, 경량충격음에 대한 차단성능 대책 수립이 필요한 것을 알 수 있다. 맨슬래브 조건에서의 단일수치는 59 타입 평면이 84 타입 평면에 비해 뱅머신 기준 3 dB, 고무공 기준 1 dB 낮은 것을 알 수 있으며, 이는 상대적으로 좁은 바닥 면적으로 인한 음향 방사에너지가 상대적으로 낮으며, 바닥판에 의한 1차, 2차 공진모드가 1/1 옥타브 밴드 63 Hz 하한 주파수 미만에서 발생되었기 때문으로 추정된다. 59 타입에 설치된 case 1 조건에서의 단일수치는 뱅



(a) Bang machine



(b) Rubber ball

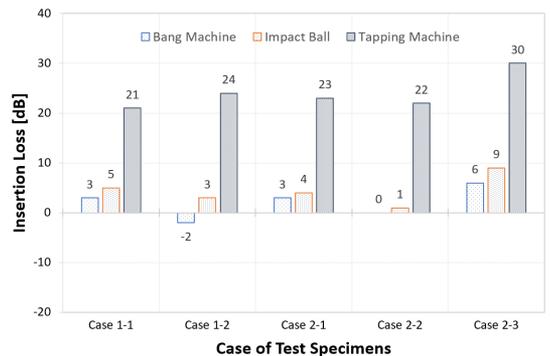


(c) Tapping machine

**Fig. 9** Measured floor impact sound at 1/3 octave band for the case installing the resilient layer on the slab according to different impact sources (R : resilient material, L : light-weight concrete, C : cement mortar)

**Table 5** Single number quantity of floor impact sound for each case

Floor type (m <sup>2</sup> )	Case of specimens	Single number quantity [dB]		
		Heavyweight (L <sub>i,Fmax,AW</sub> )		Lightweight (L <sub>n,AW</sub> )
		Bang machine	Rubber ball	Tapping machine
59	Bare slab	50	47	65
	Case 1-1	47	42	44
	Case 1-2	52	44	41
84	Bare slab	53	48	67
	Case 2-1	50	44	44
	Case 2-2	53	47	45
	Case 2-3	47	39	37



**Fig. 10** Insertion loss indicating the single number quantity by installing the floating floors on bare slab

머신 47 dB ~ 52 dB, 고무공 42 dB ~ 44 dB, 태핑머신 41 dB ~ 44 dB의 범위를 보였으며, 뱅머신과 고무공 간 단일수치 차이는 5 dB ~ 8 dB 범위를 보이는 것으로 분석되었다. 84 타입에 설치된 case 2 조건에서의 단일수치는 뱅머신 47 dB ~ 53 dB, 고무공 39 dB ~ 47 dB, 태핑머신 37 dB ~ 45 dB의 범위를 보였으며, 뱅머신과 고무공 간 단일수치 차이는 6 dB ~ 8 dB 범위를 보이는 것으로 분석되었다. 또한, 뱅머신의 경우에는 case 1, 2 모두에서 63 Hz 대역에 의해 단일수치가 주요하게 결정되는 것으로 나타났다.

Fig. 10은 뜬바닥 구조 설치 후의 단일수치 저감량을 보여준다. 59 타입에 설치된 case 1-1에 대해서는 뱅머신 3 dB, 고무공 5 dB, 태핑머신 21 dB가 저감된 것으로 분석되어, 뜬바닥 구조 설치 후 유효한 저감효과가 나타난 것을 알 수 있다. 반면, case 1-2에서는 뱅머신 -2 dB, 고무공 3 dB, 태핑머신 24 dB가 저감된 것으로 분석되어, 뱅머신 충격원에 대해 뜬바닥 구조 설치 후 증폭현상이 나타났다. 이는 63 Hz 대역에서의 공진 발생이 단일수치 평가에 지배적인 기여를 하였기 때문이다. 84 타입에 설치된 case 2-1은 맨슬래브 조건 대비 뱅머신 3 dB, 고무공 4 dB, 태핑머신 23 dB가 저감되었으며, case 2-2에 대해서는 뱅머신 0 dB, 고무공 1 dB, 태핑머신 22 dB가 저감된 것으로 분석되었다. 마감몰탈 두께가 80 mm로 설치된 case 2-3에서는 뱅머신 6 dB, 고무공 9 dB, 태핑머신 30 dB가 저감되어, 실험대상 중 가장 높은 저감효과를 보였다.

4.3. 중량충격원 별 바닥충격을 저감량 상관성

국내 고시 상 중량충격음 평가방법은 뱅머신을 이

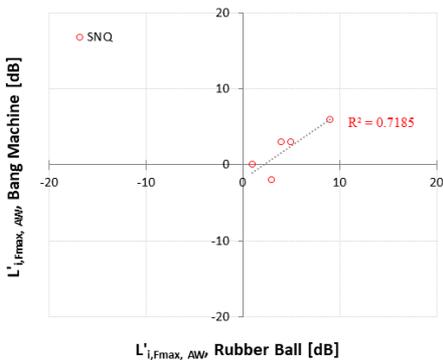
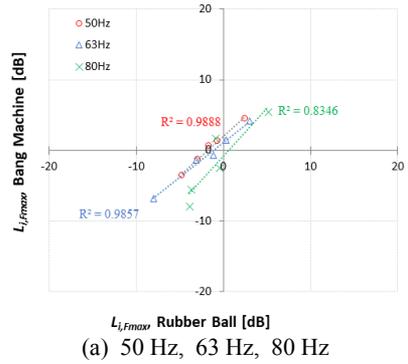
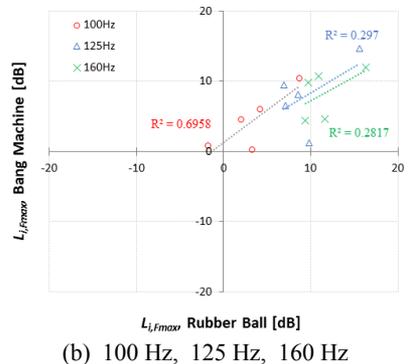


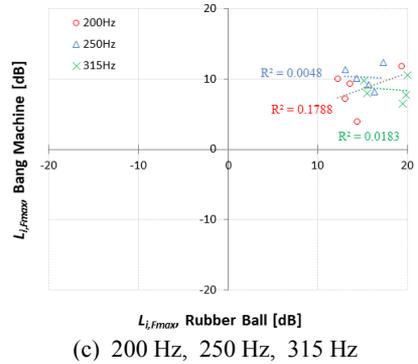
Fig. 11 Relationship for the insertion loss of the single number quantity according to the impact sources



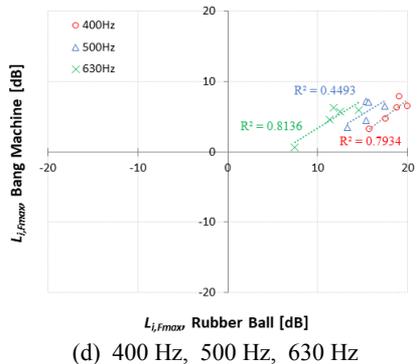
(a) 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz



(b) 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz

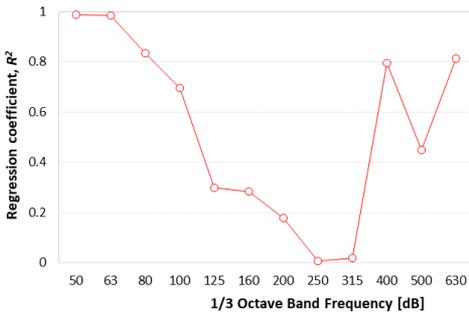


(c) 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz



(d) 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz

Fig. 12 Relationship for the insertion loss at 1/3 octave band frequency according to the impact sources



**Fig. 13** Regression coefficient at 1/3 octave band frequencies showing the relationship for the insertion loss measured using different impact sources

용하여 바닥충격음 레벨( $L_{i,Fmax}$ )을 측정 후, 단일수치 ( $L_{i,Fmax,AW}$ )로 평가하여 등급화에 반영하고 있다. 그러나 실제 거주자 행위 충격 특성 대비 과도한 충격력 및 주파수 스펙트럼 특성 차이에 대한 개선 필요성이 지속적으로 제기되고 있다. 이에 대한 방안으로, ISO에서는 고무공을 표준 중량충격원으로 채택하여 중량충격음에 대한 차단성능을 실험하는 방법을 채택하고 있다<sup>(13)</sup>. 뱅머신과 고무공 간에는 충격력 및 스펙트럼 차이가 발생하며, 동일 뜬바닥 구조에 대한 중량충격음 저감성능에서도 차이가 발생할 것으로 판단된다.

Fig. 11은 양 충격원 간 중량충격음 단일수치 저감량 상관관계를 보여주며, 상관계수( $R^2$ )가 0.7 이상을 보이는 것으로 분석되었다. 그러나 고무공이 뱅머신에 비해 완충재 설치에 따른 저감효과가 상대적으로 높게 평가되는 것을 알 수 있다. Fig. 12는 충격원 변화에 따른 주파수 별 저감량 상관성을 보여주며, 100 Hz 미만의 대역에서는 높은 상관관계를 보이는 반면, 그 이상의 주파수 대역에서는 상관성이 낮아 저감성능 평가 시 충격원 종류에 따라 상이한 주관적 반응을 보일 것으로 예상된다. 주파수 별 상관계수( $R^2$ )는 Fig. 13과 같이 63 Hz 대역에서 250 Hz 대역까지 큰 폭으로 저하 후 500 Hz 대역에서 다시 상승하는 것을 알 수 있다.

### 5. 결 론

이 연구에서는 뜬바닥 구조의 설계변수를 완충재 종류·두께, 마감몰탈 두께, 경량기포 시공 순서로 구분 후 바닥충격음 제어 효과를 분석하기 위해 총 5개

시험체를 실증주택에 설치하여 실험을 진행하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 전용면적 59 m<sup>2</sup>, 84 m<sup>2</sup> 평면에 대한 맨슬래브 조건에서의 바닥 진동과 수음실 음향 모드 특성 실험 결과, 평면 형태에 따라 저주파수 대역에서 상이한 특성을 보여, 동일 바닥구조 설치 시에도 평면 형태에 따라 차단성능 변화에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

(2) 모든 시험조건에서 태핑머신의 저감량은 확보되었으나, 일부 구조에 대해 중량충격음이 증폭되는 현상이 나타났다.

(3) 누름층의 무게가 동일한 조건에서 완충재 두께 증가(30 mm → 60 mm) 시, 100 Hz 미만의 주파수 대역에서 발생하는 공진에 의한 증폭현상이 일정 부분 제어되었으나, 맨슬래브 대비 개선효과는 미미했다. 경량기포 선시공 후 완충재 30 mm가 적용된 공법에서 맨슬래브 조건 대비 뱅머신 -2 dB, 고무공 3 dB 저감효과 발생하여 뱅머신에서 증폭현상이 발생한 반면, 완충재 60 mm 설치 시에는 뱅머신 3 dB, 고무공 5 dB 저감효과가 발생하였다. 경량충격음은 21 dB ~ 24 dB의 개선효과 발생하였다.

(4) 완충재 선시공 후 경량기포 타설 공법에 대해, 완충재 30 mm, 경량기포 40 mm 조건에서 마감몰탈 두께를 80 mm로 타설 시(총 두께 150 mm)에는 맨슬래브 조건 대비 뱅머신 6 dB, 고무공 9 dB, 태핑머신 30 dB가 저감되어, 실험대상 중 가장 높은 저감효과가 나타났다. 마감몰탈 두께 40 mm 대비 80 mm 구조에 대한 단일수치 저감량은 뱅머신 6 dB, 고무공 8 dB, 태핑머신 8 dB로 분석되어 마감몰탈 두께 증가에 따른 저감효과가 유효한 것으로 나타났다.

(5) 중량충격원 간 저감량 상관성은 63 Hz 미만의 저주파수 대역에서 상관계수( $R^2$ )가 0.9 이상으로 높은 수치를 보인 반면, 125 Hz, 250 Hz 대역에서의 상관계수( $R^2$ )는 상대적으로 낮아 충격원 종류에 따라 뜬바닥 구조의 저감효과에 대한 상이한 주관적 반응을 보일 것으로 사료된다.

향후에는 다양한 평면 형태 및 구조 형식에 설치되는 뜬바닥 구조의 설계변수 별 저감효과 검증을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 뜬바닥 구조 설치 후 모드 테스트를 통한 설계변수 별 공진 주파수 변화 특성 분석 및 마감몰탈 두께 증가 시 표면 열전달 특성 변화와 구조적 안정성 검토 등이 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 연구는 한국토지주택공사에서 지원한 2018년도 수시과제 “공동주택 바닥충격음 저감 설계·시공 제어 요인 분석 연구(R201810001)” 결과의 일부임.

## References

(1) Ministry of Land and Transportation, 2017, Structural Type of Multi-residential Buildings of 500 Households or More Nationwide.

(2) Kim, J. H., Mun, D. H., Jeong, G. C. and Park, H. G., 2017, Influence of Floor Dimension and Resilient Material on Heavy Impact Noise of Floating Floor System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 434-443.

(3) Lee, S. B., Yang, H. S., Chun, Y. S. and Lee, B. S., 2015, Investigating Designable Factors on Floor Plans of Apartment Buildings for Analysing Correlation with Floor Impact Sound, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 686-688.

(4) Kim, K. W., Jeong, G. C. and Sohn, J. Y., 2008, Evaluation of the Dynamic Stiffness and Heavy-weight Floor Impact Sound Reduction by Composition of Resilient Materials, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 247-254.

(5) Song, G. G., Kim, Y. H., Ryu, J. K. and Kim, M. J., 2018, Analysis of Heavyweight Floor Impact Sound Level with Dynamic Stiffness and Thickness of EPS Type Resilient Materials, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 28, No. 6, pp. 713-720.

(6) Oh, J. K. and Sohn, J. Y., 2010, Correlation Analysis between Dynamic Stiffness and Heavyweight Impact Noise and Application of Impedance Method, Journal of the Architectural Institute of Korea: Planning & Design, Vol. 26, No. 6, pp. 305-312.

(7) Ministry of Land and Transportation, 2019,

Threshold and Management Standard of the Floor Impact Sound Insulation for Multi-family Housing, No. 2019-622.

(8) The Board of Audit and Inspection of Korea, 2019, Operation Status for Regulation of Floor Impact Noise Reduction in Apartments.

(9) Land & Housing Institute, 2013, A Study on the Development Direction of Technology for Reducing Heavy Floor Impact Sound in Apartment Housing.

(10) Cho, T., 2013, Experimental and Numerical Analysis of Floating Floor Resonance and Its Effect on Impact Sound Transmission, Journal of Sound and Vibration, Vol. 332, No. 25, pp. 6552-6561.

(11) Cho, T., 2013, Vibro-acoustic Characteristics of Floating Floor System: The Influence of Frequency-matched Resonance on Low Frequency Impact Sound, Journal of Sound and Vibration, Vol. 332, No. 1, pp. 33-42.

(12) International Organization for Standardization, 2017, Building Acoustics – Estimation of Acoustic Performance of Buildings from the Performance of Elements – Part 2: Impact Sound Insulation between Rooms, ISO 12354-2.

(13) International Organization for Standardization, 2015, Acoustics – Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Part 2: Impact Sound Insulation, ISO 16283-2.



**Hong-Seok Yang** received his Ph.D. at School of Architecture, University of Sheffield, UK. He is currently Researcher of Acoustics at the LHI(Land & Housing Institute). His main fields are architectural and environmental acoustics.



**TaeMin Kim** received his Ph.D. at Department of Mechanical Engineering, Hongik University. He is currently Researcher of Acoustics at the LHI(Land & Housing Institute). His main fields are noise and vibration control in buildings.