

# 방진재 적용 바닥구조의 바닥충격음 차단성능 분석

## Analysis of Floor Impact Sound Reduction Performance of Floor Structure with Damping Material

김 경 우<sup>†</sup> · 신 혜 경<sup>\*</sup> · 박 상 희<sup>\*</sup> · 이 종 원<sup>\*\*</sup>  
Kyoung-Woo Kim<sup>†</sup>, Hye-Kyung Shin<sup>\*</sup>, Sang Hee Park<sup>\*</sup> and Jong-Won Lee<sup>\*\*</sup>

(Received October 21, 2022 ; Revised November 17, 2022 ; Accepted November 18, 2022)

**Key Words** : Floor Impact Sound(바닥충격음), Insulation Performance(차단성능), Damping Material(방진재료)

### ABSTRACT

This study aims to improve performance by changing the composition of the upper part of the slab and avoiding significant deviation from the current floor structure construction method of apartment houses. To derive the upper configuration of the slab with improved floor impact sound insulation performance, various conditions were set and tested, such as applying mortar twice and including a damping material. As a result of measuring the performance of the eight floor compositions, the lightweight impact sound insulation was improved by 25 dB to 38 dB (single number quantity) compared to that of the bare slab, and the heavyweight impact sound insulation was improved by at least 3 dB and up to 16 dB. The applied damping material was found to be effective in both lightweight and heavyweight impact sounds. The configuration of Type 8 with damping material was reduced by 38 dB to a single number quantity compared to the bare slab. In addition, attention should be paid to the installation of the side resilient material because improper installation leads to a decrease in the performance of lightweight and heavyweight impact sounds.

### 1. 서 론

바닥충격음은 공동주택에서 발생할 수 있는 여러 소음들 중에서 가장 해결해야하는 중요한 문제가 되었다. 바닥충격음 저감을 위하여 다양한 방안이 모색되어 왔으며, 최근 고중량 모르타르를 활용한 바닥구성에 대한 성능결과가 소개되고 있다<sup>(1)</sup>. 2022년 8월 4일부터 시행된 바닥충격음 사후확인제도로 건설사에서 바닥충격음 차단성능 확보를 위하여 다양한 접근을 시도하고

있으며, 관련 조직과 시험동을 만들어 노력을 기울이고 있다. 공동주택 건물은 벽식구조 방식이 일반적으로 적용되고 있고, 슬래브 상부에 완충재(30 mm)와 기포콘크리트(40 mm) 및 마감 모르타르(40 mm)가 시공되는 방식을 주로 채택하고 있다. 따라서 다수의 연구에서 완충재 개발을 통한 바닥충격음 성능개선 내용을 주로 다루고 있다<sup>(2-3)</sup>. 이런 연구들은 현재 건설방식에 크게 벗어나지 않고 적용이 용이한 기술을 도출하기 위함이었다. 완충재 관련 연구 이외에도 일본과 같이 건식으로 구성되는 바닥구조에 대한 검토도 있었다<sup>(4)</sup>.

<sup>†</sup> Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher  
E-mail : kwmj@kict.re.kr

<sup>\*</sup> Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher

<sup>\*\*</sup> Member, DAEJIN Co., Ltd., Researcher

# A part of this paper was presented at the KSNVE 2022 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Jun Yun Chung

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

이 연구는 현재 공동주택 바닥구조 시공방식에서 크게 벗어나지 않도록 슬래브 상부의 구성을 변화시켜 성능개선방안을 찾고자 한다. 바닥충격음 차단성능이 향상되는 바닥슬래브 상부 구성을 도출하기 위하여 모르타르 2회 타설, 방진재료 적용 등 여러 조건을 설정하여 그 차단성능을 확인하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 바닥구조 구성

바닥충격음 차단성능이 우수한 바닥구조를 도출하기 위하여 완충재 구성변경, 방진재료 적용(두께, 위치 등)의 다양한 조건을 선정하였다. Table 1은 선정된 바닥구조 구성을 나타내며, 슬래브 상부에 설치되는 운동층 두께 110 mm에 맞추어 구성하였다. 바닥구성 모두 측면 완충재 10 mm를 시공하였으며, 바닥구조의 현장 적용성을 확보하기 위해서 현재 공동주택의 일반적인 바닥 두께(슬래브 상부 110 mm)와 동일하게 구성하였다. 기포콘크리트를 대신하여 모르타르 타설하여 완충재 상부 하중을 증대시켰다. 방진재(제진재)는 바닥 진동을 억제하는 것을 주요 목적으로 구성하였다. 방진재는 부틸 고무 또는 아스팔트 계열의 재료로 제작된 것으로, 방진층과 상부면 알루미늄코팅으로 구성된 2 mm 두께의 제품이다. 적용된 완충재는 EPS(Expanded Polystyrene) 재료로 하부에 요철이 있는 제품과 없는 제품이 사용되었다. 사용된 완충재와 방진재 사진은 Fig. 1과 같다.

### 2.2 시험방법

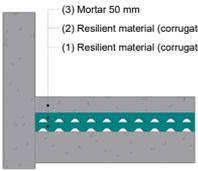
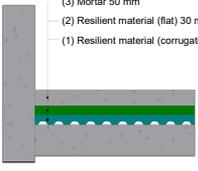
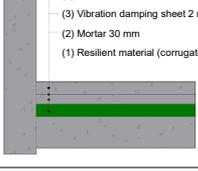
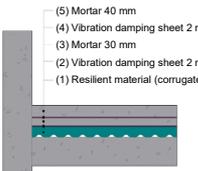
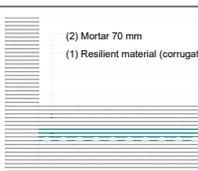
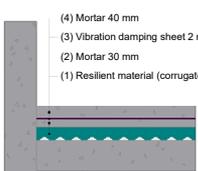
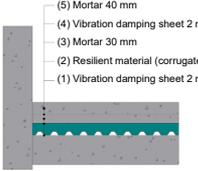
바닥구조에 대한 성능시험은 한국건설기술연구원의 바닥충격음 시험동에서 진행하였으며, Fig. 2는 시험동 평면도이다. 각 구성에 따라 전용면적 84 m<sup>2</sup>의 거실, 방 또는 59 m<sup>2</sup>의 거실에서 바닥구조를 시공하고 측정을 진행하였다. 바닥충격음 차단성능은 KS F 2810-1<sup>(5)</sup>, -2<sup>(6)</sup>에 따라 진행하였으며, 경량충격음 및 중량충격음(고무공)을 측정하였다. 측정결과는 KS F 2868-1<sup>(7)</sup>, -2<sup>(8)</sup>에 따라 역 A곡선을 이용한 단일수치평가량으로 평가하였다. 측정에 사용된 장비는 주파수 분석기(RION, SA-02M)와 마이크로폰(RION, UC-53) 등을 사용하였다.

## 3. 분석

### 3.1 바닥구성별 바닥충격음레벨 주파수 특성

바닥충격음 차단성능 특성을 살펴보기 위하여 각

Table 1 Floor configurations for test

No	Layers	Location	Note
Type 1	 <ul style="list-style-type: none"> <li>(3) Mortar 50 mm</li> <li>(2) Resilient material (corrugated) 30 mm</li> <li>(1) Resilient material (corrugated) 30 mm</li> </ul>	59 m <sup>2</sup> , living room	Resilient materials (corrugated 2 layers)
Type 2	 <ul style="list-style-type: none"> <li>(3) Mortar 50 mm</li> <li>(2) Resilient material (flat) 30 mm</li> <li>(1) Resilient material (corrugated) 30 mm</li> </ul>	59 m <sup>2</sup> , living room	Resilient materials (flat and corrugated)
Type 3	 <ul style="list-style-type: none"> <li>(4) Mortar 40 mm</li> <li>(3) Vibration damping sheet 2 mm</li> <li>(2) Mortar 30 mm</li> <li>(1) Resilient material (corrugated) 36 mm</li> </ul>	84 m <sup>2</sup> , living room	Vibration damping sheet 2 mm
Type 4	 <ul style="list-style-type: none"> <li>(5) Mortar 40 mm</li> <li>(4) Vibration damping sheet 2 mm</li> <li>(3) Mortar 30 mm</li> <li>(2) Vibration damping sheet 2 mm</li> <li>(1) Resilient material (corrugated) 36 mm</li> </ul>	84 m <sup>2</sup> , living room	Vibration damping sheet 2 mm 2 layers (middle of mortar and on the resilient material)
Type 5	 <ul style="list-style-type: none"> <li>(2) Mortar 70 mm</li> <li>(1) Resilient material (corrugated) 40 mm</li> </ul>	84 m <sup>2</sup> , room	Mortar 70 mm
Type 6	Same as type 3	84 m <sup>2</sup> , room	Test place: room
Type 7	 <ul style="list-style-type: none"> <li>(4) Mortar 40 mm</li> <li>(3) Vibration damping sheet 2 mm * 2 ply</li> <li>(2) Mortar 30 mm</li> <li>(1) Resilient material (corrugated) 36 mm</li> </ul>	84 m <sup>2</sup> , room	Vibration damping sheet 4 mm 1 layer
Type 8	 <ul style="list-style-type: none"> <li>(5) Mortar 40 mm</li> <li>(4) Vibration damping sheet 2 mm</li> <li>(3) Mortar 30 mm</li> <li>(2) Resilient material (corrugated) 36 mm</li> <li>(1) Vibration damping sheet 2 mm</li> </ul>	84 m <sup>2</sup> , room	Vibration damping sheet 2 mm 2 layers (middle of mortar and on the slab)

조건을 설정하여 바닥충격음레벨을 1/3옥타브 밴드로 비교하였다. 바닥구성 간의 비교를 위하여 비교대상 바닥구성은 동일한 시험실 공간에 설치하여 평면이 다르므로 인한 변수를 최소화하였다.

(1) 완충재 구성변화

Fig. 3은 완충재의 구성변화에 따른 바닥충격음 특성 변화를 살펴본 것으로, EPS 요철형 완충재 30 mm 2겹과 요철형과 평판형 재료로 60 mm를 적용한 type 1과 type 2를 비교하였다. 2개 모두 유사한 충격음레벨을 보이고 있으나 경량충격음은 type 2 구성이 높고 주파수에서 더 낮은 레벨로 나타났다. 중량충격음은 경량충격음과 다르게 type 1 구성이 더 낮은 레벨로 측정되었다. 50 Hz와 63 Hz에서 4.8 dB, 4.6 dB 성능이 개선되었다. 요철로 인해 완충재 하부 공기층이 더 많은 구성이 중량충격음에서 좋은 성능으로 나타났다.

(2) 방진재 적용 유무

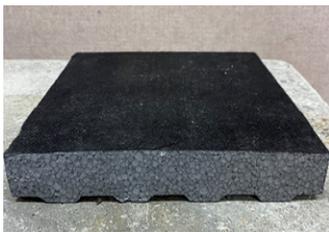
Fig. 4는 type 5와 type 6의 구성을 비교한 것으로 방진재의 적용 유무에 따른 성능변화를 살펴보았다. 모르타르 70 mm 중앙부위에 방진층을 두어 진동 차단효과를 높이기 위하여 모르타르를 30 mm와 40 mm를 나누어서 2번 타설하는 방식을 선정하였다.

방진재는 아스팔트 계열로 아래 면은 점성이 있는 것으로 모르타르 면에 단단히 접촉시켰다. 경량충격

음은 방진재 설치로 100 Hz 제외한 모든 주파수에서 충격음레벨이 저감되었으며, 중량충격음도 일부 저주파수를 제외하고 충격음레벨이 낮아졌다. 63 Hz에서 2.0 dB 성능이 향상되었다.

(3) 방진재 layer 추가

방진재 layer를 1개 더 추가한 경우의 성능변화는 Fig. 5에 나타내었다. Type 3은 방진재 1겹이며, Type 4는 방진재가 2겹인 조건이다. 완충재 상부와 1차로 타설되는 모르타르 면 위에 각각 방진재를 적용하여 그 효과를 비교하였다. 방진재가 2 layer로 설치되는 경우 (Type 4)에 경량 및 중량충격음 모두 대부분 주파수에서 차단성능이 향상되는 것으로 나타났다. 특히, 중량충격음 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz에서 각각 6.3 dB, 6.8 dB, 9.5 dB 성능이 향상되었다.

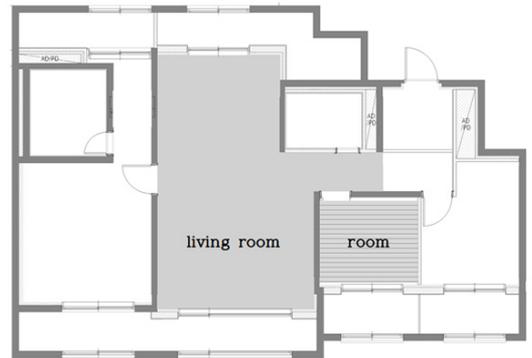


(a) EPS



(b) Vibration damping sheet

Fig. 1 Photo of EPS and damping material



(a) 84 m<sup>2</sup>



(b) 59 m<sup>2</sup>

Fig. 2 Plan of the test building

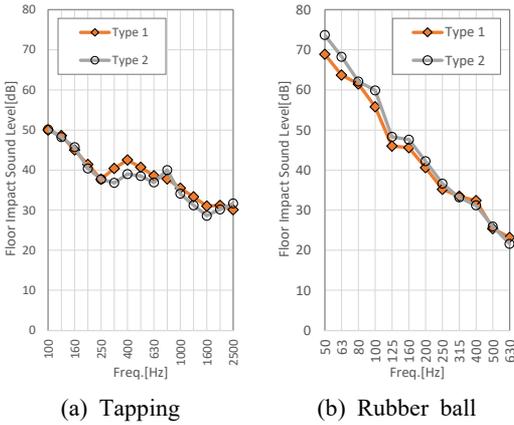


Fig. 3 Effects of the resilient materials' composition

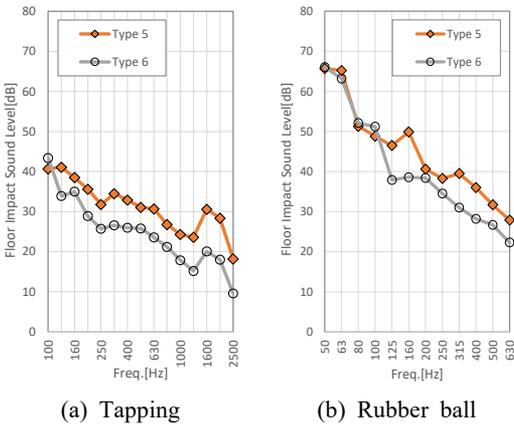


Fig. 4 Effects of the vibration damping sheet application

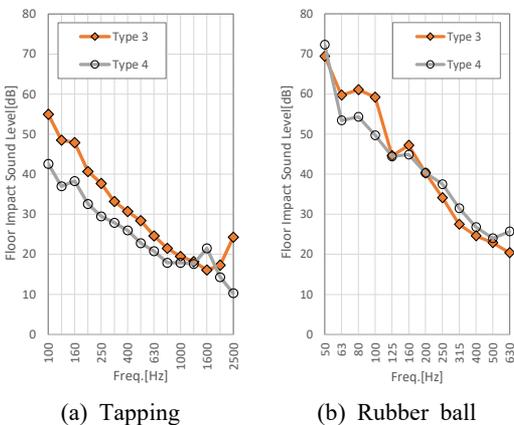


Fig. 5 Effects of the additional vibration damping sheet

(4) 방진재 두께 증가

Fig. 6은 모르타르 중앙부에 설치되는 방진재의 두께를 2 mm에서 4 mm(2 mm 2겹)로 증가한 구성의 성능변화를 살펴보았다. 경량충격음은 거의 동일한 충격음레벨로 측정되었으며, 중량충격음에서 방진재 2겹이 설치된 type 7구성이 50 Hz~100 Hz에서 성능이 향상된 것으로 나타났다. 방진재 두께 증가는 경량충격음보다는 중량충격음에 더 효과적인 것으로 분석되었다.

(5) 방진재 위치 변화

방진재를 2겹 시공한 구성들에 대해서 설치되는 위치에 의한 차이를 Fig. 7에서 비교하였다. type 7은 1차 모르타르와 2차 모르타르 사이에 2겹을 모두 시공한 것이며, type 8은 모르타르 사이에 1겹과 슬래브 면에 1겹을 시공한 경우이다. 경량충격음의 경우 일부 고주파수를 제외하고 거의 유사한 특성을 보이고 있으며, type 7의 성능이 160 Hz~500 Hz 더 좋은 것을 알 수 있었다. 하지만 단일수치평가량은 동일하였다. 중량충격음은 경량충격음과는 다르게 대부분 주파수에서 type 7의 효과가 더 좋은 것으로 나타났다. 방진재를 슬래브 면에 바로 부착하는 것보다는 1차, 2차 모르타르 사이에 설치하는 것이 더 효과적인 것으로 나타났다.

(6) 측정공간 영향

Fig. 8은 동일한 구성으로 측정대상 공간이 변화되었을 때 어떤 특성을 보이는지를 비교한 것이다. 비교는 84 m<sup>2</sup>의 방과 84 m<sup>2</sup> 거실에서 진행되었으며, 방크기는 2.4 m × 3.0 m이다. 경량충격음은 일부 고주파수를 제외하고 방에서 충격음레벨이 더 낮은 것으로 나타났으며, 중량충격음은 80 Hz~200 Hz에서 방의 레벨이 더 낮았다. 방의 경우는 거실보다 룸모드의 영향을 더 많이 받기 때문에 거실보다 성능이 낮게 나타나는 경우가 있지만 본 연구에서는 방에서 오히려 성능이 좋게 나타났다. 방은 사각형 형태로 측면 완충재로 거실보다 완전한 뜬바닥구조를 형성한 것도 영향을 미친 것으로 판단된다.

3.2 바닥구성별 저감량

맨슬래브를 기준으로 슬래브 상부 구성변화에 따른 바닥충격음레벨 개선 정도를 저감량으로 분석하였다. 1/1옥타브 밴드로 주파수별 저감량으로 분석한 것으로 플러스(+) 수치가 높을수록 성능이 우수하다는 것을 의미한다. 단일수치평가량도 맨슬래브 성능

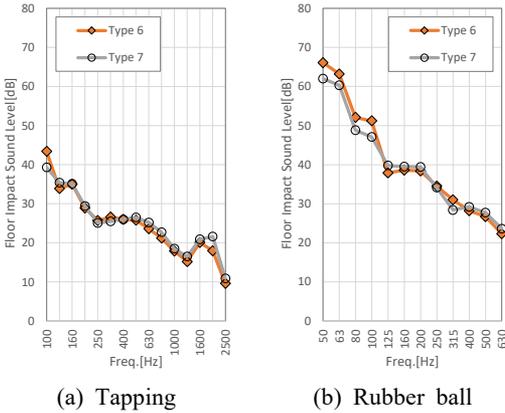


Fig. 6 Effects of the vibration damping sheet's thickness

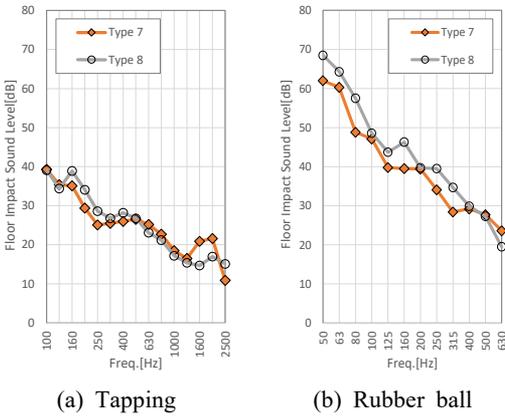


Fig. 7 Effects of the vibration damping sheet's location

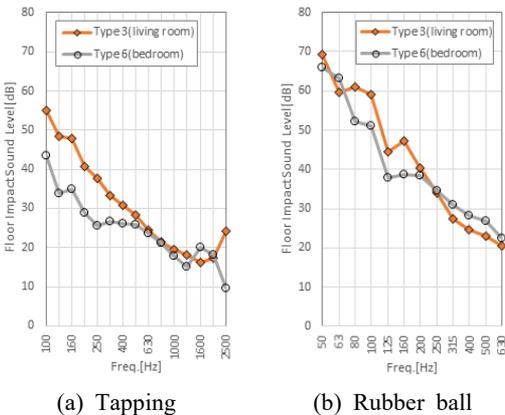


Fig. 8 Effects of the space where the measurement took place

대비 저감량을 나타낸다(식 (1) ~ (3)).

$$\text{Level difference}(\Delta L) = L_{\text{Slab}} - L_{\text{typei}} \quad (1)$$

$$L_{\text{Slab}} = \text{floor impact sound level of bare slab} \quad (2)$$

$$L_{\text{typei}} = \text{floor impact sound level by each types} \quad (3)$$

Table 2는 각 바닥구성별 경량충격음 저감량을 나타내며, 모든 구성이 전 주파수에서 맨슬래브 대비 저감량이 플러스(+) 수치를 보이고 있었다.

주파수가 증가됨에 따라 저감량도 증가되는 패턴을 보였으며, 단일수치평가량 저감량은 25 dB ~ 38 dB로 성능이 개선되었다. Table 3의 중량충격음은 63 Hz에서 일부 바닥구성의 충격음레벨이 증가되어 마이너스(-) 수치를 보이는 것을 제외하고 나머지 주파수에서 모두 성능이 향상되었음을 알 수 있었다. 여러 바닥구성을 통하여 단일수치평가량(L'\_{i,Fmax,AW}) 3 dB ~ 16 dB의 개선효과를 확인하였다. 또한 ISO 717-2<sup>(9)</sup> Annex D에 따른 단일수치평가량(L'\_{iA,Fmax})을 추가로 분석하였다. 단일수치평가량(L'\_{iA,Fmax})은 KS F 2810-2 표준에 따라 측정한 주파수별 측정결과에 A 보정치를 적용하여 구한 값이다. 단일수치평가량 산정방법(L'\_{i,Fmax,AW} or L'\_{iA,Fmax})에 따라 저감량 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있으며, L'\_{i,Fmax,AW} 평가량 저감량이 L'\_{iA,Fmax}보다 더 큰 것을 알 수 있었다.

### 3.3 측면 완충재 절연 효과

측면 완충재는 슬래브 위에 설치되는 기포콘크리트, 모르타르가 벽체와 맞닿지 않도록 진동 절연효과를 높이기 위하여 설치되는 재료이다. 아무리 우수한 바닥구조를 개발하더라도 바닥구조 시공 상태는 바닥충격음 성능에 영향을 미치기 때문에 주의하여야 한다. 뜬바닥구조를 채용하고 있는 우리나라 특성상 벽체와 절연상태를 정확히 유지할 수 있는 측면 완충재의 정확한 시공은 매우 중요하다.

이 연구에서는 측면 완충재가 최종 마감 모르타르로 인해 벽체와 절연하지 못하는 경우와 완벽히 절연되는 조건을 설정하여 측면 완충재 효과를 비교하였다. Fig. 9와 같이 측면 완충재 상부면이 모르타르가 완전히 덮여 벽체와 절연 되지 못한 경우와(before) 덮여진 부분을 분리한 후(after)의 성능을 비교하였다. 바닥구조는 type 8이었다.

Fig. 10과 같이 마감모르타르가 측면완충재를 덮여 벽체와 맞닿게 되면 측면완충재의 효과가 저감되어

**Table 2** Level difference( $\Delta L$ ) in lightweight floor impact sound

No.	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8
125 Hz	9.1	9.1	8.1	19.8	18.0	18.6	21.2	20.3
250 Hz	18.4	19.9	21.7	29.5	25.2	32.2	32.3	28.4
500 Hz	19.0	21.7	29.8	34.6	29.8	36.2	35.6	35.0
1000 Hz	24.1	23.4	38.7	40.8	35.7	42.1	40.8	42.2
2000 Hz	30.6	31.1	37.8	40.9	32.4	42.8	40.7	44.7
$L'_{n,AW}$	25	25	27	36	32	38	38	38

**Table 3** Level difference( $\Delta L$ ) in Heavyweight floor impact sound

No.	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7	Type 8
63 Hz	-1.6	-6.0	-0.1	-2.1	4.2	4.7	8.3	2.5
125 Hz	6.2	2.4	4.2	12.0	11.6	13.4	16.5	13.6
250 Hz	16.6	15.2	16.4	15.3	16.4	20.4	20.0	17.5
500 Hz	16.4	17.3	17.2	14.5	15.3	22.0	20.9	21.1
$L'_{i,Fmax,AW}$	7	3	4	6	12	13	16	11
$L'_{iA,Fmax}$	5.5	2.4	5.2	4.6	10.6	11.5	14.2	10.6



(a) Before



(b) After

**Fig. 9** Insulation treatment using the side resilient material

바닥충격음 차단성능이 저하되는 것을 알 수 있다. 특히, 경량충격음의 경우 모든 주파수에서 충격음레벨이 상승하게 되어 측면완충재의 절연은 효과는 매우 큰 것을 알 수 있다. 또한 중량충격음도 모든 주파수에서 측면완충재 절연 효과가 명확히 나타나 63 Hz에서 3.6 dB 저감되는 효과가 있었다.

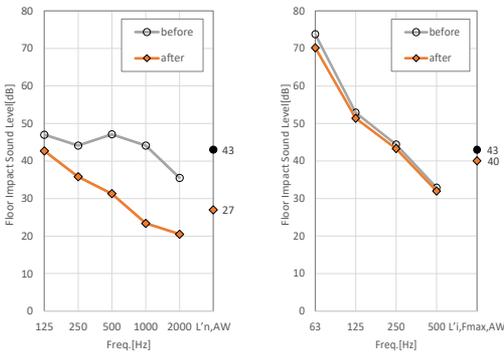
**4. 결론**

슬래브 상부 바닥구성 변경을 통하여 바닥충격음 차단성능 향상 영향정도를 살펴보았으며, 연구결과는 다음과 같다.

(1) 8가지 바닥구성으로 경량충격음은 슬래브 성능 대비 25 dB ~ 38 dB(단일수치평가량) 성능이 향상되었으며, 중량충격음도 슬래브 성능에 비하여 3 dB에서 최대 16 dB 성능이 향상되었다.

(2) 방진재료를 바닥구성에 적용하여 방진재 두께 증대, layer 위치변화 등을 살펴본 결과, 방진재 적용은 경량충격음 및 중량충격음 모두 효과적인 것으로 나타났다. 방진재가 설치된 Type 8 구성이 맨슬래브보다 단일수치평가량으로 38 dB( $L'_{n,AW}$ ) 저감되는 것으로 나타나 방진재를 적용한 구성의 효과는 높다고 판단된다.

(3) 중량충격음 저감 효과는 방진재 두께가 두꺼워질수록 성능이 좋아졌으며, 동일한 방진재 두께라 할



(a) Tapping

(b) Rubber ball

**Fig. 10** Effects of the insulation using the side resilient material

지라도 layer를 분리하여 배치하는 것보다는 모르타르 사이에 두께를 증가시킨 1겹이 더 좋은 효과를 보였다.

(4) 측면완충재 시공불량 조건을 가정한 벽체절연 효과 시험에서 측면완충재 절연으로 경량충격음 및 중량충격음 모두 성능이 개선되었으며, 중량충격음 63 Hz에서 3.6 dB 저감되었다. 측면완충재의 시공조건 중요성을 확인할 수 있었다.

이 연구에서 시험한 바닥구성은 방진재 적용으로 기존방식보다 추가 공정이 더 필요하지만, 성능개선이 효과가 있기 때문에 실제 공동주택 현장을 대상으로 성능개선효과에 대한 재현성 시험을 진행할 예정이다.

## 후 기

이 연구는 한국건설기술연구원 민간수탁과제 (20200267-001, 발주처: (주)대진)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

(1) Hankyung NEWS, 2022, <https://www.hankyung.com/realstate/article/2022082453331>.

(2) Lee, W. H. and Haan, C. H., 2021, Characteristics of the Floor Impact Sound by Water to Binder Ratio of Mortar, The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 40, No. 6, pp. 671~677.

(3) Hwang, J. S., Moon, D. H., Park, H. G., Hong, S. G. and Hong, G. H., 2010, The Effect of Dynamic Property of Absorbing Sheet on the Amplification of Heavy Weight Floor Impact Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 7, pp. 651~657.

(4) Yeon, J. D., Kim, K. W., Choi, H. J., Yang, K. S. and Kim, K. H., 2013, Experiment Evaluation for the Heavy-weight Impact Sound of Dry Double-floor System -Effect of Rubber Hardness and Ceiling Structure-, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 34~40.

(5) Korean Standard, KS F 2810-1, 2020, Field Measurement of Impact Sound Insulation of Floors - Part 1: Method using Standard Light Impact Source.

(6) Korean Standard, KS F 2810-2, 2012, Field

Measurements of Floor Impact Sound Insulation of Buildings - Part 2: Method using Standard Heavy Impact Sources.

(7) Korean Standard, KS F 2863-1, 2017, Rating of Floor Impact Sound Insulation for Impact Source in Buildings and of Building Elements - Part 1: Floor Impact Sound Insulation Against Standard Light Impact source.

(8) Korean Standard, KS F 2863-2, 2017, Rating of Floor Impact Sound Insulation for Impact Source in Buildings and of Building Elements - Part 2: Floor Impact Sound Insulation Against Standard Heavy Impact source.

(9) International standard, ISO 717-2, 2020, Acoustics - Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - Part 2: Impact Sound Insulation.



**Kyoung-Woo Kim** received Ph.D. in architecture engineering from Hanyang university in 2009. He is working at KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology) as a Research Fellow. His research interests are floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.



**Hye-Kyung Shin** is Research Specialist at KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology). She received the M.S. degree in Dept. of architectural engineering from University of Seoul in 2015. Her research interests are architectural acoustic and environmental noise.



**Sang Hee Park** has completed her Ph.D. at the University of Liverpool. She is currently working at the KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology). Her research involves exploring measures to promote human well-being in built environments.