한국음향학회지 제43권 제1호 pp. 60～71 (2024)
The Journal of the Acoustical Society of Korea Vol.43, No.1 (2024)
https://doi.org/10.7776/ASK.2024.43.1.060

pISSN : 1225-4428
eISSN : 2287-3775

EVA 완충재의 형상변환을 통한 복합구조의 바닥충격음 변이 조사

Investigation of the level difference of floor impact noises through the shape variation of EVA resilient materials with composite floor structure

이야긴,[1] 이승민,[1] 한찬훈[1†]

(Jakin Lee,[1] Seung-Min Lee,[1] and Chan-Hoon Haan[1†])

[1]충북대학교 건축공학과

(Received September 12, 2023; revised November 15, 2023; accepted January 10, 2024)

초 록: 본 연구는 일반적인 평평한 에틸렌 비닐 아세테이트(Ethylen Vinyl Acetate, EVA) 완충재의 형상을 변화시켜 다양한 차음소재와 조합하여 복합구조의 바닥충격음 변화를 조사하는 데에 목적이 있다. 바닥충격음 저감에 효과적인 완충재를 선정하기 위해 Flat, Deck, Cavity type의 EVA, EPS, PET 흡음재, PP판넬, 고무발판 등 다양한 완충재를 조합하여 뱅머신을 이용한 1차 실험을 진행하였다. 1차 실험 데이터에 대해 통계분석한 결과 완충재 두께가 40 mm에 가까울수록 바닥충격음 저감효과가 증가하였으며 PET 흡음재, PP시트, 고무발판 등을 조합한 복합완충재에서 바닥충격음 효과가 증가하는 것을 알 수 있었다. 이에따라 2차 실험에서 모든 복합완충재의 두께는 40 mm로 통일하였으며, 1차 실험에 사용된 Flat, Deck, Cavity type 및 EVA를 발판형태로 가공한 Mount type 등 4가지 형태의 복합완충재를 설계하였다. 또한, Mount type을 제외한 3가지 기본 형태에서 각각 PET 흡음재(7 mm)를 추가했을 시 바닥충격음 변화를 살펴보았으며, Mount type의 경우 EVA발판 개수에 따른 바닥충격음 변화에 대해 고무공 충격원을 이용한 2차 실험을 진행하였다. 모든 실험은 공인인증시험기관의 목업실험실에서 진행하였다. 실험 결과, 기본형태의 Flat, Deck, Cavity type에서 PET를 추가할 경우 통계적으로 경량 5 dB ~ 9 dB, 중량 1 dB ~ 5 dB의 저감효과가 나타난 것을 알 수 있었다. 특히, Mount type의 경우 발판 수가 36개 이상일 때 경량 및 중량충격음에서 우수한 것으로 나타났다. 또한, 4가지 기본형태에 따라 동탄성계수가 높아질수록 바닥충격음의 저감이 증가하는 것으로 나타났다.
핵심용어: 바닥충격음, 에틸렌 비닐 아세테이트(Ethylen Vinyl Acetate, EVA), 중량충격음, 완충재

ABSTRACT: The present study aims to investigate the level difference of floor impact noises of composite floor structure using EVA resilient materials. In order to this, four different types of resilient materials were designed combining PET, PP sheet and EVA mount including Flat type, Deck type, Cavity type and Mount type. Totally 9 different samples were made for acoustic measurements which were carried out twice with bang-machine and impact ball as the heavy-weight floor impact noise sources. All the floor impact noise measurements were undertaken at the authentication institution. As a result, concerning Flat and Cavity types, it was found that 2 dB ~ 5 dB of heavy-weight floor impact noise was reduced supplementally when PET was added, while floor impact noise larger than 50 dB was acquired when single resilient material was used. Especially, most high performance was obtained for Mount type with 1st grade of light-weight floor impact noise and 2nd grade of heavy-weight floor impact noise. This is because of material property with low dense PET sound absorption materials which fill all around EVA mounts. Also, it was considered that this results are due to the sound impact absorption by the both EVA mounts and the air cavity between EVA mount and PP sheet. Also, it was found that at least 36 EVA mounts per 1m2 area of resilient panel make more noise reduction of heavy-weight floor impact noises.
Keywords: Floor impact noise, Ethylen Vinyl Acetate (EVA), Heavy-weight floor impact noise, Resilient material

PACS numbers: 43.55.Vj, 43.55.Ti

†**Corresponding author:** Chan-Hoon Haan (chhaan@chungbuk.ac.kr)
Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, 1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungcheongbuk-do 28644, Republic of Korea
(Tel: 82-43-261-2438, Fax: 82-43-260-2438)

Copyright ⓒ2024 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

1980년대 이후 아파트 건설사업이 급증하면서 단독주택에 거주하는 비율이 점차 줄어들어 현재는 아파트와 같은 공동주택의 거주방식으로 자리잡았다. 통계청, '2022년 인구주택총조사'[1] 보고에 따르면 아파트, 연립 및 다세대 주택을 포함한 공동주택의 비율은 78.7 %로 조사되었다. 대부분 공동주택은 벽과 바닥을 공유하고 있는 벽식구조로 되어있다. 이러한 구조는 바닥에 물리적 충격이 가해질 때 벽과 바닥으로 인한 진동 및 충격음이 인접세대 거주자에게 영향을 미치므로 층간소음에 취약하다는 단점을 가지고 있다. 특히, 성인의 보행이나 아이들의 뜀걸음 등 무거운 물체가 바닥에 가해질 때 발생하는 중량충격음을 제어하는 것이 사회적 난제이다.

층간소음을 제어하기 위해서는 차음성능이 우수한 구조를 설계할 방법이 필요하다. 현재 공동주택 시공 시 바닥충격음 저감을 위해 사용하고 있는 완충재는 발포폴리스티렌(Expanded Poly-styrene, EPS), 에틸렌 비닐 아세테이트(Ethylene Vinyl Acetate, EVA)가 대부분 적용되고 있다. EPS의 경우 플라스틱 비드를 발포시켜 탄성을 갖도록 하는 방식으로 생산된다. 또한, 국내에서는 EVA와 EPS뿐만 아닌 다양한 차음소재와 혼합한 복합완충재를 통해 바닥충격음을 저감하기 위한 연구들이 발표되어왔다.

Kang[2]의 논문에서 일체형 슬래브 구조와 완충재 조합을 통해 슬래브 두께가 얇은 공동주택의 바닥충격음 저감 연구를 진행하였다. Lee[3]의 논문에서 EVA, PET, PP, PS시트 등을 사용한 19가지 복합완충재를 설계하여 바닥충격음 실험을 실시하였다. 그 결과, 배열구성에 따른 경량충격음 결과는 맨바닥 슬래브(73 dB) 대비 최대 30 dB, 중량충격음 맨바닥 슬래브(50 dB) 대비 최대 3 dB 저감되는 것으로 나타났다. 또한, 성형에 따른 결과에는 맨바닥 슬래브 대비 경량 최대 30 dB, 중량 최대 5 dB까지 저감된다고 발표하였다.

Ryu *et al*.[4]의 연구에서는 완충재의 두께 및 구성에 따라 변하는 바닥충격음 저감 요인을 발표하였으며, Park *et al*.[5]의 연구에서 EVA와 경질우레탄 폼을 이용하여 40 mm 두께의 완충재를 제작하여 경량충격음에서 180 mm 슬래브 대비(65 dB) 53 dB, 중량충격음 맨 슬래브 대비(52 dB) 48 dB로 측정되었다.

Kim *et al*.[6]의 연구에서 EVA, EPS, PE, 폐타이어, 유리섬유 등 다양한 소재를 조합하여 9가지 시료에 대해 동탄성계수 변화에 대한 중량충격음 저감량을 시험하였다. 완충 재료에 관계없이 복합소재의 두께가 두꺼울수록 동탄성계수는 낮아지며 이로인해 중량충격음 저감효과가 증가하는 것을 알 수 있었다. Park[7]의 논문에서는 폐타이어를 Chip형태로 분쇄하여 입도를 2 mm ~ 3 mm로 살포하였을 때 뱅머신 시험에서 42 dB, 고무공 충격원 시험에서 38 dB의 결과를 나타내었다.

Jeong *et al*.[8]의 연구에서 공동주택 현장에서 EPS와 EVA를 활용하여 각각 20 mm, 30 mm의 두께의 완충재를 뱅머신과 고무공 충격원을 시험을 하였다. EPS의 경우 두께와 상관없이 요철이 포함된 재료가 전주파수대역에서 중량충격음 저감효과가 크게 나타났으며, EVA의 경우 PE망과 흡음포 등의 복합재료를 사용했을 때 125 Hz 이상에서 중량충격음 저감량이 향상되는 것으로 나타내었다. (주)DL E&C[9]에서는 EPS와 EVA가 주요 구성품으로 요철형태인 EVA와 평판형태의 EPS를 적용하여 뜬바닥 구조를 형성한 60 mm 두께의 완충재를 개발하였다. 본 완충재의 성능으로는 경량충격음 차단성능 1등급, 중량충격음 차단성능 2등급을 획득하였다.

Koo *et al*.[10]의 연구에서 EVA와 같이 기존 포설재인 Thermoplastic Poly Urethane(TPU) 및 EVA 완충재를 Chip 형태로 파쇄하여 각각 TPU(50):EVA(50), TPU(30):EVA(70)의 비율로 배합하였다. 그 결과, 63 Hz까지 두 비율 비슷한 효과를 가지지만, 63 Hz 이상 주파수대역부터 50:50 비율로 배합한 시험체에서 저감량이 증가하는 것으로 나타났다.

Koo *et al*.[11]의 연구에서 Mortar(100 mm) + Flat type EPS(20 mm), Mortar(90 mm) + Uneven type EPS(30 mm), Mortar(80 mm) + EPS + EVA(40 mm) 등 3가지를 가지고 시험을 하였다. 그 결과 EPS + EVA를 혼합한 완충재에서 맨 바닥슬래브 대비 10 dB의 중량충격음 저감효과가 증가하는 것으로 나타내었다. Lee[12]의 연구에서는 PET 및 EVA Chip을 Porous에 활용하여 비중을 0.75로 하였다. 따라서 바닥충격음 결과에서 경

량충격음 47 dB, 중량충격음 42 dB의 수준으로 측정되었다.

Lee *et al.*[13]의 연구에서 뜬바닥 구조용 완충재인 EVA, EPP, EEPS, PE 등을 활용하여 각각 150 mm 및 180 mm 두께의 콘크리트 슬래브에 20 mm 두께의 EVA를 삽입하고 상부에 폴리우레탄 폼, EPS 등을 보강한 후 뱅머신을 통해 시험을 하였다. 그 결과 150 mm 두께의 슬래브에서는 경량 53 dB ~ 55 dB, 중량 53 dB ~ 58 dB의 성능이 나타났으며, 180 mm 슬래브 두께에서는 경량 및 중량충격음에서 1 dB ~ 2 dB 저감되는 것으로 나타났다.

이와 같이 국내에서는 바닥충격음을 저감하기 위해 다양한 방법으로 연구되어왔다. 하지만 지난 2022년 국토교통부 '공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준' 일부 개정[14]에 따라 고무공 충격원을 표준 충격원으로 채택이 되면서 고무공 충격원에 대한 데이터는 미비한 상황이다. 따라서 본 연구의 목적은 기존 평판형태의 EVA 완충재를 다양한 형태으로 변형시켰을 때 바닥충격음에 어떠한 변화가 발생하는지 알아보기 위한 연구이다.

바닥충격음 저감에 효과적인 완충재를 선정하고자 본 연구는 두 차례에 걸쳐 실험이 진행되었다. 1차 실험에는 Flat, Deck, Cavity type 등 형태가 다른 EVA 완충재와 EPS, PET 흡음재, PP시트, 고무발판 등을 조합하여 재료구성 및 두께에 따른 중량충격음 변화를 살펴보았다. 2차 실험에는 1차 실험에서 얻은 결과를 바탕으로 각 형태별 완충재 종류 및 두께에 대해 동일한 조건에서 PET 흡음재 적용에 따라 바닥충격음이 어떻게 변화되는지 살펴보았으며, EVA를 발판형태로 제작하여 발판 개수에 따른 바닥충격음 변화도 살펴보았다. 본 연구의 흐름은 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

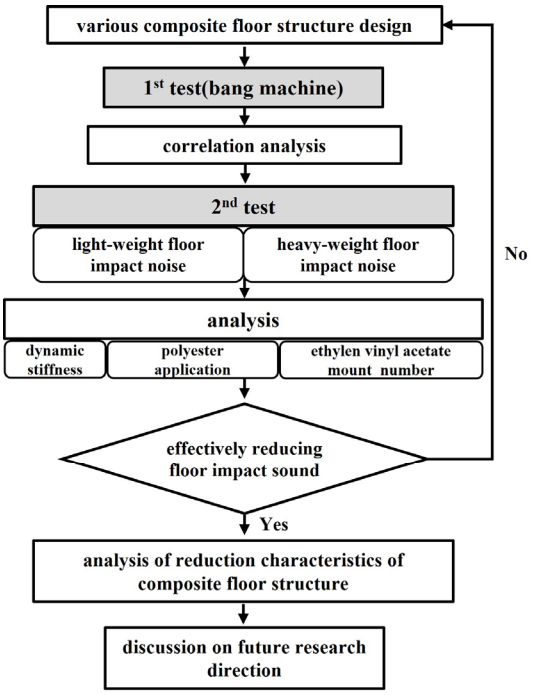


Fig. 1. Flowchart of the research.

II. 1차 실험

2.1 실험개요

1차 실험에는 바닥충격음 저감에 효과적인 재료를 선정하고자 기존의 EVA 재료와 다양한 완충재를 조합 및 두께를 다르게 하는 등 여러 가지 형태의 복합 완충재를 설계하여 진행하였다. 따라서 1차 실험에서 얻어진 결과를 분석하여 2차 실험에는 바닥충격음 저감에 효과적인 완충재와 조합하여 복합완충재에 대한 표준 경량 및 중량충격원 시험을 진행하였다.

시료간 결과를 비교하기 위해 시험은 공인인증시험기관인 한국건설생활환경시험연구원(Korea Conformaty Labratories, KCL) 바닥충격음 목업실험실에서 진행되었다. 1차 실험은 지난 2022년 12월 국토교통부에서 바닥충격음 차단구조 인정시험에 대한 지침이 변경되기 전이므로 표준 중량충격원인 뱅머신을 통해 시험을 진행하였다. 시험 시 210 mm 두께의

Fig. 2. (Color available online) View of floor impact noise measurement using bang machine.

Table 1. Thickness of concrete slab, mortar layer and resilient materials of each test sample for the 1st experiments.

Sample No.	Thickness (mm)		
	Resilient materials	Slab	Mortar
1	30	210	50
2	38		
3	35		
4	43		
5	40		
6	35		
7	38		
8	36		
9	38		

콘크리트 슬래브에 완충재 설치하고 상부에 50 mm 두께의 마감 모르타르를 재하하였다. 뱅머신을 이용한 현장 시험은 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 가진점은 중앙점을 포함한 5개 지점으로 하였으며, 하부층 수음실에 가진점 위치와 동일한 5개 지점에 마이크로폰을 설치하여 수음하였다. 시험 된 복합완충재의 두께와 콘크리트 슬래브 및 마감 모르타르 두께에 대한 정보는 Table 1에 나타난 바와 같다.

2.2 1차 실험 재료 및 시료 설계

선행연구 조사에서 공통적으로 바닥충격음 저감 개선에 용이한 소재에는 EVA, EPS, PP시트 등이였다. 또한, Lee와 Haan[15]의 조사에 따르면 현재 바닥충격음 완충재로 가장 많이 사용되고 있는 것은

Table 2. Section of 9 samples tested for the 1st experiments.

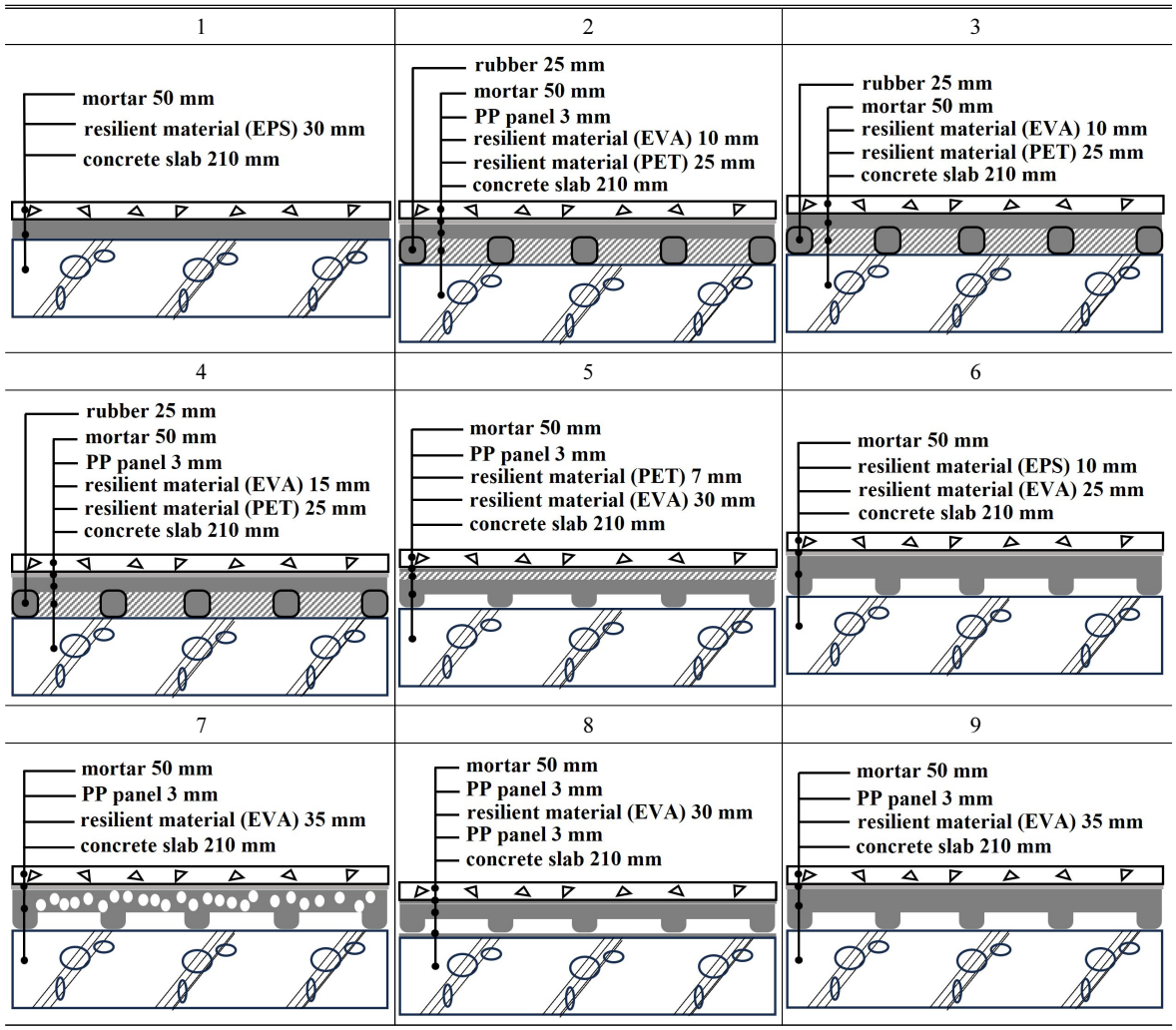


Table 3. Measurement results of the 9 samples at 1st experiments (1/1 octave, dB).

Frequency (Hz) ($L_{i,Fmax}$)	Integrated resilient structure				Floating resilient structure				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
63	81.4	77.9	78.3	78.7	75.6	75.2	74.4	75.2	76.9
125	60.5	55.2	58.3	58.0	59.4	63.8	61.5	63.8	59.1
250	48.1	43.3	48.6	44.6	46.5	53.5	51.2	53.5	50.1
500	32.1	31.3	33.9	31.3	34.8	37.3	37.5	37.3	36.9
$L_{i,Fmax,AW}$ (dB)	51	47	48	48	46	48	46	48	46

EPS(60 %), EVA(35 %), 기타(5 %) 순이다. 따라서, EPS, EVA와 다양한 복합소재를 조합한 9가지 복합완충재를 설계하여 1차 시험을 진행하였다. 9가지 복합완충재에 대한 상세 단면은 Table 2에 나타난 바와 같다. 또한, 9가지 복합완충재를 설계할 시 크게 두 가지 구조로 분류하였다.

2.2.1 일체형 완충재 구조

시료의 구성은 Table 2에 나타난 바와 같이 EVA, EPS, PET 흡음재 등을 혼합하여 일체형 구조를 설계하였다. 1번 시료의 경우 EPS 완충재만을 이용하였고, 2번 ~ 4번 시료는 PET 흡음재 사이에 고무발판을 삽입하여 EVA 완충재 및 PP시트로 마감하였다.

2.2.2 요철형 완충재 구조

5번 ~ 9번 시료의 경우 Deck 형태의 EVA를 사용하여 PET 및 PP시트로 마감하였다. 이때 7번 시료같은 경우 EVA 내·외부에 공기구멍을 만들어 EVA의 바닥충격음 저감특성을 확보함과 동시에 밀도를 보다 낮게 하여 성능이 우수하도록 설계하였다.

2.3 1차 실험결과

9가지 복합완충재에 대한 시험결과는 1/1 옥타브 밴드 및 $L_{i,Fmax,AW}$(바닥충격음 레벨) 단일수치 값을 표기하였으며, 데이터는 Table 3에 나타난 바와 같다. 뜬바닥 구조를 가진 5번 ~ 9번 시료의 대부분 단일수치 값이 우수하게 나온 것을 알 수 있었다. 특히, 7번 시료의 경우 중량충격음의 핵심주파수인 63 Hz에서 저감량이 가장 우수하게 나왔다. 이는 EVA 내·외부에 포진된 공기구멍에 의한 1차 저감에 이어 뜬바닥으로 인한 2차 저감을 통해 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

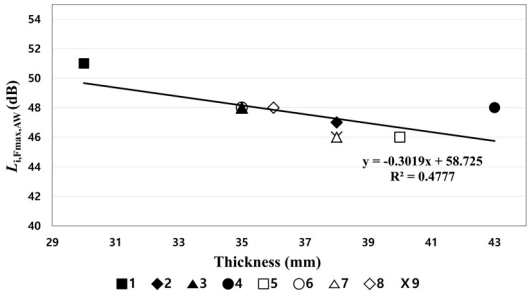


Fig. 3. Correlation with floor impact noise level according to thickness.

일체형 구조에서 2번 시료의 경우 25 mm의 두께의 PET에 고무발판을 삽입한 후 EVA와 PP시트로 마감했을 때 요철형 구조와 비슷한 저감 성능의 결과가 나왔다. 이는 고무발판이 EVA패드를 지지하여 유사 요철형 구조를 재현함과 동시에 125 Hz ~ 500 Hz의 저주파수 대역을 PET 흡음재에 의해 상쇄된 것으로 판단된다. 하지만, 30 mm 두께의 EPS 완충재를 활용한 1번 시료의 경우 저감 성능이 가장 저조하게 나타났다. 결론적으로 높은 두께를 가진 PET 흡음재 사이에 고무발판을 삽입한 후 EVA 패드와 PP시트로 마감한 복합완충재에서 중량 바닥충격음 저감 성능이 우수하게 나온 것을 알 수 있었다.

EPS를 활용한 복합완충재의 경우 바닥충격음 저감효과에 큰 변화가 없었다. 특히, EVA와 PET, PP시트, 고무발판을 사용한 복합완충재의 두께에 따른 바닥충격음 변화를 통계적으로 분석한 결과, 35 mm 이후부터 40 mm에 가까울수록 바닥충격음 레벨이 감소한 것을 알 수 있었다. 두께에 따른 통계분석 그래프는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 따라서 형태에 관계없이 EVA 완충재와 PET, PP시트, 고무발판 등을 적용하고 두께가 40 mm에 가까울수록 바닥충격음 저감에 효과적인 것을 1차 실험을 통해 알 수 있었다.

III. 2차 실험 내용

3.1 실험개요

1차 실험을 통해 얻은 주요 결과는 두께가 40 mm에 가까울수록 바닥충격음 저감에 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 2차 실험을 수행하기 위해 복합완충재의 두께를 동일하게 구성하고 완충재의 형태 및 재료에 따른 바닥충격음 변화하는지 살펴보았다.

3.2 복합완충재 설계

실험을 위해 모든 복합완충재의 두께는 40 mm로 하였으며, 1차 실험에 사용된 Flat, Deck, Cavity type과 EVA를 발판형태로 제작한 Mount type 등 총 4가지 형태의 복합완충재를 설계하였다. 4가지 복합완충재는 Fig. 4에 나타난 바와 같다.

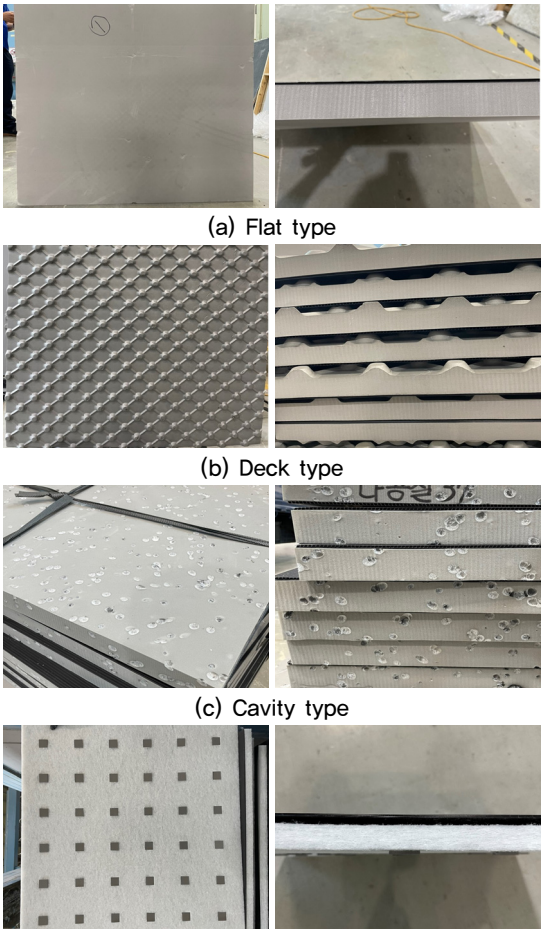


Fig. 4. (Color available online) Four different types of EVA resilient materials.

이때 Flat, Deck, Cavity type에서 각 완충재의 두께를 7 mm만큼 줄이고 7 mm 두께의 PET 흡음재를 적용하여 재료변화에 따른 바닥충격음 저감 변화를 살펴보았다. Mount type의 경우 EVA 발판의 개수를 다르게 하여 3가지 시료를 제작하였다. 형태에 따른 9가지 복합완충재 단면은 Table 4에 나타난 바와 같다.

또한, Mount type 복합완충재의 경우 EVA를 40(W) × 40(L) × 35(H) mm 크기의 발판 형태로 제작하여 PET(1 m^2)에 삽입하였다. 이때, EVA 발판 상부에 2 mm의 우레탄 폼을 붙여 PP시트 사이에 공기층을 형성하였으며, EVA 마운트의 개수 별 저감 변화를 알아보기 위해 25개, 36개, 41개씩 규칙적으로 배열한 후 진행하였다. Mount type의 평면 형태는 Fig. 5에 나타난 바와 같다.

3.3 시험 및 평가방법

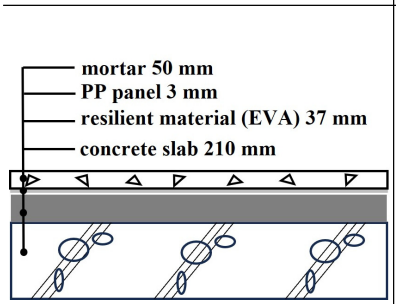
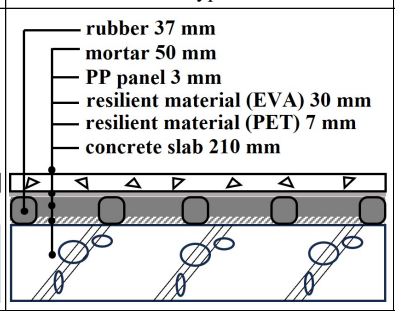
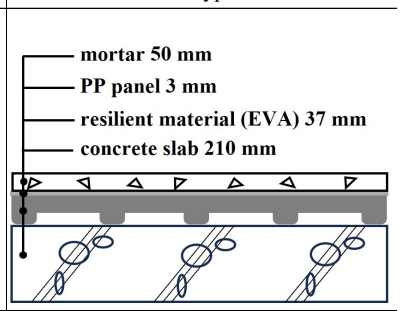
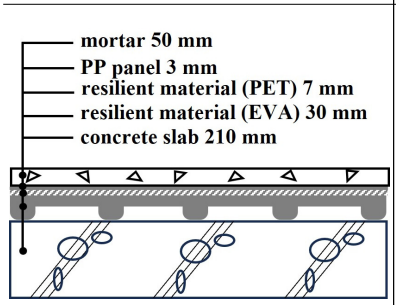
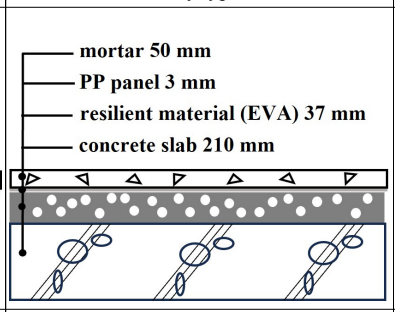
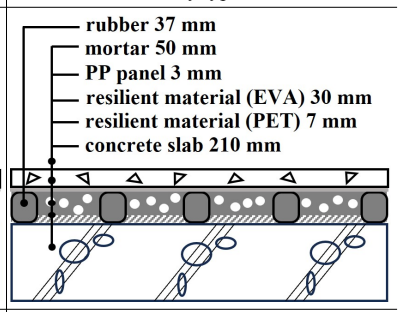
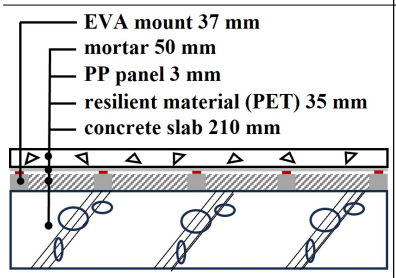
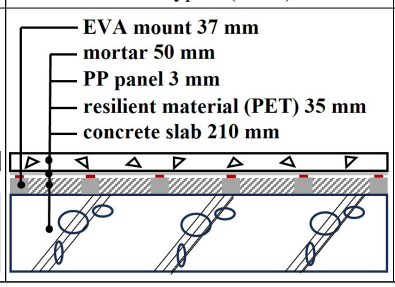
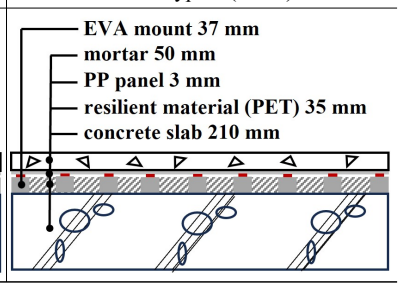
시험은 KS F ISO 16283-2:2015(음향－건물 및 건물 부재의 차음성능 현장 측정 방법－제2부 : 바닥 충격음 차단 성능)에[16] 따라 표준 경량 및 중량충격음 레벨을 시험하였다. 평가방법에는 KS F ISO 717-2:2020 (음향－건물 및 건물 부재의 차음 성능 평가 방법 - 제2부 : 바닥 충격음 차단 성능)에[17] 따라 바닥충격음 레벨을 산출하였다.

2차 실험에서는 경량충격음 시험에 표준 경량충격원(태핑머신)을 사용하였다. 또한, 국토교통부 '공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준' 일부 개정에 따라 중량 바닥충격음 시험은 고무공 충격원을 통해 진행되었다. 고무공 충격원을 이용한 실험 현장은 Fig. 6에 나타난 바와 같다.

3.4 4가지 형태의 완충재 물성 실험

공동주택에서 활용되고 있는 뜬바닥형 완충재의 동탄성계수 측정 방법은 KS F 2868(거주공간 뜬바닥용 완충재의 동탄성계수 측정방법)[18]에 따라 측정하였다. 동탄성계수의 실험 대상은 Flat, Deck, Cavity, Mount 등 4가지 형태의 복합완충재로 하였으며, 실험을 위해 규정에 따라 각 시료를 200 mm × 200 mm 크기의 3장씩 하여 펄스 가진법에 의한 진동계

Table 4. Section of 9 tested samples with different types of EVA resilient materials.

Flat type-1	Flat type-2	Deck type-1
		
Deck type-2	**Cavity type-1**	**Cavity type-2**
		
Mount type-1 (25EA)	**Mount type-2 (36EA)**	**Mount type-3 (41EA)**
		

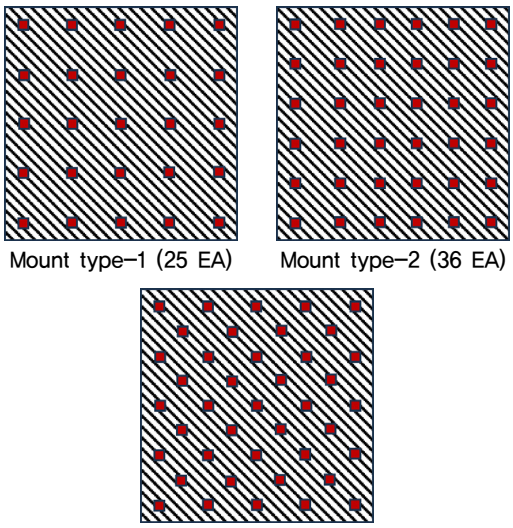


Fig. 5. (Color available online) Plans of the EVA mount types and the number of EVA mounts per 1 m^2.

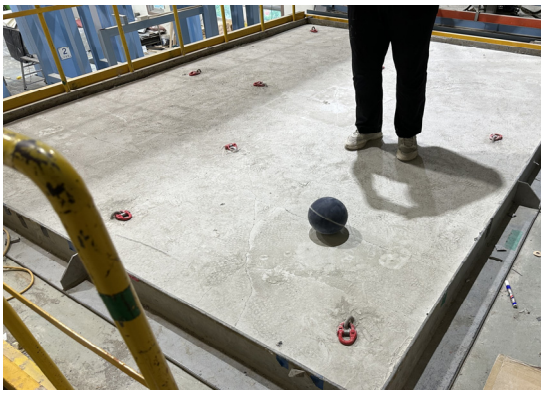


Fig. 6. (Color available online) View of floor impact noise measurement using impact ball.

의 진동 전달 주파수 특성을 수집하고 Eq. (1)의 식에 따라 동탄성계수 값을 산출하였다. 펄스 가진법을 통한 동탄성계수 시험방법은 Fig. 7에 나타난 바와

같다.

$$s'_t = (2\pi f_r)^2 \cdot m'_t, \quad (1)$$

여기에서

f_r : 진동계의 고유진동수(Hz)

m'_t : 하중판의 단위 면적당 질량(kg/m^2)

동탄성계수 실험은 바닥충격음 실험과 동일한 두께의 완충재 구성으로 하였으며 각 완충재 상부에 PP시트로 마감하여 실험을 진행하였다. 4가지 형태의 완충재 동탄성계수 측정 결과, Table 5에 나타난 바와 같이 Flat type에서 78.95 MN/m^{3}로 가장 높게 측정되었으며, 완충재 내·외부에 공기구멍이 포진된 Cavity type의 경우 31.59 MN/m^{3}로 Flat type 대비 2배 이상 낮아진 것을 볼 수 있었다. 또한, 요철형태를 가진 Deck type에서 16.84 MN/m^{3}로 측정된 반면, Mount type은 가장 낮은 수치인 2.92 MN/m^{3}로 측정되었다. 측정된 동탄성계수 결과를 바탕으로 경량 및 중량 바닥충격음 저감 결과와의 관계성을 비교하였다.

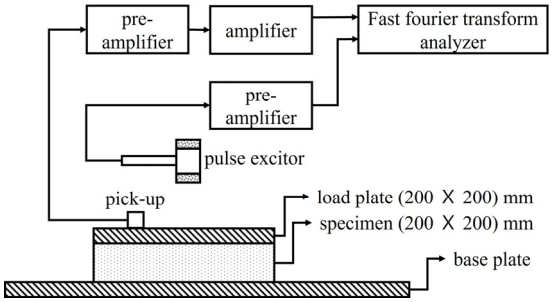


Fig. 7. Pulse exciting method diagram.

Table 5. Measurement results of the dynamic stiffness for four resilient materials.

Resilient materials (40 mm)	Dynamic stiffness (MN/m^3)
Flat type	78.95
Deck type	16.84
Cavity type	31.59
Mount type	2.92

IV. 2차 실험 결과

4.1 경량충격음 결과

측정된 경량바닥충격음 레벨 및 1/1 옥타브밴드 데이터는 Table 6에 나타내었으며, Fig. 8에 나타난 바와 같이 수집된 데이터를 그래프로 표현하였다. 결과표를 보면 Flat type에서 EVA 단일 완충재만 사용했을 때 경량바닥충격음 레벨이 51 dB로 측정되었다. 그러나 EVA 두께를 줄이고 PET 및 고무발판을 적용했을 때 바닥충격음 변화가 9 dB 감소하는 것으로 나타났다. 또한, Deck, Cavity type에서 마찬가지 EVA 두께를 줄인 만큼 PET를 적용하였을 때 각

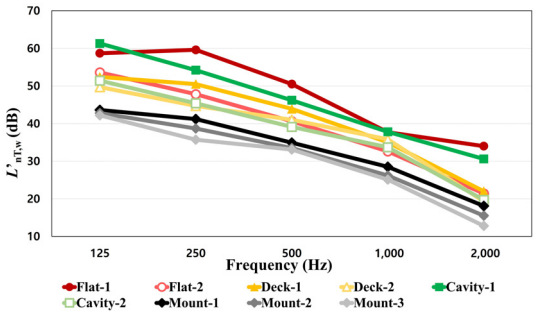


Fig. 8. (Color available online) Measurement results of the light-weight floor impact noises.

Table 6. Results of the light-weight floor impact noises measurement (dB).

Frequency (Hz) (L'_{nT})	Flat type		Deck type		Cavity type		Mount type		
	1	2	1	2	1	2	1 (25EA)	2 (36EA)	3 (41EA)
125	58.7	53.6	52.4	49.7	61.3	51.4	43.6	42.8	42.2
250	59.6	47.8	50.5	44.7	54.2	45.4	41.2	38.7	35.7
500	50.5	40.6	43.9	41.0	46.2	39.1	34.9	33.5	33.1
1,000	37.7	32.6	35.0	35.8	37.8	33.7	28.5	26.2	25.1
2,000	34.0	21.4	22.0	19.3	30.6	19.7	18.1	15.5	12.8
$L'_{nT,w}$ (dB)	51	42	44	39	48	40	34	32	30

type-1 대비 5 dB ~ 8 dB 이상 저감된 것으로 나타났다. 기본형태의 복합완충재에서 PET 흡음재 적용에 대한 바닥충격음 변화 그래프는 Fig. 9에 나타난 바와 같다.

특히, EVA를 발판 형태로 제작하여 PET 흡음재 표면에 규칙적으로 삽입한 Mount type의 경우에는 30 dB ~ 34 dB로 나타났으며, Mount type의 EVA 발판 개수가 증가할 때, 125 Hz ~ 2,000 Hz 주파수 대역에서 경량바닥충격음의 저감량이 높아지는 것으로 나타났다. 동탄성계수와 경량충격음 측정 값에 대한 상관성을 분석한 결과 Fig. 10에 나타난 바와 같이 동탄성계수가 높아질수록 경량충격음 측정 값이 증가하는 것으로 나타났다.

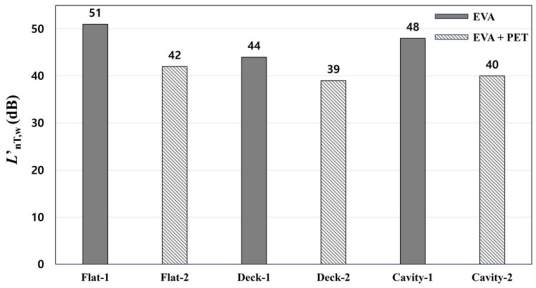


Fig. 9. Difference of the light-weight floor impact noises according to the application of PET.

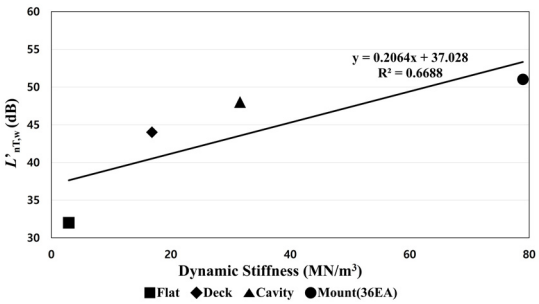


Fig. 10. Correlation of the light-weight floor impact noise reduction according to dynamic stiffness.

4.2 중량충격음 결과

측정된 중량 바닥충격음 레벨의 1/1 옥타브밴드 데이터는 Table 7에 나타난 바와 같다. 9가지 시험체 중 완충재 밀도가 가장 높은 Flat, Cavity type은 중량 바닥충격음 레벨이 50 dB 이상 나타나 가장 저감성능이 저조한 것으로 나타났다. 또한, 요철 형태를 가진 Deck type의 경우 47 dB ~ 48 dB로 1차 실험과 비슷한 수준인 것으로 나타났다. Mount type의 경우 41 dB ~ 42 dB로 높은 저감효과를 가진 것으로 나타났다.

특히, Fig. 11에 나타난 바와 같이 각 시료의 측정 데이터를 1/1 Octave band 그래프로 나타냈을 때 기본형태의 Flat, Cavity type의 경우 125 Hz ~ 250 Hz 대역에서 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 요철형태와 PET 흡음재가 적용되지 않고 완충재 표면이 콘크리트 슬래브에 맞닿고 있어 충격음이 상쇄되지 않아 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다. 그러나 EVA 두께를 줄이고 PET 및 고무발판을 적용했을 때 바닥충격음 변화가 1 dB ~ 5 dB 감소하는 것으로 나

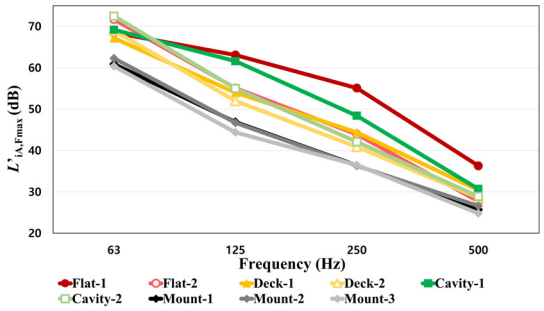


Fig. 11. (Color available online) Measurement results of the heavy-weight floor impact noises.

Table 7. Results of the heavy-weight floor impact noises measurement (dB).

Frequency (Hz) ($L'_{i,Fmax}$)	Flat type		Deck type		Cavity type		Mount type		
	1	2	1	2	1	2	1 (25EA)	2 (36EA)	3 (41EA)
63	68.5	71.7	67.2	69.0	69.2	72.5	60.9	62.3	60.4
125	63.1	55.1	54.0	52.0	61.6	55.0	46.9	46.7	44.4
250	55.1	43.9	44.4	40.9	48.4	42.1	36.4	36.3	36.5
500	36.3	27.7	30.4	28.6	30.7	28.9	25.7	26.6	24.8
$L'_{iA,Fmax}$ (dB)	55	50	48	47	52	50	41	41	42

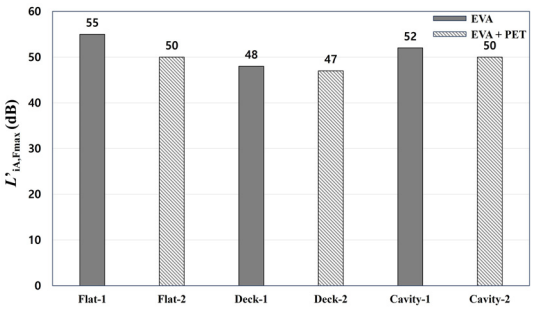


Fig. 12. Difference of the heavy-weight floor impact noises according to the application of PET.

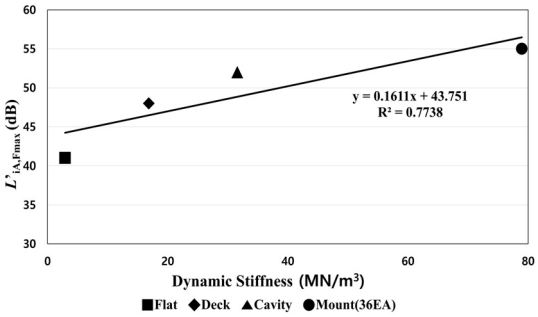


Fig. 13. Correlation of the heavy-weight floor impact noise reduction according to dynamic stiffness.

타났다. PET 흡음재 적용에 대한 바닥충격음 변화 그래프는 Fig. 12에 나타난 바와 같다.

중량충격음 결과의 경우 EVA 발판이 41개일 때 63 Hz ~ 125 Hz 대역에서 낮아지는 현상을 볼 수 있지만, 중량 바닥충격음 레벨은 EVA 발판이 25개, 36개 일 때 41 dB로 나와 개수가 적을 때 저감효과가 좋아지는 것을 알 수 있다. Fig. 13에 나타난 바와 같이 동탄성계수와 중량충격음 측정 값에 대한 상관성을 분석한 결과 동탄성계수가 높아질수록 중량충격음 측정 값이 증가하는 것으로 나타났는데 Mount type의 경우 동탄성계수가 가장 낮음으로써 다른 type 대비 중량충격음이 낮게 측정된 것으로 판단된다.

또한, Mount type은 주위에 PET 흡음재로 구성되어 있어 다른 완충재 구성보다 밀도가 낮은 재료적 특징이 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. 이외의 충격력은 각각의 EVA 발판을 통해 분산되고 PET에 의한 흡음으로 인해 다른 시험체보다 63 Hz ~ 250 Hz 주파수 대역에서 우수한 저감효과를 보인 것으로 분석된다.

V. 결 론

본 연구는 EVA를 활용한 다양한 형태의 복합완충재의 바닥충격음 저감 변화를 알아보았다. 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 1차 실험에서 EVA 완충재와 PET 흡음재, PP시트 등을 혼합한 복합완충재에서 중량충격음 성능이 높아지는 것을 알 수 있었다. 또한, 두께가 40 mm에 가까울수록 중량충격음 저감의 개선효과가 큰 것으로 나타났다.
2) Flat, Deck, Cavity, Mount type 등 4가지 형태의 복합완충재를 설계하여 경량중량충격음 시험한 결과, 밀도가 높고 완충재 바닥면이 콘크리트 슬래브에 맞닿은 구조의 경우 저감효과가 낮게 나타났지만 완충재의 두께를 줄임과 동시에 PET 흡음재를 적용할 시 바닥충격음 개선효과가 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.
3) Mount type의 경우 PET가 주로 구성되어 있어 밀도가 낮고, EVA 발판과 Mount로 인한 공기층에서 충격력 흡수가 이루어져 바닥충격음 저감효과가 나타난 것으로 판단된다. 특히, 경량충격음의 경우 EVA 발판의 개수가 증가할수록 저감 효과가 증가하는 것으로 나타났다. 중량충격음의 경우 EVA 발판 개수가 증가할 때 63 Hz ~ 125 Hz 대역에서 낮은 저감성능을 보여주고 있지만 중량 바닥충격음 레벨 값은 EVA 발판 개수가 25개, 36개 일 때 효과적인 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 EVA를 활용한 복합완충재의 바닥충격음 저감변화를 살펴보았다. 1차 실험과 2차 실험은 다른 표준충격원을 사용하여 종합적으로 객관성 있는 비교가 이루어지지 못한 것과 목업실험실에서 진행된 것이 본 연구의 한계점이다. 하지만 1차 실험을 통해 복합완충재의 두께가 40 mm에 가까울수록 바닥충격음 저감효과가 증가하는 결과가 나타나 2차 실험 시 복합완충재의 두께를 설정할 수 있었던 것은 유의미한 결과라고 볼 수 있다. 향후 연구에는 목업실험실이 아닌 슬래브 두께가 다른 공동주택과 다양한 두께의 복합완충재를 설치하여 표준 충격원

에 의한 실험이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 객관적인 성능분석을 통해 실제 공동주택에 적용 가능한 복합완충재를 설계해야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 중소벤처기업부의 연구과제인 "2023년도 중소기업기술개발 지원사업"의 연구과제 "산학연 Collabo R&D사업" 및 충북대학교 국립대학육성사업(2023)지원을 받아 작성되었음.

References

1. Statistics Korea, *2022 Population and Housing Census*, 2023.
2. M. W. Kang, "A study on the reduction of floor impact sound for existing apartment houses with shallow slab due to the combination of slab integrated floor structure and resilient finishing materials," (Master Degree thesis, Mokpo National University, 2016).
3. K. J. Lee, "A study on the floor impact sound insulation characteristics due to resilient layer compositions," (Master Degree thesis, Dongshin University, 2013).
4. J. Ryu, G. Jeong, J. Lee, and H. Kim, "Effect of thickness and composition of isolator for standardized floor structure on floor impact sound level" (in Korean), Proc. Korean Soc. Noise Vib. Eng. **10**, 382-383 (2013).
5. C. Y. Park, S. H. Kim, D. W. Jang, and C. H. Jang, "The development of damping material for standard floating floor type-5 using ethylene vinyl acetate co-polymer (EVA) & Urethane Form" (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. Suppl.2(s) **11**, 461-464 (2004).
6. K.-W. Kim, G.-C. Jeong, and J.-Y. Sohn, "Evaluation of the dynamic stiffness and heavy-weight floor impact sound reduction by composition of resilient materials" (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. **18**, 247-254 (2008).
7. J. H. Park, "Noise reduction methods of the floor impact sound using crumb rubber," (Master Degree thesis, Chungbuk National University, 2015).
8. G. Jeong, J.-K. Ryu, J.-I. Lee , and Y.-S. Kim, "Effect of material property of floor impact sound isolator on heavy-weighted floor impact sound level in the apartment building," KSLES, **21**, 19-25 (2014).
9. DL E&C, EVA composition for interlayer noise buffering material of apartment, Patent: 10-1739745 (2017).
10. B. S. Koo, B. K. Lee, and S. S. Hong, "Developed plaster type of floor insulation material for remodel apartment" (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. Suppl.1(s), **4**, 267-267 (2018).
11. B. S. Koo, B. K. Lee, and S. S. Hong, "Analysis of reduction method of floor impact noise in remodeling apartment" (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. Suppl.2(s), **11**, 176-176 (2020).
12. Y. O. Lee, "Experimental studies for sustainable improvement method of sound insulation between floors as utilizing porous of PET and EVA chip" (Master degree thesis, Tongmyong University, 2018).
13. B. K. Lee, S. H. Bae, and C. H. Hong, "A evaluation study on reduction method of floor impact noise through field test and the effective method for heavy impact noise" (in Korean), Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng. Suppl.2(s) **11**, 451-456 (2004).
14. Ministry of Land Infrastructure and Transport, Republic of Korea, "Approval and management standard of floor construction for floor impact sound on the apartment housing 2022-868" (in Korean), (2022).
15. W.-H. Lee and C.-H. Haan "Characteristics of the floor impact sound by water to binder ratio of mortar" (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. **40**, 671-677 (2021).
16. KS F ISO 16283-2:2015, *Acoustics −Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements −Part 2: Impact Sound Insulation*, 2017.
17. KS F ISO 717-2:2020, *Acoustics −Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements −Part 2: Impact Sound Insulation*, 2022.
18. KS F ISO 9052-1:1989, *Determination of dynamic stiffness of materials and used under floating floors in dwellings*, 2003.

저자 약력

▸ 이 야 긴 (Jakin Lee)

2021년 : 대림대학교 음향기술과 학사
2021년 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 석사과정

▸ 이 승 민 (Seung-Min Lee)

2022년 : 충북대학교 건축공학과 학사
2023년 : 충북대학교 건축공학과 석사
2023년 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 박사과정

▸ 한 찬 훈(Chan-Hoon Haan)

1983년 : 홍익대학교 건축학과 학사
1985년 : 연세대학교 건축공학과 석사
1994년 : University of Sydney Ph.D
1999 ~ 2000년 : Salford Univ. UK 연구교수
1994년 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 교수