

층간소음 방지를 위한 인솔 재질별 진동 및 소음 평가

민승남 · 이희란*†

동양대학교 스마트안전시스템학부, *금오공과대학교 소재디자인공학과

Analyzing the Effect of Insole Materials on Vibration and Noise Reduction between Floors

Seungnam Min · Heeran Lee*†

Dept. of Smart Safety System, Dongyang University

*Dept. of Materials Design Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Received August 26, 2022; Revised October 24, 2022; Accepted November 14, 2022

Abstract

The COVID-19 pandemic increased people's time at home and caused an 80% increase in noise disputes between floors. The purpose of this study is to propose suitable materials for making indoor shoes (insoles) to minimize noise between floors. Subjects without back pain and leg-related disease (e.g. arthritis, etc.) from three different age groups (childhood, adolescence, and adulthood) were recruited for the study. Five polymer insole materials were considered: Chloroprene Rubber (CR foam), Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM foam), Natural Latex foam, Ethylene Vinyl Acetate (EVA foam), and Polyurethane (PU foam). From these materials, 20 combinations were prepared and randomly tested for noise and vibration. The results revealed a significant difference in noise and vibration levels based on the type of material used and the age of the subject. Nevertheless, all materials under consideration successfully reduced noise and vibration; in particular, type A-C greatly decreased. The CR foam material was especially effective at noise and vibration reduction ($p < .01$). This study suggests that adding insoles into socks that children wear at home could reduce noise vibration and disputes between floors.

Key words: Noise between floors, Noise, Vibration, Materials of insole; 층간소음, 소음, 진동, 인솔 재질

I. 서 론

우리나라의 공동주택 거주 가구 수는 2019년 기준으로 전체 주택의 62.3% 달해 전년대비 4.3%가 늘어난 수치이다(Lee, 2020). 이처럼 공동주택 수가 증가하면서 층간소음에 관한 민원도 매년 증가하고 있다. 특히 코로나19로 집에 머무는 시간이 증가하면서 ‘코로나19 국내 확진자 발생’ 이후 층간소음 분쟁 건수가 약 80% 폭증하고 있다(Baek, 2020). 이러한 층간소음 문제는

민원제기뿐 아니라 이웃 간의 큰 다툼으로 이어지기 때문에 이에 대한 다양한 해결방안이 제시되어야 한다. 국토교통부도 매년 증가하고 있는 민원을 해소하기 위해 2022년 공동주택 바닥충격을 차단구조인정 및 관리기준을 입법하여 바닥소음 기준을 49 dB에서 43 dB로 강화하였다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport [MOLIT], 2019). 그러나 2014년 제정된 ‘공동주택 층간소음의 범위와 기준에 관한 규칙’(MOLIT, 2023)을 따라 그 이후 지어지는 공동주택은 바닥층을 두껍게 설계하고 있지만, 그 전에 지어진 수많은 공동주택에서는 여전히 층간소음의 문제가 발생하고 있으

†Corresponding author

E-mail: heeran@kumoh.ac.kr

므로 법적 기준 외 충간소음을 줄이는 방안에 관한 연구와 조치가 필요한 실정이다.

충간소음 관련된 연구들을 보면, Park(2014)은 국민의 생활수준이 향상되는 반면에 30대 이상 성인의 정신건강은 위협요인이 많아 낮은 충간소음에도 예민한 반응을 보이는 경우가 많다고 하였다. 또한, 충간소음으로 인한 정신건강 향상을 위해 충간소음을 기술적으로 예방하기 위해 충간소음 방지 온수난방 장치를 개발하여 건설사 시공 시에 충간소음을 방지할 수 있는 기술을 접목하는 연구도 진행되었다(Lee & Park, 2016). 이 외에도 천장 부분에 천공(구멍)을 이용하여 충간소음이 저감되는 기술을 개발하거나(Kim, 2013), 공동주택 충간소음 관련 법적 제도 개선을 통해 충간소음 저감을 위한 시도를 하는 연구도 이루어졌다(Jo, 2013). 국외에서도 소음을 원치 않는 소리로 정의하고 있으며(Stansfeld et al., 2000), 충간소음 발생 시에는 개인의 사생활 침해 문제(Cheshire et al., 2019), 삶의 질 문제(Cheshire et al., 2019), 일상생활에서의 문제 발생(Lee et al., 2019), 스트레스가(van Kamp & Davies, 2008) 발생되기 때문에 건축바닥 구조 변경, 법적 제도 개정 등을 통한 충간소음 방지를 위한 노력이 이루어지고 있다. 이처럼 법 및 기술적인 도입으로 충간소음을 예방하려는 연구와 다양한 노력들이 지속되고 있지만 이러한 방법들은 장기적인 시간이 소요되는 만큼 현실점에서 해결될 방법이 필요하다. 특히 최근 집에 거주하는 시간이 길어지고 개인의 정신건강 향상이 중요한 문제로 대두되면서 낮은 충간소음에도 예민한 반응을 보이는 경우가 있기 때문에 실제 국민들이 생활속에서 충간소음을 저감하는 방법이 필요하다(Park, 2014). 이를 위해서 환경부에서는 충간소음관리위원회를 구축했을 뿐 아니라 바닥에 매트 설치, 피아노 등 소리가 발생할 수 있는 공간에 방음벽(흡수제) 설치 등을 실시하도록 권고하고 있다. 특히 충간소음의 다양한 이유 중 아이들이 뛰는 소리가 이웃 간 분쟁의 가장 큰 원인으로 나타났다(Korea Environment Corporation, 2020). 이와 관련하여 Mun et al.(2014), Kim et al.(2013)은 바닥 마감재와 바닥 매트와 바닥충격음 및 충격력 저감에 대한 연구를 하였으며 이러한 매트가 소음 저감에 효과가 있다고 발표하였다. 그러나 매트의 경우에는 모든 바닥에 설치하여야 하므로 충간소음 저감에 도움이 되기는 하지만 설치 비용에 대한 문제, 기설치된 가구 배치와의 설치 디자인 문제 등 여러 문제점

이 발생한다. 그러므로 국민들이 쉽게 사용할 수 있고 비용이 저렴한 충간소음 방지 제품이 필요할 것이다.

이를 위한 또 다른 방법의 하나가 충간소음 예방을 위한 실내화, 실내양말 형태의 제품을 착용하는 것이다. 충간소음용이라는 다양한 형태의 제품들이 판매되고 있지만 대부분 일반 실내화 형태를 명칭만 다르게 판매되고 있을 뿐 판매되는 제품이 충간소음 저감에 얼마나 영향을 주는지, 어떠한 재료가 적합한지에 대한 자료나 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 실내화 인솔(inside)에 적합한 재료 중 충간소음 저감 및 진동을 저감할 수 있는 재료를 발굴하여 충간소음을 예방할 수 있는 실내화의 인솔을 제안하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

충간소음 저감을 위한 인솔 개발을 위해서 연구대상자를 생애주기에 따라 아동기(7~12세), 청소년기(13~19세), 청년기(20~34세)로 나누어 그룹별 10명씩 총 30명을 모집하였다. 연구대상자는 허리나 다리에 이상이 없고 관련 근골격계 질병이나 정형외과적 병력이 없는 건강한 남성(남아)을 대상으로 모집하였다. 그룹별 6차 인체치수조사(Korean Agency for Technology and Standards [KATS], 2010)에서 제시된 몸무게 평균(발사이즈 평균)은 아동기 36.4±11.3 kg(213.8±18.7 mm), 청소년기 61.0±12.4 kg(250.9±12.6 mm), 청년기 71.2±10.3 kg(253.0±12.2 mm)이었다. 따라서 사이즈코리아 6차 인체치수조사(KATS, 2010) 데이터를 바탕으로 신발 사이즈는 각각 200, 240, 255를 신으며, 몸무게가 25~35 kg, 50~60 kg, 65~75 kg에 해당하는 연구대상자를 모집하였으며 오른발잡이로 선정하였다. 본 실험에 참여한 연구대상자들의 인체치수의 평균과 표준편차, 신발 사이즈, 이때 사용된 각 그룹별 양말 사이즈와 소재는 <Table 1>에서 보는 바와 같다.

2. 진동 및 소음 저감 인솔 재료

진동 및 소음 저감 재료의 경우 소음 및 충격 방지가 가능한 재료들을 조사한 결과(Lee et al., 2002; Park et al., 2016), NBR(Nitrile-Butadiene Rubber), PE(Poly-

Table 1. Subject and insole information

	Childhood	Adolescence	Adulthood
Number of subject	10	10	10
Age	7.4 ± 0.5	13.6 ± 0.5	23.3 ± 0.6
Weight (kg)	28.0 ± 1.0	52.3 ± 1.5	72.0 ± 1.0
Foot length (mm)	198.5 ± 0.5	240.9 ± 1.0	253.2 ± 0.8
Right footed	Yes	Yes	Yes
Insole size	200	240	255
Socks size	For children (190-210 mm)	For women	For men
Socks materials	CM40's (cotton 100%)		

Ethylene), PU(PolyUrethane), CR(Chloroprene Rubber, Neoprene), EVA(Ethylene Vinyl Acetate), EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer) 등과 같은 고분자 재료로 만들어진 일반적인 폼 형태가 많이 사용되고 있었다. 이중 내구성이 약하거나 쉽게 찢어지고 신발 인솔로 사용하기 부적합한 것을 제외한 후 최종 5종을 선정하였다. 연구에 사용된 고분자 재료로 만들어진 폼은 인솔용으로 제작된 것으로 주로 사용되는 CR 폼, EPDM 폼, EVA 폼, PU 폼을 선택하였고 여기에 천연라텍스(Latex) 폼을 추가하여 총 5종을 재료로 선정하였다. 선정된 5종 폼 모두 두께 1 cm로 정하였으며, 다른 재료 2개를 한 세트로 조합하여 실험을 진행하였다. 이때 2개의 인솔은 신발용 접착제를 이용하여 고정하였고 조합된 2 cm 인솔 세트를 바닥면에 넣었다 뺐다 교체할 수 있도록 양말 바닥면에 주머니 형태로 제작하였다. 인솔 사이즈는 각 피험자 신발 사이즈에 맞추어 200, 240, 255로 자른 후 사용하였다. 본 연구에 사용된 인솔 재료의 특성인 밀도(kg/m³)는 ASTM D1622-08(ASTM International, 2010), 인장강도(Tensile strength, MPa)와 신장률(Elongation, %)은 ASTM D412-16(ASTM International, 2021) 방법으로 측정하였으며, 반발탄성(Rebound resiliences, %)은 ASTM D 2632-15(ASTM International, 2019) 방법으로 자유롭게 3번 예비타격 한 후 4번째 타격 시 반발높이의 수치를 반발탄성 값(%)으로 사용하였다. 또한 충격보호성능 평가는 따로 정해진 규격화된 방법이 없어 60×60×10 mm 크기의 패드를 신발피혁연구소 내 피혁연구센터에 의뢰하였으며, 시험방법은 KOLAS_Universal Impact Testing Machine으로 구 형태인 충격스트라이크(직경 20 mm, 질량 30 kg)를 150 mm 높이에서 낙하시켜 충격에너지(Impact

energy)와 충격흡수에너지(Impact absorption energy)를 측정하였다. 이때, 측정된 충격에너지와 충격흡수 에너지 값으로부터 <Eq. 1>로 계산하여 충격흡수효율(Impact absorption efficiency, %)을 계산하였다.

Impact absorption efficiency (%) =






$$\frac{\text{Impact absorption}}{\text{Impact energy}} \times 100 \quad \dots\dots \text{Eq. 1.}$$

재료별 물리적 특성 결과와 인솔 형태로 잘린 모양(예: 사이즈 255)은 <Table 2>에서 보는 바와 같았다(ASTM International, 2010, 2019, 2021).

3. 실험 절차 및 장비

충간소음 예방을 위한 인솔의 실험 절차는 <Fig. 1>과 같다. 우선 연구대상자에게 실험 전 실험에 관한 설명을 진행하였다. 소음기는 연구대상자와의 일정한 거리 1.3 m가 유지되는 위치의 같은 층과 바로 그 아래 층에 설치하였으며, 진동측정기기 역시 소음기 옆 연구대상자와 일정한 거리인 1.0 m를 유지하여 설치하였다. 실험에 사용된 바닥 인솔 재료는 A type, B type, C type, D type, E type 5종 중 2종을 조합(Combination design)하여 실험을 진행하였다. 실험은 재료별 실험 양말을 무작위로 착용한 후 제자리에서 5발 뽀글음을 하였고 이때 진동 및 소음을 측정하였다. 각 연구대상자별 5번의 제자리에서 한 발씩 뛰기의 높이와 속도를 일정하게 유지하기 위해 실험 시작 전 바닥에 최대치의 충격이 가해지도록 여러 번 뛰어본 후 본 실험을 진행하였다. 그리고 진동과 소음이 최대치가 나오게 될

Table 2. Materials selected for noise neighbors test

Material	A	B	C	D	E
	Chloroprene Rubber (CR foam)	Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM foam)	Natural Latex foam	Ethylene Vinyl Acetate (EVA foam)	PolyUrethane (PU foam)
Density (kg/m ³) (ASTM International, 2010)	173	149.5	143	102	126
Tensile strength (MPa) (ASTM International, 2021)	1.03	0.7	1.75	1.86	3.01
Elongation (%) (ASTM International, 2021)	216	294	245	214	650
Rebound resiliences (%) (ASTM International, 2019)	30	36	25	41	33
Impact absorption efficiency (%)	40.2	37.5	55.2	21.6	44.5
Insole shape (ex: 255 size)					

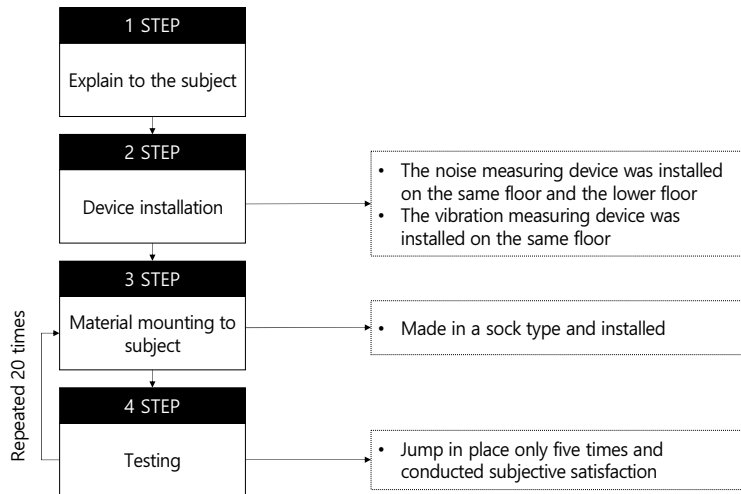


Fig. 1. Procedure for prevention noise neighbors.

때의 최고 머리높이와 5발 제자리에서 한 발씩 뛰기 속도를 정한 후 전신거울을 보며 최고 머리높이를 체크하였다. 모든 실험은 초시계를 보면서 일정한 속도가 유지되도록 실험을 진행하였다. 또한 제자리에서 한

발씩 뛰기는 각 3번씩 반복실험을 진행하여 평균값을 사용하였다.

충간소음 예방을 위한 재료선정을 위해 재료조합 (Combination design)은 <Fig. 2>에서 보는바와 같았

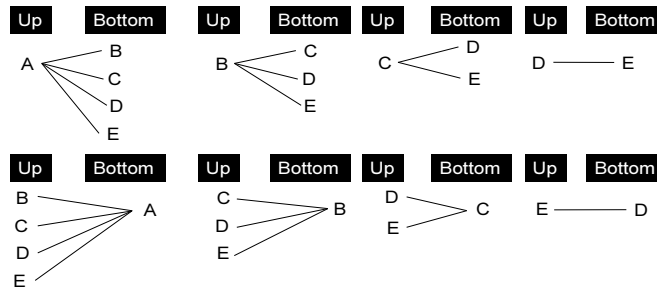


Fig. 2. Combination design test on each materials for prevention noise neighbors.

다. 선정된 5가지 재료 중 2종을 순차적으로 선택하여 하나는 위(Up), 다른 하나는 아래(Down)에 놓이도록 하고 양말 바닥 부분에 조합된 인솔 재질을 넣은 후 실험을 진행하였다. 실험은 조합된 총 20종을 무작위 순서로 바닥면에 넣어 각 20번 진행되었다.

실험 장비는 SV 106 진동측정기기(Svantek사, Poland)를 사용하였으며, 표준 측정방법인 ISO 2631-1:1997 (International Organization for Standardization [ISO], 1997)을 준수하여 연구대상자로부터 1.0 m 거리에서 측정하였다. 소음측정기기는 Sorina 2 sound level meters(더중(주), Korea)를 사용하였고 연구대상자로부터 1.3 m 거리를 유지한 상태에서 측정하였다(Fig. 3).

4. 분석방법

소음 및 진동 측정은 재료조합별 20세트가 반복측정되었는데 각 세트별 실험은 제자리 뛰기 5회를 3회 반복하여 진행되었다. 데이터는 제자리 뛰기를 5회 실시할 동안 측정된 최댓값을 추출하여 분석에 이용하였고, 각 재료별 3회 반복실험을 진행하였기 때문에

이때 측정된 소음과 진동의 최댓값을 평균하여 분석에 사용하였다. 소음과 진동 측정은 실험이 진행된 층과 그 아래층에서 모두 측정되었고, 측정되어 추출된 평균 데이터는 IBM SPSS Statistics 26.0을 이용하여 분석하였다. 층별 소음과 진동이 재료조합과 연구대상자 연령에 따라 차이가 있는지를 알아보기 위해 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 이때 독립변수는 각 연령, 재료 type으로 선정하여 3(연령별 3수준)×20(재료 type 20수준) 반복측정 분산분석(repeated-measure ANOVA)을 실시하였으며, 종속변수는 소음과 진동 결과로 각각 선정하였다. 또한 주관적 착화감을 측정하기 위해서 착화감에 대한 5점 리커트 척도(매우 편안함, 편안함, 보통, 불편함, 매우 불편함)를 실시하였다.

III. 연구결과

1. 소음에 대한 분산분석 결과

연령별, 재질별 소음에 대한 분산분석 결과 주효과(Main effect)인 연령($p < .01$), 재료($p < .01$)에서 실험 해

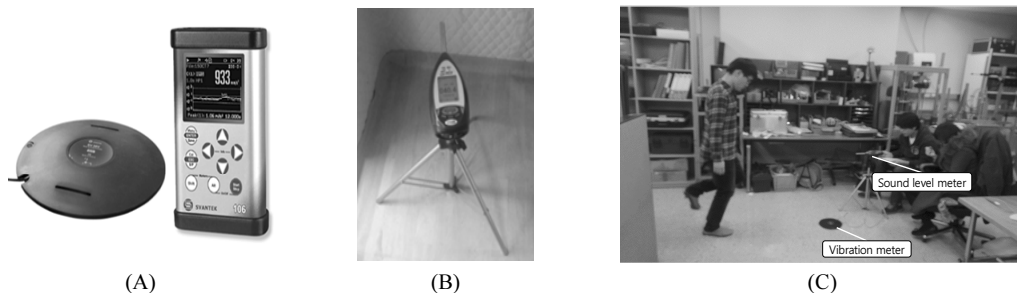


Fig. 3. Equipment used in the experiment and experimental scene (A: vibration device; B: noise measuring device; C: experimental scene).

당층과 그 아래층에서 모두 유의미하게 차이가 나타났다. 또한 교호작용(Interaction effect)에서도 연령×재료($p<.01$)에서 모두 실험 해당층과 그 아래층에서 유의미한 차이가 나타났다(Table 3).

유의미하게 차이가 난 교호작용에 대해서 Bonferroni를 통해 사후분석을 실시하였다. 그 결과, <Fig. 4>에서 보는바와 같이 연령($p<.01$)에 대해서는 모두 유의미하게 차이가 나타났다. 구체적으로 살펴보면 청년 그룹의 경우 소음이 79.9~105.8 dB로 가장 크게 나타났고, 그 다음 청소년 그룹은 64.8~85.6 dB로 청년 그룹보다는 15.0~20.0 dB 정도 소음이 낮은 것을 알 수 있었다. 아동 그룹의 경우에는 52.2~69.6 dB로 소음이 적게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 즉 동일한 동작을 할 때 연령에 따라 소음에 차이가 크게 나는 것을 알 수 있었다. 또한, 조합된 재료에 따라 살펴본 결과, A-B type과 A-C type에서만 다른 type들과 유의미한 차이가 나타났다. 특히 A-C type의 경우 모든 연령에서 79.9 dB(청년 그룹), 64.8 dB(청소년 그룹), 52.2 dB(아동 그룹)로 가장 소음이 낮게 나타났으며($p<.01$), 그 다음으로 A-B type의 경우 모든 연령에서 87.7 dB(청년 그룹), 70.6 dB(청소년 그룹), 57.8 dB(아동 그룹)로 다른 type들과 비교하여 소음이 낮게 나타난 것을 알 수 있었다(p

<.01). 즉, 다른 조합에 비해 발바닥 쪽에는 CR 폼(A type)이 바닥면 쪽에는 EPDM 폼(B type)이나 천연라텍스 폼(C type)이 들어가도록 구성하는 것이 소음이 발생하는 층에서의 소음 감소에 도움이 됨을 알 수 있었다.

또한, 소음이 발생한 아래층에서 측정된 소음 값이 연령과 재료에 따라 차이가 있는지를 Bonferroni를 통해 사후분석을 실시하였다. 그 결과, <Fig. 5>에서 보는바와 같이 연령($p<.01$)에 대해서 모두 유의미하게 차이가 나타났다. 아래층 역시 소음 해당층과 같이 청년 그룹의 경우 소음(55.5~73.5 dB)이 가장 크게 나타났고, 그 다음 청소년 그룹(51.2~68.0 dB), 아동 그룹(41.5~55.8 dB) 순으로 소음이 적게 나타났다. 즉 소음 해당층보다는 약 10.0~30.0 dB의 소음이 낮아졌으나 전체적인 경향성은 동일하게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 조합된 재료에 따라서도 전체적인 소음이 감소하였으며, 해당층과 동일하게 A-B type과 A-C type의 인솔을 신었을 때 다른 재료보다 유의미하게 소음이 감소하는 것을 알 수 있었다.

2. 진동에 대한 분산분석 결과

연령별, 재질별 진동에 대한 분산분석 결과 주효과

Table 3. ANOVA for noise neighbors on independent variable

		Type III sum of squares	df	Mean square	F	p-value
Test site	Age	120894.32	2	60447.16	53136.04	.001
	Material	15373.29	19	809.12	621.26	.001
	Age × Material	533.48	38	14.04	11.72	.001
Lower floor of test site	Age	32908.33	2	16454.17	11658.90	.001
	Material	9203.10	19	484.37	348.21	.001
	Age × Material	158.07	38	4.16	3.59	.001

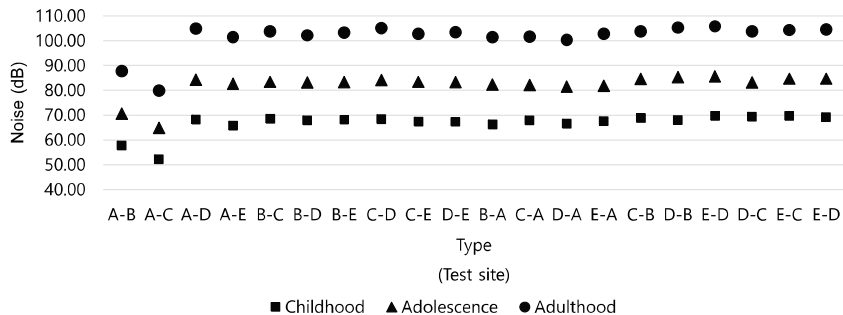


Fig. 4. Bonferroni post-Hoc test for interaction effect on noise (type and age (test site)).

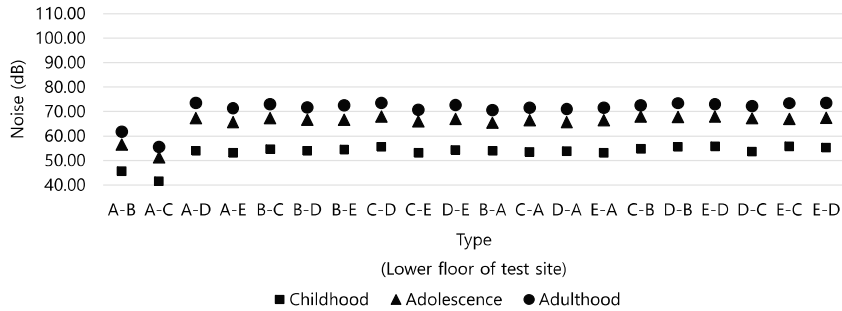


Fig. 5. Bonferroni post-Hoc test for interaction effect on noise (type and age (lower floor of test site)).

인 재료($p < .05$)에서 실험 해당층과 그 아래층에서 모두 유의미하게 차이가 나타났으나 연령에서는 통계적 차이가 나타나지 않았다. 또한 교호작용에서는 연령 \times 재료($p < .05$)에서 모두 실험 해당층과 그 아래층에서 유의미한 차이가 나타났다(Table 4).

유의미하게 차이가 난 교호작용에 대해서 Bonferroni 를 통해 사후분석을 실시하였다. 그 결과, 재료조합별로는 A-B type, A-C type, A-E type에서만 다른 type들과 유의미한 차이가 나타났다(Fig. 6). 구체적으로 살펴보면 A-C type 재료로 조합된 type의 경우 모든 연령에

서 73.2 dB(청년 그룹), 73.2 dB(청소년 그룹), 66.0 dB(아동 그룹)로 가장 진동이 낮게 나타났으며($p < .05$), 그 다음 A-E type의 경우에도 74.8 dB(청년 그룹), 74.4 dB(청소년 그룹), 67.2 dB(아동 그룹)로 다른 type들보다 진동이 낮게 나타난 것을 알 수 있었다($p < .05$). 또한 A-B type의 경우에도 76.0 dB(청년 그룹), 75.5 dB(청소년 그룹), 67.9 dB(아동 그룹)로 다른 조합에 비해 통계적으로 진동이 낮게 나타났다. 즉, 발바닥 쪽에는 CR 폼(A type)이 바닥면 쪽에는 EPDM 폼(B type), 천연라텍스 폼(C type), PU 폼(E type)이 들어가도록 구성하는

Table 4. ANOVA for vibration neighbors on independent variable

		Type III sum of squares	df	Mean square	F	p-value
Test site	Age	1653.34	2	826.67	1.61	.307
	Material	193.51	19	10.19	288.45	.01
	Age \times Material	19.68	38	.52	3.43	.01
Lower floor of test site	Age	2121.38	2	1060.69	.79	.51
	Material	147.53	19	7.77	219.89	.01
	Age \times Material	26.05	38	.69	8.29	.01

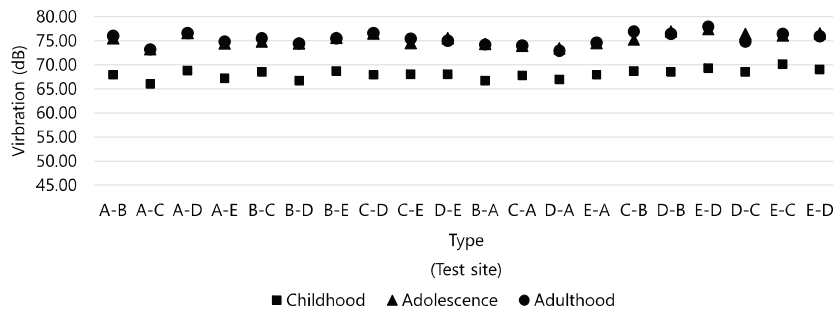


Fig. 6. Bonferroni post-Hoc test for interaction effect on vibration(type and age (test site)).

것이 진동 감소에 도움이 됨을 알 수 있었다.

또한, 소음이 발생한 아래층 역시 해당층과 동일하게 A-B type, A-C type, A-E type의 재료를 인솔에 넣었을 때의 진동이 다른 type들과 유의미한 차이를 보였다(Fig. 7). 재료조합에 따른 진동을 구체적으로 살펴보면 A-C type 재료로 조합된 type의 경우 50.9 dB(청년 그룹), 57.9 dB(청소년 그룹), 53.3 dB(아동 그룹)로 가장 진동이 낮게 나타났으며($p < .05$), 그 다음 A-E type은 52.5 dB(청년 그룹), 58.9 dB(청소년 그룹), 53.9 dB(아동 그룹)로 A-B type의 경우에는 51.8 dB(청년 그룹), 60.1 dB(청소년 그룹), 54.7 dB(아동 그룹)로 다른 조합에 비해 통계적으로 진동이 낮게 나타난 것을 알 수 있었다($p < .05$). 또한 소음이 발생한 아래층에서의 진동을 살펴보면 해당층보다 전체적으로 약 13~24 dB 정도 진동이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 통계적 차이를 보이지는 않았으나, 소음이 발생한 해당층의 경우 아동 그룹의 경우 청소년 그룹과 청년 그룹보다 진동이 전체적으로 낮게 나타났으나 소음이 발생한 아래층에서 측정된 진동은 청소년 그룹의 경우 다른 연령대보다 진동이 높게 나타나는 경향을 보였다.

3. 주관적 착화감에 대한 분석

주관적 착화감에 대한 분산분석 결과 연령과 재료

와의 교호작용은 나타나지 않았으며, 주효과인 재료($p < .01$)에서만 통계적인 차이가 나타났다(Table 5).

유의미하게 차이가 난 재료에 대해서 Bonferroni를 통해 사후분석을 실시하였다. 그 결과, <Fig. 8>에서 보는바와 같이 재료별 모두($p < .05$)에 대해서는 유의미하게 차이가 나타났다. 구체적으로 살펴보면 C type 재료인 천연라텍스 폼이 위로 올라오는 경우에는 만족도가 최고로 낮게 나타났다. 그리고 조합으로는 A-E type, B-A type, E-A type가 높게 나타났다. 주관적 착화감 결과에서는 천연라텍스 폼(C type)이 발바닥 아래에 부착이 될 경우 착화감이 낮아지는 것을 볼 수 있는데 착화감에 대해서는 탄성과 경도가 높을수록 만족도가 높아지는 연구결과가 있다(Kim & Cheng, 2018). 이는 천연라텍스 매트리스에 대한 돌아눕기를 근전도로 평가한 연구에서도 천연라텍스 재질이 경도가 낮아 돌아눕기 동작 시 근육활동도가 높아지고 만족도가 낮게 나온다는 연구결과(Cheng & Kim., 2018)와 같이 경도 및 탄성이 낮아서 만족도가 낮게 나온 것으로 판단된다.

4. 나라별 소음 기준 만족 여부 분석

본 연구에서 제안하는 인솔 제품의 소음 완화 수준을 각 나라별로 비교해보기 위해 선행연구에서 제시하

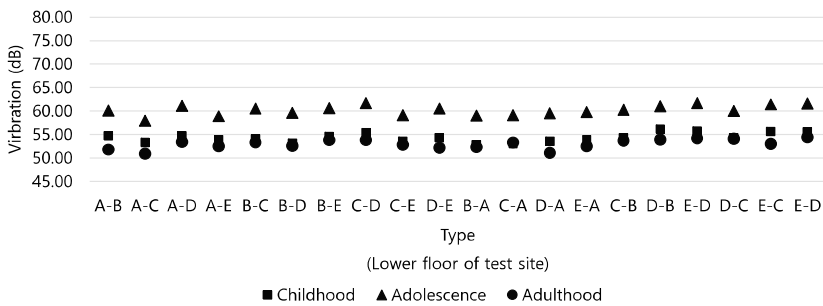


Fig. 7. Bonferroni post-Hoc test for interaction effect on vibration(type and age (lower floor of test site)).

Table 5. ANOVA for Subjective evaluation on independent variable

		Type III sum of squares	df	Mean square	F	p-value
Subjective evaluation	Age	4.013	2	2.007	1.694	.212
	Material	213.858	19	11.256	6.285	.000
	Age × Material	53.987	38	1.421	.888	.662

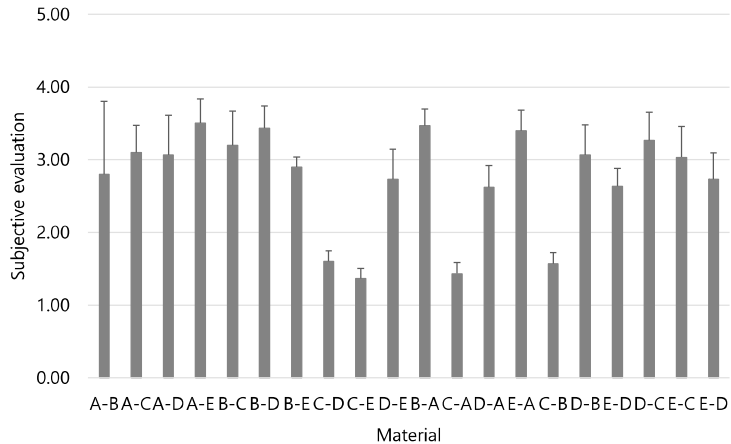


Fig. 8. Bonferroni post-Hoc test for main effect on subjective evaluation.

고 있는 유럽 국가들의 소음 기준(Park, 2014)을 <Table 6(a)>에서 보는 바와 같이 정리하였다. 각 국가별 기준을 살펴보면 일본을 제외하고 18개국 모두 소음 기준은 50 dB 이상이었으며, 이에 대한 법적 조치는 일본을 포함하여 19개국 모두 권고사항(Recommended)으로 하고 있다. 반면 대한민국은 최근 소음 기준을 43 dB로 낮추었으며 이를 입법화하고 있으므로 층간소음을 감소화 하는 노력이 매우 중요하다.

재료조합에 따른 본 실험 결과, 발바닥 쪽에 CR 폼(A type)을 바닥면 쪽에는 천연라텍스 폼(C type)으로 된 2 cm의 인솔을 넣은 경우 해당층과 아래층에서의 소음과 진동이 가장 낮게 나타남을 알 수 있었다. 특히 대한민국에서 소음을 측정하는 위치인 아래층의 소음 값은 A-C type의 인솔을 착장한 경우 청년 그룹은 55.5 dB, 청소년 그룹은 51.2 dB, 아동 그룹은 41.58 dB로 나타났다(Table 6(b)).

본 연구에서 개발된 인솔을 착용하고 제자리 뒹굴음을 했을 경우 발생하는 소음 값을 각 나라별 소음 기준과 비교한 결과 몇 나라를 제외하곤 대부분의 유럽 국가들이 제시하고 있는 소음 기준(Park, 2014; Park et al., 2013)에서 만족하는 수준을 나타내고 있었다. 특히 오스트리아, 일본, 대한민국을 제외하고는 아동 그룹과 청소년 그룹의 경우는 기준을 모두 만족하고 있었다. 또한 총 20개국 중 10개국에서는 청년 그룹이 뒹굴음을 했을 경우 발생하는 소음 값 역시 만족하고 있었다. 물론 우리나라에서 제시하는 있는 43 dB 기준에서 보면, 아동 그룹의 발바닥 쪽에 CR 폼(A type), 바닥

면 쪽에 천연라텍스 폼(C type)으로 된 2 cm의 인솔을 신었을 때에만 평균 소음이 41.5 dB로 대한민국의 규정을 만족함을 알 수 있었다. 그러나 청소년 그룹이나 청년 그룹의 경우 51.2 dB과 55.5 dB로 바닥소음 기준보다 조금 높기 때문에 뒹 때의 소음을 방지하기 위해서는 2 cm보다는 조금 더 두껍게 인솔을 제작하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 그러나 청년 그룹 이상의 경우 실내에서 뛰는 경우가 거의 없으므로 본 연구에서 제안한 A-C type의 인솔로 된 실내화만으로도 충분히 걸을 때 발생하는 소음을 방지하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 층간소음 저감 및 진동을 저감할 수 있는 재료를 발굴하여 그 효과를 검증하는데 있다. 이를 위해서 층별(소음 해당층, 아래층), 연령(아동 그룹, 청소년 그룹, 청년 그룹), 재료별(5가지 재료를 조합한 총 20세트)로 구분하여 실험을 진행하였고 이때의 진동과 소음을 측정하여 분석하였다. 연구결과는 아래와 같다.

첫째, 소음이 발생한 해당층과 아래층의 소음을 측정된 결과 아래층이 해당층보다 약 10~30 dB 정도 적게 나타났으나 그 경향성은 유사하게 나타났다. 연령별 차이를 살펴보면 청년 그룹, 청소년 그룹, 아동 그룹 순으로 소음이 낮은 것을 알 수 있었고, 인솔의 재료조합별 차이를 살펴보면 발바닥 쪽에는 CR 폼(A type)이

Table 6. Base score for noise between floors by counties

Country	Base score (a)	control	Results of this study (A-C type) (b)	Satisfaction
Korea	43	By law		0: Under age nine X: Teenage X: Twenty
Japan	48	Recommended		0: Under age nine X: Teenage X: Twenty
Austria	50	Recommended		0: Under age nine 0: Teenage X: Twenty
Estonia, Finland, France, Germany, Italy, Norway	53	Recommended		0: Under age nine 0: Teenage X: Twenty
Netherlands	54	Recommended	Under age nine : 41.50 dB Teenage : 51.20 dB Twenty : 55.50 dB	0: Under age nine 0: Teenage X: Twenty
Spain	56	Recommended		0: Under age nine 0: Teenage 0: Twenty
UK	57	Recommended		0: Under age nine 0: Teenage 0: Twenty
Denmark, Ireland, Litvia, Poland Slovakia, Sweden	58	Recommended		0: Under age nine 0: Teenage 0: Twenty
Portugal, Russia	60	Recommended		0: Under age nine 0: Teenage 0: Twenty

0: (a)-(b)>0

X: (a)-(b)<0

Adapted from Park (2014). <https://library.kei.re.kr>; Park et al. (2013). <https://library.kei.re.kr>

바닥면 쪽에는 EPDM 폼(B type)이나 천연라텍스 폼(C type)이 들어가도록 구성된 A-B type과 A-C type이 소음 감소에 도움이 됨을 알 수 있었다. 특히 CR 폼(A type)과 천연라텍스 폼(C type)으로 조합된 A-C type의 인솔이 가장 큰 소음 감소를 보였다.

둘째, 진동을 측정할 결과를 살펴보면 해당층과 아래층 모두 연령에 따라서는 차이를 보이지 않았으나 아동 그룹의 경우 진동이 가장 낮게 나타남을 알 수 있었다. 재료조합별 차이를 살펴보면 발바닥 쪽에는 CR 폼(A type)이 바닥면 쪽에는 EPDM 폼(B type), 천연라텍스 폼(C type), PU 폼(E type)이 들어가도록 구성된 A-B type과 A-C type, A-E type이 진동 감소에 도움이 됨을 알 수 있었다. 특히 진동 역시 A-C type의 인솔을

착장하였을 때 진동이 가장 낮은 것을 알 수 있었다.

이러한 재료특성별 결과는 낙상보호팬츠의 패드 재료에 대한 충격흡수성능을 연구한 선행연구(Park et al., 2016) 결과와도 일치하는데, 이 연구에서는 CR 폼(A type), EVA 폼(D type), EPDM 폼(B type) 등의 충격흡수성능을 실험하였는데, CR 폼(A type)이 가장 우수하였고 그 다음 EPDM 폼(B type)으로 나타났다. 반면 EVA 폼(D type)의 충격흡수성능이 가장 좋지 않게 나타났다. 물론 본 연구에서는 재료를 조합하여 실험이 진행되었기 때문에 선행연구와 완전하게 일치하지는 않지만 충격흡수성능이 매우 우수한 CR 폼(A type)이 발바닥 쪽으로 놓이고 그 아래에 충격흡수성능이 우수한 것으로 생각되는 EPDM 폼(B type), 천연라텍스

폼(C type), PU 폼(E type)이 바닥면으로 놓여 조합된 경우 진동과 소음 감소에 도움을 주는 것을 알 수 있었다. 반면 반대로 EPDM 폼(B type), 천연라텍스 폼(C type), PU 폼(E type)이 발바닥 쪽으로 배치된 B-A type, C-A type, E-A type의 경우 진동과 소음 감소에 큰 효과를 보지 못하였다. 이러한 이유는 Shimazaki et al.(2016)의 연구결과에서 찾을 수 있는데 신발에 사용 가능한 충격흡수율이 우수한 EVA 폼(D type)을 구성할 때 단일 폼보다는 라미네이트 폼이, 라미네이트 구성 시 Bottom보다 Up에 충격흡수율이 좋은 소재를 사용하는 것이 충격흡수에 더 효과적이라는 연구결과와도 일치하는 것으로 보인다. 즉, 충격흡수성능이 우수하다고 알려진 CR 폼(A type)이 가장 상단에 위치된 경우(A-B type, A-C type, A-E type) 소음과 진동 감소효과가 나타난 것으로 사료된다. EPDM 폼(B type)과 PU 폼(E type)의 충격흡수효과의 뛰어난 것은 Kang et al.(2009)의 연구에서도 증명되었다.

연령에 따른 소음에서는 아동 그룹보다 청소년 그룹과 청년 그룹이 더 많은 소음이 발생할 수 있는 것으로 나타났으나, 진동에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. Jeong & Jeon(2005)과 Kim et al.(2005)이 보고한 결과를 보면 아이들 땀이나 발걸음으로 발생하는 것은 바닥충격음이 주된 요인이고, 바닥충격음을 발생시키는 뱅머신(Bang machine)도 아이들 땀이나 발걸음과 비슷한 충격음을 발생한다고 하였다. 그러므로 층간소음은 충격소음으로 인한 전파력이 강하다는 것을 의미하며, 바닥 진동에 의해서는 층간소음 전파력은 낮은 것으로 판단된다. 따라서 층간소음 방지용 제품에 대한 평가를 수행할 경우 진동 측정보다는 소음 측정이 더 중요할 것으로 생각된다. 본 연구에서 측정된 연령별 소음을 보면 청년 그룹, 청소년 그룹, 아동 그룹 순으로 높게 나타났다. 이는 몸무게가 증가함에 따라 보폭과 속도가 증가하는 경향(상관계수 0.25, $p < .05$)이 있다는 선행연구(Kim et al., 2021) 결과를 생각하면, 상대적으로 몸무게가 높은 그룹에서 보폭의 속도가 증가하므로 소음이 높게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 제안하는 A-C type(CR 폼과 천연라텍스 폼의 조합)의 2 cm 인솔은 아동기의 그룹(평균 몸무게 28.00±1.00 kg)에는 적당하였으나 그 이상으로 몸무게가 나가는 사용자를 위해서는 다른 대안책이 필요할 것이다. TPU 소재의 내부 밀도와 두께에 따른 충격실험 결과를 살펴보면(Lee & Lee, 2017)

내부의 밀도가 클수록 재료의 두께가 두꺼울수록 충격흡수성능이 우수하다고 하였다. 즉, 몸무게 28.00 kg의 이상인 사용자를 위해서는 두께를 2 cm보다 더 두껍게 하거나 내부 밀도가 더 높은 재료를 사용하여 인솔을 제작하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 그러나 청년 그룹 이상의 경우 실내에서 뛰는 경우가 거의 없으므로 본 연구에서 제안한 A-C type의 인솔로 된 실내화만으로도 충분히 걸을 때 발생하는 소음을 방지하는데 도움이 될 것으로 사료된다. 50 dB을 넘는 수준의 소음은 불쾌감, 짜증, 양수막 조기파열, 말초혈관 수축, 부신피질 호르몬의 감소, 호흡, 맥박수 증가 등 다양한 양상을 보일 수 있다(Suh & Kim, 2016). 그러므로 본 연구에서 제안하는 재질을 이용하여 깔창이 부착된 양말이나 덧신, 실내화 등을 만들어 아이들에게 착용시킨다면 층간소음으로 발생하는 스트레스가 낮아지고 생리학적인 균형을 찾아 좀 더 쾌적한 주거 문화를 만들어 갈 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서는 각 재료별 기본적인 물리적 특성인 밀도, 인장강도, 신장률, 반발탄성과 충격흡수량만을 측정하였다. 그러므로 각 재료별 압축탄성, 굽힘강도와 같은 물성을 추가로 측정할 뿐 아니라 조합된 인솔별 다양한 물리적 특성을 측정하여 소재조합에 따른 물성의 변화분석이 필요할 것이다. 또한 이 결과를 소음량과 비교하여 재료별과 재료조합별 소음량을 예측하는 알고리즘을 개발하는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 추후 본 연구에서 실험한 방법을 응용하여 소파나 침대에서 뛰어내리는 충격량 및 소음을 완화하기 위한 후속 연구가 함께 이루어진다면 층간소음용 실내화 개발뿐 아니라 다양한 제품 개발에 활용이 가능할 것으로 생각된다.

1. 사사

해당사항 없음

2. 연구윤리

해당사항 없음

3. 데이터 및 자료 가용성

해당사항 없음

4. 이해관계 상충

해당사항 없음

5. 연구비 지원

해당사항 없음

6. 저자의 기여

SM, HL은 실험 설계 및 실험, 데이터 분석, 실험 결과논의, 원고 작성을 함께 담당하였고, 모든 저자는 최종 원고를 읽고 승인하였음.

7. 저자 정보

민승남 동양대학교 스마트안전시스템학부, 조교수
이희란 금오공과대학교 소재디자인공학과, 조교수

References

- ASTM International. (2010, December 31). ASTM D1622-08 Standard test method for apparent density of rigid cellular plastics. *ASTM International*. Retrieved from <https://www.astm.org/d1622-08.html>
- ASTM International. (2019, December 17). ASTM D2632-15 (2019) Standard test method for rubber property—Resilience by vertical rebound. *ASTM International*. Retrieved from <https://www.astm.org/d2632-15r19.html>
- ASTM International. (2021, June 25). ASTM D412-16(2021) Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers—Tension. *ASTM International*. Retrieved from <https://www.astm.org/d0412-16r21.html>
- Back, I. S. (2020, February 27). 층간소음분쟁 80% 폭증...코로나 공포에 '집콕' 때문? [80% increase in noise dispute between floors...is it because of 'staying at home' due to Corona fear?]. *KBS NEWS*. Retrieved from <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4389603>
- Cheng, H.-I., & Kim, Y.-H. (2018). 매트리스 종류에 따른 들아눕기 자세의 근전도 분석 [Electromyography analysis of the lying position according to the type of mattress]. *Proceedings of Spring Conference of the Ergonomics Society of Korea and the 20th Korea · Japan Joint Symposium, Korea*, 310–311.
- Cheshire, L., Fitzgerald, R., & Liu, Y. (2019). Neighbourhood change and neighbour complaints: How gentrification and densification influence the prevalence of problems between neighbours. *Urban Studies*, 56(6), 1093–1112. doi:10.1177/0042098018771453
- International Organization for Standardization. (1997, May) ISO 2631-1:1997 Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements. *ISO*. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/7612.html>
- Jeong, J. H., & Jeon, J. Y. (2005). Floor impact noise measurement and evaluation method using impact ball. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 15(10), 1160–1168. doi:10.5050/KSNVN.2005.15.10.1160
- Jo, J.-H. (2013). 공동주택 층간소음 관련 제도개선 방향 [Directions for improving the system related to noise between floors in apartment houses]. *Journal of KSNVE*, 23(3), 9–12.
- Kang, D.-H., Seo, M.-Y., Gimm, H., & Kim, T.-W. (2009). Determination of shock absorption performance and shear modulus of rubbers by drop impact test. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, 33(4), 321–328. doi:10.3795/KSME-A.2009.33.4.321
- Kim, G.-H. (2013). 천장구조 개선을 통한 층간소음 저감 [Reduction of noise between floors by improving the ceiling structure]. *Journal of KSNVE*, 23(3), 26–29.
- Kim, K.-W., Choi, G.-S., Jeong, Y.-S., & Yang, K.-S. (2005). Impact power characteristics as behavior of real impact source (Child). *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 15(5), 542–549. doi:10.5050/KSNVN.2005.15.5.542
- Kim, K.-w., Yeon, J.-o., & Yang, K.-s. (2013). Floor impact sound reduction properties of flooring mats. *Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Fall Conference, Korea*, 190–192.
- Kim, S., Song, M., & Ryu, J. (2021). The development of new heavy-weighted impact source by analysis of children's running in dwelling. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 31(5), 486–494. doi:10.5050/KSNVE.2021.31.5.486
- Kim, Y.-H., & Cheng, H.-I. (2018). A Comparative study on body pressure and subjective comfort for the mattress forms. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 37(1), 75–82. doi:10.5143/JESK.2018.37.1.75
- Korea Environment Corporation. (2020, April 28). 층간소음 이웃사이센터 2020년 1분기 운영결과 [Operation results of the inter-floor noise neighborhood center Q1 2020]. *National Noise Information System*. Retrieved from <https://www.noiseinfo.or.kr/notice/datadetail.do?boardNo=239>
- Korean Agency for Technology and Standards. (2010). 6차 인체치수조사 (2010~14) [6th Body size measurement (2010~14)]. *Size Korea*. Retrieved from <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=6>
- Lee, B.-C., & Park, C.-H. (2016). Construction is easy inter-layer noise prevention hot water heating system research. *Proceedings of Korea Society of IT Services, Fall Conference, Korea*, 421–424.
- Lee, H., & Lee, Y. (2017). Evaluation of physical properties of thermoplastic polyurethane(TPU) for protector development. *Proceedings of Korean Association of Human Ecology, Winter Conference, Korea*, 116–117.
- Lee, J. Y. (2020, August 28). 아파트 1129만 채로 4.3% 늘어... 전체 주택의 62.3% [11.29 million apartments, up 4.3%...

- 62.3% of all housing units]. *KBS NEWS*. Retrieved from <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4527410>
- Lee, J. Y., Park, C. H., & Kim, D. (2002). 신발에 사용되는 고분자재료 [Development trend of polymer modification for shoe]. *Polymer Science and Technology*, 13(4), 447–452.
- Lee, S. C., Kim, J. H., & Hong, J. Y. (2019). Characterizing perceived aspects of adverse impact of noise on construction managers on construction sites. *Building and Environment*, 152, 17–27. doi:10.1016/j.buildenv.2019.02.005
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2019, April 15). 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준 [Criteria for recognition and management of floor impact sound blocking structure in apartment houses]. *Korean Law Information Center*. Retrieved from <https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000177697>
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2023, January 2). 공동주택 층간소음의 범위와 기준에 관한 규칙 [Rules on the scope and standards of noise between floors in condominiums]. *Korean Law Information Center*. Retrieved from <https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9%EA%B3%B5%EB%8F%99%EC%A3%BC%ED%83%9D%EC%B8%B5%EA%B0%84%EC%86%8C%EC%9D%8C%EC%9D%98%EB%B2%94%EC%9C%84%EC%99%80%EA%B8%B0%EC%A4%80%EC%97%90%EA%B4%80%ED%95%9C%EA%B7%9C%EC%B9%99>
- Mun, D.-H., Song, G.-G., Lee, C.-S., & Park, H.-G. (2014). Reduction of floor impact noise and impact force for PVC floor covering and floor mat. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 24(7), 501–508. doi:10.5050/KSNVE.2014.24.7.501
- Park, J. H., Lee, J. S., & Lee, J. R. (2016). Characteristic evaluation of impact absorption materials for the development of fall impact protective pants. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 40(3), 495–505. doi:10.5850/JKSCT.2016.40.3.495
- Park, Y. M., Kang, K. K., Cho, Y. H., Kim, K. M., & Park, J. H. (2013). A basic study on apartment floor noise management (No. 2013-13). *Korea Environment Institute*. Retrieved from https://library.kei.re.kr/dmme/img/001/012/002/%EA%B8%B0%EC%B4%882013_13_%EB%B0%95%EC%98%81%EB%AF%BC.pdf
- Park, Y. M., Kang, K. K., Sun, H. S., & Kim, K. M. (2014). A study on management plan for conflict mitigation of apartment noise (No. 2014-17). *Korea Environment Institute*. Retrieved from https://library.kei.re.kr/dmme/img/001/009/005/%ea%b8%b0%eb%b3%b82014_17_%eb%b0%95%ec%98%81%eb%af%bc.pdf
- Shimazaki, Y., Nozu, S., & Inoue, T. (2016). Shock-absorption properties of functionally graded EVA laminates for footwear design. *Polymer Testing*, 54, 98–103. doi:10.1016/j.polymertesting.2016.04.024
- Stansfeld, S., Haines, M., & Brown, B. (2000). Noise and health in the urban environment. *Reviews on Environmental Health*, 15(1-2), 43–82. doi:10.1515/REVEH.2000.15.1-2.43
- Suh, J., & Kim, J. K. (2016). 공동주택현황과 층간소음문제 [Current status of apartment houses and noise between floors]. *The Rubber Society of Korea*, 17(1·2), 34–50.
- van Kamp, I., & Davies, H. (2008). Environmental noise and mental health: Five year review and future directions. *Proceedings of 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*. Retrieved from http://icben.ethz.ch/2008/PDFs/van_Kamp_Davies.pdf