

다양한 충격원에 대한 바닥충격음 주관반응 평가항목 분석

Subjective response evaluation items for floor impact noise using various impactors

박현구,^{1†} 이선화,² 송민정³

(Hyeon-Ku Park,^{1†} Seonhwa Lee,² and Minjeong Song³)

¹송원대학교 건축공학과, ²광신대학교 복지상담융합학부, ³전남대학교 바이오하우징연구소

(Received September 4, 2023; accepted October 10, 2023)

초 록: 본 연구는 실제 생활시 주거 건물에서 발생하는 바닥충격음과 유사한 반복적인 충격원을 개발하려 시도하고, 이렇게 개발되는 새로운 충격원에 대응하는 평가 방법을 찾기 위해 수행되었다. 새로운 충격원을 개발해야 하는 필요성은 실제 주거 건물에서의 바닥충격음과 관련된 문제가 주로 어린이의 뛰는 소리에서 비롯되기 때문이다. 그러나 바닥충격음을 측정하고 평가하는 데 사용된 표준 충격원은 단일 충격 형태로, 실제 생활에서 문제가 되는 충격원과 다른 특성을 가진다. 연구를 위해 18개의 평가 항목을 도출하였으며, 항목에 대한 설문조사 및 청취실험을 통해 바닥충격음을 평가하는 데 적용 가능한 항목으로 심리적 영향(신경쓰임, 화가 남), 일상 생활 방해(수면 방해, 휴식 방해) 및 생리적 영향(혈압 상승) 항목을 제시하였다. 이들 항목은 개별적으로 활용될 수 있으며, 바닥충격음 평가의 유형에 따라 선택적으로 활용할 수도 있다. 이를 통해 실험실에서 청취 실험의 포괄적인 평가나 바닥충격음과 관련된 주거 환경에서의 소음 평가를 더 체계적으로 수행할 수 있을 것이다.

핵심용어: 주관반응, 실제 충격소음, 표준충격원, 평가항목

ABSTRACT: This study attempted to develop repetitive impact sources similar to real-life floor impact noise and to find an assessment approach corresponding to this new impact source. The necessity for the development of the new impact source arises from the fact that issues related to floor impact noise in actual residential buildings mainly stem from children running. However, the standard impact sources which have been used for measuring and evaluating floor impact noise are of single-impulse type, which differs from the actual problematic impact sources. The study encompassed 18 evaluation items, and the results suggest that items applicable for assessing floor impact noise include psychological effects (annoying, becoming angry), disturbances to daily life (interference with sleep, disruption of relaxation), and physiological effects (elevated blood pressure). These items can be employed individually and, depending on the type of evaluation for floor impact noise, can be selectively utilized. By doing so, more comprehensive evaluations of auditory experiments in laboratories or assessments of residential noise in living environments related to floor impact noise could be conducted.

Keywords: Subjective response, Real-life impact noise, Standard impact source, Evaluation item

PACS numbers: 43.50.Qp, 43.66.Lj

I. 서 론

현재 우리나라에서 바닥충격음 측정에 사용되고 있는 표준충격원은 태핑머신과 임팩트볼(고무공)

이다. 이들 충격원은 각각 유럽과 일본에서 국가의 생활 특성을 반영하여 고안된 것이었고, 후에 표준화되어 국제적으로 사용되어 오고 있다. 한편, 우리나라의 층간소음 중 가장 문제가 되는 소음은 어린

†Corresponding author: Hyeon-Ku Park (hyeonkupark@gmail.com)

Department of Architectural Engineering, Songwon University, 73 Songam-ro, Nam-gu, Gwangju 61756, Republic of Korea

(Tel: 82-62-360-5550, Fax: 82-62-360-5953)



Copyright©2023 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.

이가 달리거나 걷는 소음으로 나타났는데, 이들 소음은 표준충격원의 발생특성과는 다르다는 원론적인 문제가 있다(환경부, 보도자료, 공동주택 층간소음 생활 불편 줄인다, 2022.08.23).

바닥충격음 경량표준충격원은 우리나라에서 사용 상 큰 문제가 되지 않은데, 그 이유는 충격력은 크고 시끄럽게 나타나지만, 해결방안이 중량충격원에 비해 상대적으로 쉽기 때문에 충격원의 문제가 크게 부각되지 않는다. 반면 중량표준충격원에 초점을 맞춰보면, 실생활에서 문제가 되는 소음은 달리거나 걷기에 의해 발생하는 연발성 소음이지만 표준충격원은 발생 특성이 단발성이고 실생활의 충격원에 비해 과도하게 높은 특징이 있다. 바닥충격음을 저감하기 위해서는 대상소음에 대해 차단기술을 개발하는 것이며, 지금까지의 중량충격음에 대한 기술의 개발은 단발성인 표준충격원을 대상으로 이루어졌다.^[1] 이는 기술개발에 있어 근본적인 문제점을 가질 수 있으며, 개발의 방향이 옳은지에 대한 검토가 필요한 사항이다. 우리나라는 표준중량충격원이 임팩트볼로 변경되기 전까지 뱅머신(타이어)를 사용하여 기술개발을 해 왔는데, 타이어는 매우 과도한 충격력을 가졌으며, 이에 비해 임팩트볼은 충격력은 점프할 때의 충격력과 비슷하고 주파수 특성 또한 유사하게 나타났다.^[2] 그럼에도 불구하고 임팩트볼은 단발성이며, 이는 실제 문제가 되는 연발형 충격원과는 발생특성이 달라 원론적 관점에서 실생활의 특성을 잘 재현할 수 있는 충격원의 개발이라는 새로운 시도가 필요한 상황이다.

효과적인 저감기술의 개발을 위해서는 실제 소음과 유사한 특성을 갖는 연발형 충격원을 사용하는 것이 필요하다고 판단된다. 또한, 지금까지 바닥충격음 저감기술의 평가는 뱅머신, 임팩트볼과 같은 단발성 충격원에 대한 것이었기 때문에, 실제 충격원의 특성인 연발형 충격원에 대해 기존 평가방법이 적절한지에 대한 검토와 더 고려되어야 할 평가방안에 대한 검토

가 필요하다. 이러한 필요성에 의하여 본 연구는 실생활에서 문제가 되는 연발형 충격원을 개발하고, 개발된 충격음에 대한 평가를 통해 새롭게 고려되어야 할 평가항목과 실제 바닥충격 상황을 반영한 음원의 개발 및 사용 방안을 찾는 데 목적이 있다.

II. 연구의 내용 및 방법

소음에 대한 평가방법을 연구하기 위해서는 사람들의 주관반응 분석하고, 주관평가결과와 소음의 물리적 측정값을 비교, 분석하는 과정을 거치게 된다. 본 연구에서 추진하는 중량충격음은 실제 거주현장에서 가장 문제가 되는 연발형 소음을 음원으로 하여 주관반응을 평가하고 기존의 표준충격원과 비교하는 것이다. 주관반응 평가를 위해 거주민들의 피해항목을 조사하는 것을 시작으로 하여, 피해항목에 대한 피해정도를 평가함으로써 차이를 분석하고자 하였다.

지금까지의 소음에 대한 주관반응 평가는 주로 성가심/신경쓰임(Annoyance), 시끄러움(Noisiness) 및 크기(Loudness) 정도에 대해 실시하고 있으며, 바닥충격음은 거의 유사한 결과를 보임에 따라 대표적으로 성가심에 대한 항목으로 대표하기도 한다.^[3-5] 그럼에도 불구하고 여기에서 피해항목을 정리하고 층간소음에 대한 평가를 다양하게 진행하는 것은 기존의 평가항목이 실제충격원과 표준충격원에 대해 다른 수준의 평가를 보이고 있는 것^[6]과 현재 우리 사회에 문제가 되는 층간소음이 단순히 성가심의 의미를 넘어 복합적인 현상을 보여주는 것이라 생각하기 때문이다.

본 연구에서는 선행연구에서 수행된 다양한 평가방법을 조사, 분석하고 각 연구에서 활용된 방법과 평가항목을 정리하여 최대한 다양한 항목들을 수집하는 데서 출발하였다. 이후 항목들의 중복성을 배제하고 활용가능성에 대한 검토를 통해 최종적으로 실험에 활용할 평가항목을 결정하였다(Fig. 1 참조).

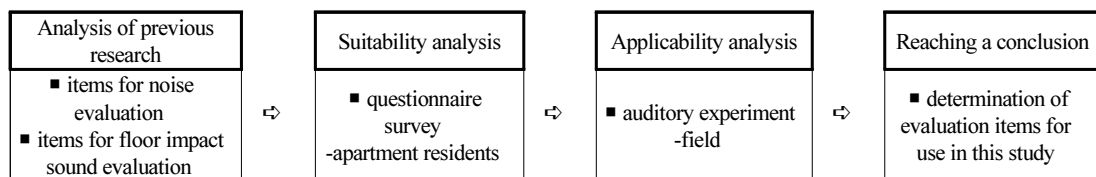


Fig. 1. Deriving process of subjective evaluation items.

III. 바닥충격음에 대한 주관반응 평가항목 도출

바닥충격음은 주거환경소음으로 분류할 수 있으며 더 넓게는 환경소음의 범주에서 살펴볼 수 있지만, 바닥충격음이 구조체 전달소음의 특성을 고려하면 이들 소음과 긴밀하게 관련성을 가지는 면도 있을 수 있고, 그렇지 않은 특별한 성격을 가질 수 있다.

세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 정기적으로 환경소음에 대한 가이드라인을 제시하고 있으며, 2018년 보고서에 따르면 환경소음과 대응하는 중요한 건강상의 항목을 다음과 같이 제시하고 있다.^[7]

- 심혈관 질환 Cardiovascular disease
- 성가심 Annoyance
- 수면에 미치는 영향 Effects on sleep
- 인지 기능 저하 Cognitive impairment
- 청력 저하 및 이명 Hearing impairment and tinnitus

여기에서 WHO는 ‘건강은 질병이나 불평 등의 부재 뿐만 아니라 완전한 육체적, 정신적 및 사회적 웰빙 상태를 말한다(WHO, 1946)’는 정의를 통해 건강의 의미가 넓은 의미로 사용됨을 보여준다.

중량충격음을 대상으로 하는 바닥충격음 주관반응 평가 연구는 주로 우리나라, 일본에서 활발하게 이루어졌다. 우리나라의 초기 연구는 주로 Kim *et al.*^[3]에 의해 진행되었으며, 1993년 연구에서 3개의 평가항목을 사용하여 크기, 시끄러움 보다는 신경쓰인다는 표현이 적절함을 제시하였다. 또한 연발충격원이 단발충격원에 비해 심리적 부담감이 높게 나타나는 점을 확인하였다. 이후 Song *et al.*^[8]은 바닥충격음 평

가어휘 연구를 통해 중량충격음의 경우 평가어휘가 경량충격음에 비해 다양하게 나타나며, ‘신경쓰인다’가 가장 적당하다고 제안하였다. 그 외에도 ‘거슬린다’, ‘싫다’ 등과 더불어 ‘짜증스럽다’, ‘방해된다’ 등이 높은 득점값을 보여 다양한 평가항목을 활용할 수 있음을 보여주고 있다.

Jeong과 Jeon^[2]은 표준충격음과 실제음원의 비교 연구를 통해 annoyance를 평가하였으며, 심리음향 파라미터를 사용하여 loudness, unbiased annoyance가 annoyance 반응을 가장 잘 표현함을 제시하였다. 특히 실제발생충격음은 표준중량충격음과 음압레벨 특성은 유사하나 시간적 변화 특성을 고려해야 함을 제안하고 있다. Jeong과 Lee^[9]은 층간소음의 일상생활 방해 정도를 평가하였으며, 수면, 휴식, 대화, 집중 등에 미치는 영향을 분석하였다. 최근 Kim *et al.*^[10]은 층간소음의 주관평가에 영향을 미치는 비음향적 요소에 대하여 논문을 발표하였으며, 신경쓰임에 얼마나 영향을 미치는지를 정량적으로 판단하였다. 이와 같이 대부분의 연구가 세 가지 평가항목(크다, 시끄럽다, 신경쓰인다)을 사용하여 층간소음 주관반응을 평가하고 있으며, 저감기술의 저감량 평가에도 활용하고 있다.

이상을 종합하여 볼 때, 층간소음에 대한 주관반응을 평가하는 것은 적용하는 음원이 실제 충격원임을 고려할 때, 지금까지 단발 충격원으로 인해 고려하지 못한 항목이 있는건 아닌지 다양한 평가항목을 사용하여 확인할 필요가 있다. 또한 지금까지 대표적으로 사용해 온 ‘신경쓰임’ 항목이 실제 충격원을 모사한 연속충격원에 대해서도 활용이 가능한지에 대해 다양하게 살펴볼 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 지금까지 바닥충격음 평가에 주로 사용되어 왔던 심리적 평가 항목과 더불어

Table 1. Subjective evaluation items for floor impact sound.

Damage	Physiological damage	Psychological damage	Life disturbance
Detailed item	There is an issue with the heart. There is a problem with blood pressure. There is an issue with blood circulation. There is a problem with breathing rate. There is an issue with heart rate. Headache occurs.	Annoying Noisy Getting angry Feeling stressed	Disturbed during reading. Disturbed while watching TV. Disturbed in family life. Disturbed during tasks (work) at home. Disturbed during conversation. Disturbed during rest. Disturbed sleep (difficulty falling asleep). Disturbed sleep (waking up from sleep).

WHO에서 제시하고 있는 건강과 관련된 항목 및 다양한 주거생활을 고려하여 생활방해를 평가하는 항목을 포함하여 항목으로 도출하였다(Table 1).

IV. 평가항목의 적합성 분석

앞에서 바닥충격음 주관반응 평가를 위한 항목을 정리하였으며, 설문조사를 통해 공동주택 거주자를 대상으로 평가 항목이 바닥충격음과 얼마나 관련성을 갖는지 그 적합성을 조사하였다. 조사는 2022년 10월 1개월간이었으며, 광주광역시 내 공동주택 거주자를 대상으로 하였다. 설문지는 직접 배포하여 회수하였으며, 350부 배포 후 회수한 결과 분석에 활용가능한 유효응답지는 300부(85.7%)였다. 설문조사의 구성 내용은 Table 2와 같다.

설문조사 결과 중 응답자의 인구통계학적 속성으로 개인속성과 거주속성의 변인들에 대한 빈도와 비율은 Table 3과 같이 집단별 분포가 비교적 균형을 잘 이루고 있는 것으로 판단된다. 이들 변인은 통계적 방법을 사용하여 평가항목과의 유의성을 분석하였다. 그 결과 성별 차이는 없는 것으로 나타났으며(독립표본 T검정, $p > .05$), 연령별 차이는 통계적으로 유의하게 나타났다(일원배치 분산분석, $p < .005$). 특히 층간소음 민감도는 통계적으로 유의하게 나타났으며(일원배치 분산분석, $p < .001$), 민감도가 높을수록 큰 것으로 나타났다. 거주기간은 대부분 10년 이상 공동주택에 거주하고 있으며, 주택 내 생활시간인 대체적으로 9h 이상으로 나타나 바닥충격음에 대한 관심을 충분히 가질 수 있는 것으로 판단된다.

바닥충격음에 대한 평가항목의 적합성을 도출하

Table 2. Composition and content of the questionnaire.

No.	Category	Survey content	Method
1	personal attributes	gender, age, education level, personality traits, sensitivity to noise, neighbour intimacy	selective
2	residential attributes	residency duration, living hours in residence	free description
3	degree of damage due to floor impact noise	psychological damage, disturbance of life, physiological damage	rating scale

기 위해 평가항목의 평균값을 비교하였다(Table 4). 층간소음에 대한 피해/방해 항목과 관련된 심리적

Table 3. General attributes of respondents.

Category	Variables	Group	Freq.	Pct. (%)
personal attributes	gender	male	117	39.1
		female	182	60.9
		subtotal	299	100.0
	age	less than 30 s	74	24.7
		40 s	67	22.3
		50 s	100	33.3
		more than 60 s	59	19.7
		subtotal	300	100.0
	sensitivity to noise	not at all ~ not much	62	20.7
		somewhat ~ relatively	174	58.0
quite ~ extremely		64	21.3	
residential attributes	residency duration	less than 10 years	67	22.4
		10 ~ 15 years	83	27.8
		16 ~ 24 years	77	25.8
		more than 25 years	72	24.1
		subtotal	299	100.0
	living hours in residence	less than 8 h	44	14.8
		9 h ~ 10 h	70	23.5
		11 h ~ 12 h	72	24.2
		13 h ~ 15 h	72	24.2
		more than 16 h	40	13.4
subtotal	298	100.0		

Table 4. Average response and ranking for the damages/disturbances caused by floor impact noise.

Damage	Item	Avg.	Rank
Psychological damage	annoying	3.84	1
	noisy	3.77	2
	getting angry	3.51	5
	feeling stressed	3.34	8
Life disturbance	reading	3.34	7
	watching TV	3.02	11
	family life	3.13	9
	tasks (work)	3.12	10
	conversation	2.95	12
	rest	3.69	3
	sleep (difficulty falling asleep)	3.66	4
	sleep (waking up from sleep)	3.44	6
Physiological damage	heart	2.24	16
	blood pressure	2.37	14
	blood circulation	2.21	18
	breathing rate	2.22	17
	heart rate	2.31	15
	headache	2.67	13

피해, 생활방해, 생리적 피해의 항목들에 대해 응답값의 평균을 순위로 비교하였다. 심리적 피해인 ‘신경쓰인다’, ‘시끄럽다’, ‘화가 난다’와 생활 방해인 ‘휴식 방해’, ‘수면 방해’의 항목이 평균값 5순위 이내에 드는 것으로 나타났다. 생리적 피해에 대한 피해 정도는 심리적 피해 및 생활 방해의 정도에 비해 상대적으로 낮은 값으로 나타나고 있다. 이상의 내용을 볼 때, 층간소음 평가항목으로는 조사를 통해 드러난 상위순위의 항목을 활용하는 것이 가장 권장된다 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 생리적 피해에 대해서는 건강과 관련된 문제이므로 적합성과 더불어 사용가능성을 잘 살펴봐야 할 것으로 판단된다.

V. 청취실험에 의한 평가항목의 적용성 분석

설문조사를 통해 바닥충격음 평가항목의 적합성을 살펴보았으며, 이와 병행하여 현장에서 평가항목의 적용성을 살펴보기 위해 바닥충격음을 발생시킨 후 해당 소음에 대한 평가를 통해 평가항목과 충격원의 종류 및 측정값의 관계를 분석하였다. 실험은 2022년 10월 중 실시하였으며, 광주광역시 서구 J아파트에서 실시하였다. 실험에 사용된 음원의 종류 및 바닥 마감의 종류는 Table 5와 같으며, 바닥마감은 3구조(맨바닥+매트 2종류)와 음원 6종류(표준충격원, 연발형충격원, 실제충격원)으로 구성하였다. 사용된 연발형 충격원¹¹⁾은 반경 0.75 m 원형을 일정한 속도로 회전(8 s/3회전)하도록 작동하였으며, 실제 충격원은 어린이 및 성인이 자유롭게 달리거나 걷도록 요구하였다.

평가항목은 앞에서 사용한 것과 같이 3가지 범주의 피해 항목으로 구성하였으며, 응답사항은 개인속성, 거주속성을 포함하여, 바닥충격음 발생음에 대한 피해 및 방해 정도를 응답하도록 하였다. 참여 인원은 총 12명(남성 5명, 여성 7명)이었으며, 연령대는 모두 50 대로 구성되었다.

실험결과는 측정값에 대한 평가항목별 응답결과의 관계를 비교하였으며, 음원종류별 응답결과를 분석하였다. 평가항목별 응답결과는 바닥충격음에 대한 민감도를 표현한다 할 수 있으며, 바닥충격음에 대

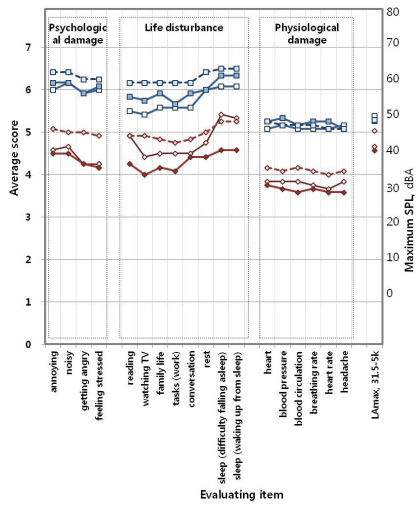
한 평가항목 선정시 중요한 단서가 될 수 있을 것이다.

Fig. 2는 실험에 사용된 음원의 종류에 대한 평가항목 응답값을 나타낸 것으로, 전반적으로 측정값의 분포에 비해 응답값의 분포가 더 넓게 분포되어 있음을 알 수 있다. 측정값은 37.1 dBA(N3)에서 74.5 dBA(M3)까지 분포하고 있으며, 맨바닥에서의 태핑머신을 제외하면 모두 60 dBA 이하의 범위에 있다. 응답값은 평가sheet에서 제시된 최소(1)에서 최대(7)의 범위에 전체적으로 분포되어 있다. 태핑머신(N3, B3, M3)에 대해서는 최대값 및 최소값의 범위를 보이고 있는데, 이는 사용된 매트에 의해 경량충격음은 아주 효율적으로 제어되고 있음을 보여주는 것이다. 뱅머신(1번 음원, □ 모양)에 대해서는 전반적으로 아주 높은 득점값을 보이고 있어 태핑머신과는 반대로 매트에 의해 제어되지 않음을 보여주는 것이다. 임팩트볼(2번 음원, ◇ 모양)에 대해서는 전체적으로 뱅머신에 비해 낮은 응답값을 보이고 있으나 뱅머신에 대한 것과 같이 세 종류의 차이는 크게 나타나지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 내용은 뱅머신과 임팩트볼에 대한 주관반응값은 바닥마감재의 종류에 따라 변별력이 크지 않음을 보여주는 것이다. 반면 실제 충격원을 모사한 연발형충격원(4번 음원)을 비롯하여 어린이 달리기(5번 음원), 성인 보행(6번 음원)은 작은 측정값의 차이에도 주관반응값의 차이가 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

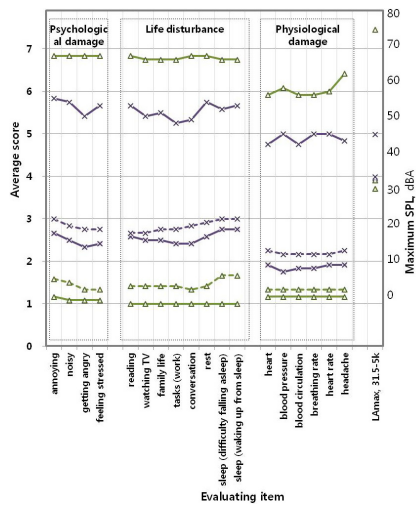
Fig. 3은 음원종류별로 득점 평균값을 보여주는 것으로 매트 사용 유무에 따라 측정값의 차이가 크지

Table 5. Composition of auditory experiment impact sources.

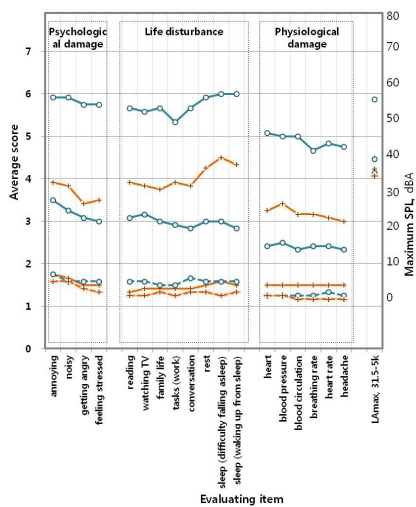
Category	Composition	Number of test	Remark
Impact source	1: Bang machine (BM) 2: Impact ball (IB) 3: Tapping machine (TM) 4: Repeatitive source (SM) 5: Child running (CR) 6: Adult walking (MW)	18 (6 × 3) types	For example, N1 stands for Bang machine on bare floor B3 stands for Tapping machine on foldable mat M6 stands for Adult walking on assembled mat
Floor covering	N: nothing B: Foldable mat M: assembled mat		
Building structure and floor section	Rahmen type (terrazzo floor, 30 mm + concrete slab, 150 mm + ceiling absorbing texture)		



(a) Bang machine (□) and impact ball (◇)



(b) Tapping machine (△) and Simulator (×)



(c) Children running (○) and man walking (+)

Fig. 2. (Color available online) Distribution of average scores by evaluation items.

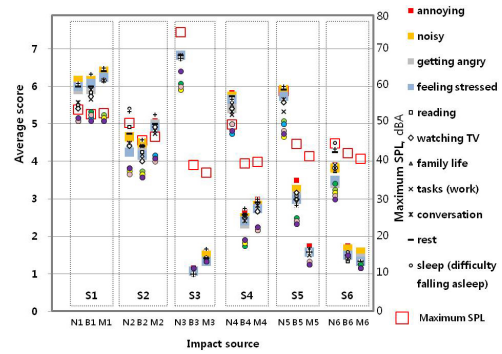


Fig. 3. (Color available online) Distribution of average scores by type of impact source.

않은 결과(S1-뱅머신, S2-임팩트볼, S6-성인보행)와 크게 나타나는 결과(S3-태핑머신, S4-시뮬레이터, S5-어린이달리기)로 구분할 수 있다. 측정레벨이 높은 경우에는 평가항목의 득점값 분포가 1 이상의 차이를 보이고 있으나, 낮은 경우(B3, M3, M5, B6, M6)에는 득점값이 매우 유사하게 나타났다. 이는 평가항목의 변별력은 레벨이 어느 정도 높을 때 나타날 수 있음을 보여준다 할 수 있다. 음원의 차이를 살펴보면, 표준충격원인 뱅머신과 임팩트볼의 측정값은 마감재의 유무와 관계 없이 비슷하게 보이지만 연발형충격원과 실제충격원(S5)은 측정값의 변별력이 있을만큼 차이를 보이고 있고 그에 따른 주관반응 평가 또한 그에 대응하는 차이를 보이고 있다.

충간소음 실험음원과 청취실험 평가결과의 관계를 파악하기 위해 다중응답(Multiple Response) 교차분석을 실시하였다. 그 결과 유의도(Chi-square)가 모두 높은 것으로 나타났다($p < .000$). 실험음원과 심리적 피해 항목의 교차분석 결과, 실험음원 중 심리적 피해가 매우 큰(매우 + 엄청나게 평가의 합) 음원은 N3-MI-N1-B1-N4-N5-N2-M2-B2-N6의 순으로 나타났으며, 표준 충격원 중 맨바닥 위 태핑머신과 모든 뱅머신 타격에 대해 높은 값을 보이는 것이다. 심리적 피해 항목 중 세부 항목에 대한 응답값은 Table 6과 같이 '신경쓰인다'가 가장 높게 나타났으며, 이는 기존 연구에서 주로 사용하는 항목으로 신경쓰임이 매우 유력한 평가 항목임을 보여준다 할 수 있다. 심리적 피해 항목에 대해서는 전반적으로 응답값이 높아 바닥충격음에 대한 심리적 피해 정도가 크게 나타남을 알 수 있다.

Table 6. Average values and ranking among sub-items of psychological damage categories.

Psychological damage	Average	Total ranking
annoying	4.01	3
noisy	3.96	4
getting angry	3.78	8
feeling stressed	3.80	7

Table 7. Average values and ranking among sub-items of living disturbance categories.

Living disturbance	Average	Total ranking
reading	3.81	6
watching TV	3.74	11
family life	3.76	10
tasks (work)	3.70	12
conversation	3.77	9
rest	3.93	5
sleep (difficulty falling asleep)	4.05	1
sleep (waking up from sleep)	4.03	2

실험음원과 생활방해 항목의 교차분석 결과, 실험음원중 생활방해가 매우 큰(매우+엄청나게 평가의 합) 음원은 N3-M1-B1-N1-N5-N4-N2-M2-N6-B2의 순으로 나타났으며, 이는 앞에서 살펴 본 심리적 피해와 유사한 결과이다. 생활방해 항목 중 세부 항목에 대해 살펴 보면 매우 다양한 응답값을 볼 수 있고 ‘수면방해’에 대한 피해가 가장 높은 순위에 있어 가장 문제가 되는 항목임을 알 수 있다(Table 7). 또한 ‘휴식방해’ 항목과 ‘독서방해’ 항목의 득점값이 높게 나타났는데, 이는 주택 내 거주시 ‘침’과 관련된 행위의 방해가 주요한 의미인 것으로 판단된다.

실험음원과 생리적 피해 항목의 교차분석 결과, 실험음원중 생리적 피해가 매우 큰(매우+엄청나게 평가의 합) 음원은 N3-N4-M1-B1-N1-N5-N2-M2-B2-N6의 순으로 나타났다. 앞의 경우와는 약간 다르게 맨바닥 위 연발형 충격원(N4)이 높은 득점값을 보이고 있다(Table 8). 그러나 전반적으로 앞의 설문조사에서 보여졌던 것처럼, 순위가 매우 낮은 위치에 있기 때문에 바닥충격음에 의한 피해는 매우 낮게 인식하고 있다고 생각되어진다. 그럼에도 생리적 피해는 건강과 관련된 사항이기 때문에 실제 바닥충격음 피해에 활용하는 여부는 보다 논의가 필요할 것이

Table 8. Average values and ranking among sub-items of physiological damage categories.

Physiological damage	Average	Total ranking
heart	3.30	14
blood pressure	3.31	13
blood circulation	3.25	16
breathing rate	3.25	16
heart rate	3.25	16
headache	3.26	15

다. 생리적 피해 항목들이 통계적으로 유의한 차이가 없는 경우에는 소수의 항목으로 통합하여 사용할 수도 있게 된다.

VI. 논 의

바닥충격음에 대한 주관반응 평가는 단발형 충격원을 사용하여 진행되어 왔고, 일반적으로 ‘Annoyance’를 평가항목으로 하여 그 정도를 평가하고 물리적 측정값과의 관계성을 통해 기준을 정하게 된다. 여기에서 ‘Annoyance’는 연구자에 따라 다르게 해석하게 되는데, ‘신경쓰임’, ‘성가심’, ‘거슬림’ 등으로 번역되어 어휘에 대한 정확한 표현은 논의의 여지가 있다.

본 연구에서는 기존에 사용되어 온 다양한 평가항목을 조사하여 분류한 후, 최종 18개의 항목을 생리적 피해, 심리적 피해 및 생활방해 측면으로 구분하였다.

설문조사 결과로는 심리적 피해와 생활방해에 대한 득점값이 높게 나타났는데, 각각 ‘신경쓰인다’, ‘시끄럽다’, ‘화가 난다’와 ‘휴식 방해’, ‘수면 방해’ 항목이 5순위 이내로 나타났다. 청취시험 결과 또한 설문조사 결과와 유사한 특성으로 나타났는데, 생활방해 항목에서 ‘수면 방해’, ‘휴식 방해’, ‘독서 방해’와 심리적 피해 항목에서 ‘신경쓰인다’, ‘시끄럽다’ 항목이 높게 나타났다.

이와 같은 결과를 통해 판단할 수 있는 것은, 1) ‘신경쓰임’ 항목은 지금까지 다양한 연구^{3,5,6,8,12,13}에서 활용되어 온 것으로 본 연구에서도 바닥충격음 평가에 높은 순위로 나타났다. 기존 연구를 통해 신경쓰임의 정도는 시끄러움 및 크기와 매우 상관관계가 높아 필요시 단일화된 평가항목으로도 사용되고 있기 때문에 바닥충격음 평가하는 대표적인 항목으로 고

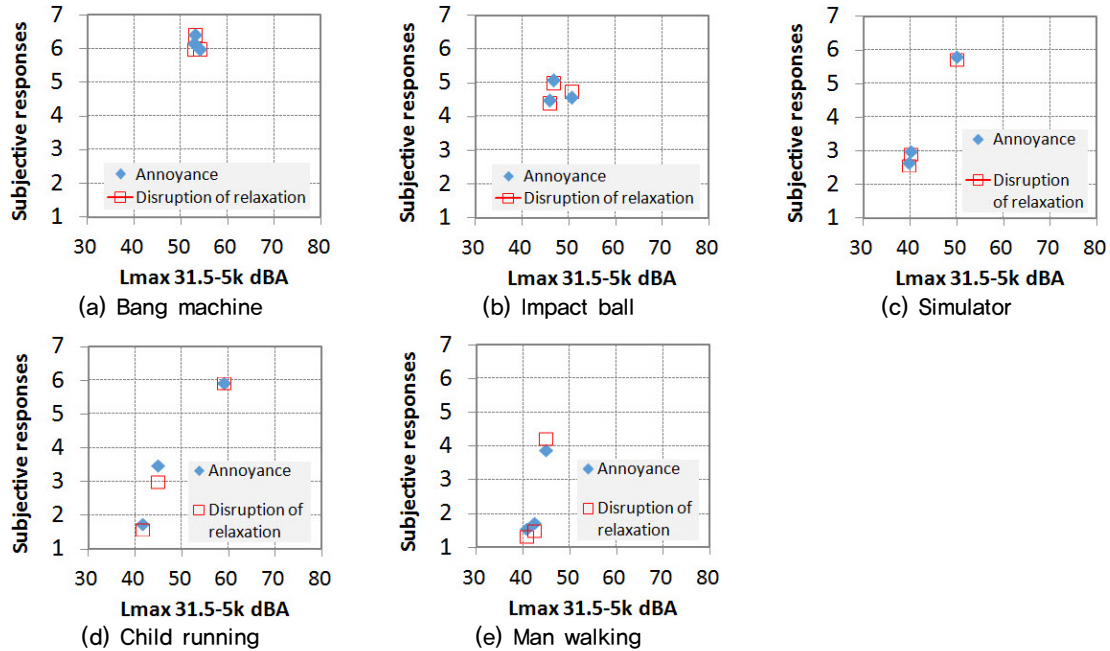


Fig. 4. (Color available online) Subjective response from standard, actual and developed impactor (Simulator).

려할 수 있다. 다만, 영어인 ‘Annoyance’에 대응하는 어휘로서 사용되는 만큼 적절한 한국어 단어에 대해서는 깊은 논의가 필요할 것이다. 2) 청취실험 결과 생활방해 항목에서 매우 넓은 폭의 반응값을 나타냈는데, 수면방해와 관련된 항목의 득점값이 가장 높게 나타났으며 ‘휴식 방해’, ‘독서 방해’ 또한 높은 순위로 나타났다. 이는 주거의 기능에 있어 안락함과 관련된 것으로 주거의 기능에 피해를 받는데 매우 민감하게 반응한다고 판단된다. 따라서, 바닥충격음에 대한 평가에 활용하여 기술의 성능 뿐만 아니라 주거환경소음의 관점에서 생활소음 피해 정도를 평가하는데 반영될 수 있을 것이다. 여기에서 ‘수면 방해’ 항목은 실험실 청취실험과 생활소음으로 구분해 볼 수 있는데, 실험실 실험의 경우 수면 방해 정도를 판단하기 어렵기 때문에 ‘휴식 방해’와 같은 유사한 항목으로 전환이 가능할 것이다. 또한 ‘수면 방해’ 항목은 크게 두 종류로 나누었으나 잠을 못들게 하는 수면 방해와 수면 도중 잠을 깨게 하는 수면 방해에 대해 살펴봤기 때문에, 두 가지 의미를 포함하는 단일화된 수면 방해 항목을 적용하는 것도 고려할 수 있을 것으로 보인다. 3) 생리적 피해에 대한 설문조사 결과 및 청취실험 반응값은 피해 정도가 낮은 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 생리적 피해는 건강과 관련된 항

목이고, WHO에서 고려하는 것과 같이 국제적으로 소음의 생리적 영향을 중요하게 고려하기 때문에 주관반응 평가에 가급적 포함시키는 등 지속적으로 관찰해야 할 항목으로 판단된다.

청취실험에 사용된 충격원의 종류에 따른 차이를 보면, 표준충격원과 실제충격원에 대한 주관반응값은 차이를 보이고 있다. 이 결과는 Jeon과 Jeong⁶⁾의 연구에서와 같이 표준충격원이 실제충격원보다 신경쓰임이 더 크게 나타나고 있는 결과와 같이 충격력의 차이를 보여주는 것이다. 또한, 표준 충격원의 경우 바닥감재에 대한 성능의 변별력이 보이지 않으나, 어린이 달리기나 성인 보행 및 이를 모사한 연발형 충격원은 마감재의 변별이 가능할 정도의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 충격력이 낮은 경우에는 평가항목별 변별이 안될 정도로 비슷하게 나타났으며, 평가항목의 차이에 대한 변별력을 찾기 위해서는 특정 수준 이상의 충격력이 뒷받침되어야 할 것이다.

Fig. 4와 같이 충격원에 대한 평가항목값 중 ‘신경쓰임’과 ‘휴식방해’ 항목만을 개별적으로 살펴본 결과, 뱅머신과 임팩트볼에 대한 충격력의 크기 및 주관반응의 차이에 비해 실제 충격원 및 시뮬레이터의 레벨 및 주관반응값은 상대적으로 큰 차이를 보이고 있다. 이는 매트류와 같이 바닥감재에 한정될 수

있으나, 충격력의 크기와 발생하는 특성에 따라 바닥충격음에 대한 평가 및 저감기술의 성능이 달라질 수 있음을 보여 준다.

VII. 결 론

본 연구는 실생활 소음과 유사한 연발형 충격원을 개발하고, 새로운 충격원에 대응하는 평가방안을 찾기 위해 시도되었다. 새로운 충격원에 대한 개발 필요성은 실제 공동주택에서 바닥충격음으로 인한 문제가 대부분 어린이가 달리는 것으로부터 나타나는데, 바닥충격음 측정 및 평가에 활용되는 표준충격원은 단발형으로써 실제 문제가 되는 충격원과는 차이가 있기 때문이다. 연구에 사용된 평가항목은 18 개였으며, 연구 결과 바닥충격음 평가에 활용할 수 있는 항목은 심리적 피해 항목(신경쓰인다, 화가 난다), 생활 방해 항목(수면 방해, 휴식방해) 및 생리적 피해(혈압문제 발생)로 제안할 수 있다.

이들 항목은 각각 개별적으로 활용될 수 있을 것이며, 바닥충격음에 대한 평가의 종류에 따라 선택적으로 사용한다면 실험실에서 청취실험이나 주거 환경에서 생활소음에 대한 평가를 보다 풍부하게 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00144050). 이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2022R1I1A1A01064067).

References

1. A. Preis, M. Jshibashi, and H. Tachibana, "Psycho-acoustic studies on assessment of floor impact sounds," *J. Acoust. Soc. Jpn.* **21**, 69-77 (2000).
2. J. H. Jeong and J. Y. Jeon, "Characteristics and subjective responses of the impact ball in evaluating floor impact sound" (in Korean), *Proc. Conf. AIK*, 614-617 (2004).
3. S. W. Kim, C. B. Son, G. S. Jang, J. S. Kim, and M. H.

Han, "A proposal of an appropriate evaluation method and standard for floor impact sound insulation by psycho-acoustic method" (in Korean), *JAİK*, **9**, 107-114 (1993).

4. J. Y. Jeon and S.-I. Sato, "Annoyance caused by heavyweight floor impact sounds in relation to the autocorrelation function and sound quality metrics," *J. Sound Vib.* **311**, 767-785 (2008).
5. M. J. Song, J. Y. Lee, and S. W. Kim, "A study on the proper vocabularies for evaluating floor impact sound in apartment houses considering rating methods," *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.* **14**, 626-631 (2004).
6. J. Y. Jeon and J. H. Jeong, "Subjective evaluation of floor impact noise generated by children and standard impact machine," *Journal of AIK*, **18**, 187-194 (2002).
7. World Health Organization, Regional Office for Europe, "Environmental noise guidelines for the European region," WHO, guideline, 2018.
8. M. J. Song, H. Song, T. G. Lee, N. G. Gi, H. K. Park, and S. W. Kim, "Survey on the proper vocabularies for evaluating floor impact sound in apartment houses," *Journal of AIK*, **20**, 179-184 (2004).
9. J. H. Jeong and S. C. Lee, "A study on the annoyance and disturbance of floor impact noise according to noise sensitivity based on questionnaire survey" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **37**, 428-436 (2018).
10. J. Kim, S. Lee, S. Kim, H. Song, and J. Ryu, "Quantitative study on the influence of non-acoustic factors on annoyance due to floor impact noise in apartments," *Appl. Acoust.* **202**, 109144 (2023).
11. M. Song, S. Kim, J. Ryu, M. Han, and H. Park, "Characteristics of children's running impact for the application of continuous impact trial product," *J. Sound Vib.* **33**, 445-454 (2023).
12. J. Y. Jeon, J. H. Jeong, M. Vorländer, and R. Thaden, "Evaluation of floor impact sound insulation in reinforced concrete buildings," *Acta Acust. United Acust.* **90**, 313-318 (2004).
13. S. Sueyoshi, "Psychoacoustical evaluation of floor-impact sounds from wood-framed structures," *J. Wood Sci.* **54**, 285-288 (2008).

저자 약력

▶ 박 현 구 (Hyeon-Ku Park)



1997년 2월: 전남대학교 건축공학과 학사
1999년 2월: 전남대학교 건축공학과 석사
2004년 2월: 전남대학교 건축공학과 박사
2016년 3월 ~ 현재: 송원대학교 교수

▶ 이 선 화 (Seonhwa Lee)



2005년 2월: 광주대학교 사회복지학 학사
2009년 2월: 광주대학교 사회복지학 석사
2019년 2월: 동신대학교 상담심리학 박사
2021년 3월 ~ 현재: 광신대학교 교수

▶ 송 민 정 (Minjeong Song)



1994년 2월: 전남대학교 건축공학과 학사
1996년 2월: 전남대학교 건축공학과 석사
2000년 2월: 전남대학교 건축공학과 박사
2019년 6월 ~ 현재: 전남대학교 바이오하
우징연구소 학술연구교수