

VR 청감실험을 통한 층간소음 인식 영향요인 조사 : 외부 음환경, 시간환경, 소음민감도를 중심으로

VR Experiment on Indoor Noise Perception and Moderation Effects of Outdoor Sounds, Visual Environment and Noise Sensitivity

박 상 희* · 신 혜 경* · 김 경 우†
Sang Hee Park*, Hye Kyung Shin* and Kyoung Woo Kim†

(Received February 10, 2021 ; Revised March 30, 2021 ; Accepted March 30, 2021)

Key Words : Noise Perception(소음 인식), Subjective Response Assessment(주관적 반응 평가), Virtual Reality(가상 현실), Laboratory Study(실험실 연구), Moderation Effect(조절 효과)

ABSTRACT

This laboratory study investigated whether and how individuals' perception of indoor noise was affected by the surrounding visual and acoustic environments. In particular, the study examined how participants' annoyance response to the noise stimulus (i.e., a child's running noise coming from upstairs) changed when the surrounding environments were changed visually (e.g., day-time vs. night-time) and acoustically (e.g., no outdoor sound vs. road traffic noise). First, a survey was conducted to list the major components of living rooms in multi-family housing. The findings of the survey were used to build a 360-degree virtual living room. A total of 14 VR clips were made, in which different visual and acoustic elements were presented. The participants viewed each clip via VR-HMD and rated the annoyance response to the noise stimuli. The results showed that the surrounding visual and acoustic environments partially affected the annoyance. It was also found that individuals' noise sensitivity had significant effects on the response. The study was able to explore the benefits and disadvantages of utilizing VR to carry out laboratory experiments on noise perception.

1. 서 론

소음에 대한 주관적 반응을 알아보기 위한 대표적 방법은 질문지 조사와 청감실험이 있다. 질문지 조사는 상대적으로 적은 비용과 시간을 들여 큰 규모의 표본을 대상으로 조사를 실시할 수 있다는 장점이 있는 반면

연구자가 조사하고자 하는 특정 요인 이외의 기타 복합적 요인이 응답에 영향을 미칠 수 있다는 한계가 있다⁽¹⁾. 반대로 청감실험은 비용과 시간이 많이 들고, 이는 표본의 크기에도 영향을 미친다는 단점이 있지만 실험실 조건 아래 기타 요인을 통제하고 특정 소음원에 대한 명확한 반응을 관측⁽¹⁾할 수 있다는 장점이 있다. 통제된 조건 하에서 수행되어야하기 때문에 청감

† Corresponding Author; Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Research Fellow
E-mail : kwmj@kict.re.kr

* Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher

A part of this paper was presented and selected as one of best papers at the KSNVE 2020 Annual Autumn Conference
‡ Recommended by Editor Jin Yun Chung

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

실험이 수행되는 실험실이라는 공간은 피험자들에게 낮은 공간으로 느껴지기 쉽다. 이에 피험자가 해당 공간을 편안하게 인식할 수 있도록 실험을 구성하는 것도 측정 데이터의 신뢰성 향상에 중요한 절차이다. 특별히 층간소음에 대한 청감실험의 경우 실험공간을 어떻게 구현하는지가 중요한 변인이 될 수 있다. 층간소음은 개인이 자신의 집에서 노출되는 소음이다. 층간소음에 대한 부정적인 반응은 자신의 ‘집’이라는 공간에 대해 개인이 부여한 의미나 맥락과 연관될 수 있기 때문이다. ‘집’과 유사한 형태를 갖추기 위해 실험실 내부에 소파나 TV 등을 비치하는 경우도 있지만 여전히 제약은 따른다. 이에 이 연구는 공동주택 거실의 모습을 VR 환경으로 제시함으로써 ‘집’이라는 공간에서 층간소음에 노출될 때의 주관적 반응을 관측하고자 한다. 아울러, 이를 통해 현재 활용할 수 있는 VR 기술이 청감실험 수행에 어떻게 도움이 되고 어떤 한계가 있는지 알아보려고 한다.

소음에 대한 주관적 반응을 설명하기 위해서는 소음 자체의 특성뿐 아니라 개인의 반응에 영향을 미치는 다양한 조절변인들을 함께 고려해야 한다. 조절변인이란, 독립변인과 종속변수 간 관계의 방향 및/또는 강도에 영향을 미치는 변인⁽²⁾으로, 이웃세대에서 들려오는 ‘소리’가 ‘소음’으로 인식되게끔 또는 인식되지 않게끔 하는 요인이라 할 수 있다. 층간소음에 대한 개인의 부정적 반응도 여러 조절변인에 의해 증가하기도 하고 감소하기도 한다. 이 연구에서는 외부 음환경, 시각환경, 개인의 소음민감도가 조절변인으로서 주택 내부소음 인식에 어떠한 조절효과를 미치는지 알아보려고 한다.

소리의 마스킹 효과는 여러 선행 연구를 통해 소개된 바 있다. 최근 소리가 가지는 마스킹 효과가 의미 있는 뇌 반응을 일으킨다고 보고되면서⁽³⁾ 마스킹 효과가 새로운 소음 제어 기술로 제안되고 있다. 이에 따라 내부소음 인식개선을 위한 여러 방안 중 하나로 외부 음환경의 활용 가능성을 검토하는 연구도 필요하다. 특별히, 물이 흐르는 소리가 가지는 효과에 대하여는 다수 보고된 바 있다. 개방형 사무실에서 물 소리가 소음에 대한 만족도를 향상시킨다는 점, 산만한 대화소리 가운데 업무 성취도를 향상시킨다는 점, 그리고 도로교통소음이 노출되는 가운데에서도 업무 성취도를 향상시킨다는 점 등이 그것이다^(4,5). 사무실 환경뿐 아니라 주거환경에서도 이와 같은 효과가 확

인되었다. 예를 들어, 바다충격음 및 변기배수음과 같은 주택 내부소음에 대해 계곡 물소리나 파도소리가 마스킹 효과를 가진다는 국내 연구 결과가 있다⁽⁶⁾. 또 다른 국내 연구는 도로교통소음 단일소음원보다 도로교통소음과 물소리를 함께 들려주었을 때 피험자들의 긍정적인 평가가 증가했음을 확인하였다⁽⁷⁾. 이에 이 연구는 동일한 내부소음에 노출되더라도 외부에서 아무 소리도 들리지 않는 경우, 도로교통소음이 들리는 경우, 도로교통소음과 물소리가 함께 들리는 경우로 실험 시나리오를 설계해 외부 음환경에 따른 내부소음 인식변화를 알아보려고 한다.

VR의 활용은 실험실 환경에서도 손쉽게, 그리고 효과적으로 주변 시각환경에 변화를 줄 수 있다. 이에 이 연구는 시각요소를 또다른 조절변인으로 가정, 층간소음 인식에 미치는 영향을 검토해보려고 한다. 선행 연구를 통해 시각요소가 소음 인식에 영향을 준다고 보고되고 있다. 예를 들어, 스웨덴에서 수행된 연구⁽⁸⁾는 풍력발전기의 시각요소에 대한 인근 거주자의 태도와 해당 소음에 대한 반응 간 관계를 조사하였다. 해당 연구는 소음원(풍력발전기)의 시각요소에 대해 가지는 인근 거주자의 태도가 해당 소음으로 인한 부정적 반응과 관련이 있다는 것을 발견하였다. 특별히 소음원의 시각요소에 대한 부정적인 태도가 소음의 불쾌감을 증가시키고 정신생리학적으로도 부정적인 영향을 가진다고 보고하였다. 벨기에에서 수행된 또다른 연구⁽⁹⁾는 도로교통소음에 대한 개인의 반응과 소음원의 가시성 사이의 관계를 조사하였다. 해당 연구는 소음원의 가시성이 피험자가 인지하는 소음에 대한 불쾌감에 영향을 미친다는 것을 발견하였다. 주택 내부소음, 특별히 층간소음 연구 분야에 있어서 상기 소개한 연구들과 같이 시각요소와 소음에 대한 반응 사이의 연관성에 초점을 맞춘 연구가 부족하기 때문에 층간소음에 대한 거주자의 인식과 주변 환경의 시각요소 간 관계를 연구할 필요가 있다. 층간소음에 노출될 때 개인은 소음원(이웃)을 볼 수 없기 때문에(즉, 가시성 없음) 소음원 자체의 시각요소나 가시성에 대한 연구를 수행하기는 어렵다. 대신 이 연구는 주택 내부에서 주변에 보이는 다른 시각요소들(즉, 가시성을 가지는 기타 요소들)의 변화가 층간소음에 대한 부정적 반응에 영향을 미치는지, 영향을 미친다면 어떠한 영향을 얼마나 미치는지 알아보려고 한다.

여러 가지 환경소음에 대한 주관적 반응은 비음향적 요인들에 의해 영향을 받는다⁽¹⁰⁾. 층간소음에 대한 공

동주택 거주자의 반응에 영향을 미치는 비음향적 요인도 일부 보고된 바 있다^(11,12). 이 중에서 개인의 성격요인⁽¹³⁾인 소음민감도는 기존 질문지 조사 및 청감실험을 통해 개인의 소음 인식에 유의미한 조절효과를 가진다고 보고되어왔다^(14,15). 이에 이 연구에서도 소음민감도의 영향을 살펴봄으로써 기존 청감실험과 VR을 활용한 실험 사이에 일관된 결과가 도출되는지, 그래서 연구 간 재현성 확보가 가능한지 검토하고자 한다.

2. 방 법

2.1 VR 환경 제작

(1) 거실 주요 시각요소 추출

국내 공동주택 거실 내부를 구성하는 주요 시각요소를 추출하기 위해 질문지 조사를 실시하였다. 공동주택 거주자 성인남녀 50명을 대상으로 주택 내부를 구성하는 요소를 자유롭게 기술하도록 요청하였다. 응답자는 남성 23명, 여성 27명이었으며 평균나이는 38.6(표준편차 5.7)세였다.

응답 분석 결과, 총 145개의 형태소가 도출되었다. 이에 대한 빈도분석을 실시했으며 Fig. 1은 단어 빈도에 따른 워드클라우드를 보여준다. 빈도분석과 워드클라우드 추출은 온라인 텍스트분석툴 KoALA를 사용하였다. 조사 결과, 거실 내부를 구성하는 요소로 텔레비전과 소파가 가장 빈번하게 등장했으며, 그 외에도 부엌, 테이블, 발코니 등이 거실 내부를 구성하는 주요 요소인 것으로 파악되었다.

(2) 3D 그래픽 제작

상기 질문지 조사 결과를 토대로 청감실험을 위한 거실 3D 그래픽의 기본값(default)을 Fig. 2와 같이 제작하였다. 피험자가 거실 소파에 앉아있는 상황을 구현했으며 피험자 앞에는 커피테이블을, 전면 벽에 TV와 선반 등을 배치하였다. 우측에는 찬장과 테이블 등이 배치된 부엌, 좌측에는 발코니가 보이도록 제작하였다. 발코니, 거실 및 부엌을 포함한 공간의 면적은 약 42 m²이었다(Fig. 3). 해당 default 그래픽에서 주택 외부 및 내부 시각요소에 변화를 주었다(예: Fig. 4). 외부 시각요소는 창밖으로 보이는 경관



Fig. 2 Default setting of the 3D living room



Fig. 3 A simple drawing of the plan of the 3D living room



Fig. 1 A word cloud showing the major components of the living room

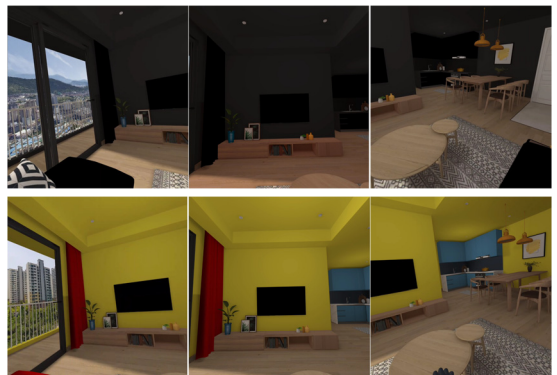


Fig. 4 Samples of the other clips in which visual elements were changed

을 달리함으로써 해당 건물에서 주택이 위치한 층(저/고층)과 시간대(낮/밤)가 달라지도록 제작했으며, 내부 시각요소는 가구, 천장 및 벽지의 색(밝은/어두운/유채색계열)에 변화를 주었다. 각 클립은 3분간

제시되도록 설정하였다.

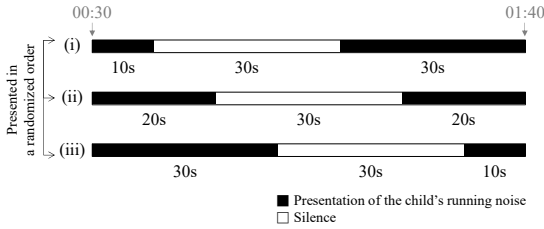


Fig. 5 An illustration of how the child’s running noise presented in each clip

Table 1 A-weighted equivalent & maximum sound levels of the sound stimuli

	Indoor	Outdoor	
	A child running upstairs (40s)	Road traffic noise (3-min)	Water flowing sound (3-min)
L_{Aeq}	45.4 dB	43.8 dB	43.8 dB
L_{Amax}	52.4 dB	45.3 dB	44.2 dB

(3) 제시 음원

제시 음원으로는 어린이 달리기, 도로교통소음, 물소리를 사용하였다. 먼저, 내부소음원으로 상부층에서 어린이가 달리는 소리를 사용하였다. 어린이 달리기 소리(40초)는 등가소음레벨 45.4 dB, 최대소음레벨 52.4 dB로 제시하였다. 이와 같은 최대소음레벨은 실제 공동주택 26곳의 내부소음 현황을 조사한 선행연구 결과를 토대로 설정하였다¹⁶⁾. 어린이 달리기 소리는 40초 길이의 음원을 (i) 10초와 30초, (ii) 20초와 20초, (iii) 30초와 10초로 분할해 제시하였으며 각 클립에서 음원 사이의 간격은 30초로 설정하였다(Fig. 5). 해당 음원의 제시패턴은 무작위 순서로 재생하였다. 외부 음환경은 (a) 음원이 제시되지 않는 경우, (b) 도로교통소음이 제시되는 경우, 그리고 (c) 도로교통소음과 물소리가 함께 제시되는 경우로 제작하였다. 외부 음원의 등가소음레벨은 43.8 dB 이었고, 3분 동안 지속적으로 제시되었다. 각 음원의 특성은 Table 1 및 Fig. 6과 같다.

피험자에게 제시된 클립은 총 14개였으며, 각 클립의 특성은 Table 2와 같다.

2.2 청감실험

(1) 사용 장비

실험에 사용한 장비는 다음과 같다. VR-HMD는 Oculus Quest(Facebook)를 사용하였다. 오픈형 헤드폰(HD-600, Sennheiser)을 사용해 음원을 제시했고 음원 분석은 HATS Type 4128-C(B&K)를 사용하였다.

(2) 질문

소음에 대한 주요 반응 중 하나인 annoyance는 현재 국내에서 “성가심”, “신경쓰임”, “짜증”, “거슬림” 등으로 번역되어 사용되고 있으며 아직 이를 나타내기 위한 통일된 국문 어휘가 제시된 바 없다. 이 연구에서는 내부소음에 대한 annoyance를 알아보기 위해 “신경쓰임”이라는 표현을 사용하였다.

각 클립이 제시된 뒤에는 Fig. 7(a)와 같이 화면에 내부소음에 대한 신경쓰임 반응을 묻는 질문과 11점 척도 점수판이 제시되었다. 피험자가 손을 뻗어 점수를 선택한 뒤 OK버튼을 누르면 다음 클립이 시작되었다. Fig. 7(b)와 같이 다음 클립이 시작하기까지는 5초의 시간적 여유를 두었고 화면에는 Loading이라는 문구가

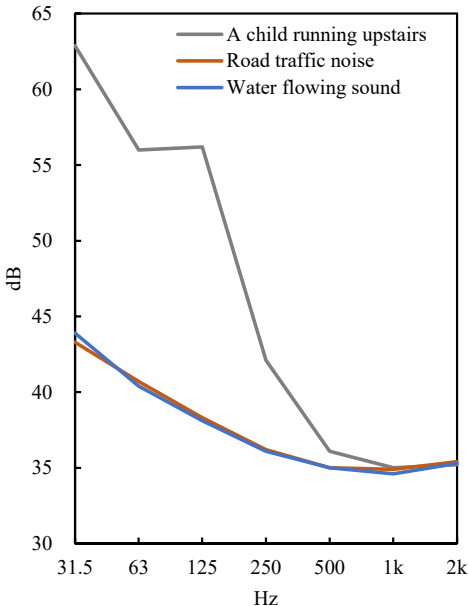


Fig. 6 Frequency characteristics of the sound stimuli

Table 2 Visual and acoustic settings of the 14 VR clips used in the experiment

Clip No.	Changes made to the default	Visual setting			Auditory setting	
		Indoor	Outdoor		Indoor	Outdoor
			Floor	Time		
1	(default)	Bright	Low	Daytime	CR ⁴	-
2	VI ¹	Colorful	Low	Daytime		-
3	VI	Dark	Low	Daytime		-
4	VO ²	Bright	High	Daytime		-
5	VO	Bright	Low	Night-time		-
6	AO ³	Bright	Low	Daytime		RTN ⁵
7	AO	Bright	Low	Daytime		RTN+WFS ⁶
8	VI, VO	Colorful	High	Daytime		-
9	VI, VO	Dark	High	Daytime		-
10	VI, AO	Dark	Low	Daytime		RTN
11	VI, AO	Dark	Low	Daytime		RTN+WFS
12	VO, VO	Bright	High	Night-time		-
13	VO, AO	Bright	High	Daytime		RTN
14	VO, AO	Bright	High	Daytime		RTN+WFS

¹VI = Visual settings changed in the indoor; ²Visual settings changed in the outdoor; ³AO = auditory settings changed in the outdoor; ⁴CR = child's running; ⁵RTN = road traffic noise; ⁶WFS = water flowing sound

제시되었다. 아울러, 각 클립에 대한 피험자별 신경쓰임 정도는 VR 헤드셋 하드웨어에 자동 기록되었다.

별도의 질문지를 통해 피험자들의 나이, 성별, 현재 거주하고 있는 주택의 유형과 크기, 소음민감도를 조사하였다. 소음민감도 측정은 Weinstein 척도⁽¹⁷⁾를 국문으로 직역한 문항을 사용하였다.

(3) 절차

이 실험은 한국건설기술연구원 음향시험동 무향실에서 진행하였다(암소음도: 23 dB, L_{Aeq,1-minute}). 피험자가 도착하면 연구자는 피험자에게 해당 실험에 대한 간단한 설명을 제공하였다. 또한 연구자는 실험 도중에 언제든 쉬는 시간을 가질 수 있으며 원한다면 언제든지 실험을 그만둘 수 있음을 설명하였다. 피험자가 실험 참여에 동의하면 실험을 진행했으며, 먼저 VR 환경에 익숙해지고 핸드트래킹 기능을 활용해 각 클립의 질문에 응답할 수 있도록 연습세션을 진행한 뒤 이 세션을 시작하였다.

(4) 피험자

적정 피험자 수 산정은 G-power를 사용하였다⁽¹⁸⁾. 반복측정분산분석 수행 시 유의수준 0.05, 검정력 0.95, 중간수준의 효과크기인 0.25가 산출되기⁽¹⁹⁾ 위한 최소 피험자 수는 18명이었으므로 총 20명의 정상청력을 가진 피험자를 모집하였다. 전체 데이터 중 2명의 데이터에는 오류가 발견돼 최종적으로 18명의 데이터를 분석에 사용하였다(남성 11명 여성 7명). 피험자의 평균 나이는 26.9(표준편차 4.4)세였다. Shapiro-Wilk test를 통해 피험자 데이터의 정규성을 확인하였다. 피험자의 소음민감도 평균점수는 81.3(표준편차 14.4)점으로, 이 점수는 소음민감도가 낮은 집단과 높은 집단을 구분하는 데 사용되었다. 소음민감도가 낮은 집단(남성 6명 여성 3명)의 나이는 26.0(표준편차 4.1)세였으며 평균 소음민감도 점수는 69.3(표준편차 9.3)점이었다. 소음민감도가 높은 집단(남성 5명 여성 4명)의 나이는 27.8(표준편차 4.8)세였으며 평균 소음민감도 점수는 93.2(표준편차 5.7)점이었다.

3. 결 과

Fig. 8은 각 클립이 제시되었을 때 피험자들이 내부 소음에 대해 응답한 신경쓰임 정도의 평균값을 나타

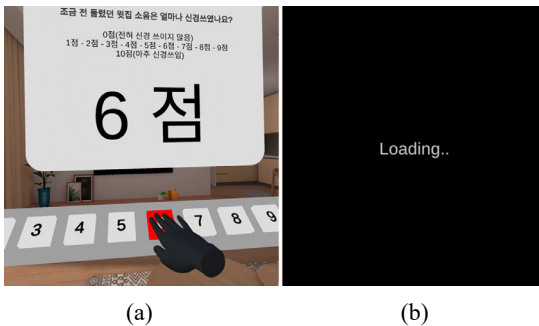


Fig. 7 The question for annoyance rating (a), and the 5-second blank screen shown between two clips (b)

낸다. 1번 클립(default)에서 시각·음향요소 변화에 따라 2번~14번 클립에서 신경쓰임 정도가 얼마나 변했는지 알아보기 위해 반복측정분산분석을 실시하였다(Table 3, 4). 분석 결과, 3번(어두운 무채색; $F(1,17) = 5.390, p < 0.05$), 4번(고층; $F(1,17) = 4.335, p < 0.1$), 5번(밤시간대; $F(1,17) = 5.272, p < 0.05$), 8번(유채색 및 고층; $F(1,17) = 3.097, p < 0.1$), 12번(고층 및 밤시간대; $F(1,17) = 5.100, p < 0.05$), 13번(고층 및 도로교

통소음; $F(1,17) = 4.749, p < 0.05$) 클립에 대한 피험자의 신경쓰임 정도 변화가 유의미한 수준이었음을 확인하였다. 특히 해당 클립을 제시하였을 때 피험자의 평균 신경쓰임 정도가 모두 상승하였다(Table 4). 또한 외부 시각환경을 밤시간대로 변경했을 때(5, 12번 클립) 신경쓰임 정도에 유의미한 증가를 확인하였다. 이는 동일한 소음이라도 밤시간대에는 소음에 대한 개인의 수인한도가 낮아질 수 있음을 시사한다.

시각요소의 변화를 통해 신경쓰임 정도가 바뀐 경우를 살펴보면 3, 4, 5, 8, 12번 클립의 신경쓰임 정도가 유의미하게 상승하였다. 또한, 2번(유채색)과 9번(어두운 무채색 및 고층) 클립의 경우 통계적으로 유의미하지는 않았지만 신경쓰임의 정도는 증가한 것으로 나타났다. 선행 연구를 통해 소음원의 시각적 심미성에 대한 개인의 태도가 해당 소음에 대한 부정적 반응에 영향을 미칠 가능성에 대해 보고된 바 있다^(20,21). 이와 같이, 시각요소의 변화가 개인의 태도에 영향을 주어 주택 내부소음에 대한 반응에도 조절효과를 미친 것

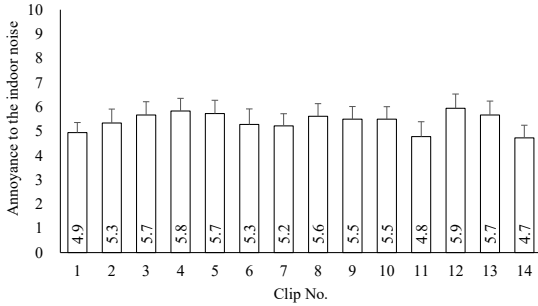


Fig. 8 Mean annoyance ratings reported by the participants; error bars indicate standard errors

Table 3 Results of the repeated measures ANOVA

Clip No.	Changes made to the default	F	p	η^2
2	VI ¹	1.045	0.321	0.058
3	VI	5.390	0.033	0.241
4	VO ²	4.335	0.053	0.203
5	VO	5.272	0.035	0.237
6	AO ³	0.586	0.454	0.033
7	AO	0.383	0.544	0.022
8	VI, VO	3.091	0.097	0.154
9	VI, VO	2.457	0.135	0.126
10	VI, AO	2.335	0.145	0.121
11	VI, AO	0.191	0.668	0.011
12	VO, VO	5.100	0.037	0.231
13	VO, AO	4.749	0.044	0.218
14	VO, AO	0.654	0.430	0.037

¹VI = Visual settings changed in the indoor; ²Visual settings changed in the outdoor; ³AO = auditory settings changed in the outdoor; ⁴CR = child's running; ⁵RTN = road traffic noise; ⁶WFS = water flowing sound

Table 4 Mean differences of annoyance ratings compared with those of Clip 1 estimated by pairwise comparisons (* $p < 0.1$; ** $p < 0.05$)

Clip No.	Changes made to the default	Mean difference (compared with Clip 1)	Standard error
2	VI ¹	0.30	0.35
3	VI	0.65**	0.28
4	VO ²	0.70*	0.41
5	VO	0.75**	0.31
6	AO ³	0.35	0.39
7	AO	0.25	0.40
8	VI, VO	0.60*	0.34
9	VI, VO	0.45	0.33
10	VI, AO	0.50	0.33
11	VI, AO	-0.15	0.35
12	VO, VO	0.95**	0.40
13	VO, AO	0.70**	0.30
14	VO, AO	-0.20	0.25

¹VI = Visual settings changed in the indoor; ²Visual settings changed in the outdoor; ³AO = auditory settings changed in the outdoor; ⁴CR = child's running; ⁵RTN = road traffic noise; ⁶WFS = water flowing sound

인지에 대해 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 아울러, 이 연구는 각 시각요소에 대한 개인의 선호도는 조사하지 않았으므로, 향후 연구에서는 이를 함께 고려할 필요가 있다.

소음민감도에 따른 반응 차이를 살펴보았다. Fig. 9에서 나타내는 바와 같이 두 집단 간 응답의 정도가 확연히 차이나는 것을 볼 수 있다. 소음민감도에 따라 바닥충격음에 대한 주관적 반응에 차이가 있음은 선행된 실험실 연구들^(22,23)에서도 보고된 결과이다. 반복측정분산분석 결과, 소음민감도가 낮은 집단의 신경쓰임 정도가 유의미하게 변화한 클립은 4번(고층; $F(1,8) = 4.990, p < 0.1$), 6번(도로교통소음; $F(1,8) = 4.414, p < 0.1$), 14번(고층, 도로교통소음과 물소리; $F(1,8) = 3.571, p < 0.1$) 클립이었다. 소음민감도가 높은 집단의 경우 3번(어두운 무채색; $F(1,8) = 6.127, p < 0.05$), 6번(도로교통소음; $F(1,8) = 9.561, p < 0.05$), 8번(유채색 및 고층; $F(1,8) = 9.308, p < 0.05$), 13번(고층 및 도로교통소음; $F(1,8) = 5.263, p < 0.1$) 클립에

대한 피험자의 신경쓰임 정도 변화가 유의미한 수준이었다.

소음민감도가 낮은 집단에게 도로교통소음을 추가로 제시한 경우(6번 클립) 내부소음에 대한 신경쓰임 정도가 감소하였다. 도로교통소음과 물소리가 함께 제시된 11번 클립에 대해서도 통계적으로 유의미한 값은 아니었지만 신경쓰임 정도가 감소한 것을 확인하였다. 반면, 소음민감도가 높은 집단은 도로교통소음이 제시된 6번과 13번 클립에서 내부소음에 대한 신경쓰임 정도가 증가했음을 확인할 수 있었다. 종합적인 경향성을 볼 때 소음민감도가 높은 집단은 외부에서 소리가 들리는 경우 더 높은 신경쓰임 정도를 보고했다는 점은 눈여겨볼만 하다. 특별히, 외부 도로교통소음이 추가된 6번 클립의 결과를 살펴보면, 소음민감도가 낮은 집단은 해당 클립에 대한 신경쓰임 정도를 14개 클립 중 가장 낮게 응답한 반면, 소음민감도가 높은 집단은 해당 클립에 대한 신경쓰임 정도를 가장 높게 응답하였다. 이와 같은 결과는 소음민감도가 낮은 집단에게 외부소음은 내부소음에 대한 ‘마스킹 효과’를 가지는 반면 소음민감도가 높은 집단에게 외부소음은 내부소음에 대한 불쾌감을 상승시키는 ‘조절 효과’를 가졌을 수 있다고 해석할 수 있다. 하지만 이 연구의 피험자 수 등을 고려할 때 이를 검증할 수 있는 추가적인 연구가 필요하다고 여겨진다. 선행 연구 중 개방형 사무실의 소음 노출과 업무 성취도 간 관계를 살펴보았을 때 소음에 더 민감한 사람들이 성취도 저하를 보이고 해당 음환경에 대한 부정적인 인식을 더 많이 보고하는 것으로 나타났다⁽²⁴⁾. 이와 같이, 이 연구에서 소음에 민감한 피험자들의 경우 외부소음 노출로 인한 부정적 음환경 인식이 실내소음 인식에 영향을 주었을 수 있다.

4. VR의 활용도

VR 청감실험의 활용도를 알아보기 위해 실험이 끝난 후에는 각 피험자에 대해 실험에 참여한 경험에 대한 인식조사를 실시하였다. 피험자들마다 실험에 참여하면서 느낀 점이나 생각한 바를 자유롭게 기술하도록 요청하였다. 조사 시간은 10분~30분 정도 소요되었다. 수집한 자료를 VR 청감실험의 장점과 단점으로 분류하였다. 형태소 분석을 통해 해당 자료의 전처리 작업을 거친 뒤 이에 대한 빈도분석을 실시하

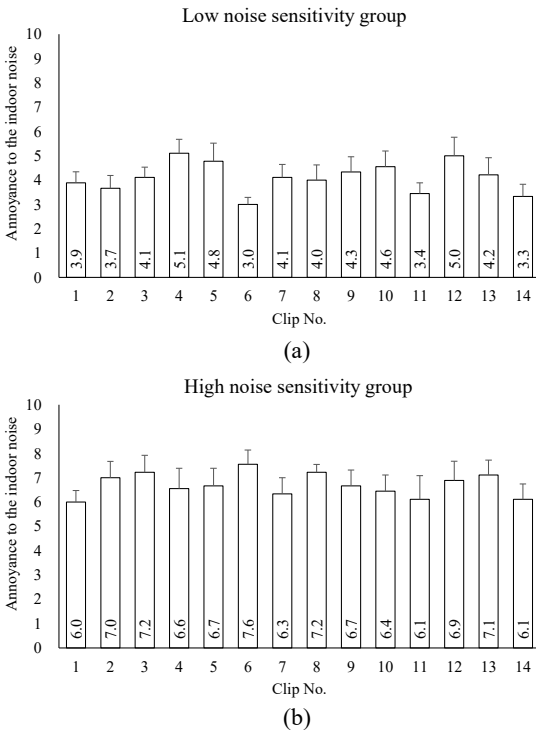


Fig. 9 Mean annoyance ratings reported by the low (a) and high (b) noise sensitivity groups; error bars indicate standard errors



Fig. 10 Benefits (top) and disadvantages (bottom) of the VR laboratory test

였다. Fig. 10은 해당 빈도분석 결과를 워드클라우드 로 도출한 것이다(분석 및 이미지 추출은 온라인 텍스트분석툴 KoALA 사용).

4.1 VR 활용의 장점

Fig. 10에서 보여주는 바와 같이 VR 청감실험의 대표적인 장점은 해당 기술을 활용해 실험 대상 공간을 구현한 몰입감과 관련된 것이었다. 피험자들은 VR 청감실험에 참여한 뒤 “실제 집에 있는 기분이었다”, “상당히 몰입되고 현실적이었다”, “진짜 집에서 들리는 층간소음처럼 생생하게 느껴졌다” 등 실험의 몰입감이나 현실감 등에 대해 보고하였다. 실험실 연구를 수행하는 주요 이유 중 하나는 연구자가 특정

요인을 관찰하기 위해 기타 요인은 효율적으로 통제할 수 있기 때문이다. 하지만 실험실 환경이 통제된 환경이기 때문에 여러 면에서 피험자들이 낮설게 느낄 수 있으며, 이는 피험자의 주관적 반응에 영향을 미칠 수 있다. 이 연구는 VR을 활용함으로써 통제된 실험실 조건(무향실)에서 최대한 ‘집’이라는 공간이 가진 특성을 제시함으로써 피험자들이 보다 실감나게 실험에 몰입할 수 있도록 하는데 도움이 되었다. 또한 층간소음에 대한 부정적 반응을 측정하고, 해당 반응이 소음민감도 집단에 따라 유의미한 차이를 보이는 것을 확인하였는데, 이로써 VR 청감실험이 기존 실험실에서 수행된 청감실험과 일관된 경향성을 도출한다는 점을 확인하였다.

선행 연구⁽²⁵⁾ 중 유선 VR 헤드셋을 사용한 연구를 살펴보면 헤드셋의 케이블이 생리반응 측정을 위한 전극 등과 마찰을 일으킬 가능성이 있어 피험자의 신체 움직임이 제한되었다고 보고된 바 있다. 이 실험에서 사용한 VR 헤드셋(Oculus Quest)은 독립형 무선 장비였으므로 피험자들이 자유롭게 움직일 수 있었다. 또한 헤드셋에 내장된 카메라가 제공하는 핸드트래킹 기능을 활용해 피험자들은 손쉽게 주관적 반응 척도의 점수를 선택할 수 있었다. 이에 피험자가 별도의 컨트롤러를 사용할 필요가 없었으므로 컨트롤러 사용 연습 등에 드는 실험 소요 시간도 절약할 수 있었다.

4.2 VR 활용의 단점 및 개선 필요사항

피험자들이 보고한 VR 청감실험의 단점 중 대표적인 내용은 VR 헤드셋 착용에 대한 것이었다. 피험자들은 “장시간 참여할 경우 집중력이 떨어질 것 같다”, “갈수록 기기가 무겁게 느껴졌다”, “헤드폰(VR 헤드셋)을 계속 끼고 있으니 얼굴이 아프게 느껴졌다” 등 VR 헤드셋의 착용으로 인한 불편감과 피로도에 대해 보고하였다. 헤드셋의 무게는 571 g이었다. 이 실험은 1시간 이내에 끝나도록 설계되었고 중간에 피험자가 원할 때마다 쉬는 시간을 가질 수 있었다. 그럼에도 불구하고 피험자들은 시간이 흐를수록 자신의 머리, 얼굴, 목 등으로 전달되는 헤드셋의 무게가 피로감을 야기할 수 있다. 물론 VR 헤드셋을 조금 느슨하게 착용하면 무게감을 덜 느낄 수 있다. 그러나 헤드셋 스트랩을 최대한으로 조여 머리에 확실히 고정되게끔 착용해야 화면이 선명하게 보이기 때문에 피험자들은 머리와 얼굴에 압박감을 느낄 수 있다.

VR 헤드셋을 사용할 경우, 해당 장비가 가진 유용한 기능을 겸비하면서 동시에 가벼운 장비를 활용하는 것이 중요할 것으로 사료된다. VR 실험 수행 시 피험자의 피로도 최소화를 위해 실험 소요시간을 적절히 안배할 수 있도록 해야 한다. 또한 헤드셋을 사용하지 않고 돔(dome)이나 룸(room) 형태의 VR CAVE를 활용할 경우 해당 공간이 가지는 공간감 등으로 인해 보다 효율적인 몰입감 형성이 가능할 것으로 사료된다.

5. 결 론

이 연구는 외부 음환경, 시간환경, 그리고 개인의 소음민감도에 따라 피험자의 내부소음 인식이 어떻게 바뀌는지 알아보았다. 실험 결과, 주택 내부와 외부 시각 요소의 변화 및 외부 음환경이 내부소음에 대한 신경쓰임 정도에 일부 영향을 주는 것으로 나타났다. 개인의 소음민감도는 각자의 반응에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 소음에 덜 민감한 사람들은 주변 음환경에 영향을 받아 실내 소음에 대한 부정적 반응이 감소되는 반면 소음에 민감한 사람들은 주변 소음이 존재할 때 실내 소음에 대해 더 높은 부정적 반응을 보고한 것을 확인하였다. 이러한 연구 결과는 향후 주택 내·외부 사운드스케이프 연구에 기반이 될 수 있으며, 개인별 맞춤형 사운드마스킹 디자인이 필요함을 시사한다.

아울러, 이 연구는 VR을 활용함으로써 기존 청감실험 방법의 제한사항을 보완할 수 있는 방법을 모색하였다. 특별히, 피험자가 통제된 실험실 환경에서 VR 헤드셋을 착용함으로써 시각적으로는 주택 내부와 유사한 환경에 노출되어 현장감 및 몰입감을 느낌과 동시에 실험실의 물리적 공간 내부에는 통제된 환경을 구현할 수 있었다.

이 연구에서는 개인의 성격요인으로 소음민감도만 고려했지만 향후 연구를 통해 시각요소에 대한 개인의 선호도, 시간환경에 대한 개인의 민감도 등을 함께 고려함으로써 그 방향을 확대할 수 있을 것이다. 더불어, 주변의 시각 및 음환경뿐 아니라 주거 환경을 구성하는 복합적인 환경요인(온도, 습도, 빛 환경 등)을 함께 고려해 주택 내부의 통합적 쾌적성을 향상시키는 것이 주택 내부소음 인식을 개선하는 데에도 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

후 기

이 연구는 한국건설기술연구원 주요사업 연구비지원(20200423-001)에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) Rice, C. G., 1996, Human Response Effects of Impulse Noise, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 190, No. 3, pp. 525-543.
- (2) Cohen, J., Cohen, P., West, S. G. and Aiken, L., 2003, *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences* (3rd ed.), Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. Mahwah, NJ.
- (3) Yu, N., Cai, J., Xu, X., Yang, Y. and Sun, J., 2020, Masking Effects on Subjective Annoyance to Aircraft Flyover Noise: An Fmri Study, *Human Brain Mapping*, Vol. 41, No. 12, pp. 3284-3294.
- (4) Haapakangas, A., Kankkunen, E., Hongisto, V., Virjonen, P., Oliva, D. and Keskinen, E., 2011, Effects of Five Speech Masking Sounds on Performance and Acoustic Satisfaction. Implications for Open-plan Offices, *Acta Acustica United with Acustica*, Vol. 97, No. 4, pp. 641-655.
- (5) Hongisto, V., Varjo, J., Oliva, D., Haapakangas, A. and Benway, E., 2017, Perception of Water-based Masking Sounds-long-term Experiment in an Open-plan Office, *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, p. 1177.
- (6) Kim, J. H., Song, H. S., Lee, S. M., Park, H. S., Lee, W. Y., Cho, S. K. and Ryu J. K., 2019, Investigation on Masking Effect of Artificial and Natural Sounds on Floor Impact and Drainage Noises, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 29, No. 6, pp. 714-721.
- (7) Heo, J. Y., You, J. and Jeon, J. Y., 2010, Investigation of Masking Effect of Water Sounds on Road Traffic Noise Using Semantic Differential Method, *Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference*, pp. 548-549.
- (8) Pedersen, E. and Larsman, P., 2008, The Impact of Visual Factors on Noise Annoyance Among People Living in The Vicinity of Wind Turbines, *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 28, No. 4, pp. 379-389.
- (9) Sun, K., de Coensel, B., Sanchez, G. M. E., van

Renterghem, T. and Botteldooren, D., 2018, Effect of Interaction Between Attention Focusing Capability and Visual Factors on Road Traffic Noise Annoyance, *Applied Acoustics*, Vol. 134, pp. 16~24.

(10) Laszlo, H. E., McRobie, E. S., Stansfeld, S. A. and Hansell, A. L., 2012, Annoyance And Other Reaction Measures to Changes In Noise Exposure? A Review, *Science of the Total Environment*, Vol. 435, pp. 551~562.

(11) Park, S. H., Lee, P. J. and Yang K. S., 2016, Perception and Reaction to Floor Impact Noise in Apartment Buildings: A Qualitative Approach, *Acta Acustica United with Acustica*, Vol. 102, No. 5, pp. 902~911.

(12) Kim, J. H., Song, H. S., Lee, S. M., Kim, S. H. and Ryu J. K., 2020, Non-acoustical Factors Affecting Annoyance by Floor Impact Noise in Apartment, *Proceedings of the KSAE 2020 Annual Autumn Conference*, p. 88.

(13) Zimmer, K. and Ellermeier, W., 1999, Psychometric Properties of Four Measures of Noise Sensitivity: A Comparison, *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 19, No. 3, pp. 295~302.

(14) Öhrström, E., Björkman, M. and Rylander, R., 1988, Noise Annoyance with Regard to Neurophysiological Sensitivity, Subjective Noise Sensitivity and Personality Variables, *Psychological Medicine*, Vol. 18, No. 3, pp. 605~613.

(15) Job, R. S., 1999, Noise Sensitivity as a Factor Influencing Human Reaction to Noise. *Noise and Health*, Vol. 1, No. 3, pp. 57~68.

(16) Park, S. H., Lee, P. J. and Lee, B. K., 2017, Levels And Sources of Neighbour Noise in Heavyweight Residential Buildings in Korea, *Applied Acoustics*, Vol. 120, pp. 148~157.

(17) Weinstein, N. D., 1978, Individual Differences in Reactions to Noise: A Longitudinal Study in a College Dormitory, *Journal of Applied Psychology*, Vol. 63, No. 4, pp. 458~466.

(18) Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G. and Buchner, A., 2007, G* Power 3: A Flexible Statistical Power Analysis Program for the Social, Behavioral, and Biomedical Sciences, *Behavior Research Methods*, Vol. 39, No. 2, pp. 175~191.

(19) Cohen, J., 1992, A Power Primer, *Psychological Bulletin*, Vol. 112, No. 1, pp. 155~159.

(20) Klæboe, R. and Sundfør, H. B., 2016, Windmill

Noise Annoyance, Visual Aesthetics, and Attitudes Towards Renewable Energy Sources, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 13, No. 8, p. 746.

(21) Van den Berg, A. E., Koole, S. L. and van der Wulp, N. Y., 2003, Environmental Preference and Restoration: (How) Are They Related?, *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 23, No. 2, pp. 135~146.

(22) Ryu, J. K. and Jeon, J. Y., 2011, Influence of Noise Sensitivity on Annoyance of Indoor And Outdoor Noises in Residential Buildings, *Applied Acoustics*, Vol. 72, No. 6, pp. 336~340.

(23) Park, S. H., Lee, P. J. and Jeong, J. H., 2018, Effects of Noise Sensitivity on Psychophysiological Responses To Building Noise, *Building and Environment*, Vol. 136, pp. 302~311.

(24) Haapakangas, A., Hongisto, V., Hyönä, J., Kokko, J. and Keränen, J., 2014, Effects of Unattended Speech on Performance and Subjective Distraction: The Role of Acoustic Design in Open-plan Offices, *Applied Acoustics*, Vol. 86, pp. 1~16.

(25) Park, S. H., Lee, P. J., Jung, T. and Swenson, A., 2020, Effects of The Aural And Visual Experience on Psycho-physiological Recovery in Urban and Rural Environments, *Applied Acoustics*, Vol. 169, p. 107486.



human well-being in built environments.

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.

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.

