Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng., 29(6) : 714~721, 2019
https://doi.org/10.5050/KSNVE.2019.29.6.714

한국소음진동공학회논문집 제 29 권 제 6 호, pp. 714~721, 2019
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

바닥충격음 및 배수음에 대한 인공음과 자연음의 마스킹효과 조사

Investigation on Masking Effect of Artificial and Natural Sounds on Floor Impact and Drainage Noises

김 정 훈*·송 한 솔*·이 송 미*·박 한 솔*·이 우 영*·조 성 근*·류 종 관†

Jeonghun Kim*, Hansol Song*, Songmi Lee*, Hansol Park*, Wooyoung Lee*, Sungkuen Cho* and Jongkwan Ryu†

(Received September 6, 2019 ; Revised October 29, 2019 ; Accepted October 29, 2019)

Key Words : Residential Noise(주거환경소음), Masking Effect(마스킹효과), Artificial & Natural Sound(인공자연음)

ABSTRACT

This study investigated the effect of artificial and natural sounds on the masking of residential noises through auditory experiments. Residential noises consisted of floor impact noise (children jumping) and toilet flushing noise. As masking sounds, white, pink, and brown noises were used for artificial sounds and waterfall, stream, wave, rain-fall, insect, and bird sounds were included as natural sounds. In the auditory experiment, thirty subjects rated their masking sound preferences and annoyance (7 point verbal scale) for residential noises and residential noises mixed with masking sounds with equal sound levels. In addition, the represented sound level of masking sounds was modified to −3 dB, 0 dB and +3 dB from the original sound level; the annoyance rating experiment was repeated for the residential noises mixed with masking sounds. Results showed that stream and wave sound had the greatest masking effects for both residential noises and that insect and bird sounds did not have any masking effects. A sound masking effect was also observed for masking sounds 3 dB lower and higher than residential noise. It was also found that components in the middle-frequency range of the masking sound are important for the masking of residential noises.

1. 서 론

공동주택에서 발생되는 대표적인 주거환경소음은 바닥충격음, 급배수설비소음, 세대 간의 공기전달음, 외부교통소음 등이 있다. 정부에서는 주택건설기준등을 적용하여 규제하고 있고, 완충재, 건축 차음구조 개발 등 주거환경 소음을 저감하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만, 한국환경공단 산하 층간소음이웃센터의 2018년 통계 결과[1], 층간소음의 민원은 2017년 대비 5382건이 증가되었고 전체 민원 중 바닥충격음(아이들이 뛰거나 발걸음 소리)의 경우 28 186건(70 %), 급배수소음의 경우(화장실 등) 116건(0.3 %)인 것으로 나타났다. 이와 같이, 기존의 완충재 등 물리적인 차음기술 만으로는 거주자가 만족할 만한 주거공간의 음환경 개선에는 한계가 있다. 따라서, 물리

† Corresponding Author; Member, School of Architecture, Chonnam National University
E-mail : jkryu@jnu.ac.kr
* Member, Dept. of Architectural Engineering, Chonnam National University

‡ Recommended by Editor Won Ju Jeon

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

적인 측면과 더불어 감성적인 측면에서의 층간소음 개선방안 도출을 위한 학술적·기술적 접근방법이 필요한 것으로 판단된다.

한편, 사운드스케이프 관련 연구에서는 외부 환경소음을 대상으로 물소리 등의 자연음에 의한 마스킹을 이용한 소음의 감성반응 개선 연구가 진행되었다[2~6]. 마스킹 현상은 크게 에너지적 마스킹과 정보적 마스킹으로 분류될 수 있다. 먼저, 에너지적 마스킹은 특정 대상 음(마스키)를 듣고자 할 때 또는 듣게 될 때, 또 다른 음(마스커)에 노출 되면 그 대상 소리를 완전히 또는 부분적으로 듣지 못하는 청각 프로세스이다. 이러한, 마스킹 현상은 일반적으로 두 개의 소리(마스커, 마스키)의 시간 및 주파수 특성이 유사할 때 크게 나타난다. 또한, 정보적 마스킹은 음향특성과는 별개로 마스커음의 발생으로 마스키음의 집중도(주의력)를 떨어뜨려 그 감각에 영향을 미치는 현상이다. 사운드스케이프 관련 기존 연구결과에 의하면, 새소리, 곤충소리, 물소리 등의 자연음이 외부 환경소음(도로교통, 공사장 소음)을 마스킹하여 외부 소음환경에 대한 쾌적도를 향상시키는 것으로 나타났다. 또한, 마스킹음으로서 자연음의 음압레벨에 따른 마스킹 효과에 대한 연구가 진행되었다. Watts et al.의[4] 연구에서는 다양한 배경소음(교통소음, 공사장 소음 등)에서 물소리의 음압레벨 범위에 따른 마스킹효과의 조사결과, 물소리가 배경소음보다 7 dB 낮을 때에도 감성적인 측면에서 공원의 음환경 개선이 된 것으로 나타났다. Jeon et al.의[5] 연구에서도 도로교통소음을 대상으로 마스커음(자연음)의 음압 레벨에 따른 마스킹 효과를 조사한 결과, 마스커음의 음압레벨이 6 dB 감소하였음에도 마스킹에 의해 쾌적도가 증가하는 결과를 도출하였다. 또한, Galbrun et al.의[6] 연구에 의하면 여러 종류의 물소리 중 심리음향 파라메타인 sharpness값이 낮고 음압레벨의 시간적 변동이 큰 물소리가 도로교통소음에 대한 감성반응을 개선하는 것으로 조사되었다. 한편, Yang의[7] 연구에서는 다양한 실내온도 조건에서 물소리에 대한 바닥충격음의 감성 측면에서의 개선효과를 조사한 결과, 물소리가 바닥충격음의 신경쓰임을 부분적으로 저감시키는 것으로 나타났으나, 이러한 결과는 실내 온도와 음압레벨의 조건에 따라 상이한 것으로 조사되었다. 이와 같이 마스킹효과를 이용한 음향환경 개선연구는 주로 외부 환경소음을 대상으로 진행되어 왔다. 그러나, 주거환경소음은 외부 환경소음과 노출환경 및 시간변동 특성 등 음향학적 특성이 상이함으로 주거 음환경 개선을 위한 연구가 필요하다.

이 연구에서는 청감실험을 통하여 바닥충격음 및 배수음(이하: 주거환경소음)에 효과적인 마스킹음로서의 인공음 및 자연음의 종류를 조사 하였다. 또한, 마스킹음의 음압레벨에 따른 신경쓰임을 조사하였으며, 마스킹 효과가 주요하게 나타내는 마스킹음의 주파수 특성을 조사 하였다.

2. 실험방법

2.1 음원선정

공동주택 주거환경소음 중 거주자에게 가장 많은 영향을 미치고 있는 바닥충격음(어린이 점핑)과 배수음(욕실 변기)을 마스키음(maskee sound)으로서 사용하였다. 바닥충격음과 배수음은 아파트(면적: 84 m^2, 바닥두께: 210 mm, 구조: 철근콘크리트)의 거실 중앙 및 화장실 중앙에서 녹음기능인 있는 소음계(NL-52, rion, IEC 61672-1: 2002 class 1)를 이용하여 각각 녹음(수음위치: 1.2 m)되었다. 마스커음(masker sound)은 인공음인 브라운 노이즈, 핑크 노이즈, 화이트 노이즈와 자연음인 물과 관련된 파도소리, 계곡물소리, 비소리, 폭포소리와 곤충소리(귀뚜라미), 새소리(물총새)를 이용하였다. 마스커음 중 인공음은 음향편집 소프트웨어인 Adobe Audition을 사용하여 제작하였고, 자연음은 자연환경에서 녹음된 소리를 웹사이트[8]를 통해 취득하였다. Fig. 1은 마스키음인 주거환경소음과 마스커음인 인공음 및 자연음의 주파수특성을 나타내고 있다. 마스커음의 각 음원의 주파수 특성은 저주파수, 중주파수, 고주파수에서 특성을 각각 다르게 구성하여 중복효과가 발생하지 않도록 하였다. Fig. 1(a)에서와 같이 바닥충격음은 25 Hz ~ 200 Hz 대역에서 높은 음압레벨을 나타내고 있으며, 배수음의 경우 1 kHz 대역까지 비교적 평탄한 주파수 특성을 나타내고 있다. 또한, 인공소음의 경우 Fig. 1(b)에서와 같이 음원종류별 상이한 주파수 특성을 보여주고 있다. 자연소음의 경우 Fig. 1(c)와 1(d)에서와 같이 폭포와 빗소리는 핑크노이즈와 유사하게 비교적 평탄한 주파수 특성을 나타내며, 계곡물소리와 파도소리는 각각 중저주파수 대역(125 Hz ~ 800 Hz)과 중고주파수대역(315 Hz ~ 2 kHz)에서 높은 음압레벨을

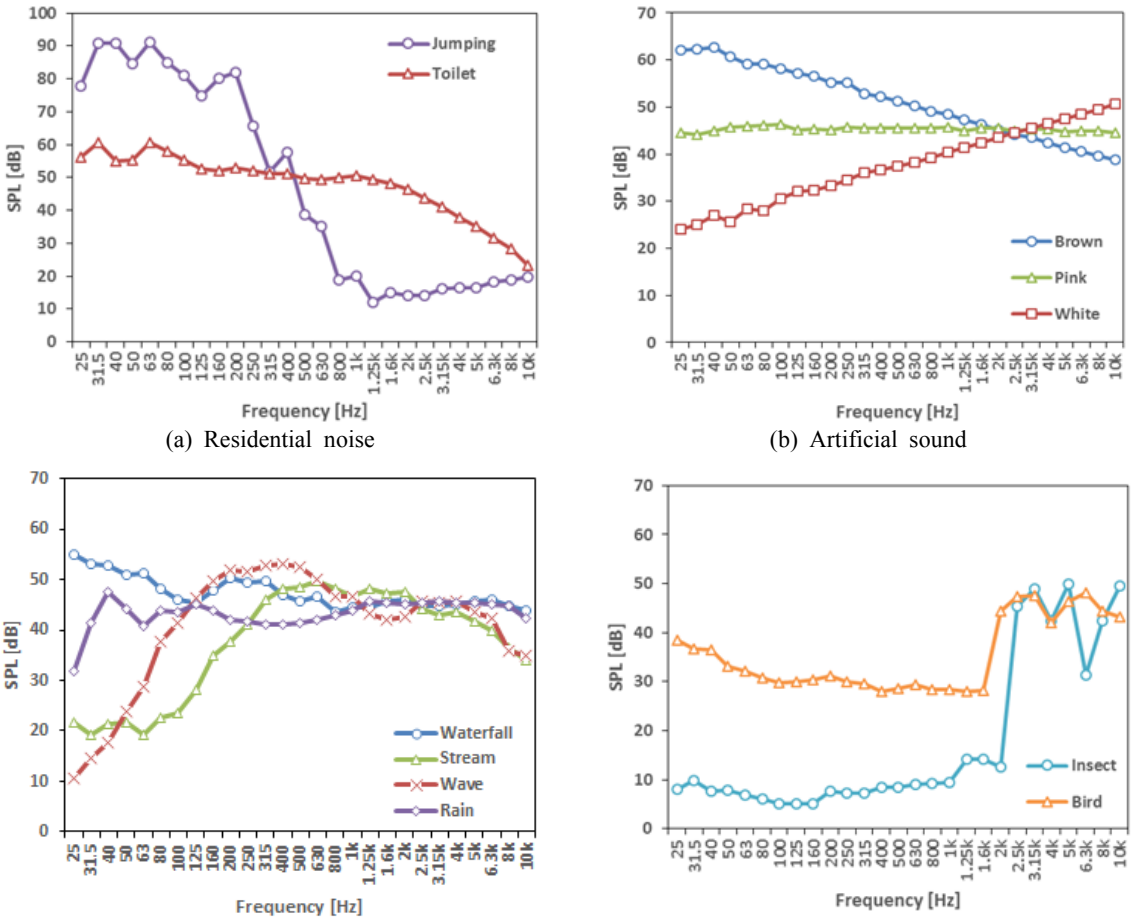
보이고 있다. 반면, 곤충과 새소리는 2 kHz 이상 고주파대역에서 높은 음압레벨을 나타내고 있다.

2.2 음원편집

주거환경소음과 인공음 및 자연음의 길이는 각각 5초로 편집하였다. 바닥충격음은 총 3번의 충격음이 포함되도록 편집하였고, 배수음은 변기 배수음중 최대 음압레벨이 포함되도록 편집하였다. 주거환경소음의 음압레벨은 '공동주택 층간소음의 범위와 기준에 관한 규칙[9]'의 소음기준을 참고하여, 바닥충격음의 경우 57 dB(L_{Amax}), 배수소음은 45 dB(L_{Aeq})로 하였고, 인공음 및 자연음은 주거환경소음과 동일레벨로 제작되었다. 추가실험을 위해 masker-to-noise ratios(MNR)가 –3 dB, 0 dB, +3 dB 되도록 인공음 및 자연음(masker)의 음압레벨을 주거환경소음(noise)의 음압레벨 대비 –3 dB, 0 dB, +3 dB이 되도록 조정하여 추가 음원을 제작하였다.

2.3 실험절차

청감실험은 외부소음(배경소음 레벨 15 dBA 수준)과 잔향시간(0.19초, 500 Hz와 1 kHz 평균)을 최소화한 청감실험실(H × D × W : 2.7 m × 2.7 m × 4.4 m = 32 m^3)에서 진행하였다. 피험자는 정상청력을 가진 20대 남녀 30명을 대상으로 헤드폰(Sennheiser HD 600)을 사용하여 총 4개의 청감실험을 진행하였다. Table 1은 4개 실험의 구성 및 각 음원의 음압레벨을 나타내고 있다. 먼저, 실험1에서는 인공음과 자연음이 45 dBA(L_{eq})의 음압레벨로 각각 제시된 상황에서 선호도 평가를 실시하였으며, 실험2에서는 주거환경소음인 바닥충격음(L_{Amax}:57 dB)과 배수음(L_{Aeq}:45 dB)이 각각 단독으로 제시된 상황에서 신경쓰임평가를 실시하였다. 실험3은 주



(a) Residental noise (b) Artificial sound

(c) Natural sound-1 (d) Natural sound-2

Fig. 1 SPL as a function of 1/3 octave band for residental noise, artificial, and natural sound (L_{eq} except for floor impact sound, L_{max})

거환경소음(maskee)과 인공음 및 자연음(masker)이 혼합된 복합음에 대한 신경쓰임 평가(동일레벨: MNR 0 dB)를 실시하였으며, 실험4는 주거환경소음(maskee)과 인공음 및 자연음(masker)이 혼합된 복합음에 대한 신경쓰임 평가를 MNR이 –3 dB, 0 dB, +3 dB인 조건에서 진행하였다. 실험4의 경우, 실험3에서 마스킹효과가 가장 크게 나타난 자연음인 계곡물소리와 파도소리를 대상으로 진행하였다. 실험1 ~ 실험4에서의 선호도와 신경쓰임 평가는 7점 어휘 평정척도를[10] 이용하여 진행하였다.

3. 실험결과

3.1 인공음 및 자연음의 선호도(실험1의 결과)

Fig. 2는 9개의 인공음 및 자연음의 마스킹사운드로서의 선호도를 나타내고 있다. Fig. 2에서와 같이 계곡물소리, 새소리, 비소리가 4.4 ~ 4.8의 값을 나타내 높은 선호도를 나타냈고, 인공소음인 화이트노이즈, 핑크노이즈, 브라운노이즈는 2.1 ~ 3의 값을 나타내 낮은 선호도를 나타내고 있다.

3.2 주거환경소음과 인공/자연음 복합음의 신경쓰임(동일레벨, MNR: 0 dB 조건, 실험2, 3의 결과)

Fig. 3은 주거환경소음을 단독 제시했을 경우의 신경쓰임과 주거환경소음과 인공음 및 자연음을 혼합한 복합음의 신경쓰임의 차이를 나타내고 있다. Fig. 3(a)에서와 같이 바닥충격음의 경우 인공음 및 자연음을 혼합하였을 때, 화이트노이즈를 제외하고 모든 인공음 및 자연음에서 0.1 ~ 1.6의 신경쓰임 정도가 감소하는 것으로 나타났다. 신경쓰임 차이의 통계검정(대응표본 T-test) 결과, 통계적으로 유의한 차이(p<0.01)를 나타낸 인공/자연음은 브라운노이즈, 파도소리, 핑크노이즈, 계곡물소리, 비소리, 폭포소리인 것으로 나타났으며, 인공소음인 브라운노이즈와 자연음인 파도소리가 가장 큰 신경쓰임 감소를 나타내었다. 반면, 곤충소리, 새소리, 화이트노이즈에 의한 신경쓰임 감소는 통계적으로 유의하지 않았다.

Fig. 3(b)에서와 같이 배수음의 경우 인공음 및 자연음을 혼합하였을 때, 곤충소리를 제외하고 0.3 ~ 1.4의 신경쓰임 정도가 감소하는 것으로 나타났다. 신경쓰임 차이의 통계검정(대응표본 T-test) 결과, 통계적으로 유의한 차이(p<0.01)를 나타낸 인공음 및 자연음은 브라운노이즈, 계곡물소리, 파도소리, 핑크노이즈, 폭포소리, 비소리인 것으로 나타났으며, 인공소음인 브라운노이즈와 자연음인 계곡물소리가 가장 큰 신경쓰임 감소를 나타내었다. 반면, 새소리, 화이트노이즈, 곤충소리에 의한 신경쓰임 감소는 통계적으로 유의하지 않았다.

3.3 주거환경소음과 인공/자연음 복합음의 신경쓰임 (MNR: –3 dB, 0 dB, +3 dB 조건, 실험2, 4의 결과)

Fig. 4는 주거환경소음을 단독 제시했을 때의 신경쓰임과 자연음(파도소리, 계곡물소리)이 혼합된 복합음의 신경쓰임의 차이를 MNR이 –3 dB, 0 dB, +3 dB 조건에서 조사된 결과를 나타내고 있다. Fig. 4에서와 같이 바닥충격음 및 배수소음은 파도소리 및 계곡물소리를 각각 혼합하였을 때 MNR이 증가함에 따라 신경쓰임 정도도 감소하는 것으로 나타났다. 특히, MNR이 –3 dB인 조건에서도 바닥충격음과 배수소음의 신경쓰임이 자연음에 의해 약 0.6 ~ 1.0 정도 감소한 것으로 나타났다.

Table 1 Experimental condition and SPL of test sound

	Jumping	Artificial& natural	Toilet	Artificial& natural
	L_{Amax} (dB)		L_{Aeq} (dB)	
Exp.-1	-	-	-	45
Exp.-2	57	-	45	
Exp.-3	57	57	45	45
Exp.-4	57	54, 57, 60	45	42, 45, 48

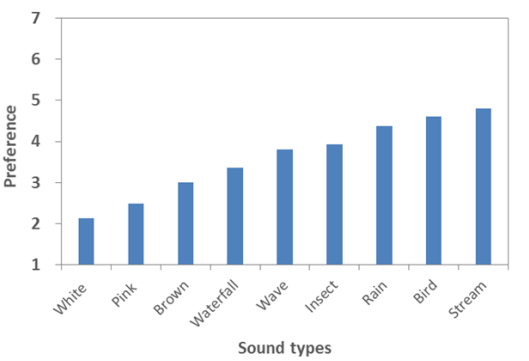
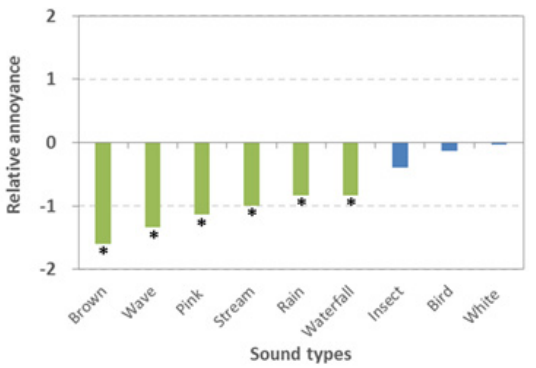


Fig. 2 Preference of artificial and natural sound as masking sound in Exp-1

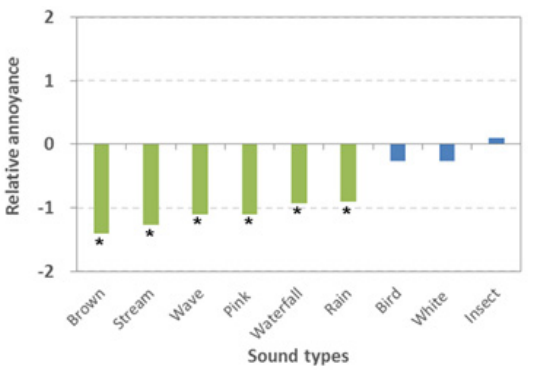
4. 토 의

4.1 인공음 및 자연음 종류에 따른 마스킹 효과

주거환경소음 단독음원과 주거환경소음과 인공음 및 자연음의 복합음원(MNR: 0 dB)의 신경쓰임을 청감실험을 통해 조사한 결과, 바닥충격음과 배수음에 공통적으로 신경쓰임이 저감된 마스킹음은 인공음의 경우 브라운노이즈, 핑크노이즈와 자연음의 경우 계곡물소리, 파도소리, 폭포소리, 비소리인 것으로 나타났다. 이는 주거환경소음에 대한 인공음 및 자연음의 마스킹 효과에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 외부환경소음을 대상으로 한 기존연구에서[2~6] 계곡물소리와 파도소리의 마스킹 효과를 통해 감성반응이 개선된 결과와 유사한 것으로 나타났다. 반면, 바닥충격음에 대한 물소리의 마스킹 효과를 연구한 Yang의[7] 연구에서 특정 온도에서 물소리에 의한 감성반응 개선효과가 부분적으로 나타났지만, 온도 조건에 따라서 상이한 결과가 도출되었다. 이 연구결과와의 차이는 실험에 사용된 물소리의 주파수 특성과 실험환경의 차이 때문인 것으로 사료된다. 또한, Hao의[2] 연구에서 외부 교통소음에 대한 새소리의 마스킹효과는 외부 교통소음환경에 대한 쾌적도는 개선시켰으나, 일정 음압레벨의 새소리는 오히려 신경쓰임을 증가시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 새소리가 주거환경소음의 신경쓰임 저하에 효과가 없었던 이 연구 결과와 유사한 것으로 나타났다.

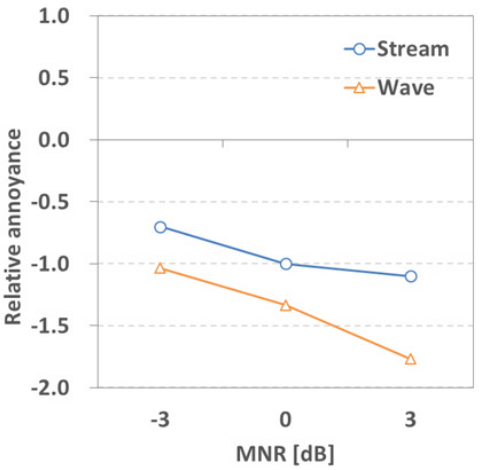


(a) Jumping noise

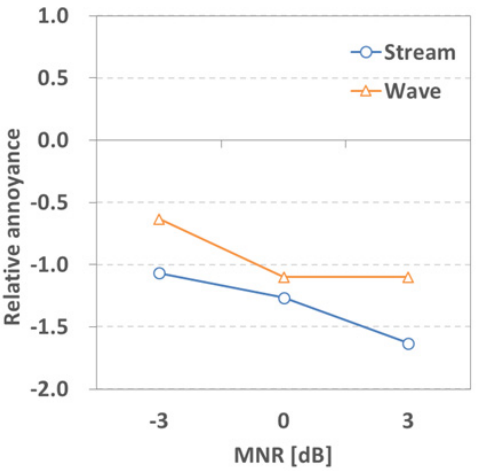


(b) Toilet noise

Fig. 3 Relative annoyance of combined sound of residential noise to the residential noise ($annoyance_{combined} - annoyance_{residential}$) in the condition of MNR 0 dB from Exp. 2 and 3; Asterisks statistically indicate significant differences in annoyance ($p < 0.01$)



(a) Jumping noise



(b) Toilet noise

Fig. 4 Relative annoyance of combined sound of residential noise and masking sound to the residential noise ($annoyance_{combined} - annoyance_{residential}$) as a function of MNR from Exp. 2 and 4

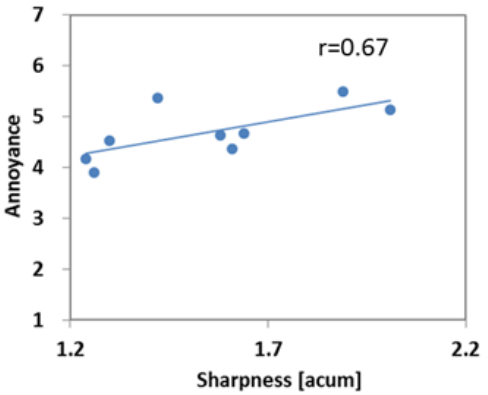
한편, 인공음 및 자연음의 마스킹으로서의 선호도와 신경쓰임 저감정도의 관계를 살펴보았을 때, 선호도가 낮은 계곡물소리와 파도소리에서 신경쓰임이 저하되었고, 선호도가 높았던 새소리와 곤충소리에서는 증가되었다. 인공음 및 자연음의 선호도와 신경쓰임 감소정도의 상관계수는 모두 0.1이하(p>0.05)로 나타나 두 변수간의 상관성은 미미한 것으로 판단된다.

4.2 인공음 및 자연음의 음압레벨에 따른 마스킹 효과

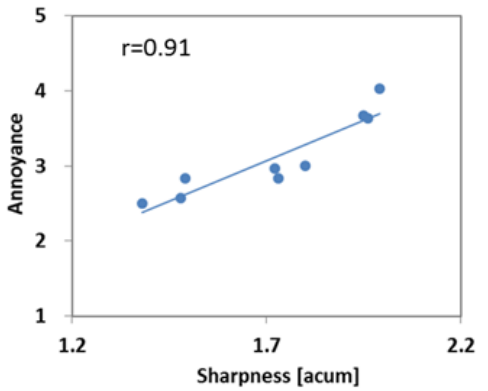
주거환경소음과 인공음 및 자연음원의 신경쓰임(MNR: -3 dB, 0 dB, +3 dB)을 청감실험을 통해 조사한 결과, 인공음 및 자연음원의 음압레벨의 변동에도 계곡물과 파도 소리에 의해 바닥충격음과 배수음의 신경쓰임의 저감된 것으로 나타났다. 특히, 주거환경소음 대비 인공음 및 자연음의 음압레벨이 3 dB 감소되었음에도 신경쓰임이 저감되었다. 이러한 결과는 외부환경소음과 물소리 등을 대상으로 한 기존연구에서[4,5] MNR –6 dB ~ –7 dB 조건에서도 소음에 대한 감성반응이 개선된 결과와 유사한 것으로 나타났다. 인공음 및 자연음의 음압레벨 감소에도 마스킹효과가 존재했기 때문에, 주거환경소음의 감성적인 측면에서 소음환경 개선을 위한 최적의 인공음 및 자연음의 음압 레벨 도출에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4.3 인공음 및 자연음의 스펙트럼에 따른 마스킹 효과

청감실험 결과 자연음 중 마스킹효과가 가장 높았던 계곡물소리와 파도소리의 스펙트럼을 살펴보면, Fig. 1에서와 같이 각각 중저주파수 대역(125 Hz ~ 800 Hz)과 중고주파수 대역(315 Hz ~ 2 kHz)에서 높은 음압레벨을 갖고 있는 것으로 나타났다. 반면, 마스킹 효과가 없었던 새소리와 곤충소리의 스펙트럼을 살펴보면, Fig. 1에서와 같이 2 kHz 이상 고주파대역에서 높은 음

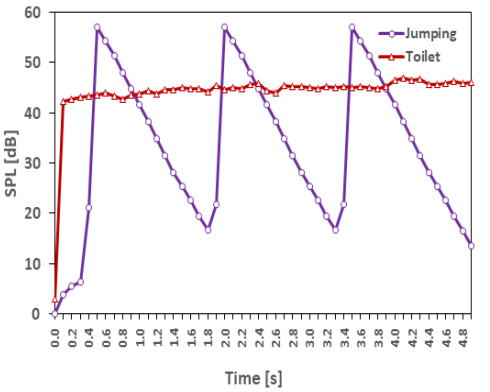


(a) Jumping noise

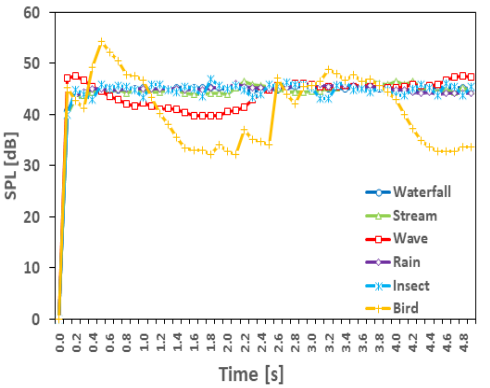


(b) Toilet noise

Fig. 5 Annoyance score due to sound source combined by residential noise and natural sound as a function of sharpness



(a) Residential noise



(b) Natural sound

Fig. 6 SPL as a function of time for residental noise and natural sound (L_{eq} except for floor impact sound, L_{max})

압레벨인 것으로 나타났다. Fig. 5는 주거환경소음과 인공음 및 자연음의 복합음원을 대상으로 심리음향 파라메타인 sharpness와[11] 신경쓰임정도에 대한 상관성을 조사한 결과를 나타내고 있다. Fig. 5에서와 같이, 바닥충격음 및 배수음 모두 sharpness의 값이 높을수록 신경쓰임정도가 증가하며 두 변수 간 상관계수는 바닥충격음 및 배수음의 경우 각 0.67과 0.91로 높은 상관성을 나타내었다(p<0.01). 이러한 결과는 외부교통소음 및 물소리를 대상으로 연구한 Galbrun et al.의[6] 연구에서 낮은 sharpness를 가진 물소리가 음환경을 개선한다는 결과와 유사하게 나타났다.

4.4 주거환경소음 및 자연음의 시간적 특성에 따른 마스킹 효과

Fig. 6는 주거환경소음 및 자연음의 시간변화에 따른 음압레벨을 나타내고 있다. Fig. 6을 통하여 시간적 특성에 따른 마스킹 효과를 조사한 결과, 마스킹 효과가 가장 좋았던 계곡물소리와 파도소리의 시간적 특성이 다르며, 가장 효과가 좋지 않았던 새소리와 곤충소리의 특성도 다르게 나타났다. 또한, 정상소음인 자연음을 통해 비정상소음인 바닥충격음에 마스킹 효과가 나타났다. 이러한 결과들은 신경쓰임 관점에서 마스킹음의 효과는 음원의 시간적 특성과는 별개로 마스키음에 추가되는 마스킹음의 존재 자체에 의미가 있으며, 그 효과의 크기는 마스킹음의 음압레벨과 주파수 특성에 영향을 받는 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구에서는 청감실험을 통하여 주거환경소음(바닥충격음, 변기배수음)에 마스킹 효과를 나타내는 인공 및 자연음(마스킹음)을 조사하였고, 마스킹음의 음압레벨에 따른 신경쓰임과 효과적인 마스킹음의 주파수 특성을 조사 하였다. 실험결과, 주거환경소음에 대한 감성적인 소음 저감효과가 큰 자연음은 계곡 물소리와 파도소리였다. 또한, 인공음 및 자연음의 음압레벨에 따른 주거환경소음의 마스킹 효과를 조사한 결과, 인공음 및 자연음이 주거환경소음보다 3 dB 작은 음압레벨에도 신경쓰임이 저하된 것으로 타났다. 그리고, 주로 중주파수대역의 음압레벨이 상대적으로 높은 음원이 마스킹 효과가 크게 나타났다.

향후, 주거환경소음의 개선은 물리적인 접근으로는 한계가 있으므로, 만족할 만한 정온한 주거환경 구축을 위해서는 감성적인 측면에서의 마스킹효과를 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 기존 연구 및 이 연구 결과에서와 같이 공간 소음환경에 대한 개선효과가 있는 것으로 나타난 물소리에 대한 실내 주거공간으로의 도입방안이 강구되어야 할 것이다. 이를 위해, 분수를 이용한 방법, 인공 폭포, 수족관 등 물이 이용되는 설비 및 집기 등을 이용하거나 필요시 스피커 등 확성장치도 활용 가능할 것으로 보인다. 향후, 주거환경소음의 보다 효율적인 마스킹을 위해 물소리 등의 음원을 대상으로 물리(시간 및 주파수 특성, 음압레벨 등) 및 심리 음향학적 평가를 통해 최적의 마스킹음 설계 및 도입방안을 구축하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2016R1A2B4015579, 2019R1A2B5B01070413).

References

(1) Korea Environment Corporation, 2019, Report on 2018 Operating Results of Inter-storied Noise Neighborhood Center.

(2) Hao, Y., Kang, J. and Wortche, H., 2016, Assessment of Masking Effects of Birdsong on the Road Traffic Noise Environment, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 140, No. 2, pp. 978~987, doi: 10.1121/1.4960570.

(3) Hong, J. Y., Lam, B., Ong, Z. T., Gupta, R. and Gan, W. S., 2017, Suitability of Natural Sounds to Enhance Soundscape Quality in Urban Residential Areas, 24th International Congress on Sound and Vibration, London, http://hdl.handle.net/10220/43816.

(4) Watts, G., Pheasant, R., Horoshenkov, K. V. and Ragonesi, L., 2009, Measurement and Subjective Assessment of Water Generated Sounds, Acta Acustica United with Acustica, Vol. 95, No. 6, pp. 1032~1039.

(5) Jeon, J. Y., Lee, P. J., You, J. and Kang, J., 2010, Perceptual Assessment of Quality of Urban Soundscapes with Combined Noise Sources and Water

Sounds, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 127, No. 3, pp. 1357~1366, doi: 10.1121/1.3298437.

(6) Galbrun, L. and Ali, T. T., 2013, Acoustical and Perceptual Assessment of Water Sounds and Their Use over Road Traffic Noise, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 133, No. 1, pp. 227~237, doi: 10.1121/1.4770242.

(7) Yang, W. Y., 2018, Effect of Indoor Water Sounds on Floor Impact Noise Perception and Overall Environmental Comfort, Journal of the Korean Society of Living Environmental System, Vol. 25, No. 5, pp. 611~619.

(8) Audiomicro Inc., Free Bird Sound Effects, https://www.audiomicro.com/free-sound-effects/free-animal-sound-effects/free-bird-sound-effects.

(9) Land, Infrastructure and Transport Ministry Decree, No. 97, 2014 , Rules on the Range and Standard of Noise Between Floors of Apartment Houses.

(10) Ryu, J. K., Jeon, J. Y. and Kim, H. S., 2005, Development of Noise Annoyance Scale and Criteria of Residential Noises through Auditory Experiments, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 8, pp. 904~910.

(11) Zwicker, E. and Fastl, H., 2013, Psychoacoustics: Facts and Models, Springer Science & Business Media,

Jeonghun Kim graduated from Youngsan university, Gyeongnam, Korea 2019. He is currently a M.S. candidate in the School of architecture at Chonnam National University. His research interests are in the area of architectural acoustics, soundscape.

Hansol Song received the M.S. in the Dept. of architectural engineering from Chonnam National University, Gwangju, Korea in 2019. He is currently a Ph.D. candidate in Chonnam University. His research interests are in the area of architectural acoustics, floor impact sound, environmental noise, psycho-acoustics.

Songmi Lee graduated from Youngsan university, Gyeongnam, Korea 2019. She is currently a M.S. candidate in the School of architecture at Chonnam National University. Her research interests are in the area of architectural acoustics, psycho-acoustics.

Jongkwan Ryu received the Ph.D. in Dept. of architectural engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 2007. He is currently a associate professor in the School of architecture at Chonnam National University. His research interests are in the area of architectural acoustics, psycho-acoustics, and acoustic barrier-free.