



# 주거공간 공기전달음의 저주파 대역 음압레벨의 최소 인지 차이

## Just Noticeable Difference of SPL in Low-frequency Range for Airborne Sounds in Residential Space

이 송 미\* · 김 정 훈\* · 송 한 솔\* · 류 종 관† · 김 경 호\*\*

Songmi Lee\*, Jeonghun Kim\*, Hansol Song\*, Jongkwan Ryu† and Kyungho Kim\*\*

(Received August 29, 2019 ; Revised October 17, 2019 ; Accepted October 29, 2019)

**Key Words** : Air-borne Sound(공기전달음), Low-frequency(저주파), Just Noticeable Difference(최소 인지 차이)

### ABSTRACT

This study investigated the just noticeable difference (JND) of sound pressure levels (SPL) in low-frequency ranges for airborne sounds in residential spaces through an auditory experiment. Test sound consisted of TV news, piano, and music (metal genre) filtered by the sound transmission loss of a 200 mm concrete wall. The SPL in the 63 Hz octave band of the test sound was adjusted to +5 dB, +10 dB, +15 dB and +20 dB compared with the SPL in the 125 Hz octave band. In the auditory experiment, using a method of limit, subjects were asked to judge whether test sounds were different from a reference sound (original sound) in terms of subjective response such as rumbling, loudness, and annoyance. Results showed that the JND (annoyance) of the SPL in the 63 Hz octave band of the metal music sound with a high SPL in the low-frequency range was approximately 13 dB and lower than other test sounds for all subjective responses. It was also found that the JND for rumbling is lower than other subjective responses for all test sounds.

### 1. 서 론

2018년을 기준으로 국가소음정보시스템에서 조사된 “충간소음 이웃사이센터 운영결과 보고서<sup>(1)</sup>”에 의하면 2017년도에 비해 충간소음의 민원이 7876건이 증가 하였다. 충간소음 발생 원인의 전체 39 950건 중에서 2717건이 공기전달음과 관련된 소음으로 전체의 6.9%를 차지하고 있으며 구체적인 소음원으로 가전제품(TV, 청소기, 세탁기)과 악기(피아노 등)로

인한 민원이 5.1%를 차지하는 것으로 나타났다.

현재 건물 및 건물 부재의 공기전달음 차단 성능 평가 방법으로 활용되고 있는 KS F 2862 (2017)<sup>(2)</sup> 및 ISO 717-1 (2013)<sup>(3)</sup> 경우, 1/3 옥타브 대역의 100 Hz ~ 3150 Hz 또는 옥타브 대역의 125 Hz ~ 2000 Hz 측정 주파수 범위에서 측정결과와 기준 곡선상의 각 주파수별 기준값과 비교하여 단일 수치 평가량(SNQ: single number quantity)을 계산한다. 필요한 경우 부속서에 규정된 스펙트럼 조정항(확장 주파수 대역 50 Hz ~ 5000 Hz: C<sub>50-3150</sub>, C<sub>100-3150</sub>, C<sub>50-5000</sub>)에 의해 벽체의

† Corresponding Author ; Member, School of Architecture, Chonnam National University

E-mail : jkryu@jnu.ac.kr

\* Member, Dept. of Architectural Engineering, Chonnam National University

\*\* Member, KCC Central Research Center

‡ Recommended by Editor Won Ju Jeon

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

차음 성능을 평가할 수 있다.

한편, 유럽에서는 일반 주택에서 스피커로 재생된 음악으로 인한 민원이 전체 소음 관련 민원 중 25%를 차지하는 등 그 수가 증가하는 추세인 것으로 보고되었다<sup>(4)</sup>. 또한, 공동주택에서 음악청취 관련 설문조사에서 일반적으로 저주파 대역에서 일정한 수준의 음압레벨을 갖는 록과 팝 음악의 음량을 크게 듣는 것을 선호하고, 설문조사자의 85%가 저주파 음을 출력하는 우퍼스피커를 사용하는 것으로 나타났다<sup>(5)</sup>. 이러한 주거공간에서의 음악청취에 관한 최근 경향은 이웃 공간으로부터의 저주파 음에 대한 노출이 빈번하다는 점을 보여주고 있으며, 이에 따라 다양한 공기전달음원에 대한 차음성능 평가지수 연구가 진행되었다.

Park와 Bradley는<sup>(6)</sup> 20개의 벽체를 통해 전달되는 음악과 대화음의 주관적 평가(신경쓰임, 크기)에 따른 단일지수 평가량에 대해 조사한 결과, 음악은 63 Hz ~ 6300 Hz 대역을 포함하고, 대화음은 200 Hz ~ 6300 Hz를 포함하였을 경우에 성가십과의 상관성이 높게 나타났다. 이상의 연구결과는 음원의 종류에 따라 저주파 대역의 평가가 중요한 점을 나타내고 있으나, 여전히 유럽의 많은 연구에서는 벽체 차음 성능을 평가하는데 있어서 저주파 대역인 50 Hz ~ 80 Hz 대역을 포함하는 것에 대한 논란이 있다<sup>(7-14)</sup>. Hongisto는<sup>(10)</sup> 여섯 종류의 음원(음악: guitar, 저음이 큰 음악, 저음이 적은 음악, 아기 울음소리, 큰 대화음, 개 짖는 소리)이 9개의 서로 다른 유형의 벽체에 투과된 음원에 대해 주관적 반응을 조사한 결과, 저음이 큰 음악은  $R_w + C_{50-3150}$ , 나머지 5개의 음원은  $R_w$ 가 주관적 반응과의 상관성이 높게 나타났다. 따라서, 일상생활에서의 다양한 벽체로부터의 공기전달음 종류를 고려하였을 때, 50 Hz ~ 80 Hz 대역에 대한 조정항은 불필요하다고 주장하였다. 하지만 Rindel은<sup>(15)</sup> 벽체의 차음 성능의 단일지수평가는 이웃으로부터 들려오는 소음들에 대해 보호할 수 있는 최소 레벨이라고 정의하고 있으며, 이에 따라 두 개의 SNQ ( $R_{speech}$ 와  $R_{music}$ ) 중에서도 더 엄격하게 평가할 수 있는 기준이 필요하다고 주장한다. 결론적으로, 저주파음이 탁월한 음악음원을 고려하기 위해서는 벽체 차음 성능 측정 시 기존의 100 Hz까지만 평가하는 것이 아니라 저주파 대역인 50 Hz ~ 80 Hz 대역도 포함해야 한다고 강조하였다. 또한 Ljunggren와 Simmons는<sup>(16)</sup> 일상생활 소리들은 100 Hz 이하의 저주파 대역에서 적은 에너지

량을 가지고 있지만, 저주파 대역 50 Hz를 포함할 경우, 가끔씩 발생하는 음악과 같은 저주파 음에 대해 충분히 보호해야 한다고 주장하였다.

그러나, 기존연구들은<sup>(6-15)</sup> 다양한 구성의 벽체가 갖는 다양한 차음성능 스펙트럼을 이용해 주로 신경쓰임 평가를 수행하였으나, 미세한 차음성능 스펙트럼 차이에 의한 공기전달음의 신경쓰임 평가는 어려운 작업이며, 저주파 대역뿐만 아니라 전 주파수 대역의 차음성능이 주관적 반응 결과에 영향을 미쳤을 것이라 판단된다.

이 연구에서는 공기전달음의 저주파 대역의 음압레벨 변화의 인지정도를 청감실험을 통해 조사하였다. 벽체의 차음성능에서 중·고주파 대역을 고정하고 저주파 대역의 음압레벨 변화에 따른 JND(just noticeable difference, 최소 인지 차이)를 신경쓰임뿐만 아니라 주관적 크기와 웅웅거림의 주관적 반응 관점에서 조사하였다.

## 2. 세대 간 경계벽의 저주파 대역 차음 성능 수준

공동주택 세대 간의 경계벽으로 일반적으로 사용되는 건식벽체와 습식벽체를 대상으로 저주파수 대역

**Table 1** Difference in TL between 63 Hz and 125 Hz octave bands for dry and concrete wall

Type	Component	$\Delta TL_{125\text{ Hz} \sim 63\text{ Hz}}$ (dB)
A	GB15(2py)+ST50+AS10+GW(roll)50+ST50+GB15(2ply)	13.5
B	GB15(2py)+ST50+AS10+GW(board)50+ST50+GB15(2ply)	10.9
C	GB15(2py)+GW(roll)50+ST(0.8T)50+GB15(2ply)	15.5
D	GB15(2py)+GW(board)50+ST(0.8T)50+GB15(2ply)	17.3
E	Concrete 100	3.0
F	Concrete 200	0.2
G	Concrete 300	-0.8

(GB: Gypsum board, ST: C-Stud, AS: Air Space, GW: Glasswool, number: thickness (mm))

의 차음성능을 조사하였다. 건식벽체의 경우에는 벽체 차음성능 실험동에서 KS F 2809(2011)<sup>(8)</sup> 기준으로 측정하였다. 대표적으로 사용하는 벽체의 구성 중 이중 스테드와 단일 스테드를 대상으로 측정하였고, 각각 롤 타입의 글라스울과 보드 타입의 글라스울을 넣어 측정을 실시하였다. 습식벽체의 경우에는 INSUL 프로그램을 이용하여 콘크리트 두께별(100 mm, 200 mm, 300 mm)로 벽체의 차음성능을 조사하였다. Table 1은 건식벽체(A, B, C, D)와 습식벽체(E, F, G)의 주파수별 차음성능 값에서 저주파 대역인 125 Hz와 63 Hz의 차음성능 편차( $\Delta TL_{125\text{ Hz} \sim 63\text{ Hz}}$ )를 나타내고 있다. 실험 및 시뮬레이션 결과, Table 1과 같이 경계벽의 125 Hz와 63 Hz의 차음성능 편차는  $-0.8\text{ dB} \sim 17.3\text{ dB}$ 인 것으로 나타났으며, 건식벽체의 경우가 습식벽체에 비해 차음성능 편차가 큰 것으로 나타났다. 건식벽체의 경우 D타입(단일 스테드, 글라스울-보드 타입)과 B타입(이중 스테드, 글라스울-보드 타입)이 각각 최고(17.3 dB)와 최저(10.9 dB)의 차음성능 편차를

나타냈다. 습식벽체 중 E 타입(콘크리트 100 mm)의 경우에는 차음성능 편차의 값이 3.0 dB로서 가장 큰 값을 나타냈다.

### 3. 청감실험 방법

#### 3.1 실험 음원

##### (1) 음원 선정

청감실험에 사용된 공기전달음은 주거공간에서 발생하는 소리 중 주파수 특성이 상이한 3개 음원(TV 뉴스음, 피아노음, 메탈 음악)을 활용하였다. 뉴스음은 성인 남자의 목소리, 피아노음은 쇼팽의 ‘fantasie-impromptu in C sharp minor, Op.66’이며, 메탈 음악(악기 연주 부분)은 메탈리카의 ‘enter sandman’으로 음원을 선정하였다. Fig. 1과 같이 뉴스음과 피아노음은 중주파대역, 메탈음악은 저주파 대역에서 상대적으로 높은 음압레벨을 갖는 것으로 나타났다.

##### (2) 음원 편집

국내의 주택건설기준 관련 규정 중 세대 간의 경계벽에 대한 시행 규칙에 따라, 세대 간 경계벽을 콘크리트 벽 200 mm로 설정하고 INSUL 프로그램을 이용한 벽체 차음성능을 활용하였다. 경계벽으로부터의 공기전달소음을 모사하기 위해 Adobe Audition 프로그램을 이용하여 원음원들에 벽체 차음 값을 필터링 하였다. 청감실험실의 룸모드(room mode) 조사결과, 저주파 대역의 40 Hz와 63 Hz에서 피크가 발생하고,

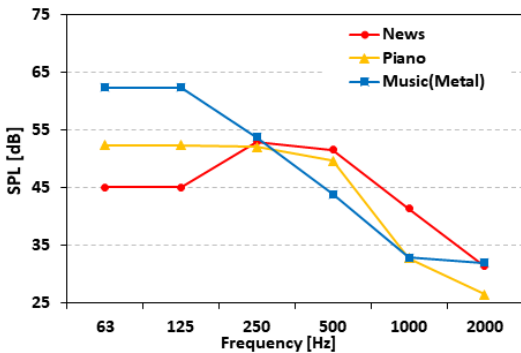


Fig. 1 SPL in each octave band of the reference sound sources used in auditory experiment at 50 dBA

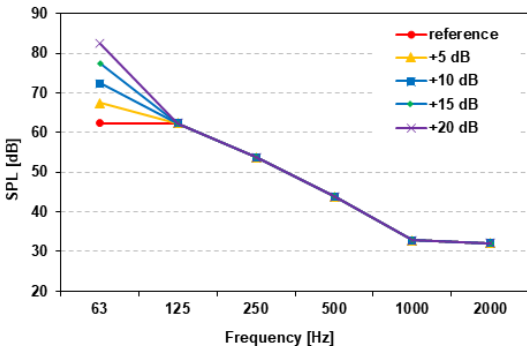


Fig. 2 SPL in each octave band of the test sound source (metal music) used in auditory experiment

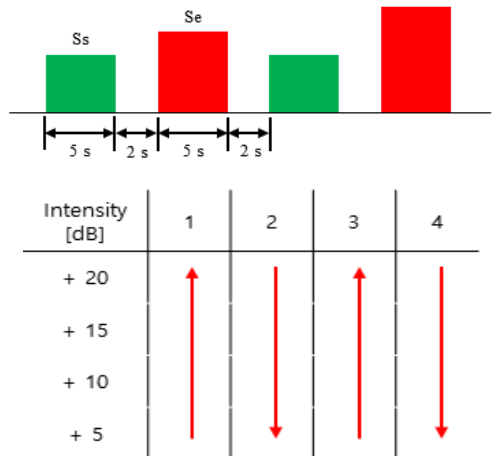
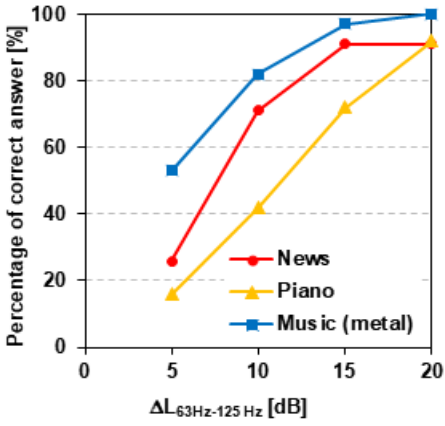


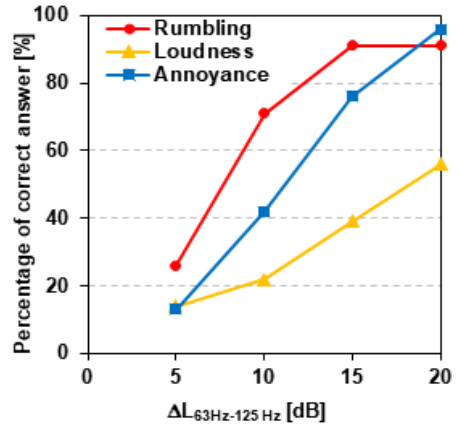
Fig. 3 Presented stimuli and method of limit used in the auditory experiment (standard stimulus (Ss), experiment stimulus (Se))

50 Hz에서는 딥이 발생하여 원음원의 주파수 특성에 맞추어 각 대역의 음압레벨을 보정하였다. Fig. 1은 실험에서 사용되는 기준음들을 50 dBA로 조정된 최종 음원의 주파수 특성을 나타낸다.

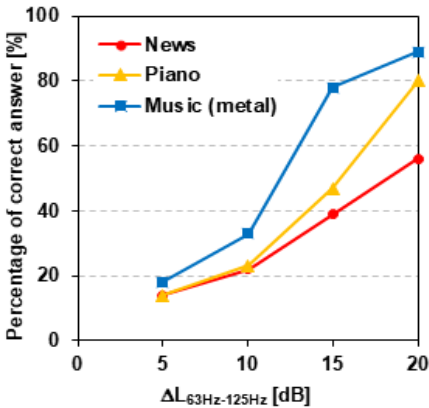
각 음원(길이: 5초)은 기준음 및 실험음으로 분류하였으며, 다음과 같이 각각의 음원에 따라 동일한 조건을 반영하였다. 먼저 기준음의 경우, 125 Hz 이상 대역은 원래의 주파수 특성을 유지하고, 63 Hz 대역의



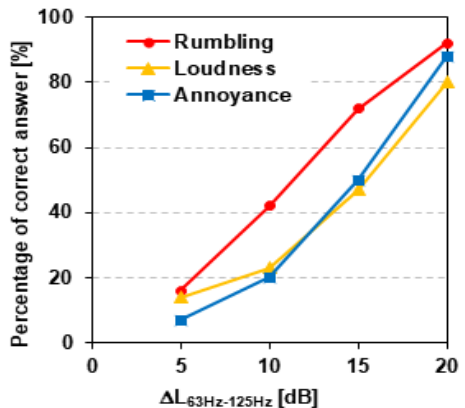
(a) Rumbling



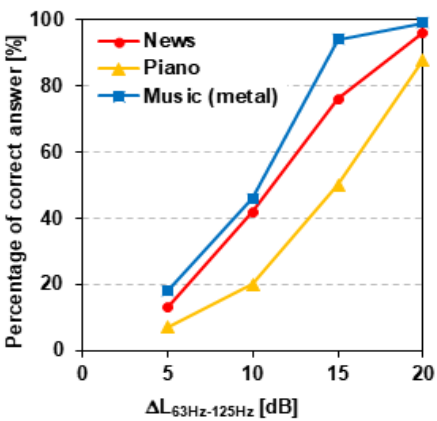
(a) News



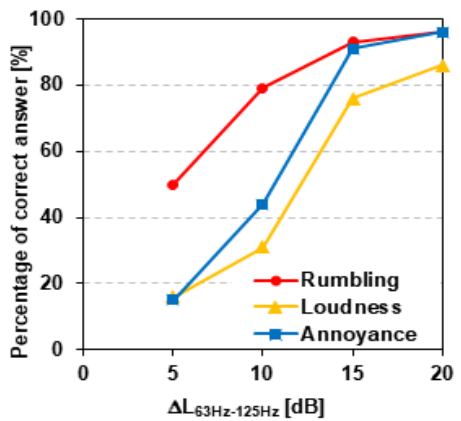
(b) Loudness



(b) Piano



(c) Annoyance



(c) Music(metal)

Fig. 4 Percentage of correct answer for each sound source types as a function of  $\Delta L_{63\text{ Hz} \sim 125\text{ Hz}}$

Fig. 5 Percentage of correct answer for each subjective response types as a function of  $\Delta L_{63\text{ Hz} \sim 125\text{ Hz}}$

경우 극단적인 차음 성능의 상황을 고려하여 125 Hz와 동일 음압레벨( $\Delta L_{63 \text{ Hz} \sim 125 \text{ Hz}}$ : 0 dB)로 조정하였다. 제시음원의 음압레벨은 주택건설기준 상의 교통소음의 실내 기준보다 조금 높은 50 dB( $L_{Aeq}$ )값으로 하였다. 실험음의 경우, 2장에서 조사된 세대 간 경계벽의 125 Hz와 63 Hz의 차음성능 편차( $\Delta TL_{125 \text{ Hz} \sim 63 \text{ Hz}}$ )를 고려하여, Fig. 2와 같이 기준음으로부터 63 Hz대역을 +5 dB, +10 dB, +15 dB, +20 dB로 증폭한 음원을 실험음( $\Delta L_{63 \text{ Hz} \sim 125 \text{ Hz}}$ : 5 dB ~ 20 dB)으로 활용하였다. 여기서, 63 Hz 대역의 음압레벨의 증폭은 125 Hz와 63 Hz의 차음성능 편차( $\Delta TL_{125 \text{ Hz} \sim 63 \text{ Hz}}$ )가 커지면서 차음 성능이 악화됨을 의미한다.

### 3.2 실험 절차

청감실험은 두 음원(기준음, 실험음)간의 주관적 반응의 JND(두 자극의 차이를 식별할 수 있는 최소 강도의 차이)를 도출하기 위해 음원의 재생은 극한법(method of limit)을 활용하였다. Fig. 3에서와 같이, 음원은 일정한 시간 차이(2초)를 둔 한 쌍의 소리를 제시(기준음+실험음)하였고, 각각의 주관적 반응별로 12쌍(3개 음원종류×4개 실험음)의 음원을 대상으로  $\Delta L_{63 \text{ Hz} \sim 125 \text{ Hz}}$  레벨에 따라 2회 상승 및 2회 하강으로 음원을 제시하였다.

청감실험에 사용된 질문은 다음과 같다.

“거실에서 휴식을 취하고 있을 때 이웃집으로부터 들려오는 소리에 대해 웅웅거림, 크기, 신경쓰임 측면에서 기준음과 실험음의 차이가 있다면 ○, 없다면 X로 판단하여 주십시오.”

청감실험에 사용된 주관적 반응으로는 기준에 사용하던 크기(loudness), 신경쓰임(annoyance)을 활용하였다. 또한 저주파 대역의 음의 평가를 강조하기 위해 웅웅거림이라는 척도를 사용하였다. Moller와 Lydolf는<sup>(17)</sup> 저주파 대역의 소음을 나타낼 수 있는 형용사 어휘조사를 하였고, 그 결과 웅웅거림(rumbling)이라는 어휘의 선호도가 가장 많았다. 평가의 순서는 웅웅거림, 크기, 신경쓰임의 순서로 진행하였다. 청감실험의 데이터를 분석하기 위해 전체 피험자의 응답 횟수 중의 한 쌍(기준음+실험음)의 음원에 ‘차이가 있다’로 응답한 비율을 정답률로 설정하여 데이터 분석에 활용하였다.

### 3.3 피험자 및 장비

청감실험에 참여한 피험자는 정상청력을 갖는 23세

~33세 남녀로 총 30명이 참가하였다. 청감실험은 외부소음(15 dBA)과 잔향시간(0.19초, 500 Hz와 1 kHz 평균)을 최소화한 청감실험실(H×W: 2.7 m×4.4 m=11.9 m<sup>2</sup>)에서 한 명씩 지정된 자리에서 진행하였다. 청감실험 진행시 피험자에게 중고주파 대역(100 Hz 이상 대역)을 위한 개방형 헤드폰(Sennheiser HD 600)과 저주파 대역(18 Hz ~ 250 Hz)을 위한 우퍼스피커(GENELEC 7070A)에서 음원이 동시에 제시되었다. 실험 전 헤드&토르소를 이용하여 Fig. 2와 같이 재생되는 음원의 제시레벨과 주파수 특성을 갖도록 설정하였다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 주관적 반응별 각 음원 종류의 정답률

Fig. 4는 주거공간에서 발생하는 공기전달음의 주관적 반응별로 음압레벨 변화량( $\Delta L_{63 \text{ Hz} \sim 125 \text{ Hz}}$ )에 따른 3개의 음원 종류의 정답률을 나타내고 있다.

Fig. 4에서 같이, 각각의 주관적 반응에서 음압레벨 변화량( $\Delta L_{63 \text{ Hz} \sim 125 \text{ Hz}}$ )에 따라 모든 음원종류의 정답률이 증가하는 경향이 나타났다. 그 중, 메탈 음악의 정답률이 주관적 반응별로 웅웅거림은 53% ~ 100%, 크기는 18% ~ 89%, 신경쓰임은 18% ~ 99%로 뉴스음과 피아노음보다 모두 높은 것으로 나타났다.

### 4.2 음원 종류별 각 주관적 반응의 정답률

Fig. 5는 주거공간에서 발생하는 공기전달음의 음원 종류별 음압레벨 변화량에 따른 3개의 주관적 반응의 정답률을 나타내고 있다. Fig. 5에서와 같이 각각의 음원종류에서 음압레벨 변화량( $\Delta L_{63 \text{ Hz} \sim 125 \text{ Hz}}$ )에 따라 모든 주관적 반응의 정답률이 증가하는 경향이 나타났다. 특히, 각각의 음원에서 웅웅거림의 정답률이 뉴스음은 26% ~ 91%, 피아노음은 16% ~ 92%, 메탈 음악은 53% ~ 100%로 크기 및 신경쓰임 평가보다 모두 높은 것으로 나타났다. 또한 뉴스음과 메탈음악에서 웅웅거림의 평가가 유사한 경향을 나타냈다.

### 4.3 최소 인지 차이(JND)

청감실험을 통해 전체 피험자의 응답 횟수 중의 한 쌍(기준음+실험음)의 음원에 ‘차이가 있다’로 응답한 비율인 정답률이 75%에 해당되는 음압레벨 변화

량( $\Delta L_{63\text{ Hz} \sim 125\text{ Hz}}$ )을 JND로 정하였다<sup>(18)</sup>. JND 도출은 실제 측정된 정답률 데이터를 기준으로 최소자승법을 사용한 sigmodal dose-response 예측식을<sup>(19)</sup> 이용하였다. Fig. 6은 주관적 반응별 각 음원 종류의 정답률의 실측치와 예측치를 나타내고 있다. Fig. 6에서와 같이, 예측치는 실측치의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 특히 Fig. 6(b)의 크기 평가에서 뉴스음의 경우에는 다른 두 개 음원에 비해 비교적 완

만한 곡선을 보여준다.

Table 2는 예측식에 의해 도출된 음원 종류별 주관적 반응의 JND 값을 나타내고 있다. 전체적으로 살펴 보았을 때, 음원의 종류 중 메탈음악에 대한 JND가 옹용거림은 7.5 dB, 크기는 15.4 dB, 신경쓰임은 12.5 dB로 모든 주관적 반응에서 세 가지 음원 중 가장 낮은 값을 나타냈다. 또한, 주관적 반응 중 옹용거림의 JND가 모든 음원에서 가장 낮은 값인 것으로 나타났다.

## 5. 토 의

### 5.1 음원 종류별 최소 차이 인지

주거공간에서 발생하는 공기전달음의 주관적 반응별 각 음원 종류의 정답률과 JND를 조사한 결과, Fig. 4와 Table 2에서 같이 메탈음악이 피아노음과 뉴스음보다 높은 정답률과 낮은 JND를 나타냈다. 이러한 결과는 Fig. 1에서와 같이, 각 음원 종류에 따른 주파수 특성 차이로 그 원인을 유추할 수 있다. 메탈음악의 경우에는 저주파 대역(63 Hz와 125 Hz)이 중주파 대역인 250 Hz 대역에 비해 음압레벨이 8.6 dB 정도 높게 나타나 저주파 대역의 음압레벨 변화를 상대적으로 쉽게 인지했기 때문으로 사료된다. 반면, 피아노음과 뉴스음의 경우 저주파 대역의 음압레벨이 중고주파 대역에 비해 같거나 낮아, 중고주파 대역에 의한 저주파 대역의 마스킹 현상으로 저주파 대역의 음압레벨 변화를 인지하지 못한 것으로 판단된다. 한편 청감실험에 사용된 음원은 벽체 차음 필터링 후, 벽체 차음 성능의 극단적인 상황을 고려하고 음원별로 동일한 변화량을 주기위해 Fig. 1과 같이 63 Hz 대역의 음압레벨을 125 Hz 대역과 동일하게 설정하였다. 실제 음원에서 63 Hz와 125 Hz의 편차( $\Delta L_{63\text{ Hz} \sim 125\text{ Hz}}$ )는 메탈음악은 -5 dB, 피아노음은 -8 dB, 뉴스음은 -20 dB 이었다. Table 1에서와 같이 일반적인 벽체의

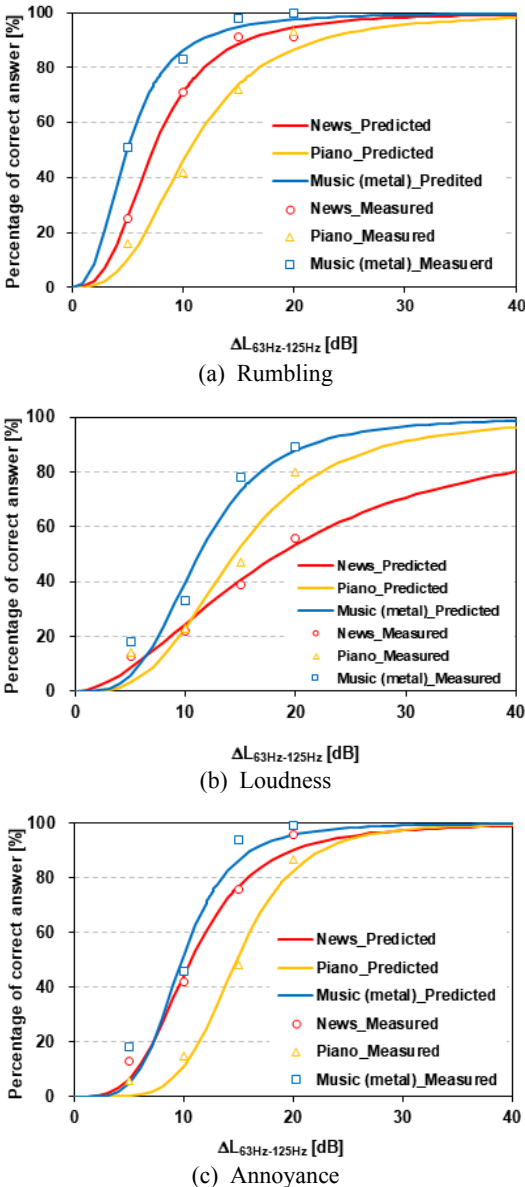


Fig. 6 Measured and predicted value of percentage of correct answer for each sound source types as a function of  $\Delta L_{63\text{ Hz} \sim 125\text{ Hz}}$

Table 2 JND of SPL in 63 Hz octave band for each sound source and subjective response

	News (dB)	Piano (dB)	Music(metal) (dB)
Rumbling	10.7	15.3	7.5
Loudness	34.0	20.3	15.4
Annoyance	14.5	18.2	12.5

**Table 3** Correlation coefficient between percentages of correct answer for subjective responses for each sound source ( $p < 0.01$ )

	News	Piano	Music (metal)
Rumbling vs. loudness	0.835	0.958	0.918
Rumbling vs. annoyance	0.930	0.968	0.959
Loudness vs. annoyance	0.978	0.999	0.990

저주파 대역 차음 성능 편차( $\Delta TL_{125\text{ Hz} \sim 63\text{ Hz}}$ )를 고려하였을 때, 실험에 사용된 메탈음악과 피아노음의 63 Hz와 125 Hz의 편차( $\Delta L_{63\text{ Hz} \sim 125\text{ Hz}}$ )는 전체 차음 성능 수준에 포함되어 적절하다고 판단된다. 다만, 뉴스음의 경우 Table 1의 차음 성능 편차를 고려하더라도 63 Hz 대역의 음압레벨이 125 Hz 보다 낮게 나타났다. 따라서, 실제 음원을 사용했다면 63 Hz대역의 음압레벨 변화에 대해 보다 더 둔감하게 반응하여, 주관적 반응의 JND가 이 실험결과보다 큰 값을 나타낼 가능성이 있는 것으로 사료된다. 향후, 이에 따른 추가적인 조사가 필요하다고 판단되며, 주거공간에서 발생하는 다양한 주파수 특성을 갖는 소음원에 대한 저주파 대역에서의 주관적 반응의 JND에 대한 추가 연구가 필요로 할 것이다.

### 5.2 주관적 반응별 최소 차이 인지

공기전달음의 종류별 주관적 반응의 정답률과 JND를 조사한 결과, Fig. 5와 Table 2에서와 같이 모든 음원에서 옹용거림, 신경쓰임, 크기의 평가 순서대로 높은 정답률과 낮은 JND를 나타냈다.

기존 연구에서<sup>(6-16)</sup> 크기와 신경쓰임의 평가 지표가 주로 사용되고 있으나, 이 연구결과에서와 같이 모든 음원에서 옹용거림의 평가가 가장 작은 변화량에서도 저주파 대역(63 Hz)의 음압레벨 변화를 보다 쉽게 인지하는 것으로 나타났다.

한편, 옹용거림의 평가가 신경쓰임과 상관성이 있는 것으로 나타났다. Table 3은 음원 종류별 각 주관적 반응의 정답률 간의 상관계수를 나타내고 있다. Table 3과 같이 모든 음원에서 주관적 반응과 정답률 간의 상관계수는 0.84 이상으로 매우 높은 것으로 나타났다. 특히, 옹용거림과 신경쓰임과의 상관계수는  $r = 0.93$ 이

상으로 매우 높게 나타났기 때문에 신경쓰임을 평가하는데 있어 옹용거림의 영향이 있는 것으로 사료된다.

### 5.3 차음성능 평가에서의 저주파대역의 중요성

이 연구에서 저주파 대역(63 Hz)의 음압레벨이 큰 메탈 음악에서 높은 정답률이 나타났으며, JND 조사를 통해 가장 낮은 저주파 대역 변화량에도 쉽게 인지한다는 것을 알 수 있었다. 기존연구에서와<sup>(4-16)</sup> 같이 유럽국가에서는 공기전달음의 평가에 있어서 저주파대역의 포함 여부의 논란이 있다. 국내에서도 공기전달음에 대한 민원이 증가하고<sup>(1)</sup> 있고 많은 사람들이 일상생활에서 스마트폰(99.7%) 및 오디오/스피커(46.1%)를 사용하는 비율이 증가하는 추세인 것으로 조사되었다<sup>(20)</sup>. 따라서, 국내에서도 이웃공간에서 발생하는 저주파 음이 포함된 음원을 고려한 건물 및 건물부재의 차음성능 평가를 필요로 할 것이다. 또한, 이 연구에서는 저주파음의 평가와 관련한 기존연구에서 주로 사용된 크기, 신경쓰임보다 옹용거림의 평가에서 작은 음압레벨 변화에 보다 더 민감하게 반응하는 것으로 조사되었다. 향후, 저주파음을 고려한 차음성능의 주관적 평가 시 다양한 평가척도의 활용이 필요할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

이 연구에서는 주거공간에서 발생하는 공기전달음의 저주파 대역인 63 Hz 대역 음압레벨의 주관적 반응별 최소 인지 차이를 청감실험을 통해 조사하였다. 청감실험 결과, 저주파성분이 강한 메탈 음악의 경우 63 Hz 대역 음압레벨의 최소 인지 차이(신경쓰임 기준)는 약 13 dB이며, 모든 주관적 반응 평가에서 뉴스음과 피아노음보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 저주파가 탁월한 공기전달음원인 경우 저주파 대역의 작은 음압레벨 변화량에도 쉽게 차이를 인지할 수 있다는 점을 보여준다. 또한, 청감실험의 피험자는 옹용거림의 평가에서 기존의 크기와 신경쓰임 평가보다 모든 음원에 있어서 저주파대역 음압레벨 변화에 보다 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

결과적으로, 건물 및 건물부재의 공기전달음 차단성능 평가에 있어서 다양한 음원, 특히 저주파음이 탁월한 음원을 고려한 평가지수가 필요하며, 향후 보다 합

리적인 평가를 위해 다양한 공기전달소음을 평가 할 수 있는 주관적 평가척도 개발도 이루어져야 할 것이다.

## 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) KS F 2862, 2017, Rating of Airborne Sound Insulation in Buildings and of Building Elements.
- (3) ISO 717-1, 2013, Acoustics-Rating of Sound Insulation in Building and of Building Elements-Part 1: Airborne Sound Insulation.
- (4) Craik, R. J. M. and Stirling, J. R., 1986, Amplified Music as a Noise Nuisance, *Applied Acoustics*, Vol. 19, pp. 335~346.
- (5) Lang, J. and Muellner, H., 2013, The Importance of Music as Sound Source in Residential Buildings, *Proceedings of Inter-Noise 2013*.
- (6) Park, H. K. and Bradley, J. S., 2009, Evaluating Signal-to-noise Ratios, Loudness, and Related Measures as Indicators of Airborne Sound Insulation, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 126, No. 3, pp. 1219~1230.
- (7) Rychtáriková, M., Muellner, H., Chmelík, V., Roozen, N. B., Urbán, D., Garcia, D. P. and Glorieux, C., 2016, Perceived Loudness of Neighbor Sounds Heard Through Heavy and Light-weight Walls with Equal  $R_w + C_{50-5000}$ , *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 102, No. 1, pp. 58~66.
- (8) Monteiro, C., Machimbarrena, M., de la Prida, D. and Rychtáriková, M., 2016, Subjective and Objective Acoustic Performance Tanking of Heavy and Light Weight Walls, *Applied Acoustics*, Vol. 110, pp. 268~279.
- (9) Virjonen, P., Hongisto, V. and Oliva, D., 2016, Optimized Reference Spectrum for Rating Airborne Sound Insulation in Buildings Against Neighbor Sounds, *Proceedings of Inter-Noise 2016*.
- (10) Hongisto, V., Oliva, D. and Keränen, J., 2014, Subjective and Objective Rating of Airborne Sound in Sulation - Living Sounds, *Acta Acustica United with Acustica*, Vol. 100, No. 5, pp. 848~863.
- (11) Bailhach, S., Jagla, J. and Guigou, C., 2014, CS TB-Project Environnement et Ambiances: Effet des Bass es Fréquences sur le Confort Acoustique - Tests Psychoacoustiques, *Rapport USC-EA-D1\_A2.1.4\_2*, <http://hal-cst.b.archives-ouvertes.fr/hal-01045056>.
- (12) Bailhach, S. and Guigou, C., 2014, Etude Perceptice de la Prise en Compte des Basses Fréquences Dans les Indices de Performance Acoustique, *Proceedings of CFA, Poitiers, France*, pp. 22~25.
- (13) Hongisto, V., Mäkilä, M. and Suokas, M., 2015, Satisfaction with Sound Insulation in Residential Dwellings - The Effect of Wall Construction, *Building and Environment*, Vol. 85, pp. 309~320.
- (14) Kylliäinen, M., Takala, J., Oliva, D. and Hongisto, V., 2016, Justification of Standardized Level Differences in Rating of Airborne Sound Insulation between Dwellings, *Applied Acoustics*, Vol. 102, pp. 12~18.
- (15) Rindel, J. H., 2017, A Comment on the Importance of Low Frequency Airbone Sound Insulation between Dwellings, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 103, No. 1, pp. 164~168.
- (16) Ljunggren, F. and Simonsa, C., 2018, Airborne Sound Insulation between Dwellings, from 50 vs. 100 Hz - A Compilation of Swedish Field Surveys, *Applied Acoustics*, Vol. 133, pp. 58~63.
- (17) Moller, H. and Lydolf, M., 2002, A Questionnaire Survey of Complaints of Infrasound and Low-frequency Noise, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Vol. 21, No. 2, pp. 53~64.
- (18) You, J., Jeong, C. I. and Jeon, J. Y., 2007, Just Noticeable Difference of Sound Quality Metrics for Household Refrigerator Noise, *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp. 137~140.
- (19) Feher, J. J., 2017, *Quantitative Human Physiology: An Introduction*, Academic Press, Cambridge.
- (20) Lee, M., Kwahk, J., Han, S. H., Jeong, D., Park, K., Kim, J. H., Oh, S. and Chae, G., 2017, A Survey on the Multi-device Media Usage of Millennials, *Journal of the*



Ergonomics Society of Korea, Vol. 36, No. 6, pp. 645-663.



**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.



**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.



**Jongkwan Ryu** received the Ph.D. in Dept. of architectural engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 2007. He is currently an 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.