

# 청감실험을 통한 실내에서의 저주파 소음의 단일수치평가량 제안

## Suggestion of Single Number Quantity for Low Frequency Noise in Indoor Space through Auditory Experiments

송한솔\* · 김정훈\* · 이송미\* · 김수홍\* · 류종관†

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

(Received July 30, 2020 ; Revised October 19, 2020 ; Accepted October 20, 2020)

**Key Words** : Low Frequency Noise(저주파 소음), Noise Evaluation(소음 평가), Single Number Quantity(단일수치평가량), Auditory Experiment(청감실험)

### ABSTRACT

In this study, new single number quantities (SNQs) based on 1/3 octave band sound pressure levels and low-frequency noise criteria were proposed to evaluate low-frequency noise in indoor spaces. The suitability of the proposed SNQs ( $D_{max}$  and  $D_{sum}$ ) was assessed through correlation analysis with other existing SNQs ( $L_{Ceq}$  and  $L_{Zeq}$ ) and confirmed by an auditory experiment conducted for construction and air-conditioner outdoor unit noise to be infiltrated from outdoor to indoor spaces. The result showed that the proposed SNQs were highly correlated with the existing SNQs in the range of 0.81 to 0.95. The auditory experiment also revealed that the proposed SNQs had a high correlation with subjective annoyance in the range of 0.81 and 0.89 out of the total range of presentation levels, and a similar correlation with existing SNQs for each presentation level. The proposed SNQs will be able to identify the major frequency bands in terms of annoyance and help assess and establish countermeasures at the site of the low-frequency noise.

### 1. 서 론

우리나라는 생활수준의 향상 및 정온한 생활환경의 기대 수준 증가로 인해 소음 진동 민원은 환경 관련 전체 민원 중 약 50%를 차지하고 있다<sup>(1)</sup>. 환경소음의 대표적인 소음원으로 분류되는 공사장 소음의 경우 생활소음 민원 중 76%로 대다수를 차지하고 있

고<sup>(1)</sup>, 20 Hz ~ 80 Hz 저주파 대역의 음압레벨이 높은 소음 특성을 나타낸다<sup>(2)</sup>. 기존 연구<sup>(3)</sup>의 설문조사 결과 에어컨 소음의 경우 피 설문자의 절반 이상이 실외기 소음 피해 경험이 있다고 응답하였으며, 실외기 소음은 100 Hz 이하 저주파 대역에서 높은 음압레벨을 갖는 톤 성분을 갖고 있는 것으로 나타났다. 저주파 소음 위해성 관련 기존 연구를 살펴보면, 저주파 소음은 주의력저하<sup>(4)</sup>와 수면에 영향을 주고<sup>(5,6)</sup>, 휴식

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

\* Member, Dept. of Architectural and Civil Engineering, Chonnam National University, Graduate Student

‡ Recommended by Editor Hong Seok Yang

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

과 집중력에 방해를 주는 것으로 나타났다<sup>(4)</sup>. 또한 국내에서는 측정 및 설문조사 등 실태조사를 통해 저주파 소음 측정, 관리 및 평가 방법이 제안된 바 있다<sup>(7)</sup>.

저주파 소음의 심리 음향학적 연구로서 순음(pure tone)을 바탕으로 20 Hz ~ 200 Hz 대역의 가청 역치 및 수인 한계가 조사된 바도 있다<sup>(8)</sup>. 이런 저주파 소음 연구 및 국외의 기준 고찰 등을 통해 국내의 저주파 소음 가이드라인을 2018년 환경부<sup>(9)</sup>에서 제시하였으며, 저주파 소음이 1/3 옥타브 대역별 음압레벨(12.5 Hz ~ 80 Hz)을 어느 한 주파수 대역이라도 기준을 초과하는 경우 저주파 소음의 영향이 있다고 하였다. 국외의 경우도 저주파 소음의 평가 기준은 주로 1/3 옥타브 대역별 음압레벨로 제시되고 있으나<sup>(5)</sup>, 이러한 주파수 대역별 평가 기준은 일반 환경소음에 활용 중인 단일수치평가량과 같이 측정결과를 직관적으로 파악하기 어려우며, 기준 초과 정도에 따른 소음에 대한 주관적 반응 정도를 평가하기 힘든 단점이 있다. 한편, 환경소음 평가에 주로 사용되는  $L_{Aeq}$ 는 WHO(세계보건기구) 등 많은 기준 문헌 및 연구<sup>(10-12)</sup>에서 저주파 소음 평가에 적합하지 하지 않은 것으로 보고되었다.

저주파 대역 성분이 포함된 소음과 동일한 주관적 크기와 신경쓰임을 갖는 일반 소음의  $L_{Aeq}$ 는 최대 7 dB ~ 8 dB 낮은 것으로 나타났다<sup>(11)</sup>. 또한 동일  $L_{Aeq}$ 에서 광대역 소음(broadband noise)과 저주파 대역(10 Hz ~ 250 Hz)이 지배적인 소음을 비교하였을 때 저주파가 지배적인 소음의 신경쓰임 정도가 높은 것으로 나타났다<sup>(12)</sup>.  $L_{Aeq}$ 의 경우 저주파 성분의 주관적 반응을 합리적으로 평가하기에는 무리가 있으며, 또한 국내 외에서 활용 중인 주파수 대역(1/3 옥타브 대역) 기반 저주파 소음 평가 기준은 소음의 영향을 직관적으로 파악하는데 어려움이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 저주파 소음의 단일수치평가량 개발이 필요하다고 판단된다.

이 연구에서는 직관적이고 합리적인 저주파 소음의 단일수치평가량을 제안하였다. 실내로 유입되는 저주파 소음원을 대상으로 다양한 평가지수 간의 상관성 분석과 청감실험을 통해 제안된 평가지수의 적합성을 평가하였다.

## 2. 저주파 소음원

이 연구는 기존 연구 문헌에서 저주파 소음으로

지적된 공사장 소음<sup>(1)</sup>과 실외기 소음<sup>(3)</sup>을 대상으로 진행하였다. 먼저 음원 녹음의 경우 공사장과 실외기 소음 모두 소음계(Rion NL-52)를 사용하였다. 공사장 소음은 지반정지공사, 기초공사, 콘크리트 공사에 사용되는 건설장비의 공사장 소음 건설기계를 대상으로, 실제 건설 현장에서 주변의 장애물이 없는 환경에서 건설기계로부터 거리 10 m 떨어진 지점과 높이 1.2 m에서 음원을 녹음하였다. 송풍기의 경우 출력 40 W ~ 900 W, 압축기 출력 1.06 kW ~ 900 kW의 실외기를 대상으로 건물 외부 지상에 설치된 실외기 정면 거리 1 m 떨어진 지점에서 실외기 팬 중앙지점과 동일한 높이에서 녹음하였다. 공사장 소음과 실외기의 소음을 각각 10개의 종류로 녹음을 실시하였고, 두 소음 모두 정상소음의 형태를 띠고 있었다. 독일<sup>(13)</sup>의 경우  $L_{Ceq}$ 값에서  $L_{Aeq}$ 값을 뺀 값을 저주파 소음을 판단하는데 이용하고 있다. 이를 바탕으로 각각의 녹음 음원을 주파수 분석 후 총 20개의 음원 중  $L_{Ceq}$ 값에서  $L_{Aeq}$ 값을 뺀 값이 12 dB ~ 26 dB 범위에서 다양하게 분포하는 음원 6개를 선정하였다. 음원은 4종류의 실외기 음원과 지반정지공사에서 사용하는 다짐기(road roller)와 콘크리트 공사장에서 콘크리트 믹서(concrete mixer)의 공사장 소음으로 구성하였다. 외부에서 발생하는 소음은 실내로 유입될 때 중, 고주파 대역의 성분이 파사드(창호 등)에 의해 일정 정도 차단된다. 이런 주택 실내에서의 저주파 환경소음 특성을 모사하기 위해 음원 편집을 실시하였다. 기존 연구<sup>(14)</sup>에서 측정된 14개 공

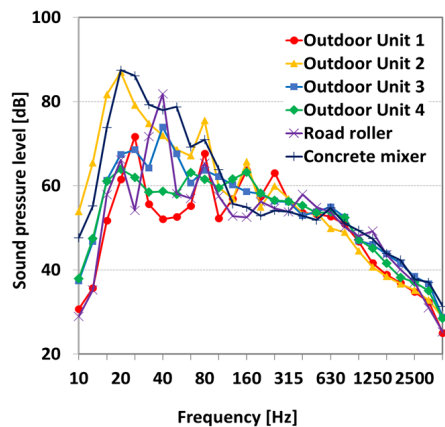


Fig. 1 Frequency characteristics of low frequency noise from outdoor unit, road roller, and concrete mixer (at 60 dBA)

동주택 파사드 투과손실의 주파수 대역별 평균값 ( $D_{n,w} = 45$  dB)을 바탕으로 프로그램(adobe audition 1.5)의 graphic equalizer를 이용하여 음원을 필터링하였다. 기존 연구에 제시되지 않은 100 Hz 미만 대역에 경우 100 Hz 대역과 동일한 차단성능을 적용하였고, 프로그램의 한계로 인해 31.5 Hz 이상의 대역만 음원을 편집하였다. Fig. 1은 편집 음원이 60 dBA일 때 음원의 주파수 특성을 나타낸다. 각 음원의 경우 공동주택의 외부소음 기준(65 dBA)<sup>(15)</sup>과 내부소음 기준(45 dBA)<sup>(15)</sup>을 고려하여 음원을 40 dBA, 50 dBA, 60 dBA로 구성하였고, 음원 길이는 전체 소음원 모두 5초로 통일하였다.

### 3. 단일수치평가량 제안

#### 3.1 제안 단일수치평가량의 정의

국내의 저주파 소음 평가 기준을 이용한 단일수치평가량 제안을 위해 국내 저주파 소음 평가 기준<sup>(9)</sup>의 12.5 Hz ~ 80 Hz 대역의 기준값을 이용하였다. 각각의 저주파 소음이 국내 저주파 기준을 초과하는 경우 신경쓰임 정도가 증가할 것이라 가정하였고, 그 초과 값에 기반을 둔 2개의 새로운 단일수치평가량을 제안하였다. Fig. 2와 같이 9개의 주파수 대역(12.5 Hz ~ 80 Hz)에서 저주파 소음이 평가 기준을 초과한 값을 식 (1)과 같이  $D_i$ 라고 하였고, 계산 값이 0보다 작거나 음수가 될 경우는 0으로 계산하였다. 이를 바탕으로 저주파 소음원이 저주파 소음 평가 기준을 초과하는 값 중

가장 큰 값을 식 (2)와 같이  $D_{max}$ 라고 하였으며, 식 (3)과 같이  $D_i$ 값의 합계를  $D_{sum}$ 이라고 하였다.

$$D_i = L_{i,noise} - L_{i,criteria} \tag{1}$$

$$D_{max} = \text{Max}(D_1, D_2, D_3, \dots, D_9) \tag{2}$$

$$D_{sum} = \sum_{i=1}^9 D_i \quad (\text{if } D_i \leq 0, D_i = 0) \tag{3}$$

#### 3.2 단일수치평가량 간의 상관계수

국내의 저주파 기준을 이용하여 새롭게 제안한 단일수치평가량( $D_{max}$ ,  $D_{sum}$ )과 기존에 평가지수 간의 상관성을 알아보기 위해 기존에 사용하고 있는 단일수치평가량과의 상관계수를 비교하였다. 기존 단일수치평가량으로 주파수 분석 시 분석값 보정을 하지 않는  $L_{Zeq}$ 와 등청감곡선 70 phon에 해당하는 곡선에 해당하는 보정 값을 이용한  $L_{Ceq}$ 를 사용하였다. Table 1은 평가 방법 간의 상관계수를 전체레벨 범위(40 dBA ~ 60 dBA)와 각각 음압레벨(60 dB, 50 dB, 40 dB)별로 분석한

**Table 1** Correlation coefficient between single number quantities of low-frequency noise (All, 60 dBA, 50 dBA, 40 dBA)

| All       | $D_{max}$ | $D_{sum}$ | $L_{Zeq}$ | $L_{Ceq}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $D_{max}$ | -         | -         | -         | -         |
| $D_{sum}$ | 0.86      | -         | -         | -         |
| $L_{Zeq}$ | 0.94      | 0.90      | -         | -         |
| $L_{Ceq}$ | 0.95      | 0.90      | 0.99      | -         |

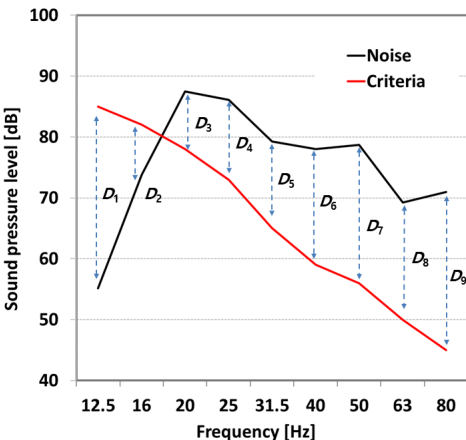
| 60 dBA    | $D_{max}$ | $D_{sum}$ | $L_{Zeq}$ | $L_{Ceq}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $D_{max}$ | -         | -         | -         | -         |
| $D_{sum}$ | 0.73      | -         | -         | -         |
| $L_{Zeq}$ | 0.84      | 0.97      | -         | -         |
| $L_{Ceq}$ | 0.84      | 0.95      | 0.99      | -         |

| 50 dBA    | $D_{max}$ | $D_{sum}$ | $L_{Zeq}$ | $L_{Ceq}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $D_{max}$ | -         | -         | -         | -         |
| $D_{sum}$ | 0.92      | -         | -         | -         |
| $L_{Zeq}$ | 0.93      | 0.93      | -         | -         |
| $L_{Ceq}$ | 0.93      | 0.93      | 0.99      | -         |

| 40 dBA    | $D_{max}$ | $D_{sum}$ | $L_{Zeq}$ | $L_{Ceq}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $D_{max}$ |           |           |           |           |
| $D_{sum}$ | 0.97      |           |           |           |
| $L_{Zeq}$ | 0.82      | 0.90      |           |           |
| $L_{Ceq}$ | 0.81      | 0.89      | 0.99      |           |



**Fig. 2** Examples to find  $D_i$  to indicates value exceeding the low-frequency noise criteria at each octave band

결과를 나타내고 있다. 전체레벨 범위에서 분석한 결과  $D_{max}$ 와  $L_{Zeq}$  및  $L_{Ceq}$  각각 상관계수는 0.94 및 0.95로 높은 상관계수를 나타냈다. 또한,  $D_{sum}$ 의 경우는  $L_{Zeq}$ 와  $L_{Ceq}$ 를 비교하였을 때 상관계수가 모두 0.90으로  $D_{max}$ 보다 낮은 상관계수를 나타냈다. 전체레벨 범위에서 각각의 단일수치평가량과의 상관분석 결과는 10 dB 간격의 증가량이 포함되어 있기 때문에 상관계수 값에 영향을 줄 수 있다. 따라서 음압레벨별로 분석한 결과를 살펴보았을 때  $D_{max}$ 와  $L_{Zeq}$  및  $L_{Ceq}$ 의 상관계수의 범위는 각각 0.82 ~ 0.93 및 0.81 ~ 0.93이었고,  $D_{sum}$ 의 경우 각각 0.90 ~ 0.97 및 0.89 ~ 0.95로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 새롭게 제안한 평가 방법이 기존 평가 방법과 상관성이 높은 것으로 판단된다.

### 4. 청감실험

#### 4.1 실험방법

청감실험은 제시 음원에 의한 신경쓰임을 평가하였다. 실험은 공동주택 외부에서 발생하여 주택 내부로 유입되는 저주파 소음에 대한 평가임을 설명한 후 “실내 거실에서 휴식을 취하고 있을 때”의 상황을 가정하여 진행되었다. 피험자는 제시된 하나의 음원을 들은 후 “신경쓰이지 않는다(0) ~ 신경쓰인다(10)”의 11점 척도<sup>(16)</sup>를 이용하였다. 또한, 실험은 18개(6개 음원 × 3개의 음압레벨)의 음원을 무작위로 재생하였고, 피험자의 반응의 일관성 확인을 위해 5분 휴식 후 2회 반복 시행하였다.

실험은 정상 청력을 갖는 20 대 ~ 30 대 11명(남: 9명, 여: 2명)의 참가자를 대상으로 청감실험을 진행하였으며, 2회 반복 평가 결과 신경쓰임 반응에 일관성이 없는 피험자 2명을 제외하였다. 피험자 전체의 신경쓰임 평균과 개별 피험자의 값과의 상관계수는 모두 0.8 이상으로 높은 일치도를 나타내었다. 청감실험은 배경소음이 15 dBA, 잔향시간(500 Hz와 1 kHz 옥타브 대역 평균 0.31초, 63 Hz와 125 Hz, 250 Hz의 옥타브 대역 평균 0.68초)을 최소화한 청감실험실(H × W: 2.7 m × 4.4 m = 11.9 m<sup>2</sup>)에서 한 명씩 지정된 위치에서 청감실험을 진행하였다. 실험 전 청감실험실에서 재생되는 음원은 Fig. 1과 같이 동일한 주파수 특성을 갖게 하기 위해 헤드&토르소를 이용하여 음원을 확인하였다. 또한, 청감실험실의 룸모드(room mode) 조사결과, 저주파 대역의 40 Hz, 63 Hz에서 피크와, 50 Hz 대역에

서 딩이 발생하여 원음원 주파수 특성 따른 음압레벨을 보정 하였다. 청감실험 진행 시 피험자에게 중고주파 대역(100 Hz 이상 대역)을 위한 개방형 헤드폰(Sennheiser HD 600)과 저주파 대역(18 Hz ~ 250 Hz)을 위한 우퍼 스피커(GENELEC 7070A)를 사용하여 음원을 동시에 제시하였다.

#### 4.2 실험결과

(1) 음압레벨별 저주파 소음의 신경쓰임 정도  
저주파 소음의 음압레벨( $L_{Aeq}$ )별 신경쓰임 결과를 Fig. 3과 같이 사분위로 분석하였다. 실험결과 40 dBA의 경우 신경쓰임은 최소 2.0점에서 최대 5.4점으로 나타났고, 50 dBA의 경우 최소 4.8점에서 최대 7.1점, 60 dBA의 경우 최소 7.3점에서 최대 9.3점으로 나타났다. 음압레벨이 40 dBA에서 60 dBA로 증가할수록 동일 음압레벨에서의 저주파 소음의 신경쓰임 정도의 범위가 3.4점에서 2.0점으로 줄어들었다. 저주파 대역이 탁월한 소음의 주관적 반응을 평가하는 것은 음압레벨( $L_{Aeq}$ )이 동일함에도 저주파 소음의 신경쓰임 정도가 차이가 최대 3.4 점까지 나는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때  $L_{Aeq}$ 로 저주파 소음을 평가하는 것은 한계가 있는 것으로 판단된다.

(2) 음압레벨 변화에 따른 신경쓰임 정도와 단일수치평가량과의 상관분석  
저주파 소음 평가에 적합한 단일수치평가량을 도출하기 위해 전체레벨 범위(40 dBA ~ 60 dBA)에서

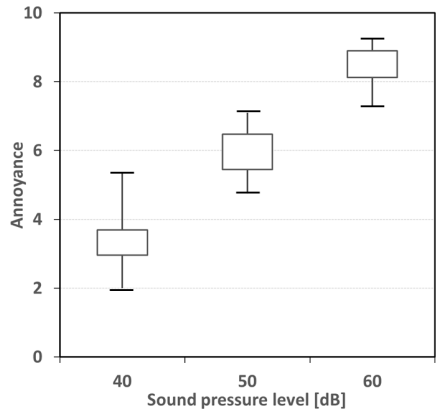


Fig. 3 Subject's annoyance by low-frequency noise at each sound pressure level (boxes: quartile, bars: max and min)

저주파 소음의 신경쓰임과 단일수치평가량과의 상관 분석을 실시하였다. Fig. 4는 4개의 단일수치평가량과 신경쓰임 정도와의 관계를 보여주고 있다. 저주파 소

음 음원을 단일수치평가량으로 변환 한 결과  $D_{max}$  경우 최소 0 dB에서 최대 31 dB까지 분포하였고,  $D_{sum}$  값의 경우 최소 0 dB에서 최대 124 dB까지 가장 넓은

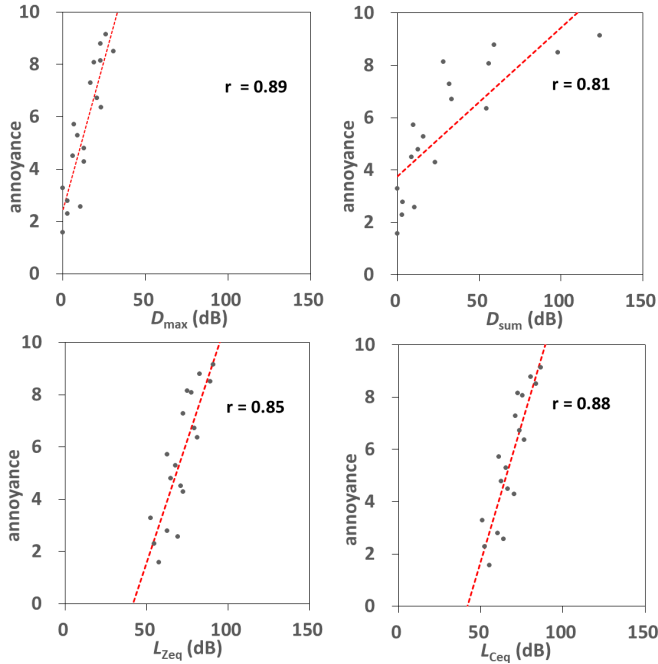


Fig. 4 Relationship between single number quantity and annoyance (at all presentation level range)

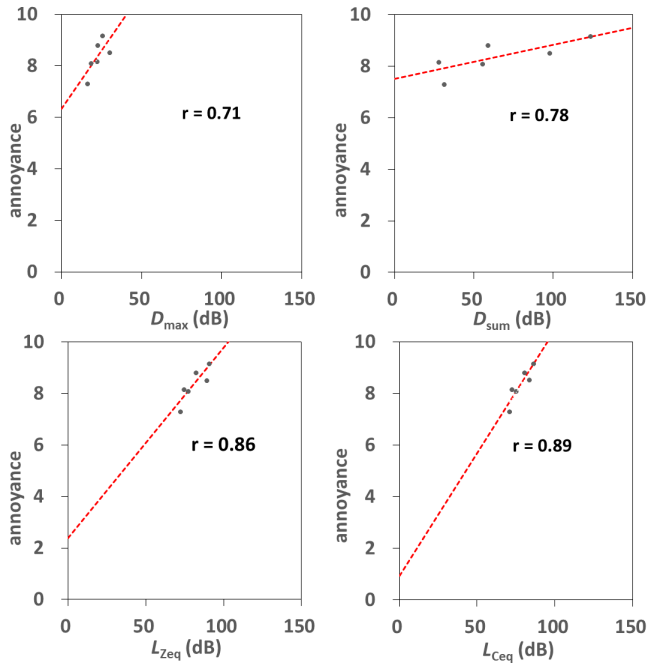


Fig. 5 Relationship between single number quantity and annoyance (at 60 dBA)

음압레벨로 분포하였다.  $L_{Zeq}$ 의 경우 최소 53 dB에서 최대 91 dB까지 분포하였고,  $L_{Ceq}$ 는 최소 51 dB에서 86 dB까지 분포하였다. 단일수치평가량과 신경쓰임 정도와의 상관분석을 실시한 결과, 두 변수의 상관계수는 전체레벨 범위(40 dBA ~ 60 dBA)에서  $D_{max}$ 의 경우 0.88,  $D_{sum}$ 은 0.81인 것으로 나타났으며,  $L_{Zeq}$ 와  $L_{Ceq}$ 의 경우 각각 0.85와 0.88의 상관계수 값이 나타났다. 단일수치평가량의 상관계수 값을 비교해 보았을 때 작은 차이지만  $D_{max}$ 의 상관계수가 0.89로 가장 높았고,  $L_{Ceq}$ ,  $L_{Zeq}$ ,  $D_{sum}$  순서로 상관계수가 높았다.

(3) 음압레벨별 신경쓰임 정도와 단일수치평가량과의 상관분석

전체레벨 범위(40 dBA ~ 60 dBA)에서의 저주파 소음의 신경쓰임 정도와 단일수치평가량과의 상관분석 결과는 10 dB 간격의 증가량이 포함되어 있기 때문에 상관계수 값에 영향을 줄 수 있다. 따라서 음압레벨(dBA)이 고정된 상황에서 각각의 음압레벨별로 신경쓰임과 단일수치평가량의 상관분석을 실시하였다. 4가지 단일수치평가량의 음압레벨별 상관분석 결과는 Table 2와 같다. 60 dBA에서는 Fig. 5와 Table 2와 같이 상관계수가  $D_{max}$ 의 경우 0.71,  $D_{sum}$ 은 0.78,  $L_{Zeq}$ 는 0.86,  $L_{Ceq}$ 은 0.89로 나타났고, 50 dBA에서는  $D_{max}$ 의 경우 0.58,  $D_{sum}$ 은 0.58,  $L_{Zeq}$ 는 0.57,  $L_{Ceq}$ 은 0.49로 나타났으며, 40 dBA에서는  $D_{max}$ 의 경우 0.28,  $D_{sum}$ 은 0.46,  $L_{Zeq}$ 는 0.48,  $L_{Ceq}$ 은 0.50로 분석되었다. 따라서 새롭게 제안한 평가지수와 기존에 사용하고 있는 단일수치평가량 차이가 크지 않은 것으로 판단되며, 이 연구에서 제안한 단일수치평가량 중  $D_{max}$ 값에 비해  $D_{sum}$ 의 상관계수가 비교적 높은 것으로 분석되었다. 또한, 음원 제시레벨에 따른 상관계수를 살펴보았을 때 모든 단일수치평가량의 경우 제시 레벨이 증가할수록 상관계수 또한 증가하였다.

**Table 2** Correlation coefficient between single number quantity and annoyance (60 dBA, 50 dBA, 40 dBA)

| Sound level | $D_{max}$ | $D_{sum}$ | $L_{Zeq}$ | $L_{Ceq}$ |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 60 dBA      | 0.71      | 0.78      | 0.86      | 0.89      |
| 50 dBA      | 0.58      | 0.58      | 0.57      | 0.49      |
| 40 dBA      | 0.28      | 0.46      | 0.48      | 0.50      |

5. 토 의

5.1 단일수치평가량과 저주파 소음의 신경쓰임과의 상관성

저주파 소음원의 신경쓰임과 음압레벨별 분석결과 Fig. 3과 같이  $L_{Aeq}$ 가 동일함에도 신경쓰임 정도에 차이가 크게 발생한 것으로 나타났다. 한편,  $L_{Aeq}$  대안으로 활용 가능한  $L_{Ceq}$ 의 경우 이 연구에서 저주파소음에 대한 신경쓰임과의 상관계수가 전체 음압레벨 범위에서 0.88로 두 번째로 높은 것으로 나타났으며, 음압레벨별 상관성 분석에서도 대부분 가장 높은 상관계수를 나타냈다. 이러한 결과는  $L_{Ceq}$ 와 신경쓰임과의 상관성을 조사한 연구<sup>(17)</sup>에서도 유사한 것으로 나타났다. 이 연구에서 제안된 단일수치평가량( $D_{max}$ ,  $D_{sum}$ )과  $L_{Ceq}$ 와의 상관성 분석결과 전체레벨 분석과 음압레벨별 분석 시 0.81 ~ 0.95 범위로 높은 상관계수를 나타냈다. 또한, 청감적인 관점에서도 제안된 단일수치평가량( $D_{max}$ ,  $D_{sum}$ )과 신경쓰임 정도와의 상관계수는 전체레벨 범위에서 0.81 ~ 0.89로 모두 높은 값을 나타냈다. 음압레벨별 신경쓰임 정도의 따른 단일수치평가량의 상관분석의 경우 60 dBA에서 0.71 ~ 0.78의 비교적 높은 상관계수를 나타냈다. 다만, 음압레벨의 낮아질 때(40 dBA) 신경쓰임 정도와의 상관계수가 낮아졌는데, 이는 저주파소음의 음압레벨이 낮아질수록 피험자의 청감반응의 폭이 좁게 형성되었기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 경향은  $L_{Ceq}$ 와  $L_{Zeq}$ 에서도 동일하게 나타났는데, 향후 저소음레벨에서의 저주파소음 평가방법 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5.2 제안 단일수치평가량의 활용성

상기 환경소음 평가에 단일수치평가량으로 활용되

**Table 3**  $D_{max}$  and  $D_{sum}$  of low frequency noise (at 60 dBA)

| Noise          | $D_{max}$ | $D_{sum}$ |
|----------------|-----------|-----------|
| Outdoor unit 1 | 22.7      | 27.9      |
| Outdoor unit 2 | 30.5      | 98.2      |
| Outdoor unit 3 | 18.7      | 55.8      |
| Outdoor unit 4 | 16.5      | 31.7      |
| Road roller    | 22.8      | 59.0      |
| Concrete mixer | 26.0      | 123.8     |

는  $L_{Aeq}$ 는 기존 연구에서 지적인 바와 같이 저주파 소음 평가에 활용하는 것은 무리가 있음이 이 연구에서도 밝혀졌다.  $L_{Ceq}$  경우 이 연구결과 저주파 소음평가에 활용 가능할 것으로 판단되나, 저주파 소음의 평가, 원인 파악 및 대책수립을 위한 주요 주파수 대역 도출에는 한계가 있을 것으로 사료된다. 이 연구에서 제안된 단일수치평가량( $D_{max}$ ,  $D_{sum}$ )은 저주파 대역의 주파수 대역 음압레벨 분석을 기본으로 하여, 그 결과를 국내의 저주파 소음 평가기준과 비교를 통해 산정하였다. Table 3은 저주파 소음이 60 dBA 일 때  $D_{max}$ ,  $D_{sum}$  값을 나타내고 있다. 이와 같이 저주파 소음을 평가함에 있어  $D_{max}$ 는 저주파 소음 평가기준을 초과하고 있는 주파수 대역의 최대값을 직관적으로 알 수 있고,  $D_{sum}$ 의 경우 저주파 소음이 기준 평가 대역에서 얼마나 초과하고 있는지 직관적으로 알 수 있어 활용에 용이할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

이 연구에서는 실내 공간에서 저주파 소음을 평가하기 위한 새로운 단일수치평가량( $D_{max}$ ,  $D_{sum}$ )를 제안하였고, 실내로 유입되는 저주파 소음원(공사장, 실외기 소음)을 대상으로 다양한 단일수치평가량 간의 상관성 분석과 청감실험을 통해 제안된 평가지수의 적합성을 평가하였다. 단일수치평가량 간의 상관성 분석결과, 제안된 단일수치평가량은 기존 단일수치평가량( $L_{Ceq}$ ,  $L_{Zeq}$ )과 0.81 ~ 0.95 범위로 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다. 청감실험에서도 제안된 단일수치평가량은 신경쓰임과의 상관계수가 전체 제시 레벨 범위에서 0.81과 0.89로 높은 값을 나타냈으며, 제시 음압레벨별 상관계수도 기존 평가지수인  $L_{Ceq}$ 와 유사한 값을 나타냈다. 청감실험 결과,  $L_{Ceq}$  또한 저주파 소음의 신경쓰임과의 높은 상관관계를 나타내어, 저주파 소음 평가에 활용 가능할 것으로 판단되나, 주파수대역 분석을 기본으로 하고 문제가 되는 특정 주파수 대역의 도출이 가능한 제안된 평가지수( $D_{max}$ ,  $D_{sum}$ )가 민원 현장에서의 원인 파악 및 대책수립에 보다 활용성이 높을 것으로 판단된다.

이 연구결과는 제한된 저주파 소음원 및 제시 음압레벨(40 dB, 50 dB, 60 dB)을 대상으로 상관성 분석과 청감실험을 진행한 결과이므로, 향후 일반화를 위해 다양한 음압레벨 및 음원에 대한 연구와 저주파

소음원이 존재하는 민원 현장 등에서 제안된 평가지수의 적합성을 평가할 필요가 있다.

## 후 기

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

## References

- (1) Korea Environment Ministry, 2018, Performance Evaluation of Noise and Vibration Control Policies. <http://www.me.go.kr/home/web/policy-data/read.do?menuId=10276&seq=7499>(accessed 12.10.2020)
- (2) National Institute of Environmental Research, 2003, Characteristics of Construction Machinery Noise, NIER NO. 2003-14-686: 11-1480083-000217-14.
- (3) Ryu, J. K. and Ha, Y. G., 2016, Acoustical Characteristics and Absorbing Structure of Noise from Outdoor Unit of Air-conditioner, Proceedings of the KIAEBS Annual Autumn Conference, pp. 114~117.
- (4) Bengtsson, J., Waye, K. P. and Kjellberg, A., 2004, Evaluations of Effects due to Low-frequency Noise in a Low Demanding Work Situation, Journal of Sound and Vibration, Vol. 278, No. 1-2, pp. 83~99.
- (5) Leventhall, G., Pelmear, P. and Benton, S., 2003, A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects, Department for Environment, Food and Rural Affairs 2003-05.
- (6) Persson Waye, K. and Rylander, R., 2001, The Prevalence of Annoyance and Effects after Long Term Exposure to Low Frequency Noise, Journal of Sound and Vibration, Vol. 240, No. 3, pp. 483~497.
- (7) Ministry of the Environment, 2010, Report on A Survey and Management Method of Low Frequency Noise in Living Environment (II).
- (8) Hong, S.-K., Kim, J.-H., Kim, K.-T. and Lee, S.-G., 2007, A Laboratory Study on Low Frequency Noise Assessment based on Noise Acceptability Limit, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 8, pp. 736~740.
- (9) Ministry of Environment, 2018, Low Frequency Noise Management Guideline, Available from

[http://www.me.go.kr/home/web/policy\\_data/read.do?menuId=10259&seq=7172](http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10259&seq=7172).

(10) Berglund, B., Lindvall, T. and Schwela, D. H., 2000, New WHO Guidelines for Community Noise. *Noise & Vibration Worldwide*, Vol. 31, No. 4, pp. 24-29.

(11) Kjellberg, A., Goldstein, M. and Gamberale, F., 1984, An Assessment of dB(A) for Predicting Loudness and Annoyance of Noise Containing Low Frequency components, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, Vol. 3, No. 3, pp. 10-16.

(12) Pawlaczyk-luszczynska, M., Dudarewicz, A., Waszkowska, M. and Sliwińska-Kowalska, M., 2003, Assessment of Annoyance from Low Frequency and Broadband Noise, *International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 16, pp. 337-343.

(13) Germany, 1997, Measurement and Assessment of Low Frequency Noise Immission in the Neighbourhood, DIN 45680:1997-03.

(14) Ryu, J. and Song, H., 2019, Effect of Building Façade on Indoor Transportation Noise Annoyance in Terms of Frequency Spectrum and Expectation for Sound Insulation, *Applied Acoustics*, Vol. 152, pp. 21-30.

(15) Korea Legislation Research Institute, 2018, Regulation on Housing Construction Standards, etc, Article 9(2).

(16) ISO, Acoustics - Assessment of Noise Annoyance by Means of Social and Socio-acoustic Surveys, 2003, ISO/TS 15666.

(17) Pawlaczyk-luszczynska, M., Dudarewicz, A., Waszkowska, M. and Sliwińska-Kowalska, M., 2010, Evaluation of Annoyance from Low Frequency Noise under Laboratory Conditions, *Noise and Health*, Vol. 12, No. 48, p. 166.



**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.



**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.



**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.



**Suhong Kim** graduated from Chonnam National University, Gwangju, Korea in 2020. 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, psycho-acoustics

psycho-acoustics, and acoustic barrier-free



**Jongkwan Ryu** received his Ph.D. in Dept. of Architectural Engineering from Hanyang University, Seoul. He is currently as a 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

psycho-acoustics, and acoustic barrier-free