

# 주관적 반응을 반영한 공사장 소음 기준 개선안 도출

## Development of Construction Noise Standards based on Subjective Responses

김우정\* · 구진회† · 박형규\* · 안재영\* · 이규선\* · 이연주\*  
Woo-Jung Kim\*, Jinhoi Gu†, Hyungkyu Park\*,  
Jaeyoung Ahn\*, KyuSeon Lee\* and Yeonjoo Lee\*

(Received June 7, 2024 ; Revised August 14, 2024 ; Accepted August 19, 2024)

**Key Words :** Construction Noise(공사장 소음), Noise Standard(소음 기준), Auditory Experiment(청감실험), Subjective Evaluation(주관적 평가), Annoyance(어노이언스)

### ABSTRACT

Annoyance evaluation was conducted on various sources of sounds in construction machinery to improve the construction noise standards, which can reflect the subjective sensory characteristics that individuals can actually experience. A total of 84 sound samples were generated for 12 types of construction machinery, corresponding to different noise-generating equipment, and an auditory experiment was conducted. Based on the annoyance curve derived from this experiment, the percentage of Highly Annoyed(HA %) at a construction noise level of 65 dB(A) is approximately 30 %. By gradually tightening the noise standards to 62 dB(A) and 58 dB(A), the HA % can be reduced to 20 % and 10 %, respectively, aligning with WHO-recommended levels.

### 1. 서 론

삶의 질에 대한 인식 향상 및 코로나 19로 인한 생활 형태 변화로 인해 정온한 생활환경에 대한 관심이 증가하고 있다. 아울러 도시화 및 인구 집중화로 인해 생활 환경 인근에서도 다양한 공사가 이루어진다. 공사장에서 발생하는 소음은 생활환경 내에서 고소음을 발생시켜 업무 및 휴식에 영향을 미치며 민원의 원인이 된다.

환경부에서는 2008년부터 소음발생건설기계 소음도 검사를 통한 소음표시제도를 도입하여 관리 기준에 따라 건설기계에서 발생하는 소음을 관리하고 있다<sup>(1)</sup>. 현재 소음을 관리하는 기준은 등가소음도 또는

최고소음도 즉 소음의 물리적인 크기에 대해 일률적으로 적용된다. 이렇게 관리를 하고 있음에도 불구하고 공사장 소음에 대한 민원은 증가하고 있는 실정이다<sup>(2)</sup>. 이것은 물리적인 크기가 실제 사람이 소음을 느끼는 정도를 충분히 반영하지 못하기 때문이라고 판단된다. 따라서 소음의 주관적인 감각을 반영한 소음 관리 기준이 필요하다.

2018년에 World Health Organization에서 발표한 가이드라인과 같이<sup>(3)</sup> 최근에는 성가심 평가를 근거로 한 사람 중심의 목표 및 규제 기준 설정으로 소음 관리의 패러다임이 변화하고 있는 추세이다. 국외에서는 성가심 평가를 근거로 도로, 철도, 항공기, 풍력발전 등의 소음원에 대해 감각특성을 등급화하고 %HA

† Corresponding Author ; Member, National Institute of Environmental Research & Inha University, Senior Researcher  
E-mail : gujhgjuh@korea.kr

\* Member, National Institute of Environmental Research, Researcher

# A part of this paper was presented at the KSNVE 2024 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Kyoung Min Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

(highly annoyed) 10%~20% 수준으로 목표 기준을 설정하고 있다<sup>3)</sup>. 아울러 수면방해, 성가심 반응, 청력손실, 인지장애, 심혈관계 질병 등의 순서로 건강에 대한 영향을 평가하여 소음감각지표(harmonica index) 및 건강감각지표(DALY, YLL, YLD 등)로 나타내는 등 소음의 영향을 이해하기 쉽게 공개할 수 있는 지표 개발도 이루어지고 있다. 국가별로 성가심의 체감정도가 다르기 때문에 우리나라 국민의 성가심 반응에 대한 DB를 구축하고 주관적인 감각 및 건강에 대한 영향을 고려하여 소음 관리 기준을 개선하는 것이 요구된다.

2008년 소음표시제도가 도입될 시점부터 건설기계 소음 또는 공사장 소음의 물리적인 특성에 대한 연구가 주로 수행되었다. Gu et al.은 건설기계의 저소음 표시 제도와 저소음 등급 표시 방법을 제시하였으며<sup>4)</sup>, Park은 건설기계 중 현장에서의 활용도가 높은 로더에 대한 소음도의 현황을 분석하였다<sup>5)</sup>. 소음원을 녹음하여 들려주고 느끼는 바를 조사한 청감실험 연구도 있었다. Jung et al.과<sup>6)</sup> Kim et al.은<sup>7)</sup> 주파수 대역별 레벨을 변화시킨 고무공 충격음에 대한 청감실험을 실시하였고, Park et al.은 VR 청감실험을 통해 층간소음에 대한 인식의 영향 요인을 조사하였다<sup>8)</sup>. Hur et al.은 도심 교통소음에 대한 주관적 반응<sup>9)</sup>, Lee et al.은 심혈관계에 대한 철도소음의 영향을 청감실험을 활용하여 조사하였다<sup>10)</sup>. 이처럼 바닥충격음, 교통소음에 대한 청감실험 연구는 꾸준히 이루어져왔으나, 공사장 소음에 대한 청감실험 연구는 아직 미비한 것으로 판단된다.

이에 이 연구에서는 소음발생건설기계 9종에 대해 음원을 녹음하여 50명을 대상으로 성가심 청감실험을 수행하였다. 청감실험을 통해 성가심 반응 곡선을 작성하여 공사장 소음원에 대한 주관적인 체감도를 규명하고 현재 소음 기준을 재평가하였다. 실제 사람이 소음을 느끼는 정도를 반영하여 더 현실적으로 소음을 관리할 수 있는 소음관리 기준 개선(안)을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1 청감실험용 음원 제작

#### (1) 건설기계별 음원 녹음

소음진동관리법의 소음발생건설기계 소음 관리기준<sup>1)</sup> 적용대상인 소음발생건설기계 6종(굴착기, 다짐

기계, 로더, 콘크리트절단기, 공기압축기, 발전기)과 추가로 3종의 건설기계(브레이커, 천공기, 향타 및 향받기)를 대상으로 하여 기계의 소음을 측정 및 녹음하였다. 소음발생건설기계소음 관리기준에 따라 다짐 기계의 경우 진동형 및 비진동형으로 구분하였으며<sup>11)</sup>, 로더는 주행 및 가동 조건을 나누어 녹음하였다. 대다수의 건설현장에서 일반 유압 브레이커와 핸드브레이커를 모두 사용하기 때문에, 브레이커도 두 가지로 분류하여 녹음을 수행하였다. 따라서 9종의 소음발생 건설기계에 대해 녹음한 총 12가지 건설기계 음원의 종류를 Table 1에 나타내었다.

#### (2) 청감실험 음원 제작

건설기계의 구조에 따라 방사되는 소음의 패턴이 상이하기 때문에 헤드폰과 유사한 형태인 Head Acoustics 사 BHSII를 더미헤드에 거치하여 스테레오(2채널)로 녹음하였다. 건설기계 소음도 검사방법(환경부 고시 제2020-55호)에 따른 소음도 검사 시행 시 녹음을 함께 진행하였다<sup>11)</sup>. 이와 동일한 고시에 제시된 소음도 검사를 위한 마이크로폰 위치 중 4번과 6번 사이에 녹음 장비를 설치하여 소음을 측정 및 녹음하였다. 녹음 위치와 모습의 예시는 Fig. 1과 같이 나타내었다.

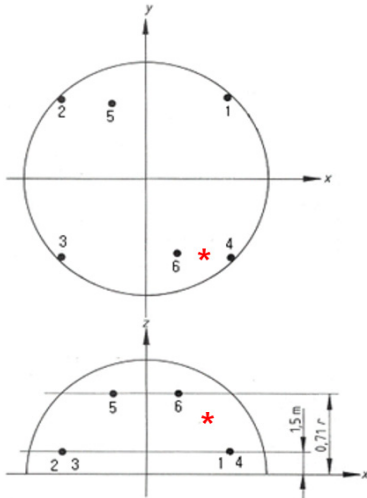
실험 음원은 Matlab을 통해 제작하였다. 소음진동관리법에서<sup>1)</sup> 공사장 소음기준을 65 dB(A)(가 지역, 주간 시간대 기준)로 관리하기 때문에, 건설기계 9종

Table 1 Classification of the construction machinery

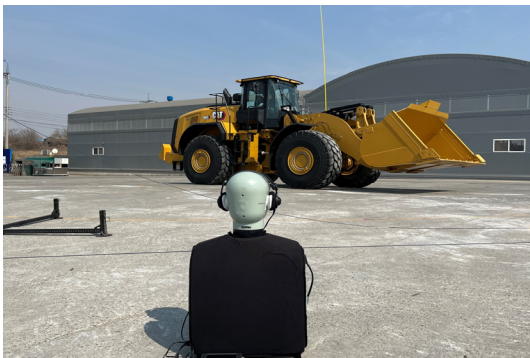
Number	Construction machinery	
1	Excavator	
2	Roller	Non-vibration type
3		Vibration type
4	Loader	Drive mode
5		Operation mode
6	Generator	
7	Breaker	Handy type
8		General type
9	Air compressor	
10	Concrete cutter	
11	Boring machine	
12	Pile driver	

에 대한 12개의 녹음 음원의 등가소음도를 65 dB(A)로 일괄 조정하여 원음원으로 사용하였다. 3 dB(A)씩 판리기준을 강화하였을 시의 성가심 평가 결과의 변화를 분석하기 위해, 65 dB(A)의 원음원을 중심으로 overall 레벨을 3 dB(A)씩 저감시킨 62 dB(A), 59 dB(A)의 음원을 각각 제작하였다. 아울러 건설기계는 종류별로 주파수 특성이 다양하기 때문에 저주파수 대역 및 고주파수 대역이 성가심에 미치는 영향을 분석하기 위해 65 dB(A)의 원음원을 기준으로 주파수 대역별 소음의 크기를 변화시켰다. 사람은 저주파수 대역이 변조되면 소리를 거칠게 느끼는데 이는 음질 지표 중 roughness와 관련이 있다<sup>(12)</sup>. 따라서 roughness의 진폭 변조 주파수(modulation frequency, 20 Hz ~ 300 Hz)를 참조하여 크기를 변화시킬 저주파 대역을 선정하였

으며, 대다수가 청취 시에 차이를 느낄 수 있도록 3 dB, 6 dB를 증가시켰다. 동일한 loudness일 때 고주파 대역의 성분이 많을수록 사람은 더욱 날카롭게 소리를 인지한다. 이는 음질 지표 중 sharpness와 관련이 있다<sup>(12)</sup>. 따라서 고주파수 대역의 경우 loudness 등 다른 지표에 영향을 주지 않는 범위 내에서 대다수가 청취 시에 날카로움의 차이를 느끼는 주파수 대역과 변화량(레벨)을 결정하였다. 저주파수 대역(300 Hz 이하)은 각각 3 dB 및 6 dB씩 증가시키고, 고주파수 대역(1 kHz ~ 2.5 kHz) 소음 크기를 4 dB 및 8 dB씩 증가시켜 각 원음원별로 주파수 변조 신호를 총 4종 제작하였다. 즉, 12종의 원음원을 중심으로 overall 레벨을 변화시킨 음원(2종)과 주파수 대역별 레벨을 변화시킨 음원(4종)을 각각 제작하여 총 84개의 실험 음원을 구성하였으며 음원의 변수는 Table 2에 나타내었다.



(a) Position of recording



(b) Example of recording

Fig. 1 Stereo recording

(3) 무향실 시스템 및 실험 환경 구축

청감실험은 국립환경과학원 음향시험동 내에 위치한 무향실에서 진행되었으며, 해당 무향실의 제원은 Table 3과 같다<sup>(13)</sup>. Macbook pro를 통해 재생한 음원이 amplifier(Atlas; prism sound)에서 증폭되어 loud

Table 2 Classification of variables of the sound sources

Cases	Changing value	
	Frequency [Hz]	Level
Original (65 dB(A))	-	-
Overall level	Overall	-3 dB(A)
		-6 dB(A)
Frequency level	~ 300 Hz	+3 dB
		+6 dB
	1.0 kHz ~ 2.5 kHz	+4 dB
		+8 dB

Table 3 Specification of an anechoic room

Volume [hemi]	7000(W) × 7000(D) × 4425(H)	
Background noise	Non-air conditioning	Air conditioning
	Under 7 dB(A)	Under 12 dB(A)
Temperature	22°C ~ 23°C	
Humidity	50 % ~ 55 %	

speaker(8350A, 7350A; Genelec)로 재생되는 시스템을 가지고 있다. 무향실 환경에서 라우드 스피커를 활용한 청감실험 시 음원을 녹음한 실제 현장과 유사하게 음원을 청취할 수 있도록 음장 환경의 보정이 필요하다. 따라서 이 연구에서는 무향실의 반무향실 상태에서 공조를 가동한 상태로 실험 환경을 구축한 이후에 청감실험이 수행되었다.

실험 음원과 동일한 방법으로 Matlab을 이용하여 125 Hz ~ 8000 Hz(1/1 옥타브 대역)이 94 dB인 순음 음원 7가지를 제작하였다. 해당 순음 음원을 청감실험과 동일한 환경에서 재생시켰다. 재생 후 소음계(NL-62; Rion)로 측정된 결과와 원음원(94 dB)과의 차이를 DAW(Protools; Avid)의 Graphic equalizer로 보정하였으며, 측정 결과와 원음원(94 dB)의 차이를 Table 4로 나타내었다.

**2.2 청감실험 실시**

(1) 피실험자

청감실험을 위한 피실험자는 20대 ~ 50대 50명을 모집하였으며, 그 중 남성은 18명, 여성은 32명이었

**Table 4** Level difference in an anechoic room(sine wave of 94 dB)

Frequency [Hz]	Level in the anechoic room [dB]	Difference [dB]
125	94	
250	83	+11
500	94	
1000	90	+4
2000	93	+1
4000	94	
8000	90	+4

**Table 5** Questionnaire respondents

1. Gender			
Men		Women	
18		32	
2. Age			
20 s	30 s	40 s	50 s
7	23	17	3

다. 50명 중 20대는 7명, 30대는 23명, 40대는 17명, 50대는 3명으로 구성되었다. 피실험자에 대한 정보는 Table 5로 나타내었다. 해당 피실험자들을 대상으로 청감실험 이전 청력검사를 선행하여 정상청력 여부를 판별하였다. 청력검사기(Amplivox; Inter acoustics)를 통해 실험 음원의 변수 주파수 대역이자 어음 주파수 대역<sup>(14)</sup>인 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz의 순음 음원을 30 dBHL로 제시하고 청취 가능 여부를 각각 체크하였다. 여기서 dBHL은 deciBell Hearing Level을 의미하는 것으로, 0 dBHL은 정상 청력을 가진 성인의 최소 가청역치 평균을 의미한다. 피실험자가 제시된 순음 음원을 청취했을 때 청력검사기의 스위치를 누르면 LED가 켜지면서 검사자가 청취 가능 여부를 확인할 수 있다. 해당 검사는 양쪽 귀 모두에 대해 수행되었으며, 청취가 불가능한 경우 청감실험의 참여를 제한하였다.

(2) 성가심 평가 방법

청감실험 이전에 실험 방법에 대한 자세한 안내가 선행되었다. 피실험자들은 각자의 핸드폰으로 QR코드를 스캔하여 답변지에 접속하였다. 성가심의 평가는 ISO 1996-1 및 ISO TS 15666 표준을 준용하여 11점 척도법(SD, 0 ~ 10)으로 하였으며, 각 점수의 구간에 따라 5점 척도법의 국영문 어휘도 함께 제시하여 평가에 참고할 수 있도록 하였다<sup>(15,16)</sup>. 실험에 사용한 성가심 평가 척도는 Table 6으로 나타내었다. 실험은 1회에 1인씩 진행하고 직접 음원을 재생하도록 하였으며 반복재생도 가능하도록 했다. 건설기계의 종류는 알파벳으로, 크기나 음색이 다른 것은 숫자로

**Table 6** Degrees of annoyance at each step

Vocabulary	Point
Not at all	0
	1
Slightly	2
	3
Moderately	4
	5
	6
Very	7
	8
Extremely	9
	10

음원 파일을 구분할 수 있도록 표기하여 각자 건설기계 종류, 각 건설기계의 크기 및 음색에 따라 성가심 정도를 상대평가하였다. 자택 거실에서 휴식 또는 업무 중에 집 밖에서 해당 소음이 들리는 상황을 전제로 하였다. 또한 실험자는 20분 평가 후 10분 휴식을 취하였고, 실험 중에 피로를 느낄 경우 자유롭게 휴식할 수 있도록 하였다. 위와 같은 청감실험의 모습을 Fig. 2에 나타내었다.

### 3. 연구 결과

#### 3.1 건설기계별 성가심 비교

50명의 피실험자가 0부터 10까지 평가한 성가심 결과를 12가지의 건설기계 종류별로 Fig. 3과 Table 7에 나타내었다. 총 84개의 실험 음원 중 각각의 건설기계 종류별로 크기를 다양하게 변화시킨 음원은 제외하였으며, 공사장 소음기준(가 지역, 주간 시간대 기

준) 65 dB(A)의 원음원(12개)에 대한 평가값만을 대상으로 하였다. 같은 크기의 건설기계 음원에 대한 성가심 평가 결과, 평균 성가심은 5.00~7.02 사이에 분포하였다. 12종의 건설기계 중 굴착기가 7.02로 가장 높았으며, loudness level도 38.72 phon으로 12종의 건설기계 중 가장 높은 것으로 분석되었다. 굴착기 다음으로 향타 및 향발기가 6.82, 다짐기계(진동형)이 6.8인 것으로 나타났다. 공기압축기는 6.76, 브레이크는 6.56, 콘크리트 절단기는 6.54, 브레이커(핸드)는 6.18이었다. 그 다음으로 천공기는 5.98, 다짐기계(비진동형)은 5.78인 것으로 분석되었으며, 로더는 이동과 동작 시의 성가심이 5.74로 동일하였다. 평균 성가심이 가장 낮은 건설기계는 발전기였으며 5.00으로 분석되었다. 로더는 동일한 기기의 주행 및 가동 시의 성가심 평가 결과가 유사하게 나타났으나, 다짐기계의 경우 진동형 기계가 비진동형 기계보다 평균 성가심 정도가 1.02 더 크게 평가되었다. 브레이커의 경우, 일반 유압 브레이커가 핸드형 브레이커보다 0.38 더 큰 평균 성가심 결과를 나타냈다.

성가심 비율을 산정하기 위한 조건 중 %HA는 전체 성가심 응답(0~10) 중 상위 72% 이상의 척도로 평가한 비율을 의미한다<sup>(17)</sup>. 피험자가 이 청감실험에서 84개의 전체 실험 음원을 듣고 평가한 성가심 결과를 토대로 %HA를 분석하였다. Table 7에 나타난 전체 건설기계 종류별 매우 성가심 비율(%HA)의 평균은 29.95%였다. 가장 높은 건설기계는 굴착기 41.71%였으며, 그 다음으로 성가심 비율이 높은 기계는 공기압축기 40.57%, 향타 및 향발기 39.43%이

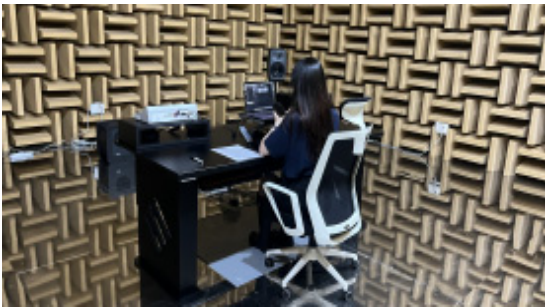


Fig. 2 Appearance of an auditory experiment

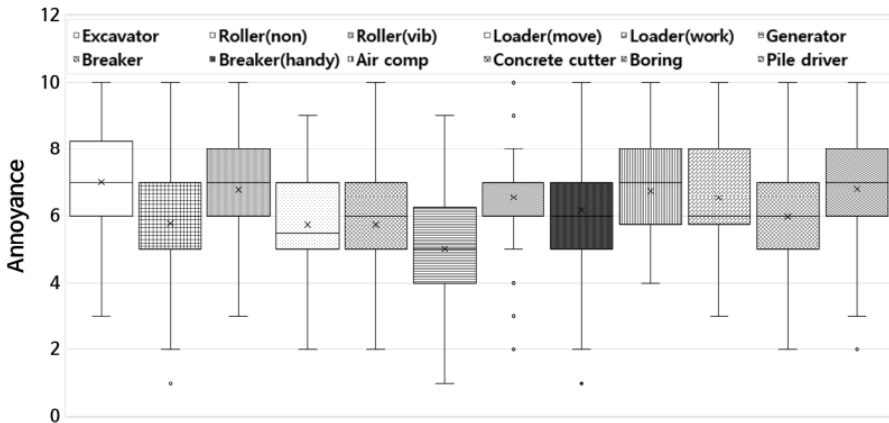


Fig. 3 Annoyance to the construction machinery

**Table 7** % HA to the construction machinery

Number	Construction machinery	Highly annoyed [%]
1	Excavator	41.71
2	Roller(non-vib)	23.71
3	Roller(vib)	35.43
4	Loader(drive)	22.86
5	Loader(operation)	19.71
6	Generator	14.57
7	Breaker(handy)	27.71
8	Breaker(general)	31.43
9	Air compressor	40.57
10	Concrete cutter	34.00
11	Boring machine	28.29
12	Pile driver	39.43

었다. 매우 성가심 비율이 가장 낮은 기계는 발전기로 나타났다. 아울러 브레이커는 일반 유압식이 31.43 %, 핸디형이 27.71 %로 일반 유압식이 핸디형보다 매우 성가심 비율이 더 높은 것으로 나타났다. 로더의 경우, 주행 및 가동 시의 매우 성가심 비율이 동작 19.71 %, 이동 22.86 %로 차이가 있었다. 이는 65 dB의 원음원 (12개)에 대한 평가값만을 대상으로 분석했을 때와는 다른 결과로, 로더의 경우 overall 레벨과 주파수 대역별 소음의 크기를 변화시킬 때의 성가심 결과 차이가 존재했다.

**3.2 소음레벨에 따른 성가심 결과**

음원 변수별 매우 성가심 비율을 Table 8로 나타내었다. Overall 레벨이 59 dB(A), 62 dB(A), 65 dB(A)일 때의 % HA는 각각 8 %, 13 %, 27 %로 나타나, overall 레벨이 3 dB씩 높아질수록 매우 성가심 비율도 증가하는 것으로 분석되었다. 원음원과 고주파수 대역을 4 dB, 8 dB 증가시킨 음원은 모두 Leq가 65 dB(A)이지만 매우 성가심 비율은 27 %에서 각각 28 %, 35 %로 증가하여 고주파수 대역 레벨의 증가가 성가심 증가에 영향을 주는 것으로 사료된다. 저주파수 대역은 3 dB, 6 dB 증가시켜 고주파 대역보다 변화량이 적었음에도 불구하고 Leq는 69 dB(A), 74 dB(A)로 증가하였으며, 이에 따른 매우 성가심 비율도 37 %, 62 %로 높아졌다. 이에 따라 고주파수 대역보다 저주파수 대역의 증가

**Table 8** % HA to variables of sound sources

Case of sound sources	Leq [dB(A)]	Percentage of highly annoyed [%]
59 dB(A)	59	8
62 dB(A)	62	13
65 dB(A)(original)	65	27
High, +4 dB	65	28
High, +8 dB	65	35
Low, +3 dB	69	37
Low, +6 dB	74	62

가 성가심 결과에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

84개 음원의 크기(Leq)에 따른 매우 성가심 비율을 Fig. 4에 나타내었다. 84개 음원의 크기(Leq)는 55 dB(A) ~ 76 dB(A)에 분포하였으며 음원의 크기가 증가함에 따라 매우 성가심 비율이 최대 약 80 %까지 분포하였다. 전반적으로 소음의 크기가 커지면 매우 성가심 비율도 커지는 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

**3.3 성가심 곡선을 통한 소음기준 재평가**

‘소음·진동관리법 시행규칙의 [별표 8] 생활소음·진동의 규제기준’에서 공사장 소음 규제기준을 제시하고 있다<sup>(1)</sup>. 우리나라 국민의 성가심에 대한 기초자료를 구축하고 주관적인 반응을 근거로 한 사람 중심의 소음 규제 기준을 설정하기 위해 현재 시행되고 있는 공사장 소음 기준이 사람의 주관적인 감각을 반영하고 있는지 주관적인 체감 정도를 파악하는 것이 필요하다. 이에 연속형 변수인 어의차이척도법(semantic differential method)으로 평가한 청감실험 결과를 토대로 다중회귀분석을 이용하여 Fig. 5와 같이 성가심 곡선을 작성하였으며<sup>(3,17,18)</sup>, 물리적인 크기를 토대로 관리하고 있는 현재 소음기준을 재평가하였다. 성가심 곡선 작성 결과 도출된 식은 식 (1)과 같으며, 결정계수  $R^2$ 는 0.92로 분석되었다.

$$y = 0.0966x^2 - 9.5326x + 238.55 \tag{1}$$

Fig. 4와 Fig. 5의 분석 결과를 토대로, 대상 지역

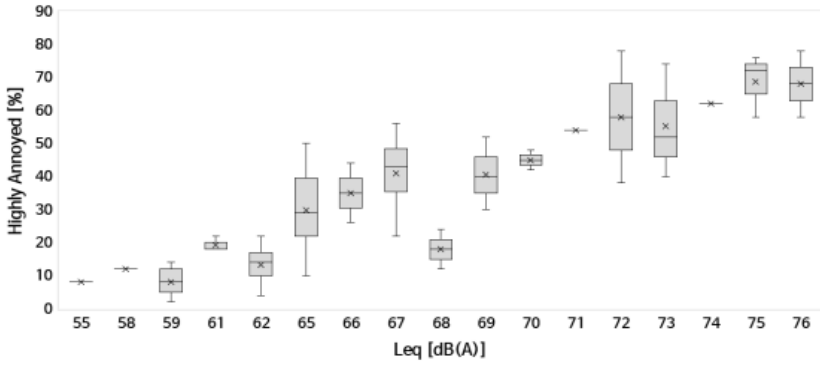


Fig. 4 %HA to the construction noise level(Leq)

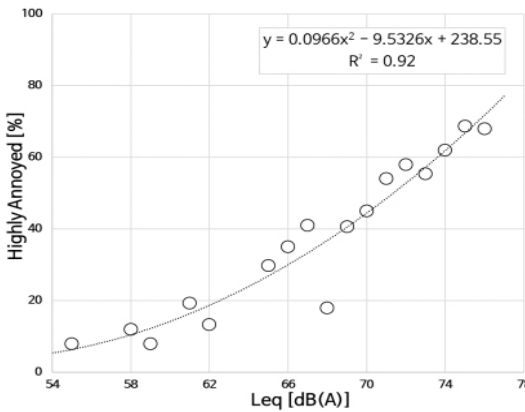


Fig. 5 Annoyance curve of construction machinery

‘가’의 주간(07:00~18:00) 시간대 공사장 소음 기준인 65 dB(A)일 때의 성가심 결과를 검토하였다. 현행 기준인 65 dB(A)일 때의 성가심 비율은 약 30%로 분석되었다. WHO에서 권고하는 소음 기준의 매우 성가심 비율은 10%로, 현행 국내의 소음기준은 그의 약 20%를 상회한다. 따라서 성가심 반응을 반영하여 사람 중심으로 소음기준을 개선하고 소음을 관리하는 것이 요구된다.

3.4 소음관리 기준 개선(안)

실제 사람의 체감도를 반영하여 더욱 현실적으로 소음을 관리하기 위해서 현장 상황을 고려한 단계별로 소음관리 기준을 개선하는 안을 제시하고자 한다. WHO에서 권고하는 소음기준의 매우 성가심 비율인 10%를 만족시키기 위해, 두 가지 단계로 개선(안)을

Table 9 Improvement cases of the noise standard

Content	Standard [dB(A)]	Percentage of highly annoyed [%]	Remark
Regulatory standard	65	30 %	
Level 1	62	20 %	
Level 2	58	10 %	WHO recommendation

작성하여 Table 9에 나타내었다. 매우 성가심 비율을 현재 약 30%에서 각각 20% 및 10%로 단계별로 낮추는 것을 목표로 하였다. 성가심 곡선을 기준으로 소음기준을 62 dB(A), 58 dB(A)로 강화시키면 매우 성가심 비율을 각각 20%, 10%로 WHO의 권고 기준을 만족하는 것으로 분석되었다. 따라서 현재 소음 기준에서 3 dB(A) 강화하는 1단계와 1단계에서 4 dB(A)를 더 강화하는 2단계로, 현장 상황에 따라 단계별로 기준을 강화할 수 있다.

4. 결 론

2008년부터 소음발생건설기계 소음도 검사를 통해 소음도 표시 제도를 도입하는 등 관리를 하고 있음에도 불구하고 공사장 소음 민원은 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 물리적인 크기인 등가소음도 또는 최고소음도로 평가하는 현재 소음 관리와는 달리 사람이 실제로 느끼는 주관적인 감각특성을 반영할 수 있도록 관리 기준을 개선해야 한다. 이 연구에서는 소음발생 건설기계 9종을 토대로 12가지의 건설기계의 음원을

녹음하여 변수에 따라 총 84개로 청감실험 음원을 제작하였다. 50명을 대상으로 수행된 청감실험의 성가심 반응 결과는 다음과 같다.

(1) 전체 청감실험 음원(84개)에 대한 매우 성가심 비율 분석 결과, 기계 종류별 매우 성가심 비율의 평균은 29.95 %인 것으로 나타났다.

(2) 음원의 변수 중 저주파수 대역의 레벨 변화는 고주파수 대역보다 작은 크기로 증가시켰음에도 매우 성가심 비율은 더 높게 증가하여, 고주파수 대역보다 저주파수 대역의 레벨 증가가 성가심 결과에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(3) 실험 음원의 크기가 증가할수록 매우 성가심 비율도 증가하는 경향을 확인하였으며, 음원의 크기가 76 dB(A)일 때 최대 80 %까지 증가하는 것으로 분석되었다.

(4) 이 실험을 통해 작성한 성가심 곡선을 기준으로, 대상지역 ‘가’의 주간(07:00 ~ 18:00) 공사장 소음기준인 65 dB(A)일 때의 매우 성가심 비율은 약 30 %이다.

(5) 현장 상황을 고려하여 각각 62 dB(A), 58 dB(A)로 소음기준을 단계적으로 강화하면 매우 성가심 비율이 각각 20 %, 10 %로 감소하여 WHO에서 권고하는 소음기준의 매우 성가심 비율을 만족할 수 있을 것으로 사료된다.

이 연구를 통해 물리적인 크기로 일률적으로 적용하고 있는 현재의 소음기준을 위처럼 주관적인 반응(성가심)을 반영하여 개선할 수 있을 것이라 예상된다. 아울러 기존 및 신규 소음원의 기준을 설정하는 체계를 재확립하고 소음의 건강영향지표 개발에 활용하여 다양한 소음원에 대해서 더욱 현실적으로 소음을 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구에서는 건설기계 소음도 검사방법(환경부 고시 제2020-55호)에 따른 검사 시에 녹음을 수행하였다<sup>(11)</sup>. 실제 공사 시와 환경 및 건설기계의 가동 방식에 차이가 있다는 한계를 가진다. 아울러 실제 공사장에서는 더 다양한 종류와 여러 대의 건설기계가 사용되며, 다수 공종이 동시에 진행되기도 한다. 건설기계의 소음은 고정된 위치에서 발생하기도 하지만, 이동성 소음(덤프트럭 등)이나 거푸집 탈락 등의 다양한 형태의 소음도 존재한다. 따라서 향후 공사장에서 발생하는 복합 소음과 더욱 다양한 공사장 현장 음원에 대한 연구가 필요하다.

## 후 기

이 연구는 국립환경과학원의 지원으로 수행되었음 (과제번호 NIER-2022-01-01-059).

## References

- (1) Ministry of Environment, 2021, Enforcement Rules of the Noise and Vibration Control Act, Ordinance of the Ministry of Environment, Ministry of Environment, No. 942, Sejong-si, Korea.
- (2) Seoul Environmental Policy and Dispute Mediation Team, 2022, 2021 Annual Report on the Noise and Vibration in Seoul, Seoul Metropolitan Government, Seoul, Korea.
- (3) WHO(world health organization), 2018, Environmental Noise Guidelines for the European Region, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- (4) Gu, J., Lee, W., Seo, C. and Lee, J., 2013, Study on a Applicability of the Low Noise Labeling System for a Construction Machinery, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 11, pp. 982~986.
- (5) Park, H.-K., Jung, J. S., Lee, Y., Kim, W. J. and Gu, J. H., 2022, Analysis of Sound Power Level of Construction Equipment Loader, Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society, Vol. 23, No. 10, pp. 228~235.
- (6) Jeong, J.-H., 2017, Comparison between Subjective Evaluation Results of Frequency Component Varied Rubber Impact Sound and Single Numerical Quantities, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 11, No. 6, pp. 517~526.
- (7) Kim, W.-J., Cho, H.-M. and Kim, M.-J., 2020, Subjective Response on the Octave Band Level Change of Rubber Ball Sound with the Same Single-number Quantity, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 30, No. 5, pp. 506~517.
- (8) Park, S. H., Shin, H. K. and Kim, K. W., 2021, VR Experiment on Indoor Noise Perception and Moderation Effects of Outdoor Sounds, Visual



Environment and Noise Sensitivity, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 31, No. 3, pp. 279~288.

(9) Hur, D.-J., Jo, K.-S. and Choe, B.-H., 2007, Study on the Subjective Responses of Loudness and Annoyance according to Exposed Time for the Traffic Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 241~248.

(10) Lee, J. K., Yoon, E. S., Jang, C. M., Jae, S. Y. and Chang, S.-I., 2016, The Research of Railway Noise through Auditory Experiments Focused on the Autonomic Nervous System and Cardiovascular System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 26, No. 6, pp. 674~679.

(11) Ministry of Environment, 2020, Measurement Method of the Sound Power Level for Construction Machinery, Ministry of Environment, No. 2020-55, Sejong-si, Korea.

(12) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, Psychoacoustics: Facts and Models, 2nd Edition, Springer, Berlin, Germany.

(13) ISO, 2012, Acoustics - Determination of Sound Power Levels and Sound Energy Levels of Noise Sources using Sound Pressure - Precision Methods for Anechoic Rooms and Hemi-anechoic Rooms, International Organization for Standardization, ISO 3745:2012, Geneva, Switzerland.

(14) Kim, J. S., 2013, Noise and Vibration Engineering, 4th Edition, Sejin, Seoul, Korea.

(15) ISO, Acoustics - Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise - Part 1: Basic Quantities and Assessment Procedures, International Organization for Standardization, ISO 1996-1:2016, Geneva, Switzerland.

(16) ISO, Acoustics - Assessment of Noise Annoyance by Means of Social and Socio-acoustic Surveys, International Organization for Standardization, ISO/TS 15666:2021, Geneva, Switzerland.

(17) Miedema, H. M. and Oudshoorn, C. G., 2001, Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and their Confidence Intervals, Environmental Health Perspectives, Vol. 109, No. 4, pp. 409~416.

(18) EEA, 2010, Good Practice Guide on Noise Exposure and Potential Health Effects, EEA Technical Report, European Environment Agency, No. 11/2010, Copenhagen, Denmark.



**Woo-Jung Kim** received the M.S. in Dept. of architectural engineering at University of Seoul, Seoul, Korea in 2021. She is currently a researcher of the National Institute of Environmental Research. Her research interests are in the areas of environmental noise and and psycho-acoustics.



**Jinhoi Gu** received the M.S. in Dept. of mechanical engineering at University of Inha, Incheon, Korea in 2005. He is currently a senior researcher of the National Institute of Environmental Research. His research interests are impact of environmental noise to human annoyance.