

지하철 승강장에서 소음 및 신호안내음의 분포 특성

The Distribution Characteristic of Noise and Signal Guide Sound in Subway Platform

송은성* · 김수홍* · 김정훈* · 이송미* · 류종관†
Eunsung Song*, Suhong Kim*, Jeonghun Kim*, Songmi Lee* and Jongkwan Ryu†

(Received August 20, 2021 ; Revised October 19, 2021 ; Accepted November 9, 2021)

Key Words : Subway Platform(지하철 승강장), Signal Guide Sound(신호안내음), S/N Ratio(S/N비, 신호대 잡음비)

ABSTRACT

As the elderly frequently use subway stations, there is a need for the acoustical improvement of subway platforms from a barrier-free perspective. In this study, the distribution characteristics of noise and signal guide sounds on subway platforms are determined for different locations. The entering and leaving noise of the train and the signal guide sounds were measured for thirteen and fourteen points along the two subway platforms. As a result, the maximum difference (L_{Aeq}) between the noise values for the train entering and leaving for the measurement points ranged from 5.0 dBA ~ 9.0 dBA and 9.2 dBA ~ 10.9 dBA, respectively. Additionally, the maximum difference (L_{Aeq}) between the signal and guide sounds for the measurement points ranged from 6.2 dBA ~ 6.5 dBA and 4.7 dBA ~ 6.5 dBA, respectively. The maximum difference (L_{Aeq}) in the signal to noise ratio (S/N ratio) between the noise and signal guide sounds for the measurement points ranged from 5.1 dBA ~ 14.6 dBA. It was also found that noise had more influence on the S/N ratio than the signal guide sound. These results suggest that there is a need for noise reduction in various positions of a subway platform to enhance speech intelligibility.

1. 서 론

한국철도공사의 자료에 의하면 전국 지하철에서 우대권을 사용하는 고령자가 2017년 대비 2019년에 18.4% 증가한 것으로 나타났다⁽¹⁾. 이러한 사회현상에 맞춰 Ryu 등⁽²⁾은 청력손실이 큰 고령자들을 위한 공공공간에서의 음 배리어프리(acoustics barrier-free)의 필요성을 강조하였다. Song 등⁽³⁾은 고령자 대상

설문조사를 통해 지하철 콘코스에 비해 승강장이 소음, 울림에 대한 불만족도가 높음을 확인하였다. 또한 지하철 승강장은 지상철 승강장보다 소음도(L_{Aeq})가 높은 것으로 나타나^(4,5) 지하철 승강장의 음환경 개선의 필요한 것으로 판단된다.

국내 지하철 승강장 내 소음 현황에 대한 연구를 살펴보면 Lee 등⁽⁶⁾은 서울지하철 역사의 승강장 단면 형태별 소음 현황을 확인하여 승강장이 중앙에 위치하고 그 양쪽으로 철로가 배치되어있는 섬식 승강장(island platform)이 철로가 중앙에 위치하여 양쪽에

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

* Department of Architectural & Civil Engineering, Graduate School, Chonnam National University, Student

A part of this paper was presented at the KSNVE 2021 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Deuk Sung Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

승강장이 있는 구조인 상대식 승강장(side platform)에 비해 평균 2.0 dBA 이상 적은 소음레벨을 나타내고 있다고 밝혔다. Kim 등⁽⁷⁾과 Lee 등⁽⁸⁾의 연구에서는 스크린도어가 지하철 역사 내 소음 저감 효과가 있는 것으로 나타났다. Kim 등⁽⁹⁾의 연구에서는 일반 철도역사 승강장에서 철도열차 종류에 따른 성가심의 특성을 조사한 바 있다. 또한, 미국대중교통협회(APTA : american public transportation association)⁽¹⁰⁾에서 제시한 지하철 승강장 내 열차 진입 및 출발 시 소음 기준인 80 dBA, 정차 시 68 dBA에 대하여, 스크린도어 설치 역사^(7,8)의 경우에는 기준을 만족한 것으로 나타났으나, 스크린도어가 미설치 된 일부 역의 경우에는 기준을 초과한 것으로 나타났다. 국내의 승강장관련 소음 기준의 경우, 국가철도공단⁽¹¹⁾에서 철도역 승강장 내 열차 진입 및 출발 시와 열차가 없을 시에 대한 소음 기준을 각각 80 dBA와 60 dBA으로 제안하였으며, 지하 승강장⁽¹²⁾의 경우, 고속철도 승강장 내 소음레벨(L_{Aeq})을 80 dBA을 권장 기준으로 제안하고 있다. 하지만 이 기준들은 지하철 대상이 아닌 철도와 고속철도를 대상으로 하고 있으며, 측정 위치에 대한 정확한 기준이 없어 측정위치 별 소음레벨의 차이가 예상되는 지하철 포함 철도 승강장에서의 적용을 위해서는 측정 위치 별 소음 분포에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다. 또한, 철도 이용객의 명확한 음성정보 제공을 위해 신호안내음 관점의 측정위치별 음성명료도 분포 특성도 확인할 필요가 있다.

한편, 지하철 승강장 내 열차신호음과 음성안내음으로 구성되어 있는 신호안내음 개선의 필요성이 나타남⁽³⁾에 따라 공공 공간에서의 신호안내음 관련 연구를 살펴본 결과, 영국표준기관(BSI : british standards institution)⁽¹³⁾에서는 비상상황 시 요구되는 음성안내음(voice alarm)의 명료도를 위해서 최소 10 dB 이상의 신호대잡음비(S/N비 : signal to noise ratio)를 권장하였다. Sato 등의 연구⁽¹⁴⁾에서는 고령자의 경우 S/N비가 5 dB 증가에 따라 단어 정답률이 20%~25% 증가하는 것으로 나타났고, S/N비가 10 dBA일 때 청력 손실이 가장 컸던 고령자그룹의 단어정답률이 약 75%임을 제시⁽¹⁵⁾하였다. Song 등⁽¹⁶⁾은 스크린도어가 설치된 2곳의 지하철 승강장 내 열차신호음과 배경소음, 음성안내음과 열차도착소음에 대한 S/N비를 1개 지점에서 현장 측정된 결과 각각 5.9 dBA ~ 6.4 dBA, -6.6 dBA ~ -4.6 dBA로 앞서 음성안내음의 명료도를

위한 권장 S/N비보다 낮게 나타났다. 지하철 승강장 내 음성안내음의 명료도 개선을 위한 연구로 Jeon 등⁽¹⁷⁾은 청감실험을 통해 음성안내음의 고주파대역 증가 시 고령자의 단어인식률이 상승한다는 것을 제시하였다.

그러나, 기존 확산 공간과 달리 거리에 따라 잔향시간이 증가하는 특성을 갖고 있는⁽¹⁸⁻²⁰⁾ 지하철 승강장은 거리에 따라 증가하는 잔향시간에 의한 음성명료도 저해가 우려된다. 이에 Kang⁽²¹⁾은 축소모형과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 지하철 승강장과 같은 긴 음장의 경우도 적절한 흡음 처리로 음성명료도를 개선할 수 있고, 스피커의 지향성을 높이면 음성명료도 개선에 큰 도움을 줄 수 있음을 제시⁽²²⁾하였다. Gomez⁽²³⁾는 확산계수(scattering coefficient)의 증가에 따라 잔향시간이 감소하는 것을 확인하면서 승강장 내 음성명료도 개선을 위해 흡음률과 확산계수를 고려한 4가지 새로운 천장 마감설계를 제안하였다.

하지만, 지하철 승강장 내에는 다양한 위치에서 발생하는 소음원에 의해 발생하는 소음레벨의 위치별 차이가 나타나는 것^(5-7,24)으로 보인다. 기존 연구^(5-7,24)에서는 승강장 내 발생하는 소음에 대해 1개~3개 측정지점의 위치별 특성을 확인하였는데, 소수의 위치에서의 측정을 통해서만 역사 내 음환경 특성을 이해하기 어려운 것으로 판단된다.

따라서, 이 연구에서는 2개의 지하철 승강장을 대상으로 다수의 위치별 측정을 진행하여 승강장 내 소음 및 신호안내음의 위치별 분포 특성을 확인하고, 승강장 내에서 발생하는 신호안내음과 소음의 S/N비를 분석하여 S/N비의 주요 영향인자를 도출하고자 한다.

2. 측정 방법

2.1 측정 대상

광주 지하철의 유동인구가 많은 역사 중 역사형태 별로 구분하여 2개 역사를 선정하였다. Station A는 Fig. 1(a)와 같이 승강장을 중심으로 양쪽으로 철도가 배치되어있는 일반적인 섬식 승강장이다. Station B는 Fig. 1(b)와 같이 철도가 중앙에 위치하여 양쪽에 승강장이 있는 구조인 상대식 승강장이지만 한쪽 공간이 넓은 특징이 있다. Table 1과 같이 두 승강장 모두 벽, 바닥과 기둥은 화강석으로 이루어져 있으며, 천장의 경우 아연도강판이 설치되어 있다. 스크린도어는 완전 밀폐형으로 설치되어 철도와 승강장

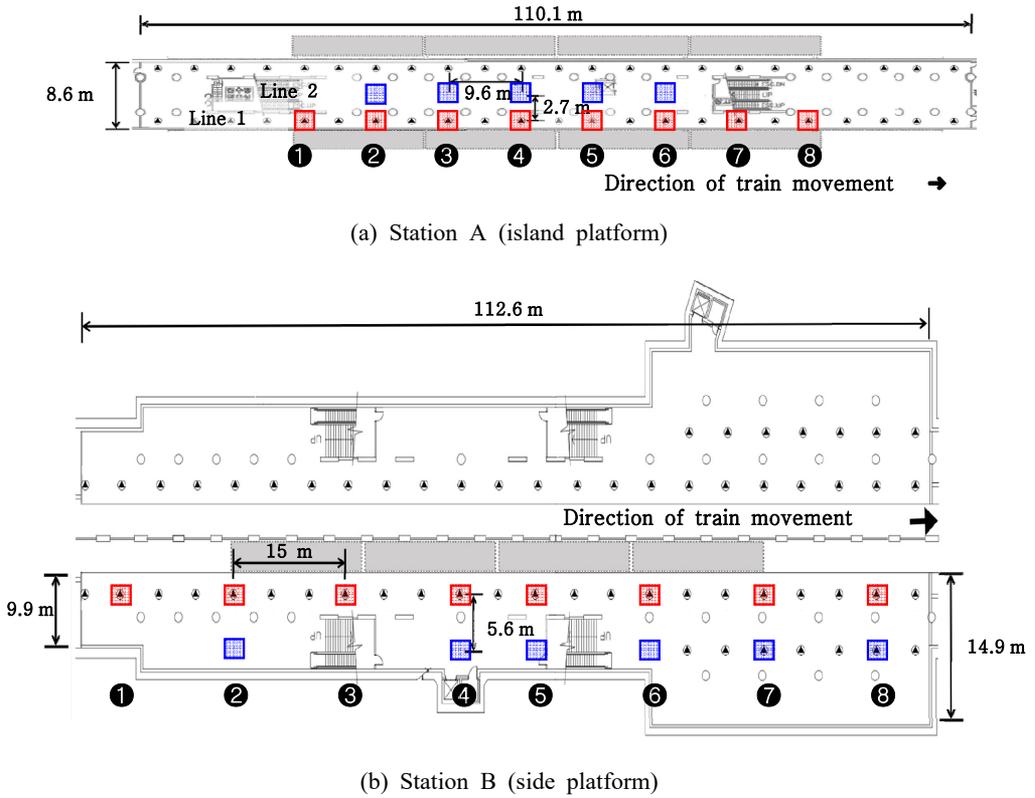


Fig. 1 Measurement points (box in red and blue color) on subway platforms (column : ○, speaker : ▲)

Table 1 Finishing materials and measurement information by each station

Station	Type	Material			Measurement information			
		Wall	Floor	Ceiling	Point	Horizontal spacing	Vertical spacing	Distance from screen door
A	Island	Granite polished	Granite polished	Zinc steel sheet	13	9.6 m	2.7 m	1.2 m
B	Side	Granite polished	Granite polished	Zinc steel sheet	14	15 m	5.6 m	1.4 m

이 분리되어 있다. 승강장 내 스피커는 자동안내방송장치를 통해 열차 진입 신호음, 행선지 안내방송음, 화재 발생 시 정보음 및 음성안내음이 자동으로 송출된다.

2.2 측정개요 및 장비

측정 시간은 19:00부터 21:30까지 총 2시간 30분간 진행되었으며, sound level meter(NL-52, Rion : 3대, XL2, NTi Audio : 1대) 총 4대를 1회로하여 Fig. 3과 같이 동시측정을 진행하였다. 측정 구간은 열차도착을 알리는 신호안내음이 발생하기 전 배경소음부터 열차가 승강장을 지나 진출소음이 사라질 때까지 약 2분

30초간을 측정하였다. 측정 지점은 승강장 내 위치별 분포특성을 조사 위하여 Table 1과 Fig. 1과 같이 station A와 B 각각 13개소, 14개소로 측정을 진행하였다. Station A의 지점 간 거리는 승강장의 길이방향으로 9.6 m 간격, line 1(L1)과 line 2(L2)의 간격은 2.7 m로 측정하였으며, station B의 지점 간 거리는 승강장의 길이방향으로 15 m 간격, L1과 L2의 간격은 5.6 m로 측정하였다. 또한, Fig. 2와 Fig. 3과 같이 승강장 내 천장형 스피커 바로 아래 바닥에서 높이 1.2 m 지점에서 측정하였고, 스크린도어에서 station A와 B 각각 1.2 m, 1.4 m 이격한 지점(L1)에서 스크린도어를 바라보며 측정하였다. Station B의 경우, Fig. 1과



(a) Station A (island)



(b) Station B (side)

Fig. 2 On-site measurement on the subway platform

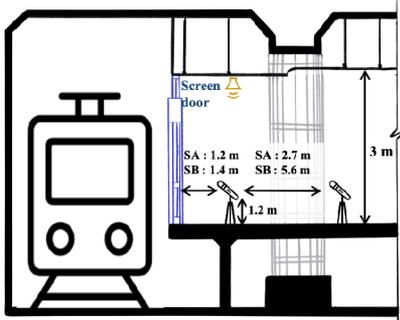


Fig. 3 Detailed measurement points on the subway platform

Fig. 4 Types of sound sources occurring on subway platforms

Table 2 Classification of the sound in subway platform

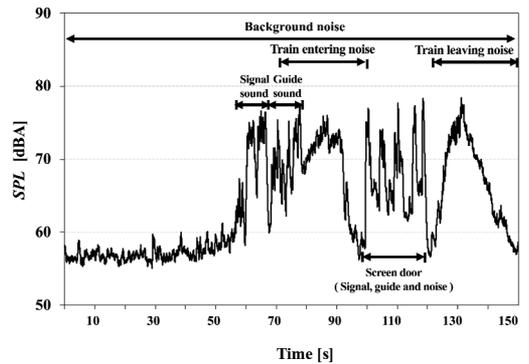
Classification	Noise			Signal guide sound	
	Back ground noise	Train entering noise	Train leaving noise	Signal sound	Announcement
Characteristic of the sound	Escalator, conversation sound	Train operation sound and brake sound	Train operation sound	Notify entering train	Measure before entering a train
Measure time [s]	30	17	20	10	7

같이 L2에도 천장형 스피커가 설치된 일부 지점(7번, 8번 지점)이 있어 스피커 바로 아래 위치한 지점에 Line 간격을 맞췄다.

3. 측정 결과

3.1 분석 방법

분석은 우선, Fig. 4와 같이 지하철 승강장 내에서 발생하는 다양한 종류의 음원 분류를 진행하였다. 그 중에서 열차 진출입에 따라 발생하는 소음원과 스피커를 통해 발생하는 신호안내음을 분류하여 A보정치를 더한 L_{Aeq} 로 분석을 진행하였다. 또한 실제 승강장 내에서 발생하는 신호대잡음비(S/N비)를 3종류로 분류하여 분석하였다. 소음원에는 에스컬레이터(작동음 등)와 사람들의 대화, 이동 소리가 포함된 배경소음과 열차 진입, 진출 소음이다. Table 2와 같이 배경소음은 열차를 알리는 신호음이 나오기 전 약 30초를 분석하였고, 진입소음은 열차 정차 시까지 약 17초 가량을 분석하였고, 진출소음은 열차 출발 후 소음이 사라질 때까지 약 20초를 분석하였다. 신호안내음은 Table 2와 같이 열차 진입을 알리는 신호음과 음성안내음으로 구성된다. 신호음은 약 10초, 음성안내음은 진입 소음과 겹쳐지기 전까지인 약 7초 가량을 분석하였다.



3.2 현장측정결과

(1) 위치별 소음레벨

가. 배경소음

측정대상의 배경소음은 국가철도공단에서 제시한 철도승강장 내 열차가 없을 시의 소음기준인 60 dBA와 비교해 보면 Fig. 5(a)와 같이 station A의 양 끝 지점을 제외하고 기준대비 전반적으로 낮은 것으로 나타났다. Station A에서의 배경소음의 L_{Aeq} 는 Fig. 5(a)와 같이 57.0 dBA ~ 62.0 dBA의 범위로 측정 위치 간 최대 차이는 5.0 dBA이며, 표준편차는 1.5 dBA로 나타났다. 승강장 중앙지점에 비해 끝 쪽 지점(1번, 8번)에서 L_{Aeq} 가 높게 나타났는데, 이는 승강장 끝 쪽에 위치한 계단 부근에서 에스컬레이터 안내음과 승객의 대화 소리에서 기인한 것으로 판단된다. 또한, L1과 L2를 비교해 보았을 때 평균값 기준으로 L2의 L_{Aeq} 가 0.8 dBA 높은 수치를 나타냈다. Station B의 L_{Aeq} 는 Fig. 5(a)와 같이 45.5 dBA ~ 54.5 dBA의 범위로 측정 위치 간 최대 차이는 9.0 dBA이며, 표준편차는 3.0 dBA인 것으로 나타났다. 끝 쪽 지점이 중앙지점보다 L_{Aeq} 가 높게 나타났는데, 이는 station A와 동일한 이유로 판단된다. 또한, L1과 L2를 비교해 보았을 때 편차가 가장 컸던 5번 지점에서는 1.5 dBA의 편차를 보였다.

나. 진입소음

측정대상의 진입소음은 APTA에서 제시한 기준값인 80 dBA(L_{Aeq})와 비교해 보면 두 승강장 모두 기준값보다는 낮은 것으로 나타났다. Station A에서 진입소음의 L_{Aeq} 는 Fig. 5(b)와 같이 66.1 dBA ~ 75.3 dBA

의 범위로 열차 진입구와 가까운 지점(1번)일수록 L_{Aeq} 가 높게 나타났으며, 측정 위치 간 최대 차이는 9.2 dBA로 나타났으며, 표준편차는 2.6 dBA로 나타났다. 또한, L1과 L2를 비교해 보았을 때 L1의 L_{Aeq} 가 평균값 기준으로 0.5 dBA 높게 나타났다. Station B의 L_{Aeq} 는 Fig. 5(b)와 같이 62.9 dBA ~ 73.8 dBA의 범위로, station A와 동일한 경향이 나타났으며, 측정 위치 간 최대 차이는 10.9 dBA이며, 표준편차 4.1 dBA로 나타났다. L1과 L2를 비교해 보았을 때 station A와 동일하게 L1의 L_{Aeq} 가 평균값 기준으로 0.7 dBA 높게 나타났다.

다. 진출소음

진출소음의 경우도 APTA에서 제시한 기준값인 80 dBA(L_{Aeq})와 비교해 보면 두 승강장 모두 기준값보다는 낮은 것으로 나타났다. Station A의 L_{Aeq} 는 Fig. 5(c)와 같이 68.3 dBA ~ 74.1 dBA의 범위로, 측정 위치 간 최대 차이는 5.8 dBA였으며, 표준편차는 2.0 dBA로 나타났다. 진입소음과 반대로 열차 대상 역사를 떠나는 출구와 가까운 쪽 지점(8번)의 L_{Aeq} 가 높은 경향을 보였으며, L1과 L2를 비교해 보았을 때 평균값 기준으로 L1의 L_{Aeq} 가 1.1 dBA 높게 나타났다. Station B의 L_{Aeq} 는 Fig. 5(c)와 같이 64.4 dBA ~ 72.9 dBA의 범위로, Station A와 동일한 경향으로 측정 위치 간 최대 차이는 8.5 dBA였으며, 표준편차는 3.1 dBA로 나타났다. Line간 편차는 평균값 기준으로 L1의 L_{Aeq} 가 1.0 dBA의 위치별 편차로 더 높게 나타났다.

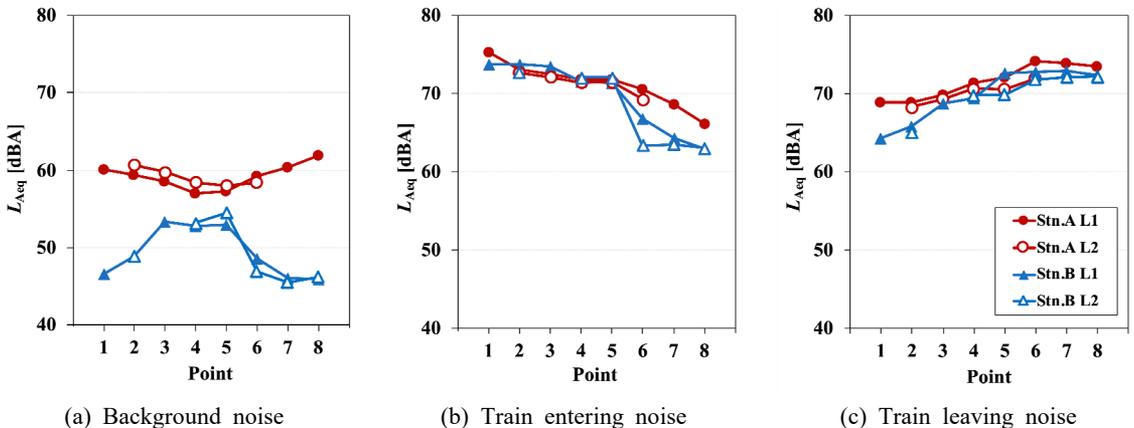


Fig. 5 L_{Aeq} of noise for each measurement position in the subway platform

(2) 위치별 신호안내음의 특성

가. 열차신호음

Station A에서 열차신호음의 L_{Aeq} 는 Fig. 6(a)와 같이 68.3 dBA ~ 74.8 dBA의 범위였으며, 측정 위치 간 최대 차이는 6.5 dBA, 표준편차는 1.3 dBA인 것으로 나타났다. 스피커 바로 아래인 L1과 2.7 m 이격된 L2를 비교해 보면, 평균값 기준으로 L1의 L_{Aeq} 가 2.8 dBA 높게 나타났다. Station B의 L_{Aeq} 는 Fig. 6(a)와 같이 71.5 dBA ~ 77.7 dBA의 범위였으며, 측정 위치 간 최대 차이는 6.2 dBA로 나타났고, 표준편차는 1.8 dBA로 나타났다. 여기서 가장 낮은 L_{Aeq} 를 보였던 L1의 4번 지점의 경우, 측정 시 다른 지점에 비해 스피커 출력 값이 낮은 것을 확인하였다. L1에서 5.6 m 이격된 L2를 비교 시, 평균값을 기준으로 1.5 dBA의 위치별 편차를 보였다.

나. 음성안내음

Station A에서의 음성안내음의 L_{Aeq} 는 Fig. 6(b)와 같이 67.5 dBA ~ 70.7 dBA의 범위를 보였는데, 측정 위치 간 최대 차이는 3.2 dBA인 것으로 나타났으며, 표준편차는 0.5 dBA로 나타났다. L1과 L2를 비교해 보았을 때 평균값 69.1 dBA를 기준으로 L1의 L_{Aeq} 가 2.1 dBA 높은 수치를 나타냈다. Station B의 L_{Aeq} 는 Fig. 6(b)와 같이 62.8 dBA ~ 67.5 dBA의 범위로 측정 위치 간 최대 차이는 4.7 dBA를 보였으며, 표준편차는 1.4 dBA로 나타났다. L1과 L2를 비교해 볼 때, 평균값 기준으로 1.1 dBA의 위치별 편차를 보였다.

(3) 위치별 S/N비 분석 결과

S/N비의 경우 실제 승강장 내에서 발생할 수 있는 S/N비를 구성하여 신호안내음의 명료한 음성안내를 위해 BSI(영국표준기관)에서 제시한 권장 S/N비(10 dBA) 값과 비교 분석하였다. 실제 광주 지하철에서는 음성안내음이 방송하는 중 열차가 승강장 내로 진입하고 있어, 음성안내음과 열차진입소음과의 S/N비의 관계에 대해 분석하였다. 또한 신호안내음 및 배경소음과 S/N비와의 관계에 대해서도 분석을 진행하였다.

가. 열차신호음과 배경소음의 S/N비

BSI에서 제시한 권장 S/N비 값과 두 대상 역사의 측정값을 비교해 보면 station B의 S/N비는 모두 권장값보다 높은 것으로 나타났고, station A의 경우 L1의 8번 지점과 L2의 6번 지점을 제외한 모든 지점이 권장값보다 높은 것으로 확인되었다. Station A에서의 S/N비는 Fig. 7(a)와 같이 9.5 dBA ~ 15.9 dBA의 범위로 측정 위치 간 최대 차이는 6.4 dBA로 나타났으며, 표준편차는 2.1 dBA로 나타났다. L1과 L2를 비교해 보았을 때 스피커 바로 아래의 위치한 L1의 S/N비가 평균값을 기준으로 3.6 dB 높은 것을 확인하였다. Station B의 S/N비는 Fig. 7(a)와 같이 17.0 dBA ~ 31.6 dBA의 범위를 보였다. 측정 위치 간 최대 차이는 L2의 5번 지점에서 14.6 dBA로 중앙 쪽 지점과 양 끝 쪽 지점의 편차가 큰 것으로 나타났으며, 표준편차는 4.6 dBA로 나타났다. 그러나 L1과 L2를 비교해 보면 평균값을 기준으로 1.5 dBA의 위치별 편차를 보였다.

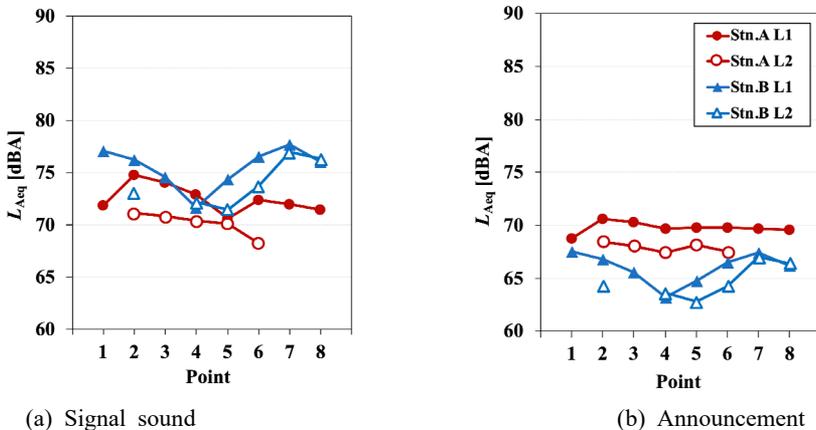


Fig. 6 L_{Aeq} of the signal and announcement sound for each measurement position in the subway platform

나. 음성안내음과 배경소음의 S/N비

Station A의 L1의 양 끝 쪽 지점(1,7,8번)을 제외한 지점에서는 BSI에서 제시한 권장 S/N비 값보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 L2의 경우 5번 지점을 제외하고 모든 지점이 권장값인 10 dBA보다 낮은 것으로 나타났다. Station B의 경우, L2의 5점 지점을 제외한 모든 지점이 권장 S/N비보다 높은 것으로 나타났다. Station A의 S/N비는 Fig. 7(b)와 같이 7.6 dBA ~ 12.7 dBA의 범위였고, 측정 위치 간 최대 차이는 5.1 dBA로 나타났으며, 표준편차는 1.7 dBA로 나타났다. L1과 L2를 비교해 보면, L1의 S/N비가 평균값 기준으로 2.8 dBA 높은 것으로 나타났다. Station B의 S/N비는 Fig. 7(b)와 같이 8.3 dBA ~ 21.5 dBA의 범위로 측정 위치 간 최대 차이는 13.2 dBA로 양 끝 지점과 중앙 쪽 지점의 편차가 큰 것으로 나타났으며, 표준편차는 4.2 dBA로 나타났다. L1과 L2를 비교해 보았을 때는 평균값 기준으로 1.1 dBA의 위치별 편차를 보였다.

다. 음성안내음과 열차 진입소음의 S/N비

BSI에서 제시한 권장 S/N비와 비교해 보았을 때 두 승강장의 모든 지점의 S/N비가 현저하게 낮게 나타났다. Station A에서 S/N비는 Fig. 7(c)와 같이 -6.6 dBA ~ 3.5 dBA의 범위로 다른 종류의 S/N비에 비해 현저하게 낮은 것으로 나타났다. 또한, 측정 위치 간 최대 차이는 10.0 dBA로 나타났으며, 표준편차는 2.7 dBA로 나타났다. L1과 L2를 비교해 본 결과는 L1의 S/N비가 1.5 dBA 높은 것으로 나타났다. Station B에서의 S/N비는 Fig. 7(c)와 같이 -9.3 dBA ~ 3.5 dBA의

범위로 측정 위치 간 최대 차이는 12.8 dBA였으며, 표준편차는 4.6 dBA인 것으로 나타났다. L1과 L2를 비교해 보았을 때, 평균값을 기준으로 0.4 dBA의 위치별 편차가 나타났다.

4. 토 의

4.1 지하철 승강장 위치별 소음 및 신호안내음 특성

이 연구에서의 배경소음의 경우, Fig. 1과 같이 두 대상역사 모두 승강장 내 계단의 위치와 지하철 정차 위치를 중심으로 승객들의 주동선이 한정적으로 나타내면서 역사 전체의 승객들의 이용이 균일하게 분포되지 않아 Fig. 5(a)와 같이 위치별 편차가 발생하는 것으로 보인다. 또한 L2의 경우, station A의 2, 3번 지점과 station B의 4번, 5번 지점에 위치한 의자에서 열차를 기다리는 승객들로 인해 Line별 편차가 평균값 기준으로 1.1 dBA인 것으로 나타났다. Fig. 5(b,c)와 같이 진입소음과 진출소음의 경우 열차의 진출입 방향에 따라 지점별 소음레벨 차이가 큰 것으로 나타났다. Lee 등⁽⁷⁾의 연구에서는 진입소음에 대하여 스크린도어를 설치한 상대식 승강장 내 양 끝과 중심 지점인 3지점의 표준편차는 평균값 기준으로 3.5 dBA로 나타났으며, 이 연구의 상대식 승강장인 station B의 경우 표준편차가 4.6 dBA로 나타났다. 열차신호음의 경우, Fig. 6(a)와 같이 모든 지점이 권장 S/N비인 10 dB 이상인 것으로 나타났다. 음성안내음의 경우 station A는 위치별 편차가 미미한 경향을 보였지만, station B는

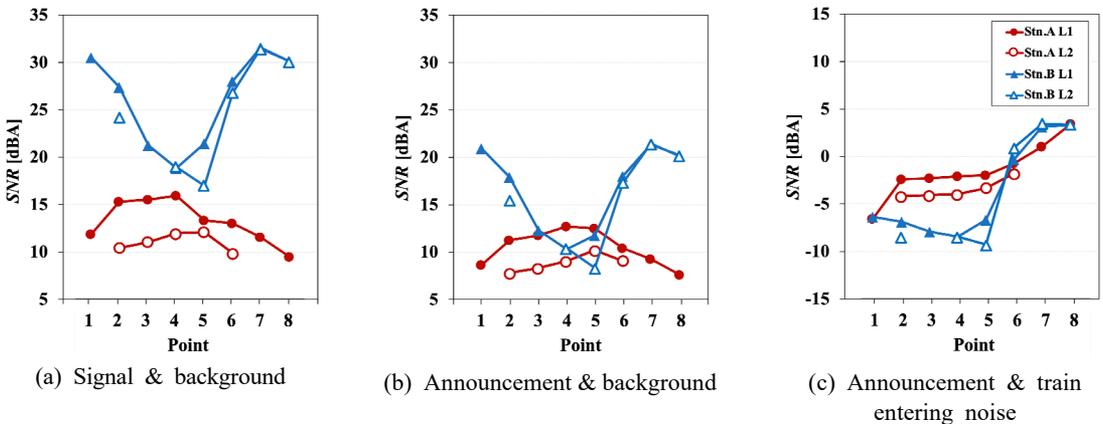


Fig. 7 Signal to noise ratio for each measurement position in the subway platform

양 끝과 중심지점 간의 편차가 큰 것으로 나타났는데, 현장 측정 시 4번 지점의 스피커의 출력값이 다른 지점의 비해 낮은 것에서 기인한 것으로 판단된다.

4.2 두 역사 간 소음 및 신호안내음 분포 비교

이 연구에서는 측정 지점이 제한되어 Fig. 1과 같이 섬식과 상대식 역사의 측정 지점의 범위 및 간격이 다르기 때문에 두 역사 간 소음 및 신호안내음 분포 특성을 비교하기 위해서 열차 정차 구간을 기준으로 평가지점을 새로 설정하여 비교 분석하였다. Fig. 1과 같이 station A는 1~8지점, station B의 경우 2~7지점에 대한 데이터를 기준으로 지점별 소음과 신호안내음의 음압레벨의 표준편차를 확인하였다. 소음의 경우 배경소음, 진입소음과 진출소음 모두 station B가 station A보다 지점별 음압레벨의 표준편차가 1.3 dBA ~ 1.5 dBA 큰 것으로 나타났다. 열차 열차신호음과

음성안내음의 경우도 station B가 station A보다 지점별 음압레벨의 표준편차가 0.6 dBA ~ 0.9 dBA 큰 것으로 나타났다. 이에 따라, 신호음과 배경소음의 S/N비의 경우 station B가 station A보다 지점별 음압레벨의 표준편차가 1.6 dBA ~ 2.4 dBA 큰 것으로 나타났다. 전체적으로 station B의 소음 및 신호안내음의 음압레벨 분포가 보다 크게 나타났으며, 이는 두 역사의 실내마감재가 동일한 재료임을 고려하였을 때, station B의 승강장 면적 및 체적이 보다 크기 때문인 것으로 사료되며, 이러한 다양한 변수들에 대한 영향들을 컴퓨터시뮬레이션을 통하여 추후 조사할 필요가 있다.

4.3 S/N비와 신호안내음 및 소음의 상관관계

지하철 승강장에서 음성안내음과 진입소음에 대한 S/N비는 권장값^(13,15)인 10 dBA보다 낮은 것으로 나타났다. 지하철 승강장 내 음성명료도와 밀접한

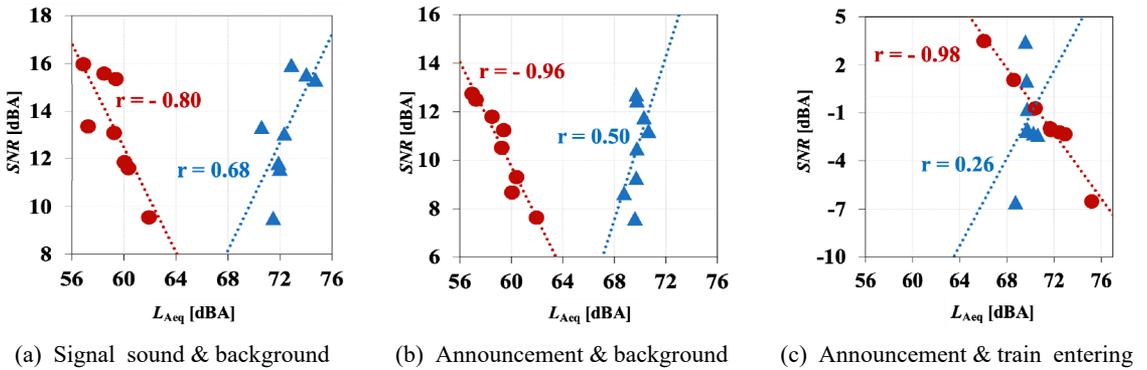


Fig. 8 Relation between noise and signal guide sound and SNR in station A (noise : ●, signal : ▲)

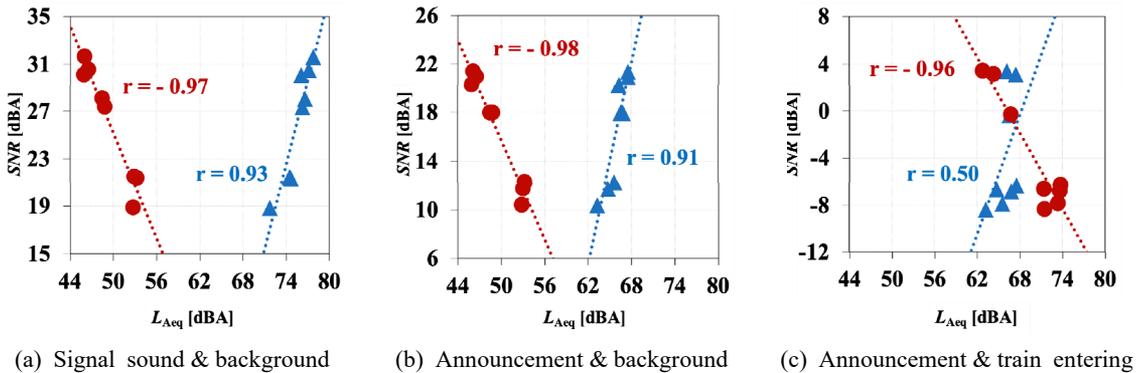


Fig. 9 Relation between noise and signal guide sound and SNR in station B (noise : ●, signal : ▲)

관계를 같은 S/N 비⁽²³⁾의 개선을 위하여 소음과 신호음에 대한 S/N 비 상관관계 분석을 통해 주요 영향 인자를 도출하였다. Fig. 8(a), Fig. 9(a)와 같이 열차 신호음과 배경소음에 대한 S/N 비의 상관관계를 분석한 결과, station A의 경우 신호안내음은 유의한 상관관계를 보이지 않았지만, 배경소음의 경우 비교적 높은 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다($r=-0.800$ $p<0.05$). 그러나 station B의 경우 신호안내음과 배경소음 각각 모두 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(신호안내음: $r=0.928$ $p<0.01$, 배경소음: $r=-0.969$ $p<0.01$).

또한 Fig. 8(b)와 Fig. 9(b)와 같이 음성안내음과 배경소음에 대한 S/N 비의 상관관계 분석 결과에서 station A는 음성안내음과 유의한 상관관계를 보이지 않았지만, 배경소음과는 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다($r=-0.956$ $p<0.01$). 그러나 station B의 경우, 음성안내음과 배경소음 모두 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(신호안내음: $r=0.907$ $p<0.01$, 배경소음: $r=-0.975$ $p<0.01$). 가장 낮은 S/N 비를 보였던 음성안내음과 진입소음에 대한 S/N 비의 경우, Fig. 8(c)와 같이 station A는 열차 진입소음이 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났지만($r=-0.981$ $p<0.01$), 음성안내음은 유의하지 않은 관계로 나타났다. Station B의 경우 또한 Fig. 9(c)와 같이 열차 진입소음은 높은 상관관계를 나타냈고($r=-0.958$ $p<0.01$), 음성안내음은 유의하지 않은 관계로 나타났다. 이와 같이 두 역사 모두 소음이 S/N 비와 강한 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 따라서, 지하철 승강장 내 열차진입소음과 배경소음이 신호안내음보다 S/N 비를 결정하는 주요 영향인자로서 나타나 지하철 승강장 내 소음저감 중심의 건축음향 설계기준이 필요하다고 판단된다. 그러나 이 대상역사의 소음레벨을 APTA 권장기준과 비교 시 두 역사 모두 만족하는 것으로 나타나, S/N 비를 향상시키기 위해서 신호안내음의 음량을 증가시킬 필요가 있다. 다만, 우선 승강장에서의 열차진입소음의 APTA 권장기준인 80 dBA의 신경쓰임 관점에서의 적합성 평가가 필요하며, 신호안내음의 음량 증가를 통한 S/N 비 향상 방안의 경우 큰 레벨의 신호안내음에 따른 신경쓰임 증가의 우려가 있으므로 보다 쾌적하고 명료한 신호안내음 청취를 위해서는 소음저감 중심의 건축음향 설계기준이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

이 연구에서는 지하철 승강장 내 소음 및 신호안내음의 위치별 분포 특성을 조사하기 위해 광주 지하철의 2개의 승강장을 대상으로 현장측정을 진행하였다. 측정된 결과, 지하철 승강장의 모든 지점에서 소음레벨은 APTA에서 제시한 소음기준(L_{Aeq})을 만족하는 것으로 나타났으나, 측정 위치별 차이가 발생하였다. 열차 진입소음과 진출소음의 위치별 최대 차이(L_{Aeq})는 각각 5.0 dBA ~ 9.0 dBA, 9.2 dBA ~ 10.9 dBA인 것으로 나타났다. 또한, 신호안내음인 열차신호음과 음성안내음의 위치별 최대 차이(L_{Aeq})는 각각 6.2 dBA ~ 6.5 dBA, 4.7 dBA ~ 6.5 dBA인 것으로 나타났다. 지하철 승강장 내 발생하는 소음과 열차신호음의 S/N 비의 경우 위치별 최대 차이(L_{Aeq})가 각각 5.1 dBA ~ 14.6 dBA인 것으로 나타났다. 음성안내음과 진입소음의 S/N 비의 경우, 모든 지점이 권장 S/N 비 값인 10 dBA보다 낮은 것으로 나타났다. 신호안내음과 소음에 대한 S/N 비와의 상관관계 분석 결과, 두 역사 공통적으로 S/N 비와 소음의 상관관계수가 신호안내음보다 높게 나타나, 소음이 S/N 비의 주요 영향인자로 확인되었다. 현장 측정결과 소음레벨이 APTA 기준을 만족하고 있으나 보다 쾌적한 음환경 제공과 신호안내음의 명료도 향상을 위한 S/N 비 확보를 위해서는 승강장의 소음환경 개선이 우선적으로 필요할 것으로 판단된다. 이와 더불어 다양한 소음레벨 범위에서 음성명료도와 신경쓰임 관점에서 적절한 음성안내음 레벨 설정 관련 연구가 필요하다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션 등을 활용한 추가 연구를 통해 플랫폼뿐만 아니라, 콘코스, 사무소, 상가지역 등 지하철 역사 공간에서 고령자 등 교통약자를 포함한 모든 지하철 이용자가 쾌적하고 편리하게 이용할 수 있도록 합리적인 건축 및 전기 음향설계 기준이 필요하다고 판단된다.

후 기

이 논문은 정부의 재원으로 한국연구재단(No.2019R1A2B5B0107041313)과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 21CTAP-C163631-01)의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

- (1) Korea Railroad Corporation (Korea Railroad Statistics), 2017~2019, Status of Free Riding for the Elderly.
- (2) Ryu, J. K., Sato, H. and Kurakata, K., 2010, Further Researches on Noise and Sound in Building and Urban Space-low Frequency Noise and Acoustic Barrier-free, Proceedings of the KSNVE 2010 Annual Spring Conference, pp. 317~318.
- (3) Song, H. S., Kim, J. H., Lee, S. M., Kim, S. H. and Ryu, J. K., 2020, A Survey on the Signal and Guide Sound in Subway Station for the Elderly, Proceedings of the KSNVE 2020 Annual Spring Conference, p. 76.
- (4) Lee, Y. S., Kim, M. Y. and Shin, J. Y., 2002, A Study on the Sound and Vibration Level of Subway in Seoul Area, Korean Society of Environmental Engineers, Vol. 24, No. 7, pp. 1273~1281.
- (5) Shimokura, R. and Soeta, Y., 2011, Characteristics of Train Noise in Above-ground and Underground Stations with Side and Island Platforms, Journal of Sound and Vibration, Vol. 330, No. 8, pp. 1621~1633.
- (6) Lee, S. W., Jeong, D. U., Lee, S. Y. and Cha, S. G., 2002, Indoor Noise Levels in Underground Stations Considering Architectural Design Features, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 18, No. 4, pp. 235~241.
- (7) Kim, H. S., Park, G. P., Shin, S. H., Lee, M. T. and Moon, G. D., 2004, Actual Noise Condition of the Subway Station, Proceedings of the KSNVE 2004 Annual Autumn Conference, pp. 934~937.
- (8) Lee, M. J., Oh, H. W. and Kim, M. J., 2009, Measurement and Analysis on the Noise by Train Cars at Platform of Subway Station, Journal of the Korean Society of Living Environmental System, Vol. 16, No. 2, pp. 126~133.
- (9) Kim P., Ahn S., Jeon H., Lee J. K., Park S., Chang, S. I., Park I. G., Jung C. G. and Kwon, S. G., 2015, Classification Accuracy Test of Hearing Laboratory Test Models for Railway Noise at Station Platform, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 299~305.
- (10) APTA(American Public Transportation Association), 1979, "Noise and Vibration," Guidelines and Principles for Design of Rapid Transit Facilities, Section 2.7.
- (11) Korea National Railway, 2021, Automatic Voice Alarm System, KR I – 08030 Rev. 4, pp. 2~4.
- (12) Korea Rail Network Authority, 2019, Architectural Environmental Planning, KR A-02041, p. 2.
- (13) BS 5839-8:2008, Fire Detection and Fire Alarm Systems for Buildings - Part 8: Code of Practice for the Design, Installation, Commissioning and Maintenance of Voice Alarm Systems.
- (14) Sato, H., Kurakata, K. and Mizunami, T., 2006, Accessible Speech Message for the Elderly in Rooms, Proc. WESPAC IX.
- (15) Sato, H., Sato, H., Morimoto, M. and Ota, R., 2007, Acceptable Range of Speech Level for both Young and Aged Listeners in Reverberant and Quiet Sound Fields, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 122, No. 3, pp. 1616~1623.
- (16) Song, H. S., Ryu, J. K., Jin, M. G., and Sung, C. J., 2017, Signal to Noise Ratio of the Announcement from Reinforced Sound System and Background Noise in Transportation Facility, Journal of KIAEBS, Vol. 11, No. 5, pp. 355~363.
- (17) Jeon, J. Y., Jang, H. S. and Heo, J. Y., 2013, Suitable Speech Announcements on Subway Platforms for the Elderly, Journal of the Korean Society of Living Environmental System, Vol. 20, No. 4, pp. 506~513.
- (18) Westerberg, G., 1986, A New Underground Subway Station. Acoustic Treatments, Proceedings Internoise 1986, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 256~268.
- (19) Barnett, P., 1994, Acoustics of Underground Platforms, Proceedings of Institute of Acoustics, Vol. 16, p. 433.
- (20) Kang, J., 1996, The Unsuitability of the Classic Room Acoustical Theory in Long Enclosures, Architectural Science Review, Vol. 39, No. 2, pp. 89~94.
- (21) Kang, J., 1996., Acoustics in Long Enclosures with Multiple Sources, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 99, No. 2, pp. 985~989.
- (22) Kang, J., 1996, Speech Intelligibility Improvement

for Multiple Loudspeakers by Increasing Loudspeaker Directionality Architecturally, *Building Services Engineering Research and Technology*, Vol. 17, No. 4, pp. 203~208.

(23) Gomez-Agustina, L., 2012, *Design and Optimisation of Voice Alarm Systems for Underground Stations*, Doctoral Dissertation, London South Bank University, London, UK.

(24) Shim, M. S., 2004, *A Study on the Environmental Characteristics and Evaluation of Sound in the Underground Subway Platforms*, Doctoral Dissertation, Kyonggi University, Suwon, Korea.



Eunsung Song graduated from Youngsan University, Gyeongnam, Korea in 2021. 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, acoustic barrier-free and machine learning.



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, computational analysis and machine learning.



Jeonghun Kim received the M.S. in the Dept. of architectural engineering from Chonnam National University, Gwangju, Korea in 2021. He is currently a Ph.D. candidate in the School of architecture at Chonnam National University. His research interests are in the area of architectural acoustics, soundscape, and machine learning.



Songmi Lee received the M.S. in the Dept. of architectural engineering from Chonnam National University, Gwangju, Korea in 2021. She is currently a Ph.D. candidate in the School of architecture at Chonnam National University. Her research interests are in the area of architectural acoustics, psycho-acoustics, and machine learning.



Jongkwan Ryu received his Ph.D. in the Department of Architectural Engineering from Hanyang University, Seoul. He is currently a professor at the School of Architecture, Chonnam National University. His research interests are in the area of architectural acoustics, psycho-acoustics, acoustic barrier-free, and machine learning.