

도로교통으로 인한 신설학교 교사 내 소음영향 예측방법

Road-traffic Noise-impact Estimation Method for Classroom of Newly Planned School

박 원 형* · 김 송 옥** · 이 내 현*** · 박 영 민****

정 재 우***** · 장 서 일***** · 류 훈 재†

Won Hyung Park*, Song Ok Kim**, Nae Hyun Lee***, Young Min Park****

Jae Woo Chung*****, Seo Il Chang***** and Hunjae Ryu†

(Received February 2, 2024 ; Revised February 23, 2024 ; Accepted March 4, 2024)

Key Words : Environmental Impact Assessment(환경영향평가), Educational Environment Assessment(교육환경평가), Newly Planned School(신설학교), Road-traffic Noise(도로교통소음), Outdoor Noise(실외 소음), Noise in the Classroom(교사 내 소음)

ABSTRACT

The purpose of this study was to calculate a correction value for estimating the noise levels in the classrooms of a newly planned school for use in environmental-impact and educational-environment assessments. The study involved measuring and analyzing the outdoor and indoor noise levels in the classrooms of 32 elementary and middle schools located in Yongin-si and Seongnam-si, Gyeonggi-do. In each of the 55 cases, the noise level was measured at a receiver point located 1 m in front of the school building facade. At the same time, the indoor noise levels were measured at 2 receiver points located 1 m in front of a window and 1 m in front of a hallway in the classroom, with all the windows open. These measurements were averaged to calculate the noise level in the classroom. Then, a correction value was calculated based on the difference between the outdoor noise level and noise level in the classroom. Therefore, by considering this correction value for the estimated outdoor noise level during the planning stage, the noise level in the classroom could be determined. The final calculated correction values were -6.4 dB(A) for the parallel type, -6.9 dB(A) for the vertical type, and -6.5 dB(A) for the mixed type. The use of these correction values will reduce the noise impact and resource wastage that could result from over- or underestimating, creating a calm and reasonable educational environment.

† Corresponding Author ; Member, Department of Urban Big Data Convergence, University of Seoul, Professor
E-mail : pgryunol@uos.ac.kr

* Korea Land and Housing Corporation; Dept. of Urban System Engineering, Gyeongsang National University, Ph.D. Candidate

** Member, Graduate School of Environmental Engineering, University of Seoul, Researcher

*** Member, Korea Educational Environments Protection Agency (KEEPA), Research Fellow

**** Korea Environment Institute (KEI), Senior Research Fellow

***** Dept. of Urban System Engineering, Gyeongsang National University, Professor

***** Member, School of Environmental Engineering, University of Seoul, Professor

A part of this paper was presented at the KSNVE 2023 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Kyoung Min Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

1. 서 론

학생들이 생활하는 공간 중 가장 오래 머무는 공간인 학교는 학습권과 건강영향의 측면에서 정온하고 쾌적한 환경의 조성이 반드시 필요하다. 특히, 소음의 경우 예민한 시기인 학생들의 학업 성취도에 부정적인 영향을 줄 수 있으며, 장기간 노출될 시 성장기인 학생들의 정신적·신체적 건강에 해로운 영향을 미칠 수 있다^(1,2). 그러나 학생들의 통학환경과 접근성 등을 고려하다 보면 불가피하게 교육시설이 도로 주변에 위치하는 경우가 많으며, 이에 따라 도로소음 등이 교실 내로 유입되어 정온한 학습 환경을 유지하는 데 지장을 초래할 수 있다^(3,4).

이에 최소한의 교육환경 조성을 보장하기 위해 환경영향평가와 교육환경평가 제도를 운영하고 있으며 학교 신설 시 교육시설의 입지계획에 따라 주변 소음원이 교육시설에 미치는 영향을 예측하고 학교보건법의 교사 내 소음기준 55 dB(A)를 만족할 수 있도록 적정한 소음저감대책 수립을 규정하고 있다. 하지만 교사 내 소음 예측방법에 대한 각 제도의 검토기준이 달라 환경영향평가의 검토의견과 교육환경평가의 심의의견이 서로 상이하여 별도의 소음저감대책을 수립하고 있어 최종 협의·승인까지의 시간만 중복 소요되어 비효율적이고 실제 적용되는 소음저감대책에 혼선을 주고 있다. 또한 평가 시점에 교사의 배치가 이루어지지 않기 때문에 환경영향평가의 경우, 가상 교사 배치에 대한 실외에서의 예측 소음을 바탕으로 교사 내를 평가하여 실제 설계 시 배치가 달라짐에 의한 예측 소음도 변경으로 인해 저감대책이 과대 또는 과소 산정될 가능성이 큰 잠재적 문제가 내재해 있다. 교육환경평가의 경우에도 학교 부지의 경계에서 모든 층을 가정하고 실외 예측 소음을 바탕으로 평가하여 교사 내 소음기준 충족을 위해 과도한 방음시설이 계획되어 도시 미관을 해치고 공간상의 단절적인 요소로 작용한다⁽⁵⁾. 특히, 실내 기준인 교사 내 소음기준에 두 제도 모두 실외 예측 소음을 적용하여 평가함으로써 기준 만족을 위해 불필요하게 높고 과도한 저감대책을 수립하게 하고 있어 실외 예측 소음도를 바탕으로 교사 내 소음도를 산출할 수 있는 적절한 방안에 대해 고려할 필요가 있다.

학교 시설의 소음 영향 예측 및 개선방안에 관한

선행연구는 교실 개방 창호를 통한 소음 저감 효과 발생 및 그 원인에 대한 분석이 수행되었으며, 입면 설계 방법 등을 중심으로 연구되었다. 한국토지주택공사 토지주택연구원은 입사각도 변화에 따른 개방 창호의 소음 저감 효과를 분석하기 위해 19개 학교 시설을 대상으로 4개 배치 형태로 분류하여 현장실험을 진행했으며, 도로와 교실창호의 배치 유형에 따라 H(hallway)타입 > V(vertical)타입 > PV(parallel-vertical)타입 > P(parallel)타입 순서로 소음 저감 효과가 발생하는 것으로 분석하였다. 또한, 4개의 주 영향 요인(배치 형태, 개구부 면적 비율, 도로-외벽 이격거리, 실내 흡음 조건)을 설정하여 각 영향요인에 대한 소음도 영향 분석 후, 각 배치 유형별 설계변수 변화에 따른 간이 예측식을 제시하였다⁽⁶⁾. 또한, 류다정 외 2인은 청주시 내 2개 학교를 대상으로 실내·외 벽체의 차음성능 및 측로전달 소음을 비교 분석하기 위하여 실내 5개소, 실외 1개소에 수음점을 설치하여 투과손실, 가중표준화 음압레벨차, 음향감쇠계수, 신호대잡음비 등을 측정하여 폐쇄된 창호의 수에 따라 달라지는 차음성능, 건식식 벽체 간 투과 손실 값 차이, 복도 측 창호 개폐 여부에 따른 측로전달소음 차이 등을 분석하였으며 교실의 정온한 학습환경 조성을 위한 기준을 제시하기 위해 교실 내에 유입되는 다양한 경로를 조사하였다⁽⁷⁾.

김태우 외 2인은 대구광역시 내의 초·중·고등학교를 대상으로 학교 주변의 도로분포 현황을 조사하고 학교건축물의 내·외부 환경 및 배치 등에 따라 주변 도로 분포가 학교건축물의 소음실태에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 학교 건축물의 배치형태를 폐쇄형, 분산형, 집합형으로 나누어 분류한 후, 가장 선호도가 높은 분산형을 대상으로 접하고 있는 도로 면수에 따라 소음 분포를 해석하였고 실외소음도를 이용하여 학교건축물의 개구부 및 창호로 투과되어 유입되는 실내소음을 분석하였다. 실내소음도 예측은 첫째, 실외소음도의 결정, 둘째 창호의 음향투과손실(transmission loss)값 결정, 셋째 실외소음도와 창호의 음향계수 값의 차이 산출, 넷째 실내흡음력 보정, 다섯째 합성에 의해 실내소음도를 산출하였다⁽⁸⁾.

하지만 기존의 연구들은 계획 단계에서의 평가 시점을 고려하지 않고 학교 설계 단계에서의 변수들을 바탕으로 교실의 실내소음도 산출 방안을 제안함으로써 환경영향평가와 교육환경평가 실시 시점에서 연구

결과의 적용성이 떨어진다.

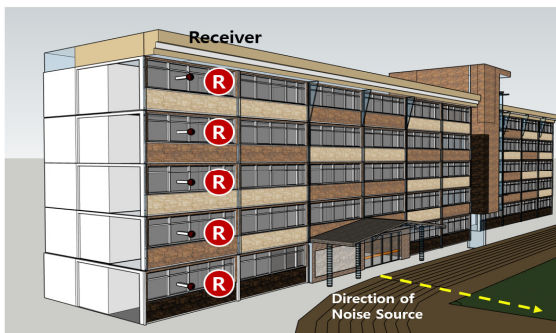
따라서 본 연구에서는 실제 학교 현장에서 소음원과 교사의 배치 분류를 바탕으로 실측한 실내·외 소음도를 분석·검토하여 환경영향평가와 교육환경평가 시 사용 가능한 교사 내 소음 예측 방법을 제안하고, 학교의 공간적인 입지 및 건축 환경을 고려하여 예측 위치, 예측 방법, 기준 적용 범위의 측면에서 일원화된 신설학교 교사의 소음평가 방안을 제시하여 합리적인 교육시설의 소음환경평가가 이루어질 수 있도록 하고자 한다.

2. 연구 방법

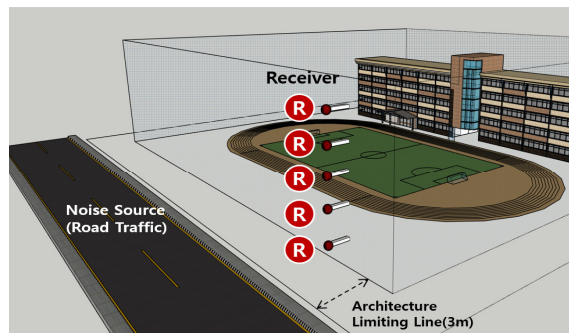
2.1 신설학교 소음 영향 평가 방법

현재 환경영향평가와 교육환경평가에서 적용하고 있는 신설학교 교사에 대한 소음 기준은 「환경정책기본법」 제12조 제2항에서 정하는 환경기준에 따라 학교의 부지경계로부터 50 m 이내의 지역에서 학교의 운영 시간대인 주간 50 dB(A), 도로변에 위치한 학교 시설에 대하여 학교의 부지경계로부터 50 m 이내의 지역에서 주간 65 dB(A)를 만족하도록 하고 있으며, 대부분의 학교가 도로변에 위치하기 때문에 후자에 해당된다. 교사는 「학교보건법」 시행규칙 제3조에 따라 교사 내 소음 55 dB(A) 이하(창문 열림 조건)를 적용하고 있다. 환경기준은 소음·진동공정시험기준에 따라 “도로변지역”에서는 소음으로 인하여 문제를 일으킬 우려가 있는 장소를 택하여 지면 위 1.2 m ~ 1.5 m 위치에서 측정하도록 하고 있으며 예측지점도 동일하다. 교사 내 소음기준은 별도의 공정시험기준이 없고

‘학교 환경위생 및 식품위생 관리 매뉴얼(6차 개정판, 2021)’에 따라 1.2 m ~ 1.5 m 높이에서 주소음원 방향(창측)으로 향해 요일별로 소음변동이 적은 평일에 학생 등이 없는 교실 안에서 창문을 연 상태에서 교실 창으로부터 1 m, 복도로부터 1 m 떨어진 지점 2곳을 5분간 측정하여 평균값을 구하여 산정한다. 하지만 교사의 소음 영향을 예측할 때는 환경영향평가와 교육환경평가 모두 상용 환경소음 예측프로그램으로부터 실외에서 실내로 유입된 소음을 예측하지 못하기 때문에 소음·진동공정시험기준의 도로교통소음관리기준 측정방법과 동일하게 2층 이상의 건물인 경우 소음도가 높은 곳에서 소음원 방향으로 창문·출입문 또는 건물벽 밖의 0.5 m ~ 1.0 m 떨어진 지점에서 예측하여 교사 내 소음기준 만족 여부를 판단하고 있다. 과거 실외 예측소음도에 실내 및 실외 측정소음도 차이를 바탕으로 한 보정치를 적용하여 교사 내 소음도를 산출한 환경영향평가 사례(한국토지주택공사, ‘과천지식정보타운 보금자리주택지구 조성사업 환경영향평가’, 2012)가 있으나 측정 데이터 개수 부족으로 신뢰성의 문제가 제기되었다. Fig. 1은 환경영향평가와 교육환경평가에서의 신설학교 운영 시 도로교통소음 영향을 예측하기 위해 가상의 교사 벽면에 배치시킨 수음점의 위치를 보여준다. 환경영향평가에서는 학교부지경계 내에 가상의 교사를 배치시킨 후 교사의 모든 층의 벽면 앞 1 m에 예측점을 위치시키고, 교육환경평가에서는 학교부지경계의 건축한계선(건축선 이격 3.0 m)에서 교사의 최악의 영향 위치를 가정하여 모든 층의 벽면 앞 1 m에 예측점을 위치시켜 교사 내 소음기준 55 dB(A)의 만족 여부를 판단하고 있다.



(a) In environmental impact assessment



(b) In educational environment assessment

Fig. 1 Receiver points located 1 m in front of virtual school facade for estimating road-traffic noise impact

2.2 측정 대상 학교 선정

먼저 실측한 실외 소음도와 교사 내 소음도의 차이 분석을 통한 보정치 산출을 위해 측정 대상 학교를 선정하였다. 학교용지를 선정하고자 하는 계획 또는 사업을 추진하는 경우 학교급별 특성(안전성, 통학환경, 개방성 등)에 따라 입지환경, 학교구조 등이 달라 지므로 전체 학교급 중 가장 많은 비중을 차지하고 학교시설의 대표적 특성을 가진 초등학교와 중학교를 대상으로 하였다. 또한 지역은 경기도 용인시, 성남시에서 최근 학교 건축 구조의 트렌드를 반영하기 위해 택지개발지구 상의 신축(최소 2000년 이후) 학교를 대상으로 하였으며 주변 영향 환경 소음원은 ‘도로교통’으로 한정하였고 일정 교통량 이상의 환경을 가진 학교로 선정하였다. 또한 학교급별, 교사용도, 입지환경, 입면환경 등에 따라 교사의 내부 인테리어, 음향 특성, 개방 창호의 구조, 형태가 달라지므로 변인 통제를 위해서 학생들이 가장 많은 시간을 보내고 보통의 수업을 듣는 ‘교실’만을 조사 대상으로 하였다. 경기도 용인시, 성남시 내에 위치한 초, 중등학교 대상 전수조사를 실시하였고, 그 현황조사 결과를 기반으로 학교 건물과 주요 소음원인 도로의 배치 유형에 따라 크게 수평형, 수직형, 혼합형으로 분류하였으며, 세부적으로는 소음원과 교실 사이에 복도가 위치할 경우 소음의 전달 경로 상의 음향적 특성이 달라 수평형(소음원-교실, PC형), 수평형(소음원-복도, PH형), 수직형(V형), 혼합형(소음원-교실, MC형), 혼합형(소음원-복도, MH형)의 5가지로 분류하였다. 각 배치 유형에서 고루 데이터를 수집할 수 있도록 32개의 초, 중등학교를 선정하였다. Fig. 2는 각 배치 유형별 연구 대상 학교에서의 측정 위치를 보여주며, 배치 형태에 따라 PC형 12개, PH형 2개, V형 23개, MC형 16개, MH형 2개 총 55개 케이스에서 측정이 진행되었다. 각 측정 지점은 교실과 도로가 면하는 위치에 따라 최대 피해 지점을 고려하였다.

2.3 데이터 수집 및 시뮬레이션

앞서 선정된 대상 학교의 각 55개 케이스에서 교사의 저층부(1층 또는 2층)와 고층부(4층 또는 5층)에서, 양 층에서는 모든 창문을 열고 소음원 방향 교실 창문 외부 1m 1개 지점, 교실 내부 창문에서 1m, 복도에서 1m 2개 지점(Fig. 2) 총 6개 지점에서 동시 측정을 실시하였다. 측정은 KS C IEC 61672-1에서

정한 클래스 1의 소음계를 이용하였고 각 지점별로 바닥면에서 1.5 m 높이에 측정기기를 설치하였다. 측정 시간의 경우 예측 정확성을 위해 30분간 측정을 진행하여 등가소음도를 수집하였다.

소음도 측정과 동시에 교통량, 속도, 차종분류 등의 영향 요인 인자를 조사하였고, 조사 시 고려하지 못한 외부 요인 및 입력 인자의 측정 오류 등을 추출하기 위해 각각 실외, 실내 상용 소음예측 프로그램인 SoundPLAN ver. 9.0, ODEON ver.17을 활용하여 실외에서 실내 교실로 유입되는 소음도를 시뮬레이션하고 측정 소음도와와의 오차를 비교·분석하였다. 먼저 SoundPLAN을 통한 실외 소음 시뮬레이션은 RLS-90 도로교통소음 예측식을 사용하였고, 조사한 영향 요인 인자(교통량, 속도, 대형차 혼입률)와 교사 포함 주변 건물, 기타 시설물 등을 모델링하여 교사의 벽면 1 m 앞 지점에서 벽면(facade) 소음도를 예측하여 실외 예측 소음도로 하였으며, 동시에 건물 경계지점에서의 소음도를 예측하여 ODEON을 통한 실내 소음 시뮬레이션에서 개구부(열린 창문)에 다시 음원 입력인자로 사용하여 실내에서의 음의 전파(propagation)를 통한 실내 예측 소음도를 계산하였다. 여기서, 개구부는 다중 면음원으로 구현하였고 각 면음원의 파워는 앞서 SoundPLAN에서 계산된 건물의 경계지점에서의 소음도를 overall 값은 동일하게 해당 케이스의 실외 실측 주파수별 소음도 분포에 따라 설정하였으며, 교실 내 구성환경(창틀, 창유리, 칠판, 책상, 교실 벽, 바닥, 천장)에 대한 흡음률은 ODEON 내 global material library에서 교실 내 마감재로 주파수별 흡음률을 사용하였다.

3. 연구 결과

3.1 측정 결과

보정치 산출을 위해서 실내에서 측정한 창문에서 1 m, 복도에서 1 m 2개 지점에서 측정한 소음도를 평균하여 교사 내 소음도를 산정하였고, 실외 소음도와의 차이를 비교·분석하였다. Fig. 3은 각 배치 유형별(수평형, 수직형, 혼합형)로 모든 케이스의 고층부에서 측정된 실외 소음도(파란색 실선)와 교사 내 소음도(붉은색 실선), 그 차이(막대)의 결과를 보여준다. Table 1에서는 교사의 배치 유형별로 저층부와 고층부에서의 실외 소음도와 교사 내 소음도와의 차이를

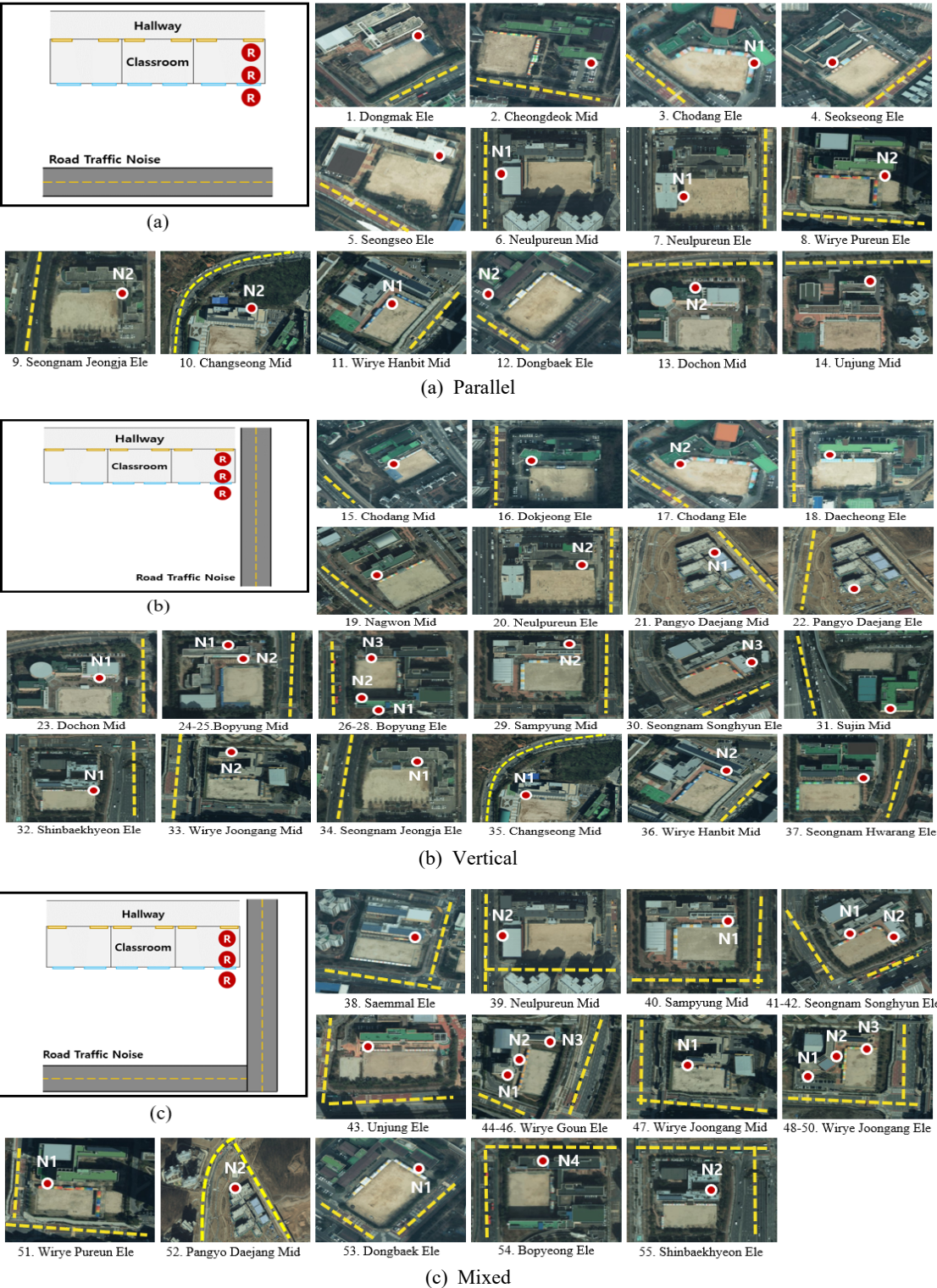


Fig. 2 Layout types between school building and road, and 32 schools(Ele : elementary school, Mid : middle school) and noise measurement points(red point)

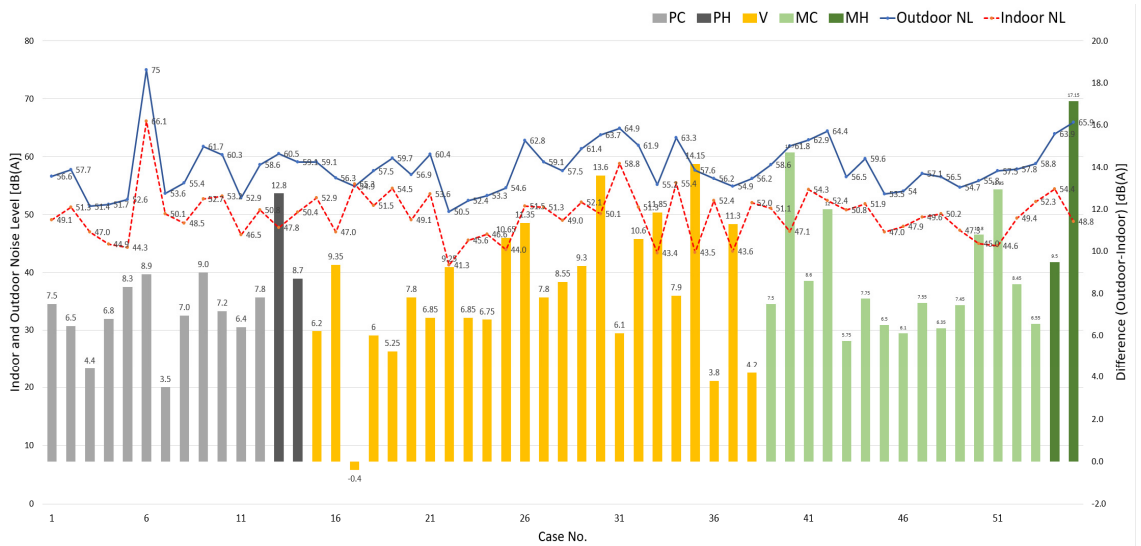


Fig. 3 Indoor (noise in the classroom, red dashed line) and outdoor (facade noise, blue solid line) noise measurement level and the difference between them on 4th or 5th level in the school for each case for each layout type (grey: PC, dark grey: PH, orange: V, green: MC, dark green: MH)

Table 1 Mean value of differences between indoor and outdoor noise level (indoor - outdoor) for each layout type

Layout type*	Mean (standard deviation) [dB(A)]		
	1st or 2nd floor	4th or 5th floor	4th or 5th floor**
PC	-7.8 (1.4)	-6.9 (1.6)	-6.7 (1.2)
PH	-13.2 (0.65)	-10.7 (2.0)	-16.9 (3.4)
V	-8.3 (2.7)	-8.7 (2.7)	-9.2 (1.2)
MC	-7.0 (2.7)	-8.3 (2.8)	-8.4 (1.7)
MH	-11.8 (3.3)	-13.3 (3.8)	-

*PC: Parallel (noise source ↔ classroom), PH: Parallel (noise source ↔ hallway), V: Vertical, MC: Mixed (noise source ↔ classroom), MH: Mixed (noise source ↔ hallway) ↔ means 'face-to-face'

**data from report of land & housing research institute (2018)

확인할 수 있다. 고층부에서 배치 유형별로 실내·외 소음도 차이의 평균의 크기를 비교해 보았을 때 MH형 > PH형 > V형 > MC형 > PC형 순으로 나타났다. 소음이 직접적으로 영향을 주는 소음원-교실 유형보다 복도를 거쳐서 삽입되는 소음원-복도 유형(PH형, MH형)이 차이가 더 컸다. 토지주택연구원에서 수행한 기존 연구⁽⁶⁾의 결과와 비교하여 보았을 때 배치 유형별 상대적 크기와 각 소음도의 차이가 유사한 결과를 나타

Table 2 Summary of mean absolute error (MAE) between measured and estimated noise levels by each noise prediction program

Error (MAE)	SoundPLAN (outdoor)		ODEON (indoor)	
	1st or 2nd floor	4th or 5th floor	1st or 2nd floor	4th or 5th floor
Mean [dB(A)]	2.77	2.00	3.41	3.26
SD	1.96	1.62	2.25	2.63

내었다. 한편 저층부의 경우에는 배치 유형별 실내·외 소음도 차이의 평균의 크기가 PH형 > MH형 > V형 > PC형 > MC형 순으로 고층부의 결과와 달랐다. 이는 소음원과 교사의 배치 유형별 실내 유입 소음의 지향성 차이, 이격거리, 전달경로 상 위치한 가로수, 울타리, 차양막, 관리시설 등 기타 시설물들에 대한 전달 영향 등으로 인한 저층부의 특성일 수 있다.

3.2 시뮬레이션 결과 비교

상용 소음예측 프로그램인 SoundPLAN ver.9.0, ODEON ver.17을 활용하여 각각 실외, 교사 내 측정 소음도와 실내·외 예측소음도와의 오차를 비교·분석하였다. Table 2는 각 소음예측 프로그램으로 계산된 실·예측값의 오차들의 통계치이고, Fig. 4는 실외 소

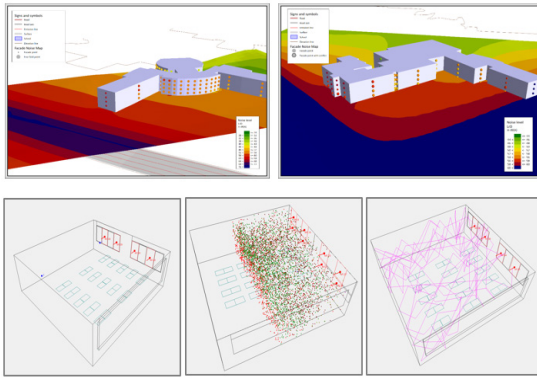


Fig. 4 Facade and grid noise map of outdoor noise (top) and propagation visualization and ray tracing map of indoor noise (bottom)

음도와 교사 내 소음도 시뮬레이션 결과를 시각화한 그림이다. ODEON을 통한 교사 내 소음도 예측 시뮬레이션의 경우 SoundPLAN을 통한 건물 경계지점의 실외 소음도 예측 결과치를 활용하여 이루어지므로 오차가 전파되어 오차의 평균 및 표준편차가 더 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한 고층부보다 저층부에서 실·예측치의 오차의 평균과 표준편차가 더 컸다. 이는 소음원과 교사의 저층부의 소음 전달 경로 상에 영향을 주는 인자들을 시뮬레이션에 반영하지 못한 것으로 판단된다. 따라서 보정치 산출을 위해 전달경로 상 불확실도가 큰 저층부보다 고층부에서 측정된 소음도 데이터를 대상으로 하였고 각 케이스별 실·예측 오차 분석을 통해 측정 데이터의 이상치(outlier)를 판별하였다⁹⁾. 고층부에서 실내·외 각 시뮬레이션을 통한 교사의 배치 유형별 예측 소음도 차이는 수평형 평균 7.5 dB(A)(표준편차 1.2), 수직형 평균 8.1 dB(A) (표준편차 1.7), 혼합형 평균 7.5 dB(A)(표준편차 1.0)로 분석되었다.

3.3 최종 데이터 선정

보정치 산출 시 사용한 최종 데이터(배치 유형별 고층부 실외, 교사 내 소음도)의 개수는 Table 3과 같다. 실내·외 실측치 총 55개 케이스에서 2.2절에서 설명한 총 5가지의 세부 배치 유형 중 전달경로 상 음향적 특성이 다른 소음원-복도 유형 4개 케이스는 최종 결과 값 산출 유형에서 제외하였다. 또한 앞선 결과분석으로부터 실외 소음도보다 교사 내 소음도가 높은 경우, 시뮬레이션 예측값과 실측값의 차이가

Table 3 Number of data to calculate correction value for each layout type

Category		4th or 5th floor	3rd, 4th or 5th floor*	Total
Layout type	PC	11	10	21
	V	22	16	39
	MC	16	0	15
Total		49	26	75

*Data from report of land & housing research institute (2018)

Table 4 Statistical analysis of differences between indoor and outdoor noise level (indoor - outdoor) for each layout type

Category [dB(A)]	Parallel	Vertical	Mixed
Mean (SD)	-6.9 (1.6)	-8.7 (2.7)	-8.3 (2.8)
Minimum	-3.5	-3.8	-4.2
Percentile 5	-4.0	-4.0	-5.0
Percentile 10	-4.4	-5.5	-5.9
Q1	-6.4	-6.6	-6.5
Q3	-8.1	-10.8	-9.2
Maximum	-9.0	-14.2	-14.7

10 dB(A)을 초과하는 경우는 이상치로 간주하여 2개 케이스를 제외하여 총 49개 케이스를 최종 데이터로 사용하였다. 또한 보정치의 신뢰성 향상을 위해 기존 연구(토지주택연구원, 2018)의 측정 결과로부터 중·고층부(3층~5층)에서 측정된 26개 케이스를 추가하여 총 75개 케이스의 실내·외 측정 소음도 데이터를 바탕으로 최종 보정치를 산출하였다.

3.4 교사 내 소음도 산출 보정치(ΔD)

환경영향평가 및 교육환경평가에서 신설학교 소음 영향 평가를 위한 보정치 산출을 위해 소음원과 교사의 배치 유형별 실외 측정 소음도에서 교사 내 소음도 차이를 분석하였다. 실외 측정 소음도는 교실 외 창 밖 1 m 지점에서 측정된 소음도이고, 교사 내 소음도는 창문 열림 조건에서 교실 안에서 창측으로부터 1 m, 복도측으로부터 1 m 떨어진 지점에서 측정된 소음도의 평균이다. Table 4는 배치 유형별로 이번 연구에서 수집된 총 49개 케이스에 대한 실내·외 측정 소음도 차이의 통계치이다. 소음원과 교사가 수평으

Table 5 Representative correction value to estimate the road-traffic noise level in the classroom for each layout type

Category	Layout type		
	Parallel	Vertical	Mixed
Correction value* [dB(A)]	-6.4	-6.9	-6.5

*First quartile of differences between the outdoor noise level and the noise level in the classroom

로 배치하였을 때 평균 6.9 dB(A), 수직으로 배치하였을 때 평균 8.7 dB(A), 혼합으로 배치하였을 때 평균 8.3 dB(A) 차이를 보이는 것으로 분석되었으며, 수직형 > 혼합형 > 수평형 순으로 차이가 컸다. 또한 대푯값 산정을 위해 최소값, 5백분위수, 10백분위수, 1사분위수(Q1), 3사분위수(Q3), 최대값을 도출하여 고려하였다.

따라서 교사 내 소음도 산출 보정치(ΔD)는 다음 식 (1)과 같이 정의한다.

$$NL_{in\ classroom} = NL_{outdoor} + \Delta D [dB(A)] \quad (1)$$

여기서, $NL_{in\ classroom}$ 은 교사 내 예측 소음도 [dB(A)]이고, $NL_{outdoor}$ 는 실외 예측 소음도 [dB(A)], ΔD 는 교사 내 소음도 산출 보정치 [dB(A)]이다.

식 (1)로부터 신설학교 소음 영향 평가 시 실외소음도를 예측하고 보정치를 적용하여 교사 내 예측 소음도를 산출할 수 있다.

4. 결 론

이 연구는 32개 학교에서 소음원과 교사의 배치 분류를 바탕으로 55개 케이스에 대해 실측한 실내·외 소음도를 분석·검토함으로써 환경영향평가와 교육환경평가 시 사용 가능한 교사 내 소음도 산출 보정치를 제시하고자 하였다. 음향적 특성이 다른 케이스와 이상치를 제거한 49개 케이스에서 측정된 실외 소음도와 교사 내 소음도의 차이 분석을 통해 보정치를 산출하였으며 향후 실외 소음도 예측값에 보정치를 고려하면 교사 내 예측 소음도를 구할 수 있도록 하였다. 최종적으로 교사와 도로와의 배치 형태에 따라 총 세 가지 주요 유형으로 분류하였으며 각 유형에서

주요 통계적 수치를 검토하였다. 또한 보정치의 신뢰성 향상을 위해 기존연구(토지주택연구원, 2018)⁽⁶⁾의 26개 케이스의 측정 결과를 포함하여 총 75개 케이스의 데이터로부터 최종 보정치를 구하였다. 다양한 통계 분석 지표를 검토한 결과 학생들이 생활하는 교실 내의 소음도를 예측하는 것이므로 실외 소음도와 교사 내 소음도 차이의 평균값이 아닌 좀 더 보수적으로 고려하여 측정 표본의 75%를 담보할 수 있는 1사분위수를 대표 보정치로 결정하였다. Table 5는 결정된 최종 보정치를 보여주며 수평형 -6.4 dB(A), 수직형 -6.9 dB(A), 혼합형 -6.5 dB(A)로 산출되었다. 참고로 시뮬레이션(49개 케이스에 대한)을 통한 실내·외 예측 소음도 차이의 1사분위수는 수평형 -6.8 dB(A), 수직형 -7.3 dB(A), 혼합형 -7.0 dB(A)로 산출되었으며 측정치에 의해 도출된 최종 보정치와 비교하였을 때 크기의 절대값이 더 컸다. 다만 시뮬레이션을 통한 교사 내 소음도 예측을 위해서는 교사의 배치 및 세부 설계 인자가 필요하므로 평가 단계와 시기에 대한 개선을 통해 시뮬레이션 방법 적용을 모색해 볼 수 있다.

환경영향평가 및 교육환경평가 시 신설학교 교사의 소음 영향에 대한 위 보정치를 적용할 경우 평가 시점에서는 교사의 배치가 결정되지 않기 때문에, 최악의 영향 예상 지점에서부터 다양한 교사 배치 안에 대한 도로 배치 계획에 따라 수평형과 수직형 또는 혼합형으로 실외소음도 예측을 통해 교사 내 소음도를 도출하고, 교사 내 소음기준 55 dB(A) 초과 유무를 판단하여 가능한 영향 범위 안의 대안과 저감방안이 모두 제시되도록 해야 한다.

이어서 WHO(world health organization)에서 제시하고 있는 학교의 운동장 등의 실외소음에 대한 권장 소음 기준인 55 dB(A)에 비해⁽¹⁰⁾ 국내 기준이 국제적인 수준에 미치지 못하는 것이 현실이므로 학생들의 학습권과 건강 보호를 위해 소음 기준 개정에 대한 연구 및 교사 내 소음 평가 위치와 공정시험기준 제정에 대한 후속 연구가 반드시 이루어져야 한다. 또한 향후 추가 연구를 통해 평가 시점에서의 학교시설의 과학적 사후모니터링 방안에 대한 모색이 이루어져야하고 실제 학교 설계 시 적절한 저감방안 규모를 최종적으로 산출할 수 있도록 평가 절차와 방법에 대한 제도적·정책적 보완이 뒷받침되어야 한다. 이를 통

해 과대·과소평가 되어 발생할 수 있는 소음 피해와 자원 낭비를 줄이고 정온하고 합리적인 교육환경을 구축할 수 있을 것이다.

후 기

이 연구는 한국토지주택공사에서 지원한 ‘정온한 교육환경 조성을 위한 소음환경평가 일원화 방안 연구’ 결과의 일부임

References

- (1) Diaco, S. B., 2014, Effects of Noise Pollution in the Learning Environment on Cognitive Performances, Liceo Journal of Higher Education Research, Vol. 10, No. 1, pp. 79~96.
- (2) Shield, B. M. and Dockrell, J. E., 2008, The Effects of Environmental and Classroom Noise on the Academic Attainments of Primary School Children, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 123, No. 1, pp. 133~144.
- (3) Choi, Y.-J., 2005, An Analysis of Noise Conditions in Elementary Schools Located near Airports and Roads, Human Ecology Research, Vol. 43, No. 4, pp. 31~47.
- (4) Kim, J.-S., Choi, D.-H., Ahn, C.-W., Lee, C.-S., Moon, C.-Y. and Kim, J.-H., 2002, A Study on the Correlation between the Traffic Noise around the School Buildings and the Students Response to It, Journal of Environmental and Sanitary Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 55~62.
- (5) Jiang, Y., Huang, Y., Tang, W. and Wang, J., 2022, A Study on Innovative Design and Application of Noise Barrier from the Perspective of Urban Culture, Proceedings of DSIE, pp. 575~586.
- (6) Yang, H. S., Jeong, J. S. and Jeong, S. Y., 2018, A Study for Revision on Environmental Impact Assessment Method on Noise in Schools, LHI Research Support 2018-98.
- (7) Ryu, D.-J., Park, C.-J. and Haan, C.-H., 2017, Investigation of the Sound Insulation Performance of Walls and Flanking Noises in Classrooms Using Field Measurements, The Journal of the Acoustical Society of

Korea, Vol. 36, No. 5, pp. 329~337.

(8) Kim, T.-W., Lee, K.-G. and Hong, W.-H., 2011, The Effect of Road Distribution around the School Buildings on the Status of Study on the Effect of Noise, Journal of the Korean Institute of Educational Facilities, Vol. 18, No. 4, pp. 3~12.

(9) Lee, J. and Kim, M., 2009, Prediction and Evaluation of the Road Traffic Noise according to the Conditions of Road-side Building Using RLS-90 and CRTN Model, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 4, pp. 425~432.

(10) Berglund, B., Lindvall, T. and Schwela, D. H., 1999, Guidelines for Community Noise, WHO Reference No. a68672.



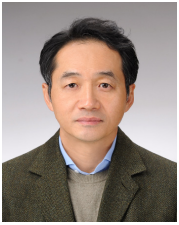
Won Hyung Park is a Ph.D. candidate in the Dept. of Urban System Engineering, Gyeongsang National University. He currently works in Korea Land and Housing Corporation (LH). His major research interest has been the urban environmental (road, train, aircraft, etc) noise.



Nae Hyun Lee received Ph.D. from Konkuk University in 2004. The title of the thesis was a study on the development of prediction model for road traffic noise of apartment building. He currently works in Korea Educational Environments Protection Agency (KEEPA). His major research interest has been the development of prediction model for blasting noise and vibration. He has interest on the Educational Environments Assessment and Environmental Impact Assessment.



Young Min Park received Ph.D. degree from Kyoto University in 1996. He currently works in Korea Environment Institute. He has interest on the Environmental Impact Assessment.



Seo Il Chang completed his Ph.D. studies in the Herrick Laboratories, Dept. of Mechanical Engineering, Purdue University in 1993 on non-linear problems of mechanical systems including plates and shells.

In 1997, he started his academic professional career in the Dept. of Environmental Engineering, the University of Seoul. His major research interest has been the environmental noise and vibration control and people in his lab have generated noise maps of cities. Recently, he collaborates with researchers from other fields including transportation, GIS, air quality and public health to make environmental pollution maps and to assess health impact.

His long-term research plan is to study the relations between environmental noise and urban forms.



Hunjae Ryu strives to bring us closer to the goal of real-time 3-D computational urban environmental noise modeling for healthy environments. He currently works in the Department of Urban Big Data Convergence, the University of Seoul

with expertise in urban environmental noise and vibration modeling and mapping. He holds a B.S. in environmental engineering, and M.S. and Ph.D. in energy and environmental system engineering from the University of Seoul.