

실시간 학습현장의 음성 및 소음 레벨을 바탕으로 한 재실 음향특성 분석

Analysis of the acoustical conditions in active classrooms based on the speech and noise levels

최영지^{1†}

(Young-Ji Choi^{1†})

¹강원대학교 건축공학전공

(Received July 16, 2024; revised September 2, 2024; accepted September 8, 2024)

초 록: 본 논문에서는 국내 학교 교실에서 실시한 현장측정을 바탕으로 음향상태 결과를 제시하였다. 측정결과에는 실시간 27곳 수업현장의 음성 및 소음 레벨과 4개 학교 16곳 공실의 실내음향상태 및 차음성능결과를 포함하고 있다. 수업 중 음성 및 소음 레벨에 영향을 미치는 여러 인자를 조사하였고, 실내 음향이 재실 음향상태에 미치는 영향에 관해 분석하였다. 재실자 연령과 수업 활동 특성에 따른 영향으로 국내 초등학교의 수업 중 평균 음성 및 소음 레벨은 중·고등학교와 특수학교 보다 약 4 dBA ~ 5 dBA 높게 나타났다. 수업 활동 특성에 따른 소음 레벨값 차이는 최대 19 dBA이며, 그룹 활동을 병행한 수업에서 가장 높은 소음 레벨을 나타냈다. 공실 및 재실 음향상태 측정결과는 국내 교실의 음향상태를 파악 가능하게 하였으며, 국내 학습공간의 특성을 반영한 음향설계기준 제정의 필요성을 강조하였다.

핵심용어: 교실 음향, 음성 및 소음 레벨, 음향 기준, 실제 학습현장, 배경소음, 잔향시간, 차음

ABSTRACT: This paper reports the results of a recent acoustic survey conducted with the objective of providing on the acoustic conditions of school classrooms in Korea. The measurements included both occupied speech and noise levels during 27 active classes and unoccupied data on the acoustical conditions, and sound insulation performance in 16 classrooms in 4 schools. The effects various parameters on the speech and noise levels in occupied classrooms has been examined. The impact of room acoustic design on speech and noise levels in active classrooms has been also investigated. The speech and noise levels of the elementary school are approximately 4 dBA to 5 dBA higher than those of the other three schools (junior high, high, and special), likely due to the nature of activities involved in group work and the age of the students. A notable 19 dBA difference is observed between the quietest and noisiest classroom activities and the classrooms in which students were observed working in groups with discussion had the highest noise levels. Both occupied and unoccupied data have enabled the establishment of a comprehensive picture of the acoustic conditions in classrooms and have highlighted the necessity of introducing acoustic standards for improving the acoustic environment in Korean schools.

Keywords: Classroom acoustics, Speech and noise levels, Acoustic standards, Active classrooms, Background noise, Reverberation times, Noise isolation

PACS numbers: 43.55.Br, 43.55.Hy

[†] Corresponding author: Young-Ji Choi (youngjichoi@kangwon.ac.kr)

Kangwon National University & 1 Kangwondaehak-gil Choncheon-si, Kangwon-do 24341, Republic of Korea

(Tel: 82-33-250-6224, Fax: 82-33-259-5543)



Copyright©2024 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

교육시설 내 학습현장에서 학업성취에 중요한 적절한 실내 음향 및 소음 레벨에 관한 연구가 지속하여 나라별로 이를 반영한 음향지표 및 그 적정 기준이 제시되어 음향설계에 반영되고 있다.^[1-3] 이들 음향성능 기준은 국가 기준 혹은 전문학회 기준으로 실내 배경 소음, 잔향시간, 그리고 실간 차음성능으로 크게 세 부분으로 구분되며, 그 외 각국의 특징을 반영한 세부 음향 기준이 제시되어 있다. 교육시설의 실내 음향성능 기준은 재실자가 없는 공실의 음향상태와 학습공간에서의 높은 음성 명료도를 성취하기 위한 최소 음향 기준을 제시한다. 미국의 경우^[1] 공간의 체적을 기준으로 학습이 추가 되는 핵심 학습공간과 학습 및 부

가 활동이 수반되는 그 외 공간으로 구분하여 음향성능 기준을 제시하였다. 공간의 벽체 간 차음성능은 실험실 측정값을 바탕으로 한다. 반면 영국에서는^[2] 학습공간을 나이별과 용도별로 세세히 구분하여 음향성능지표에 따른 기준값을 각각 제시하며 벽체 간 차음성능은 현장 측정값을 기준으로 한다. 또한, 오픈스페이스 및 특수학급의 음향 기준이 제시된 점이 특이점으로 들 수 있다.

교실 음향은 재실자 및 학습활동에 의해 공실/재실시 음향상태가 상이하고, 공실시 음향상태가 실제 학습현장의 적절한 음성 명료도 구성에 중요하여 교육시설의 실내 음향성능 기준은 재실자가 없는 공실의 음향상태의 최소 음향 기준을 제시하는 것이 타당하다. 그러나, 여러 국내외 교실 및 강의실

Table 1. Summary of previous research on the measurements of room acoustics and speech and noise levels in active classrooms.

Previous research	School/ Country	Findings
Badley (1986) ^[4]	Elementary school/ Canada	Optimum room RTs 0.4 s ~ 0.5 s at 1000 Hz Preferred C ₅₀ values > 1 dB Background noise levels 38 dBA ~ 45 dBA in 10 occupied classrooms without activities
Hodgson (1999) ^[5]	University/ Canada	Mean background noise levels 30 dBA ~ 50 dBA in 30 unoccupied university classrooms Predicted noise levels 47 dBA ~ 64.4 dBA in classrooms with 50 % occupied conditions
Hodgson <i>et al.</i> (1999) ^[6]	University/ Canada	Mean speech and noise levels are 50.8 dBA (s.d. = 3.9) and 44.4 dBA (s.d. = 3.5), respectively, in 11 occupied classrooms during 18 lectures
Shield and Dockrell (2004) ^[7]	Elementary school/ UK	Mean lesson noise levels 65 dBA L _{Aeq} for typical classroom activity Background noise level closely related to the classroom activity
Sato and Bradley (2008) ^[8]	Elementary school/ Canada	Mean speech and noise levels are 60.1 dBA (s.d. = 4.4) and 49.1 dBA (s.d. = 4.3), respectively, in 30 active elementary school classrooms
Bradley and Sato (2008) ^[9]	Elementary school/ Canada	Preferred SNR values > 15 dB for students in 1 st and 3 rd grade in elementary schools
Shield <i>et al.</i> (2015) ^[10]	High school/ UK	Mean background noise levels and RTs are 33.6 dBA, and 0.64 s, respectively, in 185 unoccupied classrooms in 13 high schools Mean active noise levels and unoccupied levels are 64 dBA, and 35 dBA respectively Introduction of legislation improved the acoustic design of schools
Puglish <i>et al.</i> (2015) ^[11]	High school/ Italy	Mean background noise levels 46.5 dBA ~ 52.1 dBA in 6 active classrooms Significant correlations between RTs of occupied conditions and background noise levels during classes
Choi (2016) ^[12]	University/ Korea	Mean room RT is 0.96 s and 0.67 s for both unoccupied and occupied 12 university classrooms Mean background noise level, and STI value is 41.2 dBA and 0.63, respectively, in occupied classrooms without activities
Sala and Ranrala (2016) ^[13]	Elementary school/ Finland	Mean activity noise levels 69 dBA L _{Aeq} and 42 dBA L _{A90} in 29 active classrooms Activity noise level L _{A90} is significantly linearly correlated with the unoccupied background noise levels.
Choi (2020) ^[14]	University/ Korea	Mean room RT is 0.64 s in occupied 12 university classrooms Mean background noise level, and STI value is 43.8 dBA and 0.55, respectively, in active university classrooms

에서의 현장측정을 바탕으로 한 연구 결과^[4,14]로 유추해볼 때(Table 1 참조) 공식 시와 만석 시 학습현장의 음향상태는 공간별로 상이하며, 특히 재실자 및 학습활동에 의한 배경소음 증가로 인한 음성대 소음비(Speech to Noise Ratio, SNR)의 감소가 적절한 음성 명료도 지표(STI/ U_{50}) 조성에 중요한 변수로 밝혀졌다. 따라서, 국내 교육시설의 음향 기준을 마련하기 위해서는 실제 학습현장에 영향을 미치는 중요 인자(공실의 음향상태, 재실자 및 학습활동)를 반영한 재실 음향상태 측정이 선행되어 이를 반영한 음향 기준이 제시되어야 한다.

Table 1에 국내·외 교육시설의 실제 학습현장의 재실 음향상태를 측정된 일부 연구결과 동향을 요약하여 제시하였다.^[4,14] 선행연구결과에 따르면 공실과 재실 음향상태는 상이하며 특히 소음 레벨의 경우 대부분 35 dBA를 훨씬 초과함을 알 수 있다. 따라서, 국내·외 재실 음향상태 측정 결과에서 소음 레벨은 $SNR \geq 15$ dBA 기준을 대부분 만족하지 못함을 알 수 있다. 국내 대학 강의실에서 강의실 내 짧은 잔향시간 조성 이외에 화자의 높은 음압레벨을 조성하고 실내의 암소음을 줄여 SNR값을 높이는 것이 우선되어야 한다고 보고 하였다.^[12] 국내·외 교실 및 강의실의 재실 음향상태 측정결과 평균 SNR값은 각각 7.9 dBA와 11 dBA로 명확한 언어 전달을 위한 적절한 음원 및 소음 레벨의 조성이 절실히 요구된다.^[6,8,14] 영국의 고등학교 음향실태조사^[10]에서는 공실과 재실시 교실내 평균 배경소음은 각각 35 dBA와 64 dBA로 약 30 dBA 차이를 보였고, 공실의 배경소음과 잔향시간이 재실시 소음 레벨을 최소화하는데 중요한 지표라고 보고하였다. 교육시설의 음향 기준으로 인해 학습공간의 실내음향상태가 약 2배 개선되었다고 보고하여 국내 교육시설의 음향 기준 부재가 학생들의 학습성취도에 충분히 영향을 미칠 수 있음을 시사하였다.

미국과 영국 기준 일부를 인용하면 국내 초·중·고 교실은 일부 공간의 잔향시간 ≤ 0.6 s를 만족하고, 배경소음의 경우 공조기 미 가동 시 ≤ 37 dBA를 만족하는 것으로 나타났다.^[15-17] 대학 강의실의 음향 실태조사 결과 잔향시간과 배경소음(공조기 가동 시)을 만족하지 않는 것으로 나타났다.^[18] 실간 벽체

의 차음성능 측정결과 $STC \geq 50$ 를 만족하지 않는 것으로 나타났다. 특히, 대학 강의실의 복도와 인접한 벽체의 평균 차음성능은 $ASTC = 26$ 으로 문 혹은 창문을 포함하는 벽체의 차음성능이 기준에 현저히 못 미치는 것으로 나타났다.^[18] 국내 교육시설의 바닥 차음성능은 측정결과가 전무 하여 권장기준과 비교를 할 수 없었다. 그 외에 국내 특수학급의 음향 실태조사 결과가 없어 특수학급의 적절한 음향조성을 위해 국내 특수학교를 대상으로 한 음향실태조사가 선행되어 그 결과를 바탕으로 한 음향 기준이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 국내 초·중·고 및 특수학교 학습공간의 재실 음향상태를 조사하기 위해 수업 중인 교실 14곳의 28개 현장을 측정하였다. 실제 학습현장에서의 음성 및 소음 레벨을 측정하여 재실자 및 학습활동이 재실 음향상태에 미치는 영향에 관해서 분석하였다. 또한, 수업 중 음성 및 소음 레벨과 공실 음향상태의 상관관계도 분석하였다. 국내 교육시설의 음향 기준 제정의 필요성을 제기하고자 미국 및 영국 기준을 인용하여 그 기준과 국내 교실의 공실 음향상태를 비교·분석하였다.

II. 재실 음향상태 측정

Table 2에 국내 초·중·고 및 특수학교 16개 교실의 27곳 수업현장에서의 음원 및 소음측정에 대한 제원을 나타내었다. 4개 학교 대상 교실 16곳의 평균 체적은 $135 \text{ m}^3 \sim 178 \text{ m}^3$ 로 특수학교 교실의 체적이 가장 작았다. 이는 학급당 학생 수에 따른 영향으로 일반 학교 3곳의 교사를 포함한 평균 재실자 수는 27명 (s.d. = 3.2명)인 반면 특수학교는 5명으로 (s.d. = 1.3명) 약 5배 정도 교실 내 일반 학교와 특수학교 간 재실자 수의 차이를 보였다. 교실의 전체 표면에 대한 창문 면적은 6.8% ~ 9.8%로 일반 학교보다 특수학교가 면적이 최대 3% 작게 나타났다. 이는 특수학교의 특성상 장애인 학생들의 교실 출입이 편리하도록 미닫이문을 설치하기 때문에 출입문의 면적이 상대적으로 커져(약 4%) 창문 면적이 작아진다.

교실 내 실제 수업현장의 모니터링에서 학습활동은 크게 수업(plenary), 그룹학습(group work), 개별학

Table 2. Details of the speech and noise level measurements in 27 active classes in 4 schools.

	Elementary school	Junior high school	High school	Special school
Construction year	2010, renovated in 2021	1979	2006	2022
No. of rooms	4	4	4	4
Volume, m ³	178 (s.d. = 25.7)	164 (s.d. = 3.5)	165 (-)	135 (s.d. = 12.9)
Percentage glazing, %	8.1 (s.d. = 2.0)	8.9 (s.d. = 0.2)	9.8 (-)	6.8 (s.d. = 0.2)
Glazing type*	Single glass	Single glass	Single glass	Single glass
Percentage door, %	1.7 (s.d. = 0.2)	1.8 (s.d. = 0.1)	2.0 (-)	5.6 (s.d. = 0.3)
No. of classes	4	7	11	5
No. of occupants	23 (s.d. = 2.0)	27.5 (s.d. = 1.0)	30 (s.d. = 0.8)	5 (s.d. = 1.3)
Time per each class	40 min	45 min	50 min	40 min
Teaching activities	2 plenary 1 plenary + group work 1 plenary + watching video	6 plenary 1 plenary + group work	8 plenary 2 individual work 1 plenary + watching video	5 plenary

*Interior walls between classrooms and corridors

습(individual work), 그리고 시청각 자료를 활용한 학습(watching video)으로 구분되며, 때에 따라 단독 수업 혹은 활동을 병행하여 진행되었다. 수업은 교사가 수업 전반에 주도적으로 학습지도를 하며 학생은 교사의 지도에 따라 질문에 대답하거나 큰소리로 따라 읽는다. 개별학습은 학생이 주도적으로 책이나 주어진 정보를 활용하여 독서 혹은 조용하게 자습하거나 시험을 보는 경우를 말한다. 그룹학습은 학생이 한 책상에 그룹을 조성하여 토의하거나 움직임이 동반되는 학습활동으로 선생은 학생활동을 돕는다. 마지막으로 교사가 수업의 이해를 돕기 위해 시청각 자료의 보조 도구를 활용하여 진행하는 수업으로 나뉜다.

소음계 2대를 1.2 m 높이로 교실 전후반에 좌석에 착석한 학생 귀 높이에 가깝게 위치시켰다. 교사 위치에서 약 3 m와 5 m 지점에 해당한다[Fig. 1(a) 참조]. 특수학교에서는 학생 수가 일반 학교의 약 1/5 수준으로 책상 배치가 상이하여 교사 위치에서 약 1 m와 4 m 지점에 소음계를 위치시켰다[Fig. 1(a) 참조]. 수업 현장 측정은 약 40 min ~ 50 min의 수업 시간을 측정하였고, 교사 목소리가 교실 내 주요 음원이었다. 교사의 성별은 남성 30%, 여성 70%이며, 수업 중 교사의 마스크 착용 비율은 착용 44%, 미착용 56%였다. 수업 중 교사의 마이크 사용 비율은 사용 11%, 미

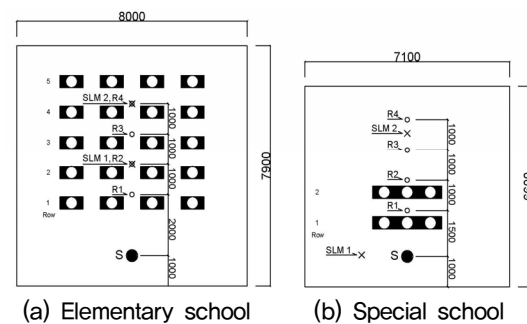


Fig. 1. Measurement positions in two classrooms (a) in an elementary school and (b) a special school. S: source positions, R: receiver positions, SLM: sound level meter positions.

사용 89%로 3곳 수업현장에서 마이크를 사용하였다. 수업현장 측정 중 교실 내 학습활동에 의한 소음 이외에 복도, 인접실, 그리고 교사 내에서 유의한 소음 유입은 없었다. 학교건물 주변 4곳 ~ 6곳에서 측정한 평균 외부소음은 46.5 dBA ~ 55 dBA로 나타났다. 공실시 교실 내 평균소음은 공조기 미가동 시 약 30 dBA ~ 31.7 dBA로 외부소음에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다. 공조기가동 시 공조기에서 1 m 떨어진 지점에서 측정한 교실 내 평균소음은 40.1 dBA ~ 47.1 dBA로 공조기가동 여부에 따른 실내소음 레벨의 차이가 약 10 dBA ~ 16 dBA 정도로 나타났다.

III. 수업현장 27곳에서의 음성 및 소음 레벨

Fig. 2에 수업현장 27곳에서의 레벨을 측정하여 음원 및 소음 레벨 산정과정을 도식화하여 보여준다. 학교별로 수업 시작과 끝부분을 제외한 본격적인 수업 현장의 약 30 min ~ 40 min의 측정데이터를 바탕으로 음성 및 소음 레벨을 도출하였다. Hodgson *et al.*^[6]이 제시한 통계 방법에 따라 주파수대역별 250 ms 레벨 값을 빈도수 그래프로 도식화한다. 도식화한 빈도수 그래프에 2개의 큰 피크점이 나타나는데, 높은 음압레벨의 최고점이 음원 레벨이고 낮은 음압레벨의 최고점이 소음 레벨을 나타낸다. 빈도수 그래프의 두 피크점에 정규분포곡선을 피팅하여 각

피크점의 값으로부터 음원과 소음 레벨을 각각 도출한다. 동일한 방법으로 Table 1의 국외 초등학교^[8]와 국내의 대학교 수업 현장^[6,14]을 대상으로 한 선행연구에서 음성과 소음 레벨 측정 및 도출에 이용하여 밀폐된 공간에서 이 측정법을 적용하여 실시간 학습현장의 음성 및 소음 레벨을 정확하게 측정할 수 있다고 보고하였다.

Fig. 2에 초·중·고 및 특수학교 4개 교실의 수업현장에서 측정된 결과에 정규분포곡선을 각각 피팅하여 음원과 소음 레벨을 도출한 예시를 보여주고 있다. 측정지점은 교사위치에서 약 3m(특수학교의 경우 약 1 m) 거리에 있는 결과이다. Fig. 2(a)와 2(d)의 넓은 폭의 변화가 있는 소음 레벨은 학습활동에 의한 소음원이며, Fig. 2(b)의 좁은 폭의 변화가 없는 일

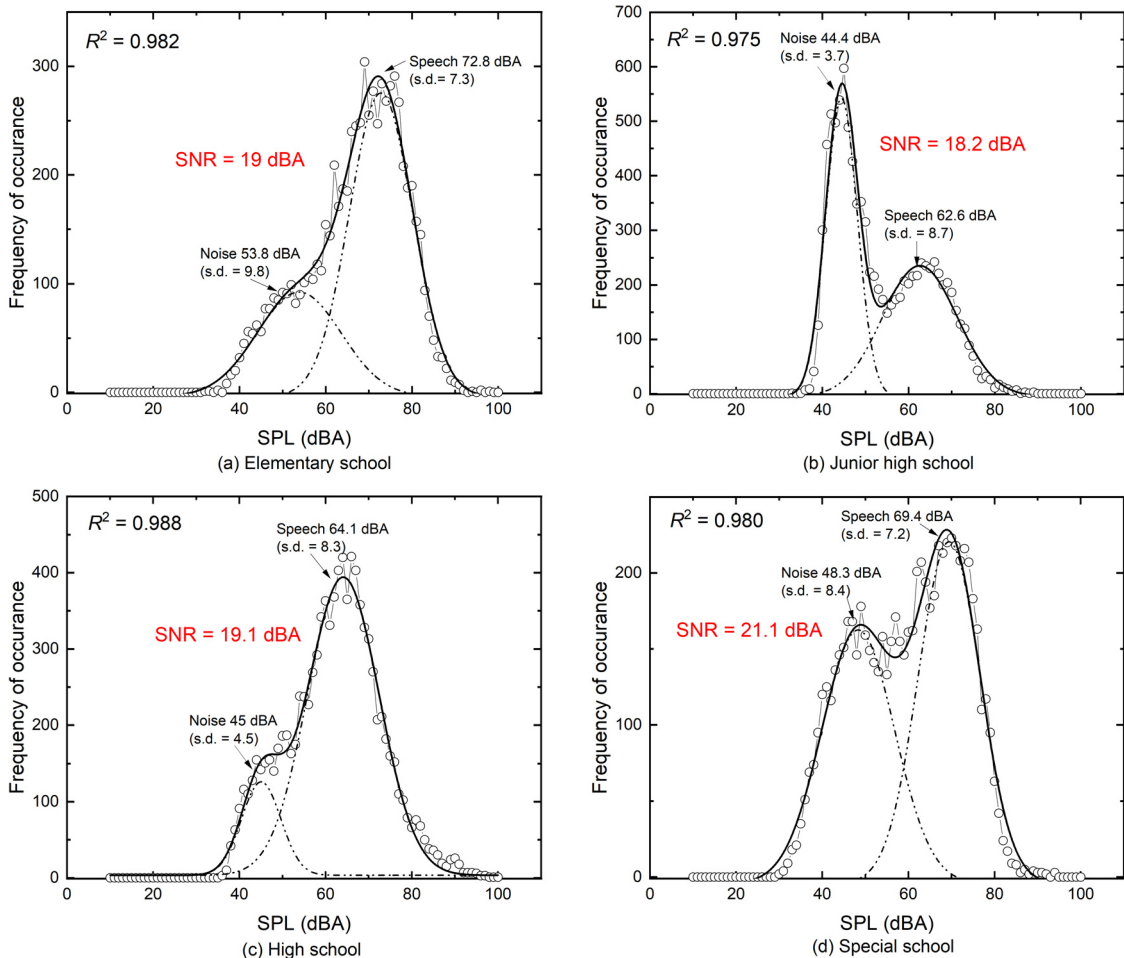


Fig. 2. (Color available online) Fitting of the two normal distributions to the frequency of occurrence distribution of combined speech and noise levels in four classes (a) in elementary school, (b) junior high school, (c) high school, and (d) special school classrooms.

Table 3. Mean speech levels and noise levels in dBA for different schools and teaching activities in 27 active classes.

Teaching activity	Elementary school		Junior high school		High school		Special school		Overall	
	N = 4		N = 7		N = 11		N = 5		N = 27	
	Speech	Noise	Speech	Noise	Speech	Noise	Speech	Noise	Speech	Noise
All	69.3 (s.d = 7.3)	55.5 (s.d = 8.3)	63.8 (s.d = 4.4)	49.4 (s.d = 6.0)	64.3 (s.d = 5.1)	49.3 (s.d = 5.1)	65.3 (s.d = 4.4)	48.0 (s.d = 5.9)	65.1 (s.d = 5.2)	50.0 (s.d = 6.1)
Plenary	66.6 (s.d = 10.0)	51.8 (s.d = 5.3)	62.7 (s.d = 3.7)	47.9 (s.d = 4.9)	66.4 (s.d = 3.8)	50.7 (s.d = 5.0)	65.3 (s.d = 4.4)	48.0 (s.d = 5.9)	65.1 (s.d = 4.5)	49.4 (s.d = 5.1)
Group work	75.9	67.1	70.4	58.6	-	-	-	-	73.2 (s.d = 3.9)	62.9 (s.d = 6.0)
Individual work	-	-	-	-	57.8 (s.d = 4.8)	44.2 (s.d = 3.7)	-	-	57.8 (s.d = 4.8)	44.2 (s.d = 3.7)
Watching video	68.1	51.3	-	-	60.7	48.7	-	-	64.4 (s.d = 5.2)	50.0 (s.d = 1.8)

정한 소음 레벨은 공조기와 같은 기계소음에 의한 것이다. 넓은 폭의 변화가 있는 음성 레벨은 교사가 수업 중 움직이거나 일정한 음성으로 말하지 않음을 의미한다. 4곳 수업현장의 학생 좌석에서의 평균 음성대 소음비(SNR)는 18 dBA ~ 21 dBA로 권장 SNR 값인 15 dBA를 초과하였다. 학생들이 듣는 교사의 음성 레벨은 62 dBA ~ 73 dBA로 높으며, 중·고등학교에 비해 초등학교와 특수학교의 음성 레벨이 높은 것으로 나타났다. 수업 활동에 의한 소음 레벨도 음성 레벨과 같은 경향을 보였다. 학생들의 연령이 증가할수록 수업현장에서의 소음 레벨도 감소하는 경향을 나타낸다. 특히, 초등학교 수업현장에서는 소음 레벨과 학습활동 종류와 밀접한 관계를 보이며, 이 결과는 선행연구와 유사하였다.^[7] Table 1에 요약한 선행연구결과에 따르면 초·중·고등학교 수업 활동 중에 발생하는 소음 레벨(42 dBA ~ 77 dBA)이 대학교 강의 중 발생하는 소음 레벨(42 dBA ~ 44 dBA)보다 현저히 높게 나타났다.

Table 3에 4개 학교의 27곳 수업현장에서의 평균 음성과 소음 레벨을 표준편차와 함께 학교별과 학습활동별로 나타내었다. 4개 학교 평균 음성 및 소음 레벨은 각각 65.1 dBA와 50 dBA로 Table 1의 국외 초등학교 및 고등학교에서의 선행연구결과와 유사하였다. 영국의 초등학교와 고등학교에서^[7,10] 일반적인 수업 활동 시 65 dB L_{Aeq}으로 국내 측정결과와 거의 같았다. 핀란드의 초등학교에서^[13] 학습활동 시 평균 레벨은 69 dB L_{Aeq}로 국내 초등학교 측정결과

(69.3 dBA)와 매우 유사하였다. 반면, 평균 소음 레벨은 42 dB L_{A90}로 약 13 dBA 높게 나타났는데 이는 상대적으로 조용한 공식 시 소음 레벨(34.5 dBA, 공조기 가동시)에 기인한 것으로 사료된다. 핀란드 초등학교의 결과^[13]에 따르면 수업 중 소음 레벨과 공식 시 소음 레벨이 유의한 선형적인 상관관계를 나타낸다고 보고하였는데 이는 영국의 고등학교 음향실태조사 결과^[10]와 유사하였다. 영국 고등학교에서 수업 중 음성 및 소음 레벨은 공식 시 소음 레벨 및 잔향시간과 유의한 상관관계를 나타낸다고 보고하였다.

국내 초등학교의 수업중 평균 소음 레벨은 55.5 dBA로 중·고등학교와 특수학교 보다 약 6 dBA ~ 7 dBA 높게 나타났다. Shield와 Dockrell^[7]은 영국 초등학교의 수업 중 소음 레벨이 학습 활동과 높은 상관성이 있다고 보고하였다. 영국 초등학교 3학년 ~ 5학년의 수업 중 평균 음성과 소음 레벨은 각각 70.6 dB L_{Aeq}과 52 dB L_{A90}로 같은 학년에 해당하는 국내 초등학교 측정결과와 음원 레벨이 유사하였다. 반면, 캐나다의 초등학교 측정결과^[8]와는 음성과 소음 레벨이 각각 9 dBA와 6 dBA 높게 나타났는데 이는 교사가 얘기하고 학생이 조용히 듣는 15 min ~ 20 min 정도의 시간을 측정된 결과로 인한 것으로 사료된다. 캐나다 초등학교의 수업 중 평균 음성 및 소음 레벨은 국내 초등학교의 조용한 학습 활동에 의한 결과(음원 레벨: 59.5 dBA, 소음 레벨: 48 dBA)와 유사하였다. 국내 초등학교의 수업 중 높은 소음 레벨은 그룹 활동 수업특성과 학생의 낮은 연령으로 인한 것

이 주요 원인이라 사료된다. 반면, 특수학교의 경우 가장 낮은 소음 레벨을 보였는데 이는 수업 인원이 작은 영향이라 사료된다.

국내 초·중·고등학교 수업현장에서 토론 등 그룹 활동을 병행한 수업에서 가장 높은 소음 레벨을 나타냈으며 수업 중 발생한 소음 레벨은 학습형태에 따라 44.2 dBA ~ 62.9 dBA로 최대 19 dBA 정도 차이를 나타냈다. 초등학교 수업 중 그룹 활동을 병행하지 않은 수업(48 dBA)과 실시한 수업(67 dBA)의 소음 레벨 차이는 약 19 dBA로 나타났다. 국내 초등학교에서 수업활동특성에 따른 소음 레벨 변화는 영국의 초등학교 수업^[7]에서도 비슷한 양상을 보이는데 6개 수업 활동에 따른 수업 중 소음 레벨의 최솟값과 최댓값은 각각 56 dBL_{Aeq}과 77 dBL_{Aeq}로 수업활동특성이 소음 레벨에 밀접한 관계를 보였다. 중학교 수업에서도 그룹 활동을 병행한 수업에서 소음 레벨이 약 10 dBA 높게 나타나 초등학교와 비슷한 양상을 보였다. 시청각 자료를 병행한 수업은 일반 수업과 비슷하거나 다소 낮은 소음 레벨을 나타냈으며, 시험을 보거나 독서 및 자습의 개별활동을 병행한 수업에서는 학습 활동 중 가장 낮은 소음 레벨(44 dBA)을 보였다.

27곳 수업 현장에서 수업 중 교사의 마스크 착용 유무에 따른 평균 음성 레벨은 각각 63.9 dBA와 67.1 dBA로 약 3 dBA 차이를 나타냈다. 초·중학교 11곳 수업 현장에서 교사의 마스크 착용에 따른 평균 음성 레벨 차이는 약 5 dBA로 가장 크게 나타났으며, 반면 고등학교 수업현장 11곳에서는 1 dBA 미만으로 가장 작게 나타났다. 학교별로 마스크 착용 여부에 따른 화자의 평균 음성 레벨값 차이는 다양한 학습 활동과 마이크 사용에 따른 영향으로 사료된다. 마스크 착용에 의한 교사의 음성 레벨 변화는 같은 화자와 주변 변수를 대상으로 측정하여 비교하는 것이 타당하나 본 연구에서는 제한된 현장측정으로 불가능하였다.

Fig. 3에 27곳 수업현장의 음성 레벨에 대한 소음 레벨을 도식화하여 보여주고 있다. 각 수업현장의 음성 및 소음 레벨은 측정지점 2곳의 평균값이다. 27곳 수업현장에서 음성 레벨과 소음 레벨은 유의한 선형 상관관계($R^2 = 0.704, p < 0.001$)를 보이며 소음

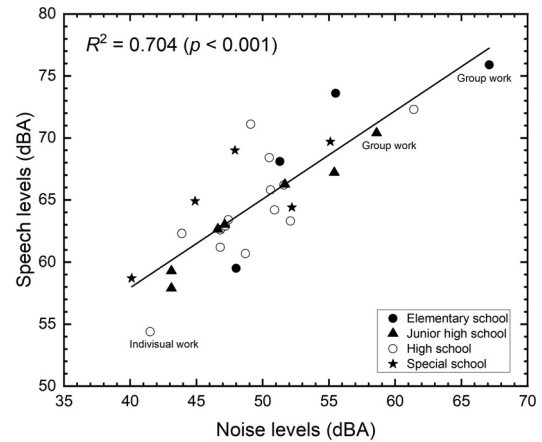


Fig. 3. Mean speech level versus noise levels during 27 actual classes. Each point is the average of the measurements at two receiver positions in each class.

레벨이 증가함에 따라 음원 레벨도 증가함을 알 수 있다. 이는 수업활동특성에 따라 교실 내 소음 레벨이 높아지면 교사들의 음성이 높아짐을 의미한다. 수업 중 소음 레벨은 학생의 나이가 많아짐에 따라 감소하는 경향을 보인다.

IV. 재실 음향상태에 영향을 미치는 중요 인자

수업 중 음성 및 소음 레벨은 재실자 및 학습 활동 이외에 교실의 공실 음향상태가 유의한 영향을 미친다고 일부 선행연구결과^[10,13]에서 보고하였다. 따라서, 본 연구에서도 재실 음향상태와 공실 음향상태의 상관관계를 분석하여 그 결과를 제시하였다. 먼저, 재실과 공실 음향상태의 상관성을 분석하기 전에 국내 초·중·고등학교와 특수학교 교실 16곳의 공실 음향상태를 Table 4에 요약하여 제시하였다. 실내 음향상태는 교실 음향기준에 중요한 3가지(실내 배경소음, 잔향시간, 그리고 실간 차음성능)를 위주로 제시하였다. 실내음향지표(T_{30} , C_{50})는 ISO 3382^[19]에 의거하여 Dirac V.6.0 소프트웨어^[20]를 이용하여 측정하였다. 실간 차음성능은 ISO 16283-1^[21]과 ISO 16283-2^[22]에 의거하여 SAMURAI 소프트웨어^[23]를 이용하여 각각 측정하였으며, 단일평가지표값($D_{nT,w}L'_{nT,w}$)은 ISO 717-1^[24]과 ISO 717-2^[25]에 의해 각

Table 4. Mean measured acoustical parameter values of the background noise levels, reverberation times, speech transmission index, and apparent sound transmission class in Korean classrooms (Values where specifications are exceeded are highlighted in bold italic font).

School	T_{30} (500-2k), s	C_{50} (125-4k), dB	L_{eq} , dBA ^{b)}		ASTC		AIRC
			ACon	ACoff	Classroom	Corridor	
Elementary school	0.86 (s.d. = 0.24)	2.5 (s.d. = 2.2)	42.9 (-)	30 (s.d. = 1.8)	39 (s.d. = 5.1)	18 (s.d. = 0.4)	67 (s.d. = 0.0)
Junior high school	0.94 (s.d. = 0.19)	2.6 (s.d. = 1.5)	47.1 (s.d. = 0.3)	-	29 (s.d. = 1.7)	20 (s.d. = 2.4)	47 (s.d. = 2.8)
High school	0.77 (s.d. = 0.05)	2.9 (s.d. = 0.3)	45.1 (s.d. = 0.8)	-	32 (s.d. = 1.3)	20 (s.d. = 0.0)	51 (s.d. = 1.4)
Special school	0.62^{a)} (s.d. = 0.08)	4.6 (s.d. = 1.2)	40.7 (-)	31.7 (s.d. = 0.8)	43^{c)} (s.d. = 0.3)	20^{c)} (s.d. = 0.0)	47 ^{d)} (s.d. = 8.4)

a) The mean octave band values averaged from 125 to 4 kHz.

b) Not all of classrooms were measured the background noise level in L_{Aeq} with and without HVAC systems operation.

c) $D_{nT,w}$ values

d) $L'_{nT,w}$ values

각 도출하였다. ASTM 기준에 의거한 단일평가 지표 값(ASTC, AIRC) 도출은 각각 ASTM E413^[26]과 ASTM E989^[27]에 의거하였다. 초·중·고등학교는 ASTM 기준^[1]을, 특수학교는 BB93 기준^[2]을 각각 차용하여 각 기준을 초과하는 음향지표 값을 Table 4에 굵은 이탤릭체로 표기하였다. 영국 BB93 기준^[2]의 경우 학습 공간을 나이별과 용도별로 구분하여 각 음향성능 권고치를 제시하므로 이 기준에 만족하는 일부 고등학교 교실이 있지만 측정결과 분석에는 적용하지 않았다. 국내의 교실 제원과 두 기준^[1,2]의 교실 제원이 상이 하여 직접적인 결과값의 비교는 의미가 없다고 사료되나 현재 국내 기준의 부재와 국외 선진국의 기준과의 상대적인 비교를 통해 국내 교실의 음향상태 현황을 분석하기 위함이다.

Table 4에 의하면, 국내 초·중·고등학교와 특수학교 교실 16곳의 공실시 실내 배경소음(특수학교: $L_{Aeq} \leq 30$ dBA, 일반 학교: $L_{Aeq} \leq 37$ dBA), 잔향시간(특수학교: T_{30} 125-4 kHz ≤ 0.4 s, 일반 학교: T_{30} 500-2 kHz ≤ 0.6 s), 그리고 벽체 간 차음성능(특수학교: $D_{nT,w} \geq 50$ dB, 일반 학교: 인접실 STC ≥ 50 , 인접 복도 STC ≥ 45)은 두 선진국의 권장기준^[1,2]을 모두 만족하지 못하였다. 반면, 바닥 차음성능(특수학교: $L_{nT,w} \leq 55$ dB, 일반 학교: AIRC ≥ 40)은 모든 학교가 권장기준을 만족하는 것으로 나타났다. 대상학교 4곳의 건축 년도가 1979년~2022년임을 고려한다면 국내 교육시설의 음향 기준 부재로 인하여 지난 40

년간 교실 음향상태는 개선되지 않았음을 Table 4의 공실 측정결과로 유추할 수 있다. 특히, 특수학교의 경우 가장 최근 지어진 신축건물로 건축자재의 성능 향상으로 인접실 혹은 인접 복도와 벽체 차음 성능이 다른 3곳 건물보다 향상되었을 것이라 기대되지만 인접 복도와 벽체 차음성능은 가장 낮게 나타났다. 특수학교 특성상 재실자의 교실 이동을 쉽게 하려고 상대적으로 큰 치수의 미닫이문을 설치하는데 그 결과 인접 복도와 벽체 차음성능은 일반 학교에 비해 떨어지는 것으로 사료된다. 인접실과의 벽체 성능보다 인접 복도와 벽체 차음성능이 ASTM 18~20으로 낮은 이유는 복도 측 벽체의 약 50%에 해당하는 개구부 면적(창과 문)과 취약한 차음성능이 원인으로 분석된다(Table 1 참조). 교실의 외기에 인접한 창문 이외에 복도에 인접한 창문은 단일창문으로 차음성능이 취약하다.

국내 초·중·고등학교와 특수학교 교실 16곳의 공조기 가동 시 공실 내 배경소음이 약 40 dBA ~ 47 dBA로 재실 상태의 수업 중인 교실의 평균소음과 비슷하거나 약간 낮은 결과값이다(Tables 3과 4 참조). 공실 잔향시간의 경우 ASTM과 BB93의 권장기준^[1,2]에 비해 약 0.2 s 정도 길게 나타났는데 음성 명료도에 유의한 초기 반사음 성분을 줄이지 않고 적정 잔향시간으로 줄이기 위해서는 천장에 흡음 텍스 배포등 교실 내 부위에 따른 적절한 흡음재 도포가 필요하다.^[28] 핀란드 초등학교의 측정 결과^[13]에 따르

Table 5. Results of linear regression analyses of speech levels, noise levels, and speech-to-noise ratios in relation to unoccupied T_{30} (125-4k), T_{30} (500-2k), and C_{50} (125-4k) values.

Levels	T_{30} (125-4k)	T_{30} (500-2k)	C_{50} (125-4k)
Speech levels	$R^2 = 0.080$ ($P = 0.331$)	$R^2 = 0.077$ ($P = 0.337$)	$R^2 = 0.028$ ($P = 0.567$)
Noise levels	$R^2 = 0.104$ ($P = 0.261$)	$R^2 = 0.120$ ($P = 0.225$)	$R^2 = 0.080$ ($P = 0.301$)
SNR	$R^2 = 0.043$ ($P = 0.603$)	$R^2 = 0.023$ ($P = 0.478$)	$R^2 = 0.094$ ($P = 0.287$)

면 수업 중 소음 레벨과 공식 시 소음 레벨이 유의한 선형적인 상관관계를 나타낸다고 보고하였고, 영국 고등학교^[10]에서 수업 중 음성 및 소음 레벨은 공식 시 소음 레벨 및 잔향시간과 유의한 상관관계를 나타낸다고 보고하였다. 두 연구결과를 종합해보면, 공식 시 높은 소음 레벨은 수업 중 발생하는 교실 내 소음을 높일 수 있다. 핀란드 초등학교^[13]의 수업 중 소음 레벨이 42 dB L_{A90} 로 낮은 이유는 공식 시 낮은 소음 레벨(34.5 dBA)에 기인한 것이다.

Table 5에 재실 음향상태(음원 및 소음 레벨, SNR 값)와 공실 음향상태(T_{30} 과 C_{50} 값)의 상관관계를 분석하여 그 결과를 상관계수 값으로 제시하였다. 공실 배경소음의 경우 모든 교실에서 측정을 진행하지 않아 재실 음향상태와의 상관성 분석에서 제외하였다. 수업 중 음성 및 소음 레벨을 측정할 교실 14곳의 공실 음향지표 평균값과 각 교실에서의 수업 중 음원 및 소음 레벨을 평균하여 상관성 분석을 하였다. 수업 중 음성 및 소음 레벨과 공실 잔향시간 및 명료도 지표와는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다. 수업 중 SNR값과 공실 음향지표와의 상관성도 유의하지 않았다. 공실 음향지표와 수업 중 음성 및 소음 레벨과의 유의하지 않은 상관관계는 Table 3에서 알 수 있듯이 동일한 음향상태의 교실에서도 다양한 학습 활동 때문에 재실 음향상태가 다르기 때문이라 사료된다. Table 5의 결과는 공실 음향지표와 수업 활동에 의한 소음 레벨과 유의한 상관성을 보이지 않은 핀란드 초등학교의 연구결과^[13]와 일치한다. Table 5의 결과는 공실 잔향시간과 수업 중 소음 레벨과 유의한 상관성을 나타낸 영국 고등학교 측정 결과^[10]와 일치하지 않지만, 공실 잔향시간과 수업 중 SNR값과 낮은 상관성을 나타낸 결과와는 부분적으로 일치한다.

한편, 이태리 고등학교 측정결과^[11]에서는 재실 잔향시간과 수업 중 소음 레벨이 유의한 상관성을

나타낸다고 밝혔는데 이는 수업 중 학습활동에 의한 음성 및 소음 레벨에 영향을 주는 음향지표를 조사하기 위해서는 재실 조건에서 측정된 음향지표와의 상관성을 분석하는 것이 재실 음향조건을 더욱 적절히 반영하는 것이라 할 수 있다. 따라서, Table 5의 재실 음향상태와 공실 음향지표와의 낮은 상관관계는 공실 음향지표 값이 수업 중 재실자 및 학습활동에 의한 음향상태를 충분히 반영하지 못하기 때문이라 사료된다. 본 연구에서는 학습현장의 제한으로 재실 조건에서 음향지표를 측정하지 못하여 결과분석의 한계를 나타낸다. 국내 대학교 현장 측정^[14]에서 실제 수업 중 측정할 실내 음향과 소음 레벨이 음성 명료도 지표와 높은 상관성을 보여 재실 조건에서의 음향지표 측정이 실시 되어야 한다.

전술하였듯이, 인접 복도와와의 벽체 간 차음성능이 ASTM과 BB99의 권장 기준^[12]에 못 미치는 것으로 나타났는데 이는 출입문과 창문을 포함한 복합 벽체의 차음성능과 벽체에서 개구부가 차지하는 면적에 기인한 것으로 사료된다. 따라서, 낮은 차음성능으로 인하여 수업 중 교실 내 발생하는 소음이 인접 복도 혹은 인접 실에 전달 혹은 그 반대의 상황을 조사하기 위하여 대상학교 네 군데의 교실 7곳에서 수업 활동 8곳 중 복도에서도 소음 레벨을 함께 측정하였다. Fig. 4에 수업 활동에 의한 소음 레벨에 대한 인접 복도에서 측정된 소음 레벨(L_{Aeq})을 도식화하여 보여주고 있다. 수업 활동 및 인접한 복도에서 측정된 두 소음 레벨은 유의한 선형 상관관계($R^2 = 0.677, p = 0.001$)를 나타내었다. Fig. 4에 의하면 인접 복도의 소음 레벨은 수업 활동 중에 발생한 재실자 소음 레벨과 함께 증가함을 알 수 있다. 복도에서의 소음은 교실 내 소음과 인접 실에서 유입된 소음에 기인한 것이다.

Table 2에서 알 수 있듯이 특수학교의 출입문 면적은 약 5 m²로 일반 학교의 약 2배 ~ 2.5배 면적을 차지

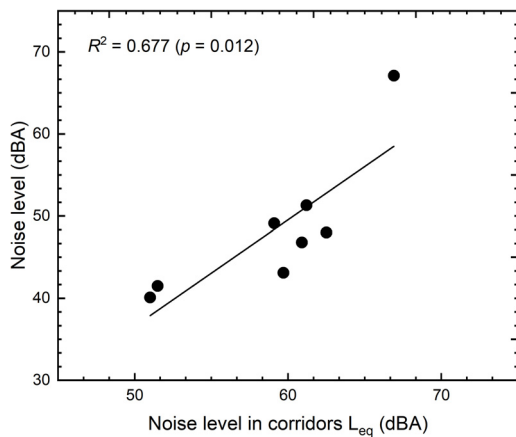


Fig. 4. Mean noise levels versus noise levels in corridors during 8 active classes in 7 classrooms.

한다. 인접 복도와의 복합벽체 차음성능은 개구부의 면적과 차음성능에 영향을 받으므로 차음성능을 권장 기준값 이상으로 높이기 위해서는 문과 창의 차음성능을 개선해야 한다. 특히, 국외의 교실은 복도에 인접한 벽체에 창문을 설치하지 않은 경우가 일반적으로 국내 교실 조건과 다르므로 창문을 포함하는 복합벽체의 국내 교실 조건에 부합하는 차음성능기준을 국내 기준에서 제시하여야 한다.

V. 결 론

본 연구에서는 국내 초·중·고 및 특수학교 학습공간의 공실 및 재실 음향상태를 측정하여 실제 학습현장에서의 음성 및 소음 레벨을 측정하여 재실자 및 학습활동이 재실 음향상태에 미치는 영향에 관해서 분석하였다. 또한, 수업 중 음성 및 소음 레벨과 공실 음향상태의 상관관계도 분석하였다.

Table 3의 국내 초·중·고 및 특수학교 수업 현장의 음향실태조사에 따르면 학습 연령별로 평균 음성 및 소음 레벨의 차이가 약 4 dBA~5 dBA로 나타났다. 수업 활동 특성에 따른 소음 레벨값 차이는 44.2 dBA~62.9 dBA로 최대 19 dBA이며, 그룹 활동을 병행한 수업에서 가장 높은 소음 레벨을 나타냈다. 국내의 초·중·고등학교 수업 현장의 측정 결과를 바탕으로 평균 음성 레벨이 65 dBA임을 가정할 때 $SNR \geq 15$ dBA를 만족하기 위해서 최대 허용 소음 레벨은 50 dBA 이하가 되어야 한다. Fig. 3의 수업 현장

27곳 중 약 48%가 이 기준을 만족하지 못한다.

본 연구결과에서 수업 중 재실 음향상태는 재실자 및 학습활동 변수에 따른 영향으로 재실자의 수와 나이가 증가할수록 수업 중 음성 및 소음 레벨이 증가하였고 이 결과는 국외 선행연구결과와 같은 경향을 나타내었다.^[7,10] 다만 초·중·고 및 특수학교 내 각각 교실 4곳을 대상으로 제한적인 수의 교실을 측정하여 동일 학교 내 재실자 및 학습활동에 따른 영향을 구체적으로 분석하지 못하여 그 한계를 나타냈다. 아울러, 재실 음향지표 측정이 현실적인 제한조건으로 진행되지 않아 공실과 재실 음향상태의 상관관계 분석에 한계를 나타냈다.

국내 초·중·고 및 특수학교 학습공간의 16곳을 대상으로 한 공실 측정결과와 지난 40년간의 건축기술 발전에도 불구하고 국내 교실 음향 설계기준의 부재로 인하여 국내 학습공간은 음향적인 측면에서 개선되지 못하였다. 이는 영국의 연구결과^[10]와 대조되는 결과로 2003년 음향설계기준 제정 이후 건설된 학교시설의 87%가 음향성능 기준을 만족해 약 2배 증가하였으며 교실 음향 기준 제정이 학습공간에 음향을 개선했다.

그러함에도 불구하고, 본 연구결과에서는 국내 교실의 음향적인 측면에서 개선되어야 할 점을 교실 음향 기준에 중요한 3가지(실내 배경소음, 잔향 시간, 그리고 실간 차음성능)를 위주로 평가하여 국내 학습공간의 특성을 반영한 음향설계기준 제정의 필요성을 제기하였다. 지난 11월 학계를 주축으로 국내 교실의 음향 기준 제정 정립의 필요성을 제기하고자 국내 전문가의 의견을 경청하는 세미나 개최되어 국내 교실 음향 기준 제정의 첫 단계를 열었다.^[29] 본 학회를 중심으로 이러한 움직임을 지속하여 선진국에 걸맞은 국내 교육시설의 음향 기준이 제정되어 학령기 학생에게 양질의 교육이 제공될 수 있는 공간조성이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

측정에 협조해준 학교 관계자, 선생님, 학생에게 감사를 표한다. 공실 및 재실 음향측정에 도움을 준 강원대학교 건축공학과 학생들에게 감사한다. 본

연구는 한국연구재단 중견 연구지원사업의 지원을 받아 진행되었음(2021R1A2C1004449).

References

- ANSI/ASA 12.60-2010, *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools: Part 1. Permanent Schools*, 2010.
- Education Funding Agency, *Building Bulletin 93-Acoustic Design of Schools: Performance Standards*, 2015.
- AJES S001-2020: *Academic Standard and Design Guidelines for Sound Environment in School Buildings* (Architectural Institute of Japan, Tokyo, 2020).
- J. S. Badley, "Speech intelligibility studies in classrooms," *J. Acoust. Soc. Am.* **80**, 846-854 (1986).
- M. Hodgson, "Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms," *J. Acoust. Soc. Am.* **106**, 1810-1819 (1999).
- M. Hodgson, R. Rempel, and S. Kennedy, "Measurement and prediction of typical speech and background noise levels in university classrooms during lectures," *J. Acoust. Soc. Am.* **105**, 226-233 (1999).
- B. Shield and J. Dockrell, "External and internal noise surveys of London primary schools," *J. Acoust. Soc. Am.* **115**, 730-738 (2004).
- H. Sato and J. S. Bradley, "Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms," *J. Acoust. Soc. Am.* **123**, 2064-2077 (2008).
- J. S. Bradley and H. Sato, "The intelligibility of speech in elementary school classrooms," *J. Acoust. Soc. Am.* **123**, 2078-2086 (2008).
- B. Shield, R. Conetta, J. Dockrell, D. Connolly, T. Cox, and C. Mydlarz, "A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England," *J. Acoust. Soc. Am.* **137**, 177-188 (2015).
- G. E. Puglish, L. C. Cantor Cutiva, L. Pavese, A. Castellana, M. Bona, S. Fasolis, V. Lolorenza, A. Carullo, A. Burdorf, F. Bronuzzi, and A. Astolfi, "Acoustic comfort in high-school classrooms for students and teachers," *Energy Procedia*, **78** (2015) 3096-3101.
- Y. J. Choi, "Effects of occupancy on acoustical conditions in university classrooms," *Appl. Acoust.* **114**, 36-43 (2016).
- E. Sala and L. Ranralla, "Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland," *Appl. Acoust.* **114**, 252-259 (2016).
- Y. J. Choi, "Evaluation of acoustical conditions for speech communication in active university classrooms," *Appl. Acoust.* **159**, 107089 (2020).
- S. B. Lee, M. J. Kim, and H. S. Yang, "Characteristics of acoustic indicators evaluating speech intelligibility in Korean elementary school classrooms" (in Korean), *Trans. Korean. Soc. Noise Vib. Eng.* **25**, 462-469 (2015).
- C. J. Park, D. J. Ryu, J. Y. Kyoung, and C. H. Haan, "Analysis of the acoustic performance of classrooms in Korea" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **33**, 316-325 (2014).
- D. J. Ryu, C. J. Park, and C. H. Haan, "Investigation of the sound insulation performance of walls and flanking noises in classrooms using field measurements" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **36**, 329-337 (2017).
- Y. J. Choi, "Towards better acoustic conditions in school buildings in Korea-a need for Korean standard for classroom acoustics" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **42**, 113-123 (2023).
- ISO 3382-Acoustics, *Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to Other Acoustical Parameters*, 2003.
- Briël & Kjaer*, <https://www.bksv.com/en/about/history>, (Last viewed, July 15, 2024).
- ISO 16283-1:2014, *Acoustics — Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements-Part 1: Airborne Sound Insulation*, 2014.
- ISO 16283-2:2020, *Acoustics — Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements-Part 2: Impact Sound Insulation*, 2020.
- Measuring Systems for Sound & Vibration*, <https://sibus-leipzig.de/en/produkte/software/samurai>, (Last viewed, July 15, 2024).
- ISO 717-1, *Acoustics-Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements-Part 1: Airborne Sound Insulation*, 1996.
- ISO 717-2:2013, *Acoustics — Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements - Part 2: Impact Sound Insulation*, 2013.
- ASTM E413-10, *Classification for Rating Sound Insulation*, 2010.
- ASTM E989-99, *Standard Classification for Determination of Impact Insulation Class (IIC)*, 1999.
- Y. J. Choi, "Effects of periodic type diffusers on classroom acoustics," *Appl. Acoust.* **74**, 694-707 (2013).
- Y. J. Choi, "Acoustic standards for schools and libraries" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr. Suppl.* 1-37 (2023).

저자 약력

▶ 최 영 지 (Young-Ji Choi)



1996년 2월 : 계명대 건축공학과 학사
2000년 3월 : 큐슈대 건축공학과 석사
2004년 9월 : 시드니대 건축공학과 박사
2014년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 문화예술
공과대학 건축토목환경공학부 건축공
학 전공 교수