

재실자 및 학습 활동에 따른 국내 교육시설의 재실 음향실태 조사*

Investigation on the Acoustic Conditions of Active Classrooms in Accordance with the Students and Classroom Activities

최영지**

Young-Ji Choi**

Abstract

The present study investigates the acoustic conditions of active classrooms based on the speech and noise levels. The speech and noise levels were measured in 29 classrooms during 57 actual classes in Korean schools. The effects of occupants and classroom activities on the speech and noise levels in occupied classrooms were examined. The present results indicate a general trend of decreasing noise levels by 6 to 12 dBA with increasing age of the students. Additionally, the noise levels in the classrooms were found to be closely related to the type of classroom activities. The results indicate that the acoustic standards should recommend reducing the unoccupied noise levels in order to minimize noise levels in active classrooms.

Keywords: Acoustic Conditions, Active Classrooms, Speech Levels, Noise Levels, Speech-to-Noise Ratios

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교육시설의 음향설계에서 중요한 음향지표는 실내 배경소음, 잔향시간, 그리고 실간 차음성능으로 구분하며 공실 상태의 기준을 바탕으로 한다(ANSI/ASA, 2010; Department for Education, 2015). 공실의 음향 상태가 실제 학습 현장의 적절한 음성 명료도 조성에 중요하지만 재실 음향은 재실자 및 학습 활동에 의해 음향 상태가 상이하다(Bradley, 1986; Hodgson, 1999; Hodgson et al., 1999; Shield and Dockrell, 2004; Sato and Bradley, 2008; Shield et al., 2015; Pugh et al., 2015; Choi, 2016; Sala and Ranralla, 2016; Choi, 2020). 여러 국내외 교실 및 강

의실에서 수업 현장 측정을 바탕으로 한 연구 결과로 유추해볼 때(Table 1 참조) 공석과 만석 시 학습 현장의 음향 상태는 공간별로 상이하며, 특히 재실자 및 학습 활동에 의한 배경소음 증가로 인한 SNR 감소가 높은 음성 명료도 성취에 중요한 변수로 밝혀졌다. 따라서, 국내 교육시설에서의 높은 학습 성취를 위해서 공실의 음향지표를 바탕으로 실제 학습 현장(Active Classrooms)에 영향을 미치는 중요 인자(재실자 및 학습 활동)를 반영한 재실 음향 상태(Occupied Conditions) 결과를 반영한 음향 기준과 설계가 요구된다.

Table 1에 따르면 재실자 및 학습 활동의 영향으로 재실 음향 상태가 상이하며 특히 실제 수업 현장에서의 소음 레벨은 권장기준인 35dBA를 대부분 초

*본 연구는 한국연구재단 중견 연구지원사업의 지원을 받아 진행되었음(2021R1A2C1004449)

**강원대학교 건축공학전공 교수(youngjichoi@kangwon.ac.kr)

Table 1. Summary of Previous Acoustic Survey on the Occupied and Noise Data in Active Classrooms

Previous Study / School	Results
Bradley (1986) / Elementary	• Background noise levels 38~45 dBA in 10 quietly occupied classrooms
Hodgson (1999) / University	• Mean background noise levels 30~50 dBA in 30 unoccupied classrooms • Predicted noise levels 47~64.4 dBA in classrooms with 50% occupancy
Hodgson et al. (1999) / University	• 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) / Elementary	• Mean lesson noise levels 65 dBA LAeq for typical classroom activity • Background noise level closely related to the classroom activity
Sato and Bradley (2008) / Elementary	• Mean speech and noise levels are 60.1 dBA (s.d.=4.4) and 49.1 dBA (s.d.=4.3) in 30 active classrooms
Shield et al. (2015) / High School	• Mean background noise levels and RTs are 33.6 dBA, and 0.64 s in 185 unoccupied classrooms in 13 high schools • Mean active noise levels and unoccupied levels are 64 dBA, and 35 dBA
Puglish et al. (2015) / High School	• Mean background noise levels 46.5 ~52.1 dBA in 6 active classrooms
Choi (2016) / University	• Mean room RT is 0.96 s and 0.67 s for unoccupied and occupied 12 classrooms • Mean background noise level, and STI value is 41.2 dBA and 0.63 in quietly occupied classrooms
Sala and Ranrala (2016) / Elementary	• Mean activity noise levels 69 dBA LAeq and 42 dBA LA90 in 29 active classrooms
Choi (2020) / University	• 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 in active classrooms

과함을 알 수 있다. 따라서, 국내·외 재실 음향 상태 측정 결과에서 소음 레벨은 적정 SNR≥15dBA 기준을 대부분 만족하지 못함을 알 수 있다. 국내 대학 강의실 음향실태조사에서 재실자에 의한 흡음으로 잔향시간이 줄어들고, 수업 활동에 의한 배경소음이 증가하여 음성 명료도 지표 값에 영향을 미침을 알 수 있다(Choi, 2016; Choi, 2020). 국내·외 교실 및 강의실의 재실 음향 상태 측정 결과, 수업 중 평균 음성 대 소음비(Speech to Noise Ratio, SNR)는 각각 7.9dBA와 11dBA로 명확한 언어 전달을 위한 적절한 음성 및 소음 레벨의 조성이 절실히 요구된다. 영국의 고등학교 수업 현장 음향실태조사에서는 재실자 유무에 따른 교실 내 평균 배경 소음 레벨은 각

각 35dBA와 64dBA로 약 30dBA 차이를 보였고, 공실의 배경소음과 잔향시간이 재실 시 소음 레벨을 최소화하는데 중요한 지표라고 보고하였다(Shield et al., 2015). 교육시설의 음향 기준으로 인해 학습 공간의 실내 음향 상태가 약 2배 개선되었다고 보고하였다. 이 같은 연구 결과는 국내 교육시설의 음향 기준 부재가 학생들의 학습 성취도에 충분히 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. Fig. 1에 교실의 공실 음향 상태가 재실자 및 학습 활동에 의해 재실 음향 상태에 미치는 영향을 요약하여 정리하였다.

국내 초·중·고 교실의 공실 음향 상태 측정 결과에 따르면 일부 공간의 잔향시간≤0.6s을 만족하고, 공조기 미가동 시 배경 소음≤37dBA를 만족하였다

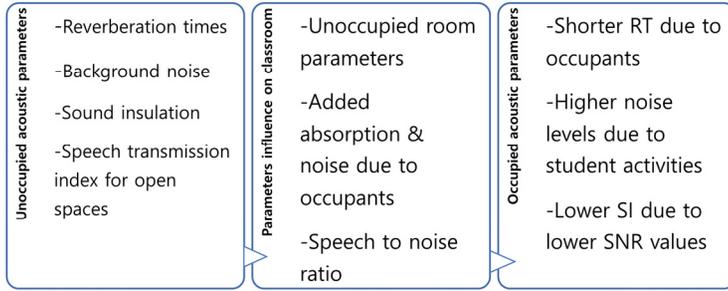


Fig. 1. Effects of Occupants and Classroom Activities on the Acoustical Conditions in Active Classrooms

(박찬재 외, 2014; 이성복 외, 2015). 실간 벽체의 차음성능 측정 결과 $STC \geq 50$ 를 만족하지 않으며, 국내 교육시설의 바닥 차음성능은 측정 결과가 전무하였다(류다정 외, 2017). 국내 교육시설의 음향 기준 부재로 인하여 상기에 기술한 측정 결과는 미국 기준(ANSI/ASA, 2010) 과 비교하여 만족 여부를 판단한 것이다. 국내 초·중·고 교실의 측정 결과는 공실 음향 상태 측정을 바탕으로 재실 음향 상태에 관한 결과가 부족하다(Choi, 2023). 따라서, 국내 교육시설의 재실 음향 실태 조사가 선행되어 그 결과를 바탕으로 한 음향 기준이 제시되어야 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 국내 초·중·고 및 대학교 학습공간의 재실 음향 상태를 조사하기 위해 수업 중인 교실 14개소 및 강의실 15개소 현장을 측정하였다. 총 57 곳 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨을 바탕으로 재실자 및 학습 활동유형에 따른 재실 음향 상태를 조사하였다. 국내 교실 및 강의실의 높은 음성 명료도 성취를 위한 재실 음향 조건을 현장 측정 결과를 바탕으로 분석하였다.

2. 수업 현장의 재실 음향 상태 측정

Table 2에 국내 초·중·고 및 대학교 29개 교실의 57곳 수업 현장에서의 음성 및 소음측정에 대한 제

원을 나타냈다. 학습 연령별로 대상 공간을 구분하여 2017년~2023년에 걸쳐 측정을 실시하였다. 국외 교실 음향성능 기준(ANSI/ASA, 2010; Department for Education, 2015) 은 체적 혹은 학습 활동별로 구분하여 제시하므로 대상 공간의 선정기준에 체적 $283m^3$ 이하, 이론 학습이 추가 되는 공간을 적용하였다. 따라서, Table 1에 요약된 비슷한 제원의 국외 교실 및 강의실에서의 수업 현장 측정결과와 비교가 가능하다. 초·중·고 및 특수학교의 교실 14곳의 평균 체적은 $122 \sim 169m^3$ 로 특수학교 교실의 체적이 가장 작았다. 이는 학급당 학생 수에 따른 영향으로 일반 학교 3곳의 교사를 포함한 평균 재실자 수는 27명($s.d.=3.2$ 명)인 반면 특수학교는 5명으로($s.d.=1.5$ 명) 약 5배 정도로 평균 재실자수의 차이에 의한 영향이다. 대학교 강의실 30곳의 평균 체적은 $247 \sim 257m^3$ 로 평균 재실자 수는 22~41명으로 착석률은 약 50~65%이다. 대학 강의 현장은 2017년과 2022년 팬데믹 전·후 각각 측정을 실시하여 착석률 50%는 팬데믹 시기의 좌석 간 거리두기에 따른 영향이다.

교실 및 강의실 내 실제 수업 현장의 모니터링에서 학습 활동은 크게 수업(Plenary), 그룹학습(Group Work), 개별학습(Individual Work), 그리고 시청각 자료를 활용한 학습(Watching Video)으로 구분되며, 때에 따라 단독 수업 혹은 활동을 병행하여 진행되었다. 수업은 교사가 수업 전반에 주도적으로 학

Table 2. Data on Speech and Noise Level Measurements in Korean Schools

Age	8~10	12~15	21~27	20~25
School	Elementary Special	Junior high High Special	University	University
No. of Classrooms	4	10	3	12
No. of Classes	6	21	15	15
Room Volume, m ³	169 (s.d.=22.5) 122 (-)*	165 (s.d.=2.3) 145 (s.d.=2.3)*	247 (s.d.=54)	257 (s.d.=58)
No. of Occupants (Including Talker)	23 (s.d.=2.0) 5 (-)*	28.8 (s.d.=1.6) 5.3 (s.d.=1.5)*	22 (s.d.=4)	41 (s.d.=12)
Occupancy, %	100	100	50	65
Classroom Activities	4 plenary 1 plenary+ group work 1 plenary+ watching video	17 plenary 1 plenary+ group work 1 plenary+ watching video 2 individual work	15 plenary	15 plenary
Time / Class	40 min	40~50 min	50 min	50 min
Mask on Talker	4 (67%)	8 (38%)	15 (100%)	0 (0%)
Measurement Periods	March-April, 2023	March-April, 2023	March-April, 2022	March-April, 2017

Note: * for special school

습지도를 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 학습 활동으로 선생은 학생활동을 돕는다. 마지막으로 교사가 수업의 이해를 돕기 위해 시청각 자료의 보조 도구를 활용하여 진행되는 수업으로 나뉜다. 초·중·고 및 특수학교에서는 단독 수업 혹은 3가지 활동을 병행한 방식으로 진행되었고, 반면 대학에서는 단독 수업 위주로 진행되었다. 학습 연령에 따라 수업 시간은 40~50분으로 차이를 보였다.

소음계(Tango Plus, Sinus) 2~4대를 1.2m 높이로 교실 전후반 좌석에 착석한 학생 귀 높이에 가깝



Fig. 2. Photos of Two Measurements Made in 2017 (Left) and 2022 (Right), Respectively, in a Same University Classroom During Lectures

게 위치시켰다. 교사 위치에서 약 2~8m 지점에 해당한다. 수업 현장 측정은 약 40~50분의 수업 시간을 측정하였고, 교사 목소리가 교실 내 주요 음원이었다. 수업 현장 측정이 팬데믹 전·후에 걸쳐 진행되어 수업 중 화자의 마스크 착용 비율이 대상 공간별로 0~100%로 상이하였다. 수업 현장 측정 중 교실 내 학습 활동에 의한 소음 이외에 복도, 인접실, 그리고 교사 내에서 유의한 소음 유입은 없었다. Fig. 2에

2017년과 2022년에 측정된 같은 대학교 강의실에서
서의 현장을 보여주고 있다.

3. 수업 현장의 음성 및 소음 레벨

3.1 학습 연령과 수업 활동에 따른 음성 및 소음 레벨의 비교

Table 3에 국내 초·중·고 및 대학교 29개 교실의
57곳 수업 현장에서의 평균 음성 레벨, 소음 레벨,
그리고 SNR값을 표준편차와 함께 학습 연령별로
나타냈다. Hodgson et al.(1999)이 제시한 통계 방
법을 적용하여 주파수대역별 250ms 레벨 값을 빈
도수 그래프로 도식화한다. 빈도수 그래프에 2개의
큰 피크점이 나타나는데, 높은 음압레벨의 최고점
이 음원 레벨이고 낮은 음압레벨의 최고점이 소음
레벨을 각각 나타낸다. 빈도수 그래프의 두 피크점
에 정규분포곡선을 피팅(Fitting)하여 각 피크점의
값으로부터 음원과 소음 레벨을 각각 도출할 수 있
다. 이 방법은 Table 1의 국외 초등학교와 국내외 대
학교 수업 현장에서 음성과 소음 레벨 측정 및 도출
에 사용되었다(Hodgson et al., 1999; Sato and
Bradley, 2008; Choi, 2020). 자세한 방법은 참고문
헌(Hodgson et al., 1999)에 기술되어 있다.

Table 3에 따르면, 학습 연령별로 평균 음성 및 소
음 레벨의 차이가 현저하게 나타났다. 학습 연령이
높아짐에 따라 수업 현장에서의 소음 레벨이 감소하
였고, 초등학생과 중·고등학생 혹은 대학생 간의 차
이는 약 6~12dBA로 크게 나타났다. 수업 현장에서

의 화자의 평균 음성 레벨도 학습 연령별로 큰 차이
를 보였는데 약 55~68.5dBA로 연령이 낮을수록 화
자의 음성 레벨이 높아짐을 알 수 있다. 성인 대학생
과 초등학생과의 차이는 약 13.5dBA로 대학의 일방
적인 강의형식의 수업방식과 달리 다양한 활동을 병
행하여 어린 학생들의 수업 참여를 유도하는 수업방
식의 차이에 따른 영향으로 유추된다. 특히, 초등학
교 수업 현장에서는 소음 레벨과 학습 활동 종류와
밀접한 관계를 보이며, 이 결과는 선행연구와 유사
하였다(Shield and Dockrell, 2004). Table 1에 요약
한 선행연구결과에 따르면 초·중·고등학교 수업 활
동 중에 발생하는 평균 소음 레벨(42~77dBA)이 대
학교에서 발생하는 소음 레벨(42~44dBA)보다 현
저히 높게 나타났다.

Table 3의 국내 대학 강의 현장에서의 측정 결과
에서 다소 차이를 보이는데 이는 팬데믹 전·후 각각
측정을 진행하여 강의실 내 물리적 음향 조건에 영
향을 주는 변수(재실자 수, 화자의 마스크 착용)에
의한 영향으로 유추된다. 특히, 팬데믹 기간 중 강의
실 내 화자의 마스크 착용으로 약 2dBA 낮은 음성 레
벨에도 불구하고 재실자 수의 감소로 낮은 소음 레
벨으로 인하여 약 4dBA 높은 SNR값을 나타냈다.

Fig. 3에 팬데믹 이후(2022, 2023년) 측정된 국내
초·중·고 및 대학교 17개 교실의 42곳 수업 현장에
서의 평균 (a) 음성 레벨, (b) 소음 레벨, 그리고 (c)
SNR값을 표준편차와 함께 학습 연령별로 도식화하
였다. Fig. 3(b)에 공실의 소음 레벨을 함께 도식화하

Table 3. Mean Speech Levels, Noise Levels, and Speech to Noise Ratios in 57 Active Classes (Values Where
Specifications Are Exceeded Are Highlighted in Bold Italic Font)

Parameters	Age			
	8-10	12-15	21-27	20-25
Speech Levels, dBA	68.5 (s.d.=6.0)	64.1 (s.d.=4.6)	54.9 (s.d.=5.4)	57.2 (s.d.=2.9)
Noise Levels, dBA	54.9 (s.d.=6.6)	48.6 (s.d.=5.4)	42.4 (s.d.=3.8)	48.8 (s.d.=2.1)
SNR, dBA	13.6 (s.d.=3.5)	15.5 (s.d.=3.3)	12.5 (s.d.=3.8)	8.4 (s.d.=2.7)

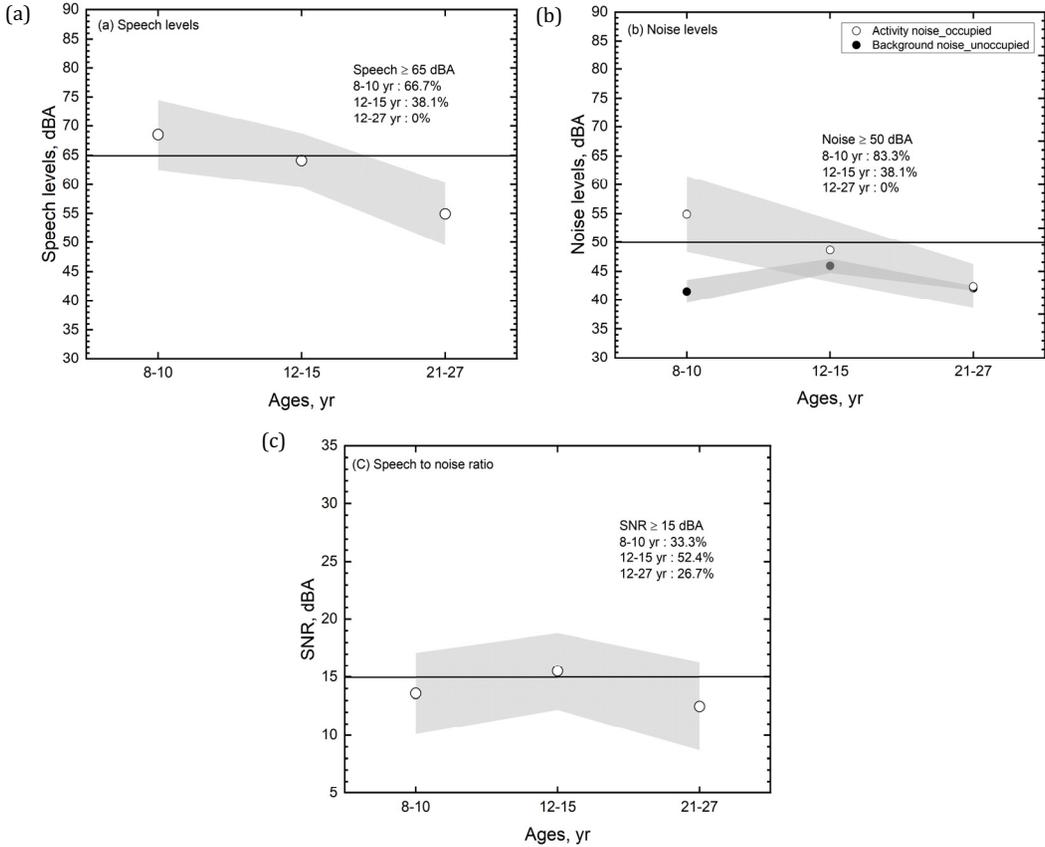


Fig. 3. Mean and Standard Deviations of (a) Speech Levels, (b) Noise Levels, and (c) SNR Values Averaged from Multiple Classes for 3 Different School Ages

였다. Fig. 3(a)에서 알 수 있듯이, 좌석에서의 음성 레벨이 65dBA 이상인 학습현장은 세 연령별 순으로 각각 66.7%, 38.1%, 그리고 0%로 나타났으며, 연령이 증가함에 따라 화자의 음성 레벨이 감소하였다. 이와 같은 결과는 소음 레벨에서도 동일하게 나타났다(Fig. 3(b)참조). 공실과 재실 상태의 교실 및 강의실의 소음 레벨도 학습 연령이 낮을수록 그 차이값이 약 15dBA로 크게 나타났다. 소음 레벨이 50dBA 이상인 경우는 세 연령별 각각 83.3%, 38.1%, 그리고 0%로 나타나 적정 SNR값의 구성에 영향을 미쳤다. 학습연령이 8~10세의 경우 SNR값이 15dBA 이상인 학습현장이 33.3%에 불과하였다.

Shield와 Dockrell(2004)은 영국 초등학교의 수

업 중 소음 레벨이 학습 활동과 높은 상관성이 있다고 보고하였다. 영국 초등학교 3~5학년(7~10세)의 수업 중 평균 음성과 소음 레벨은 각각 70.6dBL_{Aeq}과 52dBL_{A90}로 같은 학년에 해당하는 국내 초등학교 측정 결과와 음성 레벨이 유사하였다. Table 4의 결과에서 알 수 있듯이, 국내 초·중·고등학교 수업 현장에서 토론 등 그룹 활동을 병행한 수업에서 높은 소음 레벨을 나타냈으며 수업 중에 발생한 소음 레벨은 수업 활동 특성에 따라 변동이 있는 것으로 보인다. 초등학교 수업 중 그룹 활동을 하지 않은 수업(48dBA)과 실시한 수업(67dBA)의 소음 레벨 차이는 약 19dBA로 나타났다. 중학교 수업에서도 그룹 활동을 병행한 수업에서 소음 레벨이 약 10dBA 높

Table 4. Mean and Standards Deviations of Speech Levels, Noise Levels, and Speech to Noise Ratios Averaged over 27 Active Classes in Elementary, Junior High, High, and Special Schools for Different Classroom Activities

Parameters	Classroom activities			
	Plenary	Group Work	Individual Work	Watching Video
Speech Levels, dBA	65.1 (s.d.=4.5)	73.2 (s.d.=3.9)	57.8 (s.d.=4.8)	54.4 (s.d.=5.2)
Noise Levels, dBA	49.4 (s.d.=5.1)	62.9 (s.d.=6.0)	44.2 (s.d.=3.7)	50.0(s.d.=1.8)
SNR, dBA	15.7 (s.d.=3.3)	10.3 (s.d.=2.1)	13.7 (s.d.=1.1)	14.4 (s.d.=3.4)

게 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(44dB_A)을 보였다. 국내 초등학교에서 수업 활동 특성에 따른 소음 레벨 변화는 영국의 초등학교 수업에서도 비슷한 양상을 보이는데 6개 수업 활동에 따른 수업 중 소음 레벨의 최솟값과 최댓값은 각각 56dB_{Aeq}과 77dB_{Aeq}로 수업 활동 특성이 소음 레벨에 밀접한 관계를 보였다 (Shield and Dockrell, 2004).

27곳 수업 현장에서 수업 중 교사의 마스크 착용 유무에 따른 평균 음성 레벨은 각각 63.9dB_A와 67.1dB_A로 약 3dB_A 차이를 나타냈다. 초·중학교 11곳 수업 현장에서 약 5dB_A로 가장 크게 나타났으며, 반면 고등학교 수업현장 11곳에서는 1dB_A 미만으로 가장 작았다.

Fig. 4에 57곳 수업 현장의 음성 레벨에 대한 소음 레벨을 도식화하였다. 연령별로 각 수업 현장에서 좌석에서 학생들이 듣는 평균 음성 및 소음 레벨 값을 표식을 달리하여 표기하였다. 각 수업 현장의 음성 및 소음 레벨은 측정지점 2~4곳의 평균값이다. 전술하였듯이, Table 3의 결과에서 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨은 재실자의 연령과 학습 활동 유형에 영향을 받는 것으로 나타나 음성 레벨에 따른 소음 레벨의 상관관계를 분석하여 Fig. 4에 도식화하였다. Fig. 4에서 알 수 있듯이, 성인 대학생 30곳

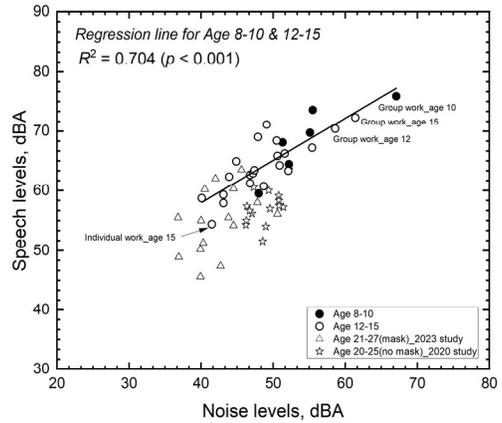


Fig. 4. Mean Speech Level Versus Noise Levels in 57 Active Classes

수업 현장의 평균 소음 레벨은 약 37~51dB_A로 최소 소음 레벨이 고등학생이 독서 혹은 조용하게 자습하거나 시험을 보는 수업 활동보다 약 4dB_A 낮았다. 중·고등학교 수업 현장에 비해 초등학교 수업 현장의 소음 레벨이 약 6~8dB_A 높지만 그룹 활동을 병행하는 수업의 경우 두 연령층에서 가장 소음 레벨이 높게 나타났다. 따라서, 재실자의 연령 뿐만 아니라 학습 활동 특성이 수업 현장의 소음 레벨에 영향을 주는 것으로 사료된다. 본 연구 결과는 영국 및 캐나다의 초등학교와 고등학교 수업 현장에서 나타난 결과와 유사하였다(Shield and Dockrell, 2004; Sato and Bradley, 2008; Shield et al., 2015). 특히, 초·중·고등학교 및 특수학교 27곳 수업 현장에서 음성 레벨과 소음 레벨은 유의한 선형 상관관계($R=$

0.839, $p < 0.001$)를 보이며 소음 레벨이 증가함에 따라 음성 레벨도 증가함을 알 수 있다. 선형 상관 관계식($y=0.71x+29.45$)에 따르면 수업 활동에 의한 교실 내 소음 레벨이 1dBa 높아지면 교사들의 음성 레벨이 약 0.71dBa 높아지는 것으로 나타났다. 대학교 강의 현장 30곳에서는 이와 같은 유의한 선형 상관 관계를 보이지 않았는데, 이는 연령별 수업방식의 차이에 따른 결과로 유추된다. 모든 57곳 수업 현장에서 공조기 가동시 허용소음레벨의 적정 권장기준 ≤ 37 dBa(ANSI/ASA, 2010)를 초과하는 것으로 나타나 공실 조건에서 교실 및 강의실 내 소음 레벨을 최소화하여 재실 조건에서 권장 SNR값의 조성이 가능하게 해야 한다.

3.2 국외 수업 현장의 재실 음향 상태와 비교

영국의 초등학교와 고등학교(Shield and Dockrell, 2004; Shield et al., 2015)에서 일반적인 수업 활동시 평균 음성 레벨은 65dB L_{Aeq} 으로 국내 초·중·고등학교 및 특수학교 수업 현장 27곳의 측정 결과와 유사하였다(65.1dBa). 핀란드 초등학교 수업 현장 29곳의 평균 음성 레벨은 69dB L_{Aeq} 로 국내 비슷한 연령의 초등학교 결과(68.5dBa)와 유사하였다(Sala and Ranrala, 2016). 반면, 평균 소음 레벨은 42dB L_{A90} 로 약 13dBa 낮았는데, 이는 상대적으로 조용한 공석시 소음 레벨(34.5dBa, 공조기 가동시) 때문이라 사료된다. 핀란드 초등학교 수업 현장 측정 결과에 따르면, 수업 중 소음 레벨과 공석시 소음 레벨이 유의한 선형적인 상관관계를 나타낸다고 보고하였으며 비슷한 결과가 영국의 고등학교 음향실태조사에서도 보고되었다(Shield et al., 2015; Sala and Ranrala, 2016). 따라서, 국내 초·중·고등학교 및 특수학교 교실의 공석시 평균 소음 레벨이 43.8dBa (s.d.=3.0)로 핀란드 초등학교의 소음 레벨보다 약 10dBa 높아 수업 현장의 재실 음향 상태에 영향을 미친 것으로 나타났다. 공실 소음 레벨은 모든 교실

에서 측정하지 않아 재실 소음 레벨과의 상관관계 분석에 한계가 있다.

한편, 캐나다의 초등학교 측정 결과와 비교해 음성과 소음 레벨(60.1dBa, 49.1dBa)이 각각 9dBa와 6dBa 높게 나타났는데, 이는 수업 시간 전체를 측정하지 않고 교사가 주로 수업하고 학생이 조용히 듣는 약 15~20분의 시간을 측정한 결과로 인한 것으로 유추된다(Sato and Bradley, 2008). 캐나다 초등학교의 수업 중 평균 음성 및 소음 레벨은 국내 초등학교의 가장 조용한 수업 현장(음원 레벨: 59.5dBa, 소음 레벨: 48dBa)과 유사하였다.

이태리의 고등학교 수업 현장 6곳의 평균 소음 레벨은 46.5~52.1dB L_{Aeq} 로 국내 고등학교 수업 현장 11곳의 평균 소음 레벨(41.5~61.4dBa)에 비해 현장별 소음 레벨의 편차가 작았다(Puglish et al., 2015). 재실 잔향시간과 수업 중 소음 레벨이 유의한 상관관계가 있다고 보고하였는데, 이와 유사한 결과가 국내 대학교 강의 현장의 측정 결과에서도 보고되었다. 재실 실내 음향과 소음 레벨이 음성 명료도 지표와 높은 상관성을 나타냈으며 재실 조건에서의 음향지표 측정이 이루어져야 한다(Choi, 2020).

4. 높은 음성 명료도 성취를 위한 재실 음향 조건

전술하였듯이, Table 3과 Fig. 2의 국내 초·중·고 및 대학교 수업 현장의 음향실태조사에 따르면 학습 연령별로 평균 음성 및 소음 레벨의 차이가 약 13dBa로 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 캐나다 초등학교 수업 현장에서도 유사하게 나타났는데, 초등학교의 경우 수업 활동에 의한 교실 내 소음 레벨은 학생들이 정숙한 상태보다 약 5~10dBa 증가한다고 보고하였다(Sato and Bradley, 2008). 반면, 국내 강의 현장에서는 성인 대학생의 경우 강의에 의한 소음 레벨이 학생들이 정숙한 상태보다 약

1~3.7dBa 증가하여 학습 연령이 높을수록 학습 활동에 의한 소음 레벨의 증가는 감소함을 알 수 있다 (Choi, 2020).

Table 3의 결과에서 국내 교육시설의 수업 현장의 평균 SNR값은 중·고등학교를 제외한 학교 수업 현장에서 권장 SNR값인 15dBA를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 초등학교를 대상으로 한 언어 명료도 평가 결과에 따르면 1, 3학년의 저학년 학생들의 경우 권장 SNR값 보다 3~5dBA 높은 값이 적절하다고 보고하였다(Bradley and Sato, 2008). 교실 음향에서 실내 음향과 소음 레벨은 음성 명료도 평가에 중요한 지표이며, 수업 현장의 좋은 음성 명료도 성취를 위해 높은 SNR값의 조성이 중요하다(Choi, 2020). 국내의 초·중·고등학교 수업 현장의 측정 결과를 바탕으로 평균 음성 레벨이 65dBA임을 가정할 때, $SNR \geq 15dBA$ 을 만족하기 위해서 최대 허용 소음 레벨은 50dBA 이하가 되어야 한다. Fig. 4의 국내 초·중·고등학교 수업 현장 27곳 중 약 48%(초등학교: 83%, 중·고등학교: 38%)가 이 기준을 만족하지 못한다.

국내 초·중·고등학교와 특수학교에서 공조기 가동 시 공실 조건의 평균 소음 레벨이 40.1~47.1dBA로 국외 최대 권장기준(37dBA 이하)을 3~10dBA 초과한다(ANSI/ASA, 2010). 공실 소음 레벨을 47dBA로 가정할 때, 수업 활동이 가미된 교실 내 소음 레벨은 약 53~57dBA로 예측되어 그 결과 SNR값은 8~12dBA로 산정된다. 평균 소음 레벨 44dBA를 적용하더라도 수업 활동 시 예측되는 소음 레벨은 약 50~54dBA로 수업 활동 특성에 따라 적정 SNR값 조성할 수 없을 수도 있다. 여기서, 평균 음성 레벨 65dBA는 교사의 목소리 레벨(Speech Source Level)이 아니라 수업 중 학생의 좌석에서 들리는 교사의 음성 레벨(Received Speech Level)임을 고려한다면, 실제 교사의 목소리 레벨은 65dBA보다 높으며 이는 화자가 음성을 높이거나 크게 소리 낼 때

(Raised or Loud) 해당한다(Olsen, 1998). 따라서, 교사가 음성 레벨을 무리하게 높이지 않아도 수업 시 적정 SNR값 조성이 가능한 방법은 공실 조건의 소음 레벨을 최소화하는 것이다. 공실 소음 레벨을 35dBA로 가정할 때, 수업 중 예측 소음 레벨은 42~45dBA로 SNR값은 20~23dBA로 산정되어 적정 최소기준을 5~8dBA 초과하여 초등학교 저학년 학생에도 적합한 SNR값의 조성이 가능하다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 교육시설의 실제 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨을 바탕으로 재실 음향실태를 조사하여 분석하였다. 국내 초·중·고 및 대학교 29개소 교실 및 강의실의 57곳 수업 현장에서의 평균 음성 및 소음 레벨 측정 결과에 의하면, 수업 중 재실 음향 상태는 재실자 및 학습 활동 변수에 따른 영향으로 재실자의 수와 나이가 증가할수록 수업 중 음성 및 소음 레벨이 증가하였고 이 결과는 국외 선행연구결과와 유사하였다(Hodgson et al., 1999; Shield and Dockrell, 2004; Sato and Bradley, 2008; Shield et al., 2015; Choi, 2016). 다만 현장 측정으로 인한 현실적인 제한조건으로 다양한 수업 및 학습 활동에 따른 영향을 구체적으로 분석하지 못하여 그 한계점이 있다.

교실 및 강의실의 실제 수업 현장에서 높은 음성 명료도 조성을 위해 공실 소음 레벨을 적정 기준 이하(공조기 가동 조건 37dBA 이하)로 최소화할 필요가 있다. 적정 SNR값 조성을 위해 공실 음향 조건이 중요하며 국내 교육 현장의 음향개선을 위해서 현재 부재중인 국내 교육시설 음향 기준 제정이 필수적이다(Choi, 2023). 향후 국내 교육시설의 재실 음향 지표 측정이 병행되어 공실과 재실 음향 상태 분석이 실시되어야 한다.

참고문헌

1. 류다정·박찬재·한찬훈(2017), “현장실험을 통한 학교교실의 벽체 차음성능 및 측로전달소음 조사”, 「한국음향학회지」, 36(5): 329~337.
2. 박찬재·류다정·경주영·한찬훈(2014), “국내 학교교실의 실내음향성능 실태조사”, 「한국음향학회지」, 33(5): 316~325
3. 이성복·김명준·양홍석(2015), “초등학교 일반교실의 음향성능 실태측정 및 평가지표 특성 고찰”, 「한국소음진동공학회 논문집」, 25(7): 462~469.
4. American National Standard Institute/Acoustical Society of America (ANSI/ASA) (2010), “Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools: Part 1, Permanent Schools”.
5. Bradley, J. S. (1986), “Speech Intelligibility Studies in Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.* 80(3): 846~854.
6. Bradley, J. S. and H. Sato (2008), “The Intelligibility of Speech in Elementary School Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 123(4): 2078~2086.
7. Choi, Y. J. (2016), “Effects of Occupancy on Acoustical Conditions in University Classrooms”, *Appl. Acoust.*, 114(12): 36~43.
8. Choi, Y. J. (2020), “Evaluation of Acoustical Conditions for Speech Communication in Active University Classrooms”, *Appl. Acoust.*, 159: 107089.
9. Choi, Y. J. (2023), “Towards Better Acoustic Conditions in School Buildings in Korea: A Need for Korean Standard for Classroom Acoustics”, *J. Acoust. Soc. Kr.*, 42(2): 113~123.
10. Department for Education (2015), “Building Bulletin 93-Acoustic Design of Schools: Performance Standards”.
11. Hodgson, M. (1999), “Experimental Investigation of the Acoustical Characteristics of University Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 106(4): 1810~1819.
12. Hodgson, M., R. Rempel and S. Kennedy (1999), “Measurement and Prediction of Typical Speech and Background Noise Levels in University Classrooms during Lectures”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 105(1): 226~233.
13. Olsen, W. O. (1998), “Average Speech Levels and Spectra in Various Speaking and Listening Conditions: A Summary of Pearsons, Bennett, and Fidell (1977) Report”, *J. of Audiol.*, 7(2): 1~5.
14. Puglish, G. E., L. C. Cantor Cutiva, L. Pavese, A. Castellana, M. Bona, S. Fasolis, V. Lolorenza, A. Carullo, A. Burdorf and A. Astolfi (2015), “Acoustic Comfort in High-School Classrooms for Students and Teachers”, *Energy Procedia*, 78: 3096~3101.
15. Sala, E. and L. Ranrala (2016), “Acoustics and Activity Noise in School Classrooms in Finland”, *Appl. Acoust.*, 114(12): 252~259.
16. Sato, H. and J. S. Bradley (2008), “Evaluation of Acoustical Conditions for Speech Communication in Working Elementary School Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 123(4): 2064~2077.
17. Shield, B. and J. Dockrell (2004), “External and Internal Noise Surveys of London Primary Schools”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 115(2): 730~738.
18. Shield, B., R. Conetta, J. Dockrell, D. Connolly, T. Cox and C. Mydlarz (2015), “A Survey of Acoustic Conditions and Noise Levels in Secondary School Classrooms in England”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 137(1): 177~188.

요약

본 연구에서는 국내 초·중·고 및 대학교 학습공간의 재실 음향 상태를 조사하기 위해 수업 중인 교실 및 강의실 29개 현장을 측정하였다. 총 57곳 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨을 바탕으로 재실자 및 학습 활동유형에 따른 재실 음향 상태를 조사하였다. 학습 연령이 높아질수록 수업 현장에서의 소음 레벨은 약 6~12dBA 감소하였다. 그리고, 학습 활동 특성이 수업 현장의 소음 레벨에 영향을 주는 것으로 나타났다. 국내 교실 및 강의실의 높은 음성 명료도 성취를 위해 공실 조건에서 교실 및 강의실 내 소음 레벨을 최소화하여 재실 조건에서 권장 SNR값의 조성이 가능하게 해야 한다.

주제어: 음향상태, 수업 현장, 음성 레벨, 소음 레벨, 음성대 소음비