

초등학교 저학년 교실의 실내음향성능 실태조사

Investigation of the Acoustic Performance of Lower Grade Elementary School Classrooms

조 아 현* 박 찬 재** 한 찬 훈***
Jo, A-Hyeon Park, Chan-Jae Haan, Chan-Hoon

Abstract

Speech information of teachers is transmitted to students in classrooms so that appropriate aural environment should be provided for academic purposes. Many researches have been undertaken for classroom acoustics, and acoustic standards of domestic classrooms were suggested based on the reverberation time and background noise level. However, these standards are suitable for middle and high schools and so not consider the auditory ability by ages. As a precedent research, the present study was begun to suggest an acoustic standard for lower grade elementary school classrooms with children under age 9 who have not normal auditory ability. In order to do this, acoustic performances of the lower grade classrooms were measured and compared with the general classrooms. Also, change of acoustic parameters depending on the desk layout was measured and analyzed. The measured acoustic parameters were background noise, signal to noise ratio, RT, STI, D_{50} , and IACC. As a result, it was found that background noise is exceed the standard of 35dB(A) at the schools along the road sides. Also, it was shown that most of acoustic parameters are higher in the classrooms built recently rather than the old classrooms. Generally, there are not much difference of acoustic parameters among the various desk layouts but, better acoustic performances are acquired at the center line and the seats near sound source. Also, Higher IACC was measured at the seats on the center line facing the source squarely.

키워드 : 초등학교, 저학년 교실, 배경소음, 신호대잡음비, 잔향시간, 음성전달지수, 음성명료도, IACC

Keywords : Elementary school, Lower Grade Classroom, Background noise level, Signal to noise ratio, RT, STI, D_{50} , IACC

1. 서론

교실은 교사의 음성을 통해 전달된 정보로 학생들이 학습하는 공간으로, 학생들이 보다 안정적이고 정확한 발음을 전달받기 위해 교실은 음성전달에 바람직한 청취환경을 갖추어야 한다. 교실의 적절한 음향적 특성을 결정짓는 요소 중 잔향시간

(Reverberation Time, RT)과 배경소음, 음성명료도(D_{50} , STI) 등이 음성전달에 영향을 미치는 대표적인 물리적 음향인자로, 이러한 음향지표를 바탕으로 한 많은 연구들이 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다.

해외에서는 빈 교실의 배경소음이 학생들의 학업성취도에 영향을 미친다는 연구결과가 발표된 바 있으며¹⁾ 교실의 음성명료도 또한 학업성취도에 영향을 미치는 중요한 음향인자로 손꼽히고 있다.²⁾ 이 밖에도 저학년 학생의 경우 청각정보와 시각정보를 조합해 학습정보를 이해하기 때문에 음성의 전달성이 학습정보의 이해에 큰 영향을 줄 수 있음을 밝혀낸 바 있다.³⁾ 교실의 물리적 음향성능이 중요하게 여겨지는 미국과 영

* M.Arch Candidate, Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National Univ., Korea

** Ph.D. Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National Univ., Korea

*** Professor, Ph.D., Dept. of Architectural Engineering, Chungbuk National Univ., Korea

Corresponding Author, Tel: 82-43-261-2438, e-mail: chhaan@chungbuk.ac.kr

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2020R1A2C2009963)

1) A. L. Bronzaft, The effect of a noise abatement program on reading ability, J. Envir. Psych. 1, 215-222, 1981

2) J. S. Bradley, Relationships among measures of speech intelligibility in rooms, J. Aud. Eng. Soc. 46, 396-404, 1998

3) K. P. Roy, Green rating systems and classroom acoustic

Table 1. The acoustic performance standards for the classroom in USA (unoccupied).^[4]

Classroom size (volume)	Background noise level	RT(s)
Less than 283m ³	35dB(A)/55dB(C)	< 0.6
283m ³ - 566m ³	35dB(A)/55dB(C)	< 0.7
More than 566m ³	40dB(A)/60dB(C)	no requirement

Table 2. The acoustic performance standards for the classroom in UK (unoccupied).^[5]

Classroom type	Background noise level	RT(s)
Elementary school	35dB(A)	< 0.6
Middle school	35dB(A)	< 0.8
Open-plan classroom	40dB(A)	< 0.8

Table 3. The suggested acoustic performance standards for the classroom in Korea (unoccupied).^[7]

Target	Background noise level	RT(s)
Middle and high school (below 220m ²)	< 35 dB(A)	< 0.8 s

국에서는 교실의 용도와 규모 등 세부적인 조건에 따라 교실의 음향성능 기준 4) 5)을 설정해 운영하고 있으며 그 세부내용은 Table 1과 Table 2에 명시된 바와 같다. 대한민국의 경우 교실의 음환경에 대한 다양한 연구가 수행되어 왔지만 음향성능에 대한 적합성을 평가함에 있어서 위의 미국 및 영국의 음향성능 기준을 활용해왔다. 그러나 이것은 영어를 모국어로 사용하는 학생을 대상으로 진행한 연구결과를 바탕으로 수립된 것으로 한국어를 사용하는 국내 연구에 적용하는 데 한계가 있다.

대한민국에서도 한국어를 이용한 교실의 음환경을 바탕으로 다양한 연구가 진행되고 있다. 동일한 공간에서 영어와 중국어, 한국어의 언어의 발음 특성에 따라 음성요해도에 영향을 미치는 요인이 각기 달랐으므로 교실 설계 시 언어의 발음 특성에 적합한 음환경 기준을 설정해야 함을 제안한 바 있다.⁶⁾ 최근에는 대한민국에서도 한국어에 적합한 교실의 음향환경을 정의하고자 하는 방향으로 연구가 진행되어 왔으며, 실제 교실

의 음향실태 결과와 한국어 음성명료도 평가결과를 바탕으로 Table 3에 나타난 바와 같이 한국어를 사용하는 중·고등학교에 적용할 수 있는 실내 배경소음 및 잔향시간에 대한 기준안을 제시하였다.⁷⁾ 또한 한국 교실에서 교사의 음성을 듣기 위한 소음의 영향을 파악하기 위해 다양한 신호대잡음비에 따른 한국어의 주관적 음성명료도를 평가하였다.⁸⁾ 이밖에도 교실 내 흡음재의 설치 위치에 따라 양이간음량차(ILD, inter-aural level difference)가 커질 수 있으며 이것이 음성명료도를 저하시키는 요인이 된다는 연구⁹⁾ 또한 진행되었다.

이러한 연구들로 인해 한국 교실에 대한 실내음향성능의 기준안과 교사 내 소음을 제한할 수 있는 시행규칙이 제시되었지만 이는 건청인 성인을 기준으로 수립되었으며 연령에 따른 청력의 편차를 고려하지 않고 있다. 또한 대부분의 연구가 대상 연령을 명확히 하지 않거나 12세 이상 중·고등학교 일반교실의 적절한 음환경에 대해 다루고 있어서 청취 능력이 성인과 다른 초등학교 저학년 학생을 수용하기 위한 교실에는 적용하기 어렵다. 특히, 청력이 불완전한 만 9세 이하의 초등학교 저학년 교실에 대한 바람직한 음환경 기준이 설정되어 있지 않으며, 이에 대한 연구 또한 수행된 바가 없다.

앞서 언급된 만 9세 이하의 어린이는 초등학교 1학년부터 3학년에 속해 있으며 일반적으로 초등학교 저학년이라고 통칭한다. 만 9세 이하의 초등학교 저학년 학생들은 성인 건청인에 비해 청력이 아직 완전히 발달되지 않았으며 음성정도 등을 인지할 수 있는 능력이 달라 이를 고려한 청취환경이 갖추어져야 한다. HINT(Hearing-in-Noise-Test) 실험 결과 소음환경에서 성인과 동일한 음성인지능을 갖게 되는 나이는 만 14세 이상이며 그 이하인 초등학교 저학년일수록 인지능이 현저히 떨어지는 것을 Nilsson 등의 연구결과¹⁰⁾를 통해 확인해 볼 수 있다. 또한 명료도 지수(AI, articulation index)가 낮아질수록 음성명료도 평가(speech intelligibility test) 점수가 낮아지

design, ICA 2010: 20th International Congress on Acoustics 20, 1-6, 2010

4) ANSI/ASA S12.60, Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools - Part 1 : Permanent Schools, American National Standard, 10, 2010.

5) Building Bulletin 93, Acoustic Design of Schools, The Department for Education and Skills, U.K. 2011.

6) Ding Wei, Park, Chan-Jae and Haan, Chan-Hoon, Comparison of the Korean and Chinese speech intelligibility with increasing sound absorption in a classroom (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. 31, 129-141, 2012

7) Park, Chan-Jae, Establishment of the Acoustical Performance Criteria for Middle and High School Classrooms in Korean, Ph.D. thesis, Chungbuk National University, 2014

8) Park, Chan-Jae, Jo, Sung-Min and Haan, Chan-Hoon, Influence of SNR difference on the Korean speech intelligibility in classrooms (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. 38, 651-660, 2019

9) Park, Chan-Jae and Haan, Chan-Hoon, Effect of the Inter-aural Level Differences on the Speech Intelligibility Depending on the Room Absorption in Classrooms, J. Acoust. Soc. Kr. 32, 335-345, 2013

10) M. Nilsson, S. D. Soli, and J. A. Sullivan, "Development of the hearing In noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise," J. Acoust. Soc. Am. 95, 1085-1099, 1994

Table 4. Construction type of school and architectural dimensions of the classrooms used in the present work

Classification	Construction year	Architectural dimension of the classroom						Grade of classroom
		Length(L)	Width(W)	Height(H)	Floor area(F)	Volume(V)	Ratio(L:W)	
N	1999	9.4 m	7.8 m	2.8 m	73.0 m ²	206.6 m ³	1:0.834	Grade 2
K1	1983	8.3 m	7.5 m	2.6 m	62.3 m ²	160.0 m ³	1:0.904	English Classroom
K2	1983	8.8 m	7.0 m	2.9 m	62.0 m ²	177.9 m ³	1:0.793	Grade 1
C*	1981	8.8 m	7.0 m	2.9 m	61.6 m ²	178.6 m ³	1:0.795	Grade 2
S*	2007	8.4 m	7.4 m	2.6 m	62.2 m ²	161.6 m ³	1:0.881	Grade 2
H*	2008	8.2 m	7.7 m	2.6 m	63.1 m ²	164.2 m ³	1:0.939	Grade 1

* C, S, H : Analysis of the Acoustic Performance of Classrooms in Korea [12]

Table 5. Classroom internal materials

Surface	Finishing material	NRC	
Ceiling	Mineral tex board	0.518	
Wall	Concrete on Paint	0.015	
Floor	Concrete	0.015	
etc,	Window	Glass	0.038
		Metal	0.075
	Door	Solid wooden door	0.085
	Blackboard	Blackboard	0.083
	Lecture Desk	Wood Paneling	0.083
	Desk	Wood Paneling	0.083
		Metal	0.075
	Chair	Wood Paneling	0.083
		Metal	0.075
	Locker	Wood Paneling	0.083

는 현상은 나이가 적을수록 영향이 커지며 7세 아동의 경우 전혀 인지하지 못하는 수준으로 저해된다는 연구결과¹¹⁾가 발표된 바 있다. 이를 바탕으로 같은 소리일지라도 나이가 어린 아동들은 성인과 다르게 청각 자료를 인지한다는 결과를 도출한다. 따라서 아직 청력이 완전하지 않은 초등학교 저학년 학생을 대상으로 한 적절한 교실의 청취환경 기준설정에 대한 연구가 진행되어야 한다.

초등학교 저학년 교실의 적절한 음환경 기준 설정에 있어서 우선적으로 초등학교 저학년 교실 음환경의 음성명료도 결정요인을 분석, 정립해야 하며 이를 위해서는 국내 초등학교 저학년 교실의 실내음향성능에 대한 실태를 파악하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 국내 초등학교 저학년 교실의 실내음향성능 실태를 조사하기 위해 충청북도에 소재한 초등학교의 건립연도 및 시공형태를 구분하여 조사대상 학교를 선정된 뒤 음향

실험을 통해 실내음향성능을 측정하여 건립연도에 따라 국내 교실의 음향성능을 비교 분석하였다. 또한 초등학교 저학년 교실에서 사용되고 있는 교구배치를 조사한 후 가장 많이 사용되고 있는 교구배치를 선정하여 실내음향성능을 측정하고 비교함으로써 현재 초등학교 저학년 교실의 청취환경 현황을 분석하였다. 이는 청력 비완전자들을 위한 교실의 실내음향성능에 영향을 주는 요인을 알아보는 데 활용하고자 한다.

2. 연구의 방법

2.1 실험대상의 선정

9세 이하 학생들이 사용하고 있는 국내 초등학교 저학년 교실의 청취환경 실태를 파악하기 위해 충청북도 소재 2개 초등학교의 저학년 교실을 선택해 실내음향성능을 측정하였다.

교실의 음향성능은 공간의 크기 및 교구, 실내마감재 등에 의해 결정된다. 그중에서도 어떤 공간의 음향성능을 대표하는 물리적 인자인 잔향시간은 실의 체적과 마감재의 흡음력에 의해 결정되며 이로 인해 음성명료도(D50)와 음성전달지수(STI) 또한 변화하게 된다. 따라서 교실의 바닥면적 및 높이, 체적은 교실의 음환경을 결정하는 중요한 요소로 작용하게 되는 것이다.

대한민국의 경우 1960년대 교육시설의 평준화, 경제성, 행정 절차의 간소화 등을 위해 학교 신축에 적용한 표준설계도서의 영향으로 현재까지도 일반 학습교실의 바닥면적 및 높이, 체적과 같은 건축적 제원은 어느 정도 규격화 되어있다. 청주시 소재 초등학교 중 1971년부터 2008년까지 설립된 10개 초등학교의 규모를 건립연도, 시공형태, 용도 등에 따라 조사한 결과에 따르면 교실의 평균 실내 치수는 가로 7.4 m, 세로 8.5 m, 높이 2.6m로 나타났으며 실내마감재료 또한 유사한 경향을 보이고 있다.⁷⁾

따라서 실험대상 선정에 있어서 준공연도, 설립방식, 교실의 형태 및 용도, 실내마감재 등을 고려하였다. 이때 청주시 10개

11) B. B. Peggy, D. S. Sigfrid, and S. Anne, "Classroom Acoustics II : acoustical barriers to learning", Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America, 2002

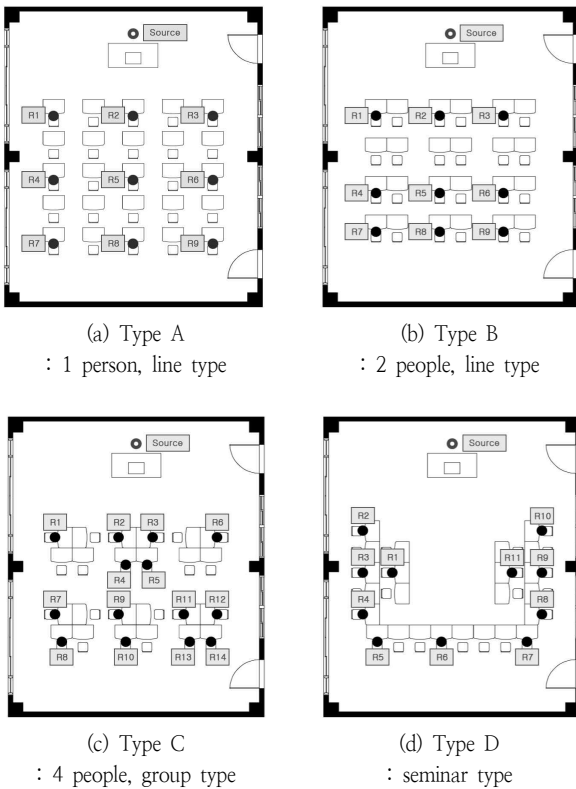


Figure 1. Sound source and receiving positions of 4types of arrangements

초등학교의 평균 실내 치수와 마감재 종류를 비교해 일반적인 초등학교 저학년 교실을 대표할 수 있는 학교를 선정하였다. 본 연구의 대상으로 선정된 학교는 N학교와 K학교 두 곳으로 저학년 교실 중 N 학교에서는 1개소의 교실을, K 학교에서는 2개소의 교실을 선정하여 총 3개소 교실의 측정 대상으로 선정하였다. 또한 건물의 건립연도에 따른 실내음향성능의 차이를 알아보기 위해 기존에 연구된 충청북도 청주시 소재 학교 음향성능 실태조사의 초등학교 저학년 교실 세 군데 C, S, H의 측정 결과¹²⁾를 추가로 사용하여 총 5개 학교 6개의 교실을 비교하였다. Table 4는 본 연구에서 선정한 실험대상 학교 5곳과 6개 교실의 제원을 나타내고 있으며, Table 5는 대상 학교의 실내마감재 종류와 흡음률(NRC)을 정리해 보여주고 있다.

2.3 교실의 실내음향성능 측정

충청북도 소재 저학년 교실의 음향성능 실태를 파악하기 위해 충청북도 소재의 N과 K의 초등학교에서 3개소의 저학년 교실을 선정하여 빈 교실의 실내음향인자를 측정하였다. 실험

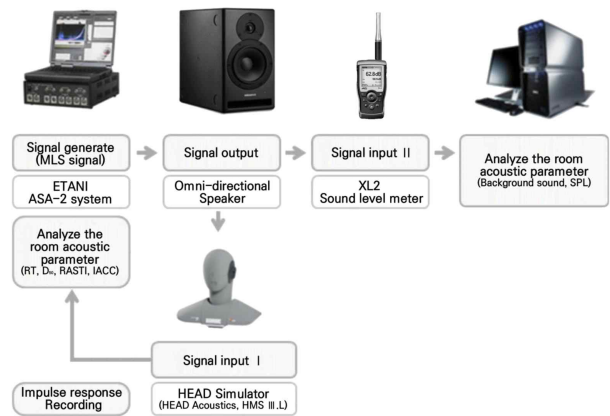


Figure 2. Setup of acoustic parameter measurement devices

은 2020년 6월 17일부터 9월 20일 사이에 진행되었으며 외부 소음에 의한 영향을 배제하기 위하여 실험시간은 오전 9시에 오후 6시 중 학생이 없는 시간대를 선택해 진행하였다. 모든 실험은 KS F 2864를 준수하여 실행하였으며, 재실자의 의복 및 소음 등에 의한 변수를 최소화하기 위해 모든 실험은 공식 시를 기준으로 측정되었다.

교실 내의 음향성능 파악을 위해 배경소음, 잔향시간(RT), 신호대잡음비(SNR), 음성명료도(D_{50}), 음성전달지수(STI)를 측정하였으며 빈 교실의 배경소음이 학생의 성적에 영향을 미친다는 기존의 연구 결과에 따라 배경소음을 포함하여 음향성능을 파악하기 위한 모든 인자의 측정은 학생이 없는 공식 상태에서 진행되었다.

실험 시 외부 측 창문과 복도 측 창문은 모두 닫고 실험하였으며 책상배치는 기본 배치인 1인 일자형 배치로 진행하였다. 평면상의 배경소음 측정 위치는 외부 소음 유입에 의한 위치별 배경소음의 차이를 파악하기 위해 외부 창가 및 중앙에 각 1개 소씩 설정하였고 배경소음 외의 실내음향 인자 측정 위치는 교실의 9개소에 고르게 배치하였다. 또한 초등학교 저학년이 의자에 착석했을 때의 귀의 높이를 재현하기 위해 바닥으로부터 1m의 높이로 설정하였다. 수음점의 설치위치는 Figure 1의 (a)에 나타나있으며 실험 장비는 Figure 2에서 볼 수 있다.

기존 연구결과에 따르면 교사의 음성레벨은 발성의 중심인 입을 기준으로 방향에 따라 크기가 각기 달라지며 일반적으로 30° 마다 약 2dB(A)이 감소하는 것으로 알려져 있다.¹³⁾ 따라서 본 연구에서는 교사의 발성 방향에 의한 영향을 포함하기 위하여 음원으로 지향성 스피커를 사용하였다. 평면상 음원의 위치는 교사가 주로 수업을 진행하는 칠판 앞 강단 중앙에 설

12) Park, Chan-Jae, Ryu, Da-Jung, Kyoung, Ju-Young and Haan, Chan-Hoon, Analysis of the Acoustic Performance of Classrooms in Korea (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. 33, 316-325, 2014

13) M. D. Egan, Architectural Acoustics (J. Ross Pub, Plantation), pp. 325, 2007

치하였으며, 입면상의 위치로는 바닥으로부터 1.5m 높이로 일반적인 성인의 표준 입 위치에 스피커의 중앙이 도달하도록 설치하였다.

2.2 교구배치에 따른 실내음향성능 측정

학습공간의 형태 및 가구의 배치에 따라 공간의 음성전달 성능이 변화하게 되는 점에 착안해 청력비완전자인 초등학교 저학년이 이용하는 청취공간에서 교구배치 현황을 조사하였다. 1인 일자형 배치, 2인 일자형 배치, 4인 모듬형 배치, V자형 배치, 토론형 배치, 세미나형 배치, 분산형 배치, 피라미드 배치, 방사형 배치 등에서 가장 많이 사용되고 있는 교구배치에 대한 조사를 실시하였고 그중 가장 많이 사용되고 있는 교구배치인 1인 일자형 배치, 2인 일자형 배치, 4인 모듬형 배치, 세미나형 배치 총 4가지를 실험 대상으로 선정하였다. 본 연구의 범위로서 초등학교에서 가장 많이 사용되고 있는 교구의 배치 형태는 Figure 1에 나타난 바와 같다.

이렇게 설정된 4가지 각 교구배치에서 교실의 각 위치별 음향성능을 파악하기 위해 음압레벨(SPL), 신호대잡음비(SNR), 잔향시간(RT), 음성명료도(D₅₀), 음성전달지수(STI)를 측정하였으며 각 교구배치별로 음원을 바라보는 방향에 따른 음향성능 차이를 파악하기 위해 양이간상호상관도(IACC)를 측정하였다.

수음점은 약 9개~14개소로 고르게 배치하였으며 수음점의 높이는 초등학교 저학년이 의자에 착석하였을 때의 귀의 높이인 1.0m로 설정하였다. 교구배치별 수음점의 위치는 Figure 1에 나타나 있다. 음원 또한 마찬가지로 지향형 스피커를 칠판 앞 강단 중앙에 바닥으로부터 1.5m 높이에 설치하였다.

3. 학교별 실내음향성능 측정 결과

본 논문은 저학년 교실의 음향 성능 기준을 세우기 위해 필요한 선행논문으로, 현재 제시되어있는 저학년 교실의 음향 설계 기준이 없다. 따라서 측정된 실내음향성능을 분석함에 있어서 국내 중·고등학교 실내음향성능 기준(안)을 바탕으로 그 적합성을 평가하였다. 본 논문에서 사용된 국내의 기준은 Table 3에 정리되어 있다.

3.1 배경소음

음원에 의한 어떠한 소리도 발생하지 않았을 때 공간이 가지고 있는 고유한 소음환경을 배경소음이라고 한다. 지나치게 큰 배경소음은 음성의 인지를 저해하는 요소로 작용한다. 따라서 공간의 성격에 따른 적절한 배경소음의 제어가 필요하며,

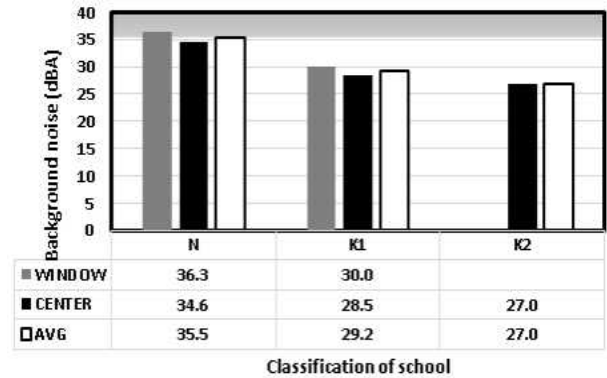


Figure 3. Comparison of background noise level results in the classrooms by school (unoccupied)

Table 1, 2의 미국과 영국에서는 학교의 배경소음에 대한 권장치를 설정하여 제안하고 있다. 또한 한국 중·고등학교 교실의 실내음향 성능 기준 연구에 따르면 국내 빈 교실의 배경소음 기준은 최대 한계치 35dB(A)을 기준으로 삼고 있다.

배경소음은 측정대상 학교인 N, K 초등학교 교실에서 최소 3회 이상 측정한 뒤 평균화하였다. N과 K1 교실은 창가와 교실의 중앙에서 배경소음을 측정하였고 K2 교실은 교실의 중앙에서 측정하였다. 국내 배경소음의 최대 한계치인 35dB(A)를 초과하는 범위를 Figure 3에 회색 음영으로 표시하여 교실별 배경소음 기준의 초과여부를 파악하기 쉽게 하였다.

N 초등학교 교실의 창가결과 평균값을 제외한 모든 결과는 국내 중·고등학교 배경소음 기준인 35dB(A)을 넘지 않는다. 이는 교실 앞에 도로가 존재하지 않는 K 초등학교에 비해 N 초등학교 교실 앞에는 도로가 존재하여 교통소음의 발생레벨이 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 N 초등학교는 학기 중에 실험을 진행한 반면, K 초등학교는 방학 중에 실험을 진행하여 학생들의 유무에 따라 나타난 차이라고 판단할 수 있다. 한편 중앙열에서 측정한 배경소음은 모든 교실에서 35dB(A) 이하로 기준을 만족하고 있었지만 K1 교실과 K2 교실에서 차이가 나는 이유는 K1 교실 측정 시 주변에서 공사가 진행중이었기 때문에 K2 교실보다 약 1.5dB(A) 높게 측정되었다고 판단된다.

N 교실 배경소음 평균값은 35.5dB(A)이고, K1 교실은 29.2dB(A)로 N 초등학교 교실의 소음환경이 K 초등학교에 비해 좋지 못한 결과를 나타낸다. 이는 앞서 말했던 것과 같이 N 학교는 교사와 도로의 위치상 거리가 비교적 가깝지만, K 교사는 도로와 교실 사이에 다른 교사의 건물이 존재하여 거리감쇠 및 소음 차단이 되어 교실 내로 유입되는 소음의 양이 적어진 것으로 판단되며, 또한 방학과 학기 중의 차이로 인한 학생들의 유무의 영향을 받았다고 판단된다.

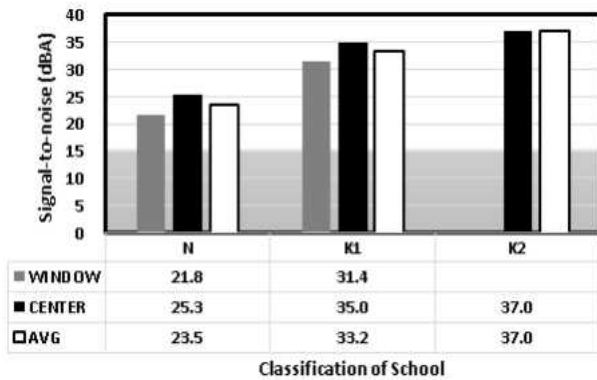


Figure 4. Comparison of signal-to-noise ratio in the classrooms by school (unoccupied)

3.2 신호대잡음비 (SNR)

신호대잡음비(Signal to Noise Ratio)는 화자에 의한 신호음이 청자에게 미치는 동안 소음을 통해 발생하는 명료도의 저해 정도를 평가하는 음향인자이다. 즉 신호음과 배경소음 간의 음량 차이를 나타내는 음향인자로서 신호대잡음비는 소음의 정도에 따라 양수와 음수로 나타나게 되는데, 신호음의 크기가 소음보다 클 경우 양수로 나타나게 된다. 또한 신호대잡음비가 15 dB 이상일 경우 소음에 의한 음성명료도 저하 현상을 어느 정도 보완할 수 있다는 연구결과¹⁴⁾가 일찍이 제시되었다.

신호대잡음비를 산출해내기 위한 신호음의 출력값은 교사의 음성 레벨인 70dB로 설정하였으며, 신호대잡음비가 15dB(A)를 초과하는 범위를 Figure 4에 회색 음영으로 표시하여 교실별 신호대잡음비 기준의 초과여부를 파악하기 쉽게 하였다.

측정 결과는 Figure 4에 나타나 있으며 3개 교실 모두 15dB 이상을 만족하고 있다. 그러나 N 초등학교 교실은 K 초등학교보다 SNR 값이 다소 작는데, 이는 N 초등학교가 K 초등학교보다 교사의 음성이 배경소음으로부터 방해받을 수 있음을 나타낸다.

두 초등학교 교실 모두 창가열에서 낮은 값을 보이며 창가열보다 중앙열이 높은 값을 가진다. 이는 외부 창가열에 앉은 학생들이 외부 소음에 의해 교사의 음성 전달로부터 가장 많이 방해받고 있음을 말하며, 창문 또는 문과 같은 개구부와 가장 거리가 멀고 교사의 음성과 일직선상에 있는 중앙열이 외부소음으로부터 방해를 제일 적게 받고 있음을 나타낸다.

3.3 잔향시간 (RT)

본 연구에서 초등학교 저학년 교실의 물리적 음향 성능을

14) T. Houtgast, The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms, Applied Acoustics, 14, 15-25, 1981

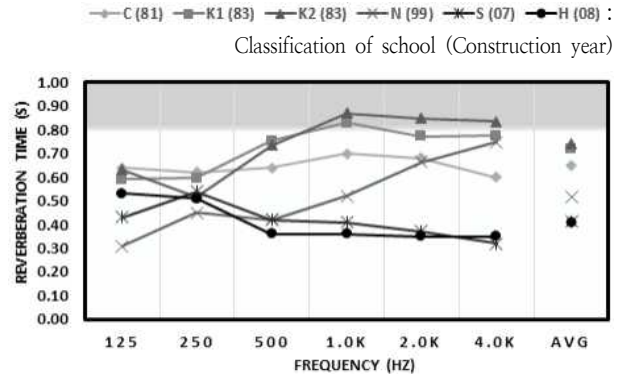


Figure 5. Comparison of reverberation time (T_{30}) in the classrooms by school

파악하기 위해 측정된 N, K 초등학교의 총 3개 교실과 기존에 연구된 충청북도 소재 학교 3군데의 데이터를 추가하여, 총 6개 교실의 잔향시간 및 음성명료도, 음성전달지수를 비교하였으며 6개 교실 제원은 Table 4에 나타나 있다.

잔향시간은 공간의 음향을 평가하는 일반적인 기본적인 음향인자로, 음이 방사된 이후 음에너지가 60dB 감소하는 데 걸리는 시간을 말한다. 쉽게 말해 음원이 정지된 후에도 실내에 음이 나는 현상을 잔향이라 한다. 한국 중·고등학교 교실의 실내음향 성능 기준 연구에 따르면 국내 중·고등학교 잔향시간 기준은 0.8 초를 기준으로 삼고 있다.

Figure 5는 6개 교실에서 측정된 잔향시간의 평균을 주파수대역별로 도식화하여 나타난 것으로 국내 중·고등학교 잔향시간 기준인 약 0.8 초의 초과분을 그래프에 회색 음영으로 나타내었다.

잔향시간 측정값 비교 결과 K 초등학교를 제외한 모든 교실에서 국내 중·고등학교 잔향시간 기준인 0.8 초 이하의 값을 보이고 있다. 그러나 미국 및 영국의 교실 잔향시간 기준으로 보면 C 초등학교와 K 초등학교 교실이 그 기준인 0.6 초를 초과하고 있다. 이는 1980년대에 준공된 C, K 초등학교를 제외하고는 최근에 신축되거나 보수공사를 통해 천장 마감 재료를 고주파수 대역의 흡음능력이 높은 흡음텍스 재질로 마감한 반면, C, K 초등학교의 경우 1980년대 표준설계도서에 의해 건립되어 최근까지 실내마감재의 보수공사가 이루어지지 않고 천장 흡음텍스 위에 도장마감을 하여 실제적 흡음능력이 저하되었기 때문이라고 판단된다.

3.4 음성명료도 (D_{50})

음의 명료한 청취는 실내 공간에서 음성전달에 매우 중요한 음향조건이다. 약 50ms까지의 초기 반사음이 직접음의 에너지의 크기를 보강하고 명료도를 높여 주는 효과가 있다는 사실을

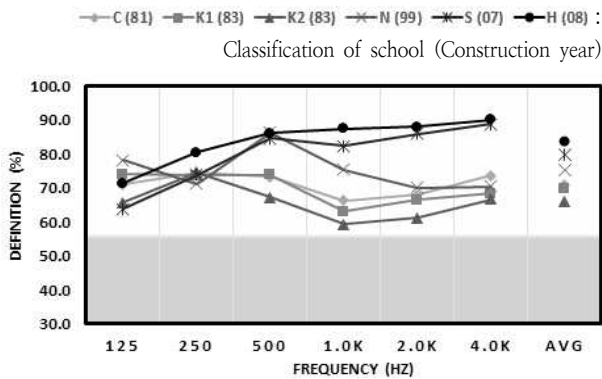


Figure 6. Comparison of definition (D_{50}) in the classrooms by school

밝힌 연구¹⁵⁾가 있으며, 이러한 연구 결과를 바탕으로 Thiele은 직접음과 전체 에너지의 비를 취해 음성명료도라고 정의하였다.

즉 음성명료도 값은 전체에너지에 대한 초기음에너지의 비율로 100%에 가까울수록 명료도가 높은 것을 나타내며, 음성의 명료함을 평가하는 음향 인자로 사용된다. 음성명료도에 대한 국내외 기준은 현재 정해진 바는 없으나 기존 연구 결과에 의하면 음성명료도 값이 55% 이상일 때 청취자는 95% 이상의 음성 인지성능을 나타내는 것으로 알려져 있다.

각 교실의 음성명료도 측정값은 Figure 6에 나타나 있으며 55% 이하는 회색 음영으로 표현하였다. 6개소 교실에서 모두 55% 이상의 음성명료도 값을 보여주고 있으나 1900년대에 준공된 초등학교 교실보다 2000년대 준공된 초등학교 교실의 음성명료도가 더 높은 값을 갖는다. 또한 2000년대에 준공된 학교는 고주파수대역으로 갈수록 음성명료도 값이 높아지는데, 이는 고주파수대역으로 갈수록 짧게 나타난 잔향시간 값과 반비례한 경향을 보이고 있다. 이는 고주파수 대역의 흡음성능이 높은 천장 마감재를 사용하여 고주파수 대역의 잔향시간이 낮아지고 그에 따라 음성명료도가 높아졌음을 판단할 수 있다.

3.5 음성전달지수 (STI)

음성전달지수(STI)는 강연 등의 음성전달의 이해도를 나타내는 지표로써 사용한다. 음성전달지수의 값은 공간의 음향 성능에 따라 알아듣기 쉬운 정도를 나타내는 평가지수로 보통 STI 값이 0.45~0.60 이내일 경우 보통의 음환경, 0.6~0.75 이내일 경우 준수한 수준, 0.75 이상일 경우 음성인지에 대한 명료함이 매우 높은 공간으로 평가된다.

각 학교 교실에서의 음성전달지수 측정값은 Figure 7에 나

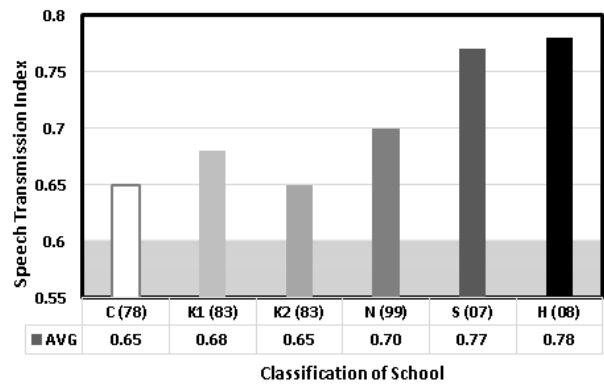


Figure 7. Comparison of speech transmission Index in the classrooms by school

타나 있으며, 0.60 이하를 회색 음영으로 표시하여 각 교실의 STI 값을 쉽게 파악할 수 있도록 나타내었다.

1900년대 준공된 C, K, N 초등학교의 교실은 음성전달지수 값이 0.6~0.75 사이로 준수한 수준의 음환경으로 평가된 반면, 2000년대 준공된 S와 H 초등학교의 교실은 0.75 이상으로 음성인지에 대한 명료함이 매우 높은 공간으로 평가되었다.

4. 교구배치별 실내음향성능 측정 결과

4.1 음압레벨 (SPL)

교구배치에 따른 실내음향성능을 비교하기 위해 가장 많이 쓰이는 4가지 교구배치를 선정하여 K 초등학교 교실 2개소에서 배치별로 측정하였으며 각 교구배치별 수음점은 Figure 1에 나타나있다.

교구배치에 따른 음압레벨은 각 교구배치별 수음점에서 측정된 음압레벨의 평균을 도식화하여 Figure 8에 나타내었다. 4인 모듈형 배치(Type C)의 음압레벨 값이 가장 크고 세미나형 배치(Type D)가 가장 작은 값을 가진다. 이는 4인 모듈형 배치가 세미나형 배치보다 음원과 가깝게 배치된 수음점이 상대적으로 더 많기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 약 0.75dB(A)의 아주 작은 차이이기 때문에 사람이 인지할 수 없다고 판단되며, 4개의 교구배치의 음압레벨은 큰 차이를 보이지 않는다.

4.2 신호대잡음비 (SNR)

교구배치별 신호대잡음비의 측정값은 Figure 9에 나타나 있다. 모든 교구배치에서 신호대잡음비 값이 15dB(A)을 초과하고 있는 것을 볼 수 있다. 교구배치별로 1dB(A) 이하의 아주 작은 차이를 갖는데, 이는 모든 교구배치에서 음압레벨의 차이가 거의 없는 것에 영향을 받았다고 판단된다. 또한 배경소음

15) Madan Mehta, James Johnson, Jorge Rocafort, Architectural Acoustics, Prentice

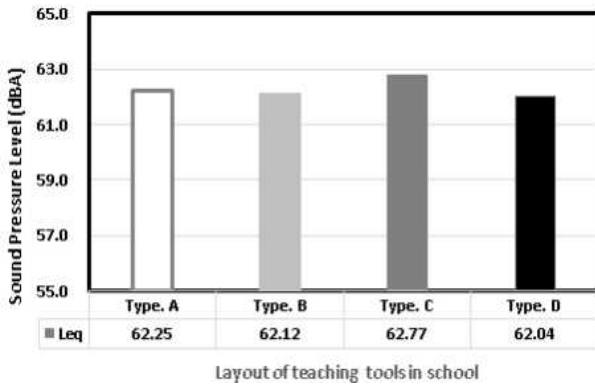


Figure 8. Comparison of sound pressure level measurement results according to desk arrangement

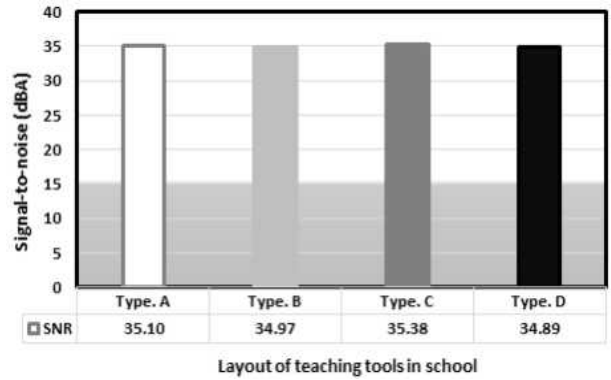


Figure 9. Comparison of signal-to-noise ratio measurement results according to desk arrangement

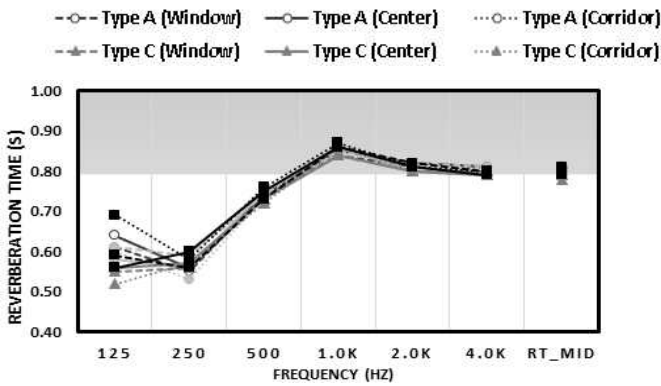


Figure 10. Comparison of reverberation time (T_{30}) measurement results according to desk arrangement

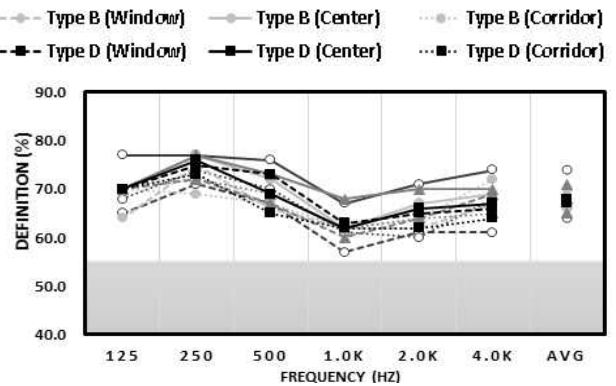


Figure 11. Comparison of definition (D_{50}) measurement results according to desk arrangement

에 의한 교사의 음성 방해가 적을 것으로 판단된다.

4.3 잔향시간(RT)

Figure 10은 각 교구배치별 잔향시간을 주파수별로 나타낸다. 모든 교구배치에서 잔향시간은 0.79 초에서 0.8 초 사이로 국내 중·고등학교 교실 잔향시간 기준인 0.8 초에 근접한 값을 가진다. 그러나 주파수 1kHz, 2kHz에서 0.8 초 이상의 잔향시간 값을 갖는데, 이 주파수 대역은 사람의 음성 주파수 대역에 속하므로 교실에서 화자 음성의 명료함에 영향을 미칠 것으로 보인다. 또한 모든 교구배치에서 125Hz를 제외하고는 모든 주파수에서 잔향시간의 분포가 거의 같음을 볼 수 있으며, 이는 교구배치의 형태에 따른 잔향시간에 미치는 영향은 적다고 판단된다.

또한 모든 교구배치에서 창가열, 중앙열, 복도열 모두 비슷한 잔향시간을 보이기 때문에 교실의 자리 위치에 따라라도 잔향시간에 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

4.4 음성명료도 (D_{50})

Figure 11은 교구배치별 음성명료도의 값을 보여준다. 모든 교구배치에서 음성명료도 값이 55% 이상임을 보여주고 있으나 중간주파수 대역에서 다른 주파수보다 비교적 작은 값을 갖는다. 또한 1인 일자형 배치(Type A)에서 중앙열인 T-A(CT)가 가장 높은 음성명료도 값을 가지며 교실의 중앙열이 창가와 복도에 인접한 열에 비해 높은 음성명료도 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 반면 교구배치별 평균 비교 시 1인 일자형 배치(Type A)가 68.33으로 가장 크고 2인 일자형 배치(Type B)가 67.33으로 가장 작은 값을 보이지만 이는 아주 작은 차이이므로 교구배치 형태와 음성명료도의 관계 또한 적음을 알 수 있다.

4.5 음성전달지수 (STI)

교구배치별 음성전달지수의 값은 Figure 12에 나타난다. 4가지 교구배치 모두 음성전달지수 값이 0.60~0.75 사이로 준수한 음환경에 해당한다. 4인 모듈형 배치(Type C)에서 0.66으로 가장 작은 값을 갖고 세미나형 배치(Type D)에서는 0.64

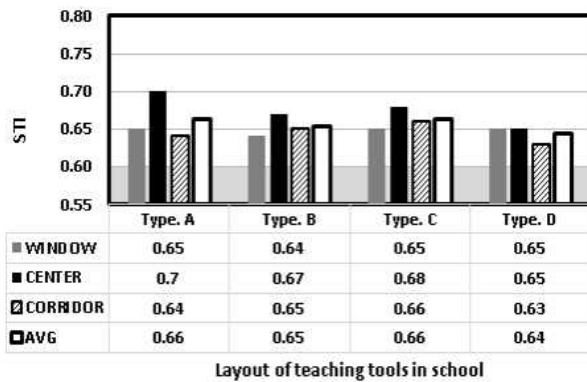


Figure 12. Comparison of speech intelligibility index (STI) measurement results according to desk arrangement

로 가장 큰 값을 갖지만, 이는 0.02의 아주 작은 차이이기 때문에 음성을 이해하는 데 있어 큰 영향이 없을 것으로 판단된다.

또한 교실의 책상 중앙열이 창가, 복도열보다 높은 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 이는 외부에서 들리는 소음과 복도에서 들어오는 소음이 음성을 이해하는 데 있어 방해요소가 되기 때문에 창가, 복도열이 중앙열보다 작은 음성전달지수 값을 갖는 것으로 판단된다.

4.6 양이간 상호상관도 (IACC)

음성전달성능을 물리적으로 평가하기 위한 인자로써 사용하는 D_{50} , STI 등은 단이지표(monaural index)로써 소리의 입사 방향 및 방향성분에 따른 음에너지 성분은 포함하지 않는다. 사람의 좌우 귀에 입사되는 소리의 크기 및 도달시간차, 방향성분에 대한 인지가 소리의 위치, 거리, 공간감 등의 판단에 영향을 미치게 되는데, 이러한 양 귀의 음향성능을 평가하기 위한 지표를 양이지표(binaural index)라고 한다.

양이지표 중 양이간 상호상관도(IACC, Interaural Cross-Correlation)는 청취자의 두 귀에 도달하는 음의 유사도를 나타내며, 두 귀에 도달하는 음이 같을수록 1에 가까워지고 다를수록 0에 가까워진다. 일반적으로 공연장의 경우 IACC 값이 작으면 확산감이 크기 때문에 바람직하다고 이야기한다. 그러나 교실에서의 주목적은 음성의 전달로써 확산감보다는 명료도가 중시되기 때문에 IACC의 값이 작을수록 명료하지 않다고 판단된다. 교실에서 자리별로 주변의 마감재와 책상 방향의 차이 때문에 좌우 귀간의 물리적 차이가 생길 수 있으며 이는 학생의 음성전달성능을 저해하는 요소로 작용할 수 있다.

수음점의 위치를 파악하기 쉽도록 Figure 13에 수음점이 음원과 가까울수록 진한 회색, 음원과 멀어질수록 연한 회색으로

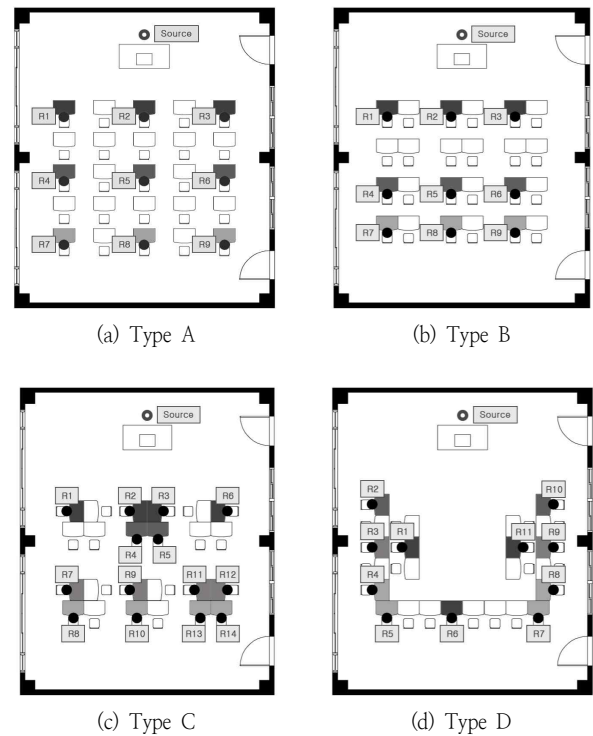


Figure 13. Receiving positions of each arrangement of desk lay-out

표시하였으며, 교구배치에 따른 수음점 별 IACC 값은 다음 Figure 14에 도식화하였다.

1인 일자형 배치(Type A)의 경우 양이간 상호상관도는 음원과 동일선상에 위치하고 거리가 가까운 수음점 R2에서 가장 큰 IACC 값을 가진다. 또한 교실의 중앙열에 있는 수음점이 창가와 복도에 인접한 수음점보다 큰 값을 가진다. 이는 양 측벽의 흡음력에 의해 실내 반사음이 저감되어 양이간 음압레벨에 편차가 발생한다는 연구결과에 따라 복도열과 창가열에 인접한 측벽 마감재의 흡음성능으로 인해 양이간 음량차가 발생하여 복도열과 창가열의 IACC 값이 중앙열보다 작은 것으로 판단된다.

2인 일자형 배치(Type B)의 경우 1인 일자형 배치와 마찬가지로 모든 자리가 정면을 바라보고 일정한 간격으로 배치되어 있기 때문에 음원과 동일선상에 위치하고 거리가 가까운 R2에서 가장 높은 값을 가진다. 또한 중앙열의 IACC 값이 창가열, 복도열보다 더 큰 값을 가지며 음원과 가까울수록 큰 값을 가진다.

4인 모듈형 배치(Type C)의 경우도 마찬가지로 음원과 가깝고 일직선상에 있는 수음점의 IACC의 값이 크다. 따라서 R2, R3, R4, R5에서 비교적 큰 IACC 값을 갖지만, 정면을 바라보는 R4, R5가 측면을 바라보고 있는 R2, R3보다 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 정면을 바라보는 수음점은 음원으로부터

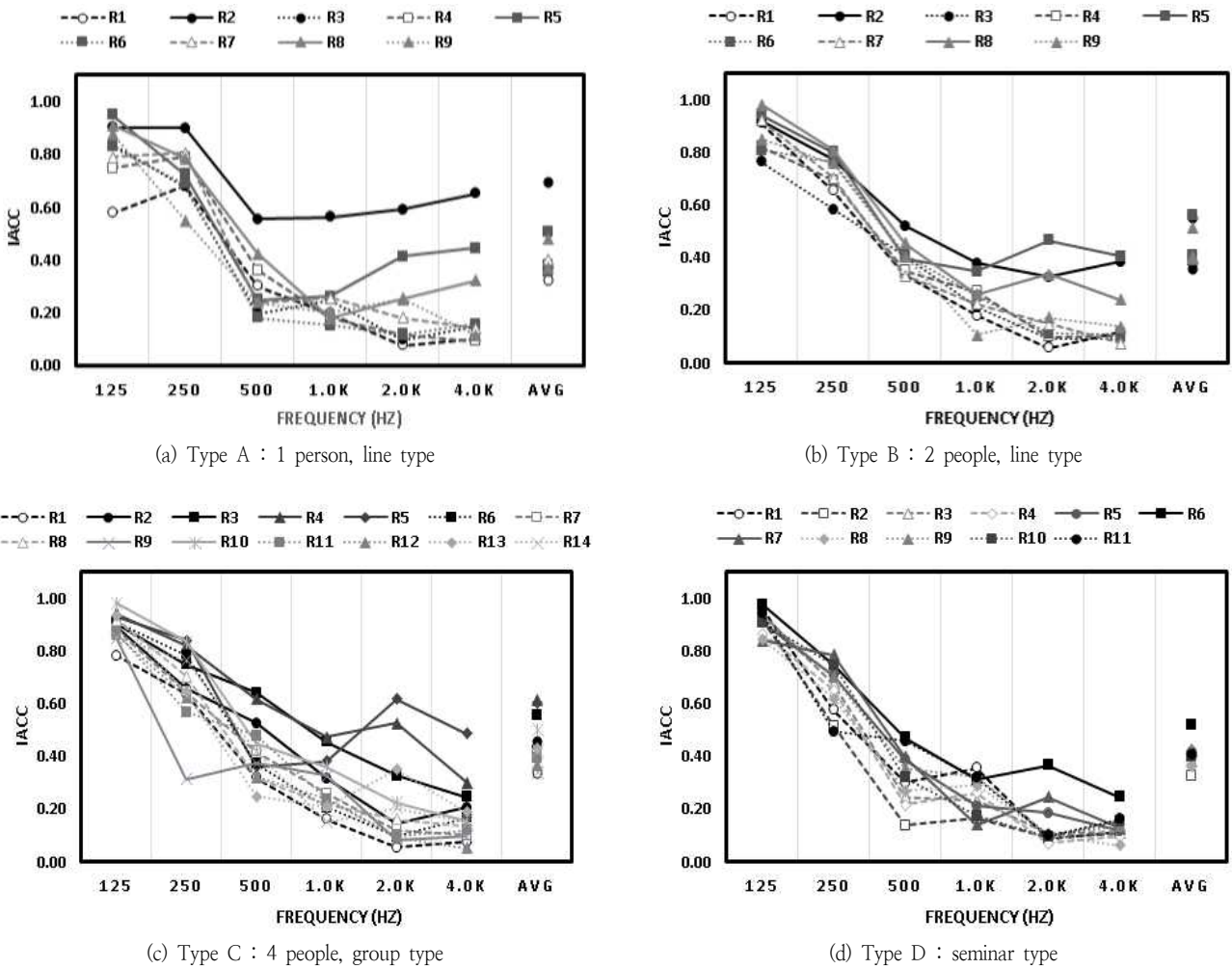


Figure 14. Comparison of IACC measurement results according to desk arrangement

직접음이 양쪽 귀에 도달하는 반면 측면을 바라보는 수음점은 음원 쪽으로 향해있는 귀에만 직접음이 도달하여 양 귀에 도달하는 음원의 음압레벨이 차이가 발생하기 때문이라고 판단된다. 또한 R1과 R6은 음원과 가까이 있음에도 불구하고 음원과 거리가 먼 R10보다 작은 값을 가지는데, 이는 R1과 R6은 측면을 바라보고 있어 양이간 음량차가 발생하여 R10보다 작은 값을 가진 것으로 판단되며 R10은 음원과의 거리는 멀지만 음원과 일직선상에 있으며 정면을 바라보고 있기 때문에 IACC 값이 R1, R6보다 높은 값을 갖는 것으로 판단된다. 4인 모듈형 배치도 마찬가지로 창가, 복도열보다 중앙열에서 더 큰 IACC 값을 가진다.

세미나형 배치(Type D)의 경우 정면을 바라보며 중앙열에 위치한 R6에서 가장 높은 IACC 값을 가진다. R6은 상대적으로 음원과의 거리는 멀지만 정면을 바라보고 있어 측면을 바라보고 있는 수음점보다 더 높은 IACC 값을 가지는 것으로 판단된다. 즉 양 귀의 방향이 양이간 상관성에 큰 영향을 미친다

는 것을 알 수 있다. 또한 R1, R11은 R2, R10에 비해 음원으로부터 더 먼 곳에 위치했음에도 불구하고 R2, R10보다 IACC 값이 큰데, 이는 음원의 중심에서 각 수음점까지의 방사각이 R1, R11에서 더 작으며 측벽까지의 거리가 더 멀어 측벽의 흡음성능에 의한 양이간 음량차의 발생이 더 작기 때문이라

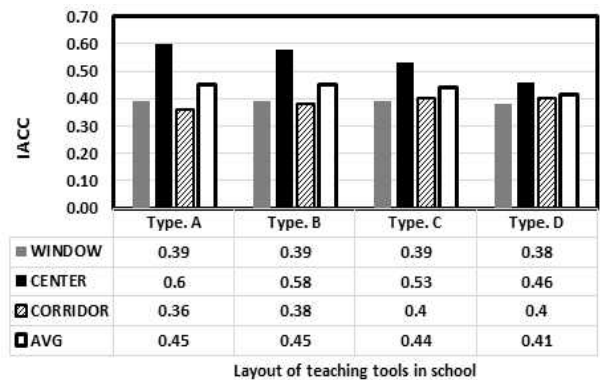


Figure 15. Average of IACC in each arrangement

고 판단된다. 따라서 음원과 일직선상에 더 가까이 있어 음원과의 방사각이 작은 R1, R11에서 더 높은 IACC 값이 나타난다.

Figure 15는 각 교구배치별 IACC의 평균값을 나타낸다. 정면을 바라보고 있는 배치인 Type A, B의 평균값이 가장 크게 나왔고 측면을 보는 비율이 비교적 많은 Type D의 값이 상대적으로 작게 나온 것을 확인할 수 있으며, 모든 배치에서 중앙열에 위치한 수음점이 창가, 복도열에 위치한 수음점보다 큰 값을 가진다. 즉 양이간 상호상관도는 교구배치에 의해 학생이 앉아 바라보는 방향에 영향을 받으며 중앙열, 창가열, 복도열과 같이 측벽과의 거리에 따른 수음점의 위치에 따라 서로 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 청주시 소재의 초등학교 2곳을 선정하여 총 3개의 빈 교실의 배경소음 및 실내 음향성능을 측정하고 기존에 연구가 진행된 초등학교 3곳의 데이터를 수집하여 만 9세 이하의 학생들이 사용하는 초등학교 저학년 교실의 음향성능의 실태를 비교하였다. 또한 초등학교 저학년 교실에서 가장 많이 사용하고 있는 교구배치를 선정하여 교구배치에 따른 초등학교 저학년 교실의 음향성능을 비교하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 배경소음의 경우 교사 바로 앞 도로가 존재하며 학기 중에 실험한 N 초등학교의 저학년 교실이 국내 중·고등학교 배경소음 기준인 35dB(A)을 초과하고 있는 것으로 나타났다.
- 2) 신호대잡음비는 측정 교실 모두 15dB 이상이지만 N 초등학교의 저학년 교실이 K 초등학교보다 다소 작은 신호대잡음비 값을 갖기 때문에 교사의 음성이 배경소음으로부터 비교적 더 방해받을 수 있다.
또한 측정 교실 모두 창가열에서 낮은 신호대잡음비 값을 가진다. 이는 창가열에 앉은 학생들이 외부 소음에 의해 교사의 음성 전달로부터 가장 많이 방해받고 있음을 말한다.
- 3) 잔향시간의 경우 K 초등학교에서 국내 중·고등학교잔향시간 기준인 0.8 초를 초과하는 것으로 나타났으며, 6개 교실의 음성명료도 및 음성전달지수의 측정값은 음성 전달에 준수한 공간의 범위 안에 들었다.
- 4) 2000년대에 준공되거나 보수공사가 이루어진 학교는 고주파수 대역의 흡음성능이 높은 천장 마감재를 사용하여 고주파수 대역의 잔향시간이 낮고 그에 따라 음성명료도가 높다.
- 5) 모든 교구배치 형태에서 음원과 가깝고 교실의 중앙열에 위

치할 때 음성 전달에 영향을 주는 음성명료도와 음성전달지수가 더 높은 값을 가졌다.

- 6) 양이간 상호상관도(IACC)는 모든 교구배치 형태에서 수음점이 측면을 바라볼 때보다 정면을 바라볼 때 더 높은 상관도를 보였다. 또한 창가, 복도열보다 측벽과의 거리가 상대적으로 먼 중앙열에서 더 높은 상관도를 보였다.

본 연구는 국내 초등학교 저학년에 맞는 교실 청취환경을 제공하기 위한 설계조건을 제시하고자 교실 실태를 조사를 목적으로 하는 사전 연구이다.

본 연구에서 사용한 음향 지표의 평가기준은 국내 중·고등학교의 기준으로 아직 청력이 다 발달하지 않아 완전하지 않은 초등학교 저학년의 교실에 적합한 기준인지는 알 수 없다. 따라서 향후 연구에서는 본 연구에서 실시한 실태 조사를 기반으로 대상 교실을 이용하는 초등학교 저학년 학생들의 설문조사, 청감실험 등의 주관적 평가를 통해 초등학교 저학년 교실의 청취환경 실태를 더 자세히 조사하고, 가청화시재를 통한 다양한 음향 조건 교실에서의 청감실험을 통해 초등학교 저학년 교실의 적절한 실내음향 기준을 제시할 필요성을 가진다. 이를 위해 본 논문은 향후 저학년 교실 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

References

1. A. L. Bronzaft, The effect of a noise abatement program on reading ability, J. Envir. Psych. 1, 215-222, 1981
2. J. S. Bradley, Relationships among measures of speech intelligibility in rooms, J. Aud. Eng. Soc. 46, 396-404, 1998
3. K. P. Roy, Green rating systems and classroom acoustic design, ICA 2010: 20th International Congress on Acoustics 20, 1-6, 2010
4. ANSI/ASA S12.60, Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools - Part 1 : Permanent Schools, American National Standard, 10, 2010
5. Building Bulletin 93, Acoustic Design of Schools, The Department for Education and Skills, U.K. 2011
6. Ding Wei, Park, Chan-Jae and Haan, Chan-Hoon, Comparison of the Korean and Chinese speech intelligibility with increasing sound absorption in a classroom (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. 31, 129-141,

2012

7. Park, Chan-Jae, Establishment of the Acoustical Performance Criteria for Middle and High School Classrooms in Korean, Ph.D. thesis, Chungbuk National University, 2014
8. Park, Chan-Jae, Jo, Sung-Min and Haan, Chan-Hoon, Influence of SNR difference on the Korean speech intelligibility in classrooms (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. 38, 651-660, 2019
9. Park, Chan-Jae and Haan, Chan-Hoon, Effect of the Inter-aural Level Differences on the Speech Intelligibility Depending on the Room Absorption in Classrooms, J. Acoust. Soc. Kr. 32, 335-345, 2013
10. M. Nilsson, S. D. Soli, and J. A. Sullivan, Development of the hearing In noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise, J. Acoust. Soc. Am. 95, 1085-1099, 1994
11. B. B. Peggy, D. S. Sigfrid, and S. Anne, Classroom Acoustics II : acoustical barriers ti learning, Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America, 2002
12. Park, Chan-Jae, Ryu, Da-Jung, Kyoung, Ju-Young and Haan, Chan-Hoon, Analysis of the Acoustic Performance of Classrooms in Korea (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. 33, 316-325, 2014
13. M. D. Egan, Architectural Acoustics (J. Ross Pub, Plantation), pp. 325, 2007
14. T. Houtgast, The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms, Applied Acoustics, 14, 15-25, 1981
15. Madan Mehta, James Johnson, Jorge Rocafort, Architectural Acoustics, Prentice
16. B. G. Shinn-Cunningham, N. Kopco, and T. J. Martin, Localizing nearby sound sources in a classroom: binaural room impulse responses, J. Acoust. Soc. Am. 117, 3100-3115M 2005

접수 2021. 02. 25.

1차 심사완료 2021. 04. 01.

2차 심사완료 2021. 05. 24.

게재확정 2021. 05. 24.