

초등학교 일반교실의 음향성능 실태측정 및 평가지표 특성 고찰

Characteristics of Acoustic Indicators Evaluating Speech Intelligibility in Korean Elementary School Classrooms

이성복* · 김명준† · 양홍석**

Seong-Bok Lee, Myung-Jun Kim and Hong-Seok Yang

(Received April 8, 2015 ; Revised June 22, 2015 ; Accepted June 22, 2015)

Key Words : Classroom Acoustics(교실음향), Acoustic Indicator(음향지표), Speech Intelligibility(음성명료도), Reverberation Time(잔향시간), D_{50} (회화명료도), C_{50} (언어명료도), Speech Transmission Index(음성전달지수)

ABSTRACT

This study was carried out to examine characteristics of various acoustic indicators evaluating speech intelligibility such as reverberation time(T_{30}), D_{50} , C_{50} and speech transmission index(STI) in Korean elementary school classrooms. Results showed that mean T_{30} at middle frequencies(500 Hz to 2000 Hz) measured in 9 classrooms was about 0.75 s, which exceeds a regulation specified on American National Standards(ANSI); 0.60 s. Mean D_{50} , C_{50} and STI were 60 % to 66 %, +2 dB to +3 dB, and 0.65, respectively. The maximum difference in D_{50} and C_{50} according to different receiver points in a classroom was 13 % and 2.5 dB, while the maximum difference in T_{30} was 0.03 s. Whereas STI measured in classrooms has relatively low correlation with other indicators, correlation between D_{50} and C_{50} was high, $R^2=0.9964$. In addition, T_{30} and C_{50} were fitted well as logarithmic regression curve with $R^2=0.9610$. It was +3.73 dB in C_{50} and 68 % in D_{50} which are the value corresponding to 0.60 s in T_{30} on this curve.

1. 서 론

교실 음향성능은 학생들의 학업능률 및 성취도에 영향을 미치는 중요한 인자로서 교사와 학생 사이의 원활한 의사소통을 위해 음향적인 장애요소가 최소화 되도록 설계되어야 한다. 말하기, 듣기 등 음성 언어 중심의 외국어 교육 방침과 더불어, 다문화 가정의 학생들이 꾸준히 증가하고 있다는 사실⁽¹⁾은 교

실 음향성능 개선에 대한 중요성을 뒷받침할 수 있는 근거이다. 하지만 국내 교실 음향성능과 관련된 기준은 학교 보건법⁽²⁾ 중 교사 내의 소음을 55 dBA로 제한하는 수준에 그치고 있어 구체적인 실험방법 및 평가지표 등의 마련이 필요한 실정이다.

교실 음향성능을 평가하기 위해서는 교실 내에 위치한 전체 청취자 중 전달된 음성정보를 정확히 이해한 청취자의 비율을 그 척도로 사용할 수 있는데, 이는 상당한 시간과 비용이 소요되는 청감실험

† Corresponding Author ; Member, Department of Architectural Engineering, University of Seoul
E-mail : mjunkim@uos.ac.kr

* Member, Department of Architectural Engineering, Graduate School of University of Seoul

** Member, Land and Housing Institute, Land and Housing Corporation

‡ Recommended by Editor Hyung Jo Jung

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

이 필요하므로 음성명료도 관련 실내음향지표 실험을 통한 교실 음향성능 평가가 필요하다. 교실의 음성명료도에 영향을 미치는 인자로는 크게 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio [SNR])와 실내음향지표(잔향시간 [reverberation time, T_{30}], 언어명료도 [clarity, C_{50}], 회화명료도 [definition, D_{50}], 음성전달지수 [speech transmission index, STI]), 청취자의 연령(age)⁽³⁾이 있다. 이 중 실내음향지표는 다른 두 인자에 비해 음성명료도에 대한 영향이 다소 미미하지만⁽⁴⁾, 교실 내 초기반사음이 신호 대 잡음비에 약 7 dB까지 영향을 준다는 연구결과⁽³⁾를 토대로 현행 배경소음과 잔향시간을 기준으로 교실 음향성능을 평가하는 방법^(5,6)과 더불어 유효한 초기반사음을 확인할 수 있는 평가지표인 C_{50} 과 D_{50} 을 추가로 고려해야 할 필요가 있다고 사료된다.

또한 청취자의 연령이 낮을수록 음성에 대한 동일한 이해도를 나타내기 위해서 상대적으로 높은 신호 대 잡음비가 필요하므로 초등학교 교실의 음향성능이 중/고등학교 교실에 비해 더욱 높은 기준으로 계획되어야 한다. 하지만 기존의 국내 교실 음향성능관련 연구⁽⁷⁻⁹⁾는 주로 중/고등학교 일반교실 혹은 대학 강의실의 청취환경 평가 및 물리적 지표의 목표치 달성을 위한 개선안을 중심으로 이루어져와 초등학교 교실을 대상으로 한 음향성능 평가지표 및 기준설정 마련을 위한 연구가 필요하다고 사료된다.

이에 이 연구에서는 면적, 마감, 형태 등이 유사한 9개의 초등학교 일반교실을 대상으로 음성명료도 관련 실내음향지표(T_{30} , C_{50} , D_{50} , STI) 실험을 통해 음향특성을 분석하고 미국⁽⁵⁾과 영국⁽⁶⁾에서 교실 음향 평가지표로 사용하고 있는 잔향시간과 C_{50} , D_{50} , STI와의 상관관계 분석을 수행하여 교실음향 평가 시 실내음향 평가지표 도입 및 기준마련을 위한 기초연구를 수행하였다.

2. 이론적 고찰

잔향시간은 실에서 음의 울림 정도를 평가하기 위한 지표로 상대적으로 초기반사음보다는 확산음을 평가하기에 적합한 지표이다. 하지만 한국어의 경우 영어와 달리 음절 단위로 발음되는 언어의 특성상 후기반사음 혹은 확산음보다는 주로 직접음과 초기반사음의 영향⁽¹⁰⁾을 받는 것으로 나타났다. 일반적으로

회화를 위한 공간의 초기반사음을 평가하는 지표는 주로 D_{50} 와 C_{50} 가 사용되는데 D_{50} 는 음원 발생 후 전체 음에너지에 대한 50 ms 이내 초기반사음 에너지의 선형비(linear ratio)로 표현되는데 비해, C_{50} 는 50 ms 이후의 후기반사음 에너지에 대한 초기반사음 에너지의 대수비(logarithm ratio)로 표현된다. D_{50} 와 C_{50} 는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0.050} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad [\%] \quad (1)$$

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{0.050} p^2(t) dt}{\int_{0.050}^{\infty} p^2(t) dt} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

여기서, $p(t)$ 는 임펄스 리스펀스(impulse response)이다.

두 초기반사음 평가지표와 주관적 반응과의 관계에 대한 실험⁽¹¹⁾에서 C_{50} 가 D_{50} 에 비해 선형적으로 더 잘 대응되는 것으로 알려졌다. 따라서 이 연구에서는 교실 음향성능 평가에 앞서 물리적 지표와 주관적 반응의 일대일 대응 측면에 있어 C_{50} 가 D_{50} 에 비해 유리할 것으로 가정하고 측정 시 국내 초등학교 교실에서 그 차이가 얼마나 나타나는지 확인하였다.

STI는 일반적으로 음성명료도를 평가하기 위해 사용되는데 실의 음향특성과 SNR을 동시에 평가할 수 있는 지표로 측정 시 SNR의 고려 유무⁽⁴⁾에 따라 그 결과가 달라질 수 있으나, 이 연구에서는 배경소음에 비해 15 dB 이상 높은 레벨의 충격성 음원을 사용하여 SNR의 영향을 배제하고 측정을 진행하였다.

3. 측정개요

3.1 측정대상

초등학교 교실의 음향성능 평가를 위해 서울, 경기 지역에 위치한 6개 공립초등학교 내에 있는 9개 일반교실을 대상으로 실험을 실시하였다. Fig. 1은 대상 초등학교 일반교실의 모습을 보여주며 Table 1은 각 초등학교 교실의 주요 제원을 나타낸다. 교실 주요 마감으로는 바닥재로 ‘우드 플로링’ 혹은



Fig. 1 View of studied classrooms in elementary schools

Table 1 Dimensional information of 9 classrooms

Classification*	Number of seats	Width (m)	Depth (m)	Height (m)	Volume (m ³)
Room J1	26	7.7	8.7	2.6	174.2
Room G1	28	7.6	8.6	3.1	202.6
Room K1	30	7.5	8.4	2.6	163.8
Room K2	30	7.5	8.4	2.6	163.8
Room H1	30	7.0	8.5	2.4	142.8
Room H2	30	7.0	8.5	2.4	142.8
Room S1	32	7.0	8.4	2.5	147.0
Room A1	28	8.3	8.2	2.6	176.9
Room A2	28	8.3	8.2	2.6	176.9

* For example, the name of classroom measured secondly in school H is room H2

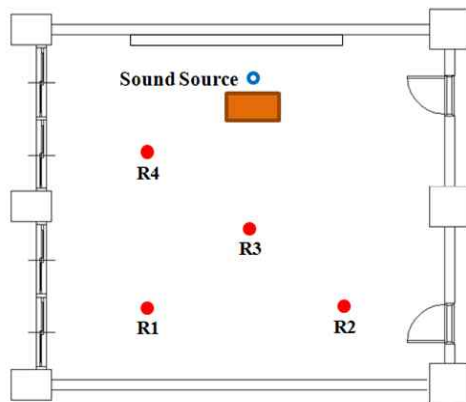


Fig. 2 The location of a sound source and receivers in a classroom

‘고무타일’, 벽체는 ‘모르타르 위 수성페인트’, 천장은 ‘흡음 텍스’를 사용하였다. 각 초등학교당 1~2 개 학급을 대상으로 측정을 실시하였고 학급당 수용 인원은 26~32명, 교실의 체적은 약 140 m³~200 m³인 것으로 조사되었다. 이는 모든 측정대상 교실이 미국음향학회에서 0.60 s의 잔향시간 기준을 적용하는 10000 ft³(약 283 m³)이하인 조건에 부합하는 교실인 것을 알 수 있다.

3.2 측정방법

측정은 한국산업규격(KS F 2864: 2012)⁽¹²⁾에 의거하여 실시하였으며 Fig. 2는 측정 시 교실 내 음원 및 수음점 위치를 나타낸다. 수업 시 교사가 서 있는 교탁 위치의 1.5 m 높이에서 풍선을 이용한 충격성 음원을 발생시켰으며, 수음점은 중앙점을 포함한 총 4개 지점, 높이 1.2 m에 마이크로폰을 위치시켜 측정하였다. 다채널 신호분석기(Harmonie, 01dB, France)를 이용하여 측정 및 녹음 후에 wav 형식의 파일로 변환하여 분석 프로그램(DIRAC v5.0, B&K, Denmark)으로 T₃₀와 D₅₀, C₅₀, STI를 분석하

였다. 측정 시 교실 내에는 측정자를 제외한 사람은 없었으며, 책상, 의자, 교탁, 사물함 등의 가구는 배치되어 있는 상태에서 각 학급당 3회씩 측정을 반복하여 실시하였다.

4. 측정결과

4.1 실내음향지표 측정결과

Table 2는 총 9개 대상 초등학교 교실의 옥타브 밴드별 T₃₀, D₅₀, C₅₀와 단일수치인 STI의 평균, 표준편차, 최대값, 최소값을 나타낸다.

9개 교실의 평균 T₃₀는 미국음향학회와 영국 교육 기술부의 초등학교 일반교실 권고 기준인 0.60 s (500 Hz~2000 Hz)보다 약간 긴 약 0.75 s로 나타났다. 학급마다 약간의 편차가 존재하나 T₃₀가 가장 짧게 측정된 1개 학급(room J1, 0.45 s, 500 Hz)을 제외하면 0.75 s~0.95 s 정도인 것으로 조사되었다. D₅₀는 500 Hz 기준으로 약 64%인 것으로 나타났으며 보통 성인을 대상으로 한 회화를 위한 공간에서 약 60%가 권장⁽¹³⁾되는 점을 감안하여 초등학교 교

Table 2 T_{30} , D_{50} , C_{50} and STI measured in 9 classrooms with unoccupied and furnished conditions

Acoustic indicator		Octave band center frequency					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
T_{30} (s)	Mean	0.69	0.70	0.73	0.77	0.74	0.63
	S.D.*	0.16	0.14	0.15	0.17	0.17	0.13
	Max	0.91	0.93	0.95	0.95	0.89	0.73
	Min	0.50	0.50	0.45	0.37	0.33	0.30
D_{50} (%)	Mean	66	68	64	60	61	66
	S.D.*	10	7	9	10	11	10
	Max	78	79	83	85	89	92
	Min	50	58	51	53	52	60
C_{50} (dB)	Mean	3.05	3.58	2.60	2.03	2.16	3.33
	S.D.*	2.06	1.59	1.91	2.24	2.69	2.85
	Max	5.65	6.23	7.21	7.81	9.15	10.83
	Min	-0.06	1.47	0.23	0.48	0.41	1.75
STI	Mean	0.65					
	S.D.*	0.06					
	Max	0.80					
	Min	0.59					

* S.D. means standard deviation of sample data

실에서는 이보다 조금 높은 수준이어야 할 것으로 사료된다. C_{50} 는 중주파수 대역(500 Hz~4000 Hz)에서 +2 dB~+3 dB 범위로 측정되었으며 C_{50} 에 대한 구체적인 권고 기준이 마련되어 있지 않아 C_{50} 지표에 대한 음향설계범위 설정연구가 필요할 것으로 사료된다. 단일수치 평가지표인 STI는 0.60 이상이면 ‘Good’, 0.75 이상이면 ‘Excellent’에 해당⁽¹⁴⁾하는데 9개 학급의 평균 STI는 0.65로 ‘Good’에 해당하는 수치이지만 연령이 낮은 학생들이 대상임을 고려하여 배경소음 및 잔향시간 저감을 통한 STI 수치 향상이 필요할 것으로 사료된다.

Table 2의 결과는 교실 내에 위치한 4개의 수음점에서 측정된 값을 산술평균하여 분석함에 따라 각 교실의 평균적인 음향성능을 파악하는데 유용하나, 공간적 분포특성 분석에 한계가 있어 수음점 위치별 실내음향지표 특성 분석을 추가적으로 수행하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3은 총 9개 대상 교실 중 T_{30} 가 크게 차이 나는 1개 교실을 제외한 8개 교실의 수음 위치에 따른 음향성능을 나타내며 수음점 위치는 Fig. 2에 대응된다.

옥타브밴드 500 Hz~2000 Hz 평균 T_{30} 에 대한 분석결과, 동일 교실 내 4개 수음점 중 최대값과 최소

값의 차가 약 0.01 s~0.03 s로 나타나 성인이 인지할 수 있는 최소 범위(just noticeable difference [JND])인 0.05 s⁽¹⁵⁾ 이내인 것을 알 수 있으며, 이는 각 주파수 대역(500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz)에 대한 분석결과에서도 유사한 것으로 나타났다.

D_{50} 의 경우, 옥타브밴드 500 Hz~4000 Hz⁽⁴⁾ 평균값의 수음점 위치에 따른 차이는 약 3%~13%까지로 나타나 JND가 5%⁽¹⁶⁾임을 고려하면 위치에 따른 편차가 T_{30} 와 비교하여 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. C_{50} 역시 위치에 따른 차이가 0.9 dB~2.5 dB로 JND가 1.1 dB⁽¹¹⁾임을 고려했을 때 T_{30} 와 비교하여 위치에 따른 편차를 확인하는 데 있어 변별력을 가질 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 C_{50} 가 D_{50} 에 비해 주관적 반응과 선형적으로 잘 대응된다는 기존연구결과⁽¹¹⁾를 바탕으로, 두 지표의 수음 위치에 따른 중주파수 평균값의 차이가 구분할 수 있을 정도로 나타날 것으로 예상했으나 JND 대비 차가 거의 유사하게 나타나고 평균값이 아닌 옥타브밴드 각 주파수 대역에서 역시 비슷한 양상을 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서 조사대상과 유사한 형태의 국내 초등학교 교실의 음향성능 평가 시 D_{50} 와 C_{50} 는 유사한 음향특성을 나타낼 것으로 사료된다.

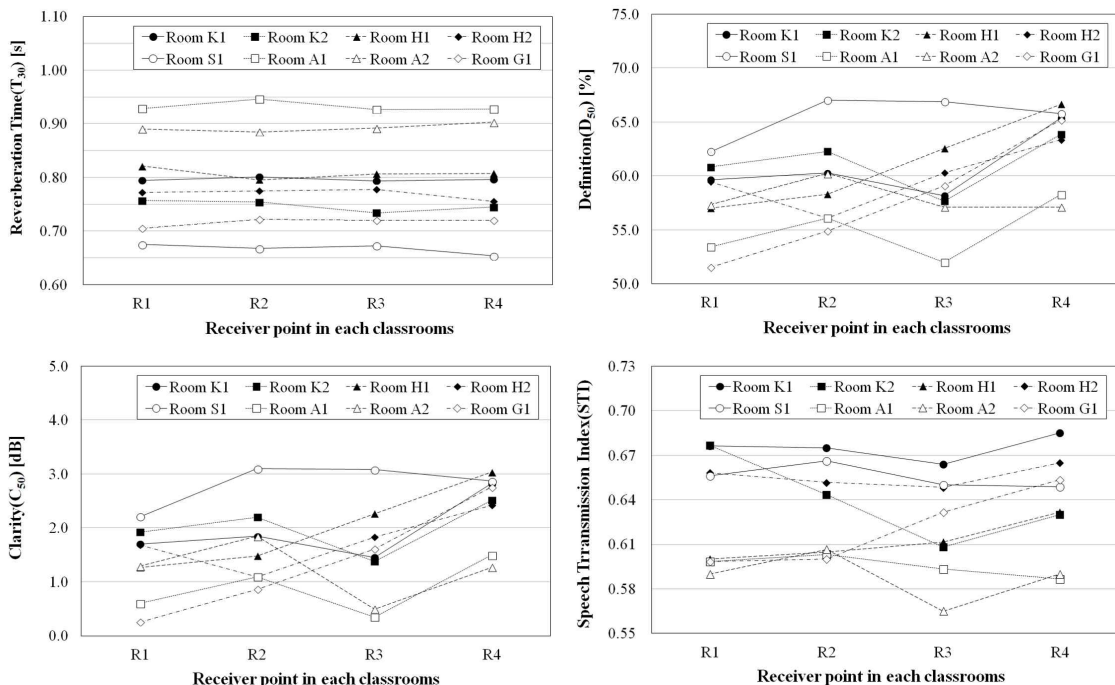


Fig. 3 T_{30} , D_{50} , C_{50} and STI at each receiver point in classrooms

STI의 경우 수음점 위치에 따른 차이가 0.02 ~ 0.07로 나타나 JND인 0.03과 비교하여 상대적으로 편차가 크게 나타났으며, Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 교실 내 위치에 따른 상대적인 값의 차이가 D_{50} 와 C_{50} 와는 다른 양상으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 STI 측정 시 신호 대 잡음비를 고려하지 않았기 때문일 가능성이 있고, D_{50} 나 C_{50} 와는 다른 특징을 반영하는 지표이기 때문에 향후 연령에 따른 주관적 평가와 물리적 지표와의 대응 정도에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4.2 실내음향지표 간 상관관계 분석

Fig. 4는 총 9개의 초등학교 일반교실에서 측정한 실내음향지표에 대해 서로 다른 2개의 지표 간 상관관계를 1 kHz를 기준으로 분석한 결과이다.

T_{30} 와 C_{50} 는 대수적(logarithm)으로 표현될 때 잘 대응이 되었으며 $R^2=.9610$ 으로 상관관계가 상당히 높게 나타났다. 미국음향학회에서 권고하는 초등학교 일반교실의 잔향시간 기준인 0.60 s를 도출된 대수 회귀식에 적용하면 C_{50} 의 경우 1 kHz 기준으로 약 +3.73 dB임을 알 수 있다. D_{50} 역시 $R^2=.9570$ 으로

Table 3 Results of simple linear regression analysis(R^2 , p-value) between two different acoustic indicators measured in 8 classrooms except for one classroom showing the shortest T_{30}

X	Y	R^2	p-value	a*	b*
T_{30} (1 kHz)	C_{50} (1 kHz)	.6873	.011	-5.8943	6.1657
T_{30} (1 kHz)	STI	.2473	.210	-0.1781	0.7769
C_{50} (1 kHz)	STI	.1749	.302	0.0211	0.6026

* $Y=aX+b$

T_{30} 와 대수적으로 잘 대응되었으며, 0.60 s를 도출된 대수 회귀식에 적용하면 약 68%가 미국음향학회 권장치에 대응되는 D_{50} 의 수치임을 확인할 수 있다.

C_{50} 와 D_{50} 의 상관관계를 분석한 결과 두 지표는 선형적(linear)으로 상당히 잘 대응되는 것으로 나타났다. $R^2=.9964$ 로 거의 1에 가까워 잔향시간이 0.60 s ~ 0.90 s인 초등학교 일반교실에서는 두 지표 사이에 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

Table 3는 T_{30} 가 짧은 1개 교실을 제외한 8개 교실의 서로 다른 실내음향지표 간 상관관계를 분석한

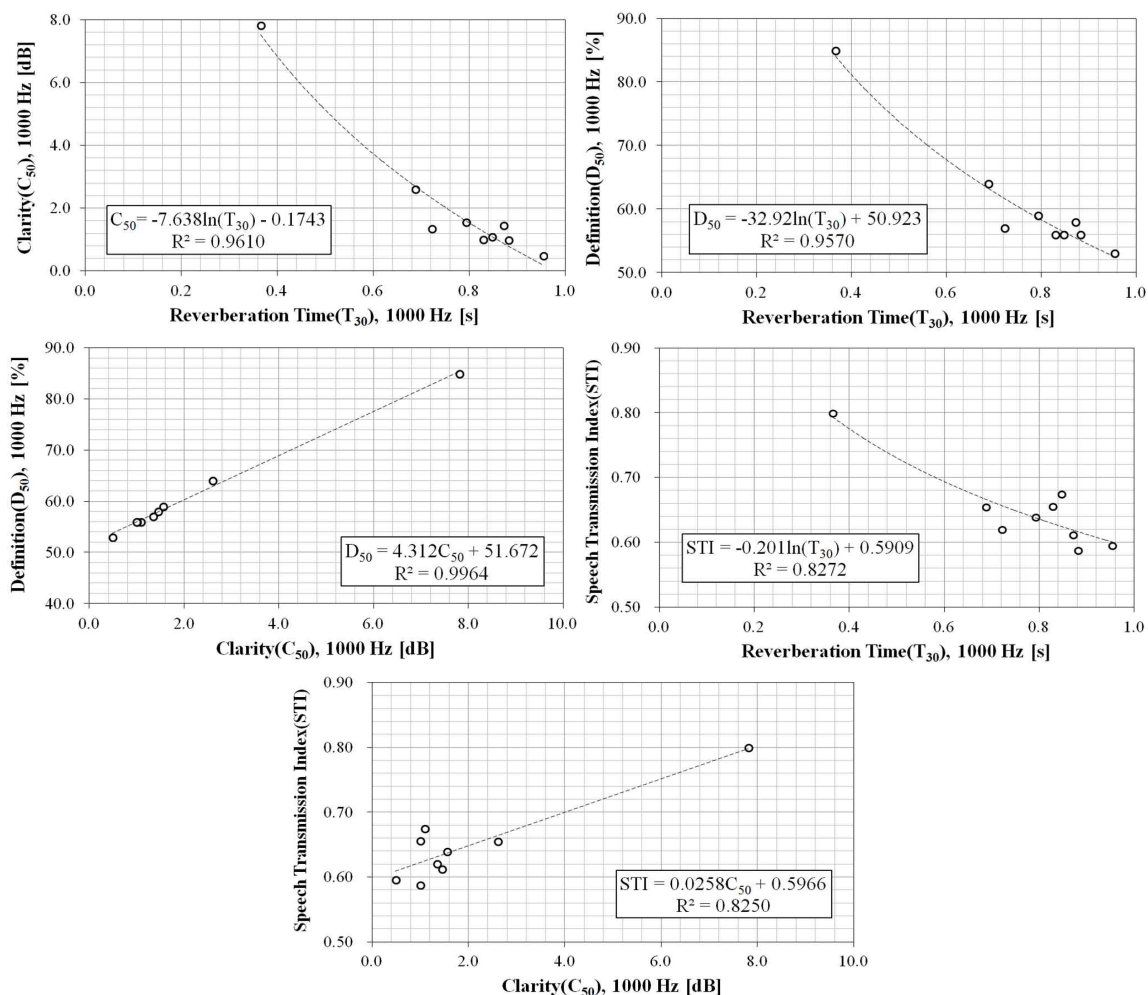


Fig. 4 Regression curves between two different acoustic indicators measured in 9 classrooms

결과이다.

9개 교실의 측정값에 대한 STI와 T₃₀의 상관관계는 R²=.8272, STI와 C₅₀의 상관관계는 R²=.8250으로 나타나 높은 것으로 분석되었다. 하지만, T₃₀가 짧은 1개 교실을 제외한 8개 교실의 측정값을 대상으로 분석한 결과, T₃₀와 C₅₀의 상관관계는 R²=.6873, p=.011로 유의한 상관관계를 나타냈으나, T₃₀와 STI의 상관관계는 R²=.2473, p=.220, STI와 C₅₀의 상관관계는 R²=.1749, p=.302로 두 쌍의 단순 선형 회귀분석 결과가 모두 유의성이 낮은 것으로 분석되었다.

5. 결 론

이 연구에서는 초등학교 일반교실의 음성명료도

관련 실내음향지표(T₃₀, D₅₀, C₅₀, STI) 실험을 통해 음향성능 실태를 파악하고, 각 평가지표의 교실 내 수음점 위치에 따른 특징과 지표 간 상관관계를 분석하여 아래와 같은 연구결과를 도출하였다.

(1) 국내 초등학교 일반교실의 평균 T₃₀는 500 Hz ~ 2000 Hz에서 약 0.75 s로 나타나 미국음향학회 권고 기준인 0.60 s를 초과하는 것으로 분석되었다. 평균 D₅₀와 C₅₀의 경우 500 Hz~4000 Hz에서 각각 60%~66%, +2 dB~+3 dB로 나타났다. 평균 STI의 경우 신호 대 잡음비 15 dB 이상의 조건에서 ‘Good’에 해당하는 0.65로 평가되었다.

(2) 교실 내 수음점 위치에 따른 T₃₀의 차이는 JND 0.05 s 이내인 약 0.01 s~0.03 s로 나타났다.

D_{50} 의 경우 그 차이는 약 3%~13%(JND 5%), C_{50} 는 0.9 dB~2.5 dB(JND 1.1 dB)로 잔향시간과 비교하여 교실 음향성능 평가 시 수음점 위치에 따른 편차를 확인하는 데에 있어 유용한 지표임을 알 수 있었다.

(3) D_{50} 와 C_{50} 의 수음 위치에 따른 JND 대비 차이가 유사하게 나타나고 선형 회귀식의 결정계수 역시 $R^2=0.9964$ 로 거의 1에 가까워 잔향시간이 약 0.60 s~0.90 s 정도의 특징을 갖는 국내 초등학교 일반교실의 음향성능 평가 시 큰 특징 차이를 보이지 않을 것으로 사료된다.

(4) T_{30} 와 C_{50} 의 대수 회귀식의 결정계수는 $R^2=0.9610$ 으로 상관관계가 상당히 높게 나타났고 T_{30} 와 D_{50} 의 경우 역시 $R^2=0.9570$ 으로 높게 나타났다. 미국음향학회 권고 기준인 0.60 s를 C_{50} 와 D_{50} 의 대수 회귀식에 적용하면 각각 1 kHz 기준 +3.73 dB, 68%임을 알 수 있다.

(5) STI의 경우 교실 내 위치에 따른 상대적인 값의 차이가 D_{50} 와 C_{50} 와는 다른 양상으로 나타나고, 단순 선형 회귀분석 결과 역시 유의성이 낮은 것으로 나타났다. 향후 STI 측정 시 신호 대 잡음비를 달리하여 측정값을 비교하거나, 한국어에 대한 주관적 평가와 물리적 지표와의 대응 정도를 확인할 필요가 있는 것으로 사료된다.

위의 결과를 토대로 현행 미국과 영국에서 교실 음향 평가 시 사용하고 있는 잔향시간과 배경소음 지표 사용 시 동일한 교실 내 청취자 위치에 따른 음성명료도 편차를 최소화하기 위한 음향설계 적용이 어려울 수 있어, 이를 반영할 수 있는 지표인 D_{50} 나 C_{50} 의 도입에 대한 검토가 필요하다고 판단된다. 따라서 교실의 음향성능 측정을 통해 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해서는 한국어에 대한 주관적 음성명료도 평가와 D_{50} 나 C_{50} 등의 물리적인 지표에 대한 대응 정도에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

(1) Seoul Metropolitan Office of Education, 2014, Yearly Business Plan, p. 38, p. 78.
 (2) Ministry of Education, 2015, School Health Law,

Article 3, Paragraph 3.

(3) Yang, W. and Bradley, J. S., 2009, Effects of Room Acoustics on the Intelligibility of Speech in Classrooms for Young Children, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 125, No. 2, pp. 922~933.

(4) Bradley, J. S., Reich, R. D. and Norcross, S. G., 1999, On the Combined Effects of Signal-to-noise Ratio and Room Acoustics on Speech Intelligibility, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 106, No. 4, pp. 1820~1828.

(5) Acoustical Society of America, 2010, ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools.

(6) UK Department of Education and Skills, 2003, Building Bulletin 93: Acoustic Design of Schools.

(7) Kim, Y. S., Song, M. H., Park, I. S. and Park, S. K., 2007, Room Acoustic Analysis in University Classrooms Using Experimental Results, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 493~502.

(8) Oh, Y. K., Noh, T. H. and Chu, M. K., 2011, Listening Environment of High School Classrooms and Its Appropriateness as English Listening Test Facilities, The Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 5, No. 4, pp. 280~287.

(9) Joo, M. K. and Oh, Y. K., 2012, A Study on the Listening Environment in the Classroom According to the Noise Sources, Paper Presented at Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 2012 Autumn Annual Conference, pp. 280~287.

(10) Ding, W., Park, C. J. and Haan, C. H., 2012, Comparison of the Korean and Chinese Speech Intelligibility with Increasing Sound Absorption in a Classroom, The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 31, No. 3, pp. 129~141.

(11) Bradley, J. S., Reich, R. D. and Norcross, S. G., 1999, A Just Noticeable Difference in C_{50} for Speech, Applied Acoustics, Vol. 58, No. 2, pp. 99~108.

(12) Korean Agency for Technology and Standards, 2012, KS F 2864: 2012, Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to the other Acoustical Parameters.

(13) Haan, C. H. and Moon, K. C., 2004, An Experimental Research on the Room Acoustical Environment of the Elementary School Classrooms, The Journal of Korean Institute of Educational Facilities, Vol. 11, No. 1, pp. 5~14.

(14) British Standards Institution, 2011, BS EN 60268-16:2011, Sound System Equipment-Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index.

(15) Cox, T. J., Davies, W. J. and Lam, Y. W., 1993, The Sensitivity of Listeners to Early Sound Field Changes in Auditoria, Acustica, Vol. 79, No. 1, pp. 27~41.

(16) International Standards Organization, 2009, ISO 3382-1, Acoustics-measurement of Room Acoustic Parameters-Part 1:Performance Spaces.



Myung-Jun Kim received the B.S., M.S. and Ph.D. in Dept. of architectural engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 1987, 1989, and 1999, respectively. He is currently a professor in the Dept. of Architectural Engineering at University of Seoul. His research interests are in the area of architectural acoustics and sound insulation in buildings.



Hong-Seok Yang obtained his Ph.D. at School of Architecture, University of Sheffield, UK. He is currently Researcher of Acoustics at the LHI (Land & Housing Institute) which is a research centre of LH corporation in Korea. His main fields are architectural and environmental acoustics.



Seong-Bok Lee received B.S. from Dept. of Architectural Engineering, University of Seoul in 2013. He is a M.S. candidate at Architectural Acoustics Laboratory in University of Seoul. His research interests are in the areas of acoustic performance in classrooms and floor impact sound in apartments.