1차 단순 확산체를 적용한 교실음향설계

The Application of 1-Dimensional Diffusers in Classroom Acoustics

최 영 지*
Choi, Young-Ji

Abstract

In this study, the effect of treating 1-dimensional diffusers on the classroom acoustics was investigated to determine if the diffuser are beneficial for performing the preferred acoustical conditions for speech. A 1/10 scale model of a classroom was used to measure the acoustical parameters, T30, C_{50}, STI and SNR in that room. The room acoustical conditions were varied by treating diffusers either on the front or side walls of the classroom. When the diffusers were treated on the side walls around the student's areas, a shorter reverberation time at low frequencies was obtained and resulted in performing uniform reverberation times across the frequency bands. The C_{50} values at mid- and high-frequencies were increased by treating the diffusers either on front or side wall surfaces. The highest STI and SNR values were obtained when the diffuser was treated on the front wall around the teacher's areas. It is found that diffusers are beneficial to increase the intelligibility of speech for the rear seats of the rooms.

키워드 : 1차 단순 확산체, 확산계수, 교실음향, 잔향시간, 언어명료도, 음성전달지수, 신호 대 잡음비, 축소모형
Keywords : 1-dimensional diffuser, scattering coefficients, classroom acoustics, reverberation times, clarity, speech transmission index, signal-to-noise ratio, scale model

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교실에서의 정확한 음성전달은 성인뿐만 아니라 특히 교육시기에 있는 학생들에게 학업성취도와 직접적으로 연관되어 국가 정책적으로 중요한 부분이다. 국외의 경우 초기교육이 시작되는 유치원과 초등학교 등에서 적절한 학업성취를 위해 교실음향에 관해 최근까지 많은 연구사례를 보고하고 있는 실정이다. 정확한 음성전달이 중요한 교실에 있어서 음향설계시 고려해야 할 필수적인 조건은 실의 잔향시간과 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio)이다. 연구보고에 따르면, 음성전달이 용이한 실의 최적잔향시간은 체적이 200m^3 이하인 교실의 경우 만석시 0.4~0.5초이다.[1)]

교실의 음향설계에 있어 적절한 흡음재의 설치는 교실의 잔향시간과 소음을 줄이는데 효과적이지만 짧은 잔향시간을 얻고자 과도한 흡음재를 설치하는 경우 신호음 레벨의 감소로 인하여 오히려 음성전달이 어려워지고 경제적인 면에서 효율적이지 않다. 최근 교실음향에 관한 연구결과에 따르면, 이러한 과도한 흡음재의 사용으로 인하여 실의 잔향시간은 짧아지지만 유효한 반사벽면이 줄어듦에 따라 음성전달에 중요한 초기반사음(early reflections) 성분이 감소함으로 인하여 특히 교실의 뒷좌석에서의 음성전달에 문제가 발생한다고 보고되었다.[2)] 실질적으로 흡음재의 사용은 실의 암소음(background noise)을 줄이는 효과가 있지만 암소음을 줄이는 동시에 신호음의 레벨을 감소시킴으로써 흡음재의 사용만으로 신호대 잡음비를 효과적으로 조절할 수 없으며, 오히려 언어 명료도(speech intelligibility)를 감소시킨다.

* 정회원, 전북대 공과대학 건축공학과 겸임교수, 공학박사
이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2009-0063991).
1) 참고문헌 1 참조
2) 참고문헌 2, 3 참조

교실에서의 최적음향설계를 고려한 선행연구결과를 살펴보면 음성전달에 중요한 초기 반사음을 고려하지 않고 짧은 잔향시간을 목표로 흡음재만를 이용한 최적 설계안을 제시하고 있다.[3] 그러나 최근 학생과 성인을 대상으로 한 언어 명료도 실험에서 피험자의 연령과 신호대 잡음비에 상관없이 실의 잔향시간이 0.3초 이하이거나 1.2초 이상의 조건에서 언어 명료도는 감소한다는 연구결과가 보고되었으며[4], 실의 잔향시간이 지나치게 짧은 경우(0.3초 이하) 언어 명료도가 오히려 감소한다고 나타났다.[5] 또한 실의 잔향시간이 짧은 경우 음원과 수음점의 거리가 증가함에 따라 언어 명료도도 급격하게 감소한다고 밝혀졌다. 다시 말하면, 과도한 흡음재를 사용하여 실의 잔향시간을 지나치게 짧게 설계할 경우 음원에서 멀어지는 뒷좌석에서의 직접음 및 초기반사음의 급격한 감소로 인하여 언어 명료도가 저하될 수 있다. 따라서, 최적 교실음향 설계는 잔향시간을 짧게 하는 것만을 의미하지 않고 화자(speaker)에서 멀리 떨어진 지점 등에서의 충분한 초기반사음을 제공하여 부족한 직접음(direct sounds) 성분을 보완하여 언어 명료도를 높이는데 그 의미가 있을 것이다.[6]

이에 본 연구에서는 교실음향에서 중요한 신호대 잡음비와 언어 명료도를 향상시키기 위한 설계안을 제시하는데 그 목적이 있다. 그 설계방법의 하나로 본 연구에서는 확산체의 설치가 교실음향에 미치는 영향에 관하여 조사하였다. 여기서 교실음향설계안이라 함은 기존 선행연구에서처럼 과도한 흡음재의 사용으로 단순히 짧은 잔향시간을 얻는 것을 의미하는 것이 아니라, 화자의 직접음 성분이 도달하기 어려운 교실의 뒷좌석에서의 언어 명료도를 높이는 한 방법으로 충분한 초기 반사음 성분을 얻기 위한 설계안의 제시를 의미한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 교실에서 확산체의 설치가 실내음향에 미치는 영향에 관하여 물리적 음향지표를 바탕으로 분석하고자 하였다. 국내 초등학교 교실을 대상으로 하였으며, 확산체의 설치 유무와 위치에 따른 영향을 측정·분석하였다. 대상공간에서의 측정은 축소모형법을 이용하여 실시하였으며, 이 방법은 실제공간에서의 음향적 현상과 음의 거동을 가장 정확하게 재현하고 예측할 수 있다. 특히, 기하음향학을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션에서는 충분히 고려되지 못하는 음의 파동성에 의한 회절이나 확산과 같은 현상에 의한 실내음장에의 영향을 측정할 수 있다. 축소모형법은 연구목적에 따라 1/10~1/50까지의 축척이 주로 이용되나 본 연구에서는 대상공간의 물리적 음향특성은 물론 향후 주관적인 음향평가를 위하여 1/10 스케일의 모형을 제작하여 측정에 사용하였다. 본 실험에 게재된 모든 결과는 실제 스케일(full-scale)로 환산하여 표기하였다.

2. 측정개요

2.1 대상공간 및 측정내용

대상공간은 국내의 초등학교 교실(실물 체적: 148m³)을 1/10 스케일로 축소하여 포맥스 10mm를 이용하여 제작하였다. 그림 1과 2는 각각 교실제원과 교실에 사용된 흡음재 및 확산체의 종류를 보여주고 있다. 교실의 잔향시간이 전주파수대역에서 동일하게 하기 위해 주파수대역별로 흡음률이 다른 3가지 종류의 흡음재가 사용되었다. 흡음재의 적용부위는 천장(51.04m²), 후벽(16.82m²) 그리고 측벽의 일부분(10.22m²)이다. 그림 3은 교실모형제작에 사용된 재료의 흡음률을 보여주고 있다.

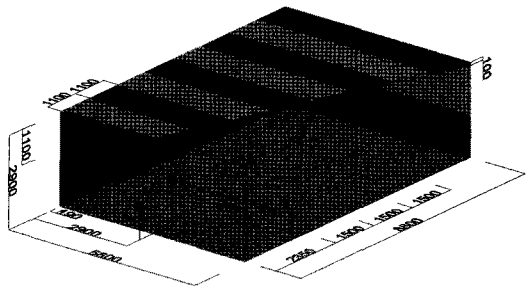

그림 1. 1/10 축소교실제원(S: 음원점, R: 수음점, 단위: mm)

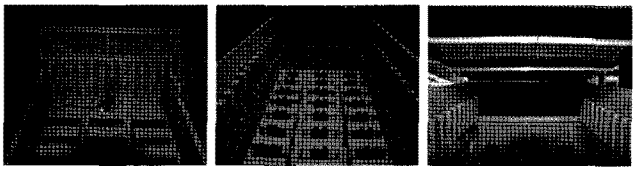

그림 2. 교실내에 설치된 흡음재와 확산체
(전면 확산체: 왼쪽, 측면 확산체: 중간, 천장 흡음재: 오른쪽)

본 실험에 앞서 적절한 확산체 선정을 위해 확산체의 크기(실물크기: 폭×높이=5cm×5cm, 10cm×10cm and 22cm×22cm)에 따른 확산계수를 측정하였다. 각 확산체의 확산계수 및 흡음계수는 각각 ISO 17497-1[7]와 ISO 354[8]에

3) 참고문헌 4~7 참조
4) 참고문헌 8 참조
5) 참고문헌 7 참조
6) 참고문헌 9, 10 참조
7) 참고문헌 11 참조
8) 참고문헌 12 참조

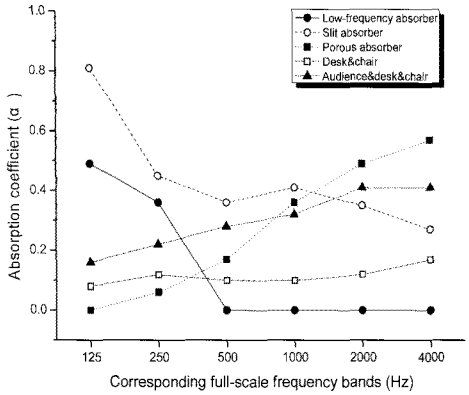

그림 3. 교실 모형에 사용된 재료의 흡음계수

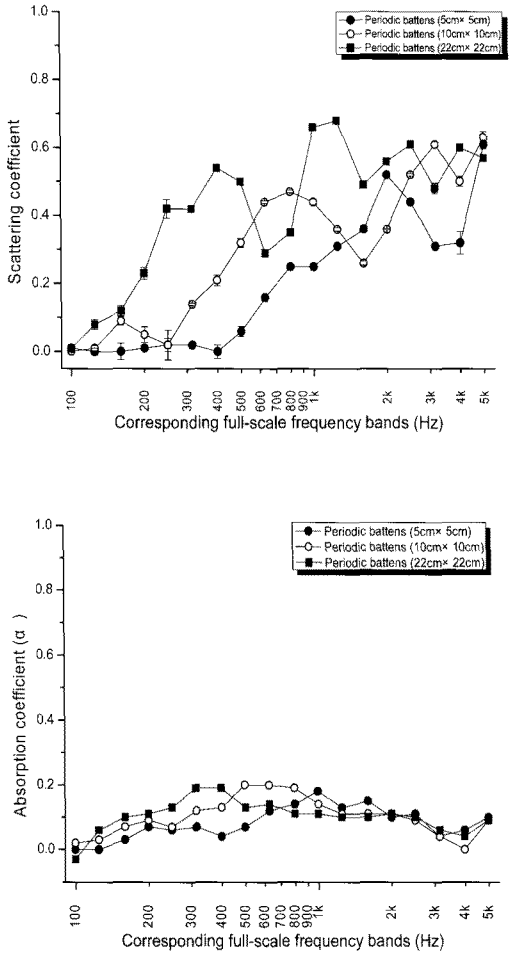

그림 4. 확산체 크기에 따른 확산계수(상)와 흡음계수(하)

의거하여 측정하였으며, 그 측정결과는 그림 4에 보여주고 있다. 확산계수 측정셋업은 선행연구[9]와 동일하게 하였다. 그림 4에 따르면, 확산체의 크기와 그에 따른 배치 간격이 증가하면 할수록 확산계수도 증가하는 것으로 나타났다. 크기 22cm×22cm의 확산체의 경우 저·중 주파수에서 다른 확산체에 비해 확산계수가 큰 것으로 나타났으며, 200Hz 이상의 주파수대역에서 확산계수 0.2 이상을 나타내고 있다.

교실음향에서는 전주파수대역에서 동일한 잔향시간을 선호하고 있어[10] 교실에 적용할 확산체는 전주파수대역에서 높은 확산계수를 가진 크기 22cm×22cm의 확산체를 선정하였다. 1차면 단순확산체의 적용부위는 교실의 교사가 위치한 전면벽과 학생이 위치한 측벽에 각각 부착시켜 확산체 위치별효과를 조사하였다. 적용면적은 전면벽의 경우 13.5m²와 측벽의 경우 14.4m²로 적용면적에 따른 차이는 1m² 이하로 하였다.

2.2 측정방법

측정은 중앙 음원점 1개소와 수음점 8개소에서 실시되었으며, 수음점 8개소는 교실의 좌측부분에 골고루 위치시켜 측정하였다(그림 1 참조). 음원은 0.63초의 로그스윕(logarithmic sweep)을 이용하였으며 재생주파수대역은 1kHz~100kHz(실물 환산시 100Hz~10kHz) 로 하였다. 모든 측정은 지점별로 3회 반복하여 측정하였다. 음원점과 수음점의 측정높이는 각각 1.5m와 1.2m이다. 모든 측정점은 음원점에서 임계거리(critical distance)를 넘는 지점을 선정하였다. 대상공간의 물리적 음향지표 측정은 학생이 착석중인 만석인 상태에서 실시되었다. 물리적 음향지표는 교실음향의 평가에 중요한 잔향시간(reverberation times, T30), 언어명료도(clarity, C_{50}) 그리고 음성전달지수(speech transmission index, STI)를 위주로 분석하였다.[11]

$$RT = \frac{0.16\,V}{\sum A},\ s \tag{2.1}$$

여기서, V는 실체적(m³)이고, ΣA는 실의 전체 흡음력(metric sabins) 이다.

$$C_{50} = 10\log\left\{\frac{\int_0^{0.05} p^2(t)dt}{\int_{0.05}^{\infty} p^2(t)dt}\right\},\ dB \tag{2.2}$$

9) 참고문헌 13 참조

10) 참고문헌 14, 15 참조

11) 참고문헌 1, 16 참조

표 1. 측정에 사용된 장비

측정장비	모델명	제조사
Loudspeaker	XT25TG30-04 SRH290	Vifa(확산체용) ADDZEST(교실용)
1/8 inch Microphone	40DP	G.R.A.S
Louspeaker Amp.	Integrated Amplifier PM-11S1	MARANTZ
Microphone Amp.	NEXUS Type 2690	B&K
A/D board	LYNX TWO	Lynx Studio Technology Inc.
Dirac	Type 7841	B&K
Turntable	LR360	Linear X systems
Nitrogen generator	CN-M15-04	CELLFA
Thermo-hydrometer	M170	VAISALA

여기서, p(t)는 실임펄스리스펀스(inpulse response) 의 음압이다.

$$STI = \left[\overline{L_{SNapp}} + 15\right]/30 \qquad (2.3)$$

여기서, $\overline{L_{SNapp}}$는 평균 신호 대 잡음비이다.

측정은 교사가 위치한 전면벽에 부착한 경우 그리고 확산체가 학생이 위치한 측벽에 부착한 경우의 세 가지 교실조건에 따라 각각 실시하였다. 측정시 온도는 23℃와 습도는 3%로 유지하였으며, 습도는 질소치환법을 이용하여 고주파수에서의 공기중의 흡음을 배제하였다. 표 1은 측정에 사용된 장비를 나타내고 있다.

3. 측정결과

3.1 확산체 설치유무에 따른 교실음향의 변화

먼저 확산체의 설치유무에 따른 교실음향의 변화를 조사하고자 교실 내에 확산체가 부착되지 않은 경우, 확산체가 교사가 위치한 전면벽에 부착한 경우 그리고 확산체가 학생이 위치한 측벽에 부착한 경우의 세 가지 교실조건별로 좌석지점 평균 T30, C_{50} 그리고 STI를 분석하였다. 표 2는 세 가지 교실조건에 따른 T30값을 평균과 표준편차로 나타내었다. 측정 결과, 확산체를 설치함에 따라 125Hz~250Hz의 저주파수대역의 T30값에 유의한 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 특히, 세 가지 교실조건에 따른 125Hz에서의 수음점별 평균 잔향시간은 각각 0.73초(확산체 설치 안함), 0.77초(확산체 전면벽 설치) 그리고 0.66초(확산체 측벽 설치)로 확산체를 전면벽에 설치하는 경우 확산체를 설치하지 않은 실에서 보다 T30값이 0.04초 길어짐을 알 수 있다. 표 2의 교실에서의 최적잔향시간[13]을 고려할 때, 확산체를 설치한 것과 특히 측벽에 설치한 상태에서 최적

12) 참고문헌 15 참조

표 2. 세 가지 교실조건에 따른 T30값의 변화

교실조건		주파수대역별 T30 값(s)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
ND	AVG	0.73	0.62	0.54	0.52	0.5	0.45
	SD	0.07	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02
FD	AVG	0.77	0.51	0.49	0.48	0.46	0.42
	SD	0.13	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
SD	AVG	0.66	0.56	0.51	0.49	0.47	0.41
	SD	0.04	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02
최적잔형시간*		0.60	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50

*125Hz~500Hz의 최적잔향시간은 Spring과 Rendall[12]의 연구결과를 인용함. ND는 확산체가 설치되지 않은 경우, FD는 확산체가 전면벽에 설치된 경우, SD는 확산체가 측벽에 설치된 경우를 의미함. AVG와 SD는 각각 평균과 표준편차를 나타냄.

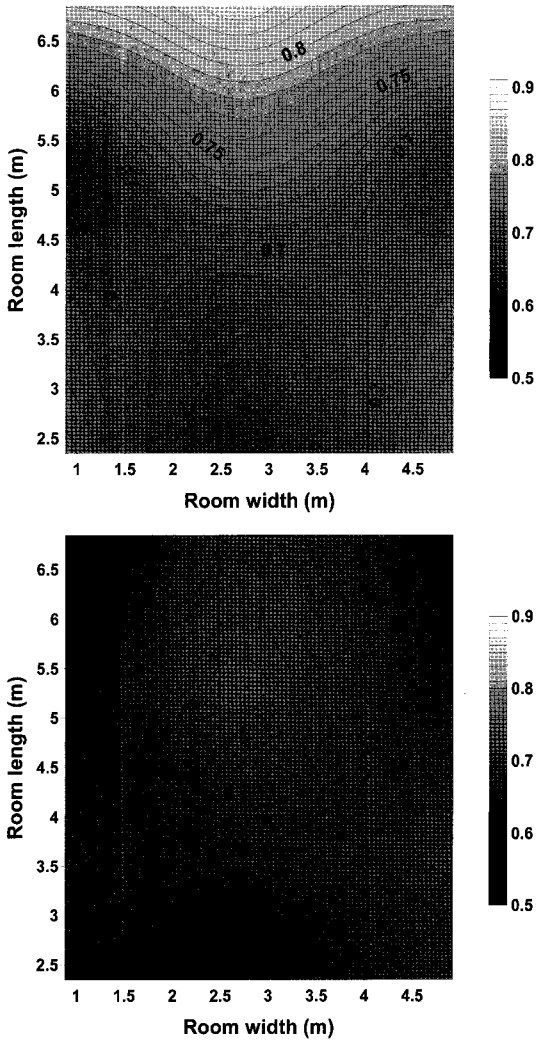

그림 5. 확산체를 설치하지 않은 경우(상)와 측벽에 설치한 경우(하)의 125Hz에서의 T30값 등고선

13) 참고문헌 16 참조

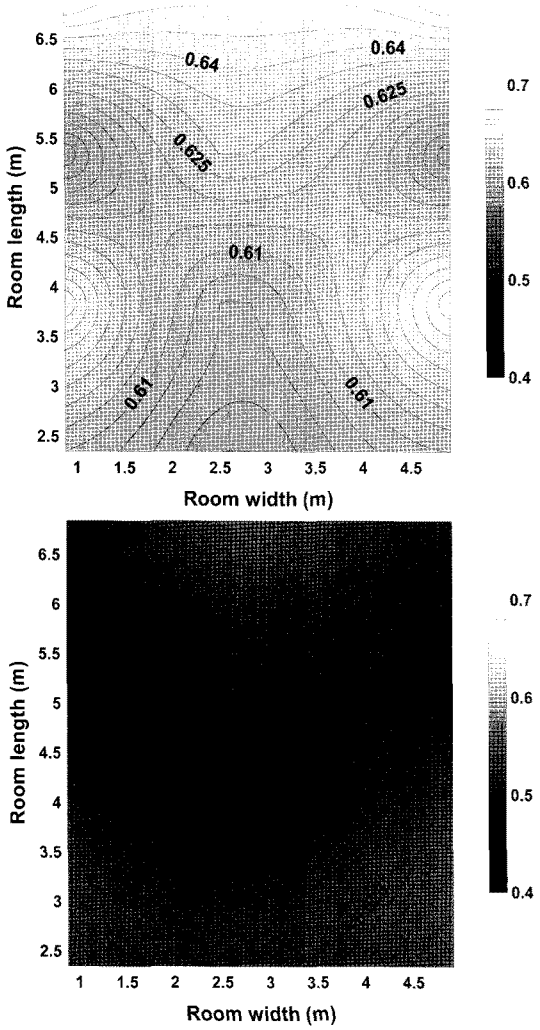

그림 6. 확산체를 설치하지 않은 경우(상)와 전면벽에 설치한 경우(하)의 250Hz에서의 T30값 등고선

잔향시간에 근접함을 알 수 있다. 확산체를 학생이 위치한 측벽에 설치할 때 125Hz 에서의 T30값은 실내 수음점별 편차가 줄어듦을 알 수 있다.

세 가지 교실조건에 따른 영향을 자세히 분석하고자 확산체의 영향이 현저하게 나타나는 저주파수대역에서의 좌석지점별 T30값을 등고선으로 나타내었다. 그림 5는 확산체를 설치하지 않은 경우와 측면에 확산체를 설치한 경우 125Hz에서의 T30값을 나타내었다. 그림 5에 따르면 확산체를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우에 비해 수음점별 편차가 현저히 줄어듦을 알 수 있으며, 그 편차는 저주파수대역에서 현저함을 알 수 있다. 그 결과, 확산체를 설치할 경우 실내의 균등한 음향조건을 형성함을 알 수 있다.

그림 6은 확산체를 설치하지 않은 경우와 전면벽에 확산체를 설치한 경우 250Hz에서의 T30값을 등고선으로 표

13) 참고문헌 1 참조

표 3. 세 가지 교실조건에 따른 C_{50}값의 변화

교실 조건		주파수대역별 C_{50}값 (dB)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
ND	AVG	3.6	4.8	5.5	5.2	5.0	6.9
	SD	2.3	2.1	1.2	1.2	1.3	0.9
FD	AVG	3.7	5.2	5.5	5.6	6.5	8.1
	SD	2.8	1.8	1.3	0.9	1.6	1.5
SD	AVG	3.8	5.4	6.3	6.2	5.3	7.0
	SD	1.7	1.6	1.4	1.6	1.0	1.3

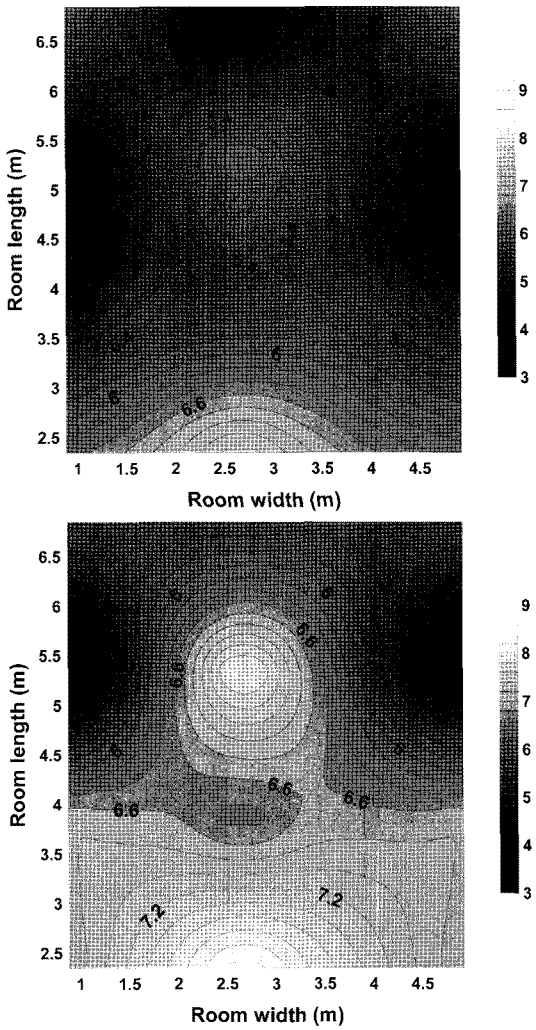

그림 7. 확산체를 설치하지 않은 경우(상)와 측벽에 설치한 경우(하)의 500Hz에서의 C_{50}값 등고선

시하였다. 확산체를 설치하지 않은 경우 후벽으로 갈수록 T30값이 증가하는 반면, 확산체를 전면벽에 설치한 경우 중간지점의 수음점에서 T30값이 가장 짧게 나타났으며, 전면벽의 확산체 영향이 실 전체에 균등하게 나타남을 알 수 있다.

표 3은 세 가지 교실조건에 따른 C50값을 평균과 표준편차로 나타내었다. 측정 결과, 확산체를 설치한 경우 설치하지 않은 경우에 비해 중·고주파수 대역의 C50값에

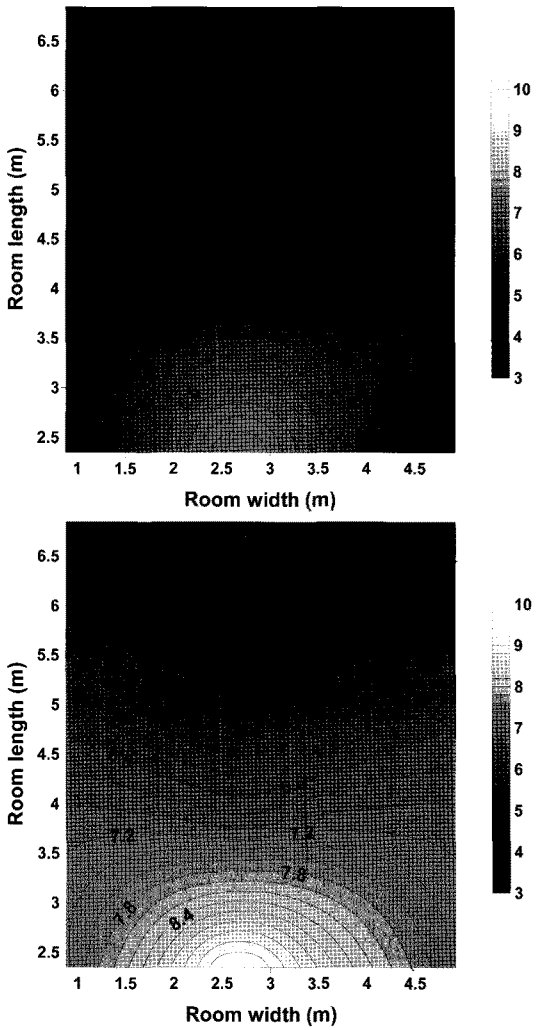

그림 8. 확산체를 설치하지 않은 경우(상)와 전면벽에 설치한 경우(하)의 2kHz에서의 C_{50}값 등고선

표 4. 세 가지 교실조건에 따른 STI값의 변화

	교실조건		
	ND	FD	SD
AVG	0.71	0.72	0.73
SD	0.02	0.01	0.02

현저한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 확산체 설치위치별로 영향을 미치는 주파수대역은 다르게 나타났다. 확산체를 전면벽에 설치한 경우 2kHz와 4kHz에서의 C50값이 유의하게 증가하였고, 확산체를 측벽에 설치한 경우 250Hz~1kHz에서의 C50값이 유의하게 증가하였다. 확산체를 설치한 경우 C50값이 확산체를 설치하지 않은 경우에 비해 증가함을 알 수 있으며, 그 차이는 JND값(just noticeable difference)이 1.1dB[14]임을 고려할 때 그 변화값은 유의하다.

세 가지 교실조건에 따른 영향을 자세히 분석하고자 확산체의 영향이 현저하게 나타나는 중·고주파수대역에서의 좌석지점별 C50값을 등고선으로 나타내었다. 그림 7은 확산체를 설치하지 않은 경우와 측면에 확산체를 설치한 경우 500Hz에서의 C50값을 등고선으로 보여주고 있다. 확산체를 측벽에 설치한 경우와 확산체를 설치하지 않은 경우를 비교해 볼 때 교실내의 수음점간 편차가 줄어들었으며 후벽에 위치한 수음점에서도 상대적으로 높은 C50값을 나타냄을 알 수 있다.

그림 8은 확산체를 설치하지 않은 경우와 전면벽에 확산체를 설치한 경우 2kHz에서의 C50값을 등고선으로 나타내었다. 전면벽에 확산체를 설치한 경우와 확산체를 설치하지 않은 경우를 비교해 볼 때 실 전체 수음점에서 1~2dB 정도 높은 C50값이 나타났으며, 수음점이 후벽에 가까울수록 상대적으로 높은 C50값을 보여주고 있다.

표 4는 세 가지 교실조건에 따른 STI값의 평균과 지점별 표준편차를 보여주고 있다. 확산체 설치유무에 관계없이 STI값은 0.69 이상으로 모든 수음점에서 '우수(good)~탁월함(excellent)'으로 평가되었다.[15] 특히, 음원점에서 가장 가깝고(1.5m 지점) 교실의 중앙에 위치한 R5 지점에서 확산체 설치유무에 관계없이 '탁월함'으로 평가되었으며, 이 지점에서의 세 가지 실내음향조건에 따른 STI값은 각각 0.75(확산체 설치안함), 0.75(확산체가 전면벽에 설치됨), 그리고 0.76(확산체가 측벽에 설치됨)로 나타났다. 확산체를 전면벽에 설치한 경우 음원점에 근접하거나 후벽에 가까운 수음점에서의 STI값이 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있다.

음원에서 가장 가까운 수음점의 경우 확산체 설치 유무에 따른 STI값의 변화는 T30값이나 C_{50}값과 달리 현저한 차이를 보이지 않았으며, STI값의 JND가 0.03[16]임을 감안할 때 이들 차이는 유의적이지 않다. 그러나 음원에서 가장 멀리 위치한 수음점 R4와 R8(6.5m 지점)에서의 확산체 설치유무에 따른 STI값 변화는 1 JND로 유의적으로 나타났다. 특히, 확산체가 전면벽에 설치된 경우가 측벽에 설치된 경우에 비해 뒷좌석에서 높은 STI값을 얻는 것으로 나타났다. 확산체를 설치할 경우 실내의 균등한 음향조건을 형성하여 수음점이 음원점에서 멀리 떨어져도 비교적 높은 STI값을 확보할 수 있는 것으로 사료된다.

확산체의 설치유무가 교실의 평균 SN비에 미치는 영향에 관해 살펴보았다. 모든 측정은 모형 내 외부 소음에 의한 영향을 최소화하기 위해 평균 암소음레벨이 37.5dBA

14) 참고문헌 16 참조

15) 참고문헌 15 참조

16) 참고문헌 17 참조

인 반무향실(semi-anechoic room)에 교실모형을 위치시켜 실시하였으므로 측정 시 발생 가능한 외부 소음의 영향은 배제되었다고 할 수 있다. 그 결과, 확산체를 설치할 경우가 설치하지 않은 경우에 비해 고주파수대역 2kHz와 4kHz에서 높은 SN비(각 주파수대역에서 전면벽 확산체의 경우 +3dB와 +7dB, 측벽 확산체의 경우 +2dB와 +2dB)를 얻는 것으로 나타났다. 앞서 STI값과 같이 SN비도 확산체를 전면벽에 설치하는 경우에 높은 값을 얻을 수 있다.

3.2 동일한 수음점에서의 확산체의 영향

교실에서 확산체 설치유무에 따른 영향을 좀 더 자세히 분석하고자 동일한 수음점에서의 확산체의 효과에 관해 조사하였다. 확산체의 효과를 물리적 음향지표와 주관적 청감실험을 통해 살펴보고자 수음점의 선정에 있어 확산체 설치유무에 관계없이 잔향시간이 JND 0.05초[17]를 벗어나지 않도록 하였다. 이러한 선정 이유는 기존 선행연구에서 확산체가 잔향시간에 주로 영향을 미친다고 밝혀져 잔향시간이 동일한 수음점에서의 확산체 설치유무에 따른 효과를 물리적 음향지표와 주관적 청감실험을 바탕으로 검증하는 것이 타당하다고 사료된다. 확산체 설치유무에 따라 수음점별로 동일한 잔향시간을 나타내는 지점을 선정한 결과 확산체가 측벽에 설치된 경우에 4지점에서 확산체가 설치되지 않은 경우와 동일한 잔향시간을 나타내는 것으로 조사되었다. 이들 4지점은 왼쪽 측벽에 근접한 R2, R3 두 지점과 교실 중앙에 위치한 R5, R6 두 지점이다(그림 1 참조).

표 5. 확산체 설치유무에 의한 동일 수음점에서의 영향

수음점	음향지표	확산체 설치유무에 따른 차이값 (설치전-설치후)					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
R2	T30	-0.01	-0.05	0.00	-0.01	-0.03	-0.02
	C_{50}	-0.3	+0.1	+2.1	+1.1	-0.1	+1.1
	STI	+0.01					
R3	T30	-0.04	+0.02	-0.03	-0.01	-0.02	-0.04
	C_{50}	-0.7	+3.3	0.0	+1.1	+0.1	+0.3
	STI	+0.01					
R5	T30	-0.05	-0.03	-0.05	-0.02	-0.02	-0.03
	C_{50}	-0.7	-1.4	+0.8	+0.3	-0.8	+1.0
	STI	0.00					
R6	T30	-0.01	+0.02	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03
	C_{50}	+1.7	+2.5	+0.9	+1.8	+0.3	0.0
	STI	+0.02					

*굵은체로 표시한 값은 각 음향지표 T30(s), C50(dB), STI가 1 JND 이상의 차이가 있음을 나타내는 것임.

17) 참고문헌 18 참조

확산체의 설치유무에 따른 동일 수음점에서의 각 음향지표 차이 값을 표 5에 보여주고 있다. 표 5에 따르면, 수음점별로 확산체의 설치유무에 따른 영향은 C_{50}값에 현저하게 나타난다. C_{50}값의 JND를 고려할 때 1JND 이상의 차이를 나타내었으며, 그 차이는 수음점과 주파수대역별로 다르게 나타났다. 이들 수음점중 R6의 경우 확산체 설치유무에 따른 C_{50}와 STI값의 차이가 어느 다른 수음점보다 현저하게 나타났다. 따라서 이 지점에서의 주관적인 청감실험을 차후 실시한다면 교실에서 확산체에 의한 초기반사음의 영향[18]에 관해 보다 정확하게 검증할 수 있을 것이라 사료된다.

3.3 교실내 뒷좌석에서의 확산체의 영향

전술한 바와 같이 확산체의 효과는 교실내의 균등한 음향상태를 조성하여 음원과 비교적 가까운 거리에 있는 앞좌석은 물론 음원에서 멀리 떨어진 뒷좌석에서 보다 효과적으로 나타났다. 따라서, 음원에서 가장 멀리 떨어진 두 지점, R4와 R8에서의 확산체의 설치유무에 따른 영향을

표 6. 교실내 뒷좌석에서의 확산체 설치에 따른 변화

수음점	음향지표	교실조건	확산체 설치에 따른 변화					
			125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
R4	T30 (s)	ND	0.80	0.66	0.55	0.52	0.53	0.49
		FD	0.95	0.49	0.47	0.47	0.48	0.44
	차이값		0.15	-0.17	-0.08	-0.05	-0.05	-0.06
	C_{50} (dB)	ND	-0.2	1.8	6.0	3.9	3.4	6.4
		FD	4.0	5,6	4.8	5.0	4.5	6.1
	차이값		4.2	3.8	-1.2	1.1	1.1	-0.3
	SNR (dB)	ND	26	43	51	51	34	20
		FD	25	44	51	52	38	26
	차이값		-1.0	1.0	0.0	1.0	4.0	6.0
	STI	ND	0.69					
		FD	0.72					
	차이값		0.03					
R8	T30 (s)	ND	0.84	0.65	0.52	0.51	0.51	0.48
		FD	0.70	0.54	0.51	0.47	0.45	0.42
	차이값		-0.14	-0.11	-0.01	-0.04	-0.06	-0.06
	C_{50} (dB)	ND	2.6	2.5	4.0	5.2	4.5	6.1
		FD	3.5	5.7	5.2	4.5	5.2	7.9
	차이값		0.9	3.1	1.2	-0.7	0.7	1.8
	SNR (dB)	ND	30	46	52	52	34	17
		FD	25	43	50	51	38	27
	차이값		-5.0	-3.0	-2.0	-1.0	4.0	10.0
	STI	ND	0.70					
		FD	0.73					
	차이값		0.03					

18) 참고문헌 3 참조

살펴보았다. 두 지점은 음원에서 6.5m 떨어진 곳에 위치하며 실제 교실에서 가장 먼 거리에 있는 좌석이 6m정도임을 감안하면 음원의 직접음이 상대적으로 적게 도달하는 뒷좌석에서 확산체 설치에 따른 영향을 보다 자세하게 분석할 수 있다. 앞서 3.1장에 따르면 확산체를 전면벽에 설치하는 것이 측벽에 설치하는 것보다 뒷좌석의 음향개선에 보다 효과적인 것으로 나타나 확산체를 설치하지 않은 경우와 전면벽에 설치한 경우를 비교·분석하였다. 표 6은 뒷좌석 두 지점에서의 확산체 설치에 따른 변화를 음향지표별로 보여주고 있다.

표 3에 따르면, 두 지점에서 확산체를 설치하였을 경우 T30값은 짧아지고 C_{50}값은 일부 주파수대역에서 증가함을 알 수 있다. SN비값은 측벽에 가까이 위치한 R4지점에서는 전제주파수대역에서 증가하는 반면 실의 중앙에 위치한 R8지점에서는 저·중주파수에서 감소하며 고주파수에서의 증가현상이 두드러진다. STI값은 확산체를 설치하였을 경우 두 지점에서 모두 증가함을 알 수 있다. 따라서, 교실내의 확산체 설치에 따른 영향은 음원에 가까운 좌석에서보다 음원에 멀리 떨어진 뒷좌석에 크게 나타남을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 교실에서 확산체의 설치유무가 실내음향에 미치는 영향에 관하여 T30, C_{50}, STI 그리고 SN비를 바탕으로 분석하였다. 국내 초등학교 교실을 대상으로 하였으며, 확산체의 설치 유무와 위치에 따른 영향을 축소모형법을 이용하여 측정·분석하였다. 먼저 확산체의 설치유무에 따른 교실의 음장변화를 살펴보면 확산체가 전면벽 혹은 측벽에 설치된 경우 저주파수대역 125Hz와 250Hz에서의 T30값 변화가 현저하게 나타났으며, 그 결과 전주파수대역에서 좀 더 균등한 T30값을 얻을 수 있었다. 확산체가 설치된 경우 교실내 좌석별 편차가 줄어들어 균일한 음장조성에 기여한 것으로 사료된다.

확산체를 설치한 경우 설치하지 않은 경우에 비해 중·고주파수 대역의 C_{50}값이 증가하였고, 수음점이 음원에서 멀어질수록 C_{50}값이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 확산체가 직접음에너지가 상대적으로 약한 뒷좌석에서의 초기반사음성분을 증가시켜 음성전달에 기여할 수 있다는 가능성을 의미한다. STI값은 확산체를 설치하지 않은 경우에 비해 확산체를 설치하였을 경우 높게 나타났다. 특히, 확산체를 음원에 가까운 전면벽에 설치한 경우 높은 STI값을 얻는데 유리한 것으로 나타났다. 확산체 설치전의 교실 음향조건이 이미 최적잔향시간에 근접하고 있어 STI값도 우수하게 평가되어 음원에 가까운 수음점에서의 확산체 설치에 따른 효과는 미미한 것으로 나타났다. 그러나 음원에서 가장 멀리 떨어진 지점에서의 STI값은 확산체를 설치하는 경우 향상됨을 알 수 있었다. 확산체의 설치효과는 고주파수대에서 높은 SN비값의 확보에 기여하는 것으로 나타났으며 확산체를 전면벽에 설치하는 것이 유리한 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 확산체의 설치가 교실 음향에 미치는 영향에 관하여 조사한 것으로 본 연구결과를 검증하기 위해서는 유효한 확산체의 설치 면적, 설치 위치 등이 향후 연구과제로 진행되어야 한다. 또한, 교실 음향을 개선하기 위해 높은 SN비를 확보하기 위한 음향설계법이 제시되어야 한다.

참고문헌

1. J.S. Bradley: Speech intelligibility studies in classrooms. J. Acoust. Soc. Am. 80(1986) 846-854.
2. J.S. Bradley, R. Reich and S.G. Norcross: On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. J. Acoust. Soc. Am. 106(1999) 1820-1828.
3. J.S. Bradley, H. Sato and M. Picard: On the importance of early reflections for speech in rooms. J. Acoust. Soc. Am. 106(2003) 3233-3244.
4. S. R. Bistafa and J. S. Bradley: Predicting reverberation times in a simulated classrooms. J. Acoust. Soc. Am. 108(2000) 1721-1731.
5. S. H. Mir and A. A. Abdou: Investigation of sound-absorbing material configuration of a smart classroom utilizing computer modelling. Building Acoustics 12(2005) 175-188.
6. J. Smirnowa and A. Ossowski: A method for optimising absorptive configurations in classrooms. Acta Acustica United with Acustica 91(2005) 103-109.
7. L. Nijs and M. Rychtáriková: Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50. Acta Acustica United with Acustica 97(2011) 93-102.
8. W. Yang and J.S. Bradley: Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. J. Acoust. Soc. Am. 125(2009) 922-933.
9. H. Sato and J.S. Bradley: Evaluation of acoustical

conditions for speech communication in working elementary school classrooms. J. Acoust. Soc. Am. 123(2008) 2064-2077.
10. J.S. Bradley and H. Sato: The intelligibility of speech in elementary school classrooms. J. Acoust. Soc. Am. 123(2008) 2078-2086.
11. ISO 17497-1, Acoustics-sound-scattering properties of surfaces-Part 1: Measurements of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room(2004).
12. ISO 354, Acoustics-Measurement of sound absorption in a reverberation room(2003).
13. Y.-J. Choi and D.-U. Jeong: Effects of unspecified experimental conditions in ISO 17497-1 on the scattering coefficients measured in a scale model. Acta Acustica United with Acustica, 97(2011), 75-81.
14. R. Brook, Rooms for speech and music, In G. Ballou(Ed.) Handbook for sound engineers(2nd ed., Howard W. Sams, Indianapolis, p.175, 1991)
15. F. A. Everest, The master handbook of acoustics(4th ed., MeGraw Hill, NewYork, p.153-154, 2001)
16. IEC 60268-16: Sound system equipment-Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.
17. J.S. Bradley, R. Reich and S.G. Norcross: A just noticeable difference in C50 for Speech. Applied Acoustics 58(1999) 99-108.
18. T.T. Cox, W.J. Davies and Y.W. Lam: The sensitivity of listeners to early sound field changes in auditoria. Acustica 79(1993) 27-41.

접수 2011. 6. 1
1차 심사완료 2011. 7. 9
2차 심사완료 2011. 9. 16
게재확정 2011. 9. 22