

교육시설 음향 성능 평가 지표 및 성능 표준화

정정호*

교육시설에서 교사의 음성을 명료하게 학생들에 전달하는 것이 중요하다. 최근 학교 교실에는 다양한 멀티미디어 교육 보조기구들이 사용되고 있으나, 교육 콘텐츠에서 발생하는 음향 및 음성이 학생들에게 명료하게 전달되고 있는지에 대한 연구 및 교육시설의 건축음향 성능에 대한 표준화는 부족한 실정이다. 미국 및 유럽연합 국가들은 교실 및 다양한 교육시설의 명료한 음성 전달을 위한 다양한 연구 및 표준화를 추진하고 있다. 우리나라에서도 교실 등 다양한 교육공간에 대한 건축음향 성능(잔향시간, 음성 명료도 등) 및 소음 레벨에 대한 조사 및 연구가 수행되었으나 관련 지표 및 성능 기준의 표준화는 부족한 실정이다.

교육시설의 명료도 향상을 위해서는 적절한 음향 성능 평가 지표 및 관련 기준 설정이 반드시 필요하다. 과거 교육시설의 음향에 대한 연구는 교사가 일방적으로 강의하는 조건만을 대상으로 하였다. 그러나 학생과 교사 사이, 학생 사이 토론 및 의견 교환을 위해서는 교실 내 여러 위치에서 발생하는 음성에 대한 명료도를 평가하고 개선하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 대표적인 교실 조건을 선정하여 교사 및 학생 음성이 교실내의 잔향시간과 음성 명료도 분포 특성을 건축음향 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 시뮬레이션 수행결과 교사 및 학생 위치 및 음원 특성에 따라 음성 전달 지수의 분포가 다르게 나타나 실제 음성 특성과 가장 유사한 특성을 기준으로 하는 것이 필요한 것으로 나타났다. 위의 조사와 연구를 통해 다양한 교육시설의 음향 성능 평가 지표와 성능 기준을 정리하였으며, 향후 교실시설의 음향성능 평가 지표와 성능 기준 개선 및 표준화를 위해 고려해야하는 사항을 정리하였다.

주요어: 교육시설, 음향성능, 음성 명료도, 잔향시간, 음성 전달 지수, 배경소음, 차음성능, 표준화

1. 서론

최근 다문화 가정 및 해외 이주자가 증가함에 따라 한국어를 모국어로 사용하지 않는 해당 가정의 자녀들의 교육의 중요성이 대두되고 있다. 학교 교육에서 가장 많은 정보를 전달하는 매체는 음성 및

음향으로 학생들에게 음성 및 음향을 명료하게 전달하는 것이 매우 중요하다. 교실 등 교육시설에서 음성 및 음향을 명료하게 전달하기 위해서는 교실 내 외부에서 발생하는 소음을 낮추고 소리가 울리지 않도록 하는 것이 중요하다.

미국의 경우 영어를 모국어로 사용하지 않는 국민 및 이민자들이 충분한 교육을 받지 못하거나 교육

* 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, 책임연구원 (jhjeong92@gmail.com), 주저자

효과가 낮아 사회문제로 대두되는 것을 해결하기 위한 방안으로 교육시설의 음향 환경 개선을 연방정부 차원에서 추진하였다. 이를 위해 미국 교육시설의 음향 개선을 위한 프로토타입을 개발하여 보급하였다. ISO/TC 43/SC 2 Building Acoustics에서는 교실, 사무실 등 실내 공간에서의 음성 명료도, 스피치 프라이버시 등에 대한 평가 방법과 각 시설별 권장 음향 성능 기준을 표준화하고 있다.

우리나라 교육시설의 대부분은 소리를 충분히 흡음하지 못하여 소리가 울려 명료하게 음성이 전달되지 못해 이해하기 어려워진다. 결과적으로 학생들은 교과 내용을 충분히 이해하지 못해 학습효과가 떨어진다. 이와 같은 현상은 교사의 음성뿐만 아니라 멀티미디어 교육 콘텐츠의 음향에도 동일한 현상이 발생한다.

이와 같은 문제를 개선하기 위해서는 교육 시설의 음향 성능 평가 지표의 표준화, 교실 등 다양한 교육 시설의 음향 성능 개선을 위한 설계 지표와 성능 기준을 표준화하고 교실 음향 설계 가이드라인 등을 만들어 보급하는 것이 필요하다. 교육 시설의 음향 성능 관련 표준화를 통해 음향 설계, 시공 및 최종 평가에 활용할 수 있으며, 최종적으로는 음향성능이 우수한 교육시설을 건설, 활용하여 쾌적하고 학습효율이 우수한 공간을 구성할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 대표적인 교실 조건을 대상으로 교사 및 학생 위치에서의 음성, 음향의 명료도 특성을 건축 음향 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 또한 다양한 건축음향 지표에서 교실의 음향성능 평가에 가장 적절한 평가 지표와 기준을 시뮬레이션 결과와 기존 연구 결과를 종합하여 제안하고자 한다.

II. 교육시설 음향 성능 연구

교육시설의 음향 실태 조사 및 개선을 위한 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 우리나라의 교육시설 음향 실태 조사는 초, 중, 고등 학교의 일반 교실을 대상으로 한 연구가 다수를 이루고 있다. 음향 성능 평가 지표로 소리의 울리는 정도를 나타내는 잔향시간, 소음 레벨과 함께 교사의 음성이 전달되는 정도를 평가하는 음성 명료도를 대상으로 하였다.

주현경(1999)은 표준형 교실에 다양한 학습활동을 수행하기에 청취환경이 적합하지 않으며 음성전달 성능에 대한 개선의 필요성을 제시하였다. 김운선(2008)은 교육시설의 음향 성능 개선을 위해서는 음향성능에 대한 법적 기준이 수립되지 않아 교육 공간 개선을 위한 설계, 시공시 제한점이 있는 것으로 보고하였다.

초등학교 교육시설의 만족도 조사결과(좌경옥 2008) 방음 상태에 대한 만족도는 낮은 것으로 나타났다. 특히 교실의 방음상태에 대한 설문조사 결과 유리창의 방음효과가 크지 않으며, 음악실에서 발생하는 소리를 차단하는 방음시설이 부족한 것으로 나타났다. 또한 방송 시설을 통해 전달되는 소리가 원활하게 들리지 않고 인접 공간으로부터 유입되는 소음이 수업을 방해하는 것으로 나타났다. 신설학교의 방음 성능 만족도는 상대적으로 높은 것으로 조사되었는데, 이는 음향성능을 고려하여 설계, 시공을 하였기 때문으로 판단하였다(박종혁, 2006). ‘학교 시설, 설비 기준령’ 법령은 유치원 및 초, 중등교육기관의 시설, 설비 기준을 규정하고 있으며, 교지, 체육장, 교사실, 시청각실, 도서실, 상담실, 관리실, 보건, 교구, 급수시설, 소방설비 및 권장시설 등이 규정하고 있다. 그러나 각 공간의 음향 성능 관련 기준은

미흡한 실정이다. 위의 연구에서와 같이 교육시설의 음향성능 개선을 위해서는 각 공간별 성능 평가 지표와 기준이 수립되어야 한다.

1. 교육시설의 음향 성능 기준

우리나라의 교실 음향성능 관련 기준은 학교보건법에서 교사 내의 소음을 55 dBA로 제한하는 수준(교육부 2015)이며, 구체적인 평가지표, 측정 방법과 성능기준 등 음향 성능 등 다양한 교육공간에 대한 설계, 시공을 위한 기준 마련이 필요한 실정이다.

미국(ASA 2010), 영국(BB93 2003)과 유럽 연합 국가는 교실에서의 효과적 학습을 위한 음환경 조성을 위한 음향 성능 기준을 수립하였다. 또한 Roy (2010)는 친환경 건축기준을 통해 교실의 적정 잔향시간을 제시하고 있으며, 중국의 교육시설 개선을

위한 연구 및 자문을 실시하고 있다. 영국의 초등학교 교실의 잔향시간 기준은 0.6 s이하(공석, 가구가 없는 조건)로 제시하고 있으며, 개방형 교실은 음성 전달 지수(Speech Transmission Index, STI) 0.6 이상을 권고하고 있다[표 1 참조]. 북유럽 국가에서도 교실의 잔향시간 기준으로 0.6 s를 제시하고 있으며, 일부 국가에서는 잔향시간을 4개 등급화(A ~ D)하고 최소 성능 등급으로 C를 요구하고 있다.

다양한 건축 공간의 배경소음에 대한 권장 기준치로 NR(Noise Rating), NC(Noise Criteria), dB(A) 평가량이 ISO, ASHRAE 등에 사용되고 있다. 교육 시설의 소음 권장치는 NR-20 ~ 30, NC-25 ~ 30 및 38 dB(A) 이하를 권장하고 있다. 차음성능 기준으로 AIA(American Institute of Architects)에서는 표 2에서와 같이 공간을 구성하는 경계벽에 따라 다른 기준을 제시하고 있으며, 최

〈표 1〉 각국의 교실에 대한 잔향시간 및 배경 소음 기준

국가	기준	잔향시간(RT, s)	배경소음 dB(A)
미국	ANSI S12.60	0.6	35
	LEED 2009	0.6	40 ~ 45
	CHIPS	0.6	35 ~ 45
	GBI	0.6	-
영국	BB93	< 0.6	35 ~ 45
	BREAM	< 0.6	-
호주	Green Star	0.4 ~ 0.5	-
덴마크	BR 2010	≤ 0.6	-
핀란드	PAKMK C1:1998	0.6 ~ 0.9	-
아이슬란드	IST 34:2011	≤ 0.6	-
노르웨이	TEK 2010	≤ 0.6	-
스웨덴	SS 25268:2007	≤ 0.5	-
우리나라	학교보건법	-	55
	NR	-	20 ~ 30
	NC	-	25 ~ 30

〈표 2〉 각국의 교실에 대한 차음성능 기준

국가	기준	인접실	차음성능
미국	AIA	교실과 교실	STC 42 ~ 45
		교실과 복도	STC 40 ~ 42
		교실과 음악실	STC 52 ~ 60
		교실과 외벽	STC 37 ~ 45
	ANSI S12.60	Other enclosed or open plan core learning space	STC 50
		Corridor, staircase, conference room	STC 45
		Toilet room, bathing room	STC 53
		Music room	STC 60
영국	BB93	Interviewing/ counselling rooms	$D_{nT,W}$ 40
		Primary music room	$D_{nT,W}$ 50
		Classrooms, Science laboratories	$D_{nT,W}$ 45
		Corridors, stairwells, toilets	$D_{nT,W}$ 405

소 STC(Sound Transmission Class) 42 이상을 요구하고 있다. ANSI(2010)에서도 공간 구성별로 다른 기준을 제시하고 있으며, 대표적으로는 STC-50을 기준으로 하고 있다.

잔향시간, 배경소음과 함께 교육시설에서 중요한 음향지표는 음성 명료도 관련 지표이다. 음성 명료도는 언어별로 다른 경향성을 나타낼 수 있다. 윤장섭 등(1988, 1989)은 한국어 명료도 실험을 위한 단음절 음원을 선정하여 서로 다른 건축 공간에 적용하여 음성 명료도를 평가하였다. 음성 명료도 평가 결과 명료도지수는 음성음의 레벨과 배경소음에 의해 결정되므로 실내 공간의 음향특성을 충분히 반영하지 못하는 것으로 나타났으며, 한국어 명료도 실험의 정답률과는 음성 전달 지수(RASTI, Rapid Speech Transmission Index)가 상관성이 있는 것으로 제안하였다(윤장섭 등 1990). 이상의 연구 및 기준 검토 결과 다양한 교육 공간의 음향 성능 평가 항목으로는 소리의 울리는 정도를 나타내는 잔향시간(RT, Reverberation Time), 배경소음, 인접공

간의 차음성능과 함께 음성 명료도 지표를 활용할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 교실의 음향 성능 연구 결과

1) 잔향시간 등

소리가 울리면 정확히 알아듣기 어렵게 된다. 이와 같이 해당 공간에서 소리가 울리는 정도를 평가하는 지표는 잔향시간(RT)이다. 표 1에서와 같이 우리나라를 제외한 대부분의 나라에서 교실의 음향 성능 기준으로 잔향시간을 제시하고 있다. 잔향시간은 짧을수록 소리가 울리지 않는 것을 의미한다. 이성복(2015)이 초등학교 일반교실의 잔향시간을 측정한 결과 0.6 s ~ 0.9 s 수준으로 나타났으나, 음성 명료도를 나타내는 지표(C80, D50, STI)와는 유의한 상관관계가 나타나지 않은 것으로 보고하였다. 향후 음성 명료도 지표(C80, D50 및 STI)와 주관적 평가 결과와의 유효성 검증이 필요함을 제안하였다.

강경술(2002)은 비어있는 교실의 잔향시간 측정 결과 소리를 흡수하는 특성(흡음력)이 낮은 교실의 경우 0.7 s 이상으로 나타난 것으로 보고하였다. 신축 교사와 열린 교실의 음성 명료도를 비교한 연구 결과 신축 교사의 음성 명료도가 더 높은 것으로 나타났다(한찬훈 등 2004). 이는 교실의 바닥 마감재 차이 등에 의한 것으로 판단하였다. 또한 열린 교실은 음성 명료도뿐 아니라 교실간 차음성능도 열악한 것으로 보고하였다. 최영지(2011)는 교실의 음성 명료도 향상을 위해 음향 확산체를 교실의 전면 벽에 적용하는 방안을 연구하였으며, 음향확산체를 적용하면 음원과 후벽에 가까운 부분의 STI(Speech Transmission Index)가 증가하는 것으로 제시하였다.

2) 차음성능

J. S. Bradley 등(1999)은 교실의 음성 명료도는 크게 신호 대 잡음비(Signal to noise ratio)와 실내음향지표(Room acoustics characteristics)에 의해 영향을 받는다고 밝히고 있다. 신호 대 잡음비를 향상시키기 위해서는 인접 공간에서 전달되는 소음을 효율적으로 차단하는 벽체, 창호 등의 성능이 요구된다. 경량 칸막이와 일반 벽체로 구성된 교실의 차음성능을 평가한 결과(강경술 2002) 경량 칸막이벽의 차음성능은 D-30 정도 수준으로 교실 사이의 프라이버시를 확보하기 위한 최소 성능 정도로 나타났다. 그러나 교실과 복도 사이의 차음성능은 D-20, D-15 수준으로 상당히 낮은 차음성능을 갖는 것으로 나타났다. 이는 교실 문과 창호의 차음성능과 기밀성이 낮기 때문으로 판단된다.

류다정 등(2017)은 교실의 창호 개폐에 따른 차음성능을 측정하여 비교하였다. 복도 측창호의 개폐여부에 따라 교실의 소음레벨이 평균 19.6 dB(A) 차

이가 나는 것으로 나타났으며, 복도를 통한 측로전달 소음의 유입으로 소음 대 잡음비를 증가시켜 명료도를 저해하는 것으로 판단하였다. 한찬훈 등(2004)은 창호를 개방한 경우와 문을 개방한 경우의 차음성능을 비교하였으며, 문을 개방한 경우 차음성능이 낮은 것으로 나타났다. 이는 출입문이 인접교실과 가장 가까이 있을 뿐만 아니라 출입문틀에서 회절된 음이 교실내로 인입되기 때문으로 분석하였다. 이상의 연구결과를 종합하면 교실을 구성하는 벽체의 차음성능 보다는 복도 및 외부 창호를 통해 인접 교실의 소음이 많이 전달되는 것으로 판단된다. 향후 교실 사이 벽체의 차음성능 기준과 함께 복도 및 외부 창호에 대한 차음성능 등에 대한 기준 보완이 필요하다.

3) 배경소음

교실에서의 명확한 음성 전달과 의사소통을 위해서는 배경소음을 낮게 유지하는 것이 반드시 선행되어야 한다. 교실의 차음성능 확보도 궁극적으로는 배경소음을 낮추기 위한 것이다. 강경술(2002)이 주간엔 인접 교실 및 운동장이 사용되는 조건에서 교실의 배경소음을 측정 분석한 결과, NC-25, 38 dB(A) ~ 47 dB(A) 수준으로 조사되었다. 도로변에 위치한 학교의 경우 미국 및 영국의 배경소음 기준인 35 dB(A)를 초과하는 것으로 조사되었다(박찬재 등 2014). 특히 창문을 개방한 경우 모두 기준을 초과하는 것으로 나타나 교실 안에서의 음성전달이 방해되는 수준으로 나타났다. 또한 교실에 설치되는 냉난방 기기에 의한 소음 레벨의 영향을 파악하기 위해 다양한 에어컨 소음 환경에서 집중도 실험을 진행한 결과 에어컨 소음의 라우드니스(주관적 소리크기)가 집중도 방해에 영향을 미치는 것으로 나타났다(김수연 등 2005, 유진 등 2005). 박

찬재(2014)는 우리나라 교실의 배경소음 기준으로 35 dB(A)와 0.8 s 이하의 잔향시간을 제시하였다. 제시된 기준을 만족하기 위해서는 실내 평균 흡음계수를 0.2 이상으로 해야 하며, 측면 흡음재는 효과가 낮은 것으로 제시하였다. 모승준 등(2003)은 교실에 유틸리티 공간을 설치하면 각 교실에서 전달되는 음압레벨을 저감하여 회화 인지도와 음질 명료도가 개선될 수 있는 것으로 보고하였다.

2. 음악실의 음향 성능

우리나라의 교육시설 음향 개선에 대한 연구는 주로 일반교실을 중심으로 이루어졌다. 일반 교실뿐만 아니라 교과 교실 등 다양한 교육시설에 대한 음향 개선 문제도 제기되고 있다. 2009년 개정된 음악과 교육과정에는 감성 활동과 관련된 멀티미디어 기기, 오디오 시스템, 음향 시설의 구비와 방음 성능이 충분한 음악실을 구비하도록 하고 있다. 음악 교과 교실의 실태 조사 결과(김경희 2015) 음향 시설이 없는 경우가 더 많으며, 방음시설이 미흡한 것으로 나타났다.

음악 교과 교실의 잔향시간을 시뮬레이션을 통해 예측한 결과(정인모 2010) 3가지 중·고교 음악 교과 교실의 잔향시간은 무분별한 흡음재의 사용으로 음악 교과 수업에 부적절한 수준으로 나타났다. 또한 설수환(2010)은 음악 교과 교실의 잔향시간 측정 결과 0.24 s ~ 0.95 s로 짧은 것으로 나타났으며, 이로 인해 음성 명료도, 음성 전달 지수가 높게 나타나지만 음악 활동에는 적절하지 않은 것으로 나타났다. 이와 같은 문제는 마감 재료의 변경으로 소리가 울리는 정도를 더 확보하는 방안이 필요한 것으로 제안하였다.

3. 기타 교실

다양한 교육 시설 중에서 특성화 고등학교 실습실의 음향성능에 대한 설문조사 결과(류동수 2015) 실습기자재에서 발생하는 소음이 가장 불편한 것으로 나타났으며, 실습기자재에서 발생하는 소음을 적절하게 제어할 수 있는 소음방지 대책은 부족한 것으로 나타났다. 이는 인접한 교실 등에도 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 교실에 설치되는 스피커의 특성에 대한 연구 결과(주문기 등 2014) 측면 벽에 흡음재를 적용한 경우 명료도가 증가되는 것으로 나타났다.

중·고등학교 교실은 수학능력 시험 및 각종 어학 시험에 활용되고 있어 스피커로 제시되는 음원이 명료하게 전달되어야 한다. 수학능력 시험에 활용되는 고등학교의 음향 특성(잔향시간(RT), 명료도(D50), 음성 전달 지수(RASTI)) 조사결과(주문기 등 2011), 듣기 평가 결과에 영향을 미칠 수 있는 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 서로 다른 음향 환경에서 영어 듣기 평가 평가를 비교한 결과(오양기 등, 2011), 교실의 음향 환경 차이에 따라 득점 차이가 발생할 수 있으며, 이는 상위권 성적자의 경우 더 크게 나타날 수 있는 것으로 조사되었다.

교육시설의 음향 성능에 대한 여러 연구 결과를 정리한 결과, 우리나라 교육시설의 음향 상태는 개선이 필요한 것으로 나타났다. 개선 대상으로는 일반 교실뿐만 아니라 음악 교과 교실, 실습실 등 대부분의 교육 공간에 대하여 배경소음 기준의 강화(현재 55 dB(A))와 각 교과별 적절한 잔향시간 기준 수립, 벽체와 창호에 대한 요구 조건 등 세부적인 기준 수립이 필요한 것으로 판단된다. 또한 과거의 연구는 대부분 학생들이 없는 조건에서 배경소음 등이 측정되었지만 실제 성능을 평가하기 위해서는 평일

낮 실제 수업이 진행되는 학교를 대상으로 한 조사 등이 추가로 필요한 것으로 판단된다.

음성 명료도 및 음성 전달 지수 관련 연구에서도 일반적으로 교사가 학생에게 내용을 전달하는 조건에 대해서만 조사, 연구가 수행되었다. 그러나 최근에는 다양한 그룹 활동과 토의, 학생과 교사가 질의 응답이 증가하고 있어, 이와 같은 교육 조건에 대한 음향 성능 평가가 반드시 추가되어야 할 것으로 판단된다.

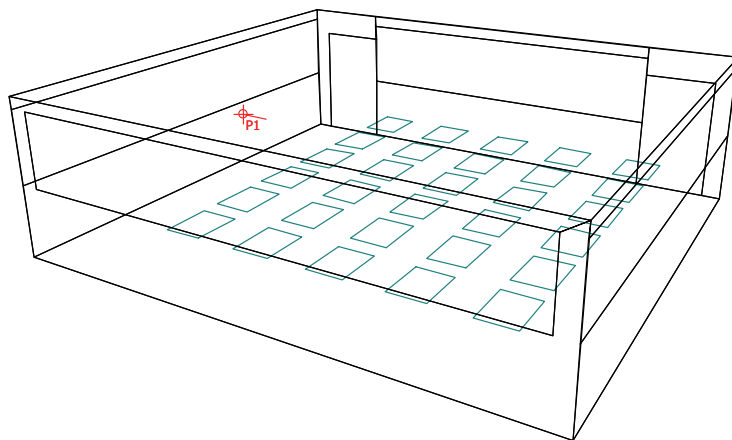
III. 교실 음향 시뮬레이션

이전 연구 정리 결과 교실의 음성 명료도 연구는 교사가 강단에서 학생들에게 강의 내용을 전달하는 조건에 대해서만 측정, 연구되었다. 최근에는 교실 내에서 다양한 그룹 학습 및 토의가 이루어지고 있으며, 학생과 교사 사이의 의사소통도 중요하므로 교사의 음성 명료도 및 학생이 말하고 교사가 청취

하는 조건에 대한 고려도 필요한 것으로 판단된다. 위의 두가지 조건에 대한 연구는 이루어지지 않아 시뮬레이션 방법을 적용하여 각 조건별 음성 전달 지수 분포를 비교하였다.

시뮬레이션 대상 교실은 이전 연구(이성복 2015, 오양기 등 2011)에서 측정된 교실의 크기를 참고로 평균 크기(7.7 m × 8.7 m × 2.6 m)를 적용하여 모델링 하였다(그림 1 참조). 음향 시뮬레이션은 Odeon V.12를 사용하여 수행하였다. 마감 재료는 일반적인 교과 교실의 마감재를 기준으로 표 3과 같이 입력하였다. 기준 재료와 함께 천장재를 흡음 성능이 높은 타공 석고보드와 고밀도 암면 흡음재를 적용한 경우의 음성 전달 지수(RASTI)를 예측하여 비교하였다. 일반적으로 음향 시뮬레이션을 수행하는 경우 음원의 특성은 구 형태로 동일한 음압레벨이 발생하는 조건(무지향성 점음원)으로 입력하여 수행한다. 그러나 실제 사람의 음성은 지향성이 존재하므로 무지향성 음원으로 입력한 경우와 사람의 음성의 지향성을 입력한 경우를 비교하였다. 음향 시뮬레이션에 적용한 마감재의 흡음 특성과 음원의

〈그림 1〉 교실 음향 시뮬레이션 모델



〈표 3〉 음향 시뮬레이션 입력 마감재

부위	적용 재료
바닥	리놀륨, 플라스틱 타일 마감
천장	1. 석고보드 9.5 mm 마감 2. 타공석고보드 3. 고밀도 암면 흡음재
벽	시멘트 마감위 도장
유리	복층 유리

〈표 4〉 음향 시뮬레이션 입력 마감재와 음원 특성 비교

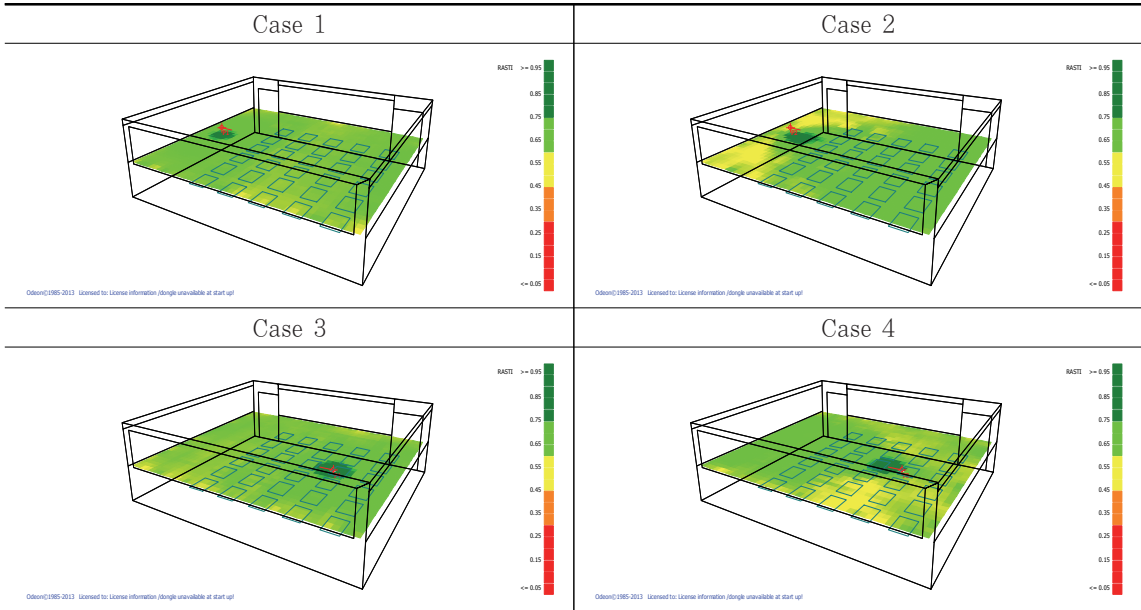
	천장 마감재	음원 위치	음원 지향성
Case 1	석고보드	교사	무지향성
Case 2			지향성
Case 3		학생	무지향성
Case 4			지향성
Case 5	타공석고보드	교사	무지향성
Case 6			지향성
Case 7		학생	무지향성
Case 8			지향성
Case 9	고밀도 암면 흡음재	교사	무지향성
Case 10			지향성
Case 11		학생	무지향성
Case 12			지향성

지향성 특성은 Odeon V12에 기본 내장되어 있는 자료를 활용하여 입력하였다.

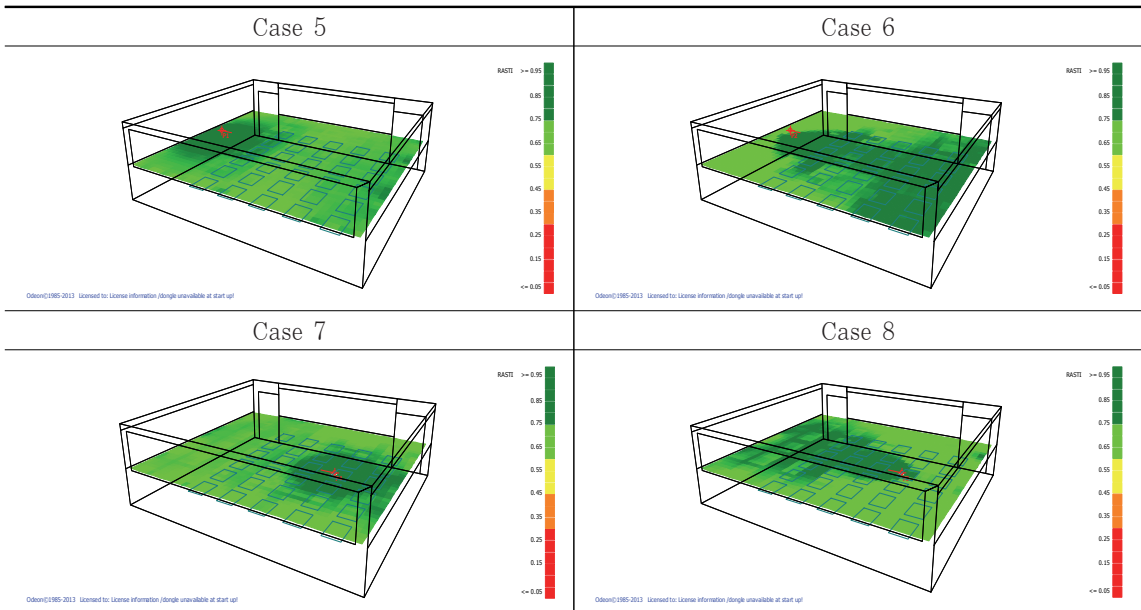
음성 전달 지수(RASTI)에 대한 음향 시뮬레이션 수행 결과, 천장 재료를 일반 석고보드로 마감한 경우 음성전달 성능은 0.6 ~ 0.75인 Good(잘 들린다, 녹색)로 나타났으나, 일부 위치에서는 0.45 ~ 0.6(Fair, 노력하면 들을 수 있다, 황색) 수준으로 나타났다. 음원 위치를 교사 위치로 한 경우 무지향 특성을 입력한 경우는 Fair 수준으로 나타난 위치는 매우 적은 것으로 나타났다. 그러나 음원의 특성을

지향성으로 입력하면 양 측벽 부분의 앞쪽 학생 위치에서는 Fair(황색) 수준으로 나타났다. 학생 위치 음원의 경우도 무지향 특성을 입력한 경우 대부분 Good(녹색) 수준으로 나타났으나, 지향성 특성을 입력한 경우는 음원 위치 뒤쪽 및 양측면 위치에서는 Fair(황색)으로 나타났다. 천장 마감재로 타공 석고보드와 고밀도 암면 흡음재를 적용한 경우 표 6, 7에서와 같이 대부분의 조건에서 음성 전달 지수가 Good 이상으로 나타났다. 천장의 흡음성능 증가에 따라 음성 전달 지수가 증가되는 것으로 나타났다.

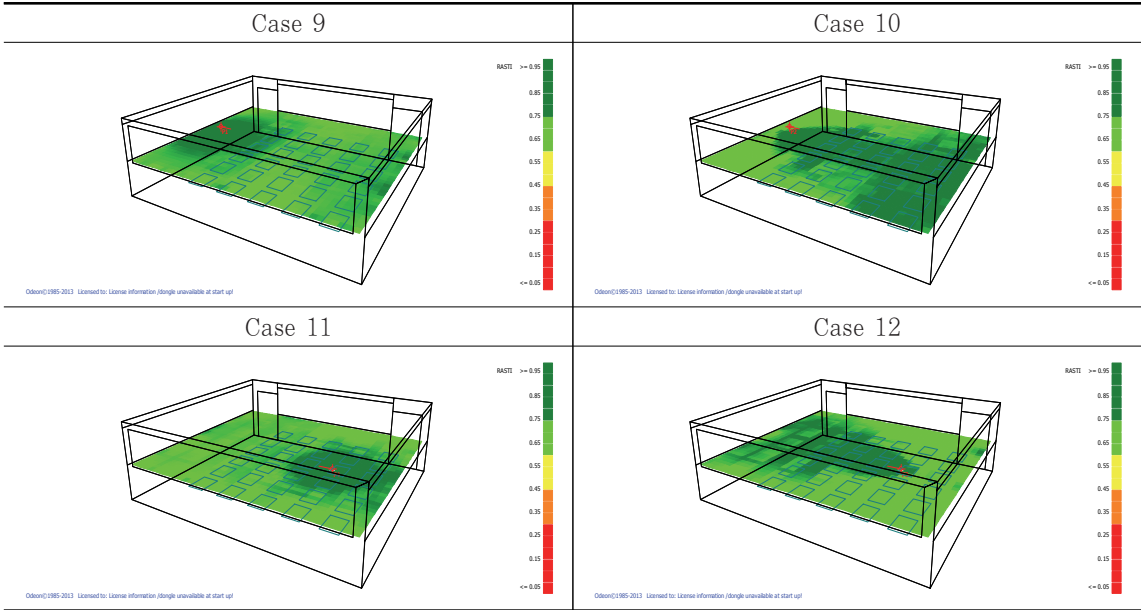
〈표 5〉 일반 석고보드를 적용한 경우의 음성 전달 지수(RASTI) 분포 비교



〈표 6〉 타공 석고보드를 적용한 경우의 음성 전달 지수(RASTI) 분포 비교



〈표 7〉 고밀도 암면 흡음재를 적용한 경우의 음성 전달 지수(RASTI) 분포 비교



〈표 8〉 RASTI 평가 기준

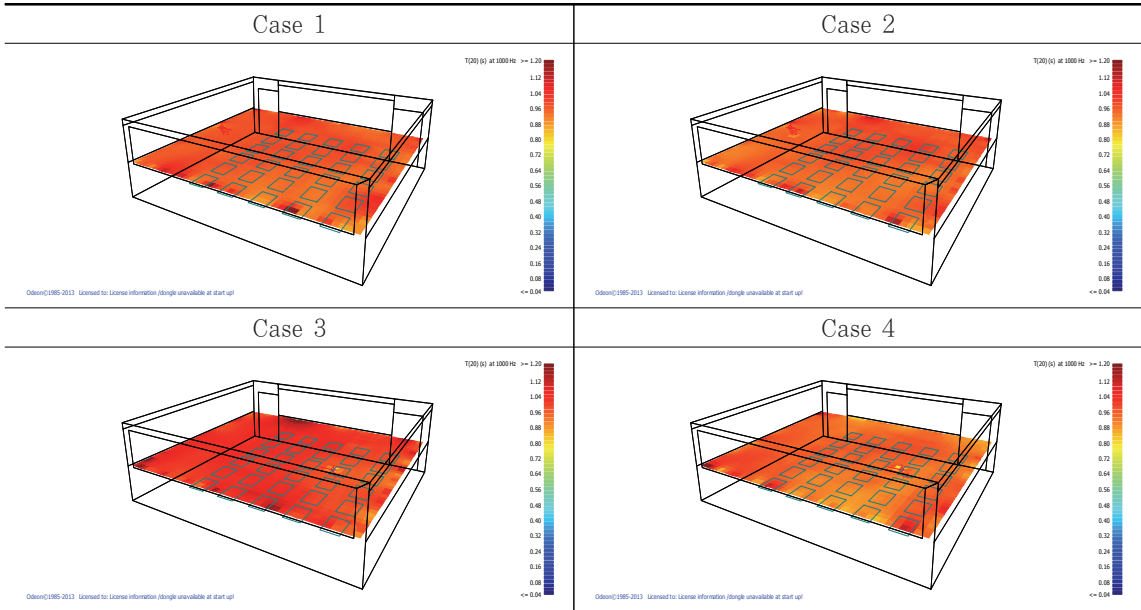
RASTI	평가척도
0.75 ~ 1	Excellent (아주 편안하게 들을 수 있다, 진녹색)
0.60 ~ 0.75	Good (잘 들린다, 녹색)
0.45 ~ 0.60	Fair (노력하면 들을 수 있다, 황색)
0.32 ~ 0.45	Poor (잘 알아듣지 못한다, 주황색)
0 ~ 0.32	Bad (전혀 알아듣지 못한다, 적색)

음원의 위치와 지향성 차이에 따라 음성 전달 지수가 Excellent로 나타나는 부분은 차이가 있는 것으로 나타났다. 음원의 지향성 특성에 따라 다른 음성 전달 지수 분포를 나타내게 되므로 교실 음향 시뮬레이션 등을 수행하는 경우 사람 음성의 지향성 특성을 고려하여 수행하는 방안을 추가로 검토하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

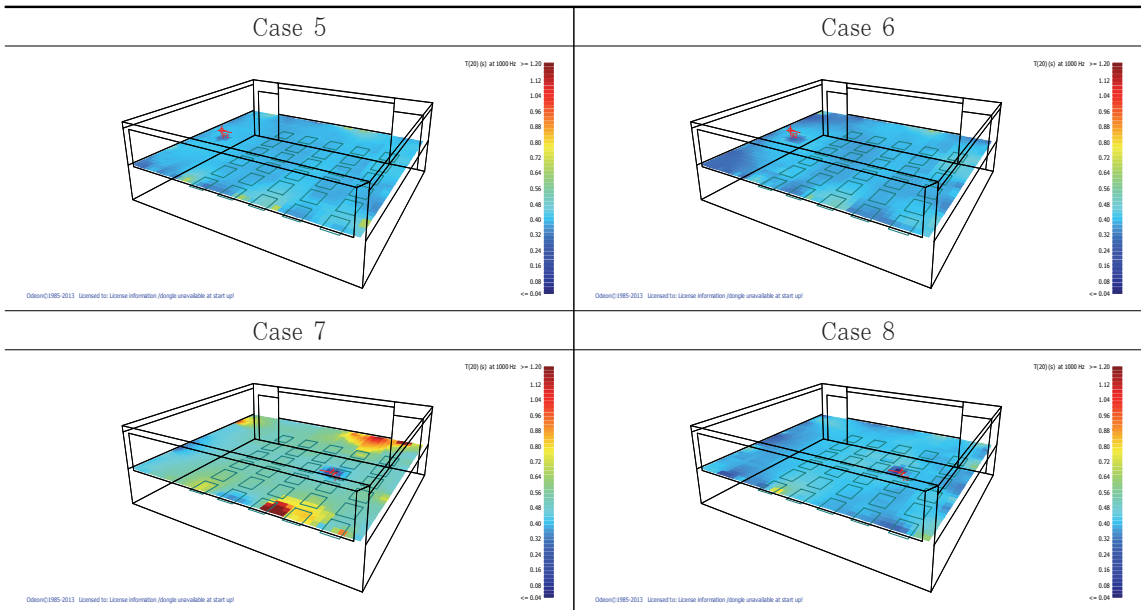
표 9 ~ 11은 각 조건별 1 000 Hz 대역의 잔향

시간 예측 결과를 나타낸 것이다. 천장 마감재를 일반 석고보드로 적용한 경우 0.9 s 이상의 잔향시간을 갖는 것으로 나타났다. 천장 마감재를 타공 석고보드로 적용한 경우 1 000 Hz 대역의 잔향시간이 0.4 s 수준으로 나타났으며, 고밀도 암면 흡음재를 적용한 경우는 약 0.6 s 수준을 갖는 것으로 나타났다. 타공 석고보드의 경우 공명 구조가 형성되어 1 000 Hz 대역의 잔향시간이 고밀도 암면 흡음재를

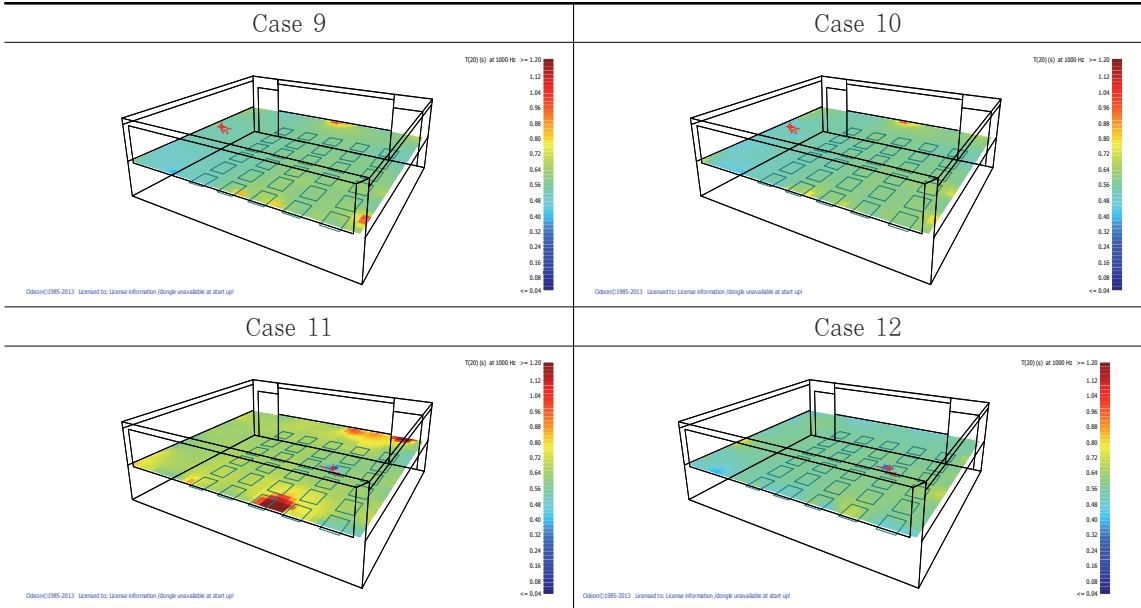
〈표 9〉 일반 석고보드를 적용한 경우의 잔향시간(1 000 Hz) 분포 비교



〈표 10〉 타공 석고보드를 적용한 경우의 잔향시간(1 000 Hz) 분포 비교



〈표 11〉 고밀도 암면 흡음재를 적용한 경우의 잔향시간(1 000 Hz) 분포 비교



적용한 경우 보다 낮게 나타났다.

잔향시간 예측 결과 흡음재를 적용하지 않은 조건의 경우 미국 및 유럽의 기준에서 권장하고 있는 0.6 s를 초과하는 것으로 나타났으며, 천장재로 흡음능력이 높은 재료를 사용한 경우는 대부분 0.6 s 이하의 값을 갖는 것으로 나타났다. 음원의 위치와 지향 특성에 따라 음성 전달 지수(RASTI)의 경우와 같이 잔향시간 분포 특성도 변화하는 것으로 나타났으며, 음원을 학생 위치로 설정한 경우 상대적으로 긴 잔향시간을 갖는 것으로 나타났다.

IV. 결론

교육 시설 내의 일반교실, 교과 교실 등에 대한 음

향 성능 조사 및 연구결과 교육시설의 음향 상태는 우수하지 못한 것으로 나타났다. 일반 교실의 경우 잔향시간 기준을 만족하는 경우가 나타났으나, 배경 소음 및 인접 공간에서 전달되는 소음의 차단과 교과 교실의 교과 특성에 맞는 음향 대책은 매우 부족한 것으로 나타났다. 유럽 및 북미국가의 경우 배경 소음과 잔향시간에 대한 권장 기준을 다양한 조건별로 적용하고 있지만 우리나라는 학교보건법에 배경 소음(55 dB(A)) 기준만 제시되어 있는 실정이다.

학교보건법에 규정되어 있는 55 dB(A)는 일반적으로 사무실 수준의 음압 레벨로 집중을 필요로 하는 교육 또는 듣기평가의 경우는 시끄러울 수 있다. 미국 및 유럽 국가의 배경 소음 기준은 대부분 45 dB(A) 이하로 우리나라의 55 dB(A) 보다 10 dB 이상 낮게 설정되어 있어 유일하게 교육시설의 음향 성능 기준으로 제시되어 있는 배경소음 기준 자체도

적정한 것인지 다시 검토되어야 할 필요가 있다. 또한 배경 소음을 측정하는 경우 실제 학교에서 수업이 이루어지는 조건이 아닌 주말이나 방과 후에 하는 경우 실제 사용조건을 반영하지 못하는 것으로 측정 조건에 대한 정확한 고려가 먼저 선행되어야 할 것으로 판단된다.

우리나라 학교 보건법에는 잔향시간 및 음성 명료도 등 실내 음향 특성에 대한 요건이 없지만 해외 기준에는 대부분 0.6 s 이하의 잔향시간을 기준으로 하고 있다. 일부 연구에서는 잔향시간 뿐만 아니라 D50 또는 음성 전달 지수 등을 기준으로 제시하기도 하였다. 그러나 이전 연구의 대부분은 교사의 일방적인 강의 상황만을 기준으로 연구되고 관련 기준이 제시되었다. 최근에는 토론식 수업 및 교사와 학생 사이의 음성 대화도 중요하게 대두되고 있으므로, 잔향시간과 함께 speech intelligibility 요소(ISO 3382-3)에 대한 연구 및 관련 기준이 제시가 필요하다. 이와 함께 실내음향 제어를 위해서는 다양한 흡음재료, 확산재료 사용이 반드시 필요하며, 이에 대한 품질관리 등을 위해서는 음향재료 성능 표시제도 등의 방법이 필요하다. 교육시설의 음향 성능을 실제 구현하기 위해서는 다양한 흡음재료 사용과 품질관리가 필요한데, 이를 위해서는 KS F ISO 11654의 부속서에 규정된 흡음재료 등급을 활용하여 흡음재료 성능 인증 또는 성능 표시 제도를 추진할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 음향 재료는 실내 마감 재료이므로 화재, 실내 공기질 안전성, 유해물질 등 다양한 안전성 인증 또는 확인과 함께 음향 성능이 추가되어 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 건축음향 시뮬레이션 기법을 적용하여 교실의 마감재와 음원 위치, 음원 지향성을 변화시켜 잔향시간과 음성 전달 지수 변화를 조사하였다. 향후 시뮬레이션 결과에 대하여 실측 결과와 비교, 분석을

수행하여 성능 평가 지표와 등급을 표준화하는 절차가 필요하다.

현재까지의 연구는 주로 표준화된 초등학교 교실을 위주로 듣기평가 등 어학 평가를 위한 고등학교 교실만을 대상으로 하였으나, 각 교과목의 특성을 고려한 교과 교실 또는 교육 시설별 음향 성능 기준은 없는 실정이다. 최근 건축물 소음 성능 등급화를 위한 표준화(정정호 2016, ISO/FDIS 19488)가 추진되고 있으며, 이와 같은 체계를 교육시설에도 적용하는 방안이 필요하다. 각 교과 교실 등의 음향 성능 평가 기준으로는 교육시설 음향성능 등급을 각 항목별(잔향시간+음성 명료도, 배경소음, 차음성능)로 등급화한 다음 각 시설별 요구 성능을 등급으로 제시하는 방안이 필요한 것으로 판단된다. 음악 교과 교실이나 듣기 평가 등을 고려하여 전기음향 보조 장치를 설치, 활용하는 경우 과도한 설계, 시공이 되지 않고 우수한 음향 성능을 확보할 수 있도록 관련 도록 가이드라인을 수립하여 제공하는 방안도 필요한 것으로 판단된다. 학교 시설의 효율적인 개선을 위해서는 교육학자, 건축가, 시설행정담당자 및 학교관리자의 유기적인 공조가 필요하다.

참고문헌

- 강경술(2002). 고등학교 교실의 건축음향 평가에 관한 연구. 경기대학교 교육대학원, 석사학위논문.
- 교육부(2009). 개정음악과 교육과정.
- 교육부(2015). 학교보건법 시행규칙 제3조 제3항 별표 4.
- 김경희(2015). 음악 교과교실의 공간구성 현황 및 실태조사. 석사학위, 건국대학교, 교육대학원.
- 김수연, 전진용(2005). 교실 음향에 대한 에어컨 소음의 영향. 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집.

- 176-179.
- 김윤선(2008). 대학 강의실 형태에 따른 실내음향 특성 연구. 연세대학교, 석사학위논문.
- 류다정, 박찬재, 한찬훈(2017). 현장실험을 통한 학교교실의 벽체 차음성능 및 측로전달소음 조사. 한국음향학회지, 36(5), 329-337.
- 류동수(2015). 특성화고 수치제어 실습실 음향평가에 관한 연구. 전남대학교 산업대학원, 석사학위논문.
- 모승준, 이민섭(2003). 중학교 일반교실 실내음향 시뮬레이션에 관한 연구. 한국교육시설학회지, 10(4), 5-20.
- 박종혁(2006). 교육시설에 대한 초·중학교 학생의 인식에 관한 연구. 전주교육대학교, 석사학위논문.
- 박찬재, 류다정, 경주영, 한찬훈(2014). 국내 학교 교실의 실내음향성능 실태조사. 한국음향학회지, 33(5), 316-325.
- 박찬재(2014). 한국 중고등학교 교실의 실내음향성능 기준 설정. 충북대학교, 박사학위논문.
- 설수환(2010). 학교교실의 음향성능 개선을 위한 가청화 기법의 활용. 원광대학교, 박사학위논문.
- 오양기, 노태학, 주문기(2011). 영어 듣기평가 시험 장소로서의 고등학교 교실 소리환경의 현황 및 타당성. 한국건축환경설비학회논문집, 5(4), 280-287.
- 유진, 김수연, 전진용(2005). 교실에서 에어컨 소음에 의한 음성 명료도 평가. 대한건축학회 추계학술발표논문집 - 계획계, 25(1), 371-374.
- 윤장섭, 김선우, 오양기(1988). 한국어에 적합한 명료도 실험기준의 설정 및 그 평가에 관한 연구(1) - 명료도 실험기준의 설정 -. 대한건축학회논문집, 4(6), 117-125.
- 윤장섭, 김선우, 오양기(1989). 한국어에 적합한 명료도 실험기준의 설정 및 그 평가에 관한 연구 (2) - 설정된 명료도 실험기준의 평가 -. 대한건축학회논문집, 5(1), 95 ~ 108.
- 윤장섭, 오양기(1990). 음성 전달 지수를 이용한 건축공간의 청취조건 평가에 관한 연구. 대한건축학회논문집, 6(3), 191-201.
- 이성복(2015). 현장 측정을 통한 초등학교 일반교실의 음향성능 평가지표 특성 고찰. 서울시립대학교, 석사학위논문.
- 정인모(2010). 가청화를 이용한 중고등학교 음악실의 음향성능 개선에 관한 연구. 원광대학교, 석사학위논문.
- 정정호(2016). 건축물 소음 성능 등급 표시제도 표준화, 표준과 표준화연구. 6(3), 35-44.
- 좌경욱(2008). 초등학교 교육시설의 실태와 만족도 분석. 경인교육대학교 교육대학원, 석사학위논문.
- 주문기, 오양기(2014). 교실내 흡음성능과 스피커 음압레벨에 따른 청취환경 변화. 한국건축환경설비학회논문집, 8(6), 307-312.
- 주문기, 오양기(2011). 학교교실에서 스피커의 위치 및 출력변화에 따른 청취환경 변화에 관한 연구. 한국건축환경설비학회논문집, 5(4), 217-223.
- 주현경(1999). 초등학교 교실의 음성전달 품질 향상에 관한 연구. 목포대학교, 석사학위논문.
- 최영지(2011). 1차 단순 확산체를 적용한 교실음향설계. 한국교육시설학회논문집, 18(5), 3-11.
- 한찬훈, 문규천(2004). 초등학교 교실의 음환경 평가에 관한 실험적 연구. 한국교육시설학회지, 11(1), 5-14.
- KS F ISO 11654(2003). 건축물용 흡음재의 흡음성능 평가방법.
- Acoustical Society of America(2010). ANSI/ASA S12.60-2010/ Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria. Design Requirement and Guidelines for Schools, Part 1 : Permanent Schools.
- Birgit Rasmussen et al., Reverberation time in classrooms Comparison of regulations and classification criteria in the Nordic countries. Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2012, 2012.
- ISO 3382-3, Acoustics - Measurement of room

- acoustic parameters - Part 3 : Open plan offices, 2012.
- ISO/FDIS 19488. Acoustics - Acoustic classification of dwellings.
- J. S. Bradley, R. D. Reich and S. G. Norcross (1999). On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(4). pp. 1820-1828.
- Kenneth P. Roy(2010). Classroom Acoustics and Green Schools. *Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, ISRA 2010*.
- UK Department of Education and Skills(2003). *Building Bulletin 93: Acoustic Design of Schools*.

논문접수일 : 2018. 09. 01

1차수정본접수일 : 2018. 10. 25

게재확정일 : 2018. 10. 26

Standardization of Room Acoustic Parameters and Guideline in Educational Facility

Jeong, Jeong Ho*

Abstract

It is important to communicate clearly the teacher's voice to the students at the educational facility. Recently, various multimedia education aids have been used in the school classrooms. However, there is a lack of research on whether the sound and voice generated from the educational contents are clearly communicated to the students and the standardization of the architectural sound performance of educational facilities. The United States and the European Union countries are pursuing a variety of research and standardization for clear voice transmission of classrooms and various educational facilities. In Korea, architectural acoustical performance (reverberation time, speech intelligibility, etc.) and noise level of various educational spaces such as classrooms have been investigated and studied. However, there is a lack of standardization of related indicators and performance standards.

Appropriate acoustics performance assessment and related criteria must be established to improve the intelligibility of educational facilities. In the past, research on the acoustics of educational facilities was limited to the condition that the teacher lectures unilaterally. However, in order to discuss and exchange ideas between students and teachers and students, it is necessary to evaluate and improve the intelligibility of voices spoken at various locations in the classroom. For this purpose, this study compares the characteristics of the reverberation time and the speech intelligibility distribution in the classroom through architectural acoustic simulation. As a result of the simulation, it was found that the distribution of voice transmission index varies according to teacher and student location and sound source characteristics. From previous investigations and researches, acoustic performance evaluation indexes and performance criteria of various education facilities are summarized, and acoustic performance evaluation indexes of

* Senior Researcher, Fire Insurers Laboratories of Korea (jhjeong92@gmail.com)

classrooms and the matters to be considered for improvement and standardization of performance standards are summarized.

※ Key Words: education facilities, acoustics performance, speech intelligibility, reverberation time, RASTI(Rapid Speech Transmission Index), back ground noise, sound insulation performance, standardization

