

청각인지에 영향을 미치는 교실음향 변수

한림대 언어청각학부, 청각언어연구소

임 덕 환

ABSTRACT

Parameters of Classroom Acoustics in Auditory Perception

Dukhwan Lim

Division of Audiology & Speech Pathology, Audiology & Speech Pathology Research Institute, Hallym University, Chunchon, Korea

It has been known that the effects of acoustics parameters of the room on auditory perception were diverse and even critical in some population groups. Public regulation on classroom acoustics has emerged as one of the concerned issues in educating children and the hearing impaired. The purpose of this study was to review the effects of acoustic parameters, such as reverberation time, acoustic insulation, and acoustic absorption, on speech perception in classroom. An exemplary regulation suggested from ANSI (S12.60, 2002) and related assessment tools were analyzed as well with special reference to adapting appropriate guidelines to domestic environments. In conclusion, it seemed now imperative that the related authority should establish effective acoustic requirements and guidelines for schools since ample data showed that the young children with hearing problem were prone to be at risk of learning opportunities. The reviewed parameters were dominant physical variables of speech intelligibility in classroom acoustics and this analysis might help to resolve issues on implementing acoustic regulation on classroom acoustics in the future.

KEY WORDS : Classroom acoustics · Reverberation time · Absorption coefficient · Transmission loss · Speech perception.

INTRODUCTION

청취자에 대한 음향환경을 나타내는 척도는 알려진 것이 여러 가지가 있다. 대표적인 것이 소음과 왜곡현상이다. 이 두 가지가 반드시 구별 가능한 것은 아니지만, 이러한 특징을 나타내는 음향환경이 청취자에게 심리음향학적으로 여러 영향을 미치게 된다. 이러한 영향은 관련된 청각 기능에 따라서 매우 다양하게 나타난다. 음향환경과 연관된 기본적인 변수로는 반향(reverberation)과 신호대잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 예로 들 수가 있다. 반향을 나타내는 반향시간(reverberation time)과 신호대잡음비와 연관되어 있는 흡음지수(acoustic absorption coefficient), 차단지수(acoustic transmission loss) 등이 기술된 음향환경을 나타내는 대표적 변수에 속한다.³⁾⁴⁾

교실이나 연주홀에서 이러한 음향학적인 변수들이 미치는 효과는 주파수 별로 다르게 나타나며, 이들이 서로 간섭하는 이유에서 청각인지에 미치는 효과가 간단하게 설명되기는 어렵다. 한 예로 반향이 어음 인지에 초기에는 도움을 주기도 한다. 그러나 어느 단계를 지나면 반향시간이 어음 인지를 방해하는 방향으로 작용하기도 한다.¹⁾ 또한 청각기능도 단순한 기능만 있는 것이 아니라 여러 단계가 있게 되고 이러한 청각기능의 발달도 기능별로 그 시기가 다르게 진행되고 완성되는 것을 보게 된다.

외부의 물리적인 음향환경이 청각인지기능에 미치는 영향은 다양하게 알려져 있다. 그 중에서 배움과 정보의 교환이 이루어지는 교실에서의 음향환경은 청각장애인이거나 정상인 모두에게 중요한 영향을 미치고 있다. 그러므로 본 고에서는 이러한 영향을 주는데 관여하는 대표적인 변수들을 중심으로 살펴보고자 한다. 즉, 반향시간, 소음, 흡음지수, 차단지수 등을 청각인지기능관점에서 고찰해보고, 이러한 변수들을 조절할 수 있는 방법을 분석하였다. 그리고 이러한 조절과 관련된 효과와 재환을 평가하는 도구를 비교하였으며, 대상 집단을 보호하기 위한 최소한의 음향환

논문접수일 : 2009년 11월 6일

심사완료일 : 2009년 12월 2일

교신처 : 임덕환, 200-702 강원도 춘천시 옥천동 1번지

한림대 언어청각학부, 청각언어연구소

전화 : (033) 248-2217 · 전송 : (02) 6280-9133

E-mail : dlim@hallym.ac.kr

경의 보장을 위한 제도적인 측면을 고찰하였다.

METHODS AND RESULTS

교실음향환경 변수와 청각인지 기능

청각기능의 완성은 여러 단계를 포함하게 되는데 탐지나 변별 등의 단계로 분류를 한다. 사실 이러한 분류는 가장 기초적이고 개략적인 내용일 뿐, 구체적인 세부사항으로 들어가게 되면 청각생리학적으로 더욱 복잡한 단계들을 형성하고 있다. 여러 논점의 여지가 있지만, 개략적으로 탐지의 경우는 일반적으로 생후 약 18개월 정도의 기간을 소요하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이것은 보다 상위적인 개념의 청각기능에 대한 예는 아니며, 일반적인 청각기능의 완성은 더욱 아니다. 음향환경은 청각정보처리 과정의 초기에 영향을 미치게 되지만 그 영향은 기능에 따라서 여러 경로를 거쳐서 나타날 수 있다(Fig. 1).

흔히 알려진 잡음 속에서 말소리를 알아듣는 기능은 소리 탐지 능력과 같은 시기에 정상 성인이 보이는 기능에 도달되지는 않는다. Soli & Sullivan⁵⁾의 연구자료를 보면 정상 아동들의 경우도 대략 10 dB 정도의 적지 않은 차이를 보이게 된다. 학령기 아동이 교실 주변 소음에 대하여 보이는 어음인지 처리능력을 직간접적으로 평가하는 여러 검사들이 있는데, 이 연구에서는 hearing in noise test (HINT)로 그 기능을 살펴보았다. 이 자료에서 정상그룹의 경우에 대략 12세 정도 까지는 지속적으로 역치가 감소하여 결과적으로 그 시기에 즈음하여 소음 속에서 말소리를 변별해내는 능력이 완성되는 것을 볼 수 있다. 이는 사춘기 정도에 이르러 대략 정점을 이루고, 노년이 되면서 이러한 기능이 퇴화하게 된다. 결론적으로 영유아의 경우는 성인보다 상위기능에 해당하는 청각 능력이 매우 취약하다고 볼 수 있다. 더구나 이 시기가 필요한 능력들을 학습을 통해서 가장 빠르게 흡수하는 기간인 점을 고려해보면, 학령기 아동의 청각은 의사소통 기술능력의 발달 과정에서 상당히 중요한 역할을 하게 된다. 이러한 점이 특히 성인보다 더 교실 음향환경에 더욱 주의를 기울여야 하는 이유이기도 하다. 특히, 청각장애를 가진 난청아의 경우에는 정상 아동보다 추가적인 어려움

이 있는 음향 문제를 갖고 있으며, 관련 문제도 심각하다. 이러한 점이 적시에 효과적인 재활이 필요한 이유가 되기도 한다. 종합적으로, 학령기 아동은 성인보다 소음 속에서 말소리를 선별해내는 능력이 부족하기 때문에 음향적으로 열악한 교실에서는 말소리에 의한 청각정보를 수용하기가 대단히 어렵다. 특히 난청아의 경우는 상황이 어렵고 이 과정이 반복되면, 언어에 대하여 무관심하게 되고 이것이 습관으로 굳어지게 되는 경우와 같이 여러 부정적인 효과가 추가되게 된다. 이러한 관점에서 기능적으로는 정상인이 청각기관이 노화되면서 느끼는 것과 유사한 문제들을 겪게 된다. 이러한 어려운 점들은 신호에 대한 소음과 왜곡현상에 기인하며, 흔히 대처방안으로 보청기나 FM시스템 등으로 개선하는 것을 볼 수 있다.

위의 기술에서처럼, 교실에서의 음향특성이 더욱 중요한 역할을 하게 되는 경우에 그 음향특성을 개선하기 위해서 교사와 학생간의 의사소통에 도움을 주는 FM시스템을 설치하고, 사용하게 된다. 이러한 FM 시스템이 가장 효과적인 경우는 일방적으로 선생님이 강의를 하고 학생들이 수업을 듣는 형태의 수업인 경우이다. 그러나 학령기 아동인 경우는 이러한 단일 음원 형태의 일률적인 수업형태보다는 여러 가지 음원들에 대하여 반응을 해야 하는 수업형태가 많다. 따라서 수업 목적과 형태에 맞추어서 교실의 음향특성을 전반적으로 개선하는 노력도 하여야 한다. 결국, 각 기관별 상황에 적합한 시스템을 선택하고 활용하는 것이 효율적인 처리라고 판단된다.

음향환경개선 종류

일반적으로 이러한 환경요인을 극복하는 것은 크게 보면 두 가지 관점으로 요약된다. 청자의 기능을 보충하는 방법과 음향환경을 조정하는 방법이다. 청자의 기능이란 청능훈련이나 교육을 통한 재활이나 보장기구(보청기, FM시스템) 등을 사용하는 방법이다. 음향환경변화는 다시 세가지 정도로 요약이 된다. 우선은 음원 자체를 조정하는 방법이다 (소음원 제거). 다른 하나는 불필요한 음을 흡수 또는 차단시키는 것이다. 여기서는 주파수 별로 그 음향환경 특성을 고려를 하게 된다. 흔히 쓰이는 방법은 청자와 음원 사이에서 음을 흡수시키는 재료를 쓰는 것이다. 다른 방법은 음원과 청자 사이에서 어떤 재료를 통해서 음을 차단하는 것이다. 이러한 경우에 사용되는 재료의 물리적인 특성과 모양으로 주파수 별 음향환경을 조절하게 된다. 최근에는 디지털 신호처리방법을 이용한 방법들도 실용적으로 사용이 된다. 예를 들면, 음향적 위상상쇄방법들이 쓰이기도 한다. 이러한 경우는 특수 목적에 의한 물리적인 공간문제 해결이나 환경보존 등의 장점 때문에 관심을 받고 있다.

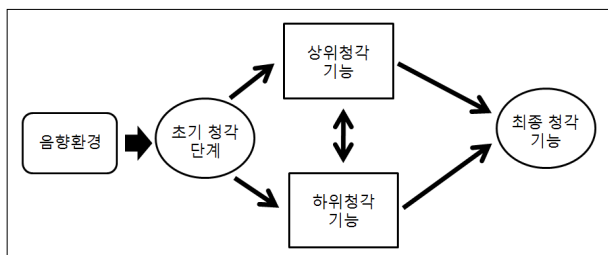
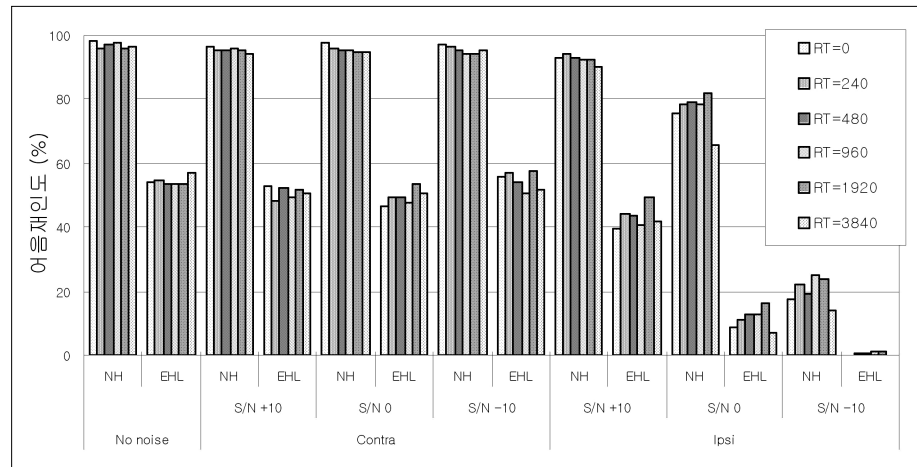


Fig. 1. 청각정보처리 단계와 음향환경의 관계.

Fig. 2. 반향시간이 단음질 어음인지에 미치는 영향. 정상성인 집단과 난청노인 집단 간의 조건 별 어음재인도 비교.¹⁾



반향시간(Reverberation time)의 영향

보통 음향환경에서 이야기하는 반향시간(reverberation time)은 처음 제시 음압 수준에서 60 dB 감소될 때까지 걸리는 시간으로 표시한다. 보다 일반적인 흡음지수가 관계되는 반향시간의 계산에서는 Eyring식을 사용하는 것이 정확하지만, 사용되는 흡음지수가 조건을 만족하는 경우에는 반향시간은 간편한 Sabine식에 의해서 표시가 된다. 관련된 변수로는 방의 크기와 전체 흡음지수이다. 이 흡음지수는 주파수 별로 계산이 되면 사용되는 재질의 영향을 받게 된다. 여기서 심리음향학적으로 반향지수가 아주 작다면 생동감이 없는 소리로 들리게 되며, 반대로 길다면 생동감을 느끼게 된다. 일반적으로 음에 대한 인지도는 반향시간이 어느 범위를 넘어서면 감소하게 된다. 교실 환경에서 정상인 아동의 경우도 음향학 적으로 반향이 심한 환경에서는 말소리를 알아듣기가 어렵다. 물론 이러한 어려움이 난청아에게는 더욱 심각하게 작용한다. 전음성 난청이나 최소한의 감각신경성 난청인 경우(순음평가 시에 평균 역치가 대략 15~25 dB HL인 경우가 포함됨)에 이러한 교실 음향 특성이 차지하는 비중이 상당히 높다. 이러한 반향시간의 어음인지에 대한 영향은 연령이 증가하면서도 나타나게 된다(Fig. 2).

이 자료에서 여러 SNR을 갖는 소음조건에서 반향시간은 정상 성인 집단(NH)보다 난청 노인 집단(EHL)에서 더 어음인지를 어렵게 함을 알 수 가 있다.

흡음지수(Absorption coefficient)의 영향

현재 국제적인 규격은 가청영역 중에서 4,000 Hz 정도까지로 제한하여 주파수 별로 구해진 sound absorption coefficient(흡음지수)를 평균하여 처리하게 된다. 예를 들면, 유리섬유 같은 경우는 비교적 높은 흡음지수를 갖고 그 결과로 흡음 특성이 높고, 물 같은 경우는 낮은 지수값 때문에 낮은 흡음 특성을 보이게 된다. 대표적인 몇 가지 재질의 대

Table 1. 재질의 흡음지수 예

재질	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz
유리섬유	0.62	0.9	0.68	0.89	0.96	0.91
물	0.01	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
커튼	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35

략적인 흡음지수는 <Table 1>에 나타내었다.

이러한 흡음 특성은 주파수 별로 다르기 때문에 음악연주회장 같은 경우에 그 특성이 문제가 될 수 있다. 그래서 그 음향 특성을 지키기 위해서 여러 재질의 흡음특성을 응용한 조정이 필요하게 된다.

음향 차단지수(Acoustic insulation)의 영향

소음은 진동에 의해서도 전달되고 기도를 통해서도 전달되게 된다. 이 소음이 청자에게 전달되는 것을 차단할 수 있다. 이러한 특성을 나타내는 것이 차단지수(insulation, transmission loss)이다. 이 지수는 국제 규격에 의하면 4,000 Hz까지 주파수 별로 전송 손실을 dB로 표시하게 된다. 순음검사시의 평균역치개념(PTA)과 비슷하게 Sound Transmission Class(STC)라는 개념이 이 차단지수에 사용된다. 사용되는 물질의 음향학적 차폐가 음향환경에 영향을 주게 된다.

몇 가지 재질의 개략적인 차단지수(transmission loss, TL)의 예는 <Table 2>와 같다.

결론적으로, 소음의 영향을 최소화한 교실음향 특성을 얻기 위해서는 일반적으로 높은 차단지수(TL)와 높은 흡음지수를 가지는 벽을 교실 간에 설치해야 할 것이다.

신호대잡음비

소음원의 영향에 대하여 신호대잡음비(SNR)의 개선을 하는 것이 가벼운 정도의 난청에서도 큰 차이를 나타낸다는 것을 이해하는 것이 중요하다.⁵⁾ 이러한 정도의 난청에서의 어

Table 2. 재질의 음향차단지수 (transmission loss) 예

재질	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz	8,000 Hz
유리 (0.6 cm)	18 dB	23 dB	25dB	26 dB	29 dB	30 dB	53 dB
콘크리트 (10 cm)	29 dB	36 dB	37dB	42 dB	43 dB	51 dB	55 dB
벽재용나무 (2 cm)	22 dB	21 dB	25dB	27 dB	23 dB	26 dB	34 dB

Table 3. 교실음향특성과 관련된 기존 평가자료 목록

평가도구 이름	평가 내용
SIFTER	Screening instrument for targeting educational risk, preschool SIFTER (3세에서 유치원까지 사용)
LIFE-t	Listening inventory for education : Teacher appraisal of listening difficulty
LIFE-s	Listening inventory for education : Student, Appraisal of listening difficulty
CHAPS	Children's auditory performance scale
CES-1	Classroom acoustical modification efficacy scale
FES-1	FM amplification efficacy scale I
SES-1	Sound field amplification efficacy scale I

려움이 실제로 모국어와 제 2외국어를 배우는 정도에 견줄 정도의 어려움으로 비교되어 평가되기도 한다. 흔히 사용되고 있는 신호대잡음비(SNR) 개선책은 여러 가지가 있지만 일반적으로 증폭에 의한 것이 주로 채택되며, 교실에서는 보청기와 같은 hearing assistive device나 FM 시스템, 자리 배치 등에 의존하게 된다.

개선책

우선은 현재 교실에 사용되는 건축 자재의 음향특성에 관한 표준화와 관련 작업이 기본적으로 이루어져야 할 것이다. 이와 동시에 교실음향의 조건을 설계하고 평가할 수 있는 전문인력이 필요하다. 교실음향에서도 여러 분야에서 공통적으로 필요로 하는 소음피복레벨을 디자인하고 적절한 대비책을 선정하는 상담과 조언을 해줄 수 있는 인력이 필요하다. 그리고 이러한 조건에서 청각인지, 학습능력 등 다각적인 평가와 검토를 할 수 있는 기반이 조속히 마련되어야 한다고 본다. 이러한 미비점으로 인한 손실에 대한 추후 보상이나 조치는 국가 사회적인 손실이자 부담이 될 수 있어 반드시 예방적 조치가 필요하다고 판단된다.

음향환경평가도구

현재 상대적으로 부족한 것은 이러한 효과를 효율적으로 평가할 수 있는 관련 지침이라고 할 수 있다. 기존에 개발되어 있어서 응용될 수 있는 자료는 다음과 같은 것이 있다 (Table 3). 현재 이러한 도구들은 아직 기본적인 면에서 개선, 보완되어야 하고, 개별 설정에 맞추어 꾸준한 개발과 연구가 필요한 부분이다.

교실음향규제 및 관련제도

교실음향의 중요성에 대한 인식과 개선책이 선진국에서 이

Table 4. 교실음향에 대한 ANSI의 규정 예(ANSI S12.60-2002)

RT60	0.6초 (small room) 0.7초 (large room)
Background sound Level	35 dBA 50 dB 정도의 teacher level을 가정(+15 dB SNR)
Partition design	교실 partition 사이 : 50 STC 복도와 교실 사이 : 45 STC 고소음발생 방과 교실 사이 : 60 STC

미 시작되었고, 여러 검증된 자료와 수정 제안이 제기되고 있다. 이러한 점들을 개별 설정에 맞게 재 검토를 할 필요가 있다. 이러한 음향환경의 중요성은 공통적으로 확인이 되었고, 학교의 경우에 특히 미국은 주 별로 다음과 같은 교실 음향에 관한 기준을 설정하여 권고하고 있다(Table 4). 전체적인 사회적 손실과 추후 재활 보상 비용을 감안하면 이러한 시설의 설치 시에 사용되는 비용이 충분히 의미가 있다고 보고 있다. 이를 위한 기반 작업으로 2002년에 여러 전문가들이 학교의 교실건축에 필요한 음향특성들을 새롭게 법제화하여 규격하게 된 것이다.²⁾ 그리고 이러한 법령의 시행을 제도적으로 의무화 하고 있다. 그 규정에서 교실의 반향 시간은 비교적 작은 교실의 경우는 0.6초로 하고 큰 교실은 0.7초 정도로 권하고 있다. 배경소음수준은 선생님들의 음성을 50 dB로 하고 신호대잡음비(SNR)를 15 dB로 했을 때 약 35 dBA가 될 것을 권장한다(Table 4). 이 규정에서 교실간의 음향적 차폐는 50 STC이고 복도와 교실은 45 STC이다. 또한 소음이 심한 곳이 접해있으면 그 곳과 교실은 60 STC 정도를 유지해야 할 것을 권고하고 있다.

DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

청각기능과 음향 환경 사이에는 긴밀한 연관관계가 있다.

이 기능상의 역할에 따라서 어느 변수가 중요한지가 문제가 된다. 이러한 음향환경에 보다 관심을 갖고 관련 문제에 대한 구체적인 사례를 분석하고 의견을 교환하여 안내를 하는 것이 필요할 것이다. 실제로 청각 시스템은 유기적 기관의 일부인 관계로 여러 감각기관과 연결되어 있어 청각기능이 다양한 환경의 영향을 받게 된다. 기존의 단편적인 역할에 의한 해석은 한계가 드러나기 시작하고 있고, 진정한 문제의 해결을 위해서 이러한 제반 현상을 이해할 수 있고 종합해서 대처할 수 있는 전문가를 양성해야 할 것이다. 당연히 이러한 전문가는 여러 관련 분야의 배경 지식 속에서 현재의 문제를 이해하고 처리할 수 있는 능력을 요구하고 있다. 지금은 초기단계이지만, 이러한 문제 해결을 사회전반적인 관점에서도 살펴보아야 한다. 최근 정부에서 장애를 연령대와 영역 별로 세분화해서 발표한 통계자료를 보면 각 연령대 별로 청각장애는 대략 세 번째로 많다. 청각장애아동의 경우는 학습과 관련하여 조기 중재 등이 상당히 중요한 문제로 다가 오고 있다. 노인 층의 경우도 빠른 속도로 고령사회로 변화해가고 있는 시점에서 사회적 비용의 절감과 재취업 요구 등에서 청각장애로 인한 의사소통과 관련 사회적인 문제들이 지적되고 있다. 여러 검증된 자료를 보면 적절한 음향적 환경개선과 관련 서비스를 통해서 이러한 장애를 어느 정

도는 극복할 수가 있다.³⁾ 이제 국내에서도 이러한 혜택이 현실이 되도록 관련 물적, 인적자원을 잘 활용해야 할 것이다. 우선은 개별 상황에 맞게 잘 계획된 과정과 검증된 훈련을 반복하는 것이 필요하다. 또한 국제적으로 인정된 좋은 결과들의 배경을 살펴보면, 음향적 환경개선과 그 파급효과에 대한 것을 잘 뒷받침 해줄 수 있는 교육, 제도 및 행정 모두가 잘 조화되도록 하는 지속적인 노력이 중요하다고 판단된다.

중심 단어 : 교실음향 · 반향시간 · 흡음지수 · 차단지수 · 언어인지.

REFERENCES

1. 이상백, 구성민, 임덕환. 반향시간과 신호대잡음비가 정상성인과 난청노인의 단음절 어음재인도에 미치는 영향. 청능재활. 2008;4:16-23.
2. ANSI, S12.60. Acoustical performance criteria, design requirements and guidelines for schools;2002.
3. Berger EH, Royster LH, Driscoll DP, Royster JD, Layne M. The Noise Manual, 5th ed. AIHA Press;2003.
4. Maltby M. Occupational Audiometry. Butterworth-Heinemann;2005.
5. Soli SD, Sullivan JA. Factors affecting children's speech communication in classrooms. J Acoust Soc Am. 1997;101 (5):3070.