

실내 흡음에 따른 양이간 음량차가 강의실의 음성명료도에 미치는 영향

Effect of the Inter-aural Level Differences on the Speech Intelligibility Depending on the Room Absorption in Classrooms

박찬재, 한찬훈[†]

(Chan-Jae Park and Chan-Hoon Haan[†])

충북대학교 건축공학과

(접수일자: 2013년 3월 4일; 수정일자: 2013년 5월 13일; 채택일자: 2013년 6월 18일)

초 록: 본 논문은 교실 및 회의실과 같은 소규모 공간에서 건축 마감재료에 의해 발생할 수 있는 좌우귀의 음량 차이가 사람의 청각적 음성명료도에 미치는 영향에 대하여 규명하고자 하였다. 이를 위해 대학교 강의실의 좌,우 측벽에 흡음재를 설치하였으며, 양이 녹음 시스템을 이용하여 좌측귀와 우측귀의 음압레벨을 각각 측정하였다. 또한 흡음재를 설치하기 전과 후 강의실에서 정상 청력의 대학생 20명을 대상으로 음절테스트를 수행하여 양이간 음량차이에 따른 음성명료도를 조사하였다. 그 결과 측벽에 흡음재를 설치 한 후 벽체에 가까워질수록 양이간 음량차가 크게 발생한다는 점을 알 수 있었으며 일부 수음점에서는 최소변화감지폭인 3 dB 이상 차이가 발생하는 곳도 있었다. 또한 측정점별 양이간 음량차와 음절테스트 점수의 상관관계를 분석한 결과 상관관계 계수가 약 -0.441로 유의한 결과를 나타내었다. 따라서 양이간 음량차가 강의실의 음성명료도에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

핵심용어: 양이간 음량차, 음성명료도, 음절테스트, 음향성능 측정, 상관관계 분석, 강의실

ABSTRACT: The present study investigates the effect of the inter-aural level difference(ILD) on the syllable articulation test in classrooms which can be occurred by the absorption of interior surfaces. In order to do this, the sound absorbing materials were installed in the classroom and sound pressure level(SPL) at each ear was measured using binaural recording systems. Also, syllable articulation tests were carried out at a classroom with and without sound absorption materials by 20 students who have normal hearing condition, in order to investigate the effect of the ILD on the speech intelligibility. As a result, it was found that the larger inter-aural level differences was occurred at the nearer positions to lateral walls after sound absorptions were applied to lateral walls in the classroom. At some places, the measured ILD was larger than JND of sound level (3dB). Also, it was shown that the correlation coefficient of inter-aural level difference with the score of syllable test has the significant result(-0.441). Thus, It is concluded that ILD can affect the subjective speech intelligibility in classrooms.

Keywords: Inter-aural level difference, Speech intelligibility, Syllable articulation test, Acoustic measurement, Correlation analysis, Classroom

PACS numbers: 43.55. Hy

1. 서 론

실내공간을 구성하는 건축적 요소에는 벽체 및 바닥, 천장 등이 있으며, 일반적인 경우 사람의 귀에 가

장 가까이 위치하고 있는 건축 요소는 벽체이다. 따라서 벽체의 형상 및 표면상태, 흡음률 등은 청취자에게 도달하는 음향을 변화시키는 가장 큰 요소이며, 이로 인해 음에너지는 다양한 변화와 왜곡을 일으킴으로써 결국 벽체에 인접한 청취자가 소리를 인지하는데 큰 영향을 미치게 된다. 즉, 공간을 구성하는 다양한 건축적 요소 중 벽체에 의해 음의 방향성

[†]Corresponding author: Haan Chan-Hoon (chhaan@chungbuk.ac.kr)
Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Republic of Korea
(Tel: 82-43-261-2438, Fax: 82-43-260-2438)

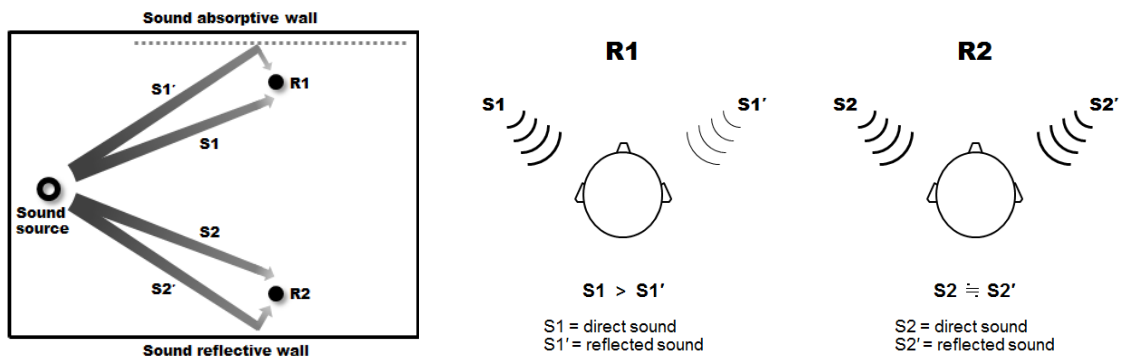
분 및 지연시간 등이 변하게 되며 이는 곧 청취자의 음향을 인지하는데 주요한 인자로 작용하는 것이다.

실내공간의 음향을 평가하는 지표로서 잔향시간(RT)을 비롯한 다양한 음향지표들이 있으며, 그 중에서도 음성전달성능(speech intelligibility)을 물리적으로 평가하기 위한 인자로서 D_{50} 및 STI 등을 사용하고 있다. 그러나 이러한 물리적 음향지표는 단이지표(monaural index)로서 소리의 입사방향 및 방향성분에 따른 음에너지의 정보를 포함하지 못하는 실정이다. 따라서 현재 음명료도의 평가를 위한 실내음향지표로는 좌우 귀에 입사되는 음에너지의 차이로 발생할 수 있는 명료도의 변화를 파악할 수 없다.

반면 사람의 귀는 머리의 양쪽에 위치함으로 인해 좌우 귀에 입사되는 소리의 크기 및 도달시간차, 방향성분에 대해 인지하게 되며 이는 곧 소리의 위치, 거리, 공간감 등의 인지 및 판단에 영향을 미치게 된다. 이렇게 양 귀의 음향성능을 평가하기 위한 지표를 양이지표(binaural index)라 하며 그 종류에는 양이상관계수(IACC, Interaural Cross-Correlation), 양이간 시간차(ITD, Interaural Time Differences), 양이간 음량차(ILD, Interaural Level Differences), 양이간 음상차(IPD, Interaural Phase Differences) 등이 있으며,^[1] 이러한 지표들을 통해 공간에서 발생할 수 있는 양측 귀간의 음향 변화를 정량화 하거나 이를 인위적으로 변화시킴으로써 음향에 대한 인지성능을 조절할 수 있다. 그러나 이러한 개념은 지금까지 심리음향 및 음향신호 분야에서 건축공간이 아닌 가상음장 상에서 음상 정위 및 공간감 혹은 인자의 변위에 따른 음

질의 변화에 연구를 위해 활용되어 왔다.^[2,3] 따라서 기존의 연구결과로는 건축요소에 의해 발생할 수 있는 좌우 귀간의 물리적 차이가 명료도에 미치는 영향을 설명할 수 없으며, 더불어 양이간 음향편차로 인한 주관적 명료도의 차이를 평가하기 위한 양이지표 또한 전무한 실정이다. 다만 수평면에서 도달하는 반사음에 비해 수직면에서 도달하는 초기반사음이 명료도에 더욱 큰 영향을 미친다는 연구결과를 통해 소리의 방향성분이 음성전달성능에 영향을 미친다는 점이 밝혀진 바 있다.^[4,5]

그러나 실제 건축공간에서 실내마감재에 의한 양이간 음량차는 매우 빈번하게 발생하고 있다. 예를 들어 다음의 Fig. 1과 같이 전·후·좌·우 4개의 벽체로 이루어진 공간에서 좌우벽 중 한쪽 면에는 흡음성능이 높은 재료를, 반대편 벽체에는 흡음성능이 거의 없는 재료로 마감한 뒤 각 벽체로부터 인접한 거리에 수음점을 설치하고 두 벽체로부터 동일한 거리에 위치한 음원에서 소리를 발생시킬 경우 각 수음점에서 측정된 양이간 음량차는 서로 다르게 나타난다. 즉, 흡음성능이 높은 벽체에 인접한 청취자는 벽체의 흡음률에 의해 직접음과 반사음의 에너지양에 편차가 발생하게 됨으로써 벽체에 가까운 귀와 음원에 가까운 귀에 입사되는 음량에 차이가 발생하게 되는 것이다. 이로 인해 흡음성능이 낮은 벽체에 인접한 좌석보다 흡음성능이 높은 벽체 근처의 좌석에서 양이간 음량차가 커짐으로써 음향의 인지성능에 더욱 큰 영향을 미칠 수 있으며, 특히 음성의 요해도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 바이다.



(a) Acoustic performance (b) Perception of direct and reflected sound at each receiver point

Fig. 1. Illustration of the relationship between the surface conditions and acoustic performance.

이러한 가설은 Ronsse 등(2010)의 연구결과에서 어느 정도 입증된 바 있다. Ronsse 등은 2008년부터 2009년 까지 2년에 걸쳐 미국 초등학교의 2학년과 4학년 교실을 대상으로 양이상관계수와 양이간 음량차 등을 측정하고 수학적 및 독해성적과 함께 분석하였으며, 그 결과 양이간 음량차가 크면 독해성적이 낮다는 결론을 도출한 바 있다. 그러나 이 연구는 양이간 음량차에 차이에 따른 수학적 및 독해성적을 비교한 것으로서 양이간 음량차가 학생의 음성전달 성능에 직접적인 영향을 미친 것인지에 대한 평가가 어렵다.^[6]

따라서 본 논문에서는 실내 흡음재 설치를 통해 양이간 음량차의 변화를 측정하고 이를 음절테스트 결과와 비교하여, 양이간 음량차가 학생의 청각적 음성명료도(speech intelligibility)에 미치는 영향에 대해 밝히고자 한다.^[7,8]

II. 연구의 방법

양이간 음량차에 따른 음성명료도의 차이를 평가하기 위하여 C대학교 강의실을 대상으로 벽체에 흡음재를 설치하기 전과 후 위치별 좌측 귀와 우측 귀의 음압레벨을 측정하고 양이간 음량차를 산출하였다. 또한 양이간 음량차에 따른 음성명료도의 차이를 파악하기 위하여 음향성능 측정점과 동일한 위치에서 음절테스트를 실시해 상관관계를 분석하였다.

2.1 대상 공간의 제원

본 연구의 대상으로 사용된 C 대학교 강의실은 약 110명의 학생을 수용할 수 있는 중규모 강의실로써 가로로 긴 장방형의 형태를 갖추고 있다. 강사의 연설을 위해 강의실의 전면에는 칠판 및 교탁과 함께 약 30cm 높이의 강단이 설치되어 있다. 학생들의 책상은 총 3개의 그룹으로 나뉘어져 있으며 강의실 전체에 걸쳐 균등하게 분포되어 있다.

대상 공간의 건축적 제원은 Table 1에 정리하였으며 그 형상은 Fig. 2의 도면에 나타난 것과 같다.

2.2 흡음재의 설치

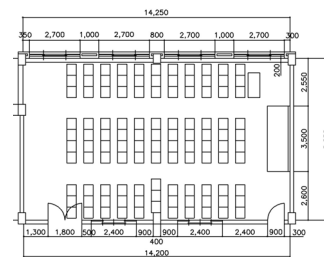
대상 강의실은 4면 중 3면이 콘크리트 벽체이며,

나머지 한 면은 유리창으로 이루어져 있다. 또한 바닥은 콘크리트 슬래브 위에 비닐타일이 설치되어 있으며 천장은 흡음 텍스타일로 구성되어 있다. 이처럼 천장과 바닥을 제외한 실내의 사면이 반사재로 이루어진 공간에서는 직접음과 동시에 사방에서 전달되는 반사음으로 인해 양이간 음량차가 크게 발생하지 않는다.

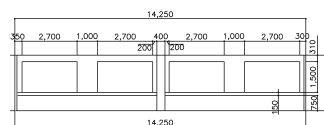
그러나 벽체의 한쪽 면에 흡음성능이 높은 마감재가 설치되어 있는 경우 음원으로 부터 방사된 음에너지가 흡음재에 의해 저감되어 좌측 귀와 우측 귀에 입사되는 음에너지의 양과 형태가 달라진다. 이러한 경우는 실제 공간에서도 쉽게 접할 수 있는데, 흡음성능이 높은 흡음재로 마감된 회의실 및 강의실, 멀티미디어실이 바로 그것이다. 이러한 공간은 짧은 잔향시간을 위하여 실의 규모에 관계없이 높은 흡음성능을 가진 마감재를 벽체에 전체에 적용하게

Table 1. Architectural dimension of classroom.

Contents	Dimension
Length	14.2 m
Width	8.65 m
Height	2.71 m
Volume	332.87 m ³
Area of Floor (F)	122.83 m ²
Number of Seat (N)	110 seats
Area of Audience in floor (F/N)	1.11 m ²
Volume of Audience in floor (V/N)	3.03 m ³



(a) Plan

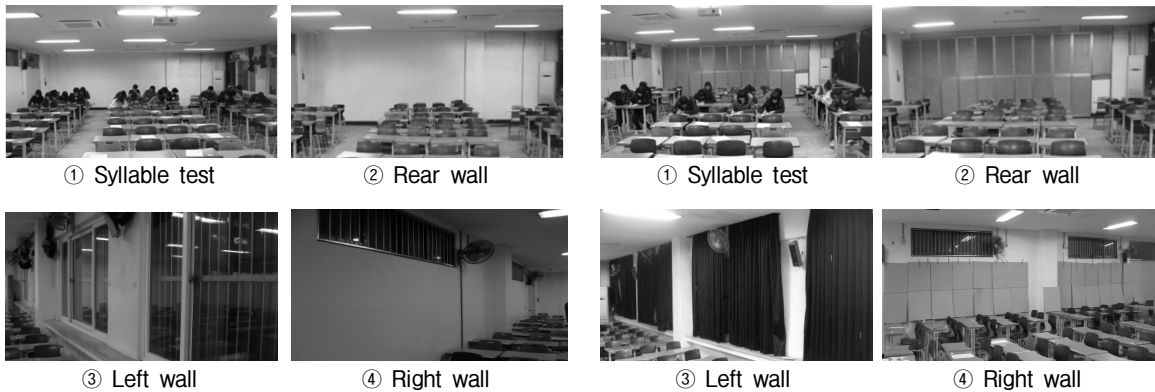


(b) Section

Fig. 2. The drawing of the classroom.

Table 2. Finishing materials and their sound absorption Coefficient in classroom.^[9-11]

(a) Before the sound absorption treatment								(b) After the sound absorption treatment									
Part	Material		Sound absorption Coefficient						Part	Material		Sound absorption Coefficient					
			Frequency (Hz)									Frequency(Hz)					
			125	250	500	1k	2k	4k				125	250	500	1k	2k	4k
Wall	Front	Glazed concrete and Black board	0.24	0.20	0.20	0.18	0.18	0.21	Wall	Front	Glazed concrete and Black board	0.24	0.20	0.20	0.18	0.18	0.21
	Right	Glazed concrete	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02		Right	Tectum panel 25mm	0.06	0.06	0.13	0.24	0.45	0.82
	Left	Window	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02		Left	Hanged heavy curtains	0.60	0.50	0.30	0.25	0.25	0.40
	Rear	Glazed concrete	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02		Rear	Aluminum foam 9mm (air cavity 200mm)	0.50	0.50	1.00	0.76	0.49	0.58
Ceiling	Mineral fiber board		0.16	0.53	0.44	0.51	0.59	0.58	Ceiling	Mineral fiber board		0.16	0.53	0.44	0.51	0.59	0.58
Floor	Concrete		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	Floor	Concrete		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Furniture	Wooden desk & chair		0.57	0.61	0.75	0.86	0.91	0.86	Furniture	Wooden desk & chair		0.57	0.61	0.75	0.86	0.91	0.86



(a) Pictures of the classroom before sound absorption treatment (b) Pictures of the classroom after sound absorption treatment

Fig. 3. Pictures of the classroom before and after sound absorption treatment.

되는데 이로 인해 벽체에 근접한 좌석에서 양이간 음량차가 발생하게 되고, 공간의 중앙부에 위치한 청취자와 벽체에 근접한 위치의 청취자간에 양이간 음량차의 편차가 발생함으로써 동일한 음성 신호를 인지하는 성능이 서로 달라질 수 있다.

본 연구에서는 이처럼 실제 공간에서 실내 마감자재에 의해 발생할 수 있는 양이간 음량차를 구현하기 위하여 강의실의 양 측벽에 흡음재를 설치하였다. 또한 흡음시 뒷벽에 의한 반사음의 영향을 배제하기 위하여 뒷벽 또한 흡음재를 설치하였다. 실험을 위해 강의실에 설치한 흡음재는 중고주파수 대역의 흡음성능이 우수한 다공질성 흡음재를 사용하였다.

실험에 사용된 흡음재의 종류 및 설치 부위와 각

재료의 흡음률은 Table 2에 명시한 바와 같으며, 그 값은 문헌 및 관련 마감재의 판매업체에서 제공한 실험결과를 기준으로 작성되었다. 또한 실험시 강의실 내 각 부위별 흡음재의 설치 모습과 음절테스트 실험장면은 Fig. 3에 나타난 것과 같다.

2.3 실내 음향성능 측정

흡음재의 설치에 따른 양이간 음량차의 변화를 알아보기 위하여 양쪽 귀의 실내음향성능을 측정하였다. 강의실의 실내음향성능 측정에 있어서 실험일시 및 측정기기의 선택, 음원의 특성 등은 사전에 현장 사정을 감안하여 조사·선택되었으며 모든 실측은 KS F 2864(실내 공간의 잔향 시간과 음향 변수 측정 방법)에 따라 시행하였다.

음원은 사람의 음성을 구현하기 위해 무지향성 스피커를 사용하였으며 설치 위치는 강연시 강사의 입을 기준으로 하여 강단의 중앙부 바닥에서 1.5 m 높이에 설치하였다. 실내음향성능 측정시 음원신호는 MLS를 사용하였으며 출력 음압레벨은 실제 강의자의 음성을 기준으로 설정해 음원으로부터 1 m 앞에서 측정하였을 때 약 75 dB(A)^[9]로 일정하게 방사하였다. 양이간 음압레벨의 측정시 이를 객석에서 1/3 옥타브밴드로 약 10초간 3회 측정한 뒤 그 평균값을 사용하였다.

객석에서의 측정시 사람의 머리전달함수(HTRF)와 귀의 지향특성을 적용하기 위해 Head Acoustic사의 양이녹음시스템(binaural recording system)인 HMS III.L을 사용하였다. 수음점 설정시 강의실 내 위치별 양이간 음량차를 보다 면밀히 검토하기 위하여 전체 110개 좌석 중 60개의 측정점을 선정해 실내 음향성능을 측정하였으며, 각 수음점의 높이는 책상에 앉은 학생의 귀를 기준으로 바닥에서 1.2 m 높이로 설정하였다. Fig. 4는 양이간 음압레벨 측정 및 음절테스트 수행시의 설정한 측정점 위치를 평면도에 나타낸 것이며, Fig. 5는 양이간 음압레벨 측정에 사용된 장비의 구성도를 나타내고 있다.

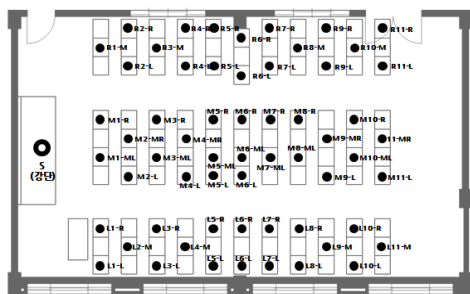


Fig. 4. Sound source and receiving positions.

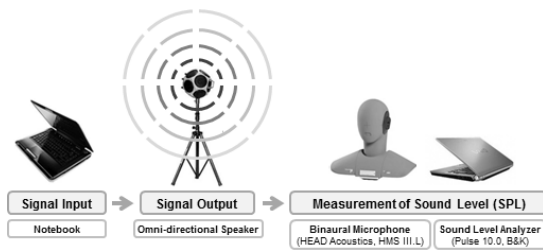


Fig. 5. Device set-up of the room acoustics parameter measurement.

2.4 양이간 음량차 계산

양이간 음량차 계산공식을 활용하면 양이 녹음 시스템이 이용해 측정된 음압레벨 값으로 양이간 음량차를 계산할 수 있다. 일반적으로 양이간 음량차의 계산 공식은 다음의 식 (1)과 같다.^[12]

$$ILD = SPL_{left} - SPL_{right} \quad (1)$$

여기에서, SPL_{left} 는 좌측 귀에서 측정된 음압레벨을 SPL_{right} 는 우측 귀에서 측정된 음압레벨이다. 따라서 위의 식을 통해 계산한 결과가 양수일 경우 좌측에서 입사된 소리가 우측에서 입사된 소리보다 음압레벨이 큰 것을 의미하며 음수일 경우 우측에서 입사된 소리의 음압레벨이 좌측에서 입사된 소리보다 크다는 것을 의미한다.

2.5 음절테스트

양이간 음량차가 음성전달성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 음압레벨을 측정할 위치에서 흡음재를 설치하기 전과 후에 청취시험을 수행하였다. 시험시 주관적 음성전달성능을 평가하기 위해 음절테스트 법(syllable articulation test)을 선택하였다. 음절테스트란 피실험자가 음원으로부터 방사된 단음절의 시험용 음원을 듣고 받아 적는 방법을 말하며, 그 정답률을 통해 공간에서 청자의 음성명료도를 평가하는 것이다. 각 시험에 사용된 음절은 의미가 없는 단음절로써 음소별로 난이도의 균형을 이루고 있는 음절목록을 선택하였으며, 발음상 중복되는 음절은 제외하였다. 다음의 표 3은 음절테스트에 사용된 음원목록의 예시를 나타내고 있다.^[13, 14]

청취시험 결과의 채점에 있어서 한국어 표준 발음법을 기준으로 동일한 발음을 갖는 음절은 모두 정답으로 인정하였는데, 예를들면 ‘젓’이라는 음절의

Table 3. Example of syllable articulation test list.

락	쇠	씨	르	승	꼬	하	오	쭈	엄
겨	깨	질	멀	풍	감	дук	상	님	질
연	푼	식	록	머	쌍	빈	꿀	등	룽
담	란	뜸	레	꿈	틀	임	테	젓	짜
울	토	밥	계	과	름	분	집	찍	슴

경우 표준 발음인 ‘전’과 실제 음원인 ‘젓’ 외에도 동일한 발음인 ‘젓’ 또한 정답으로 인정하였다.^[15]

청취시험은 한국어를 모국어로 사용하는 C 대학교 학생 중 22세에서 25세의 학생 20명을 대상으로 실시하였으며, 실험 전 설문조사 결과 모두 정상청력을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

또한 실내 흡음력 변화에 따른 양이간 음량차와 이로 인한 음성명료도를 파악하기 위하여 강의실의 측벽에 흡음재를 설치하기 전과 후 총 2회에 걸쳐 진행되었다. 음절테스트 수행시 피실험자의 평가 위치는 실내음향성능의 측정 위치와 동일하게 설정하였으며 그 위치는 Fig. 4에 나타난 바와 같다. 1회 실험시 20명의 학생들은 강의실을 전반부, 중반부, 후반부에 설정된 측정점에서 총 3회에 걸쳐 평가를 수행함으로써 강의실 전체 영역에 대한 주관적 평가가 이루어지도록 하였다.

피실험자는 무지향성 스피커를 통해 출력된 음절을 2초 동안 듣고 4초간 받아 적도록 함으로써 그 정답률을 통해 음성전달성능을 평가하였다.

음절테스트에 사용한 음원은 무향실에서 녹음하여 아나운서의 음성을 사용하였다. 음절테스트 수행시 각 음절을 발생시키는 음원으로 무지향성 스피커를 사용하였으며 그 위치는 강의시 강사의 위치인 강단의 중앙부에 설정하였다. 또한 음원의 출력음압레벨은 약 75 dB(A)로 실내음향성능 측정시와 동일하게 설정하였다.

이 밖에도 음절테스트는 실내음향성능을 측정한 동일한 시간대에 수행되었으며 실험시 강의실의 압소음레벨은 평균 약 34 dB(A)이었다.^[16]

2.6 최소변화감지폭 (Just Noticeable Difference)

최소변화감지폭(JND)란 사람이 음향인자의 차이를 청각적으로 인지할 수 있는 최소 한계치를 말한다. 따라서 JND는 실내 마감자재에 의해 발생할 수 있는 양이간 음량차를 사람이 청각적으로 인지할 수 있는 지를 평가하기 위한 기준으로 설정할 수 있다.

본 연구에서 양이간 음량차의 인지 가능성에 대한 기준으로 사용한 음압레벨의 JND는 Table 4에 나타난 바와 같다.^[17]

Table 4. JND of sound pressure level.

	JND
Discontinuous sound source	3 dB(A)
Continuous sound source	1 dB(A)

III. 실험결과 및 분석

3.1 강의실의 음향성능 측정결과

강의실 내 흡음재의 설치에 따른 음향성능 변화를 조사하고 음절테스트 당시 강의실의 청취환경을 알아보기 위하여 음향성능을 측정하였으며 그 결과를 다음의 Table 5에 나타내었다.

측정 결과 흡음재를 설치하기 전 강의실의 잔향시간은 평균 약 1.59초이고 D_{50} 은 약 37.5%이며 STI 값은 0.48임을 알 수 있었다. 이것은 공간의 규모와 대상 공간이 교사의 음성전달성능이 매우 중요한 강의실임을 감안할 때 잔향시간은 지나치게 길고 명료도(D_{50} , STI)는 낮은 것으로 나타나 강의실로 적합하지 않은 음환경임을 알 수 있었다. 그러나 측벽에 흡음재를 설치한 후 잔향시간은 약 0.85초로 감소하였고 D_{50} 은 약 55.3%, STI는 0.61로 상승함으로써 용도에 부합하는 음환경이 조성되었음을 알 수 있었다. 음압레벨의 경우 흡음재를 설치하기 전과 후의 편차가 약 1.3 dB(A)로 변화가 매우 적은 것으로 나타났다.

한편 강의실 내 수음점의 위치에 따른 음향인자의 최대 편차는 흡음재를 설치하기 전과 후에 크게 달라지지 않았음을 알 수 있었다.

3.2 양이간 음량차 산출 결과

대상공간에서 양이 녹음 시스템을 이용해 측정한 음압레벨을 계산공식에 대입하여 양이간 음량차를 산출하였으며 이를 Fig. 6에 흡음재를 설치하기 전과 후로 구분하여 나타내었다.

측정 결과 흡음재 설치 전 양이간 음량차의 절대값 평균은 약 0.42 dB(A)로 나타났다. 이는 거의 모든 수음점에서 사람의 양쪽 귀에 거의 동일한 음량의 음에너지가 입사되고 있음을 의미한다. 특히 강의실의 좌측 및 중앙, 우측의 양이간 음량차 평균이 각각 -0.5 dB(A), 0.0 dB(A), 0.5 dB(A)로 나타났는데, 음원

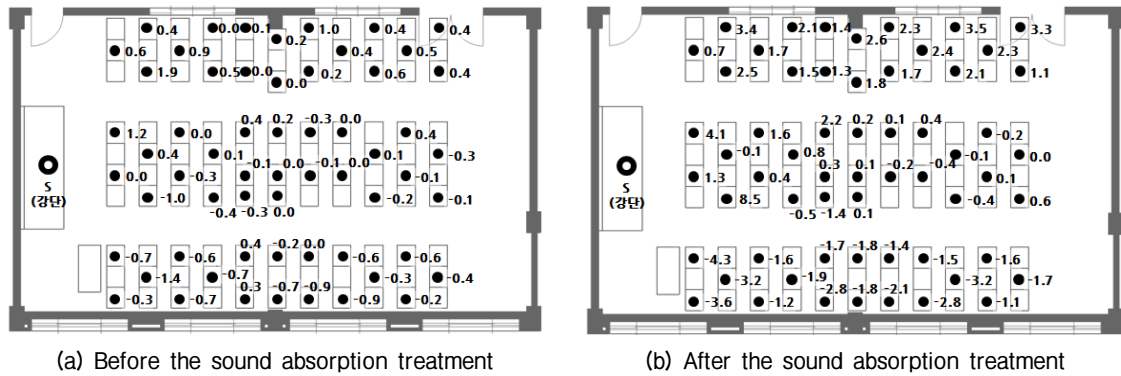


Fig. 6. The result of ILD depending on the absorption treatment (Unit: dB(A)).

으로 사용한 MLS 신호와 같이 연속된 음원에 대한 음압레벨 최소화감지폭이 약 1 dB(A)이며, 음악 및 말소리와 같이 불연속적인 음원에 대한 최소화감지폭이 약 3 dB(A)임을 감안할 때 청취자는 양이간 음량차를 인식할 수 없을 것으로 판단된다. 또한 이를 통해 강의실 전체에 걸쳐 매우 고른 반사음이 분포하고 있는 것으로 평가할 수 있다.

한편 강의실에 흡음재를 설치한 후 양이간 음량차의 절대값 평균은 약 1.76 dB(A)로 흡음재를 설치 전보다 약 1.34 dB(A)이 증가했다. 이는 양 측벽의 흡음력이 증가함에 따라 실내 반사음이 저감되어 양이간 음압레벨에 편차가 발생하게 되는 것이다. 특히 강의실의 좌중-우측에서 측정된 결과의 평균이 위치별로 각각 -2.2 dB(A), 0.7 dB(A), 2.1 dB(A)로 나타남에 따라 강의실 중앙부의 양이간 음량차 변화는 크지 않는데 반해 벽체에 인접한 구역은 양이간 음량차가

크게 변화한 것으로 나타났다.

특히 좌측벽에 가까운 측정점들의 양이간 음량차가 음수로 나타난 것은 좌측보다 우측에서 입사된 음압레벨이 좌측보다 컸다는 것으로 좌측 벽에 의한 에너지 손실이 예측되는 결과이다. 마찬가지로 우측벽 측정점의 결과가 양수로 나타난 점은 우측 벽의 마감재료 등에 의한 음압레벨의 저하로 인해 좌측 귀에 입사된 음압레벨이 우측보다 크다는 것을 이야기하는 것이며, 이것은 Fig. 1에 나타난 가설을 입증하는 것이다. 특히 벽체에 가까운 측정점의 대부분이 비연속적 음원에 대한 최소화감지폭 값인 1 dB(A)를 초과하고 있으며, 양 벽체에 아주 가까운 측정점 중 일부에서는 연속음원에 대한 최소화감지폭인 3 dB(A)를 초과하고 있어서 양이간 음량차를 청취자가 인지할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5. Result of room acoustics measurement before and after sound absorption treatment.

Room Acoustics Parameters (unit)	Room Conditions	Frequency(Hz)						Average	Maximum deviation of each receiver
		125	250	500	1k	2k	4k		
Background Noise dB(A)	Before sound absorption treatment	12.8	15.9	21.1	22.8	23.0	25.1	34.4*	-
	After sound absorption treatment	9.6	16.4	19.6	20.3	21.3	23.7	33.7*	-
RT (s)	Before sound absorption treatment	1.56	1.49	1.45	1.74	1.60	1.38	1.59**	0.20
	After sound absorption treatment	1.31	0.97	0.85	0.85	0.85	0.68	0.85**	0.18
SPL dB(A)	Before sound absorption treatment	32.3	49.1	52.3	54.9	57.9	57.1	50.6*	3.2
	After sound absorption treatment	32.3	47.2	51.6	53.0	57.1	54.9	49.3*	3.5
D ₅₀ (%)	Before sound absorption treatment	29.3	41.4	42.3	35.2	34.1	42.8	37.5***	24.7
	After sound absorption treatment	33.6	65.3	50.9	59.5	56.9	65.7	55.3***	23.1
STI	Before sound absorption treatment	-						0.48	0.05
	After sound absorption treatment	-						0.61	0.05

* Leq (equivalent noise level), ** The average of 500 Hz to 1 kHz, *** The average of 125 Hz to 4 kHz.

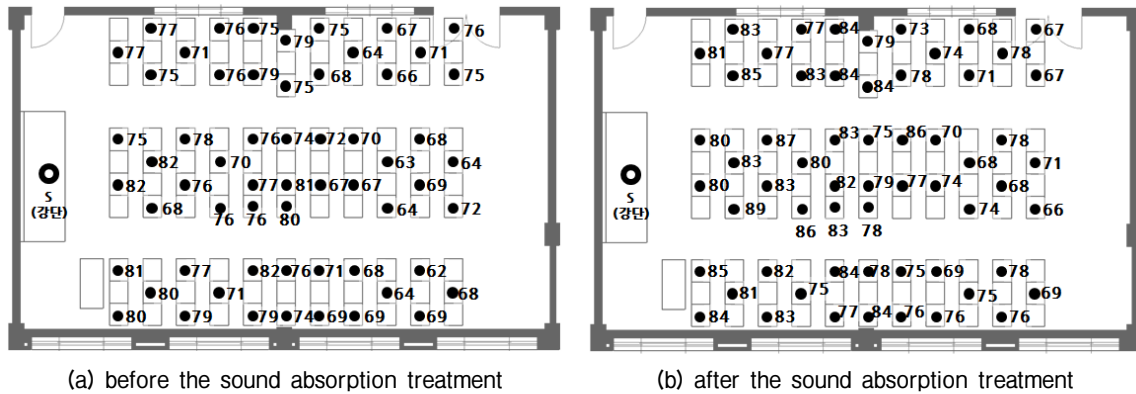


Fig. 7. The result of syllable test depending on the absorption treatment.

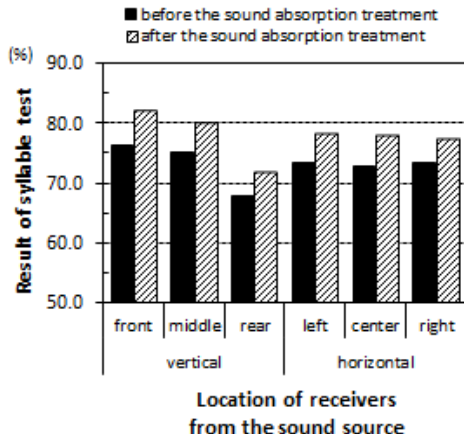


Fig. 8. The average of syllable test depending on the receiving zone.

3.3 음절테스트 결과

실내 흡음력에 의해 발생한 양이간 음량차가 음성 인지성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 음절테스트를 시행하였다. 다음의 Fig. 7은 대상공간에 흡음재를 설치하기 전과 후에 실시한 음절테스트 결과를 정리한 것이며, Fig. 8은 수음점의 위치에 따라 구역역을 구분하여 음절테스트 결과 평균을 도식화한 것을 나타낸 것이다.

음절테스트 결과 흡음재를 설치하기 전에 실시한 실험의 정답률은 평균 약 73.1%로 나타났으며, 흡음재 설치 후에는 약 78.0%로 정답률이 상승한 것으로 나타났다. 이는 흡음력의 증가에 따라서 잔향시간이 줄어들고 음성명료도가 향상된 결과로 판단된다.

IV. 양이간 음량차와 음성명료도의 상관관계

4.1 양이간 음량차와 측벽과의 상관관계

양이 녹음시스템으로 실내음향성능을 측정하고 계산공식을 이용해 양이간 음량차를 산출하였다. 이를 바탕으로 수음점 위치별 양이간 음량차 변화를 알아보기 위해 음원으로부터의 수평거리에 따른 양이간 음량차를 Fig. 9에 그래프로 도식화하였다. 즉, 그래프의 X 축에서 0점은 음원이 위치한 강의실의 중앙부를 나타내는 것이며, 숫자가 커질수록 벽체에 가까워짐을 의미한다. 여기서 양수는 우측 벽, 음수는 좌측 벽에 가까운 것을 의미하므로, 수평거리의 절대 값이 커질수록 수음점의 위치가 측벽에 가깝다는 것을 나타낸다. 그래프의 Y 축은 양이간 음량차 측정결과를 나타낸 것이며 그 값이 양수일 경우 좌측 귀의 음향인자가 우측귀보다 큰 것이고, 음수일 경우 우측 귀의 음향인자가 좌측 귀보다 더욱 큰 것으로 평가할 수 있다. 또한 그래프에는 음압레벨의 형태에 따른 최소 변화 감지폭 값을 음영으로 표시하여 청취자가 양이간 음량차를 청각적으로 인지할 수 있는지에 대한 평가기준으로 삼고자 하였다.

강의실에 흡음재를 설치하기 전 음원으로부터 수평거리와의 양이간 음량차의 상관관계를 분석한 결과 상관계수(R)가 약 0.696, 선형상관계수(R²)가 약 0.484로 나타났다. 이를 통해 양 측벽의 흡음성능이 거의 없는 공간에서도 양이간 음량차와 벽체로부터의 거리는 높은 상관관계에 있으나 그 영향이 크지

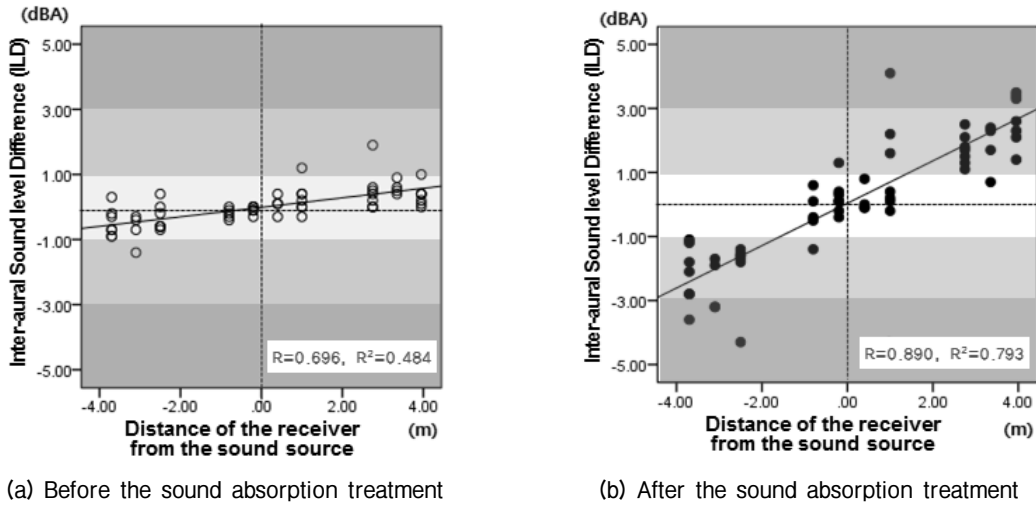


Fig. 9. Comparison of ILD and distance of the receiver from the sound source.

는 않은 것으로 평가할 수 있다.

또한 실내 흡음재 설치 후 양이간 음량차와 음원으로부터의 수평거리에 대한 상관관계를 분석한 결과 R값이 약 0.890, R² 값이 약 0.793으로 나타나 두 인자 사이에 매우 높은 수준의 상관관계가 성립하고 있음을 알 수 있었다.

결론적으로 벽체의 흡음력에 의해 측면 반사음의 크기가 변화하며 이것이 사람의 좌우귀에 다르게 입사함으로써 청취자는 양쪽 귀의 음량 차이를 인지할 수 있음을 보여주는 것이다.

4.2 양이간 음량차와 음성명료도의 상관관계

양이간 음량차와 음성전달성능의 상관관계를 파악하기 위하여 강의실의 흡음재 설치에 따른 양이간 음량차 변화와 음절테스트 정답률의 변화에 대한 상관관계를 분석하였으며 그 결과를 Table 6과 Fig. 10에 정리하였다.

분석결과 양이간 음량차와 음절테스트 정답률의 상관계수 R이 약 -0.441로 나타나 두 인자 간의 부의 상관관계에 있음을 알 수 있었다. 즉, 양이간 음량차가 증가할수록 음절테스트 정답률의 향상 폭이 낮아지는 경향을 보이고 있음을 의미한다. 따라서 측벽의 높은 흡음력에 의해 양이간 음량차가 발생할 수 있으며, 이는 곧 학생의 음성전달성능을 저해하는 요소로 작용할 수 있음을 알 수 있었다.

Table 6. Correlation between variation of ILD and improvement in the syllable test score.

	Improvement of score	Variation of ILD
Improvement of score	-	-0.441*
Variation of ILD	-0.441*	-

* Correlation coefficient significance at the 0.05 level (both sides).

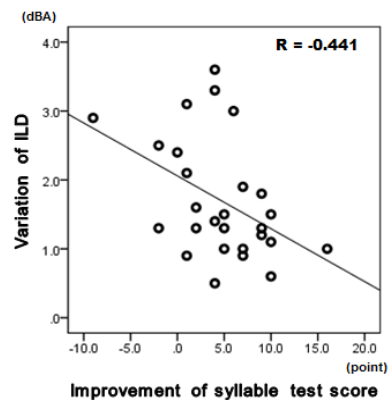


Fig. 10. Correlation graph between variation of ILD and improvement in the syllable test score.

V. 결론

본 연구는 벽체의 흡음성능이 인접한 청취자의 양이간 음량차를 상승시키는 요인으로 작용하여 음성명료도에 영향을 미칠 수 있다는 가설을 기반으로 이를 검증하고자 하였다. 즉, 현재까지 사용되어온 단이 지표를 이용해 밝혀낼 수 없었던 양이간 음량

차가 음성명료도에 미치는 영향에 대한 사전 연구이다. 이를 위해 본 연구에서는 대상공간을 설정하고 벽체에 흡음재를 설치하기 전과후의 양이간 음량차를 측정하고 음절테스트 결과와의 상관관계를 분석하여 두 인자간의 상관성을 밝히고자 하였으며 그 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 1) 양이간 음량차와 음원으로부터의 수평거리의 상관관계를 분석한 결과, 측벽의 흡음력과 양이간 음량차와 높은 상관관계를 나타내고 있으며 특히 측벽에 흡음재를 설치할 경우 선형상관계수 (R^2) 값이 0.793으로 나타나 두 인자 간에 매우 유의한 상관관계가 있음을 알 수 있었다.
- 2) 측벽에 흡음재를 설치하기 전과 후 측정된 양이간 음량차의 상승과 음절테스트 점수 향상율의 상관관계를 비교한 결과 R 값이 약 -0.441로 나타나 유의미한 부(-)의 상관관계에 있음을 알 수 있었다. 이것은 측벽 마감재의 흡음성능에 의해 양이간 음량차가 커질수록 학생의 음성명료도가 저해될 수 있음을 시사하는 바이다.

그러나 본 논문은 측벽의 흡음력을 다양하게 변화시키지 못함으로 인해 측벽의 단계적인 흡음력 증가에 따른 양이간 음량차의 변화와 그에 따른 음성명료도의 변화에 대한 상관관계를 규명할 수 없었는바, 흡음재의 흡음성능에 따른 주파수대역별 음에너지의 변화와 음성명료도와의 상관관계를 비교하지 못했다. 또한 이러한 양이간 음량차에 따른 음성명료도의 변화가 실제 학생의 학업 성취도에 영향을 미치는 지에 대한 명확한 결론을 내리기 어렵다. 따라서 향후 추가적인 연구를 통해 측벽의 흡음력 증가에 따른 양이간 음량차가 학생의 학업 성취도에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (NRF-2011-0008137).

References

1. P. Damaske, *Acoustics and Hearing* (Springers-Verlag, Berlin, 2008).
2. H. Y. Kim, Y. Suzuki, S. Takane, and T. Sone, "Control of auditory distance perception based on the auditory parallax model," *Applied Acoustics*, **62**, 245-270 (2001).
3. S. T. Birchfield and R. Gangishetty, "Acoustic localization by interaural level difference," *ICASSP* (2005).
4. D. U. Jeong, Y. K. Oh, and H. K. Chu, "Effect of direction and time delay of early reflections on speech intelligibility" (in korean), *J. Archit. Inst. Kr.* **18**, 203-208 (2001).
5. J. Y. Park, *A Study on the Influence of Speech Intelligibility Based on the Direction of Early Reflections* (master thesis, Mokpo National University, 2007).
6. L. M. Ronsse, L. M. Wang, and P. Sim, "Examining the relationships between monaural and binaural classroom acoustics parameters and student achievement," *20th ICA* (2010).
7. C. J. Park and C. H. Haan, "Effect of the inter-aural sound level differences on the speech intelligibility," *21th ICA, 2aNAal* (2012).
8. C. J. Park and C. H. Haan, "Analysis on the sound level differences between each ear depending on the room absorption" (in korean), *J. Acoust. Soc. Kr. Suppl.2(s)* **30**, 272-276 (2011).
9. M. D. Egan, *Architectural Acoustics* (McGraw-Hill, New-York, 1988).
10. M. Metha, J. Johnson, and J. Rocarfort, *Architectural Acoustics-Principles and Design* (Prentice Hall, New Jersey 1999).
11. *TECTUMkorea*, <http://www.ttk21.com/> (2007).
12. W. M. Hartmann and Z. A. Constan, "Interaural level differences and the level-meter mode," *J. Acoust. Soc. Am.* **112**, 1037-1045 (2002).
13. C. S. Yoon, S. W. Kim, and Y. K. Oh, "A Study on the Standardization of Articulation Testing Method and Its Evaluation Suitable for Korean Language (I)-Concentrated on the Proposal of Articulation Testing Standard-" (in korean), *J. Archit. Inst. Kr.* **4**, 117-125 (1988).
14. C. S. Yoon, S. W. Kim, and Y. K. Oh, "A study on the standardization of articulation testing method and its evaluation suitable for korean language (II)-evaluation on the proposed of articulation testing standard-" (in korean), *J. Archit. Inst. Kr.* **5**, 95-108 (1989).
15. *The National Institute of The Korean Language*, <http://www.korean.go.kr/> (2000).
16. D. Wei, C. J. Park, and C. H. Haan, "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).
17. I. Bork, "A comparison of room simulation software-The 2nd round robin on room acoustical computer simulation," *Acta Acustica*, **86**, 943-956 (2000).

저자 약력

▶ 박 찬 재 (Chan-Jae Park)



2006년 2월: 충북대학교 건축공학과 학사
2009년 2월: 충북대학교 건축공학과 석사
2009년 3월 ~ 현재: 충북대학교 건축공학과 박사과정 (수료)

▶ 한 찬 훈 (Chan-Hoon Haan)



1983년 2월: 홍익대학교 건축학과 학사
1985년 2월: 연세대학교 건축공학과 석사
1993년 12월: University of Sydney 박사
1994년 9월 ~ 현재: 충북대학교 건축공학과 교수