

교실에서 신호대잡음비 변화가 한국어 음성명료도에 미치는 영향

Influence of SNR difference on the Korean speech intelligibility in classrooms

박찬재,¹ 조성민,² 한찬훈^{1†}

(Chan-Jae Park¹, Sung-Min Jo,² and Chan-Hoon Haan^{1†})

¹충북대학교 건축공학과, ²PEAS 친환경 엔지니어링

(Received June 24, 2019; revised August 29, 2019; accepted November 14, 2019)

초 록: 본 연구는 소음 환경에서 화자의 음성 레벨이 어느 정도일 때 한국어에 대한 청자의 음성명료도 변화를 파악하고자 시행되었다. 이를 위해 잔향시간이 다른 교실 환경을 모형화하여 가청화시재를 제작한 후 피실험자 27명을 대상으로 청감실험을 실시해 음성명료도를 평가하였다. 음성명료도에 대한 평가는 한국어 음성명료도 평가법 중 음절법과 단어법을 이용하였으며 잔향시간과 신호대잡음비를 5dB씩 변화시키면서 정답률의 변화를 관찰하였다. 실험결과 음절법의 경우 신호대잡음비가 커질수록 이에 비례해 음성명료도 평가점수 또한 높아짐을 알 수 있었다. 단어법의 경우 잔향시간이 1.5 s인 경우에는 음성명료도 평가점수가 신호대잡음비와 비례적인 관계를 보이지만, 잔향시간이 0.8 s로 짧은 상황에서는 비례관계를 찾을 수 없었다. 이원변량분석 결과 한국어 음성명료도 평가법 중 음절법과 단어법에 공통적으로 유의한 영향 인자는 신호대잡음비라는 것으로 확인되었다. 따라서, 한국어 교실의 적정 잔향시간 기준인 0.8 s 이하를 만족하는 경우 소음에 따른 영향을 제어할 수 있으나, 잔향시간이 기준보다 긴 경우에는 신호대잡음비가 커야만 높은 음성명료도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 교실, 한국어, 음성명료도, 신호대잡음비, 잔향시간, 이원변량분석

ABSTRACT: The present study aims to find out the necessary speech sound level which can satisfy with the speech intelligibility in a noisy classroom environments. For this, auralized materials were made to undertake listening tests with 27 people. Speech intelligibility tests were carried out using both Consonant-Vowel-Consonant (CVC) and Phonetically Balanced Words (PBW) methods. Signal to noise ratio was changed by 5 dB for each test. As a result, it was found that speech intelligibilities are increasing with larger Signal to Noise Ratio (SNR). It was also found that there is a lot of difference of speech intelligibilities by SNR for syllables (CVC) with the Reverberation Time (RT) of 1.5 s. However, any significant difference was not found for words (PBW) in the case with RTs of below 0.8 s. Also, it was revealed through the 2-way analysis of variance (ANOVA) test that SNR is the only attentive factor which can affect the Korean speech intelligibilities for both PBW and CVC methods. Therefore, RTs below 0.8 s could be the acoustic criteria for classroom which can minimize the effects of noise. In the case with RTs larger than 0.8 s, much larger SNR is needed to give sufficient speech intelligibility.

Keywords: Classroom, Korean, Speech intelligibility, Signal to Noise Ratio (SNR), Reverberation time, 2-way analysis of variance (ANOVA)

PACS numbers: 43.55.Br, 43.55.Hy

1. 서 론

교실은 화자의 목소리를 통해 청자가 정보를 파악

†Corresponding author: Chan-Hoon Haan (chhaan@cbnu.ac.kr)
Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Republic of Korea
(Tel: 82-43-261-2438, Fax: 82-43-263-2635)

하여 학습하는 공간으로써 화자의 음성전달이 가장 중요한 공간이다. 따라서 교실은 음성을 전달하기에 최적화된 음향성능을 갖추어야 하며, 교실과 같은 건축공간의 음향적 특성을 결정짓는 다양한 음향적 요소 중 음성전달에 영향을 미치는 대표적인 물리적 음향인자에는 잔향시간(Reverberation Time, RT)과 배경소음, 신호대잡음비 등이 있다.

현재까지 이루어진 교실의 음향성능에 관한 상당히 많은 수의 연구를 통해 교실 내 음향성능과 학업 성취도의 상관관계를 규명하기 위한 노력과 함께 교실에 유입되는 소음의 영향을 파악하는데 이루어져 왔으며 그 결과로 높은 배경소음이 학업성취도 저하에 영향을 미친다는 연구결과가 발표되고 있다. 그 중에서도 교통소음과 같은 외부소음이 교실로 유입될 경우 학생의 흥미와 기억, 동기 부여에 부정적인 영향을 미치며,^[1] 독해능력과 계산능력이 감소한다는 사실을 다양한 실험을 통해 증명한 바 있다.^[2] 이처럼 유입된 외부소음으로 인해 교실 내 배경소음이 높은 경우 교사의 음성레벨과 간섭되어 결론적으로 학생의 음성명료도를 저해하는 요소로 작용하게 되며 이러한 소음의 영향은 신호대잡음비로 평가할 수 있다. 교실의 음환경에서 신호대잡음비의 중요성은 교실음향에 대한 연구 초기부터 꾸준히 제기되어 왔다. 그 결과로 교사의 음성레벨과 배경소음레벨의 신호대잡음비를 15 dB(A) 이상 확보할 경우 소음에 의해 음성명료도가 저하되는 현상이 거의 없는 것으로 나타났다.^[3]

이 밖에도 교실의 건축적 특성에 의해 발생할 수

있는 후기잔향음 등에 의해 교사의 음성을 왜곡시키는 주요한 인자로 지목되어 연구되고 있다. 교실음향을 결정짓는 중요한 인자가 잔향시간임에 대한 연구로써 청감실험을 통해 음성명료도 평가가 수행된 바 있으며 그 결과 잔향시간이 짧아질수록 음성명료도 점수가 높아지는 것을 밝혀내었고,^[4] 학생의 청취력 저하에 가장 큰 영향을 미치는 잔향의 주파수대역을 1 kHz~4 kHz로 규정하기도 하였다.^[5]

이러한 연구결과를 바탕으로 미국과 영국에서는 용도와 규모, 학생 배열방식 등의 세부적인 조건에 따른 교실의 음향성능 기준을 설정해 운영하고 있으며 이는 Table 1과 2에 나타난 바와 같다.

대한민국 교실의 음향적 적합성을 평가하기 위한 기존 연구들은 이러한 외국의 음향성능 기준을 활용해 왔다. 그러나 외국의 음향기준은 영어를 모국어로 사용하는 학생을 대상으로 진행되어온 연구결과를 바탕으로 수립되었으며 영문으로 이루어진 음성명료도 평가법을 통해 도출된 결과이다. 반면 동일한 공간에서도 영어와 중국어, 한국어의 언어적 특성에 의해 음성의 전달특성이 달라질 수 있다^[8]는 사실이 밝혀짐에 따라 한국어의 음성전달에 대한 보다 면밀한 연구가 반드시 수반되어야 한다.

이러한 요구에 따라 현재 대한민국에서 교실음향에 대한 연구는 교실의 음환경 실태에 대한 조사를 기반으로 한국어에 적합한 교실의 음향환경을 정의하고자 하는 방향으로 진행되고 있다. 대한민국 교실음

Table 1. The acoustic performance standards for the classroom in USA (unoccupied).^[6]

Classroom size (volume)	Background noise level	RT *** (s)
Less than 283 m ³	below 35 dB(A)* / 55 dB(C)**	< 0.6
283 m ³ - 566 m ³	below 35 dB(A)* / 55 dB(C)**	< 0.7
More than 566 m ³	below 40 dB(A)* / 60 dB(C)**	no requirement

* greatest one-hour average sound level of exterior source
 ** greatest one-hour average sound level of interior source
 *** average of the reverberation times with mid frequencies (500 Hz, 1000 Hz, and 2000 Hz) in octave bands

Table 2. The acoustic performance standards for the classroom in UK (unoccupied).^[7]

Classroom type	Background noise level	RT (s)
Primary school	below 35 dB(A)* / 40 dB(A)**	< 0.6
Middle & high school	below 35 dB(A)* / 40 dB(A)**	< 0.8
Open plan classroom	below 40 dB(A)* / 40 dB(A)**	< 0.8
Lecture room (less than 50 people)	below 35 dB(A)* / 40 dB(A)**	< 0.8
Lecture room (more than 50 people)	below 35 dB(A)* / 40 dB(A)**	< 1.0

* upper limits for L_{Aeq,30mins} of existing building
 ** upper limits for L_{Aeq,30mins} of new building
 *** average of the reverberation times with the mid frequencies (500 Hz, 1000 Hz and 2000 Hz) in octave bands

향 연구의 초기 단계에서는 외국의 연구결과를 종합해 대한민국 교실의 잔향시간, 배경소음, 신호대잡음비에 대한 적정수준을 제시하기도 하였다.^[9] 그러나 이것은 실제 실험결과가 아닌 외국 연구결과를 조사 분석한 결과로써 참고사항으로 인용되어 왔다. 그러나 최근에는 이러한 개념을 확장해 실제 교실의 음향 실태 조사결과와 한국어 음성명료도 평가결과를 바탕으로 Table 3과 같이 한국어를 사용하는 중고등학교에 적용할 수 있는 실내음향성능 기준안을 제시하였다.^[10] 여기에는 교실의 실내 배경소음 및 잔향시간에 대해 명확한 적정 기준이 포함되어있으나 신호대잡음비에 대한 연구는 부족한 것이 사실이다.

이 밖에도 흡음력이 높은 마감재의 설치 위치에 따라 양이간음량차(Interaural Level Difference, ILD)가 커질 수 있으며 이는 음성명료도를 저하시키는 요인이 됨을 밝혀내는 등 다양한 연구가 진행되고 있다.^[10]

이와 같은 다양한 노력에도 불구하고 대한민국 교실의 음향환경을 규제할 수 있는 법령은 운영되지 않고 있다. 다만 Table 4에 나타난 바와 같이 소음진동관리법 시행규칙에 따라 학교가 위치한 부지의 용도구분에 따라 도로변 지역의 소음환경을 제어할 수 있다.^[11]

이러한 상황을 바탕으로 종합적으로 판단해 볼 때 한국어의 음성전달에 영향을 미치는 물리적 음향성능을 파악하기 위해서는 신호대잡음비의 변화와 한국어의 이해도에 대한 상관성에 관한 연구가 반드시 필요한 상황이다. 본 논문에서는 다양한 음향환경에서 음성명료도 평가법을 통해 신호대잡음비의 변이

에 따른 한국어 이해능력을 평가하고 한국 교실의 적합한 신호대잡음비를 분석하고자 한다.

II. 음성명료도 평가방법

2.1 신호대잡음비(SNR)

신호대잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)는 화자를 통해 발생한 신호음이 청자에게 미치는 동안 소음에 의한 명료도의 저해 정도를 평가하는 음향인자로써 Eq. (1)을 통해 간단하게 나타낼 수 있다. 이 공식에 따르면 신호대잡음비는 소음의 정도에 따라 양수 또는 음수로 나타나게 되는데, 만일 소음의 크기가 신호음보다 클 경우 그 값은 음수로 나타나게 된다.

$$SNR = SPL_{signal} - SPL_{noise} [dB], \quad (1)$$

여기서 SPL_{signal} 은 신호음의 음압레벨을 나타내며 SPL_{noise} 는 소음의 음압레벨을 의미한다. 다음 Fig. 1은 다양한 음성명료도 평가결과와 신호대잡음비의 관계를 나타내는 도표이다. 이 그래프에 따르면 비록 신호대잡음비가 음수로 나타나는 경우에도 음성 이해에 대한 60% 이상 이해가 가능하며, 특히 음성의 종류가 문장 혹은 단어의 경우 이해도가 더욱 높게 나타남을 알 수 있다.^[12] 이것은 사람이 음성을 받아들일 때 청취 가능한 음성신호를 바탕으로 다른 음성신호를 유추해낼 수 있기 때문이다.

영어를 사용하는 국가의 경우 교실의 음향성능 실태와 더불어 물리적 인자와 주관적 인자에 관하여

Table 3. The suggested acoustic performance standards for the classroom in Korea (unoccupied).

Target	Background noise level	RT
Middle and high school (below 220 m ³)	< 35 dB(A)	< 0.8 s

Table 4. Noise standards for school area in Korea.^[11]

Zone	Measurement point	Day (06:00-22:00)	Night (22:00-06:00)
		General area	within 50 m away from the school boundary
Roadside area		65 dB(A)	55 dB(A)

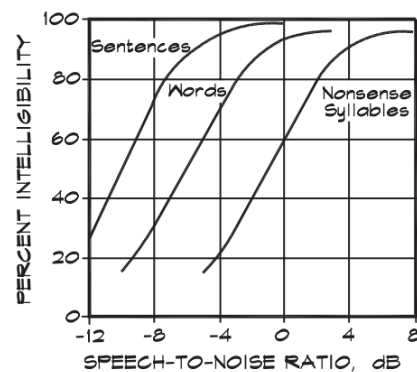


Fig. 1. Results of a typical intelligibility test^[12] (Miller et al., 1951).

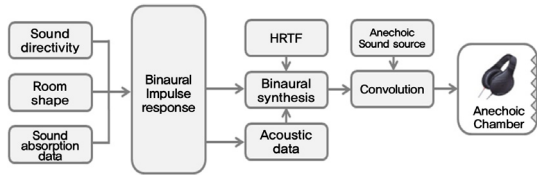


Fig. 2. Process of the auralization works.

러 연구가 진행되고 있다. 이 중에서 신호대잡음비와 관련된 연구로써 높은 배경소음이 학업성취도 저하에 영향을 미친다는 연구결과가 있다. 또한, 신호대잡음비가 15 dB(A) 이상일 경우 소음으로 인한 영향을 어느 정도 보완할 수 있다는 연구결과가 일찍이 제시되었으며, 이는 교실의 기본계획에 널리 활용되고 있다.^[3]

2.2 가청화시제

가청화시제란 건축음향 시뮬레이션을 통해 산출된 공간의 물리적 음향인자가 미치는 영향에 대해 조사하기 위하여 만들어진 가상의 음원으로써 시뮬레이션을 통해 고유한 음향성능을 가진 가상공간에서 무향실에서 녹음한 음원을 재생하여 머리전달함수(Head Related Transfer Function, HRTF)를 적용한 후에 합성하여 얻게 된다. 즉 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 상에 3차원 가상공간을 만들고 실내마감재의 흡음률과 음원과 수음점을 지정하여 실험대상의 실을 구성한 뒤 머리전달함수와 헤드셋 모델을 지정해 무향실에서 녹음한 음절과 단어를 재생하여 녹음하는 것이다. 본 연구의 가청화시제 제작 과정은 Fig. 2에 나타난 바와 같다.

2.3 음성명료도 평가법

영어가 아닌 한국어를 사용하였을 때 공간의 음향성능에 따른 음성명료도의 변화를 알아보기 위해 한국어로 작성된 음절법(CVC)과 단어법(PBW)을 병행해 실험을 진행하였다. 여기에서 음절법이란 자음-모음-자음으로 구성된 1음절 단어를 이용해 화자의 인지성능을 평가하는 방법이다. 단어법이란 발생할 수 있는 모든 음운 현상을 포함하고 각 음운이 고르게 분포되어 있는 음소적으로 균형있는 단어들을 사용하는 방법이다.^[13]

Table 5. Sample of the speech intelligibility tests.^[13]

a) sample of syllable test (CVC)

1	은	6	승
2	만	7	밀
3	볼	8	창
4	회	9	얼
5	플	10	두

b) sample of word test (PBW)

1	뭐라고	6	의미의
2	의의가	7	오르지
3	재검토	8	표적수사
4	어떻습니까	9	외로운
5	규제완화	10	유의해야

본 실험에서는 두 평가법 모두 1회에 50개의 음절 혹은 단어로 구성되어 피실험자에게 들려준 뒤 그 정답률을 통해 한국어 음성의 인지성능을 평가하였다. Table 5는 음성명료도 평가에 사용된 음절과 단어의 일부분을 예시로 보여주고 있다.

III. 음성명료도 실험

대상공간의 3D 모델을 실내음향예측 프로그램(odeon)의 가상공간에 입력하고 부위별 흡음률을 조정하였다. 공간의 음향성능이 신호대잡음비에 의한 음성전달성능에 미치는 영향을 최소한으로 검토하기 위해 잔향시간이 각각 0.8s 및 1.5s인 환경을 조성한 뒤 실험을 진행하였다.

음성명료도 평가 시제로는 무향실에서 녹음한 음원(음절, 단어)을 사용하였으며, 이를 가상공간 내 교실에 재생 후 수음점의 위치에서 다시 녹취한 가청화시제를 제작하였다. 이렇게 얻어진 가청화시제는 정상청력을 가진 성인 27명에게 들려준 뒤 받아쓰게 하여 정답률을 산출하였다. 이를 통해 2가지 잔향 조건에서 신호대잡음비에 따른 음성전달성능의 관계성에 대해 분석하였다.

3.1 교실 모델링

일반적인 대학 교실을 대상으로 3차원 모델을 제작하였다. 대상공간은 약 50명을 수용할 수 있는 교

실이며 공간의 형태와 크기, 책상의 배열과 같은 건축적 제원은 Fig. 3에 도식화 하였으며 부위별 실내 마감재료의 종류 및 흡음률은 Table 6에 정리된 바와 같다. Fig. 4는 대상공간을 모델링한 모습과 함께 음원과 수음점의 위치를 대략적으로 표시하고 있다. 음원은 수업시 교사의 음성 출력 위치인 교탁 앞 중앙부의 바닥에서 1.6 m 높이에 설치하였으며, 수음점은 각 책상에 1.2 m 높이로 지정하였다. 이때 교실의 잔향시간을 정해진 실험조건(0.8 s, 1.5 s)에 맞추기 위하여 천정의 흡음률을 각각 18%와 45%로 설정하였다. 흡음률 조절에 있어 그 부위를 천장면에 제한해 설정한 이유는 측벽의 흡음률을 조정할 경우 청자에게 도달하는 음성신호에 양이간음량차가 커지게 되며 이로 인하여 음성명료도가 저해될 수 있기 때문이다.^[14]

3.2 가청화시재의 제작

음원의 출력 음압레벨은 실제 교실에서 수업하는 교사의 음성에 대한 음압레벨인 60 dBA로 설정하였다. 이때 음원은 어도비 오디션 CC 프로그램을 사용하여 무향실에서 녹음한 음절 혹은 단어의 크기를

균일하게 만들고 출력 간격을 조정하였다. 각 시제는 약 3 s의 공백 뒤 1 s-2 s간 출력되었으며 1회 실험에 총 50개의 음절 혹은 단어를 들을 수 있도록 하였다. 컴퓨터를 이용해 3차원 교실을 작성한 후 부위별로 흡음률을 입력하였다. 그 다음 음원과 수음점을 설정하고, 청자의 머리전달함수와 헤드셋 모델을 지정한 뒤 양이충격응답음(binaural impulse response)을 녹취해 음성명료도 평가 음원과 합성하였다.

본 실험에서는 교실의 잔향조건을 중간주파수대역(500 Hz, 1000 Hz)에서 0.8 s와 1.5 s인 상황을 조성해 신호대잡음비의 변화에 따른 한국어의 음성명료도를 평가하였다. 이는 기존에 제시된 대한민국 중등학교 교실의 음향성능 기준에서 잔향시간이 0.8 s 이하인 점^[9,15]을 바탕으로 설정하였다. 또한 대한민국 교실의 음향성능 실태 조사 결과에 따라 실제 발생할 수 있는 최대 잔향시간이 1.5s로 조사된 점을 감안해 이와 같이 설정하였다.^[16]

음성명료도 평가는 Table 7에 나타난 바와 같이 각

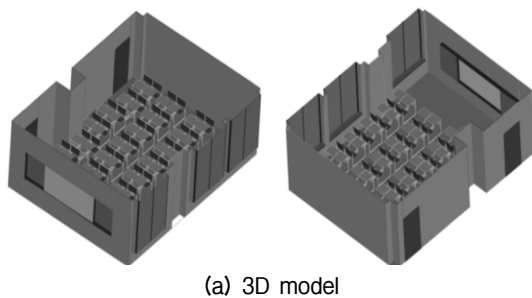


Fig. 3. Plan and section of the target classroom.

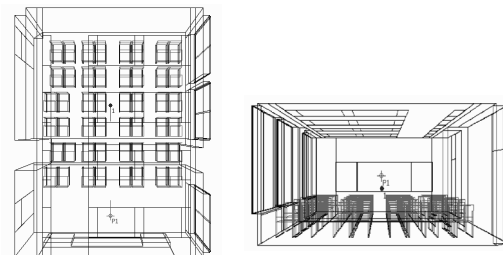
Table 6. Interior finishing materials of the target classroom.

Building element	Material	NRC*
Floor	Linoleum tile	0.01
wall	Paint on concrete	0.01
Ceiling	Acoustic board	0.18 / 0.45
Door	Metal	0.08
Window	Glass	0.04
Whiteboard	Wood paneling	0.08
Desk	Particle board	0.09
Chair	Poly propylene	0.09

* Noise reduction coefficient : average of the sound absorption coefficient with 250, 500, 1 k, 2 k Hz



(a) 3D model



(b) receiving point location

Fig. 4. The shape and receiving point location of the simulation model.

Table 7. Composition of the auralization materials.

RT (s)	0.8			1.5		
	5	10	15	5	10	15
SNR (dB)	speech intelligibility test material(CVC, PBW)					
Noise	white noise					

각 두 가지 잔향조건의 공간에서 신호대잡음비 값을 5 dB, 10 dB, 15 dB로 설정하여 진행하였다. 이때 소음은 백색소음을 사용하였으며 신호음 발생과 동시에 출력하였다.

3.3 청감실험

정상청력을 가진 20-25세의 피실험자 27명을 대상으로 음성명료도 평가를 진행하였다. 실험 중 잔향감 및 신호대잡음비에 대한 피실험자의 청각적 학습 효과를 배제하기 위해 각 가청화시재의 재생순서는 Table 8과 같이 비순차적으로 제공하였다.

청감실험시 헤드셋 내부의 배경소음은 약 36.3 dB이었으며 실험실의 온도는 25.3 °C, 습도는 41 %였다. Fig. 5는 한국어 음성명료도 실험의 구성을 보여주고 있다.^[17]

IV. 실험결과

두 가지 잔향환경에서 각각 3단계의 신호대잡음비로 제작된 가청화시재를 이용해 실시한 음성명료도 청감평가 결과는 Tables 9와 10에 정리된 바와 같다. 또한 각 실험조건별로 도출한 평균값을 표준편차와 함께 음절법과 단어법으로 구분해 Figs. 6과 7에 도식화 하였다. 점수는 문항당 2점으로 환산하여 채점해 평균 점수를 산출한 뒤 비교하였다.

음성명료도 평가법 종류에 따른 결과를 살펴보면 음절법의 경우 실험조건별 평균 점수는 약 71.9점 ~ 82.4점으로 나타났으며 단어법의 경우 약 85.2점 ~ 93.1점으로 나타났다. 모든 실험조건에서 음절법에 비해 단어법의 득점수가 높게 나타난 것이다. 이것은 동일한 음향조건을 가진 공간에서 단어법이 음절법 보다 음성의 이해도가 높다는 것으로 판단된다. 또한 각 시험법별 표준편차를 살펴보면 음절법 보다 단어법의 편차가 더 작은 것으로 나타났다. 또한 음

Table 8. The order of experiments.

No.		RT (s)	SNR (dB)
1	PBW	0.8	5
2		1.5	10
3		0.8	15
4		1.5	5
5		0.8	10
6		1.5	15
7	CVC	0.8	10
8		1.5	15
9		0.8	5
10		1.5	10
11		0.8	15
12		1.5	5

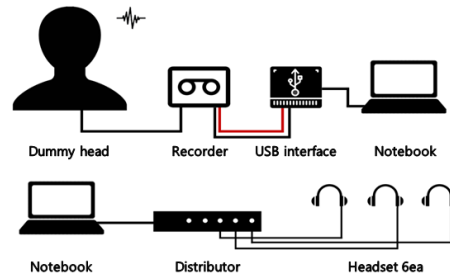


Fig. 5. Set-up of speech intelligibility tests.

절법과 단어법 모두 잔향시간이 짧을 때 편차 또한 작아지는 것을 알 수 있었다.

음절법 평가결과를 보다 자세히 살펴보면 잔향시간이 0.8 s로 짧고 신호대잡음비가 15 dB로 가장 큰 경우에서 음성명료도 평가점수가 가장 높은 것으로 나타났으며 모든 잔향조건에서 신호대잡음비가 낮을수록 음성명료도 평가점수 또한 낮아지는 추세를 보여주고 있다. 한편 단어법의 경우 잔향조건에 따라 음성명료도 평가결과에 큰 차이가 발생했다. 잔향시간이 0.8 s인 경우 신호대잡음비에 상관없이 모두 90점 이상의 높은 점수를 보였지만, 잔향시간이 1.5 s일 때 소음의 크기에 따라 변화가 발생하고 신호대잡음비가 낮아질수록 음성명료도 평가 결과 또한 낮아지고 있음을 알 수 있다.

이러한 내용을 종합적으로 분석할 때 신호대잡음비는 한국어의 음성전달 성능에 유효한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 즉, 신호대잡음비가 클수록 음성을 통한 학생 정보 전달이 보다 수월해진다고 유

Table 9. Results of speech intelligibility test in CVC.

No.	RT 0.8			RT 1.5		
	SNR 5	SNR 10	SNR 15	SNR 5	SNR 10	SNR 15
1	70	72	84	66	72	82
2	64	70	84	72	74	82
3	66	70	92	74	78	80
4	86	80	90	78	86	90
5	90	92	94	84	88	96
6	74	68	68	70	82	80
7	74	62	80	74	72	76
8	60	72	76	82	78	76
9	82	78	88	80	86	92
10	70	64	78	74	68	78
11	70	72	88	74	70	82
12	68	78	82	66	86	78
13	80	84	94	84	90	90
14	86	86	92	90	92	86
15	60	70	74	68	70	78
16	66	76	80	66	72	74
17	80	74	86	76	82	86
18	70	82	82	68	70	80
19	66	64	72	54	78	76
20	68	72	74	62	72	66
21	74	76	84	78	88	92
22	80	72	76	64	62	88
23	72	72	84	70	74	84
24	74	80	82	76	72	76
25	66	76	84	66	76	76
26	66	64	86	60	64	74
27	68	60	70	66	76	66
AVG	72.2	73.6	82.4	71.9	77.0	80.9

Table 10. Results of speech intelligibility test in PBW.

No.	RT 0.8			RT 1.5		
	SNR 5	SNR 10	SNR 15	SNR 5	SNR 10	SNR 15
1	92	94	94	92	94	100
2	94	98	88	84	94	92
3	94	92	94	88	92	96
4	90	88	90	78	88	96
5	96	90	92	80	88	94
6	96	94	96	92	82	96
7	92	90	94	84	88	92
8	94	96	92	92	90	94
9	84	90	90	86	90	94
10	90	96	90	88	86	96
11	94	96	96	84	92	92
12	96	96	94	92	90	94
13	86	90	90	80	80	90
14	94	92	94	82	88	96
15	88	92	86	80	74	86
16	94	96	94	86	90	88
17	92	92	94	84	88	98
18	94	94	92	84	90	92
19	92	92	92	88	86	92
20	98	88	90	78	86	82
21	98	92	96	88	94	98
22	88	92	92	86	90	90
23	90	94	92	84	86	90
24	96	98	94	84	84	98
25	90	98	90	80	90	96
26	92	92	94	90	90	88
27	90	92	92	86	84	94
AVG	92.4	93.1	92.3	85.2	87.9	93.1

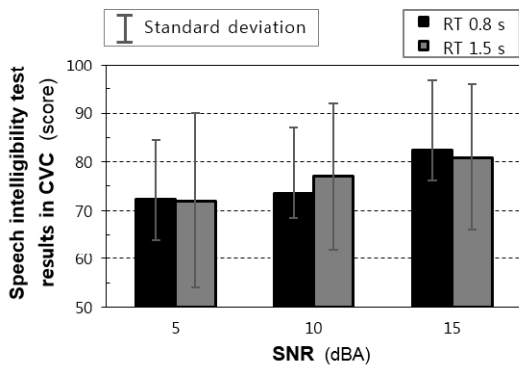


Fig. 6. Comparison of speech intelligibility test scores in CVC with SNR and RT differences.

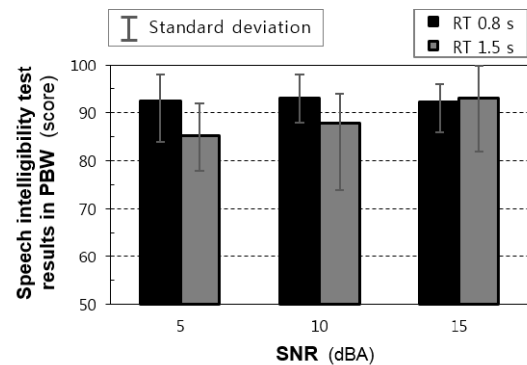


Fig. 7. Comparison of speech intelligibility test scores in PBW with SNR and RT differences.

Table 11. 2-way ANOVA analysis results of speech intelligibility scores for SNR-RT (CVC).

Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F	p
SNR	2556.6	2	1278.3	21.4	.000
RT	12.0	1	12.0	0.2	.656
SNR * RT	175.6	2	87.8	1.467	.234
Error	9335.1	156	59.8		

추해볼 수 있다. 특히 잔향시간이 대한민국 중고등학교 교실의 적정 기준인 0.8s이며 신호대잡음비가 5 dB 이상인 경우 단어를 통한 정보 취득이 보다 용이할 것으로 판단된다.

이러한 평가결과를 바탕으로 신호대잡음비와 잔향시간에 따른 음성명료도 점수 변화의 관계성을 파악하기 위하여 이원변량분석을 수행하였다. Tables 11과 12는 음절법과 단어법에 의한 이원변량분석 결과를 정리해 각각 표로 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이 단어법의 음성명료도 평가결과의 경우 신호대잡음비와 잔향시간, 신호대잡음비-잔향시간 모두 유의확률(p)이 0.05보다 낮아 95% 이상의 신뢰수준에서 유의한 영향을 받고 있음을 확인할 수 있다. 반면 음절법의 경우 유의확률이 0.000으로 낮아 신호대잡음비가 음성명료도 평가결과에 유의한 영향을 미치고 있음을 보여주고 있으나 잔향시간 및 신호대잡음비-잔향시간의 경우 유의확률이 0.05보다 높아 유의성이 없는 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 논문은 신호대잡음비에 따른 한국어의 음성명료도를 평가함으로써 대한민국 교실에서 음성전달 시 외부 소음에 의한 영향을 평가하고자 진행되었다. 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 모든 음향조건에서 음절법 보다 단어법이 더 높은 음성명료도 평가점수를 획득하였으며 피실험자간 특점의 편차 또한 작았다. 이것은 단어의 특성상 음절에 비해 개인의 경험이나 지식을 바탕으로 유추하는 데 도움을 줄 수 있기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 공간의 물리적 음향성능인 잔향시간과 신호대

Table 12. 2-way ANOVA analysis results of speech intelligibility scores for SNR-RT (PBW).

Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F	p
SNR	417.9	2	209.0	15.4	.000
RT	600.9	1	600.9	44.4	.000
SNR * RT	468.0	2	234.0	17.3	.000
Error	2113.2	156	13.6		

잡음비를 다양하게 변화시켜 수행한 한국어 음성명료도의 실험결과, 음절법의 경우 잔향시간 보다는 신호대잡음비에 의한 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다. 단어법의 경우 잔향시간이 1.5s로 긴 경우 신호대잡음비의 영향이 큰 것으로 나타났지만 잔향시간이 0.8s인 경우 신호대잡음비와 관계없이 음성명료도가 높은 것으로 나타났다.

- 3) 음성명료도 평가점수를 비교한 결과 음절법과 단어법 모두 잔향시간이 짧을수록 음성명료도 평가결과의 편차가 작아짐을 알 수 있다. 이를 통해 이로써 잔향시간이 짧을 때 교실 전반에 걸쳐 음성전달 성능이 상대적으로 높은 것으로 평가된다.
- 4) 이원변량분석 결과 한국어 음성명료도 평가법 중 음절법과 단어법에 공통적으로 유의한 영향 인자는 신호대잡음비라는 것으로 확인되었다. 단어법의 경우 잔향시간과 신호대잡음비-잔향시간 간에도 유의한 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

이번 실험을 통해 대한민국 교실의 적정 잔향시간 기준인 0.8s 이하의 경우 소음에 대한 음성전달 성능이 저하되는 것을 어느 정도 억제할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 대한민국 교실의 잔향시간을 0.8s 이하로 규정하는 것이 타당하다는 것을 다시 한번 입증할 수 있었다. 만일 잔향시간을 만족하지 못하는 경우 신호대잡음비를 충분히 크게 확보할 경우 높은 음성명료도를 가지는 것을 알 수 있다.

본 논문은 더욱 다양한 잔향환경에서 신호대잡음비의 영향을 파악하지 못했다는 점과 음성전달에 영향을 미치는 것으로 알려진 다른 음향인자의 변화에 의한 영향을 파악하지 못했다는 점에서 한계를 갖는

다. 따라서 향후 연구에서는 이에 대한 보완과 함께 신호대잡음비에 따른 한국어 음성의 이해정도를 세분화하여 적정 신호대잡음비의 기준을 제시할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2016R1D1A1B03933011)의 연구결과입니다.

References

1. L. M. Ronsse and L. M. Wang, "Effects of noise from building mechanical systems on elementary school student achievement," *ASHRAE Transactions*, **116**, 347-354 (2010).
2. J. S. Kukas, R. D. Dupree, and J. W. Swing, "Effects of noise on academic achievements and classroom behaviour," State of California Rep., FHWA/CA/DOHS-81/01, Berkeley (1981).
3. T. Houtgast, "The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms," *Applied Acoustics*, **14**, 15-25 (1981).
4. A. K. Nabelek and J. M. Pickett, "Reception of consonants in a classroom as affected by monaural and binaural listening, noise, reverberation, and hearing aids," *J. Acoust. Soc. Am.* **56**, 628-639 (1974).
5. H. Sato, M. Morimoto, H. Sato, and M. Wada, "Relationship between listening difficulty and acoustical objective measures in reverberant sound fields," *J. Acoust. Soc. Am.* **123**, 2087- 2093 (2008).
6. ANSI/ASA S12.60, *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools - Part 1 : Permanent Schools*, American National Standard, 10, 2010.
7. EFA PSBP, *Acoustic Performance Standards for the Priority Schools Building Programme*, U.K., 10-13, 2012.
8. 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).
9. C. J. Park, *Establishment of the acoustical performance criteria for middle and high school classrooms* (in Korean), (Ph.D. thesis, Chungbuk National University, 2014).
10. C. J. Park and C. H. Haan, "Effect of the inter-aural level differences on the speech intelligibility depending on the room absorption in classrooms" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **32**, 335-345 (2013).
11. Environment Ministry, Framework Act on Environmental Policy - Environmental Standards ; Noise, Article 10, Annex 2 (2019).
12. M. Long, *Architectural Acoustics* (Elsevier, New York, 2006), pp. 94.
13. B. W. Kim, J. J. Kim, S. T. Kim, and Y. J. Lee "A study on the design and the construction of a Korean speech DB for common use," (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **16**, 35-41 (1997).
14. C. J. Park and C. H. Haan, "Effect of the inter-aural level differences on the speech intelligibility depending on the room absorption in classrooms" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **32**, 335-345 (2013).
15. C. J. Park and C. H. Haan, "Establishment of the acoustical standard of the Korean classrooms using speech intelligibility test," 22nd ICA, Buenos Aires, ICA 2016-76 (2016).
16. C. J. Park, D. J. Ryu, J. Y. Kyoung, and C. H. Haan, "Analysis of the acoustic performance of the classroom in Korea" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr.* **33**, 316-325 (2014).
17. J. Y. Jang, C. J. Park, and C. H. Haan, "Correlation between room acoustic performance and Korean speech recognition performance" (in Korean), *J. Acoust. Soc. Kr. Suppl.* 2(s) **36**, 52 (2017).

저자 약력

▶ 박 찬 재 (Chan-Jae Park)



2006년 2월: 충북대학교 건축공학과 학사
2009년 2월: 충북대학교 건축공학과 석사
2014년 2월: 충북대학교 건축공학과 박사
2014년 3월 ~ 현재: 충북대학교 초빙교원

▶ 조 성 민 (Sung-Min Jo)



2019년 2월: 충북대학교 건축공학과 학사
2019년 3월 ~ 현재: PEAS 친환경 엔지니어링 사원

▶ 한 찬 훈 (Chan-Hoon Haan)



1983년 2월 : 홍익대학교 건축학과 학사
1985년 2월 : 연세대학교 건축공학과 석사
1993년 12월 : University of Sydney 박사
1999-2000년 : Salford Univ. 연구교수
1994년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 건축공학과 교수