

잔향시간이 양이를 사용한 한국어 단음절 인지에 미치는 영향

Effects of reverberation time on binaural Korean monosyllabic word recognition in normal hearing subjects

임덕환[†]

(Dukhwan Lim^{1†})

¹한림대학교 언어청각학부, 청각언어연구소

(Received September 28, 2021; revised November 15, 2021; accepted November 24, 2021)

초 록: 실내에서 소음과 함께 존재하는 잔향시간은 어음인지에 영향을 미친다. 그 정도는 청취 조건이나 사용된 언어의 특성에 따라서 그 내용이 다를 수 있다. 본 연구에서는 양이 청취 조건에서 잔향시간이 정상 성인 10인의 표준화된 한국어 단음절 변별력에 미치는 효과를 확인하고자 하였다. 양이 청취효과는 diotic(양이 소음간 동일 위상) 조건과 dichotic(양이 소음간 위상차 존재, π) 조건에서 신호대잡음비를 0 dB로 고정하였다(55 dB HL). 잔향시간 효과를 관찰할 수 있는 3.4 s에서 대상의 단음절 변별력인 Word Recognition Score(WRS)점수를 분석하였다. 결과에서 dichotic인 경우에는 단측 청취 결과와 비교하여 유의한 변별력 개선이 보였고($p < 0.05$), diotic 조건에서는 단측청취와 유의한 차이를 관찰할 수 없었다. 이러한 결과는 잔향시간을 고려한 여러 소음 음향 환경 분석에 참고가 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 잔향시간, 단음절인지, 양이청취, 신호대잡음비

ABSTRACT: Reverberation Time (RT) with noise levels can affect speech recognition ability in a listening environment. The degree of influence may depend on reverberation times and modes of binaural hearing. In this study, Korean monosyllabic Word Recognition Scores (WRS) were investigated in 10 young normal hearing subjects under binaural conditions. The RT of 3.4 s and signal to noise ratio of 0 dB were used at 55 dB HL for diotic (noise with the same phase) and dichotic (noise with the fixed phase difference, π) conditions. The improvement in WRS was noted in dichotic hearing ($p < 0.05$) while the similar trend was not observed in diotic hearing. This data may be useful in analyzing psychoacoustic effects of RTs under noisy conditions.

Keywords: Reverberation time, Monosyllabic word recognition, Binaural hearing, Signal to noise ratio

PACS numbers: 43.71.Ky, 43.55.Br, 43.71.Gv

1. 서 론

실내 음향 환경에서 어음인지에 영향을 미치는 요소는 여러 가지 변수가 알려져 있다(Crandell *et al.*^[1]). 잔향음(Reverberation Time, RT)은 이러한 변수 중 하나이다. 흔히 음의 크기가 최초보다 60 dB 줄어드는 데 걸리는 시간인 RT60으로 나타낸다. 이 잔향음이 길어지면 어음의 변별력을 방해하는 효과를 나타내

는 것으로 알려져 있지만, 정상 성인의 경우는 조용한 환경에서 단독으로 그 영향을 관찰하기가 어렵다(Lavandier *et al.*,^[2] Lee *et al.*^[3]). 이 잔향음은 어음 변별에 도움을 주기도 하고 방해할 수도 있다. 그 효과는 Rennie *et al.*^[4]에서처럼 보통 주변에 소음과 같은 다른 음향 요인과 공존하여 나타나고 일반적으로 큰 잔향시간 차이에서 유의한 변화가 나타난다. 국내의 결과에서도 유사한 성향을 보이고 있다. 그리고 소

[†]Corresponding author: Dukhwan Lim (hsfdl21@gmail.com)

Division of Speech Pathology & Audiology, Hallym University, 1 Hallymdaehak-gil, Chuncheon, Gangwon-do 24252, Republic of Korea

(Tel: 82-33-248-2217, Fax: 82-2-6280-9133)



Copyright©2021 The Acoustical Society of Korea. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

음을 동반하는 신호대잡음비가 낮을수록 그 영향이 크게 나타난다(Bistafa *et al.*,^[5] Beutelmann *et al.*,^[6] Lee *et al.*^[3]). 그 세부적인 내용은 사용하는 언어의 종류와 청취 환경 조건에 따라서 다양한 영향을 보인다. 더구나 조사하는 내용이 탐지 기능인지 변별력에 관한 자료인지에 따라서도 그 형태가 다르게 나타날 수 있다. 표준화된 한국어 단음절의 경우에 단측 청취와 양측 청취를 비교하는 조건에서 구체적인 잔향음 관련 변별 효과는 알려진 내용이 부족한 실정이다. 특히, 다양한 양이 조건에서의 자극 제시 반응 특성은 보고된 바가 없다. 양이 조건에서는 Interaural Time Difference(ITD)와 Interaural Intensity Difference(IID)라는 공간 정보 단서를 청각신호 처리과정에 제공하게 된다. 이때 두 귀에 동일한 정보가 제공되는 diotic 인 경우와 다른 형태의 자극이 전달되는 dichotic인 경우에 어떠한 특징이 있는지 조사해 볼 필요가 있다.

본 연구에서는 잔향시간이 관찰되는 조건에서 한국어 어음인지 과정에서 단측청취나 양이청취 조건에 따른 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위하여 Lee *et al.*^[7]의 심리음향기능곡선이 확인된 표준화된 한국어 단음절 검사 목록을 준비하여 사용하였다. 단측 및 양측 청취조건에서 정상 청력을 가진 성인을 대상으로 하여 잔향시간이 단음절 변별 인지 점수에 주는 영향을 살펴보고자 하였다.

II. 실험 설계 및 분석 방법

정상 청각 기능을 보이는 20대 초반의 성인 남녀 5명씩 10명을 대상으로 선정했다. 전체 실험 과정은 한림대학교 생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 심의 승인을 받아 진행되었다. 순음청력검사의 역할은 청각 검사용 전문 방음실에서 청각 검사기준으로 보정된 헤드폰(TDH-39, Telephonics, supraaural type)을 사용한 청력검사기(Maico, MA42)로 측정하였다. 대상 그룹은 양측 모두 청각 역치 평균값이 10 dB HL 미만으로 정상범위에 있었다. 양측 고막 임피던스 검사 결과도 모두 A형으로 정상이었다.

표준화된 한국어 단음절 인지도(Word Recognition Score, WRS, Discrimination Score, DS) 결과는 참여 대상 모두 양측 각 100%를 보였다. 사용된 WRS 용 단음

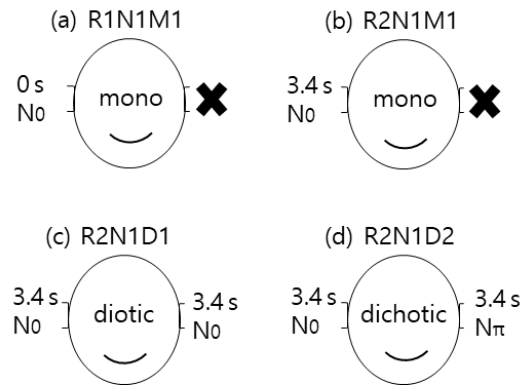


Fig. 1. Four different configurations for monaural and binaural conditions.

절어 목록(KS-MWL-A, Lee *et al.*^[7])은 만 13세 이상을 위한 일반용 자료이다. 모두 심리음향기능곡선의 특성(기울기)이 확인 및 보정된 50개의 한국어 단음절어로 이루어진 목록 4개로 총 200개의 음원자료이다.

단측 청취와 양이 청취 조건을 비교하기 위해서 Fig. 1같은 4가지 조건을 구성했다. 모두 소음이 항상 존재하는 경우이다. 신호대잡음비는 1 kHz 기준 순음 크기와 계산 결과를 비교하여 1 dB 오차범위에서 보정되었다. 제시 음압은 55 dB HL로 고정하였다. 음원 자극의 변형 및 제시와 그 제어과정은 Matlab과 Visual Studio VB 소프트웨어로 작성되어 청력검사기(MA42)를 통하여 구현되었다.

(a)는 R1NMI 조건으로 이는 단음절 한국어와 소음의 신호대잡음비가 0dB이고 제시 음압은 55 dB HL인 상태였다. 청취 조건은 단측 청취(mono)로 우측 귀의 상태를 기록하였다. 사용된 소음은 대역폭이 20 kHz인 광대역 잡음을 사용하였다. 잔향시간(RT)을 나타내는 R1은 표준화된 단음절의 잔향시간이 0 s 인 경우이고 R2는 잔향 시간이 3.4 s 인 경우이다. 이 잔향시간의 정의 및 선정과 처리는 사전 실험과 기존 Lee *et al.*^[3]의 정상인 자료를 참고하여 결정하였다. 난청인에게서는 광범위한 범위의 잔향시간 효과가 나타나지만 정상인에서는 일반적으로 극히 제한적으로 그 효과가 관찰이 된다. 난청인의 경우와 비교를 위해서 그 극한에서의 반응 특성을 이해하는 것이 심리음향적으로 필요하다. 이러한 수치들은 최근 광역치매 기억 센터 등에서 열악한 음향환경의 대형 강당에서 동시에 여러 피검자에게 선별적 청각 작업기억을

검사하는 경우 등에서도 참고할 수 있다. 전술한 사전 조사에서 정상 청력 성인에서는 소음이 어느 정도 있는 경우에만 잔향시간이 WRS(DS) 점수에 변화를 주었다. 이 R1N1M1의 조건에서는 잔향시간이 없는 단측 청취 조건의 WRS(DS) 점수를 기록하였다.

(b)는 R2N1M1인 경우로 소음이나 단측 청취는 (a)의 R1N1M1인 경우와 동일하다. 잔향시간 R2 만 3.4s로 다르다. 이는 단측 청취 조건에서 잔향시간의 영향이 관찰되는 경우이다. (a)와 (b)는 모두 단측 청취인 경우이다.

(c)의 경우는 R2N1D1 경우로 양이 청취인 경우이다. 소음과 잔향시간은 모두 단측 청취인 (b)의 R2N1M1과 동일하다. 양측에 모두 동일한 내용이 제시된 경우이다(diotic). 즉, 단측과 양측 청취에 제공된 정보 자체가 동일한 경우이다.

(d)의 경우는 R2N1D2인 경우로 우측과 좌측에 제시되는 소음의 위상차가 180도(π)인 경우이다. (c)인 R2N1D1과 비교하면 잔향시간은 동일하지만 제시된 좌우측 소음의 위상차가 존재하는 경우이다(dichotic). 모두 소음이 존재하는 조건이지만 동일한 신호대잡음비에서 (a)와 (b)는 단측 청취 하에서 차이를 분석할 수 있고, (c)와 (d)에서는 양이 청취의 효과를 살펴볼 수 있다.

이 4가지 조건에서 WRS 점수를 기록하여 각 조건에서의 평균 값에 대한 anova 통계 분석을 시행하였다. 유의수준 판정의 기준은 0.05로 하였으며 차이점이 보이는 경우에 Sheffe 사후 검정을 실시하였다.

III. 결 과

4가지 조건에서 총 10명의 정상 청력을 가진 성인 남녀에 대한 결과를 Fig. 2에 나타냈다.

이 boxplot의 가로 축은 4가지 단측 및 양이 청취 조건을 표시한 것이고 세로 축은 표준화된 한국어 단음절 변별 점수인 WRS를 %로 나타낸 것이다. 평균 값에 대한 사후 검정 결과 중에서 유의한 차이는 (*)로 나타냈다.

Fig. 2에서 동일한 신호대잡음비를 가진 단측 청취 조건인 R1N1M1과 R2N1M1의 사후검정 평균값의 비교에서 RT의 영향이 유의하게 나타나고 있었다($p <$

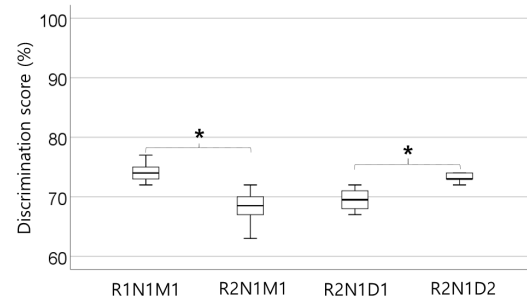


Fig. 2. Boxplots of WRS (DS) discrimination scores for four listening conditions.

0.05). 자료에 표시된 중위값에서도 분명한 차이가 보였고, 이 결과에서 대상 남녀간의 차이는 나타나지 않았다.

본 자료에서 단측 청취와 양이 청취인 R2N1M1(mono)과 R2N1D1(diotic)의 비교에서는 양측 동일한 소음과 RT 조건에서 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 반면에 양측 청취이면서 소음의 위상만 차이가 난 경우인 R2N1D1(diotic)과 R2N1D2(dichotic)인 경우는 WRS 점수에서 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$).

단측 청취와 양이 청취가 포함된 모든 결과를 종합해 보면 동일한 조건에서 통계상으로 유의하게 잔향시간 RT 차이에 의한 한국어 단음절 인지 변별력 차이가 있었다. 또한 양이 청취 조건에서 dichotic인 경우가 diotic 경우보다 유의하게 변별력이 개선되었다. 그리고 동일 조건에서 양이 청취인 diotic의 경우는 단측 청취인 R2N1M1과 비슷한 변별력을 보여서 인지적 관점에서 유리한 점을 볼 수가 없었다.

IV. 분 석

본 실험의 조건에서 잔향시간은 단측 청취와 양이 청취 조건 모두에서 단음절 변별력 WRS에 영향을 줄 수가 있었다. 정상 청각에 대하여 잔향시간이 단음절 변별력에 주는 효과는 소음과 같은 다른 음향 변수와 공존하는 경우에 더 발현이 되고 있다. 특히 dichotic인 경우에 나타난 단음절 변별력 개선은 임상 현장에서 시사하는 점이 있다. 위의 결과를 분석해보면 실제와 유사한 음향 조건에서는 정가운데의

청취 위치가 인지 변별력에서는 특별한 장점을 주지 못하는 것으로 판단된다. 오히려 상이한 자극이 양이에 도달하는 경우(dichotic)가 변별 향상에 더 유리한 것으로 나타났다.

이 변별력 개선을 일으키는 기전으로는 양이 청취 환경에서 알려진 Binaural Masking Level Difference (BMLD)를 생각해 볼 수 있다(Durlach^[8]). 양이에 전달된 상관성이 있는 소음의 차이로 인해서 함께 존재하는 동일한 신호에 대하여 탐지 역치가 낮아지는 현상이다. 이 경우에서는 BMLD가 약 4 dB 미만으로 추정되어 효과가 크지는 않은 것으로 판단된다.

잔향시간과 소음이 주는 영향은 조사대상의 청각 인지 기능의 발달 정도에 영향을 받게 된다. 예를 들면, 단순한 조용한 환경에서의 신호의 탐지와 소음 속에서 탐지는 그 영향이 다르게 나타난다(Nilsson *et al.*,^[9] Soli *et al.*^[10]). 조용한 환경에서 신호 탐지에 관한 기능은 기본적인 인지 기능으로 학령기 아동과 성인 모두에서 유사하게 나타난다. 그러나 신호대잡음비의 추가로 소음이 인가 되는 경우에 신호 탐지 능력은 상당한 차이가 난다.

이러한 잡음 속에서 신호를 분리 인지하는 기능은 사춘기를 지나면서 정점에 도달하고 일정 기간 유지되다가 노화가 진행되면서 다시 약화된다. 다양한 신호대잡음비와 잔향시간의 변화에 대한 대응은 상위의 중추 청각 기능이 요구되는 과제로 관련 기능의 발달이 완전히 성숙되지 못한 학령기 전후의 아동이나 노화로 그 기능이 쇠퇴한 노인 그룹에서는 심각한 영향을 줄 수가 있다. 특히 실내 음향 환경에 대해서 이러한 취약한 그룹에서의 청취 환경 개선에 유의할 필요가 있다(Lim *et al.*^[11]). 이러한 관점에서 국내에서 최근까지 이루어지고 있는 잔향과 관련된 선구적 음향환경 개선과 표준화 연구 작업은 매우 필요하고 지속적으로 탐구되어야 할 내용으로 판단된다(Park *et al.*^[12])

정상 청력을 보이는 성인에서 잔향시간이 양이 청취 한국어 단음절 변별력에 주는 효과는 현재까지는 제한적이다. 그렇지만 주관적 평가가 포함되는 과제에서 다양한 추가적 효과도 보고되고 있다(Picou *et al.*^[13]). 이 문헌에서는 설문 조사 결과로 청취 피로도나 청취노력을 함께 평가하였다. 중간 정도 수준의

잔향시간에서는 청취 피로도나 청취노력에 주는 영향이 없었고 배경 소음 감소 효과는 있는 것으로 해석하고 있다. 실제 사례에서 불분명한 점도 있어서 체계적인 관련 연구가 더 필요할 것으로 생각된다. 더구나 이러한 결과는 Central Auditory Processing Disorder (CAPD) 등 중추 청각 신경 기능에 이상을 보이는 경우에는 매우 다양한 형태로 나타나서 추가 연구에 어려운 점이 있다.

주요 문제점은 기존의 일부 자료에서 심리음향학적으로 탐지와 변별이 다르지만 개념을 동일시하여 수집한 음향 관련 지표 들이 있다는 점이다. 또한 청각적으로 정확하게 확인된 연령대의 정상인과 비교하여 난청인에서 나타나는 결과의 범위는 상당히 크다는 점이다. 동일 연령대에서 청각적으로 정상인 피검자를 대상으로 한 그룹에서 얻은 결론은 대부분 일치하는 성향을 보이지만 난청인 그룹에서는 연구마다 다양한 정도의 차이를 보이고 있다. 가장 큰 요인은 이 난청을 그 형태 별로 그룹화 하여야 하는데 그 과정에 여러 어려움이 수반된 것으로 보인다.

점차 국내도 초고령 사회로 가면서 노인성 난청인구가 늘고 있다. 단순히 노인성 난청이라고 분류하지만 이미 알려진 노인성 난청만해도 6가지 형태가 있고 이들이 보이는 단음절 변별력 자체도 그 범위 차이가 크다. 평균된 자료에 나타난 대부분 노인성 난청 그룹이 사실은 매우 다양한 특성의 집단이 모여진 형태라는 점이다. 예를 들면 Schuknecht *et al.*^[14]의 자료에서 보이는 것처럼 대사성 노인난청과 신경성 노인난청 피검자의 WRS 차이는 매우 크다. 이들을 위한 청취 환경의 개선도 필요한데 지금과 같은 혼합된 난청 자료로는 정리하기에 어려움이 있다. 이는 해당 난청을 그 종류 별로 세분하여 추가 특성 분석을 시행해야 함을 시사하고 있다. 세분된 연령대 별로 조사한 정상인 자료를 기준으로 다양한 난청 집단을 정량적으로 비교 분석한 자료는 여러 전문 분야가 협력해야 하는 사안으로 평가된다.

V. 결 론

잔향시간은 소음과 관련하여 정상 청력인의 어음 인지력에 영향을 나타내는데 양이를 이용한 한국어

단음절 변별에도 영향을 미칠 수 있다. 특히 단측 청취와 양이 청취 비교 분석 결과를 보면 양이에 동일한 정보가 입수되는 경우(diotic)보다 차이가 있는 경우(dichotic)에 유의미한 단음절 변별력 향상을 제공하는 것으로 나타났다. 다양한 난청에서의 자료와 비교하기 위해서 정상인의 관련 한계적 자료도 필요한 내용이다. 이러한 내용은 잔향시간이 고려되어야 하는 여러 실내 소음 환경에서 참고 할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 다중소스모드처리과제(HRF201601012)의 지원으로 수행되었음.

References

1. C. Crandell, J. Smaldino, and C. Flexer, *Sound Field Amplification: Applications to Speech Perception and Classroom Acoustics 2Ed* (Thomson, New York, 2005), Chap. 2.
2. M. Lavandier and J. F. Culling, "Speech segregation in rooms: Monaural, binaural, and interacting effects of reverberation on target and interferer," *J. Acoust. Soc. Am.* **123**, 2237-2238 (2008).
3. S. Lee, S. Koo, and D. Lim, "Effects of reverberation times and signal to noise ratios on discrimination of monosyllabic words in normal young and hearing-impaired elderly subjects," *Audiology* **4**, 16-23 (2008).
4. J. Rennie and G. Kidd, "Benefit of binaural listening as revealed by speech intelligibility and listening effort," *J. Acoust. Soc. Am.* **144**, 2147-2159 (2018).
5. S. R. Bistafa and J. S. Bradley, "Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics," *J. Acoust. Soc. Am.* **107**, 861-875 (2000).
6. R. Beutelmann and T. Brand, "Prediction of speech intelligibility in spatial noise and reverberation for normal-hearing and hearing-impaired listeners," *J. Acoust. Soc. Am.* **120**, 331-342 (2006).
7. J. Lee, S. Cho, J. Kim, H. Jang, D. Lim, K. Lee, and H. Kim, *Korean Speech Audiometry* (Hakjisa, Seoul, 2010), Chap. 2.
8. N. I. Durlach, "Equalization and cancellation theory of binaural masking-level differences," *J. Acoust. Soc. Am.* **35**, 1206-1218 (1963).
9. M. Nilsson, S. D. Soli, and J. A. Sullivan, "Development of the hearing in noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise," *J. Acoust. Soc. Am.* **95**, 1085-1099 (1994).
10. S. D. Soli and J. A. Sullivan, "Factors affecting children's speech communication in class rooms," *J. Acoust. Soc. Am.* **101**, 3070 (1997).
11. D. Lim, "Parameters of classroom acoustics in auditory perception," *Audiology* **5**, 1-5 (2009).
12. C. Park and C. Haan, "Initial study on the reverberation time standard for the Korean middle and high school classrooms using speech intelligibility tests," *Buildings* **11**, 354 (2021).
13. E. M. Picou, B. Bean, S. C. Marcum, T. A. Ricketts and B. W. Y. Hornsby "Moderate reverberation does not increase subjective fatigue, subjective listening effort, or behavioral listening effort in school-aged children," *Front. Psychol.* **10**, 1749 (2019).
14. H. Schuknecht and M. Gacek, "Cochlear pathology in presbycusis," *Annals of Oto-Rhino-Laryngology*, **102**, 1-16 (1993).

저자 약력

▶ 임 덕 환 (Dukhwan Lim)

2004년~현재: 한림대 언어청각학부 교수

