

Development of Compact Disks in Speech Audiometry and First Stage Verification for the New Speech Materials

Heil Noh and Ki-Hong Chang

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

어음청력검사를 위한 Compact Disks 개발과 새로 제작된 검사어표의 1차 검증 과정

노 헤 일 · 장 기 홍

가톨릭대학교 의과대학 이비인후과학교실

Received January 29, 2010

Revised April 13, 2010

Accepted April 22, 2010

Address for correspondence

Ki-Hong Chang, MD
Department of Otolaryngology-
Head and Neck Surgery, College of
Medicine, The Catholic University of
Korea, 62 Yeouido-dong,
Yeongdeungpo-gu, Seoul 150-713,
Korea
Tel +82-2-3779-1061
Fax +82-2-786-1149
E-mail khchang@catholic.ac.kr

Background and Objectives To standard test method of Korean speech audiometry, we developed an audio compact disk, the KsoM-07 (Korean Society of Otolaryngolgy, Monosyllabic, 2007) word lists and evaluated them for clinical usage.

Subjects and Method The monitored live voice (MLV) of a female talker was digitally recorded with a Beltone audiometer and the GoldWave program. The calibration for each word was done by calculating the root-mean-square (RMS) at the moving time of 300 ms using MATLAB® (7.0 version, The MathWorks, Inc. Natick, Massachusetts, USA) and the GoldWave (v 5.25 GoldWave Inc. St. John's, NL, Canada) program. The discrimination score was measured in 20 normal subjects to obtain psychometric function curve of each word and to compare the homogeneity of two lists. The first verification methods for new speech materials were done by comparing the discrimination scores of the flat type and the descending types at 150 sensorineural hearing loss with similar pure tone threshold.

Results 44% of MLV recording was above ± 3 dB deviation and had to be recalibrated. Two lists showed equal difficulty or homogeneity in normal subjects. Discrimination scores were statistically different among the groups with respect to hearing level and the slope of audiogram.

Conclusion KsoM-07 word lists were relatively homogeneous and showed differences between the descending type and the flat type of hearing loss. Therefore, KsoM-07 word lists can be useful in evaluating the impairment found in the descending type of sensorineural hearing loss as well as in serving as a new speech test material for Korean monosyllabic words.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2010;53:290-9

Key Words Speech audiometry · Compact disk · Speech intelligibility · Speech discrimination test.

서 론

1960년대부터 한국표준 어음청각검사표의 작성과 어음청력검사(speech audiometry) 방법을 표준화해야 할 필요성이 계속 제기 되었으나 현재까지 이를 효과적으로 해결하지 못하고 있으며, 저자들은 그 원인이 표준화 작업의 시작인 검사어표의 제작 이후 검증 및 수정 과정이 지속적으로 이루어지지 못하고 있기 때문이라 생각한다. 표준화 문제의 해결을 위해 최근 2007년에 Byun 등¹⁾은 중성과 관련

된 음소 빈도를 조정하여 50개 단어가 포함된 단음절어표 2개와 36개의 이음절어표 시안을 발표하였다. 이는 목표 음소 빈도에 맞게 단어를 체계적으로 선택하여 발표한 시안이며 저자들은 결론에서 정상인과 난청인에 대한 검사와 회귀 분석(logistic regression)을 통한 심리음향기능(psychometric function) 분석 등의 후속 연구를 당부하였다.

이에 본 연구자들은 검사표 제작 이후 상용화가 되기 위해서 다음 단계인 검증 과정의 시작으로 compact disk (CD)의 제작과 보정(calibration)의 문제가 해결되어야 한

다고 생각하고 본 연구를 계획하였으며 이 과정 중 발생하는 보정과 관련된 문제점을 일차적으로 파악하고 해결하고자 하였다. 또한 작성한 CD를 이용하여 정상인과 난청환자를 대상으로 어음명료도(speech discrimination score)를 구하여 각 단어의 심리음향곡선(psychometric function curve)을 얻고 단음절어표 간의 차이를 검증하고자 하였다. 마지막으로 최근 단음절어의 주파수별 음향학적 특성에 관한 연구들을 통하여 현재 임상에서 사용되고 있는 검사어표가 고주파 영역을 적절히 평가하지 못할 가능성이 있음을 시사하여,^{2,3)} 수평형과 하강형 난청의 차이를 반영하는지의 측면에서 난청의 유형별 비교를 통해 그 유용성을 1차적으로 검증하고자 하였다.^{4,5)}

대상 및 방법

검사어표의 녹음 과정

Byun 등¹⁾이 2007년 발표한 단음절어의 단어(표 1, 표 2의 각각 50단어) 들을 발음이 정확하고 서울말을 쓰는 여자 청각사가 운영하는 난청 센터의 청력 검사용 방음실 내에서 육성(monitored live voice, MLV)을 녹음하였다.

녹음에 사용한 장치는 마이크에 팝필터를 끼운 청력계(Beltone audiometer, Model 112, USA)와 GoldWave(v 5.25 GoldWave Inc. St. John's, NL, Canada) 프로그램이 있는 노트북 컴퓨터였는데 청력검사의 헤드폰 출력단자와 노트북 컴퓨터의 마이크 입력단자에 맞는 케이블(cable)과 잭(jack)을 준비하여 청력검사의 마이크가 입력이고 청력검사와 노트북 컴퓨터를 연결하는 케이블을 통해 청력검사의 출력이 노트북의 마이크 단자로 들어가게 이들을 연결하였다(Fig. 1).

육성을 녹음할 때 청력검사는 방음실 안에 위치하도록

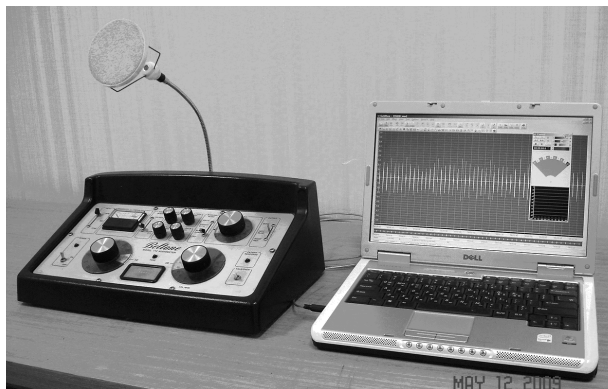


Fig. 1. The equipment used for recording of the monitored live voice of female talker. The mic of Beltone audiometer was connected to Pop filter then connected to notebook computer with GoldWave program by proper jack and cable.

하고 케이블과 연결된 노트북 컴퓨터는 방음실 밖에 위치시키고 모든 잡음과 전기적 노이즈 제거를 위해 전원을 연결하지 않고 볼륨의 재생설정은 음소거 상태를 유지하였다. 청력검사에 연결된 마이크의 포화상태(saturation)를 방지하기 위해 팝필터(Pop filter or Pop screen)를 부착하였고 화자는 녹음과정 중 육성이 음량계(VU meter or volume unit meter)의 0값에 맞도록 최대한 노력하였다. 청력검사의 음압 레벨을 적절하게 조정하여 검사를 통해 GoldWave에 입력되는 소리의 크기를 마이크레벨과 GoldWave의 녹음설정에서 적절한 입력음으로 조정하여 Y축을 최대 크기가 80%를 넘지 않도록 조절하였고 이를 위해 GoldWave 화면상 wave form이 50~60% 정도로 녹음이 되도록 하였다.

보정음(calibration tone)의 녹음을 위해서는 GoldWave 내 새 파일을 만들고 sampling rate은 44,100 Hz, mono mode로 설정한 후 먼저 음압측정기(sound level meter)의 보정음의 1 kHz 음을 마이크의 적당한 위치에 맞추어 0 VU meter가 되도록 하고 30초 정도 녹음하였다. 다른 방법으로는 청력검사에서 나오는 70 dB HL, 1 kHz 음을 녹음하였는데 이 방법을 사용하여도 절대적인 dB값으로 녹음이 되는 건 아니고 마이크 레벨(mic level)과 노트북 컴퓨터의 마이크 볼륨(mic volume)을 조절하면 다른 크기의 순음이 녹음이 된다. 또 다른 방법으로 MATLAB® (7.0 version, The MathWorks, Inc. Natick, Massachusetts, USA)으로 합성한 1 kHz 순음을 바로 단어 크기 조절시 GoldWave에서 볼륨 조절 기능을 이용하여 VU meter의 0값에 맞도록 조절하였다. 보정음을 같은 CD에 녹음하는 이유는 이 소리의 절대음량에 맞추어 음의 크기를 조절하기 위해서가 아니라 0 VU meter의 기준에 맞게 단음절 크기를 상대적인 조절하기 위해서 필요하였다. 즉 CD에 녹음한 보정음의 의미는 음압의 절대적인 기준값이 아니라 0 VU meter를 맞추기 위한 상대적인 기준값이다.

보정음 녹음 후 단음절, 이음절 녹음을 실시하였고 각 단어를 3세트씩 녹음하였다. 화자는 녹음을 하면서 각 단어가 최대한 VU meter의 0 수준에 맞도록 노력하였다.

편집과정

녹음한 단음절어를 개별 단위로 하나씩 끊어서 웨이브 파일로 각각 저장한 후, 노트북에 이어폰을 연결하여 GoldWave에서 끊어놓은 개별 음을 하나하나씩 재생을 시켜 가장 듣기 좋은 상태의 음을 선별하였다. 녹음한 3개의 단음절군의 300개 단음절 중에서 가장 듣기가 나은 한 군을 선별하였다. 이후 녹음시에 사용하였던 케이블을 노트북 컴퓨터의 헤드폰과 청력검사의 외부 단자에 연결시킨 후 먼

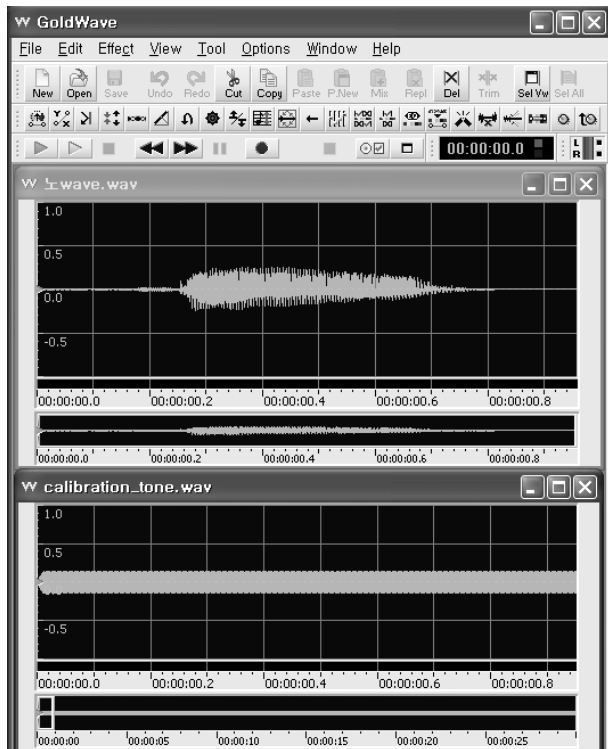


Fig. 2. The time wave form of the word '노' and 1 kHz calibration tone in GoldWave program. The level was controlled by mic level to calibrate speech tone relative to it.

저 보정음을 기준으로 재생되는 음이 VU meter의 0값에 맞도록 청력검사기의 외부단자크기(external level)와 노트북 컴퓨터의 재생 크기를 조절하였다. GoldWave에서 개별적으로 끊어진 단음절어를 다시 이 프로그램에서 재생하여 VU meter의 0 값에 맞도록 프로그램내의 소리크기 변동(volume change)기능을 이용하여 조정하였다. 최종 편집된 개별 웨이브 파일을 MATLAB®으로 잡음제거를 위해 음에는 영향을 미치지 않는 0.1 kHz에서 8 kHz까지의 대역 여파기(band pass filter)로 통과한 뒤에 단어간 2초 간격을 설정하여 하나의 파일로 붙여서 편집하였다.

MATLAB®으로 단어간 간격을 2초로 설정하여 편집하는 방법은 Fig. 2의 '노' 음의 경우를 예를 들면, 단음절어를 잘라서 편집하는 중간에 2초 간격에 해당하는 Y축 값이 0인 $44,100 \times 2$ data를 만들어 붙인다. 이후 연이어 다른 단음절어를 붙일 때 시간과형곡선(time wave form) 화면의 처음과 끝이 실제로 정확하게 0이 아니므로 잘려진 개별 음의 data 중에 단음절 앞쪽의 500개는 0에서 1/500, 2/500, 3/500... 500/500의 점차적으로 증가하는 분수로 500번째가 1이 되도록 원래 data값에 곱해주었다. 실제 재생하여 들어 보면 '노' 음에는 영향을 주지 않으면서 자연스러운 연결을 만들어 줄 수가 있었다. 단어 후반에도 500

개의 data값에는 역순으로 500/500에서부터 마지막 값이 0이 되도록 data 값을 점차적으로 0에 가깝도록 줄여가며 붙여주었다. 이 방법을 사용하지 않으면 단어들을 연결 후 들어보았을 때 연속성이 없어서 클릭음이 발생하였다.

단어의 크기 조절을 위한 보정 과정

MATLAB®을 이용한 수학적인 root-mean-square(RMS) 계산방법을 이용한 일차적 보정을 시행 한 후 다시 VU meter로 확인하면서 GoldWave의 소리크기 조절기능을 이용하여 미세 조절을 하였다. 기준이 되는 1 kHz 보정음의 RMS 값을 300 ms 동안 계산하였는데 이는 청력검사기의 VU meter가 0에 이르는 상승시간 기준이 300 ms이므로 이 간격 동안 sampling rate가 44,100 Hz로 녹음이 된 13,230 개의 data를 계산하였다. 단 단어에 따라서는 이보다 짧은 음이 있으므로 MATLAB®에서 계산을 위해서 개별음의 뒤에 0값을 만들어 넣어서 웨이브(wave) 길이를 300 ms가 되도록 만들어 놓은 후 RMS 값을 계산하였다. 이 경우 0 값을 단어 뒤에 연결하였다고 해서 웨이브를 길게 만든 것은 아니었고 MATLAB®에서 RMS값을 계산하기 위해 남은 시간간격을 0값으로 채워, VU meter의 경우처럼 입력된 소리의 길이에 상관없이 300 ms 동안 계산이 가능하도록 하였다.

이를 위해 사용한 계산식에 '1'을 대입하면,

$\sqrt{\{y(1)^2+y(2)^2+\dots+y(13,230)^2\}}/13,230$ 에 해당하는 값을 얻고, 그 다음엔 $y(2)$ 부터 $y(13,231)$ 까지 계산을 하였다. 이때 계산량을 고려하여 10단위로 계산을 하여도 값에는 크게 영향을 주지 않았기 때문에 1부터 13,230까지 그 다음에는 11부터 13,240으로 계산하였고, 1단위로 계산을 해서 1 kHz 보정음을 2초간 계산해보면 1~13,230, 2~13, 231, ..., 74,971~88,200까지 총 74,971개의 RMS 값을 계산해 낼 수 있었다. 이들 중에 최대값(peak)을 구하였는데, 이는 VU meter의 경우도 최대값을 눈으로 읽어 확인하고 있기 때문에 이를 반영하고자 하였다. 순음인 경우에는 모든 계산값이 같은 값을 가졌다.

단음절 개별음의 경우도 위와 같은 방식으로 RMS값을 구하였다. 구한 값은 16 bit로 들어온 값이고 VU meter는 log 값이므로 이들 값을 log로 환산을 하여 계산하였다. 구해진 log값도 절대값은 아니며 보정을 위한 비율값이었다.

예를 들면

$$20 \log_{10}(\text{calibration tone RMS}) = 70(69.81) \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(\text{'명' 음의 RMS}) = 75 \text{ dB}$$

$$20 \log_{10}(\text{'뜻' 음의 RMS}) = 68 \text{ dB}$$

'명' 음의 data에는 $10^{(75/20)}$ 을 나누고 $10^{(70/20)}$ 을 곱해주

면 되었고 ‘뜻’ 음의 data에는 $10^{(68/20)}$ 을 나누고 $10^{(70/20)}$ 을 곱해주었다. 이렇게 계산하여 그림을 그려보면 다음과 같은 값을 얻을 수 있었다(Fig. 3).

최종 편집된 개별 웨이브 파일을 MATLAB® 프로그램으로 단어 간 간격을 2초로 설정하여 위의 방법으로 하나의 파일로 붙여서 편집하였다. CD를 최종적으로 만들 때 보정상태의 변동이 없도록 Nero(Nero Inc. Glendale, CA, USA) 프로그램에서 제작 및 복사를 시행하였는데, 이때 윈도우에서 제공하는 오디오 파일(audio file) 만들기로 CD를 복사하면 트랙별로 음량을 동일화시키는 기능이 자동으로 설정되어 있기 때문에 만든 소리 파일과 보정음 등 개별음의 크기가 변하였다. 그러므로 Nero 같은 데이터 레코딩-디스크 복사 프로그램을 이용하였고 음량을 동일하게 만들어버리는 정상화 기능을 비활성화 시켜서 CD를 제작하여야 보정한 단음절 크기에 변화가 없었다.

제작한 CD를 이용하여 정상인을 대상으로 한 단음절어의 명료도 검사

소음이 차폐된 방음실(2.2×2.3 m, double wall)에서 시행하였으며 CD 재생기를 청력계(GSI 61)에 연결하여 헤드폰(TDH 50P)으로 단음절어들을 들려주고 반사한 후 검사가 끝난 뒤에 채점을 하였고 철자가 달라도 발음이 같은 경우는 맞고 그 외는 틀린 것으로 표기하였다.

청력 이상의 병력이 없고 0.5, 1, 2, 3, 4, 6 kHz에서 15 dB HL 이하의 청력 역치를 나타내고 고막에 이상 소견이 없는 정상인(남자 10명, 여자 10명, 평균나이는 31.3 ± 5.5 세)을 대상으로 시행한 심리음향검사는 단음절어 크기를 0 dB HL부터 30 dB HL까지 5 dB 간격으로 상승하였고 2개의 단음절어표(표 1, 표 2) 각각을 1회씩 측정하였다. 이 결과를 이용하여 단음절어표 사이의 난이도 차이를 검증하고 각 표의 심리음향곡선을 얻고자 하였다.

난청 환자를 대상으로 한 단음절어의 명료도 검사

감각 신경성 난청 환자의 유형별 차이를 단음절어표가 반영하는지 알기 위해 난청군을 수평형(flat type, slope of 0~5 dB/octave)과 하강형(descending type, slope of 5.5 dB above/octave)으로 나누어 어음명료도(speech discrimination score)를 검사하였고, 제시음 즉 단음절 소리의 크기는 각 대상의 0.5, 1, 2 kHz 순음 청력 역치를 평균한 값에 15 dB를 더한 값 즉 15 dB SL(sensation level)이 되도록 조정하여 들려주었다. 이 방법에 따라 제시음이 정해지면 하강형 난청의 경우에는 고음영역을 듣지 못하여 어음명료도가 수평형 난청에 비해 상대적으로 떨어져야 한

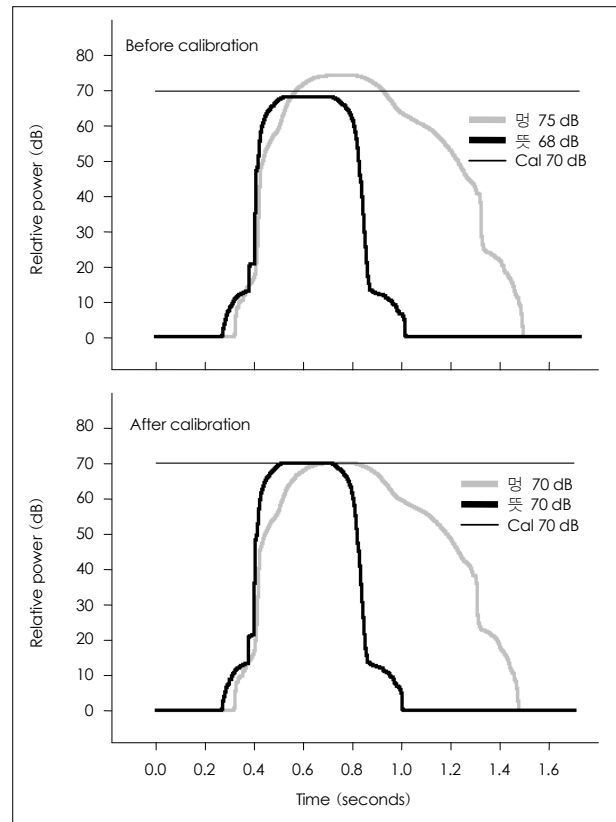


Fig. 3. The relative power of the word ‘멍’ and ‘뜻’ calculated with MATLAB® program to obtain average root-mean-square (RMS) value of the word reading through 300 ms time window mimicking VU meter.

다. 따라서 새 검사어표가 수평형과 하강형 난청의 차이를 어느 정도 반영하는지를 알아보아 그 유용성을 1차적으로 검증하고자 하였다.^{4,5)}

50개 단어를 검사한 후 30초 휴식 후 반대편 검사를 시행하였다. 50 단어 중 정확히 맞춘 갯수의 백분율을 명료도값으로 정하고 이 값을 통계 분석에 사용하였다.

결과 분석

각 단음절어의 심리음향곡선을 얻기 위해 정상인에서 자극크기에 따른 정답률 즉 명료도(intelligibility)를 그래프로 그려보면 S자 형태의 sigmoid 곡선이 나타나므로 검사 결과에 근접하는 logistic 곡선 회귀 분석을 실시하였다.⁶⁾ 이 곡선의 50% 정답률에 해당하는 자극 크기가 그 단어의 역치값(threshold dB HL or intensity required for 50% intelligibility)이 되었다.

데이터 분석은 Excel(Microsoft office 2003, Cupertino CA, USA)과 SPSS(version 11.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였는데, 순음 청력 평균치(3분법), 순음 청력도에서의 경사도(slope)는 청력 역치의 주파수별 변

화 기율기로 0.5 kHz에서 1, 2, 4 kHz로 한 octave씩 증가함에 따라 역치값의 변화를 dB HL/octave로 표시하였고 이를 계산하기 위해서는 Excel program에서 통계항목의 평균값(mean)과 기율기(slope) 이용하였다. 명료도(discrimination score)의 통계분석은 순음 청력 평균치를 경도(20~39 dB), 중도(40~59 dB), 고도(60~79 dB)와 심도(80 dB 이상)로 나눈 후, 각 군에서 청력도의 기율기별 명료도값을 비교하기 위해 SPSS program의 분석(analysis) 항목에 평균값 비교(compare means) 중 평균(means)에서 종속 변수를 명료도로 정하고 독립변수를 청력군으로 정한 후, 다음 층(layer) 값에 청력 유형을 설정해 주면 청력 역치값으로 1차 분류한 후, 다시 각 난청 군의 청력도 기율기 값을 고려해 수평형 난청과 하강형 난청으로 나누어 비교할 수 있었다. 청력 역치값으로 분류한 난청군에 따라 각각 수평형과 하강형의 명료도 값 차이 및 검사표간의 결과 비교는 Independent-samples t-test를 이용하였고 각 통계적 분석결과 $p < 0.05$ 인 경우를 통계적 차이가 유의함으로 표시하였다.

결 과

육성으로 단어를 녹음할 때 음량계를 기준으로 하여 단어의 크기가 가능한 일정하도록 노력하였으나 실제 녹음 후 재생하였을 때 최대 크기의 변동이 발생하였고 ± 3 dB 이상 변동이 있는 단어는 100개 중 44개, ± 2 dB 이상-3 dB 이하는 18개, ± 1 dB 이상-2 dB는 21개, ± 1 dB 이하는 17개로 측정되었다. 이를 단음절 개별음의 RMS값과 보정음 1 kHz 70 dB과의 차이로 계산한 RMS값(dB SPL)은 각 표(표 1, 표 2)의 50 단어별로 다음과 같다(Table 1). 각 표 간의 유의한 차이는 없었으나($p > 0.05$), CD를 제작하기 위해 단음절 크기를 다시 보정하는 과정이 필요하였다.

정상인을 대상으로 시행하여 얻은 각 표(표 1, 표 2)(Table 1)의 평균 performance-intensity function curve는 다음과 같다(Fig. 4). 두 표 사이의 난이도 차이를 검증한 결과, 차이가 없었다($p > 0.05$).

표 1, 표 2의 각 50개별 심리음향곡선을 모두 그려 얻은 각 단어의 역치값은 다음과 같았다(Table 2). 표 사이의 역치값의 차이는 없었으므로($p > 0.05$), 이 결과를 통해서도 두 표 사이의 난이도 차이가 없다는 것을 알 수 있었다.

각 표 50단음절어의 음향 심리 곡선은 다음과 같다(Figs. 5 and 6). 표 1에서 30 dB HL까지 명료도가 90%에 이르지 못하는 경우가 ‘악’ (72%), ‘오’ (88%), ‘음’ (68%),

Table 1. Differences of peak root-mean-square (Δ RMS) value of each monosyllabic word compared to calibration tone 70 dB SPL

표 1	△RMS (dB SPL)	표 2	△RMS (dB SPL)
인	2.95	궁	0.39
폴	1.19	해	1.59
비	-1.06	안	5.81
한	4.31	무	1.72
귀	-0.61	달	3.95
명	4.60	벼	5.14
악	7.07	모	6.46
향	4.15	극	0.71
내	1.33	피	0.14
순	0.46	저	3.78
활	2.78	세	0.10
구	1.27	난	5.02
진	3.22	일	2.47
조	2.48	웃	2.14
대	3.43	코	5.97
낮	4.54	길	2.77
미	-0.65	체	0.11
알	7.07	앞	5.52
나	6.96	능	1.36
영	5.48	자	9.43
소	2.69	노	1.34
꽃	2.48	숯	-1.16
상	1.10	강	3.33
검	7.67	티	-2.73
오	2.94	은	3.60
늑	0.72	살	3.99
예	2.23	더	2.26
글	3.75	금	2.37
맞	7.50	씨	-1.38
시	-1.86	배	2.65
너	5.32	주	1.44
차	6.19	만	4.68
돈	0.93	신	0.44
음	1.67	위	0.47
기	-2.68	계	1.47
산	3.55	남	4.20
이	-2.08	도	1.83
점	3.39	홍	1.81
늘	3.13	단	4.04
계	2.71	님	-0.11
춤	0.84	정	1.64
덤	5.04	끼	-0.38
쑥	0.61	약	4.99
때	3.01	담	4.25
키	-2.16	뜻	-1.73
방	5.47	혀	6.25
마	7.61	왕	4.97
겨	7.10	겹	1.28
등	0.63	서	5.79
터	6.51	널	1.73
Mean	2.94	Mean	2.56
SD	2.79	SD	2.47

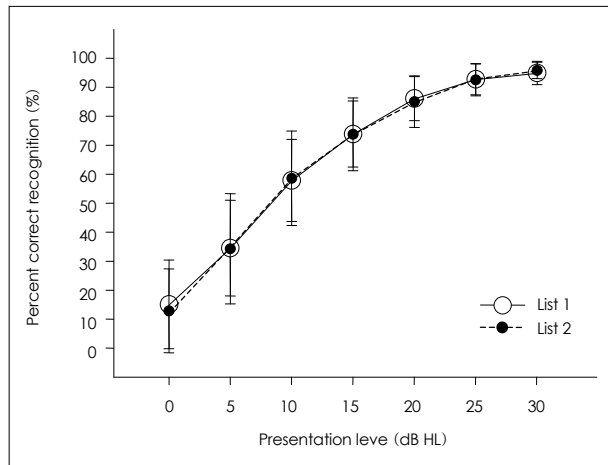


Fig. 4. The performance intensity function curve of each list 1 and list 2. The mean \pm SD of percent correct recognitions (%) are plotted according to presentation levels (dB HL).

‘대’ (76%), ‘미’ (88%), ‘상’ (68%), ‘키’ (80%)였고 (Fig. 5), 표 2에서는 ‘모’ (76%), ‘극’ (84%), ‘티’ (54%), ‘코’ (84%), ‘금’ (88%)으로 나타났다(Fig. 6). 그 외 단 음절어들은 곡선의 기울기가 비교적 동질적이었다.

난청 환자 150명(여: 50명, 나이: 59.15 ± 14.51)의 259 귀에서 얻은 명료도값을 수평형(flat type, slope of 0–5 dB/octave)과 하강형(descending type, slope of above 5.5 dB/octave)을 나누어 분석한 결과, 하강형(158귀)은 순음청력 평균역치값 38.24 ± 22.01 dB에 명료도가 69.77 ± 23.84 (%), 수평형(101귀)은 순음청력 평균역치값 39.09 ± 21.80 dB에 명료도 78.25 ± 21.68 (%)로 두 군 사이에 역치값의 차이는 없으면서($p=0.761$) 하강형에서 명료도가 유의하게 낮았다($p=0.003$).

순음 청력 평균치(0.5, 1.0, 2.0 kHz의 3분법)에 의해 분류한 경도(20~39 dB HL), 중도(40~59 dB HL), 고도(60~79 dB HL)와 심도(80 dB HL 이상) 난청군으로 각각 분리하여 수평형과 하강형을 비교하였을 때, 고도 난청의 경우를 제외하고($p=0.051$) 어음 명료도가 모두 하강형에서 유의하게 낮았다($p<0.05$).

고 찰

어음청력검사는 순음청력검사에 비해 보정과 표준화 과정에 해결해야 할 문제가 지속적으로 발생한다. 이는 시대에 따라 언어의 사용 빈도가 변하고 있고 언어 자체가 음소와 단어 및 문장이 이질적인 요소들의 집합이므로 보정의 기준이 변할 수 있다. 단음절은 음량계에 맞추어 보정을 하지만 이음절 이상에서는 한국어의 특성상 그 기준을 명

Table 2. Threshold in dB HL or intensity required for 50% intelligibility

표 1	Threshold (dB HL)	표 2	Threshold (dB HL)
인	11.55	궁	15.00
폴	7.84	해	3.51
비	5.22	안	3.16
한	6.68	무	15.00
귀	7.85	달	3.98
명	6.21	벼	14.53
악	20.00	모	22.00
향	10.66	극	18.00
내	10.30	피	5.16
순	6.80	저	5.27
활	12.66	세	16.41
구	12.30	난	6.09
진	11.84	일	5.98
조	7.97	옷	7.62
대	19.80	코	14.30
낮	7.15	길	8.09
미	15.50	체	11.13
알	2.46	앞	5.16
나	3.10	능	9.61
영	5.51	자	8.67
소	5.63	노	5.51
꽃	5.63	숯	7.97
상	12.30	강	7.97
검	14.30	티	25.54
오	11.00	은	12.07
높	9.61	살	15.59
예	9.26	더	10.90
글	11.60	금	14.06
닷	6.56	씨	11.72
시	4.22	배	13.48
너	5.98	주	7.03
차	5.98	만	6.91
돈	4.92	신	8.44
음	19.69	위	7.27
기	7.15	계	6.09
산	10.20	남	6.56
이	13.01	도	7.27
점	8.55	홍	6.80
늘	8.79	단	7.27
게	8.55	님	13.83
죽	7.73	정	5.98
덤	14.53	끼	5.63
쑥	5.63	약	3.75
때	11.02	담	8.79
키	10.31	뜻	5.39
방	8.20	혀	12.19
마	5.16	왕	3.40
겨	14.18	겹	6.45
등	9.49	서	7.97
터	16.52	널	3.75
Mean	9.54	Mean	9.28
SD	4.19	SD	4.92

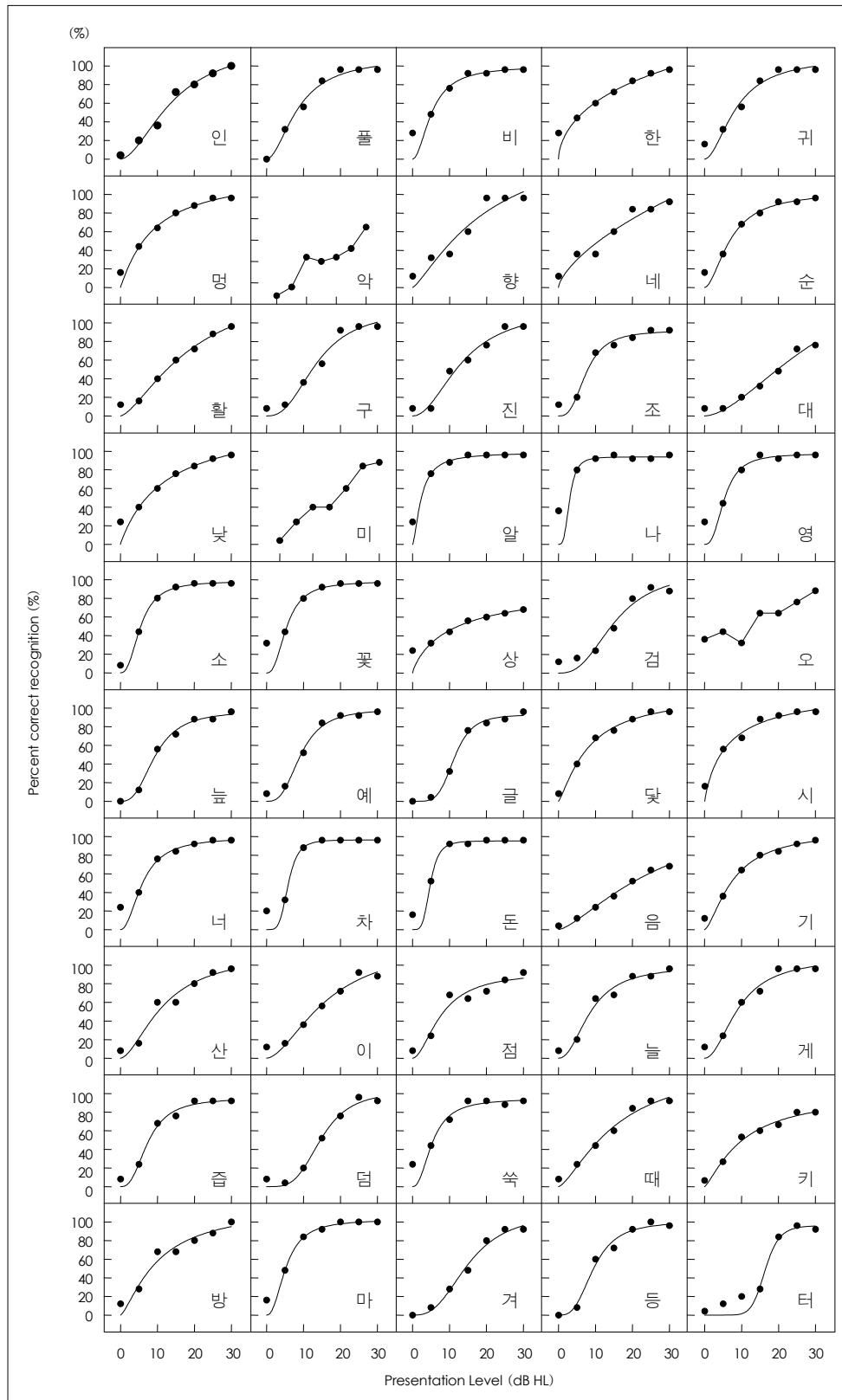


Fig. 5. Psychometric functions and mean raw data for the 50 selected Korean monosyllabic words (list 1) spoken by a female talker. The functions were calculated using logistic regression: the symbols represent mean percentage of correct recognition calculated from the raw data for 20 normally hearing subjects.

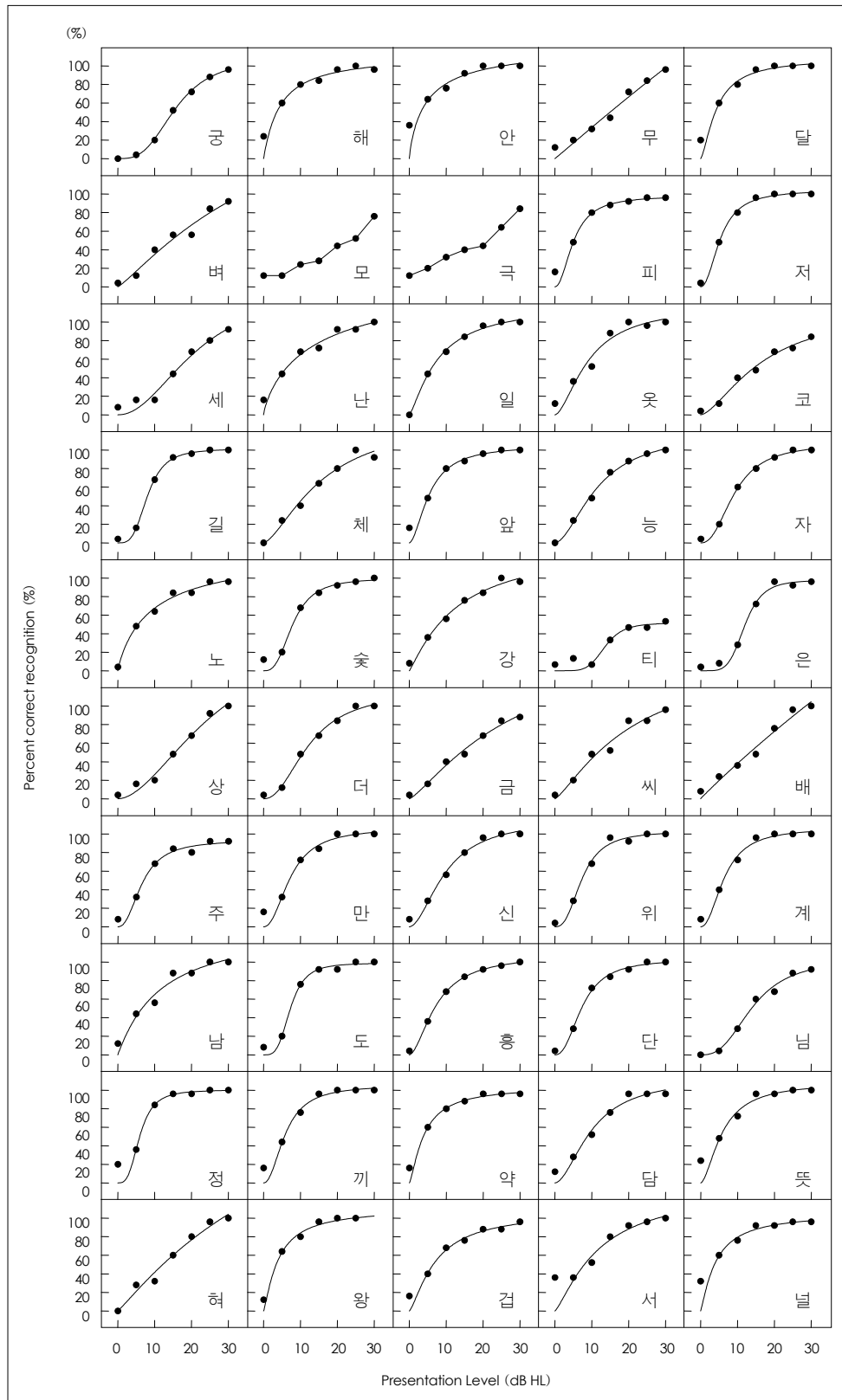


Fig. 6. Psychometric functions and mean raw data for the 50 selected Korean monosyllabic words (list 2) spoken by a female talker. The functions were calculated using logistic regression: the symbols represent mean percentage of correct recognition calculated from the raw data for 20 normally hearing subjects.

확히 정하기가 쉽지 않다. 그러나 어음청력검사의 중요성으로 인해 검사 방법의 표준화는 해결해야 할 과제임에 분명하다.

검사방법과 매체의 측면에서 외국의 변화 과정을 살펴보면, 육성을 사용하던 과거의 방법이 미국에서 2차 세계 대전에 참전하였던 퇴역 군인의 청력 평가와 재활 및 보상처리를 위해 규격화된 검사매체를 필요로 하면서 1970년대부터 audiotape를 사용하였고 1980년대 중반부터 audio compact disk 기술이 발달함에 따라 Wilson 등^{7,8)}이 1990년 이후 CD를 이용한 어음청력검사를 보편화하기 시작하였다. CD를 이용한 검사의 장점은 육성에 비해 일정한(consistent) 자극을 제공하므로 판정(adjudication)과 관련된 결과를 얻어야 하는 경우와 연구 목적의 데이터 수집 시에는 CD를 사용하는 것이 바람직하다. 임상에서 육성의 장점은 검사의 융통성(flexibility)과 검사 시간의 절약이지만 일정한 자극강도를 보장할 수 없다는 단점이 있다.⁹⁾ 단 CD를 사용하더라도 화자가 여자인 경우와 남자인 경우에 차이가 존재하는데 동일한 0 VU meter 기준에 맞추어도 여성의 육성은 남성에 비해 같은 음향심리함수값을 얻기 위해 10~13 dB 강도를 높여야 한다. 이는 남녀 음성의 스펙트럼 차이(spectral difference)에 기인한다.¹⁰⁾

같은 CD에 보정음을 녹음하여 검사 시작시 이 소리에 0 VU meter를 맞추면 다른 단어들도 0 VU meter에 일정하게 맞아 크기 보정면에서 정확하고 편리한 이점이 있다. 숙달된 청각사의 발생도 육성인 이유로 모든 단어를 매번 정확히 0 VU에 맞추기 어렵다는 본 연구 결과를 토대로 하면 검사 방법의 표준화 측면에 검사 매체의 표준화와 보정 방법도 포함되어야 한다는 사실을 알 수 있었다.

보정을 세밀하게 해야 하는 또 다른 이유는 향후 소음 속 명료도 검사를 개발하고 시행하는 경우에 신호대 잡음 비율을 설정해야 하는데 이때 신호의 크기에 대한 보정이 정확하지 않으면 이 비율값도 정확성이 떨어질 수 밖에 없기 때문이다.¹¹⁾

새로 제작된 단음절어표의 검증 과정 1단계는 어표의 동질성 검증이며 제시음 강도의 증가에 따라 어음인지도가 증가하는 경우를 동질적이라고 하는데,¹²⁾ 이러한 동질성을 분석하기 위해 심리음향기능을 측정한다. 즉 단어의 제시 강도가 증가할수록 인지 능력이 좋아지는 현상이 빠른 경우에 기울기가 높아지며 이를 가청도가 우수하고 난이도가 낮은 단어로 이해할 수 있다. 이 때 기울기가 비슷한 단어로 단음절어표를 구성하면 동질성이 확보되었다고 하며 표 간 동질성을 비교하여 유의미한 차이가 없으면 표 간 동질성에 도 균형을 이루었다고 할 수 있다.¹²⁾ 그러나 동질성(homo-

geneity)의 넓은 의미는 단어의 구조(structure)와 명료도가 유사하고 언어 및 심리적인 요소에 변동이 적어야 한다는 의미로 친숙함(familiarity), 여유(redundancy) 및 감정적 요소들도 변수로 작용하므로,⁹⁾ 동질성도 절대적인 기준을 정하기 어렵다.

본 연구에서 각 단어표의 평균 수행강도 기능곡선(performance intensity function curve)으로 표 간의 난이도 차이를 비교할 수 있었고,¹³⁾ 각 단어의 심리음향기능곡선으로 단어별 난이도와 단어 사이의 동질성을 비교할 수 있었는데 곡선의 기울기가 높을수록 변동이 적다고 알려져 있다.¹⁴⁾ 또한 검사어표는 이질적인 단어들의 집합체이므로 각 단어별 역치값이 차이가 있어도 각 표 사이에 평균차이가 없으면 사용에 무리가 없다고 판단한다. 단 30 dB HL까지 명료도가 90%에 이르지 못했던 표 1의 ‘악’(72%), ‘오’(88%), ‘음’(68%), ‘대’(76%), ‘미’(88%), ‘상’(68%), ‘키’(80%)와 표 2의 ‘모’(76%), ‘극’(84%), ‘티’(54%), ‘코’(84%), ‘금’(88%)의 단어를 수정 대상으로 고려할 수 있다. 단, 표 2의 ‘티’는 앞선 단어 ‘피’로 인해 오청률이 올라간 것으로 판단하는데, 피를 먼저 맞춘 대상들이 ‘티’를 다시 ‘피’로 오인하였으므로 단어 순서를 바꾸면 오청률이 바뀔 수 있다고 생각한다.

또한 임상에서 중요한 문제인 하강형과 수평형의 어음 분별력 차이를 KsoM-07 단음절어표를 이용한 검사 결과에서 반영하였으므로 이 표는 임상에서 어음청력 검사의 자료로 충분히 활용할 수 있다고 생각한다.

앞으로도 검사어표가 새로 작성되면 녹음과 크기 보정을 거쳐 CD를 제작하고 이를 이용하여 정상인에서 단어별 심리음향곡선을 얻은 후 표간 난이도 차이와 난청군에서의 결과들을 토대로 개선할 점이 무엇인지 중간 분석을 지속적으로 해야 한다. 향후 이런 과정을 반복적으로 거침으로써 한국어 어음청력검사의 표준화 작업을 이룰 수 있다고 생각한다.

Acknowledgments

We thank Dr. Hwang Hye Kyung of H.H.K Hearing Care Center for live voice recording and Mr. Heo Mu Gil of Jeil Hearing Aid Company for CD production. We also appreciate Professor Lee Kyung Won of Hallim University for the helpful comments. We are very grateful to the audiologists Lee Hye Lin, Nam Hyun Woo of St. Mary's Hospital and Kim Eun Jung of St. Vincent's Hospital for performing the speech tests. Finally we acknowledge all who took part in the speech test as a normal subject for the data collection.

REFERENCES

- 1) Byun SW, Oh SH, Chae SW, Park SN, Shim UJ, Cho KK. Compromises between the frequencies of the colloquial phonemes and those of a new monosyllabic words list in Korean. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 2007;50(7):573-8.

- 2) Noh H, Chae S. Acoustic analyses of monosyllabic words which are difficult to discriminate in the high frequency hearing loss. *Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg* 2001;44(7):700-6.
- 3) Park MK, Lee JH, Kwon HS, Im GJ, Woo JS, Lee HM et al. A study for the acoustic characteristics of PB word list according to frequency. *Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg* 2007;50(6):480-5.
- 4) Tchaе S, Noh H. Acoustically and phonemically balanced Korean monosyllabic word lists. *The Newest Medical Journal* 2005;48(2):80-94.
- 5) Noh H, Tchaе S. A suggestion of the simple verification method for new speech materials. *Korean J Audiol* 2006;10(2):129-34.
- 6) Harris RW, Nissen SL, Pola MG, McPherson DL, Tavartkiladze GA, Eggett DL. Psychometrically equivalent Russian speech audiometry materials by male and female talkers. *Int J Audiol* 2007;46(1):47-66.
- 7) Wilson RH, Preece JP, Thornton AR. Clinical use of the compact disc in speech audiometry. *ASHA* 1990;32:47, 51.
- 8) Wilson RH. Development and use of auditory compact discs in auditory evaluation. *J Rehabil Res Dev* 1993;30(3):342-51.
- 9) Katz J. Handbook of clinical audiology. In: William TB, editor. *Speech Audiometry*. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p.96-110.
- 10) Wilson RH, Zizz CA, Shanks JE, Causey GD. Normative data in quiet, broadband noise, and competing message for Northwestern University Auditory Test No. 6 by a female speaker. *J Speech Hear Disord* 1990;55(4):771-8.
- 11) Markides A. Speech levels and speech-to-noise ratios. *Br J Audiol* 1986;20(2):115-20.
- 12) Kim JS, Lim DH, Hong HN, Shin HW, Lee KD, Hong BN et al. Development of Korean standard monosyllabic word lists for adults (KS-MWL-A). *Korean Academy of Audiology* 2008;4:126-40.
- 13) Wilson RH, Oyler AL. Psychometric functions for the CID W-22 and NU Auditory Test No. 6. Materials spoken by the same speaker. *Ear Hear* 1997;18(5):430-3.
- 14) Wilson RH, Carter AS. Relation between slopes of word recognition psychometric functions and homogeneity of the stimulus materials. *J Am Acad Audiol* 2001;12(1):7-14.