



# Verification of Hearing Aids by Comparing Real Ear Measurements and Word Recognition Scores

Taeuk Cheon<sup>1</sup> , Yehree Kim<sup>1</sup>, Marn Joon Park<sup>1</sup>, Min Young Kwak<sup>2</sup>,  
Chan Joo Yang<sup>3</sup>, Myung Hoon Yoo<sup>4</sup>, and Hong Ju Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Otorhinolaryngology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul; and

<sup>2</sup>Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, Eulji University, Daejeon; and

<sup>3</sup>Department of Otolaryngology, Hanil General Hospital, Seoul; and

<sup>4</sup>Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, School of Medicine, Kyungpook National University, Daegu, Korea

## 실리 측정을 이용한 보청기 검증

천태욱<sup>1</sup> · 김예리<sup>1</sup> · 박만준<sup>1</sup> · 곽민영<sup>2</sup> · 양찬주<sup>3</sup> · 유명훈<sup>4</sup> · 박홍주<sup>1</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 의과대학 서울아산병원 이비인후과학교실, <sup>2</sup>음지대학교 의과대학 이비인후과학교실,

<sup>3</sup>한일병원 이비인후과, <sup>4</sup>경북대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실

Received November 6, 2020

Revised May 25, 2021

Accepted June 1, 2021

Address for correspondence

Hong Ju Park, MD, PhD

Department of Otorhinolaryngology,

Asan Medical Center,

University of Ulsan

College of Medicine,

88 Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu,

Seoul 05505, Korea

Tel +82-2-3010-3700

Fax +82-2-489-2773

E-mail dzness@amc.seoul.kr

**Background and Objectives** In this study, we introduce our method of hearing aid (HA) verification using real ear measurement (REM). We verified HAs that have gone through the fitting program using speech mapping REM; we then compared the outcome with word recognition scores (WRS) to evaluate functional gain.

**Subjects and Method** Fifty-six patients of sensorineural hearing loss (81 ears) were enrolled in the study. In REM, if the gap between the target gain of HA and real ear aided response (REAR) was less than 10 dB SPL, fitting was considered successful. In speech audiometry, unaided maximum discrimination score (PB max), unaided WRS at 65 dB HL and aided WRS at 65 dB HL were measured. By comparing PB max and aided WRS at 65 dB HL, patients were sorted into best (n=15), good (n=57), and poorly (n=9) aided groups and analyzed for the successes of fitting. Fitting was deemed unsuccessful if REAR was  $\geq 10$  dB SPL lower than the target value of HA.

**Results** The mean aided WRS at 65 dB HL of best, good and poorly aided groups were 85.6%, 77.3%, and 54.2%, respectively. There were statistically significant differences between all groups ( $p=0.019, 0.001, 0.002$ ). The success rates of HA fitting showed significant differences at 0.5, 0.75, 1, 4 kHz of 55 dB SPL ( $p=0.023, 0.005, 0.003, 0.014$ ), and at 4 kHz of 65 and 75 dB SPL ( $p=0.004, 0.001$ ). The high WRS group showed sufficient gain at many frequencies.

**Conclusion** Well fitted HAs can provide sufficient increase in speech intelligibility. Using the speech mapping REM is a great method to verify fitting of HA.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2021;64(9):619-25

**Keywords** Hearing aids; Hearing loss; Speech discrimination tests.

## 서론

2014년 보건복지부 통계에 따르면 보청기 구매자 중 보청

기를 지속적으로 착용하는 경우는 채 절반에 미치지 못하며, 이 원인에는 '부정적인 사회적 인식'도 존재하지만 기대에 미치지 못하는 보청기 효과, 불편한 착용감, 기기의 저조한 품질

등 보청기의 만족도 원인이 더욱 컸다.<sup>1)</sup> 보청기 적합은 이와 같은 문제를 해결하기 위한 가장 중요한 요소 중 하나이며, 환자의 청력 상태에 맞춘 이득을 제공하여 어음인지 능력을 극대화하는 과정이다.

보청기 적합에 사용되는 처방법(fitting algorithm)에는 크게 호주의 National Acoustic Laboratory (NAL) 방식과 캐나다의 Desired Sensation Level (DSL) 방식이 있다. NAL은 어음 판별력의 극대화를 최우선으로 하는 동시에, 소리의 크기를 정상인이 들을 수 있는 크기 이상으로 증폭하지 않는 것을 목표로 삼으며, DSL은 넓은 주파수 범위에서 최대한의 가청력과 소리 크기를 보장하는 것을 최우선 목표로 삼는다.<sup>2,3)</sup> 이렇듯 두 처방법 사이에 차이가 존재하나 현대 산업 발전과 그에 따른 보청기 기술 발전에 따라 현재는 두 가지 방법 간의 어음 판별력의 차이는 미미한 것으로 보고되고 있다.<sup>4)</sup> 하지만 개개인의 외이도 모양과 부피의 차이로 인해 실제 환자에서 얻어지는 보청기의 이득은 프로그램값과는 차이를 보이며, 이를 해결하는 것이 보청기 착용률을 높이는 방법이다.

실이 측정(real ear measurement, REM)은 이 문제를 해결하기 위한 검사법으로 적합 과정을 마친 보청기 검증(verification)의 한 방법이다. 실제 적합을 마친 보청기를 착용한 후 환자의 외이도 내에 위치시킨 마이크를 이용하여 측정된 음압과 보청기의 목표값과의 차이를 비교하여 실제적인 보청기의 이득을 측정하는 검사이다. 기본적인 원리는 고막 가까이 부드러운 실리콘 재질의 프로브(probe)를 삽입하고, 보청기를 착용한 후에 프로브에 연결된 마이크로폰을 이용하여 증폭된 소리를 측정하는 것이다. 측정된 이득이 보청기 출력의 목표 이득과의 차이가 적을수록 잘 검증된 보청기라 할 수 있다.<sup>5)</sup>

본 연구에서는 보청기사의 자체 프로그램 적합 과정을 거친 보청기를 실이 측정으로 검증한 뒤, 만족스러운 보청기의 이득을 얻은 환자군과 그렇지 않은 군에서의 실이 측정 결과 차이를 확인해 보고자 하였다.

## 대상 및 방법

### 대 상

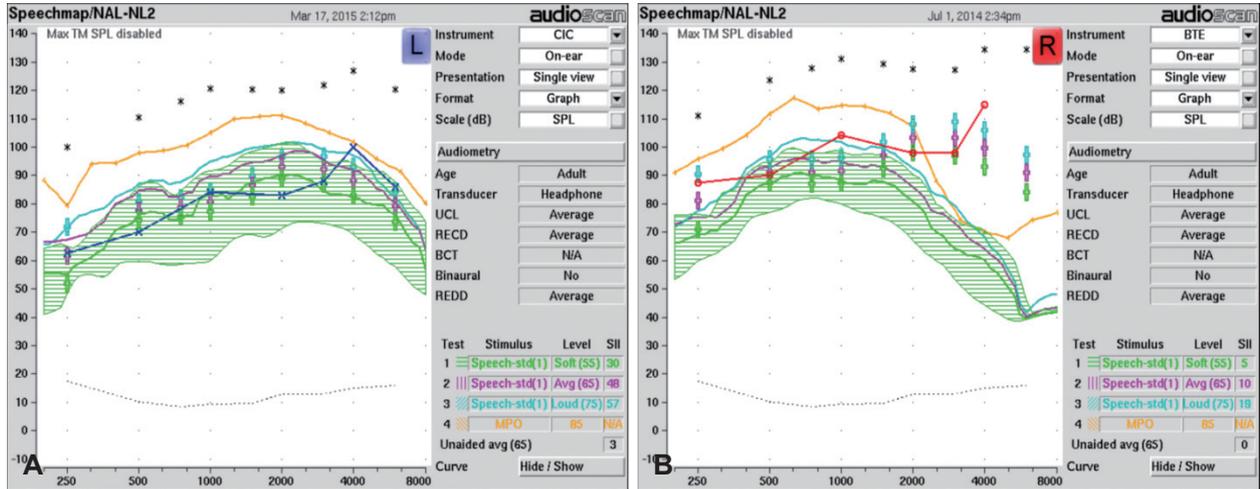
본 연구는 2014년 3월부터 2015년 12월까지 서울아산병원에 내원하여 진료를 받은 후 보청기를 착용한 환자들 중 1회 이상 실이 측정과 순음청력검사(pure tone audiometry, PTA) 및 보청기 기능 이득 검사를 시행한 환자들의 의무기록을 후향적으로 분석하여 진행하였다. 대상 기준은 일측 혹은 양측의 청력역치가 25~95 dB를 보이는 정도부터 심도난청의 환자들로 총 56명의 환자에서 81쪽의 귀를 선정하였다. 경도난청

(26~40 dB HL)은 13귀, 중등도 난청(41~55 dB HL)은 37귀, 중고도 난청(56~70 dB HL)은 26귀, 그리고 고도난청(71~90 dB HL)은 5귀였다. 대상자의 평균 연령은 66.6세였으며, 성별의 남녀 비율은 39:42, 보청기 착용 방향은 우측 40귀, 좌측 41귀이었다. 보청기의 형태는 in-the-canal 형태가 13개, completely in-the-canal 형태가 15개, behind-the-ear 형태가 22개, receiver-in-the canal 형태가 31개였다. 보청기 제조사는 스타키 보청기가 33개, 리사운드 22개, 포낙 18개, 지멘스 2개였으며, 6개의 귀는 보청기 제조사의 정보가 누락되었다. 본 연구는 서울아산병원 임상연구심의위원회(Institutional Review Board No. S2020-2722-0001)의 승인을 받아 진행되었다.

### 검사 방법

연구에 참여한 대상자는 보청기 착용을 위하여 처음 내원 하였을 때 순음청력검사, 어음명료도 검사를 진행하였다. 순음청력검사의 평균은 4분법을 사용하여 500 Hz, 1, 2 kHz에서의 청력역치를 1:2:1의 비율로 가중평균 하였다. 초기 보청기 적합 과정은 각 보청기 제조사에서 제공하는 프로그램을 사용하였다. 이후의 내원 시에는 음장에서 보청기 착용 전과 후의 청력역치를 비교한 기능적 이득(functional gain) 측정과 실이 측정을 하였으며, 실이 측정은 Verifit<sup>®</sup>1 software (Audioscan, Southern Ontario, Dorchester, Canada)을 이용하여 speech mapping 기법으로 시행하였다. Speech mapping의 말소리 자극은 작은 소리(soft speech level, 55 dB SPL), 중간 소리(average speech level, 65 dB SPL), 큰 소리(loud speech level, 75 dB SPL)의 3가지 크기로 나누어서 검사를 진행하였으며, 실이 측정을 통해 얻은 각 자극 크기별 결과값(real ear aided response, REAR)은 NAL-nonlinear 2 formula (NL2)를 기반으로 산출한 개개인의 Target 값과 비교하여 분석하였다. 검사에 사용된 주파수는 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000 Hz로 총 9개이며, 이는 시각화된 청각도로 표현되었다(Fig. 1). Aazh와 Moore는<sup>6)</sup> 실이삽입의 이득을 평가하기 위해 각 주파수에서 목표 이득 값과 측정값의 차이가 10 dB SPL 이상을 보일 때 적합에 실패한 것으로 정의를 내렸으며, 본 연구에서는 각 주파수에서의 측정값(REAR)이 목표값(target value)보다 10 dB SPL 이상 낮을 때를 충분하지 못한 보청기 증폭으로 판단하였다.

또한 환자는 실이 측정과 더불어 어음명료도의 변화를 확인하기 위한 음장청력검사를 시행하였다. 어음명료도 검사는 다음과 같은 세 가지의 다른 환경에서 시행하였다. 환자의 일상생활에서의 어음명료도를 확인하기 위해 첫째로 보청기 미착용 상태에서 65 dB HL의 소리를 이용하여 어음명료도를



**Fig. 1.** Sample cases of good and bad results of REM. A: A case of good achievement of REARs satisfying NAL-NL2 target values confirmed by REM with speech mapping system. Green cross marks are target responses for soft speech level (55 dB SPL) input and thick green colored line represents real ear aided values. The amplified patient's dynamic range is visualized with speech envelope (green shaded area). The patient's real responses satisfied target values at all frequencies. B: A case of failure to achieve NAL-NL2 target gain. This patient's REARs unsatisfied target values at 2, 3, 4, and 6 kHz. REAR, real ear aided response; NAL-NL2, National Acoustic Laboratory-Nonlinear 2; REM, real ear measurement.

측정하였다. 두 번째로 환자의 최대 어음인지도를 확인하기 위해 보청기 미착용 상태에서 개인의 어음청취역치(speech reception threshold, SRT)보다 40 dB 높은 크기의 음 강도 (또는 기기에서 낼 수 있는 최대 음압)에서의 어음명료도, 즉 최대명료도(maximum discrimination score, PB max)를 측정하였다. 마지막으로, 보청기 착용한 상태에서 일상생활에서의 환자의 어음인지도를 평가하기 위해 보청기 착용 시 65 dB HL의 음 강도에서의 어음명료도를 측정하였다. 해당 검사들에서 양측 청력의 차이로 인하여 차폐가 필요한 경우는 TDH-39 headphone (Telephonics Corporation, New York, NY, USA)을 이용하여 검사를 시행하는 반대측 귀를 차폐한 뒤 검사를 시행하였다.

검사는 보청기 착용 전과 착용 1개월 후 실이적합 시행 전 프로그램 적합을 마친 상태에서 시행하였다. 연구에서는 프로그램 적합 후의 측정값을 이용하여 그 결과를 분석하였다.

**통계 분석 방법**

통계 처리는 Windows용 SPSS version 18.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였으며, *p*-value가 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의한 것으로 정의하였다.

각 주파수에서의 적합 실패의 비율 비교는 카이제곱 검정과 Fisher's exact test를 이용하였고, 보청기 착용 전후의 순음청력검사 결과의 비교는 paired t t-test, Wilcoxon signed-rank test를 사용하였다. 세 group 간의 순음청력검사, 어음명료도 및 목표 이득 달성의 비교는 정규분포를 따르지 않아

Kruskall Wallis test를 시행한 뒤 사후 검정은 Mann-Whitney test를 시행하였다.

**결 과**

**실이 측정을 통한 전반적인 소리 증폭의 정도**

총 81개의 보청기에서 초기 보청기 프로그램 적합 후 3가지 소리 크기 단계에서 각각 9개의 주파수(0.25~6 kHz)의 성공과 실패를 평가하였다. 총 2187개의 적합점에서 70.9%의 성공률을 나타냈으며 각 주파수별 소리자극 크기에 따른 적합점에서의 성공률은 Fig. 2와 같다. 작은 소리, 중간 소리, 큰 소리의 3가지 크기에 대한 결과를 분석할 경우, 소리 자극에 관계없이 전반적으로 저주파수에 비해 고주파수 소리 자극에서 목표 이득을 달성하지 못하는 경향을 보였다. 소리 자극의 크기에 따른 목표 이득의 달성 정도도 차이를 보였으며, 0.25, 6 kHz의 주파수를 제외한 7개의 주파수에서 작은 소리 자극에 대한 이득이 큰 소리의 자극을 사용할 때에 비해 목표 이득을 달성하지 못하는 결과를 보였다(*p*<0.05).

**어음청력검사(Speech Audiometry)와 어음명료도 검사(Word Recognition Test)**

환자군의 보청기 착용 전 순음청력검사(PTA)의 평균은 51.0±13.0 dB HL이었으며, 어음청력검사 결과에서 보청기 미착용 시 어음청취역치(SRT)는 44.7±13.6 dB HL, 65 dB HL에서 측정한 어음명료도는 54.6%±29.0%, 최대명료도치(PB max)는 76.7%±19.0%였다.

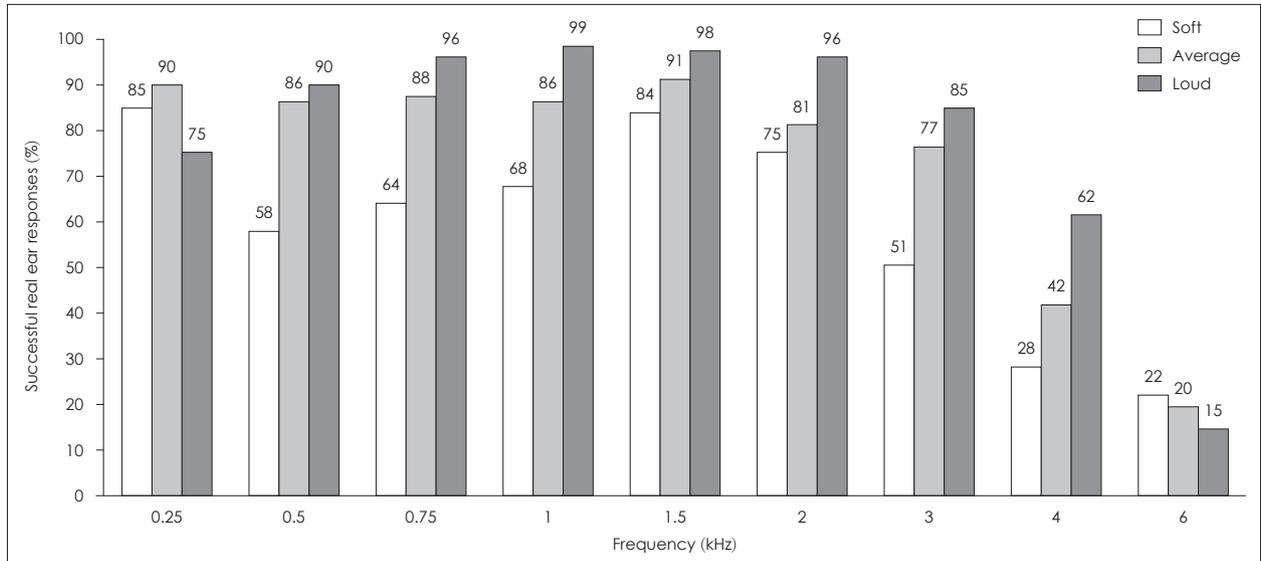
이를 보청기 전용 프로그램을 이용하여 적합 과정을 시행한 뒤(n=81) 보청기를 착용한 상태에서의 순음청력검사의 평균(aided threshold)은 36.4±9.1 dB HL로 보청기 착용 전에 비교하여 의미 있게 호전되었으며( $p < 0.001$ ), 어음청력검사 결과에서 보청기 착용 시 어음청취역치(SRT)도 31.4±8.6 dB HL로 보청기 착용 전에 비교하여 의미 있게 호전되었다( $p < 0.001$ ). 또한 보청기를 착용한 상태에서 65 dB HL의 소리 자극으로 측정된 어음명료도 역시 76.2%±20.5%로 착용 전에 비해 의미 있는 호전을 보였다( $p < 0.001$ ).

**어음명료도 호전 정도에 따른 REM 검사 결과의 분석**

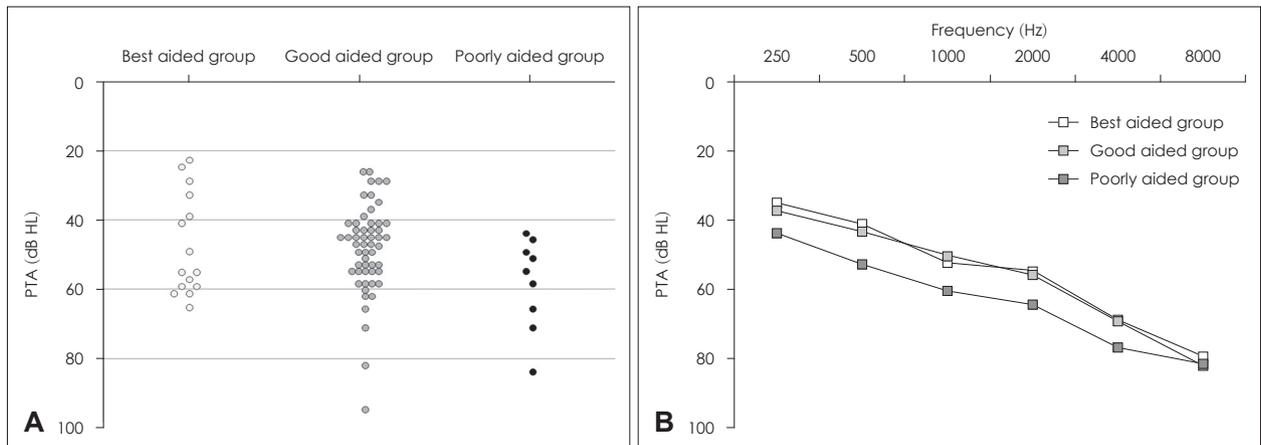
먼저 환자들은 보청기 착용 65 dB HL에서의 어음명료도와 최대명료도치의 차이인 word recognition scores (WRS)

aided at 65 dB -PB max 값을 계산하여 보청기 조절이 잘 된 군과 그렇지 않은 군으로 나누었다. WRS<sub>aided at 65 dB</sub> 값이 100%이거나, WRS<sub>aided at 65 dB -PB max</sub> 값이 10% 이상인 환자군을 best aided 군, -10%에서 10%의 값을 가지는 경우는 good aided 군, -10% 이하일 경우를 poorly aided 군으로 나누고, Veri-fit<sup>®</sup>1 software로 측정된 주파수별 적합 성공률을 비교하였다. 각각 best aided 군은 15귀, good aided 군은 57귀, poorly aided 군은 9귀였다.

먼저 각 군 간의 보청기 형태와 보청기 제조사의 분포는 유의미한 값을 보이지 않았다( $p=0.473, 0.187$ ). 보청기 착용 전 순음청력검사의 평균은 best aided 군은 50.1±14.0 dB HL, good aided 군은 49.9±12.5 dB HL, poorly aided 군은 59.6±11.7 dB HL로 세 군 간의 통계적 차이는 없었으며( $p=$



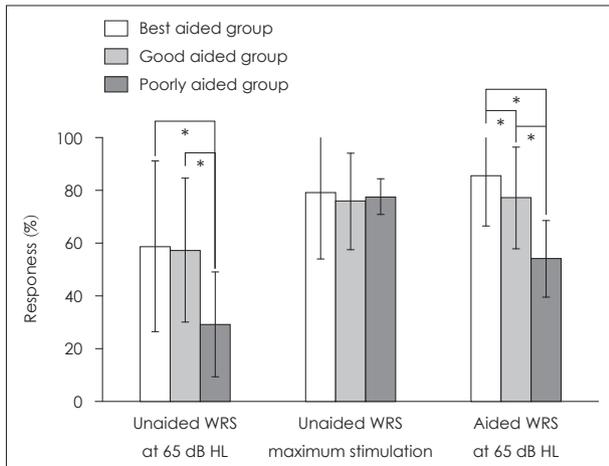
**Fig. 2.** Rates of real ear responses achieving target responses based on NAL-NL2 formula at each frequency for three different loudness levels. Rates of achieving target responses tend to be higher at loud sound level. And rates tend to be lower as frequency gets higher at all loudness sound level. Soft sound level: 55 dB SPL, average sound level: 65 dB SPL, loud sound level: 75 dB SPL. NAL-NL2, National Acoustic Laboratory-Nonlinear 2.



**Fig. 3.** Characteristics of PTA threshold of 3 groups. A: Demographics of PTA for each group. B: Average value of PTA by frequency of 3 groups. PTA, pure tone audiometry.

0.115), 주파수별 청력역치의 평균도 세 군 간의 차이는 없었다(Fig. 3). 음장청력검사를 이용한 어음명료도 검사 결과의 군별 비교에서는 보청기를 사용하기 전 최대명료도치의 차이는 없었으며, 보청기 착용과 미착용 시 65 dB HL의 어음 자극에서의 어음명료도 검사는 세 군 간의 유의미한 차이를 보였다(Fig. 4). 보청기 미착용 시 65 dB HL에서의 어음명료도 검사 결과는 best aided 군은 58.9%±32.4%, good aided 57.4%±27.2%, poorly aided 29.3%±19.9%로 best aided 군과 poorly aided 군, good aided 군과 poorly aided 군 간에 의미 있는 차이를 보였으나( $p=0.029, 0.005$ ) (Fig. 4), 각 군의 최대명료도 결과는 best aided 군은 79.1%±25.1%, good aided 75.9%±18.3%, poorly aided 77.8%±6.6%로 차이는 보이지 않았다. 보청기를 착용한 상태에서 65 dB HL의 소리 자극에 대한 어음명료도는 best aided 군 85.6%±18.9%, good aided 77.3%±19.2%, poorly aided 54.2±14.5%로, 모든 군 간에 의미 있는 차이를 보였다( $p=0.019, 0.001, 0.002$ ).

각 군에서 Verifit<sup>®</sup>1 software로 측정한 주파수별 및 소리 자극 크기별 적합 성공률을 비교할 경우보다 좋은 어음명료도를 보이는 경우, 각 주파수별 목표로 하는 이득의 달성을 보이는 경우가 더 많았다(Fig. 5). 소리 크기별 주파수 적합 성공률은 작은 소리 자극에서는 0.5, 0.75, 1, 4 kHz에서 각 군 간의 통계적 유의미한 차이를 보였으며( $p=0.023, 0.005, 0.003, 0.014$ ), 1.5 kHz에서는 best response 군에서 보다 높은 경향의 성공률을 보였다( $p=0.064$ ). 중간 소리 자극에서도 4 kHz에서는 의미 있는 차이를 보였으며( $p=0.004$ ), 1, 1.5 kHz에서는 best response 군에서 보다 높은 경향의 성공률

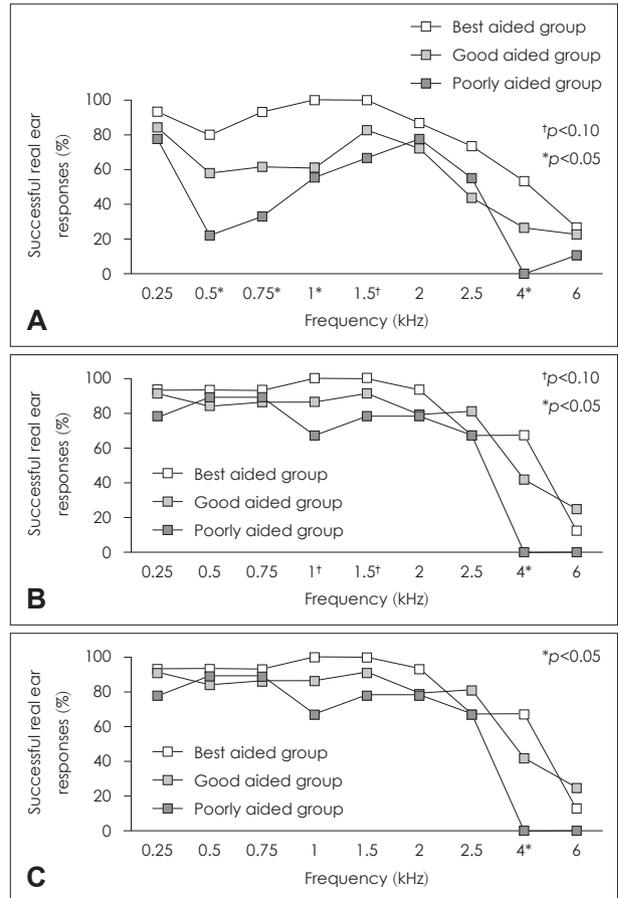


**Fig. 4.** Unaided and aided WRS of best, good, and poorly aided groups. In unaided WRS, there were statistically significant differences between best and poorly, good and poorly aided groups ( $p=0.029, 0.005$ ). In unaided WRS at maximum stimulation, there was no statistically significant difference of maximum WRS between all groups. In aided WRS at 65 dB HL, there were statistically significant differences between all groups ( $p=0.019, 0.001, 0.002$ ). \* $p<0.05$ . WRS, word recognition scores.

을 보였다( $p=0.059, 0.098$ ). 큰 소리 자극에서도 4 kHz에서 의미 있는 차이를 보였다( $p=0.001$ ).

## 고찰

실이 측정은 환자가 실제 보청기를 착용하였을 때의 실질적인 음향 이득을 측정하여 목표 이득과의 정확한 차이를 확인할 수 있어 보청기 적합의 적절성을 확인할 수 있는 아주 유용한 검사법이다. 실이 측정 시 발생시키는 신호음은 과거에는 순음이나 잡음을 이용한 방법을 사용하였으나, 이와 같은 검사는 실제 일상생활에서 듣는 음악이나 말소리와 같은 복합음에 대한 결과를 예측하기 어려우며 신호음이 보청기에서 피드백으로 인식되는 오류도 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 실제 말소리를 신호음으로 사용하는 speech mapping 기법을 사용한다.<sup>7)</sup> 이는 세 가지 단계의 크



**Fig. 5.** Successful aided responses rate based on National Acoustic Laboratory-Nonlinear 2 formula at each frequency to the sound stimulation of 3 speech levels. A: At soft speech level (55 dB SPL) there was a statistically significant difference at 0.5, 0.75, 1 and 4 kHz ( $p<0.05$ ). B: At average speech level (65 dB SPL) there was also a statistically significant difference at 4 kHz ( $p<0.05$ ). C: At loud speech level (75 dB SPL) there was a statistically significant difference at 4 kHz ( $p<0.05$ ).

기(55, 65, 75 dB SPL)의 문장을 읽는 소리를 주어 각 주파수 별로 소리의 크기를 측정하며, 그 결과가 Fig. 1과 같이 시각화된 청력도의 형태로 즉시 구현된다. 또한 소리 자극 신호를 배우자나 부모와 같은 피검사자에게 익숙한 사람의 음성으로 검사를 진행할 수도 있다. 구현된 결과는 진료실에서 곧바로 사용하여 환자와 보호자가 직접 mapping 과정에 참여할 수 있게 하여 보청기 조절에 대한 순응도를 높여 주고 있다.<sup>9)</sup>

본 연구는 보청기 회사의 프로그램 적합만으로는 충분하지 못한 이득을 보이는 경우가 있어, 만족할 만한 보청기의 이득을 확인하고 획득하기 위해 실이적합을 이용하였다. 보청기의 자체 프로그래밍을 통해 보청기 조절을 할 경우 낮은 주파수와 높은 주파수 모두 작은 소리에 대한 이득을 충분히 얻지 못하는 경우가 많았으며, 특히 고주파수에서는 큰 소리 크기에서도 소리의 증폭이 충분치 않았다. 하지만 보청기 착용 후 어음명료도가 크게 상승한 군을 살펴보면 그렇지 못한 군에 비해 고주파수를 비롯하여 보다 많은 주파수에서 충분한 소리 증폭을 얻은 것을 확인할 수 있었다.

보청기 조절이 잘 된 best aided 군은 65 dB HL의 자극음에서 최대명료도치 이상의 어음명료도를 보여주었는데, 이는 보청기의 적합이 개개인의 주파수별 난청 특성에 맞추어 필요한 이득을 제공하도록 조절되었기 때문으로 추정할 수 있다. 최대명료도치의 소리 자극은 이에 반해 환자의 난청 특성에 따라 자극의 크기를 정하지 않고 일률적으로 자극을 주기에 이러한 차이가 발생한 것으로 생각된다. 이를 확인하기 위해 연구군의 순음청력검사의 결과를 보면 모든 군에서 고주파수의 역치값이 높았으며, 주파수별 적합 성공률은 고주파로 갈수록 낮아져 6 kHz에서는 모든 크기의 자극음에서 30% 이하의 성공률을 보였다(Figs. 2 and 3). 이는 보청기의 고주파수에서의 출력 한계에 의할 수도 있으나, 진료 시 특히 귀속형 보청기를 선택한 환자군(37귀)에서 피드백 현상을 방지하거나 해결하기 위한 고주파 이득의 제한이 영향을 끼쳤을 것으로 생각된다. 선행연구들에서도 고주파에서 ±10 dB의 적합 실패율이 높았으며 역시 제조사의 고주파 증폭 제한을 그 이유로 추정하였다.<sup>6,9,10)</sup> 그렇지만 고주파 난청은 분명 마찰음과 같은 고주파 정보를 특징으로 하는 자음의 구별을 어렵게 하여 어음 분별력의 저하를 일으키며,<sup>11)</sup> 이러한 고주파 난청 환자에서 고주파 음을 증폭시켰을 시 어음 분별력이 향상됨도 확인되었다.<sup>12-14)</sup> 본 연구 결과에서는 많은 환자들이 고주파의 불충분한 이득을 보이고 있어, 이를 교정함으로써 어음 분별력의 상승을 획득하였으며, 특히 4kHz 주파수에서의 이득교정은 통계적으로 의미 있는 어음 명료도치의 상승을 보였다. 보청기 조절이 잘 된 best aided 군은 65 dB SPL의 자극음에서 4 kHz 주파수에서 충분한 이득을 보이는 빈도가

poorly aided 군에 비해 의미있게 높았으며, good aided 군에 비해 높은 경향을 보였다(Fig. 5). 이 4 kHz대의 주파수 영역은 자음 중 치경마찰음(s, z, /s, /z, /ʃ, /ʒ)이 차지하는 부분으로 해당 자음의 분별이 어음 분별력의 향상에 도움을 주었을 것으로 생각된다.<sup>15,16)</sup>

본 연구의 제한점으로는 먼저 환자들의 처방법에 대한 정보가 누락된 점이다. 이는 각 적합 과정에서 환자의 청력 상태에 따라 사용 프로그램의 처방법이 상이하며 본 연구에 사용된 실이적합 프로그램인 Verifit<sup>®</sup>1 software의 speech mapping은 NAL-NL2 방식을 채택하기에 DSL 혹은 그 외의 방식을 사용하는 보청기는 성능에 비해 낮은 실이 측정 결과값을 보였을 가능성이 있겠다. 또한 보청기 사용 후 어음명료도의 호전 정도나 불편감에 등에 대한 설문조사를 시행했다라면 그 결과와 보청기의 기능적 및 음향학적 이득이 관계가 있는지도 확인해 볼 수 있었을 것이다. 하지만 이번 연구 결과를 통해 실이 측정은 개인이 보청기를 통해 충분한 이득을 얻고 있는지를 확인할 수 있는 좋은 도구이며, 다양한 주파수에서 충분한 이득을 주는 것이 어음명료도 향상에 도움이 된다는 것을 알 수 있었다. 본 연구와 같이 보청기 구입 후 다양한 프로그램을 이용하여 보청기의 이득을 조절할 경우 정기적으로 실이 측정을 시행하고 그 결과에 따라 보청기 조절을 하는 것이 좋겠다. 이는 각 주파수별로 개개인에 적합한 보청기의 이득을 얻게 해줄 것이며, 환자는 궁극적으로 높은 어음명료도를 획득하여 보청기 사용의 만족감과 순응도의 상승을 기대할 수 있을 것이다.

**Acknowledgments**

None.

**Author Contribution**

Conceptualization: Hong Ju Park. Data curation: Taek Cheon. Formal analysis: Yehree Kim. Investigation: Marn Joon Park, Min Young kwak. Methodology: Hong Ju Park. Project administration: Taek Cheon. Resources: Yehree Kim, Chan Joo Yang. Software: Myung Hoon Yoo. Supervision: Hong Ju Park. Validation: Hong Ju Park. Visualization: Taek Cheon. Writing—original draft: Taek Cheon. Writing—review & editing: Hong Ju Park.

**ORCIDs**

Hong Ju Park <https://orcid.org/0000-0002-6331-8556>  
 Taek Cheon <https://orcid.org/0000-0002-5808-1240>

**REFERENCES**

- 1) Korea Institute for Health and Social Affairs. 2014 national survey for persons with disabilities. Seoul: Ministry of Health and Welfare;2014.
- 2) Scollie S, Seewald R, Cornelisse L, Moodie S, Bagatto M, Lournagaray D, et al. The desired sensation level multistage input/output algorithm. Trends Amplif 2005;9(4):159-97.

- 3) Dillon H. NAL-NL1: A new procedure for fitting non-linear hearing aids. *Hear J* 1999;52(4):10-6.
- 4) Ching TYC, Zhang VW, Johnson EE, Van Buynder P, Hou S, Burns L, et al. Hearing aid fitting and developmental outcomes of children fit according to either the NAL or DSL prescription: Fit-to-target, audibility, speech and language abilities. *Int J Audiol* 2018;57(sup2):S41-54.
- 5) Yoon TH. Hearing aid fitting and verification. *Korean J Audiol* 1998;2(1):17-22.
- 6) Aazh H, Moore BC. The value of routine real ear measurement of the gain of digital hearing aids. *J Am Acad Audiol* 2007;18(8):653-64.
- 7) Cho YS. Management of hearing aids clinic. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2010;53(6):333-9.
- 8) Swan IR, Gatehouse S. The value of routine in-the-ear measurement of hearing aid gain. *Br J Audiol* 1995;29(5):271-7.
- 9) Aazh H, Moore BC, Prasher D. The accuracy of matching target insertion gains with open-fit hearing aids. *Am J Audiol* 2012;21(2):175-80.
- 10) Chang YS, Jung HI, Cho YS. Comparison of clinical usefulness of program-assisted and real ear measurement-assisted hearing aids fitting. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2018;61(12):663-8.
- 11) Bamford J, Bench RJ. *Speech-hearing tests and the spoken language of hearing-impaired children*. London: Academic Press;1979.
- 12) Sullivan JA, Allsman CS, Nielsen LB, Mobley JP. Amplification for listeners with steeply sloping, high-frequency hearing loss. *Ear Hear* 1992;13(1):35-45.
- 13) Amos NE, Humes LE. Contribution of high frequencies to speech recognition in quiet and noise in listeners with varying degrees of high-frequency sensorineural hearing loss. *J Speech Lang Hear Res* 2007;50(4):819-34.
- 14) Horwitz AR, Ahlstrom JB, Dubno JR. Factors affecting the benefits of high-frequency amplification. *J Speech Lang Hear Res* 2008;51(3):798-813.
- 15) Behrens SJ, Blumstein SE. Acoustic characteristics of English voiceless fricatives: A descriptive analysis. *J Phon* 1988;16(3):295-8.
- 16) Ahn H. A comparative phonetic investigation of English and Korean fricatives in /CV/ context. *Korean Journal of English Language and Linguistics* 2009;9(2):281-302.