

Changes in Speech Recognition Scores and Sound Quality According to Gain Adjustment in High Frequency Bands

Hyeryeong Jo^{1,2}, Mikyung Lee³, Jihun Kim⁴, Eunchul Choi⁵, Hyungoo Lee⁶, Kyoungwon Lee^{1,2}

¹Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

²HUGS Center for Hearing and Speech Research, Seoul, Korea

³Phonak Mapo Hearing Aid Center, Seoul, Korea

⁴Phonak Masan Hearing Aid Center, Changwon, Korea

⁵Phonak Sejong Hearing Aid Center, Sejong, Korea

⁶Widex Seocho Hearing Aid Center, Seoul, Korea

Received: March 2, 2022

Revised: March 28, 2022

Accepted: April 2, 2022

Correspondence:

Kyoungwon Lee, PhD
Department of Audiology and
Speech-Language Pathology,
Hallym University of Graduate
Studies, 427 Yeoksam-ro,
Gangnam-gu, Seoul 06197, Korea
Tel: +82-2-2051-4951
Fax: +82-2-3453-6618
E-mail: hearing1004@naver.com

Purpose: In this study, changes before and after adjustment in high frequency bands were assessed for aided threshold, psychoacoustic evaluation, word recognition scores (WRSs) in noise and sound quality to aid in electroacoustic adjustment, and to improve the satisfaction of hearing aids. **Methods:** The subjects were 16 sensorineural hearing impaired (25 ears) with 63.4 years old of mean age, 60.8% WRS and 46.6 months of aided experience. For the experiment, hearing aid gain of high-frequency bands adjusted to preferred gain was increased to a higher level. Aided threshold, Korean version of international outcome inventory for hearing aids (K-IOI-HA), Korean version of profile of hearing aid benefit-quick version (K-PHAB-Q), WRSs in noise for 10 dB and 5 dB signal-to-noise ratio (SNR) and sound quality were subsequently evaluated after two weeks and the results were quantitatively compared before and after gain adjustment in high-frequency bands. **Results:** This study results in as follows; first, improvement in aided threshold for frequencies above 2.0 kHz was shown. Second, K-IOI-HA and K-PHAB-Q in easy communication and localization categories resulted in significant enhancements. Third, WRS in 5 dB and 10 dB SNR was improved. Fourth, improvements were shown for occlusion and clarity of the sentence in the evaluation of sound quality, but significant results were not shown for sharpness and loudness of noise conditions. **Conclusion:** With sensorineural hearing loss, a sufficient gain in high frequency bands provides improved satisfaction to hearing aids and enhanced word recognition ability in various listening environments.

Key Words: Hearing aid, High frequency gain, Word recognition scores, Sound quality, Real-ear insertion gain.

INTRODUCTION

외이, 중이 등에 특별한 문제가 없는 감각신경성난청(sensorineural hearing loss)의 경우, 좁은 역동 범위, 다양한 환경에서 단어인지도의 저하 등으로 인해 기도 보청기를 착용하였을 때 일상생활에서의 의사소통 능력 및 보청기의 음질을 효과적으로 개선하기 위한 최적 이득을 산출하는 것은 매우 까다롭다. 현재 일반적으로 사용하고 있는 다채널(multi-channel), 프로그램(programmable) 보청기에서는 다양한 입력 음압레벨(sound pressure level, SPL)에 대한 최적이득을 산출하기 위해 보청기

적합 소프트웨어에 내장된 보청기적합공식(hearing aid fitting formula)을 활용하고 있다.

현재 사용 중인 비선형(non-linear type)의 보청기적합공식은 연구소 주도로 개발한 National Acoustic Laboratories (NAL)-NL1 또는 2 (version 1 or 2) (Dillon, 1999; Keidser et al., 2011; Keidser et al., 1999), Figure 6 (Killion & Fikret-Pasa, 1993), desired sensation level multi-stage input-output algorithm (DSL mIO) (Ching et al., 2013; Seewald et al., 2005), the independent hearing aid fitting forum (IHAF) (Cox, 1999; Valente & Van Vliet, 1997) 그리고 한국형 보청기적합공식 hearing aid gain for Korean hearing impaired, version 2.0 (HAG-K v2.0) (Lee et al., 2021) 등이 있다. 그리고 보청기 제조사에서 개발하여 사용 중인 최근의 보청기적합공식은 벨톤

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(Beltone)의 Beltone adaptive fitting algorithm (BAFA), 오티콘(Oticon)의 voice activity compression (VAC+), 포낙(Phonak)의 adaptive phonak digital 2.0 (APD2.0), 시그니아(Signia)의 X-FIT, 스타키(Starkey)의 e-stat, 와이덱스(Widex)의 Widex fitting rationale (WFR) 등이 있다. 연구소 및 제조사 주도로 개발한 보청기적합공식은 대부분 각각의 주파수에서 청력역치레벨(hearing threshold level, HTL)에 따른 이득을 산출하며, 난청인의 좁은 역동 범위(dynamic range) 또는 음량증가(loudness growth)를 개선하고, 보통 크기의 대화음을 자연스럽고 편안하게 들을 수 있으며, 말소리의 청취 능력을 극대화하는 것을 목적으로 한다(Park & Lee, 2001). 이를 위해 비선형의 보청기적합공식에서는 어음의 SPL을 작은(50~55 dB), 보통(65~70 dB), 큰(80~85 dB) 소리로 구분하여 이득을 각각 산출한다. 그리고 보청기 착용 시 낮은 주파수 대역의 증폭음이 고주파수 대역 음의 인지를 방해하는 상향차폐(upward spread of masking) 또는 높은 주파수 대역의 증폭음이 저주파수 대역 음의 인지를 방해하는 하향차폐(downward spread of masking)를 방지하고, 음질을 개선하기 위해 주파수반응 곡선의 조절을 위한 이득을 산출한다.

그러나 연구소에서 개발한 보청기적합공식에 의한 이득과 선호이득(preferred gain) 또는 제조사의 보청기적합공식 간에는 이득 및 주파수반응 곡선의 형태에 있어서 차이가 나타난다. 이를 살펴보면, Bang and Lee(2020)의 연구에서 한국 감각신경성 난청인의 선호이득과 제조사의 보청기적합공식에서 산출한 55 dB 및 65 dB SPL에 대한 이득은 저주파수 및 2.0 kHz 이상의 고주파수 대역에서 연구소의 보청기적합공식에 비해 낮게 나타났다. Jo et al.(2021)의 연구에서는 개방적합(open-canal fitting)과 폐쇄적합(closed-canal fitting) 보청기의 선호이득을 비교하였는데 2.0 kHz 이상에서 고주파수 대역으로 갈수록 HTL이 증가하였음에도 불구하고 개방적합과 폐쇄적합 보청기의 선호이득은 모두 감소하는 형태로 나타나 연구소의 보청기적합공식에서 산출한 이득과 차이를 나타냈다. 그리고 Sanders et al.(2015)의 연구에서도 입력 SPL 55 dB 및 65 dB에 대한 이득은 3.0 kHz 이상의 주파수에서 연구소의 보청기적합공식에 비해 제조사에서 산출한 이득이 낮게 나타났음을 보고하여 차이를 나타냈다. 이에 Sanders et al.(2015)은 제조사 보청기적합공식의 낮은 이득에 대해서 다양한 환경에서의 의사소통 능력 확인 및 음질의 확인을 위해 실이측정(real-ear measurement) 등에 의한 검증이 필요하다고 하였다.

고주파수 대역의 이득에 따른 다양한 환경에서의 어음인지 및 선호도 관련 연구를 살펴보면, Plyler and Fleck(2006)는 고주파수 대역의 증폭이 조용한 곳 및 잡음 하에서의 어음인지도와 주관적인 선호도를 개선하였다고 보고하였다. Pascoe(1975)

는 고주파수 난청인에게 고주파수 정보를 제공함으로써 말소리 인지도를 향상시킬 수 있으며, Skinner(1980)와 Sullivan et al.(1992)은 고주파수 정보를 추가하면 고주파수 대역에 위치하는 자음의 변별력이 향상되기 때문에 어음의 인지 능력의 향상을 기대할 수 있다고 하였다. 그리고 잡음 하에서 저주파수통과여과기(low pass filter) 또는 고주파수통과여과기(high pass filter)를 사용하여 고주파수 대역의 정보를 차단하였을 때, 고주파수 대역의 어음정보가 부족할수록 낮은 어음인지도가 나타났다고 보고하였다(French & Steinberg, 1947; Lee & Kim, 2012; Studebaker et al., 1987; Studebaker & Sherbecoe, 1991; Studebaker et al., 1993; Wong et al., 2007). 그러나 Bang and Lee(2020)의 연구에서 낮게 나타난 고주파수 대역의 선호이득을 NAL-NL2와 같게 조절하였을 때, 단어인지도(word recognition score, WRS)의 차이는 나타나지 않았다고 보고하였다. 하지만 이 연구는 고주파수 대역의 이득을 조절한 직후 단어인지도를 측정하여 순응(acclimatization) 기간을 고려하지 않았다.

상기에서 언급한 선행 연구(Pascoe, 1975; Plyler & Fleck, 2006; Sullivan et al., 1992)의 결과를 살펴보면 고주파수 대역의 이득이 조용한 곳 및 소음 하에서 어음인지도, 음질 및 선호도에 영향을 줄 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 Sanders et al.(2015), Bang and Lee(2020)가 보고하였듯이 제조사의 보청기적합공식에서 산출한 고주파수 대역의 이득 또는 한국 난청인의 선호이득은 연구소에서 산출한 이득에 비해 낮게 나타나는 경향이 있다고 보고하였다. 이에 본 연구에서는 난청인의 주관적인 반응을 토대로 조절한 선호이득에서 고주파수 대역의 이득을 증가시켰을 때 소음 하에서의 어음인지도, 음질 및 심리음향적인 변화를 확인하고자 하였다. 고주파수 대역의 정보가 부족할수록 낮은 어음인지도를 나타났다고 보고한 Lee and Kim(2012), Studebaker and Sherbecoe(1991), Studebaker

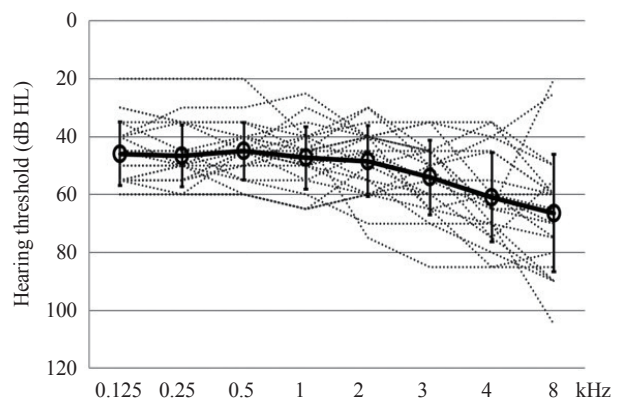


Figure 1. Mean and standard deviation of hearing threshold levels for subjects. Bar means standard deviation.

et al.(1993) 등의 연구를 근거로 본 연구에서는 보청기적합 현장에서 난청인의 주관적인 반응을 통해 조절한 고주파수 대역의 이득을 높였을 때 음질 및 WRS가 개선될 것으로 가설을 세웠다. 연구의 결과를 통하여 보청기의 주파수 대역별 이득의 조절, 그리고 보청기의 만족도를 개선하는 데 도움을 주고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구의 대상자는 서울, 경기 및 경상남도에 소재한 5곳의 청능재활센터(보청기센터)에서 모집하였다. 대상자의 평균 연령은 63.4세(범위, 29~90세; 표준편차, 16.1)로 육안 관찰 시 외이 및

중이에 이상 소견이 없으며, 기골도차(air-bone gap)가 15 dB 이내인 경도에서 중고도의 감각신경성 난청인 16명(남, 9명; 여, 7명; 25귀)이었다. 헤드폰 착용 시 쾌적강도레벨(comfortable level)에서 대상자의 WRS는 60.8% (범위, 24~96%; 표준편차, 19.3%), 보청기 평균 착용 기간은 46.6개월(범위, 1~395; 표준편차, 105.6), Korean version of international outcome inventory for hearing aids (K-IOI-HA) (Chu et al., 2012) 점수의 평균은 25.18 (범위, 20~29; 표준편차, 2.79)이었다. 대상자가 착용한 보청기는 외이도내수화기보청기(receiver in-the-canal)가 15귀, 고막보청기(completely in-the-canal)가 8귀, 외이도보청기(in-the-canal)가 2귀였으며, 이 중에서 양이에 보청기를 착용한 대상자는 9명이었다. 대상자의 주파수별 평균 HTL

Table 1. Gender, ages of the subjects and side, type, number of channel, durations of use, vent size or dome type of HA in this study

Subject	Gender	Age (yr)	HA side	HA type	No. of channel	Duration of use (months)	Vent size or dome type
S1	M	78	R	RIC	8	4	Closed
S2	M	82	L	CIC	12	10	Closed
S3	M	70	R	RIC	12	12	Closed
S4	M	70	L	RIC	12	12	Closed
S5	M	71	L	RIC	16	4	Closed
S6	M	90	R	CIC	15	4	1 mm
S7	M	33	R	ITC	16	395	1 mm
S8	M	33	L	ITC	16	395	1 mm
S9	M	29	R	CIC	16	2	1 mm
S10	M	29	L	CIC	16	2	1 mm
S11	F	69	L	CIC	16	24	1 mm
S12	M	62	R	RIC	20	16	Closed
S13	F	74	R	CIC	8	72	1 mm
S14	F	74	L	RIC	8	72	Closed
S15	F	62	R	CIC	16	10	1 mm
S16	F	62	L	CIC	16	10	1 mm
S17	F	62	R	RIC	8	10	Closed
S18	F	62	L	RIC	8	10	Closed
S19	M	78	R	RIC	12	3	Closed
S20	F	70	R	RIC	12	1	Closed
S21	F	70	L	RIC	12	1	Closed
S22	F	66	R	RIC	12	36	Closed
S23	F	66	L	RIC	12	36	Closed
S24	F	62	R	RIC	12	12	Closed
S25	F	62	L	RIC	12	12	Closed
Mean	-	63.4	-	-	-	46.6	-
SD	-	16.09	-	-	-	106.59	-

HA: hearing aid, M: male, R: right, RIC: receiver in-the-canal, L: left, CIC: completely in-the-canal, ITC: in-the-canal, F: female, SD: standard deviation

과 표준편차는 Figure 1에, 성별, 나이, 보청기의 착용 귀, 형태, 채널 수, 환기구 또는 돔의 형태는 Table 1에 나타내었다.

연구 장비

순음 기도 및 골도 HTL, 쾌적강도레벨에서의 WRS는 청력 검사기 AD629 (Interacoustics; Copenhagen, Denmark) 또는 Primus Pro (Auditdata, Copenhagen, Denmark) 와 TDH-39 (Telephonics, Farmingdale, NY, USA) 또는 RADIOEAR 3045 (RadioEar, Middelfart, Denmark) 헤드 폰을 사용하였다. 증폭역치(aided threshold), 소음 하 증폭 WRS (aided WRS)는 1분간 측정하였을 때 소음레벨이 40 dB L_{Aeq} 이하인 방음실에서 확인하였다. WRS는 한국산업표준 일 반용 단음절어(KS I ISO 8253-3, 2009)를 사용하였으며, 단음 절어 및 소음은 방음실 내에서 4 또는 8옴(Ohm)의 라우드스피 커(loudspeaker)를 통해 제시하였다. 실이삽입이득(real-ear insertion gain, REIG)을 구하기 위한 실이측정은 Affinity 2.0 (Interacoustics A/S, Assens, Denmark), Freefit (GN Otometrics, Copenhagen, Denmark)을 사용하였다. 보청 기 착용만족도는 각 항목의 점수가 1점에서 7점으로 7개의 항 목으로 구성된 K-IOI-HA, 보청기 착용 전후 심리음향적 변화 는 쉬운 의사소통(easy of communication, EC), 배경잡음 (background noise, BN), 잔향음(reverberation, RV), 크고 날카로움(aversiveness of sound, AV), 음원탐지(localization, LC)의 각각의 항목에서 2개 문항으로 총 10개 문항으로 구성

한 Korean version of profile of hearing aid benefit-quick version (K-PHAB-Q) (Kim & Lee, 2020)을 사용하였다. 음 질평가는 날카로움(sharpness), 울림(occlusion), 대화음의 선 명도(clarity), 잡음의 크기(loudness of noise)를 0점에서 10점 척도로 나타낸 음질평가지를 사용하였다(Figure 2). 그리고 보 청기의 REIG 조절을 위한 목표이득은 대화음 레벨과 스펙트럼 등 한국어의 특성과 한국인의 심리음향적 특성을 고려하여 개 발한 HAG-K v2.0 (Lee et al., 2021)을 사용하였다.

연구 절차

이득 조절 전 평가

대상자의 방문 시 이득 조절 전 평가절차는 첫째, 연구동의서 의 작성과 배경정보 및 설문평가를 실시하였다. 둘째, 육안으로 외이도 및 중이에 이상이 없음을 이경을 통해 확인한 후 헤드폰 을 착용하고 기도와 골도 HTL 및 쾌적강도레벨에서 WRS를 측 정하였다. 셋째, K-IOI-HA와 K-PHAB-Q의 설문을 직접 작성 하게 하였다. 넷째, 방음실에서 보청기를 착용한 상태로 FM음 (FM tone)을 제시하여 증폭역치 그리고 10 dB 및 5 dB 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)의 백색잡음(white noise) 하에서 증폭 WRS를 측정하였다. 증폭 WRS 측정 시 단음절어 의 SPL은 50 dB HL, 스피커와 피검자의 거리는 1.0 m 그리고 단음절어와 잡음은 모두 보청기를 착용한 쪽 귀에서 제시하였다. 마지막으로 음질을 평가한 후 실이측정을 통하여 0.125 kHz에

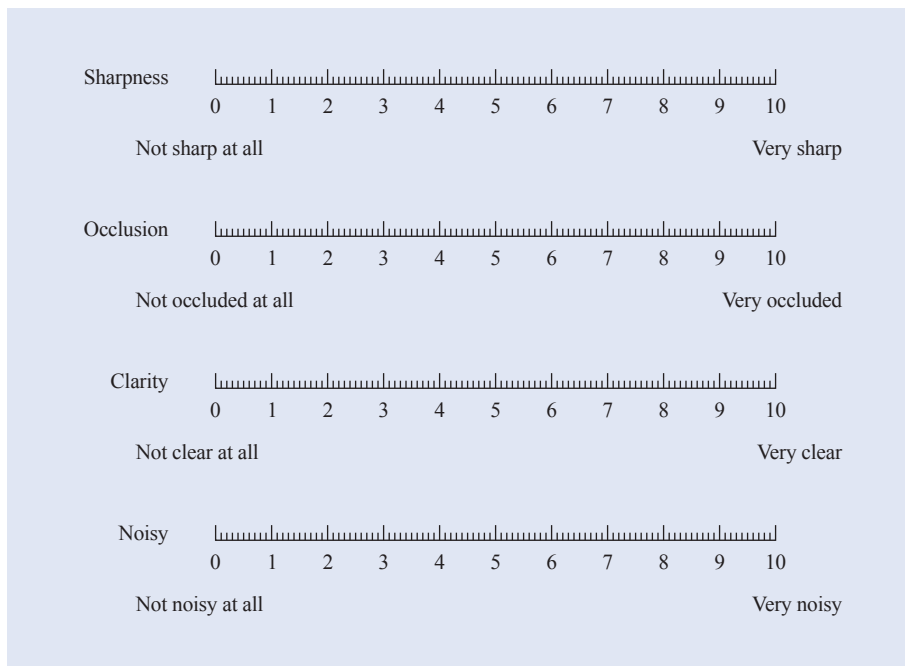


Figure 2. Rating scales for sharpness, occlusion, clarity of sentence and loudness of noise.

서 8.0 kHz까지 1/2옥타브 주파수에서 55 dB, 65 dB, 80 dB SPL에 대한 REIG를 확인하였다.

REIG의 조절

보청기의 REIG 조절 방법은 첫째, 보청기를 보청기적합 소프트웨어와 연결하였다. 둘째, 프로브마이크로폰(probe microphone)과 제어마이크로폰(control microphone)을 보정(leveling)한 후 실이공명이득(real-ear unaided gain)을 측정하였다. 셋째, 국제어음시험신호(international speech test signal)를 보청기에 제시하여 실이증폭이득(real-ear aided gain)을 측정하여 보청기의 조절 전 REIG를 확인하였다. 넷째, 1.0 kHz 이상의 REIG를 HAG-K v2.0에서 산출한 이득에 최대한 일치하도록 조절한 후 대상자의 주관적 반응을 통하여 소리의 크기가 조절 전과 같도록 전체 음량을 조절하였다. 이때 대상자가 보청기의 음질 등에 있어서 특별하게 불만족감을 호소하는 경우는 음질을 최소한으로 조절하였다. 그리고 실이측정 시 보청기의 잡음감소(noise reduction) 및 음향피드백제어시스템(anti-feedback system)은 그대로 두었다. 마지막으로 0.125 kHz에서 8.0 kHz까지 1/2옥타브 주파수에서 55 dB, 65 dB,

80 dB SPL에 대한 REIG를 기록하였다.

이득 조절 후 평가

고주파수 대역의 이득을 조절한 후 대상자의 일상생활에서 2주간의 적응 기간을 가진 후 재방문하게 하였다. 이득 조절 후 K-IOI-HA와 K-PHAB-Q의 설문 그리고 방음실에서 증폭역치 그리고 증폭 WRS 및 음질을 평가하였다. 단음절어와 백색잡음의 제시 방법은 이득 조절 전 평가와 같은 방법으로 실시하였다.

통계 분석

고주파수 대역의 이득을 조절하였을 때 조절 전후에 따른 백색잡음 10, 5 dB SNR에서 증폭 WRS의 차이는 반복측정 이원분산분석(two-way analysis of variance with repeated measures), 옥타브 주파수에서 증폭역치의 변화는 paired *t*-test로 분석하였다. 그리고 보청기의 이득 조절 전후 K-IOI-HA, K-PHAB-Q, 음질의 차이는 비모수검정(Wilcoxon 부호 순위)으로 확인하였다. 통계 분석에 사용한 소프트웨어는 SPSS version 25 (IMB Corp., New York, NY, USA)였다.

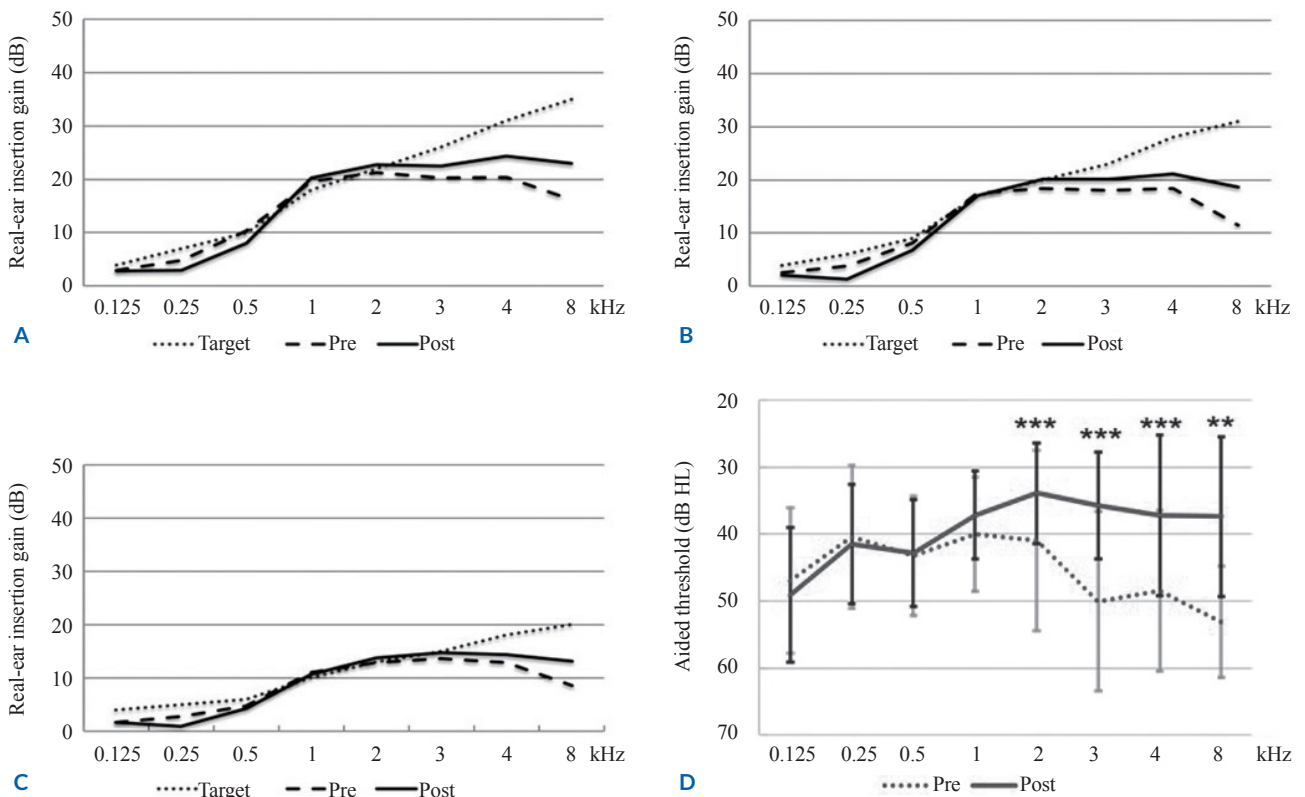


Figure 3. Changes of real-ear insertion gain, and aided threshold pre and post gain adjustment. (A) Fifty-five dB sound pressure level (SPL) input, (B) 65 dB SPL input, (C) 80 dB SPL input, (D) aided threshold. Target means real-ear insertion gain from HAG-K v2.0 and bar means standard deviation. ***p* < 0.01. ****p* < 0.001.

RESULTS

본 연구에서는 한국 감각신경성 난청인이 보청기를 착용한 후 대상자의 반응을 토대로 조절한 선호이득에서 고주파수 대역의 이득을 HAG-K v2.0으로 증가시켰을 때, 이득 조절 전후의 증폭역치, 증폭 WRS, K-IOI-HA, K-PHAB-Q, 음질(날카로움, 울림, 선명도, 잡음의 크기)의 변화를 살펴보면 다음과 같다.

REIG와 증폭역치의 변화

고주파수 대역의 이득 조절 전(선호이득)과 후, 한국형 보청기 적합공식 HAG-K v2.0에서 산출한 55 dB, 65 dB 및 80 dB 입력 SPL에 대한 REIG 그리고 증폭역치는 Figure 3에 나타내었다. Figure 3(A)와 Figure 3(B)에서 조절 후의 55 dB 및 65 dB SPL에 대한 REIG는 조절 전에 비해서 상승하였으며, 0.5 kHz 이하의 주파수에서는 조절 후의 REIG가 낮게 나타났지만 통계적인 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$). 그리고 3.0 kHz 이상의 주파수에서는 조절 후의 REIG가 HAG-K v2.0에 비해 낮게 나타났다. 하지만 Figure 3(D)에서 고주파수 대역의 이득 조절 후의 증폭역치는 2.0 kHz ($t[24] = 5.170, p < 0.001$), 3.0 kHz ($t[24] = 4.253, p < 0.001$), 4.0 kHz ($t[24] = 5.148, p < 0.001$) 및 8.0 kHz ($t[24] = 3.878, p < 0.01$)에서 조절 전에 비해 개선 되는 것으로 나타났다. 하지만 1.0 kHz 이하의 주파수에서는 이득 조절 전후의 증폭역치에는 의미 있는 변화가 나타나지 않았다($p > 0.05$).

K-IOI-HA와 K-PHAB-Q의 변화

Figure 4에 고주파수 이득 조절 전후의 K-IOI-HA와

K-PHAB 점수의 변화를 나타내었다. 이득 조절 후 K-IOI-HA 점수는 28.62점(표준편차, 3.12)으로 조절 전 25.18점(표준편차, 2.79)에 비해 높게 나타났다($z = -3.28, p < 0.01$). 이득 조절 전과 후의 K-PHAB-Q에서 EC는 39.16%(표준편차, 28.91)와 9.28점(표준편차, 18.07), BN은 55.47%(표준편차, 19.12)와 50.60점(표준편차, 24.46), RV는 64.25%(표준편차, 16.39)와 53.63%(표준편차, 30.07), AV는 55.75%(표준편차, 24.87)와 51.00%(표준편차, 26.85), LC는 56.09%(표준편차, 9.43)와 31.47점(표준편차, 15.35)으로 나타났다. 이 중에서 의미 있는 차이가 나타나는 항목은 EC ($z = -2.79, p < 0.01$)와 LC ($z = -3.26, p < 0.01$)로 나타났다.

소음 하 WRS의 변화

Figure 5에서 고주파수 대역 이득의 조절 전과 후 백색잡음 하에서의 WRS는 10 dB SNR에서 29.80%(표준편차, 17.16)와 45.54%(표준편차, 19.98), 5 dB SNR에서 24.60%(표준편차, 19.98)와 33.68%(표준편차, 21.16)로 나타났다. 반복측정 이원분산분석을 실시하였을 때, 이득 조절($F[1, 24] = 19.42, p < 0.001$)과 SNR ($F[1, 24] = 23.94, p < 0.001$)에 따른 차이가 나타났다. 이득 조절과 SNR에 따른 유의미한 상호작용($F[1, 24] = 6.99, p < 0.05$)이 나타났는데, 고주파수 대역의 이득 조절 후 그리고 SNR이 높을수록 WRS가 높게 나타났다.

음질의 변화

Figure 6에 소리의 날카로움(sharpness), 울림(occluded), 선명도(clarity) 및 잡음의 크기(noisy)의 4개 항목에서 실시한 음질평가 결과를 나타내었다. 고주파수 대역 이득의 조절 전과

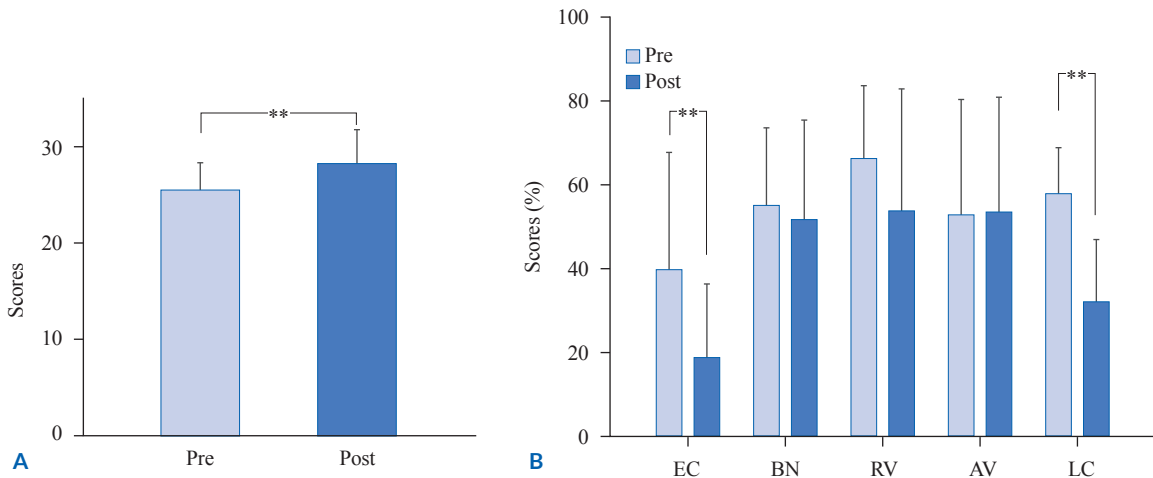


Figure 4. The scores of (A) Korean version of international outcome inventory for hearing aids (K-IOI-HA) and (B) Korean version of profile of hearing aid benefit-quick version (K-PHAB-Q) pre and post the high frequency gain adjustment. Bar manes standard deviation. ****** $p < 0.01$. EC: easy of communication, BN: background noise, RV: reverberation, AV: aversiveness of sound, LC: localization.

후의 평균은 날카로움이 4.5 (표준편차, 2.83)와 4.4 (표준편차, 3.31), 울림은 4.9 (표준편차, 2.58)와 3.5 (표준편차, 2.73), 선명도는 5.6 (표준편차, 2.13)과 8.1 (표준편차, 1.91), 잡음의 크기는 5.2 (표준편차, 2.51)과 3.6 (표준편차, 2.78)으로 나타났다. 각각의 항목에서 Wilcoxon의 부호순위검정을 실시한 결과, 울림($z = -2.06, p < 0.05$)과 선명도($z = -3.01, p < 0.01$)에서만 의미 있는 차이가 나타났다.

DISCUSSIONS

본 연구에서는 연구소 중심으로 개발한 보청기적합공식에서 산출한 고주파수의 이득에 비해 낮게 나타나는 감각신경성 난청인의 선호이득에서 고주파수 대역의 이득을 한국형 보청기적합

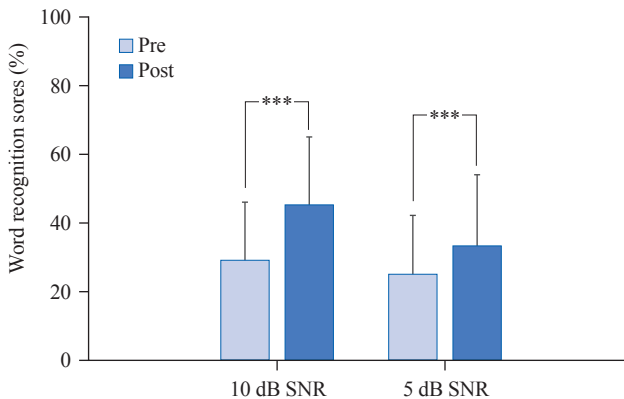


Figure 5. Word recognition scores pre and post high frequency gain adjustment in the white noise of 10 dB and 5 dB signal-to-noise ratio (SNR). Bar means standard deviation. *** $p < 0.001$.

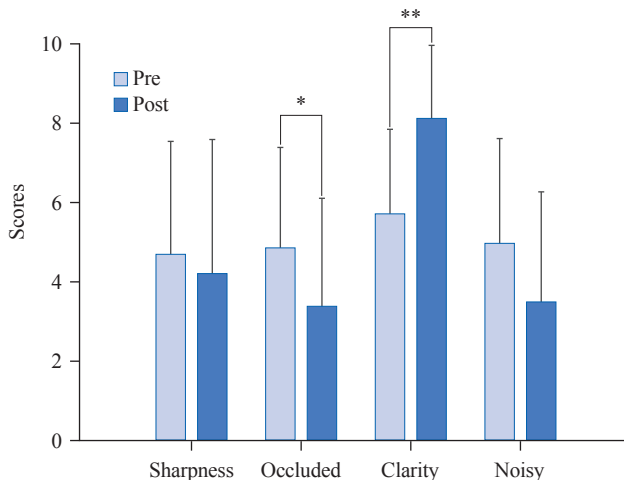


Figure 6. Results of K-PHAB-Q pre and post the high frequency gain adjustment. Bar means standard deviation. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. K-PHAB-Q: Korean version of profile of hearing aid benefit-quick version.

공식 HAG-K v2.0에서 산출한 이득에 근접하게 조절하였을 때 만족도와 심리음향, 소음 하 WRS 및 음질의 변화를 확인하고자 하였다.

우선 고주파수 대역 조절 후 55 dB, 65 dB, 80 dB SPL의 REIG는 2.0 kHz 이상의 주파수 대역에서 모두 상승하였으나 HAG-K v2.0 (Lee et al., 2021)의 목표이득에는 미치지 못하였다. 증폭역치가 HAG-K v2.0에 비해 낮게 나타난 것은 현재 시중에 출시한 보청기 제조사의 보청기적합 소프트웨어의 경우 음향피드백(acoustic feedback)을 방지하기 위해 고주파수 대역의 이득을 제한하고 있으며, 조절 후 보청기의 사용 기간이 2주로 음질에 대한 적응 기간이 충분하지 않아서 고주파수 대역의 이득을 목표이득까지 올리는 데 어려움이 있었기 때문이다. Plyler and Fleck(2006)의 연구에서도 3.0 kHz 이상의 주파수 대역의 SPL이 목표이득에 못 미치는 경향이 나타나 본 연구와 비슷한 경향을 나타냈다. 그리고 비증폭역치(unaided threshold)와 증폭역치의 차이인 기능이득(functional gain)과 고막 부근에서 측정된 삽입이득(insertion gain)은 이론적으로 같게 나타난다고 하였다(Dillon, 2012). 하지만 본 연구에서 증폭역치는 2.0, 3.0, 4.0, 8.0 kHz에서 조절 전에 비해 개선된 것으로 나타나 기능이득 또한 REIG에 비해 높게 나타났다. Cuda et al.(1922)은 기능이득과 삽입이득의 반복측정의 변동성을 확인한 연구에서 기능이득과 삽입이득의 차이는 5 dB 미만이었으나 표준편차가 11 dB로 보고하여 둘 간의 차이가 나타날 수 있음을 보고하였다. Stelmachowicz and Lewis(1988)는 3명의 감각신경성 난청인을 대상으로 기능이득과 삽입이득을 비교하였는데 많은 증폭이득의 개선으로 인해 기능이득이 더 높게 나타났음을 보고하였다. 그리고 Plyler and Fleck(2006)의 연구에서 고주파수 대역의 조절에 따른 어음인지도 및 심리음향적 변화를 확인하였는데 이 연구에서도 3.0 kHz 이상의 주파수 대역이 목표이득에 미치지 못 하는 현상이 나타났다. 기능이득과 삽입이득의 차이가 나타나는 이유는 이 외에 증폭역치와 실이측정 시 어음, 순음 등 보청기에 제시하는 신호음, 환기구, 음향피드백 제어 시스템, 잡음제어 기능 등에 의해 발생할 수 있을 것으로 보인다.

고주파수 대역의 이득 조절 전후의 K-IOI-HA는 25.2에서 28.6으로 개선되었다. Plyler and Fleck(2006)은 고주파수 대역(3, 4, 6 kHz)의 평균 HTL이 55 dB HL 이하 또는 이상인 감각신경성 난청인을 대상으로 고주파수 대역의 실이증폭반응(real-ear aided response)을 증가 또는 감소시켰을 때 어음인지도, abbreviated profile of hearing aid benefit (APHAB) 및 음질의 선호도를 확인하였다. 결과에서 두 그룹 모두 고주파수 대역의 이득을 제공하였을 때 주관적인 선호도가 증가하여 본 연구와 일치성을 나타냈다. 그리고 K-PHAB-Q에서는 EC와 LC 항목에서 의미 있는 개선이 나타났다. EC의 개선은 고주파수 난

청인에게 고주파수 정보를 제공함으로써 말소리 인지도 및 WRS가 향상되었다는 보고(French & Steinberg, 1947; Skinner, 1980; Sullivan et al., 1992)를 통해 그 이유를 찾을 수 있다. Dillon(2012)이 정리한 교재에서 수평방향성(horizontal localization)은 양 귀에 도달하는 음원의 이간시간차(interaural time difference)와 이간레벨차(interaural level difference)에 의해 결정되는데 이간레벨차는 1.5 kHz 이상의 주파수가 중요하다 하였다. 그리고 Moore(2003)는 고주파수 대역의 이득이 증가함으로써 인해 방향성이 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서는 대상자 중 9명의 양이 보청기 착용자가 참여하였으며, 고주파수 대역의 이득을 증가시킴으로써 인해 LC가 개선된 원인으로 볼 수 있다.

고주파수 대역의 이득 조절 후 10 dB와 5 dB SNR의 소음 하 WRS는 15.7%와 9%가 개선되었다. Plyler and Fleck(2006)는 고주파수 대역(3, 4, 6 kHz)의 평균 HTL이 55 dB HL 이하 또는 이상인 감각신경성 난청인을 대상으로 고주파수 대역의 실이증폭반응을 증가시켰을 때 조용한 곳 및 잡음 하에서 어음인지 능력의 향상을 기대할 수 있으며, 고주파수 대역의 이득을 제공해야 주관적 및 전반적인 선호도를 향상시킬 수 있다고 하였다. 또한 Skinner(1980)는 고주파수 대역의 이득 증가로 인해 언어인지 능력의 향상을 기대할 수 있다고 보고하여 본 연구와 일치성을 나타냈다.

음질평가에서 고주파수 대역의 조절 후 소리의 날카로움과 잡음의 크기에는 의미 있는 변화가 나타나지 않았다. Gatehouse and Killion(1993)은 새로운 소리에 대한 코르티(corti)의 변화를 신경연결망(neural connection)의 재결선(rewiring)에 근거한 순응(acclimatization)으로 설명하였는데, 이는 고주파수 대역의 이득을 증가시켰음에도 소리의 날카로움과 잡음의 크기에는 의미 있는 변화가 나타나지 않은 근거로 볼 수 있다. 그리고 문장의 소리의 울림과 문장의 선명도에는 의미 있는 차이가 나타났다. 본 연구에서 조절 후의 REIG는 고주파수 대역에서는 증가하였지만 저주파수 대역에서는 소폭 감소하여 소리의 울림에 영향을 준 것(Dillon, 2012; Park & Lee, 2019)으로 생각한다. 그리고 본 연구의 결과에서 고주파수 대역의 REIG를 증가시킨 이후 소음 하 WRS가 개선되었는데 이는 문장의 선명도가 증가한 이유로 생각해 볼 수 있다.

본 연구의 제한점을 살펴보면 첫째, Plyler and Fleck(2006)은 고주파수 대역의 평균 HTL을 55 dB HL 이하 또는 그 이상으로 구분하여 어음인지도 및 음질을 평가하였을 때 차이가 나타났는데 본 연구에서는 대상자의 HTL을 고려하지 않았다. 둘째, Jo et al.(2021)의 연구에서 개방적합과 폐쇄적합 보청기의 선호 REIG는 차이가 나타났다고 보고하였는데 본 연구에서는 보청기의 형태를 고려하지 않았다. 셋째, 보청기의 착용 기간은 소리

청취에 영향을 줄 수 있으며(Keidser et al., 2008), Gatehouse and Killion(1993)은 새로운 소리에 순응하기 위해서는 1달 전후의 기간이 필요하다고 하였는데 본 연구에서 고주파수 대역의 이득 조절 후의 적응 기간이 2주로 비교적 짧았다. 넷째, 현재 사용하고 있는 보청기적합 소프트웨어에서 이득 조절의 한계 및 대상자의 주관적인 거부반응으로 인해 REIG를 HAG-K v2.0의 목표이득으로 조절하는 데 한계가 있었다.

본 연구의 결과는 고주파수 대역의 이득의 증가는 난청인의 보청기 착용 만족도, 조용한 환경에서의 대화 능력, 잡음 하에서의 WRS, 소리의 울림 및 대화음의 선명도 등에 있어서 개선되는 것으로 나타났다. Plyler and Fleck(2006)의 연구에서도 지적하였듯이 감각신경성 난청이 발생하였을 때 고주파수 대역의 이득을 효과적으로 제공하여야 주관적 만족도 및 다양한 환경에서의 어음인지 능력을 향상시킬 수 있을 것이다. 따라서 청능재활 현장에서는 보청기의 전기음향 조절은 난청인의 주관적인 반응에만 의존하기보다는 순응(acclimatization) 기간에 따른 전기음향 및 심리음향적인 변화를 고려해야 할 것이다. 아울러 보청기 착용 시 다양한 환경에서 난청인의 의사소통 능력을 개선하기 위해서는 대상자의 주관적인 반응을 포함하여 음장에서의 증폭역치, 소음 하 WRS, 2-cc 커플러측정, 실이측정, 자가설문의 평가 내용 등을 종합적으로 판단하여 보청기의 이득을 조절하는 것이 효과적이다.

중심 단어: 보청기, 고주파수이득, 단어인지도, 음질, 실이삽입이득.

Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board of Hallym University of Graduate Studies (IRB # HUGSAUD 674235).

Acknowledgments

N/A

Declaration of Conflicting Interests

There is no conflict of interests.

Funding

This research was completed while being supported by National Research Foundation of Korea (NRF-2018R1A2B6001986).

Author contributions

Conceptualization: Kyoungwon Lee, Hyeryeong Jo. Data

curation: Hyeryeong Jo, Mikyung Lee, Jihun Kim, Eunchul Choi, Hyungoo Lee. Formal analysis: Kyoungwon Lee, Hyeryeong Jo. Funding acquisition: Kyoungwon Lee. Investigation: All authors. Methodology: Kyoungwon Lee. Project administration: Kyoungwon Lee. Resources: Kyoungwon Lee. Supervision: Kyoungwon Lee. Visualization: Kyoungwon Lee, Hyeryeong Jo. Writing—original draft: Hyeryeong Jo, Kyoungwon Lee. Writing—review & editing: All authors. Approval of final manuscript: All authors.

ORCID iD

Hyeryeong Jo <https://orcid.org/0000-0002-6631-7815>
 Mikyung Lee <https://orcid.org/0000-0002-2716-5169>
 Jihun Kim <https://orcid.org/0000-0003-2950-4635>
 Eunchul Choi <https://orcid.org/0000-0002-0869-8031>
 Hyungoo Lee <https://orcid.org/0000-0002-4259-8915>
 Kyoungwon Lee <https://orcid.org/0000-0002-1297-6436>

REFERENCES

- Bang, E. & Lee, K. (2020). A study on the preferred real-ear insertion gain of multi-channel hearing aid for the Korean with sensorineural hearing loss. *Audiology and Speech Research*, 16(2), 85-94.
- Ching, T. Y., Johnson, E. E., Seeto, M., & Macrae, J. H. (2013). Hearing-aid safety: a comparison of estimated threshold shifts for gains recommended by NAL-NL2 and DSL m[i/o] prescriptions for children. *International Journal of Audiology*, 52 Suppl 2(0 2), S39-S45.
- Chu, H., Cho, Y. S., Park, S. N., Byun, J. Y., Shin, J. E., Han, G. C., et al. (2012). Standardization for a Korean adaptation of the international outcome inventory for hearing aids: study of validity and reliability. *Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery*, 55(1), 20-25.
- Cox, R. M. (1999). Five years later: an update on the IHAFF fitting protocol. *The Hearing Journal*, 52(9), 10-12.
- Cuda, D., De Benedetto, M., & Leante, M. (1992). The variability of functional gain and insertion gain in hearing aid fitting. *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, 12(2), 143-151.
- Dillon, H. (1999). NAL-NL1: a new procedure for fitting non-linear hearing aids. *The Hearing Journal*, 52(4), 10-12.
- Dillon, H. (2012). *Hearing Aids*. (2nd ed.). Stuttgart, NY: Thieme.
- French, N. R. & Steinberg, J. C. (1947). Factors governing the intelligibility of speech sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 19(1), 90-119.
- Gatehouse, S. A. & Killion, M. C. (1993). HABRAT: hearing aid brain rewiring accommodation time. *Hearing Instruments*, 44(10), 29-32.
- Jo, H., Kong, H., Shin, S., Lee, M., Kim, K., Lee, H., et al. (2021). Comparison of preferred real-ear insertion gain between open-and closed-canal fitting hearing aids. *Audiology and Speech Research*, 17(2), 180-186.
- Keidser, G., Dillon, H., Carter, L., & O'Brien, A. (2012). NAL-NL2 empirical adjustments. *Trends in Amplification*, 16(4), 211-223.
- Keidser, G., Dillon, H., Flax, M., Ching, T., & Brewer, S. (2011). The NAL-NL2 prescription procedure. *Audiology Research*, 1(1), e24.
- Keidser, G., Dillon, H., Katsch, R., Byrne, D., Ching, T., Brewer, S., et al. (1999). NAL-NL1: a fitting rule for non-linear hearing instruments. In Rasmussen, A. N., Osterhammel, P. A., Andersen, T., & Poulsen T. *Auditory Models and Non-linear Hearing Instruments* (pp.403-414). Taastrup: GN ReSound.
- Keidser, G., O'Brien, A., Carter, L., McLelland, M., & Yeend, I. (2008). Variation in preferred gain with experience for hearing-aid users. *International Journal of Audiology*, 47(10), 621-635.
- Killion, M. C. & Fikret-Pasa, S. (1993). The 3 types of sensorineural hearing loss: loudness and intelligibility considerations. *The Hearing Journal*, 46(11), 31-36.
- Kim, D. & Lee, K. (2020). Development of Korean version of profile of hearing aid benefit-quick version. *Audiology and Speech Research*, 16(3), 196-205.
- Lee, K., Ahn, S., & Jo, H. (2021). Development of hearing aid gain for Korean hearing impaired version 2.0 considering levels and spectra of Korean conversational speech, and preferred gain. *Audiology and Speech Research*, 17(1), 29-34.
- Lee, K. W. & Kim, J. S. (2012). The study of frequency importance function of the Korean monosyllabic words. *Audiology*, 8(1), 24-33.
- Moore, B. C. (2003). *An Introduction to the Psychology of Hearing*. (5th ed.). Amsterdam: Elsevier Science.
- Park, J. & Lee, J. (2001). Effects of high-frequency hearing loss on speech recognition ability. *Communication Sciences and Disorders*, 6(1), 1-16.
- Park, J. & Lee, K. (2019). Comparison of occlusion effect between ear-tip type of receiver-in-canal hearing aids and completely-in-the-canal. *Audiology and Speech Research*, 15(2), 95-100.
- Pascoe, D. P. (1975). Frequency responses of hearing aids and their effects on the speech perception of hearing-impaired subjects. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 84(5 pt 2 Suppl 23), 1-40.
- Plyler, P. N. & Fleck, E. L. (2006). The effects of high-frequency amplification on the objective and subjective performance of hearing instrument users with varying degrees of high-frequency hearing loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49(3), 616-627.
- Sanders, J., Stoodt, T., Weber, J., & Mueller, H. G. (2015). Manufacturers' NAL-NL2 fittings fail real-ear verification. *The Hearing Review*, 21(3), 24-32.
- Seewald, R., Moodie, S., Scollie, S., & Bagatto, M. (2005). The DSL method for pediatric hearing instrument fitting: historical perspective and current issues. *Trends in Amplification*, 9(4), 145-157.
- Skinner, M. W. (1980). Speech intelligibility in noise-induced hearing loss: effects of high-frequency compensation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 67(1), 306-317.
- Stelmachowicz, P. G. & Lewis, D. E. (1988). Some theoretical considerations concerning the relation between functional gain and insertion gain. *Journal of Speech and Hearing Research*, 31(3), 491-496.
- Studebaker, G. A., Pavlovic, C. V., & Sherbecoe, R. L. (1987). A frequency importance function for continuous discourse. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 81(4), 1130-1138.
- Studebaker, G. A. & Sherbecoe, R. L. (1991). Frequency-importance and transfer functions for recorded CID W-22 word lists. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34(2), 427-438.
- Studebaker, G. A., Sherbecoe, R. L., & Gilmore, C. (1993). Frequen-

- cy-importance and transfer functions for the Auditec of St. Louis recordings of the NU-6 word test. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36(4), 799-807.
- Sullivan, J. A., Allsman, C. S., Nielsen, L. B., & Mobley, J. P. (1992). Amplification for listeners with steeply sloping, high-frequency hearing loss. *Ear and Hearing*, 13(1), 35-45.
- Valente, M. & Van Vliet, D. (1997). The independent hearing aid fitting forum (IHAFF) protocol. *Trends in Amplification*, 2(1), 6-35.
- Wong, L. L., Ho, A. H., Chua, E. W., & Soli, S. D. (2007). Development of the cantonese speech intelligibility index. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(4), 2350-2361.