

보청기적합공식과 한국의 연구 고찰

한림국제대학원대학교 청각학과,¹ 한림대학교 자연과학대학 언어청각학부 청각학전공, 청각언어연구소²

이 경 원¹ · 김 진 숙²

ABSTRACT

Review in Hearing Aid Prescription Methods and Its Considerations in Korean Studies

Kyoung-Won Lee¹ and Jin-Sook Kim²

¹Department of Audiology, Hallym Institute of Advanced International Studies, Seoul, Korea

²Department of Speech Pathology and Audiology, College of Natural Science, Hallym University, Chuncheon, Korea

In order to develop Korean hearing aid prescription method, this study examined features of gain, frequency response curves, saturation sound pressure level 90 (SSPL90), output sound pressure level 90 (OSPL90), compression threshold (CT), and compression ratio (CR), and attack time (AT)/release time (RT) of linear and non-linear hearing aids. Furthermore, Korean studies related to characteristics of physique, psychoacoustics, speech and language effects were summarized. Following review and summarization, several suggestions for Korean hearing aid prescription method were also presented. Results showed that there were some differences in gain and frequency response curves, SSPL90 or OSPL90 among each hearing aid prescription methods despite the similarity of race and languages. Several factors were considered for calculating CT, CR, AT and RT, dynamic range, speech audibility, signal-to-noise ratio and tonal quality. However there were no agreements on the calculation of those parameters because several preferred factors were not identical among hearing impaired people. Korean hearing aid prescription method is not developed yet. Currently when the hearing aids are imported, fitting softwares with hearing prescription methods come without consideration of differences in acoustic characteristics of Korean language. In conclusion, we strongly suggest that various fundamental studies should be explored for the effective method for aural rehabilitation in Korean hearing impaired listeners.

KEY WORDS : Fitting formula · Prescription method · Gain · SSPL90 · OSPL90.

INTRODUCTION

청각손실자의 청력 및 역동범위(dynamic range)의 개선, 어음청취력의 향상 등을 위해서는 청력손실의 종류, 정도 및 형태에 적절한 보청기의 이득(gain) 또는 주파수반응곡선(frequency response curve), 최대출력(saturation sound pressure level 90, SSPL90 또는 output sound pressure level 90, OSPL90), 압축역치(compression threshold, CT) 및 압축비율(compression ratio, CR) 등의 산출이 필요하다. 이를 위해서 영어 또는 이와 비슷한 언어를 사용하는 미국, 유럽 호주 등은 보청기처방법(hearing aid prescription method) 또는 보청기적합공식(hearing aid fit-

ting formula)을 개발하여 보청기적합에 이용하고 있다. 보청기처방법은 1980년대 후반부까지는 선형증폭기(linear amplification), 그 이후는 광역동범위압축(wide dynamic range compression, WDRC) 방식을 포함한 비선형증폭기(non-linear amplification)를 중심으로 발전하고 있다.

선형증폭기에 대하여 Lybarger³²⁾는 청력역치(hearing threshold level, HTL)의 1/2에 해당하는 값을 이득으로 정하는 1/2-이득법(a half-gain rule)을 제안하였으며, 이를 근간으로 Berger,¹³⁾ POGO(prescription of gain/output),³⁴⁾ NAL(national acoustic laboratories)¹⁸⁾ 그리고 NAL의 수정판인 NAL-R 등¹⁶⁾의 처방법이 탄생하였다. 선형증폭기의 처방법은 대부분 HTL을 기준으로 이득을 결정하며, 증폭된 소리를 난청인의 쾌적수준(most comfortable level, MCL)에서 들을 수 있도록 한다. 이때 저주파수가 고주파수의 인지를 방해하는 상향차폐(upward spread of masking)에 의해서 어음의 분별력이 저하하는 것을 막기 위해 저주파수의 이득을 줄이는 것이 특징이다.

논문접수일 : 2009년 10월 17일

심사완료일 : 2009년 11월 18일

교신저자 : 김진숙, 200-702 강원도 춘천시 한림대학길 39
한림대학교 자연과학대학 언어청각학부 청각학전공, 청각언어연구소
전화 : (033) 248-2213 · 전송 : (033) 256-3420

E-mail : jskim@hallym.ac.kr

비선형증폭기의 이득 처방은 주로 대화음 레벨인 60~70 dB SPL에 대한 이득뿐만 아니라 50 dB SPL 내외의 작은 소리, 90 dB SPL 내외의 큰 소리에 대한 이득을 각각 결정한다. 이러한 비선형증폭기의 처방법은 크게 음량의 정상화(loudness normalization) 또는 어음이해도의 극대화(speech intelligibility maximization)를 목적으로 만들어 졌다. 음량의 정상화는 난청인의 비정상적인 음량증가(loudness growth)의 지각 방식을 정상인과 비슷하게 하는 방법으로 IHAFF(independent hearing aid fitting forum),²⁰⁾ ScalAdapt(adaptive fitting of hearing instruments by category loudness scaling),³⁰⁾ Fig. 6,³¹⁾ VIOLA(visual input/output locator algorithm)²²⁾ 등의 처방법이 개발되어 있다. 그러나 음량지각의 정상화가 난청인의 어음의 청취력과 이해도에 있어서 최선은 아니라는 논란이 있다.¹⁵⁾ 이를 근거로 NAL-NL1 처방법은 특정한 음량에서 어음 이해도의 극대화를 목적으로 개발되었으며,¹⁷⁾²³⁾ 앞서 열거한 음량의 정상화를 목적으로 하는 처방법과 대조를 이루고 있다. 이 외에도 장기평균어음스펙트럼(long-term average speech spectrum, LTASS)이 실이증폭이득(real-ear aided gain)의 목표치에 도달하게 하는 DSL I/O(desired sensation level input/output)¹⁹⁾ 처방법 등이 현재 사용되고 있다. 비선형보청기 처방법은 이득 외에 CT 및 CR, 압축시간(attack time, AT) 및 해제시간(release time, RT) 등을 결정하기 위한 구체적인 수치를 제공하고 있지만 그 방법에 대해서는 현재까지도 논란이 계속되고 있다.¹⁷⁾²⁹⁾

한국의 경우는 프로그램식 보청기(programmable hearing aid)와 보청기적합 소프트웨어(hearing aid fitting software)를 대부분 미국, 유럽, 호주 등에서 수입하고 있으며, 보청기적합 역시 보청기적합 소프트웨어 내에 내장되어 있는 서구에서 개발한 보청기처방법을 이용하고 있다. 그러나 한국 감각신경성 난청인의 선호이득(preferred gain)과 N-

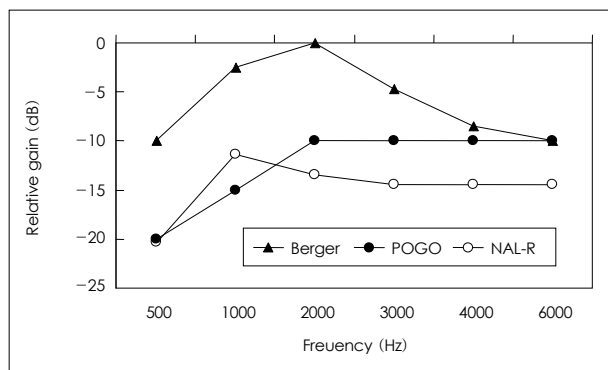


Fig. 1. Relative gain of hearing aid prescription methods of Berger, POGO and NAL-R for 60 dB HL of flat type audiogram.

AL-NL1 그리고 한국어음과 영어음의 LTASS 등에 있어서 차이가 있음을 보고하였듯이⁴⁾⁵⁾ 한국 난청인에 대한 효과적인 보청기 적합을 위해서 한국 난청인의 심리음향, 신체 및 언어적인 특성에 알맞은 보청기처방법의 개발이 필요하다.

본고에서는 한국 난청인에 대한 보청기처방법의 개발을 위하여 선형 및 비선형 증폭기의 처방법에 대하여 살펴보았다. 또한 청각적인 특징과 관련하여 한국인의 신체, 심리음향, 언어 등에 대한 연구를 살펴보고 요약 정리하여 한국형 보청기 처방법 개발에 대한 의견을 제시하였다.

METHODS AND RESULTS

선형증폭기의 처방법

선형증폭기에 대한 처방법의 특징을 알아보기 위하여 Berger, POGO 및 NAL-R 등 각각의 처방법에 HTL이 60 dB HL의 수평형 청력역치를 기준으로 이득을 산출하여 비교하였다. <Fig. 1>에서 증폭처방법의 실이삽입이득(real-ear insertion gain, REIG)을 비교해 보면, Berger 처방법은 4,000 Hz 이하의 모든 주파수에서 가장 높은 이득을 나타냈는데, 저주파수로 갈수록 더 큰 차이를 보였다. POGO 법과 NAL-R법의 REIG는 모두 전 주파수에서 Berger법에 비해 낮게 나타났으나, 1,000 Hz 이하에서는 POGO법, 2,000 Hz 이상에서는 NAL-R법이 낮게 나타났다.

Berger 처방법은 Lybager의 1/2-이득법을 근거로 일반적인 대화음 레벨에 보청기의 이득을 더한 값이 난청인이 들을 수 있는 평균적인 대화음 수준에 이르도록 하는 것이며, 과도한 저주파수의 증폭으로 인하여 어음이해도와 관계가 있는 고주파수를 차폐하는 것을 막기 위해 저주파수의 이득을 줄였다. POGO 처방법은 증폭된 소리가 난청인의 MCL에 이르도록 계산하였으며, 처음에는 80 dB HL 이하의 청력손실자를 위해서 고안하였으나, 차후에 HTL이 65 dB HL 이상에서는 청력손실이 1 dB 증가할 때 이득이 1 dB 증가하는 POGO II³⁷⁾로 수정하였다. 한동안 선형증폭기의 처방법으로 널리 사용했던 NAL-R은 난청인의 선호 이득에서 어음명료도를 최대로 산출하며, LTASS의 형태가 각각의 주파수에서 MCL 수준인 60 폰곡선(phone curve)에 이르도록 한 NAL 처방법을 Byrne & Dillon¹⁶⁾이 수정한 것으로 500, 1,000 및 2,000 Hz의 평균 청력역치에 대한 1/2 값(실제로는 0.46)을 이득으로 정하였다.

비선형증폭기의 처방법

본고에서는 NAL-NL1, Fig. 6 및 IHAF-T(IHAF-threshold version) 등 비선형증폭기 대한 처방법을 분석

하기 위하여 모든 주파수에서 60 dB HL의 기도 및 골도의 청력역치를 National Acoustic Laboratories Australian Hearing Service 사의 NAL-NL1(version 0.9) 보청기 적합 소프트웨어에 입력하여 결과를 비교하였다. 보청기의 형태는 외이도형(in-the-canal, ITC) 및 고막형(completely in-the-canal, CIC)을 선택하였으며, 실이공명반응(real-ear unaided response) 및 실이대커플러차(real-ear to coupler difference)는 소프트웨어에 내장되어 있는 예측 값(predicted value)을 사용하였다. ITC 및 CIC 모두 직경 1.0 mm의 환기구(vent)가 있는 2-채널의 증폭기를

선택하였다.

이득, 주파수반응곡선 그리고 OSPL90

<Fig. 2>는 청력손실이 모든 주파수에서 60 dB HL일 때 NAL-NL1, Fig. 6 및 IHAFF-T의 처방법에서 입력음압 50, 70 및 90 dB SPL에 대한 2-cc 커플러 이득(coupler gain)을 NAL-NL1 소프트웨어 상에서 구한 것으로 (A)는 ITC 그리고 (B)는 CIC의 입력음압 별 이득을 나타낸 것이다. 실제의 보청기적합 소프트웨어에서 Fig. 6과 IHAFF-T 처방법에서 이득의 결정은 작은 소리, 보통 크기 및 큰

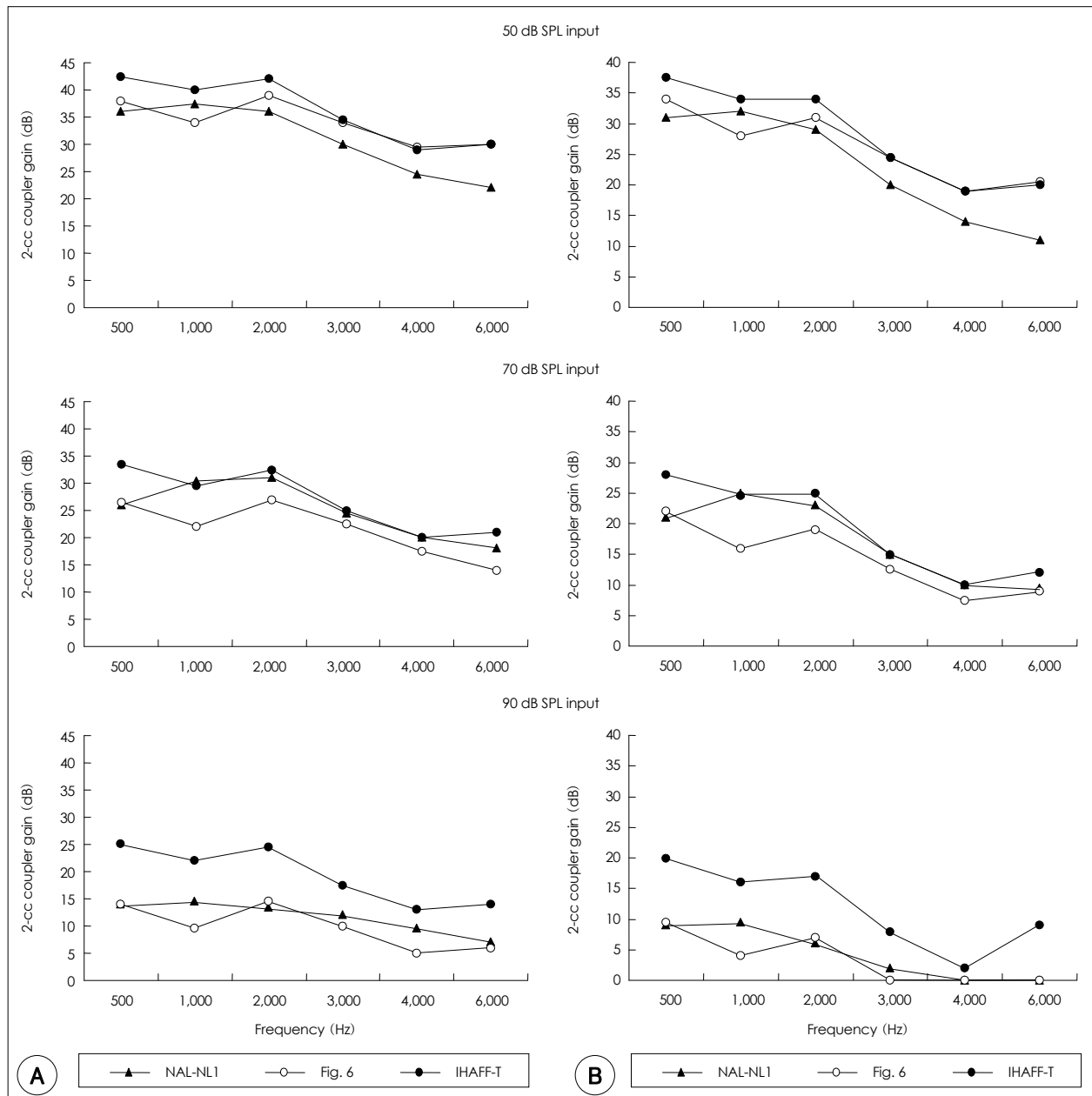


Fig. 2. 2-cc coupler gain of NAL-NL1, Fig. 6 and IHAFF-T methods in 50, 70 and 90 dB SPL for 60 dB HL of flat type. A : ITC type. B : CIC type.

소리의 음압에 대하여 Fig. 6은 40, 65 및 95 dB SPL, IHAFf-T는 50, 65 및 85 dB SPL로 정하고 있다.

<Fig. 2>의 A와 B에서 50 dB SPL에 대한 2-cc 커플러 이득은 ITC와 CIC 모두 NAL-NL1이 가장 낮게 나타났으며, 70 dB SPL에 대한 2-cc 커플러 이득은 NAL-NL1과 IHAFf-T가 비슷하며, 모든 주파수에서 Fig. 6에 비해서 높게 나타났다. 90 dB SPL의 2-cc 커플러 이득은 IHAFf-T가 가장 높았으며, NAL-NL1과 Fig. 6은 비슷하게 나타났다. 이 결과에서 IHAFf-T 처방법의 2-cc 커플러 이득은 모든 입력음압에 대해서 다른 처방법에 비해서 높은 편이며, IHAFf-T와 Fig. 6 처방법은 WDRC 증폭방식으로 음량증가의 정상화를 목표로 하고 있음을 알 수 있다. 그러나 NAL-NL1 처방법은 50 dB SPL 입력음압에 대한 이득이 IHAFf-T에 비해서 낮았으나, 70 dB SPL에 대한 이득이 비슷하여 CT가 Fig. 6와 IHAFf-T 처방법에 비해서 높음을 알 수 있다.

보청기의 형태에 따른 이득의 차이는 세 가지 보청기 처방법 모두 모든 주파수에서 ITC가 CIC에 비해 2-cc 커플러 이득이 높게 나타났다. 2-cc 커플러 이득은 500 Hz에서 4.0~5.5 dB의 차이를 보이다가 주파수가 높아질수록 그 차이가 증가하였으며, 6,000 Hz에서 5~11 dB까지 증가하였다. 그러나 6,000 Hz에서 형태 별 2-cc 커플러 이득의 차이는 입력음압 90 dB SPL에 비해 50 dB SPL에서 더 큰 차이를 나타냈다.

압축역치 및 압축비율

CT는 ITC의 경우 47 dB SPL로 NAL-NL1이 가장 높았으며, 가장 낮은 IHAFf-T는 35 dB SPL 이하로 전형적인 WDRC의 형태를 나타냈다. CIC의 경우는 NAL-NL1이 50 dB SPL로 조금 높았으나 다른 보청기 처방법에서는 보청기의 형태에 따른 CT의 변화는 없었다(Table 1).

CR은 보청기 형태의 변화에 따른 차이는 없었다. 그러나 보청기 처방법 간의 비교에서 Fig. 6이 2.5 : 1로 가장 높았으며, NAL-NL1이 1.8 : 1로 가장 낮았다(Table 1). 이 결과에서 낮은 CT 및 높은 CR의 Fig. 6와 IHAFf-T 처방법은 난청인의 음량증가를 정상화하기에 유리하며, NAL-NL1 처방법의 경우는 음량증가의 정상화 보다는 어음이해도에 초

점을 맞춘 것으로 풀이할 수 있다.

30 dB SPL 내외의 낮은 CT는 에너지가 작은 어음, 특히 자음의 청취 그리고 감각신경성 난청인의 역동범위를 정상화 하는데 효과적이다. 그러나 Barker & Dillon,¹¹⁾ Barker 등¹²⁾의 연구에 의하면 중도에서 심도의 난청인은 CT는 40~57 dB SPL 보다는 65 dB SPL 또는 그 이상의 CT를 선호한다고 보고하여 논란을 제기하였다. Boike & Souza,¹⁴⁾ Hornsby & Ricketts,²⁷⁾ Souza & Kitch³⁸⁾ 등은 CR이 3 : 1 또는 4 : 1 이상 증가할수록 소음 하에서의 단어인지도 및 음질이 나빠진다고 하였으며, Barker 등¹²⁾은 고심도 난청인의 경우 CR이 2 : 1이며, CT가 낮은 WDRC의 경우 조용한 곳에서 음향피드백(acoustic feedback)을 유발하거나, 음량의 지각에 있어서 문제점이 있을 수 있다고 하였다. 또한 Keidser 등²⁹⁾의 연구에서는 선호하는 주파수반응곡선 및 CR은 어음이해도 보다는 듣기 편안한 소리 즉, 청력역치, 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR) 등에 의해 결정되며, 높은 CR은 편안한 소리를 들려주지만 어음이해도를 높여주는 것은 아니라고 보고하였다. 그러나 현재까지 난청인의 청력손실 정도에 따른 CR과 CT는 어느 것이 최선인지에 대해서는 많은 논란이 있다.¹⁷⁾²⁹⁾

압축시간 및 해제시간

최근 보청기의 압축방식은 빠른반응압축(fast acting compression) 및 느린반응압축(slow acting compression)을 사용하고 있다. 빠른반응압축은 음절압축(syllabic compression)이라고도 하며 AT가 10 ms 이하, RT는 50~200 ms 그리고 느린반응압축은 AT가 100 ms, RT가 400 ms 이상인 경우로 정의하고 있다.²⁶⁾³⁵⁾ 압축은 AT 및 RT에 따라 증폭된 어음은 독특한 스펙트럼을 갖는데, 빠른반응압축은 무의미 음절에서 자모음비(consonant-to-vowel ratio)를 높일 수 있으며,²⁸⁾ 이로 인해 고주파수 성분인 자음의 청취력을 향상하여 어음의 청취력을 높일 수 있다.³⁵⁾³⁹⁾⁴⁰⁾ 그러나 빠른반응압축의 경우 <Fig. 3>의 (A)와 같이 자음뿐만 아니라 잡음 또한 증폭하여 SNR이 저하될 우려가 있다. 느린반응압축은 <Fig. 3>의 (B)와 같이 자모음비가 원음과 비슷하지만, 주변소음을 제어하여 SNR을 높일 수 있는 이점이 있다. Hansen²⁵⁾은 40, 400 ms에 비해서 4초 이상의 긴 RT를 선호한다고 하였으며, Neuman 등³⁶⁾은 난청인이 대화할 때 RT가 60에서 1,000 ms로 증가하면

Table 1. CT & CR of each hearing aid prescription methods in ITC & CIC

	Compression threshold (dB SPL)		Compression ratio	
	ITC	CIC	ITC	CIC
NAL-NL1	47	50	1.7 : 1	1.8 : 1
Fig. 6	38	38	2.5 : 1	2.5 : 1
IHAFf-T	<35	<35	2.1 : 1	2.2 : 1

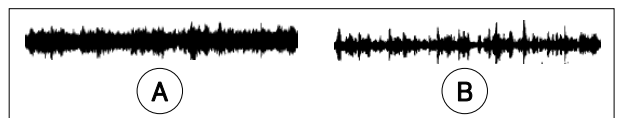


Fig. 3. Speech spectrum by fast (A) and slow (B) acting compression.

쾌적도(pleasantness)는 증가하고, 주변잡음은 감소한다고 하였다.

AT를 활용하면 어음의 청취능력을 향상하거나 소음을 적절하게 제어하는데 효과적이지만²⁶⁾ 현재 사용하고 있는 보청기적합 소프트웨어에서는 AT 및 RT를 조절할 수 없는 경우가 대부분이어서 보청기 적합을 통한 SNR 및 자모음비의 조절에 한계가 있다.

한국의 보청기 처방법에 관한 연구

보청기의 처방법을 개발하기 위해서는 정상 및 난청인의 HTL, MCL 및 불쾌수준(uncomfortable level)을 포함한 음량증가, 선호하는 음질 등의 심리음향적(psychoacoustics)인 특징, 실이공명반응, 실이대커플러차 등의 신체적인 특징, 평균대화음 레벨, 어음스펙트럼(speech spectrum) 등 언어적인 특징을 고려하여야 한다. <Table 2>에서 보청기의 처방법과 관련하여 그동안 한국에서 이루어진 연구 내용을 요약 정리하였다.

한국인의 심리음향적인 특징을 나타낸 연구에서 서욱기 등²⁾은 정상, 전음성 및 감각신경성 난청인의 DR을 비교하였으며, 신은영 등³⁾은 한국 정상성인의 음량증가에 대한 연구를 하였는데, Cox 등²¹⁾과 Elberling²⁴⁾의 연구와 크게 다르지는 않았다. 그러나 감각신경성 난청인의 선호이득을 NAL-NL1과 비교한 이경원 등⁵⁾의 연구에서는 3,000 Hz를 제외한 모든 주파수에서 한국 난청인의 선호이득이 NAL-NL1에 비해 낮다고 보고하여 차이를 보였다(Fig. 4).

신체적인 특징을 나타내는 연구에서 이정학 & 유경⁷⁾은 커플러이득과 실이삽입이득을 비교하였는데 삽입이득기준 커플러이득(coupler response for a flat insertion gain)은 주파수가 높아질수록 증가하였으며, 2,000 Hz까지는 Lybarger & Teder³³⁾의 연구와 비슷하지만 4,000 Hz에서는 10 dB 정도 높게 나타났다고 보고하였다. 이미소 등⁶⁾의 연구에서는 실이착용이득과 1-cc 커플러 이득을, 이정학 & 유경⁷⁾의 연구에서는 유소아와 성인의 실이반응과 2-cc 커

플러반응을 비교하였는데 주파수가 증가할수록 실이대커플러차 증가하는 특징을 나타냈다. 방은주 등¹⁾의 연구에서는 실이대다이얼차(real-ear to dial difference)의 검사 재검사 신뢰도를 연구하였는데, 크기는 2,000 및 3,000 Hz에서 19 dB 정도의 차이를 보였다. 이는 서구인과 동양인의 신체적인 특징에 있어서 차이가 있음을 시사하고 있는 것으로 생각한다.

어음의 특징을 나타내는 연구에서 이주현 등⁹⁾은 한국어 음소의 주파수 특성에 관한 연구에서 한국어 음소의 주파수

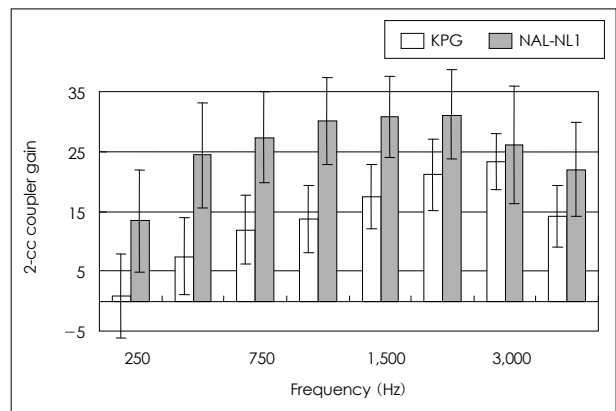


Fig. 4. Differences between Korean preferred gain and NAL-NL1 prescription method of 2-cc coupler (60 dB SPL input).

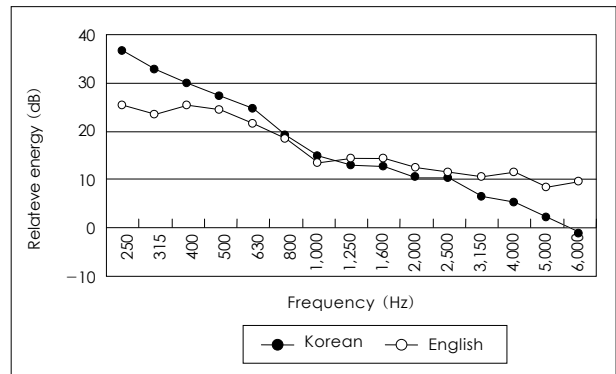


Fig. 5. Differences of LTASS between English and Korean.

Table 2. Korean studies regarding as hearing aid prescription method

구분	연구자(발표년도)	연구내용
심리음향적특성	서욱기 등(2001)	청력손실의 종류에 따른 불쾌역치와 역동범위 ²⁾
	신은영 등(2008)	정상 성인의 음량증가 특성 ³⁾
	이경원 등(2008)	단측 보청기 착용 시 한국 난청 성인의 선호이득 비교 ⁵⁾
신체적인 특성	이정학 · 유 경(2002)	커플러이득과 실이삽입이득의 비교 ⁷⁾
	이미소 등(2002)	성인의 실이착용이득과 1-cc 커플러이득의 비교 ⁶⁾
	이정학 등(2004)	유소아와 성인의 실이반응과 2-cc 커플러반응의 비교 ⁸⁾
	방은주 등(2007)	실이대다이얼차(REDD)의 검사 재검사 신뢰도 ¹⁾
한국어의 특성	이주현 등(2005)	한국어음의 주파수 특성에 관한 연구 ⁹⁾
	한희경(2008)	한국어음의 0 dB HL ¹⁰⁾
	이경원 등(2008)	한국어 다화자잡음 및 장기평균어음스펙트럼(LTASS) ⁴⁾

영역이 영어와는 다른 주파수적인 특성을 보고하였으며, 한희경¹⁰⁾의 연구에서는 TDH-49/50 헤드폰을 사용했을 때 0 dB HL의 기준음압(reference sound pressure level)은 25~26 dB SPL로 영어음보다 5~6 dB 높게 나타났다고 보고하였다. 또한 이경원 등⁴⁾의 연구에서는 한국어음의 LTASS를 연구하였는데 영어음과 비교했을 때 한국어음의 모음과 자음 에너지의 차이가 더 크게 나타났다고 보고하였다(Fig. 5).

CONCLUSIONS

이상에서 살펴 본 바와 같이 청력손실 정도 및 종류에 따른 보청기의 이득 및 주파수반응곡선 그리고 SSPL90 또는 OSPL90은 비슷한 인종 및 언어를 사용하는 경우에도 각 처방방법 간에 차이가 있다. 그리고 효과적으로 CT 및 CR, AT 및 RT를 결정하기 위해서 역동범위, 어음청취력, SNR, 음질 등을 고려해야 하지만, 실제 난청인의 선호하는 여러 가지 요인 등으로 인해 이 부분에 대해서는 현재까지도 많은 논란이 있어서 결론을 내리지 못하고 있으며, 연구가 진행 중에 있다.

외국에서 제작한 보청기를 보청기 처방방법을 포함한 보청기적합 소프트웨어와 함께 수입하여 사용하고 있는 한국의 경우 보청기 처방방법에 대한 연구가 현재까지 부족한 실정이다. 따라서 한국 난청인에 대한 효과적인 보청기 적합을 위해서는 한국형 보청기 처방방법의 개발이 필요하며, 보청기 처방방법을 완성하기 위해 필요한 구체적인 연구를 요약 정리하면 다음과 같다.

1) 정상 및 난청인의 음량증가, 선호하는 음질, 이득, 압축역치 및 압축비율, 압축시간 및 해제시간 등 심리음향적인 특징

2) 외이공명반응, 실이대커플러차, 실이대다이얼차 등 신체적인 특징

3) 평균대화음레벨, 장기평균어음스펙트럼, 자모음비 등 언어음의 특징

4) 심리사회적(psychosocial)인 특성 등

중심 단어 : 보청기처방법 · 보청기적합공식 · 이득 · 최대출력.

REFERENCES

- 방은주, 조수진, 조소현. 실이대다이얼차의 검사-재검사 신뢰도에 관한 연구. 청능재활. 2007;3(1):85-87.
- 서욱기, 정명현, 이정학. 청력손실의 종류에 따른 불쾌역치와 역동범위 고찰. 대한청각학회지. 2001;5(2):111-119.
- 신은영, 김대영, 박한, 변혜민, 이성민, 윤지은, 이경원. 정상청력을 가진 한국 성인의 음량증가의 특성. 청능재활. 2008;4(1):64-68.
- 이경원, 이재희, 이정학. 한국어음을 이용한 다화자잡음의 개발 시안. 청능재활. 2008;4(1):24-27.
- 이경원, 이재희, 이정학. 단측 보청기 착용 시 한국 감각신경성 난청 성인의 2-cc 커플러이득과 NAL-NL1의 비교. 청능재활. 2008;4(1):69-73.
- 이미소, 이정학, 김진숙, 홍성화. 성인의 외이도형 보청기 착용 시 실이착용이득과 1cc 커플러이득의 비교. 대한청각학회지. 2002;6(2):136-141.
- 이정학, 유 경. 커플러이득(coupler gain)과 실이삽입이득(RE-IG)의 비교연구. 한국언어청각임상학회. 2002;7(3):179-189.
- 이정학, 이한아, 전영명. 유소아와 성인의 실이반응과 2 CC 커플러반응의 비교. 한국청각학회 발표자료;2004.
- 이주현, 장현숙, 정한진. 한국어 음소의 주파수 특성에 관한 연구. 청능재활. 2005;1(1):59-66.
- 한희경. A study on the reference sound pressure level used for Korean speech audiometer. 한림대학교 대학원 석사학위 논문;2008.
- Barker C, Dillon H. Client preferences for compression threshold in single-channel wide dynamic range compression hearing aids. Ear Hear. 1999;20:127-139.
- Barker C, Dillon H, Newall P. Fitting low ratio compression to people with severe and profound hearing losses. Ear Hear. 2001;22:130-141.
- Berger K. The hearing aid-its operation and development. Livonia, MI: National Hearing Aid Society. 1984. in H Dillon. Hearing Aids. New York, Thieme;2001. p.236.
- Boike KT, Souza PE. Effect of compression ratio on speech recognition and speech-quality ratings with wide dynamic range compression amplification. J Speech Lang Hear Res. 2001;43:456-468.
- Byrne D. Hearing aid selection for the 1990s: Where to? J Am Acad Audiol. 1996;7:377-395.
- Byrne D, Dillon H. The National Acoustic Laboratories (NAL) new procedure for selecting the gain and frequency response of a hearing aid. Ear Hear. 1986;7:257-265.
- Byrne D, Dillon H, Katsch R, Ching T, Keidser G. NAL-NL1. procedure for fitting non-linear hearing aids: Characteristics and comparisons with other procedures. J Am Acad Audiol. 2001;12:37-51.
- Byrne D, Tonisson W. Selecting the gain of hearing aids for persons with sensorineural hearing impairments. Scand Audiol. 1976;5:51-59.
- Cornelisse L, Seewald R, Jamieson D. The input/output formula: a theoretical approach to the fitting of personal amplification devices. J Acoust Soc Am. 1995;97:1854-1864.
- Cox RM. Using loudness data for hearing aid selection: The IHAFF approach. Hear J. 1995;48(2):10, 39-44.
- Cox RM, Alexander GC, Taylor IM, Gray GA. The contour test of loudness perception. Ear Hear. 1997;18:388-400.
- Cox RM, Flamme GA. Accuracy of predicted ear canal speech levels using the VIOLA input/output-based fitting strategies. Ear Hear. 1998;19:139-148.
- Dillon H. NAL-NL1: A new prescriptive fitting procedure for non-linear hearing aids. Hear J. 1999;52(4):10-16.
- Elberling C. Loudness Scaling Revisited. J Am Acad Audiol. 1999;10(5):248-260.
- Hansen M. Effects of multi-channel compression time constants on subjectively perceived sound quality and speech intelligibility. Ear Hear. 2002;23:369-380.
- Henning RLW, Bentler RA. The effects of hearing aid compression parameters on the short-term dynamic range of continuous speech. J Speech Lang Hear Res. 2008;51:471-484.
- Hornsby BWY, Ricketts TA. The effects of compression ratio, signal-to-noise ratio, and level on speech recognition in normal-hearing listeners. J Acoust Soc Am. 2001;109(6):2964-2973.
- Jenstad LM, Souza PE. Quantifying the effect of compression hearing aid release time on speech acoustics and intelligibility. J Speech Lang Hear Res. 2005;48:651-667.
- Keidser G, Grant F. The Preferred Number of Channels (One, Two, or

- Four) in NAL-NL1 Prescribed Wide Dynamic Range Compression (WDRC) Devices. *Ear Hear.* 2001;22:516-527.
30. Kiessling J, Schubert M, Archut A. Adaptive fitting of hearing instruments by category loudness scaling (ScalAdapt). *Scand Audiol.* 1996; 25:153-160.
 31. Killion M, Fikret-Pasa S. The 2 types of sensorineural hearing loss. Loudness and intelligibility considerations. *Hear J.* 1993;46(11):31-34.
 32. Lybarger SF. (July 3, 1944). U.S. Patent Application SN 543. 278. In: H Dillon. *Hearing Aids.* New York, Thieme;2001. p.236.
 33. Lybarger SF, Teder H. 2 cc coupler curves to insertion gain curves: Calculated and experimental results. *Hear Instrum.* 1986;37:36-40.
 34. McCandless GA, Lyregaard PE. Prescription of gain/output (POGO) for hearing aids. *Hear Instrum.* 1983;34(1):16-17, 19-21.
 35. Muller TF, Harris FP, Ellison JC. Effect of release time on preferred gain and speech acoustics. *J Am Acad Audiol.* 2004;15(9):605-615.
 36. Neuman AC, Bakke MH, Mackersie C, Hellman S, Levitt H. Effect of release time in compression hearing aids: paired-comparison judgments of quality. *J Acoust Soc Am.* 1995;98:3182-3187.
 37. Schwartz D, Lyregaard P, Lundh P. Hearing aid selection for severe-to-profound hearing loss. *Hear J.* 1988;41(2):13-17.
 38. Souza PE, Kitch V. The contribution of amplitude envelope cues to sentence identification in young and aged listeners. *Ear Hear.* 2001; 22:112-119.
 39. Souza PE, Turner CW. Multichannel compression, temporal cues, and audibility. *J Speech Lang Hear Res.* 1998;41:315-326.
 40. Van Tasell DJ. Hearing loss, speech, and hearing aids. *J Speech Lang Hear Res.* 1993;36:228-244.