

Comparisons of Sentence Recognition Scores and Preferences according to Compression Types in a Multi-Channel Hearing Aid

Suyeon Shin^{1,2}, Kyoungwon Lee²

¹SSY Aural Rehabilitation Center, Daejeon, Korea

²Department of Audiology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

다채널보청기의 압축 방식에 따른 문장인지도와 선호도의 비교

신수연^{1,2} · 이경원²

신수연보청기청능재활센터¹, 한림국제대학원대학교 청각학과²

Purpose: The aims of this study were to investigate the sentence recognition score (SRS), clarity of speech sounds, perception of changes in the background noise and differences in the overall preference according to the compression types in a multi-channel hearing aid.

Methods: 19 subjects (21 ears) with moderate to severe sensorineural hearing loss (SNHL) participated in this study. The compression methods of hearing aids were adjusted to implement the base increase at low level (BILL), treble increase at low level (TILL), and Multi-channel compression (MCC), and the compression ratio in these cases was 2 : 1. After varying the compression methods of the hearing aid according to the frequency band, the SRS, clarity of speech sounds, perception of changes in the background noise, and overall preference for the sound quality were investigated in a quiet, 6 dB and 0 dB signal-to-noise ratios (SNRs). **Results:** For SRS, scores of MCC were higher than those of either BILL or TILL in the case of a quiet and 6 dB SNR, and no difference in SRS was found between BILL and TILL. In the subjective evaluation, MCC and BILL were found to have higher scores than TILL, while there was no difference between BILL and MCC. **Conclusion:** This study confirmed that for Korean with SNHL, it was effective in terms of the SRS or clarity of speech sounds to implement compression for all frequencies. However, it is considered necessary to conduct further research upon the effective compression ratio and compression threshold according to the hearing threshold level for adequate electroacoustic adjustment of hearing aids for Korean with hearing impairment.

Key Words: Bass increase at low level, Treble increases at low level, Multi-channel compression, Compression ratio, Signal-to-noise ratio, Non-linear hearing aid.

Received: August 12, 2016 / **Revised:** September 21, 2016 / **Accepted:** September 30, 2016

Correspondence: Kyoungwon Lee, Department of Audiology, Hallym University of Graduate Studies, 405 Yeoksam-ro, Gangnam-gu, Seoul 06198, Korea
Tel: +82-2-2051-4951 / Fax: +82-2-3453-7833 / E-mail: hearing1004@naver.com

INTRODUCTION

현재 보청기의 기술은 디지털 기술의 접목으로 난청인의 의사소통 능력의 개선에 많은 도움을 주고 있다. 최근까지의 보청기의 기술을 간략히 살펴보면 채널 수의 증가, 음향피드백, 폐쇄효과, 잡음 등의 효과적인 제어, 난청인이 듣기 힘든 고주파수 대역의 정보를 잔존청력이 남아 있는 주파수 대역에서 듣게 하는 주파수하강(frequency lowering), 양측에 착용한 보청기의 정보를 서로 교환하여 신호를 처리하는 양이통신 등이 있다

(Bohnert et al., 2010; Glista et al., 2009; Lee, 2014). 그러나 보청기의 기술이 발전했음에도 불구하고 내이의 손상으로 인해 역동범위가 감소한 감각신경성난청인에게 보청기를 적합할 경우에는 상기의 보청기 기술과 아울러 비선형의 증폭 특성 및 조절 방식에 대한 이해가 필요하다.

비선형 보청기의 전기음향적 조절 파라미터는 이득, 최대출력(maximum power output) 또는 OSPL90 (output sound pressure level for 90 dB input sound pressure level), 압축비율(compression ratio, CR), 압축역치(compression threshold,

CT), 압축시간(attack time, AT), 해제시간(release time, RT) 등이 있다. 여기에서 압축과 관련된 CR과 CT는 감각신경성난청인의 좁은 역동범위와 관련이 있다. 일반적으로 CR은 청력역치레벨의 증가로 인해 역동범위가 좁을수록 CR은 높아진다. 그러나 3 : 1 이상의 높은 CR은 단어인지도(word recognition score, WRS)나 소음 하에서의 음질에 나쁜 영향을 줄 수 있다(Boike & Souza, 2000; Hornsby & Ricketts, 2001; Souza & Kitch, 2001). 그리고 CT는 낮을수록 청력역치레벨의 개선으로 인하여 작은 소리 또는 어음취취력이 증가한다. 그러나 중도에서 심도의 감각신경성 난청인은 일반 대화음수준인 65 dB SPL 또는 그 이상의 CT를 선호한다는 보고가 있었다(Barker & Dillon, 1999; Choi & Lee, 2011). AT와 RT는 빠르게 또는 느리게 조절하여 주변의 다양한 소리와 어음의 주파수 및 강도적인 요소에 변화를 주어 감각신경성난청인의 어음 인지에 도움을 줄 수 있다. 즉, AT와 RT를 빠르게 설정하여 자모음비(consonant-to-vowel ratio)를 개선할 수 있으며(Jenstad & Souza, 2005; Van Toor & Verschuure, 2002), 해제시간을 느리게 설정하여 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)를 개선할 수 있다(Gatehouse et al., 2006; Hansen, 2002).

비선형 보청기는 저음역압축(bass increase at low levels, BILL)과 고음역압축(treble increases at low levels, TILL) 방식으로 간단하게 분류할 수 있다. 각각의 압축 방식에 따른 특징을 간단히 살펴보면 보청기로 유입되는 음압이 감소할 때 BILL은 저주파수 대역의 이득이 증가하는 것으로 SNR이 개선되어 소음 하에서 어음의 인지력을 높여줄 수 있다. TILL은 고주파수 대역의 이득이 증가하는 것으로 자모음비의 개선에 효과적이다. 그리고 후에 등장한 다채널압축(multi-channel compression, MCC) 방식은 BILL과 TILL의 기능을 함께 수행할 수 있는 장점을 가지고 있어서 다양한 청취 환경에서 난청인의 어음 인지에 많은 도움을 줄 수 있다(Lee & Lee, 2005).

여러 연구에서 한국어는 어음스펙트럼(Lee et al., 2008; Von Hapsburg & Bahng, 2006) 및 대역중요기능(band-importance function) (Jin et al., 2015; Lee & Kim, 2012)에 있어서 영어와 차이가 있음을 보고하였다. 그럼에도 불구하고 최근까지 BILL, TILL, MCC 등 증폭 방식에 따른 한국어음의 인지도, 선호도 등에 대한 연구가 부족하다. 이에 본 연구에서는 다채널 보청기의 증폭 방식을 BILL, TILL 그리고 MCC로 조절하고 배경잡음의 SNR을 다양하게 설정하여 감각신경성난청인에게 들려주었을 때 문장인지도(sentence recognition score, SRS), 문장의 명료성(clarity), 배경잡음(background noise)의 변화에 대한 느낌, 전체적인 선호도(overall preferences)의 차이를 알아보고자 하였다. 본 연구의 결과를 통하여 한국어를 사용하는 난청인에 대한 보청기 적합 시 주파수반응곡선 등 전기음향적 조절

파라미터의 설정에 도움을 주고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구에서는 육안검사(otoscopy) 시 외이도 및 고막의 형태가 정상 소견을 보였으며, 중이염 등의 이과적 질환과 약물 복용, 소음 노출, 두부 외상 또는 신경학적 질환 등의 과거력이 없는 감각신경성난청인을 대상으로 하였다. 대상자의 연령은 평균 73.3세(범위: 55~84세)로 보청기의 착용 기간은 평균 22.8개월(범위: 1~103개월)이었다. 대상자의 순음역치평균(pure tone average)의 평균은 55.5 dB HL(범위: 43.3~73.3 dB HL), 단어인지도의 평균은 58.0%(범위: 32~75%)였다. 그리고 대상자가 착용한 보청기는 고막보청기(completely-in-the-canal)가 4개, 외이도보청기(in-the-canal)가 8개, 개방보청기(receiver-in-the-canal)가 9개였으며, 채널의 수는 4~9 채널이었다. 그리고 500 Hz와 4,000 Hz의 AT는 5~10 msec와 5~5 msec, RT는 65~85 msec와 46~72 msec였다. 대상자의 성별, 나이, 검사 귀, 착용 기간은 Table 1, 검사 귀의 주파수별 순음 청력역치레벨,

Table 1. Informations (gender, age, test ear, used period of hearing aid) of subjects in this study

Subjects	Gender	Age	Test ear	Used period (month)
S1	M	82	RT	30
S2	F	73	LT	109
S3	M	72	RT	33
S4	M	75	RT	11
S5	M	75	LT	11
S6	M	78	LT	6
S7	M	77	LT	8
S8	M	77	RT	8
S9	M	72	LT	1
S10	M	67	LT	11
S11	F	78	RT	21
S12	F	82	LT	23
S13	M	73	LT	39
S14	F	84	LT	15
S15	F	66	LT	23
S16	M	68	LT	36
S17	M	55	LT	18
S18	M	55	LT	46
S19	F	74	LT	25
S20	M	80	RT	2
S21	M	76	LT	3
Mean		73.3		22.8
SD		7.7		23.5

SD: standard deviation

Table 2. Hearing threshold levels, MCLs, and WRSs of test ear for 21 subjects

Subjects	Hearing threshold level (dB HL)						MCL (dB HL)	WRS (%)
	250 Hz	500 Hz	1,000 Hz	2,000 Hz	4,000 Hz	8,000 Hz		
S1	30	40	55	65	70	70	90	72
S2	40	65	55	55	55	80	80	66
S3	60	70	75	75	80	85	95	56
S4	30	45	50	55	75	75	90	64
S5	35	40	50	75	75	70	90	56
S6	50	60	65	60	80	90	90	64
S7	50	55	55	55	45	55	90	52
S8	35	45	60	70	75	85	90	40
S9	35	40	45	50	65	70	90	50
S10	40	35	50	65	90	100	85	40
S11	40	45	50	60	70	75	85	32
S12	55	60	65	60	65	75	95	60
S13	30	50	50	60	70	80	85	48
S14	35	40	55	70	60	65	90	72
S15	35	45	50	50	60	65	90	56
S16	65	70	65	65	75	70	95	67
S17	50	60	65	70	65	85	95	56
S18	50	75	65	60	65	70	95	60
S19	40	45	50	50	60	65	60	75
S20	30	35	35	60	75	75	55	72
S21	45	45	35	55	55	55	65	68
Mean	41.9	50.7	54.5	61.2	68.1	74.3	85.7	58.0
SD	10.3	11.9	9.5	7.7	10.3	11.0	11.5	11.8

MCL: most comfortable level, WRS: word recognition score, SD: standard deviation

Table 3. Type, numbers of channel, AT and RT of subjects' hearing aids

Subjects	Hearing aid type	N of channel	AT (msec)		RT (msec)	
			500 Hz	4,000 Hz	500 Hz	4,000 Hz
S1	ITC	7	5	5	85	63
S2	ITC	4	5	5	85	63
S3	ITC	4	10	6	70	62
S4	RIC	7	5	5	60	46
S5	RIC	7	10	6	70	62
S6	RIC	7	5	5	85	63
S7	CIC	4	5	5	60	46
S8	CIC	4	10	6	70	61
S9	RIC	7	10	6	70	61
S10	RIC	9	10	6	80	66
S11	RIC	9	10	6	70	62
S12	ITC	4	10	6	70	62
S13	RIC	7	5	5	60	46
S14	RIC	7	10	6	70	62
S15	ITC	4	10	6	70	62
S16	ITC	6	5	5	85	63
S17	RIC	7	5	5	60	46
S18	ITC	6	10	6	70	62
S19	CIC	4	10	5	85	72
S20	ITC	4	10	5	65	52
S21	CIC	4	5	5	85	63

N: number, AT: attack time, RT: release time, CIC: completely-in-the-canal, ITC: in-the-canal, RIC: receiver-in-the-canal

Clarity	Very unclear		Rather unclear		Midway		Rather clear		Very clear
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Background noise	Very noisy		Rather noisy		Midway		Rather quiet		Very quiet
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Overall preference	Very bad		Rather bad		Midway		Rather good		Very good
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Figure 1. A sample of the response form used for rating procedure.

쾌적수준 그리고 WRS는 Table 2, 대상자가 착용한 보청기의 형태, 채널 수 그리고 AT, RT는 Table 3에 나타내었다. 그리고 본 연구를 위해 한림국제대학원대학교의 생명윤리위원회의 심사를 필요하였다(심의번호: HUGSAUD583261).

연구 장비

외이도의 육안검사는 이경을 사용하였고, 보청기 착용 전 기도 및 골도 순음청력역치, WRS, 쾌적수준은 AURICAL (GN Otometrics, Copenhagen, Denmark)과 TDH-39 헤드폰을 사용하였다. 보청기 착용 후 문장과 잡음은 방음실에 설치한 외부 스피커(4 Ohms)를 통하여 제시하였다. 압축 방식의 효과를 측정하기 위한 SRS는 노트북(Samsung, Seoul, Korea)에 wave 파일로 저장한 한국산업표준 문장(KS-SL-A) (Jang et al., 2008; KS I ISO 8253-3, 2009)을 사용하였다. 보청기의 전기음향적 특성은 AURICAL (GN Otometrics)을 이용하여 분석하였다. 그리고 보청기 착용 후 제시한 문장의 명료성, 배경잡음의 변화, 전체적인 선호도 평가하기 위한 설문지는 1에서 9단계로 구분하여 평가하였다(Figure 1).

연구 절차

압축 방식의 조절

압축 방식의 조절은 첫째, 순음 기도 및 골도 청력을 보청기 적합 소프트웨어에 입력하고 제조사의 보청기적합공식(audio-gram+)을 선택한 후 자동적합(auto fit)을 사용하여 보청기의 전기음향적 파라미터를 조절하였다. 이때 주파수 반응에 의한 음질 및 어음인지도를 평가하기 위해 방향성, 소음감소, 확장기능을 비활성화하였다. 둘째, 보통 크기의 목소리를 들려 준 후 난청인의 주관적인 판단을 기준으로 음량은 적당하고, 음질은 대상자의 주관적인 판단을 근거로 하여 최대한 자연스럽게 조절하였다. 셋째, Table 4와 같이 BILL은 500 Hz 대역, TILL은 3,000 Hz 대역 그리고 MCC는 전 주파수 대역의 CR을 2 : 1로 조절하였으며, CT는 50 dB SPL 이하로 설정하였다.

Table 4. Compression ratios of three different compression types (BILL, TILL, MCC) in 500 Hz and 4,000 Hz

	BILL	TILL	MCC
500 Hz	2 : 1	1 : 1	2 : 1
4,000 Hz	1 : 1	2 : 1	2 : 1

BILL: bass increase at low level, TILL: treble increases at low level, MCC: multi-channel compression

SRS의 측정

SRS의 평가를 위해 우선 한국산업표준 문장 파일을 컴퓨터에 저장한 후 청력검사와 연결하였다. 그리고 1,000 Hz의 보정음을 이용하여 음량계(volume unit meter) 상에서 '0'을 가리키도록 컴퓨터와 청력검사의 볼륨을 조절하였다. 문장과 잡음은 피검자 정면의 1 m 거리에 있는 2개의 스피커에서 각각 그리고 동시에 제시하였다. SRS 평가를 위해 모든 상황에서 서로 다른 한 개의 목록을 사용하였다. 문장의 강도는 50 dB HL로 고정하였으며, 잡음은 조용한 상황, 44 dB HL (6 dB SNR), 50 dB HL (0 dB SNR)로 제시하였다.

선호도의 평가

제시한 문장의 선호도는 Nueman et al.(1998)의 선호도 연구를 참고하여 연구를 참고하여 압축 방식을 BILL, TILL, MCC 방식으로 조절한 후 조용한 상황, 6, 0 dB SNR에서 SRS를 측정한 다음 각각의 압축 방식에서 문장의 명료성, 배경잡음의 변화, 전체적인 선호도에 대한 주관적 느낌을 대상자에게 질문하여 답하게 하였다.

통계 분석

조용한 상황, 6, 0 dB SNR에서 BILL, TILL, MCC의 압축 방식에 따른 SRS의 차이는 Two-way mixed ANOVA로 분석한 후 Bonferroni 사후분석을 통하여 검정하였다. 선호도는 비모수검정 Friedman test를 통하여 분석한 후 Wilcoxon 사후분석을 통하여 검정하였다. 자료 분석은 Window용 SPSS version 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 유의수준 0.01 혹은 0.05 미만에서 하였다.

RESULTS

주파수 대역별 압축 방식에 따른 문장인지도

BILL, TILL, MCC의 SRS는 조용한 상황에서 73.2, 69.4, 80.1%, 6 dB SNR에서 61.9, 53.6, 71.3% 그리고 0 dB SNR에서 47.4, 44.9, 54.6%로 각각 나타났다(Figure 2). Table 5에서 조용한 상황, 6 dB, 0 dB SNR의 청취 상황과 BILL, TILL, MCC의 압축 방식에 따른 SRS에 대한 Two-way mixed ANOVA의 분석 결과 SRS는 청취 상황[F(2, 40) = 66.74, $p < 0.001$]과 압축 방식[F(2, 40) = 13.52, $p < 0.001$]에 따른 차이가 나타났다. 그러나 SNR과 압축 방식 간의 상호작용은 나타나지 않았다[F(4, 80) = 1.23, $p > 0.05$]. Bonferroni 사후분석 결과 EILL의 SRS는 BILL($p < 0.01$)과 TILL($p < 0.001$)에 비해 높게 나타났으나, BILL과 TILL 간에는 차이가 나타나지 않았다($p > 0.005$).

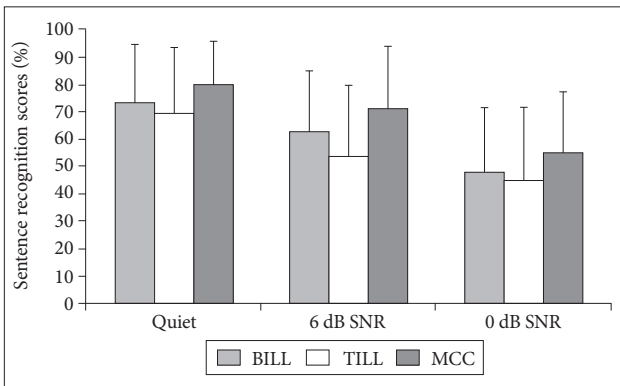


Figure 2. Means of the sentence recognition scores for three compression types (BILL, TILL, MCC) in each listening conditions (quiet, 6 dB SNR, 0 dB SNR). BILL: bass increase at low level, TILL: treble increases at low level, MCC: multi-channel compression, SNR: signal-to-noise ratios.

Table 5. Results of two-way mixed ANOVA for sentence recognition performance in each listening situation (quiet, 6 dB and 0 dB SNR) according to each compression type (BILL, TILL, MCC)

	F	df	p
Main effects			
Listening situation (quiet, 6 dB, 0 dB)	66.74	2, 40	0.000
Compression type (BILL, TILL, MCC)	13.52	2, 40	0.000
Interaction			
Listening situation*Compression type	1.23	2, 80	0.304

BILL: bass increase at low level, TILL: treble increases at low level, MCC: multi-channel compression, SNR: signal-to-noise ratios

Table 6. Descriptive statistics on the subjective responses for clarity in each compression types (BILL, TILL, MCC)

	Mean	SD	Minimum	Maximum	50th percentile		
					25	50 (median)	75
BILL	6.19	2.13	2	8	6	7	8
TILL	5.31	2.37	1	8	3	6	7
MCC	6.56	1.82	2	9	6	7	8

BILL: bass increase at low level, TILL: treble increases at low level, MCC: multi-channel compression, SD: standard deviation

주파수 대역별 압축 방식에 따른 선호도

문장의 명료성에 대한 선호도 평균은 BILL 6.2점, TILL 5.31 점, MCC 6.6점으로 나타났다(Figure 3). 압축 방식에 따른 문장의 명료성의 Friedman 검정 결과(Table 6) 중위수는 BILL이 7, TILL이 6, MCC가 7이고 주파수대역별 CR에 따른 순위 합은 MCC가 2.36, BILL이 2.14, TILL이 1.5로 MCC의 중위수가 가장 크고 TILL이 가장 작게 나타났다($p < 0.05$). Wilcoxon 검정결과 MCC와 BILL은 TILL에 비해서 문장의 명료성이 더 높게 나타났으나($p < 0.01$) MCC와 BILL 간의 차이는 나타나지 않았다. 그리고 BILL, TILL MCC의 압축 방식에서 배경소음 변화에 대한 느낌은 4.17점, 3.75점, 3.98점 그리고 음질의 선호도는 6.10점, 5.76점, 36.32점으로 Friedman 검정 결과 압축 방식에 따른 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$).

DISCUSSIONS

본 연구에서는 압축 방식을 BILL, TILL, MCC로 변경하였을 때의 SRS와 음질에 대한 선호도를 조용한 상황, 6 dB 및 0 dB SNR에서 감각신경성난청인을 대상으로 알아보았다.

본 연구의 결과에서 MCC의 SRS가 BILL, TILL에 비해서 높게 나타났다($p < 0.05$). Palat et al.(2012)의 연구에서는 정점 절단(peak clipping), 광역동범위압축(wide dynamic range compression), 압축제한(compression limiting), 저주파수 대역의 CR이 3 : 1인 BILL, 고주파수 대역의 CR이 3 : 1인 TILL에서

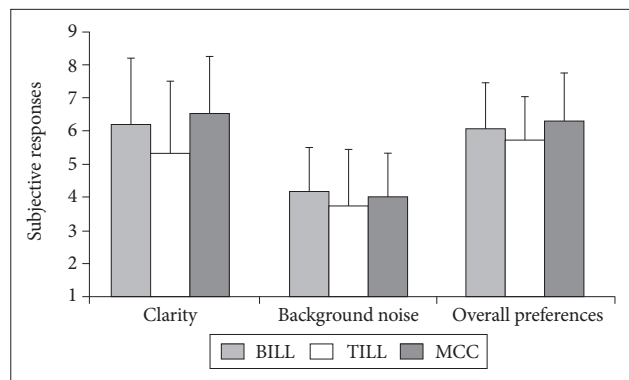


Figure 3. Mean scores of clarity, background and overall preference in each compression types (BILL, TILL, MCC). BILL: bass increase at low level, TILL: treble increases at low level, MCC: multi-channel compression.

터키어의 WRS를 알아보았는데 6 dB, 0 dB SNR에서 TILL이 정점절단, BILL, 광역동범위압축 방식보다 높게 나타났다고 보고하여 본 연구와 차이를 나타냈다. 그 원인을 살펴보면 BILL은 SNR을, TILL은 자모음비를 개선하는 데 효과적이는데 MCC는 SNR과 자모음비를 동시에 개선할 수 있기 때문에 조용한 상황은 물론 잡음 하에서도 MCC의 SRS가 높게 나타난 것으로 보인다. 또한 Palat et al.(2012)은 비선형 증폭 방식의 경우 높은 CR을 사용하였고, AT, RT를 고려하지 않았으며, 제시음으로 단음절을 사용하였는데 이는 다양한 상황에서 증폭 방식에 따른 어음인지의 효과를 알아보기에는 불충분한 방법으로 보인다.

본 연구에서 대상자가 착용한 보청기에서 4,000 Hz의 AT는 5~6 msec, RT는 46~72 msec로 비교적 빠른 AT, RT를 사용하였다. Van Toor & Verschuure(2002)는 AT, RT를 빠르게 설정하여 자모음비를 개선하여 어음의 인지도를 높일 수 있으며, Gatehouse et al.(2006)과 Hansen(2002)은 해제시간을 느리게 설정하여 SNR을 개선할 수 있다고 하였다. 본 연구에서의 SRS는 자음이 주로 분포하는 고주파수 대역을 압축한 TILL과 어음 잡음의 에너지가 주로 분포하는 저주파수 대역을 압축한 BILL 간에 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 이는 BILL의 경우는 자모음비의 개선이, TILL의 경우는 SNR의 개선이 충분하지 않았기 때문으로 보인다.

본 연구에서는 BILL, TILL, MCC의 CR을 2 : 1로 고정하고 문장을 들려준 후 문장을 들려주었을 때 문장의 명료성에 있어서 MCC는 TILL에 비해서 높게 나타났으나($p < 0.05$) BILL과는 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 그 이유로 어음스펙트럼은 300 Hz 내외의 저주파수에서 4,000 Hz 내외의 고주파수까지 폭 넓게 분포하는데(Lee et al., 2008) MCC의 경우 자모음비와 SNR을 동시에 개선할 수 있으며, 상향차폐(upward spread of masking) 또한 방지할 수 있기 때문이다(Danaher & Pickett, 1975; Lee & Lee, 2005).

본 연구에서는 보청기의 압축 방식을 조절한 직후에 즉시 SRS와 주관적인 평가를 실시하여 순응 기간, 즉 신경가소성(Azari & Seitz, 2000)을 고려하지 않았으며, 피검자의 평균 연령이 73.3세로 높은 것은 본 연구의 한계점으로 남는다. 그리고 Byrne et al.(2001)의 연구에서 NAL-NL1을 다른 보청기적합공식의 특성과 절차를 비교할 때 청력의 정도와 형태를 고려하였듯이 압축 방식에 따른 한국어 SRS, 선호도 등에 대한 향후의 연구에서도 이러한 요소를 고려할 필요가 있다.

본 연구에서 한국어를 사용하는 감각신경성난청인은 저음역 또는 고음역 압축보다는 다채널압축 방식이 다양한 상황에서의 SRS와 문장의 명료성에 있어서 효과적임을 확인하였다. 그러나 한국 난청인에 대한 효과적인 비선형 보청기의 전기음향적

조절을 위해서는 청력역치레벨에 따른 최적의 CR과 CT, AT와 RT 그리고 이에 따른 어음인지 능력의 변화와 음질에 대한 선호도 등에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것이다.

중심 단어 : 저음역압축·고음역압축·다채널압축·압축비율·신호대잡음비·비선형 보청기.

REFERENCES

- Azari, N. P. & Seitz, R. J. (2000). Brain plasticity and recovery from stroke: What has changed in the brain of a stroke patient who recovers the ability to move a once-disabled limb? *American Scientist*, 88(5), 426-431.
- Barker, C. & Dillon, H. (1999). Client preferences for compression threshold in single-channel wide dynamic range compression hearing aids. *Ear and Hearing*, 20(2), 127-139.
- Bohnert, A., Nyffeler, M., & Keilmann, A. (2010). Advantages of a nonlinear frequency compression algorithm in noise. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 267(7), 1045-1053.
- Boike, K. T. & Souza, P. E. (2000). Effect of compression ratio on speech recognition and speech-quality ratings with wide dynamic range compression amplification. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43(2), 456-468.
- Byrne, D., Dillon, H., Ching, T., Katsch, R., & Keidser, G. (2001). NAL-NL1 procedure for fitting nonlinear hearing aids: Characteristics and comparisons with other procedures. *Journal of the American Academy of Audiology*, 12(1), 37-51.
- Choi, M. J. & Lee, K.W. (2011). Case reports of improving sound quality by compression threshold control. *Audiology*, 7(1), 100-105.
- Danaher, E. M. & Pickett, J. M. (1975). Some masking effects produced by low-frequency vowel formants in persons with sensorineural hearing loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 18(2), 261-271.
- Gatehouse, S., Naylor, G., & Elberling, C. (2006). Linear and nonlinear hearing aid fittings--2. Patterns of candidature. *International Journal of Audiology*, 45(3), 153-171.
- Glista, D., Scollie, S., Bagatto, M., Seewald, R., Parsa, V., & Johnson, A. (2009). Evaluation of nonlinear frequency compression: Clinical outcomes. *International Journal of Audiology*, 48(9), 632-644.
- Hansen, M. (2002). Effects of multi-channel compression time constants on subjectively perceived sound quality and speech intelligibility. *Ear and Hearing*, 23(4), 369-380.
- Jang, H. S., Lee, J. H., Lim, D. H., Lee, K. W., Jeon, A. R., & Jung, E. J. (2008). Development of Korean standard sentence lists for sentence recognition tests. *Audiology*, 4(2), 161-177.
- Jenstad, L. M. & Souza, P. E. (2005). Quantifying the effect of compression hearing aid release time on speech acoustics and intelligibility. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 48(3), 651-667.
- Jin, I. K., Kates, J. M., Lee, K., & Arehart, K. H. (2015). Derivations of the band-importance function: A cross-procedure comparison. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(2), 938-941.
- Korean Agency for Technology and Standards (2009). Acoustics-Audiometric test methods-Part 3: Speech audiometry. KSI ISO 8253-3. Seoul: Korean Agency for Technology and Standards.
- Lee, J. H. & Lee, K. W. (2005). *Hearing aid Evaluation*. (pp.142-148). Seoul: Hakjisa.
- Lee, K. W. (2014). Changes of dynamic range, signal-to-noise ratio, and consonant-to-vowel ratio by electroacoustic adjustment and fitting in non-linear hearing aids. *Audiology*, 10(3), 190-197.
- Lee, K. Y. & Kim, J. S. (2012). The study of frequency importance function of the Korean monosyllabic words. *Audiology*, 8, 24-33.
- Lee, K. W., Lee, J. H., & Lee, J. (2008). Suggestions of multi-talker babble noise using Korean speech sound. *Audiology*, 4(1), 24-27.

- Neuman, A. C., Bakke, M. H., Mackersie, C., Hellman, S., & Levitt, H. (1998). The effect of compression ratio and release time on the categorical rating of sound quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *103*(5), 2273.
- Polat, Z., Atas, A., & Sennaroglu, G. (2012). Effects of multi-channel compression on speech intelligibility at the patients with loudness-recruitment. *Journal of International Advanced Otology*, *8*(1), 94-102.
- Souza, P. E. & Kitch, V. (2001). The contribution of amplitude envelope cues to sentence identification in young and aged listeners. *Ear and Hearing*, *22*(2), 112-119.
- Van Toor, T. & Verschuure, H. (2002). Effects of high-frequency emphasis and compression time constants on speech intelligibility in noise. *International Journal of Audiology*, *41*(7), 379-394.
- Von Hapsburg, D. & Bahng, J. (2006). Acceptance of background noise levels in bilingual (Korean-English) listeners. *Journal of the American Academy of Audiology*, *17*(9), 649-658.