

Changes of Consonant Recognition and Sound Quality as a Function of Compression Threshold on Multi-Channel Hearing Aids

Seon Kim¹, Kyoungwon Lee^{1,2}

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

²Hallym Institute of Audiology, Seoul, Korea

다채널 보청기의 압축역치에 따른 자음인지와 음질의 변화

김 시 온¹ · 이 경 원^{1,2}

한림국제대학원대학교 청각언어치료학과¹, 한림청각언어연구소²

Purpose: The purpose of the present study was to investigate whether function of compression threshold (CT) affects the scores of Korean consonant perception test (KCPT) and sound quality in quiet and noisy environments. **Methods:** The subjects were 18 adults with sensorineural hearing loss, average age of 56.8 years, word recognition more than 40% and pure tone average of 54.3 dB HL. The hearing aids used in this study were behind-the-ear type hearing aid with more than 4 channels. After randomly adjusting the CT to 55, 65, 75 dB SPL in quiet and white noise environments (+6 dB signal-to-noise ratio), the scores of KCPT and preferences (clarity, sound quality, and loudness of noise) were evaluated. **Results:** The CT of 55 dB SPL and 65 dB SPL scored higher KCPT than CT of 65 dB SPL in noisy environment. In quiet environment, however, there was no difference in Korean consonant recognition score based on its CT. In the preferences assessment, CT of 55 dB SPL showed greater loudness of noise than CT of 75 dB SPL. However, the clarity and sound quality did not vary on CT in quiet and noisy environments. **Conclusion:** Based on the results of this study, it has been confirmed that CT may affect the recognition of Korean speech sounds and the loudness of noise. Therefore, the control of CT should be considered when adjusting electroacoustic elements of the multi-channel hearing aid.

Key Words: Compression threshold, Compression ratio, Multi-channel, Hearing aids, Consonant recognition.

Received: September 29, 2018 / **Revised:** January 2, 2019 / **Accepted:** January 15, 2019

Correspondence: Kyoungwon Lee, Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, Hallym Institute of Audiology, 427 Yeoksam-ro, Gangnam-gu, Seoul 06197, Korea

Tel: +82-2-2051-4951 / **Fax:** +82-2-3453-6618 / **E-mail:** leekw@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

비선형 증폭시스템에서 사용하는 전기음향적 조절 파라미터는 압축역치(compression threshold, CT), 압축비율(compression ratio, CR), 압축시간(attack time), 해제시간(release time) 등이 있다. 여기에서 CT는 선형에서 비선형으로 바뀌는 지점,

즉 입력음압레벨과 출력음압레벨의 증가율이 달라지기 시작하는 지점에 대한 입력음압레벨로 CT가 낮을수록 작은 입력음압레벨에 대한 이득이 증가한다. 그리고 CR은 입력음압레벨과 출력음압레벨의 증가율에 대한 비율로 난청인의 청력역치레벨의 상승 등으로 인해 역동범위가 좁아질수록 CR은 높게 설정한다.

비선형 증폭시스템은 좁은 역동범위의 개선 이외에도 작은 에너지를 가진 자음의 강도를 높여서 자모음비(consonant-to-vowel ratio)를 개선하거나 주변의 잡음을 억제하여 신호대잡음비(signal-to-noise ratio)를 개선할 수 있다(Souza, 2002). 그

© 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.

라나 자모음비는 낮은 CT와 빠른 해제시간, 신포대잡음비는 높은 CT와 느린 해제시간으로 설정하여 개선할 수 있기 때문에 자모음비와 신포대잡음비를 동시에 개선할 수는 없다.

CR은 입력음압레벨에 대한 출력음압레벨의 변화량에 대한 비율을 말한다(Dillon, 2012; Souza, 2002). 감각신경성 난청인은 청력역치레벨의 상승으로 인해 좁은 역동범위를 가지고 있기 때문에 선형 또는 낮은 CR은 난청인으로 하여금 높은 강도의 소리를 너무 크게, 작은 강도의 소리는 너무 작아서 잘 듣지 못하게 할 우려가 있다. 따라서 큰 소리는 난청인이 들을 수 있는 범위 내에서 너무 크지 않게, 보통 크기의 소리는 편안하게, 그리고 작은 소리는 작지만 들을 수 있도록 CR을 조절하는 것이 효과적이다.

CT, CR에 관련된 국외 선행연구를 찾아보면 이론적으로는 CT가 0 dB HL에 있어 최대한 작은 소리를 증폭시켜야 바람직하지만 0 dB HL 근처의 소리는 대화음과는 거리가 먼 배경잡음이 주를 이루며, 20~25 dB HL 근처의 소리는 송화기의 전기적 잡음을 가지고 있어 CT는 이 소리보다 커야 한다고 보고한 바가 있다(Kuk, 1999). Barker & Dillon(1999)의 연구에 따르면 2개월간 40 dB SPL 또는 65 dB SPL 두 개의 CT로 조절이 가능한 원격조절기(리모컨)를 16명의 경중도 보청기 착용 난청인에게 제공하여 선호도를 조사했을 때, 14명의 대상자가 65 dB SPL CT를 선호한다고 보고했다. Barker et al. (2001)은 40~57 dB SPL의 낮은 CT와 65~74 dB SPL의 높은 CT를 5번의 상담을 통해 비교하였는데 16명의 중도 난청인 중 9명의 난청인은 더 높은 CT를 선호하였다. 또한, Boike & Souza(2000), Hornsby & Ricketts(2001), Souza & Kitch(2001)의 연구에서는 CR이 3:1 이상 증가할수록 잡음하에서 단어인지도 및 음질이 저하된다고 보고했고 Neuman et al.(1998)은 '선명도', '즐거움', '부드러움', '잡음', '크기를 조사했을 때 CR을 높이면 모든 항목의 점수가 내려갔다고 연구한 바가 있다. 그러나 Keidser & Grant (2001)는 높은 CR은 편안한 소리를 들려주지만 문장인지도의 향상과는 연관이 없다고 하였다.

Han et al.(2017)의 연구에서는 중고도 난청인 10명을 대상으로 31 dB SPL과 61 dB SPL의 CT에서 소음하청력검사(hearing in noise test)를 실시했을 때 50%의 문장인지를 위한 신포대잡음비는 조용한 환경에서는 차이가 없으나 잡음 환경에서는 31 dB SPL의 CT에서 더 낮은 신포대잡음비가 나타났다고 보고하였다. 또한, CR의 변화에 따라 신포대잡음비 혹은 자모음비의 개선효과를 볼 수 있고, 자모음비가 클수록 조용한 곳 및 잡음하에서 단어인지도가 개선된다는 연구결과가 있다(Lee & Lee, 2010). Choi & Lee(2011) 및 Lee(2008)의 사례에서는 CT 조절을 통해 증폭음에 대한 만족도를 높일 수 있으며, 배경잡음과 보청기 내부 잡음을 효과적으로 줄여서 단어인지를 개

선한 보고가 있었다. 그리고 노인성 감각신경성 난청인은 2:1의 CR을 선호한다는 보고 또한 있었다(Park & Lee, 2015). 상기의 연구를 종합해 보면, 비선형 증폭시스템은 CT와 CR을 조절하여 신포대잡음비와 자모음비를 개선하여 어음의 인지에 도움을 줄 수 있다. 그러나 한국어음의 인지 및 한국 난청인이 선호하는 구체적인 CT에 관련된 정보가 부족하다.

다채널 보청기의 CT를 효과적으로 결정하기 위해 보청기적합공식(hearing aid fitting formula)을 개발하여 사용하고 있다. 보청기와 보청기적합공식은 대부분 영어 또는 이와 비슷한 특성을 가진 유럽, 미국, 호주 등에서 개발하였으며, 한국의 경우는 보청기 및 보청기적합 소프트웨어를 함께 수입하여 사용하고 있다. 그러나 Lee & Kim(2011)도 지적했듯이 한국어와 영어는 장기평균어음스펙트럼, 대역중요기능, 기준음압레벨 등에 있어서 차이가 나타난다고 하여 한국형 보청기적합공식 개발의 필요성을 시사하였다. 한국어와 영어의 차이를 살펴보면 첫째, 장기평균어음스펙트럼은 1,000 Hz 이하의 저주파수에서는 영어에 비해 한국어가, 2,500 Hz 이상의 고주파수에서는 한국어에 비해 영어의 에너지가 더 높게 나타났다(Lee et al., 2008). 둘째, 단음절어 및 문장의 대역중요기능은 영어가 2,000 Hz 부근에서 높게 나타나며, 한국어는 1,000 Hz 이하의 주파수에서 높게 나타났다고 보고하였다(Jin et al., 2015; Lee & Kim, 2011). 셋째, 기준음압레벨은 영어가 20.00 dB SPL인 반면, 한국어는 23.44 dB SPL로 보고하여(Han et al., 2011) 차이를 나타냈다. 상기의 연구를 종합해 보면 단음절어 및 문장 내의 모음과 자음의 구성에 있어서 영어와 한국어 간에 차이를 나타내는 것으로 보인다. 따라서 이러한 차이는 한국어를 사용하는 난청인을 위한 한국형 보청기적합공식의 개발이 필요한 근거로 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 한국어음의 인지와 음질에 적합한 다채널 보청기의 CT를 확인하고자 하였다. 구체적으로 살펴보면 조용한 곳 및 잡음하에서 CT를 55, 65, 그리고 75 dB SPL로 변화했을 때 한국어 자음지각검사(Korean consonant perception test, KCPT) 도구 중 초성자음의 인지도를 확인하였다. 아울러 같은 환경에서 문장을 들려준 후 문장의 선명도, 음질, 잡음의 크기 등의 선호도를 알아보았다. 본 연구를 통하여 한국어음의 인지 및 음질에 효과적인 한국형 보청기적합공식 개발에 도움을 주고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구에 참여한 대상자는 만 19세 이상으로 육안검사 시 의이도 및 고막의 형태가 정상 소견을 보이고, 중이염 등의 이과적 질환과 약물 복용, 잡음 노출, 두부 외상 또는 신경학적 질환

등의 과거력이 없는 감각신경성 난청인이었다. 대상자 수는 남성이 13명, 여성이 5명(총 18명)으로 평균 연령은 57.0세(표준편차: 21.01, 범위: 19~81세)였다. 대상자의 평균 순음역치평균은 54.26 dB HL(표준편차: 13.78, 범위: 38.3~81.7 dB HL)이었으며, 평균 단어인지도(word recognition score, WRS)는 68.67%(표준편차: 17.04, 범위: 44.0~96.0%)였으며, 대상자 중 15명은 보청기 착용 경험이 있었다. 대상자의 성별과 나이, 순음역치평균, WRS는 Table 1에 정리하였다.

연구 장비 및 도구

기도 및 골도 hearing threshold level (HTL)은 GSI Audio-Star Pro (Grason-Statler, Eden Prairie, MN, USA) 청력검사기를 사용하여 확인하였다. 그리고 음원은 Kim et al.(2011)의 연구에서 사용한 KCPT를 노트북 컴퓨터 NT371B5L (Samsung, Seoul, Korea)에 저장한 후 청력검사기에 연결하여 사용하였다. 보청기적합 시 사용한 보청기적합공식은 National Acoustic Laboratories, version 1 (NAL-NL1; National Acoustic Laboratories, Chatswood, Australia)을 사용하였다. 보청기 CT는 Frye Electronics, Inc. (Beaverton, OR, USA)의 FONIX 8000에서 ANSI S3.42 (1992)로 분석하여 확인하였다. 보청기는 비선형의 귀걸이형(behind-the-ear type)으로 20 채널의 Naida IX

UP (Phonak, Warrenville, IL, USA), 16 채널의 Eleva 411 dAZ (Phonak), 4 채널의 3 series 20 (Starkey, Eden Prairie, MN, USA), 15 채널의 D-FS 440 (Widex, Lyngø, Denmark)을 사용하였다. 이 중에서 D-FS 440은 개방적합형(open fitting type)이었다. 대상자에게 제시한 신호음은 자음과 모음 에너지의 차이가 크게 나타나서 CT의 효과를 반영할 수 있으며, 실험 시간을 고려하여 KCPT의 초성검사 문항 중에서 경음과 비음을 제외한 50개의 단어를 선택하였다. 그리고 음질의 선호도는 설문 평가를 바탕으로 단어와 문장의 난이도를 조절한 Kim & Bahng(2017)의 성인 난청인을 위한 이야기를 이용한 청능훈련 도구 문장을 사용하였다.

연구 절차

보청기의 조절

보청기는 해당 보청기 제조사의 보청기적합소프트웨어상에 기도 순음청력역치를 입력한 후 NAL-NL1 보청기적합공식을 사용하여 조절하였다. 그리고 음량, 울림, 날카로움 등을 확인하여 대상자가 선호하는 음량 및 음질로 조절하였다. CT는 난청인이 선호하는 음량 및 음질 상태에서 ANSI S3.42(1992)로 분석한 후 55, 65, 그리고 75 dB SPL의 이득을 변화하여 조절

Table 1. Subjects' gender, age, HTL at each octave frequencies, PTA, WRS with headphone and HA experience

Subjects	Gender	Age	HTL in Hz					PTA*	WRS (%)	HA experience [†]
			250	500	1,000	2,000	4,000			
S1	F	75	55	55	55	55	70	55.0	72	X
S2	M	46	40	45	70	70	80	61.7	52	O
S3	M	32	80	70	80	70	100	73.3	44	O
S4	F	72	40	45	45	60	60	50.0	76	O
S5	M	71	45	50	50	60	70	53.3	80	O
S6	F	76	45	50	50	45	60	48.3	96	O
S7	M	27	35	40	50	50	55	46.7	88	X
S8	M	81	40	50	40	45	40	45.0	80	O
S9	M	79	35	45	50	40	50	45.0	88	O
S10	M	74	70	65	80	90	120	78.3	68	O
S11	M	25	30	35	45	50	50	43.3	60	O
S12	F	68	70	70	70	75	80	71.7	60	X
S13	F	69	15	15	55	45	65	38.3	72	O
S14	M	37	25	25	35	55	65	38.3	44	O
S15	M	44	35	40	55	60	55	51.7	88	O
S16	M	19	40	55	90	100	105	81.7	44	O
S17	M	65	75	70	55	45	70	56.6	48	O
S18	M	62	20	20	40	55	60	38.3	76	O
Mean	-	57.0	44.2	46.9	56.4	59.4	69.7	54.3	68.7	-
SD	-	20.1	18.8	16.4	15.4	16.3	20.8	13.8	17.0	-

*Average of pure tone hearing threshold level at 500, 1,000, 2,000 Hz, [†]O: experienced, X: non-experienced. HTL: hearing threshold level, PTA: pure tone threshold average, WRS: word recognition score, HA: hearing aids, F: female, M: male, SD: standard deviation

하였다. 이때 난청인이 인지하는 보통 대화음에 대한 음량은 변하지 않도록 조절하였다. 보청기의 옥타브 주파수별 평균 CR은 250, 500, 1,000, 2,000, 4,000 Hz에서 각각 1.37:1, 1.71:1, 1.93:1, 2.00:1, 1.57:1이었다(Table 2).

초성자음인지도의 측정

초성자음인지도의 평가 절차는 첫째, 노트북 컴퓨터와 청력검사기를 연결한 다음 1,000 Hz의 보정음을 이용하여 음량을 보정하였다. 둘째, 보청기의 CR을 그대로 유지하면서 CT를 55, 65, 75 dB SPL로 무작위로 조절한 후 조용한 환경 및 잡음 환경에서 KCPT를 50 dB HL로 제시하였으며 대상자가 바뀔 때마다 청취 환경의 순서를 바꾸었다. 잡음 환경의 경우 백색잡음의 강도는 44 dB HL (6 dB의 신호대잡음비)이었다. 셋째, 초성자음인지도의 평가는 대상자에게 어음을 제시한 후 들리는 소리를 네 개의 보기에서 선택하도록 한 후 정답의 수를 백분율로 환산하였다.

음질 선호도의 평가

음질의 선호도는 문장을 1분 동안 50 dB HL 강도로 들려주고 선명도, 전체적인 음질, 잡음의 크기로 구분하여 평가하였다. 확인 방법은 Figure 1과 같이 좌우측 끝단에 '0'과 '10'으로 표시된 10 cm의 직선 위에 해당하는 설문에 대한 느낌을 직접 표시하게 한 후 눈금자를 이용하여 점의 위치를 숫자로 환산하여 심리음향적 변화를 평가하였다.

Table 2. Average and SD of compression ratio of hearing aids used in present research

	Frequencies (Hz)				
	250	500	1,000	2,000	4,000
Mean	1.37	1.71	1.93	2.00	1.57
SD	0.32	0.38	0.45	0.51	0.37

SD: standard deviation

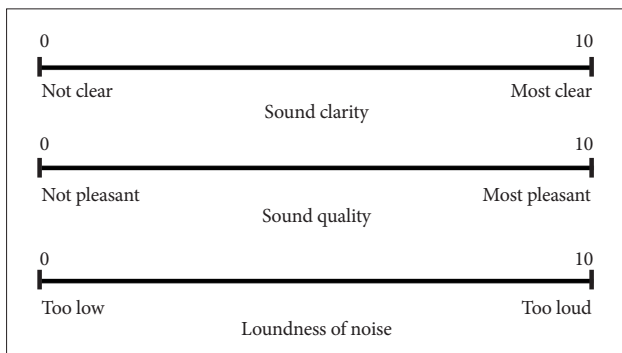


Figure 1. Rating scale of sound clarity, sound quality, and loudness of noise.

결과 분석

본 연구에서 초성자음인지도를 측정할 때 55, 65, 75 dB SPL의 CT를 무작위로 제시하였으므로 대상자 간의 차이가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 CT에 따른 초성자음인지도를 완전 임의화 블록설계(completely randomized block design)로 간주하여 조용한 상황과 잡음 상황에서 각각 일원분산분석(one-way ANOVA)으로 CT 간의 차이를 분석하였다. 그리고 조용한 곳 및 잡음 상황에서 CT에 따른 문장의 선명도, 음질 또한 일원분산분석 반복측정으로 분석하였다. 사후검증은 Bonferroni를 사용하였으며, 유의수준은 0.05 이하에서 검증하였다. 통계 분석에 사용한 소프트웨어는 Window용 SPSS version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)이었다.

RESULTS

초성자음인지도

Figure 2는 조용한 곳 및 잡음 환경에서 CT에 따른 초성자음인지도를 나타낸 것이다. 그림에서 첫째, 조용한 환경에서의 초성자음인지도는 55, 65, 75 dB SPL의 CT에서 각각 82.6%, 82.0%, 81.0%로 나타났으나 CT에 따른 의미 있는 차이는 나타나지 않았다[F(2, 34) = 0.641, *p* > 0.05]. 둘째, 잡음하에서의 초성자음인지도는 55, 65, 75 dB SPL의 CT에서 각각 83.2%, 83.6%, 78.9%로 나타났으며, 55 dB SPL과 75 dB SPL [F(2, 34) = 4.4994, *p* < 0.05] 그리고 65 dB SPL과 75 dB SPL [F(2, 34) = 4.4994, *p* < 0.05]의 CT에서 각각 의미 있는 차이가 나타났다.

선명도 및 음질 선호도

Figure 3에서 CT에 따른 선명도는 조용한 상황[F(2, 34) = 0.473, *p* > 0.05] 및 잡음 상황[F(2, 34) = 0.317, *p* > 0.05]에서

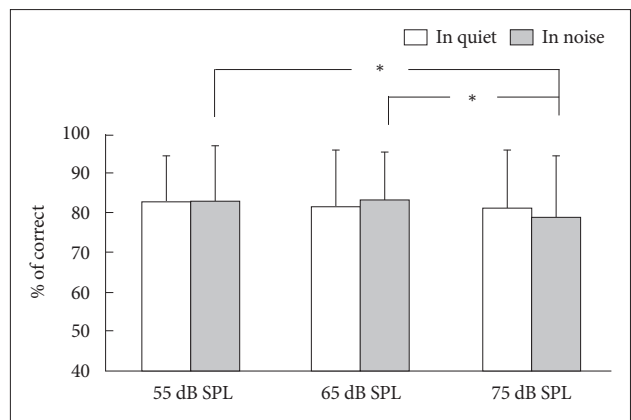


Figure 2. Average Korean consonant perception test scores as a function of compression threshold (55, 65, and 75 dB SPL) in quiet and noisy environment. **p* < 0.05.

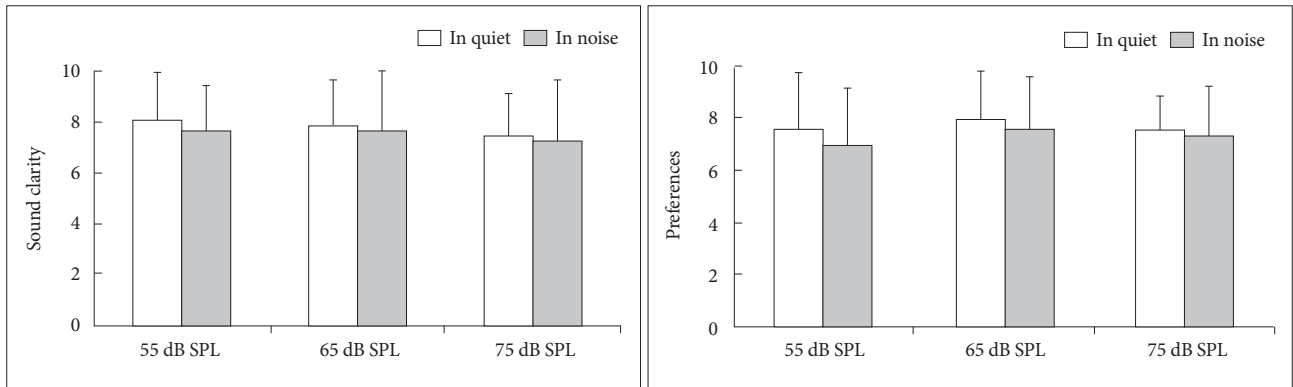


Figure 3. Average rating scales of sound clarity and preferences of sound quality as a function of compression threshold (55, 65, and 75 dB SPL) in quiet and noisy environment.

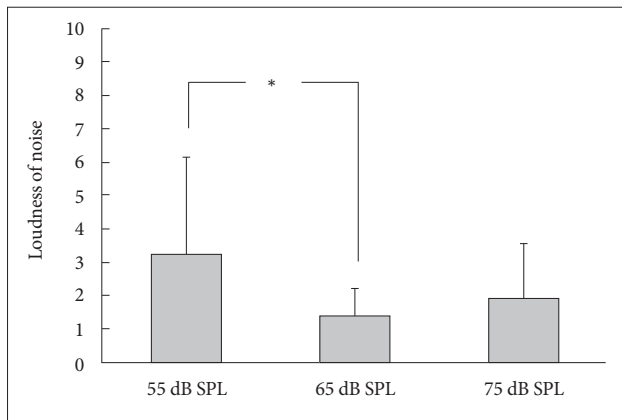


Figure 4. Average rating scales of loudness of noise for compression threshold 55, 65, and 75 dB SPL in noisy environment. * $p < 0.01$.

차이가 나타나지 않았다. 그리고 CT에 따른 음질 선호도 역시 조용한 상황[F(2, 34) = 0.458, $p > 0.05$] 및 잡음 상황[F(2, 34) = 0.768, $p > 0.05$]에서 의미 있는 차이는 나타나지 않았다.

잡음의 크기

백색잡음하에서 CT에 따른 잡음의 크기는 65 dB SPL에 비해 55 dB SPL의 CT에서 더 크게 느끼는 것으로 나타났다[F(2, 34) = 5.609, $p < 0.01$]. 그러나 55 dB SPL과 75 dB SPL [F(2, 34) = 5.609, $p > 0.05$] 및 65 dB SPL과 75 dB SPL [F(2, 34) = 5.609, $p > 0.05$]의 CT에서 잡음의 크기는 차이가 나타나지 않았다(Figure 4).

DISCUSSIONS

본 연구에서는 보청기를 착용했을 때 한국어음의 인지에 효과적인 CT를 알아보기 위해 조용한 환경과 잡음 환경에서 다 채널 보청기의 CT를 모든 주파수에서 55, 65, 그리고 75 dB

SPL로 조절했을 때의 초성자음인지를 감각신경성 난청인을 대상으로 확인하였다. 아울러 각각의 청취 환경에서 문장을 들려주었을 때의 선명도, 선호하는 음질, 잡음의 크기를 심리음향적으로 확인하였다.

본 연구에서 조용한 곳에서의 초성자음인지는 CT에 따른 차이가 나타나지 않았다. 그 이유는 선택한 도구 KCPT는 무성자음이 포함되어 있기 때문이다. 또한 CT가 75 dB SPL 부근으로 증가하면 초성의 에너지가 작아진다 하더라도 자음에서 모음으로 전이되는 부분을 청취할 수 있기 때문에 어음인지에 영향을 주지 않았기 때문으로 생각한다(Kent & Read, 2002). 그러나 잡음 환경에서의 초성인지는 55 dB SPL과 65 dB SPL의 CT에서 75 dB SPL에 비해 높게 나타났다. Fortune(1999), Jenstad et al.(2000), Souza(2002)의 다양한 연구에서 광대역압축(wide dynamic range compression) 방식은 선형 증폭시스템에 비해 작은 강도의 소리를 더 증폭한다. 또한 Dillon(2012)은 압축은 신호대잡음비가 좋지 않은 곳에서 주위 배경의 거슬리는 잡음을 줄여주는 효과가 있다고 한다. 따라서 75 dB SPL의 CT는 65 dB SPL 이하의 CT에 비해 신호대잡음비는 개선할 수 있지만 작은 에너지를 가진 자음을 증폭하지 않기 때문에 자모음비의 개선이 어려워서 초성자음인지가 낮게 나타난 것으로 보인다.

Boike & Souza(2000)의 연구에서 조용한 환경에서는 CR에 따른 문장인지도에 차이가 없었으나, 잡음 환경에서 CR을 높였을 때 문장인지도가 낮아지고, CR을 낮추었을 때 문장인지도가 높아진 것을 확인하였다. 또한, Han et al.(2017)의 연구에서도 조용한 환경에서는 CT가 31 dB SPL에서 61 dB SPL로 달라짐에 따라 문장인지역치가 달라지지 않았지만, 잡음 환경에서 31 dB SPL의 낮은 CT에서 더 높은 문장인지역치(sentence recognition threshold)가 나타났다. 본 연구결과에서는 CT에 따른 초성자음인지도의 결과 또한 조용한 곳에서는 CT가 초성자음인지도에 영향을 미치지 않았지만, 잡음하에서는 CT가 초성자음

Table 3. Attack and release time (ms) of each hearing aids manufacturers at 2,000 Hz and the number of subjects used in each hearing aids

Hearing aid model (manufacturer)	Naida IX UP (Phonak)	Eleva 411 dAZ (Phonak)	3 series 20 (Starkey)	D-FS 440 (Widex)
Attack time	78	9	25	6
Release time	92	103	296	998
The number of subjects	1	6	10	1

인지도에 영향을 미쳐 선행연구와 비슷한 경향을 나타냈다.

선행연구에서 선호하는 CT의 연구를 살펴보면 16명의 경우에서 중도 감각신경성 난청인 중 14명이 40 dB SPL과 65 dB SPL 중 65 dB SPL의 CT를 선호한 결과가 있었으며(Barker & Dillon, 1999), 이후 16명 중 9명의 고심도 난청인이 높은 CR과 65 dB SPL에서 74 dB SPL 사이의 CT를 선호한다고 보고한 바가 있다(Barker et al., 2001). 본 연구에서 또한 55 dB SPL의 CT에서는 잡음의 크기가 크게 느껴지며 75 dB SPL의 CT에서는 초성자음인지도가 낮게 나타나 상기의 연구와 일치성을 나타냈다.

잡음 환경, 조용한 환경 모두에서 보청기의 선명도와 음질의 선호도 차이는 발생하지 않았으나, 잡음 속에서 대상자 개인이 느끼는 잡음의 크기는 차이가 발생하였다. Barker & Dillon (1999)의 연구에서는 두 달 동안 난청인들에게 보청기를 착용하게 한 후 40 dB SPL과 65 dB SPL의 CT에 따른 선호도를 비교하게 하였다. 그러나 본 연구에서는 보청기 착용 직후에 문장에 대한 심리음향적인 평가를 시행하여 순응(acclimatization) 기간의 부족으로 인해 보청기의 음질 및 선호도에 차이가 나타나지 않았을 것으로 생각한다. 반면, Kuk(1999), Barker & Dillon (1999)의 다양한 연구에서 낮은 CT는 작은 음압레벨을 키워주지만 동시에 소음도 키워주어 언어인지에 어려움을 준다고 하였다. 본 연구에서는 CT를 가장 낮은 55 dB SPL로 조절했을 때 잡음을 가장 크게 느껴 이전 연구와 비슷한 양상을 보였다.

Neuman et al.(1994)의 연구에 따르면 20명의 보청기 착용자를 조사한 결과 CR이 2:1 이하일 때 3:1 이상일 때보다 현저히 선호하는 것으로 나타났다. 또한 큰 소리의 소음이 있을 때는 1.5:1 또는 압축이 없는 것을 선호하였다. 또한, Park & Lee (2015)의 연구에서도 감각신경성 난청인은 2:1의 CR을 선호한다고 한다. 본 연구에 사용한 보청기 CR의 평균은 1.72:1로 2:1에 비해 조금 낮은 CR을 사용하였다.

본 연구에서 사용한 보청기와 대상자 수는 20 채널의 Naida IX UP가 1명, 16채널의 Eleva 411 dAZ가 6명, 4채널의 3 series 20이 10명, 15채널의 D-FS 440이 1명이었다(Table 3). Jeong & Lee(2018) 그리고 Souza(2002)의 보고에서 해제시간은 어음 또는 잡음의 인지에 영향을 준다고 하였는데, 특히 Jeong & Lee(2018)의 연구에서는 6 dB 신호대잡음비의 잡음하에서 한국어 무성자음의 인지도는 70 ms와 600 ms에 비해 200 ms의 해제시간에서 가장 높게 나타났으나 선명도, 선호도 및 잡음의

크기에 있어서는 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. Table 3에서 본 연구에 사용한 보청기의 해제시간은 92 ms에서 998 ms로 나타났지만 Naida IX UP와 D-FS 440을 사용한 대상자의 수는 각각 1명이었다. 이에 Eleva 411 dAZ의 6명, 3 series 20의 10명을 대상으로 각각 분석하였으나 본 연구 결과에는 영향을 미치지 않았다.

상기 결과를 종합해 보면, CT에 따른 한국어 초성자음의 인지도는 조용한 곳에서는 차이가 없으나 잡음하에서는 75 dB SPL에 비해 55 dB SPL과 65 dB SPL의 CT에서 높게 나타났다. 그리고 대상자가 느끼는 잡음의 크기는 65 dB SPL에 비해 55 dB SPL의 CT에서 더 크게 나타났다. 따라서 비선형 보청기의 CT 및 CR은 난청인의 조용한 곳 또는 잡음하에서의 어음인지도 그리고 잡음에 대해서 어느 정도로 불편해 하는지를 심리음향적으로 확인하여 조절하는 것이 효과적일 것이다.

본 연구의 한계점으로는 어음의 인지도에 영향을 줄 수 있는 감각신경성 난청인의 청력역치레벨을 포함한 역동범위 및 청력 손실의 형태와 보청기 착용 기간 그리고 자모음비와 신호대잡음비의 조절이 가능한 보청기의 해제시간과 채널의 수를 고려하지 않았다는 것이다. 따라서 한국어음의 효과적인 청취 및 음질을 확인하기 위한 향후의 CT 관련 연구에서는 대상자의 청력역치레벨의 정도와 형태, 보청기의 해제시간 및 채널 수, 경쟁잡음(competing noise)의 다양한 종류와 강도, 보청기 착용 기간 또는 순응(acclimatization) 기간 등을 고려하여 다양한 종류의 잡음과 강도에서 어음의 인지도, 음질, 잡음, 전체적인 선호도 등을 체계적으로 확인하는 것이 한국형 보청기적합공식의 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

중심 단어 : 압축역치·압축비율·다채널·보청기·자음인지.

Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board of Hallym University of Graduate Studies (IRB # HUGSAUD 142830).

Acknowledgments

The authors thank to the participants and hearing aid manufacturers in Korea.

Declaration of Conflicting Interests

There are no conflict interests.

Funding

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

REFERENCES

- American National Standards Institute. (1992). *ANSI S3.42-1992: Testing Hearing Aids with a Broad-Band Noise Signal*. New York, NY: Acoustical Society of America.
- 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.
- Barker, C., Dillon, H., & Newall, P. (2001). Fitting low ratio compression to people with severe and profound hearing losses. *Ear and Hearing, 22*(2), 130-141.
- 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.
- Choi, M. J. & Lee, K. W. (2011). Case reports of improving sound quality by compression threshold control. *Audiology and Speech Research, 7*(1), 100-105.
- Dillon, H. (2012). *Hearing Aids*. (2nd ed.). Sydney: Boomerang Press.
- Fortune, T. (1999). Aided growth of masking for speech and nonspeech signals. *Ear and Hearing, 20*(3), 214-227.
- Han, H., Lee, J., Cho, S., Kim, J., Lee, K., & Choi, W. D. (2011). Reference sound pressure level for Korean speech audiometry. *International Journal of Audiology, 50*(1), 59-62.
- Han, W., Lee, J., Kim, J., Lee, K., & Kim, D. (2017). Preferred compression threshold and release time in quiet and noisy conditions for elderly Korean hearing aid users. *Journal of Audiology and Otology, 21*(3), 133-139.
- Hornsby, B. W. & Ricketts, T. A. (2001). The effects of compression ratio, signal-to-noise ratio, and level on speech recognition in normal-hearing listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America, 109*(6), 2964-2973.
- Jenstad, L. M., Pumford, J., Seewald, R. C., & Cornelisse, L. E. (2000). Comparison of linear gain and wide dynamic range compression hearing aid circuits II: Aided loudness measures. *Ear and Hearing, 21*(1), 32-44.
- Jeong, J. & Lee, K. (2018). Changes of non-sense syllabic word scores and preferences as a function of release time on multi-channel hearing aids. *Audiology and Speech Research, 14*(4), 250-258.
- 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.
- Keidser, G. & Grant, F. (2001). The preferred number of channels (one, two, or four) in NAL-NL1 prescribed wide dynamic range compression (WDRC) devices. *Ear and Hearing, 22*(6), 516-527.
- Kent, R. D. & Read, C. (2002). *Acoustic Analysis of Speech*. (2nd ed.). San Diego, CA: Singular Thomson Learning.
- Kim, J. S., Shin, E. Y., Shin, H. W., & Lee, K. D. (2011). Development of Korean Consonant Perception Test. *The Journal of the Acoustical Society of Korea, 30*(5), 295-302.
- Kim, N. Y. & Bahng, J. (2017). Development of a story based auditory training tool and evaluation of the training efficacy for adult hearing impaired listeners. *Audiology and Speech Research, 13*(2), 133-140.
- Kuk, F. (1999). Optimizing compression: Advantages of low compression threshold. *Supplement to The Hearing Review, 3*, 44-47.
- Lee, K. W. & Kim, J. S. (2011). Suggestion of hearing aid gain for Korean Hearing Impaired (HAG-K). *Audiology and Speech Research, 7*(2), 119-123.
- Lee, K. W., Lee, J. H., & Lee, J. H. (2008). Comparing 2-cc coupler gain of monaural fitting with non-linear fitting formulas for elderly Korean with SNHL. *Audiology and Speech Research, 4*(1), 69-73.
- Lee, S. Y. (2008). Case report for background noise reduction by compression threshold (CT) control in non-programmable hearing aids. *Audiology and Speech Research, 4*(2), 199-203.
- Lee, S. Y. & Lee, K. W. (2010). Effects of word recognition score as a function of consonant-to-vowel ratio (CVR) in Korean non-sense syllables. *Audiology and Speech Research, 6*(1), 25-29.
- Neuman, A. C., Bakke, M. H., Hellman, S., & Levitt, H. (1994). Effect of compression ratio in a slow-acting compression hearing aid: Paired-comparison judgments of quality. *The Journal of the Acoustical Society of America, 96*(3), 1471-1478.
- 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 Pt 1), 2273-2281.
- Park, S. Y. & Lee, K. W. (2015). Comparisons of the sentence recognition scores and sound qualities as a function of compression ratios. *Audiology and Speech Research, 11*(4), 292-301.
- Souza, P. E. (2002). Effects of compression on speech acoustics, intelligibility, and sound quality. *Trends In Amplification, 6*(4), 131-165.
- 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.