

비선형 보청기의 전기음향적 조절에 따른 역동범위, 신호대잡음비 및 자모음비의 변화와 적합

Changes of Dynamic Range, Signal-to-Noise Ratio, and Consonant-to-Vowel Ratio by Electroacoustic Adjustment and Fitting in Non-linear Hearing Aids

한림국제대학원대학교 청각학과
이 경 원

Kyoung Won Lee

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

ABSTRACT

Although there have been tremendous development of hearing aid technology, it is important to understand features of non-linear hearing aid technology and to adjust various electroacoustic parameters when fitting hearing aids. The author described changes of dynamic range, signal-to-noise ratio and consonant-to-vowel ratio by adjustment of compression ratio (CR), compression threshold (CT), attack time (AT) and release time (RT) in non-linear hearing aids using Korean sentence waveforms. In addition, the author suggested effective methods to determine CR, CT, AT and RT in non-linear hearing aid fitting for children and adults with hearing loss. Further, to maximize communication abilities of hearing-impaired, especially Korean children and adults with hearing loss, future researches are needed regarding to understanding of Korean language, Korean version of hearing aid fitting formulae, and aural rehabilitation programs.

Key word: Non-linear hearing aid, Compression ratio, Compression threshold, Attack time, Release time, Hearing aid Fitting.

논문접수일: 2014년 10월 15일
논문수정일: 2014년 10월 19일
게재확정일: 2014년 10월 22일
교신저자: 이경원, 서울시 강남구 대치동 역삼로 427
한림국제대학원대학교 청각학과
Tel: (02) 2051-4951, Fax: (02) 3453-6618
E-mail: leekw@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

2000년을 전후하여 디지털 보청기가 출시된 이래로 보청기의 기술은 급격하게 발전하였다. 최근 보청기 기술의 동향을 살펴보면 채널 수의 증가에 따른 음향피드백과 폐쇄효과의 효과적인 제어를 비롯하여 잡음감소,

방향성화기, 주파수압축(frequency compression or lowering), 주파수대역의 확장, 양이통신(binaural communication) 등에 있어서 많은 개선이 있었다. 그러나 보청기 기술의 많은 발전이 있었음에도 불구하고 좁은 역동범위와 다양한 환경에서 낮은 어음이해도를 나타내는 감각신경성난청인의 보청기적합 시 비선형 보청기의 증폭 특성을 이해하고 조절하는 것은 매우 중요하다.

보청기의 증폭 특성은 입력력함수곡선(input-output function curve)으로 나타낼 수 있는데 잘 알려진 대로 비선형 보청기의 입력력 특성은 입력음압에 비해 출력음압의 증가율이 낮게 나타난다. 따라서 비선형 보청기는 증폭역치(aided threshold level)의 개선을 포함하여 감각신경성난청인의 역동범위를 효과적으로 개선할 수 있다(이경원 & 김진숙, 2009). 그리고 적절한 압축비율(compression ratio)과 압축역치(compression threshold)의 설정으로 신호대잡음비(signal-to-noise ratio) 또는 자모음비(consonant-to-vowel ratio)를 효과적으로 개선할 수 있다(이소예 & 이경원, 2010; 공혜경 외, 2013; Keidser, 2001; Muller et al., 2004). 따라서 감각신경성난청인의 소리인지의 특징과 비선형 보청기의 증폭 특성을 이해하고 비선형 보청기에서 압축비율과 압축역치 그리고 압축시간(attack time)과 해제시간(release time) 등의 전기음향적 파라미터를 조절한다면 난청인의 의사소통능력의 개선에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 그러나 실제 보청기적합에 있어서는 많은 연구자들의 연구가 있었음에도 불구하고 증폭역치 또는 역동범위를 어느 정도까지 개선할 것인지 그리고 신호대잡음비와 자모음비의 개선을 위해서 압축비율과 압축역치를 비롯하여 압축시간과 해제시간을 어떻게 설정할 것인지를 결정하는 것은 매우 어렵다.

본고에서는 비선형 보청기의 압축비율과 압축역치 그리고 압축시간과 해제시간을 조절함에 따라 증폭역

치를 포함한 역동범위, 신호대잡음비 및 자모음비가 어떻게 변화하는지를 알아보았으며, 다양한 선행연구를 통하여 비선형 보청기의 전기음향적 파라미터의 값을 결정하는 방법을 제안하여 보청기적합 현장에서 비선형 보청기의 적합에 도움을 주고자 하였다.

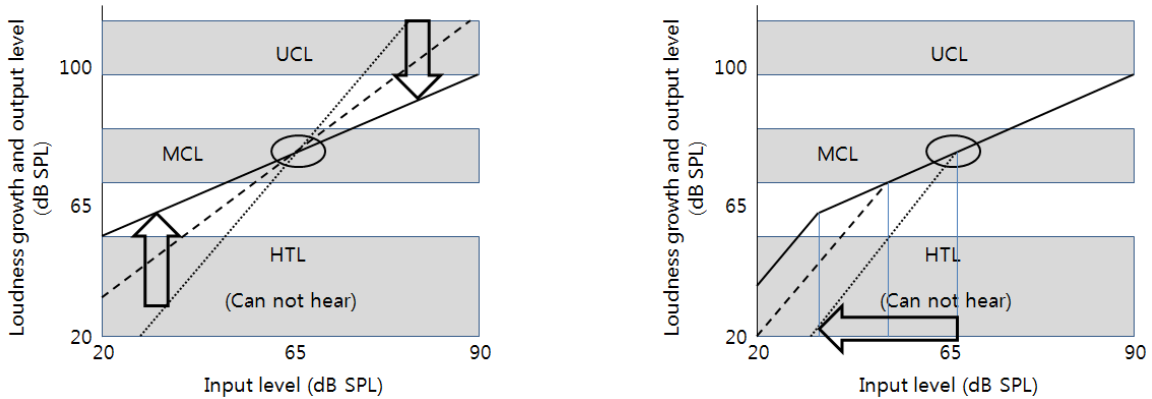
MATERIALS AND METHODS

본고에서는 압축비율과 압축역치의 조절에 따른 증폭역치와 역동범위의 변화 그리고 압축시간과 해제시간의 조절에 따른 신호대잡음비와 자모음비의 변화를 입력력함수곡선과 Adobe Audition (ver 3.0) 상에서 파형을 통하여 살펴보았다. 그리고 파형의 변화를 살피기 위한 문장은 남성 화자가 발성한 ‘커피를 마셔서 잠이 오질 않는다’를 사용하였다.

RESULTS & DISCUSSIONS

1. 증폭역치와 역동범위의 개선

역동범위의 개선을 위해 필요한 비선형 보청기의 전기음향적 파라미터는 이득을 포함하여 압축비율과 압축역치이다. Figure 1에서 (A)와 (B)는 감각신경성난청인의 증폭역치와 쾌적레벨(most comfortable level), 불쾌음량레벨(uncomfortable level)을 포함한 역동범위와 특정 주파수에서의 입력력함수곡선을 함께 나타낸 것으로 (A)는 압축비율이 상승할수록 보청기의 출력음압레벨은 감각신경성난청인의 역동범위 내에 들게 된다. 그리고 (B)에서는 압축역치가 하강할수록 작은 강도의 입력음압에 대한 이득이 상승하는 것을 알 수 있다. 따라서 압축비율이 적절한 수준까지 높아질수록 감각신경성난청인의 역동범위가 개선되며(A), 압축역치가 하강할수록 증폭역치의 개선(B)에 효과적이라는 것을 알 수 있다.



(A) 특정 주파수에서의 압축비율에 따른 난청인의 역동범위의 변화

(B) 특정 주파수에서의 압축역치에 따른 난청인의 증폭역치의 변화

Figure 1. 압축비율의 변화와 역동범위(A) 그리고 압축역치의 변화와 증폭역치(B)(HTL: hearing threshold, MCL: most comfortable level, UCL: uncomfortable level).

Figure 2는 ‘커피를 마셔서 잠이 오지 않는다’의 파형을 나타낸 것으로 (A)는 원음, (B)는 선형증폭, (C)는 압축비율을 2:1, 압축역치는 출력음압레벨보다 40 dB 낮게 그리고 압축시간과 해제시간을 1 msec와 1,000 msec로 설정하여 증폭했을 때이다. 원 안의 진폭의 변화를 살펴보면 선형증폭 (B)는 (A)와 비교했을

때 모든 진폭이 일정한 비율로 증가하였음을 나타내고 있다. 그러나 (C)의 비선형 증폭은 (B)의 선형증폭에 비해서 작은 강도의 소리, 즉 자음의 진폭이 큰 폭으로 증폭한 것을 알 수 있다. 결과적으로 비선형증폭은 선형증폭에 비해서 증폭역치의 개선과 아울러 작은 강도의 소리 또는 자음의 증폭에 유리함을 알 수 있다.

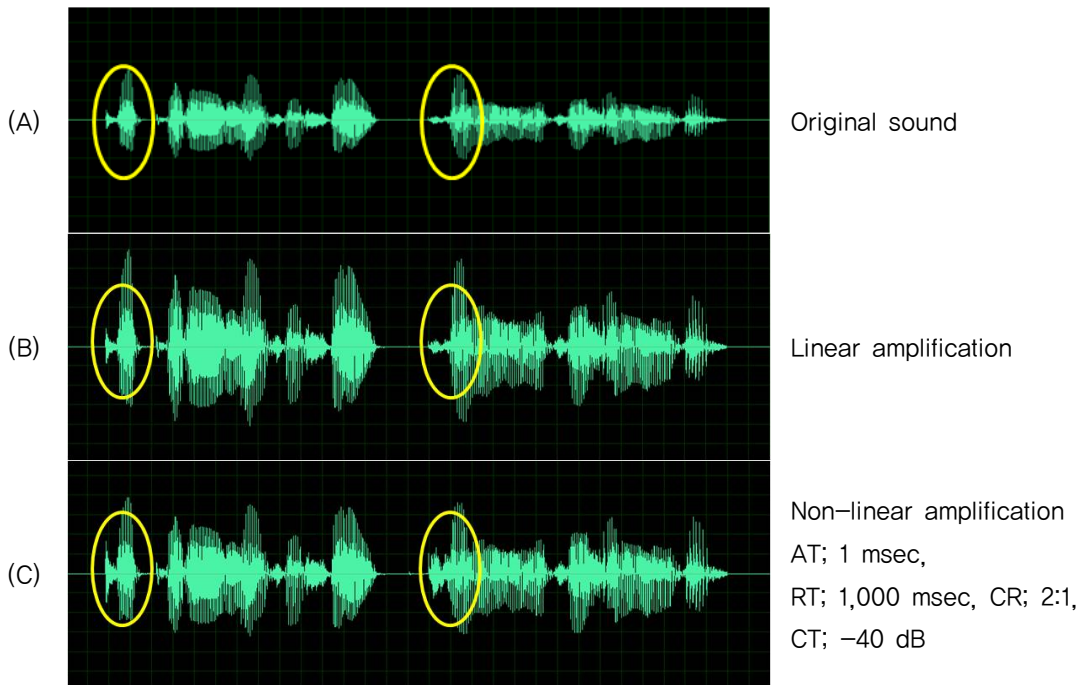


Figure 2. ‘커피를 마셔서 잠이 오지 않는다’의 원음(A), 선형 증폭(B) 그리고 압축비율 2:1의 비선형 증폭(C)에 의한 파형(AT: attack time, RT: release time, CR: compression ratio, CT: compression threshold).

2. 신호대잡음비의 조절

Figure 3는 ‘커피를 마셔서 잠이 오지 않는다’의 파형을 나타낸 것으로 (A)는 원음, (B)는 선형증폭 그리고 (C)는 압축비율을 3:1, 압축역치는 출력음압레벨보다 40 dB 낮게 그리고 압축시간과 해제시간을 1 msec와 1,000 msec로 설정하여 증폭했을 때이다.

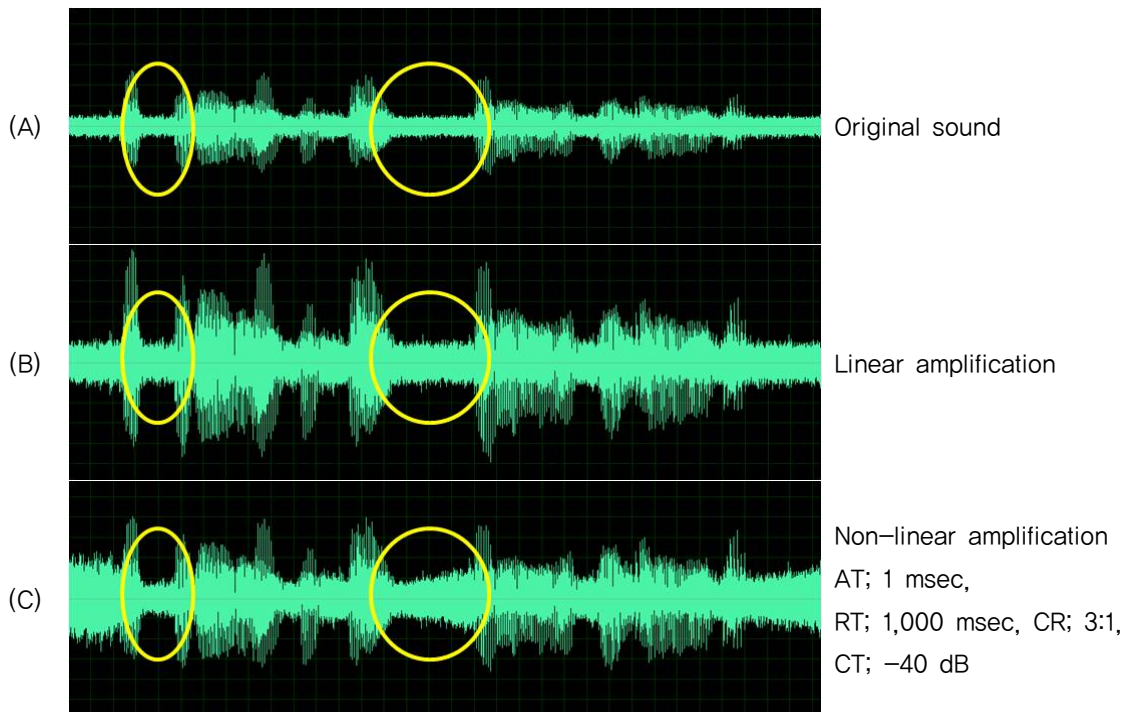


Figure 3. ‘커피를 마셔서 잠이 오지 않는다’의 원음(A)과 선형 증폭(B) 그리고 압축비율이 3:1인 비선형 증폭(C)에 의한 파형(AT: attack time, RT: release time, CR: compression ratio, CT: compression threshold).

3. 자모음비의 개선

비선형 보청기의 기능 중 또 다른 하나는 자모음비의 개선을 들 수 있다. Figure 4는 ‘커피를 마셔서 잠이 오지 않는다’의 파형을 나타낸 것으로 (A)는 원음, (B)는 선형증폭, (C)와 (D)는 비선형 증폭으로 압축비율을 2:1(C)과 3:1(D), 압축역치는 출력음압레벨보다 40 dB 낮게, 압축시간은 1 msec, 해제시간은 5 msec로 설정했을 때이다. 원 안의 파형의 진폭을 살펴보면 선형증폭 (B)의 경우는 자음과 모음의 진폭의 증가율이 같게 나타났으나, 압축비율이 2:1(C),

원 안의 진폭의 변화를 살펴보면 (B)의 경우는 어음의 진폭이 증가한 만큼 잡음의 또한 증폭하였으며, (C)의 경우는 느린 해제시간으로 인해 압축이 작동하는 동안 잡음의 진폭이 선형증폭에 비해서 작게 나타났음을 알 수 있다. 즉, 비선형 보청기의 적절한 압축비율 및 느리게 설정한 압축역치를 통하여 신호대잡음비의 조절이 가능함을 알 수 있다.

3:1(D)인 경우 압축비율이 높아질수록 자음의 진폭이 커졌음을 알 수 있다. 즉, 비선형 보청기에서 해제시간을 빠르게 설정했을 때 자모음비가 개선됨을 알 수 있다. 그러나 에너지가 작은 자음을 증폭할 때 주변의 잡음을 함께 증폭하여 신호대잡음비가 저하될 수 있다.

4. 비선형 보청기의 적합

감각신경성난청인에 대하여 비선형 보청기를 적합할 때 압축비율과 압축역치 그리고 압축시간과 해제시간을 결정하기 위하여 선행연구를 살펴보면 다음과 같다.

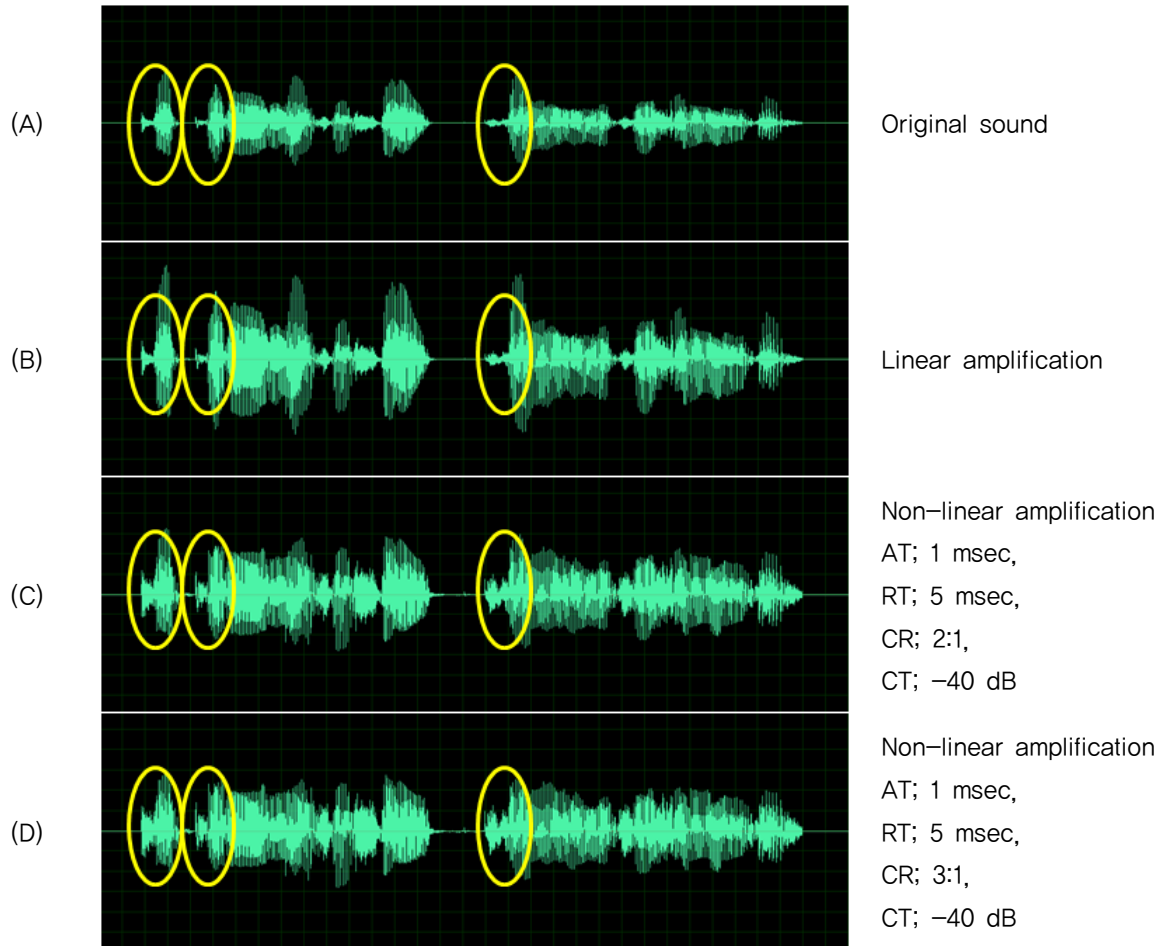


Figure 4. ‘커피를 마셔서 잠이 오질 않는다’의 원음(A), 선형 증폭(B) 그리고 압축비율이 (C) 2:1과 (D) 3:1인 비선형 증폭에 의한 파형(AT: attack time, RT: release time, CR: compression ratio, CT: compression threshold).

첫째, 압축비율과 압축역치에 대해서 살펴보면, 감각신경성난청인의 역동범위를 완전히 개선하기 위해서는 광역동범위압축(wide dynamic range compression) 방식과 같이 높은 압축비율과 매우 낮은 압축역치를 갖는 비선형 보청기가 필요하다. 그러나 Boike & Souza(2001), Hornsby & Ricketts(2001), Souza & Kitch(2001) 등은 감각신경성난청인의 역동범위를 완전히 개선하기 위하여 압축비율을 3:1 또는 4:1 이상으로 증가했을 때 음질 및 소음 하에서의 단어인지도에 나쁜 영향을 준다고 하였다. 그리고 Barker & Dillon(1999), Barker et al.(2001) 등의 보고에서 난청인은 낮은 압축역치보다는 65 dB SPL 이상의 압축역치를 선호하며, 한국의 난청 성인의 경우도 65

dB SPL 전후의 압축역치를 선호한다고 보고하였다(이경원 외, 2008). 그러나 김영학(2009)의 연구에서는 보청기 착용에 대한 순응이 끝난 후 선호하는 압축비율과 압축역치를 대략 2.2:1과 50 dB SPL로 보고하여 앞에서 기술한 연구와 차이를 나타냈다. 둘째, 압축시간과 해제시간에 대해서 살펴보면, Muller et al.(2004), Souza & Turner(1998), 이소예 & 이경원(2010) 등은 빠른 해제시간으로 인해 자모음비가 개선되면 어음의 청취력이 증가한다고 하였으나, Hansen(2002), Neuman et al.(1995) 등의 연구에서 난청인 어음청취력은 잡음에 의한 영향을 많이 받기 때문에 긴 해제시간을 선호한다고 하였다. 또한 Keidser & Grant(2001)는 높은 압축비율이 편안한 소리를 들

려주지만 작은 어음의 강도를 높여준다고 해서 어음이 해도를 높여주는 것은 아니라고 하여 최근까지도 비선형 보청기의 압축비율과 해제시간의 결정에 대해서는 결론을 내리지 못하고 있다(이경원 & 김진숙, 2009; Byrne et al., 2001; Keidser & Grant, 2001).

이와 같이 비선형 보청기의 압축비율과 압축역치 그리고 압축시간과 해제시간에 대해서 현재까지도 명확한 결론을 내리지 못하고 있다. 특히 신호대잡음비와 자모음비의 개선 여부는 해제시간의 속도에 의해서 결정되기 때문에 신호대잡음비와 자모음비의 개선을 동시에 기대할 수는 없으며, 특정 보청기적합 소프트웨어에서는 압축시간과 해제시간을 조절할 수 없는 경우도 있다. 이에 본고에서는 다양한 선행연구를 통하여 비선형 보청기의 적합 시 압축비율과 압축역치 그리고 압축시간과 해제시간의 결정방법 대해서 난청인을 아동과 성인으로 구분하여 다음과 같이 제안하고자 한다.

1) 난청 아동의 보청기적합

난청 아동, 특히 언어습득전난청 아동은 언어에 대한 지식이 부족하므로 언어에 대한 추측이 어렵다(Nittrouer & Boothroyd, 1990). 그리고 나이가 어린 아동은 그 보다 연령이 높은 아동에 비해 더 큰 소리를 들려주어야 비슷한 어음분별력의 점수를 기대할 수 있다(Byrne, 1996). 또한 신경연결고리(neural connection)는 어릴 때 형성되는 것이 효과적이기 때문에 난청아동이 언어의 구사능력을 극대화하기 위해서는 조기재활이 필요하며(Ramkalawan & Davis, 1992), 더 분명한 발음을 위해서는 증폭기의 조기작용(Yoshinaga-Itano et al., 1998)과 아울러 에너지가 작은 자음을 들려주는 것이 중요하다고 하였다(Boothroyd, 1984; Smith & Levitt, 1999). 따라서 난청 아동에게는 역동범위의 개선에 알맞은 압축비율과 낮은 압축역치 그리고 압축시간과 해제시간을 빠르게 설정하여 작은 에너지 성분의 어음을 더 증폭하거나 자모음비의 개선이 필요할 것으로 생각한다. 그러나 아동의 경우 성인과 비슷한 어음분별력을 얻기

위해 3 ~ 7 dB 정도의 SNR이 필요하다는 보고(Nozza et al., 1988; Boothroyd, 1997)가 있었듯이 비선형 증폭 기능 외에 다양한 보청기의 잡음조절 기능을 통하여 잡음을 조절하는 것이 중요하다.

2) 난청 성인의 보청기적합

성인, 특히 언어습득후 난청 성인의 경우는 어음을 청취할 때, 소리가 너무 작아서 잘 들리지 않는 경우 이미 알고 있는 언어의 지식을 이용해서 추측할 수 있다(Nittrouer & Boothroyd, 1990). 그리고 성인은 듣기 편안한 소리 또는 신호대잡음비에 의해서 압축비율이 결정되며(Keidser & Grant, 2001), Barker & Dillon(1999), Barker et al.(2001) 등에서 난청인이 선호하는 압축역치는 보통 대화음레벨 또는 그 이상을 선호한다는 보고가 있었다. 또한 한국의 최민정 & 이경원(2011)의 보고에서는 60 ~ 70 dB SPL의 압축역치에서 음질과 신호대잡음비의 개선이 있었다고 하였다. 따라서 난청 성인의 경우는 역동범위의 개선에 알맞은 압축비율과 대화음레벨 부근의 압축역치 그리고 압축시간을 빠르게 설정하여 큰 소리로부터 청각기관을 보호하고 해제시간을 느리게 설정하여 음질 및 신호대잡음비의 개선에 초점을 맞추는 것이 효과적이라고 생각한다.

CONCLUSIONS

본고에서는 비선형 보청기의 압축비율과 압축역치 그리고 압축시간과 해제시간을 조절했을 때 증폭역을 포함한 역동범위, 신호대잡음비 및 자모음비가 어떻게 변화하는지를 살펴보았으며, 이에 따른 비선형 보청기의 적합 방법을 아동과 성인으로 구분하여 제안하였다. 그러나 앞에서도 언급했듯이 난청인의 의사소통 능력을 극대화하기 위하여 비선형 보청기의 압축비율과 압축역치 그리고 압축시간과 해제시간 등의 전기음향적 파라미터의 값을 결정한다는 매우 어렵다.

결론적으로 난청인의 비선형 보청기의 전기음향적 파라미터를 효과적으로 조절하기 위해서는 청력역치 (hearing threshold level)를 포함한 난청인의 음량 증가(loudness growth) 및 어음이해도의 평가와 아울러 보청기 착용 후 증폭역치, 조용한 곳 및 잡음 하에서의 단어 또는 문장인지도, 방향분별력 검사, 설문지 평가 등을 통하여 보청기적합에 대한 내용을 심리음향 및 심리사회적으로 확인하고 재조절을 실시해야 한다. 아울러 난청인, 특히 한국 난청 아동 및 성인의 의사소통 능력을 극대화하기 위해서는 한국어 인지특성에 대한 연구와 한국형 보청기적합공식(hearing aid fitting formula), 청능재활 프로토콜, 청능훈련에 필요한 도구 및 방법 등의 개발이 시급하다.

중심단어: 비선형 보청기, 압축비율, 압축역치, 압축시간, 해제시간, 보청기적합

REFERENCES

- 공혜경, 주연미, & 이경원. (2013). 어음잡음 하에서 자모음비에 따른 감각신경성난청인의 무의미음절 인지도. *청능재활*, 9, 33-39.
- 김영학. (2009). 감각신경성 난청인이 선호하는 압축역치 및 압축비율의 연구. 한림국제대학원대학교 석사학위 논문. 서울.
- 이경원 & 김진숙. (2009). 보청기적합공식과 한국의 연구 고찰. *청능재활*, 5, 6-12.
- 이경원 & 김진숙. (2012). 한국단음절어의 주파수중요 기능 연구. *청능재활*, 8, 24-33.
- 이경원 & 이소예. (2010). 한국어의 자모음비(CVR)에 따른 무의미음절의 단어인지도 변활. *청능재활*, 6, 25-29.
- 이경원, 이재희, & 이정학. (2008). 단측 보청기 착용 시 한국 감각신경성 난청 성인의 2-cc 커플러이득과 NAL-NL1의 비교. *청능재활*, 4, 69-73.
- 최민정 & 이경원. (2011). 압축역치의 조절을 통한 음질의 개선 사례보고. *청능재활*, 7, 100-106.
- Barker, C. & Dillon, H. (1999). Client preferences for compression threshold in single-channel wide dynamic range compression hearing aids. *Ear and Hearing*, 20, 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, 130-141.
- Boike, K. T. & Souza, P. E. (2001). 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, 456-468.
- Boothroyd, A. (1984). Auditory perception of speech contrast by subjects with sensorineural hearing loss. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 27, 134-244.
- Boothroyd, A. (1997). Auditory development of hearing child. *Scandinavian Audiology*, 26(suppl. 46), 9-16.
- Byrne, D., Dillon, H., Katsch, R., Ching, T., & Keidser, G. (2001). NAL-NL1 procedure for fitting non-linear hearing aids: Characteristics and comparisons with other procedures. *Journal of the American Academy of Audiology*, 12, 37-51.
- Hansen, M. (2002). Effects of multi-channel compression time constants on subjectively perceived sound quality and speech intelligibility. *Ear and Hearing*, 23, 369-380.
- Hornsbya, B. W. Y. & Ricketts, T. A. (2001). The effects of compression ratio, signal-to-noise ratio, and level on speech recognition in normal-hearing listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109(6), 2964-2973.
- 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, 516-527.
- Muller, T. F., Harris, F. P., & Ellison, J. C. (2004).

- Effect of release time on preferred gain and speech acoustics. *Journal of the American Academy of Audiology*, 15(9), 605-615.
- Neuman, A. C., Bakke, M. H., Mackersie, C., Hellman, S., & Levitt, H. (1995). Effect of release time in compression hearing aids: Paired-comparison judgments of quality. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98, 3182-3187.
- Nittrouer, S. & Boothroyd, A. (1990). Context effects in phonemes and word recognition by young children and older adults. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 2705-2715.
- Nozza, J. N., Rossman, R. N. F., & Bond, L. C. (1991). Infant-adult differences in unmasked thresholds for the discrimination of consonant-vowel syllable pairs. *Audiology*, 30, 102-112.
- Ramkalawan, T. & Davis, A. (1992). The effects of hearing loss and age of intervention on some language metrics in young hearing-impaired children. *British Journal of Audiology*, 26(2), 97-107.
- Smith, L. Z. & Levitt, H. (1999). Consonant enhancement effects on speech recognition of hearing-impaired children. *Journal of American Academy of Audiology*, 10, 411-421.
- Souza, P. E. & Kitch, V. (2001). The contribution of amplitude envelope cues to sentence identification in young and aged listeners. *Ear and Hearing*, 22, 112-119.
- Souza, P. E. & Turner, C. W. (1998). Multichannel compression, temporal cues, and audibility. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 41, 315-326.
- Yoshinaga-Itano, C., Sedey, A. L., Coulter, D. K., & Mehl, A. L. (1998). Language of early-and later-identified children with hearing loss. *Pediatrics*, 102(5), 1161-1171.