

## 한국 난청인을 위한 보청기 이득의 제안

한림국제대학원대학교 청각학과<sup>1</sup> · 한림대학교 자연과학대학 언어청각학부<sup>2</sup>

이 경 원<sup>1</sup> · 김 진 속<sup>2</sup>

### ABSTRACT

#### Suggestion of hearing aid gain for Korean Hearing Impaired (HAG-K)

Kyoung Won Lee<sup>1</sup> and Jin Sook Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Audiology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Department of Speech Pathology and Audiology, College of Nature Science, Hallym University, Chuncheon, Korea

The purpose of this study was to suggest one method of producing hearing aid gain for Korean (HAG-K) formula utilizing loudness growth of normal hearing (NH) and sensorineural hearing loss (SNHL), and long-term average speech spectrum (LTASS) for average conversational speech level. To yield HAG-K, the LTASS of NH was firstly obtained and simple equations were derived from differential dynamic ranges of SNHL which is different from those of NH according to loudness categories based on LTASS of normal hearing (LTASS<sub>NH</sub>). Then LTASS of SNHL (LTASS<sub>SN</sub>) was calculated using derived simple equations. Finally HAG-K was determined by the difference between LTASS<sub>NH</sub> and proportionally derived LTASS<sub>SN</sub> within the dynamic range of SNHL at each frequency. However, in order to calculate effective HAG-K, it is necessary to further analyze with real-ear to coupler difference by age, shape of hearing aid, upward spread of masking, occlusion effect, tonal quality and etc. Additionally, applying Korean speech intelligibility index which is different from English and evaluating user's satisfaction through self assessments should be considered. Calculating more effective HAG-K for the hearing impaired can increase degree of satisfaction after wearing hearing aids and can positively affect improving the tonal quality and reducing the period of auditory rehabilitation.

**KEY WORDS** : Gain, Hearing Aid, Hearing Aid Fitting Formula, Korean, Sensorineural Hearing Loss

### INTRODUCTION

난청인, 특히 감각신경성난청(SNHL, sensorineural hearing loss)인이 보청기를 착용했을 때 대화음(speech sound)을 효과적으로 청취할 수 있도록 보청기의 이득 또는 주파수반응곡선(frequency response curve) 그리고 최대출력(OSPL90, Output Sound Pressure Level 90 dB input)을 결정하는 것은 매우 어려운 과정이다. 그 이유는 SNHL인의 역동범위(DR, Dynamic Range)가 건청인에 비해 좁아져 있어서 청력역치(HTL, Hearing Threshold Level)보다 쾌적수준(MCL, Most Comfortable Level)의

증가율이 낮으며, 단어인지도(WRS, Word Recognition Score)가 저하되기 때문이다(Ricketts, 1996; Cox et al., 1997; Elberling, 1999; 박유진 & 이경원, 2009). 그리고 보청기 착용 시 모음의 과도한 에너지가 자음을 인지를 방해하는 상향차폐(upward spread of masking), 폐쇄효과(occlusion effect)로 인한 음질(tonal quality) 저하 등을 고려해야 하기 때문이다(Byrne & Dillon, 1986; Leijon et al., 1991).

현재까지 보청기의 이득 또는 OSPL90을 효과적으로 산출하기 위해 보청기의 사전처방법(prescription hearing aid gain) 또는 보청기적합공식(HAFF, Hearing Aid Fitting Formula)을 만들어 사용하고 있다. 현재 사용하고 있는 대부분의 HAFF는 HTL의 1/2 값을 이득으로 정하는 Lybarger(1944)의 1/2 이득법(a half gain rule)을 기본으로 하여 이를 수정한 후 사용하고 있는데 기본 원리는 보청기의 송화기에 유입되는 대화음 레벨에 HTL의

논문접수일: 2011년 11월 04일

게재확정일: 2011년 12월 06일

교신저자: 김진속, 200-702 강원도 춘천시 한림대학길 39.  
한림대학교 자연과학대학 언어청각학부, 청각언어연구소

전화: (033) 248-2213, 전송: (033) 256-3420

E-mail: jskim@hallym.ac.kr

1/2 값을 더하면 SNHL의 MCL 부근에 도달한다는 것이다. 지금까지 개발된 HAFF의 특징을 살펴보면 이득을 효과적으로 산출하기 위해서 HTL을 기준으로 하고 있으며, 상향차폐로 인한 WRS의 저하 및 음질이 나빠지는 것을 방지하기 위해서 저주파수 대역의 이득을 줄이는 것이 일반적이다. 선형증폭기의 HAFF는 Berger, POGO (prescription of gain/output), Libby 1/3 또는 2/3, NAL (national acoustic laboratories) 그리고 이를 수정한 NAL-R, DSL (desired sensation level) 등이 개발되어 사용되었다. 비선형증폭기는 보통 크기의 소리 (moderate sound) 외에 작은 소리(soft sound) 및 큰 소리(loud sound)에 대한 이득을 별도로 산출한다. 비선형증폭기의 HAFF는 난청인의 HTL을 기준으로 이득을 산출하는 Fig. 6, NAL-NL1 또는 NAL-NL2, IHAFF (threshold version), 감각수준으로 기준으로 하는 DSL I/O, 음량증가(loudness growth)를 기준으로 하는 IHAFF, ScalAdapt (adaptive fitting hearing instruments by category loudness scaling), VIOLA (visual input/output locator algorithm) 등이 대표적이며, 요즘 음은 보청기 제조사에서 자체적으로 제작한 HAFF도 보청기적합 소프트웨어에 내장하여 사용하고 있다(이경원 & 김진숙, 2009). 하지만 다양하게 개발된 HAFF는 보청기의 이득 처방을 위한 접근 방법이 서로 달라서 같은 HTL이라 하더라도 각각의 HAFF는 서로 다른 이득 및 최대출력을 산출한다(Byrne et al., 2001; 이경원 & 김진숙, 2009).

현재 한국에서는 대부분 유럽, 호주, 미국 등의 영어권에서 개발한 보청기 그리고 HAFF가 내장된 보청기적합 소프트웨어(hearing aid fitting software)를 수입하여 난청인의 보청기 적합에 사용하고 있다. 그러나 Byrne et al.(1994), 이경원 외(2008a), 이경원 외(2008b), 이경원 외(2010), 김진숙 & 이경원(2011) 등의 보고에서도 지적하였듯이 각국의 언어는 평균 대화음의 강도, 어음의 역동범위(speech dynamic range)와 스펙트럼, 주파수중요기능(frequency importance function) 등에 있어서 차이를 나타내고 있어서 각국의 언어에 알맞은 HAFF의 개발이 필요함을 시사하고 있다.

본 연구에서는 건청(NH, Normal Hearing)인 및 SNHL인의 음량증가, 평균 대화음 레벨(conversational speech level)에 해당하는 장기평균어음스펙트럼(LTASS, Long-Term Average Speech Spectrum)을 이용하여 한국 SNHL인이 착용하는 보청기의 이득을 효과적으로 산출하기 위해 한국형 보청기적합공식(HAG-K, Hearing

Aid Gain for Korean)의 제작에 대한 한 가지 방법을 제안하고자 하였다. 본 연구에서 산출하는 보청기의 이득은 2-cc 커플러 기준이며, 연령과 보청기의 형태에 따른 실이대커플러차, 상향차폐 그리고 폐쇄효과에 의한 WRS와 음질 등에 대해서는 고려하지 않았다.

## METHODS

본 연구에서 사용한 음량증가의 특성에서 NH는 신은영 외(2008), SNHL은 박유진 & 이경원(2009)의 연구 결과를 사용하였다. 그리고 평균 대화음 레벨에 대한 LTASS는 한국 건청인 6명(남; 3, 여; 3)에게 한국표준 문장목록(장현숙 외, 2008), 뉴스, 드라마 대본을 보통의 크기로 읽게 한 다음 1/3 옥타브밴드로 측정된 예비실험 데이터의 결과를 적용하였다.

HAG-K를 산출하는 방법은 첫 번째, HTL에 따른 MCL, 불쾌수준(UCL, Uncomfortable Level) 등 1-7까지의 각 음량단계(LC, Loudness Categories)의 변화를  $y=ax+b$ 의 형태의 일차방정식으로 도출하였다. 두 번째, 평균 대화음 레벨을 기준으로 한 LTASS가 NH의 역동범위 내의 어느 위치에 해당하는지를 확인하였으며, 이때의 값은 단위가 dB SPL이므로 TDH-39 헤드폰에 해당하는 단위인 dB HL로 환산하였다. 세 번째, 건청인의 LTASS(LTASS<sub>NH</sub>)가 난청인의 좁아진 역동범위 내의 어느 LC에 위치하는가를 확인하며 이를 통하여 감각신경성 난청인의 목표 LTASS(LTASS<sub>SN</sub>)를 구하였다. 마지막으로 각각의 1/2 옥타브밴드 주파수에서 LTASS<sub>SN</sub>와 LTASS<sub>NH</sub>의 차이를 구하여 보청기의 이득을 구하였다.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

### 1) HTL에 따른 각 LC의 관계식 산출

우선 LC는 1-7단계로 구분하며 1 LC는 HTL, 4 LC는 MCL, 7 LC는 UCL로 하였다. 유진 & 이경원(2009)의 연구결과에서 구한 LC 1, LC 4, LC 7의 식은 각각 [식 1]에서 [식 3]의 일차방정식으로 표현할 수 있다.

$$LC 1 (HTL) : y_1 = a_1x + b_1 = 0.30x + 75.7 \quad \text{-- [식 1]}$$

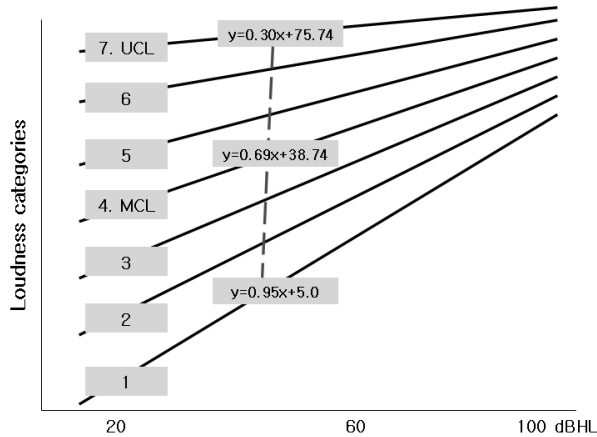
$$LC 4 (MCL) : y_4 = a_4x + b_4 = 0.69x + 38.7 \quad \text{-- [식 2]}$$

$$LC 7 (UCL) : y_7 = a_7x + b_7 = 0.95x + 5.0 \quad \text{-- [식 3]}$$

**Table 2.** LTASS의 dB HL 변환 값(TDH-39 기준)

|        |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 250  | 500  | 750  | 1,000 | 1,500 | 2,000 | 3,000 | 4,000 | 6,000 | 8,000 |
| dB SPL | 66.2 | 67.4 | 62.7 | 63.8  | 61.1  | 57.3  | 53.3  | 50.9  | 49.0  | 47.0  |
| dB HL  | 40.5 | 55.8 | 54.7 | 56.8  | 54.8  | 48.5  | 43.6  | 41.8  | 32.2  | 33.5  |

그리고 [식 1]에서 [식 3]을 이용하여 LC 1-7을 표현하면 <Fig. 1>과 같다.



**Figure 1.** HTL에 따른 각 LC의 변화

그리고 <Fig. 1>에서 LC 1-4, LC 4-7 사이의 LC가 등 간격을 이루고 있다는 가정 하에 LC 2와 3, LC 5와 6의 방정식을 [식 4]를 통하여 구하였다.

$$y_c = \frac{1}{(n-1)} \{ [a_n(c-1) - a_1(c-n)]x + [b_n(c-1) - b_1(c-n)] \} \text{ ----- [식 4]}$$

여기에서 c는 해당 LC, n은 총 LC의 수이다.

[식 4]를 통해서 구한 LC 1-7의 방정식은 <Table 1>에 나타내었다.

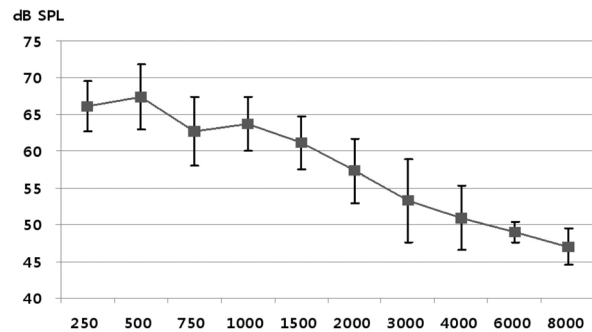
**Table 1.** HTL에 따른 각 LC의 방정식

| loudness categories (LC) | equations of regression |
|--------------------------|-------------------------|
| LC 7                     | $y_7 = 0.30x + 75.7$    |
| LC 6                     | $y_6 = 0.43x + 63.4$    |
| LC 5                     | $y_5 = 0.56x + 51.0$    |
| LC 4                     | $y_4 = 0.69x + 38.7$    |
| LC 3                     | $y_3 = 0.77x + 29.7$    |
| LC 2                     | $y_2 = 0.84x + 19.7$    |
| LC 1                     | $y_1 = 0.92x + 9.8$     |

\* x = HTL

**2) LTASS<sub>NH</sub>와 CSL에 따른 LC의 위치 확인**

B&K 사의 소음계(sound level meter, 모델명: 2250 L 300)를 난청인의 입과 같은 높이에서 실제 대화 시의 거리와 비슷한 1 m 전방에 위치하고, 한국표준 문장목록(장현숙 외, 2008), 뉴스, 드라마 대본을 보통의 크기로 읽게 한 다음 피검자의 대화음 레벨을 1/3 옥타브밴드로 측정하여 건청인의 LTASS를 구하였다. 본 연구에서의 LTASS는 정상청력을 가진 20대의 한국 성인 남녀 각 3명에 대한 예비실험을 통하여 구하였으며, 이들의 LTASS<sub>NH</sub>는 <Fig. 2>와 같다.



**Figure 2.** 한국 건청인 6명(남: 3명, 여: 3명)의 LTASS<sub>NH</sub>의 평균과 표준편차

**3) 난청인의 목표 LTASS<sub>SN</sub> 산출**

SNHL의 목표 LTASS<sub>SN</sub>를 구하는 방법은 첫째, 한국 건청인에게서 구한 LTASS<sub>NH</sub>의 각 주파수 별 수치(dB SPL)를 TDH-39 헤드폰에 해당하는 단위인 dB HL로 환산하였다. <Fig. 2>의 각 주파수 별 LTASS<sub>NH</sub> 값을 TDH-39에 해당하는 단위인 dB HL로 환산한 값은 <Table 2>와 같다. 둘째, 특정 주파수에서 dB HL로 환산한 수치가 건청인의 음량증가에서 어느 LC에 해당하는지를 확인하였다. 셋째, 해당 LC를 <Fig. 1> 및 <Table 1>의 수식을 이용하여 난청인의 HTL에 따라 어느 LC에 해당하는지를 확인하여 SNHL의 목표 LTASS<sub>SN</sub>를 구하였다.

<Table 3>은 <Table 2>의 변환 값을 이용하여 1/2 옥타브밴드 주파수에서의 LTASS<sub>NH</sub>의 해당 LC 그리고 SNHL인의 HTL에 따른 목표 LTASS<sub>SN</sub>를 구하기 위한 방정식을 나타낸 것이다.

**Table 3.** 각 주파수 별 LTASS<sub>NH</sub>의 해당 LC 및 SNHL인의 목표 LTASS<sub>SN</sub>의 방정식

| frequency (Hz) | LTASS <sub>NH</sub> : 해당 LC | 목표 LTASS <sub>SN</sub>           |
|----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 250            | 40.5 : 3.1                  | LC <sub>3,1</sub> = 0.76x + 30.3 |
| 500            | 55.8 : 4.4                  | LC <sub>4,4</sub> = 0.64x + 43.6 |
| 750            | 54.7 : 4.3                  | LC <sub>4,3</sub> = 0.65x + 42.4 |
| 1,000          | 56.8 : 4.5                  | LC <sub>4,5</sub> = 0.63x + 44.9 |
| 1,500          | 54.8 : 3.9                  | LC <sub>3,9</sub> = 0.70x + 37.7 |
| 2,000          | 48.5 : 3.5                  | LC <sub>3,5</sub> = 0.73x + 33.9 |
| 3,000          | 43.6 : 3.1                  | LC <sub>3,1</sub> = 0.76x + 30.0 |
| 4,000          | 41.8 : 2.9                  | LC <sub>2,9</sub> = 0.77x + 28.1 |
| 6,000          | 32.2 : 2.2                  | LC <sub>2,2</sub> = 0.83x + 21.4 |
| 8,000          | 33.5 : 2.3                  | LC <sub>2,3</sub> = 0.82x + 22.3 |

**Table 4.** HTL이 60 dB HL의 수평형인 경우 건청인의 LTASS<sub>NH</sub>와 감각신경성난청인의 LTASS<sub>SN</sub> 그리고 한국 난청인(HAG-K), NAL-NL1 및 Fig. 6의 각 주파수 별 보청기의 이득(60 dB SPL input)

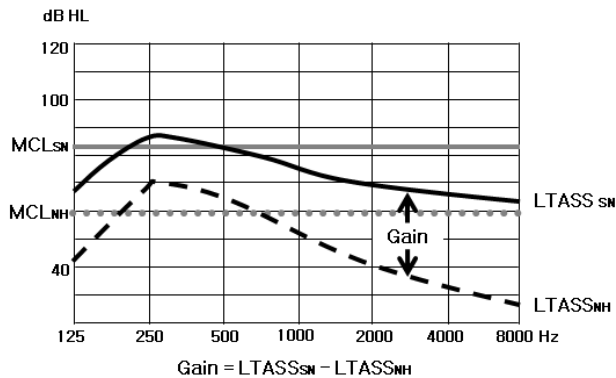
| Frequency (Hz)      | 250  | 500  | 750  | 1,000 | 1,500 | 2,000 | 3,000 | 4,000 |
|---------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LTASS <sub>SN</sub> | 75.9 | 82.0 | 81.4 | 82.7  | 79.7  | 77.7  | 75.6  | 74.3  |
| LTASS <sub>NH</sub> | 40.5 | 55.8 | 54.7 | 56.8  | 54.8  | 48.5  | 43.6  | 41.8  |
| HAG-K*              | 35.4 | 26.2 | 26.7 | 25.9  | 24.9  | 29.2  | 32.0  | 32.5  |
| NAL-NL1**           | 10.0 | 16.0 | 20.5 | 28.5  | 30.0  | 31.5  | 31.5  | 26.5  |
| Fig. 6**            | 20.5 | 21.0 | 22.0 | 22.0  | 23.0  | 25.0  | 25.0  | 22.5  |

\* : HAG-K=LTASS<sub>SN</sub>-LTASS<sub>NH</sub>  
 \*\* : In-the-ear (ITC) 보청기 기준

4) 보청기의 이득의 산출

특정 주파수(f)에 대한 보청기 이득 Gain(f)는 [식 5]와 같이 SNHL의 목표 LTASS<sub>SN</sub>에서 건청인의 LTASS<sub>NH</sub>를 뺀 값으로 정할 수 있으며, <Fig. 3>과 같이 표현할 수 있다.

$$Gain(f) = LTASS_{SN} - LTASS_{NH} \text{ ----- [식 5]}$$



**Figure 3.** 보청기의 이득

<Table 4>는 HTL이 전 주파수에서 60 dB HL인 경우

[식 5]를 이용하여 보청기의 2-cc 커플러 이득(HAG-K)을 구하여 호주의 NAL 연구소에서 개발한 NAL-NL1 소프트웨어(version 1.40) 상에서 산출한 NAL-NL1 그리고 Fig. 6 HAFF의 이득과 비교한 것이다. NAL-NL1과 Fig. 6의 이득은 ITC형의 보청기 그리고 2-cc 커플러를 기준으로 산출하였다.

<Table 4>에서 산출한 한국 난청인의 2-cc 커플러 이득은 250 Hz에서 35.4 dB로 최대, 1,500 Hz에서 24.9 dB로 최소치를 나타냈다. 이를 NAL-NL1의 2-cc 커플러 이득과 비교해 보면 750 Hz 이하의 주파수에서는 HAG-K가, 1,000-4,000 Hz에서는 NAL-NL1이 그리고 3,000 Hz 이상에서는 HAG-K의 이득이 높게 나타났으며, 2,000 Hz와 3,000 Hz에서 이득의 차이는 1.7 dB 이하로 적게 나타났다. Fig. 6와의 비교에서는 모든 주파수에서 HAG-K의 이득이 높게 나타났으며, 1,000-2,000 Hz의 이득이 차이가 적게 나타났다. 본 연구의 결과는 한국 난청인이 선호하는 2-cc 커플러 이득을 NAL-NL1 (version 0.9)와 비교한 이경원 외(2008)의 연구에서는 3,000 Hz를 제외한 모든 주파수에서의 이득이 NAL-NL1에 비해서 낮게 나타나 차이를 나타냈다. 특히 NAL-NL1

과의 비교에서 250 Hz와 500 Hz의 이득의 차이가 25.4 dB, 10.2 dB의 차이로 비교적 컸는데 이는 HAG-K의 경우는 상향차폐 또는 폐쇄효과 등을 고려하지 않았기 때문인 것으로 생각한다. 그리고 von Hapsburg & Bahng(2006), 이경원 외(2008)의 LTASS에서 저주파수와 고주파수의 차이가 발생함을 미루어 볼 때 HAG-K에서 1,000 Hz 이하 저주파수의 이득은 NAL-NL1, Fig. 6에 비해서 더 낮아질 것으로 예측할 수 있다.

본 연구에서의 HAG-K는 2-cc 커플러 이득을 기준으로 제안하였으며, 난청인의 연령, 보청기의 형태 등에 따른 실이대커플러차, 상향차폐, 폐쇄효과 등에 의한 음질 등에 대해서는 고려하지 않았다. 이 외에도 효과적인 HAG-K를 산출하기 위해서는 한국인의 평균 대화음 레벨, 한국어 단음절 또는 문장의 주파수중요기능을 포함한 어음명료지수(speech intelligibility index) 등의 기초적인 연구가 더 필요하다. 그리고 음질, WRS 및 문장인지도 검사, 자가설문지평가(self assessment) 등을 통하여 2-cc 커플러 이득을 확인하는 것 또한 중요하다. 그리고 HAG-K는 향후 선형증폭기의 최대출력을 포함하여 비선형증폭기의 압축비율(compression ratio) 및 압축역치(compression threshold) 그리고 압축시간(attack time) 및 해제시간(release time) 등에 대해서도 산출할 수 있도록 추가적인 연구가 필요하다.

## CONCLUSIONS

본 연구에서는 한국 난청인이 착용하는 보청기의 이득을 효과적으로 산출하기 방법을 2-cc 커플러를 기준으로 알아보았다. 그러나 효과적인 HAG-K를 산출하기 위해서는 임상을 통하여 연령, 보청기의 형태 등에 따른 실이대 커플러차, 상향차폐 또는 폐쇄효과를 줄이기 위한 음질 등에 대한 분석이 더 이루어져야 할 것이다. 또한 영어와 차이를 나타내는 한국어의 어음명료지수의 적용과 자가설문지평가 등을 통한 보청기의 만족도 등의 평가도 고려해야 할 것이다. 적절한 HAG-K의 산출은 보청기 착용 후의 만족도를 향상할 수 있으며 청능재활의 질과 기간의 단축에도 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

중심단어 : 감각신경성난청, 보청기, 보청기적합공식, 이득, 한국

## REFERENCES

1. 김진숙, 이경원. 한국 단음절어의 주파수중요기능에 관한 연구. 한국청각언어재활학회 학술대회 발표논문집. 2011:104-109.
2. 이경원, 김민정, 박정혜, 정해준, 천성미, 이수향, 서연학, 안우준. 한국어와 중국어의 장기평균어음스펙트럼 비교. 한국청각언어재활학회 학술대회 발표논문집. 2010:150-152.
3. 이경원, 김진숙. 보청기적합공식과 한국의 연구 고찰. 청능재활. 2009;5(1):6-12.
4. 이경원, 이재희, 이정학. 단측 보청기 착용 시 한국 감각신경성 난청 성인의 2-cc 커플러이득과 NAL-NL1의 비교. 청능재활. 2008a;4:69-73.
5. 이경원, 이재희, 이정학. 한국어음을 이용한 다화자잡음의 개발 시안. 청능재활. 2008b;4:24-27.
6. 신은영, 김대영, 박한, 변혜민, 이성민, 윤지은, 이경원. 정상청력을 가진 한국성인의 음량증가의 특성. 청능재활. 2008;4:64-68.
7. 박유진, 이경원. 감각신경성 난청 성인의 청력역치에 따른 음량증가의 연구. 한국청각언어재활학회 학술대회 발표논문집. 2009;176-181.
8. 장현숙, 이정학, 이덕환, 이경원, 전아름, 정은조. 문장인지검사를 위한 한국표준 문장표 개발. 청능재활. 2008;4:161-177.
9. Byrne D, Dillon H. The National Acoustics Laboratories' (NAL) new procedure for selecting the gain and frequency response of a hearing aid. *Ear Hear.* 1986;7(4):257-265.
10. Byrne D, Dillon H, Ching T, Katsch R, Keidser G. NAL-NL1 procedure for fitting non-linear hearing aids: characteristics and comparisons with other procedures. *J Am Acad Audiol.* 2001;12(1):37-51.
11. Byrne D, Dillon H, Tran K, Arlinger S, Wilbraham K, Cox R, et al. An international comparison of long-term average speech spectra. *J Acoust Soc Am.* 1994;96(4):2108-2120.
12. Cox RM, Alexander GC, Taylor IM, Gray GA. The contour test of loudness perception. *Ear Hear.* 1997;18:388-400.
13. Elberling C. Loudness scaling revised. *J Am Acad Audiol.* 1999;10:248-260.
14. Leijon A, Lindkvist A, Ringdahl A, Israelsson, B. Sound quality and speech perception for prescribed hearing aid frequency response. *Ear Hear.* 1991;12(4):251-260.
15. Lybarger SF. (July 3, 1944). U.S Patent Application SN 543. 278. In: Dillon H. *Hearing Aids.* New York: Thieme;2001. pp.236.
16. Ricketts TA. Fitting hearing aids to individual loudness-perception measures. *Ear Hear.* 1996;17:124-132.
17. von Hapsburg D, Bahng J. Acceptance of background noise levels in bilingual (Korean-English) listeners. *J Am Acad Audiol.* 2006;17:649-658.