

# 디지털 보청기에서의 NAL-NL1 기반 한국형 비선형 fitting formula 연구

김혜미<sup>1</sup>, 이상민<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 전자공학과, <sup>2</sup>인하대학교 정보전자 공동연구소

## A Study of Korean Non-linear Fitting Formula based on NAL-NL1 for Digital Hearing Aids

H. M. Kim<sup>1</sup>, S. M. Lee<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Inha University,

<sup>2</sup>Institute for Information and Electronics Research, Inha University,

(Received February 18, 2009. Accepted April 8, 2009)

### Abstract

In this study, we suggest Korean nonlinear fitting formula (KNFF) to maximize speech intelligibility for digital hearing aids based on NAL-NL1 (NAL-nonlinear, version 1). KNFF was derived from the same procedure which is used for deriving NAL-NL1. KNFF consider the long-term average speech spectrum of Korean instead of English because the frequency characteristic of Korean is different from that of English. New insertion gains of KNFF were derived using the SII (speech intelligibility index) program provided by ANSI. In addition, the insertion gains were modified to maximize the intelligibility of high frequency words. To verify effect of the new fitting gain, we performed speech discrimination test (SDT) and preference test using the hearing loss simulator from NOISH. In the SDT, a word set as test material consists of 50 1-syllable word generally used in hearing clinic. As a result of the test, in case of moderate hearing loss with severe loss on high frequency, the SDT scores of KNFF was more improved about 3.2% than NAL-NL1 and about 6% in case of the sever hearing loss. Finally we have obtained the result that it was the effective way to increase gain of mid-high frequency bands and to decrease gain of low frequency bands in order to maximize speech intelligibility of Korean.

**Key words :** Digital hearing aids, NAL-NL1, Korean nonlinear fitting formula, Speech discrimination test

### 1. 서론

고령인구가 점차 증가함에 따라 노인성 난청인들의 수가 증가하고 있으며 소음환경 증가로 인한 젊은 세대의 난청화 현상 또한 가속화되고 있다. 이에 따라 청력 손실이 있는 난청인에게 보다 나은 소리 환경을 제공하기 위해 보청기의 개발도 끊임없이 진행되어 오고 있다. 일반적으로 보청기는 입력신호를 증폭하고 난청인의 높아진 청력역치 (hearing threshold)를 보상하고 증폭된 소리를 압축 (compression)하여 난청인의 좁아진 청력범위에 소리를 적합 (fitting)시키는 역할을 한다[1]. 여기서 적합 시킬

때 청력 손실 정도에 맞게 적절한 이득으로 보상해주어 소리를 편안하고 명료하게 잘 들을 수 있도록 도와주게 된다. 그러나 개개인의 청력 손실 정도는 유형별로 다르기 때문에 이에 맞게 적절한 이득을 주기 위한 방법들이 존재하는데 이 이득을 얼마나 잘 조절해주는가는 중요한 문제이다. 지금까지도 보청기에는 많은 fitting formula들이 사용되고 있으며 이에 대한 연구도 끊임없이 진행되어 오고 있다[2-14].

초기의 fitting formula는 1935년 Knudsen와 Jones가 제안한 방법으로 단순히 audiogram의 각 주파수에 해당하는 청력역치 (hearing threshold)만큼 보상해주는 방법이었다. 즉, 청각 역치가 1dB 증가하면 1dB을 보상해주는 방법이었다. 다음으로는 1940년에 Knudsen이 MCL (most comfortable level) 혹은 UCL (uncomfortable level)을 고려한 방법을 개발하였고, 이어 1944년에 Lybarger이 인간의 귀는 청각 역치의 절반 정도를 보상해 주

**Corresponding Author :** 이상민  
(402-751) 인천광역시 남구 용연동 253 인하대학교 하이테크 803호  
Tel : +82-32-873-1549 / Fax : +82-32-868-3654  
E-mail : sanglee@inha.ac.kr

This work was supported by grant No. 10031764 from the Strategic Technology Development Program of Ministry of Knowledge Economy and by the grant from the Korea Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Korea (02-PJ3-PG6-EV10-0001)

는 것을 선호한다고 하여 half-gain rule을 개발하였다. 그러나 이러한 초기의 처방 절차법은 오직 선형 보청기 (linear hearing aid)에만 제공되었다[2].

이후, WDRC (wide dynamic range compression)이 적용된 비선형 보청기 (non-linear hearing aid)이 개발됨에 따라 새로운 fitting formula들이 연구되었다. 그 중에서도 대표적으로 LGOB (loudness growth in 1/2-octave bands)[3], IHAFF (Independent Hearing Aid Fitting Forum)[4], Ricketts and Bentler (RAB) [5], ScalAdqpt[6], POGO (prescription of gain/output)[7], FIG6[8]와 DSL[i/o] (the desired sensation level)[9]등 linear prescription procedure의 특징이 남아있는 새로운 nonlinear fitting formula가 개발되었다. 이 fitting formula들의 특징은 전체 loudness를 정규화 (normalization)한 방법으로 소리를 좀 더 부드럽게 전달하는 것을 특징으로 한다[2].

그러나 Moore는 정규화가 보청기에 최적의 보상정도를 줄 수 없다는 의견이 제시하면서 정규화 시킬 뿐만 아니라 음성을 들을 때 편안하고 명료하게 잘 들을 수 있도록 하는 피팅 절차법을 제안 [10]하였다. 이에 따라 호주의 National Acoustic Laboratory (NAL)에서는 NAL과 half-gain rule과 1/3 slop rate을 적용한 NAL-R (NAL- Revised)이란 비선형 fitting formula와 심도 난청인에게 적용되는 NAL-RP (NAL-R, Profound)란 방법을 거쳐 음성 명료도를 최대화시켜주는 NAL-NL1 (NAL- nonlinear, version 1)이라는 새로운 비선형 fitting formula를 개발하였다 [11].

하지만 이 NAL-NL1은 영어의 주파수 특성을 기준으로 fitting formula를 유도했으며 한국어를 사용하는 한국인에게도 맞는 적절한 보상방법인지는 의문이다. 실제로 영어의 모음과 비슷한 음가의 모음이 한국어에도 있으나, 실제 같지 않은 모음발음을 갖는다는 보고가 있으며 영어에는 한국어에는 없는 발음들이 존재하며 또한 한국어에서는 된소리가 자주 사용되고 있어 영어와는 다른 주파수 특성을 지니고 있다[12].

이처럼 전 세계적으로 디지털 보청기의 초기 보상 방법에 대한 연구가 끊임없이 진행되어 오는 것으로 보아 fitting formula가 중요시되고 있음은 물론, 현재 개발되어 보편적으로 인정받고 있는 방법들은 주로 영어를 사용하는 사람들에 의하여 영어의 특성을 위주로 개발된 방법들이므로 한국인에게 보다 적합하게 보상해 줄 수 있는 방법을 제공할 fitting formula의 개발이 필요한 시점이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 음성 명료도가 최대화 되도록 보상해주는 방법인 NAL-NL1을 기반으로 하여 한국어에 맞는 한국형 비선형 fitting formula (Korean nonlinear fitting formula, KNFF)를 제안하였다.

## II. 이론적 배경

### A. NAL-NL1

전 주파수 대역의 loudness 레벨을 비슷하게 높여주는 것이 듣기 좋은 소리를 제공해 줄 수 있으나 음성 명료도(speech intelligibility)가 좋아지는 방법은 아니다. 따라서 음성 명료도를 최대화하도록 청력 손실을 보상해 주는 방법이 고안되었는데 이것이 NAL-NL1이다. 이와 같은 이론적 배경을 기초로 하여 NAL-NL1은 음성의 명료도를 최대화하기 위해 음성 명료도 지수 (speech intelligibility index, SII)[13]를 인용하였다. SII는 피험자를 사용하지 않고 객관적인 물리량으로부터 명료도를 예측하는 음향 물리 지표이다. 다음으로 그림 1에 제시된 국제 장시간 평균 음성 스펙트럼 (international long-term average speech spectrum)[14]을 이용하여 음성의 normal loudness level을 구하는 방법이 사용되었다[2].

위의 이론적인 모델을 바탕으로 성립된 NAL-NL1은 다른 fitting formula들과는 다른 특성을 지니고 있다. 그림 2는 전 주파수 대역의 청력 손실이 60dB HL을 갖는 경우 2kHz 주파수 대역에서 2-채널 보청기에 적용된 NAL-NL1과 FIG6, NAL-NL1,

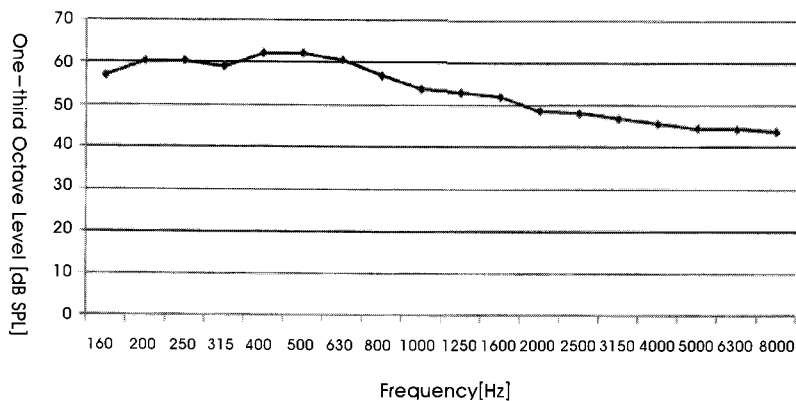


그림 1. 국제 장시간 평균 음성 스펙트럼.

Fig. 1. An international long-term average speech spectrum.

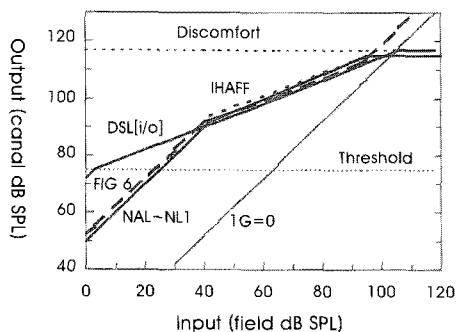


그림 2. NAL-NL1과 다른 fitting formula들의 입-출력 그림.  
Fig. 2. Input-output diagrams of NAL-NL1 and other fitting formulas.

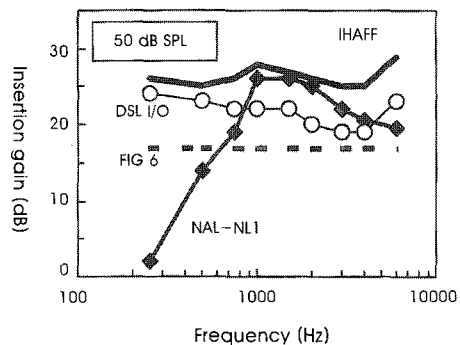


그림 3. NAL-NL1과 다른 fitting formula들의 주파수별 삽입 이득.  
Fig. 3. Insertion gains of NAL-NL1 and other fitting formulas at each frequency.

DSL[i/o], IHAFF와의 입-출력 레벨을 비교해놓은 그림이다[2]. 그림에 나타난 바와 같이 NAL-NL1은 DSL[i/o]나 IHAFF와 같은 fitting formula와 다른 양상을 보이고 있다. FIG 6와는 100dB SPL까지 비슷한 양상을 보이고 있으나 이 두 formula의 차이는 그림 3에서 확인할 수 있다.

그림 3은 전 주파수 대역에서 40dB HL의 동일한 청력 손실이 있는 경우 IHAFF, DSL[i/o], FIG 6방법과 NAL-NL1과의 삽입 이득 (insertion gain)을 비교해놓은 그래프[2]이다. NAL-NL1은 전 주파수 대역에서 대체적으로 비슷한 삽입 이득으로 보상해주는 다른 방법들에 비해 저주파 대역에 gain을 적게 주는 특성을 지니고 있다. 이는 다른 방법들에 비해 NAL-NL1은 intelligibility를 최대화하기 위해 음성의 스펙트럼이 전 대역에 걸쳐 잘 균형 잡히도록 시도한 방법이기 때문이다[2].

**B. 한국어의 특성 및 빈도수**

국내에서는 NAL-NL1이 보청기를 fitting하는데 사용된다 하더라도 이를 이용한 1차 fitting 이후 보청기를 사용하는 착용자의 의견을 반영하여 2차 fitting이 필요하다. 이는 우리나라 사람들은

한국어를 사용하는데 비해 NAL-NL1은 영어를 바탕으로 개발된 방법이기 때문이다.

실제로 한국어와 영어는 주파수 분석에서 다른 특징을 보이고 있다. 한국어를 주로 사용하는 우리나라 사람들이 한국어와 영어에는 비슷한 음가들이 많음에도 불구하고 영어를 발음할 때에 어려움을 느끼고 있는 곳에서부터 그 이유를 찾을 수 있다.

한국어와 영어의 모음체계를 생각해 볼 때, 영어의 /i, ɪ, e, æ, ə, a, ɔ, o, ʊ, u/ 등의 모음과 비슷한 음가의 모음이 한국에도 있다. 그러나 실제로 /i/ 하나를 보더라도 영어의 모음 /i/와는 혀의 위치가 다르며, 국어의 모음 /ɨ/도 영어의 모음 /ɨ/보다 조음의 위치가 다르다[12]. 또한 한국어에는 없는 /f/, /v/, /θ/, /ð/ 등이 영어에는 존재하며, /tʃ/, /bʃ/, /ʃ/, /x/와 같은 된소리 발음도 한국어에서는 빈번히 사용되고 있어 두 언어는 비슷하지만 다른 특성을 지니고 있다.

그림 4는 한국어와 영어에 공통적으로 존재하는 모음 음가들의 포먼트를 주파수 분석한 그림[12]이다. f1은 각 음가의 첫 번째 포먼트이고 f2는 두 번째 포먼트이다. 이 그림을 살펴보면 비록 다른 두 언어를 같은 발음 기호로 표현하였지만 각 언어에는 각각의 독

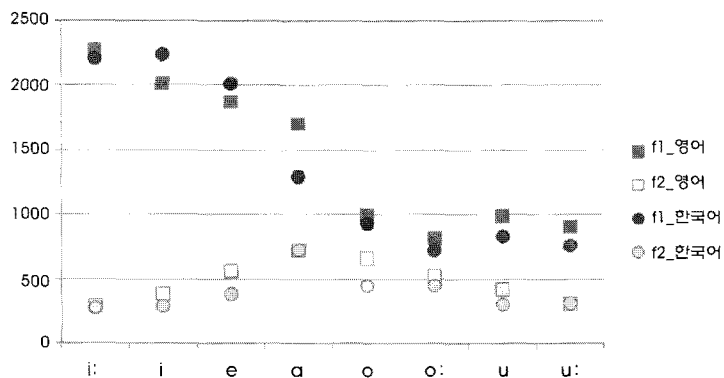


그림 4. 한국어와 영어 모음의 포먼트 주파수 분석.  
Fig. 4. Formant frequency analysis of Korean and English vowel sounds.

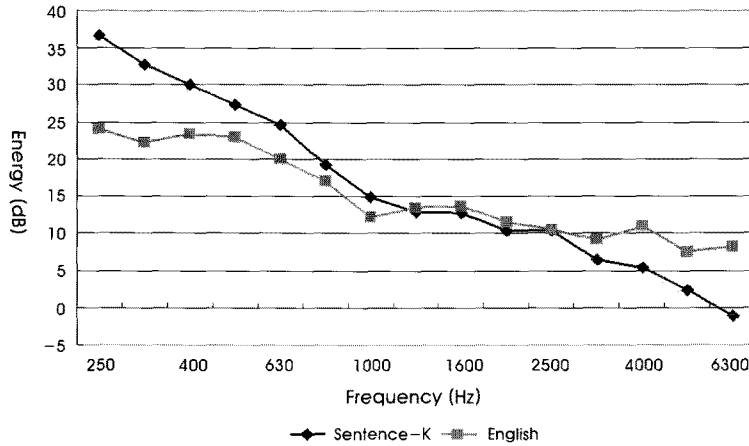


그림 5. 한국어와 영어의 장시간 평균 음성 스펙트럼.  
 Fig. 5. LTASS(long-term average speech spectrum) comparison of Korean and English.

특한 주파수 특성을 지니고 있어 발음상의 차이가 발생한다는 것을 알 수 있다. 이러한 발음상의 차이는 청취 시 다른 소리로 들리도록 한다.

또한 그림 5에 제시되어 있는 한국어와 영어의 LTASS (long-term average speech spectrum)[15]를 살펴본다면 두 언어의 주파수 특성을 살펴보면 상대적으로 한국어가 영어에 비해 저주파 대역에 에너지를 더 많이 지니고 있으며 고주파 대역에서는 영어가 에너지를 더 많이 지니는 것을 볼 수 있다.

이렇듯 한국어와 영어의 주파수 특성이 다르다는 점을 반영한 데 더해 본 연구에서는 한국어 음성 인식을 높이기 위해 사람들이 자주 사용하는 말소리의 빈도수도 고려하였다. 빈도수의 고려를 위해 2003년 이화여자대학교 의과대학 이비인후과학교실에서 진행한 한국어 및 단음절 어음표의 음절 분포도를 참조하였다. 이 연구에서는 일상 회화를 기준으로 분석하고자 ‘MBC 베스트 극장’의 33회분의 극 대본을 어음 자료로 선정하여 분석하였다. 이 연구에서 음절의 누적 빈도 분포를 보았을 때 가장 자주 쓰이는 음절은 /느/이며 /이/, /다/, /가/, /지/, /나/, /아/, /마/, /그/, /고/, /자/, /하/, /서/, /시/, /리/, /나/, /니/, /저/, /어/, /허/, /수/, /사/, /며/, /르/, /여/ 등의 순으로 자주 사용된다고 조사되었다[16].

이로서 영어를 주로 사용하는 호주에서 완성된 NAL-NL1은 한국어를 주로 사용하는 한국인에게 적절한 보상방법이라고 할 수 없다는 판단 하에 한국어의 모음과 자음 주파수 특성과 일상 회화에서 가장 많이 사용하는 말소리의 빈도수를 고려하여 새로운 fitting formula인 KNFF를 제안하였다.

### III. 한국형 비선형 fitting formula (KNFF)

#### A. KNFF의 유도 방법 및 과정

KNFF는 음성 명료도를 최대화하는 것을 목적으로 한 NAL-

NL1과 매우 유사하다. 그러나 한국어는 그림 5에서 나왔듯이 영어보다 저주파수에 에너지가 많은 특징을 가지고 있다. KNFF는 이러한 한국어의 주파수 특성과 자주 사용되는 말소리의 빈도수를 고려하여 보다 한국인의 귀에 편안하고 잘 들리는 말소리를 제공될 수 있도록 한 fitting formula이다.

KNFF의 유도방법은 NAL-NL1의 유도방법[11]을 바탕으로 하여 SII 프로그램을 이용하였다. 그림 6은 ANSI에서 제공되는 SII 프로그램이다. KNFF에서는 그림 5에 제시되어 있는 한국어 LTASS를 이용하였으며 오디오그램을 입력하고 가장 높은 SII값

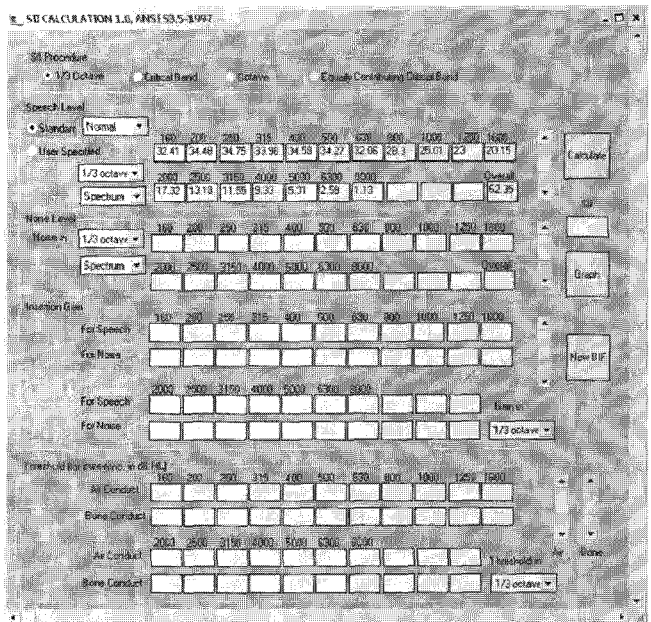


그림 6. ANSI에서 제공하는 음성명료도지수(SII) 프로그램.  
 Fig. 6. The program of speech intelligibility index from ANSI.

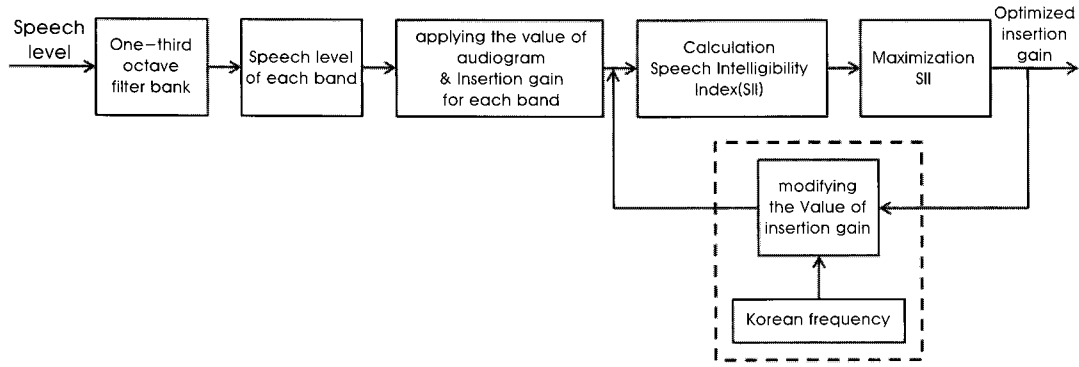


그림 7. 한국형 fitting formula의 유도 방법.  
 Fig. 7. Block diagram for derivation of Korea-type fitting formula.

을 얻을 때까지 삽입 이득을 조절하였다. 그 후 NAL-NL1과 마찬가지로 SII값이 최대가 되는 조건 하에 삽입 이득을 보통이나 그 이하의 레벨로 재조절 하였다. 따라서 KNFF 역시 다른 fitting formula들과는 달리 전 주파수 대역을 비슷하게 삽입 이득을 주는 방법을 사용하지 않았다.

그림 7은 KNFF의 유도과정을 나타낸 블록도이다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 삽입 이득을 얻는 과정에서 말소리의 빈도수를 고려한 부분이다. 여기서 자음부분을 더 강조하고자 저주파수보다 중-고주파수 부분의 이득값을 좀 더 증가시키는 과정을 진행하였다.

**B. 한국형 비선형 fitting formula와 NAL-NL1의 비교**

위 과정에서 완성된 새로운 fitting formula는 NAL-NL1을 기본에 두고 있어 매우 유사하나 한국어의 특성과 빈도수를 고려하였기 때문에 새롭게 삽입 이득을 조절하였다.

그림 8은 고도 난청인 경우 보상되는 NAL-NL1과 한국형 비선

형 fitting formula 삽입 이득을 비교한 그래프이다. 영어와 한국어의 주파수 특성이 다른 만큼 영어를 바탕으로 완성된 NAL-NL1와 비슷한 패턴을 갖지만 주파수별로 이득값의 차이가 조금씩 나는 것을 볼 수 있다. 한국어의 LTASS 그래프에서 나타난 바와 같이 한국어는 영어에 비해 저주파수 부분에 에너지가 몰려있어 SII 프로그램으로 적절한 이득의 계산 시 NAL-NL1에 비해 저주파수 부분의 이득 값이 더 떨어지고 중-고주파수 부분의 이득값이 더 증가해야 SII값이 최대화 된다. 이에 한국어의 빈도수가 높은 자음 부분을 강조하였기 때문에 중-고주파수부분의 이득값이 증가되어 있는 형태가 되었다.

**IV. 실험 과정 및 결과**

**A. 실험 조건**

본 연구에서는 KNFF를 평가하기 위해 NOISH에서 제작한 난청 시뮬레이터를 이용하여 정상 청각 피험자를 대상으로 어음명료

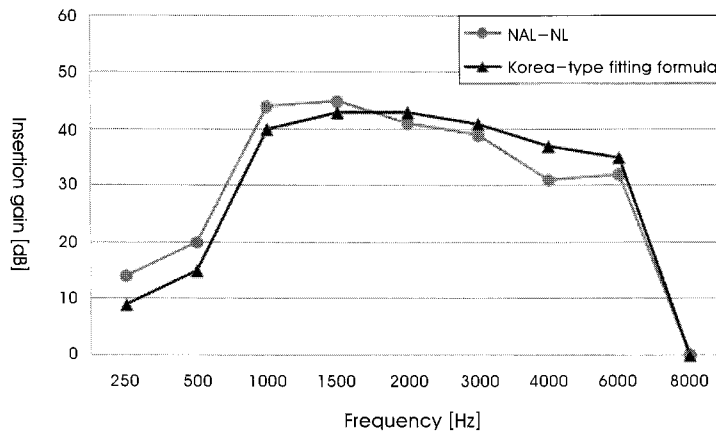


그림 8. 고도 난청인 경우 NAL-NL1과 한국형 fitting formula의 삽입 이득.  
 Fig. 8. Insertion gain of NAL-NL1 and Korea-type fitting formula for severe hearing loss.

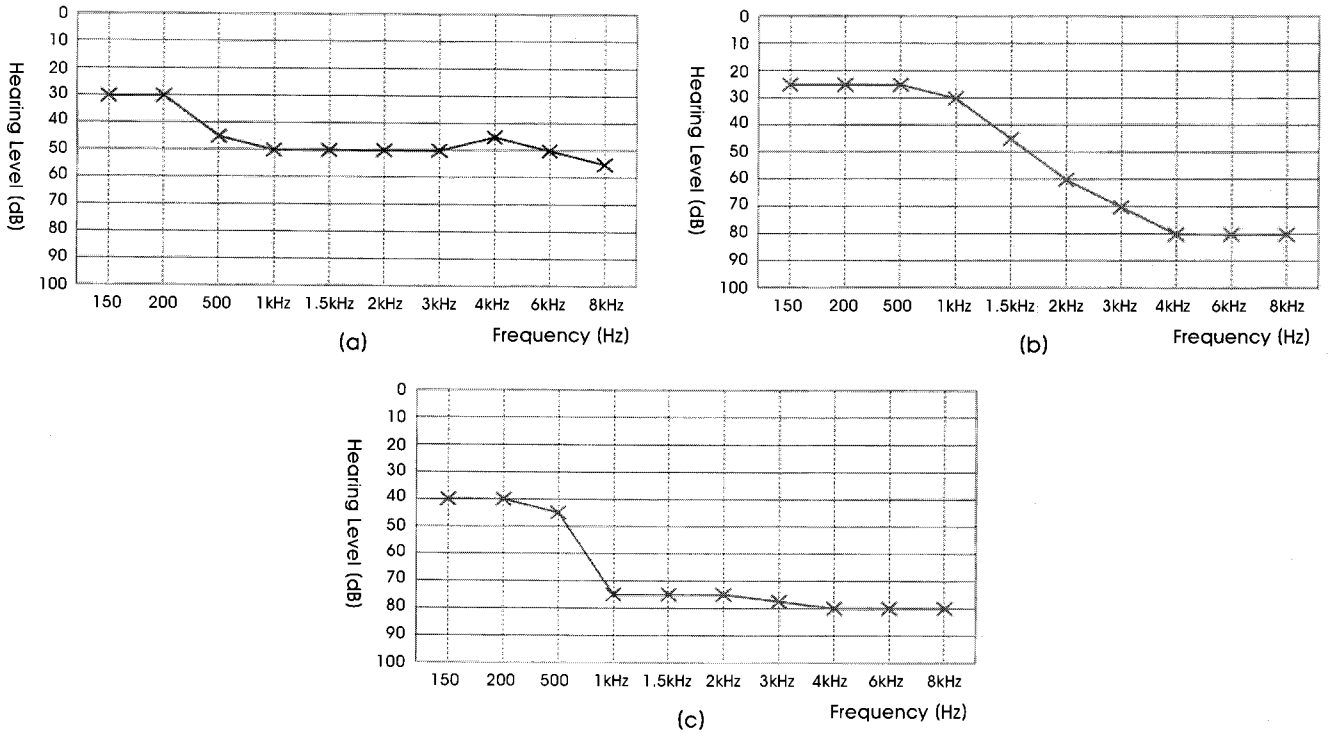


그림 9. 난청 시뮬레이터에 적용한 감각성 난청 모델. (a) case1, (b) case2, (c) case3.  
 Fig. 9. The sensorineural hearing loss model applied to the hearing loss simulator. (a) case1, (b) case2 and (c) case3.

도검사 (speech discrimination test, SDT)를 진행하였다. 어음명료도검사에 사용된 검사음 세트는 1음절 단어 50개로 구성되어 있으며 서로 다른 어음들로 구성된 3개의 검사음 세트를 사용하였다. 이 검사음 세트는 실험에 사용된 3개의 난청 모델 (case1~case3)에 각각 사용되었으며 하나의 난청 모델에 NAL-NL1과 한국형 비선형 fitting formula를 적용하였다. 그러나 같은 검사음 세트에 사용하는 데에서 생기는 학습 효과를 줄이기 위해 다른 두 fitting formula를 그대로 둔 원래 세트 (original set)와 50개의 단어를 랜덤하게 섞어 재구성한 랜덤 세트 (random set) 2개에 각각 적용하였다. 따라서 순서가 바뀐 검사음 세트까지 포함하여 총 6개의 검사음 세트를 사용하였다(그림 11). 음성은 병원에서 검사 시 사용하는 검사 세트를 이용하였다. 또한 선호도 평가 (preference test)

를 시행하기 위해 각각의 문장마다 2가지 fitting formula를 적용한 3가지 문장을 가지고 실험하였다.

그림 9와 같이 난청 시뮬레이터를 사용하기에 앞서 필요한 난청 모델은 전 주파수에서 비교적 일정한 역치를 갖는 중도 난청 (Case 1), 고주파 난청만 심한 중도 난청 (Case 2), 저주파에 어느 정도 난청을 갖고 있으며 고주파 난청이 심한 고도 난청 (Case 3) 이 3가지[17]를 모델링하여 청력 손실을 주었다. 각각의 청력 손실 정도는 양쪽 귀에 동일하게 적용되었다.

잡음 없이 녹음된 음성을 난청 시뮬레이터에 적용시킨 후 다시 NAL-NL1과 KNFF로 이득을 주고 녹음한 파일을 그림 10에 나타난 과정과 같이 생성하였다. 그 후 이 음원으로 SDT를 시행하여 SDT 점수를 비교분석하였다. 실험은 소음이 차단되는 오디오부

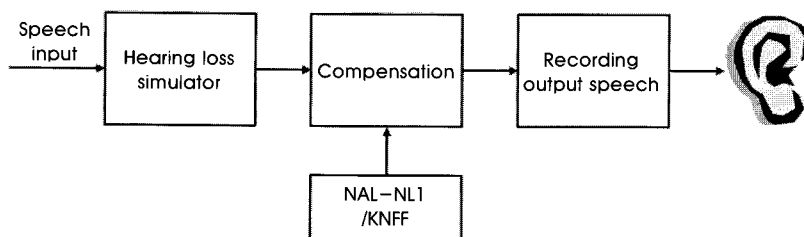


그림 10. 실험에 사용된 음원 생성 과정.  
 Fig. 10. The creation process of sound source used in experiment.

**표 1.** 실험에 참가한 피험자 정보  
**Table 1.** Information about subjects

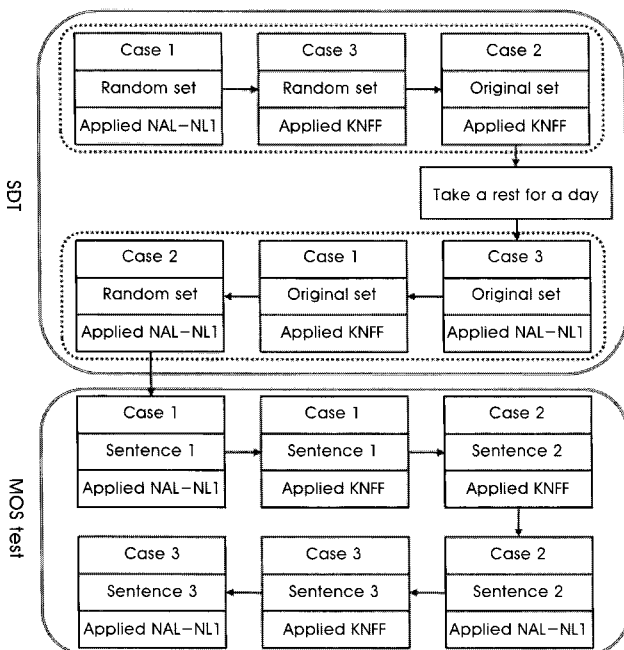
피험자 정보		
평균연령	23 ± 1.633 세	
증상	정상 청각	
숫자	남자	여자
	3	7

스에서 시행하였으며 헤드폰을 사용하였다. 검사음의 음압은 피험자에게 소리의 크기가 적당한지 물어보는 과정을 반복해서 쾌적역치 (comfortable level)를 정하여 검사를 진행하였다.

표 1은 실험에 참가한 피험자에 대한 간단한 정보를 나타낸 것이다. 피험자의 평균 연령은 23세이고 최저 21세부터 최고 25세의 남자 3명 여자 7명의 피험자가 실험에 참여하였다. 모든 피험자는 귀 관련 질병 경험이 없으며 SDT 검사를 시행한 경험이 없는 피험자이다. 피험자의 양이 평균 청각 역치는 약 20dB HL이한 것으로 확인되었으며 이 피험자들을 대상으로 본 연구를 위한 SDT 검사 시행 결과 98%이상의 점수를 나타내었다. 여기서 사용한 1음절 검사음 세트는 본 실험에서 사용한 검사음 세트와 다른 세트를 사용하였다.

**B. 실험 과정**

본 실험에 쓰인 SDT 검사음 세트의 순서는 그림 11과 같이 구성



**그림 11.** NAL-NL1과 KNFF의 비교를 위한 실험 절차.

**Fig. 11.** The test procedure for comparison between NAL-NL1 and KNFF.

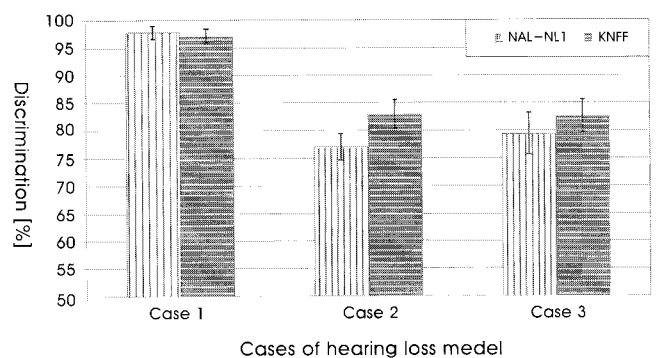
되었고 검사 순서는 처음 검사음 세트 3개를 test한 후 단어를 기억하는 효과를 제거하기 위해 하루 정도 휴식을 취하고 나머지 검사음 세트 3개를 마쳐 실험하였다. 여기서 처음 3개의 검사음 세트 구성은 각 난청 모델 별로 하나씩 사용하였으며 그 순서는 랜덤하게 바꾸었다. 또한 그 검사음 세트에 적용되는 fitting formula도 그림 11과 같이 랜덤하게 섞었다. SDT를 마친 후 시험자는 각각 다른 fitting formula가 적용된 문장을 연이어 듣고 ‘둘 중 어느 문장이 말소리의 이해가 더 쉽고 듣기 편안합니까?’의 질문에 답하는 선호도 평가를 수행하였다. SDT는 보다 정확한 결과를 얻기 위해 받아쓰기 형식으로 진행되었다.

**C. 실험 결과 및 분석**

그림 12는 위 과정을 바탕으로 실험한 SDT 점수 결과이다. Case 1의 경우 NAL-NL1이 KNFF를 적용하였을 때 보다 0.4%의 근소한 차이만큼 더 좋으나 큰 차이를 보이지 않고 있다. 실제로 개개인의 검사 기록을 보면 NAL-NL1이 KNFF를 적용하였을 때 보다 2~4%정도 높거나 낮은 결과를 보인다. 그러나 case 2나 case 3의 경우에는 KNFF를 적용하였을 때가 각각 평균 6%, 3.2%만큼 높은 수치를 보이고 있다. 또한 이들의 개개인의 검사 기록을 보면 case 2과 case 3의 경우 각각 -4~10%, -2~10% 더 높은 결과를 보였다.

다음 그림 13은 위의 결과를 기반으로 각 난청 모델에 적용된 두 fitting formula 중 SDT 점수가 높은 fitting formula의 피험자 분포도이다. Case 1의 경우 SDT 점수는 KNFF를 적용하였을 때가 NAL-NL1을 적용하였을 때보다 낮게 나온 사람이 4명, 같은 결과가 나온 것이 3명, 높게 나온 사람이 3명이었다. 반면 case 2와 case 3은 KNFF를 적용하였을 때 더 좋은 결과를 보인 사람이 8명, 6명으로 나타났으며 특히 case 2의 경우 압도적으로 숫자가 많았다.

본 연구에서는 SDT를 받아쓰기 형식으로 진행하였으므로 어떤 단어에서 차이를 많이 보이는지 살펴보았다. 그 결과 NAL-NL1과 KNFF가 적용된 경우 모두 모음은 대체적으로 구분을 잘 하였으



**그림 12.** 난청 모델 별로 적용된 두 fitting formula에 따른 SDT 점수.

**Fig. 12.** The SDT score for each case of hearing loss model applied two fitting formulas.

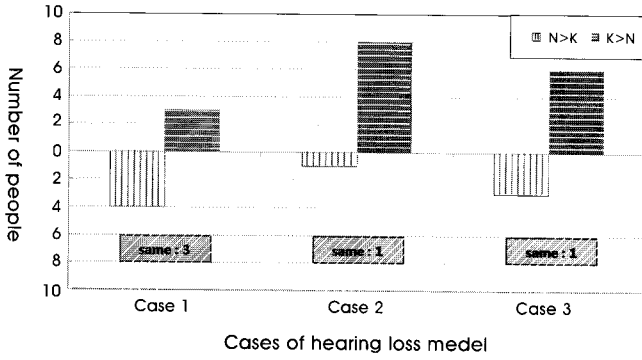


그림 13. SDT 점수가 더 큰 fitting formula의 피험자 분포도.  
 Fig. 13. The subjects distribution of the fitting formula having higher SDT score.

며 대체적으로 잘 맞추는 자음은 잘 맞추었으나 NAL-NL1이 적용된 경우 보다 KNFF가 적용된 경우 정답률이 증가한 단어들 존재하였다. 구분이 힘들었던 단어들 중 개선된 단어들의 자음은 한국어 말소리의 빈도수가 가장 높은 순서대로 /ㄴ/, /ㅇ/, /ㄱ/의 구분, /ㅈ/, /ㄷ/의 구분 /ㅅ/, /ㅎ/, /ㅌ/의 구분, 그리고 된소리인 /ㅃ/과 /ㅆ/의 구분이 개선되었다. 그림 14을 살펴보면 NAL-NL1이 적용된 검사음 세트의 SDT에서 1음절 검사음 세트에 있는 단어 /눈/을 /문/또는 /운/, 단어 /소/를 /호/나 /토/, 단어 /쌈/을 /땀/ 또는 /땅/이라 답한 피험자의 수가 많았다. 그러나 KNFF가 적용된 검사음 세트의 SDT에서는 위 단어들을 적게는 2명~3명까지 정답을 맞힌 피험자의 수가 증가하였다.

Case 1인 단어의 정답률은 평균 97.6%로 매우 높았기 때문에 위 단어들은 case 2와 case 3인 단어들의 받아쓰기 데이터로 분석하였다.

위 결과를 바탕으로 하여 1음절 단어를 KNFF에서 더 잘 맞출 수 있었던 이유가 무엇인지 분석하기 위해 스펙트로그램 분석을 해 보았다. 스펙트로그램에 쓰인 단어는 한국어 말소리의 빈도수가 가장 높았던 자음이 포함되어 있는 /눈/이었다. 그림 15를 살펴

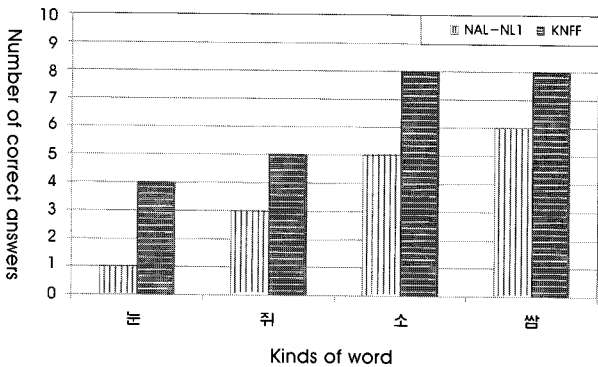


그림 14. SDT 중 정답률이 증가한 단어들의 정답자수.  
 Fig. 14. The number of correct answers increased rate among words for SDT.

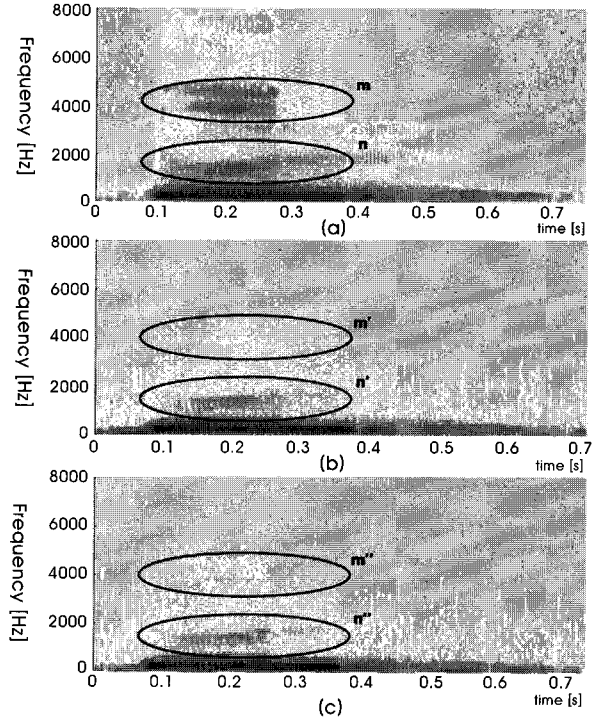


그림 15. 단어 /눈/의 원음과 각 fitting formula들이 적용된 결과의 스펙트로그램. (a) 원음, (b) NAL-NL1 적용, (c) KNFF 적용.  
 Fig. 15. The spectrogram of original speech and modified speech by each fitting formula for word /Nun/. (a) original speech, (b) modified by NAL-NL1, (c) modified by KNFF.

보면 정상인이 듣는 것과 난청자가 보청기를 사용하여 듣는 단어 /눈/의 스펙트로그램 분석에도 차이점이 나타나는 것을 볼 수 있다.

그림 15의 (a)는 양측 귀의 역치가 20dB 이하이고 SDT의 score가 98%인 정상 청각인이 듣는 원음이며 (b)와 (c)는 난청 시뮬레이터를 이용하여 고도 난청 정도를 준 후 각각 NAL-NL1과 KNFF로 보상을 주고 난 후의 결과들이다. (a)의 m과 n의 중점적으로 살펴보면 원음인 그림 (a)에서는 대체적으로 에너지양이 적당하게 있기 때문에 말소리의 구분이 쉽다. 반면 (b)의 n'는 (a)의 n에 비해 흐려지긴 했으나 에너지가 존재하는 것을 볼 수 있으나 m'는 에너지가 거의 존재하지 않음을 볼 수 있다. (c)의 n''는 (b)의 n'와 비교했을 때 에너지의 잔존량이 더 적어졌으나 m''를 보면 (b)의 m'에 비해 에너지의 잔존량이 증가하였음을 볼 수 있다.

그림 16의 (a)와 (b)는 각각 양측 귀의 역치가 20dB 이하이고 SDT의 score가 98%인 정상 청각인이 듣는 원음 /눈/, /운/과 /문/이다. (a)의 x, (b)의 x', (c)의 x''를 비교해 보면 /운/이나 /문/의 경우 /눈/보다 에너지의 잔존량이 확연히 떨어진 것을 볼 수 있다. 또한 각 그림의 y, y', y''를 비교해 보면 /운/의 경우 /눈/이나 /문/에 비해 에너지의 잔존량이 확연히 떨어진 것을 볼 수 있다.

그림 15와 16을 통해 /눈/이라고 구분하기 위해서는 4kHz 전후에 있는 주파수 대역의 에너지 잔존량이 중요함을 알 수 있었다. 따



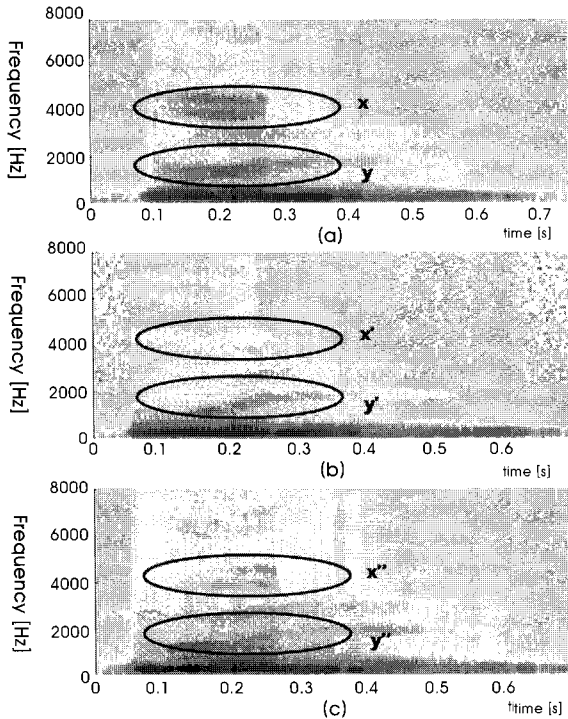


그림 16. 단어 /눈/, /운/, /문/의 원음.  
 (a) 단어 /눈/의 원음, (b) 단어 /운/의 원음, (c) 단어 /문/의 원음.  
**Fig. 16.** The spectrogram of original speech /Nun/, /Un/ and /Mun/.  
 (a) /Nun/, (b) /Un/, (c) /Mun/.

라서 그림 15의 4kHz 전후에 있는 주파수 대역의 에너지 잔존량이 KNFF가 적용된 /눈/의 경우 NAL-NL1이 적용되었을 경우에 비해 에너지 잔존량이 남아있었기에 NAL-NL1에 의해 /운/이나 /문/으로 들리던 것이 KNFF에서는 좀 더 /눈/이란 단어로 구분을 할 수 있게 된다.

마지막으로 선호도 평가에서는 그림 17에 나타나있다. case 1인 난청 모델의 선호도는 역시 동일하게 나왔으나 case 2와 case 3의 경우에는 대부분이 KNFF를 적용한 경우가 NAL-NL1에 비해 ‘말 소리의 이해가 더 쉽고 듣기 편안하게 잘 들렸다.’라고 답하였다.

### V. 결론

본 논문에서는 보청기를 사용하는 난청인에게 보다 나은 소리 환경을 제공하기 위해 적절하게 소리를 증폭시켜주고자 fitting formula 중 많은 인지도와 신뢰도가 있는 NAL-NL1을 기반으로 한국어 이해도를 높여주고 듣기 좋은 소리를 제공해주기 위한 fitting formula인 KNFF를 개발 하였다.

먼저 그림 12의 SDT 점수를 보면 일반적인 중도 난청 모델인 case 1의 경우에는 두 가지 fitting method를 적용해도 큰 차이를 보이지 않은 반면 고주파 대역의 난청이 심한 중도 난청 모델인 case 2나 고도 난청 모델인 case 3의 경우에는 NAL-NL1보다 본

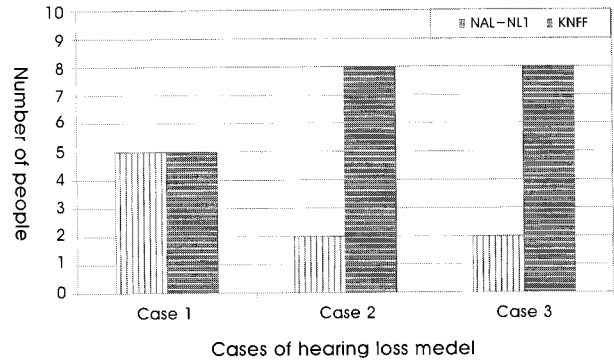


그림 17. 선호도 평가.  
**Fig. 17.** Preference Test.

연구에서 개발한 KNFF의 적용 시 좋은 결과를 나타내고 있다. 이 결과를 통해 영어에 맞게 완성된 NAL-NL1은 비록 음성 명료도를 최대화 시켜줄 수 있긴 하나 한국인의 귀에는 이보다 더 적절한 방법이 있음을 보여주었다. 게다가 한국어 LTASS와 SII를 이용하여 1차로 나온 이득값에 중-고주파수 부분을 조금 더 강조하는 방법을 쓴 결과 한국어의 사용 빈도수에서 가장 많은 순서대로 /ㄴ/, /ㅇ/, /ㄹ/, /ㅈ/, /ㄷ/, /ㅅ/, /ㅎ/, /ㅌ/, /ㅍ/, /ㅊ/의 자음의 구별이 그림 14를 통해 더 좋아졌음을 알 수 있었다. 또한 한국어 LTASS의 결과로 보면 대체적으로 저주파수에 에너지가 몰려있고 고주파로 갈수록 에너지의 양이 줄어들었으나 이를 SII 프로그램을 이용하여 적절한 이득값을 찾았을 때 오히려 저주파수 대역의 이득값은 줄어들고 중-고주파 부분의 이득값이 증가된 형태를 띄었다. 그림 15와 16의 비교에 있어서도 4kHz 전후에 있는 주파수 대역의 에너지 잔존량이 /운/이나 /문/으로 들리던 것이 /눈/으로 들을 수 있도록 하는 중요한 역할을 하는 것으로 보인다.

이로서 한국 말소리의 이해도를 높여주는 방안으로 저주파수 대역은 조금 낮추고 중-고주파수 대역의 이득을 높여주는 방법이 좋다는 실험 결과 및 결론이 나왔다. 따라서 이에 맞춰 더욱 연구를 진행하면 보다 한국어에 적합한 fitting formula를 개발할 수 있는 데에 도움이 될 것이라 생각된다. 본 연구에서 개발한 KNFF의 이득값은 SII가 최대값을 유지하도록 찾은 값이지만 임상에서의 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 광범위한 임상평가와 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] S.M. Lee, S.W. Kim, S.Y. Kwon, Y.C. Park, I.Y. Kim, S.I. Kim, “Development of Adaptive Feedback Cancellation Algorithm for Multi-channel Digital Hearing Aids,” *J. Biomed. Eng.Res.*, vol. 25, no. 4, pp. 315-321, 2004.
- [2] H. Dillon, *Hearing Aids*, Sydney, Australia: National Acoustic Laboratories. Press, 2001, pp. 234-262.
- [3] J. Allen, J. Hall, P. Jeng, “Loudness growth in 1/2-octave bands (LGOB) - a procedure for the assessment of loudness,” *J Acoust*

- Soc Am*, vol. 88, no. 2, pp.748-753, 1990.
- [4] R.M. Cox, "Using loudness data for hearing aid selection: The IHAFF approach," *The Hear J*, vol. 48, no. 2, pp. 10-44, 1995.
- [5] T.A. Ricketts, "Fitting hearing aids to individual loudness perception measures," *Ear & Hear*, vol. 17, pp. 124-132, 1996.
- [6] J. Kiessling, M. Schubert, A. Archut, "Adaptive fitting of hearing instruments by category loudness scaling(ScalAdapt)," *Scand Audiol*, vol 25, pp.153-160, 1996.
- [7] M. Killion, S. Fikret-Pasa, "The 2 types of sensorineural hearing loss: loudness and intelligibility considerations," *The Hear J*, vol. 46, no. 11, pp. 31-34, 1993.
- [8] G.A. McCandless, P.E. Lyregaard, "Prescription of gain/output (POGO) for hearing aids," *Hear Instrum*, vol. 34, no. 1, pp. 16-21, 1983.
- [9] L. Cornelisse, R.C. Seewald, D.G. Jamieson, "The input/output formula: a theoretical approach to the fitting of personal amplification," *J Acoust Soc Am*, vol. 97, pp. 1854-1864, 1995.
- [10] B.C.J. Moore, J.I. Alcantara, B.R. Glasberg, "Development and evaluation of a procedure for fitting multichannel compression hearing aids," *Br J Audiol*, vol 31, pp. 177-195, 1998.
- [11] D. Byrne, H. Dillon, T. Ching, R. Katsch, G. Keidser, "NAL-NL1 Procedure for Fitting Nonlinear Hearing Aids: Characteristics and Comparisons with Other Procedures," *J Am Acad Audiol*, vol. 12, pp. 37-51, 2001
- [12] S.K. Kahng, "Acoustic Analysis of Korean and English Simple Vowels," A Doctoral Dissertation, Dankook University, 1990.
- [13] ANSI-S3.5-1997, "American National Standard: Methods for the calculation of the speech intelligibility index," American National Standards Institute, New York, 1997.
- [14] D. Byrne, H. Dillon, K. Tran, S. Arlinger, K Wilbranham, R. Cox, B. Hagerman, R. Hetu, J. Kei, C. Lui, J. Kiessling, M.N. Kotby, N.H.A. Nasser, E. LePage, W. A.H. Kholy, Y. Nakanishi, H. Oyer, R. Powell, D. Stephens, R. Meredith, T. Sirimanna, G. Tavartkiladze, G.I. Frolenkov, S. Westerman, C. Ludvidsen, "An international comparison of long-term average speech spectra," *J Acoust Soc Am*, vol 96, pp. 2108-2120, 1994.
- [15] J.H. Lee, "Standardization of the Speech Audiometry Method," A Report for Technical Development that is Standardization of the Speech Audiometry Method, pp. 177, 2008.
- [16] S.W. Byun, "Frequencies of Korean Syllables and the Distribution of Syllables of PB Word List," *Korean J Otolaryngol*, vol. 46, pp. 737-741, 2003.
- [17] S.H. Hong, D.W. Kim, Y.S. Cho, H.C. Woo, D. Won, Y.C. Park, W.K. Kim, "Hearing Impairment Simulation for the Performance Evaluation of Hearing Aid," *Korean J Otolaryngol*, vol 41, pp. 13-20, 1998.