

# 프레임 기반의 포먼트 강조에 의한 음향 마스킹 현상 발생에 대한 연구

전유용<sup>1</sup>, 김규성<sup>2</sup>, 이상민<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 전자공학과

<sup>2</sup>인하대학교 의학전문대학원, 이비인후-두경부외과학교실

<sup>3</sup>인하대학교 정보전자공동연구소

## A Study on Acoustic Masking Effect by Frame-Based Formant Enhancement

Yuyong Jeon<sup>1</sup>, Kyu-Sung Kim<sup>2</sup>, Sangmin Lee<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Otolaryngology-Head & Neck Surgery, Inha University School of Medicine

<sup>3</sup>Institute for Information and Electronics Research, Inha University

(Received November 16, 2009. Accepted November 30, 2009)

### Abstract

One of the characteristics of the hearing impaired is that their frequency selectivity is poorer than that of the normal hearing. To compensate this, formant enhancement algorithms and spectral contrast enhancement algorithms have been developed. However in some cases, these algorithms fail to improve the frequency selectivity of the hearing impaired. One of the reasons is the acoustic masking among enhanced formants. In this study, we tried to enhance the formants based on the individual masking characteristic of each subject. The masking characteristic used in this study was minimum level difference (MLD) between the first formant to the second formant while acoustic masking was occurred. If the level difference between the two formants in each frame is larger than the MLD, the gain of the first formant was decreased to reduce the acoustic masking that occurred among formants. As a result of the speech discrimination test, using formant enhanced speeches, speech discrimination score (SDS) of the speeches having differently enhanced formants was significantly superior to SDS of the speeches having equally enhanced formants. It means that suppression of the acoustic masking among formants improve frequency selectivity of the hearing impaired.

**Key words**: formant, acoustic masking, speech enhancement

## 1. 서론

일반적으로 감각신경성 난청(sensorineural hearing loss)의 경우 청각 역치(hearing threshold)가 높아지고 불쾌음역치(uncomfortable loudness level)가 낮아지며, 그로 인해 청각 역치로부터 불쾌음역치까지 범위인 동작범위(dynamic range)가 좁아진다. 이러한 현상을 리크루트먼트(recruitment) 현상이라고 하며 난청인의 리크루트먼트 현상을 보상하기 위해서 입력되는 소리를 일정한 주파수 범위인 밴드(band)로 나누어 각 밴드의 소리

크기에 따라 난청인의 청각 동작범위에 소리를 압축하는 방법(wide dynamic range compression, WDRC)이 사용되어 왔으며 [1-3], 보청기 적합법(fitting method)[4] 또한 WDRC기능을 하고 있다. 감각신경성 난청인의 또 다른 청각 특징은 주파수 차이를 구분하는 능력인 주파수 변별력(frequency selectivity)이 낮아진다는 것이다. 이러한 난청인의 청력을 보상하기 위해서 보청기에서는 음성 인지에 중요하다고 판단되는 포먼트(formant)를 향상시키기 위해 스펙트럼에서 대비를 향상시키는 방법[5] 및 포먼트를 필터링을 통해 향상시키는 방법[6] 등이 개발되어 왔다. 하지만 포먼트를 향상하는 것이 항상 음성 인지에 도움이 되는 것만은 아니다. Ayasakanta Rout의 연구 결과에 따르면, 포먼트의 이득을 0에서 15까지 4 단계로 조절하여 음성 인지에 미치는 영향을 조사

Corresponding Author : 이상민

인천시 남구 용현4동 인하대학교 하이테크 803호

Tel : +82-32-860-7420 / Fax : +82-32-868-3654

E-mail : sanglee@inha.ac.kr

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R01-2007-000-10801-0)

한 결과, 난청인의 경우 포먼트의 이득이 10, 15일 때 음성 인지도가 향상 되지 않았다[7]. 이렇게 포먼트 향상 효과를 감소시키는 원인 중 하나는 포먼트들 사이에서 발생하는 음향 마스크링 현상이다[8].

음향 마스크링이란 주변 잡음으로 인해서 소리의 역치(threshold)가 변하는 현상이다[9]. 즉 원하지 않는 소리인 마스크(masker)에 의해 듣고자 하는 소리인 마스크(maskee)를 듣지 못하는 것을 말한다. 마스크링은 마스크와 마스크의 시간 영역과 주파수 영역에서의 위치에 따라 비동시적 마스크링(non-simultaneous masking)과 동시적 마스크링(simultaneous masking)으로 나눌 수 있다. 비동시적 마스크링은 시간적으로 마스크 이전 혹은 이후에 마스크가 존재할 때 마스크가 들리지 않게 되는 현상을 말한다. 비동시적 마스크링은 시간 영역에서의 위치와 관련이 있기 때문에 시간적 마스크링(temporal masking)이라고도 불린다. 동시적 마스크링은 마스크와 마스크가 시간적으로 동시에 존재하고, 마스크와 마스크의 중심 주파수가 서로 가까운 위치에 있는 경우 발생한다.

기존 연구에서는 포먼트가 향상된 음성의 첫 번째 포먼트에서 두 번째 포먼트로 발생하는 동시적 마스크링 현상이 가장 두드러지며, 이런 현상을 막기 위하여 첫 번째 포먼트의 이득을 다른 포먼트의 이득보다 상대적으로 작게 하여 포먼트를 향상 시킨 결과 어음 명료도가 증가한 것을 보였다[8]. 본 연구에서는 알고리즘에 적용하기 위해 각 피험자의 마스크링 특성을 측정하여, 측정된 마스크링 특성을 기반으로 음성의 포먼트들 사이에서 발생하는 동시적 마스크링 현상을 막기 위해 기존 연구에서 고찰된 타당성을 근거로 음성신호를 프레임(frame) 단위로 포먼트 향상 처리를 하여 난청인들의 음성인식을 향상 시키는 연구를 하였다.

## II. 음성 포먼트 향상 방법

본 연구에서 포먼트 강조를 위해 그림 1과 같은 알고리즘을 사용하였다. 먼저 음성을 프레임 단위로 잘라 512-points 고속 푸리에

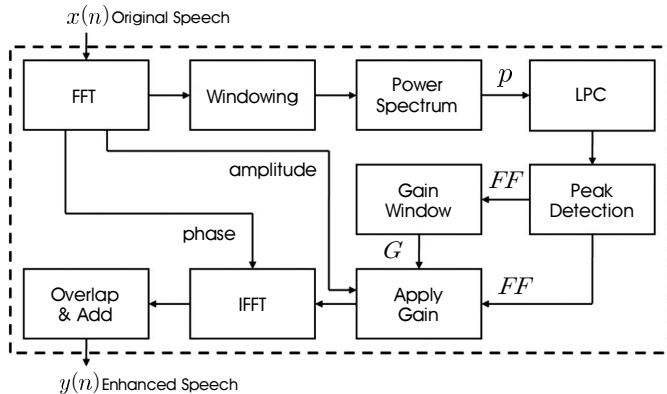


그림 1. 포먼트 향상 알고리즘  
Fig. 1. Formant enhancement algorithm

변환(fast Fourier transform, FFT)을 이용하여 음성을 주파수 분석하고, 선형 예측 부호화(linear predictive coding, LPC) 알고리즘을 이용하여 주파수 영역에서의 포락선(envelope)을 찾았다. 선형 예측 부호화 알고리즘의 경우 과거의 데이터를 이용하여 현재 혹은 미래의 데이터를 추측하는 모델로 포락선을 찾는데 널리 사용되는 알고리즘으로 식 (1)과 같이 정의된다.

$$s(n) = a_1 s(n-1) + a_2 s(n-2) + \dots + a_k s(n-k) \quad (1)$$

$n$ 은 이산 신호 색인(index),  $s(n)$ 은  $n$ 에서의 음성 샘플,  $k$ 는 지연(delay), 그리고  $a_k$ 는 LPC 계수이다.

선형 예측 부호화 알고리즘을 이용하여 포락선을 찾으면, 음성 인지에 중요한 주파수 성분인 포먼트가 나타난다. 주파수 축에서 포먼트의 정확한 위치를 찾기 위하여 포락선의 기울기가 양에서 음으로 바뀌는 지점을 찾았다. 또한 이와 반대 방법으로, 즉 포락선의 기울기가 0보다 작았다가 커지는 점을 포락선의 골(valley)로 정했다. 결정된 각 포먼트와 골의 위치의 중간 지점을 포먼트의 끝으로 잡고 포먼트의 너비에 맞도록 이득의 너비를 조정하였다.

포먼트 주파수 위치에 이득(gain)을 만들기 위해서 변형된 해밍창(hamming window)을 사용하였다. 변형된 해밍창은 식 (2)와 같이 정의된다.

$$G = \left( \frac{h - \min(h)}{1 - \min(h)} + 1 \right)^a \quad (2)$$

$G$ 는 변형된 해밍창에 의한 이득,  $h$ 는 해밍창,  $\min(h)$ 는 해밍창의 최소값,  $a$ 는 전체 이득을 조절하는 가중 인자(weight factor)를 나타낸다.

그림 2는 원본 해밍창의 모습과 식 (2)에서  $a$ 값에 의해 변형된 해밍창의 모습을 나타낸다. 해밍창의 크기와 변형된 해밍창의 크기는 각각 왼쪽과 오른쪽 Y축에 나타나 있다. 그림2에서 실선은

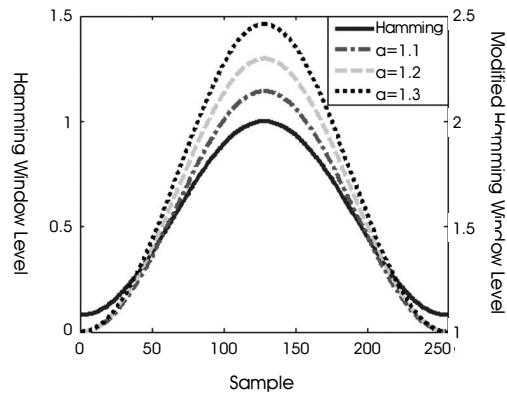


그림 2. 해밍창 및 변형된 해밍창  
Fig. 2. Hamming window and modified Hamming windows

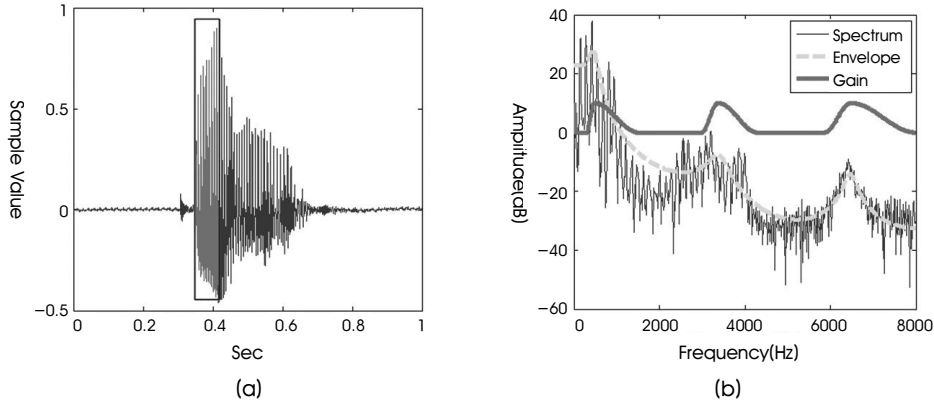


그림 3. 샘플 신호 및 분석, (a) 샘플 신호 및 샘플 프레임, (b) 샘플 프레임의 스펙트럼, 포락선 및 이득

Fig. 3. Sample signal and its analysis (a) sample signal and sample frame signal (b) spectrum, envelope and gain function from sample frame signal

원본 해밍창의 모습이며 그 최대값은 1인 반면 변형된 해밍창은  $a$  값이 1.1, 1.2, 1.3으로 변하면서 크기는 증가하였고, 최소값은 항상 양끝에서 1인 것을 볼 수 있다. 이는 포먼트가 아닌 부분은 증폭하지 않고 오로지 포먼트만 증폭하기 위한 방법이다.

그림 3은 제안된 포먼트 향상 알고리즘을 이용한 신호처리 과정을 나타낸다. 그림 3 (a)는 신호처리에 사용된 음성 샘플이며, 음성 샘플 중 사각형으로 둘러 쌓여 있는 부분이 분석 및 신호처리 예에 사용된 샘플 프레임이다. 그림 3 (b)는 샘플 프레임을 분석한 것으로 얇은 실선은 FFT를 이용해 분석한 주파수 스펙트럼이고, 굵은 점선은 주파수 스펙트럼에서 LPC를 이용하여 찾아낸 포락선이며, 굵은 실선은 포락선을 기반으로 계산된 각 포먼트에 가해질 이득을 나타낸다. 스펙트럼과 이득창을 곱하여 포먼트를 향상시킨 후, 역고속푸리에 변환(inverse fast Fourier transform, IFFT)을 통해 합성 후, 50% overlap-and-add를 하였다.

### III. 실험 방법 및 결과

본 연구에서 그림 4와 같이 6단계의 검사를 진행되었다. 기초 검사로 순음 검사 (pure tone test), 어음 청취 역치 검사 (speech reception threshold test), 어음 명료도 검사 (speech discrimination test)를 수행하고, 피험자의 마스킹 특성을 파악하기 위해 순음 마스킹 검사 (pure tone masking test)를 수행했으며, 포먼트 사이에서 발생하는 마스킹 현상 감소를 확인하기 위해 같은 이득으로 포먼트를 향상시킨 어음을 이용한 동일 포먼트 이득 어음 명료도 (speech discrimination score by equal formant gain, SDS-E) 검사와 본 연구에서 제안하는 방법인 첫 번째 포먼트의 이득을 다른 포먼트의 이득보다 적게 하여 포먼트를 향상시킨 어음을 이용한 상이 포먼트 이득 어음 명료도 (speech discrimination score by different formant gain, SDS-D) 검사를 수행하였다.

#### A. 실험 조건

기초 검사에서는 병원에서 일반적으로 청력 검사에 사용되는 단어들 이용하였고, 음성 마스킹 검사에서는 1음절 50개, 2음절 20개를 한 세트로 4가지 음성 세트가 사용되었다. 실험에 사용한 음성은 16kHz로 샘플링 된 한국어 단어이며, 병원에서 청각 측정에 사용되는 단어를 사용했다. 피험자를 대상으로 한 모든 실험은 피험자의 청각 역치 이하의 잡음만이 존재하는 부스에서 진행하였다.

표 1은 실험에 참가한 피험자의 나이, 성별, 청각 능력을 나타낸 것이다. 실험에는 여자 2명, 남자 2명 총 4명의 피험자가 참가했으며, 피험자의 나이는 각각 30세, 61세, 62세, 67세이며, 쾌적 역치 (comfortable level)에서의 어음 명료도 (speech discrimination score, SDS)는 64%~80%인 것으로 나타났다. 평균 청력은 왼쪽 귀(L)와 오른쪽 귀(R) 각각에 대해 500Hz, 1kHz, 2kHz, 3kHz, 4kHz, 6kHz의 청각 역치의 평균으로 나타낸 것이며, 어음 명료도 또한 왼쪽과 오른쪽 각각에 대한 측정 값을 나타냈다. 피험자의 청각 정보 중 피험자 S004의 왼쪽 귀 어음 명료도에 다른 값들과는 달리 괄호로 되어 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 양쪽 귀의 순음 역치 차이가 큰 것을 보완하기 위해 청력이 상대적으로 좋은 오른쪽 귀에 잡음을 들려주고 왼쪽 귀의 어음 명료도를 측정하는 것을 나타

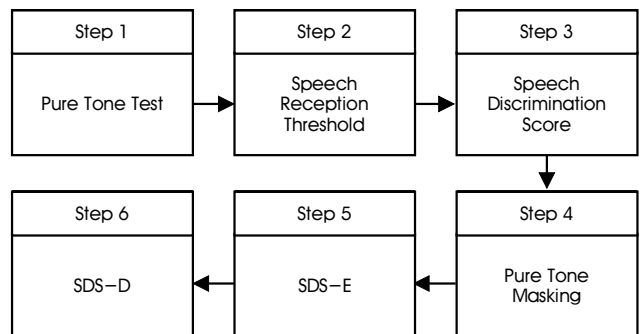


그림 4. 실험 절차  
Fig. 4. Test procedure

표 1. 피험자 정보

Table 1. Information of subjects

		S001	S002	S003	S004
나이		61	67	30	62
성별		여	남	여	남
평균 청력 (dB)	R	57.5	53.3	70.4	37.9
	L	58.8	45.8	49.2	76.7
어음 명료도 (%)	R	88	64	60	92
	L	68	84	68	(60)

내는 것이다. 모든 피험자는 평균 청력을 기준으로 난청 정도를 파악하면 중고도 난청 (moderate-severe hearing loss)에 속하고, 고주파에서 심한 난청 있는 감각 신경성 난청 특성을 보인다.

**B. 순음 마스크 검사 및 결과**

순음 마스크 검사는 Cool Edit Pro로 만든 협대역 잡음 (bandwidth 100Hz)을 마스크로, 순음을 마스크로 사용하였다. 마스크와 마스크의 중심 주파수는 실험에 사용되는 음성의 포먼트를 대표하기 위하여 각 음성들의 포먼트 위치를 찾아 평균으로 계산하였다. 계산된 포먼트의 위치는 417.39Hz, 1190.34Hz, 2368.66Hz이며, 이를 각각 첫 번째에서 세 번째 포먼트의 주파수라고 가정하였다.

검사에서 피험자는 두 가지 소리를 연속으로 듣게 된다. 한 음은 마스크만 존재하는 음이고, 다른 한 음은 마스크와 마스크가 동시에 존재하는 음이다. 두 소리를 한 세트로 해서 피험자에게 들려주고 두 소리가 같은지 혹은 다른지를 판단하도록 한다. 사용된 마스크의 크기는 고정하였으며, 마스크인 순음의 크기를 조절하였다. 만약 피험자가 두 개의 음이 같다고 대답하면, 피험자는 마스크와 마스크가 섞여 있는 음에서 마스크를 듣지 못하는 것이며 마스크가 마스크에 의해 마스크 되고 있다는 것을 의미한다. 이렇게 해서 마스크가 발생하는 최대 마스크 레벨을 찾도록 하였고, 그 때의 마스크와 마스크의 크기 차이를 최소 레벨 차이 (minimum level difference, MLD)를 각 피험자의 마스크 특성으로 정의하였다.

검사 결과 첫 번째에서 두 번째 포먼트로 마스크가 발생하는 경우의 MLD는 평균 20dB, 두 번째에서 세 번째 포먼트로 마스크가 발생하는 경우의 MLD는 평균 40dB였다. 이는 피험자마다 값의 차이는 있지만 첫 번째 포먼트로부터 두 번째 포먼트로의 마스크가 일어나는 경우가 두 번째 포먼트로부터 세 번째 포먼트로의 마스크가 일어나는 경우보다 약 20dB 정도 작은 것으로 나타났다. 이 결과는 첫 번째 포먼트에서 두 번째 포먼트로 마스크가 더 잘 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

**C. 음성 마스크 검사 및 결과**

음성 마스크 검사는 크게 동일 포먼트 이득 어음 명료도 (speech discrimination score with equally formant enhanced speeches,

SDS-E) 검사와 상이 이득 어음 명료도 (speech discrimination score with differently formant enhanced speeches, SDS-D) 검사로 나뉜다. SDS-E 검사는 각각의 포먼트에 같은 이득을 가해 포먼트를 향상시킨 음성을 이용한 어음 명료도 검사이며, SDS-D는 III-2 절에서의 결과를 바탕으로, 첫 번째 포먼트에서 두 번째 포먼트로의 마스크 현상을 감소시키기 위해 첫 번째 포먼트의 이득을 상대적으로 작게 하여 포먼트를 향상시킨 음성을 이용한 어음 명료도 검사이다.

SDS-E 검사에 사용되는 각 세트의 음성에는 세트마다 다른 포먼트 이득이 적용된다. 포먼트에 적용되는 이득창을 만들기 위해, 식 2에서 조절하여 이득창의 크기가 각각 10, 15, 20, 25가 되도록 하고, 각각 세트 1에서 세트 4까지의 이득으로 정하였다. SDS-D 검사에서 사용되는 음성의 경우, 기본 포먼트의 이득은 SDS-E 검사에서 사용된 포먼트 이득과 같지만, 각 프레임에서 첫 번째 포먼트와 두 번째 포먼트의 레벨 차이가 각 피험자의 마스크 발생 가능한 레벨 차이인 MLD 이상인 경우에 첫 번째 포먼트와 두 번째 포먼트의 레벨 차이를 MLD의 2/3가 되도록 첫 번째 포먼트의 이득을 결정하였다. 이는 각 피험자의 마스크 특성을 고려하여, 첫 번째 포먼트의 이득을 마스크가 일어나지 않는 범위로 감소시키기 위한 것이다.

실험이 시작되기 전 피험자에게 편안한 크기의 소리를 들려주기 위하여 쾌적 역치를 측정하고, 피험자들에게 들려주는 소리의 크기는 각 피험자의 쾌적 역치로 고정한다. 실험이 시작되면 피험자들에게 음성을 들려주고 들리는 데로 따라 하도록 해서 기록하였고, 피험자들이 실험에 사용한 단어를 기억하지 못하도록 SDS-E 검사를 마친 약 한 달 후에 같은 음성 세트에서 SDS-E 검사에서와 순서를 다르게 하여 SDS-D 검사를 진행하였다.

먼저 그림 5는 각 피험자의 각 세트 별 1음절의 SDS-E 검사 결과와 순음 마스크 검사 결과 중 첫 번째 포먼트에서 두 번째 포먼트로의 마스크가 발생할 때의 마스크와 마스크의 레벨 차이 (MLD)를 나타낸 그림으로, 피험자의 MLD를 기준으로 데이터를 정렬한 것이다. 그 결과 음성 세트 1과 음성 세트 2에서 MLD가 높은 피험자의 경우 SDS-E 또한 상대적으로 높은 것을 볼 수 있다. 이는 마스크가 잘 일어날수록 어음 명료도가 낮아진다는 것을 의미한다. 이로서 첫 번째 포먼트에 의한 마스크 현상이 발생하며, 이러한 결

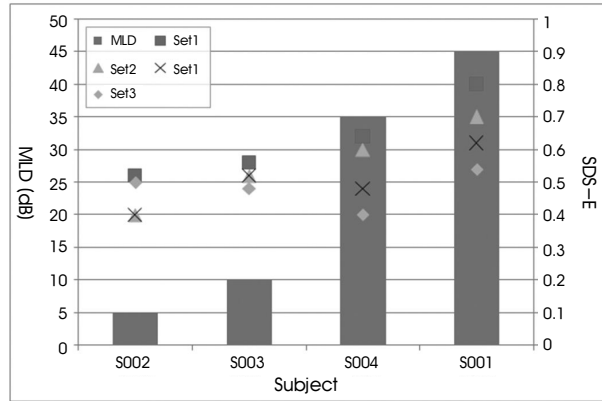


그림 5. 각 피험자의 SDS-E와 MLD  
Fig. 5. SDS-E and MLD of each subject

과를 바탕으로 본 연구에서는 첫 번째 포먼트의 크기를 줄이는 방법을 사용하여 어음 명료도를 높이고자 하였다.

그림 6은 음성 마스크 검사 결과를 나타낸 것이다. (a)는 1음절과 2음절의 SDS-E 검사 결과를 나타낸 것이며, (b)는 SDS-D 검사 결과를 나타낸 것이다. 각 그림의 가로축은 음성 세트를 나타낸 것이며, 세트 1에서 세트 4로 갈수록 포먼트에 가해지는 이득은 10, 15, 20, 25로 증가한다. 세로축은 피험자의 정답률인 SDS-E와 SDS-D를 나타낸 것으로 각 피험자의 결과를 평균하여 나타낸 것이다. 그림 6 (a)와 (b)의 결과를 비교하면 1음절에서는 SDS-E 검사에서 약 5%~12% 정도 어음 명료도가 향상된 것을 볼 수 있으며, 2음절의 경우는 4%~11% 향상을 보였다.

#### IV. 결론

본 논문에서, 포먼트가 강조된 음성에서 포먼트에 의해서 마스크가 일어나고, 그로 인해 음성 인지에 어려움이 생길 수 있다는 것

을 확인하기 위해서 같은 이득으로 포먼트를 향상시킨 음성을 이용하여 어음 명료도 (SDS-E) 검사를 했으며, 첫 번째 포먼트의 이득을 다른 포먼트의 이득보다 줄여서 포먼트를 향상시킨 음성을 이용하여 어음 명료도 (SDS-D) 검사를 수행한 결과 SDS-D 검사에서 SDS-E 검사보다 어음 명료도가 향상되는 것을 보았다.

몇몇 피험자들의 경우 SDS-E 검사와 어음 명료도를 비교해보면 오히려 SDS-E 검사에서 어음 명료도가 낮아진 것을 볼 수 있다. 이것은 음성 포먼트 향상이 오히려 음성 인지에 안 좋은 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다. 하지만 본 연구에서 제안한 SDS-D 검사의 결과와 비교하면 SDS-E 검사에서 어음 명료도가 감소한 피험자에서도 어음 명료도가 소폭 증가하는 것을 보였다. 이것은 본 연구에서 제안한 포먼트 향상 방법이 어음 명료도를 높이는 데 공헌한다는 의미이다. 하지만 본 알고리즘의 경우 각 음성 프레임 별로 마스크 발생 가능성을 검사하여 이득을 계산하기 때문에 프레임 별로 이득의 변화가 큰 경우가 발생한다. 그로 인해 어음 명료도에 좋지 않은 영향을 미쳤을 것으로 예상하며 추후 연구에서 개

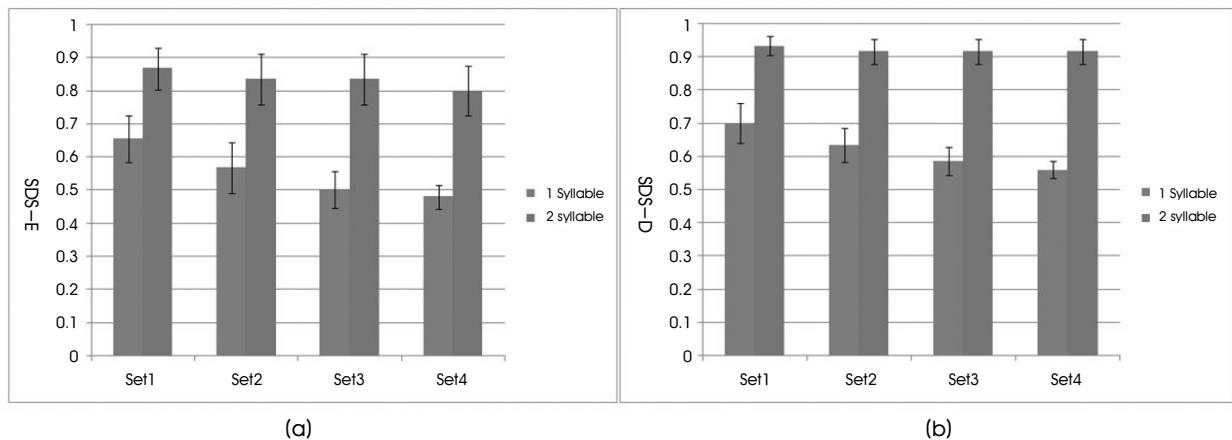


그림 6. 음성 마스크 검사 결과, (a) SDS-E 검사 (b) SDS-D 검사  
Fig. 6. Results of the speech masking test, (a) SDS-E test (b) SDS-D test.

선할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구와 비슷한 연구가 2001년 Krishnan에 의해 이루어졌다. Krishnan은 뇌파동화현상(Frequency Following Response, FFR)을 이용하여, 첫 번째 포먼트의 크기를 저하시키는 것이 동시적 음향 마스크가 될 일어날 수 있는 방법임을 실험으로 증명하였다[10]. 포먼트에 의한 음향 마스크에 대한 연구가 많이 진행되고 있지 않으며, 첫 번째 포먼트의 크기 저하가 마스크에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구는 더욱 더 진행되고 있지 않아 정확하게 본 연구의 결과를 뒷받침해줄 수 있는 연구는 없다. 하지만 본 연구의 결과는 첫 번째 포먼트의 크기 저하로 인해 음향 마스크 현상이 저하됐다는 것을 보였으며 이를 이용하면 난청인에게 더 뚜렷한 소리를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

[1] Paul Yanick, "Hearing aid with recruitment compensation," *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.65, No.1, pp.287, 1979.

[2] JB Allen, "Recruitment compensation as a hearing aid signal processing strategy," *Circuits and Systems, 1998. ISCAS98. Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on*, Vol.6, pp. 565-568, 1998.

[3] Lee Sangmin, Won Jong Ho, Park Hyung Min, Hong Sung Hwa, Kim In Young, Kim Sun I., "A New Hearing Aid Algorithm for Speech Discrimination using ICA and Multi-band Loudness Compensation," *Journal of Biomedical Engineering Research*,

Vol.026, No.03, pp.177-184, Jun., 2005.

[4] H. M. Kim, S. M. Lee, "A Study of Korean Non-linear Fitting Formula based on NAL-NL1 for Digital Hearing Aids," *Journal of Biomedical Engineering Research*, Vol.030, No.02, pp.169-178, Feb., 2009.

[5] Jun Yang, Fa-Long Luo and Arye Nehorai, "Spectral contrast enhancement: Algorithms and comparisons," *Speech Communication*, Vol. 39, No. 1, pp.33-46, Jan., 2003.

[6] Dong Wook Kim, Young Woo Lee1, Jong Shill Lee, Young Joon Chee, Sang Min Lee2, In Young Kim, Sun I. Kim, "The Effect of the Speech Enhancement Algorithm for Sensorineural Hearing Impaired Listeners," *Journal of Biomedical Engineering Research*, Vol.028, No.06, pp.732-743, Dec., 2007.

[7] Ayasakanta Rout, "The effect of spectral enhancement on speech recognition performance of normal-hearing and hearing-impaired individuals," *ETD collection of Purdue University*, AAI3232232, 2006.

[8] Yuyong Jeon, Se-kee Kil, Kwang-sub Yoon, Sangmin Lee, "A Study of Acoustic Masking Effect from Formant Enhancement in Digital Hearing Aid," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 45 SC, No. 5, pp. 21-28, Oct, 2008.

[9] Irwin Pollack, "Auditory informational masking," *The Journal of the Acoustical Society of America*, Volume 57, IssueS1, p.S5, April 1975.

[10] Krishnan A., Agrawal S., "Human Frequency Following Response: Evaluation of Upward Spread of Masking," *Association for Research in Otolaryngology*, Session R13, No.#21926, 2001.