배경 잡음 제거를 통한 보청 시스템의 성능 향상

Performance Improvement on Hearing Aids Via Environmental Noise Reduction

박 선 준*, 윤 대 희*, 김 동 욱**, 박 영 철***
(Seon Joon Park*, Dae Hee Youn*, Dong Wook Kim**, Young Cheol Park***)

요 약

최근의 디지털 신호처리 기술과 집적 회로 설계 기술의 발달은 보청 시스템의 새로운 가능성을 제공하고 있다. 그러나, 배경 잡음은 여전히 많은 난청자가 호소하는 문제로 남아 있다. 본 논문에서는 임상 실험을 통하여 음성 대역 잡음 환경에서 감음신경성 난청자의 음성 인지 능력과 어음 변별력을 측정한 결과를 제시한다. 또한, 보다 향상된 보청 환경을 제공하기 위하여 보청 시스템의 전처리단으로써 음질 향상 기법을 이용하여 배경 잡음을 제거하였다. 음질 향상 기법은 DSP 보드를 이용하여 실시간 시스템으로 구현되었으며, 이를 이용하여 청력 검사를 실시하였다. 임상 실험을 실시한 결과, 음질 향상 기법은 배경 잡음을 제거함으로써 신호의 SNR을 개선시켜 보청 이득과 결합되어 감음신경성 난청자의 음성 변별력을 크게 향상시켰다.

ABSTRACT

Recent progress in digital and VLSI technology has offered new possibility for noticeable advance of hearing aids. Yet, environmental noise remains one of the major problems to hearing aid users. This paper describes results which speech recognition performance and speech discrimination performance was measured for listeners with sensorineural hearing loss, while listeners in speech-band noise. In addition, to ameliorate hearing-aided environments of hearing impaired listeners, environmental noise reduction using speech enhancement techniques are investigated as a front-end of conventional hearing aids. Speech enhancement techniques are implemented in a real-time system equipped with DSP board. The clinical test results suggest that the speech enhancement technique may work in synergy with gain functions for the greater SNR improvement as the preprocessing algorithm of digital hearing aids.

I. 서 론

청각의 손실은 말과 언어라는 정보 교환의 수단이 부분적으로 단절됨을 의미한다. 이에 따라 청각 손실을 겪고 있는 난청자들에게 보청 시스템의 필요성과 그 역할의 중요성이 점차 커지고 있다. 특히, 최근의 디지털 신호처리 기술과 집적 회로 설계 기술의 발달은 다채널 비선형 압축 증폭(multi-channel nonlinear compression amplification)을 통한 주파수 별 난청 특성을 보상 기법[1][2]과 보청 시스템에서 발생하는 음향궤환 제거 기법[3][4], 양이 효과(binaural effect)의 도입[5] 등과 같이 기존의 아날로그 방식에서는 구현하기 힘든 보청 시스템의 새로운 가능성을 제공하고 있다[6].

* 연세대학교 전기 · 컴퓨터공학과
** 삼성 종합 기술원
*** 연세대학교 신호처리 연구센터
접수일자 : 1999년 8월 30일

그럼에도 불구하고 보청 환경에 존재하는 배경 잡음은 여전히 많은 난청자가 호소하는 문제로 남아 있다. 감음신경성 난청자의 경우, 음폐 현상(masking effect)등에 의하여 배경 잡음으로 인하여 음성 인지 및 변별 능력을 저하시키는 현상이 발생할 수 있다[7][8]. 잡음환경에서의 음성 이해도를 저하시키는 또다른 원인으로는 binaural "squelch" effect의 손실[9], upward spread of masking[10], 그리고 temporal smearing 효과 등이 있다. 또한, 배경 잡음은 보청 시스템에 의해 증폭되었을 경우, 감음신경성 난청자에게서 나타나는 라우드니스 누가현상(loudness recruitment phenomenon)에 의해 정상인이 느끼는 거부감에 비해 더욱 큰 거부감을 주게 된다[11]. 따라서, 배경 잡음의 제거는 보청 시스템에서의 가장 중요한 문제 중에 하나이다[12].

배경 잡음을 제거함으로써 음성 신호를 향상시키는 여러 가지 기법이 현존하며[13][14][15], 현재 상용화되고 있는 디지털 보청 시스템 중에는 지향성 마이크로폰을 이용한 잡음 제거 기능을 포함한 것도 있다. 하지만, 지향성 마이크

로폰을 사용하는 방식은 CIC(Completely-In-the-Canal) 형태의 보청 시스템의 경우 귀의 관 깊숙이 마이크로폰이 위치해야하므로 실제 구현상에 문제가 있다. 따라서 하나의 마이크로폰만을 사용하여 배경 잡음을 제거할 수 있는 스펙트럼 차감(spectral subtraction) 방식, 최적 필터 이론에 기반한 위너 필터(Wiener Filter) 방식, 신호의 통계적 특성을 이용한 MLE(maximum likelihood envelope) 추정 방식 등을 보청 시스템에의 적용에 관한 연구가 수행 중에 있다.

본 논문에서는 보청 시스템에 신호의 통계적 특성을 이용하는 MLE 추정 방식에 의한 배경 제거 기법의 효용성을 검증하였다. 우선 정상인을 대상으로 수행한 주관적 평가[16]를 바탕으로 전처리단에 MLE 잡음 제거 기법을 적용한 보청 시스템을 이용하여 난청자를 대상으로 주관적 평가를 수행하였다. DSP 보드로 구성된 실시간 전처리 on-line 시스템을 구축하여 삼성생명과학연구소 내 음향 측정실에서 청력 검사를 실시하였다. 실험 대상자들의 배경 잡음에 대한 청력 검사 결과를 음질 향상 시스템을 통과시킨 신호에 대한 청력 검사 결과와 비교하여 어음 변별 능력의 향상 정도를 측정하였다.

II. 통계적 특성을 이용한 배경 잡음의 제거

2.1. 난청과 배경 잡음의 영향

1930년대 중반에 신호 레벨이 증가함에 따라 점진적으로 난청의 정도가 경감되는 라우드니스 누가현상이 청력사(audiologist)들에 의해 발견되었다. 정상적인 와우각(蝸牛殼)은 일반적으로 청력 임계치에서 50~60dB의 증폭을 가하는 시스템이다. Outer hair cell이 손상된 경우에는 와우각의 증폭 기능이 저하되어 제어기능이 급격히 떨어지게 된다. 특히, 60dB이상의 고난도 난청의 경우 와우각의 증폭 기능은 이미 마비되어 있으며 inner hair cell의 손실에 의해 추가의 청력 임계치의 선형 상승을 초래하게 된다. 비선형 압축형 디지털 보청기의 경우 입력 음원의 압축을 통하여 음에 대한 민감도의 저하를 의미하는 outer hair cell의 손실을 어느 정도 보상할 수 있지만 이로써는 충분하지 못하다. 특히, 잡음이 있는 환경에서는 음의 민감도 손실과 음성 대 잡음비(SNR; Speech-to-Noise Ratio)가 상대적으로 독립적인 정량으로 나타날 수 때문에 충분한 기능을 발휘하지 못하게 된다[17]. 보청 시스템은 inner hair cell의 손실 혹은 청신경의 마비로 인한 SNR 문제를 극복할 수 없을 뿐만 아니라, 잡음은 비슷한 정도의 난청을 갖는 난청자 간에도 음성의 인지도에 다른 영향을 미친다. 따라서, SNR의 증가 없이 보청 시스템의 증폭 기능만으로는 감음신경성 난청자의 음성 인지도를 향상시키는 것은 한계를 갖는다[18]. 난청자가 필요한 것은 단순히 소리만을 잘 들을 수 있는 것뿐만 아니라, 올바르게 이해할 수 있는 능력을 높이는 것이다.

2.2. 통계적 특성을 이용한 배경 잡음 제거

배경 잡음이 포함된 신호의 통계적 특성을 이용하여, 원 신호의 확률 분포를 최대로 하는 해를 구함으로써 원 신호의 최적치를 추정할 수 있으며 이를 이용하여 배경 잡음을 제거할 수 있다. 여기서 발전된 한 형태가 Maximum Likelihood Envelope(MLE) 추정 방법이다[15].

가산 잡음이 포함된 신호를 전체 K 개의 대역으로 구분한 경우, k 번째($1 \le k \le K$, 정수) 대역에서의 잡음 섞인 신호 $y(k)$ 는, k 번째 대역에서의 원신호를 $s(k)$, 잡음 신호를 $w(k)$ 라고 하면,

$$y(k) = s(k) + w(k) \tag{2.1}$$

로 나타낼 수 있다.

이 때, 원 음성 신호가 임의의 크기와 위상을 갖는 결정적(deterministic) 신호이고, 잡음이 가우시안 랜덤 과정이라고 할 경우, k 번째 대역에서 원신호 $s(k)$ 는

$$s(k) = Ae^{j\theta} \tag{2.2}$$

로 표현된다. 여기서, A 는 신호의 포락선(envelope), θ 는 신호의 위상을 결정하게 된다.이 경우, k 번째 대역에서의 관측 신호 $y(k)$ 의 확률 밀도 함수는

$$p[y(k)|A,\theta] = \frac{1}{\pi\lambda_w(k)} \cdot \exp\left\{-\frac{|y(k)-Ae^{j\theta}|^2}{\lambda_w(k)}\right\} \tag{2.3}$$

가 된다. 여기서, θ 가 구간 $[0, 2\pi]$ 에서 균일하게 분포한다고 가정하면, 스펙트럼 포락선의 likelihood 함수는

$$\overline{p[y(k)|A]} = \frac{1}{\pi\lambda_w(k)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\frac{2A|y(k)|}{\lambda_w(k)}}} \cdot \exp\left[-\frac{|y(k)|^2-2A|y(k)|+A^2}{\lambda_w(k)}\right] \tag{2.4}$$

와 같이 간략화하여 나타낼 수 있다. 이 함수를 포락선 A 에 대하여 최대로 하는 해를 구하면,

$$\hat{A} = \frac{1}{2}\left[|y(k)| + \sqrt{|y(k)|^2 - \lambda_w(k)}\right] \tag{2.5}$$

를 얻을 수 있다[15]. 여기서, $\hat{A}$는 원신호 $s(k)$의 추정된 값을 의미한다.

2.3. 보청 시스템의 전처리단으로 음질 향상 기법의 적용

음질 향상 기법은 잡음이 첨가된 신호로부터 잡음의 통계치를 추정한 후 배경 잡음을 제거하는 것으로 구성된다. 그림 1은 디지털 보청 시스템의 전처리 시스템으로 사용되는 음질 향상 시스템을 주파수 영역에서 구현한 것을 보여주고 있다. 본 논문에서는 MLE(Maximum Likelihood Envelope) 추정 방식에 일반화된 스펙트럼 차감법의 개념을 도입하여 배경 잡음 제거를 수행하였다.

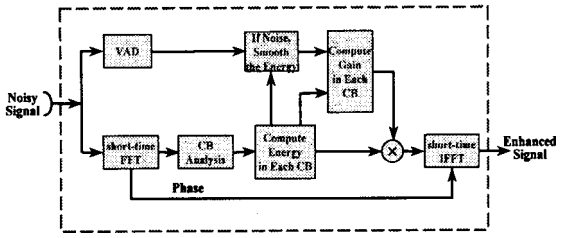

그림 1. 음질 향상 기법의 신호처리 흐름도
Fig. 1. A block diagram of signal processing for speech enhancement.

잡음이 섞인 신호가 입력으로 들어오면 잡음 신호 성분을 추정하기 위하여 단구간 고속 퓨리에 변환이 실행된다. 잡음 신호 성분의 추정은 입력 신호가 비음성구간이 경우에 한하여 수행하며, 신호의 음성 유무를 판단하기 위하여 VAD(Voice Activity Detector)가 사용된다. VAD는 에너지 크기, 영교차율(zero-crossing rate) 등에 의하여 최적화된 방법을 사용하였다. 인간의 청각 특성을 반영하기 위하여 잡음 성분을 추정하고 음질 향상 기법을 적용하는데 있어 임계 대역율(critical band rate)[19]에 기반하여 입력 신호를 처리한다. 이를 위해 입력 신호의 에너지가 각 임계 대역 별로 구해지고 임계 대역별로 추정되어진 잡음 성분이 이와 결합되어 배경 잡음을 제거하게 된다.

음질 향상 기법은 주파수 대역에 따라 이득 요인으로 표현할 수 있으며, 본 논문에서 사용된 일반화된 MLE 추정 방식의 경우에 k 번째 대역에서 이득요인 $g(k)$ 는

$$g(k)=\frac{1}{2}\left[1+\sqrt{1-\alpha\cdot\frac{\lambda_w(k)}{|y(k)|^2}}\right] \tag{2.6}$$

으로 표현할 수 있다. 여기서, α 는 일반화된 스펙트럼 차감법에서 사용되는 차감 요소로 이 값을 조정함으로써 잡음이 섞인 신호로부터 추정된 잡음을 차감하는 정도를 조절할 수 있다[20]. 만약 $\alpha=1$ 이라면 식 (2.6)은 MLE 추정법과 같게 된다.

식 (2.6)으로부터 배경 잡음 제거를 위해 각 임계 대역에 가해질 이득이 계산되며, 구한 이득을 각 대역에서 계산된 에너지에 적용한다. 최종적으로 입력 신호와 동일한 위상 정보를 임계 대역별로 잡음이 제거된 음성 신호에 합하여 역 고속 퓨리에 변환을 통하여 시간 샘플을 만든 후 이를 디지털 보청 시스템의 입력 신호로 사용한다.

III. 실험 방법

3.1. 실험 대상

본 논문에서는 실험 대상을 28세에서 79세 사이(평균 58.4세)의 18명에 대하여 22개의 감음신경성 난청귀로 제한하였다. 실험 대상은 감음신경성 난청으로써 SRT(Speech Reception Thresold) 점수가 평균 47.1dB HL(24~84dB HL)이고, SDT(Speech Discrimination Test) 점수가 평균 75.4%(22~100%)인 귀를 대상으로 하였다. 실험 대상 중 15개의 난청귀는 고주파로 갈수록 난청의 정도가 심해지는 descending-type의 청력도을 나타내었으며, 하나는 평평한 모양, 나머지는 종모양의 청력도를 나타내었다. 실험 대상의 개별 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1. 실험 대상 특성
[a] PTA(Pure-Tone-Average)는 500, 1000, 2000 Hz에서의 평균 청력 손실을 의미한다(ANSI, 1969b)
[b] 22명의 실험 대상자 중 5명에 대해서는 음성 표현 레벨(SDT 60) 대신에 MCL(Most Comfortable Level)을 사용하였다
Table 1. Characteristics of subjects;.
[a] Pure-tone-average (PTA) is the average hearing loss (ANSI, 1969b) at 500, 1000, and 2000 Hz,
[b] MCL (Most Comfortable Level), instead of the speech presentation level (SDT 60), is used for 5 of 22 subject tests.

Group	Subject	Ear	Age	PTA[a]	SDT	SDT60	Note
Falling	JKT	R	43	45	82%	80%	
	HIW	R	71	43	74%	42%	
	KDS	R	69	43	98%	64%	
	CHM1	R	50	40	100%	88%	
	PYS1	L	51	40	98%	90%	
	LSB1	R	28	42	92%	74%	
	LSB2	L	28	42	98%	80%	
	JKS	R	49	38	68%	48%	
	CHM2	L	50	30	100%	76%	
	LHT	R	79	47	82%	46%	
	LSB3	L	67	37	96%	80%	
	HBC	L	75	38	90%	44%	
	LGG	L	70	50	88%	44%	
	LKW	R	73	87	36%		MCL[b]
	KYK	R	60	78	38%		MCL[b]
Bell	KBJ	R	57	53	56%	30%	
	KYS	R	71	35	84%	66%	
	KGC	L	67	17	100%	96%	
	PYS2	R	51	67	48%		MCL[b]
Flat	KCH	R	43	47	76%	48%	
Ungroup	KHY	L	59	58	54%		MCL[b]
	NJS	R	66	55	32%		MCL[b]
	Mean =		58.4	46.9	76.8%	65.8%	

3.2. 시료 및 장비

어음표(word list)는 두음절 SP(SPondee) 어음표와 단음절 어음(單音節 語音, monosyllabic word)의 PB(Phonetically Balanced) 어음표를 사용하였다. 두 어음표는 삼성의료원 청각검사실에서 사용하는 DAT에 녹음된 여성 아나운서의 발성음을 사용하였으며, 실험을 위한 잡음은 GSI61 오디오미터에서 발생시킨 음성 대역 잡음을 사용하였다. 그리고 음성 신호와 음성 신호 대역의 잡음을 여러 가지 SNR에 대해 혼합하여 실험 대상자에게 들려주었다.

음질 향상 시스템은 부동 소수점 범용 DSP인 모토로라 DSP96002 프로세서가 탑재된 LSI DSP 보드를 사용하여 on-line 실시간 시스템으로 구현되었다. 실험에 사용된 LSI DSP 보드에는 16-bit의 A/D와 D/A가 탑재되어 있다. 33MHz의 주클락에서 보드를 동작시켰을 경우, 16kHz 표본화률의 데이터를 사용하여 음질 향상 전처리 시스템을 수행하기 위해서는 실시간 전체 허용 연산 시간의 약 23.4%가 필요하였다. 테스트 신호는 Sony DAT 플레이어와 Grason-Stadler GSI 61 오디오메타를 이용하여 발생시켰으며, TDH-50p 이어폰을 이용하여 청력 검사를 실시하였다.

3.3. 실험 방법

잡음 환경에서 신호에 선형 증폭을 가한 경우 변화된 음성 신호 레벨에 대한 실험 대상자들의 음성 인지 능력과 변화 정도를 알아보기 위하여 비교적 넓은 범위(60~96dB HL)에 대하여 음성 인지 능력을 측정하였다. SP 어음표의 어음을 50%를 인지하는데 필요한 SNR을 60, 72, 84, 96dB HL의 네 가지 음성 레벨에 대하여 측정하였다. 그림 2는 SP 어음표를 사용하여 실험 대상으로 정한 22개의 귀에 대해 각각의 인지 능력을 측정한 데이터를 나타낸다. 그림 2의 결과로부터 음성 신호의 레벨이 증가할수록 데이터가 집중되는 것을 볼 수 있으며, 이러한 결과는 본 논문의 실험에서 사용한 음성 대역 잡음이 아닌 백색 잡음을 사용한 Dirk[8]의 연구와 유사한 결과를 보이고 있다.

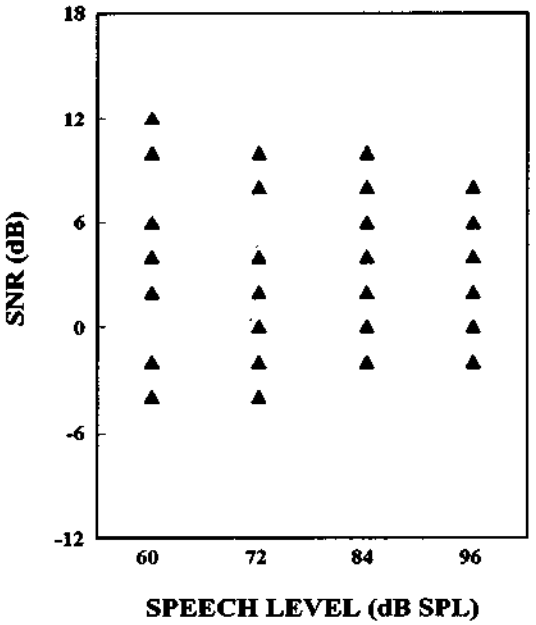

그림 2. 네 가지 음성 레벨에 대해 SP 어음표를 사용하여 50%의 인지 능력을 갖기 위한 SNR (18명의 감음신경성 난청자 대상)

Fig. 2. SNRs need to achieve 50% performance using SP word lists at four speech levels (results from 18 subjects with sensorineural hearing loss).

위의 실험 결과를 바탕으로 +6, 0, −6dB의 SNR에 대하여 SP 어음표의 50%인지 능력을 측정하고, 음질 향상 기법을 통해 잡음을 제거한 경우의 50%인지 능력을 측정하였다. 최종적으로 음성의 레벨을 대표하는 60dB HL에서 PB 어음표를 이용하여 어음 인지 능력을 검사하였다. 실험 대상 중 5명의 경우에는 음성 검사에 60dB HL의 크기가 충분하지 않아 MCL(Most Comfortable Level)에서 측정을 하였다. 잡음 환경은 50%인지 능력 검사와 동일한 +6, 0, −6dB의 SNR로 설정하였다.

IV. 실험 결과

4.1. 잡음 환경에서의 어음 인지 능력

첫 실험으로 SNR이 각각 +6, 0, −6dB인 경우에 SP 어음표에 대해 50%인지 능력을 갖는 가청 한계를 측정하였다. 그림 3은 배경 잡음이 존재하는 경우와 음질 향상 기법을 적용하여 배경 잡음을 제거한 경우의 인지도에 대한 비교 결과를 보여주고 있다. 그림에서 ■ 표시는 실험 대상 난청자들이 SP 어음표를 50%인지하는데 필요한 최소 지각 레벨의 평균값을 나타내며, 막대 그래프는 실험 대상자가 어음에 반응하지 못하여 지각 레벨을 측정할 수 없는 경우의 수를 의미한다. 그림 3-(a)에서와 같이 잡음을 제거하지 않은 상태에서는 대부분의 실험 대상자가 어음에 대한 반응을 하지 못하여 50%인지 능력을 측정할 수 없었다. 특히, SNR이 −6dB인 경우에는 16명의 실험 대상자 중 2명만이 어음에 대해 반응 할 수 있었다. 그러나 그림 3-(b)의 결과에서 볼 수 있듯이, 음질 향상 기법을 이용하여 잡음 성분을 제거한 후에는 모든 감음신경성 난청자의 어음 인지 능력을 측정할 수 있었다.

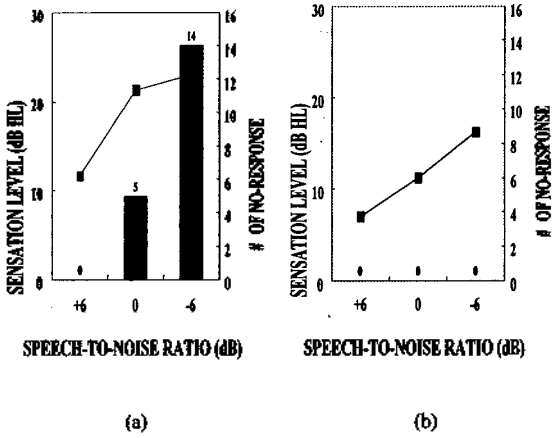

그림 3. +6, 0, −6dB의 SNR에서 SP 어음표의 50% 인지 능력을 갖기 위한 평균 지각 레벨
(a) 잡음을 제거하지 않은 경우
(b) 잡음을 제거한 경우

Fig. 3. Mean sensational levels of 50% performance using the SP word lists at SNR of +6, 0, and −6dB;
(a) without and,
(b) with noise reduction.

4.2. 잡음 제거 전·후의 어음 변별력

4.2. 잡음 제거 전·후의 어음 변별력

잡음 제거를 통한 감음신경성 난청자의 어음 변별력의 향상 정도를 알아보기 위하여 배경 잡음이 존재하는 경우의 난청자의 어음 변별력과 배경 잡음을 제거한 경우의 어음 변별력을 측정하였다. 또한 평가 지표를 위하여 배경 잡음을 첨가하지 않은 경우의 난청자의 어음 변별력을 측정하였다.

그림 4는 각 SNR에 따라 어음 변별력 검사를 수행하여 얻어진 평균 SDT 점수를 보여주고 있다. 잡음이 없는 경우의 어음 변별력 검사 결과는 약 59% 정도를 보였으며, SNR의 변화에 따라 SDT 점수가 근사적으로 선형적 관계를 가짐을 볼 수 있다. 그림 4로부터 잡음이 없는 경우에 비하여 잡음 존재하는 경우 급격한 어음 변별력의 감소를 볼 수 있었다. 그러나 음질 향상 기법을 이용하여 잡음을 제거한 경우에는 실험 대상 난청자의 어음 변별력이 비교적 완만하게 떨어짐을 볼 수 있고, 특히 잡음을 제거하지 않은 경우에 비하여서는 월등히 높은 SDT 점수를 얻었음을 알 수 있다. 즉, SNR이 +6, 0, −6dB인 경우에 대하여 각각 21, 28, 29%의 변별력 향상을 보였고, SNR이 가장 나쁜 −6dB인 경우의 변별력 향상 정도가 가장 컸다. 이 결과에서 SNR이 −6dB인 경우 얻은 SDT 점수(31%)가 이보다 SNR이 12dB 더 좋은 경우인 +6dB의 잡음 환경에서 얻을 수 있는 SDT 점수(28%)와 대등한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이로부터 음질 향상 기법을 이용하여 잡음을 제거할 경우 난청자의 어음 변별력 검사에 있어 약 12dB 이상의 SNR 향상 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

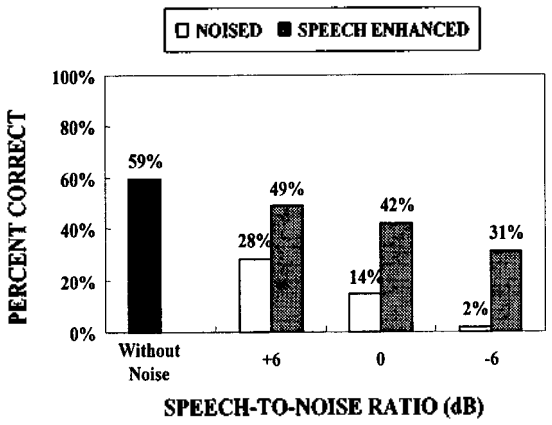

그림 4. SNR에 따른 평균 변별력
Fig. 4. Mean discrimination scores at different SNRs.

4.3. 난청자 집단에 따른 어음 변별력

우선 실험 대상을 SDT 점수 결과에 따라 청각학적 측면을 고려하여 0~49%, 50~79%, 80~100%의 세 집단으로 나누었다. 나누어진 세 집단의 SDT 점수를 그림 5에 나타내었다. 이 때 각 집단의 평균 SDT 점수는 각각 41, 67, 86%이다. 그림 4에서 잡음 성분을 제거한 경우 모든 경우에 실험 대상자의 어음 변별 능력이 크게 향상되는 것을 관찰할 수 있었다. 그림 5의 결과를 보면 각 집단별 평균 어음 변별 능력 역시 모든 경우에 대하여 크게 향상됨을 볼 수 있다. 그림 4의 결과에서 SNR이 −6dB인 경우에 평균 SDT 점수는 2% 밖에 되지 않으며, 최고의 점수를 얻은 실험 대상의 경우에도 16% 밖에 되지 않았다. 이로부터 SNR이 −6dB인 경우에 그림 3-(a)의 16명의 감음신경성 난청자 중 2명의 SDT 점수를 예측할 수 있다.

16명의 실험대상자를 청력도의 형태에 따라 재집단화한 경우에 대해 향상된 평균 SDT 점수를 그림 6에 나타내었다. 고주파로 갈수록 심한 청력손실을 보이는 descending-type의 청력도를 갖는 난청자 집단의 경우, SNR이 +6, 0dB일 때는 다른 형태의 청력 손실을 갖는 난청자의 경우보다 약 5%의 변별력 향상이 있었지만, SNR이 −6dB인 경우에는 별다른 차이를 보이지 않았다.

특히 난청자의 경우 주목할 만한 결과는 잡음 제거 과정에서 발생하는 음악성 잡음(musical noise)을 거의 인지하지 못한다는 사실이다. 일반적으로 음질 향상 기법 혹은 잡음 제거 기법을 이용하여 잡음을 제거할 경우 음악성 잡음이 발생하게 되며, 이는 정상인의 음에 대한 선호도를 크게 좌우하는 요인으로 작용한다[16]. 그러나, 실제 감음신경성 난청자를 대상으로 한 청취 실험 결과 난청자의 경우에는 이와는 다른 양상을 나타냈다. 18명의 실험 대상 난청자 중 5명만이 음악성 잡음을 인지할 수 있었으며, 모두 배경 잡음이 제거된 신호를 선호하였다.

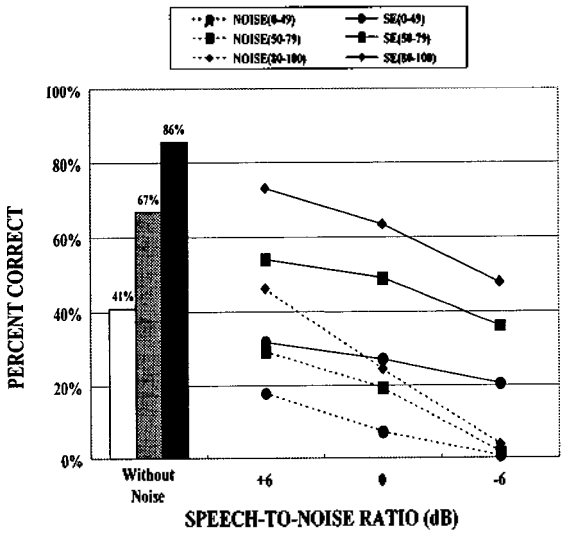

그림 5. 평균 어음 변별력에 따른 세 집단. 실선은 음질 향상 기법을 적용하지 않은 경우이며, 점선은 음질 향상 기법을 적용하지 않은 경우이다
Fig. 5. Mean discrimination scores into three groups. The solid lines are scores without the enhancement method and the dashed lines are with the enhancement method.

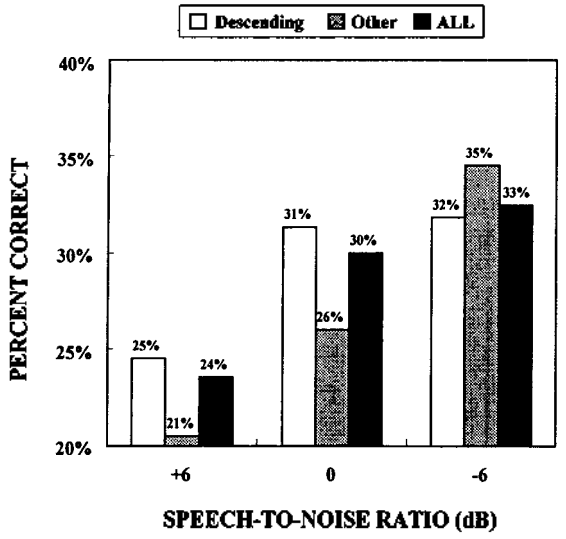

그림 6. 청력도의 형태에 따른 평균 어음 변별력 향상
Fig. 6. Mean discrimination scores improvement of subjects by types of audiograms.

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 신호 처리 기법을 이용하여 보다 향상된 보청 환경 조성을 위한 연구를 수행하였다. 음질 향상 기법은 부동 소수점 연산을 하는 DSP 보드를 이용하여 실시간 시스템으로 구현되었다. 하나의 마이크로폰을 사용하는 음질 향상 기법을 보청 시스템의 전처리단으로 도입하여 배경 잡음을 제거할 경우 감음신경성 난청자의 인지 능력을 크게 향상시킬 수 있었다. 감음신경성 난청자의 SRT 점수와 단어 인지 능력을 측정하였으며, 그 결과를 잡음환경에서 실시간 시스템으로 배경 잡음을 제거한 경우에 측정한 결과와 비교하였다. 배경 잡음을 제거할 경우, 제거하지 않은 경우에 비하여 모든 실험 대상 감음신경성 난청자의 어음 변별 능력이 +6, 0, −6dB의 SNR에 대하여 각각 평균 21, 28, 29%만큼 증가하였으며, 특히 낮은 SNR인 경우 descending-type의 청력도를 가지며 고득점을 얻었던 집단의 어음 변별 능력이 매우 크게 증가하였다.

참 고 문 헌

1. N. Dillier, T. Frölich, M. Kompis, H. Bögli, and W. K. Lai, "Digital Signal Processing (DSP) Applications for Multiband Loudness Correction Digital Hearing Aids and Cochlear Implants," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol.30, No.1, pp.95-109, 1993.
2. 박선준, "다채널 보청 알고리듬의 성능 개선 및 실시간 구현," 연세대학교 전자공학과 석사 학위 논문, 1998년 2월.
3. 신승우, 박선준, 도원, 윤대희, 차일환, "다채널 처리 보청기에서의 음향 궤환 제거," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, pp.179-182, vol.17, No.1(s), 1998.
4. 김대경, 허종, 박장식, 손경식, "보청기에서의 적응궤환제거와 성능 향상," 한국음향학회지, pp.38-46, 제18권, 제4호, 1999.
5. B. Kollmeier, J. Peissug, V. Hohmann, "Real-time Multiband Dynamic Compression and Noise Reduction for Binaural Hearing Aids," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol.30, No.1, pp.82-94, 1993.
6. A. M. Engebretson, "Benefits of Digital Hearing Aid," *IEEE Eng. in Medicine and Biology Magazine*, vol.31, No.2, pp.238-248, 1994.
7. L. E. Hume, "Understanding the Speech-understanding Problems of the Hearing Impaired," *Am. Acad. Audiol.*, vol.29, pp.59-69, 1991.
8. D. Dirks, D. Morgan, J. Dubno, "A Procedure for Quantifying for Effects of Noise on Speech Recognition," *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 47, pp.114-123, 1982.
9. A. Q. Brronkhost, R. Plomp, "A Clinical Test for the Assessment of Binaural Speech Perception in Noise," *Journal of Audiology*, vol.29, pp.275-285, 1990.
10. A. J. Klein, J. H. Mills, W. Y. Adkins, "Upward Spread of Masking, Hearing, and Speech Recognition in Young and Elderly Listeners," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol.87, pp.1266-1271, 1990.
11. E. Villchur, "Signal Processing to Improve Speech Intelligibility in Perceptive Deafness," *Journal of the Acoustical Society of America*, vol.53, pp.1646-1657, 1973.
12. H. Sheikzadech, H. Sameti, L. Deng, and R. L. Brennan, "Comparative Performance of Spectral Subtraction and HMM-Based Speech Enhancement Strategies with Application to Hearing Aid Design," *Proc. IEEE ICASSP*, pp.113-116, 1994.
13. S. F. Boll, "Suppression of Acoustic Noise in Speech Using Spectral Subtraction," *IEEE Trans. on Acoust., Speech, and Signal Processing*, vol.27, No.2, pp.113-120, 1979.
14. J. S. Lim and A. V. Oppenheim, "Enhancement and Bandwidth Compression of Noisy Speech," *Proc. of the IEEE*, vol.67, No.12, pp.1586-1604, 1979.
15. R. J. McAulay and M. L. Malpass, "Speech Enhancement Using a Soft-Decision Noise Suppression Filter," *IEEE Trans. on Acoust., Speech, and Signal Processing*, vol.28, No.2, pp.137-145, 1980.
16. 박선준, 도원, 신승우, 윤대희, 김동욱, 박영철, "보청기를 위한 배경 잡음 제거 기법의 성능 평가," 대한의용생체공학회 추계학술대회, 제19권, 제2회, pp.83-86, 1997.
17. M. Killon, "SNR Loss: "I Can Hear What People Say, but I Can't Understand Them," *Hearing Review*, vol.4, No.2, pp.8-14, 1997.
18. C. I. Berlin, *Hair Cells and Hearing Aids*, Singular Publishing Group, 1996.
19. E. Zwicker and H. Fastl, *Psychoacoustics*, Springer-Verlag, 1990.
20. S. V. Vaseghi, *Advanced Signal Processing and Digital Noise Reduction*, John Wiley & Sons, 1996.

▲박 선 준(Seon Joon Park)

1996년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 3월~현재 : 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 박사과정
※주관심분야 : 음성신호처리, 디지털 보청 알고리즘, 음향 신호처리, 적응신호처리

▲윤 대 희(Dae Hee Youn)

1977년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1979년 8월 : Kansas State University (M.S.)
1982년 8월 : Kansas State University (Ph.D)
1982년 9월~1984년 8월 : University of Iowa, Assistant Prof.
1985년 9월~현재 : 연세대학교 기계전자공학부 교수
※주관심분야 : 음성신호처리, 음향신호처리, 적응신호처리, 레이다 및 소나 신호처리

▲김 동 욱(Dong Wook Kim)

1988년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 12월 : University of Missouri -Columbia(공학석사)
1992년~1994년 : 삼성전자 기술총괄 ASIC설계센터 전임 연구원
1994년~1998년 : 삼성생명과학연구소 임상의공학연구센터 선임연구원
1998년~현재 : 삼성종합기술원 의료전자LAB 전문연구원
※주관심분야 : Auditory Signal Processing, Hearing Simulation

▲박 영 철(Young Cheol Park)

1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1993년~1995년 : Pennsylvania State Univ. Graduate Program in Acoustics, Post Doc.
1995년~1997년 : 삼성반도체 DSP팀
1997년~1998년 : 삼성생명과학연구소 임상의공학센터 선임연구원
1998년~현재 : 연세대학교 신호처리 연구센터 연구교수
1999년~현재 : In-Time Tech. 연구실장
※주관심분야 : 적응신호처리, 디지털 보청 알고리즘, 레이다 및 소나 신호처리, 음성부호화, 오디오부호화