

# 음성향상을 위한 가중치 갱신제어방식의 적응소음제거기

김규동<sup>†</sup>, 이윤정<sup>\*\*</sup>, 김필운<sup>\*\*\*</sup>, 장용민<sup>\*\*\*\*</sup>, 조진호<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 김명남<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 기준신호를 획득하기 어려운 환경에서 환경소음이 정상적인 특성을 가질 경우 음성을 향상시킬 수 있는 가중치 갱신제어 적응소음제거기를 제안하였다. 일반적인 적응소음제거기의 경우 소음만의 기준신호를 획득하여야 한다. 그러나 다수의 기기에 의한 복합적인 소음과 작업자에 의한 음성이 혼합되는 공장 환경에서는 소음발생원들로 부터 순수한 소음신호를 획득하기가 어렵다. 따라서 기준신호를 이용할 수 없기 때문에 이러한 환경에서는 기존의 적응잡음제거기를 사용하기가 어렵다. 제안한 방법에서는 입력신호를 임의의 상수로 하고 기준신호에 마이크로폰의 신호를 입력한다. 그런 다음 음성이 없는 구간에서 적응필터의 가중치를 갱신하여 소음을 제거하고 음성이 발생한 구간에서는 가중치를 고정하여 소음이 제거된 변형 음성신호를 획득한다. 그리고 변형 음성신호를 복원 필터링하여 음성신호를 출력한다. 이것은 다수의 공장소음이 정상적이고 짧은 대화구간에서 소음이 변하지 않는 점을 고려하였다. 실험의 결과 제안한 소음제거기가 공장소음을 효과적으로 제거할 수 있었고 신호 대 잡음비 면에서도 우수함을 확인하였다.

## Adaptive Noise Canceller by Weight Updating Control Method for Speech Enhancement

Gyu Dong Kim<sup>†</sup>, Yun Jung Lee<sup>\*\*</sup>, Pil Un Kim<sup>\*\*\*</sup>, Yongmin Chang<sup>\*\*\*\*</sup>,  
Jin Ho Cho<sup>\*\*\*\*\*</sup>, and Myoung Nam Kim<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper we proposed a Weight-Update-Control Adaptive Noise Canceller which improves speech when environmental noise is stationary and it is hard to acquire a reference signal. Adaptive Noise Canceller(ANC) needs a reference signal, but it is not easy to measure pure noise without voice for reference in factory. Because there are mixed various mechanical noise and workers' voice. Therefore ANC is not suitable to reduce background noise. So we proposed the method that uses an arbitrary constant as an input signal and inputs microphone signal to the reference signal. The noise is eliminated using updated weights in non-speech range. In speech range the weight is fixed and the modified voice is acquired then voice is restored through transversal filter. The proposed method is based on facts that the factory noise is stationary and the noise is not changed in short conversation range. As a result of simulation using MATLAB, we confirmed that the proposed method is effective for reducing factory noise and has high signal to noise ratio(SNR).

**Key words:** Adaptive Noise Canceller(ANC)(적응소음제거기), Factory Noise(공장소음), Speech Signal(음성신호), Weight Update Control(가중치 갱신제어)

## 1. 서 론

산업현장의 근무자들은 강한 소음에 노출되는 경우가 많으며 이로 인하여 많은 현장 작업자들이 소음성 난청의 유소견자로 판명되고 있다. 소음성 난청은

현재 국내에서 가장 많이 발생하고 있는 직업성 질환으로 전체 직업병 중, 소음성 난청이 차지하고 있는 비율이 82.1%에 이르고 있다[1,2]. 소음성 난청은 일단 한번 발생하면 형태 및 기능이 불가역적이므로 예방만이 유일한 해결책이다. 다양한 작업장의 소음

완화 방법들 중에서 귀덮개 형태의 단순한 방음 보호구를 사용하여 소음을 차폐하는 수동 소음제어 방법과 방음 보호구 형태에 전기적 기술을 적용한 능동 소음제어 방법이 있다[3,4].

능동 소음제어방법으로 많이 사용되는 적응소음 제거기(adaptive noise canceller, ANC)는 대상 신호의 특성에 대한 사전 지식이 거의 없거나 혹은 소음 등의 영향에 의해 시스템 특성이 시간에 따라 변할 때 시스템의 환경을 항상 최적인 상태에 머물도록 시스템 환경을 조정 시켜 주기위해 신호를 주위환경의 변화에 따라 적응 처리하는 적응 필터링 기술을 이용한다. 이러한 적응 필터링 시스템의 기본적인 개념은 1959년 Widrow와 Hoff에 의해 개발된 최소 평균 사승법(least mean square, LMS) 알고리즘에 근거를 두고 있다[4].

Hui는 사이렌을 장착한 자동차 안에서의 사이렌 소음을 제거하기 위해 적응 소음제거기의 변형된 구조로 사이렌 소리의 주기적 특성을 이용하여 지연시킨 신호를 기준신호로 하여 차량 내의 사이렌의 소음을 제거하였다. 이러한 소음 제거 방식은 각 소음의 특성을 미리 알아야 하고 소음만의 기준신호를 얻기 위해 사이렌의 스피커 가까이에 마이크로폰을 장착해야 하는 단점이 있다[5]. 항공기와 같은 소음 환경 내에서 협대역 소음 제거에 사용되는 소음 제거 헤드폰 구조에서는 음성신호와 소음이 서로 분리되어 입력되어서 헤드 캡 내로 유입되는 소음을 적응 소음제거기를 통해 제거해서 음성 향상을 한다[6]. 일반적인 적응 소음제거기의 기준신호(reference signal)는 소음만의 성분을 가져야 한다. 즉, 신호와 소음이 혼합된 원 신호에서 소음을 제거하기 위하여 원 신호의 소음 성분과 상관도가 매우 높은 소음원의 신호가 기준신호가 되어야 원 신호에서 소음을 제거할 수 있다. 그러나 공장 등의 소음환경에서 제거해야 하는 소음과 상관도가 높은 소음원의 신호만을 얻기는 어

려운 단점이 있다[7,8]. 또한 공장소음이 완전히 주기적이지는 않아서 적응 소음제거기의 다른 형태인 기준신호가 필요 없는 적응 신호선 보정기(adaptive line enhancer, ALE)의 사용도 불가능하다.

본 논문에서는 기준신호를 획득하기 어려운 환경에서 환경 소음이 정상적인 특성을 가질 경우 음성을 향상시킬 수 있는 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기를 제안하였다. 일반적인 적응 소음제거기에서 필터링을 통하여 출력신호가 기준신호에 일치되어 가는 특성을 고려하여 제안한 방식은 원 신호 입력단에 소음과 음성이 혼합된 마이크로폰 출력신호를 입력하고 기준신호 입력단에는 소음과 음성이 혼합된 신호가 아닌 수렴 목표 신호인 상수 값을 입력하는 구조를 갖는다. 그리고 일부 공장소음의 특성이 대체적으로 정상적(stationary)이고 짧은 대화구간동안에 소음의 특성이 크게 변화하지 않는 점을 고려하여 비 음성구간에서는 가중치를 갱신하고 음성구간에서는 갱신을 중단하고 가중치를 고정하는 방식을 제안하였다. 따라서 비 음성구간에서는 소음이 제거되고 음성구간에서도 소음만 제거되고 필터 출력단에는 변형된 음성신호가 출력된다. 그런 다음 고정된 가중치의 역수로 구성된 복원 필터를 통해 최종적인 음성신호가 출력된다. 제안한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기를 이용하여 모의 신호와 공장소음과 음성이 혼합된 실제 신호에 대한 실험 결과 우수한 신호 대 잡음비 성능을 알 수 있었으며 이를 통하여 기준신호의 획득이 어려우나 소음의 특성이 대체적으로 정상적인 공장 작업환경에서 소음을 효과적으로 제거할 수 있음을 확인하였다.

## 2. 적응 소음제거기와 신호선 보정기

적응 소음제거기는 원 신호 및 기준신호와 적응 알고리즘을 이용하여 원 신호의 소음을 제거하는 구

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김명남, 주소 : 대구광역시 중구 동인동 2가 101번지(700-422), 전화 : 053)420-5266, FAX : 053)420-5264, E-mail : kimmn@knu.ac.kr  
접수일 : 2007년 4월 27일, 완료일 : 2007년 6월 27일

\* 경북대학교 대학원 의용생체공학과 (E-mail : boomkgd@hotmail.com)  
\*\* 준회원, 경북대학교 대학원 의용생체공학과 (E-mail : whitegleam@paran.com)  
\*\*\* 준회원, 경북대학교 대학원 의용생체공학과 (E-mail : zcros97@hanmail.net)

\*\*\*\* 경북대학교 의과대학 분자학교실 (E-mail : ychang@knu.ac.kr)  
\*\*\*\*\* 정희원, 경북대학교 의과대학 의공학교실 (E-mail : jhcho@ee.knu.ac.kr)  
\*\*\*\*\* 종신회원, 경북대학교 의과대학 의공학교실  
※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (과제고유번호:02-PJ3-PG6-EV10-0001) 또한 이 논문은 2007년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

조를 가지며, 적응 신호선 보정기는 소음이 내재된 하나의 원 신호와 적응 알고리즘을 이용하여 소음을 제거하는 구조를 갖는다. 적응 소음제거기와 적응 신호선 보정기의 일반적인 구조를 그림 1에서 보였다. 그림 1의 (a)는 적응 소음제거기의 구조로서  $x(n)$ 은 원 신호이고  $d(n)$ 은 기준신호이다. 적응 알고리즘에 의해  $e(n)$ 이 최소가 되도록 적응필터의 가중치를 갱신하여 원 신호가 기준신호에 수렴되면 소음이 제거된 신호  $y(n)$ 이 출력된다. 그림 1의 (b)는 적응 신호선 보정기의 구조로서 시간 지연을 둔 원 신호를 기준신호로 이용한다. 이러한 필터 구조는 원 신호에서 제거하고자 하는 소음의 크기가 획득하고자 하는 신호보다는 작은 크기를 가져야 하고 소음이 완전히 주기적이어야 하는 전제 조건을 가진다. 그림 1의 (a) 및 (b)에서 가중치 갱신(weight update)는 최소 평균 자승법 알고리즘을 이용하여 수행할 수 있으며 구해진 가중치 벡터를 이용하는 횡단선 필터의 세부 구조를 그림 2에서 보였다.

최소 평균 자승법 적응알고리즘은 Wiener 필터 이론에 기초한 적응필터의 가중치 갱신 알고리즘이

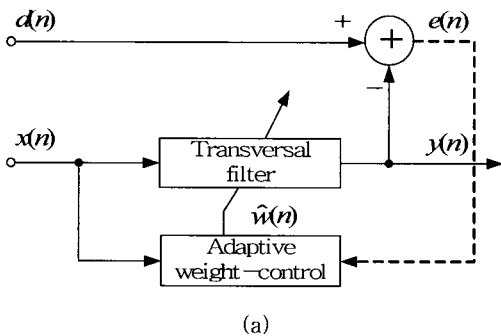


그림 1. 적응필터 구조도: (a) 적응 소음제거기 및 (b) 적응 신호선 보정기

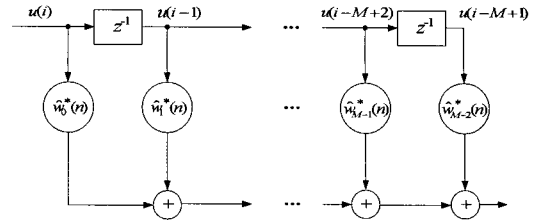


그림 2. 횡단선 필터

다. Wiener 필터는 신호와 소음이 정상적(stationary)이고 특성을 미리 아는 경우에는 소음을 제거하는 최적의 필터이다. 그러나 신호와 소음이 시간에 따라 변하는 비정상적(nonstationary) 특성을 가질 때는 매번 반복적으로 가중치 벡터를 구해야 하는데, 평균 자승 오차(mean square error, MSE)가 최소가 되는 방향으로 가중치 벡터,  $\hat{w}$ 를 개선해 나가야 한다. 이러한 과정을 수식으로 나타내면

$$y(n) = \hat{w}^H x(n) \tag{1}$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \tag{2}$$

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) + \mu x(n)e(n) \tag{3}$$

과 같다. 여기서  $x(n)$ 은 원 신호이며,  $d(n)$ 은 기준신호이다.  $y(n)$ 은 필터의 출력신호이고  $e(n)$ 은 오차신호이다. 또한,  $\hat{w}$ 는 적응필터의 가중치 벡터(tap-weight vector)이고,  $\hat{w}^H$ 는  $\hat{w}$ 의 수평 행렬을 뜻한다.  $\mu$ 는 수렴 상수(convergence constant) 또는 적응 상수(step-size)이다. 최소 평균 자승법 알고리즘은 매 적응마다 가중치 벡터에 대한 추정 기울기 벡터를 구하여 이 벡터의 반대 방향으로 필터 가중치를 적응시킨다. 즉, 오차신호를 최소화함으로써 출력신호가 기준신호에 근사하게 된다.

### 3. 제안한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기

공장소음은 여러 기기에 의해 발생하지만 소음의 크기와 형태가 시간에 따라 크게 변하지 않고 지속되는 경향이 있기 때문에 다수의 기기에 의한 혼합된 소음 자체를 단일 소음으로 볼 수 있으며 소음과 음성 성이 동시에 발생하는 구간은 소음만 발생하는 구간에 비하여 국부적이라고 가정할 수 있다. 제안한 가중치 갱신 제어 적응 소음 제거기는 이러한 사실에 근거하여 혼합된 소음을 하나의 순수 소음으로 고려하며 단일 입력으로 이 소음만을 적용하기 때문에

구조가 간단하다. 따라서 제안한 시스템은 공장의 작업환경과 같이 다수의 소음원이 존재하며 이들에 대한 복합적인 소음이 발생하게 됨으로써 순수한 소음을 획득할 수 없는 소음 환경에서 적용 가능하다. 제안 시스템은 기존의 적응 소음제거기에서 오차신호가 수렴되기 위해 출력신호가 기준신호를 따라 가는 점을 이용하였다. 즉, 기준신호를 상수 값으로 두고 원 신호를 소음으로 두어 출력신호가 상수 값을 따라가면서 수렴하도록 하여 소음을 제거한다. 그런 다음, 음성이 소음과 함께 입력되었을 때 적응 소음 제거기는 가중치의 갱신을 중단하고 일시적으로 필터의 가중치를 고정하게 되며 소음의 특성은 크게 변화하지 않으므로 짧은 구간동안 이 필터를 통과한 신호의 소음은 제거되고 음성과 관련된 성분만 주로 남게 된다.

제안한 소음제거기는 입력이 2개인 기존의 적응 소음제거기 구조와 달리 기준신호를 획득하는 입력이 필요 없으므로 입력이 1개인 구조가 되며 입력이 1개인 적응 신호선 보정기 구조에서처럼 제거하고자 하는 소음이 완전히 주기적이어야 필요도 없다. 제안한 방식에서는 횡단선 필터 출력신호의 크기를 감지하여 음성신호 포함여부를 판별하여 횡단선 필터의 가중치 갱신을 제어한다. 이때 고정된 가중치를 갖는 횡단선 필터를 지나며 변형된 음성신호는 횡단선 필터의 역필터링 특성을 갖는 복원 필터를 통하여 복원된다.

### 3.1 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기

가중치를 제어하는 적응 소음제거기의 기본 구조는 그림 3과 같다. 기존의 소음제거기에서 오차신호를 최소화시켜 수렴하기 위해 출력신호가 기준신호를 따라가는 것과 달리 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기에서는 기준신호  $d(n)$ 을 상수 값으로 하여 출력신호  $y(n)$ 이 상수 값을 따라 적응하게 한다. 이때 오차신호  $e(n)$ 은 식 (4)와 같다.

그림 3에서 소음이 입력되면 출력신호  $y(n)$ 와 기준신호인 상수  $Constant$  사이의 오차신호  $e(n)$ 을 최소로 만들기 위해 가중치의 갱신이 지속적으로 수행되며 일정 시간 뒤에는 필터는 수렴상태를 유지하게 된다. 이러한 상태에서 소음과 음성이 혼합된 신호가 입력되는 경우에는 출력신호와 오차신호가 갑자기 변화하게 되며 제어기는 일정 기준 값을 초과하는

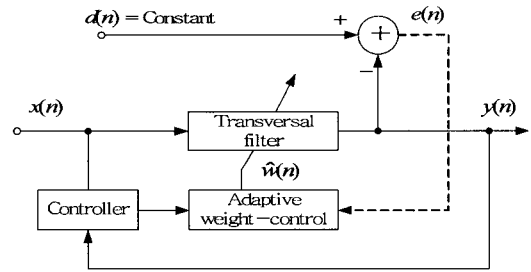


그림 3. 제안한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기의 기본 구조

출력신호의 급격한 크기 변화를 탐지하고 가중치 갱신을 중지하고 가중치를 유지하게 한다. 즉, 횡단선

$$e(n) = Constant - y(n) \tag{4}$$

필터의 가중치가 소음 제거를 위해 수렴된 가중치 상태를 유지한다. 이는 원 신호의 음성신호는 통과시키고, 소음은 제거하는 필터의 역할을 한다. 식 (5), (6)에서  $C(n)$ 는 제거기의 향으로 출력신호의 크기가 일정 기준 값(reference value)을 넘었을 때 가중치 갱신을 멈추게 하는 가중치 갱신 식을 나타내었다. 또한 가중치를 유지하는 지연시간을 두어서 지연시간이 지나면 가중치를 유지할 것인지 갱신할 것인지를 다시 결정하게 된다.

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) + [\mu x(n) e(n)] C(n) \tag{5}$$

$$C(n) = \begin{cases} 0, & y(n) \geq \text{reference value} \\ 1, & y(n) < \text{reference value} \end{cases} \tag{6}$$

여기서,  $x(n)$ 은 원신호이고  $\hat{w}(n)$ 은 시간  $n$ 에서의 적응필터의 추정된 가중치 벡터이며  $\hat{w}(n+1)$ 은  $\hat{w}(n)$ 으로 부터 갱신된 가중치 벡터이다. 이때  $\mu$ 는 적응필터의 수렴상수이다. 기본적인 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기의 전처리 과정으로 음성대역은 통과시키고 고주파수 대역은 차단하기 위하여 저역 통과 필터인 유한 임펄스 응답(finite impulse response, FIR) 필터를 이용하였다. 또한 후처리 과정으로 횡단선 필터에 의해 변형된 음성신호를 복원하는 복원 필터(restoration filter)를 그림 4에서와 같이 나타내었다. 이 필터는 음성이 있는 구간, 즉, 가중치의 갱신이 멈추는 구간에서 작동하여 음성신호만을 출력하게 된다. 복원 필터의 계수는 음성이 들어와서 가중치 갱신이 멈추는 시점을 기준으로 바로 이전 가중치의 역수이다.

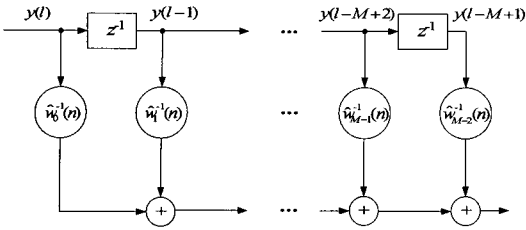


그림 4. 복원 필터

식 (7)에서는 횡단선 필터의 출력신호에 가중치의 역수를 곱해 주는 식을 나타내었다.

$$y_c(n) = (\hat{w})^{-1}y(n) \quad (7)$$

여기서,  $y(n)$ 은 적응필터의 출력신호인 동시에 복원필터의 입력신호이며  $\hat{w}$ 은 적응필터의 추정된 가중치 벡터이고  $y_c(n)$ 은 복원된 신호이다.

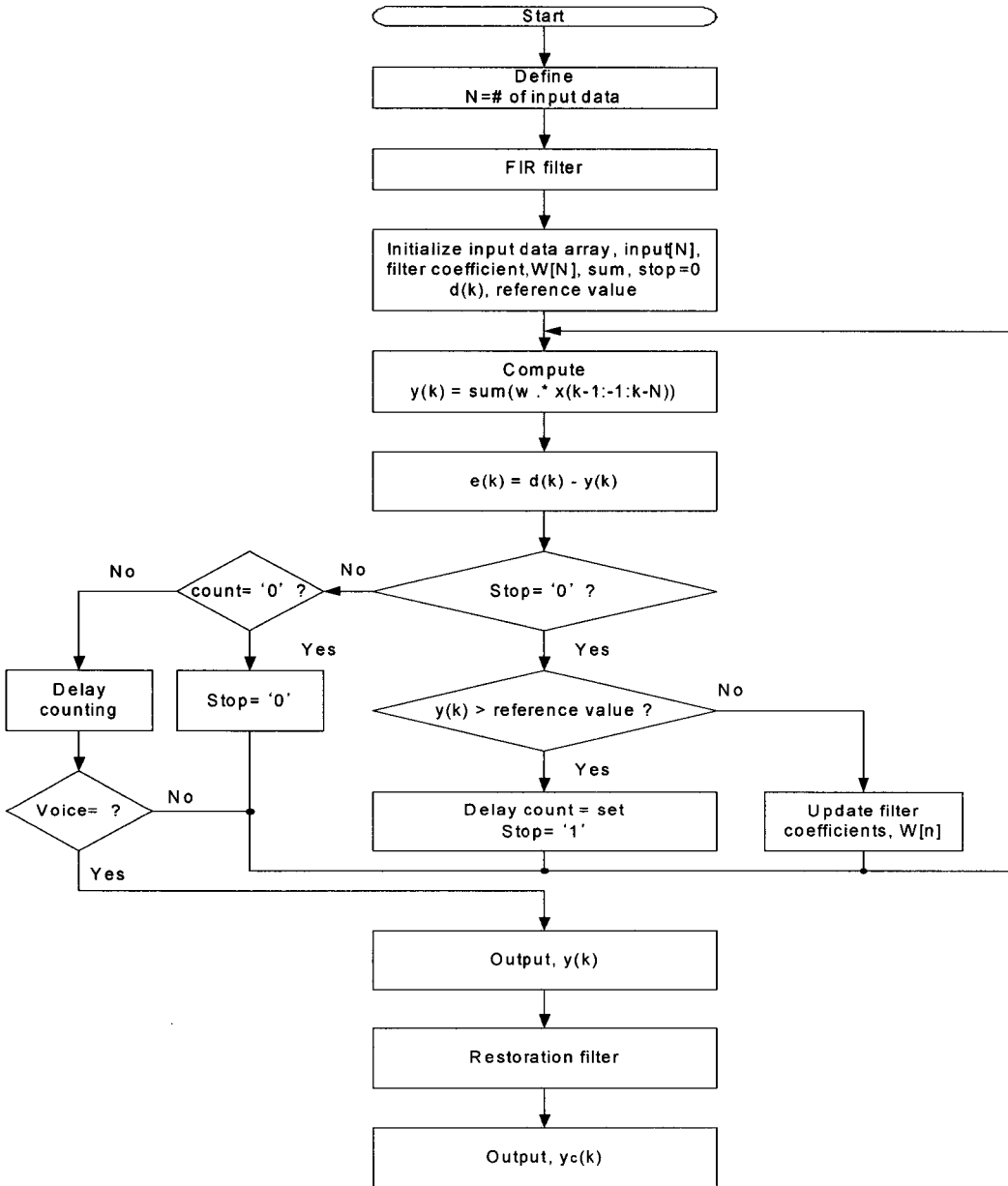


그림 5. 제안한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기의 전체 신호처리 흐름도

제한한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기의 전체 신호처리 흐름도를 그림 5에서 보였다. 신호가 들어오면 저역통과 필터를 거치고 적응 필터링하게 된다. 먼저, 소음구간에 의한 가중치 갱신이 수행되고 음성 신호가 입력되어 출력신호가 기준 값보다 크게 되면 갱신은 정지되고 정지된 시점에서 횡단선 필터의 역 필터 특성을 갖는 복원 필터가 구성되고 출력신호도 필터 통과 시간만큼 지연되어 복원 필터의 입력으로 들어가서 필터를 거친 다음 최종적으로 출력된다.

전처리용 저역통과필터와 후처리용 복원필터를 포함하는 제한한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기의 전체 구조도는 그림 6과 같다.

### 3.2 음성신호 판별

제어기에서 가중치 갱신을 멈추게 하는 원 신호가 음성신호인지 소음에 의한 것인지를 구별하기 위해서 음성신호의 주파수 특성을 이용하였다. 음성신호는 에너지의 분포가 주로 저주파에 집중되어 있다. 특히 1kHz 미만의 포먼트(formant)의 기본 주파수 영역에서 생기는 첫 번째 공명 주파수인 제1 포먼트에 에너지가 집중되어 있다. 포먼트는 음정 등의 주파수 세기의 분포로서 일반적으로 모음의 경우 각각의 음성에 고유한 주파수 분포도형이 있다. 모음은 성대의 1초간의 진동수를 나타내는 기본주파수는 대체로 200 ~ 800Hz이고 그 정수배의 고조파로 이루어진다. 이 고조파 중의 대체로 3개 정도가 강조되는 것이 있고 낮은 주파수부터 차례로 제 1, 제 2, 제 3 포먼트라고 한다. 이것은 개인에 따라 강·약의 차가 생기므로 개인의 독특한 음색이 생기는 한 원인이 된다[9,10].

표 1에서는 20대 초반의 대학생 화자들이 국어의 모음을 발음할 때 모음의 제 1 포먼트 주파수를 나타내었다. 모음의 제 1 포먼트는 1kHz 미만에 분포하는 것을 알 수 있고, 여자가 남자보다 각각의 주파수가 다소 높은 것을 알 수 있다[9].

표 1. 모음의 제1 포먼트 주파수 (단위 : Hz)

	[i]	[e]	[Λ]	[a]	[u]	[o]
Male	341	526	593	755	374	456
Female	350	536	668	937	462	464

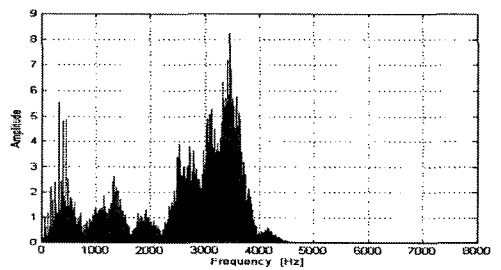
이와 같은 특성을 이용하여 횡단선 필터의 출력신호에서 1kHz미만과 1kHz이상에서의 최고값(peak value)을 비교하여 음성신호 포함여부를 판별하였으며 이를 위해 식 (8)을 이용한다. 여기서,  $V_p$ 는 1kHz 미만의 주파수 영역에서의 최고값이고  $S_p$ 는 1kHz 이상 주파수 영역에서의 최고값이며  $k$ 는 상수를 나타낸다.

$$V_d = \log\left(\frac{V_p}{S_p}\right) \tag{8}$$

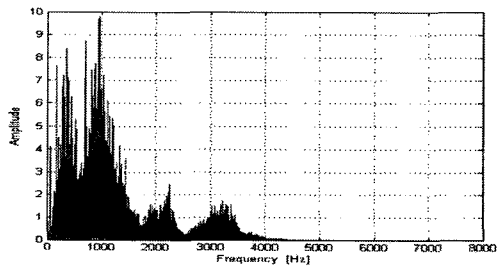
if  $V_d > k$ ,  $y(n) = \text{voice}$ .

1kHz미만의 주파수 영역에서의 최고값이 1kHz이상 주파수 영역에서의 최고값보다  $10^k$ 배 이상 크면 횡단선 필터의 출력을 음성신호로 판단하여 복원 필터로 입력된다.

공장소음 A와 공장소음 B에 의해 가중치 갱신이 중단될 때 제어기로 입력되는 횡단선 필터의 출력신호의 주파수특성을 그림 7에 나타내었다.



(a)



(b)

그림 7. 공장소음에 의해 가중치 갱신이 중단 되었을 때의 횡단선 필터의 출력 (a) 공장소음 A, (b) 공장소음 B

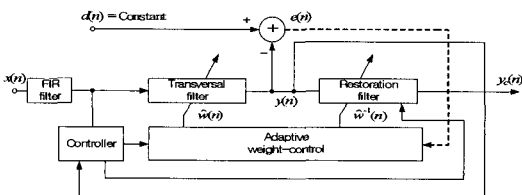


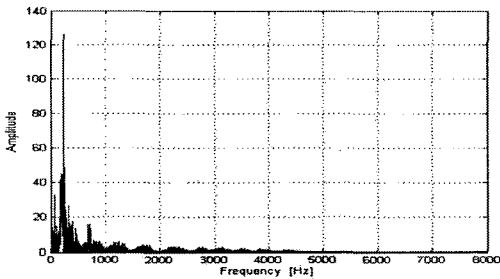
그림 6. 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기의 전체 구조도

공장소음 A에 음성신호 A와 음성신호 B를 각각 혼합한 신호들을 가중치 갱신 제어 적용 소음제거기에 입력하여 음성 판별 제어기로 들어가는 횡단선 필터의 출력신호에 대한 주파수 특성을 그림 8에서 나타내었다.

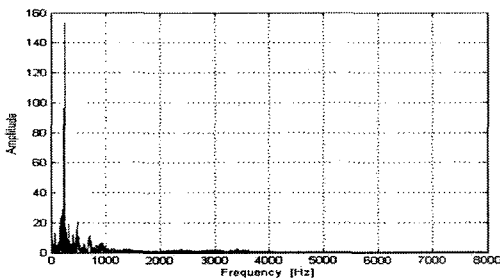
공장소음들만의 주파수특성과 음성성분이 포함된 공장소음의 주파수특성을 비교해 보면 앞서 제안한 판별방식에서와 같이 1kHz미만의 주파수 영역에서의 최고값이 1 ~ 4kHz의 주파수 영역에서의 최고값보다 큰 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 예들은 제안한 방식이 타당함을 보여주고 있다.

#### 4. 실험 결과

제안한 가중치 갱신 제어 적용 소음제거기의 성능을 평가하기 위하여 다양한 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험에서는 혼합된 소음으로 백색 소음을 사용하였고 음성신호 대신 정현파를 합성한 신호를 사용하여 적용 상수를 다르게 하였을 때에 달라지는 점을 비교 및 분석하였다. 그런 다음 실제의 공장소음과 음성신호를 사용하여 제안한 가중치 갱신 제어 적용 소음제거기의 성능을 분석하였다.



(a)



(b)

그림 8. 횡단선 필터의 출력 (a) 공장소음 A와 음성신호 A, (b) 공장소음 A와 음성신호 B

#### 4.1 모의 실험

실험에 사용한 소음은 주파수 전 대역에서 크기의 고른 분포를 가지는 백색 소음을 사용하였고 음성신호 대신 포먼트 주파수를 참고하여 500Hz, 1kHz 그리고 1.5kHz의 정현파를 합성한 신호를 사용하였다. 그림 9는 실험에서 사용한 500Hz, 1kHz 그리고 1.5kHz의 정현파신호와 백색소음을 합성한 입력신호이다.

가중치 갱신제어를 하지 않은 횡단선 필터의 출력신호와 가중치 변화를 그림 10에 나타내었다. 정현파신호가 발생하는 순간에 횡단선 필터의 출력신호와 가중치의 절대 값이 갑자기 커지는 것을 알 수 있다. 이때 적용 상수 값은 0.1로 두었고 가중치, 오차신호, 출력신호의 초기치는 모두 0으로 하였으며 횡단선 필터는 가중치는 32개로 하였다. 제안한 방식에서는 기준신호의 상수 값은 0이 아닌 값을 사용하여야 하는데 그 이유는 대개 가중치의 초기치가 0으로 주어지므로 출력신호가 0이 되고 이때 상수 값을 0으로 할 경우 이들 사이의 오차신호도 0이 되어 가중치 갱신이 수행되지 않기 때문이다. 이 실험에서는 기준신호 상수 값을 0.1로 하였다.

적용 상수 값을 다르게 하였을 때, 횡단선 필터의 출력신호를 그림 11에 나타내었다. 이때 기준신호의 상수 값은 1.0으로 동일하게 주어졌다. 적용 상수가 작을수록 횡단선 필터의 출력신호가 감소함을 알 수 있다.

적용 상수 값을 다르게 하였을 때 가중치 변화를 그림 12에 나타내었다. 이때 기준신호의 상수 값은 1.0으로 동일하게 주어졌다. 적용 상수가 클수록 가중치 오조정이 커져서 가중치 변화가 커짐을 알 수 있다.

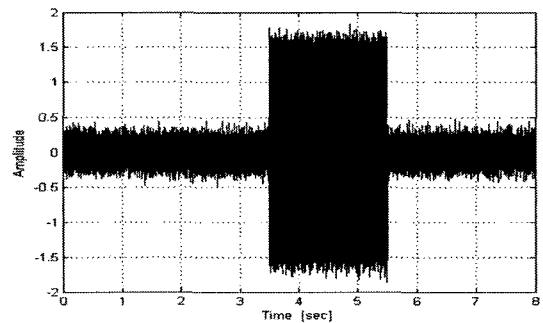
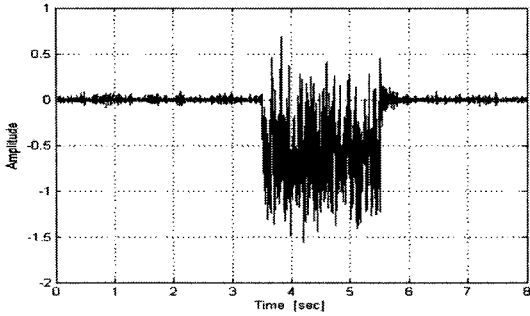
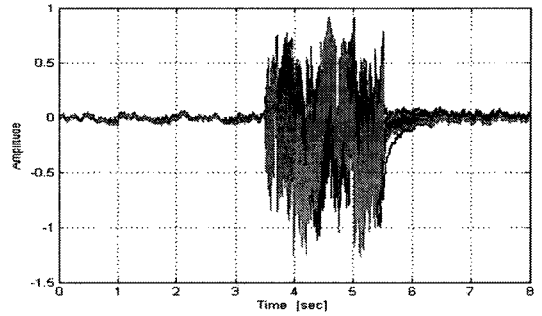


그림 9. 원 신호

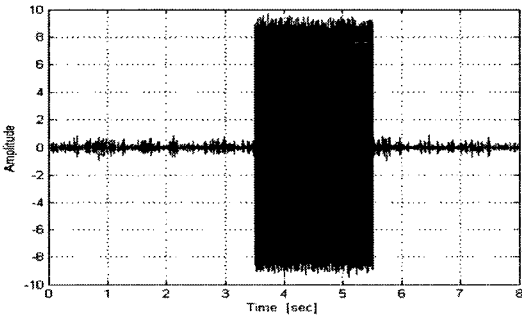


(a)

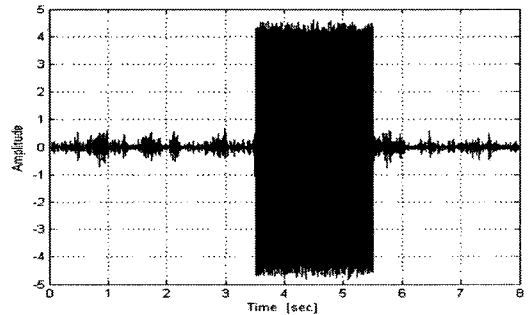


(b)

그림 10. 가중치 갱신이 멈추지 않았을 때 (a) 횡단선 필터의 출력신호, (b) 가중치의 변화

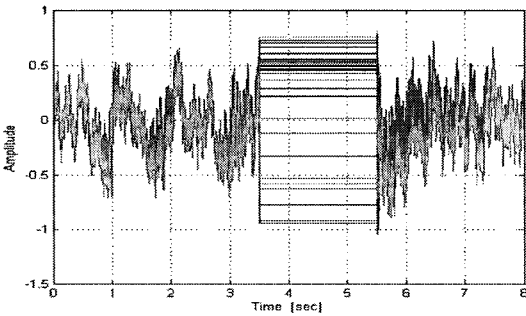


(a)

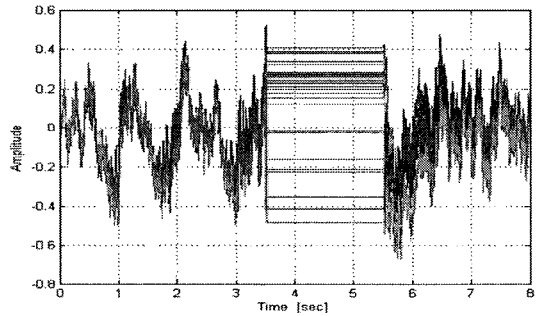


(b)

그림 11. 횡단선 필터의 출력신호 (a) 적응 상수가 0.1일 때, (b) 적응 상수가 0.05일 때



(a)



(b)

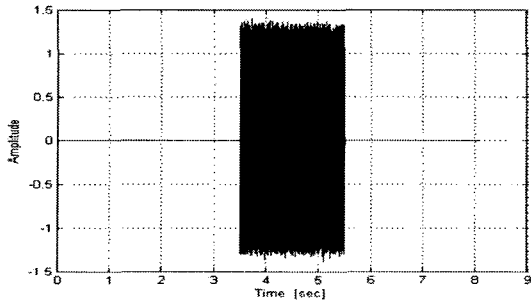
그림 12. 가중치의 변화 (a) 적응 상수가 0.1일 때, (b) 적응 상수가 0.05일 때

적응 상수 값을 다르게 하였을 때, 복원 필터의 출력신호를 그림 13에 나타내었다. 이때 기준신호의 상수 값은 1.0으로 동일하게 주어졌다. 기준신호의 상수 값이 클수록 횡단선 필터의 출력신호가 커진 것을 복원 필터를 통해 출력신호의 크기가 복원되어 거의 정규화 되는 것을 알 수 있었다.

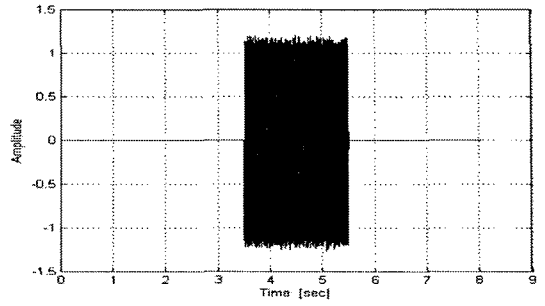
#### 4.2 실제 공장소음을 이용한 실험

실험에 사용된 공장소음들은 금속 사출성형 기계 앞에서 약 1.0m 떨어진 곳에서 녹음하였으며 이를 그림 14에 나타내었다. 그림 15에서는 실험에 사용된 음성신호로써 (a) 음성신호 A : "네, 알겠습니다." 와 (b) 음성신호 B : "안녕히 가세요."를 시간 축 상에서



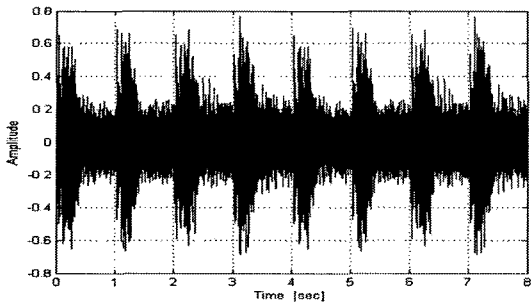


(a)

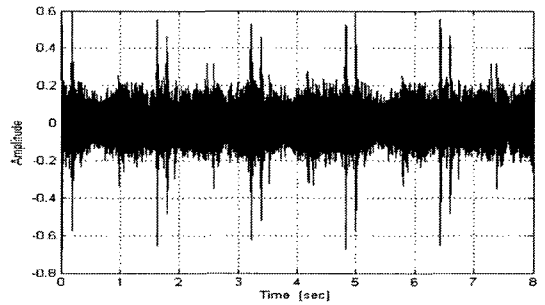


(b)

그림 13. 복원 필터의 출력신호 (a) 적응 상수가 0.1일 때, (b) 적응 상수가 0.05일 때

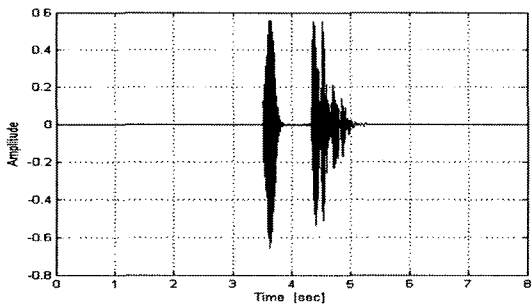


(a)

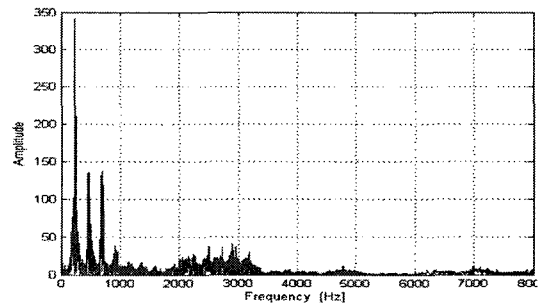


(b)

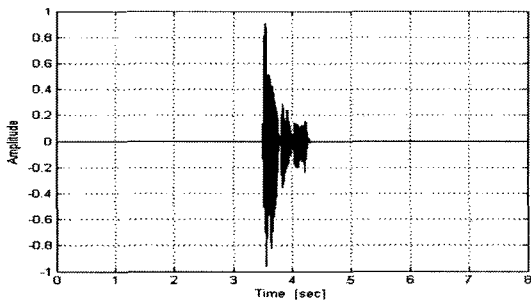
그림 14. 금속 사출성형 기계음 (a) 공장소음 A, (b) 공장소음 B



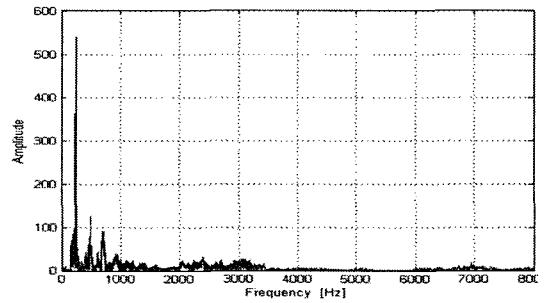
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 15. (a) 음성신호 A: "네, 알겠습니다."와 (b) 스펙트럼, (c) 음성신호 B: "안녕히 가세요."와 (d) 스펙트럼

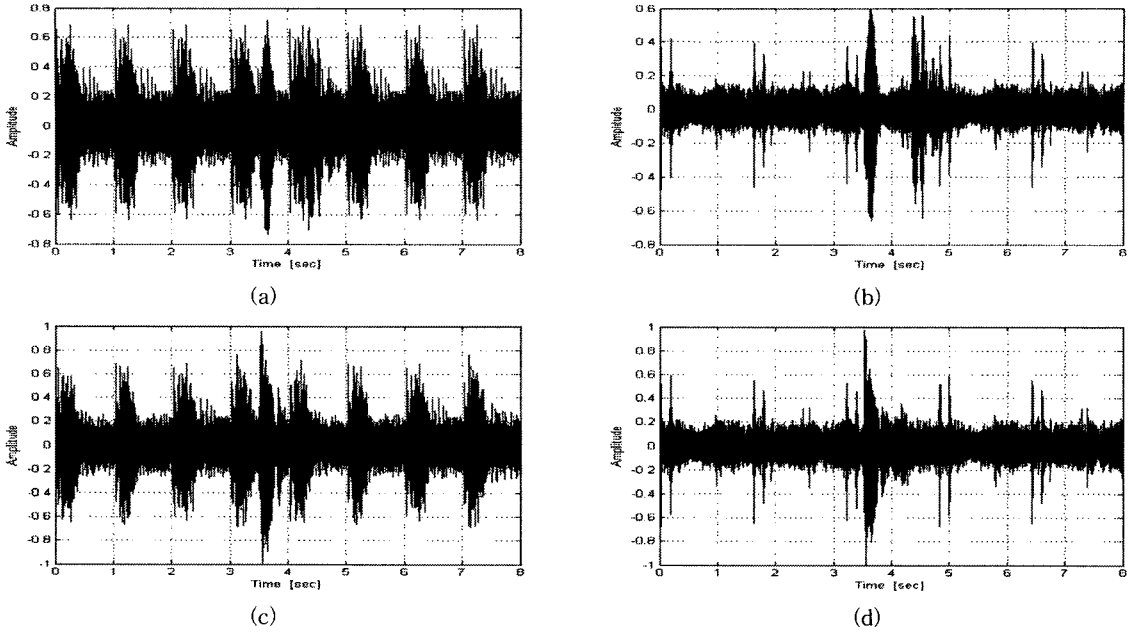


그림 16. 원 신호 (a) 공장소음 A와 음성신호 A, (b) 공장소음 B와 음성신호 A, (c) 공장소음 A와 음성신호 B, (d) 공장소음 B와 음성신호 B

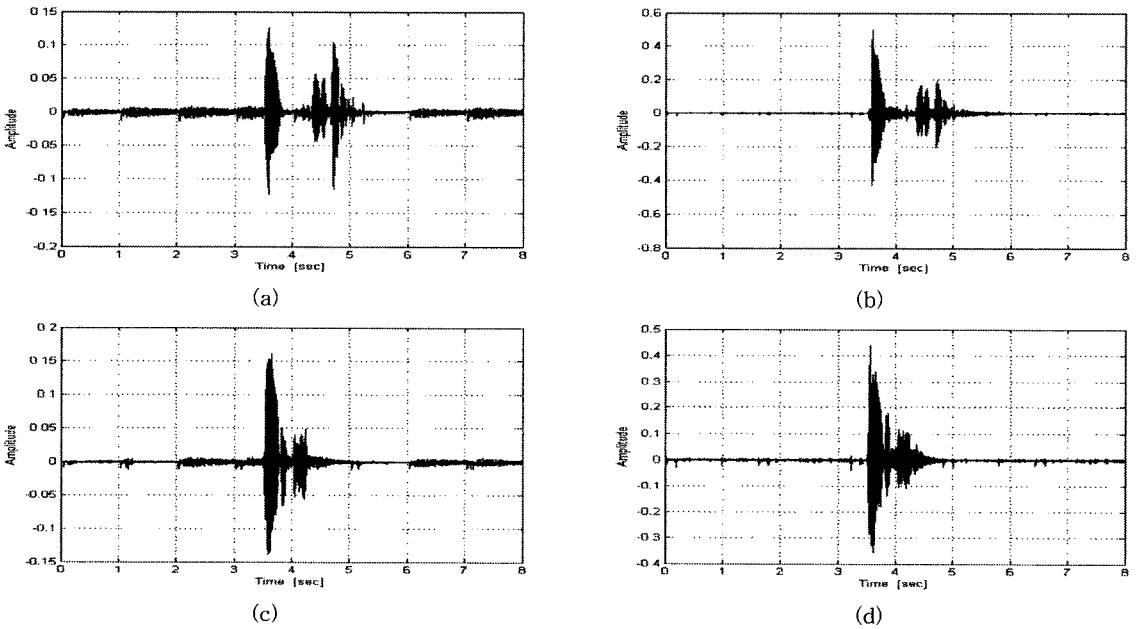


그림 17. 횡단선 필터의 출력 (a) 공장소음 A와 음성신호 A, (b) 공장소음 B와 음성신호 A, (c) 공장소음 A와 음성신호 B, (d) 공장소음 B와 음성신호 B

와 주파수축 상에서 나타내었다. 이때 소음과 음성신호의 샘플링 주파수는 16kHz이다.

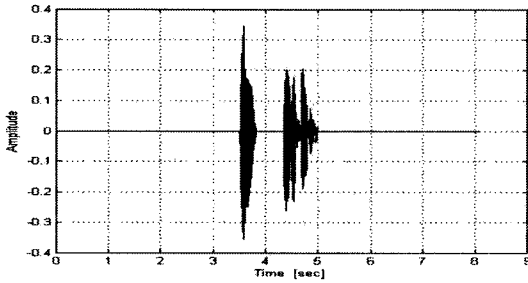
그림 16에서는 원 신호로 사용될 공장소음과 음성

신호를 혼합한 신호를 나타낸 것이다. (a) 공장소음 A와 음성신호 A, (b) 공장소음 B와 음성신호 A, (c) 공장소음 A와 음성신호 B, (d) 공장소음 B와 음성신

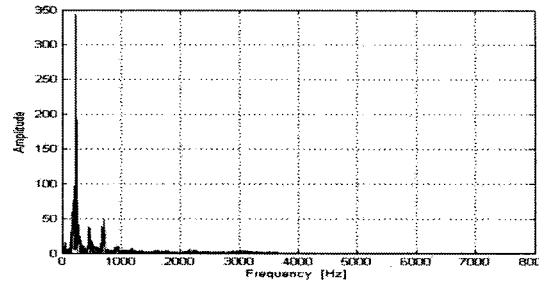
호 B 이다. 이러한 경우에 음성신호가 공장소음과 혼합되어 있어 음성신호의 구분의 쉽지 않음을 볼 수 있다.

실험에 사용된 최소 평균 자승법 알고리즘의 적응

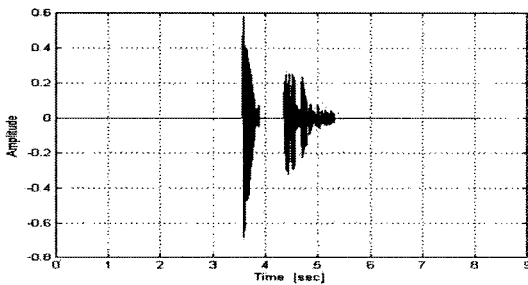
상수 값은 0.1이고 기준신호의 상수 값은 0.1로 하였으며 횡단선 필터의 가중치는 32개로 하였다. 또한, 상수  $k$ 는 그림 15에서와 같은 음성신호들의 주파수 특성을 고려하여 0.6으로 하였으며 가중치 갱신 중단



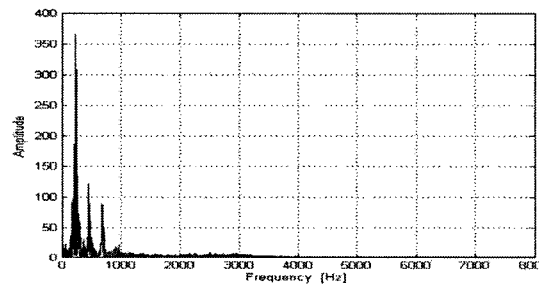
(a)



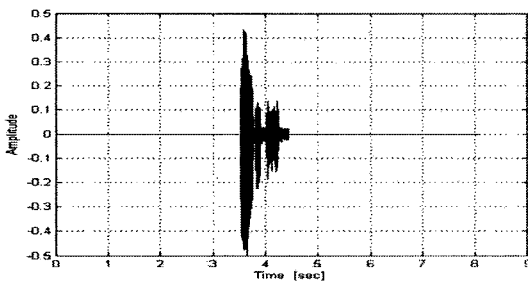
(b)



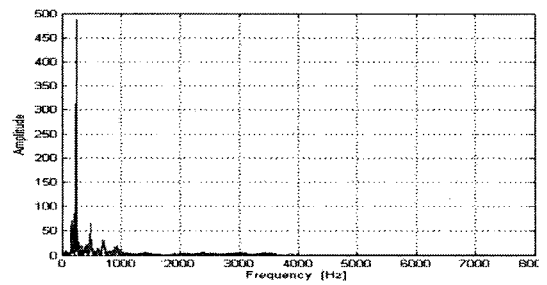
(c)



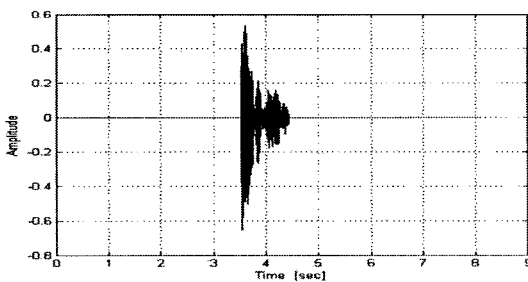
(d)



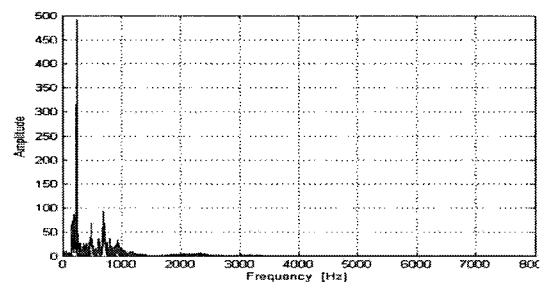
(e)



(f)



(g)



(h)

그림 18. 복원 필터의 출력 (a),(b) 공장소음 A와 음성신호 A, (c),(d) 공장소음 B와 음성신호 A, (e),(f) 공장소음 A와 음성신호 B, (g),(h) 공장소음 B와 음성신호 B

을 계속할 것인지를 재결정하는 지연 시간은 0.3초로 하였다. 적응필터에서 횡단선 필터의 출력을 그림 17에 나타내었다. 소음부분은 적응필터를 거쳐서 크기가 작아지고 음성 부분은 가중치가 유지되어진 횡단선 필터에 의해 소음이 제거된다.

음성 성분이 포함된 신호의 입력으로 가중치 갱신이 중단 되었을 때 복원 필터를 거친 최종 출력신호를 그림 18에 나타내었다. 일반 소음 구간에서는 출력신호가 없고, 음성구간에만 복원 필터를 거쳐 출력됨을 볼 수 있다.

표 2는 공장소음 환경에서의 음성 향상을 원 신호와 가중치 갱신 적응 소음제거기의 출력신호의 신호대 잡음비로 나타내었다. 원 신호가 제안한 가중치 갱신 제어 적응소음제거기를 거쳐 출력신호에서 약 26 dB에서 32 dB의 음성 향상이 되었다.

이상의 실험결과를 종합하면 입력신호를 백색 소음이 섞인 정현파신호로 한 MATLAB 시뮬레이션 결과 적응 상수를 다르게 하였을 때, 적응 상수가 커짐에 따라 가중치 오조정이 커져 횡단선 필터의 출력신호가 커졌으나 복원 필터에 의해서 거의 복원되었다. 공장소음에 음성신호가 섞인 신호로 한 결과에서는 필터의 가중치가 32개이었음에도 광대역의 공장소음을 효과적으로 제거하여 신호 대 잡음비 면에서 약 26 ~ 32dB정도 음성이 향상되는 결과를 보였다. 실험결과 음성의 출력신호는 원래 음성신호보다 약 1kHz 이상에서 많은 감쇠를 보였다. 그러나 음성신호의 에너지의 대부분이 1kHz 미만인 포먼트의 기본 주파수 영역에 존재하여 음색만 변할 뿐 정보전달에는 무리가 없었다.

표 2. 공장소음 환경에서의 원 신호와 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기의 출력신호의 신호 대 잡음비와 향상.  
(단위 : dB)

	SNR of input signal	SNR of output signal	Degree of enhancement
Noise A + speech A	-8.3	24.1	32.4
Noise B + speech A	-3.5	23.9	27.4
Noise A + speech B	-6.9	25.6	32.5
Noise B + speech B	-1.8	24.9	26.7

## 5. 결 론

본 논문에서는 공장소음과 같은 일정한 소음에 섞인 음성신호를 분리해 내기 위해 기존의 적응소음제거기(ANC) 구조의 단점을 보완할 수 있도록 기준신호에 상수 값을 사용하고, 음성신호가 들어올 때 가중치 갱신을 중단하여 소음에서 음성신호를 추출하여 소음부분이 제거하는 가중치 갱신 제어를 통한 적응 소음제거기를 제안하였다. 제안한 방법의 유효성을 검증하기 위한 실험 결과, 제안한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기를 이용하여 공장소음에 섞인 음성신호에서 공장소음을 효과적으로 제거할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 광대역 소음을 감쇠하기 위해서 수백 개 이상의 적응 필터 가중치를 사용하거나 [11], 서브밴드를 이용해 원 신호의 주파수별로 나누어서 입력해 각각의 적응필터를 거쳐야 하는 [12] 기존의 적응 소음제거기와 달리 제안한 소음제거기는 필터의 가중치가 32개이었음에도 광대역의 공장소음을 효과적으로 제거하여 신호 대 잡음비가 향상되는 결과를 보였다. 그러므로 본 논문에서 제안한 가중치 갱신 제어 적응 소음제거기는 공장소음과 같이 소음이 정상적일 경우 소음과 음성신호를 분리하여 얻을 수 없는 상황에서 기존의 소음 제어기 보다 효율적인 소음제거가 가능하며, 음성 향상이 요구되는 여러 분야에 적용가능 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국산업안전공단, 소음특수건강진단과 청력 정도관리, 안전보건, pp. 63, 2004.
- [2] 이동호, 소음진동학, 교우사, 서울, pp. 163-174, 2000.
- [3] I. J. Eriksson, M. C. Allie, and C.D. Bremigan, "Active Noise Control Using Adaptive Digital Signal Processing," *Proc. ICASSP(New york)*, pp. 2594-2594, 1998.
- [4] B. Widrow, J. R. Glover, J. M. McCool, J. Kaunitz, C. S. Williams, R. H. Hern, J. R. Ziedler, E. Dong, and R. C. Goodlin, "Adaptive Noise Cancelling: Principles and Applications," *Proc. IEEE*, Vol. 63, No. 12, pp. 1692-1716, 1975.

[5] H. Ding, J. Lu, X. Qiu, and B. Xu, "An Adaptive Speech Enhancement Method for Siren Noise Cancellation," *Applied Acoustics*, Vol. 65, Issue 4, pp. 385-399, 2004.

[6] V. Sethia, "Noise Cancellation In Headphones," *M.Tech. credit seminar report*, Electronic Systems Group, pp. 1-11, 2002.

[7] B. Widrow and S. D. Sterns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 303-304, 1985.

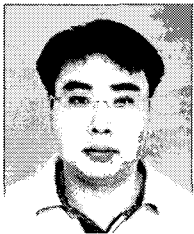
[8] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 338-587, 1996.

[9] 조성문, "현대 국어의 모음 체계에 대한 음향음성학적인 연구" 한국언어문화지, 제24집, pp. 427-441, 2003.

[10] 신지영, 말소리의 이해, 한국문화사, 서울, pp. 163-217, 2000.

[11] P. A. Nelson and S. J. Elliot, *Active Control of Sound*, Academic Press, New York, 1992.

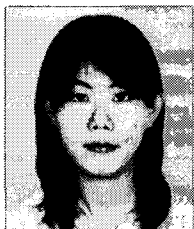
[12] J. J. Shynk, "Frequency-Domain and Multi-rate Adaptive Filtering," *IEEE Signal Processing Mag.*, Vol. 9, pp. 14-37, 1992.



김 규 동

2001년 2월 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부(공학사)  
 2007년 2월 경북대학교 대학원 의용생체공학과(공학석사)  
 2007년 3월~현재 대구카톨릭대학교병원

관심분야 : 소음차폐시스템, 생체신호처리



이 윤 정

2003년 2월 경북대학교 전자전기 공학부(공학사)  
 2005년 2월 경북대학교 대학원 의용생체공학과(공학석사)  
 2005년 3월~현재 경북대학교 대학원 의용생체공학과 박사과정

관심분야 : 생체신호처리, 의용전자기기



김 필 운

2001년 2월 경운대학교 컴퓨터공학과(공학사)  
 2003년 2월 경북대학교 대학원 의용생체공학과(공학석사)  
 2004년 3월~현재 경북대학교 대학원 의용생체공학과 박사과정

관심분야 : 의학영상처리, 의용전자기기, 생체신호처리



장 용 민

1985년 고려대학교 물리학과(이학사)  
 1987년 고려대학교 대학원 물리학과(이학석사)  
 1994년 노틀담대학교 대학원 물리학과(이학박사)  
 1996년~현재 경북대학교 의학과 교수

관심분야 : 의료용 조형제, 뇌기능영상, 분자영상



조 진 호

1977년 2월 경북대학교(공학사)  
 1979년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1984년 4월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수

1999년 4월~현재 경북대학교 의대 의공학교실 교수  
 관심분야 : 생체신호처리, 센서기술, 의료기기



김 명 남

1988년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)  
 1990년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1995년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1996년~현재 경북대학교 의대 의공학교실 교수

관심분야 : 생체신호처리시스템, 의학영상처리