

소음 환경에서 강인한 어학용 헤드폰 구현

The implementation of the Language-Study-Headphone storng to Noise Environment

손재혁, 신재호 · 동국대학교 전자공학과
Jae-Hyeak Son, Jaeho Shin · Dongguk University

Abstract

This paper presents a headphone system which has adopted two algorithm to increase sound clearness and to separate signal from noisy environment. In the field of adaptive signal processing, LMS algorithm which is a kind of steepest decent method, can be implemented with more simple calculation, so that we use it to eliminate unwanted noise elements for the proposed system. Futhermore we generate early echo using some delays, then mix it in signal. This process can increase the clearness of signal. In this paper, we prove that the proposed system can be implemented in real time. The proposed system is satisfied to subject assessment test base on MOS(Mean Opinion Score) of ITU-T.

Keyword

Room Acoustics, Early Reflections, Speech Intelligibility, LMS, Noise Cancellation

1. 서론

오늘의 세태를 보면 영어 공부의 열풍이 우리 사회를 강타하고 있는 것만 같다. 취학 전 아동부터 각급학교 학생들은 밤낮으로 영어 공부

에 여념이 없고 대학생들은 취직 시험을 위한 영어 공부에 매달려 있다. 이렇게 영어를 공부하는 많은 사람들이 어학용 카세트를 통해서 영어를 공부한다. 그러나 공부하는 장소가 집과 도서관 같은 조용한 장소가 아니고 소음이 많이 발생하는 곳(버스, 지하철 등)에서 어학을 공부하는 사람들은 주위 소음에 의해 청각의 분별력을 저하시키는 현상이 나타난다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 두 가지 신호처리 시스템이 있는 헤드폰을 제안하고자 한다.

음악적 명료도 및 언어명료도의 확보 측면에서, 강한 초기반사음과 짧은 지연시간차의 중요성은 많은 연구들을 통하여 제시되어 왔다. 주어진 음향 공간에서의 명료한 언어전달정도나 음악의 깨끗한 전달정도를 평가하기 위해 각각 상용되는 D_{50} 이나 C_{80} 과 같은 지표들은 이와 같은 초기반사음의 중요성을 고려하여 개발 사용되어온 지표들이다.^[1] 본 연구는 초기반사음의 도달시간이 언어 명료도에 미치는 영향을 고려하여 실제 설계에 적용함으로써 잡음속에서 언어 전달이 명확하게 이루어지도록 하는 것이다. 또한 소음의 고주파 성분은 흡음재, 챔버 등을 이용하는 수동소음 제어 방법을 이용하여 매우 효과적으로 감소시킬 수 있으나 저주파 성분을 감소시키기 위해서는 부피가 커지고 설치 및 유지, 보수비용도 증가하게 된다. 그래서 능동적인 소음제어 방법이 제안되었고, 1936년 P. Lueg를 시초로 연구되기 시작하였으나 당대에는 전자소자가 비싸서 별로 빛을 보지 못하였다. 최근 DSP 기술의 발달과 다소

저렴해진 가격으로 인해 여러 분야에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이고 이미 여러 분야에서 적용되어 실용화되기도 하였다. 능동소음제어라 함은 소음원에서 발생이 되는 신호와 그 크기는 같고 위상이 180도 차이가 나는 신호를 인위적으로 발생시켜 중첩의 원리에 의해 소음 신호를 감소시키는 원리를 말한다.^[2]

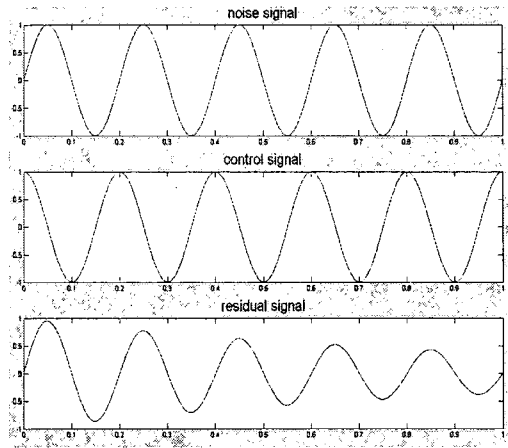
본 논문은 이러한 컨트롤이 되지 잡음 제거를 위한 헤드폰 장치에 대한 것이다. 이 장치는 기본적인 헤드폰의 가까운 곳에 추가적인 마이크로폰을 부착한다. 1차적으로 이러한 장치는 예측하고 에러를 추출하여 효과적으로 노이즈를 제거 시킨다. 1차적으로 제거되지 않는 잔류 노이즈성분들은 언어적 명료성을 떨어뜨린다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 언어명료도의 확보 측면에서, 지연기를 이용하여 초기 반사음을 생성, mixing하여 신호의 명료성을 증가시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 능동소음제어의 기본원리에 대해 설명한다. 제 III장에서는 적응제어와 그 알고리즘 중 LMS 알고리즘에 대해 설명한다. 제 IV장에서는 초기반사음과 명료도와와의 관계, 제 V장에서는 음질평가방법, 제 VI장에서는 시스템의 구성 및 설계과정을 다루고, 제 VII장에서는 실험의 결과를 보일 것이다. 마지막으로 VIII장에서는 결론부분으로 실험 결과를 평가하고 앞으로 나아갈 연구 방향을 제시한다.

II. 능동소음제어의 기본원리

소음제어에는 수동적 제어방법과 능동적 제어방법이 있다. 먼저 수동소음제어란 단순히 소음을 흡수하여 그 영향을 줄이는 방법을 흡음재나 챔버등을 이용한다. 이에 비해 능동소음제어는 소음원에서 발생된 신호원과 그 크기, 음압은 같고 위상만이 180도 차이가 나는 신호를 인위적으로 발생시켜 중첩의 원리에 의해 원래의 소음을 감소시키는 방법을 말한다. 그림 1은 능동 소음제어의 기본원리에 대해 보

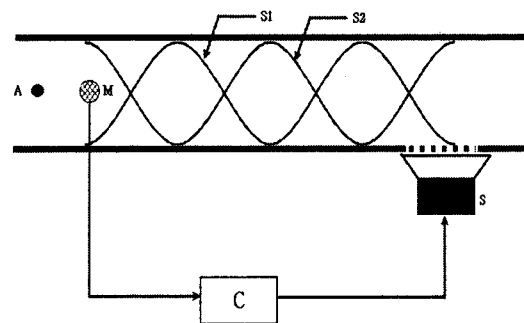
여주고 있다.



[그림 1] 능동소음제어 기본원리의 개념도

[Fig. 1] Diagram for Basic concept of ANC

그림 2는 능동 소음제어 개념이 적용된 기본적인 시스템의 구성 도를 나타낸다.



[그림 2] 기본적인 능동소음제어 시스템의 구성도

[Fig. 2] Diagram of the basic ANC system

여기서 A는 소음원이고, M은 마이크로폰, S는 제어 스피커, C는 제어기를 나타낸다. 그리고 S1은 소음원에서 발생한 소음신호를, S2는 제어 스피커를 통해 발생시킨 제어신호를 나타낸다. 감소시켜야 할 소음이 정현파의 합이라고 가정하면, 소음 신호를 아래 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (1)$$

식(1)에서 a_n, w, θ_n 의 값을 알 수 있다면, 그림 2-2에서와 같이 음압이 같고, 위상차가 180도 인

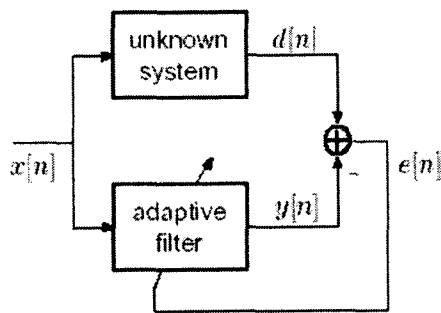
$$s_2(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin n\omega(t - \tau) + \theta_n \quad (2)$$

여기서 τ 는 음의 시간지연을 나타낸다.^[7]

III. 적응제어 및 알고리즘

1. 적응제어

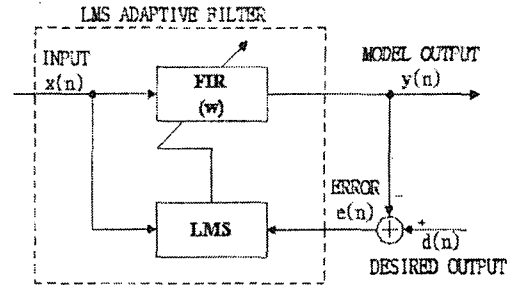
소음원의 전달속도는 온도나 공기 흐름이 변화에 영향을 받게 된다. 전달속도의 변화는 곧 시간지연의 변화이므로 이러한 환경에서 시스템의 제어기가 시불변으로 특성이 결정되어 있다면, 환경 변화에 따른 적응이 불가능하다. 따라서 아래 그림 3-1에서와 같이 입력신호 $x(n)$ 에 대한 출력신호가 $y(n)$ 이라 할 때, 목표값 $d(n)$ 과 출력 $y(n)$ 이라 할 때, 목표값 $d(n)$ 과 출력 $y(n)$ 의 오차 $e(n)$ 을 줄이는 방향으로 제어를 구성해야 하는데 이러한 제어를 적응제어라 한다. 적응제어의 알고리즘으로는 Widrow가 제안한 LMS(최소자승평균) 알고리즘이 많이 사용된다.



[그림 3] 적응필터의 기본 개념도
[Fig. 3] Basic diagram of adaptive filter

위 [그림 3]에서 보면 목표치 $d(n)$ 과 크기는 같고, 부호만 반대인 $y(n)$ 을 만들어 궁극적으로 오차 $e(n)$ 을 줄이기 위해 적응필터의 계수를 조절하는 것이 적응제어의 기본원리이다.

2. LMS 알고리즘



[그림 4] LMS 알고리즘의 기본 개념도
[Fig. 4] Basic diagram for concept of LMS algorithm

위 그림에서 보면 FIR필터의 입력신호 $x(n)$ 과 출력신호 $y(n)$ 의 관계는 식 (3)과 같다.

$$y(n) = w_0x(n) + w_1x(n-1) + \dots + w_{N-1}x(n-N+1) \quad (3)$$

여기서 n 은 이산시간이고 N 은 적응필터의 차수이며, w_i 는 FIR적응필터의 임펄스응답으로서 필터의 계수를 의미한다. 식(3)에서 출력 $y(n)$ 과 목표치 $d(n)$ 과의 오차 $e(n)$ 에 대한 평균자승오차가 최소가 되도록 w_i 를 갱신하는 것이 LMS(최소평균자승) 알고리즘이다.

식(3)을 간략히 하기위해서 출력 $y(n)$ 을 아래 식(4)과 같이 입력 $x(n)$ 과 FIR필터의 계수 w 의 컨볼루션의 합으로 표현할 수 있다.

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i \cdot x(n-i) \quad (4)$$

또한, 식(4)을 벡터의 내적으로 표현하면 다음과 같다.

$$y(n) = w^T(n) \cdot x(n) \quad (5)$$

여기서, $x(n)$ 은 입력 데이터의 벡터, $w(n)$ 은 필터 계수의 벡터, 위첨자 T는 전치 행렬을 의미한다. $x(n)$ 과 $w(n)$ 은 시불변일 경우 각각 식(6)과 식(7)로 정의된다.

$$x(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1)]^T \quad (6)$$

$$w(n) = [w_0, w_1, \dots, w_{N-1}]^T \quad (7)$$

목표치와 추정치의 차이 값에 제곱을 취한 값이 최소가 되도록 $w(n)$ 의 필터 계수를 갱신하는 것이 LMS 알고리즘이므로 평가함수 J_{mse} 을 아래 식 (8)과 같이 정의할 수 있다.

$$J_{mse} = E[e^2(n)] \quad (8)$$

위 식에서 $e(n)$ 은 희망값 $d(n)$ 과 출력 $y(n)$ 의 차이 이므로 $e(n) = d(n) - y(n)$ 이다. 따라서 식 (8)은 아래와 같이 전개된다.

$$J_{mse} = E[|d(n) - y(n)|^2] \quad (9)$$

식(5)에서

$$y(n) = w^T(n) \cdot x(n) \text{이고,}$$

$$w^T(n)x(n) = x^T(n)w(n) \text{이므로 평가함수}$$

J_{mse} 는 아래와 같이 전개할 수 있다.

$$\begin{aligned} J_{mse} &= E[|d(n) - w^T(n)x(n)|^2] \\ &= E[d^2(n)] - 2w^T(n)E[d(n)x(n)] \\ &\quad + w^T(n)E[x(n)x^T(n)]w(n) \quad (10) \\ &= D - 2w^T(n)P + w^T(n)Rw(n) \end{aligned}$$

여기서 D, P, R 은 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned} D &= E[|d(n)|^2] \\ P &= E[d(n)X(n)] \\ R &= E[X^T(n)X(n)] \end{aligned} \quad (11)$$

평가함수 J_{mse} 가 최소일 때 제어기의 성능이 최대이므로 평가함수가 최소가 되게 하는 $w(n)$ 값을 구하면 되는데, 평가함수가 2차식이므로 계수 $w(n)$ 으로 편미분한 값이 영이 되는 때가 최소가 되는 값이다. 따라서 편미분하면,

$$\frac{\partial J_{mse}}{\partial w(n)} = -2P + 2Rw(n) = 0 \quad (12)$$

이며, $w(n)$ 값을 구하면 다음과 같은 Winer-H

opf방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} Rw(n) &= P \\ w(n) &= R^{-1}P \end{aligned} \quad (13)$$

그런데 위 식으로는 시변 값인 $w(n)$ 을 매 샘플 단계마다 계산할 수 없으므로 순차식을 구하여야 따라서 최대경사법을 생각해 보면 다음과 같다.

$$w(n+1) = w(n) + \frac{1}{2}\mu(-\nabla J(n)) \quad (14)$$

여기서 μ 는 수렴 계수로써 $0 < \mu < 2/\lambda_{\max}$ 인 상수이고 λ_{\max} 는 행렬 R 의 고유값 λ_i 중 최대 값이다. 그런데 식(4-12)의 P 와 R 을 구할 수 없으므로, 다음과 같이 추정값을 상용한다.

$$\begin{aligned} \hat{P} &= x(n)d(n) \\ \hat{R} &= x(n)x^T(n) \end{aligned} \quad (15)$$

이들 값을 식(12)에 대입하여 같은 계수 갱신 식을 얻는다.

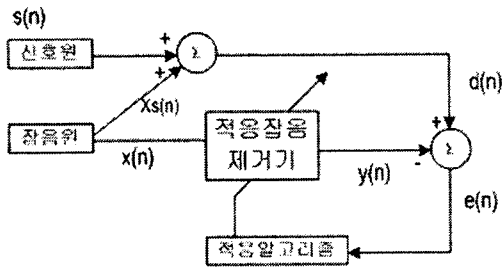
$$\begin{aligned} w(n+1) &= w(n) + \mu(x(n)d(n) - x(n)x^T w(n)) \\ &= w(n) + \mu e(n)x(n) \end{aligned} \quad (16)$$

식(16)을 이용하여 매 샘플마다 적응필터의 계수를 갱신시킬 수 있으며, 이 알고리즘을 LMS 알고리즘이라 한다.

2. 잡음 제거기

신호에 포함된 잡음을 제거하는 필터링 문제는 고정필터링과 적응필터링으로 나누어 생각할 수 있다. 고정 필터링은 신호와 잡음의 통계적 특성을 미리 알면 최적필터를 설계하여 잡음을 제거할 수 있다. 그러나 대부분 신호와 잡음의 통계적 특성이 시간에 따라 변하고 주위 환경 또한 시변이므로 필터의 계수 값을 신호와 잡음의 변화에 적응시켜 필터링 하는 적응 필터링을 사용한다. 적응필터링은 잡음성분을 정확히 추정하여 추정된 잡음을 제거함으로써 원

하는 신호만 얻는다. [3,5,7]



[그림 5] 적응 잡음 제거기
[Fig. 5] Adaptive Noise Cancellation

잡음원에서 발생된 $x_s(n)$ 잡음신호는 신호 $s(n)$ 과 상관관계가 없으나, 기준 입력신호인 잡음 $x(n)$ 은 $x_s(n)$ 잡음신호와 서로 상관관계를 갖는 것으로 가정한다. 즉 식(16)으로 가정한다.

$$\begin{aligned} E[s(n)x_s(n-k)] &= 0 \\ E[s(n)x(n-k)] &= 0 \\ E[s_s(n)x(n-k)] &= c(k) \end{aligned} \quad (17)$$

여기서 $c(k)$ 는 상호상관을 타나낸다. 추정된 오차신호 $e(n)$ 의 자승평균값을 구하면 다음과 같다.

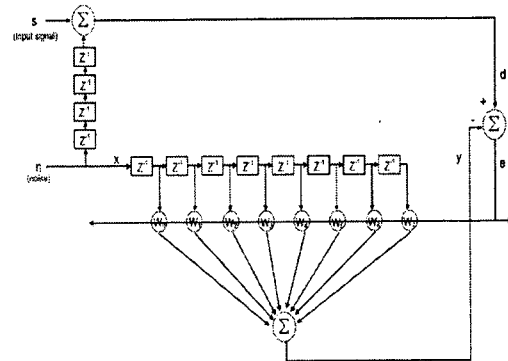
$$\begin{aligned} E[e^2(n)] &= E[(y(n) - \hat{y}(n))^2] \\ &= E[s^2(n)] + E[(x_s(n) - \hat{y}(n))^2] \\ &\quad + 2E[s(n)(x_s(n) - \hat{y}(n))] \\ &= E[s^2(n)] + E[(x_s(n) - \hat{y}(n))^2] \end{aligned} \quad (18)$$

여기서 MSE값을 최소화하는 것은 $E[(x_s(n) - \hat{y}(n))^2]$ 값을 최소화하는 것이고 이를 위해서는 $\hat{y}(n)$ 이 $x_s(n)$ 신호를 정확히 추정할 필요가 있다. 적응 잡음 제거기를 FIR 필터로 구성하고 적응 알고리즘을 LMS 알고리즘을 사용하면 다음 식을 얻는다.[8]

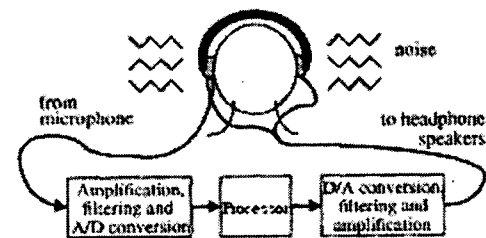
$$\begin{aligned} \hat{y}(n) &= \sum_{k=0}^{N-1} W_k(n)x(n-k) \\ e(n) &= y(n) - \hat{y}(n) \\ W_k(n+1) &= W_k + 2\mu e(n)X(n) \end{aligned} \quad (19)$$

여기서 ,

$$\begin{aligned} X(n) &= [x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1)]^T \\ W_k(n) &= [W_0(n), W_1(n), \dots, W_{n-1}(n)]^T \end{aligned} \quad (20)$$

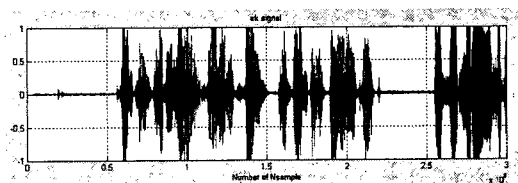


[그림 6] 딜레이가 추가된 적응 잡음 제거기 설계
[Fig. 6] Add to Delay at ANC Design

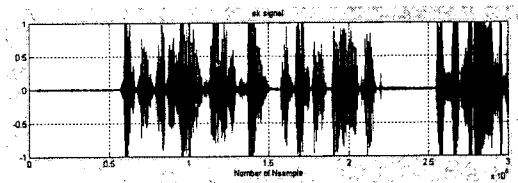


[그림 7] 기본 시스템 설치
[Fig. 7] Basic System Setup

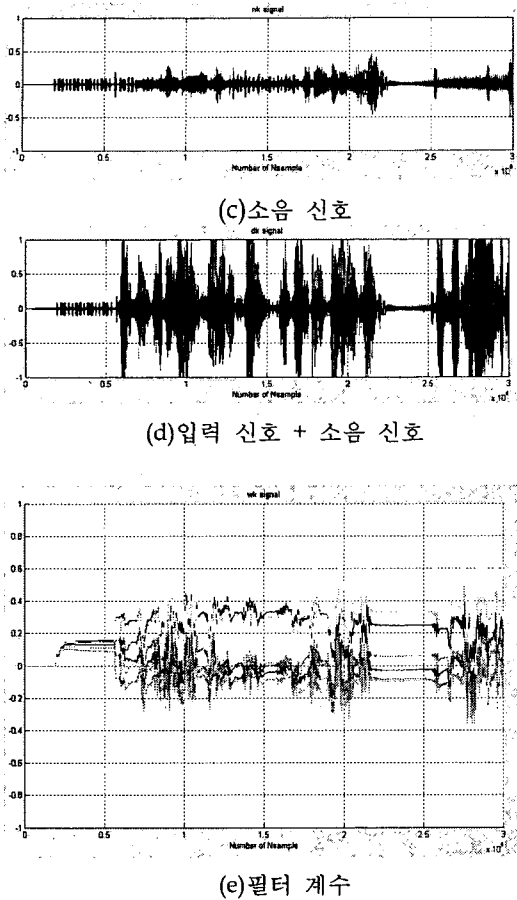
3. 결과 및 분석($\mu=0.01$, $w=8$ 차인 경우)



(a)출력 신호

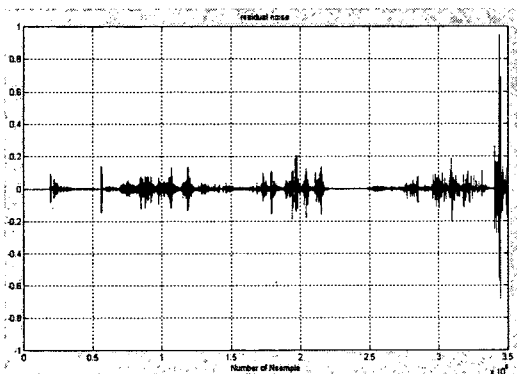


(b)입력 신호



[그림 8] 매트랩 시뮬레이션
[Fig. 8] Matlab Simulation

노이즈 신호의 세기를 약 15dB 정도 감소시킴으로써 원신호의 언어 전달 효과를 향상 시킨다. LMS 알고리즘을 적용했을 때, 노이즈가 100% 제거 되지 않는다. 이런 잔류성 노이즈는 신호의 명료성을 저하 시키는 주요 원인으로 작용되어진다.



[그림 9] 잔류 소음
[Fig. 9] residual noise

IV. 초기반사음과 명료도

Hass (1972)는 단일반사음이 언어 명료도에 미치는 영향에 관한 그의 연구 논문을 통하여, 30ms 이내의 반사음은 직접음과 동일시되며, 40ms가 초과하는 지연시간을 갖는 반사음은 직접음과 뚜렷이 분리되어 지각된다는 것을 밝혀냈으며 인간의 청각기간은 대략 35ms 이내에 도달하는 반사음들은 직접음과 융합하는 특성을 지닌 것으로 설명하고 있다(Hass effect). Lochner와 Burger (1958, 1964)는 이를 유용한 반사음에너지라는 개념으로 발전시켜, 반사음의 지연시간과 그 레벨을 고려하여 95ms 이내에 도달하는 반사음에너지를 직접음과 연관된 유용한 에너지로 그리고 그 이후에 도달하는 에너지를 방해에너지로 구분하여 가중함수를 도입 적용하였다. Thiele (1953)는 음향공간에서 얻은 임펄스 응답으로부터 전체음에너지에 대한 초기 50ms 이내에 도달하는 음에너지의 비를 산출하여 명료도를 평가하는 D(definition, 또는 Deutlichkeit)라는 지표를 제안하기에 이른다.

$$D = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} (\%) \quad (21)$$

Reichardt (1972)는 가장 짧은 연주음의 길이와 악기연주시의 경과음의 길이에 대한 세밀한 관찰을 토대로 음악의 명료성을 보완해주는 반사음의 범위를 80ms로 보고 음악적 명료도의 지표로서 C80 값(clarity)을 제안하였다.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} (dB) \quad (22)$$

이와 같은 초기반사음의 명료도에 대한 기여와 그 중요성은, 유효한 초기반사음의 범위에 대한 이견은 있으나 여전히 많은 후속연구들(Bradley, 1986; Barron and Lee, 1988; Marshall, 1994)을 통해 확인되고 강조되어왔다.^[1]

V. 음질 평가 방법

음질의 좋고 나쁨은 물리적으로 알 수 없으며, 음을 직접 듣고 평가해야 한다. 따라서 그 평가를 적절하게 하기 위해서는 공통된 품질 평가법 기준이 필요하다. 음질 평가방법에는 청취자들이 직접 듣고 판단하는 주관적 음질 평가방법과 원래의 음성과 왜곡된 음성과의 수치적 차이를 이용하는 객관적 음질 평가 방법이 있다. 청취자의 주관적 등급에 기반하고 있는 음질 척도를 주관적 음질 척도라고 부른다. 이 척도들은 객관적 음질의 성능이 주관적 품질을 예측하는 능력에 의하여 평가되기 때문에 매우 중요한 역할을 한다. 청취자들은 정의된 등급에 따라 음성을 듣고 등급을 부여한다. 이 방법은 간단하기는 하나 시간과 비용이 매우 많이 소요된다. 주관적 품질 척도는 청취자 대부분의 청각적인 반응이 비슷하기 때문에 적절한 숫자의 청취자들에 의한 평가가 모든 청취자들을 대표할 수 있다고 가정한다. 가장 널리 사용되는 주관적 음질 척도는 MOS와 DMOS이다.

1. MOS(Mean Opinion Score)

MOS는 음질을 추정하는 데에 가장 널리 쓰이고 있는 방법으로 절대음질평가법(ACR : Absolute Category Rating)이다. 청취자들은 표1과 같은 5가지 등급을 사용하여 원래의 음성은 듣지 않고 평가대상이 되는 음성만을 청취한 후, 그 음성품질의 등급을 부여한다.

MOS의 장점은 음질에 대한 등급부여가 자유롭다는 반면 청취자들에 의한 등급의 변동이 매우 크다는 단점을 가지고 있다. 이 변동은 수많은 청취자들에 의하여 실시함으로써 보상할 수 있다. 따라서 적어도 40명 이상의 평가자에 의한 MOS 점수를 사용하도록 ITU-T P.800에서 권고하고 있다.^[4]

<표 1> MOS와 음질 등급
<Table 1> MOS and quality grade

등급	음질	등급	음질
5	Excellent	2	Poor
4	Good	1	Bad
3	Fair		

2. DMOS(Degradation MOS)

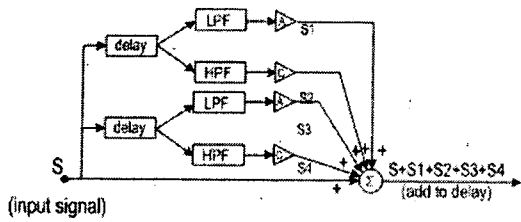
DMOS는 청취자들이 시험 대상인 원래의 음성과 왜곡된 음성을 비교 청취함으로써 상대적인 음질열화(speech quality degradation)에 등급을 부여하는 상대적 음질평가법(DCR : Degradation Category Rating)이다. 표2에 DMOS 평가의 5개 등급을 나타내었다. 그러나 DMOS 방법은 절대적인 왜곡량뿐 아니라 왜곡 형태에 대하여 의존할 가능성이 있기 때문에 여러 가지 다른 형태의 왜곡을 비교하기에는 어려움이 있다.

표 2. DMOS와 Degradation 등급
<Table 2> MOS and Degradation grade

등급	음질
5	Inaudible
4	Audible but not annoying
3	Slightly annoying
2	Annoying
1	Very Annoying

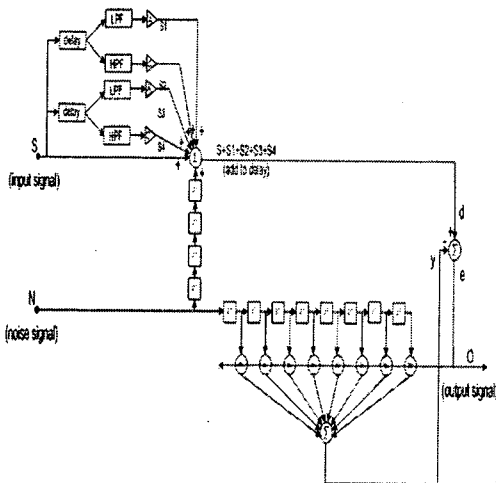
VI. 시스템의 구성 및 설계

초기 반사음의 공간성분 변화가 언어명료도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 일련의 청감실험을 실시하였다. 실험결과, 수평면에서 도달하는 반사음보다는 수직면에서 초기 반사음 성분이 명료도에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 언어의 전달이 주목적인 공간(예. 강의실, 회의실, 극장 등)의 경우 최소한 천장의 전면 및 중앙부위까지는 반사재로 마감하고 직접음을 보강할 수 있도록 낮게 계획할 것을 주장하는 고전적 이론을 기초로 다음과 같은 불력도를 이용하여 초기 반사음을 생성하여 보내준다.



[그림 10] 초기반사음의 생성
[Fig 10] Initial Reflection's Generation

이 초기 반사음(S1,S2)은 특정 공간(중고등학교)의 반사음의 분포 패턴을 구하여 이를 일반적인 청취공간에서 재현해 내는 음장 재현 방식을 통하여 구하였다. 이러한 공간의 크기와 같은 입장감은 음장 공간의 초기반사음 특성에 매우 많은 영향을 받는다는 것이 널리 알려져 있다.^[6] 충분한 신호 대 잡음비를 확보하기 위해서는 저주파 대역의 에너지가 강조된 형태의 음원이 바람직하다. 따라서 공간의 잡음 특성을 반영하여 각 필터의 구간을 나누어 준다. 공간적인 신호의 전파속도는 저주파 신호의 경우와 고주파 신호의 경우가 서로 틀리므로 초기 반사값의 계수를 조절하여 입장감을 형성해 준다.^[9]



[그림 101 초기반사음이 첨가된 적응 잡음 제거기 설계
[fig 11 Add to Initial Reflection at ANC Design

VII. 음질 평가

1. 청감실험

동국대학교 전자공학과에 재학생과 대학원생 40명이 청감실험에 참여하였다. 실험에 참여한 피험자들은 연령이 20~32세로서 남자 35명, 여자 5명이었다. 실험은 이들에 걸쳐서 시행되었으며, 각 피험자들이 실험을 마치는데 소요된 시간은 20~25분 정도였다.

표 3. MOS 음질 평가

<Table 1> MOS and quality evaluation

등급	음질	평가인원
5	Excellent	0
4	Good	12
3	Fair	17
2	Poor	8
1	Bad	3

표 4. MOS 명료성 평가

<Table 4> MOS and clearness evaluation

등급	명료성	평가인원
5	Excellent	3
4	Good	19
3	Fair	16
2	Poor	2
1	Bad	0

표 5. MOS 집중력 평가

<Table5> MOS and concentration evaluation

등급	집중력	평가인원
5	Excellent	8
4	Good	13
3	Fair	8
2	Poor	7
1	Bad	4

표 6. MOS 받아쓰기 평가

<Table 6> MOS and dictation evaluation

TOEIC 2영역	residual noise	add to initial reflection
who question	17名	23名
how question	19名	21名
what question	19名	21名

VIII. 결론

본 논문에서는 소음 환경(버스, 지하철 등)에서 어학을 공부하는 사람들이 주위 소음에 의한 청각의 분별력을 저하시키는 현상을 해결하기 위해 두 가지 신호처리 시스템이 있는 헤드폰이 언어의 명료성을 증가 시키고, 그로 인해 학습 능률이 증가(약8%)됨을 보였다. 이는 LMS 알고리즘과 초기반사음이 청각적인 변별력을 증가시켜 학습능력을 향상 시켰음을 의미한다. 실험과정에서 결과 데이터를 얻어오기 위해서 주관적 평가(MOS) 실시로 인해 많은 시간이 소모되므로 이러한 문제를 해결할 다른 평가 방법을 개발하여 평가 시간을 단축해야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] 정대업의 "초기반사음의 도달방향과 지연시간이 명료도에 미치는 영향에 관한 연구" 대한건설공학학회논문집 18권 1호, pp. 204-210, 1. 2002
- [2] 이진이의 "디지털 신호처리" 기한재
- [3] Widrow. B., Glover, J.R. McCool, J.M. Kaunitz, J. Williams, C.S., and Hem, R.H., "Adaptive noise cancelling
- [4] ITU-T Recommendation P.800, "Methods for subjective determination of transmission of transmission quality", Geneva, 1996.
- [5] Benard Widrow "adaptive signal processing" ,Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1996
- [6] 김시호외, "HRTF를 이용한 헤드폰 기반의 다채널 입체음향 생성", 전자공학회지논문지 제 42권 SP 제 1호, 1. 2005
- [7] 김영훈 "궤환 신호 방식을 이용한 원 마이크론 시스템에서의 능동소음제어 구현" 숭실대학교 석사학위논문, 12. 1999
- [8] Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory",

Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1996

[9] 강성훈, "고급음향기술", 음향기술 산업연구소, p72-118

[10] 음원, "http://www.findsounds.com."