

능동적 소음 저감법에 관한 연구

합 연 창^o, 목 형 수, 강 성 곤, 최 규 하, 김 한 성
건국 대학교 전기공학과

A Study on the Active Acoustic Noise Reduction Method

Yeon-Chang Hahm^o, Sung-Kon Kang, Hyong-Soo Mok
Gyu-Ha Choe, Han-Sung Kim

Dept. of Electrical Engineering, KonKuk University

ABSTRACT - Acoustic noise from the various facilities makes man unpleasant and let researchers find the way for reducing it on environmental point of view. Special way to reduce the acoustic noise had suggested by the concept of *Active Silencer*. But, it has propagation delay time accumulated during the signal passage and *howling effect*. This paper suggests a way to annihilate howling effects, and reduces the total delay time drastically by attaching microphone to the speaker. This paper will show how it works by some materials.

1. 서 론

기계장치등에서 발생하는 각종소음은 작업환경의 장애를 초래하여, 이를 줄이기 위한 많은 연구가 진행 되고 있다. 지금까지는 봉합, 차폐, 소음기등의 물리적인 형태의 수동적 소음저감책을 주로 썼으나, 비교적 높은 주파수대의 소음에만 효과가 있고, 낮은 주파수대에서는 여전히 소음이 남으며, 규모, 불순물은 새로운 환경문제와 유지, 보수와 효율면에서 문제가 되고 있다.[1] 또 하나의 방법은, 소음원을 마이크로 검출하여 크기가 같고 위상만 뒤바뀐 상쇄원을 만들어 스피커로 출력하는 능동소음기(Active Silencer)가 제안 되었다.[1~3] 그러나, 이 방법은 신호처리과정을 거치는 동안에 생기는 지연시간과, 스피커와 마이크사이의 근접 배치시 하울링음이 발생하여, 적용된 예는 드물고 한정 되어있다. 본 논문에서는, 심각하게 대두되는 소음문제에 초점을 두고, 능동소음기의 하울링음과 지연시간에 관한 문제점을 해결하면서 소음을 저감하는 새로운 방법을 제시 하고, 실험으로써 검증 하고자 한다.

2. 능동 소음기

2.1 능동소음기의 개요 [1]

능동 소음기는 변화하는 소음을 감지하여, 이의 반전신호를 스피커를 통해 내보내 소음을 상쇄 시키는것이다. 이러한 이론은 그림 1 에서 능동전력필터가 부하의 영향에 따라 고조파의 전류 a가 선로에 흐를때, 이를 보상하기 위해 새로운 등가적인 전원 b를 고조파 상쇄원으로 선로에 재주

입하는 것과 같은 개념이다. 즉, 소음원을 d로 가정했을 때, e의 소음을 주입하면 이상적으로는 최종보상후의 f처럼 나타낼 수 있다. 일반적인 블록선도는 그림 2 와 같다. 그러나, 이런 능동소음기는 이론이 비교적 오래전에 제시 되었음에도, 구현상의 다음 두가지의 주된 장애요인이 있다. [2]

2.2 하울링(Howling)음

소음에 의한 상쇄원을 발생시키기 위해서는, 마이크를 사용하여 소음원을 검출하여 이를 증폭후, 스피커로 재 생성하는 방법을 사용해야 한다. 이때, 상쇄원과 마이크가 가까운 위치에 놓여 있어야 하나, 이 위치에서는 마이크와 스피커가 증폭기와 함께 정궤환이 걸리는 형태로 배치되어 안정도가 깨어지고 불쾌한 소음이 추가된다.

2.3 지연시간(Propagation Delay Time)

지연 시간은 증폭기의 구성형태, 오디오 앰프에 따라서 현저히 달라지며, 여기에 상쇄원을 발생회로의 지연시간을 고려하면 이보다 더 길어진다. 특히, 이들의 지연시간은 30[μ s] 이내이나, 마이크와 스피커의 거리에 의한 시간지연은 29.4[μ s/cm]나 되어, 능동 소음기의 특성을 개선 하려면 이 요인을 줄여야 한다.

3. 새로운 능동 소음기

본 논문에서는, 전장에서 기술한 문제점들을 해결하고, 소음을 줄이는 방법을 제시 하고자 한다. 그림 2 에서처럼, 최초의 소음원은 $S_0(t)$ 라고 가정하면, 능동소음기는 통상이 소음원과 떨어져 있고, 현재 마이크가 있는 근방의 소음을 줄이는것이 관심사 이다. 마이크에서 검출한 소음의 신호는 원 소음신호에 시간지연 요소(t_0)가 추가되어 다음과 같이 표시 할 수 있다.

$$S_1(t) = A_1 S_0(t + t_1) \quad \dots (1)$$

t_1 : 소음원과 마이크 사이의 거리에의한 지연시간
 A_1 : 마이크의 증폭비

능동소음기는 $S_1(t)$ 의 신호에 충실한 상쇄원을 만들어야 하

나, 이 신호가 작기때문에 이의 증폭에 의한 지연시간이 추가되어,

$$S_2(t) = A_2 \cdot S_1(t + t_2) \quad \dots (2)$$

t_2 : 전기증폭기의 지연시간
 A_2 : 전기증폭기의 증폭비

만일, 상쇄원의 신호가 위의 $S_2(t)$ 신호를 기초로 제어회로를 통해 다음과 같이 발생한다고 가정하면,

$$S_3(t) = K \cdot S_2(t + t_c) \quad \dots (3)$$

t_c : 제어회로 통과에 의한 연산 지연시간
 K : 상쇄원 계수

여기에 이 상쇄원이 스피커로 최종 출력될 때의 신호는,

$$S_4(t) = K \cdot A_4 \cdot S_2(t + t_c + t_4) \\ = K \cdot A_4 \cdot A_2 \cdot S_1(t + t_2 + t_c + t_4) \quad \dots (4)$$

t_4 : 상쇄원의 스피커로의 출력 지연시간
 A_4 : 오디오앰프 증폭비

그러나, 이렇게 상쇄원이 발생된다고 해서 소음 자체가 상쇄된다고 볼 수 없다. 마이크로 진출하는 부분의 소음을 상쇄하기 위해서 스피커와 마이크의 거리가 최소가 되어야 한다. 즉, 공기중의 신호지연이 29.4[μs/cm]이므로 전술한 어 느 경우 보다 큰 지연요소로 작용하기 때문이다. 따라서, 마이크의 위치까지의 시간의 지연을 고려한 최종 상쇄음의 표현은 다음과 같다.

$$S_5(t) = K \cdot A_5 \cdot A_4 \cdot A_2 \cdot S_1(t + t_2 + t_c + t_4 + t_{am}) \\ = K \cdot A \cdot S_1(t + t_2 + t_c + t_4 + t_{am}) \quad \dots (5)$$

t_{am} : 스피커부터 마이크까지의 출력 지연시간
 A_5 : 스피커에서 마이크까지의 음향크기의 감쇄비

결국, $S_5(t)$ 는 상쇄하고자 하는 소음원 $S_1(t)$ 과 같아져야 할 것이다. 따라서, 최적의 능동 소음기에 대한 수식은 다음과 같다.

$$S_5(t) = S_1(t) \quad \left| \begin{array}{l} K \cdot A_5 \cdot A_4 \cdot A_2 = K \cdot A = 1 \\ t_2 + t_c + t_4 + t_{am} = 0 \end{array} \right. \quad \dots (6)$$

그러나, 능동 소음기를 구현하기 위해서는 그 지연요소중, t_2 와 t_4 는 현 단계에서 고려할 수 없고, A 역시 오디오앰프의 볼륨에 의한 음량의 조절에 귀결되므로, t_c , t_{am} 그리고 K 만이 해결 가능한 요소가 된다. 여기에따른, 본 논문의 대책은 다음과 같다.

① 스피커와 마이크의 거리에 의한 지연시간 t_{am} : t_{am} 은 스피커와 마이크 사이의 거리 l_{am} 에 비례하므로,

$$t_{am} = C \cdot l_{am} \quad \dots (7)$$

C : 비례상수

따라서, $l_{am} = 0$ 이면 좋지만, 상쇄원 발생회로에서 K 가 단순히 선형적인 증폭기, 특히 반전증폭기의 형태를 취하면, 전술한 안정도 파괴에 의해 하울링음이 발생하게 된다. 그러나, 상쇄원 계수 K 가 소음원의 순서적인 크기와는 서로 독립적(Independent)인 관계이면, 그 선형성이 깨어져 하울링음은 차단될 수 있다. 이 경우 마이크와 스피커의 거리의 최소화 ($l_{am} = 0$)가 가능하다.

$$S_5(t) \approx K \cdot A \cdot S_1(t + t_2 + t_c + t_4) \quad \dots (8)$$

② 상쇄원 발생회로의 지연시간 t_c : t_c 는 상쇄원을 만드는 동안의 지연시간이다. 여기서 상쇄원 계수 K 가 소음원의 크기가 아닌, 위상에 종속적(dependent)이라면 선형성이 깨어지면서, 디지털 회로로 구현이 가능해져, 전파시간을 단축할 수 있다. 이때, 전체 지연시간도 수 [μs] 이내가 되어, 총 지연시간에서는 무시되므로, 제안하는 능동소음기의 수식은 다음과 같이 바뀐다.

$$S_5(t) \approx K \cdot A \cdot S_1(t + t_2 + t_4) \quad \dots (9)$$

이를 구현하기 위해, 소음원의 위상또는 부호만을 토대로 하여 제어신호를 발생하고, 이 신호에 따라, 소음원과 유사한 상쇄원 데이터를 ROM에서 꺼내어, D/A 컨버터와 오디오 앰프를 통해 스피커로 보내는 방법을 사용하였다. 또한, 발생하는 상쇄원의 주기와 크기는 VCO와 앰프의 볼륨으로 조정하였다.

4. 시스템 구성 및 실험

4.1 실험 조건

실험환경	: 간이 소음실 (100cm x 75cm x 73cm) 반사음과 외부소음 차단
스피커	: 8[Ω], 최대출력 35[W], 감도 85[dB]±3[W/m]
마이크	: 직경 8mm, 무지향성 콘덴서 마이크
측정장비	: Kokuyo Electric Co. Japan(음향측정기) Digital Storage Scope, Hitachi, Japan
소음원	: 300~2200[Hz]사이의 정현파와 구형파
상쇄원	: ROM의 데이터 (정현파, 삼각파)
l_{am}	: 10[cm], 0 [cm]의 두가지
가변요소	: VCO, Audio Amp.의 음량조절

4.2 실험 및 고찰

본 논문의 방법은, 실험상으로 소음을 크게 감소시킬 수 있었다. 그림 4, 5 는 800[Hz]일때의 소음원과 상쇄원, 그리고 보상후의 오차음의 파형을 나타내며, 그림 6 에서는 400~2000[Hz]사이의 정현파, 구형파의 소음원에 정현파와 삼각파의 상쇄원 주입시의 음향측정기의 잔류소음의 추이를 보기 위하여, 12.5[dB]로 고정시킨후, 오디오 앰프의 볼륨을 조정하여 오차음의 최소점을 연결한 그래프므로, 약 1000[Hz]전후의 주파수대에는 최대 10.5dB로 떨어져, 현격한 효과가 있음을 볼 수 있다. 또한, 측정용 마이크와 스피커간의 거리가 불과 10cm 떨어졌는데도 불구하고, 그 소음의 상쇄효과는 현저히 달라지고 있음을 볼 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 능동소음기가 안고있는 지연시간과 하울링 효과를 없애는 새로운 방법을 제시하고 이를 실험 하였다. 종래의 능동 소음기가 400[Hz]이하 에서 특성이 좋으나, 복잡하고, 고가소자, 높은 주파수대에서의 구성상의 한계가 생기나, 본 논문은 마이크로로부터 오는 신호의 부호에 의해, ROM에 있는 데이터를 상쇄원으로 사용하여, 하울링음을 차단하고, 빠른 응답속도를 갖으며, 간단한 알고리즘과 저렴한 상쇄원을 만들게 되었다. 특히, 마이크와 스피커 사이의 거리를 최소화시켜, 가용범위가 300~1800[Hz]대까지

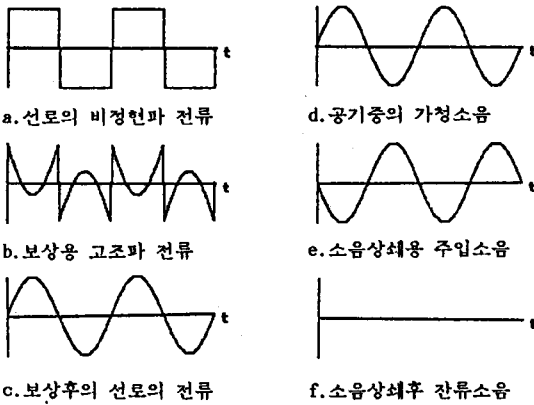


그림 1 능동전력필터와 능동소음기의 파형상의 기능 비교도

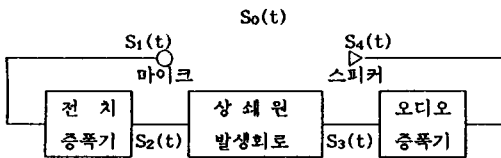


그림 2 일반적인 형태의 능동소음기 블록선도

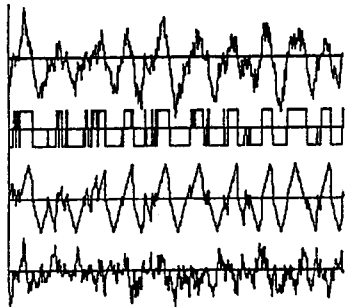


그림 3 소음원으로부터 상쇄원까지의 단계별 신호파형

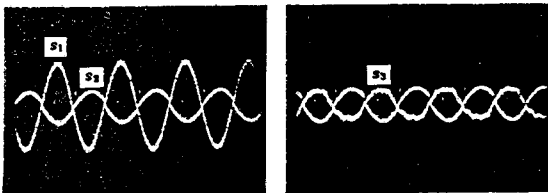


그림 4 800[Hz]의 정현파 소음원(s_1), 정현파 상쇄원(s_2) 보상후의 오차음(s_3) $l_{nm} = 0$ [cm]

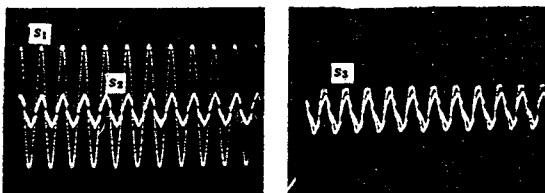


그림 5 1200[Hz]의 정현파 소음원(s_1), 삼각파 상쇄원(s_2) 보상후의 오차음(s_3) $l_{nm} = 0$ [cm]

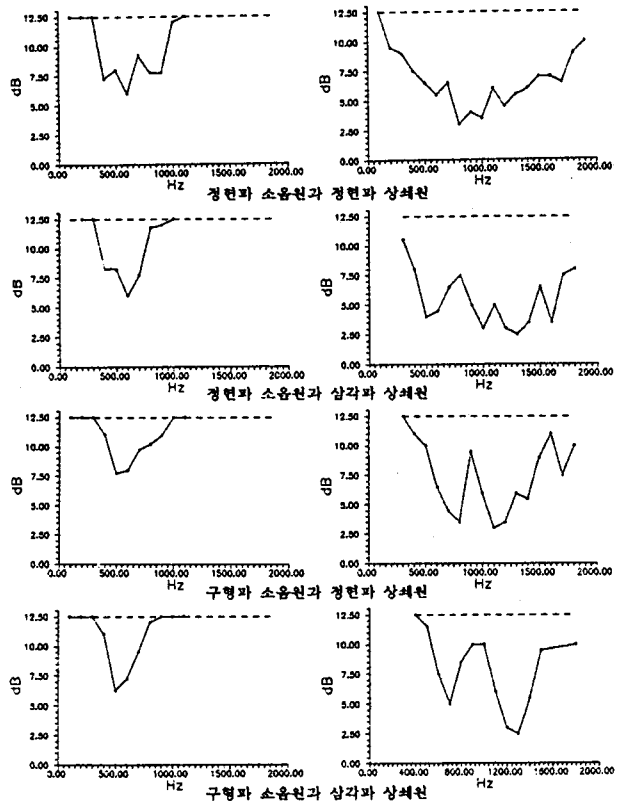


그림 6 각 소음원과 상쇄원간 잔류소음의 추이
 $l_{nm} = 10$ [cm] (좌) $l_{nm} = 0$ [cm] (우)

이르고, 1[KHz]근방의 주파수대에서는 약 8.5~10 dB의 큰 효과가 있었다. 또한, 자체의 크기가 작아, 소형화가 용이하다. 부가적으로 잔류하는 고주파대의 소음은, 봉합이나 차폐등에 의해 줄어들 수 있기 때문에 해결이 가능하다. 그리고, 소음원이 특정한 주파수대에 머물 경우, 이를 해석하여, 가장 근사한 데이터를 상쇄원으로 활용하면 더 큰 효과가 있으리라 생각된다.

추후의 연구 과제로는 소음원과 상쇄원의 주기가 일치되도록 페루우프를 구성하고, 출력이 충분히 큰 마이크에 대해서도 연구가 이루어져야 할 것이다.

6.참고문헌

- [1] 能動形 騒音機: ACTIVE SILENCER의 球面波騒音除去技術, 機械工業局 産業機械課 韓國空氣清淨研究組合, 1992
- [2] 이 태연 "구조적 특성을 고려한 유한 덕트계의 FIR필터 모델링에 의한 능동소음제어", 음향학회지 11권 2호, 1992.
- [3] 이 종필 "능동적 소음 제어기의 실시간 구현", 한국 자동제어학술회의 논문집, 1990.
- [4] Blankenship G.L, Lebow L.G "Adaptive Noise Cancellation in Distributed System Using Adaptive Control" ACASP/92 IFAC 305-310