

히스테리시스 제어기법을 이용한 능동 소음기의 구현

(A Implementation on Active Silencer using Hysteresis Control)

姜廷柵*, 閔輝植*, 黃熙隆*, 張都鉉**

(J.Y.Kang, H.S.Min, H.Y.Hwang, and D.H.Jang)

요 약

본 논문은 저주파 소음저감에 초점을 맞추어 PWM 제어 기법의 하나인 히스테리시스 제어방식을 이용하여 이를 능동소음제어에 적용하였다. 히스테리시스 제어방식의 구현을 위해 펜티엄 프로세서와 사운드 블래스터16을 사용하였고 A/D, D/A 전환에는 사운드 블래스터16에 내장된 ADC(Analog-Digital Converter)와 DAC(Digital-Analog Converter)를 이용하였다. 그리고 위의 하드웨어 제어에 필요한 소프트웨어로는 C언어를 사용하였다. 그 결과 100[Hz]~200[Hz]사이에서는 9[dB]~15[dB]까지 비교적 높은 소음저감 효과를 보았고 300[Hz]~500[Hz]사이에서는 3[dB]~5[dB]의 비교적 낮은 소음저감 효과를 보였다.

Abstract

This paper presents active silencing by hysteresis control method and shows its audible noise reduction effect. A Pentium processor and sound blaster 16 card are used for its implementation. The Sound-Blaster16 executes the A/D, D/A conversion and is used for operating source of loudspeaker for cancelling. As a result, between the frequency range of 100[Hz] and 200[Hz] there is an audible noise reduction effect from 9[dB] to 15[dB], and between the 300[Hz] and 500[Hz] range there is a reduction from 3[dB] to 5[dB].

I. 서 론

소음은 일상 생활에 방해가 되는 원치 않는 소리로 규정할 수 있는데, 사람에게 신체적, 정신적인 피해를 주는 환경 공해라는 것은 오래전부터 인식되어 왔다. 더 나아가 현대인들의 스트레스에도 한몫을 하고 있어 이런 상황이 계속 유지될 경우 청력의 손상이나 정신 질환 같은 부작용을 가져올 수 있기 때문에 소음 저감은 매우 중요한 문제로 대두되고 있는 실정이다.

이러한 원하지 않는 소음을 저감시키는 방법에는 크게 수동적인 방법과 능동적인 방법으로 나눌 수 있다. 수동적인 방법은 방벽, 장벽, 흡음재, 머플러등을 사용, 소음을 차폐, 흡수하여 감소시키는 방식이다. 이 방법은 소음의 주파수가 500 [Hz]가 넘는 경우 소음 저감 효과가 있으나, 그 이하의 저주파 소음인 경우에는 음파의 파장이 길어지기 때문에 차폐, 흡음재의 부피 및 무게가 증가하게 된다. 이에 따라서 설치 및 유지, 보수에 어려움이 따르는 문제점을 가지고 있다.

이런 저주파대의 소음을 저감시키기 위한 효율적인 방법의 하나로 능동소음기(Active Silencer)가 제안되었다. 능동소음제어는 음의 간섭현상을 이용하여 소음신호에 위상이 180° 차이가 나고 진폭이 같은 2차

* 正會員, 湖西大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Hoseo University)

** 正會員, 湖西大學校 電氣工學科

(Dept. of Electrical Eng., Hoseo University)

接受日子:1997年3月21日, 수정완료일:1997年6月26日

음원을 발생시켜 소음원의 음파와 소멸간섭을 일으킴으로써 소음을 저감시키는 방법으로 저주파 소음에 대한 수동 소음 제어 방식의 단점을 해결하기 위한 방안으로 현재 많은 연구가 이루어지고 있다^[1,2].

본 논문에서는 저주파 소음저감에 초점을 맞추어 PWM 제어 기법의 하나인 히스테리시스(Hysteresis) 제어방식을 이용하여 이를 능동소음제어(Active Noise Controll)에 적용하였다. 이를 위해 펜티엄 프로세서(Pentium processor)와 ADC(Analog Digital Converter), DAC(Digital Analog Converter)를 장착한 사운드 블래스터(Sound Blaster)16을 사용하였다. 능동적인 소음 저감의 효과를 해석하기 위해 본 논문에서는 소프트웨어 패키지인 ACSL(Advanced Continuous Simulation Language)를 사용했다.

II. 능동 소음제어의 원리

1. 기본 원리

능동소음제어(Active Noise Control)는 음파의 간섭 원리를 이용한 것으로, 이상적으로 소음원과 위상이 180° 차이가 나고 진폭이 같은 2차 음원을 발생시켜 소음원의 음파와 소멸 간섭을 일으킴으로써 소음을 저감시키는 방법이다.

능동소음제어의 원리를 처음 제안한 폴 뤼그(Paul Lueg)는 한정된 조건을 필요로 하긴 하나 '특정 주파수를 갖는 음파는 마이크로폰에 의해 검출된 전기적인 신호보다 상대적으로 낮은 전파속도를 가지므로 음파가 검출된 지점으로부터 감소시켜려는 지점까지 진행하는 동안에 전자회로 내에서 그 신호를 처리하여 적절한 상쇄파를 발생시키는데 필요한 충분한 시간적 여유가 있으므로 능동소음제어 시스템의 물리적인 실현은 가능하다' 라고 설명하였다^[1,3].

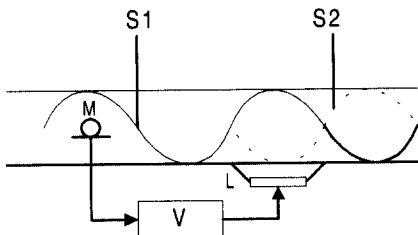


그림 1. 능동 소음기의 기본원리
Fig. 1. Basic principle of Active noise control.

그림 1에서와 같이 소음원(S1)이 진행 할 때, 마이크로폰(M)이 소음을 감지하여 이를 전기적 신호로 바꾸어 증폭기(V)로 보낸다. 그 다음 위상이 180° 차이가 나고 크기가 같은 상쇄음(S2)을 만들고 스피커(L)를 통하여 전기적인 신호를 상쇄음으로 바꾸어 주입시키면 소음을 상쇄시키게 된다.

2. 소음 상쇄의 조건

소음 감소란 소음이 감소하기 원하는 지점에서 소음 상쇄가 일어나는 것을 말한다. 다시 말해서 관측 지점에서 소음과 상쇄음이 합쳐져 원래 소음 보다 작아져야 소음감소가 이루어졌다고 할 수 있다.

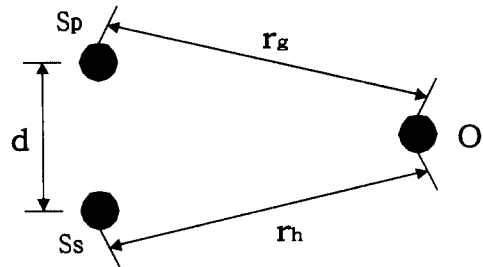


그림 2. 능동 소음제어의 기본 다이어그램
Fig. 2. Basic diagram of active noise control.

그림 2에서 소음원 S_p 가 선형적인 전달 매개체에서 시간 t 의 함수 $p(t)$ 로 전달된다고 하고 소음원 (S_p)과 상쇄원 (S_s), 그리고 소음이 감소되기를 바라는 관측 지점 O점에서의 음파들의 파워 스펙트럴 밀도(power sepectral density)를 다음과 같이 표시할 수 있다.

- $G_{pp}(\omega)$: 소음파 $p(t)$ 의 파워 스펙트럴 밀도
- $G_{ss}(\omega)$: 상쇄음파 $S(t)$ 의 파워 스펙트럴 밀도
- $G_{p0}(\omega)$: 관측지점 O에서 소음파 $p_o(t)$ 의 파워 스펙트럴 밀도
- $G_{s0}(\omega)$: 관측지점 O에서 상쇄음파 $S_o(t)$ 의 파워 스펙트럴 밀도
- $G_{cc}(\omega)$: 관측지점 O에서 관측되는 합성음파 $\alpha(t)$ 의 파워 스펙트럴 밀도

여기서 ω 은 각 주파수(radian frequency)이다.

관측 지점 O에서 소음 상쇄가 일어나기 위해서는 합성음파 $\alpha(t)$ 의 파워 스펙트럴 밀도가 관측 지점 O에 작용하는 소음파 $p_o(t)$ 의 파워 스펙트럴 밀도보다

작아야 한다. 이것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$G_{cco}(\omega) < G_{ppo}(\omega) \quad (1)$$

그리고 상쇄의 정량적인 해석을 위하여 상쇄 인자(cancelling factor)를 다음과 같이 정의한다.

$$K = \frac{G_{ppo}(\omega) - G_{cco}(\omega)}{G_{ppo}(\omega)} \quad (2)$$

또는

$$K = 1 - \frac{G_{cco}(\omega)}{G_{ppo}(\omega)} \quad (3)$$

여기에서 K의 범위는

$$0 < K \leq 1 \quad (4)$$

이며 만약에 K가 0이라면 소음상쇄가 전혀 일어나지 않으며, K가 1이면 소음상쇄가 완벽하게 일어난 것이다.

III. 기존의 능동 소음저감법

1. 반전 증폭기에 의한 상쇄원의 발생

소음저감법으로 가장 기본적인 방법은 상쇄 신호로써 마이크로폰에서 검출된 소음 신호를 그대로 증폭하여 이를 위상만 반전하여 스피커로 내보내는 방법으로 가장 간단하고 근본적인 방법이다. 그러나, 이 방법이 설령 소음신호와 상쇄신호가 완전하게 소멸 간섭을 일으킨다고 하더라도 스피커 위치가 각 주파수에 따라 변화할 수 없고 더 중요한 것은 하울링(Howling)에 의한 역효과가 더 커지기 쉬운 관계로 이 방법에 의한 상쇄효과는 기대하기 힘들다.

실제적인 실험에서도 각 주파수에 따라 스피커 위치 선정이 필요하고 저주파수일때에는 파장이 길기 때문에 소음원 스피커와 상쇄원 스피커의 거리가 멀리 떨어져야 하므로 상쇄 효과를 볼 수 없고 고주파수일때에는 소음원 스피커와 상쇄원 스피커의 거리는 가까워졌지만 하울링에 의한 역효과 더 크다. 그러므로 현실적으로는 실현 가능성이 없다.

2. 주파수대별 보상장치를 이용한 능동 소음제거기

마이크를 통해 검출된 소음신호는 신호의 크기 자체가 너무 작기 때문에 이를 증폭해야 하는데, 이렇게 증폭을 하는 동안에 외부의 외란이 첨가되기 때문에 증폭기의 이득을 몇 개의 단계로 나누어야 하고 이로 인해 소자의 수가 증가하게 된다.

이 경우에 입력신호의 위상이 반전된 신호라 할지라도 모든 주파수 성분들은 그 위상이 주파수-위상 곡선의 특성처럼 모두 왜곡이 되기 때문에 실제로는 반전 증폭기를 투입한다고 해도 아무런 의미를 가지지 못한다. 그래서 이렇게 증폭된 신호를 몇 개의 주파수 대별로 나누어 그 신호들 각각을 위상제어를 통하여 보상을 해 주어야 하는 문제가 생기게 된다.

따라서, 단순한 개루우프 제어시에는 상쇄원이 소음원의 신호와 같게 나오게 하기 위해 위상을 따로 보상해 주는 회로를 첨부해 주어야 하는 단점이 생기게 된다. 그러한 상쇄신호를 발생키 위해서 소음신호의 주된 주파수대의 검출을 위한 대역통과 여파기 회로와 소음원과 상쇄원의 위상오차 보상을 위한 회로가 추가된다. 주파수대별 보상장치(equalizer)를 장치하면 특정 주파수에 대한 영향을 어느 정도 줄일수는 있으나 여전히 지연시간이 잔존함과 더불어 보상장치의 후단은 시간지연이 더 생겨나고, 마찬가지로 하울링이 계속 존재하고 있으므로 이를 보상해야 하는 문제가 새로이 생기게 된다.

3. ROM에 의한 상쇄원의 발생기법

ROM에 의한 상쇄원 발생의 기본적인 개념은 가장 중요한 하울링의 영향과 지연시간을 최소화하기 위한 방법으로 아날로그 신호의 차원을 디지털의 신호차원으로 넘겨줘 그 문제를 해결하려는 데 있다. 즉 아날로그 신호를 계속 증폭기에만 의존할 경우 한 스테이지(stage)당 시간지연이 수십 [μs]나 되기 때문에 처리 가능한 주파수의 범위가 매우 낮아진다.

이 방법은 마이크로폰에서 검출된 신호의 부호만을 판별하여 이 신호를 디지털 차원으로 넘겨 일괄적으로 ROM의 데이터를 DAC (Digital Analog Converter)를 통해 내보내는 방법으로 근본적으로 신호의 크기와 오차에 의해 완벽한 상쇄는 불가능하다. 그러나 신호와의 위상차가 전체적으로 2 [μs] 정도로 감소되고 가장 큰 문제였던 하울링음이 선형적으로 증폭하는 방법들과는 달리 디지털 처리부에서 완벽히 차단이 되어 버려 그 역효과가 없어지거나 상쇄원이 더 커져버린 상태 이후에 나타나므로 해결이 가능해지고, 빠른 하드웨어에 의하여 처리 속도가 빨라졌다.

ROM에 의한 소음 저감법은 빠른 하드웨어에 의한 처리 속도 향상과 하울링이 발생하지 않는다는 장점이 있지만, 근본적인 소음신호와 오차가 생기기 때문에

상쇄효과가 크지 않다는 단점을 가지고 있다.

IV. 히스테리시스 제어기법을 이용한 능동소음기

1. 히스테리시스 제어기법

히스테리시스 제어기법은 전류 레퍼런스를 주고 실제 전류와의 차에 의해 발생하는 잔류 오차신호를 일정 밴드의 범위 안에서 움직이도록 제어하는 전류 제어 기법으로 실제 전류가 레퍼런스 전류를 따라가도록 제어하게 된다.

그림 3은 히스테리시스 제어기의 제어블럭선도를 나타낸다. 히스테리시스 제어를 능동 소음기에 적용하기 위해서 소음원과 상쇄음을 합한 것을 잔류소음으로 하여 이 신호가 히스테리시스 밴드내에서 처리되게 하면 된다.

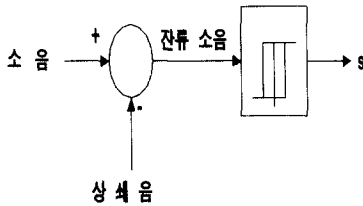


그림 3. 히스테리시스 제어기법 블럭선도
Fig. 3. Block diagram of Hysteresis control.

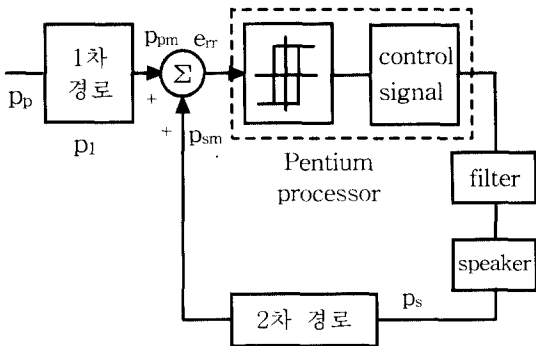


그림 4. 히스테리시스 제어를 이용한 능동 소음기 블럭선도
Fig. 4. Block diagram on Active silencer using Hysteresis control.

본 논문에서는 전류 기준치를 소음신호로, 실제 전류를 상쇄신호로 대체하였고 두 신호의 합을 잔류신호

로 놓았다. 따라서 잔류신호를 없애기 위하여 기준신호를 기준으로 일정한 밴드(히스테리시스폭)를 설정하고 잔류신호가 정해진 밴드를 초과할 경우 그 오차를 감소시키는 방향으로 제어신호를 바꾸어 주게 된다^[4].

본 논문에서 제안하는 능동소음기의 제어 블럭 선도는 그림 4에서 제시되어 있다. 그림에서 공간상의 1차 경로를 거친 소음의 검출된 신호를 P_{pm} 이라 하고 2차 경로를 거친 상쇄신호를 P_{sm} 이라 하면 잔류오차음은 e_{rr} 로 표시된다. 제어기가 동작되지 않고 있을 때 잔류오차음은 소음 그 자체의 신호이며 제어기가 작동(on)되면서 상쇄신호가 만들어지기 시작한다

본래 히스테리시스 제어기법은 전류 레퍼런스를 주고 실제 전류와의 차에 의해 발생하는 잔류 오차신호를 일정 밴드의 범위 안에서 움직이도록 제어하는 전류 제어 기법으로 실제 전류가 레퍼런스 전류를 따라가도록 제어하게 된다. 본 논문에서는 전류 레퍼런스를 소음신호로, 실제 전류를 상쇄신호로 위상은 180° 반전된 것으로 대체하였고 두 신호의 합을 잔류소음으로 놓았다. 따라서 기준신호를 기준으로 일정한 밴드(히스테리시스폭)를 설정하고 잔류소음이 정해진 밴드를 초과할 경우 그 오차를 감소시키는 방향으로 제어신호를 바꾸어 주게 된다^[5].

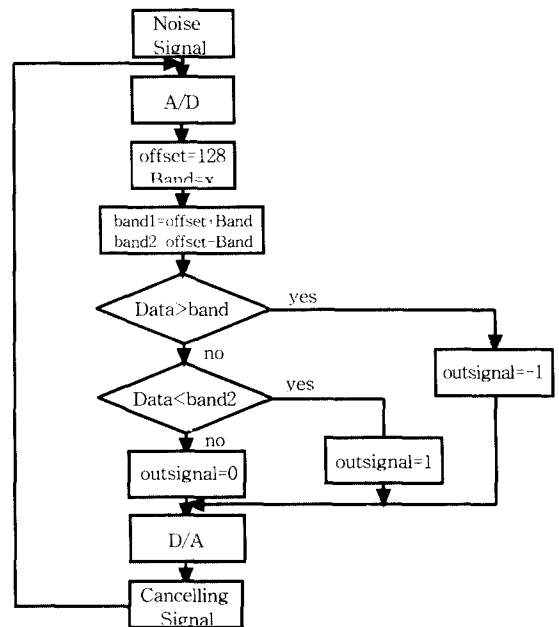


그림 5. 히스테리시스 제어 알고리즘
Fig. 5. Hysteresis control algorithm.

그림 5는 본 논문에서 적용된 히스테리시스 제어 알고리즘을 보여주고 있다.

잔류소음이 주어진 히스테리시스 밴드폭 내에 존재하도록 제어하여야 하며 궁극적으로 '0'이 되기를 바라므로 기준신호를 '0'이 되도록 하였다. 이때 사운드 블래스터(Sound Blaster) 16에서는 8비트 쿼타이제이션(quantization)을 수행하므로 '0'에서 '255'까지의 값을 가지는데 여기서 이 기준신호인 '0'이 사운드 블래스터(Sound Blaster) 16의 '128'에 해당되므로 프로그램에서의 기준신호는 '128'이 된다. 즉 오프셋(offset)값이 '128'이 이다. 본 논문에서는 밴드를 사운드 블래스터(Sound Blaster) 16의 쿼타이제이션 레벨(quantization level)에 맞추어 프로그램 내에서 지정하도록 했고, 소음신호와 상쇄신호의 합인 잔류소음을 제어하여 이 신호가 밴드를 벗어나는 순간 잔류오차음이 증가되지 못하는 방향으로 제어신호가 발생하도록 하였다 [7].

2. 음압 크기 조정 및 출력신호의 필터링

원하는 소음저감의 효과를 얻기 위해서는 소음신호와 같은 크기를 가진 역위상의 음파를 발생시켜 주어야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 처음 입력되는 신호의 일정 구간에 대한 신호들의 평균값을 구하여 출력신호의 크기를 결정하는 파라미터(parameter)를 사용하였다.

입력되는 소음신호를 N_k 라 하고 초기 신호를 받아들이는 구간을 Interval, 그 총합을 T, 평균값을 Av 라 하면

$$T = \sum_{k=1}^{Interval} N_k \quad (5)$$

$$Av = \frac{T}{Interval} \quad (6)$$

$$= \sum_{k=1}^{Interval} \frac{N_k}{Interval}$$

으로 표시된다. 여기서 사운드 블래스터(Sound Blaster)16를 사용하는 경우 기준신호 '0'이 '128'로 나타내지므로, 최종적인 신호의 평균값은 다음과 같다.

$$Average = Av + offset \quad (offset=128) \quad (7)$$

또한 히스테리시스 제어를 하는 경우 잔류오차음이 상하위 밴드를 만나는 순간마다 제어신호 +1 또는 -1을 발생시키므로 출력되는 신호는 다음과 같이 표시된다.

$$Outsignal = Av \cdot Controlsignal + offset \quad (8)$$

$$(Controlsignal = \pm 1)$$

출력 신호는 식(8)에서와 같이 구형과 펄스(Rectangular Pulse)형태가 되므로 입력신호에 대해 상쇄효과를 얻기 위해서는 출력 신호의 필터링이 필요하다. 일반적으로 능동소음제어에서는 소음의 주파수 범위를 500 [Hz] 까지로 보고 있으므로 본 연구에서는 500 [Hz]의 디지털 저역통과 필터를 설계하여 출력신호를 필터링하였다. 사용된 필터는 진폭특성이 통과대역에서 최대평탄한 특성을 가지는 버터워스(butterworth) 저역통과 필터이며 다음 식과 같은 2차 IIR필터를 사용하였다 [5].

$$Out(n) = a_0 Outsignal(n) + a_1 Outsignal(n-1) + a_2 Outsignal(n-2) - b_1 Out(n-1) - b_2 Out(n-2) \quad (9)$$

여기서 $Out(n)$ 은 필터링된 출력신호이다.

500 [Hz]의 차단 주파수(cutoff frequency)를 얻기 위한 필터의 계수는 다음과 같다.

$$a_0 = 1.5476 \times 10^{-2}, \quad a_1 = 3.0952 \times 10^{-2}$$

$$a_2 = 1.5476 \times 10^{-2}, \quad b_1 = -1.6185$$

$$b_2 = 6.8045 \times 10^{-1}$$

3. 사운드 블래스터 16의 제어

사운드 블래스터 (sound blaster) 16에는 ADC (Analog Digital Converter) 와 DAC (Digital Analog Converter)를 비롯하여 신호 처리를 위한 프로세서(Processor)를 탑재하고 있다. 사운드 블래스터에서의 음성 처리를 위한 모드에는 ctvoice.drv를 이용한 모드와 DMA 전송 모드, 직접 전송 모드, ADPCM 전송 모드 등이 있으며 직접 전송 모드 이외의 ctvoice.drv를 이용한 모드나 DMA 전송 모드 등에서는 파일을 한번에 불러와서 처리하기 때문에 동시 입출력이 불가능하다. 따라서 본 논문에서 사용된 소음 신호의 동시 입출력 처리를 위해서 직접 전송 모드를 사용하였다.

ADC 전송 모드는 외부 입력을 디지털화하여 지정된 메모리에 기록하는 모드로, 이 경우는 직접 전송 모드이므로 사용자가 일정한 주기마다 샘플링 레이트를 전송해 주어야 한다. 또 마이크로프로세서와 상호

간에 인터럽트의 교류를 정확히 지정해 주어야한다.

V. 시스템 구성

그림 6은 제안한 능동소음기의 전체 시스템 구성도이다. 가정소음을 마이크로폰으로 검출하여 제어기를 통해 상쇄음을 발생시키는 구조를 갖고 있으며 스피커 구동원으로서 사운드 블래스터 16이 사용되었다.

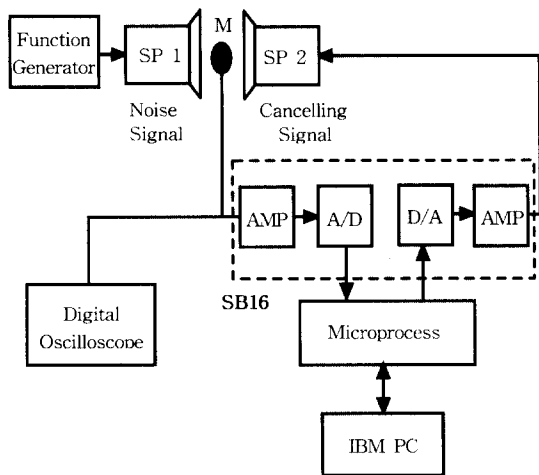


그림 6. 능동 소음기의 구성도
Fig. 6. Block diagram of active silencer.

아날로그 신호의 디지털 처리를 위한 A/D 컨버터를 거친 신호를 마이크로프로세서에서 히스테리시스 제어방식에 따라 제어신호를 발생시킨다. 이를 디지털 저역 통과 필터를 거치고 나서 D/A 변환한 뒤 상쇄원을 스피커로 출력한다. 그림에서 오실로스코프는 마이크로 폰으로 검출되는 소음의 감소 추이를 관찰하기 위한 것이다.

VI. 능동소음기 시뮬레이션

본 논문에서 적용된 히스테리시스 제어방식을 통한 능동소음기의 특성을 알아보기 위하여 시뮬레이션 하기위한 소프트웨어 패키지로 ACSL(Advanced Continuous Simulation Language)을 사용하였다. 저주파 소음을 대상으로 소음제어 특성을 살펴보기 위하여 500 [Hz] 이하의 저주파 소음에 대하여 시뮬레이션을 행하였고, 소음원과 마이크로폰 사이의 음향

경로이득과 상쇄원과 마이크로폰 사이의 경로이득은 좁은 공간이므로 "1"로 두었다. 또 스피커와 마이크로 폰의 비선형으로 인한 왜곡은 무시하고 이상적인 시스템으로 가정하여 사운드 블래스터와 마이크로프로세서 간의 지연시간을 무시하였다.

능동소음기의 궁극적인 목적은 소음원과 상쇄원이 합쳐진 합성음이 마이크로폰에서 검출될 때 '0'가 되어야 완전한 소음상쇄가 이루어진 것으로 볼 수 있으므로 히스테리시스 제어기법을 적용하는 경우 기준신호를 '0'으로 하고 이를 밴드폭으로 설정하고 그 자체를 오프셋(offset)으로 정의하여 들어오는 소음신호가 밴드폭 위에 존재할 때나 아래에 존재할 때 각각에 대해서 상쇄신호를 발생시켰다.

또 300 [Hz] 이상의 소음신호에서는 실제 실험에서 보면 그보다 저주파인 경우에 비해 상쇄효과가 떨어지는 점을 감안하여 소음신호외에 다른 노이즈 성분들을 포함시켰다. 그림 7~11에서는 (a)는 소음신호이며 (b)는 시간축 상에서 0.075초 후 능동 소음기가 동작하면서 상쇄음이 발생됨을 나타낸다. (c)는 마이크로폰에서 검출되는 잔류 오차음이며 소음기가 동작하면서 검출되는 신호가 감소하고 있음을 보이고 있다. 여기서 밴드는 오프셋(offset)자체의 절대값으로 정의한다.

그림 7은 100 [Hz] 정현파 소음에 대하여 각각 밴드폭 0.1일 때의 결과이고 그림 8은 200 [Hz] 정현파 소음에 대해 같은 0.1의 밴드폭일 때의 결과이다. 그림 9는 300 [Hz] 정현파 소음에 대해 밴드폭 0.1인 경우로써 100, 200 [Hz] 일때의 결과와 비교해 볼 때 같은 밴드폭인 0.1 인 경우에 비해 상쇄효과가 떨어짐을 볼 수 있다. 그림 10은 400 [Hz] 정현파 소음에 대해 밴드폭 0.3인 경우이며, 그림 11은 500 [Hz] 소음에 대해 밴드폭 0.4인 경우로 역시 상쇄효과가 위의 경우에 비해 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 위 모의실험의 결과로 알 수 있듯이 밴드폭이 작을 때에는 상쇄효과가 좋고 밴드폭이 커지면 상쇄효과가 작다는 사실과 주파수가 커질수록 상쇄효과가 작다는 사실을 알 수 있다. 이 문제는 주파수가 증가하면서 주기가 짧아지므로 시스템 내에서 그 처리 속도를 따라가지 못하기 때문에 상쇄효과가 떨어진다고 할 수 있다.

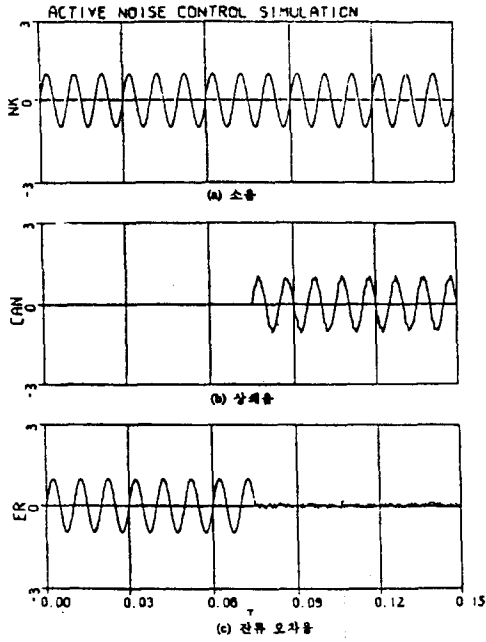


그림 7. 밴드폭: 0.1, 주파수: 100 [Hz] 일때의 상쇄 효과
 Fig. 7. Cancelling effect in case of band: 0.1, frequency: 100 [Hz]

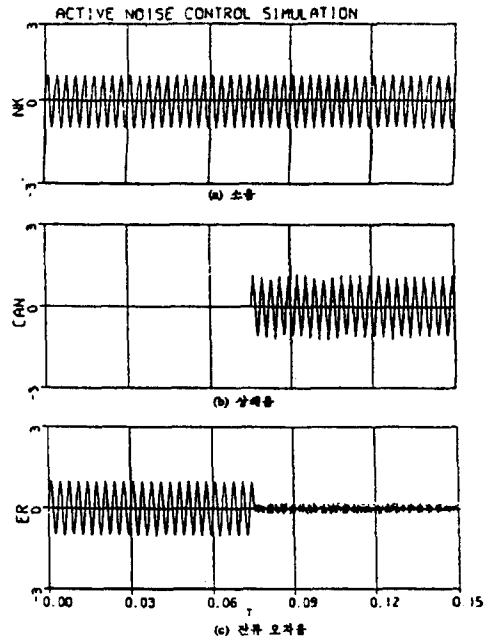


그림 9. 밴드폭: 0.1, 주파수: 300 [Hz] 일때의 상쇄 효과
 Fig. 9. Cancelling effect in case of band: 0.1, frequency: 300 [Hz].

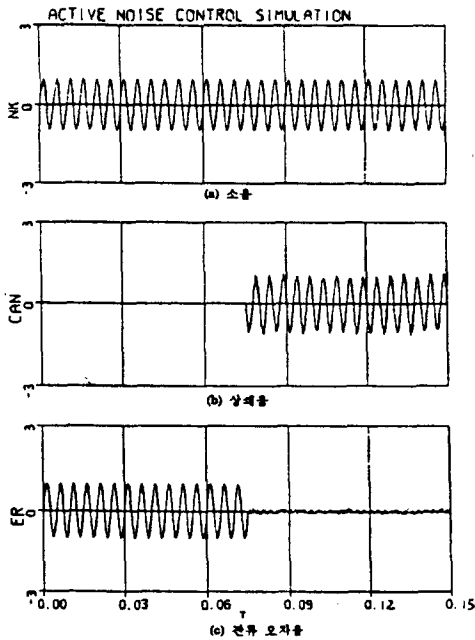


그림 8. 밴드폭: 0.1, 주파수: 200 [Hz] 일때의 상쇄 효과
 Fig. 8. Cancelling effect in case of band: 0.1, frequency: 200 [Hz].

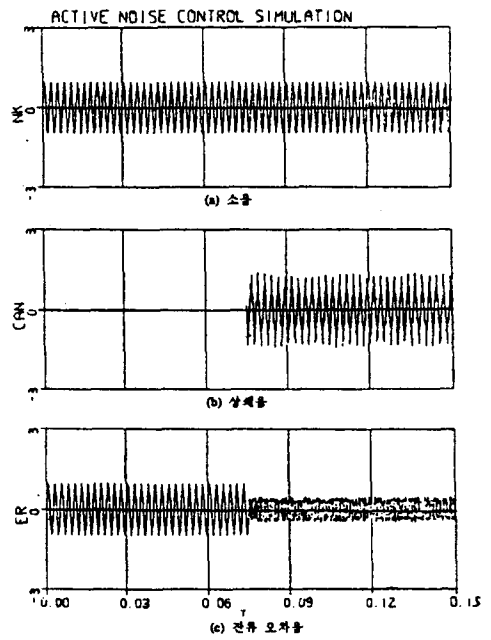


그림 10. 밴드폭: 0.3, 주파수: 400 [Hz] 일때의 상쇄 효과
 Fig. 10. Cancelling effect in case of band: 0.3, frequency: 400 [Hz].

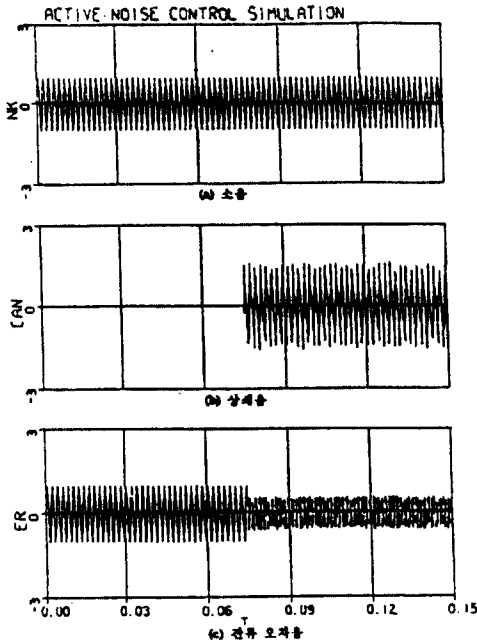


그림 11. 밴드폭: 0.4, 주파수: 500 [Hz] 일때의 상쇄효과
 Fig. 11. Cancelling effect in case of band: 0.4, frequency: 500 [Hz].

VII. 실험 및 고찰

본 논문에서 100 [Hz] ~500 [Hz] 사이의 정현파 소음에 대해 100 [Hz] 씩 주파수를 증가시키면서 실험하였다. 실험에 사용된 스피커는 임피던스 8 [Ω] 이며 최대출력 10 [W] 이다.

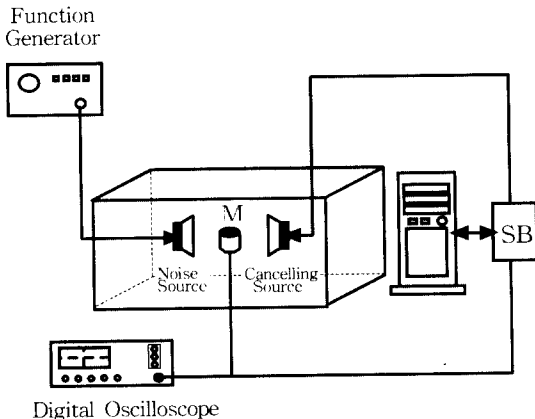
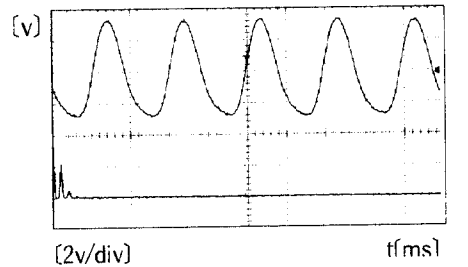


그림 12. 실험장치의 구성도
 Fig. 12. Block diagram of experimental apparatus.

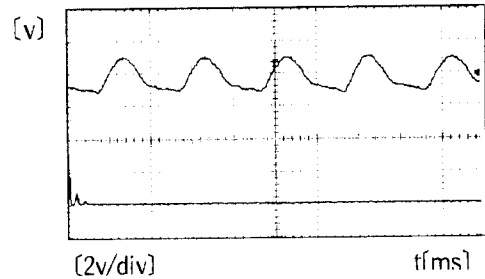
검출 마이크로폰은 무지향성 콘덴서 마이크로폰을 사용하였으며 소음원과 마이크로폰 사이의 거리는 10cm 이고 상쇄원과 마이크로폰 사이의 거리 또한 10cm로 구성된 간이 모의 실험장치의 구성도가 그림 12에 보여진다. 소음 발생원으로서 함수발생기를 사용하여 소음을 발생시켰고 사운드 블래스터에서 외부 음성 신호를 녹음할 때의 샘플링 레이트는 12 [kHz] 이다. 그러므로 샘플링 레이트는 12 [kHz] 가 된다.

그림 13~17은 정현파 소음을 대상으로 하여 상쇄효과를 나타낸 것으로 밴드폭은 2~10 %일 때 가장 좋은 저감 효과를 보였으며 각 밴드폭은 그림에서 설명되어있다.

사운드 블래스터에서는 8비트 쿼타이제션을 수행하므로 입력과 출력 신호의 크기는 '0'에서 '255'까지의 값을 가지는데 실험을 통해 나타난 결과 입력신호는 레퍼런스인 '128'을 기준으로 약 '30'에서 '50' 사이의 값을 가지므로 밴드폭은 1 ~ 5 사이의 값을 갖는다. 그림 13~17까지 각각의 경우 (a)는 능동 소음기를 작동하지 않을(off) 경우이며 (b)는 능동 소음기를 작동(on)시킨 후의 잔류오차음을 나타내고 있다.

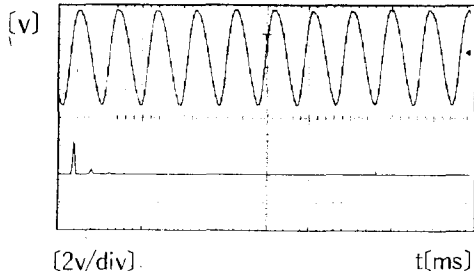


(a) 능동 소음기 off시

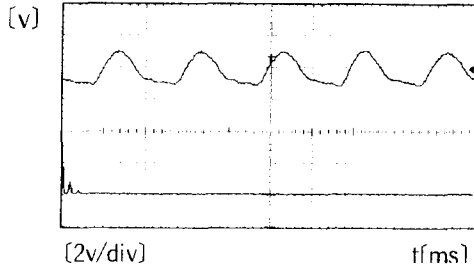


(b) 능동 소음기 on시

그림 13. 잔류 오차음과 FFT 결과 I
 (100[Hz] 정현파 소음, 밴드=2)
 Fig. 13. Error sound and FFT result I.
 (100[Hz] sinusoidal noise, Band=2)



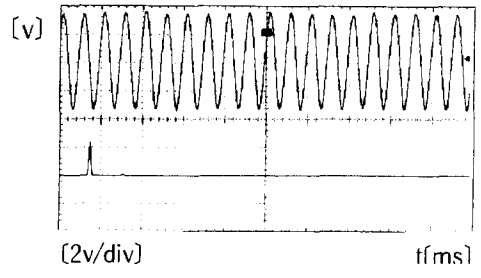
(a) 능동 소음기 off시



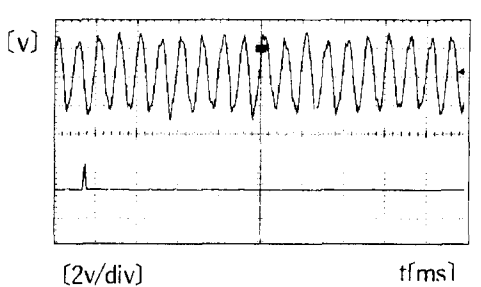
(b) 능동 소음기 on시

그림 14. 잔류 오차음과 FFT 결과 II
(200[Hz] 정현파 소음, 밴드=3)

Fig. 14. Error sound and FFT result II.
(200[Hz] sinusoidal noise, Band=3)



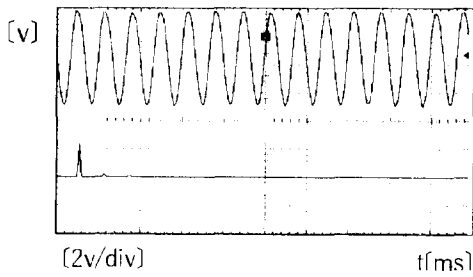
(a) 능동 소음기 off시



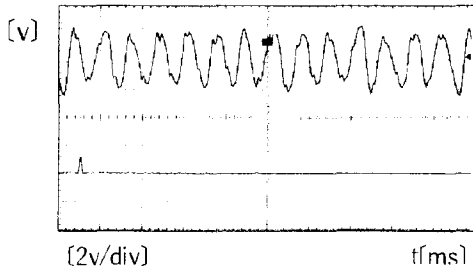
(b) 능동 소음기 on시

그림 16. 잔류 오차음과 FFT 결과 IV
(400[Hz] 정현파 소음, 밴드=1)

Fig. 16. Error sound and FFT result IV.
(400[Hz] sinusoidal noise, Band=1)



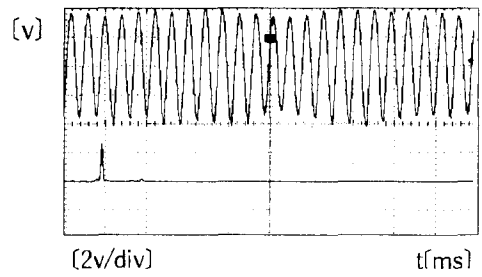
(a) 능동 소음기 off시



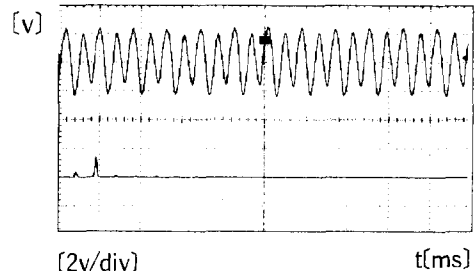
(b) 능동 소음기 on시

그림 15. 잔류 오차음과 FFT 결과 III
(300[Hz] 정현파 소음, 밴드=2)

Fig. 15. Error sound and FFT result III.
(300[Hz] sinusoidal noise, Band=2)



(a) 능동 소음기 off시



(b) 능동 소음기 on시

그림 17. 잔류 오차음과 FFT 결과 V
(500[Hz] 정현파 소음, 밴드=1)

Fig. 17. Error sound and FFT result V.
(500[Hz] sinusoidal noise, Band=1)

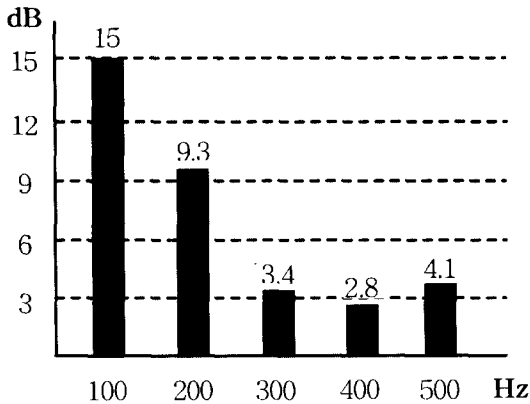


그림 18. 주파수대별 상쇄 효과

Fig. 18. Cancelling effects for each frequency.

100 [Hz]인 정현파 소음원인 경우 상쇄효과는 15 [dB]에 달했으며 200 [Hz] 소음인 경우는 9.3 [dB]의 소음 저감효과를 보였다. 300 [Hz] ~ 500 [Hz] 사이의 소음에서는 3dB ~ 5dB의 저감 효과를 보여 주었으며 그림 19는 각 경우에 대한 소음 저감의 크기를 그래프로 나타내었다.

위 결과에서 알수 있듯이 실제 실험결과는 시뮬레이션한 결과보다는 소음 저감효과가 많이 떨어진다. 그 이유는 시뮬레이션은 2 차원공간에서 가장 이상적인 조건하에서 소음 저감효과를 보여준 것이고 실제 실험은 3 차원 공간에서 소음원이 실제 공간내로 퍼져나갔을때 소음 저감효과를 보여준 결과이다.

VIII. 결 론

본 논문에서는 능동적인 소음제어를 위하여 히스테리시스 제어방식에 의한 소음 저감의 효과를 검토하였다. 아울러 모의 소음원을 사용하여 실험하였고 그 결과를 제시하였다.

주파수가 100 [Hz] ~ 200 [Hz] 부근의 소음에서는 9dB ~ 15dB 정도의 비교적 큰 소음감쇄 효과가 있었고, 소음의 주파수가 비교적 높은 곳에서는 그 성능이 상대적으로 낮아짐을 보였다. 보다 광대역의 주파수 성분을 포함한 실제 소음원에의 적용을 위해서는 비선형적인 특성을 가지고 있는 마이크와 스피커의 특성 해석이 이루어져야 한다. 또한 원하는 특성을 갖는 마이크와 스피커의 개발과 아울러 제어 알고리즘의 개선이 이루어져야 할 것이다.

※ 본 연구는 호서대학교 공업기술연구소의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] O. Tokhi, R.R. Leitch "Active Noise Control", Oxford : Clarendon Press, 1992.
- [2] P.A. Nelson, S.J. Elliott, "Active Control of Sound", Academic Press, 1992.
- [3] R.R. Leitch, O. Tokhi "Active Noise Control System", IEE Proceedings, Vol. 134, Pt.A No.6, JUNE 1987.
- [4] Satoshi Kodama, Osamu Ichinokura, Toshmasa Jinzenji "Audible Noise Function and index for PWM AC Drives" IPEC-Yokohama' 95. pp212-216
- [5] Joachim Holtz, "Pulsewidth Modulation-A Survey", IEEE PESC, 1993. pp10-18
- [6] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer "Discrete-Time Signal Processing", Prentice Hall, 1989.
- [7] 김종수 "IBM PC로 창조하는 음악의 세계", 한슬 기획 pp.305-326, 1995.

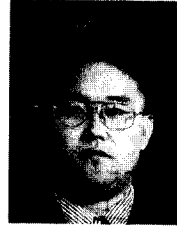
저 자 소 개



姜廷柟(正會員)

1970년 7월 12일생. 1994년 2월
홍익대학교 전자공학과 졸업(공학
사). 1996년 8월 호서대학교 대학
원 전자공학과 졸업(공학사). 1996
년 9월 현재 대우전자(주) 반도체

사업부 마이콤팀 연구원. 주관심
분야는 컴퓨터 응용, 반도체 기술, 전력전자



閔煥植(正會員)

1971년 6월 6일생. 1996년 2월 호
서대학교 전자공학과 졸업(공학사).
1996년 3월 ~ 현재 호서대학교
대학원 전자공학과 재학중. 주관심
분야는 컴퓨터응용, 멀티미디어



黃熙隆(正會員)

1934년 3월 3일생. 1956년 4월 ~
1960년 3월 서울대학교 공과대학
전기공학과 졸업(공학사). 1961년
4월 ~ 1964년 2월 서울대학교 대
학원 전기공학과 졸업(공학사).

1971년 4월 ~ 1974년 3월 서울대
학교 대학원 박사과정 졸업(공학박사). 1983년 4월 서
울대학교 교수. 1983년 12월 ~ 1984년 12월 미국
Florida F.I.T 객원교수. 1993년 3월 ~ 현재 호서대
학교 교수. 1993년 11월 ~ 현재 서울대학교 명예교
수. 주관심분야는 컴퓨터 응용, 멀티미디어



張都鉉(正會員)

1956년 8월 24일생. 1980년 한양
대 공대 전기공학과 졸업. 1982년
서울대 대학원 전기공학과 졸업(석
사). 1989년 동 대학원 전기공학과
졸업(공학박). 1993년 ~ 1994년 미
국 Texas A&M Univ. 전기공학

과 객원교수 현재 호서대 공대 전기공학과 부교수