

능동소음제어를 위한 히스테리시스 제어의 DSP 구현

이승요* 성덕만* 최규하* 강정유** 황희용** 장도현***
 전국대학교 전기공학과* 호서대학교 전자공학과** 전기공학과***

DSP Implementation of Hysteresis Control for Active Noise Control

S.Y. Lee*, D.M. Sung*, G.H. Choe* J.Y. Kang**, H.Y. Hwang**, D.H. Jang***
 Dept. of Electrical Eng. Kon-Kuk University*
 Dept. of Electronic Eng. Ho-Seo University** Dept. of Electrical Eng.***

Abstract

This paper presents active silencer by hysteresis control method using DSP-scheme and shows its audible noise reduction effect. Pentium processor and sound blaster 16 are used for its implementation. The sound blaster 16 executes A/D, D/A conversion and is used operating source of loudspeaker for cancelling.

1. 서론

원하지 않는 소음을 저감시키는 방법에는 수동적인 방법과 능동적인 방법이 있다. 수동적인 방법은 봉합, 장벽, 흡음재 등을 사용, 소음을 차폐, 흡수하여 감소시키는 방식이다. 소음의 주파수가 500[Hz]가 넘는 경우 소음 저감 효과가 있으나, 그 이하의 저주파 소음인 경우에는 음파의 파장이 길어지기 때문에 그 실효를 거두기가 어렵다. 이런 저주파대의 소음을 저감시키기 위한 효율적인 방법의 하나로 능동소음기(Active Silencer)가 제안되었다. 능동소음제어는 음의 간섭현상을 이용하여 소음신호와 위상에서 180° 차이가 나고 진폭이 같은 2차음원을 발생시켜 소음원의 음파와 파피 간섭을 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 제어방식을 DSP(Digital Signal Processing)를 이용하여 구현하고 이를 능동소음제어에 적용하였다. 이를 위해 Pentium processor와 A/D, D/A Converter를 장착한 Sound Blaster 16을 사용하였다.

2. 소음제어 알고리즘

2.1 히스테리시스 제어 알고리즘

본 논문에서 제안하는 능동소음기의 제어 블록 다이어그램은 그림1에서 제시되어 있다.

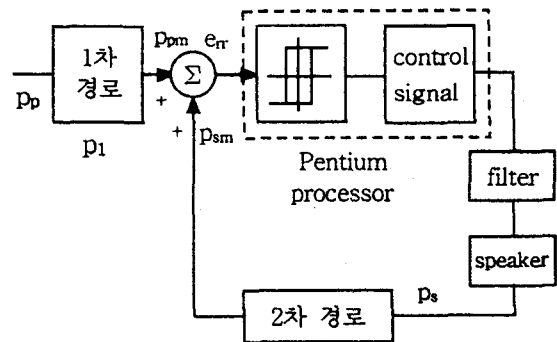


그림1 히스테리시스 제어 블록선도

Fig.1 Block diagram of hysteresis control

그림에서 공간상의 1차경로를 거친 소음의 검출된 신호를 P_{pm} 이라 하고, 2차 경로를 거친

상쇄신호를 P_{sm} 이라 하면 잔류오차음은 e_n 로 표시된다. 제어기가 동작되지 않고 있을 때 잔류오차음은 소음 그 자체의 신호이며 제어기가 온(on) 되면서 상쇄신호가 만들어지기 시작한다. 기본적으로 히스테리시스 제어기법은 기준신호를 기준으로 일정한 밴드(히스테리시스폭)를 설정하고 오차신호가 정해진 밴드를 초과할 경우 그 오차를 감소시키는 방향으로 제어신호를 바꾸어 주게 된다[4]. 그림2는 본 논문에서 적용된 히스테리시스 제어 알고리즘을 보여주고 있다.

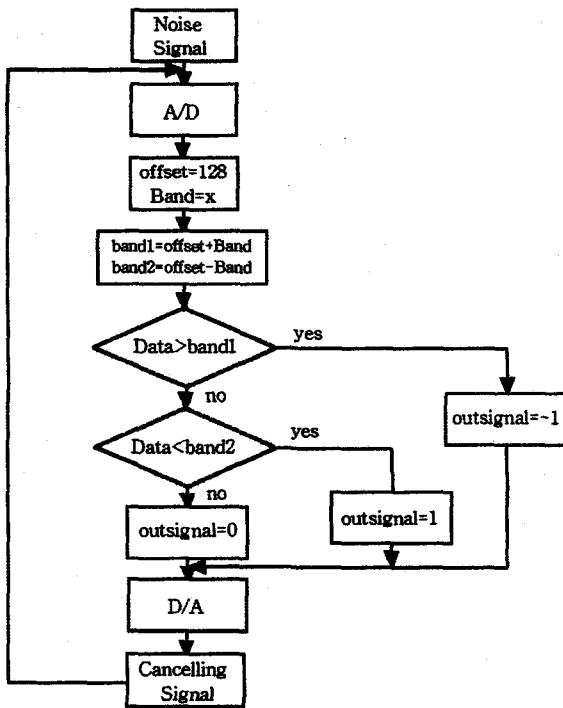


그림 2 히스테리시스 제어 알고리즘
Fig.2 Hysteresis control algorithm

잔류소음이 주어진 히스테리시스 밴드폭 내에 존재하도록 제어하여야 하며 궁극적으로 '0'이 되기를 바라므로 기준신호를 '0'이 되도록 하였다. 이때 sound blaster 16에서는 8비트 켄타이제이션(quantization)을 수행하므로 '0'에서 '255'까지의 값을 가지는데 여기서 이 기준신호인 '0'이 sound blaster 16의 '128'에 해당되므로 프로그램에서의 기준신호는 '128'이 된다. 본 논문

에서는 밴드를 sound blaster 16의 켄타이제이션 레벨(quantization level)에 맞추어 프로그램 내에서 지정하도록 했고, 소음신호와 상쇄신호의 합인 잔류소음을 제어하여 이 신호가 밴드를 벗어나는 순간 잔류오차음이 증가되지 못하는 방향으로 제어신호가 만들어지도록 하였다.

2.2 음압 크기 조정 및 출력신호의 필터링

원하는 소음저감의 효과를 얻기 위해서는 소음신호와 같은 크기를 가진 역위상의 음파를 발생시켜 주어야 하는데, 이를 위해서 본 논문에서는 처음 입력되는 신호의 일정 구간에 대한 신호들의 평균값을 구하여 출력신호의 크기를 결정하는 팩터로 사용하였다.

입력되는 소음신호를 N_k 라 하고 초기 신호를 받아 들이는 구간을 Interval, 그 총합을 T, 평균값을 Av라 하면

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

$$Av = T / Interval \quad (2)$$

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

으로 표시된다. 여기서 Sound Blaster를 사용하는 경우 기준신호 '0'이 '128'로 나타내지므로 최종적인 신호의 평균값은 다음과 같다.

$$Average = Av + offset \quad (offset=128) \quad (3)$$

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

$$Outsignal = Av \cdot Controlsignal + offset \quad (4)$$

($Control\ signal = \pm 1$)

출력 신호는 식(4)에서와 같이 구형파 펄스형 태가 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 저역통과 필터이며 다음 식과 같은 2차 IIR필터를 사용하였다[5].

$$\begin{aligned}
 Out(n) = & a_0 Out\ signal(n) \\
 & + a_1 Out\ signal(n-1) + a_2 Out\ signal(n-2) \\
 & - b_1 Out(n-1) - b_2 Out(n-2) \quad (5)
 \end{aligned}$$

여기서 $Out(n)$ 은 필터링된 출력신호이다. 500[Hz]의 cutoff frequency를 얻기위한 필터의 계수는 다음과 같다.

- $a_0 : 1.5476 \times 10^{-2}$
- $a_1 : 3.0952 \times 10^{-2}$
- $a_2 : 1.5476 \times 10^{-2}$
- $b_1 : -1.6185$
- $b_2 : 6.8045 \times 10^{-1}$

2.3 Sound Blaster 16의 제어

Sound Blaster 16에는 ADC(Analog-Digital Converter)와 DAC(Digital-Analog Converter)를 비롯하여 신호 처리를 위한 Processor를 탑재하고 있다. Sound Blaster에서의 음성 처리를 위한 모드에는 ctvoice.driv를 이용한 모드와 DMA 전송 모드, 직접 전송 모드, ADPCM 전송 모드 등이 있으며 직접 전송 모드 이외의 ctvoice.driv를 이용한 모드나 DMA 전송 모드

등에서는 파일을 한번에 불러와서 처리하기 때문에 동시 입출력이 불가능하므로 본 논문에서 사용된 소음 신호의 동시 입출력 처리를 위해서 직접 전송 모드를 사용하였다. ADC 전송 모드는 외부 입력을 디지털화하여 지정한 메모리에 기록하는 모드로, 이 경우는 직접 전송 모드로 사용자가 일정한 주기마다 샘플링 레이트를 전송해 주어야 한다. 또 마이크로프로세서와 상호간에 인터럽트의 교류를 정확히 지정해 주어야 하며 Sound Blaster 16과 Pentium 마이크로프로세서의 제어를 위해 하드웨어 제어에 강력한 기능을 가지고 있는 C 언어를 사용하였다[6].

3. 시스템 구성

그림 3은 제안한 능동소음기의 전체 시스템 구성도이다. 가정소음을 마이크로 검출하여 제어기를 통해 상쇄음을 발생시키는 구조를 갖고 있으며 스피커 구동원으로서 sound blaster 16이 사용되었다.

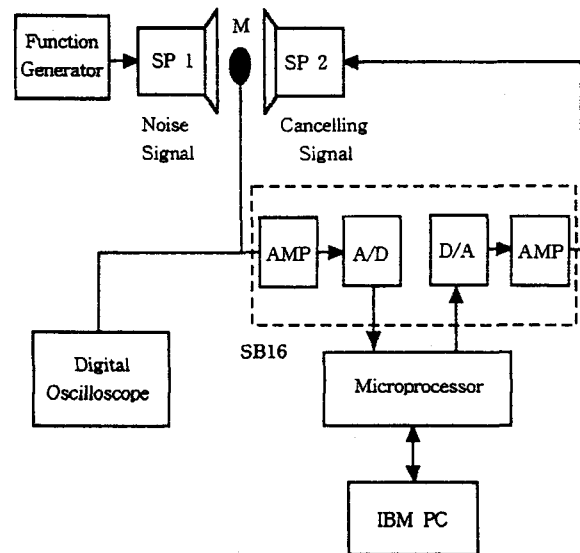


그림 3 능동 소음기의 구성도
Fig.3 Block diagram of active silencer

아날로그 신호의 디지털 처리를 위한 A/D 컨버터를 거친 신호를 마이크로프로세서에서 히스테리시스 제어방식에 따라 제어신호를 발생

시킨다. 이를 디지털 로우패스필터를 거치고 나서 D/A 변환한 뒤 상쇄원 스피커로 출력한다. 그림의 오실로스코프는 마이크로 검출되는 소음의 감소추이를 관찰하기 위한 것이다.

4. 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. 검출 마이크로폰은 무지향성 콘덴서 마이크로폰을 사용하였으며 그림 4에 보여진 바와 같이 간이 실험장치를 구성하였다. 소음 발생원으로서 합수 발생기를 사용하여 소음을 발생시켰다.

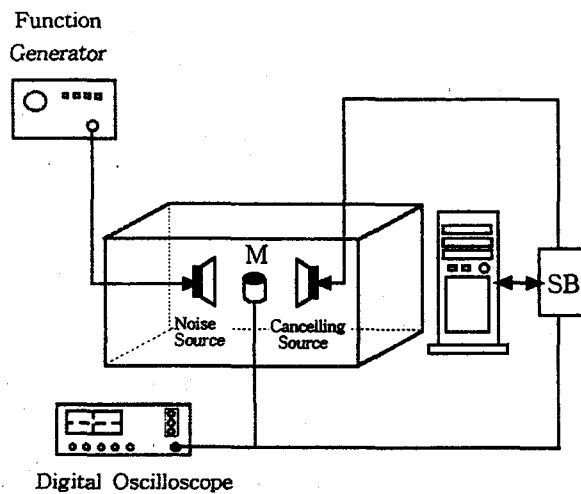
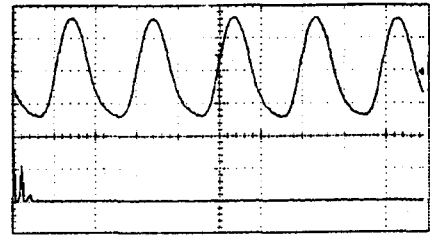


그림 4 실험장치의 구성도

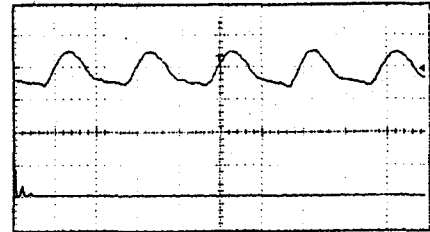
Fig.4 Block diagram of experimental apparatus

그림 5~9는 각 주파수에 대한 실험결과를 보여주고 있다. 각각의 경우 (a)는 소음기를 off시킨 경우이며 (b)는 소음기를 on시킨 후의 잔류 오차음을 나타내고 있다.

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 저감효과를 보여 주었으며 그림 10은 각 경우에 대한 소음저감의 정도를 그래프로 나타내었다.



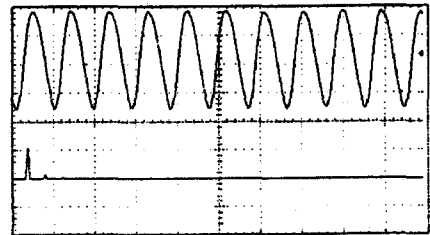
(a) 소음기 off시



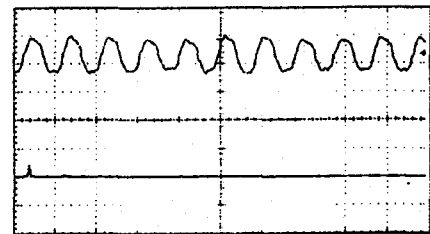
(b) 소음기 on시

그림 5 잔류 오차음과 FFT 결과 I
(100[Hz] 정현파 소음)

Fig.5 Error sound and FFT result I
(100[Hz] sinusoidal noise)



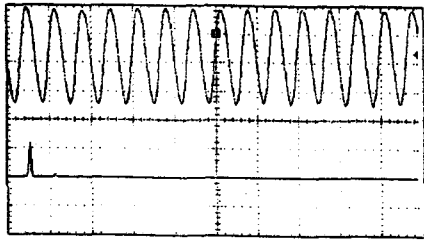
(a) 소음기 off시



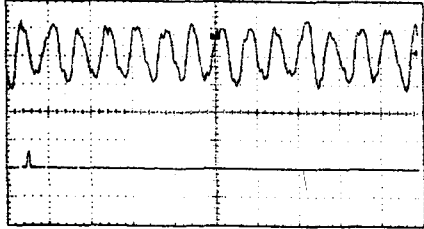
(b) 소음기 on시

그림 6 잔류 오차음과 FFT 결과 II
(200[Hz] 정현파 소음)

Fig.6 Error sound and FFT result II
(200[Hz] sinusoidal noise)



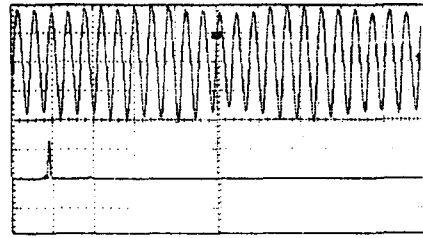
(a) 소음기 off시



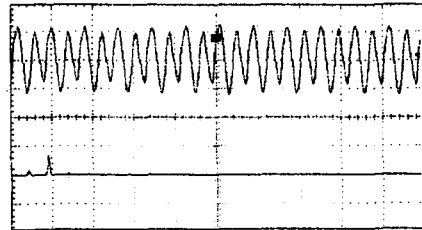
(b) 소음기 on시

그림 7 잔류 오차음과 FFT 결과 III
(300[Hz] 정현파 소음)

Fig.7 Error sound and FFT result III
(300[Hz] sinusoidal noise)



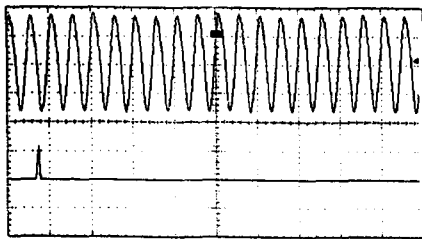
(a) 소음기 off시



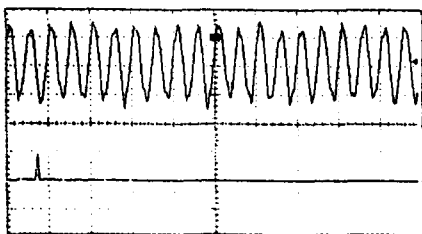
(b) 소음기 on시

그림 9 잔류 오차음과 FFT 결과 V
(500[Hz] 정현파 소음)

Fig.9 Error sound and FFT result V
(500[Hz] sinusoidal noise)



(a) 소음기 off시



(b) 소음기 on시

그림 8 잔류 오차음과 FFT 결과 IV
(400[Hz] 정현파 소음)

Fig.8 Error sound and FFT result IV
(400[Hz] sinusoidal noise)

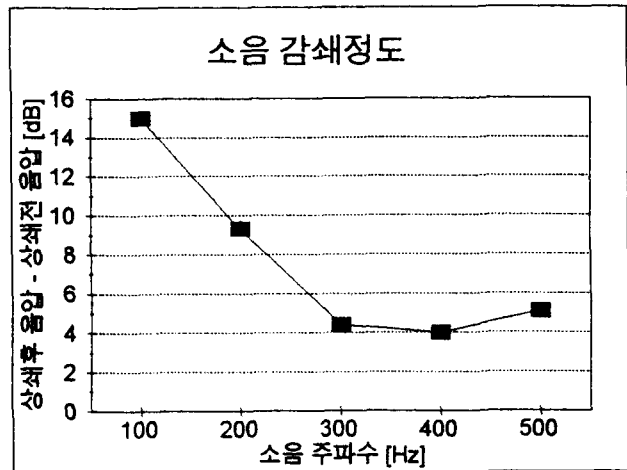


그림 10 주파수대별 상쇄 효과

Fig.10 Cancelling effects for each frequency

5. 결론

본 논문에서는 능동적인 소음제어를 위하여 DSP를 이용한 능동소음기를 구성하고 히스테리시스 제어방식에 의한 소음 저감의 효과를 검토하였다. 아울러 모의 소음원을 사용하여 실

힘하였고 그 결과를 제시하였다.

참 고 문 헌

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 특성해석이 이루어져야 하고, 바라는 특성을 갖는 마이크와 스피커의 개발과 아울러 제어 알고리즘의 개선이 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 한국과학재단 1994년도 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

- [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] Satoshi Kodama, Osamu Ichinokura, Toshmasa Jinzenji "Audible Noise Function and index for PWM AC Drives" IPEC-Yokohama' 95. pp212-216
- [4] Joachim Holtz, "Pulsewidth Modulation-A Survey", IEEE PESC, 1993. pp10-18
- [5] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer "Discrete-Time Signal Processing", Prentice Hall, 1989.
- [6] 김종수 "IBM PC로 창조하는 음악의 세계", 한솔기획 pp.305-326, 1995.