

히스테리시스 제어 방식을 이용한 능동 소음 제어기의 소음저감 특성에 관한 연구

論 文
2~2~5

A Study on Noise Reduction Characteristics of Active Noise Controller Using Hysteresis Control Method

李承約, 金洪聖, 崔圭夏

(Seung-Yo Lee, Hong-Sung Kim, Gyu-Ha Choe)

요약 - 히스테리시스 제어방식은 전력변환장치나 모터 구동시스템의 전류제어를 위하여 흔히 사용된다. 이 제어방식은 에러 신호가 미리 설정된 밴드폭을 초과하려고 하는 순간마다 제어신호를 바꿔줌으로써 측정된 신호가 기준신호를 추종하도록 하는데, 본 논문에서는 이와같은 빠른 응답특성을 갖는 히스테리 제어방식을 가정소음을 억제하기 위한 능동 소음제어에 적용하였다. 펜티엄 프로세서와 사운드블러스터 16이 소음 제어 실험을 위하여 사용되었으며, 사운드블러스터 16은 아날로그/디지털 또는 디지털/아날로그 변환을 수행할 뿐만 아니라 가정 소음 저감을 위한 상쇄원 스피커의 구동원으로 사용된다.

Abstract - The hysteresis control method has been frequently used for current control of power conversion equipments or motor drive systems. This method makes the measured signal follow the reference signal by changing the control signal whenever the error signal exceeds the preset band width. In this paper, hysteresis control method with fast response characteristics is applied for active noise control to suppress acoustic noise. Both pentium processor and sound blaster 16 are used for experimental implementation, which executes A/D, D/A conversion and also is used as operating source of loudspeaker for audible noise cancellation.

Key Words : active silencer, active noise control, hysteresis control method

I. 서론

소음공해는 사회가 발달함에 따라 더욱 심각한 문제로 대두되고 있는데 이와 같은 소음 문제를 해결하기 위한 방법은 아직까지 주로 차폐, 흡음 등을 통한 수동 소음 제어 방식에 의존되고 있다. 그러나 수동 소음 제어 방식은 소음원의 주파수가 저주파수인 경우(보통 500[Hz]이하) 그 소음파의 음장이 길어지기 때문에 소음을 저감시키는 문제에 있어서 그 효과가 떨어지게 된다[1,2]. 즉, 저주파 소음원에 대하여 차폐재 또는 흡음재를 사용하는 경우, 이들의 부피 및 무게가 증가하게 되므로 체적이 제한되고 쾌적한 환경이 요구되는 경우의 소음저감 방법으로는 적절치 못하게 된다. 아울러 이러한 장비들을 유지, 보수하는데 많은 경비가 요구된다.

이에 대한 대응 방안으로서의 능동 소음 제어 방식은 음파의 간섭원리를 이용한 것으로, 이상적으로 소음원과 위상이 180도 차이가 나고 진폭이 같은 2차음원을 발생시켜 소음원의 음파와 파파 간섭을 일으킴으로써 소음을 저감시키는 방법이다. 이는 회전기, 변압기, 엔진소음과 같은 저주파 소음을 감쇄시키는데 수동적인 방법보다 효과적이며, 최

근 능동 소음 제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1~5].

본 논문에서는 이와같은 저주파 소음원의 소음저감에 초점을 맞추어 반도체 전력 변환 장치나 모터 구동시 전류 제어 기법으로 흔히 사용되는 히스테리시스 제어 방식을 능동 소음 제어 기법으로 적용하였다. 히스테리시스 제어 방식은 전류 에러가 설정된 상하위 밴드폭을 초과 하려고 하는 순간마다 제어신호의 상태를 바꾸어 줌으로써 측정된 전류가 기준 전류를 추종하도록 하는 방식이며 이는 실제로 구현하기가 쉽고 빠른 응답을 갖는 특징을 가진다[6].

본 논문에서는 이와 같은 특성을 갖는 히스테리시스 제어 방식을 인버터와 같은 전력회로 구동에의 적용대신에, 마이크로프로세서로써 소음 신호를 처리하여 상쇄음 신호를 발생시키기 위한 알고리즘으로 적용한다. 사용된 프로세서는 펜티엄 프로세서이며 신호의 입출력을 위하여 사운드 블러스터(sound blaster) 16을 사용하였는데 이는 아날로그/디지털 (A/D) 또는 디지털/아날로그 (D/A) 변환을 수행하며 상쇄원으로 사용되는 스피커를 구동시키는 구동원으로 사용된다. 본 논문에서는 저주파 소음 영역의 모의 소음원을 대상으로 제안한 제어 방식의 소음 저감 특성을

분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

II. 능동 소음 제어 원리

2.1 히스테리시스 제어 알고리즘

본 논문에서 제안하는 히스테리시스 제어 방식에 의한 능동 소음 제어기의 제어 블록 선도를 그림 1에 나타 내었다. 그림 1에서와 같이 공간상에 존재하는 소음원(p_p)의 1차경로 후 검출신호를 p_{pm} 이라 하고, 2차경로를 거친 상쇄신호를 p_{sm} 이라 하면 잔류오차음은 e_{rr} 로 표시할 수 있다. 소음 제어기가 동작되지 않고 있는 경우 잔류 오차음은 소음 그 자체의 신호이며 제어기가 온(on) 되면서 소음 제어기의 동작에 따라 상쇄신호가 만들어지기 시작한다. 기본적으로 히스테리시스 제어 기법은 기준신호를 기준으로 일정한 밴드를 설정하고 오차신호가 정해진 밴드를 초과할 경우 그 오차를 감소시키는 방향으로 제어신호를 바꾸어 주게 된다. 따라서 소음을 제어하는 경우 이상적으로 소음이 '0'으로 되어야 하므로 기준신호는 '0'이 되어야 하고 이를 기준으로 상하위 밴드폭을 결정하게 된다. 사운드 블러스터 16을 사용하는 경우 사운드 블러스터 16은 8비트 쿼타이제이션(quantization)을 수행하므로 '0'에서 '255'까지의 값을 갖고 여기서 기준신호인 '0'은 사운드 블러스터 16의 '128'에 해당하는 값이된다. 따라서 본 논문에서는 밴드를 사운드 블러스터 16의 쿼타이제이션 레벨(quantization level)에 맞추어 프로그램 내에서 지정하도록 하였고, 소음신호와 상쇄신호의 합인 잔류 소음을 제어하여 이 신호가 상하위 밴드를 벗어나려고 하는 순간마다 제어신호를 바꾸어 주도록 하였다. 그림2는 본 논문에서 적용된 히스테리시스 제어 방식의 소음 제어 알고리즘을 보여 준다.

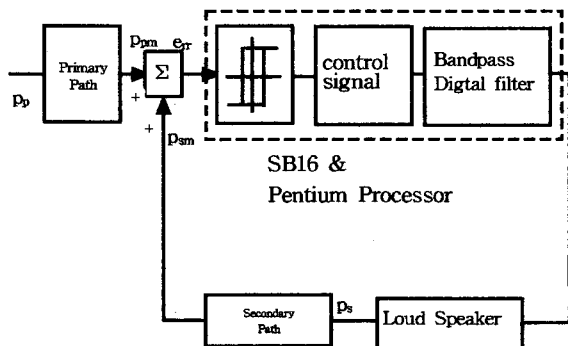


그림 1. 소음제어를 위한 히스테리시스 제어의 블록선도
Fig.1 Block diagram of hysteresis control for noise control.

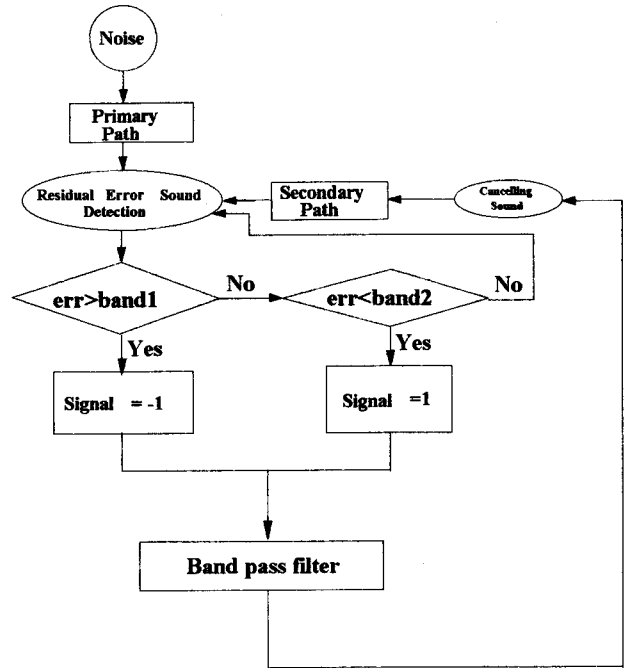


그림 2 히스테리시스 제어 알고리즘
Fig.2 Hysteresis control algorithm.

2.2 음압 크기 조정 및 제어 신호의 필터링

원하는 소음저감의 효과를 얻기 위해서는 소음신호와 같은 크기를 가진 역위상의 음파를 발생시켜 주어야 하는데, 이를 위해서 음향 증폭기의 볼륨을 조정하여 소음 신호와 같은 크기가 되도록 상쇄음의 크기를 조절 해주는 방법을 생각할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 이러한 수동적인 방식을 사용하지 않기 위하여 초기 입력되는 신호의 일정 구간에 대한 신호들의 실효치를 구하여 출력신호의 크기를 결정하는 인자로 사용하도록 하였다. 입력되는 소음신호를 p_k 라 하고 초기 신호를 받아 들이는 구간을 T, 그 실효치를 P라 하면

$$P = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{k=1}^T p_k^2} \quad (1)$$

와 같다. 따라서 히스테리시스 제어기의 제어 출력(+1 또는 -1)에 따른 펄스폭 변조 신호 V_{pum} 은

$$V_{pum} = P \cdot consig \quad (consig = \pm 1) \quad (2)$$

와 같다. 이는 구형파 펄스 형태의 전압 신호이므로 스피커를 구동하기 위한 전압신호로 바꾸어 주기 위해서는 필터링을 수반해야 한다. 본 연구에서는 소음에 관한 정보를

미리 파악하여 소음 주파수를 사전에 알고 있다는 가정을 두고 소음 주파수에 따른 대역통과 필터를 설계하였으며, 이에 대한 필터 출력 신호를 상쇄원 스피커의 입력 전압신호로 사용하게 된다. 설계된 필터는 버터워스(butterworth) 대역통과 필터이며 다음과 같은 구조를 갖는 2차 IIR 필터이다.

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

여기서 $V_{sp}(n)$ 는 필터링된 출력 신호이며 $V_{pum}(n)$ 은 현재의 필터 입력이다. 샘플링 주파수를 10[kHz]로 했을 때 100[Hz]의 중심 주파수를 갖고 대역폭 10[Hz]인 대역통과 필터를 예로 들면 그때의 필터 계수는 다음과 같이 얻어진다.

$$a_0 : 3.131764229192702 \times 10^{-3}$$

$$a_1 : 0.$$

$$a_2 : -3.13176422919259 \times 10^{-3}$$

$$b_1 : -1.989812107361893$$

$$b_2 : 9.937364715416144 \times 10^{-1}$$

여기서 a_0, a_1, a_2 는 현재 및 과거의 입력에 대한 필터의 계수들이며 b_1, b_2 는 과거의 출력에 대한 필터의 계수들을 의미한다. 본 논문에서는 필터의 계수를 매트랩(matlab)에서 지원하는 함수를 사용하여 구하였다.

III. 시스템 구성

3.1 시스템 구성

그림 3은 제안한 능동 소음 제어기의 전체 시스템 구성도를 보여주고 있다. 소음원과 상쇄원의 신호가 더해지는 꼴로 되어 사운드 블러스터의 A/D를 통하여 능동 소음 제어기에 입력되며 히스테리시스 제어기와 IIR 대역통과 필터 기능을 펜티엄 프로세서가 수행하게 된다. 아울러 D/A변환을 통한 사운드 블러스터 출력을 이용하여 상쇄원 스피커를 구동시키게 된다.

3.2 사운드 블러스터 16의 제어

사운드 블러스터에서의 음성 처리를 위한 모드에는 ctvoice.drv(pc에서 음악 파일이나 midi 파일을 드라이브 하도록 해주는 파일로서 데이터를 파일 단위로 처리함)를

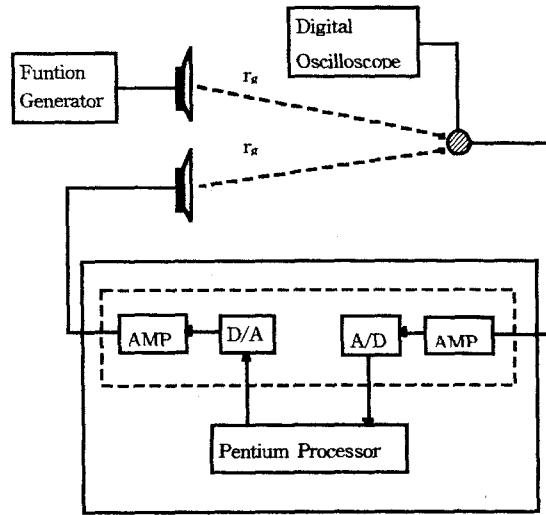


그림 3. 능동 소음 제어기의 전체적인 구성도
Fig.3 Overall block diagram of active noise controller.

이용한 모드와 DMA(direct memory access)전송 모드, ADPCM(adaptive differential pulse code modulation)전송 모드, 직접 전송 모드 등이 있는데 직접 전송 모드 이외의 ctvoice.drv를 이용한 모드나 DMA 전송 모드 등에서는 파일을 한번에 일괄적으로 불러와서 처리하기 때문에 동시 입출력이 불가능하므로 본 논문에서는 소음 신호의 동시 입출력 처리를 위해 직접 전송 모드를 사용하였다. 또한 사운드 블러스터의 정확한 제어를 위해서는 마이크로프로세서와의 상호 인터럽트의 교류를 정확히 지정해 주어야 하는데 사운드 블러스터 16과 펜티엄 마이크로프로세서에서 이와같은 동작이 상호 원활히 수행되도록 하기 위하여 하드웨어 제어에 강력한 기능을 갖고 있는 C 언어를 사용하여 프로그래밍하였다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션

제안된 히스테리시스 제어기에 의한 능동 소음 제어 시스템의 성능을 해석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 전용 언어인 ACSL을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3에서와 같이 소음원과 상쇄원 스피커가 모두 검출마이크로폰으로 부터 같은 거리에 위치해 있는 것으로 가정하였고 이때의 거리를 각각 $r_g=1.5[m]$ 로 두었으며, 소음원은 100[Hz] 단일 주파수의 정현파 소음원과 100[Hz], 300[Hz] 두 주파수 성분이 합성된 신호를 대상으로하여 시뮬레이션 결과를 제시하였다.

그림 4는 정현파 100[Hz]인 소음원에 대한 소음제어 결과로 소음신호의 최대값이 1.5[V]인 경우이다. 이때 히스테리시스 밴드폭을 소음신호의 30[%]로 설정하였으며, 능동 소음 제어기를 온(on) 시킨 시간은 시간 축으로 0.7초인 순

간으로 이 순간부터 소음의 크기가 밴드폭으로 제한되었음을 확인할 수 있다. 그림 5는 100[Hz]와 300[Hz] 두 주파수 성분이 합성된 소음 신호에 대하여 소음 제어를 수행한 결과로서 조건은 100[Hz] 단일 소음원의 경우와 같으며 그림 6은 그림 5에 대한 시뮬레이션 결과를 부분적으로 분석한 파형들을 나타내고 있다. 그림 6의 (a)는 100[Hz]와 300[Hz]로 합성된 복합 주파수의 소음 신호이며 그림 (b)는 펄스폭 변조된 제어신호를 300[Hz] 대역통과 필터링을 수행한 결과이고 그림 (c)는 제어신호를 100[Hz] 대역통과 필터로 필터링한 신호이다. 그림 (d)는 두 개의 필터링된 출력들을 다시 합성한 것으로 상쇄 신호가 된다. 그림 (e)는 상쇄후 잔류 소음을 나타내고 있다.

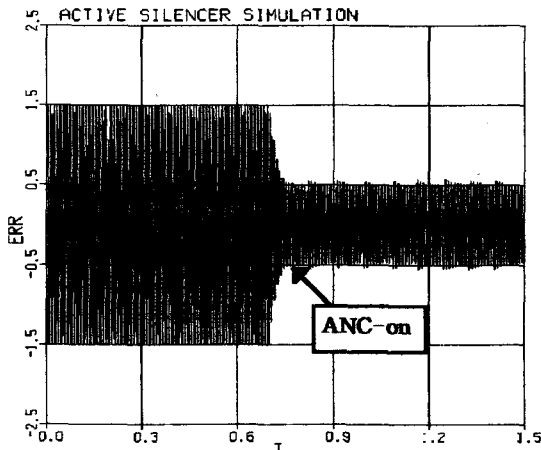


그림 4. 정현파 100[Hz] 소음에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation result for 100[Hz] sinusoidal noise.

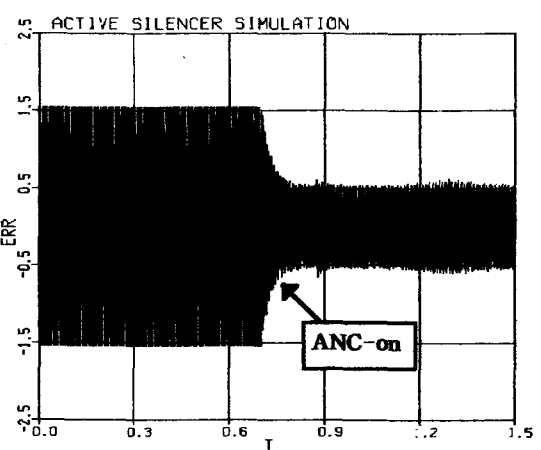


그림 5. 100[Hz]와 300[Hz] 합성 주파수를 갖는 소음원에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result for 100[Hz] and 300[Hz] compound sinusoidal noise.

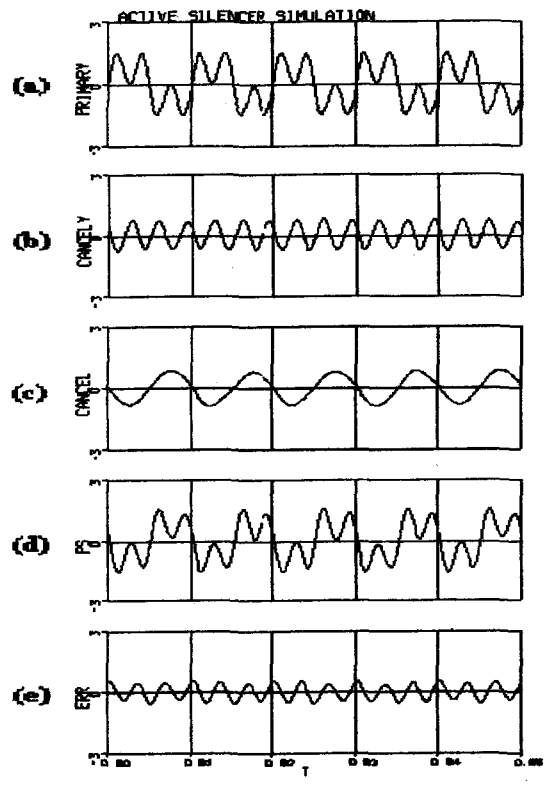


그림 6. 100[Hz]와 300[Hz] 합성주파수 소음원에 대한 소음 제어 각부 파형
(a) 소음원 신호 (b) 300[Hz]대역통과필터출력(c) 100[Hz] 대역통과필터 출력 (d) 상쇄원 신호 (e) 잔류 소음
Fig. 6 Each waveforms of noise control for 100[Hz] and 300[Hz] compound sinusoidal noise.

V. 실험 및 고찰

시뮬레이션 결과를 토대로 하여 100[Hz] 단일 주파수인 정현파 소음과 100[Hz], 300[Hz] 두 주파수 성분이 포함되어 있는 복합 주파수 성분의 소음원을 대상으로 실험을 실시하였으며 그에 따른 결과를 제시하였다. 실험에 사용된 스피커는 임피던스 8[Ω], 최대출력 10[W]이며 검출 마이크로폰은 콘덴서 마이크로폰을 사용하였다. 그림 3에 보여진 바와 같이 실험 장치를 구성하였으며 소음 발생원으로 함수발생기를 사용하였다.

그림 7은 정현파 100[Hz] 소음에 대한 실험 파형으로 밴드폭을 소음신호의 30[%]로 설정한 경우의 실험 파형이며 그림 8은 100[Hz], 300[Hz]의 복합 주파수 소음원에 대한 실험 결과를 나타내고 있다.

그림 9는 100[Hz] 부터 500[Hz] 까지의 정현파 소음원을

대상으로 하여 소음의 감쇄 정도를 소음상쇄전 음압에서 소음상쇄후 음압의 차이로써 데시벨[dB]로 나타 낸 것이다. 100[Hz] 단일 정현파 소음원의 경우 15[dB] 정도의 소음 저감 효과를 나타 내었으며 200[Hz] 소음원에 대해서는 9.3[dB]의 소음 저감효과를 보였다. 300[Hz]~500[Hz] 사이의 소음에서는 4[dB]~5[dB]의 소음저감 효과를 보여 주었으며 이에 대한 결과는 각각 그림 9에 나타낸 바와 같다.

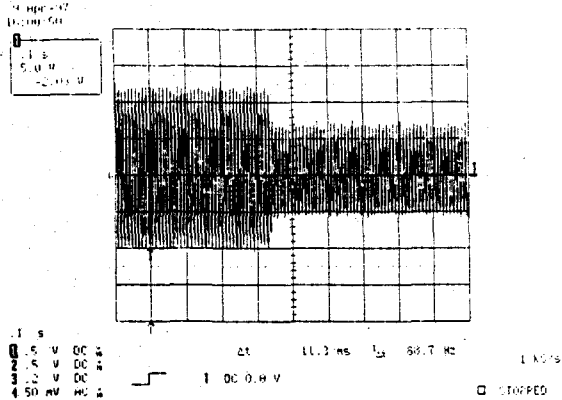


그림 7. 100[Hz] 정현파 소음에 대한 실험 결과
Fig.8 Experimental result for 100[Hz] sinusoidal noise.

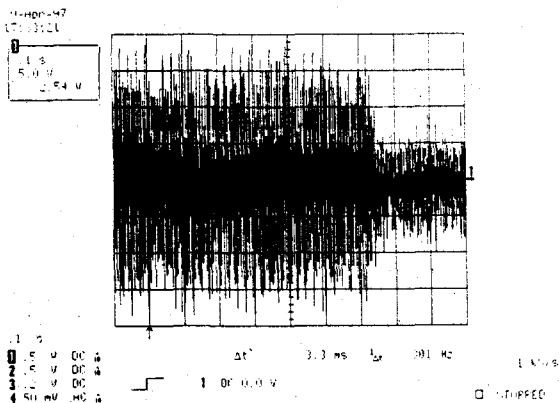


그림 8. 100[Hz]와 300[Hz] 합성 주파수를 갖는 소음원에 대한 실험 결과
Fig. 8 Experimental result for 100[Hz] and 300[Hz] compound sinusoidal noise.

VI. 결론

본 논문에서는 저주파수의 소음원에 대한 소음 저감에 초점을 맞추어 전류 제어기의 제어방식으로 흔히 사용되는

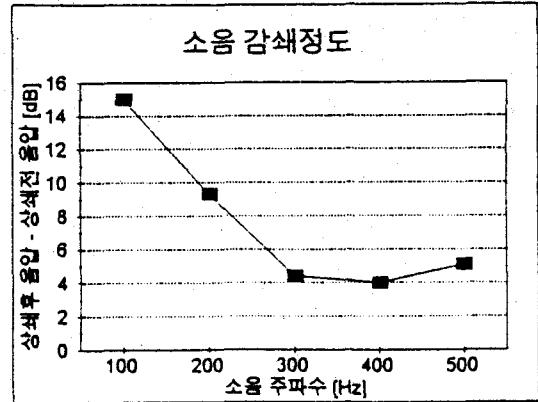


그림 9. 주파수대별 소음 상쇄효과
Fig. 9 Noise Cancelling effects for each frequency.

히스테리시스 제어 방식을 능동 소음 제어에 도입 적용하고 이를 마이크로프로세서를 사용하여 구현하였다. 이때 히스테리시스 제어 방식은 인버터와 같은 전력회로를 제어하기 위해서 사용된 것이 아니라 단순한 신호의 처리를 위한 알고리즘으로 사용된 것으로, 상쇄신호에 대한 정보가 담겨 있는 PWM(Pulse Width Modulation) 신호를 발생시키는 역할을 한다. 이때 히스테리시스 제어기의 PWM 제어 신호는 디지털 필터를 통하여 필터링 되고 상쇄된 신호로 복구되어 사운드 블러스터를 통하여 출력된다. 제안된 제어 방식으로 소음 제어를 하는 경우 간단한 알고리즘으로 소음제어를 할 수 있는 장점이 있으며, 본 논문에서는 500[Hz]이하의 저주파 소음원을 대상으로 실험을 수행하여 주파수에 따라 4[dB]~15[dB] 정도의 소음 저감 특성을 얻을 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 1994년도 특정연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [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] Sen M. Kuo and Dennis R. Morgan, "Active Noise Control Systems", John Wiley & Sons, 1996.
- [4] L.J. Eriksson, M.C. Allie, and R.A. Greiner, "The Selection and Application of an IIR Adaptive Filter

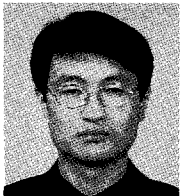
for Use in Active Sound Attenuation", IEEE Trans. on Acoustic, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-35, No. 4, pp433-437, April 1987

- [5] Elliot S.J., Boucher C.C., and Nelson P.A., "The behavior of multiple channel active control system", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 40, No. 5, pp1041-1052, May 1992.
- [6] Joachim Holtz, "Pulsewidth Modulation - A Survey", IEEE PESC, 1993. pp10-18
- [7] Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schaffer "Discrete-Time Signal Processing", Prentice Hall, 1989.
- [8] Rulph Chassaing, "Digital Signal Processing with C and the TMS320C30", John Wiley & Sons, 1992.



이 승 요 (李 承 鈞)

1967년 7월 16일생. 1994년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



김 홍 성 (金 洪 聖)

1967년 2월 27일생. 1992년 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 수료.



최 규 하 (崔 圭 夏)

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 졸업(석사). 1986년 동대학원 졸업(공박). 1987년 ~1988년 미국 오레곤주립대 객원교수. 현재 건국대 공대 전기공학과 교수. 당학회 재무이사.