

덕트내 능동소음 제어기의 실시간 구현

고 석 용*, 이 강 욱, 정 양 웅, 정 찬 수
 숭실대학교 전기공학과

Real-Time Implementation of the Active adaptive noise Controller in Duct

Seok-Yong Koh*, Kang-Wook Lee, Yang-Woong, Chan-Soo Jung
 Soongsil University, Department of Electrical Engineering.

ABSTRACT

In this paper, the active noise control system in duct is analyzed with real time implementation. The primary noise signal detected by microphone is modeled using adaptive algorithm and the secondary signal which has the same amplitude and 180° phase shift with the primary noise signal is generated in the controller. The signal processor DSP56001 is used to implement the real-time controller and the experimental results shows that our system can reduce the noise level in duct to 20 ~ 40 [db].

본 논문에서는 이러한 능동소음제어 기술을 적용하여 도관에서의 소음을 제거하는 제어시스템의 구성에 대하여 연구하였다. 이는 도관에서의 소리는 평면파로 모형화가 가능하므로 단일 채널로도 시스템 구성이 용이하고 현장에서의 실용성도 있다고 판단되었기 때문이다. 다루기 지금까지 사용되어온 수동형 소음제거기술과 능동형 소음제거기술을 결합하면 더욱 효과적인 소음제거가 이루어질 수 있을 것이며 필요한 경비도 크게 절감될 것이다.

시스템 구성시 음향궤환을 방지하기 위해 스피커와 마이크에 단일방향성을 갖는다고 가정했으며 잡음원 감지기를 잡음원에 아주 가까이 위치시켰다. 또한 실시간 구현을 위해, 신호처리 전용칩인 DSP 560001을 사용하고 최소평균자승 적응제어 알고리즘을 사용했다.

I. 서론

산업과 경제가 성장함에 따라 환경문제에도 많은 관심을 갖게 되었으며 사무실이나 공장에서의 소음공해에도 많은 연구가 진행되고 있다. 기계적 소음이 큰 작업현장에서의 소음에 의한 난청이나 신경성 질환 발생등 소음이 심각한 공해문제로 대두된 것은 주지의 사실이다. Bekesy에 의해서 모델링된 청각 시스템에서 저주파성분은 사람에게 쉬 피곤을 느끼게 하는 것으로 밝혀졌으며 산업용 장비에서 발생하는 소음은 이러한 주파수 대역에 그 에너지가 크게 분포되어 있는 경우가 많다.

소음을 제어하기 위한 고전적인 방법으로 봉합(enclosures), 장벽(barriers), 소음기(silencer), 머플러와 같은 수동적 기법이 있다. 이러한 수동적 소음감소 대책은 고주파 대역에서는 좋은 소음감쇄효과를 보여주나, 저주파 대역에서의 소음감쇄 효율이 좋지 않음은 널리 알려진 사실이다. 특히 덕트내 소음은 종래의 소음감쇄 대책으로는 감소시키기 어려운 저주파 대역에 대부분의 소음 에너지가 집중되어 있는 특성을 갖고 있으므로, 이러한 저주파 대역에서의 소음 감쇄를 위한 기술개발이 요구되어 왔다. 저주파 대역의 소음은 각종 구조물의 진동을 일으키고 작업자를 피곤하게 함으로써 작업능률을 저하 시키기도 한다. 흡음재료를 사용할경우, 흡음재료로부터 나오는 불순물로인해 청정환경을 요하는 작업장에서는 원치않는 결과를 야기할 수 도 있으며, 또한 이는 부피가 크고, 자주 보수해 주어야 하므로 설치 및 유지 보수에 경비가 많이 소요되는 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 능동소음제어기술(Active Noise Cancellation Technique)의 개념이 도입됐다. 능동소음제어의 개념은 1차 소음원을 적응필터 이론으로 모델링하고 이와 180° 위상차를 갖는 신호를 스피커를 통하여 발생시켜서 소음을 제거하는 것이다.

II. 능동 소음 제어기(A.N.C)의 기본개념 [7][8][9][13]

2-1) 서론

공장에서 발생하는 음을 임펄스와 주기적인 신호의 성분으로 나눌 수 있다. 임펄스와 같은 짧은 순간의 신호는 도관(duct)의 길이를 길게해서 효과적으로 감쇄시킬 수 있으나 주기적인 신호는 감쇄되지 않는다. 따라서 적응신호 처리개념을 이용하여 주기적인 신호성분을 모형화하고 이와 진폭이 같고 위상이 180° 차이나는 2차음을 발생시켜 서로 상쇄시키므로써 주기적인 신호성분을 제거하는 시스템이 능동소음제어기이다.

2-2) 일반개념

일반적으로, 잡음신호는 다음과 같은 정현파의 합으로 볼수 있다.

$$s(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (2.1)$$

여기서 a_n, ω, θ_n 을 알면, 잡음신호 $s(t)$ 는 180° 위상반전된 제어신호 $S_c(t)$ 로 제거할수 있다.

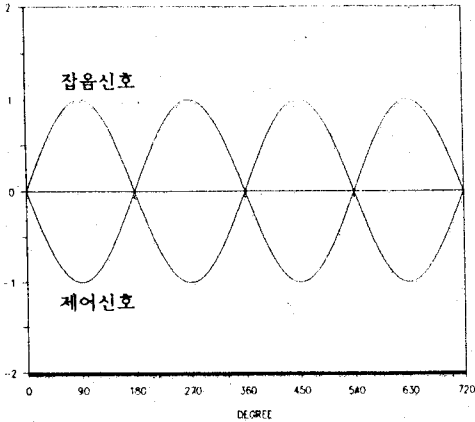


그림 2-1. 잡음원과 제어신호
fig 2-1. noise and control signal

2-3) 능동소음제어의 블록선도

그림 2-2는 능동소음제어 시스템의 가장 단순한 형태이다. 마이크와 스피커의 위치가 고정되고 또한 잘선정될 경우 소음 제거 효과가 크게 나타난다.

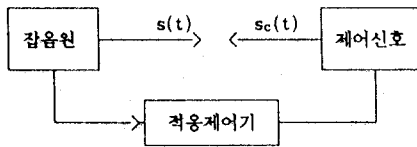


그림 2-2. 개루프 제어계
fig 2-2. open loop control system

잡음신호 $s(t)$ 는 AR 모델로 근사화 될수 있다.

$$s(n) = \sum_{k=1}^N a_k s(n-k) + e(n) \quad (2.2)$$

적용필터에 계수벡터 a_k 가 의해 계산되면 제어신호 $s_c(n)$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{s}(n) = \sum_{k=1}^N a_k s(n-k) \quad (2.3)$$

$$s_c(n) = -\hat{s}(n) \quad (2.4)$$

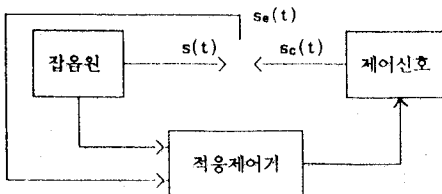


그림 2-3. 폐루프 제어계
fig 2-3. closed loop control system

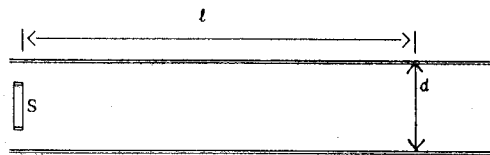
그러나 마이크와 스피커의 위치를 고정시키면 온도등의 영향으로 음속이 바뀌는 등 잡음원과 마이크와 스피커사이의 전달 함수가 변화하기 때문에 개루프시스템으로는 좋은 성능을 기대할 수 없으므로 그림2-3.과 같이 오차(잔류음)을 궤환시키는 폐루프 시스템이 요구된다.

III. Duct내에서 능동소음제어의 개념[8][9][13]

3-1) 서론

1936년 미국의 Paul Lueg가 능동소음제어 기술에 대한 특허(U.S.Pat. No. 2,042,416)를 세계 최초로 출원한후 수 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 1980년대 이후 디지털 신호처리기술 및 전자 산업의 급격한 발전에 힘입어 능동소음제어기술의 실용화가 진행되고 있다.

3-2) 덕트벽에서 Loudspeaker 모델[8][9]



$l \gg d$ 인곳에서 평면파가 된다. 따라서 Loudspeaker는 양방향으로 같은 크기의 평면파를 발생시키는 무한이 작은 거리만큼 떨어져 있는 2개의 "massless pistons"으로 볼 수 있다.[8][9]

3-3. 기본원리

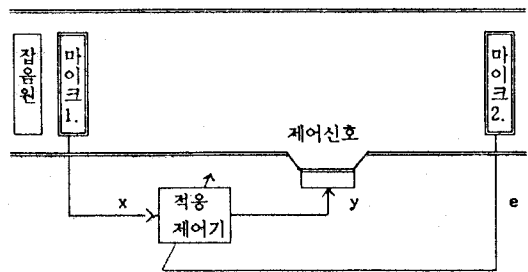


그림 3-1. 덕트용 능동소음제어기 구성도
fig 3-1. Schematic diagram controller for duct

덕트로 전달되는 소음원 근처에 마이크로폰(탐지 마이크로폰)을 설치하여 소음원 특성 (x)를 측정하여 소음이 탐지 마이크로폰에서 제어스피커 위치 까지 진행되는 동안에 능동소음제어기에서 덕트내 음향을 고려한 신호처리를 수행하여 제어스피커에 원래의 소음과 위상차가 180°인 신호 (y)를 공급하면 제어스피커 앞부분에서 원래소음과 상쇄음파가 합성되어 제어 스피커 이후 덕트 내에서의 소음이 감소될 것이다.

IV. 능동 적응 소음제어기의 구현[4][5][6][11]

4-1) 소프트웨어 구성

소음원을 모형화하고 제어신호를 발생시키기 위한 적응필터의 구성을 위해서 최소평균자승(LMS)알고리즘을 이용했으며, 그림 4-1.은 그 흐름선도이다. 프로그램의 처리속도와 메모리절약을 위해 DSP56001의 특징인 "pipe-lining"기법과 순환버퍼(circular buffer)를 이용했다.

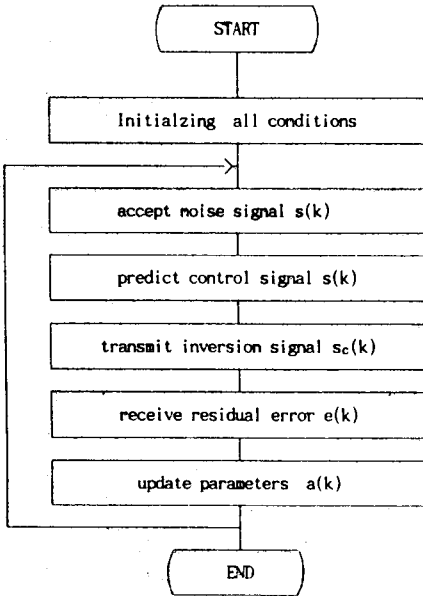


그림 4-1. 흐름선도
fig 4-1. flow chart of LMS algorithm

4-2) 하드웨어의 구성

그림 4-2.는 능동소음제어장치의 실제 구현을 위한 하드웨어 구성도 이다. 전치앰프를 통과한 아날로그 신호는 A/D변환기를 이용하여 디지털 신호로 변환되어 디지털 중앙처리장치에 입력된다.

중앙처리장치에 입력된 디지털 신호는 중앙처리장치의 프로그램 및 데이터 메모리에 저장되어 있는 능동소음제어 프로그램에 의해 처리되며 중앙처리 장치는 상채음과 발생을 위한 디지털 신호를 출력한다.

중앙처리장치에서 출력된 디지털 신호는 D/A변환기에 의해 아날로그 신호로 변환되고, 앰프에 의해 증폭된 아날로그 신호는 제어스피커를 통해 시스템으로 출력되어 1차잡음을 제거하게 된다.

또한 IBM PC는 제어프로그램을 실시간 프로세서로 로딩시키고 필요한 자료를 제어기로부터 받을 수 있다.

적응제어기에 사용된 실시간 프로세서는 모토로라의 DSP56001을 사용했다. 이 프로세서는 제4세대 디지털 프로세서로서 97.5[nsec]의 명령사이클시간(10.25MIPS)과 24×24×56 비트의 정확성 그리고 2개의 누산기를 사용할 수 있기 때문에 실시간 구현이 가능하다.

Duct.

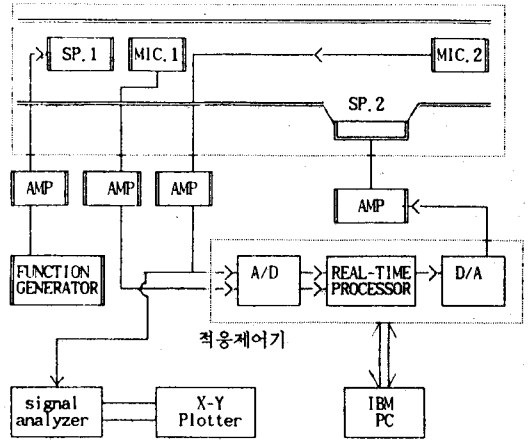


그림 4-2. 능동 적응소음제어기의 Block diagram
fig 4-2. Block diagram of adaptive dsp system for the noise cancellation

4-3) 실험결과

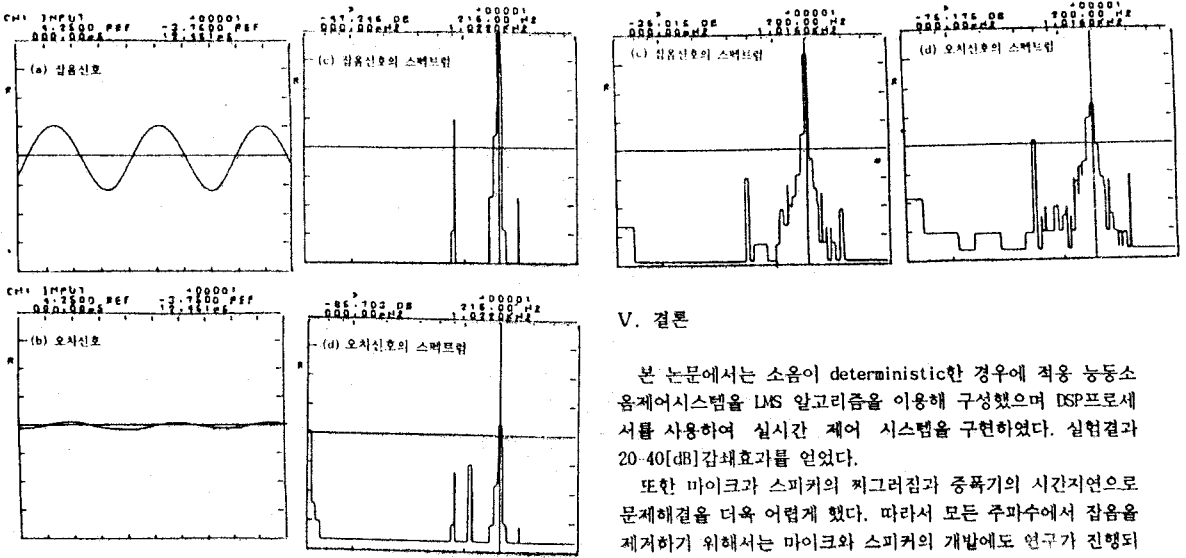
구성된 시스템의 성능을 평가하기 위해 잡음원을 단일 주파수인 경우와 복합 주파수인 경우에 대해 실험을 하였으며 그림4-3.은 실험장치이다. 실험결과는 다음과 같다.



그림4-3. 실험장치

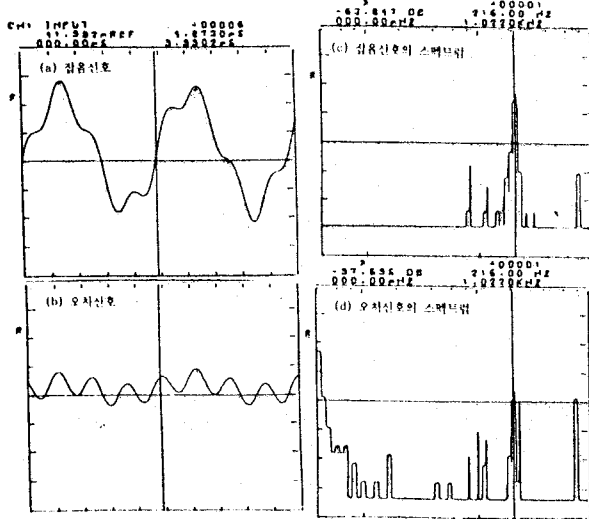
1) 단일 주파수인 경우

합수발생기로 $f=216[Hz]$ 인 정현파신호를 발생시켜 증폭한 다음 스피커로 소음원을 만들고 마이크1.로 그 신호를 검출했다. 검출된 소음신호와 오차신호(잔여잡음)를 입력으로 하는 적응제어기를 구성 하였다. 또한 신호분석기(signal analyzer)로 해석하여 X-Y플로터로 그림을 그렸다. 그림(a)와 (b)는 실험에 사용된 잡음신호와 오차신호(잔류음)이다. 그림(c)와 (d)는 두 신호의 스펙트럼이다. 실험결과 38[dB]의 감쇄효과가 있었다.



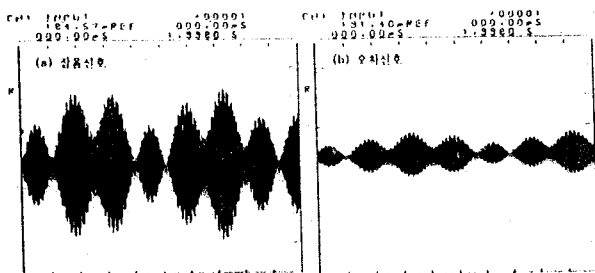
2) 복합 주파수인 경우

단일 주파수와 같은 방법으로 $f_1=216[\text{Hz}]$ $f_2=790[\text{Hz}]$ 신호를 사용했다. 잡음원과 오차신호는 그림 (a),(b)와 같이 잡음과 오차신호의 스펙트럼은 216[Hz]에서 34[dB]과 790[Hz]에서 11[dB]의 감쇄효과가 나타났다.



3) 위상이 다른 3개의 동일한 주파수인 경우

위상이 다른 3개의 200[Hz]의 신호를 사용했다. 그림 (a)와 (b)는 잡음원과 오차신호이고 (c)와 (d)는 각각의 스펙트럼이며 39[dB]의 감쇄효과가 있었다.



V. 결론

본 논문에서는 소음이 deterministic한 경우에 적응 능동소음제어시스템을 LMS 알고리즘을 이용해 구성했으며 DSP프로세서를 사용하여 실시간 제어 시스템을 구현하였다. 실험결과 20-40[dB]감쇄효과를 얻었다.

또한 마이크와 스피커의 피그러짐과 증폭기의 시간지연으로 문제해결을 더욱 어렵게 했다. 따라서 모든 주파수에서 잡음을 제거하기 위해서는 마이크와 스피커의 개발에도 연구가 진행되어야겠다.

VI. 참고문헌

- [1] Tomas Alexander, Adaptive Signal Processing, Springer-Verlag 1984.
- [2] Goodwin Sin, Adaptive Filtering, Prediction and Control, Prentice-Hall, 1984.
- [3] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns, Adaptive Signal Processing, Prentice-hall, 1985.
- [4] Motorola Inc., DSP56000/DSP56001 Digital Signal Processor User's Manual, Rev.1, 1989.
- [5] Motorola Inc., DSP56000ADS Application development System User's Manual, Rev.3, 1990.
- [6] Motorola Inc., DSP56000 Digital Signal Processor Simulator Reference Manual.
- [7] Sangil Park, "real-Time implementation of new adaptive Attenuation Control System", Conf. on Signal Processing, pp 161-165, 1989.
- [8] S.J. Elliott, I.M. Stothers and P.A. Nelson, model for describing active noise control in ducts, I.S.V.R. TECHNICAL REPORT NO.127 APRIL 1984.
- [9] P.A.Nelson and S.J.Elliott, Physical principles, 1989.
- [10] 정 찬 수, 서 진 현 외 2명 "능동 적응 소음 제어기의 실시간 구현", 한국 자동제어 추계학술회의 논문집, 1990.
- [11] 제1회 디지털 신호처리 워크샵, 디지털 신호 처리기의 구조 및 응용, 1989.10.
- [12] J.R. Treichler, C.R. Johnson, M.G.Larimore, Theory and Design of Adaptive Filters, Texas instruments, Inc. 1987.
- [13] 정 길 수의 2명 "도관에서의 능동 적응 음향 제어에 대한 컴퓨터 시뮬레이션" 대한 전자공학회 하계종합학술대회 논문집 제12권 제1호 p623-625, 1989.