

역모델을 이용한 능동소음 제어기 구현

이강욱*, 정용희, 정양웅, 정찬수
승실대학교 전기공학과

Implementation of the Active Noise Controller Using Inverse Model

Gang-Wook YIE*, Yong-Hee JUNG, Yang-Woong JUNG, Chan-Soo CHUNG
Soongsil University, Department of Electrical Engineering.

ABSTRACT

In this paper, the active noise control(ANC) system using the inverse modeling techniques is presented. The nonlinearity and time delay of the transfer function from the secondary speaker to the error microphone makes the ANC system have poor performance. To solve this problem, the inverse model technique and filtered-X LMS algorithm is using proposed. This proposed ANC system is implemented using DSP chip and operated in on-line.

The experimental results show that this ANC system has better noise canceling performance than that used LMS only about 5 - 15[db]

I. 서론

공조덕트계의 騒音은 사무실, 스튜디오, 반도체 공장등 정숙한 공간을 필요로 하는 장소에 있어서 큰 문제가 되어왔다. 지금까지 덕트계의 消音은 흡음재를 이용한 騒音제거방식이 주류를 이루고 있으나 이러한 흡음형 消音器의 消音성능은 500Hz이상의 중고음 영역에 있어서 유효하나 그 이하의 주파수에서는 消音효과가 떨어져 많은 소음기를 직렬로 사용 하여야만 한다.

이러한 흡음형 消音器의 단점을 극복하기 위해 저주파의 騒音에 대해 원음의 위상과 180° 차이가 나고 동일한 크기의 2차음을 스피커로 부가하여 상호의 간섭효과로 騒音을 제거하는 소위 能動 騒音制御技術이 제기되고 있다.

수동적 감쇄기는 저주파에서의 파장이 길기때문에 머플러의 소음관 길이가 커져야 하고 소음기의 경우 흡음재의 부피가 커져야 하며 청정환경을 요하는 작업장에서는 흡음재로부터 나오는 불순물로 인해서 원치않는 결과를 야기 할 수도 있고 자주 보수해 주어야 하므로 설치 및 유지보수에 경비가 많이 소요되는 단점이 있다.

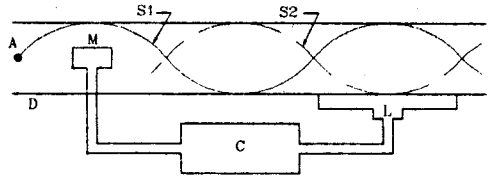
이러한 종래의 騒音감소 대책의 저주파수 영역에서의 단점을 보완하기 위하여 騒音을 그 騒音과 동일한 음압을 가지며 위상차가 180° 인 인위적인 음파로 상쇄시키는 기술인 能動 騒音制御技術이 개발되고 있다.

본 논문에서는 能動 騒音制御器의 원리와 제어스피커와 오차 마이크로폰 사이에 존재하는 보조경로와 오차경로의 문제를 해결하기 위해 역모델링 기법에 의한 能動 騒音制御器를 제안하였으며 모토롤라(MOTOROLA)의 DSP칩인 DSP56001을 이용하여 실시간 구현하였다.

II. 能動 騒音制御器

2-1. 能動 騒音制御의 원리

騒音을 줄이기위한 방법으로 흡음재나 머플러등과 같은 수동적 방법외에 그림 2-1과 같은 아이디어를 생각할 수 있다. 즉 제거하고자 하는 음향소음을 마이크로폰으로 입력받아 제어박스에서 위상이 180° 반전된 신호를 만들어 스피커를 통해 방출시키면 음파간섭의 원리에 의하여 騒音이 감쇄되는 기법이다. 음파간섭의 원리는 180°의 역위상파를 동음압으로 부가하는 것에 의해 음압 성분이 서로 없어져 음의 레벨로써 느껴지지 않는 평탄한 음압 상태를 만들어내는 것이다. 이는 1936년 미국의 Paul Lueg가 능동 소음제어 기술에 대한 특허를 세계최초로 출원한 아이디어이며 그 이후 1950년대초 Olson이 효과적인 음향감쇄 요소인 Helmholtz 공명기에 의한 능동적인 음향제어방법을 소개하였으나 이들 시스템은 그 당시 기술수준의 한계성으로 인해 폭넓게 이용되지 못하였다. [1][2]

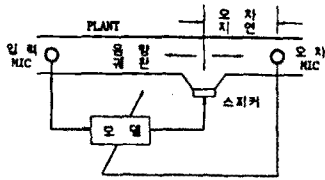


A: 소음원 M: 마이크로폰 D: 덕트 C: 제어박스 I: 스피커
S1: 감쇄 되어야 할 소음 S2: 제어 박스에서 만든 2차소음

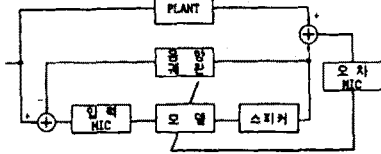
그림 2-1. 能動 騒音制御의 개념
Fig 2-1. Active Sound Attenuation concept

위에서 언급한 시스템은 비교적 좁은 주파수 범위에서만 감쇄가 가능하며 덕트내의 온도나 주변상태가 변하면 제어효과가 떨어진다는 문제를 갖고 있으며 이러한 문제의 해결은 다음과 같은 적응신호 처리기법을 도입함으로써 해결할 수 있다.

그림 2-2는 덕트내 能動 騒音制御裝置의 기본원리를 나타내고 있다. 그림에 나타난 비와 같이 전체적인 제어계는 덕트에 전파되는 음을 측정하는 입력 마이크로폰의 입력신호를 필터링하여 오차를 최소화시키기 위해 필터계수를 적용시키는 모델, 출력음 부가음으로 발생시키는 스피커, 그리고 부가에 의해 감쇄된 음을 감지하는 오차 마이크로폰으로 구성되어 있다. 음향계를 통해 전파되는 소음원과 부가적인 음원의 파괴간섭에 의해 감쇄된 신호가 다시 오차 마이크로폰을 거쳐 모델로 귀환하므로써 본 제어계는 완전한 폐루프 제어계로 구성된다.



(a) 기본개념도



(b) 블록선도

그림 2-2. 덕트용 능동소음 제어기의 기본원리도와 블록선도
Fig 2-2. Schematic and block diagram of the principle of active sound control system

Ⅲ. 역모델링 기법을 이용한 적응 제어시스템

3-1. 미지 제어계의 역모델

덕트내의 능동 소음제어시에 부가적 음원인 스피커와 오차 마이크로폰은 각각 고유한 전달함수를 가지고 있으며 또한 제어 스피커와 오차 마이크로폰까지는 덕트길이 만큼의 오차 경로를 구성하게 된다. 따라서 능동 소음제어계에 있어 스피커를 포함하는 보조 경로의 전달함수와 오차 마이크로폰을 포함하는 오차 경로의 전달함수를 적응 모델에 도입하는 것이 필수적인 조건이 된다. 이상의 적응제어 개념은 시스템 推定문제에 쉽게 표현할 수 있다. 시스템 推定이란 플랜트 자체에서 직접 얻지 못하는 플랜트의 정보를 한 모델의 형태와 비교하여 일치되도록 조정하여 시스템을 모형화 하는 방법이다. [3]

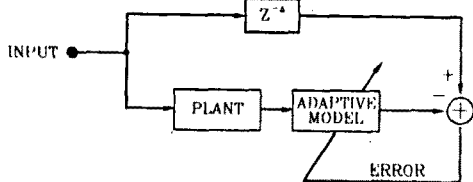


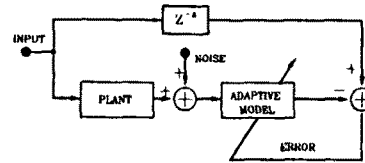
그림 3-1. 적응 지연 역모델
Fig 3-1. Adaptive inverse model with inverse modeling delay

그림 3-1은 미지의 제어 대상계와 직렬로 연결하여 미지 제어 대상계의 전달함수를 구해내는 방법으로 이를 역모델 이라 한다. 이때 필터는 플랜트 입력과 가장 근사한 값으로 적용되진다. 플랜트입력에 근사화 된 출력값은 플랜트의 적응 필터의 전달함수가 적어도 플랜트입력 신호의 주파수 대역에서는 단위값임을 의미한다. 최소위상 플랜트의 역은 모든 극이 복소평면 좌반부에 존재하며 이의 역 또한 안정하다. 그러나 비최소위상 플랜트의 경우에 있어서 역모델은 불안정 할 수도있다. 이러한 문제는 역 모델링 지연 Z^{-1} 를 모델에 포함시킴으로써 해결할 수 있다.

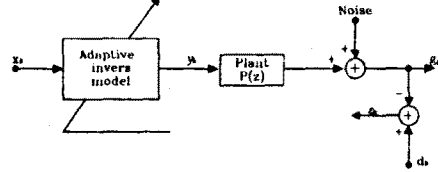
이 지연을 도입함으로써 최소위상 플랜트나 비최소위상 플랜트의 근사화 된 지연 역모델을 얻을 수 있다.

3-3. 플랜트 잡음과 Filterd-x LMS 알고리즘

그림 3-2(a)에서처럼 대부분의 물리계에서 플랜트 잡음은 부가적 음원으로 나타내지고 대부분 백색이 아니며, 플랜트 출력에서 보면 플랜트 자체내에 있는 플랜트의 입력에 무관하다. 공조덕트내에서 플랜트 잡음은 덕트내의 바람과 음원이 덕트벽을 진동시켜 나타낸다. 역모델링 과정에서 이러한 잡음의 영향은 명백하다. 이 잡음은 적응의 입력이며 제어계의 입력에 상관되어 있지 않다. 따라서 R-1P 형태의 Winner 해를 찾는 역 모델에서 플랜트 잡음은 지연된 역의 최적해와는 다른 해를 야기한다. 플랜트 잡음의 이러한 문제를 해결하기 위하여 새로운 알고리즘을 도입하게 되었으며 Widrow는 이를 'Filtered-X LMS 알고리즘'이라 하였다.



(a) 잡음있는 플랜트에서의 적응 지연모델



(b) 잡음있는 플랜트 전단에 위치한 적응 역모델

그림 3-2. 적응 지연 역모델에서의 플랜트 잡음
Fig 3-2. Plant noise of an adaptive inverse model

3-4. Filtered-x LMS 알고리즘을 이용한 적응제어 시스템

그림 3-3은 본 논문에서 제안한 능동 소음제어기의 블록선도로써 Widrow의 적응 역모델을 도입하므로써 오차 경로의 전달함수를 적응적으로 모델링한 전체적인 적응 능동 소음제어기의 일반적인 형상을 나타낸다. 여기서 P는 탐지 마이크로폰으로부터 제어 스피커까지의 덕트의 전달함수이고 M1과 M2는 마이크로폰과 전치증폭기, 저역통과필터, 증폭기의 전체 전달함수이며 S는 저역통과필터, 증폭기, 제어스피커의 전체 전달함수를, E는 제어스피커에서 오차 마이크로폰까지의 덕트내 전달 경로의 전달함수를 나타낸다. 오차 경로의 적응지연 역모델의 계수는 LMS필터 W로

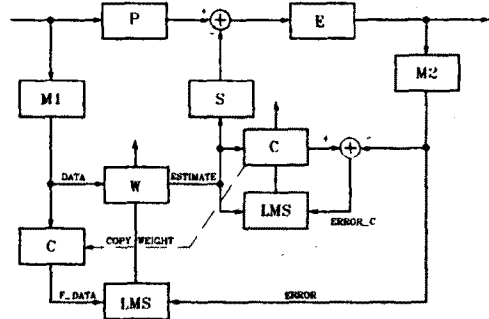


그림 3-3. 적응지연 역모델을 이용한 음향제어계의 블록선도
Fig 3-3. Block diagram of Active Noise Control system using adaptive inverse model

가는 입력경로내에 복제되며 탐지 마이크로폰에서 받은 입력데이터를 필터링하여 주 적응제어기의 계수(W)를 갱신토록하는 오차 상관기로 동작한다. [4][7]

V. DSP칩을 이용한 能動 騒音制御시스템의 설계 및 실험

4-1. 시스템의 구성

그림 4-1은 본 논문에서 실제 구현한 能動 騒音制御器의 구성도를 보여주고 있다. 전치 증폭기를 통과한 아날로그 신호는 A/D 변환기를 이용하여 디지털 신호처리장치(DSP)에 입력된다. 전치 증폭기에서 출력된 아날로그 신호는 A/D변환기에 입력되기 전에 엘리이싱 방지필터를 통과한다.

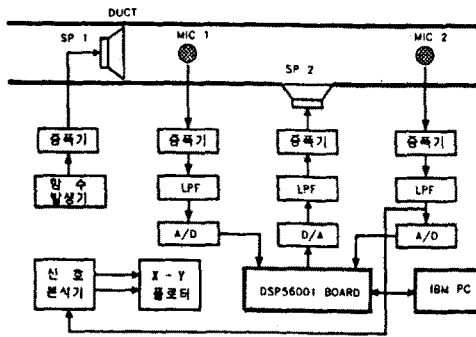


그림 4-1. 能動 騒音制御器의 전체 구성도
Fig 4-1. Schematic diagram of Active Noise Control system

DSP에 입력된 디지털 신호는 프로그램 메모리 및 두개의 데이터 메모리에 저장되어 있는 능동 소음제어장치에 의하여 분석, 처리되며 DSP는 상채음과 발생을 위한 디지털 신호를 출력한다. DSP에서 출력된 상채음과 디지털 신호는 D/A변환기에 의해 아날로그 신호로 변환되며 디지털 신호의 아날로그 변환시 발생하는 불필요한 고주파 성분을 제거하기 위한 재생필터(reconstruction filter)를 거치게 되며 이 재생필터의 출력은 다시 증폭기에 의하여 제어 스피커를 구동할 수 있도록 증폭된다. 제어 스피커를 통해 방출된 電子騒音은 덕트내 음향경로를 통해 제어 스피커의 위치까지 도달된 騒音과 파괴간섭을 일으키며 이때 제거되지 않고 남은 잔향은 오차 마이크로폰이 감지하여 전치증폭기와 저역 통과 필터(L.P.F)를 거쳐 A/D 변환된 후 디지털 신호 처리장치(DSP)로 입력되며 또한 오차신호의 주파수 성분을 분석하기 위해 신호 분석기로 입력된다. [5][6][7][8]

4-2. 실험결과

본 실험에서는 보조경로와 오차경로에 대한 적응지연 역 모델의 정확한 성능을 평가하고자 제어스피커에서의 음향궤환 문제를 모의 잡음원인 1차 스피커 전단에서 직접 전기신호를 얻어 입력신호로 사용하였다. 따라서 음향궤환은 전혀 존재하지 않으며, 구성된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 잡음원을 각각 240Hz, 340Hz, 440Hz의 단일 주파수에 대하여 LMS 알고리즘만을 적용한 시스템(시스템 ①)과 적응지연 역모델을 도입하고 Filterd_x LMS 알고리즘을 적용한 시스템(시스템②)과의 성능을 비교하였다. 그림4-2는 실험장치이며 실험결과는 다음과 같다.

그림 4-3 - 그림 4-5는 240Hz의 주파수에서 LMS와 Filterd_x LMS의 수렴특성을 보여주고있다. 그림 4-3(a)는 제어전의 소음을 덕트출구에서 마이크로 탐지한 신호이며 그림 4-3(b)는 LMS 알고리즘을 적용시의 신호파형이다. 이 주파수에서 LMS알고리즘을 적

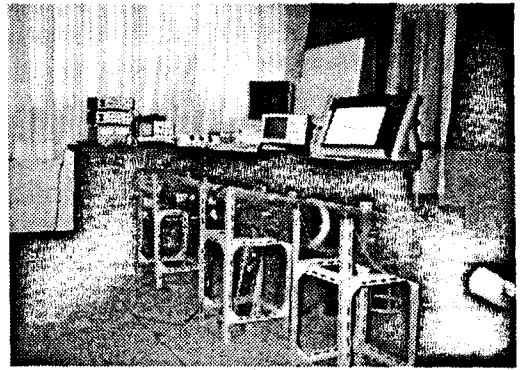
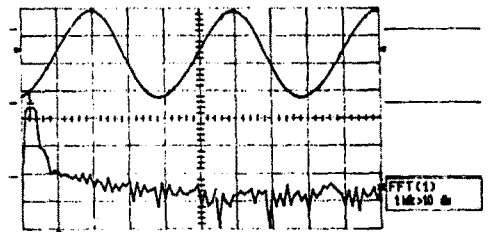


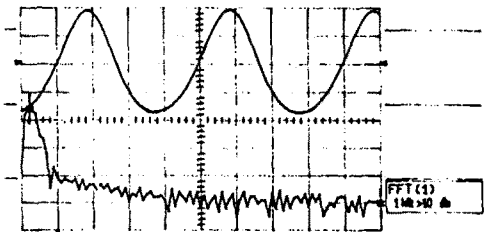
그림 4-2. 실험장치
Fig 4-2. Experimental equipment

용한 시스템은 오히려 1.42dB의 소음을 증가시켰으며 이는 특히 이주파수 부근에서 스피커가 비선형으로 이득과 위상이 심하게 변화하기 때문이다. 그러나 그림 4-3(c)에서 보듯이 본 시스템은 이러한 스피커의 특성도 보상해주어 10.75dB의 감쇄가 있었다.

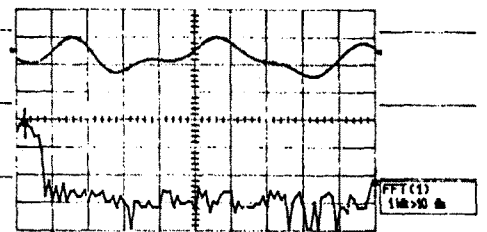
그림 4-4은 주파수 340Hz에 대한, 그림 4-5은 주파수 440Hz에 대한 같은 실험결과이며 LMS 알고리즘만을 적용했을 때보다 5 dB - 15dB의 감쇄효과 개선이 있었다.



(a) 240Hz의 잡음신호 및 그 스펙트럼



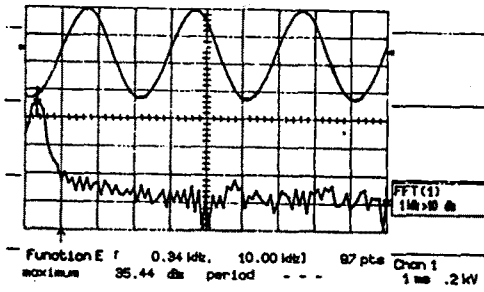
(b) 시스템①의 잔향과 그 스펙트럼



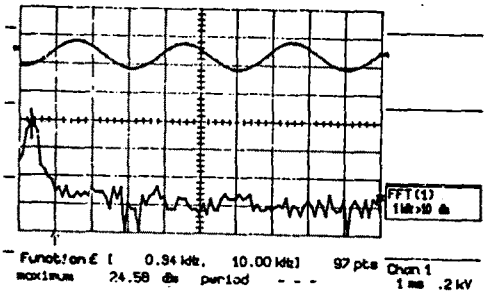
(c) 시스템②의 잔향과 그 스펙트럼

그림 4-3. 신호음이 240Hz일때 ANC 시스템의 특성

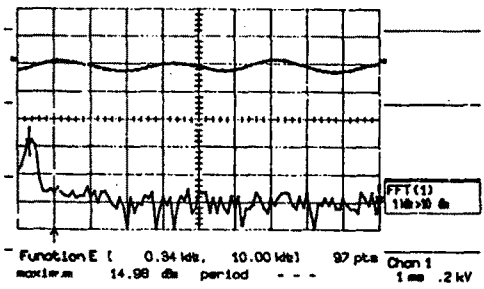
Fig 4-3. Characteristic ANC system in 240Hz



(a) 340Hz의 잡음신호 및 그 스펙트럼

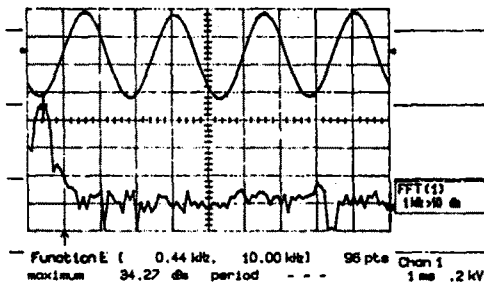


(b) 시스템①의 잔향과 그 스펙트럼

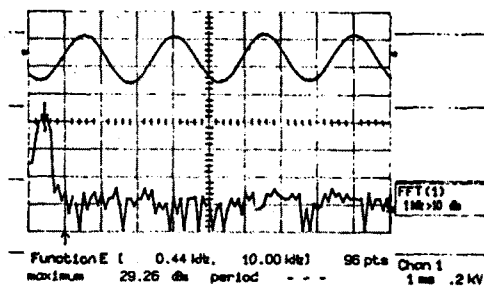


(c) 시스템②의 잔향과 그 스펙트럼

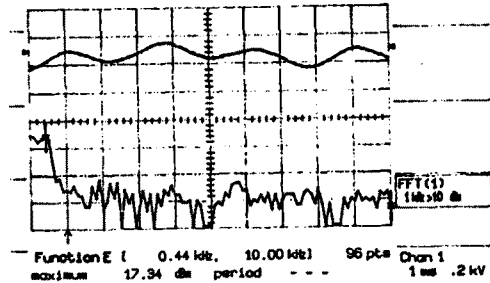
그림 4-4. 신호음이 340Hz일때 ANC 시스템의 특성
Fig 4-4. Characteristic ANC system in 340Hz



(a) 440Hz의 잡음신호 및 그 스펙트럼



(b) 시스템①의 잔향과 그 스펙트럼



(c) 시스템②의 잔향과 그 스펙트럼

그림 4-5. 신호음이 440Hz일때 ANC 시스템의 특성
Fig 4-5. Characteristic ANC system in 440Hz

V. 결론

본 논문에서는 덕트내 능동소음 제어기에서 반드시 따르는 오차 경로 및 제어스피커와 오차마이크로폰을 포함하는 보조경로의 문제를 적용지연 역모델과 Filtered-x LMS알고리즘을 이용한 해결 방안을 제시하였으며 이를 최근의 디지털 신호처리 기법을 이용하여 구현하였다. 그리고 시스템의 실제 제작에 필요한 하드웨어 사양 및 소프트웨어 알고리즘을 제시하였으며 이를 DSP프로세서를 사용하여 실시간 제어 시스템을 구현하였다. 실험결과 LMS알고리즘만을 적용한 능동소음 제어기의 성능보다 5dB-15dB의 감쇄효과를 높일수 있었다. 그러나 적응필터가 적응을 시작하여 오차신호를 줄여나가 잔향이 너무 작아지면 오차경로의 전달함수를 추정하는 보조필터 C의 입력이 너무 작아져 시스템의 안정도가 깨지는 경우가 종종 발생하였다. 이러한 문제를 해결 하기위한 방법으로 보조필터 C의 입력에 시스템추정을 위한 별도의 신호를 인가하는 기법들이 연구되고 있으며 이러한 강인성 향상문제가 앞으로의 과제이다.

VI. 참고문헌

- [1] L.J.Eriksson, "Active Sound Attenuation Using Adaptive Digital signal Processing Techniques", UMI, 1985.
- [2] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns, Adaptive Signal Processing. Prentice-Hall, 1985.
- [3] Tomas Alexander, Adaptive Signal Processing. Springer-Verlag 1984.
- [4] P.A Nelson and S.J Elliott, Active control of Sound. Academic Press, 1992.
- [5] Motorola Inc., DSP56000/56001 Digital Signal Processor User's Manual, Rev.1, 1990.
- [6] 정찬수, 서진현 외 2명, "능동 적응 소음 제어기의 실시간 구현", 한국자동차제어 추계학술회의 논문집, 1990.
- [7] 정찬수 외 3명, "적응제어 기술에 관한 연구", 한국 과학재단 목적기초 연구사업 보고서, 1990.
- [8] 고석용, 이강욱 외 2명, "덕트내 능동소음 제어기의 실시간 구현", 대한 전기학회 추계학술대회 논문집, 1991.