

## 技術解説

## 능동 소음 제어 기술 Active noise control techniques

정 찬 수

(Chan Soo Chung)

(충실대학교, 전기공학과)

## I. 서 론

공업화 과정에서 소음을 발생시키는 장치가 많이 늘어나는 추세이며, 우리의 생활 환경을 편리하게 하기 위한 자동차, 냉장고 혹은 공조 시스템까지도 소음원이 되어 오히려 생활 환경을 나쁘게 하는 요인이 되기도 한다. 자동차, 냉장고 혹은 공조 시스템이 생활 환경을 나쁘게 하는 소음원이 된다고 해서 사용하지 않을 수도 없는 모순에 빠지게 되며 이 문제를 해결하는 방법이 다각도로 연구 되어 왔다. 가장 확실한 방법은 소음원의 크기를 줄이는 방법으로서 기계공학쪽에서 많이 연구되었다. 베어링, 윤활유등의 발전과 유체 역학적인 설계등으로 하여 상당히 소음원의 크기를 줄일 수 있었으나 환경에 대한 우리의 요구 수준도 그 만큼 높아졌으므로 이를 따를수는 없는 실정이다.

구조적으로 해결 할 수 없는 소음원은 그 크기가 작은 경우 뿜어내거나 사람이 생활하는 환경과 음향학적으로 격리시키므로써 소음 환경을 개선하려는 노력이 시도 되었고 냉장고와 같은 경우 상당한 효과가 있음이 발표되고 있다. 그러나 공조 시스템에 의한 사무실등의 소음이나 발전소의 터빈에 의한 터빈실의 소음을 이러한 뿜어내거나 차폐이 방법으로 줄이는 때는 한계가 있다.

공조 시스템에서는 덕트에 흡음재를 사용하거나 소음기를 설치하는 방법으로 소음을 감소시키는 방법이 연구되어 현재 실용화되고 있다. 자동차배기가스 소음기를 통하게 하므로써 자동차의 엔진 효율

은 다소 떨어지지만 엔진 소리를 크게 줄일 수 있음은 우리가 잘 아는 사실이다. 공조 시스템의 소음은 자동차 소음기 보다 훨씬 크게 감소시켜야 하므로 그만큼 복잡한 소음기의 설계가 필요하고 흡음재를 병용하게 된다.

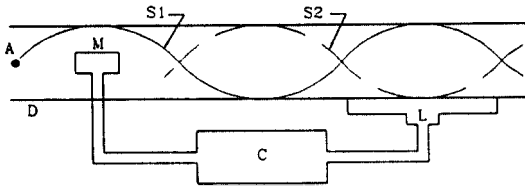
소음의 고주파 성분을 제거하는 데는 소음기의 제작이 작아지고 또 흡음재도 얇게 되므로 그 제작비가 적게 든다. 그런데 저주파 성분일수록 같은 크기의 소음 감소를 위해서는 소음기가 커지고 흡음재는 두꺼워지게 되어 그 제작비가 비싸게 된다. 이러한 점을 보완하기 위하여 십수년전 미국의 DIGISONIC사에서는 능동 소음 제어기를 발표하였다.

즉 저주파수 영역의 소음을 신호 처리하여 소음원과 5은 크기이고 180°위상을 갖는 새로운 소음원을 만들어서 서로 상쇄시키는 기법을 응용하는 제품을 개발하여 발표했던 것이다. 능동 소음 제어 기술중에서 그 구조가 가장 단순한 공조 시스템 즉 덕트에서의 중동 소음 제어에 관하여 살펴 봄으로써 능동 제어 기술에 관해 알아 보고자 한다.

## II. 공조 시스템의 능동 소음제어

## 2-1 능동 소음 제어의 원리

소음을 줄이기 위한 방법으로 흡음재나 머플러등과 같은 수동적 방법외에 그림 2-1과 같은 아이디어를 생각할 수 있다. 즉 제거하고자 하는 음향소음을 마이크로폰으로 입력받아 제어박스에서 위상이 180°의 역위상파를 동음압으로 부가하는것에 의해 음압성분



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

그림 2-1. 능동 소음제어의 개념  
Fig 2-1. Active Sound Attenuation concept

이 서로 없어져 음의 레벨로써 느껴지지 않는 평탄한 음압상태를 만들어내는 것이다. 이는 1936년 미국의 Paul Leug가 능동 소음제어 기술에 대한 특허를 세계 최초로 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.

최근에 와서 디지털 신호처리에 대한 이론적 개발과 반도체 등 전자공학의 발달로 이러한 능동 소음제어에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

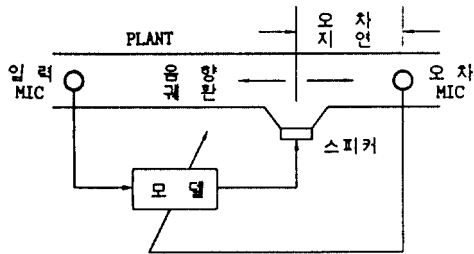


그림 2-2. 덕트용 능동 소음제어기의 기본원리도  
Fig 2-2 Schematic diagram of active sound control system

그림 2-3은 초기의 능동 소음 제어기의 한 형태이다. 두개의 마이크와 차동 증폭기 및 스피커로 구성되어 있으며, 구조가 아주 단순한 형태로서 구성이 용이하고 값이 싼 장점이 있으나 덕트내의 음향 전달 함수를 전혀 고려하지 않은 시스템으로서 소음의 감쇄에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 마이크로 프로세서가 발달한 80년대 이후는 적응 필터를 이용한 능동 소음 제어기에 관심이 집중되었다.

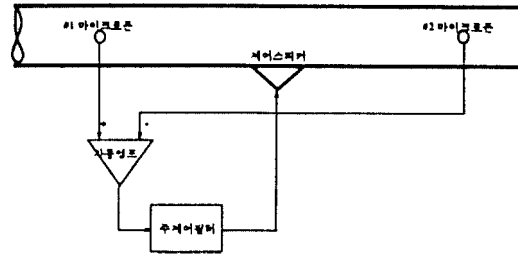


그림 2-3. 두개의 탐지마이크폰을 이용한 능동소음제어기  
Fig 2-3. Active Noise Control Method using two detector microphone

2-2 적용 제어 알고리즘

그림 2-2의 모델에는 마이크와 스피커 사이의 음향 전달 함수는 물론이고, 스피커와 마이크 사이의 음향 레환 전달 함수도 포함되어야 한다. 그런데 이들 전달 함수는 현실적으로 비선형 시변인 경우가 많으므로 능동 소음 제어 기술을 실용화 하는데 어려움이 되고 있다. 80년대 이후 고속으로 계산 할 수 있는 마이크로 프로세서의 개발에 힘입어 실시간 적용 제어 알고리즘의 응용이 활발히 연구 되고 있다.

미국의 DIGISONIC사에서 발표한 시스템의 구성은 그림 2-4과 같다. 이 시스템은 시스템 모델링을 위한 3개의 실시간 적응 필터와 주제어 필터로 구성된다. 이들 필터를 하나의 마이크로 프로세서로 처리하기에는 처리 가능한 주파수 폭이 좁아진다. 또한 레환 전달 함수 C를 추정하기 위한 입력 신호원인 소음 발생기의 신호가 새로운 소음원이 될 수도 있으므로 전체 소음 감쇄비가 제약을 받는 단점이 있으나 제한된 성능 범위에서는 안정하게 시스템이 동작되는 장점이 있다.

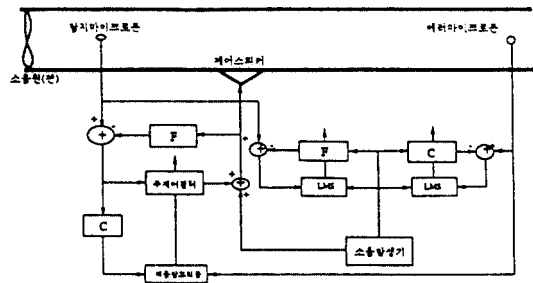


그림 2-4. 동시제어 및 추정기법을 이용한 능동소음제어장치  
Fig 2-4. Active Noise Control System using real-time estimation and control

실시간 적응 필터의 구현에 많은 계산량이 소요되고 이에 따른 마이크로 프로세서의 계산 부담을 줄이므로서 처리 가능한 주파수 폭을 확장하고, 모델링 과정에서의 불안정성을 제거함으로써 시스템 전체의 강인성을 보장하는 방법으로, 최근 다중 모델 적응 필터 알고리즘의 연구가 활발히 진행되고 있다.

그림 2-5는 다중 모델 적응 필터를 이용한 능동 소음 제어 기법의 블록 선도이다. 시스템의 전달 함수  $C_1$ 를 미리 선정해 놓음으로서  $C_1$ 를 모델링하는 계산 부담이 거의 없고, 추가의 소음원이 없으므로써 이로 인한 소음 감쇄의 한계가 없어진다. 그러나, 이 시스템의 약점은 시스템의 전달 함수  $C$ 가 변화하는 폭이 적어야 하며  $C_1$ 상의 변화폭이 작아야 한다는 것이다. 그러기 위해서는 미리 정해 놓아야 할  $C_1$ 가 많아지고 또  $C_1$ 를 선택하는 알고리즘이 복잡해지게 된다.

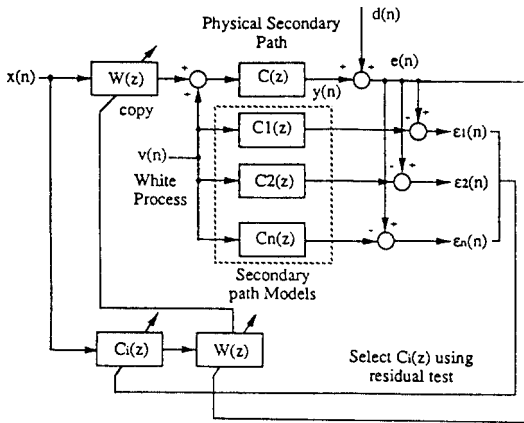


그림 2-5. MMAC의 블록 선도  
Fig 2-5. Block diagram of MMAC

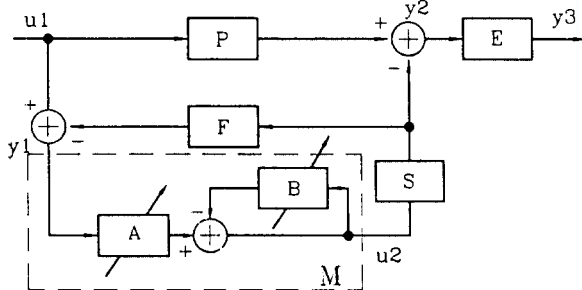


그림 2-6. 능동 소음제어계의 보조경로 및 오차 경로의 구성  
Fig 2-6. Active Noise Control system configuration with acoustic feedback error path acoustics and non-ideal source

### 2-3 역모델과 Filtered-x 알고리즘

덕트내의 능동 소음제어시에 부가적 음원인 스피커와 오차 마이크로폰은 각각 고유한 전달함수를 가지고 있으며 또한 제어 스피커와 오차 마이크로폰 까지는 덕트길이 만큼의 오차 경로를 구성하게된다.

그림2-6은 음향쇄환을 모델링에 포함했을 때의 RLMS(Recursive Least Mean Square)모델 형태이다. 능동 소음제어계는 그림2-6에 나타난 바와 같이, 미지의 입력 U1과 음향파가 전파되는 제어 대상계 P, 음향 쇠환 F, 적응 모델 M, 및 부가적인 전달 함수로 구성 된다. 제어된 신호 U2를 부가적인 음원인 스피커로 내보내는 데 까지의 경로를 보조 경로라 하고, 보조 경로의 전달함수를 S라 한다. 그리고 전파되는 음향 신호와 부가적인 음원에 의해 감쇄된 신호를 오차 마이크로폰으로 받아 다시 모델로 귀환시키는 데까지의 경로를 오차 경로라 하고 오차 경로의 전달함수를 E라 한다.

그림 2-6에서 입력 신호 U1에 의해 오차 신호인 Y3를 생성하는 이러한 능동 소음제어계의 전달함수를 구하면 다음 식(2-5)와 같다.

$$Y1 = U1 - S \cdot F \cdot U2 \tag{2-1}$$

$$U2 = M \cdot Y1 \tag{2-2}$$

$$Y1 = \frac{U1}{1 + S \cdot F \cdot M} \tag{2-3}$$

그리고

$$Y3 = E \cdot Y2 \tag{2-4}$$

$$Y2 = P \cdot U1 - S \cdot U2 \tag{2-5}$$

$$Y3 = E \cdot P \cdot U1 - E \cdot S \cdot U \\ = E \cdot P \cdot U1 - E \cdot S \cdot M \cdot Y1$$

$$= U1 \cdot E \cdot P \cdot \frac{E \cdot S \cdot M \cdot U1}{1 + S \cdot F \cdot M} \tag{2-6}$$

$$\frac{Y3}{U1} E = P - \frac{E \cdot S \cdot M}{1 \cdot S \cdot F \cdot M} \tag{2-7}$$

여기서 음향계에 전파되는 잔여파가 0이 되기 위해서는 Y3가 0, 즉 식(2-6)이 0이 되어야 한다. 따라서 제어 대상계의 전달함수 P는 다음과 같다.

$$P = \frac{S \cdot M}{1 + S \cdot F \cdot M} \tag{2-8}$$

모델의 전달함수는 다음 식(2-9)과 같고

$$M = \frac{A}{1 - B} \tag{2-9}$$

식(2-9)을 식(2-8)에 대입하면

$$P = \frac{S \cdot A}{1 - B + S \cdot F \cdot A} \quad (2-10)$$

이고 식(2-8)에서

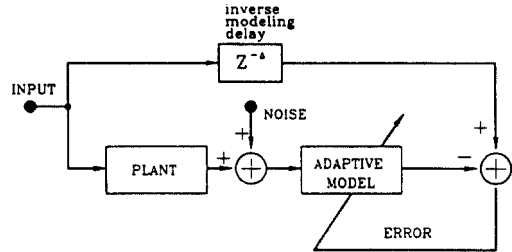
$$M = \frac{P}{S - P \cdot S \cdot F} \quad (2-11)$$

$$M = \frac{P}{S(1 - P \cdot E)} \quad (2-12)$$

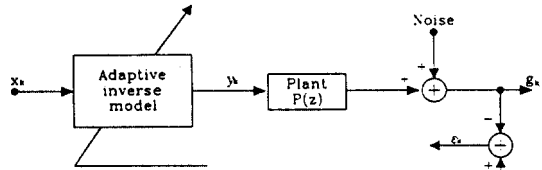
따라서 식(2-9)과 (2-12)을 비교하면 오차가 0이 되도록 하는 모델,  $A=P/S$  및  $B=P \cdot F$ 가 존재한다는 것이 분명해진다. 그러나 S와 E가 미지이고 적응과정 내에 포함되지 않는다면 RLMS 알고리즘이 이 모델에 대해서 수렴하지 않을 것이다. 따라서 능동 소음제어계에 있어 스피커를 포함하는 보조 경로의 전달함수 S와 오차 마이크로폰을 포함하는 오차 경로의 전달함수 E를 적응 모델에 도입하는 것이 필수적인 요건이 된다. [5][6][9]

그런데 그림 2-7(a)와 같이 시스템 P의 출력이 필요하다. 그러나 그림 2-6에서 P의 출력을 측정할 수 없으므로 출력이 필요하다. 그러나 그림 2-7(b)에서처럼 어떤 방법으로 P를 추정하여 그 출력이 LMS 알고리즘의 입력이 되도록 하여야 한다. 이때 적응 필터가  $P^{-1}$ 와 같게 되면 전체 전달 함수가 1이 되며

어때 적응 필터로 모델링 되는 W를 역모델이라 한다. 그림 2-7(c)는 잡음이 있을때의 개념도이고 그림 2-8은 모델링 과정의 지연 시간을 보상하는 방법을 설명하고 있다. 그림 2-4에서 소음 발생기가 필요했던 것은 그림 2-7의 시스템 P를 추정 하기 위한 수단이다.



a) 잡음있는 플랜트에서의 적응 지연모델



b) 잡음있는 플랜트 전단에 위치한 적응 역모델

그림 2-8. 적응 지연 역모델에서의 플랜트 잡음

Fig 2-8. Plant noise of an adaptive inverse model

(a) Adaptive inverse modeling of a noisy plant

(b) Adaptive inverse place forward of plant with additive noise

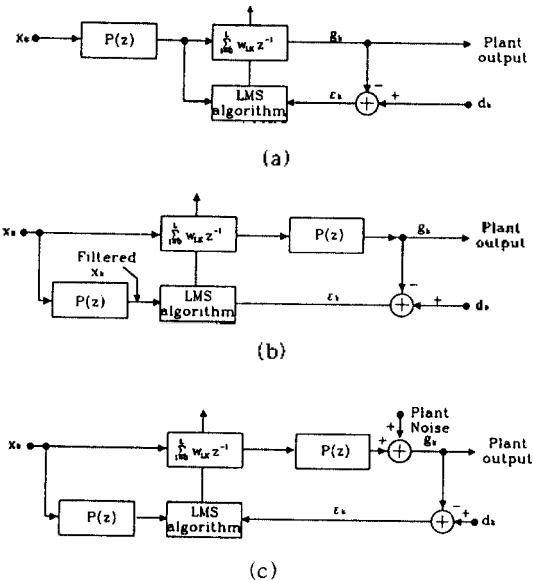


그림 2-7. Filtered\_x LMS알고리즘  
Fig 2-7. Filtered\_x LMS algorithm

### 2-4 DSP를 이용한 능동 소음 제어기의 구성

실시간 적응 필터를 이용한 능동 소음 제어기의 구성에 있어서 마이크로 프로세서의 계산 속도가 그 성능에 많은 영향을 준다. 그림 2-9는 설계된 능동 소음 제어기의 성능을 평가하기 위한 실험 시스템이 구성도이다.

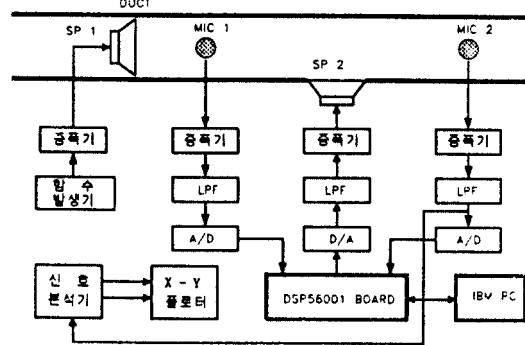


그림 2-9. 능동 소음제어기의 전체구성도  
Fig 2-9. Schematic diagram of Active Noise Control system



기술의 보급은 시간문제로 생각된다. 능동소음제는 이외에도 자동차 실내의 소음감소, 헬리콥터내부의 소음감소등 공간에서의 소음제어기술이 연구되고 있다. 또한 수년전 "소리없는 의자" 라는 제목으로 일본에서의 연구 결과가 일간지에 보도된바 있으나 이 도 위의 연구내용과 비슷한 것으로 소음이 많은 고장의 기계실 옆에 있는 사무실 (감시실)의 소음감소에 응용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Michael Rettinger "Acoustic Design and Noise Control" 1973.N.Y
2. 이강욱 "역모델을 이용한 능동소음 제어시스템," 1992. 2 송실대학교 대학원
3. 이종식 "공조덕트용 능동소음제어장치 개발," 1992.9 능동소음제어 학술회의(과학원)
4. 남원도 "가변환경에서의 적응능동소음제어," 1992.9 능동소음제어 학술회의(과학원)

▲정 찬 수 : 송실대학교 전기공학과