

DSP56001을 이용한 능동소음제어의 구현

°김영훈*, 박장관*, 구준근**, 정찬수*
 * : 송실대학교 전기공학과, ** : 성남기능대학

Implementation of Active Noise Control with DSP56001

° Young-hoon Kim*, Jang-kwan Park*, Choon-keun Koo**, Chan-soo Chung*
 * : Electrical Eng. Soongsil University, ** : Sunnam Polytechnic College

Abstract - This paper deal with the implementation of Active Noise Control(ANC) in a short duct. In case of ANC in the air duct, input microphone, control speaker, error microphone are used. But we can't use input microphone because of the characteristics of short duct. It is difficult to avoid howl. So we propose single-channel adaptive feedback ANC which is composed only error microphone and control speaker without input microphone. FXLMS algorithm is used to compensate for the time delay of the error path. Experimental results show that the controller reduce noise signal sufficiently.

$$s_2(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin \{n\omega(t - \tau) + \theta_n\} \quad (2-2)$$

여기서, τ 는 음의 시간지연을 나타낸다.

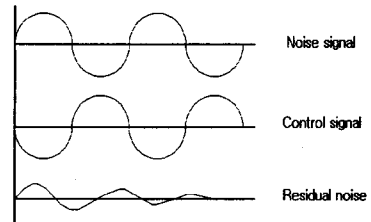


그림 1. 능동소음제어의 기본 개념도

1. 서 론

본 논문에서는 짧은 덕트상의 능동소음제어를 실험으로 구현함을 목적으로 한다. 먼저 소음제어라 하면, 수동소음제어와 능동소음제어로 나뉘는데, 수동소음제어란 흡음재, 챔버 등을 이용하여 소리를 흡수하여 소음을 감쇄시키는 방법이다. 이에비해 능동소음제어는 소음 신호를 추정하여 그와 위상이 180° 차이가 나는 역위상파를 인위적으로 발생시켜 소음신호를 감쇄하는 방법을 말한다.

제어방식으로는 비례환 방식과 궤환 방식으로 나눌 수 있는데, 여기서는 짧은 덕트의 특성 때문에 궤환 방식을 사용한다. 소음원을 추정하기 위해 Filtered-X LMS (FXLMS) 알고리즘이 사용되었고, 실험은 모토로라사의 DSP56001을 이용하였다.

2. 본 론

2.1 능동소음제어의 원리

능동소음제어의 원리는 Lueg에 의해 제안되었는데, 그림 1과 같이 소음원과 음압이 같고 위상이 180° 차이가 나는 파형을 발생시켜주면 음파의 간섭현상으로 소음의 에너지가 줄어들어 소음제어의 효과를 볼 수 있다는 것이다.

그림 1의 Noise signal을 $s_1(t)$, Control signal을 $s_2(t)$ 라 하고 감쇄시켜야 할 소음이 정현파의 합이라면, 소음 신호를 아래 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_1(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin (n\omega t + \theta_n) \quad (2-1)$$

이 식에서 a_n , w , θ_n 의 값을 알 수 있다면, 그림 1에서와 같이 음압이 같고, 위상차가 180° 인 $s_2(t)$ 를 아래와 같이 생각할 수 있다.

2.2 시스템 구조

2.2.1 비례환 방식

일반적인 덕트에서의 소음제어에서는 아래 그림 2와 같이 입력 마이크론을 거쳐 들어온 소음 신호를 제어 스피커를 이용하여 제어신호를 내 보낸 뒤, 입력 소음과 제어 신호와의 오차를 오차 마이크론으로 받아들여 다시 컨트롤러에 넣어주는 비례환 방식을 많이 사용해 왔다.

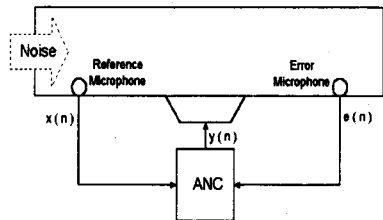


그림 2. 비례환 방식의 구조

2.2.2 궤환 방식

본 논문에서 다루는 길이가 짧은 덕트에서는 그 짧은 길이 때문에 입력 마이크론과 제어 스피커 사이의 거리 확보에 어려움이 따른다.

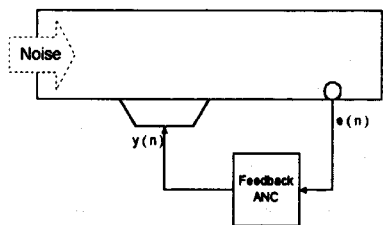


그림 3. 궤환 방식의 구조

충분한 거리를 확보하지 못하면 입력 소음의 제어 스피커에서 나온 제어 신호가 다시 입력 마이크로폰으로 들어가 발산하거나 필터가 고장날 수가 있다. 그리하여 위의 그림 3과 같이 입력 마이크로폰이 없이 오차 마이크로폰과 제어 스피커만으로 구성된 폐환 방식을 제안한다.

입력마이크로폰을 거치지 않고 일단 제어스피커를 통과한 소음이 오차 마이크로폰으로 유입되면 그 오차를 줄이는 방향으로 제어 스피커로 출력을 내 보내게 된다.

2.3 적응제어

덕트안의 공간에서 소음원의 전달속도는 온도나 공기 흐름의 변화에 영향을 받게된다. 전달속도의 변화는 곧 시간지연의 변화이므로 이러한 환경에서 시스템의 제어기가 시불변으로 특성이 결정되어 있다면, 환경변화에 따른 적응이 불가능하다. 따라서, 오차를 줄이는 방향으로 적응필터의 계수를 갱신해야 하는데 이러한 제어를 적응제어라 한다. 적응알고리즘으로는 계산량이 적은 LMS(최소자승평균) 알고리즘이 많이 사용된다.

2.3.1. LMS 알고리즘

평가함수 J_{mse} 를 다음과 같이 정의한다.

$$J_{mse} = E[e^2(n)] \quad (2-3)$$

여기서 $e(n)$ 은 오차값으로, 입력값 $d(n)$ 과 출력 $y(n)$ 의 차이이다. 즉,

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2-4)$$

적응필터의 계수를 $w(n)$ 이라 하면, 그림 4에서와 같이 $y(n) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}(n)$ 이므로

$$e(n) = d(n) - \mathbf{w}^T \mathbf{x}(n) \quad (2-5)$$

가 된다. 적응필터의 계수 $w(n)$ 은 식(2-6)과 같이 갱신되는데

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu e(n) \mathbf{x}(n) \quad (2-6)$$

이 알고리즘을 LMS 알고리즘이라 하고 그 기본 개념도는 그림 4와 같다.

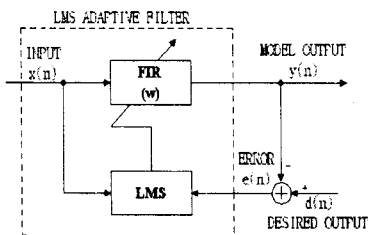


그림 4. LMS 알고리즘의 기본 개념도

2.3.2. Filtered-X LMS 알고리즘

Filtered-X LMS(FXLMS) 알고리즘은 LMS 알고리즘에 제어 스피커와 오차 마이크로폰 사이의 오차경로를 고려해 준 것이다. FXLMS 알고리즘을 적용한 폐환 방식의 블록선도는 그림 5와 같다. 여기에서 오차신호는 입력값 $d(n)$ 과 출력 $y(n)$ 의 차이가 아니라 $d(n)$ 과 오차경로를 통과한 $y_f(n)$ 과의 차이가 된다. 따라서, 오차신호는

$$e(n) = d(n) - y_f(n) \quad (2-7)$$

$$= d(n) - s(n) * [\mathbf{w}^T \mathbf{x}(n)] \quad (2-8)$$

$$= d(n) - s(n) * [\mathbf{w}^T(n) \mathbf{x}(n)] \quad (2-9)$$

여기서 $\mathbf{x}_f(n) = s(n) * \mathbf{x}(n)$ 라 하면, 추정 필터의 계수는 식 (2-10)과 같이 된다.

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{x}_f(n) e(n) \quad (2-10)$$

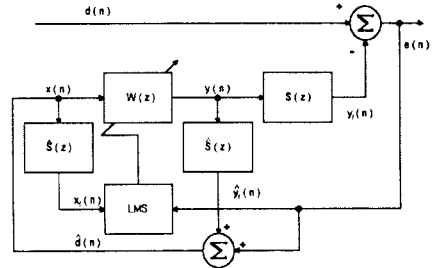


그림 5. 폐환 능동소음제어의 블록선도

2.4 실험 및 결과

2.4.1 실험장치

그림 6은 본 논문에서 실제 구현한 능동소음제어 실험 장치의 구성도이다. 오차 마이크로폰으로 들어온 소음 신호는 AMP로 증폭되고, 에일리어싱 방지를 위해 L.P.F(Low Pass Filter)를 통과한 뒤, A/D 변환을 해서 DSP 보드로 들어간다.

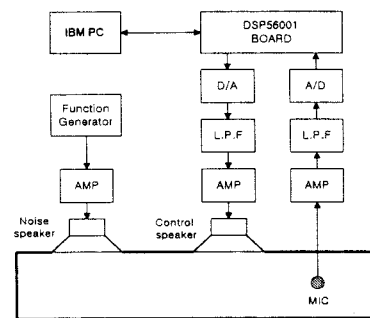


그림 6. 능동소음제어 실험장치의 구성도

들어간 신호는 DSP 보드 안에서 분석, 처리되어 다시 D/A 변환, L.P.F 통과, AMP등을 거쳐 제어 스피커를 통해 출력을 내 보내게 된다. 사용된 A/D, D/A 변환기는 ANALOG DEVICE사의 AD678과 AD767이고, DSP 칩은 MOTOROLA사의 DSP56001이다.

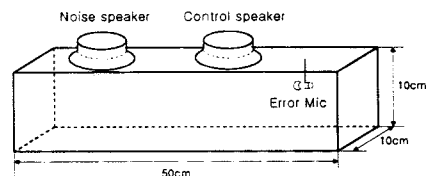


그림 7. 실험에 사용된 시스템 모형

2.4.2 시스템의 전달함수

off-line으로 측정된 시스템의 전달함수는 식(2-11)과 같다.

2.4.3 실험결과

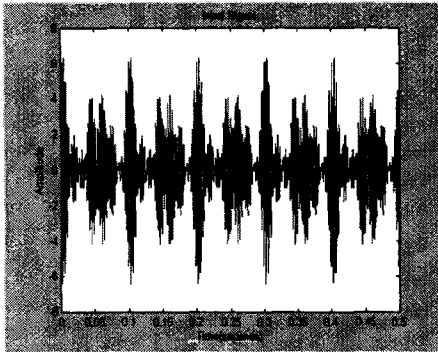


그림 8. 입력소음신호

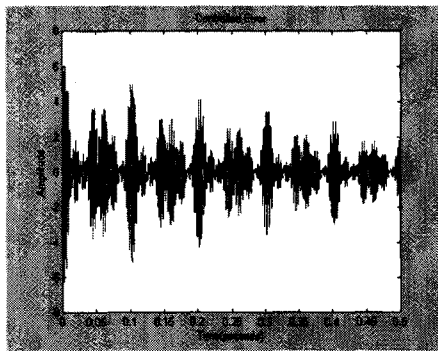


그림 9. 오차신호

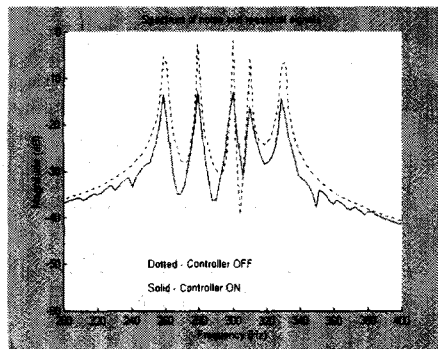


그림 10. 소음신호와 오차신호의 파워 스펙트럼

본 논문에서 제안된 궤환 방식에 의한 제어의 결과 7~15(dB) 정도의 감쇄 효과가 있음을 알 수 있다.

1)

$$S(z) = \frac{1.0136 - 3.0793z^{-1} + 3.3927z^{-2} - 1.5905z^{-3} + 0.2636z^{-4}}{1 - 3.9359z^{-1} + 5.8277z^{-2} - 3.8471z^{-3} + 0.9554z^{-4}}$$

(2-11)

3. 결 론

본 논문에서는 Filtered-X LMS (FXLMS) 알고리즘이 적용된 궤환 방식을 사용하였다. 제안한 궤환 방식을 이용하면 기존의 공조 덕트와 같이 길이가 길지 않아서 두 개의 마이크로 폰을 사용할 수 없는 공간에서도 소음 제어를 할 수 있음을 보였다. 그리하여 제안한 시스템은 냉장고등에 안정적으로 동작하는 시스템으로 적용될 것으로 기대된다.

이번 실험에서는 전달 함수를 off-line으로 측정된 뒤에 시스템에 적용을 하였는데, 향후 다른 또 하나의 LMS 알고리즘을 이용해 on-line으로 전달함수의 계수를 갱신하는 시스템을 생각해 볼 수 있겠다.

(참 고 문 헌)

- [1] Sen M. Kuo & Dennis R. Morgan, "Active Noise Control Systems Algorithms and DSP Implementations", A Wiley-interscience Publication.
- [2] Simon Haykin, "Adaptive filter theory", Prentice Hall.
- [3] P.A. Nelson and S.J. Elliott, "Active Control of Sound", ACADEMIC PRESS
- [4] 정찬수·신승식 외, "강인성을 개선한 적응 능동소음제어 시스템", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.993-995, 1996. 7.
- [5] 정찬수·오학준 외, "강인성을 고려한 능동소음제어 시스템에 관한 연구", 석사학위논문, 숭실대학교, 1994. 12.
- [6] 정찬수·구춘근 외, "두개의 병렬필터를 갖는 능동소음제어 시스템의 구현", 박사학위논문, 숭실대학교, 1997. 6.
- [7] 정찬수·이철기 외, "신뢰성을 개선한 적응 능동소음제어 시스템의 고장판별", 석사학위논문, 숭실대학교, 1997. 12.
- [8] 정찬수·박장관 외, "단일채널 적응궤환 방식을 이용한 능동소음제어", 석사학위논문, 숭실대학교, 1997. 12.
- [9] 정찬수·박장관 외, "준 1차원 공간 내에서의 소음제어에 관한 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.482- 484. 1997. 7.