

능동소음제어 기법을 이용한 Active Noise Barrier 구현

권 혁, 서성대, 남현도
 단국대학교 대학원 전기공학과

Implementation of Active Noise Barriers Using Active Noise Control Techniques

Hyok Kwon, Sung-Dae Seo, Hyun-Do Nam
 Department of Electrical Engineering, Dankook University

ABSTRACT

In this paper, implementation of active noise barriers using active noise control techniques is presented.

Multi-channel FX-LMS algorithms and Leaky LMS algorithms are used for adaptive filters to attenuate noise which is propagated from the outside of experimental enclosures.

Experiments have done to show the effectiveness of a proposed active noise barriers.

1. 서 론

과학기술의 발달은 산업의 발전과 더불어 인간의 생활을 윤택하게 하였으나, 환경오염과 같은 문제점이 대두되었다. 특히 소음은 산업현장뿐 아니라 인간생활에 밀접한 영향을 미치게 되었다. 소음을 제어하는 기법으로는 흡음재나 방음재를 이용한 수동 소음제어기법과 중첩의 정리를 이용한 능동 소음제어기법이 있다. 최근 들어 반도체 제조 기술의 발전과 인간에게 큰 영향을 미치는 저주파 대역의 소음에 적합한 능동 제어 기법의 연구가 활발히 이루어지고 있다[1].

본 논문에서는 공간 외부에 위치하는 소음원에 의하여, 창문등과 같이 부분적인 개구부를 가지는 실내 공간에 소음이 전파될 때, 능동 소음제어기법을 이용하여 이를 제어하는 능동방음벽 (active noise barrier)을 구현하였다.

내부 공간의 소음을 제어하기 위하여 능동방음벽을 제작하였으며, 소음을 제어하기 위하여 6개의 마이크론과 4개의 제어스피커를 가지는 다중채널 능동소음제어 시스템을 구성하였다. 적응필터 알고리즘으로는 다중채널 Filtered-X LMS 알고리즘을 사용하였으며, 고속의 연산을 수행하기 위해 DSP를 이용해 실험하였다.

2. 본 론

2.1 능동 소음 제어 이론

능동소음제어는 중첩의 원리를 이용한 것으로 소음제어의 기본 원리는 덕트내에서 간단히 설명되어질 수 있다. 제어용 음원을 이용하여 제어 신호를 발생시킴으로써 발생된 소음을 상쇄시키는 것으로, 이를 구성하면 그림 1과 같다.

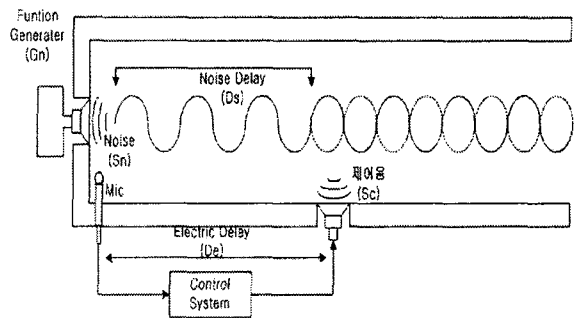


그림 1 능동 소음 제어의 기본 원리

소음원 G에서 발생한 음향 S_n 은 덕트를 따라서 전파되어 마이크론에 의해서 감지된다. 이 신호를 전기 신호로 변환하여 제어 시스템을 통해 위상과 음향의 크기를 가변하고 출력 스피커를 통해 제어음 S_c 가 방출된다. 음파의 전달 속도가 전기적 신호의 전달 속도에 비해 느리기 때문에 신호의 지연 D_s 는 전기적 지연 D_e 보다 작다. 그러므로 소음원에 대한 제어음 S_c 의 180° 위상전환은 제어 시스템의 적절한 크기 보상과 위상 변화로 얻을 수 있다.

2.2 능동 소음 제어를 위한 제어 알고리즘

일반적인 디지털 적응 필터는 크게 디지털 필터부와 적응 알고리즘부 두 부분으로 나타낼 수 있으며, 이를 블록선도로 나타내면 그림 2와 같다.

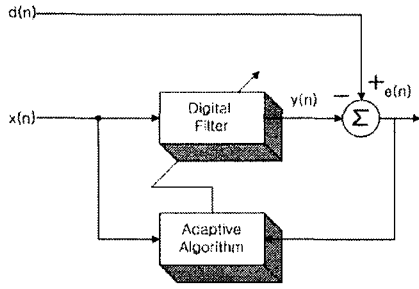


그림 2 디지털 적응 필터의 기본 원리

적응 알고리즘은 디지털 필터의 오차 $e(n)$ 의 값을 최소화 하기 위한 디지털 필터의 계수를 조정하는 것으로, 일반적으로 filtered-x LMS 알고리즘을 많이 사용한다.

2.2.1 LMS 알고리즘

LMS 알고리즘은 오차의 자승의 값 $e^2(n)$ 을 최소화 하는 제어 알고리즘으로 최대 경사법(steepest descent method)에 $E[e^2(n)]$ 대신에 매 순간의 $e^2(n)$ 의 값을 적용하여 유도한 것으로 이를 수식적으로 전개하면 아래와 같다[2].

$$\hat{\xi}(n) = e^2(n) \quad (1)$$

$$\nabla \hat{\xi}(n) = 2[\nabla e(n)]e(n) \quad (2)$$

여기서, $e(n) = d(n) - W^T(n)X(n)$ 이므로

$$\nabla e(n) = -X(n) \quad (3)$$

따라서

$$\nabla \hat{\xi}(n) = -2X(n)e(n) \quad (4)$$

$$W(n+1) = W(n) - \frac{\mu}{2} \nabla \hat{\xi}(n) \quad (5)$$

식(2)를 최대 경사법의 계수 적응식인 식(5)에 적용하면,

$$W(n+1) = W(n) + \mu X(n)e(n) \quad (6)$$

식(6)은 일반적인 LMS 알고리즘이다.

2.2.2 Leaky LMS 알고리즘

LMS 알고리즘에서 $e^2(n)$ 의 값을 최소화 하는

업데이트 과정에서 제어음원(Secondary Source)의 과도한 출력(overdriving)으로 인해 비선형 왜곡(nonlinear distortion)이 발생하는 경우가 있는데, 발산을 방지하기 위하여 출력을 제한할 필요가 있다. 이식을 전개하면 아래와 같다.

$$\hat{\xi}(n) = e^2(n) + \nu y^2(n) \quad (7)$$

ν : weighting factor

$$\hat{\xi} = e^2(n) + \nu W^T(n)W(n) \quad (8)$$

이를 미분하여 업데이트 하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} W(n+1) &= W(n) + \mu X(n)e(n) - \mu \nu W(n) \\ &= (1 - \mu \nu)W(n) + \mu X(n)e(n) \\ &= \nu W(n) + \mu X(n)e(n) \end{aligned} \quad (9)$$

1에 가까운 ν ($0 < \nu < 1$)를 추가함으로써 weight의 발산을 방지하여, 과도한 출력을 방지할 수 있으나, 알고리즘의 성능은 떨어진다. 그러므로 적절한 ν 의 값을 선정해야 한다. 그림 3은 실제 시스템의 Leaky LMS 알고리즘과 LMS 알고리즘의 시간에 따른 Weight 수렴도를 비교 분석하였다.

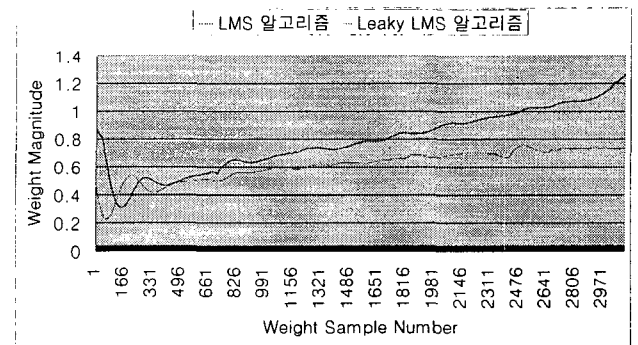


그림 3 Leaky LMS 와 LMS 알고리즘의 Weight 수렴도

2.2.3 다중채널 Filtered-X LMS 알고리즘

다중채널 Filtered-X LMS 알고리즘의 블록선도는 그림 4와 같다.

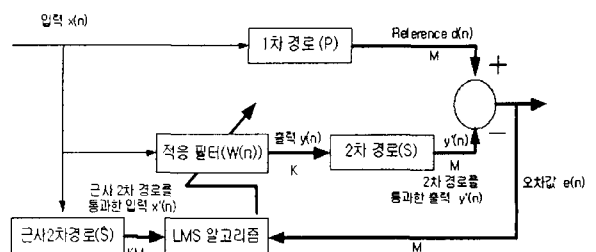


그림 4 Filtered-X LMS 구조를 가지는 제어 시스템

2차 경로 전달 함수 S 를 $e(n)$ 에 적용하면

$$e(n) = d(n) - s(n) * [W^T X(n)] \quad (10)$$

이를 미분하면

$$\nabla e(n) = -s(n) * X(n) = -X'(n) \quad (11)$$

식 (11)을 식 (4)에 대입하면 아래와 같다.

$$\nabla \xi(n) = -2 X'(n) e(n) \quad (12)$$

그러므로 일반적인 FX-LMS 알고리즘은 아래와 같다.

$$W(n+1) = W(n) + \mu X'(n) e(n) \quad (13)$$

여기서 $X'(n) = \hat{s}(n) * X(n)$ 이다.

다중채널을 갖는 FX-LMS 알고리즘은 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$W_k(n+1) = W_k(n) + \mu \sum_{m=1}^M X_{km}(n) e_m(n) \quad (14)$$

(K=출력스피커의 수, M=에러마이크폰의 수)

2.3 Active Noise Barrier

능동방음벽(Active Noise Barrier)은 소음센서(마이크로폰)를 이용하여 외부의 소음을 감지한 후, 적응필터를 통해 내부의 소음을 감쇄시키는 2차 음원을 내보내 소음을 상쇄시키는 방법이다[3,4]. 오차센서(마이크로폰)를 이용해 잔존 소음을 측정하여 잔존 소음을 최소화할 수 있게 적응 필터를 업데이트 시킨다. 그림 5는 능동방음벽(Active Noise Barrier)의 블록선도이다.

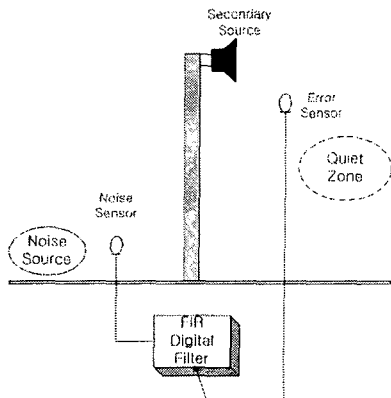


그림 5 능동방음벽(Active Noise Barrier)

2.4 Active Noise Barrier 구현

능동방음벽을 구현하기 위하여 6개의 마이크로폰과 4개의 loudspeaker를 가지는 Multi-Channel FX-LMS 알고리즘을 사용하였다. 고속의 연산을 수행하기 위하여 60MIPS(17nsec)의 처리속도를 가지는 TI사의 TMS320C33 DSP를 사용하였으며, 시스템의 구조는 그림 6과 같다.

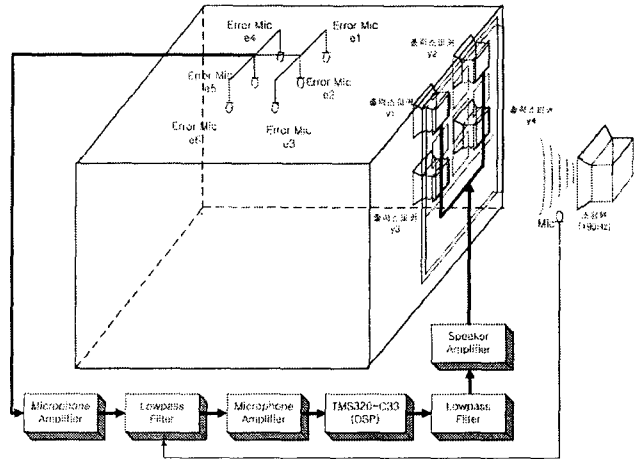


그림 6 능동방음벽 전체 시스템 구성도

주파수발생기를 이용하여 기준입력 신호 190[Hz]를 주었으며, 소음실 내부에는 공명현상을 완화하기 위하여 내벽에 흡음재를 부착하였다. 그림 7은 실험에 사용된 4개의 제어음원 스피커를 장착한 능동방음벽이다.

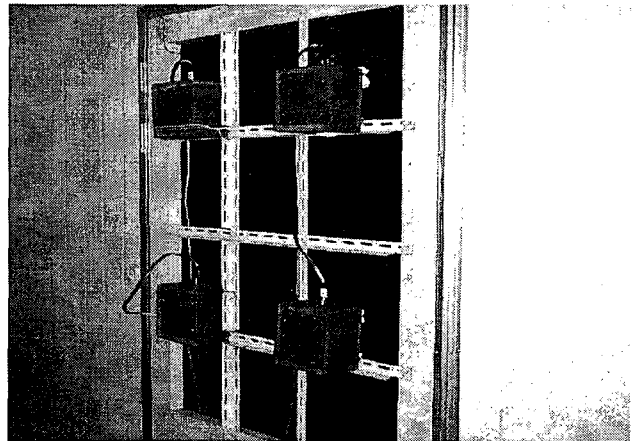


그림 7 능동방음벽

그림 8~11은 그림 6에서 각 에러 마이크로폰의 능동소음 제어전과 제어후를 비교한 FFT와 파워스펙트럼이다. 그림 8과 그림 9는 마이크로폰1을 비교하였는데 23dB 정도 소음 감쇄 효과를 보았고, 그림 10과 그림 11은 마이크로폰6에서의 소음 감쇄 효과로써 58dB 정도의 감쇄 효과를 확인할 수 있었다.

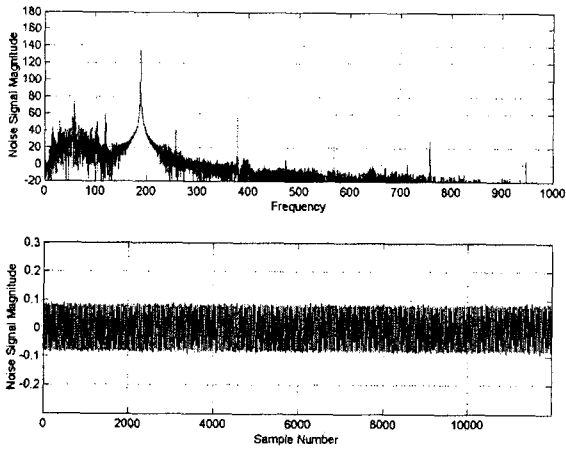


그림 8 소음제어전의 Mic1 Error signal
FFT 와 Power spectrum

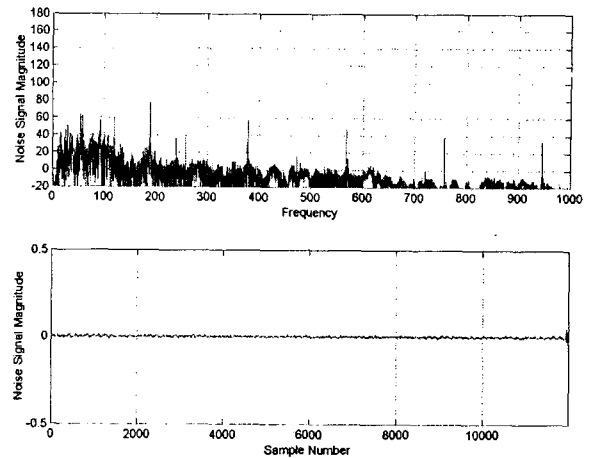


그림 11 소음제어후의 Mic6 Error signal
FFT 와 Power spectrum

3. 결 론

본 논문에서는 능동 소음제어기법을 이용하여 능동방음벽을 구현하였다. 고속의 연산에 적합한 TMS320C33 DSP 보드를 이용하여 적응필터를 구현하였으며, 제어 알고리즘으로는 Multi-Channel FX-LMS 알고리즘을 사용하였다. LMS 알고리즘의 수렴성을 향상시키기 위하여 Leaky LMS 알고리즘을 사용하였다.

실험 결과 협대역 소음의 경우, 최고 50dB이상의 감쇄 효과를 볼 수 있었으며, 평균 20dB 내외의 소음감쇄를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S.M.Kuo and D.Morgan, "Active Noise Control System," John Wiley and Sons, Inc, New York, 1996.
- [2] B. Widrow and S. D. Stearns. Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall, EngleWood Cliffs, New Jersey, 1985.
- [3] A. Omoto, K. Takashima, Active suppression of sound diffracted by a barrier : An outdoor experiment. 2, 1997
- [4] Shiro Ise, Hiroo Yano and Hideki Tachibana. Application of Active Control to noise barrier

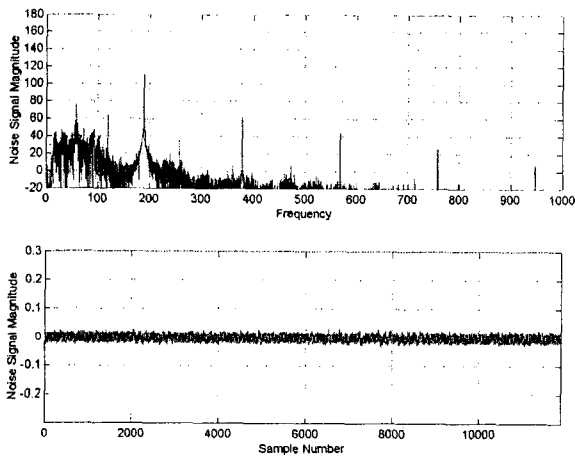


그림 9 소음제어후의 Mic1 Error signal
FFT 와 Power spectrum

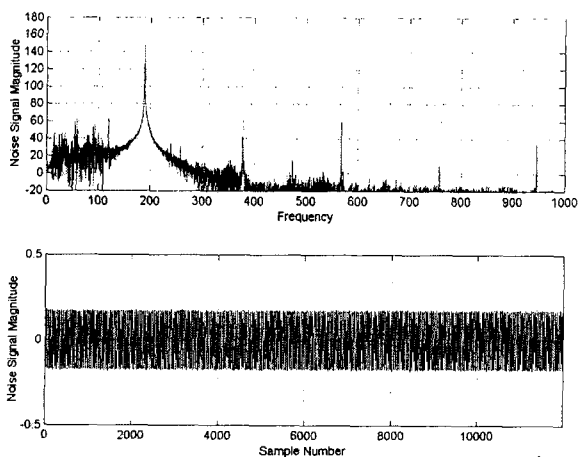


그림 10 소음제어전의 Mic6 Error signal
FFT 와 Power spectrum