

FXLMS 알고리즘을 이용한 사각밀폐공간의 능동소음제어

Active Noise Control of Closed Rectangular Cavity using the FXLMS Algorithms

류 경 완*·홍 진 숙†·정 의 봉**
 Kyungwan Ryu, Chinsuk Hong and Wei Bong Jeong

Key Words : Active Noise Control(능동소음제어), FXLMS(filtered-x least mean square)

ABSTRACT

This paper investigates active noise control(ANC) of a rectangular cavity using single channel filtered-x least mean square(FXLMS) algorithms to reduce interior noise globally. To obtain global reduction of the interior noise, multichannel active control should be incorporated in general. We, however, examined firstly the optimal location of the secondary speaker that produces a global reduction of the interior noise field. We then investigated the frequency characteristics of the reduction to yield the effective frequency band of the active control system. It follows that the secondary speaker should be located as close to the primary source as possible in order to obtain global reduction.

능동소음제어에 가장 널리 사용되는 FXLMS 알고리즘의 블록선도는 Fig. 1과 같다. 블록선도로부터 오차신호 $e(n)$ 은 수식 (1)과 같으며 $c'(n)$ 은 예측된 오차경로이다.

1. 서 론

편의를 위해 실내에서 사용하는 각종 가전기기들은 제품에 따라 많은 소음을 동반하기도 한다. 특히 가정용 또는 차량용 에어컨은 실내 소음의 주된 요인이다. 에어컨의 소음을 줄이기 위해서 많은 연구가 지속되어왔고 실제 소음레벨이 과거와 비교하여 많이 줄어들었으나 저주파 대역의 소음에 대해서는 구조물 크기의 한계와 주파수 특성으로 인해 그 감소 정도가 미미한 편이다. 그러나 능동소음제어 기술을 이용할 경우 그러한 저주파 소음이 크게 줄어들 수 있다. 일반적으로 실내전체의 에너지를 감소시키기 위해서 다중채널 제어기를 사용하지만 단일채널 제어기의 경우에도 제어스피커의 위치에 따라 전체의 음장특성이 달라지며 제어스피커의 위치가 최적인 경우 광역적인 에너지 제어가 가능하다. 본 논문에서는 단일채널 FXLMS알고리즘을 이용한 실내 소음제어시 제어스피커의 위치에 따른 제어성능의 변화와 최적위치에서의 소음감소정도를 고찰하였다.

$$e(n) = d(n) - c'(n)[x^T(n)w] \quad (1)$$

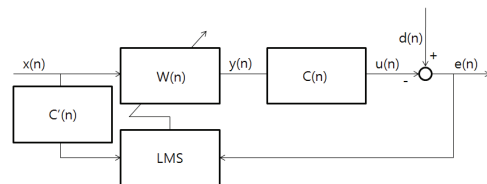


Fig. 1. Block diagram of FXLMS algorithm

FXLMS 알고리즘은 오차신호의 파워를 최소화시키기 위해 $w(n)$ 의 필터계수를 갱신하게 되고 결국 $e(n)$ 은 최소값으로 수렴하게 된다. 필터 계수 갱신은 Steepest descent 법을 이용하며 $\partial J/\partial w = -c'(n)[2x(n)e(n)]$ 가 되므로 FXLMS 알고리즘은 수식 (2)와 같이 필터계수를 갱신하게 된다.

$$w(n+1) = w(n) + 2\mu r(n)e(n) \quad (2)$$

여기서 $r(n)$ 은 필터링 된 참조신호, 즉 $r(n) = x(n)c'(n)$ 을 나타내고 μ 는 수식 (3)과 같은 범위를 가지게 된다.

$$0 < \mu < \frac{1}{I r^2} \quad (3)$$

여기서 I 는 필터길이, r^2 은 필터링 된 참조신호의 파워이다.

2. FXLMS 알고리즘의 이론

† 교신저자; 울산과학기술대학교 디지털기계학부
 E-mail : cshong@mail.uc.ac.kr
 Tel : (052) 279-3134, Fax : (052) 279-3171

* 부산대학교 대학원 기계시스템설계

** 부산대학교 기계공학부

3. FXLMS 알고리즘의 적용

그림 2는 시뮬레이션에 사용된 사각밀폐공간의 형상이다.

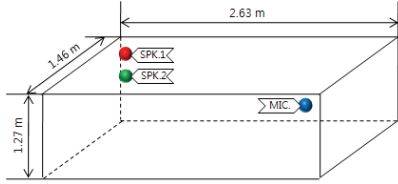


Fig. 2. Schematic representation of active noise control of a cavity

Fig.2에 보이는 사각 공간의 치수는 일반 승용차의 부피를 참조하여 정하였으며 소음은 SPK.1에서만 발생하는 것으로 가정하였다. 또한 에러신호인 MIC는 임의로 소음원의 대각선에 위치시켰다. SPK.2는 제어스피커이다.

3.1 제어 스피커의 위치선정

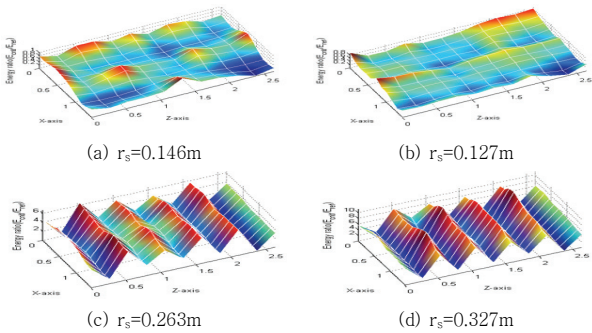


Fig. 3. Comparison of energy ratio at each location
(r_s : distance between primary source and secondary source)

Fig.3에 제어전후의 에너지 비를 소음원과 제어스피커의 거리(r_s)에 따라 나타내었으며 그 정의는 수식(4)와 같다.

$$\text{에너지비} = \frac{\text{제어후의에너지}}{\text{제어전의에너지}} \quad (4)$$

에너지비가 1보다 작은 경우 소음이 감소하였다고 할 수 있다. 제어성능이 가장 우수한 경우는 Fig.3(b)의 경우이다. 그러므로 제어 스피커가 소음원로부터 가까울수록 더 좋은 제어성능을 나타낸다고 할 수 있다.

3.2 시뮬레이션 결과

Fig.4에 제어전후의 에너지 변화를 나타내었으며 Fig.5에 제어구역과 임의의 구역에 대한 음압변화를 나타내었다. Fig.4에서 제어하기 전의 스펙트럼인 실선 스펙트럼과 제어 후의 점선 스펙트럼을 비교해보면 스피커의 위치가 최적인 경우 단일채널제어기의 경우에도 거의 모든 영역의 소음감소가 가능함을 알 수 있다. Fig.5에서도 마찬가지로 실선과 점선이 각각 제어전과 제어후의 스펙트럼을 나타내는데 제

어 구역의 음압 스펙트럼인 (a)에서 알 수 있듯이 제어후의 음압이 이론적으로 완전히 없어질 수 있음을 보여주고 있으며 제어 구역 근처인(b)에 대해서도 관심 주파수 내의 모든 구간에서 음압이 감소하고 있음을 보여주고 있다. (c)와 (d)는 공간상의 임의의 점으로 제어구역으로부터 각각 1.315m, 1.439m 씩 떨어진 구역의 음압변화를 보여주고 있다. Fig.4의 에너지 스펙트럼에서 예측할 수 있듯이 100Hz이하의 주파수에 대해서는 음압이 감소하지만 고주파 영역으로 갈수록 제어성능이 떨어짐을 알 수 있다.

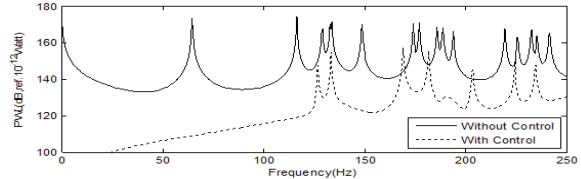
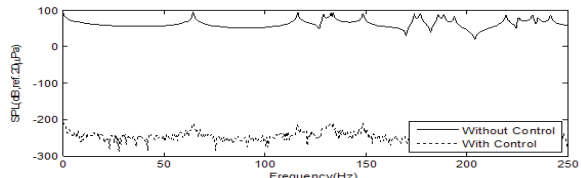
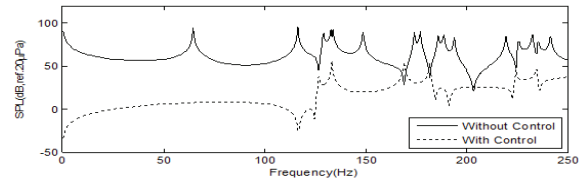


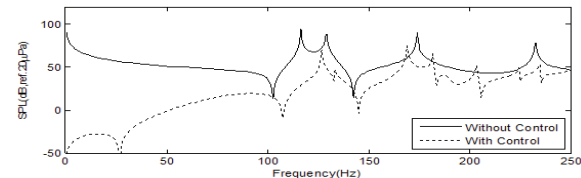
Fig. 4. Simulated PWL spectrum of entire space



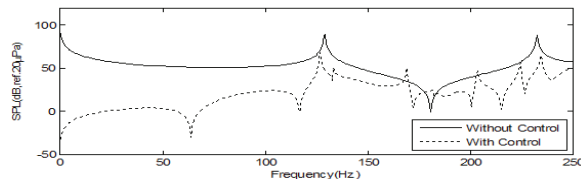
(a) $r_e = 0m$



(b) $r_e = 0.127m$



(c) $r_e = 1.315m$



(d) $r_e = 1.439m$

Fig. 5. Simulated SPL spectrum of node
(r_e : distance between error sensor and observed node)

4. 결론

본 연구는 실내에서 발생하는 소음을 줄일 수 있는 방법에 관한 것이다. 단일채널 FXLMS 알고리즘을 이용하여 사

각 밀폐공간의 광역적인 소음제어의 가능성에 대해서 고찰하였다. 밀폐공간의 능동소음제어 시 약 100Hz 미만의 저주파 소음에 대해서는 모든 공간에서 그 성능이 우수함을 보였으며 특히 에러마이크로폰 근처에서는 관심주파수 전체 영역에서 우수한 제어성능을 보였다. 비 제어구역에서는 고주파 소음에 대한 제어성능이 좋지 않았으나 전체 에너지 측면에서는 매우 우수한 제어성능을 확인하였다. 그러므로 제어스피커의 위치가 소음원에 대해 최적의 위치에 있는 경우 단일채널제어기를 이용하여도 밀폐공간의 광역적인 소음 제어가 가능하다.