한국소음진동공학회 창립 20주년 기념 2010년 춘계학술대회논문집, pp.405~406

내부 음장 예측을 통한 능동 소음제어 창문

Active window based on the prediction of interior sound field

권병호† · 박영진* · 박윤식**

Byoungho Kwon, Youngjin Park and Youn-sik Park

1. 서 론

건물환경에서 소음 문제에 대한 관심이 증가되면서 다양한 소음제어 기술들이 개발되고 있다. 이런 기술에는 건물 재료의 흡음 및 차음 특성을 이용한 수동 소음제어 기법과 추가적인 센서와 구동기를 이용한 능동 소음제어 기법들이 있다[1, 2]. 수동 소음제어 기술은 넓은 주파수 범위의 소음을 저감시킬 수 있다는 장점이 있지만, 저주파수 대역의 소음을 저감시키기 위해 상대적으로 고비용, 저 효율성을 갖는 단점이 있다. 이와는 달리 능동 소음제어 기술은 소음원에 대해서 추가적인 센서와 구동기를 이용하여 제어 음원을 적절히 재생하여 정숙 공간을 형성하는 방법이다. 이 방법은 센서와 구동기의 동작 성능이 제어성능에 직접적인 영향을 미치므로 저주파수 대역의 소음제어에 적합하며, 최근에 이산신호처리 하드웨어의 성능이 향상되면서 제어 가능한 소음 주파수 영역이 확대되고 있다.

건물환경에서는 외부에서 유입되는 주된 소음원(교통소음, 건설소음 등)이 저주파수 대역의 소음임을 감안할 때, 능동 소음제어 기법을 적용하여 소음제어를 수행함이 적절하다. 본 연구에서는 건물환경의 특성을 고려하여 외부에서 발생된 소음이 내부로 유입될 때, 거주자가 생활하는 건물 내부에 추가적인 센서를 설치하지 않으면서 소음을 저감 시킬 수 있는 방법을 개발하고자 한다. 이와 같이 제어영역에 신호 측정을 위한 센서를 설치하지 않고 능동 소음제어를 적용하기 위한 방법으로는 가상센서를 이용한 능동 소음제어 방법과, 경계 음압제어 방법 등이 있다[3-6]. 가상센서를 이용한 능동 소음제어 방법은 제어영역 밖에 설치된 센서와 제어영역 사이의 음향학적 전달함수를 이용하여 제어영역에서의 음압을 예측하고 이를 능동 소음제어에 활용하는 방법이다[3, 4]. 이 방법은 센서와 제어영역 사이의 전달함수를 측정해야 하는 어려움 때문에 건물환경 적용하기에는 부적절하다. 경계 음압제어 방법은 제어영역 경계에 설치된 센서로부터 측정된 음압 정보를 이용하여 제어영역에서의 음장을 추가적인 구동기를 이용하여 재현시킴으로써 소음을 저감시키는 방법이다[5, 6]. 이 방법은 건물환경과 같이 제어영역이 큰 경우에는 많은 수의 센서를 필요로 하기 때문에 실제 건물환경에 적용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 건물 외부에서 창문을 통해 유입되는 소음을 건물 외부에 설치된 센서와 레일리 적분식(Rayleigh integral equation)을 이용하여 예측하고, 예측된 음장을 이용하여 창문 틀에 설치된 구동기를 이용하여 소음 제어할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 능동 소음제어 창문

본 연구에서 제안하는 능동 소음제어 창문의 개념은 그림 1 과 같다. 자연통풍을 위해 열린 창문을 통해 내부로 유입된 소음의 음장을 창문 외부에 설치된 마이크로폰과 레일리 적분식을 이용하여 예측한다. 또한 소음제어를 위한 각 스피커의 최적 제어입력 이득값은 예측된 내부 음압 정보를 이용하여 계산한다. 이와 같이 계산된 최적제어 입력 이득값과 외부에서 측정된 소음 신호를 이용하여 실시간 소음제어를 수행하여 제어영역에서 소음 저감 효과를 얻을 수 있도록 한다.

3. 내부 음장 예측 및 최적 제어음

3.1 절 Rayleigh Integral Equation

그림 2 의 (a)와 같이 강체의 무한 평판에 사각형 모양의 창문에 대해서 평면파의 음원이 외부로부터 유입될 때, 자유 음장 조건인 내부 음장은 식 (1)과

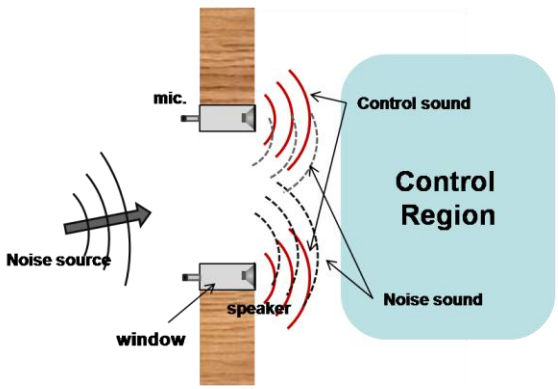
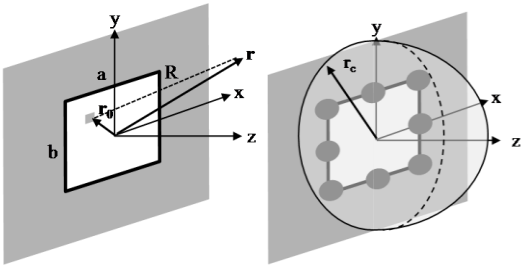


Fig. 1 Concept of the active window



(a) (b)

Fig. 2 (a) Coordinate on inner space, (b) surface where the pressure should be predicted for calculating the optimal control input

같이 레일리 적분식으로 표현된다[7].

$$\boldsymbol{P}_i(x,y,z) = -\frac{jk\rho_0 c}{2\pi} U\left(x_0, y_0, 0\right) \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-a/2}^{a/2} \frac{e^{jkR}}{R} dx_0 dy_0$$

$$R = \sqrt{\left(x - x_0\right)^2 + \left(y - y_0\right)^2 + z^2}$$

식 (1)

여기에서 $\boldsymbol{P}_i$는 공간 내부의 음압이며, k, ρ_0, c는 각각 파수, 공기의 밀도, 음속을 나타낸다. 또한 $U\left(x_0, y_0, 0\right)$는 창문 면에서의 속도이며 평면파의 경우 창문 면 전체에서 일정한 값을 가진다. a, b는 창문의 넓이 및 높이이다.

3.2 절 최적 제어입력 이득값 계산

외부에서 유입되는 소음에 대해서 내부공간의 소음을 저감시키기 위해 창문 가장자리에 설치된 8 개 스피커의 제어입력 이득값은 그림 2 의 (b)와 같이 창문을 둘러싼 반 구면에서 예측된 음압이 최소가 되도록 목적함수를 정의해 계산하였다.

4. 능동 소음제어 창문 성능 평가

앞에서 설명한 능동 소음제어 창문의 성능 평가를 위해서 그림 3 과 같이 1.2mX1.5mX1.2m 크기의 건물 축소모형을 제작하였다. 모형의 한 쪽 면에는 0.3mX0.3m 크기의 창문을 만들었으며, 창문 가장자리에 8 개의 스피커를 설치할 수 있도록 하였다. 외부의 소음원은 700Hz 단일 주파수 음원을 스피커로 재생시켜 모사하였으며, 외부에 설치된 마이크로폰에서 측정된 신호와 미리 계산된 각 스피커의 최적 제어입력 이득값을 이용하여 실시간 제어가 가능하도록 하였다. 실험 결과 축소모형 내부의 세 곳, (x, y, z)=([0.1 0 -0.1]m, 0m, 0.9m) 에서의 제어 전·후의 측정된 신호의 RMS 값을 비교해본 결과 외부 소음이 10dB 이상 감소 되었음을 확인하였다.

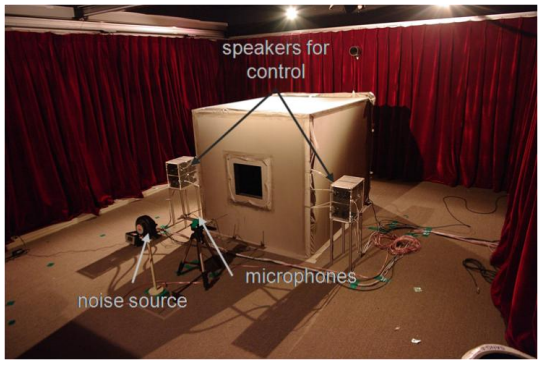


Fig. 3 Experimental setup for performance evaluation

5. 결 론

본 연구에서는 자연통풍을 위해 열린 창문을 통해 내부로 유입되는 소음을 저감시키기 위한 능동 소음제어 창문을 제안하였다. 건물환경의 특성상 건물 내부에 센서 설치를 하지 않기 위해서 레일리 적분식을 이용해 예측된 내부 음장을 능동 소음제어에 이용하였으며, 축소모형을 이용해 제어 성능을 평가한 결과 창문 정면부분에서 10dB 이상의 소음 저감 효과를 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 핵심기술개발사업[2008-F-044-01, 전자파, 음향 및 건물 환경을 개선하는 지능형 건설 IT 융합 신기술 개발] 일환으로 수행하였음.

참고문헌

[1] L. L. Beranek and I. L. Ver, *Noise and vibration control engineering: principle and applications*, New York: Wiley, 1992

[2] S. M. Kuo and D. R. Morgan, “Active noise control: A tutorial review,” *Proc. IEEE*, vol. 87, pp. 943-973, June 1999

[3] S.J. Elliott and A. David, “A virtual microphone arrangement for local active sound control,” *Proceedings of the 1st International Conference on Motion and Vibration Control*, Yokohama, pp. 1027-1031, 1992

[4] C.D. Petersen, R. Fraanje, B.S. Cazzolato, A.C. Zander and C.H. Hansen, “A Kalman filter approach to virtual sensing for active noise control,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 22, pp. 490-508, February, 2008

[5] S. Ise, “A principle of sound field control based on the Kirchhoff-Helmholtz integral equation and the theory of inverse systems,” *Acustica, Acta Acustica*, vol. 85, pp. 78-87, 1999

[6] N. Epain and E. Friot, “Active control of sound inside a sphere via control of the acoustic pressure at the boundary surface,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 299, pp. 587-604, 2007

[7] Y.-H. Kim, *Lecture notes on acoustics*, Chungmun, 2006