

능동 소음제어 창문의 스피커 배치에 따른 제어 성능 비교

Comparison of performance of the active window as various speaker arrangements

권병호† · 박영진* · 박윤식**

Byoung-ho Kwon, Youngjin Park and Youn-sik Park

1. 서론

건물환경에서 소음 문제에 대한 관심이 증가되면서 다양한 소음제어 기술들이 개발되고 있다. 이런 기술들 중에는 건물 재료의 흡음 및 차음 특성을 이용한 수동 소음제어 기법과 추가적인 센서와 구동기를 이용한 능동 소음제어 기법들이 있다. 능동 소음제어 적용에서는 건물환경의 특성상 제어영역에 센서를 설치할 수 없기 때문에 이를 해결하기 위해서 가상센서를 이용한 능동 소음제어 방법과 경계 음압제어 방법 등 다양한 방법이 개발되었다. 또한 저자의 선행 연구에서는 건물환경의 특성을 고려하여 외부에서 발생한 소음이 창문을 통해 내부로 유입될 때, 거주자가 생활하는 건물 내부에 추가적인 센서를 설치하지 않으면서 소음을 저감시킬 수 있는 능동 소음제어 창문을 제안하였다. 제안된 능동 소음제어 창문은 자연통풍을 위해 열린 창문으로 유입된 소음의 음장을 Rayleigh integral equation 을 이용하여 예측하고, 예측된 음장을 이용하여 각 스피커의 최적 제어입력 이득값을 각 주파수 별로 미리 계산해 외부 센서에서 측정된 소음에 곱한 값을 제어 음으로 재생시켜주는 일종의 개루프 제어 방법이다.

선행 연구에서는 능동 소음제어 창문의 개념과 타당성 검증을 위한 실험을 수행하였다. 본 논문에서는 제안된 능동 소음제어 창문에서 구동기의 최적 제어입력 이득값을 계산함에 있어 목적함수를 재정의하여 제어성능을 최적화하고, 창문에 설치된 다양한 구동기 배치에 따른 제어성능을 비교해 최적의 구동기 배치 방법을 선정하고자 한다.

2. 최적 제어음 계산을 위한 목적함수

능동 소음제어 창문의 목적은 그림 1의 (a)에 나타난 것과 같이 제어영역에서의 음 파워(sound

power)를 최소화 하는 것이다. 이는 반지름 r_c 를 갖는 반 구면을 통과하는 음 파워를 최소화 하는 것과 같다. 따라서 반 구면에서의 음 파워를 최소화하는 구동기의 최적 제어입력 이득값을 계산하면 제어영역에서의 음 파워를 최소화할 수 있다. 이와 같은 목적함수는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$J = \Pi_d^H \Pi_d, \quad (1)$$

$$\text{where } \Pi_d = \pi_p - (\mathbf{P}_s \mathbf{u}) \left(\frac{j}{\rho_0} \frac{\partial (\mathbf{P}_s \mathbf{u})}{\partial r} \right) \mathbf{A}$$

여기에서 π_p 는 반 구면에서 창문을 통해 유입되는 소음의 파워를 의미하며 이는 Rayleigh integral equation 을 이용하여 예측된 음압과 속도로부터 계산된다. 또한 \mathbf{P}_s 는 구동기에 의한 반 구면에서의 음압, ρ_0 는 공기 밀도, \mathbf{A} 는 반 구면의 면적, \mathbf{u} 는 각 구동기의 제어입력 이득값을 나타낸다. 이와 같은 목적함수를 최소화시키는 제어입력 이득값 \mathbf{u} 는 식 (1)에 \mathbf{u} 의 비선형 항이 포함되어 있어 최적 해를 구하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 그림 1의 (b)와 같이 창문을 둘러싸는 반 구면의 반지름, r_s 을 변화시켜가면서 식 (2)와 같이 각 반 구면에서의 음압을 최소화시키는 각 구동기의 제어입력 이득값을 계산해 최적의 r_s 를 찾고자 한다..

$$J(r_s) = (\mathbf{p}_p - \mathbf{P}_s \mathbf{u})^H (\mathbf{p}_p - \mathbf{P}_s \mathbf{u}) \quad (2)$$

$$\mathbf{u}_{opt}(r_s) = \min_{\mathbf{u}} J(r_s)$$

여기에서 \mathbf{p}_p 는 반 구면에서 창문을 통해 유입되는 소음의 음압이다. 식 (2)에서 계산된 제어입력 이득

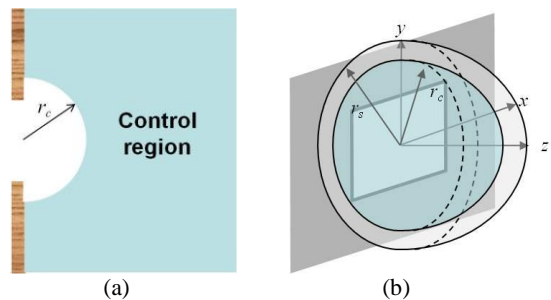


그림 1 (a) 능동 소음제어 창문의 제어 영역, (b) 제어영역을 나타내는 반구면(r_c) 과 최적 제어입력 이득값 계산을 위한 반구면(r_s)

† 교신저자; KAIST 기계공학과

E-mail : bhkwon@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3060, Fax : (042) 350-8220

* KAIST 기계공학과

** KAIST 기계공학과

값을 이용하여 창문의 크기가 1 m X 1 m 인 경우에 제어영역에서의 제어 후 음 파위를 반 구면의 반지름, 외부 소음원의 주파수 성분에 따라 모의실험을 통해 계산하였다. 그 결과, 외부 소음의 주파수 성분이 낮을수록 제어 성능이 좋으며, 제어입력 이득값을 계산하는 반 구면의 반지름이 클수록 제어 성능이 좋음을 알 수 있었다. 따라서 능동 소음제어 창문에서 제어영역에서 음 파위를 최소화하기 위한 구동기의 최적 제어입력 이득값은 반구면의 음압을 최소화시키는 값으로 계산한다.

3. 구동기 배치 방법에 따른 제어 성능 비교

능동 소음제어 창문에서 구동기는 기본적으로 창문 틀 가장자리에 위치하며 다양한 방식으로 배치 가능하다. 본 논문에서는 8 개의 구동기를 사용했을 때 그림 2 와 같이 사각형 배치와 원형 배치에 대해서 각 경우의 제어 성능을 비교해 본다. 먼저 창문의 크기는 1 m X 1 m 이며, 외부 소음은 100Hz 단일 주파수 소음으로 가정한다. 또한 제어영역을 정의하기 위한 반 구면의 반지름, r_c 는 1 m 이고 제어입력 이득값을 계산하기 위한 반 구면의 반지름 r_s 는 100m 로 하였다. 이 경우에 그림 1 의 (b)의 좌표계 기준으로 $y=0$ m 평면에서 제어 전 음압 분포는 그림 3 의 (a)와 같다. 사각형 구동기 배치에 의한 제어 후 동일 평면에서의 음압 분포는 그림 3 의 (b)와 같으며, 원형 구동기 배치 경우의 음압 분포는 그림 3 의 (c)와 같다. 이 결과로부터 사각형 구동기 배치 방법이 원형 배치 방법보다 제어 성능이 뛰어나며, 이 두 방법의 제어 후 제어영역에서의 음 파위는 약 18dB 차이가 있음을 확인하였다. 이는 내부로 유입되는 소음의 음압 분포는 창문의 모양에 의해 결정되므로 창문 모양의 영향을 고려해 줄 수 있는 구동기 배치 방법이 적절함을 보여주는 결과이다.

4. 결 론

본 연구에서는 선행 연구에서 제안한 능동 소음제어 창문의 최적 제어음 계산을 위한 목적함수를 제

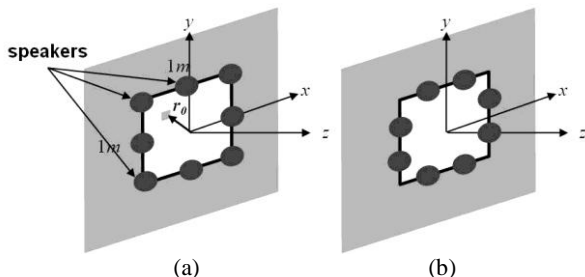


그림 2 능동 소음제어 창문에서 구동기 배치 방법 (a) 사각형 배치, (b)원형 배치

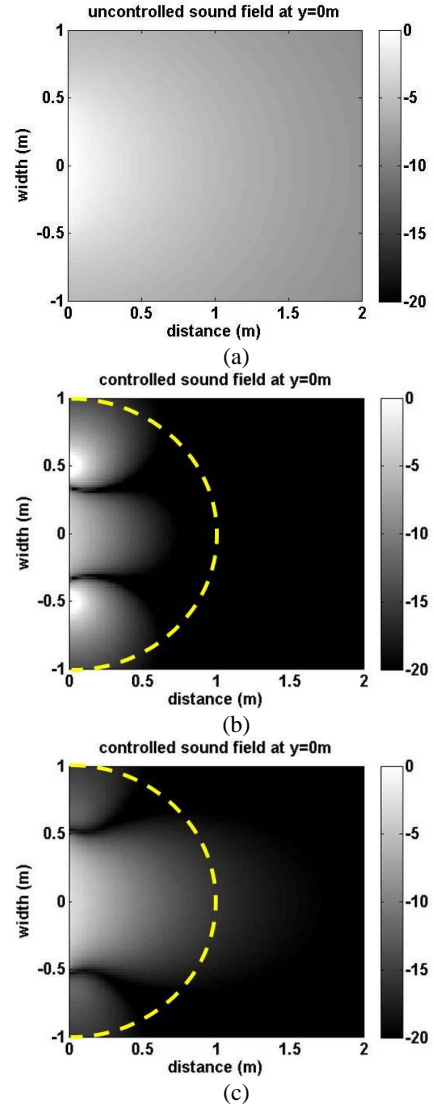


그림 3. 각 구동기 배치 방법에 따른 모의실험 제어 결과 (a) $y=0$ 평면에서의 제어 전 음압 분포, (b) 제어 후 사각형 구동기 배치에 따른 음압 분포, (c) 제어 후 원형 구동기 배치에 따른 음압 분포

정의하고, 다양한 구동기 배치 방법에 따른 제어 성능을 비교하였다. 제어영역에서 음 파위를 최소화하기 위한 구동기의 제어입력 이득값은 창문을 둘러싼 무한대의 반지름을 갖는 반 구면에서의 음압을 최소화하는 제어입력으로 계산되며, 사각형 창문에 대해서 구동기를 원형 배치하기 보다는 창문의 영향을 고려할 수 있는 사각형 배치가 제어성능이 뛰어난을 확인하였다.

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.