임피던스 피드백 제어를 이용한 능동 소음 흡음기에 관한 연구

Study on an Active Noise Absorber using Impedance Feedback Control

조영은*·김대성**·이종서*·왕세명†

Youngeun Cho, Daesung Kim, Jongsuh Lee, Semyung Wang

1. 서 론

오래 전부터 소음 저감에 대한 관심과 이를 해결하려는 연구는 계속 되어 왔으며 이는 크게 수동 제어 방법과 능동 제어 방법으로 나뉜다.

현재까지 주로 사용되는 능동 소음 제어 방법은 소음원의 역위상(Anti-phase)을 갖는 음파를 발생시켜 두 음파를 상쇄시킴으로써 소음을 저감하는 Active Noise Cancellation기법이다. 하지만 이를 이용하여 광대역 소음을 제어하기 위해서는 많은 센서 및 엑츄에이터, 고성능의 제어기를 필요로 하는 단점을 지닌다. 기존의 ANC와 다른 능동 소음 제어 방법으로는 능동 소음 흡음기(Acitve Noise Absorb-er)가 있으며, 이 방법은 H. Lissek[1]에 의해 처음으로 실험적 구현이 되었다.

본 연구는 1차원 덕트 내부 능동 소음 흡음기의 소음 저감 성능에 대한 가능성 검증을 위해 진행되었으며, 이를 위해 소음 제어 원리 및 성능 측면에 대한 연구를 수행하였다.

2. 능동 소음 흡음기 원리

2.1 덕트 내에서의 임피던스 정합 조건

Fig. 1과 같이 덕트의 우측 끝단($x=L$)에는 스피커가 존재하므로 덕트의 좌측 끝단($x=0$)에서 발생하는 소음에 의한 덕트 내부로의 입력 임피던스(Z_{m0})는 식(1)과 같이 표현된다.

$$Z_{m0}=\rho cS\frac{Z_{sp}+j(\rho cS)\tan(kL)}{(\rho cS)-jZ_{sp}\tan(kL)} \tag{1}$$

† 교신저자; 광주과학기술원 기전공학과
E-mail : smwang@gist.ac.kr
Tel : (062)715-2390, Fax : (062)715-2384
* 광주과학기술원 기전공학과
** 삼성 전자

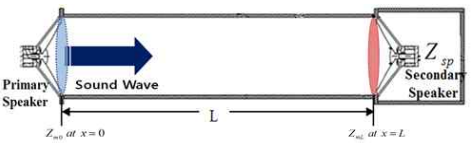


Fig. 1 Impedance matching condition

최대 에너지 전달 이론에 근거하면 소음 에너지를 최대로 스피커로 전달하여 흡수시키기 위해 식(2)와 같이 스피커의 임피던스(Z_{sp})가 덕트 내부로 입력되는 임피던스의 켤레복수$\{Z_{m0}\}^*$와 같아야 한다.

$$Z_{sp}=\left\{\rho cS\frac{Z_{sp}+j(\rho cS)\tan(kL)}{(\rho cS)-jZ_{sp}\tan(kL)}\right\}^* \tag{2}$$

식(2)를 정리하면, 결국 덕트 내부 임피던스 정합 조건(Impedance matching condition)은 스피커의 임피던스(Z_{sp})를 덕트 내 공기의 특성 임피던스와 일치시켜야 한다는 것이다.

$$Z_{sp}=\rho cS \tag{3}$$

2.2 능동 스피커 임피던스

Fig. 2와 같이 스피커 끝단에 연결된 임피던스 제어를 통해 스피커의 임피던스를 능동적으로 바꿀 수 있다. 결과적으로 스피커의 능동 임피던스(Z_{sp})는 식(4)와 같이 정리된다.

$$Z_{sp}=\left(\frac{R_eR_{ms}+\frac{L_e}{C_{mc}}+Bl(Bl+K_V)}{K_P\frac{Bl}{S}+R_e}\right)+jw\left[\left(M_{ms}\frac{R_e}{K_P\frac{Bl}{S}+R_e}\right)-\frac{1}{w^2C_{mc}}\left(\frac{R_e}{K_P\frac{Bl}{S}+R_e}\right)\right] \tag{4}$$

이를 통해 능동 스피커 임피던스는 임피던스 매칭 조건(식(3))을 만족시키기 위해 임피던스 피드백 제어(K_V, K_P)로 제어할 수 있는 실수부와 제어할 수

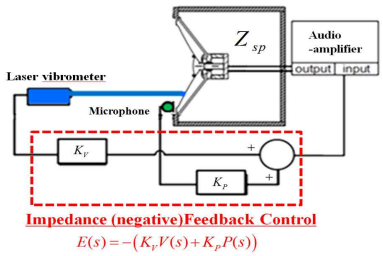


Fig. 2 Active impedance of the speaker

없는 허부수로 이루어져 있음을 알 수 있다.

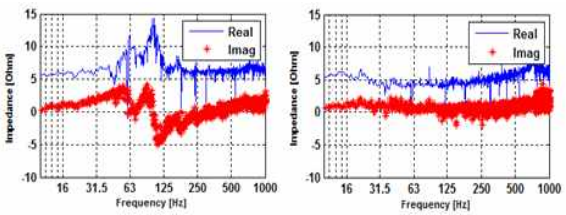


Fig. 3 Experimental result of Active impedance

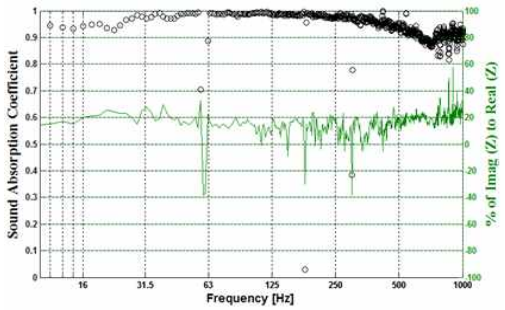
실험을 통해 임피던스 제어 후(Fig.3 우측)에는 스피커 공진부근에서 임피던스의 실수부가 공기의 특성 임피던스(Z_{mc})와 거의 일치하며 실수부는 0에 가까운 값을 가지고 있다. 이를 통해 임피던스 정합이 만족되었음을 알 수 있다.

2.3 능동 소음 흡음기 성능 평가

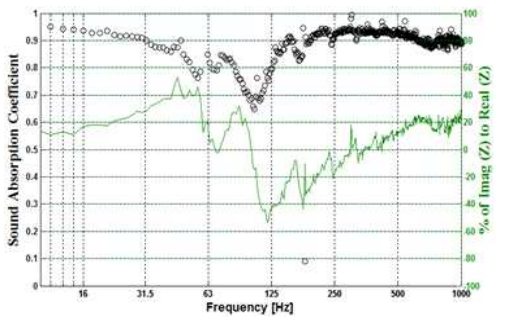
본 절은 능동 스피커 임피던스의 실수부에 대한 허부수의 비율에 따른 능동 소음 흡음기의 흡음 성능에 대한 내용이다. 먼저, 1차원 평면파에 대한 반사계수(Γ)를 계산하기 위하여 식(5)와 같이 소음이 발생하여 전파되는 공기(Z_{mc})와 소음이 입사되는 스피커의 임피던스(Z_{sp})를 이용한다.

$$\Gamma = \frac{Z_{sp} - Z_{mc}}{Z_{sp} + Z_{mc}} \tag{5}$$

위에서 계산된 반사계수(Γ)를 이용하여 입사된 음향 에너지에 대한 흡수된 음향 에너지의 비율을 나타내는 흡음률(α)에 대한 그래프를 Fig. 4와 같이 임피던스 제어 전(a)과 후(a)로 나타내었다. 제어 전에는 스피커의 공진 부근에서 실수부에 대한 허수부의 비율(solid line)의 증가로 인해 흡음률 지수(dotted line)가 좋지 않음을 볼 수 있다. 이에 반해 제어 후에는 임피던스 정합에 의해 실수부에 대한 허수부의 비율이 감소하여 흡음률 지수가 개선되었다.



(a) Before impedance control



(b) After impedance control

Fig. 4 Sound absorption coefficient

3. 결론

스피커 임피던스는 임피던스 제어를 통해 능동적으로 제어하여 임피던스 정합을 만족시킬 수 있는 실수부와 제어할 수 없는 허수부로 이루어져 있음을 실험을 통해 확인하였다. 또한, 실수부에 대한 허수부의 비율이 능동 흡음기의 흡음 성능을 결정한다는 사실을 알 수 있었다.

4. 참 고 문 헌

(1) H.Lissek, R.Boulandet, and R.Fleury, “Electroa -coustic absorbers: Bridging the gap between shunt loudspeakers and active sound absorption“, J. Acoust. Soc. Volume 129, Issue 5, pp. 2968-2978, 2011.