

# 플레넘 챔버 내부의 고차모드를 이용한 소음 저감 방안에 관한 연구

## Analysis of noise reduction using higher-order modes inside a plenum chamber.

이 성 현† · 김 상 훈\*

Seong-Hyun Lee, Sang-Hoon Kim

### 2. 플레넘 챔버의 소음저감성능 해석

#### 1. 서 론

일반적으로 사용되는 소음기는 크게 반사형 소음기 (reactive silencer)와 흡음형 소음기 (dissipative silencer)로 구분할 수 있다. 자동차의 흡/배기 시스템에서는 반사형 소음기가, 건축물 및 선박의 공조 시스템에서는 흡음형 소음기가 널리 사용되고 있다. 반사형 소음기는 면적변화, 공명기, 타공관 등과 같은 임피던스 부정합 (impedance mismatch) 요소에 의하여 소음을 저감시키게 된다.

반사형 소음저감 요소 중 플레넘 챔버에 의한 소음 감소 특성은 평면파 영역에서의 저감특성과 고차모드가 존재하는 영역에서의 저감특성으로 구분할 수 있으며, 이에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔다. Ih and Lee<sup>(1,2)</sup>는 through flow 및 flow-reversal 형태의 원형 확장관에서의 4단자 정수 (4-pole parameter)를 유도한 바 있으며, Ih<sup>(3)</sup>는 through flow 및 flow-reversal 형태의 사각 플레넘 챔버의 소음 저감성능을 해석하였다. 최근에는 유리창에 플레넘 챔버를 적용하여 공기는 통과시키고 소음을 차단하려는 노력이 진행되고 있다<sup>(4-6)</sup>.

일반적인 벽체의 경우 저주파수 대역에서 차음성능이 매우 낮는데, 사각 플레넘 챔버의 고차모드에 의한 감쇄 특성을 벽체에 반영한다면 저주파수에서 높은 차음성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 반사형 소음저감 요소인 플레넘 챔버의 고차모드에 의한 소음 저감 성능을 벽체의 차음성능을 높이는 방안으로 적용해 보고자한다.

Figure 1에 나타난 것과 같은 입/출구단이 원형인 관통하는 형태 (through flow type)의 사각 플레넘 챔버의 소음저감 성능은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $T_{ii}$ 는 4단자 정수를 의미하며,  $p_{ii}$ 는  $i$  피스톤의 운동에 의하여 발생하는  $i'$  위치에서의 평균음압 레벨을 나타낸다. 또한,  $U_i$ ,  $Z_0$ ,  $J_1$ 은 체적속도 (volume velocity),  $y$ 방향으로의 음향 특성임피던스, 1종 1차 베셀함수 (first order Bessel function of the first kind)를 의미한다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} P_1 \\ U_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ U_2 \end{bmatrix}, \\ T_{11} &= \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \Big|_{U_2=0} = E_{11} / E_{12}, \\ T_{12} &= \left( \frac{U_1}{U_2} \right) \Big|_{P_2=0} = jZ_0(E_{12} - E_{11}E_{22} / E_{12}), \\ T_{21} &= \left( \frac{U_1}{P_2} \right) \Big|_{U_2=0} = j(Z_0E_{12})^{-1}, \\ T_{22} &= \left( \frac{U_1}{U_2} \right) \Big|_{P_2=0} = E_{22} / E_{11}. \\ p_{ii} &= (-1)^i j U_i Z_0 E_{ii} = (-1)^i j U_i Z_0 \left[ \frac{1}{\tan kl} \right. \\ &+ \sum'_m \frac{8a^2 r_i^2}{(\pi r_i^2)^2 m^2} J_1^2 \left( \frac{m\pi r_i}{a} \right) \cos^2 \frac{m\pi a_{c_i}}{a} \frac{k}{k_y \tan k_y l} \\ &+ \sum'_n \frac{8b^2 r_i^2}{(\pi r_i^2)^2 n^2} J_1^2 \left( \frac{n\pi r_i}{b} \right) \cos^2 \frac{n\pi b_{c_i}}{b} \frac{k}{k_y \tan k_y l} \\ &+ \left. \sum'_m \sum'_n \frac{8\pi^2 r_i^2}{(\pi r_i^2)^2} \frac{J_1^2(r_i w)}{w^2} \cos^2 \frac{m\pi a_{c_i}}{a} \cos^2 \frac{m\pi b_{c_i}}{a} \frac{k}{k_y \tan k_y l} \right], \\ p_{ii} &= (-1)^i j U_i Z_0 E_{ii} = (-1)^i j U_i Z_0 \left[ \frac{r_i^2}{r_i^2} \frac{1}{\sin kl} \right. \\ &+ \sum'_m \frac{8a^2 r_i r_i}{(\pi r_i^2)^2 m^2} J_1 \left( \frac{m\pi r_i}{a} \right) J_1 \left( \frac{m\pi r_i}{a} \right) \cos \frac{m\pi a_{c_i}}{a} \cos \frac{m\pi a_{c_i}}{a} \frac{k}{k_y \sin k_y l} \\ &+ \sum'_n \frac{8b^2 r_i r_i}{(\pi r_i^2)^2 n^2} J_1 \left( \frac{n\pi r_i}{b} \right) J_1 \left( \frac{n\pi r_i}{b} \right) \cos \frac{n\pi b_{c_i}}{b} \cos \frac{n\pi b_{c_i}}{b} \frac{k}{k_y \sin k_y l} \\ &+ \left. \sum'_m \sum'_n \frac{8\pi^2 r_i r_i}{(\pi r_i^2)^2} \frac{J_1(r_i w) J_1(r_i w)}{w^2} \cos \frac{n\pi a_{c_i}}{a} \cos \frac{n\pi a_{c_i}}{a} \right. \\ &\quad \left. \times \cos \frac{n\pi b_{c_i}}{b} \cos \frac{n\pi b_{c_i}}{b} \frac{k}{k_y \sin k_y l} \right]. \end{aligned}$$

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원  
E-mail : sh.lee@kimm.re.kr  
Tel : (042)868-7895, Fax : (042)868-7440  
\* 목포해양대학교

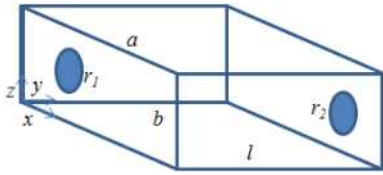


Figure 1. A throughflow rectangular chamber with circular inlet and outlet

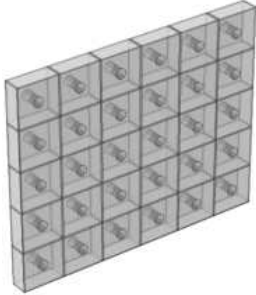


Figure 2. A rectangular chamber array

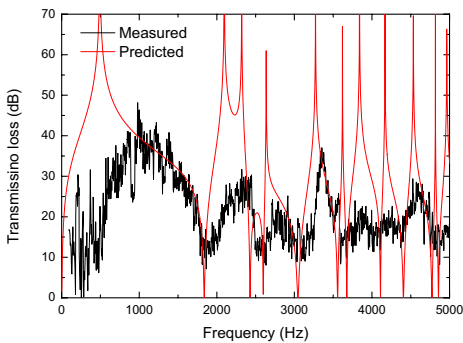


Figure 3. Comparison of transmission loss of rectangular chamber

### 3. 플레넘 챔버의 성능 측정 및 검토

본 연구에서는 아크릴 (두께: 5 mm)을 이용하여  $a = b = 0.185$  m,  $l = 0.07$  m,  $r_1 = r_2 = 0.025$  m인 사각 플레넘 챔버를 30개를 병렬로 연결하여 간이 벽체를 제작하여 차음성능을 측정하였으며 (Fig. 2 참조), 이를 2장에서 설명한 이론식을 이용한 해석결과와 비교하였다. 축소방향실로 구성된 미니챔버<sup>7)</sup>에서 차음성능을 측정하였다. 잔향실의 부피에 의하여 모드 수가 부족하게 되면 측정가능한 하한 주파수가 결정되게 되는데, 측정에 사용된 축소방향실의 경우 1/3옥타브밴드 315 Hz대역에서 8개의 모드가 생기며, 이로부터 315 Hz 이상의 대역에서는 확산음장으로 가정할 수 있고, 유의미한 측정결과를 낸다고 판단가능하다. 음원실에 2대의 스피커를 설치하여 음원을 공급하였으며, 음원실 및 수음실에서 각각 6지점의 음압레벨과 수음실의 잔향시간을 측정하여 차음성능을 계측하였다. Fig. 3은 측정결과와 예측결과를 비교하여 나타내고 있으며, 전체적인 경향은 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 사각 플레넘 챔버 내부의 고차모드를 이용하여 차음성능을 향상시키는 방안에 대한 해석 및 측정을 수행하였다. 기존의 문헌들에 나와 있던 이론식을 보완하였으며, 이론식을 검증하기 위하여 벽체를 제작하여 차음성능을 측정하였다. 향후에는 입/출구단의 면적 및 위치에 대한 검토를 통하여 차음성능을 향상시킬 수 있는 방안을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

### Reference

1. J.-G. Ih and B.-H. Lee, Analysis of higher-order mode effects in the circular expansion chamber, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 77, pp. 1377-1388, 1985
2. J.-G. Ih and B.-H. Lee, Theoretical prediction of the transmission loss of circular reversing chamber mufflers, Journal of Sound and Vibration, Vol. 112, pp. 261-272, 1987.
3. J.-G. Ih, The Reactive Attenuation of Rectangular Pleum Chambers, Journal of Sound and Vibration, Vol. 157, pp. 93~122, 1992.
4. N. Yuya, N. Sohei, N. Tsuyoshi and Y. Takashi, Sound Propagation in Soundproofing Casement Windows, Applied Acoustics, Vol. 70, pp. 1160~1167, 2009.
5. N. Yuya, N.H. Quang, N. Sohei, N. Tsuyoshi and Y. Takashi, The Acoustic Design of Soundproofing Doors and Windows, The Open Acoustics Journal, Vol. 3, pp. 30-37, 2010.
6. H. Nguyen, T. Yusuke, N. Yuya, N. Sohei, N. Tsuyoshi and Y. Takashi, Prediction and Experimental Study of the Acoustic Soundproofing Windows Using a Parallelepiped SVU, The Open Acoustics Journal, Vol. 5, pp. 8~15, 2012.
7. H.-J. Kang, B.-K. Kim, J.-S. Kim and J.-S. Lee, Characteristics of Sound Insulation in the Scaled Chambers, Internoise 2004 (Prague, Czech Republic).