

유한한 패널에서의 공진 투과 성분을 고려한 음향 투과 손실 Sound Transmission Loss Considering Resonance Component in Finite Panel

이형래* · 김희수* · 전주현 * · 강연준 †
Hyeong Rae Lee, Hee Soo Kim, Ju Hyun Jeon, Yeon June Kang

1. 서 론

소음 수준을 줄이기 위하여 많은 분야에서 흡음재 및 차음재에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 일반적으로 이러한 음향재료들의 성능을 예측하기 위해서 무한한 크기라고 가정한 모델을 통해 음향투과 손실을 해석한다. 그 이유는 유한한 크기의 패널을 해석 하기 위하여 시스템의 모드와 경계조건 등을 고려해야 한다는 어려움이 있기 때문이다. 하지만 실제 차음재로 사용되는 패널은 유한한 크기이므로 무한한 패널로 가정한 투과 손실은 실제 측정된 투과 손실과 차이를 보인다.

유한한 패널의 투과손실을 해석하기 위해 공진과 비공진 투과 성분으로 나눌 수 있다. [Takahashi]⁽¹⁾는 공진 투과 손실이 일치주파수 아래에서 많은 영향을 끼친다는 것을 확인하였다. 그리고 [Ih]⁽²⁾에 의해서 패널의 크기, 두께, 손실계수에 따른 공진과 비공진 투과 성분의 상대적 기여도에 대한 연구가 이뤄 졌다. 본 연구에서는 유한한 패널의 공진 및 비공진 투과 성분을 고려한 투과 손실과 인텐시티 방법으로 측정된 투과 손실을 비교 분석 하고자 한다.

2. 단일 패널의 투과 손실 해석

2.1 무한한 패널의 투과손실

무한한 패널의 소음 투과 손실을 해석 하기 위해서 단위 진폭의 평면 파가 패널의 수직인 면과 평행하게 입사되는 시스템을 가정 할 수 있다. 그리고 패널 위 아래에서의 평면 파를 아래와 같이 속도포텐셜로 정의 할 수 있다.⁽³⁾

$$\phi_1 = \phi_i + \phi_r = e^{-jk_x x} (e^{-jk_y y} + R e^{jk_y y}) \quad (1)$$

$$\phi_2 = T e^{-jk_x x} e^{-jk_y y} \quad (2)$$

이 때, $k = \omega/c$, c 는 음속, $k_x = k \sin\theta$ 그리고 $k_y = k \cos\theta$ 을 의미한다. 또한 R 과 T 는 각각 반사파의 상수, 투과파의 계수를 의미하고 W_t 는 패널의 수직 방향 변위를 의미한다. 단일 패널의 경우 아래의 3가지 경계조건을 만족해야 하며, 이를 통하여 무한한 패널의 투과 손실을 예측 할 수 있다.

$$v_{1y} = j\omega W_t$$

$$v_{2y} = j\omega W_t$$

$$P_1 - P_2 = (Dk_x^4 - \omega^2 m_s) W_t$$

2.2 유한한 패널의 투과 손실

유한한 패널의 소음 투과 손실을 해석 시 공진 투과 손실과 비공진 투과 손실로 나눌 수 있다. 주어진 밴드내에 공진주파수가 존재하는 모드를 고려한 투과 손실을 공진 투과 손실이라 하며, 반대로 주어진 밴드 밖에 공진주파수가 존재하는 모드를 고려하여 구한 투과 손실을 비공진 투과 손실이라 한다.

(1) 공진 투과 손실

랜덤 입사 공진 투과 손실은 $\Delta\omega$ 의 주파수 대역에서 식(3), (4) 와 같이 유도 될 수 있다.⁽²⁾ θ_{mn} 와 Y_{mn} 은 각각 (m, n) 모드에서의 방사효율과 속도 어드미턴스를 의미한다. 식(4)는 주어진 주파수 밴드내에서 방사효율과 속도 어드미턴스의 변화가 작다고 가정하여 식(3)을 근사화 시킨 것이다. 주파수가 증가할수록 식(3)에 근접한 값을 갖는다.

$$\bar{\tau}_r = \frac{1}{\Delta\omega} \frac{\pi c_0^2}{S} \int_{\omega_l}^{\omega_u} \left(\frac{2\rho_0 c_0}{\rho_s h \omega} \right)^2 \left(\sum_{m,n} \theta_{mn}^2 |Y_{mn}|^2 \right) d\omega \quad (3)$$

† 교신저자; 정희원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : yeonjune@snu.ac.kr

Tel : (02)880-1691, Fax : (02)888-5950

* 정희원, 서울대학교 대학원 기계항공공학부

$$\bar{\tau}_r \cong \frac{\pi}{2} \left(\frac{2\rho_0 c_0}{\rho_s h \omega_c} \right)^2 \cdot \left(\frac{\omega_{co}}{\omega_c} \right) \left(\frac{\theta_c^2}{\eta} \right) \quad (4)$$

(2) 비 공진 투과 손실

비공진 투과 계수는 패널의 크기를 고려한 Sewell⁽⁴⁾의 공식을 통해 계산할 수 있다. 식(5)는 Sewell의 공식으로 일치주파수 아래의 범위에서 유효한 값을 얻을 수 있다.

$$\bar{\tau}_n \cong \left(\frac{2\rho_0 c_0}{\rho_s h \omega_c} \right)^2 \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\omega_{co}^2} \right)^{-2} \times \left(\ln \left[k_c \sqrt{S} + 0.16 + \frac{1}{4\pi k_c^2 S} \right] \right) \quad (5)$$

총 투과 손실계수는 일치 주파수 아래 범위에서 공진 투과 계수와 비공진 투과 계수의 합으로 나타낼 수 있다. 일치 주파수 위의 범위에서는 패널의 크기에 대한 영향이 줄어들며 유한한 판의 투과 손실과 무한한 판의 투과 손실이 거의 같아진다.⁽¹⁾

2.3 투과 손실의 측정

본 연구에서는 인텐시티법을 이용하여 소음 투과 손실을 측정하였다. 이를 위한 실험장치의 구성은 Figure 1와 같다. 테스트 패널을 투과한 인텐시티의 측정은 반무향실에서 이루어졌다. 실험에 사용한 테스트 패널은 2mm 알루미늄이며 시편의 크기는 840 mm × 840 mm이다.

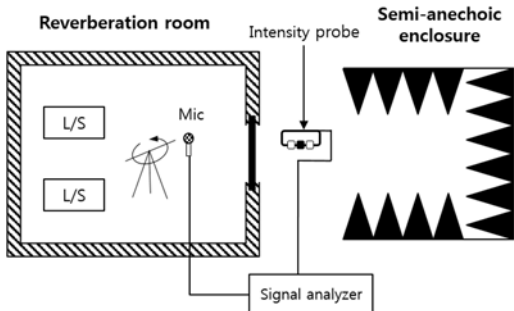


Figure 1. Schematic of the experimental set-up

3. 투과 손실 비교

Figure 2은 두께가 2 mm 알루미늄 패널에 대하여 무한한 패널이라고 가정했을 때의 투과손실, 유한한 패널에서 모드를 고려한 투과손실, 그리고 인텐시티법으로 측정된 투과손실을 비교한 것이다. 저주파 대역에서 패널의 크기에 대한 영향이 크므로 모드를 고려한 투과 손실과 측정된 투과손실이 비슷한 경향을 보이는 것을 볼 수 있다.

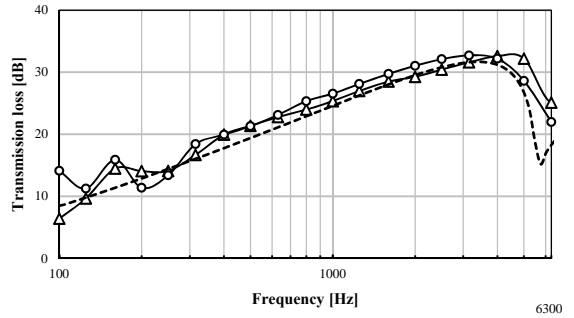


Figure 2. Transmission loss of 2 mm aluminum panel (---, infinite theory; ○, finite theory; △, measured)

4. 결 론

실제 패널에 대하여 투과 손실 측정시 시편의 경계조건 및 공진모드 등의 영향으로 인하여 저주파 대역에서 피크와 딥이 발생하게 된다. 무한한 패널로 가정하여 투과 손실 해석 시 피크와 딥이 생기는 현상을 예측할 수 없다. 하지만 유한한 패널에 대하여 음향 투과 손실을 해석 시 공진 및 비공진 투과 손실을 모두 고려하였기 때문에 모드에 대한 영향이 크게 발생하는 저주파 대역에서 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있다. 또한 주파수가 증가할수록 공진 투과 손실의 기여도가 작아지므로 무한한 패널로 가정하여 해석한 투과 손실과 측정된 투과 손실이 비슷해지는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) D. Takahashi, Effects of panel boundedness in sound transmission problem, J. Acoust. Soc. Am. 98 (1995) 2598-2606.
- (2) J. G. Ih, Significance of resonant sound transmission in finite single partitions, J. Sound Vib. 277 (2004) 881-893.
- (3) Y. J. Kang, Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials, J. Sound Vib. (1996) 191(3), 317-347.
- (4) E. C. Sewell, Transmission of reverberant sound through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle, J. Sound Vib. 72 (1982) 834-844.