

APAMAT을 이용한 실험에서 공기층 삽입이 차음재의 투과 손실에 미치는 영향

°신재성**, 강연준*, 성명호***, 김현석****

Effect of Air Gap Insertion on the Transmission Loss of Sound Barrier in APAMAT Measurement

Jae-Seong Sihn **, Yeon June Kang *, Myung-Ho Sung ***, Hyun-Suk Kim ****

ABSTRACT

This paper presents the effect of air gap insertion on the results in measuring the transmission loss of sound barrier by using APAMAT. The measured results show that air gap insertion improves transmission loss as by two-room method or intensity method. The measured results are compared with the predicted transmission loss using MATLAB GUI program based on the transfer matrix method. Predicted results were found to be in reasonable agreement with measured results.

1. 서론

실제 현장에서 소음제어 기술의 요소로 사용되는 흡차음재는 성능을 극대화하기 위하여 흡음재와 차음재의 다양한 조합으로 구성된 다중 층 구조 (multi-layered system)의 형태로 사용된다. 따라서 이러한 다중 층 구조의 흡차음재에 대한 투과 손실을 예측하는 것은 실제적으로 매우 중요하다.

* 정희원, 서울대학교 기계항공공학부 부교수

** 정희원, 서울대학교 기계항공공학부 대학원

*** 정희원, 현대자동차

**** 비희원, 현대자동차

흡차음재의 투과 손실을 측정하기 위하여 일반적으로 사용되는 방법으로 ISO 시험 표준인 잔향실법 (two room method)이 있다. 이 방법은 창으로 연결된 두개의 고립된 잔향실을 필요로 한다. 측정을 위한 차음재는 두 잔향실 사이의 틀에 장치시키고, 음장을 만들기 위하여 소음원이 음원용 잔향실에 놓여진다. 음원용 잔향실로부터 수음용 잔향실로 전달되는 모든 음향 에너지가 측정하는 차음재를 통과한다고 가정할 때, 측정용 차음재의 투과 손실은 차음재의 면적과 수음용 잔향실의 전체 흡음력을 알고 있으면, 두 잔향실의 평균 음압 레벨의 차이로부터 결정할 수 있다.

잔향실법을 이용하여 차음재의 투과 손실을 측

정할 때 차음재의 다중 층 구조에 공기 층을 삽입할 경우 전체적으로 차음 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 전달행렬법^{1),5)}을 이용한, 다중 층 구조 흡차음재의 성능 예측결과에서도 나타난다.

잔향실법이 공기 기인 소음을 이용하여 음향 에너지의 투과 손실을 측정하는 반면, 이 연구에 이용된 APAMAT은 구조 기인 소음을 이용하여 흡차음재의 투과 손실을 측정하는 장치이다. 이 논문에서는 APAMAT으로 차음재의 투과 손실을 측정할 때, 공기 층 삽입이 차음 성능에 미치는 영향을 밝히고자 한다. 잔향실법을 이용한 측정결과나 전달행렬법을 이용하여 예측한 결과처럼 공기 층의 삽입이 투과 손실 특성을 향상시키는지 비교하였다.

2. APAMAT의 구조와 실험방법

APAMAT은 크게 나누어 수음용 잔향실과, 소음을 발생시키기 위한 가진부, 그리고 잔향실과 가진부 사이에 위치한 베이스 플레이트(plate)와 측정용 샘플을 장치시키는 시편 홀더 등으로 구성되어 있다.

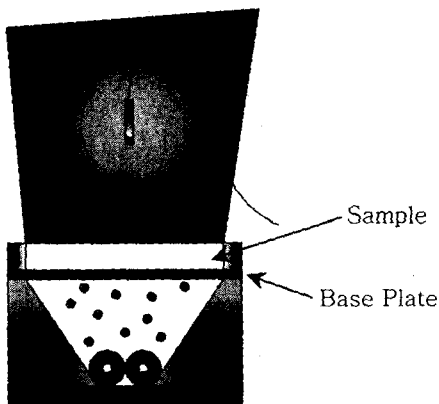


Fig. 1 Structure of APAMAT

APAMAT은 로울러의 회전력으로 베이스 플레이트에 쇠구슬을 튀겨 줌으로써 베이스 플레이트를 가진하여, 시편 홀더 위쪽의 수음용 잔향실에 위치한 마이크로폰으로 음압을 측정한다. 그리고 투과 손실 값을 측정하고자 하는 시편을 베이스 플레이트 위에 놓은 후 같은 작업을 반복하여 이 때의 음압을 측정한다. 이렇게 측정한 두 값의 차이가 시편의 투과 손실이다.

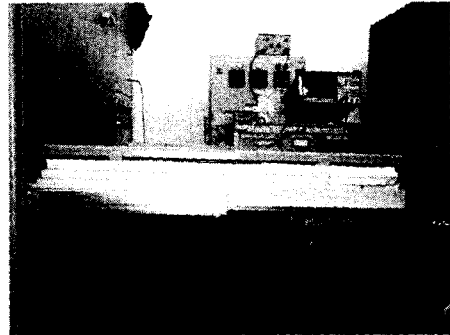


Fig. 2 Sample placed in APAMAT

3. 전달행렬법을 이용한 투과 손실 예측

일반적으로 소음제어에 사용되는 재료들은 대부분 공기 층, 패널(panel), 막, 탄성 포움(elastic foam), 섬유사 등의 요소들의 조합으로 구성되어 있다. 이러한 다중 층 구조 흡차음재의 음향학적 거동을 예측하기 위해서는 각 층의 전달행렬¹⁵⁾을 구하여, 이로부터 계에 대한 전체 전달행렬을 구해야 한다.

일반적으로 많이 사용되는 음향학적 요소들에 대한 전달 행렬은 다음과 같이 2x2의 행렬이다.

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

탄성 다공성 물질에서는 6x6의 전달 행렬을 구할 수 있다. 탄성 포움의 경우 경계조건에 매우 민감하므로 양면의 경계조건에 따라 각각의 전달 행렬을 구해야 한다. 포움의 양쪽면이 모두 패널

이나 얇은 막에 붙어 있는 경우와 붙어있지 않은 경우, 앞쪽면만 붙어 있는 경우와 뒤쪽면만 붙어 있는 경우로 나누어 2x2의 전달 행렬 4개를 구할 수 있다.

다중 층 구조의 흡차음체에 대한 전체 전달행렬은 식 (2)와 같이 계를 이루고 있는 각층의 전달 행렬을 구한 후, 각각의 행렬을 곱함으로써 구해진다.

$$T = T_1 T_2 \cdots T_n \quad (2)$$

다층 시스템의 전달행렬은 다음의 식을 만족하게 된다.

$$\begin{Bmatrix} p \\ v_y \end{Bmatrix}_L = [T] \begin{Bmatrix} p \\ v_y \end{Bmatrix}_R \quad (3)$$

위의 전달행렬의 각 요소로부터 투과 계수는 다음과 같이 된다.

$$T = \frac{2e^{jk_y L}}{T_{11} + \left(\frac{\cos \theta}{\rho c}\right) T_{12} + \left(\frac{\rho c}{\cos \theta}\right) T_{21} + T_{22}} \quad (4)$$

특정한 입사각에 대한 투과 손실은 식 (5)로 구할 수 있다.

$$TL = 10 \log(1/|T|^2) \quad (5)$$

입의 입사각에 대한 투과 손실을 계산할 때는 음압 투과 계수 T 가 입사각과 주파수의 함수이므로, 식 (6)과 같이 정의 되는 파워 투과 계수를 특정 입사각에 대하여 계산한 후, 이를 한계각까지 평균을 내는 방법으로 구해낸다

$$\tau(\theta) = |T(\theta)|^2 \quad (6)$$

$$\bar{\tau} = 2 \int_0^{\theta_{\text{lim}}} \tau(\theta) \sin(\theta) \cos(\theta) d\theta \quad (7)$$

여기서, θ_{lim} 은 한계각으로서, 이 각 이상으로 음파가 입사될 경우 반사파가 존재하지 않는 특성을 가지며, 본 연구에서는 72° 를 택하여 계산하였다.

4. 결 과

실험에는 탄성 폼과 철판으로 이루어진 다중 층 구조의 흡차음체를 이용하였다. 측정은 두 종류의 탄성 폼에 대하여, 베이스 패널과 폼, 철판이 접촉되어 있는 경우(BB)와 폼과 베이스 패널 사이에 공기층을 삽입한 경우(UB), 폼의 양면에 공기층이 삽입된 경우(UU)에 대하여 이루어졌다.

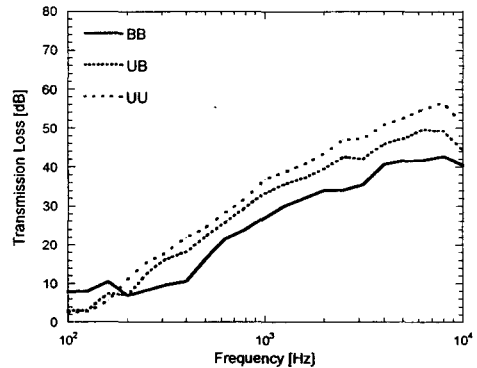


Fig. 3 Measured transmission loss of [base plate + foam A + steel 1t]

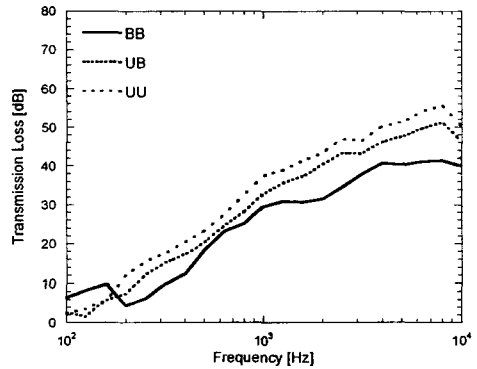


Fig. 4 Measured transmission loss of [base plate+ foam B+ steel 1t]

첫번째 폼(foam A)은 두께 20mm, 밀도 120kg/m^3 , 유동저항계수 5.4×10^4 MKS Rayls/m, 공극률 0.91, 벌크영률 8.3×10^5 Pa, 프아송비

0.22, 손실인자 0.42, 뒤틀림도 1.45이며, 두번 제 포음(foam B)은 두께 20mm, 밀도 80kg/m^3 , 유동 저항계수 4.3×10^4 MKS Rayls/m, 공극률 0.92, 벌크영률 5.8×10^5 Pa, 프야송비 0.15, 손실인자 0.5, 뒤틀림도 1.35이다. 베이스 패널로 사용한 철판은 두께 0.8mm, 밀도 7700kg/m^3 이며, 시편으로 사용한 철판은 두께 1mm, 밀도 7700kg/m^3 이다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 보인 바와 같이, 측정 결과 약 200Hz 이하에서는 공기 층을 삽입하지 않은 경우가 공기 층을 삽입한 경우와 비교하여 차음 성능이 높게 나타났다. 그러나 그 이상의 주파수 범위에서는 공기 층을 삽입하였을 때, 차음재의 투과 손실 특성이 향상됨을 알 수 있었다 이러한 결과는 절대적인 값의 차이는 있지만, 간향실법이나 인텐시티법, 임피던스 튜브를 이용한 관내법에 의한 투과 손실 측정 결과와 비슷한 경향을 보인다. 일반적으로 다중 층 구조의 흡차음재에 공기 층을 삽입할 경우, 저주파에서는 투과 손실 특성이 감소하나, 고주파에서는 투과 손실 특성이 증가하는 경향을 보인다. Fig. 3 과 Fig. 4의 실험 결과를 통해 APAMAT을 이용하여 다중 층 구조로 이루어진 흡차음재의 투과 손실을 측정할 때도, 공기층의 삽입이 차음 성능을 향상시킴을 확인할 수 있다.

APAMAT을 이용한 투과 손실값을 전달 행렬법을 이용하여 예측하고, 측정결과와 비교하였다. 전달 행렬법의 경우, 공기 기인 소음을 가정하지만, APAMAT의 경우 베이스 패널의 진동에 의한 구조 기인 소음을 이용하므로, 보정 과정이 필요하다. Fig. 5와 Fig. 6에 보인 예측 결과는 전달행렬법으로 일반적인 경우의 투과 손실값을 예측한 후, APAMAT의 특성을 고려하여 보정해준 결과이다.

전달 행렬법의 경우 흡차음재는 무한 평면이며, 공기 기인 소음에 의한 음향 에너지만이 흡차음재를 통과한다고 가정하였으므로 APAMAT을 이용한 실험 결과와 전체적인 경향은 비슷하지만 다소 차이가 있음을 알 수 있었다. APAMAT은 기본적

으로 구조 진동 시스템을 이용하는 장치이므로, 쇠구슬로 가진되는 베이스 패널의 진동이 흡차음재에 전달되는 영향을 무시할 수 없다. 또한, APAMAT을 이용하여 실험을 할 때에 측정하고자 하는 시편은 Fig. 2와 같이 베이스 패널 위에 차곡차곡 쌓아가므로, 다중 층 구조에 순수한 공기 층을 삽입하는 것은 실제적으로 불가능 하다. 따라서, 패널과 포음이 물리적으로 완전하게 분리되어 있지 않으므로, 베이스 패널로부터의 진동을 차단할 수 없으며, 전달 행렬법을 이용하여 예측한 투과 손실 특성에서 나타나는 공진현상도 실험을 수행한 주파수 범위 내에서는 나타나지 않았다.

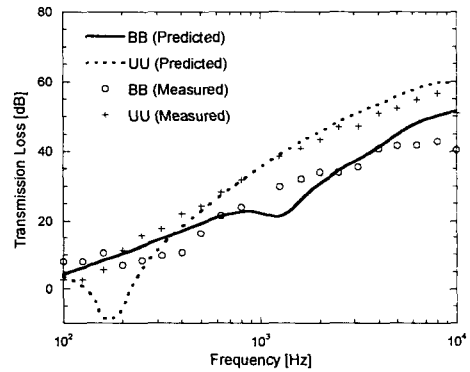


Fig. 5 Predicted transmission loss of [base plate + foam A + steel 1t]

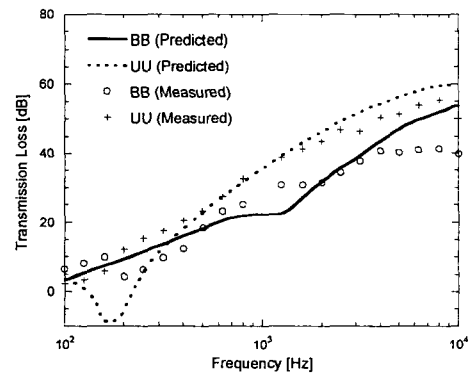


Fig. 6 Predicted transmission loss of [base plate + foam B + steel 1t]

5. 결 론

구조 진동 시스템을 기초로 한 APAMAT을 이용하여, 흡차음재의 투과 손실을 측정할 때에도 다중 층 구조에 공기층을 삽입할 경우 일반적인 경우와 마찬가지로 투과 손실 특성이 향상됨을 확인할 수 있었다. 기본적인 시스템의 차이에 기인한 특성은 다르지만, 전반적인 경향은 전달 행렬법을 이용한 예측결과와 비슷하였다. 구조 기인 소음을 이용하는 APAMAT 실험 결과를 정확하게 예측하기 위해서는 구조 진동 시스템에 대한 해석이 필요함을 알았다.

참고문헌

- [1] J. S. Bolton, N.-M. Shiau, and Y. J. Kang, 1996, Sound Transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials, *Journal of Sound and Vibration* 191(3), 317-347
- [2] F.J. Fahy, 1987, *Sound and Structural Vibration: Radiation Transmission and Response*. New York: Academic Press, Inc.
- [3] M.E. Delany and E.N. Bazley, 1969, *Acoustical Characteristics of Fibrous Absorbent Materials*, National Physical Laboratory, Aerodynamic Division Report AC37
- [4] H.Y. Lai, S. Katragadda, J.S. Bolton, and J.H. Alexnader, 1997, *Layered Fibrous Treatments for a Sound Absorption and Sound Transmission Society of Automotive Engineers 972064*
- [5] 이승엽, 김진섭, 강연준, 1999, 전달행렬법에 의한 다층 흡음시스템의 물리적 성질의 추출과 투과 손실의 예측, 한국소음진동공학회, 1999년도 춘계 학술대회논문집, 698-702