

임의의 다중 점가진을 이용한 흡차음재의 성능 예측

⁰신재성**, 강연준*

Prediction of Acoustic Performance of Sound Barrier Using Multiple Random Point Impact

Jaeseong Sihn**, Yeon June Kang*

ABSTRACT

In this paper, a model is developed that can predict insulation performance of sound barrier systems under the action of multiple random point impact. The predicted results are compared with the measured results obtained by using APAMAT II. The results show the error due to the difference between experimental environment and theoretical assumptions. The model is needed to be improved to obtain better agreement between predicted and measured results.

1. 서론

흡차음재의 차음 성능은 일반적으로 공기 기인 소음을 이용하여 측정하는 투과 손실로 평가한다. 투과 손실을 측정하는 방법에는 ISO 시험 표준인 잔향실법(two room method)과 잔향실과 반무향실을 이용하는 인텐시티법(intensity method) 등이 있다.

하지만, 실제 차량의 소음 제어를 목적으로 흡차음재를 이용하는 경우, 단순히 공기 기인 소음 뿐만이 아니라, 차체의 진동 및 외력에 의한 구조

기인 소음에 대한 성능의 평가가 이루어져야 한다. 이를 목적으로 고안된 Rieter사의 APAMAT II는 베이스 플레이트(base plate)에 로울러의 회전력을 이용하여 쇠구슬을 임의의 여러 지점에 튀겨주어 이때 발생하는 음압 수준(sound pressure level)을 측정하여, 그 차이를 이용하여 흡차음재의 차음 성능을 측정하는 장치이다.

본 논문에서는 임의의 다중 점을 가진하여 발생하는 음압 수준의 비교를 통하여 흡차음재의 차음 성능을 예측하기 위한 모델을 개발하였다. 그리고 예측 결과를 APAMAT II를 이용하여 측정한 결과와 비교함으로써 모델의 개선을 위하여 고려해야 할 사항들에 대하여 고찰해보았다.

* 정회원, 서울대학교 기계항공공학부 부교수

** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부 대학원

2. APAMAT II를 이용한 측정

APAMAT II는 크게 수음용 잔향실과, 소음을 발생시키기 위한 가진부, 그리고 잔향실과 가진부 사이에 위치한 베이스 플레이트와 측정용 샘플을 장치시키는 시편 홀더로 구성되어 있다. 측정을 위해서는 $840\text{mm} \times 840\text{mm}$ 의 베이스 플레이트와 시편이 필요하며, 실제 가진 되는 측정 면은 중앙의 $640\text{mm} \times 640\text{mm}$ 부분이다.

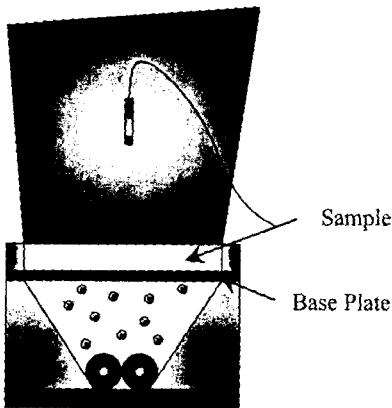


Fig. 1 Structure of APAMAT II

베이스 플레이트만 가진할 때 측정된 음압 수준을 SPL_b 라 하고, 베이스 플레이트 위에 측정을 위한 샘플을 부착시켰을 때 측정된 음압 수준을 SPL_t 라 하면, 샘플의 차음 성능은 두 값의 차인 $SPL_b - SPL_t$ 로 나타낼 수 있다.

3. 예측을 위한 모델

APAMAT II의 경우 쇠구슬이 베이스 플레이트에 부딪히는 점의 위치나 주기가 불규칙하며, 경계면이 고정되어 있는 유한한 평면이다. 하지만, 예측을 위한 모델에서는 무한한 평면으로 가정하며, 베이스 플레이트에 작용하는 힘은 각 주파수

에 대하여 주기를 가지고 평면에 고르게 분포한다고 가정하였다.

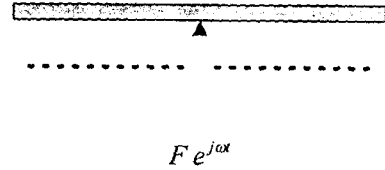


Fig. 2 Force exerted on the base plate

베이스 플레이트만 가진하였을 때 발생하는 음압 수준을 예측하기 위해서는 다음의 경계 조건을 이용하였다.

$$v_y = j\omega W_1 \quad (1)$$

$$F - P = (Dk_x^4 - \omega^2 m_s) W_1 \quad (2)$$

v_y 는 투과면의 분자 속도, W_1 는 플레이트의 변위, F 는 플레이트에 작용하는 단위 면적 당 힘, P 는 방사된 음압, D 는 플레이트의 굽힘 강성, m_s 는 플레이트의 단위 면적 당 질량을 나타낸다.

식 (2)에서 $k_x = (\omega^2 m_s / D)^{1/4}$ 와 같다.

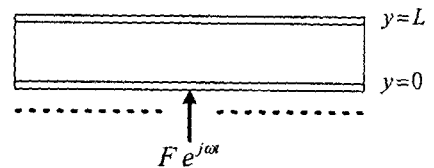


Fig. 3 Cross-sectional view

베이스 플레이트에 탄성 포움(foam)이 부착되어 있는 경우, 경계 조건은 다음과 같다.

$y=0$ 에서

$$u_y = W_1 \quad (3)$$

$$U_y = W_1 \quad (4)$$

$$u_x = \mp \frac{h_p}{2} \frac{dW_t}{dx} \quad (5)$$

$$F - q_p - jk_x \frac{h_p}{2} \tau_{xy} = (Dk_x^4 - \omega^2 m_s) W_t \quad (6)$$

$y=L$ 에서

$$v_y = j\omega W_t \quad (7)$$

$$u_y = W_t \quad (8)$$

$$U_y = W_t \quad (9)$$

$$u_x = \mp \frac{h_p}{2} \frac{dW_t}{dx} \quad (10)$$

$$P - q_p - jk_x \frac{h_p}{2} \tau_{xy} = (Dk_x^4 - \omega^2 m_s) W_t \quad (11)$$

u_y 와 U_y 는 각각 탄성 포음의 고체상과 유체상의 면에 수직인 방향으로의 변위를 나타내며, u_x 는 고체상의 면과 같은 방향으로의 변위를 나타낸다. h_p 는 플레이트의 두께이며, τ_{xy} 는 전단 응력, q_p 는 탄성 포음에 의해 플레이트에 작용하는 단위 면적당 수직 힘을 나타낸다.

식에 나타난 각각의 요소들은 [1]에 정리되어 있는 바와 같다.

4. 예측 결과와 측정 결과 비교 및 분석

베이스 플레이트로는 두께 0.8mm, 밀도 7700 kg/m³의 철판을 이용하였으며, 흡음재의 경우 포음 A는 두께 20mm, 밀도 80kg/m³, 유동저항계수 4.3×10^4 MKS Rayls/m, 공극률 0.92, 벌크영률 5.8×10^5 Pa, 프아송비 0.15, 손실인자 0.5, 뒤틀림도 1.35이며, 포음 B는 두께 20mm, 밀도 120kg/m³, 유동저항계수 5.4×10^4 MKS Rayls/m, 공극률 0.91, 벌크영률 8.3×10^5 Pa, 프아송비 0.22, 손실인자 0.42, 뒤틀림도 1.45의 것을 이용하였다. 탄성 포음에는 각각 두께 1mm, 밀도 7700 kg/m³의 철판과, 두께

3mm, 밀도 2100 kg/m³의 헤비 레이어(Heavy Layer)를 부착하여 다중 층 구조 흡차음 시스템을 구성하였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 베이스 플레이트 위에 탄성 포음만 올려 놓은 경우이다. 200 Hz ~ 1000 Hz에서 예측값이 실제 측정값보다 높게 나타남을 확인할 수 있다. Fig. 6과 Fig. 7은 탄성 포음과 철판으로 이루어진 다중 층 구조 흡차음 시스템에 대한 결과를 비교한 것이다. 포음에 대한 결과에 비해서는 300 Hz 이상의 범위에서는 전체적으로 측정값보다 작은 투과 손실값들을 같지만, 전체적인 경향은 유사함을 확인할 수 있다. Fig. 8과 Fig. 9는 철판 대신 헤비 레이어를 접착한 다중 층 구조 흡차음재에 대한 결과이다. 철판을 접착한 경우와 마찬가지로 전체적으로 측정값과 비교하여 낮은 결과를 보이지만, 경향은 유사하게 나타났다.

이러한 결과는 실제 측정된 조건과 예측을 위한 모델 개발 시 가정한 조건의 차이에서 비롯된다고 생각해볼 수 있다. 먼저, APAMAT II를 이용하여 측정을 하는 경우에는 경계면이 고정된 유한한 플레이트를 사용하므로, 쇠구슬이 베이스 플레이트에 부딪히는 점에서 발생하는 굽힘 파동(bending wave)이 경계면에 부딪혀 되돌아 오면서 발생하는 음압이 존재한다. 하지만, 예측을 위하여 개발한 모델에서는 베이스 플레이트 및 샘플이 무한한 평면이라고 가정하였으므로, 경계면에서 반사되어 오는 굽힘 파동으로 인해 방사되는 음압은 고려되지 않았다. 경계면에서 반사되어 오는 굽힘 파동을 고려하지 않았으므로, 측정값에 비하여 예측 결과가 전체적으로 낮은 음압 수준을 보인다고 생각할 수 있다.

또한, APAMAT II의 경우 베이스 플레이트에 쇠구슬을 튀겨주는 가진부가 반무향실도 잔향실도 아니며, 측정을 위한 수음부만 잔향실로 처리되어 있다. 하지만, 예측을 위한 모델 과정에서는 입사면이나 투과면이 무향 공간에 놓여 있다고 가정하였으므로, 차이가 존재한다.

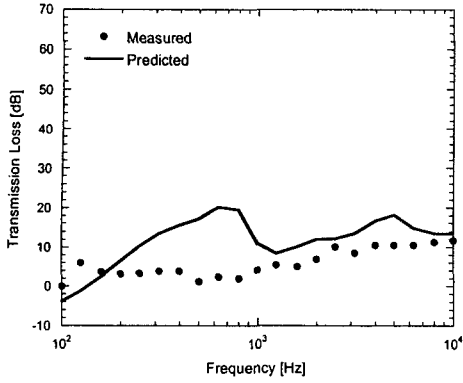


Fig. 4 Measured & predicted results
[base plate + foam A]

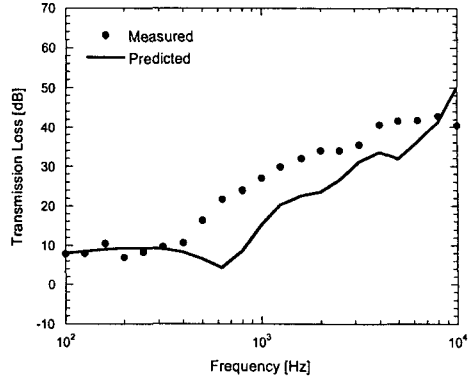


Fig. 7 Measured & predicted results
[base plate + foam B + steel]

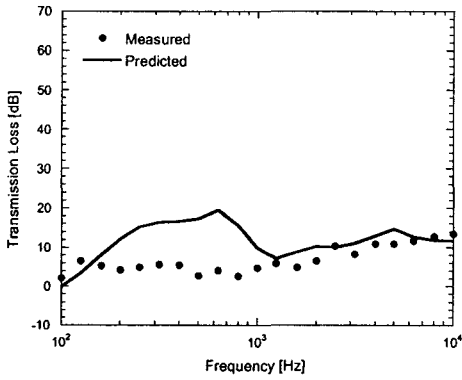


Fig. 5 Measured & Predicted Results
[base plate + foam B]

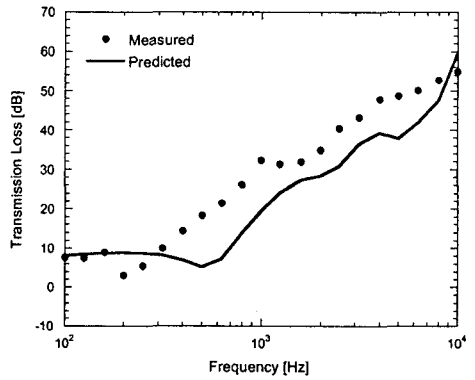


Fig. 8 Measured & Predicted Results
[base plate + foam A + heavy layer]

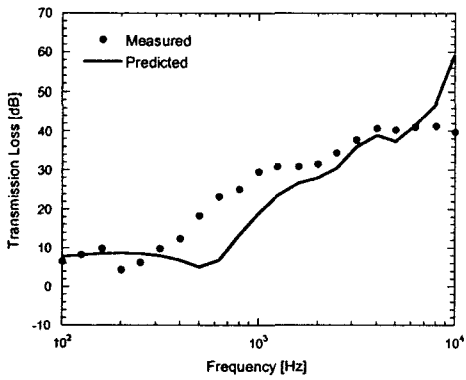


Fig. 6 Measured & Predicted Results
[base plate + foam A + steel]

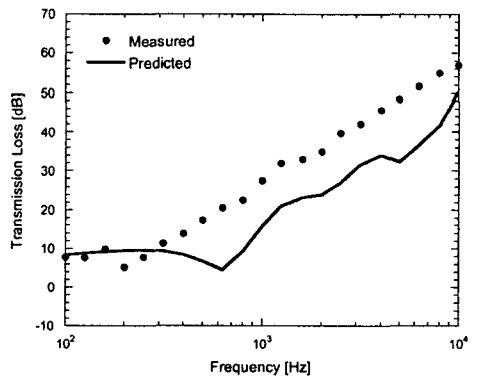


Fig. 9 Measured & Predicted Results
[base plate + foam B + heavy layer]

5. 결론

임의의 다중 점가진을 이용하여 흡차음재의 차음 성능 예측을 위한 모델을 통하여 예측한 결과와 Ricters사의 APAMAT II를 이용하여 측정된 결과를 비교해보았다. 두 결과 사이에는 실제 실험 환경과 가정의 차이에서 비롯된 오차를 확인할 수 있었다. 이러한 오차들은 흡차음재에 점가진이 작용할 때의 경계조건이나 흡음재가 굽힘 파동에 미치는 영향, 차음재에 가해지는 힘에 대한 새로운 모델의 제안 등을 통하여 해결해 나아갈 것이다.

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] H. Peng and R. F. Keltie, 1989, Sound radiation from beams under the action of multiple random point forces, *J. Acoust. Soc. Am.* 85(1), 49-56
- [4] H. Peng and R. F. Keltie, 1989, Sound radiation from finite plates under the action of multiple random point forces, *J. Acoust. Soc. Am.* 85(1), 57-67
- [5] P. Troccaz, R. Woodcock, and F. Laville, 2000, Acoustic radiation due to the inelastic impact of a sphere on a rectangular plate, *J. Acoust. Soc. Am.* 108(5), 2197-2202