

흡음재의 수직입사 임피던스를 이용한 랜덤입사 흡음률의 예측 연구

The study on the prediction of random incidence absorption coefficient by using normal incidence impedance of sound-absorbing materials

김관주† · 이근호* · 김현준* · 김재철**

Kwanju Kim, Geunho Yi, Hyunjun Kim, Jaechul Kim

1. 서 론

소음공해의 인식이 날로 더해감에 따라서 사람이 주거하는 공간이나 작업하는 공간에서의 소음을 감소시키는 요구는 증대되고 있다. 흔한 예로 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 방음벽은 바로 이런 취지에서 설계되고 설치된 것이며, 방음벽 안에 설치될 흡음재는 방음벽의 성능을 향상시킬 수 있는 직접적인 요인이 된다. 또한 자동차나 철도차량의 정속성을 만족하기 위하여 실내에서의 흡음재, 차음재의 역할은 증가 추세에 있다. 정확한 실내 소음을 예측하기 위해서는 실내 흡음재의 음향 특성을 파악할 필요가 있다. 이러한 흡음재의 연구 개발시 비교적 실험이 용이한 방법으로서 임피던스 튜브를 사용한 수직입사 흡음률이 많이 사용된다. 측정이 간단하고 측정결과가 재현성이 뛰어나지만 사용주파수의 한계와 실제 상황과 상이하기 때문에 제품의 흡음성능의 객관적인 평가를 나타내는 것은 잔향실법을 이용한 랜덤입사 흡음률이다.

본 논문에서는 임피던스 튜브에 설치된 흡음재에 수직음을 입사하여 시편의 표면 임피던스를 구하여 수직입사 흡음률을 구하였다. 또한 음이 랜덤입사하는 경우의 흡음률을 예측하여 실제 잔향실에서 측정된 랜덤입사 흡음률을 비교하였다.

	TEST	ANALYSIS
Normal Incidence (α_n)	<ul style="list-style-type: none"> Impedance Tube KTL 	<ul style="list-style-type: none"> Biot 변수를 이용한 흡음률 계산 Absorption Coefficient & Transmission loss Calculation Program Ver. 1.0용기(대)
Random Incidence (α_d)	<ul style="list-style-type: none"> SRC(Single Reverberation Chamber) NVH Korea 	<ul style="list-style-type: none"> 수직입사의 표면 임피던스를 이용한 흡음률(α_n) 계산

Table 1 흡음률 실험 및 예측의 개요

† 교신저자; 홍익대학교 기계시스템디자인공학부 교수
E-mail : kwanju@hongik.ac.kr
Tel : (02) 320-1643, Fax : (02) 320-1113

* 홍익대학교 기계공학과 대학원

** 한국철도기술연구원

2. 수직입사 흡음률

2.1 수직입사 흡음률 실험

두께 15mm인 PET와 10mm인 Resin Felt를 선택해 실험을 수행하였다. 시편의 직경에 따라 주파수 측정영역이 다르고 각각 3번씩 실험 후 평균값을 계산했다. 측정 장비로는 B&K의 임피던스 튜브 TYPE 4206을 사용하였다.

두 개의 마이크로폰을 이용한 흡음률 측정은 Stationary Random Signal이 입사성분 P_1 와 반사성분 P_r 로 분리되며 이것은 튜브 벽에 위치한 두 개의 마이크로폰에 의해 측정된 음압의 관계로부터 주파수 전달함수를 계산함으로써 얻어진다. P_1, P_2 사이의 관계를 전달함수 H_{21} 으로 정의하고 이로부터 입사파의 크기 A와 반사파의 크기 B의 비를 계산할 수 있다.

$$H_{21} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{A e^{-jkx_2} + B e^{jkx_2}}{A e^{-jkx_1} + B e^{jkx_1}} \quad (1)$$

전달함수(H_{21})로부터 반사계수(R)는

$$R = \frac{H_{21} e^{-jkx_1} - e^{-jkx_2}}{e^{jkx_1} - H_{21} e^{jkx_2}} \quad (2)$$

임피던스(Z)와 흡음률(α_n)은 다음과 같다.

$$\frac{Z}{\rho_0 c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (3)$$

$$\alpha_n = 1 - |R|^2 \quad (4)$$

위 식으로부터 흡음재 표면에서의 임피던스, 즉 표면 임피던스(specific surface impedance)를 구할 수 있다. 여기서 $\rho_0 c$ 는 공기의 특성 임피던스이다.

$$\frac{Z}{\rho_0 c} = z'_n = r'_n + jx'_n \quad (5)$$

2.2 수직입사 흡음률 해석

(1) 흡음재의 Biot Parameter 의 측정

실험을 통해 측정된 Biot Parameter는 흡음재의 흡음률 및 투과손실을 예측하기 위한 변수이며 Absorption Coefficient & Transmission loss Calculation Program Ver.1.0 에 필수 입력사항이다. Biot 변수에는 Flow

Resistivity, Porosity, Tortuosity, Specific Density 4가지가 있다.

(2) 수직입사 흡음률 예측식

• Delany-Bazley 의한 흡음률 예측식

Delany-Bazley 식에서는 공극률이 1에 가까운 섬유재료의 전파상수와 특성 임피던스를 측정하여 이들 인자가 주파수와 재료의 유동 비저항의 함수로 표현된다.

$$Z = -jZ_c \cot(kd) \quad (6)$$

• Allard 의한 흡음률 예측식

Allard 식에서는 Flow Resistivity, Tortuosity, Porosity 등의 함수로 구성이 되고, 이 변수를 이용하여 임피던스를 구한다.

$$Z = -j \frac{Z_c}{\phi} \cot(\bar{k}(\omega)d) \quad (7)$$

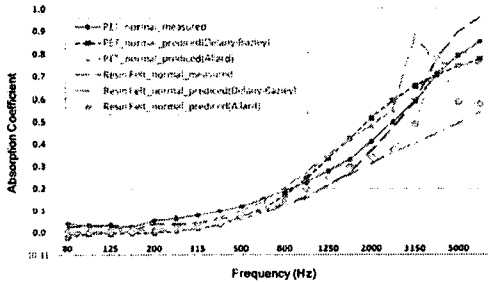


Fig. 1 PET/ Resin Felt의 측정된 수직입사 흡음률과 예측된 흡음률 비교

3. 랜덤입사 흡음률

3.1 랜덤입사 흡음률 실험

랜덤입사 흡음률을 측정하는 SRC(Single Reverberant Chamber)는 체적이 6.97m³으로 400 Hz ~ 10 kHz 의 주파수 대역의 흡음률 측정이 가능하다. SRC 내부에 있는 3개의 스피커를 가진하여 지정된 5점의 위치에 있는 마이크로폰을 통해 응답을 측정하였다. 잔향실법에 의해서 측정되는 잔향시간은 1/3옥타브밴드 대역의 백색소음을 발생시켜 음압이 60dB 감소할 때 걸리는 시간을 측정한다. 이렇게 구한 잔향시간과 잔향실 체적, 시편의 면적을 변수로 하여 식 (8)을 이용하여 시편의 흡음률을 구할 수 있다.

$$\alpha_d = \frac{55.3V}{cS} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (8)$$

여기서 V는 잔향실의 체적, c는 공기중의 음속, S는 시편의 면적, T₁은 시편 부착 전 측정된 잔향시간, T₂는 시편 부착 후 측정된 잔향시간을 나타낸다.

3.2 랜덤입사 흡음률 해석

입사각 ϕ 가 각 각도별로 존재하는 랜덤입사의 경우는 각도별 흡음률을 식 (9)와 같이 나타낼 수 있으며 전체의 평균 흡음률은 식 (10)과 같이 적분식으로 표현 가능하다.

$$\alpha(\phi) = \frac{4r'_n \cos\phi}{(1+r'_n \cos\phi)^2 + (x'_n \cos\phi)^2} \quad (9)$$

$$\alpha_d = \int_0^{\pi/2} \alpha(\phi) \sin 2\phi d\phi \quad (10)$$

앞서 임피던스 튜브를 이용한 수직입사 흡음률 실험으로부터 구한 표면 임피던스를 이용하여 식 (21)을 이용하여 랜덤입사 흡음률을 계산할 수 있다.

$$\alpha_d = 8\Gamma \left[1 - \Gamma \ln \left(\frac{r'_n}{\Gamma + 2r'_n + 1} \right) + \left(\frac{x'_n}{r'_n} \right) \Gamma \left(\left(\frac{r'_n}{x'_n} \right)^2 - 1 \right) \right] \quad (11)$$

$$\times \tan^{-1} \left(\frac{x'_n}{r'_n + 1} \right) \quad \Gamma = r'_n / (r'_n + x'_n)^2 \quad (12)$$

Fig. 2는 동일한 시편에 대한 예측된 수직입사 흡음률, 랜덤입사 흡음률 및 식 (11)을 이용하여 계산된 흡음률을 보이고 있다.

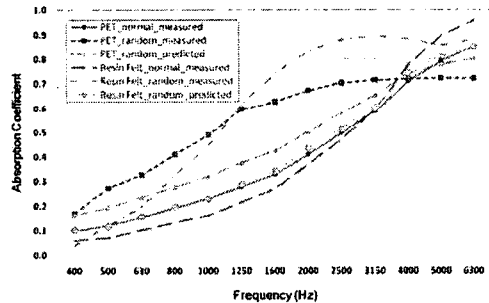


Fig. 2 PET/ Resin Felt 측정된 수직 및 랜덤입사 흡음률과 예측된 랜덤입사 흡음률의 비교

4. 결 론

본 연구에서는 흡음재로 사용되는 섬유가공재 2종류를 이용하여 수직입사 흡음률과 랜덤입사 실험 흡음률 비교해 보았다. 또한 임피던스 튜브를 이용한 실험으로 랜덤입사 흡음률을 예측하여 보았다. 전반적으로 측정된 랜덤입사 흡음률은 예측된 랜덤입사 흡음률보다 20%~40% 높은 경향을 보이며 고주파수(4kHz 이상)에서는 예측된 흡음률이 5~10% 높게 나타남을 알 수 있다.