

수직 및 랜덤입사 흡음률의 상관관계 고찰

*강 현 주, *곽 윤 근, *전 오 성
*한국기계연구원 음향연구그룹
*전주대학교 기계공학과

Consideration on correlation between normal and random incidence absorption coefficient

*Hyun-Ju Kang, *Yeun-Keun Kwak, and *Oh-Sung Cheon
*Acoustics Research Group, KIMM
*Dept. of Mechanical Eng. Chun-Ju Univ.
kanghj@mailgw.kimm.re.kr

요약문

흡음률을 평가하기 위한 연구로서 임피던스 튜브를 통한 수직입사 흡음률과 잔향실을 이용한 랜덤입사 흡음률에 대한 실험연구를 수행하였다. 한편 수직입사와 랜덤입사와의 상관관계를 실험 연구를 통하여 조사하였다. 이 상관관계는 주파수에 따라서 다르게 나타나고 있다. 저주파수 대역에서는 랜덤 입사가 수직입사 보다 크게 나타나고 있지만 고주파수에서는 수평입사 성분의 영향으로 랜덤입사에서는 감소하는 경향을 보이고 있다.

ABSTRACT

In order to evaluate absorption coefficient, experimental works for normal and random incident absorption coefficient are made. An investigation for correlation between normal and random incident absorption was carried out by experiment and analysis. It appears that at the low frequencies, the random incident absorption is higher than the normal one, whileas at the high frequencies, the random incident absorption is decreased due to the effect of grazing incident components.

1. 서 언

흡음제의 연구 혹은 제품개발시 비교적 간단한 방법으로서 임피던스 튜브를 이용한 수직입사 흡음률을 많

이 사용한다. 하지만 제품의 흡음성능을 공식적으로 나타내는 것은 잔향실을 이용한 랜덤입사 흡음률이다.

그러나 수직입사 흡음률은 잔향실의 흡음성능과는 당연히 큰 차이가 있다. 왜냐하면 잔향실에서 흡음체에 입사하는 음파는 수직입사 뿐만 아니라 경사입사가 포함되기 때문에 랜덤입사라고 가정할 수 있으며 랜덤 입사시의 흡음체의 음향학적 거동은 수직입사시의 거동과는 완전히 다를 수 있기 때문이다.

대상 시편의 수직입사 흡음률을 측정하는 방법으로 현재 많이 사용되는 것은 음파분리법을 이용한 2 microphone 혹은 3 microphone method가 있다. 본 연구에서는 상기 두가지 방법을 이용하여 수직입사 흡음률을 측정하였다. 한편 잔향실에서의 실험에도 시편설치 방법 등에 따라서 상당한 편차를 발생므로 이에 대한 실험 연구를 수행하였다.

수직 및 랜덤입사 흡음률과의 상관관계를 조사하기 위하여 수직 및 랜덤입사 흡음률의 비교 및 수직입사 흡음률에서 구해진 표면 임피던스를 이용하여 이론적 랜덤입사 흡음률을 산정하였다. 이를 통하여 수직 및 랜덤입사 흡음률 사이의 상관관계를 수치해석 및 실험적으로 비교하고 있다.

2. 수직 및 랜덤입사 흡음률

가. 수직입사 흡음률

흡음재 내부의 파동전파는 전파속도와 임피던스의 함수로 표현할 수 있다. 전파속도, $c^2 = K(\omega)/\rho(\omega)$ 로서 체적탄성률과 유효밀도의 비에 의해서 결정된다. 음압을 평면파라고 가정하면 $p = e^{j(\omega t - \gamma x)}$ 으로 쓸 수 있고 이때 파수(wave number), $\gamma = \omega/c = k' - jk''$ 를 구할 수 있다. 여기서 k' 는 전파상수(propagation constant), 즉, 공간상의 주파수를 의미하며, k'' 는 감쇠상수(attenuation constant)로서 파동이 공간상으로 진행시 감쇠율을 나타낸다. 따라서 파수는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{\omega}{c} = j\omega \left[\frac{\rho(\omega)}{K(\omega)} \right]^{1/2} \quad (1)$$

한편 파동방정식으로부터 특성 임피던스는 다음과 같이 구해진다.

$$Z_c = \frac{p}{v} = [\rho(\omega) K(\omega)]^{1/2} \quad (2)$$

(2)식으로부터 외부 음압에 대한 흡음재의 응답을 구할 수 있다. 즉 (1) 및 (2)식을 이용하여 재료의 음향학적 성질을 설명할 수 있다.

흡음재의 두께가 d 인 경우에 대해서 수직입사 흡음률은 흡음재 자체의 특성은 상기의 틀로부터 구하면 흡음재 표면에서의 임피던스, 즉 표면 임피던스(specific surface impedance)는 다음과 같다.

$$Z_s = -jZ_c \cot(\gamma d) \quad (3)$$

여기서 $Z_0 = \rho_0 c_0$ 로서 공기의 특성 임피던스이다. 그러면 흡음재 표면에서의 반사계수, R 과 수직입사 흡음률, α_0 은 다음과 같은 관계가 된다.

$$\alpha_0 = 1 - |R|^2 = 1 - \left| \frac{Z_s - Z_0}{Z_s + Z_0} \right|^2 \quad (4)$$

나. 랜덤 입사 흡음률

흡음률은 입사각의 함수이므로 특정주파수에 대한 흡음률은 모든 입사각에 대한 평균으로서 대상 음장을 확산음장이라고 가정하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}(\omega) &= \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \alpha(\omega, \phi) \cos \phi \sin \phi \, d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \phi \sin \phi \, d\phi} \\ &= 2 \int_0^{\pi/2} \alpha(\omega, \phi) \cos \phi \sin \phi \, d\phi \end{aligned} \quad (5)$$

한편 경사입사 흡음률은

$$\begin{aligned} \alpha_\phi &\equiv \alpha(\omega, \phi) = 1 - \left| \frac{Z_s \cos \phi - Z_0}{Z_s \cos \phi + Z_0} \right|^2 \\ &= \frac{4Z_{s,ne} \cos \phi}{(Z_{s,ne} \cos \phi + Z_0)^2 + Z_{s,im}^2 \cos^2 \phi} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $Z_s \equiv Z_{s,ne} + jZ_{s,im}$ 이다.

Fig.2는 임피던스튜브를 통하여 측정된 수직입사 흡음률 데이터로부터 (6)식 즉, 경사입사 흡음률 계산한 결과를 보이고 있다. 저주파수에서는 입사각에 대한 흡음률의 변화가 매우 심한 반면에 고주파수는 거의 변화가 없다.

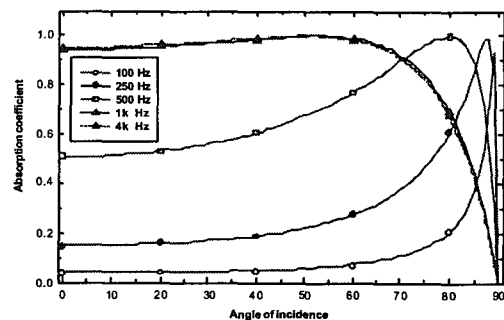


Fig.2. Variation of absorption with the angle of incidence.

3. 수직입사 흡음률의 실험

가. 실험장치

음파분리법을 이용한 수직입사 흡음률의 측정시 실험장치에 따른 실험 오차가 무시할 수 없는 경우가 많다. 실험 데이터에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 본 연구에서는 2가지 실험장치 즉 two microphone을 이용한 임피던스 튜브와 three microphone을 이용한 임피던스 튜브를 이용하여 실험을 수행하였다.

Fig. 3.a는 two microphone용 임피던스 튜브에 대한 사진으로서 저주파수용(100 - 1500 Hz) 및 고주파수용(1000 - 4000 Hz) 튜브로 나누어진다. Fig. 3.b는 three microphone용 임피던스 튜브로서 측정가능 주파수 범위는 200 - 4000 Hz 이다.

나. 실험장치의 검증

Fig. 4는 시편으로서 50 mm의 PU foam에 대한 two microphone용 임피던스 튜브를 이용한 경우로서 각각 저주파수용 튜브와 고주파수용 튜브로부터 얻어진 결과를 나타내고 있다. 이론적으로 약 1000 Hz에서 1800 Hz

사이에서는 두 데이터가 일치해야 한다. 본 실험장치는 충분한 일치를 보이고 있다.

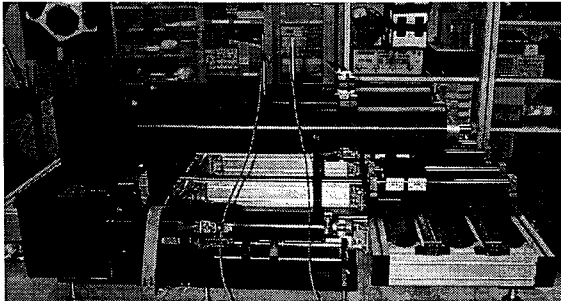


Fig. 3.a, Impedance tube using 2 mic. method.

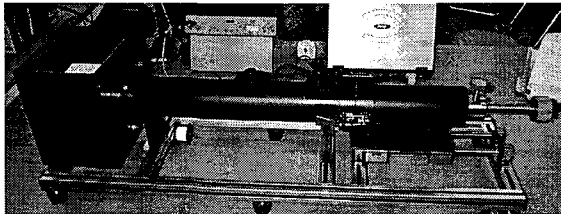


Fig. 3.b, Impedance tube using 3 mic. method.

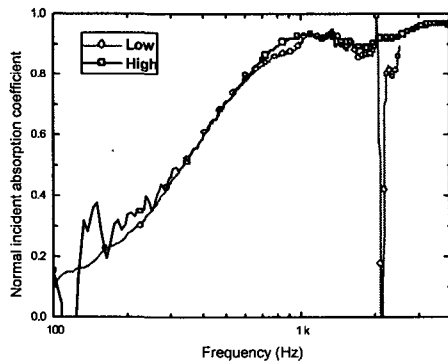


Fig. 4. Experimental results from the impedance tube using 2 mic. method, PU foam(50 mm).

Fig.5는 PU foam(50 mm)에 대하여 two microphone 및 three microphone용 임피던스 튜브 각각을 이용한 실험 결과를 비교하고 있다. 고주파수에서 약간의 차이는 있지만 대체적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

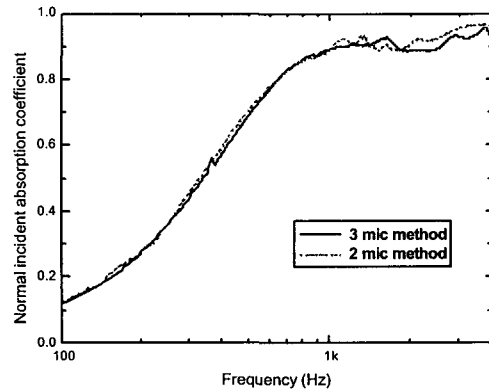


Fig. 5. Comparison between 2 and 3 mic. method, PU foam(50 mm).

4. 램명입사 흡음률의 실험

가. 잔향실 실험

음의 램명입사와 확산음장이라고 가정할 수 있는 잔향실에서의 흡음률 실험에도 무시할 수 없는 편차가 존재한다. 따라서 잔향실법 흡음률(즉 램명입사 흡음률) 데이터에 대한 재현성(deterministic) 및 오차와 관련된 문제를 고려할 필요가 있다.

잔향실법 흡음률에서 실험 편차와 관련된 여러 연구들이 수행되어왔다. 연구된 내용을 요약하면 실험편차를 보이는 요인으로서 음원 및 마이크로폰 위치, 시편의 면적 및 주변길이(perimeter)에 따른 영향 등에 관한 실험 연구가 많이 수행되어왔다. 이러한 실험인자들은 각 잔향실별로 그 특성이 다르게 나타날 수 있다.

따라서 본 연구에서는 실험 데이터의 신뢰성 확보 측면에서 상기한 실험인자들 중 시편의 시편의 면적 및 주변길이(perimeter)에 따른 영향에 관한 실험연구를 수행하였다.

perimeter와 시편의 모서리 수를 변화시켰을 때 잔향실법 흡음률의 차이에 대한 예가 Fig. 6에 나타나 있다. 한편 Fig. 7은 하나의 매개변수로서 $E = \text{perimeter} / \text{시편 면적}$ 를 정의하고 이에 대한 편차를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 시편의 perimeter는 흡음률 측정에 있어서 중요한 변수가 되고 있다. 즉 perimeter가 증가하면 diffraction effect 등의 영향이 증가하게 되어 겉보기 흡음률(apparent absorption coefficient)이 증가하는 경향을

보이고 있다.

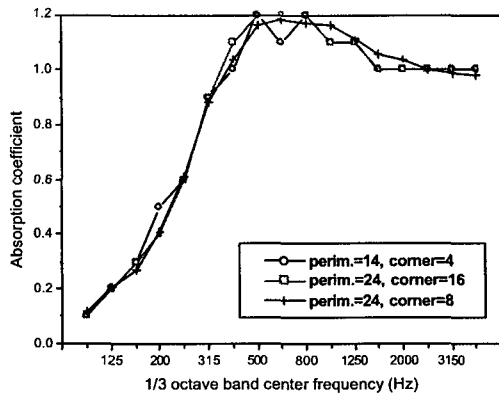


Fig. 6. Variation with perimeter and corners in reverberation room test, PU foam(50 mm).

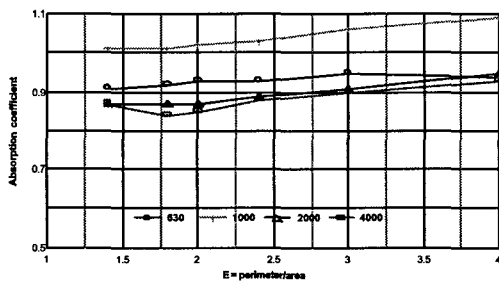


Fig. 7. Variation with E(=perimeter/area) in reverberation room test, PU foam(25 mm).

Fig.8은 동일한 시편에 대한 예측된 수직입사 흡음률, 전향실법 흡음률 및 (5)식을 이용하여 계산된 값들을 보이고 있다. 수직입사와 전향실법의 데이터를 비교해보면 저주파수 대역에서는 전향실 데이터가 높게 나타나고 있지만 고주파수 대역에서는 반대 현상이 보이고 있다. 한편 고주파수 대역에서 전향실 데이터가 감소하는 경향은 전향실의 음장이 고주파수로 갈수록 확산음장에 근사하게 되므로 수평입사의 영향이 증가한다. 따라서 Fig.2에서 보이는 수평입사 흡음률의 영향이 포함되기 때문에 흡음률이 감소하는 것으로 것으로 생각한다.

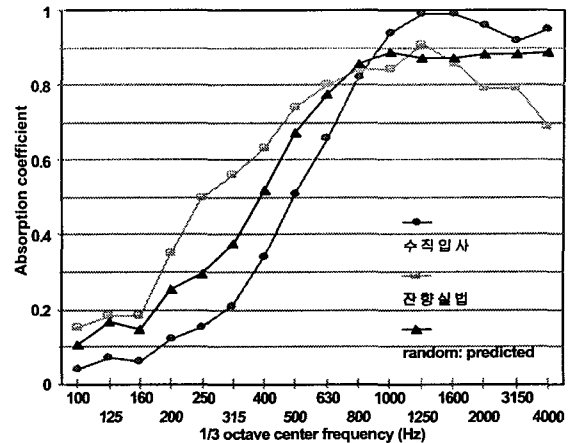


Fig.3. Comparison of the normal and random incident absorption.

4. 결론

수직 및 랜덤입사 흡음률을 예측하는 데 있어서 실험방법에 따라 편차가 존재하고 있다. 한편 수직입사와 랜덤입사의 상관관계는 입사각 및 주파수 및 상대적 흡음 계수에 따라 다른 경향을 보이고 있다.

후 기

본 논문은 과기부가 지원하는 엔지니어링개발사업 (NMD20)으로 지원되어 수행하였습니다

참고문헌

- [1] N. E. Delany and E. N. Bazley, Acoustical properties of fibrous absorbent materials, Appl. Acoust. 3, 105-118 (1970).
- [2] Y. Niki, Acoustical properties of porous materials - Modification of Delany-Bazley models, J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 11, 19-24 (1990).
- [3] M. Voronina, An empirical model for rigid frame porous materials with high porosity, Appl. Acoust. 51, 181-198 (1997).