

## 관내법을 이용한 흡·차음 성능 측정방법

<sup>0</sup>이장명\* , 김동률\*\*

### A measuring technology of the absorption ratio and the transmission loss using the tube method

Chang-Myung Lee , Dong-Ryul Kim

#### ABSTRACT

To measure the absorption ratio and the transmission loss of a material, a usage of the reverberation room has been popular. However, the reverberation room is expensive to build it and, sometimes, test procedure is not easy. Therefore, to get the data of absorption ratio, several possible technologies has been proposed using the tube. Among these technologies, with the analysis of the spectral density, a convenient method has been introduced to measure both the absorption ratio and transmission loss. The measured data has been compared with the results of the measurement at the reverberation room.

#### 1. 서 론

흡음율(absorption ratio)은 흡음재의 음향학적 특성을 나타내는 지표로 많이 사용되고 있다. 흡음재에 대한 이론적 연구는 1940년대에 Zwicker와 Kosten에 의해 제시되어, 1950년대에 Biot에 의하여 체계적으로 정립되었다.

흡음율의 측정법에는 정재파법, 잔향실법, 스펙트럼 밀도방법 등이 있다. 정재파법은 관내에 정재파 음압의 극대치와 극소치의 비(정재파비)를 측정하여 흡음율을 산출하는 방법이다. 잔향실법은 흡음재에 의해 관내의 잔향 시간이 변화하는 것을 이용하여 흡음율을 측정하는 방법이다.

차음재는 재료 표면에서 음을 반사, 흡수하여 입사된 음이 투과하는 것을 막는 역할을 한다. 차음 성능을 나타내는 지표로는 투과율, 음압레벨차, 투과손실(Transmission Loss) 등이 있으며, 대표적으로 투과손실을 많이 사용한다.

본 연구에서는 Seybert와 Ross에 의해 제안된 두 개의 마이크로폰을 이용한 스펙트럼 밀도방법<sup>(2)</sup>으로 흡음 및 차음 성능을 예측하였으며 실험 장치가 간단하고 측정법도 비교적 쉽다. 또한 관내법의 단점으로 지적되어온 측정 주파수 범위의 제한을 보완하기 위해 관의 직경을 변화시켜 광범위한 주파수 범위에서 흡음율을 측정할 수 있도록 하였다.

차음재의 성능을 평가하기 위해 차음재 전·후의 입사파와 투과파를 측정하여 투과손실을 계산하였다. 또한 알파케빈, 잔향실법으로 흡음율 및 투과손실을 측정하여 본 연구에서 측정된 결과치

\* 울산대학교 자동차공학과

\*\* 울산대학교 자동차공학과 대학원

와 서로 비교하여 타당성을 검증하였다.

## 2. 기본 이론

Fig. 1은 강관 내에 흡음재가 있는 경우, 입사파와 반사파를 나타낸 것이다. 평면파 이론이 성립하는 경우의 입사파의 음압을  $p_i$ 라 하고 반사파의 음압을  $p_r$ 이라 할 때, 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$p_i(x, t) = a(t)e^{i(\omega t - kx)} \quad (1)$$

$$p_r(x, t) = b(t)e^{i(\omega t + kx)} \quad (2)$$

여기서,

$$\omega = 2\pi f$$

$$k = \omega/c \quad ; \quad \text{파수}$$

$$c \quad ; \quad \text{음속}$$

$$a(t), b(t) \quad ; \quad \text{임의 변수}$$

$a(t), b(t)$ 는 시간 함수이므로 파형에는 변함이 없다.

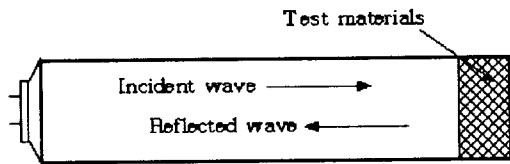


Fig. 1 Sound field in the tube

유동 속도  $v$ 를 고려하면 식 (1), (2)는 아래와 같이 변형된다.

$$p_i(x, t) = a(t)e^{i(\omega t - kx)} \quad (1-1)$$

$$p_r(x, t) = b(t)e^{i(\omega t + kx)} \quad (2-1)$$

여기서,

$$k_i = \frac{\omega}{c+v}, \quad k_r = \frac{\omega}{c-v}$$

또한 입사파의 입자 속도  $u_i$ , 반사파의 입자 속도  $u_r$ 은 아래와 같다.

$$u_i(x, t) = p_i(x, t) / \rho c \quad (3)$$

$$u_r(x, t) = p_r(x, t) / \rho c \quad (4)$$

여기서,

$\rho$  ; 공기 밀도

## 3. 흡음율 및 처음 성능

### 3.1. 흡음율(Absorption Ratio)

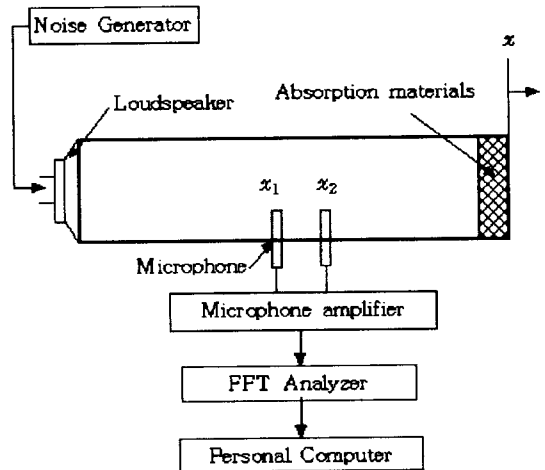


Fig. 2 Experimental set-up for absorption ratio measurement

Fig. 2는 흡음율의 산출을 위한 측정 장치를 나타낸 것이다. 흡음재로부터  $x_1, x_2$ 만큼 떨어진 거리에서의 관내의 음압은 아래와 같다.

$$p(x_1, t) = p_i(x_1, t) + p_r(x_1, t) \\ = \{a(t)e^{-ik_1x_1} + b(t)e^{ik_1x_1}\} e^{i\omega t} \quad (5)$$

$$p(x_2, t) = \{a(t)e^{-ik_1x_2} + b(t)e^{ik_1x_2}\}e^{i\omega t} \quad (6)$$

$x_1, x_2$ 에서의 자기 스펙트럼밀도(auto spectrum density)를 각각  $S_1, S_2$ 라 하고,  $x_1, x_2$ 에서 음압 사이의 상호 스펙트럼밀도(cross spectrum density)를  $S_{12}$ 라 하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$S_1 = (1/T)\{P_1(f, T) P_1^*(f, T)\} \quad (7)$$

$$S_2 = (1/T)\{P_2(f, T) P_2^*(f, T)\} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} S_{12} &= R_{12}(f) + iI_{12}(f) \\ &= (1/T)\{P_1(f, T) P_2^*(f, T)\} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,

$T$  ; 측정시간

$P_1(f, T), P_2(f, T)$  ;  $x_1, x_2$ 에서의 음압의  
푸리에 변환(fourier transform)

\* ; 공액 복소수

$R_{12}(f)$  ;  $S_{12}$ 의 실수부

$I_{12}(f)$  ;  $S_{12}$ 의 허수부

유동 속도  $v$ 를 고려하지 않고, 식 (5), (6)과 식 (7)~(9)를 조합하면 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} S_1 &= S_A + S_B + 2(R_{AB}\cos 2kx_1 \\ &\quad + I_{AB}\sin 2kx_1) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} S_2 &= S_A + S_B + 2(R_{AB}\cos 2kx_2 \\ &\quad + I_{AB}\sin 2kx_2) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} R_{12} &= (S_A + S_B)\cos k(x_1 - x_2) \\ &\quad + 2\{R_{AB}\cos k(x_1 + x_2) + I_{AB}\sin k(x_1 + x_2)\} \end{aligned} \quad (12)$$

$$I_{12} = (-S_A + S_B)\sin k(x_1 - x_2) \quad (13)$$

여기서,

$S_A$  ; 입사파의 자기스펙트럼 밀도

$S_B$  ; 반사파의 자기스펙트럼 밀도

$S_{AB}$  ; 입사파와 반사파 사이의 상호스펙트럼

밀도

$R_{AB}$  ;  $S_{AB}$ 의 실수부

$I_{AB}$  ;  $S_{AB}$ 의 허수부

$S_1, S_2, S_{12}$ 는 실험에 의해 측정되고, 식 (10)~(13)에 의해  $S_A, S_B$ 를 구할 수 있다.

따라서 흡음율은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{흡음율} = 1 - \frac{S_A}{S_B} \quad (14)$$

여기서  $S_A/S_B$ 는 반사계수(Reflection coefficient)이다.

본 연구에서는 직경이 다른 두 개의 관으로 흡음율을 측정하였다. Table 1은 측정 주파수 범위에 따른 관의 직경을 나타낸 것이다.

Table 1

Diameter	Frequency range
10.5cm	100~1800Hz
3.5cm	1250~3750Hz

흡음재의 흡음율을 측정하기 위해 Fig. 2에서와 같이 노이즈 발생기로 백색 잡음(white noise)을 발생시켰으며, 음의 간섭을 막기 위해 마이크로폰 사이의 간격을 적절히 유지하였다.

$x_1, x_2$ 에서 측정된 스펙트럼 밀도  $S_1, S_2, S_{12}$ 를 개인용 컴퓨터에서 계산하여 흡음재의 입사파와 반사파를 계산하였다.

측정에 사용된 흡음재의 종류는 아래와 같다.

S/FOAM(10t)

PE FELT(10t)

S/FOAM(10t) + ACRIL FELT(15t)

S/FOAM + PE FELT(15t)

실험 결과 S/FOAM(10t) + ACRIL FELT(15t)가 흡음율이 가장 좋았으며, 알파케빈(alpha cabin)에서도 같은 결과를 보였다. Fig. 3, Fig. 4는 각각 관내법, 알파케빈으로 측정된 흡음율을 나타낸

것이다.

$$TL = 10 \log_{10} \left( \frac{S_A}{S_T} \right) \quad (15)$$

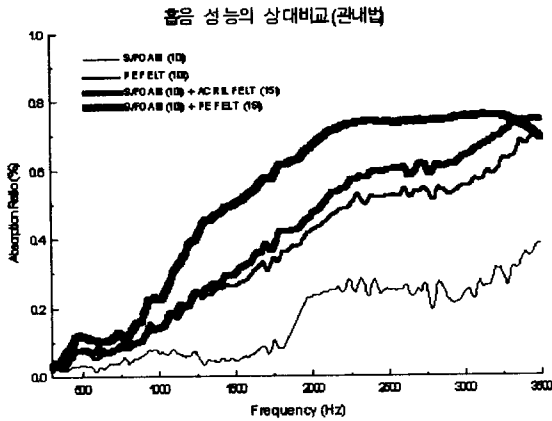


Fig. 3 Absorption ratio by the tube method

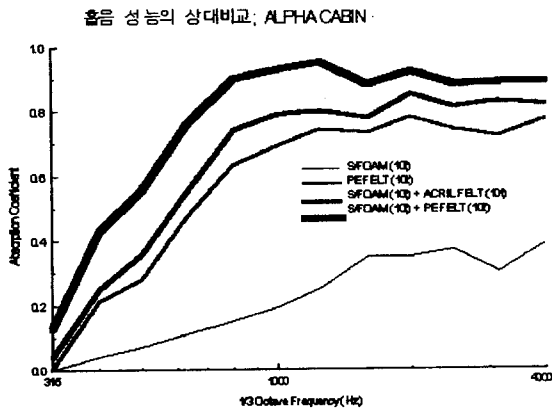


Fig. 4 Absorption ratio by the Alpha cabin

### 3.2. 차음 성능(Transmission Loss)

Fig. 5는 투과손실을 산출하기 위한 개략도를 나타낸 것이다. 투과파의 자기스펙트럼 밀도  $S_T$ 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_T = (1/T) \{ P_T(f, T) P_T^*(f, T) \}$$

앞 절에서 계산된 방법에 의해 차음재를 통과하기 전의 입사파  $S_A$ 와 통과한 후의 투과파  $S_T$ 로부터 투과손실을 구할 수 있다.

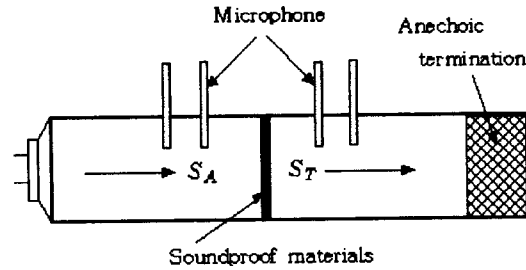


Fig. 5 Duct for transmission loss measurement

차음재의 투과손실을 측정하기 위해 차음재의 양단을 밀봉하여 관에 부착하였으며, 차음재를 통과한 음의 투과파를 측정하기 위해 음원의 반대편에 무반사단(anechoic termination)을 설치하였다.

PVC (1.5t), PVC(2.0t)의 두 종류 시편으로 투과 손실을 측정하였고, PVC (2.0t)가 투과손실이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6, Fig. 7은 각각 관내법, 잔향실법으로 두 시편에 대한 투과손실을 측정된 결과이며 그림에서 경향이 일치함을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 관내법을 이용하여 흡·차음재의 흡음율 및 차음 성능의 지표인 투과손실을 계산하였다. 그 결과 흡음율은 모 회사의 흡음 성능 측정기인 알파케빈과 비교하여 시편간에 상대 비교의 결과치가 같다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 차음재의 투과손실은 잔향실법과 비교한 결과 상대 비교치가 같다는 것을 확인할 수 있었다.

비교적 간단한 방법으로 단품들에 대한 음향학적 특성을 파악할 수 있으며, 실험 장치를 구성하는 비용도 타 계측장비에 비해 저렴하여 현장에서의 활용도가 기대된다.

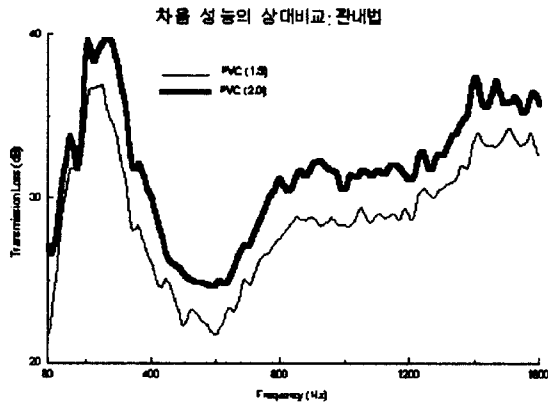


Fig. 6 Transmission Loss by the tube method

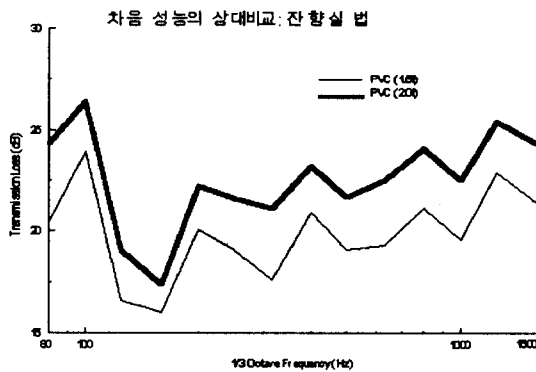


Fig. 7 Transmission Loss  
by the Reverberation method

### 참 고 문 헌

- (1) Douglas D. Reynolds, 1981, "Engineering Principles of Acoustics", Allyn and Bacon, INC.
- (2) Seybert, A.F. and Ross, D.F., 1977, "Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 61 pp. 1362~1370
- (3) Seybert, A.F., 1988, "Two-sensor methods for the measurement of sound intensity and acoustic properties in ducts", J. Acoust. Soc.

Am., Vol. 83 pp. 2233~2239

(4) Seybert, A.F. and Soenarko, 1981, "Error analysis of spectral estimates with application to the measurement of acoustic parameters using random sound fields in ducts", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 69 pp. 1190~1199

(5) KS F 2814, 1978, "관내법에 의한 건축 재료의 수직입사 흡음율 측정 방법", 한국공업규격

(6) ASTM C 384, 1990, "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials by the Impedance Tube Method", ASTM, PA, USA

(7) Chung, J.Y. and Blaser, D.A. 1980, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 68 pp. 907~913