

흡음판이 내장된 헬름홀츠 공명기의 흡음특성

Acoustic Characteristics of a Helmholtz Resonator with Built-In Sound Absorption Panel

양운상† · 백두산* · 이동훈† · 박춘근**

Yoon-Sang Yang, Du-San Baek, Dong-Hoon Lee and Choon-keun Park

Key Words : Helmholtz Resonator(헬름홀츠 공명기), Railroad Noise(철도소음), Sound Absorption Coefficient(흡음계수), Sound Absorption Panel(흡음판)

ABSTRACT

Many of research on noise reduction techniques have been progressed for the improvement of noise environment in subway train. There are many way to noise reduction techniques in the tunnel, but it has been reported as an alternative to attach sound absorption material on tunnel wall. For this reason sound absorption material has been studied for application of tunnel.

The objective of this study is to investigate design parameters on a Helmholtz resonator with built-in sound absorption panel for the reduction of the tunnel noise in the subway. Sound absorption panel composed of the perforated panel with sub-millimeter holes and the airspace backed a rigid wall or between panels. The experiment is performed through the change of number of perforated panel, cross sectional area and the depth of airspace of the sound absorption panel under the normal incidence sound.

1. 서 론

기 호 설 명

- p : 음압
- v : 질량속도
- k : 파수
- Y : 특성임피던스
- Z : 음향임피던스

지하철에 탑승하고 있는 승객은 전동차가 지하터널을 통과할 때 터널내부의 반사음으로 인해 열악한 소음 환경에 노출된다. 이에 따라 국내외 지하철 운영기관 및 연구 기관에서는 지하철 터널소음 저감을 통하여 전동차 객실 소음저감을 위한 연구를 진행하고 있다.^(1,2) 전동차 객실소음을 저감시키기 위해서는 전과경로 소음대책 일환으로 전동차의 차음성능을 향상시키는 것이 효과적이나, 차음성능을 향상시키면 차량무게 증가로 인한 차량의 제조단가 상승과 운전비용 증가를 초래하게 된다. 따라서 전동차 객실 소음을 효과적으로 줄이기 위해서는 터널내부에 흡음재를 부착하여 전동차 실내로 전파되는 소음을 저감해야 한다.^(3,4) 지금까지 터널내부 소음저감용 흡음재로 폴리에스터, 우레탄칩 그리고 경량기포 콘크리트 흡음블록과 같은 체적형 흡음재가 연구대상이

† 교신저자; 정회원, 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과

E-mail : ldh@seoultech.ac.kr

Tel : 02-979-7331, Fax : 02-979-7331

‡ 발표자; 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과

* 서울과학기술대학교 일반대학원 기계공학과

** (주)태창넷케이

었으나, 이와 같은 체적형 흡음재는 흡음성능은 우수하나, 지하철 터널내부의 유지관리 측면에서는 실용화에 많은 제약을 받는다.

따라서 본 연구에서는 지하철 터널내부 적용시 유지관리가 용이하고 주파수 대역별 소음저감 성능이 뛰어난 흡음판이 내장된 헬름홀츠 공명기의 흡음특성을 고찰하고자 한다. 흡음판의 개수, 공명기의 목길이 등을 변화하여 흡음계수를 계산하였고, 두 개의 마이크로폰으로 전달함수를 측정하여 구한 흡음계수와 비교 고찰하였다.

2. 전달행렬법

단일 공동과 목을 가진 공명기에 대해서는 전기음향등가회로법을 이용하여 흡음계수를 간단히 구할 수 있으나, 음향요소가 다수개가 되면 전기음향등가회로법보다는 전달행렬법이 더 효과적이다⁽⁵⁾.

일반적으로 일차원 음향계 요소의 전달행렬 표현에 대한 개략도는 Fig. 1에 도시한 바와 같다.

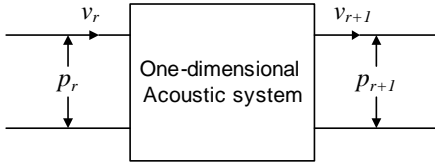


Fig. 1 Four-pole parameters of an acoustic element.

Fig. 1에서 상류지점 r 과 하류지점 $r+1$ 에서의 음압 p 와 질량속도 v 를 이용하여 단위 전달행렬을 표현하면 다음식과 같다.⁽⁶⁾

$$\begin{bmatrix} p_r \\ v_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{r+1} \\ v_{r+1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (2)에서 E_{11} , E_{12} , E_{21} 및 E_{22} 는 4단자 정수(또는 전달행렬요소)이다.

본 연구의 공명기는 Fig. 2에 도시된 바와 같이 일정 크기의 공동과 직관 그리고 목의 역할을 하는 다수개의 흡음판으로 구성된다.

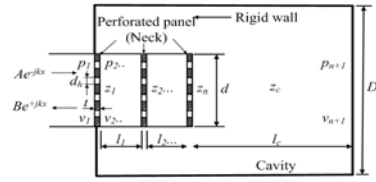


Fig. 2 Configuration of the helmholtz resonator with built-in sound absorption panel.

먼저 Fig. 2에 도시된 길이 l_c 인 공동 또는 직관에 대한 전달행렬 $[S]$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kl_c & (jY) \sin kl_c \\ (j/Y) \sin kl_c & \cos kl_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

흡음판의 전달행렬 $[P]$ 는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_{1,2,\dots,n} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

환상공동의 전달행렬 $[C]$ 는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_r & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 (3)은 판의 두께가 파장에 비하여 매우 얇아 다공판 양측 사이의 질량속도에 대한 위상차를 무시할 수 있다는 가정을 전제로 하고 있다.

한편 Fig. 2와 같이 공명기가 다수개의 흡음판과 직관으로 구성된다면 공명기의 총괄전달행렬 $[T]$ 는 다음 식에서와 같이 흡음판과 직관에 대한 단위 전달행렬을 각각 곱함으로써 구할 수 있다.

$$[T] = [P]_1 [S]_1 \cdots [P]_n [S]_n [C] \quad (5)$$

또한 상류측 음향요소 1에 대한 상태변수(음압과 질량속도)는 총괄전달행렬과 하류측 음향요소 $n+1$ 에 대한 상태변수에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ v_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{n+1} \\ v_{n+1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Fig. 2에서 상류측 음향요소에서의 입사음과 반사음의 음압진폭을 각각 A 와 B 라 할 때, 음향계의 상류측과 하류측에서의 음압과 질량속도의 관계는 다음식과 같다.

$$A+B=p_1 = T_{11}p_{n+1} + T_{12}v_{n+1} \quad (7a)$$

$$(A-B)/Y_1 = v_1 = T_{21}p_{n+1} + T_{22}v_{n+1} \quad (7b)$$

그리고 하류측은 단단한 강체로 막혀 있으므로 질량속도 $v_{n+1} = 0$ 이므로, 입력반사계수 $R = B/A$ 는 다음과 같은 전달행렬요소로 표현된다.

$$R = \frac{T_{11} - Y_1 T_{21}}{T_{11} + Y_1 T_{21}} \quad (8)$$

수직입사인 경우 반사계수와 표면음향임피던스 ζ 는 다음의 관계를 갖는다.

$$\zeta = Y_1 \frac{1+R}{1-R} \quad (9)$$

따라서 총괄표면음향임피던스 ζ 는 식 (10)과같이 표현되고, 이를 식 (11)에 대입함으로써 수직입사 흡음계수가 구해진다.

$$\zeta = Z_c + Z_n \quad (10)$$

$$\alpha_n = \frac{4Re(\zeta)}{[1 + Re(\zeta)]^2 + [Im(\zeta)]^2} \quad (11)$$

3. 실험

Fig. 3은 흡음판이 내장된 공명기, 임피던스관 그리고 측정기기의 구성도를 나타낸 것이다. 임피던스관은 $75mm \times 75mm$ 이고, 길이 $l = 1,000mm$ 인 아크릴관으로 제작하였다. 임피던스관의 입구측에는 스피커가 부착되어 있으며, 출구측에는 측정하고자 하는 흡음판이 내장된 공명기가 설치되어 있다. 본 연구에 사용된 흡음의 제원은 두께 $t = 0.3mm$ 그리고 구멍지름 $d_h = 1mm$ 로 일정한 상태에서 공극율 $\sigma = 1\%$ 이다.

음향신호는 음신호발생기에서 발생되어 증폭기를

거쳐 증폭된 다음에 스피커를 통해 임피던스관에 공급되어 공명기에 입사된다. 흡음판 앞에 설치된 두 개의 1/4인치 압력형 마이크로폰으로는 전달함수가 측정된다. 스펙트럼은 주파수 분석기에서 주파수 범위 3,200Hz 그리고 해상도 8Hz로 하여 분석하였다. 본 연구에서는 첫 번째 흡음판으로부터 마이크로폰의 거리 $x = 80mm$ 그리고 두 마이크로폰의 간격 $s = 40mm$ 로 하였다.

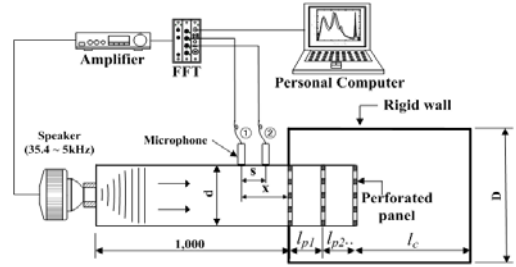
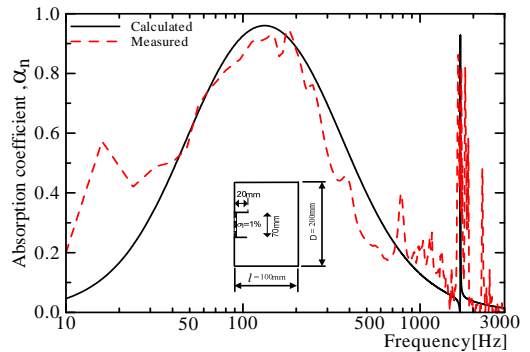


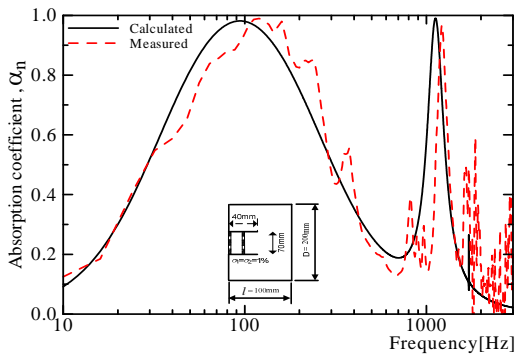
Fig. 3 Experimental setup for sound absorption coefficient measurement.

4. 결과 및 고찰

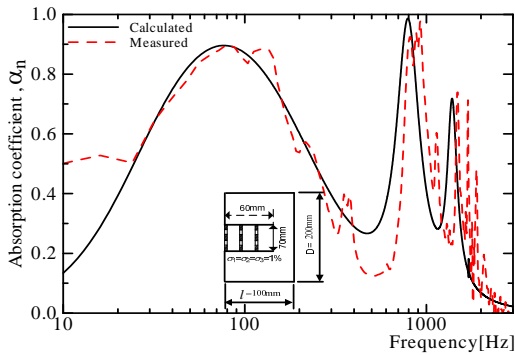
Fig. 4는 흡음판이 내장된 공명기의 흡음판을 늘려가면서 흡음계수를 측정하고 계산한 결과이다. 흡음판의 수가 늘어날수록 흡음피크가 저주파수대역으로 이동하면서 일정 길이까지는 흡음성능이 향상되는 경향을 나타내다가 공동의 부피가 감소하여 흡음성능이 감소하게 된다.



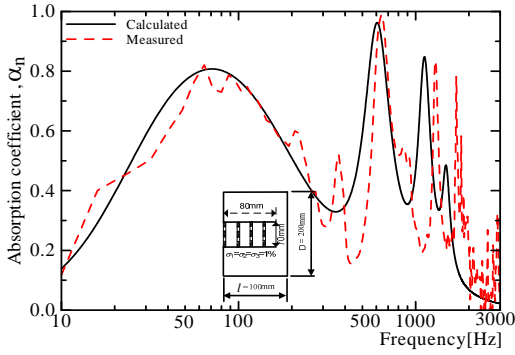
(a) $n=1$



(b) $n=2$



(c) $n=3$



(d) $n=4$

Fig. 4 Effect of the number of sound absorption panel on the normal sound absorption coefficient

5. 결론

공명기에 내장된 흡음판의 개수가 늘어날수록 흡음피크가 저주파수대역으로 이동하면서 일정 길이까지는 흡음성능이 향상되는 경향을 나타내다가 공동의 부피가 어느 정도 이상 감소하게 되면 흡음성능

도 감소하는 경향을 나타낸다.

후 기

본 연구는 환경부의 환경선진화기술개발사업에서 지원받았습니다.

참 고 문 헌

- (1) Choi. Y. W., Koo, J. S., You, W. H., and Koh, H. I., 2010, A Study on the Increase of Transmission Loss of Metro Train, KSNVE. Vol. 20, No. 3, pp. 257~262.
- (2) R. Fan, G. Meng, J. Yang and C. He, 2009, Experimental study of the effect of viscoelastic damping materials on noise and vibration reduction within railway vehicles, Journal of Sound and Vibration, Vol. 319, pp. 58~76.
- (3) Choi, J. K., Lee, J. W. and Chang, S. I., 2001, A Study on Squeal Noise Control by Absorption Treatment in Urban Rail Transit System, KSNVE. Vol. 11, No. 4, pp. 58~64
- (4) Hong, C. K., Jeong, R. T. and Kim, B. H., 2008, A Study on an Analysis of Noise Reduction Effects using the tentatively Installed Sound-absorbing Materials in Metro Tunnel, Proceedings of the The Korean Society For Railway Annual Autumn Conference, pp. 125~131.
- (5) Lee. D. H. and Kwon. Y. P., 2004, Estimation of the absorption performance of multiple layer perforated plate systems by transfer matrix method, Journal of Sound and Vibration, Vol. 278, pp. 847~860.
- (6) M. L. Munjal, 1987, Acoustics of Ducts and Mufflers, Wiley, New York, pp. 150(Chapter 3).