

공명형 흡음기의 설계인자에 관한 연구

A Study on the Design Parameter of a Resonance type Absorber

송화영*†, 이영철* · 이선기** · 이동훈***

Hwa-Young Song, Young-Chul Lee, Sun-Ki Lee, Dong-Hoon Lee

Key Words : Absorption Coefficient(흡음계수), Helmholtz Resonator(헬름홀츠 공명기), Perforated Panel(다공패널), Resonance type Absorber(공명형 흡음기), Transfer Matrix Method(전달행렬법)

ABSTRACT

A helmholtz resonator has been widely used for the purpose of suppressing low frequency noises propagated from various heat and fluid machineries. However, the resonator has demerits that the absorption bandwidth at resonance frequency is very small and a large cavity is necessary. In order to overcome these problems, in this paper, a resonator with perforated panels at the neck and/or in the cavity is proposed. The absorption performances of resonators are measured by two-microphone method and are estimated by transfer matrix method. The experimentally measured values of normal absorption coefficients are agreed well with the corresponding values from the transfer matrix method. By introducing perforated panels at the neck of a resonator, it is shown that the absorption performances and bandwidth have a significant improvement

1. 서 론

헬름홀츠 공명기는 각종 열유체기기류에서 발생하는 불연속 저주파수대역의 소음을 흡음할 목적으로 널리 사용되어 왔다. 즉 대상음의 주파수 대역과 일치하도록 공명기의 공동 체적과 목의 크기를 설계하여 적절한 위치에 부착하므로써 소음을 저감시켜 왔다⁽¹⁾. 그러나 헬름홀츠 공명기는 소음을 흡음시키는 주파수 대역폭이 좁다는 단점과 대상음이 저주파수에 가까울수록 부피가 큰 공동을 필요로 하는 단점 때문에 용도에 많은 제약을 받고 있다. 따라서 흡음대역폭을 확장함과 동시에 작은 공동의 부피로 흡음 성능이 우수한 공명기를 설계하기 위한 연구가 필요하다.

이와 관련하여 지금까지 발표된 연구의 예를 들면, 공명기의 목을 테이퍼 형태로 하여 흡음성능을 향상시킨 연구⁽²⁾, 다수의 헬름홀츠 공명기가 배열된 패널 형태의 흡음시스템을 이용하여 흡음성능을 향상시킨 연구⁽³⁾ 그리고

유연한 다공성 스크린을 공명기에 설치하여 흡음성능을 향상시킨 연구⁽⁴⁾ 등이 있다. 공명기의 흡음성능은 공동의 체적이 일정한 상태에서는 목의 크기와 형상에 의해 좌우됨을 고려 해볼 때, 목을 테이퍼 형태로 하여 흡음성능을 향상시킨 Tang의 연구⁽²⁾는 대단히 흥미로운 연구결과라 사료된다. Tang은 목의 안쪽 방향으로 테이퍼를 갖도록 하여 테이퍼 기울기에 따른 흡음성능의 향상정도를 측정하고 흡음계수의 피크치에 해당하는 공명주파수를 측정하여 이론 해석으로 구한 공명주파수와 비교 고찰하였다. 그러나 공동의 목을 경사진 테이퍼로 한 공명기는 제작의 용이성이라든가 비용 그리고 다수의 공명기를 제작하는 관점에서 보면 실제적으로 적용이 쉽지 않다.

본 연구에서는 공동의 목에 미세 다공판을 적용하여 흡음성능 향상을 위한 제반 설계인자를 파악하고자 한다. 즉 미세 다공판의 제원과 취부위치의 변화에 따른 흡음성능 측정과 함께 공동 형상의 종방향과 반경방향의 변화 및 공동내부에 미세 다공판을 취부하였을때의 흡음성능에 대해서도 측정하였다. 측정결과는 저자들에 의해 계산의 편의성이 보고된 전달행렬법⁽⁵⁾을 이용하여 계산한 결과와 비교 토의하였다.

† 서울산업대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과
E-mail : hysong@snut.ac.kr
Tel : (02) 970-6331, Fax : (02)979-7331

* 서울산업대학교 에너지환경대학원 나노아이티공학과

** 서울산업대학교 에너지환경대학원 나노아이티공학과

*** 서울산업대학교 기계공학과/에너지환경대학원

2. 계산모델

일차원 음향계를 구성하는 각 음향요소의 특성은 Fig. 1에 도시된 바와 같이 전달행렬 요소인 4단자 정수로 표현할 수 있다.

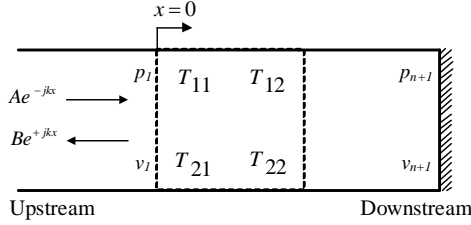


Fig. 1 Four-pole parameters of an acoustic system.

Fig. 1과 같이 요소 1부터 요소 n+1개로 구성되어 있는 음향요소들에 대한 4단자 정수는 음향요소의 상류측과 하류측의 음압 p 와 질량속도 v 를 이용하여 다음과 같은 전달행렬 [T]의 형태로 쓸 수 있다.

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

Fig. 1에서 음향요소 상류측에서의 입사음과 반사음의 음압진폭을 각각 A 와 B 라 할 때, 음향계의 상류측과 하류측에서의 음압과 질량속도의 관계는 각각 다음식과 같다.

$$A + B = p_1 = T_{11}p_{n+1} + T_{12}v_{n+1} \quad (2a)$$

$$(A - B)/Y = v_1 = T_{21}p_{n+1} + T_{22}v_{n+1} \quad (2b)$$

식 (2)에서 Y 는 $Y = a/S$ 로서 S 는 입사음의 단면적, a 는 음속을 나타낸다. 그리고 하류측은 단단한 강체로 막혀 있으므로 질량속도 $v_{n+1} = 0$ 이므로, 압력반사계수 $R = B/A$ 는 다음과 같은 전달행렬요소로 표현된다.

$$R = \frac{T_{11} - YT_{21}}{T_{11} - YT_{21}} \quad (3)$$

따라서 식 (3)을 다음 식에 대입하면 수직입사 흡음계수 α_n 을 계산할 수 있다.

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

한편 공명형 흡음기는 Fig. 2에 도시된 바와 같이 공동과 목으로 구성되어 있으며, 본 연구에서의 공동은 길이

방향과 반경방향으로의 크기조절이 가능한 끝단이 막힌 직관으로 하였으며, 목에는 다공판을 설치하였다.

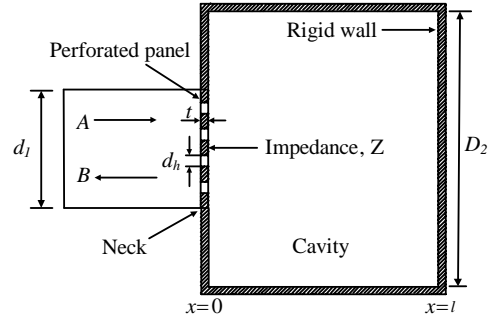


Fig. 2 Sound field representations for resonance type absorber

Fig. 2에 도시된 공동의 목부에 설치된 다공판에 대한 전달행렬 [P]를 구하면 다음식과 같다.

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 Z 는 다공판의 특성임피던스로서 본 연구에서는 Rao와 Munjal의 임피던스 모델을 사용하였다.

$$Z = (7.337 \times 10^{-3})/\sigma + j(2.2245 \times 10^{-5} f(1 + 51t)(1 + 204d_h))/\sigma \quad (6)$$

식 (6)에서 σ 는 공극율, f 는 주파수(Hz), t 는 다공판의 두께(m), d_h 는 구멍지름(m)을 나타낸다. 또한 Fig. 2에 도시된 직관에 대한 전달행렬[S]는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kl & (jY)\sin kl \\ (j/Y)\sin kl & \cos kl \end{bmatrix} \quad (7)$$

3. 실험

Fig. 3은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도로서 지름 $d = \phi 70mm$, 길이 $l = 300mm$ 인 임피던스관 끝에 공명형 흡음기가 설치되어 있다. 흡음기의 목에는 다공판을 설치하였으며, 다공판의 제원은 공극율 $\sigma = 1.55\%$, 두께 $t = 1.0mm$ 그리고 구멍지름 $d = 2mm$ 이다. 공동은 지름 D 는 각각 $\phi 70$, $\phi 130$, $\phi 180mm$ 로 변화시켰고, 길이 l 은 각각 20, 200, 400, 600, 800mm로 변화시켰다. 또 공동의 내부에는 다중 다공판이 설치되어 있으며, 공동의 외벽은 강체로 구성되어 있다. 흡음계수는 두 지점에 설치된 마이크로폰간의 전달함수를 측정하여 구하

였다.

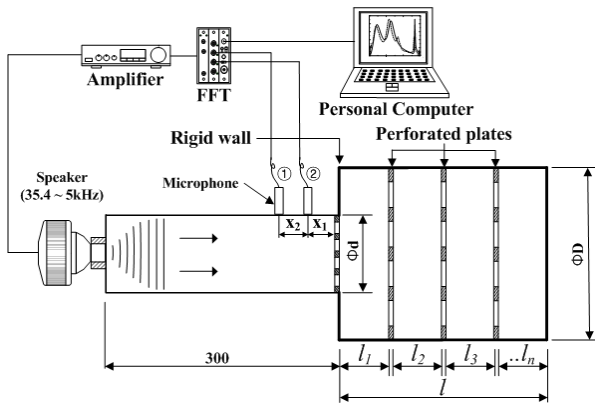


Fig. 3 Experimental setup for sound absorption coefficient measurement.

4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 공명형 흡음기의 목부에 설치된 다공판의 위치를 변화시키면서 흡음계수를 측정하고 계산한 결과이다.

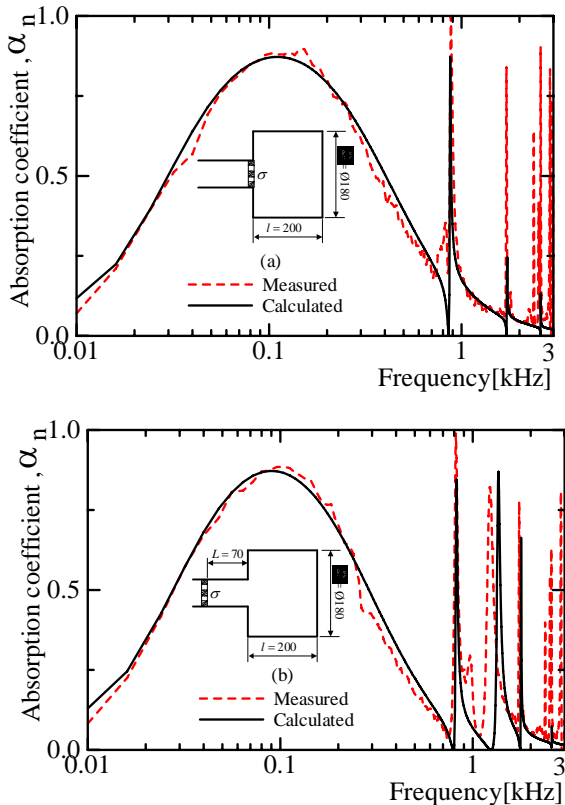


Fig. 4 Effect of the position of a perforated panel installed at the neck on the sound absorption performance of a resonance type absorber.

즉 그림 (a)는 공동과 목의 경계면에 다공판을 설치하였을 때이고, 그림 (b)는 목으로부터 70mm 상류측에 다공판을 설치하였을 때이다. 실험에 사용된 다공판 제원은 $t=1.0\text{mm}$, $d=2\text{mm}$ 그리고 $\sigma=1.55\%$ 이며, 공동의 제원은 $D=\phi 180\text{mm}$, $l=200\text{mm}$ 로서 두 경우 모두 같다. 그림 (a)와 그림 (b)의 결과에서 다공판의 위치변화에 따른 기본공명주파수에 해당하는 흡음계수의 피크값에는 큰 차이가 없으나, 다만 다공판을 목의 상류측에 설치한 그림 (b)의 경우가 그림 (a)와 비교하여 흡음대역폭이 다소 더 좁아지고, 고차모드 성분을 포함한 흡음계수의 피크값에 해당하는 주파수들이 체적증가분 만큼 낮은 주파수대역으로 이동하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5는 공명형 흡음기의 공동체적 $V=2.65 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}$ 으로 고정시킨 상태에서 공동의 형상을 길이방향과 반경방향으로 각각 변화시켰을 때의 흡음계수를 측정하고 계산한 결과이다.

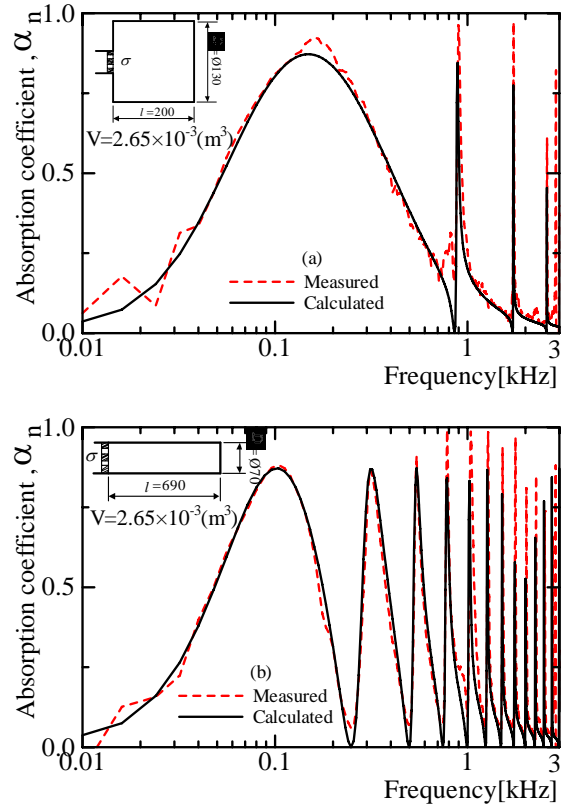


Fig. 5 Effect of the change of a cavity shape on the sound absorption performance of a resonance type absorber with a constant cavity volume.

다공판의 제원은 $t=1.0\text{mm}$, $d=2\text{mm}$ 그리고 $\sigma=1.55\%$ 이다. 그림 (a) 및 그림 (b)의 결과에서 기본공명주파수에 해당하는 흡음계수의 피크값은 거의 같다.

그리고 공동의 체적을 반경방향으로 변화시킨 경우가 길이방향으로 변화시킨 경우보다 기본공명주파수에서의 흡음대역폭은 더 넓어졌으며, 아울러 흡음계수의 피크값에 해당하는 주파수가 더 높은 주파수대역으로 이동하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 공명형 흡음기의 공동 내부에 공극율이 각기 다른 다공판을 3중으로 설치하여 흡음계수를 측정하고 계산한 결과이다. 그림 (a)는 공동내에 설치된 다공판의 공극율이 $\sigma_1 = 0.57\%$, $\sigma_2 = 1.55\%$, $\sigma_3 = 3.02\%$ 순으로 배치된 경우이고, 그림 (b)는 $\sigma_1 = 3.02\%$, $\sigma_2 = 1.55\%$, $\sigma_3 = 0.57\%$ 순으로 배치된 경우이다. 결과에서 그림 (a)와 같이 다공판의 공극율이 처음에는 작다가 점점 크게 하는 경우가 그림 (b)와 같이 공극율을 점차 작은 순으로 배치하는 경우보다 기본공명주파수에 해당하는 흡음계수의 피크값이 크고 흡음대역폭이 넓게 되는 것을 알 수 있다. 특히 그림 (b)의 결과에서는 다공판의 수 즉, 공동의 수와 일치하는 공명주파수가 뚜렷이 나타남을 확인할 수 있다.

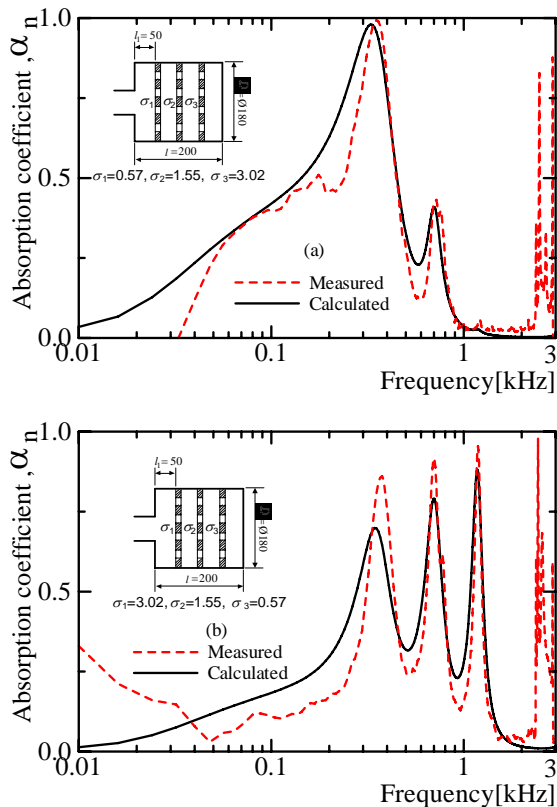


Fig. 6 Effect of the array of perforated panels in the cavity on the sound absorption performance of a resonance type absorber without a perforated panel at the neck.

Fig. 7은 공명형 흡음기의 목부에 공극율이 $\sigma_1 = 1.55\%$ 인 다공판을 설치하고 공동 내에 공극율이 각기 다른 다공판을 3중으로 설치하여 흡음계수를 측정하고 계산한 결과이다. 그림 (a)는 공동내에 설치된 다공판의 공극율이 $\sigma_2 = 0.57\%$, $\sigma_3 = 1.55\%$, $\sigma_4 = 3.02\%$ 순으로 배치되었을 경우이고, 그림 (b)는 공동내에 설치된 다공판의 공극율이 $\sigma_2 = 3.02\%$, $\sigma_3 = 1.55\%$, $\sigma_4 = 0.57\%$ 순으로 설치되었을 경우이다. 결과에서 그림 (a)와 같이 다공판의 공극율을 점점 크게 설치하였을 경우가 점점 작게 설치하였을 경우보다 기본공명주파수에 해당하는 흡음계수의 피크값이 큼을 알 수 있다. 또한, Fig. 6의 그림 (a)와 그림 (b)의 결과와 비교하여 보면, 목부에 설치된 다공판에 의하여 흡음대역폭이 넓어지고 기본공명주파수는 낮은 주파수대역으로 이동함과 동시에 흡음성능이 증가하는 것을 알 수 있다.

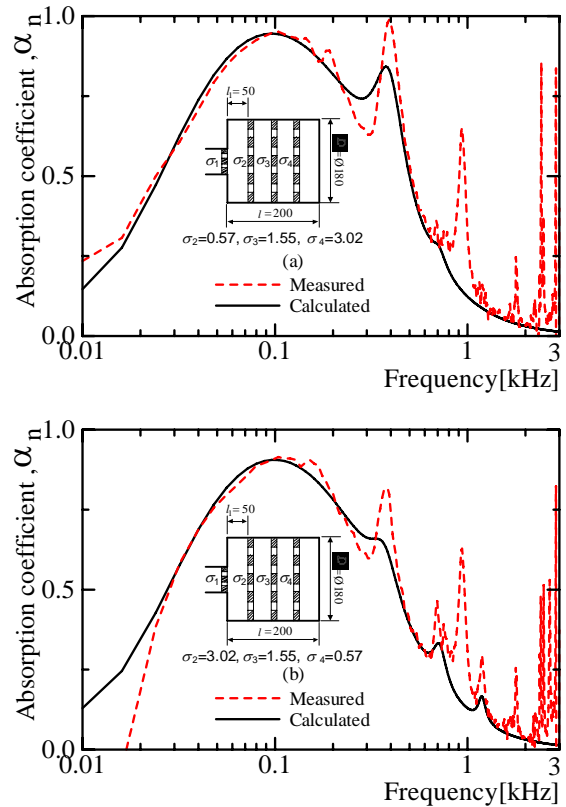


Fig. 7 Effect of the array of perforated panels in the cavity on the sound absorption performance of a resonance type absorber with a perforated panel at the neck.

4. 결론

본 연구에서는 공명형 흡음기의 흡음성능과 관련된 주요 설계인자를 조사할 목적으로 흡음계수를

측정하여 계산결과와 비교하였다. 흡음계수의 계산은 전달행렬법을 이용하여 간편하게 구할 수 있었으며 측정결과와 매우 잘 일치하였다. 또 예상한대로 다공판을 공동의 목부에 설치하였을 때 흡음성능은 대단히 좋아지는 것을 확인하였다. 그리고 다공판의 설치 위치에 따라 흡음대역폭이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 특히 공명형 흡음기의 공동의 체적을 동일한 조건으로 한 상태에서 공동형상을 반경방향으로 변화시킨 경우가 길이방향으로 변화시킨 경우보다 기본공명주파수에서의 흡음대역폭이 크게 확장되는 흥미로운 현상도 발견할 수 있었다. 또한 공동내부에 설치한 다공판의 음향임피던스 정합을 통해서도 흡음성능 향상을 꾀할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 윤제원, 정갑철, 권영필, 1995, "Helmholtz 공명기를 이용한 Fan 소음저감", 하계학술대회발표논문집, 공기조화냉동공학회, pp.233-237.
- (2) Tang, S.K., 2005, "On the Helmholtz resonators with tapered necks", Journal of Sound and Vibration Vol. 279, pp.1085-1096.
- (3) 김상렬, 김양한, 2005, "저주파수 흡음을 위한 헬름홀쯔 공명기 배열형 패널", 한국소음진동공학회 논문집, 제15권, 제8호, pp.924-930.
- (4) 김상렬, 김양한, 2005, "유연한 다공성 스크린을 가진 헬름홀쯔 공명기의 흡음특성", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp.865-868.
- (5) Lee, D.H. and Kwon, Y.P., 2004, "Estimation of the absorption performance of multiple layer perforated panel systems by transfer matrix method", Journal of sound and vibration, Vol. 278, pp.847-860.