

공동으로 목 길이가 삽입된 헬름홀츠 공명기를 이용한 저주파수 흡음시스템 설계

Design of Absorption System Using Extended Neck Helmholtz Resonators for Low Frequency Sound Absorption

이원표† · 강현주* · 최중수**

Won-Pyo, Lee, Hyun-Ju, Kang and Jong-Su, Choi

1. 서 론

일반적인 다공성 흡음재를 이용한 저주파수 영역에서 소음제어시 널리 사용되는 방법이 배후공기층을 이용하는 방법인데, 흡음시스템을 실제 현장에 적용시 배후공기층 길이가 제한을 받는 경우가 많다. 저주파수 소음 제어요소로 널리 사용되는 헬름홀츠 공명기는 공명기로 유입되는 매질의 질량성분과 공명기 몸통으로 만들어지는 체적성분의 조합으로 성능설계가 가능하다. 이런 공명기의 특성 때문에 다공성 흡음재를 이용하는 것에 비해 배후공기층의 제한에서 자유로운 소음제어 설계가 가능하다.

공명기의 질량과 체적의 조합은 공명기의 형상에 의해서 결정되는데, Cavity의 높이가 제한되는 경우 공명기 목의 길이, 반경, Cavity 반경의 조합으로 결정되며 관심 주파수 영역에 맞는 수많은 조합을 선택할 수 있다.

공명기를 이용한 실제 소음제어 적용 시 다양한 형태의 공명기 사용은 대량의 공명기 제작 시 가공방법과 비용측면에서 보면 비효율적일 수 있다. 이런 점을 피하기 위해 공명기 형상변수 중 한 개만을 설계변수로 결정한다면 더욱 효율적일 수 있다.

본 논문에서는 원하는 관심주파수 영역에서 공명기 성능이 안정적으로 발휘될 수 있게 하기 위해 각각의 형상변수들 변화에 따른 공명주파수 변화량이 적은 변수를 주 설계변수로 선택하고자 하였으며 공명기 목의 기능을 수행할 부분에서 재료 증가로 인한 전체 흡음시스템의 무게증가를 피하고 공명기 목 길이의 가용범위를 넓히기 위해서 공명기 목이 공동 쪽으로 확장된 형상을 선택하였다. 이 형상의 공명기들을 이용하여 1/3 Octave 160Hz 밴드에서 평균흡음률 0.7이상인 흡음시스템을 설계하였다.

2. 본 론

2.1 Extended Neck 헬름홀츠 공명기

(1) 수직입사 흡음률

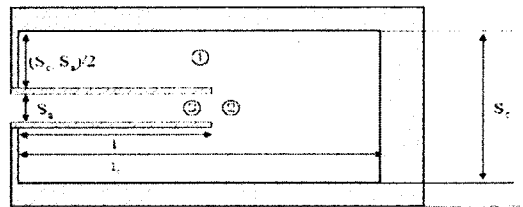


Fig. 1 Shape of extended neck helmholtz resonator.

Extended Neck 공명기의 임피던스(Impedance) 구성요소는 Flange 공명기 임피던스 구성과 유사하다. 다만 공명기 내부의 공동(cavity)이 확장된 목 길이에 의해 구분되게 되어 Cavity Impedance에 변화가 생긴다.

공명기의 목과 공동(cavity)이 만나는 지점에 수직인 면을 기준으로 Fig.1과 같이 ①, ②, ③으로 영역을 구분한다. 이 경우 공명기 내부에서의 압력은 동일하며 1차원 평면파로 가정할 수 있다. 공명기 입구를 통해 들어오는 mass flux는 연속조건에 의해 $m_{III} = m_I + m_{II}$ 가 된다. 여기서 m 은 mass flux이며 아래 첨자는 각 영역을 의미함.

공동(cavity) 영향에 의한 음향 임피던스 Z_c 는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{Z_c}{S_a} = -j\rho c \frac{\cot(kl_c) \cot k(l_e - l_c)}{(S_c - S_a) \cot k(l_e - l_c) + S_c \cot(kl_c)} \quad (2.1)$$

여기서 S_a 와 S_c 는 각각 공명기 입구, 공동(cavity)의 단면적, l_e 와 l_c 는 각각 공동(cavity)의 깊이, 목의 길이이다. Extended neck resonator의 입구에서 표면 임피던스(Surface impedance)는 식 (2.1)과 일반적인 Flange 형상

† (주)에스엠인스트루먼트
E-mail : eolis@smin.co.kr
Tel : (042) 861-7004, Fax : (042) 861-7008

* 한국기계연구원 음향소음팀

** 충남대학교 항공우주공학과

공명기 임피던스를 이용하여 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$S_a Z_h = \rho c k \delta_v (2 + l/a) + jY + Z_{rad} \quad (2.2)$$

$$Y = -\rho c k [(l_{eq} + \delta_v)(2 + l/a) - \frac{S_a \cot k(l_c - l_e) \cot k l_e}{(S_c - S_a) \cot k(l_c - l_e) + S_c \cot k l_e} \cot(k l_c)] \quad (2.4)$$

우변의 각 성분들의 의미는 공명기 목의 임피던스(Z_m), 공동의 임피던스(Z_c), 공명기 입구에서 외부로의 방사임피던스(Z_{rad})이다. δ_v 는 점성 경계층두께, ν 는 공기의 동점성계수($1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$), a 는 공명기 목의 반경, l 은 공명기 목의 길이, δ_1 는 내부보정길이를 나타낸다.

Z.X Kang과 Z.L.Ji는 공명기 목이 공동으로 확장된 경우, 내부 보정길이에 대하여 연구하였으며 그 결과 다음과 같은 근사식을 제안하였다.

$$\delta_1 = 0.6165 - 0.7046 \frac{a}{a_c} + 0.2051 e^{-(3.4453 \frac{l}{l_c})} - 0.3749 \frac{a}{a_c} e^{-(2.6023 \frac{l}{l_c})} \quad \text{for } a/a_c < 0.5 \quad (2.5)$$

여기서 a 와 a_c 는 공명기의 입구와 공동의 반경, l 와 l_c 는 목의 길이와 공동의 길이를 나타낸다.

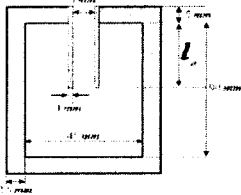
수직입사 흡음률은 아래의 식으로부터 계산할 수 있다.

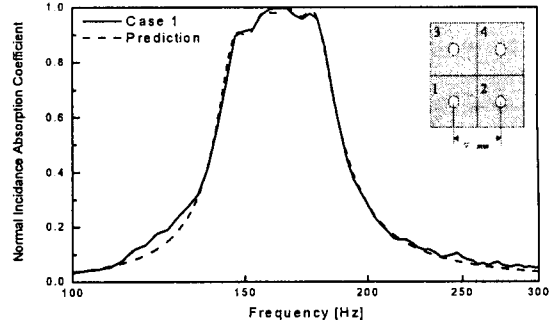
$$\alpha = \frac{4 \operatorname{Re}(Z_h)}{|1 + \operatorname{Re}(Z_h)|^2 + |\operatorname{Im}(Z_h)|^2} \quad (2.6)$$

(2) 수직입사 흡음률 측정결과

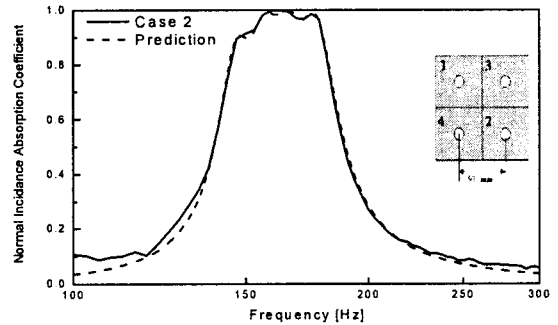
관심주파수 영역에 성능설계가 된 4개의 공명기를 이용하여 3개의 배열조합을 구성하였다. 이 배열들의 수직입사 흡음 실험 결과와 예측결과를 Fig.2에 나타내었다. 예측결과와 실험결과는 거의 일치하고 있으며, 관심주파수 영역에서 목표성능인 밴드평균 흡음률 0.7이상을 보이고 있다.

Table 1. Array of helmholtz resonators of that have various tuning frequencies.

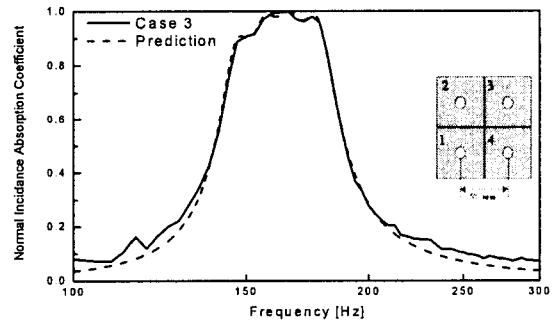
공명기번호	1	2	3	4
목길이(l_e)	21 mm	26 mm	31 mm	37 mm
공명기 형상				
밴드평균 흡음률	Case 1 0.94	Case 2 0.94	Case 3 0.93	



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 2 Normal absorption coefficient. (array of helmholtz resonators of that have various tuning frequencies)

3. 결 론

저주파수 영역에서의 흡음시스템을 설계하기 위하여 서로 다른 공명주파수를 갖는 공명기로 구성된 패널을 이용하였다. 공명기의 높이가 제한된 상태에서 관심주파수 영역을 선정하였을 때 공명기 목이 원형공동으로 확장된 Extended Neck 형상의 공명기를 제안하였으며, 이 형상의 수정된 공명기의 임피던스(Impedance) 모델을 이용하여 흡음성능을 예측한 결과와 실험결과는 거의 일치하였다. 또한, 관심주파수 영역에서 목표성능을 만족하는 흡음시스템을 설계할 수 있었다.