

공명기 분포에 따른 공명기 배열형 패널의 흡음특성 고찰

Effect of Resonator Arrangement on Sound Absorption of Helmholtz Resonator Array Panel

○ 김상렬*·김양한**

Sang Ryul Kim and Yang-Hann Kim

Key Words : Helmholtz Resonator Array Panel(헬름홀츠 공명기 배열형 패널), Absorption Coefficients(흡음률), Resonator Arrangement(공명기 분포)

ABSTRACT

The Helmholtz resonator is one of noise control elements widely used in many practical applications. However the resonator array system, which is sometimes used to reflect or absorb low frequency noise, has not been well studied. We have investigated the difference in sound absorption of the Helmholtz resonator array panel caused by change in the resonator arrangement. Experiments and numerical calculations for various Helmholtz resonator array panels are carried out and the results are compared each other. The comparisons show that the acoustic coupling between closely located resonators affects the performance of the sound absorbing system. Particularly, the distance between resonators has a significant effect on the broadness of the sound absorption coefficient.

1. 서 론

헬름홀츠 공명기는 소음저감을 위하여 널리 사용되는 소음제어요소들중의 하나로, 실제 소음문제에 적용하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다.¹⁻⁶ 이 중 많은 연구들은 정확한 공명주파수 계산이나 덕트 혹은 공동내의 소음저감을 위하여 단일 공명기를 적용하는데 주된 관심을 가져왔다.³⁻⁶ 그러나 다수의 공명기가 인접하여 설치된 경우나 저주파수 흡음을 위하여 사용되는 공명기 배열형 패널을 해석을 하려는 경우 기존의 단일 공명기 해석방법만으로는 전체 공명기시스템의 특성을 예측하는데 어려움이 있었다.⁷⁻⁸ 이는 인접한 공명기 간의 상호작용에 의한 영향을 무시하거나 적절히 고려하지 못한 것에 그 원인이 있다.

최근 연성효과를 고려한 헬름홀츠 공명기 배열형 패널의 흡음성능 예측방법이 발표되었다.⁸ 이 방법은 공명기의 방사임피던스항에 주변 공명기로부터의 음향방사효과를 추가하여 해석하는 것으로 기존의 단일공명기 해석방법만 이용한 것에 비하여 실제 실험결과와 상당히 일치하는 예측결과를 얻을 수 있었다. 이 결과로부터 공명기 상호간의 연성현상은 공명기 배열시스템에서 매우 중요하게 다루어져야 하는 부분임을 알 수 있다. 그러나 아직까지 이 연성현상이 공명기 배열형 패널의 흡음성능에 얼마나 영향을 미치는지에 대한 자세한 연구는 수행되지 못하였다. 다만 공명기시스템의 공명

특성에 미치는 영향을 정성적으로 언급한 논문은 발표된 바 있다.^{1,9}

멀리 떨어진 공명기들보다는 가까이 위치한 공명기사이의 상호작용이 더 크게 발생할 것이라는 사실로부터 공명기간의 분포간격이 공명기사이의 연성효과와 밀접한 관련이 있음을 쉽게 판단할 수 있다. 따라서 공명기간의 분포간격(공명기의 배열 형태)에 따른 배열형 패널의 흡음률 변화를 살펴보는 것은 공명기간의 상호작용의 영향을 밝히는 데 매우 유용한 자료가 될 것이다.

따라서 공명기의 분포간격에 따른 공명기 배열형 패널의 흡음성능 변화에 대하여 살펴보고자 한다. 이를 위하여 다양한 배열형태를 가진 공명기 배열형 패널의 흡음률을 실험을 통하여 측정하였다. 또한 균일한 분포를 가진 배열형 패널의 경우에는 자세한 주파수별 분석을 위하여 이론적 해석 방법을 통한 흡음률 예측을 수행하였다. 실험 및 이론적 예측결과들의 비교분석을 통하여 공명기의 분포형태에 따른 공명기 배열형 패널의 흡음성능 변화추이를 고찰할 수 있었다.

2. 공명기 분포형태와 패널의 흡음성능

2.1 실험장비 및 시편

공명기 분포형태에 따른 공명기배열형패널의 흡음성능 변화를 고찰하고자 그림 1 과 같이 소형 잔향챔버(체적 6.46m³)를 이용하여 다양한 공명기 배열형 패널의 흡음시험을 수행되었다. 실험에 사용된 모든 시편은 동일한 단위공명기(공명주파수

* 정회원, 한국기계연구원 음향연구그룹
E-mail : srkim@kimm.re.kr
Tel : (042) 868-7466, Fax : (042) 868-7440
** 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

327Hz)를 이용하여 제작되었다. 다만, 총 144 개의 단위공명기가 설치될 수 있는 평판(면적 1m²)위에 구멍없는 사각블록을 삽입하여 단위 공명기들을 달리 배열하였다.

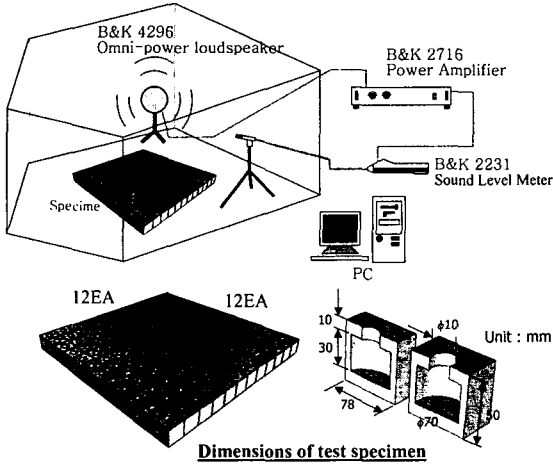


그림 1 실험장치 및 시편의 형상

2.2 실험결과 및 고찰

그림 2는 정사각 분포를 가지는 공명기배열형 패널의 흡음률을 비교한 것이다. 그림에서 공명기 간의 거리 d_s 가 커질수록 공명주파수에 해당되는 315Hz 주파수밴드값 뿐만 아니라 그 주변의 주파수영역에서도 흡음률이 감소함을 볼 수 있다. 이는 d_s 가 커진다는 것이 결국 단위면적당 공명기의 개수가 줄어든다는 것을 의미하므로 실제 흡음현상이 일어날 수 있는 기회가 줄어든다는 측면에서 이해될 수 있다. 이러한 현상은 그림 3에 수록된 사선분포를 가진 공명기 배열형 패널의 실험결과에서도 찾아볼 수 있다. 설치된 공명기의 개수에 따라 흡음률도 점차적으로 변화하고 있다.

공명기간의 거리변화가 결국 사용된 공명기 개수의 변화와 관련되기 때문에 그림 2와 3의 결과로부터는 배열형 패널의 흡음률에 미치는 공명기 분포형태만의 영향을 얻어내는 힘들다. 이러한 이유로 하여 동일한 공명기 개수를 가진 서로 다른 공명기분포에 대한 실험을 수행할 필요가 있다. 그림 4는 총 36개의 공명기만을 이용하여 제작한 공명기 배열형 패널들의 실험결과를 비교한 것이다. 첫번째 패널은 공명기를 전체 면적에 균일하게 분포($d_s=156\text{mm}$)시킨 반면 나머지 2개의 패널은 최대한 근접($d_s=78\text{mm}$)하여 공명기를 설치한

형태이다. 그림에서 $d_s=78\text{mm}$ 인 시편들의 경우 공명기의 위치 즉 전체시편면적에서 중앙인지 모서리인지에 따른 흡음률 변화는 없음을 볼 수 있다.

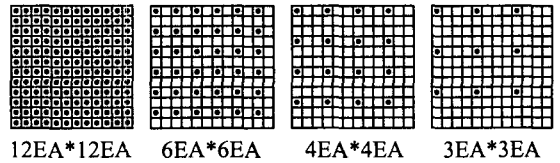
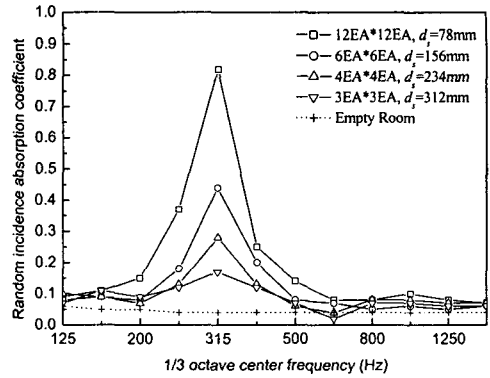


그림 2. 정사각 분포형태를 가진 공명기배열형 패널의 흡음률 비교. 그림에서 단위공명기 설치위치는 원형점으로 표시되어 있다. d_s 는 가로(세로)방향으로 가장 근접한 공명기까지의 거리이다.

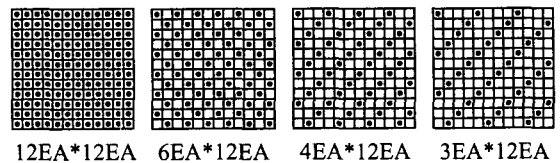
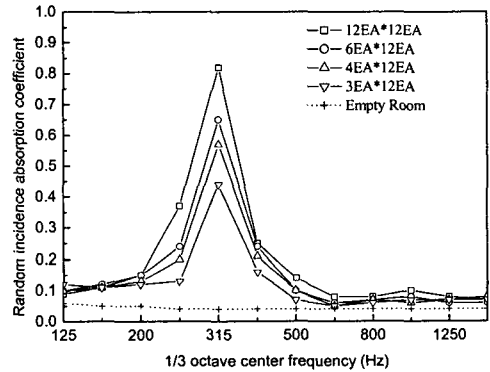


그림 3. 사선 분포형태를 가진 공명기배열형 패널의 흡음률 비교. 그림에서 단위공명기 설치위치는 원형점으로 표시되어 있다.

그러나 $d_s=156\text{mm}$ 인 시편은 $d_s=78\text{mm}$ 인 시편들에 비하여 더 높은 흡음률을 보이고 있다. 이는 공명기간의 분포거리가 전체 패널의 흡음률에 밀접한 관련이 있음을 보이는 결과로 공명기들을 가깝게 배열시킨다고 항상 높은 흡음률을 얻을 수 있는 것이 아님을 보여준다. 따라서 최대의 흡음 성능을 얻기 위해서는 사전에 적절한 공명기 분포가 고려해야함을 알 수 있다.

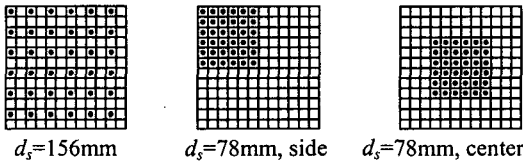
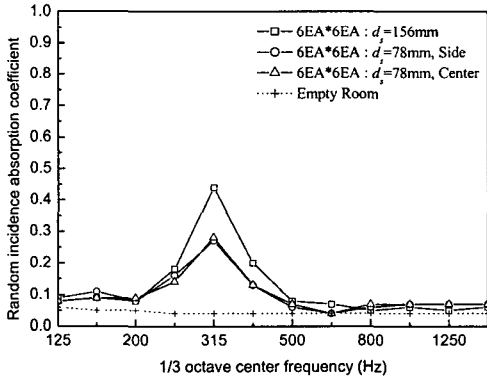


그림 4. 동일한 개수의 단위공명기를 설치한 공명기배열형 패널의 흡음률 비교. 그림에서 단위공명기 설치위치는 원형점으로 표시되어 있다. d_s 는 가로(세로)방향으로 가장 근접한 공명기까지의 거리이다.

3. 공명기 분포간격과 패널의 흡음성능

3.1 공명기 배열형 패널의 흡음률 예측

정사각분포를 가진 공명기 배열형패널에 대하여 공명기 분포간격에 따른 흡음률변화를 그림 2에서 살펴보았다. 그러나 이 결과는 1/3 옥타브 중심주파수에서 계측치로 각 주파수밴드에서의 평균값을 의미하고 있기 때문에 공명주파수에서의 변화와 같은 세부적인 현상은 관찰할 수 없다. 따라서 보다 자세한 분석을 위하여 공명기 배열형 패널의 흡음성능 예측방법⁸을 이용하여 각각의 주파수에 대하여 흡음률을 예측하고자 한다.

먼저 예측결과의 정확성을 확인하고자 실제 실험

된 공명기배열형 패널의 흡음성능을 예측해 보았다. 그림 5가 그 결과인데 예측결과와 실험결과가 상당히 일치함을 볼 수 있다.

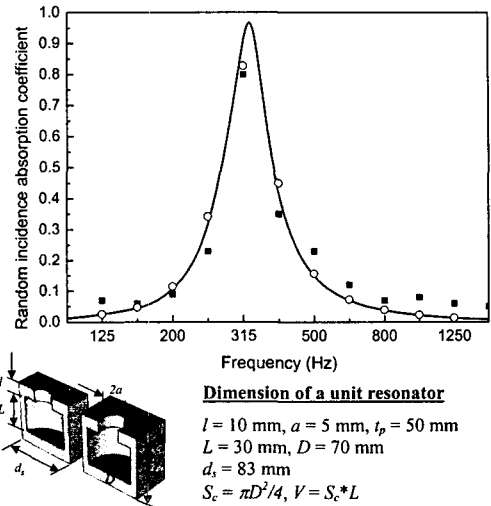


그림 5. 실제 공명기배열형 패널에 대한 예측결과와 계측결과와의 비교. 그림에서 실선(—)은 각각의 주파수에서 예측된 흡음률을 나타내고, 원형(O)은 예측결과(실선)의 1/3 옥타브밴드 평균값을 나타내며 사각형(■)은 잔향실험에 의해 계측된 1/3 옥타브중심주파수에서의 흡음률 값이다. 계측된 시편은 83mm 간격으로 총 144(12ea*12ea)개의 공명기를 사용하여 제작되었다.

3.2 공명기 분포간격에 따른 흡음률 변화

그림 6은 서로 다른 d_s 를 가지는 공명기 배열형 패널의 흡음률을 예측한 결과이다. 그림 2의 실험결과에서와 비슷하게 d_s 의 증가에 따라 흡음률이 전체 주파수에서 감소함을 볼 수 있다. 그러나 공명주파수부근에서의 흡음률 감소정도는 다른 인근 주파수보다 둔감함을 확인할 수 있다. 즉 공명기간의 거리 d_s 가 커질수록 흡음률 그래프는 매우 날카로운 피크형태를 띄게 됨을 볼 수 있다. 이를 더 자세히 확인하기 위하여 d_s 의 변화에 따른 최대흡음률과 최대흡음률의 1/2보다 큰 흡음률을 가지는 주파수영역의 대역폭 변화를 계산하였다. 그림 7은 그 계산결과를 나타내고 있다. 그림에서 $k_0 d_s$ 가 커짐에 따라 최대흡음률과 주파수밴드폭은 모두 감소함을 볼 수 있다. 그러나 최대흡음률은 초반 매우 천천히 감소하다가 그 뒤 거의 일정한 비율로 작아지는데 비하여 주파수밴드폭은 초반에 매우 급격히 작아짐을 볼 수 있다.

따라서 $k_0 d_s < 1$ 인 낮은 공명주파수를 가지는 패널의 경우 공명기 분포간격은 공명기 배열형 패널의 최대흡음률보다는 주파수밴드폭에 더 강한 영향을 미치는 인자임을 판단할 수 있다.

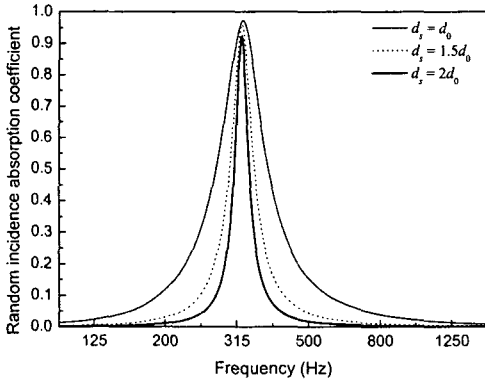


그림 6. 서로 다른 d_s 를 가지는 공명기 배열형 패널의 흡음률 예측 결과 비교. 대상 패널은 그림 3 과 동일하다. $d_0 = 83\text{mm}$.

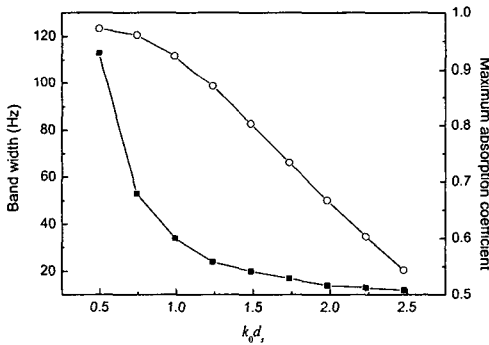


그림 7. $k_0 d_s$ 에 따른 공명기 배열형 패널의 최대흡음률과 주파수밴드의 변화. k_0 는 공명주파수 (327Hz)에서의 파수를 나타낸다. 원형마크(—○—)는 랜덤입사흡음률의 최대흡음률값을 나타내고 사각마크(—■—)는 최대흡음률의 1/2 보다 큰 흡음률을 가지는 주파수영역의 밴드폭을 나타낸다.

4. 결론

공명기 배열형 패널에 있어서 공명기 분포형태의 영향을 살펴보기 위하여 다양한 형태의 시편을 제작하고 실험을 수행하였다. 또한 보다 자세한

분석을 위하여 이론적 예측방법을 통한 흡음률변화추이를 관찰하였다.

공명기의 분포형태는 공명기 배열형 패널의 흡음률에 매우 큰 영향을 미칠 수 있음을 실험결과로부터 확인하였으며 특히 설치될 공명기의 개수가 제한되어 있을 경우 전체 시스템의 흡음률 향상을 위한 적절한 공명기 배치가 존재함을 판단할 수 있었다. 또한 최대흡음률 및 흡음률곡선의 넓이(broadness)는 공명기의 분포간격에 따라 변화하고 특히 낮은 공명주파수를 가지는 패널인 경우 공명기들의 분포간격은 흡음률곡선의 넓이에 매우 큰 영향을 미침을 확인하였다.

이러한 흡음특성고찰을 통하여 공명기 배열형 패널의 설계 시 적절한 가이드라인을 제공할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 과학기술부의 국가지정연구실 사업(NRL)과 교육인적자원부의 BK21 사업에 의한 연구지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] U. Ingard, "On the theory and design of acoustic resonators," J. Acoust. Soc. Am. 25, 1037-1061 (1953).
- [2] P. K. Tang and W. A. Sirignano, "Theory of a generalized Helmholtz resonator," J. Sound Vib. 26, 247-262 (1973)
- [3] R. L. Panton and J. M. Miller, "Resonant frequencies of cylindrical Helmholtz resonators," J. Acoust. Soc. Am. 57(6), 1533-1535, (1975)
- [4] M. Alster, "Improved calculation of resonant frequencies of Helmholtz resonators," J. Sound Vib. 24, 63-85 (1972)
- [5] A. Selamet, N. S. Dickey, and J. M. Novak, "A theoretical, computational and experimental investigation of Helmholtz resonators with fixed volume: lumped versus distributed volume," J. Sound Vib. 187, 358-367 (1995)
- [6] Ahmet Selamet and Iljae Lee, "Helmholtz resonator with extended neck," J. Acoust. Soc. Am. 113(4), 1975-1985 (2003)
- [7] Torbjörn A. Johansson and Mendel Kleiner, "Theory and experiments on the coupling of two Helmholtz resonators," J. Acoust. Soc. Am. 110(3), 1315-1328 (2001)
- [8] S.R. Kim, M.-S. Kim, Y.-H. Kim, and Y.-W. Kim, "Absorptive Characteristics of Resonator Panel for Low Frequency Noise Control, and its Applications," Proceeding of INTERNOISE 2003
- [9] F. P. Mechel, "Notes on the radiation impedance, especially of piston-like radiators," J. Sound Vib. 123, 537-572 (1988)