

호흡진동모드를 리용한 음향결정의 차음성능개선

김명진, 장영남

낮은 주파수대역에서 소음의 투과를 줄이는 일반적인 방도는 차음요소의 두께나 단위면적당 질량을 늘이는것이다. 그러나 이 방법은 보통 차음구조의 크기와 질량이 커지므로 불합리하다. 음향결정에서는 산란체들의 주기성에 의하여 브래그주파수근방에 음투과금지대역이 형성되는데 그것을 낮은 주파수대역으로 이동시키자면 살창상수가 증가하면서 음향결정의 전체 두께가 커진다. 낮은 주파수대역이나 목적하는 주파수대역에서의 음투과를 차단하기 위하여 여러가지 형태의 공진형산란체들이 널리 리용되고있다.[1-3]

두께가 매우 얇은 고리형산란체의 호흡진동모드를 리용하면 음향결정에서 살창의 주기성과 관련이 없는 새로운 공진형금지대역을 형성할수 있다. 두께가 얇은 고리형산란체가 호흡진동을 할 때 반경의 변화로 하여 내부의 체적이 크게 변한다. 고리형산란체의 두께가 직경의 1/50이하이고 양그룰이 1MPa정도이면 호흡진동모드가 제일 뚜렷하게 나타난다.

론문에서는 두께가 얇은 고리형산란체와 그것들로 이루어진 음향결정의 삽입손실스펙트르를 유한요소법으로 평가하고 고리형산란체의 호흡진동모드를 리용하면 음향결정의 차음성능을 개선할수 있다는것을 론증하였다.

1. 단일고리형산란체의 삽입손실

유한요소해석프로그램 ANSYS 18.0의 음마당해석도구를 리용하여 고리형산란체의 차음성능을 모의하였다. 고리형산란체의 재료로 천연고무를 선정하였으며 그것의 밀도와 양그룰, 뽀송비는 각각 $\rho=1\,100\text{kg/m}^3$, $E=1.75\text{MPa}$, $\nu=0.499\,7$ 이다. 고리형산란체의 길이는 무한히 길다고 가정하였으며 외경은 110mm, 두께는 0.25mm이다.

그림 1은 고리형산란체의 호흡진동주파수와 같은 1 050Hz의 조화평면파가 구역의 왼쪽으로부터 입사할 때 단일고리형산란체주위에서의 음압분포에 대한 유한요소해석결과를 보여준다. 구역의 나머지경계들에는 무한복사경계조건을 주었다. 그림 1로부터 고리형산란체의 뒤부분에서의 음압이 다른 구역들에서보다 훨씬 작아진다는것을 명백히 알수 있다.

고리형산란체의 중심으로부터 60mm 떨어진 점에서 산란체가 있을 때와 없을 때의 음압의 비에 의하여 결정되는 삽입손실스펙트르에 대한 측정결과를 다중산란리론(MST)의 결과[4], 유한요소해석(FEM)결과와 비교하였다.(그림 2)

그림 2에서 보는바와 같이 유한요소해석결과와 측정결과는 서로 잘 일치한다. 세가지 삽입손실스펙트르들은 모두 고리의 호흡진동주파수인 1kHz근방에서 하나의 봉우리를 가진다. 봉우리의 높이에 대한 측정결과와 유한요

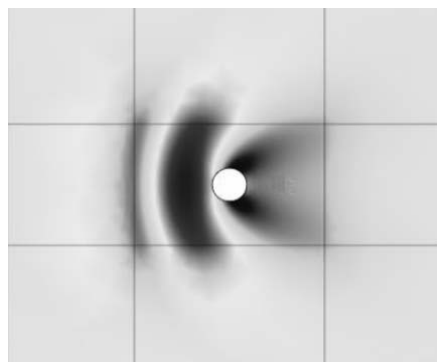


그림 1. 단일고리형산란체주위에서의 음압분포에 대한 유한요소해석결과

소해석결과사이의 차이는 0.2dB정도로 매우 작다.

한편 유한요소해석결과에는 고차진동모드에 해당하는 봉우리들이 존재하지만 측정결과에는 그러한 봉우리들이 없다.

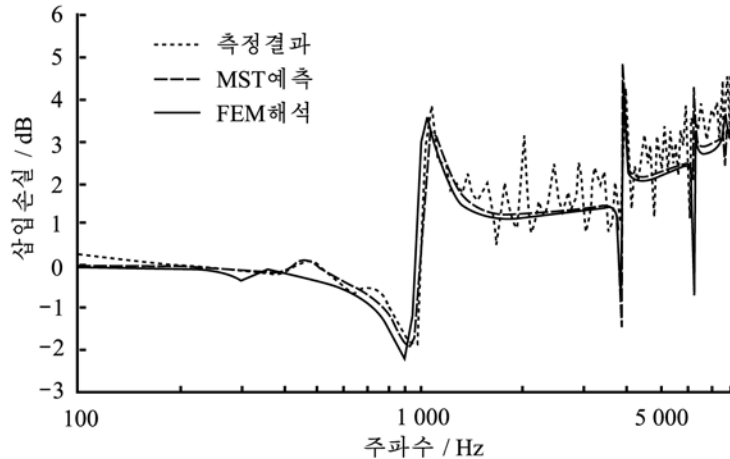


그림 2. 단일고리형산란체의 삽입손실스펙트르에 대한 측정 및 MST, FEM해석결과

이것은 측정에서 리용한 산란체의 길이가 유한하기때문이다. 이로부터 고리형산란체를 리용하면 그것의 호흡진동주파수근방에서의 차음성능을 높일수 있다는것을 알수 있다.

2. 고리형산란체배렬의 삽입손실

유한요소법을 리용하여 외경이 110mm, 두께가 0.25mm인 고리형산란체들이 7×3정방향살창배렬된 음향결정의 차음성능을 평가하였다.

살창상수(산란체들의 중심사이의 거리)가 80mm인 경우 고리형산란체배렬의 삽입손실스펙트르를 그림 3에 보여주었다.

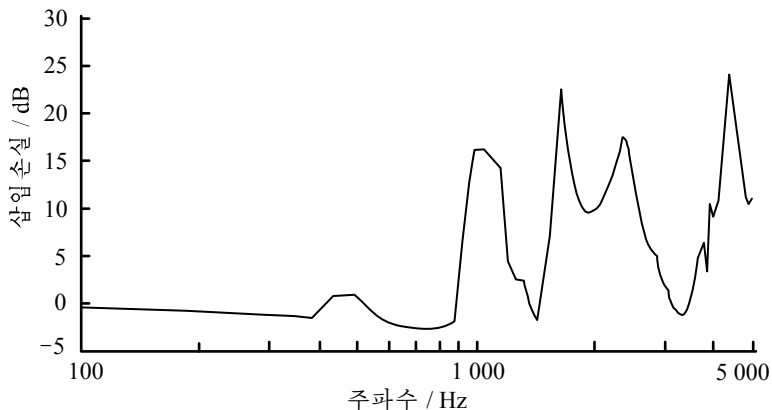


그림 3. 살창상수가 80mm인 경우 고리형산란체배렬의 삽입손실스펙트르

우선 2kHz근방에 산란체의 주기성에 의한 브래그금지대역이 존재한다. 음속도가 c

이고 살창상수가 L 일 때 브래그금지대역의 중심주파수는

$$f_B = \frac{c}{2L}$$

와 같다. 그림 3을 보면 1kHz근방에 삽입손실이 매우 큰 다른 하나의 금지대역이 생겨났다. 이것은 산란체의 주기성과 관련이 없으며 고리형산란체의 호흡진동에 의하여 생긴것이다.

그림 4는 그림 3과 기하학적인 파라미터들은 모두 같고 살창상수가 150mm인 경우 고리형산란체배렬의 삽입손실스펙트르를 보여준다.

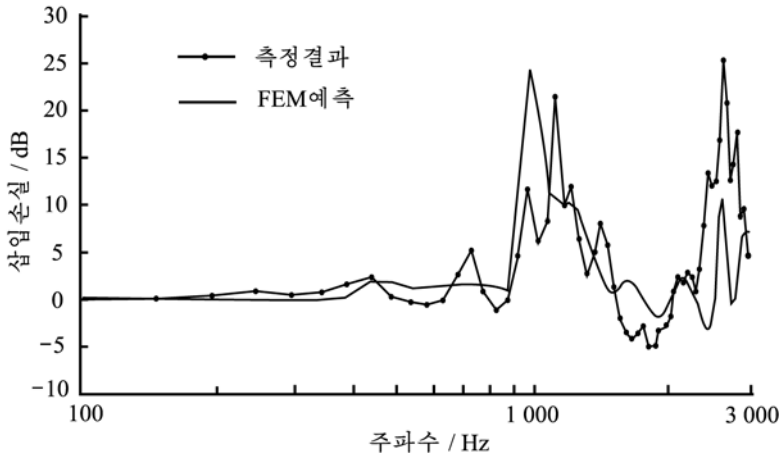


그림 4. 살창상수가 150mm인 경우 고리형산란체배렬의 삽입손실스펙트르

모의결과를 보면 1kHz근방에 삽입손실이 매우 큰 봉우리가 존재하며 그 높이는 그림 3의 경우보다 7dB정도 더 높다. 그리고 1~1.4kHz대역의 삽입손실이 매우 높다. 이것은 산란체의 주기성에 의한 브래그금지대역과 고리형산란체의 호흡진동에 의한 공진형금지대역이 겹치기때문이다. 살창상수가 150mm일 때 브래그주파수를 계산하면 1.1kHz이다. 한편 측정결과와 유한요소해석결과를 비교하면 1.2kHz근방의 삽입손실들이 높이에서는 일정한 차이가 있지만 그 너비는 거의 비슷하다. 높이에서 일정한 차이가 존재하는것은 고무의 점성과 산란체의 길이와 같은 실제조건들을 모의에서 정확히 고려하지 못하였기 때문이다.

이처럼 유한요소법을 리용하면 음투과금지대역의 너비를 비교적 정확히 평가할수 있으며 브래그금지대역과 고리형산란체에서의 호흡진동모드에 의한 공진형금지대역을 조절하면 목적하는 주파수나 낮은 주파수대역에 요구되는 너비의 금지대역을 형성할수 있다는것을 알수 있다.

맺는 말

유한요소해석결과 길이와 외경에 비하여 두께가 매우 작은 고리형산란체들로 이루어진 음향결정에서 호흡진동주파수근방에 하나의 넓은 음투과금지대역이 형성된다. 또한 이러한 공진형금지대역과 산란체들의 주기성에 의한 브래그금지대역을 결합하면 음이 전파되지 못하는 금지대역을 목적하는 주파수대역에 넓게 형성할수 있다. 다음으로 유한요소법으로 예측한 음투과금지대역이 측정결과와 잘 일치한다.

참 고 문 헌

- [1] D. Qian; Archives of Acoustics, 43, 4, 717, 2018.
- [2] V. Romero-García et al.; Journal of Sound and Vibration, 332, 184, 2013.
- [3] T. Cavalieri et al.; Applied Acoustics, 146, 1, 2019.
- [4] A. Kyrnkin et al.; J. Acoust. Soc. Am., 128, 6, 3496, 2010.

주체109(2020)년 3월 5일 원고접수

Improvement of the Sound Insulation of the Sonic Crystal by Using the Breathing Vibration Mode

Kim Myong Jin, Jang Yong Nam

It has been found that a forbidden band is created in the vicinity of the breathing vibration frequency of a ring scatterer with a thin thickness in this paper. The insertion loss(IL) of a sonic crystal(SC) consisting of the ring scatterers has been evaluated by using finite element method(FEM) and compared with the experimental result. And it has been demonstrated that the sound insulation of the SC can be enhanced by using the breathing vibration mode of the ring scatterer.

Keywords: breathing vibration mode, sonic crystal, sound insulation