

다중판구조의 차음성능에 미치는 음향결정을 이루는 산란체렬의 개수와 층만물의 영향

김명진, 장영남, 선우세현

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《모든 과학자, 기술자들이 과학기술발전의 추세에 맞게 첨단과학과 기초과학발전에 힘을 넣어 나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 중보판 제20권 62페이지)

주기적인 산란체렬로 이루어진 음향결정에서는 산란체렬의 주기성과 산란체에서의 공진에 의하여 음파가 전파하지 못하는 금지대역들이 생긴다. 그러나 현실에서는 음향결정을 리용하여 소음의 전파를 차단한다고 하여 산란체렬의 개수를 무한정 늘일수 없다. 적용대상에 맞게 그 개수를 합리적으로 정해야 차음구조의 크기를 줄이고 제작비용도 줄일수 있다.

자유공간에서는 음향결정을 이루는 산란체렬의 개수가 적어도 3개는 되어야 충분한 너비와 높이를 가지는 브래그금지대역을 형성할수 있다.[1, 2] 지난 시기 다중판구조에서 주기적인 산란체배렬을 리용하여 가청주파수대역에서의 차음성능을 개선하기 위한 연구[3-5]들이 진행되였다. 그러나 건축물이나 운수수단의 벽체와 같이 다중판구조에 음향결정을 적용할 때 산란체렬개수의 최소한계에 대해서는 밝혀진것이 없다.

음향결정의 차음특성에 영향을 주는 다른 한가지 인자는 층만물이다. 자유공간에서는 층만물이 30%보다 커야 완전한 금지대역이 생기며 보통 층만물을 60%보다 크게 하는것이 좋다. 그러나 다중판구조에서는 역시 층만물의 합리적인 값이 밝혀진것이 없다.

본문에서는 유한요소해석을 통하여 다중판구조에서 규칙적인 산란체렬의 개수와 층만물이 그것에 의하여 나타나는 브래그금지대역에 어떤 영향을 미치는가를 평가하였다.

1. 산란체렬의 개수의 영향

응용프로그램 ANSYS 18.0의 음마당해석도구를 리용하여 유한요소해석을 진행하였다.

음향결정을 이루는 산란체의 형태는 원기둥형이고 굳은 원기둥형산란체들이 $7 \times n$ 정방형배렬을 이루었으며(그림 1) 렬의 개수 n 은 1부터 3까지 변화시켰다. 원기둥의 외경은 40mm이고 살창상수는 42.8mm이다.

판들의 두께는 4, 6mm이며 그것을 이루는 수지재료의 밀도와 양그를, 뽕뽕비는 각각 1180kg/m^3 , 3.2GPa, 0.37 이다. 산란체렬의 개수가 증가함에 따라 판들사이의 간격도 늘어난다. 두 판사이의 매질은 공기이며 공기의 밀도와 음속도는

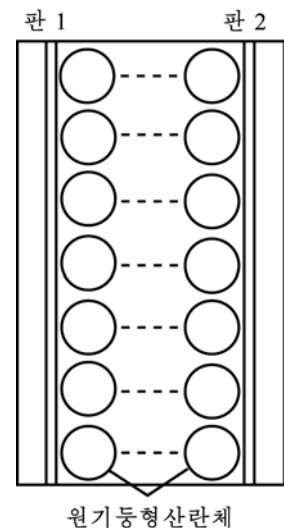


그림 1. 굳은 원기둥형산란체들이 $7 \times n$ 정방형배렬된 2중판구조

각각 1.2kg/m^3 , 344m/s 이다.

구역의 왼쪽으로부터 평면파가 입사한다고 가정하고 왼쪽과 오른쪽경계를 무한복사경계로, 나머지경계를 굳은 벽으로 가정하고 삽입손실스펙트르를 평가하였다.(그림 2)

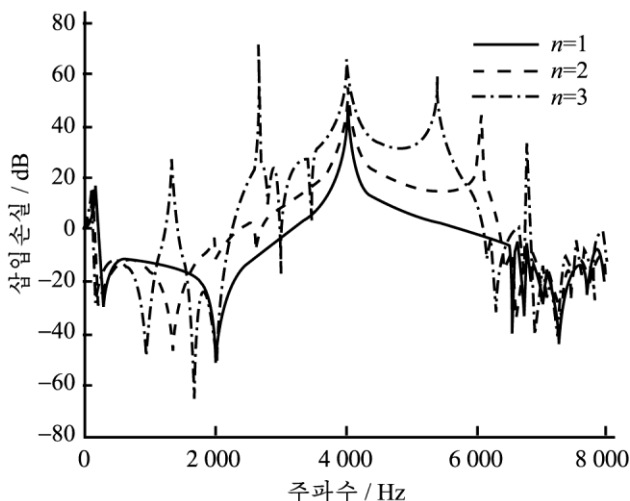


그림 2. 2중관구조에서 산란체렬의 개수에 따르는 삽입손실의 변화

그림 2를 보면 세가지 경우에 모두 $4020 \sim 4040\text{Hz}$ 근방에서 삽입손실스펙트르의 봉우리가 나타났다. 살창상수가 42.8mm 일 때 브래그주파수는 4010Hz 로서 위의 해석결과와 잘 일치한다. 자유공간에서는 산란체렬의 수가 1개일 때 절대로 브래그금지대역이 생길수 없다. 그러나 위에서와 같이 다중관구조에서는 산란체렬이 1개여도 브래그주파수에서 뚜렷한 금지대역을 나타낸다. 브래그주파수에서 삽입손실은 산란체렬이 1개로부터 3개로 증가할 때 각각 $49.7, 56.9, 64.8\text{dB}$ 로서 그 수가 1개 늘어날 때마다 7dB 정도씩 커진다. 산란체렬의 수가 2, 3개일 때 여러 주파수들에서 예리한 삽입손실봉우리들이 존재하는데 이것은 두 판들사이의 공간에서 일어나는 정상파형공진과 관련되어있다. 음향결정이 없을 때에는 정상파형공진이 일어나면서 그 공진주파수에 해당하는 음에너지가 많이 투과된다. 그러나 그것들사이에 산란체들이 놓임으로써 그러한 정상파형공진이 일어나지 못하거나 그것의 영향이 매우 약해지면서 그 주파수들에서 음투과가 적게 일어나고 결과 삽입손실에서 매우 예리한 봉우리들이 생겨난다.

브래그주파수근방에서 삽입손실이 령보다 큰 구간의 너비는 령의 개수에 따라 $2660, 3980, 3820\text{Hz}$ 로 변하며 령의 수가 2개일 때와 3개일 때 거의 비슷하다.

산란체렬의 수가 2개일 때 전체 2중관구조의 음투과손실(그림 3)을 보면 판들의 차음효과까지 합쳐져 산란체렬이 2개인 경우에도 브래그주파수를 중심으로 $2360 \sim 6540\text{Hz}$ 의 넓은

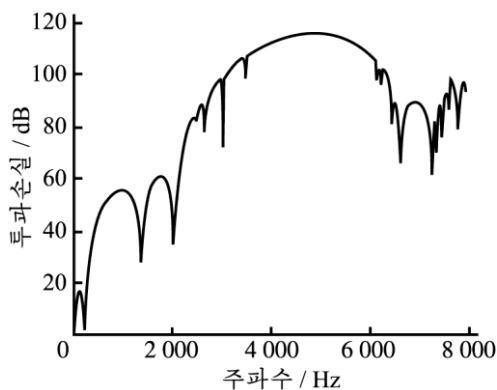


그림 3. 원기둥형산란체들이 7×2 정방형배렬된 2중관구조의 음투과손실

주파수대역에서 음투과손실이 80dB이상으로 매우 높다.

위의 결과들로부터 2중판구조에서는 음향결정을 이루는 산란체렬이 2개이면 브래그 주파수근방에 충분히 넓고 높은 음투과금지대역을 형성할수 있다는것을 알수 있다. 또한 2중판구조에서 음향결정이 평행평판들사이에서 정상파형공간이 일어나지 못하게 하여 그 공간주파수들에서의 차음성능을 크게 개선하는 역할도 한다는것을 알수 있다.

2. 층만물의 영향

음향결정을 리용하여 다중판구조의 차음성능을 높이는데서 산란체들의 층만물의 영향을 평가하기 위하여 우와 같은 2중판구조에 원기둥형산란체렬을 2개 배치하였다. 살창상수는 42.8mm로 그대로 유지하고 원기둥의 반경을 조절하여 층만물을 10%에서부터 70%까지 10% 간격으로 변화시키면서 삽입손실의 변화를 평가하였다.

층만물이 변할 때 브래그주파수근방에서 생겨나는 삽입손실의 변화는 표와 같다.

표. 층만물에 따르는 브래그주파수근방에서의 삽입손실의 변화

층만물/%	봉우리의 너비/Hz	봉우리의 높이/Hz	층만물/%	봉우리의 너비/Hz	봉우리의 높이/Hz
0	0	0	40	2 400	49.7
10	1 880	40.6	50	2 820	51.2
20	2 220	45.5	60	2 820	53.2
30	2 340	48.2	70	4 000	57.2

층만물이 10%보다 크면 봉우리의 높이에서의 변화는 매우 완만하고 50~60%에서부터 곡선의 경사도가 조금 증가한다. 그리고 전체 구간에서 10~14dB정도 변한다.(그림 4)

층만물이 10%에서 40%로 증가할 때 삽입손실이 령보다 큰 대역의 너비가 크게 변하지 않으며 40%이상에서 크게 변한다.(그림 5)

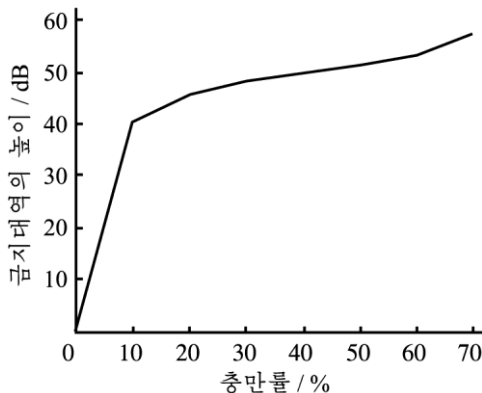


그림 4. 층만물의 변화에 따르는 삽입손실의 변화(봉우리의 높이)

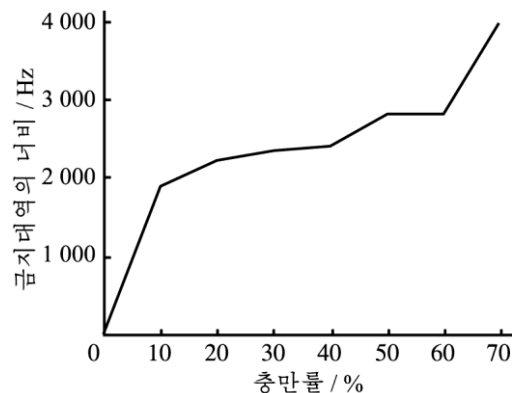


그림 5. 층만물의 변화에 따르는 삽입손실의 변화(봉우리의 너비)

위의 결과들을 그림 3의 결과와 결부시켜볼 때 다중판구조에서는 음향결정을 이루는 산란체들의 층만물이 자유공간에서처럼 전체 차음성능에 큰 영향을 주지 않는다는것, 층만물을 50%로 보장하면 브래그주파수근방에서 금지대역의 너비와 높이를 충분히 크게 할수 있다는것을 알수 있다.

맺 는 말

유한요소해석결과 음향결정을 리용한 다중판차음구조에서 브래그주파수근방에 넓은 면서도 높은 음투과금지대역을 형성하기 위한 산란체렬의 최소개수는 2개이다. 그리고 다중판구조에 음향결정을 삽입하면 평행평판들사이에서 정상파형공진이 억제되면서 그 공진주파수들에서의 차음성능이 현저히 개선된다. 다음으로 다중판구조에서 음향결정의 총만물이 차음구조의 음투과손실에 주는 영향은 자유공간에서보다 작으며 그 값이 50%이면 브래그주파수근방에 비교적 좋은 금지대역을 형성할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Dehesa et al.; J. Acoust. Soc. Am., 129, 3, 1173, 2011.
- [2] O. Umnova et al.; J. Acoust. Soc. Am., 119, 278, 2006.
- [3] M. J. Kim; Arch. Acoust., 44, 3, 533, 2019.
- [4] M. J. Kim; Int. J. Mod. Phys., B 33, 1950138, 2019.
- [5] P. Gulia et al.; Appl. Acoust., 156, 113, 2019.

주체110(2021)년 3월 5일 원고접수

Influences of the Number and Filling Fraction of the Scatterer Columns in the Sonic Crystal on the Sound Insulation of Multi-Panel Structure

Kim Myong Jin, Jang Yong Nam and Sonu Sye Hyon

In this paper, the effects of the scatterer columns' number and the filling factor on the Bragg's type band gap caused by the periodicity of the scatterers have been investigated when sonic crystal formed of column-shaped scatterer has been inserted between two parallel panels, and one way has been presented to decrease the total size and weight of multi-panel sound insulation structure with the sonic crystal.

Keywords: sonic crystal, insertion loss, sound transmission loss