

주기적 구조를 갖는 굴절형 방음판의 흡음성능에 관한 연구

A Study on the Sound Absorption of Periodically Folded Barriers

이 상 권*·박춘근**

Sang-kwon Lee, Choon-Geun Park

Key Words : Folded Barrier (굴절형방음벽), Sound Absorption (흡음율), Periodic Structure (주기적구조),

ABSTRACT

This study is aimed to numerically evaluate a sound absorption performance of periodically folded barriers. Based on the formulation for sound absorption of a locally reacting surface in a periodic arrangement, variations of the sound absorption with parameters such as the folded width and depth are investigated. In comparison with the sound absorption of a conventional barrier with a flat surface, it is found that the periodically folded barriers can achieve a higher sound absorption especially in the low frequency range.

1. 서 론

일반적으로 흡음형 방음벽은 일정기준 이상의 차음성과 흡음성을 만족하여야 하며, 흡음성의 경우 잔향실에서 측정된 NRC(Noise reduction coefficient)를 기준으로 한다.[1] NRC는 250, 500, 1000, 2000Hz에서 측정된 흡음률의 평균치로서, 높은 NRC를 얻기 위해서는 넓은 주파수 범위에서의 우수한 흡음성능이 요구된다.

주기적 배열을 갖는 흡음재의 특성에 관한

초기 연구로서 Bruijn[2,3]은 주기적 배열을 갖는 흡음재의 반사계수와 흡음률을 locally reacting 모델을 이용해 평가하였으며, 흡음재 배치의 주기(Period) 변화에 따른 흡음률의 예측 및 실험결과 등이 발표되었다.[4,5] 또한, Mechel[6]은 다양한 형태의 주기적 구조를 갖는 흡음재에 대한 이론적 고찰을 수행하였다. 기존의 연구 결과로부터 흡음재를 주기적으로 배치함으로써 일반 흡음재에 비해 흡음률이 증가 또는 감소될 수 있음을 알 수 있으며, 특히, 흡음재 배열의 주기, 흡음재의 특성 등에 따라 주파수별로 다양한 변화를 관찰할 수 있다. 그러나, 대부분의 이론적 연구가 주기적인 흡음재 배열의 일부를 강제로 고려

*책임저자: 인하대학교 기계공학과
E-mail : energetic@hanmail.net
Tel : (032) 860-8842, Fax : (032) 868-1716
**정 회원: (주) 태창 닷케이

하여 그림 1 과 같이 주기적으로 굴절된 방음벽과 같이 노출된 모든 표면이 흡음하는 경우 일부 해석 모델의 수정이 필요하다.

본 연구에서는 참고문헌[6]의 해석모델을 일부 수정하여 모든 노출면의 흡음을 locally reacting 모델로 고려하고, 주기적으로 굴절된 방음벽의 흡음성능을 평가하고자 한다. 입사각, 흡음재의 폭 및 두께에 따른 흡음률을 예측하고 동일한 체적을 갖는 균일한 흡음재와 비교하였다.

2. 모델링

그림 1 로부터 시간 관련항($e^{i\alpha x}$)을 생략하면, 한 주기 길이 (Period length) 내의 입사각에 따른 입사파의 음향파워(Π_I)와, 흡음면($x=0$)에서 흡수된 음향파워(Π_A)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Pi_I = \frac{L}{2\rho c} |P_I|^2 \cos\theta, \quad (1a)$$

$$\Pi_A = \frac{1}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \text{Re}[p(0,z)v_x^*(0,z)] dz. \quad (1b)$$

여기서,

$$p(0,z) = [P_I + P_R + P_S] e^{-ikz \sin\theta}, \quad (2a)$$

$$v_x(0,z) = \frac{1}{\rho c} [(P_I - P_R) \cos\theta + i \sum_{n \neq 0} A_n \sqrt{(\beta_n/k)^2 - 1} e^{-2i \frac{n\pi z}{L}}] e^{-ikz \sin\theta}, \quad (2b)$$

$$\beta_n = k \sin\theta + 2n\pi/L, \quad (2c)$$

$$P_S = \sum_{n \neq 0} A_n e^{-2i \frac{n\pi z}{L}}. \quad (2d)$$

한편, 영역 1 의 흡음재 표면 어드미턴스 (Admittance)는 흡음재 두께(d_1), 흡음재 내부의 파수(Wave number, γ) 및 특성 임피던스

(Characteristic impedance, Z_c)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Y_{s1} = -1/[iZ_c \cot(\gamma d_1)] \quad (3)$$

또한 영역 2 의 길이, $l_2 (=L-l_1)$ 가 관심 주파수의 파장보다 충분히 작으면 영역 2 의 표면 어드미턴스는 다음과 같다.

$$Y_{s2} = \frac{1}{\rho c} \frac{1-R}{1+R} \quad (4)$$

여기서, 반사계수 R 은 영역 2 의 공동 (Cavity) 내부 끝단에서의 반사와 공동 측벽 (Side wall)의 흡음 감소로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R = \frac{Z_{s2e}-1}{Z_{s2e}+1} e^{-2ik(d_1-d_2)} e^{-2k_l(d_1-d_2)}. \quad (5)$$

여기서, 끝단에서 흡음재의 표면 임피던스는 $Z_{s2e} = -iZ_c \cot(\gamma d_2)$ (6)

이며, k_l 는 측벽에 의한 흡음감소계수로서 다음과 같이 구할 수 있다.[7]

$$k_l = 4.8 \frac{\bar{\alpha}_s}{l_2}. \quad (7)$$

여기서, $\bar{\alpha}_s$ 는 측벽을 구성하는 흡음재의 랜덤입사 흡음률을 의미한다. 한편, 흡음면($x=0$)에서의 경계조건을 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{v_x(0,z)}{p(0,z)} = \frac{Y(z)}{\rho c}, \quad (8)$$

식(2a,b,c,d) 및 식(3),(4)를 식(8)에 대입하면 식 (2a)의 미지수 P_R 및 계수 A_n 을 구할 수 있다.[6] 식 (1a), (1b)로부터 흡음률은 $\alpha(\theta) = \Pi_A/\Pi_I$ 이므로, 음파의 입사각도에 따른 평균 흡음률은 다음과 같다.

$$\bar{\alpha}_{avg} = \int_0^{\theta_{lim}} \alpha(\theta) \cos\theta d\theta / \int_0^{\theta_{lim}} \cos\theta d\theta. \quad (8)$$

이며, 본 연구에서는 θ_{lim} 를 78° 로 하였다.

3. 굴절형 방음판의 흡음성능

본 연구에서는 방음판의 흡음소재로 널리 사용되고 있는 Glass wool 을 대상으로 하여 흡음재의 유동 비저항(Flow Resistivity)을 12 kRays/m 로 가정하고 Miki[8]의 경험식을 이용하여 흡음재 내부의 특성 임피던스와 파수를 산정하였다. 영역 1 의 흡음재 두께는 145mm, 영역 2 의 흡음재 두께는 95mm, 각각의 길이는 70mm 이다. 그림 2 는 예측된 주기적 배열을 갖는 흡음재의 랜덤입사 흡음률을 보여주고 있으며, 동일한 체적을 갖는 균일한 Glass wool (두께 120mm: Equivalent thickness) 및 두께 95mm Glass wool 의 흡음률과 비교한 결과를 나타내고 있다. 예측결과 흡음재의 주기적 배열에 의해 500Hz 이하의 주파수 영역에서 흡음성능이 크게 향상된 것을 볼 수 있다. 이것은 주기적 배열에 의해 노출된 영역 2 의 측벽에 의해 실제 유효한 흡음면적의 증가에 의한 것으로 판단된다. 그림 3 은 입사각에 따른 흡음률 변화를 비교한 것으로 수직입사에 가까울수록 흡음률이 증가하며, 주기적 배열을 갖는 굴절형 흡음재는 입사각이 커질수록 평면 흡음재에 비해 중고 주파수 영역에서 흡음성능이 크게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 입사각이 커짐에 따라 공동 내부 측벽에 의한 흡음이 효과적으로 이루어지지 않는 것으로 판단된다. 그림 4 는 공동의 길이를 70mm 로 고정된 후 영역 1 의 길이를 증가하면서 흡음률을 예측한 것으로, 주기길이(L) 를 증가함에 따라 저주파수 영역의 흡음률이 증가하다가 $L/l_2 = 10$, 20 에서는 흡음률이 감소하는 것을 볼 수 있

다.

4. 결론

주기적 구조를 갖는 굴절형 방음벽의 흡음성능을 평가하기 위해 Glass wool 로 구성된 주기적 공동구조의 흡음성능을 예측하고, 동일한 흡음재 체적을 갖는 기존 형상의 흡음률과 비교하였다. 해석결과로부터 주기적 구조에 의해 노출된 공동의 측벽에 의해 저주파수 영역의 흡음성능이 향상될 수 있음을 알 수 있으며, 흡음재 배열의 주기에 따라 최적화된 흡음률이 존재함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] ISO 354:1985 "Acoustics-Measurement of sound absorption in a reverberation room".
- [2] A. De Bruijn, "The sound absorption of an absorbing periodically uneven surface of rectangular profile," *Acustica* **18**(3), 123-131 (1967).
- [3] A. De Bruijn, "Anomalous effects in the sound absorption of periodically uneven surfaces," *Acustica* **24**(3), 75-84 (1971).
- [4] D. Takahashi, "A new method for predicting the sound absorption of perforated absorber systems," *Applied Acoustics* **51**(1), 71-84 (1997).
- [5] D. Takahashi, "Excess sound absorption due to periodically arranged absorptive materials," *J. Acoust. Soc. Am.* **86**(6), 2215-2222 (1989).
- [6] F. P. Mechel, "Sound Fields at Periodic Absorbers," *J. Sound Vib.* **136**(3), 379-412 (1990).
- [7] Leo L. Beranek, *Noise and Vibration Control*, McGraw-Hill, Inc., Chapter 12 (1971).
- [8] Y. Miki, "Acoustical properties of porous materials - Modification of Delany-Bazley models," *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)* **11**, 19-24 (1990).

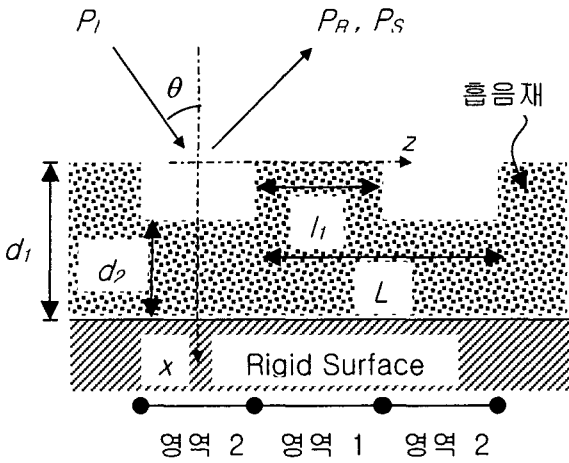


그림 1. 주기적 공동을 갖는 흡음재 방음벽 모델.

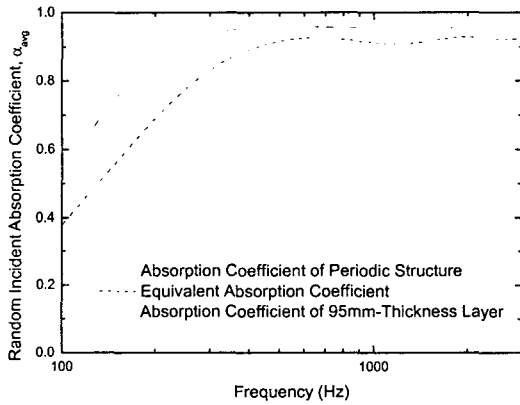


그림 2. 랜덤입사 흡음을 비교.

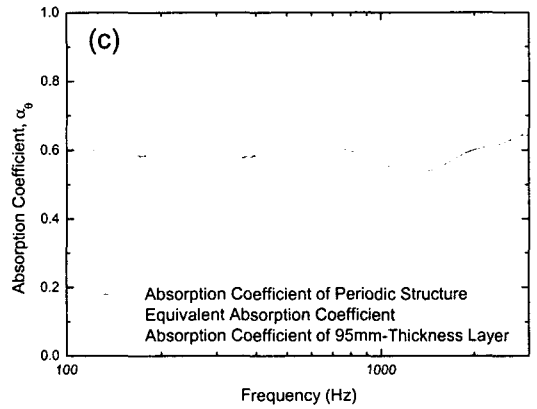
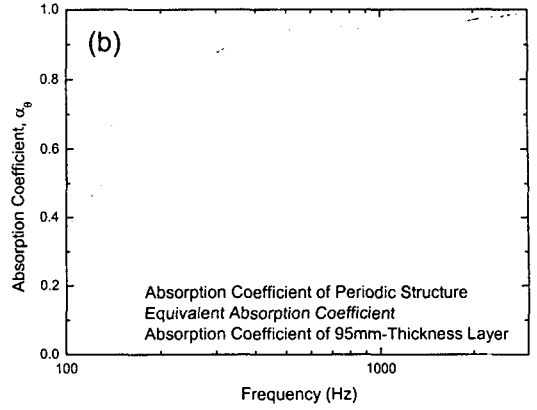
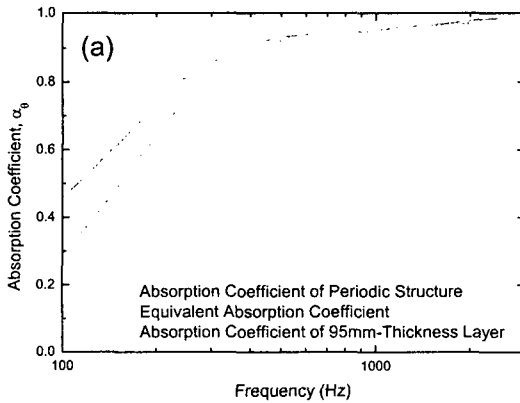


그림 3. 입사각에 따른 흡음을 비교.
(a) 0° , (b) 45° , (c) 78°

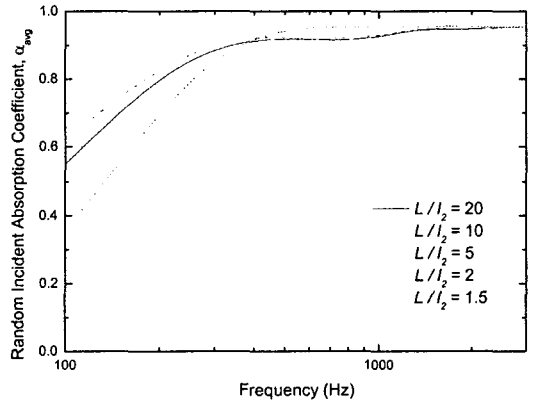


그림 4. 흡음재 배치 주기에 따른 흡음을 변화.