

유한요소법에 의한 다공작공판의 흡음특성연구

최진, 리운선

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《수학, 물리학, 화학, 생물학을 비롯한 기초과학을 발전시켜 그것이 나라의 과학기술을 발전시키는데 더 잘 이바지하도록 하여야 하겠습니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 138페이지)

다공성재료는 오래전부터 가장 많이 리용되어온 흡음재료이다. 그러나 다공성재료의 흡음률은 어떤 주파수이상에서는 거의 일정한 값을 유지하지만 그 이하의 주파수에서는 주파수가 낮아짐에 따라 감소한다.[1] 이러한 결함을 극복하기 위하여 다공성재료에 구멍을 내거나 여러가지 구조를 만들어 리용한다.

선행연구[3]에서는 원기둥형구멍을 뚫은 다공작공판의 흡음특성에 대한 해석적계산을 진행한데 기초하여 합리적인 작공도를 설정하였으나 여러가지 복잡한 구조에 대한 흡음특성에 대해서는 계산하지 못하였다.

우리는 유한요소법으로 다공작공판의 흡음특성과 작공의 형태사이의 관계를 연구하였다.

1. 이론적기초

다공성매질이 주기성을 가지며 알갱이의 진동은 무시된다고 하자.

반경이 R 인 원기둥모양의 작공(그림 1)인 경우 2중다공성매질에서 동적침투성결수와 체적튕성률은 다음과 같이 주어진다.[2]

$$\Pi_{dp} = (1 - \phi_p) \Pi_m + \Pi_p,$$

$$K_{dp} = \left[\frac{1}{K_p} + (1 - \phi_p) F_d \left(\omega \frac{P_0}{\phi_m K_m} \right) / K_m \right]^{-1}.$$

여기서 Π_p , Π_m , K_p , K_m 은 각각 다공들로 이루어진 가상적인 매질과 일반다공성매질의 동적침투성결수와 체적튕성률, P_0 은 압력, ϕ_m 은 다공도, $\phi_p = \pi R^2 / L_c^2$ 는 작공도, L_c 는 요소크기, $F_d(\omega)$ 는

$$F_d(\omega) = 1 - j \frac{\omega}{\omega_d} \frac{D(\omega)}{D(0)}$$

로서 작공의 크기와 기하학적형태에 관계되는 량이다.

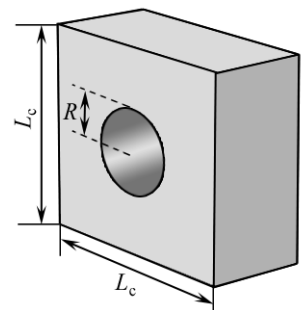


그림 1. 요소의 기하학적 형태

$$D(0) = \frac{L_c^2}{4\pi} \left(-\ln \phi_p - \frac{3}{2} + 2\phi_p - \frac{\phi_p^2}{2} \right)$$

$$D(\omega) = \frac{D(0)}{j \frac{\omega}{\omega_d} + \left(1 + j \frac{M_d}{2} \frac{\omega}{\omega_d} \right)}$$

$$\omega_d = \frac{(1 - \phi_p) P_0}{\phi_m \sigma_m D(0)}$$

$$M_d = \frac{8}{\Lambda_d^2} \frac{D(0)}{(1 - \phi_p)}$$

$$\Lambda_d = 2 \frac{\Omega_{sp}}{\partial \Omega_{sp}}$$

여기서 σ_m 은 흐름비저항, Ω_{sp} 는 다공성매질의 체적, $\partial \Omega_{sp}$ 는 다공성매질의 결면적이다.

음파의 전파방향이 구멍의 방향에 평행이라면 음향전저항과 파수는 다음과 같이 결정된다.

$$Z_c = \sqrt{\rho_{dp} K_{dp}}, \quad k = \omega \sqrt{\frac{\rho_{dp}}{K_{dp}}}$$

여기서 $\rho_{dp} = \frac{\eta}{j\omega \Pi_{dp}}$ 는 유효밀도이며 η 는 사이류체의 점성계수이다.

착공판뒤에 결면저항이 Z_s 인 판대기가 붙어있다면 두께가 d 인 착공판의 결면저항은

$$Z_{dp} = Z_c \frac{Z_c - jZ_s \cot kd}{Z_s - jZ_c \cot kd},$$

수직입사흡음률은

$$\alpha = \frac{4 \operatorname{Re} z_{dp}}{(\operatorname{Re} z_{dp} + 1)^2 + (\operatorname{Im} z_{dp})^2}.$$

여기서 $z_{dp} = Z_{dp}/(\rho_a c_a)$ 이며 ρ_a , c_a 는 각각 공기의 밀도와 공기속에서 음파의 전파속도이다.

2. 다공착공판의 착공도와 흡음률사이의 관계에 대한 유한요소해석

우리는 물리해석프로그램 Comsol의 압력음향모듈을 리용하여 요소크기가 8.5cm×8.5cm, 두께가 11.5cm인 다공착공판의 각이한 착공반경에 따르는 흡음특성을 유한요소법으로 계산하였다. 압력음향모듈에서 공기에 대한 류체모형은 선형탄성모형으로, 다공성매질에 대한 류체모형은 Biot모형으로 설정하고 평면파가 대기중에서 요소면에 수직으로 입사하도록 평면파복사조건을 주었다.

이때 다공성매질상수들은 표와 같다.

표. 다공성매질상수

매질	다공도	흐름저항 $/(N \cdot s \cdot m^{-4})$	만곡도	열특성길이 $/\mu m$	점성특성길이 $/\mu m$	밀도 $/(kg \cdot m^{-3})$
돌솜	0.94	1.35×10^4	2.1	49	166	130

각이한 착공반경에서의 흡음률변화는 그림 2와 같다. 여기서 착공반경이 0인 곡선은 일반다공성매질의 흡음특성이다.

그림 2에서 보는바와 같이 500Hz근방에서 1차공진봉우리가 나타나고 2 000Hz이상의 주파수에서 2차공진봉우리가 나타난다.

우리가 계산한 결과는 선행연구[2, 3]에서 해석적으로 계산한 결과와 일치하였다.

3. 다공작공판의 흡음특성에 미치는 착공형태의 영향

우리는 착공반경이 서로 다른 3개의 다공작공판의 결합구조에서 흡음특성을 계산하였다.

각이한 다공작공형태의 세로자름면은 그림 3과 같다.

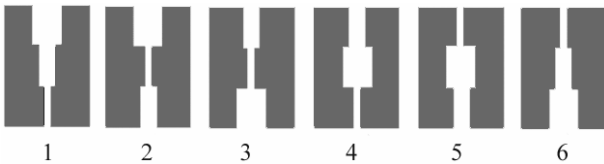


그림 3. 각이한 다공작공형태(1-6)의 세로자름면

착공부분이며 평면파가 우로부터 입사한다고 보았다.

각이한 착공형태에 따르는 흡음률변화는 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는바와 같이 다공작공판의 흡음률변화는 착공의 형태와 밀접히 려관되어 있다. 배다공성매질내부에서 음전파방향을 따라 착공도가 점차적으로 감소하면 넓은 주파수대역에서 흡수결수가 뚜렷하게 증가한다. 또한 결면에서 입구반경이 작을수록 낮은 주파수대역에서는 선택적인 봉우리가 나타나며 높은 주파수대역에서는 거의 영향을 주지 않는다.

그림 3의 다공작공형태 1에서의 흡음특성에 대한 모의결과를 실험자료[2]와 비교하였다.(그림 5)

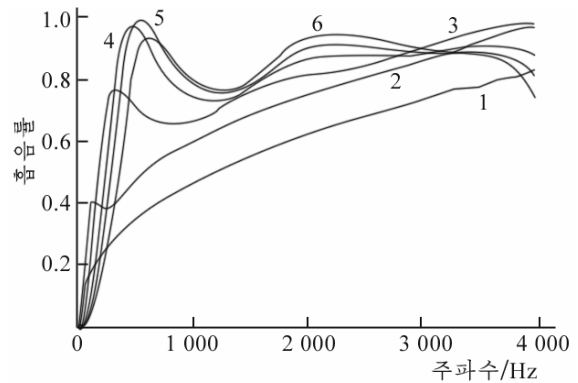


그림 2. 각이한 착공반경에서의 흡음률변화
1-6은 착공반경이 각각 0, 0.4, 1.2, 2.0, 2.4, 2.8cm인 경우

그림 3에 보여준 다공작공형태의 요소크기는 8.5cm×8.5cm로, 착공구조의 매층의 높이는 같고 착공반경은 각각 0.6, 1.4, 2.3cm로 정하여 착공도를 11%로 일정하게 유지하였다. 그림 3에서 검은색 부분은 다공성매질부분이고 흰색부분은

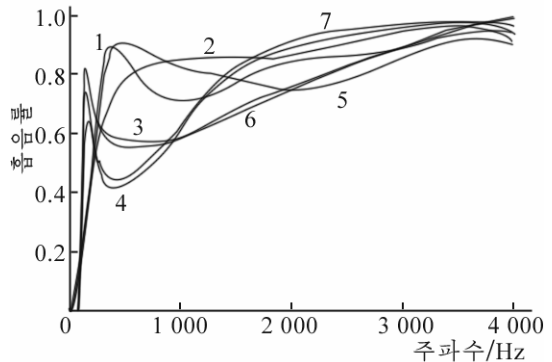


그림 4. 각이한 착공형태에 따르는 흡음특성
1-1개 원기둥착공판, 2-7은
그림 3의 1-6과 같음

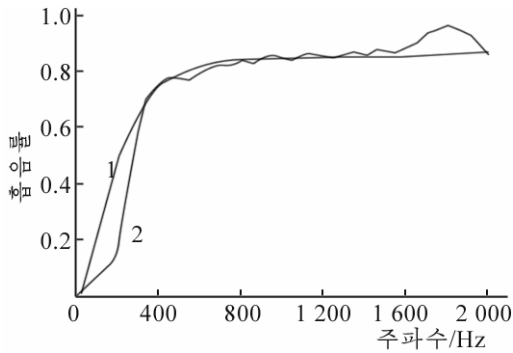


그림 5. 다공착공형태 1에서의
흡음특성비교결과
1—모의결과, 2—실험자료

그림 5에서 보는바와 같이 계산모의결과는 실험자료[2]와 거의 일치하였다.

그러므로 착공의 형태를 잘 조절하면 목적하는 주파수대역에서의 흡음특성을 개선할수 있다.

맺는 말

우리는 물리해석프로그램인 Comsol을 이용하여 유한요소법으로 임의의 착공형태에 따르는 다공착공판의 흡음특성을 계산하여 소음조종을 보다 높은 수준에서 실현할수 있게 하였다.

참고 문헌

- [1] 리석주 등; 음향학, 김일성종합대학출판사, 55~63, 174~175, 주체94(2005).
- [2] J. F. Allard et al.; Propagation of Sound in Porous Media, John Wiley and Sons, 73~110, 2009.
- [3] R. Venegas et al.; J. Acoust. Soc. Am., 130, 5, 2756, 2011.

주체105(2016)년 11월 5일 원고접수

On Sound Absorption Property in Perforated Porous Materials by Finite Element Method

Choe Jin, Ri Un Son

The absorption properties of perforated porous media were calculated on any double porous shape with the finite element method by using Comsol, so we can solve the noise control problem scientifically.

Key words: sound absorption, double porosity