

음향재료의 물리적 성질 추정

김운재, 강연준

서울대학교 음향 및 진동연구실

Properties estimation of acoustical material.

Yoon Jae Kim, Yeon June Kang

78strephon@naver.com, yeonjune@snu.ac.kr

요약

음향재료의 성능을 예측하기 위해서는 음향재료의 여러 물성들을 알아야 한다. 그러나 음향재료의 물성들을 측정하는 것은 매우 시간이 오래 걸리며, 복잡한 작업이다. 실제로 비틀림틀이나 특성길이들은 정확하게 측정하기가 상당히 까다롭고 어렵다.

음향재료 각각의 물성들이 흡음률과 표면임피던스에 미치는 영향을 파악하고 임피던스 튜브에서 측정된 수직입사 흡음률을 이용하여 물성들을 추정하였다. 추정된 물성과 실험을 통하여 얻어진 음향재료의 물성을 비교하고, 추정된 물성들을 토대로 음향학적으로 모델링된 이론식으로 예측된 흡음률과 임피던스 튜브를 이용하여 측정된 흡음률을 비교하여 타당성을 검토하였다

1. 서론

지금까지 음향재료의 성능을 예측하기 위하여 음향재료의 여러 물성들을 실험적으로 구하여 왔다. 그러나 Panneton 과 Atalla 는 음향재료를 Champux-Allard 모델을 이용하여 모델링한 후 각 물성들을 추정하였다.[4] 또한 Kin Hong 은 음향재료를 Biot 이론을 이용하여 모델링한 후 물성들을 추정하였다.[5]

비선형적으로 거동하는 음향재료의 물성들을 추정함에 있어서 각 물성의 영향을 명확히 수학적으로 증명하기는 어렵지만 각 물성의 주파수 영역에 따른 영향력을 파악하고 적당한 추정순서와 추정구간이 설정된다면 비선형적으로 거동하는 음향 재료의 물성들을 보다 효과적으로 추정할 수 있을 것이다.

2. 음향학적 모델 및 물리적 성질

2.1 음향학적 모델

음향재료를 등가유체로 모델링 하기 위하여 Johnson-Allard 모델을 이용하면 다음과 같은 주파수에 따른 비틀림도와 압축도를 얻을 수 있다.[1]

$$\alpha(\omega) = \alpha_0 \left(1 + \frac{\phi \sigma}{j \omega \rho_0 \alpha_0} \sqrt{1 + \frac{4 \omega \alpha_0^2 n \rho_0}{j \sigma^2 \Lambda^2 \phi^2}} \right)$$

$$\beta(\omega) = \gamma - \frac{\gamma - 1}{\left(1 + \frac{8n}{j \Lambda'^2 N_\mu \omega \rho_0} \sqrt{1 + j \rho_0 \frac{\omega N_\mu \Lambda'^2}{16n}} \right)}$$

여기서 ρ_0 는 공기의 밀도, α_0 는 비틀림도, σ 는 유동저항계수, ϕ 는 공극률, N_μ 은 Prandtl 수, γ 는 비열, Λ, Λ' 은 각각 점성특성길이와 열특성 길이를 말한다.

또한 주파수에 따른 밀도와 벌크상수는 다음과 같다.

$$\rho(\omega) = \alpha_0 \rho_0 \left(1 + \frac{\sigma \phi}{j \omega \rho_0 \alpha_0} \sqrt{1 + \frac{4j \alpha_0 n \rho_0 \omega}{\sigma^2 \Lambda^2 \phi^2}} \right)$$

$$K(\omega) = \frac{\gamma P_0}{\beta(\omega)}$$

위와 같이 구해진 주파수에 따른 밀도와 벌크상수를 통해서 음향재료의 특성임피던스를 구할 수 있다.[1]

$$Z_c(\omega) = \sqrt{K(\omega) \rho(\omega)}$$

또한, 특성임피던스를 통하여 표면임피던스를 구할 수 있다. 이렇게 얻어진 표면임피던스를 이용하여 음향재료의 흡음률을 예측할 수 있다.

2.2 유동저항계수의 영향

유동저항계수가 흡음률에 끼치는 영향을 알아보기 위하여 나머지 물성들은 고정시키고 유동저항 계수의 값을 증가시키면서 표면임피던스의 변화를 살펴보았다. 표면임피던스의 변화를 바탕으로 흡음률의 변화를 살펴 보면 그림 1 과 같다.

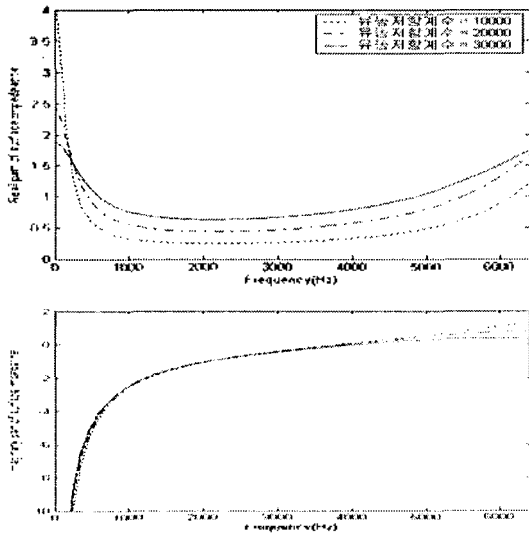


그림 1. 유동저항계수의 영향($20t, \alpha_w=1, \phi=0.9$)

2.3 뒤틀림도

섬유사 재질의 경우 일반적으로 뒤틀림도는 1 과 1.5 사이의 값을 가지므로 유동저항계수의 영향을 살펴볼 때와 마찬가지로 표면임피던스 값의 변화를 살펴보았다. 그 결과는 그림 2 와 같다.

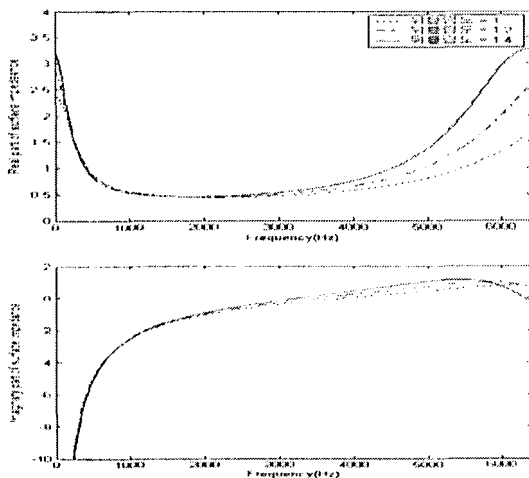


그림 2. 뒤틀림도의 영향($20t, \sigma=2000, \phi=0.9$)

2.4 공극률의 영향

일반적으로 탄성포용 이나 섬유사 재질의 음향재료의 경우 0.9 이상 1 미만의 값을 가진다.

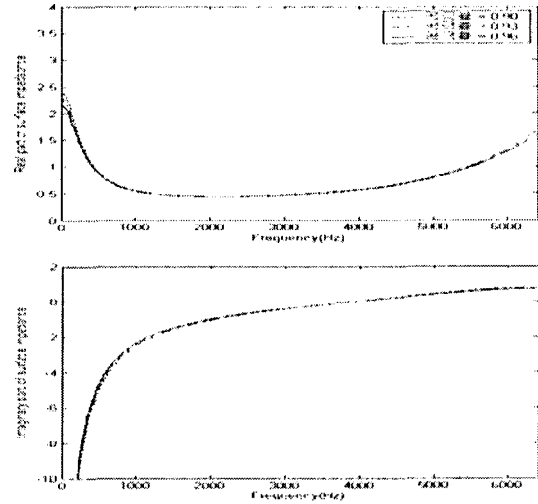


그림 3. 공극률의 영향($20t, \sigma=2000, \alpha_w=1$)

2.5 특성길이

특성길이는 Johnson 에 의해서 유도된 음향재료 모델에서 등장하는 파라미터로 Champoux 와 Allard 에 의해 점성효과 뿐만 아니라 열손실효과를 표현하는 물성이 추가되었다.[2][3]

형상계수를 변화시키면서 표면임피던스의 변화를 살펴보았다.[5][6][7][8]

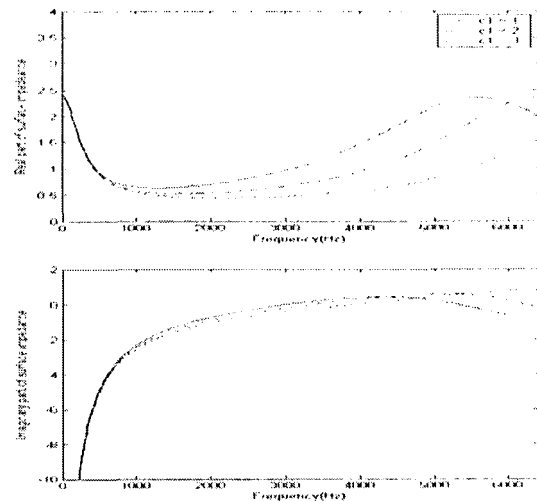


그림 4. 점성특성길이의 영향 ($20t, \sigma=2000, \phi=0.9, \alpha_w=1$)

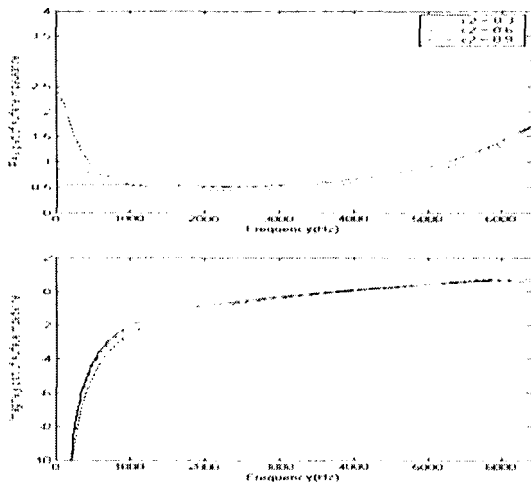


그림 5. 열특성길이의 영향
($20t$, $\sigma=2000$, $\varphi=0.9$, $\alpha_w=1$)

3. 파라미터 추정

앞 절에서 이미 보인 바와 같이 각 물성에 독립적인 변화를 준 결과 표면임피던스의 각 구역별로 다른 영향을 줄 수 있다. 이 논문에는 표시하지 않았지만 각 물성이 흡음률에도 미치는 영향이 각 구역별로 다르게 나타남을 알 수 있다. 그러므로 이러한 구역들을 적절히 선정한다면 각 물성을 순차적으로 추정해 나갈 수 있을 것이다.

이러한 과정을 거쳐 각 물성의 추정구간을 선정하고 각 물성의 추정순서를 정하여 물성추정을 하였다.

4. 결과

시편 A	측정	추정	오차
두께(mm)	21		
밀도(kg/m^3)	94.4		
유동저항계수(MKS Rayl/m)	23919	33261	39.06%
뒤틀림도	1.31	1.048	19.5%
공극률	0.92	0.939	2%
점성특성길이(μm)		206.71	
열특성길이(μm)		585.67	
평균오차	0.0104		

표 1. 시편 A의 파라미터 측정과 추정 결과

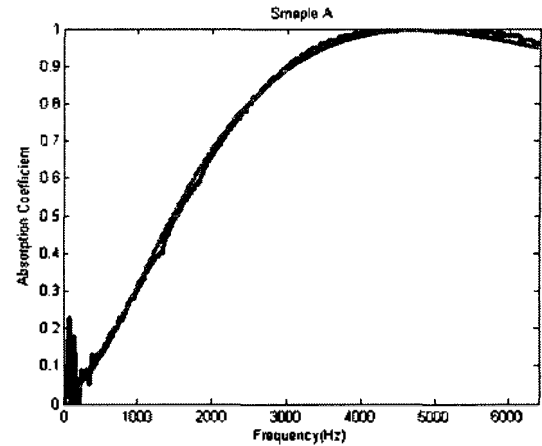


그림 6. 시편 A의 측정된 흡음률과 추정된 흡음률

시편 B	측정	추정	오차
두께(mm)	18		
밀도(kg/m^3)	110.1		
유동저항계수(MKS Rayl/m)	34018	37121	8.93%
뒤틀림도	1.34	1.124	16.12%
공극률	0.92	0.924	0.43%
점성특성길이(μm)		115.86	
열특성길이(μm)		386.19	
평균오차	0.0126		

표 2. 시편 B의 파라미터 측정과 추정 결과

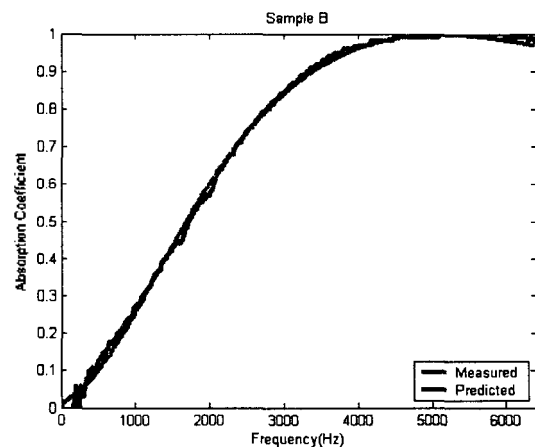


그림 7. 시편 B의 측정된 흡음률과 추정된 흡음률

5. 결론

앞절의 결과에서 보면 흡음률을 추정된 물성들로 다시 예측한 흡음률은 측정된 흡음률과 상당히 부합됨을 볼 수 있다. 그러나 측정된 물성 값들과 예측된 물성 값은 다소 오차가 있음을 볼 수 있다. 이러한 오차는 물성 측정 실험의 오차일 수도 있고, 흡음률의 측정 역시 경계조건에 따라 많은 오차가 수반될 수 있으므로 추정에 앞서 정확한 흡음률의 측정이 선행되어야 할 것이다.

결과에서 볼 수 있는 바와 같이 음향재료의 각 물성들의 수직입사 흡음률에 끼치는 영향을 파악하여 각 물성들을 독립적으로 추정하여 각 물성들은 물론 그 물성들을 이용하여 추정된 흡음률 또한 측정치와 부합하는 결과를 얻을 수 있었다.

측정에 사용된 데이터는 국내의 H사에서 제공된 것이다.

참고문헌

1. J.F. Allard, Propagation of sound in porous media : Modeling Sound Absorbing Materials Elsevier applied science, 1993
2. D.L. Jonhson, Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-daturated porous media, J. Fluid Mech 176,1987

3. Y. Champoux, Dynamic tortuosity and bulk modulus in air-saturated porous media, J. Appl. Phys 70,1991
4. Raymond Panneton, Validation of the inverse method of acoustic material characterization, SAE Noise and Vibration Conference, 2003
5. Kin, Hong, Inverse material characterization of poroelastic materials, SAE noise and Vibration, 2004
6. Denis Lafarge, Characteristic dimensions and prediction at high frequencies of the surface impedance of porous layers, J.A.S.A 93(5), 1993
7. K. Attenborough, Acoustical characteristics of rigid porous absorbents and granular materials, J.A.S.A 73(3),1983
8. Michael R. Stinson, Propagation of sound and the assignment of shape factors in model porous materials simple pore geometries, J.A.S.A 91(2), 1992
9. J.F. Allard, Acoustical properties of partially reticulated foams with high and medium folw resistivity, J.A.S.A 79(6), 1986
10. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System, ASTM, E1050-EBGL.1998