

유한요소법에 의한 흡음재 음향특성 연구 및 검증

Finite Element analysis of Acoustic Behavior of Absorbent Materials with experimental Verification

정환익** · 김관주* · 박진규** · 김상현***

HwanIk Jung, KwanJu Kim, JinKyu Park, SangHun Kim

Key Words : 투과손실(Transmission Loss), 흡음률(Absorption coefficient), Biot 변수(Biot's parameters), 유한요소법(Finite Element Method)

ABSTRACT

Acoustic materials are used for the purpose of absorbing noise and reducing transmission of sound into the receiving room. The purpose of this research is to predict the performance of absorbent materials with respect to absorbing behavior and transmission loss as possible as accurately. The performance of the absorbent materials are carried out systematically as follows: The Biot parameter are measured, first. Then using above parameters as input, LMS's SYSNOISE and VIOLINS programs are used to predict absorption coefficient and transmission loss values, which magnitudes are compared with experimental results. As an sample acoustic material, SK SKY VIVA and PET are selected.

1. 서 론

소음공해의 인식이 날로 더해감에 따라서 사람이 주거하는 공간이나 작업하는 공간에서의 소음을 감소시키는 요구는 증대되고 있다. 혼한 예로 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 방음벽은 바로 이런 취지에서 설계되고 설치된 것이며, 방음벽 안에 설치될 흡음재는 방음벽의 성능을 향상시킬 수 있는 직접적인 요인이 된다. 또한 조용한 자동차를 원하는 수요자의 요구를 만족하기 위하여 차내 실내에서의 흡음재, 차음재의 역할은 증가 추세에 있다. 본 연구는 이러한 음향재질의 특성 중 대표적인 흡음, 차음 특성을 유한요소법을 이용하여 예측하는 연구를 수행하였다. 본 연구는 이러한 흡·차음재의 성능을 정확히 측정하고 예측함으로써 우수한 성능의 흡·차음재를 선택하고 효과적으로 적용하는데 목적이 있다. 흡·차음재의 성능에 대한 해석은 실험에 의한 Biot Parameter 측정을 수행하고, 이 입력값에 의한 LMS社의 상용 유한 요소해석프로그램인 SYSNOISE와 VIOLINS를 이용하여 흡음률과 투과 손실 성능을 예측하였으며, 2-microphone 방법에 의한 관련 실험 항목과 비교 분석했다. 본 연구에서 선택한 시편은 SK社의 SKY VIVA와 NVH Korea 사의 PET를 선택해 실험 및 해석을 수행하였다

* 홍익대학교 기계시스템디자인공학부 교수
E-mail :kwanju@hongik.ac.kr
tel : (02) 336-1643 fax : (02) 320-1113
** 홍익대학교 기계공학과 대학원
*** 산업기술시험원

1. 본 론

2.1 흡음재의 Biot Parameter의 측정

실험을 통해 측정된 Biot Parameter는 흡음재의 흡음률 및 투과손실을 예측하기 위한 변수이며 LMS社의 SYSNOISE와 VIOLINS에 필수 입력사항이다. Biot 변수에는 다음 4가지가 있다.

(1) Flow Resistivity

유동저항은 Biot Parameter의 하나로서 물질의 소음진동 특성을 규명하고자 할 때 쓰이는 변수이다. 유동저항의 측정 은 일정한 공기의 유량을 시편에 통과시키면서 대기압으로 방출될 때 시편에 걸리는 압력과 대기압의 압력차를 이용해서 구한다. 유동저항 측정에 관한 변수는 시편의 두께와 넓이가 되고 그와 관련된 식은 다음과 같다.

$$\sigma = \frac{\Delta P A}{\dot{Q} t} \quad (1)$$

단위는 MKS 이며 유동저항의 단위는 MKS Rayls 가 된다.

(2) Tortuosity

Tortuosity 는 소재에 가해진 임의의 가진 입력에 대한 동적 응답을 결정짓는 중요한 변수이다. 특히 점탄성 소재의 체진성능, 다공성 소재의 음향학적 거동 등을 예측하는데 있어서 매우 중요한 인자이다.

(3) Porosity

Porosity는 Flow Resistivity, Tortuosity 등과 함께 다공성 흡,차음 소재의 흡음률, 투과손실, 삽입손실과 같은 음향학적 성질을 결정짓는데 중요한 인자로서 Biot이 투과손실 계산을 위해 제안한 방법에 입력되는 변수이다. 또한 Porosity 는 소재의 진밀도(True Density)의 측정에도 이용된다.

$$\text{True Density} = \frac{\text{Mass}}{(1 - \text{Porosity})(\text{Apparent Volume})} \quad (2)$$

(4) Specific Density

다공성 물질에서 공기가 차지하고 있는 부분을 제외한 프레임의 밀도를 말하는 것으로서 흡음률과 투과손실 계산에 있어서 영향을 끼친다.

다음은 선택된 두 시편의 Biot Parameter 이다.

표1 Biot's Parameters of SK SKY VIVA , PET

	SK SKY VIVA	PET
Flow Resistivity (MKS Rayls)	17000	11000
Porosity	0.9813	0.9927
Tortuosity	1.2	1.1
Specific Density(kg/m ³)	35	30

2.2 흡음률에 대한 실험 및 해석

(1) 흡음률 실험

두께 60mm 인 SK社의 SKY VIVA와 두께 20mm인 PET를 선택해 실험을 수행하였다. 시편의 직경에 따라 주파수 측정영역이 다르고 각각 3번씩 실험 후 평균값을 계산했다. 측정장비로는 B&K 의 임피던스 튜브 TYPE 4206을 사용했다. 실험에 있어서 시편 직경에 따른 주파수 측정 범위는 다음과 같다.

표2 Valid Frequency Range of Specimens

Set up	Freq. Range
100 mm Set up	50 Hz ~ 1.6 kHz
29 mm Set up	500 Hz ~ 6.4 kHz

두 개의 마이크로폰을 이용한 흡음률 측정은 Stationary Random Signal 이 입사성분 P₁와 반사성분 P₂로 분리되며 이것은 튜브 벽에 위치한 두 개의 마이크로폰에 의해 측정된 음압의 관계로부터 주파수 전달함수를 계산함으로써 얻어진다.

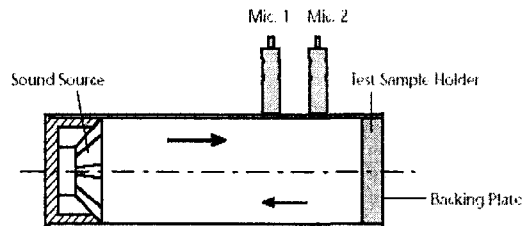


Fig.1 실험장치 개요

$$P_1 = (A e^{-jk x_1}) + (B e^{jk x_1}) e^{j\omega t} \quad (3)$$

$$P_2 = (A e^{-jk x_2}) + (B e^{jk x_2}) e^{j\omega t} \quad (4)$$

$$H_{21} = \frac{A e^{-jk x_1} + B e^{-jk x_1}}{A e^{-jk x_2} + B e^{-jk x_2}} \quad (5)$$

$$R = \frac{H_{21} e^{-jk x_1} - B e^{jk x_1}}{e^{jk x_2} - H_{21} e^{jk x_2}} \quad (6)$$

$$\frac{Z}{\rho c} = \frac{1+R}{1-R} \quad (7)$$

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (8)$$

(2) 흡음률 해석

• Delany-Bazley 의한 흡음률 예측식

Delany 와 Bazley는 공극률이 1에 가까운 섬유재료의 전 파상수와 특성 임피던스를 측정하여 이들 인자가 주파수와 재료의 유동 비저항의 함수로 표현될 수 있음을 밝혀냈다. 이로부터 다음과 같은 경험식을 개발하였다.

$$Z_c = \rho c [1 + 0.0571 X^{-0.754} - j0.087 X^{-0.732}] \quad (9)$$

$$k = \frac{\omega}{c} [1 + 0.0978 X^{-0.700} - j0.189 X^{-0.595}] \quad (10)$$

$$X = \frac{\rho f}{\sigma}, \quad \omega = 2\pi f \quad (11)$$

Delany-Bazley 실험식을 사용하기 위해서는 X의 값이 0.01과 1 사이에 있어야 하며 X 값을 구하면, 다음 식을 이용해서 표면 임피던스를 구할 수 있다.

$$Z = -j Z_c \cot(k \cdot d) \quad (12)$$

· Allard 의한 흡음률 예측식

Allard 식에서는 Flow Resistivity, Tortuosity, Porosity 등의 함수로 구성이 되고, 이 변수를 이용하여 임피던스를 구한다.

$$Z = -j \frac{Z_c}{\phi} \cot(\tilde{k}(\omega)d) \quad (13)$$

$$\tilde{k}(\omega) = \omega \sqrt{\frac{\rho(\omega)}{K(\omega)}} \quad (14)$$

$$\tilde{\rho}(\omega) = \rho_0 \alpha_\infty \left(1 + \frac{\sigma \phi}{j \alpha_\infty \rho_0 \omega} \sqrt{1 + \frac{4 j \alpha_\infty^2 \mu \rho_0 \omega}{\sigma^2 \ell^2 \phi^2}} \right) \quad (15)$$

$$K(\omega) = \gamma P_0 \left[\gamma - \frac{\gamma - 1}{1 + \frac{\sigma \phi}{j \alpha_\infty \rho_0 N_{Pr} \omega} \sqrt{1 + \frac{16 j \alpha_\infty^2 \mu \rho_0 N_{Pr} \omega}{\sigma^2 \ell^2 \phi^2}}} \right]^{-1} \quad (16)$$

2.3 SYSNOISE 모델링과 흡음률 해석

SYSNOISE 해석을 위해서 유한요소법을 이용해 오른쪽 끝에는 두께에 따른 흡음재를 위치시키고 측정장비와 동일하게 공기층을 주어 공기층에서의 음압을 이용해 해석하였다. Sound Source 조건으로는 모델링 왼쪽 끝 부분에 Velocity를 1로 주어 해석했으며 2차원 모델링으로 해석을 수행하였다.

실험에서 시편의 직경이 29mm와 100mm 수행에 따른 측정가능 주파수 영역이 다르므로 다음 식에 의해 주파수 영역을 정의할 수 있고,

$$L - d < \frac{3}{4} \lambda \quad (17)$$

$$d > \frac{1}{2} \lambda \quad (18)$$

측정가능 주파수 대역은 283 Hz < f < 5862 Hz 가 된다.

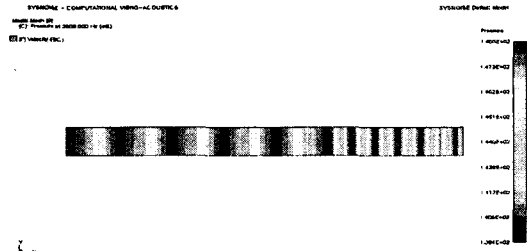


Fig.2 SYSNOISE 2차원 모델링

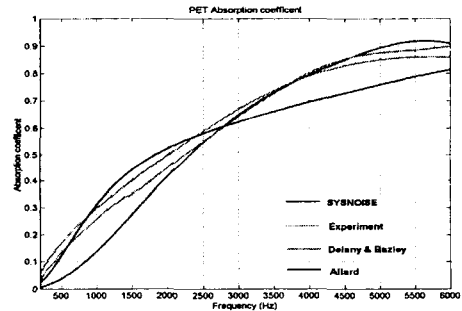


Fig.3 PET_SYSNOISE 해석과 실험의 흡음률 비교

앞에서의 흡음률 예측식에서 시편의 두께와 유동저항의 값을 입력 후 다음과 같은 결과를 나타낼 수 있다. PET는 거의 0.9에 가까운 흡음률을 보인다.

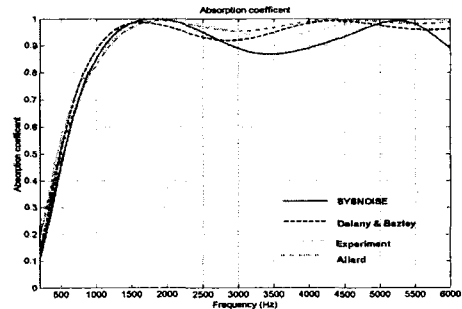


Fig.4 SK SKY VIVA_SYSNOISE 해석과 실험의 흡음률 비교

같은 방법으로 SK SKY VIVA 는 1에 가까운 흡음률을 보인다. 2500 Hz 이상의 주파수 영역에서는 Tortuosity에 따라 기울어짐이 다르게 나타난다.

2.4 투과손실 (Transmission Loss)

(1) 투과손실 실험

투과손실 실험 또한 흡음률 측정 실험과 동일한 방법으로 측정했으며 시편의 직경에 따른 주파수 측정범위는 위의 표.2 와 같다. 측정장비로는 B&K 社의 Transmission Loss Kit 4206T를 사용했으며, 각각 시편에 대해 3번 실험 후 평균값을 사용했다.

(2) 투과손실의 정의

투과손실은 흡음재를 통해 입사되는 음압과 투과된 음압을 이용해서 다음과 같이 계산된다.

$$TL = 10 \times \text{LOG}_{10} \left| \frac{P_t}{P_i} \right|^2 \quad (23)$$

2.5 VIOLINS 모델링과 투과손실 해석

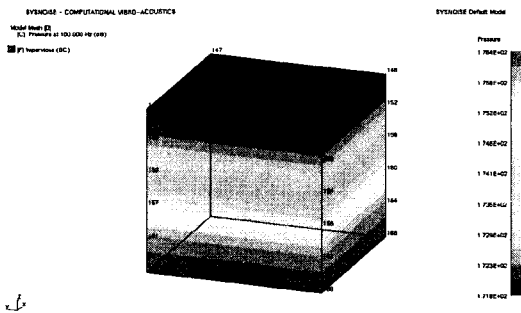


Fig.5 VIOLINS 모델링

VIOLINS 모델링에서는 시편 자체를 유한요소법으로 3차원 모델링 했다. 공기층과 접하는 면을 제외한 모든 부분을 Impervious 조건을 형성시키고, 공기와 접하는 Face에 1이라는 값으로 가진 조건을 적용시켰다. VIOLINS에서는 좀 더 다양한 Biot 변수가 입력이 되고 정리하면 다음과 같다.

표3 VIOLINS 에 입력되는 Biot 변수

Biot's Parameters	SK SKY VIVA	PET
Flow Resistivity (MKS Rayls)	17000	11000
Porosity	0.9813	0.9927
Tortuosity	1.2	1.1
Specific Density (kg/m³)	35	30
Young Modulus	*140000	*135000
Poisson Ratio	*0.35	*0.35
Fluid Density (kg/m³)	1.2	1.2
Note	* Taken from VIOLINS Library	

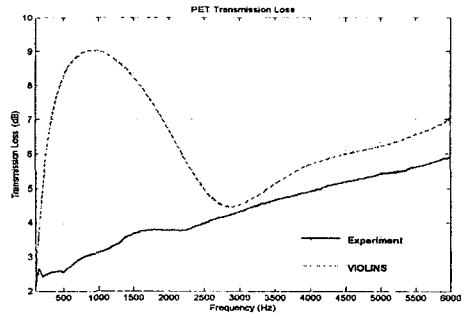


Fig.6 PET VIOLINS 투과손실 해석

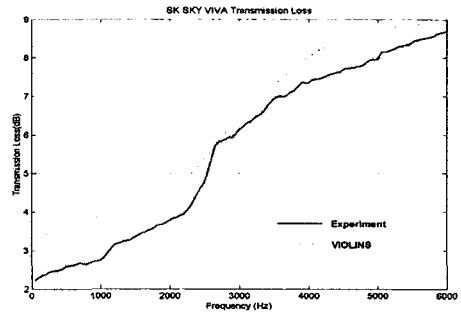


Fig.7 SK SKY VIVA 투과손실 해석

VIOLINS 에서는 보다 다양한 Biot Parameter가 변수로 입력이 된다. 해석에 있어서 다양한 조건 형성이 요구되므로 정확한 실험 결과가 요구되며, 특히 해석에 있어서 Young Modulus 나 Poisson Ratio 의 변화에 대한 투과손실 결과는 미미하지만 Flow Resistivity와 Specific Density 혹은 모델링의 경제조건에 따라 민감하게 나타난다.

3. 결론

흡음재의 성능은 흡음재 자체의 Biot parameter 에 의해 결정이 되어 진다. 특히 Flow Resistivity와 Density 는 흡음률과 투과손실에 있어서 전체적인 영향을 미쳤고, Tortuosity와 Porosity는 고 주파수 영역에서 특징을 보여주었다. 흡음재는 소음차단에 있어서 경제적인 접근이 용이하고, 근래 개발되는 흡음재는 친환경적 소재로 제작이 되어지므로 많이 사용되어 진다. 각기 다른 주파수 영역별의 흡음

재 적층구조 또한 우수한 성능을 기대할 수 있다. 이번 연구로 단순히 흡음재의 성능예측 뿐만 아니라 좀더 많은 분야에 응용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1)J.F.Allard ,1993 "Propagation of Sound in Porous Media-Modelling Sound Absorbing Materials"
- (2)한국과학기술원 소음 및 진동제어 연구센터,1999 "KAIST WORKSHOP-Noise Control Materials :Properties and Effective Use"
- (3),K.U.Ingard "Note on Sound Absorption Technology" ,1994-Version 94-02