

전산 해석에 의한 차음재의 투과손실 예측

Computational Analysis of Sound Transmission of Insulating Materials Using FEM

정환익*·김관주*·박진규**·김형근***·이원구****

Hwanik Jung·Kwanju Kim·Jinkyu Park·Hyungkeun Kim·Wonku Lee

Key Words : 투과손실(Transmission Loss), 차음재(Insulating Material), Biot 변수(Biot's Parameters) 유한요소법(Finite Element Method), 수직입사(Normal Incidence)

ABSTRACT

The importance of insulating material becomes greater recently in order to attain a quieter life style amidst today's sound noise such as transportation, industrial machinery. The demand for insulating material is increasing due to the increase of noise space. It is reasonable to predict the transmission loss and the absorption of the insulating Material before arranging it in the appropriate places and attaining a pleasant acoustic environment inside the space. The experiments of insulating material's were performed using Impedance tube Type 4206 T of B&K, and VIOLINS which is a FEM program of LMS was used for the analysis

1. 서론

운송기와 산업기기 혹은 기타 수많은 소음원로부터 정온한 생활을 구현하기 위한 흡, 차음재의 역할은 매우 중요하다. 갈수록 증가하는 환경소음은 이런 흡, 차음재의 수요를 증가시키며 흡, 차음재를 방음벽과 자동차 기타 건축물의 내장재에 응용 활용함으로써 확실한 소음저감 효과를 기대할 수 있음은 물론 좀더 많은 응용 분야에 활용할 수 있을 것이다. 흡, 차음재를 배치하여 효과적으로 음향환경을 조성하기 위해서 흡, 차음재 고유의 흡음률 및 투과손실을 예측하는 것은 당연한 일이다. 좀더 성능이 우수한 흡, 차음재를 개발하고 선택하는 일은 위의 목적에 부합될 것이며, 환경소음에 적극적으로 대처하는 일이기도 할 것이다. 흡음률 및 투과손실의 예측은 실험에 의한 Biot Parameter 측정을 수행 하고 이 값들을 투과손실의 전산해석에 입력 값으로 사용했다. 투과손실은 B&K 의 Impedance Tube Type 4206 T 로 측정했고, 해석은 LMS 의 상용 유한 요소 해석 프로그램인 VIOLINS 를 이용하였다.

2. 본론

자동차의 실내용 차음재로 이용되는 대표적 재질에 대해서 Biot 변수를 측정하였고, 이 변수 값을 이용해서 투과손실 값을 FEM 방법으로 예측하였다. 또한 관련 투과손실값을 측정하여, 해석에 의한 예측값과 비교 하였다. 각 해석 및 실험에 대한 내용은 다음과 같다.

2.1 차음재 단품시편의 Biot 변수 측정

자동차실내용 차음재에 대한 Biot Parameter 를 실험을 통해 측정하였으며, Biot 변수 중에 대표적인 변수들인 유동저항, Tortuosity, 공극률, 체적 질량의 4 가지 변수들에 대해서 측정을 수행하였다. 차음재 단품에 대한 Biot 변수 측정값을 정리하여 다음 표 1-2 에 나타내었다.

표 1 PET 시편단품의 두께에 따른 Biot Parameter

	PET 5mm	PET 10mm	PET 20mm
Flow Resitivity (MKS Rayls)	191,350	47,838	11,959
Tortuosity	1.63	1.27	1.06
Porosity	0.85	0.92	0.96
Volumetric Mass (kg/m ³)	200	100	50

* 홍익대학교
E-mail : Kwanju@hongik.ac.kr
Tel : (02) 320-1643, Fax : (02) 320-1113

** 산업기술시험원

*** ㈜금호엔지니어링

****(주)VP KOREA

표 2 두께에 따른 ECO 시편과 비닐의 Biot

Parameter	Parameter			
	ECO 5mm	ECO 10mm	ECO 20mm	Vinyl 0.2mm
Flow Resistivity (MKS Rayls)	445,329	36,813	26,984	-
Tortuosity	3.69	2.36	1.85	-
Porosity	0.84	0.91	0.95	-
Volumetric Mass (kg/m ³)	200	100	50	500

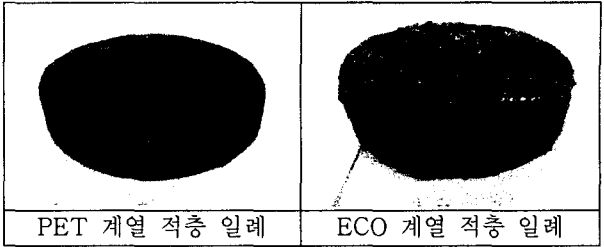


Fig.1 투과손실 측정용 시편의 적층 구조 예

2.2 투과손실 실험

투과손실 정의

투과손실은 차음재를 통해 입사되는 음압(P_i)과 투과된 음압(P_t)으로 다음과 같이 계산된다.

$$TL = 10 \times \text{LOG}_{10} \left[\frac{P_t}{P_i} \right]^2 \quad [dB] \quad (1)$$

실험과 해석의 비교를 위하여 수직입사에 대한 질량법칙에 의한 투과손실은 다음과 같이 정의된다.

$$TL = 10 \times \text{LOG}_{10} \left[1 + \left(\frac{\omega m}{2} \rho c \right)^2 \right] \quad [dB] \quad (2)$$

여기서, m 은 면밀도(kg/m²), ω 는 입사파의 주파수(rad/s), ρc 는 공기의 임피던스이다. 위 식에서 투과손실은 면밀도와 주파수 곱의 대수값에 비례하는 것을 알 수 있다

2.2 투과손실 실험

Fig. 1 은 측정용 시편의 사진을 보여주고 있으며, 단품인 PET 와 ECO 계열의 흡음재를 적층 가공하여 중간에 Vinyl 을 삽입하여 실지 경우의 차음 효과를 고려하였으며, 표 4 에서는 실지 투과손실 실험을 수행한 경우를 표로 나타내었다. Case 7 과 Case 8 은 중간층에 Vinyl 이 없이 흡음재로만 구성되어 있는 경우이다.

표 3 투과손실 실험 적층 경우의 수

경우	Layer
Case 1	PET 5t + Vinyl + PET 10t
Case 2	PET 10t + Vinyl + PET 5t
Case 3	PET 5t + Vinyl + PET 20t
Case 4	PET 20t + Vinyl + PET 5t
Case 5	ECO 5t + Vinyl + ECO 10t
Case 6	ECO 10t + Vinyl + ECO 5t
Case 7	PET 5t + PET 10t
Case 8	ECO 5t + ECO 10t

4-Microphone Method 를 통한 투과손실 실험

투과손실 실험은 Impedance tube 직경에 따라 측정주파수 영역이 다르므로 시편의 직경이 100mm 와 29mm 인 시편을 각기 수행하였고 장비로는 ISO E1050 을 만족하는 B&K 의 Impedance Tube Type 4206 T 를 사용했다. 실험에 있어서 시편 직경에 따른 주파수 영역은 다음과 같다.

표 4 직경에 따른 주파수 측정영역

Specimen diameter	Freq. Range (Hz)
100 mm	50~1600
29 mm	500~6400

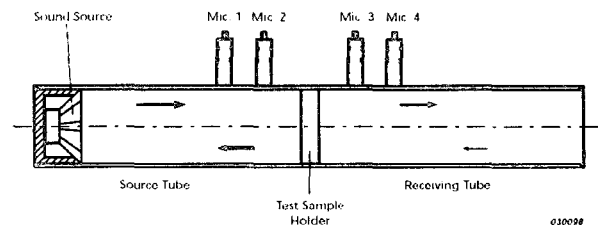


Fig.2 B&K 의 Impedance Tube Type 4206 T 실험장치

4 개의 마이크로폰을 이용한 투과손실 측정은 Stationary Random Signal 을 발생시켜서 마이크로폰에 의해 측정된 음압의 관계로부터 음원실과 수음실 사이의 전달함수를 계산함으로써 얻어진다. 각 직경에 따른 시편을 3 번씩 실험 후 평균값으로 투과손실 값을 측정하였고 계산식은 다음과 같다.

$$T = \left(\frac{\sin ks_1}{\sin ks_2} \right) \left[\frac{H_3 e^{jk(d+s_2)} - H_4 e^{jkd}}{H_1 - H_2 e^{-jks_1}} \right] \quad (3)$$

$$TL = 10 \times \text{LOG}_{10} \frac{1}{|T|^2} \quad (4)$$

여기서 H_i 는 마이크로폰에서 측정된 입사파와 반사파의 비, k 는 음파정수, S_i 는 마이크로폰 사이의 거리를 나타낸다. 투과손실 측정 결과는 2.3 절 해석의 결과 그래프에 함께 도시하였다. (Fig. 4 ~ Fig.13 참조)

2.3 투과손실 해석

- 모델링과 경계 조건

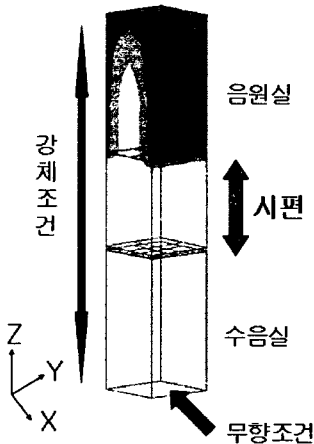


Fig. 3 시편의 유한요소 모델 및 해석 결과

유한요소법을 이용한 투과손실의 전산해석은 LMS 의 VIOLINS 를 사용하였으며, 차음 시편과 차음 시편전, 후의 공기층을 3 차원 유한 요소를 이용하여 모델링하였다. 경계조건으로는 음원실 상단 면에 단위 크기의 힘을, 수음실의 하단 면은 무향 조건에 해당하는 공기

Impedance 조건을 설정하여 실제 실험조건에 유사하게 경계조건을 적용시켰다. Impedance tube 의 경계면에 해당하는 면에는 강제 조건을 지정하였다.

- 차음 시편의 유한요소 해석 결과

다음은 실험과 해석의 경우에 대해 정리 했다. 표 4 의 실험의 경우에 따른 유한요소해석을 수행하였고, 각 경우의 투과손실 해석 결과를 실험 값, 그리고 질량법칙에 따른 투과손실을 비교하여 다음 그림에 나타내었다.

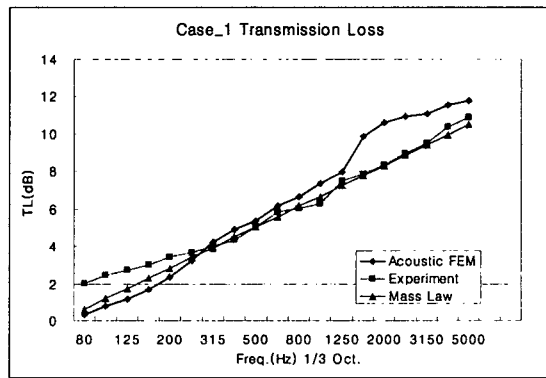


Fig. 4 Case 1 투과손실 해석

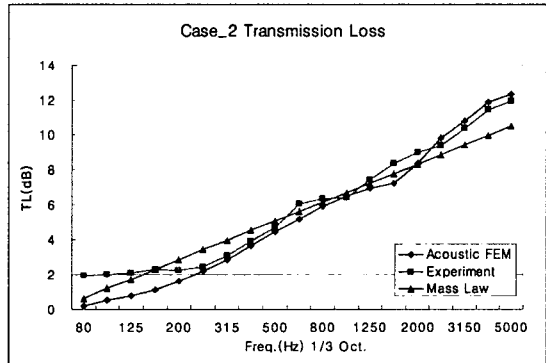


Fig. 5 Case 2 투과손실 해석

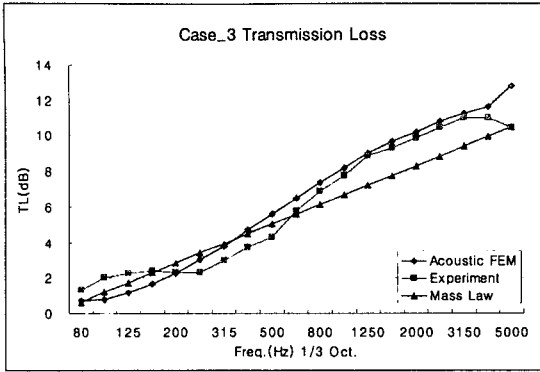


Fig. 6 Case 3 투과손실 해석

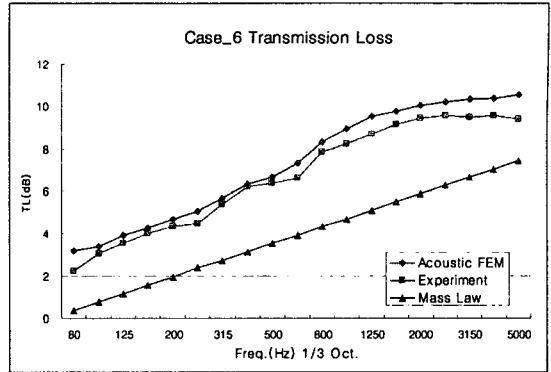


Fig. 9 Case 6 투과손실 해석

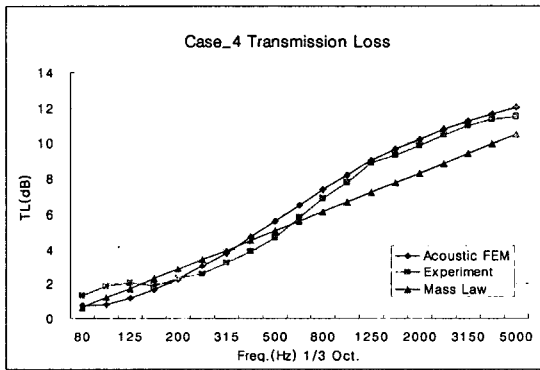


Fig. 7 Case 4 투과손실 해석

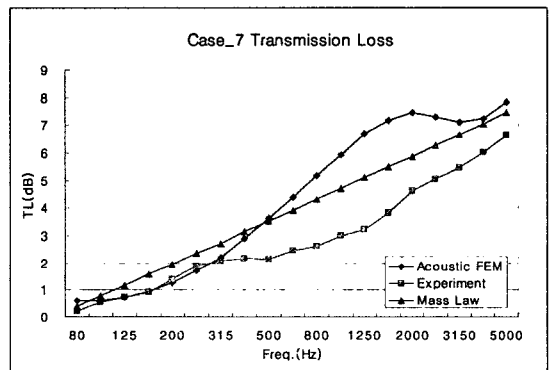


Fig. 10 Case 7 투과손실 해석

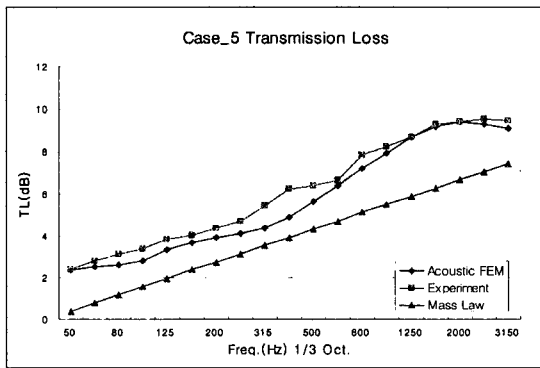


Fig. 8 Case 5 투과손실 해석

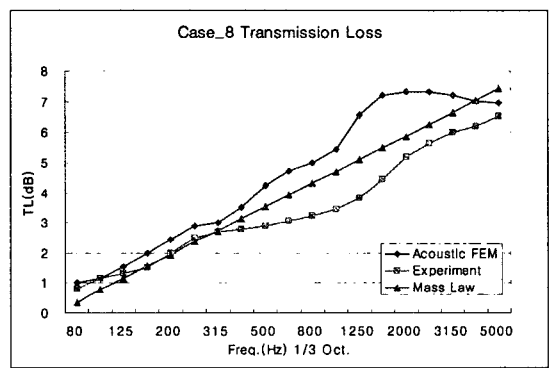


Fig. 11 Case 8 투과손실 해석

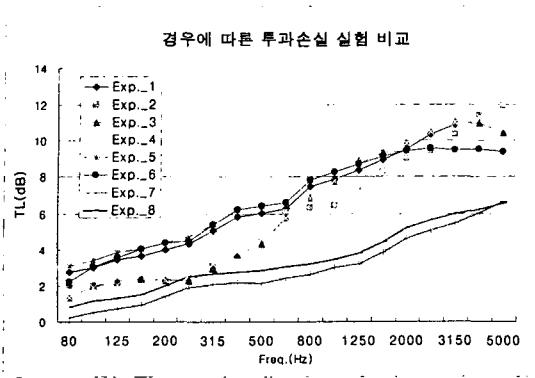


Fig. 12 경우에 따른 투과손실 실험 비교

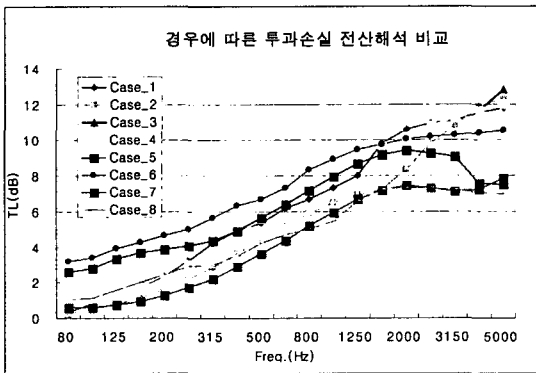


Fig. 13 경우에 따른 투과손실 전산해석 비교

경우	비교	투과손실 해석 비교
경우 1	뒤집는 경우	Case 1 > Case 2
		Case 3 > Case 4
		Case 5 < Case 6
경우 2	재질이 다른 경우	Case 5 > Case 1
경우 3	비닐이 없는 경우	Case 6 > Case 2
경우 4	비닐의 유무와 재질이 다른 경우	Case 8 > Case 7
		Case 1 > Case 7
		Case 1 > Case 8
		Case 2 > Case 8

위 결과의 경우 1 을 살펴보면 같은 재질, 다른 두께를 가지고 비닐이 삽입된 흡, 차음재를 비교

하였다. 경우 2 에서는 PET 계열의 차음재가 ECO 계열의 차음재에 비하여 투과손실 값이 더 적은 것을 볼 수 있다. 이것은 두께 5mm 의 단품 시편의 Biot 변수를 살펴보면 ECO 계열의 유동저항이 더 크기 때문이다. 그런 면에서 보면 ECO 계열의 흡, 차음재가 좀더 높은 투과손실 값을 보인다. 경우 4 에서는 중간에 비닐의 유무에 따라 투과손실을 비교하였고 예상되는 바와 같이 중간에 비닐이 있는 흡, 차음재가 높은 투과손실 값을 보인다. 또한, PET 계열은 밀도가 높은 차음재를 먼저 적용한 경우에 높은 투과손실 값을 보였으나 ECO 계열에서의 결과값은 미미한 경향을 보였다

3. 결론

흡, 차음재 단품의 Biot 변수를 측정하고 적층을 다르게 하여 유한요소법을 통해서 투과손실을 예측, 해석하여 보았다. 결과는 비슷한 경향을 보이고 있고, 해석을 통해서 흡음+차음, 차음+흡음 중에 어느 것이 더욱 효과적인 것인지도 예측할 수 있다. 투과손실에 있어서는 밀도가 높은 흡, 차음재가 낮은 밀도의 흡, 차음재보다 높은 값을 가지며, 질량법칙에 의한 투과손실은 면밀도로 예측하기 때문에 실제적 투과손실과는 약간의 차이를 보인다.

후 기

본 연구는 특정연구개발과제의 일부분으로서 과기부의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Donald E.Hall, 1987, 'Basic Acoustics', John Wiley & Sons
- (2) Charles E. Wilson, 1989, 'Noise control', Harper & Row, Publishers, New York
- (3) 한국과학기술원 소음 및 진동제어 연구센터, 1999 'KAISTWORKSHOP-Noise Control Materials'
- (4) M.L Munjal 외, 2002, 'Formulas of Acoustics', Springer
- (5) K.U.Ingard, 1994, 'Note on sound absorption Technology'