

# 철도차량용 방진고무의 동특성 평가 및 상구조 차음 성능 증대를 위한 적용

## Evaluation of rubber spring for rail vehicle and application on the floor for increasing sound insulation properties

이태욱\*                      김종년\*\*                      이화수\*  
Lee, Tae Wook              Kim, Jong Nyeun              Lee, Hwa Soo

---

### ABSTRACT

Floating floor structure, which is mainly adopted for reducing interior noise of railway vehicle, is known that it is superior to single wall in respect of sound transmission loss. The dynamic characteristic of the support in the floating floor that is one of the important design variables in floating floor structure can change the sound and vibration insulation properties of it. From excitation test, the dynamic stiffness and loss factor of the support are evaluated. They are used as input parameter for analyzing the sound transmission loss of floating floor. Predicted transmission loss is compared with the prototype-car test results.

---

### 1. 서론

철도 차량의 주행 시 외부 소음이 가장 많이 투과 되어 실내로 유입되는 부분이 플로어(floor)이므로 실내소음을 저감하기 위하여 부유상 구조(floating floor)를 주로 이용하는데 이는 차음체의 무게 대비 차음성능이 단일벽 구조보다 우수한 것으로 알려져 왔다. 부유상 구조에서 주요한 설계 변수의 하나인 상구조 지지체(support)의 동특성(dynamic characteristics)에 의해 차음성능과 진동 절연 성능이 충분히 변경될 수 있으므로 이러한 재료의 동특성을 평가하고, 이를 바탕으로 상구조 소음 투과 손실을 예측하고 시험값과 비교해 보고자 한다.

방진 고무의 동특성을 시험적으로 구하기 위하여 두께에 따른 3개의 샘플을 정하고 2가지의 예하중(preload)에 따라서 가진시험을 진행하였다. 시험을 통하여 얻는 동탄성 계수(dynamic stiffness), 감쇠계수(loss factor)를 통계적 에네저 해석 기법(statistical energy method)을 사용한 AutoSEA2 프로그램에 입력하여 이를 바탕으로 상구조의 음향 투과손실(sound transmission loss)을 계산하였으며 이를 시험치와 비교하였다. 시험 및 해석에 사용된 방진 고무는 C B Frost社의 HT800 이다.

---

\* (주)로템

\*\* 정회원, (주)로템

## 2. 본론

### 2.1 동특성 평가를 위한 가진 시험

방진 고무의 동특성을 평가하기 위하여 본 논문에서는 간접적 방법(indirect method)를 이용하였는데 이는 시험 장치에서 가진 부위에서의 진동값과 예하중을 가하는 부위의 진동값에서 전달함수를 구하고 이를 이용하여 고무의 동탄성 계수와 손실 계수를 알아내는 방법이다. 이는 직접적 방법(direct method)에 비교하였을 때 측정가능한 주파수 대역이 넓은 것이 장점이다.[1,2] 그림1은 시험 장치를 간략하게 나타내며 시험에 사용된 시편의 종류와 가해진 예하중을 표1에 정리하였다.

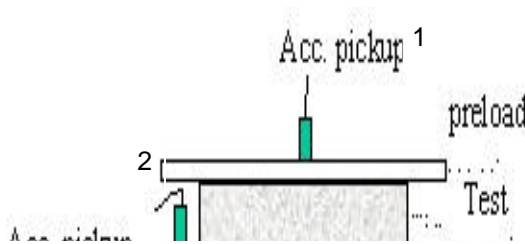


그림1. 시험 장치의 단면도

Excitation	Pink noise (B&K exciter)
Specimen(thickness)	200mm*40mm*(6.4/20/28mm)
Preload	768g,/ 1514g
Transfer function	Acc.2 / Acc.1

표1. 시험에 사용된 시편과 예하중의 종류

실제 방진 고무는 점 접촉이 아닌 면적 접촉이기 때문에 시험 장치에서 실제 상황을 묘사하기 위하여 가속도계를 이동시키면서 여러 지점에서의 전달함수를 구한 후 각각의 동특성을 계산하고 이를 산술 평균하였다. 공진 주파수 주위 영역까지의 동탄성 계수( $K$ )와 손실 계수( $\eta$ )를 알기 위하여 아래와 같은 전달 함수 방법(transfer function method)을 이용한 수식을 사용하였다.[3]

$$K = w^2 M \frac{|T| \cos j - |T|^2}{2|T| \cos j - |T|^2 - 1} \quad h = \frac{\sin j}{\cos j - |T|} \quad T = |T| e^{ij} \text{ (transfer function)}$$

그림2는 가진 시험을 통해서 구한 동탄성 계수와 손실 계수를 공진 영역을 제외한 주파수 영역에 표시한 것이고 표2는 표시된 주파수 영역에서 평균하여 구한 시험값을 나타낸다. 그림2에서 보듯이 시험 장비의 특성으로 인하여 질량-스프링 시스템에서 존재하는 공진주파수(resonance frequency)가 70~100Hz에서 발생하고 또한 가진 철판(steel plate)의 고유 진동수가 1kHz 근처에서 발생하기 때문에 유효한 주파수 대역은 100~700Hz이다. 고무의 두께가 커질수록 최대 유효 주파수는 작아지는데 이는 고무의 질량이 커짐으로 해서 생기는 내부 공진에 의한 것이다. 가진 시험에서 동탄성 계수는 주파수가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며 손실 계수의 경우는 주파수에 의존하지는 않지만 감소하는 경향을 보인다. 또한 방진고무의 두께가 커질수록 동탄성 계수와 손실 계수가 작아지는 경향을 보인다. 방진고무의 두께가 6.4mm 인 경우에는 하중을 크게 가할수록 동탄성 계수는 커지는 반면 손실 계수는 작아지지만 두께가 13mm, 28mm 인 경우일 때 동탄성 계수와 손실 계수의 변화폭이 작다.

2.

Thickness (mm)	Preload (g)	Frequency range (Hz)	Stiffness(N/m <sup>2</sup> )	Loss factor
6.4	768	130~700	6.25E+05	0.22
	1514		6.50E+05	0.20
13	768	130~630	3.85E+05	0.06
	1514		3.87E+05	0.07
28	768	95~310	1.82E+05	0.07
	1514		1.88E+05	0.07

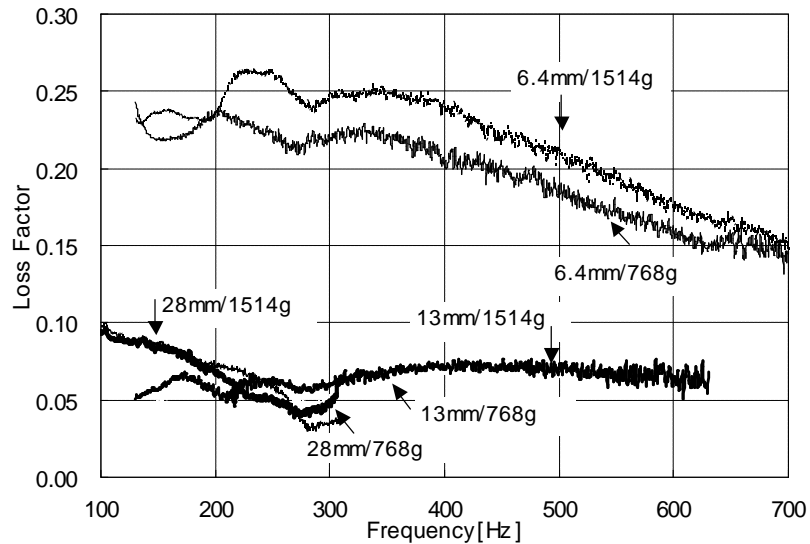
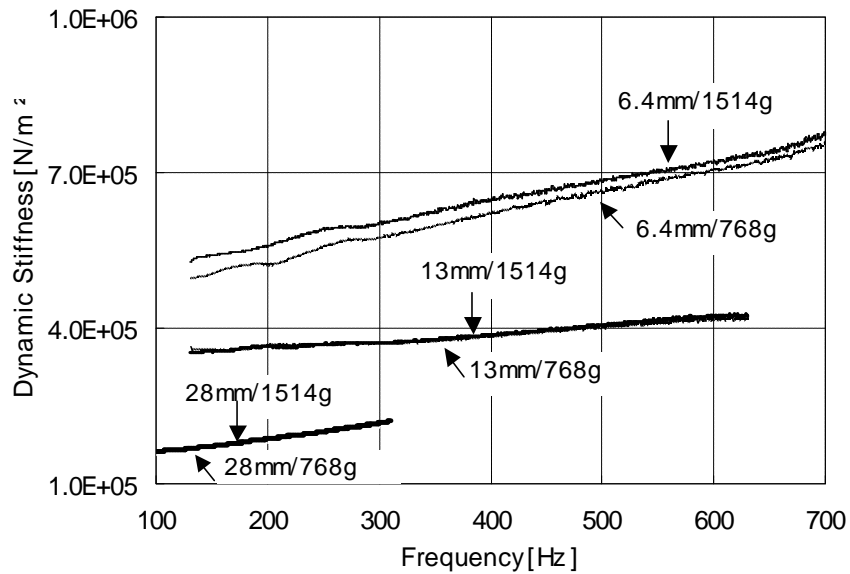


그림 2. 두께와 예하중에 따른 방진고무의 동탄성 계수와 손실 계수

## 2.2 통계적에너지해석방법을이용한소음투과손실계산

위에서 구한 방진 고무의 동특성 결과를 바탕으로 통계적 에너지 해석 방법을 이용하여 방진 고무가 적용된 부유상 구조의 소음 투과 손실을 구하였으며 사용된 해석 프로그램은 AutoSEA2

(ver 2003)이다. 통계적 에너지 기법(SEA)은 중·고주파수 대역, 높은 모드 밀도를 가지는 영역에서 손실 계수로 계의 특성을 표현하여 계를 구성하는 하부계의 소음, 진동 에너지 레벨을 예측할 수 있는 기법이다. 그림3은 해석 및 시험에 사용된 부유상 구조의 단면이다.

소음 투과 손실을 해석하기 위하여 그림4에서 처럼 실제 시험했던 상황과 유사하게 모델링을 하였다. 스피커로 음향 가진을 하는 플로어 하부 부분을 source cavity로 만들고 플로어를 통과한 소음이 수음되는 receiver cavity를 플로어 상부에 만들고 난 후 두 cavity의 소음 크기 차이와 receiver cavity의 흡음 특성을 바탕으로 하여 아래의 식을 이용하여 소음 투과 손실을 구하였다. 해석 시 방진고무는 구성 요소 중 선 스프링(line spring)으로 묘사하여 상, 하부 구조를 연결시켰다.[4]

$$TL(\text{transmission loss}) = L_S - L_R + 10 \log(S/A_R)$$

$L_S, L_R$ : source, receiver cavity의 평균음압

$S$ : 플로어의 면적  $A_R$ : receiver cavity의 흡음력

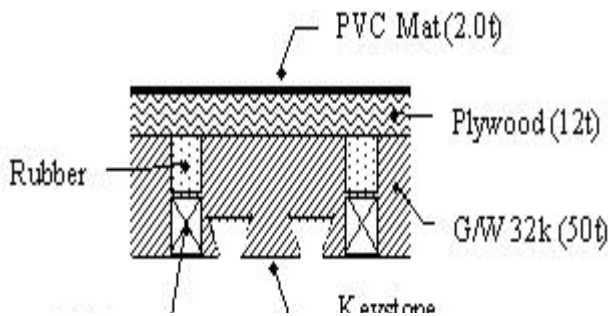
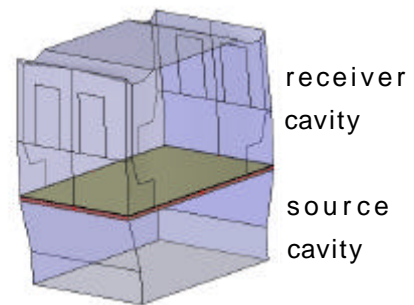


그림 3. 부유상 구조의 단면 그림



4. AutoSEA2 프로그램의 해석 모델

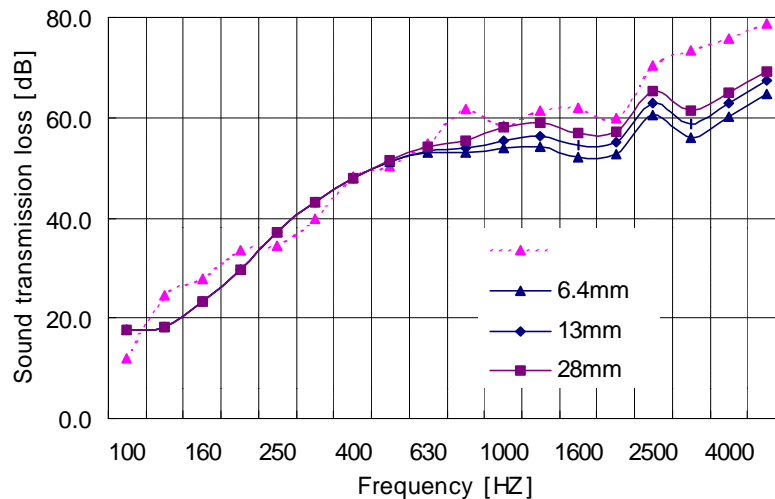


그림 5. 시험 결과와 해석 결과 비교

그림5는 시험 결과와 방진 고무 두께마다의 소음 투과 손실을 나타내는데 500Hz 이하의 영역에서는 방진 고무 두께 변화에 영향을 받지 않음을 알 수 있으나 두께가 증가할수록 1kHz이상의 고주파수 대역에서 투과 손실이 증가하는 경향을 보이면서 시험결과에 근접해짐을 알 수 있다. 투과 손실 시험에 사용된 시편은 두께가 25mm이지만 13mm, 28mm 두께의 해석 결과를 볼 때, 시

험결과 값과 매우 유사하다고 판단할 수 있다.

6.4mm와 28mm를 각각 사용했을 때의 상구조 투과 손실 차이는 1kHz에서 약 5dB 정도로 나타났는데 이로 인해 나타나는 개활지 주행 시 실내 소음의 변화는 약 2dB 정도 이다. 따라서 적절한 방진 고무의 선택으로 실내 소음을 저감 시킬 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 방진 고무의 동특성을 구하기 위하여 가진 시험을 수행하였으며 이를 통해서 구한 동탄성 계수와 손실 계수를 이용하여 부유상 구조의 소음 투과 손실을 해석하고 시험 결과와 비교하여 서로 유사함을 알 수 있었다.

가진 시험에서 시험 조건의 변화가 시험 결과 값에 큰 영향을 미치기 때문에 접촉, 온도 등의 조건들을 일정하게 유지시키는 것이 필요하다. 또한 시험 장치에서 데이터를 얻고자 하는 상하 방향 이외의 좌우 방향의 진동이 생길 수가 있으므로 이를 방지하는 요소가 필요하다.

통계적 해석 기법을 이용하여 해석 시 간단한 모델링을 통하여 시험치에 근접한 해석 값을 구할 수 있지만 모델링 시 프로그램 내에 있는 구성 요소를 이용해야 하는 단점으로 인하여 플로어의 단부 구조를 정확하게 모델링 하기 힘들며 또한 방진 고무는 플로어 전 부분에 고무 분포되어 있지만 본 논문에서는 플로어 테두리에만 모델링 하고 시험으로 구한 동특성 치에 그 부분을 반영하여 프로그램에 입력하였으며 이로 인하여 시험치와 해석값에 차이가 나타난 것으로 사료된다.

이러한 결과를 바탕으로 앞으로는 상구조의 구성요소, 두께 등 여러 조건들을 변경해 보면서 소음, 진동 투과 손실 성능이 뛰어난 부유상 구조의 설계를 연구할 계획이다.

### 참고문헌

1. ISO 10846-1(1<sup>st</sup> Edition) Acoustics and vibration Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements- part1 : principles and guidelines
2. D.J.Thompson "Development of the indirect method for measuring the high frequency dynamic stiffness of resilient elements", Journal of Sound and vibration, 1998, 213(1), 169-188
3. T. Pritz "Transfer function method for investigating the complex modulus of acoustic materials : spring like specimen", Journal of Sound and Vibration, 1980, 72(3), pp. 317-341
4. AutoSEA2 (ver 2003) User's Guide, ESI software