

SEA 기법을 이용한 부유상구조의 구조기인 소음 예측

Prediction of Structure-Borne Noise for Floating Floor Using SEA

박희준* 우관제**
Park, Hee-Jun Woo, Kwan-Je

ABSTRACT

Floating floors, which are mainly used for reducing interior noise levels of railway vehicle, are known to be superior to single structure in respect to sound transmission loss and vibration reduction performances. The stiffness of isolator is one of the important design variables in floating floors. From modal tests, modal properties of underframe, top floor and isolators are derived. They are used as input parameters for predicting structure-borne noise using AUTOSEA.

1. 서론

철도 차량의 개활지 주행 시 실내소음에 가장 큰 영향을 미치는 것은 바닥(floor)의 진동에 의한 구조기인 소음이다[1]. 실내소음을 저감하기 위하여 부유상 구조(floating floor)를 주로 이용하는데 이는 차음체의 무게 대비 차음성과 진동절연 성능이 단일 구조보다 우수한 것으로 알려져 왔다. 부유상 구조에서 주요한 설계변수의 하나인 진동절연체(isolator)의 강성에 의해 진동 절연 성능이 변하게 된다. 모드시험을 통하여 하부프레임, 상판 구조, 진동절연체의 모드 특성을 구하고 이를 바탕으로 상용 프로그램인 AUTOSEA를 이용하여 상구조의 구조기인 소음을 예측하였다[2,3].

2. 본론

2.1 진동절연체의 특성 평가를 위한 가진 시험

부유상구조(floating floor)의 상판구조와 하부 프레임 사이에 삽입되는 진동절연체의 특성을 시험적으로 구하기 위하여 특성이 다른 2개의 샘플을 정하고, 예하중을 가하여 모드시험을 진행하였다. 그림 1은 시험장치를 간략하게 나타내며 시험에 사용된 장비, 시험의 종류와 크기, 예하중 등을 표 2에 정리 하였다.

* (주)로템, 응용기술연구팀, 비회원

E-mail : hjpark@rotem.co.kr

TEL : (031)460-1293 FAX : (031)460-1780

** (주)로템, 응용기술연구팀, 회원

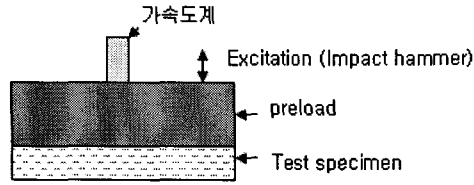


그림 1. 시험 장치의 단면도

Analyzer	B&K Pulse
Excitation	Impact hammer(B&K)
Specimen	Soft type : 80mm*40mm*9mm
	Hard type : 80mm*40mm*14mm
Preload	2045g

표 1. 시험에 사용된 장비와 시편의 구성

시험장치를 그림 1과 같이 구성한 후 임팩트 헤머를 사용하여 가진 한 후 가속도계의 주파수 응답함수 (Frequency response function)를 통해 구해진 시편의 고유진동수(Natural frequency)를 수식 1을 이용하여 스프링상수(k)를 구하였다[4].

$$k = m \cdot (2\pi f)^2 \quad (1)$$

시험과 계산으로 얻어진 결과는 표 2와 같다.

시편	스프링 상수(k)
Soft type	k_1
Hard type	$14k_1$

표 2. 진동 절연체의 특성

2.2 상판 구조와 하판 프레임의 가진 시험

부유상 구조를 구성하고 있는 상판 구조와 하판 프레임의 주파수 응답함수(Frequency response function)를 구하였다. 그림 2는 시험장치를 간략하게 나타내고 있다.

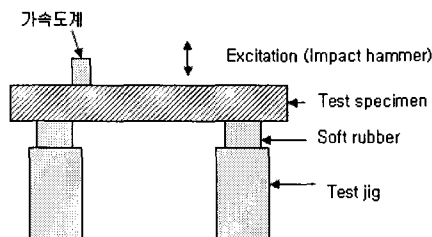


그림 2 시험장치의 단면도

시험장치를 그림 2와 같이 구성한 후 상판구조와 하판프레임을 각각 가진 한 후 상판구조와 하판구조

각 30점에서의 주파수 응답함수(Frequency response function)를 구한 후 수식 2를 이용하여 공간평균을 하였다.

$$\overline{\left(\frac{a}{F}\right)^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{a_i}{F_i}\right)^2 \quad (2)$$

시험과 계산으로 얻어진 상판구조와 하판 프레임의 주파수 응답함수(Frequency response function)는 그림 3과 같다.

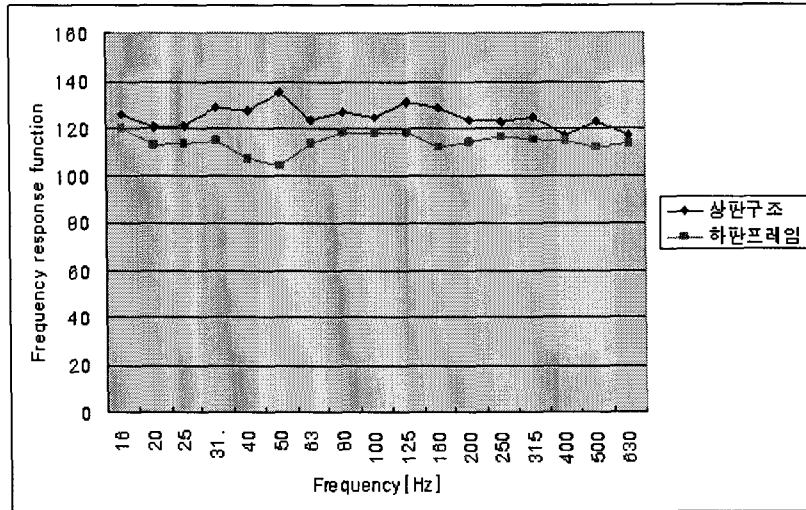


그림 3 상판구조와 하판프레임의 주파수 응답함수

2.3 AUTOSEA를 이용한 상판 구조와 하판 프레임의 위한 모드해석

상용프로그램인 AUTOSEA를 이용하여 상판구조와 하판 프레임의 주파수 응답 특성을 예측하였다. 해석에 사용된 모델은 그림 4와 같다.

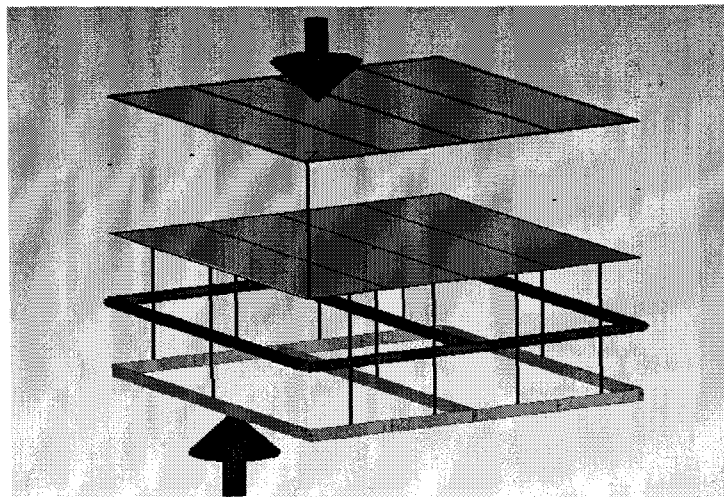


그림 4 상판구조와 하판프레임의 AUTOSEA 모델

상판구조는 Plywood 13mm이고 하판 프레임은 스테인레스 corrugated panel 과 Beam으로 구성되어 있으며 그림 4에서 corrugated panel 과 Beam은 Manual line junction으로 연결되어 있다.

시험과 해석을 비교하기 위해 시험과 같은 위치에 1N의 힘을 추가하였으며, Damping loss factor를 조절하여 2.2에서 구한 시험치와 일치하도록 튜닝하였다.

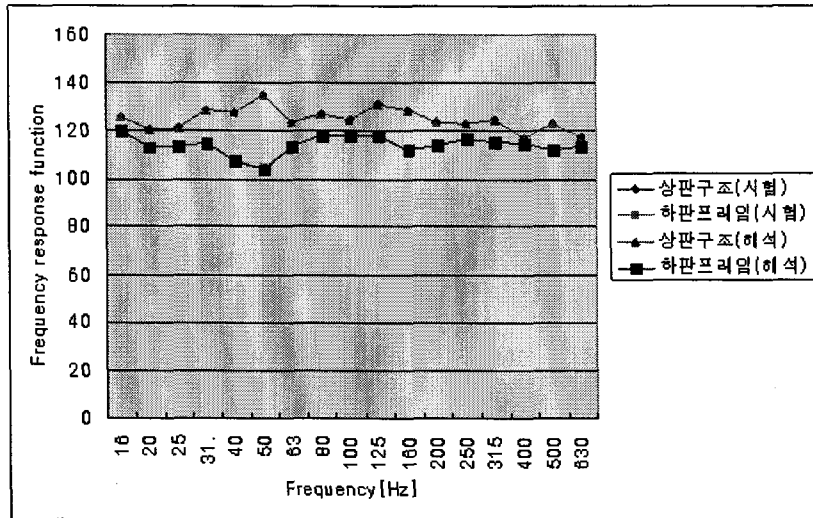


그림 5 상판구조와 하판 프레임의 튜닝 결과

이로써 상판구조와 하판프레임 각각의 AUTOSEA 모델을 완성하였으며 이 둘을 진동절연체로 연결하고 시험으로 구한 진동절연체의 특성값을 입력 하여 각 진동 절연체의 진동절연 효과와 이에 의한 구조기인 소음을 비교했다.

2.4 AUTOSEA를 이용한 부유상구조의 구조기인 소음 해석

2.3에서 완성한 상판구조와 하판 프레임을 그림 6과 같이 연결을 하고 시험에서 구한 진동 절연체의 탄성계수를 입력하여 진동저감량을 비교하였다.

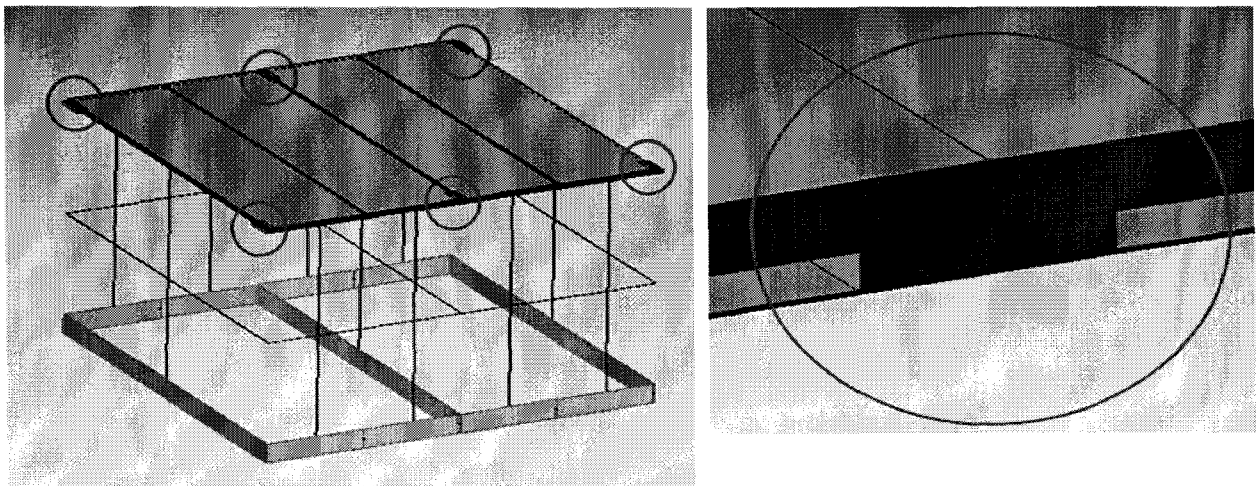


그림 6 부유상 구조의 AUTOSEA 모델

진동절연체 Soft type과 Hard type의 진동저감량을 비교하기 위하여 하판 프레임에 16Hz에서 630Hz

까지 180dB로 일정한 속도레벨을 부가하였으며 그림 7에 각각의 진동저감량을 비교하였다. 예상대로 Soft type의 진동 저감량이 Hard type의 진동 저감량 보다 높게 나오고 있으며 특히 고주파수에서 더욱 효과가 큰 것을 알 수 있다.

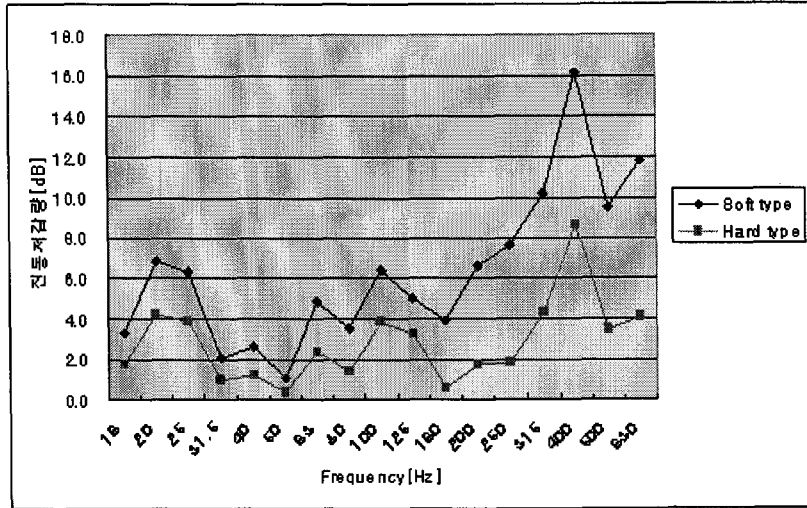


그림 7 진동절연체 Soft type과 Hard type의 진동 저감량 비교

이상의 시험과 해석결과를 이용하여 실차레벨의 구조기인 소음을 예측하기 위해 실제차량이 주행 시 하판프레임의 진동 속도 레벨을 그림 8과 같이 가정하였다.

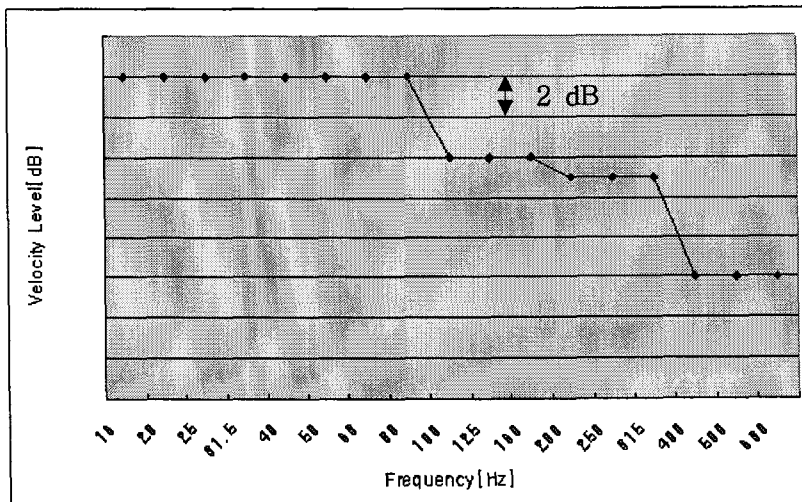


그림 8 실제 차량 하판프레임의 진동 속도 레벨

그림 8의 진동 속도레벨에서 해석으로 구한 각 진동절연체의 진동저감량을 제한 값을 상판의 진동레벨로 입력하여 구조기인 소음을 예측하였다.

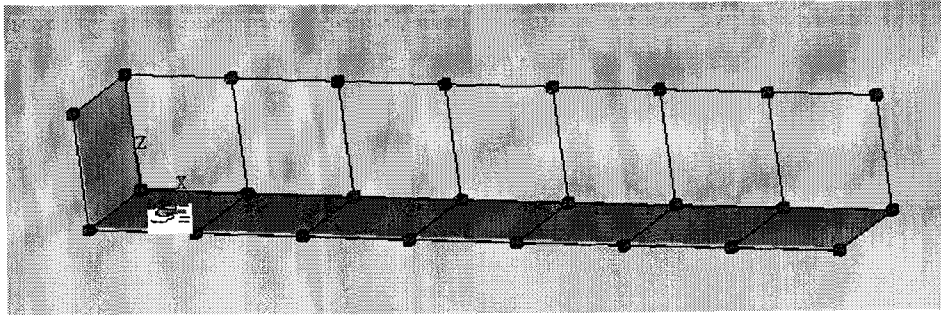


그림 9 부유상구조의 방사소음만을 고려한 실제차량 모델

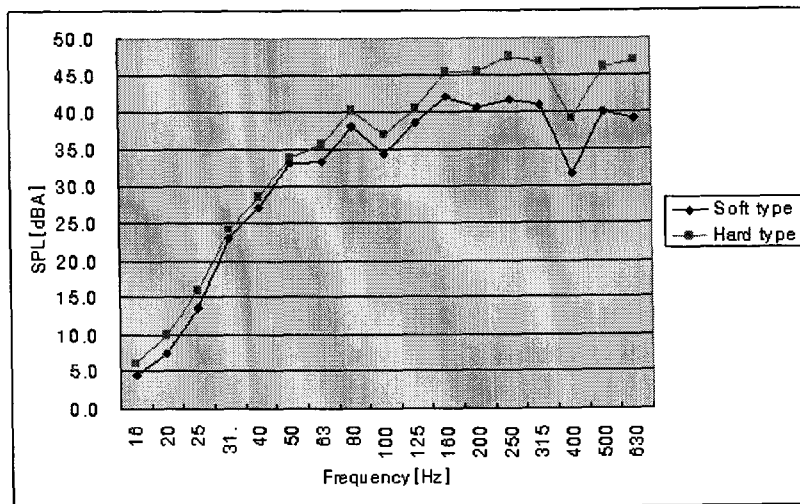


그림 10 진동절연체 Soft type 과 Hard type의 구조기인 소음

그림 10은 진동절연체 Soft type 과 Hard type을 적용한 부유상구조의 구조기인 소음을 예측한 결과이다. 그래프를 보면 저주파에서의 차이는 크지 않지만 고주파로 갈수록 그 차이는 커짐을 알 수 있으며 Overall 값을 비교하면 Soft type이 Hard type 보다 약 5dB의 소음 저감 효과가 있음을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 부유상구조의 구조기인 소음을 예측하기 위하여 두 가지 형태의 진동절연체의 탄성계수를 시험으로 구하였으며 상판구조와 하판프레임의 모드시험값과 해석결과를 튜닝 하여 일치하도록 하였다. 그리고 상판구조와 하판 프레임을 진동 절연체로 연결한 AUTOSEA 해석모델을 통해 각 진동절연체를 적용한 부유상구조의 진동저감량을 해석하였으며, 이를 통해 완성차의 구조기인 소음을 예측하였다. 그 결과 Soft 재질의 진동 절연체를 삽입한 구조가 이 Hard 재질의 진동 절연체를 삽입한 구조보다 약 5dB의 소음 저감 효과가 있음을 알 수 있었다.

이러한 결과를 바탕으로 실제 차량과 목업(Mock up)차량에서 진동저감 해석과 시험을 수행하여 부유상 구조의 구조기인 소음에 관한 연구를 계속 할 계획이다.

참고문헌

1. 우관제, 박희준(2006), “철도차량에서 사용하는 부유상 구조의 진동절연특성에 관한 연구”, 2006한국철도학회 추계학술대회 논문집
2. Richard H. Lyon, Richard G. DeJong(1995), “Theory and application of statistical energy analysis”, Butterworth-Heinemann
3. AutoSEA2 User's Guide, ESI software
4. ISO 10846-1 Acoustics and vibration Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer