

충돌 댐퍼를 이용한 레일 진동 저감 연구

Study on a reduction of railway vibration using impact dampers

양원석[‡] · 안상근* · 고효인** · 박준홍[†]

Junhong Park, Wonseok Yang, Sangkeun Ahn and Hyoin Koh

Key Words : Railway(철도), Impact damper(충돌 댐퍼), Structural vibration(구조진동)

ABSTRACT

This study presents an development of impact damper and its application to reduction of railway vibration from moving roads. The impact damper for reducing trnsverse vibration from moving loads were designed and verified using simple dynamic model. To verify the performance of the impact damper, the vibration of a simplified beam with the impact damper was measured. The performance on reducing vibration for different clearance and mass ratio of the damper was investigated. The numerical solutions were verified using the experimental results from a simplified beam. The result can be utilized to reduce the rolling noise from high-speed trains.

2. 1자유도 시스템을 이용한 충돌 댐퍼 해석

1. 서 론

최근 고속열차의 기술이 발전함에 따라 환경소음이 주요한 문제로 나타나고 있다. 철도 소음의 종류로는 전동 소음, 동력소음 그리고 공력소음이 있다. 이 중 전동 소음은 철도 차량의 이동하중이 레일의 표면 조도에 의해서 레일과 차륜이 진동하면서 발생한다.⁽¹⁾

본 연구에서는 전동 소음원 중 하나인 레일의 진동저감을 수행하기 위해서 충돌 댐퍼를 이용하였다. 충돌 댐퍼의 이론적 모델을 만들고, 충돌 댐퍼의 진동 저감 인자를 도출하였다. 또한, 충돌 댐퍼의 개수를 증가하여 충돌 댐퍼의 진동 저감의 영향을 확인하였다. 마지막으로 실험을 통해 수치해석 결과와 비교하였다.

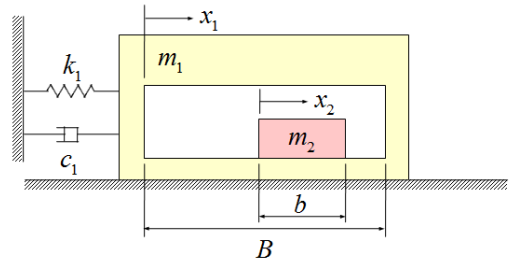


Figure 1 Schematic diagram of model for single unit impact damper

단일 충돌 댐퍼의 1자유도 모델을 표현하기 위해 레일을 질량-감쇠-강성 모델로 가정하였다. 이 때, 충돌조건을 모사하기 위해서 레일과 충돌 댐퍼의 운동량 보존법칙과 반발계수를 이용하였다.⁽²⁾ 충돌이 일어날 때마다 충돌에 의한 초기조건이 바뀌게 된다. 따라서, 이를 손쉽게 계산하기 위해서 4계 Runge-Kutta 방법을 이용하였고, 초기조건이 변경할 때마다 4계 Runge-Kutta 방법을 반복적으로 수행하도록 계산하였다.

충돌 댐퍼가 없을 시에는 감쇠에 의한 진동 저감

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 융합기계공학과
E-mail : parkj@hanyang.ac.kr
Tel : (02)2220-0424 , Fax : (02)2298-4634
‡ 한양대학교 기계공학과
* 한양대학교 융합기계공학과
** 한국철도기술연구원

이 일어났다. 하지만, 충돌 댐퍼가 존재할 경우, 충돌 댐퍼가 없었을 경우보다 더 많은 진동 저감효과가 존재하는 것을 확인하였다. 또한, 충돌 댐퍼의 진동 저감 효과는 레일과 충돌 댐퍼의 질량비와 유격으로 달라지는 것을 알 수 있었다.

3. 유한요소법을 이용한 충돌 댐퍼 해석

3.1 수치해석 모델

레일의 진동을 모델링하기 위해서 유한요소법을 사용하였다. 레일의 진동을 해석하기 위해서 보의 종류 중 하나인 Euler-Bernoulli 보의 요소 질량과 강성 행렬을 이용하였다.⁽³⁾ 요소 질량을 이용하여 노드점 별로 행렬을 조합하면, 전체 질량과 강성 행렬을 얻을 수 있다. 이를 통해 Euler-Bernoulli 보의 파동방정식을 시간에 대한 2차 상미분방정식으로 표현할 수 있다. 시간에 대한 상미분방정식을 4계 Rugge-Kutta 방법을 통해 계산하게 되면, 임의의 힘에 대한 레일의 거동을 예측할 수 있다.

레일과 충돌 댐퍼 사이의 접촉 충돌 조건은 반발계수와 운동량 보존법칙을 연립하여 충돌 행렬을 얻을 수 있다. 충돌이 일어나게 되면, 충돌이 일어나는 노드점에서 초기조건이 변경하게 되고, 새로운 초기조건을 이용하여 4계 Rugge-Kutta 방법을 수행할 수 있도록 계산하였다.

해석 결과, 충돌 댐퍼를 적용했을 때, 레일의 모드 주파수 대역에서 진동 감쇠효과가 발생하는 것을 확인하였다. 또한, 노드점의 위치와 충돌 댐퍼의 개수에 따라 진동 감쇠효과가 달라지는 것을 확인하였다.

3.2 실험을 통한 검증

수치해석 모델의 결과를 실험적으로 검증하기 위해서 레일의 축소모델을 제작하였고, 레일에 체결이 가능할 수 있도록 충돌 댐퍼를 설계하였다. 실험 결과, 충돌 댐퍼로 인해 간이 레일의 모드 주파수 영역에서 진동 저감 효과가 존재했다. 또한, 충돌 댐퍼의 개수가 증가할수록 저감 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 레일에 적용할 수 있는 충돌 댐퍼를 이론적으로 모델링하기 위해서 1자유도 시스템과 보의 유한요소법을 사용하였다. 반발계수를 이용하여 레일과 충돌 댐퍼의 충돌을 모사하였으며, 충돌로 인해 레일의 모드 주파수 대역에서 진동 감쇠효과가 존재하는 것을 확인하였다. 레일의 축소모델과 간이 충돌 댐퍼를 제작하여 측정한 결과, 해석결과와 경향이 유사한 것을 확인하였다. 이러한 연구 결과를 통해 실제 레일의 소음을 저감하기 위한 충돌 댐퍼의 설계가 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(13 RTRP-B069115-01-0000)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Jang, S. H. and Ryue, J. S., 2013, Study on the Rolling Noise Model Using an Analysis of Wheel and Rail Vibration Characteristics, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 3, pp. 175~182.
- (2) Masri SF., 1970, General motion of impact dampers, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 47, No. 1, pp. 229~237.
- (3) Logan, L., 2011, A First Course in the Finite Element Method, Thomson, Platteville.