

레일 진동모드 해석을 통한 레일 웹댐퍼 형상 검토에 관한 연구

Study on the Shape Review of Rail Web-damper for Simulation of Rail Vibration Mode

김진호† 김경민* 이광도**
Jin-Ho Kim Kyoung-Min Kim Kwang-Do Lee

ABSTRACT

Concrete track to increase R&D compared to the existing gravel track 3dB(A) over the growing problem of noise has been raised. Accordingly, the noise reduction solutions for reducing the vibration of the rail that you want to reduce the noise of the concept is to develop the rail web-damper. For this purpose, first, that occurs while driving the train to simulate the vibration modes of rail vibration part of the main draw for this part of the effective vibration reduction to be made, a review of various shapes to try.

1. 서론

국내, 외 철도궤도구조는 기존의 자갈궤도에서 콘크리트궤도 구조로 부설이 증가되고 있다. 이는 건설 비용의 증가에도 불구하고 유지보수 등 여러 이점을 가지고 있기 때문이다. 그러나 콘크리트 궤도는 자갈궤도에 비하여 음을 반사시키는 특성이 크기 때문에 자갈궤도에 비하여 반사소음이 증가하게 되어 결과적으로 콘크리트궤도에서의 소음발생은 자갈궤도 대비 3dB(A) 이상 증가하는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 콘크리트궤도에서의 소음을 저감시키기 위하여 방사소음의 주원인인 레일 저부 및 복부의 진동을 저감하는 메커니즘의 레일 웹댐퍼에 대한 고찰을 하였다. 이를 위하여 먼저, 진동저감에 유리한 레일 웹댐퍼의 형상을 검토하기 위하여 레일 단면의 진동모드 해석을 수행하였다. 레일의 진동모드 해석을 통하여 주요 진동이 발생하는 부분을 평가하고, 레일의 소음방사와 관련된 진동모드가 집중되어 있는 주파수 대역을 도출하여 소음저감에 효과적인 레일 웹댐퍼의 형상을 검토하였다.

2. 3차원 레일 진동모드 해석

2.1 개요

소음저감에 유리한 레일 웹댐퍼의 형상을 검토하기 위하여 레일단면의 진동모드 해석을 수행하였다. 여기서, 진동모드 해석은 실제 레일을 고려하여 3차원 형상의 레일을 대상으로 하였다.

2.2 레일 형상 및 물성

해석모델에 사용한 레일은 레일의 중량화에 따라 현재 지속적으로 교체되어 사용되고 있는 KS60레일 형상을 선택하였다. 또한, 레일의 기계적 성질은 구성이나 열처리에 따라 조금씩 차이가 있으나 일반적인 레일을 가정하여 해석을 수행하였으며, 레일 물성은 다음 표 1의 Structural Steel을 적용하였다.

† 한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단, 책임연구원
E-mail : ziminpa@krii.re.kr
* 한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단, 주임연구원
** 한국철도시설공단 충청본부 건설처 궤도PM팀, 팀장

표 1. 해석 적용 레일물성

No.	구 분	물성값	
1	Young's Modulus	200	[GPa]
2	Poisson's Ratio	0.3	[-]
3	Density	7850	[kg/m3]

2.3 해석 모델링

해석모델과 메쉬형상은 그림 1과 같고, 유한요소해석을 위한 전체 노드는 132,946개이며, 요소는 69,320개이다.

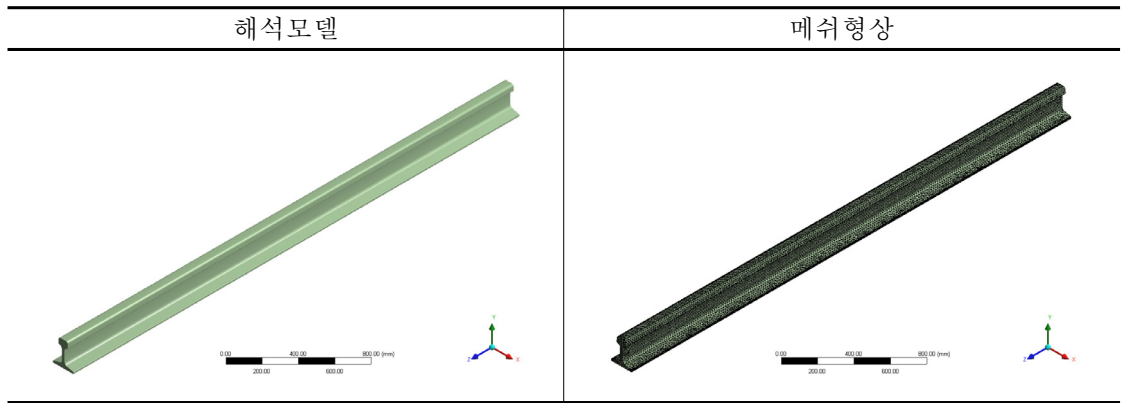


그림 1. 해석모델 및 메쉬형상

2.4 경계조건

일반적으로 철도 레일은 레일패드 등의 탄성재 위에 위치하여 체결장치에 의해 침목과 연결된다. 따라서 그림 2와 같이 6개의 침목간격(625mm)을 고려하여 3,125mm의 유한한 길이를 갖는 레일로 가정하였으며, 이를 모드해석에 적용하였다.

또한 실제 레일의 상태를 해석에 적용하기 위하여 클램프의 체결력인 21kN을 적용하였으며, 침목이 위치하는 각 625mm 간격마다 적용하였다. 또한 레일저부의 레일패드의 탄성을 구속조건으로 입력하기 위해 각 침목위치에 약 0.23MPa의 탄성을 적용하였다.

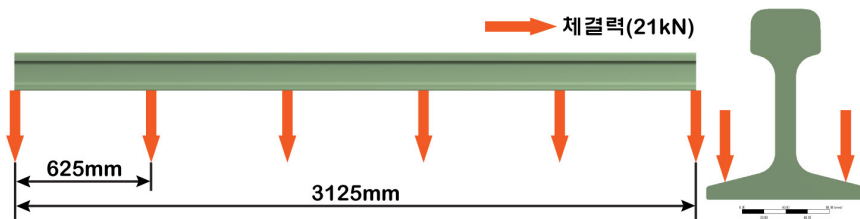


그림 2. 해석모델 경계조건

2.5 해석결과

3차원 진동모드해석의 경우 약 22,000Hz까지 진동모드를 검토하였다. 해석결과 22,000Hz까지 600개의 진동모드가 나타났다. 이들 중에서 레일의 진동을 대표할 수 있으며, 진동변위가 클 것으로 예상되는 모드들을 정리한 결과는 그림 3과 같다.

그림 3을 살펴보면 ②번 모드는 레일 두부의 횡방향 변위를 갖는 것으로 나타났으며 334Hz로 저주파수 대역이다. 나머지 ⑧④, ⑫③, ⑫⑨차 모드의 경우 경계조건이나 모드형상에 따라 약간씩은 차이를 보이나 레일의 두부에 비하여 복부와 저부의 진동이 크게 평가되었다. 또한 레일의 소음방사와 관련된 진동모드는 고주파수 대역에 주로 집중되어 있음을 알 수 있다. 이 해석결과에 의하면 레일의 복부 및 저부에 레일 웹댐퍼를 적용함으로써 진동소음이나 마찰소음(Squeal noise)을 효과적으로 저감할 수 있을 것으로 예상된다.

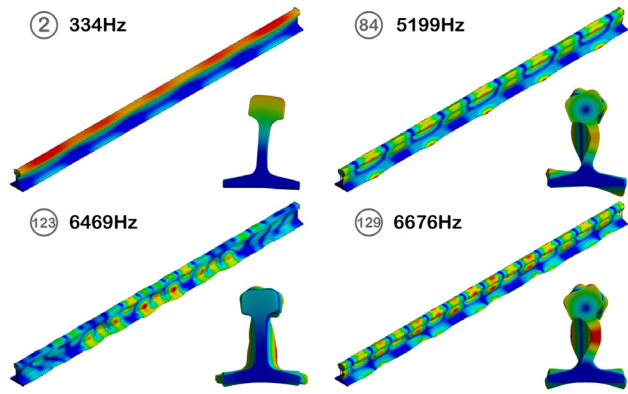


그림 3. 레일의 진동모드 형상

3. 레일 웹댐퍼 형상 검토

진동의 모드형상을 살펴보면 레일의 두부에 비해 복부와 저부에서 진동변위가 클 것으로 예상되며 이는 소음을 유발하는 부위를 가리킨다. 그러므로 웹댐퍼의 형상은 복부 및 저부의 강성을 크게하며, 레일의 중량을 늘려 진동을 줄임으로써 소음을 저감할 수 있는 구조를 가져야 한다.

그림 4는 레일의 복부와 저부의 진동을 저감하고, 그로 인해 소음방사를 줄이기 위한 레일 웹댐퍼의 기본적인 형상이다. 좌측은 레일의 복부의 진동을 주로 저감할 수 있는 구조로서 구조가 간단하고, 재료비를 최소화 할 수 있으며, 레일 웹댐퍼의 부착도 비교적 쉬운 구조이다. 우측의 형상은 레일의 복부뿐 아니라 저부의 진동을 동시에 저감할 수 있는 구조로 복부, 저부의 소음방사를 저감할 수 있는 형상이다.

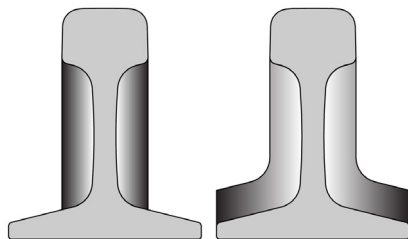


그림 4. 레일 웹댐퍼 기본형상

4. 결론

본 연구에서는 레일에서 발생하는 소음을 저감하기 위한 여러 가지 소음저감장치 중에서 진동을 저감하여 차륜과 레일 간의 접촉에 의해서 발생하는 마찰소음을 저감하는 레일 웹댐퍼를 대상으로 효과적인 소음저감에 적합한 레일 웹댐퍼 형상을 제안하고자 하였으며, 이를 위하여 레일의 3차원 진동모드 해석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) 레일의 진동모드 해석결과 저주파수 대역에서 고주파수 대역까지 골고루 진동모드를 갖는 것으로 나타났다. 또한 진동모드형상을 살펴보면 레일의 두부에 비해 복부 및 저부의 진동변위가 큼을 알 수 있고, 레일 복부와 저부의 진동모드가 복합적으로 발생하는 것으로 나타났다.

2) 레일 웹댐퍼의 소음저감 성능을 최대화하기 위해서는 레일의 복부 및 저부의 진동을 저감할 수 있는 구조를 가져야하며, 레일의 강성 보강 및 감쇠성능 증가를 통해 진동을 저감할 수 있어야 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. (주)태성에스엔이 (2010), ANSYS 활용안내서-유한요소해석입문과 선형해석(6판).
2. Ir. Ph. H. van den Dool(Movares) and ir. R.B. van Aken (Movares), 2006, "Practical experience with rail dampers", ProRail Rail Noise Knowledge Centre.
3. 김경민, "도시철도 곡선구간 콘크리트궤도 진동특성에 관한 연구", 2011 한국철도학회 춘계학술대회, 2011.