

철도차량 곡선부 주행 시 소음방사 인자에 관한 연구

An investigation into the influence of contact parameters on railway curve noise

고효인†·허현무·유원희·조준호*

Hyo - In Koh, Hyun - Moo Hur, Won - Hee You and Joon - Ho Cho

2. 본 론

1. 서 론

차륜과 레일의 접촉, 마찰 시 횡방향과 종방향으로 미끄러지는 속도의 관계에서 발생하는 동역학적 불안정 상태에서 야기된다고 이해되고 있는 스킨 소음을 비롯하여 현재 철도차량의 곡선부 주행 시 발생하는 소음은 그 에너지 범위가 200 Hz에서 10 kHz 이상까지 넓은 주파수 영역에서 발생하나 주로 좁은 밴드내의 강한 톤(tonal) 음으로 나타난다. 두 가지 대표적 유형은 차륜이 마찰하면서 레일상 부면을 횡방향으로 미끄러지면서 발생하는 스틱-슬립 소음과 차륜의 플랜지 부분이 레일과 마찰하여 나타나는 소음이다. 그 유형별로 역학단계에서 근원을 제거하는 기술이 있으며, 방사단계에서 차단하여 방사소음 레벨을 저감하는 기술이 있다. 횡방향 스틱슬립에 의한 소음은 가장 높은 소음레벨을 야기하며, 4-차륜 대차나 2-윤축 차량에서는 전위 내륜에서 통상적으로 나타난다고 알려졌으며, 주파수 영역은 200 Hz~2000 Hz 가 주류를 이룬다. 이 경우 레일보다는 차륜의 고유진동모드에 해당하는 소음이 방사되며, 역학근원을 제거하는 방안으로써 독립차륜이나 조향대차기술이 있으며, 진동의 저감과 위상변화 등을 활용한 방음차륜은 방사 단계에서 저감하는 방안이라 할 수 있다.

본 연구에서는 국내 운행 현황에서 발생하는 곡선부 소음을 역학단계에서 근원을 제거하는 기술로써 능동 조향대차 개발을 목표로 하고 있으며, 제어요소 분석의 일환으로 곡선부 소음 발생에 대한 영향인자 규명연구 내용을 본 논문에서는 다룬다. 현재 국내에서 운행 중인 전동차 차륜의 곡선부 소음을 모니터링 하고, 그 영향인자와 효과를 규명하기 위해 전동차의 주행거동과 그에 따른 차륜과 레일의 접촉인자 및 역학, 차륜과 궤도의 동역학적 특성을 고려하여 곡선부 소음 발생 및 방사에 관한 예측연구를 수행하였다.

2.1 전동차 곡선부 소음 예측방법

곡선부에서의 차량주행역학의 시뮬레이션 결과를 이용하여 차량-궤도 상호역학 관계를 구하고, 주행역학 인자에 해당하는 것은 접촉점에서의 횡변위, 접촉영역의 크기, 크리피지 등과 같은 접촉역학 인자들이다. 차량-궤도 상호역학은 국내 전동차의 윤축과 레일, 궤도특성이 이용되었으며, 이로부터 곡선부 주행으로 인한 소음이 예측되었다.

(1) 차륜과 레일의 접촉

차륜과 레일의 프로파일 정보 및 윤축의 횡변위에 대한 좌우 차륜과 레일의 접촉점을 해석하고 이에 대한 결과를 Hertz 접촉이론에 적용하여 접촉역학에 대한 결과를 계산한다. 결과는 차륜의 반경변화, 접촉 영역에서의 접촉각도와 종방향, 횡방향 위치, 접촉영역 등에 대한 정보이다.

(2) 차량의 주행 역학

차량의 주행역학은 곡선반경이 298 m 인 좌로 굽은 곡선이 포함되어 있는 운행구간에 대한 결과로서 곡선반경과 캔트, 운행속도를 고려하여 크립력, 수직항력, 접촉력이 계산된다. Fig.1 에는 전동차의 소음 모니터링 시 전위 윤축에서 실제로 방사된 소음신호와 주행역학 해석의 산출결과가 나타나 있다.

(3) 곡선부 소음 방사예측 인자

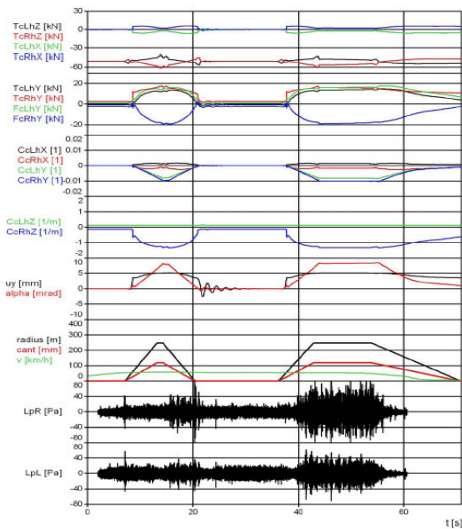
차량시스템 주행역학 산출결과는 곡선부 소음 방사 예측을 수행하기 위한 윤축-궤도 상호역학에 대한 고주파수 역학 시뮬레이션에 이용된다.

곡선 주행 시 전위윤축은 후위윤축의 거동에 비해 곡선의 바깥쪽으로의 횡변위가 크고, 외륜은 플랜지와, 내륜은 차륜 담면과 레일의 접촉이 일어나면서 횡방향 및 종방향 크리피지도 크게 발생한다.

차륜과 레일의 접촉에 의한 소음 방사는 윤축과 궤도의 구조역학, 접촉역학 그리고 차륜과 레일 표면의 거칠기에 의해서 계산한다. Figure 3은 평균 운행 속도 54km/h 의 경우 계산된 곡선부 주행 소음을 나타내며, 전위내륜과 전위 외륜에 의해 방사되는 소음의 스펙트럼을 보여준다. 대체적으로 2000 Hz 까지 내륜이 외륜보다 높은 소음을 방사하며, 100 Hz ~ 500 Hz에서 주요 소음이 방사되고, 800 Hz, 1200 Hz, 2000 Hz에서 추가적인 피크가 나타남을 볼

† 교신저자; 한국철도기술연구원
E-mail : hikoh@krri.re.kr
Tel.:(031) 460-5207, Fax:(031) 460-5279

* 한국철도기술연구원



수 있다.

Fig. 1 Results of vehicle system dynamics and measured sound pressure for the front wheelset at a section with a curve $R= 298m$

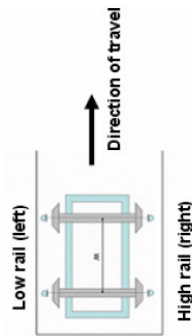


Fig.2. Definition of low(=)inner and high(=)outer rail at a curve

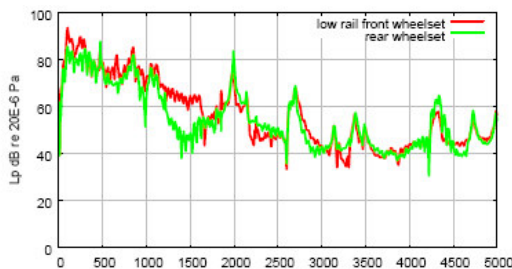


Fig.3. Noise spectra of front and rear wheelset on inner rail at a section with a curve $R=298m$

2.2 전동차 곡선부 소음방사 영향 인자

곡선부 소음 발생의 주요 영향인자와 효과를 알아보기 위해 기준 주행 및 접촉환경을 설정, 이에 대하여 횡방향 크리피지(ν_y), 종방향 크리피지(ν_x), 접촉 마찰계수(μ), 레일의 패드 강성 등을 변화시켜 얻은 결과를 Fig.4 에 나타

냈다. 횡방향 크리피지에 의한 증가소음은 주로 1200 Hz 까지가 주요 영향영역이며, 특히 200 Hz - 500 Hz에서 증가하고, -방향(차륜의 플랜지쪽으로 접촉위치가 이동되는 방향) 크리피지에 의한 소음증가가 확연함을 알 수 있다. 마찰계수 변화를 통해서 저감된 소음영역은 약 1800 Hz 까지이며, 레일패드 강성 변화의 경우 500 Hz 이하에서는 soft 강성의 패드가, 그 이상에서는 hard 강성의 패드가 곡선부 소음을 저감한 예를 볼 수 있다. 그러나 3500Hz 이상에서는 hard 강성이 소음을 증가시키는 인자로 작용함을 또한 볼 수 있다.

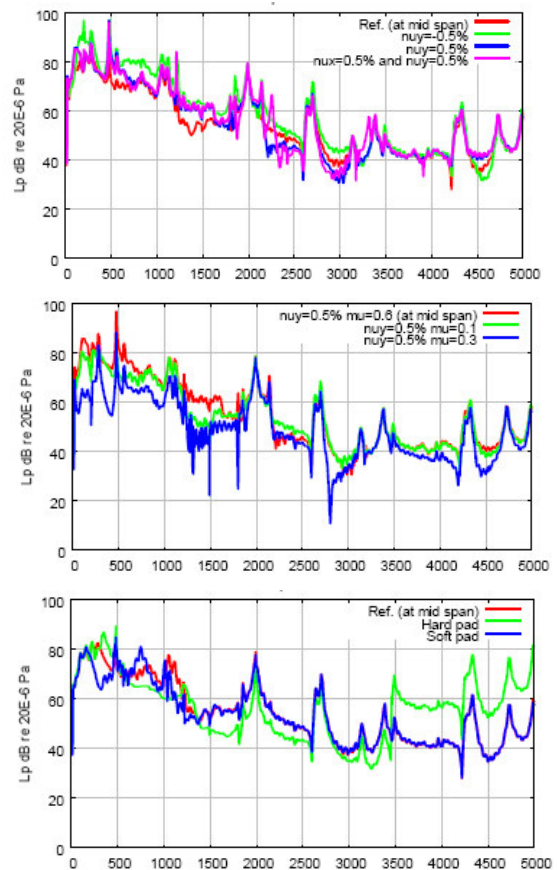


Fig.4. Sound pressure level spectra for a variation of lateral creepage, friction coefficient, rail pad stiffness

3. 결 론

전동차 곡선부 주행 시 소음의 근원이 되는 역학인자들을 효율적으로 제어하기 위해 윤축의 거동과 동역학적 특성, 레일구조 등의 해석결과로 소음방사를 예측할 수 있었으며, 주요한 역학인자의 영향을 검토하기 위한 해석도 수행하였다. 향후 보다 구체적인 영향인자 규명과 저감 인자 설계를 위해서 현실적인 거칠기 등 현장의 주요 소음환경이 반영되어야 할 것이며, 각 영향인자들의 상관관계 또한 검토될 것이다.