

전동차 곡선부소음 예측에 관한 연구

A Study on curve noise prediction of metro trains

고효인† · 박준혁 · 허현무
Hyo-In Koh, Joon-Hyuk Park, Hyun-Moo Hur

1. 서 론

곡선부 소음의 대표적 발생유형은 차륜이 접촉점에서의 마찰로 인하여 레일상부면을 횡방향으로 미끄러지면서 발생하는 200Hz ~ 10kHz 이상에 이르는 스틱-슬립 소음과 차륜의 플랜지 부분이 레일과 마찰하여 10kHz 이상까지 나타나는 플랜지 소음이다. 해외의 연구에 따르면 전자의 경우가 빈도수가 높고, 레벨이 주도적인 것으로 이는 레일 보다는 차륜의 고유진동모드에 해당하는 소음이 방사된다고 알려져 있다. 역학근원의 차원에서 소음을 억제하는 방법으로써 독립차륜이나 조향대차기술이 시도, 적용되고 있으며, 진동의 저감과 위상변화 등을 활용한 방음차륜은 차륜소음의 방사단계에서 저감하는 안이라 할 수 있다.

본 연구에서는 국내 운행하는 제 2 기 지하철 전동차의 곡선부 소음을 역학단계에서 억제하는 기술로서 조향대차를 연구하며, 곡선부에서의 차륜과 레일의 접촉점에서 발생하는 소음요인에 대한 제어인자를 규명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 곡선부 소음모니터링

12개월간 4차에 걸쳐 일부 곡선부 소음과 차륜의 형상을 측정, 비교하였다. 차륜의 소음은 차륜 웹 중앙으로부터 13cm 이격하여 측정하였다 (Figure 1).

2.2 곡선부 소음 발생조건 분석

(1) 주파수 영역 불안정성 예측

주파수 영역에서의 차륜/레일 접촉점에서의 횡방향 크리피지에 의한 불안정성 조건은 Nyquist Stability Criteria[1]



Fig. 1. On-board Wheel noise measurement of metro train at section with curve of R≤301m

$$H(\omega) = \frac{N_0}{V} \frac{\partial \mu(\xi_y)}{\partial \xi_y} Y_y \quad (1)$$

를 이용하여 검증하였다. N_0 는 차륜과 레일 접촉점에서의 내륜에 작용되는 normal force, μ 는 Kraft Equation

$$\mu = \mu_{stat} \left\{ -0.5e^{-0.138/|\mu|} - 0.5e^{-6.9/|\mu|} \right\} \quad (2)$$

을 이용하여 구한 점착계수이며, ξ_y 는 횡방향 크리피지, Y_y 는 차륜의 mobility 이다. 불안정성 판별법은 (1) 의 값의 실수부가 phase 가 0인 지점에서 1 보다 크면 불안정한 영역으로 Figure 2 는 차륜/레일의 횡방향 힘의 가진 시 나타나는 차륜의 횡방향 accelerance 의 주파수 응답곡선이며, 이는 Figure 3 의 불안정성 분석과 거의 일치함을 볼 수 있다. Figure 3 에서는 249Hz, 376Hz, 480Hz, 1233Hz, 1879Hz, 2188Hz에서 횡크리피지의 증가에 따라서 $H(\omega)$ 의 실수부가 큰 폭으로 변하는 것을 볼 수 있으며, 크리피지의 값이 약 0.005부터 불안정해지고, 이 불안정 주파수 영역은 Figure 4 에서 나타나는 실제 곡선부 주행소음의 주된 증가부분임을 확인할 수 있다.

(2) 시간영역 불안정성 예측

곡선부 주행 시에는 매 순간마다 마찰계수와 크리피지, 크립력, 수직력 등의 변화가 있으므로, 시간영역에서의 곡선부 주행여건을 예측하였다. 이에는 순간 마찰계수를 결정하는 Kraft Equation 과 크립력을 계산하기 위한 Polach 식, 14 degree-of-freedom 운동방정식이 활용되어 주행거동

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

* 한국철도기술연구원

을 수치해석적으로 예측하였고, 접촉점에서의 곡선부 발생 주요인자인 횡방향 크립력과 횡방향 크리피지에 대한 고주파수 동역학 예측을 수행하여 접촉점에서의 동역학계의 불안정성이 시작되는 시점과 정량적 조건을 확인하였다 (Figure 5). 이는 또한 Figure 6에서 나타나는 바와 같이 주파수영역에서의 피크위치도 실제 곡선부에서 운행되는 전동차의 주된 소음성분과 유사함을 볼 수 있다.

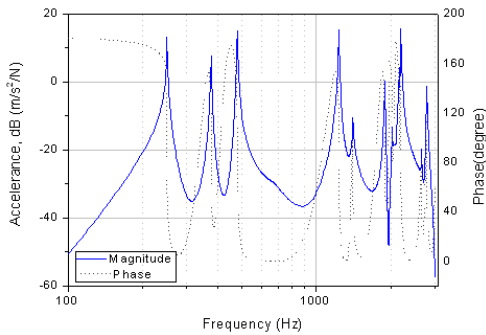


Figure 2. Lateral wheel acceleration at lateral force excitation at contact point

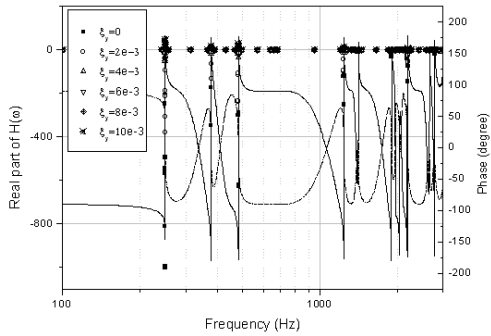


Figure 3. Stability analysis (Open loop transfer function according to lateral creepage)

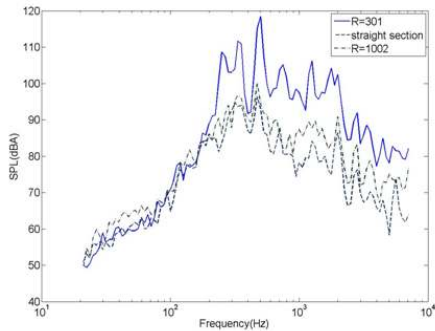


Figure 4. Curve noise measurement at R=301m

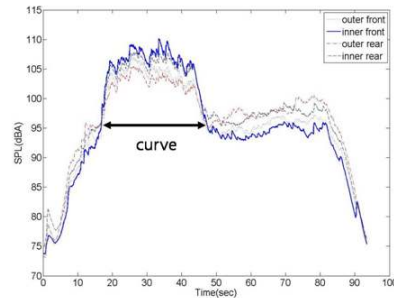
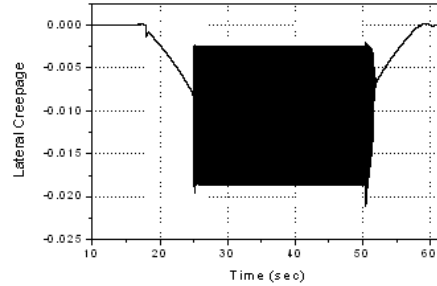


Figure 5. Lateral creepage oscillation of front inner wheel at a curve section R=301m and measured curve noise

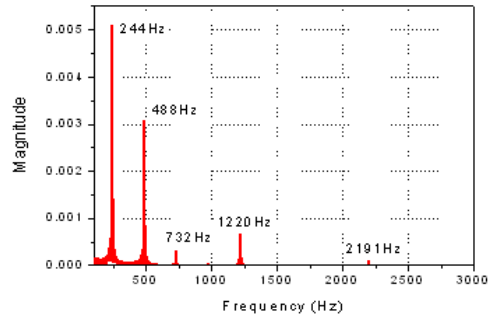


Figure 6. Fast Fourier form lateral creepage oscillation of front inner wheel at a curve section R=301m

4. 결 론

12개월 4차례에 걸쳐 상업운영 현장모니터링 한 곡선부 소음의 결과예를 근간으로 하여 주파수 영역 및 시간영역에서 곡선부 소음이 발생하기 위한 불안정성을 이론적으로 예측하여 측정된 소음의 주파수 성분을 비교하여 검증하였고, 차량의 운행거동을 예측하여 곡선부 소음 발생 주요인인에 대한 고주파 불안정성 발생시점과 요인을 정량적으로 예측할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. S S Hsu et al, Experimental and theoretical investigation of railway wheel squeal, Proc.IMEchE Vol. 221 Part F: J.Rail and Rapid Transit(2007)