

철도소음 저감을 위한 레일 음향 조도 저감 연구

Study on the acoustic roughness of rail for controlling railway noise

장승호† · 정우태* · 고효인* · 홍지영*

Seungho Jang, Wootae Jeong, Hyoin Koh and Jiyoung Hong

에 연관된 음향 조도의 파장은 다음과 같다.

1. 서 론

철도 전동 소음 (rolling noise)은 차륜과 레일 표면의 불균일성에 의하여 가진된 진동이 원인이 되어 발생하며, 철도 소음원들 중 주요한 크기를 가지고 있다. 여기서 소음 발생과 관련한 파장 범위의 불균일성을 음향 조도 (acoustic roughness)라고 한다⁽¹⁾. 선로변 소음의 저감을 위해서는 차륜과 레일의 진동을 저감하여야 하며 발생원인 음향조도를 제어하는 것이 매우 효과적일 수 있다.

본 논문에서는 레일 음향 조도 레벨과 전동 소음과의 상관 관계를 살펴보고 소음 저감 관점에서의 음향 조도 저감 전략을 검토하였다. 또한 국내 철도 차량과 레일에서의 음향 조도 측정 사례를 바탕으로 음향 조도 관리 전략에 대하여 검토하였다.

2. 이론 및 측정

전동 소음원의 경우 음향 조도 레벨에 따라서 선형적으로 변화함이 알려져 있으며, 전동 소음원 강도의 계산식에서도 그러하다. 소음 예측에 있어서도 예측 대상의 음향 조도와 기준 음향 조도의 차이만큼 소음원 파워에 보정을 수행한다.

이때 문제를 복잡하게 하는 것은 음향 조도 레벨이 일반적으로 하나의 값으로 대표되는 것이 아니라 파장의 함수로 표현된다는 것이며, 각각의 파장은 속도와 관련한 소음 발생 주파수와 관련이 있다. 기존의 해석과 측정에서 전동 소음원이 주요한 주파수 대역은 약 500 Hz ~ 4 kHz이다. 해당 주파수 대역

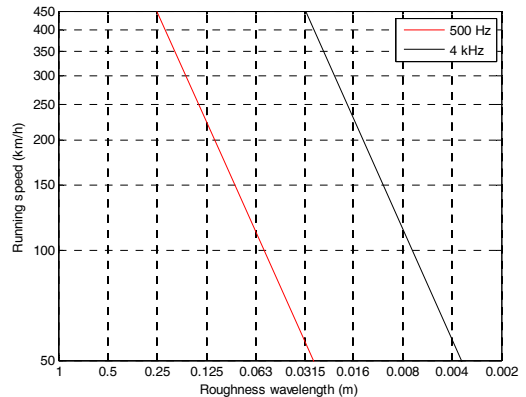


Figure 1 Roughness wavelength range related to the rolling noise

차량의 통과 속도가 커질수록 전동 소음과 연관된 주요 음향 조도의 파장도 길어진다. 따라서 전동 소음이 주요한 주파수 대역과 연관이 되는 음향 조도의 파장 대역에 대해서 음향 조도의 레벨을 비교하고 소음원 강도의 저감을 계획하는 것이 타당하다. 국내 철도 차량의 최고운행 속도는 현재 KTX 최고 영업운전속도인 300 km/h이며, 향후에는 HEMU-430X가 상용화후 목표로 하고 있는 영업운전속도 370 km/h로 전망된다. 약 60 km/h 이하의 속도 대역에서는 전동 소음 성분이 동력 소음 성분보다 작게 되는 영역이다. 따라서 각 속도별로 다르나 위 그림에서 주요한 음향 조도의 파장 대역은 0.005~0.25 m 범위 내에 있게 된다.

차륜과 레일의 진동 및 소음은 차륜과 레일의 음향 조도 스펙트럼 에너지 합으로 영향을 받으며 두 진동에 동일하게 영향을 끼친다. 따라서 철도 전동 소음의 저감을 위해서는 차륜과 레일의 총합 조도에 대해서 검토하여야 한다. 차륜의 조도 $L_{r,wh}(\lambda)$ 와 레일의 조도 레벨 $L_{r,ra}(\lambda)$ 에 대하여 총합 음향 조

† 교신저자; 정회원, 한국철도기술연구원
 E-mail : shjang@krii.re.kr
 Tel : 031.460.5761, Fax : 031.460.4279
 * 한국철도기술연구원

도 $L_{r,tot}(\lambda)$ 는

$$L_{r,tot}(\lambda) = L_{r,ra}(\lambda) \oplus L_{r,wh}(\lambda) \quad (1)$$

이다. 여기서 \oplus 은 에너지 합을 의미한다.

Fig. 2(a)는 기존선 궤도 (자갈 도상)에서 주행하는 화물열차에 대하여 측정한 차륜 및 레일의 총합 유효 조도 측정값을 나타낸 것이다. 측정은 호남선 토공 구간 446KP 지점에서 2012년 10월에 수행되었다. 레일만의 음향 조도를 CAT로 측정하여 분석한 결과는 Fig. 2(b)와 같다. 접촉 필터를 적용하기 전의 음향 조도 스펙트럼과 접촉 필터를 적용한 후의 유효 조도 (effective roughness)를 나타내었다.

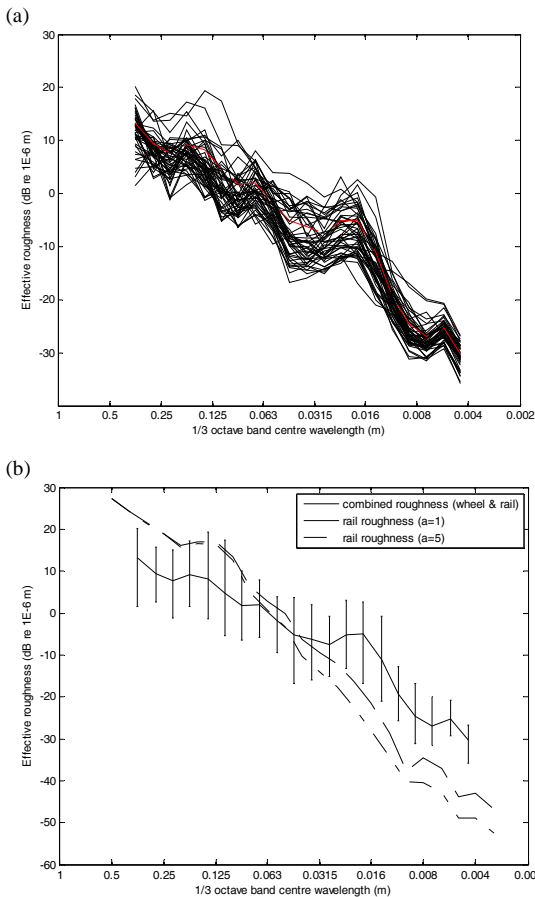


Figure 2 Measured effective roughness levels of a freight train and a ballast track. (a) combined roughness, (b) combined and rail roughness.

차륜/레일 총합 유효 조도의 결과에서는 통과하는 차륜의 조도가 각기 다르며, 지나는 레일 위의 접촉

점 또한 각기 다르므로 측정되는 총합 조도의 값이 다소 큰 편차를 보인다. 또한 레일의 조도만을 CAT를 이용하여 측정한 결과는 차륜이 많이 지나는 레일 위의 지점을 표본으로 하여 측정된 값으로 실제 차륜과 레일의 접촉점이 달라지면 실제 작용되는 유효 조도와 차이가 발생할 수 있다. 차륜과 레일의 총합 조도와 레일만의 조도를 비교한 Fig. 2(b)에서 총합 유효 조도의 측정 시마다의 편차를 error bar로 함께 나타내었다. 약 0.25m보다 작은 파장의 대역 (고주파수 대역)에서 차륜의 조도가 레일의 것보다 다소 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 해당 대역에서의 값을 차륜의 조도 레벨 값으로 여길 수 있다. 레일의 유효 조도가 차륜의 조도 값보다 큰 구간에서는 레일의 조도 영향이 주요하므로 소음 저감을 이루기 위해서는 레일의 조도를 관리하여야 한다. 반면, 차륜의 조도가 유효한 고주파수 대역에서는 차륜의 조도를 관리하여 효율적으로 소음 저감을 이룰 수 있을 것이다.

3. 결 론

철도 전동 소음의 원인이 되는 레일과 차륜의 음향 조도에 대하여 통과 차량의 속도 대역별 주요 파장 범위를 살펴보았다. 기존선 화물열차에 대하여 레일/차륜 총합 유효 조도를 측정하였으며, 레일만의 조도를 측정된 값과 비교 검토하였다. 전동 소음의 저감 전략에서는 관심 주파수 또는 차량 속도에 따라서 적합한 레일과 차륜의 조도 관리 대책을 수립할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 R&D "철도 선로변 지속가능한 저소음화 기술개발" 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Jang, S. and Ryue, J., 2013, Study on the Rolling Noise Model Using an Analysis of Wheel and Rail Vibration Characteristics, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 16, No. 3, pp.175~182.