

# 레일 방사소음 저감 기술 개발 위한 소음특성 연구

## A study on the noise characteristics of rails

고효인† · 장승호\*

Hyo-In Koh, Seung-Ho Jang

### 1. 서 론

설계 및 시공 단계에서부터 저소음궤도구조를 고려하기 위해서는 궤도로부터 방사되는 소음역학과 다른 구조로 전달되는 현상을 이해하고, 최소화할 수 있는 방법론을 도출해야 한다. 이에 는 도상의 구조, 삽입되는 패드, 클립, 침목의 상태, 파상마모 등의 현상 규명도 포함되어야 한다. 레일의 소음을 계산하고 예측하기 위해서는 차륜과의 접촉 주행 시에 인가되는 접촉력과 그에 따른 진동, 변형 등이 고찰되어야 하므로 우선은 차륜과 레일에 의한 소음발생 역학을 계산하는 모델을 활용한다. 가장 널리 참조되고, 사용되고 있는 이러한 종류의 모델은 Remington과 Thompson 에 의하여 구축되기 시작하였고, 이는 선형적 시불변 모델이며(linear time-invariant model), 주파수 영역에서의 결과를 도출한다. 한편 그 외에 비선형성 그리고 위치에 따른 레일과 접촉 동적응답(receptance)의 변형, 변화를 고려하여 차륜과 레일에 의한 소음을 계산하는 모델도 도출되었다. 차륜 및 차량의 시스템과 구조적으로 공진되어 실내소음에 영향을 미치는 비교적 저주파수 영역의 레일지지 및 침목구조 관련 소음(예. <500Hz)이 주요 관심사이거나, 파상마모가 심한 레일에 의한 소음문제가 주요 관심사가 되거나 혹은 차륜에 의한 진동을 포함한 고주파수(예. >3kHz) 까지 관심사의 대상이 된다면 이산지지(discrete support), 침목간격에 의한 구조진동, 비선형 강성 등이 포함된 모델을 활용해야 한다는 연구 결과도 발표되었다[1]. 레일의 소음은 궤도의 구조와

상태에 의존하고, 레일과 차륜의 표면의 - 랜덤한 값을 갖는 - 음향조도의 성장 상태와 패드의 물성적 변형 등에 의하여 그 결과가 상당히 좌우되므로, 각국의 궤도와 레일, 문체의 대상이 되는 구체적인 궤도시스템을 모델링하고, 측정하고 최적의 계산, 설계 방법을 도출하는 것이 가장 합리적인 것으로 판단된다. 또한 레일에 의한 환경소음이 문제가 되는 지, 궤도로부터 차량으로 구조적으로 혹은 교량, 지반으로 전달 방사되는 소음이 문제가 되는 지 등 해결하고자 하는 현안이 상이하기 때문이다. “철도 소음진동 저감기술 개발” 연구단 과제에서는 국내의 다양한 궤도시스템에 대한 소음방사문제를 계산하고, 경우별로 음향적 현안을 다루어 소음을 저감하기 위하여 그간 자체적으로 연구 개발되어 온 차륜/레일 소음방사 모델을 기반으로 최적의 계산 및 설계 방법을 도출하고자 한다. 본 논문에서는 연구원에서 개발된 소음원 규명기술과 예측모델 기술을 활용하여 레일소음의 기여도와 현안을 고찰하고자 하였다.

### 2. 레일소음의 특성

#### 2.1 레일소음 측정 및 예측 결과

레일의 소음을 별도로 측정하거나, 측정된 소음레벨정보를 통하여 레일의 소음만을 추출하거나 하는 것은 용이하지 않다. Figure 1은 한국철도기술연구원에서 개발한 144채널 마이크로폰 어레이 측정/분석 시스템을 이용하여 시속 280km/h 로 통과하는 열차의 소음원 위치와 특성을 규명하기 위하여 시험하고 분석한 결과의 한 예이다. 가장 상단의 결과는 열차가 측정시스템의 정면을 통과하기 이전에 멀리서 접근해 오는 시각에 측정지점에서 측정된 레일의 소음방사 특성을 나타내었다. 아직 차량이 진입하지 않았지만 멀리서 주행 중인 차량으로 인해 레일이 진동하면서 소리가 방사되어 직접 귀로 그 주파수대

† 교신저자; 정회원, 한국철도기술연구원

E-mail : hikoh@krri.re.kr

Tel : 031-460-5207, Fax : 031-460-5279

\* 한국철도기술연구원

역의 음을 들을 수 있다. 가운데의 소음원 그림은 역시 같은 주파수 대역인 1600Hz 에서의 가장 두드러진 소음원의 위치를 나타낸 것으로써 그 위치가 레일근방임을 알아볼 수 있다. 가장 하단의 그림은 500Hz 에서의 가장 두드러진 소음원을 표시한 것으로써 이 주파수 영역에서는 차륜의 높이영역까지 포함하는 위치에서 가장 큰 소음이 발생함을 관찰할 수 있다.

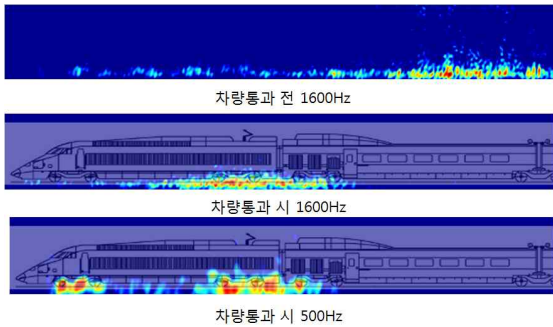


Figure 1. Noise radiation map of the train with the train speed of 280km/h[2]

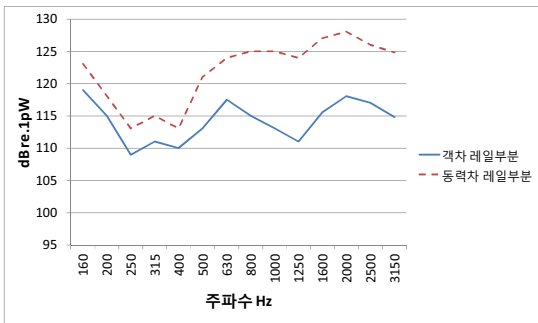


Figure 2. Calculated sound power level from the sound pressure values measured with a microphone array (train speed of 280km/h)

Figure 2 는 마이크로폰레이로부터 측정된 각 센서에서의 음압으로부터 신호처리를 통하여 레일위치 영역의 주파수별 음향과위 분포를 계산한 값을 나타낸다. 객차의 레일영역과 동력차의 레일영역에서 방하되는 소음과위는 유사한 주파수 특성을 보이나, 특히 500Hz 이상에서는 상당한 레벨차이를 보인다. 이는 Figure 3 에서도 볼 수 있듯이 동력차량과 뒤따르는 객차 차량의 대차 위치에서의 레일의 진동 가속도 값이 특히 500Hz ~ 600Hz 이상에서 큰 차

이를 보이는 것과 밀접하다고 판단된다. Figure 4에서 차륜/레일 접촉주행으로 인한 전동소음의 각 구성요소 - 차륜, 레일, 침목 - 별로 방사되는 음향과위를 계산한 결과를 보여주듯이 500Hz 와 600Hz 부터는 레일로부터 방사되는 소음과위가 차륜이나 침목으로부터 방사되는 소음과위보다 현격하게 높고, 2kHz 정도까지 가장 소음을 높게 방사하는 것을 볼 수 있다.

> 레일 진동 가속도: KTX (속도 293 km/h)

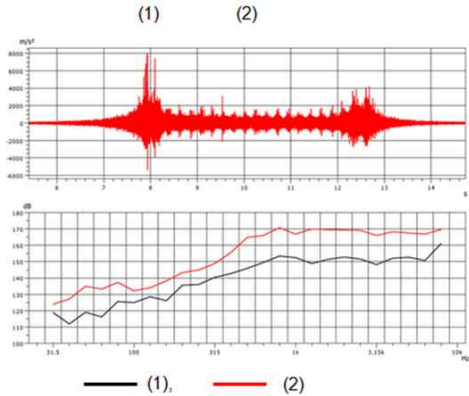


Figure 3. Measured vibratory acceleration values vs. time and frequencies

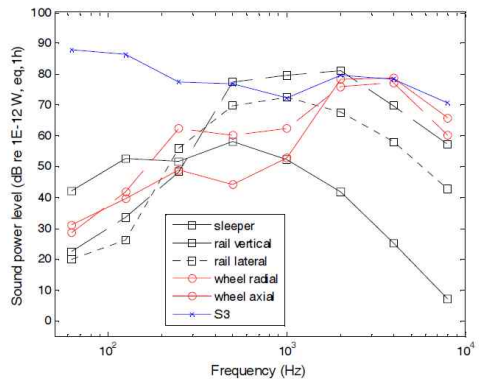


Figure 4. Predicted sound power level (eq. 1h) of wheel/track rolling noise of a train at the train speed of 300km/h (ballast track)[3]

2.2 레일소음 방사 관련 영향인자

앞에서 국내의 고속철도의 예로 보았듯이 고속철도의 경우 공기중으로 방사되는 레일소음은 500Hz 이상 3kHz 이하의 영역에서 다른 방사체 - 차륜 혹

은 침묵 등 - 보다 주요한 소음원으로 작용함을 볼 수 있었다. 이는 음향방사 크기의 주요한 요소인 레일의 진동과 연관이 있으며, 궤도의 구조에서 기인하는 레일의 감쇠율, 레일, 차륜, 접촉영역의 동적변위, 음향조도 등에 의하여 결정된다.

### 3. 요약

국내의 슬라브도상, 자갈도상의 소음현안에 부합하여 소음저감설계 및 저감장치와 저감구조를 개발할 수 있는 합리적인 소음계산 및 영향인자 규명 모델을 현 모델과 더불어 발전시키고자 하며, 그의 한 예로 고속철도의 통과소음 측정 및 분석결과와 소음원 기여도 기술을 이용한 분석결과를 통하여 레일소음의 특성을 고찰하였다.

### 후 기

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 “철도 소음 진동 저감기술 개발:” 연구단 과제의 “철도 선로변 지속가능 저소음화 기술 개발” 의 일환으로 작성되었으며 관련자들에게 감사드립니다.

### 참고문헌

1. A.Nordborg, Wheel/rail noise generation due to nonlinear effects and parametric excitation, JASA 111(4) (2002)
2. 고효인 외 400km/h 고속철도 소음원 규명 및 기여도 분석기술 개발, 한국철도기술연구원(2013)
3. 장승호, 고효인, 박병주, 소음원 주파수 특성을 고려한 철도소음 예측모델 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집 (2013)