

레일 조도가 차륜-레일 접촉 소음에 미치는 영향

Study on the Effect of Rail Roughness in Wheel-Rail Contact Noise

이찬우† 김대상*
Chan-Woo Lee Dae-Sang Kim

ABSTRACT

The surface roughness of wheels and rails are known to be major contributory factors in wheel-rail rolling noise. Generally, the rail roughness was greater than the wheel roughness. Generally, rolling noise sizes and noise level in compliance with wheel/rail roughness almost are reported with the fact that is similar. Rolling noise important factors rightly being in compliance with roughness of contact point regions of the wheel/the rail, presented from the present paper.

1. 서론

점착식 철도차량은 레일 위를 차륜이 구르면서 필연적으로 소음과 진동을 유발하게 된다. 차륜-레일 접촉에 의한 소음은 차륜이 레일 위를 달리면서 레일 두부의 조도와 차륜 답면 조도 차이에 의한 소음·진동 크기가 다르게 나타난다. 차륜 답면의 조도는 차륜-레일 접촉에 의한 차륜/레일 상호 마모 작용에 따른 미세입자와 이물질의 차륜 답면 부착에 의한 사유가 가장 크다. 또한 레일 두부의 조도도 차륜과 마찬가지로 차륜-레일 접촉 마모에 의한 미세입자 탈락 일부가 레일 두부에 부착 또는 이물질이 레일 두부에 있는 상태로 차량이 통과하게 되면 차륜-레일 접촉 부위에 미세 흠집이 발생하게 된다. 이에 따라 레일 답면 위의 차륜-레일 접촉에 의한 미세 마모입자 부착 부위 통과 시 레일 두부의 이상 마모 내지는 흠집이 발생하게 된다. 레일의 불규칙도와 레일 두부의 조도에 의한 소음 발생의 차이는 선로노반 특성에 차이가 발생할 수 있지만, 매우 큰 차이가 나고 있음을 많은 연구를 통해 제시해 주고 있다. 본 연구에서는 레일 조도가 차륜-레일 상호 작용에 의한 전동 소음에 미치는 영향과 소음 특성을 살펴보고자 한다.

2. 차륜-레일 조도와 전동 소음과의 관계

레일의 표면조도(surface roughness)는 레일의 마모 및 피로 손상에 대한 을 주요 인자로 차륜-레일 상호 트라이볼로지(tribology) 측면에서 매우 중요하다. 레일의 표면조도가 일정하더라도 탄성 모델에서 국부적으로 매우 이상할 정도의 큰 접촉 응력이 작용하여 탄성 영역 초과하는 현상이 발생하게 된다. 이는 차량이 동적거동 시 차륜-레일 접촉 기하학적 특성이 변함에 따라 발생하게 되는데, 이로 인하여 레일 초기 미세 크랙이 발생하게 되어 차량의 해당 부위를 지속적인 통과함으로써 손상 부위의 미세 크랙이 진전되어 RCF를 일으키게 된다. 이로 인하여 레일 두부의 손상 부위를 통과할 시 순간적으로 차량의 소음·진동을 크게 나타내게 되는 특성을 갖게 된다. 그림 1은 차륜-레일 조도에 의한 차륜/레일

† 책임저자 : 이찬우, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실
E-mail : cwlee@krti.re.kr
TEL : (031)460-5204 FAX : (031)460-5814
* 정회원 : 김대상, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실

수직 진동에 따라 발생하는 전동 소음 발생 과정을 보여주고 있다.

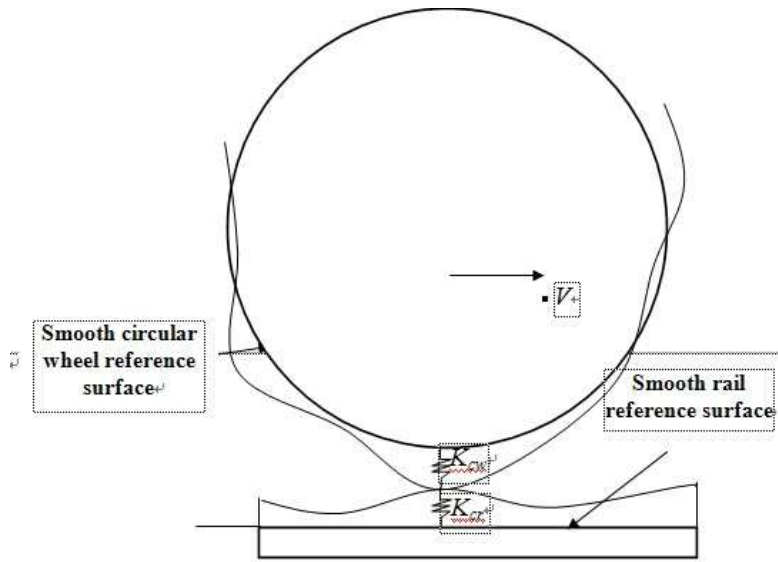


그림 1. 차륜-레일 상호작용에 의한 전동 소음 발생과정⁽¹⁾

그림 2는 일본 JR 미터게이지 철도에서의 레일 조도에 의한 전동 소음 영향을 보기 위하여 레일 두부의 그라인딩 전후에 따른 차륜-레일 전동 소음과 레일 조도와 관계 보여 주고 있다. 도에 의한 소음 레벨 특성을 보여주고 있다. 여기에서는 전동소음 크기와 차륜/레일 조도에 의한 소음 레벨이 거의 유사함을 보여주고 있다. 이는 전동소음의 주요 지배인자는 바로 차륜/레일의 접촉부위의 조도에 의한 것임을 알 수 있다.⁽²⁾

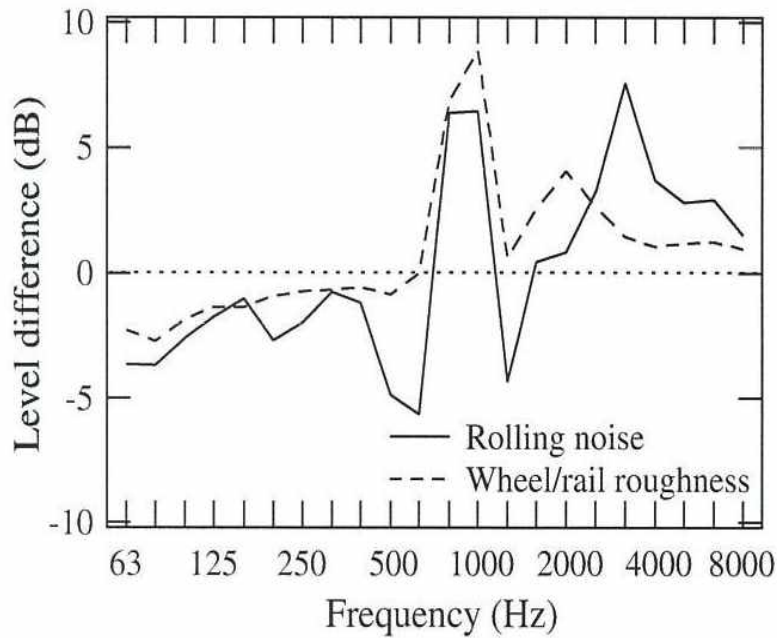


그림 2 차륜-레일 조도와 전동소음 관계

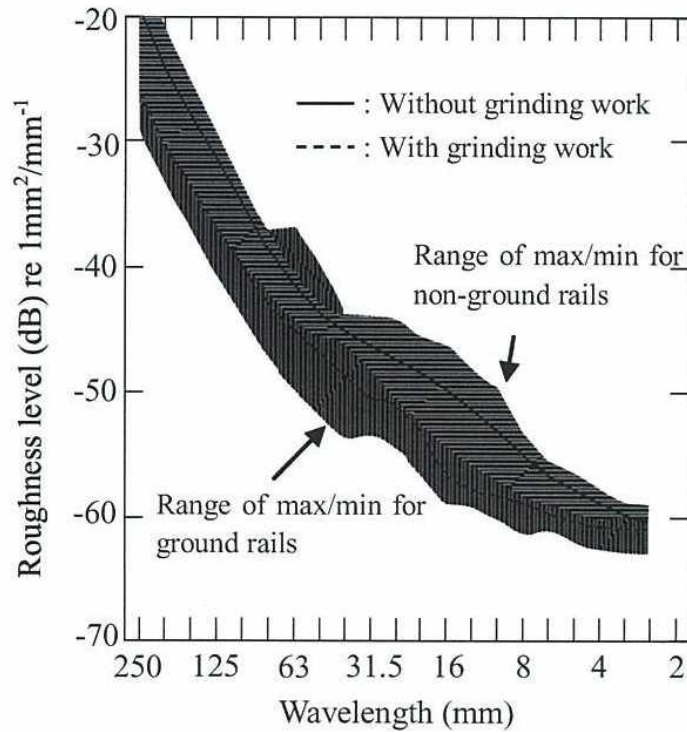


그림 3 레일 두부의 그라인딩 유무에 따른 소음 레벨 차이

레일 두부의 표면 조도에 의한 소음 레벨 값은 그라인딩 유무에 따라 약 ± 5 dBA 차이가 나는 것으로 보고되고 있다. 이에 대한 것이 그림 3에서 보여주고 있다. 이와 같이 차륜-레일 접촉부의 표면 조도가 소음·진동에 대한 가장 지배적인 특성 값을 가지고 있으므로 표면 조도에 대한 측정 기법관련 기준이 유럽에서 제시되었다. 2002년 제시된 고속철도차량에 대한 내부운용 기술사양(TSI)에서는 prEN ISO3095를 적용토록 하였다. 여기에서는 시험선에서의 차륜 방사소음 측정 시 레일 표면 조도가 특정 값 이하가 되도록 제시하였다. 표면 조도 측정 목적은 적어도 다음 네 가지 적용 시 요구되어 진다.

첫 번째 시험선(시험열차)의 레일(차륜)의 조도. 예를 들면 소음방사 측정, 소음측정 효과 연구, 인증 시험(type test) 측정 제공

두 번째 레일 표면 조도에 따른 그라인딩 작업의 유효성

세 번째 레일에서의 주기소음(harmonoise) 예측 모델 입력 값

네 번째 표면조도 성장의 모니터링

특히 두 번째와 네 번째는 궤도 유지관리 전문가에게 꼭 필요한 사항으로 10mm에서 1,000mm 까지를 네 가지 범위로 구분하여 표면조도를 진폭 값(mm 또는 μm)으로 관리하는 것이고, 철도소음 전문가에게는 첫 번째 세 번째 그리고 네 번째에 대하여 $1\mu\text{m}$ RMS 진폭, 파장 길이를 31.5cm에서부터 0.5cm이하로 감소시켜 가면서 1/3 옥타브로 처리하는 것이 필요하다. 표면조도 측정은 여러 가지 방법이 있지만, 크게 직접 측정법과 간접 측정법으로 나눌 수 있다. 직접 측정법은 1990년대 이후 사업적인 측정 장비에 의한 레일/차륜 표면을 직접 스캔하는 방식이다. 대부분 사용하는 시스템은 변위 변환기 또는 가속도 센서를 레일 또는 차륜 표면에 접촉하여 얻는 방식이다. 두 번째로 간접적인 방식으로는 레일과 차륜의 전체 유효 조도를 측정 순서에 따라 구하는 것이다. 간접 측정은 주행하는 차량의 차축박스에 가속도계 또는 마이크로폰을 설치하거나 시험선 구간을 열차가 통과할 시 레일 진동을 측정하여 얻는 방식이다. 직접 방식은 레일과 차륜의 조도가 독립적으로 측정할 수 있는데 비해, 간접적인 방식은 레일과 차륜을 분리 처리할 수가 없다.

KRRI에서는 레이저에 의한 비접촉 측정에 의하여 지정 구간의 레일 두부 표면 형상을 측정하고 2차원 단면(2D Profile)과 레일 표면의 조도를 스캔하여 측정하는 휴대형 장비를 개발 하였다. 현재 개발된 장비의 개념도는 그림 4와 같다. 본 시험기는 레일의 상부에 거치하여 지정구간인 300mm의 레일 두부 전면을 스캔하여 레일 두부의 조도를 측정 할 수 있도록 되어 있음. 본 장비의 측정 정밀도는 Servo Motor & Linear Motion Guide 반복 정밀도가 30 μ m이고 Laser Scanner 측정 정밀도는 10 μ m이다. 또한 측정 속도는 사용자 지정 가변 속도로 3 mm/sec ~ 30 mm/sec로 되어 있다. 본 장비를 통하여 레일 두부의 조도를 측정한 후 레일 마모량에 따른 레일 조도 변화에 따라 차륜-레일 방사 소음을 측정 함으로써 향후 고속선 및 기존선 구간에서의 레일 조도에 따른 차륜-레일 방사 소음 특성을 예측하고 레일 형상 관리 및 차륜-레일 방사 소음 과대로 인한 영향도 평가를 예측 할 수 있도록 분비하고 있다.

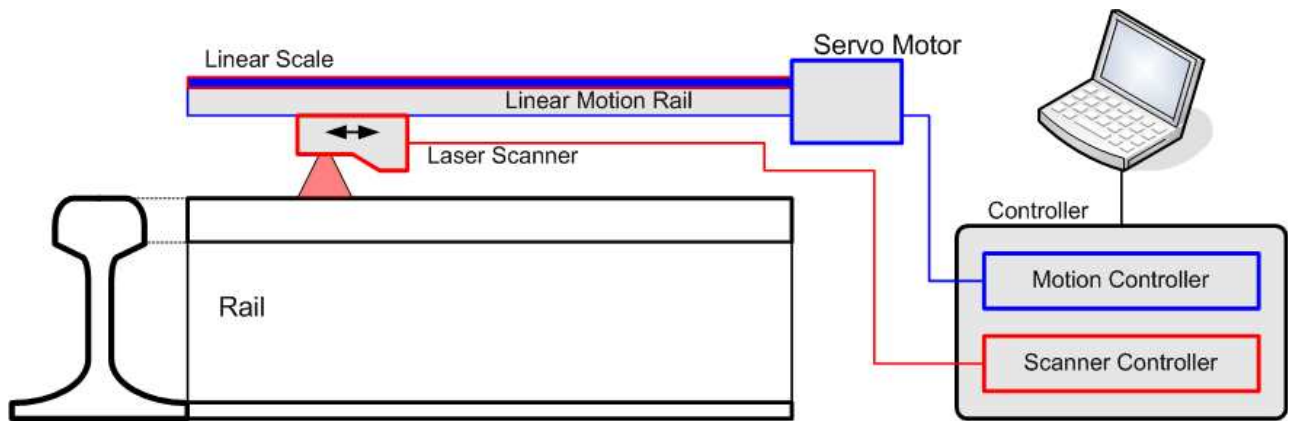


그림4 KRRI에서 개발한 레일 스캐너

3. 결론

본 연구에서는 차륜-레일 접촉 소음에 있어서의 레일 조도에 영향을 살펴보았다. 실제 레일 조도가 차륜-레일 접촉 소음에 있어서 매우 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 또한 KRRI에서 개발 한 레일 스캐너를 통해 실제 철도노선에서의 레일 조도를 스캔하여 차륜-레일 접촉 소음을 보다 더 정확하게 확인 할 수 있는 기반을 구축하였다. 향후 KRRI에서 개발한 레일 스캐너를 통해 레일 마모 특성에 따른 차륜-레일 접촉 소음 등을 확장하여 시험할 수 있도록 토대를 구축하였다.

참고문헌

1. 김재철, 유원희, 한기홍, 문경호, 권석진, “차륜/레일의 진동음 저감 방안 연구”, 한국철도기술연구원, pp. 39-42, 1999
2. Toshiki Kitagawa, “The influence of wheel and track parameters on rolling noise,” QR of RTRI , Vol. 50, No. 1, pp.32-38, 2009.