

# 철도 전동소음 규명과 저감을 위한 측정기술

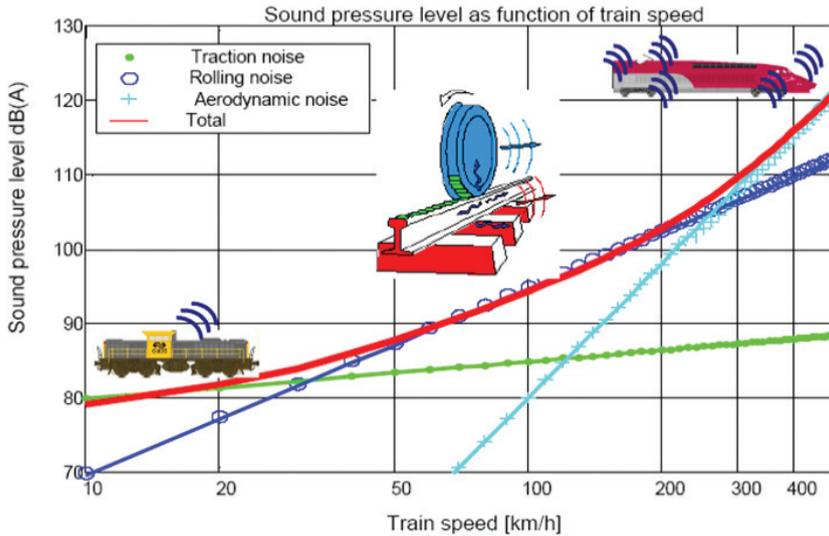
철도시스템의 특성에 기인하는 전동소음 현상을 규명하고 저감하기 위한 원리를 기술하고, 관련된 측정기술을 소개하고자 한다.

시끄럽다기보다는 정겨운 느낌에 가까운 기존의 '기차길 소리'를 우리는 더 이상 많이 들을 수 없다. 철도가 고속화되고, 레일은 용접 대신 장대화되어 가면서 기계소음이건 충격소음이건 구름소음이건 그 강도 면으로 보나 음질적인 측면으로 보나 타 교통수단과 나란히 저감이 되어야 하는 주요 교통소음원 중 하나가 되었다. 증속기술이 지속적으로 개발되고 있는 고속철도의 경우 고속으로 지상을 운행하는 항공기의 소음에 가까워진다고도 할 수 있고, 이는 철도의 고속운행의 경우 비록 레일에 차륜이 접촉하여 지상에 운행하지만, 공력으로 인한 소음이 커지면서 듣게 되는 소음색이 두드러지기 때문이다. 차량 전두부 등에서 특히 두드러지게 발생하는 불규칙한 공기의 유동이나 차량과 차량 사이의 연결부 공간, 차륜과 추진장치가 있는 대차의 불연속 구조물 부분 그리고 환풍 등을 위해 슬릿유형으로 구성된 차체 영역과 차체 상부에 불연속적으로 부착되어 있는 구성품이나 전기를 공급받는 집전시스템 등에서 공력소음이 발생한다. 그러나 아직은 대부분 승객이 이용하고 있는 열차는 그 운행속도가 300 km/h 이하이므로 이 속도의 영역에서는 여전히 차륜과 레일의 접촉으로부터 기인하는 전동소음이 전체의 대표소음이라고 할 수 있다. 차륜과 레일의 표면은 수직 방향의 불연속 거칠기(혹은 음향조도)가 형성되고, 차륜과 레일의 접촉하는 접촉점에서의 이 거칠기로 인한 가진을 통하여 차륜과 레일은 진동하여 음을 외부로 방사하고 또한 연결 구조물들을 통하여 전달되어 차내 소음으로 방사된다. 차륜과 레일 중 무엇이 더 주도적으로 소음을 유발

고효인

한국철도기술연구원 선임연구원

hikoh@krri.re.kr



[그림 1] 운행속도에 따른 철도차량 방사소음레벨

하는지는 각각의 다양한 형태와 구조, 운행속도 그리고 접촉점에서의 표면 거칠기 형성의 파장에 의하여 영향을 받는다(그림 1 참조).

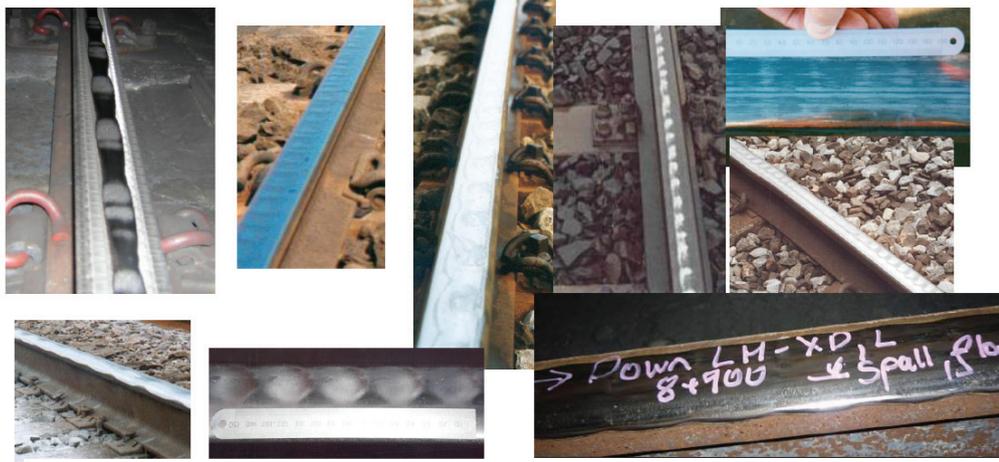
## 차륜과 레일의 접촉 음향조도 측정기술

그림 2에서 볼 수 있듯이 철도차륜이 레일의 표면과 접촉하면서 나타나는 불연속적 표면의 형태 변화는 다양하다. 그 물리적인 크기와 패턴, 주도로적으로 영향이 나타나는 결과의 유형에 따라서 거칠기, 파상마모, 균열 등 여러 개념으로 표현할 수 있다. 거칠기의 파장이 1000 mm 이상인 경우는 주로 지반진동이나 차내 승객의 승차감에 영향을 미치는 범위에 해당하고, 파장이 1 mm 이하인 경우에는 철도차량이 운행하기 위한 추진과 제동과 관련된 접촉이나 전도율과 밀접한 관계가 있다. 전자의 경우 주로 궤도검측차로 측정을 수행하고, 이를 저감하기 위해서는 삭정을 활용한다. 후자의 경우 일반 표면조도 측정기를 사용해서 계측하게 된다. 우리가 귀로 듣게 되는 소음의

주파수 영역은 수음자의 나이와 건강상태에 따라서 다르지만, 일반적으로 20 Hz에서 20 kHz 로 보고 있다. 이 가청주파수의 범위의 소음을 유발하는 진동과 관련된 차륜과 레일 표면의 음향조도는 5에서 500 mm 에 해당하는 규칙적인 파장 간격으로 형성되는 거칠기로서 이로 인한 주파수 (Hz)는

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

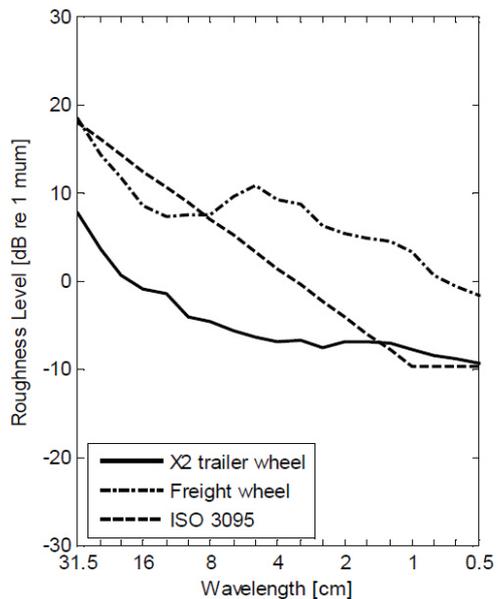
로 운행속도와 연관되어 있다. 이에 의하여 야기된 거칠기 진폭을 주파수에 대하여 스펙트럼으로 나타낸다면 그 진폭의 범위가 50 μm에서 1 μm 에 해당한다(그림 3 참조). 유럽철도 상호운용을 위한 TSI 규정 내 측정절차나 철도방사소음 측정을 다루는 ISO 3095 등과 같은 측정규격에는 일정 음향조도 이하의 표준선로에서 철도소음을 측정할 것을 제시하고 있으며, 이는 국내에서도 철도 제작차량 소음측정이나 종합시험운행지침 등에서도 이미 제시하고 있다. 이는 표면 접촉면의



[그림 2] 다양한 유형의 레일표면의 거칠기 및 파상마모

음향조도 특성에 따라서 측정되는 방사소음 레벨은 20 dB 이상도 차이가 날 수 있기 때문이다.

국의 철도운행 국가에서는 이미 오래전부터 이러한 이유로 레일과 차륜의 표면 거칠기를 관리하고, 정량적 인자에 대한 연구를 수행하여 기술을 개발하고 있으며, 소음저감을 위한 체계적 유지보수를 수행하고 있다(그림 4 참조). 이는 사실상 철도소음 발생원을 원천적으로 제거하는 기술로서 그 효과가 크다. 국내에서는 레일의 균열이나 절손 등을 감소하는 것을 주된 목적으로 연마하는 사례가 있으나, 소음관리 차원에서 측정하고, 관리하는 기술을 적용하는 부분은 미흡하였다. 철도기술연구원에서는 연구과제를 통하여 음향조도에 의한 소음방사량 정량화와 소음저감 기준 한도 유지를 위한 레일의 연마주기 및 음향조도 성장모델을 속도와 연관하여 연구하며, 소음 저감량 제시 그리고 효율적 연마방안과 기준을 수립하고자 한다. 우선 차륜과 레일의 음향조도 스펙트럼을 도출하기 위해서는 표면에 직접 접촉하여 그 변위와 측정위치를 측정하게 된다. 차륜과 레일의 표면 음향조도 측정장비와 측정 모습은 그림 5에 나타내었다.



[그림 3] 레일의 표면 거칠기 스펙트럼의 예

그림 6은 레일의 음향조도에 관한 연구결과 사례로서 평균 레벨이 레일로부터 7.5 m 이격된 수음위치에서의 소음에 미치는 영향을 예측한 결과의 예이다. 이러한 연구결과를 통해서서는 차량 유형별 레일의 거칠기로 인하여 야기되는 전동소

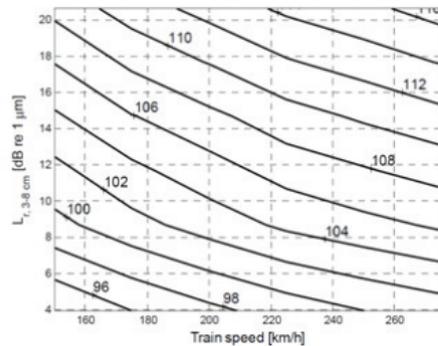
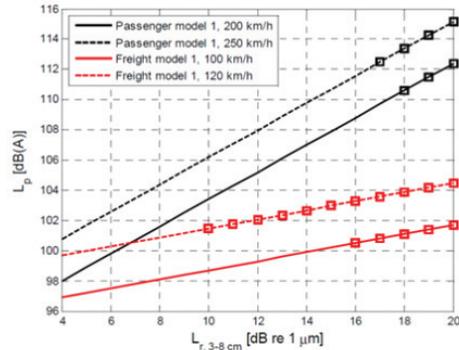


[그림 4] 레일의 표면 음향조도 연마



[그림 5] 차륜 및 레일의 표면 음향조도 측정장비 및 측정모습

음레벨을 예측할 수 있고, 제시된 수음위치에서의 소음기준 값을 초과하지 않기 위하여 운행속도 대역별로 레일의 음향조도레벨은 어느 수준을 유지하고 관리되어야 하는지 제시할 수 있다. 또한, 민원지에서 어떤 차량이 속도 대역별로 가장 민원의 민감한 대상인지를 선별하여 관리할 수 있으며, 관리를 통하여 저감할 수 있는 소음 저감량을 예측, 계획할 수 있다. 속도의 증속계획이 있다면 증가하는 속도에 따라서 동일 소음기준을 만족시키기 위한 레일의 음향조도 감쇠량을 예측할 수 있을 것이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 운행속도가 증가할수록 차륜과 레일의 표면 거칠기에 대한 민감도는 커진다. 이는 고속철도의 경우 레



[그림 6] 레일의 음향조도레벨에 따른 소음방사레벨 및 운행속도와의 정량적 관계

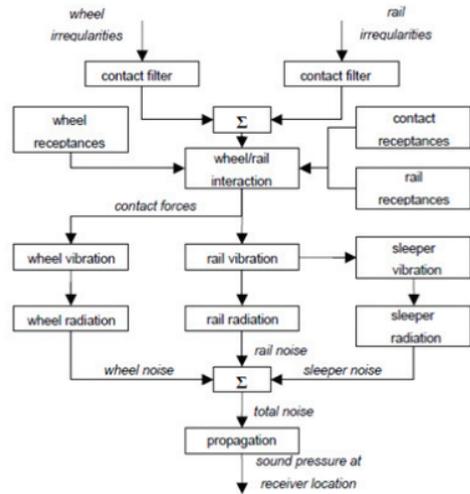
일과 차륜의 음향조도 관리가 더 중요한 사안임을 말해준다.

이렇듯 레일의 음향조도를 측정하고 관리하여 소음저감방안을 도출하는 것은 효율적인 저감대안 중 하나이지만, 그 범위가 넓기 때문에 차륜의 측면에서 측정하고 관리할 수 있다면 더 효율적일 수 있다. 이렇게 직접 레일의 표면음향조도를 측정하는 방법 외에 검측용 대차나 차량의 운행을 이용하여 윤축이나 차륜 등의 진동가속도를 측정함으로써 또한 차륜과 레일의 수직 접촉력을 산출함으로써 간접적으로 음향조도의 스펙트럼을 산출하는 방법도 개발되어 쓰이고 있다.

## 철도시스템의 전동소음원 모델

환경부에서는 각 지자체가 소음지도(Noise map)를 작성하도록 하고 있고 관련 방법이나 절차, 실행에 대한 지침을 세웠다. 소음지도는 철도나, 도로, 항공기, 공사장 등 교통수단이나 건설소음이 발생하는 경우 이로 인해 인근의 민가에 확산되는 음압레벨을 지형 및 건물정보와 함께 색깔로 가시화한 분포도를 말한다. 국내에서 환경소음 영향평거나 노선의 실시설계 시 활용되고 있는 소음지도 프로그램(S/W)은 주로 국외에서 개발된 제품이 이용되며, 철도의 경우 국내의 다양한 철도차량이나, 궤도구성품의 유형과 사양, 교량의 유형 등을 고려하여 소음지도를 작성할 수 있는 소음원 DB 체계가 현재 부재하다. 소음지도를 작성하기 위해서는 이렇듯 다양한 소음원 관련 음향장도 산출을 위한 DB가 존재해야 하고, 이를 바탕으로 수음위치까지의 전파경로 상의 특성과 환경을 고려한 전파예측식과 결부하여 특정 수음위치에서의 소음레벨이 산출된다. 현재 300 km/h 철도차량에 이어 400 km/h 이상급의 철도차량 및 철도시스템이 개발되고 있는바, 한국철도기술연구원에서는 이러한 노선을 상용화하고 실현할 수 있도록 소음을 예측할 수 있는 예측모델을 다각적으로 연구, 개발하고 있다. 여러 가지 주요한 소음원 중에서 앞서 언급한 차륜과 레일의 접촉에 의한 전동소음 모델을 도출하기 위해서는 소음원의 근본적인 가진원인 차륜과 레일의 표면 음향조도 특성과 DB가 필수요소이다. **그림 7**은 전동소음모델의 한 예를 보여주고 있다.

이러한 전동소음원 모델을 구축, 활용하기 위해서는 우선 차륜 및 레일의 표면 거칠기 특성이 입력변수로 필요하고, 접촉점에서의 접촉탄성 모델이 다루어져야 한다. 차륜과 레일의 고유 동적 특성이 결부된 최종적인 차륜과 레일의 상호역학



[그림 7] 차륜과 레일의 접촉구름에 의한 전동소음모델

이 규명되면 이를 통하여 각각 차륜에 의한 진동 특성, 레일에 의한 진동특성 그리고 침목에 의한 진동특성이 산출되어 이들에 의한 방사소음을 계산할 수 있다. 레일의 경우 레일하부 혹은 체결구 등에 삽입되는 패드와 자갈도상 혹은 콘크리트 도상 등의 시스템으로서의 특성도 고려된다.

## 결론

고속화에 따라서 철도소음은 민원을 유발하고 있고, 그 소음원의 높이별 분포나 특성의 다양화와 확장으로 인하여 기존의 방음벽으로 저감이 어려운 점, 예측이 어려운 점 등 전국을 2시간 생활권으로 구현하면서도 주민의 안락한 주거지 공간을 창출하는 이중적인 당면과제는 지속해서 새로운 국면을 맞이하고 있다. 그러나 철도의 승객 이동 효율 및 화물수송율을 고려하여 볼 때에 동일한 속도의 화물트럭 차량 당 방사되는 소음과 비교한다면 사실상 더 시끄러운 교통시스템은 아니며, 에너지, 환경 등 다각적인 측면에서 미래발전적인 동력이 아닌가 싶다. 고속철도 기술이 이

전되어 2004년 개통되면서 철도기술에 대한 연구는 본격적으로 관심을 갖고 수행, 지원되었다. 현재까지는 안전한 고속이동에 초점이 맞추어졌고, 현재보다 소음원의 근본적인 저감을 구현하는 연구와 개발에 집중하고자 하여 여러모로 진행 중이다.

## 참고문헌

1. Nielson, Ekberg., 2009, Acceptance criterion for rail roughness levels spectrum based on

assessment of rolling contact fatigue and rolling noise, Wear. 8th Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel System, Florence, Italy, pp. 319-327.

2. David Thompson., 2009, Railway noise and vibration : mechanisms, modelling and means of control, Elsevier

3. Thron, Hecht., 2010, The sonRAIL emission model for railway noise in Switzerland, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 96, pp. 873-883 