

철도차량 소음사양의 변화와 저소음화의 역할분담

김 종 년*
((주)로템 중앙연구소)

1. 머리말

신속하고 정확한 대중교통수단의 하나로써 도심의 교통난을 해결할 수 있는 유일한 대안으로 부각되고 있는 철도차량은 여러 가지 편리함에도 불구하고 차량 주행 시 발생한 소음·진동이 철로 변 주민들에게는 하나의 환경문제를 야기 시키며, 터널 주행 시에는 차량에 탑승한 승객들의 안락성을 해칠 수 있는 요소로써 그 중요성이 대두 되고 있는 실정이다.

이제 우리나라도 고속전철이 개통되어 영업운전을 실시하고 있으며 국민생활의 대변화를 모색하고 있다. 하지만 위에서 언급한 소음으로 인한 환경문제 들이 실제로 사회문제화 될 수 있으며 이에 대한 대비가 필요할 것이다. 이러한 환경소음은 궤도나 차량의 설계단계에서부터 고려되어야 할 사항이며, 차량 및 궤도가 완성되고 시운전을 성공적으로 마쳤다고 하더라도 계속 감시되어야 하고 부단한 유지/보수에 대한 노력만이 철도차량의 저소음화는 달성될 수 있다. 이 글에서는 이러한 철도차량 저소음화를 위하여 시행되는 각종 실내·외 소음시험에 대한 사양을 검토하고 향후 발전방향을 모색하고자 한다. 현재, 이러한 철도차량 소음사양은 신규차량의 검증용으로만 주로 활

용되고 있는데, 기존차량의 소음관리(차량 및 궤도의 관리 소음·진동 측면의 관리)를 위해서도 유용한 기준이 될 수 있으므로 이에 대하여도 논하고자 한다.

2. 철도차량 소음사양

소음 사양은 차량이 주어진 기준에 의해 부합되는지를 판단하는 기준으로 삼을 수 있으며, 우리나라의 도시철도 표준사양과 ISO와 같은 국제규격 등이 있다. 소음사양에는 성능평가를 위한 사양값과 시험방법에 대한 세부 절차 등을 명시하고 있으며 이에 따라 신규 제작된 차량은 그 성능을 검증하게 된다. 하지만 이에 대한 논란은 과거 수십년간 수요자와 차량 제작사간 지속되어져 왔는데, 그 것이 바로 차량이 주행 중 발생하는 소음의 근원이 차량에 있느냐 또는 궤도에 있느냐이다. 왜냐하면, 정차 중 발생소음은 주로 차량에 의해 좌우되나, 주로 주행 중 소음시험은 제작사가 제작한 신규차량이 구매자가 제공한 시험선로의 레일 위를 주행함으로써 발생하는 현상이므로 이에 대한 책임소재가 불분명하였다.

기존의 우리나라 사양과 국제규격 등은 이에 대하여 최소한의 정성적인 기준만을 제시하였다. 또한 이들 궤도에 대한 변수는 차량 실내·외 소음에 지대한 영향을 미치므로 간과할 수

* E-mail : jnkim@rotem.co.kr / Tel : (031)460-1412

표 1 소음시험 사양 비교(ISO 3381: 철도차량 실내소음 평가, ISO 3095: 철도차량 외부소음 평가)

시험 조건	ISO 3381/3095 (1976년 제정)	PrEN ISO 3381/3095 (2001년 제정)	도시철도 표준사양 (2000년 제정)	비고
궤도 상태	* 직선/평탄로 * 궤도 이상 마모 및 이음매가 없을 것	* 직선(곡률 3000 m이상/ 평탄로(구배 10%이하) * 궤도 이상 마모 및 이음매가 없을 것 * 시험구간의 레일 거칠기는 규정된 조건을 만족하는 시험선로에서 실시 할 것 (그림1참조)	* 직선/평탄로 * 궤도 이상 마모 및 이음매가 없을 것	도시철도법 개정필요
차륜 상태	* 답면의 이상 마모 등이 없을 것	* 시험차량 차륜의 거칠기는 충분히 정비되어야 하며, 삭정 후 1000 km이상의 안정화가 필요	* 답면의 이상 마모 등이 없이 잘 정비 되어 있을 것	도시철도법 개정필요

없으며, 차량이 주행하면서 시험평가 되는 궤도에 대한 최소한의 합리적인 요구조건을 기술할 필요가 있어 왔다. 최근 10여년간의 연구 결과로 전동음(wheel-rail rolling noise)은 레일과 차륜의 거칠기(Roughness: 조도)에 의하여 레일과 차륜이 가진 되어 발생하는 것이라고 알려져 왔다. 따라서, 그러한 논란을 최소화하기 위하여 철도차량 완성차 시험에 대한 새로운 국제규격 들이 연구되어 제정되었다. 즉, 시험선로의 궤도에 대한 최소한의 기준을 정하고 이를 만족하는 궤도상에서 소음시험은 진행되고 평가되어야 한다고 규정되어 있다. 다음 표 1은 과거 규격과 새로 개정된 규격의 주요 차이점을 기술 한 것이다.

표 1에 기술되어 있는 것처럼, 최근에는 과거에 정성적으로 규정되어 있는 궤도와 차륜에 대한 기준들이 정량화 되고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 이러한 조건들이 차량의 실내·외 소음에 미치는 영향이 지대하며, 이에 대한 관리하는 철도차량의 저소음화의 전제조건이 되고 있음을 역설 하고 있다.

신규차량의 소음기준을 평가하는 시험에서

는 위와 같은 시험조건 등이 더욱 구체화 되어야 하며 이를 통해 행해진 시험에서 차량이 제작사양서에 명시된 기준의 만족여부에 대하여 평가되어야 할 것이다. 또한 차량의 인수검사 후 지속적인 저소음화 환경을 달성하기 위해서는 영업운전 중에도 궤도와 차량의 상태가 위와 같은 조건이 만족하는지를 주기적으로 검사하여야만 저소음화의 유지가 가능하다. 지속적인 검사의 결과는 향후 궤도와 차륜의 유지/보수 정책을 세우는데 근거가 되는 데이터가 될 수 있으며 최적의 유지/보수 조건을 산출하는 데에도 도움을 줄 것이다.

철도차량이 주행 할 때 발생하는 소음에 영향을 미치는 인자는 여러 가지가 있겠지만 레일과 차륜의 표면 거칠기는 차량의 주행이 거듭될수록 계속적으로 변화하는 요소이고 또한 차량 전동음의 직접적인 원인이므로 유지/보수 관점에서 주목하여야 할 대상이다.

그림 1은 prEN ISO 3381/3095에서 제시하고 있는 레일 표면 거칠기에 대한 기준을 도시한 것이다. 차량의 속도에 따라 적용되어야 할 거칠기의 파장범위가 함께 그려져 있다. 대부분

의 중·저속형의 객차와 전동차는 10 cm이하에 위치해 있는 파장만이 전동음의 주요 성분임을 알 수 있다. 차량의 속도와 파장, 그리고 발생소음의 주파수는 다음의 식과 같이 연관되어 있으므로 전동음의 주파수 분석을 통하여 쉽게 이러한 유효파장의 범위를 예측 할 수도 있을 것이다.

$$freq = V(3.6\lambda) \tag{1}$$

여기서 $freq$: 가진입력의 주파수, Hz
 V : 차량의 주행속도, km/h
 λ : 거칠기의 파장, m

그림 1에서 제시한 표면 거칠기의 기준은 10 cm이하의 파장에 대한 것만 규정되어 있으나 고속전철처럼 차량의 속도가 증가 할수록 10 cm이상의 파장에 대한 거칠기도 무시 할 수 없다. 이러한 장파장의 거칠기는 궤도의 불규칙도(track irregularity)로도 정의 될 수 있으며 차량의 안전 및 승차감과도 일정부분 관계가 된다. 또한 이러한 장파장의 거칠기를 정확하게 측정하기 위해서는 길이가 충분히 긴 거칠

기 측정장비가 개발되어야 한다. 현재 상업용으로 개발되어 있는 거칠기 측정장비 중 이러한 장파장의 거칠기를 측정 할 수 있으면서 간편한 휴대용은 아직 없다. 그리고 이러한 장파장의 거칠기는 일반적인 레일 연마기로는 효과적으로 관리하기 위해서는 연마숫들의 길이가 충분히 긴(파장의 3배 이상) 연마기가 필요하나 현실적으로 이러한 장파장의 거칠기를 효율적으로 관리하기는 어려운 실정이며, 거칠기를 직접적으로 관리한다기 보다 침묵의 평활도 및 레일 체결장치의 규칙적인 점검으로써 간접적으로 관리할 수 있다.

3. 저소음 차량개발/운행을 위한 조건

대체로 철도차량은 주어진 제작사양에 의해 제작되며, 또한 각 시행청의 특정 규정에 의하여 운영하게 된다. 먼저, 차량제작단계에서는 차량 구입처에서 만든 사양에 의거하여 차량을 제작하고 이를 본선에서 검증하게 되는데, 차량이 선로를 주행할 때 발생하는 차량의 실내·외 소음은 아래와 같은 많은 요소들에 의하여 지배되므로 이에 대한 세부규정이 함께 고려되어야 한다.

- 차량 자체의 소음·진동 성능 : 소음발생장치와 차량의 소음 차단성능
- 차량의 운행조건 및 환경조건 : 선로의 상태 및 차량 운행조건, 터널의 단면적, 방음벽의 설치유무 등 시험선로의 주위 환경조건

저소음 차량개발 및 운행을 위한 전제조건 중 하나는 우선 그러한 개념에 맞게 차량을 설계 제작 하는 것이다. 이는 수요자의 요구사양을 바탕으로 하여 차량의 소음원을 저 소음화 하고 차체의 차음성능을 증대 시켜 궁극적으로 구매자의 사양에 부합하는 차량을 설계/제작하는 것이다. 이는 차량제작자의 책임이며 역할에

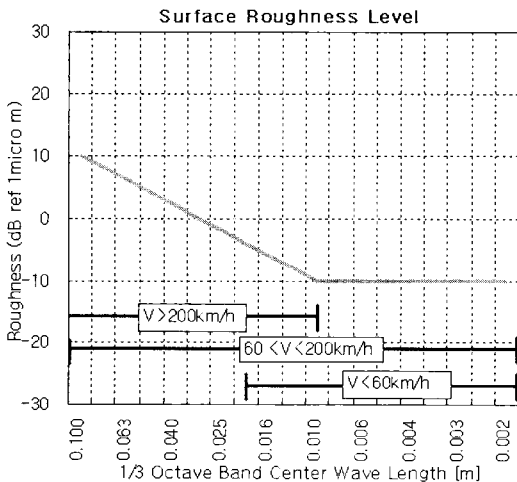


그림 1 차량 속도에 따라 prEN ISO3381/3095:2001에 규정된 레일 거칠기 기준

속한다. 하지만 철도차량의 소음은 차량자체의 저소음화 설계 이외에도 차량의 운행조건 및 환경조건에 의해서도 많이 달라진다. 따라서, 이러한 운행조건을 저소음화 하는데 필요한 조치들은 차량 운행자의 역할이다. 이러한 두 가지 요소가 함께 고려되어야만 궁극적으로 저소음차량의 운행이 달성되며 승객에게 안락한 서비스를 제공하고 철로변 주민에게 차량 운행에 의한 피해를 줄일 수 있을 것이다. 신규 제작되어 검증된 차량의 소음·진동 특성이 계속 유지되기 위해서는 소음·진동 발생원에 대한 인식이 선행되어야 하며 또한 이들에 대한 계속적인 유지/보수 계획도 수립되어야 할 것이다.

4. 국내 및 외국의 사례

당사(Rotem)는 최근 몇 년간 이러한 개정된 사양의 적용을 받는 몇 개의 프로젝트를 성공

적으로 수행하여 왔다. 이들은 모두 선진 외국에 수출하는 차량에서 적용되었으며, 우리나라보다 상대적으로 엄격한 소음사양을 적용하는 나라에서 주어진 제작사양서의 값을 충분히 만족하였다. 그러한 저소음 차량의 개발은 차량의 저소음화 설계/제작이 있었기에 가능한 것이었지만, 선진 외국의 합리적인 사양적용과 그들의 궤도에 대한 유지보수 정책도 무시할 수 없다. 그러나, 국내의 사양은 아직 이러한 합리적인 시험 조건 등이 정량적으로 명시되어 있지 않고 단지, 사양 값의 만족여부만을 평가하고있어서 소음 불만족 시 논란의 소지가 있어왔다. 하지만, 당사는 이러한 조건 하에서도 주어진 차량 제작사양을 만족하여왔으나 전술한 것처럼 레일/차륜 거칠기 관리가 효율적으로 이루어진다면 추가의 소음 저감이 가능할 것이다.

아래는 소음시험 전 시험선로의 레일 거칠기 측정에 대한 사진과 국내전동차와 외국 수출전동차에 대한 시험결과를 각각 예시하였다. 예

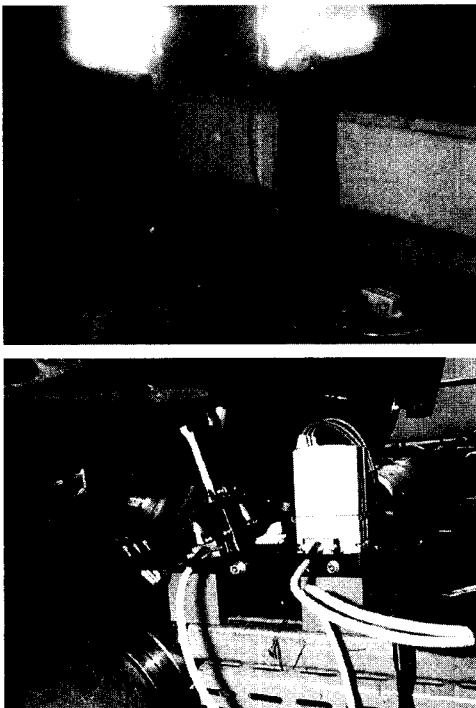
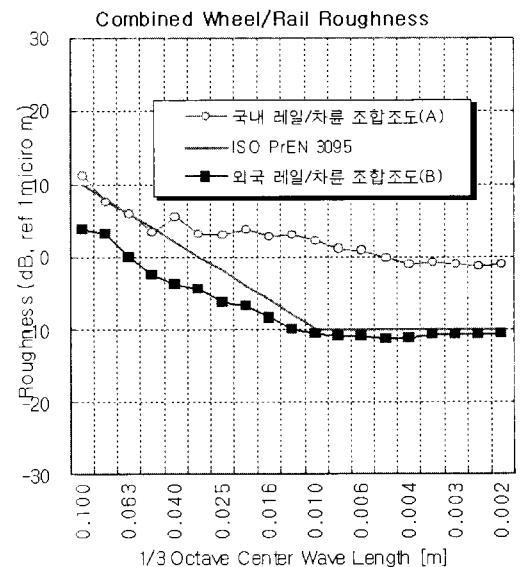


사진 1 레일(상) 및 차륜(하) 거칠기 측정시험



주) 조합 조도: 레일과 차륜의 거칠기의 에너지 합을 의미한다.

그림 2 국내 및 외국차량의 레일/차륜 거칠기 측정결과

표 2 당사 제작차량의 소음시험 결과 비교(국내 및 해외 차종)

차종	궤도 및 레일 조건	주행속도	차량 제원 및 상태	실내 소음 (터널 주행 시)
국내차종(A)	콘크리트도상 레일/차륜 조도 나쁨	80 km/h	부유 상구조(Floating Floor) 슬라이딩 방식 측 출입문	80 dBA
해외차종(B)	콘크리트도상 레일/차륜 조도 좋음	80 km/h	부유 상구조(Floating Floor) Plug-in 측 출입문	70 dBA

시된 국내 전동차 레일과 차륜의 조합 거칠기는 국제적 기준을 만족하지 못함을 알 수 있다. 따라서, 이러한 레일 위를 주행하는 차량에서는 외국의 사례에서처럼 레일 및 차륜의 거칠기가 잘 정비되어 있는 경우에 비해 상대적으로 높은 소음이 발생하는 것이 자명한 일이다.

그림 2와 같이 측정된 레일과 차륜의 거칠기를 가진 조건에서 차량의 실내소음 측정결과는 다음과 같다. 물론 두 가지 경우의 차량의 설계는 서로 조금씩 다르나 측 출입문의 형식 외에는 대동 소이하다. 극단적인 두 차종의 실내소음차이는 약 10 dBA로 나타났으며, 이는 차량 설계의 차이와 터널 단면적의 차이 그리고 레일 및 차륜의 거칠기의 차이등에 기인한 것이다. 하지만 차량 측면에서의 차이점(측 출입문의 형식에 따른 실내소음 차이:일반적으로 3~4 dBA 정도임)을 감안 하더라도, 아래의 시험결과는 차량의 저소음화 설계만으로 달성할 수 있는 실내소음 저감은 한계가 있음을 말해주고 있다.

5. 맺음말

제작 규격서에 명시된 소음 사양 값은 차량의 제작 상태를 검증하는 것이 주요 목적이다. 하지만, 이 외에도 저소음화 전동차를 운행하

여 승객 및 선로 변 주민들의 쾌적함과 안락함을 유지하려는 것이 최종 목적일 것이다. 현재 국내전동차 제작 및 성능 입증시험에서 당면한 문제가, 얼마만큼 공정하고 정확하게 차량의 성능을 평가하느냐 하는 시험조건이 정성적인 수준에 머물러 있으며 차량이외의 환경적인 요소들에 의해 그 값이 유동적일 수 밖에 없다. 차량의 성능이라 함은 주어진 조건 하에서 성능 값을 측정했을 경우 항상 일정한 오차범위 내에서 그 값이 유지되어야 할 것이며 이를 위해서는 차량제작사와 운영처에서 그러한 조건을 일정하게 유지시킬 수 있는 스스로의 임무를 다 했을 때 비로소 달성될 것이다.

따라서, 도시철도 법에 명시된 소음시험사양은 이러한 차량 외적인 변수를 최소화 시킬 수 있는 시험조건등에 대한 개정이 시급하며, 이러한 상세한 시험조건 등은 차량이 영업운전 후 발생할 수 있는 환경문제에 대한 민원에 보다 합리적으로 대응할 수 있으며 또한 궤도 및 차량의 유지보수에 활용할 수 있을 것이다. 현재, ISO규격에도 차륜 거칠기에 대한 정량적인 규제치를 마련하고 있으며 향후 개정되어질 ISO규격에 이러한 것들이 포함 될 예정이다. 따라서, 이러한 사항 등을 종합하여 우리나라의 도시철도법도 체계화되고 선진화된 사양으로 수정 보완되기를 바란다. ▲▲