

# 한국형 고속철도 차량의 운행조건에 따른 차내 소음 분석

## An interior noise analysis of KTX vehicles on various operating conditions

최성훈\*                      김재철\*\*                      이찬우\*\*\*                      문경호\*\*\*\*  
Choi, Sunghoon              Kim, Jae-Chul              Lee, Chan-Woo              Moon, Kyung-Ho

---

### ABSTRACT

The conditions for measurement of the interior noise should meet the international standards. However, due to the limitations in test conditions the possible errors in measurement equipment, reliability of the measurement results has been questioned. Hence, the test procedure for the interior noise measurement of KTX vehicles are reviewed and investigated with the reference of international standards. Furthermore, the acceptable tolerance is inspected through the analysis of the factors that influence the interior noise of the KTX vehicle.

---

### 1. 서론

국내에 도입되는 고속전철은 20량 1편성으로 이루어져있으며, 동력차에 의해서 운행되는 동력집중방식으로 구성되어있기 때문에 동력장치에 의한 소음과 차륜과 레일의 접촉에 의한 전동음이 가장 커다란 소음원이다. 이러한 소음원은 차량의 운전실과 객차의 실내소음에 커다란 영향을 미쳐 차량의 소음문제를 유발시키기 때문에 철도 선진국에서는 고속철도 개발 시 설계단계에서부터 소음 저감을 고려하고 있다.

현재 한국형 고속전철(Korean Train Express: KTX)은 공장 내 인증평가 단계를 거쳐 경부고속철도 시험노선에서 다양한 분야의 평가가 진행 중인데 차량의 실내소음 평가도 그중 하나이다. KTX 차량의 실내소음에 대한 평가는 차량출고 시, 인증시험(Qualification Test: QT)을 거쳐 차량인수시험(Site Acceptance Test: SAT)으로 행해지고 있다. 철도차량의 실내소음 측정조건은 ISO 3381, prEN ISO 3381, NF S 31-028 등의 국제규격을 만족하도록 되어있다. 이 규격들에는 실내소음에 필요한 장비, 시험구간, 시험조건 및 절차등이 규정되어 있는데 실제 시험노선에서 소음평가를 하는 경우 요구되는 측정조건을 만족하는 시험구간이 짧고, 차량인수시험 시 간이소음계(Sound Level Meter)로 소음을 측정하는 등 규격을 만족하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 측정값에 대한 신뢰성에 문제가 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 한국형 고속전철 시험구간에서 측정조건 및 방법과 계약조건 및 국제규격에 명시되어 있는 실내소음 측정조건 및 방법을 비교하고, 실내소음에 영향을 미치는 요소를 분석하였다.

---

\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 비회원  
\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원  
\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

## 2. KTX 실내소음 평가방법 및 국제규격 검토

철도차량의 운행 중 실내소음 측정에 대한 기준은 NF S 31-028과 prEN ISO 3381, ISO 3381 등의 국제 규격에 의하여 규정되어 있다. 이에 따라 KTX의 운행 중 실내소음 측정은 이들 기준을 기본으로 계약사항에 그 절차가 명시되어 있다. 따라서 실내소음 측정 및 평가는 제작자와 사용자가 합의한 절차에 따라서 진행해야 하나 여기에 명시되지 않는 경우나 불가피하게 명시된 조건을 만족하는 경우에는 국제규격에 따르거나 거기에서 규정하는 목적에 준하여 결과를 분석 하여야 한다. 본 절에서는 우선 KTX의 인증시험 절차 중 중요한 항목에 대하여 정리 하였다.

차량의 실내 음압레벨을 평가하는 값으로는 A 보정 등가음압레벨(A-weighted equivalent sound pressure level)을 사용하며 다음과 같이 정의된다.

$$L_{pAeq, T} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_{A(t)}^2}{p_0^2} dt \right) \text{ dB} \quad (1)$$

평가는 3회 측정된 값을 산술평균한 값을 이용한다. 식 (1)에서 T는 측정 시간인데 측정 결과에 편차가 크지 않도록 충분히 큰 값을 취해야 한다. KTX의 인증시험에서는 5초 이상 측정하는 것으로 규정되어 있다. 식(1)의 계산에는 50Hz에서 10kHz 사이에서 1/3 octave-band로 분석한 값을 이용한다.

철도차량의 소음원으로는 차륜과 레일의 접촉에 의한 구름소음, 동력장치의 소음, 공기저항에 의한 공력 소음 등이 있는데 차량속도가 200km/h 이상이 되면 공력소음이 차지하는 비중이 커지게 되며 속도변화에 따른 소음원의 파워변화도 크게 된다. 실내소음 평가 시 차량의 속도는 300km/h로 규정되어 있으나 실제 운행 시 이를 정확히 맞추기 어렵기 때문에 시험절차에는 이를 감안하여 차량을 290km/h에서 300km/h 사이에서 최대전류를 800A로 하여 운행하도록 하였다. 이 속도에서 개활지(open field)를 5초 이상 운행하기 위해서는 시험구간의 길이가 약 417m 정도가 되어야 하는데 실제 시험은 약 415m 구간에서 수행 되었다.

외부 환경의 영향을 최소화하기 위하여 비가 내리지 않고 풍속이 10m/s 이하, 그리고 자갈도상이 얼어있지 않는 기후조건 하에서 측정을 하여야 한다. 측정 장비로는 IEC 651에서 규정하는 정밀측정(class 1) 장치를 사용하는데 차량 인증시험에서는 마이크로폰과 레코더를 이용하여 소음데이터를 구한 후 주파수 분석기를 사용하여 등가음압레벨을 구하는 반면 인수시험에서는 시험의 편의상 간이소음계(Sound level meter)를 이용하여 등가소음레벨을 구한다. 두 방법 모두 시험자가 시험구간을 통과하는 시간을 판단하게 된다. 여기에서 발생 가능한 오차는 다음절에서 논의된다.

이와 같은 시험조건을 고려하여 등가음압레벨의 기준치가 정해진다. 여기서 문제가 되는 것은 측정절차의 기준을 만족하지 못하는 구간의 거리 또는 측정시간과 측정 장비의 차이 등이다. 이들이 측정 결과에 미치는 영향에 대한 정량적인 평가가 필요하고 특히 차량 인증시험과 인수시험의 시험방법에 의해 실내소음 측정값이 얼마만큼 오차를 가지는지에 대한 고찰이 필요하다.

표 1은 KTX 인증시험에서의 실내소음평가 절차와 NF S 31-028과 prEN ISO 3381, ISO 3381 등의 국제 규격에 명시된 시험절차를 비교한 것이다.

Table 1 Comparisons of test procedure

		QT (Contract)	International Standards		
			NFS 31-028	prEN ISO 3381	ISO 3381
Equipment	Sound Level Meter		Precision SLM (NF S 31-009)	Type 1 SLM (EN 60804)	Precision SLM (IEC 179)
	Recorder	Class 1 Equipment	"	"	"
SLM dynamic characteristic			Slow		Fast
Track condition		Ballasted bed, wooden sleepers	Ballasted bed, wooden sleepers	Ballasted bed, wooden or concrete sleepers	Ballasted bed, wooden or concrete sleepers
Vehicle condition		More than 5000km operation		More than 1000km operation	
Measurement position		Driver's ear level, 0.2m to the center	1.6m above the floor, 0.2m from the ears of the driver	1.6m above the floor, 0.1m from the ears of the driver	1.6m above the floor, 0.2m from the ears of the driver
Measurement time		> 5 seconds	> 5 seconds	> 60 seconds (Minimum 10 s)	> 5 seconds
Number of tests		3 times (1 monitoring test)		3 times (1 monitoring test)	
Measured value			Round to nearest whole decibels value	Nearest integer value	Nearest integer decibels

### 3. KTX 차량 실내소음 측정 결과

KTX 차량의 실내소음 측정이 수행된 시험구간은 약 415 m 길이의 개활지이며 열차가 300km/h의 속도로 주행할 경우 통과하는데 약 5초 정도 걸리는 구간이다. 측정 구간 전후로 방음벽과 고가교(viaduct)가 설치되어있는 구간이 있다. 소음 측정은 마이크로폰(B&K)과 레코더(SONY SIR 1000)를 이용하였으며 주파수 분석 등의 후 처리는 CADA-X S/W를 이용하였다. 실내소음은 인증시험 절차에서 지정한 위치에 따라 운전실과 객실에서 각 3회씩 측정이 수행되었다. 이러한 방법으로 구한 결과를 간이소음계(Sound level meter)를 이용하여 측정한 인수시험결과와 비교 분석하였다.

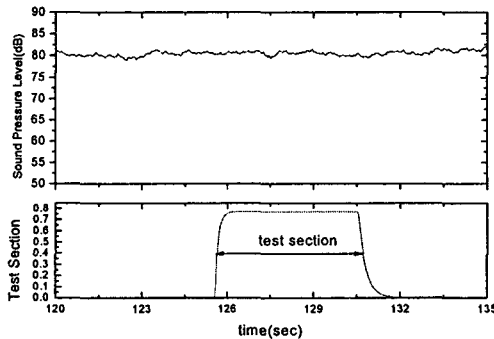


Figure 1 Time history of the sound pressure level inside a driver's cab.

**Table 2** Equivalent sound pressure level at the driver's cabin measured at different track sections.

	SPL at driver's cabin (dBA)		
	Before the test section	Test section	After the test section
1st	80.7	80.2	80.1
2nd	80.3	80.5	80.7
3rd	79.9	80.4	80.3
Average	80.3	80.4	80.4

**Table 3** Equivalent sound pressure level at the passenger room measured at different track sections.

	SPL at passenger room (dBA)		
	Before the test section	Test section	After the test section
1st	65.6	66.3	66.1
2nd	66.1	66.5	66.3
3rd	66.1	66.3	66.3
Average	65.9	66.4	66.1

그림 1은 KTX 차량이 시험구간을 통과할 때의 운전실 소음레벨을 보여준다. 등가음압레벨을 구하기 위해서는 이 음압 데이터에서 차량이 시험구간을 통과하는 시간동안을 취하여 식 (1)을 이용하여 계산하게 된다. 하지만 소음을 측정하는 동안 시험구간을 육안으로 관찰하여 표시하고 또한 시험구간이 충분히 길지 않기 때문에 오차가 발생할 가능성이 있다. 이 영향을 관찰하기 위하여 측정 데이터를 분석할 때 시험구간 전후에서 각각 약 5초 정도의 데이터를 이용하여 등가음압을 계산하여 비교 하였다. 운전실 및 객실에 대한 계산 결과는 표 2 와 3에 있다.

우선 운전실에 대한 측정결과를 보면 측정 구간이 다른 경우라도 등가음압레벨의 편차가 0.1dBA 이하임을 알 수 있다. 이 결과는 우선 시험구간을 육안으로 보고 선택 하더라도 결과에는 큰 영향을 주지 못한다는 것을 보여준다. 또한 측정구간 전후로 방음벽이나 교량구간이 있기 때문에 이들이 실내소음에 미치는 영향을 간접적으로 살펴볼 수 있는데 운전실에서는 그 영향을 무시 할 수 있다는 것을 보여준다. 반면 객실의 경우에는 상대적으로 음압의 절대값이 작기 때문에 외부의 영향이 운전실에 비해서는 크다는 것을 알 수 있다. 하지만 이 경우도 장비의 오차인  $\pm 0.7\text{dB}$  [4] 이내이므로 외부 환경의 영향에 의한 편차라고 단정 지을 수는 없다. 운전실의 경우에는 객실에 비하여 동력소음과 공력소음의 영향이 크기 때문에 외부 환경에 의한 영향이 객실에 비해 작게 된다.

표 4는 운전실과 객실의 소음과 차량의 운행거리와의 상관관계를 보여준다. 차량의 운행거리가 증가 할수록 차륜 마모나 결합 등이 발생할 가능성이 있지만 이 결과를 보면 주행 거리가 약 6,000km 이하인 경우에는 이 원인에 의한 실내소음 증가는 무시할 수 있다는 것을 알 수 있다. 차륜의 마모정도 및 레일의 거칠기와 실내소음의 상관관계에 대한 연구는 향후 계속될 것이다.

Table 4 Equivalent sound pressure level versus the mileage of the vehicle.

SPL at the passenger room (dBA)		SPL at the driver's cabin (dBA)	
Mileage (km)	Average	Mileage (km)	Average
0.0	66.6	0.0	80.4
1024	66.0	972	80.9
1968	66.3	1981	80.5
2978	67.5	2992	81.5
3965	66.7	4001	80.8
5002	66.2	5016	80.6
5912	66.8	5912	80.4

#### 4. 결론

본 연구에서는 한국형 고속전철 시험구간에서 측정조건 및 방법과 계약조건 및 국제규격에 명시되어 있는 실내소음 측정조건 및 방법을 비교하고, 실내소음에 영향을 미치는 요소를 분석하였다. 시험 구간이 국제 규격에 명시되어있는 길이보다 짧지만 측정구간 전후에서의 실내소음 측정결과를 살펴보면 결과에 신뢰성이 충분함을 알 수 있었다. 또한 차량이 6,000km 정도까지 운행하는 동안에는 차륜 및 레일의 영향에 의한 실내소음 변화는 무시할 수 있음을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. NF S 31-028 Acoustics test code for measurement of noise inside railbound of vehicles
2. prEN ISO 3381 Railway application acoustics-Measurement of noise inside railbound vehicle
3. ISO 3381 Acoustics-Measurement of noise inside railbound vehicles
4. IEC 651 Noise measurement equipment tolerance