

# 친환경 전동차(누리로)와 고속철도를 포함한 철도소음의 주관적 반응 평가에 관한 연구

## Study on Annoyance Response of Train Noise with Environment-friendly Electric locomotive(Nooriro) and High-speed railway

김경민\* · 장서일† · 손진희\* · 김진모\* · 고준희\*\*

Kyoung Min Kim, Seo Il Chang, Jin Hee Son, Jin Mo Kim and Jun Hee Ko

### 1. 서 론

2010년 111주년을 맞이하는 한국철도는 현재까지 2004년 KTX(Korea Train Express)의 개통으로 시작된 고속철도의 도입을 시작으로 2009년 6월부터 운행하고 있는 시속 150 km의 친환경 간선전기동차인 누리로의 등장 및 2010년 3월 개통을 시작한 KTX-산천(KTX-2, 대한민국 독자기술을 이용해 개발된 고속열차)까지 철도사업은 더욱 두드러진 성장을 보이고 있다.

하지만, 철도 운행 빈도의 증가와 고속열차의 비중이 늘어남에 따라 생기는 고속화는 선로 주변 주민들에게 심각한 소음 문제의 원인을 제공하며 이는 곧 민원의 주 대상이 되고 있기 때문에 체계적인 분석과 대책이 필요하다.

특히, 2020년도에 무궁화 열차를 대체할 등급으로 시범운행하고 있는 누리로에 대한 연구는 전무한 실정이며, 철도의 종류에 따라 소음특성이 다름에도 불구하고, 철도소음한도기준은 동일한 물리량( $L_{eq}$ )으로 평가되고 있다.

따라서 이 연구는 누리로와 KTX를 포함한 철도소음의 주관적 반응을 분석하여 철도소음특성에 따른 적합한 평가물리량( $L_{eq}$  or  $L_{max}$ ) 제안을 위한 실험에 목표를 둔다.

### 2. 연구방법

#### 2.1 연구절차

본 연구에서는 청감실험을 통해 소음특성이 다른 철도소음원별 성가심 반응에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 철도소음원별로 동일한 측정환경장소에서의 음원녹음을 하여 청감실험을 하였으며, 이 결과를 이용하여 철도소음원별로 평가인자의 적합성 및 특징들을 검토해보았다.

#### 2.2 철도 소음원

##### (1) 철도소음 측정 및 녹음

철도소음 측정을 위한 소음계(LarsonDavis, 824)와 청감실험을 위한 철도음원녹음을 위해 Head Acoustic사의 HMSIII(Dummy Head)를 이용하였다. 음원 Sampling은 차폐물과 방음벽이 없는 평탄부 지형을 원칙으로, 철로로부터 15m 이격거리에서 KTX 전용선로와 일반열차의 선로 두 장소에서 실시하였다. 열차속도는 KTX가 약 295 km/h, 전기기관차와 디젤기관차는 평균 80~90 km/h, 누리로는 시속 150 km 정도의 속도로 관측되었다.

##### (2) 철도 소음원 분석

철도소음원별 주파수특성을 알아보기 위하여 Dummy Head의 Left 채널을 기준으로  $L_{eq}$  70[dB(A)]에 대한 주파수분석을 실시한 결과는 Fig. 1과 같다. 누리로는 600 Hz와 3000 Hz 대역에서 높은 레벨을 보이고 있으며, 전체적으로 같은 동력원을 이용하고 있는 전기기관차와 주파수 특성이 비슷한 패턴임을 확인할 수 있으며, KTX는 100 Hz와 5000 Hz 이상에서는 상대적으로 아주 낮은 레벨을 보이고 있으며, 1000 Hz와 3000 Hz 대역에서는 높은 레벨을 보이고 있어 이러한 고주파 성분이 성가심 반응에 영향을 줄 것으로 예상된다. 디젤기관차의 특징은 저주파 대역에서 지속시간이 짧은 높은 레벨을 보이고 있는데, 10 kHz 까지는 누리로와 비슷한 패턴으로 가다가 그 이상에서는 급격한 레벨 차이를 보이고 있어 이로 인해 성가심 반응에 큰 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

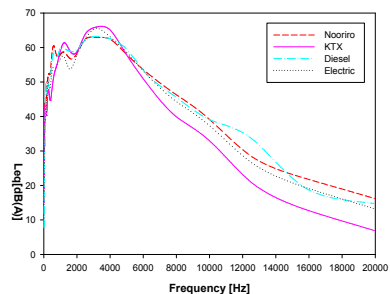


Fig. 1 Frequency domain of railway type

† 교신저자; 정희원, 서울시립대학교 도시환경시스템공학과  
E-mail : schang@uos.ac.kr  
Tel : (02) 2210-2177, Fax : (02) 2210-2877

\* 서울시립대학교 도시환경시스템공학과

\*\* BK21 도시환경시스템공학과 인력양성사업단

### 2.3 청감실험

본 청감실험에서는 본교 대학생과 대학원생을 대상으로 총 42명(남자 18명, 여자 22명)이 청감실험에 참여하였다. 청감실험에서 사용한 음원은 4개 음원에 대하여 동일 등가 물리량(55-75dB(A), 5dB(A) 간격)으로 총 20개의 음원으로 구성하였으며, 음원의 지속시간은 KTX 12.0초, 전기기관차 14.0초, 디젤기관차 17.0초, 누리로 7.0초이다. 평가 방법은 각 음에 대해서 7점 척도로 평가하는 Semantic Differential Method(SDM)과 각각 다른 음원 한 쌍을 평가하는 Paired Comparison Method(PCM)과 같이 두 가지 평가를 실시하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 SDM

SDM을 이용하여 각 소음원별 물리적 크기에 대한 성가심 정도를 사용하여 보통으로 성가심을 호소하는 %A(4점)를 이용한 철도소음기준을 찾아보았고, 6, 7점(매우-엄청나게)으로 높은 성가심을 호소하는 비율인 %HA를 분석하였다. Fig. 2, (a)의 %A에 해당하는 레벨을 확인한 결과 전기기관차가 65.5dB(A), KTX와 누리로 및 디젤기관차는 각각 63.8dB(A), 63.5dB(A), 63.2dB(A)에서 보통의 성가심을 느낀다는 결과가 나왔다.

Fig. 2, (b)의 %HA 결과는 디젤기관차의 %HA가 가장 높고, KTX가 가장 낮게 나왔다. 이는 소음도가 높아질수록 저주파 대역에 의한 성가심 반응이 큰 것으로 예측할 수 있다.

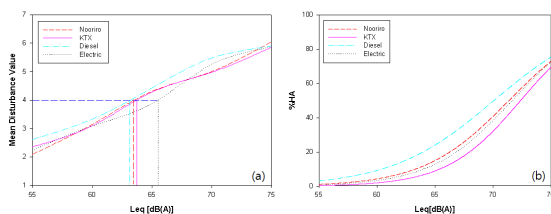


Fig. 2 Annoyance curve of railway type : (a) %A, (b) %HA

### 3.2 PCM

PCM의 경우 42인의 데이터 중 각 Level 별로 일관성 75%, 반복성 70% 미만인 것을 제외하고 분석하는 것에 기초를 두었다. Fig. 3은 레벨별 소음원에 대한 성가심이 가장 높은 음을 3점, 낮은 음을 -3점으로 나타낸 것으로 지속시간에 따라 가장 긴 디젤기관차가 가장 높은 성가심도를, 가장 짧은 누리나가 가장 낮은 성가심도를 보이고 있으며, 주성분인 고주파 음과 공력소음이 큰 KTX의 성가심 반응이 예상보다는 낮은 결과가 나왔고, 이는 SDM과는 다른 결과를 보이고 있는데, 두 음을 들려주고 상호 비교하는 PCM의 특성상  $L_{max}$  레벨이 높고 지속시간이 긴 소음원을 선택한 것으로 판단할 수 있다.

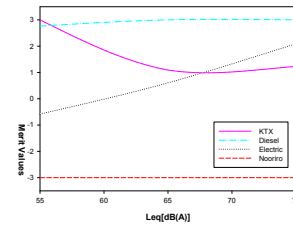


Fig. 3 Merit Values of railway type

### 3.3 요인분석

청감실험 음원들 간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 음원들끼리 묶어주는 다변량 통계기법 중의 하나인 요인분석을 실시하여 철도소음원에 대한 주관적 반응에 영향을 미치는 인자들을 알아보았고, 그 결과는 Table. 1과 같다.

“Fac. A”의 특징은 지속시간을 설명하는 요인으로 지속시간이 가장 긴 디젤기관차의 특성으로 설명될 수 있다. “Fac. C”는 60, 65 dB(A)에서의 KTX와 누리로에 대한 요인으로 %A를 근거로 설명할 수 있다. “Fac. D”는 같은 동력원을 사용하는 누리로와 전기기관차에 대한 요인으로서, 주파수 성분이 비슷한 패턴을 가지고 있는 음원특성을 갖고 있다. 이러한 요인분석을 통해 성가심 반응에 영향을 미치는 요인들을 확인할 수 있으며, 이는 곧 철도소음기준을 정할 때 고려해야 하는 요인들을 통계적으로 제시할 수 있는 기준이 될 수 있다.

Table. 1 Consequence of Factor analysis

	성분				
	Fac. A	Fac. B	Fac. C	Fac. D	Fac. E
Diesel 55 dB(A)	.082	-.019	.097	.478	.196
Diesel 70 dB(A)	.085	.370	.238	-.270	.095
Diesel 85 dB(A)	.027	.078	.271	.245	-.092
Diesel 60 dB(A)	.022	.221	-.079	.195	.542
Electric 60 dB(A)	.005	.417	.075	.436	-.286
Electric 65 dB(A)	.580	.519	-.105	.218	.048
KTX 65 dB(A)	.560	.252	.316	.228	.069
KTX 80 dB(A)	.563	-.044	.511	.171	.328
Electric 70 dB(A)	.108	.780	.203	.351	.049
KTX 70 dB(A)	.262	.757	.270	-.040	.144
Electric 75 dB(A)	.084	.657	.029	.038	.318
Electric 85 dB(A)	.452	.479	.192	.478	-.208
KTX 85 dB(A)	.235	.273	.867	.051	-.043
Noorio 60 dB(A)	.157	.109	.836	.565	.179
KTX 75 dB(A)	.168	.329	.812	-.005	.439
Noorio 85 dB(A)	.102	-.059	.582	.247	.535
Noorio 65 dB(A)	.125	.194	.088	.765	.280
Electric 85 dB(A)	.423	.065	.139	.765	.162
Noorio 70 dB(A)	.088	.166	.045	.162	.810
Noorio 75 dB(A)	-.101	.167	.430	.085	.711

## 4. 결 론

본 연구에서는 누리로와 고속철도를 포함한 국내 철도 소음원을 대상으로 청감실험을 통한 성가심 반응을 도출하였다. 성가심 반응에 미치는 영향으로는 기존의  $L_{eq}$ 에 핵심인 지속시간과 고려대상인  $L_{max}$ 의 최고소음도가 주 영향인 것을 이번 실험을 통해 확인하였으며, 철도 소음원 특성을 감안하여 주파수 특성에 따른 세분화된 기준이 필요하다.