

# 터널에서의 고속차량 차내 소음 특성

## Characteristics of Interior Noise of High Speed Trains in Tunnels

이찬우\* 김재권\*\*  
Lee Chan-Woo Kim Jae-Chul

### ABSTRACT

Comparison it analyzed the tunnel travelling hour interior noise arresting quality of the inside and outside of the country high-speed vehicle from the research which it sees. In the interior sound arresting comparison objective vehicle of the tunnel travelling hour KTX vehicle from the research which it sees and it limited by the TGV vehicle of France and the ICE vehicle of Germany and the Shinkansen vehicle of Japan comparison it analyzed the interior sound arresting from the open field and the tunnel line. The tunnel passage hour interior sound arresting problem of the domestic KTX vehicle follows in the concrete track tunnel the ballast track tunnel and the interior sound arresting quality is appearing different.

### 1. 서론

본 연구에서는 2004년 4월 국내에서 상업 운행에 들어간 KTX(Korea Train eXpress) 차량의 터널 구간에서의 차내 소음 측정 결과를 국외 고속차량의 터널 주행 시 차내 소음 특성과 비교 분석한 것이다. 국내 KTX 차량의 터널 통과 시 차내 소음 문제는 잠대 콘크리트 궤도 터널과 자갈궤도 터널에 따라 차내 소음 특성이 다르게 나타나고 있다. 이에 대한 비교분석도 간략하게 제시하였다. 본 연구에서의 터널 주행 시 KTX 차량과의 차내 소음 비교 대상 차량으로는 프랑스의 TGV 차량과 독일의 ICE 차량 그리고 일본의 신칸센 차량으로 한정하여 개찰지 구간 및 터널구간에서의 차내 소음을 비교 분석하였다.

### 2. 프랑스 TGV 차량의 차내 소음 특성

TGV가 1981년 운행을 시작한 이후 TGV-R(1996년 운행 시작)까지 TGV 차량의 실내 소음 측정 결과가 표 1과 같다. 이 결과에서 1989년에 제작된 TGV-A의 소음 레벨은 76.9dB(A)였지만 1995년 제작된 TGV-R(THALYS)의 소음 레벨은 65.1dB(A)로 약 12dB(A)의 소음레벨을 저감시켜 차량 실내 소음 측면에서 크게 향상된 것을 알 수 있다.

표 1 TGV 차량의 실내소음

TGV 차종	제작년도	최고속도 (km/h)	소음레벨 dB(A)
TGV-R (THALYS)	1995	300	65.1
EUROSTAR	1993	300	67.8
TGV-SE (동남선)	1993	270	66.3
TGV-A (대서양선)	1989	300	76.9

\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 책임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 차량기계연구본부 선임연구원, 정회원

그림 1은 TGV 각 차량에 대한 차내 소음 주파수 분석 결과이다. 그림 1에서 살펴보면 TGV-A 차량 이후의 차량의 경우에는 약 150Hz 이상 주파수 영역에 대해서 소음 저감 대책이 이루어진 것을 알 수 있다. 그림 2는 EUROSTAR의 경우 유로 터널 통과 시 차내 소음과 유로터널 직전 개활지 구간에서의 차내 소음을 비교한 것이다. 개활지 구간에서는 60.3dB(A)이고, 터널 구간에서는 64.1dB(A)이다. 전체적으로 터널구간 통과 시 TGV 차량의 실내소음은 약 80~160Hz 영역의 소음성분이 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

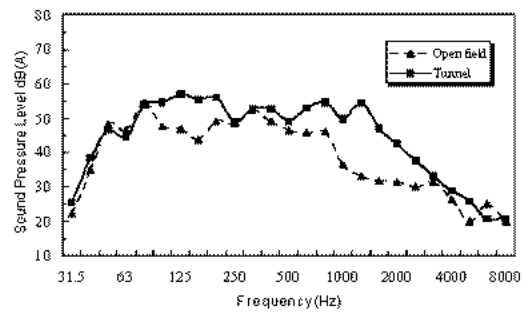
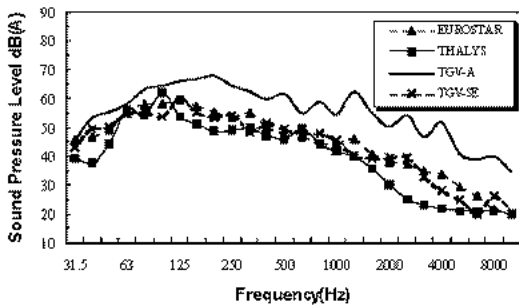


그림 1 TGV 차량별 실내 소음 주파수 분석 결과

그림 2 EUROSTAR 차내 소음 결과

### 3. 독일 ICE 차량 실내 소음 특성

독일 고속차량의 첫 세대인 ICE1 차량은 동력 집중식 차량으로 KTX와 동일하게 전후무부에 동력차와 중간에 객차로 구성되어 있으며, 1편성의 차량 수는 10~12량을 연결하는 형식이었으나, 다음 세대인 ICE2에서는 차량 수를 짧고 가볍게 하기 위해 동력차 1대를 차량편성 한쪽 끝에 붙이고 반대편에는 운전실이 붙은 객차를 붙여 양방향으로 운전이 가능하도록 하였다. 또한 ICE1 차량에서는 대차와 차체의 2차 현가장치가 ICE2와 ICE3과는 다르게 코일스프링으로 구성되어 있다. 초기의 ICE1 차량편성은 모든 차량의 바퀴가 프랑스의 TGV나 일본의 신간선 차량처럼 일체형 차륜이었으나, 차륜에 의해서 발생하는 소음/진동을 저감 시키기 위해서 1996년에 차륜을 개량하여 외륜과 내륜으로 구분하고 그 사이에 고무링을 삽입한 차륜을 객차 중 약 2/3정도의 차량에 사용하였으나, 1998년 6월 3일 ICE1 차량의 차륜 중 하나가 외륜이 파손되면서 대형 사고가 발생해서 원래의 일체형 차륜을 사용하게 되었다.

독일에서는 신선을 건설하거나 선로개량보다 차량을 개량하는 것이, 경제적으로 유리하다고 판단되어 톨링 차량을 투입하여 경제성을 극대화하였다. ICE계열의 제3세대 차량인 ICE3 차량은 최고속도를 330km/h로 높이고 약 40%의 급경사구간에서도 운행이 가능하도록 동력 분산식으로 전환되었다. 독일 ICE 차량의 실내소음은 표 2에서와 같이 280km/h로 주행 시 대략 66dB(A)로서 현재 KTX와 거의 유사한 수준을 나타내고 있다.

표 2 개활지 구간에서 ICE1의 실내 소음 측정 결과

측정 위치	실내 소음 dB(A)	
	200km/h	280km/h
차량 실내 대차 위	66	70
차량 실내 중앙	62	66

또한, 차량의 모델과 속도는 약간 다르지만, ICE 1의 경우 250km/h 속도로 주행 시 개활지에서 64dB(A), 터널에서 74dB(A)를 나타내고 있다.

콘크리트 레도로 구성된 터널 구간 주행 시 표 3 및 그림 3에서와 같이 독일 고속차량의 실내 소음은 초기모델에서 자갈레도보다 약10dB(A)정도 크게 나타났으며, 250Hz~3000Hz의 소음성분이 문제가 되었다. 이러한 소음레벨을 저감시키기 위해서 콘크리트도상에 흡음재를 처리하여 약 6dB(A)정도의 소음레벨을 저감시켰다.

표 3 200km/h 주행 시 독일 고속차량(Series 122)의 실내소음

주행 구간	레도	실내소음 dB(A)
개활지	자갈도상	64
터널	자갈도상	71
	콘크리트도상	81
	흡음 처리한 콘크리트 도상	75

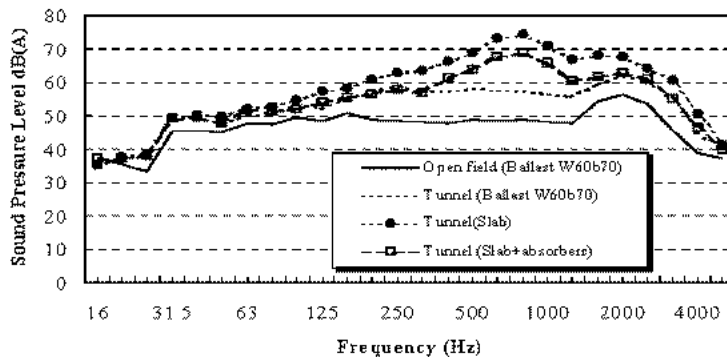


그림 3 200km/h 속도로 운행하는 객실차량의 실내소음 측정결과

#### 4. 신간선 차량의 실내소음 특성

일본의 신간선 차량은 1997년 500계 차량에서 최고속도 300km/h를 달성하였고, 현재는 350km/h급 차량의 개발을 목표로 속도를 향상시키고 있다. 일본 신간선 차량의 실내소음 설계 목표치는 700계 차량 제작 시 개활지 구간에서 68dB(A), 터널구간에서 75dB(A)로 설정하였고, 이 소음설계 목표치를 전부 만족하는 것으로 알려져 있으며, 향후 제작되는 차량의 설계 목표치는 표 4와 같이 최고속도에서 개활지는 65dB(A), 터널구간에서는 70dB(A)로 설정하였다.

표 4 일본 신간선 차량의 실내소음 설계 목표치

차량	실내소음 dB(A)	
	개활지	터널
700계	68	75
향후 제작차량	65	70

일본 신간선 차량에 대한 터널구간과 개활지의 실내소음 주파수 특성은 그림 4 및 그림 5와 같으며, 대체적으로 터널구간에서는 315Hz영역의 주파수 성분이 크고, 개활지 구간에서는 200Hz전후의 주파수 영역에서 소음이 크게 나타났다. 따라서 일본의 신간선 차량의 실내소음 특성은 국내 KTX 차량과 같이 100Hz이하의 저주파수 영역에 대한 소음성분이 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

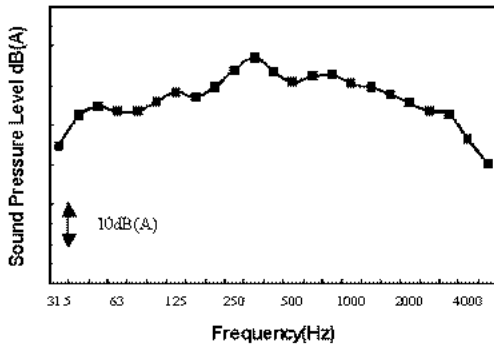


그림 4 270km/h 주행 시 터널구간에서의 실내소음 측정결과

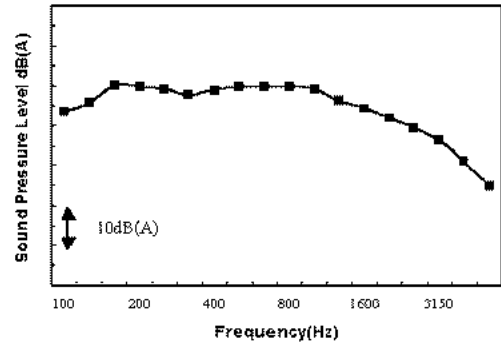


그림 5 300km/h 주행 시 개활지에서의 실내소음 측정 결과

그림 6은 500계 차량과 기존차량의 측정결과이다. 500계 차량은 기존의 신간선 차량보다 동일속도영역에서 개활지는 약2.5dB(A), 터널구간은 약6~6dB(A)정도의 소음레벨을 저감시켰다. 그림 7은 E2계 차량에 대한 실내소음 측정결과이다. E2계 차량의 실내소음은 차량의 속도가 40km/h 증가하면 개활지 구간에서 2dB(A)정도 증가하고, 터널구간에서는 3dB(A)정도 증가한다. 그러나 터널구간과 개활지구간에 대한 소음레벨의 차이는 약7dB(A)정도로써 KTX차량에 대한 개활지와 터널구간의 소음차이 기준을 만족하고 있다.

위의 결과로부터 현재 터널구간 통과 시 KTX차량의 실내에서 발생하는 100Hz 이하 저주파 영역의 소음은 신간선 차량에서는 존재하지 않는 것으로 생각된다.

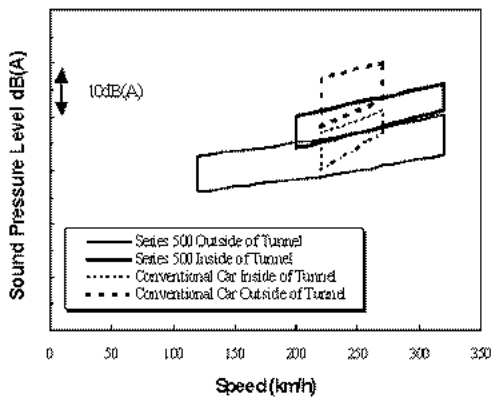


그림 6 신간선 기존차량과 500계 차량의 실내소음 측정결과

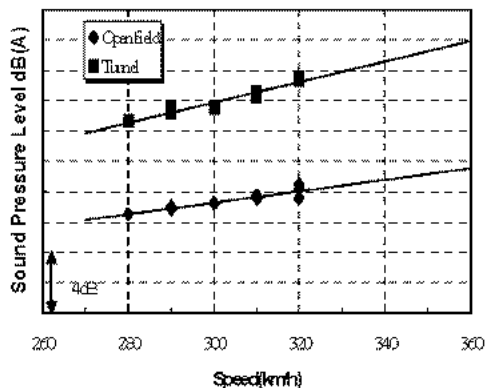


그림 7 E2계 차량의 실내소음 측정결과

### 5. KTX 차량의 실내소음 특성

터널 주행 시 KTX 차량의 실내소음을 파악하기 위해서 현재 상업은행 중인 차량에서 소음을 측정하였다. 측정방법은 터널조건별, 편성차호별, 차량위치별, 제작사별(프랑스 알스톰사 제작차량, 국내 로템사 제작차량)에 따라 실내소음을 측정하기위해서 편성차량을 프랑스 알스톰사 제작차량 2편성과 국내 로템사 제작차량 7편성을 선택하였으며, 측정위치는 1호차, 2호차, 9호차, 17호차의 차량중앙에서 실내소음을 측정하였다. KTX 실내소음 측정 편성차호는 표 5와 같다.

측정구간은 서울역~동대구역 구간에서 300km/h의 속도로 통과하는 터널 가운데 콘크리트궤도로 구성된 황학터널과 화신5터널, 자갈궤도로 구성된 서봉1터널, 운주터널, 비룡터널, 영동터널 및 옥산터널에서 실내소음을 측정하였다.

표 5 KTX 실내 소음 편성차호

차량 제작회사	KTX 편성 번호
프랑스 알스톰사	4호, 12호
한국 로템사	17호, 18호, 21호, 24호, 32호, 36호, 37호, 45호

그림 8은 자갈궤도 터널과 콘크리트궤도 터널에서 상하행선으로 열차가 통과할 때 차내 소음을 속도별로 제시하였다. 이 결과 콘크리트 궤도 터널에서 자갈 궤도 터널 보다 3 ~ 5 dB(A) 차내 소음이 높게 나타남을 알 수 있었다. 그림 9는 KTX #32 편성 차량이 콘크리트궤도 터널인 황학 터널과 자갈궤도 터널인 서봉터널에서의 차내 소음에 대한 시간이력곡선과 순간소음의 주파수 특성을 동시에 나타내고 있다. 이 결과로부터 콘크리트궤도 터널에서 100Hz이하의 저주파 소음이 높은 특성을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 터널도상 조건에 따라 구조물의 진동 및 구조물 특성에 기인하여 자갈도상에 비해 콘크리트 도상에서 소음레벨이 높게 나타나는 것으로 판단된다.

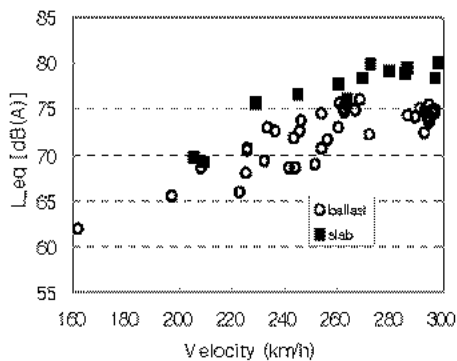


그림 8 KTX 차량의 터널 조건에 따른 실내소음 측정 결과

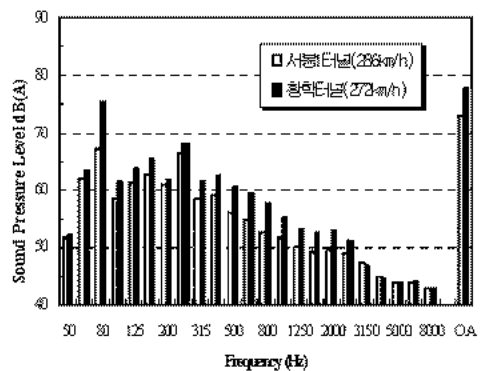


그림 9 KTX #32 편성 차량의 터널 조건에 따른 주파수분석

## 6. 결론

본 연구에서는 국내외 고속차량의 터널 주행 시 차내 소음 특성을 비교 분석하였다. 이에 대해 한 것을 간략하게 요약하면 다음과 같다.

첫째, 프랑스 TGV 차량의 경우 1981년 처음 운행 한 TGV-A 차량의 차내 소음 레벨이 300km/h 주행 시 76.9dB(A)에서 1996년부터 운행되고 있는 TGV-R 차량의 차내 소음은 65.1dB(A) 정도로 약 10dB(A) 정도 낮아짐을 볼 수 있으나, 국내 KTX 차량에서 터널 통과 시 발생하는 100Hz 이하의 저주파 특성은 여전히 가지고 있는 것으로 나타났다.

둘째, 독일 ICE 차량의 경우 운행 속도 250km/h에서 ICE 1 차량의 차내 소음은 개활지에서 64dB(A), 터널에서 74dB(A)였고, 특히 콘크리트 궤도로 구성된 터널 주행 시 차내 소음은 200km/h 주행시에도 81dB(A)로 자갈도상 터널에서의 71dB(A)보다 10dB(A) 정도 높게 나타났다. 이후 콘크리트 도상에 흙음재 처리를 통하여 약 6dB(A) 정도 저감시켰지만, 300km/h로 운행되는 KTX 차량과는 단순 비교가 어려울 면이 있다.

셋째, 일본 신간선 차량의 경우에는 1997년부터 운행되고 있는 500계 차량의 경우 300km/h 주행 시 개활지 68dB(A), 터널 75dB(A)로 이전 신간선 차량보다는 소음 저감을 달성 했다고 하지만 터널 구간과 개활지 구간에 대한 소음 레벨 차이는 약 7dB(A)정도로 KTX 차량과 유사함을 알 수 있다. 또한 700계 차량 이후 제작되는 신간선 차량의 실내소음 설계 목표치가 개활지 65dB(A), 터널 70dB(A)로 터널 소음 저감에 더 많은 노력을 경주함을 알 수 있다.

넷째, 국내에서 운행되고 있는 KTX 차량의 터널 소음은 자갈도상 궤도에서는 300km/h 주행 시 약 73-74dB(A) 이지만, 콘크리트 도상 궤도 터널에서는 78-80dB(A)로 자갈도상터널 보다 콘크리트 터널 도상 터널이 5-6dB(A) 높은 것으로 나타나 이에 대한 저감 대책 기술개발이 절실함을 알 수 있다.

## 참고 문헌

1. 터널 주행 시 KTX 차량의 실내소음 저감방안 도출을 위한 기초용역, 2004. 11
3. Sunghoon Choi, Chan-Woo Lee et. al., Interior Noise of a Korean High-Speed Train in Tunnels, Proceeding of Acoustics 2004 3-5 November