

한국형 고속철도의 소음/진동 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Noise and Vibration for KTX

○김재철* 구동희*, 문경호**

Jae. Chul. Kim, Dong. Hoe, Koo, Kyeong. Ho. Moon

Key Words : KTX(한국형 고속철도), Wayside Noise(연변소음), Rolling Noise(전동음), Conventional Train(재래선)

ABSTRACT

The sources of wayside noise for the high speed train are the aerodynamic noise, rolling noise and power unit noise. One of the best ways to control the wayside noise is to analysis the noise level.

In this paper, we measure the wayside noise and the vibration of the rail/sleeper for Korean Train Express (KTX) and compare with the results for the conventional train. The measurement results for KTX show that the characteristics of the noise and vibration are different from the conventional train and the rolling noise and power unit noise are the major sources.

1. 서론

현재 철도는 타 교통수단과의 경쟁력 확보를 위해서 철도차량의 고속화에 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 결과로서 프랑스, 독일 및 일본 등과 같은 철도 선진국에서는 300km/h 급의 고속철도를 개발하여 운행 중에 있으며, 국내에서도 프랑스의 TGV 를 도입하여 2004 년 개통을 목표로 현재 한국형 고속철도(KTX)를 건설 중에 있다. 그러나 철도차량의 속도증가는 급격한 소음 진동의 증가를 유발하여 많은 민원을 초래하고 있기 때문에, 철도선진국에서도 이에 대한 저감방안에 많은 연구와 노력을 기울이고 있다.

철도차량에서 발생되는 소음은 크게 3 가지로 분류된다. 차륜과 레일에 의한 소음, 차량의 동력장치에 의해서 발생하는 소음, 공력소음 등이 있다⁽¹⁾. 이러한 소음원은 차량의 속도와 종류에 따라서 전체소음에 대한 기여도가 다르다. 현재 운행중인 새마을호와 무궁화호와 같은 동력차는 엔진에 소음이 주된 소음원이며, 지하철과 같은 전기동차의 경우에는 차륜과 레일에 의한 소음이 주된 소음원이다. 그러나 일반적으로 철도차량의 속도가 250km/h 이상으로 주행하는 경우에는 공력소음에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있다^(2,3).

따라서, 본 연구는 현재 시험운행 중에 있는 고속철도차량에 대한 소음원 및 특성을

* 한국철도기술연구원, 선임연구원

** 한국철도기술연구원, 주임연구원

규명하기 위해서 차량의 외부소음과 레일 및 침목의 진동을 측정하였으며, 현재 운행중인 전기동차에 대한 결과와 비교 검토하였다.

2. 시험방법

본 시험은 현재 시험운행중인 한국형 고속철도 차량 1 편성(20 량)을 대상으로 차량 주행시 외부소음과 레일 및 침목의 진동을 측정하였다.

그림 1 은 시험 측정의 개략도를 나타내고

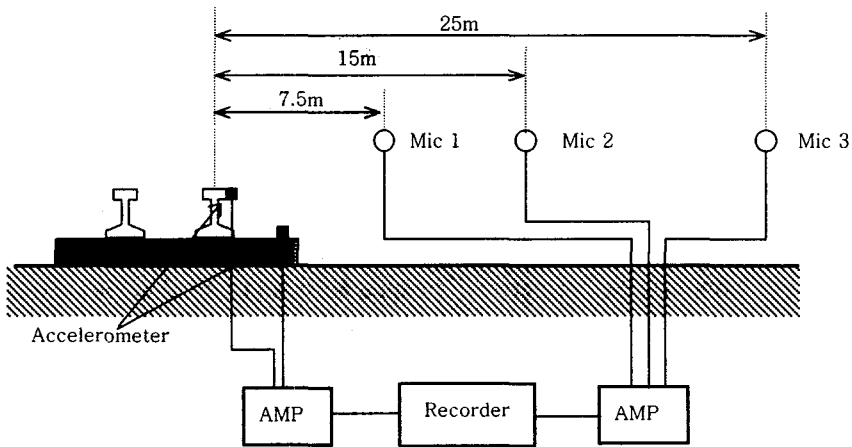


Fig. 1 Measurement set up

3. 시험결과 및 분석

3.1 소음진동 시험결과

그림 2 는 고속철도 차량이 300km/h 의 속도로 주행시 측정된 7.5m, 15m 및 25m 거리에 대한 시간변화의 음압레벨을 나타내고 있다. 음압레벨의 변화는 전두부와 후두부의 소음레벨이 모터차량의 영향에 의해서 크게 나타나고 있으며, 차륜과 레일에 의한 전동음 혹은 공력소음에 의한 영향으로 중간부분에 작은 피크가 존재하는 것을 알 수 있다.

있다. 소음 측정용 마이크로폰은 소음레벨 및 근거리에 대한 거리별 감쇠효과를 파악하기 위해서 레일의 담면으로부터 1.2m 의 높이로, 중앙으로부터 7.5m, 15m, 25m 떨어진 곳에 설치하였으며, 또한 레일과 침목에 대한 진동을 측정하기 위해서 레일 담면 측부와 침목 중앙부에 3 축가속도계를 설치하였다. 측정된 데이터는 레코더(Sony SIR 1000)에 기록하여 분석하였다.

그림 3 은 레일과 침목에 대한 수직방향과 수평방향의 진동레벨을 나타내고 있다.

레일의 진동레벨은 수평방향에 비해서 수직방향의 진동레벨이 약 7~8dB 정도 크게 나타나고 있으나, 침목에 대한 수평방향과 수직방향의 진동레벨의 차이가 적은 것을 알 수 있다. 그러나 위의 결과는 현재 운행중인 전기동차와 많은 차이를 나타내고 있다.

그림 4 는 전기동차가 약 76km/h 의 속도로 주행시 직선구간에서 레일과 침목의 동일한 점에서 측정된 결과이다. 고속철도와는 반대로 레일의 수직방향과 수평방향의 진동레벨

이 약간의 차이를 나타내고, 침목의 수직방향과 수평방향의 진동레벨은 약 5~6dB 정도의 커다란 차이를 나타내고 있다. 이러한 원인은 아직 정확히 밝혀지지는 않았지만, UIC60kg 레일을 사용하는 고속철도와 KS50kg 레일을 사용하는 전기동차의 궤도 시스템의 커다란 차이가 있는 것을 나타내고 있다.

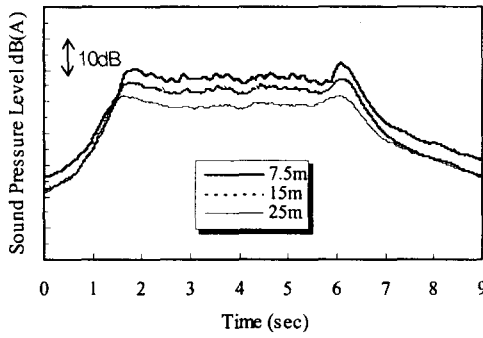
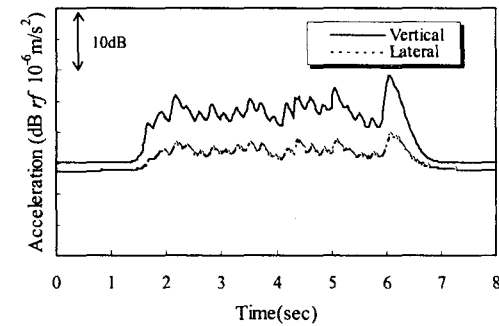
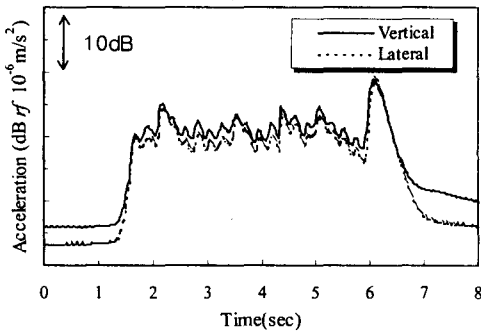


Fig 2. Wayside noise for KTX at speed 300km/h

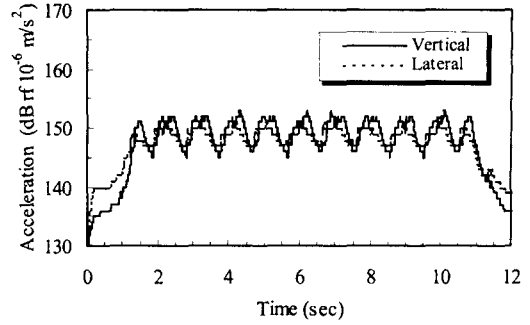


(a) Rail

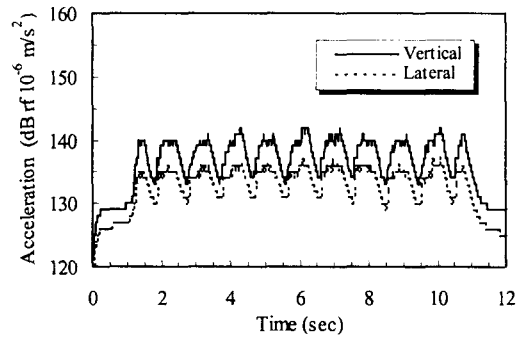


(b) Sleeper

Fig 3. Acceleration level of rail and sleeper for KTX at speed 300km/h



(a) Rail



(b) Sleeper

Fig 4. Acceleration level of rail and sleeper for conventional train at speed 76km/h

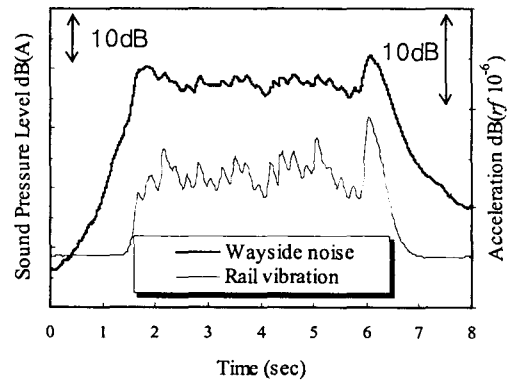


Fig 5. Comparison of rail vibration and wayside noise at 7.5m

3.2 시험결과 분석

전절에서 측정된 시험결과의 주파수 분석 결과와 현재 주행중인 전기동차의 소음진동 레벨을 비교 검토하여 차이점과 고속철도 차

량 주행 시 발생하는 소음의 기여도가 커다란 소음원 및 전파특성을 분석하였다.

그림 5는 전철의 그림 2와 그림 3의 결과 가운데 7.5m 거리의 소음레벨과 레일에 대한 수직방향의 진동레벨을 비교한 결과이다. 소음의 변화형태가 레일 진동의 변화형태와 상당히 일치한다. 특히 후두부의 커다란 소음레벨의 피크는 차량의 모터소음과 차륜과 레일 접촉에 의한 진동음의 영향이 큰 것으로 판단된다.

위에서 언급한 것과 같이 차륜과 레일에 의한 진동음이 외부소음에 미치는 영향을 분석하기 식(1)을 이용하여 소음의 증가형태를 파악하였다.

$$SPL = SPL_{ref} + 10 \log_{10} \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^n \quad (1)$$

여기서, V_{ref} 는 기준속도를 나타내며, SPL_{ref} 는 기준속도에 대한 기준음압을 나타내고 있다.

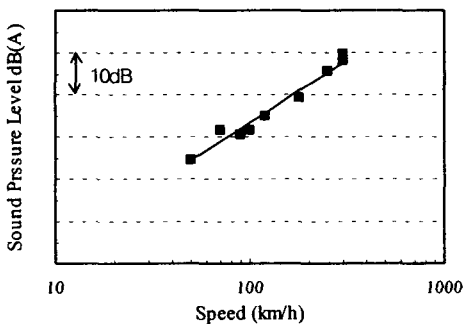


Fig 6. Noise level at 25m against vehicle speed.

일반적으로 소음원의 증가형태는 식(1)에서 $n=1$ 일 경우 추진장치에 의한 소음, $n=2\sim3$ 일 경우 차륜과 레일에 의한 진동음, $n=6\sim7$ 일 경우 공력소음이 주된 원인으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 차량 통과시간

에 대한 등가소음레벨을 차량속도별로 분석하여 증가형태를 그림 6에 나타내었다.

그림 6에서 실선은 기준속도 50km/h에 대한 음압을 식(1)에 대입하여 $n=3$ 으로 계산한 결과이다. 대체적으로 소음의 증가형태가 3승에 비례하는 것을 알수 있다. 따라서 위의 결과로부터 고속철도 차량의 외부소음은 300km/h 까지 차륜과 레일에 의한 진동음이 주요한 소음원인 것으로 판단된다.

그림 7은 고속철도(KTX) 차량의 속도증가에 따른 거리 7.5m와 15m의 소음레벨 감쇠량을 나타내고있다. 이 결과에서 소음원의 거리가 차량의 길이에 비해서 상대적으로 가까운 거리에서는 거리가 2 배 증가함에 따라 차량의 속도가 약 120km/h 이하의 영역에서는 소음 저감량이 약 5~6dB(A)정도이며, 300km/h의 속도영역에서는 약 3~4dB(A)정도의 소음 저감량을 나타내고 있다.

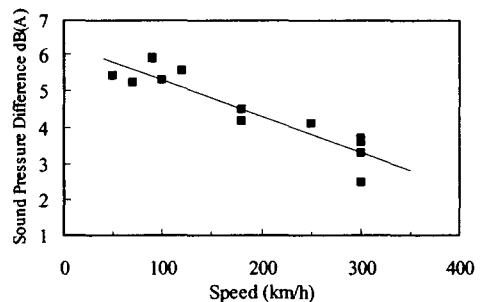


Fig 7. Noise attenuation level between 7.5m and 15m for increasing of train speed

일반적으로 차량을 선음원으로 모델화하는 경우 음원에서부터 가까운 거리에서는 거리가 2 배 증가함에 따라 3dB(A)의 저감량을 나타내는 것으로 알려져 있다⁽⁴⁾. 그러나 Rathe⁽⁵⁾는 근거리에서 거리가 2 배 증가함에 따라 약 6dB(A)로 감소하는 점음원의 형태를 나타내고 중간영역에서는 약 3dB(A), 먼거리에서는 약 6dB(A)로 감소한다고 하였다. 그

러나 본 시험결과에서 나타난 것과 같이 차량의 속도가 증가함에 따라 점음원에서 점차선음원의 형태로 변화하는 것을 확인 할 수 있다.

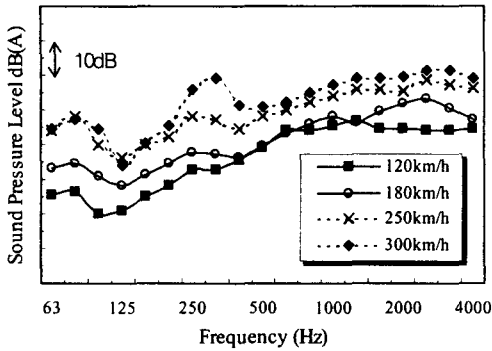


Fig 8. Wayside noise at 25m

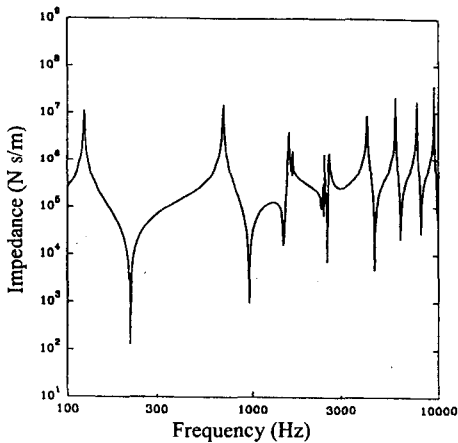


Fig 9. Calculated axial impedance of wheel for high speed train (TGV-A)

그림 8 은 고속철도 차량 주행 시 거리 25m 에서 측정된 속도별 주파수 분석의 결과이다. 차량의 속도가 120km/h 일 경우의 주요한 소음영역은 약 630Hz~4000Hz 정도의 주파수 영역이 크게 나타나고 있으나, 차량의 속도가 180km/h 로 증가하면 315Hz 이하의 영역과 2500Hz 부근의 영역에서 점차 소음 레벨이 증가하고, 250km/h 이상의 속도영역에서는 315Hz 부근과, 1600Hz 이상의 영역에서 소음레벨이 크게 나타나고 있는 것을 알 수

있다.

이러한 소음의 증가 원인은 차륜과 레일에 의한 전동음으로 생각되며, 다음과 같이 설명할 수 있다.

그림 9 는 프랑스 고속철도(TGV-A) 차량의 차륜을 링으로 모델화하여 차축방향의 임피던스를 계산한 결과⁽⁶⁾로서 약 250Hz 부근에서 공진주파수가 존재하는 것을 알 수 있다. 따라서 위의 결과에서 315Hz 부근에서 속도증가에 따라 소음레벨이 크게 나타나는 것은 차륜의 차축방향에서 방사되는 소음의 기여가 커지는 것으로 생각된다.

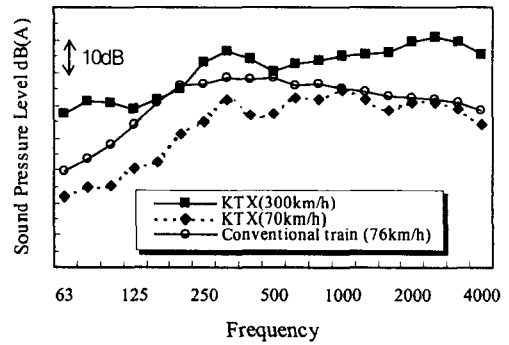


Fig 10. Comparison of wayside noises for KTX and conventional train

그림 10 은 앞에서 측정된 고속철도의 소음레벨과 현재 주행중인 전기동차의 소음레벨을 비교한 결과이다. 전기동차의 측정은 차량이 76km/h 의 속도로 주행 시, 레일의 답면으로부터 1.5m 높이, 레일의 중앙에서부터 5m 떨어진 지점에서 측정된 결과이다.

정확한 비교결과는 아니지만, 고속철도와 전기동차의 주요한 소음영역은 차이가 있는 것을 알 수 있다. 고속철도의 경우에는 전체적으로 315Hz~3150Hz 사이의 주파수 영역이 크게 나타나고, 전기동차의 경우에는 약 200Hz~1250Hz 의 주파수 영역이 크게 나타나고 있다.

앞에서 언급한 1600Hz 이상의 소음증가 원인은 그림 11 과 그림 12 와 같이 레일과 침목에 대한 수직방향의 진동측정결과로부터 분석하였으며, 재래선 철도의 궤도시스템의 차이를 비교하였다.

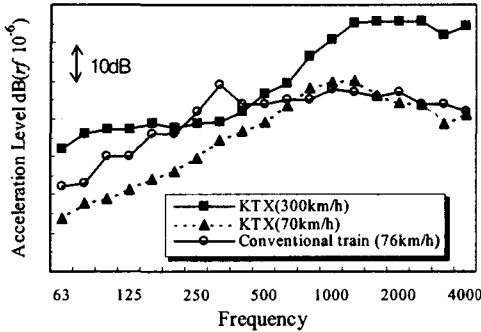


Fig 11. Comparison of rail vibrations for KTX and conventional train

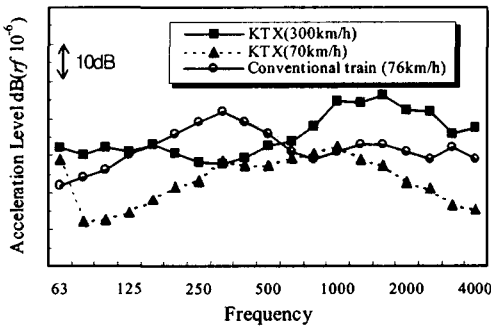


Fig 12. Comparison of sleeper vibrations for KTX and conventional train

침목과 레일의 주파수 분석결과는 고속철도와 전기동차의 경우 많은 차이를 나타내고 있다. 고속철도의 경우에는 레일과 침목의 진동레벨이 저속구간에서는 1000Hz 부근에서 가장 크지만, 고속구간에서는 1250Hz~4000Hz의 주파수 영역에서 급격히 증가한다. 그러나 전기동차의 경우에는 315Hz에서 가장 크게 나타나고 있다..

따라서 고속철도의 소음레벨이 속도증가와 함께 1250Hz 이상의 주파수 영역에서 증가하는 것은 레일에서 방사되는 소음의 영향으로

판단된다. 또한 전기동차의 소음레벨은 차륜보다는 레일에서 방사되는 소음의 영향 큰 것으로 판단된다⁽⁸⁾.

4. 결론

본 연구에서는 한국형 고속철도에 대한 외부소음과 궤도의 진동을 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 한국형 고속철도의 외부소음은 공력소음의 영향보다 전후부의 동력차량에서 발생하는 모터소음과 차륜과 레일에 의한 진동음이 큰 것을 알았다.

(2) 고속철도 차량의 외부소음에 대한 주파수 분석결과 차량이 300km/h로 주행하는 경우, 주파수 315Hz의 부근에서 차륜의 차축방향에 의해서 발생하는 소음이 크게 나타나며, 1250Hz 이상의 주파수 영역에서는 레일의 수직방향에 의한 소음이 증가되는 것으로 판단되었다.

(3) 철도에서 방사되는 소음의 거리 감쇠량은 차량의 길이에 비해서 소음원에 가까운 근거리의 경우 속도가 증가함에 따라 점음원의 형태에서 선음원의 형태로 전환되는 것을 알았다(6dB/d.d 03dB/d.d).

(4) UIC60kg 레일을 사용하는 고속철도의 레일과 침목의 진동은 KS50kg 레일을 사용하는 전기동차의 특성과는 많은 차이가 있다.

고속철도의 레일은 수직방향의 진동에 비해서 수평방향의 진동이 작고, 침목의 진동레벨은 수직방향과 수평방향의 차가 없는 것을 알았다.

향후, 한국형 고속철도의 소음 및 진동에 대한 연구는 더욱 자세한 시험과 이를 기초로 해석이 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 시험은 한국고속철도공단의 협조로 수행되었으며 관계자에게 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김재철, 1999, “차륜/레일 접촉에 의한 소음과 저감대책”, 한국소음진동공학회지, Vol 9, No. 3, pp. 443-449.
- [2] 大山, 1994, “신간선에 대한 저소음 저진동화 기술의 연구개발 동향”, RTRI Repotr. Vol 8. No6, pp 1~5.
- [3] B.Barsikow, 1996, “Experimental various configurations of microphone arrays used to located sound sources on railway trains operated by the DB AG”, Journal of Sound and Vibration, Vol 193, No1, pp 283~293.
- [4] 김정태, 1996, “고속전철의 소음특성과 전파현상”, 한국소음진동공학회지, Vol 6, No3, pp 349~355.
- [5] E.J.Rathe, 1977, “Railway noise propagation”, Journal of Sound and Vibration, Vol 51, No3, pp 371~388.
- [6] Serge Dozin, 1993, “시속 350km/h 이하의 프랑스 고속열차 TGV 의 음향방사 모델에 관한 연구”, University of Liege, 박사학위 논문.
- [7] 김재철, 2000, “철도차량의 전동음 예측에 관한 연구 : 차륜과 레일의 소음기여도 분석”, Vol 10, No 3, pp486~492.