

고속차량 소음원 특성에 관한 연구

A Study on Noise Characteristics of High Speed Trains

고효인†·김재철*·이찬우 *

Hyo-In Koh, Jae-Chul Kim and Chan-Woo Lee

Key Words : High speed train(고속열차), 소음특성(Noise characteristics)

ABSTRACT

In this paper the noise characteristics of KTX are analyzed in order to study the interior noise mechanism of KTX in slab tracks, which has become an issue since the commercial operating in 2004. The analysis of the interior noise of KTX in tunnel with concrete track shows sharply increased noise level in the range of 80Hz that is the natural frequency of the KTX carbody. The frequency characteristics of noise and acceleration levels of KTX in tunnels are compared to understand the interrelation between the noise inside the vehicle and outside the vehicle in the slab track tunnel. As a noise abatement method, the mud-flap was modified with intend to reduce the noise outside gangway and the interior noise inside the passenger compartment ultimately. The effect of this mud-flap modification on the interior noise is introduced and discussed.

2. 고속열차 실내소음

1. 서 론

KTX 운행구간인 경부선 구간은 전체구간 412 km 중에서 교량구간이 109 km(27%), 터널 구간이 191 km(46%) 를 차지하며, 40여개의 터널 중 일부의 궤도는 콘크리트 구조로 이루어진 슬라브 궤도이며, 그 길이가 5 km 이상인 장대터널 등이 존재한다. 슬라브 궤도는 유지보수 절감과 선로구조의 수명, 고속주행 시의 궤도 및 주행안전성의 측면에서 기존의 자갈도상으로 레일이 지지되는 구조보다 장점을 가지고 있는 반면, 레일지지구조의 역학에서 기인, 레일의 진동이 더 클 수 있고 자갈도상에서의 흡음현상의 부재로 인해 운행소음의 병사 측면에서 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 슬라브도상 터널 내 고속운행 시의 차량 실내소음문제를 고찰해 보고, 현 경부선의 슬라브 도상 터널에서 발생하는 소음문제를 분석하고자 한다.

2.1 고속열차의 실내소음원

고속철도 차량의 실내소음원은 추진장치, 보조기계류, 차체구조, 공력소음 및 차륜과 레일에 의한 전동음 등을 들 수 있으며, 이 중 공력소음과 전동음은 속도에 의존하는 특성을 지니고 있다. 300 km/h 로 주행하는 경우에는 차체구조에 의한 소음과 공력소음 및 전동음이 주요 소음원이 되며, 일반적으로는 차체의 가진, 진동의 구조적 전달 그리고 실내에서 발생한 소음이 공기를 통해 직접 전달되어 실내에 소음이 증가하게 된다. 구체적으로는 차량의 구조와 차체 특성에 따라서 발생한 소음이 전달되는 역학과 경로가 다르다. 예를 들어서 동력분산식 차량시스템의 경우에는 전동음에 하부모터 동력소음이 추가되어 객차에는 불리한 반면 운전실의 경우 동력집중식 보다 유리할 수 있다. 또한 1차체에 2축 대차를 2세트 배치한 보기차 시스템의 경우 차량사이의 연결기에 설치된 완충기가 전후의 충동을 분산하여 흡수하는 구조로 객실이 대차 위에 설치되어 실내소음을 고려하여 바닥의 차음구조를 강화해야 하는 특성을 갖고 있다. KTX 와 같이 인접하는 2 개 차체에 1 개의 대차를 공유하는 연접차의 경우 대차와 차체의 결합 특성에 따라서 진동의 전달구조가 다르다. 이와 아울러 객차와 객차간의 연결부 구조는 차체 외판을 따라서 관통부를 동일 면으로 하여 소음저감을 도모하거나, 측면 연장부분에 고무로 된 외측 다이어프램을 설치 혹은 ICE 의 경우와 같이

† 한국철도기술연구원, 차량성능연구팀
E-mail : hikoh@krri.re.kr
Tel : (031) 460-5207, Fax : (031) 460-5279

* 한국철도기술연구원

차체 전체 주위를 덮는 고무제 고정식 외측 다이어프램 등이 있다. KTX의 경우 차간 사이에 대차와 공기 스프링 및 댐퍼들이 설치되어 외부 차간에 개폐된 공간이 존재하며, 고속 주행 시 이 불연속 부분에 공기의 진동적 와류가 발생하여 차체에 압력을 가하고 차체가진 시 특정 차량 소음원의 공진주파수 영역과 일치하면 실내소음에 상당한 영향을 줄 수 있는 요소이다.

2.2 고속차량의 실내소음 특성

TGV 차량의 실내소음 수준은 65 dBA~77 dBA 사이이며, 1989년 제작된 TGV-A의 소음레벨 (76.9 dBA)은 1995년도 제작된 TGV-R (Thalys) 을 통해 65.1 dBA로 저감하였다. 주요 소음원은 80~160 Hz 영역이며, 흡음 내장재를 통한 소음저감은 150 Hz 이상에서 주로 이루어졌다. ICE 1차량의 실내소음은 280 km/h 주행 시 66 dBA로 슬라브 케도 터널 통과시에는 250~300 Hz의 소음성분이 문제가 되었다. 콘크리트 도상 흡음재를 통해 5 dBA 저도 저감이 되었으며 주요 효과는 500~1000 이상에서 나타났다. 그 밖에 독일에서 터널 내 실내소음 저감을 위해서는 창문과 차체 지붕의 방진 및 차음기술을 적용하여 터널 내에서의 소음과 개활지에서의 실내 소음레벨을 3 dBA 이상 저감한 바 있다. 신간선 차량의 터널구간 운행 소음특성은 315 Hz 영역이 두드러지며, 개활지 구간에서는 200 Hz 전후의 주파수 영역에서 소음이 높게 나타났다. 일본에서도 도상용 흡음재를 통하여 방사소음을 2~3 dBA 저감한 바 있다. 그러나 이렇게 전반적인 소음레벨 저감이 아닌 특정 주파수 영역이나 저주파수 영역인 경우에는 해당 공진주파수 영역에서 발생하는 소음원을 중심으로 저감하는 방안들이 적용되고 있고, 그 한 예가 ICE1에서 적용하였던 100 Hz 영역의 2차 현가장치 능동공진 저감을 들 수 있겠다. 케도 상부구조 측면에서는 슬라브와 밸라스트의 상이한 고정구조의 강성, 레일에 연결된 질량과 삽입층의 강성이 차륜/레일 시스템의 공진주파수 영역에서 영향을 미치는 것을 밝혀 아직 미결된 최근의 이론적 연구로부터 밸라스트나 슬래브 구조의 케도로부터의 소음방사는 케도구조 구성간의 matching 을 음향적으로 효과적으로 조절함으로써 저감할 수 있다는 결론을 얻어냈다.

2.3 KTX 실내소음 특성

KTX 주행 시 개활지에 비해서 터널 통과 시 동력차와 객차 모두 80 Hz 와 250 Hz 의 저주파 소음이 크게 나타나며, 동력객차는 동력실의 소음 때문에 일반객차보다 실내 소음이 높게 나타나는 일반적인 사실에 반해 콘크리트 케도 터널 통과 시에는 동력객차보다 객차의 소음이 4~5 dB(A) 정도 높게 나타나고 있다. 특히 80 Hz 성분이 급격히 증가하여 실내소음이 증가하며 동력객차에서는 객차에 비해 80 Hz 성분의 증가량이 작게 나타나서 전체소음레벨이 객차에

비해서 낮게 나타난다 (Figure 1).

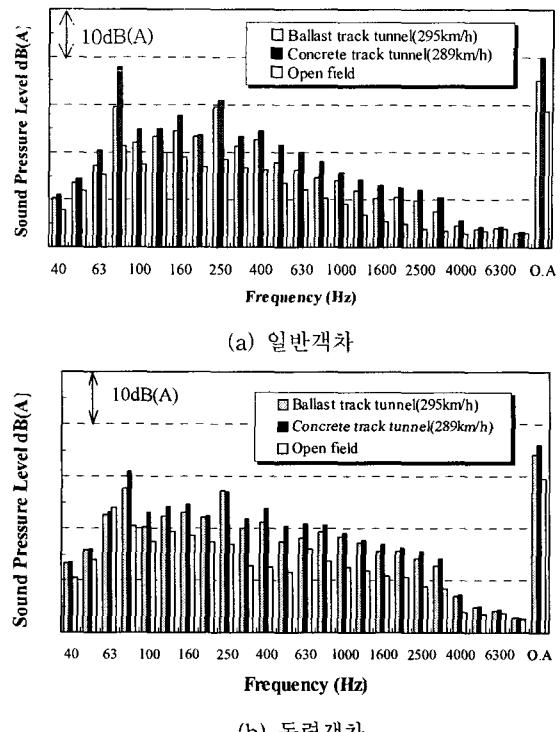


Figure 1. Frequency spectra of interior noise of KTX (a) passenger compartment, (b) motorized car

운행최고속도인 300 km/h로 주행 시 차량 부위별 소음을 측정한 결과 콘크리트 터널 내에서의 차간사이의 소음이 실내소음과 유사하게 80Hz의 주파수 성분이 높게 나타났다 (Figure 2, 3). 그림 2는 도상의 특성과 구간에 관계없이 80 Hz 영역에서 인접 주파수에서 보다는 소음이 부각되는 현상을 보여주나 콘크리트 도상 터널에서 자갈도상 터널 통과시의 소음과 7.5 dB 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 객차간의 연결부를 이루는 차간 외부공간에서의 소음 측정결과는 500Hz ~ 5kHz 소음성분까지 광역에 걸쳐서 두드러지며, 이는 그림 4에서 볼 수 있듯이 차륜과 레일 영역의 소음에 기인한다고 볼 수 있고 특별히 80 Hz 영역 성분은 콘크리트 도상터널 통과 시 차간연결부에서 부각되어 증가함을 알 수 있다 (Figure 4). Figure 5에서는 300 km/h의 운행속도로 터널을 통과할 때 콘크리트 도상 터널과 자갈도상 터널 내의 소음을 비교하였다. 자갈도상 터널 내에서의 운행과 비교하여 보았을 때 주로 콘크리트 터널 내에서의 차량하부 소음의 증가와 관련하여 증가하는 실내소음 주파수 영역은 315 Hz~2kHz 영역이며, 콘크리트 도상 터널 내에서 4 dB 까지 증가한다.

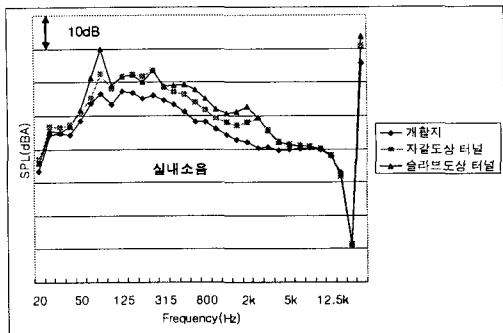


Figure 2. Frequency spectra of interior noise of KTX passenger compartment

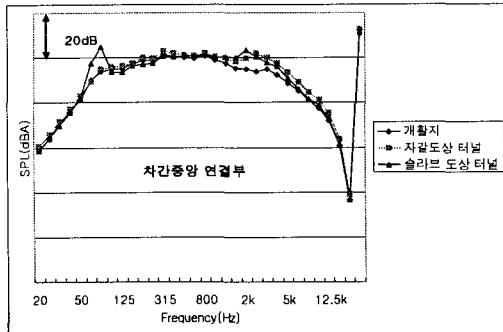


Figure 3. Frequency spectra of noise measured between the passenger compartments of KTX

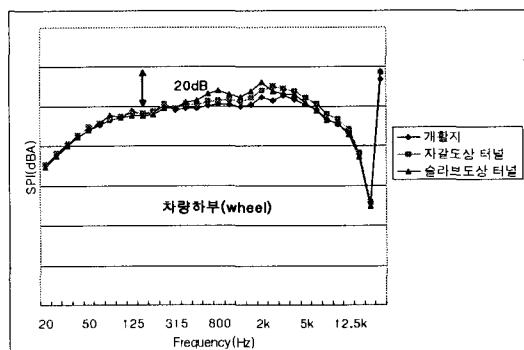


Figure 4. Frequency spectra of noise under car of KTX

한편 콘크리트 도상 터널 내에서의 80Hz 영역의 실내 소음증가는 차량하부소음에서도 기인하며 이는 차간연결부에서 자갈도상과 더욱 차이가 나고 쟁웨이에서는 5.2 dB, 실내소음은 7.3 dB 정도의 차이를 야기한다. 63 Hz 영역에서는 차량하부 소음레벨차가 없으나 차간 외부소음레벨, 쟁웨이 소음레벨, 실내소음 레벨 차이가 역시 두드러지는 것을 볼 수 있다. Figure 6 에서는 자갈도상과 콘크리트 도상

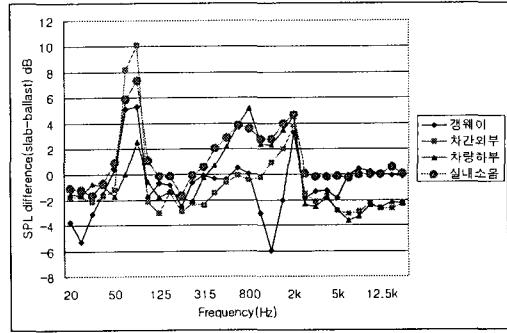


Figure 5. Noise level difference between measurement of KTX in concrete track tunnel and ballast track tunnel

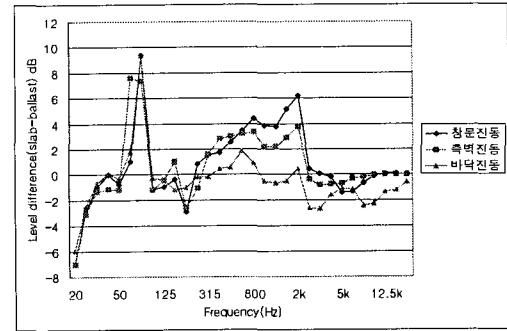


Figure 6. Acceleration level difference between measurement of KTX in concrete track tunnel and ballast track tunnel

터널 내의 차체 진동가속도 레벨의 차이를 나타내었다. Figure 5 의 소음레벨의 차이와 비교하면 콘크리트 터널 통과 시와 자갈도상 터널 통과시의 주파수별 창문 진동레벨 차이와 측벽의 진동레벨 차이가 전반적으로 실내소음 레벨 차이의 경향과 비슷함을 알 수 있다. 현재 터널 주행 시 KTX 실내에서 발생되는 80Hz 저주파 영역의 소음은 콘크리트궤도 터널 통과 시 자갈도상에서의 소음흡수 현상의 부재와 콘크리크도상 케도 진동 특성에 의해서 차륜과 레일에 의한 전동소음레벨이 증가하고, 차간사이에서 공력소음이 발생하며 차체가 가진될 때에 차체의 공진과 실내의 음향모우드와 보강되어 실내소음이 크게 발생되는 것으로 판단된다[1].

3. 차간연결부 변경에 의한 소음특성

콘크리트궤도 터널 통과 시 차량사이에서 증폭되는 80Hz 성분의 소음레벨을 저감하는 하나의 대책으로 차량사이의 공간을 차단하는 방향으로 머드플랩의 길이를 80 mm에서 145 mm로 변경하여 (Fig. 7) 시험한 결과를 Figure 8 에 나타내었다. KTX 터널 내의 소음 시험결과[2] 동일 편성 내에서도 차량별 소음특성이 다르며, 차내의 소음은

차량의 속도에 비례하는 경향을 보이나 그 외에도 차량의 가속정도, 레일 및 차륜 표면의 상태, 측정위치에 따라서 편차를 보인다. 터널 내에서는 차량의 동적 운동 뿐 아니라 공기역학적 현상 때문에 차량의 위치에 따라서 소음레벨의 차이가 있다고 추정된다. 본 시험결과는 동일편성 동일차량의 머드플랩 변경 전 후의 객차 실내소음에 관한 분석이며, 변경 전후의 시험은 각각 다른 날에 시행되어 가능한 운행 속도가 300 km/h에 가까운 콘크리트 터널운행시의 주파수 분석데이터를 제시하였다. 머드플랩의 형상변경을 통해 객차 실내소음은 총합소음도 2.8 dB의 저감효과를 나타내었으며, 그 주된 원인은 80 Hz 영역에서의 소음성분 저감임을 알 수 있다.



Figure 7. Gangway with mud-flap changing

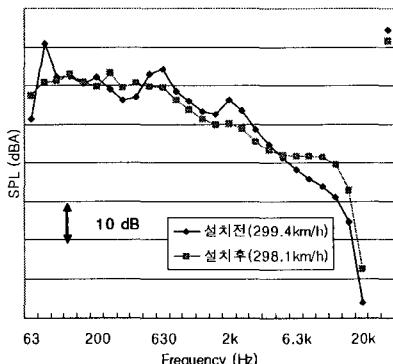


Figure 8 Frequency spectra of interior noise of KTX passenger compartment; before and after mud-flap changing

4. 결론

본 논문에서는 KTX 실차 주행시험 결과를 근거로 하여 차량 부위별 소음레벨과 차체 진동가속도 레벨을 분석함으로써 콘크리트 터널 주행 시 증가하는 실내소음의 발생에 대하여 고찰하였다. 실내소음 성분은 차체측벽, 창문의 진동 가속도 레벨의 콘크리트 도상 터널 내에서의 증가 경향과

비슷하며 80 Hz에서는 차체진동이 자갈도상에 비해 가장 두드러지는 영역이며, 이 현상은 차간외부 머드플랩에서도 나타난다. 이는 콘크리트 도상과 궤도진동특성에 의한 전동음과 차체진동, 차간연결부 내의 발생소음 등에 의한 차체 가진 시 공진영역의 매칭(matching)으로 판단되어진다. 한 저감방안으로 차간연결부의 머드플랩 변경을 통해 차간 사이의 공간에 변형을 주어 콘크리트 터널 내의 80 Hz 영역의 소음성분이 저감하는 결과를 제시하였다. 머드플랩의 변경을 통한 정확한 효과는 적어도 동일 편성 내 여러 차량에 의해 검증되어야 하며, 동일차량의 머드플랩 변경전후의 결과 및 동일 운행 조건 등이 수반되어 좀 더 구체적인 연구가 수행되어야 할 것이라 본다.

참 고 문 헌

- (1) 김재철 등, 2005, 콘크리트 궤도 터널 내 KTX 차량의 실내소음 측정 분석, 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.25~28
- (2) 김재철 등, 2004, “터널 주행 시 KTX 차량의 실내소음 저감방안도출을 위한 기초용역, 연구보고서”, 한국철도기술연구원