

콘크리트 궤도 터널 내 KTX 차량의 실내소음 특성 분석

Analysis of Interior Noise for KTX in Tunnel with Concrete Track

김재철* · 이찬우**

Jae Chul Kim and Chan Woo Lee

Key Words : Interior Noise(실내소음), KTX(한국고속철도), Concrete Track(콘크리트 궤도), Aerodynamic Noise(공력소음), Rolling Noise(전동음)

ABSTRACT

The interior noise of KTX in tunnel is becoming the problem since the commercial operating in April 2004. The major sources of interior noise for High speed train are known as the aerodynamic noise and rolling noise generally.

We measure the noise and vibration inside KTX in tunnel in order to find the cause of the interior noise of KTX. The analysis results show that the interior noise of KTX in tunnel with concrete track is increased sharply by a low frequency below 80Hz that is the natural frequency of the KTX carbody. We know that the booming noise inside KTX in tunnel with concrete track is generated by aerodynamic noise outside ganqway and rolling noise at the carbody natural frequency .

1. 서 론

2004년 4월 1일 KTX가 성공적으로 개통되면서 전국이 반나절 영향권으로 접어들었다. 그러나 점차 KTX를 이용하는 승객이 많아짐에 따라 KTX차량의 역방향 의자 배치와 함께 터널 주행 시 차량의 실내소음에 대한 민원이 제기 되어, 이에 대한 현상을 파악하기 위해서 KTX에 대한 실내소음 측정이 수행되었으며⁽¹⁾, 대책방안에 대한 연구가 진행 되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 KTX 차량 통과 시 KTX차량의 실내소음, 차체진동 및 주파수응답합수등을 측정하여 현재 일부 터널구간 통과 시 차량 실내에서 발생하는 이상 소음의 원인을 규명하였다.

2. KTX차량의 실내소음 측정방법 및 결과

KTX차량은 20량 1편성(동력차:2량, 객차:18량)으로 구성되어있기 때문에 동력실이 부착된 동력객차(1호차)와 일반 객차(3호차)를 선정하여 각 차량의 실내소음을 비교하였다. 소음은 측정은 소음측정용 마이크로폰을 차량 중앙 1.2m높이에 각각 설치하였고, 차량의 속도를 측정하기 위해서 대차 프레임에 속도 측정용 센서를 설치하여 측정하

였다.

그림1은 경부고속철도 구간에 대한 측정결과이다. 고가교, 콘크리트궤도로 부설된 터널구간과 자갈궤도로 부설된 터널구간 통과 시 동력객차와 일반객차의 실내소음 결과이다. 일반적으로 동력객차는 동력실의 소음 때문에 일반객차보다 실내소음이 높게 나타난다. 그러나, 콘크리트궤도터널 통과 시에는 동력객차보다 객차의 소음 4~5dB(A) 정도 높게 나타나고 있다. 이러한 원인을 분석하기위해서 그림 2와 같이 두 터널구간에 대한 주파수를 분석하였다. 개활지에 비해서 터널 통과 시 80Hz와 250Hz의 저주파 소음이 크게 나타났다. 특히 콘크리트 궤도 터널 통과 시에는 80Hz성분의 주파수가 급격히 증가하여 실내소음이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 동력객차에서는 객차에 비해서 80Hz성분의 증가량이 작게 나타나서 전체소음레벨이 객차에 비해서 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 80Hz성분의 소음은 차량의 구조와 관계가 있는 것으로 판단된다.

그림3은 KTX차량이 콘크리트 궤도 터널 통과 시 차량의 실내소음에 영향을 미치는 80Hz성분의 소음이 발생하는 장소를 파악하기 위해서 실내, 갱웨이, 차간 및 하부소음을 측정한 결과이다. 이 결과로부터 실내소음과 차간사이의 소음이 80Hz에서 피크를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 고속주행 시 차량과 차량사이의 공력소음이 80Hz성분의 실내소음과 관계가 있는 것으로 생각된다.

* 한국철도기술연구원, 차량기계연구본부
E-mail : jckim@krri.re.kr
Tel : (031) 461-5203, Fax : (030) 460-5207

** 한국철도기술연구원, 차량기계연구본부

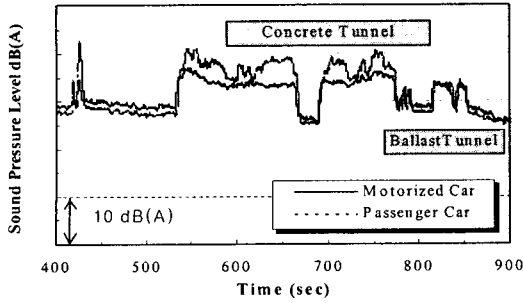
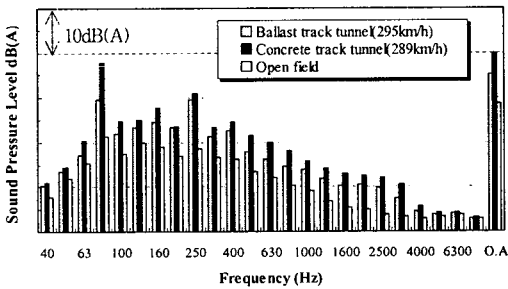
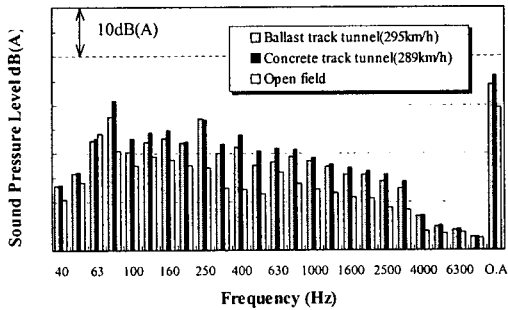


그림 1. 터널 구간에 따른 KTX 동력객차와 객차의 실내소음 특성



(a) 일반객차



(b) 동력객차

그림 2. 터널 통과 시 KTX 실내 소음 주파수 분석

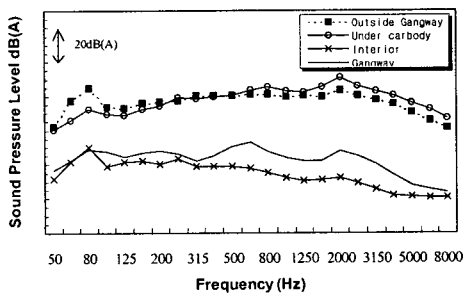


그림 3. 콘크리트 터널 주행 시 차량 부위별 소음 특성

3. KTX 차체진동 및 실내소음 분포도 측정

3.1 터널 내 KTX 차체 진동 측정결과

KTX 차체의 진동특성과 실내소음의 관계를 파악하기 위해서 KTX차량의 차체 주요부위(바닥, 차체 및 창문)에 진동가속도계를 부착하여 터널 구간 주행 시 차량의 진동을 측정하였다.

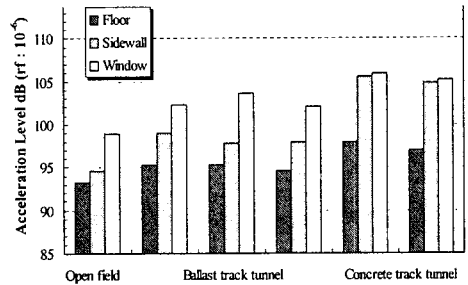


그림 4. KTX 차체의 진동가속도 레벨

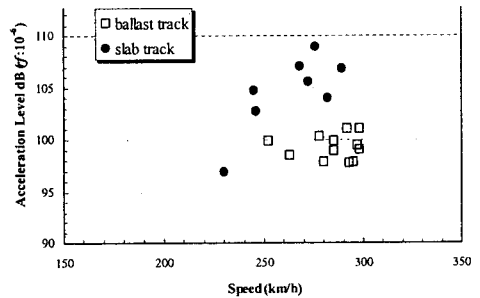


그림 5. 궤도 특성과 주행속도에 따른 KTX 차체의 진동 가속도 레벨

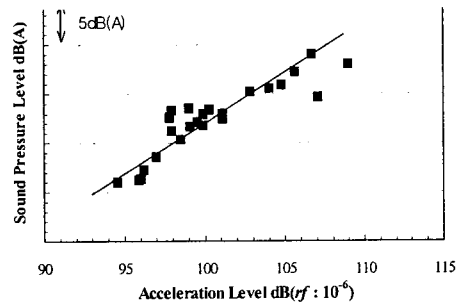


그림 6. KTX 차량 내부의 실내소음과 차체 진동레벨의 관계

그림 4는 터널 통과 시 KTX 차량의 차체바닥, 측벽 및 창문의 측정결과이다. 대체적으로 바닥이 가장 적게 나타

나고 창문이 가장 커다란 진동레벨을 나타내고 있으며, 특히 콘크리트 궤도 터널 통과 시에는 차체의 진동이 커지는 현상을 파악할 수 있다.

그림 5는 차량의 속도에 따른 차체의 진동레벨을 나타낸 결과로서 자갈도상 궤도에 비해서 콘크리트궤도 터널 통과 시 차체의 진동레벨이 약5~6dB정도 큰 것을 알 수 있다. 그림 6은 실내소음과 차체 측벽의 진동레벨과의 관계를 나타낸 결과이다. 차체의 진동레벨이 증가함에 따라서 실내소음도 함께 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 차체 측벽과 실내소음의 탁월주파수의 관계를 나타내고 있다. 대체적으로 차체측벽의 탁월주파수와 실내소음에서 문제가 되는 주파수가 유사한 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 결과로부터 KTX차량이 콘크리트궤도 터널구간을 주행하면, 차체의 저주파수 영역의 진동레벨이 커지면서, 실내소음이 발생하는 것으로 판단된다.

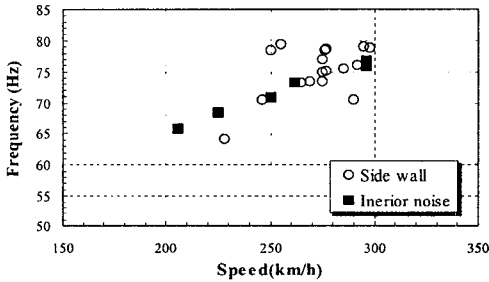


그림 7. KTX 차체 측벽과 실내소음의 탁월주파수

3.2 터널 내 실내소음 분포도 측정 및 실내 음향 모드의 계산

KTX차량이 콘크리트궤도 터널 통과 시 차량 실내에서 발생하는 소음의 분포를 확인하기 위해서 좌석 뒤편에 상하 좌우 30cm간격으로 25개의 마이크로폰을 설치하여 실내소음을 측정하여, 레코더(SONY SIR-1000)에 기록한 후, 분석하였다.

그림 8은 콘크리트궤도 터널 통과 시 측정된 실내소음의 80Hz성분에 대한 결과이다. 이 결과로부터 창문아래에서 실내소음레벨이 가장 크게 나타나고, 점차 중앙으로 이동할수록 소음레벨이 작아지는 것을 알 수 있다.

이 측정결과와 KTX차량에 대한 실내 공간의 음향 특성을 파악하기 위해서 상용소프트웨어 SYSNOISE를 이용하여 KTX차량에 대한 실내공간의 음향모드를 계산하였다.

실내 공간의 음향모드를 계산하기 위해 KTX차량 단면에 대한 유한요소 모델을 작성하고 음향 유한요소해석 방법으로 모드를 계산하였다. 이 모델은 총 699개의 절점과 649개의 요소로 구성되어있으며, 차체 벽면의 경계조건은 강체 조건으로 해석하였다. 그림9는 KTX차량의 66.2Hz의

실내모드 형상을 나타내고 있다. 이 계산결과와 차량의 실내소음 분포도의 측정결과가 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 음향 모드는 차량의 이상소음과 관계가 있는 것을 판단된다.

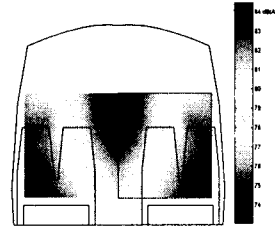


그림 8. KTX 주행 시 차량 내부 음향 특성(80Hz)

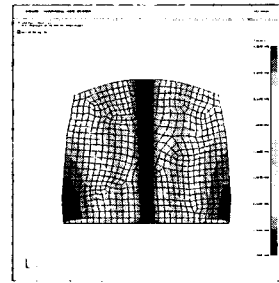


그림 9. KTX 황학터널 주행 시 차량 내부 음향 특성(66.2Hz)

4. 콘크리트 궤도 터널 주행 시 KTX 차량의 실내소음 발생원인 분석 및 검토

4.1 차체의 주파수 응답측정 측정결과

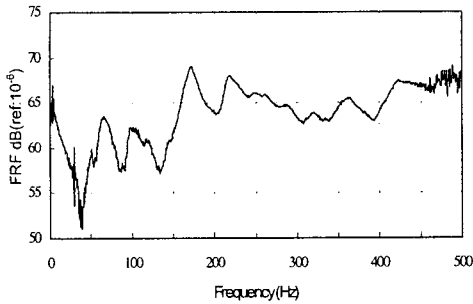
KTX 차량의 고유진동수를 파악하기 위해서 임팩트해머와 진동가속도계를 이용하여 객차의 측벽과 창문에 대한 주파수 응답함수를 측정하였다.

그림 10(a)는 창문에 대한 주파수응답함수 측정결과이다. 약65Hz와 100Hz영역에서 고유진동수가 존재하는 것을 알 수 있다. 그림 10(b)는 객차 측벽과에 대한 주파수 응답함수를 나타내고 있다. 객차 측벽에는 75Hz~85Hz사이에 두 개의 고유진동수가 존재하고 있다. 이러한 창문과 측벽의 고유진동수가 차체의 진동 및 실내소음에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

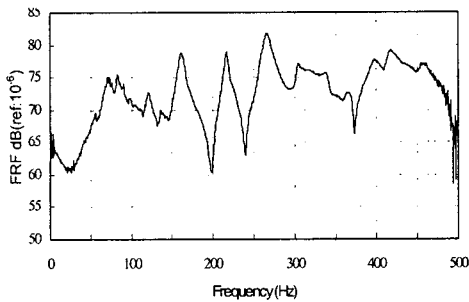
4.2 터널조건에 따른 터널 내 소음측정결과

터널의 특성에 따라 KTX차량 통과 시 터널 내 소음의 특성을 분석하기 위하여 자갈궤도 터널과 콘크리트궤도 터널의 측정 결과를 분석하였다. 측정방법은 궤도중심과

궤도에서 약4m떨어진 측벽 지점에 마이크론을 설치하여 레코더(SONY SIR-1000)에 기록한 후, 분석하였다. 그림11은 KTX차량 통과 시 측정위치와 터널구조에 따른 소음레벨을 측정한 결과이다. 이 결과로부터 자갈궤도 터널보다 콘크리트궤도 터널의 소음레벨이 약4~6dB(A)정도 높게 나타났다.



(a) 창문



(b) 측벽

그림 10. 측벽과 창문의 주파수 응답함수 측정결과

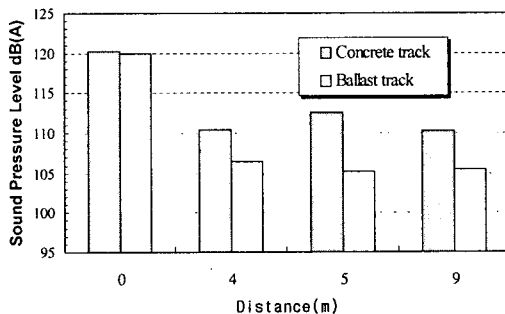


그림 11 터널구조와 거리에 따른 터널 내 소음레벨

4.3 콘크리트궤도 터널 통과 시 KTX 실내 소음 발생원인 분석 및 검토

현재 터널 주행 시 KTX 실내에서 발생하는 80Hz 저주파 영역의 메카니즘은 다음과 같이 생각할 수 있다.

콘크리트궤도 터널 통과 시 차륜과 레일에 의한 전동음과 콘크리트도상의 진동에 의해서 소음레벨이 증가하고, 이 소음레벨과 더불어 차간사이의 공력소음이 차체를 가진하여, 차체의 공진주파수와 실내의 음향모드와 일치하여 80Hz성분의 저주파 소음이 크게 발생하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

- (1) 자갈궤도 터널보다 콘크리트궤도 터널에서 KTX 차량의 실내소음이 높게 나타났으며, 이러한 원인은 80Hz의 주파수 성분이 증가하기 때문이다. 또한 차량의 구조가 다른 동력객차와 비교한 결과 객차보다 80Hz의 성분이 낮게 나타났다.
- (2) 콘크리트궤도 터널 통과 시 차량 부위별 소음을 측정된 결과 차간사이의 소음이 실내소음과 유사하게 80Hz의 주파수 성분이 높게 나타났다.
- (3) 터널 내 차량통과 시 차체의 진동레벨을 측정된 결과 차체 바닥, 측벽, 창문의 순서로 진동레벨이 높았으며, 자갈궤도보다 콘크리트궤도에서 진동레벨이 높게 나타났다.
- (4) 콘크리트 터널 통과 시 KTX 실내소음은 창문아래에서 실내소음레벨이 가장 크게 나타나고, 점차 중앙으로 이동할수록 소음레벨이 작아지며, 이러한 분포는 차량의 실내 음향모드의 일치하였다.
- (5) KTX차량의 측벽에 대한 주파수응답함수를 측정된 결과 일반객차의 측벽은 약75~85Hz, 창문은 약65Hz영역에서 공진주파수가 나타났다.
- (6) 터널 내 소음레벨은 자갈궤도터널보다 콘크리트궤도터널에서 약4~6dB(A)정도 높게 나타났다.
- (7) 콘크리트궤도 터널 주행 시 KTX차량에 대한 실내소음의 발생원인은 차륜과 레일에 의한 전동음과 공력소음이 차체를 가진 하여 차체의 측벽과 창문의 고유진동수영역에서 진동이 증가하면서 이 진동에 의해서 발생한 소음이 실내 음향모드 주파수와 일치하여 80Hz의 저주파영역에서 소음이 발생하는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 김재철 등, 2004, "터널 주행 시 KTX차량의 실내소음 저감방안도출을 위한 기초용역, 연구보고서", 한국철도기술연구원.