

머드플랩이 개선된 KTX차량의 궤도구간별 실내소음 특성에 관한 연구

A Study on the Interior Noise Characteristics of KTX with Improved Mud Flap for Various Track Conditions

김진호* 김우리** 박대근***
Kim, Jin Ho Kim, Woo Ri Park, Dae Geun

ABSTRACT

There has been an increasing demand for the mitigation of noise and vibration caused by KTX. One of considered noise reduction methods which is to enlarge mud-flap in gangway was selected and the replacement of all KTX mud-flaps by improved mud-flaps was completed recently. To investigate the noise characteristics of KTX with improved mud-flap, the measurement was performed. Based on the measurement results, the assessment of noise level, noise characteristics by speed and pure tone analysis for various track conditions was executed. It is shown that the use of improved mud-flap is effective to reduce the interior noise of KTX.

1. 서론

한국형 고속철도 KTX가 개통이후 성공적으로 운영되고 있으며 철도운송에서 KTX의 역할이 점차 증가하고 있다. 그러나 콘크리트 슬래브궤도가 설치된 터널구간과 교량구간 등 일부구간을 통과 시 소음레벨이 증가하여 소음을 저감하기 위한 다각적인 노력이 수행되어왔다. 그 일환으로 차량 갱웨이부에 설치되어 있는 머드플랩의 폭을 확장하여 소음 유입의 차단효과를 기대하는 방식이 채택되었으며, 2006년 6월까지 KTX 전 차량을 개량된 머드플랩으로 교체하였다. 따라서 궤도에서 소음저감방안의 정립을 위하여 궤도구간의 종류에 따라 머드플랩이 개선된 차량의 소음특성 파악이 요구된다. 이에 서울역에서 동대구역 구간까지 3회의 측정을 실시하였으며 궤도구간별 소음레벨, 소음특성과 궤도구간과 차량속도에 따른 소음특성, 순음분석을 수행하였다.

2. 실내소음 측정

실내소음 측정은 고속철도 전 운행구간인 서울역에서 동대구역까지의 상선 및 하선 구간을 수행하였으며, 측정시 대상차량은 시험운행 차량으로 탑승객이 없는 상태로 진행되었다. 구간별 특성을 파악하기 위하여 개활지, 고가구간, 터널구간으로 분류하고, 구간별로 가장 높은 실내소음레벨을 보이고 있는 구간을 평가분석 하였으며 해당구간은 표 1과 같다.

* 김진호, 정회원, 한국철도기술연구원, 궤도구조연구팀

E-mail : ziminpa@krri.re.kr

TEL : (031)460-5774 FAX : (031)460-5814

** 한국철도기술연구원, 궤도구조연구팀

*** 한국철도시설공단

표 1 소음평가 대상 구간

개활지		서봉터널 ~ 사창고가
고가구간		어연고가, 다수고가
터널구간	자갈도상터널	서봉터널, 옥산터널
	슬래브도상 터널	화신 5터널, 황학터널

총 3회에 걸쳐 측정을 수행하였으며 1차 소음측정 시 대상차량(KTX 22)의 특실(TR 4), 일반실(TR 6)에는 마이크로폰 및 동력 객차(TR 1)에는 소음계를 객차 중앙부 바닥면으로부터 1.2m 높이에 설치하였다. 또한 2차, 3차 소음측정 시 대상차량(KTX 12)의 특실(TR 5), 일반실(TR 6) 및 동력객차(TR 1)의 중앙부 바닥면으로부터 1.2m 높이에 마이크로폰을 설치하였다. 측정 위치에 대한 개략도는 다음 그림 1과 같다.



그림 1 측정위치 (마이크로폰 설치 위치)

KTX 차량의 실내소음을 평가하는 값으로 A 보정 등가음압레벨을 사용하였으며 다음과 같이 정의된다.

$$L_{Aeq, T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt \quad (1)$$

식 (1)에서 T는 측정시간으로 측정결과에 편차가 크지 않도록 충분히 큰 값을 취해야 하며, L(t)는 시간 t에서의 소음레벨 dB(A)이다.

계측된 실내소음레벨은 대부분의 구간에서 기준값 이하임을 알 수 있었으며, 전반적으로 자갈도상터널보다 슬래브 터널에서 소음레벨이 약 3dB(A) 정도 높은 것으로 나타났다. 2, 3차에서 측정된 실내소음이 대부분의 구간에서 1차 계측결과보다 낮게 측정되었으며, 이는 차량의 속도가 일정하게 유지하기가 쉽지 않았으며 일부 구간에서 운행속도제한으로 인하여 1차와 비교하여 2, 3차 계측 시 운행속도가 낮아졌기 때문이다.

3. 실내소음 특성 분석

3.1 구간별 소음 스펙트럼 분석

실내소음의 구간별 소음 레벨뿐만 아니라 소음 특성을 분석하기 위하여 각 구간에 대하여 1/3 옥타브 밴드 분석을 수행하였다. 즉, 터널 구간의 경우 터널 입구에서부터 출구 통과 시간까지의 기록된 타임 데이터(Recording Time data)로부터 1/3 옥타브 밴드 중심 주파수(1/3 Octave Center Frequency) 20 Hz ~ 12.5 kHz까지 분석하였다. 각 구간에 대한 1/3 옥타브 분석 결과는 그림 2 ~ 그림 5에 그래프로 나타내었으며 각 구간은 특실, 일반실 및 동력객차로 구분하여 분석하였다.

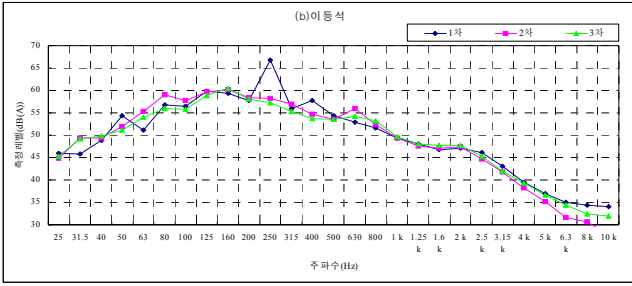


그림 2 서봉터널 소음 스펙트럼 분석 결과
(서울역 ⇒ 동대구역)-일반실

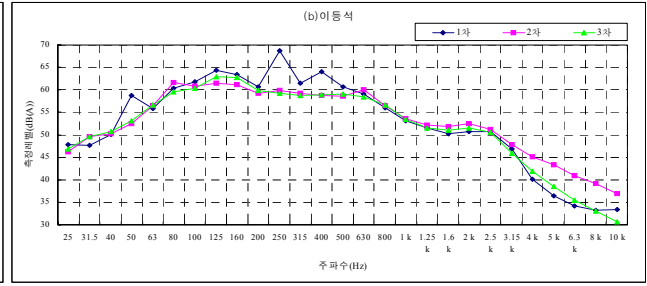


그림 3 황학터널 소음 스펙트럼 분석 결과
(서울역 ⇒ 동대구역)-일반실

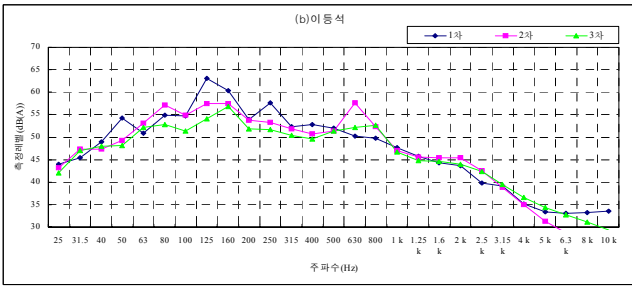


그림 4 어연고가 소음 스펙트럼 분석 결과
(서울역 ⇒ 동대구역)-일반실

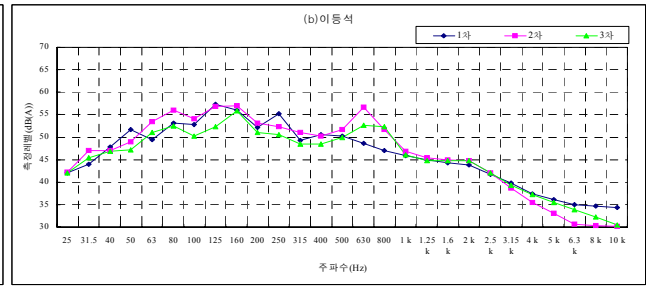


그림 5 개활지 소음 스펙트럼 분석 결과
(서울역 ⇒ 동대구역)

전 구간에 걸쳐서 2, 3차의 소음스펙트럼은 유사한 경향을 나타내고 있으나 1차와는 확연히 구분된다. 1차 소음스펙트럼으로부터, 궤도구조와 관계없이 터널구간은 250Hz 대역에서 높은 소음을 나타내고 있고 고가구간과 개활지구간은 125Hz 대역이 탁월 주파수임을 알 수 있다. 또한 소음스펙트럼 분석 결과로부터 슬래브도상터널이 자갈도상터널과 비교하여 전 주파수영역에서 소음이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 2차와 3차 소음스펙트럼으로부터, 대부분의 구간에서 125Hz가 높은 소음을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 콘크리트궤도 또는 자갈궤도 특성에 따른 특정 주파수 영역이 크게 나타남을 알 수 있다. 머드플랩이 개선되기 전 기존 KTX차량의 탁월주파수는 80Hz 영역으로 보고되었으나 머드플랩이 개선된 KTX차량은 소음스펙트럼은 다른 특성을 보이고 있다.

3.2 구간조건과 차량속도에 따른 실내소음 분석 결과

3.1절의 결과로부터 소음레벨이 속도와 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 이에 본 절에서는 터널과 고가구간에서 속도별로 소음레벨의 변화를 파악하고자 하였다. 그림 6은 하행 시 자갈궤도 터널과 슬래브궤도 터널구간에서 차량속도별 소음레벨을 비교하였다. 그림 7은 상·하행 시 고가구간에서 차량속도별 소음레벨을 비교하였다.

터널구간에서 속도가 증가함에 따라 소음레벨의 상승이 두드러졌으며 동일한 속도에서 자갈궤도 터널에 비해서 슬래브궤도 터널에서 실내소음 레벨이 약 3 ~ 5dB(A)정도 높은 것을 알 수 있다. 고가구간의 경우에도 속도가 상승함에 따라 소음레벨의 높아짐을 알 수 있다.

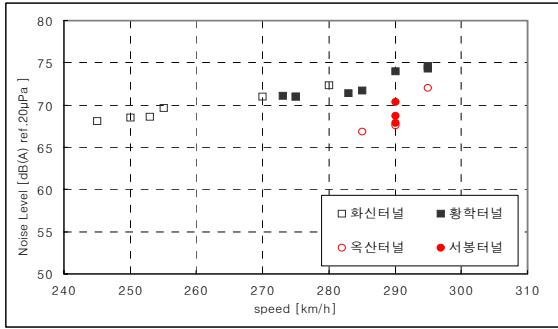


그림 6 하행 시 속도별 터널구간 소음레벨

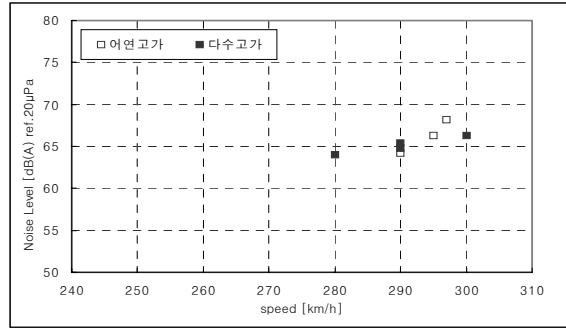


그림 7 하행 시 속도별 고가구간 소음레벨

3.3 구간별 순음 분석

순음성 소음 분석은 1/3 옥타브 밴드 중심주파수 (1/3 Octave Band Center Frequency)에서 인접하는 두 밴드의 평균으로부터 계산한다. 즉, 식(2)와 같이 1/3 옥타브 밴드 중심 주파수에서 소음 레벨과 인접하는 두 밴드의 평균 소음레벨과의 차이로부터 계산하였다. 이 차이가 5dB(A)를 초과할 때 객차 내 소음 특성에서 순음(Pure Tones) 특성이 강한 것으로 규정한다.

$$T(n) = L(n) - \frac{L(n-1) + L(n+1)}{2} \quad (2)$$

여기서, T(n) : n 번째 1/3 octave band에서 계산된 기준 레벨

L(n) : n 번째 1/3 octave band에서 측정된 소음 레벨

각 구간별 순음분석 결과는 그림 8 ~ 그림 11에 나타내었다. 2차 측정 시 고가구간의 경우 530Hz - 630Hz 대역에서 순음이 나타났으나 대부분의 구간에서는 순음이 관찰되지 않거나 5dB(A)를 밑도는 것으로 나타났다.

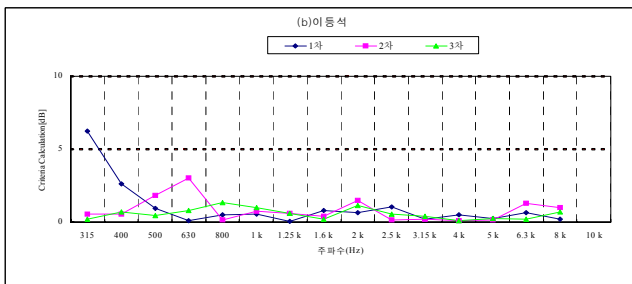


그림 8 서봉터널 - 일반실 순음분석 결과 (서울역 ->동대구역)

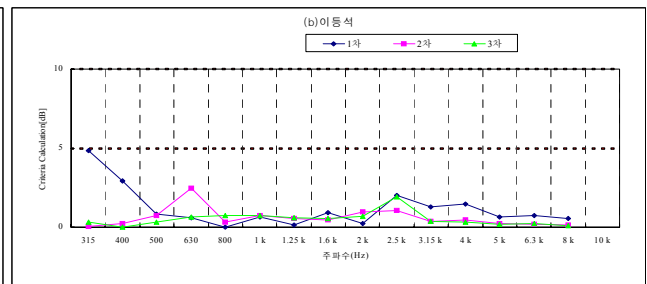


그림 9 황학터널 - 일반실 순음 분석 결과 (서울역 ->동대구역)

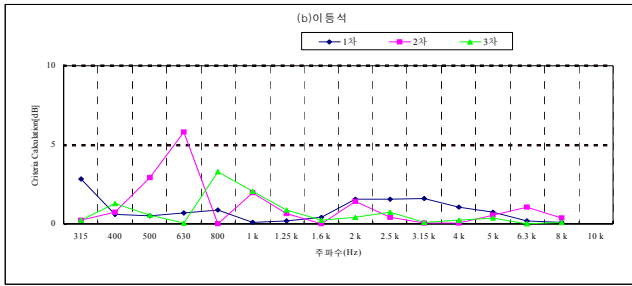


그림 10 어연고가 - 일반실 순음 분석 결과
(서울역 ->동대구역)

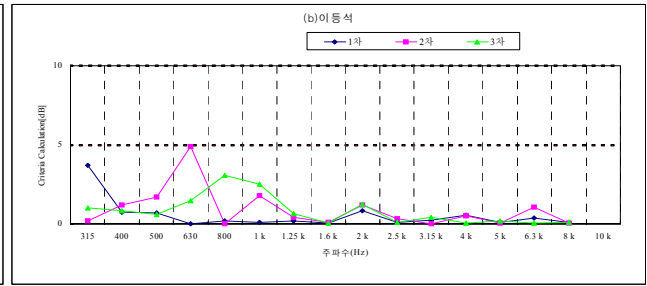


그림 11 개활지 - 일반실 순음 분석 결과
(서울역 ->동대구역)

4. 결론

실내소음을 저감하기 위해 갱웨이부의 머드플랩을 개선한 KTX 차량에 대하여 서울역 ~ 동대구역 구간에서 3회에 걸쳐 실내소음계측을 수행하였다. 소음특성 파악을 위하여 자갈도상터널, 슬래브도상터널, 고가, 개활지 구간으로 분류하고 가장 높은 소음레벨을 나타낸 구간을 선정하여 1/3 옥타브밴드 분석, 속도별 소음레벨분석 및 순음분석을 수행하였다. 이에 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 각 구간별 시점에서 종점까지의 KTX차량의 실내 등가소음레벨은 대부분의 구간에서 기준값 이하로 계측되었다.
- 2) 소음스펙트럼 분석의 결과로부터, 궤도구조와 관계없이 터널구간은 250Hz 대역에서 높은 소음을 나타내었고 고가구간과 개활지 구간은 125Hz 대역이 탁월 주파수임을 알 수 있었다. 또한 소음 스펙트럼 분석 결과로부터 슬래브도상터널이 자갈도상터널과 비교하여 전 주파수영역에서 소음이 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 머드플랩이 개선되기 전 기존 KTX 차량의 탁월주파수는 80Hz 영역으로 보고되었으나 머드플랩이 개선된 KTX차량의 소음스펙트럼은 다른 특성을 보이고 있다.
- 3) 구간특성에 따라 속도별로 소음레벨을 분석한 결과, 터널구간에서 속도가 증가함에 따라 소음레벨이 높아졌으며 동일한 속도에서 자갈궤도 터널에 비해서 슬래브궤도 터널 주행 시 실내소음 레벨이 약 3 ~ 5dB(A)정도 높게 나타났다.
- 4) 고가구간의 경우 630Hz 대역에서 순음이 5dB(A)를 초과하는 경우도 있었으나 대부분의 구간에서는 순음이 5dB(A)이하로 나타났다. 머드플랩이 개선되기 전 KTX 차량의 경우 80Hz영역에서 순음이 약 15dB(A)을 웃도는 것으로 보고되었으나, 머드플랩의 개선된 경우 순음이 대부분 영역에서 5dB(A) 이하로 줄었음을 알 수 있다.

5. 참고문헌

- 1) prEN ISO 3381 Railway application acoustics - Measurement of noise inside railbound vehicle
- 2) ISO 3381 Acoustics - Measurement of noise inside railbound vehicles
- 3) 최성훈, 김재철, 이찬우, 문경호, “한국형 고속철도 차량의 운행조건에 따른 차내 소음 분석” 2003년 한국철도학회 추계학술대회 논문집 (2003)
- 4) 최성훈, 김재철, 이찬우, 조준호, “KTX 차량의 터널 통과 시 소음특성” 2004년 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집(2004)