

고속철도 차량의 외부소음 예측 및 저감 연구 : 광음향기법 응용

HST exterior noise : prediction and reduction scheme by using ray tracing technique

홍윤혁† 김정태** 김정수***
Yun H Hong Jeung T Kim Jung-Soo Kim

ABSTRACT

In this research, an external noise distribution of a HST has been analyzed by using a ray tracing techniques. An aero-dynamic noise generated from a bogie has been considered as a major noise source. Then a distribution of the noise on the outside of the vehicle is calculated using a ray noise technique. The models simulated are two different acoustic fields: an open field and a tunnel. In order to evaluate the noise effects, an exterior structure has been modified by using a different length of skirts.

Various application schemes of reducing an environmental noise level will be expected for a HST based on this research.

1. 서 론

본 연구에서는 동력 분산식 고속철도 차량이 고속 주행 시 발생하는 차량 외부 소음 예측 및 해결 방안 제시를 위한 기초 연구를 수행하였다. 기존 350km/h의 주행속도를 가지고 있는 고속철도 차량의 단일 객차의 보기부분에서 발생하는 공력 소음원을 바탕으로 차량 외부에 발생하는 소음을 개활지 주행 시와 터널 주행 시의 두 가지 사례를 예측하였고 해석 기법으로는 광음향 기법을 이용하였다. 또한 개활지 주행 시와 터널 내부 주행 시로 나누어 광음향 기법으로 시뮬레이션 한 모델의 차량 하부 소음원이 위치하고 있는 보기 부분에 스커트 장착을 고려하여 스커트 장착 시 소음 저감 효과를 예측하였다.

본 연구를 토대로 향후 연구를 추진해 나간다면, 현재 개발되고 있는 동력 분산식 고속철도 차량에 적용할 수 있는 모델 개발 및 동력 분산식 고속철도 차량에 대한 효과적인 외부 소음저감 방안이 도출될 것으로 판단된다.

† 홍익대학교 대학원 기계공학과, 정회원
E-mail : stained81@naver.com
TEL : (02)320-1113 FAX : (02)320-1113
** 홍익대학교 기계시스템디자인 공학과
*** 홍익대학교 기계시스템디자인 공학과

2. 고속철도 차량 모델링

고속철도 차량의 외부 소음을 예측하기 위하여 본 연구에서는 기존 연구가 수행된 G7열차를 해석 모델로 선정하여 열차의 객차를 CAD 프로그램과 유한요소해석 프로그램을 이용하여 해석 모델을 구성하고 광음향 기법 프로그램인 Raynoise를 이용하여 해석을 수행하였다.

2.1 광음향 기법 해석 시 사용된 음원

광음향 기법을 이용하여 고속철도 차량의 외부 소음을 예측하기 위하여 사용된 음원은 기존 연구에서 수행된 시속 350km에서의 보기와 간극 부분에서 나타나는 공력소음의 데이터를 참고로 하여 보기와 간극 부분에서 3개의 점음원으로 모델링 하였으며 기존 연구 자료에서 제시된 각 지점의 SPL 데이터를 바탕으로 각각의 밴드별 음향 파워를 계산하여 사용하였다.

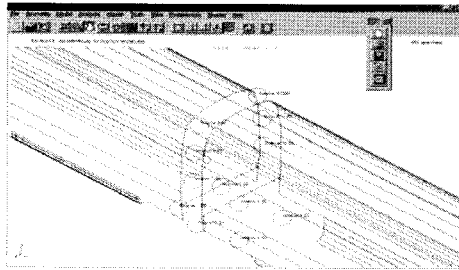


그림 1. 보기와 간극의 3점 음원 모델링

보기와 간극의 3점 음원에 대하여 보기부분의 음원을 S11, S12, S13, 간극의 음원을 S21, S22, S23으로 지정하였고 보기와 간극의 Total Acoustic Power와 각 음원 지점의 SPL Level을 바탕으로 각 음원의 음향 파워를 계산한 결과는 다음 표 1과 같다.

표 1. 각 지점의 옥타브 별 음향 파워 산출 식 적용 데이터

단위 : Acoustic Power dB(lin)

Octave 소음원	125	250	500	1000	2000	4000	Total
S11	110.6	107.6	105.6	104.6	101.6	100.6	113.6
S12	110.6	107.6	105.6	104.6	101.6	100.6	113.6
S13	115.6	112.6	110.6	109.6	106.6	105.6	118.6
S21	100.6	97.6	95.6	94.6	91.6	90.6	103.6
S22	103.6	100.6	98.6	97.6	94.6	93.6	106.6
S23	97.6	94.6	92.6	91.6	88.6	87.6	100.6

2.2 광음향 기법 해석 모델 구성

광음향 기법을 적용하기 위한 해석 모델은 기존 연구 수행된 G7 열차의 도면을 참고하여 실제 차량의 크기와 같으나 해석이 용이하게 단순화 된 모델을 CAD로 구성하였다. 그림 2는 개활지 해석과 터널 구간 해석을 위하여 구성된 고속철도 차량의 CAD 모델이다.

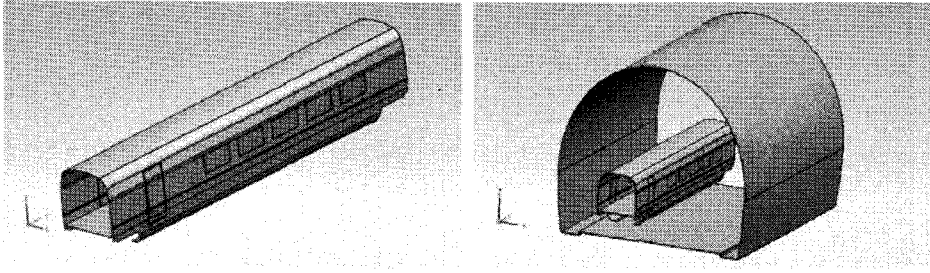


그림 2. 고속철도 차량의 CAD 모델

또한 동력 집중식 차량에 대한 모델인 관계로 보기부분에 위치하는 음원의 효과를 정확하게 파악하기 위하여 객차 2량을 1편성으로 하여 모델링 하였고 이를 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 광음향 기법 해석을 위한 2-D로 Element를 지정하였다. 다음 그림 3은 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 모델링한 예이다. 광음향 기법 해석 시 소음도를 해석하는 Field point에 대한 모델링 또한 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 구성하였고 개구간 해석 시 차량 우측 방향으로 25m 높이 5m의 Field point를 구성하였다. 터널 구간에 대해서는 터널의 외측 벽과 바닥의 크기에 맞추어 구성하였다. 해석 시 사용된 Field point의 각 요소의 크기는 음원에서 방출되는 파장의 길이를 고려하여 0.3m의 정사각형 모양으로 구성하였다.

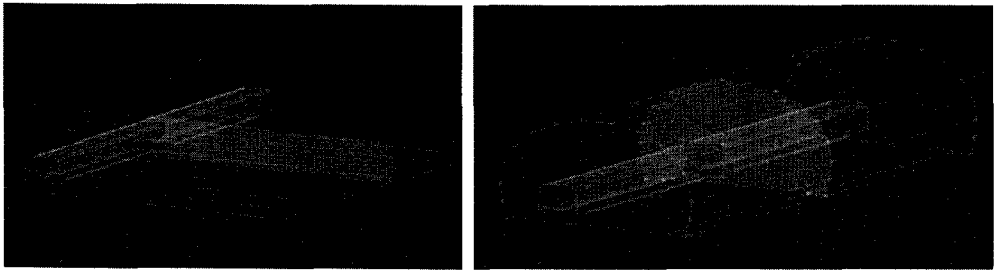


그림 3. 고속철도 차량의 유한요소 모델 및 Field point Mesh 구성

위의 두가지 과정을 거친 모델을 이용하여 광음향 기법 프로그램에서는 객차와 터널에 대한 물성치에 대한 설정이 이루어 졌으며 해석에 필요한 음원을 각 지점에 설정하여 고속철도 차량에서 발생하는 소음의 분포와 함께 스커트의 효과를 분석하였다.

3. 고속철도 차량 2량에 대한 개활지 구간 외부 소음 해석

본 연구에서는 고속철도 차량이 개활지 구간을 통과할 때 주변 환경의 소음 분포도를 예측하기 위하여 철도차량 2량의 모델에 대하여 앞서 제시한 3점 음원을 설정하여 개활지에서의 열차 주행을 모델링 하였다. 개활지에서의 차량 외부 소음의 측정 지점은 차량 하단부의 가운데 지점을 기준으로 25m 떨어진 구간까지 설정하였으며 측정 지점의 높이는 5m로 구성하였다. 또한 열차에 대하여 스커트 효과를

분석하기 위하여 보기가 위치한 지점에 0.8m의 스킨트를 장착한 모델에 대한 해석도 병행하였다. 다음 그림 4은 해석을 위한 광음향기법 프로그램에서의 차량 모델이다.

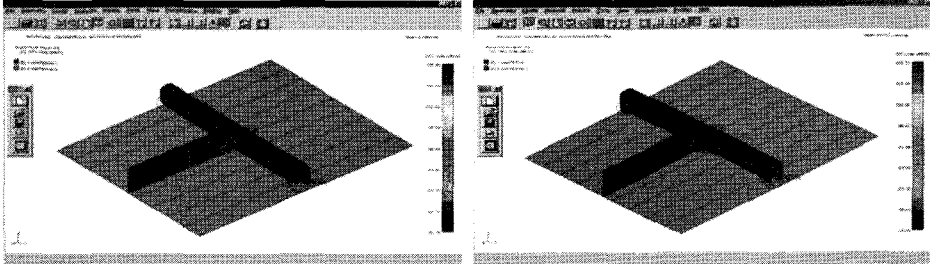


그림 4. 고속철도차량의 외부 소음 모델 (스킨트 장착 전 후)

각각의 모델에 대한 해석 결과는 앞서 제시한 음원의 밴드별 음향 파워를 이용하여 각 밴드별로 해석 결과를 비교하였으나 본 논문에서는 1kHz 대역을 기준으로 결과를 비교하였다. 우선 차량 보기 부분에 스킨트를 장착하지 않은 경우 음원과 가까운 차량 하단부와 차량 외부에서는 1kHz 밴드 대역에서 94dB(A)에서 104dB(A)의 소음분포를 보이고 있으며 거리가 멀어질수록 소음의 분포가 줄어들어 25m의 수음점에서는 약 77dB(A)에서 81dB(A)의 소음 분포를 보이고 있다. 그러나 차량 보기 부분에 스킨트를 장착 한 경우, 보기와 차량 외부 부분에서는 소음도가 92dB(A)에서 105dB(A)로 근소하게 증가하였으나 거리가 증가 할수록 각각의 측정지점에서의 소음도는 스킨트 미 장착시의 소음 분포에 비해 3dB 에서 7dB 가까이 줄어들고 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 열차 외부 25m 지점에서의 소음도는 측정지점의 높이에 따라 70dB(A)에서 75dB(A)의 소음분포를 보이고 있으며 이는 같은 지점에서의 스킨트를 장착하지 않은 경우에 비하여 6dB(A)~7dB(A)의 소음 저감 효과가 있는 것으로 판단된다. 다음 그림 5는 1kHz 대역에서의 해석 결과를 나타내고 있다.

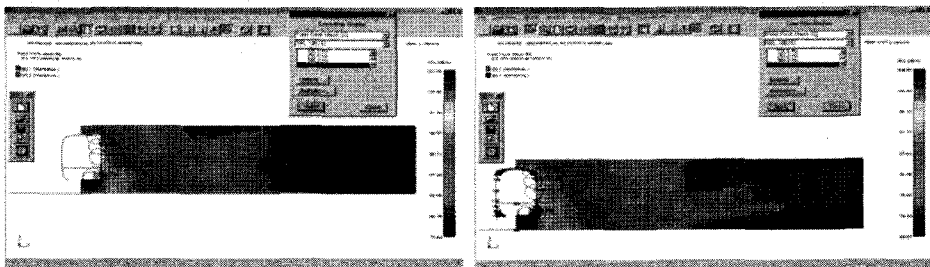


그림 5. 개활지 구간에서의 소음 분포 (스킨트 장착 전 후)

4. 고속철도 차량 2량에 대한 터널 구간 소음 분포 해석

앞서 제시된 고속철도 차량 2량이 터널 구간을 지날때의 소음 분포 해석 역시 광음향 기법을 이용하여 이루어졌다. 차량의 모델은 개활지 구간의 모델과 동일한 모델을 사용하였으며 음원 역시 같은 음

원을 사용하였다. 그러나 개활지 구간은 프로그램의 특성 상 넓은 범위의 측정 지점에 대한 해석이 어려워 열차 외부의 한쪽 25m 지점만을 해석하여 음원의 위치를 대차의 오른쪽 부분만을 지정하였으나 터널의 경우 보기와 간극에서 생성되는 소음원을 양쪽에 배치하여 해석을 수행하였다. 다음 그림 6은 터널구간에서의 음원의 배치와 터널 구간에서의 해석 모델을 나타내었다.

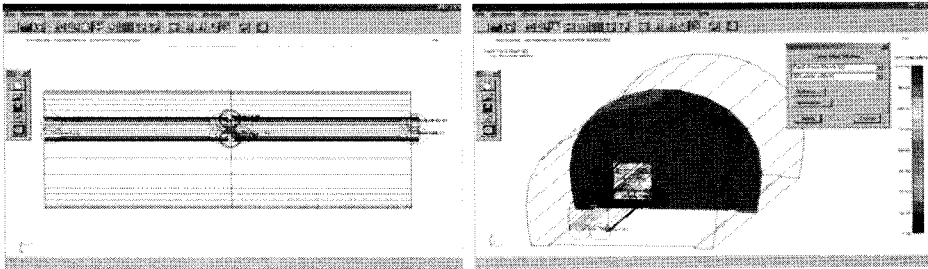


그림 6. 터널 구간 해석 시 음원의 배치 및 해석 모델

터널 구간의 해석 역시 1kHz 밴드 대역을 기준으로 하여 결과를 비교하였다. 터널 구간은 개활지와는 다른 밀폐된 공간이므로 터널 안의 소음도 분포가 스커트 미 장착 시 열차 하단과 좌, 우측면에서 100dB(A)에서 최대 106dB(A)의 분포를 보이고 있으며 특히 좌측면에서는 터널 내벽과 거리가 가까워 소음도가 우측면에 비하여 다소 넓게 퍼져 있음을 알 수 있었다. 전체적으로 터널 내부의 소음도는 약 85dB(A)에서 106dB(A)로 나타나고 있다. 또한 스커트를 장착한 열차에 대한 터널 구간의 열차 외부 소음 해석 결과는 터널 내부의 소음 분포는 열차의 우측 지점과 상단부에서의 소음도가 상당수 저감되었으나 열차 하단부와 좌, 우측 그리고 상단부에서의 소음도는 스커트를 장착하지 않았을 경우와 거의 비슷한 소음도를 보이고 있다. 다음 그림 7은 1kHz 대역에서의 해석 결과이다.

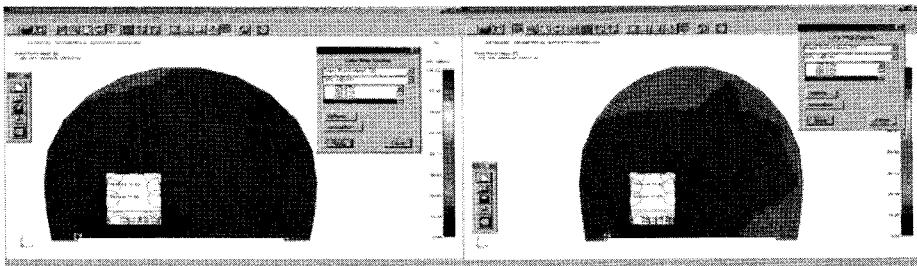


그림 7. 터널 구간에서의 소음 분포 (스커트 장착 전 후)

5. 결론

본 연구에서는 고속철도 차량의 외부 소음 분포를 광음향 기법을 이용하여 해석하고 외부 소음의 저감 방안으로써 열차의 보기 부분에 스커트를 장착하는 방안을 제시하였으며 이에 대한 효과를 개활지 주행 시와 터널 구간 주행 시의 두 가지 경우를 모델링하여 예측하고 분석하였다. 그 결과 스커트 장착 시 개활지 주행에 대한 소음 저감 효과는 25m 기준으로 약 7dB(A)의 저감 효과가 있는 것으로 판

단되어 환경소음 측면에서의 효과는 어느 정도 예상할 수 있으나 터널 구간에서는 차량과 인접한 구간에서의 소음에는 큰 효과가 없음을 알 수 있었으며 이에 대한 심도 있는 소음 저감방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구 결과를 토대로 하여 해석 결과를 보완하고 해석 기법을 다양화 하며, 차량의 편성에 따른 외부 소음의 예측 및 저감 방안 연구를 진행한다면 현재 추진되고 있는 시속 400km급의 동력 분산형 고속철도 차량에 대한 차량 외부 소음 예측에 효과적인 연구를 추진할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 홍익대학교, 2008, 실내외 소음저감 기술개발, 분산형 차량성능 및 운용 기반기술 개발 1차년도 연구 보고서
2. 인하대학교, 1998, 진동소음해석 및 저감기술개발, G7 연차보고서
3. 이동호, 황재호, 2000, 고속전철 표면 공력소음 Level 검토, 서울대 G7과제 보고서
4. 김관주, 양윤석, 1999, 한국형 고속전철의 전동소음 예측에 관한 연구
5. 홍윤혁, 김정태, 김정수, 김석현, 2008. 11, 동력분산형 고속철도: 소음저감기술의 기초 연구, 한국철도학회 2008년도 추계학술대회논문집, pp1441 ~ 1447
6. 김정태(Kim Jeung-Tae), 김정수(Kim Jung-Soo), 김석현 (Kim Suk-Hyun), 2007, 고속철도소음예측, 한국철도학회 2007년도 추계학술대회논문집, pp. 98 ~ 103