

음선추적법과 통계적 에너지 분석법을 이용한 철도차량 실내 소음 해석

Noise Prediction of Train Using Ray Tracing Method and Statistical Energy Analysis

박희준*

Park, Hee-Jun

ABSTRACT

As the major sources of interior noise of train at running condition are the wheel/rail contact noise, the traction motor's noise and the driving gear's noise and these noise sources are transmitted through the car body, the noises of HVAC and air duct can be ignored. But the interior noise of train at standstill condition is decided by HVAC's noise and noise from the diffuser through the air duct. the interior noise prediction of train at standstill condition should be performed considering the shape of air duct, the air velocity and noise reduction property inside the air duct. But it is hard to estimate the interior noise level by the numerical method. Therefore train maker predict the interior noise level using The commercial noise prediction program. This paper introduce the noise prediction method of the train at standstill condition using the commercial program applying the ray tracing method and statistical energy analysis.

1. 서론

철도차량이 정차중일 때 실내에 발생하는 소음은 승객의 쾌적성에 많은 영향을 주므로 차량의 수요처는 차량제작사에게 계약사항에 소음수준을 명시함으로써 엄격하게 제한하고 있다. 따라서 철도차량 제작사는 입찰시기에 수요처가 요구하는 소음 수준을 만족할 수 있는지 여부를 판단하기 위해 정차 중 실내소음을 예측하고 입찰 이후에는 실내소음에 영향을 미치는 기기들의 제작사에게 소음수준을 할당하기 위해 차량 설계 단계에서는 차량 내부의 에어 덕트의 형상, 크기 내부의 흡음특성 등을 결정하기 위해 실내소음을 해석하게 된다. 정차 중 실내소음해석은 HVAC의 supply air opening, return air opening 으로부터 발생하는 소음 파워, 차량에 설치되는 덕트의 형상과 덕트 내부의 공기의 유속, 덕트 내부의 소음 저감특성, 차량의 실내 흡음특성 등을 모두 고려해야 하는데 이를 수치 해석적으로 계산하기에는 현실적으로 무리가 따른다. 따라서 철도차량 제작사는 해석 업무의 효율성을 높이기 위해 과거 제작했던 차량과 기기들의 정보를 최대한 활용하여 중요성이 비교적 적은 인자들은 해석 시 우선 배제하는 것으로 가정하고 상용 소음해석 프로그램을 최대한 사용하여 실내소음을 해석한다.

본 논문에서는 음선추적법과 통계적 에너지 분석법을 적용한 상용프로그램 이용하여 철도차량의 정차 중 실내소음해석을 하는 방법을 소개하고자 한다.

* (주)현대로템 기술연구소, 응용기술연구팀, 비회원
E-mail : hjpark@hyundai-rotem.co.kr
TEL : (031)5960-9493 FAX : (031)596-9747

2. 본론

철도차량이 정차 중 실내소음에 가장 큰 영향을 미치는 소음원은 HVAC의 air opening의 소음 파워레벨이며, 다른 기기들은 이상이 없는 한 실내소음레벨에 영향을 미치지 않는 것으로 가정한다.

2.1 HVAC air opening 의 소음 파워레벨 측정

차량제작사는 수요처가 요구하는 실내소음수준을 만족시키기 위해 HVAC 의 air opening에서 방사되는 소음파워레벨을 할당한다. 과거에는 측정 장비 등의 문제와 차량의 실내소음의 중요성이 크지 않았기 때문에 HVAC opening에서 방사되는 소음을 거리 1m에서 측정한 소음레벨 등으로 단순하게 측정하였으나 근래에는 낮은 실내소음레벨이 요구되고 있으며 그에 따라 정밀한 측정이 요구된다.

HVAC의 return opening 과 supply opening에서 방사되는 소음파워는 ISO 9614에 따른 Sound intensity 측정을 통한 방법으로 측정한다.

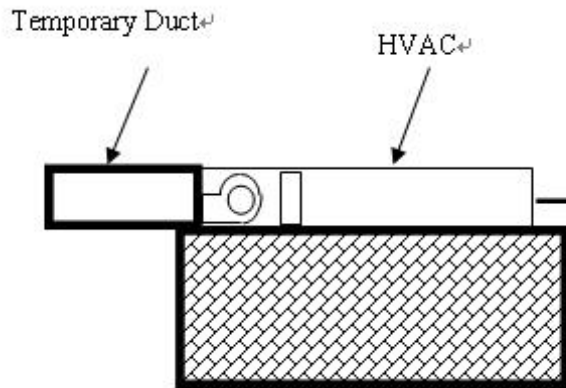


그림 2 HVAC 소음 파워 측정환경 구성

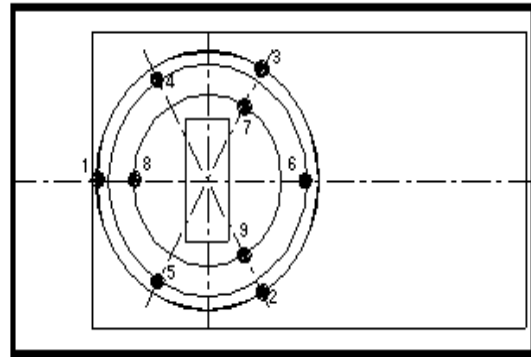


그림 3 Opening 의 sound intensity 측정점

그림 1과 같이 HVAC를 일정 높이의 test jig 위에 설치하고 HVAC 하부의 공간에 최대한 잔향음이 발생하지 않도록 흡음처리를 한다. 이때 supply opening 에 임시의 덕트를 설치하여 HVAC 하부의 공간에 supply opening 의 소음이 유입되지 않도록 해야 한다. 그리고 그림 2에 표시된 지점에서 Sound intensity 를 측정하고 다음의 식으로 각 opening에서 방사하는 소음파워레벨을 산출 한다.

$$L_w = L_{i_{avg}} + 10 \log S$$

L_w : sound power level

$L_{i_{avg}}$: average sound intensity level

S : surface area of measurement point = $2 \times \pi \times r^2$

2.2 차량 실내 흡음률 측정

소음해석 시에 필요한 인자인 차량의 실내 흡음률은 차량의 실제 설계를 반영한 목업(Mock up)을 이용하여 측정한다. 목업 차량의 잔향시간을 측정하고 차량의 실내평균 흡음률은 다음의 식으로 계산한다.

$$\alpha = \frac{0.161 V}{ST}$$

- α : 실내 평균흡음률
- V : 실내공간의 체적
- S : 실내공간의 면적
- T : 잔향시간

2.3 음선 추적 법을 이용한 덕트 내부의 음압분포 해석

음선 추적 법을 사용하는 상용프로그램 raynoise를 이용하여 그림3과 같이 차량상부의 air 덕트를 모델링한다. 여기서는 매립형 HVAC일 경우 적용하는 덕트의 형상을 모델링하였다.

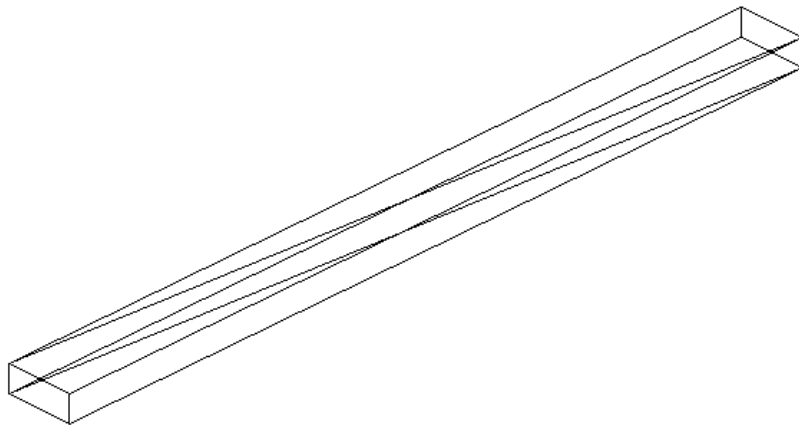


그림 4 차량 상부의 air 덕트의 모델

덕트의 양끝 단에 덕트 내부로 방사하는 면음원을 설정하고 HVAC의 supply opening에서 측정된 sound power level을 할당한다. 덕트내부에는 stainless steel의 흡음률을 설정한다.

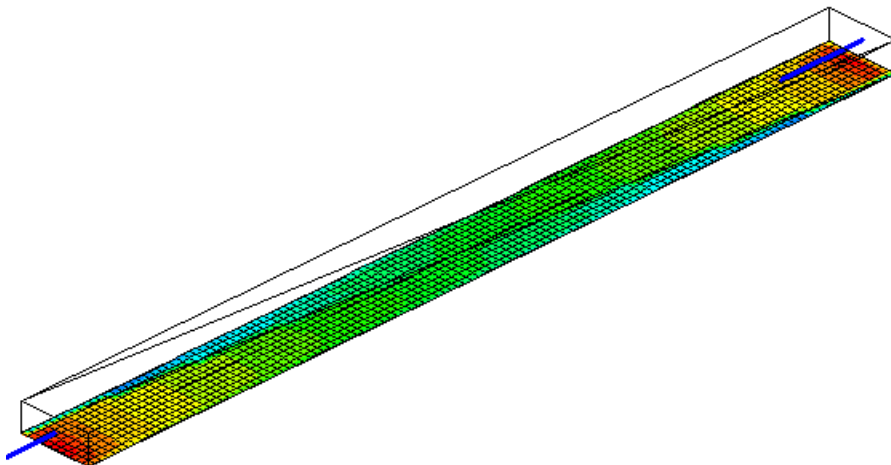


그림 5 덕트 내부의 음압분포

해석을 실행 하면 그림 4와 같이 덕트 내부에 음압이 형성되는데, 덕트 내부에 형성된 음압은 디퓨저를 통하여 실내로 방사하게 되므로 디퓨저가 위치하는 지점들의 평균음압과 면적을 고려하여 디퓨저에서 방사하는 소음과위레벨을 다음 식으로 산출한다.

$$L_w = L_p + 10 \log S$$

- Lw : sound power level
- Lp : average sound pressure level
- S : surface area of measurement point

해석을 실행 하면 그림 4와 같이 덕트 내부에 음압이 형성되는데, 덕트 내부에 형성된 음압은 디퓨저를 통하여 실내로 방사하게 되므로 디퓨저가 위치하는 지점들의 평균음압과 면적을 고려하여 디퓨저에서 방사하는 소음과위레벨을 다음 식으로 산출한다.

2.4 통계적 에너지 분석법 이용한 실내 소음 해석

통계적 에너지 분석법을 이용한 상용프로그램인 Autosea에서 그림 5와같이 차량을 모델링하고 차량의 내부공간에 목업에서 측정된 차량의 실내 평균 흡음률을 적용한다.

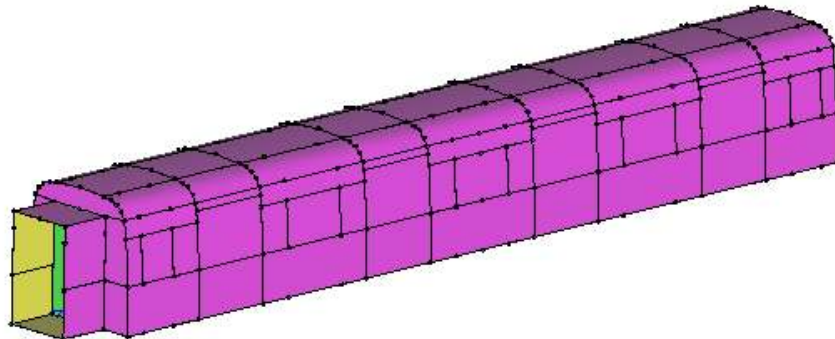


그림 6 Autosea 를 이용한 차량의 모델

그림 6과 같이 실내공간을 몇 개로 구분하고 각각의 실내공간에 각 공간 상부에 위치하는 디퓨저에서 방사되는 소음의 파워를 입력한다. 이때 return air opening은 덕트를 통하지 않고 차량에 중 천정만을 통하여 실내공간에 소음을 방사하므로 autosea 모델에 return air opening에서 측정된 소음과위를 그대로 입력한다.

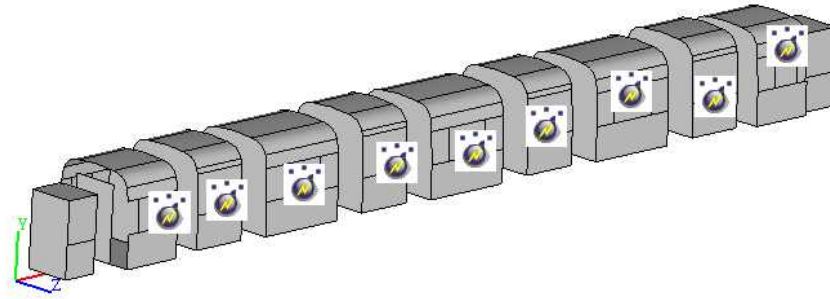


그림 7 실내공간 구분 및 소음원 설정

소음원을 모두 설정한 후 해석을 실행하면 각 공간에서의 음압레벨이 산출 된다.

2. 결론

이상으로 철도차량이 정차중일 때 HVAC과 차량의 에어 덕트를 통해 실내로 방사되는 소음을 해석하는 방법을 소개하였다. 공기의 유동에 의한 공력소음 그에 따른 덕트의 진동에 의한 구조기인 소음 등을 고려하지 않은 약점이 있지만, 차량제작사의 경험에 의해 공력소음, 구조기인 소음 등은 최종 실내 소음레벨에 큰 영향이 없고 실측정치와 비교했을 때 1~2dBA 정도의 오차를 보이므로 신뢰성 있는 해석방법이라고 생각된다.

6. Reference

1. 우관제, 박희준, “철도차량에서 사용하는 부유상구조의 진동절연특성에 관한 연구,” 2006년 추계철도학회, pp.44~48
2. 박희준, 우관제, “SEA 기법을 이용한 부유상구조의 구조기인 소음 예측,” 2007년 추계철도학회, pp.255~261
3. P. M. Nelson, Transportation Noise Reference Book, 1987, Butterworth
4. L. E. Witting, "Railway Elevated Structure Noise---A Review.", Journal of Sound and Vibration, 87(2), 1983, pp. 249-271
5. ISO 3095 Railway applications-Acoustics-Measurement of noise emitted by railbound behicles,2005
6. RAYNOISE Rev 3.0 User's Manual, LMS INTERNATIONAL