

# 고속열차 차간 공간 소음 발생 메커니즘 연구

## Aerodynamic noise generation from inter-coach cavity for high-speed train

이석근\* · 양원석\* · 박준홍†

Sukkeun Yi, Wonseok Yang and Junhong Park

### 1. 서 론

열차의 고속화 개발에 따라 환경 소음에 대한 관심이 증대되고 있다. 열차의 소음에는 구름 소음, 스킵 소음, 공력 소음 등이 있으며, 고속 주행 환경에서는 이 중 공력 소음이 주를 이룬다. 열차의 공력 소음원에는 판토품, 차간 공간, 열차 전·후두부 등이 있으며, 본 연구에서는 이 중 차간 공간의 공력소음에 대하여 연구하였다. 공력 소음은 난류 거동과 그에 따른 음향학적 상호 작용이 수반되므로 해석적이나 이론적으로 풀기 어려운 현상이 많다. 이에 따라 본 연구에서는 실험과 수치적 연구를 통하여 공력 소음의 발생에 영향을 주는 여러 인자를 검토하며, 차간 공간 소음의 발생 메커니즘을 분석하였다. 차간 공간의 외부 공간은 유동 통로로 모델링 하였으며, 공동 안은 실제 차간 공간의 크기에 따라 제작하여 실험하였다. 실험과 같은 방식으로 해석을 진행하며, 해석 환경을 변경하면서 소음 발생 메커니즘을 분석할 수 있도록 하였다.

### 2. 차간공간 해석

#### 2.1 공동 실험

실험 모델은 실제 열차 차간 공간 크기에 맞추어 한양대학교에 있는 아음속 공동 실험 장치에 설치 가능하도록 고려하여 설계되었다. 실제 고속열차의 차간 공간에는 열차 구동 환경과 관련한 기기장치들이 위치하고 있으나 이를 고려하지는 않았다.

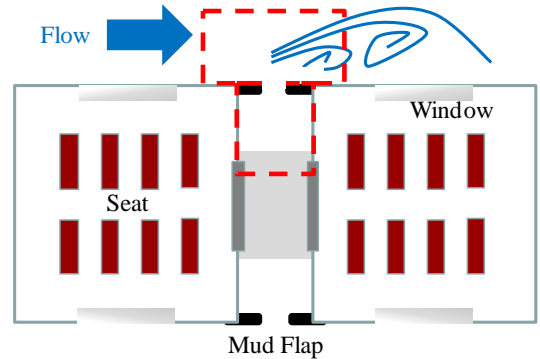


Fig. 1 Modeling of the inter-coach cavity

공동의 실제 크기는 깊이 0.8 m, 길이 1.2 m로 열차의 윗부분까지 개방되어 있으며, 이를 고려하여 공동 안의 크기를 1.2 m × 0.8 m × 0.6 m로 제작하였다. 실험은 머드플랩 형상, 머드플랩의 간격, 공동의 유속에 따라 진행하였으며, 본 연구에서는 특정 속도에서 머드플랩 간격에 따른 데이터를 이용하여 소음 발생 메커니즘을 분석하였다. 실험에 따르면 차간 공간의 소음은 머드플랩 간격에 따라 주파수 특성이 달라졌으며, 속도에 따라 영향을 받았으며, 기타 인자는 미비하게 소음에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

#### 2.2 유동 해석

유동해석에는 Lattice Boltzmann method(이하 LBM)를 기반으로 하는 상용코드 Powerflow를 사용하였다. 내부 유동을 해석할 수 있도록 유동이 지나가는 공간을 실험의 경우와 같도록 재현하며, 그 결과를 바탕으로 열차 차간 공간 소음에 영향을 미치는 인자를 분석하였다. 실험과 해석 결과에 따르면 차간 공간의 소음은 크게 전체적인 소음 레벨을 나타내는 난류 성분과, 특정 피크 성분을 나타내는 공진 성분으로 나뉜다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : parkj@hanyang.ac.kr

Tel : 02-2220-0424, Fax : 02-2298-4634

\* 한양대학교 기계공학과



Fig. 2 Cavity modeling with wind tunnel geometry



Fig. 3 Cavity modeling with pipe-shaped tunnel geometry  
(a) (b) (c)

해석은 외부 유동이 실험과 같은 풍동 형상 혹은 사각 통로를 지나도록 모델링 하였다. 해석은 정확도를 나타내는 해상도(resolution)에 따라 결과가 달라지며, 이는 수렴성 해석을 통해 적절한 수치를 선정하였다. 풍동 형상의 경우 해상도가 높아짐에 따라 실험 수치와 매우 근접하게 수렴해가는 반면, 사각 통로의 경우는 피크의 주파수 특성과 레벨은 근접하게 수렴해가지만 광역(broadband) 소음 성분은 실험에 비하여 낮게 나타났다. 모든 해석 케이스의 경우 차간 공간의 형상은 같기 때문에 차이는 통로에 의해 발생했음을 알 수 있고, 이는 통로를 따라 발생하는 경계층의 영향을 유추할 수 있다. 이에 따라 Fig.3의 (a) 케이스에서 (b), (c)로 확장하여 해석을 진행하였다. 양쪽으로 유동 통로를 길게 한 (b)의 경우 소음의 전체 레벨이 소폭 낮아졌고 속도장을 분석한 결과 경계층의 두께가 유사하게 나타났다.

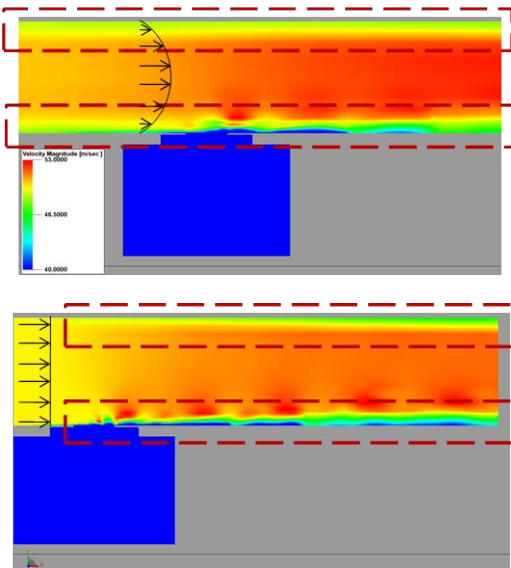


Fig. 4 Velocity field comparison of (b) and (c)

Table 1 Resonance frequency comparison between experiment and simulation

Mode	1	2	3	4
Experiment	63 Hz	127 Hz	190 Hz	253 Hz
Simulation	63 Hz	125 Hz	189 Hz	252 Hz

이에 반해 풍동 통로의 경우는 유선형의 형상을 따라 유동이 흐르기 때문에 경계층이 거의 발달하지 않는 형태를 나타냈다. 이 결과를 바탕으로 경계층이 거의 발달하지 않도록 유동 입구를 짧게 하는 (c)케이스를 모델링하여 해석하였다. Fig. 4를 통해 볼 때 (b)의 케이스는 경계층이 발달한 상태에서 차간 공간 공동부로 공기가 유입되지만 (c)의 케이스는 경계층이 발달하기 전에 공기가 유입되는 것을 알 수 있고, 이는 풍동 형상의 경우와 유사하다. (c)의 케이스에 대하여 소음을 분석한 경우 풍동 형상과 매우 근사한 결과가 나타났으며, 이를 통해 광역 소음은 공동 안으로 유입될 때 통로의 경계층이 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이 때 머드플랩의 간격은 모두 300 mm에 대하여 해석하였으며, 실험과 해석 간의 공진 주파수를 비교한 그래프는 Table 1과 같다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 차간 공간 소음의 발생 메커니즘에 대하여 연구하였다. 차간 공간의 소음은 광역 소음과 공진 소음 성분으로 나뉜다. 공진 소음 성분은 차간 공간의 형상에 영향을 받아 특정 피크 성분으로 나타났고, 광역 소음은 차간 공간으로 유입되는 속도장의 형태에 따라 다르게 나타났다. 차간 공간으로 유입되는 속도장의 형태는 외부 공간을 나타내는 통로의 형상에 따라 달라졌는데, 이는 통로를 따르는 유동의 경계층 발달에 기인하여 다르게 나타났다. 즉, 차간 공간의 소음은 공동의 크기 및 형상과 공동으로 유입되는 유동의 경계층 발달 형태에 따라 광역 소음과 공진 성분으로 소음을 발생시킴을 알 수 있었다.

### 후 기

이 논문은 국토해양부에서 지원한 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발" 사업의 일환으로 수행되었습니다.