

## 열차 보기 하부 단순모델에 대한 공력소음 발생 분석

## Aerodynamic Noise Generation from a Simple Model of Train bogies lower

양원석\* · 이석근\* · 박준홍†

Wonseok Yang, Sukkeun Yi and Junhong Park

## 1. 서 론

최근 열차의 기술이 발전함과 동시에 환경에 대한 관심이 커지고 있다. 그 중 심각하게 화두가 되는 점이 소음공해며, 이를 줄이기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 열차소음의 종류로는 구름 소음, 스킵 소음, 공력 소음 등이 있으나 고속 운행 시 가장 지배적으로 나타나는 소음은 바로 공력소음이다. 이러한 공력소음은 소음원의 위치가 분명하지 않을 뿐더러 복잡한 난류 거동을 풀어야 하기 때문에 해결해야 할 과제가 많다.

본 연구에서는 고속 열차의 공력소음을 일으키는 원인 중 주요한 소음원인 열차 보기 하부의 소음 발생 특성을 분석하기 위해 해석기법을 이용하고자 한다. 이를 위해 열차 보기 하부의 단순 모델을 제작하여 공력소음 발생 메커니즘을 해석한다.

## 2. 단순 모델 해석

## 2.1 LBM 해석

## (1) 단순 모델 설정

열차 보기 하부는 보기 부분을 제외하고는 대체적으로 평평하게 제작이 되어 있다. 물론, 실제 열차 보기 하부는 미소한 요철과 돌출물이 존재하기 때문에 공력소음의 발생을 더욱 증가시킬지도 모른다. 하지만, 본 연구의 대상은 이와 같이 섬세한 모델이 아닌 단순 직육면체인 열차 하부 공간과 하부 표면에 달려있는 반원형 실린더로 선정하였다.

## (2) 단순 열차 하부에 대한 LBM 해석

이러한 문제를 해결하기 위해서 주로 Computational Fluid Dynamics(CFD)이 쓰인다. 하지만, 고속열차와 같이 난류 모델을 해결할 수 있는 완벽한 편미분 방정식은 아직 부족한 실정이다. 이에 반해 Lattice Boltzmann Method(LBM)은 시간에 따라서 그 입자 각각에 대한 충돌과 이동에 대해서 계산하여 해석하는 방식이어서, 난류의 특성을 파악하는데 있어서 적합한 방법이라고 말할 수 있다. 따라서, 이를 바탕으로 만들어진 상용코드 Powerflow를 이용하여 다음과 같은 모델을 해석하였다. 여기서, 해석의 정확도를 나타내기 위해 Resolution이라는 개념을 정의하였다.

$$Resolution = \frac{Characteristic\ length}{A\ length\ of\ a\ voxel}$$

여기서 voxel이란 정육면체의 기초 해석단위로 자세한 해석일수록 Resolution의 값은 커진다.

열차 하부의 실질적인 모델링은 지면과 공기가 가만히 있고, 열차가 움직이면서 상대적인 공기의 영향을 받는 게 바람직하다. 이 때, 열차 하부의 벽면에 경계층이 생기는데, 이러한 현상이 소음에 미치는 영향에 대해 알아보려고 한다. 그래서 해석 모델링은 직사각형 모양의 관에 풍속 50(m/s)의 바람을 통과시키는 것으로 하였다. 이 때, 열차 하부의 벽에 생기는 경계층의 영향을 알아보기 위해 열차 하부 공간 중앙 벽면에 경계층이 생길 것으로 판단해 벽면과 밀접한 부분에 관찰점을 설정하였다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : parkj@hanyang.ac.kr

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

\* 한양대학교 기계공학부

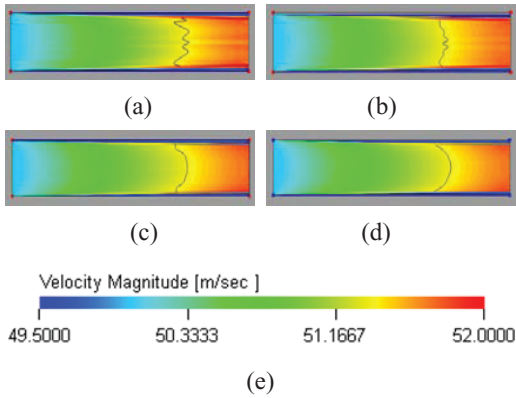


Fig. 1 Velocity profile of the train lower : (a) 80 Resolution (b) 100 Resolution (c) 120 Resolution (d) 160 Resolution (e) Velocity Legend (Initial velocity = 50m/s)

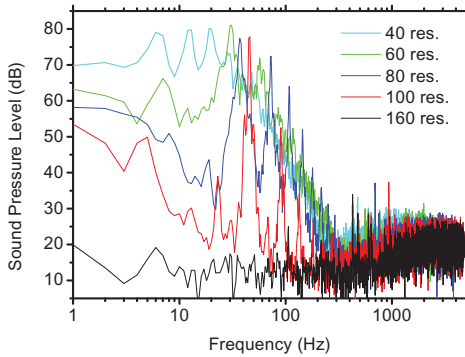


Fig. 2 Comparison of evaluated sound pressure level with respect to different resolutions of the train lower

Fig. 1은 Resolution에 따른 열차 하부 공간의 공기의 속도분포 모양이다. Resolution이 낮을 때, 속도분포 모양이 위아래로 구부러진 형상이지만, Resolution이 높을수록 관의 완전발달류처럼 2차 곡선의 모양을 띄고 있어 이론적 모델과 점점 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 2은 Resolution에 따른 Sound pressure level의 변화 추이다. 처음 Resolution이 작을 때는 저주파수 영역에서 소음이 크게 발생하는 것으로 보이나, Resolution이 증가함에 따라 저주파수의 Sound pressure level(SPL)이 줄어들고 있음을 확인할 수 있다. 이는 단순한 사각통로의 벽면에 생기는 경계층이 소음과는 무관함을 알 수가 있다.

(3) 반원형 실린더를 추가한 열차 하부에 대한 LBM 해석

우리는 이러한 사각통로 벽면에 반원형 실린더를 추가함으로써 경계층을 더욱 유발시키도록 모델링을 만들었다. 그 결과 단순 사각통로와는 달리 경계층이 두꺼워지고, 이로 인해 통로 뒤편에서 박리가 크게 발생함을 알 수 있었다. 또한, 전보다 Resolution에 따른 SPL이 증가한 결과가 나왔다. 이는 소음 원인이 앞서 단순한 사각통로가 아닌 벽면의 형상에 따른 결과임을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 열차 보기 하부에서 발생하는 공력소음의 특성의 분석을 위해 단순모델을 대상으로 Lattice Boltzmann Method을 통한 해석을 수행했다. 열차 보기 하부에 대한 단순모델을 선정하여 속도분포를 살펴, 이론적인 분포와 일치여부를 확인하여 타당성을 검증하였고, 이러한 모델을 Resolution을 이용하여 SPL의 수렴성을 확인하였다. 열차 보기 하부의 단순모델을 통해 공력소음에 지배적인 영향은 단순 공간이 아니라, 벽면에 붙어있는 형상이 박리역을 크게 성장하여 나타나는 현상이라고 말할 수 있다. 따라서, 공력소음 절감을 위한 열차 보기 하부 설계시, 박리역을 최소화할 수 있는 모델 개발이 요구된다.

### 후 기

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