

자기부상열차의 공력 특성에 관한 수치 연구

원 성 식¹, 우 대 천¹

¹부산대학교 기계공학부

본 연구에서는 초고속 자기부상열차의 단면도를 통하여 2-D 형상을 모델링하고 이를 기반으로 항력과 유동 특성에 대한 분석을 수행하였다. 유동의 마하수가 0.3 이상임을 고려하여 압축성 모델이 사용되었고 난류 모델은 Menter's k-w SST(Shear Stress Transport) 모델을 적용시켰다. 2-D 해석과 자기부상열차의 특성상 열차가 공기중에서 주행하고 있는 것으로 가정하고 공력 특성을 해석하였다.

Key Words : 자기부상열차(Magnetic Levitation Train), 공기 저항(Aerodynamic Drag), 압축성 유동(Compressible flow), 유동 박리(Flow Separation), 난류 점성(Turbulent Viscosity)

1. 서 론

기술의 진보에 따라 교통 편의를 위한 장치들이 지속적으로 발전하고 있는 상황에서 교통 체증과 차량에서 발생하는 소음 및 배기가스로 인한 공해를 해결할 수 있는 친환경적인 교통 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 저탄소 기술 구현을 위한 녹색교통 정책 추진방안의 일환으로 자기부상열차가 상용화 되었다. 자기부상열차는 소음과 배기가스 문제를 모두 해결할 수 있고, 탈선이나 전차과 등의 위험도 절감되며 공중에 떠서 가는 열차이기에 레일의 마모에 의한 훼손도 적어 운영비 절감의 장점이 있다. 그러나 저속 주행 시 공기 저항이 크지 않아서 동력의 대부분이 기계적 저항에 소모되지만 200km/h 이상의 고속 주행 시에는 공기 저항이 차지하는 비율이 80% 이상으로 높아지게 되므로, 초고속 자기부상열차 설계 시 공력 특성을 분석하여 항력을 저감시키는 역학적 설계가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 100m/s의 초고속 자기부상열차에 가해지는 항력을 EDISON_CFD를 이용하여 계산하였다.

2. 본론

2.1 해석 형상

고속으로 주행하는 자기 부상 열차의 단면을 Edsion에서 제공하는 eMEGA v4.0을 통하여 Geometry를 설계하고 형상에 맞는 격자를 생성하여 지배 방정식을 푸는 과정을 수행하였다. 현재 상용화된 자기 부상 열차의 속도를 각 400km/h, 500km/h, 600km/h로 나누었으며, 마하수 0.3이상이므로 압축성 유체로 간주하였으며 난류모델은 Menter's k-w SST(Shear Stress Transport) 모델을 사용하였다.

또한, 자기 부상 열차의 특성상 지면과의 접촉 없이 궤도를 주행하므로 궤도의 벽면과 열차 사이의 자유유동 효과를 고려해야 하지만 본 연구에서는 이를 무시하고 공력특성을 해석하였다.

2.2 격자 생성

열차에서 발생하는 유동 박리와 압력 강하가 일어나는 부분이 중요하다고 판단되어 십자 모양의 격자계를 설정 후 중앙에 격자가 밀집되도록 하였으며, Outlet 거리를 충분히 확보하여 출구 유동특성이 유동장 내로 들어오는 영향을 최소화 하였다.

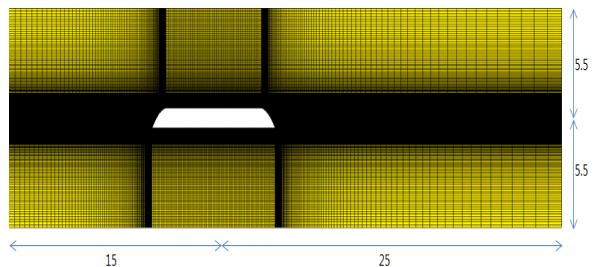


Fig.1 40*11 격자계

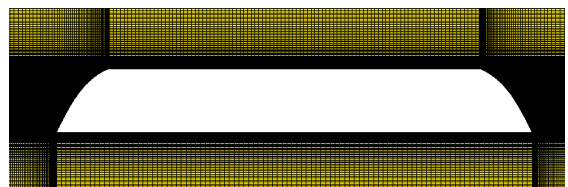


Fig.2 열차 주변의 격자 형상

2.3 경계 조건

입구는 Subsonic Inlet, 출구는 Subsonic Outlet으로 주어 자연스러운 유동의 흐름을 만들어주고 계산 영역의 위 및 아래 경계에 Inviscid Wall 처리를 하였으며, 열차의 표면에는 Viscous Adiabatic Wall 조건을 설정했다. 열차의 속도를 400km/h, 500km/h, 600km/h에 유체를 20℃ 온도의 공기로 가정하고 레이놀즈수로 무차원화 시켰다.

3. 해석 결과

3.1 속도장

Fig. 3~5는 열차 속도에 따른 열차 주변 속도 분포를 나타낸 결과이다. 열차의 선단에서 발생한 유동의 정체로 인해 유선이 구부러지기 때문에 압력에너지가 속도에너지로 변환된다.

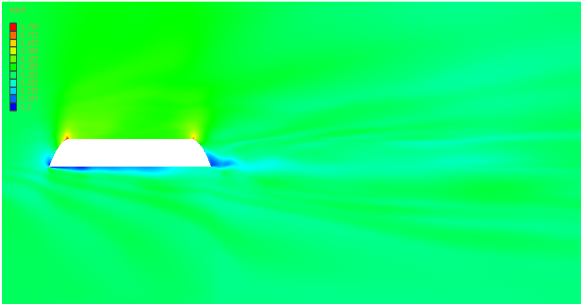


Fig. 3 Mach Number Distribution at 400km/h

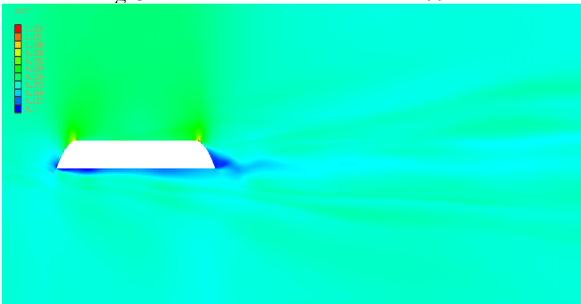


Fig. 4 Mach Number Distribution at 500km/h

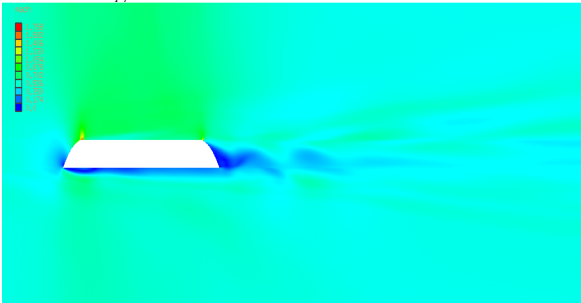


Fig. 5 Mach Number Distribution at 600km/h

3.2 압력장

Fig. 6~8은 열차 속도에 대한 압력장을 나타낸 결과이다. 압력 분포 특성은 Yang[1]의 결과와 같이 선단 부근을 지나 열차의 곡면 주위를 흐를 때 급격한 압력강하가 발생하여 순압력 구배가 형성되고, 이로 인해 압력은 대기압보다 낮게 되며 유동 방향 곡률이 변하는 지점에 최소 압력이 형성 된다.

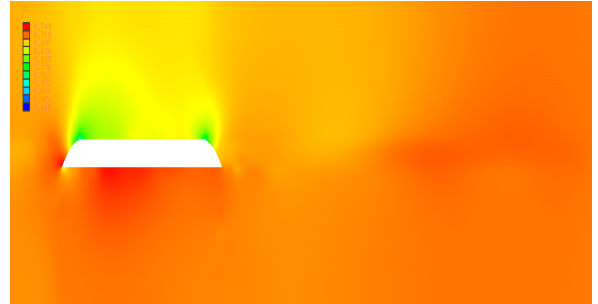


Fig. 6 Pressure Distribution at 400km/h

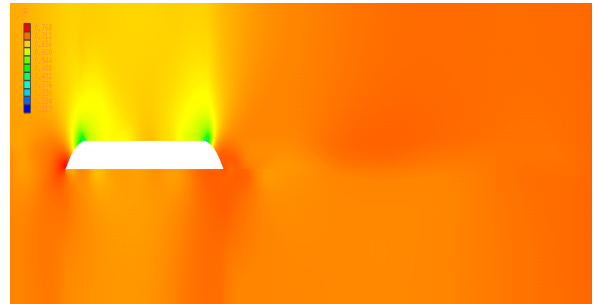


Fig. 7 Pressure Distribution at 400km/h

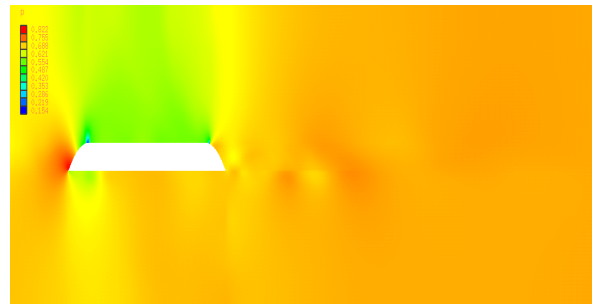


Fig. 8 Pressure Distribution at 400km/h

3.3 Turbulence Viscosity

Fig. 9~11은 각 속도에 대한 Turbulence Viscosity를 나타낸 결과이다. 선두부에서 흘러 들어온 공기는 열차와 만나 감속된 후 열차 벽면 주위를 지나며 증속되다 후미로 갈수록 서서히 감속되어 난류 경계층 유동으로 발달되고 있음을 알 수 있다. 후미부에서는 다시 유동방향 곡률의 영향으로 인해 유동 박리가 발생하여 후류가 형성되고 있음을 확인할 수 있다.

며, 속도가 빠를수록 더 큰 스케일의 난류가 발생하고 있음을 확인할 수 있다.

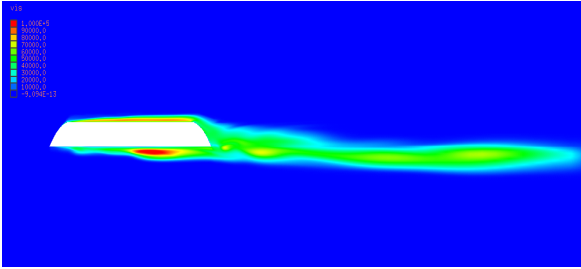


Fig. 9 Turbulence Viscosity Distribution at 400km/h

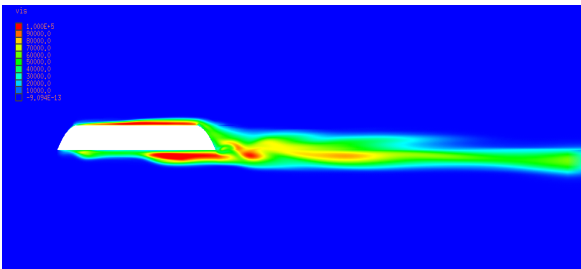


Fig. 10 Turbulence Viscosity Distribution at 500km/h

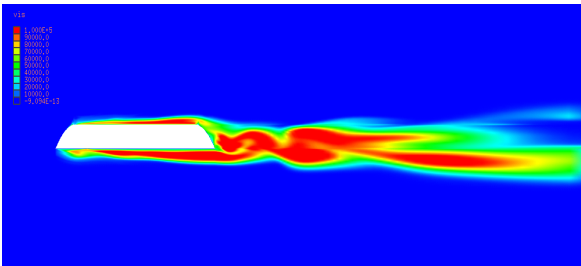
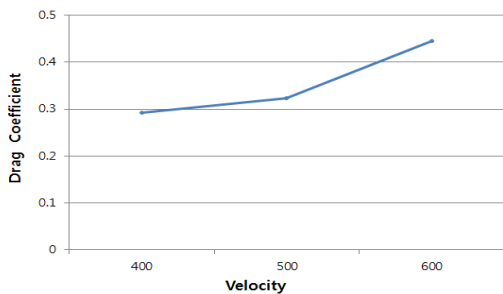


Fig. 11 Turbulence Viscosity Distribution at 600km/h

3.4 항력 계수 비교

고속으로 주행하는 자기 부상 열차는 속도가 빠를수록 항력에 의한 영향이 매우 커짐을 확인할 수 있는데 압력 강하에 의한 영향이 매우 큼을 예측할 수 있다.



5. 결론

고속으로 주행하는 자기부상열차는 선두부의 선단에서 정체압력을 가지며 후미 쪽에서 매우 큰 압력에 의한 항력을 초래하는 것을 확인할 수 있다. 또한 고속으로 주행할수록 항력이 커지며 자기부상열차가 기존의 열차와 다른 점은 궤도와의 마찰이 없다는 점을 미루어 보았을 때 궤도 벽면과 열차 사이의 유동 박리와 와류의 영향이 매우 클 것으로 예상되지만 본 연구에서는 그러한 부분을 다루지 않아 이에 대한 후속 연구가 필히 이루어져야 할 것으로 본다.

후 기

본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016M3C1A6937383)

References

- [1] 1993, S.Y.Yang and J.S.Maeng, "Numerical Analysis of Three-dimensional Turbulent Flow Around Magnetically Levitated Train Configuration," *Proceedings of the Korea Society of Mechanical Engineers*, pp.38-42.
- [2] 2013, J.G.Lee, G.B.Shin, S.G.Kang, E.G.Lee, I.L.Yoon, "Numerical Study of Flow Characteristics of High Speed Maglev Train," *한국철도학회 추계학술대회 논문집* pp.923-928.