

고속 철도 차량용 공기 제동장치의 공기역학적 특성분석연구

A Study on the Analysis of Aerodynamic Characteristics of Air-brake System for a High-speed Railway Rolling Stock

하양*, 김철호*†

He Yang*, Chul-Ho Kim**

초 록 본 연구는 고속 철도 차량의 공기역학적 특성을 이용하여 기존의 기계 및 전동식제동 시스템과 더불어 공기의 저항력을 이용하는 친환경 제동 장치인 공기 제동 장치(Air-brake System)의 개발을 목표로 고속철도차량에서 공기 제동장치의 효율성과 에너지 효율성을 검증하는데 연구의 목적을 두고 있다. 이를 위해 본 연구에서 수치해석 기법을 이용하여 개념적으로 설계한 공기 제동 장치의 공기역학적 특성에 대해 알아보았으며 또한 본 장치를 현재 중국에서 운행 중인 CRH380A 고속 철도 차량에 적용하였을 때 기존의 제동 시스템과 대비하여 어느 정도 제동 에너지가 절약되는지를 정량적으로 분석해 보았다.

주요어 : 공기저항, 공기 제동장치, 중국고속열차, 철도차량 제동장치, 에너지 절약, CFD

1. 서 론

현재 중국에서 380km/h 이상의 속도로 운행되는 고속 철도 차량(CRH380A)의 경우 차량의 정차를 위해 기계식(답면 제동, 디스크제동)과 전동식 제동 장치를 도입하여 운행하고 있으며, ATC(Automatic Train Control) 계획에 따라 총 8.5km의 제동거리를 확보하고 운행 중에 있다. 이러한 기계 및 전동식 제동 시스템의 경우 차량의 정차를 위해 매우 큰 제동 에너지를 필요로 하며 동시에 제동장치의 수명을 급격히 단축하게 된다.

본 연구에서 제안하고자 하는 고속 철도 차량의 공기역학적 특성을 이용하는 공기 제동 장치는 기존의 기계/전동식 제동 시스템과 더불어 적용하므로써 고속차량의 제동에 소요되는 제동 에너지의 절감뿐만 아니라 제동장치의 수명 연장에도 매우 크게 기여할 것으로 기대한다.

2. 본 론

2.1 열차의 주행저항

실험을 통하여 열차의 타행 운전과정에서 감속도를 측정하여 추정된 CRH380A 차량의 주행저항식은 다음과 같다.

$$R = 0.77 \sqrt{(10nM)} + 0.008MV + (0.02225 + 0.00352T) V^2$$

위의 CRH380A 차량의 주행저항 공식을 구름저항과 공기역학의 기본법칙을 적용한 CRH380A의 주행저항 식으로 표현하면 아래의 식을 나타낸다.

$$R = \mu mg + \frac{1}{2} \rho A C_D V^2$$

공기제동장치를 적용한 Model(2)와 같이 구름저항과 유체역학의 기본법칙을 이용하여 도출한 식은 아래 식으로 표현된다.

$$R = \mu(mg + F_A \cos\theta) + \frac{1}{2} \rho A C_{D-ABrake} V^2$$

R : 주행저항 μ : 레일과 차륜과의 마찰계수 m : 열차 질량(kg) A : 열차 전면 투영면적(m^2) C_D : 항력계수

2.2 CFD 해석을 위한 차량의 형상 및 격자 설정
실제 CRH380A 차량의 구성은 8량 (M2+T6)으로

* 서울과학기술대학교 공과대학원 자동차공학과

† 교신저자: 서울과학기술대학교 공과대학 자동차공학과 (profchkim@seoultech.ac.kr)

되어있다, 이번 공력특성해석에서는 3량으로 (M+T+M)으로 간소화하여 3D 모델링하였으며 차량과 공기제동장치의 제원은 Table 1~2에 주어진 바와 같다.

Table. 1 External Geometry and the Specification of the Model High Speed Railway(CRH380A)

CRH380A 차	M 동력차(L*W*H)(m)	26.5*3.38*3.7(m)
체의 형상 제	T 객차(L*W*H)(m)	25*3.38*3.7(m)
원 Model(1)	무게 (ton)	388.4t

Table. 2 Geometrical Specification of the Model Air-brake Devices

공기 제동 장치	Model(2)	경사각도 15°	L*W*H (1000*1518*258.8)(mm)
	Model(3)	경사각도 30°	L*W*H (1000*1518*500)(mm)
	Model(4)	경사각도 45°	L*W*H (1000*1518*707.1)(mm)

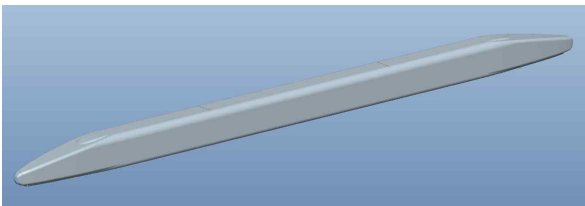


Fig. 1 3D View of the model(1) High-speed Train with No Air-brake

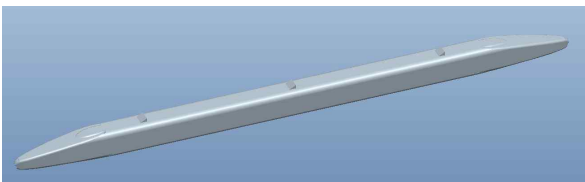


Fig. 2 3D View of the model(2-4) High-speed Train with the Air-brake in Operation

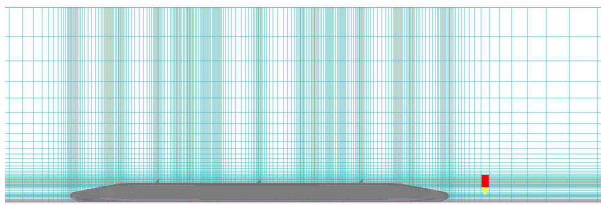


Fig. 3 Numerical Grid of Model (4); (283x57x50)

Fig. 3 은 본 연구에 사용된 해석격자의 형상을 보여준다. 격자시험을 통해 최종 (283x57x50)의 격자를 해석영역에 설정하였다.

2.3 CFD 해석결과 및 분석

Fig. 4는 차량이 380km/h의 속도로 주행시 차량 주위에서 발생하는 공기의 속도분포를 보여 준다. 공기 제동 장치의 후방에서 매우 강한 와류현상이 발생하며, 이는 제동 장치의 전후방 압력차를 유발하여 공기제동의 효과가 크게 나타난다는 사실을 보여준다. 동시에 공기 제동 장치는 차체에 다운포스(down-force)를 유발하여 차량의 구름저항력을 증가시키는 효과를 발생하게 된다.

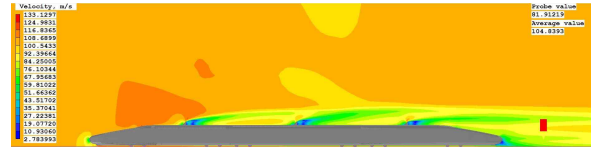


Fig. 4 Velocity Distribution with the Air-brake Device Model(2)

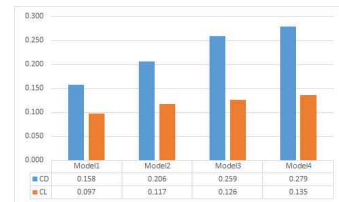


Fig. 5 Variation of C_D and C_L with the model (1~4)

Fig. 5에서 보여주듯이 Model-4 (45degree) 공기 제동 장치를 작동하였을 때 차량의 총 공기저항이 최대로 약 76.58% 정도 증가한다는 사실을 알 수 있다.

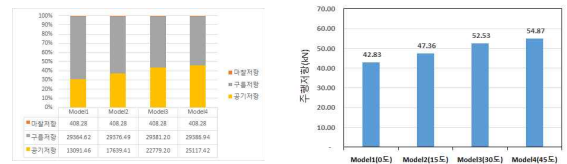


Fig. 6 Distribution by the Each Resistance Component at Each Model Vehicle

Fig. 6에서 알 수 있듯이 Model(4)(45도)의 공기 제동장치를 작동하였을 경우는 0.7%, 53.5%, 45.7%로 변하여 최종적으로 Model 1에 비해 공기 저항력이 91.7% 증가하고 차량의 항력계수는 약 76.7%정도 증가하였으나 저항력은 28.1%정도 증가하였다는 사실을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 중국고속 철도 차량(CRH380A)을 대상으로 CFD시뮬레이션 기법을 이용하여 Model14(45도) 공기 제동 장치를 장착하였을 경우 공기역학적 제동력은 약 40.81kN 발생하게 된다는 사실을 알게 되었다. 이 결과는 CRH380A 고속 철도 차량에 45도 공기제동장치를 작동할 경우 차량의 공기저항이 약 95.2% 증가하게 되

어 결론적으로 380km/h속도로 주행 중인 모델차량이 8.5km내에서 완전히 정차하기 위한 제동 에너지를 약 14.6% 절감할 수 있다는 사실을 도출하였다.

참고문헌

- [1] 손병기, 2015, “An Analytical Theory of Driving Resistance of a High-speed Railway Rolling Stock”논문 pp 22~24
- [2] CHAM (2011), PHOENICS Technical Report (TR/326), Concentration Heat and Momentum Limited
- [3] 서사범,(2010) “철도공학입문”, 북갤러리, pp 258~265
- [4] Edward C. Schmidt(1934), “Freight Train Resistance: Its Relation to Average Car Weight,”University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin, No. 43, Vol 31, No. 48, July 1934, Urbana
- [5] John K. Tuthill(1948), “High Speed Freight Train Resistance : Its Relations to Average Car Weight, ” University of Illinois Engineering Experiment Station, Vol. 45, No. 32, Bulletin Series 376, 1948, Urbana.
- [6] A. I. Totten(1937), ^ResistanceofLightWeightPassengerTrains/ Railway Age, Vol 103, No. 3, 1937, pp. 75-79.
- [7] 한국항공우주연구소(1996), “고속전철 차량 시스템의 기계기술 개발: 차량 기본형상 공력설계 및 해석기술 개발 제 2 차년도 년차 보고서”과학기술처
- [8] 한국기계연구원(1995),“고속전철 차량 시스템의 기계기술 개발: 대차의 구조 및 강도 해석 기술 개발”, 과학기술처