

차세대고속열차(HEMU-430X)의 주행저항 특성분석

The running resistance characteristic of next generation high speed train (HEMU-430X)

오혁근*[†], 권혁빈**, 김상수*, 최두호*, 김석원*

Hyuck Keun Oh*[†], Hyeok-bin. Kwon*, Sang-Soo. KIM*, Dooho Choi*, Seogwon. Kim*

Abstract The next generation high speed train (HEMU-430X) is electric multiple unit which is aimed for 430 km/h of maximum speed. By the running test on Gyeongbu HSR line, HEMU-430x set the record of 421.4 km/h. The running resistance is key factor of train system due to its significant relations to maximum speed and energy efficiency. In this study, the running characteristic of HEMU-430X is analyzed through the coasting test. With this test, the running resistance of HEMU-430X is analyzed in high speed region over 380 km/h. Also, the effects of the infrastructure conditions, such as open field and tunnels have been reviewed. It is also shown that the running resistance could be reduced by 6~7% with various methods.

Keywords : Running resistance, Coasting test, High speed train

초 록 차세대 고속열차 HEMU-430X는 최고속도 430km/h를 목표로 하는 동력분산식 차량으로서 경부고속선 2단계 구간에서 시속 421.4km/h를 돌파하였다. 열차의 주행저항은 철도 시스템의 최고속도와 에너지 효율을 결정하는 매우 중요한 인자로서, 정확한 주행저항의 분석이 매우 필요하다. 본 연구에서는 HEMU-430X의 증속시험과정에서 실시된 타행시험 결과를 분석하여 차량의 주행저항을 분석하였다. 타행시험을 통하여 시속 380 km/h의 초고속 대역에서의 HEMU-430X의 주행저항 특성을 파악하였으며, 동시에 터널과 개활지 구간에서 대한 주행저항 특성도 분석하였다. 또한 다양한 주행저항 감소방안을 적용하여 기본설계 대비 주행저항을 약 6~7% 정도 감소시킬 수 있었다.

주요어 : 주행저항, 타행시험, 고속열차

1. 서론

차세대고속철도차량(HEMU-430X: High speed Electric Multiple Unit-430km/h eXperiment)은 2007년부터 정부주도로 개발이 진행이 되었으며, 국내최초의 동력분산형 추진시스템을 탑재한 고속철도 차량이다. 최고속도 430km/h, 운영속도 370km/h를 목표로 경부고속철도 2단계(대구~부산)구간에서 시운전이 진행되었으며, 증속시험 시운전 기간 중에 세계 4위에 해당하는 최고속도 421.4km/h를 기록하였다. 열차의 주행저항은 철도시스템의 최고속도와 에너지효율을 결정하는 매우 중요한 인자로 본 연구에서는 증속 시운전 과정 중 수행된 타행 시험결과를 이용하여 380 km/h 이상의 고속대역까지의 주행저항을 분석하였다

† 교신저자: 한국철도기술연구원(hkoh@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원, ** 한국교통대학교

2. 본 론

2.1 타행시험을 통한 주행저항 측정

열차의 주행저항은 철도시스템의 최고속도와 에너지 효율을 결정하는 매우 중요한 인자로써, 차량의 개념설계 단계에서는 예측에 근거한 주행저항식을 통하여 중요 시스템 파라메타를 결정하게 되며, 정확한 주행저항식은 차량 제작 후 완성차량의 타행시험을 통하여 얻어지는 것이 일반적이다[1].

철도차량의 주행저항식은 일반적으로 아래와 식(1)과 같은 Davis equation의 형식으로 표현된다[2].

$$R = a + bV + CV^2 \quad (1)$$

위 식에서 R 은 주행저항 [kN], V 는 열차 속도 [km/h]이며, a , b , c 는 상수로서 편성차량(총 차량수가 확정) 마다 고유한 값을 가진다. 통상적으로 a , b 는 기계적 저항, c 는 공기저항에 따라 결정되는 상수로 알려져 있으며, 타행시험을 통하여 도출된다. 본 연구에서는 HEMU-430X 시운전 과정에서 타행시험을 실시하여 열차의 주행저항을 측정하였다.

아래 Fig. 1 에는 타행시험 시 시간에 따른 위치(KP), 속도, 제동 및 가속 신호를 나타내고 있다. 그림에서 표시된 시간은 추출 구간에 대한 상대적 시간이며, 제동 신호와 추진 신호가 모두 off이 되었을 때 열차는 타력으로 운전하고 있다고 볼 수 있다. 그림에 나타난 타행 시험의 경우 해당 구간은 KP 308.74km에서 303.19의 5.5km 길이 구간이다. 타행이 시작됨에 따라 열차의 속도는 감소하는데, 서로 다른 기울기를 갖는 세 구간으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 선로의 구배가 변함에 따라 열차에 중력이 가해지기 때문이다.

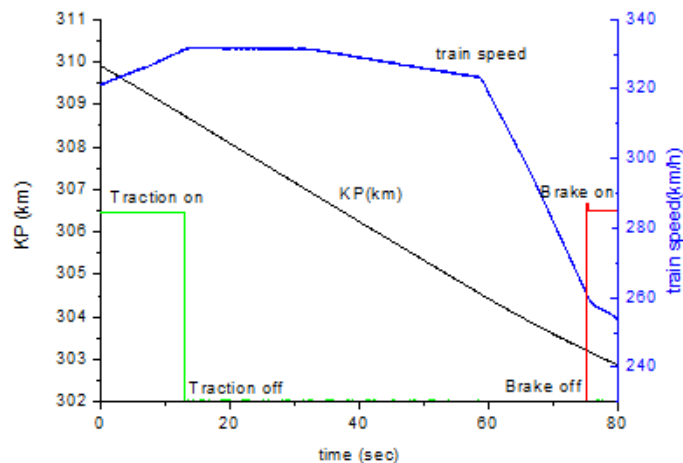


Fig. 1 Velocity, location, powering signal and braking signal during coasting test

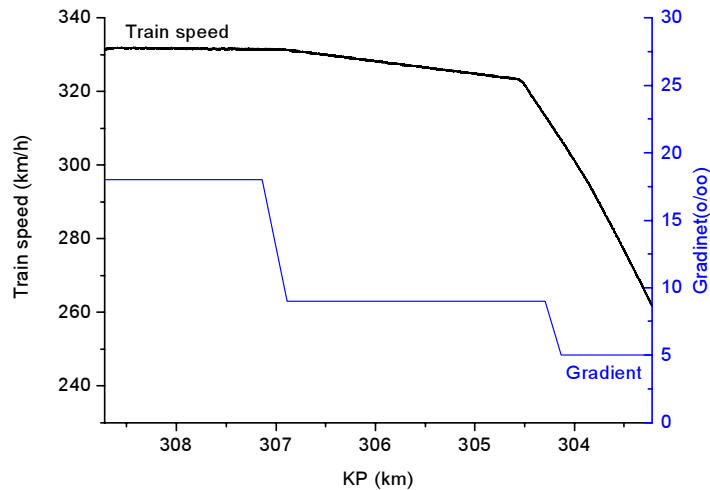


Fig. 2 location of coasting test and gravity gradient

아래 Fig. 2에는 위의 Fig. 1에 나타난 데이터들을 거리에 따른 속도 그래프로 나타내었으며, 덧붙여 선로의 구배 정보를 나타내었다. 본 타행 구간에서는 선로의 구배가 하구배 18%, 9%, 그리고 5%로 차례로 변하게 된다. 이 때 각 구배 영역에 따라 속도의 기울기가 급격히 차이가 남을 알 수 있으며, 동일 구배에서는 속도의 감소율이 거의 선형으로 보이는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 열차의 주행저항을 계산하기 위하여 이러한 단일 구배 조건에서의 선형의 기울기를 가지는 구간으로 다시 분할하여 각 구간에서의 평균가속도를 계산하였다. 이 때 측정된 가속도는 열차의 주행저항뿐만 아니라 구배의 영향이 포함되어 있는 값이다. 따라서 아래의 식 (2)에 의하여 구배에 의한 영향을 보정하였다.

$$a'_c = a + g\theta \quad (2)$$

위 식에서 a'_c 은 구배가 보정된 평탄선로에서의 가속도이고, a_c 는 측정된 가속도이며, g 는 중력가속도로서 9.81m/s^2 을 적용하였고, θ 는 선로구배로서 단위는 ‰이다. 본 연구에서는 150 km/h부터 380 km/h까지의 속도에 대하여 타행시험을 터널 및 개활지 구간에 대하여 실시하였고, 그 가속도를 위와 같은 선로 구배보정을 통하여 주행저항 가속도를 측정하였다.

2.2 주행저항측정결과

구배보정된 주행저항 가속도에 차량의 질량을 곱하여, 차량의 주행저항을 속도에 따라 계산할 수 있다. 이 결과를 식(1)에 나타난 2차 다항식의 형태로 근사화하면 주행저항식을 산출할 수 있다. Fig. 3은 개활지에서의 주행저항 데이터 및 2차 다항함수로 근사화된 곡선을 개선 전 및 개선 후에 대하여 나타내고 있다. 아래 그림에서 2차 다항식으로 근사화된 곡선은 측정된 주행저항 데이터와 잘 일치하고 있는 것으로 나타난다.

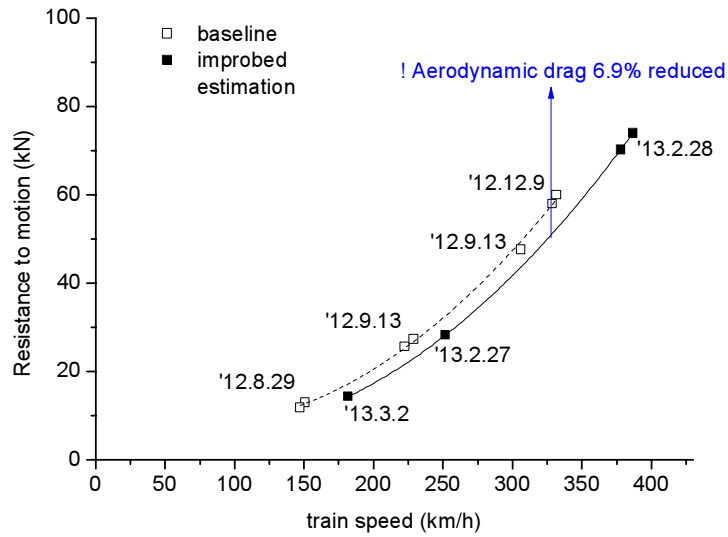


Fig. 3 running resistance of HEMU-430X : before and after improvements



Fig. 4 Side faring and bogie cover for reduction of aerodynamic drag

Fig. 3의 결과로부터 HEMU-430X의 주행저항 특성을 파악할 수 있는데, 400 km/h의 속도에서 약 78kN 정도의 주행저항을 가지는 것을 확인할 수 있으며, 이를 바탕으로 HEMU-430X가 상용목표속도인 400 km/h (111 m/s) 이상 가속을 하기 위해서는 약 8700 kW의 추진출력이 필요함을 알 수 있다.

또한 기존설계의 주행저항으로는 최고속도 430 km/h의 달성이 어렵다고 판단이 되어 Fig. 4와 같이 차간연결막 및 대차커버를 설치하는 개선작업을 통하여 공기저항을 약 6.9%를 저감시킬 수 있었고 이를 통하여 최고속도를 421.4 km/h를 달성하는 데 기여할 수 있었다.

터널 구간에서의 공기저항은 넓은 속도구간에 대한 충분한 타행 계측 데이터가 없기 때문에 근사화를 이용한 주행저항식의 계산이 어렵다. 따라서, 개활지 대비 터널에서의 주행저항을 비교하였다. 데이터 분석결과 터널 내에서의 공기저항은 개활지에 비하여 약 23%에서 31%까지 평균 28% 높게 나타나며, 이는 터널 내 통과 시 차량 전방의 압력상승에 의한 공기저항의 증가 효과로 볼 수 있다.

3. 결 론

이상의 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 타행시험을 통하여 분산형 차세대고속열차의 350 km/h 이상 초고속 대역의 주행저항을 구하였고 이를 2차 회귀곡선으로 분석하여 개활지에 대한 주행저항식을 제시하였다.
- (2) 대차커버와 차간연결막등 주행저항 감소방안을 적용하여 기존 설계 대비 공기저항을 약 6.9% 저감시킬 수 있음을 확인하였다.
- (3) 터널에서의 주행저항이 개활지 대비평균 28% 정도 높게 나타나며, 이는 터널 내 통과 시 차량전방의 압력상승에 의해서이다.

후 기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 미래철도기술개발사업 중 430kph급 고속열차 실용화 기술개발 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] S-W. kim, H-B Kwon, Y-G Kim and T-W Park (2006) Calculation of resistance to motion of a high-speed train using acceleration measurements in irregular coasting conditions, *Journal of Railway and Rapid Transit*, 220, pp. 449-459
- [2] B. P. Rochard and F. Schmiding (2000) A review of methods to measure and calculate train resistances, *Journal of Railway and Rapid Transit*, 214, pp. 185-199.