

차세대 동력분산 고속열차(HEMU-430X)의 중량과 가속능력의 상관관계

The relationship between train weight and acceleration for the Korea's next-generation electric multiple unit train

최두호*[†], 전창성*, 조홍식*, 오혁근*, 김석원*

Doocho Choi*[†], Chang Sung Jeon*, Hong-Shik Cho*, Hyuck Keun Oh*, Seok-Won Kim*

Abstract This study reports the relation between the acceleration and weight for the Korea's next-generation high-speed train (HEMU-430X). In order to evaluate the effect of weight, the total weight of HEMU-430X was varied by 2%, and the analysis was conducted for the low speed range (less than 200 km/h) and high speed range (380 km/h – 420 km/h), respectively. It was shown that acceleration for both of the speed ranges was higher with lower weight, which indicates that the balancing speed of the train is higher than the test speeds.

Keywords : High-speed train, Electric multiple unit, Weight, balancing speed, acceleration

초 록 본 연구는 차세대 동력분산식 고속열차인 HEMU-430X의 본선시운전 중 실시한 차량의 중량과 가속성능간의 상관관계에 대한 결과를 보고한다. 차량의 중량 효과를 파악하기 위하여 총 중량의 약 2%를 변화시켰고, 저속(200 km/h 이하)영역 및 고속(380~420 km/h)영역으로 분류하여 중량의 변화에 따른 차량가속성능에 대하여 조사하였으며, 두 속도 영역에서 모두 중량이 가벼운 것이 가속에 유리한 것으로 나타났다. 이는 차량의 균형속도가 시험속도보다 높다는 것을 의미한다.

주요어 : 고속열차, 동력분산형, 차량 중량, 균형속도, 가속도

1. 서 론

차세대 분산형 고속철도차량(HEMU-430X: High speed Electric Multiple Unit-430km/h eXperiment)은 국내최초의 동력분산형 추진시스템을 채택한 열차로써 2007년부터 최고속도 430km/h, 운영속도 370km/h를 목표로 정부주도로 개발이 진행되었다. [1], [2] 경로조건을 고려하여 최고속도시험 구간은 경부고속철도 2단계(대구~부산)구간으로 선정하여 2012년 11월부터 2013년 3월에 걸쳐 시운전이 진행되었다. 최고속도를 올리는 방편의 하나로 차량의 중량변화를 고려했으며, 의자 탈거 또는 중량물 설치 등으로 차량의 중량을 약 2% 변화시킬 때, 차량의 가속성능의 변화에 대해 고찰하였다. 또한, 에너지소비량을 바탕으로 분석한 균형속도와 가속도의 관계에 대해 논의한다.

[†] 교신저자: 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단 (dhchoi@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단

2. 본 론

2.1 차량 구성도 및 중량 변화 일지

2.1.1 차량 구성도

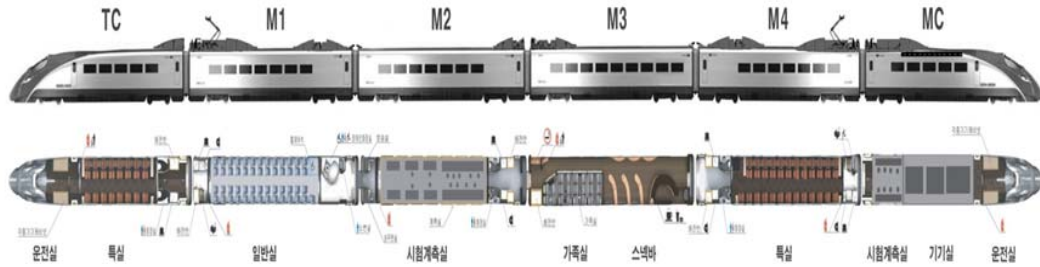


Fig. 1 The formation of HEMU-430X

HEMU-430X의 구성은 Fig. 1에서 보듯이 6량 1편성, 즉 제어객차인 TC(Trailer car + Controlled), 동력객차인 M1~M4(Motor car), 제어동력차인 MC(Motor car + Controlled)로 구성되어 있다. 각 차량당 2대의 독립대차가 연결되어 총 12대의 대차로 이루어져 있다. TC를 제외한 5 차량에는 모두 동력장치(각 차량당 전동기 4대 설치)가 설치되어 있다.

2.1.2 날짜별 중량변화

Table 1은 날짜별 HEMU-430X의 상대중량, 차량별 출력현황, 그리고 각각의 조건으로 시운전시 최고속도에 대해 정리하였다. HEMU-430X의 총 중량은 약 320 ton으로써, 변화된 중량은 총 중량 대비 약 2%이다.

Table 1 Date of tests, relative weight, power of motors in each car and the highest measured speed are given

일자	상대중량 (ton)	M1-M4 출 력(kW)	MC 출력 (kW)	최고속도 (km/h)
1/31	- 6.7	530	508	402.3
2/21	0	530	508	412.3
2/24	+ 5	530	508	413.3

2.2 가속도 분석

2.2.1 중량과 가속도와의 관계

외부에서 견인력을 제공받은 차량의 가속도는 식 (1)로 설명할 수 있다.

$$a = \frac{F - R}{M} \pm g \times \tan \theta \quad (1)$$

여기서 a , F , R , M 은 가속도, 견인력, 주행저항, 차량 중량이며, g 와 θ 는 중력가속도와 경사도 각을 나타낸다. 이 연구에서 논의하는 가속도는 모두 경사도를 보정하여 평지에서의 가속도로 환산한 값이다. 이 식에 따르면, 견인력이 공기저항보다 큰 균형속도 미만에서는 중량이 가벼운 것이 가속에 유리하고, 공기저항이 견인력보다 큰 균형속도 이상에서 하구배의 영향으로 가속 시 중량이 무거운 것이 유리하다.

2.2.2 속도 및 출력 비교

Figure 2는 KP별 주변압기 (Main Transformer, MTF) 입력전류와 속도를 보여준다. 저속구간 (200 km/h 이하)의 경우 중량을 변화시킨 세 날짜에 대해 MTF current가 거의 동일하기 때문에 실제 출력이 일정하다고 결론을 내릴 수 있으며, “-6.7 ton”, “0 ton”, “+5 ton”에 대해 중량의 효과를 비교하였다. 고속(350 km/h 이상)에서는 “-6.7ton”의 경우, 약 KP 320지점부터 전동기의 제어오류로 전류 소모량이 작기 때문에, 실제 출력이 낮음을 알 수 있다. 따라서 “-6.7 ton”의 경우는 중량의 효과를 비교하기가 어렵고, 고속구간에서는 “0 ton”과 “+5 ton”의 변화에 따른 가속변화를 관찰하였다. Fig. 2에 저속분석구간은 빨간색 점선 박스로, 고속구간은 파란색 점선 박스로 구분하였다.

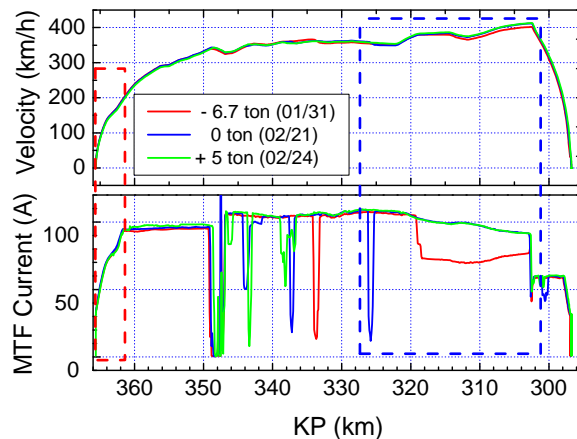


Fig. 2 Input MTF current and the velocity of HEMU-430X

2.2.3 저속대역 (200 km/h 이하)

Figure 3은 3가지 차량중량에 대하여 저속구간에서의 KP별 속도를 보여준다. 그림에서 보듯이, 가장 무거운 중량에서 가벼운 중량순으로 가속도가 커짐을 알 수 있으며, 이는 식(1)에서 예측한 것과 같이 중량이 가벼울 때 가속이 크기 때문이다.

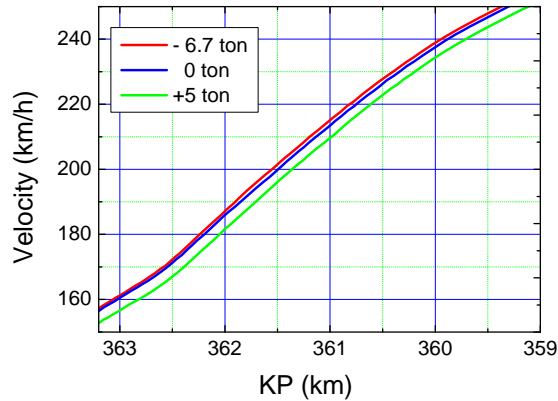


Fig. 3 Velocity of HEMU-430X as a function of KP and (b) the average relative accelerations for the three different weights for the speed range of 20-200 km/h.

2.2.4 고속 대역 (350 km/h 이상)

Figure 4은 “0 ton”과 “5 ton”에 대하여 고속구간에서 KP별 MTF 입력 전류, 속도, 그리고 두 중량에 대한 속도차이를 나타낸다. 그림에서 보듯이, “0 ton”의 경우 약 KP 326지점에서 MPS 재기동이 발생하였고 이에 의해 속도가 일시적으로 감소하였으나, “5 ton”의 경우 재기동이 발생하지 않았다. 재기동이 발생한 구간을 제외하고는 MTF 입력 전류가 거의 동일하므로, 두 중량에 대한 출력 또한 MPS 재기동 지점을 제외하고는 동일하다고 결론 내릴 수 있다. 그래프상에서 재기동 직후 “0 ton”의 경우 “5 ton”과 비교하여 약 6.4 km/h 정도 속도가 느렸으나 최고속도시점인 KP 302.5 지점에서는 속도 차이가 0.9 km/h에 불과했다. 이는 가벼운 차량이 가속에 유리한 것을 의미하고, 식 (1)에서 설명하였듯이 HEMU-430X의 주행속도 (최고속도 413 km/h)가 균형속도보다 작다는 것을 나타낸다.

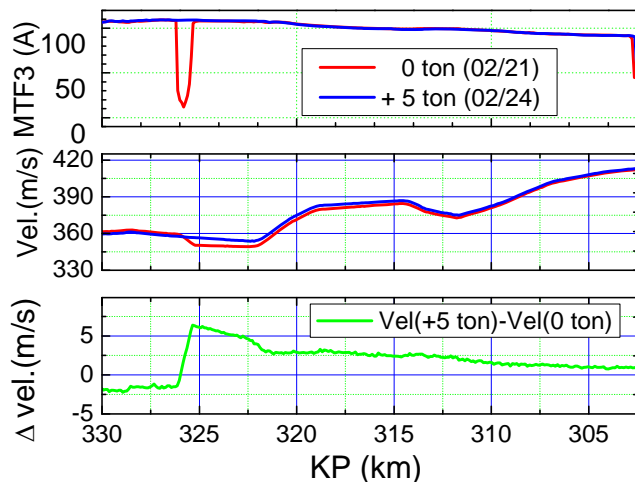


Fig. 4 MTF current-in, velocity and the difference of velocity for “0 ton” and “+5 ton” as a function of KP

3. 결 론

차세대 고속열차 HEMU-430X의 중량변화에 따른 가속성능의 차이에 대해서 논의하였다. 차량의 중량을 $\pm 2\%$ 변화시킬 때, 저속구간 (200km/h 이하)과 고속구간 (350 km/h 이상)에 대해 가속성능을 비교한 결과, 중량이 가벼운 것이 유리한 것으로 나타났으며, 이는 차량의 속도 (최고속도 413 km/h)가 균형속도보다 낮기 때문이다.

후 기

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

참고문헌

- [1] Chang-Sung Jeon, Young-Guk Kim, Seok-Won Kim, Sang-soo Kim, et al. (2012), A Study on Tail Vibration Reduction for the Next Generation High Speed EMU, Journal of the Korean Society for Railway, 6, pp. 543-549
- [2] Sang-Hyun Ryu, Sang-Soo Kim, Jun-Hee Hong, Doo-Sang Song et al. (2013), Safety Evaluation of the Dynamic Behavior of HEMU-430X using the Accelerometers of UIC 518 OR, Journal of the Korean Society for Railway, 16, pp. 32-39