

# 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\*<sup>†</sup>, 전창성\*, 조홍식\*, 오혁근\*, 김석원\*

Doocho Choi\*<sup>†</sup>, 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.

<sup>†</sup> 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

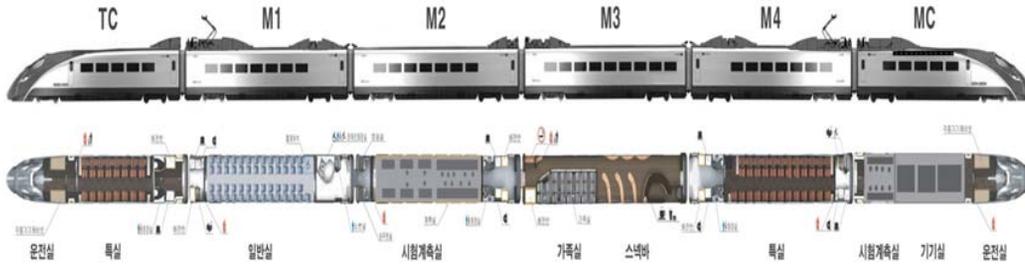


Fig. 1 The formation of HEMU-430X

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  $\theta$ 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.

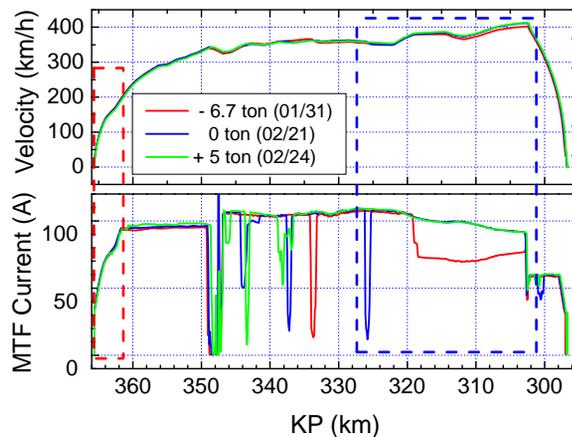


Fig. 2 Input MTF current and the velocity of HEMU-430X

### 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.

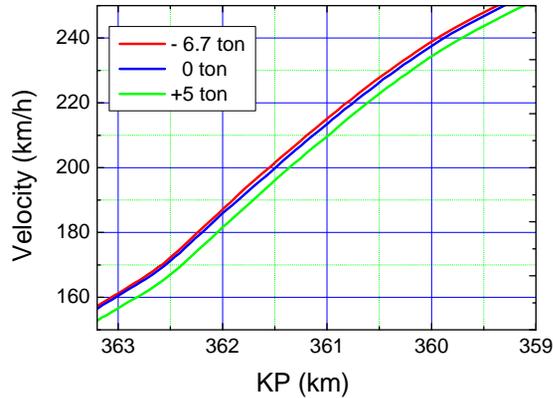


Fig. 3 Velocity of HEMU-430X as a function of KP and (b) the average relative accelerations for the three different weights for the speed range of 20-200 km/h.

### 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.

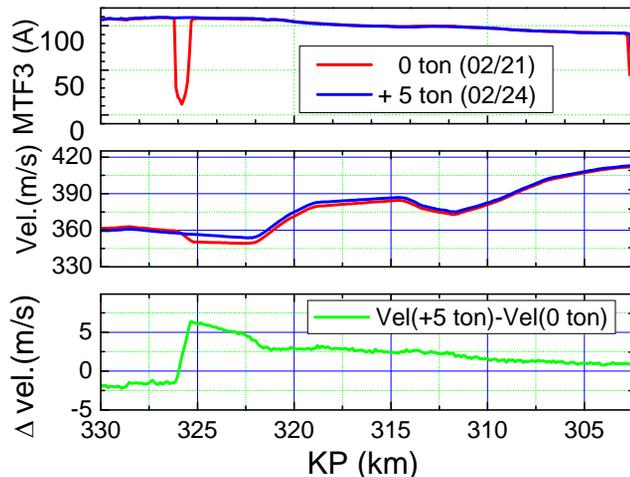


Fig. 4 MTF current-in, velocity and the difference of velocity for “0 ton” and “+5 ton” as a function of KP

### 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