

차세대 동력분산 고속열차(HEMU-430X)의 주행안정성

Evaluations of safety and running behavior for Korea's next-generation high speed train (HEMU-430X)

최두호*[†], 전창성*, 오혁근*, 고상진*, 김석원*

Dooho Choi*[†], Chang Sung Jeon*, Hyuck Keun Oh*, Sang Jin Go*, Seok-Won Kim*

Abstract This study reports the dynamic behavior of HEMU-430X, the Korea's next-generation high speed train, during its speed tests conducted on the 2nd-phase Kyungbu-high-speed line that connects Busan and Daegu. Each test was performed with a speed increase by 10 km/h to arrive at the highest speed of 421.4 km/h, placing it the 4th fastest train in the world. The dynamic behavior of the trains, i.e., safety and running behavior, associated with each testing speeds were analyzed using Simplified method suggested by UIC 518 OR. The results indicate that safety overall meets the criteria while the tail car closely approach the limit value. For the running behavior, it was shown that the value for the tail car is slightly above the limit value. The results of this study will be used for improved dynamic behavior as well as in preparation for additional speed tests in the future.

Keywords : Dynamic behavior, Safety, Running behavior, Electric multiple unit, speed test

초 록 본 연구는 차세대 동력분산식 고속열차인 HEMU-430X의 최고속도 시험 중 분석한 주행안정성 결과에 대해 보고한다. 경부고속철도 2 단계구간(부산~대구)에서 시행된 증속 시험은 300 km/h 부터 시작해서 매회 10 km/h 씩 증속하여 세계 4 위에 해당하는 최고속도 421.4 km/h 를 기록하였다. 매 시험마다 UIC 518 OR 에서 제시하는 simplified method 를 적용하여 주행안정성, 즉 탈선 등과 관련된 안전성(safety) 및 승차감과 관련된 주행거동(running behavior)에 대해 분석하였다. 400 km/h 이하에서는 안전성 및 주행거동 측면 모두 기준값을 만족하나, 400 km/h 이상에서는 후미차량의 경우 안전성 기준을 만족 하지만 상한선에 근접하고, 주행거동 측면에서는 후미차량이 기준 값을 약간 상회하였다. 이 결과는 차량의 주행안정성 보강 및 향후 추가증속을 위한 자료로 사용될 것이다.

주요어 : 주행안정성, 안전성, 주행거동, 동력분산식, 증속시험

1. 서 론

차세대 분산형 고속철도차량(HEMU-430X: High speed Electric Multiple Unit-430km/h experiment)은 2007년부터 정부주도로 개발이 진행된 국내최초의 동력분산형 추진시스템을 채택하였다. 최고속도 430km/h, 운영속도 370km/h을 목표로 경부고속철도 2단계(대구~부산)구간에서 시운전이 진행되었으며, 증속시험 시운전 기간 중에 세계 4위에

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

* 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단

해당하는 최고속도 421.4km/h를 기록하였다. 새로 개발된 차량을 시운전하면서 가장 중요한 평가항목 중의 하나는 탈선 등 안전과 직결된 차량의 주행안정성, 즉 차량의 안전성과 주행거동을 분석하는 것이다. 본 연구에서는 421.4km/h까지 증속시험을 하는 동안 수행하였던 주행안정성 평가 방법, 시험 개요, 그리고 주행안정성 분석결과에 대해 보고한다.

2. 본 론

2.1 주행안정성 분석방법

2.1.1 평가방법

Table 1 Processing conditions and limit values for dynamic behavior using measured acceleration

항목		허용한도 (m/s ²)		데이터 처리 기준
안전성	대차 횡가속도	12-M _b /5Mb = 대차질량(ton)		10 Hz Low Pass Filter
	차체 횡가속도	3.0		6 Hz Low Pass Filter
	차체 상하가속도	3.0		0.4 ~ 4.0 Hz Band Pass Filter
주행거동		Max.	R.M.S.	
	차체 횡 가속도	2.5	0.5	0.4 ~ 10.0 Hz Band Pass Filter
	차체 상하 가속도	2.5	0.75	0.4 ~ 10.0 Hz Band Pass Filter

안전성 및 주행거동 평가는 EN14363:2005(UIC 518 OR)에서 제시하는 방법에 따라 분석하였다. 이 방법은 대차 횡 가속도와 차체의 횡 및 상하 가속도를 측정하고, 측정값에 대해 EN14363:2005에서 제시하는 방법에 따라 필터를 적용하였다. (Table 1) 필터를 적용한 데이터를 일정한 거리의 구간으로 나누고 상위 99.85% 또는 하위 0.15% 값 중 큰 값의 절대값 및 rms(root mean square)값을 해당 구간의 대표값으로 정한다. 실제 EN4363:2005에서는 25개 이상의 500m 구간을 선택하도록 제시하지만 이를 위해서는 12.5km 이상을 고속주행 하여야 하기 때문에 본선시운전에서 이 조건을 만족시키기 힘들다. 따라서 주행 속도와 구간에 따라 한 구간의 거리를 100 ~ 200m로 선택하여 평가하는 방법을 적용하였다. 각 구간에서 계산된 통계값은 전체 시험구간에서 취합하고 취합된 값의 평균값(X_{mean})과 표준편차(s)를 이용하여 예측값(X_m)을 식(1)로 구한다.

$$X_m = X_{mean} + s \cdot k \quad (1)$$

여기서 k 는 평가항목 및 가속도 특성에 따른 지수로서 안전성 관련 항목은 3이며, 주행거동관련 항목은 2.2를 사용토록 하고 있다. 표 1은 안전성과 주행거동 평가 항목에 대한 허용도값과 적용 필터값을 정리하였다. 대차 횡 가속도의 기준값은 대차의 질량(Mb)에 따라 달라지는 데, 예를 들면 MC차량의 대차질량은 7.663ton이므로 허용도 기준은 10.47m/s^2 가 된다.

2.2 분석 결과

2.2.1 차량 구성 및 가속도계 배치



Fig. 1 The formation of HEMU-430X

HEMU-430X는 Fig.1에서 보듯이 6량 1편성이며, 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. 차체, 대차, 차축에는 총 121개의 가속도 센서가 설치되어 있고, 가속도 센서는 ICP type, capacitance type, strain gauge type 등 총 3개의 타입으로 구성된다. 이 중 차축에는 AC coupling된 신호를 측정할 수 있는 ICP type의 가속도계가 장착되어 있고, 차체와 대차는 ICP 가속도계와 함께 DC 성분을 측정할 수 있는 capacity type과 strain gauge type의 가속도계를 모두 사용하고 있다. [1]

2.2.2 가속도 데이터

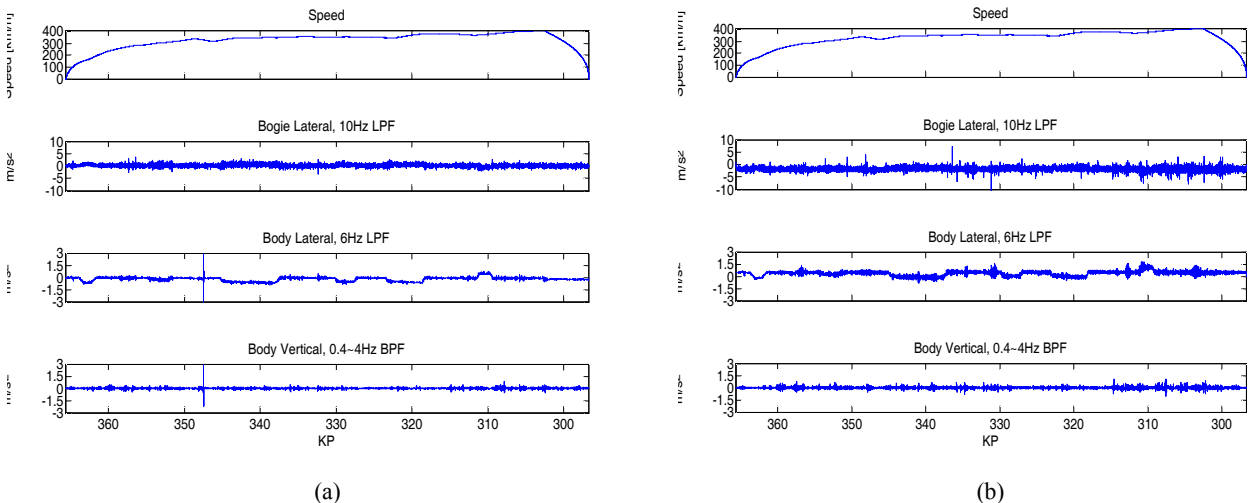


Fig. 2 Examples of lateral acceleration for bogies, and lateral/vertical acceleration for car bodies for (a) TC and (b) MC cars.

선두차량(TC)과 후부차량(MC)에 대해 대차 및 차체의 수직과 수평방향 가속도 측정 결과의 예를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 대차 및 차체 가속도는 선두차량보다 후미차량에 더 크게 나타나는 데, 이것은 차량의 고유치분석을 통해 구한 좌우방향 흔들림 주파수와 차량의 횡방향 운동의 주파수가 비슷해졌을 때 공진하는 현상이다. [2]

2.2.3 안전성

370km/h이상 고속으로 주행 시 시제차량 6량의 대차 및 차체의 주행안전성을 EN14363:2005 방법으로 분석한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 차량번호 1번이 선두차량(TC)이고, 차량번호 6번이 후부차량(MC)이다. 전체적인 주행안전성은 고속주행시에도 양호하나 최고속도 시험(421km/h)에서 MC차량 대차 횡가속도가 허용 한도에 근접함을 알 수 있다. 따라서 향후 최고속도시험을 추가로 실시할 때는 MC차량의 좌우방향 진동을 저감시킬 필요가 있다.

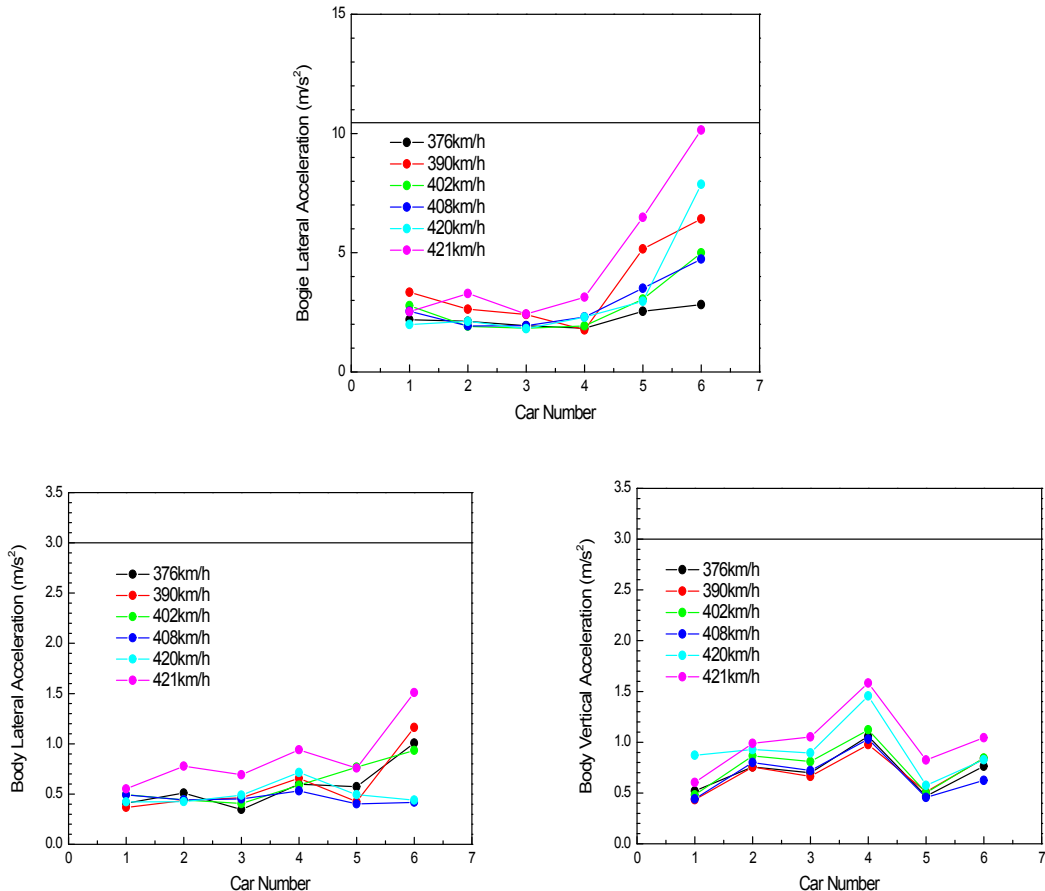


Fig. 3 Dynamic behavior (safety) for HEMU-430X

2.2.3 주행거동

Figure 4는 EN14363:2005 방법으로 주행거동관점에서 차체 가속도신호를 분석한 것이다.

횡방향 및 수직방향 최대가속도, 수직방향 RMS값은 기준치 이내이나, 후미진동의 영향으로 차체 횡방향의 RMS값은 421km/h에서 기준치인 $0.5m/s^2$ 을 초과하는 경우가 있었다. 하지만, 이는 차량의 안전성과는 관련이 없고, 승차감이 저하되는 부분이기 때문에 증속시험을 계속 진행하였으며, 차후 실용화 단계에서 추가적인 현가장치 도입으로 감소될 것으로 기대된다. 차체의 수직가속도는 M3차량에서 높은 경향을 보이는 데, 이는 M3차량의 중량이 가장 가볍기 때문에 상하방향 진동이 더 높은 것으로 사료된다.

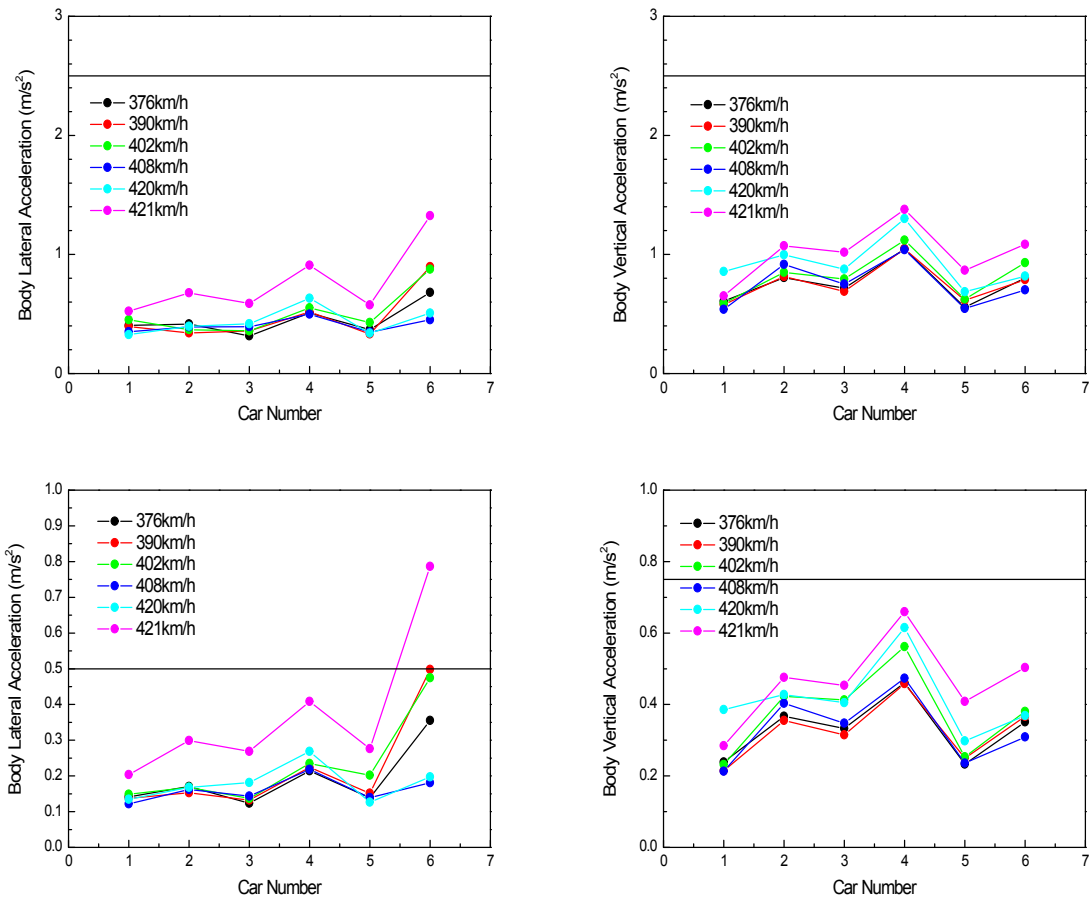


Fig. 4 Dynamic behavior (running behavior) for HEMU-430X

3. 결론

차세대 분산형 고속철도차량(HEMU-430X)의 주행안정성을 EN14363:2005에 방법에 따라 대차와 차체에서 측정된 횡가속도 및 상하가속도를 이용하여 분석하였다. 증속시험 분석 결과, 안전성 측면에서는 기준을 만족하였고, 주행거동 측면에서는 기준을 약간 초과하였으나 이는 승차감과 관련된 부분이라 421.4km까지 증속 시험은 계속 수행이 되었다. 전반적으로 후미차(MC)의 대차 횡가속도가 421.4km/h 주행 시 허용기준치에 근접하므로 추가적인 증속을 위해서는 댐핑계수가 높은 안티요댐퍼 설치 및 현가장치의 최적화가 필요할 것으로 예상된다.

후 기

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

참고문헌

- [1] 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
- [2] 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