

차세대 고속열차 주행성능해석

이태형, 박춘수, 한인수, 최성훈, 김상수
한국철도기술연구원

Running Performance Analysis for the High-speed Electric Multiple Unit 400km/h Experimental

Tae-hyung Lee, Choon-soo Park, In-soo Han, Sung-hoon Choi, Sang-soo Kim
Seonam Univ. *Kwangwoon Univ.

Abstract : The HEMU-400X(High-speed Electric Multiple Unit 400km/h eXperimental) project starts in 2007. It is required to analysis and simulate the train performance throughout the project life cycle for a successful completion of the project. This paper is devoted to the development of a train performance analysis model for the high-speed electric multiple unit 400km/h experimental. The model consist of running resistance model, train model, traction model and braking model. So, this paper represents the results of the train performance analysis.

Key Words : High-speed Train, Running Performance, Analysis

1. 서론

차세대 고속철도기술개발사업의 목표는 최고시행속도 400km/h, 운영속도 350km/h 성능을 갖는 동력분산형 고속열차를 2013년까지 개발하는 것이다. 상기 목표를 달성하기 위해서는 개발하려고 하는 차량시스템의 성능해석을 설계단계에서 수행하여 시스템요구사항에서 제시하는 성능을 만족하는 지를 검토하여야 한다[1~3]. 또한 설계 변경이 이루어질 때마다 그 변화된 파라미터가 성능해석에 미치는 영향을 분석하여야 한다.

본 논문에서는 개발하려는 차세대 고속열차의 성능예측을 위해 차량, 주행저항, 견인성능, 제동성능 데이터를 기반으로 열차성능해석프로그램[4,5]을 사용하여 해석을 수행하고 그 결과가 시스템요구사항을 만족하는 지에 대한 결과를 제시한다.

2. 주행성능해석

열차성능해석은 식(1)과 같은 차량 운동방정식을 시간(또는 거리, 속도)의 함수로 위치, 주행 속도, 사용 전력 등에 대해 계산하는 것이다. 단일 열차의 주행을 모의하기 위해 입력으로 열차 중량, 추진 시스템 특성(속도에 대한 견인력/제동력과 효율 곡선), 열차 저항, 차량 수 및 길이, 보조 전기 부하 등과 같은 차량 데이터와 선로의 구배, 곡선 반경, 속도제한, 역 위치 등의 주행 선로 데이터와 정차 역, 정차 시간 및 정차 패턴과 같은 운영 데이터가 사용되며, 주행 거리, 속도, 시간 및 사용된 추진 및 제동력, 유효 및 무효 전력량 등의 프로파일이 출력된다.

$$\frac{dS}{dt} = V \tag{1}$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(T - R_r - R_c \pm R_g)}{(1 + \chi)W}$$

여기서,

- T : 견인력/제동력, N
- R_r : 주행저항, N
- R_c : 곡선저항, N
- R_g : 구배저항, N
- χ : 관성계수
- W : 열차중량, kg

최고시행속도 400km/h, 운영속도 350km/h 성능을 갖는 동력분산형 고속열차에 대한 편성은 실제 영업 운전을 위해 구성된 운영편성(6M+2T)과 시험평가를 위한 시제편성(5M+1T)으로 구분할 수 있으며 아래 그림 1과 2와 같다. 여기서 M은 동력을 갖고 있는 차량, TC는 객차와 운전의 기능을 갖고 있는 차량을 의미한다.

운영편성과 시제편성에 대한 차량모델을 구성하는 파라미터는 아래 표 1과 같다.



그림 1. 운영편성



그림 2. 시제편성

표 1. 차량모델 파라미터

구분	운영편성	시제편성
축중	13톤	14톤
중량	416톤	3362톤
길이	197.6m	149.0m
단면적	11.47m ²	11.47m ²

기존 한국형고속열차(HSR-350X)의 주행저항식과 분산형 고속열차인 일본 신간선 고속열차의 주행저항식을 이용하여 차세대 고속열차에 대한 주행저항식을 아래 식(2)과 같이 예측하였다.

$$R_{\text{train}} = ((1.356 + 0.001363V)W + 0.5F\rho(0.0035 + 0.00033L)V^2) \times 9.8 \quad (2)$$

여기서, W : 열차중량, F : 열차단면적, ρ : 공기밀도,
L : 열차길이

시제편성의 견인력은 그림 3과 4와 같다.

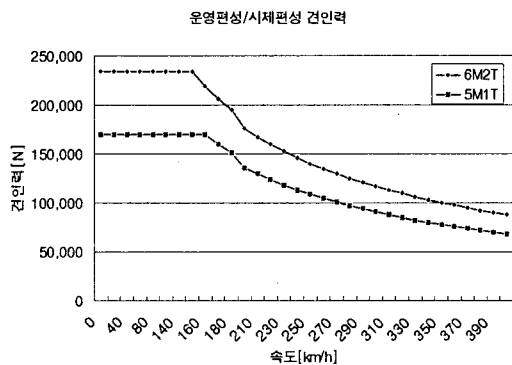


그림 3 견인력 곡선

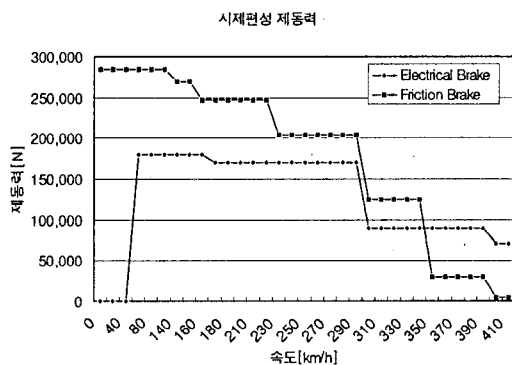


그림 4 제동력 곡선

3. 결과

시제편성의 주행성능해석을 수행하기 위해 식 (1)의 입력변수인 견인력/제동력(T), 차량중량(W), 주행저항을 결정하고 시뮬레이션을 수행한 결과는 아래와 같다.

우선 최고속도에 도달하는 시간과 거리는 표 2과 같으며 그림 5에 표현하였다.

표 2 최고속도 도달 시간과 거리

구분	KTX	KTX-II	시제편성
300km/h	20km	16.4km	12.2km
	365초	316초	242초
350km/h	-	-	23.0km
400km/h	-	-	361초
	-	-	57.2km
			684초

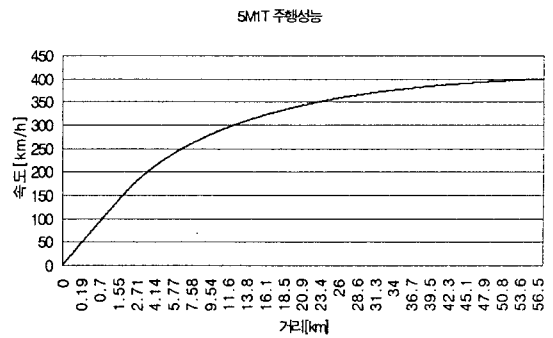


그림 5 주행성능

4. 결론

본 연구에서는 차세대 고속열차 시제편성의 중량, 차량길이, 견인력/제동력, 주행저항을 입력하여 주행성능해석을 수행하였으며 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 시제편성의 주행성능은 개발목표인 최고시험속도 400km/h를 만족한다.
- 시제편성의 중량, 차량길이, 견인력과 제동력, 주행저항이 적절하게 설계되었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] C.J.Goodman, "Train Performance and simulation", The Institution of Electrical Engineers, 1997
- [2] Paul Martin, "Train Performance and simulation", Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, 1999
- [3] Paul Martin, "Train Performance and simulation", The Institution of Electrical Engineers, 1997
- [4] 이태형 외, "한국형 고속전철 열차성능해석 프로그램", 한국철도학회논문집, 제6권, 제2호, 2003
- [5] 이태형 외, "한국형 고속전철 개발열차 열차성능해석 및 평가", 한국철도학회논문집, 제7권, 제2호, pp. 120 ~ 124, 2004