차세대 고속열차 성능해석 모델 개발

A study on Development of train performance analysis model for the high-speed electric multiple unit 400km/h experimental

이태형* 박춘수** 김영국** 최성훈** 김상수** 한인수**
Lee, Tae-Hyung Park, Choon-Soo Kim, Young-Guk Choi, Sung-Hoon Kim, Sang-Soo Han, In-Soo

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.

1. 서 론

국토해양부는 국내외 고속철도 시장의 능동적 대응과 지속 가능한 고속철도 기술 경쟁력을 확보하기 위해 차세대 고속철도기술개발사업을 2007년부터 시작했다. 차세대 고속철도기술개발사업의 목표는 최고시험속도 400km/h, 운영속도 350km/h 성능을 갖는 동력분산형 고속열차를 2013년까지 개발하는 것이다.

상기 사업의 성공을 위해서는 설계단계에서 개발하려고 하는 차량시스템의 성능해석을 수행하여 시스템요구사항에서 제시하는 성능을 만족하는 지를 검토하여야 한다[1~3]. 또한 설계 변경이 이루어질 때마다 그 변화된 파라미터가 성능해석에 미치는 영향을 분석하여야 한다. 이를 위해서는 성능해석 모델이 필요한데 선행연구를 통해 열차성능해석프로그램[4]을 개발하였고 시운전시험 결과와 비교를 통해 검증하였다[5].

본 논문에서는 개발하려는 차세대 고속열차의 성능예측을 위해 차량, 주행저항, 견인성능, 제동성능으로 구성한 성능해석 모델을 제안하였고 열차성능해석프로그램을 사용하여 해석을 수행하고 그 결과가 시스템요구사항을 만족하는 지에 대한 결과를 제시한다.

2. 본 문

2.1 성능해석 모델 구성

제안한 성능해석 모델의 구성은 차량, 주행저항, 견인성능, 제동성능의 네 부분이다. 차량모델은

* 한국철도기술연구원, 차세대고속철도기술개발사업단, 정회원
E-mail : thlee@krri.re.kr
TEL : (031)460-5624 FAX : (031)460-56494
** 한국철도기술연구원

중량, 차량길이, 단면적 등의 데이터를 갖고 있고, 주행저항모델은 차량모델에서 선정한 데이터를 통해 편성의 주행저항을 제공하고 견인성능 모델은 차량모델과 주행저항모델에 견인력을 인가하여 차량을 주행하게 하는 모델이다. 제동성능 모델은 차량모델과 주행저항모델에 제동력을 인가하여 차량의 속도를 감소시키는 역할을 하는 모델이다.

각각 모델에 대해 아래에서 자세하게 설명한다.

2.2 차량 모델

최고시험속도 400km/h, 운영속도 350km/h 성능을 갖는 동력분산형 고속열차에 대한 편성은 실제 상용화 운전을 위해 구성한 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

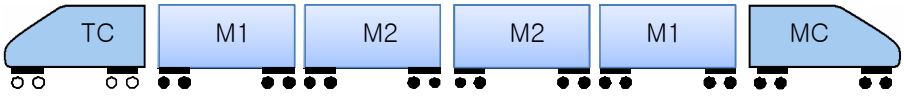

그림 2. 시제편성

표 1. 차량모델 파라미터

구분	운영편성	시제편성
축중	13톤	13톤
중량	416톤	312톤
길이	191.828m	144.828m
단면적	$11.1m^2$	$11.1m^2$

2.3 주행저항 모델

기존 한국형고속열차(HSR-350X)의 주행저항식과 분산형 고속열차인 일본 신간선 고속열차의 주행저항식을 이용하여 차세대 고속열차에 대한 주행저항식을 아래 식(1)과 같이 예측하였다.

$$R_{hemu3}=((1.356+0.001363V)W+0.5F\rho(0.0035+0.00033L)V^2)\times 9.8\ (N) \qquad (1)$$

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

예측한 차세대 고속열차의 주행저항을 KTX-II과 HSR-350X와 비교했을 때 그림 3과 같이 100km/h 이하의 영역에서는 KTX-II와 HSR-350X보다 높고, 그 이외의 영역에서는 낮게 산정되었다. 본 주행저항식은 설계가 진행함에 따라 보정하고 최종적으로 시험을 통해 정확한 계수를 도출할 예정이다.

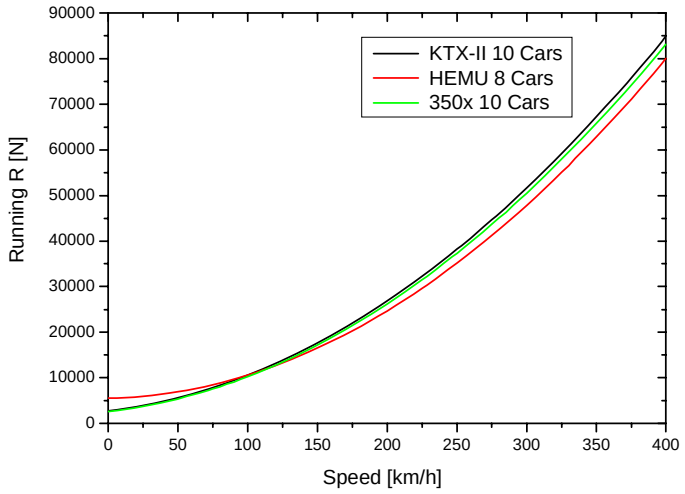

그림 3. 주행저항 비교

2.4 견인성능 모델

차량모델과 주행저항모델에 견인력을 인가하여 차량을 주행하게 하는 견인성능 모델은 견인력 곡선으로 구성되어 있으며, 운영편성과 시제편성의 견인력 곡선을 그림 4에 표시하였다. 그림 4의 견인력 곡선과 차량모델과 주행저항모델을 사용하여 운영편성과 시제편성의 견인성능을 수행하였고 시제편서에 대한 해석 결과를 그림 5에 도시하였다. 운영편성의 균형속도는 410.8km/h, 시제편성의 균형속도는 421.2km/h를 나타내어 차세대 고속열차의 목표성능을 만족하는 것으로 나타났다.

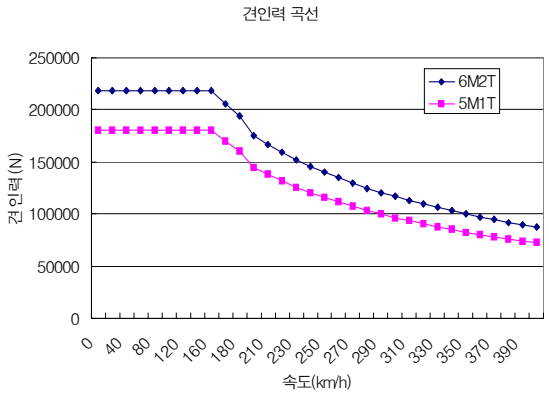

그림 4. 견인력 곡선

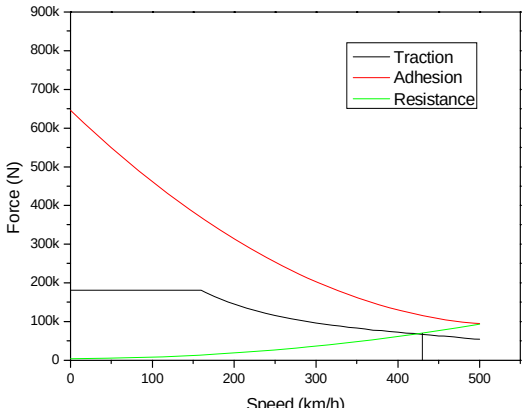

그림 5. 시제편성의 견인 성능

2.5 제동성능 모델

차세대 고속열차의 제동성능 모델에서는 차량모델, 주행저항모델, 점착계수, 최대감속도를 사용하여 제동거리를 계산하였고, “철도차량 안전기준에 관한 지침”에서 제시하고 있는 비상제동거리를 만족하는 지 여부를 확인하였다.

아래 표 2와 같이 차세대 고속열차가 KTX와 동일한 차륜을 갖고 국내의 고속선을 주행하는 경우 KTX의 점착계수를 적용해도 문제가 없으므로 이를 바탕으로 비상제동거리를 계산하면 기준이내에 들어오

는 것으로 판단되었다.

표 2 경우별 비상제동거리 비교

조건 / 속도	비상제동거리(m)				
	KTX 20량	HEMU-400X			
		시제편성(5M1T)			시제편성 (6M2T)
		신간선 N700의 감속도 적용	신간선 점착계수 (DRY) 적용	KTX 점착계수 적용	
300km/h	3250.5	3836.4	3715.7	3267.0	3270.4
330km/h	3945.4	4755.9	4644.0	3970.5	3975.6
350km/h	4457.1	5435.1	5330.1	4489.4	4496.0
400km/h	5871.6	7332.8	7229.3	5927.4	5939.2

2.6 성능해석 결과

상기 제안한 성능해석 모델을 사용하여 차세대 고속열차의 운영편성과 시제편성에 대해 성능해석을 수행한 결과는 아래 표 3과 같으며 최고속도 도달시간에 대한 결과는 그림 6에 보였다. 운영편성인 경우 최고속도 도달거리와 시간은 각각 57.1km, 681초가 소요되고 시제편성인 경우 최고속도 도달거리와 시간은 각각 42.6km, 530초이다. 견인성능 해석결과는 향후 성능시험 기준으로 사용하는 한편, 시제편성을 이용한 본선에서의 가속성능시험을 통해 검증할 예정이다.

표 3 최고속도 도달거리와 시간

구분	KTX	KTX-II	HEMU(8량)	HEMU(6량)
300km/h	20km(365초)	16.4km(316초)	11.9km(238초)	10.5km(212초)
350km/h	-	-	22.6km(356초)	19.5km(310초)
400km/h	-	-	57.1km(681초)	42.6km(530초)

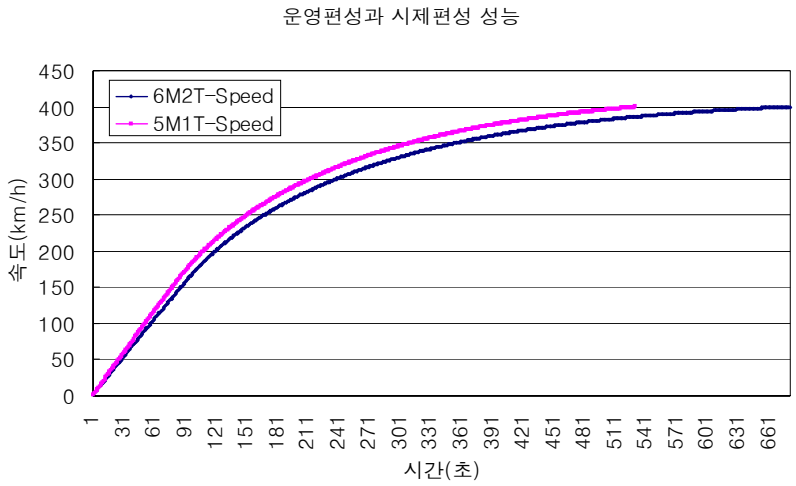

그림 6 최고속도 도달시간 비교

3. 결 론 및 향후 계획

차세대 고속열차의 성능을 예측하기 위하여 차량, 주행저항, 견인성능, 제동성능 모델을 사용하여 성능해석 모델을 구축할 수 있었으며 이를 통해 다음의 결론을 얻었다.

- 상기 모델 구성요소에 대한 해석으로 차세대 고속열차의 성능을 예측할 수 있었다.
- 차세대 고속열차의 운영편성과 시제편성에 대한 성능을 해석한 결과, 최고시험속도를 달성할 수 있는 성능을 보였고 현재까지 구축한 모델이 시스템요구사항을 만족함을 확인하였다.

향후 설계 변경 사항이 차세대 고속열차의 성능을 만족하는 지 여부를 지속적으로 확인할 계획이며 최종적으로는 본선 시운전시험을 통해 모델의 결과를 시험결과와 비교하여 검증할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부에서 지원하는 차세대 고속철도기술개발 사업의 일환으로 수행하였다.

참고문헌

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