

한국형 고속전철 열차 주행성능 해석

이태형 박춘수 목진용

Train Performance Simulation for Korea High Speed Train

Lee, Tae-Hyung Park, Choon-Soo Mok, Jin-Yong

Korea Railroad Research Institute

Abstract - Computer aided simulation is becoming an essential part in planning, design, and operation of railway systems. To determine the adequate performance and specification of railway system, it is necessary to calculate rolling stock's performance such as distance, speed, power etc when train's running. This paper presents result of train performance simulation using the program that developed in advance for Korea high speed train. To verify result of simulation, we have compared that with experiment data.

속철도구간이며 대상차량은 KTX(Korea Train eXpress)로 하였다. 표 1은 Alstom TPS와 시뮬레이션 결과를 비교한 것으로 유사한 결과를 보이고 있다.

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

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

1. 서 론

철도 시스템을 새로이 건설하거나 기존 시스템의 설계를 변경하는 경우 사전에 그 시스템이 운전되는 상황을 모의해서 성능을 평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 개발해왔다.

열차성능해석 시뮬레이션(TPS, Train Performance Simulation)은 한 편차의 열차가 일정 선로구간을 주행하는 데에 따른 시각별 위치, 속도, 전력소비 등의 제반 성능을 분석하는 작업이다. 이는 일반적으로 주어진 선로조건 하에서 열차의 성능이 적합한 지 여부를 판단하거나 선로 형상을 설계함에 있어서 열차의 성능과 관련하여 선로 설계의 적합 여부를 검토하는 목적으로 사용된다[2,3,4].

본 논문에서는 기 개발된 열차성능해석 시뮬레이션 프로그램(simTrainTPS)을 사용하였는데 이 프로그램은 경부고속철도 계약에 따라 기술이전을 통해 배포된 프로그램(Alstom TPS)과의 시뮬레이션 결과비교를 통해 검증되었으며 Alstom TPS에서 변경시킬 수 없었던 여러 계수를 시뮬레이션 조건에 따라 변경시켜 입력할 수 있도록 하였으며 출력기능을 향상시켰다.[5] 한편 실제 주행데이터와 비교하기 위하여 한국형 고속전철 시스템의 안정화를 목표로 경부고속철도 시험선구간에서 시운전시험 중인 개발차량(7량 1편성)을 대상으로 열차성능해석을 수행하였다. 상세설계시 결정된 차량시스템과 선로 데이터를 프로그램에 입력하고 시뮬레이션 조건을 시운전시험 조건과 유사하게 부여하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 생성되는 각 주행패턴에 따른 시각별 위치, 속도, 전력소비 등을 실제 차량 계측시스템으로부터 취득한 시험데이터와 비교하였는데 차량 계측시스템에서는 개발차량의 주행시간, 주행속도, KP, 각 전기시스템의 전압, 전류 등의 데이터를 취득하였다.

2. 열차성능해석 시뮬레이션

열차성능해석은 식(1)과 같은 차량 운동방정식을 시간(또는 거리, 속도)의 함수로 위치, 주행 속도, 사용 전력 등에 대해 계산하는 것이다. 프로그램의 초기화면은 그림 1과 같다. 단일 열차의 주행을 모의하기 위해 그림 2와 같은 입력창을 통해 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 주행선로 데이터와 정차 역, 정차 시간 및 정차 패턴과 같은 운영 데이터가 입력되며, 주행 거리, 속도, 시간 및 사용된 추진 및 제동력, 유효 및 무효 전력량 등의 프로파일 이 출력된다. 한국형 고속전철 개발차량 성능해석에 사용한 프로그램의 정확성을 검증하기 위해 경부고속전철 사업 기술이전 계약에 의해 프랑스로부터 제공된 Alstom TPS와 결과를 비교하였다. 대상구간은 경부고

여기서,

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

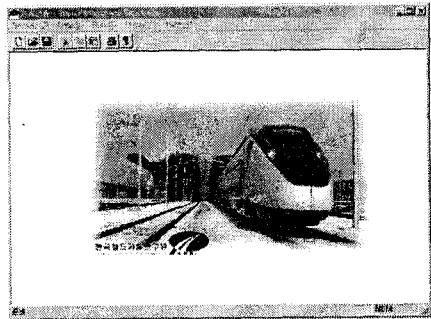


Fig. 1 Main dialogue of TPS

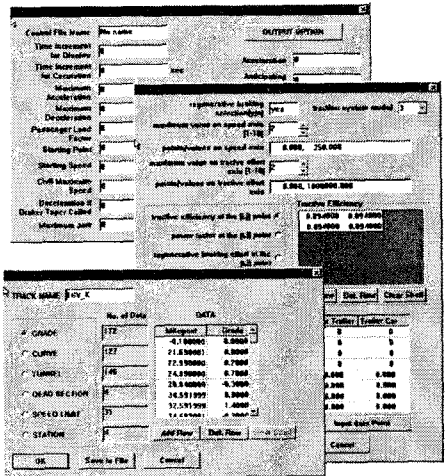


Fig. 2 Data input dialogue

표. 1 Simulation Result Summary

Contents	AlstomTPS	simTrainTPS	Error(%)
Time, s	6368.43	6454.80	1.36
Speed, km/h	234.49	228.08	2.73
Input Energy, kwh	12746.18	12747.81	0.01
Regeneration Energy, kwh	2581.14	2570.52	0.41

3. 개발차량 성능해석 결과

경부고속철도 시험선 구간에서 시운전시험 중인 개발차량은 7량 1편성으로 동력차 2량, 동력객차 2량, 객차 3량이며, 20량 편성시의 열차의 특성을 평가할 수 있도록 구성되었다. 표 2는 열차 성능에 관련된 개발차량의 주요 제한이며 그림 3은 시험선 구간 선형, 그림 4와 5는 각각 견인력과 제동력 곡선을 보여주고 있다. 표2, 그림 3 ~ 5 는 열차성능을 지배하는 주요 데이터이며 simTrainTPS에 입력하여 성능해석을 수행하게 된다.

표. 2 열차성능 관련 주요 제한

항목	제한
열차중량 [톤]	340
축 수 [개]	20
총 길이 [m]	147.4
전동기 용량 [kW]	1100
전동기 수량 [대]	12
주행저항[N]	$196.6+2.608V+0.03985V^2$

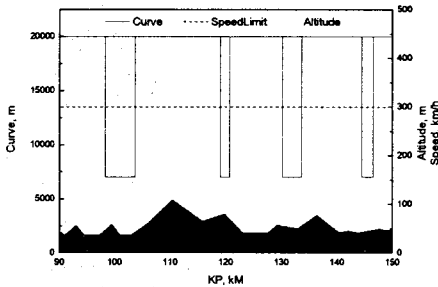


그림. 3 시험선구간 선로선형

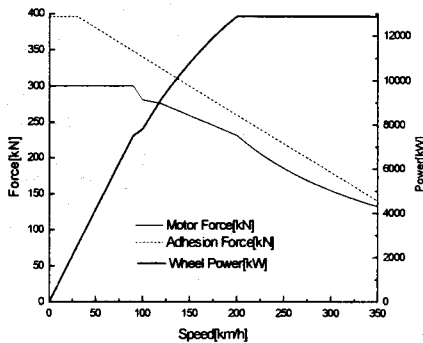


그림. 4 개발차량의 견인력 곡선

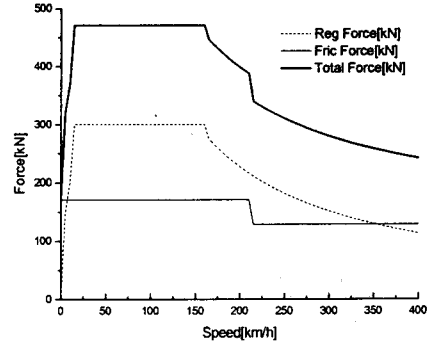


그림. 5 개발차량의 제동력 곡선

현재 개발차량은 51회의 주행시험을 실시하여 시험최고속도 300km/h 기록을 달성하였으며 시스템의 안정화를 위해 계속 시운전시험 중에 있다. 51회의 주행시험 중에서 열차성능을 해석할 수 있는 대표적인 주행패턴을 표 3과 같이 선택하여 시험결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

표. 3 열차성능해석용 주행패턴

패턴	시험내용	속도	주행구간
A	MB 1대 주행시험	80km/h(통과)	KP137 ~ KP139
B		110km/h	KP137 ~ KP143
C	MB 2대 주행시험	123km/h	KP124 ~ 128.5

주) MB(Motor Block)

패턴 A는 그림 6과 같이 MB 1대를 사용하여 80km/h를 통과하는 주행시험이고 패턴 B는 패턴 A와 연속해서 MB 1대를 사용하여 속도 110km/h까지 주행시험한 것으로 그림 6과 같이 100%의 견인력으로 주행, 약 50km/h까지 80% 제동, 약 30km/h까지 타행, 정지시까지 제동하는 패턴을 보이고 있다. 패턴 C는 MB 2대를 사용하여 속도 123km/h까지 주행시험한 것으로 그림 7과 같이 100%의 견인력으로 주행, 약 30km/h까지 80% 제동, 약 20km/h까지 타행, 정지시까지 제동하는 패턴을 보이고 있다.

그림 8은 주행패턴 A, B에 대한 시뮬레이션과 시운전 시험 결과비교로서 추진하는 부분에서는 상당히 유사한 결과를 보이고 있다. 차이가 발생하는 부분은 제동 부분인데 시뮬레이션에서는 전체 제동력을 사용하여 계산하기 때문이라고 생각되며 향후 100%의 제동시험이 이루어져 데이터가 획득되면 시뮬레이션 결과와 비교할 예정이다. 그림 9는 주행패턴 C에 대한 시뮬레이션과 시운전 시험 결과비교로서 추진하는 부분의 오차가 그림 8의 추진하는 부분보다 더 작은 것을 볼 수 있다. 이런 차이는 각 MB의 견인제어특성과 견인시스템의 효율, 역률 등의 효과라고 생각된다.

표 4는 주행패턴에 대한 시뮬레이션과 시운전시험 결과를 비교한 것으로 시뮬레이션의 결과가 실제 시운전시험결과보다 작은 것으로 나타났다.

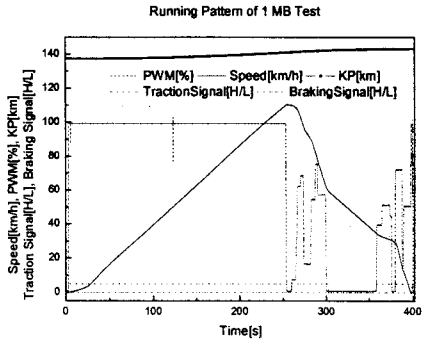


그림. 6 주행패턴 A, B

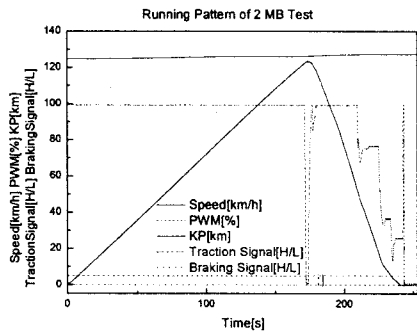


그림. 7 주행패턴 C

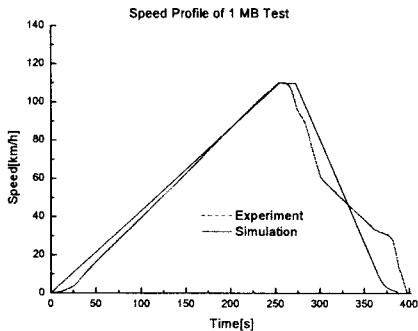


그림. 8 주행패턴 A, B 결과 비교

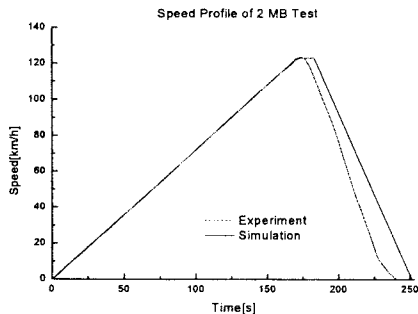


그림. 9 주행패턴 C 결과 비교

표. 4 주행패턴별 시뮬레이션과 시운전시험 결과 비교

주행 패턴	주행시간[s]		평균속도[km/h]	
	시운전시험	시뮬레이션	시운전시험	시뮬레이션
A	186.5	185.0	-	-
B	397.0	387.1	53.5	54.2
C	252.8	251.4	64.1	64.5

3. 결 론

기 개발된 열차성능해석 프로그램을 사용하여 경부고속철도 시험선 구간에서 시운전시험 중인 한국형 고속전철 개발차량을 대상으로 대표적 주행패턴을 선정하여 시뮬레이션과 시험데이터 결과를 비교하였고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 주행패턴 A에 대한 시뮬레이션 결과와 시운전시험 결과는 주행시간이 각각 186.5[s], 185[s]로 유사한 경향을 보였다. 약간의 차이는 견인제어 특성으로부터 비롯된 것이라 추측된다.
- 주행패턴 B에 대한 시뮬레이션 결과와 시운전시험 결과는 주행시간에서 각각 397.0[s], 387.1[s]로 차이를 보였지만 이는 제동과 타행이 혼합된 제동부분이 포함되어 나타난 결과이고 견인부분만을 본다면 유사한 경향을 보이고 있다.
- 주행패턴 C에 대한 시뮬레이션 결과와 시운전시험 결과는 주행시간이 252.8[s], 251.4[s], 평균속도가 64.1[km/h], 64.5[km/h]로 유사하였는데 이는 제동부분에서 타행 대신 일정한 제동력으로 제동한 결과라고 추측된다.
- 전체적으로 시뮬레이션 결과가 시운전시험 결과에 비해 빠른 주행성능을 보였는데 이는 견인시스템의 효율과 역을 전체영역에서 높은 값으로 처리한 결과라고 생각된다. 향후 시운전시험을 통해 저속영역과 고속영역에서의 효율과 역을 취득하여 시뮬레이션에 반영한다면 좀더 실제 주행곡선과 유사한 결과를 보이리라 추측된다.
- 본 연구 결과는 개발차량의 주행성능 검증과 운전시분생성에 활용될 수 있으며, 계속되는 시운전시험을 통하여 열차성능에 영향을 미치는 인자에 대한 검증을 하고자 한다.

[참 고 문 헌]

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, 박춘수, 신중린 "한국형 고속전철 열차성능해석프로그램", 한국철도학회논문지 제6권제2호 2003

후 기

본 연구는 건설교통부 고속철도기술연구개발사업으로 지원된 "고속철도시스템 신뢰성 및 운영 효율화 기술개발"과제의 연구결과 중 일부입니다.