

한국형 고속전철 개발열차 열차성능해석 및 평가

Train Performance Simulation and Evaluation for Korea High Speed Train

이태형¹ · 박춘수² · 신중린³

Tae-Hyung Lee, Choon-Soo Park, Joong-Rin Shin

Abstract

Computer aided simulation is 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 train performances such as distance, speed, power during train's running. This paper presents result of train performance simulation using the program that developed for Korea high speed train. To verify result of simulation, we have compared that with experiment data.

Keywords : Train Performance Simulation(열차성능해석 시뮬레이션), On Line Test(시운전시험), Traction Performance(견인성능), Braking Performance(제동성능), Korea High Speed Train(한국형 고속전철)

1. 서론

철도 시스템을 새로이 건설하거나 기존 시스템의 설계를 변경하는 경우 사전에 그 시스템이 운전되는 상황을 모의해서 성능을 평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 모델이 개발되어 사용되고 있다.

열차성능해석 시뮬레이션(TPS, Train Performance Simulation)은 한 편성의 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[1-3].

본 논문에서는 기 개발된 열차성능해석 시뮬레이션 프로그램(simTrainTPS)[4]을 사용하였는데 이 프로그램은 경부고속철도 계약에 따라 기술이전을 통해 배포된 프로그램(Alstom TPS)과의 시뮬레이션 결과비교를 통해 검증되

었고, Alstom TPS에서 변경시킬 수 없었던 여러 계수를 시뮬레이션 조건에 따라 변경시켜 입력할 수 있도록 하였으며 출력기능을 향상시켰다. 한편 실제 주행데이터와 비교하기 위하여 한국형 고속전철 시스템의 안정화를 목표로 경부고속철도 시험선구간에서 시운전시험 중인 개발차량(7량 1편성)을 대상으로 열차성능해석 관련 시험데이터를 수집하였다. 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 차상 계측시스템으로부터 취득한 시험데이터와 비교하였으며 차상 계측시스템에서는 개발차량의 주행시간, 주행속도, KP, 견인 및 제동패턴 등의 데이터를 취득하였다. 여기서 KP(kilo post)는 기점에서 종점 방향의 거리를 의미한다.

2. 본론

2.1 개발차량 열차성능해석 및 시험결과

경부고속철도 시험선 구간에서 시운전시험 중인 개발차

1 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

2 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

3 건국대학교 전기공학과, 교수

량은 Fig. 1과 같이 순수 국내기술로 개발된 시속 350km급 한국형 고속전철로서 공기역학을 고려하여 전두부를 독자적으로 설계하였으며 경량화를 위해 차체를 알루미늄으로 제작하였다. IGCT(Integrated Gate Commutated Thyristor) 소자를 사용하여 개발한 전력변환장치로 1100kW의 유도전동기를 구동하는 것이 주요 특징이다. 7량 1편성으로 동력차 2량, 동력객차 2량, 객차 3량이며, 20량 편성시의 열차의 특성을 평가할 수 있도록 구성되었다. Table 1은 열차 성능에 관련된 개발차량의 주요 제원이며 Fig. 2는 시험선 구간(서울기점 81.5km~138.7km)의 선형으로 KTX 시험을 수행하기 위해 건설되었으며 7,000m의 곡선반경이 3개소가 있고 제한속도는 300km/h로 곡선과 경사, 터널, 교량 등이 경부고속철도 전구간과 유사하게 분포되어 있어 시험하기에 용이하게 되어 있다. Fig. 3과 4는 각각 개발차량의 견인력과 제동력 곡선을 보여주고 있다. Table 1, Fig. 2~4는 열차성능을 지배하는 주요 데이터이며 simTrainTPS에 입력하여 성능해석을 수행하게 된다.

현재 개발차량은 70회의 주행시험을 실시하여 시험최고속도 300km/h 기록을 달성하였으며 시스템의 안정화를 위해 계속 시운전시험 중에 있다. 70회의 주행시험 중에서 열

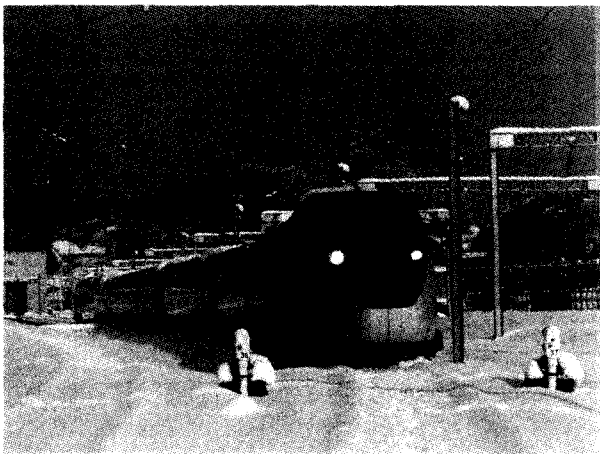


Fig. 1. Prototype of Korea high speed train

Table 1. Main Specification of KHST

Contents	Specification
Weight [ton]	340
Axle Number [EA]	20
Total Length [m]	147.4
Motor Output [kW]	1100
Motor Number [EA]	12
Running Resistance[N]	$196.6+2.608V+0.03985V^2$

차성능을 해석할 수 있는 대표적인 주행패턴을 Table 2와 같이 선택하여 시험결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 주행패턴 A는 Fig. 5와 같이 모터블럭(Motor Block, MB)

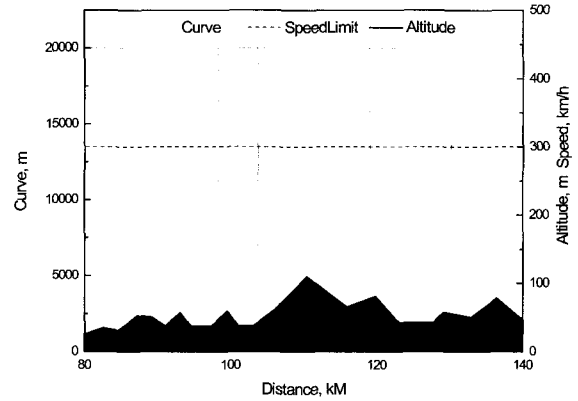


Fig. 2. Curve, Speed Limit and Altitude of Test Line

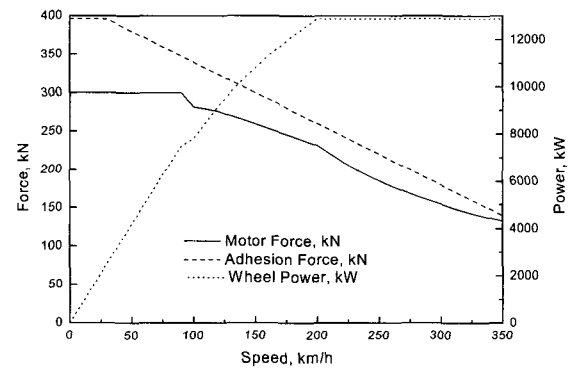


Fig. 3. Traction Force Curve

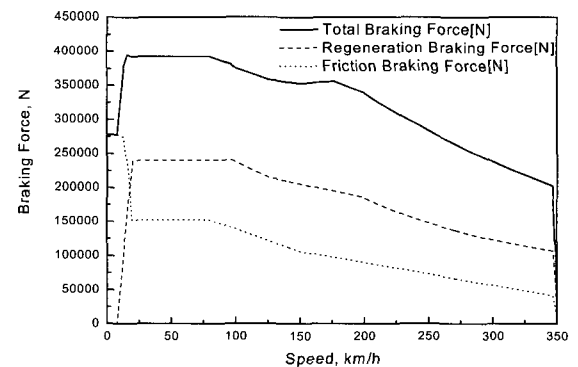


Fig. 4. Braking Force Curve

Table 2. Running Pattern

Pattern	Test Contents	Max.Speed	Running Distance
A	1 MB Running Test	110km/h	KP 137.0~143.0
B	5 MB Running Test	250km/h	KP 127.5~98.7

한 대를 사용하여 110km/h까지 주행시험한 것으로 100%의 견인력으로 110km/h까지 역행 후, 약 60km/h까지 80% 제동, 약 33km/h까지 타행, 약 30km/h까지 역행 후 정지시까지 재동하는 패턴을 보이고 있다. 여기서, Traction Signal과 Braking Signal은 기관사가 열차를 추진 및 제동하기 위해 조작하는 주간제어기의 명령을 구분하는 계측데이터로 각각 추진명령과 제동명령을 의미하며 측정값이 5V이면 추진과 제동 명령이 인가된 상태이며 0V이면 타행으로 주행하는 상태이다.

주행패턴 B는 다섯 대의 MB를 사용하여 속도 250km/h까지 주행시험한 것으로 Fig. 6과 같이 최고속도까지 100% 견인하여 약100초 동안 정속도 주행 후 타행, 80% 제동, 타행, 80% 제동 패턴으로 정착한 경우이다.

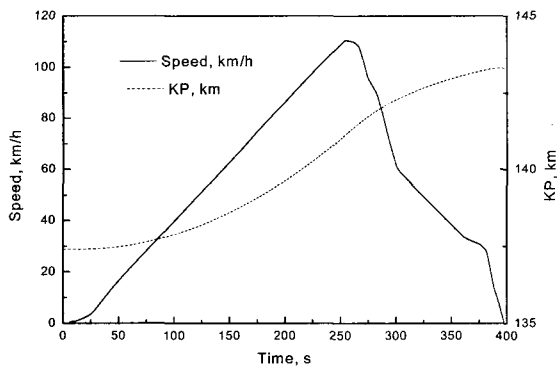
Fig. 7은 주행패턴 A에 대한 시뮬레이션과 시운전시험 결과를 비교한 것으로 상당히 유사한 결과를 보이고 있다. 약간의 차이가 발생하는 부분은 제동 부분인데 시뮬레이션에서는 전체 제동력을 사용하여 계산하나 실제 시운전시험에서는 타행과 감소된 제동력을 사용하였기 때문이다.

Fig. 8은 주행패턴 B에 대한 시뮬레이션과 시운전시험 결

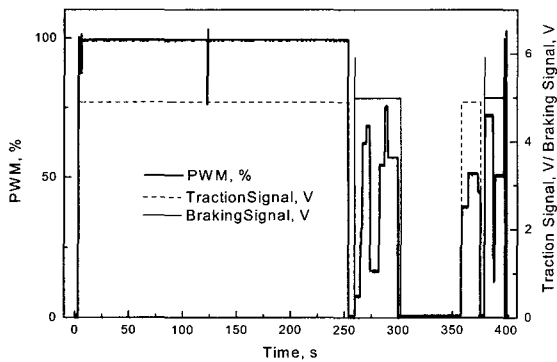
과를 비교한 것으로 견인과 정속주행 부분에서 유사한 결과를 보이고 있다.

Table 3과 4는 주행패턴에 대한 시뮬레이션과 시운전시험 결과 중 주행시간, 평균속도, 가속도를 비교한 것으로 대체적으로 시뮬레이션의 결과가 실제 시운전시험결과보다 작은 것으로 나타났다. 이상을 요약하면 다음과 같다.

- 주행패턴 A에 대한 시운전시험 결과와 시뮬레이션 결과는 각각 주행시간 397.0, s와 393.0, s, 평균속도 53.50, km/h와 54.10, km/h 가속도 0.4318, km/h/s와 0.4321, km/h/s로 1% 이하의 차이를 보여 만족할 만한 결과를 얻었으며 결과의 차이는 견인, 제동과 타행이 혼합된 제동부분에서 나타난 결과이다.
- 주행패턴 B에 대한 시운전시험 결과와 시뮬레이션 결과는 각각 주행시간이 571.9, s와 571.8, s, 평균속도 181.3, km/h와 181.4, km/h, 가속도 1.3200, km/h/s와 0.3602, km/h/s로 3% 이하의 차이를 보여 만족할 만한 결과를 얻었으며 결과의 차이는 정속주행 부분과 두 번의 타행의 결과이다.

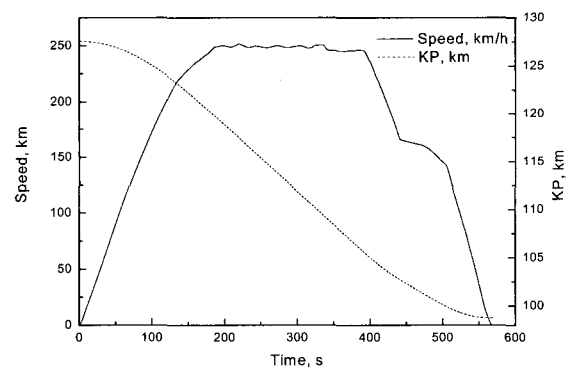


(a) Speed profile and KP versus time

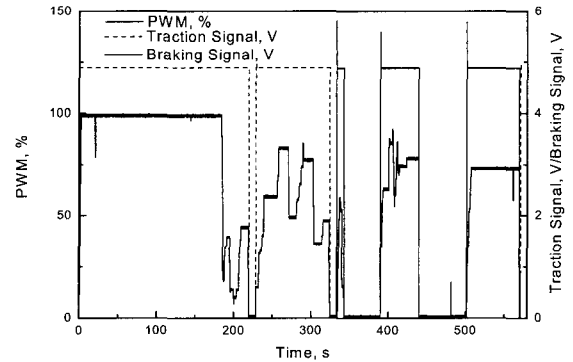


(b) PWM, traction and braking signal versus time

Fig. 5. Running Pattern Case A

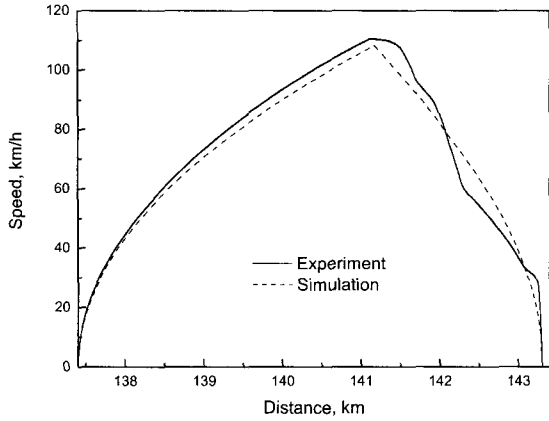


(a) Speed profile and KP versus time

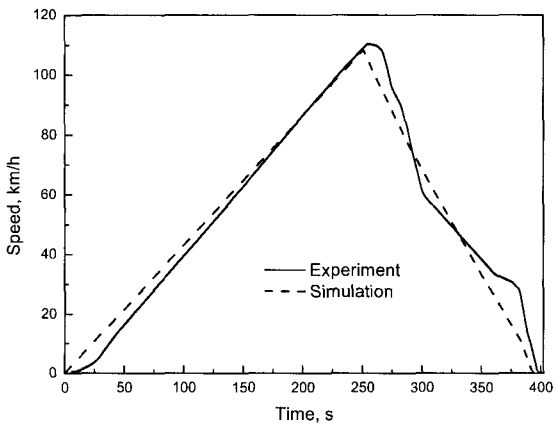


(b) PWM, traction and braking signal versus time

Fig. 6. Running Pattern Case B



(a) Speed profile versus distance



(b) Speed profile versus time

Fig. 7. Comparison between experiment and simulation result for pattern A

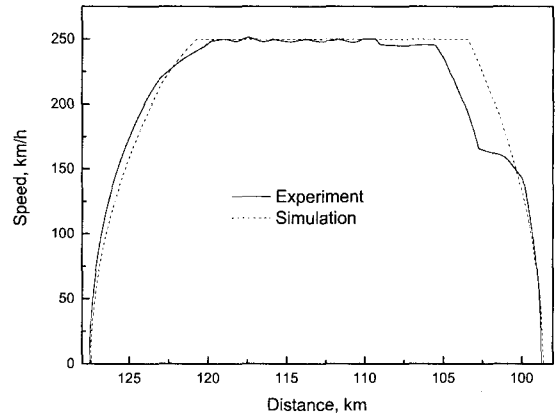
Table 3. Result of Time and Speed

Pattern	Time, s		Average speed, km/h	
	Experiment	Simulation	Experiment	Simulation
A	397.0	393.0	53.50	54.01
B	571.9	571.8	181.30	181.40

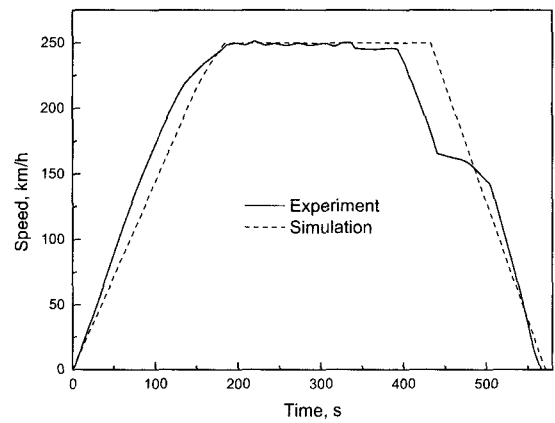
Table 4. Result of Acceleration

Pattern	Acceleration, km/h/s	
	Experiment	Simulation
A	0.4318	0.4321
B	1.3200	1.3602

- 주행시간에 대한 시뮬레이션 결과가 시운전시험 결과보다 작게 나타나고 평균속도와 가속도는 시뮬레이션 결과가 큰 것으로 볼 때 시뮬레이션 결과가 시운전시험 결과 보



(a) Speed profile versus distance



(b) Speed profile versus time

Fig. 8. Comparison between experiment and simulation result for pattern B

다 더 빠른 주행성능을 보이고 있다.

3. 결 론

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

- (1) 대표적 주행패턴에 대한 시뮬레이션 결과는 오차범위가 3% 이내로 시험데이터 결과와 유사하였으며 특히 개발 차량에 설정된 견인력과 제동력을 100%에 가깝게 사용하여 주행하는 경우 더욱 유사한 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 전체적으로 저속과 고속 영역에서 시뮬레이션 결과가 시운전시험 결과에 비해 빠른 주행성능을 보였다.

- (3) 본 연구 결과는 개발차량의 주행성능 검증과 운전시분 생성에 활용될 수 있으며, 계속되는 시운전시험을 통하여 열차성능에 영향을 미치는 인자에 대한 검증을 할 계획이다.

후 기

본 연구는 건설교통부에서 시행한 고속철도기술 개발사업의 기술개발 결과임을 밝힌다.

참 고 문 헌

1. C.J.Goodman, "Train Performance and simulation", The Institution of Electrical Engineers, pp.A2-1 ~ A2-37, 1997.
2. Paul Martin, "Train Performance and simulation", Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp.1287-1294, 1999.
3. Paul Martin, "Train Performance and simulation", The Institution of Electrical Engineers, pp.C5-1 ~ C5-16, 1997.
4. 이태형, 박준수, 신중린, "한국형 고속전철 열차성능해석 프로그램", 한국철도학회논문지, 제6권, 제2호, pp.100-107, 2003.
5. 이태형, 박준수, 목진용, "한국형 고속전철 열차 주행성능 해석", 2003년도 대한전기학회 EMECS학회 추계학술대회 논문집, pp. 275-277, 2003.