

열차주행시뮬레이션 검증을 위한 계측시스템 구축과 결과 비교

Measurement System Establishment and Result Comparison for Verification of Train Performance Simulation

이 태 형*, 박 춘 수, 목 진 용

(Tae Hyung Lee, Choon Soo Park, Jin Yong Mok)

한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단(전화:(031)460-5624, 팩스:(031)460-5649, E-mail : thlee@krri.re.kr)
한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단(전화:(031)460-5621, 팩스:(031)460-5649, E-mail : cspark@krri.re.kr)
한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단(전화:(031)460-5622, 팩스:(031)460-5649, E-mail : jymok@krri.re.kr)

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 developed measurement system and compared simulation result with experiment data.

Keywords : Measurement System, Train Performance Simulation, Korea High Speed Train

I. 서 론

2004년 4월이면 역사적인 한국의 고속철도 개통과 더불어 한국철도는 프랑스, 일본, 독일, 스페인, 이탈리아 등과 함께 300km/h의 초고속철도시대에 들어서게 되며 고속철도 보유국이 된다. 하지만 이에 수반하여 고속철도시스템 신규개발이나 설계변경이 발생하는 경우에는 사전에 그 시스템이 운전되는 상황을 모의해서 성능을 평가할 수 있는 기술력이 축적되는 것이 무엇보다 중요하다고 하겠다.

열차성능해석 시뮬레이션(TPS, Train Performance Simulation)은 신선 건설이나 설계변경시 수행해야 하는 기초적인 작업으로서 한 편성의 열차가 일정 선로 구간을 주행하는 데에 따른 시각별 위치, 속도, 전력소비 등의 계반 성능을 분석하는 것이다. 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.

본 논문에서는 고속전철기술개발사업을 통해 개발된 열차성능해석 시뮬레이션 프로그램(simTrainTPS)을 검증하기 위하여 한국형 고속전철 시스템의 안정화를 목표로 경부고속철도 시험선구간에서 시운전시험 중인 개발차량(7량 1편성)에 계측시스템을 구축하였다. 이 시스템을 통해 열차성능해석에 필요한 계측데이터를 취득하여 그 분석결과를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

II. 계측시스템 구축

1. 속도신호

개발차량의 주행속도를 정확하게 계측하기 위하여 동력대차와 부수대차에 장착된 속도센서로부터 인출되는 속도신호를 계측시스템에서 획득하였다. 그림1, 2의 속도센서는 계동시스템 연구기관인 유진전기에서 개발하였다. 아래 표 1은 각 센서의 특성을 보여준 것이다.

표 1 속도센서의 특성

항목	동력대차용	부수대차용
형식	HALL방식 기어센서	광센서
출력전압	Pulse파(15Vdc)	Pulse파(12Vdc)
감지대상	헬리컬기어 잇수 : 51개	Phonic Wheel 잇수 : 62개
감지속도	0.1 ~ 800km/h	0.1 ~ 800km/h

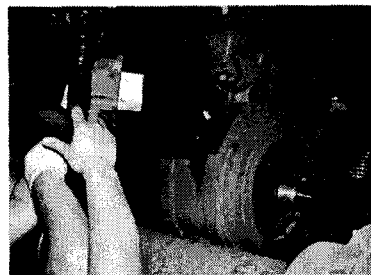


그림 1 동력대차용 속도센서

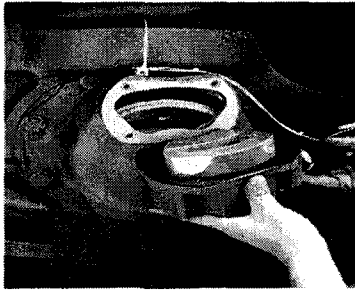


그림 2 부수대차용 속도센서

2. 추진/제동/PWM 신호

열차의 운전상황을 모의하기 위해서는 기관사의 운전 패턴을 계측하는 것이 필수인데 이를 위해 운전대 주 간제어기의 정/역전기와 견인 및 제동간의 신호를 Cab Cubicle을 통해 계측시스템에서 획득되도록 하였다.

3. 모니터링 시스템

그림 3은 열차성능해석에 필요한 각종 신호 계측용으로 구축한 모니터링 시스템으로 사양은 표 2와 같다.

표 2 모니터링 시스템 사양

항목	내용
CPU Card	NuPro-780LV Full Size CPU Card AGP-VGA/Ethernet Included
Processor	Pentium III 1GHz 이상
Main Memory	512MB RAM

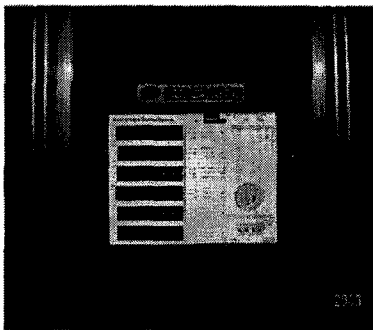


그림 3 주행모니터링 계측시스템

III. 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 4와 같다. 단일 열차의 주행을 모의하기 위해 그림 5와 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 주행 선로 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 프로파일이 출력된다.

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

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

여기서,

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

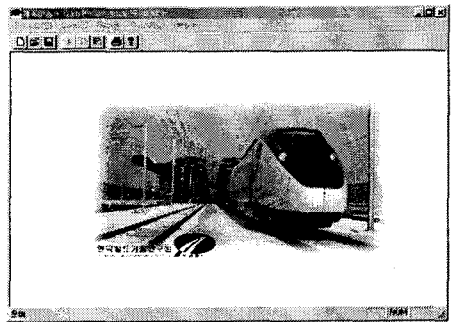


그림 4 TPS 초기화면

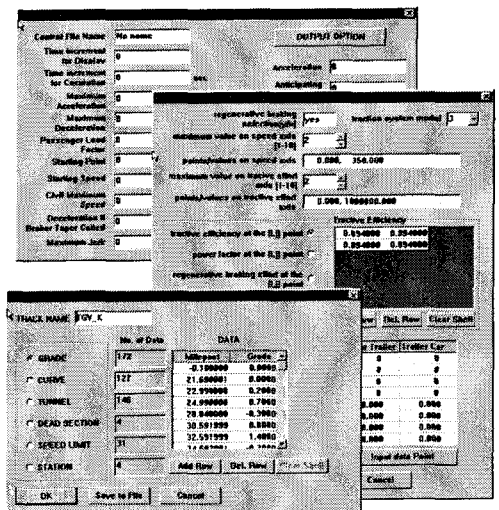


그림 5 데이터 입력창

IV. 결과 비교

경부고속철도 시험선 구간에서 시운전시험 중인 개발차량은 7량 1편성으로 동력차 2량, 동력객차 2량, 객차 3량이며, 20량 편성시의 열차의 특성을 평가할 수 있도록 구성되었다. 표 3은 열차 성능에 관련된 개발차량의 주요 제원이며 그림 6은 시험선 구간 선로선형이다

표 3 열차성능 관련 주요 제원

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

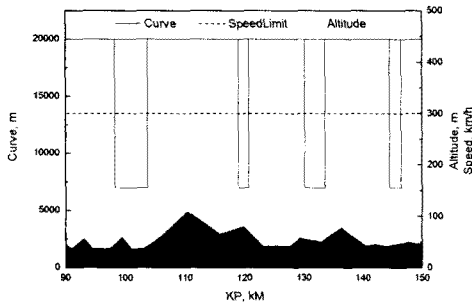


그림 6 시험선구간 선로선형

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 4와 같이 선택하였으며 그림 7과 8은 각 패턴에 대해서 계속시스템으로부터 취득한 데이터를 보여주고 있다.

표 4 열차성능해석용 주행패턴

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

주) MB(Motor Block)

그림 9는 주행패턴 A, B에 대한 시뮬레이션과 시운전시험 결과비교로서 추진하는 부분에서는 상당히 유사한 결과를 보이고 있다. 차이가 발생하는 부분은 제동 부분인데 시뮬레이션에서는 전체 제동력을 사용하여 계산하기 때문이라고 생각되며 향후 지속적인 시험을 통해 데이터가 획득되면 시뮬레이션 결과와 비교할 예정이다. 그림 10은 주행패턴 C에 대한 시뮬레이션과 시운전시험 결과비교로서 추진하는 부분의 오차가 그림 9의 추진하는 부분보다 더 작은 것을

볼 수 있다. 이런 차이는 각 MB의 견인제어특성과 견인시스템의 효율, 역을 등의 효과라고 생각된다.

표 5는 주행패턴에 대한 시뮬레이션과 시운전시험 결과를 비교한 것으로 시뮬레이션의 결과가 실제 시운전시험결과보다 작은 것으로 나타났다.

Running Pattern of 1 MB Test

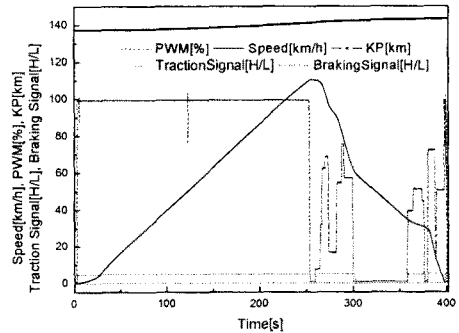


그림 7 주행패턴 A, B

Running Pattern of 2 MB Test

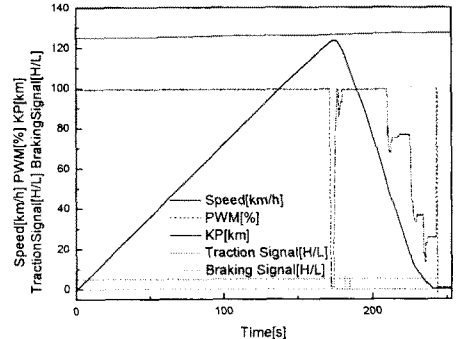


그림 8 주행패턴 C

Speed Profile of 1 MB Test

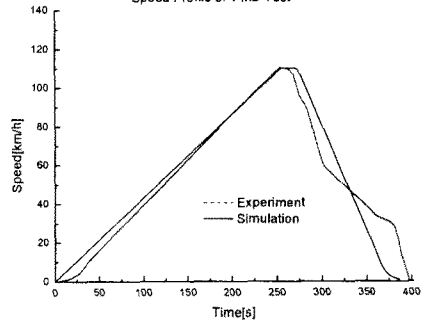


그림 9 주행패턴 A, B 결과 비교

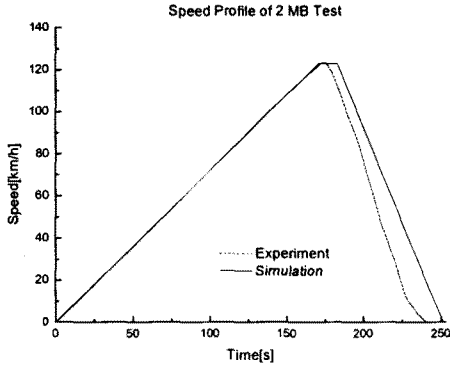


그림 10 주행패턴 C 결과 비교

표 5 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

V. 결 론

기 개발된 열차성능해석 프로그램을 사용하여 경부 고속철도 시험선 구간에서 시운전시험 중인 한국형 고속전철 개발차량을 대상으로 대표적 주행패턴을 선정하여 해석한 시뮬레이션 결과와 이를 검증하기 위해 구축한 계측시스템에서 취득한 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 건인제어 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 건인부분만을 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 건인시스템의 효율과 역율을 전체영역에서 높은 값으로 처리한 결과라고 생각된다. 향후 시운전시험을 통해 저속영역과 고속영역에서의 효율과 역율을 취득하여 시뮬레이션에 반영한다면 좀더 실제 주행곡선과 유사한 결과를 보이리라 추측된다.
- 본 연구 결과는 개발차량의 주행성능 검증과 운전시분 생성에 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 열차성능 해석프로그램", 한국철도학회논문지 제6권제2호 2003
- [5] 최강운 외, "고속전철 열차시험 및 성능평가 기술 개발", 최종보고서 한국철도기술연구원 2002.10
- [6] 박훈규 외, "제동시스템 개발", 최종보고서, 유지기 공산업(주) 2002.10

후기

본 연구는 건설교통부 고속철도기술개발사업으로 지원된 "고속철도시스템 신뢰성 및 운영 효율화 기술 개발"과제의 연구결과 중 일부입니다.