차세대고속열차 본선 시운전 성능평가 방안에 대한 연구

A Study on Performance Evaluation Plan of Next-Generation High-Speed Prototype Train during Test Run

김상수† 최성훈* 박춘수** 김석원** 김기환**

Sang-Soo Kim Snnghoon Choi Choonsoo Park Seokwon Kim Kihwan Kim

ABSTRACT

Korean Train Express (KTX) has been commercially operating and achieving elevation on transport capacity since 2004. And the first hish-speed prototype test train, HSR-350x, was developed and succeeded in testing of running over 350km/h. Now KTX-II based on HSR-350x was started in service run. The new high-speed train development project, HEMU-400x project, has started since 2007. The protype train is being designed and manufactured. After the train are developed completely, it will run on the commercial line and will be test to verify the estimated performance. The authors devised the performance evaluation method and process of the HEMU-400x prototype system. And we introduce the definite performance test items and the method to vitrificate them in this paper.

1. 서론

국내에서 2004년부터 고속철도(KTX)가 상용화 되었고, 국가연구개발사업으로 개발된 국내 최초의 고속시험열차인 한국형고속열차(HSR350x)의 성공적인 개발 기술을 이용하여 KTX II가 제작, 운영되고 있다. 이처럼 우리나라의 철도기술 연구는 보다 빠르고, 고도의 기술을 요구하고 있다. 이와 같은 요구에 부응하여 2007년 중반부터 최고시험속도 400km/h, 운영속도 350km/h급의 분산형 고속열차를 개발하는 '차세대고속열차기술개발사업'이 착수되었다. 본 사업은 크게 3단계로, 1단계에서는 시스템 설계를, 2단계에서는 시스템 제작을, 3단계에서는 차량시스템 시험을 수행하는 계획으로 구성되어 있다. 2009년 7월 1단계 사업이 종료되었고, 현재 2단계 1차년도 연구사업을 진행하고 있다. 차세대고속열차기술개발사업으로 개발되는 시제편성은 국내에서 처음으로 제작되는 동력 분산식 고속열차이며, 차량의 성능은 본선 시운전 시험을 통하여 평가하게 된다. 이에 따라 저자들은 본선에서 주행을 통하여 예측된 성능을 발휘하는지의 성능 평가를 위한 방법과 체계의 개발 성능평가를 위한 체계를 개발하였다[2].

본 연구에서는 본선에서 주행을 통한 성능평가 세부 항목 및 평가 방법을 소개한다.

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원 차세대고속철도기술개발사업단
E-mail : sskim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5625 FAX : (031)460-5649
* 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원
** 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원
*** 정회원, 한국철도기술연구원 수석연구원

2. 본선시운전 성능평가 체계

2.1 성능평가 개요

차세대고속철도기술개발사업으로 개발되는 시제편성이 본선에서 실제 주행을 통하여 시스템요구사항 등에서 제시된 성능을 발휘하는지의 여부를 평가하기 위한 본선 시운전 시험을 그림 1과 같이 5가지로 분류하였다[2].

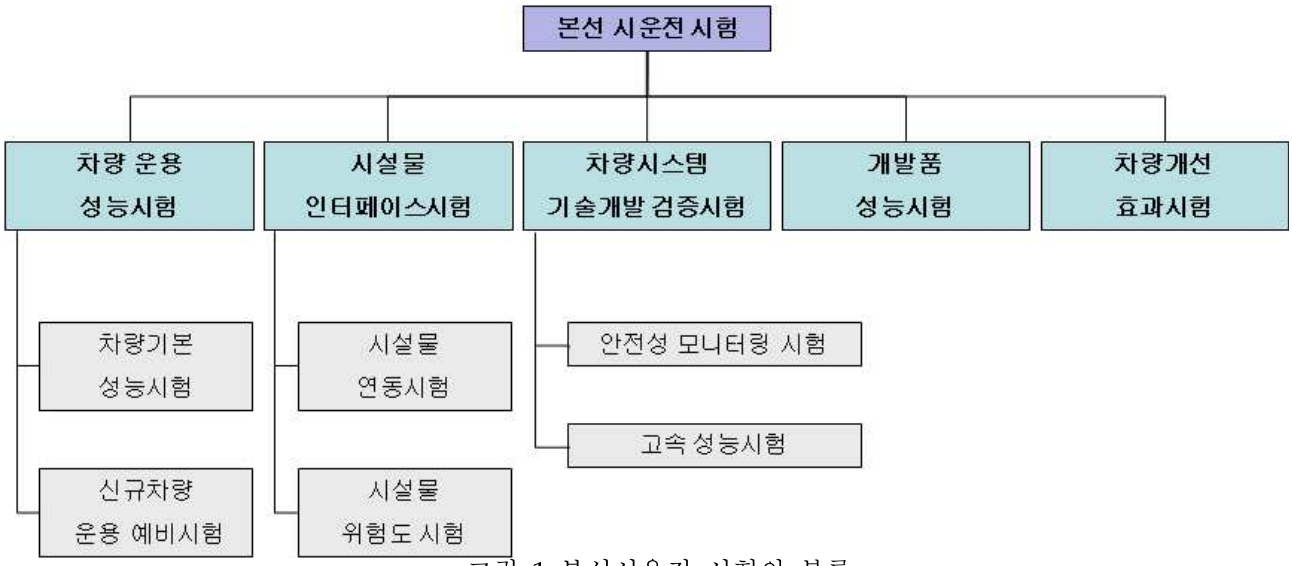


그림 1 본선시운전 시험의 분류

2.1.1 차량 운용 성능 시험

완성된 시제편성이 본선에서 운행하기 위한 안전 성능의 확보와 차량 운영을 위하여 필히 확인해야할 성능 확인 및 기본적인 차량의 성능을 확인하는 시험으로써 표 1과 같이 세부 시험을 선정하였다.

표 1 차량운용 성능시험 세부 시험내용

시험항목	세부시험항목		시험 내용
1. 주행 성능 시험	역행 시험		가속도, 역율등 측정
	휠 슬립 조정시험		차축 회전수등 측정
	Preset Speed		열차기준속도/주행속도 측정
	온도상승시험		변압기, CI, APS, 전동기 온도등 측정
	주행저항시험		주행 속도/거리 측정
2. 대차 주행 성능	차륜/궤도 작용력		탈선계수등 측정
	대차 진동 특성		대차 및 차축 가속도등 측정
	차축 온도		베어링 온도등측정
3. 차체 진동 특성 시험	승차감		차체 가속도 측정
4. 제동 성능 시험	제동 성능	공기제동	제동실린더 압력등 측정
		저항 제동	저항제동력등 측정
		회생 제동	회생제동력등 측정
	비상제동		감속도, 제동시간등 측정
	주차제동		주차제동 완해 기능등 측정
5. 유도장애 시험	유도장애 차상시험		차내 전계/자계등 측정

	유도장애 선로변시험	급전 고조파 전압/전류등 측정
6. 집전장치	접촉력시험	팬헤드/크로스암/플런저 가속도등 측정
	이선율시험	아크검출등 측정
	팬터그래프의 상승/하강 시험	동적 영상 기록
	양력측정시험	양력등 측정
7. 주행 동특성	주행 안전성시험	차체 롤링등 측정
	궤도부담력 시험	궤도 작용력등 측정
	차량동적거동시험	전후, 좌우, 상하 가속도등 측정
8. 차내 소음	차내 소음	운전실/객실 소음등 측정
	차외 소음	선로변 소음 측정
9. 제어 및 감시	제어 및 감시 분야의 시험	배터리, 운전실제어등 측정
10. 통신성능 소음	실내방송 시험	승객안내 방송등 측정
11. ATC/ATP/ATS	제한속도 현시	열차 제한속도 표시 측정
	비상 자동제동	지상 연속 정보 수신 기능 측정

2.1.2 시설물 인터페이스 시험

시제편성이 본선 주행시 고속선 및 기존선의 시설물과의 인터페이스 성능을 확인하는 시험으로써, 차량이 운행시 궤도 및 교량, 전차선, 신호시스템 등 시설물의 작동 여부 및 시설물에 차량이 미치는 영향을 평가하는 시험으로 정의하였다. 세부 시험 항목은 표 2와 같이 도출하였다.

표 2 시설물 인터페이스시험 세부 시험내용

시험항목	세부시험항목	시험 내용
1.선로구조물 인터페이스 시험	궤도성능검증시험	레일응력/변위, 침목 변위등 측정
	교량성능검증시험	고유진동수, 상판가속도, 변위등 측정
	터널성능검증시험	미기압등 측정
2. 전철전력 인터페이스 시험	곡선당김금구압상력 시험	곡선당김금구 압상력등 측정
	이선율 및 아크발생 모니터링	이선율 측정을 통한 집전성능 분석
	전차선 피로강도 시험	전차선에 발생하는 응력 측정
	고조파 검증시험	속도단계별 고조파 측정
	회생전력 품질시험	회생제동 전력 측정
3. 신호통신 인터페이스 시험	궤도회로 시험	귀선전류등 측정
	자동열차정지장치 시험	차상자 응동등 측정
	자동열차제어장치 시험	기존선/고속선 기능전환등 측정
	신호/차량 인터페이스 시험	팬터그래프 자동변환 확인

2.1.3 차량시스템 기술검증 시험

국내 영업운행중인 동력집중식고속열차에서 취급하지 않았던 시험평가 부분 및 본 사업에서 개발된 새로운 계측 기술의 성능 및 시제차량의 안전성 및 안정성을 검증하는 시험으로써 표 3과 같이 세부 시험항목을 도출하였다.

표 3 차량시스템 기술개발검증시험 세부 시험내용

시험항목	세부시험항목	시험 내용
1.건전성 모니터링 시험	대차 건전성 모니터링시험	대차 변형률 및 온도변화등 측정
	차체 건전성 모니터링시험	차체 변형률등 측정
	궤도/차륜 상태 모니터링시험	차륜 소음/진동등 측정
2. 전자파 간섭 시험	전자파의 영향 시험	전도성/유도성/복사성 간섭 측정
3. 추진 및 보조전원시스템 성능 시험	주요 전장품 기능 모니터링 시험	주변압기, SIV, 견인전동기, 보조전원장치, 밧데리 충전기등 기능 모니터링
4. 성능개선 확인시험	고정밀 위치 검측시험	GPS 및 IMU를 이용한 정밀 위치 검측
	생체 승차감 평가	가속도 등을 이용한 승차감 평가
	세미액티브 시험	세미액티브 성능 확인
5. 무선모니터링 시험	차량내부 무선모니터링 시험	차량내 무선 기능등 측정
	시험데이터 무선 송수신 시험	외부 데이터 송수신 기능 확인
6. 전력품질시험	전압왜형율 시험	공급 전력 전압 모니터링
	품질지수 시험	공급 전력 품질 모니터링
	소비에너지 시험	주행 소비에너지 모니터링
7. 전기시스템 신뢰성 시험	주요 전장품 신뢰성 평가	주행중 주차단기, TDCS, 밧데리충전기, 보조전원장치, 주변압기등의 신뢰성 평가
8. 고속제동성능시험	제동기능 평가	350km/h이상의 제동기능 확인
9. 고속소음시험	소음평가	350km/h이상의 소음 현황 확인
10. 고속 가속성능시험	가속도 시험	350km/h이상의 가속성능 확인
11. 차상 통합신호시스템 성능시험	차상신호제어시험	300km/h초과속도 차량신호 제어 기능 확인
12. 고속주행성능시험	주행안전성/안정성시험	350km/h이상의 주행성능 확인
	동력전달장치 온도시험	주행시 온도 상승등 측정
13. 공력특성시험	주행저항 시험	350km/h이상의 주행저항 확인
	압력파시험	350km/h이상의 압력파 확인

2.1.4 개발품 성능 시험

시제편성의 개발품을 본선시운전에서 차량에 탑재 후 운행조건, 속도별, 본선 시설물과의 연동 등의 조건에서 성능을 평가하기 위하여 수행하는 시험으로 표 4와 같이 세부시험을 도출하였다.

표 4 개발품 성능 시험 세부 시험내용

시험항목	세부시험항목	시험 내용
1.주전력 변환장치 성능 시험	분산형 주전력 변환장치 시험	컨버터 입/출력 전류/전압등 측정
	집중형 주전력 변환장치 시험	컨버터 입/출력 전류/전압등 측정
2. 차상신호 장치	신호장치 확인 시험	ATS/DI 입력신호등 측정
	속도 측정 확인 시험	타코미터 동작, 도플러 센서 동작 확인시험
3. 대차 성능시험	온도 상승시험	감속장치, 베이링 온도등 측정
	진동 시험	대차 및 차체 가속도 측정
4. 제동장치 성능 시험	제동장치 성능 시험	BC 압력등 측정
	제동장치 온도 시험	디스크 온도등 측정
5. 보조전원장치 시험	보조전원장치 시험	APS 입/출력 측정
	밧데리장치 시험	밧데리 장치의 성능 측정

2.2 성능평가를 위한 종합계측시스템 구축

2.1절에서 세부 분류한 성능평가 시험을 위하여 시제편성에 그림 2와 같이 구성된 종합계측시스템을 구축하고자 한다.

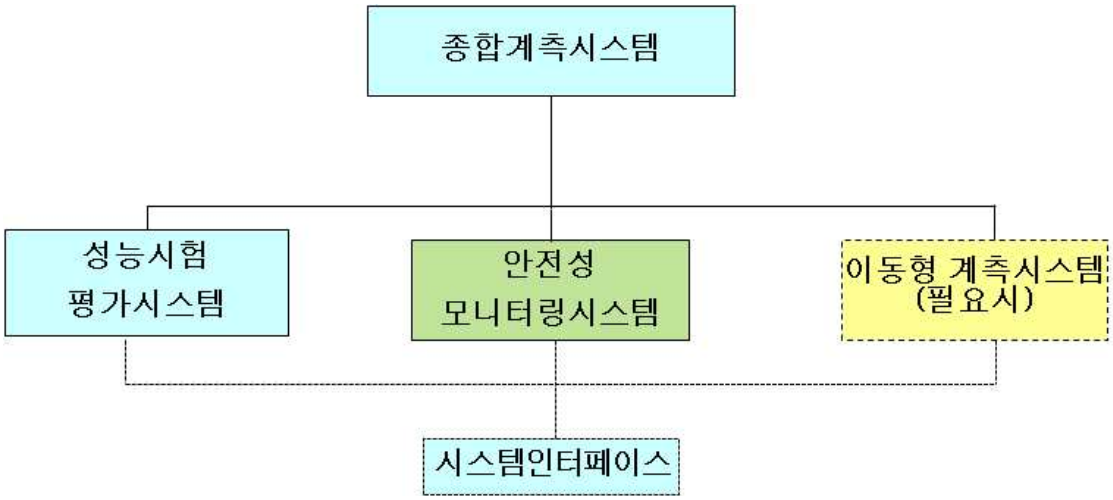


그림 2 종합계측시스템의 구성

성능시험평가시스템은 차량운용성능시험, 시설물인터페이스시험 중 차량내에서 계측할 항목, 개발품 성능 확인시험, 차량시스템 기술개발검증 시험중 일부 항목을 측정하기 위하여 구성된다. 안전성 모니터링 시스템은 차량시스템 기술개발검증 시험중 성능시험평가시스템에서 제외된 항목을 중심으로 구성되며, 이동형 계측시스템은 필요시 시험을 수행할 수 있도록 마련된다. 각 시스템별 인터페이스 기능을 확보하여 그림 3과 같이 시간 및 위치 체크를 통한 시스템 동기화 및 데이터 전달을 가능할 수 있도록 마련한다.

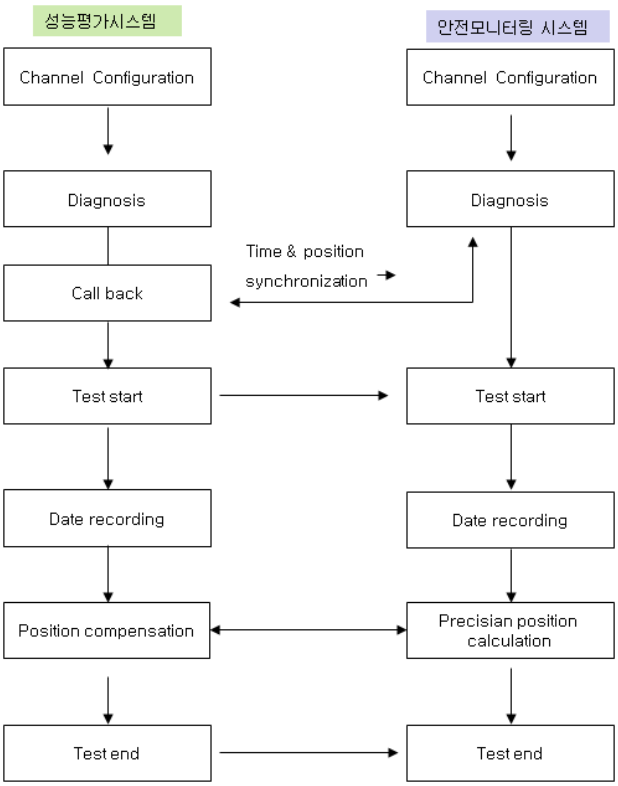
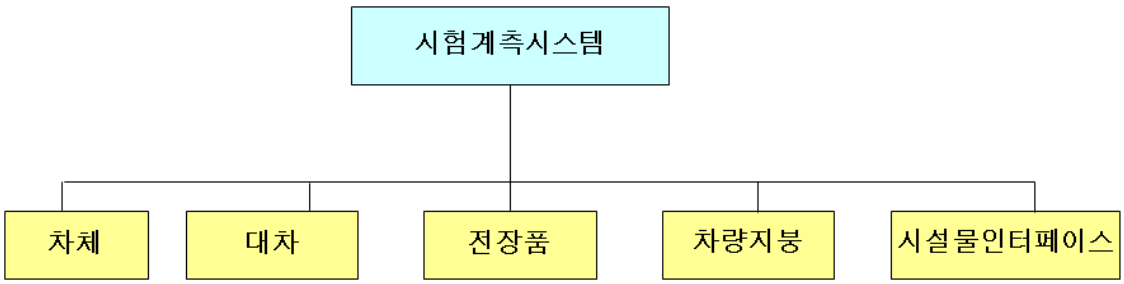
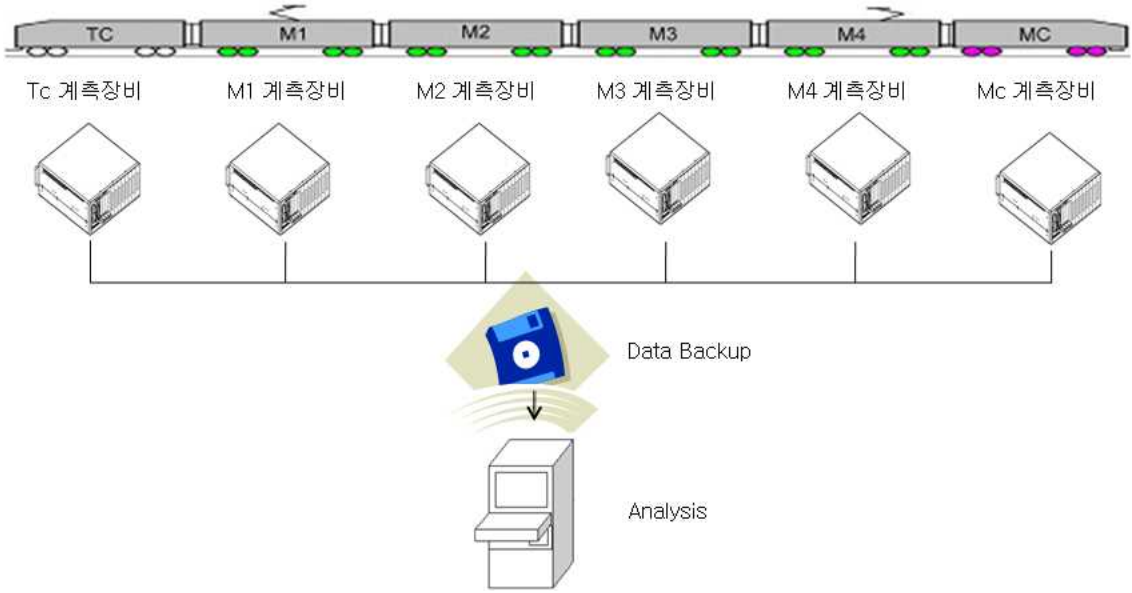


그림 3. 계측시스템 인터페이스

또한 계측시스템은 측정 대상 및 차량 위치별로 그림 4와 같이 분류하여, 측정 대상별로 차체, 대차, 전장품, 차량지붕, 시설물 인터페이스 부분으로 나누고, 차량 위치별로, Tc, M1~M4, Mc로 나누어 각 대상 및 위치에 따라 계측 항목을 분류할 수 있다.



(a) 측정대상별 시험계측시스템 구성



(b) 차량 위치별 시험계측시스템 구성

그림 4 종합계측시스템의 대상/위치별 구성

3. 결론

본 논문에서는 분산형고속열차의 차량시스템 성능 검증을 위하여 본선 시운전 시험을 위한 성능평가의 세부 시험 항목 및 내용의 도출, 각 시험을 수행할 수 있도록 계측시스템의 기본 설계에 대하여 논하였다. 본 사업은 현재 2단계 일정으로 진행 중이며, 본 연구에서 도출한 각 시험의 방법 및 절차를 마련하고 있으며, 본선 시험을 위한 종합계측시스템의 상세설계 및 기술검토가 이루어지고 있다.

향후 시험평가 기준 및 세부 절차를 마련하고, 계측시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하여 분산형고속열차 본선 성능평가에 활용할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 차세대고속철도기술개발사업 '분산형고속철도 시스템엔지니어링 및 시험평가 기술개발'과제의 지원을 받고 있음을 밝힌다.

참고문헌

1. 이영엽, 류상현, 이준원, “차세대 고속차량 종합계측시스템 구축방안 연구”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2009
2. 김상수, 이태형, 박춘수, 최성훈, 한인수, “차세대고속열차 차량시스템 성능평가 체계 개발”, 한국철도학회 추계학술대회논문집, 2009
3. 이태형, 박춘수, 한영재, 최성훈, 김상수, 한인수, "차세대고속열차를 위한 시스템요구사항 개발", 한국철도학회 춘계학술대회논문집, CD-153, 2008.
4. 김병도, 강병모, 김영선, 안효권, 김종선, "철도시스템의 시스템엔지니어링 관점에서 종합시운전에 대한 고찰", 한국철도학회 추계학술대회논문집, CD-120, 2009.
5. 김상수, 이태형, 최성훈, 박춘수, 한인수, 목진용, "차세대고속열차 차량시스템 성능예측 및 성능검증 체계개발", 한국철도학회 추계학술대회논문집, 2008.
6. 차세대고속철도기술개발사업 1단계보고서 "시스템엔지니어링 및 시험평가 기술개발", 한국철도기술연구원, 2008.