

# 한국형 고속철도 차량시스템의 성능시험기준(안) 개발

왕종배

한국철도기술연구원 안전기술연구팀

## Development of Performance Test Standard Plan for KHSR Rolling-stock System

Jong-Bae Wang

Safety Technology Research Team, Korea Railroad Research Institute

### Abstract

고속철도는 한번에 1천명에 달하는 승객을 태우고 시속 300km를 넘는 고속으로 주행하는 만큼 성능과 안전에 대한 철저한 사전 검증이 필수적이며, 특히 새로운 차량시스템의 개발은 철저한 성능검증 및 안전성을 확보하는 시험평가 과정을 반드시 거쳐야 한다. 본 논문에서는 최고속도 350km/h인 한국형 고속철도 차량시스템 개발사양의 성능요구 조건을 입증하기 위한 시험으로서, 핵심 개발품 단위별 구성품 시험, 개발품 단위간의 조합시험, 차량에서의 기능, 동작 확인을 위한 완성차시험(단차시험 및 편성시험) 및 전기신호 및 선로구축물 시스템과의 적합성 및 연계성을 확인하는 시운전 시험으로 구분하여 한국형 고속철도 차량시스템의 성능시험 체계 및 성능시험 기준(안)의 개발 내용을 소개하고자 한다.

**Key Words** : 고속철도차량시스템, 차량성능시험, 구성품시험, 완성차시험, 본선시운전

### 1. 서론

새로운 시스템이 적용된 철도시스템을 개발하기 위해서는 개발하는 각 시스템 및 종합시스템에 대한 성능 검증 및 안전성을 확보하는 시험평가의 과정을 반드시 거쳐야 한다. 이러한 과정을 통하여 안전과 성능이 확보되어야만 개발된 시스템의 상용화가 가능하며, 특히 철도는 많은 승객의 안전과 직결되기 때문에 다른 어떠한 시스템의 검증과정보다 엄격한 시험평가 과정이 필요하다.

한국형 고속철도 차량시스템에 대한 성능시험평가는 경부고속철도(KTX)의 성능시험과 시운전 절차, 외국의 각종 성능시험 사례 및 시험규격 등에 대한 분석, 검토 결과를 바탕으로 하여, 시험계획 수립, 시험절차서 작성, 시험수행 방법 개발, 시험장비 확보, 시험자료 수집 및 분석 체계를 고려한 한국형 고속철도 차량시스템에 대한 성능시험 체계를 구축해야 한다.

따라서 본 연구에서는 최고속도 350km/h의 한국

형 고속철도 차량시스템 개발사양에 대한 성능요구 조건에 대한 입증시험으로서, 개발품 단위별 구성품 시험, 개발품 단위간의 조합시험, 차량에서의 기능, 동작 확인을 위한 완성차시험(단차 및 편성 시험) 및 전기신호 및 선로구축물 시스템과의 적합성 및 연계성을 확인하는 시운전 시험으로 구분하여 한국형 고속철도 차량시스템의 성능시험 기준(안) 개발내용을 소개한다.

### 2. 고속철도 차량시스템 성능검증 체계

#### 2.1 경부고속철도 차량시스템(KTX)의 성능검증절차 분석

경부고속철도 차량시스템(KTX)에 대한 성능검증 절차를 그림 1에 제시하였으며, 설계검토, 차량제작 및 시운전의 3단계로 나누어 살펴본다.

##### (1) 설계검토

설계검토는 기본설계와 상세설계 검토로 나누어

실시되었다. 기본설계 검토를 위해 차량시스템을 16개 시스템으로 세분하고, 상세설계 검토를 위해 차량시스템을 30개 시스템으로 세분하여 설계도면과 기술자료를 검토하였다.

(2) 차량제작 단계

최초 생산된 부품에 대해서는 승인된 설계 사양대로 제작되었는지를 확인하는 형식시험을 실시하고, 양산품에 대해서는 구성품 단계, 시스템 단계(단차시험) 및 편성열차 단계별로 공장시험을 거쳐 철저한 기능, 성능 및 품질확인을 실시하였다.

(3) 시운전 단계

열차 시운전은 목적에 따라 조정시험, 설계성능 입증시험, 인수시험, 종합시운전으로 구분하여 단계적으로 이루어진다. 각 단계별로 성과와 품질 및 안전성 등 총 180종 이상의 시험항목에 대한 철저한 확인이 이루어져야만 본격적인 상업운영이 가능한 것이다.

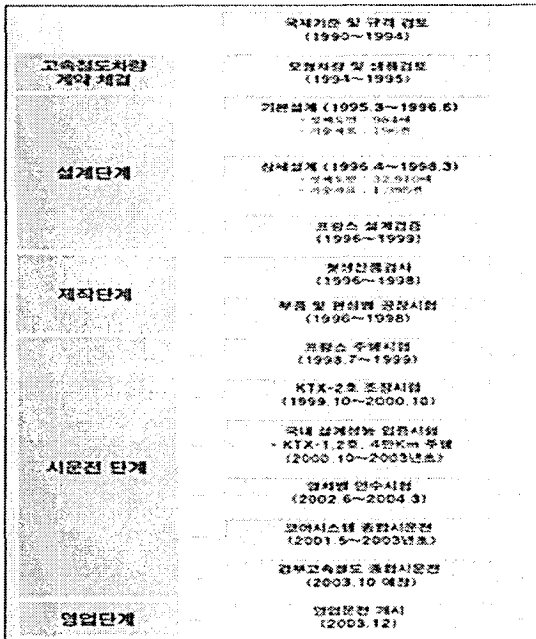


그림 1. 경부고속철도(KTX) 성능검증 절차

2.2 한국형 고속철도 시험열차 편성 및 구성

(1) 열차편성 (Formation)

- 열차편성 : 7량 / 편성
- 구성 : 1TP + 1TM + 3TT + 1TM + 1TP

여기서, TP=동력차(Power Car), TM=동력객차(Motorized Trailer), TT=객(Trailer)

(2) 주요 부품 구성

시험열차의 주요 부품구성은 관리의 효율성 및 통일성을 부여하기 위하여 기계분야와 전기분야로 나누어 부품의 고유번호를 그림 2와 같이 부여하고 있다.

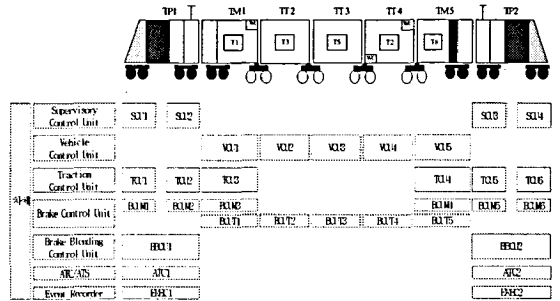
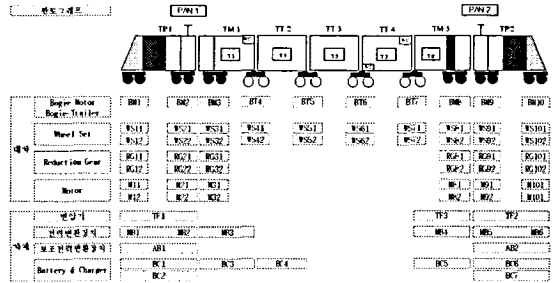


그림 2. 시제작 주요 부품 구성도 (기계, 전기)

3. 한국형 고속철도 차량시스템

성능시험기준(안)

그림 3은 최고속도 350km/h의 한국형 고속철도 차량시스템에 대한 성능시험기준 체계를 제시한 것이며, 개발품 단위별 구성품 시험, 개발품 단위간의 조합시험, 차량에서의 기능, 동작 확인을 위한 완성차시험(단차 및 편성시험) 및 전기신호 및 선로구축물 시스템과의 적합성 및 연계성을 확인하는 시운전 시험으로 구분하여 한국형 고속철도 차량시스템의 성능시험 기준(안) 개발내용을 소개한다.

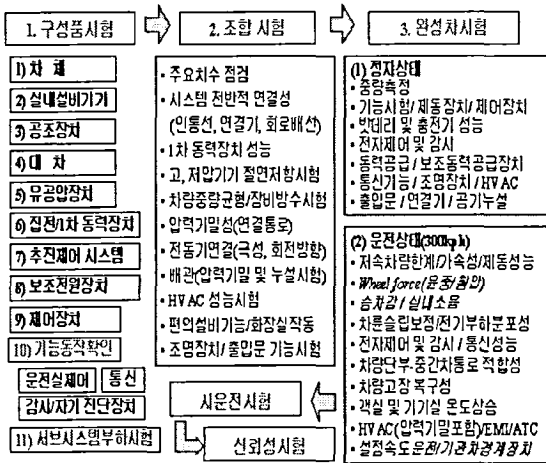


그림 3. 한국형 고속철도 성능시험기준 체계 및 절차

3.1 시운전 시험

최고운행속도 350km/h의 한국형 고속철전시스템에 대하여 본선에서 최고속도까지 주행하면서 차량시스템의 동적 특성을 파악하고 차량시스템과 전기/신호시스템 및 선로구축물 사이의 인터페이스를 점검하는 시험체계와 시험항목을 선정해야 한다.

표 1은 한국형 고속철도 차량시스템의 시운전 시험 항목 및 개발된 절차서로서 주행성능분야를 포함한 13개 분야, 46개 시험항목을 다루고 있다.

표 1. 한국형 고속철도 차량시스템 시운전 시험항목

구분	분야	시험절차서
1	주행성능	가속-주행성능 시험절차서 Preset Speed 시험절차서 최고속도 시험절차서
2	대차주행성능	차륜/궤도 작용력 시험절차서 대차 진동특성 시험절차서
3	차체진동	차체진동특성 시험절차서 승차감 시험절차서 배어링/감속기윤활유 온도특성 시험
4	제동성능	제동성능 시험절차서
5	유도장애	유도장애 시험절차서
6	집전성능	집전성능 시험절차서

7	소음시험	차내소음 시험절차서 - 객실소음, 운전실소음
8	냉난방환기	냉난방환기 시험절차서
9	제어 및 감시	제어 및 감시 시험절차서
10	차외 소음	차외소음 시험절차서
11	공력특성	주행저항측정 시험절차서 정차장/방음벽 열차풍 특성//터널 내 풍압변동특성 시험절차서 /차체표면 압력측정차내압력(승객이명감) 특성/터널 입출구 미기압과 특성 시험절차서
	궤도 및 구조물	궤도표준 측정시험 절차서 - 직선구간, 곡선구간 차량제동시 궤도시험 절차서
13	전기신호	KTCS 통합 시험절차서 KTCS 운용환경 시험절차서 자동열차제어장치 시험절차서 전자연동장치 시험절차서 KTCS ATC 차상장치 시험절차서 KTCS ATC 지상장치 시험절차서 KTCS 궤도회로 시험절차서 KTCS CTC 시험절차서

3.2 완성차 시험

완성차 시험은 열차 편성상태에서 수행하는 편성시험과 동력차, 객차 및 동력객차 단위별로 수행하는 정적형식의 단차시험 및 Power Unit 시험으로 구성한다.

(1) 편성시험

본선 시운전에 앞서 편성된 차량에 대해 동력 발생, 전달, 추진 및 제동 등 차량의 제반 성능 및 품질을 정확히 평가하고, 차량 조립후의 본선 운전 투입여부를 확인 위한 것이다.

편성시험은 공장 승인시험 단계의 정적시험과 현장 승인시험 단계의 동적시험으로 나누어 실시하며, 주요 시험 내용 및 시험 항목을 그림 4에 제시한다.

- 정적 시험 : 완성차 조립상태에서 장치/부품별 정확한 성능 및 품질평가
- 동적시험 : 저속 운행상태에서 시스템 기능, 성능 및 일부안전성 확인

	정적 동력			정적 동력	
차체진원차체진원시험	O	X	인입시험	X	O
집전차체진원시험	O	O	외관구조/치수/중량 측정 시험	X	O
운전실및장후진시험	O	O	Information 장치 시험	X	O
건인차체진원시험	O	O	Air Compressor 시험	O	X
차체진원차체진원시험	O	O	차체진원시험	O	X
Edge Hunting 시험	X	O	갑판차체진원시험	O	O
집전시험	O	O	Desk Monitor 시험	O	O
보조전원장치 시험	O	O	Presed speed 시험	X	O
모터블록 시험	O	X	Volume 장치 시험	X	O
냉각팬 제어회로 시험	X	O	서바이벌행동도 시험	X	O
흡입 시험	X	O	Sanding&Lub 시험	X	O
HVAC 및 여압 장치 시험	X	O	구원운전 장치 시험	O	X
방풍 장치 시험	X	O	EM 시험	X	O

그림 4. 고속철도 차량시스템 편성시험 체계

(2) 단차시험

본 시험은 고속철도 차량의 조립에 앞서 각 시험항목의 확인을 통하여 동력을 발생, 전달하는 차량의 성능 및 품질을 정확히 평가하고, 차량의 조립후 본선 운전에서 차량 전체의 신뢰성과 안정성을 일부 확보하기 위한 것이다. 이 과정을 통하여 제품의 품질수준을 결정하고 양산 단계의 결함을 줄일 수 있는 기반 기술을 확보할 수 있을 것이다.

① 동력차 단차 시험

시험명	시험명
배선검사	집전 시험
절연저항/내전압시험	670V Converter 시험
외관구조/치수/중량 측정 시험	380VAC VVVF 시험
누수검사	Battery charger 시험
기밀검사	Moter Block 시험
누기검사	ATC/ATS 장치 시험
제어전원 제어회로시험	HVAC 및 여압 장치 시험
집전제어회로시험	Air Compressor 시험
운전실선택, 전/후진시험	Horn, Wiper 시험
건인 제어회로 시험	공기 제동장치 시험
제동 제어회로 시험	건인/제동 주행시험
조명 제어회로 시험	Desk Monitor 시험
냉각팬 제어회로시험	속도연산 장치 시험
접지 제어회로시험	Preset speed 시험
Sanding 제어회로시험	Vigilance 장치 시험
Bogie Hunting 제어회로 시험	TSL / 구원운전 장치 시험

② 동력객차/객차단차시험

시험명	시험명
배선검사	50kW Battery Charger
절연저항/내전압시험	출입문제어 회로 시험
외관구조/치수/중량 측정 시험	객실 출입문 시험
누수 검사	HVAC 및 여압장치 시험
기밀 검사	방풍장치 시험/ 인터컴 시험
누기 검사	Catering 장치 시험
조명 제어회로시험	화장실 장치 시험
화재검지 제어회로	Information 장치 시험
440VAC Inverter 시험	배전반 시험

③ POWER UNIT 시험

시험명	시험명
제어전원 제어회로 시험	모터블록시험
냉각팬 제어회로 시험	능동필터 장치시험
Bogie Hunting 검지회로 시험	공기제동장치시험
25kV 차단 스위치 시험	건인/제동 주행시험
보조전원장치 시험	

3.3 구성품 시험

고속철도 차량시스템의 성능시험에서 부품 및 하부시스템의 성공적인 개발 및 시험이 필수적이며, 이것들이 시운전시험까지 상호 연관관계를 가지고 있으므로 어느 한 단계도 간과하여 지나칠 수 없는 중요한 사항이다.

시험대상	시험항목
대차프레임	정적하중시험, 피로시험
차체 하중	수직하중시험, Lifting 및 Re-railing 시험, 차체기밀시험, Compression 및 Traction 시험, 굽힘 및 비틀림 고유진동수 측정시험
감속구동 장치	기어의 굽힘강도 및 치면피로시험, 오일 누유시험, 온도측정시험, 백래쉬, 효율시험, 진동시험, 소음시험, 치면접촉상태 및 베어링 이상 유무, 내구성시험
현가장치	급속충격흡수기에 결합되는 고무의 성능시험, 1,2차 현수장치의 성능시험 및 내구성시험, 스프링 댐퍼의 고무부쉬의 성능 및 내구성시험
팬터그래프	동작시험, 접힌높이 측정, 동작시간 측정, 자동하강장치 동작시간 측정, 동작시간 측정, 취저공기압시험, 추방향 강성시험, 내구성시험, 전후방향 내충격시험, 공기누설시험, 유지력시험, 이선율 측정, 추수특성시험, 동적압상력 모의시

	<p>험</p> <p>마모시험, 진류수전시험, 발열시험</p>
VCB	<p>절연저항시험, 절연내력시험, 온도상승 시험, 회로차단시험, 과전류차단시험</p>
피뢰기	<p>절연저항시험, 직류방전개시전압시험, 내전압시험, 충격방전개시전압시험, 제한전압특성시험, 방전내량시험, 보통동작책무시험, 특별동작책무시험, 내열화 시험, 진동시험, 방폭시험</p>
주변압기	<p>공진시험, 진동기능시험, 진동내구성 시험, 탄성마운트의 진동절연 성능시험</p>
전인전동기	<p>온도상승시험, 특성시험(효율측정시험, 전부하토크시험), 과속시험, 진동시험, 소음시험, 내전압시험(고전압시험기 이용)</p>
동력변환 장치	<p>외관치수검사, 중량측정, 냉각시험, 보호 검출기능시험, 제어기능시험, 경부하 시험, 소음시험, 온도상승시험, 효율측정 시험, 내전압시험, 공급과전압과 과도에너 지시험, 절연저항시험, 부분방전시험, 안전요구시험, 진동시험, 전자과장애시험, 토크특성시험, 전도크영역의 속도시험, 전동기발열 및 냉각상태 토크특성, 효율 특성시험, 제어장치전원시험, 입력전압 급변시험, 순간정전시험, 최소 및 최대 전압 기동시험, 회생부하시험, 신뢰성 시험, 전기부품의 상호작용 및 최적화 시험, 시스템안전기능시험, 연속운전 및 써지부하시의 부품시험, 실시간 전부하 시험, 조합시스템 발열시험, 구동싸이클/동역학과정 시뮬레이션, 회전 및 운동절 량 시뮬레이션, 사고가능성 시뮬레이션</p>
진단/열차 제어	<p>PIC 랙 시험, PIR 랙 시험, CEU BOARD 시험, Matching Unit, Tuning Unit, Air Core Inductor, Blocking Unit, Track Circuit Receiver, Track Circuit Dummy line, 2G Antenna, BSP Antenna</p> <p>송수신동작시험(지상자, 차상자, 제한속 도신호별 응용시험), 동적시험(최소동작 레벨측정, 불연속정보 송수신 동작시험, 지상 및 차상 상호응답 특성시험)</p>
추진 및 전기제동	<p>온도상승시험, 특성시험(효율측정시험, 전부하토크시험), 과속시험, 진동시험, 소음시험, 내전압시험(고전압시험기 이용)</p>
공기제동	<p>성능시험(담면제물자제동시험, 제동디스크라이닝제동시험, 차륜과 레일사이의 접촉시험), 내구성시험(정지제동 반복 시험, 감속제동 반복시험, 연속감속제동 반복시험, 역속제동 반복시험)</p>
와전류제동	<p>정적·동적시험(전차석과 레일의 와전류 및 레일 온도분포, 공극의 영향, 속도변화에 따른 완전류 제동력), 와전류 제동력 측정, 레일의 변형 및 작용력 측정</p>

4. 결 론

본 논문에서는 최고속도 350km/h의 고속철도 차량시스템 개발사양의 성능요구 조건을 입증하기 위한 시운전 시험, 완성차 시험 및 구성품 시험의 성능시험체계와 성능시험기준(안)을 제시하였다.

시운전 시험은 최고운행속도 350km/h의 한국형 고속전철시스템에 대하여 본선에서 최고속도 까지 주행하면서 차량시스템의 동적 특성을 파악하고 차량시스템과 전기/신호시스템 및 선로 구축물 사이의 인터페이스를 점검하는 시험체계와 시험항목을 선정하였다.

완성차 시험은 열차 편성상태에서 수행하는 편성시험과 동력차, 객차 및 동력객차 단위별로 수행하는 정적형식의 단차시험 및 Power Unit 시험으로 구성한다.

구성품 시험은 시운전 시험까지 상호 연관관계를 가지는 부품 및 하부시스템에 대한 기능, 성능 및 품질 입증에 위한 간과할 수 없는 중요한 사항이다.

한국형 고속철도 차량시스템에 대한 성능시험 체계 및 시험기준(안)은 고속철도시스템의 안전보장과 사고예방을 위한 국내 고속철도 차량시스템의 성능시험기준 체계를 구축하는데 활용될 것이다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부 “한국형 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준 체계 개발” 사업(2004년 2차년도)으로 수행된 연구내용임을 밝히며, 건설교통부 및 건설교통기술평가원의 관계자 및 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 한국철도기술연구원, 한국형 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준체계 개발 연구보고서, 2004. 11
- [2] 한국철도기술연구원, 고속전철 시스템 통합

- 및 총괄 최종보고서, 2002. 12.
- [3] 한국철도기술연구원, G7 고속전철 기술개발 사양서, 2002. 3.
  - [4] 생산기술연구원, 차량시스템 엔지니어링 기술개발 최종보고서, 2002. 12.
  - [5] 한국전기연구원, 전기시스템 엔지니어링 기술개발 최종보고서, 2002. 12.
  - [6] 영국 HSE, Railway Safety Principle & Guidance
  - [7] Title 49 of the Code of Federal Regulations Part 243 - FOX(Florida Overland eXpress).
  - [8] Railway Safety, Profile of safety risk on Railtrack PLC-controlled infrastructure Issue 1, Report No. SP-RSK-3.1.3.11, January 2001.