

고속철도 차량성능기준(안) 작성에 관한 연구

A Study on Performance Test Standards for High-speed Rolling-stock System

왕종배* 박찬우* 곽상록*

Jong-Bae Wang, Chan-Woo Park, Sang-Log Kwak

ABSTRACT

In this study, test standards were developed for performance verification of the high speed(350km/h) rolling-stock. The performance test system consist of three type tests; the component test for core item, the completed car test for combined function & operation and the trial driving test for compatibility & interrelationship with infrastructure.

1. 서 론

철도시스템의 성능검증은 새로이 시스템을 설치하거나 시설, 장비의 중요부분을 변경하는 경우 그 특성과 운전상황을 고려하여 종합적인 시스템 안전성 여부를 평가할 수 있어야 한다. 특히 고속철도는 많은 승객의 안전과 직결되기 때문에 다른 어떠한 시스템의 검증과정보다 엄격한 시험평가 과정이 필요하다.

국내 철도차량의 성능평가는 철도안전법 제35조(철도차량의 성능시험)에 따라 차량제작자등이 제작·조립 또는 수입한 철도차량을 판매하고자 할 때에 철도차량의 성능과 구조·장치의 형상 및 규격 등(이하 “성능 등”이라 한다)이 철도차량의 안전 및 기능확보에 적합한지의 여부를 검사하기 위하여 건설교통부장관이 실시하는 성능시험을 받아야 하는 법적 요구사항으로 규정하고 있다.

본 논문에서는 최고속도 350km/h인 한국형 고속철도차량시스템의 성능요건을 입증하기 위한 시험으로서, 핵심 개발품 단위별 구성품 시험, 차량의 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.

* 한국철도기술연구원, 철도시스템안전연구본부

2. 고속철도 차량시스템 개발요건 분석

우리나라도 경부고속철도(KTX)의 도입과 한국형 고속철도시스템(G7)의 국산화 개발에 따라 고속철도의 안전보장과 사고예방을 위하여 시스템 차원의 위험분석에 근거한 고속철도 시스템의 안전검증과 고속철도 차량의 성능확인이 필요하다.

고속철도차량 성능시험기준은 한국형 고속철도시스템(G7) 개발 기본사양, 시제차량 제작사양 및 철도안전법의 요구사항을 필수요건으로 반영하여 그림 1과 같은 절차에 따라 기본체계를 구성하였고, 세부적인 기술사양 및 시험내용은 KTX 도입기술 및 시험평가 자료, 외국의 각종 고속철도 관련 안전성능 규정 및 기술기준의 분석을 통해 고속철도차량 시스템의 성능검증에 포함되어야 할 기술내용을 보충하는 것으로 하였다.

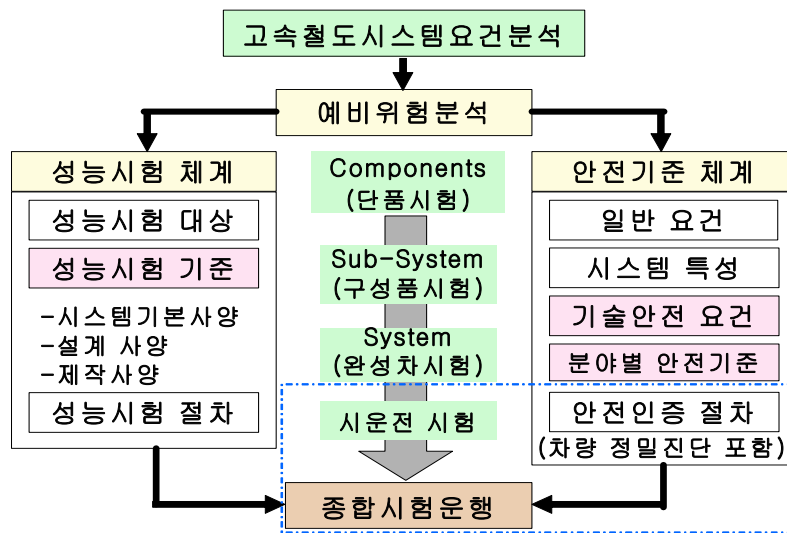
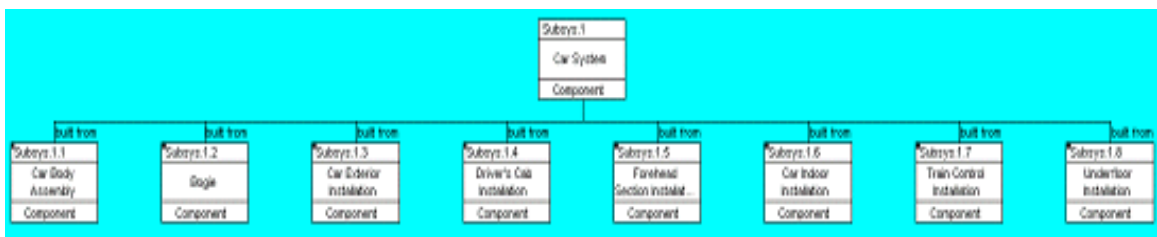


그림 1. 고속철도시스템 성능시험기준 개발 절차

3. 고속철도 차량시스템 성능시험 요건관리 Data 구조화

그림 2는 시스템엔지니어링 도구를 사용하여 고속철도 성능기준 요구사항을 입력하고, 분석한 후 계층화한 것이다. 이 과정에서 총 83개의 시스템과 서브시스템 레벨의 요구사항을 정리하여 데이터의 추적성을 확보하고 데이터 설계자나 이해당사자의 요구에 따라 모든 관계의 추적성을 표현할 수 있다.



▷ Activity	FPOR.1 KHSR Function/Performance OR
▷ Annotation	FPOR.1.1 Electric/Signal System OR
▶ Category (72/72)	FPOR.1.1.1 ATC
▷ CompletionCriterion	FPOR.1.1.2 CTC
▶ Component (344/344)	FPOR.1.1.3 BL
▶ Constraint (219/219)	FPOR.1.1.4 Trolley/Wire System
▶ Document (14/14)	FPOR.1.2 Railroad Structure System OR
▷ DomainSet	FPOR.1.2.1 Design Max Velocity
▶ Engineer (1/1)	FPOR.1.2.2 Design Standard Weight
▶ ExternalGraphic (1/1)	FPOR.1.2.3 Tunnel
▷ ExternalTest	FPOR.1.2.4 Vertical Curve
▶ Function (45/60)	FPOR.1.3 Car System OR
▶ Glossary (165/165)	FPOR.1.3.1 Bogie
▶ Interface (0/3)	FPOR.1.3.1.1 Bogie Format
▶ Issue (1/1)	FPOR.1.3.1.2 Max Weight of Shaft
▶ Item (3/3)	FPOR.1.3.1.3 Structure Strength
▷ Leader	FPOR.1.3.2 Braking
▶ Link (0/3)	FPOR.1.3.2.1 Braking Performance
▶ OriginatingRequirement (0/83)	FPOR.1.3.2.2 Braking Range
▶ Function & Performance (47)	FPOR.1.3.3 Environment Condition
▶ Safety (36/36)	FPOR.1.3.3.1 Climate Condition
▶ PerformanceIndex (15/15)	FPOR.1.3.3.2 Fire & Toxicity
	FPOR.1.3.3.3 Trailer Waterproof
	FPOR.1.3.3.4 Traveling under the snow
	FPOR.1.3.3.5 Traveling under the water
	FPOR.1.3.4 Noise Vibration & Comfortability

그림 2. 고속철도 차량시스템 하부 아키텍처 구성 및 성능기준 Data Structure

4. 철도차량 시험평가 관련 국제규격/기준의 분석 및 관리

고속철도 차량시스템 개발에 따른 성능검증을 위한 427개의 각종 규격들을 분야별로 13가지(차량일반, 차체, 대차, 제동, 전기(일반), 집전, 신호/제어, 환경, 냉난방, 전동기, C/I, 선로, 기타 등)로 분류하여 성능시험 절차서의 개발시에 국제기준과의 부합성 유지측면에서 검토, 활용하였다.

표1. 고속철도 차량시스템 성능시험 관련 규격 적용 및 관리 현황 : 구성품 단위

구분	시험대상	관련규격
구성품 (개발품)	대차 프레임	UIC 515-4, UIC 615-4, JIS E 4047, JIS E 4207, JIS E 4208
	감속구동장치	-기어 윤활유 : DIN 51354 -베어링 : NF F 18-831 -기계적 성질 : NF A 35-567, EN 10002-1, NF E 03-153, -감속구동장치 : ISO8579-1, ISO 8579-2 -시운전성능시험 : IEC 1133, UIC 610, JIS E 6004
	현가장치	JIS E 4206, JIS D 4101, JIS K 6301, JIS E 4205. ISO 8009-27, ISO 8009-8
	팬터그래프	IEC 494, JIS E 6302, KRS 2244-2200, prEN 50206-1, PrEN 50206-2, IEC 77-24절, IEC 165-13.2절, JIS E 6301
	VCS	IEC 60-1~4, KSC 0901, IEC56
	주변압기	IEC 310, IEC 68-1, IEC 68-2-1~77, IEC 60571, IEC 571-1, KS B 8144, KS B 8146, KS R 9144, JIS E 4031, UIC 618, IEC 77
	견인전동기	IEC 349-2, IEEE 112-1991
	동력변환장치	IEC 411, IEC 1133, IEC 1287-1, IEC 1377
	차체	UIC 581, UIC 566, NF F 17-011, JIS E 7105
	경량 의자	ISO 4589-1~3, ISO 5659-1, ISO 5659-2, ASTM D 2843, ASTM E 662, ASTM E 1354, ASTM F 814, BS 2782, BS 6301, NF F 16-101, UIC 564-2, UIC 566, UIC 567, NF F 31-116
	경량 내외장재	ISO 3741, ISO 3742, ISO 3745, ISO 354, ASTM C 423, KS F 2805, ISO 140-1~10, DIN 52210, KS F 2808, ASTM E 336, ASTM E 90, ASTM B 221, ASTM E 55, ASTM E 34, ASTM B 557, ASTM E 92
	알루미늄 압출재	DIN 1748, DIN 1725, KS D 6759

5. 한국형 고속철도 차량시스템 주요구성

한국형 고속철도 차량시스템은 7량 편성으로 시제열차를 제작하였고, 주요 부품구성은 관리의 효율성 및 통일성을 부여하기 위하여 기계분야와 전기분야로 나누어 부품의 고유번호를 그림 3과 같이 부여하고 있다.

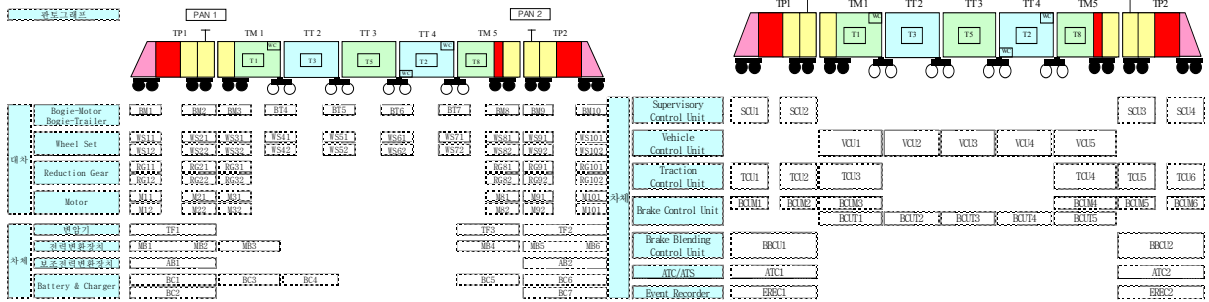


그림 3. 한국형 고속철도 차량(시제열차) 주요 부품 구성도 (기계, 전기)

6. 고속철도 차량시스템 성능시험기준(안) 개발

고속철도차량 성능시험기준(안)은 국내 철도안전법의 요건에 따라 구성품 시험, 완성차 시험 및 시운전 시험의 3단계 체계로 표 2와 같이 구성하였다.

표 2. 고속철도 차량시스템 성능시험기준(안) 체계 구성

1. 구성품 시험	2. 완성차 시험		
	2.1 단차시험	2.2 Power Unit 시험	
1. 대차시험 2. 현가장치시험 3. 감속구동장치시험 4. 제동시스템시험 5. HAVC/여압시스템 시험 6. 판토틀라프시험 7. 주전력변환장치시험 8. 견인전동기시험 9. 주변압기시험 10. 추진시스템조합시험 11. 보조전원장치시험 12. 진단제어시스템시험 13. Cab-Cubicle 시험	1. 외관구조검사 2. 측정 검사 3. 누수 및 누기 검사 4. 기밀시험 5. 배선검사 6. 절연특성시험 7. 차체 하중시험 8. 제어회로시험 9. 열차운행장치시험 10. HAVC/여압장치시험 11. 공기압축기 시험 12. 기능/동작확인시험(16종) 13. 주행상태시험(4종)	1. 제어전원 제어회로 2. 냉각팬제어회로 3. 보기현팅제어회로 4. 25kV차단스위치 5. 보조전원장치 6. Motor Block 시험 7. Active Filter 시험 8. 공기제동장치시험 9. 견인/제동주행시험	
			2.3 편성 시험 1. 외관구조검사 2. 측정 검사 3. 누수 및 누기 검사 4. 제어회로시험 5. HAVC/여압장치시험 6. 공기압축기 시험 7. 기능/동작확인시험(14종) 8. 주행상태시험(5종)
		3. 시운전 시험	
1. 주행성능(3종) 2. 대차주행성능(2종) 3. 차체진동(3종) 4. 제동성능	5. 유도장애 6. 집전성능 7. 소음시험 8. 냉반방환기시험	9. 제어 및 감시 시험 10. 공력특성시험 11. 레도 및 구조물 측정시험 12. 전기신호장치시험	

3.1 시운전 시험

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

표 3은 한국형 고속철도 차량시스템의 시운전 시험 항목 및 개발된 절차서로서 주행성능분야를 포함한 13개 분야, 46개 시험항목을 다루고 있다.

표 3. 한국형 고속철도 차량시스템 시운전 시험항목

구분	분야	시험절차서	구분	분야	시험절차서
1	주행성능	가속-주행성능 시험절차서	10	차외 소음	차외소음 시험절차서
		Preset Speed 시험절차서			차외소음 시험절차서
2	대차주행성능	최고속도 시험절차서	11	공력특성	주행저항측정 시험절차서
		차륜/궤도 작용력 시험절차서			정차장/방음벽 열차풍 특성//터널내 풍압변동특성 시험절차서
3	차체진동	대차 진동특성 시험절차서	11	공력특성	/차체표면 압력측정차내압력(승객 이명강) 특성/터널 입출구 미기압파 특성 시험절차서
		차체진동특성 시험절차서			궤도 및 구조물
4	제동성능	승차감 시험절차서	11	공력특성	-직선구간, 곡선구간
		베어링/감속기윤활유 온도특성시험			차량제동시 궤도시험 절차서
5	유도장애	제동성능 시험절차서	13	전기신호	KTCS 통합 시험절차서
6	집전성능	유도장애 시험절차서			KTCS 운용환경 시험절차서
7	소음시험	집전성능 시험절차서	13	전기신호	자동열차제어장치 시험절차서
		차내소음 시험절차서			전자연동장치 시험절차서
8	냉난방환기	- 객실소음, 운전실소음	13	전기신호	KTCS ATC 차상장치 시험절차서
		냉난방환기 시험절차서			KTCS ATC 지상장치 시험절차서
9	제어 및 감시	제어 및 감시 시험절차서	13	전기신호	KTCS 궤도회로 시험절차서
		제어 및 감시 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 확인하기 위한 것이다.

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

(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 양산단계의 결함을 줄일 수 있는 기반 기술을 확보할 수 있을 것이다.

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 사항으로서 표 4에 핵심 구성품에 대한 주요 시험항목을 제시한다.

표 4. 고속철도차량 핵심 구성품에 대한 성능시험 항목 요약

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, 치면접촉상대 및 베어링 이상 유무, 내구성시험
현기장치	금속충격흡수기에 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, 최저공기압시험, 측방향 강성시험, 내구성시험, 전후방향 내충격시험, 공기누설시험, 유지력시험, 이선율 측정, 추수특성시험, 동적압상력 모의시험
VCB	마모시험, 전류수전시험, 발열시험
절연저항시험, 절연내력시험, 온도상승시험, 회로차단시험, 과전류차단시험	
피뢰기	절연저항시험, 직류방전개시전압시험, 내전압시험, 충격방전개시전압시험, 제한전압특성시험, 방전내량시험, 보통동작책무시험, 특별동작책무시험, 내열화시험, 진동시험, 방폭시험
주변압기	공진시험, 진동기능시험, 진동내구성시험, 탄성마운트의 진동절연 성능시험
견인전동기	온도상승시험, 특성시험(효율측정시험, 전부하토크시험), 과속시험, 진동시험, 소음시험, 내전압시험(고전압시험기 이용)
동력변환 장치	외관치수검사, 종량측정, 냉각시험, 보호검출기능시험, 제어기능시험, 경부하시험, 소음시험, 온도상승시험, 효율측정시험, 내전압시험, 공급과전압과 과도에너지시험, 절연저항시험, 부분방전시험, 안전요구시험, 진동시험, 전자파장해시험, 토크특성시험, 전도크영역의 속도시험, 전동기발열 및 냉각상태 토크특성, 효율특성시험, 제어장치전원시험, 입력전압급변시험, 순간정전시험, 최소 및 최대전압 기동시험, 회생부하시험, 신뢰성시험, 전기부품의 상호작용 및 최적화시험, 시스템안전기능시험, 연속운전 및 써지부하시의 부품시험, 실시간 전부하시험, 조합시스템 발열시험, 구동싸이클/동역학과정 시뮬레이션, 회전 및 운동질량 시뮬레이션, 사고가능성 시뮬레이션
진단/열차 제어	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
추진 및 전기제동	송수신동작시험(지상자, 차상자, 제한속도신호별 응답시험), 동적시험(최소동작 레벨측정, 불연속정보 송수신 동작시험, 지상 및 차상 상호응답 특성시험)
공기제동	온도상승시험, 특성시험(효율측정시험, 전부하토크시험), 과속시험, 진동시험, 소음시험, 내전압시험(고전압시험기 이용)
	성능시험(담면제륜자제동시험, 제동디스크라이닝제동시험, 차륜과 레일사이의 정착시험), 내구성시험(정지제동 반복시험, 감속제동 반복시험, 연속감속제동 반복시험, 역속제동 반복시험)

감사의 글

본 논문은 건설교통부 “한국형 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준 체계 개발” 사업(2005년 3차년도)으로 수행된 연구내용임을 밝히며, 건설교통부 관계자 및 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 여러분께 감사를 드립니다.

참고 문헌

- [1] 한국철도기술연구원, 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준체계 개발 연구보고서, 2005. 8
- [2] 한국철도기술연구원, 고속전철 시스템 통합 및 총괄 최종보고서, 2002. 12.
- [3] 한국철도기술연구원, G7 고속전철 기술개발사양서, 2002. 3.
- [4] 생산기술연구원, 차량시스템 엔지니어링 기술개발 최종보고서, 2002. 12.