

# 철도시스템 시운전 시험 평가 항목 비교 연구

## A Comparative Study on Test and Evaluation Items for Various Railway Systems

정흥채\*                  엄기영\*\*                  김석원\*\*                  서정원\*\*\*                  신종한\*\*\*\*  
Chung, Heungchai    Eum, Kiyoung    Kim, Sukwon    Seo, Jungwon    Shin, Jonghan

### Abstract

A field of test and evaluation plays an important role in railway system in the safety and reliability aspects. In this paper, test and evaluation items for various railway systems i.e., conventional railway system, tilting system, and high speed railway system, were compared to analyze characteristics of the systems.

### 1. 서 론

철도는 차량, 터널, 교량 등과 같은 대형구조물로 구성된다. 이들의 안전성은 인명피해와도 직접적인 관련이 있기 때문에 그 중요성은 널리 인식되어 왔으며, 최근에 이르러 열차의 고속화, 고성능화 추세에 맞는 철도의 안전성의 확보가 필요하다. 이를 달성하기 위해서는 각 요소들의 설계, 제작 및 시험평가가 종합적으로 이루어져야 한다. 특히 설계, 제작된 각 요소들의 정·동적 시험 및 이 요소들의 통합시험을 통한 구조물의 안전성 평가가 필수적으로 이루어져야 한다.

안전과 신뢰성이 중요한 철도 시스템의 시험평가 분야는 사양에 따라 제작된 단위제품 및 시스템의 기본성능을 확인하고, 신뢰성과 안전성을 확인하여 상용화하는 측면에서 최종 확인하는 중요한 작업이다. 본 연구에서는 기존철도 시운전시험 사례, 기존선 고속화 시험사례, 국내의 고속철도 시운전 시험사례 및 표준규격(IEC, JIS 및 UIC)에 제시된 시험항목에 대한 조사를 통하여 철도 시스템별 특성에 맞게 선정된 시험항목을 비교·분석하였다.

### 2. 기존철도 시운전시험

#### 2.1 국내전동차 시험 및 검사

전동차 시험은 사양서 규정에 의한 설계 및 제작검증과 성능확인을 위하여 최초제작 전동차 및 그 구성품에 대하여 시행하는 형식시험(Type Test)과 전 수량에 대하여 개개의 성능을 확인하기 위하여 시행하는 전수시험(Routine Test)으로 구분한다.

전동차의 시험 종류는 구성품 시험, 완성차 시험, 본선 시운전시험이 있으며 계약자는공장 구내 주행시험에 합격되고 구매청에 인도된 전동차가 차량기지에 입고된 후에 표 1에 명시된 시험항목에 대하여 본선 시운전 시험을 시행하여야 한다.

\* 한국철도기술연구원 책임연구원  
\*\*\* 한국철도기술연구원 주임연구원

\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 연구원

표 1 국내전동차 본선시운전 시험항목

번호	시험항목	번호	시험항목	번호	시험항목	번호	시험항목
1	역행시험	10	소음 시험	19	차호별 조명조도시험	28	ATS 시험
2	가속도시험	11	진동 시험	20	제동 시험	29	ATC 시험
3	감속도시험	12	운영데이터 측정시험	21	유도장애 시험	30	방송장치 시험
4	최고속도시험	13	개방운전 시험	22	구배기동 시험	31	주회로 덕트온도 시험
5	집전상태 시험	14	모진운전 시험	23	가상 정전 시험	32	MONITOR시험
6	주전동기 정류상태 시험	15	기타 시험	24	주회로 기기 동작 SEQUENCE 시험	33	축중분석
7	지상설비와 연계동작 시험	16	주행성능 시험	25	주행저항 시험	34	냉난방 시험
8	공전활주 시험	17	축상온도 시험	26	구원운전 시험		
9	JERK 한계측정	18	주요개소 온도측정	27	보조전원장치 시험		

## 2.2 일본 381 전차 시운전시험사례

이 시험은 최고속도 160km/h, 곡선통과속도 +20~+45km/h향상, 분기기측 통과속도 160km/h 정도의 운전율 목표로 하여 381계 전차에서의 고속주행시험 및 곡선통과 성능확인시험을 통해 차량, 궤도, 전기등 각 분야의 기술개발을 촉진하기 위하여 일본 湖西線 및 中央西線에서 시행되었다. 시험항목은 주행안정성시험, 구동장치 및 차축베어링 성능시험, 가선 및 판토틀라프 성능시험, 주검지센서 성능시험, 점착시험, 급곡선 통과 성능 확인 시험 등이다

## 2.3 기존(재래)철도 운전 속도향상 시험 매뉴얼

재래철도에서 운전속도를 향상하려 하는 경우, 변경하려는 열차의 최고 허용속도가 안전상 지장이 없는가를 확인해야한다. 그 확인항목에는 현재 사용되고 있거나 새롭게 도입 또는 개량하려고 하는 차량 및 지상설비에 대하여 운전속도향상 계획단계에서 확인할 항목(최고속도, 곡선통과속도, 분기기통과속도)을 차량의 주행상태, 지상설비와의 응답 등에 관한 시험을 시행하여 확인하여야 한다.

매뉴얼에 기재되어 있는 속도향상시험에서 시험항목은 차량에서 주행안전성 시험, 대차강도시험, 가속성능시험, 제동성능시험, 승차감시험이 있다. 전차 선로에서는 집전성능시험, 전차 선로강도시험, 철도 선로에서는 궤도재료강도시험, 궤도 파괴량시험, 분기기의 강도·기능 시험, 토목구조물의 강도시험 있으며 그리고 신호 건널목 보안설비에서는 신호 건널목 보안설비 기능 시험, 신호시인(視認)성시험 등 14개 항목이 있다

## 3 고속철도 시운전 시험

### 3.1 경부고속철도 시운전시험

경부고속철도의 시운전시험은 대전-천안 사이의 시험선 구간길이 57.2km(서울기점 81.5km-138.7 km)에서 1999년 12월부터 46편성에 대한 시운전시험(46개월)과 종합시운전시험(6개월)을 2004년 4월까지 실시할 계획이며 차량한계시험, 가속성능시험, 제동성능시험, 주행안전성시험, 승차감시험, 차내소음시험, 차외소음시험, 활주방지(slide)시험, 전기부하시험, 제어 및 감시시험, 통신성능시험, 연결장치시험, 구원운전시험, 온도상승시험, 냉난방/기밀 시험, 유도장애시험, ATC 시스템시험,

집전장치시험, 유지보수성시험, 주행저항시험 등 20개의 주요 성능별로 구분되어 있으며 시험항목은 IEC 1133을 기초로 하여 차량의 인수에 필요한 시험항목들에 대하여 중점을 두고 있다.

### 3.2 일본 신간선 500계 고속철도 시험사례

JR서일본에서는 항공기와 자동차에 대한 경쟁력을 보다 한층 강화할 필요에 의해 WIN 350 시험 결과를 근거로 하여 300km/h 영업운전을 목표로 하는 500계 차량을 제작하여 성능을 확보하기 위한 시험을 실시하였다. 500계에 대하여는 차량성능 확인을 목적으로 주행시험을 실시하였는데 320km/h까지의 주행안전성 등의 확인, 기기성능, 승차감 등 영업차로써의 성능을 확인하고 270km/h에서 300km/h로 영업최고속도를 향상함에 따른 山陽新刊線의 사업기본계획 변경에 필요한 사항을 확인하였다. 따라서 시험은 차량뿐만 아니라, 지상 측, 예를 들면 선로변소음, 구조물의 변형량 측정과 같은 시험항목을 포함한 철도시스템 전반에 대한 확인시험을 목적으로 하고 있다

### 4 기존선 고속화 시운전 시험(미국 Amtrak의 X2000(스웨덴) 적용성 시험 검증)

Amtrak은 미국에서 20년동안 사용하여 노후한 METROLINER를 대체할 목적으로 ASEA-BroenBoveri(ABB)에서 개발한 스웨덴의 X2000 텀팅열차에 대하여 워싱턴과 뉴욕사이의 NORTHEAST CORRIDOR에서 아래와 같이 시험 검증을 실시하였다.

#### 4.1 시험차량 편성

6량1편성(IP+1DT+4T)

#### 4.2 종합시험 순서

- ①시험운행점검 - 125mph(200km/h)의 속도로 운행할 준비상태 확인(추진시스템, 안전 장치, 제동시스템 및 제동거리, cab 신호 시스템 등)
- ②캔트 부족량(Cant Deficiency) 시험 - 안전 곡선 제한 확립
- ③고속안정성(High Speed Stability) 시험 - 최고 안전 속도 확립
- ④상업운행 검증 - 계획된 상업운행의 안전성을 검증

#### 4.3 시험종류

- ①제동거리 시험    ②집전장치성능시험    ③전자파 장애시험(EMI)
- ④Cant Deficiency (Track Panel Shift, Wheel Climb, Vehicle, Overturning, Rail Rollover)
- ⑤고속안전성 시험    ⑥ 답면형상(Wheel Tread Profile)    ⑦소비전력측정시험
- ⑧변압기 돌입전류(inrush current)측정시험    ⑨승차감 시험
- ⑩가속시간/거리 측정시험    ⑪기타시험항목(전조등 intensity시험, 차량한계 및 곡선통과시험)

### 5. 표준규격별 시운전 시험

#### 5.1 IEC 1133 동적시험

차량을 제작 완료한 후 완성차 시험 및 상업운전 투입 전 시험을 통한 차량의 성능을 확인하고, 차량 형식시험을 통해 사용자와 제작자간에 합의된 계약내용을 확인하며 시험을 통해 입증된 설계표준사항을 전수시험에 의해 아래의 대상 차량에 적용여부를 확인한다.

- 외부 전원으로부터 D.C. 또는 단상 A.C.를 공급받는 차량
- 외부 전원으로부터 D.C. 및 단상 A.C.를 공급받는 복합시스템 차량
- 내연기관에 의한 구동된 발전기와 독립전원(축전지 혹은 다른 저장전원)에 의해 견인전동기

를 구동하는 차량

시험 종류는 안전운행시험 및 승차감 시험, 곡선선로 및 경사도 변화가 있는 선로상의 운행시험, 집전장치 시험, 기동 및 가속 시험, Line Braking 시험, 속도조절 및 자동열차 보호시스템(ATP)시험, 인터페이스 시험, 견인력 및 제동력시험, 운행저항시험, 소비전력 측정시험, 규정운행스케줄에 대한 확인, 장애와 전압 급강시험, 과부하장치 동작시험, 내부 과전압 확인시험 등 14종의 시험항목이 있다.

## 5.2 UIC 610

UIC 610규격은 다음과 같은 적용차량을 대상으로 한다.

- D.C. 전기관차, 및 단상 A.C. 전기관차
- D.C. 및 단상 A.C. 복합시스템(multi-system)전기관차
- Motor coach(상업수송의 목적으로 견인전동기가 설치된 임의의 차량)

시험종류는 전반적인 시험 및 기계관련 시험 부문에 치수시험, 중량시험, 압축공기장치에 대한 전반적인 공기누설관련 시험, 제동시험, 차체와 외부에 설치되는 박스류의 sealing을 위한 시험, 곡선 및 shunting humps 주행시험, 제동시험, 작업조건 및 기상확인, 안전장치시험, 안전운행시험, 전류 집전장치시험, 주행저항시험 등 13종이 있다.

전기관련 시험 부문에 전기장치 조립품시험, 절연시험, 회귀회로 연속성확인, 충동전압 내력시험, 보조기류류 운행시험, 견인력시험, 기동 및 가속시험, 전자파 간섭 및 이상전압 시험, Line short-circuit 시험, 차량short-circuit 및 과부하시험, 내부 과전압level 확인, 축전지 충전기능 확인, 스위치기어 동작시험, 전기제동시험, 전력소비시험, 정격운행스케줄 확인 등 16종이 있다

## 5.3 JIS E 6004

전기관차 및 전차의 일반적인 성능치 및 그 상호관계를 구하는 일반적인 시험방법에 대하여 규정한다. 이 규격에서 규정한 전차는 주로 보통철도, 현수식(懸垂式)철도, 과좌식(跨座式)철도 및 안내궤조식(案内軌條式)철도에 이용하는 차량이다.

시험종류는 일반주행성능시험, 가속성능시험, 제동성능시험, 진동특성시험, 대차주행성능시험, 주행저항시험, 냉난방의 온도/환기 특성시험, 조도특성시험, 차내소음시험, 집전성능시험, 유도장애 시험 등 11종이 있다.

## 6. 철도시스템별 시험항목 비교 분석

기존철도 시운전시험 사례, 기존선 고속화 시험사례, 국내의 고속철도 시운전 시험사례 및 표준규격(IEC, JIS 및 UIC)에 제시된 시험항목에 대한 조사 및 분석을 통하여 8개의 성능에 대하여 27종류의 시험항목으로 정리될 수 있다.

국내 전동차의 경우는 34종(본선시운전), 일본381 열차는 11종, 기존열차 시험매뉴얼에는 7종, KTX는 21종, 일본 신간선 500계는 12종, 미국 AMTRAK사의 틸팅차량인 X2000적용의 경우는 14종, IEC 1133은 19종, JIS E6004는 13종, UIC 610은 15종의 시험을 실시하도록 되어 있다. 표준규격에서의 시운전시험은 철도시스템에 대하여 일반적이고 보편적이며 필수적으로 수행하여야 하는 시험에 관하여 언급하였다.

고속철도 및 기존철도의 시운전시험 사례에서는 표준규격에 나타난 시험을 일률적으로 동일하게 적용하지 않고 개발된 철도시스템이 설계시방에 대한 적합성여부를 평가하기 위하여 개발자 및 운영자들의 경험을 바탕으로 표준규격을 수정하여 그들에 맞는 시운전시험을 수행하였다. 각각의 시운전 시험사례에 대하여 시험항목을 표 2에 비교하였다.

표 2 기존철도 및 표준규격, 고속철도별 시험항목 비교

번호	시 험 항 목		기존철도별			표준 규격별			고속철도별		
			국내 전동차	일 본 381열차	기존 철도 시험메뉴얼	JIS E6004	IEC 1133	UIC 610	KTX	일본 500계	미국 AMTRAK
1	역행성능	기동/가속시험	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		주행저항시험	○	-	-	○	○	○	○	-	-
		견인력시험	-	○	-	-	○	○	○	-	○
2	주행 안전성	진동특성시험	○	○	○	○	-	-	○	○	-
		대차주행성능시험	-	○	-	○	-	-	-	○	-
		안전운행시험	-	○	○	-	○	○	○	○	○
3	제동성능	제동성능시험	○	-	○	○	○	○	○	○	○
		제동력시험	-	○	-	-	○	-	○	-	○
4	집전성능	집전성능시험	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		장애/전압급강시험	-	-	-	-	○	○	-	-	-
5	전기 신호성능	유도장애시험	○	-	-	○	○	-	○	-	○
		속도제어/자동열차	○	○	○	-	○	-	○	○	○
		보호시스템시험	-	-	-	-	○	-	-	-	-
		인터페이스시험	-	-	-	-	○	-	-	-	-
6	환경 관련성능	냉난방 온도/환기성능시험	○	-	-	○	-	-	○	○	-
		조도시험	-	-	-	○	-	-	○	-	○
		차내의 소음시험	○	-	-	○	-	-	○	○	-
		승차감시험	○	○	○	-	○	-	○	○	-
7	통합성능	주행성능시험	○	○	-	○	○	○	○	○	○
		소비전력시험	-	-	-	○	○	○	○	-	○
		Trip time 시험	○	○	-	○	-	-	○	○	○
		곡선/경사선로 운행시험	-	-	-	-	○	○	○	-	○
		운행계획에 따른 운행시험	○	-	-	-	○	○	○	-	-
		선로구축물과의 간섭확인시험	-	-	-	-	-	-	○	-	-
8	기타성능	과부하장치 동작시험	○	-	-	-	○	○	-	-	-
		내부과전압 확인시험	-	-	-	-	○	○	-	-	○
		보조전원 운행시험	○	-	-	-	○	○	-	-	-
		안전장치시험	-	-	-	-	-	○	○	-	-

각각의 시운전 시험사례를 비교·검토해 보면 기존철도 시운전시험 사례의 경우, 기동/가속시험, 진동특성시험, 집전성능시험, 속도제어/자동열차보호시스템, 승차감시험 등 5종류의 시험을 모든 시운전사례에서, 안전운행시험, 제동성능시험, 주행성능시험, Trip time 시험 등의 4종류는 3개 시운전사례 중 2개에서, 견인력시험, 대차주행성능시험 등 18종류는 3개 시운전사례 중 1개 이하의 사례에서 시험을 하였다.

고속철도 시운전시험사례의 경우, 기동/가속시험, 안전운행시험, 제동성능시험, 집전성능시험, 속도제어/자동열차보호시스템시험, 주행성능시험, Trip time 시험 등의 7종류는 모든 시운전사례에서, 견인력시험, 진동특성시험, 제동력시험, 유도장애시험, 냉난방 온도/환기 성능시험, 조도시험, 차내 외 소음시험, 승차감시험 소비전력시험, 곡선/경사선로 운행시험 등의 10종류는 3개 시운전사례 중 2개에서, 주행저항시험, 대차주행성능시험 등 10종류는 3개 시운전사례 중 1개 이하에서 시험을 한 것을 알 수 있다.

표준규격의 경우, 3개 규격에 공동적으로 규정되어 있는 시험항목은 기동/가속시험, 주행저항시험, 제동성능시험, 집전성능시험, 주행성능시험, 소비전력시험 등의 6종류이며, 2개 규격에 규정되

어 있는 시험항목은 견인력시험, 안전운행시험, 장애/전압급강시험, 유도장애시험, 곡선/경사선로 운행시험, 운행계획에 따른 운행시험, 과부하장치 동작시험, 내부과전압 확인시험, 보조전원 운행 시험 등의 9종류이며 진동특성시험, 대차주행성능시험 등 12종류의 시험이 1개의 규격 이하에서 규정되고 있다.

## 7. 결론

앞 절의 분석을 토대로 기동/가속시험, 안전운행시험, 제동성능시험, 집전성능시험, 주행성능시험 등은 각 철도시스템별 2개 이상의 시운전사례에서 시험을 실시하여 그 중요도가 큼을 알 수 있다. 그리고 속도제어/자동열차보호시스템시험 및 승차감시험의 경우는 표준규격에서는 중요도가 낮게 나타나고 있으나 기존철도 및 고속철도 시운전시험사례 경우에는 중요도가 높은 것으로 나타나서 이것은 개발자가 개발한 시스템에 따라 그 특성에 맞게 시운전시험을 하고 있음을 알 수 있게 된다. 철도시스템별 열차성능 및 시험평가 항목 비교 검토를 목적으로 본 연구에서 수행한 연구결과는 다음과 같다.

1. 기존철도 시운전시험 사례, 기존선 고속화 시험사례, 고속철도 시운전 시험사례 및 표준규격 (JIS, IEC 및 UIC)에 제시된 시험항목에 대한 조사 및 분석을 통하여 8개의 성능에 대하여 27 종류의 시험항목으로 분류됨을 알 수 있는데, 국내 전동차의 경우는 34종, 일본381전차는 11종, 재래열차 시험매뉴얼에는 7종, TGV-K는 21종, 일본500계 고속열차는 12종, 미국 AMTRAK사의 탈딩차량인 X2000적용의 경우는 14종, IEC 1133은 19종, JIS E6004는 13종, UIC 610은 15종의 시험을 실시하도록 되어 있다
2. 여러 종류의 철도시스템(기존철도, 기존선 고속화, 고속철도)에 대한 시운전 시험항목과 표준규격에 제시된 시험항목을 비교분석 한 바, 기동/가속시험, 집전성능시험, 제동성능시험, 주행성능시험, 안전운행시험 등 5개종류의 시험이 9개의 시험사례 중 7개 이상의 시험사례에서 시험을 실시하여 중요한 시험임을 알 수 있어 이는 향후 새로운 차량을 개발하여 시운전 시험을 실시할 경우에 적용을 고려하여야 할 시험항목으로 제시한다.

## 참 고 문 헌

1. ICE/V 개발계획(차륜/궤도 시험 및 시제차량 개발계획), DB, BMFT
2. X2000 U.S. Demonstration Vehicle Dynamics Tests Final Test Report Nov. 1993 Final Report, U.S. Dept. of Transportation Federal Railroad administration
3. 고속전철 열차시험 및 성능평가기술개발(1단계 보고서), 1999. 10. 철도기술연구원
4. JIS E 6004(전기차 성능 시험 통칙), 1992
5. International Standard IEC 1133, first edition, 1992-11
6. UIC 610 O (Rules for the Testing of Electric Rolling Stock on Completion of Construction and before Entry into Service)
7. 철도차량의 승차감 측정방법, 철도기술연구보 제23권 제1호 1989
8. 열차성능 시험 및 평가기술개발 철도청 보고서, 2002. 3, 철도기술연구원