

고속열차 추진성능 시험평가

A Study of Test and Evaluation of Traction Performance for High-speed Train

이태형† 한인수* 박찬경** 조홍식* 박춘수** 손경소***
Tae-Hyung LEE In-Soo HAN Chan-Kyung PARK Hong-Sik JO Choon-Soo PARK Kyung-So SOHN

ABSTRACT

The rolling stock have to be tested and evaluated on test line before entry into service. The test items consist of traction performance, braking performance and current collection performance, etc. This paper is a study of defining the test items considering the domestic safety law, IEC 61133 and describes how to establish a test measurement system. Also this paper presents how to conduct the traction performance test and test results.

1. 서론

고속열차를 영업운행하기 위해서는 사전에 시운전을 통해 추진성능, 제동성능, 집전성능, 승차감 등에 대한 시험평가를 수행해야 한다[1,2]. 이를 통해 제작 완료한 고속열차가 당초 설계한 성능과 기능을 만족하는 것을 확인하는 한편 승객을 안전하게 수송할 수 있는가를 검증해야 한다. 특히 추진성능은 고속열차의 주요 장점인 고속주행을 위해 반드시 검증을 수행해야하는 항목이다.

고속열차 국내 영업운전과 관련하여 철도안전법과 IEC61133에서 제시하는 시험항목 그리고 운영기관의 요구사항을 총망라한 시험항목을 구성해야 한다. 이 과정에는 KTX를 대상으로 수행한 동적 인수시험 절차와 Qualification 시험 절차, 한국형 고속열차를 대상으로 수행한 고속성능시험 절차와 안정화시험 절차를 포함시켜 종합적인 검토가 이루어져야 한다. 또한 각 시험항목에 대한 시험기준, 시험환경, 시험조건을 시험절차서에 정확히 기술해야 한다. 한편 확정된 시험항목에 대한 시운전 시험데이터를 취득할 수 있는 계측시스템과 평가방법이 명확하게 기술되어야 한다.

본 논문에서는 가속도시험과 최고속도시험으로 구성되는 추진성능 시험평가를 중심으로 시험을 위한 시험항목, 시험환경, 시험조건, 시험기준을 설정한 과정 그리고 시험평가를 수행하기 위한 계측시스템 구성과 실제 시운전 시험결과, 각 시험기준에 대한 평가 결과를 제시하였다.

2. 본론

2.1 시험절차 수립

추진성능 시험평가를 위한 시험절차 수립을 위해 우선 철도안전법과 IEC61133, KTX 동적 인수시험

† 정회원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도사업단, 선임연구원
E-mail : thlee@krri.re.kr
TEL : (031)460-5624 FAX : (031)460-5649
* 정회원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도사업단, 선임연구원
** 정회원, 한국철도기술연구원, 차세대고속철도사업단, 책임연구원
*** 정회원, 한국철도공사, 철도연구원, 차장

절차, KTX Qualification 시험 절차, 한국형 고속열차 고속성능시험 절차, 한국형 고속열차 안정화시험 절차를 검토하여 가속도 시험과 최고속도시험의 2가지 시험항목을 도출하였다. 가속도 시험은 다시 가속도 측정과 300km/h 도달시간 및 주행거리 측정으로 구분하였다. 한편 상기에서 열거한 자료를 참고하여 시험조건과 기준을 도출하고 운영기관과 협의하여 표 1과 같이 확정하였다. 아울러 한국형 고속열차와 KTX에 대한 시험절차 비교를 표 2, 3에 정리하였다.

표 1 시험항목, 시험조건 및 시험기준

시험항목	시험조건 및 시험기준
가속도 측정	① 4MB 동작 ② 100% 견인, 0에서 60km/h까지 ③ 시험기준 가속도 $\geq 0.45 \pm 5\%$ [m/s^2]
300km/h 도달시간 및 주행거리 측정	① 4MB 동작 ② 100% 견인, 0에서 300km/h까지 ③ 시험기준 주행시간 $\leq 316 \pm 5\%$ [초] 주행거리 $\leq 16.4 \pm 5\%$ [km]
최고속도도달시험	0~330km/h 도달가능성

표 2 한국형 고속열차 사례

시험항목	시험조건 및 시험기준
견인력곡선 측정	① 6MB 동작 ② 100% 견인 0에서 300km/h까지 ③ 합격 조건 : 측정견인력 \geq 설계견인력
가속도 측정	① 6MB/5MB 동작 ② 100% 견인 0에서 300km/h까지 ③ 합격 조건 6MB : 가속도 $\geq 0.80 m/s^2$ (10~15km/h) 가속도 $\geq 0.30 m/s^2$ (280~300km/h) 5MB : 가속도 $\geq 0.70 m/s^2$ (10~15km/h) 가속도 $\geq 0.25 m/s^2$ (280~300km/h)
주행시간과 주행거리 측정	① 6MB 동작 ② 100% 견인 0에서 300km/h까지 ③ 합격 조건 200km/h까지 : 주행시간 < 79초, 주행거리 < 2.435km 300km/h까지 : 주행시간 < 146초, 주행거리 < 7.100km
최고속도도달시험	① 견인력 곡선 측정 ② 가속도 측정 ③ 주행시간과 주행거리 측정 ④ 최고속도 측정 ⑤ 궤도 및 교량 안전성 평가 ⑥ ATC 정보 수신 확인

표 3 KTX 사례

시험항목	시험조건 및 시험기준
견인력곡선 측정	① 6MB/5MB, PFC 모두 동작 ② 100% 견인 0에서 300km/h까지 ③ 합격 조건(30~300km/h범위에서) 측정견인력 ≥ 설계견인력
가속도 측정	① 6MB/5MB, PFC 모두 동작 ② 100% 견인 0에서 300km/h까지 ③ 합격 조건 6MB : 가속도 ≥ 0.47m/s ² (10~15km/h) 가속도 ≥ 0.073m/s ² (280~300km/h) 5MB : 가속도 ≥ 0.41m/s ² (10~15km/h)
주행시간과 주행거리 측정	① 6MB, PFC 모두 동작 ② 100% 견인 0에서 300km/h까지 ③ 합격 조건 200km/h까지 : 주행시간 < 160초 주행거리 < 5km 300km/h까지 : 주행시간 < 365초 주행거리 < 20km
모터전류 측정	① 6MB/5MB ② 100% 견인 0에서 300km/h까지 ③ 합격 조건 120km/h 6MB 모터전류 ≥ 1150±100A 250km/h 6MB 모터전류 ≥ 930±100A 70km/h 5MB 모터전류 ≥ 1200±100A 250km/h 5MB 모터전류 ≥ 930±100A
모터블럭 전환 확인	합격 조건 : 120km/h에서 강제전환에서 자연전환 확인
주행시간과 주행거리 측정	300km/h까지 : 주행시간 < 365초 주행거리 < 20km
최고속도도달시험	① 제동 성공 여부 ② 주행 후 제동실린더 및 디스크 육안 검사

2.2 계측시스템 구축

가속도 시험항목으로 선정된 가속도 측정과 300km/h 도달시간 및 주행거리 측정을 위해서는 차량속도를 측정하고 이로부터 가속도와 거리를 계산하여야 한다. 차량속도를 측정하기 위해 그림 1과 같이 모터블럭 제어기의 출력카드로부터 신호를 인출하고 터미널 보드를 경유하여 통합 시험계측기에서 1kHz 샘플링 주파수로 속도신호를 모니터링하는 한편 저장하도록 하였다.

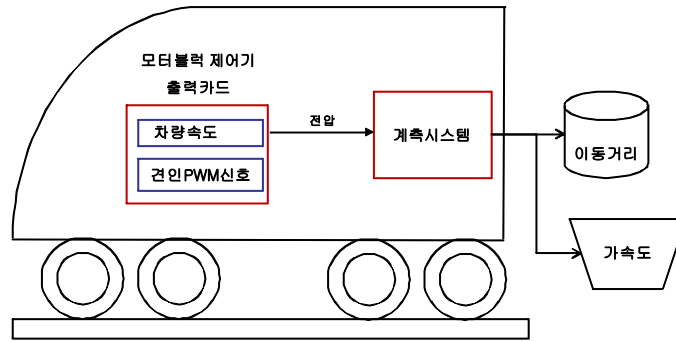


그림 1 계측시스템 구성도

2.3 시험결과

상기 시험절차와 계측시스템을 사용하여 고속선에서 하행방향으로 가속도시험을 수행하고 그 결과를 정리하면 아래 표 4와 같으며 정차상태에서부터 열차속도가 60km/h에 도달하는 구간의 시험데이터를 그림 2와 3에 정리하였다. 그림 2에서 위에서 아래로 견인율, 차량속도, 차축속도, 이동거리를 의미하고 그림 3에서는 차량속도와 차축속도를 의미한다. 한편 최고속도시험 결과를 표 5에 정리하였으며, 시험구간에 대한 시험데이터를 그림 4와 5에 정리하였다. 그림 4와 5에서 위에서 아래로 견인율, 차량속도, 차축속도, 이동거리를 도시한 것이다.

표 4 가속도 시험 결과

순서	검사항목	검사 내용 및 기준	결과
1	가속도	속도 60km/h 이하에서 $a \geq 0.45 \pm 5\% (m/s^2)$	0.46
2	300km/h 도달시간 및 주행거리 측정	$t \leq 316 \pm 5\% (sec)$	301.14
		$S \leq 16.4 \pm 5\% (km)$	16.08

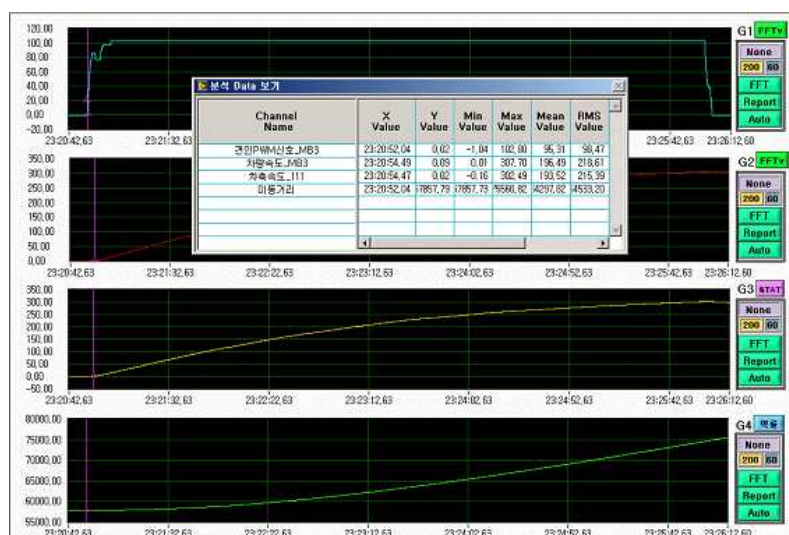


그림 2 가속도측정시험 정차 상태

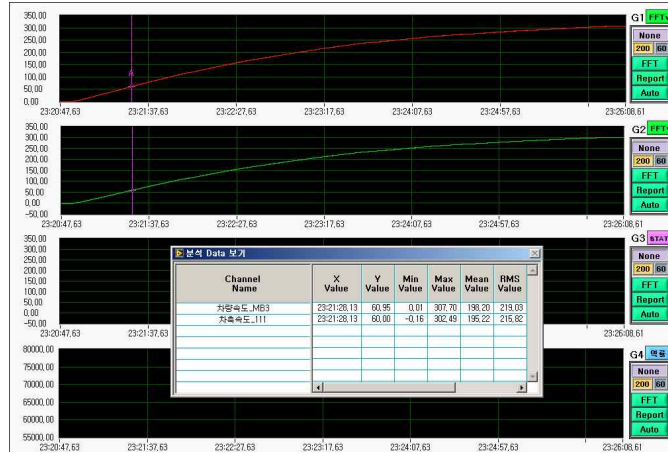


그림 3 가속도측정 60km/h 도달 상태

표 5 300km/h 도달시간 및 주행거리

0km/h		300km/h		도달시간	주행거리
출발시각	출발거리	도착시각	도착거리		
23:20:52.04	57857.79	23:25:53.18	73939.82	301.14	16.08

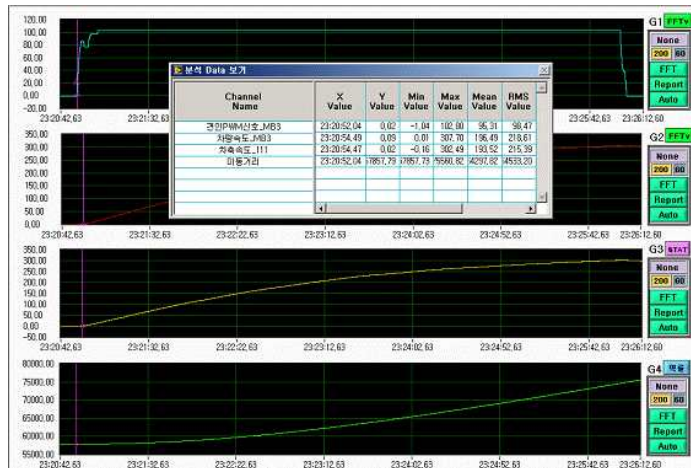


그림 4 300km/h 시험 정차 상태

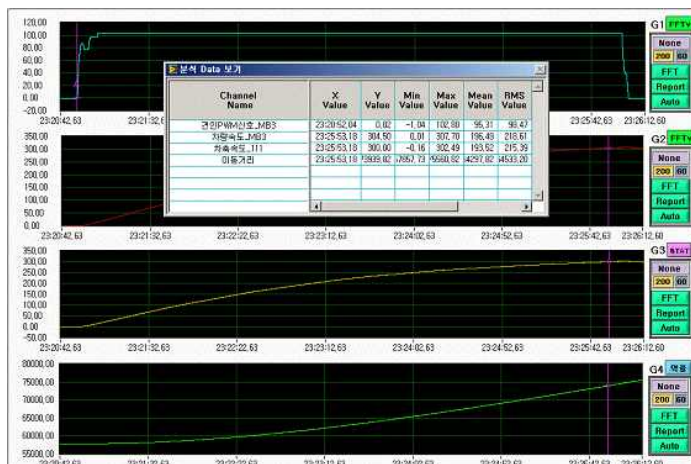


그림 5 300km/h 시험 300km/h 상태

3. 결론

고속열차 추진성능 시험평가를 수행하기 위하여 관련 규격 및 문서를 참고하여 시험항목, 시험조건, 시험기준으로 구성되는 시험절차를 수립하였다. 또한 시험평가를 수행하기 위한 계측시스템을 구성하여 시험절차에 따라 시험평가 수행을 통해 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 당초 목표로 했던 고속열차 추진성능을 시험평가할 수 있는 시험절차를 도출할 수 있었다.
- 시험항목에 대한 시험결과는 기준을 모두 만족함을 확인할 수 있었다.

시험기준은 고속열차에 대한 사전 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 도출한 것이었다. 향후 시험결과와 시험기준 사이의 차이에 대한 상세한 분석을 통해 시뮬레이션의 정확성을 높이는 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 철도차량 성능시험 시행지침(건설교통부 고시 제2005-441호)
2. IEC61133 Railway applications-Rolling Stock-Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service
3. IEC61377-1 Railway applications-Rolling Stock- Part 1: Combined testing of inverter-fed alternating current motors and their control system
4. 동적 인수시험 절차서(Dynamic Site Acceptance Test Procedure) 철도청 고속철도본부
5. Qualification Test Procedure Accelerating and Electrical Braking(Korea TGV Consortium, K611-1-E5230-RT+T-003)
6. Qualification Test Procedure Overspeed(330kph) Test(Korea TGV Consortium, K611-13-E5330-RA+T-087)
7. 한국형 고속열차 고속성능시험 추진제어장치 동적시험절차서(한국형 고속열차 시운전단)
8. 한국형 고속열차 안정화시험 가속성능 및 전기제동 동적시험절차서(한국형 고속열차 시운전단)
9. 한국형 고속열차 안정화시험 비정상운전시 가속성능 동적시험절차서(한국형 고속열차 시운전단)