

KHST 차량성능 시험에 대한 안전체계에 의한 분석

The Analysis on the Safety Plan of Train Performance Tests KHST

이찬우* 최성훈**
Lee, Chanwoo Choi, Sunghoom

ABSTRACT

The KHST vehicle, with the maximum speed of 350km/h, is being developed under the G7 national R&D project and we investigate the performance test procedure of the vehicle considering the safety plan. First, important issues in the safety plan for the KTX vehicle are reviewed and then they are reflected in the test procedure for the KHST vehicle.

1. 서론

본 연구에서는 G7 국가연구개발사업으로 수행되어 개발되어진 진 350 KM/H급 한국형 고속철도차량(KHST)에 대한 차량성능 시험 절차에 대한 것을 안전체계 관점에서 재분석하였다. KHST에 대한 안전체계 비교 검토 기준은 고속철도 안전기준 체계 검토 시 우선적으로 검토해야 하는 일반요건 및 시스템 특성 그리고 차량시스템 주요 안전체계 검토 시 검토내용 등을 2004년 국내에서 상업 운행에 들어가는 KTX 차량을 기준으로 하였다. 본 연구에서는 KTX 차량에서의 안전체계 주요 검토 사항을 KHST 차량에 대비하여 안전 체계관점에서의 KHST 차량의 향후 보완 연구해야 할 부분을 검토하였다.

2. 고속철도 안전기준 체계 검토 시 일반요건 및 시스템 특성

고속철도 안전기준 체계 기준 검토 시 우선적으로 검토해야 할 사항은 「일반 요건」 및 「시스템 특성분야」이다. 일차적으로 「일반요건」이라 함은 고속철도 시스템 운영으로 야기될 수 있는 사고와 인적·물적 피해를 방지하는 최소한의 안전규정을 들 수 있다. 특별히 「일반요건」에서는 고속철도 운영조건 및 운용구간에서 철도안전법 요건을 준수 했는가에 대한 검토가 선행되어야 한다. 한 예로 차량시스템 요구조건을 초과하거나 규정된 검사나 시험을 미 실시한 경우 열차 운영 자체가 불가하다는 것이다. 이는 운행서비스 준비를 실질적으로 하지 못한 경우이므로 해당 차량 및 해당노선에 대한 운영 중지를 내릴 수 있는 중요 사항이라 할 수 있다. 만일 이와 같이 「일반요건」를 만족하지 못한 상태에서 고속철도 시스템 운영으로 야기되는 사고와 인적·물적 피해시 민·형사상 처벌을 받을 수 있도록 하는 것이 일반적이다. 따라서 고속철도 안전기준 체계 검토 시 우선적으로 검토해야 하는 사항이 바로 「일반요건」사항이다. 고속철도 안전기준 체계 검토 시 두 번째로 해야 하는 사항은 「시스템 특성」분야이다. 「시스템 특성」이라 함은 우선적으로 운영노선의 특징이라 할 수 있는 여객운송 전용 또는 화물운송 병행, 철도횡단로 및 건널목 설치관계, 철도선로 출입 입 출입구 배치, 철도선로변 유지보수 통로 설치, 운행속도에 적합한 곡선반경 및 구배, 철도 제해 상황 관련 품질특성 및 교량/터널 등 구조물의

* 한국철도기술연구원, 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원

안전특성, 궤도/시설 및 안전설비 배치 정보 그리고 비상 운행정지 장치 설치 등에 대한 것들을 안전기준 체계관점에서 적정 여부를 확인해야 한다. 또한 「시스템 특성」에서 두 번째로 검토해야 할 사항으로는 고속철도 시스템 측면에서 안전프로그램이 구축되어 있는가 하는가이다. 이를 위해서는 중요 안전 절차 및 위험의 정의, 분석, 해결을 위한 문서화 된 안전프로그램 구축이 개발되어 있는가이다. 이를 통하여 긴급 상황 발생시 비상대응을 체계적으로 시행함으로써 승객과 승무원 그리고 고속철도 시스템 전반을 보호하고 피해를 최소화 할 수 있어야 한다. 마지막으로 검토해야 할 사항으로는 고속철도 시스템 전체의 안전운전을 증명할 수 있는 일련의 운영체계 및 설계시험(design test)의 개발, 구축 그리고 사용성 등을 일정 자격요건으로 제시하여야 한다. 실제로 KTX 차량인 경우에는 고속철도 안전체계 기준 검토 시 우선적으로 시행되어야 하는 「일반사항」 및 「시스템 특성」에 대해서는 KTX 차량 공급관련 계약 당사자인 KHRC(고속철도공단) 및 KTGVC(유코레일) 차량 제작 및 성능 검증관련 계약사항으로 명시되어 단계별로 철저한 검증을 실시한 것으로 평가되어진다. 더욱이 철도안전법(안) 제정 이전에 KTX 차량에 대한 제작이 착수했음에도 불구하고 안전관련 「일반요건」 및 「시스템 특성」 등을 전체적으로 잘 반영하여 차량제작 및 성능시험을 하고 있는 상태이다.

3. 고속차량 차량시스템 안전체계 주요 검토 사항

고속 열차의 차량시스템 안전체계 주요 검토사항은 다음과 같다. 열차의 전후 방향 운행 여부, 대차 종류, 동력차/궤차 배치 및 연결기 형태, 동력차 추진시스템 형태, 열차 제동시스템 안전요구, 열차 주행 중 축상 발열 탐지장치에 의한 베어링 온도 검출유무, 동력차/부수차의 충돌에너지 관리유무, 차량 성능에 영향을 주는 기능 고장 발생 검출장치 및 열차 안전 운행을 위한 fail-safe 설계에 의한 제어시스템 유무, 차체 전후방 충격 흡수구조 유무, 열차 비상 구난 시 안전하게 구출할 수 있는 구조유무 그리고 기관차 운전실에서의 운행안전성, 시야확보, 제어기/계기판 가시성 및 제어기의 접근성, 환경제어, 소음 제어, 기관차 행동 감시시스템 등이 차량 시스템 안전체계 검토 시 기본적인 검토사항으로 볼 수 있다. 이들 사항에 대해서는 차량설계 단계에서 Virtual 시스템에 의한 성능 검증이 1차적으로 시행된 후 제작 단계에서부터 주요 구성품 및 서브시스템별 설계·제작 시험이 필수적이다. 주요 구성품 및 서브시스템에 대한 설계·제작 시험 이후 차량전체 조립체 단계로 성능 검증 시험을 실시한 후 차량 편성에 대한 따른 시스템인터페이스 시험 및 열차 제동시스템 시험 등을 구내에서 저속으로 움직이는 상태에서 검증 시험이 이루어져야 한다.

또한 이들 차량시스템 안전체계 검토 시 화재방지 프로그램, 소프트웨어 안전프로그램, 검사, 시험 및 유지보수 프로그램, 긴급 대응프로그램 등을 절차서에 의거하여 확인 및 승인하는 절차가 있어야 한다. 이를 통하여 고속차량의 운행노선 및 운용조건에 맞는지 유무를 확인 검증하는 차량 주행 안전성 평가를 안전하게 시행할 수 있는 단계별 안전 프로그램이 있어야 한다. 표 1에서는 KTX 차량에서의 고속차량 차량시스템 안전체계에서의 주요구분 별 안전체계 기준에 의거한 주요 점검 내용이 제시되어 있다. KTX 차량의 경우 핵심기자재 공급계약서에 의거하여 시험 및 시운전 계획 등을 공장 및 현장에서 수행되는 모든시험, 제조공정, 제조 및 인도일정, 상세 인터페이스 시스템 성능검증, 설계인증시험, 공장승인시험, 동적현장승인시험, 코어시스템 통합시험 전체를 시행토록 되어있다. 따라서 KTX 차량의 경우에는 상업운행을 전제로 제작되어진 차량이므로 차량의 주요성능평가 뿐만 아니라 차량의 안전체계 관점에서 단계별로 안전체계를 잘 갖춘 상태에서 제작되어 시험운행을 하고 있는 차량시스템이라 할 수 있다.

표 1 KTX 차량시스템 안전체계 주요구분 및 내용

구분	내용	비고
안전간격 요건	- 차량의 정적/동적 안전간격 및 장애물 안전간격	
열차 구조강도	- 만차 하중조건에서 충돌 및 전복 시의 구조강도	
충유리	- 외부 충격 성능 및 내장성능	
제동시스템	- UIC 541.05에 정하는 점착조건에서의 정지 성능(300KPH)	
대차 장치	- 주행안정성(탈선, 전복, 현팅), 차량진동 및 베어링과열 센서	
화재 안전	- 부수차/동력차 내장재의 인화성 및 연기방출 특성 - 과열감지기, 화염방지기, 화재자동억제시스템 등	
출입문	- 비상시 승객이 안전하게 탈출할 수 있는지 유무 - 출입문 상호쇄정/작동 및 수동 개폐 유무	
비상장비	- 비상 조명장치 및 열차 전체 비상 통신 장치 - 비상 측구 표시 및 위치	
운전실 설비	- 기관사가 쉽게 제어할 수 있는 구조이고 제어 판넬이 휴먼 에러가 최소화 될 수 있는 구조 - 운전실 정보 및 고장정보 디스플레이 설계 유무 - 충돌 및 탈선 시 운전실 기기/부품의 부착 임계 강도설계 - 차량의 각종 고장정보 및 운전정보를 자동모니터링 할 수 있는 시스템 구축 유무	
열차검사 및 유지보수 조건	- 차량에 대한 기준/절차서 등에 의거한 검사 프로그램 - 안전 중요항목 지정 별도 프로그램 - 검사, 시험 및 유지보수 프로그램(안전지침, 안전수행 절차) - 품질관리 프로그램 제정 및 교육/자격 프로그램 실시	

4. KHST 차량시스템 주행 성능에 대한 안전체계 검토

고속 열차의 차량시스템 주행 성능에 대한 안전체계 상 주요 검토사항은 다음과 같다. 우선 차량시스템에 대한 주행성능 검증은 본 선 주행 이전에 중요 구성품들의 모든 요구 성능이 기준조건을 만족하는지를 사전에 확인한 상태에서 이루어져야 한다. 이를 위해서는 최소 사전 운영자격 시험항목 등을 설정하여 각 항목별 검증시험을 거친 후에 본선 주행 시험을 하는 것이 고속차량의 안전성을 1차적으로 확보할 수 있는 것이다. KTX 차량의 성능시험은 주요 구성품 시험을 통하여 관련규격과의 적합성 판정을 고압장비 절연내력, 전자장비, 현가장치 구성품 등을 포함하여 주요 장치별로 시행토록 되어있다. 또한 차량 조합시험은 IEC1133을 적용하여 계약자와의 상호 협의에 의해 결정된 장소에서 개별 유닛으로 주요치수, 각종 기능시험, 차량 중량, 절연시험 등을 실시토록 되어있다. 차량 조합시험 이후에는 IEC1133에 의거하여 완성차 시험을 정지상태, 운전상태로 구분하여 시험을 실시토록 되어있다. 완성차 시험이후에는 본선 시운전 시험을 IEC1133에 의거하여 정지상태와 운전상태(300KPH)로 구분하여 시험토록 되어있다. 본선 시운전 주요 시험 항목은 정지상태에서 신호, 제어, 보조 동력을 포함한 열차 편성 시험, 견인제동, 공기누설, HVAC, 견인제어, 배터리 충전기 등을 실시한 후 운전상태에서는 압력기밀 시험, 소음, 승차감, 팬터그래프, 추진시스템, HVAC시스템, 동력제어시스템, 보조전기시스템, 운전실 신호 및 각종 감시장치, 비상장치 안전성 검토 등을 실시토록 되어있다. 더욱이 KTX 차량의 성능시험은 본선시운전 시험이후에도 50,000KM 상업운행 시험을 통하여 신뢰성 시험을 실시토록 되어있다.

이에 비해 G7 차량인 KHST 차량의 경우에는 고속전철 차량의 독자적인 설계 및 제작을 통한 고속전철 차량시스템 전반에 걸친 독자적인 기술 확보가 주된 사업이다. 따라서 KHST 차량의 경우에는 KTX 차량과는 기본적으로 차량시스템 주요성능 검증이 상이할 수밖에 없다.

KHST 차량의 차량성능 검증 및 안전체계 시스템에 대한 접근은 G7 연구 사업에 걸맞게 차량시스템 개념설계를 통한 주요사양 결정, 차량시스템 기본편성안 도출을 위한 주요 사항 검토, 개념·기본·상세 설계를 통하여 주요 구성품에 대한 시제품 제작 및 시제품에 대한 요구 성능 시험 등을 단계적으로 실시할 수 있도록 하였다. 또한 개발되는 KHST 차량의 단계별 성능검증 및 주요 시스템의 안전성 및 신뢰성 확보를 위하여 차량시스템 및 부품의 시험평가 체계 구축, 시험절차 확립, 개발부품 및 서브시스템의 개발시험 평가관리체계 구축, 공장 내 시험 및 본선 시험 지원 등을 할 수 있는 체계로 개발이 진행되어 왔다. 이러한 개발 체계 및 성능 검증은 고속차량의 안전요구 기준이나 안전체계를 먼저 수립한 후 제작되어지는 KTX 차량과는 근본적으로 접근 방식이 다를 수 있다.

KHST 차량의 경우에는 본선 시운전을 통하여 주행안전성 분석을 위하여 탈선시험, 진동시험, 승차감시험, 제동성능 시험 등을 국제기준 및 KTX 차량본선 시험에 적용하는 기준을 적극 반영하여 종합 시운전을 진행하여 개발품에 대한 주요 구성품의 성능 및 시스템 안정화를 통한 신뢰성 확보를 위한 방식으로 진행되고 있다. 다시 말해 KTX 차량과 같이 상업 운행에 투입되는 차량의 성능시험 평가 및 기준은 고속철도 시스템의 안전체계 관점에서 접근되고 있는데 비해, KHST 차량과 같이 연구 개발을 통한 고속철도 시스템의 독자적인 기술력 확보를 위해 제작되어진 차량의 시험 평가는 안전체계 관점에서 보면 많은 보완이 요구될 수 있다. 특히 차량성능 중심에서 상업 운영 시 예상되는 안전 측면에서의 상세 기준 검토, 절차수립 및 평가시스템 체계 구축은 향후 2단계로 수행되고 있는 고속철도기술개발 사업을 통하여 지속적인 연구가 이루어 져야 할 것으로 평가 되어진다.

5. 결론

본 연구에서는 G7 국가연구개발사업으로 수행되어 개발되어진 KHST 차량에 대한 차량성능 시험절차에 대한 것을 안전체계 관점에서 재분석하였다. KHST 차량에 대한 비교 대상 차량은 KTX 차량으로 하였다. KTX 차량의 차량시스템에 대한 성능시험 및 안전기준 체계는 KTX 차량 공급관련 계약 당사자간의 계약사항으로 명시되어 단계별 철저한 검증 하에 차량 제작 및 성능시험평가, 안전 체계에 대한 적합성 시험을 실시한 것으로 나타났다.

이에 비해 G7 사업으로 제작되어진 KHST 차량의 경우에는 연구 개발을 통한 고속철도 시스템의 독자적인 기술력 확보가 최우선 순위가 되므로 안전체계 관점에서 보면 많은 시스템 검증 및 신뢰성 평가가 지속적으로 이루어 져야 한다. 특히 차량성능 중심에서 상업 운영 시 예상되는 안전 측면에서의 상세 기준 검토, 절차수립 및 평가시스템 체계 구축은 향후 2단계로 수행되고 있는 고속철도기술개발 사업을 통하여 지속적인 연구가 이루어 져야 할 것으로 평가된다.

참고문헌

1. 왕종배 외(2003), "고속철도 성능기준 및 안전체계 기술개발 연구보고서", 한국철도기술연구원