

고속화물열차 화물안전보안 기술요구사항 검토

한성호*
한국철도기술연구원*

Review of technology requirements of safety, security cargo for High speed freight train

Seong-Ho Han*

High-speed railroad systems research center, Korea railroad research Institute*

Abstract - This study presents the review of technical requirements of safety and security for the developed high-speed freight train which will be serviced on the existing route of the high-speed line. There is no any experience to make a system design of high-speed freight train in Korea until now. We need to make a new regulations of commercial service.

1. 서 론

본 연구는 고속화물열차의 화물안전성 및 보안성 기술요구사항서(안)를 수립하여, 고속화물열차의 안전한 이송을 위한 화물 이동설비, 고정설비 등에 대하여 기술사항을 정의하여, 고속화물열차 설계 및 제작기술에 적용하고자 한다.

이를 위하여 2층 고속여객열차, 복합화물열차 및 고속화물열차 기술개발에 대하여 지금까지 수행한 연구개발내용, 주요 차량 및 설비의 요구사항 및 기술사항서의 자료를 기초로 활용하였다.

또한 국내의 고속화물열차 운행현황에 대한 사례를 조사하여, 차량시스템 기술사항서(안) 작성에 활용 및 참고 하였다. 특히 해외의 고속화물열차의 운영사례는 프랑스 TGV Postal, 유럽고속철도 네트워크에서 운영될 Euro Carex, 일본의 신간선 화물열차 등을 조사하였다. 국내의 경우는 2004년부터 고속화물열차가 의왕 ICD에서 부산까지 운행하고 있으며, 또한 2004에 상업운행을 시작한 KTX를 이용하여, 특송 서비스를 통해 고속화물을 수송하고 있는 것이 조사되었다.

아울러서 코레일의 KTX 산천, ITX 청춘, ITX 새마을열차 등의 구매사항서 자료를 조사와 고속철도 및 기존철도 운용을 위한 선로 및 환경조건에 대하여 고속화물열차의 차량시스템 신뢰성/안전성, 보안성 기술사항서(안) 작성에 활용하였다.

2. 본 론

2.1 고속화물열차 시스템 RAMS 기술사항

2.1.1 신뢰성 기술사항

1) 고속화물열차의 평균서비스고장거리(MKBSF; Mean Kilometer Between Service Failure)는 125,000 Train-km 이상이 되어야 한다. 서비스 고장 (Service Failure)은 다음을 포함한다.

가) 고속화물열차의 고장으로 인해 차량운행계획 대비 최종 차량이 종착역에 5분 이상 지연도착

나) 정비 불량으로 인한 것을 제외한, 차량고장으로 인해 계획된 영업 운행 철회

다) 영업운행 중 고장발생으로 인해, 운행선에서 편성의 교체
라) 중복(redundant) 경로 고장으로 인한 영업운전 지연

2) 신뢰성분석은 고장분류체계(FBS), 기능분석(FA), 예비치명도분석(PCA), FMECA, 수정영향분석(IMA), 임무개요분석(MPA) 등을 포함하여야 한다.

2.1.2. 가용성 기술사항

1) 고속화물열차의 가용성은 어떤 주어진 시점에 계획된 서비스를 수행할 수 있는 확률 값으로, 다음과 같이 계산한다.

$$\text{가용성(\%)} = \frac{\text{전체 차량의 총 영업운행 계획시간} - \text{차량서비스 고장정비시간}}{\text{전체 차량의 총 영업운행 계획시간}}$$

2) 가용성은 차량의 신뢰성과 유지보수성의 상호관계로, 설계 단계에서 충분한 신뢰성과 유지보수성의 확보를 통하여 가용성을 극대화 하도록 하여야 하며, 차량 가용성은 95% 이상이어야 한다.

2.1.3 유지보수성 기술사항

1) 고속화물열차의 유지보수성 분석은 보수성 할당, FMECA, 수정영향 분석, 유지보수성 예측 등이 포함되어야 한다.

2) 고속화물열차의 유지보수성의 보수정비는 열차단위 평균 MTTR 2.7시간 이내, 모든 보수정비 활동의 90%에 대해 최대 6.2시간이 되어야 한다.

2.2.1 시스템 안전성 기술사항

1) 시스템 안전성 분석

고속화물열차의 안전성 분석은 시스템식별(FBS), 사전위험요소분석(PHA), 하부시스템 위험요소 분석(SSHA), 수정영향분석(IMA), 시험영향분석(CSIA), 위험분석(HA), 고장나무분석(FTA) 등이 수행되고, 다음을 포함하여야 한다.

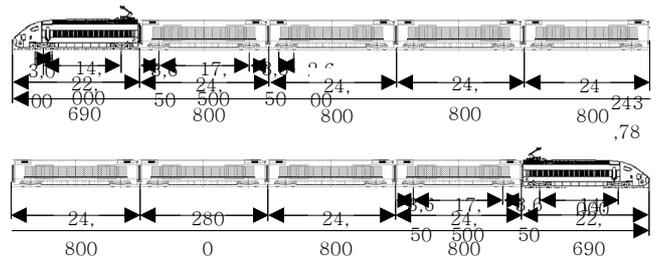
가) 사전 위험요소 분석(PHA)

- 고장으로 인해 "범주 I (Catastrophic) 위험요소" 수준의 사고를 일으킬 수 있는 아이템들을 결정하기 위해 실시한다.

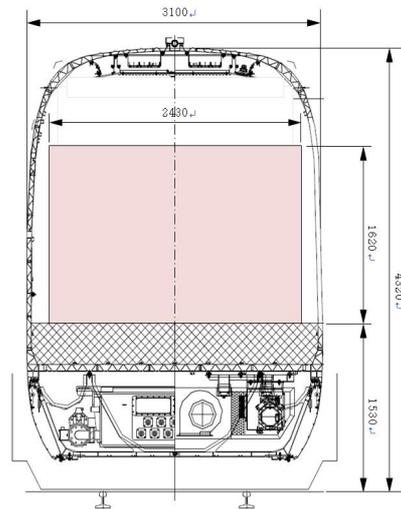
(범주 I (Catastrophic) : 설계 결함, 하부시스템 혹은 부품 고장, 공정 결함과 같은 작업 조건으로 인해 인명사상, 심각한 상해나 주요 시스템 손실을 야기함.)

나) 하부시스템 위험요소 분석(SSHA)

- 고장모드효과 및 상태분석(FMECA), 이를 사용해 신뢰성 분석 기간 동안 확인된 위험요소에 실시한다.



<그림 1> 고속화물열차 차량편성구성도(예)



<그림 2> 고속화물열차 차량단면도

2.2 고속화물열차 시스템 안전 및 보안장치 기술사양 검토

2.2.1 열차제어 및 보안장치

- 1) 차상컴퓨터는 차량 기능의 명령과 제어를 수행하기 위하여 설계되어야 한다.
- 2) 차상컴퓨터에 저장되는 고장기록은 ERP시스템과 상호 협조 하에 수정 보완하여 호환성 있게 사용할 수 있도록 한다.
- 3) 차상컴퓨터는 다음과 같은 역할을 수행하여야 한다.
 - 가) 차상컴퓨터는 차량의 상태 및 작동모드(서비스유지, 원격제어) 뿐만 아니라 차량의 일반적인 제어기능을 수행하여야 한다.
 - 나) 차상컴퓨터는 견인 또는 제동에 대하여 차량의 운전감시에 참여하여야 하며, 운행될 때 안전장치와 연계되어야 한다.
 - 다) 차상컴퓨터는 차량에 사용되는 회로의 명령과 제어에 참여하여야 한다. 이것은 고전압(단상교류 25kV), 보조전원회로, 저전압회로(72VDC) 및 공압회로 등의 제어에 참여하여야 한다.
 - 라) 차상컴퓨터는 운전(속도제한, 고장조치안내) 및 유지보수(고장기록)에 도움을 주어야 한다. 운행 중 차량의 상태를 기관사에게 알려주어야 한다.
 - 마) 차상컴퓨터는 적재화물 정보, 공기조화장치 조절, 조명명령, 화물도어제어 등의 서비스기능을 제어, 모니터 기능이 있어야 한다.
 - 바) 차상컴퓨터는 자기진단의 기능을 가지고 있어야 하며, 고장의 검지, 고장의 신호, 고장의 지장 및 적절한 처리를 할 수 있어야 한다.
 - 4) 차상컴퓨터의 처리장치 또는 제어장치(processing unit or control unit, 이하 처리장치라 한다)는 각 차량에 설치되어야 하며, 각 처리장치와 주변장치(주전력변환장치, 보조전력변환장치, 제동제어장치, 활주방지 제어장치 등)는 상호 연결되어야 한다.
 - 5) 차상컴퓨터는 운행 중 발생하는 주요고장 정보를 차량 무선통신장치를 통하여 실시간으로 관련부서 등에 자동으로 전송할 수 있어야 한다. 이때 전송시간 뿐만 아니라 차량에서 고장이 발생한 시각도 함께 전송되어야 한다.
 - 6) 차상컴퓨터는 고장정보 뿐만 아니라 축전지 ON/OFF, 고속선/기존선, 서비스유지, 원격제어 등 사건(Event) 정보도 기록·저장되어야 한다.
 - 7) 차량진단제어장치의 완성품은 설계내용을 평가할 수 있는 시뮬레이터에 의한 시험을 완료 후 차량에 설치하여야 한다.
 - 8) 차량진단제어장치(TDCS)는 미래 확장을 위해 처리용량의 한계에서 최소 15%이상 여유 용량을 확보하여야 한다.
 - 9) 차량진단제어장치는 신호장치 또는 속도연산장치로부터 차량주행 속도를 입력받아 주전력변환장치 및 제동장치 등으로 전송하여야 한다.

2.2.2 차상컴퓨터 구성

- 1) 처리장치는 각 차량에 설치되어 차량 운행과 관련된 제어, 명령 및 진단기능 등을 특성에 따라 처리 될 수 있어야 한다.
- 2) 차상컴퓨터의 모든 처리장치는 물리적으로 동일한 구조를 가지고 있어야 하며, 처리장치의 기능에 따라 특별한 역할을 수행하여야 한다.
- 3) 동력차에는 동력차 자체의 기능과 차량 전체의 제어 및 명령을 수행하는 처리장치가 설치되어야 하며, 이중보완(redundancy)기능이 있어야 한다.
- 4) 화물차에는 동력차에서 전송되는 명령처리와 화물차에 필요한 기능을 수행하기 위한 처리장치가 설치되어야 한다.
- 5) 각 처리장치는 네트워크(network) 형태로 연결되어야 하며, 각 차량에 설치된 주요 장치와의 인터페이스를 위하여 가장 적절한 연결방식을 사용하여야 한다.
- 6) 각 처리장치를 연결하는 네트워크 케이블은 철도차량 환경조건에 적절한 신뢰성을 가져야 하며, 이중계(redundancy)로 구성하여야 한다.

2.2.3 차상컴퓨터 주요기능

- 1) 동력차
 - 가) 동력차에 설치되는 처리장치는 차량의 전기 및 공압회로 시스템의 명령과 제어를 담당하여야 한다. 또한 운전 및 유지보수를 지원할 수 있는 운전실의 화면장치와 연결되어야 한다.
 - 나) 동력차에 설치된 처리장치의 기능은 다음과 같다.
 - 고압회로에 대한 감시와 현시, 차량의 원격제어, 절연구간 통과시 주차단기 모니터 기능 및 서비스유지 제어
 - 공기압축기 인버터고장 모니터링
 - 공압회로에 대한 주공기압축기 제어
 - 운전실 제어(공기조화장치, 화물차 도어, 조명 등)를 화물차로 전송하며, 승무원정보현시장치 관리
 - 차량 운전감시 및 명령에서 다른 동력차에 명령을 전송하고, 운행방향 감시, 집전장치 모니터 기능, 주차단기 모니터 기능, 모터블록의 성능저하, 트리프트 동력전달장치의 고장, 제동완해불능 및 차축 비회전을 알려주며, 1인제동시험 모니터 기능, 공기제동 파충기 모니터 기능, 동력차 살사 시스템 모니터 기능

- 운전 및 유지보수에서 고장처리 지원
 - 동력차 주요장치 화재 감시 및 신호
 - 기타 제어, 명령 및 진단에 필요한 기능
- 2) 화물차
 - 가) 화물차 처리장치는 각 화물차 배전반에 설치된다.
 - (2) 화물차 처리장치의 주요기능은 다음과 같다.
 - 공기조화장치 관리
 - 활주방지 및 차축 비회전방지 모니터 기능
 - 화물차 도어 모니터 기능
 - 대차불안정 검지
 - 방송장치 관리
 - 고장기록
 - 조명명령
 - 출발 전 1인 제동시험 참여
 - 제동 완해불능의 감시
 - 승무원정보현시장치 관리
 - 승무원을 위한 고장 현시
 - 화물차 화재 감시 및 신호
 - 기타 제어, 명령 및 진단에 필요한 기능

2.2.4 차상컴퓨터의 자기진단(self diagnostic)

- 1) 자기진단은 기동 단계와 동작 중 단계로 이루어져야 한다.
 - 가) 기동단계의 자기진단은 각 처리장치의 VME BUS 및 관련 보드(boards)들의 하드웨어 상태확인파와 각 처리장치내의 각 보드들의 연결 상태(layout)를 확인하여야 한다.
 - 나) 동작 중 단계에서는 네트워크, 입출력, 카드들 간의 내부 확인 등을 자기진단용 소프트웨어로 연속적으로 모니터링 하여야 한다.
 - 2) 자기진단 결과 에러 및 고장이 있는 경우, 고장 내용을 저장하여야 하며, 보드 전면 패널의 LED를 통하여 그 상태를 나타내어야 한다.

2.2.5 열차무선방호장치

- 1) 열차가 일반철도 운행 중 화재, 탈선, 추돌, 충돌사고 등이 발생하였을 경우 후속사고를 방지하고, 대피여객을 보호하기 위하여 동일선로와 반대선로를 운행하는 열차를 비상 정지시킬 수 있어야 한다.
 - 가) 차량에 설치되는 열차무선방호장치는 일반철도에 운용중인 열차무선방호장치와 상호 인터페이스 되어야 한다.
 - 나) 열차무선방호장치는 일반철도를 운행 시 동작 되어야 한다.
 - 다) 열차무선방호장치는 철도용품표준규격 “철도5820-3310라”에 따라 제작되어야 한다.

3. 결 론

본 연구는 국내에서 고속철도노선 및 고속화물 일반철도노선에서 운행이 가능한 최고운행속도 300km/h급 고속화물열차를 위한 안전성 및 보안성 관련 시스템 기술사양을 검토한 것이다. 화물의 수송에 있어서 안전성 및 보안성 확보는 매우 중요한 고려사항이므로 이를 위해 필요한 신뢰성, 유지보수성, 안전성, 가용성을 정의하고 이를 뒷받침할 시스템의 기술적 검토를 하는 것이 중요하다. 2004년 이후에 성공적으로 영업운행을 실시하고 있는 KTX전용선로를 경유하는 고속화물열차 수송서비스의 가능성은 낙후된 철도화물수송의 혁신을 도모할 새로운 대안으로 제시될 수 있을 것이다.

[감사의 글]

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(13RTRP-B067961-01)에 의해 수행되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] 민성기, “철도시스템엔지니어링 실무”, 시스템체계공학원, 2006
- [2] 한성호의, “1차년도 보고서 시스템통합 평가시스템 개발”, 한국철도기술연구원, 2014.06