

한국형 고속열차 신뢰성 시험평가 요건관리 체계 구축

Construction of Requirement Management Database for Test and Evaluation of High Speed Rollingstock 350 eXperimental

이태형*

박찬경**

강병모***

손광수***

Lee, Tae-Hyung Park, Chan-Kyung Kang, Byung-Mo Son, Kwang-Soo

ABSTRACT

A high-speed rail system represents a typical example of large-scale multi-disciplinary systems, consisting of subsystems such as train, electrical hardware, electronics, control, information, communication, civil technology etc. The system design and acquisition data of the large-scale system must be the subject under strict configuration control and management. This paper presents the results from systems engineering application to High Speed Rollingstock 350 eXperimental for management of test and evaluation.

1. 서론

고속철도 시스템은 차량, 기계부품, 전기, 전자, 제어, 정보통신, 토목기술 등이 종합적으로 적용되는 대형 복합 시스템의 하나로서, 시스템의 개발 요건이 체계적으로 관리되어야만 하는 전형적인 예라고 할 수 있다. 요건은 하위 계약자와의 계약조건에 반영될 뿐만 아니라 과제의 수행근거가 되며 시스템의 통합 검증의 근거로서 모든 개발단계의 기본사양이 된다. 고속전철 시스템 기술 개발 과제 자체가 크고 복잡하기 때문에 많은 하위 계약자(또는 과제)가 존재한다. 이러한 하위 과제에 적절히 시스템 요건과 작업을 분배하고 그 결과를 평가 검증할 수 있는 체계가 갖추어져야만 한다. 이를 통하여 전체 시스템의 통합 시 생길 수 있는 문제들을 사전에 고려하여 각 서브시스템에 반영할 수 있으며, 모든 하위 개발자들이 일관된 시스템 요건과 작업 목표를 가지고 일에 임할 수 있는 기초가 된다[1].

본 논문에서는 기존의 전후 참조 검증 표(Cross Reference Verification Table) 방법 대신에 전산지원 시스템엔지니어링 전산도구(CASE Tool, Computer Aided Systems Engineering Tool)를 사용하여 신뢰성 시험평가 요건관리 체계를 구축한 결과를 소개한다. 이를 위해 현재 고속선 및 기존선 구간에서 신뢰성시험과 안정화시험 중인 한국형 고속열차를 대상으로 사업초기부터 구축한 시스템엔지니어링 데이터베이스의 검증 요건 부분에 시험평가 내용을 입력하고 각 검증 요건과 추적성이 연결된 시스템 요건을 상호 분석한 결과를 제시한다.

* 정회원, 한국철도기술연구원 고속철도사업단 선임연구원

E-mail : thlee@krti.re.kr

TEL : 031)460-5624 FAX : 031)460-5649

** 정회원, 한국철도기술연구원 고속철도사업단 책임연구원

*** 비회원, 한국철도시설공단

2. 한국형 고속열차 시스템엔지니어링 데이터베이스[2, 3]

사업초기부터 CASE 도구를 사용하여 구축한 한국형 고속열차 시스템엔지니어링 데이터베이스(SEDB, Systems Engineering DataBase) 모형은 그림 1과 같다.

한편 요건의 탄생으로부터 시험 결과 및 판정에 이르기까지를 추적 관리할 수 있도록 SEDB 내부에서 요건관리 체계를 그림 2와 같이 구현하였다. 요건관리 체계는 다수의 구성 형태(Element Type)로 이루어진 스키마로 구성된다. 이들 스키마는 서로 연계성을 갖도록 관계(Relation) 구성 요소를 갖는다. 각 요소는 자신의 특성에 맞는 속성을 갖는다. 그림 2에서 SR(System Requirement)은 시스템 요건, PR(Prototype Requirement)은 시제차 요건, DR(Design Requirement)은 차량 설계 기준 요건, CR(Control System Requirement)은 제어시스템 요건, PER(Power car Electric system Requirement)은 동력차 전기시스템 요건, TER(Trailer car Electric system Requirement)은 객차 전기시스템 요건을 의미한다. SR을 기준으로 PR, DR, CR, PER, TER을 도출하였으며 상호 관계를 갖는다.

그림 3은 본 논문과 관련되는 검증요건 관리체계로서 검증 요건(Verification Requirement), 검증결과(Verification Result)와 검증방법(Verification Method)의 스키마로 구성되고 각각의 링크와 타겟은 다음 표 1과 2와 같다.

그림 4는 각 요건간의 추적성을 계층적으로 보여주는 것이다. 이를 통해 상위 요건을 충족하지 못하는 하위 요건을 도출하여 보완하고 상위 요건과 연결되지 못하는 하위 요건을 삭제하는 작업을 수행할 수 있다.



그림 1 한국형 고속열차 SE 데이터베이스

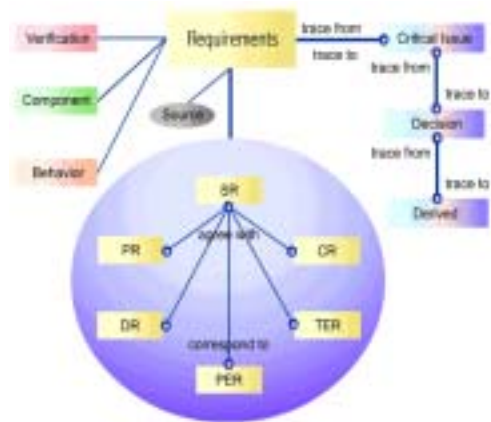


그림 2 한국형 고속열차 요건관리 체계



그림 3 한국형 고속열차 검증 요건 관리체계



그림 4 요건관리체계의 추적성

표 1 스키마 VR의 링크와 타겟

링크	타겟
verify	SR(System Requirement)
have verification method of	VM(Verification Method)
trace to	Test Result

표 2 스키마 Test Result의 링크와 타겟

링크	타겟
trace from	VR(Verification Requirement)
trace to	Decision

3. 신뢰성 시험평가 요건 관리 체계

3.1 기존의 전후 참조 검증 표 방법

기존의 전후 참조 검증 표(Cross Reference Verification Table)에 의해 요건과 이에 관련된 검증 요건을 상호 연계 시키는 방법을 사용하여 왔다. 표 3과 같은 전후 참조 검증 표는 시스템 요건을 검증하기 위해 검증 요건에 의해 사용되는 방법(검사, 데모, 시험, 시뮬레이션, 해석 등)을 포함한다. 이런 방법은 상당히 많은 반복적인 행위를 필요로 하며 노동 집약적인 단점을 갖고 있다. 즉, 시험 평가 계획 등에서 정의되는 검증 요건을 설계사양에 연계 시키는 작업을 사람이 직접 해야 하며, 요건에 변경이 있을 때마다 이런 작업은 반복되어야 한다. 또한 이렇게 완성된 것도 검증 내용과 검증 방법 이외의 것은 추적, 관리할 수 없다. 검증 방법과 검증 결과 등을 연계시키기 위해서는 추가적인 노력이 필요하게 된다. 따라서, 시스템 엔지니어는 대단히 많은 문서와 반복적인 행위라는 짐을 지게 된다.

표 3 기존의 전후 참조 검증 표

시스템요건번호	시스템요건이름	검증요건번호	검증요건이름	검증 방법
3.2.1.1	요건 A	4.2.1.1	요건 A	데모
3.2.1.2	요건 B	4.2.1.2	요건 B	시험
3.2.1.3	요건 C	4.2.1.3	요건 C	해석
3.2.1.4	요건 D	4.2.1.4	요건 D	검사
3.2.1.5	요건 E	4.2.1.5	요건 E	N/A

3.2 시스템엔지니어링 전산도구를 사용한 신뢰성 시험평가 요건관리 체계

CASE 도구는 Entity-Relation으로 이루어진 데이터베이스이다. 즉, 데이터베이스는 엘리먼트(element) 유형으로 이루어진 스키마(schema)로 구성되며 엘리먼트 유형(객체)은 다른 엘리먼트 유형과 관계(relation)를 갖는다. 예로, System Requirement라는 엘리먼트 유형은 또 다른 엘리먼트 유형인 PR, DR, CR, PER, TER와 agree with 또는 correspond to라는 관계를 갖는다. 엘리먼트 유형은 자신을 정의하는데 필요한 일련의 속성을 갖는다. 한편 CASE 데이터베이스는 핵심적인 스키마를 확장해서 새로운 엘리먼트 유형과 관계를 추가할 수 있다. 따라서, CASE는 소스 문서로부터 만들어진 요건으로부터 이들 요건을 검증하는 시험 결과를 연계하여 추적, 관리하는데 효과적으로 사용될 수 있다.

최근에는 군사적이거나 상업적인 환경에서 계약자가 요건을 설계 검증 시험이나 절차에 연계 시켜 관리하는 것이 요구되고 있다. MIL-STD-2167A에 의하면 “계약자는 소프트웨어 시험 기술 문서(MIL-STD-2167)에서 찾아낸 시험 사례를 만족시키는 소프트웨어 요구 사양과 인터페이스 요구 사양에서 요건의 추적성을 문서화해야 하며, 더 나아가 모든 요건은 문서화되어야 하고 시험 결과에 연계되

어야 한다”라고 적고 있다. 상업적인 분야에서도 요건 수립 초기 단계부터 이들 요건을 검증하는 결과까지를 추적하는 개념을 표준화해 왔다. IEEE P1220에 의하면 검증은 모든 요건이 분해와 할당 과정을 통해 추적되어서 부품, 컴포넌트 또는 하위 시스템의 검증 활동이 시스템 요건의 만족을 지원하도록 검증이 이루어져야 한다. 추가로, 검증 과정은 시스템 통합과 그 과정에서 요건에 제품이 부합하도록 보증하는데 필요한 시험 행위를 포함한다. IEEE-1220과 ISO9000에 따르면 공급자는 최종 제품이 규정된 요건을 만족시키는 명확한 증거를 위해 품질 계획이나 절차에 준해서 모든 시험을 수행하도록 하고 있다. 또한 공급자는 제품이 허용 기준을 만족시킴을 입증하는 필요한 모든 검사와 시험 증거와 기록을 유지해야 한다.

4. 사례연구

시스템엔지니어링 전산도구를 사용하여 구축한 신뢰성 시험평가 요건관리 체계의 한 사례를 보인다. 한국형 고속열차를 대상으로 수행하는 시험중 EMI/EMC 시험요건 관련 내용을 System Requirement (표 4), Verification Requirement(표 5), Verification Method(표 6), Verification Process(표 7), Equipment(표 8), Organization(표 9), Verification Result(표 10) 순서로 정리한 것이다. 그림 5는 시스템엔지니어링 전산도구를 사용하여 시험평가 요건관리 체계를 구축한 것이다.

표 4 EMI/EMC 시험과 관련되는 System Requirement

System Requirement
2.3.3.2 차량시스템의 EMI/EMC 전기, 전자 및 통신장치의 상호간 간섭이 없어야 하며 유도 및 복사에 의한 방사 때문에 기기의 운용이나 안전에 영향이 없어야 한다.
3.2.2.2.2 전기신호시스템의 EMI/EMC 모든 하부 생명장치는 fail-safe 장치이어야 하고, 서지전압, 뇌격을 포함한 이상전압, 전자파로부터 보호될 수 있어야 한다.
3.3.1.3 자동열차제어장치의 EMI/EMC 모든 중요 부품 및 회로구성은 fail-safe로 하고 낙뢰, 과전압 및 기타 전자파장해로부터 보호되어야 한다.

표 5 EMI/EMC 시험 Verification Requirement

Verification Requirement
9.1 EMI/EMC 시험 운영 요구사항과 동일한 조건과 차량 편성상태에서 유도, 방사, 전도하는 전자파가 기기의 운용이나 안전, 선로변 시설물에 미치는 영향을 평가한다.

표 6 EMI/EMC 시험 Verification Method

Verification Method
<p>9.1.1 차량내부 EMI/EMC 시험 차량내부에서 계측데이터 저장이 가능한 계측기를 사용하여 전기장치에서 전도 및 유도되는 고조파 전류와 방사하는 전계와 자계를 측정한다.</p> <p>9.1.2 차량외부 EMI/EMC 시험 차량외부 선로변에서 계측데이터 저장이 가능한 계측기를 사용하여 차량에서 방사하는 전계와 자계를 측정한다.</p>

표 7 EMI/EMC 시험 Verification Process

Verification Process
<p>9.1 EMI/EMC시험</p> <p>9.1.1 차량 정지상태 EMI/EMC 시험 차량 정지상태에서 전기장치에서 전도 및 유도, 방사하는 전자파를 측정한다.</p> <p>9.1.2 차량 주행상태 EMI/EMC 시험 고속선과 기존선에서 차량이 주행할 때 전기장치에서 전도 및 유도, 방사하는 전자파를 측정한다.</p>

표 8 EMI/EMC 시험 Equipment

Equipment
<p>전력분석기, 스펙트럼분석기, 안테나</p>

표 9 EMI/EMC 시험 Organization

Organization
<p>On-Board Manager, 전기장치 담당자, 시험자</p>

표 10 EMI/EMC 시험 Verification Result

Verification Result
<p>9.1.1 차량 내부 EMI/EMC시험 시험기준 : 등가방해전류 3.8이하(ITU Rec. G.223), 전계 3.5kV/m, 자계 83.3uT(ICNIRP) 시험결과 : 기준치 이하</p> <p>9.1.2 차량 외부 EMI/EMC시험 시험기준 : EN50121 시험결과 : 기준치 이하</p>

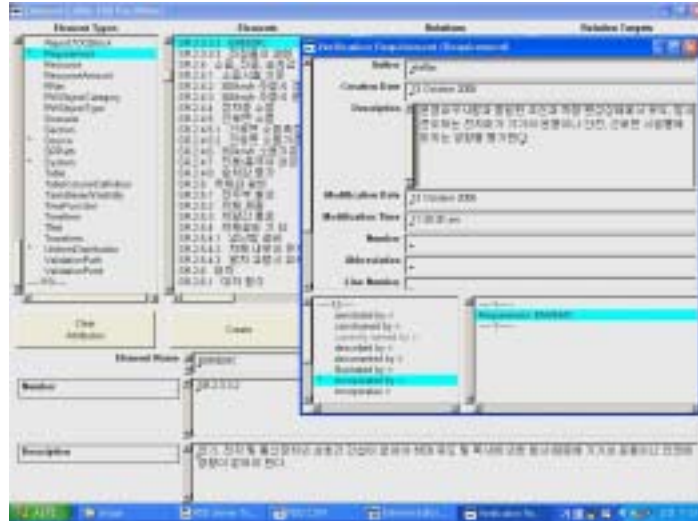


그림 5 시험평가 요건관리체계 구축 사례

5. 결론

한국형 고속열차 시운전시험 및 평가와 관련된 시스템엔지니어링 활동을 관리하기 위해 시험평가 요건관리체계를 기존의 전후 참조 검증 표가 아닌 전산지원 시스템엔지니어링 도구를 사용하여 구축하였다. 그 결과는 아래와 같다.

가. 설계 요건을 설계 검증시험까지 연계하여 추적성을 효율적으로 확보할 수 있었다.

나. EMI/EMC 시험 사례 연구를 통해 한국형 고속열차가 초기 EMI/EMC 설계 요건을 충족함을 확인할 수 있었다.

다. 시험평가 요건을 기준으로 시험절차서 문서를 손쉽게 생성할 수 있었다.

향후 계속되는 신뢰성과 안정화 시험 결과를 초기 시험평가 요건과 비교 검토하여 시스템간 불일치 사항 발생 여부를 관리할 예정이다.

참고문헌

1. 황희수 외, “한국형 고속전철 시스템엔지니어링 데이터베이스 구축”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002.7.17
2. 철도연, “고속전철 시스템엔지니어링 기술개발”, 1단계 보고서, 1999
3. 철도연, “고속전철 시스템엔지니어링 기술개발”, 2단계 1차년도 보고서, 2000

후 기

본 연구는 건설교통부 고속철도기술개발사업으로 지원된 “고속철도시스템 신뢰성 및 운영 효율화 기술개발”과제의 연구결과 중 일부입니다.