

모델기반 시스템엔지니어링 접근을 통한 고속철도 성능시험 및 안전기준 요구사항 관리체계 구축에 관한 연구

A Study on Constructing the Requirement Management System of the Performance Tests and Safety Standards of the High Speed Railway using Model-Based Systems Engineering Approach

최요철[†] · 박영원* · 왕종배**

Yo-Chul Choi · Young-Won Park · Jong-Bae Wang

Abstract

To maintain design-knowledge database and manage configuration for requirement of performance tests and safety standards of High Speed Railway(HSR), It is established that management system of performance tests and safety standards and then constructed that design-knowledge database and documented a performance test and safety specifications for supporting performance test and safety system using Model-Based Systems Engineering(MBSE) tool.

Keywords : Requirement(요구사항), High Speed Railway(고속철도), Systems Engineering(시스템엔지니어링), Performance tests(성능시험), Safety Standard(안전기준)

1. 서론

고속철도 시스템은 규모가 크고 복잡하며 여러 전문분야(Multi-disciplinary)가 참여하여 개발, 운용, 유지, 정비지원 등의 운용체제를 필요로 하는 시스템으로 이는 안전성을 추구하는 체계적 기술 관리와 시스템운영에 관한 선진국 수준의 기술을 축적하는 것이 고속철도의 안전한 운행과 시행착오 예방을 위해 매우 중요하다. 이를 위한 방안으로, 개발된 고속철도 시스템의 일반 및 설계요구사항, 시험검증요구사항, 그리고 안전관련 데이터를 이해관계자들(Stakeholder)이 쉽게 접근하여 활용 할 수 있도록 체계적으로 데이터베이스화하여 형상관리 하는 것은 매우 중요한 활동이다. 이러한 활동을 효율적이며 효과적으로 수행하기 위해 시스템엔지니어링 방법론을 사용하였으며, 특히 설계데이터의 DB화를 위해 모델기반 시스템엔지니어링 도구를 사용하였다. 이 도구는 시스템 요구사항과 기능 및 거동 그리고 물리적 아키텍

처의 설계지식을 총체적으로 추적 관리하여 주기 때문에 문제정의와 설계 해결책들을 체계적, 효율적으로 관리 할 수 있도록 도와준다. 본 연구를 통해서 과거의 해외 고속철도 운용 사례 및 국내외 관련 규격 조사, 분석을 수행한 결과를 토대로 성능시험 및 안전기준 요구사항을 수집, 계층화 하였으며, 과거 경부고속철도 개발 시 구축된 성능시험 기준을 체계화하고, 한국철도기술연구원에서 기 수행한 System 수준의 예비위험분석(PHA)을 기반으로 시스템 안전요구사항 도출 및 성능시험 기본항목을 선정하였다[1]. 선정된 시스템 안전요구사항 및 성능시험 항목을 사용하여 고속철도 안전기준 및 성능시험기준 요구사항 관리체계 구축 방안을 제시하였다. 체계 구축 시 시스템엔지니어링 도구를 사용하여 체계 구축의 용이성과 사후 성능시험 및 안전기준 요구사항 변경관리의 편리성을 제공한다.

2. 체계 구축을 위한 시스템엔지니어링 접근 및 전산 지원 도구의 필요성

시스템엔지니어링은 복잡한 시스템 개발 문제 해결과 이해관계자들의 요구사항을 달성하기 위한 다학제간 기술적,

[†] 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부
E-mail : ycchoi@krrri.re.kr
TEL : (031)460-5549 FAX : (031)460-5509

* 정회원, 아주대학교 시스템공학과

** 정회원, 한국철도기술연구원 철도시스템안전연구본부

총체적 접근방법이라 정의하고 있으며[2], 고속철도시스템과 같이 다분야의 지식데이터를 종합적 그리고 체계적으로 구축하고 관리하기 위해 시스템엔지니어링 기법의 도입이 필요하다. 그러나 기존 문서중심의 시스템엔지니어링 설계 프로세스를 통해 시스템 개발을 하면서 여러 가지의 문제점이 존재해 왔다. 예를 들어, 각 프로세스의 결과물로 수많은 문서들이 생성되면서 이런 문서를 작성하는 데 오랜 시간을 투자한다는 것이다. 더구나 시스템 개발 초기에 많은 시간을 투자해야 하는 시스템엔지니어링 활동의 경우 시간이 사업의 성패를 좌우하는 경우도 발생한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 전산 지원 도구는 반드시 필요하다. 시스템 엔지니어링을 수행함에 있어 전산 지원 도구의 필요성을 제시하면 다음과 같다. ① 방대한 정보 유동에 대처, ② 프로토타이핑(prototyping) 최소화, ③ 추적성을 통한 신속한 데이터의 연계성 평가, ④ 자동화에 의한 업무 생산성 향상, ⑤ 시스템엔지니어링 절차 라이브러리 축조. 이처럼 전산 지원 도구를 활용한 체계적인 시스템엔지니어링 활동을 통해 요구사항 관리 체계를 구축하였다.

3. 고속철도 성능시험 및 안전기준 체계 구축

3.1 성능시험 및 안전기준 체계 구축 방안

지난해 대구 지하철 화재사고와 같은 경우는 개발 초기 단계부터 시스템의 안전 사항을 고려하여 반영하지 않고 성능 및 기능 중심의 시스템 개발에만 역점을 두었기 때문에 대형 참사를 불러왔다는 분석이 있다[3]. 즉 시스템 개발 시 이해당사자들의 요구사항 도출 때부터 성능 및 기능에 대한 요구사항 뿐만 아니라 안전에 대한 요구사항을 도출하여야 하며, 또

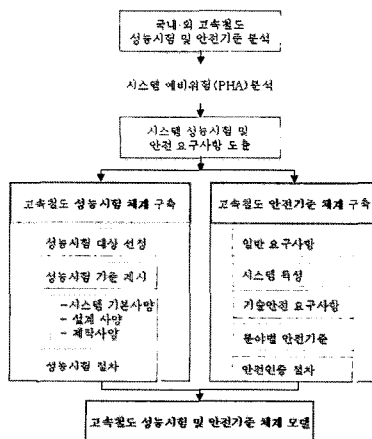


Fig. 1. system model of performance tests and safety standards for the HSR

한 각 기능 및 물리적 구성품을 구성할 경우에도 각종 안전 사항들에 대한 대책 기능 및 구성품(사용자 오작동에 대한 예방 및 대책에 관한 기능과 구성품, 기계 오작동에 대한 예방 및 대책에 관한 기능과 구성품, 승객 안전 확보를 위한 기능 및 구성품 등)을 반영해야 한다는 것이다. 그러므로 시스템을 구축할 때, 안전 사항 또는 성능을 따로 분리하여 생각할 수 없으며, 이에 본 연구에서는 고속철도시스템의 안전 및 성능 요구사항을 통합한 성능시험 및 안전기준 체계를 구축하였다. 그림 1은 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준 체계 구축방안을 나타내고 있다. 이를 위해 국내외 고속철도의 성능시험 및 안전기준을 면밀히 분석을 하고, 이들의 공통요구사항을 도출하였다. 또한 철도시스템 전문가를 중심으로 예비위험분석을 수행하여 최종적으로 도출된 요구사항을 토대로 시스템 엔지니어링의 시스템 설계기법을 활용하여 체계를 구축하였다. 그림 2에 시스템엔지니어링의 모델기반 시스템 설계 프로세스와 이를 바탕으로 데이터베이스를 체계화하고 문서화하기 위한 관리 체계를 도식적으로 제시하였다.

3.2 모델기반 시스템엔지니어링 요구사항 체계 구축

3.2.1 설계 데이터베이스 스키마 개발

시스템 설계 프로세스를 따라 시스템엔지니어링 도구를 이용해 시스템 요구사항 관리 체계 DB를 설계하기 위해서는 기존 시스템엔지니어링 도구의 기본 스키마(schema)를 변경하여 고속철도시스템 요구사항 관리를 위한 새로운 스키마를 개발해야 한다. 여기서 스키마란 시스템을 설계하는데 필요한 ERA(Element-Relationship-Attribute)체계를 말한다. 본 연구에 사용된 스키마는 기본적으로 시스템엔지니어링 전산 도구에서 제공하는 스키마를 채택하지 않고, 안전 요구사항을 감안한 시스템 설계용 스키마를 개발하여 사용하였다. 또한 안전 요구사항 분류 시 MIL-STD 882C를 참조하였다[4]. 먼저 시스템 설계를 위해 추적성이 부여되지 않은 성능시험 및 안전기준 데이터를 시스템엔지니어링 도구에 그림 3과 같이 입력하고, 그림 4의 설계 스키마를 활용하여 성능시험 및

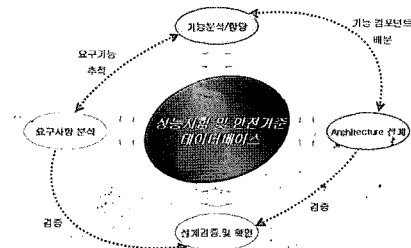


Fig. 2. Design concept of performance tests and safety standards Database

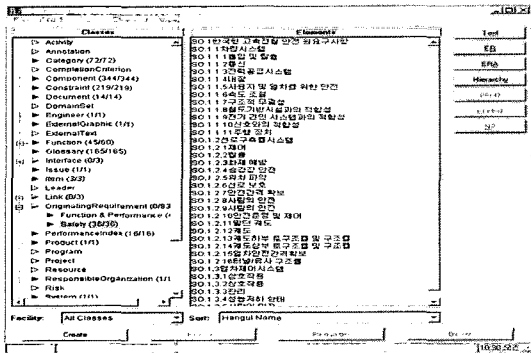


Fig. 3. HSR Design Database

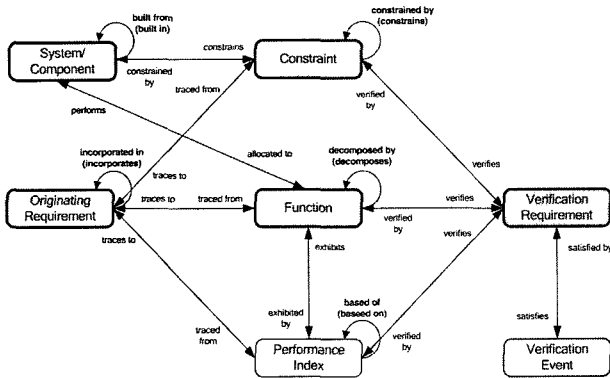


Fig. 4. Schema for the HSR Design Database

안전기준 요구사항 DB를 체계화 하였다. 그림 4는 시스템엔지니어링 도구에서 제공하고 있는 기본 스키마를 변경하여 고속철도시스템에 맞는 스키마를 개발한 것이다. 스키마 중에서 Originating Requirement라는 Class에는 기능 및 성능, 제한 요구사항과 함께 안전 요구사항이 입력되게 된다. 이 Originating Requirement로부터 기능(기능 및 성능 요구사항)로부터 도출된 기능과 안전 요구사항으로부터 위험에 대처하기 위해 도출된 기능들이 도출된다. Constraint에는 Originating Requirement 중에서 일반적인 제약(하중 또는 법률적 제한 사항)사항과 안전 요구사항들이 기입되며 이는 Category에 의해 분류된다. Constraint에 기입된 사항들은 각 구성품에 연결되어서 각 구성품에 대한 제약사항들을 추적할 수 있도록 관계를 수립하였다.

3.2.2 최초 요구사항 분석 및 시스템요구사항 개발

시스템 요구사항은 개발하고자하는 시스템에 대하여 기술적으로 명확하게 서술된 요구사항들이다. 그러나 종래 최초의 이해당사자들로부터 수집된 요구사항들은 시스템에 대한 요구사항 뿐만 아니라 그 하부 수준의 요구사항들과 혼재되어 있다. 이러한 최초 요구사항을 분석하고 검토하여 시스템

Table 1. Requirement Analysis Results of the HSR

요구사항 분류	개수
Component	344
Document	14
Function	60
Glossary	165
Originating Requirement	성능/기능 47 안전 36
Performance Index	16
Verification Event	21
Verification Requirement	237
Category	72

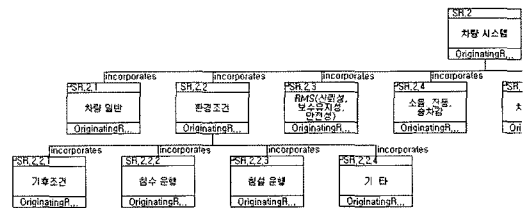


Fig. 5. Requirement hierarchy of the train system

Class	Number	Name	Description
Constraint	1	좌우측의 차륜차량	좌우측의 차륜차량
Constraint	2	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	3	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	4	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	5	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	6	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	7	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	8	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	9	차량 시스템	차량 시스템
Constraint	10	차량 시스템	차량 시스템

Fig. 6. HSR requirement input templet

요구사항으로 확정된 후 데이터베이스에 입력하였다. 도표 1은 고속철도 시스템을 구성하는 4개의 하부시스템의 성능시험 및 안전기준 요구사항 개수를 나타내고 있다. 또한 그림 5는 고속철도시스템의 하부시스템 중에서 차량시스템의 일반 요구사항을 계층화하여 나타내었다.

그림 6은 요구사항 계층화와 그룹화 작업을 좀 더 쉽게 할 수 있도록 작성한 템플릿이다. 향후 이 템플릿에 정리된 요구사항을 시스템엔지니어링 도구를 통해 자동으로 파싱(parsing)하는데 이용된다. 따라서 기존의 많은 데이터를 수동으로 도구에 입력했던 불편함을 해결할 수도 있다.

3.2.3 시스템 기능 아키텍처 개발

시스템의 기능적 아키텍처는 시스템, 컴포넌트, 형상품목(CI)에 의하여 실행되어지는 기능들의 계층 구조 모델을 포함하고 있다. 기능 아키텍처 개발에 앞서 기능분석을 수행한다. 기능분석은 시스템엔지니어링 표준인 EIA-632[5]에서 언급했듯이 논리적 해결방안을 찾는 데 그 수행 목적이 있다. 기능분석을 수행하는 구체적인 방법으로는 여러 가지가 있으나, 흔히 시나리오를 작성해서 시스템의 정적 거동을 정의하고 다시 동적인 검증을 거침으로써 마무리한다. 기능분석의 결과물로는 기능의 구조를 보여주는 기능 아키텍처와 거동 다이어그램(EFFBD)이 있다.

현재 본 연구에서는 안전 및 성능 모델의 데이터베이스화에 작업을 치중하여 기능분석을 폭넓게 수행하지 못하였다. 그러나 열차 화재 시나리오를 바탕으로 그림 7에 분석결과를 시스템 수준에서 표현하였다. 기능 분석은 체계적인(systemic) 성능 시험 및 안전기준 체계 구축 및 분석을 행하기 위해 필수적인 과정이므로 향후 과제에서 반드시 행해져야 하는 업무이다.

3.2.4 시스템 물리적 아키텍처 개발

시스템 물리적 아키텍처는 기능적 아키텍처에서 확인되는 모든 기능에 대한 물리적 자원들을 제공한다. 수명주기의 모든 단계들이 요구사항에서 정의되어지고 기능적 아키텍처 상에서 설명되어지므로 시스템의 수명주기와 관련된 각각의 시

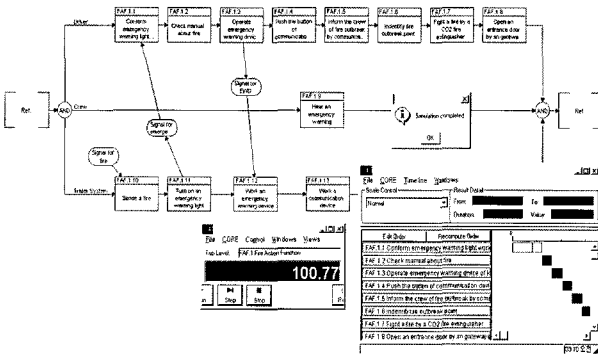


Fig. 7. Function analysis of a train fire opposition scenario

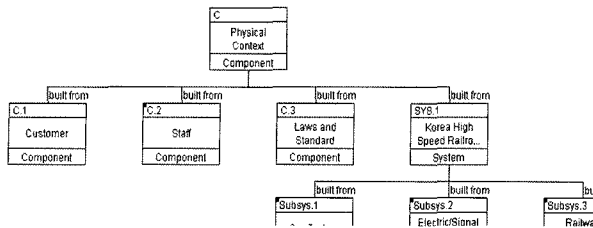


Fig. 8. Physical architecture of HSR

스템에는 물리적 아키텍처가 있어야만 한다. 효과적으로 시스템의 물리적 아키텍처를 구성하기 위해서는 먼저 기능 아키텍처를 분석하여 각 기능들을 물리적으로 구현 가능한지를 파악하는 것이 중요하다. 그림 8은 고속철도시스템 수준의 물리적 아키텍처이다. 고속철도시스템은 고객, 직원, 법률 및 기준, 그리고 고속철도의 물리적 아키텍처를 이루고 있다.

3.2.5 열차성능 및 안전 시험/평가 요구사항 DB화

열차성능 및 안전 시험/평가 요구사항 DB화를 수행하는 목적은 개발된 열차가 고객의 요구사항을 만족하도록 개발되었는지를 확인하는데 있다. 즉, 시스템엔지니어링 기법을 통해 고속철도시스템의 성능 및 안전 요구사항에 대한 데이터베이스를 구축함으로써 고객의 요구사항(기능 및 성능, 제약 요구사항과 안전 요구사항)으로부터 시스템 요구사항, 시스템 기능, 물리적 컴포넌트까지 추적성을 확보하도록 연결하고, 개발된 시스템의 기능 및 성능 요구사항에 대한 만족 여부 판단하기 위해 시험/평가 데이터베이스를 통해 쉽게 판단할 수 있도록 한다는 것이다.

본 연구에서는 고속전철 사업에서 수행되었던 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발 과제[6]에서 도출된 시험/평가 자료에 안전 요구사항을 검증하기 위한 시험/평가를 추가하여 전산지원 도구에 그림 9와 같이 입력하고 이를 DB화 하였다.

그림 10은 고속철도의 차량 시스템 검증 요구사항을 분석하고 추적성을 부여한 계층구조를 나타낸 것이다.

3.2.6 고속철도 성능시험 및 안전기준 요건관리체계 Data Architecture

그림 11은 고속철도시스템 성능시험 및 안전기준 요구사항

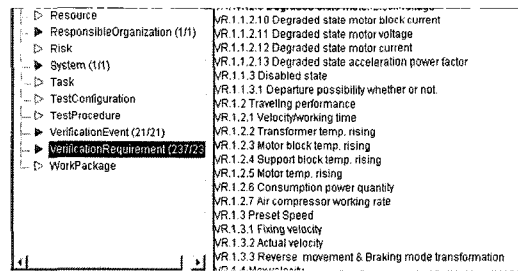


Fig. 9. Verification Requirement DB Design

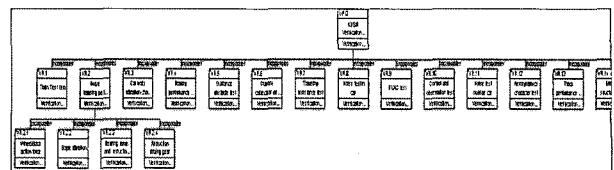


Fig. 10. Verification requirement hierarchy of train system

을 수집하고 분류하여 계층화하고, 모든 요구사항 간에 추적성을 확보한 계층화한 구조를 보여주고 있다.

그림 11에 모든 데이터들이 계층구조가 보여 지지 않고 있으나, 데이터 설계자나 이해당사자의 요구에 따라 모든 요소 간의 추적관계를 표현할 수 있다. 이로서 고속철도시스템 및 Sub-System 레벨의 성능 시험 및 안전기준 요건관리체계를 구축하였으며, 이는 추가되는 요구사항의 변경이나 삭제, 또는 추가 시 수정작업으로 인한 전체 데이터의 자동변경과 자동문서 출력의 이점이 있다.

그림 12는 고속철도 시스템 및 Sub-System 성능시험 및 안전기준 요구사항 체계의 전체 데이터를 보여주고 있으며, 그

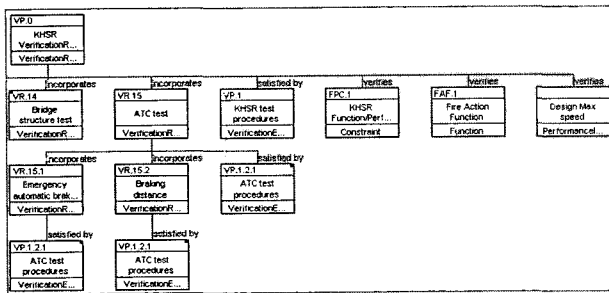


Fig. 11. Data traceability hierarchy for HSR performance tests and safety standards

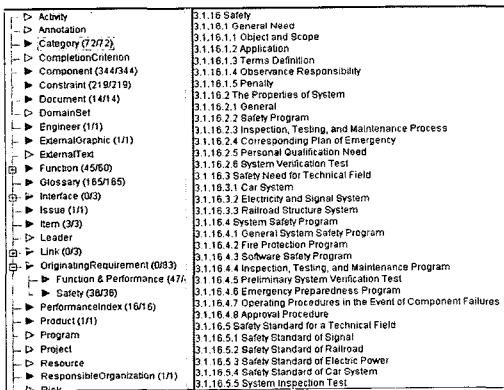


Fig. 12. Requirement systems of Performance tests and safety standard for HSR System and Sub-System

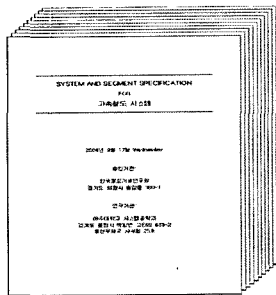


Fig. 13. System/Segment Specification of the HSR

림 13은 고속철도 성능시험기준 및 안전기준 요구사항 DB를 시스템엔지니어링 도구를 사용하여 자동 생성한 System and Segment Specification 문서이다.

이 외에도 HTML 등등 여러 가지 출력물을 생성할 수 있다. 추후 성능시험이나 안전기준이 하위로 분해되거나 변경, 삭제의 작업이 이루어질 경우 데이터 Architecture 모델만 수정하게 되면 문서는 자동 출력되게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 고속철도 System 수준의 성능시험 및 안전기준 요구사항 관리체계 구축을 위해 성능 및 안전 요구사항을 수집하고, 분류, 분석하였으며, 이들의 체계적인 관리를 위하여 모델기반 시스템엔지니어링(MBSE) 기법을 활용하여 성능시험 및 안전기준 요구사항 관리 체계, 즉 요구사항 관리 아키텍처(Architecture)를 구축하는 연구를 수행하였다. 연구의 초기 단계에서 과거의 연구실적을 바탕으로 요구사항 관리 모델을 구축하고, 시험절차서와 시험에서 검증해야만 하는 항목을 중심으로 추적성을 확보했다. 결론적으로 고속철도시스템 설계 초기단계에서 체계적이고도 철저한 요구사항 및 설계 데이터에 대한 관리를 수행해야 하는데, 이 과정에서 시스템엔지니어링 방법론을 고려하므로서 보다 많은 양의 요구사항 및 설계 데이터를 손쉽게 체계적으로 관리할 수 있었다.

후기

본 논문은 2004년도 건설교통부에서 고속철도기술개발사업으로 지원된 “고속철도 성능기준 및 안전체계 기술개발”과제 연구결과의 일부이다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원 (2003. 10), “고속철도 성능기준 및 안전체계 기술개발 보고서”(1차년도 연차보고서), 건설교통부.
2. INCOSE SE Handbook Group (2000), SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK version 2.0, INCOSE.
3. 박중용 (2003), “안전중시 시스템을 위한 동시공학적 설계 모델”, 아주대학교 대학원 박사학위논문.
4. Department of Defense (1993), “MIL-STD-882C: System Safety Program Requirements,” Department of Defense, USA.
5. Electronic Industries Alliance (1999), “Process for Engineering a System (EIA-632)”, EIA Press, Arlington.
6. 한국철도기술연구원 (2002. 12), “고속철도 시스템엔지니어링 기술개발 최종보고서”, 건설교통부.