

모델기반 시스템엔지니어링 접근을 통한 고속철도 성능시험 및 안전기준 요구사항 관리체계 구축

Construct the requirement management system of the performance test and safety standard of the HSR using Model-Based Systems Engineering Approach

최요철, 김찬묵, 박철호, 박영원*, 김연태**, 왕중배, 김상암***

Choi, Yo-Chul Kim, Chan-Muk Park, Chul-Ho Park, Young-Won Kim, Yeon-Tae Wang, Jong-Bae Kim, Sang-Am

ABSTRACT

To maintain design-knowledge database and manage configuration for requirement of performance test and safety standard of High Speed Railroad , It is established that management system of performance test and safety standard and then constructed that design-knowledge database and documented a performance test and safety specification for supporting performance test and safety system using computer-aided tool.

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 기술관리와 시스템운영에 관한 선진국 수준의 기술을 축적하는 것이 고속철도의 안전한 운행과 시행착오 예방을 위해 매우 중요하다. 그러므로 개발된 고속철도 시스템의 모든 설계지식과 안전 관련 체제지식이 이해당사자들이 쉽게 접근하여 활용 할 수 있도록 저장되어 형상관리 되는 것이 매우 중요하다. 이로 인하여 모든 안전체계 관련 참여자들이 설계 데이터베이스를 확실하게 중앙 관리하며 운영 할 때 팀웍의 상승효과도 기대할 수 있게 된다. 모델기반 시스템공학 도구들은 특히 시스템 요건과 기능 및 거동 그리고 물리적 아키텍처의 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 국내의 관련 규격 조사, 분석을 수행한 결과를 토대로 성능시험 및 안전기준 요구사항을 수집, 계층화 하였으며, 과거 경부고속철도 개발 시 구축된 성능시험 기준을 체계화하고, System 수준의 예비위험분석(PHA)를 통해서 시스템 안전요건 도출 및 성능시험 기본항목을 선정하였다. 선정된 시스템 안전 요건 및 성능시험 항목을 내용으로 고속철도 안전기준 및 성능시험기준 체계 모델의 구축 방안을 제시하였다. 체계 구축 시 시스템공학 도구를 사용하여 체계 구축의 용이성과 사후 성능시험 및 안전기준 관리의 편리성을 제공한다.

* 아주대학교 시스템공학과

** 에스이테크놀로지

*** 한국철도기술연구원

2. 체계구축을 위한 시스템 엔지니어링과 전산 지원 도구의 필요성

기존의 시스템 엔지니어링 프로세스를 통해 시스템 개발을 하면서 여러 가지의 문제점이 존재해 왔다. 예를 들어, 각 프로세스의 결과물로 수많은 문서들이 생성되면서 이런 문서를 작성하는데 오랜 시간을 투자한다는 것이다. 더구나 시스템 개발 초기에 많은 시간을 투자하는 시스템 엔지니어링을 수행할 때, 시간이 사업의 성과를 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 프로토타입(prototyping) 최소화, ③ 추적성을 통한 신속한 성공성 평가, ④ 자동화에 의한 업무 생산성 향상, ⑤ 시스템 엔지니어링 절차 라이브러리 축조.

3. 고속철도 성능시험 및 안전기준 체계 구축

3.1 성능시험 및 안전기준 체계 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 대형참사를 불러왔다는 분석이 있다. 즉 시스템 개발 시 이해당사자들의 요구사항 도출 때부터 성능 및 기능에 대한 요구사항 뿐만 아니라 안전에 대한 요구사항을 도출하여야 하며, 또한 각 기능 및 물리적 구성품은 구성된 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 및 확보를 위한 기능 및 구성품 등)을 반영해야 한다는 것이다.¹⁹⁾ 그러므로 시스템을 구축할 때, 안전 사항 또는 성능을 따로 분리하여 생각할 수 없으며 그 이유로 본 과제에서도 고속철도의 안전 및 성능을 통합한 성능시험 및 안전기준 체계를 구축하였다.²⁰⁾ 그림 1은 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준 체계 구축방안을 나타낸다. 국내의 고속철도의 성능시험 및 안전기준을 위한 체계 구축방안을 나타낸다. 국내의 고속철도의 성능시험 및 안전기준을 면밀히 분석을 하고, 이들의 공통요구사항을 도출한다. 또한 철도시스템 전문가를 중심으로 예비위험분석을 수행하여 최종적으로 도출된 요구사항을 토대로 시스템 공학의 시스템 설계기법을 활용하여 체계를 구축하였다. 그림 2는 시스템공학의 모델기반 시스템 설계 프로세스를 나타내고 있으며, 이를 바탕으로 데이터베이스를 체계화 하고 분석화하였다.

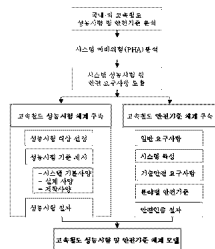


그림 1. 고속철도 시스템 성능시험 및 안전기준 체계 구축방안

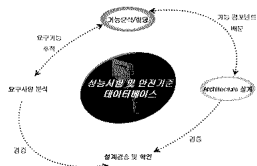


그림 2. 모델기반 시스템엔지니어링 시스템 설계의 개념

3.2 모델기반 시스템엔지니어링 요구사항 체계 구축

3.2.1 설계 데이터베이스 스키마 개발

시스템 설계 프로세스를 따라 시스템공학 도구를 이용해 시스템 설계 작업을 수행하기 위해서는 스키마(schema)를 체계적 구축해야 한다. 스키마란 시스템을 설계하는데 필요한 ERA(Element-Relationship-Attribute)체계를 말한다. 본 과제에 사용된 스키마는 기본적으로 제공하는 스키마를 채택하지 않고 안전 요구사항을 감안한 시스템 설계용 스키마를 개발하여 사용하였다. 또한 안전 요구사항 분류 시 MIL-STD 882C³⁾를 참조하였다. 먼저 시스템 설계를 위한 데이터를 그림 3과 같이 입력하고, 그림 4의 설계 스키마를 활용하여 체계를 구축하였다.

그림 4는 시스템엔지니어링 도구에서 제공하고 있는 기본 스키마 개념을 변경하여 고속철도 시스템에 맞게 개발하였다. Originating Requirement라는 요소에는 기능 및 성능, 제한 요구사항과 함께 안전 요구사항이 기입되게 된다. Originating Requirement로부터 기능(기능 및 성능 요구사항으로부터 도출된 기능과 안전 요구사항으로부터 위험에 대처하기 위해 도출된 기능)들이 도출된다. Constraint에는 Originating Requirement 중에서 일반적인 제한(하중 또는 범용적 제한 사항)요구사항과 안전 요구사항들이 기입되며 Category에 의해 분류된다. Constraint에 기입된 사항들은 각 구성품에 연결되어서 각 구성품에 대한 제한 사항들을 추적할 수 있도록 한다.

Name	Description	Unit	Category
Axle	고속철도 차량용 축	개	기계부품
Wheel	고속철도 차량용 휠	개	기계부품
Rail	고속철도 차량용 레일	개	기계부품
Track	고속철도 차량용 트랙	개	기계부품
...

그림 3. 고속철도 시스템 설계 데이터베이스

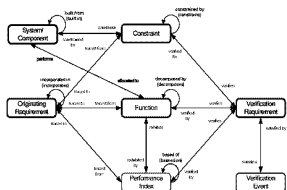


그림 4. 고속철도 시스템 설계를 위한 스키마

3.2.2 시스템 요구사항 수집 및 분석

시스템 요구사항은 개발하고자 하는 시스템에 대하여 기입된 요구사항들이다. 그러나 종래 최초의 이해당사자들로부터 수집된 요구사항들은 시스템에 대한 요구사항 뿐만 아니라 그 하부 수준의 요구사항들과 혼재되어 있다. 그러므로 이러한 요구사항의 자격을 갖추지 못한 요구사항을 분석하여 데이터베이스에 입력한다. 도표 1은 고속철도 시스템을 분류한 3개의 하부 시스템의 성능시험 및 안전기준 체계 구축에서 분석된 요구사항 개수이다. 그리고 그림 5는 차량시스템의 계층화된 요구사항을 보여준다.



그림 5. 계층화된 요구사항(차량시스템)

도표 1. 시스템 요구사항 분석 결과

요구사항 분류	개 수
Component	344
Document	14
Function	60
Glossary	165
OriginatingRequirement	심층 및 기능: 47 안전: 36
PerformanceIndex	16
VerificationEvent	21
VerificationRequirement	237
Category	72

그림 6은 요구사항 계층화와 그룹화 작업을 좀더 쉽게 할 수 있도록 작성한 템플릿이다. 향후 이 템플릿은 시스템 엔지니어링 도구에 파싱(parsing)시킬 수 있다. 따라서 기존의 많은 데이터를 수동으로 도구에 입력했던 불편함을 해결할 수도 있다.



그림 6. 시스템 요구사항 입력 템플릿

3.2.3 시스템 기능 아키텍처 개발

시스템의 기능적 아키텍처는 시스템, 컴포넌트, 형상종목(CI)에 의하여 설명되어지는 기능들의 계층 구조 모델을 포함하고 있다. 시스템 기능들의 변환과정을 거치고 시스템 밖으로 빠져 나온 후 외부 시스템에 투입되기 위하여 기다리는 정보의 흐름과 물리적 아키텍처는 시스템에 의하여 처리된다. 기능 아키텍처 개발에 앞서 기능분석을 수행한다. 기능분석은 시스템공학 표준인 EIA-632¹⁹⁾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 기점으로써 바꾸어준다. 기능분석의 결과물로는 기능의 구조를 보여주는 기능 아키텍처와 기능 다이어그램(EFFBD)이 있다.

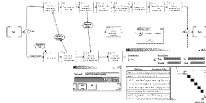


그림 7. 열차 화재 대처 시나리오 기능분석

현재 본 과제에서는 안전 및 성능 모델의 데이터베이스화에 작업을 집중하여 기능분석을 폭넓게 수행하지 못하였다. 그러나 열차 화재 시나리오를 바탕으로 그림 7에 분석결과를 간단하게 표현하였다. 기능 분석은 체계적(systemic) 성능시험 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 확인된 모든 기능에 대한 자위들을 제공한다. 수행주기의 모든 단계들이 요구사항에서 설명되어지고 기능적 아키텍처 상에서 설명되어지므로 시스템의 수행주기와 관련된 기간의 시스템에; 물리적 아키텍처가 있어야만 한다. 효과적으로 시스템의 물리적 아키텍처를 구성하기 위해서는 먼저 기능 아키텍처를 분석하여 각 기능들을 물리적으로 구현 가능할지를 파악하는 것이 중요하다. 그림 8은 시스템수준의 물리적 아키텍처이다.

3.2.5 열차성능 및 안전 시험/평가 DB화

열차성능 및 안전 시험/평가 DB화를 수행하는 목적은 개발된 열차가 고객의 요구사항을 만족하도록 하는데 있다. 즉, 시스템엔지니어링 기법을 통해 데이터베이스를 구축함으로써 고객의 요구사항(기능 및 성능, 제한 요구사항과 안전 요구사항)으로부터 시스템 요구사항, 물리적 컴포넌트가 추적성을 가지고 연결되며, 개발된 시스템의 요구사항에 대한 반복 여부 역시 시험/평가 체계와 데이터베이스를 통해 쉽게 판단할 수 있도록 한다는 것이다.

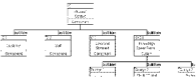


그림 8. 물리적 아키텍처 구성(시스템 수준)

본 과제에서는 고속철도 사업에서 수행되었던 고속철도 열차시험 및 성능평가 기술개발 과제에서³⁾ 도출된 시험/평가 자료에 안전 요구사항을 검증하기 위한 시험/평가를 더하여 전산지원 도구에 그림 9와 같이 작성함으로써 DB화하였다. 그림 10은 시스템의 검증 요구사항(Verification Requirement)들에 대한 계층 구조를 보여준다.



그림 9. Verification Requirement Data 구조



그림 10. 시스템의 검증 요구사항 계층 구조

3.2.6 고속철도 성능시험 및 안전기준 요건관리체계 Data Architecture

그림 11은 성능시험 및 안전기준 요구사항을 수집하고 분류하여 계층화하고 모든 요소간에 추적성을 확보한 결과를 보여주고 있다. 그림 11에 모든 데이터들이 보여지지 않고 있으나, 데이터 설계자나 이해당사자의 요구에 따라 모든 관계의 추적성을 표현할 수 있다. 이로서 고속철도 시스템 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, 그림 13은 고속철도 성능시험기준 및 안전기준 요건을 시스템엔지니어링 도구를 사용하여 자동생성한 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.

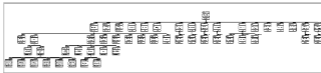


그림 11. 고속철도 성능시험 및 안전기준 데이터 추적성 다이어그램

Assembly	D1.16.10000
Assembly	D1.16.1.00000.000
Assembly	D1.16.1.00000.001
Assembly	D1.16.1.00000.002
Assembly	D1.16.1.00000.003
Assembly	D1.16.1.00000.004
Assembly	D1.16.1.00000.005
Assembly	D1.16.1.00000.006
Assembly	D1.16.1.00000.007
Assembly	D1.16.1.00000.008
Assembly	D1.16.1.00000.009
Assembly	D1.16.1.00000.010
Assembly	D1.16.1.00000.011
Assembly	D1.16.1.00000.012
Assembly	D1.16.1.00000.013
Assembly	D1.16.1.00000.014
Assembly	D1.16.1.00000.015
Assembly	D1.16.1.00000.016
Assembly	D1.16.1.00000.017
Assembly	D1.16.1.00000.018
Assembly	D1.16.1.00000.019
Assembly	D1.16.1.00000.020
Assembly	D1.16.1.00000.021
Assembly	D1.16.1.00000.022
Assembly	D1.16.1.00000.023
Assembly	D1.16.1.00000.024
Assembly	D1.16.1.00000.025
Assembly	D1.16.1.00000.026
Assembly	D1.16.1.00000.027
Assembly	D1.16.1.00000.028
Assembly	D1.16.1.00000.029
Assembly	D1.16.1.00000.030
Assembly	D1.16.1.00000.031
Assembly	D1.16.1.00000.032
Assembly	D1.16.1.00000.033
Assembly	D1.16.1.00000.034
Assembly	D1.16.1.00000.035
Assembly	D1.16.1.00000.036
Assembly	D1.16.1.00000.037
Assembly	D1.16.1.00000.038
Assembly	D1.16.1.00000.039
Assembly	D1.16.1.00000.040
Assembly	D1.16.1.00000.041
Assembly	D1.16.1.00000.042
Assembly	D1.16.1.00000.043
Assembly	D1.16.1.00000.044
Assembly	D1.16.1.00000.045
Assembly	D1.16.1.00000.046
Assembly	D1.16.1.00000.047
Assembly	D1.16.1.00000.048
Assembly	D1.16.1.00000.049
Assembly	D1.16.1.00000.050
Assembly	D1.16.1.00000.051
Assembly	D1.16.1.00000.052
Assembly	D1.16.1.00000.053
Assembly	D1.16.1.00000.054
Assembly	D1.16.1.00000.055
Assembly	D1.16.1.00000.056
Assembly	D1.16.1.00000.057
Assembly	D1.16.1.00000.058
Assembly	D1.16.1.00000.059
Assembly	D1.16.1.00000.060
Assembly	D1.16.1.00000.061
Assembly	D1.16.1.00000.062
Assembly	D1.16.1.00000.063
Assembly	D1.16.1.00000.064
Assembly	D1.16.1.00000.065
Assembly	D1.16.1.00000.066
Assembly	D1.16.1.00000.067
Assembly	D1.16.1.00000.068
Assembly	D1.16.1.00000.069
Assembly	D1.16.1.00000.070
Assembly	D1.16.1.00000.071
Assembly	D1.16.1.00000.072
Assembly	D1.16.1.00000.073
Assembly	D1.16.1.00000.074
Assembly	D1.16.1.00000.075
Assembly	D1.16.1.00000.076
Assembly	D1.16.1.00000.077
Assembly	D1.16.1.00000.078
Assembly	D1.16.1.00000.079
Assembly	D1.16.1.00000.080
Assembly	D1.16.1.00000.081
Assembly	D1.16.1.00000.082
Assembly	D1.16.1.00000.083
Assembly	D1.16.1.00000.084
Assembly	D1.16.1.00000.085
Assembly	D1.16.1.00000.086
Assembly	D1.16.1.00000.087
Assembly	D1.16.1.00000.088
Assembly	D1.16.1.00000.089
Assembly	D1.16.1.00000.090
Assembly	D1.16.1.00000.091
Assembly	D1.16.1.00000.092
Assembly	D1.16.1.00000.093
Assembly	D1.16.1.00000.094
Assembly	D1.16.1.00000.095
Assembly	D1.16.1.00000.096
Assembly	D1.16.1.00000.097
Assembly	D1.16.1.00000.098
Assembly	D1.16.1.00000.099
Assembly	D1.16.1.00000.100

그림 12. 고속철도 시스템 및 Sub-System 성능시험 및 안전기준 요구사항 체계

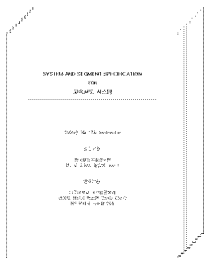


그림 13. 고속철도 System/Segment Specification

4. 결 론

고속철도 Sub-System Level의 성능시험 및 안전기준 요구사항 관리체계 구축을 위해 성능 및 안전 요구사항을 수집하고, 분류, 분석한 후 체계적인 관리를 위하여 시스템엔지니어링 기법 중 하나인 모델기반시스템엔지니어링을 통해 성능 및 안전기준 데이터 아키텍처(Architecture)를 구축하는 연구를 수행하였다. 시스템 레벨에서 Sub-System 레벨까지의 성능 및 안전기준 요구사항 데이터 아키텍처를 구축하는 과정에서 시스템엔지니어링 접근법을 사용하였으며, 모든 데이터들이 추적성을 가지도록 설계되어 갔다. 또한, 고속철도 Sub-System 레벨의 성능시험 및 안전기준 수립과 체계화의 과제를 수행하면서 동시에 고속철도 시스템의 단위 시스템별 시험검증결과 검토와 연구가 수행되었다. 초기 단계에서 과거의 연구실적을 바탕으로 모델을 구축하고, 시뮬레이션과 시험에서 검증해야만 하는 항목을 중심으로 추적성을 확보했다. 결론적으로 안전중시의 시스템 설계 시 초기단계에서의 체계적이고도 철저한 관리를 수행해야 하며, 이러한 과정에서 시스템엔지니어링 방법론이 고려되어야만 보다 많은 양의 데이터를 손쉽게 체계적으로 관리할 수 있다.

참고문헌

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