

시스템 엔지니어링 프로세스를 적용한
한국형 속도향상 틸팅 열차 시스템의 시험 및 평가 기술 개발
Test and Evaluation Technical Development of (Korea)
Express Tilting Train System Applied Systems Engineering
Process

박영원 신광복 장재덕*

Young-Won Park Kwang-Bok Shin Jae-Deuck Jang

아주대학교 시스템 공학과, 철도개발기술연구원, 아주대학교 시스템 공학과 시스템
공학 전공

ABSTRACT

Systems engineering test and evaluation technology development program for (Korea) Express Tilting Train(TTX) system in progress is a national large system development program that is not only a large-size and complex but also multi-disciplinary in nature. For the TTX test and evaluation technology development, verification requirements that could verify system function and performance, should be derived from system specification. Hereafter, this could be listed as items of test. System engineering process establishes traceability between items of test and system requirements. These tasks could be accomplished by the schema. Using the Core, a system engineering tool, TTX program could be database and other system related to TTX program will be developed effectively and efficiency

1. 서론

국의 선진국에서는 1980년대를 전후하여 고속 틸팅 열차에 대한 연구개발을 본격화하여 현재 신뢰성 및 안정성을 확보하여 상용 운행되고 있다. 국내에는 고속 틸팅 열차 개발에 대한 기술이 부족한 상태이고 또한 고속 틸팅 열차에 대한 성능시험 항목 및 평가기술은 더 부족한 상태이다. 기존선 고속 틸팅 열차는 최고 속도 180km/h로 운영되기 때문에 기존 전동차에 적용되는 성능시험 항목 및 평가 기준으로는 고속 틸팅 열차의 안정성 및 신뢰성을 확보하기 힘들다. 따라서, 기존선 고속 틸팅 열차에 대한 신뢰성 및 안전성을 확보하기 위해서는 고속 틸팅 열차 시스템에 대한 열차 성능 시험 및 평가 기술 연구 개발이 필요하다.

이러한 고속 틸팅 열차와 같은 시스템은 기술

적 복잡성과 더불어 큰 규모 때문에 몇 가지 분야의 학문만으로는 시스템을 개발하기에 어려워졌다. 더불어 고객의 요구사항을 모두 만족시켜야 하는 시스템 개발 환경 변화의 시기에 직면하였다. 시스템공학은 이해당사자의 요구사항(Requirements)을 전 수명주기(Life Cycle)를 통해 분석하고 관리하여 최적의 해결책을 찾는 포괄적이고 반복적인 문제해결 접근 방식이다. 시스템 엔지니어링 프로세스를 적용함으로써 고속 틸팅 열차 시험평가에 있어 시스템 구조의 복잡성 및 개발체계의 복잡성을 극복할 수 있고 체계적인 시험평가 계획 및 관리를 해 나갈 수 있다.

본 사업에 관련된 모든 이해당사자들이 개발하고자 하는 시스템의 임무와 수명주기 전체에 걸쳐 수행할 기능과 성능 요구사항들에 관해서 정확하게 이해하고 이를 공유하는 것이 사업 성공의 필수적인 요소라 할 수 있다. 요구사항은 과제

의 수행 근거가 되며 시스템 통합과 검증의 근거로서 시스템 개발의 기본 과제이다. 시스템 엔지니어링 개발 초기에 이해당사자의 요구사항을 분석하여 시스템 수명주기 상에서 비용, 일정, 성능 측면의 균형 된 해결 대안을 마련하면 시스템 아키텍처 형성뿐만 아니라 이번 과제에서 개발해야 할 시스템 시험 및 평가 체계도 시스템 요구사항과 적절한 추적성을 확보하면서 개발 될 수 있으므로 요구사항 분석은 가장 의미 있는 초기 과제라 할 수 있다.

이 연구는 요구사항 분석을 기본으로 시스템 성능검증 및 시험평가 체계를 개발하기 위한 시스템 엔지니어링 프로세스를 소개하고 이를 고속 킬링 열차를 개발에 적용함으로써 그 실효성을 밝히는데 목적이 있다.

2. 요구사항 분석

요구사항은 시스템 개발의 기초로서 올바른 요구사항을 정의한다는 것은 시스템 개발 초기 단계에서 그 방향을 올바르게 정하는 것과 같다. 요구사항은 최초 이해당사자로부터 도출되는데 이해당사자란 시스템과 시스템 요건에 대해 상당히 다른 관점을 가지고 있는 사람으로서 예를 들면 개발자, 생산자, 제조자, 운영자, 사용자 등 시스템에 관계된 모든 사람을 말할 수 있다. 따라서 시스템에 관한 관점이나 견해의 차이가 많은 이해당사자의 요구사항을 가장 효과적이고 효율적인 방법으로 만족시키면서 시스템 요구사항을 도출해내기란 상당히 어려운 과정임은 틀림없다. 잘못된 요구사항에 의한 프로젝트의 결과물은 사용자의 실제적인 요구를 만족시키지 못한다. 요구사항의 다양한 해석에 따라 고객과 개발자 사이의 합의가 도출되지 못하고, 많은 시간과 비용을 낭비함으로써 프로젝트를 실패하는 결과를 초래할 수 있다.

고속 킬링 열차의 시험 및 평가개발에 있어서 요구사항 분석은 고속 킬링 열차의 시스템 요구사항에서 이를 검증할 수 있는 검증 요구사항이 도출 될 뿐만 아니라 열차를 시험하는 시험 항목과 시험 절차서의 기반이 되므로 더욱 중요하다고 볼 수 있다.

2.1 올바른 시스템 요구사항 도출

시스템 요구사항은 이해당사자의 요구를 엔지

니어링의 용어로 전환하는 것이다. 이해당사자들의 요구사항을 원요구사항(Original Requirements)이라 한다. 원 요구사항은 먼저 이해당사자를 식별하는 것에서부터 시작한다. 이해당사자와 대화를 하고, 그들이 원하는 것, 요구하는 것, 기대하는 것을 식별 해내는 것 등이 원 요구사항을 수집하는 방법이다. 이렇게 수집된 원 요구사항은 요구사항 논증을 통해 시스템 요구사항으로 기술된다. 시스템 요구사항은 반드시 필요한 것, 검증 가능한 것, 달성 가능한 것을 기술해야 한다.

본 사업은 1차 년도에 원 요구사항을 도출하였고, 이를 바탕으로 시스템 요구사항을 도출하여야 한다. 시스템 엔지니어링 표준 EIA-632에는 시스템 요구사항으로서의 논증 평가 카테고리가 제시되어 있다. 이는 좋은 요구사항의 특성이며, 그 내용은 아래 표에서 기술한 것과 같다.

도표 1 시스템 요구사항 평가 카테고리

특 성	내 용
중복성 (No Redundancy)	각 요구사항은 한번만 기술된다.
연결성 (Connectivity)	요구사항의 모든 용어가 다른 요구사항 및 단어 및 용어정의와 연결되어 있어서 개별 요구사항이 다른 요구사항과 적절히 연관되어 요구사항 세트를 이룬다.
상충 (No Conflicts)	상충의 제거-요구사항이 자체적으로 또한 다른 요구사항과 충돌되지 않는다.
경쟁능력 (Compatetitivity)	경쟁력을 유지할 수 있는 능력-요구사항이 경쟁력 있는 위치를 점할 수 있도록 하며, 요구사항에 의해 주어지는 이익에 경쟁력 있는 위치 점유가 정당화되도록 제약한다.
명확성 (Clarity)	요구사항서에 사실에 대한 오류가 포함되어 있지 않다.

특성	내용
타당성 (Feasibility)	요구사항이 자연의 물리적 제약, 최신 기술이 프로젝트에 적용되었을 경우, 프로젝트에 적용되는 명확한 제약 하에서 만족될 수 있다.
설계 독립성 (Focus)	요구사항은 '무엇', '왜' 또는 형태, 적합성 및 기능 등으로 표현되어 있으며, 제품을 개발하는 방법이나 사용될 재료 등으로 표현되지 않았다.
완전성 (Implementability)	요구사항서가 요구사항을 구현하는데 필요한 정보를 포함하고 있다.
수정가능성 (Modifiability)	요구사항에 대한 필수적인 변경이 완벽하고 일관성 있게 수행될 수 있다.
불확실성 (Unambiguous)	요구사항의 의미에 대한 단 하나의 해석만을 할 수 있도록 함
유일성 (Singularity)	요구사항서가 상식적으로 서로 다른 행위자, 행동, 대상물 또는 기구 등을 갖는 두 개 이상의 요구사항으로 기술되어서는 안 된다.
시험 가능성 (Testability)	요구사항이 만족되었음을 검증할 유한하고 객관적인 프로세스가 존재함.
검증성 (Verifiable)	기술되고 있는 시스템의 계층 구조 수준 내에서 검증될 수 있음

시스템 요구사항이 위와 같은 특성을 만족하는지 확인하기 위해서는 시스템 엔지니어와 이해당사자들의 공동작업이 필수적이다. 공동 팀 작업을 통해서 요구사항을 논증해야만 비로소 올바른 요구사항이 도출되었다고 말할 수 있다.

2.2 요구사항의 관리

요구사항 관리는 모든 시스템의 기능, 속성, 인터페이스, 검증 방법에 대해서 일괄적이고, 추적성을 확보하며, 상관적이고, 검증할 수 있는 방법으로 요구사항을 식별하고, 통제하는 것을 말한다. 요구사항 관리는 추적성으로 간단히 정의할 수 있다. 추적성이란 요구사항, 요구사항과 시스템 설계, 구성품 및 문서 사이의 의존성을 나타내는 정보를 말한다. 요구사항은 시스템 전 수명주기 동안에 걸쳐서 도출되므로 요구사항 사이의 적절한 추적성이 제공되지 않는다면 설계, 개발, 생산, 운영 등 수명주기 동안의 활동들은 연계성이 단절되어 그 타당성을 상실하거나 시스템이 초기 요건을 만족하는지 검증할 방법이 없게 된다.

시스템 요구사항의 추적성은 시스템 사양서 스키마(Schema)에 의해 구체화 되며, 이 스키마는 요구사항들의 관계(Relationship)를 적절하게 구조화하는 것이 목적이다. 아래의 그림은 고속 킬링 열차의 기본 스키마를 도식화 한 것이다.

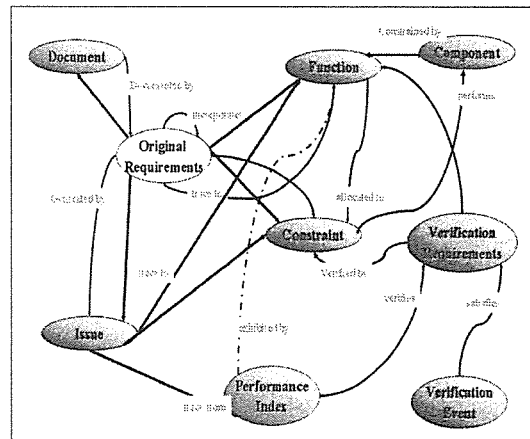


그림 2. 시스템 요구사항의 관계

앞에서도 언급했듯이 시스템 요구사항은 시스템 수명 주기 동안에 계속적으로 수정된다. 시스템이 계량되고 진보되는 과정에도 그 근거는 명백히 남아 있어야 하고, 추적성은 계속적으로 유지되어야 한다.

3. 시스템의 시험 및 평가 체계 개발

시스템 요구사항이 도출되면 요구사항에서 도출된 기능을 분석하게 되고 분석된 기능은 성능과의 추적성을 확보하면서 각 구성요소(Components)에 할당된다. 이러한 시스템 엔지니어

도표 2. 시스템 시험 및 검증 템플릿

검증 요구사항					검증 대상 시스템 요구 사항	검증 실시 이벤트								검증 절차		시험 장비	책임부서				
시험항목	시험 목적	검증항목	시험 수준	검증 단계		시험목적 출력	출력 검증 보고서	시스템 요구사항	시험대상항목	시험이벤트	시험이벤트설명	시스템 모드	위험환경조건	순 소요시간	단위(일, 시간)	분 시각점	검종류점	시험절차	시험절차출처	시험장비	시험평가조직

어링 통합 프로세스를 거친 후 시스템이 올바르게 통합되었는지, 요구사항에 맞게 만들어 졌는지를 검증하게 된다. 어떤 개발 방법이 프로젝트에 적용되었던 간에, 어떻게, 언제, 누가 결과물을 최종의 형태로 합성을 하며, 요구사항을 만족을 검증하는지 정의 한 전반적인 시험 및 평가 기본 계획(Test and Evaluation Master Plan)에 의해 통합 및 검증 체계 개발이 진행되어야 한다.

3.1 검증 요구사항의 도출

고속 킬링 열차의 성능 만족 여부를 판단하기 위해 명확한 평가 기준이 필요하다. 이러한 평가 기준은 시스템의 요구사항을 만족하는지를 판별하는 검증 요구사항(Verification Requirements)으로 도출된다. 검증 요구사항은 시스템 사양서와 추적성을 확보해야 하며 이를 용의 하게 하기 위해 위와 같은 템플릿(Template)을 작성하여 사용하였다. 템플릿에서 나타내는 것 같이 검증 요구사항은 시험 항목으로 도출될 수 있다. 템플릿에는 각 도출된 시험에서 사용되는 소요 장비를 정의하고 시험 절차와 필요 시설 등을 기록하게 된다.

도출된 검증 요구사항과 시험항목은 템플릿에서 정의하는 것처럼 향후(차기 사업) 시험 검증 시나리오로 작성되며, 시나리오는 시뮬레이션 등을 통하여 검증된다. 검증된 시나리오는 시험 절차를 개발하는 주 기반이 된다. 그러나 아직 고속 킬링 열차에 대한 기술력이 풍부하지 못하므로 완벽한 시스템 요구사항을 도출하기 어려운 현실에 있다. 따라서 기존의 보고서(고속전철) 및 표준(UIC, IEC, JIS, KS 등)을 통해 시험항목을 먼저 도출하고, 시험항목은 IPT(Integrated Product Team)를 통해 검증 받은 후 시스템 요구사항 및 검증 요구사항으로 개발하는 것을 고려해야만 한다.

3.2 시험 및 평가 기본 계획(Test and Evaluation Master plan)

검증 요구사항이 구축되고 이것이 시스템 요구사항과 추적성을 확보하게 되면 시스템 시험 및 검증 체계가 구축된다. 이후 상세한 시험 및 평가 계획을 생성하고 전반적인 시간 계획과 각 시험 및 평가에 관한 내용을 기록하는 계획서를 작성한다. 시스템 엔지니어링 프로세스의 산물중 하나인 TEMP는 시험 및 평가 사업의 목적에 맞게 구성함으로써 모든 통합과 검증 업무를 도출해내고 각 소요 자원과 위험 분야 등을 기술함으로써 효과적이고 효율적인 시험 및 평가를 유도하는데 목적이 있다. TEMP는 다음과 같이 작성한다.

첫째, TEMP는 간략한 시스템 소개(System Introduction)를 기술을 시작으로 한다. 시스템 소개에서는 시스템의 임무 기술(Mission Description)을 하고, 핵심 성능 요소를 명확히 식별하고, 주요기술요소 등을 기록한다.

둘째, 시스템의 기본적인 소개 후 통합된 시험 프로그램 스케줄(Integrated Test Program Schedule)을 작성한다. 스케줄에는 주요 시험과 평가 단계, 일정 계획에 대한 의사결정 지점 같은 이벤트 날짜를 포함한다.

셋째, 개발 시험 및 평가(Developmental Test and Evaluation)에서는 어떻게 개발 시험 및 평가가 이루어지는지 설명하고, 개발 시험 및 평가 이벤트와 시험 기본 시나리오를 기술한다.

넷째, 운영 시험 및 평가(Operational Test and Evaluation)에서는 운영 시험 및 평가에 대한 개괄적인 내용을 기술하고, 주요 운영 문제에 대해 기술한다. 더불어 실제 운영 시험 및 평가에 대한 내용을 기술한다.

다섯째, 핵심 시험 및 평가 자원에 대해 간략히 요약해서 기술한다. 다음은 전체적인 TEMP의 내용을 요약하고 전체적인 내용을 핵심적으로 기술함으로써 내용을 마무리한다. 이러한 과정은 모든

이해당사자와 의사 결정권자에 의해 동의되어야 한다. 계획서 작성은 시험/검증 계획을 더 구체화할 수 있고, 이해당사자와의 의사소통을 위해서 꼭 필요한 프로세스 중 하나이다.

4. 시스템 엔지니어링 도구의 사용

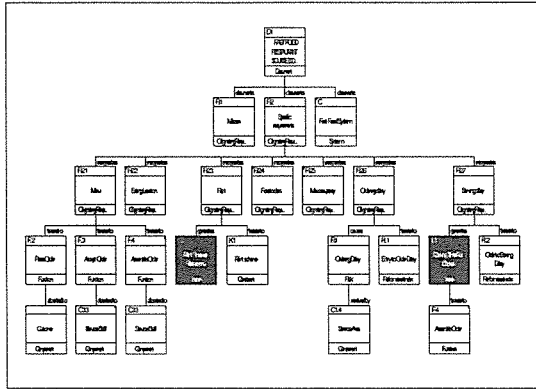


그림 2. Core를 사용한 요구사항의 관계

시스템 엔지니어링 프로세스를 적용하여 시스템을 개발하면서 시스템의 대부분의 프로세스를 표현할 수 있는 전산 지원 도구를 사용한다면 효율적일 것이다. 시스템 엔지니어링 전산지원 도구는 비용과 시간적인 측면뿐만 아니라 각 운영 시나리오(Operational Scenario)와 기능 흐름도(Functional Flows Block Diagram)를 구현하고 검증할 수 있는 장점이 있다. 더불어 각종 문서를 자동으로 생성해 줌으로서 문서를 작성해야 하는 시간을 단축할 수 있고, 많은 문서들과 각 데이터들을 데이터베이스화함으로써 시간과 장소의 제약 극복할 수 있다.

고속 킬링 열차의 시스템 요구사항 분석과 검증 요구사항 도출을 위해서 시스템 엔지니어링 도구 Core를 사용하였다. 원 요구사항에서 시스템 요구사항을 도출하고, 하부 시스템 요구사항과 형상 아이템 요구사항들의 추적성을 원활하게 확보한 후, 이런 데이터들을 통해 만들어지는 시스템 사양서와 시험/검증 계획서를 시스템 엔지니어링 도구를 통해 편리하게 도출할 수 있다. 도구를 사용하지 않고서도 충분히 시스템 엔지니어링을 적용하여 시스템을 개발할 수 있다. 도구를 한다면 그 결과는 분명한 차이를 보인다. 단지 도구는 보조적인 역할을 수행한다는 사실은 분명한 사실이다. 하지만 방대해져 가는 시스템의 규모를 가만한다면 보다 효과적인 방법을 선택해야 할 것이다.

5. 결론

본 연구는 한국형 속도향상 킬링 열차에 대한 시험 및 평가 기술 개발을 위해 시스템 요구사항 분석과 검증 요구사항 도출에 대해서 논의하였고, 더불어 요구사항 사이의 추적성을 확보하기 위한 과정을 보여 줌으로서 체계화된 시험 및 평가를 하기 위한 단계를 소개하였다.

지금까지는 요구사항 분석과 시스템 사양서를 만드는데 주력하였는데 다음에는 기능 분석(Functional Analysis)과 물리적 아키텍처(Physical Architecture)를 정의하는 프로세스를 거쳐야 한다. 앞 단계의 일련의 과정은 계속적으로 반복됨으로써 해서 시스템이 완성되어 진다. 이러한 단계 동안에도 추적성은 계속 유지되어야 하며, 관리되어야 하므로 잘 정의된 요구사항은 시스템 개발의 중요한 초석이라 말할 수 있다.

대형화되고 복잡화된 사업에서 성공할 수 있는 가장 핵심적인 내용은 시간과 비용을 절감하고, 고객의 요구사항을 만족시키며, 시스템과 외부 시스템의 원활한 인터페이스를 유지하는 것이라 말할 수 있다. 이러한 체계화 된 시스템을 구축하는 데는 시스템 엔지니어링 프로세스를 적용함으로써 달성할 수 있다.

참고 문헌

- (1) 최종민, 유일상, 김연태, 박영원 : 차세대 고속전철 시스템 시험검증 체계 구축 및 적용
- (2) Test and Evaluation Template Created by Lee, J.Y
- (3) Vitech co., Reference Material, Relationship Diagram
- (4) Dennis M. Beude, The Engineering Design of Systems, John Wiley & Sons, Inc., 2000
- (5) James N. Martin, Systems Engineering Guidebook: A Process for Developing Systems and Products, CRC Press, Inc., 2000
- (6) Department of the Army Pamphlet 73-2, Test and Evaluation Master Plan Procedures and Guidelines
- (7) DoD 5000.2-R, Appendix III, The Test and Evaluation Master Plan Format
- (8) EIA 632, 요구사항 논증 기준