

통합평가 계획수립을 위한 시스템적 접근 프로세스 Systematic approach process for Integrated Validation & Verification Plan

*김진훈, 신광복, 유원희, 구동희

*Jin-Hoon Kim, Kwang-Bok Shin, Won-Hee You, Dong-Hoe Koo

*에스이테크놀로지(주) 전략기획팀 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단

ABSTRACT

The paper aims at presenting a systematic approach process and a method of requirement validation and system verification. Validation is applied during concept development to ensure conceptual validity, requirements validity, and design validity. Verification work is applied subsequent to the design work on test articles and early production items to produce evidence that the design solutions do, in fact, satisfy the requirements. In this paper, we present a requirements validation model and a system verification model. This models are applied to the development of TTX(Tilting Train Express) system with systems engineering tool, CORE.

1. 서 론

복잡한 시스템은 복잡한 프로세스에서 비롯된다. 복잡한 프로세스는 잘 형성된 인간의 사고(thought), 재료(materials), 그리고 시간(time)을 의도된 목적을 성취할 수 있는 기능들이 모여 조직된 어떤 것에 대한 설명으로 변환한 것이다. 이러한 복잡한 프로세스를 시스템 접근법(System approach), 시스템 개발 프로세스(System development process), 또는 시스템엔지니어링 적용(exercise of system engineering)이라고 한다.^[1]

인간은 매우 다양한 조직적 프로세스를 가지고 있다. 오케스트라의 연주가 특정 전문연주가 한사람에 의해 이루어질 수 없는 경우와 같다. 특히, 우주항공, 자동차, 유도탄, 그리고 철도산업등과 같은 현대산업은 더욱 더 다학제(multi-disciplines)가 복잡하게 얽혀있는 프로세스이다. 이러한 복잡한 문제를 접근하기 위해서는 복잡한 문제를 전문가 특성이 다른 여러 소집단들이 해결할 수 있도록 작은 문제로 분배되어야 한다. 또한, 이렇게 분배된 문제가 해결되면 전체의 복잡한 문제가 해결될 것이라고 기대할 수 있어야 한다. 여기서 첫 번째 특성은 고객의 요구로부터 유도된 모든 것, 즉 가장 큰 문제영역(large problem)에서의 요구된 특성과 추적 가능한 요구사항을 정의하는 것이다. 이러한 결과부터 작게 조개진 문제들을 풀면, 큰 문제가 해결될 것이라는 것을 확신할 수 있게 된다. 논증(validation)은 개념 개발(Concept development), 그리고 초기설계작업(early design work) 동안에 적용되어, 규정된 요구사항들이 필요하며, 적절한 가치(value)를 가지고, 그 요구사항이 만족될 수 있다는 것을 확신하게 된다. 검증(verification) 작업은 설계 해결방안이 요구사항을 만족한다는 증명을 만들어내기 위해, 시험장치와 초기 생산

품에 적용된다. 즉, 검증은 규정된 요구사항이 만족되는지를 확인한다.

본 연구에서는 EIA-632 기술적 평가프로세스(Technical Evaluation Process)에서 제시된 논증과 검증에 대한 요구사항을 식별하고, 이 요구사항을 만족하는 시스템 엔지니어링 개발 및 통합 프로세스에서의 논증과 검증 모델을 제시하였다. 또한 모델에서 제시된 방법을 시스템엔지니어링 도구인 CORE를 통해, 논증과 검증 결과들이 EIA-632 기술적 평가프로세스 요구사항에 맞춰 입력되고 저장될 수 있도록, 논증 및 검증 스키마(Schema)를 연구하여 결정하였다. 그리고 틸팅 고속열차(Tilting Train eXpress) 시스템에 요구사항 논증 및 시스템 검증 모델을 적용하여, 최상부 시스템에 대한 요구사항 논증을 수행하고, 최상부 시스템의 검증계획을 수립하였으며, 논증과 검증 결과를 CORE 데이터베이스에 구축하여 추적성을 유지하고 변경관리가 가능하도록 하였다.

본 연구는 시스템엔지니어링의 논증 및 검증 평가 프로세스에 대한 프로세스(Process), 방법(Method), 도구(Tool)를 연계하고, 실제 환경(Environment)에 맞도록 유기적으로 적용하는 PMTE 패러다임^[2]을 달성하는 구체적인 예가 되며, EIA-632 표준을 만족하는 요구사항 논증과 시스템 검증 모델을 제시하고 구현하였다.

2. EIA-632 표준서의 평가 요구사항

EIA-632는 시스템엔지니어링 표준이다. 본 표준에서는 시스템엔지니어링 프로세스에 대한 요구사항을 제시하고 있다. 이 중, 시험평가와 관련된 기술평가(Technical Evaluation) 프로세스를 연구하고, 표준서에서 요구되는 요구사항을 만족하는 평가모델을 연구하였다.

그림 1은 EIA-632의 기술평가 프로세스(Technical Evaluation Process)를 나타내고 있다. 이 프로세스는 분석 요청, 요구사항, 그리고 구현된 제품을 입력으로 하여, 시스템 분석 프로세스(System Analysis Process), 요구사항 검증 프로세스(Requirements Validation Process), 시스템 검증 프로세스(System Verification Process), 그리고 최종제품 검증 프로세스(End Products Validation Process)의 과정을 거쳐, 분석적 모델, 검증된 요구사항, 검증된 시스템제품, 그리고 검증된 최종제품을 획득하게 된다.

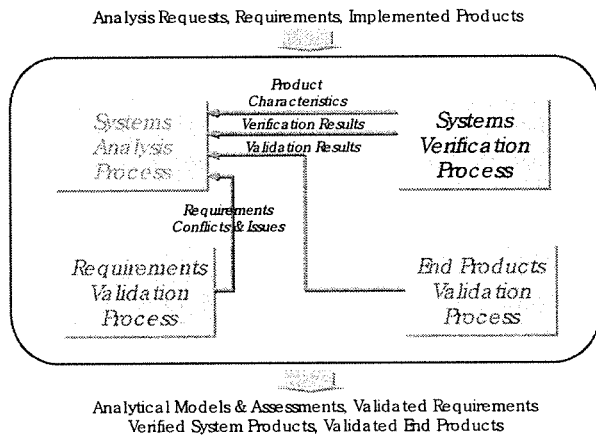


그림 1 EIA-632 Technical Evaluation Process

시험평가 프로세스에서 요구사항 검증프로세스, 시스템 검증 프로세스, 그리고 최종제품 검증 프로세스의 결과들은 시스템 분석 프로세스를 통해 효과성분석(Effectiveness Analysis), 절충분석(Trade-off Analysis), 리스크분석(Risk Analysis)을 수행하게 하는 입력들로서, 시스템개발과 함께 개발초기부터 계획되고 시행되어야 하는 중요한 프로세스이다,

기술평가 프로세스에서는 다음과 같은 요구사항이 있다. 요구사항서 검증(Requirements Validation)은 기술 요구사항서와 규정된 요구사항서에 대해 잘 구성되어 있는지 확인하여야 한다. 요구사항서의 각 항목별로 1)경쟁력을 지속할 수 있는 능력, 2) 명확성, 3)정확성, 4)타당성, 5)초점, 6)구현가능성, 7)수정의 용이성, 8)애매모호함의 제거, 9)특이성, 10)시험가능성 및 , 11)검증가능성 등을 분석하여 확인한다. 또한, 요구사항서 전체에 대해 1)중복되는 부분이 없는가, 2)연결성 및 3)상충되는 부분의 제거 등을 확인한다.

획득자 요구사항 검증(Acquirer Requirements Validation)은 정의된 획득자 요구사항이 획득자의 필요와 기대에 부합하는지 확인하여야 한다. 이를 위한 업

무는, 논증하기 위한 방법을 선택하고 절차를 정의하고, 하부 추적성과 상부 추적성을 결정하며, 변동, 누락 및 상충되는 사항의 식별 및 해결하고, 논증결과를 정보 데이터베이스에 기록함으로써 프로세스가 완수된다.

기타 이해당사자 요구사항 검증(Other Stakeholder Requirements Validation)은 정의된 기타 이해당사자 요구사항이 시스템에 대한 이해당사자의 필요와 기대에 부합하는지 확인하는 프로세스이다. 이를 수행하기 위한 업무는 획득자 요구사항 검증과 동일하게 수행된다.

시스템 기술 요구사항 검증(System Technical Requirements Validation)은 정의된 시스템 기술요구사항이 검증된 획득자 및 기타 이해당사자 요구사항과 부합하는지 확인하는 프로세스이다. 이를 수행하기 위한 업무는 논증하기 위한 방법을 선택하고 절차를 정의하고, 하부 추적성과 상부 추적성을 결정하며, 가정 분석 및 기타 시스템 기술요구사항을 분석하고, 변동, 누락 및 상충되는 사항의 식별 및 해결하여, 요구사항의 변동이 발생하였을 경우 시스템 기술요구사항을 재 검증한다. 그리고 논증 결과를 정보데이터베이스에 기록하는 것이다.

논리적 해결방안의 논증(Logical Solution Representation Validation)은 논리적 해결방안이 할당된 시스템 기술요구사항 하부와 부합하는지 확인하는 프로세스로 시스템 기술 요구사항 검증 업무에서 기타 시스템 기술요구사항 분석업무를 제외하고는 동일한 과정을 거친다.

시스템 검증 프로세스는 (1) 시스템 설계방안이 원천 요구사항과 일치하는가 (2) 최종제품이 규정된 요구사항을 만족하는가 (3) 지원제품개발 및 구매가 적절히 진행되는가 (4)필요한 지원제품이 필요시 준비되고 가용한가를 확인한다. 여기에서는 설계방안 검증, 최종제품 검증, 지원제품 준비에 대한 요구사항을 제시하고 있다.

설계방안 검증(Design Solution Verification)은 시스템 설계방안에서 정의된 각 최종제품이 선택된 물리적 해결방안의 요구사항에 부합하는지 검증해야 한다. 이를 위해, 설계방안 검증 계획 수립, 검증 수행 및 재검증 수행, 그리고 검증 결과 기록의 업무 절차로 진행한다. 최종제품 검증(End Product Verification)은 획득자에게 인도될 최종제품이 규정된 요구사항에 부합하는지를 검증한다. 이는 최종제품 검증 계획 수립, 검증 수행 및 재검증 수행, 그리고 검증 결과 기록의 절차로 진행된다. 마지막으로 지원제품 준비

(Enabling Product Readiness)는 개발, 생산, 시험, 배치/설치, 훈련, 지원/유지보수 및 폐기에 필요한 지원제품의 준비 결정에 대한 요구사항으로, 지원제품 준비 계획 수립, 지원제품준비 수행 및 재준비 수행, 준비 결정 결과 기록의 절차로 진행된다.

최종제품 논증(End Product Validation)은 최종제품이 논증된 획득자 요구사항에 부합함을 확인하는 프로세스이다. 이를 위한 절차는 최종제품의 논증 방식과 완료기준 결정, 시스템 수준에 적절한 논증 수행을 위하여 시험 장치 또는 최종결과물을 획득하고, 합의에 따라 최종제품 논증을 계획에 의거 수행한다. 그리고 모든 변동을 식별하기 위하여 논증결과를 수집 및 분석하며, 변동을 해결하기 위하여 적절한 프로세스의 업무를 수행하고 적절한 검증 및 논증을 반복한다. 변동이 빈약한 시험의 수행 또는 시험조건에 기인할 경우 수정되고 개정된 절차 및 장비를 사용하여 재논증을 수행한다. 마지막으로 추적성 확보를 위하여 논증결과, 절차, 가정, 교훈 그리고 논증 및 결과에 대한 기타 정보를 기록한다.^[3]

본 연구에서는 요구사항 논증프로세스와 시스템 검증 프로세스의 요구사항을 만족하기 위한 연구를 진행하였다. 이와 같은 표준서의 요구사항들을 만족하기 위해서는 현재 진행되고 있는 제품개발 프로세스와 연계성을 가지고 있어야 한다. 따라서 시스템엔지니어링의 프로세스와 본 EIA-632프로세스에서 요구되는 요구사항을 연계시키는 연구가 진행되었다.

3. 제품개발 프로세스에서의 검증 및 평가

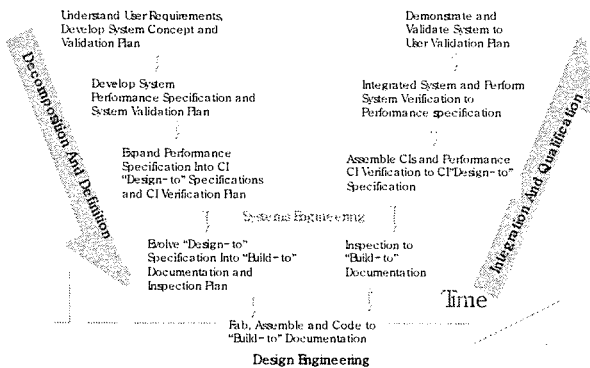


그림 2 Design and Integration Vee Model

시스템엔지니어링 프로세스에 대한 모델 중에서 그림 2에서 제시되는 Vee모델^[4]은 가장 대표적인 시스템 엔지니어링 프로세스이다.

Vee 모델은 요구사항에 대한 이해, 시스템 개념과 검증 계획 수립을 시작으로, 하부시스템, 그리고 형상항목으로 분해 및 정의하는 하향식 프로세스와, 형상항목에서 시스템까지의 통합 및 인증이 수행되는 상향식 프로세스에 대한 설계 및 통합 모델을 잘 나타내고 있다.

마찬가지로 Buede는 논증 및 검증에 대한 Vee 평가 모델을 제시하였는데, 이 모델에 대해 EIA-632 요구사항과의 연계성을 다음 그림 3에서 보여주고 있다.

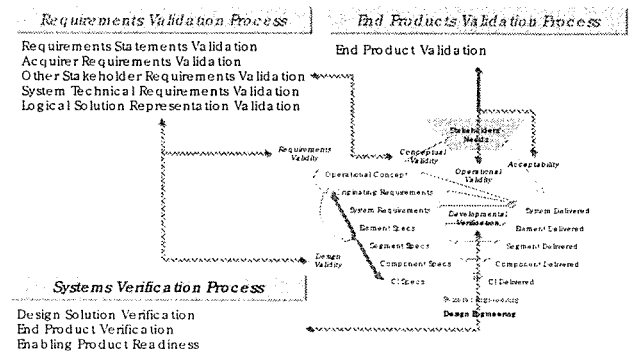


그림 3 EIA-632요구사항과 Vee

그림 3에서 보는바와 같이, Vee 평가모델의 Concept Validity(개념 타당성), Requirement Validity(요구사항 타당성), Design Validity(설계타당성)은 EIA-632의 요구사항 논증 프로세스의 요구사항에 해당되며, Operational Validity(운용 타당성), Acceptability(인증)은 최종제품 논증 프로세스, 그리고 Development of verification(검증 개발)은 시스템 검증 프로세스 요구사항에 해당된다. 이와 같은 연계성을 볼 때, Vee 평가모델에 따르는 요구사항 논증 및 시스템 검증 모델을 수립함으로써, EIA-642 요구사항을 만족할 수 있다고 판단할 수 있다.

4. 요구사항 논증 모델

그림 4는 요구사항 논증모델이다. Vee모델에서와 같이 좌측상단에서 요구사항의 생성부터 시작하는데, 획득자를 포함하여 이해당사자의 요구(Needs)로부터 요구사항이 생성된다. 이러한 요구사항은 이해당사자들의 목적과 관계되는 임무요구사항 (Mission Requirements)이 된다. 임무요구사항은 운용개념 모델(Operational Concept Model)을 통해, 완전함을 확인할 수 있으며, 모델에 대한 기타 이해당사자들과의 의사소통을 유도하여, 누락 없는 요구사항을 수집하고, 조율함으로써 운용 타당성을 갖게 된다. 원 요구사항(Originating

Requirement)은 임무요구사항의 다음 계층에서 개발되며, 임무요구사항과 추적성을 형성함으로써 타당성을 갖는다. 원 요구사항은 이해당사자의 언어로 표현되어 있으며, 가급적 설계와는 독립되어야 한다. 원 요구사항은 엔지니어링 용어로 표현되는 시스템 요구사항(System Requirement)으로 변환되고, 추적된다.

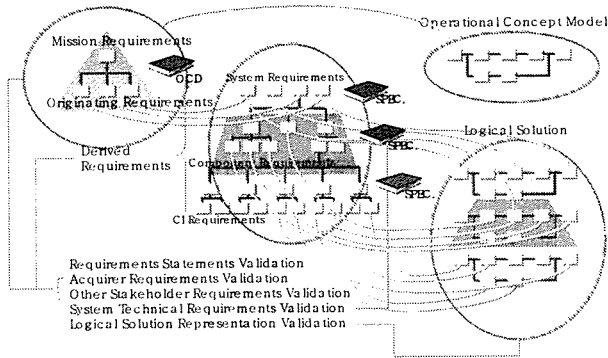


그림 4 요구사항 논증모델

다시 시스템 요구사항은 논리적 해결방안과 연결됨으로써 최상부 시스템에 대한 요구사항 논증이 완료된다. 이는 다시 앞의 Vee 모델에서와 같이 시스템요구사항에서 구성품 요구사항(Component Requirement)으로 하향식 분해와 추적성이 확보되고, 논리적 해결방안과 추적성을 확보한다. 이와 같은 반복적인 분해과정을 통해, EIA-632에서 요구되는 획득자 및 이해당사자 요구사항 논증, 시스템 기술 요구사항 논증, 논리적 해결방안 논증이 이루어진다. 또한, 각 단계별 발생되는 요구사항서들은 요구사항서 논증 요구사항에 따라 논증되어야 한다.

5. 시스템 검증 모델

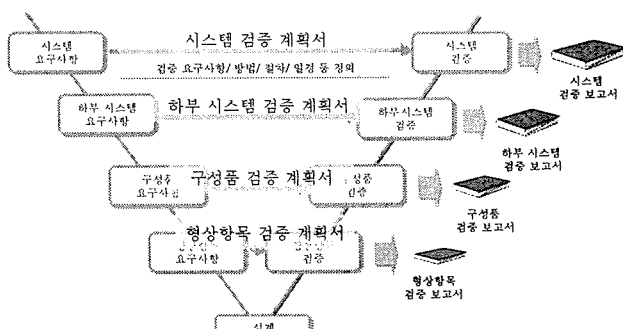


그림 5 시스템 검증모델

시스템 검증 계획은 제품개발이 진행되어 시스템 요구사항이 설계가 이루어지는 부품 수준에 이를 때까지

분해되는 과정에서 각 단계별로 정의되고 추적되어야 한다. 시스템 요구사항이 확정되면, 이와 추적성을 갖는 검증요구사항이 개발되고, 이어서 검증요구사항에 대한 물리적 해결방안과의 추적성을 확보함으로써 시스템 검증 계획이 수립된다. 이와 같이 추적성이 확보된 검증 계획은 향후 통합과정에서 각 단계별 검증 계획에 따라 검증되고, 성공적으로 통합되었음을 확신하게 될 것이다. 이와 같은 프로세스를 그림 5에서 확인할 수 있다.

6. 시스템 평가 데이터베이스

시스템 요구사항의 논증 및 시스템 검증에 대한 데이터베이스는 CORE 도구를 활용한다. CORE에서는 시스템개발에 필요한 공통적 특성들을 요소(Element)에 저장하고, 이들 각각은 다른 요소와 연결(Relation)을 통해서 서로간의 추적성을 확보하며, 연결 관계에 대한 정보를 담고 있다. 이러한 요소와 연결의 관계를 개발하고자하는 제품의 특성이나, 개발에 참여하는 조직의 특성에 적절하도록 스키마(Shema)를 조정하고 새로이 개발할 수 있다.

CORE에서는 기본적으로 몇 가지 스키마를 제공하고 있다. 킬링 고속열차 개발사업에서는 CORE에서 기본적으로 제공하고 있는 스키마 중, 요구사항들의 추적성이 확보된 시스템규격서인 SSS(System/Segment Specification) 스키마와 시험검증 DB구축과 관련된 TEP(Test & Evaluation Plan) 스키마를 사용하기 위해 연구되었다.

CORE는 시스템평가 모델에 따라 데이터베이스의 저장구조를 생성할 수 있다. 다음 그림 6의 형태는 시스템평가 모델에 적합한 CORE의 TEP 스키마이다.

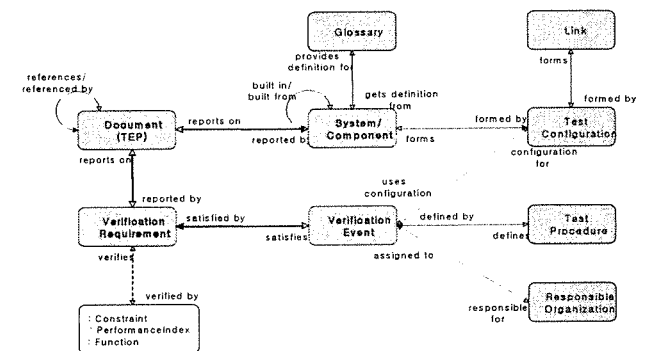


그림 6 Test & Evaluation Plan Schema

먼저, VerificationRequirement, 검증요구사항이 본 스키마의 시발점이 된다. 검증요구사항은 시스템요구사항에서 정의된 Constraint, PerformanceIndex, 그리고

Function 요소로부터 생성될 수 있다. 또한, 시험검증과 관련된 문서로부터 검증요구사항이 생성될 수 있다. 본 연구에서는 이 두 가지 방식을 같이 사용하여 데이터베이스를 구축하게 된다. 그러나, 검증요구사항은 반드시 시스템요구사항과 반드시 추적성이 확보되어야 한다. 이후, 검증요구사항 요소는 검증활동이 되는 검증이벤트, VerificationEvent와 추적성을 갖는다. 검증이벤트는 검증요구사항에서 정의된 검증요구사항, 검증방법에 적합한 활동을 생성한다. 검증이벤트는 다시 Test Configuration(시험형상), TestProcedure(시험절차), 그리고, ResponsibleOrganization(책임조직)을 정의하고, 추적성을 형성한다.

7. 톨팅 고속열차(TTX) 시험평가 계획

TTX는 획득자(철도청) 및 이해당사자(철도연구원 및 하부 개발업체)와의 의견을 모아, 시스템요구사항과 기본 사양서를 1차년도에 개발하였다. 용어적 혼돈을 방지하기 위해 1차년도에 개발된 문서는 원 요구사항으로 분류됨이 바람직하다. 이 요구사항을 논증하고 시스템 요구사항을 생성하기 위해, 다음 그림 7과 같은 최상부 구조의 모델을 수행하였다.

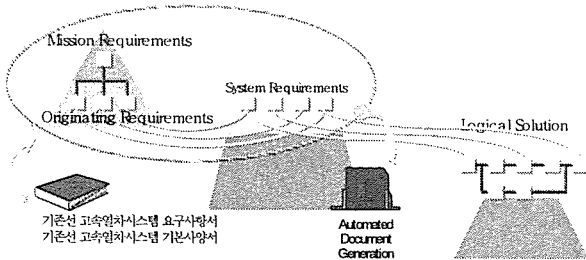


그림 7 최상부 요구사항 논증 모델

총 요구사항은 848개로서 이를 층별화(시스템/하부시스템/부품 수준)하였으며, 309개 항목에 대한 쟁점사항을 발생하여, 이해당사자들과 협의를 진행하고 있다.

요구사항간의 추적성을 형성하고 유지하기 위해 CORE 도구를 활용하며, 추적성이 완전한 요구사항 문서를 자동으로 출력할 수 있는 시스템규격서(SSS)의 틀을 다음의 그림 8과 같이 구성하였다.

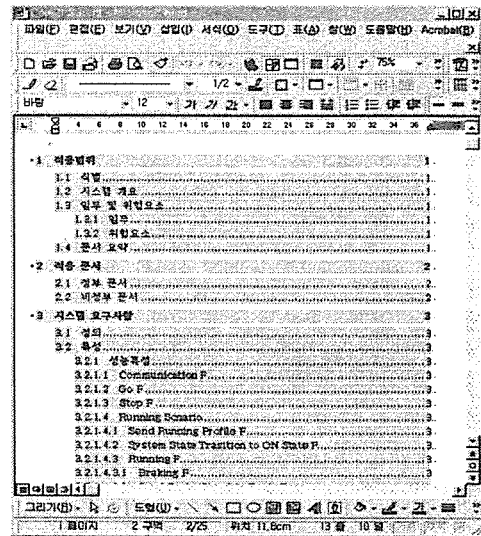


그림 8 System/Segment Specification TOC

시스템 검증을 위해 다음의 그림과 같은 최상부 구조의 모델에 따라 검증계획을 수립하였다.

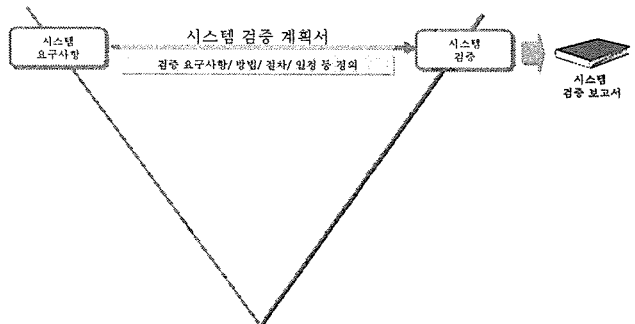


그림 9 시스템 최상부 검증 모델

요구사항 논증과정에서 확정된 시스템요구사항에 대한 최상부 시스템의 시험평가 계획서(TEP)를 수립하기 위해 TEP 스키마에서 요구되는 추적성과 속성 정보를 수집할 수 있어야 한다. 이를 효율적으로 수집하기 위해 정보수집 템플릿 2가지를 개발하였다. 하나는 시스템요구사항에 필요한 검증요구사항을 정의하는 템플릿이며, 다른 하나는 검증요구사항에 따르는 검증 이벤트, 검증절차, 그리고 검증형상항목을 정의하는 템플릿이다.

검증요구사항 템플릿은 시스템 요구사항인 Function (기능), PerformanceIndex(성능지표), Constraint(제약)과의 상관관계(Relation)를 상관관계를 통해, 누락되거나 불필요한 검증요구사항을 식별하며, 시스템요구사항을 추가적으로 보완하게 해주는 템플릿이다. 템플릿의 작성은 시스템요구사항이 베이스라인 정의에 의해 출력이 명확한 상태에서 검증요구사항을 개발해야 한다. 본 연

구에서는 시스템요구사항 개선과 함께 진행됨에 따라, 시스템요구사항 확정시점까지 CORE에 입력하지 않고, 시스템요구사항의 변경 내용을 지속적으로 모니터링하여 본 템플릿에 반영하고 있다. 템플릿의 속성을 보면, 시스템요구사항의 데이터베이스에서 내용을 이해할 수 있는 이름(Name), 요소(Element), 내용(Description)을 표시함으로써 검증이 필요한 요구사항을 식별하게 된다. 이와 같이 식별된 시스템 요구사항을 검증하기 위해, 필요한 기술(Technique)이 무엇인지를 식별한다. 필요한 기술은 반드시 하나만을 의미하지 않는다. 따라서 분류된 4가지 기술에 대해 하나이상의 기술을 사용하게 되며, 이때 각각의 기술별로 행을 만들고 해당 분류에 표시를 한다. 그리고 시스템요구사항의 내용을 그대로 복사한다. 그리고 분류된 기술로서 검증되어야 할 요구사항, 즉 해당기술로서 시스템요구사항에 대한 검증활동을 한 후, 이 활동으로 만족하기위한 수준이 무엇인지를 검증요구사항에 기록해야 한다. 그리고 검증기술에 따른 검증요구사항이 확인될 수 있는 검증 수준을 표기한다.

검증이벤트 템플릿은 검증요구사항을 만족하기 위해 수행되는 활동을 정리하게 된다. 주요내용은 검증이벤트를 식별하고, 검증일정과 시스템의 검증모드와 환경을 식별한다.

이 두 가지 템플릿을 완성하게 되면, CORE에 자동으로 입력 가능한 형태가 된다. 그리고 추적성을 정의하게 되면, 미 국방부 표준서 DoD 5000.2-R 및 Department of the Army Pamphlet 73-2에서 규정된 형식을 근간으로 하여 작성된 TEP문서가 그림 10과 같이 자동으로 생성된다.

1	Scope	1
1.1	Identification	1
1.2	System Overview	1
1.3	Document Overview	1
1.4	Relationship to Other Plans	1
2	Applicable Documents	2
2.1	Government Documents	2
2.2	Non-Government Documents	2
3	Planned Tests	3
3.1	Inside train noise_VR	3
3.1.1	Curved line_VE	3
3.1.2	Straight line_VE	4
3.2	Outside train noise_VR	5
4	Notes	6

그림 10 Test & Evaluation Plan TOC

계획서에는 검증 요구사항과 검증 요구사항과 추적성이 연결된 검증이벤트를 순차적으로 표현하고 있다. 검증요구사항에는 계획이 진행 중인지, 완료되었는지를 나타내는 계획상태(status), 검증해야 할 시스템 요구사항, 검증되는 요구사항에 연결되어 있는 시험항목, 검증방법, 이벤트 일정을 나타낸다. 검증이벤트에는 검증이벤트 내용을 설명하고, 이벤트 일정, 시험형상, 시험 조직, 시험 절차에 대한 정보를 담고 있다.

8. 결론

시스템엔지니어링 표준서인 EIA-632 규격의 시스템 평가 프로세스 요구사항을 만족하는 논증 모델 및 검증 모델을 정립하고, 모델에 따른 구체적 방법론과 도구 활용방안을 제시하였다.

이와 같은 결과로 얻어지는 논증 및 검증 결과는 개발 과정에서 또는 통합과정에서 발생하는 효과성 분석, 절충 분석, 그리고 리스크 분석에 필요한 품질 높은 입력자료로 활용되어 의사결정 시간을 단축하게 될 것이다.

또한, 시스템적 접근 방식에 의한 논증과정에서 향후 통합과정에서 수행되어야 할 검증이벤트의 누락과, 검증되어야 할 이벤트에 대한 누락된 시스템 요구사항을 상호 보완적으로 식별함에 따라, 통합과정에서 발생할 수 있는 문제점을 조기에 발견하여 조정하게 되어, 기존 검증방식에 비해 손실을 대폭 줄일 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Jeffrey O.Grady, "System Validation and Verification", CRC Press LLC, Boca Raton, 1998.
- [2] James N. Martin, "Systems Engineering Guidebook - A Process for Developing Systems and Products", CRC Press LLC, Boca Raton, 1997.
- [3] Dennis M. Buede, "The Engineering Design of Systems", John wiley & Sons, INC., 2000.
- [4] Andrew P. Sage and Willian B. Rouse, "Handbook of Systems Engineering Management", John wiley & Sons, INC., 1999.