

검증매트릭스(Verification Matrix)를 활용한 요구사항 검증방안 연구

Study on a Verification of System Requirements by using Verification Matrix and Requirements Traceability

정경렬† 최준호* 박찬영** 한석인***
Kyung-Ryul Chung Chun-Ho Choi Chan-Young Park Suk-In Han

ABSTRACT

In this study we suggest a method of optimization of verification hierarchy structure and system requirements management by using a verification matrix with traceability consideration. Verification items were gathered in the process of CDR(Critical Design Review), and analyzed with respect to requirements traceability structure. Missed or overlapped items were adjusted, and cross-correlated items between sub-systems were clustered and rearranged in order to structurize verification requirements (VRs). Those VRs are to be used as a guideline for the test and evaluation planning, development of test items and procedure, and system requirements management throughout the system integration stages.

1. 서 론

자동차, 철도, 항공, 선박, 휴대폰 산업 등 다양한 분야에 걸쳐 시스템엔지니어링을 적용한 프로젝트 관리의 중요성이 부각 되고 있다. 그 이유는 체계적인 시스템관리를 통해서 제품이나 서비스의 개발, 제작, 운용 그리고 폐기에 이르기까지 가용한 인적/물적자원, 정보자원, 시간/공간 등을 효율적으로 배분, 활용하여 주어진 프로젝트가 최적의 결과를 달성하기 위함이라 할 수 있을 것이며 실제로도 다양한 분야에서 SE적용을 통해 모범적인 결과를 도출하고 있다. 더욱이 도시형자기부상열차와 같은 대형복합 시스템 개발에 있어서 그 방대한 관리대상 범위만 고려하더라도 전문적이고 체계적인 SE적용은 필수불가결하다. 한국형 도시형자기부상열차사업은 2005년 대형 국가 R&D 실용화 사업의 우선추진사업으로 확정되어 2006년 12월에 착수되었으며 현재는 2012년 말 도시형자기부상열차 상용화를 목적으로 기 개발된 초도편성차량의 신뢰성, 가용성, 안정성 등을 평가하기 위하여 시험평가 체계를 구축/보완하는 검증계획 단계이다. 자기부상열차는 크게 차량/신호/통신/전력/역사/선로/차량기지와 같이 서브시스템 7개 분야로 구성되며 차량시스템의 검증요구사항의 수만 400개가 넘는다. 이 중 단 한가지의 검증누락은 전체시스템에 중대한 영향을 미칠 수 있기 때문에 각각의 검증요구사항을 추적 관리하는 것은 SE 엔지니어링의 검증단계에서 가장 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 검증의 누락을 방지하고 결국 프로젝트를 성공적으로 이끌 수 있도록 하기 위한 도시형자기부상열차의 요구사항 및 규격과의 추적성이 구축된 차량시스템 검증요구사항서 개발 및 관리체계 구축사례에 대해 소개한다.

† 정회원, 한국생산기술연구원,
E-mail : chungkr@kitech.re.kr
TEL : (031)8040-6871 FAX : (031)8040-6870
* 정회원, 한국생산기술연구원
* 정회원, 한국생산기술연구원
** 현대로템

2. 본 론

2.1 검증요구사항 관리의 개요

자기부상열차는 요구사항으로부터 차량/신호/통신/전력/역사/선로/차량기지에 이르기까지 총 7개의 서브시스템규격들이 개발되었다. 이 모든 서브시스템규격 사항들은 각각의 시스템설계에 반영되어야 하며 개발과정에서 예비설계검토(PDR), 상세설계검토(CDR) 등의 절차를 거쳐 이러한 규격들이 어떻게 설계에 반영되었으며 얼마만큼 규격을 만족하는지 확인하기 위한 활동들이 수행된다. 이러한 활동들을 문서 검증활동이라고 한다면 문서검증으로 확인된 설계반영내용들이 실제로 얼마만큼 요구하는 기능이나 성능을 발휘하는지 확인하는 단계가 필요한데 이러한 활동을 실증적 검증활동이라고 할 수 있겠다. 이 과정에서 차량시스템 검증요구사항서는 제작된 차량의 요구사항 만족여부를 확인하는 과정에서 체계적인 검증활동이 가능하도록 하기위한 매개체 역할을 하게 된다.

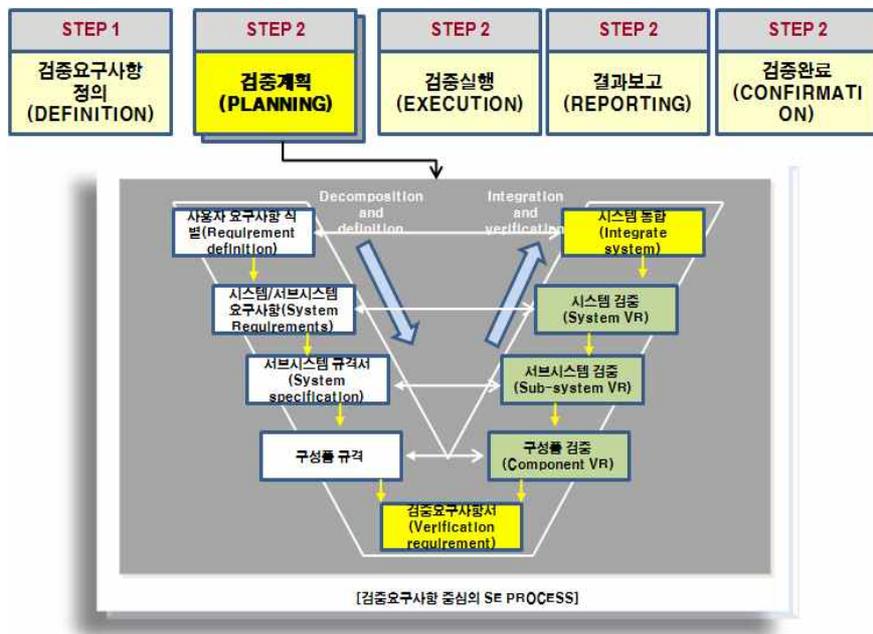


그림 1 검증단계 중심의 Vee 모델

2.2 검증요구사항의 구성 체계

2.2.1 검증요구사항 식별

규격의 개발은 정성적이고 선언적인 요구사항으로부터 설계자나 제작자가 제품설계에 반영 할 수 있는 정량적이고 구체적으로 표현된 문장 또는 수치이며 이는 모든 요구사항을 만족시킬 수 있도록 표현되어야 한다. 때문에 검증을 통한 규격의 만족은 요구사항의 만족이라고 말 할 수 있다. 이렇게 개발된 규격의 모든 항목에는 적개는 1개에서 많게는 수개에 이르기까지 검증되어야 할 수치와 문장이 포함되어 있으므로 이는 최소 1개 이상의 검증방법을 통해 평가되어야 한다. 이러한 이유로 각각의 규격은 좀 더 세분화되어 검증되어야 할 필요가 있으며, 이렇게 세분화된 규격 하나하나가 검증요구사항이 된다.

2.2.2 추적성 부여

시험평가의 목표는 반영된 설계결과들에 대한 검증활동들을 통해서 결국 제품이나 서비스의 제작결과가 얼마나 요구사항을 만족하는지 확인하기 위한 것이라 할 수 있다. 자기부상열차와 같은 대형복합 시스템의 방대한 검증요구사항의 시험평가를 위해서는 체계적인 시험평가계획이 반드시 필요하다. 따라서 모든 검증요구사항과 규격 그리고 요구사항과의 유기적인 추적성 구축을 위하여 별도의 Code를 부여하

였다. 그림 2.는 추적성 확보를 위해 요구사항에서 검증요구사항까지 부여된 코드 체계를 보여주고 있다.

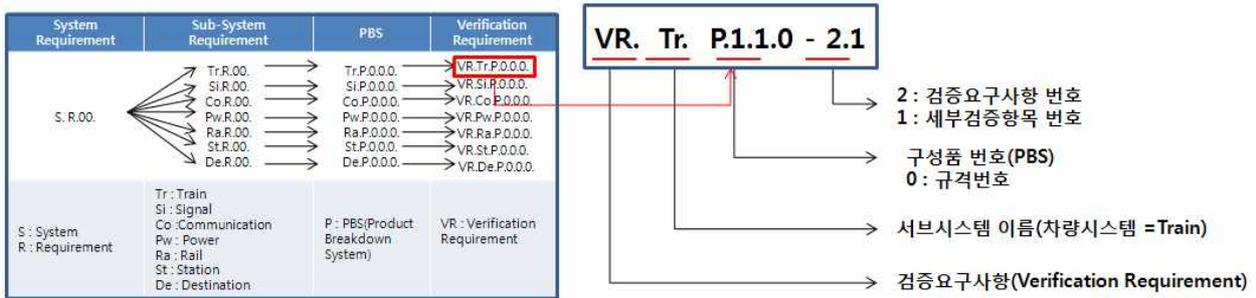


그림 2 System Requirement Traceability

2.2.3 관련법규 및 설계결과 반영.

본 사업의 범위에는 ‘도시형 자기부상열차 실용화를 위한 제반 법령 및 규정 개선’이라는 과제가 별도로 배정되어 건설규칙 및 안전기준, 성능시험 및 품질인증기준 등 자기부상열차에 맞는 관련 법규 및 규칙이 개발되어 지기 때문에 검증요구사항서 작성 시 요구사항 및 규격을 포함하여 관련 법안 등의 검토가 이루어 져야 한다. 도시형자기부상열차의 검증요구사항은 도시철도법을 기본으로 자기부상철도건설규칙, 안전기준, 소음·진동규제법, 교통약자 이동편의 증진법 등을 검토하여 반영하였다.

2.2.4 시험방법분류

검증요구사항은 그 요구사항의 성격에 따라서 시험/분석/측정/시연 등 다양한 방법으로 평가 될 수 있다.

| 평가방법 정의 | 검증방법 식별 | 개 수 |
|---|---|-----|
| □ 검사/측정 * 검사(INSPECTION): 기준과 같이 제품이 만들어졌는가를 조사하는 과정. 측정(MEASUREMENT): 일정한 양을 기준으로 하여 같은 종류의 다른 양의 크기를 재는 방법. | Requirement → Specification → Verification Requirement 1 → Inspection & Measurement | 53 |
| □ 시험 * 시험(Test): 지식 또는 능력 등을 알아보기 위한 시험(테스트/검사) | Verification Requirement 2 → Test | 210 |
| □ 분석/해석 * 분석(ANALYSIS): 분석을 통한 검증은 고안된 기술적 또는 수학적 방법, 컴퓨터, 하드웨어 시뮬레이션, 알고리즘, 차트, 그래프 또는 다른 과학적 이론이나 절차를 사용하여 요구항의 만족여부를 판단하는 것. * 해석(INTERPRETATION): 일반적으로 넓은 의미에서의 기호나 표현의 뜻을 어떤 조차를 통하여 밝히거나 또는 부여하는 일. | Verification Requirement 3 → Analysis & Interpretation | 3 |
| □ 시연 * 시연(Demonstration): 무용이나 연극 따위를 일반에게 공개하기 전에 시험적으로 상연함. '시할 공연', '시행'으로 순화. | Verification Requirement 4 → Rehearsal | 4 |
| □ 검토/확인 * 검토(Examination): 어떤 사실이나 내용을 분석하여 따짐. * 확인(Confirmation): 틀림없이 그러한가를 알아보기나 인정함. 또는 그런 인정. | Verification Requirement 5 → Review & Confirmation | 163 |
| 합 계 | Verification Requirement 433 | 433 |

그림 4 평가방법 정의

때문에 원활한 평가시행을 위해서는 각각의 검증요구사항에 그에 적절한 검증방법의 선택이 선행되어야 한다. 예를 들면 “차량 전두부의 구조는 차단, 충격압축응력에 충분히 견딜 수 있도록 한다.”와 같은 요구사항에 대해 충격압축응력을 직접 실시하는 것은 불가능하기 때문에 충돌해석과 같은 분석방법으로 요구사항 만족여부를 확인 할 수 있으며 “실내내장에 사용하는 모든 재료는 도시형 자기부상열

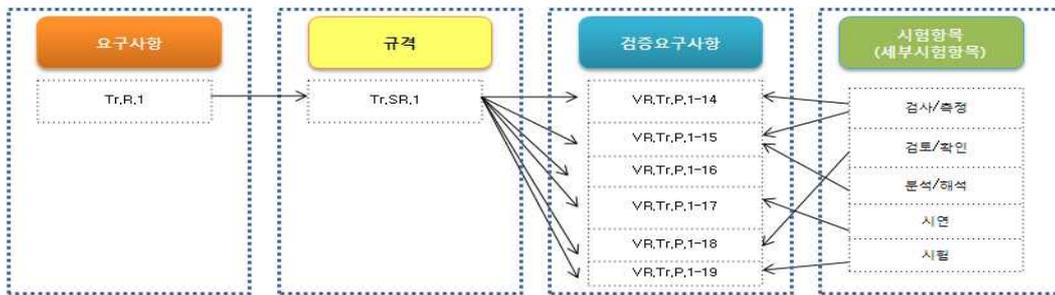
차 안전기준에 관한 규칙에서 규정한 재료를 사용하여야 한다.” 와 같은 요구사항은 적용소재에 대한 설계결과검토 등의 검증활동을 통해 확인이 가능하다.

이러한 검증요구사항과 평가방법 선정에 있어서는 먼저 검증요구사항을 기준으로 하여 각각의 요구사항에 적절한 평가방법 배치하는 방법, 또는 몇가지 평가방법을 먼저 정의하고 검증요구사항에 적절한 평가방법을 할당하는 방법으로 나눌 수 있는데, 전자의 경우 방대한 검증요구사항의 수나 검토자의 주관적 판단결과의 다양성을 고려할 때, 다수의 평가방법이 도출 되어 향후 평가방법정의에 혼선을 초래 할 수 있다. 본 연구과제인 자기부상열차실용화사업의 경우에는 후자를 채택하여 먼저 평가방법을 정의하고 각각의 요구사항에 적절히 배치하였다.

정의된 평가방법은 검사/측정, 시험, 분석/해석, 시연, 검토/확인이며 차량시스템은 평가방법을 기준으로 총 433항목 중 검사/측정이 53건, 시험 210건, 분석/해석 3건, 시연 3건, 검토/확인 163건으로 분류되었다.

2.2.5 검증요구사항 평가방법 배치

검증요구사항의 평가방법의 결정은 시험비용, 일정, 가용설비/공간 등과 밀접한 관계가 있으므로 매우 신중히 고려되어야 하며 반드시 시험/평가와 관련된 이해관계자 또는 관련자들과의 합의하에 결정 되어져야 한다. 때문에 각각의 검증요구사항에 대한 평가방법의 결정은 도시형자기부상열차 시험평가 담당 과제와의 검토/조정을 통해 작성되었다.



| 검증요구사항 | 법안 | 설계내용 | 시험구분 | 검증방법 | 시험항목 | 세부시험항목 |
|---|--------------|--|-------------|------|----------------------|---|
| 1) 지붕구조는 충분한 강도를 갖는 경량화된 알루미늄 합금 재질 또는 고강도 재질의 용접 구조(또는 기계적 접합 구조)로 하여야 한다. | 안전기준 제6조/제7조 | 경량/최적화를 위해 지붕구조 Single Skin 구조 설계 단, HVAC 설치부는 Double Skin 설계도면 RSR90001~6AMO RSR90009AMO RSR90011AMO | 개발시험 (제작검사) | 검사 | 원자재 검사 (알루미늄파일 치수검사) | 육안검사 치수검사 직진도검사 비틀림검사 평활도검사 직각도검사 평탄도검사 |
| | | | 개발시험 (제작검사) | 검사 | 원자재검사 (알루미늄파일 중량측정) | 중량측정검사 |
| | | | 개발시험 | 시험 | 소재특성 시험 | 인장시험 경도시험 굽힘시험 화학성분분석 조직분석 변형시험 |

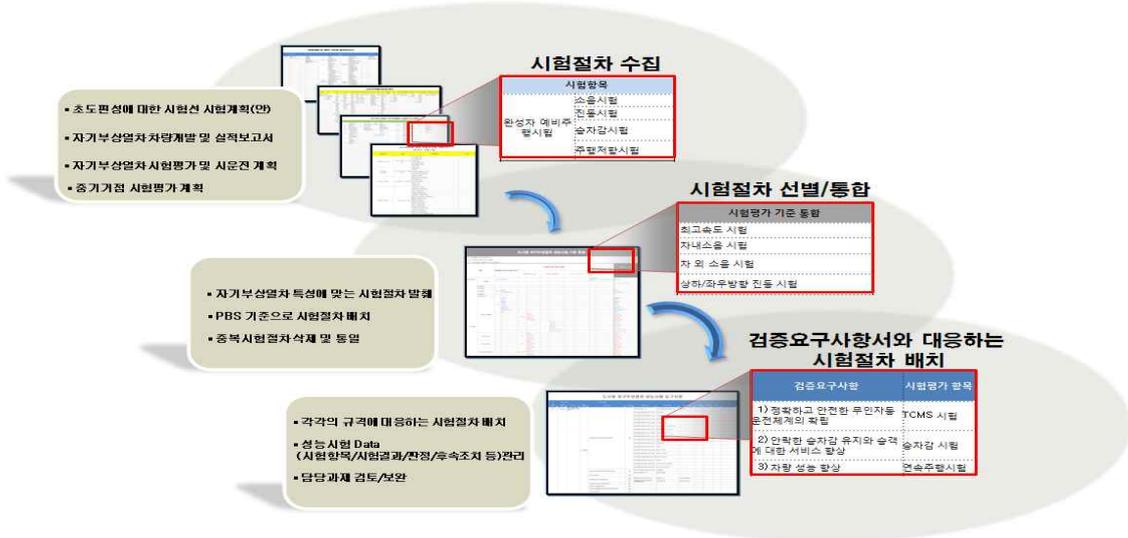
그림 5 검증요구사항 평가방법 배치

도시형자기부상열차 차량시스템 검증요구사항 검증방법은 그림4와 같이 정리 되었다.

2.2.6 시험절차 수집/정리/통합

자기부상열차의 경우 차량시스템의 경우에만 400개가 넘는 검증요구사항이 생성되었으며 자기부상열차 시스템 전체 검증요구사항의 수는 2000여개가 넘는다. 아직까지 자기부상열차의 국내 실용화 사례가 없고 성능시험관련 절차나 시험 장비 등에 대한 보유 수준이 낮다. 때문에 모든 검증요구사항에 대응하는 검증방법을 도출하기 위해서 먼저 이러한 요구사항을 검증 할 수 있는 검증절차들을 다양한 루트를

통하여 수집하였다. 도시형자기부상열차 실용화 사업의 경우 국내/외의 자기부상열차 시험/검증방법을 수집하고 수집된 검증방법은 다시 서브시스템의 PBS(Product Breakdown System) 기준으로 분류되었으며 중복된 항목은 통합하여 정리하였다.



2.2.7 시험계획 배치

불완전한 요구사항의 정의는 규격서 개발단계 그리고 검증단계에 이르기까지 그 영향을 미치게 되며 향후 불완전한 검증결과로 이어져 최악의 경우 최종 프로젝트의 실패로 까지 이어질 수 있다.

| 규격서 번호 | 규격서 제목 | VR CODE | 검증요구사항 | 근거 (법규 등) 도시형자기부상 열차 안전기준(안) | 설계내용 | 검증방안유무 | 검증방안 | 검증항목 | 새부시험항목 | 근거자료 | |
|-----------------|--|-----------------------|---|---|---|-----------|----------------|-----------|-----------|--------|-------|
| 4.2.3 | 차동조언 | VR.Tr.P.1-21 | 최대 출력 허용: 6.5 ton/량 (설계기준, 한차하중) 10.0 ton/량 (검증기준, 성능의 1.5배) | 인간기준 제6호/제7호 (제6호(승객) 차량의 승중량은 정상 적인 운전이 가능한 상태의 차량 차 하중의 중량(이하 '중차중량'이라 함) 인데 승객의 중량과 승중량 평가 방법으 로 하중, 제7호의 규격에 의한 중량한계로 적당하여야 한다. | * 목표 중량 * 용량: 20 ton * 한차: 26.5 ton * 중차중량 20 ton을 맞추기 위한 차차별 목표 중량 배분 중차하중 전후에서 차차/중차하중의 프로세스 진행 중 | 성능시험 | 시험 | 구조해하중시험 | 수직하중시험 | 시험성적서 | |
| | | | | | | | | | 수평안정하중시험 | | |
| | | | | | | | | | 비동적하중시험 | | |
| | | VR.Tr.P.1-21 | 공차중량: 20 Ton/량 | - | 공차: 20 ton | 공차시험/성능시험 | 검사/측정 | 속성제한의 검사 | 용량속성검사 | 검사확인서 | |
| | | VR.Tr.P.1-22 | 반차중량: 26.5 Ton/량 (LM 수직적 고려: 26 Ton/량) | - | 한차: 26.5 ton | 개발시험/성능시험 | 검사/측정 | 속성제한의 검사 | 용량속성검사 | 검사확인서 | |
| | | VR.Tr.P.1-33 | 설계 최고속도: 110 km/h | - | * 주요 제한 - 차량 설계 최고 속도 110 km/h 이상 | 성능시험 | 시험 | 최고속도시험 | 최고속도시험 | 시험성적서 | |
| | | VR.Tr.P.1-34 | 최고 운행속도: 80~100 km/h | - | * 차량 운행 최고속도 100 km/h 이상 | 성능시험 | 시험 | 최고속도시험 | 최고속도시험 | 시험성적서 | |
| | | VR.Tr.P.1-39 | 구배 증만능력: 70‰ | 인간기준 제20호 제20호(동등상태의 역률) ① 차량에 설치된 기기가 되는 철도차량 부속 발진할 수 있는 역률(가장발) | * 주요 제한 - 설계기준 계수 2.0를 만족하도록 부상시스템, 대차 및 현수시스템 설계를 추진함(단, 승차감을 계속 개선하는 방향으로 연구한다) - 역률(가장발) 역률에서, 승차감을 계속 개선하는 방향으로 승중 조 * 자기부상열차는 기동적으로 저속을 차행이나 차량에 장착된 변압기(HVAC 등)의 소용량을 저감하여 차량 전체의 소용 목표 달성 | 개발시험/성능시험 | 시험 | 승차감시험 | 승차감시험 | 시험성적서 | |
| | | VR.Tr.P.1-48 | 승차감 인성 평가결과 및 동행속도로 공차 운행시 UIC 승차감 지수가 2.0 이하를 만족하여야 한다. | - | * 평가대상 - 평가대상 차량의 전차량 관련 규격 명시 - IEC 61226-3-1 필요충분조건(부상) - 철도차량, 공차(공차) - IEC 61226-3-1 필요충분조건(부상) - 철도차량, 공차 - 승차감 지수 2.0 이하를 만족하도록 승중조, 승차감 개선 시 공차 및 승차감 지수 개선 및 케어에 차폐 차량 시험 시 누설차속 측정 시험 방법 | 개발시험/성능시험 | 시험 | 승차감시험 | 승차감시험 | 시험성적서 | |
| | | VR.Tr.P.1-50 | 전차량 전차량 승차감 시험시스템은 IEC 61226-3 또는 동등 이상의 규격에 준하여 시험 평가의 전기, 자기적 조건에 적합하 도 승차감 전기, 자기적 조건에 적합 승차감이 만족하 여 운행 노선의 전기, 통신, 신호 및 차량 간 유도전압 대책을 강구하여야 한다. | - | - | 개발시험/성능시험 | 시험 | 항상차폐비주행시험 | 소음시험 | 시험성적서 | |
| | | VR.Tr.P.1-51 | 전차량 전차량 승차감 시험시스템은 IEC 61226-3 또는 동등 이상의 규격에 준하여 시험 평가의 전기, 자기적 조건에 적합하 도 승차감 전기, 자기적 조건에 적합 승차감이 만족하 여 운행 노선의 전기, 통신, 신호 및 차량 간 유도전압 대책을 강구하여야 한다. | 인간기준 제20호 | [CPR] 차폐의 재질은 충분한 강도를 갖는 경량화된 알루미늄 합금 재질 을 사용하며, 교감도의 용접구조로 설계함. | 개발시험 | 시험 | 소재 특성시험 | 항상차폐비주행시험 | 유도전압시험 | 시험성적서 |
| | | VR.Tr.P.1.1.0-2 | 2) 차폐는 충분한 강도를 갖는 경량화된 알루미늄 합금 재 질 또는 고강도 재질의 용접구조(또는 기계적 결합구조) 로 하여야 한다. | 인간기준 제26호 (구조체의 강도 등) | [CPR] 차폐는 최대하중 운행조건에서도 시스템의 기능을 만족하도록 설계함 | 성능시험 | 시험 | 구조해 하중시험 | 수평안정하중시험 | 시험성적서 | |
| VR.Tr.P.1.1.0-4 | 4) 차폐는 최대하중과 운행 조건하에서 시스템의 기능을 만족하도록 한다. | 인간기준 제26호 (구조체의 강도 등) | [CPR] 차폐는 최대하중 운행조건에서도 시스템의 기능을 만족하도록 설계함 | 성능시험 | 시험 | 차폐하중시험 | 최대하중시험 | 시험성적서 | | | |
| | | | 표준규격 최대하중 시험의 차질량 기준: F=(H차단 중실거리)/1000 mm 인간기준 제26호 (구조체의 결과 최대차질량 0.99mm) | 제작검사 (용접검사) | 검사/측정 | 치수검사 | 치수검사 (차폐 폭) | 검사성적서 | | | |

그림 6 도시형자기부상열차 차량시스템 검증요구사항서

도시형 자기부상열차 실용화 사업의 시스템요구사항은 고객(승객 및 운영사)의 요구사항 및 관련문건을 최대한 반영하여 개발되었으며 관련기관들과의 합의에 의해 결정 되었고 작성된 요구사항에 근거한 규

격서를 기준으로 차량시스템 검증요구사항서가 개발 되었다.

2.3 대응률 관리

모든 검증요구사항은 최소1개 이상의 검증방법을 통해 평가되어야 하기 때문에, 검증방법이 결정되지 않은 검증요구사항을 식별하고 관리하기 위해서 검증요구사항과 시험방법 대응에 대한 대응률 관리가 필요하다. 대응률 관리 범위는 차량시스템 PBS 구성품 및 서브시스템에 대하여 실시하였으며 도시형 자기부상열차 전체 시스템에 대한 대응률은 7가지 서브시스템에 대한 검증요구사항서가 작성되면서 검토 되어 질 수 있을 것이다.

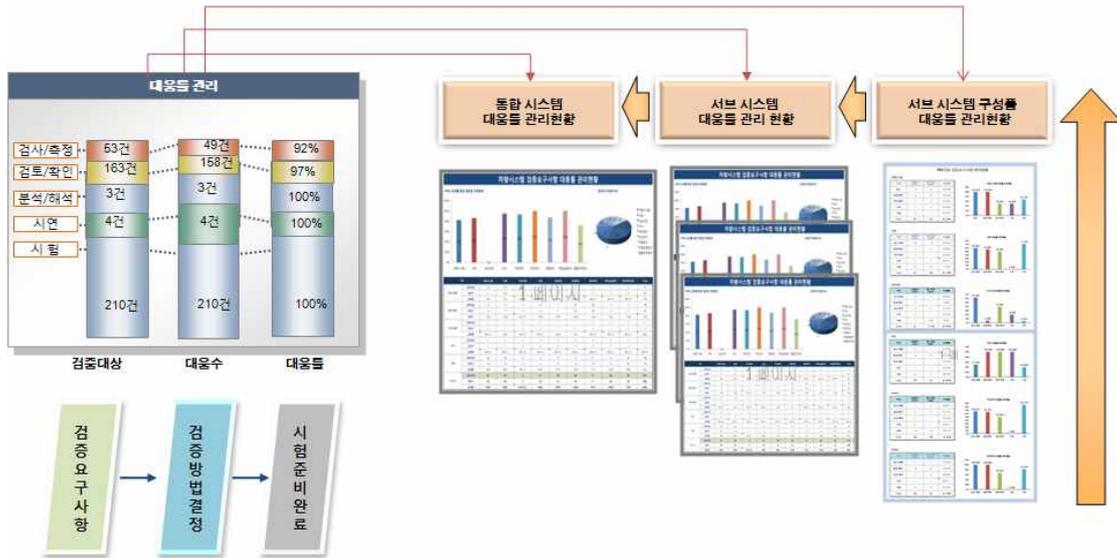


그림 7 도시형자기부상열차 대응률 관리 체제

2.4 검증요구사항 관리

시험평가가 시작되면 검증요구사항서를 기반으로 하여 검증계획 대비 진행 현황이 구성품/서브시스템/통합시스템으로 구분되어 관리 되어질 것인데 이는 시스템엔지니어링 활동에서 검증현황의 관리적인 측면 뿐만 아니라 정보소통이라는 측면에서도 매우중요하다. 성공적인 시험평가 진행을 위해서는 검증결과, 검증일정 대비 진행 현황 등 관련 기관과의 유기적인 정보소통이 필수적이기 때문이다. 현재는 시험평가 준비단계로서 앞으로 관리되어야할 구성품/서브시스템/통합시스템 관리계획과 정기적(주간/월간/분기) 검증현황 공유체제를 수립 하였다. 구성품은 PBS 구성체계를 기준으로 평가방법별(검사/추정/검토/확인 등) 검증현황 관리계획이 수립되었으며, 구성품 검증현황을 토대로 서브시스템 및 통합시스템 검증현황이 관리 될 것이다.

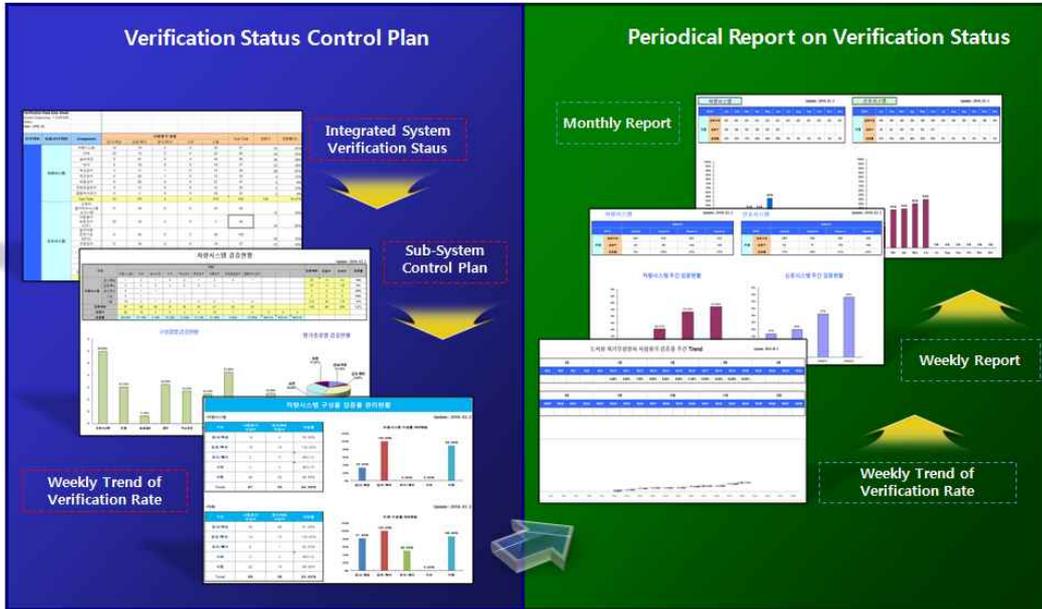


그림 8 도시형자기부상열차 검증현황 관리 체계

2.5 DB 추적관리체계 구성

검증누락이란 다른 말로 리스크수용이라고 표현 할 수 있을 것이다. 하지만 대형복합시스템의 규모나 복잡성을 감안 할 때 인간이 모든 검증요소를 누락 없이 관리하기란 불가능하기 때문에 자기부상열차의 요구사항, 규격, 검증요구사항과 같은 대량의 Data를 효과적이고 체계적으로 관리할 수 있는 전문적인 Data관리 방법이 필요하다. 이에 따라 시스템 엔지니어링을 효율적으로 수행할 수 있는 시스템엔지니어링 전산지원도구를 도입하는 프로젝트 역시 매년 증가하는 추세이다. 영국과 미국에 본사를 두고 있는 3SL(Structure Software System Limited)사에서 개발된 Cradle®은 최근 가장 활발히 시장을 넓히고 있는 시스템 엔지니어링 지원 전문도구의 하나이며 도시형 자기부상열차 실용화사업에서는 시스템 전체적인 사양추적관리 활동에 Cradle®을 활용한 사양추적관리체계가 구축되었으며 검증요구사항은 구축된 사양 추적관리 체계에 따라 검증항목, 검증일정/결과 등 시험에 관련된 전반적 활동들이 관리되어 진다.

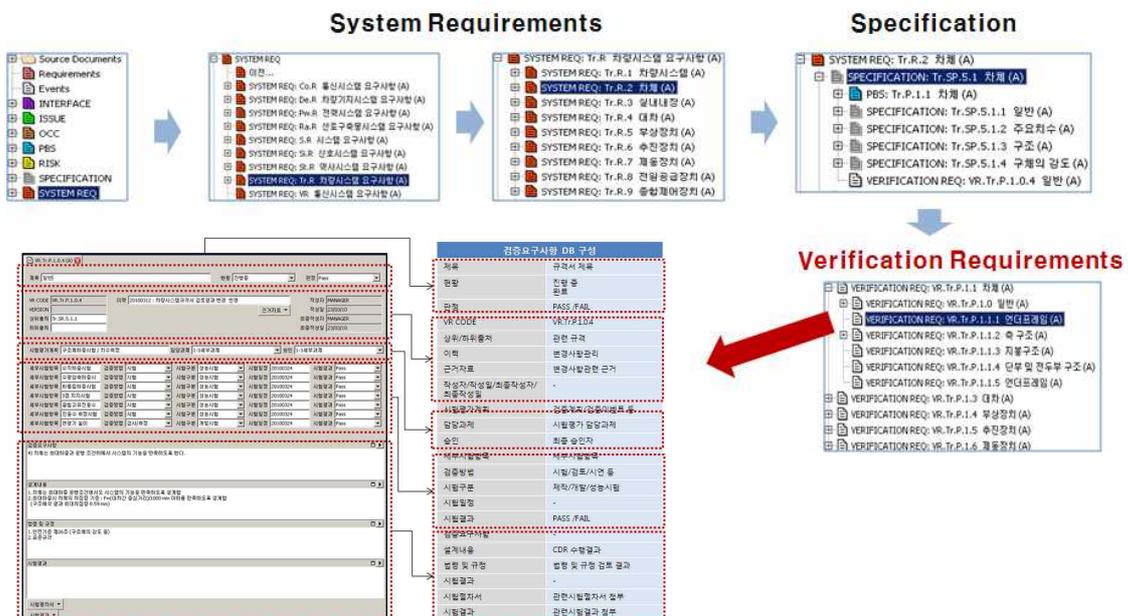


그림 8 검증요구사항 DB 구성 체계

3. 결론

개발 또는 상용화 경험이 없는 복잡계 시스템을 개발하는 경우, 새롭게 도입되는 시스템 요소가 품질요구사항 및 기능요구사항, 타 시스템과의 인터페이스 요구사항 등을 만족하는지를 검증하고 관리하는 활동은 시스템 통합과정에서 매우 중요한 위치를 차지한다. 요구사항 검증 활동을 효율적으로 추진하기 위해서는 각 요구사항을 검증하기 위한 적절한 검증 방법을 개발하고, 각 검증 활동이 누락되거나 상호 중복 또는 상충되지 않도록 조정하고, 한정된 시험평가 자원을 활용하여 이를 수행할 수 있도록 검증체계를 최적화하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 도시형 자기부상열차 실용화 사업의 사례를 중심으로 추적성이 구축된 검증매트릭스(Verification Matrix)를 활용한 요구사항 추적관리 및 검증체계 최적화 방법을 제안하였다. 도출된 검증요구사항서는 시험평가기본계획의 수립에 반영되어 시험항목 및 절차의 개발의 기준이 되며, 시스템 통합과정에서의 추적관리의 기본 도구로 활용될 예정이다.

참고문헌

1. 최요철, “국가연구개발프로젝트의 성과물 검증 프로세스 개발” 한국철도학회논문집, 12권, 3호, pp.382-387, 2009.
2. 김상수, “차세대고속열차 차량시스 성능예측 및 성능검증 체계 개발” 2009 Autumn Conf., pp555~560,
3. Benjamin S. Blanchard, “System Engineering management (Fourth Edition)”
4. INCOSE, “System Engineering Handbook”
5. 정경렬. “Cradle®의 Web Access를 이용한 철도시스템 사양관리환경 구축방안 연구” 한국철도학회논문집, pp.132-140, 2009.
6. 정경렬. “도시형 자기부상열차의 기능분석을 이용한 사양간 추적성 도출 연구” 한국철도학회논문집, pp.1863-11869, 2008.