

철도차량 운전실의 작업환경 개선을 위한 요건관리 및 시험평가 방안에 관한 연구

김 영 민* · 박 찬 우** · 이 재 천*

*아주대학교 시스템공학과 · **한국철도기술연구원

On the Development of Requirements and Test and Evaluation Procedure for Improving the Work Environment of Locomotive Cabs

Young Min Kim* · Chan Woo Park** · Jae-Chon Lee*

*Dept. of Systems Engineering, Ajou University

**Korea Railroad Research Institute

Abstract

Recent trends in rail industry can be characterized by the multifunctionality and very high-speed modes of operations. In particular, the adoption of the unmaned or operatorless operations has been getting increased attention in which case ensuring systems safety is crucial. On the other hand, according to the result of analyzing rail accidents, the human/operator errors have turned out to be one of the key causes of the accidents. Therefore, the effort of improving the work environment of locomotive cabs is quite necessary in order to decrease the accidents. The objective of this paper is studying on how to incorporate the factors related to the train operators in the design of the locomotive cabs and also on how to evaluate the design results obtained, which is subsequently reflected in the generation of the test and evaluation procedure. The approach taken is based on systems engineering, yielding the procedure document as a result. The results obtained in the paper can be useful in confirming the design of locomotive cabs utilizing the domestic human/operator measure. Also, the way of achieving the objectives can be utilized to cover the expanded rail systems development with appropriate design activities added.

Keywords : Test & Evaluation, Procedure Document, Railway Systems, Work Environment, Locomotive Cabs

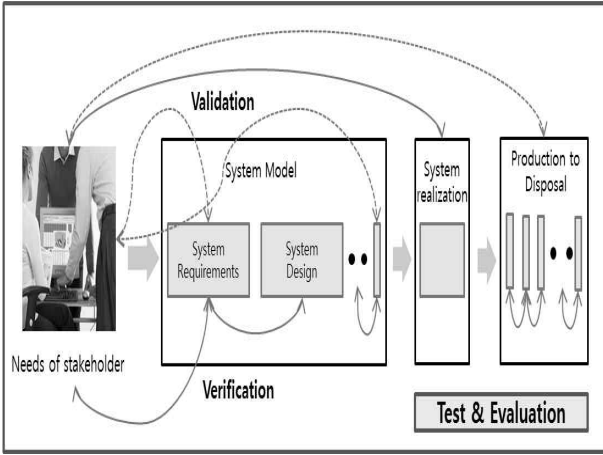
1. 서 론

오늘날 도로 중심의 교통 발전은 포화상태에 이르렀다[9]. 특히, 최근 국내·외적으로 친환경 교통시스템 도입에 관한 정책이 국제적으로 발효되는 시점이다. 국내

에서도 이러한 노력의 일환으로 정부차원에서 전 국토에 철도망을 확충하려는 정책이 입안되었다. 철도시스템은 고도화된 기술의 발달로 인해, 오늘날 개발되는 철도차량은 고속화·무인화 등 다양한 기술이 결합된 형태의 매우 복잡한 시스템 구성이라는 특징을 지니고 있다.

† Corresponding author : Prof. Jae-Chon Lee, Dept. of Systems Engineering, Ajou University, Wonchon-dong, Youngtong-gu, Suwon, 443-749. Tel : 031-219-3941, E-mail : jaelee@ajou.ac.kr
Received October 20, 2013; Revision Received December. 13, 2013; Accepted December. 16, 2013.

이러한 이유로 대형 복합시스템의 개발이란 쉬운 일 이 아니다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 동력 분산식 고속열차인 HEMU-400X를 개발하여 421km/h의 속도 에서 운행 가능한 고속열차 개발에 성공했다.



<Figure 1> Incorporating requirements into the system design and test & evaluation.

최근 철도, 원자력 등 대형복합 안전 중시 시스템에 관한 사고가 끊임없이 발생되고 있어 국내외적으로 시스템의 안전성 확보에 관한 관심. 따라서, 해외에서 뿐만 아니라, 국내에서도 국민들로 하여금 시스템의 안전성 확보에 관한 관심이 어느 때 보다도 집중되고 있다.

국내에서 개발된 고속열차는 아직까지는 열차개발 기술에 대한 선진화 기술을 보유하고 있지 못하고 있다 보니 기관사실에 위치한 설비제작 및 배치에 대해 한국인 체형에 적합한 인체치수를 반영하지 못하고 있는 실정이다.

최근 국내·외 철도사고중 기관사의 부주의 및 운행 중 피로로 인한 사고가 66.7%에 이를 정도로 인적오류에 의한 영향이 큰데, 이의 제어를 통한 철도차량 시스템 안전성 확보에 대한 연구가 활발히 진행 중 이다[8]. 본 연구에서도 이러한 시대적 문제를 해결하기 위해서 기관사실에서 발생할 수 있는 인적오류의 해소문제를 설계단계에서 제대로 반영되었는지의 평가를 위한 시험평가 절차안 개발을 하나의 접근법으로 선택하였다.

국내의 고속열차 개발사업과 철도 안전법에서는 철도분야에서 선진 기술을 보유한 유럽과 미국에서 운행하는 열차들에 적용되고 있는 인체 또는 설계 치수를 근거로 규정되었다. 결과적으로 치수의 부정합으로, 국내 기관사의 운행 중 실제 피로도 는 예측보다 높은 상황이라고 볼 수 있다. 이렇듯 본 연구에서는 한국인의 인체치수를 반영하지 못한 열차 시스템으로부터 발생할 수 있는 인적오류로 인해 발생할 수 있는 사고의 감축을 목적으로 본 연구의 공헌을 하고자 한다.

국내환경에서 고속철도차량 시스템을 비롯한 대형 복합 시스템을 개발하는데 있어서 대부분의 기관들은 관행적인 연구개발 프로세스에 따라 개념설계 단계에서의 활동이 낮은 반면, 상세설계 단계 및 양산단계의 설계단계에 집중하는 형태를 보이고 있다. 이러한 결과, 시스템 설계단계에서의 통합 및 구현하는 과정에 있어서 기능·성능 중심의 시스템 통합 시험을 중점적으로 이행하고 있다[3]. 이렇기 때문에 <Figure 1>에서 제시하는 바와 같이, 이해당사자 요구사항으로부터 생성되는 완결성을 갖춘 시스템 요구사항을 생성하지 못하고 있다.

모든 시스템 계층에서 시스템 시험·평가를 수행을 지원하기 위한 근간의 요구사항은 이해당사자의 요구수집으로부터 개념설계 단계의 설계 과정을 거쳐 기술적 사항으로 변모과정을 거쳐 설계가 시작된다. 따라서, 시스템 개발 초기인, 개념설계 단계에서 생성된 시스템 요구사항을 바탕으로 시스템이 계층별 구체화되며 설계되어진다.

이렇게 시스템 정의에 따라 분화되어 생성된 요구사항은 같은 Level에서의 설계 통합수행에 있어서 시험평가의 근간을 제공하게 된다.

개발 대상이 되는 시스템에 대해 보다 신뢰성 높은 시험평가를 수행하기 위해서는 국내 철도환경에 적합한 요구사항 개발과 이러한 요구사항이 설계에 반영되고 마지막으로 시험·평가 단계에 반영되어야 하는 것이 필수적이다. 하지만, 국내 고속열차 개발의 설계 및 시험평가 수행 수준은 걸음마 단계의 복합시험장비 실험동 시험을 바탕으로 통합된 시스템의 기능·성능 중심의 시험평가와 현장 시범운행을 통해 시스템 개발을 마무리 짓는 형태를 보이고 있다.

오늘날 우리사회에서 철도차량 안전성이라는 이슈에 대해 보다 확고한 대처를 취하기 위해서 기능·성능 중심의 시험평가 수행도 중요하지만, 설계의 초석이라고 할 수 있는 개념설계 단계에서의 명확한 요구사항 생성, 생성된 요구사항에 국내의 인체 치수가 반영되어야 할 것이다. 최종적으로 이를 바탕으로 설계통합 단계에서 사용할 시험평가 절차서 생성, 절차서에 따른 시험평가 수행기술 확보를 통해 보다 선진화된 고속열차 개발 기술의 보유와 확고한 안정성 확보를 위한 첫걸음이라고 본다.

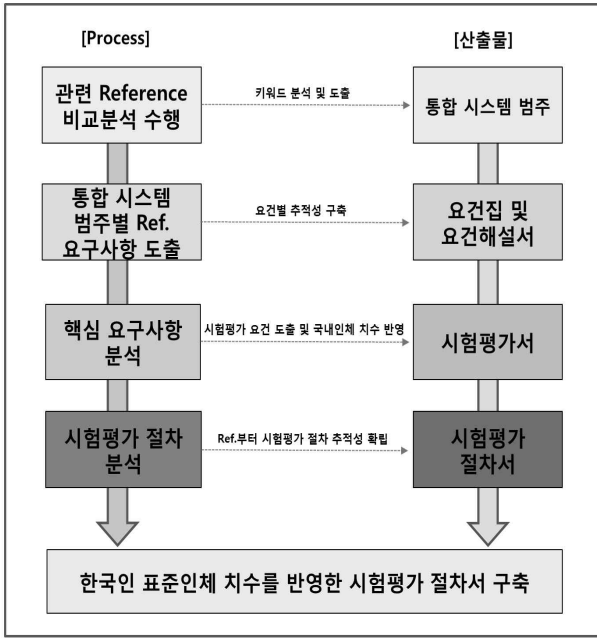
본 연구에서는 철도차량 운전실 작업환경 개선을 통한 철도차량 안전성 확보를 위해 국내환경에 적합한 시험·평가 절차서 개발 기술 확보에 관한 연구를 수행하였다.

<Table 1> Identified references describing systems requirements for locomotive cabs.

No.	References	명칭	요약 기술
1	UIC leaflet 651- layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple-unit trains and driving trailers	UIC	운전실에 대한 접근, 이동의 용이성, 가시성 조건을 적용
2	Standard for cab crew seating design and performance	APTA	운전실 좌석에 대하여 조달, 디자인, 힘 그리고 시험을 위한 요건과 추천을 포함
3	Human Factors Guidelines for Locomotive Cabs	US DoT	운전실의 평가를 위한 인적 요소 가이드라인을 제공
4	Requirements for Driving Cabs of Railway Vehicles(1.1.1.1. Railway Group Standard GMRT 2161)	Railtrack	효과적인 작업환경을 위한 운전실의 외적 가시도에 대한 요건을 규정
5	GM RT2160 Ride Vibration and Noise Environment inside Railway Vehicles	GM 2160	철도차량의 체감 가속도, 실내 소음, 공기역학적 압력 펄스의 최대 허용 수준을 규정
6	GM RT2176 Air Quality and Lighting Environment inside Railway Vehicles	GM 2176	철도차량 내 승무원 구역의 공기의 질과 조명 수준의 요건을 규정
7	JIS 핸드북 69편 통근동차 운전실의 설계통칙(일본)	JIS	통근전동차의 운전실 설계에 대한 공통적 조건에 대하여 규정
8	국내 철도안전법 및 관련법령	관련 법령	철도차량 관련 법규, 규칙, 지침
9	concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock' sub-system of the trans-European high-speed rail system	TSI	고속철 차량의 서브시스템과 관련된 요건을 규정
10	EN 규격(14067-4)	EN 14067-4	Aerodynamic effects
11	EN 규격(15152)	EN 15152	Windscreen
12	EN 규격(15153-1)	EN 15153-1	External lights
13	EN 규격(15153-2)	EN 15153-2	Horn
14	EN 규격(50125-1)	EN 50125-1	Environmental conditions
15	EN 규격(60721-3-5)	EN 60721-3-5	List of substances
16	항공교통관제사 인적요인	항공안전본부	항공교통관제업무에 영향을 미치는 요소 간 상호작용을 이해 분석하고 조화를 이루도록 함

관련 주제에 대한 연구가 최근에 선행연구 [4],[6], [10]를 통해 발표 되었다. 선행연구 [6]에서는 개발된 고속열차의 가속도 시험과 최고속도 시험이라는 추진 분야에 대한 성능중심의 시험평가 절차(안)를 개발하여 고속열차 시험평가를 수행하기 위한, 평가기준과 시험 환경에 대해 제시하였지만, 시험항목 및 항목선정 근거 부족, 기준의 모호, 절차안 개발에 관한 절차를 제시하지 못하고 있다. 선행연구 [10]에서는 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 시험 및 평가 수행에 대해 정보화 시스템을 통한 구축방안에 관해 제시하였다. 따라서,

시험·평가의 결과를 바탕으로 전산화 구축 방안에 초점을 두었다. 그 밖에, 본 연구와 직접 관련한 연구를 수행한 선행연구 [4]을 통해, 고속철도 차량 시스템 개발을 위한 시스템 개발요건과 위험도 분석에 근거한 안전 성능요건을 근거로 하여 고속철도 차량시스템의 안전설계 요건분석과 성능시험 기준안 개발내용을 제시하였다.



<Figure 2> Procedure model for current research.

하지만, 기존연구를 통해서도 개별 시험항목에 대한 시험조건, 시험기준, 시험결과를 단순히 기술하고 그에 따라 수행하는 위주의 활동에서 벗어나지 못하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 국내 인체치수를 반영한 요구사항을 중심으로, 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 필수 요소를 식별하고 그에 따른 국내환경에 적합한 시험평가 절차서 개발안을 제시하였다.

수행의 첫 번째 활동으로 <Table 1>에 제시한 관련 문헌 분석을 통해, 운전실 작업환경 개선을 위한 핵심 요소를 식별하고, 해당 요소와 관련한 요구사항을 수집하였다. 이러한 수집된 핵심요소와 관련한 요구사항은 개별 요건의 시험·평가 근거를 제공하고, 관련근거 출처 문서로부터 시험·평가 항목에 대한 기준, 조건, 절차를 추출하여 보다 객관적이고 체계적인 시험평가 절차서가 개발될 수 있도록 노력하였다. 도출된 설계 요구사항 중 시스템 구조와 같이 사람의 인체치수로 부터 영향을 미치는 설계요소와 관련한 요구사항은 재분류하여 국내 인체치수 반영을 통해, 시스템 설계에 반영되고 평가 될 수 있도록 연구수행 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 사회 및 연구의 연구동향과 필요성을 제시하였고, 2장에서는 관련 선행연구 및 연구 목표를 기술하여 문제정의의 언급하였다. 3장에서는 요구사항 아키텍처 구현을 위한 활동을 제시한다. 4장에서는 3장에서의 활동을 바탕으로 도출된 핵심요구사항으로부터 시스템 시험·평가 절차서 개발 환경을 제시하였다. 마지막, 5장에서는 본 논문의 결과를 정리 및 요약 하였다.

2. 문제의 정의

2.1 철도차량 운전실 작업환경 개선의 필요성

오늘날 개발되는 철도차량은 시스템 개발 기술의 고도화로 인해 열차 운행시 자동화되어 기관사에게 편의를 주기도 하였지만, 열차의 첨단화로 인해 기존의 일반열차를 개발할 때와는 달리 기관사가 운행 시 다루어야 할 사항이 기존의 일반 열차에 비해 많아졌다. 이러한 특징은 기관사가 열차를 운행하는 동안에 주로 다루는 작업대에 위치한 제어 기기들의 증가에 따라 작업대 제어기기에 대한 최적화된 재배치가 검토되고 있는 실정이다. 따라서, 최근 고속열차의 설계시, 인적 오류로부터 발생하는 사고율을 낮추기 위해서, 기관사 행동 피로도를 낮추기 위한, 자국민의 평균 인체치수를 반영한 기관사실 내부의 작업대 배치를 고려하고 있는 추세이다.

2.2 국내환경에 적합한 인적요구사항 기반의 시험·평가요건과 절차서 생성의 중요성

지금까지 국내에서의 고속열차 개발시에 수행하는 시험·평가기술은 시스템 사양서에 주어진 성능과 기능을 토대로 작성되는 수준에 머물다보니 고속열차 개발과 관련한 핵심 평가요소를 판단하지 못한데 일률적인 시험의 형태를 보이고 있다. 하지만, 본 연구에서 접근하는 시스템 계층적 접근에서 수행한 바를 토대로 생성된 시험·평가 요구사항은 보다 명확하고 기존의 형태보다 보다 폭넓은 수행을 가능하게 한다. 또한, 서두에 언급한대로 국내에서 개발되는 고속열차 시스템과 철도 안전법에는 기관사실에 대한 설비의 제작과 배치에 관해 미흡한 반영과 기관사와 관련한 인적오류 요소에 대한 기술적 평가가 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 기본적으로 미흡한 철도차량 시험·평가서 개발 절차에 대해 국내 환경을 고려한 시험·평가 방안을 본 연구를 통해 제시하였다. 이에 따라, 기존에 국내 철도차량 시험·평가를 수행하는데 있어서 단순히 기준과 평가 절차를 제공하는 수준에서 벗어나 관련 요구사항과의 추적성, 보다 체계적인 시스템 계층적 접근을 통해 정의된 시스템 레벨로부터 생성된 요구사항으로부터 보다 체계적인 시험·평가 수행을 가능하게 하였다.

<Table 2> Extracted keywords from references for system scope integration.

No.	참고문헌목록	Keyword
1	UIC	안전조치, 문, 접근 발판, 핸드레일과 문 손잡이, 바닥, 창문, 조명과 밝기, 공기 조절 설비, 소음 수준, 기타 부속물, 색상과 표면 코팅, 운전실의 전방 시야, 운전실 데스크, 조작기기와 제어 시스템, 좌석
2	APTA	좌석
3	US DoT	난방, 환기, 냉방, 소음, 화장실 설비, 진동, 접근, 가시성, 좌석, 제어장치, 전기기계 디스플레이, 경보, 대화식 설계 자동화, 전자 디스플레이, 컴퓨터 입력 장치, 음성 커뮤니케이션, 운전 경계 모니터링, 유선 제어, 능동 열차 제어, 커뮤니케이션
4	Railtrack	운전 위치, 운전실의 전방 시야, 조작기기 및 계기, 진입 및 나가기, 운전실 환경, 구조와 충돌안전성, 비상 및 안전 장비와 신호
5	GM 2160	체감 가속도, 소음 수준, 압력 펄스
6	Gm 2176	공기의 질, 조명
7	TSI	승무원 보호, 운전실의 넓이 및 거주성, 운전대, 소화기 설치
8	관련 법령	철도차량의 안전기준, 철도차량에서 운전실의 안전기준에 관한 규칙, 철도차량에서 운전실에 갖추어야 할 장치에 관한 규칙, 철도차량 충돌안전 위험도분석에 관한 지침, 철도차량 충돌안전 성능평가에 관한 지침
9	TSI	외부 소음, 접근, 앞유리와 열차의 전면, 비상구, 조명, 좌석, 제어장치, 환기, 온도, 색상, 창문, 전방시야
10	EN	수치 시뮬레이션, 이차상 분리, 색도, 충돌, 파쇄, 광도, 음압도
11	항공교통관제사 인적요인	인적요인, 조명, 온도 및 습도, 소음, 인간과 소프트웨어 시야, 전면과 배경 정보, 색상, 부호 및 문자 및 숫자, 입력장치, 항공교통관제의 자동화

2.3 연구 목표 및 범위

상위 선행연구 분석을 통해 본 논문에서 대상으로 다루려고 하는 안전중시 시스템에 해당하는 철도차량의 설계 단계 중 상위단계의 활동에 포함되는 개념설계 단계에서의 활동을 인지하고 이러한 개념설계의 단계의 시스템 설계 활동 결과가 설계통합 및 검증단계에서 중요한 단서로서 중요한 역할을 한다는 것을 식별하였다. 따라서 운전실 작업환경의 개선을 위해 설계 요구사항 및 시험/평가 절차서 개발에 있어서 시스템 전체를 총체적인 관점에서 바라보며 수명주기 사이클 측면에서 바라 볼 수 있는 시스템 공학적 접근 방법이 필요하다.

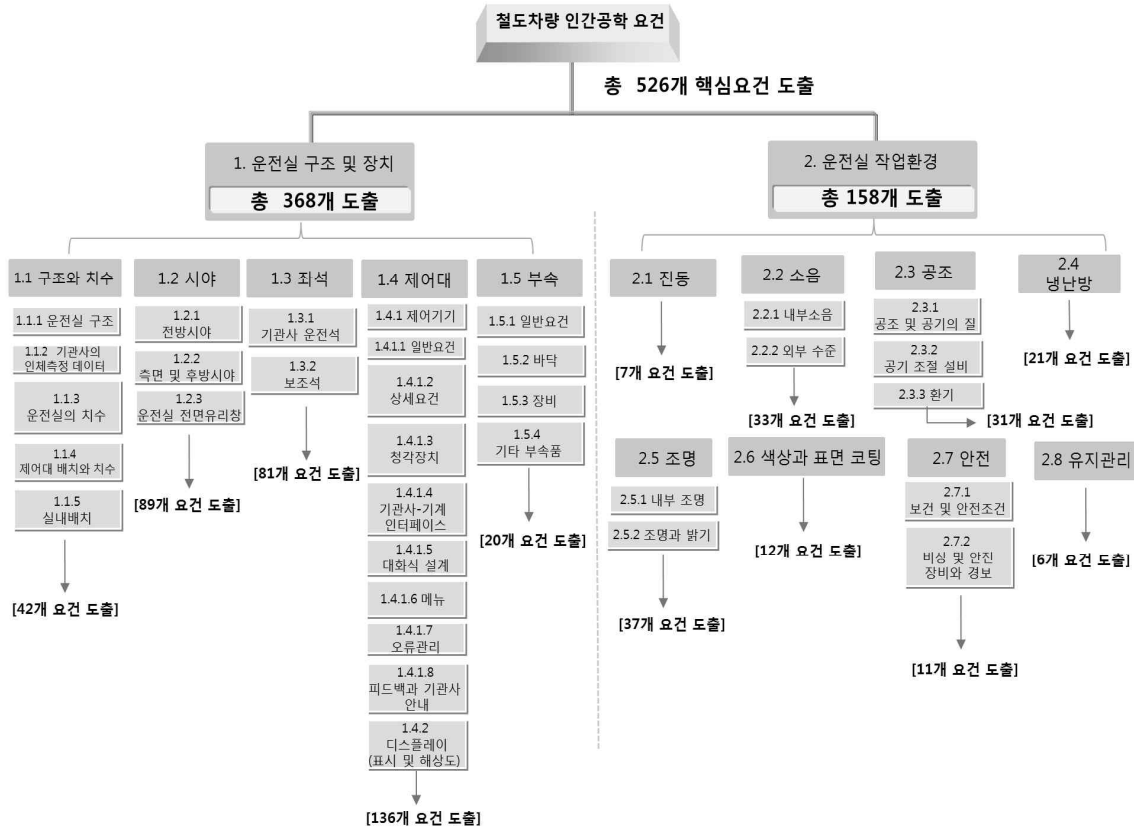
본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해서 철도차량 운전실 작업환경 개선을 통해 차량의 안전성 확보를 위한 방안으로 기존에 철도분야에서 수행하던 시스템 설계 통합단계에서 이행되는 시험·평가에 대해 보다 객관적인 평가수행이 될 수 있도록 평가 절차서 개발을 시스템공학 접근기법 적용시켜 연구를 수행하였다. 본 연구를 통해 철도차량 운전실 작업환경을 개선하기 위해 접근한 연구 수행 방법과 그에 따른 연구 산출물을 <Figure 2>를 통해서 도식화 하였다

3. 시험·평가 요구사항 생성을 위한 아키텍처 생성

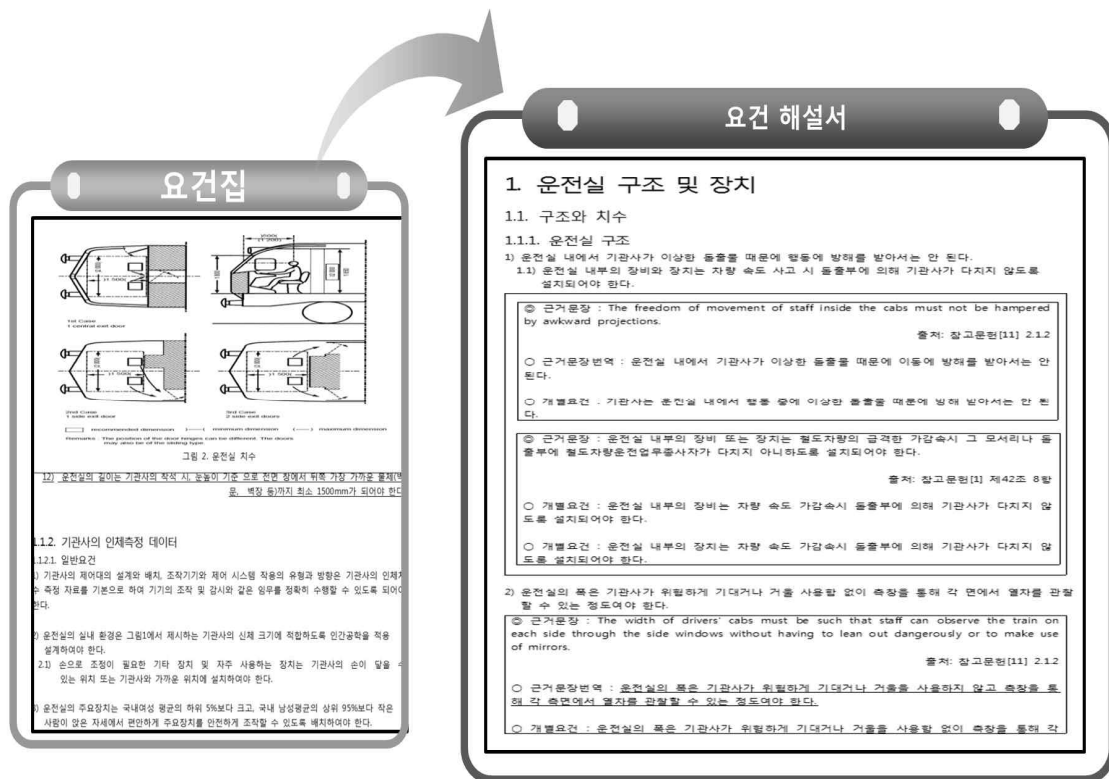
3.1 운전실 작업환경 개선을 위한 관련 선행자료 분석

국내 철도관련 표준과 법이 오늘날 우리사회에서 요구되는 안전성을 충족시키는 근거를 제공하는데 많은 부족한 점이 있다. 따라서, 해외의 국제표준(TSI[1,2]와 UIC[7])을 바탕으로 국내에서 철도관련법 및 기준에 관해 개정을 준비하고 있다. 본 연구도 이러한 취지에 맞춰 철도 분야에 있어서 대표되는 참고문헌을 비교·분석하여 연구결과를 도출하였다. 또한, <Table 1>에 본 연구 수행에 활용된 문헌에 대해 기술하였다. 선행자료 분석활동은 아래와 같이 수행하였다.

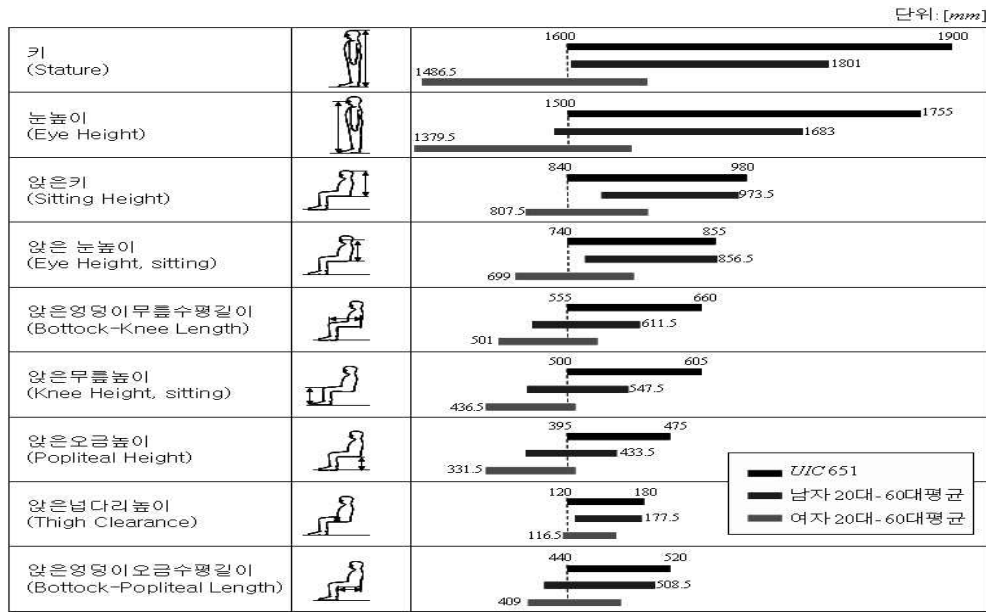
- Step 1. 개별 참고문헌에서 제시하는 시스템 범주 분석
- Step 2. 개별 참고문헌별 제시하는 키워드 도출
- Step 3. 철도차량 운전실 개선위한 통합 시스템 범주 도출
- Step 4. 제시된 통합 시스템 범주에 매칭되는 키워드 할당



<Figure 3> Derived integrated system categories and keywords needed to improve the working environment of rail vehicle cabs.



<Figure 4> Developed requirements and commentary document according to integrated systems categories.



<Figure 5> Figures of Korean men and women body size compared with the UIC-651.

3.2 철도분야 주요 표준 및 규격 비교/분석을 통한 통합 시스템 범주 도출

국내 철도안전법 및 관련 법에서 정의하는 철도차량 시스템 범주는 철도차량 시스템 범주의 전체를 다루지 못하고 있다. 이러한 단순화된 분류체계를 따름으로서 시스템에 요구되는 전반적인 요구사항에 대해서 제공하지 못하고 있다.

본 연구를 통해, 열차기술에 선진화 기술을 보유한 미국과 유럽에서 일반열차 및 고속열차 개발 및 시험·평가단계에 활용되는 표준을 바탕으로 공통의 핵심 통합 시스템 범주를 도출하였다. 철도차량의 통합 시스템 범주를 도출하기 위해서 <Table 1>에서 제시하는 철도차량운전실 작업환경 개별 참고문헌의 시스템 범주를 비교 분석하여 <Table 2>와 같이 참고문헌에서 제공하는 핵심 키워드를 도출하였다. 이러한 결과를 종합하여 <Figure 3>와 같이, 하나의 통합된 시스템 범주를 도출 하였다. 도출된 철도차량 작업환경 개선에 관한 시스템 범주는 운전실 구조와 장치, 그리고 운전실 작업환경이라는 크게 두 가지 관점에서 시스템을 계층화 분류하였다. 이러한, 통합 시스템 범주는 이후의 단계에서 요구사항을 시스템을 계층적 관점에서 생성하는데 있어서 중요한 기준을 제공한다. 또한, 시스템 계층별 범주를 식별하기 위해 <Figure 3>에서 제시되는 것처럼, 계층별 숫자화 기입을 달리하여 표현하였다.

3.3 통합시스템 범주별 관련 요건 정제를 통한 요구사항 생성

본 연구과정에서는 이전 앞선 연구를 통해 도출된 통합 범주를 기준으로 하여 분석된 자료에 대해 철도차량 운전실 작업환경을 개선하고자 하는 요구사항으로 도출한다. 개별적 자료로부터 도출된 시스템 범주에 관련한 요구사항이 한국에서의 시스템체계가 약간씩 상이한 경우, 이를 반영하기 위해서 바탕으로 비교 분석을 통해서 도출을 위해 분석 수행된 참고문헌에 대해서 <Figure 3>에서 제시하는 통합 시스템 범주를 바탕으로 본 연구에서 활용한 개별적 참고문헌에서 제시하는 문장으로부터 시스템 설계 시 갖추어야 할 기술적 요구사항으로 변환하여 <Figure 4>의 왼쪽에 해당하는 요건집을 생성하였다. 요건집은 요건 해설서를 만들기 위한 초석이다. 이러한 이유는 시험·평가 단계에서 보다 명확한 근거를 제공하기 위해서이다.

따라서, 시험·평가 수행시에 개별 요구사항에 대해 관련 근거 및 시험절차를 나타내는 관련 요구사항을 <Figure 4>에서 제시하는바와 같이 해당 요구사항과 해설서를 생성한다. 생성된 해설서는 해당 요구사항과 관련해 제시하는 관련 문헌 그리고 관련한 모든 요구사항을 바탕으로 전체를 대표하는 대표 요건을 생성하여 철도차량 시스템 설계단계에 활용될 수 있도록 하였다. 본 연구단계를 통해, 시스템 설계 시 요구되는 요구사항과 요구사항에 대한 근거를 제공하는 출처 문헌과 상호 추적성 확립을 통해 객관적인 근거를 제공하기 위해 노력하였다.

4. 시험·평가 절차서 개발 환경의 구축

4.1 핵심요구사항 도출 및 국내 인체 치수 반영

지금까지의 연구 수행단계를 통해 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 시스템 범주를 식별하고 식별된 시스템 범주별 요구되는 요구사항을 생성하였다. <Figure 4> 요건집의 왼쪽 그림을 보면 다음과 같은 요구사항이 기술되어 있다. “운전실의 길이는 기관사가 착석시, 눈높이 기준으로 전면 창에서 뒤쪽 가장 가까운 물체까지 최소 1500mm가 되어야 된다.”라고 UIC에서 제공하는 유럽 표준인체 치수를 기준으로 명시되어 있다. 이러한 요구사항을 국내에 적합한 요구사항으로 변형하기 위하여, <Figure 5>에서 제시하는 한국인의 인체 치수 중 착석 시 눈높이 기준 제공 자료를 바탕으로 변경하여 반영하였다. <Figure 5>에 대해 설명하자면, 검은 막대기는 현재 국내철도 차량에 적용되어온 이러한, 국내 환경에 적합한 요구사항을 본 연구를 통해, <Figure 3>과 같이, 총 526개의 핵심 요구사항을 도출하였다. 개발된 대부분의 요구사항은 일반요구사항으로 규정하였으며, 요구사항을 검증하는데 있어서 시험·평가가 요구되는 요구사항이거나 철도차량 운전실의 설계 요건 중 구조적 또는 치수적 요소를 포함한 요구사항을 핵심 요구사항으로 도출하여 보다 구체적인 접근을 통해 대응하고자 별도의 분석 활동을 거쳐 최종적으로 도출하였다.

본 연구 수행을 통해, 보다 국내환경에 적합한 철도

차량 운전실 작업환경이 반영되기 위해, UIC에서 제공하는 철도차량에서 요구하는 자세별 유럽 인체 기준 표준 치수를 <Figure 5>에서 제시하는 것처럼 검은 막대바로 표현하였고, 해당 자세별 국내 인체치수를 파악색 바로 국내 성인 남성, 빨간색 바로 성인 여성의 인체치수 평균을 나타내어, 국내에서 철도차량 개발시 국내 환경에 적합한 운전실 작업환경 정보를 제공함으로써 한국인 인체치수 반영을 통해 기존의 유럽·미국식 설계치수에서 벗어나 보다 국내환경에 적합한 철도차량 운전실 설계 방안을 제시하였다.

4.2 작업환경 개선을 위한 생성된 요구사항 기반의 평가절차 구축

본 연구단계에서는 이전 연구를 통해 생성된 요건 해석서와 철도차량 운전실 관련 표준과 규격을 <Table 1>에서 제시하는 관련 참고문헌을 바탕으로 시험평가 절차를 분석하였다. 따라서, 이러한 분석단계를 거쳐, <Figure 7>에서 제시한 바와 같은 시험평가 절차서를 개발하였다. 도출된 시험평가 절차서는 기존의 단순히 시험조건, 평가방법 등의 제공에서 벗어나 시스템 설계 시 반영되어야 할 초기 요구사항과 시험·평가 절차서간 추적성으로 부터 연동성을 확립하였다. 또한, 국내 연구에서 미흡했던 철도차량 운전실 체계를 신뢰성 높은 관련 참고문헌 분석을 통해 보다 체계적으로 구축하였다. 또한, 이를 바탕으로 요구사항을 생성하고 시험·평가 절차서를 구축 할 수 있었다.

• 요구사항: 기관사실 내에서 기관사에 대해 탑재 장비로 인해 발생하는 청각 정보는 소음 TSI에서 규정된 대로 측정된 기관사실 내의 중간 청취 소음보다 6dB(A) 이상 커야만 한다.

◎ 근거문장 : Audible information generated by onboard equipment inside the cab for the driver shall not be lower than 6 dB(A) above the median received noise level in the cab, measured as defined in the noise TSI. 출처: 참고문헌[5] 4.2.9.3.4

○ 근거문장범역 : 기관사실 내에서 기관사에 대해 탑재 장비로 인해 발생하는 청각 정보는 소음 TSI에서 규정된 대로 측정된 기관사실 내의 중간 청취 소음보다 6dB(A) 이상 커야만 한다.

표. 철도 차량의 기관사실 내부의 소음에 대한 한계 값.

기관사실 내부의 소음	LpAeq,T [dB(A)]	측정 시간 간격 [s]
정차 상태 (외부의 음향 경보 중)	95	3
최대 속도 (실내 및 외부경보 없는 야외)	80	60

측정의 다음의 조건 하에서 이뤄져야 한다:

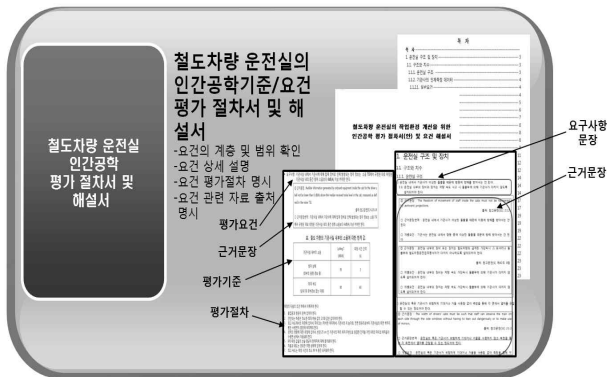
- 출입문과 창문이 닫혀 있어야 한다.
- 견인되는 하중은 최소한 최대 허용 값의 2/3와 같은 값이어야 한다.
- 최고 속도에서의 측정에 있어서, 마이크는 (착석한 위치에서) 기관사의 귀 높이와, 전면 창유리로부터 기관사실의 후면 벽까지 뺀 수평면의 중앙에 위치해야 한다.
- 경적의 영향에 대한 측정에 있어서, 반경 25 cm 인 기관사의 머리 위치 주변으로 동일한 간격을 가진 8개의 마이크 위치들이 수평면 상에서 이용되어야 한다.
- 8개 측정 값들의 산술 평균이 한계치에 대해 평가되어야 한다.
- 차론과 제도는 양호한 주행 상태에 있어야 한다.
- 최고 속도는 측정 시간의 최소 90 % 동안 유지되어야 한다.

위에 언급한 조건들을 준수하기 위해, 측정 시간을 수 개의 짧은 시간으로 세분하는 것이 허용되어야 한다.

<Figure 6> Developed test & evaluation procedure document.

5. 결론 및 요약

오늘날 대형 복합 시스템의 개발 및 운용단계에서 핵심 이슈로 시스템 안전성이 중요 요소 중 하나로 다루지고 있다. 특히, 본 연구에서 대상으로 다루는 철도차량 시스템의 경우, 안전성 확보를 위해 기관사실 작업환경에 대한 개선을 통한 시스템 안전성 확보에 관한 많은 연구가 진행 중이다. 이러한 맥락에서, 본 연구 또한, 철도차량 시스템을 개발하는 과정 중 최종단계에 해당하는 시스템운용 시험·평가 단계에서 철도차량 운전실에 적용 가능한 시험·평가 절차서 개발을 통해 보다 안전성 확보에 기여를 수행하기 위한 연구를 수행하였다.



<Figure 7> Developed evaluation procedure and commentary documents.

이러한, 연구를 수행하기 위해서, 첫 번째, 참고된 Ref.로부터 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 통합 시스템 범주를 도출하였다. 두 번째, 시스템 범주별 요구사항을 Ref.로부터 도출하였다. 세 번째, 도출된 요구사항 중 철도차량 운전실을 설계하는데 있어서 직접적인 영향을 미치는 요구사항에 대한 분석을 거쳐 핵심요구사항을 도출하였다. 도출된 요구사항 중 인체 치수와 직결되는 요구사항의 경우, 기존의 미국 및 유럽 인체 치수 반영에 대한 문제점을 보완하기 위해 국내 성인 남녀의 인체치수 반영을 수행하였다.

마지막으로, 도출된 핵심요구사항에 대해서는 설계단계에서의 시험·평가를 수행하기 위해 관련 Ref.로부터 추적성 확립 및 절차서 개발을 수행하여 설계단계의 초기 단계와 시험 및 검증 단계의 활동을 일원화에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구를 통해서 제안하는 시험·평가 절차서 생성기법을 통해 향후, 국내 미흡한 국내환경에 적합한 철도차량 개발에서의 시험평가 절차서 생성 기법에 관해

제시하였다. 따라서, 본 연구를 통해 제시한, 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위해 생성한 요구사항을 바탕으로 이를 시험평가 절차서에 반영한다면 철도차량 운전실 작업환경 개선을 이뤄 보다 확고한 철도차량 시스템의 안전성 확보의 길을 찾을 수 있을 것이다. 후속 연구 활동에서는 보다 시스템 범위를 확장하고 실제 개발 시험·평가단계에서의 적용을 통한, 개선방법에 대해 연구가 필요할 것이다.

6. References

- [1] "concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock' sub-system of the trans-European high-speed rail system.", TSI, European Community, EU, (2008)
- [2] "Commission Decision of 26 April 2011 concerning a technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem - 'Locomotives and passenger rolling stock' of the trans-European conventional rail system.", TSI, Official Journal of the European Union, EU, (2011)
- [3] "Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems", in IEC 61508
- [4] J. B. Wang, C. W. Park, S. L. Kwak and J. N. Park, "Development of Safety Design Requirement and Performance Test Standard for KHSR System," Proceedings of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, (2005).
- [5] J. C. Knight, "Safety critical systems: challenges and directions", in Proc. 2002. ICSE, Orlando, USA, 3-10, May, (2002).
- [6] K. S. Sohn, "A Study of Test and Evaluation of Traction Performance for High-speed Train," Proceedings of the Korean Society for Rail, (2010).
- [7] "Layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple unit trains and driving trailers.", UIC 651, International Union of Railways, (2002)
- [8] "Research for the development of high-speed rail-safety technology," Korea Institute of Machinery and Materials, (2011).
- [9] Y. H. Kim, "A Study on the Land Price Characteristics in Urban Railway Station's Surrounding Zones of Gwangju City, Korea,"
- [10] The Korea Institute Electronic Communication Society, vol. 7, pp.171-180, (2011)

- [11] Y. M. Kim, J. C. Lee and C. W. Park, "On the
 [12] Development of an Information System for
 [13] Ergonomic Test and Evaluation of Locomotive
 [14] Cabs," Korea Safety Management & Science,
 vol.14, pp. 23-33, (2012)
 [15] ISO DIS 26262 Road Vehicles - Functional
 safety, July, (2009)

저 자 소 개

김 영 민



현 아주대학교 시스템공학과 박사과
 정 수료. 관심분야는 시스템 안전설
 계, 요구사항 관리, 모델기반 시스템
 공학, Modeling & Simulation 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 신5번지 아주대학교 성
 호관 243호

박 찬 우



현 한국철도기술연구원 선임연
 구원. 시험인증센터의 시스템안
 전실 근무 중, 경희대학교 산공
 학과에서 공학사, 공학석사 및
 박사 학위를 취득, 현재 관심분
 야는 철도시스템 위험도 평가,
 확률 모형, 시스템 모델링, 시뮬
 레이션, 경영과학 등.

주소: 경기도 의왕시 철도박물관로 176 한국철도기술연구원

이 재 천



현 아주대학교 시스템공학과 정
 교수. 서울대학교 전자공학과에
 서 공학사, KAIST 전기 및 전
 자공학과에서 공학석사 및 박사
 학위를 취득. 미국 MIT에서
 Post-Doc을 수행하였으며, Univ.
 of California (Santa Barbara)에
 서 초빙연구원, 캐나다 Univ. of
 Victoria (BC)에서 방문교수, KIST에서 책임연구원 재
 직. 이 후 미국 Stanford Univ. 방문교수 역임. 현재 연
 구 및 교육 관심분야는 시스템공학 및 Systems Safety
 에의 응용 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 신5번지 아주대학교 서
 관 309호