

철도차량 운전실의 작업환경 개선을 위한 시험 및 평가 정보시스템의 구축

김 영 민* · 이 재 천* · 박 찬 우**

*아주대학교 시스템공학과 · **한국철도기술연구원

On the Development of an Information System for Ergonomic Test and Evaluation of Locomotive Cabs

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

*Dept. of Systems Engineering, Ajou University · **Korea Railroad Research Institute

Abstract

Recent technological advances in the domestic railway industry have turned out to deliver a profound impact on the forefront of other industries as well. Furthermore, the introduction of the high-speed railway systems has made it possible to travel around our country in a day, thereby changing our life styles a lot. However, it has been well recognized that many factors can cause unanticipated accidents during the operation. One of the causes is known to be the human errors made by the train operators in locomotive cabs. The problem is getting more serious as the trains run at high speed. As such, the objective of this paper is on how to improve the work environment of the locomotive cabs. Our approach is based on the systems engineering methodology. Specifically, we first identify the context and scope of the problem to be solved. We then continue our effort in deriving the requirements set to accomplish the improvement. These results are utilized in constructing a computer-aided management system for test and evaluation intended for the improvement. The approach taken and the results obtained in this paper is expected to make a contribution on the route to keeping our nation's technologies on the competitive edges in the high-speed railway systems industry.

Keywords: Work Environment, Locomotive Cabs, Human Errors, High-Speed Railway Systems, Traceability, Ergonomic Test & Evaluation

1. 서 론

최근 국내·외 철도산업에서 인적오류로 인한 철도사고가 차지하는 비중 중에 기관사의 취급부주의로 인해 발생한 사고가 66.7%를 차지할 정도로 빈번히 발생됨에 따라 기관사로 인한 인적 오류에 대한 효과적인 대응을 위해 철도차량 작업환경에 대한 평가와 개선 대책에 관한 연구의 필요성이 절실히 제기 되고 있다[1].

뿐만 아니라, 국내의 고속 열차 망 확대에 의해 발생할 수 있는 위험성이 커짐에 따라 보다 철도안전성에 대해 중요성을 인지하고 철도안전관리규정이 재검토되고 있다. 이러한 철도안전관리규정 개정에 있어서 중요한 핵심적 역할을 하는 참고자료로는 본 논문에서 핵심 자료인 TSI (Technical Specification for Interoperability)를 바탕으로 철도안전관리규정의 개정을 앞두고 있다.

† 교신저자: 이재천 교수, 경기도 수원시 영통구 원천동 산 5번지 아주대학교 시스템공학과

Tel: 031-219-3941, E-mail: jaelee@ajou.ac.kr

2012년 4월 20일 접수; 2012년 6월 11일 수정본 접수; 2012년 6월 11일 게재확정

참고문헌 TSI는 기존의 철도차량의 부분적 안전을 다루는 다른 참고문헌들과 달리, 철도차량 시스템 전체를 시스템 안전 대상으로 다루고 있으며, 일반열차와 최근 이슈되고 있는 고속열차에 대해서도 면밀히 다루고 있다.

기존에는 시스템 안전성을 유지 및 향상하기 위해 대부분의 엔지니어들이 설계단계에서 활동에 초점을 두었다면, 최근 안전성에 대한 패러다임은 시스템 설계 단계 뿐만 아니라 설계이후의 단계인 운용유지 및 폐기 단계까지 고려한 시스템 전체 라이프 사이클을 고려한 설계 패러다임이라고 할 수 있겠다. 시스템공학은 수명주기별 그리고 시스템의 안전과 관련한 모든 활동은 시스템 설계 단계인 개념설계, 상세설계, 시험 및 평가단계, 그리고 시스템 폐기에 이르기까지 전체 시스템 수명주기 전반에 수행되어야 함이 인식되어 지고 있다[2]. 이러한 관점에서 시스템의 전 수명주기별 그리고 계층적 관점에서 접근하는 시스템공학에 따른 접근은 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위해서 매우 유용하다고 말할 수 있다[3].

따라서 본 연구를 통해 시스템공학 접근법에 따른 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위해 시스템공학 Case Tool을 통한 정보관리체계 구축은 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 체계적인 요구사항 관리 및 시험/평가 관리체계 구축을 가능하게 해 철도차량 안전성을 향상시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 사회 및 연구의 연구동향과 필요성을 제시하였고, 2장에서는 관련 선행연구 및 연구 목표를 기술하여 문제정의와 본 연구의 철도차량 운전실 시험/평가 전산관리체계 구축에 있어서 전산관리체계구축 및 전산관리체계의 핵심 요소인 추적성(Traceability) 구현의 필요성을 제시하였다. 3장에서는 본 연구의 적용 대상인 철도차량 운전실의 작업 환경 개선을 위한 인간공학 시험/평가 전산관리체계를 구축하기 위한 초기 활동을 정의 하였다. 이러한 활동을 기반으로 4장에서는 요구사항의 추적성 구현을 통한 철도차량 운전실 개선을 위한 인간공학 시험/평가 전산관리체계 구축하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결과를 정리 및 요약 하였다.

2. 문제의 정의

2.1 인간공학 시험/평가 전산관리체계의 필요성

현대의 시스템들은 매우 복잡한 복합 형태의 시스템으로 개발되고 있다. 철도차량 시스템 또한 차량, 전기, 전자, 기계, 정보통신 등 다양한 학제간의 결합된 형태

로 시스템이 개발되고 있다. 따라서 개발과정의 각각의 전문분야에서 수없이 많은 산출물이 발생하고 있으며, 그에 따라 철도차량의 개발에 있어서 발생하는 산출물의 체계적 접근법을 통한 데이터베이스화 및 시험/평가 관리 체계는 설계과정에 있어서 필수적인 시스템 개발의 성공 요인이라고 말할 수 있다. 이렇듯 다양한 전문 엔지니어들의 작업을 조율해주고 시스템 개발 관점에서 전체의 최적화 중시하고 바라보는 시스템공학 접근법이 필요하다.

본 연구를 통해 제시된 정보관리체계 구축 프로세스와 시험/평가 정보관리체계를 통해 효율적 업무수행할 수 있을 것이다. 또한 정보관리도구가 지닌 추적성 활용을 통해서 철도차량 운전실 관련 시스템 요구사항과 시험/평가항목과의 연동성 및 설계변경에 의한 영향 분석 또한 쉽게 가능하게 할 수 있다. 또한, 철도차량 운전실 작업환경 개선에 있어서 정보관리체계를 통해 구축된 자료는 설계 자료의 재사용성 측면에서도 매우 유용하게 활용될 수 있다.

2.2 정보관리체계 추적성 구현의 활용 및 필요성

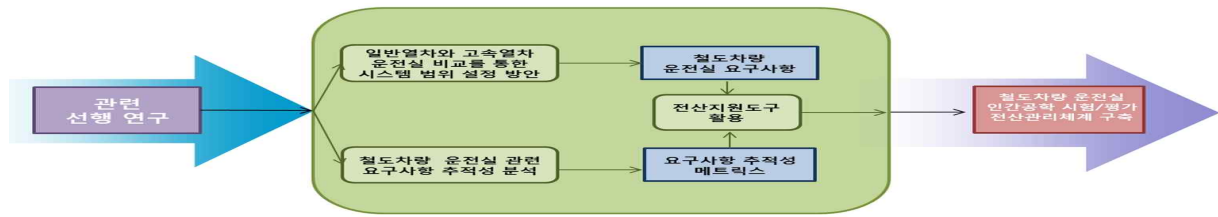
추적성이란 요구사항, 설계 및 최종 시스템의 구현에 있어서 서로의 관계를 제공하는 것을 말한다[4]. 이렇듯 추적성을 구현한다는 것은 시스템 개발에 특정 산출물과 해당 산출물이 생성되기 위한 근거 자료의 연속성을 제공하고 관리함을 의미한다. 따라서 연구개발 프로젝트 전체 라이프 사이클에서 발생하는 요구사항 관리는 성공적 연구개발의 핵심 업무라고 할 수 있다. 요구사항의 추적성 확보를 통해서 시스템 구성 요소들에 대한 요구사항과 검증요구사항 간의 추적성 활용 측면에서 검증요구사항에 내재된 속성 및 관련 요구사항과의 추적이 용이 해지므로 시스템 전반에 대한 통찰력 또한 제공 가능하다. 따라서 초기 요구사항(Original Requirement)으로부터 도출분석 및 요구사항 변경으로 인한 영향분석까지 가능해진다.

대다수의 개발되는 현대의 시스템들은 단일 시스템으로 구성된 체계 보다는 보다 복잡하고 대형화 되는 추세 특징을 지니고 있다. 따라서 결과론적으로 이전과는 비교도 할 수 없을 정도의 방대한 양의 시스템 설계 및 관리에 관한 요구사항이 생성되기 마련이다. 이러한 수많은 요구사항을 인간의 능력으로 일일이 관리하기에는 한계에 이르렀다. 따라서 정보지원도구를 통해 전산지원도구의 특성을 활용한 추적성 구현을 통해 보다 효율적이고 체계적인 철도차량 운전실 작업

환경을 개선하기 위한 인간공학 시험/평가 전산관리체계를 구축하였다. 본 논문에서 제시하는 도출된 요구사항과 각 해당 요구사항을 검증하기 위한 검증 요구사항을 생성하고 검증 요구사항을 바탕으로 철도차량 운전실 작업 환경 개선을 위한 각 시험항목을 시험/평가 단계별로 수행함으로써 철도차량 시스템 전체 안전성 확보에 기여 할 수 있었다.

본 논문에서는 추적성 적용의 범위를 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위해 인간공학 요소를 내포한 주

변 작업환경 시스템들이 지니고 있는 일반 및 설계요구사항들과 시험 및 평가 간으로 정한다. 따라서 본 논문에서의 추적성 구현을 통한 전산환경 구축이란, 1) 초기요구사항과 일반 및 상세요구사항으로 정제 과정 중 연동성 추적, 2) 일반 및 상세 요구사항과 핵심속성과의 연동성 추적, 3) 마지막으로, 이렇게 생성된 요구사항과 검증요구사항 간에 추적성 구현을 통해 최종적으로 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 인간공학 시험/평가 정보관리체계를 구축 하였다.



<그림 1> 연구 목표 개념도

2.3 연구 목표 및 범위

상위의 선행 연구 분석을 통해 본 논문에서 대상으로 다루는 철도차량 운전실의 작업환경이 매우 복잡한 시스템으로 구성되어있는 것을 알 수 있다. 따라서 운전실 작업환경의 개선 및 시험/평가 정보관리체계의 구축을 하기 위해서 시스템 전체를 총체적인 관점에서 바라보며 수명주기 사이클 측면에서 바라 볼 수 있는 시스템 공학적 접근 방법이 필요하다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해서 인간공학 시험/평가 정보관리체계 구축에 있어서 효율적이고 체계적 관리의 접근을 위해 시스템공학 접근기법과 정보관리 도구를 통해 관리되고 수행되어야 할 것이다. 또한 정보지원도구를 통한 체계적 접근에 대한 연구 수행 방법을 <그림 1>을 통해서 도식화 하였다.

3. 철도차량 운전실의 작업환경 개선을 위한 인간공학 시험/평가 아키텍처 개발

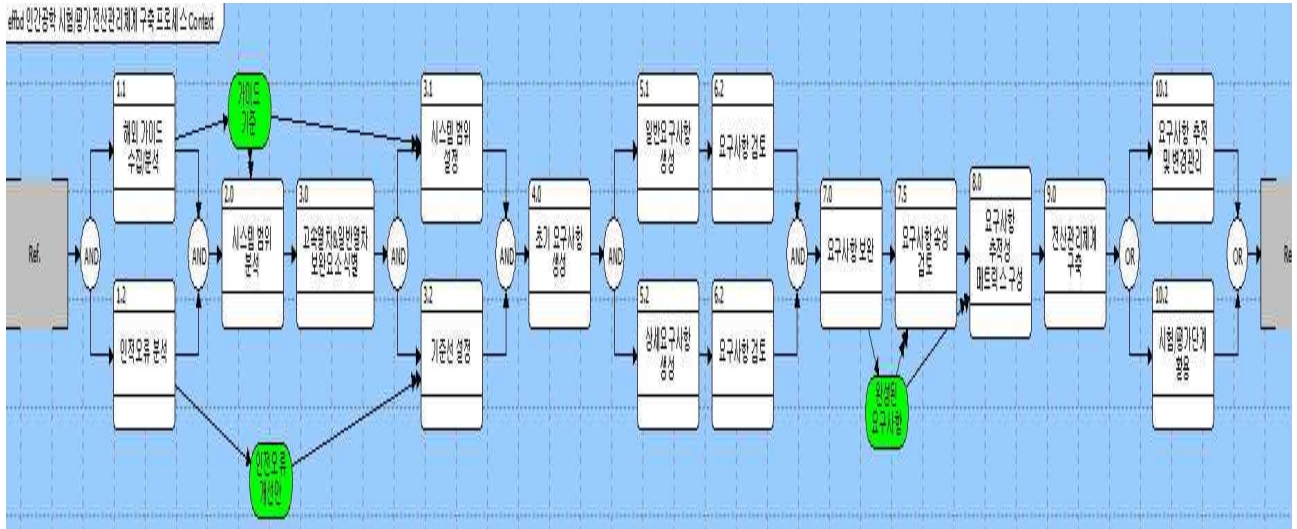
3.1 철도차량 운전실의 작업환경 개선을 위한 인간공학 시험/평가 프로세스 개발

인간공학 시험/평가 정보관리체계 구축을 위한 업무정의 및 철도차량 운전실 시스템 베이스라인 구축을 하는데 있어서 활동을 명확히 제시하고 개별 활동들을

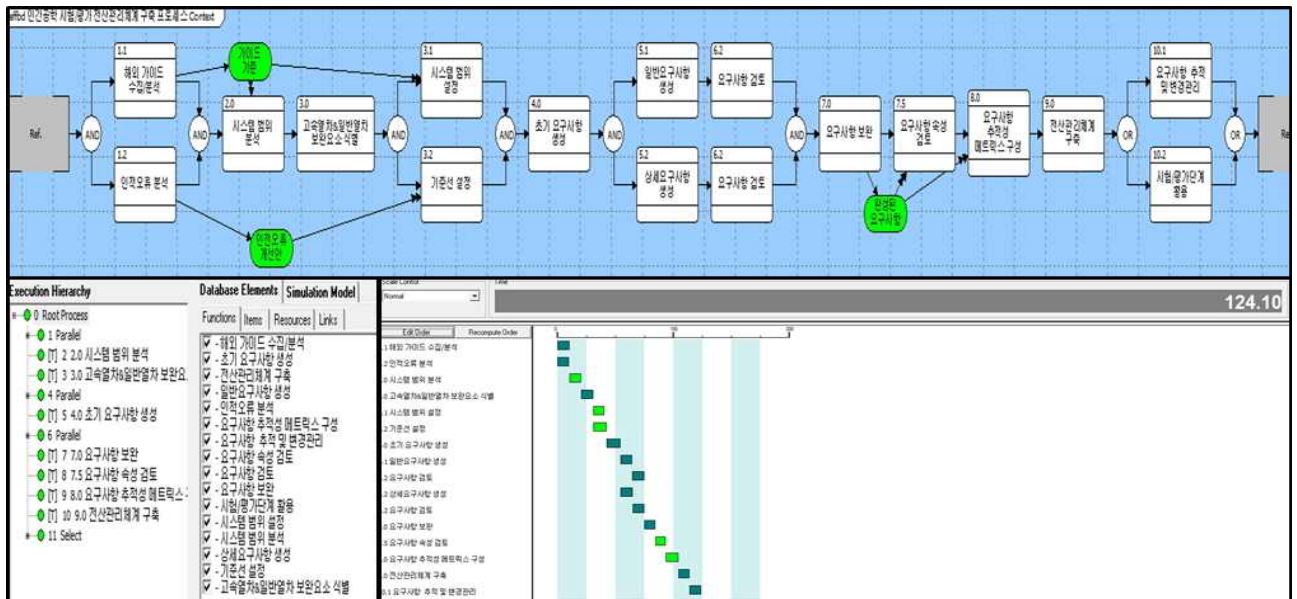
모델화하여 업무분석을 수행하였다. 그에 따른 결과로 <그림 2>와 같이 철도차량 운전실 개선을 위한 인간공학 시험/평가 정보관리체계 구축 프로세스 모델을 제시하였다. 인간공학 시험/평가 정보관리체계 프로세스는 총 17개의 서브 프로세스 활동으로 이루어졌으며 각각의 활동에 따른 산출물을 명시하여 이후의 인간공학 시험/평가 정보관리체계 구축의 활용 및 재사용 측면에서 용이하게 하였다.

3.2 철도차량 운전실의 작업환경 개선을 위한 인간공학 시험/평가 정보관리체계 구축 프로세스 검증

인간공학 시험/평가 정보관리체계 프로세스는 시스템공학 정보지원 도구인 CORE를 통해서 구축하였으며, EFFBD(Enhanced Functional Flow Block Diagram)라는 기능 모델링 기법을 통해 모델링 하였다. 따라서 이러한 프로세스 모델링에 대한 논리적 오류의 유무를 확인하기 위해서 <그림 3>과 같은 Time-Line analysis를 통한 시뮬레이션을 수행하였다. Time-Line analysis를 통해 EFFBD(Enhanced Functional Flow Block Diagram) 모델의 논리적 오류를 발견하고 개선하는 과정의 반복을 거쳐 제시한 프로세스 모델링 과정에 대한 오류를 개선 할 수 있었다. 시뮬레이션을 통한 분석 및 검증 과정을 거쳐 위의 제시된 <그림 2>의 프로세스에 따라 이후의 연구 활동이 진행되었다.



<그림 2> 철도차량 운전실 작업환경 개선 인간공학 시험/평가 정보관리체계 구축 프로세스



<그림 3> 시험/평가 정보관리체계 구축 프로세스 검증과정

3.3 TSI를 통한 고속열차 및 일반열차 초기 요건의 시스템 범위 설정

본 연구는 참고문헌 UIC(Union Internationale Des Chemins De Fer)와 TSI(Technical Specification for Interoperability)를 바탕으로 철도차량 시스템 범위를 비교/분석을 통해서 설정하였으며 각각의 참고문헌 특징에 대해서 <표 1>에 기술하였다. 철도차량 운전실에서 발생 할 수 있는 모든 인적오류의 발생가능 요소를 파악하고 개선하여 이를 요구사항과 시험/평가단계에 반영하기 위해서 참고문헌 TSI 분석을 통해 고속열차와 일반열차에서 철도차량 운전실에 관련한 시스템 요

소 분석과 시스템을 구성하는 각각의 서브 시스템들이 수행해야할 요구사항 분석을 수행하였다. <그림 4>과 같이 동일한 기준에 따른 분석을 수행하기 위해서 본 연구팀의 기존 연구를 통해 제시한 참고문헌 UIC 범주에 따라 TSI 분석결과를 분류하고 UIC 범주가 다루지 못하는 범위는 추가하여 그에 따라 분류 결과로 고속열차와 일반열차 간의 서로 상이한 시스템 구성 요소를 발견하고 철도차량 운전실 요구사항 아키텍처를 통해 작업환경 개선을 위한 필수 요구사항들이 누락되었음을 알 수 있었다. 따라서 철도차량 운전실의 작업환경의 인간공학 요소를 내포한 철도차량 운전실 작업환경을 개선하기 위한 발판을 마련하였다.

<표 1> 초기요건 계층화를 위한 참고문헌, 명칭 정의 및 요약 기술

No.	참고문헌	명칭	요약 기술
1	Concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock' sub-system of the trans-European high-speed rail system [5].	TSI 고속 열차	고속열차 차량의 서브시스템과 관련된 규격 및 요구사항을 규정
	유럽 횡단 고속열차 시스템의 '철도 차량' 부속 시스템과 관련된 상호 운용성의 기술 규격 관련		
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 [6].	TSI 일반 열차	일반열차 차량의 서브시스템과 관련된 규격 및 요구사항을 규정
	철도차량 부속 시스템의 상호 운용성에 대한 기술 규격과 관련된 2011년 4월26일자 위원회 결의서 - 재래식 유럽 횡단 철도 시스템의 '기관차 및 객차'		
3	UIC leaflet 651 - layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple-unit trains and driving trailers [7].	UIC	운전실 치수와 배치, 접근, 이동의 용이성, 가시성 조건 등의 요구사항을 규정

계층 고유 번호	UIC	고속열차(유럽 연합 관보 L84/132)	일반열차 (유럽 연합 관보 L139, 2011, ISSN 725-2555)
1.1.1	조작기기와 제어 시스템	제어-명령 시스템 제어, 명령 및 신호 시스템과의 인터페이스 기관사-기계 인터페이스 기관사-기계 인터페이스 램프제어	디스플레이 표시 지상 원격 제어 기능 램프제어 경적 제어 주 제동 명령
1.1.3	안전조치	기관사 동작 감지 장치 안전 및 경보 장치 기관사실 비상 출구 소화기 내화성 인화성 액체를 담고 있는 탱크들에 대한 특별 조치 전기 충격에 대한 보호책 상 분리 구간을 통과하는 주행 화재예방, 재질 준수성	기관사의 활동 제어 기능 안전속연 화재 안전 및 대피 방화벽 객차용 방화벽 차내 탑재 공구 및 휴대용 장비
1.2.1	접근 발판	발판	건널판 전방시계
1.2.2	운전실의 전방 시야	열차 기관사의 인체측정 데이터 및 전방시계 기관사 눈의 기준 위치	운전실의 후방 및 측면시야
1.2.2	운전실 데스크	기관사 조종 데스크	기관사 조종 데스크(인체공학) 실내배치
1.2.3	좌석	기관사실_좌석	기관사 조종석 실내배치
1.2.4	문	진출입 출입문 기관사실 비상 출구	승무원 및 화물 출입문 외측 출입문: 철도 차량 승객 출입 운행 조건에서의 출입 기관사실 비상 출구

<그림 4> UIC 범주에 따른 TSI 고속 및 일반열차 시스템 범주 분석표

3.4 TSI를 통한 고속열차와 일반열차의 통합 시스템 범위 제안 및 추적성 매트릭스

본 연구를 통한 TSI의 분석결과를 바탕으로 인간공학 요소를 내포한 철도차량 운전실 개선 요구사항을 식별하고 각각의 요구사항이 표 2에서 제시하는 내포한 5가지(안전, 신뢰성, 효율성, 보건, 환경보호, 기술적 호환성) 속성에 대한 추적성 매트릭스 표 일부를 <표 2>에 제시하였다. 시험/평가 수행에 있어서 개별 요구사항과 요구사항이 내포하고 있는 속성까지의 추적성

파악을 통해 관련해 시험/평가의 수행과 관련한 속성에 관한 본질적 정보에 대한 보다 많은 정보의 제공이 가능하다. 철도차량 운전실 개선을 위해 참고자료를 바탕으로 <표 2>에 정리된 TSI 고속열차와 일반열차의 철도차량 시스템의 운전실에 관한 시스템 범주와 해당 요구사항을 바탕으로 식별된 시스템에 따른 요구사항을 상세 계층화 분류 및 관리를 위하여 4개의 계층으로 분류하였다. 분류된 계층의 상위수준에서는 운전실의 구조와 작업환경으로 항목화 하였고 이들을 각각 세분화 및 구조화 하여 <표 3>에 나타내었다.

<표 2> 철도차량 운전실 안전성 향상 시스템 범위 및 관련 핵심요건 추적성 매트릭스

TSI 고속열차/일반열차		TSI의 핵심 요건과 상세내용과의 연계				
철도 차량 운전실	TSI 참조항	안전	신뢰성 효용성	보건	환경 보호	기술적 호환성
진출입	42.2.4	1.1.1 1.1.5	1.2			1.5 2.4.3.3
출입문	42.2.4.2	2.4.1.6				
차량 구조의 강도	42.2.3	1.1.1 1.1.3 2.4.1.1	1.2			
기관사실	42.2.6	1.1.1				
전면 유리창 및 열차의 전면부	42.2.7	1.1.1, 1.1.3				
승객 정보 표시	42.5.2	2.4.1.4 2.4.1.7				
승객 경보	42.5.3	1.1.5 2.4.1.8				
외부 소음	42.6.5			2.6.1	1.4.1, 2.5.2	
외부의 전자기적 간섭	42.6.6	1.1.1 2.4.1.2			1.4.1, 1.4.3 2.5.2, 2.2.2	2.4.3.1
비상 출구	42.7.1	1.1.5 2.4.1.7				
기관사실 비상 출구	42.7.1.2	4.2.2.6.a				
화재 안전	42.7.2	1.1.3 1.1.4 2.4.1.8	2.4.2	1.3.2	1.4.2	
전기 충격에 대비한 방지책	42.7.3	1.1.5 2.4.1.4				
내부 소음	42.7.6			2.6.1		
공조	42.7.7					
기관사 상태 확인 장비	42.7.8	2.7.1				
제어-명령 시스템	42.7.9	1.1.1				2.4.3.3 2.3.2

<표 3> 철도차량 운전실 작업환경 개선 요구사항 관리체계

대분류	중분류	소분류	세부사항	
운전실 구조 및 장치	제어대	제어기기		
		디스플레이		
		안전 및 경보장치		
		입력장치		
		대화식 설계		
		자동화		
		음성 커뮤니케이션		
	운전실 배치	활동제어	기관사 동작 감지 장치	
		접근 및 진입		
		운전실 시야	전방시야 후방 및 측면시야	
		좌석		
		편의시설	승무원 보관 시설	
		비상	비상출구	시각 신호 청각 신호
			화재	
			소화	
			담배 및 휴대용 장비	
		기관사-기계 인터페이스	기관사 인체측정 데이터 관련 전방시계	
기관사실 관련 신호 위치				
기관사 눈의 기준 위치				
기타	창문, 바닥, 문			
운전실 작업환경	조명과 밝기			
	난방			
	환기			
	냉방			
	소음			
	진동			
	색상과 표면 코팅			
	보건 및 안전	위생		
		위험물		
		내화성		
	전기충격			
정비				
청소				

4. 추적성 구현을 통한 인간공학 시험/평가 정보관리체계 구축

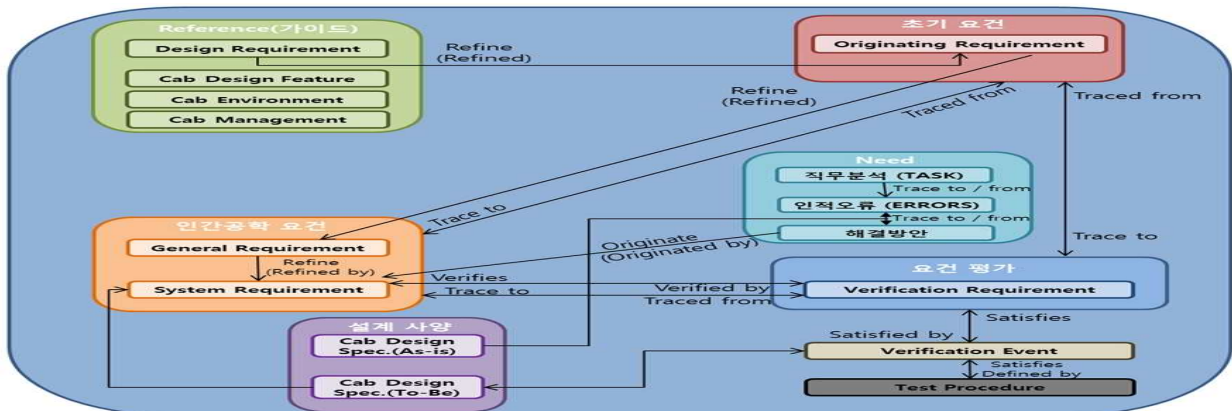
4.1 데이터들의 추적 관계를 정의하기 위한 데이터 베이스 스키마 설계

스키마란 ERA(Entity-Relation-Attribute)로 이루어진 구조로 각 요소를 정의하고 각 요소 사이의 관계, 각 요소들이 가져야하는 속성들을 정의하고 있다[8]. 스키마의 개발 목적은 철도차량 운전실 개선을 위해 생성된 요구사항 데이터를 체계적으로 관리하는데 있다. 따라서, 스키마는 데이터베이스의 전체적인 데이터 골격 설계를 나타낸다고 말할 수 있다[9]. 또한 스키마를 통해서 데이터베이스를 구성하는 데이터들을 정의하고 그들의 관계를 정의하는데 본 논문에서는 추적성 모델을 함께 제시하였다. 따라서 데이터들간의 상호 추적성 관계를 정의하였기에 추후 전산관리체계 구축 및 활용

에 있어서 요구사항 생성 및 변경, 그리고 시험/평가단계에서 추적성 확보를 통한 체계적인 정보관리체계 환경의 구축 및 활용에 있어서 신뢰성을 높일 수 있다.

<그림 5>는 이번 연구를 통해 철도차량 운전실의 작업환경 개선을 위해 생성된 요구사항들이 시스템공학 정보지원 도구를 통한 데이터베이스 구축에 있어서 활용된 데이터베이스 스키마이다. <그림 5>에 제시된 스키마는 <그림 2>의 프로세스를 따라 발생한 산출물들은 <그림 5>와 같은 관계로 추적성을 관리한다.

<그림 5>의 스키마를 이루는 타원형이 나타내는 것은 개체(Entity)를 의미하며 각 타원들 사이의 화살표시를 통해 방향성을 나타내었고 개체 사이의 관계를 설명하고 있다. 한 가지 예를 들어 설명하자면, "System Requirement"는 "Verification Requirement"에 의해 검증되며 "Verification Requirement"의 "Trace to" 및 "Traced from"를 통해서 추적성을 확인 할 수 있다. 각 개체에 대한 상세한 설명은 <표 4>에 정리하였다.



<그림 5> 고속열차 운전실 안전요구사항의 추적성 근거가 되는 데이터 베이스 스키마 개발

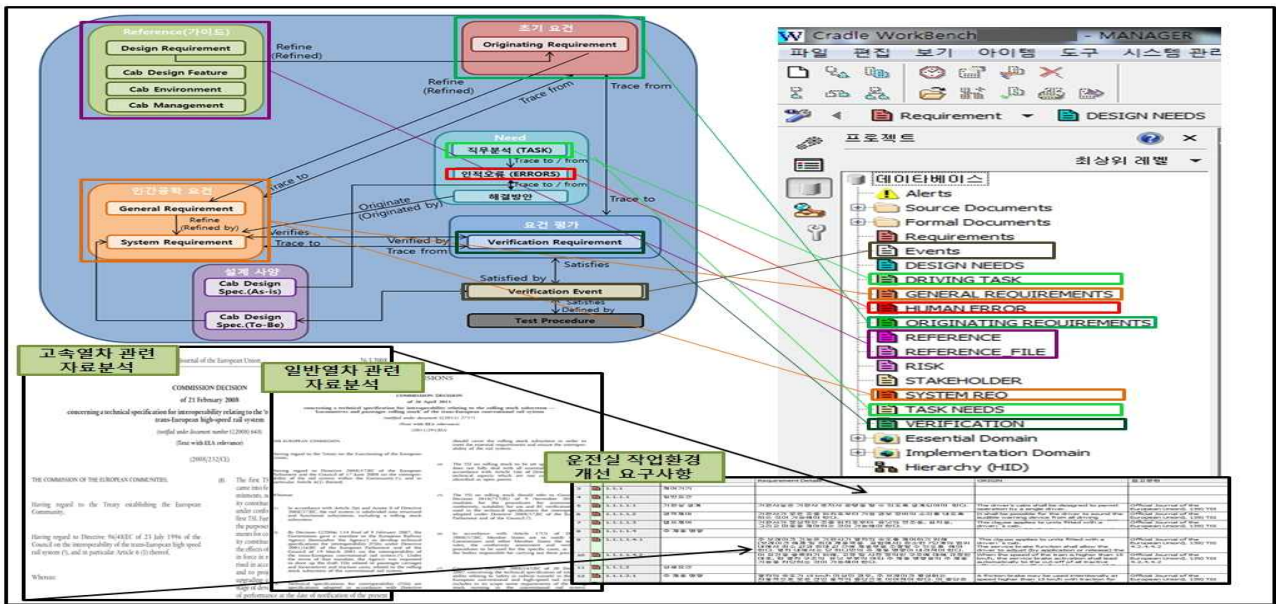
<표 4> 철도차량 운전실 요구사항 아키텍처 스키마 구성 요소의 설명

Class	Description
Task	철도차량 운전실에서의 운전사의 직무
Errors	철도차량 운전실에서 발생 가능한 인적 오류
Solution	상위의 인적 오류의 해결방안
Cab Design Spec.(As-Is)	기존 고속 및 일반열차 운전실의 설계 사양
Cab Design Spec.(To-Be)	개선된 철도차량 운전실의 설계 사양
Design Requirement	해의 가이드의 내용 중 언급된 설계요구사항
Cab Design Feature	해의 가이드에서 추천하는 고속 및 일반열차 운전실의 설계 형상
Cab Environment	해의 가이드에서 고려대상으로 분류한 운전실 환경
Cab Management	해의 가이드에서 언급한 고속 및 일반열차 운전실 관리 요구사항
Originating Requirement	철도차량 운전실 개선을 위한 초기 요구사항
General Requirement	철도차량 운전실 개선을 위한 일반 요구사항
System Requirement	실제 설계를 위한 상세 요구사항
Verification event	향후 평가를 위한 검증 활동
Test Procedure	시험 평가 절차

4.2 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 요구사항 데이터베이스 구축

본 연구는 서두에 언급한 것처럼 철도안전관리규정 검토 과정에 충주적인 자료로 사용된 TSI를 바탕으로 TSI에서 제시하는 고속열차와 일반열차를 구성하는 서브시스템과 관련된 규격 및 요구사항을 규정을 면밀히 분석하여 각각의 차량에서 운전실 작업환경을 개선하기 위해 약 180개의 요구사항을 <그림 6>과 같이 생성하였다. 생성된 각각의 개별 요구사항에는 해당 요구사항 문장별 근거문장과 법령의 출처를 명시하도록 구성

하였다. 이렇게 생성된 요구사항은 고속열차와 일반열차의 통합 시스템 범주에 따라 운전실 작업환경 개선을 위한 요구사항 생성하였다. 따라서 이러한 요구사항들은 <그림 7>의 스키마 규정과 요구사항 생성과정에 의해 일관된 기준을 바탕으로 전산관리체계로 구축되었다. 개발된 요구사항은 스키마에 따라 개별 요구사항이 내포하고 있는 속성들에 일관된 기준을 제공함으로써 아키텍처 설계에 있어서 일관성을 유지할 수 있었고, 요구사항의 품질 및 전산관리체계의 신뢰성을 높일 수 있는 방안을 제공하였다[10].



<그림 6> 참고문헌 TSI를 활용하여 구축한 전산지원 데이터베이스

1.1.2 기관사 조종 데스크(인체공학)

1.1.2.1 일반요건

- 1) 조종 데스크와 그 운행 장비 및 제어장치들은 부록 E에서 규정된 기관사의 인체 계측학적 측정 결과를 감안하여, 가장 일반적으로 사용되는 조종 위치에서 정상적인 자세를 취할 수 있고, 그의 동작의 자유가 방해되지 않도록 배치되어야 한다.
- 2) 만약 견인 및/또는 제동 동작이 레버(결합된 것이나 분리된 것)에 의해 이뤄진다면, 견인 동작은 레버를 앞으로 밀었을 때 증가하고, 제동 동작은 레버를 기관사 쪽으로 당길 때 증가해야 한다.
- 3) 운행 및 제어 요소들은 기관사가 식별할 수 있도록 명확하게 표시되어야 한다.

근거문장 : The driver's desk and its operating equipment and controls shall be arranged to enable, in the most commonly used driving position, the driver to keep a normal posture, without hampering his freedom of movement, taking into account the anthropometric measurement of the driver as set out in the Annex E. Operating and control elements shall be clearly marked, so that they are identifiable by the driver. If the traction and/or braking effort is set-up by a lever (combined one or separated ones), the 'tractive effort' shall increase by pushing the lever forwards, and the 'braking effort' shall increase by drawing the lever towards the driver. By Official Journal of the European Union(L 139) TSI 4.2.9.3.1

근거문장 출처 : 조종 데스크와 그 운행 장비 및 제어장치들은 부록 E에서 규정된 기관사의 인체 계측학적 측정 결과를 감안하여, 가장 일반적으로 사용되는 조종 위치에서 기관사가 정상적인 자세를 취할 수 있고, 그의 동작의 자유가 방해되지 않도록 배치되어야 한다. 운행 및 제어 요소들은 기관사가 식별할 수 있도록 명확하게 표시되어야 한다. 만약 견인 및/또는 제동 동작이 레버(결합된 것이나 분리된 것)에 의해 이뤄진다면, '견인 동작'은 레버를 앞으로 밀었을 때 증가하고, '제동 동작'은 레버를 기관사 쪽으로 당길 때 증가해야 한다.

1.1.2.2 상세요건

- 1) 조종 중에 필요한 인쇄 문건들을 조종 데스크 위에 펴놓고 볼 수 있도록 하기 위해, 높이 21cm에 폭 30cm의 최소 열람 구역이 조종석 전면에 갖춰져 있어야 한다.
- 2) 비상 제동을 위한 새김 눈(notch)이 있는 경우, 레버의 다른 위치들에 있는 새김 눈들과 명확하게 구별되어야 한다.

근거문장 : To allow the display on the driver's desk surface of paper documents required during driving, a reading zone of minimum size 30 cm width per 21 cm high shall be available in front of the driver's seat. If the traction and/or braking effort is set-up by a lever (combined one or separated ones), the 'tractive effort' shall increase by pushing the lever forwards, and the 'braking effort' shall increase by drawing the lever towards the driver. If there is a notch for emergency braking, it shall be clearly distinguished from those of the other positions of the lever. By Official Journal of the European Union(L 139) TSI 4.2.9.3.1

근거문장 번역 : 조종 중에 필요한 인쇄 문건들을 조종 데스크 위에 펴놓고 볼 수 있도록 하기 위해, 높이 21cm에 폭 30cm의 최소 열람 구역이 조종석 전면에 갖춰져 있어야 한다. 비상 제동을 위한 새김 눈(notch)이 있는 경우, 이는 레버의 다른 위치들에 있는 새김 눈들과 명확하게 구별되어야 한다.

<그림 7> 정제된 철도차량 운전실 개선 요구사항 문서

4.3 구축된 데이터베이스의 추적성 검증

본 논문에서 제시하는 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 시험/평가 정보관리체계를 구축하는 과정에 있어서 정의한 고속철도와 일반열차와의 통합된 시스템 범위가 다루는 모든 시스템 요구사항이 구축된 검증요구사항에 의해 검증 가능한지 시스템요구사항과 검증요구사항간의 일관성 검사를 수행하였다. 이러한 구축된 DB의 일관성 검사를 자동화 수행을 위해서 시스템공학 CaseTool인 CORE의 일관성검사 기능인 Unverified Requirement Query 기능을 활용하여 수행하였다. 위와 동일한 방법인 Unverified Requirement Query 기능을 통해, <그림 5>에 제시된 추적성 모델을 통해서 구축된 데이터들 간의 추적성을 검증하였다. 스키마 기반 구축 데이터베이스의 검증을 위해, 우선, 참고자료와 참고자료를 바탕으로 생성된 초기 요구사항과의 추적성, 두 번째는 초기요건(Originating Requirement)으로부터 일반 요구사항(General Requirement)과 시스템 요구사항(System Requirement) 사이의 추적성 그리고 마지막으로 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 요구사항과 해당 요구사항을 검증하기 위한 검증요구사항과의 추적성이다. 이러한 추적성 검증과정을 거쳐 철도차량 운전실 시스템 범주에서 발생하는 모든 데이터베이스에 대한 검증을 수행 할 수 있었다.

4.4 철도차량 운전실 개선을 위한 인간공학 요건 시험/평가 전산환경

본 연구 통해 철도차량 운전실 작업환경 개선을 위한 인간공학 속성을 내포한 모든 운전실 시스템에서 발생 할 수 있는 모든 요구사항을 도출하였고 각각의 개별 요구사항을 검증하기위한 검증요구사항을 도출하였다. <그림 8>의 한 가지 예를 들어 설명하자면, “운전실 전방시야”라는 검증항목에 대해서 검증 이벤트, 검증을 수행하는 조직, 검증방법, 그리고 검증상태, 검증에 대한 설명, 검증을 어떻게 수행하는지? 시험절차에 대한 기술, 해당 검증이 언제 시험되었는지?, 시험 결과는 어떠한 결과가 나왔는지? 정보관리체계를 통해 구현하였다. 또한 각각의 개별 검증요구사항이 어떠한 시스템 요구사항과 또는 그밖에 어떠한 데이터베이스를 기초로 연동되었는지 <그림 8>의 우측 Linked Item을 통해서 파악 할 수 있다.

5. 결론 및 요약

국내·외에서 고속철도의 대중화의 노력으로 고속철도망의 확대에 의한 철도차량 시스템 안전성 향상을 위해 보다 많은 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이러한 노력들은 최근 국내·외에서 발생한 대부분의 철도사고들이 인적오류와 연관되었다는 점에서 본 논문을 통해 인간공학 속성들을 포함한 철도차량 운전실 작업환경 개선사항에 대한 요구사항을 생성 및 관리를 수행하기 위해 철도차량 시스템 레벨을 정의하고 각각의 시스템 레벨에서 갖추어야 할 요구사항을 도출하였다. 본 논문 <그림 4>를 통해서 알 수 있듯이, 일반열차에서도 고려되는 측면 및 후방시야가 설계단계에서 안전성을 위해 고려되는 사항임에도 불구하고, 고속열차 설계시에 전방 시야만을 고려한다는 점에서 개발되는 철도차량 시스템이 잠재적 위험 요소를 지니고 있다고 볼 수 있겠다. 보다 중요한 것은, 국내 철도 안전법의 경우에 인간공학 요소에 대한 철도안전법 반영이 초기단계에 머물러 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서, 국내 철도 안전법 개정에 앞서서 전면적 제도적 수정이 필요할 것이다.

본 연구에서는 철도차량 운전실 환경개선 설계과정에서 생성될 수 있는 인적속성과 관련된 모든 요구사항을 여러 단계의 정제 단계를 거쳐 도출하였다. 또한 도출된 각각의 요구사항, 즉 개별 요구사항들이 내포하고 있는 안전속성(안전, 신뢰성, 보건, 환경, 기술적 호환성)과의 추적성 매트릭스 또한 생성하여 시험/평가 수행에 있어서 개별 요구사항이 내포하는 본질 속성에 대한 이해를 도왔다. 이렇게 생성된 요구사항간의 추적성을 정보지원도구를 통해서 구현하고, 구축된 추적성을 바탕으로 철도차량 운전실 개선을 위한 시스템 시험/평가에 활용될 수 있도록 체계적 관리체계 구축에 대한 연구를 하였다. 이를 수행하기 위해 시스템공학 CASE Tool 중 하나인 Cradle의 주된 사용을 통해 수행 하였다.

이렇듯 본 연구에서는 시스템공학 정보지원 도구 활용을 통한 철도차량 운전실 개선을 위한 시험/평가 정보관리체계 구축과정을 제시함으로써 아직 국내에서 활발히 정보지원도구를 통한 시험/평가 정보관리체계 사용 활용의 기틀을 제공하여 요구사항의 체계적 관리와 추적성 연동성을 통한 철도차량 운전실 작업환경 개선을 통한 철도차량 기관사로부터 발생할 수 있는 위험인자에 대한 사전 안전성 확보 방안의 길을 마련하여 전체 철도차량 시스템의 안전성 확보에 기여 하였다고 본다.

본 연구를 통해, 구축된 철도차량 운전실에 관한 인간공학 요소들을 반영한 시험/평가 정보관리체계를 통한 철도차량 안전성 향상에 기여를 통해 시험/평가 정보관리체계 구축에 관한 효용성을 주장하였다. 따라서

후속 연구 또한 활발히 진행 되었으면 한다. 추후 연구에서는 구축된 정보관리체계의 실무운용을 통한 구축 절차 및 환경의 문제점을 파악하고 개선에 관한 연구가 필요할 것이다.

VERIFICATION - 시									
고유번호	제목	검증방법	상태	설명	시험일자	시험결과	Linked Items		
							Identity	Name	Description
							[LINKED] All Linked Items		
							Identity	Name	Version
							Draft		
이전...									
1	VER-1	운전실 견정시험	Analyse	Pass	Simulation and modeling exercise to analyse speed profile between	2012년 3월 29일	tests are completed successfully	1	운전실 구조물 설계
2	VER-2	운전실 측면시험	Inspection	Partial	Tests shock absorbers and other sensitive equipment to ensure can	2012년 3월 29일		2	좌석
3	VER-3	승무실용 보관시험	Inspection	Candidate	Test to monitor response of the cabin pressurisation system.	2012년 3월 29일		3	좌석기
4	VER-4	중조	Simulation	Pass	Simulation of flight profile between airfields, to demonstrate suitable	2012년 3월 29일	tests are completed successfully	4	좌석기
5	VER-5	기관실 비침몰구	Demonstration	Ready	A demonstration that the high-speed rail will carry the	2012년 4월 2일		5	기관실 설계
6	VER-6	차량 구조 및 정도	Inspection	Ready	A full inspection that ensures the requirements for a CAA air	2012년 4월 2일	tests are completed successfully	6	기관실 설계
7	VER-7	표시	Inspection	Pass	Ensure radar altimeter accuracy. Conducted as unit level verification.			7	기관실 설계
8	VER-8	조명과 공기	Inspection	Partial				8	기관실 설계
9	VER-9	내부소음	Demonstration	Fail				9	기관실 설계
10	VER-10	외부소음	Test	Pass				10	기관실 설계
11	VER-11	운전실 배치	Inspection	Pass				11	기관실 설계
12	VER-12	실내 배치	Inspection	Pass				12	기관실 설계
13	VER-13	안전 및 정보장치	Demonstration	Ready		2012년 3월 7일		13	기관실 설계

<그림 8> 철도차량 운전실 작업환경 안전요구사항 시험/평가 정보관리체계 구축

6. 참고 문헌

[1] “고속철도 안전기술 개발을 위한 조사연구,” 한국기 계연구원, (2011)

[2] I. Clifton A. Ericson, “Hazard analysis techniques for system safety.”, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., (2005)

[3] “A guide for system life cycle processes and activities INCOSE.”, handbook, c3.2, (2010)

[4] Edwards, M. and S. Howell, A Methodology for Requirement Specification and Traceability for Large Real-Time Complex Systems, Naval Surface Warfare Center, (1992)

[5] “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)

[6] “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)

[7] “Layout of driver’s cabs in locomotives, railcars, multiple unit trains and driving trailers.”, UIC 651, International Union of Railways, (2002)

[8] Peter Pin-Shan, Chen, The entity-relationship model-toward a unified view of data, ACM Transactions on Database Systems, (1976) : p.9-36

[9] Silberschatz, Database System Concepts, Mc Graw Hill,(1999) : p.11

[10] 이정아, “품질속성의 일관성 유지를 위한 아키텍처 설계 방법.”, 제27회 한국정보처리학회 춘계학술발표대회, 한국정보처리학회, (2007년)

저 자 소 개

김 영 민



현 아주대학교 시스템공학과 석·박사통합과정. 관심분야는 요구사항 관리, 모델기반 시스템공학, Modeling & Simulation 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 성호관 243호

박 찬 우



현 한국철도기술연구원 선임연구원. 시험인증센터의 시스템안전실 근무 중, 경희대학교 산공학과에서 공학사, 공학석사 및 박사 학위를 취득, 현재 관심분야는 철도 시스템 위험도 평가, 확률 모형, 시스템 모델링, 시뮬레이션, 경영 과학 등.

주소: 경기도 의왕시 철도박물관로 176 한국철도기술연구원

이 재 천



현 아주대학교 시스템공학과 정교수. 서울대학교 전자공학과에서 공학사, KAIST 전기 및 전자공학에서 공학석사 및 박사 학위를 취득. 미국 MIT에서 Post-Doc을 수행하였으며, Univ. of California (Santa Barbara)에서 초빙연구원, 캐나다 Univ. of Victoria (BC)에서 방문교수, KIST에서 책임연구원 재직. 이 후 미국 Stanford Univ. 방문교수 역임. 현재 연구 및 교육 관심 분야는 시스템공학 및 Systems Safety에의 응용 등.

주소: 경기도 수원시 영통구 원천동 산5번지 아주대학교 서관 309호