

차상중심 열차제어시스템 개발에서 모델기반 접근을 통한 안전성 향상에 관한 연구

최명성¹, 김주욱¹, 한석윤¹, 오세찬¹, 심상현², 이재천^{3*}

¹한국철도기술연구원, ²SPID, ³아주대학교 시스템공학과

On Enhancing Safety of Train-Centric Train Control System using Model-Based Development

Myung-Sung Choi¹, Joo-Uk Kim¹, Seok-Youn Han¹, Se-Chan Oh¹,

Sang-Hyun Sim², Jae-Chon Lee^{3*}

¹Korea Railroad Research Institute,

²SPID,

³Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요약 최근 철도 열차제어시스템은 최첨단 기술로 인한 무선통신기반 개발의 수요와 이에 따른 환경의 다변화, 설계 정보의 복잡성, 시스템 설계에 대한 추적성 등 여러 요인으로 인해 모델기반 설계와 안전에 대한 쟁점도 증가하고 있다. 이에 따라 기존의 열차제어시스템에서 다루는 지상 설비 설계에 대한 모델기반 설계와 단계별 안전 활동 강화의 필요성 역시 강조되고 있다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 먼저 열차제어시스템에 대한 효과적인 개발을 위하여 모델기반 설계를 수행하였고 이는 SysML(System Modeling Language)을 활용하여 표현하였다. 열차제어시스템의 안전성 향상을 위하여 설계 모델을 활용할 수 있는 시험 시나리오를 생성하였다. 생성한 시험 시나리오에 모델기반 설계를 수행한 차상중심 열차제어시스템을 적용하여 사례 연구를 수행하였고 이에 대한 결과를 분석하여 본 연구의 활용 가능성을 입증하였다. 본 연구의 결과를 토대로 안전성 향상 접근에 대한 시험 활동 재정립을 통해 개선함으로써 향후 모델을 기반 설계로 수행된 열차제어시스템 개발 시 개념설계에서 발생할 수 있는 비용 및 시간을 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract The train control system is a facility to ensure model-based design and safe train operation, and its safety is the most important factor for system introduction, complexity of the design information and traceability etc. Therefore, the model-based design and safety activities regarding the way-side equipment of a train control system is also highlighted. To solve this problem, In this paper, model-based design was carried out first to develop an effective train control system, which is represented by SysML(System Modeling Language). The test scenarios that can take advantage of the design model were created to improve the train safety control system. Case studies of a model-based design of a train-centric train control system were applied to the test scenarios; the results demonstrated its usability. The improved activity over the test highlighted the safety improvement approach, and it is expected to reduce the cost and time in the conceptual design of a future development model-based train control system.

Keywords : Model-Based Systems Engineering, Safety Analysis, System Modeling Language, Test Scenario, Train-Centric Train Control System

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Jae-Chon Lee(Ajou Univ.)

Tel: +82-31-460-5762 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received May 31, 2016

Revised July 1, 2016

Accepted July 7, 2016

Published July 31, 2016

1. 서론

열차제어시스템은 선로의 신호, 운전, 역(Station) 등의 정보를 기관사에게 제공하고, 선행열차와의 간격 제어와 더불어 제한속도 초과 시 열차의 안전을 확보하는 기능을 담당한다[1]. 열차제어를 위한 신호방식으로 기존의 자동열차정지(ATC: Automatic Train Stop) 방식으로부터 고속, 고밀도 운행에 대비한 자동열차방호(ATP: Automatic Train Protection) 방식으로 개량해 나가고 있다[2].

ATC가 지상에서 제한속도를 생성하여 기관사 실수에 대한 열차보호만을 담당하는 반면, ATP는 열차운행에 필요한 각종 정보를 지상 설비를 통해 차량으로 전송하고, 차량의 컴퓨터를 통해 속도프로파일의 생성 및 열차방호가 이루어진다. ATP를 통해 운전시각의 단축, 선로 용량 증가 등의 효과를 얻을 수 있으나 이의 운용을 위해서는 발리스(Balise) 및 선로변제어기(LEU: Lineside Electronics Unit) 등의 지상설비가 신규 설치되어야 한다. 또한 기존 궤도회로 기반의 자동폐색장치(ABS: Automatic Block System), 전자연동장치, 건널목 제어장치 등과 연계 운용해야 하므로 일정 수준 이상의 유지보수 인력과 비용이 지속적으로 필요하다[3].

일일 운행횟수가 적은 지선의 경우에 고가의 제어시스템을 운용하는 것은 효율성 측면에서 문제점이 있다. 이러한 점에서 저밀도 구간인 철도지선에 대하여 선로변시설물을 최소화하여 이로 인한 유지보수 비용을 절감하면서 기존과 동등한 운행 안전성을 보장할 수 있는 차상중심의 열차제어시스템의 개발이 요구되고 있다[4].

차상중심 열차제어시스템의 효과적인 개발을 위해서는 선로변에 지상 설비들의 최소화되 해당 기능들이 열차제어시스템에서 제대로 수행될 수 있는지가 가장 중요하다. 따라서 모델기반 설계를 통해 지상 설비 최소화에 따른 차상중심 열차제어시스템의 효율적인 설계안을 모색하고 이와 더불어 발생할 수 있는 안전 문제들을 사전에 식별하는 것이 중요하다. 모델기반 설계는 개발 전체 수명주기에 걸쳐 개념설계부터 시스템 요구사항, 설계, 분석, 검증 및 확인 단계까지 모델링할 수 있는 방안을 제공함으로써 기존의 문서 관리의 어려움, 설계 정보의 대량화, 잘못된 의사소통, 추적성 관리의 어려움을 보완할 수 있도록 고안된 기법이다(INCOSE, 2006). 모델기반 설계관련 연구를 살펴보면 Ward(2011), Grello(2011)은

운영 시나리오를 생성함에 있어서 모델기반 시스템공학(Model-based Systems Engineering : MBSE)을 활용하여 프레임워크 및 데이터 흐름 등에 대한 체계적 접근을 하는 것을 알 수 있다[5,6]. 또한 시스템 수명주기 상에서 시스템 언어(SysML)을 활용한 설계 프로세스 구현 등이 활발히 진행되고 있는 것을 알 수 있다[7,8]. 그리고 위험관리, 안전 관점에서의 선행연구를 고찰하였다. Prabhu 외(2014), Keith 외(2014)는 시스템 설계 변경에 따른 다양한 구성요소들의 오류 및 정보를 확인하기 위한 절차를 개발하고 VV&T(Verification, Validation & Test) 수행 시 상호간의 인터페이스를 빠르게 식별할 수 있도록 모델 기반 접근을 활용하여 접근하였다[9,10]. 하지만 기존에 모델기반 설계를 통한 아키텍처는 안전성 분석 결과를 체계적으로 반영할 수 있도록 시험 시나리오에 대한 절차, 인터페이스, 검증 등에 대한 고려가 부족하다.

따라서 본 논문에서는 MBSE를 활용한 체계적인 프로세스를 통해 안전성 향상을 고려한 차상중심 열차제어시스템의 아키텍처를 제안한다. 이를 위해 MBSE를 바탕으로 시스템공학 전산지원 도구를 활용해 모델기반 차상중심 열차제어시스템의 아키텍처를 설계 및 검증한다. 또한 안전성 분석 결과 및 시험 정보들로 구성된 시험 데이터를 통해 시험 시나리오 생성 및 검증에 관한 연구를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 본 연구의 사회, 기술 및 연구 동향과 차상중심 열차제어시스템의 체계적인 접근 및 안전성 향상에 대한 필요성을 제시하였다. 본론에서는 차상중심 열차제어시스템의 아키텍처 설계를 위한 순차적 접근을 위한 활동들을 명시한다. 이를 기반으로 안전성 향상을 위한 시험 시나리오를 생성하여 차상중심 열차제어시스템 아키텍처에 반영하여 검증하는 내용을 기술하였다. 마지막으로 본 논문의 결과를 정리 및 요약하였다.

2. 모델기반 차상중심 열차제어시스템의 개념 설계

2.1 차상중심 열차제어시스템의 구성

차상중심 열차제어시스템은 차상에서 선로전환기와 건널목의 주요 신호설비를 무선으로 제어하고자 하는 시

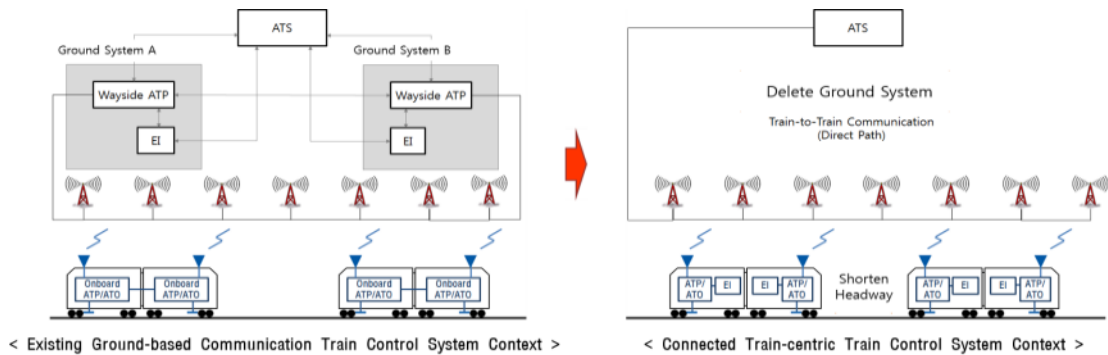


Fig. 1. Train-centric Train Control System

Table 1. Train-centric Train Control System functional hierarchy

System	Subsystem	Function
Train-centric Train Control System	ATS (Automatic Train Supervision)	-Manage the timetable -Manage the train service -Supervise train tracking -Supervise the status of the TCS equipments, trains and other systems -Monitor traction power -Process command -Provide the operator interface -Provide interface with the communication system for passenger and staff -Provide interface with the passenger information system -Manage rolling stock and staff resources
	ATP (Automatic Train Protection)	-Control passengers doors -Ensure safe starting conditions -Put in or take out of operation
	ATO (Automatic Train Operation)	-Changing driving modes Operate a train between two operational stops -Change the driving direction -Ensure detection and management of emergency situations -Ensure safe separation of trains -Ensure safe speed -Authorize train movement -Supervise train movement -Control acceleration and braking -Prevent collision with obstacles -Prevent collision with persons
	EI (Electronic Interlocking)	-Ensure safe route

시스템이다[4]. 기존의 무선통신기반 열차제어시스템은 열차의 위치를 궤도회로가 아닌 무선통신을 이용해 수신하고 열차의 목적지, 속도, 방향 등을 전송하여 열차를 통제한다. 지상-차상간의 양방향 무선통신으로 궤도회로보다 더 정밀하게 열차의 위치를 파악할 수 있으며, 무인운

전을 위한 차상설비 감시와 제어가 가능하다. 하지만 차상중심 열차제어시스템은 기존의 무선통신기반 열차제어시스템에서 차지하는 지상설비를 제거하여 차상간의 양방향 무선통신으로 구축하였다. 이러한 차상중심 열차제어시스템의 구성을 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 차상중심 열차제어시스템의 기능

차상중심 열차제어시스템의 구성하는 ATS, ATP/ATO 및 EI장치에서 수행할 기능을 배치하기에 앞서 무인자동운전을 안전하게 수행하는데 필요한 기능을 Table 1과 같이 정의하였다[3].

2.3 차상중심 열차제어시스템의 설비간의 인터페이스

차상중심 열차제어시스템의 설비간의 인터페이스를 설정한 기준은 다음과 같다.

- (1) 차상중심 열차제어시스템의 설비간의 수행 단계별 기능적 연결
- (2) 차상중심 열차제어시스템의 설비간의 시험정보와 안전성분석 결과데이터간의 기능적 연결
- (3) 차상중심 열차제어시스템의 설비에서 도출되는 산출물간의 물리적 또는 기능적 연결

차상중심 열차제어시스템의 설비간의 인터페이스 정의를 통해서 산출되는 데이터 간의 추적성 및 기능 연결 흐름을 쉽게 볼 수 있다. 이때 기능 간의 흐름은 단방향의 경우 데이터 전달로서의 역할이며, 양방향의 경우는 상호간의 데이터 교환이 존재함을 의미한다. 이러한 차상중심 열차제어시스템의 인터페이스 분석 수행 결과 중 ATP 설비에 대하여 Fig. 2에 나타내었다.

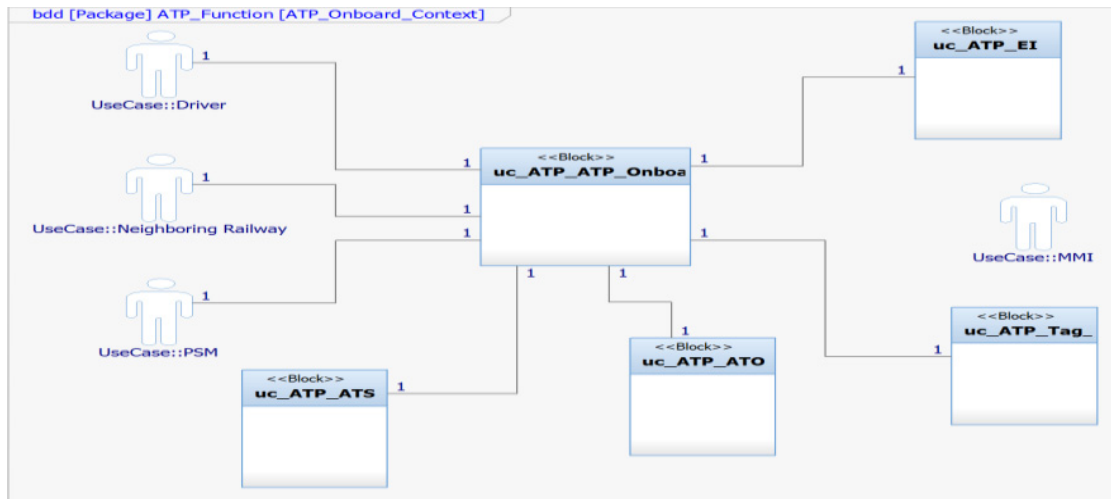


Fig. 2. Interface of ATP of Train-centric Train Control System

2.4 차상중심 열차제어시스템의 Use Case 분석

차상중심 열차제어시스템의 Use Case를 분석한 절차는 다음과 같다.

(1) 차상중심 열차제어시스템의 Use Case 도출

각각의 설비에 대한 Use Case를 추출한다. 이 단계에서 추출된 Use Case는 특정 기능 Use Case와 공통 기능 Use Case로 분류된다.

(2) 공통 기능 Use Case 추출

1단계에서 추출된 설비별 Use Case 중 공통 기능 Use Case를 추출한다. 공통 기능 Use Case는 설비의 기능과 다른 설비간의 인터페이스를 연계하거나 추적성을 분석하는데 필수 요소가 된다.

(3) Use Case 다이어그램 작성

2단계에서 추출된 공통 기능 Use Case들을 대상으로 Use Case 다이어그램을 작성한다. 이 단계의 Use Case 다이어그램은 차상중심 열차제어시스템 개발범위 전체를 나타낸다. 이후의 차상중심 열차제어시스템은 이 단계에서 작성된 Use Case 다이어그램을 바탕으로 이루어진다.

(4) Use Case 명세 작성

3단계에서 추출된 공통 기능 Use Case에 대해 이벤트 흐름과 시나리오를 작성한다.

차상중심 열차제어시스템에서는 앞서 ATO 인터페이스 분석을 통해 ATP 기능은 기관사, 선행열차, 스크린도어, ATS, ATO 등과 상호 데이터 교환이 존재하며, EI, Tag Reader로부터 데이터를 전달받는다. 따라서 차상중심 열차제어시스템의 대부분의 설비들이 공통적으로 ATP 기능들이 필요하며 이 기능이 체계적으로 개발되지 않는다면 추가적인 문제가 발생할 것을 알 수 있다. 이러한 차상중심 열차제어시스템의 Use Case 다이어그램 수행 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

2.5 차상중심 열차제어시스템의 Activity 분석

차상중심 열차제어시스템의 Use Case 분석을 통해 얻은 결과는 설비간의 데이터 연결 흐름 및 개발 범위 등에 대해서는 알 수 있지만, 설비간의 활동 흐름은 쉽게 파악할 수가 없다. 따라서 다양한 설비와 설비간의 인터페이스가 존재하는 차상중심 열차제어시스템을 Activity 다이어그램을 이용하여 모델링한다. 특히 본 논문에서는 열차의 출발 준비부터 시작하여 역에 도착하여 고객을 태우고 다음 역을 출발하기 전까지로 범위를 축소하여 적용한다.

Activity 다이어그램에서 Actor는 기관사, 선행열차, 스크린도어, Tag, MMI가 있다. ATS는 철도 운영 상황을 감시하기 위해서 가능한 많은 설비와 연계된다. 열차가 정상적으로 주행 중인 경우 ATS는 열차 및 기타 설비의 운행상태를 지속적으로 감시하며, 감시결과에 맞추어 필요한 경우 열차속도변경을 요구하거나 열차 내 전

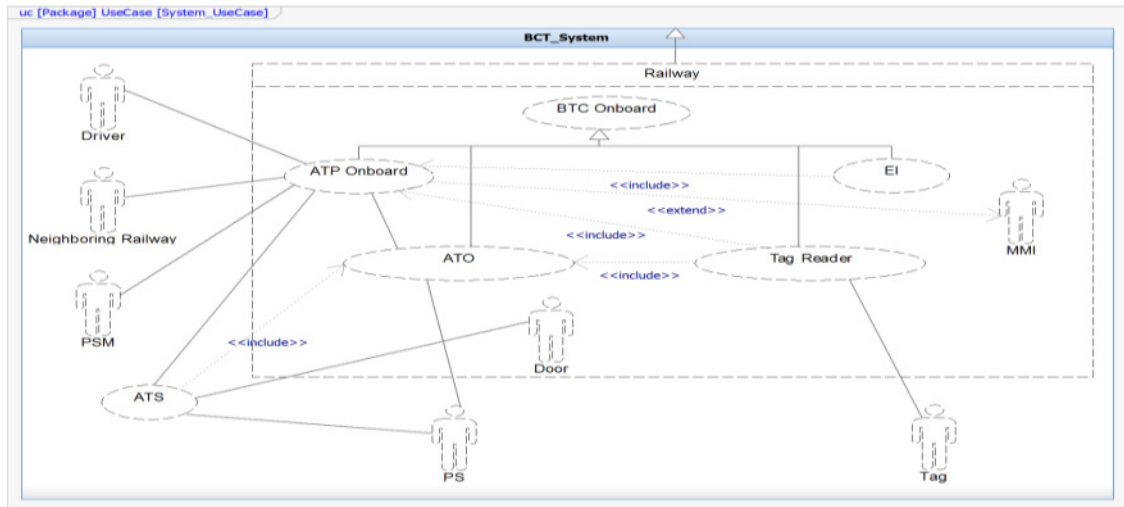


Fig. 3. Use Case Diagram of Train-centric Train Control System

장품 등을 원격 제어한다. 이 같은 활동은 열차가 출발하여 다음 역에서 정차할 때까지 반복된다. 열차가 정차역의 정차지점에 정차하기 위해서 ATS에서 담당한다. 열차진로제어를 담당하는 EI는 영업주행이 결정된 열차가 역사에 정차하고 있는 상태에서 열차임무와 열차에 필요한 진로를 설정한다. ATP의 기능은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 선행열차와 후속열차간 충돌사고를 방지하기 위해서 열차간 안전간격을 제어하는 것이며, 두 번째는 불특정하게 발생하는 이벤트에 대하여 승객과 열차의 안전을 보장하는 것이다.

Use Case 및 Actors는 스웜레인(Swimlane)으로 표현하였으며, 확장된 표기법인 사전조건과 사후조건, 그리고 입력 데이터와 출력 데이터를 갖는 액션노드로 표현하였다. 또한 각각의 액션노드는 자동인 경우와 수동인 경우로 구별하여 표현하였다. 사전조건과 사후조건과의 관계를 갖는 액션은 점선의 화살표로 표시하였다. 이러한 차상중심 열차제어시스템의 Activity 다이어그램의 일부를 Fig. 4에 표현하였다.

2.6 차상중심 열차제어시스템의 아키텍처 설계 및 검증

차상중심 열차제어시스템의 아키텍처 설계의 세부 수행 내용은 다음과 같다.

- (1) 아키텍처에 가장 많은 영향을 미치는 시나리오나

Use Case를 찾는다. 이 과정은 시스템이 만족해야 하는 모든 설비 속성에 대한 시나리오를 구조화하는 과정을 통해 실행한다. 이를 통해 설비 속성에 대한 우선순위를 쉽게 결정할 수 있다.

- (2) 아키텍처 설계를 하기 위해 시스템을 적절한 서브시스템으로 나눈다. 각 서브시스템은 개발 단위의 모듈로 분해되고, 이 과정은 적절한 크기의 모듈로 분해될 때까지 반복하게 된다. 이렇게 분해된 모듈은 아키텍처 설계의 단위가 된다.
- (3) 아키텍처 설계관점은 기능관점, 동시성/병행처리 관점, 하드웨어상의 소프트웨어 설치 관점으로 구분된다. 설계관점에 따라 참조할 아키텍처 범위가 달라진다.
- (4) 각 모듈별로 선택된 아키텍처 범위에 기능을 할당하여 실체화함으로써 아키텍처 설계를 확장하여 목표 시스템의 아키텍처를 설계한다.

차상중심 열차제어시스템의 아키텍처 설계는 이미 앞서 수행한 Use Case, 기능, Activity 등을 식별한 내용들을 토대로 일련의 예시로 기능관점에서 수행한 결과는 Fig. 5과 같다.

아키텍처 평가의 결과는 아키텍처가 시스템에 적절하게 설계되었는지, 시스템을 위해서 가장 적절한 아키텍처가 무엇인지, 즉 아키텍처의 적합성을 판단하는 것이다. 이러한 아키텍처 평가방법에는 평가 방법이나, 평가

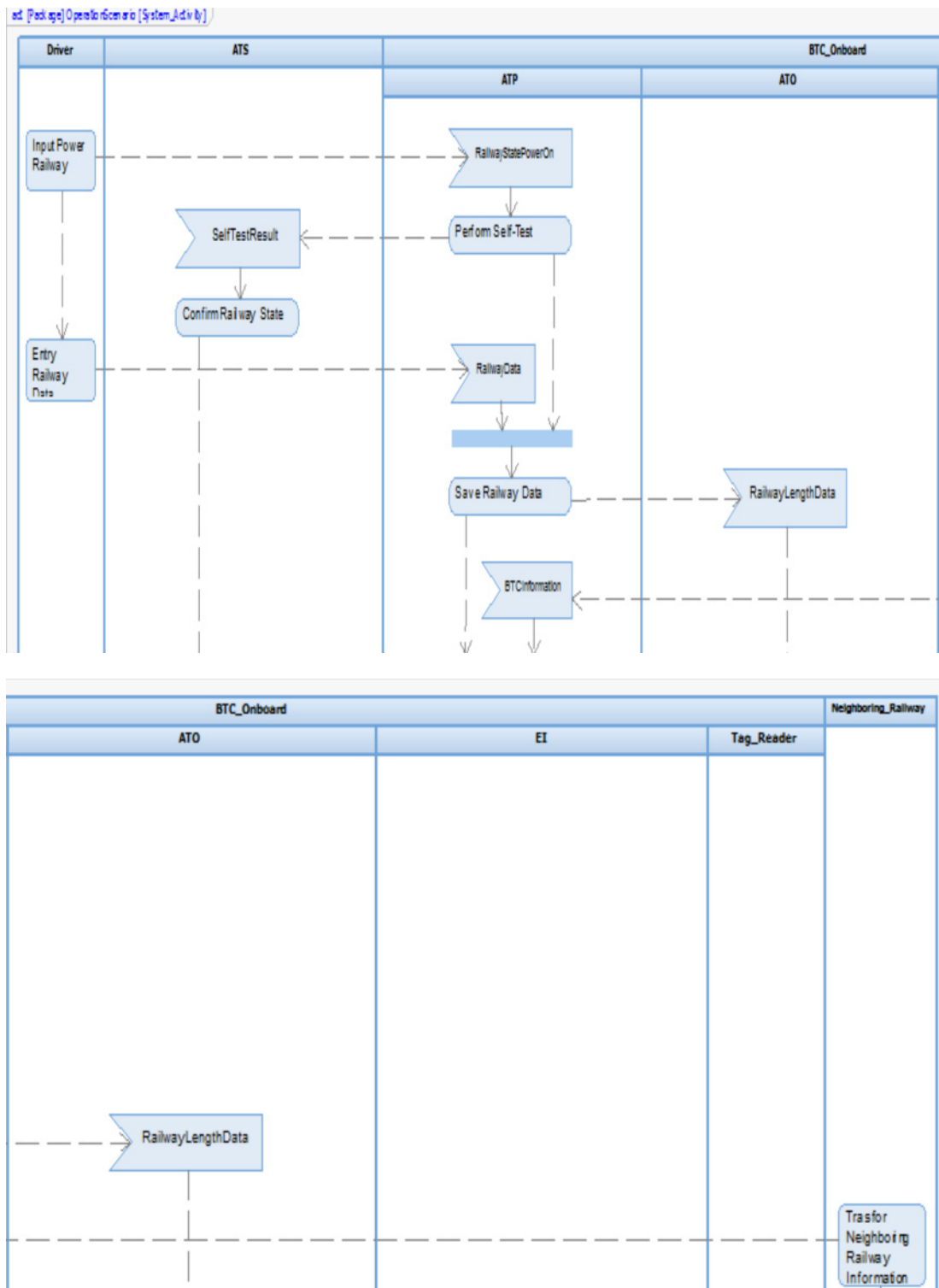


Fig. 4. Activity Diagram of Train-centric Train Control System

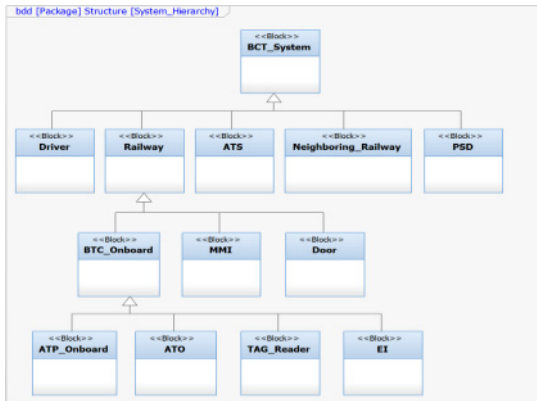


Fig. 5. Train-centric Train Control System Architecture for Function View

대상, 평가의 구성에 따라 여러 방법들이 나와 있다. 아키텍처 평가 방법에는 SAAM (Software Architecture Analysis Method), ATAM (Architecture Tradeoff Analysis Method), CBAM (Cost Benefit Analysis Mehtod) 등이 있다. SAAM은 하나의 아키텍처에 대한 평가와 아울러 경쟁관계에 있는 아키텍처들을 비교할 수 있는 것이 장점이다. ATAM은 SAAM을 계승하여 발전 시킨 것으로 아키텍처가 처음에 의도했던 방향으로 제대로 설계되었는지를 검증하는 분석 방법론이다. 설계된 아키텍처가 시스템 성능, 가용성, 확장성 등과 같은 비기능 요구사항에 대한 항목에 대해 초기에 의도했던 목표를 만족시키고 있는지 분석하고, 여러 가지 목표가 상호간에 어떻게 작용하는지 파악하는 것이 주요 역할이다. CBAM은 ATAM에서 부족한 경제성 평가를 보강한 것이 장점이다. 본 논문에서는 다양한 평가 방법 중 가장 많이 활용되고 있는 ATAM (Architecture Tradeoff Analysis Method)를 보완하여 적용하고 있다. ATAM은 시나리오를 중심으로 특정 설비 속성들을 만족하는지를 분석하는데, 다양한 이해관계자들과 함께 위험요소, 민감점, 상충점 등을 분석한다[11]. 이러한 위험요소, 민감점, 상충점 등을 개선하기 위한 방안으로 다음 장에서는 차상중심 열차제어시스템의 시험 시나리오 생성을 통해 아키텍처의 완성도를 높이고자 한다.

3. 차상중심 열차제어시스템의 안전성 향상을 시험 시나리오 생성

3.1 차상중심 열차제어시스템의 시험 정보를 통한 시험 데이터 생성

열차에 탑재한 차상제어장치는 무선통신을 기반으로 선로변 제어장치를 제어하게 되고, 지상의 운행관리시스템으로부터 이동 권한을 부여 받아 주행한다. 열차의 위치 및 속도 검지를 위하여 지상에 설치된 트랜스폰더 태그 및 회전속도계 정보를 활용하여 전체 시스템을 운영하게 된다. 이러한 차상중심 열차제어시스템의 운영 시나리오는 앞서 2.5 절에서 Activity 다이어그램 생성 시범위를 지정하였다. 시험 시나리오 생성은 정상운영 시나리오를 기반으로 시험 정보를 구분하였으며, 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Normal Mode Scenario

Mode	Scenario
Startup	TCS onboard equipment awakes in the BCT territory
	TCS onboard equipment restarts after enter the BCT territory
	TCS onboard equipment restarts after failure detection
Data Entry	Train registration at entry the BCT territory
	Train registration after the onboard TCS restarts
	Operation management system request the train re-registration
Train Status	TCS onboard equipment cyclically transit train status
	Train position reward when train detect the transponder tag
Train Driving	Operation in the authorized speed in BCT mode
	If the current speed exceeds the authorized speed, the TCS onboard equipment reduces the train speed by authorizing the service braking
	Train is running under Non-BCT mode
	Train is running under ISO(Full manual mode) mode
Runway Appoint	Current runway is determined after train registration
	If it doesn't have a trackside object, runway determined
	Runway is determined including the switch point
Release Train	Runway is determined including the crossing
	Release train when detect the BCT advance notice tag
Manual Operation	Emergency stop requests from operator
	Cancel runway by operator
	Determine runway by operator
	Release train by operator
Failure/Accident Records	Record information
	Download the recorded information

Test Case#	1			
Objective	To the engineer tell-tale test results			
Pre-Requisites				
Requirement#	Execution Date	Executed By	Release	P
ABC 101	20xx.xx.xx		1	
Test Script#	1			
Step#	Action	Expected Result	Test Data	Actual
1	An engineer, opening up your computers.	The mandate not the record for the input TIU.	NP	SB
2	Real mode has shown that SB mode.		SB	SB
3	After the test, test defined message is displayed.		SB	SB
4				
5				

Fig. 6. Test Sequence of Train-centric Train Control System

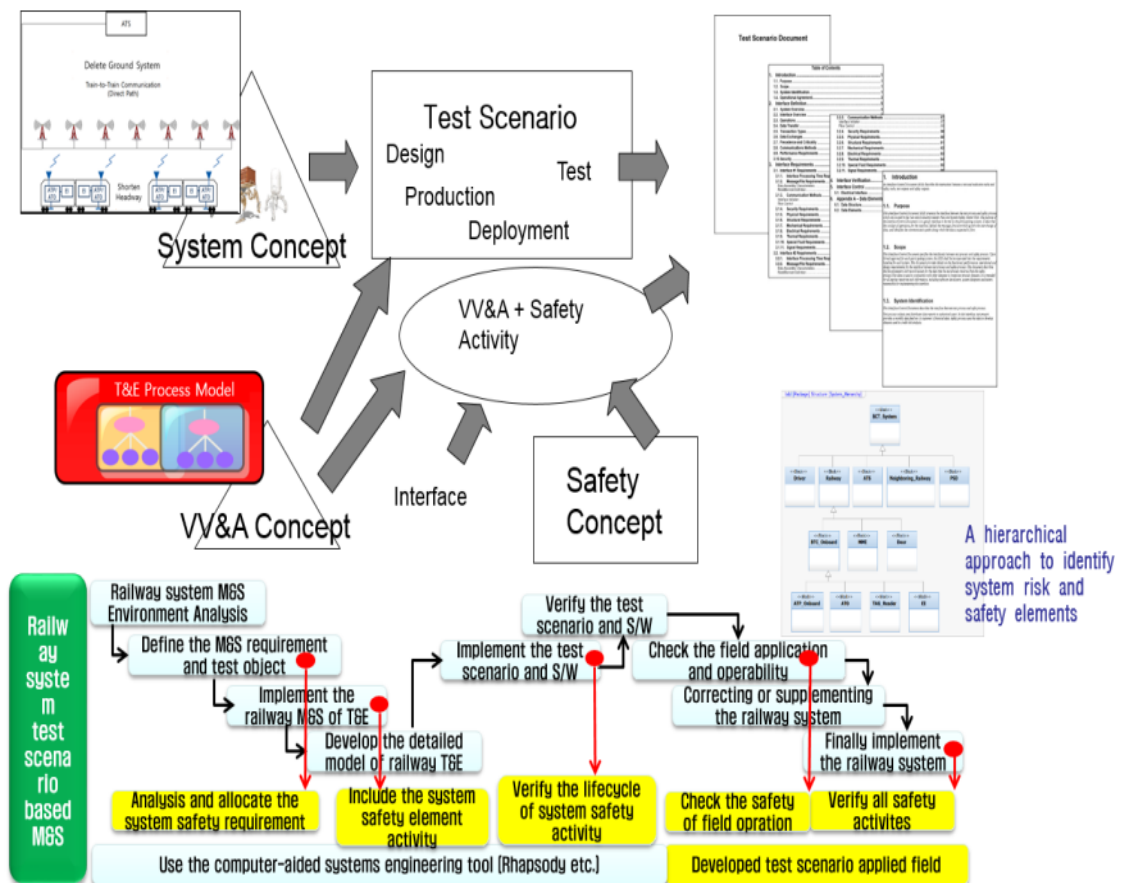


Fig. 7. Test Scenario of Train-centric Train Control System

3.2 차상중심 열차제어시스템의 시험 시나리오 생성

Test Case는 앞서 3.1절에서 식별된 시험정보를 토대로 도출한다. 각각의 목록을 기반으로 Test Case를 선별하여 시험 시나리오 작성 자료로 활용된다. 시험 시나리오 오는 Test Case를 바탕으로 작성하여 시험 기준을 제시한다. 이러한 Test Case는 시험 종류가 되는 시험 정보의 하위 항목이 되며, 단계별로 구분하여 시험을 수행하게 된다. 예를 들어 Test Case 중 기관사에게 자동시험 결과를 표시하는 사례에 대해 검토한다. 첫 번째로 기관사가 데스크를 열어 인터페이스 및 TIU 입력 정보에 대한 사항을 확인하지만 기록은 의무사항이 아니다. 두 번째로 실제 모드가 SB 모드임을 표시한다. 하지만 이미 모드 변경이 이미 데스크가 Closed되는 동안 이미 기록되었기 때문에 데스크가 열린 후에 SB모드 표시는 기록되지 않는다. 세 번째로 시험을 마친 후, 정의된 메시지 'Test Results are OK'가 표시된다. 전원이 들어오면 Self Test는 자동적으로 개시된다. 이러한 Test Sequence의 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Test Sequence를 바탕으로 시험 시나리오를 생성하며 구체적인 절차는 다음과 같다. 철도 시스템 M&S 환경 분석을 통해 M&S 요구사항 및 시험목적에 대해 정의한다. 정의된 요구사항 및 시험 목적을 토대로 시스템안전 요건 분석 및 할당을 통해 시험 시나리오의 논리적 설계를 VV&A 개념을 통해 검증 및 확인할 수 있다. 이후 철도 시험평가 M&S 모델 구현을 통해 시스템안전 요소 활동을 포함하여 상세모델을 개발하여 시험 시나리오에 대한 논리 모델을 완성시킬 수 있다. 모델을 기반으로 시험 시나리오 및 S/W를 구현하며, 시스템안전 활동 수명 주기 검증에 활용할 수 있다. 검증된 시험 시나리오를 통해 현장적용 및 운용성 확인을 통해 수정 및 보완 후에 최종 실제 제품을 구현한다. 이후 전체안전 활동 검증 후 개발된 시험 시나리오의 현장 적용이 제대로 되었는지 확인한다. 이러한 결과를 Fig. 7에 표현하였다.

3.3 차상중심 열차제어시스템의 시험 시나리오 반영을 통한 안전성 향상 방법

안전성 향상을 입증하기 위해서는 기본적으로 종합안전대책기술서가 생성되어야 하지만, 필요에 따라 추가적인 시험이 필요로 할 수도 있다. 이러한 추가적인 시험에는 시스템적인 측면에서 시험 시나리오를 토대로 시험을

할 수도 있다. 시험 시나리오를 통해 각 단계별생성문서들과 최종적으로 생성될 차상중심 열차제어시스템의 안전성 입증 문서인 종합안전대책기술서의 문서 확인을 기본으로 하여 위험이 제거 또는 저감되었는지 확인하게 된다. 이러한 시험 시나리오를 통해 차상중심 열차제어시스템의 운영 시나리오에서 발생할 수 있는 위험 요소들을 식별하여 비상 운영 시나리오를 생성하는데 도움을 줄 수 있다. 이러한 결과를 다음과 같이 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Emergency Mode Scenario

Mode	Scenario	Measure
System failure	System failure	ISO operation
	Tag Detector failure	ISO operation
	Tachometer failure	ISO operation
	radio transmission module failure	ISO operation
	Operation management system failure	ISO operation
Train registration error	Train ID error	EB application
	Schedule non transmission	EB application
	Schedule check non transmission	EB application
	Uncommitted entrance tag registration	EB application
Train status error	Non train status report	EB application
	Non train status check	EB application
Train operating error	Delayed train emergency stop	Manual brake application
	Delayed train FSB	Operator request brake
	REC modules error	Notice message
Runway determination error	Current runway non-endorsement	EB application
	Next runway non-endorsement	Manual brake application
	Delayed manual runway cancellation	Operator request brake
	Delayed manual runway determination	Operator request brake
Tag detection error	Entrance notice/first non-detection	EB application
	Entrance non-detection	EB application
	Advance notice non-detection	EB application
	Advance non-detection	EB application
	Absolute position detection	EB application
	Switch point control non-detection	EB application
	Crossing control non-detection	EB application
Trackside control error	Switch point non-control	EB application
	Crossing entrance non-control	EB application
	Crossing advance non-control	Operator manual change
Train release error	Train release non-endorsement	EB application
	uncommitted advance tag release	EB application

4. 안전성이 향상된 차상중심 열차제어시스템의 아키텍처 적용 사례

4.1 적용 방법

SysML의 상태 기계 다이어그램을 기반으로 하여 시험 시나리오를 생성하여 차상중심 열차제어시스템의 아키텍처에 적용한다. 시험 시나리오 생성과정을 살펴보면 Use Case 다이어그램을 통해 시스템의 구조와 시스템의 행위를 기술하기 위한 블록을 식별한다. 이때, 블록 정의 다이어그램(Block Definition Diagram)이 작성된다. 블록이 식별되면 블록별로 상태와 전이를 식별하여 상태전이 다이어그램을 작성하고 상태전이 다이어그램으로부터 전이 순서 표, 상태전이 표를 생성하여 구체화된 시험 시나리오를 산출할 수 있다. 이렇게 산출한 시험 시나리오를 차상중심 열차제어 시스템의 아키텍처의 정상 운영 시나리오에 통합하여 반영하여 적용한다.

4.2 적용 결과

SysML에서 상태 기계 다이어그램은 이벤트에 의해

작동되는 상태들간의 전이와 관련된 개체의 행위를 표현한다. 상태 기계는 보통 블록이 소유하고 그 블록의 한 인스턴스의 문맥안에서 실행되며, 상태 기계 다이어그램의 각각의 상태들과 상태들간의 전이로부터 Testcase를 생성해 낼 수 있다. 또한 SysML Tool을 통해 상태 기계 다이어그램은 시뮬레이션이 가능하다.

차상중심 열차제어시스템의 ATS 기능은 ‘Hidemake’ 상태에서 시작되고 ‘Wake up’ 신호를 받으면 ‘Hidemake’ 상태에서 종료 상태로 빠져 나간다. ‘CheckingFaults’ 상태에서는 조건을 판별하여 ‘AssessingFaults’ 상태 혹은 ‘WaitforMeterData’ 상태로 분기된다. 이때, ‘AssessingFaults’ 상태의 처리가 완료되지 않거나 문제가 발생하면 ‘WaitforMeterData’ 상태로 돌아가게 된다. ‘WaitforMeterData’ 상태에서 ‘MeterData’ 신호를 받게 되면 ‘StoringUsageData’ 상태로 진입하고 그렇지 않으면 ‘Hidemake’ 상태로 돌아가게 된다. 이는 차상중심 열차제어시스템의 ATS 기능이 영업운행이 가능한지 명확히 확인하고 수행함으로써 각 기능의 상태에 대해 자세

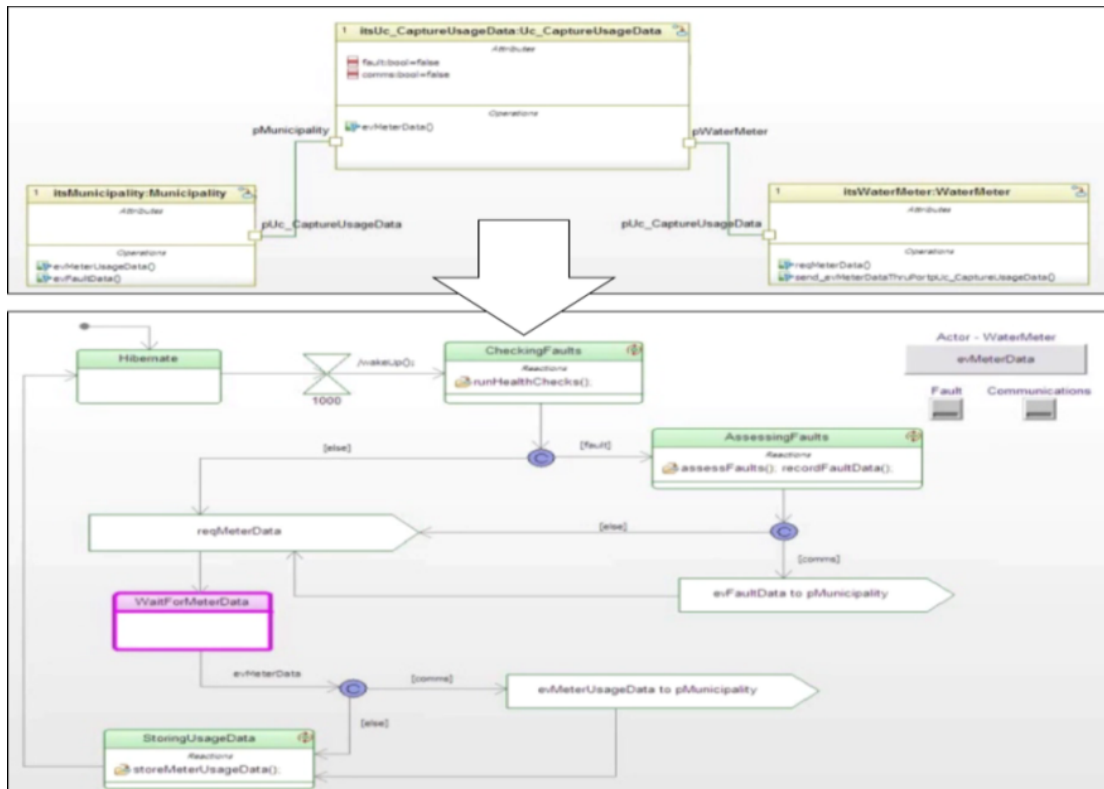


Fig. 8. State-machine Diagram of ATS of Train-centric Train Control System

히 파악할 수 있다. 차상중심 열차제어 시스템의 ATS 설비에 대한 상태 기계 다이어그램의 시뮬레이션 결과는 Fig. 8과 같다.

5. 결론

본 연구는 시험 시나리오를 기반으로 안전성 향상에 관한 활동을 구성 및 수행함으로써 모델기반 접근을 통해 차상중심 열차제어시스템의 아키텍처 개선을 반영하고 궁극적으로 철도의 안전을 도모하는 것이 본 연구의 목표이다.

기존의 열차제어시스템에서 차상중심 열차제어시스템에서 활용할 수 있는 정보를 도출, 시험 시나리오 관련 활동들을 추가하여 모델기반 접근을 통해 안전성 향상 활동의 체계적인 결과를 도출, 차상중심 열차제어시스템의 안전성 향상 결과를 반영에 대하여 시스템 모델링 언어의 상태 전이 다이어그램을 통해 검증하였다.

본 연구를 통해 복잡한 차상중심 열차제어시스템의 개념설계를 적용했을 때 발생할 수 있는 최적화 되지 않은 구조에서 발생할 수 있는 사항을 모델 기반 분석을 통해 비교적 쉽게 미리 파악하여 오류를 사전에 방지할 수 있는 효과가 있다. 이러한 모델 기반 설계 활동이 반영된 차상중심 열차제어시스템은 재정립을 통해 효과적으로 활용할 수 있는 방법으로 기여를 하였다고 판단된다.

References

- [1] D.H. Shin, J.H. Baek, K.M. Lee, Y.K. Kim, "A study on the reliability management of onboard signaling equipment for the korean tilting train", *Journal of the korea society for railway*, Vol.12, No.6, pp. 825-838, December, 2009.
- [2] J.H. Baek, H.J. Jo, K.M. Lee, K.Y. Kim, D.H. Shin, J.H. Lee, "The study of wayside signal equipment control by ICT-based onboard", *2012th summer conference & annual meeting of the korean institute of electrical engineers*, pp. 1544-1545, July, 2012.
- [3] Y.K. Yoon, S.C. Oh, M.S. Kim, Y.K. Kim, J.Y. Choi, J.Y. Park, "A study of system functions allocation of wireless communications based train control system", *2011th autumn conference & annual meeting of the korea society for railway*, pp. 2300-2305, October, 2011.
- [4] J.H. Baek, H.J. Jo, E.K. Chae, H.Y. Choi, Y.G. Kim, "Feasibility study of improved train control system using

on-board controller for intelligent control of trackside facilities", *Journal of the korean society for railway*, Vol.16, No.6, pp. 528-533, December, 2013

- [5] B. Ward, "Modeling and simulation for mission-based test and evaluation (MBT&E)", in *Proc. 27th Annual National Test & Evaluation Conference*, March. 17, 2011.
- [6] L. Grello, "Model based systems engineering (mbse) and modeling and simulation (m&s) adding value to test and evaluation (t&e)", in *Test and Evaluation Conference*, March, 2011.
- [7] Test and Evaluation in Support of Systems Acquisition, Department of the Army Pamphlet 73-1, 2003.
- [8] F. Fratrick, "Challenges in Software Sa fety for Army Test and Evaluation," *ITEA Journal*, vol. 30, pp. 409-416, 2009.
- [9] K. Phelan, J. Summers, P. Guarneri, "Engineering change management - Verification, validation, and testing planning tool development," in *Proc. Proceedings of TMCE 2014*, pp. 587-598, May 19-23, 2014.
- [10] P. Shankar, J. Summers, k. Phelan, "A verification and validation planning method to address change propagation effects in engineering design," in *Proc. Proceedings of TMCE 2014, Budapest, Hungary*, pp. 635-648, May 19-23, 2014.
- [11] P. Clements, R. Kazman, M. Klein, "Evaluating Software Architectures : Methods and Case Studies," Addison Wesley, pp.44-68, 2002.

최 명 성(Myung-Sung Choi)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국철도대학교 철도 경영정보학과 (전문학사)
- 2013년 8월 : 국가평생교육진흥원 경영학과 (학사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 석사과정
- 2013년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 학생연구원 재직

<관심분야>

철도 시스템엔지니어링, 철도 시스템 모델링 및 시뮬레이션, 도시철도 시스템 설계

김 주 욱(Joo-Uk Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 아주대학교 시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 : 아주대학교 시스템공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 선임연구원 재직

<관심분야>

철도 시스템엔지니어링, 철도 안전 및 신뢰성, 아키텍처 프레임워크

심 상 현(Sang-Hyun Sim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 충남대학교 나노소재공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 충남대학교 신소재공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 아주대학교 시스템공학과 (박사수료)
- 2016년 3월 ~ 현재 : (주)에스피아 이디 시스템 엔지니어링 사업부 책임엔지니어 재직

<관심분야>

시스템공학(SE), 시스템 시험평가(Systems T&E), 모델기반 시스템공학 (MBSE), Modeling & Simulation 등.

한 석 윤(Seok Youn Han)

[정회원]



- 1983년 2월 : 부산대학교 기계공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 성균관대학교 산업공학과(공학박사)
- 1996년 7월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 수석연구원 재직

<관심분야>

철도 시스템엔지니어링, 철도 신뢰성 분석, 도시철도시스템설계

이 재 천(Jae-Chon Lee)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 1979년 2월 / 1983년 8월 : KAIST 통신시스템 (석/박사)
- 1984년 9월 ~ 1985년 9월 : 미국 MIT Post Doc 연구원
- 1985년 10월 ~ 1986년 10월 : 미국 Univ. of California 방문연구원
- 1990년 2월 ~ 1991년 2월 : 캐나다 Univ. of Victoria (Victoria, BC) 방문교수
- 2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 미국 Stanford Univ. 방문교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>

시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), Systems Safety, Systems T&E, Modeling & Simulation

오 세 찬(Sehchan Oh)

[정회원]



- 2004년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
- 2013년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 컴퓨터 공학 박사과정
- 2004년 11월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

Modular TCS, DTO/UTO 설계