

시스템엔지니어링 모델 기반의 도시철도 운영시나리오 연구

A Study on Urban railway operation scenario based on system engineering model

전서탁* †, 허재훈**, 고재현*, 민경세*, 박범환***

Seo-Tak Jeon *†, Jae-Hun Heo **, Jae-Hyung Ko *, Kyung-Se Min *, Bum-Hwan Park ***

Abstract The Urban railway system must be thoroughly prepared from the planning stage to secure the safety of the train operation by guaranteeing system performance as a complicated system assembly of various fields of this, we must consist of an urban railway operation scenario by Systems engineering modeling.

In this paper, we are going to describe operation scenario composition and verification plan through the function flow analysis related to train operation based on system engineering model

Keywords : Urban railway system, Systems engineering modeling, Function flow analysis, Operation scenario

초 록 도시철도 시스템은 다양한 분야의 복잡한 시스템 집합체로 시스템 성능 보증을 통한 열차운행의 안전성 확보를 위하여 계획 단계부터 철저한 준비가 선행되어야 한다. 이를 위해 시스템엔지니어링 모델링을 통한 도시철도 운영시나리오를 구현하고자 한다.

본 논문은 시스템엔지니어링 모델 기반의 열차운행과 관련된 기능흐름을 분석하고 도출된 데이터를 통해 운영시나리오 구성과 검증방안에 대하여 기술하고자 한다

주요어 : 도시철도시스템, 시스템엔지니어링 모델링, 기능흐름 분석, 운영시나리오

1. 서 론

도시철도는 국가철도망구축계획에 따라 예비타당성조사, 기본계획수립, 기본/실시설계 등의 절차에 따라 건설되고 운영된다. 타당성조사 및 기본계획단계에는 경제성분석을 통한 사업의 타당성 평가 측면이 강하고 철도시스템을 누가, 어떻게 운영할지에 대한 운영측면은 부족할 뿐만 아니라 설계단계 운영자 요구사항을 반영하기는 제한적이다.

또한 운영요구사항에 대한 설계적용이 미흡한 경우 운영자는 운영리스크를 가진 상태로 운영하게 되거나 철도안전에 심각한 우려가 발생 될 경우 이를 개선하는 비용이 많이 소요된다. 설계단계 운영자 참여는 수명주기비용(Life-Cycle-Cost)을 결정짓는 매우 중요한 요소임으로 운영개념 및 운영시나리오를 반영하기 위한 시스템엔지니어링 적용은 반드시 필요하다.

† 교신저자: 서울메트로 사업수행센터(skysub17@naver.com)

* 서울메트로 사업수행센터, **신우이엔지 엔지니어링본부 SE팀

*** 한국교통대학교 철도대학 철도경영물류학과

이에, 본 연구는 모델기반 시스템엔지니어링 기법을 적용한 운영시나리오 모델링 방법에 대하여 연구하고자 한다.

2. 본 론

2.1 운영시나리오 모델링 방법론

도시철도시스템은 첨단화되고 기술이 발전함에 따라 무선통신(RF-CBTC)기반 완전자동무인 운전시스템을 도입하여 운영자, 시스템, 사용자(고객), 유지보수자 등 구성요소들 간의 통합과 이것들의 이질성으로 인한 시스템의 복잡성은 증가하고 있다. 이러한 복잡성을 해결하고 효율적으로 시스템을 개발하기 위한 모델기반 시스템엔지니어링(MBSE) 방법론이 적용된다. MBSE는 이해관계자 사이의 의사소통 향상, 시스템의 복잡성관리를 위한 능력향상, 제품 품질의 향상, 지식획득의 확장, 정보의 재사용을 가능하게 하는 장점을 가지고 있다.[1]

또한 설계단계 엔지니어링의 시간과 노력을 단축할 수 있고 정보의 일관성, 완전성, 정확성을 향상시킬 수 있으며, 시스템의 전반적인 구조를 가시화하고 이해관계자의 요구사항에서부터 검증요구사항에 이르기까지의 효율적인 추적성 확보가 가능하다.[2]

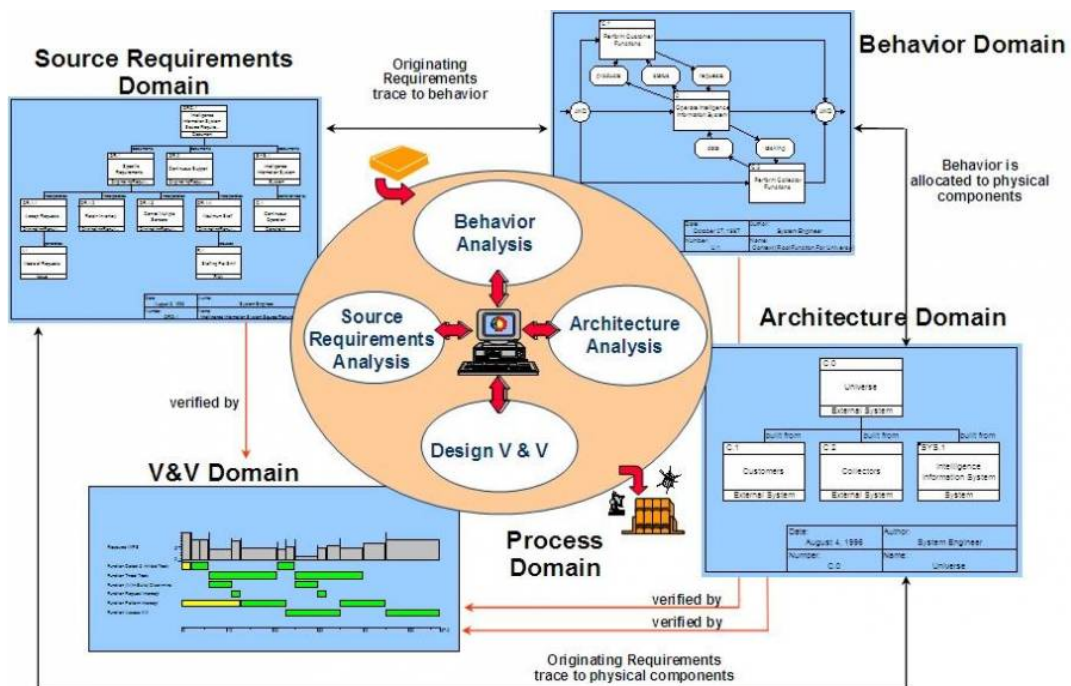


Fig. 1 모델기반 시스템엔지니어링 개요도[2]

모델링 방법은 시스템엔지니어링 도구에 따라 사용되는 모델이 다양하지만 주로 UseCase, EFFBD(Enhanced Functional Flow Diagram), IDEFF, 거동다이아그램(Behavior Diagram) 등으로 표현하고 있다. 이를 검증하기 위하여 모델기반 시스템엔지니어링 전산도구(CORE)를 활용한다.

2.2 운영시나리오 적용사례

국내경량전철 운영시나리오는 프랑스 Systra, 이탈리아 D'Appolonia 등 세계적인 글로벌 기업들이 부산김해경전철 건설사업에 시스템엔지니어링을 적용하면서 운영개념 및 운영시나리오에 대한 인식이 높아졌다.

국내 운영시나리오는 덴마크 코펜하겐 메트로의 사례를 기반으로 부산김해경전철, 인천2호선, 김포도시철도에서 노선특성과, 주변 환경, 운영조직 등에 적합하도록 테일러링(Tailoring)하여 적용되었으며 열차운행계획 및 운영/유지보수계획은 전 건설사업에 적용되었으나 운영개념 및 운영시나리오는 주무관청 및 시행사에 따라 선별적으로 적용되었고 모델링은 김포도시철도에 적용되었다. [3,4]

Table 1. 국내 경량전철 운영시나리오 적용현황

| 구분 | 열차운행계획 | 운영/유지보수계획 | 운영개념 | 운영시나리오 | 모델링 |
|---------|--------|-----------|------|--------|-----|
| 부산4호선 | ○ | ○ | | | |
| 부산김해경전철 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 용인경전철 | ○ | ○ | | | |
| 의정부경전철 | ○ | ○ | | | |
| 인천자기부상 | ○ | ○ | ○ | | |
| 인천2호선 | ○ | ○ | | ○ | |
| 우이신철 | ○ | ○ | | | |
| 김포도시철도 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

2.3 운영시나리오 모델링

2.3.1 운영시나리오 단계별 프로세스

운영시나리오 요구사항은 최상위 운영개념에서 출발한다. 운영개념은 시스템규모를 산정하는 매우 중요한 의사결정으로 운영노선, 역사 및 차량기지규모 등 운영환경을 고려하여 정량적, 정성적인 목표설정의 근간이 된다. 단계별 프로세스에 따라, 1단계는 운영개념에 의해 운영시나리오 개념설계를 실시하고, 2단계에는 운영개념으로부터 운영요구사항 도출하여 하위시스템에 할당한다. 3단계에는 운영이벤트에 따라 정상운영, 성능저하운영, 비상운영 등에 대한 시스템, 관제사, 안전요원, 유지보수자에 대한 기능적 수행 흐름을 분석한다. 4단계는 시뮬레이션을 통하여 검증하고, 최종적으로 시운전단계에 확인하는 절차에 따라 수행된다.(Fig. 2 참조)

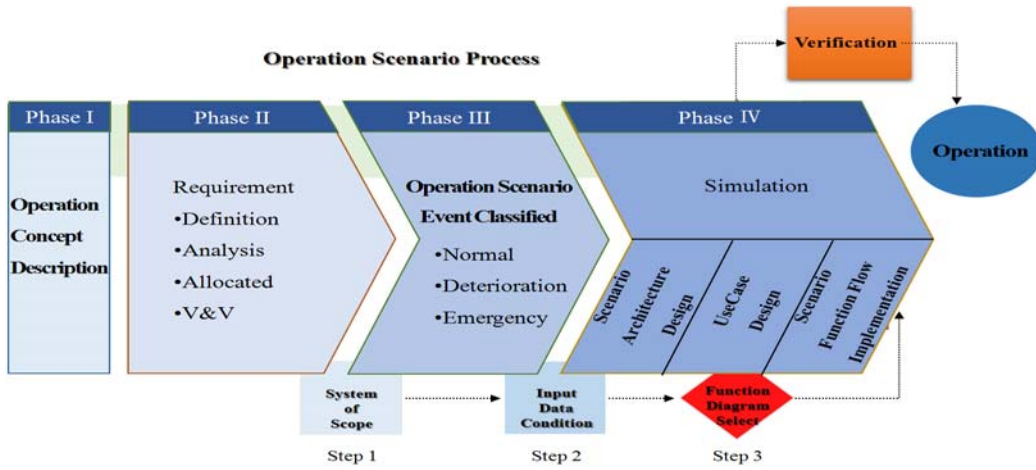


Fig. 2 운영시나리오 단계별 프로세스

2.3.2 운영시나리오 구성

운영시나리오 Table 1과 같이 운영개념 기반으로 열차운행계획, 시스템구성, 운영조직의 역할과 책임, 본선 및 기지운영에 대한 정상시나리오 및 차량고장, 전력단전, PSD고장 등 성능저하시나리오 그리고 충돌, 탈선, 화재, 침수 등 비상시나리오와 열차서비스 지연을 최소화하기 위한 차량회송, 구원운전, 셔틀운행 등에 대한 운영절차로 구성된다.

Table 1. 운영시나리오 요구사항

| 구분 | 주요 내용 |
|----------|-------------------------------|
| 운영개념 | 열차운행계획 및 시스템구성 |
| 운영조직 | 종합관제실, 고객/운행안전원, 유지보수자 |
| 정상시나리오 | 서비스시작/종료, 트랜스존, 세척고, 시험선 운영 등 |
| 성능저하시나리오 | 차량고장, 전력단전, 역사정전, PSD고장 등 |
| 비상시나리오 | 충돌, 탈선, 화재, 침수, 정전, 테러 등 |
| 열차지연 최소화 | 차량기지 회송, 구원운전, 단거리운행, 셔틀운행 등 |

2.3.3 모델링 UseCase 및 아키텍처

UseCase는 열차운행과 관계된 상호 기능/물리적으로 작용하는 관계 정의하고 내/외부 인터페이스 및 운영/지원 환경을 분석하여 이들이 상호 어떻게 작용하는지를 UseCase Diagram을 통하여 분석되어지며, 모델링을 위한 아키텍처 구조는 DB구조와 제약조건에 관한 전반적인 명세(Specification)를 기술하고, DB를 구성하는 데이터 개체(Entity), 속성(Attribute), 관계(Relationship)를 정의한다.

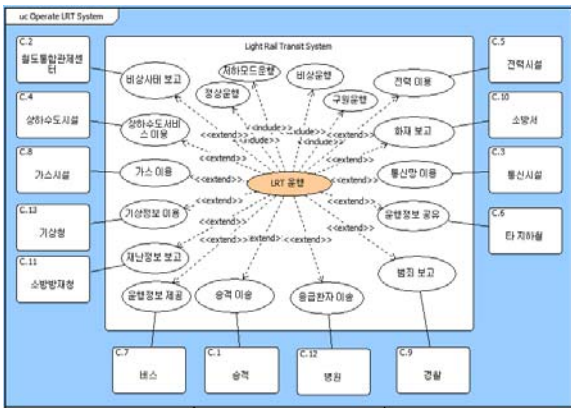


Fig. 3 UseCase Diagram

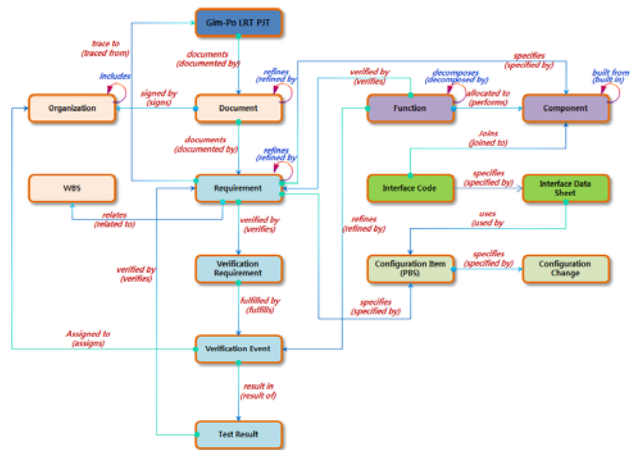


Fig. 4 Operation Scenario Schema

2.3.4 운영시나리오 모델링

운영시나리오 모델링은 시스템엔지니어링 전산지원도구(CORE)를 활용하여 프로세스 단계별 운영시나리오 구성체계에 의한 스키마(Schema) 구조를 설계하고 UseCase 분석을 통한 내/외부인터페이스 및 상호작용관계를 분석하고 운영이벤트에 따라 시스템을 포함한 관제사, 안전요원, 유지보수자 간의 상호 기능 수행 관계를 다이어그램(Diagram)을 통해 입·출력관계를 표현함으로써 전체 운영시스템에 대한 최종적인 거동도(eFFBD)로 표현된다.

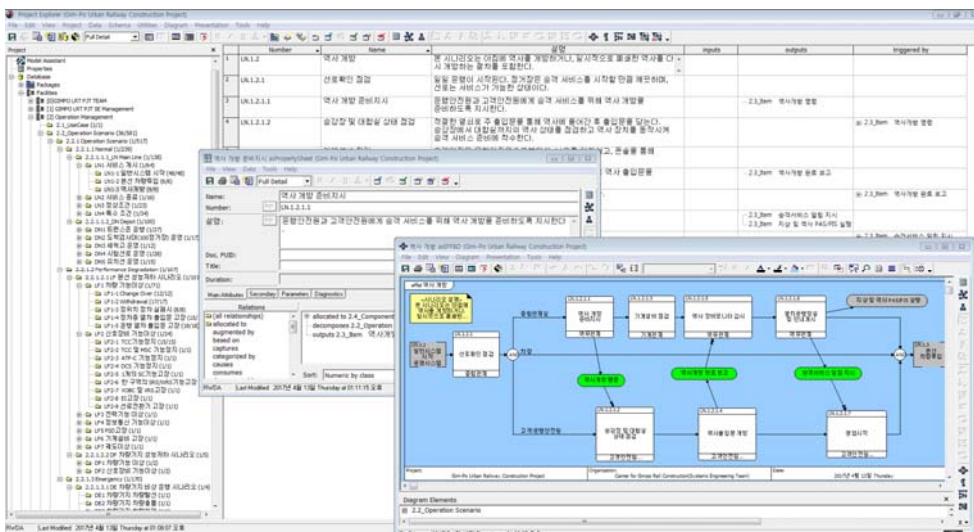


Fig. 5 운영 시나리오 모델링

2.3.5 운영시나리오 검증

운영시나리오 모델링을 통해 구현된 거동흐름의 적합성 및 논리성을 검증(verification) 하기 위한 시뮬레이션을 수행하고, 시험 및 시운전단계에 운영적합성 평가를 통하여 최종 확인(Validation)한다.

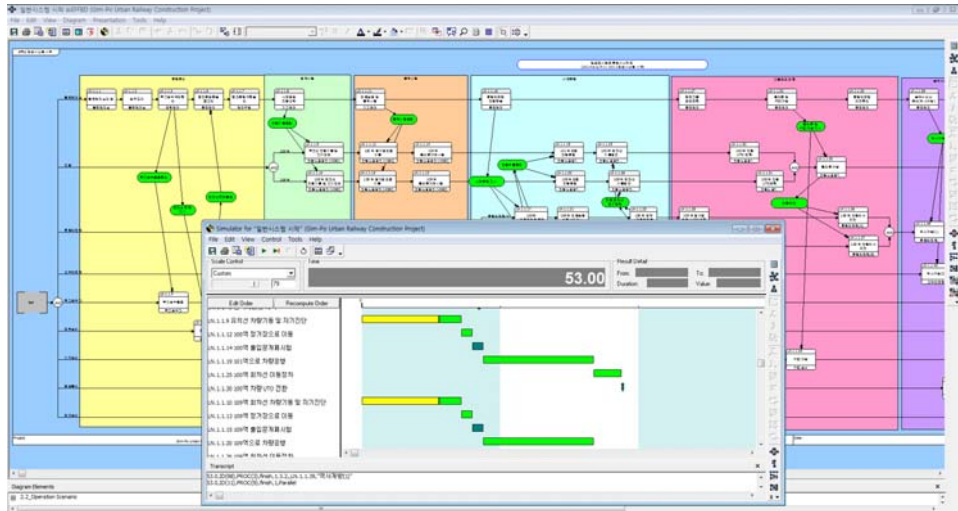


Fig. 6 운영 시나리오 거동모델 및 시플레이션

3. 결론

본 논문은 도시철도는 운영자 측면에서 건설 계획단계에서의 운영개념과 설계단계에서 적용되어야 할 운영요구사항을 반영하기 위한 모델기반의 시스템엔지니어링 방법론과 운영시나리오 모델링 방법을 제시하였다.

향후 도시철도 건설 시 시스템엔지니어링 수행을 위해 기존의 문서기반 관리에서 벗어나 모델기반 시스템엔지니어링 관리를 통하여 조직 간의 업무 및 자료 공유는 물론 시스템엔지니어링 DB구축을 통해, 최적화된 시스템엔지니어링 업무프로세스를 개발하고 점진적으로 검토 및 갱신을 통해 업무 표준화를 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

후 기

“이 논문은 국토교통부의 철도 특성화대학원 지원 사업으로 지원되었습니다.”

This research was supported by Railroad Specialized Graduate School of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) in Republic of Korea.

참고문헌

- [1] J.D Jang(2008) Development of Systems Engineering Product Framework, Ajou Univ.Pr. 15p.
- [2] Long, James E(2007), “MBSE in Practice: Developing Systems with CORE,” Vitech briefing slides, Vitech Corporation, Vienna, VA
- [3] 한석인, 서용준(2010). 도시철도 운영시나리오 개발방안 소개. : 인천도시철도 2호선 구축 사례를 중심으로 한국철도학회. 철도저널 제13권 제2호 12p~p24.
- [4] 김포철도사업단 (2016) 김포도시철도 운영시나리오 기본계획