

# 시스템 엔지니어링 툴을 이용한 경량전철의 상위시스템 기능분석 연구

## A Study on the Top Level Functional Analysis for the Automated Guideway Transit Used by System Engineering Tool

이우동\*

Lee, Woo-Dong

---

### Abstract

The rubber type AGT system is operated by driverless that signaling is CBTC type. The system function is accomplished exactly to obtain the safety and reliability of system and the system is designed to minimize risk. In order to design the system, the functional analysis is performed. Recently functional analysis is performed by RDD-100 which is used and verified by aerospace, military, etc. Therefore, The design tool RDD-100 is used to perform functional analysis in AGT system development project .

---

### 1. 서론

경량전철시스템은 차량, 전력, 신호 및 선로시스템으로 이루어진 매우 복잡하며 상호 기능적인 동작으로 운영되는 시스템으로서 수송수요가 전동차와 버스의 중간단계인 신교통시스템으로 정의할 수 있다. 특히 최근에 와서 국내 지방자치단체에서 건설비가 적게 드는 경량전철을 건설할 예정이나 국내에서는 그 적용사례가 없으며 국내 기반기술도 취약한 상태이다. 특히 경량전철시스템은 무인운전방식으로서 시스템기능이 매우 복잡하여 목표사양에 적합한 기능을 구현하기는 매우 어렵다. 선진국에서는 이미 우주항공산업, 군수산업, 통신산업 및 자동차산업 등에 시스템 엔지니어링 기술을 적용하고 있고 시스템 엔지니어링을 원활히 수행하기 위한 소프트웨어를 개발하여 적용하고 있으며 그 중에 가장 그 신뢰성을 인정받은 툴은 RDD-100이다. RDD-100은 시스템 설계과정에서의 추적성을 확보하기 위한 도구로서 기본설계단계에서 사전에 목표사양에 적합한 기능분석을 수행하여 개발하고자 하는 시스템의 기능을 분석하는 도구로서 사업의 성공적인 수행을 위하여 필수적이라 할 수 있다. 따라서 경량전철기술개발사업에서도 시스템엔지니어링 설계툴을 사용하여 목표사양에 맞는 기능분석을 수행하였으며 이를 통하여 시스템기능이 원활히 동작되고 그 인터페이스 사양을 정의하여 시스템이 개발되기 이전에 신뢰성 및 안전성을 확보하도록 하였다.

---

\* 한국철도기술연구원, 도시철도기술개발사업단 선임연구원, 031-461-8531(교425), wdlee@krri.re.kr

## 2. 본 론

### 2.1 경량전철시스템 엔지니어링 개요

경량전철 시스템엔지니어링은 경량전철 시스템을 구현하기 위한 기술정보체계를 전산지원 시스템공학 도구를 사용하여 체계화하고 데이터베이스화하여 기술개발 사업의 기술적 추적체계를 정립하고 원활한 기술개발 관리 및 일관된 기술개발 목표를 지향하도록 지원하는 것을 목표로 하였다. 모델을 보면, 요구사항이 그것을 만족하기 위한 기능으로 연결되고 기능이 다시 기능을 구현하기 위한 컴포넌트에 할당됨을 알 수 있다. 또한, 검증을 하는 작업이 추가되어 요구사항이 적절한지도 점검할 수 있게 하였다. PBS가 결정되면 각 컴포넌트를 제작하기 위한 업무를 WBS에서 정의하여 PBS와 연결하고 업무를 수행하는 조직과 공정과도 연결시켜 전산지원도구의 데이터 파일만 있으면 하나의 컴포넌트가 설계되기까지의 요구사항에서부터 변경된 사항, 그리고 그것을 제작하기 위한 업무, 조직, 공정 등이 추적성을 가지고 관리된다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 경량전철 시스템 요구사항 분석 및 관리체계 구축
- 상위시스템 기능분석 및 모델링
- 아키텍처 구성
- 작업과의 연계 관리
- 시스템 엔지니어링 관리 템플릿 개발

### 2.2 기능분석절차

그림 1에서 보는 바와 기능분석방법을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

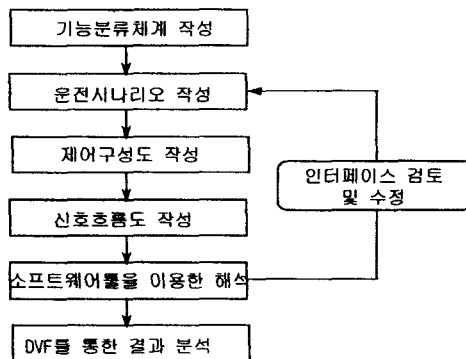


그림 1 기능분석 절차

### 2.3 동적거동 해석

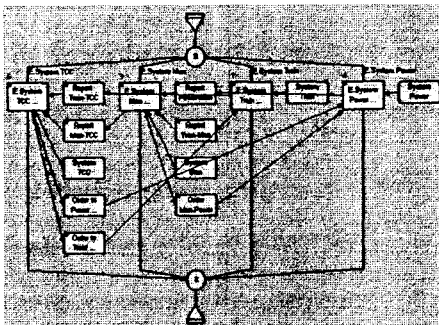
경량전철 시스템 기능분석은 시스템의 거동에 대한 정적·동적 모델링을 통하여 수행하였다. 본 과제 의 거동분석은 총 3개로 차량 기지에서서의 자체점검모드, 정상무인운전모드, 비상운전모드에

대해서 시스템 Level에서 분류되어 작성되어 있으며, 차후 발생할 수 있는 수많은 시나리오에 대한 접근이 있어야 할 것이다. 작성된 경량전철 시스템의 거동모델 분석과정에서 시스템의 거동은 입력, 출력, 절차, 자원사용 등과 같은 요소를 정확하게 관찰할 수 있고, 측정이 가능한 특성으로 정의되었다. 경량전철 시스템의 거동은 운영 시나리오를 따라 기능과 기능사이 연결되는 항목으로 모델링이 되었고, RDD-100에서는 시스템의 거동을 작성하기 위해 거동다이어그램을 사용하였다.

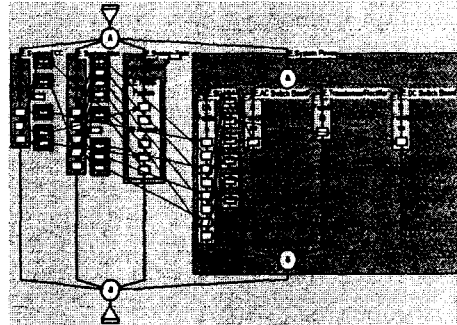
### 2.3.1 자체점검(Pre-Test) 시나리오

차량기지에서 운영을 위한 차량시스템과 전력시스템의 사전 자체점검을 수행하는 시나리오로서 다음과 같다.

- 종합사령실에서 기동신호를 전송하여 전력시스템을 기동한다.
- 전력시스템이 기동기능을 수행한다.
- 전력시스템에서 기동완료신호를 종합사령실로 전송한다.
- 전력시스템에 이상 발생시에는 이 신호를 전력시스템에서 종합사령실로 전송한다.
- 종합사령실에서 열차번호를 설정하고 이 신호를 열차로 송부한다.
- 종합사령실에서 해당열차의 key-up신호를 차량에 있는 종합제어장치로 전송하여 열차의 기동기능을 수행한다.
- 열차에서 차량에 있는 종합제어장치에서 종합사령실로 기동완료신호를 전송한다.
- 열차에 이상 발생시, 차량에 있는 종합제어장치에서 이상신호를 종합사령실로 전송한다.
- 종합사령실에서 차량에 있는 종합제어장치로 무인운전모드신호를 전송하여 운전모드를 무인운전모드로 설정한다.
- 종합사령실에서 차량에 있는 자동열차제어장치(ATO)로 출발신호 및 속도지령을 전송하여 열차를 차량기지에서 출발역으로 이동시킨다.
- 선형열차를 출발역(1번역)에 대기시키고 종합사령실에 있는 자동열차관리장치(ATS)에서 자동열차관리기능에 의해 열차운행조건을 만족하는지를 확인한다.



(a) 최상위레벨



(b) 하위레벨

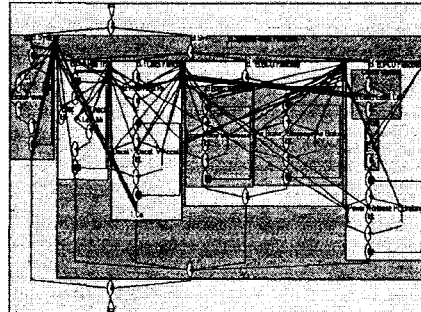
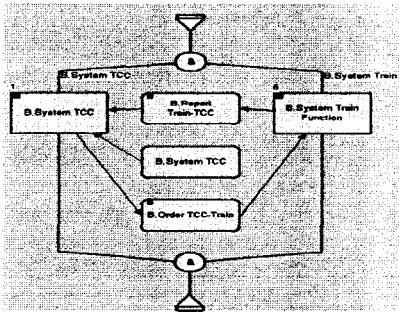
그림 2 자체점검 시나리오

그림 2 (a)의 경우 지상설비 TCC와 Train System, 전력 System간에 메시지를 주고받으며 기능을 수행하는 모습을 최상위 수준에서 나타낸 것이다. 각 기능의 왼쪽 상단의 조그만 검정네모는 기능 내에 또다시 구체적인 거동을 포함하고 있음을 나타낸다. 이와 같이 시스템거동을 계층적으로 표현하여 시스템의 거동을 알기 쉽게 하므로 이해당사자들과 의사소통을 원활히 수행할 수 있다. 또한 그림 (b)는 현재 분석한 최하위 Level 에서의 구체적인 기능을 묘사한 것이다.

### 2.3.2 정상운전 시나리오

역간 Train 시스템의 운영에 관련된 자체기능 및 관련된 시스템의 기능을 알 수 있는 시나리오로서 다음과 같다.

- 열차운행조건을 만족하면 종합사령실에서 열차로 감속도 지령을 전송하여 열차를 출발역에서 출발시킨다.
- 열차가 1번역에서 출발하면 열차내에 있는 자동열차제어장치(ATO)에 의한 자동열차제어 기능에 의해 다음역(2번역)에 정차시킨다.
- 열차가 출발하고 나면 종합사령실에 있는 자동열차제어장치(ATO)에 의한 자동열차제어 기능에 의하여 열차가 최종역까지 운행되도록 한다.
- 열차가 운행중에 비상상황이 발생하면 종합사령실에 있는 자동열차보호장치(ATP)에서 차량으로 비상정지신호를 송신하여 자동열차보호기능에 의해 열차를 정지시키고 비상정지요건이 해제되어야만 종합사령실에서 열차로 속도신호가 전송되어 열차가 출발한다.
- 정지요건이 해제되지 않으면 무인운전모드를 해제하고 비상운전기능이나 구원운전기능을 수행하여야 한다.



(a) 최상위레벨

(b)하위레벨

그림 3 정상운전 시나리오

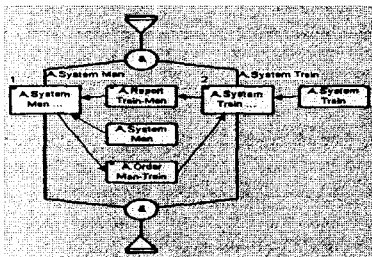
- 열차가 2번역에 도착하면 차량에 있는 종합제어장치(TCMS)는 정차제어기능에 의해 출입문을 열고 승객이 탑승한 후 출입문을 닫고 3번역으로 선행열차를 출발시킨다.
- 3번역으로 출발한 열차는 최종역에 도착할때까지 동일한 기능을 수행하여야 한다.

- 최종역에 도착한 열차는 승객유무를 확인한다.
- 승객이 없음을 확인한 후에 열차를 기지로 이동시킨다.
- 운행중 열차의 모든 기능 및 상태는 열차에서 종합사령실로 신호가 전송되어 종합사령실의 열차관리기능에 의해 관리되어야 한다.

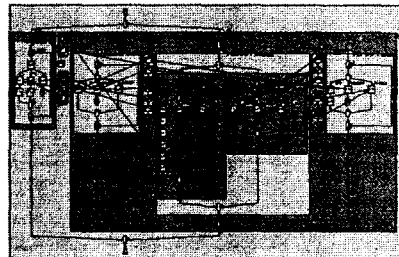
### 2.3.3 비상운전 시나리오

정상운전중 비상조건이 발생하여 비상정지를 한 경우, 더 이상 운영이 불가능하다고 판단하여 수동으로 기지로 복귀하는 시나리오로서 다음과 같다.

- 종합사령실에서 열차들이 비상운전조건을 만족하는지를 확인한다.
- 열차가 운전조건을 만족하면 종합사령실에서 운전모드를 비상운전모드로 설정한다.
- 비상운전시에는 운전원에 의한 수동운전으로 차량을 운행하여야 한다.
- 운전원이 주간제어기를 역행에 위치하면 차량은 역행기능에 의해 출발하여야 한다.
- 운전원이 주간제어기를 제동에 위치하면 차량은 제동기능에 의해 정지하여야 한다.
- 이상발생시에는 열차에서 종합사령실에 이상신호를 전송하고 차량을 정지시킨다.
- 비상운전열차에서 상태신호를 종합사령실로 전송하여 열차를 상시 감시한다.



(a) 최상위레벨



(b) 하위레벨

그림 4 비상운전 시나리오

### 2.3.4 동적 기능 모델

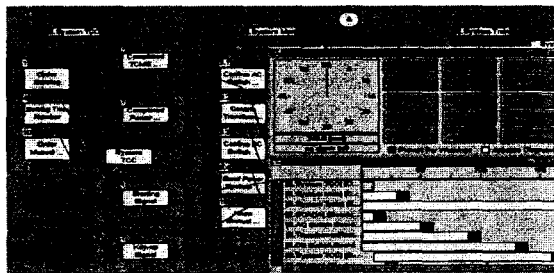


그림 5 자체점검 시나리오 DVF 실행 화면

거동 다이어그램을 통해 시스템이 갖추어야 할 기능을 표현한 후에는 거동이 제대로 돌아가는지를 검증하기 위해서 RDD-100의 DVF 기능을 이용하여 시뮬레이션 해본다. 시뮬레이션을 통해서 기능, 제어, 자원, 또는 데이터의 흐름이 원활한지, 시나리오가 제대로 작성되었는지 등 물리적 시스템의 골격을 구축하기 전에 기능적 수준에서 개발 문제의 정의를 검증할 수 있다. RDD-100의 DVF는 두 가지의 기본적인 기능을 가지고 있다. 그중 하나는 정적인 모델에서는 나타나지 않았던 문제나 Error를 밝혀낼 수 있는 것이고, 또 한가지는 Timeline이나 Message flow를 통하여 시스템성능을 최적화 하는데 도움을 주는 것이다.

Error Checking의 차원에서 DVF는 아래의 동적 불일치를 찾아낸다.

- Timing problems
- Control problems
- Resource utilization and contention
- Communication link constraint
- Failure mode or alternate behavior

그림 5는 DVF를 사용한 동적 시뮬레이션의 화면을 나타낸 것이다. 오른쪽 상단의 화면은 DVF 제어화면이며 왼쪽의 그림은 거동모델이다. 오른쪽 아래의 화면은 시뮬레이션을 하는 과정에서 시스템의 기능이 시간순으로 어떻게 나타나는지 그래프로 보여주고 있다.

이러한 과정은 앞 단계에서 수행한 요구사항 분석 작업과 서로 영향을 주고 받으며 계속 반복하게 된다. 즉, 기능분석을 통해서 새로운 요구사항이 도출되기도 하고 요구사항을 만족하기 위해서 거동 다이어그램을 수정하기도 한다.

### 3. 결 론

상기과정은 지상에는 종합사령실, ATP, ATS가 차량에는 TCMS,ATO가 탑재되어 BCU와 PCU를 제어하는 간단한 시나리오에서 시작하였으나, 많은 검토와 수정을 통하여 주요 핵심쟁점사항을 발견하여 효율적인 시나리오 작성이 되도록 하였다. 상위시스템 기능분석을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 상위시스템의 기능적, 논리적인 에러를 발견하여 이를 수정함.
- 시스템간 인터페이스 신호의 시점 및 종점을 체크하여 시스템 요구사항에 이를 반영함.
- 시스템 개발시에 요구사항 및 기능적인 데이터가 필요함.

### [참 고 문 헌]

- [1] Andrew Kusiak, Engineering Design, 427, 1999
- [2] Dennis M. Buede, The Engineering Design of Systems, 461, 2000
- [3] Ascent Logic, System Engineering & Parametric Cost Estimating, 227, 1999
- [4] 한국철도기술연구원, 경량전철 시스템 엔지니어링 2차년도 연구보고서, 2000