

## 전산지원도구를 이용한 자동열차제어장치의 기능분석 연구

이 우 동  
한국철도기술연구원

The Functional Analysis of Automatic Train Operation(ATC) used by System Engineering Design Tool

Lee Woo-Dong  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - The urban transit system is operated by driverless and automatic. In driverless and automatic system, 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 design tool which is used and verified by aerospace, military, etc. Generally, the design tool is used to perform functional analysis in urban transit system development project. The design tool assist the system engineer to analyze the function of system in basic design. Therefore, In this paper, it is performed the functional analysis to satisfy the system requirement of urban transit system and to confirm the operation of system using design tool.

## 1. 서 론

도시철도는 차량시스템(vehicle system), 전력시스템(power supply system), 신호시스템(signaling) 및 선로시스템(track system) 등으로 이루어진 매우 복잡하며 상호 기능적인 동작으로 운영되는 시스템으로 정의할 수 있다. 도시철도는 안전성, 신뢰성 및 경제성을 축면에서 타 교통수단에 비하여 매우 우수한 유통교통수단임에도 불구하고 국내 철도기반기술은 매우 취약한 상태이며 특히 도시철도분야에 있어서 시스템엔지니어링기술은 철도 선진국에 비하여 낮은 실정이다. 최근에 철도시스템엔지니어링분야는 보다 다양한 기술로 발전하고 있다. 시스템요구사항을 작성하고 요구사항에 맞는 시스템을 개발 및 검증을 위하여 전산지원도구를 적용하고 있는 추세이다. 특히 신호시스템분야에 있어서 새로운 시스템을 개발하는 것은 많은 위험요소를 내포하고 있으며 적절구동형 모터 및 무인운전방식 등이 적용되는 차세대 전동차와 같은 복잡한 시스템을 설계함에 있어서는 더욱 그러하다. 따라서 차량시스템을 개발하기 전에 시스템 및 시스템을 구성하고 있는 구성품들이 구현하는 기능들을 정확히 파악하여야만 시스템을 개발하고 개발한 후의 위험요소를 최소화하여 개발기간 및 비용을 단축하고 시스템의 신뢰성을 충분히 확보할 수가 있기 때문에 시스템 개발 전에 전산지원도구를 이용하여 기능분석을 수행하는 것이 최근의 추세이다. 전산지원도구는 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 본 논문에서도 전산지원도구를 사용하여 자동열차제어장치(ATC)의 목표사양에 맞는 기능분석을 수행하였으며 이를 통하여 시스템기능이 원활히 동작되고 그 인터페이스 사양을 정의하여 자동열차제어장치가 개발되기 이전

에 신뢰성 및 안전성을 확보하도록 하는 것이 주 목적이 할 수 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 전산지원도구의 개요

차세대 전동차시스템공학 과제는 그림 1과 같이 차세대 전동차시스템을 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 할당(allocation)됨을 알 수 있다. 또한, 검증을 하는 작업이 추가되어 요구사항이 적절한지도 점검할 수 있게

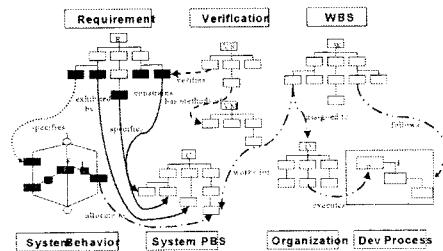


그림 1 도시철도시스템 엔지니어링 모델

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 추적성(traceability)을 가지고 관리된다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 차세대 전동차시스템 요구사항 분석 및 관리체계 구축
- 추진(propulsion)/제동(brake)시스템 기능분석 및 모델링
- 아키텍처(architecture) 구성
- 작업과의 연계 관리
- 시스템 엔지니어링 관리 템플릿 개발

### 2.2 동적거동 해석(Dynamic Behavior Analysis)

차세대 전동차 시스템 기능분석은 시스템의 거동(behavior)에 대한 정적/동적 모델링을 통하여 수행하였다. 본 과제의 거동분석은 총 3개로 차량 기지에서의 자체 점검, 정상운전에 대한 것, 응급시 사람이 투입되어 운전하는 경우에 대해서 시스템 Level에서 분류되어 작성되어 있으며, 차후 발생할 수 있는 수많은 시나리오에

대한 접근이 있어야 할 것이다.

작성된 차세대 전동차 시스템의 거동모델 분석과정에서 시스템의 거동은 입력, 출력, 절차, 자원사용 등과 같은 요소를 정확하게 관찰할 수 있고, 측정이 가능한 특성으로 정의되었다. 차세대 전동차 시스템의 거동은 운영 시나리오를 따라 기능과 기능사이 연결되는 항목으로 모델링이 되었고, Coro에서는 시스템의 거동을 작성하기 위해 거동다이어그램을 사용하였다. 또한 이 다이어그램은 동시에 진행되는 프로세스와 어떤 일을 수행하고 입력에 의해 출력을 내는 기능과 다른 프로세스의 기능들 사이에 오가는 메시지 아이템들로 구성되었다. 각 기능과 메시지아이템은 계층적으로 분해될 수 있으므로 시스템의 기능을 상위 수준으로부터 하위수준으로 내려가면서 관찰할 수 있다. 각각의 시나리오에는 열차가 출발하고 정지하는 기능들이 계속해서 반복되는데 이것이 곧 주진제동기능이다. 네 가지 시나리오에 대한 거동 다이어그램과 내용은 다음과 같다. 그림 3은 차세대 전동차 시스템의 최상위 Level 과 최종전개 Level 에서의 시나리오 거동분석의 예이다.

### 2.2.1 자체점검(Pre-Test) 시나리오

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

- 종합사령실(CTC, central traffic center)에서 기동신호를 전송하여 전력시스템을 기동한다.
- 전력시스템이 기동기능을 수행한다.
- 전력시스템에서 기동완료신호를 종합사령실로 전송한다.
- 전력시스템에 이상발생(trouble)시에는 이 신호를 전력시스템에서 종합사령실로 전송한다.
- 종합사령실에서 열차번호를 설정하고 이 신호를 열차로 전송한다.
- 종합사령실에서 해당열차의 key-up신호를 차량에 있는 종합제어장치로 전송하여 열차의 기동기능을 수행한다.
- 열차(train)에서 차량(vehicle)에 있는 종합제어장치(TCMS, train control monitoring system)에서 종합사령실로 기동완료신호를 전송한다.
- 열차에 이상 발생시에는 차량에 있는 종합제어장치에서 이상신호를 종합사령실로 전송한다.

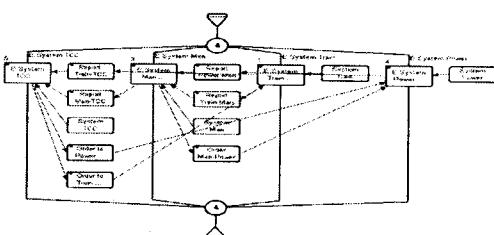


그림 2 자체점검 시나리오(최상위 Level)

- 종합사령실에서 차량에 있는 종합제어장치로 무인운전모드신호를 전송하여 운전모드를 무인운전모드로 설정한다.
- 종합사령실에서 차량에 있는 자동열차제어장치(ATO, automatic train operation)로 출발신호 및 속도지령(velocity command)을 전송하여 열차를 차량기지(depot)에서 출발역(departure station)으로 이동시킨다.
- 선행열차를 출발역(1번역)에 대기시키고 종합사령실에 있는 자동열차관리장치(ATS, automatic train supervisor)에서 자동열차관리기능에 의해 열차운전조건(train operation condition)을 만족하는지를 확인한다.

그림 2의 경우 지상설비 TCC와 차량시스템, 전력시스템간에 메시지를 주고받으며 기능을 수행하는 모습을 최상위 수준에서 나타낸 것이다. 각 기능의 원쪽 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 3은 현재 분석한 최하위 Level에서의 구체적인 기능을 묘사한 것이다.

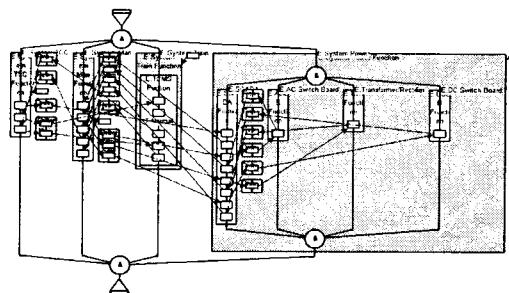


그림 3 자체점검 시나리오(최하위 Level)

### 2.2.2 정상운전(Service Operation) 시나리오

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

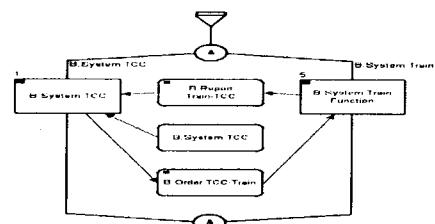


그림 4 정상운전 시나리오(최상위 Level)

- 열차운전조건을 만족하면 종합사령실에서 열차로 감속도지령을 전송하여 열차를 역에서 출발시킨다.
- 열차가 1번역에서 출발하면 열차내에 있는 자동열차운전장치(ATC, automatic train control)에 의한 자동열차운전기능에 의해 다음역(2번역)에 정차시킨다.
- 열차가 출발하고 나면 종합사령실에 있는 자동열차제어장치에 의한 자동열차제어기능에 의하여 열차가 최종역까지 운행되도록 한다.
- 열차가 운행중에 비상상황이 발생하면 종합사령실에 있는 자동열차보호장치(ATP, automatic train protection)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.
- 열차가 2번역에 도착하면 차량에 있는 종합제어장치는 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.

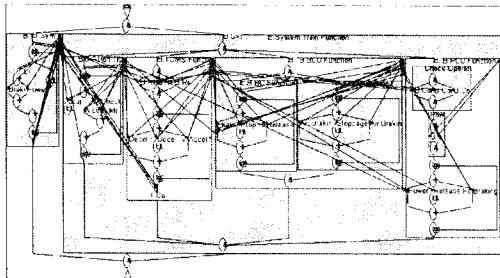


그림 5 정상운전 시나리오(최하위 Level)

### 2.2.3 비상운전 시나리오

정상운전 중 비상조건이 발생하여 비상정지를 한 경우, 더 이상 운영이 불가능하다고 판단하여 수동으로 기지(depot)로 복귀하는 시나리오로서 다음과 같다.

- ① 종합사령실에서 열차들이 비상운전조건을 만족하는지를 확인한다.
- ② 열차가 운전조건을 만족하면 종합사령실에서 운전모드를 비상운전모드로 설정한다.
- ③ 비상운전시에는 운전원에 의한 수동운전으로 차량을 운행하여야 한다.
- ④ 운전원이 주간제어기를 역할에 위치하면 차량은 역행기능에 의해 출발하여야 한다.
- ⑤ 운전원이 주간제어기를 제동에 위치하면 차량은 제동기능에 의해 정지하여야 한다.
- ⑥ 이상발생시에는 열차에서 종합사령실에 이상신호를 전송하고 차량을 정지시킨다.
- ⑦ 비상운전역자에서 상태신호를 종합사령실로 전송하여 열차를 상시 감시한다.

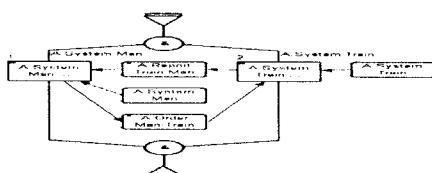


그림 6 비상운전 시나리오(최상위 Level)

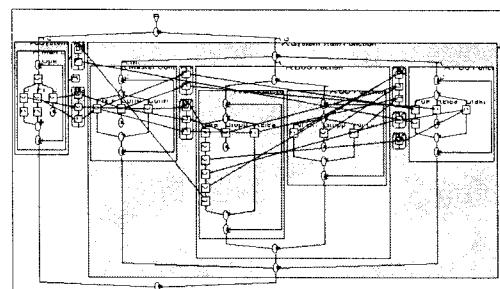


그림 7 비상운전 시나리오(최하위 Level)

### 2.2.4 동적 기능 모델

거동 다이아그램을 통해 시스템이 갖추어야 할 기능을 표현한 후에는 거동이 제대로 돌아가는지를 검증하기 위해 Core의 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 개별 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 한 가지는 Timeline이나 Message flow를 통하여 시스템 성능을 최적화하는데 도움을 주는 것이다.

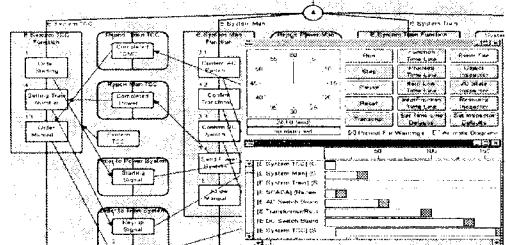


그림 8 자체점검 시나리오 DVF 실행 화면

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 8은 DVF를 사용한 동적 시뮬레이션의 화면을 나타낸 것이다. 오른쪽 상단의 화면은 DVF 세이브면이며 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 다이아그램을 수정하기도 한다.

## 3. 결 론

상기 과정은 지상에는 종합사령실, ATP, ATS가 차량에는 TCMS, ATO가 탑재되어 BCU와 PCU를 제어하는 간단한 시나리오에서 시작하였으나, 많은 점토와 수정을 통하여 주요 핵심점검사항을 발견, 효율적인 시나리오 작성이 되도록 하였다.

- ① 기지를 포함한 초기 운전부터 마지막 기지 복귀까지 전체를 무인운전으로 시나리오 작성
- ② 역과 역 사이 운전시 항시 자가진단(변전소상태 및 기차전체시스템 Self-Test)을 하게 되어있음.
- ③ MC 와 TCMS의 기능이 혼재되어 있음

위에서 소개한 세 가지 핵심점검사항의 예에서 볼 수 있듯이 거동 다이아그램을 이용한 기능분석은 경량전철 시스템의 개념을 파악하는데 상당한 도움을 준다. 즉, 이러한 작업을 하지 않으면 실제 시스템이 운영될 경우에 대비한 시스템 설계가 불가능하게 된다. 이번 과제에서 수행한 기능분석은 일부 시스템 수준의 시나리오를 바탕으로 수행하는데 그쳤기 때문에 향후 지속적으로 여러 가지 시나리오를 작성하여 기능분석을 수행해야 개발 리스크를 줄일 수 있을 것이다.

## [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