

# 한국형 고속전철 시스템엔지니어링 관리체계의 거동분석에 관한 연구

## A Study on the Behavior Analysis of the High Speed Rail System

이태형<sup>1)</sup>

김대승<sup>2)</sup>

현승호<sup>3)</sup>

(Lee, Tae-Hyung) (Kim, Dae-Seung) (Hyun, Seung-Ho)

This study is on the behavior analysis which can define and verify a system requirement through a behavior diagram for High speed rail system. The model considered in this study is limited to the preconditioning control of the control system specification for HSRs. To build an executable model, requirements should be decomposed first into leaf node requirements. The behavior model is composed of input, output, and functions which are linked with leaf node requirements. It is important that a single requirement must specify a single function. Using the developed executable model and the traceability between requirements and functions, this study found out a lot of static and dynamic inconsistency, missed and derived requirements. This is to develop and executable behavior model to do functional analysis and be able to verify the integrity of a specification.

### 1. 서론

시스템은 점점 복잡화되어 가며 고객의 요구는 더욱 다양화되고 개발기간의 단축 및 개발비용의 감소와 높은 신뢰성 등을 요구하고 있다. 이러한 환경적 변화에 부합되며 보다 적은 시험횟수로 고객의 높은 품질요구사항을 만족시키며 고객의 요구사항을 정확히 반영한 제품의 설계를 위하여 시스템 엔지니어링 기법이 사용되고 있다. 일반적인 시스템 엔지니어링 절차에는 모델이 가지는 명확성과 분명한 논리적 특성을 이용하여 고객의 요구사항을 기반으로 한 실행 가능한 모델을 만들어 시뮬레이션 함으로써 글자로 표현된 요구사항의 동적인 측면을 분석하는 거동분석 작업이 포함된다. 다시 말해 고객의 요구사항을 바탕으로 실행 가능한 거동모델(Behavior Model)을 만들어 주어진 제약조건 하에서 모든 기능을 만족하는 시스템구조를 만들어 냄으로써 보다 완전한 요구사항과 이를 정확히 반영한 시스템 사양서를 도출 할 수 있다. 이런 거동분석을 통해 얻을 수 있는 장점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 거동모델을 만들어 실제로 결정을 하기 전에 언제든지 실행해 볼 수 있다.
- 시스템의 이해와 시스템 모델의 거동과 구조를 검증한다.
- 시뮬레이션과 시스템 사양서를 동기화 시킬 수 있다.
- Dead-Lock, 무한루프(live-lock)와 동적 불일치성을 찾아낸다.
- 시스템의 거동 요구사항을 만족시키는 필요응답 시간을 정의, 사용할 수 있다.
- 자원의 생성, 소비, 점유 경쟁을 조사할 수 있다.
- 각 부품들간의 제어 흐름과 데이터들을 조사할 수 있다.
- 시스템의 거동과 성능 측면에서 여러 대안들의 시스템 아키텍처들의 실현가능성을 분석할 수 있다.
- 결충연구지원을 할 수 있다.

한국형 고속전철기술개발사업의 시스템 엔지니어링을 위한 전산도구로 Ascent Logic사가 개발

1) 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원  
2) 한국철도기술연구원 연구원, 비회원  
3) 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

한 RDD.Com을 사용하였다. RDD.Com에서 제공하는 실행 가능한 모델의 종류는 각 부품들간의 인터페이스를 정의/표현하는 Component Interconnection Model과 시스템의 거동을 설명하는 거동 모델, 외부의 입력에 반응하여 특정 출력을 산출하는 Stimulus-Response Model, 각종 데이터들의 흐름을 표현하는 Data Model과 제한된 자원의 양을 모델링하는 Resource Model들이 있다. 본 연구에서는 고속전철 전기제어 시스템 사양서(Control System Specification)중 preconditioning 제어 부분을 실행 가능한 거동 모델로 구성하여 시스템 기능들과 시스템 요구사항들을 연결하고 실행해 봄으로써 기능 분석 및 사양서의 완전성을 검증할 수 있는 거동모델의 개발을 목적으로 한다.

## 2. 본론

### 2.1 거동분석

최상위 수준의 시스템엔지니어링 프로세스는 일반적 용어로 기술된 고객의 요구사항에서 출발하여 요구사항을 잘 반영하는 제품을 만들어내는 과정이라고 정의할 수 있다. 이러한 시스템엔지니어링 프로세스에는 요구사항 분석, 기능분석과 물리적 시스템 아키텍처라는 세 개의 하위시스템으로 구성되어 있다. 아래의 그림은 이러한 시스템엔지니어링 프로세스를 보여주며 동시에 각 하위 프로세스간에 실행 가능한 요구사항을 요구사항에서 파생된 각각의 기능에 어떻게 할당되며, 또한 각 기능들이 실제 물리적인 부품에 어떻게 배분되는가를 보여주는 추적성을 함께 보여준다. 이러한 시스템엔지니어링 프로세스는 각 수준별 및 단계별로 만족할만한 결과를 얻을 때까지 반복적으로 수행하게 된다. 요구사항과 기능의 연결은 specifies라는 관계를 이용하고 기능과 물리적 부품과의 연결은 allocates라는 관계자를 사용한다.

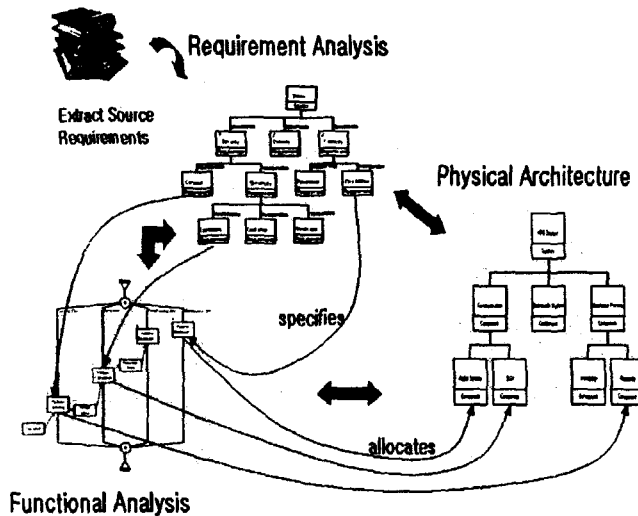


그림 1. 시스템엔지니어링 프로세스와 추적성

그림 1의 왼쪽 하단에 기술된 기능분석 프로세스를 통해 실행 가능한 거동모델을 만든 후 DVF(Dynamic Verification Facility)를 통해 실행하면서 검증을 하게 된다. 이를 통해 요구사항의 명확한 이해와 새로운 추가 요구사항들을 도출할 수 있으며 실제 시스템을 구성하기 전에 실현 가능한 다양한 솔루션들을 비교적 값싼 방법으로 비교해 볼 수 있다. 요구사항을 바탕으로 거동모델을 구성한 뒤 실행하여 동적 불 일치성을 검사하면서 거동모델의 완전성을 위해 새로운 기능을 추가해야 하는 경우가 발생하는 경우, 이에 대응하는 새로운 요구사항을 생성이 필요하다.

## 2.2 거동모델

시스템 거동(behavior)은 입력, 출력, 순차제어(sequence), 자원의 사용 등과 같은 눈에 보이며 측정 가능한 특성으로 정의한다. 시스템 거동이란 어떤 시스템이 어떤 기능을 가지고 무엇을 하는 것인가에 관한 것이며 그것을 어떻게 실현할 것인가에 관한 것은 아니다. 시스템의 거동을 표현하기 위해 사용하는 거동 다이어그램은 입력과 출력(items), 그리고 어떤 일의 수행을 표현하는 기능(function)과 이러한 기능들의 순차적인 수행을 표현하는 RDDProcess, 서로 다른 RDDProcess들간에 주고받는 데이터나 제어관계를 표현하는 message items들로 구성되며 각 아이콘은 그림 2와 같으며 RDD-100의 DVF는 확률적인 모델링이 가능하도록 정규분포, 지수분포 등의 15가지의 다양한 확률분포를 제공하며 몬테카를로 시뮬레이션이 가능하다. 그림 3은 평균이 (15.0)이고 표준분산이 (2.0)인 정규분포의 확률밀도곡선의 예를 나타낸 것이다.

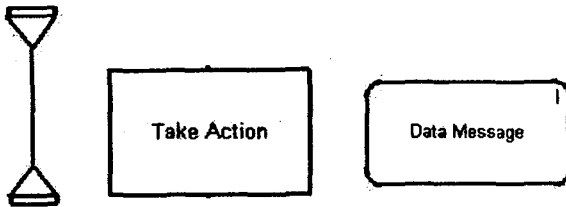


그림 2. RDDProcess, Function, 과 Item의 아이콘

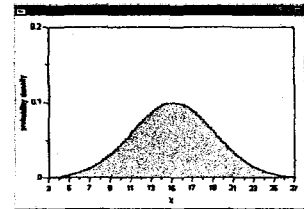


그림 3. 정규분포(15,22) 확률밀도곡선

## 2.3 적용사례

### 2.3.1 Preconditioning 제어 개요

Preconditioning 제어는 운전실에 접근하지 않고 열차에 전원을 공급하거나 열차를 standby 모드로 전환할 수 있는 기능을 수행한다. Preconditioning의 목적은 데이터 전송무전기(Data Transmission Radio)나 열차내의 패널로부터 받은 제어 명령에 따라 열차를 미리 조치하는 것을 목적으로 한다. Preconditioning 모드 명령 시 수행하는 기능은 아래와 같다.

- Doors Open/Close
- Airconditioning ON/OFF
- Lighting ON/OFF
- Standby mode

### 2.3.2 Preconditioning 제어 거동 모델 예

Preconditioning 모드로 들어가기 위해서는 반드시 준비단계를 거쳐야 한다. 여기서 준비단계라 함은 배터리를 투입하여 판토그래프를 상승시키고 VCB를 투입하는 일련의 프로세스를 말한다. 위의 8개의 신호 중 이러한 준비단계를 거치는 신호는 AA, AD, AE, AF, BA로 총 5개의 신호이다. 즉 이 다섯 개의 신호가 들어오면 준비단계를 거쳐 해당 기능을 수행한 뒤 preconditioning 모드 상태를 standby mode 신호인 BC가 들어오기 전까지 계속 유지하게 된다. 나머지 두 개의 신호 AB와 BB는 열차가 preconditioning 모드상태에 있을 때만 해당 기능을 수행하게 된다. Preconditioning standby mode 신호를 받으면 SCU는 battery 차단신호를 출력하고 판토그래프를 하강하고 에어컨과 출입문, 조명의 상태를 모두 OFF상태로 한다. 이러한 내용들을 거동모델로 표현한 것이 아래 그림 4이다.

그림 4.를 보면 각 Timefunction의 오른쪽 상단 모퉁이에 검은색의 사각형 표시가 있음을 볼 수

있다. 이 표시는 Timefunction내에 또 다른 여러 개의 Timefunctions이나 Discretefunctions을 포함하고 있음을 나타내며 복잡한 거동 다이어그램을 좀 더 이해하기 쉽고 가독성을 높여 주는 역할을 한다. 그림 5는 MDT에서 보낸 신호를 구분하여 각 신호에 해당하는 기능들을 수행하도록 해 주는 부분이다. 만약 AA신호가 들어왔다면 이전의 준비단계를 거치고 난 뒤, 여러 가지 기능 블록 중 에어컨을 켜는 기능을 수행하는 기능 블록으로 분기하여 해당기능을 수행한다. 그림 6은 "AA신호가 들어오면 준비단계를 거치고, 출입문을 닫는다. 그리고 670VDC Converter가 동작하여 670VDC 전압정상이 검지되면, 동력차/동력객차/객차의 Battery Charger를 동작시키고, 440VAC 전압정상이 검지되면, 객차용 Aircon Control Module로 preconditioning 모드 명령신호를 전송하여 객실 Air-con이 순차기동 되도록 한다. 제어가 완료되면 MDT로 제어완료 응답신호를 전송한다." 라고 기술된 사양서를 바탕으로 거동모델을 만든 것이며 그림 7은 열차를 완전히 de-preparing 시키는 stand-by 모드를 거동모델로 구성한 것이다. 그림 8은 전체 거동모델 다이어그램이다.

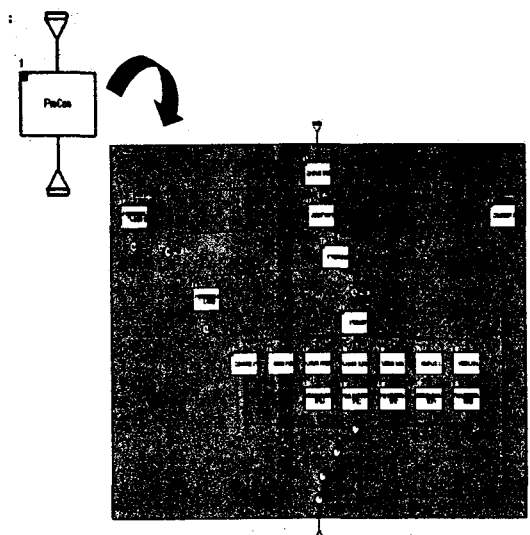


그림 4. 준비단계 세부거동 다이어그램

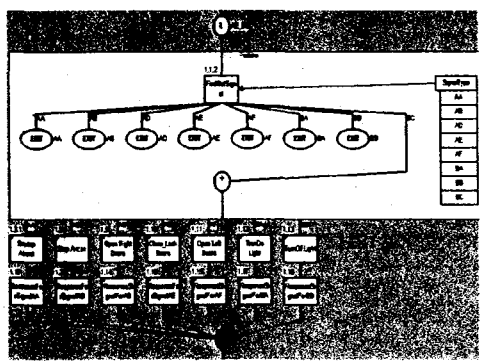


그림 5. 각 신호에 따른 해당 수행기능 선택

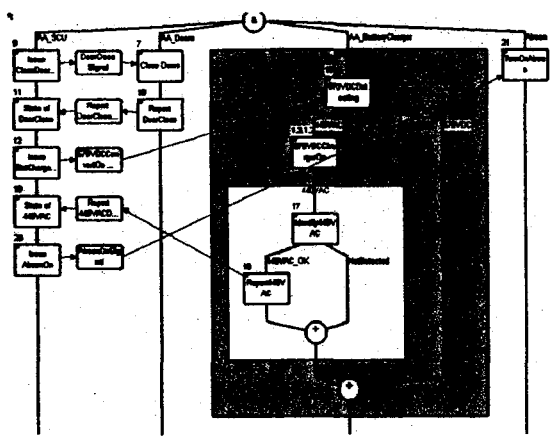


그림 6. 에어컨 ON의 세부거동 다이어그램

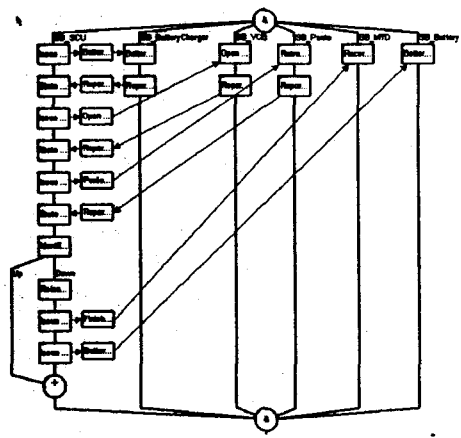


그림 7. Standby 모드의 세부거동 다이어그램

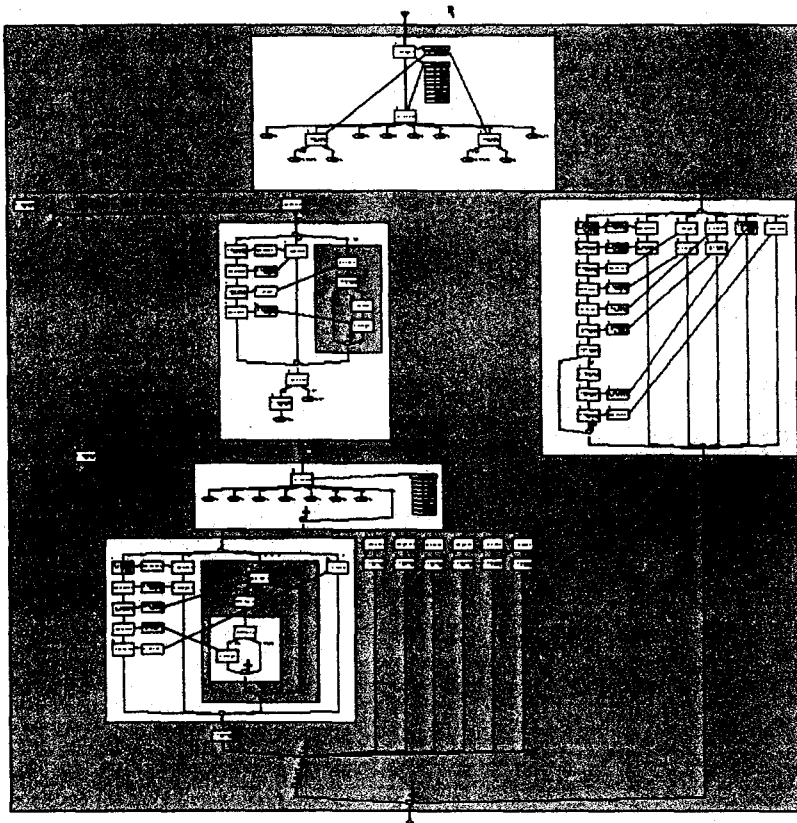


그림 8. Preconditioning 전체 세부다이어그램

#### 2.4 기능과 요구사항의 추적성 설정

기능과 요구사항의 추적성은 고객의 검토/승인이 난 최하위 말단 요구사항(leaf node requirements)들과 그에 해당하는 기능들을 연결시켜 주는 것을 말한다. 이 때 사용하는 관계(relationship)는 specifies이다. 즉 요구사항과 기능은 아래와 같은 관계로 설정되며 추적성을 부여한 요구사항-기능 다이어그램은 그림 7.와 같다.

Requirement specifies Function.

Function specified by Requirement.

여기서 주의해야 할 점은 하나 이상의 요구사항이 하나의 기능에 연결될 수는 있어도 하나의 요구사항이 여러 개의 기능에 연결될 수는 없다. 만약 이런 경우가 발생한다면 그것은 요구사항이 불완전하게 분해되었다는 증거이므로 요구사항을 더 세밀히 분해해야 한다.

거동모델은 시스템 사양을 바탕으로 기능들을 추출해 내어 기능들간의 제어나 데이터의 흐름을 표현한 것이라고 2.2절에서 기술하였다. 여기서 말하는 기능은 거동 다이어그램에서 사용한 Timefunction이나 Discretefunction을 말한다. Preconditioning 거동 다이어그램에 사용된 Timefunction과 그에 해당하는 전기제어사양서의 요구사항을 연결한 예의 일부를 표 1.에 나타내었다.

표 1. 요구사항-기능 추적 다이어그램

Requirement	Description	Function
CS.51.2.2.1.1 Input Battery	MDT shall put battery by remote control in the state of train off.	BatteryOn
CS.51.2.2.1.2 Signal for Preconditioning	When air conditioning startup(code AA) signal or closure and locking of doors(code AE) signal is received preconditioning mode shall be set.	Signal from MDT
CS.51.2.2.1.3.1 LiftUp Pantograph	Pantograph shall lift up. (refer to 4-5)	MoveUp Panto
CS.51.2.2.1.3.2 VCB Input	VCB shall close after lifting up pantograph. (refer to 7-4)	Close VCB
CS.51.2.2.1.3.3 Close Doors	Doors shall close. (refer to 58-2)	Close Doors
CS.51.2.2.1.4 Not Consider AC Code	(Notice) Not consider the signal of refrigeration units power supply(code AC) here.	
CS.51.2.2.1.5.1 670VDC ConverterOn	670VDC converter shall operate.	670VDCChargerOn
CS.51.2.2.1.5.2 670VDC Battery Charger	Power car/motorized trailer's battery charger shall operate when 670VDC of normal voltage is detected. (refer to 2-1, 2-2, 2-3)	670VDCDetecting

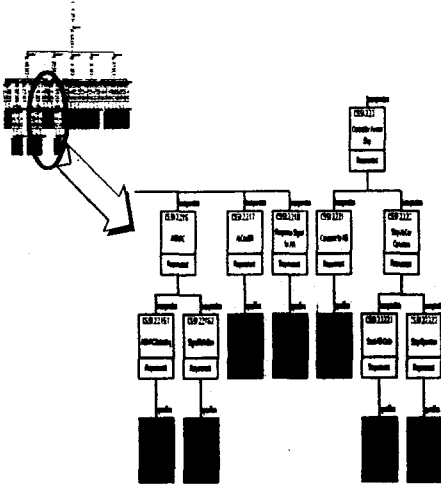


그림 9. 요구사항-기능간의 추적 다이어그램

#### 4. 결론

모델이 가지는 명확성과 논리성을 이용하여 기술적인 언어로 기술된 사양서를 바탕으로 실행 가능한 거동모델을 구성하여 기능분석을 수행함으로써 많은 필요 요구사항들의 도출을 통해 보다 명확하고 완전한 사양서 도출을 할 수 있음을 알 수 있다.

거동모델을 구성한 후 실행을 통하여 많은 요건들을 도출하였으며 이 도출요건들을 사양서에 추가하고, 논리적인 제어의 절차상 빠져 있는 부분과 동적 특성들을 검토하여 보완하는 작업을 반복 수행해야 할 것이다. 거동모델 분석을 통해 도출된 요구사항과 누락된 기능들을 요구사항-기능의 연결, 기능-컴포넌트의 연결 작업을 통해 도출되어야 할 요구사항들의 후보들을 찾았다.

#### 후 기

본 내용은 건설교통부, 과학기술부, 산업자원부 공동 주관 아래 선도기술개발사업으로 시행되고 있는 고속전철기술개발사업의 일환으로 수행되었다.

#### 참고문헌

1. Loyd Baker, Paul Clemente, Bob Cohen, Larry Permenter, Byron Purves, and Pete Salmon, "Foundational Concepts for Model Driven System Design", INCOSE Model Driven Systems Design Interest Group, 1997.
2. S.D. Wall, J.D. Baker, J.A. Krajewski, D.B. Smith, "Implementation of System Requirements Models for Space Missions", INCOSE Modeling & Tools, 1998.
3. Holagent Corp., "Course 132 System Simulation-RDD-100 Dynamic Verification Facility", Vol. 1
4. Ascent Logic Corp., "ALC Training Course 101 Introduction to RDD-100 Student Workbook", 1996.