

# 도시형 자기부상열차의 기능분석을 이용한 사양간 추적성 도출 연구

## A Study to Derive Traceability between Specification by Using Functional Analysis in Case of Urban MAGLEV Train

정경렬\*  
Chung, Kyungryul

박철호\*\*  
Park, Chulho

최준호\*\*\*  
Choi, Chunho

송선호\*\*\*\*  
Song, Sunho

### ABSTRACT

Recently, a railroad system has a big and complicated structure of specification. Therefore, traceability between specification need to be identified for design change management and this is many engineer's concerns. Traceability means technical relationship. This is to trace other specification or component connect with relevant problem in case some problem should be examined. Traceability between functional specification can be proved through functional analysis essentially. This study will introduce an application method of functional analysis in the case of practical use project of MAGLEV train. And we propose the guide to identify traceability between function through functional analysis.

Key Words : functional analysis, traceability, design change

### 1. 서 론

오늘날 철도시스템의 사양구조는 점점 더 크고 복잡해지는 추세에 있다. 이는 기존 차량시스템의 기술이 선진화되고 있고, 보다 효율적이고 편리하며 안전한 서비스를 위해 신호, 통신, 전력, 역사, 차량기지 등에 새로운 기능들이 추가되기 때문이다. 도시형 자기부상열차 실용화사업의 경우 무인운전 및 무인역사 시스템을 지향하며, 기존의 차륜식 열차 시스템과는 궤도와의 인터페이스가 상이하기 때문에 서브시스템 간의 인터페이스를 식별하고 관리하는 문제가 중요하게 부각된다.

또한 도시형 자기부상열차 실용화사업의 범위는 상업운행을 수행하기 위해 필요한 모든 인프라를 포함하기 때문에, 차량이나 신호와 같은 일부 시스템간의 인터페이스의 관리에 머무르지 않고 전분야를 포괄하는 서브시스템간의 인터페이스의 식별과 관리가 필요하다. 이는 설계/제작 후 시스템 통합 과정에서 발생할 수 있는 분야간 인터페이스의 미합치 또는 누락을 방지하고, 어떤 설계변경이나 문제가 검토되어야 할 경우, 이와 관련된 다른 서브시스템의 사양 또는 기능을 추적하기 위한 것이다.

서로 다른 서브시스템의 기능사양간 존재하는 인터페이스는 본질적으로 기능분석을 통해 얻어지는 기능간의 추적성을 통해 밝혀낼 수 있다. 본 논문에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 수행된 기능분석 사례를 통해 기능간의 추적성을 식별하는 방안을 제시한다.

\* 정경렬, 한국생산기술연구원, 융합기술개발단, 정회원

E-mail : chungkr@kitech.re.kr

TEL : (041)589-8251 FAX : (041)589-8230

\*\* 박철호, 한국생산기술연구원

\*\*\* 최준호, 한국생산기술연구원

\*\*\* 송선호, 한국생산기술연구원

## 2. 기능분석 소개

### 2.1 기능분석의 정의와 의의

기능은 원하는 결과를 성취하기 위해 시스템 또는 그 하위수준에서 수행되어야 하는 특정 역무(task)나 행동(action & activity)<sup>1)</sup>을 의미한다. 기능은 시스템의 거동(behavior)을 의미하며, 설계자의 입장에서 주요한 요구사항으로 작용한다. 기능분석(functional analysis)은 상위 수준에서 요구되는 시스템의 기능이 수행되는데 필요한 모든 하위기능(subfunction)을 밝히는 과정으로 정의될 수 있다.

일반적인 시스템 엔지니어링 프로세스는 기능분석을 물리적 아키텍처를 결정하기 전에 수행하는 것을 원칙으로 삼고 있다. 왜냐하면, 시스템의 본질적 요구사항은 기능의 형태로 기술되고, 물리적 구현 방안(physical solution)은 기능 요구사항이 명확해진 다음 설계되거나 선정되는 것이 타당하기 때문이다. 항공기가 발명되기 전 사람들은 하늘을 날기 위해 많은 도전을 했다. 이들이 모방할 수 있는 시스템은 조류의 날개였으므로, 조류의 날개와 유사한 모조날개를 만들거나 깃털을 사용하여 비행을 시도했지만 번번이 실패를 거듭했다. 지금의 시각으로 볼 때 매우 우스꽝스럽기 짝이 없는 이와 같은 시도들은 대상시스템의 기능보다 물리적 구현방안에 치중했기 때문에 발생한 것이다. 새의 날개가 어떤 기능을 수행하는지에 대한 이해가 없는 상태에서 날개의 외형만을 모방하는 것으로는 성공적인 시스템을 개발할 수 없었던 것이다.

1960~70년대 다양한 대규모 프로젝트를 추진하고 실패를 경험한 미국의 시스템 엔지니어들은 대상시스템에 요구되는 기능이 충분히 분석되고 이해된 후, 물리적 해결방안을 결정해야만 프로젝트의 성공가능성을 높일 수 있다는 사실을 경험하고, MIL-STD-499를 비롯한 시스템 엔지니어링 표준 문서에 시스템 규격(specification)이 완성되기 전에 요구사항과 기능분석이 선행하도록 하였다.

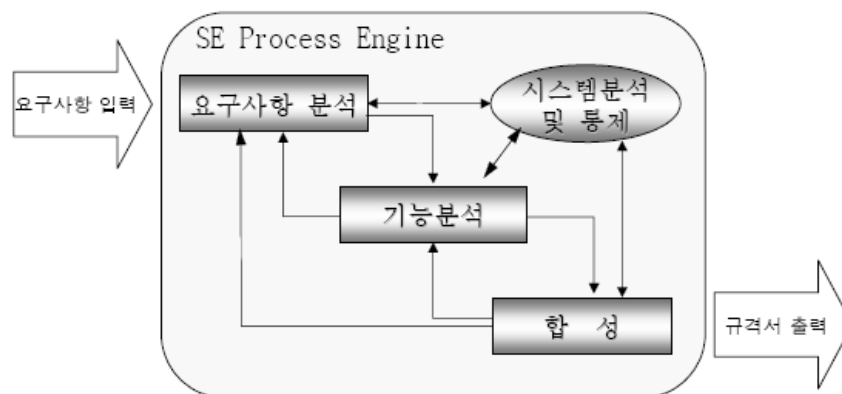


그림 1. MIL-STD-499B 시스템 설계 프로세스

1) 시간개념이 구체화된 영어문화권에서는 “action”과 “activity”의 차이가 명확하지만, 이를 정확히 국문으로 표현하기는 쉽지 않다. 통상 “action”은 비지속적이고 순간적으로 발생하는 이벤트를 의미한다. 예를 들어 “발차”는 “action”에 속하는 기능으로 볼 수 있다. 그에 비해 “activity”는 지속적으로 발생하는 이벤트를 의미한다. “가속”은 일정 시간 속에서 이루어지므로 “activity”로 볼 수 있다. 본 논문의 기능분석은 time-critical한 수준으로 세분화되지 않으므로 이 두 가지 기능을 구분하지 않는다.

## 2.2 기능분석 시 고려사항

앞서 정의된 바와 같이 기능분석은 상위 수준에서 요구되는 시스템의 기능이 수행되는데 필요한 모든 하위기능을 밝히는 과정이다. 따라서 기능분석을 위해서는 시스템의 최상위 수준에 대한 기능이 우선 정의될 필요가 있다. 최상위 수준의 기능은 시스템의 근본적인 목표 또는 임무로부터 도출되는 것이 적절하다. 철도시스템은 기본적으로 운송시스템이며, 선로 위를 여러 대의 열차가 운행하며 승객 또는 화물을 운송하는 것이 궁극적인 목표이자 임무이기 때문에, 최상위 수준의 기능은 “수송(transportation)”, “관제(control)”, “감시(monitring)” 등으로 표현될 수 있으며, 도시형 자기부상열차 시스템 역시 철도시스템의 한 부분이기 때문에 동일한 내용으로 정의될 수 있다.

최상위 수준의 기능을 구현하기 위한 하위기능은 트리구조와 같이 단순한 형태로 정리될 수도 있겠지만, 필요한 기능의 누락을 방지하고 기능간의 연관관계를 명확히 하기 위해서는 기능흐름(functional flow)을 작성/검토하는 것이 타당하다. 기능흐름은 시간적/논리적 순서에 맞추어 필요한 기능을 배열한 것이다. 이것은 소프트웨어를 프로그래밍할 때, 흔히 작성하는 “순서도(flow chart)”와 유사하다. 발생하는 순서에 맞추어 기능을 배열하고, “AND”나 “OR”와 같은 분기 및 반복(iteration or loop) 프로세스도 존재한다.

기능흐름을 작성하고 검토하는 과정에서 필요한 기능을 선정하고 배열하는 것만큼 중요한 업무는 기능에 필요한 입출력(input & output)을 식별하는 것이다. 예를 들어 출입문이 열려있거나, 승객 또는 이물질이 문에 끼어 있는 상태에서 열차가 발차하는 것은 위험한 일이다. 따라서 열차의 “발차”라는 기능은 출입문의 닫힘상태에 대한 입력신호를 필요로 하게 된다. 기능의 입출력 항목을 결정하는 것은 추후 서브시스템 또는 구성품 간의 인터페이스 요구사항(Interface requirements)과 연관되기 때문에 중요한 과정이 된다.

기능분석의 결과는 물리적 구현방안을 제약해서는 안된다. 열차의 “발차” 기능은 출입문의 닫힘상태에 대한 정보가 입력(또는 확인)된 후에 이루어져야 한다는 내용이 기능분석의 결과가 될 수 있다. 열차의 “발차”는 누가, 또는 어떤 구성품이 결정하고, 출입문의 닫힘상태에 대한 정보는 어떤 구성품에서 어떤 방법으로 생성되고, 어떤 데이터 형태로 전송되는지는 결정하지 않는다. 구현방안에 대한 내용은 기능분석 후 결정되는 사안이며, 이는 시스템이 개념설계(concept design) 단계를 넘어, 기본설계(preliminary design) 단계에 진입했음을 의미한다.

## 3. 도시형 자기부상열차 실용화사업의 기능분석 사례

### 3.1 최상위 수준의 기능 정의

시스템에 대한 최상위 수준의 기능은 개발사업의 범위에 따라 달라질 수 있다. 철도 차량을 개발하는 사업이라면 차량의 관점에서 부여되는 기능이 정의되어야 할 것이다.

도시형 자기부상열차 실용화사업의 경우 상업운행을 위해 요구되는 모든 인프라가 사업의 범위에 포함되기 때문에 차량이나 신호, 통신, 전력, 역사, 차량기지를 포괄하는 수준의 최상위 기능이 정의될 필요가 있다. 기존 철도 시스템의 기술자료를 토대로 기능을 도출하여 항목을 분류한 결과, 철도시스

템의 전 범위를 포괄하는 최상위 기능 요구사항은 다음의 3가지로 함축될 수 있었다.

표 1. 도시형 자기부상열차 실용화사업의 최상위 기능

No	최상위 기능	내용	관련 기능(하위)
1	운행관제기능	여러 대의 열차가 충돌 및 간섭없이 안전하고 정확하게 운행하는 기능	무인운전기능, 차량보호기능, 진로조작기능, 방송기능, 비상운전기능, 운행제어기능 등
2	수송기능	승객이나 화물을 목표지까지 수송하는 기능	추진기능, 제동기능, 부상기능, 승객 및 화물의 수납기능(용량), 속도제어기능 등
3	감시 및 경고 기능	각 열차의 운행현황 및 시스템 각부의 정상작동여부를 감시하고, 유사시 관련 조치를 수행하는 기능	감시 및 관리 기능, 시스템 장애시 경고 기능, 승객 및 역무자의 상황전파 기능 등

도시형 자기부상열차 시스템은 기존 철도시스템에 비해 차륜이 없이 부상/추진/제동하는 점만 상이하며, 이는 최상위 수준에서는 드러나지 않기 때문에, 최상위 수준에서 정의되는 기능은 기존의 철도 시스템과 유사하게 나타난다. 따라서 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 적용되는 최상위 수준의 기능 분류는 타 철도시스템에서도 동일하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.2 운행 시나리오 정의

기능분석을 수행하기 위해서는 시스템을 어떻게 운용할 것인지를 먼저 정의해야 한다. 이것은 곧 시스템의 운행시나리오라고 할 수 있는데, 시스템의 기동부터 정상운행, 유사시 대처, 회차, 차량 유치 등 차량 운행 전반에 대해 작성된다. 도시형 자기부상열차 운행 시나리오 중 일부인 “정상 회차” 시나리오는 다음과 같다.

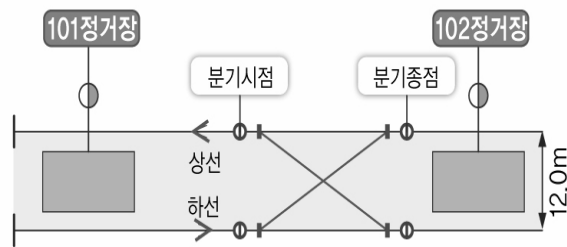


그림 2. 회차구간 사례

- ① 열차가 102역의 상행선에 도착한다.
- ② 101역에 대한 진입가능성을 검토한다.
  - 101역에 차량이 없을 경우, 양쪽 플랫폼에 대해 진입 가능. 일반적인 경우 101 정거장의 양쪽 플랫폼을 교대로 사용한다.
  - 101역의 한쪽 플랫폼에 차량이 있으며, 발차시간까지 1분 이상 남은 경우, 반대쪽 플랫폼에 진입 가능.
  - 101역의 양쪽 플랫폼에 모두 차량이 있을 경우 진입 불가.
- ③ 진입할 플랫폼에 맞추어 분기기를 전환한다. 분기기 전환이 완료된 후 101역에 진입한다.

- ④ 운전방향을 하행으로 전환한다.
- ⑤ 하행선에 맞추어 분기기를 전환한다.
- ⑥ 발차한다.

### 3.3 기능흐름도(functional flow block diagram) 작성

기능흐름도를 작성하는 과정은 본격적인 하위수준에 대한 기능분석이 진행되는 과정이며, 도시형 자부상열차 시스템의 경우 다음과 같은 절차로 진행되었다.

- 기능의 배열 : 기능은 이를 수행하기 위한 하위기능으로 분리될 수 있다. 예를 들어 회차를 할 경우, 회차구간을 결정한 다음, 열차가 회차구간으로 진입하고, 진행방향을 변환해야 할 것이다. 상위기능을 이와 같은 하위기능으로 분화하고, 시간/절차순으로 배열한다.
- 기능의 할당 : 원론적으로 시스템 엔지니어링에서는 기능분석이 끝난 다음, 물리적 아키텍처를 결정한 후, 기능을 할당하도록 되어 있지만 본 연구에서는 표준적인 기능분석 프로세스를 조정(tailoring)하였다. 철도시스템의 기본적인 서브시스템은 차량, 신호, 통신, 전력, 건축물 등 통념적으로 정해져 있으며, 각 서브시스템의 임무가 정해져 있기 때문에 사실상 상위 수준의 물리적 아키텍처가 결정되어 있다. 따라서 하위기능이 도출되면 이 기능을 어떤 서브시스템에 할당할 것인지 결정할 수 있다.
- 기능간의 입출력(input & output) 설정 : 식별된 하위기능에서 요구되는 입출력 인터페이스를 식별한다.

그림 3은 “정상회차” 시나리오에 대한 “회차기능”의 기능흐름도 작성 사례이다.

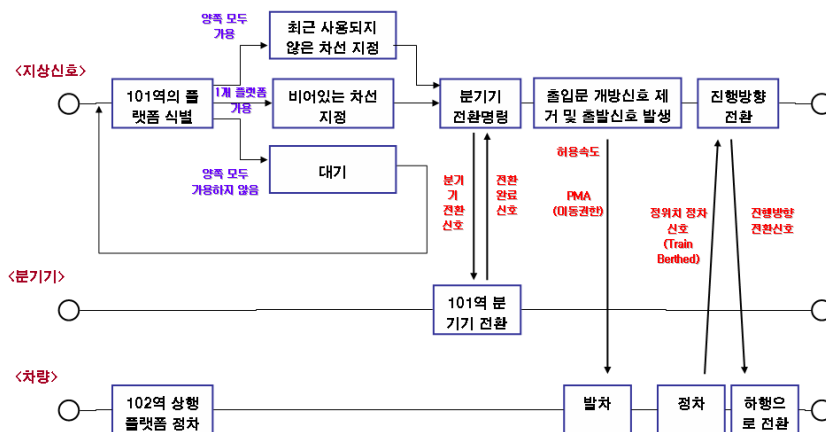


그림 3. “회차기능”에 대한 기능흐름도

그림 3 “회차기능”의 기능흐름도에 의해 열차가 101역에서 회차할 때, 서브시스템인 지상신호 시스템과 분기기 및 차량이 각각 수행하는 기능과 절차를 알 수 있으며, 상호간에 어떤 입출력 내용이 필요한지 식별할 수 있다.

서브시스템이나 구성품에 대해 더욱 명확한 기능 및 인터페이스 사양을 규정할 필요가 있을 경우, 기능흐름도에 등장한 하위기능(subfunction)에 대해 보다 구체적인 기능흐름도를 작성할 수도 있다.

그림 4는 그림 3의 하위기능 중 “정차”에 대해 보다 구체적인 수준에서 작성된 기능흐름도이다. 그림 4의 기능분석에서는 그림 3에서 단순하게 기술된 “정차” 기능을 분석하여 선로에 설치된 신호설비와 차량 사이에서 발생하는 기능흐름과 입출력 인터페이스를 규정하게 된다.

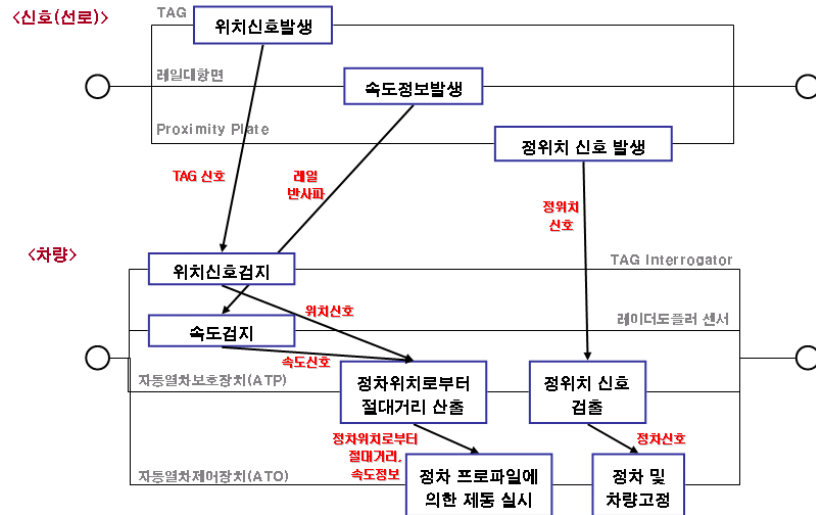


그림 4. “정차기능”에 대한 기능흐름도

기능분석의 구체화 수준은 서브시스템 간의 인터페이스가 존재하는지에 따라 결정되는 것이 적절하다. 서브시스템 내부적으로 발생하는 인터페이스는 해당 과제 또는 분야에서 관리될 수 있으나, 외부적으로 발생하는 인터페이스는 시스템 엔지니어링 관점에서 식별/관리될 필요가 있기 때문이다.

### 3.4 기능분석의 결과를 개발규격에 반영

설계/제작 및 이후 이루어지게 될 시스템 통합 과정에서 발생할 수 있는 설계변경이나 재검토시 고려되어야 하는 규격이나 인터페이스를 참조할 수 있도록, 기능흐름도에서 도출되는 아래의 내용을 서브시스템의 개발규격(development specification)에 포함하여 궁극적으로 시스템의 설계에 반영될 수 있도록 한다.

- ① 각 서브시스템이나 구성품이 수행해야하는 기능
- ② 기능간의 선·후행 연관 관계
- ③ 각 서브시스템이나 구성품 기능간의 인터페이스(입출력)

## 4. 결론

철도시스템은 기술의 선진화로 인해 사양구조가 복잡해지고 있다. 특히, 도시형 자기부상열차 실용화사업은 상업운행을 수행하기 위해 필요한 모든 인프라를 포함하기 때문에, 설계/제작 후 시스템 통합 과정에서 발생할 수 있는 분야간 인터페이스의 미합치 또는 누락을 방지하고, 설계변경이나 문제검토 시, 관련된 사양 또는 기능을 추적하기 위해 기능분석이 필요하다.

본 논문에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업에 적용되는 기능분석 방안을 소개하고, 기능분석을 통해 기능사양간의 추적성을 식별하는 방법을 연구하였다. 기능분석(functional analysis)의 정의와 의의, 기능분석 시 고려사항 등을 정리하였다. 또한, “최상위 수준 기능 정의” ⇒ “운행시나리오 정의” ⇒ “기능흐름도 작성” 으로 이어지는 기능분석 절차를 제안하였으며, 각 절차에 대해 도시형 자기부상열차 실용화사업의 기능분석 내용 중 일부를 사례로 제시하고, 최종적으로 기능분석의 내용 중, 개발규격에 반영되어야 하는 항목을 정리하였다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 대형국가연구개발실용화사업 “도시형자기부상열차실용화사업”의 일환으로 수행 되었습니다.

## 5. 참고문헌

1. 한국생산기술연구원(2006), 고속철도 차량시스템 개발절차서.
2. Department of Defense(DoD)(1994), MIL-STD-499B Draft, Military Standard Systems Engineering, Department of Defense, USA.
3. Joong-Yoon Lee(2004) “A study on the process and tool for system requirements definition” , a doctoral dissertation, Ajou university, R.O.K.
4. INCOSE, Systems Engineering Handbook (Ver. 2a)(2004), International Council On Systems Engineering.