

역공학 및 재공학 시스템엔지니어링 프로세스 적용을 통한 무인열차자동제어시스템 개발

Automatic Train Control (ATC) System Development through Application of Reverse and Re-Systems Engineering Process

이 중 윤*, 박 영 원

(Joong-Yoon Lee and Young-Won Park)

Abstract : The automatic train control (ATC) system development project for the Automated Guideway Transit (AGT) system has high technical risk because the system is unmanned train control system using wireless technology which was unprecedented in train control industry of Korea. To overcome the technical risk during concept design phase of the ATC system development project, the integrated product team(IPT) carried out a reverse and reengineering process using a systems engineering design model. The generic systems engineering process is incorporated in the both reverse and reengineering process. As a result of the systems engineering effort, the IPT has built top layer systems engineering design model of the ATC subsystem. The purpose of this paper is to deliver the reverse and reengineering process which was used to develop the systems engineering design model of ATC system using a computer aided systems engineering tool. This study also shows that the model based reverse and reengineering process can reduce the technical risk by identifying the differences of requirement, functional and physical architecture between a reference system and a target system.

Keywords : systems engineering, reverse and reengineering process, risk reduction, automatic train control (ATC) system , computer aided systems engineering tool

I. 서론

경량전철 시스템(Automated Guideway Transit(AGT) System)은 지하철과 같은 중량전철과 버스의 중간정도의 수송량을 가진 운송 시스템으로, 한국에서 도시지역의 새로운 운송 수단으로 개발되고 있다. 고려되고 있는 경량전철 시스템의 운영개념상의 최대 특징은 일반적인 자동운전과 대별되는 개념으로서, 운전자가 없는 무인운전이다. 이와 같은 무인운전 운영개념을 가진 AGT 시스템은 국내에서 개발경험이 없는 새로운 시스템이다. 이에 따라, 한국철도기술연구원은 한국환경에 적합한 AGT 시스템 규격을 개발하는 사업을 1999 년도부터 수행하였으며 2002 년 말까지 수행하였다. 이 사업의 목표 중 하나는 시스템엔지니어링 기술을 적용하여, 무인화에 따른 기술적 위험을 저감하고 국내환경에 적합한 경량전철시스템 규격을 개발하는 것이다. 철도 시스템은 차량시스템, 선로시스템, 전력시스템, 신호제어시스템으로 구성되어 있으며, 이는 모든 철도시스템의 공통적인 아키텍처의 상부 구조이다. 경량전철 시스템의 무인자동화 운영개념에 따른 기술 위험은 철도시스템의 상부구조 중에서 신호제어시스템에 집중되어 있다. 경량전철 시스템의 무인 운영 개념의 핵심이 되는 신호제어시스템을 열차자동제어 (Automatic Train Control- ATC) 시스템이라 하며 본 논문은 이 열차자동제어 시스템 개발에 적용한 시스템엔지니어링 기술에 대한 보고이다.

II. 역공학 및 재공학 프로세스

IEEE[1]에서는 재공학을 현 사용제품의 분석, 재건, 역공학 및 순공학을 포괄하는 완전한 프로세스라고 기술하였으며, IEEE[2]에서는 재공학을 역공학 및 순공학으로 이루어진 소프트웨어 엔지니어링의 하부프로세스라고 기술하고 있다. Sage[3]는 이러한 정의에 대하여 동의하지만, 재공학이 제공하는 모든 가능성을 활용하기 위하여서는 시스템관리 수준에서의 재공학과 프로세스 수준에서의 재공학을 제품 중심의 재공학과 구분하고자 하였다. 이러한 관점에서 제품 중심의 “제품 재공학”이라고 칭할 것을 제안하였다. 이러한 관점에서 Sage[3]는 제품 재공학을 다음과 같이 정의하였다. “제품 재공학은 기존 제품의 본질적인 주목적은 달성하면서 새로운 기술들을 이용하기 위하여, 기존 제품의 내부 메커니즘 또는 기능을 검사, 연구, 식별 및 변형함으로써, 새로운 기능 및 비기능 형상으로 재구성하는 것을 말한다.” 또한, Sage[3]는 순공학(forward engineering), 역공학, 순공학의 순서를 가지는 제품 재공학 프로세스를 그림 1 과 같이 개념적으로 표현하였다. 이와 같이 재공학이 순공학, 역공학, 역공학에 뒤따르는 순공학을 포괄하는 엔지니어링 프로세스를 의미하지만, 본연구에서는 처음의 순공학과 역공학에 뒤따르는 순공학을 구분하기 위하여 역공학에 뒤따르는 순공학 부분만을 재공학이라 칭하였다.

경량전철 신호시스템의 운전방식에는 수동운전, 자동운전, 무인운전 방식이 있다. 수동운전방식은 승무원이 운전관련 기능을 직접 제어하는 방식이며, 자동운전방식은 운전관련 기능의 대부분을 열차자동운전장치(Automatic Train Operation-ATO)

*책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 7. 15., 채택확정 : 2003.. 8. 25.

이중윤, 박영원 : 아주대학교 시스템공학과

(leejy@iae.re.kr/ywpark@iae.re.kr)

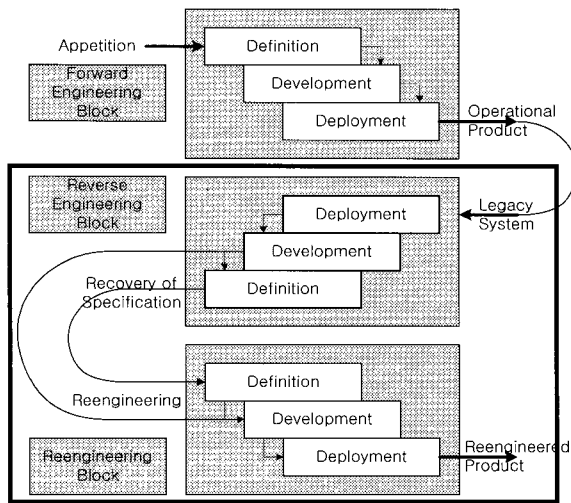


그림 1. 역공학 및 재공학 프로세스의 기본 개념.
Fig. 1. Product reengineering process.

경량전철 신호시스템의 운전방식에는 수동운전, 자동운전, 무인운전 방식이 있다. 수동운전방식은 승무원이 운전관련 기능을 직접 제어하는 방식이며, 자동운전방식은 운전관련 기능의 대부분을 열차자동운전장치(Automatic Train Operation-ATO)가 자동으로 수행하며, 승무원은 출입문작동, 출발작동 등 안전관련 일부 기능만을 수행하는 방식이며, 이에 비해 무인운전방식은 승무원이 없이 차량운행의 모든 기능이 열차자동제어(Automatic Train Control-ATC) 시스템에 의해 수행되는 방식을 말한다. 무인운전 열차자동제어시스템을 구현기술적 관점에서, 차량과 지상의 신호전달 방식으로 구분하면 유도전송로(Inductive Loop) 방식과 통신기반열차제어(Communications Based Train Control-CBTC) 또는 통신기반신호(Transmission Based Signalling-TBS) 방식이 있다. 유도전송로 방식은 선로에 연속적으로 설치된 유도전송로와 차량간의 신호전달이 근거리 유도방식으로 일어나며, 통신기반열차제어 방식에서는 차량과 지상의 신호전달이 무선통신방식으로 이루어진다. 무선통신방식을 이용한 통신기반열차제어(CBTC) 시스템은 미국 등의 선진국에서도 비교적 최근에 개발된 기술위험이 높은 시스템이다. 본 연구에서는 무선통신 방식을 이용한 무인 열차자동제어시스템을 개발하기로 하였으며, 무선통신 기술의 채용에 따른 높은 기술 위험을 줄이기 위하여, 역공학 및 재공학 프로세스를 통하여 개념설계 단계를 수행하였다. 역공학 프로세스에 입력되는 시스템으로는, 상용으로 운용되고 있으며 기술 분석이 용이한 시스템으로 선정하기로 하였다. 이에 따라 일본 고베에서 상용으로 운용되고 있는 유도전송로 방식의 신호시스템을 역공학 프로세스의 입력 시스템으로 선정하였으며, 본 논문에서는 이를 참조시스템이라 하였다.

본 논문은 역공학 및 재공학 접근법을 제품개발 단계 중에서 개념연구 및 시스템 정의 단계(그림 1의 시스템 정의-System Definition)에서 수행한 연구결과이다.

III. 시스템엔지니어링 설계 프로세스, 도구 및 모델

1. 시스템엔지니어링 설계 프로세스

시스템엔지니어링에서는 성공적인 시스템 개발을 위하여

시스템 개발 초기에 시스템 수명주기 전체의 요구사항을 반영하는 노력을 중요시 하고 있다. 시스템엔지니어링 분야에서 시스템 개발 프로세스 표준인 EIA-632에서는 시스템 설계 프로세스를 요구사항 정의 프로세스와 해결방안 정의 프로세스로 구분하고 있으며, 이들은 그림 2와 같이 다시 하부 프로세스로 구성되어 있다.[4]

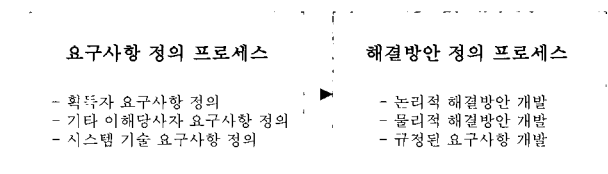


그림 2. EIA-632의 시스템 설계 프로세스.
Fig. 2. System design process of J. Martin.

또한, Martin[5]은 시스템엔지니어링 설계 프로세스를 그림 3과 같이 요구사항 분석, 기능 분석, 조합 그리고 시스템 해석 및 최적화로 구분하였다.

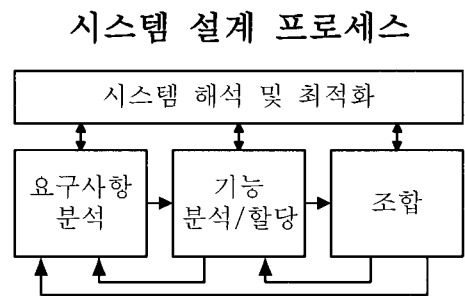


그림 3. J.Martin의 시스템 설계 프로세스.
Fig. 3. System design process of J.Martin.

본 연구에서는 이와 같은 시스템엔지니어링 프로세스를 역공학과 재공학 수행에 적용하였으며, 적용 프로세스의 단계별 결과물로 시스템엔지니어링 프로세스 중에서 요구사항 분석을 통한 요구사항 모델을, 기능 분석을 통한 논리적 해결방안(기능모델)을 그리고 물리적 해결방안(물리적 모델)을 개발하였다.

2. 컴퓨터 지원 시스템엔지니어링 방법론

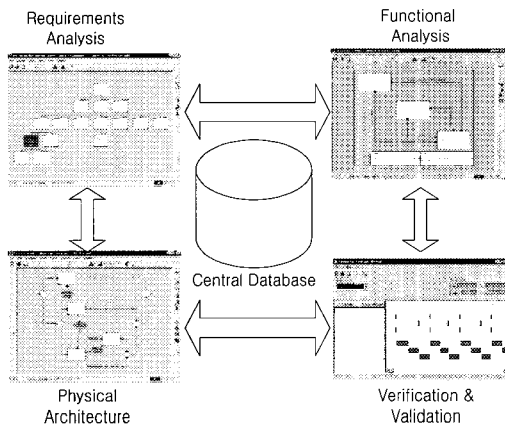
시스템엔지니어링 분야에서는 시스템엔지니어링을 용이하게 수행하기 위하여 시스템엔지니어링 도구(CASysE Tool-Computer Aided Systems Engineering Tool)를 개발하여 사용하고 있다. Park 등[6]은 CASysE 도구를 사용에 따른 이점을 아래와 같이 보고하였다. 1) 방대한 양의 정보관리가 용이하다. 2) 설계규격 선정을 올바르게 하기 위한 모델링 및 시뮬레이션을 기능을 지원하여 물리적 모델링의 비용을 절감할 수 있다. 3) 형상 관리를 위한 형상 항목들 간의 추적성 확보가 가능하다. 4) 재활용성을 높여 업무 효율성을 높인다. 5) 기 구축된 설계 데이터베이스는 유사 프로젝트에 상당 부분 재사용할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 장점을 살리고 개발 효율성을 높이기 위하여 CASysE 도구(미국 Vitech. Co.의 CORE)를 사용하였다. CASysE 도구를 사용하여 시스템엔지니어링 프로세스를 수행

하는 방법론을 그림 4에 나타내었다.

3. 시스템엔지니어링 설계 모델

본 연구에서는 무선 신호시스템 개발에 따르는 기술 위험을 줄이고 시스템 정의를 성공적으로 수행하기 위해 CASySE 도구를 사용하여 시스템엔지니어링 설계 프로세스에 따라 설계 모델을 개발하고자 하였다. 구축되는 시스템엔지니어링 설계 모델을 그림 5에 표현하였다. 이는 신호시스템에 대한 시스템엔지니어링 설계 모델의 목표 형상을 보여준다. 이 모델은 요구사항, 기능, 물리적 시스템 아키텍처들 간의 관계를 보여주고 있다.

이 모델에서, 각 최말단의 기능 요구사항들은 특정 기능을 한정하며(specifies) 그리고 그 기능들은 PBS의 계층구조 중 특정 부품에 의해 수행(perform)된다. 각 최말단의 비기능 요구사항들은 PBS의 부품을 직접한정(specifies)한다. 그리고 요구사항 중 제약요구사항은 물리적 시스템 아키텍처의 부품을 직접 제약(constraint)하는 관계에 있다.



quoted from CORE instruction material

그림 4. CORE를 사용한 시스템엔지니어링 프로세스.
Fig. 4. System engineering methodology of CORE.

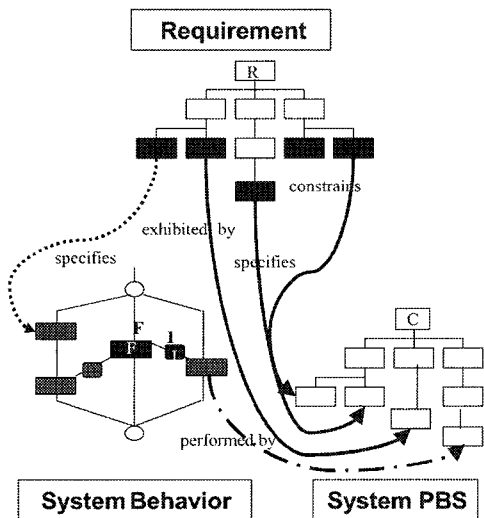


그림 5. 시스템엔지니어링 설계프로세스 모델.
Fig. 5. Systems engineering design process model

IV. 역-시스템엔지니어링 프로세스에 의한 열차자동제어시스템 설계모델 개발

1. 열차자동제어시스템 개발에 적용한 역-시스템엔지니어링 설계 프로세스

시스템엔지니어링 설계 프로세스의 역공학적 수행은 1) 시스템의 물리적 구조 정의, 2) 기능 아키텍처 정의 그리고 3) 요구사항 복구 순으로 수행할 수 있다. 열차자동제어시스템을 개발에 적용한 역공학적 시스템엔지니어링 설계 프로세스는 표 1과 같다.

표 1. 역-시스템엔지니어링 설계 프로세스.
Table 1. Reverse system engineering design process.

1) 시스템 식별
2) 하부시스템 정의
3) 시스템 기능 정의
4) 하부시스템을 사용한 시나리오 제작
5) 거동 모델링
6) 동적 거동분석 및 시간선 분석
7) 요구사항 추적성 분석

이러한 절차에 의하여 시스템엔지니어링 설계모델을 개발하였으며 그림 6은 역공학에 의하여 구축된 시스템엔지니어링 설계모델 즉, 물리적 아키텍처, 기능 아키텍처, 및 요구사항 아키텍처의 구조와 그들간의 추적관계를 개념적으로 보여준다.

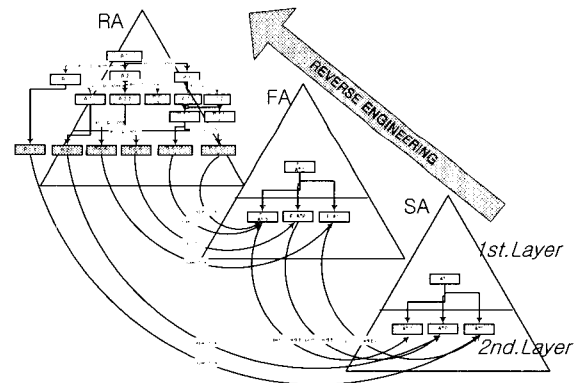


그림 6. 역공학을 통한 모델 개발 절차
Fig. 6. Model built from a reverse engineering process

2. 시스템 물리적 아키텍처 정의

역공학의 처음 출발점은 유도전송로 방식인 참조시스템의 물리적 아키텍처의 분석에서 출발한다. 유사한 운영개념을 가진 시스템의 물리적 상부구조는 유사하므로 IEEE[7]의 정의에 따라, 그 상부구조는 열차자동운행(Automatic Train Operation-ATO), 열차자동보호(Automatic Train Protection-ATP), 열차자동감시(Automatic Train Supervision-ATS) 시스템으로 구성하였으며, 그 하부 구조는 참조시스템의 물리적 아키텍처를 분석하여 전체 5 수준 44개의 컴포넌트까지 상세화하였다. 분석된 물리적 아키텍처의 3 수준까지를 그림 7에 나타내었다.

3. 참조시스템 기능 아키텍처 정의

참조시스템이 수행하는 기본기능은 다음과 같다.

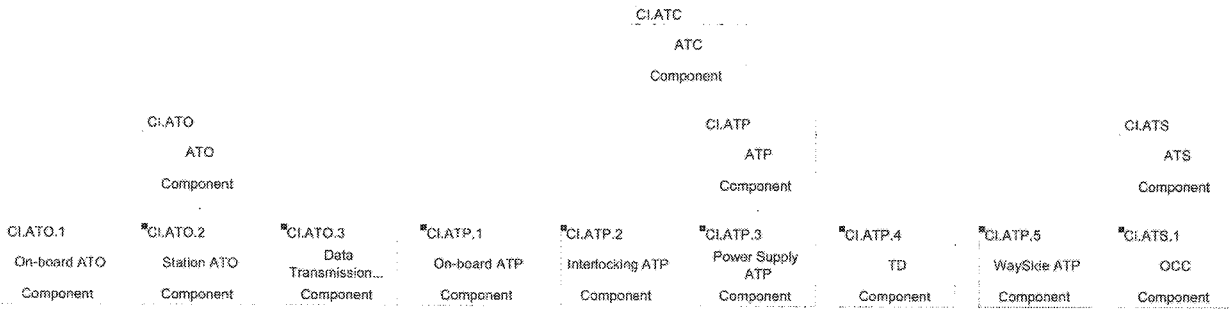


그림 7. 참조시스템 물리적 아키텍처 상부 구조.
Fig. 7. High level physical architecture of reference system.

- 1) 충돌에 대한 시스템 보호 기능,
- 2) 출발 지연 기능,
- 3) 출발 기능,
- 4) 출입문 작동 기능,
- 5) 정밀 정차 기능,
- 6) 역방향 주행 기능,
- 7) 속도 제어 기능 등

또한, 식별된 물리적 아키텍처의 2 수준에 있는 하부 시스템들은 독립적인 기능을 가지고 있다. 즉, ATO 시스템은 시스템 운영 기능, ATP 시스템은 시스템 보호 기능, ATS 시스템은 시스템 감시기능을 수행한다. 이들 하부 기능들이 독립적 또는 상호 작용하여 참조시스템의 기본기능을 모두 수행하게 된다. ATC 시스템 기능은, ATO 기능 79 개, ATP 기능 63 개, ATS 기능 54 개로 식별되었으며, 전체 기능 계층구조는 6 수준으로 구성되어 있다. 그림 8 은 ATC 기능 계층구조의 일부를 나타내는 것으로 3 수준까지는 전체 기능이 표현되어 있으며, 3 수준의 기능 중 ATO.2, ATP.3 기능에 대해 4 수준까지 표현되어 있다.

4. 거동 모델링 및 분석

기능 아키텍처를 올바르게 형성하기 위해서 모든 기능들은 시나리오를 기반으로 하는 기능분석을 수행하여야 한다. 시스템 수준의 기능을 달성하기 위한 시나리오는 참조시스템에서 식별된 2 수준의 부품을 사용하여 작성되어진다. 기술적으로 타당한 시나리오가 작성되면 이를 기반으로 거동 모델이 만들어 지고 그리고 기능 목적이 만족되어 졌다는 것을 검증하기 위하여 시간선 분석(Time Line Analysis)을 사용하여 해석을 수행하였다. 그 예로 신호시스템의 기본기능에서 1) 충돌에 대한 시스템 보호 기능의 거동모델을 그림 8 에 예시하였다. 이에 해당하는 시간선 분석의 화면을 그림 9 에 나타내었다.

이와 같은 방식으로 주요 기능을 달성하는 각 거동 모델의 기술적 타당성과 효과성이 검증되면, 각 거동모델은 하나의 통합거동모델로 합성된다. 거동모델이 통합될수록 선택노드(decision node)와 같은 각 거동모델에서는 없는 기능들이 추가되면서 모델성숙도가 증가한다. 통합되는 거동모델의 수는 고려한 시나리오의 수와 같으므로 통합되는 거동모델이 많을수록 통합모델은 점차 실제계의 시스템의 거동을 잘 묘사할 수 있게된다. 참조시스템은 앞절에 기술한 7 개의 주요기

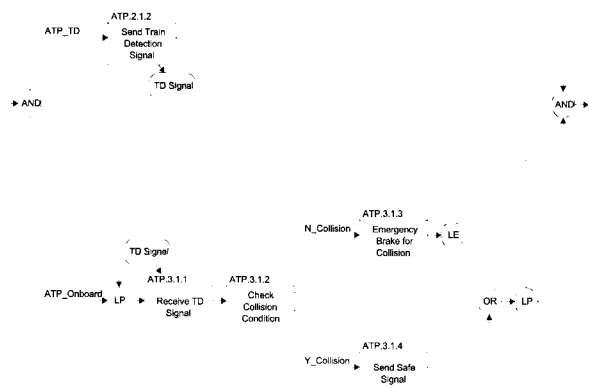


그림 8. 시스템 안전기능에 대한 FFBD.
Fig. 8. Enhanced FFBD of system protection function.

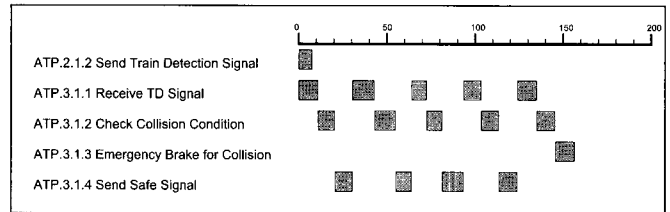


그림 9. 시스템 안전기능모델 시간선 분석.
Fig. 9. Timeline analysis of system protection function.

능에 대한 거동모델을 구축 및 통합하였다. 기능모델의 합성할 수 있게된다. 참조시스템은 앞절에 기술한 7 개의 주요기능에 대한 거동모델을 구축 및 통합하였다. 기능모델의 합성 과정에서 추가된 선택노드에 대한 요구사항 및 물리적 컴포넌트에 대한 식별 및 보완이 수행되었다. 모델 통합의 복잡성을 줄이고 통합된 모델에서 나타나는 오류를 줄이기 위해서, 각각의 시나리오는 가능한 간단히 구성되어야 한다. 이러한 방법으로 구축된 기능 아키텍처를 그림 10 에 나타내었으며, 그 2 수준의 기능들로 구성된 거동모델을 그림 11 에 보였다.

5. 요구사항 분석

Buede[8]는 최초 요구사항이 시스템 기술 요구사항으로 변환된 후 시스템 기술 요구사항이 하부 시스템 기술 요구사항으로 분해되는 모델을 제안하였다. 본 연구에서는 시스템 요구사항 아키텍처를 Buede[8]가 제시한 안을 따라 구성하였다.

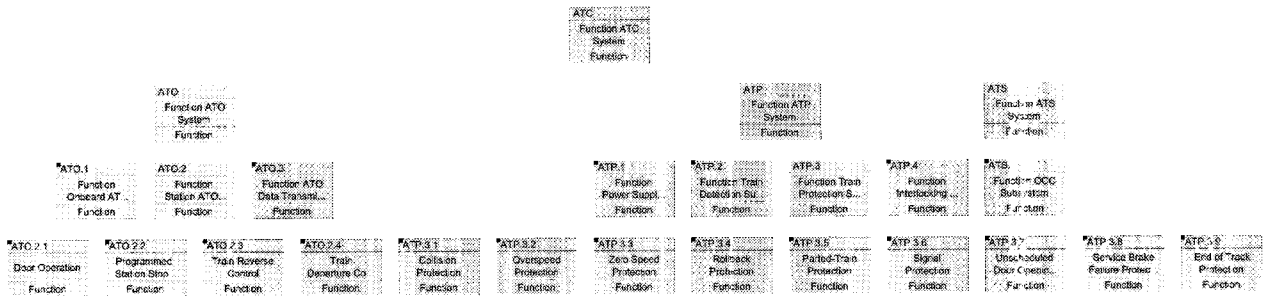


그림 10. 신호시스템의 기능 계층 구조
Fig. 10. Functional hierarchy of ATC system.

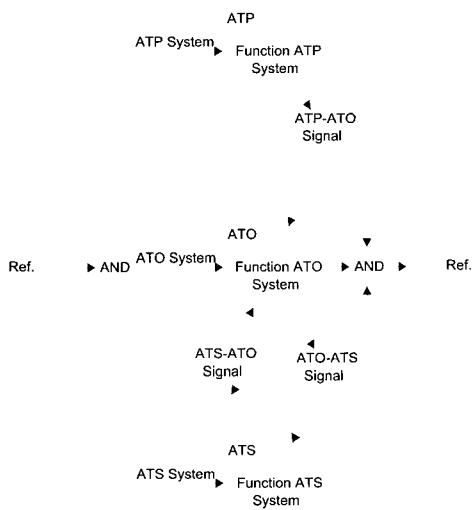


그림 11. ATC 시스템 상부기능 FFBD.
Fig. 11. Top layer integrated enhanced FFBD of ATC system.

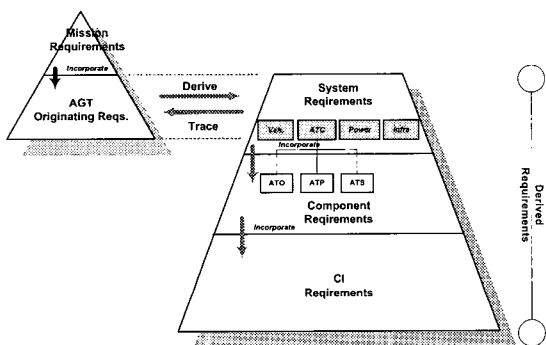


그림 12. 경량전철 시스템 요구사항 아키텍처 구조
Fig. 12. ATC system requirements among the AGT system requirement architecture.

Robertson 등[9]에 따르면, 시스템 요구사항은 크게 기능 요구사항과 비기능 요구사항으로 구분할 수 있다. 이 중 역공학에서는 기능 요구사항을 중심으로 복구하게 된다. 참조시스템의 기능모델 구축이 완료되면, 기능 요구사항의 복구가 완료된 것이다. 그 후 제약사항은 복구하여 식별된 물리적 아키텍처에 할당하는 과정을 수행하였다. 그림 12 는 열차자동제어시스템(ATC)의 상부 시스템인 경량전철(AGT) 시스템 수준

의 요구사항에서 열차자동제어시스템 요구사항이 유도되었음을 나타내며, 또한 열차자동제어시스템 요구사항들로부터 그 하부시스템 계층구조를 따라 규격 추적관계가 형성됨을 나타내었다.

6. 역-시스템엔지니어링 설계모델 추적성

그림 5에서는 시스템엔지니어링 설계 모델을 보였고 모델 요소들 간의 추적 관계를 표시하였다. 그림 6에서는 역공학을 통한 추적성을 확보되는 프로세스를 보였다. 이러한 프로세스에 따라, 식별된 열차자동제어시스템(ATC)의 하부시스템인 ATO, ATP, ATS 시스템에 기능을 연결하고 요구사항에서 기능 요구사항은 기능에 비기능 요구사항은 해당되는 컴포넌트에 곧바로 추적 관계를 형성하였다. 그림 13은 ATP 요구사항의 추적관계를 보여 준다. 이러한 작업은 시스템이 해야하는 일과 그 일을 하기위한 시스템 기능 및 해당하는 기능을 수행하는 시스템 부품을 이해하는데 도움을 준다.

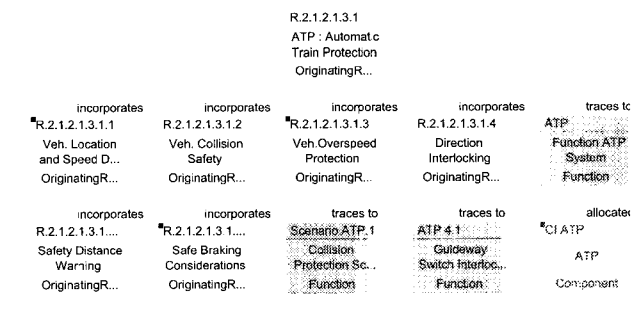


그림 13. 열차자동제어시스템 설계모델 추적관계.
Fig. 13. ATC system design model traceability.

V. 재-시스템엔지니어링 프로세스를 의한 열차자동제어시스템 설계모델 개발

참조시스템으로부터 시스템엔지니어링 프로세스를 역공학적으로 적용하여 유도전송로방식의 열차자동제어시스템 설계 모델을 구축하였다. 이러한 유도전송로 방식의 열차자동제어 시스템 설계모델로부터 시스템엔지니어링을 재공학적으로 적용하여 무선통신 열차자동제어시스템 설계 모델을 구축하였다. 이러한 재공학 프로세스 개념을 그림 14 에 나타내었다. 그림은 요구사항 아키텍처(RA), 기능아키텍처(FA), 물리적 시스템 아키텍처(SA) 순으로 재공학이 수행되는 과정에서 역공학에 의하여 개발된 시스템 설계 모델이 그대로 사용되고 있는 개념을 나타낸다.

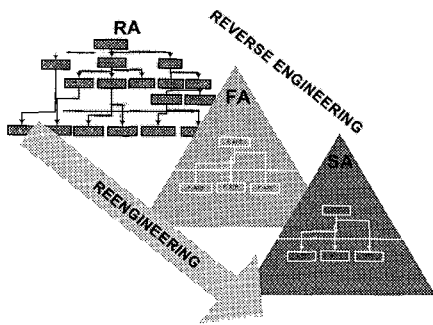


그림 14. 열차자동제어시스템 설계모델 개발 역공학 및 재공학 프로세스 모델.
Fig. 14. Reverse and reengineering Process of ATC system design model.

1. 요구사항 분석

재-시스템엔지니어링 프로세스는 고객에 의해 기술되는 사명 요구사항으로부터 출발한다. 열차자동제어시스템의 상위 시스템인 경량전철 시스템의 사명 요구사항은 다음과 같다. 1) 5,000~20,000 명/방향·시간의 수송력을 갖는 교통수단 개발 2) 기존 도시철도 표준화 사업의 기술 및 체계를 반영하여 경량전철 시스템 개발 3) 시험선로 구축을 통하여 시험, 검증 4) 시스템엔지니어링 기술의 정립과 그 효과를 입증 5) 기존 운영되는 시스템 보다 안전한 시스템 개발 6) 국내 환경에 적합한 시스템 개발. 이러한 사명 요구사항으로부터 경량전철 시스템 요구사항들을 수집 및 정리하였으며 그 분류 체계는 아래와 같이 6 중의 분류체계를 가지고 있다. 1) 환경 요구사항, 2) 기능 및 성능 요구사항, 3) 검증 요구사항, 4) 법규 및 표준, 5) 안전 요구사항, 6) 기술요구사항. 이와 같이 수집 및 정리된 경량전철 시스템 요구사항으로부터 열차자동제어시스템 요구사항을 유도하였다. 유도된 ATC 시스템 요구사항은 AGT 시스템 요구사항의 분류체계를 상속하여 정리되었다. 이 유도 과정에서 역공학을 통해 복구된 열차자동제어시스템 요구사항이 상위 요구사항과 부합되도록 수정하였다. 역공학을 통하여 복구된 요구사항들은 참조시스템의 개발환경 및 제약사항을 파악하기 어렵기 때문에 주로 기능 요구사항들로 이루어진다. 따라서 재공학 과정에서는 현 시스템 개발 사업에서 요구하는 제약사항으로 비기능 요구사항들을 채우게 되며, 기능 요구사항들은 변경부분만을 반영하여 전체 요구사항 아키텍처를 개발하게 된다. 재공학의 요구사항분석 과정을 요약하면, 입력되는 참조시스템 요구사항 아키텍처에 고객으로부터 기술된 요구사항을 반영, 수정함으로써 목표 시스템의 요구사항 아키텍처를 구성하는 것이다. 목표 시스템인 무선통신 열차자동제어시스템의 요구사항 아키텍처는 상부시스템인 경량전철 시스템의 요구사항으로부터 상속받은 요구사항과 참조시스템의 요구사항에서 무선통신관련 기능 요구사항을 반영 및 통합하여 구성하였다.

2. 기능분석

재공학의 기능분석은 순공학의 기능분석과 차이가 없으며, 다음과 같은 순서로 수행하였다.

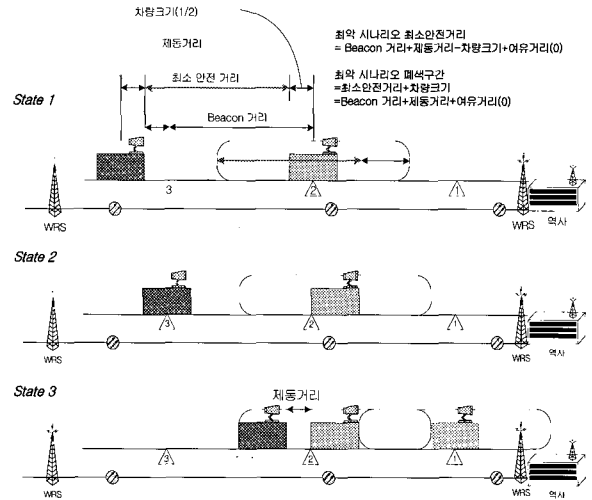


그림 15. 무선통신 열차자동제어시스템 운영 개념도.
Fig. 15. Operational concept of wireless communication based ATC system.

- 1) 참조시스템과 기능 요구사항 차이점 식별
- 2) 상이 기능 요구사항에 대한 운영개념 개발
- 3) 운영시나리오 작성
- 4) 기능모델 구축
- 5) 기능모델 시간선 분석 및 검증
- 6) 참조시스템과 상이한 기능항목 식별

요구사항 모델에서 핵심적인 차이점은 통신 방법에 대한 기능 요구사항이다. 또한 사명요구사항 6) 국내 환경에 적합한 시스템은 기존의 CBTC 시스템과 차별되는 무선통신 요구사항을 만족시킬 새로운 통신 개념 대안을 개발하였다. 그림 15는 대안으로 개발된 무선통신 신호시스템 운영개념을 나타낸다. 이 운영개념은 무선통신기술의 적용, 무인운전, 그리고 이동폐색 방식의 열차운영개념을 구현하기 위하여 개발되었다. 열차를 안전하게 운행하기 위하여서는 열차의 절대위치 검지가 중요하다. 제안된 운영개념은 안전을 위한 중복설계(redundancy) 개념을 반영하여, 유도방식의 선로변 열차위치검지장치를 포함하도록 하였다.

그림 15에 표기된 최소안전거리는 최악상황에서의 안전거리를 나타내는 것으로, 선행열차가 운행고장, 차상의 위치정보 관련장치의 고장, 그리고 전자파 장애에 의한 열차와 지상간의 무선통신두절의 경우 즉, 운행 중 시스템에서 선행열차가 소멸된 경우, 후행열차가 선행열차와 충돌하지 않기 위한 거리를 나타낸다. 이러한 운영개념은 다시 시나리오화 절차를 거쳐 거동모델로 개발된다. 개발된 거동모델은 시간선 분석을 통하여 모델의 논리적 오류를 검증하였다. 검증된 기능모델과 역공학을 통하여 개발된 기능모델과의 차이점을 식별하여 참조시스템 기능모델에서 중복되는 기능을 삭제하고 무선통신 신호시스템의 기능모델에서만 존재하는 기능들이 추가되었다. 표 2는 참조시스템과 무선신호시스템의 주요 기능이 수행되는 방식의 차이를 나타내었다.

이와 같이 재공학에 의하여 형성된 기능모델이 주요 안전요구사항을 만족하는지 검토하였다. 그림 16은 새로운 안전 시나리오를 수행하는 거동모델을 나타내었다.

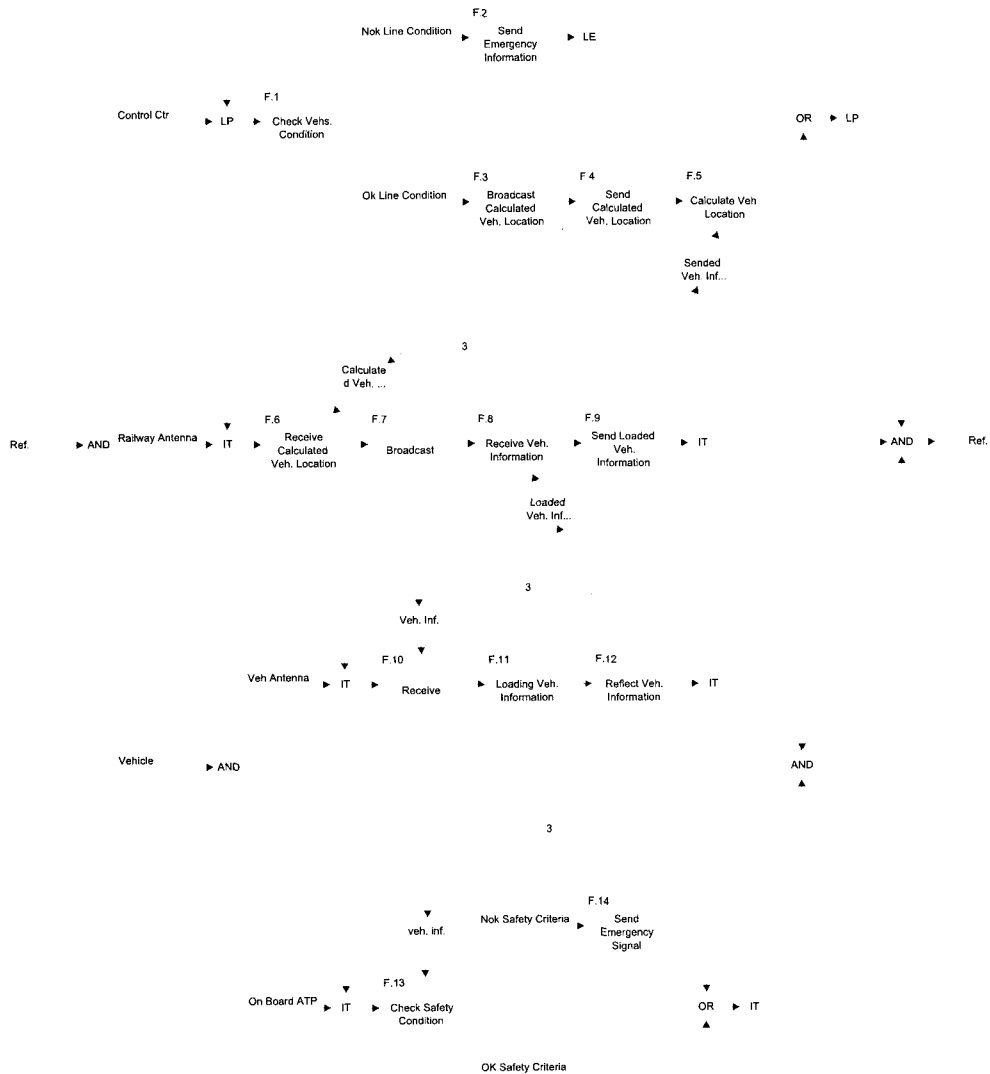


그림 16. 시스템 안전 시나리오의 거동 모델
Fig. 16. Behavior diagram of the system safety scenario

표 2. 참조시스템 및 무선신호시스템의 기능수행 차이
Table 2. Functional differences between wireless communication based ATC system and reference

기능 항목	참조시스템	무선신호시스템
열차위치감지	Rail 루프 형성에 의한 정보전송	WRS, VRS, SRS 를 통한 전파 감지
속도 제한	ATP 속도 제한 프로파일에 의한 운행	역 컴퓨터에 의한 실시간 통제
충돌 방지	TD 루프에 의한 충돌방지	역 컴퓨터에 의한 차량 간 거리 유지

3. 조합

물리적 아키텍처에서는 새로운 기능을 수행할 무선 컴포넌트들이 추가되었으며. 기능이 삭제된 컴포넌트들은 제거되었다. 열차자동제어시스템이 유도전송로 방식에서 무선통신 방

식으로 구현 기술이 달라짐에 따라 물리적 아키텍처의 주 물리적 아키텍처에서는 새로운 기능을 수행할 무선 컴포넌트들이 추가되었으며. 기능이 삭제된 컴포넌트들은 제거되었다. 열차자동제어시스템이 유도전송로 방식에서 무선통신 방식으로 구현 기술이 달라짐에 따라 물리적 아키텍처의 주 차이점은 유도전송로 방식에 있는 3종의 Loop 를 없애고 대신에 무선통신 방식에는 안테나 3 세트와 한 대의 신호처리 컴퓨터가 추가로 필요하였다. 이러한 차이를 표 3에 나타내었다. 이와 같은 역공학 및 재공학을 통하여 안전성이 확보된 무선 열차 자동제어시스템 아키텍처 모델을 개발하였다. 그 모델은 요구 사항, 기능, 물리적 시스템 아키텍처로 이루어져 있으며 그들 간의 추적성을 확보하였다.

VI. 결론

본 연구는 시스템 개념설계 단계에 시스템엔지니어링 설

표 3. 열차자동제어시스템 신호전송 기술에 따른 물리적 아키텍처 차이점

Table 3. Physical differences of ATC system according to communication technology

참조시스템 삭제 항목	Rail Loop ATP Loop Train Detection Loop
무선신호시스템 추가 항목	SRS (Station Radio Sets) WRS (Wayside Radio Sets) VRS (Vehicle Radio Sets) Signal Processor Computer

계 모델을 구축하는 방법으로써, 역공학에 의하여 참조시스템의 시스템엔지니어링 설계 모델을 구축하고 이를 바탕으로 재공학에 의하여 목표시스템의 설계 모델을 리모델링하는, 역공학 및 재공학 시스템엔지니어링 프로세스를 보였다. 또한 이러한 역공학 및 재공학 과정을 통하여 참조시스템과 목표시스템의 요구사항 아키텍처, 기능 아키텍처, 그리고 물리적 아키텍처의 차이점을 식별하고 이를 해결하는 대안을 제시함으로써 기술위험을 감소시키는 사례를 보였다. 본 연구의 성과는 개념설계단계에 기술위험을 조기에 식별 및 해결하는 방법으로써, 역공학과 재공학 시스템엔지니어링 프로세스를 제시하였으며, 이를 통하여 무선통신을 기반으로 한 무인운전 열차 열차자동제어시스템의 시스템엔지니어링 설계 모델을 구축하는 사례를 보였다. 특히, 이과정에서 CASysE 도구를 사용한 모델기반 시스템엔지니어링의 응용영역을 넓히는 데 기여하였다. 이와 같이 구축된 제품 설계 모델은 향후 유사 시스템 개발 및 시스템 개선에 기초가 되며, 재사용성을 기대할 수 있다. 또한 CASysE 도구를 사용한 새로운 역공학과 재공학의 접근법은 기술 위험이 높은 제품을 개발하는 유용한 방법으로 사용할 수 있다는 것을 확인하였다.

향후 수행해야할 연구 내용은, 본 연구에서 구축된 시스템엔지니어링 설계 모델과 시스템 개발 사업 관리를 위한 시스템엔지니어링 관리 계획(SEMP-Systems Engineering Management Plan) 모델의 개발 및 통합 그리고 시스템 검증을 위한 시험/평가 계획(TEMP-Test & Evaluation Master Plan) 모델의 개발 및 통합을 수행하여 전체 시스템엔지니어링 통합 모델을 개발할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), *Software Engineering Glossary, IEEE Software Engineering Standards*, New York: IEEE Press, 1991.
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), *IEEE Standard for Software Maintenance (IEEE P1219/D14)*, New York: IEEE Standards Dept., 1992.
- [3] A. Sage and W. Rouse, *Handbook of Systems Engineering and Management*, John Wiley & Sons, INC., US, 1998.
- [4] Electronic Industries Alliance (EIA), *Process for Engineering a System (EIA632)*, EIA Press, Arlington, 1998.
- [5] J. Martin, *Systems Engineering Guidebook-A Process for Developing Systems and Products*, CRC Press, Boca Raton, 1997.
- [6] J. Y. Park, Y. W. Park et. al., "Application of Computer-Aided Systems Engineering to Develop Automated Guided Transit(AGT) System Architecture", INCOSE 2001.
- [7] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), IEEE P1474.1/D8.0, *Draft Standard for Communications-Based Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements*, New York: IEEE Press, 1999.
- [8] D. Buede, *The Engineering Design of Systems*, John Wiley & Sons, INC.US, 2000.
- [9] S. Robertson and J. Robertson, *Mastering the Requirements Process*, ACM Press, New York, 1999.



이 중 윤

1965년 10월 23일생. 1991년 한양대 무기재료 공학과 (공학사). 1993년 한양대 무기재료 공학과 (공학석사). 1993년-2000년 대우자동차. 2000년-2002년 아주대 시스템공학과 (박사 수료). 2002년~현재 에스이테크놀로지주 관심분야는 시스템 엔지니어링 설계, 관리, 검증 프로세스 등. 산업별 분야는 국방시스템, 정보시스템, 수송시스템 등.

어링 설계, 관리, 검증 프로세스 등. 산업별 분야는 국방시스템, 정보시스템, 수송시스템 등.



박 영 원

1945년 11월 13일생. 1968년 한양대전자 공학과(공학사). 1973년 Oklahoma State Univ. (공학석사). 1976년 Oklahoma State Univ. (공학박사). 1976 ~ 1996 Mc Donnell Douglas Aero space. 1996년 ~ 현재 아주대 시스템공학과 교수. 관심 분야는 시스템 엔지니어링, 시스템 설계, 추정 이론.