

차세대 고속전철시스템 개발을 위한 시스템 엔지니어링 체계 구축[†]

Development and Application of Computer Aided Systems Engineering Processes for Next Generation High Speed Railway Train

유 일 상*

Yoo, Il Sang

박 영 원**

Park, Young Won

Abstract

A Korea next-generation high-speed rail system represents a typical example of large-scale multi-disciplinary systems, consisting of subsystems such as train, electrical hardware, electronics, control, information, communication, civil technology etc. The system design and acquisition data of the large-scale system must be the subject under strict configuration control and management. The system therefore, must be developed using systems engineering that is a efficient and effective methodology to design such a complex system and manage its development. This paper presents the results from a computer-aided systems engineering application to the Korea next generation high-speed railway project. Especially, the focus of the study was on requirement management and PBS management.

1. 서론

최근에 국내에서 고속전철 시스템에 대한 사회적인 관심과 요구가 증가하고 있다. 고속전철시스템은 차량, 기계부품, 전기, 전자, 제어, 정보통신, 토목기술 등이 종합적으로 적용되는 학제 복합형 대형 시스템의 하나로서, 시스템의 개발이 체계적으로 관리되어야만 하는 전형적인 예라고 할 수 있다. 현재 진행 중인 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 기술개발사업은 시스템 규모가 크고 복잡하며 여러 전문분야가 참여하여 개발, 운용, 정비지원 등의 인프라를 개발하는 국가적인 대형 시스템 개발 프로젝트이다. 따라서 본 사업에 관련된 모든 이해관계자들이 개발하고자 하는 시스템의 임무와

† 본 논문은 건설교통부, 과학기술부 및 산업자원부에서 시행한 G7 차세대 고속전철 기술개발 사업(2단계 1차년도)의 지원으로 연구수행한 결과임.

* 아주대학교 시스템공학과 박사과정

** 아주대학교 시스템공학과 정교수

수명주기 전체에 걸쳐 수행할 기능과 성능 요구사항들에 관해서 정확하게 이해하고 이를 공유하는 것이 사업성공의 필수적 요소라 할 수 있다. 특히, 요구사항은 하위 계약자와의 계약조건에 반영될 뿐만 아니라 과제의 수행근거가 되며 시스템의 통합 검증의 근거로서 모든 개발단계의 기본시방을 도출하는 근거가 된다.

산업혁명 이후 기하급수적인 기술 발전으로 인해 최근에 와서는 기술적으로 복잡한 시스템이 사회적으로 요구되고 있다. 연구개발조직은 기술적 복잡성과 더불어 규모 측면 때문에 몇 가지 학문 분야만으로는 이러한 시스템을 개발할 수 없게 되었고 동시에 다양한 고객의 요구, 시스템 수명의 단축 등의 시스템 개발환경 변화에 직면하고 있다. 1950년대 말부터 고객의 요구를 반영한 대형 복합 시스템을 개발하기 위해 대두된 시스템 엔지니어링(이하; SE)은 최근 들어 점점 복잡해지는 모든 시스템을 개발하는 데 필요한 설계 및 관리의 방법론이 되었다. 본 논문은 차세대 고속전철 시스템 개발을 위해 SE를 적용한 결과를 제시한다. 특히, 차세대 고속전철시스템의 기술개발사업에 대한 상위수준의 요구사항 관리체계와 개발과정을 위한 관리체계를 수립하고 이를 토대로 CASE(Computer-Aided Systems Engineering) s/w인 RDD-100을 사용하여 요구사항, 시스템 아키텍처(System Architecture; 이하 SA)와 PBS의 정보를 DB화한 결과에 대한 것이다[2].

2. 시스템 엔지니어링에 관한 고찰

SE의 정의에 대해서 개인이나 조직의 배경이나 경험에 따라 다르므로 일반적으로 인정된 정의는 없다[4]. 그러나 국제시스템엔지니어링회(INCOSE)에서는 SE란 시스템의 성공적인 구현을 위한 다학제간의 접근법이자 방법으로 정의한다. 다시 말하면 SE는 시스템에 관련된 복잡한 문제들을 해결하기 위해 관련된 모든 이해당사자의 요구사항을 만족시키기 위한 다분야간의 종합적 접근법이다. 특히, SE은 고객의 수요와 요구되는 기능을 개발 초기에 정의하고 문서화한 후, 운영, 성능, 시험, 생산, 비용과 일정, 훈련과 지원, 폐기를 고려한 시스템 합성(Synthesis)과 유효성 검증을 수행하는 것에 초점을 두고 있다[6].

SE는 설계 시 발생하는 추가비용, 개발기간 지연, 재작업 등의 문제들을 해결하여 비용 절감과 일정 단축으로 효율성, 제품 품질과 무결성을 증대시켜준다. 연구에 의하면 SE적 접근을 통하여 재래식 접근방식보다 연구개발 기간을 60%, 설계변경 건수를 50%, 제조비용을 40%만큼 절감할 수가 있는 것으로 나타났다[7].

SE는 미국의 경우, 군수사업과 항공분야와 더불어 수송시스템, 통신시스템, 에너지시스템, 정보기술시스템 등의 상용시스템 개발에 적용되고 있으나 국내의 경우, 군수사업과 고속/경전철사업[1,2] 등의 정부 프로젝트와 항공분야에서 제한적으로 사용되고 있다.

3. 고속전철 시스템 엔지니어링의 체계 모델

가장 일반적으로 제시되는 SE 프로세스 모델은 그림 1과 같은 V모델이다. 이 모델은 엔지니어들이 수행하는 활동을 강조하고 있으며 이 활동을 설계와 통합 프로세스로

표현한다[5]. G7 고속전철 기술개발사업에서 SE업무는 철도기술연구원에서 수행하고 있다. 철도기술연구원에서 시스템 수준의 시방을 개발하면 생산기술연구원, 전기연구소, 철도차량업체 등에서 하위 수준의 시방을 결정하고 개발한다. 조립된 시스템은 철도기술연구원에서 시험평가를 수행하는 체계로 되어 있다. 따라서 V모델에서 수평선이 그림 1에서와 같이 그어지고 철도기술연구원은 상위 수준에서 설계와 통합 활동을 수행한다.

SE 프로세스를 차세대 고속전철 시스템의 개발에 적용하기 위해 구체적인 체계를 수립할 필요가 있다. 이러한 체계를 개발하는 것은 단기간에 구축 완료할 수 없고 단계적인 적용이 필요하다. 본 연구는 3년에 걸쳐 V모델의 왼쪽 축인 설계 프로세스를 지원하는 요구사항관리 하위체계, PBS관리 하위체계와 과제관리 하위체계를 수립하여 DB화하였고 현재 2002년에 수행될 V모델의 오른쪽 축인 통합 프로세스를 지원하는 시험검증 체계를 수립하고 DB화하고 있다. 이들 각 하위체계간에 상호 추적관계를 설정하였다. 그림 2는 본 연구에서 수립한 고속전철 SE를 지원하는 체계 모델이다.

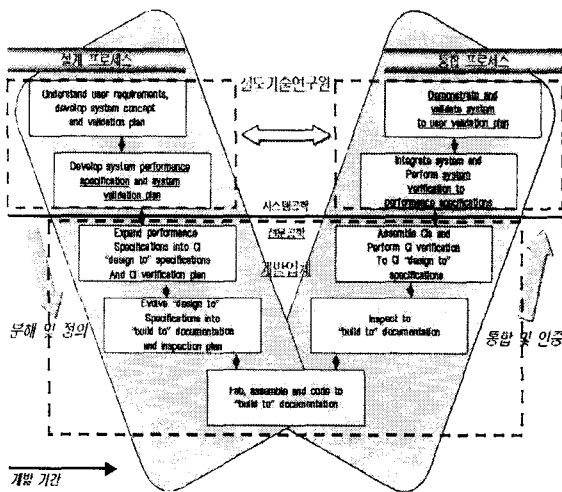


그림 1. 고속전철 SE 프로세스

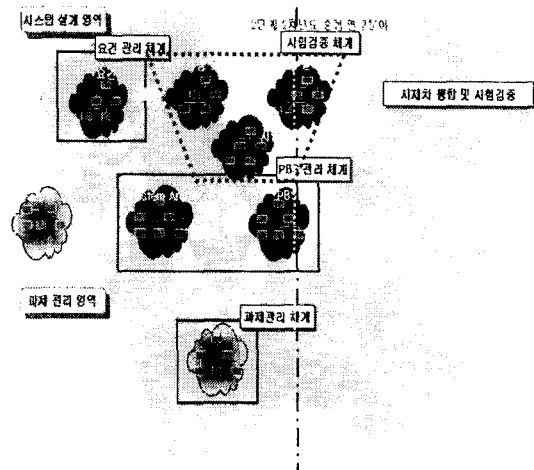


그림 2. 고속전철 SE 체계 모델

4. 요구사항 관리체계

차세대 고속전철시스템은 TGV 기술을 근간으로 하여 시스템 개발 기본시방이 이미 결정되어 있다. 따라서 본 연구대상인 요구사항관리는 SE 프로세스의 처음부터 따르는 것은 아니라 리버스 엔지니어링 관점에서 접근하였다. 즉, 시스템 수준의 분석을 통하여 이루어진 기본시방으로부터 시스템 상위수준의 요구사항을 도출하고, RDD를 이용하여 DB화함으로써 시스템 상위 수준의 요구사항관리를 손쉽게 할 수 있도록 하는 것이다. 본 연구의 범위는 시스템 개발을 위한 기술개발과제에 있어서 시스템수준의 요구사항에 대한 추적관리로 한다. 본 요구사항관리의 목적은 기술개발 체계상의 각 하위·시스템 개발과제별로 달성해야 하는 기술개발목표에 대하여 할당된 시스템 요구사항을 추적관리하고 개발완료 시 할당된 요구사항의 만족여부를 관리할 수 있는 체계를

구축하는 것이다. 더불어 여러 과제에 걸친 시스템 상위수준 요구사항의 관계를 정립하여 요구사항변경을 빠짐없이 반영할 수 있도록 하는 것이다.

4.1 요구사항 관리 절차

- ① 요구사항 입력: 문서로 작성되어 있는 한국형 고속전철 시방서들을 RDD의 DB에 입력하는 과정이다. 특히, RDD는 그림이나 표 형태의 요구사항을 입력하지 못하므로 그 내용을 설명하는 문장으로 변환하여 입력하였다.
- ② 요구사항 분해: 상위 요구사항을 계층적으로 분해하여 정확하고, 완전하며, 검증가능한 단일 의미의 문장인 최하위 요구사항을 도출하는 과정이다.
- ③ 요구사항분석 및 핵심쟁점사항(Critical Issues) 파악: 요구사항을 분해하는 과정에서 발견되는 중요 문제들을 확인하고 기록하며 해결하는 과정이다.

4.2 고속전철 시스템 요구사항 관리체계 적용

본 연구에서는 한국형 고속전철시스템 기본시방서를 토대로 시스템요구사항을 개발하여 DB에 입력 완료하였고 또한 한국형 고속전철 시제차의 개발을 위한 열차의 요구 성능 및 기능을 규정하는 시제차 기본시방서와 한국형 고속전철 차량시스템의 열차편성 및 기본설계 기준을 정의한 구체설계 기본시방서를 토대로 시제차요구사항과 설계요구사항을 DB화하였다. RDD에서 각각의 요구사항은 **Requirement** 개체를 이용하여 입력하였고 이들 요구사항들간에 의미상으로 수직관계일 경우 **incorporates** 관계로 설정하고 수평관계일 경우 **corresponds with(agree with)**를 설정함으로써 변경관리를 효율적으로 지원하도록 하였다. 또한 이 요구사항 모델과 시스템 컴포넌트 모델간의 추적관계를 설정하여 DB화하였다. 요구사항을 분해하고 분석하는 과정에서 불충분하거나 모호한 요구사항과 용어의 정의한 필요한 요구사항 등에 대해 핵심쟁점사항을 생성하여 요구사항에 대한 검토의 필요성을 철도기술연구원에 제기하였다.

표 1. 요구사항관리 체계 구축 결과

	최하위 요구사항수	핵심쟁점사항 수
시스템 요구사항(SR)	223개	40개
설계 요구사항(DR)	437개	1) 재검토가 필요한 요구사항: 4개 2) 불충분하거나 모호한 요구사항: 5개
시제차 요구사항(PR)	833개	1) 불충분하거나 모호한 요구사항: 15개 2) 용어 정의가 필요한 요구사항: 4개

5. PBS 관리체계 적용

SA는 시스템 구성요소와 인터페이스에 대하여 정의한, 기본적이고 단일화된 시스템 구조로서 시스템 개념설계의 산출물이고, PBS는 개발된 SA를 물리적으로 구현하기 위한 구성요소들을 계층구조 형태로 나타낸 것이다. SE 과정에서 의미하는 SA는 요구사항에서 확인되는 모든 기능을 잘 수행하기 위한 자원들의 의미있는 조합이다. 이렇게

SA와 PBS를 구분하는 이유는 하나의 SA를 달성할 수 있는 PBS 대안은 여러 가지가 있을 수 있으며 이들 대안 중에서 비용, 성능, 개발일정 등을 고려한 절충연구(Trade-Off Study)를 통해 가장 비용 효과적인 물리적 실체인 PBS를 개발하기 위함이다. 따라서 본 연구는 PBS 관리체계를 SA와 PBS로 나누어 관리하는 방안을 제시하고 이를 토대로 DB화하였다.

5.2 시스템 아키텍처 체계 적용

본 연구는 프랑스의 TGV 기술을 토대로 리버스 엔지니어링 관점에서 접근하였고 SA를 구현하기 위해 RDD의 컴포넌트 모델링 방법론을 이용하였다. 컴포넌트 모델은 크게 시스템을 구성하는 **Component**의 계층구조와, **Component**들간에 정보를 주고 받는 **Interface**로 이루어져 있다. 하나의 **Component**는 하나이상의 기능이나 비기능 요구사항으로부터 **allocate**와 **specified by**의 추적관계를 설정한다.

고속전철시스템 기본시방서의 시스템요구사항을 토대로 시스템의 상부구조를 정의하고 이에 따라 하부구조를 설정하였다. 시스템의 상부구조는 크게 10개의 서브시스템으로 구성되며 이 서브시스템은 각각 하부 컴포넌트들로 이루어진다. 번호체계는 번호의 가장 처음 부분을 "C"로 하고 이하 부분은 일반적인 번호 체계를 따른다. 전체 SA는 4수준의 계층구조로 이루어지면 모두 82개의 컴포넌트로 구성되었다.

5.3 PBS 체계 적용

본 연구에서는 고속전철시스템에 대한 상당부분의 설계가 완료되어 있는 상태로써 각 참여기업이 작성한 동력객차 개발 및 객차개발 1단계보고서(1999년 11월)를 근간으로 독자적인 PBS 개발을 시도하였다. 그러나 생산기술연구원에서 작성된 PBS의 구성, 번호체계, 구성품의 명칭 등과 상이함으로써 향후 예견되는 비효율적인 관리상의 문제점을 고려하여 현재 고속전철시스템 개발의 기준이 되고 있는 생산기술연구원의 PBS를 따르기로 하였으며 이를 RDD에 DB화하였다. 각 구성품들을 RDD 상의 **RWObjectType** 개체를 이용하여 입력하였고 총 1000여 개의 구성품들로 구성되었다. 각 구성품들의 상하관계는 **consists of(is part of)** 관계로 설정하였다.

6. 요구사항 관리체계와 PBS 관리체계의 추적성

요구사항 관리체계와 PBS 관리체계간의 추적성을 그림 3과 같이 설정하였다. 본 연구의 범위는 시스템 수준, 즉, 시스템요구사항과 SA간의 추적성 설정으로 한정하였다. 요구사항 계층구조의 제5수준에 해당되는 시스템요구사항 중 최하위 수준요구사항을 대상으로 하였으며 요구사항의 한 수준에서 추적되는 SA가 모두 동일한 수준이 아니므로 제3수준으로 정하였다. 이 경우 동일 수준에서 SA와 연결이 되지 않는 문제점이 일부 발생하였으며, 이를 해결하기 위해서는 향후 요구사항의 수준조정 등의 반복 과정을 수행하여야 한다. SA와 PBS 간의 추적성 설정의 경우에도, 요구사항, SA와 PBS사이에서의 관계에서 추적성은 확보되었으나, 그 수준이 상이한 부분이 있으며 이러한 부분 또한 향후 반복적인 검토 과정을 거쳐 동일한 구조로 일치시켜야 한다.

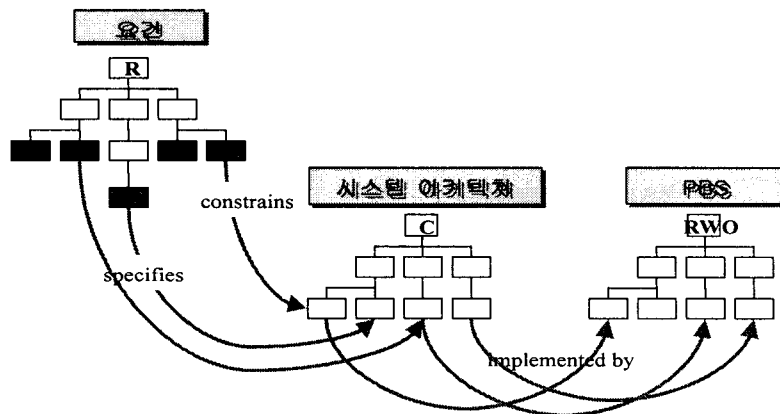


그림 3. 요구사항-SA-PBS의 추적관계

7. 결론

본 논문은 차세대 고속전철시스템 개발 기술의 축적을 위해 SE 체계를 수립하고, CASE s/w인 RDD-100을 사용하여 DB화하였다. 특히, 고속전철시스템 기본/설계/시제차 시방에 근거하여 구체적인 시스템/설계/시제차 요구사항을 입력 및 관리하는 요구사항 관리체계를 구축하였고 생산기술원에서 작성한 PBS를 토대로 SA와 PBS로 구성되는 PBS 관리체계를 구축하였다. 향후 시스템의 통합 시 시험검증을 위한 기본 DB로서 활용될 예정이며, 궁극적으로는 고속전철 시스템의 수명주기에 걸쳐 시스템 개발활동의 관리와 엔지니어링에 활용될 것으로 기대된다. 그러나, 현재까지 구축한 DB를 재 활용하기 위해서는 지속적인 보완 검토와 개선이 필요하다.

참고문헌

- [1] 고등기술원; “전산보조 시스템 설계 및 개발기술 I, II”, 과학기술부 보고서, 1998, 1999.
- [2] 유일상외 2인; “차세대 고속전철 시스템엔지니어링 체계 구축 I, II”, 한국철도기술연구원 보고서, 1999, 2000.
- [3] Ascent Logic co., Introduction to RDD-100 Student Workbook, 1996.
- [4] Blanchard, B. S. and Fabrycky, W. J., “Systems Engineering and Analysis”, 3rd Edition, Chapter 1, 2, 3, 4, Prentice Hall, 1997.
- [5] Dennis M. Beude; The Engineering Design of Systems, John Wiley & Sons, Inc., pp.10-11, 2000.
- [6] INCOSE Website, <http://www.incose.org/whatis.html>
- [7] Yoo, Ilsang, Kim, J. and Park, W.; “A Development Guide of Robust System Architecture”, Proceedings of INCOSE 10th Annual Symposium, Minneapolis, Minnesota, U.S.A., pp.437-442, July 16-20, 2000.