

차세대 고속전철시스템 개발을 위한
시스템 엔지니어링 체계 구축[†]
-요구사항 관리체계와 PBS 관리체계를 중심으로-

유일상 · 박영원

아주대학교 시스템공학과

Development and Application of Computer Aided
Systems Engineering Processes for Next Generation
High Speed Railway Train
-Focus on Requirement Management Structure
and PBS Management Structure-

Il Sang Yoo · Young Won Park

Department of Systems Engineering, Ajou University

A 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. Not only the requirements of the large-scale system dictate the contracts with the suppliers but also become the basis for the development process, project execution, system integration, and testing. The requirements database provide the system design specification of all development activities. Using the RDD-100, a systems engineering tool, the Korea next-generation high-speed rail program can establish requirements traceability and development process management in performing the enabling train technology development projects. 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(Product Breakdown Structure) management.

Keywords: 고속전철 시스템, 시스템공학, 전산지원시스템공학

† 본 연구는 G7 차세대 고속전철 기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

1. 서론

산업혁명 이후 기하급수적인 기술 발전으로 인해 최근에 와서는 기술적으로 복잡한 시스템이 사회적으로 요구되고 있다. 예를 들어 우주왕복선의 경우 수십만 개의 부품이 사용될 만큼 복잡하다. 또한 반도체 칩의 경우 작지만 요소간 상호 연결이 수십만 정도로 복잡하다. 기술적 복잡성과 더불어 규모 측면 때문에 몇 가지 학문 분야만으로는 이러한 시스템을 개발할 수 없게 되었다. 동시에 다양한 고객의 요구, 시스템 수명의 단축 등의 시스템 개발 환경 변화에 직면하고 있다. 1950년대 말부터 고객의 요구를 반영한 대형 복합 시스템을 개발하기 위해 대두된 시스템공학은 최근 들어 점점 복잡해지는 모든 시스템을 개발하는 데 필요한 설계 및 관리의 방법론이 되었다. 시스템공학은 이해관계자의 요구사항(Requirements)을 전 수명주기를 통해 분석하고 관리하여 최적화된 해결책을 찾는 포괄적이고 반복적인 문제해결 과정이다. 연구에 의하면 시스템공학적 접근을 통하여 재래식 접근방식보다 연구개발 기간을 60%, 설계변경 건수를 50%, 제조비용을 40%만큼 절감할 수가 있는 것으로 나타났다[4, 14].

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 시스템엔지니어링 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 수명주기 전체에 걸쳐 수행할 기능과 성능 요구사항들에 대해서 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. 특히, 이해관계자의 요구사항을 반영한 시스템 아키텍처를 구성하고 이를 개발 및 생산 단계로 이어주는 PBS는 반드시 개발되어야 한다.

본 논문은 차세대 고속전철시스템의 기술개발사업에 대한 상위수준의 요구사항 관리체계와 개발과정을 위한 관리체계를 수립하고 이를 토대로 CASE(Computer-Aided Systems Engineering) 도구인 RDD-100(이하 RDD; Requirements Driven Development)을 사용하여 요구사항, 시스템 아키텍처와 PBS(Product Breakdown Structure)

의 정보를 데이터베이스화한 연구를 수행한 결과에 대한 것이다[2, 3, 6]. 이를 통해 차세대 고속전철시스템 개발 기술의 축적을 위한 시스템엔지니어링 관리 체계를 수립하고, 시스템엔지니어링 도구를 사용하여 시스템 개발 지식 데이터베이스 구축 및 이를 효과적이고 효율적으로 시스템 개발활동의 관리와 엔지니어링에 응용하는 것이 본 연구의 근본적인 목표이다.

2. 시스템공학에 관한 고찰

2.1 시스템공학의 개요

시스템공학의 정의에 대해서 개인이나 조직의 배경이나 경험에 따라 다르므로 일반적으로 인정된 정의는 없다[9]. 그러나 국제시스템공학회(INCOSE)에서는 시스템공학이란 시스템의 성공적인 구현을 위한 다학제간의 접근법이자 방법으로 정의한다. 다시 말하면 시스템공학은 시스템에 관련된 복잡한 문제들을 해결하기 위해 관련된 모든 이해당사자의 요구사항을 만족시키기 위한 다분야간의 종합적 접근법이다. 특히, 시스템공학은 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[12].

시스템공학 프로세스도 시스템공학의 정의와 마찬가지로 공인된 것은 없으나 공통적으로 요구사항분석, 기능분석, 시스템합성, 시스템분석과 통제의 네 가지 하부과정으로 구성된다[11]. 요구사항분석과 기능분석에 의해 문제영역을 정의하고 합성을 통해 해결영역을 정의한다. 기능분석에서 새로운 기능이 도출되면 요구사항루프를 통해 파생 요구사항을 생성하고 합성에서 요구사항으로의 제한된 해법이 검증루프를 통해서 해결영역에 문제영역에 정확히 대응하는 가를 확인한다[1].

2.2 시스템공학의 필요성

최근 대부분의 선진국 교역물들은 복잡한 프로세스를 거쳐 생산되는 부가가치 높은 복잡한 시스템들로서 시장에서 가격, 일정, 품질의 치열한 경쟁을 하고 있다. 세계적인 품질 경쟁력이 있는 제품을 개발하기 위해 실용적인 프로세스, 방법론, 그리고 도구에 대한 인식이 중요하다. 최근 시스템들은 복잡성, 대규모, 방대한 동시성, 많은 하부계약업자, 기술적 위험, 높은 신뢰도, 부품의 재사용성 등의 복잡한 요소들로 이루어져 있다. 그러나 대부분의 선진국이나 국내 기업에서는 비체계적인 방법으로 시스템 설계를 진행함으로써 일반적으로 다음의

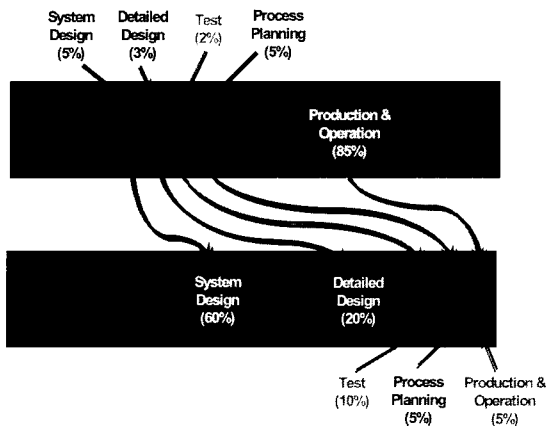
문제점이 발생한다[7].

1)시스템을 명확히 정의하기 전에 설계를 시작함으로써 개발후반에 설계상충으로 인한 추가비용, 개발기간 지연, 재작업 등이 초래되어 부정확한 설계나 시장 수요의 불만족이 발생한다.

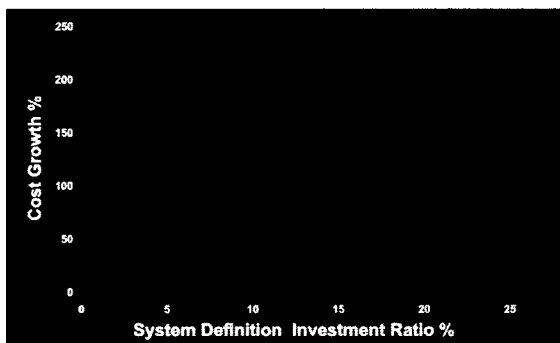
2)시스템 전체에 대한 명확한 관점없이 부분적으로 시스템을 개발하고 있다.

3)시장의 목적을 조직 전반에 명확히 확립하여 이해하지 못함으로써 개발후반에 중요한 기술적/업무적 수요가 발생하고 이를 구체화하는 데 많은 비용과 시간이 필요하게 된다.

이러한 일반적인 설계 문제점들을 해결하여 비용 절감과 일정 단축으로 효율성, 제품 품질과 무결성을 증대하기 위해서 시스템공학이 필요하다. <그림 1>에서는 시스템 설계에 투입되는 비용은 전체 개발비용에 5%이지만 이 단계에서 전체의 60%를 결정한다. 또 다른 예로써 <그림 2>는 1980년대 초 NASA의 개발 프로젝트들에서, 전체 비용 대비 시스템 정의에 투자되는 비용이 많을수록 실제 프로젝트 수행시 비용 증가량이 기하 급



<그림 1> 비용유발 및 집행 단계



<그림 3> NASA 프로젝트에서 SE 투자 효과

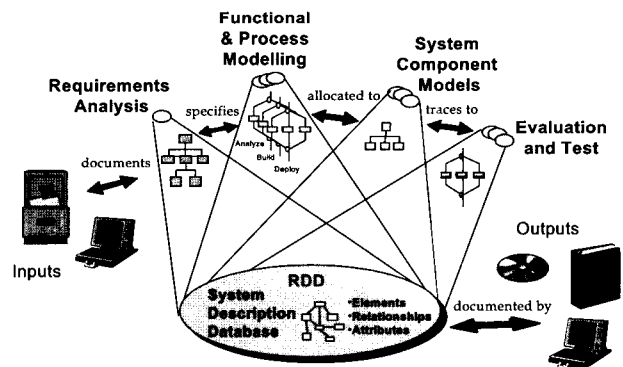
수적으로 감소됨을 보여준다[5].

국내의 경우, 시스템공학은 군수사업과 고속/경전철사업[1,3,6], 전자교환기 등의 정부 프로젝트와 항공분야에서 제한적으로 사용되고 있다. 하지만 미국의 경우, 군수사업과 항공분야와 더불어 수송시스템, 통신시스템, 에너지시스템, 정보기술시스템 등의 상용시스템 개발에 적용되고 있다.

2.3 RDD의 개요

RDD는 Ascent Logic사가 만든 대표적인 CASE 도구이다. RDD는 앞에서 기술한 시스템공학 프로세스를 토대로 개발되었으며 <그림 3>은 RDD가 지원하는 시스템공학 방법론을 나타낸다. 이 도구가 지원하는 기능은 크게 세 가지인데, 첫째, 고객으로부터 얻어진 요구사항을 세분화하여 시스템 요구사항으로 바꾸는 요구사항관리기능, 둘째, 구현할 시스템의 거동, 구조, 자원에 대한 시스템 모델링기능, 마지막으로, 시뮬레이션을 통한 시스템 검증기능으로 나눌 수 있다. 이 도구는 하향식 설계방식을 따라 모든 과정이 적용되며, 모든 자료 구조는 ERA(Element-Relationship-Attribute) 구조를 따른다.

특히, RDD는 시스템을 개발하는 전형적인 두 가지 개발 주기 형태를 지원하는 데이터 스키마로써 Design Guide A와 Design Guide C를 제공한다. Design Guide A는 시스템공학에의 문서기반 접근법으로 고객이나 조직이 전에 만들었거나 유사한 시스템을 개발하는 데 맞게 되어 있고 Design Guide C는 시스템공학의 모델기반 접근법으로 요구사항들이 알려져 있지 않거나 정의되지 않은 프로젝트, 비교적 높은 수준의 기술과 비용과 일정의 위험이 큰 프로젝트 및 비교적 대규모 프로젝트에 맞도록 되어 있다. 본 논문에서는 TGV 기술을 가지고 리버스 엔지니어링 관점에서 연구를 수행하므로 Design Guide A를 토대로 하였고 개발환경에 맞게 이를 수정하였다[5, 8].



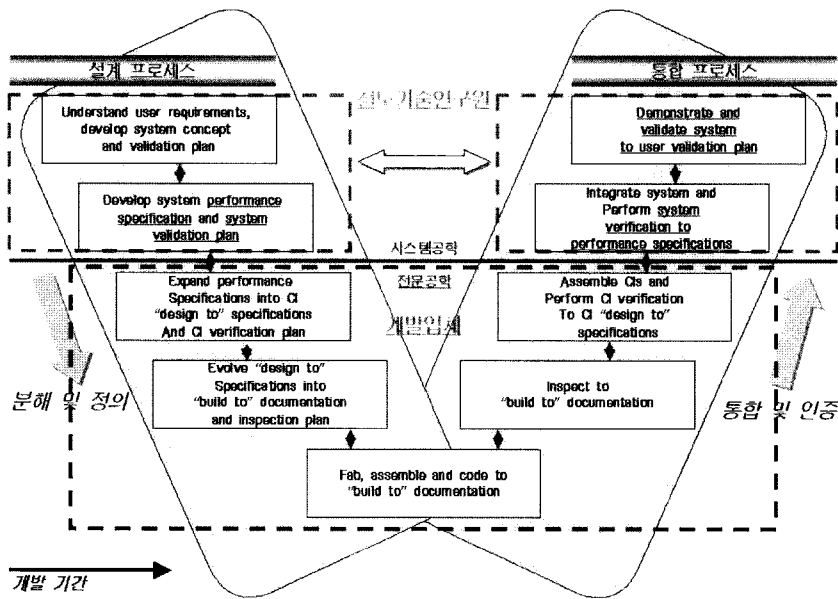
<그림 3> RDD 방법론

3. 고속전철 시스템 엔지니어링의 전체 체계

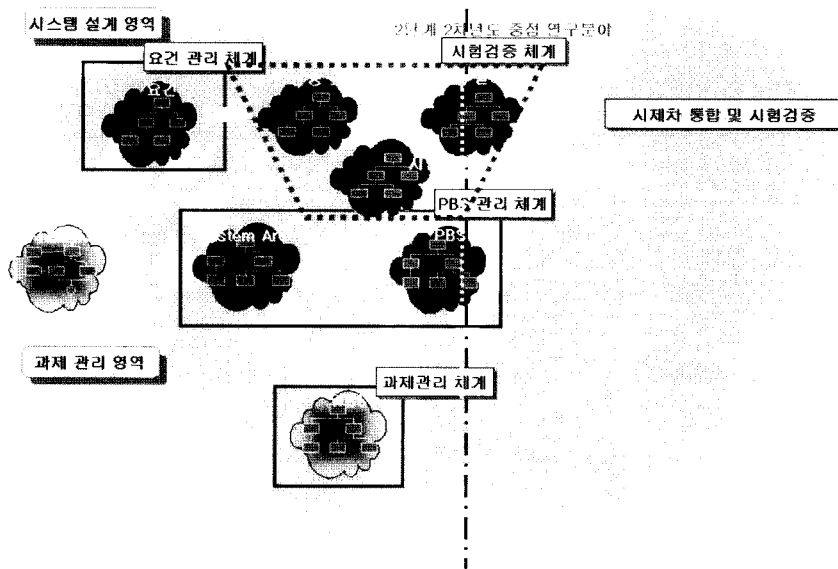
3.1 차세대 고속전철 시스템공학 프로세스

시스템공학 체계는 시스템공학 프로세스가 있어야 하며, 이 프로세스를 뒷받침할 방법론과 도구가 있어야 하고 이 도구를 운용할 수 있는 환경이 뒷받침되어야 한다

[13]. 본 연구는 RDD를 이용하여 시스템공학 체계를 구축 하는데 궁극적인 목적이 있으며, 여기서 중요한 것은 시스템공학 데이터를 RDD에 어떻게 저장하고 관리할 것인지 하는 데이터 모형이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 시스템공학 프로세스와 방법론을 RDD에서 지원하는 기능을 바탕으로 수립해야 한다. 그러기 위해 먼저 시스템공학 프로세스에 대한 이해가 필요하다. 시스템공학 프로



<그림 4> 고속전철 시스템공학 프로세스



<그림 5> 고속전철 시스템 엔지니어링 체계 모델

세스는 전술한대로 모든 사람이 공감하는 프로세스는 없는 실정이지만 가장 일반적으로 제시되는 모델이 <그림 4>와 같은 V 모델이다. 이 모델은 엔지니어들이 수행하는 활동을 강조하고 있으며 이 활동을 설계와 통합 프로세스로 표현한다. 프로세스는 왼쪽 상단의 이해당사자의 운영요구를 정의하는 것으로부터 시작한다[10].

G7 고속전철 기술개발사업에서 시스템 엔지니어링 업무는 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 V 모델에서 수평선이 <그림 4>와 같이 그어지고 철도기술연구원은 상위 수준에서 설계와 통합 활동을 수행한다. 본 연구는 2년여 동안 수행되었으며 수행범위는 설계 프로세스 상에서 시스템 시방을 개발하는 활동에 중점을 두고 있다. 현재, 향후 개발될 시제차(試製車)의 시스템 수준 시험평가 활동을 지원하는 시험검증 체계 구축을 진행하고 있다.

3.2 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링의 체계 모델

앞에서 언급한 시스템공학 프로세스를 차세대 고속전철 시스템의 개발에 적용하기 위해 구체적인 체계를 수립할 필요가 있다. 이러한 체계를 개발하는 것은 단기간에 구축 완료할 수 없고 단계적인 적용이 필요하며 특히, 시스템공학에 대한 이해가 부족한 상황에서 처음부터 완전한 체계를 세울 수 없고 지속적인 노력과 시행착오를 겪게 된다. 본 연구는 2년에 걸쳐 V 모델의 왼쪽 축인 설계 프로세스를 지원하는 요구사항관리 하위체계, PBS관리 하위체계와 과제관리 하위체계를 수립하여 데이터베이스화하였고 현재 2002년에 수행될 V 모델의 오른쪽 축인

통합 프로세스를 지원하는 시험검증 체계를 수립하고 데이터베이스화하고 있다. 이들 각 하위체계간에 상호 추적 관계를 설정하였다.

<그림 5>는 본 연구에서 수립한 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링을 지원하는 체계 모델을 보여주고 <그림 6>은 이 모델을 RDD 상에서 구현하기 위해 개발한 시스템엔지니어링 설계 데이터 모형이다. 시스템공학 데이터는 이 데이터 모형을 반영한 RDD 데이터 스키마를 토대로 데이터베이스에 입력된 실제 데이터로 정의하며 본 연구에서 최종적으로 얻고자 하는 것이다.

4. 요구사항 관리체계

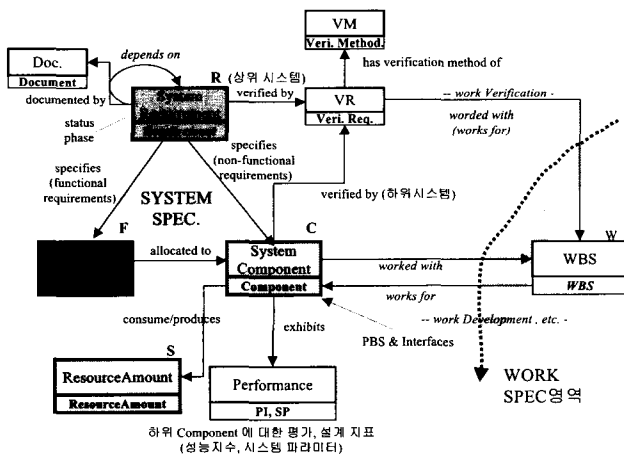
4.1 요구사항관리의 개요

차세대 고속전철시스템은 TGV 기술을 근간으로 하여 시스템 개발 기본시방이 이미 결정되어 있다. 따라서 설정된 기본시방을 달성하기 위해 서브시스템별로 나누어서 여러 연구기관과 기업체가 세부기술개발을 위한 과제를 수행 중에 있으므로 본 연구 대상인 요구사항관리 는 시스템공학 프로세스의 처음부터 따르는 것은 아니라 리버스 엔지니어링 관점에서 접근하였다. 즉, 시스템 수준의 분석을 통하여 이루어진 기본시방으로부터 시스템 상위수준의 요구사항을 도출하고, RDD를 이용하여 데이터베이스화함으로써 시스템 상위 수준의 요구사항 관리를 손쉽게 할 수 있도록 하는 것이다. 본 연구의 요구사항관리 범위는 시스템 개발을 위한 기술개발과제에 있어서 시스템수준의 요구사항에 대한 추적관리를 한다. 또한 요구사항의 수준은 상위 시스템에 대한 것에 한하며, 서브시스템에 대한 상세 요구사항은 다루지 않는다. 구체적으로, 요구사항관리의 목적은 기술개발 체계상의 각 하위 시스템 개발과제별로 달성해야 하는 기술개발 목표에 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 요구사항 변경을 빠짐없이 반영할 수 있도록 하는 것이다.

4.2 요구사항관리 절차

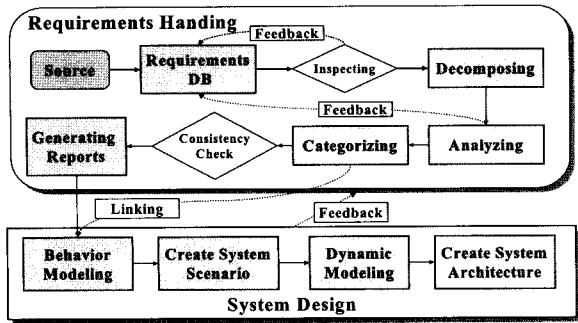
RDD의 요구사항관리 절차를 <그림 7>과 같이 제시하였다.

1) 요구사항 입력: 문서로 작성되어 있는 한국형 고속전철 시방서들을 RDD의 데이터베이스에 입력하는 과정이다. RDD의 Element Editor를 띄워놓고 직접 요구사항



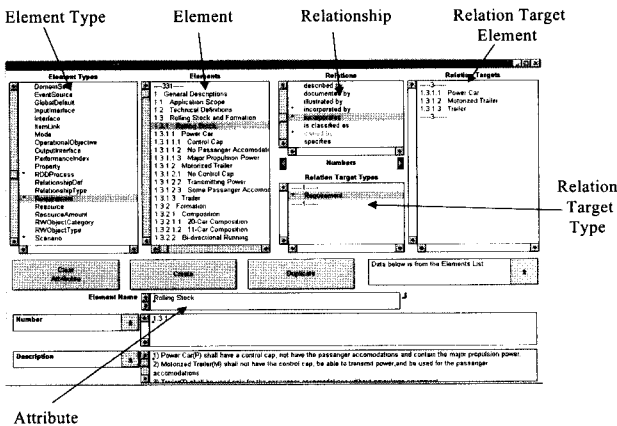
<그림 6> 시스템 설계 데이터 모형

-요구사항 관리체계와 PBS 관리체계를 중심으로-



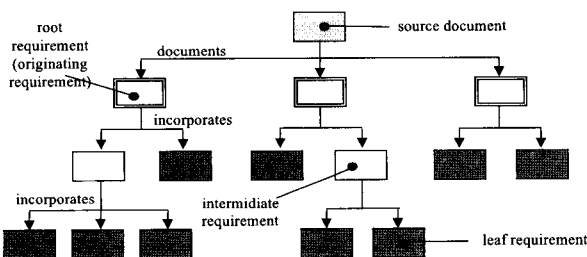
<그림 7> 요구사항관리 절차

을 입력하는 방법이 기본이지만, 고속전철시스템과 같이 시방서가 파일로 존재할 경우, ASCII 파일 형식으로 변환하여 이 문서를 RDD의 데이터베이스에 요구사항으로 자동 입력하는 Source Parser 기능이 있다. 이때 RDD는 그림이나 표 형태의 요구사항을 입력하지 못하므로 그 내용을 설명하는 문장으로 변환하여 입력하였다.



<그림 8> RDD에서 요구사항 입력 화면

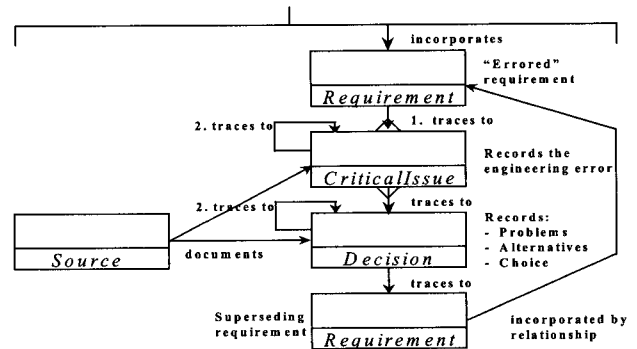
2) 요구사항 분해: 각종 요구사항을 기술한 문서로부터 도출된 최상위 요구사항(root-requirement)은 일반적으로 추상적이어서 명확한 요구사항이 되지 못하며 하나의 기능 또는 컴포넌트와 연결될 수 없으므로 상위 요구사항에서 하위 요구사항으로 계층적으로 분해하여 정확하고, 완전하며, 검증 가능한 단일 의미의 문장인



<그림 9> 시스템 수준의 요구사항 구조

최하위 요구사항을 도출해야 한다.

3) 요구사항분석 및 핵심쟁점사항(Critical Issues) 파악: 요구사항을 분해하는 과정에서 발견되는 중요 문제들을 확인하고 기록하며 해결하는 과정이다. 중요 문제들은 대체로 모호한 기술을 했거나, 다른 요구사항과 상충되는 내용을 담고 있거나, 필요한 요구사항들이 빠져 있는 경우들을 의미한다. 중요 문제점들이 발견되면 이를 식별할 수 있도록 해야 한다. 만약 최하위 수준의 요구사항에 문제가 있다고 판단되면, 핵심쟁점사항을 만들어 **traces to**라는 관계를 맺어 준다. 그 사항을 가지고 고객이나 기타 이해당사자들과 협의를 하여 어떤 결정이 내려지면 **Decision** 개체를 만들고 이 결정이 나오게 된 회의록이나 전화 메모 또는 문서를 소스로 등록하고 **documents**라는 관계를 맺어 준다. 마지막으로 결정에 의해 새로운 요구사항이 만들어지면 원래 있었던 요구사항과 **incorporated by**의 관계를 맺어 준다.



<그림 10> 핵심쟁점사항 파악 절차

4.3 고속전철 시스템 요구사항 관리체계 적용

본 연구에서는 한국형 고속전철시스템/설계/시제차 기본시방을 수립한 요구사항관리 절차에 따라 구체적인 요구사항 데이터를 입력 및 관리하는 관리체계를 구축하였다. 1차년도에는 시스템 기본시방서를 토대로 시스템요구사항을 개발하여 데이터베이스에 입력 완료하였고 2차년도에는 한국형 고속전철 시제차의 개발을 위한 열차의 요구성능 및 기능을 규정하는 시제차 기본시방서와 한국형 고속전철 차량시스템의 열차편성 및 기본설계 기준을 정의한 구체설계 기본시방서를 토대로 시제차시스템요구사항과 설계요구사항을 데이터베이스화하였다. 여기서 시스템 기본시방서로부터 만들어진 요구사항을 시스템요구사항(SR; System Requirements)이라고 하고 시제차 기본시방서로부터 만들어진 요구사항을 시제차요구사항(PR; Prototype Requirements)이라고 하며, 구체설계 시방서로부터 만들어진 요구사항을 설계요구

사항(DR; Design Requirements)이라고 설정했다. 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 데이터베이스화하였다. 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

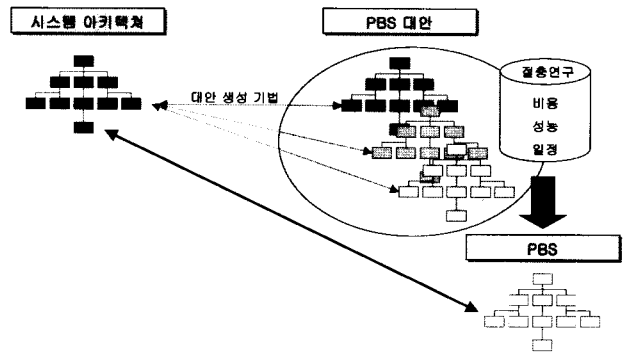
	최하위 요구사항수	핵심쟁점사항 수
시스템 요구사항(SR)	223개	40개
설계 요구사항(DR)	437개	1) 재검토가 필요한 요구사항: 4개 2) 불충분하거나 모호한 요구사항: 5개
시제차 요구사항(PR)	833개	1) 불충분하거나 모호한 요구사항: 15개 2) 용어 정의가 필요한 요구사항: 4개

5. PBS 관리체계 적용

5.1 PBS 관리체계 방안

시스템공학에서 시스템 아키텍처(System Architecture) 또는 컴포넌트 모델은 시스템 구성요소와 인터페이스에 대하여 정의한, 기본적인 단일화된 시스템 구조로서 시스템 개념설계의 산출물이고, PBS는 개발된 시스템 아키텍처를 물리적으로 구현하기 위한 구성요소들을 계층구조 형태로 나타낸 것이다. 따라서, 시스템 아키텍처는 시스템의 개념적 계층구조이며, PBS는 물리적 계층구조이다. 시스템공학 과정에서 의미하는 시스템 아키텍처는 요구사항에서 확인되는 모든 기능을 잘 수행하기 위한 자원들의 의미있는 조합이다. 이렇게 시스템 아키텍처와 PBS를 구분하는 이유는 하나의 시스템 아키텍처를 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. <그림 11>은 대안 생

성 기법을 사용하여 시스템 아키텍처를 구현하기 위한 물리적 구조인 몇 개의 PBS 대안들을 개발하고, 개발된 각 대안에 대한 비용, 성능, 일정 등의 절충연구를 통하여 가장 효과적이고 효율적인 대안을 선정하는 것이 전형적인 시스템 개발 과정을 보여준다. 이후 개발 시스템에 신기술 적용, 설계 변경 등이 발생할 경우 이를 반영하여 PBS를 지속적으로 개선해야 한다. 따라서 본 연구는 PBS 관리체계를 시스템 아키텍처와 PBS로 나누어 관리하는 방안을 제시하고 이를 토대로 데이터베이스화하였다.

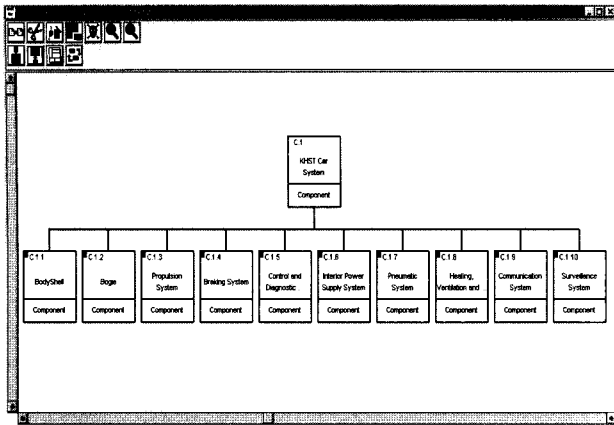


<그림 11> PBS 선정 프로세스

5.2 시스템 아키텍처 체계 적용

본 연구는 프랑스의 TGV 기술을 토대로 리버스 엔지니어링 관점에서 접근하였고 시스템 아키텍처를 구현하기 위해 RDD의 컴포넌트 모델링 방법론을 이용하였다. 컴포넌트 모델은 크게 시스템을 구성하는 Component의 계층구조와, Component들간에 정보를 주고받는 Interface로 이루어져 있다. 하나의 Component는 하나 이상의 기능이나 비기능 요구사항으로부터 allocated and specified by의 추적관계를 설정한다. 현재 시스템의 거동 모델과 시뮬레이션을 통한 기능분석을 수행하지 않음으로 인해 기능이 도출되어 있지 않기 때문에, 거동 모델과 시스템 아키텍처간의 관계는 설정하지 않았다.

먼저 고속전철시스템 기본시방서의 시스템요구사항을 토대로 시스템의 상부구조를 정의하고 이에 따라 하부구조를 설정하였다. 시스템의 상부구조는 크게 10개의 서브시스템으로 구성되며 이 서브시스템은 각각 하부 컴포넌트들로 이루어진다. <그림 12>는 RDD에서 구현된 고속전철시스템의 상부 아키텍처를 보여준다. 각 사각형은 Component 개체를 나타내며 번호체계는 번호의 가장 처음 부분을 "C"로 하고 이하 부분은 일반적인 번호 체계를 따른다. 전체 시스템 아키텍처는 4수준의 계층구조로 이루어지면 모두 82개의 컴포넌트로 구성되었다.



<그림 12> 고속전철 차량시스템의 상부 아키텍처

5.3 PBS 체계 적용

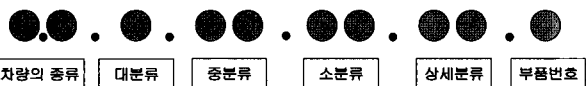
(1) PBS 작성 기준

본 연구에서는 고속전철시스템에 대한 상당부분의 설계가 완료되어 있는 상태로서 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 데이터베이스화하였다. 이 PBS는 각 차량과 대차의 종류에 따라 동력차, 객차 및 동력객차, 동력차 대차, 동력객차 대차, 객차 대차로 분류하고, 각 차량에 따른 주요 구성품을 기준으로 대분류 또는 중분류 단위로 분류되어 있다. 각 구성품들을 RDD 상의 RWOBJECTType 개체를 이용하여 입력하였고 총 1000여 개의 구성품들로 구성되었다. 각 구성품들의 상하관계는 consists of(is part of) 관계로 설정하였다.

(2) RDD 상에 구현된 PBS 번호체계

번호체계는 생산기술원의 기준을 충실히 따르려고 했으나 분리 기호 및 영문자와 숫자의 병행기입이 되지 않는 RDD의 번호 속성으로 인해 다음과 같이 입력하였다.

(가) 생산기술원 PBS 번호체계의 구분표시인 '-' 표시를 RDD에서 번호체계 오류로 인식하여, '.'으로 변경하였다.



(나) 차량의 종류(탑재 부품의 위치별 분류)는 생산기

술원의 PBS에서 규정된 차량의 종류와 동일하나, 알파벳을 연속적으로 2자리를 붙여서 사용 시, RDD에서 번호체계 오류로 인식하는 경우가 발생함에 따라, 연속된 알파벳 사이에 RDD에서 인식할 수 있는 형태인 '.'을 추가하였다. 또한, T()의 경우, 'T' 다음에 아라비아 숫자가 이어서 오는 경우도 분류체계의 동일성을 고려해, 구분자 '.'를 사용하였다.

PA: 동력차에만 탑재될 경우

PM: 동력차와 동력객차 모두에 탑재되는 경우

MA: 동력객차 M1, M9, M10, M18 모두에 탑재되는 경우

MF: 동력객차 M1, M18에 탑재되는 경우

MM: 중간 동력객차 M9, M10에 탑재되는 경우

TA: 모든 객차 및 동력객차에 탑재될 경우

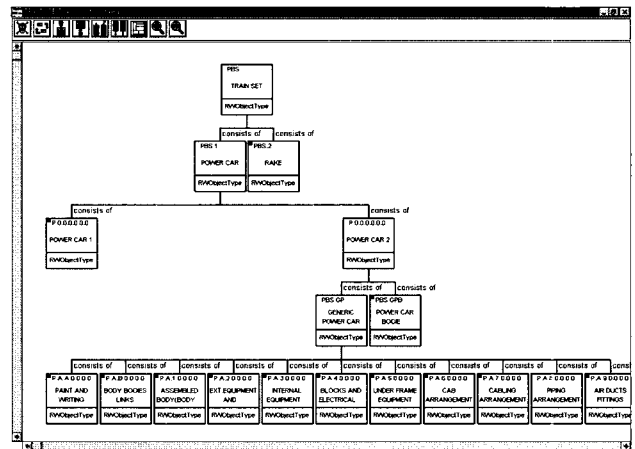
TO: 객차에만 탑재되는 경우

T(): 별도의 해당객차에만 탑재될 경우 해당 객차의 번호중 가장 빠른번호 사용

PB: 동력차 대차에 탑재될 경우

MB: 동력객차 대차에 탑재될 경우

TB: 객차 대차(부수대차)에 사용될 경우



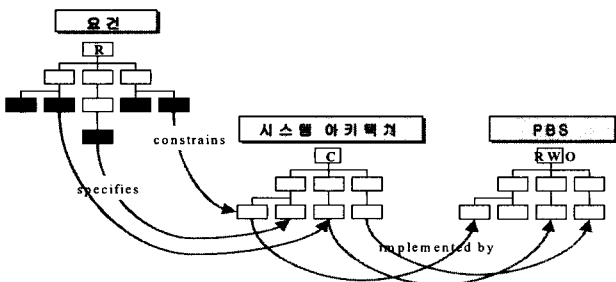
<그림 13> RDD에서의 PBS 번호체계 구성

(다) 대분류와 부품번호는 생산기술원 PBS 번호체계를 그대로 적용하여 1자리 아라비아 숫자로 표현하며, 10이상은 알파벳 A에서 Z까지 표현한다.

(라) 중분류, 소분류, 상세분류의 경우, 생산기술원의 PBS에 규정된 번호체계를 대부분 그대로 적용할 수 있었으나, 아라비아 숫자 '0'이 십자리수에 있을 경우에는 자동으로 삭제됨에 따라, '01,02,03...09'까지의 표시가 '1,2,3...9'로 표시가 자동으로 변경된다. 따라서 해당분류의 십자리수가 '0'인 경우는 한 자리수만 표기하였다.

6. 요구사항 관리체계와 PBS 관리체계의 추적성

요구사항 관리체계와 PBS 관리체계간의 추적성을 <그림 14>와 같이 설정하였다. 본 연구의 범위는 시스템 수준, 즉, 시스템요구사항과 시스템 아키텍처간의 추적성 설정으로 한정하였다. 요구사항 계층구조의 제5수준에 해당되는 시스템요구사항 중 최하위 수준요구사항을 대상으로 하였으며 요구사항의 한 수준에서 추적되는 시스템 아키텍처가 모두 동일한 수준이 아니므로 제3수준으로 정하였다. 모든 요구사항은 기능적 요구사항과 비기능적 요구사항으로 구분되어야 하며, 요구사항의 수준이 동일한 수준에서는 동일한 아키텍처 수준에 연결될 수 있도록 정렬되어 있어야 한다. 일부 시스템요구사항은 설계요구사항과 **incorporate** 관계를 가지고 있으며 이 경우에는 **incorporate** 관계의 최하위 수준에서 추적성을 설정하였다. 이 경우 동일 수준에서 아키텍처와 연결이 되지 않는 문제점이 일부 발생하였으며, 이를 해결하기 위해서는 향후 요구사항의 수준조정 등의 반복 과정을 수행하여야 한다. 시스템 아키텍처와 PBS 간의 추적성 설정의 경우에도, 요구사항, 시스템 아키텍처와 PBS사이에서의 관계에서 추적성은 확보되었으나, 그 수준이 상이한 부분이 있으며 이러한 부분 또한 향후 반복적인 검토 과정을 거쳐 동일한 구조로 일치시켜야 한다.



<그림 14> 요구사항-시스템 아키텍처-PBS의 추적성 설정

7. 결론

시스템 개발 프로젝트를 수행함에 있어 많은 요구와 고려사항이 있으며, 이를 위해 개발 초기에 개발사업의 요구사항과 실제 제약사항 내에서 필요한 기술관리 기능들을 정의하고, 시스템 개발공정, 특수공학공정 등을 포괄적으로 계획하고, 세심하게 관리하고, 적절히 조정함으로써 사용자와 고객의 요구를 성공적으로 만족시키며 비용과 일정초과를 방지할 수 있는 시스템엔지니어

링 체계를 구축해야 한다.

본 논문은 차세대 고속전철시스템 개발 기술의 축적을 위해 시스템엔지니어링 체계를 수립하고, 대표적인 CASE 도구인 RDD를 사용하여 데이터베이스화하였다. 특히, 본 연구에서는 고속전철시스템/설계/시제차 기본 시방에 근거하여 구체적인 시스템요구사항, 설계요구사항과 시제차요구사항을 입력 및 관리하는 요구사항 관리체계를 구축하였고 생산기술원에서 작성한 PBS를 토대로 시스템 아키텍처와 PBS로 구성되는 PBS 관리체계를 구축하였다. 시스템요구사항, 시제차요구사항, 설계요구사항, PBS 등의 시스템 설계와 관리에 관련된 데이터들사이에 추적성을 부여하여 단순한 데이터가 아닌 시스템 설계 데이터베이스를 획득할 수 있었다. 향후 시스템의 통합 시 시험검증을 위한 기본 데이터베이스로서 활용될 예정이며, 궁극적으로는 고속전철 수명주기에 걸쳐 시스템엔지니어링 기술의 축적 및 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다. 그러나, 현재까지 구축한 데이터베이스를 재활용하기 위해서는 지속적인 보완 검토와 개선이 필요할 것이며 또한 시스템공학에 대한 보다 깊은 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

- [1] 박영원 외; “전산보조 시스템 설계 및 개발기술 I, II”, 과학기술부 보고서, 고등기술연구원, 1998, 1999.
- [2] 박중선; “시스템공학 전산지원도구를 이용한 시스템 설계 및 관리 데이터 통합 정보화”, 석사학위논문, 아주대학교, 2000.
- [3] 유일상 외; “차세대 고속전철 시스템엔지니어링 체계 구축 I, II”, 한국철도기술연구원 보고서, 고등기술연구원, 1999, 2000.
- [4] 유일상, 박영원; “건설한 시스템 아키텍처 개발 지침”, 한국군사과학기술학회지, 3(1): 127-137, 2000.
- [5] 유일상, 박영원; “시스템공학 접근법을 이용한 지능형 건물 자동화 시스템의 개념설계”, 한국군사과학기술학회지, 3(2): 166-178, 2000.
- [6] 유일상, 박영원; “차세대 고속전철 시스템엔지니어링 체계 구축 및 적용에 관한 연구”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, 관동대학교 양양캠퍼스, pp. 164-167, 2001.
- [7] Ascent Logic co., Introduction to RDD-100 Student Workbook, 1996.
- [8] Ascent Logic Korea, Systems Engineering & Parametric Cost Estimating, 1999.
- [9] Blanchard, B. S. and Fabrycky, W. J.; *Systems Engineering and Analysis*, 3rd Edition, Chapter 1,

2, 3, 4, Prentice Hall, 1997.

- [10] Dennis M. Beude; *The Engineering Design of Systems*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 10-11, 2000.
- [11] INCOSE, *System Engineering Handbook*, Jan. 1998.
- [12] INCOSE Website, <http://www.incose.org/whatis.html>
- [13] Martin, J. M.; *Systems Engineering Guidebook: A Process for Developing Systems and Products*, CRC Press, U.S.A., 1997.
- [14] 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.