

# 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 체계 모델 개발

## Development for Systems Engineering Framework Model of Next Generation High Speed Railway Train

유 일 상<sup>1</sup>, 박 영 원<sup>2</sup>

Il-Sang Yoo and Young-Won Park

*Keywords* : Systems Engineering, CASE(Computer-Aided Systems Engineering), Data Model, Schema

### Abstract

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 Systems Engineering, as a methodology for engineering and management of today's ever-growing complex system, must be applied to development of such systems. This paper presents systems engineering framework model to have to be applied to the systems engineering technology development task for the korean next-generation high-speed railway systems in progress and demonstrates data models and schema for computer-aided systems engineering software, RDD-100, for use in its development and management.

### 1. 서 론

고속전철시스템은 차량, 기계부품, 전기, 전자 및 제어, 정보통신, 재료, 토목 등의 종합적인 기술이 연계되어 있는 복합 시스템이므로 시스템 수명주기에 걸쳐 시스템을 관리하는 엔지니어링 기술이 우선적으로 요구된다. 현재 국내에서는 1996년부터 시작된 G7 차세대 고속전철 기술개발사업을 통해 고속전철 시스템의 개발을 추진하고 있다. 고속전철시스템 개발을 위한 대안으로 시스템 엔지니어링 기법에 대한 종합적인 분석 및 검토가 이루어지고 있다.[1] 이미 선진국에서는 대형 시스템의 개발 및 관리를 위한 방법으로 시스템 엔지니어링 방법이 일반화되어 있으며 점차 그 영역도 우주, 항공 사업 같은 거대 복합사업에

서 자동차, 조선 등과 같은 상용 중대형 시스템으로 확산되고 있는 상황이다.[2]

고속전철시스템의 시스템엔지니어링 기술개발사업은 고속전철시스템의 개발, 운용, 정비지원 등의 인프라를 구축하는 규모가 크고 복잡하며 여러 전문분야가 참여하는 국가적인 대형 프로젝트이다.[3] 따라서 체계적인 시스템 개발 및 관리 방식의 필요성이 대두되었고, 고속전철의 기술도입선인 프랑스를 통하여 시스템 엔지니어링 방법론과 유사한 방법론을 습득하여 차세대 고속전철 개발에 적용시키고 있다. 또한 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 기술개발에 있어서 시스템 엔지니어링 소프트웨어를 활용하여 시스템 개발 절차를 확립하고 개발관리체계를 정립하는 시범 모델을 개발할 필요가 있다.

본 연구에서는 차세대 고속전철개발 사업에 적합한 시스템 엔지니어링 프로세스를 조정 확립하고 대표적

1 정희원, 아주대학교 시스템공학과 대학원, 박사과정

2 정희원, 아주대학교 시스템공학과 대학원, 정교수

인 CASE(Computer-Aided Systems Engineering) 소프트웨어인 RDD-100을 사용하여 시스템 엔지니어링 데이터베이스 구축에 기반이 되는 체계를 수립하고 관련 데이터 모델을 제시하고 개발하였다. 이에 앞서 시스템 엔지니어링에 대한 고찰을 하였다.

## 2. 시스템 엔지니어링에 대한 고찰

### 2.1 시스템 엔지니어링의 개요

1760년의 산업혁명 이후 기하급수적인 기술 발전으로 인해 최근에 와서는 기술적으로 복잡한 시스템이 사회적으로 요구되고 있다. 기술적 복잡성과 더불어 규모 측면 때문에 몇 가지 학문 분야만으로는 그러한 시스템을 개발할 수 없어졌다. 동시에 다양한 고객의 요구, 시스템 수명의 단축 등의 시스템 개발 환경의 변화에 직면하고 있다. 1950년대 말부터 고객의 요구를 반영한 대형 복합 시스템을 개발하기 위해 대두된 시스템 엔지니어링은 최근 들어 점점 복잡해지는 모든 시스템을 개발하는 데 필요한 설계 및 관리의 방법론이 되었다.

시스템 엔지니어링의 정의에 대해서 개인이나 조직의 배경과 경험에 따라 다르므로 일반적으로 인정된 정의는 없다. 하지만 국제시스템엔지니어링협회(INCOSE)에서는 시스템 엔지니어링이란 시스템의 성공적인 구현을 위한 다학제간의 접근법이자 방법으로 정의한다. 다시 말하면 시스템 엔지니어링은 시스템에 관련된 복잡한 문제들을 해결하기 위해 관련된 모든 이해당사자의 요구사항을 만족시키기 위한 다분야간의 종합적 접근법이다. 여기서 다분야간이라는 말은 시스템 엔지니어링은 한 개인에 의해서 달성될 수 없고, 각 공학 분야 및 비공학 분야의 전문가와 기능 조직으로부터의 사람들이 모여서 그들의 기술과 지식을 통합하여 시스템의 문제해결이 필요한 모든 대상에 효율적이고 효과적으로 그 해법을 찾아냄을 말한다. 이러한 시스템 엔지니어링은 고객의 수요와 요구되는 기능을 개발 초기에 정의하고 문서화 한 후, 운영, 성능, 시험, 생산, 비용과 일정, 훈련과 지원, 폐기를 고려한 시스템 합성(Synthesis)과 유효성 검증을 수행하는 것에 초점을 두고 있다.[4]

### 2.2 시스템 엔지니어링의 필요성

최근 대부분의 선진국 교역량들은 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. 하지만 대부분의 선진국이나 국내 기업에서는 체계적이지 못한 방법으로 시스템설계를 진행함으로써 일반적으로 다음의 문제점이 발생한다.

- 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. Fig. 1에서는 시스템 설계에 투입되는 실제 비용은 전체 개발비용에 5%이지만 이 단계에서 시스템 전체 비용의 60%가 결정된다. 또 다른 예로써 Fig. 2는 1980년대 초 NASA의 개발 프로젝트들에서, 전체 비용 대비 시스템 정의에 투자되는 비용이 많을수록 실제 프로젝트 수행시 비용 증가량이 기하 급수적으로 감소됨을 보여준다.[5]

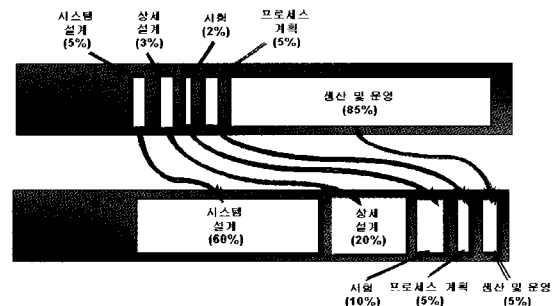


Fig. 1 Comparison between committing costs and incurring costs

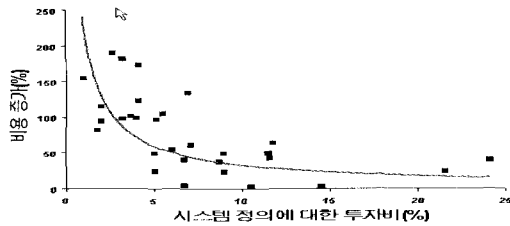


Fig. 2 Impact of front-end systems engineering investment for NASA program

### 2.3 시스템 엔지니어링의 적용 현황

국내의 경우, 시스템 엔지니어링은 국방사업과 고속/경전철사업, 전자교환기 등의 정부 프로젝트와 항공분야에서 제한적으로 사용되고 있다. 하지만 미국의 경우, 국방사업과 항공분야와 더불어 수송시스템, 통신시스템, 에너지시스템, 정보기술시스템 등의 상용 시스템을 개발하는 데 그 적용이 확대되고 있다.[6]

## 3. 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 체계 모델

### 3.1 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링

고속전철시스템은 차량, 기계부품, 전기, 전자, 제어, 정보통신, 토목기술 등이 종합적으로 적용되는 학제 복합형 대형 시스템의 하나로서, 시스템 엔지니어링이 필요한 전형적인 예라고 할 수 있다. 현재 진행 중인 차세대 고속전철 기술개발사업은 시스템 규모가 크고 복잡하며 여러 전문분야가 참여하여 차세대 고속전철시스템의 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 요건들에 관해서 정확하게 이해하고 이를 공유하는 것이 사업성공의 필수적 요소라 할 수 있다. 특히, 요건은 하위 계약자와의 계약조건에 반영될 뿐만 아니라 과제의 수행근거가 되며 시스템 검증의 근거로서 모든 개발단계의 기본사양을 도출하는 근거가 된다.

대형 시스템 개발에 있어서 요건분석과 관리 그리고 기능분석을 총체적으로 수행함으로써 문제정의와 설계지식의 모형화를 체계적, 효율적으로 수행하기 위

해서는 CASE 소프트웨어가 필수적으로 요구된다. 따라서 본 연구에서는 차세대 고속전철 시스템 개발 기술의 축적을 위한 시스템 엔지니어링 체계를 수립하기 위하여 대표적인 CASE 소프트웨어인 RDD-100을 사용하여 시스템 엔지니어링 체계 모델을 수립하였다.

### 3.2 CASE S/W, RDD-100

RDD-100은 미국의 Ascent Logic사가 만든 CASE 소프트웨어이다. 이 소프트웨어가 지원하는 기능은 크게 세 가지인데, 첫째, 고객으로부터 얻어진 요건을 받아 세분화하여 시스템요건으로 바꾸는 요건관리 기능, 둘째, 구현할 시스템의 거동, 구조, 자원에 대한 시스템 모델링 기능, 마지막으로, 시스템 검증기능 즉, 시뮬레이션 기능으로 나눌 수 있다. 이 도구는 하향식 설계방식을 따라 모든 프로세스가 적용되며, 모든 자료 구조는 목적 지향적 ERA(Element, Relationship, Attribute)구조를 따른다는 특징이 있다. Fig. 3은 RDD-100의 시스템 엔지니어링 방법론을 나타낸다.

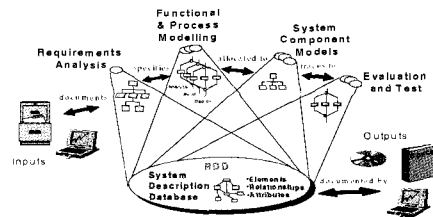


Fig. 3 Systems Engineering Methodology of RDD-100

RDD-100은 시스템 엔지니어링 프로세스의 모든 부분에 사용될 수 있지만, 주요한 쓰임새는 요건의 관리, 시스템 개념설계 및 검증, 보고서의 생성 등이다. 이중에 가장 비중이 높은 것은 시스템 설계 부분인데 이는 다시 기능분석, 컴포넌트분석, 인터페이스 및 자원 모델링으로 나누어진다. 이렇게 설계된 시스템을 검증하기 위해서 시뮬레이션 기능이 제공된다. 보고서 생성기능은 데이터로부터 지정된 보고서의 양식대로 데이터를 추출, 조판하여 포스트스크립트 파일로 출력해 준다. 특히 RDD-100은 시스템을 개발하는 전형적인 개발 주기로서 Design Guide A 스키마와 Design Guide C 스키마를 제공한다. 여기서 스키마(Schema)란 RDD-100의 핵심부분으로 시스템 엔지니어링 프로세스를 적용하는 데 필요한 모든 개체

(Element), 이에 대한 속성(Attribute), 요소간의 허용된 관계(Relationship)를 설정한 집합을 말한다.[5, 7]

- ① Design Guide A: 시스템 엔지니어링에의 문서기반 접근법으로 고객이나 조직이 전에 만들었거나 유사한 시스템을 개발하는 데 맞게 되어 있다.
- ② Design Guide C: 시스템 엔지니어링의 모델기반 접근법으로 조건들이 알려져 있지 않고 정의되지 않은 사업, 비교적 높은 수준의 기술과 비용과 일정의 위험이 큰 사업 및 비교적 대규모 사업에 맞도록 되어 있다. 따라서 일반적으로 전례가 없는 시스템 개발에 맞게 되어 있다.

### 3.3 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 프로세스

본 연구는 시스템 엔지니어링 프로세스와 방법론을 RDD-100에서 지원하는 기능을 바탕으로 수행하였으며, 그러기 위해 먼저 시스템 엔지니어링 프로세스에 대한 이해가 필요하다. 시스템 엔지니어링 체계는 시스템 엔지니어링 프로세스가 있어야 하며, 이 프로세스를 뒷받침할 방법론과 도구가 있어야 하고 이 도구를 운용할 수 있는 환경이 뒷받침되어야 한다. 시스템 엔지니어링 프로세스는 그 특성상 모두가 공감하는 것은 없지만 일반적으로 제시되는 모델이 Fig. 4와 같은 V모델이다.[8]

G7 고속전철기술개발사업에서 시스템 엔지니어링은 철도기술연구원에서 수행하고 있다. 철도기술연구원에서 시스템수준의 사양을 개발하면 생산기술연구원, 전기연구소, 철도차량업체 등에서 하위 수준의 사양을 결

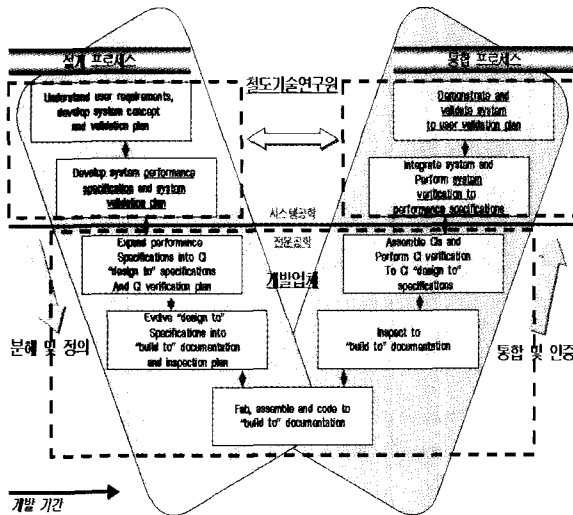


Fig. 4 Systems engineering process of next generation high speed railway train

정하고 개발한다. 조립된 시스템은 철도기술연구원에서 시험평가를 수행하는 체계로 되어 있다. 따라서 시스템 엔지니어링의 V 모델에서 수평선은 Fig. 4에서와 같이 그어지고 철도기술연구원은 상위 수준에서 설계와 통합검증 활동을 수행한다.

### 3.4 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 체계 모델

시스템 엔지니어링 프로세스를 차세대 고속전철 시스템의 개발에 맞게 적용하기 위해서 구체적인 체계를 수립할 필요가 있다. 이러한 체계를 개발하는 것은 단기간에 구축 완료할 수 없고 단계적인 적용이 필요하며 특히, 시스템 엔지니어링에 대한 이해가 부족한 상황에서 처음부터 완전한 체계를 세울 수 없고 지속적인 노력과 시행착오를 겪게 된다. Fig. 5는 3년여간의 연구를 통해 수립한 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링을 하기 위한 체계 모델이다.

#### 4. 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 체계 구현을 위한 데이터 모델

### 4.1 차세대 고속전철 시스템 엔지니어링 데이터 모델

본 연구는 RDD-100을 사용하여 시스템 엔지니어링 체계를 구축하는데 궁극적인 목적이 있으며, 여기서 중요한 것은 시스템 엔지니어링 데이터를 RDD-100에

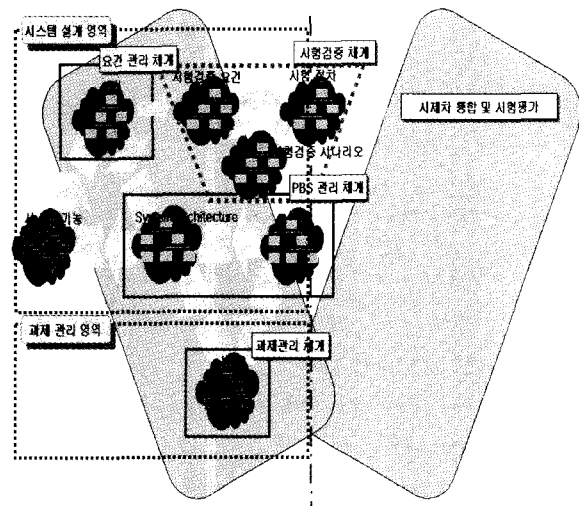


Fig. 5 Systems engineering framework of next generation high speed railway train



포넌트 구조에 관한 설계 등을 포함하고 있다. Fig. 6에서 제안한 추상화된 데이터 모델 중 시스템설계 모델을 Fig. 7에서 좀 더 상세하게 나타내었다. 기본적으로 시스템요건 모형(R)과 시스템기능 모형(F) 그리고 시스템컴포넌트 모형(C)으로 이루어져 있으며 부가적으로 동적인 리소스(S) 모형으로 구성되어 있다.

2) 시스템설계 데이터 스키마

수립된 시스템설계 모델을 RDD-100에서 구현하기 위해서는 관련된 데이터 스키마를 개발해야 한다. Fig. 8은 시스템설계 모델 구현을 위한 데이터 스키마이다. 그림에서 Requirement 개체는 계층구조(Hierarchy)의 시스템 요건 모형을 기술하기 위한 데이터 구조를 가지고 있고 계층구조의 상위 요건과 하위 요건과는 incorporates 관계가 설정되었다.

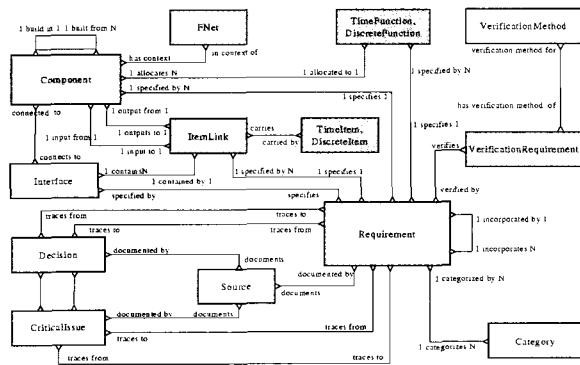


Fig. 8 System design data schema

시스템의 거동모델(프로세스 모델)은 하나의 개체가 아닌 여러 개체를 통해 완성되며 그 중 주된 개체는 TimeFunction, DiscreteFunction, Transform 등의 기능 모델과 기능들 간의 입출력 메시지인 Timeltem과 Discreteltem으로 이루어져 있고 제어의 흐름은 FNet으로 나타내어진다. 기능 모델 중 TimeFunction은 하향식으로 분해되며 하나의 TimeFunction안에는 하나의 FNet을 가질 수 있다. 하지만 거동모델은 시각적인 모형인 Behavior Diagram Editor로 편집하기 때문에 보통 스키마에 표현된 개체를 직접 다루지는 않는다. 거동모델의 기능모델인 TimeFunction은 반드시 해당 Component 개체에 할당되어야 한다.

시스템의 컴포넌트모델은 Component 개체로 표현된다. 역시 하향식으로 모델링되기 때문에 상위 컴포

넌트와 하위 컴포넌트들간의 관계는 built from로 자신에게 연결되어 있으며 궁극적으로 컴포넌트 계층구조를 가진다. 각 컴포넌트들은 서로 정보를 전달할 수 있는 인터페이스를 가지고 있는데 이것은 Interface나 ItemLink 개체를 통해 input to 관계와 output from 관계로 연결됨을 나타낸다.

시스템요건은 거동모델의 TimeFunction과 DiscreteFunction 및 컴포넌트모델의 Component를 specifies 관계를 통해 각 모델의 요건을 기술한다.

4.3 과제관리 모델

1) 과제관리 데이터 모델

과제관리 체계는 시스템모델로부터 WBS 도출, 작업 공정 모델, 작업주체인 조직 모델, 자원모델의 순서로 과제관리 모델을 도출하며 도출된 전체의 WBS에 대한 모델을 과제관리 모델로 정의하였다. 시스템이 작을 경우 하나의 과제로서 시스템의 획득이 가능하지만 시스템이 복잡할 경우에는 WBS의 작업을 쪼개어 여러 과제로 나누어 수행해야 한다. 각 과제마다 할당된 WBS, 작업공정, 조직모형, 자원 또 이들간의 연관 관계를 가지고 있다. 또한 WBS는 시스템모델 중 일부분의 요건 또는 컴포넌트에 관한 일을 책임지고 있으므로 하나의 하위 과제모델에 덧붙여 그 과제가 책임지고 있는 시스템모델에 관한 부분이 추가되면 하나의 과제에 대한 완전한 정보를 포함하게 될 것이다.

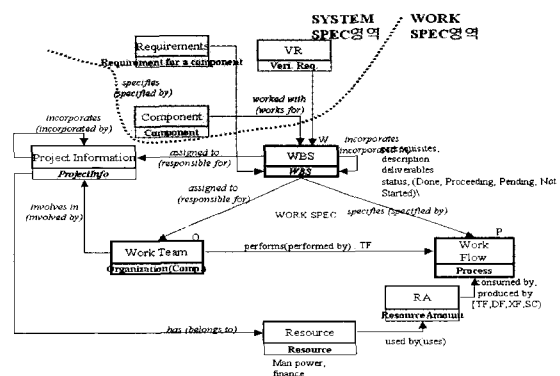


Fig. 9 System management data model

Fig. 9는 Fig. 6에서 간략히 나와 있는 시스템 관리 모델을 RDD-100의 핵심 스키마를 중심으로 다시 나타낸 것이다. WBS를 중심으로 Organization,



들의 통합을 촉진하기 위한 조직, 정책과 절차를 제공하므로 반드시 각 사업마다 작성해야 한다. 또한 SEMP는 많은 각각의 설계 관련 사업 계획들을 통합하고 최상위 계획서들과의 의사소통을 증진하기 위해 개념설계 단계에서 개발되어야 하고 사업 진행에 따라 정기적으로 수정, 보완해야 한다. SEMP에 기술되어야 하는 내용은 개발 시스템의 사용 분야, 복잡도와 사업 규모에 따라 다르다. 하지만 일반적인 접근법으로 크게 기술 사업 계획, 구현 및 관리 부분, 시스템 엔지니어링 프로세스 부분, 특수공학 통합 부분으로 구성된다.[9]

## 2) SEMP 데이터 스키마

본 연구는 시스템 엔지니어링 관리 활동을 시스템 설계 데이터베이스에 저장하기 위한 데이터 스키마를 개발하였다. Fig. 6의 SEMP 모델을 RDD-100으로 나타내기 위한 데이터 스키마는 Fig. 11과 같다. RDD-100에서는 SEMP 모델을 위한 스키마가 없으며 본 연구에서는 Requirement, Function, Component의 개체를 응용하여 제안하였다.

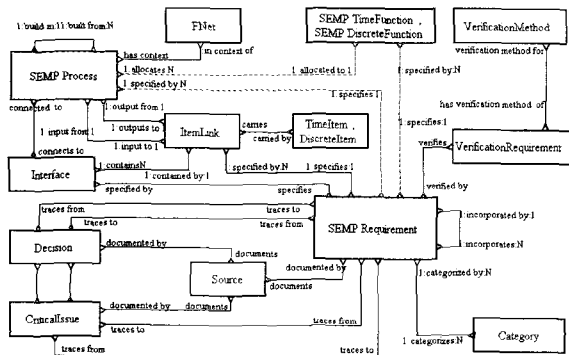


Fig. 11 SEMP data schema

## 5. 결론

본 연구는 차세대 고속전철개발 사업에 적합한 시스템 엔지니어링 프로세스를 조정 확립하고 대표적인 CASE 소프트웨어인 RDD-100을 사용하여 시스템 엔지니어링 데이터베이스 구축에 기반이 되는 체계를 수립하였다. 본 체계에서 시스템설계 모델, 과제관리 모델, SEMP 모델을 제시하고 관련된 각각의 데이터 스키마

를 개발하였다. 현재 차세대 고속전철 개발 사업에 이들 모델을 이용하여 RDD-100의 시스템 설계 데이터베이스를 구축하고 있다. 현재 TGV 기술을 응용하여 고속전철 시스템을 개발하는 R&D 환경을 고려하여 관련 모델에 대해서만 적용하고 있다. 구축된 시스템 엔지니어링 체계와 시스템 설계 데이터베이스는 향후 고속전철 시스템 개발사업에 효과적이고 효율적인 관리와 엔지니어링에 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후기

본 연구는 건설교통부/과학기술부/산업자원부가 지원하는 “고속전철기술개발사업”의 일환으로 수행된 위탁연구결과의 일부이다.

## 참고 문헌

- [1] 유일상의 2인, “차세대 고속전철 시스템엔지니어링 체계 구축”, 한국철도연구원 보고서, 1998, 1999, 2000.
- [2] 고등기술원, “전산보조 시스템 설계 및 개발기술”, 과학기술부 보고서, 1998, 1999.
- [3] 유일상, 박영원, “차세대 고속전철 시스템엔지니어링 체계 구축 및 적용에 관한 연구”, 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, 2001, pp. 164-167.
- [4] 유일상, 박영원, “건설한 시스템 아키텍처 개발 지침”, 한국군사과학기술학회지, 제3권 제1호, 2000, pp. 127-137.
- [5] 유일상, 박영원, “시스템공학 접근법을 이용한 지능형 건물 자동화 시스템의 개념설계”, 한국군사과학기술학회지, 제3권 제2호, 2000, pp. 166-178.
- [6] Ascent Logic Korea, Systems Engineering & Parametric Cost Estimating, 1999.
- [7] Ascent Logic co., Introduction to RDD-100 Student Workbook, 1996.
- [8] Dennis M. Beude, “The Engineering Design of Systems”, John Wiley & Sons, Inc., 2000, pp. 10-11.
- [9] 유일상의 5인, “대형복합 시스템 개발을 위한 효과적인 시스템공학 관리계획 개발 프로세스”, 한국자동차제어학회지의 논문집, 2000, pp. 416.