

## 경량전철사업의 효과적인 수행을 위한 시스템엔지니어링프로세스 연구

한석윤\*† · 김주욱\* · 백종현\*

\* 한국철도기술연구원

### A Study on the Systems Engineering Process for Effectively Carrying Out LRT Project

Seok-Youn Han\*†, Joo-Uk Kim\* and Jong-Hyun Baek\*

\* Korea Railroad Research Institute

(Received May 23, 2013 ; Revised June 3, 2013 ; Accepted June 3, 2013)

**Key Words:** LRT(Light Rail Transit, 경량전철시스템), Systems Engineering(SE, 시스템엔지니어링), Technical Process(기술프로세스), Life Cycle(생명주기), Decision Gate(DG, 의사결정게이트)

**초록:** 경량전철시스템은 버스와 지하철의 중간정도의 수송능력을 가진 첨단 대중 교통수단으로 주로 무인으로 운전되며, 1개사업이 조단위의 건설비가 소요되는 대형 복합시스템이다. 이러한 경량전철사업을 효율적으로 수행하기 위해서는 시스템엔지니어링이 매우 중요하다. 시스템엔지니어링은 성공적인 시스템을 구현하기 위한 다분야 학문의 종합적 접근방법과 수단으로 복잡한 시스템을 개발·관리하기 위해 전체적(holistic), 생명주기적 관점에서 접근하며, 필요한 사항을 확인하고, 해야 할 일을 바르게 수행하도록 안내한다. 본 논문에서는 경량전철사업에서 시스템엔지니어링을 적용하기 위한 프로세스를 제시한다. 이를 위해 국내 경량전철사업의 시스템엔지니어링 특징을 분석하고, 국내에 적합한 시스템엔지니어링 프로세스와 프로세스의 산출물 작성을 위한 템플릿과 사례, 그리고 프로세스를 전산으로 구현한 사례를 제시한다.

**Abstract:** Light rail transit(LRT) is a public transportation and mainly has an automatic driverless operation system. LRT project is a large scaled project which a construction cost is tens of billions of won per km. Systems engineering(SE) is an interdisciplinary approach and means to enable realization of successful systems. In this paper, we propose the systems engineering processes and their outputs list for the LRT project. And then, we present template and sample case of process output. We also present a case which carried out SE process by SE tool.

### 1. 서론

경량전철시스템은 버스와 지하철의 중간정도의 수송능력을 가진 첨단 대중 교통시스템으로 주로 무인으로 운전되며, 1개 사업이 조단위의 건설비가 소요되는 대형 복합시스템이다. 건설된 경량시스템은 구조물의 경우 100년, 차량은 25년에서 45년까지 운영되는 특성으로 인해 건설 단계부터 운영 및 용도폐기에 이르기 까지 생명주기 관점에서 사업을 추진하는 것이 무엇보다 중요하다. 시스템엔지니어링은 성공적인 시스템을 구현하기 위한 다분야 학문의 종합적 접근방법과 수단<sup>(1)</sup>으로 대형 복합시스템을 효율적이고 체계적으로 수행하게 하는 매우 유용한 접근방법과 수단으로 전체적(holistic), 생명주기적 관점에서 접근하며, 필요한 사항을 확인하고, 해야 할 일을 바르게 수행하도록 안내한다.

본 논문에서는 경량전철사업에서 시스템엔지니어링을 적용하기 위한 프로세스를 제시한다. 이를 위해 국내 경량전철사업의 시스템엔지니어링 특징을 분석하고, 국내에 적합한 시스템엔지니어링 프로세스와

§ 이 논문은 대한기계학회 플랜트부문 2013년도 춘계학술강연회(2013. 6. 4.-5., 한국수자원공사 교육원) 발표논문임

† Corresponding Author, syhan@krii.re.kr

Table 1 Scope of SE in domestic LRT project<sup>(2)</sup>

구분		서울 9호선	부산김해 경량전철	인천 2호선	용인 경량전철	의정부 경량전철	신분당선 중량전철
시스템엔지니어링	성능관리		○	○	○		
	설계관리		○	○	○	○	○
	인터페이스관리	○	○	○	○	○	○
	RAM관리	○	○	○	○	○	○
	안전성관리	○	○	○	○	○	○
	EMI/EMC관리	○	○	○	○		○
	소음/진동관리	○		○	○		○
	요구조건관리			○	○		
	형상관리			○	○		
	소프트웨어관리			○	○		
시험시운전관리	○	○	○	○	○	○	
특이사항				QA/QC 포함	PM/SE 통합관리	O&M 포함	PM/SE 통합관리

프로세스의 산출물 작성을 위한 템플릿과 사례, 프로세스를 전산으로 구현한 사례를 제시한다. 본 연구 결과는 경량전철사업현장의 특성에 따라 조정해서 적용할 수 있다.

## 2. 국내경량전철사업 시스템엔지니어링 특징

시스템엔지니어링은 시스템의 성공적인 구현을 위해 사업 초기 단계에서부터 체계적인 적용이 필요하다. 대부분의 국내경량전철사업에서는 상세설계단계부터 적용한다. 그리고 시스템 구현 전체에 대해 시스템엔지니어링을 적용하기 보다는 성능 및 안전 등에 관련한 분야를 핵심기술관리프로세스로 정의하고 이들에 대해서만 수행하고 있다(Table 1). 또한 시스템엔지니어링 전산도구를 사용하지 않고 있어, 문제 발생 시 원인분석이 어렵고 문제 해결형 사후조치 시스템엔지니어링 활동을 수행하고 있다.<sup>(2)</sup>

## 3. 경량전철사업과 시스템엔지니어링 프로세스

### 3.1 경량전철사업에 시스템엔지니어링을 효율적으로 적용하기 위한 요소

경량전철사업에서 시스템엔지니어링을 효율적으로 수행하기 위해서는 시스템엔지니어링 프로세스, 프로세스 수행을 지원할 수 있는 전산도구와 프로세스 산출물 작성을 위한 템플릿 및 산출물이 명확히 정의되어 있어야 한다. 또한 참여기관들 간의 의사소통을 위한 시스템엔지니어링 적용지침, 시스템엔지니어링관리계획이 확립되어 있어야 한다. 본 논문에서는 이들 중 시스템엔지니어링 프로세스 및 산출물 관련 내용을 중점적으로 서술한다.

### 3.2 경량전철사업 생명주기와 기술프로세스

국제 표준규격 ISO/IEC 15288관점에서 경량전철사업의 생명주기는 개념, 개발, 생산 및 건설, 운영, 유지보수, 용도폐기 단계로 구분할 수 있으며, 이들을 시스템엔지니어링 기술프로세스와 연결할 경우 Fig. 1과 같이 표시할 수 있다. 생명주기 각 단계 완료시 다음 단계로의 진행하기 위한 검토를 위해 의사결정 게이트(decision gate, DG)를 두고, 기술 프로세스의 완료시점에는 기술검토프로세스를 두어 해당 프로세스의 완료를 종합검토하게 된다.

### 3.3 경량전철사업의 시스템엔지니어링 기술프로세스 활동과 산출물

시스템엔지니어링의 기술프로세스는 생명주기동안 이해관계자의 요구사항을 시스템으로 변환하는 일

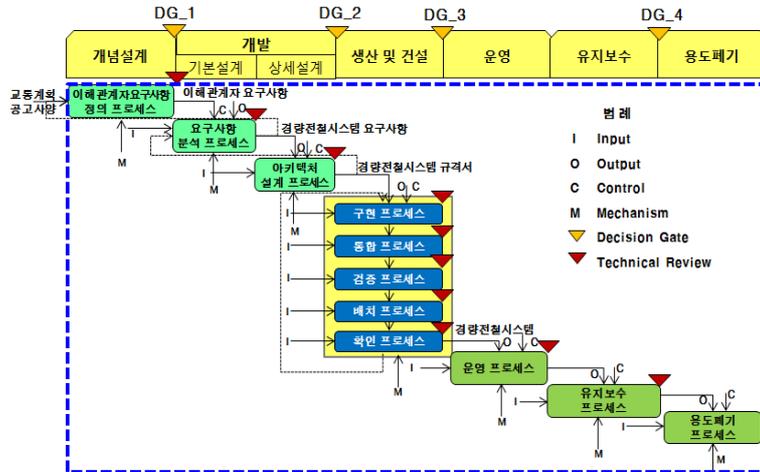


Fig. 1 Life cycle in LRT project and SE technical process<sup>(3)</sup>

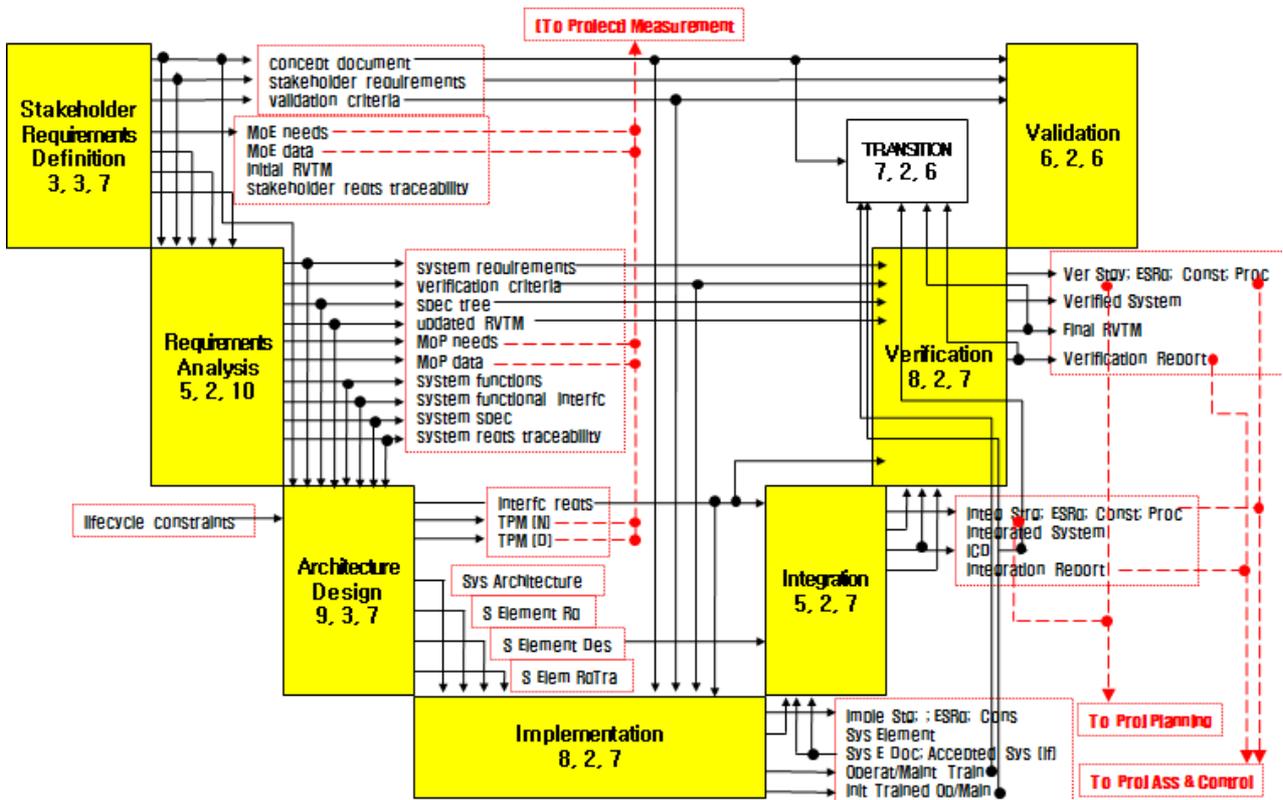


Fig. 2 Interconnections among technical processes

련의 기술활동으로 11개의 프로세스로 구성되어 있다.<sup>(4)</sup> 각 프로세스는 활동과 태스크로 구성되며, 활동의 결과는 성과(outcomes)로 표현된다. 국제시스템엔지니어링협회(INCOSE, International Council on Systems Engineering)의 핸드북에는 이들 프로세스 결과를 산출물(outputs)형식으로 구분하여 표현하고 있다. Fig. 2는 기술프로세스의 활동 및 태스크의 결과와 산출물의 연관관계를 흐름도로 표현한 것이고, Fig. 3은 아키텍처설계 프로세스 내에서 활동과 태스크의 상호관계를 다이어그램으로 표현한 사례이다.<sup>(3)</sup> 각 프로세스의 산출물은 다른 프로세스의 입력물이 되어 해당 프로세스가 수행된다.

11개 기술프로세스 활동의 결과물을 정리하면 Table 2와 같으며, 실제로 경량전철사업 수행시 이들을 기준으로 수행하면 된다.<sup>(5)</sup>

**Table 2** Outputs list of technical process on LRT project

Technical Process	Outputs list	Technical Process	Outputs list
Stakeholder Requirements Definition	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Concept Documents</li> <li>- Concept of Production</li> <li>- Concept of Operations</li> <li>- Concept of Support</li> <li>- Concept of Disposal</li> <li>▪ Stakeholder Requirements</li> <li>▪ MOE Needs</li> <li>▪ MOE Data</li> <li>▪ Validation Criteria</li> <li>▪ Initial RVTM</li> <li>▪ Stakeholder Requirements Traceability</li> </ul>	Verification	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verification Strategy</li> <li>▪ Verification Enabling System Requirements</li> <li>▪ Verification Constraints on Design</li> <li>▪ Verification Procedure</li> <li>▪ Final RVTM</li> <li>▪ Verified System</li> <li>▪ Verification Report</li> </ul>
		Transition	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transition Strategy</li> <li>▪ Transition Enabling System Requirements</li> <li>▪ Transition Constraints on Design</li> <li>▪ Installation Procedure</li> <li>▪ Installed System</li> <li>▪ Transition Report</li> </ul>
Requirements Analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ System Requirements</li> <li>- Performance Requirements</li> <li>- Functional Requirements</li> <li>- Non Functional Requirements</li> <li>- Architectural Constraints</li> <li>▪ MOP Needs</li> <li>▪ MOP Data</li> <li>▪ System Functions</li> <li>▪ System Functional Interfaces</li> <li>▪ Specification Tree</li> <li>▪ Verification Criteria</li> <li>▪ System Specification</li> <li>▪ Updated RVTM</li> <li>▪ System Requirements Traceability</li> </ul>	Validation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Validation Strategy</li> <li>▪ Validation Enabling System Requirements</li> <li>▪ Validation Constraints on Design</li> <li>▪ Validation Procedure</li> <li>▪ Validated System</li> <li>▪ Validation Report</li> </ul>
		Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operation Strategy</li> <li>▪ Operation Enabling System Requirements</li> <li>▪ Operation Constraints on Design</li> <li>▪ Operation Report</li> </ul>
Architectural Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ TPM Needs</li> <li>▪ TPM Data</li> <li>▪ System Architecture</li> <li>▪ Interface Requirements</li> <li>▪ System Element Requirements</li> <li>▪ System Element Descriptions</li> <li>▪ System Element Requirements Traceability</li> </ul>	Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Maintenance Strategy</li> <li>▪ Maintenance Enabling System Requirements</li> <li>▪ Maintenance Constraints on Design</li> <li>▪ Maintenance Procedure</li> <li>▪ Maintenance Report</li> </ul>
Implementation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Implementation Strategy</li> <li>▪ Implementation Enabling System Requirements</li> <li>▪ Implementation Constraints on Design</li> <li>▪ System Elements</li> <li>▪ System Element Documentation</li> <li>▪ Operator/Maintainer Training</li> <li>▪ Initial Trained Operators and Maintainers</li> </ul>	Disposal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disposal Strategy</li> <li>▪ Disposal Enabling System Requirements</li> <li>▪ Disposal Constraints on Design</li> <li>▪ Disposal Procedure</li> <li>▪ Disposed System</li> <li>▪ Disposal Report</li> </ul>
Integration	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Integration Strategy</li> <li>▪ Integration Enabling System Requirements</li> <li>▪ Integration Constraints on Design</li> <li>▪ Integration Procedure</li> <li>▪ Integrated System</li> <li>▪ Interface Control Documents), (ICDs</li> <li>▪ Integration Report</li> </ul>		

3.4 프로세스 산출물 작성 사례

시스템엔지니어링프로세스 활동의 결과인 산출물은 문서화하여 활동 결과의 증거, 발주처의 승인, 향후 유사프로젝트로의 재활용을 위해 보관하게 된다. Fig. 4는 산출물 작성 템플릿과 작성사례이다.<sup>(6)</sup>

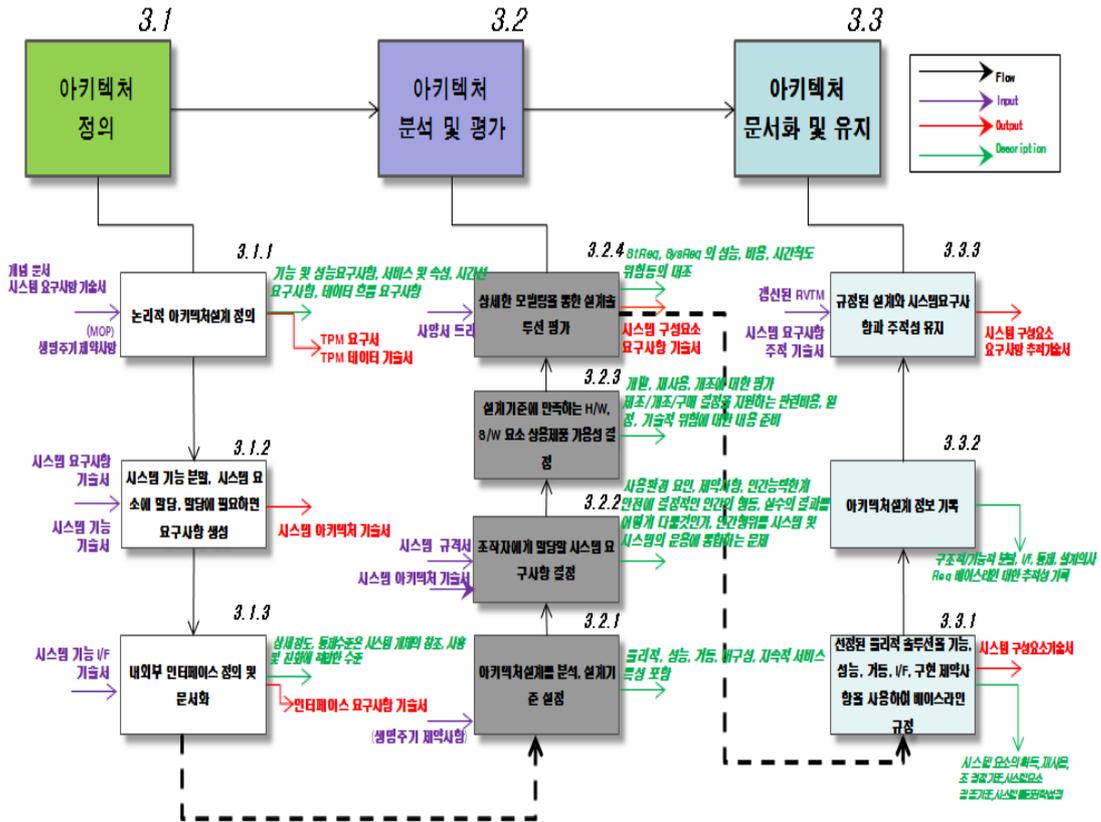


Fig. 3 Flow dia. of architecture process on the activities and tasks of technical processes

This figure shows two samples of the 'System Interface Requirements Description Template' and a system architecture diagram. The templates include document control information and a table for revision tracking.

**Document Headers:**

○○○경량전철사업 시스템엔지니어링	인터페이스 요구사항 System Interface Requirements Template	DOC. No. SE-02-○○-0838-0004 DATE 2013.01.24 REV. NO. V1 PAGE 1
-----------------------	---	---

**Revision Tracking Table:**

제 목	소속	성 명	서 명	날 자
작성				
검토				
승인				

**System Architecture Diagram:**

The diagram shows a central '시스템 인터페이스' (System Interface) box connected to various external systems: '시스템 외부' (System External), '운영기' (Operation Unit), '운행기' (Operation Unit), '운행기' (Operation Unit), and '시스템 외부' (System External). It also includes a '하위시스템' (Sub-system) and a '시스템' (System) box.

**Table 3: External Interface Requirements List (Excerpt)**

No.	요구사항 식별자	인터페이스 요구사항 식별자	Description
1	S880.05	SUPREQ.051	경량전철시스템 변전소 안전인식구분 요구 사항은 인터페이스 요구 사항에 포함되지 않음.

Fig. 4 Samples of the template and its case of process output

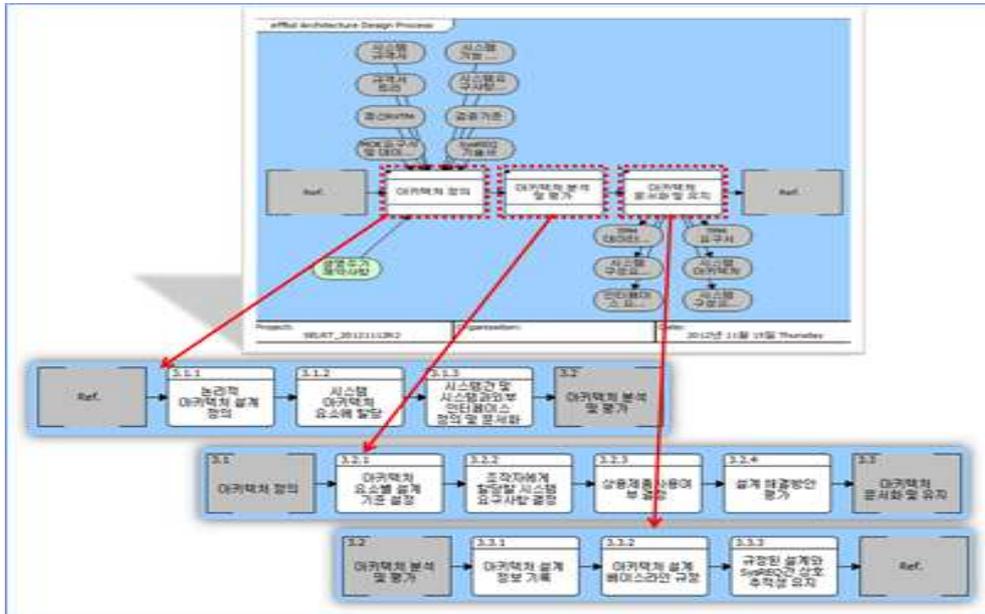


Fig. 5 Sample case of technical process implemented by SE tool(architecture design process)

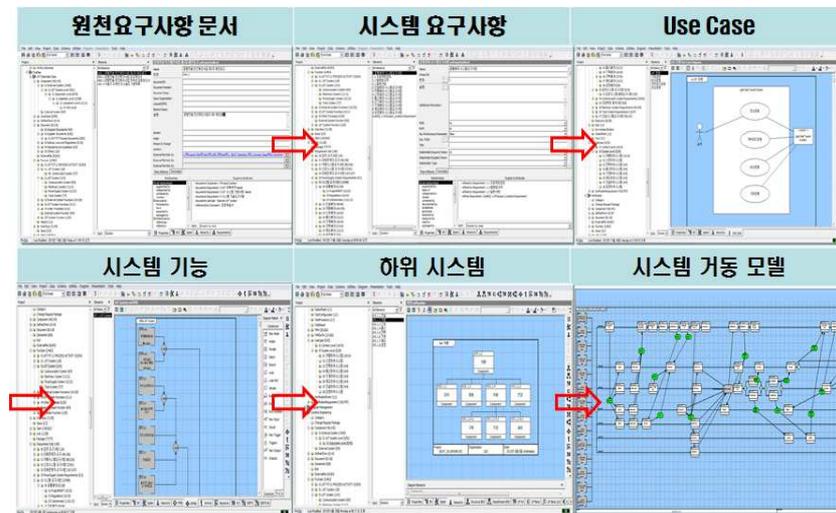


Fig. 6 Sample case of the outputs of technical process implemented by SE tool

#### 4. 시스템엔지니어링 프로세스의 전산 구현

시스템엔지니어링 국제 표준규격 ISO/IEC 15288의 기술프로세스를 시스템엔지니어링전산도구로 구현하기 위해 미국 Vitech사의 Core프로그램<sup>(7)</sup>을 이용하였다. Fig. 3에서 정의한 아키텍처설계 프로세스를 전산도구로 구현한 내용은 Fig. 5와 같으며, 프로세스 산출물을 구현한 사례 화면은 Fig. 6과 같다.<sup>(6)</sup>

#### 4. 결론 및 향후 계획

복합대형시스템인 경량전철사업의 시스템엔지니어링을 효율적으로 수행하기 위해서는 시스템엔지니어링 프로세스가 정의되어 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 시스템엔지니어링 국제표준기반으로 경

량전철사업의 시스템엔지니어링을 수행하기 위한 프로세스를 제시하고 프로세스의 산출물에 대한 목록과 사례를 제시하였다. 또한 프로세스를 전산도구로 구현한 사례를 제시함으로써 경량전철사업에서 실제로 적용이 가능하도록 하였다. 본 연구를 기반으로 향후 경량전철사업현장에서 시스템엔지니어링 사업을 진행하고 이러한 결과물들이 데이터베이스로 축적되면 유사 사업 수행시 비용 및 기간단축에 크게 기여할 수 있을 것이며, 또한 해외로 진출할 수 있는 기반이 될 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 플랜트엔지니어링기술개발사업(경량전철시스템 및 운영고도화를 위한 시스템엔지니어링 적용기술 개발)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- (1) INCOSE, 2010, "INCOSE Systems Engineering Handbook Ver.3.2," *INCOSE*, pp. 7~8
- (2) Han, S. Y., Choi, Y. C., Kim, J. W. and Park, K. J., 2011, "Directions for the Application of SE to LRT Project," APCOSE 2011
- (3) Han, S. Y., 2013, "The Application of Systems Engineering for Effective Execution of LRT Project," *Proceeding of Spring Conference of KSME(Plant Engineering)*
- (4) KSX ISO/IEC 15288(2009), *Information Technology-Systems and Software Engineering-Systems Life Cycle Process*
- (5) Han, S. Y., Choi, Y. C., Kim, J. W. and Park, K. J., 2012, "A Study on the Technical Process of Systems Engineering for LRT Project," *Proceeding of Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 852~858.
- (6) Han, S. Y., et al, 2013, Korea Railroad Research Institute, The 3rd annual report of Systems Engineering Application Technology Research for the LRT project and Advancement of LRT Operation. Korea Railroad Research Institute, Vol. 1 pp. 252~289.
- (7) Vitech Corporation, CORE 8<sup>®</sup>, <http://www.vitechcorp.com/index.shtml>