

도시형 자기부상철도 사업을 위한 시스템엔지니어링 관리계획서 작성

이영훈, 최요철, 이재천

한국철도기술연구원, 한국시스템엔지니어링, 아주대학교

On Creating the Systems Engineering Management Plan for Successful Completion of Urban Maglev Transportation Commercialization Project

Young-Hoon Lee, Yo-Chul Choi, Jae-Chon Lee

Korea Railroad Research Institute, Systems Engineering of Korea, Ajou University

Abstract - 자기부상철도는 철도시스템 특유의 특성을 가진 복합시스템으로, 그동안 장기간의 기술개발을 걸쳐 경량전철형의 도시형 자기부상열차가 개발되었다. 현재 2006년부터 국내 상용을 목표로 하는 대규모의 실용화사업이 추진되고 있다. 이와 같은 대규모의 복잡한 시스템에 대한 프로젝트에는 생명주기 개념이 적용된 프로젝트 관리 및 기술적인 시스템엔지니어링을 기반으로 하는 사업추진이 필수적이다. 시스템엔지니어링 관리계획서 (SEMP; Systems Engineering Management Plan)는 관련 프로젝트에 대한 시스템엔지니어링 분야의 최상위 계획으로, 프로젝트 추진방안 및 일정, 예산, 기술적 목표 등과 함께 시스템엔지니어링 기능 및 수행작업, 업무범위, 조직구조, 인터페이스 등에 대한 내용을 포함하여 기술한 문서를 말한다. 본 논문에서는 도시형 자기부상철도에 대한 실용화사업의 계획 수립을 통하여 SEMP를 작성하면서, SEMP에 대한 문헌조사 및 분석과 함께 SEMP의 작성 방안 및 과정을 보였다. 또한 이를 컴퓨터 기반의 도구를 사용하여 작성되도록 하였다.

1. 서 론

자기부상철도는 일반철도와 달리 차량이 바퀴 없이 자석의 힘을 이용하여 공중에 부상된 채로 운행되는 철도 시스템을 말한다[9][10]. 그동안 국내에서는 장기간에 걸쳐 경량전철형의 도시형 자기부상열차가 개발되었고, 2006년부터 이에 대한 실용화사업이 대규모로 추진되고 있다[9]. 자기부상철도는 일반철도와 같이 차량, 선로, 전력, 신호, 통신 등의 복합 시스템으로, 이와 같은 대규모의 복잡한 시스템에 대한 프로젝트에는 생명주기 개념이 적용된 프로젝트 관리 및 기술적인 시스템엔지니어링을 기반으로 하는 사업추진이 필수적이다.

성공적인 프로젝트 추진을 위해서는 수행 초기에 문제를 정의하고 방향을 제시하는 계획 수립이 핵심 사항으로 지목되고 있다[1]. 프로젝트 계획 수립은 프로젝트 요구사항을 정의하고 프로젝트 관리계획서를 작성하는 것으로 시작되어, 시스템엔지니어링 요구사항 파악 및 시스템엔지니어링 관리계획서(SEMP) 작성으로 이어진다 [1]. SEMP는 관련 프로젝트에 대한 시스템엔지니어링 분야의 최상위 계획으로, 프로젝트 추진방안 및 일정, 예산, 기술적 목표 등과 함께 시스템엔지니어링 기능 및 수행작업, 업무범위, 조직구조, 인터페이스 등에 대한 내용을 포함하여 기술한 문서를 말한다[1][2].

본 논문에서는 시스템엔지니어링 활동을 효과적이고 효율적으로 지원하기 위하여 도시형 자기부상철도에 대한 실용화사업 프로젝트 계획 수립을 통하여 SEMP를 작성하였고, 이를 위하여 SEMP에 대한 문헌조사 및 분석과 함께 SEMP 작성 방안 및 과정을 보였다. 또한 이를 컴퓨터 기반의 도구를 사용하여 작성되도록 하였으며, 이를 위한 데이터베이스의 설계, 템플릿 개발 등을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 시스템엔지니어링 관리 계획서(SEMP)

2.1.1 SEMP의 정의

SEMP는 시스템엔지니어링 활동에 대한 최상위 수준의 계획으로 프로젝트에 대한 조직, 체계, 수행 방안, 고객 요구사항을 만족하는 제품을 제공하기 위하여 통제하는 전체적인 엔지니어링 프로세스 방법을 정의한 문서이다[1]. SEMP는 프로젝트 관리계획서를 기반으로 하여 전체 통합 엔지니어링 노력에 대한 관리 및 수행 방안, 프로젝트에서 제시된 계약사항내에서 프로젝트의 기술적 관리에 대한 정의 등 개념 설계단계에서 포괄적으로 기술된다. 또한 시스템엔지니어링의 기술적인 관리 형식은 프로젝트나, 담당부서, 기업 표준 등에 맞게 조정될 수 있다[1][2].

2.1.2 SEMP의 역할

철도시스템과 같이 복잡하고도 규모가 큰 복합 시스템을 개발하는 프로젝트와 같은 경우 개념 설계에서, 시스템 설계, 통합, 검증, 시험 등 프로젝트 생명주기에 있어서 프로젝트 계획이나 요구사항 등의 변경이 발생할 수 있다. 이는 프로젝트 비용 증가나 일정 지연 등의 중대한 문제로 이어질 수 있으며, 시스템엔지니어링 관리측면에서 대책이 필요하다[1]. SEMP는 프로젝트의 기술적 관리에 대한 지침으로서, 시스템 개념 및 설계에 대한 전체적인 개관, 프로젝트 위험부담 관리, 검증 및 확인(verification & validation) 등을 담고 있다. 보통 SEMP는 제안요청서(RFP)에 대응하여 작성하며, 프로젝트의 기술적 항목과 함께 비용 예측, 추진일정 등에 대한 활동 계획을 담고 있기 때문에 계약문서로도 사용될 수 있다. 또한 인터페이스 통제, 변경 통제 등과 같은 기술 통제, 구매 통제계획, 설계 검토계획, 기술 감사계획 등을 SEMP에 정의하여 관리하고, 프로젝트 수행에 있어 이를 추종하도록 한다[1][2].

2.1.3 SEMP 분석

앞에서 살펴본 바와 같이 SEMP는 프로젝트 수행에 있어서 매우 중요한 문서로서, 국내에서는 많이 활용되고 있지는 않으나 그 필요성에 대한 인식이 점점 커지고 있다. 그럼에도 불구하고 SEMP의 필요성이나 포맷 등에 대해서는 나름대로 제시되어 있으나, SEMP에 대한 구체적인 절차나 방법을 찾아보기 어렵고, 실제 공개된 문서를 확보하기에 어려운 실정이다. 본 논문에서는 SEMP에 대해 언급한 기존 국제표준 및 산업표준, 지침서 등을 중심으로 SEMP 항목을 분석하였으며, 이를 도시형 자기부상열차 실용화사업의 계획 수립을 통한 SEMP 작성에 반영하였다.

DI-MGMT-81024에서 SEMP는 전체적인 엔지니어링 노력의 통합에 대한 계획 및 통제를 위해 계약자가 수행

하는 제안사항으로 정의 하면서, 그 구조를 크게 3부분으로 나누었다. 제 I 부는 시스템엔지니어링, 제 II 부는 기술적 프로젝트 계획 및 통제, 제 III 부는 엔지니어링 통합으로 구분하여 기술하였다. 이 문서에서는 각 부에 대한 설명과 수행 활동 및 산출물에 대해 제시하였으나, 작성 지침이나 사례에 대한 내용은 없다[3][9]. 미국 군사 표준인 MIL-STD-499A에서는 이보다 세부적인 항목과 함께 문서의 형태를 갖추었으며, 보델 텍스트를 제시하고 있다[4][9]. EIA-632 표준에서는 SEMP를 Engineering Plan으로 지칭하면서 SEMP에 대한 내용보다 주로 시스템을 엔지니어링하는데 필요한 프로세스 수 행방법에 대해서 기술하고 있다[5][9]. 시스템엔지니어링 관련 주요 표준인 IEEE 1220에서는 SEMP의 세부적인 목차와 항목을 체계적으로 제시하고 권고하고 있으나, 각 항목에 대한 작성 지침이 매우 간단하여 실제 활용에 어려움이 있다[6][9]. 그 외 INCOSE(국제 시스템엔지니어링 협회)의 시스템엔지니어링 핸드북에서 SEMP에 대한 정의와 방법론을 구체적으로 제시하고 있으며 일반문서의 형식으로 제시하였다. 각 항목에 대한 작성 지침을 상세히 기술하고 예를 들어 이해를 높이고 있으나, 시스템 개발 프로세스에 초점이 맞추어져 있어 프로젝트 관리 부분의 업무에 대한 언급이 부족하다[7][9]. 또한 NASA(미국 우주항공국)의 시스템엔지니어링 핸드북에서도 SEMP 내용을 크게 3부분으로 나누어 제시하고 있으며, 프로젝트 관리 부분과 시스템엔지니어링 프로세스, 특수 분야 엔지니어링까지 꼭넓게 언급하고 있다. 그러나 각 부에 대한 세부 항목만을 제시하고 있으며 구체적인 작성 지침에 대한 내용이 없다[8][9].

2.2 SEMP 개발

SEMP는 프로젝트 관리 계획서를 바탕으로 개념설계 단계에서 작성되는 매우 방대한 문서로, SEMP 작성 시 최대한 많은 이해 관계자들이 참여하여 작성되어야 하며, 프로젝트 관리 계획서와 일관되게 작성되어야 한다[1]. 특히 프로젝트 관리를 위한 기술적 접근법, 그리고 프로젝트 생명주기별 기술적 활동에 대하여 면밀히 기술한다[2]. 이러한 SEMP 개발에는 프로젝트의 모든 영역에 대한 전문지식과 함께 시스템적 사고 및 풍부한 경험을 가진 전문가들의 참여가 필요하다[1]. SEMP 개발 과정과 함께 대상시스템을 이해하고 정의하며, 해결방안을 찾아내는 절차와 과정을 갖을 수 있다. 본 연구에서는 기존 시스템엔지니어링 관련 표준 및 지침서 등에 대한 분석 결과를 바탕으로 SEMP의 중요 항목을 도출하고, 이를 실제 도시형 자기부상열차 실용화사업 프로젝트에 반영하여 구현하고, 이를 구조화하고 전산화하였다.

2.2.1 SEMP 항목의 설정

앞에서 살펴본 시스템엔지니어링 관련 표준 및 지침서 등에서의 SEMP 항목은 주로 문서화를 위한 표지, 목차 등과 함께, 본문의 내용은 프로젝트의 범위와 적용 문서를 기술한 부분과 SEMP의 핵심이 되는 3개의 주요부로 구성되어 있다[9]. 따라서 본 논문에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업에 대한 SEMP 작성성을 위해 항목을 표 1과 같이 선정하고, 이에 대한 서술과 작성 사례를 중심으로 문서화하였다. 선정된 항목의 주요 내용은 기술적 프로젝트 관리 활동 정의, 시스템엔지니어링 프로세스 정의 및 상세 활동, 그리고 'ility'로 지칭되는 신뢰성, 가용성, 성능, 상호운용성 등과 같은 특수 분야 엔지니어링에 대한 항목으로 하였다. 특히 시스템엔지니어링 개발 프로세스를 구체적으로 제시하고 이에 대해 서술하였다[10]. 상용화를 위한 도시형 자기부상열차 실용화사업은 사업의 결과물이 운용될 실제 시스템으로, 계획대로 목표가 잘 달성되었다는 것을 검증 확인하기 위해 모든 엔지니어링 활동에 대한 추적성을 확보하여야 하며, 생명주기 단계의 운영 및 유지보수, 폐기 단계까지 관리되고 보완되어야 할 것이다.

표 1 선정된 SEMP 항목

No.	Contents	No.	Contents	No.	Contents
1	Scope	3.3.3	Interface control process	4.4	System Analysis and Control
2	Applicable Documents	3.3.4	Data control process		
3	Technical Project Planning and Control Activities	3.3.5	Quality control	4.4.1	Systems Engineering Tools And Facilities
3.1	Organization And Responsibility	4	Systems Engineering Process Activities	4.4.2	Requirements/Design Traceability
3.1.1	The role of the project office	4.1	Major Deliverables and Results	5	Engineering Specialty Integration Activities
3.1.2	The role of the user	4.2	System Analysis Process		Requirements of the User
3.1.3	The role of the Contracting Office Technical Representative(COTR)	4.2.1	System definition process	5.1	Required Systems Engineering Integration Tasks
3.1.4	The role of systems engineering	4.2.3	System decomposition process	5.2	Policy/Guidelines
3.1.5	The role of design engineering	4.2.4	System analysis and design process	5.2.1	Specialty Organizational Structure
3.1.6	The role of specialty engineering	4.2.5	Requirements allocation process	5.2.2	Internal Interfaces
3.2	Technical Program Management	4.2.6	System integration process	5.2.3	Functional Accountability
3.2.1	Contract WBS	4.3	System Design Process	5.2.4	Working Interface
3.2.2	Specification Tree	4.3.1	Technical Program	5.2.5	Milestones
3.2.3	Risk Management	4.3.2	Operational Requirements	5.3	Concurrent engineering
3.2.4	System Test Plan	4.3.3	Technical Performance Analysis	5.4	Reliability Program
3.2.5	Measurement TPM	4.3.4	System Requirements Analysis		Program Plan
3.2.6	Technical Reviews And Audit	4.3.5	Functional Analysis	5.5	Maintainability Program Plan
3.2.7	Configuration Management	4.3.6	Allocation	6	Notes
3.3	Technical Project Control	4.3.7	Functional Verification	6.1	General Background Information
3.3.1	Baseline control process	4.3.8	Synthesis	6.2	Acronyms and Abbreviations
3.3.2	Change control process	4.3.9	Design Verification		Glossary

2.2.2 SEMP 주요 항목의 내용

SEMP의 주요 항목을 중심으로 살펴보면, 제I부 기술적 프로젝트 계획 및 통제 활동 부분은 시스템엔지니어링 관리를 위한 조직적인 책임과 권한을 설정하는 것으로, 성능과 설계 요구사항을 위해 설정된 통제의 수준, 통제 방법, 기술적 진척사항 확인 방안, 설계 및 기술 검토를 위한 계획과 일정, 문서 통제 등의 활동에 대해 정의한다. 제II부 시스템엔지니어링 프로세스 활동 부분은 시스템 및 프로젝트의 요구사항에 대해 프로세스의 특별한 조정을 포함하여, 사용된 시스템 설계 프로세스에 대해 기술한다. 프로세스 수행 절차, 문서화, 절충연구 방법론, 시스템 비용 효과성 평가 모델의 형태, 규격서 생성 등의 활동에 대해 정의한다. 제III부 특수 분야 엔지니어링 통합 활동 부분은 시스템엔지니어링 프로세스의 반복수행과 함께 특수 분야 엔지니어링에 대한 통합 및 조정을 기술하며, 특수 분야 업무에 대한 책임과 권한을 정의한다.

2.2.3 SEMP 데이터베이스 설계

SEMP는 프로젝트의 형태와 규모에 따라 작성되지만, 대체로 프로젝트 전반에 걸친 기술적 사항을 담고 있어 매우 방대한 문서로 작성된다. 이에 따라 수작업이나 기존 문서 작성 프로그램으로 많은 양의 데이터를 관리하고 문서화 하기에 어려움이 많으며, 많은 시간과 노력이 필요하다. 이러한 어려움을 보완하기 위해 전산지원 도구의 사용이 필요하며, 이를 위한 데이터베이스를 설계하였다.

그림 1은 시스템엔지니어링 전산지원 도구를 활용하여 체계화하기 위한 SEMP 데이터 구조를 통합적으로 표현한 데이터베이스 설계 스키마이다. 이는 시스템 생명주기 전 단계에서 수행되는 프로젝트 관리, 시스템엔지니어링 관리 및 수행을 위한 SEMP 데이터를 효율적으로 관리하고 일관성 및 추적성을 확보하기 위한 데이터 아키텍처로 제시하였다.

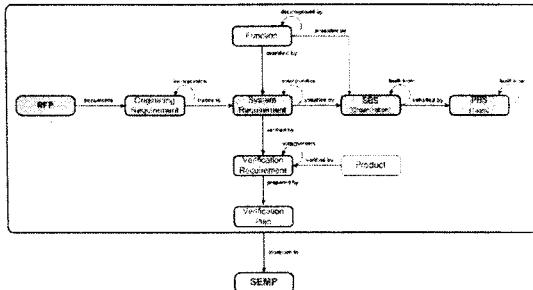


그림 1 데이터베이스 스키마

2.2.4 CASE 도구 활용

CASE(Computer-Aided Systems Engineering) 도구로 지칭되는 전산지원도구를 통하여 대량의 고속 데이터 처리 및 관리, 문서화 지원 등을 통하여 많은 시간과 노력을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 MBSE(Model-Based Systems Engineering) 도구를 활용하여 SEMP 데이터를 입력하였다 또한 데이터의 추가, 삭제, 변경 등의 방대한 정보 유동에 능동적으로 대처하도록 데이터를 체계화 하고, 도시형 자기부상열차 실용화사업을 위해 도출한 SEMP 항목을 전산화하기 위한 템플릿을 개발하였다. 템플릿은 번호, 이름 상세내용 등 여러 가지 속성을 고려하여 작성한다. 데이터의 양이 많아지고 관리가 필요한 속성들이 늘어나면 템플릿의 효과성은 더욱 커진다. 그림 2는 MBSE 도구에서 템플릿을 활용하여 입력된 데이터에 대한 것이다. SEMP 항목을 하위로 전개하면서 추적성을 설정하였으며, 필요한 정보를 신속하게 조회하여 확인하고 수정, 관리할 수 있다. 이와 같이 도구를 통한 데이터 처리는 변경관리에 매우 효율적이며 데이터의 신속한 문서화에 편리성을 제공한다.

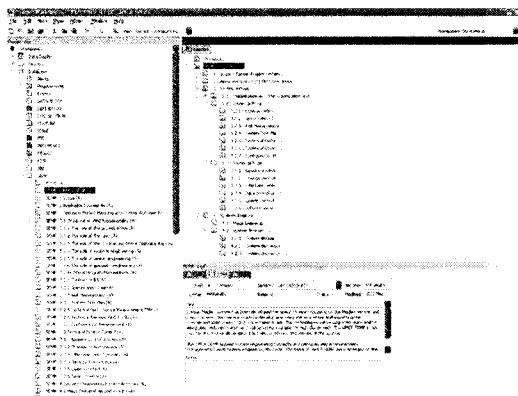


그림 2 MBSE 도구에 의한 데이터 처리 및 추적성 관리

3. 결 론

본 논문에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업 계획을 통하여 시스템엔지니어링 관리계획서(SEMP) 작성을 위한 연구를 수행하였다. SEMP 작성을 통하여 전반적인 엔지니어링 통합에 대한 계획, 통제, 수행을 위한 활동을 정의하였다. 이를 위한 관련 표준 및 지침서 등의 참고문헌을 통해 SEMP의 중요 항목을 도출하고, 도시형 자기부상열차 실용화사업에 적용할 수 있도록 조성하였다. 또한 선정된 SEMP의 항목과 내용을 제계적이고 지속적으로 관리될 수 있도록 모델기반 시스템엔지니어링 도구를 활용하여 데이터베이스화 하는 방안을 제시하였다. 최종적으로 관리된 내용을 자동 문서화하여

SEMP 관련 정보 변경이 있더라도 정확하고 신속하게 반영, 처리, 출력이 가능하다(그림 3, 그림 4). 이로써 기존의 수작업 보다 효율적이고 높은 생산성과 함께, SEMP의 유용성을 더욱 향상시킬 것으로 기대된다. 아울러 본 연구에 이어 향후 SEMP의 개별 항목에 대한 상세 연구가 필요하다.

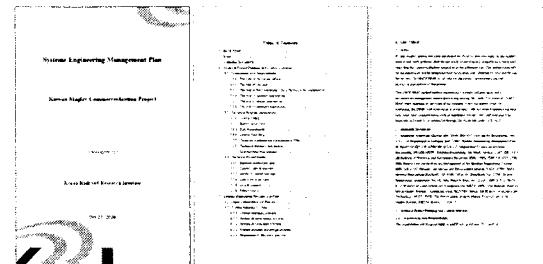


그림 3 도시형 자기부상열차 실용화사업 SEMP 문서

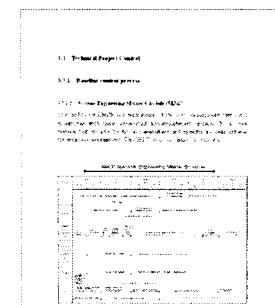


그림 4 SEMP 내용의 일부 : 전체 일정

[참 고 문 헌]

- [1] Benjamin S. Blanchard, "System Engineering Management", Wiley, 3rd ed., pp.248-300, 2004
- [2] Alexander Kossiakoff, William N. Sweet, "Systems Engineering Principles and Practice", Wiley, pp.50-61, 2003
- [3] Department of Defence(DoD), "System Engineering Management Plan", A/MICOM, DI MGMT-81024, pp.1-6, 1990
- [4] Department of Defence(DoD), "Engineering Management", USAF, MIL STD 499A, pp.10-14, 1974
- [5] Electronic Industries Alliance(EIA), "Process for Engineering", EIA EIA-632, 1999
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE), "IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process", IEEE, IEEE Std 1220-2005, pp.71-78, 2005
- [7] International Council on Systems Engineering(INCOSE), "Systems Engineering Handbook, A "HOW TO" GUIDE For All Engineers", INCOSE, Version 2, pp.37-56, 2000
- [8] National Aeronautics and Space Administration(NASA), "NASA Systems Engineering Handbook", NASA, SP-610S, pp.28-30, p.119, 1995
- [9] Young Hoon Lee, Yo Chul Choi, Jae-Chon Lee, "A Study on the Systems Engineering Management Plan For the Korean Maglev Commercialization Project", Proceedings of 2nd IC EpsMso, 2007
- [10] 한국교통연구원, "도시형 자기부상열차 실용화사업 타당성 조사", 건설교통부, pp.405-489, 2006
- [11] 한국철도기술연구원, "자기부상열차 실용화사업에 대한 예비타당성조사 연구", 한국과학기술기획평가원, pp.152-177, 2005