

철도안전시스템에 적용한 시스템 엔지니어링 관리 계획 작성사례 연구

A Study on the Systems Engineering Management Plan for the Railway Safety System

최요철* · 박영원** · 조연옥***
Choi, Yo-Chul Park, Young-Won Cho, Yun-Ok

ABSTRACT

The Systems Engineering Management Plan (SEMP) is the primary, top level technical management document for the integration of all engineering activities at the project plan phase. This document defined the activities to plan, control, and perform overall engineering integration. To develop the SEMP for Railway Safety System, several standards are reviewed and analyzed. And then a common requirement for SEMP preparation is derived from the results of analysis. Also, the SEMP example available practically applies to Railway Safety System. In particular, The SEMP focused on controlling technical program management has been organized so far, but in this study the detailed contents of SEMP put stress on project management is derived. And it is related to each other between project management and technical engineering management. At the end, to continuously manage the items and contents of the SEMP, a database management and an automatic document generation system is presented using Computer-Aided Systems Engineering (CASE) tool.

1. 서론

국내뿐만 아니라 세계적으로 사회가 점점 발전함에 따라 기술위험성 증가 및 안전욕구의 증가 추세로 안전관리가 국가 전체의 매우 중차대한 주제로 부각되고 있다. 특히 철도교통시스템의 경우 작은 안전관리 소홀로 인해 대형사고 발생률이 매우 높으며, 그 피해는 매우 심각하게 나타난다 하겠다. 과거 20년간의 국내의 철도사고사태 분석 결과를 살펴보면 국내 철도 사고 피해의 심각성은 안전 확보와 피해저감을 위한 종합적인 안전관리 체계의 미비가 주요한 원인으로 분석되었다.(1) 철도시스템의 특성상 시스템 개발단계보다는 운영단계에서 사고 발생위험이 높고, 이로 인해 대형사고로 이어지는 사례가 많이 있다. 잠재된 사고 위험과 안전위험요소를 개념설계단계에서부터 철저히 분석하고 관리해 나감으로써 운영단계에서 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하거나 그 피해를 최소화할 수 있도록 철도안전시스템을 마련해야 한다. 이를 위한 하나의 대안으로 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP)은 철도안전시스템에 있어서 안전을 확보하는 중요한 활동이 될 수 있다.

* 아주대학교 시스템공학과 박사과정, 학생회원

** 아주대학교 시스템공학과 교수

*** 한국철도기술연구원, 정회원

2. 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP)

2.1 프로젝트 관리계획(PMP)과 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP)의 차이점

프로젝트 관리계획(Project Management Plan)은 프로젝트를 어떻게 관리할 것인가를 정의하며, 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP)은 프로젝트 계획에서 확립된 제약사항내에서 프로젝트를 어떻게 기술적으로 관리할 것인가에 대해 모든 관여자에게 정의를 내린 하위문서이다. 이에 프로젝트 관리자는 전체 프로젝트 수명주기의 관리에 집중하는 반면에, 프로젝트 수준 또는 리드(lead) 시스템엔지니어는 프로젝트의 기술적 측면 관리에 집중을 한다. 정의된 프로그램의 제약사항내에서 프로젝트의 목표와 목적을 달성하기 위해서 SEMP는 모든 관여자들이 어떻게 사전에 확립된 관리 절차(practices)에 응답해야 하는지에 대해 모든 관여자들과 서로 의사소통을 한다. 예를 들어, 프로젝트의 내부적 그리고 외부적 인터페이스 통제를 위한 방법을 서술해야 한다. 또한 SEMP는 시스템 개발 및 지원을 위한 시스템엔지니어링 관리 기술들이 어떻게 적용되어야만 하는지에 대해서 서로 의사소통을 한다.

2.2 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP) 정의

시스템엔지니어링 관리계획은 시스템엔지니어링 업무활동 관리를 위한 최상위 수준의 계획으로 프로그램을 조직화하고, 체계화하며, 이를 수행해 나아가는 방법과 고객 요구사항을 만족하는 제품을 제공하기 위하여 통제하는 전체적인 엔지니어링 프로세스 방법을 정의한 문서이다. 이는 포괄적이며, 전체 통합 엔지니어링 노력을 어떻게 관리하고 수행해야 할 것인지에 대해 명확하게 서술해야 하며, 프로젝트 계획에서 확립된 제약사항내에서 프로젝트를 어떻게 기술적으로 관리할 것인가에 대해 모든 관여자에게 정의를 내리는데 사용되어 진다. 계약자는 시스템엔지니어링 관리계획을 작성하여 고객에게 제출해야 하며, 이는 미 국방성 프로그램에서 PD&RR (Program Definition & Risk Reduction)과 EMD (Engineering & Manufacturing Development) 기술관리 또는 이와 유사한 민간부문에서 사용되어지고 있다. 시스템엔지니어링 기술관리 형식은 프로그램, 관할부서, 또는 기업 표준에 맞게 조정될 수 있다.

2.3 시스템엔지니어링 관리계획의 역할

철도차량시스템, 선로구축물시스템, 전기신호시스템, 전력시스템과 같은 복잡하고도 규모가 큰 시스템들로 구성된 철도시스템 개발 시 체계적이며 합리적인 프로젝트 관리와 기술적 관리가 적용되지 않는다면 많은 어려움을 겪을 것이다. 잦은 계획의 변경, 비용의 증가, 일정 지연 등의 중대한 문제가 야기 될 수 있다. 아직까지 군수 및 산업분야에서 많이 활용되고 있지는 않지만, SEMP의 필요성이 여러 분야에서 인식되고 있다. SEMP는 프로젝트와 계약 사이에 유일한 것이지만, 이것은 각각의 중요한 프로그램의 변경에 대해 업데이트 되어져야 하며, 그렇지 않으면 유행에 뒤처지게 되어 사용되어지지 않으며, 프로젝트가 통제 불능의 상태로 빠져들 수 있다. 계약자는 제안(proposal)프로세스 기간에 SEMP를 개발해야 하는데, 왜냐하면 SEMP는 프로젝트의 기술적 항목, 잠재적으로 비용이 많이 드는 위험관리 활동, 그리고 사용되어진 검증과 논증, 프로젝트 비용 예측의 예비조사에 포함되어야 하는 모든 것들을 기술하기 때문이다. 인터페이스 통제문서, 변경 통제계획과 같은 모든 다른 기술 통제문서, 매개 통제계획, 설계 검토계획, 기술 감사계획은 SEMP에 의존하며 이것을 따라야만 한다.

2.4 각 표준에 따른 SEMP 분석

SEMP에 대해 처음으로 소개한 DI-MGMT-81024에 따르면 SEMP는 완전히 통합된 엔지니어링 노력을 계획하고 통제하기 위해 계약자의 제안된 노력을 기술한 것이라고 설명하였다. 이 문서를 간략히 살펴보면 SEMP를 크게 3부분으로 나누었다. Part I에서 시스템엔지니어링에 대해 기술하였으며, Part II에서 기술적 프로그램 계획 및 통제에 대해 기술하였다. 그리고 Part III에서 엔지니어링 통합에 대해 기술하였다. 각 Part에 대한 설명과 수행되어야만 하는 활동과 산출물에 대해 정의를 하였으나 작성지침과 구체적인 사례에 대해서는 기술하지 않았다. 이는 다른 표준에서도 비슷한 형태로 나타났다. 표 1은 관련문헌 별 SEMP 항목 및 특징을 분석한 결과이다. 이후에 분석결과를 토대로 철도안전시스템 적용할 SEMP 항목 도출에 활용하였다.

표 1. 관련문헌 별 SEMP 항목 및 특징 분석

관련문헌	항 목	특징
DI-MGMT-81024 ²⁾	Part I - 시스템엔지니어링 Part II - 기술적 프로그램 계획 및 통제 Part III - 엔지니어링 통합	크게 3개의 Part로 구분하고, 각 Part에 대한 세부항목 제시. Part III에 대한 세부항목 없음 단지 SEMP의 정의, 포맷, 항목에 대해 기술
MIL-STD 499A ³⁾	Part I - 기술적 프로그램 계획 및 통제 Part II - 시스템엔지니어링 프로세스 Part III - 엔지니어링 전문분야 통합	DI-MGMT-81024 참조하여 보다 세부적으로 작성되어 있으며, 비교적 문서의 포맷을 갖춘. 사용하지 않는 표준이나 Model Text가 존재함.
EIA-632 ⁴⁾	1) What is the general problem to be solved? 2) What is the benefit to the acquirer? ... 12) What is the organizing structure? ... 18) What are the entry and exit criteria for reaccomplishing each process? 19) How will project completion be determined?	실제적으로 EIA-632 표준에는 SEMP의 항목에 대해서는 기술하지 않고 있으며, SEMP에 대한 용어를 Engineering Plan으로 바꾸어 사용하고 있다. Engineering Plan의 세부적인 항목에 대해서는 언급하고 있지 않으나, 시스템을 엔지니어링 하는데 요구되는 프로세스를 수행하는 방법에 대해 기술하고 있다. EP에 대한 내용은 후부에 INCOSE HANDBOOK의 SEMP 작성의 근간이 된다.
INCOSE SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK ⁵⁾	a. 개요지 b. 제목 페이지 c. 목차 d. 범위 e. 적용문서 f. 시스템엔지니어링 프로세스 g. 핵심기술의 변화 h. 시스템엔지니어링 활동의 통합 i. 추가적인 시스템엔지니어링 활동 j. 주석 k. 부록	SEMP에 대한 정의와 방법론을 구체적으로 제시하고 있으며, 일반문서의 형식을 유지하여 작성되었다. 각 항목에 대한 작성지침이 매우 상세하게 기술되어 있고, 예를 제시함으로써 이해도를 높였다. 그러나 전체적인 내용이 시스템 개발프로세스에 초점이 맞추어져 있어 프로젝트 관리부분의 업무에 대한 언급이 부족함.
IEEE 1220 ⁶⁾	1. 범위 2. 적용문서 3. 시스템엔지니어링 프로세스 적용 4.0 핵심기술의 변화 5.0 시스템엔지니어링 활동의 통합 6.0 추가적인 시스템엔지니어링 활동 7.0 주석	SEMP와 세부적인 목차와 항목을 체계적으로 작성하였으며, 이를 표준에서 권고하고 있음. 그러나 각 항목에 대한 작성지침이 간단하기 때문에 실제적으로 작성에 어려움이 있으며, Model Text가 존재하지 않음. 세부적인 지침은 INCOSE HANDBOOK을 활용.
NASA SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK ⁷⁾	Part I - 기술적 프로젝트 계획 및 통제 Part II - 시스템엔지니어링 프로세스 Part III - 엔지니어링 전문분야 통합	크게 3개의 Part로 나누어 작성되어 있으며, 프로젝트 관리부분과 시스템엔지니어링 프로세스, 그리고 전문분야까지 폭넓게 언급하고 있다. 각 Part에 대한 세부항목은 존재하나 구체적인 작성지침에 대해서는 언급하고 있지 않음.

2.5 철도안전시스템에 적용한 SEMP 개발

안전을 시스템 개발 초기부터 반드시 고려해야 하는 철도시스템의 경우 SEMP는 프로젝트 계획과 동시에 개발되어야 한다. SEMP 개발 시, 프로젝트에 대해 기술적 접근법, 그리고 다음으로 프로젝트 수명주기의 기술적 측면이 개발되어야 한다. 또한 SEMP의 개발은 프로젝트의 결과물에 중요한 영향을 줄 수 있는 프로젝트의 모든 영역으로부터 지식을 소유한 프로그램 적이고 기술적인 전문가로부터 참여를 요구한다. 인정받는 전문가의 참여는 프로젝트 매니저에게 신뢰할 수 있는 SEMP를 확립하기 위해 그리고 프로젝트 팀의 전체 위임을 확보하기 위해 필요하다. SEMP에 대해 언급한 문헌들의 항목 및 특징을 분석한 결과를 토대로 SEMP의 공통 항목을 도출하였다. 철도안전시스템의 특성에 맞추어 안전과 관련된 활동들을 중심으로 항목을 도출하였으며, 또한 전체 수명주기에서 수행되어야 하는 주요활동에 대해서도 언급하였다.

3. 철도안전시스템 SEMP

3.1 SEMP 항목선정

기존 표준이나 참고문헌에서 제시한 SEMP의 항목을 분석한 결과를 살펴보면, 관리계획서의 전체 형식을 위한 결표지, 목차에 대해 기술하고 있으며, 본문의 내용은 범위의 적용문서를 기술한 부분과 SEMP의 핵심이 되는 3개의 Part로 구분되어져 있다. 마지막으로 필요한 정보를 기술한 Notes와 부록으로 구성되어져 있다. 특히 본 논문에서는 SEMP의 핵심부분인 3개의 Part에 대해 초점을 맞추어 철도안전시스템에 적용 가능한 SEMP의 항목을 선정하였다. 특히 철도안전시스템에 경우 개발초기부터 안전에 대해 관리해야 하는 부분에 대해 중점적으로 세부항목을 선정하였다. 본 연구에서는 세부항목이 명확하게 제시되지 않았지만, 모델기반 시스템엔지니어링 도구를 통하여 구축된 SEMP 관리체계를 이용하여 세부항목을 입력하고 관리하도록 하였다. 아래의 3개의 Part는 철도안전시스템에 적용한 SEMP의 핵심 항목이다.

Part I - 기술적 프로젝트 계획 및 통제활동 (Technical Project Planning and Control Activities)

이 부분은 계약 엔지니어링의 통제를 포함하여 시스템엔지니어링 관리를 위한 조직적인 책임과 권한을 식별하는 것이다.; 성과와 설계 요구사항을 위해 설정된 통제의 레벨, 그리고 사용된 통제 방법; 기술적 진행 확인 방법; 설계와 기술적 프로그램/프로젝트 검토를 위한 계획과 일정; 그리고 문서통제 등의 활동에 대해 정의하는 부분이다.

Part II- 시스템엔지니어링 프로세스 활동 (Systems Engineering Process Activities)

이 부분은 시스템과 프로젝트의 요구사항에 대해 프로세스의 특별한 조정을 포함하고, 사용된 시스템 설계 프로세스의 상세한 서술을 포함한다.; 프로세스 수행에 있어서 사용된 절차; 사내 문서화; 절충연구 방법론; 시스템 비용-효과성 평가에 사용된 수학적 그리고/또는 시뮬레이션 모델의 형태; 그리고 규격서 생성들의 활동에 대해 정의하는 부분이다.

Part III- 전문분야 엔지니어링 통합 활동 (Specialty Engineering Integration Activities)

이 부분은 시스템엔지니어링 프로세스의 각각 반복하는 동안에 시스템엔지니어링 프로세스에 특수 엔지니어링 분야의 노력의 통합과 조정을 서술한다. 특수 분야 업무의 중첩이 잠재적일 때, SEMP는 이들 특수 분야의 상대적인 책임과 권한을 정의한다.

3.2 모델기반 시스템엔지니어링 도구를 활용한 SEMP DB화 및 문서화

3.2.1 SEMP의 항목 및 속성 DB화

프로젝트의 형태와 규모에 따라 SEMP가 작성되어야 하지만, 반드시 방대한 문서를 요구하지는 않는다. 그러나 매우 복잡하고 여러 분야의 기술이 필요로 하는 프로젝트의 경우 필요에 따라 수백에서 수천 장의 SEMP가 작성되기도 한다. 수작업이나 기존 문서작성 프로그램으로 많은 양의 데이터를 관리하고 문서화 하는 일은 쉬운 일이 아니며, 오랜 시간을 투자해야 할 것이다. 이런 문제점을 해결하기 위해 필한지일 도구는 반드시 필요하다. 본 연구에서 Model-Based Systems Engineering (MBSE) 도구를 활용하여 SEMP의 데이터를 입력하였다. 또한 데이터의 추가, 삭제, 변경 등의 방대한 정보 유동에 능동적으로 대처하도록 데이터를 체계화 하였다. 그림 1과 2는 MBSE 도구를 활용하여 SEMP의 데이터를 입력하고 데이터의 추적성을 관리하는 과정을 보여주고 있다.



그림 1. SEMP 데이터 입력 화면 및



그림 2. MBSE 도구를 활용한 데이터 입력 및 추적관리

3.2.2 SEMP의 자동 문서화

MBSE 도구를 활용하여 입력되고 체계화 시킨 SEMP의 데이터를 필요시 신속한 문서출력 업무를 지원하기 위해 알고안진시스템에 적용한 SEMP 문서 템플릿을 개발하였다. 개발된 문서 템플릿을 통해 언제나 SEMP 내용을 자동 출력될 수 있도록 하였으며, 개발된 템플릿은 SEMP 항목과 내용의 추가나 삭제 또는 변경 등의 업무들을 쉽게 하도록 작성하였다. 그림 3은 MBSE도구를 통해 SEMP의 데이터를 자동 출력한 문서의 표지와 내용을 보여주고 있다.



그림 3. 자동 출력된 SEMP 표지 및 내용

4. SEMP 작성 시 일반적인 원칙 및 지침

프로젝트의 규모와 형태에 따라 각각의 SEMP가 작성될 수 있으며, 그 범위나 깊이를 적절히 프로젝트의 성격에 맞게 조정하여 작성하여야 한다. 필히 프로젝트를 면밀히 분석하여 SEMP를 작성하되 반드시 방대한 문서일 필요는 없으며, 프로젝트의 단계와 업무에 적합한 수준의 심도를 갖도록 작성한다. 아래에 SEMP 작성 시 알아두어야 할 기본적인 일반 원칙 및 지침을 몇 가지 제시하고자 한다.

- ① SEMP를 작성하고 관리할 수 있는 전문팀이 요구된다.
- ② 개발하고자 하는 시스템의 요구사항이나 개발 수준에 맞도록 항목을 선정한다.
- ③ 기존 조직의 프로젝트 관리나 기술관리 절차를 참조하여 SEMP를 작성하되 기존 조직의 Reference 문서를 함께 관리한다.
- ④ 항목의 누락 방지 및 재사용성 증대를 위해 하나의 표준 또는 Model Text를 기반으로 하여 작성한다.
- ⑤ 조직의 모든 사업에 조정하여 작성할 수 있는 조직만의 고유한 Reference SEMP 필요하다.
- ⑥ SEMP는 프로젝트 변경에 따라 업데이트 되어야 하며, 프로젝트 계획과의 일관성을 유지해야 하는 살아있는 문서이어야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 철도안전시스템에 적용한 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP)을 개발하였다. 이 문서를 통해서 전반적인 엔지니어링 통합을 계획, 통제, 그리고 수행을 위한 활동을 정의하였다. 철도안전시스템과 관련된 시스템엔지니어링 관리계획서를 개발하기 위해서 SEMP 관련 표준과 참고문헌을 통해 SEMP의 공통항목을 도출하고, 철도안전시스템에 적용할 수 있도록 조정하였다. 또한 선정된 SEMP의 항목과 내용을 체계적이고 지속적으로 관리될 수 있도록 모델기반 시스템 엔지니어링 도구를 활용하여 데이터베이스화 하였다. 최종적으로 관리된 내용을 자동 문서화 시키므로써 모든 결과를 문서로 작성하는 경우에 있어서 상당히 많은 시간을 줄일 수 있었다. 총래의 SEMP가 기술적 프로그램 관리를 통제하는데 초점을 맞추어 개발되어져 왔다면, 본 연구에서는 프로젝트 관리적 측면에 보다 중점을 두고 SEMP의 세부항목을 도출하였다. 향후 과제로 철도안전시스템 뿐만 아니라, 철도와 관련된 모든 분야에 공통적으로 사용 가능한 SEMP의 개발을 위해 지속적인 연구가 수행되어야 하겠다.

참고문헌

1. 건설교통부, "철도종합안전기술개발사업 기획보고서", 2004
2. A/MICOM, "System Engineering Management Plan", August 1990
3. DoD, "MIL-STD-499A(USAF)", 1 May 1974
4. EIA, "EIA-632, Process for Engineering a System", January 1999
5. INCOSE, "SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK" ver 2, July 2000
6. IEEE, "IEEE Std 1220-1998, IEEE Standard for Application and Management of the System Engineering Process, December 1998
7. National Aeronautics and Space Administration, "NASA Systems Engineering Handbook", SP-610S, June 1995