

중전철 민간투자사업 중심의 시스템엔지니어링 수행방안 및 고려사항 연구(대곡-원시 중심)

박장곤¹⁾ 김철섭²⁾ 이희성^{1)*}

1) 서울과학기술대학교, 2) 한국철도공사

A Study on the System-Engineering Implementation and Consideration for Private Finance Initiative(daegok-wonsi)

Jang Gon Park,¹⁾ Chul Sub Kim²⁾, Hi Sung Lee^{1)*}

1) SEOUL NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

2) KOREA RAILROAD

Abstract : Recently, the Korean Railroad have been operating separately by Korea Rail Network and the Korail since 2005. In addition, because of the lack of government's social overhead capital, New railway projects have been built and operated by private investors which don't have railway operating experience. Therefore, systems engineering management is needed from the initial planning stage to the construction and the opening. In this paper, structural features were considered according to the separation of Daegok-Sosa-Wonsi Private Finance Initiative (Daegok-Sosa, Sosa-wonsi) and the operating agency's unification(Daegok - Sosa business operations). And based on the domestic system engineering applications, System-Engineering Implementation was studied.

Key Words : System Engineering, Private Finance Initiative, Social Overhead Capital, Railway Operation,

* corresponding author : Hi Sung LEE/Seoul National University of Science and Technology/hslee@seoultech.ac.kr

* This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non- commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

최근 한국철도가 2005년 이후 한국철도시설공단(건설)과 한국철도공사(운영)로 상하 분리 경영관리 중에 있고 국가기관의 사회간접자본 투자예산 부족으로 철도 운영 경험이 없는 민간투자사업 방식으로 건설 운영됨에 따라 기획 단계부터 건설 후 개통까지 리스크 비용을 최소화하고 향후 철도시스템의 수명기간 동안 최적화된 유지관리 조건을 확보하기 위하여 시스템엔지니어링 수행관리의 필요성이 대두되고 있다.

특히 대곡-소사-원시구간의 민간투자사업은 일반적인 중전철처럼 동일노선에서 단일 차종이 운행되는 조건이 아닌 건설구간의 이분화(대곡-소사 : 현대건설, 소사-원시 대우건설)와 운영기간의 단일화(대곡-소사 사업자 운영) 시스템으로 관리되고 장래 서해선과 경의선이 연결되어 화물열차와 복합적으로 운행하게 된다. 이로 인해 ATP, CBTC, ATS 등 신호시스템이 다양화됨으로써 운행환경이 복잡적이어서 시스템엔지니어링 수행에 의한 관리가 필요하다.

본 연구의 목적은 시스템엔지니어링 정의, 프로세스, 효과 등의 이론을 바탕으로 건설공사의 사업관리와의 관계를 연구하고, 국내 경·중전철의 시스템엔지니어링 추진사례 연구를 바탕으로 대곡-원시 민간투자사업 중심의 시스템엔지니어링 수행방안 및 고려사항을 도출하고자 한다.

2. 국내 경량전철 시스템엔지니어링 추진사례

2.1 사례

무인운전 경량전철시스템 설계 요구사항과 기본 사양은 1998년도에 정부에서 고시한 표준사양과 기술개발 결과를 실제로 적용할 지방자치단체의 요구사항, 국제규격 등을 검토하여 정의하였고 요약하면 다음과 같다.

- 5,000 ~ 20,000 명/시간·방향의 수송력을 갖는 교통수단
- 정부에서 고시한 표준규격을 기반으로 한 기술 개발
- 시험선을 구축하여 개발 기술의 종합시험평가 및 검증

<표 1> 개발요소와 주변요소간의 요구사항 연관성

개발요소 주변요소	차량	전력	신호	선로구축물
근부자	○	○	○	○
기후환경	○	○	○	○
EMI 환경	○	○	○	-
지리적 환경	○	○	○	○
비철도 기반시설	-	○	○	○
철도 구조물	○	○	○	○
궤도설비	○	○	○	○
지장물	○	-	-	○
제3궤조전차선 지장물	-	○	-	○
유지보수 시설	○	○	○	○
운용체계	○	○	○	-
규격/규격	○	○	○	○
승 객	○	○	-	○

기술개발 분야의 시스템엔지니어링은 차량, 전력 공급, 신호제어, 선로구축물이다.

특수엔지니어링분야는 RAMS 활동으로 시스템의 신뢰성과 안전성을 향상하기 위한 연구를 수행하였다.

경량전철시스템에서 발생하는 전자환경을 분석하기 위해 EN 50121 규격을 검토하고 시험선에서 차량 주행 시의 전자계환경을 측정하였다.

또한, 위험식별 및 관리는 사고의 발생빈도, 그러한 사고의 강도의 관점에서 분류하고 위험 매트릭스를 작성하고 위험의 수준을 허용가능한 수준으로 낮추도록 활동하였다.

즉, 무인운전고무차륜형식 경량전철시스템은 정부 고시를 바탕으로 차량, 전력공급, 신호제어, 선로구축물로 정의하고 수단에 해당하는 프로세스(Process) 부분의 각 단계별 시스템분석 및 통제도구를 사용하였다.

또한, 접근방법으로 사용되는 매니지먼트 부분의 RAMS 활동으로 시스템의 신뢰성과 안전성을 향상하기 위한 특수엔지니어링을 적용하여 추진하였다.

2.2 적용

국내 경량전철은 토목, 궤도, 건축물의 인프라 구

조와 차량, 신호, 전기, 통신, PSD 등의 E&M분야를 시스템으로 정의 하고 다양한 핵심장치 개발 및 관련 사업 목표 달성과 성능을 보증하기 위한 기본/상세설계, 제작, 설치 및 시운전, 인도단계에서 성능관리, RAMS, 설계관리, 인터페이스 관리 등의 핵심관리영역의 시스템엔지니어링을 적용하였다.

<표 2> 국내 경량전철 SE 적용사례

구분	부산-김해 경전철	인천 2호선	용인 경전철	의정부 경전철	부산 4호선
차종	AGT (철제차량)	AGT (철제차량)	LIM	VAL (고무차량)	K-AGT (고무차량)
성능관리	○	○	○		○
설계관리	○	○	○	○	○
인터페이스 관리	○	○	○	○	○
RAM관리	○	○	○	○	
안전성관리	○	○	○	○	
EMI/EMC관리	○	○	○		
소음/진동관리		○	○		
형상관리	○	○	○		○
소프트웨어관리	○	○	○		
시험 시운전관리	○	○	○	○	○
외국사	디아폴로니아	디아폴로니아	블라르디어	지벤스	코벨코
국내사	현대로템	현대로템	-	-	우진산전

3. 국내 중량전철의 시스템엔지니어링 추진사례

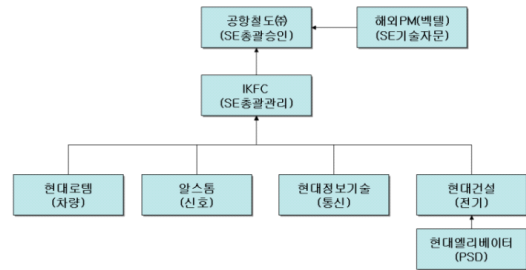
공항철도 현대건설(주)은 운영회사 설립과 토목, 궤도, 건축 사업을 시행하고, 알스톰에서 E&M 분야 사업과 SE 용역을 수행하였다. 신분당선 두산건설(주)은 운영회사 설립과 토목, 궤도, 건축 및 E&M분야의 사업을 시행하고 PM수행 부분은 별도의 용역으로 수행하였다.

또한, 시스템엔지니어링 수행을 위한 비용은 전체 총사업비의 2~2.5%의 규모로 수행하였으며 해외전문기관에 의존하여 수행하였다.

3.1 (주)코레일 공항철도

공항철도(주)의 건설사업자가 운영회사 설립과 토목, 궤도, 건축 사업을 시행하고, 해외 기전시스템(E&M)의 공동수급체인 IKFC에서 SE용역을 통합 추진 하였다. 운영사인 공항철도(주)는 시스템엔지니어링을 수행하는 단계에서 해외 PM 자문을 받으며 사용자의 요구사항이 반영될수 있는 위치에서

기술검토 및 승인 등 사업을 수행하여 리스크 관리를 최소화하였다.



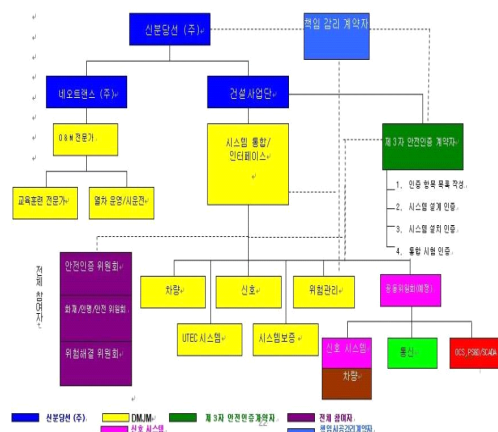
[그림 2] (주)코레일공항철도 SE수행 구조

3.2. 신분당선(주)

시스템의 정의 및 설계 건설 후 리스크 비용을 최소화 하고 최적의 조건으로 운영하기 위한 시스템엔지니어링은 사용자의 요구사항이 반영되도록 반드시 운영사가 책임감을 가지고 참여하였고, 또한 사업 참여 시 다음사항을 고려하였다.

첫째 건설사와 운영사는 대등한 권한을 가지고 사업에 참여하였기 때문에 사용자의 정의가 반영될 수 있었고 철도사업의 안전개통과 개통후 유지보수를 성공적으로 추진할 수 있었으며 건설사도 건설과 시스템 인터페이스 관련해서 SE 책임자의 확인이 요구되도록 하였다.

둘째 SE수행은 추진시점은 사업초기부터 실시협약(안) 및 차량구입 관련 입찰서류 등 검토 및 운영계획서와 병행 수행하였다.



[그림 3] 신분당선(주)의 SE수행 구조

4. 중량전철 민간투자사업 중심의 시스템엔지니어링 수행방안

4.1 SE 수행의 필요성

대곡-소사-원시 철도사업은 철도의 건설과 운영 경험이 없는 민간투자사업으로 추진되고 있으나 소사-원시의 사업은 시스템엔지니어링 수행의 필요성을 제기되지 않았고 대곡-소사 건설사업 중 우선협상대상자는 차량을 비롯한 승무의 운영이 대곡-소사 사업자가 운영함에 따라 시스템엔지니어링의 수행의 필요성을 제기하여 사업제안 시 “차량, 신호, 전력, 검수, PSD, 궤도의 인터 페이스 수준의 시스템엔지니어링 수준을 제안하였다.

대곡-원시 시스템엔지니어링 수행비용은 60억 원으로 잠정 결정되었으며 이는 대곡-소사 구간의 사업비중 시스템공사비의 약5%정도를 적용한 비용이다.

실무자 협상과정에서 소사-원시 구간까지 확대되어 E&M분야와 기본엔지니어링 외에 시스템보증을 위한 RAM등 특수엔지니어링까지 포함되게 되었다.



[그림 4] 사업제안서

<표 3> 성과요구순서

분야	수행내용
시스템 성능관리	- 시스템수준 성능시물레이션 (설계단계) - 시스템성능 시험평가
시스템RAM관리	- 시스템 RAM 성능평가

분야	수행내용
시스템Safety관리	- 시스템 안전성 시험 및 보고서 작성
시스템EMI/EMC관리	- 시운전시 EMI/EMC 측정
시스템소음/진동관리	- 시운전시 규정에 따른 소음/진동 실측

4.2 SE 수행의 전제조건

국내 중전철 민간투자사업의 건설운영 형태 중 신분당선 두산건설(주)은 건설과 운영회사를 설립하여 직접운영하고, 공항철도의 현대건설(주)도 건설과 운영회사를 설립하여 직접운영하고 있다.

반면, 대곡-소사의 경우 우선협상대상자는 건설과 운영회사는 설립 하지만 운영 및 유지보수 부문은 위·수탁 형태의 구조로 계획하고 있어 운영자 입장에서 시스템엔지니어링의 수행 및 참여가 요구되는 형태이다.

대곡-원시의 SE수행 범위는 E&M분야(차량, 신호, 통신, 전철, PSD)와 선로구조물 등 최적 통합 및 인터페이스 관리의 기본엔지니어링과 품질보증을 위한 신뢰성 및 안전성 관리와 무인운전시스템을 적용하므로 EMI/EMC 등 특수엔지니어링이 수행되어야 한다.

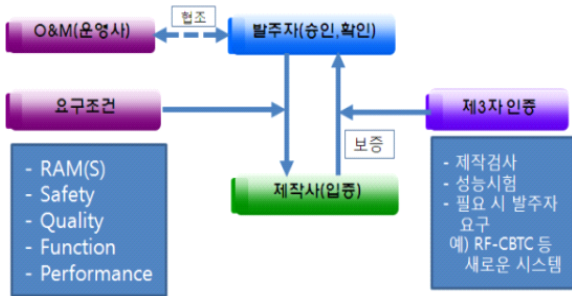
특히, 대곡-원시 SE수행은 운영기관은 단일화되어 있지만 건설구간이 이중화 되어있으므로 각 시스템에 대한 non발주자의 책임과 권한의 한계(변동 비용 조정 등)를 정리할 수 있는 발주자의 권한이 절실히 필요하다.

4.3. SE 수행 방안

대곡-원시 철도건설사업과 같이 운영사가 위·수탁 형태로 추진될 경우 건설사업단의 사업관리를 중심으로 CM, SE, O&M, E&M분야의 제작업체간 상호협조 관계를 유지하고 E&M분야 제작업체는 건설사업단과의 관계에서 SE관리자와 운영사의 검토승인 과정을 유지해야 SE수행이 용이할 것이다.



[그림 5] CM, SE, O&M, E&M분야 제작사와 관계구조



[그림 6] 발주자와 제작사의 관계유지

E&M(차량, 신호, 통신, 전철, PSD)분야 발주 시 성능평가, 측정 등을 제작(납품) 업체가 수행하고 SE에 보고서를 제출하도록 한다.

신호분야 RAMS활동 및 독립인증기관 검증결과 보고서는 제작(납품)업체에서 수행하고 Safety의 제3자 안전인증 비용은 별도 소요된다.

SE수행자는 E&M 분야 제작업체에 대한 발주사 사전 검토 권한 필요하고 성과요구수준서의 요구내용이 제작사양서 및 기술시방서에 반영되었는지 확인이 필요하다.

SE수행자와 E&M분야 제작업체간 업무한계는 다음 표 4와 같다.

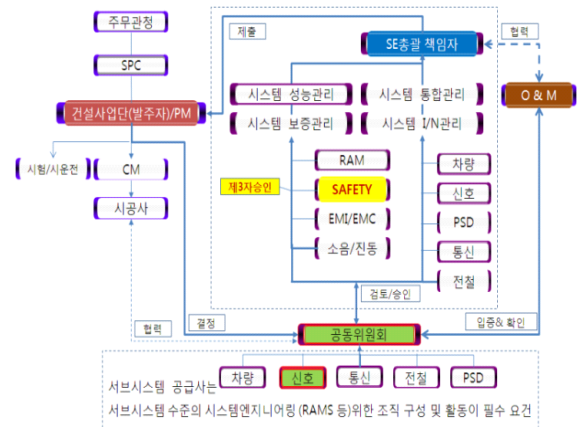
<표 4> SE관리자와 E&M분야의 제작사와 업무한계

SE관리자	E&M분야 제작사
시스템 성능관리	- 시스템 수준 성능 시뮬레이션 (설계단계)시행 및 시스템성능 시험평가
시스템RAM관리	- 시스템 RAM 성능평가
시스템Safety관리	- 시스템 안전성 시험 및 보고서 작성
시스템EMI/EMC관리	- 시운전시 EMI/EMC 측정
시스템소음/진동관리	- 시운전시규정에따른 소음/진동 실측

4.4. SE 수행 조직

건설사업단, CM, SE, O&M, E&M분야의 수행조직을 구성하고 제작업체는 공동위원회를 구성하여 대표 위원장을 중심으로 SE 수행관리자의 업무에 적극 협조하여야 한다.

RAM활동에서 서브시스템 공급사의 서브시스템 RAM활동이 RAM성능 목표달성에 필수적 요건이 되고, 시스템성능 및 RAM목표달성을 위해 차량/신호/전철/통신/PSD의 통합적 관리(설계/제작/설치)가 필요하다.



[그림 7] SE 세부 수행조직

4.5. SE 수행 시 고려사항

4.5.1. 요구사항 반영

시스템의 정의 및 설계 건설 후 리스크 비용을 최소화 하고 최적의 조건으로 운영하기 위한 시스템 엔지니어링은 사용자의 정의 및 요구사항이 반영되도록 반드시 운영 사가 책임감을 가지고 참여하여야 하고 사업 참여 시 다음사항을 고려하여야 한다.

첫째 건설사와 운영사는 대등한 권한을 가지고 사업에 참여하여 사용자의 정의가 반영될 수 있도록 하여야 하고 철도사업의 안전개통과 개통 후 유지보수를 성공적으로 추진할 수 있도록 건설사도 건설과 시스템 인터페이스 관련해서 SE 책임자의 확인이 요구되도록 하여야 한다.

둘째 운영부분이 외부 위·수탁 구조로 추진될 경

우 SE수행은 위·수탁 계약보다 우선시 되어야 하고 조기 SE수행을 통하여 실시협약(안) 및 차량구입 관련 입찰서류 등 검토부터 상세히 진행 및 운영계획서와 병행 수행하여야 한다.

4.5.2. 안전인증은 필수

운영계획을 포함한 설계에서 개통까지 안전인증은 향후 사고를 대비하여 보험과도 같은(국내·외 시험 및 검증을 최대한 적용할 것) 존재로서 사업초기에 반드시 시행하여야 하고 서브별 안전인증보다 통합안전인증이 필요하다. 이는 서브별 만족을 못할 경우 서브공급자만 패널티로 가지만, 시스템통합 인증 지연이 개통 지연으로 연결되어 전체적인 피해로 이어진다. 안전인증을 위하여 다음 4가지가 이루어져야 한다.

첫째 각 시스템의 검증과 통합시스템의 검증을 위해서는 각 설계시스템 계약 시 RAM 등 검증(개통 후 6개월)을 통하여 만족할 경우 각 시스템의 가격의 10%의 잔금을 지불하는 조건으로 하여야 한다.

둘째 각 시스템의 제안요청서에서 고장기준을 정확히 정의하고 성과요구수준서 등에서 각 시스템 간 상호관계를 고려하여 목표 값을 제시하여야 한다.

셋째 신분당선의 경우 차량 RAM 목표 설정값 및 적용기준에서 평균서비스고장간거리 및 고장지연 시분을 정의하여야 한다. RAM값에 따라 유지보수 주기가 상관관계에 있음을 명심하여야 한다.

넷째 광역철도 운영 시 차량 진행, 정지, 출입문 열림/단합 및 방송이 핵심으로 비상상황 시 2M4T로 운행가능 하도록 설계되어야 한다.

4.5.3. 품질보증 및 자료관리의 연계성 유지

철도건설 사업은 복잡한 시스템으로 구성된 사업으로서 기본운영계획서 작성이 중요하고 운영 준비의 핵심은 훈련 및 교육 계획을 수립하여 체계적으

로 추진하여야 한다. 또한, 시스템엔지니어링 인력 구성은 운영자가 반드시 참여하고 운영계획을 위한 관련 DB화를 위한 인원도 사업에 반영하여야 한다. 이는 향후 운영 기간 동안의 품질보증 자료 관리와 연계성이 되어야 하기 때문이다.

5. 결 론

철도 건설 민간투자 사업에서는 SE가 잘 적용되어야 한다. 이때 SE의 가장 핵심이라고 할 수 있는 설계 과업지시서의 요구사항 정립에 있어서 철도의 최대 고객이며 이해당사자인 승객과 철도를 직접 운영하는 운영사의 요구사항을 빠짐없이 수집하고 면밀히 분석하는 노력이 선행되어야 한다. 또한 그 동안 관행적으로 사용되어 왔던 각종 기준 등에 대해서는 보다 명확하고 실현가능 하도록 정립된다면 시공 중에 발생할 수 있는 설계변경을 최대한 억제할 수 있다.

이와 같은 종합적이고 체계적인 SE가 가능하도록 공사별/사업단계별/분야별로 표준 SE지침을 개발하고 CM과 같이 법적인 제도화가 마련되어 향후 신규 프로젝트에 테일러링(조정적용) 한다면 철도 시스템 건설의 수준을 한단계 높일 수 있다고 판단된다.

동시에 시스템엔지니어를 집중적으로 양성하여야 한다. 철도 건설 사업 수행에 있어 요구사항을 분명히 이해 및 정의하고, 필요한 파라미터 분석과 절충 분석을 수행하며, 인터페이스가 발생하는 시기를 사전에 인식하여 대안을 도출하는 등의 업무를 수행할 수 있는 시스템엔지니어는 쉽게 양성되지 않으므로, 지속적이고 집중적이며 체계적인 계획 하에 교육하여야 한다.

현재 철도 건설 사업 중 기본적인 인터페이스 과정에서부터 상충되는 안전들이 발생하여 건설완료 및 운영단계에서 다수의 문제점 등이 발생하여도

체계적인 시스템엔지니어링의 필요성이 인식들이 부족하다. 앞에서 언급한 바와 같이 건설사업관리는 수년동안 제도와 기본법 등을 마련하여 정착단계에 있으나 아직도 시스템엔지니어링은 기초단계에 불과하므로 조속히 기본체계와 법제도의 정착이 필요하다. 아울러, SE의 중요한 수행주체들인 철도건설 관련 협력업체(설계, 시공, 감리 등)들의 SE에 대한 깊은 이해와 노력이 요구된다.

특히, 철도시스템 건설에 있어서 글로벌 경쟁력은 고객의 요구사항을 명확히 하고 올바르게 정립한 기반위에 사업수행 주체들인 철도건설과 운영부분 협력업체들의 협업화는 완성된 SE의 기반위에서 확보될 수 있다.

References

- [1] 권상돈, 이희성, “IEC 62267 안전요구사항을 적용한 무인경량전철 차량(K-AGT)의 시스템 엔지니어링 프로세스에 관한 연구”, 민성기, 권용수, 김의환 공역, 시스템체계공학원, 2006)
- [2] 시스템엔지니어링 핸드북 (Systems Engineering Handbook), 민성기, 권용수, 김의환 공역, 시스템체계공학원, 2006
- [3] 건설사업기본법 제2조8항, 건설기술관리법 시행령 제64조(설계의 경제성 등 검토) 및 설계의 경제성 등 검토에 관한 시행지침[국토부 고시 제2010-641호(‘10.9.17)]
- [4] 한석운, 이안호 외, “무인운전 도시철도의 시스템엔지니어링 적용사례”, 한국철도기술연구원, 2008
- [5] 이성권, 전서탁외. “경량전철 차량시스템 생명주기와 시스템엔지니어링 적용기술개발에 관한 고찰” 한국철도학회 2011 추계학술대회 논문집 pp1629~1635, 2011
- [6] 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침 수정·보완 연구(제5판) (2008.12. 공공투자관리센터 한국개발연구원)
- [7] 김철환, 한명덕, 이재흥. “경량전철사업의 시스템엔지니어링 적용 실태분석 연구” 한국시스템엔지니어링학회, 시스템엔지니어링 학회지 제8권 제2호 pp1~10, 2012