

경전철 시스템엔지니어링 추진사례 비교.분석

A comparative case study on Systems Engineering in Light Rail Transit System

이성권† 정수영* 전서탁** 오성효*** 김재진****
Lee seong-gwon Chung su-young Jeon seo-tak Oh sung-hyo Kim jae-jin

ABSTRACT

The highest priority for passenger safety should be system performance guarantee in LRT(Light Rail Transit) based on a fully-automated manless metro system. In order to realize spotless manless automatic operating system through system performance guarantee, the role of SE(Systems Engineering) is of utmost importance. Currently, SE initiatives for local LRT projects are not cost-effective and heavily dependent on overseas firms due mostly to the lack of knowledge and experience in SE. This paper aims to review the appropriateness of cases of SE implementation on the basis of LRT projects either in progress or in the introduction stage to local market by examining, comparing and analyzing the applied cases.

1. 서론

경전철은 기존 대중교통수단을 만족하면서 완전무인자동운전이 가능한 첨단 교통시스템으로 각광받고 있으며, 수송능력이 기존 지하철인 중량전철 보다는 작지만 버스보다는 큰 도시철도의 일종으로 시간방향당 5천명~3만명 정도를 수송하는 교통수단으로 건설비 및 운영비 절감이 가능하고 저소음, 저진동, 공해문제 해소 등 도시환경에 적합한 환경 친화적인 첨단 도시교통시스템으로 국내에서도 많은 지방자치단체들이 지하철 건설의 대안으로 경전철 도입을 검토하여 왔으며, 현재 몇 곳의 지방자치단체 프로젝트는 건설 및 영업운영 단계에 이르렀다.

이러한 경전철은 무인자동운전시스템을 기반으로 차량, 토목, 궤도, 건축, 전기, 통신, 신호, 운영설비 등이 유기적으로 결합된 복잡한 시스템으로 승객의 안전측면이 최우선적으로 고려되어야 시스템 성능을 보장할 수 있다. 시스템 성능보증을 통한 완벽한 무인자동운전시스템이 구현되기 위해서는 시스템엔지니어링(SE Systems Engineering)의 역할이 무엇보다도 중요하다.

본 고에서는 국내 경전철 사업의 시스템엔지니어링 추진현황을 살펴보고 시스템엔지니어링에 대한 인식 및 경험부족 등에 의해 많은 비용을 지불하면서 외국사에 의존하고 있는 현실과 국내에 도입 또는 진행 중인 경전철 사업을 기준으로 시스템엔지니어링 추진사례를 조사, 비교, 분석하여 적절성을 검토하고자 한다.

† 정회원, 김포한강메트로 사업단 시스템엔지니어링처 처장
* 정회원, 서울메트로 철도사업단 단장
** 정회원, 김포한강메트로 사업단 시스템엔지니어링처 과장
*** 정회원, 김포한강메트로 사업단 시스템엔지니어링처 과장
**** 비회원, 김포한강메트로 사업단 시스템엔지니어링처 과장

2. 시스템엔지니어링(SE) 추진 필요성

2.1 필요성

무인경전철 건설 사업은 각 분야별 설계사, 설비제작사, 시공사 등 다수의 이해당사자가 참여하여 무인운전의 목표를 달성하기 위해서는 시스템 단위의 체계적인 관리가 필요하고 시스템의 성능, 기능 및 안전을 확보하여 부조화 없는 원활한 운영이 될 수 있도록 하나의 시스템으로 통합하여 체계적인 관리 활동이다.

도시철도 건설에 있어서 SE는 매우 중요하나 대형프로젝트 사업의 추진 결과를 보면 경험에 의해 열정, 낙관, 성공에 대한 자신감 도취로 시스템이 명확히 정의가 되기도 전에 설계를 시작하거나, 시스템을 전체적인 관점에서 고려하지 않고 구성품부터 서둘러 제조함으로써 사업추진 후반기에 예상치 못한 문제점들이 발견되고 설계변경 등을 반복하여 엄청난 비용투자로 이어져 사업을 포기한다든지 비용초과 및 사업지연에 따른 요구수준 미흡으로 정상적인 운용에 차질이 발생하는 결과가 초래되는 경우가 종종 있었다.

따라서 이러한 오류를 반복하지 않기 위하여 그림 2-1⁽¹⁾과 같이 사업개발 시작 단계에서부터 요구되는 시스템을 명확하게 정의하고 탑다운(Top-down) 방식으로 상위레벨에서 하위레벨까지 문제점들을 분해하고, 시스템적인 관점에서 인터페이스를 고려하여 다양한 해결방안 도출로 실패 위험요인들을 사전에 분석함으로써 허용된 범위 내에서 비용과 일정, 성능을 절충하여 최적의 균형적 시스템 설계로 검증과 확인과정을 통한 "시스템엔지니어링" 활동으로 사업종료 후에도 하자보수 및 시스템 보증에 이르기까지 다분야 시스템에 대해 종합적, 효율적, 체계적인 관리 프로세스이다.

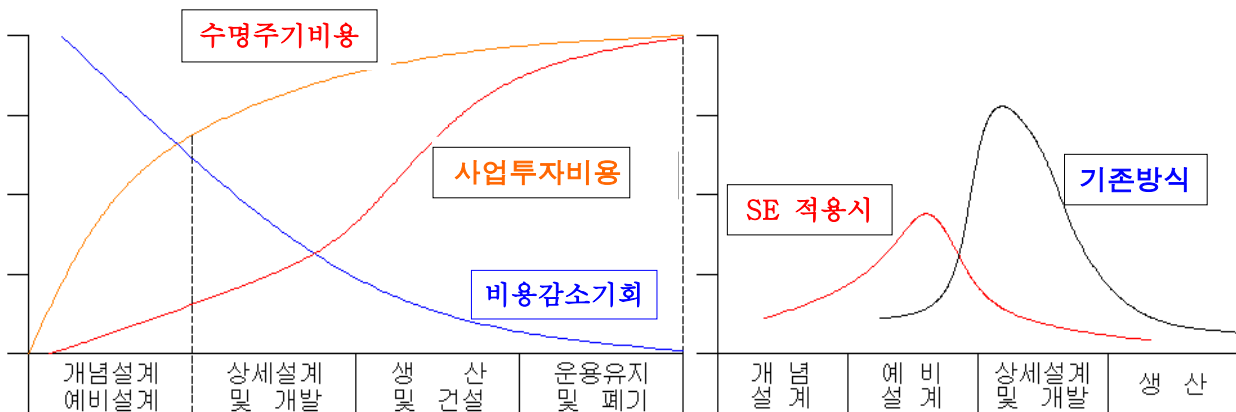


그림 2-1 수명주기 비용과 설계변경 비용

2.2 시스템엔지니어링 구성

그림 2-2와 같이 도시철도 건설 사업은 대규모의 복합공정으로 다수 이해관계자가 참여하여 종합적, 효과적 업무수행으로 서브시스템간의 간섭을 사전에 도출하여 시행착오를 최소화하고 SE 절차에 따라 시스템 성능, RAMS, 인터페이스 등을 중심으로 가용성을 99% 이상 달성하여 사용자의 요구조건을 충족하는 완전자동무인운전 시스템을 실현할 수 있다.



그림 2-2 시스템엔지니어링 업무

3. 국내 경전철 사업

3.1 부산-김해 경전철(BGL)

BGL은 총 연장 23.5km에 모두 21개 역과 철제차륜 AGT(Automated Guideway Transit) 차량을 도입하여 2011년 4월경 개통 예정으로 현재 시운전중에 있으며, 침두시 3분 간격에 표정속도 38km/h로 운행할 예정이며, 지난 2009년 12월 서울메트로가 30년간의 운영 & 유지보수(O & M)^{가)}를 담당할 최종사업자로 계약을 체결한 바 있다.

부산-김해 경전철은 민간투자사업으로 SPC^{나)}인 부산-김해경전철(주)를 설립하여 포스코 등 컨소시엄의 건설사업단과 일괄도급계약을 체결하여 일괄 턴키방식으로 사업을 수행하고 있으며, 출자사인 프랑스 시스트라는 PM(Project Management)을 주관하고 SE는 차량제작사인 현대로템과 이탈리아 디아플로니아사에서 용역을 수행하고 있다.

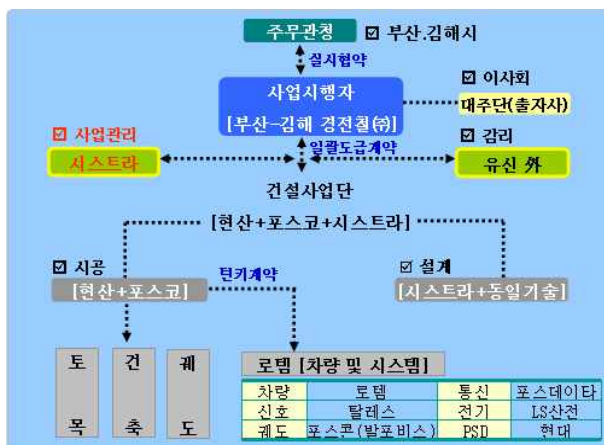


그림 3-1 부산-김해 조직도

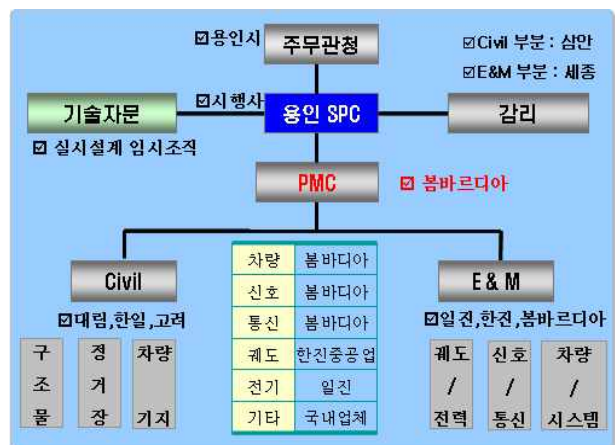


그림 3-2 용인 조직도

가) O & M(Operation Management) 운영 및 유지보수

나) SPC(Special purposed company) 특수목적 법인

3.2 용인 경전철(Ever-line)

Ever-Line은 총연장 18.4km, 15개 역사, 침두시 2분15초 시격으로 표정속도는 39.2km/h, 차량은 캐나다 봄바르디아社가 제작한 LIM(Linear Induction Motor) 방식의 철제차륜 차량으로 철궤도 중앙에 위치한 리액션 플레이트를 이용한 리니어 모터 방식을 채택하여 2010년 7월에 개통 예정이다.

본 사업은 민간제안 방식으로 SPC사인 용인경전철(주)과 PMC^{다)}인 봄바르디아社와 계약을 체결하여 총괄사업관리 업무를 수행하고 있으며 Civil 및 E&M 분야는 별도의 Consortium을 구성하여 SPC와 계약을 체결하였으며 주요 시스템인 차량, 신호, 통신분야의 시스템 설계, 제작, 시공 및 SE를 캐나다 봄바르디아社에서 수행하고 있으나 O & M은 용인경전철(주)에서 담당하게 된다.

3.3 의정부 경전철(U-line)

U-Line은 총연장 11.1km, 15개 역사, 표정속도 33km/h, 침두시 3분 간격으로 회릉역에서 수도권전철과 환승이 가능하며, 차량은 독일 Siemens社(VAL208) 고무차륜 AGT를 도입하여 2011년 8월에 개통 예정으로 지난 2009년 11월에 인천메트로가 O & M을 수주한 바 있다.

U-Line은 민간투자사업으로 SPC사인 의정부경전철(주)를 설립하고 감리를 포함한 PMC를 선정하여 총괄사업관리(PM/SE)를 수행하고 있으며, Civil 및 E&M 분야는 EPC^{라)} 방식으로 플랜트에서 설계 및 자금조달, 시공까지의 전 과정의 건설사업을 수행하고 있다.

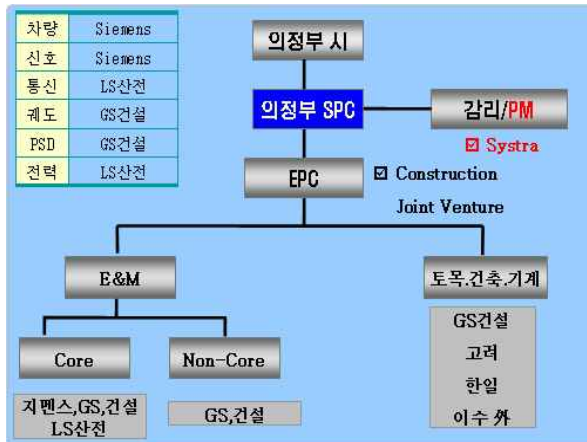


그림 3-3 의정부 조직도

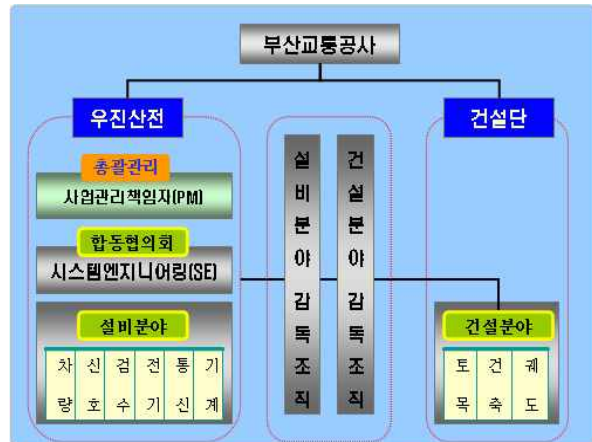


그림 3-4 부산 반송선 조직도

3.4 부산 반송선(부산 4호선)

국가재정사업인 부산 반송선은 2009년 11월에 부산 4호선으로 명칭이 변경되었고 총연장 12.7km로 14개 역사, 차량은 한국형 표준 경전철(K-AGT 고무차륜)을 도입하여 2010년 12월에 개통 예정이며 침두시 4분 시격으로 표정속도는 30km/h이다. 이는 부산교통공사 주관으로 E&M분야를 차량제작사인 우진산전과 코벨코에서 설계/시공 및 SE는 일본 코벨코社에서 수행하고 있다.

3.5 김포 경전철(한강 메트로)

한강 메트로는 김포시내 한강신도시 광역교통 대책의 일환으로 총연장 25km, 침두시 운전시격 3.4분, 표정속도 40km/h로 김포공항역 환승을 위한 지하구간 3km를 제외한 22km는 고가구조 형태로 건설되며, 차량은 AGT 시스템으로 무인자동화 운전이 가능한 방식으로 추진될 예정이다. 아울러 토지주택공사(LH공사)가 재원을 조달하는 재정사업 방식으로 서울메트로와 한국철도시설공단이 컨소시엄을 구성하여

다) PMC(Project Management company) 사업관리회사

라) EPC(Engineering Procurement & Construction) 플랜트에서 설계 및 자금조달, 시공까지의 전과정을 수행

수탁사업으로 업무를 수행중에 있으며, 국내 도시철도 분야 최초로 사업관리(PM/SE)를 추진하는 사례로 성공적인 사업수행을 위하여 도시철도 O & M과 철도건설에 최대의 강점을 지닌 양 기관이 공동으로 수행하고 있다.

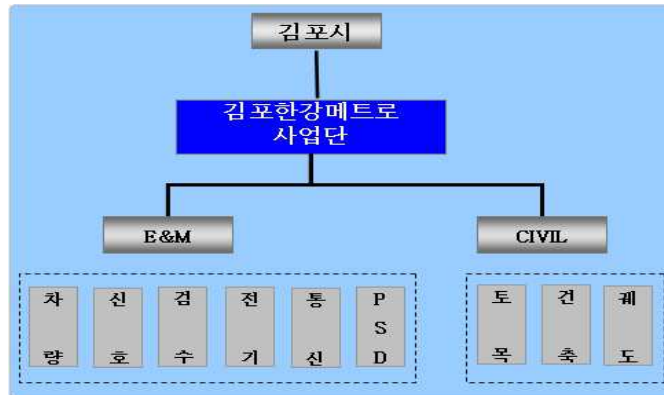


그림 3-5 김포한강메트로 조직도

4. SE 추진사례 비교·분석

4.1 국내 SE 추진사례 비교

도시철도 건설사업 등 대형프로젝트 사업에서는 기본계획부터 입찰제안 및 계약단계까지의 상위의 사업관리와 토목·건축(Civil) 및 E & M(Electric & Mechanical) 등의 하위의 사업관리로 구분되어 추진된다. 경전철 건설 사업은 대형 복합공정 사업으로 SE 수행경험과 전문기술력이 사업의 중요한 성공 요인이며 대중교통 시스템으로서 승객의 안전이 최우선적으로 고려되어 수행하고 있다.

표 4-1⁽³⁾은 국내 경전철 SE 추진사례로서 거의 대부분이 외국사가 주도적으로 유사한 형태로 추진하고 있고 부산 4호선, 신분당선, 부산-김해선 경우 국내사와 외국사가 합동으로 추진하고 있으나 실질적으로 외국사가 주관하고 있으며 국내사는 기술전수 등의 목적에 비중을 두는 실정이다. 김포 경전철의 경우는 국내 기술력 위주로 추진하고 있으나 자동무인운전에 따른 운영 경험이 다소 미흡하여 외국사의 참여를 신중히 고려 중에 있다.

국내 경우 외국사의 하도급 추진 경험을 바탕으로 국내 일부 기관과 업체에서 기술력을 일부 확보하고는 있지만 단독으로 수행할 수 있는 단계는 아직 미흡한 수준이며 전문적인 기술력 보충이 반드시 필요하다. 외국사와 실력위주의 경쟁체제이전에 국내자체의 출혈경쟁으로 경제적인 측면만 고려할 경우 사업수주 위주로 변질되어 국가경쟁력 차원에서도 바람직하지 않으며 향후 해외 진출에도 영향을 미칠 수 있을 것이므로 국내 자체의 경쟁력 보다 수행경험과 기술력 강화에 많은 노력과 역량을 집중해야 할 시점이라 본다.

표 4-1 국내 경전철 SE 추진사례

구분	주관	사업범위	사업기간	용역사	비고
부산 4호선	부산교통공사	E&M	'03.11~'08.12	우진산전/코벨코	재정사업
부산-김해	포스코 현대산업개발	토목, 건축, 궤도, E&M 건설/운영	'06.02~'10.08	현대로템/디아플로니아	민자사업
용인	봄바르디아	"	'05.11~'09.8	봄바르디아	민자사업
의정부	GS건설	"	'05.07~'11.4	지벤스	민자사업
신분당	두산건설	"	'05.06~'10.12	유택코리아/DMJM	민자사업
김포	김포시	"	'09.11~'13.12	서울메트로/철도시설공단	재정사업

※ 참고자료로서 다소 상이할 수 있음..

4.2 추진사례 분석

표 4-1과 같이 SE 추진에 따른 최적방안을 도출하여 적절성을 검토하고자 한다. 외국사가 단독계약을 체결하고 국내사가 하도급 참여시에는 언어소통 문제와 국내법 적용 및 운영에 어려움이 예상되며 발주처와 계약자간의 의사소통 부재로 국내사 위주의 업무수행이 예견되며, 대외적 신뢰와 투자자 측면에서는 유리할 수 있으나 경제적 측면은 다소 불리하고 업무성과 효율성은 어려울 것으로 판단된다.

외국사 주관으로 국내사 컨소시엄 구성시는 언어소통의 문제점과 업무의 효율성 저하로 인하여 국내사 위주의 업무수행이 예견되고 대외적인 신뢰 및 투자자 측면에서는 선호할 수 있으나 경제적 측면 및 업무성/효율성은 다소 불리할 것으로 분석된다.

국내사 주관으로 외국사와 컨소시엄 구성시 특정분야를 외국사가 수행함으로써 발주처와 계약자간 업무 수행시 원활하고 경제적 측면, 업무성과 효율성 등은 유리하나 대외적 신뢰도 및 투자자 측면에서는 단점으로 작용한다.

국내사 위주는 경제적 측면에서는 유리하나 경험미숙으로 인한 Risk가 상시 존재할 우려가 있으며 대외적 신뢰 및 투자자 측면에서 불리하다. 따라서 SE 추진사례를 분석한 결과 장단점을 고려하여 적절한 방안으로 추진하는 것이 최적이라 판단된다.

표 4-2 SE 수행방안 분석

방안	검토내용	투자자 측면	경제적 측면	업무성/ 효율성	검토 결과
외국사 단독계약 (국내사 하도급)	<ul style="list-style-type: none"> 언어소통 문제 국내법 적용 운영시 애로 발주처, 계약자간 원활한 업무장애 국내사위주 업무수행 	○	△	X	
외국사 주관	<ul style="list-style-type: none"> 언어소통, 사용문서 효율성 저하 국내사 위주 업무수행 투자자 입장에서 선호 	○	△	△	2
국내사 주관	<ul style="list-style-type: none"> 발주처, 계약자간 업무 수행원활 특정분야 외국사 분담수행 	△	○	○	1
국내사 위주	<ul style="list-style-type: none"> 사업비 측면 유리 미경험사업 Risk 존재 투자자 입장에서 비 선호 	X	○	△	

6. 결 론

정부의 교통정책에 부응하여 지방자치단체에서는 기존 도심지역 또는 택지개발지구를 대상으로 도시철도사업을 추진하면서 건설비 및 운영비절감 등 도시환경에 적합한 다양한 유형의 무인자동운전시스템 도입을 계획하고 있으나 도시철도시스템에 대한 충분한 검토 없이 사업이 추진되고 있고 사업시행 과정의 비효율성을 물론 해당 도시의 교통 특성에 부합하지 못하는 시스템이 도입될 우려가 있으므로 사업 추진계획 단계에서부터 시스템엔지니어링 개념을 적용하여 설계 및 건설과정에서 치밀한 안전대책, 구체적인 성능목표의 설정 및 평가, 시스템 간의 인터페이스 검증 등 무인자동운전시스템에 대한 성능을 보장 받아야 한다. 또한 엔지니어링 산업 활성화를 위하여 시스템엔지니어링을 전문적으로 수행할 수 있는 기관 및 전문 인력양성과 정부차원에서 규정 및 제도화가 필요한 시점이다. 따라서 외국기술에 의해 국내시장이 잠식되고 있는 시점에 국내기술력의 차별적 우위를 선점하기 위해서는 국내 주관으로 외국사와 컨소시엄을 구성하여 외국의 기술노하우를 습득할 수 있는 계기를 마련함으로써 외국자본의 잠식과 국부유출을 막고 국내 SE분야 가치를 창출할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- (1) 신 시스템엔지니어링 입문. 아이워크북 2007. 12, pp. 20 ~ 26 (7pages)
- (2) 서울메트로의 김포경전철 사업관리(PM) 수주 및 사업다각화 전략. 한국철도학회, 철도저널 제12권 제6호, 2009. 12, pp. 45 ~ 50 (6pages)
- (3) 경량전철 전문가 양성을 통한 PM/SE사업 활성화 방안 연구,” 한국철도학회 2008년도 추계학술대회논문집, 2008. 11, pp. 458 ~ 464 (7pages)
- (4) 무인 경량 전철의 건설과 시스템 엔지니어링의 적용. 한국철도학회, 철도저널 한국철도학회지 제8권 제2호, 2005. 6, pp. 41 ~ 49 (9pages)
- (5) 서울메트로 경전철전문가 및 시스템엔지니어링 전문가과정 교육자료