

경량전철 시스템엔지니어링 비용 추정 분석

Cost Estimate analysis of Light Rail Transit System Engineering

박진재*†, 이영재*, 이재형*, 박영원**

Jin-jae Park*†, Yeong-jae Lee*, Jae-hyoung Lee*, Young-won, Park**

Abstract In the field of system engineering of Light Rail Transit business, which operates and construction of the current domestic, foreign companies are organized, domestic enterprises, has made the system engineering business as a lower participating companies form, dependency of the key technologies independence of the technology of system engineering is required reality. Is promoting the research project of "Development of systems engineering application technology for LRT system and advancement of LRT Operation" this is a national policy research agenda, as part of the commercialization of research business plan, light rail transit subject of ongoing four items of size driver COSYSMO(Construction Systems Engineering Cost Model) is an estimated model of the system engineering cost to procure grounds objective of the basis of calculation for the light rail transit system engineering costs by selected research and business is, you are trying to analyze the cost objective of light rail transit systems engineering through the analysis of requirements and difficulty level of light rail transit construction business and train parameters of 14 items cost driver.

Keywords : Light Rail Transit, System engineering, COSYSMO, Size driver, Cost driver

초 록 현재 국내 건설 또는 운영 중인 경량전철사업의 시스템엔지니어링 분야는 해외 기업에서 주관하고, 국내 기업은 하부 참여기업 형태로 시스템엔지니어링 업무를 수행하고 있어 핵심기술에 대한 종속관계로 시스템엔지니어링에 대한 기술 자립이 필요한 실정이다. 이에 국책연구과제인 “경량전철 시스템 및 운영고도화를 위한 시스템엔지니어링 적용기술 개발” 연구사업을 진행 중에 있으며, 연구사업의 사업화 계획의 일환으로 현재 진행 중에 있는 경량전철 대상사업을 조사 및 선정하여 경량전철 시스템엔지니어링 비용 산정 기준에 대한 객관적인 근거 마련을 위해 시스템엔지니어링 비용 추정 모델인 COSYSMO(Construction Systems Engineering Cost Model)의 크기드라이버 4개 항목, 비용 드라이버 14개 항목에 대한 파라미터 및 경량전철 건설사업의 요구사항 수준 및 난이도 분석을 통해 경량전철 시스템엔지니어링에 대한 객관적인 비용을 분석하고자 한다.

주요어 : 경량전철, 시스템엔지니어링, COSYSMO, 크기 드라이버, 비용 드라이버

1. 서 론

COSYSMO는 시스템엔지니어링이 프로젝트에 미치는 경제적 의미를 추정 시 활용하기 위하여 계산 결과를 나타내는 모델로 조직 정의, 시스템엔지니어링 활동 범위, 생명주기 범위 등이 반영된다.

† 교신저자: 대림산업 토목사업본부 차장/기술사/PMP/CSEM (yousimjo@daelim.co.kr)

* 대림산업 토목사업본부 토목설계팀

** 전 아주대 시스템공학과 교수, 한국시스템엔지니어링학회 회장, 현 SE Technology 대표이사

반영된다.

파라미터 적용방법을 사용하여 Person Month (p/m)로 표현한 시스템엔지니어링 작업량을 추정하는 것으로 대규모 프로젝트의 개념개발, 설계, 시험 및 배치 등이 포함된다.

COSYSMO 모델 사용자의 사용 목표는 제안서 작성, 투자 결정, 예산 수립, 절충 분석, 위험 관리, 전략수립, 프로세스 개선 측정이라 할 수 있다.

이를 위해 사용자는 18개 드라이버에 대한 정의를 이해하고, 크기 드라이버 관련 계산규칙 숙지, 모델 산출물에 대한 이해, COSYSMO와 조직 내 시스템엔지니어링 컨텍스트(프로세스, 작업범주 등)와의 연관성에 대한 이해를 하여야 한다.

2. 본 론

2.1 COSYSMO 가정 및 알고리즘

2.1.1 COSYSMO 가정

- (1) INCOSE와 모순되지 않는 “SE” 정의
- (2) 조직 내 시스템엔지니어링 활동과 생명주기 단계 존재
- (3) 계약자 관점에서 시스템엔지니어링 노력을 추정하는 모델 사용
- (4) 해당조직에서 시스템엔지니어링 업무 직접 수행
- (5) 요구사항과 인터페이스의 재사용성은 미미한 것으로 가정

2.1.2 COSYSMO 알고리즘

$$PM_{NS} = A \cdot \left(\sum_k (w_{e,k} \Phi_{e,k} + w_{n,k} \Phi_{n,k} + w_{d,k} \Phi_{d,k}) \right)^E \cdot \prod_{j=1}^{14} EM_j$$

- (1) PM_{NS} : 월당 인시(Person Months)로 나타낸 시스템엔지니어링 작업량
- (2) A : 과거 프로젝트 데이터에서 도출한 보정 상수(calibration constant)
- (3) k : 크기 드라이버(요구사항, 인터페이스, 알고리즘, 운용 시나리오)
- (4) $w_{x,k}$: 각 크기 드라이버 난이도, “easy”, “nominal”, “difficult”
- (5) Φ_x : 크기 드라이버 “k” 의 수량
- (6) E : 규모의 비경제(diseconomies of scale)
- (7) EM : j_{th} 번째 비용 드라이버의 노력 가중치(effort multiplier)

2.2 크기 드라이버와 비용 드라이버

2.2.1 크기 드라이버

- 1) 시스템 요구사항 수 : 시스템 규격서에 포함된 shalls/wills/shoulds/ mays 수
- 2) 인터페이스 수 : ISO/IEC 15288에서 정의한 시스템 구성요소 중 외부 및 내부시스템 인터페이스 수
- 3) 알고리즘 수 : 시스템 규격서 또는 모든 설명서에 서 규정한 요구사항 구현에 소요되는 고유 알고리즘 수(시스템 관점에서의 기능 수)
- 4) 운용 시나리오 수 : 일련의 시스템 시험 시나리오 또는 시작부터 종료 시까지 수행하는 고유의 시험 수, 비정상 거동 영역까지를 포함한 Use Case 수

2.2.2 비용 드라이버

- (1) 요구사항 이해수준: 이해관계자들의 요구사항 이해수준을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (2) 아키텍처 이해 수준: 시스템 아키텍처 이해 및 관리 난이도를 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (3) 서비스 요구사항 수준: 총체적(각종 특수공학 및 효과성 파라미터) 서비스 요구사항을 충족시키는 난이도 및 중요도를 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (4) 마이그레이션 작업의 복잡성: 기존 시스템이 마이그레이션 작업의 복잡성에 미치는 영향을 Nominal, High, Very High, Extra High로 구분
- (5) 기술 위험: 구현 기술의 성숙도, 준비상태, 진부화의 관점을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (6) 생명주기 단계별로 필요한 문서 작업: 시스템 생명주기 단계별로 필요한 문서화 작업의 형식과 상세 수준을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (7) 설치 또는 플랫폼의 수와 다양성: 시스템과 시스템 설치 회수에 관계된 플랫폼의 수를 Nominal, High, Very High, Extra High로 구분
- (8) 설계 순환 수준의 수: ISO/IEC 15288에서 정의한 대상시스템에 관계된 설계 수준(설계 의존성의 복잡도)과 각 수준에 요구되는 시스템엔지니어링 노력의 양을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (9) 이해관계자 팀 결속력: 팀 워크와 관계된 여러 속성 파라미터를 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (10) 시스템엔지니어 개인/팀 역량: 복잡한 문제 분석 및 해결책을 종합하는 시스템 엔지니어의 기본적인 지적 능력을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (11) 직원의 경험 지속성: 프로젝트 초기에 직원들을 해당 과업에 일관되게 운용할 수 있는 수준을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High로 구분
- (12) 프로젝트 수행 능력: 시스템엔지니어링을 수행하는 프로젝트 팀의 일관성과 효과성을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High, Extra High로 구분
- (13) 문화적.언어적.지리적 관점에 걸친 협조 수준: 이해관계자, 팀 구성원, 자원, 기업의 협력에 존재하는 장애요소(문화적.언어적.지리적 장벽) 수준을 Very Low, Low, Nominal, High, Very High, Extra High로 구분
- (14) 도구 지원: 시스템엔지니어링 환경에서 사용하는 도구의 범위, 통합, 성숙도를 Very Low, Low, Nominal, High, Very High, Extra High로 구분

2.3 시스템엔지니어링

2.3.1 CASE 1 : 프로젝트 요구사항 수준 및 난이도가 LOW

Case 1의 경우 크기 드라이버는 국내 경량전철 사업에 다년간의 경험 축적으로 새로운 요구사항이나 인터페이스가 거의 없고, 기존 경험을 바탕으로 사업 수행이 가능할 것이라는 전제하에 4개 파라미터에 대한 비율을 각각 Easy : Normal : Difficult = 50%:30%:20% 순으로 지정하였다. 비용 드라이버에서는 도구지원이 없어 통합에 따른 많은 시스템엔지니어링 노력이 필요하다는 기본적인 전제하에 시스템이 새로운 요구사항의 수가 적고 구현이 간단하며 아키텍처에 대한 이해도는 전체적으로 국내 경량전철사업에 대한 다년간의 경험 축적으로 큰 어려움 없이 수행할 것으로 정의하였으며, 설계 반복 수준의 수는 상호 의존성이 적어 일부만 조정하고, 해당 엔지니어의 역량이 높고 해당 분야 경험이 많아 큰 어려움 없이 프로젝트 수행이 가능하며, 프로젝트 팀의 조직 역량이 좋고 여러 관계자들과 조정이 용이함에 따라 긍정적으로 평가하였다. 나머지 서비스 요구사항, 이동 복잡성, 기술의 위험성과 문서화 요구사항

및 운용환경의 복잡성은 기존 프로젝트와 같이 평이한 수준으로 가정하였다. 다음은 COSYSMO 시뮬레이션을 통한 연간 투입인원, 75개월(설계, 시공, 운영) 총 비용, 월 투입인원을 산출한 결과이다.

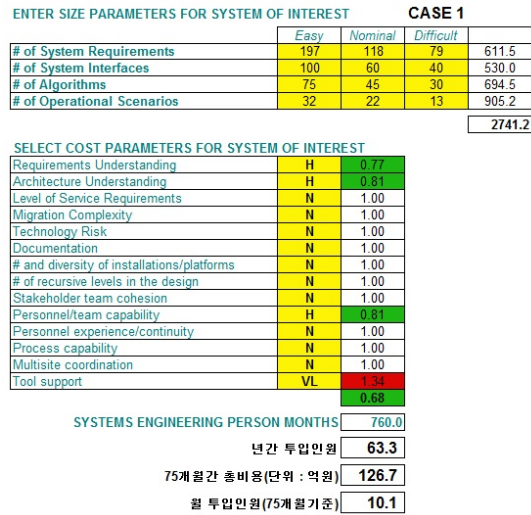


Fig. 1 Case 1 시뮬레이션 결과

2.3.2 CASE 2 : 프로젝트 요구사항 수준 및 난이도가 NOMINAL

Case 2의 경우 크기 드라이버는 국내 경량전철사업에 대한 다년간의 경험 축적에도 불구하고 고 일반적으로 난이도가 비슷한 수준으로 4개의 각 파라미터가 비슷한 수준을 보일 것이라는 전제 하에 4개의 파라미터에 대한 비율을 각각 Easy : Normal : Difficult=34%:33%:33% 순으로 지정하였다. 비용 드라이버에서는 도구지원이 없어 통합에 따른 많은 시스템엔지니어링 노력이 필요하다는 기본적인 전제하에 시스템의 새로운 요구사항의 수가 적고 팀원들간의 역량이 일반적인 상태이며, 아키텍처에 대한 이해도, 서비스 요구사항, 이동 복잡성, 기술 위험과 문서화 요구사항, 설치 플랫폼의 다양성, 설계 반복 횟수, 이해관계자들 간에 협조, 이해관계자들 간에 응집력과 개인의 경험과 업무 연속성, 프로세스 역량과 다지역 협조 등이 보통의 프로젝트와 동일하거나 난이도가 그리 높지 않다고 가정하였다.

Case 1과 같이 Case 3의 COSYSMO 시뮬레이션 결과는 다음 그림과 같다.

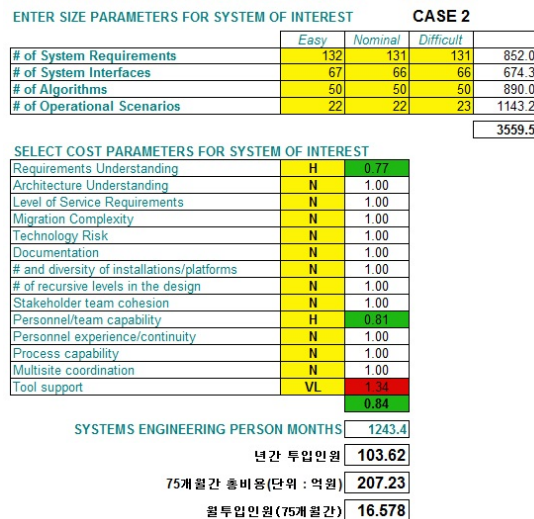


Fig. 2 Case 2 시뮬레이션 결과

2.3.3 CASE 3 : 프로젝트 요구사항 수준 및 난이도가 HIGH

Case 3의 경우 크기 드라이버는 국내 경량전철사업에 대한 다년간의 경험 축적에도 불구하고 어려운 요구사항과 새로운 시스템 인터페이스와 알고리즘 및 운용 시나리오가 많이 있을 것이라는 가정하에 4개의 파라미터에 대한 비율을 각각 Easy: Normal : Difficult = 30%:30%:40% 순으로 지정하였다. 비용 드라이버에서는 도구지원이 없어 통합에 따른 많은 시스템엔지니어링 노력이 필요하고 이에 따른 문서화 작업이 방대할 것이라는 전제를 기본으로 시스템 요구사항은 대부분 정의되어 있고, 아키텍처에 대한 이해도는 보통, 서비스 요구사항의 복잡성 또한 높지 않으며, 레거시 시스템의 문서화가 잘 되어있고, 다년간의 기술 축적으로 어려움 없이 상용화된 시스템을 사용하여 기술 위험이 적으며 설치 플랫폼은 잘 알려진 운용환경으로 구축에 어려움이 없고, 시스템엔지니어링 노력을 위한 절충분석은 상당히 필요하며 이해관계자들간에 약간의 조정이 필요하고, 업무 수행능력이 보통인 상황, 경험이 높고 설계 프로젝트 중심의 업무 접근성에 대한 효과도 일반적이라고 가정하였다.

Case 1과 같이 Case 3의 COSYSMO 시뮬레이션 결과는 다음 그림과 같다.

ENTER SIZE PARAMETERS FOR SYSTEM OF INTEREST				CASE 3	
	Easy	Nominal	Difficult		
# of System Requirements	118	118	158	967.0	
# of System Interfaces	60	60	80	738.0	
# of Algorithms	45	45	60	973.5	
# of Operational Scenarios	12	22	33	1381.2	
					4059.7

SELECT COST PARAMETERS FOR SYSTEM OF INTEREST		
Requirements Understanding	N	1.00
Architecture Understanding	N	1.00
Level of Service Requirements	N	1.00
Migration Complexity	N	1.00
Technology Risk	N	1.00
Documentation	H	1.13
# and diversity of installations/platforms	N	1.00
# of recursive levels in the design	N	1.00
Stakeholder team cohesion	N	1.00
Personnel/team capability	N	1.00
Personnel experience/continuity	N	1.00
Process capability	N	1.00
Multisite coordination	N	1.00
Tool support	VL	1.34
		1.52

SYSTEMS ENGINEERING PERSON MONTHS	
	2569.8
년간 투입인원	214.1
75개월간 총비용(단위 : 억원)	428.3
월 투입인원 (75개월간)	34.3

Fig. 3 Case 3 시뮬레이션 결과

2.3.4 경량전철 시스템엔지니어링 비용 분석 결과

상기 3가지 경우를 가정하여 경량전철 시스템엔지니어링 비용을 분석한 결과 연간 투입인원은 1인을 기준으로 하여 산출한 값으로 고급 또는 특급인력이 프로젝트에 참여한다는 가정 하에 기업의 Overhead 등을 감안하여 연간 약2억을 기준으로 산출하였으며, 총 비용은 설계기간 12개월, 공사기간 60개월, 운영초기 3개월로 가정하여 산출하였다.

Table 2 경량전철 시스템엔지니어링 비용 분석

구분	연간투입인원	SE수행기간	총비용
Case 1	34명	75개월	127억
Case 2	104명	75개월	207억
Case 3	214명	75개월	428억

3. 결 론

“도로.철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정.보완 연구(제5판)”에는 도시철도 사업에서 부대비용으로 시스템엔지니어링 비용을 산출할 수 있다. 시스템엔지니어링 비용은 서로 다른 분야의 기술을 가진 20여 종의 하부시스템들이 복잡하게 결합되어 구성되는 E&M(기계, 전기, 신호, 통신, 검수) 각기 분야의 기술을 통합하고 부문간 기술적 인터페이스를 관리하며, 시스템 성능과 기능을 확보함은 물론 시스템의 안전과 보증을 위한 제반 기술 업무를 총괄 관리하므로 정확하고 안전한 시스템을 구축하여 설치하고 운영하기 위한 것으로 시스템 공사비의 5%를 적용하는 것으로 표현되어 있다.

그러나 경량전철사업에서의 시스템엔지니어링은 기술적인 인터페이스, 시스템 성능 및 기능 확보와 시스템엔지니어링을 수행하는 팀의 조직 수행능력, 이해관계자들의 요구사항 이해수준, 도구 지원 등도 포함되어야 한다.

그러므로 위 3가지의 사례에서 4개의 크기 드라이버의 파라미터는 전체 프로젝트 수행의 난이도를 상중하로 나누어 Easy : Normal : Difficult의 비율을 크게 50:30:20, 34:33:33, 30:30:40으로 나누었고, 14개의 비용 드라이버 파라미터는 국내실정에 맞게 적용하였다. 비용 드라이버 파라미터는 전체적으로 국내 경량전철 사업에서는 전산도구를 적용하지 않았기 때문에 사업 조건에 대해서 최대한 동일한 기준으로 설정하는 등 파라미터는 국내 실정에 맞게 반영한 결과이다. 모든 시스템엔지니어링 기준에 맞게 각각의 파라미터를 분해하고 이에 맞는 값을 설정하기에는 어려운 상황이지만 기존의 경량전철사업에 대한 성공과 실패 사례와 더불어 외국의 사례를 통하여 국내에서도 발생할 수 있는 사례를 평가 하였다.

위와 같은 사례를 기준으로 국내에서 발생하는 여러 가지 기존 경량전철의 문제점들을 비교하여 유추한 결과, 경량전철사업에서 시스템엔지니어링 노력에 들어가는 비용은 최소 Case 2 이상은 유지하여야 위험부담이 적고 성공적인 시스템엔지니어링 노력을 하였다 할 수 있다. 이는 사업 초기단계에서부터 시스템엔지니어링 활동을 통하여 사업의 개념설계와 기본설계를 통하여 프로젝트 후반 부에 발생할 수 있는 설계변경으로 인한 비용증가와 설계변경에 따른 품질문제를 최소화 할 수 있는 노력이 필요함을 반증하는 증거라 할 수 있겠다.

후 기

본 연구는 지식경제부에서 실시한 플랜트엔지니어링 원천기술개발사업 “경량전철 시스템 및 운영 고도화를 위한 시스템 엔지니어링 적용기술개발” 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] KS X ISO/IEC 정보기술 - 시스템 및 소프트웨어공학 - 시스템생명주기 프로세스