

경량전철 사업의 SE 적용을 위한 비용 추정 모델 연구

김철환¹⁾ 한명덕²⁾ 이재홍³⁾ 이창영⁴⁾

1) 호서대 교수, 2) 아주대 겸임교수, 3) ETRI연구위원, 4) 한국철도기술연구원 연구원

A Study on the Cost Model for Implementation of SE for the Light Rail Transit Project

Kim Chul Whan¹⁾ Han Myeong-Deok²⁾ Lee Jae Hong³⁾ Lee Chang Young⁴⁾

1) Professor of Hoseo Univ., 2) Professor of Ajou Univ., 3) Researcher of ETRI, 4) Researcher in KRRI

ABSTRACT : This research aims to propose a model to estimate the appropriate SE Cost rate to the total project cost when systems engineering applied to light rail transit project. In this research an investment cost estimation model is proposed with reference to COSYSMO (Constructive System Engineering Cost Model). This model includes four input factors such as requirement numbers, interface numbers, algorithm numbers, and scenario numbers. When 2600 requirement numbers are considered on a proposal document with 350 pages in a light rail transit specification of 500 billion~trillion won scale, COSYSMO demo version estimates 42.5 billion won of SE cost (about 5% of total project cost or about 10% of E&M cost).

Key Words : light rail transit(경량전철), systems engineering(시스템엔지니어링:SE), COSYSMO(코스스모모델), requirement numbers(요구사항 수), SE cost(시스템엔지니어링 비용).

* 교신저자 : cwkim3478@hanmail.net

1. 서론

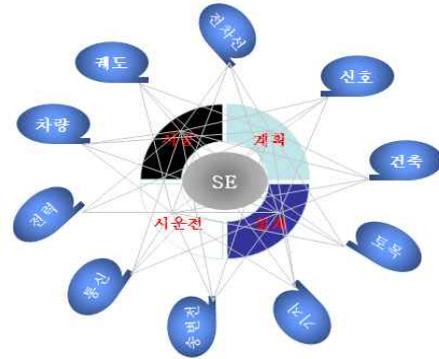
일반적으로 첨단무기체계를 비롯하여, 철도시스템 등 첨단·복합·대형 사업의 개발 전 생명주기 과정에 시스템엔지니어링 방법론을 적용함으로써 기술적 위험성 감소, 비용 절감 및 기간 단축 등의 효과가 있다고 이론적 및 실증적으로 많이 제시되고 있다. 그러나 국내에서 추진되고 있는 복합 대형 사업인 경량전철 사업 건설에서 일반적 사업에 SE 기법적용 시 효과를 얻기 위해, 투입 비용규모에 대해 그동안 철도공학 전문가, 시스템엔지니어링 전문가 그리고 정책부서 전문가들 간에 다소 견해 차이가 있는 것으로 알려지고 있다

이에 경량전철 사업에 대한 정책 결정권자 및 건설 집행권자들의 근거 마련이 요구되어 왔다. 따라서 본 연구는 국내에서 수행하였거나 계획 중인 사업들을 조사·분석하고 국제적으로 보고된 논문/자료 등을 분석하여 국내에서 추진하는 경량전철 사업에 시스템엔지니어링 방법론 적용 시 투입할 비용을 추정하고, 사업 전 생명주기 과정을 효과적으로 관리할 수 있는 프로세스 적용과 적절한 SE활동을 위해 사업비 중 시스템엔지니어링 비용을 얼마만큼 투자하여야, 적절한가? 에 관련한 비용추정 모델을 연구하였다.

2. 경량전철 사업의 SE 적용비용 실태

현재 지자체 및 정부에서 건설하고 있는 경량전철 사업은 도시 내 주요 거점을 연결하는 간선 교통 역할과 지하철 노선이 연결되지 못하는 지역의 교통수요를 기존의 지하철에 연결하고자 하는 개념의 지선 및 순환교통 그리고 공항이나, 위락지역 등의 대단위 교통 밀집지역의 접근교통 등의 역할을 한다. 이러한 경량전철 사업은 수송능력이 시간당 10,000명에서 20,000명 수준¹⁾으로 궤도 및 차량 시스템 구동기술에 따라 노면전차(Street Light

Rail Transit), 모노레일, 고무/철제차륜 AGT (Automated Guideway Transit), 선형유도모터형식 AGT(Linear Induction Motor) 그리고 소형전철시스템(Personal Rapid Transit) 등으로 구분하고 있으며, SE와 연계한 경량전철의 사업구조는 그림-1과 같다.



[그림 1] 경량전철 사업구조

한편 경량전철 시스템의 노선형태에 따라 궤도형태, 차량규모/운행방식, 주행성능, 서비스 기능, 환경 영향 조건 그리고 시스템의 역할 등과 관련 시스템의 요구 및 특성을 갖고 있으며, 이러한 복합, 첨단, 대형화 경량전철 시스템 건설 사업의 전 생명주기 과정에 시스템엔지니어링 방법론 적용은 필수적이다. 국내에서는 2006년도부터 본격적으로 적용되고 있는 시스템엔지니어링 업무를 위해 다수의 체계공학 전문가들의 참여와 선진 첨단 기법을 적용하여, 많은 수의 기업들과 분산된 작업장임에도 불구하고 고객의 요구 성능 수준 충족, 비용의 절감, 일정 초과 억제 등의 효과를 거두고 있다. 그동안 국내에서는 경량전철 사업 전 수생명주기 관리를 위해 기준문서는 ISO 15288 규정 등을 적용하고, 시스템엔지니어링 활동비는 기전분야(전체사업비의 40% 수준)사업비의 대략 5%를 투자하여, 지역별/사업 특수성에 따라 선별적인 시스템엔지니어링 특수 활동을 국내외 전문 국내 기업 및 전문가들이 상당 수준의 노하우 습득, 기술정보 수집/분석/생성/

1) 건교부(2006) 대중교통기본계획(2007~2011)

<표 2> 국내 경량전철 사업 적용 SE 비용 투입 현황

노 선 명	총 사업비	SE 비용 *	비 율	비 고
인천공항철도	3조 2천 956	1,150.0	3.49	민자
부산 4호선	1조 492	125.6	1.19	채정
부산-김해	7천 742	120.0	1.55	민자
용인	7천 278	158.3	2.18	민자
의정부	4천 750	153.0	3.22	민자
서울 9호선	3조 4천 768	240.0	0.69	민자
자기부상열차	4천 500	150.0	3.33	채정
합 계	10조 2천 486억 원	2,096.0억 원	2.04%	

* SE 비용에는 품질, PM등이 포함된 경우도 있음

결과 활용 등에 관한 기술력을 다수 확보할 수 있었으며, 경량전철 사업에 대한 정책결정권자들도 시스템엔지니어링 방법론 적용 효과에 대한 이해가 높아졌다. 그러나 본 사업 추진 과정에 시스템엔지니어링 방법론적용의 효과 입증, 수명주기 관리 프로세스 표준화, 시스템엔지니어링 활동 등이 구체적으로 표준화 되지 않은 상태에서 지역의 사업별 특성에 맞추어 선별적/특수한 활동 중심으로 추진하였으며, SE 비용도 표 2와 같이 서로 달라 경량전철 사업의 총체적 차원에서 시스템엔지니어링 방법론 적용 기대효과 추정이 곤란한 상태다.

3. 경량전철 사업의 SE 비용 추정 모델 연구

그동안 국내에서 수행한 경량전철 사업에 투자한 시스템엔지니어링 비용은 표 2와 같이 총 사업비의 약 2% 수준으로 선진국의 10~15% 수준에 비하여 매우 미흡하다. 국내의 경량전철 사업에서 시스템엔지니어링 활동비용은 기전분야에 대해 공사비의 5%를 시스템엔지니어링에 투자하는 실정이다.

이는 전체 경전철 사업비에 대해서 약 2% 정도

의 금액이 시스템엔지니어링 비용이 된다. 이러한 시스템엔지니어링 투자 비중은 한국개발연구원(KDI)에서 권장하는 기전(E&M) 분야 공사비의 5% 라는 수치와 일치하고 있다.²⁾ 그러면 이 비용은 적절한 수준일까?

본 연구에서는 시스템엔지니어링 비용의 적정규모 판단을 위하여 최근 INCOSE 국제 심포지엄에서 발표된 자료에 의하면 개발비 대비 시스템엔지니어링 적정 투자비율과 그 투자의 시스템엔지니어링 활동별 비율을 Honour 논문과 자료를 분석한 결과 표 3과 같은 결과를 얻었다. 연구자에 따라 시스템엔지니어링의 핵심적인 활동이 무엇인가에 다소 차이가 있는 것이 사실이다.

연구자들은 소요업무에 해당하는 임무 및 목적 정의로부터 조직 관리에 해당하는 리더십까지 나름대로 핵심적인 활동들을 SE 활동으로 포함하였는데, 역시 중요한 것은 전통적인 시스템엔지니어링 활동에 해당하는 요구사항 개발과 요구사항 관리를 모두 포함하는 요구공학 등이라고 볼 수 있다. 다소 차이는 있지만 위 연구보고서에 의하면 7개 활동에 대략 2~3% 정도가 필요한 것으로 판단하여 총 17%를 개발비 대비 시스템엔지니어링 활동비의 적정수준으로 판단하였다.

2) 한국개발연구원은 국내경전철 사업 참여 해외업체들이 기전분야를 턴키방식으로 계약할 때 시스템엔지니어링 활동 비용을 기전(E&M) 분야 공사비의 5% 정도 요구하는 현실을 반영했다는 설명임.

<표 3> 철도시스템 사업의 SE 활동별 투입 적정 비율³⁾

SE 활동	투자비율	비고
임무 및 목적 정의	1.9	SE 활동 구분이 ISO 15288과 차이는 있음
요구공학	1.8	
시스템 아키텍처	2.1	
시스템 통합	2.4	
검증 및 확인	3.2	
기술적 분석	2.2	
기술 관리/리더쉽	3.1	
합 계	17%	

본 연구에서의 SE 비용 추정 모델개발 연구는 시스템엔지니어링 비용추정 모델인 코스시모 COSYSMO : Constructive System Engineering Cost Model)를 참조하여 비용 추정 모델을 제시하고자 한다. 코스시모에서는 SE를 INCOSE SE 핸드북의 정의를 따라 정의하고, SE 활동은 ISO 15288 국제 표준과 EIA-632 미국 SE 표준을 채택하였다. 비용관계식은 주로 방위산업체와 협조하여 관련 전문가의 의견을 수렴하고 델파이 기법을 사용하여 수립하였다.

이 모델은 비용요소로 요구사항의 개수, 인터페이스의 개수, 알고리즘의 개수, 시나리오의 개수 등의 합의 요인으로 가정하였고, 여기에 요구사항의 개수는 합의 요인을 각각 난이도에 따라 보통, 중급, 난해한 수준 등으로 구분하여 입력하도록 하였고, 이들 합의 요인에 「규모의 비경제성」을 나타내는 지수(E)를 가미하고, 사업의 특성을 반영하는 교정 계수(A)를 곱해서 SE 업무소요(Effort)를 인-월 (PM : Person - Months) 로 결과가 나오도록 만들었다.

이렇게 만든 모델을 수식으로 표현하면 아래와 같다.⁴⁾

$$PM_{NS} = A \cdot \left(\sum_k w_k \Phi_k + w_n \Phi_n + w_d \Phi_d \right)^E \cdot \prod_{j=1}^{14} EM_j$$

여기서 괄호 속에 들어가는 입력 자료들이 바로 프로젝트의 크기를 결정짓는 4 가지 요소로(k=1 ~ 4)로 나타낸다.

각 요소를 다시 평이한 것(e : easy), 보통(n : nominal), 난해한 것(d : difficult)으로 구분하여 수를 세고 그 개수를 입력한다. 이 크기 또는 프로젝트의 규모를 결정짓는 요소 중

첫째 요소는 요구사항 개수,

두 번째 요소는 인터페이스 개수,

세 번째 요소는 알고리즘 개수,

네 번째 요소는 시나리오 개수 이다.

EM 항목은 요구사항의 이해도로부터 SE 도구의 지원에 이르기까지 비용에 영향을 주는 14가지 곱셈형 요인이다.

이렇게 수식을 이용하여 추정한 SE 노력 소요(인-월수치)를 알면, 가용한 SE 인력을 이용하여 소요 일정이 몇 개월이 필요한지 계산이 될 수 있다.

마찬가지로 SE 업무 소요에 SE 인력의 급여 수준을 곱해주면 SE 비용이 계산되는 것으로 되어 있다.

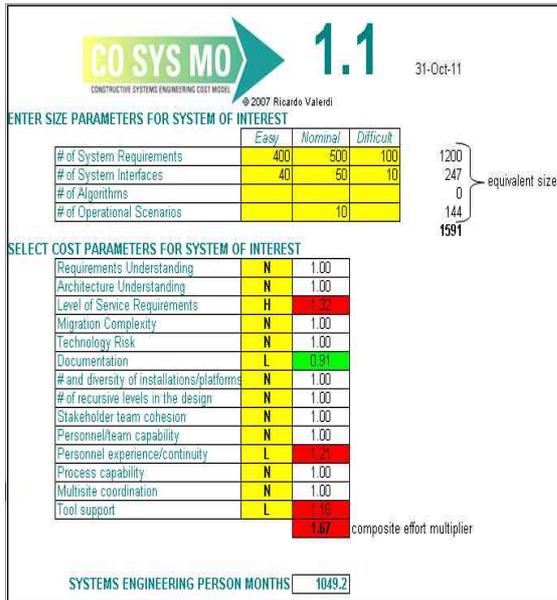
이상에서 살펴본 코스시모 모델을 시험해 볼 수 있는 방법으로 코스시모 웹사이트의 데모 버전을 사용할 수 있다. 본영구에서 각 지자체의 경량전철 사업현장들을 방문, 인터뷰 하여 얻은 자료 중에 경량전철 사업의 계약서의 부속서류로 포함된 기술사양서에 경량전철 사업에 필요한 요구사항의 개수를 가름 할 수 있는 기술사양 내용이 들어 있다. 필요하다면 기술사양을 난이도에 따라 보통 수준의 요구사항, 중급 수준의 요구사항, 수행이 어려운 난해한 요구사항의 3개 등급으로 구분할 수도 있을 것이다.

그림 2는 이러한 데모 버전의 코스시모 모델에

3) Honour

4) Ricardo Valerdi, "The Constructive Systems Engineering Cost Model (COSYSMO)", Ph.D. Thesis, Univ. of Southern California, (2005), p.38 수식 6.

입력 자료로 요구사항 개수를 1,000개, 인터페이스 개수를 100개, 시나리오 개수 10개로 가정하여 넣은 결과이다.



[그림 2] COSYSMO모델 적용 사례

난이도는 기술사양서 문장을 검토한 후 판단할 수 있다. 본 연구에서는 대략 보통 수준이라고 판단되는 요구사항과 난해하다고 판단되는 요구사항의 비율을 각각 40%, 10%로 정하고 나머지는 중급 수준의 난이도로 취급한 것이다. 이런 방식으로 자료를 입력한 결과, SE 업무소요량이 1049.2 인-월 (person-months)로 나타났다. 이것을 통상적인 공사기간 60개월(5년)로 나눈다면, 필요한 SE 인력은 17.5명이 될 것이다. 경량전철 공사의 한 한국인 전문가는 통상 SE 수행책임자를 비롯하여 성능, 인터페이스, 소음·진동, EMI/EMC, RAMS, 형상 관리 등 7명의 담당자를 최소 인원으로 보고 있었다. 실제 경량전철 사업에서는 외국계 회사에서 SE 업무를 담당하였고, 한국인 기술자들이 각 분야에 1~2명이 같이 업무를 수행하는 형식이라서 최소 인원의 두 배 정도가 참여 한 셈이다.

따라서 실제 참여인원은 분야를 어떻게 나누는가

에 따라 7~10개 분야에 각각 1~2명의 SE 전문가가 참여한다고 본다면 총 14~20명의 SE 인력이 동시에 참여한다고 할 것이다. 만일 이들 SE 담당자의 급여 수준을 연봉 1억 원 정도로 가정한다면⁵⁾ 17.5명에 대해 매년 17.5억 원, 5년간 87.5억 원이 필요하다. 여기서는 일단 급여만을 계산해 보았지만, 실제로는 급여에 준하는 수준의 경비가 필요할 것이다. 다시 말해 위에서 시험 케이스로 입력한 데이터, 즉 요구사항이 1,000개 일 경우의 시스템엔지니어링 비용은 대략 170억 원이 필요할 것으로 계산된다.

보다 현실적인 데이터를 얻기 위해 경량 철도사업 계약서 부록인 기술사양서를 기준으로 하여, 페이지 당 요구사항 개수를 적절하게 계산하여, 약 350페이지 분량의 사양서 페이지수를 곱하여 개략 요구사항 수를 도출할 수 있다. 본 연구에서는 페이지 당 요구사항 개수를 7~8개로 가정하면 요구사항 개수는 약 2,600개가 되는 것이다. 이 경우 시스템엔지니어링 비용이 대략 425억 원이 필요하다는 결론이다.

한 가지 유념할 점은 이 COSYSMO 모델은 주로 방위산업분야에서 원천 입력 자료를 근거로 기본 모델을 만들었기 때문에 방산분야에 대해서는 비용 추정의 신뢰도가 높겠지만, 철도분야의 경우에는 이 모델의 분석이 적절한 모델이라고 보기에는 더 실증적 자료가 보강되어야 할 것이다.

일단 코시스모라는 시스템엔지니어링 비용추정 전용모델을 시험해 보는 차원에서 몇 가지 수치를 생각해 보자.

물론 방위산업에 필요한 시스템엔지니어링 활동과 철도에 필요한 시스템엔지니어링 활동이 똑 같을 수는 없다. 도메인에 따라서 차이가 있을 수 있을 것이다. 그러나 현시점에서 다른 적절한 비교 기준이 없다면, 코시스모 모델에 의존하여 개략적인 비용을 추정해 볼 수는 있을 것이다.

본 연구에서 검토한 350페이지 분량의 철도사업

5) 2009년도 미국의 베스트 직업으로 시스템엔지니어가 선정되었을 때 급여 수준이 상위는 13만 달러, 중앙치는 8만7천 달러 정도였음.

<표 4> 코시스모 모델 적용 인시-월 분포(사례)⁶⁾

Phase Activity	Conceptualize	Development	OT & luation	Transition to Operation
Acquisition & Supply 7%	7x 0.28=1.96%	7x0.51=3.57%	7x0.13=0.91%	7x0.08=0.56%
Technical Management 17%	17x0.22=3.74%	17x0.38=6.46%	17x0.25=4.25%	17x0.15=2.55%
System Design 30%	30x0.34=10.2%	30x0.40=12%	30x0.17=5.1%	30x0.09=2.7%
Product Realization 15%	15x0.13=1.95%	15x0.30=4.5%	15x0.32=4.8%	15x0.25=3.75%
Technical Evaluation 31%	31x0.18=5.58%	31x0.27=8.37%	31x0.40=12.4%	31x0.15=4.65%
합계 100%	23.43%	34.9%	27.46%	14.21%

기술사양서에 의한 요구사항 개수 약 2,600개가 의미 있는 수치라면, 425억 원의 의미는 무엇인가? COSYSMO 모델을 개발한 발러디(Valerdi)는 그의 박사 논문 부록에서 수명주기 단계별로, 또 프로세스 영역별로 시스템엔지니어링 노력(인-월)이 어떻게 분포되는지를 평균값으로 제시하였다.

표 4에서 먼저 각 프로세스 영역별 SE 노력의 소요 비율은 「획득 및 공급」 프로세스가 전체의 7%를 차지하고, 「시스템 설계」 프로세스는 30%를 차지함을 알 수 있다. 생명주기 단계별로 보면, 획득 및 공급 프로세스의 28%(= 0.28)를 개념 단계에 사용하고, 획득 및 공급 프로세스의 SE 노력의 51%를 개발 단계에 사용하는 것으로 나타나 있어서, 결국 개념 단계에는 획득 및 공급 프로세스에서 전체 SE 노력의 1.96%를 사용함을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 주장하는 것은 시스템엔지니어링 업무가 철도사업에서는 기전(E&M)시스템 뿐만 아니라 토건 분야에도 시스템엔지니어링 업무가 적용될 필요가 있다는 것을 강조하고 싶다. 또한, 생명주기 면에서도 실시설계 이후의 공사단계 뿐만 아니라 보다 경제적 효율적 사업이 되기 위해서는 훨씬 더 앞 단계인 기획(RFP) 단계를 포함하여 기본설계단계로부터 시스템엔지니어링의 활동이 필요

하다.

또한 시스템엔지니어링의 적정 비용이 어느 정도 이면 좋은지에 대해서도 더 심도 있는 연구와 고민과 논의가 있을 것으로 기대된다. 이 경우 우선 적절한 비용추정 모델을 추천하자면 현재 개방되어 있고, 검증된 모델로는 코시스모(COSYSMO)모델이 적합 할 것으로 사료된다.

이 모델은 시스템엔지니어링 비용 추정을 위해 개발된 전용 모델일 뿐만 아니라, 소요 인-월을 추정하는 모델이기도 하고, 더 구체적으로는 개발 생명주기 단계별로 시스템엔지니어링 활동별로 어느 정도의 노력과 비용이 적정인가를 보여주는 모델이기 때문이다.

4. 결론

선진화된 정통 시스템엔지니어링 개념과 한국의 경량전철 건설 및 운영 사업의 시스템엔지니어링 적용 개념과의 차이는 상존하고 있으나, 국내 경량전철 사업이 무인화 추세로 발전되고 있음에도 시스템엔지니어링 적용이 사업 초기단계부터 시스템 차원의 기본계획 및 기본설계부터 적용되지 못하고, 실시 및 제작설계 단계에 적용하고 있다. 더구나 시

6) Ricardo Valerdi, (2005), 박사논문 p.127 Appendix B: Systems Engineering Effort Profile. 원 논문에서는 각 프로세스 영역별 분포를 7%, 17%, 30%, 15%, 31%로 나타내는 표와 각 단계별 각 활동별 분포를 나타내는 표로 나누어 제시했으나 여기서는 편의상 두 표를 합성하여 단순하게 제시함.

스텨엔지니어링 적용 범위는 토목 및 건축 분야를 제외하고, 차량 및 기전(E&M) 설계·제작 분야에 적용하고, 시스템엔지니어링 활동에 투자되는 비용은 총 사업비의 2% 수준이었다. 또한 시스템엔지니어링 활동은 전체 시스템 차원 보다 각각의 서브시스템에 특수공학 개념을 적용하고 있는 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구를 통하여 주장하고자 하는 내용은 다음과 같다.

첫째로 경량전철의 적용 규격은 ISO-15288 그리고 ICOSE 핸드북을 동시에 적용 권장하며, 사업의 초기 계획단계 부터 시스템엔지니어링 프로세스 적용으로 총 사업비 절감, 사업기간 단축 및 리스크를 감소시키도록 하여야 한다.

둘째로 본연구에서는 경량전철건설사업의 SE투입비용 추정모델로 코시스모(COSYSMO)를 참조하여 제시하였으며, 이는 사업 사양서내의 요구사항, 인터페이스, 알고리즘, 그리고 시나리오 개수등을 입력하는 모델이다. 본연구에서는 철도사업 사양서에서 요구사항개수를 2,600개로 가정하여 적용한 결과, 철도사업의 SE투입비는 전체사업비의 약 5%, E&M 사업비용의 약 10%를 적정수준으로 제안 하였다.

셋째로 경량전철 사업의 시스템엔지니어링 비용으로 투입해야 할 SE 비용 추정 모델의 제시를 통하여 경량전철 사업의 시스템엔지니어링 활동에 대한 인식 전환, 사업 수행 과정에 체계적/효율적 시스템엔지니어링 활동 수행그리고 시스템엔지니어링 투입 비용 추정기준 마련 등에 활용하게 될 것을 기대한다.

(본 논문은 한국철도기술연구원의 “미래철도시스템 활성화방안수립(RP 11001)” 과제의 지원을 받아 수행한 결과입니다.)

참 고 문 헌

1. KSX ISO/IEC 15288 (2009), “정보기술.시스템 및 소프트웨어 공학 생명주기프로세스”, 기술표준원, 2009.
2. 한석운 외, “경량전철시스템 및 운영곡고도화를 위한 시스템엔지니어링 적용기술개발 사업 1차년도 연구보고서”, 한국철도기술연구원, 2011.
3. 김철환 외, ‘경량전철사업에 시스템엔지니어링 적용효과추정연구’, 한국철도기술연구원, 2011
4. INCOSE, System Engineering handbook v3.1, 2011.
5. Eric Honour, “Value of Systems Engineering”, INCOSE, 2004
6. Eric Honour, “Systems Engineering Return on Investment”, defense and System Institute, 2009.
7. University of Southern California, “Constructive Systems Engineering Cost Model (COSYSMO)”, 2010.
8. University of Southern California, “Constructive Systems Engineering of Cost Model(COCOMO) II Model, 2010.