

COSYSMO를 이용한 SUAV 체계에 대한 SE 비용추정에 관한 연구 (A Study on the SE Cost Estimating for Smart UAV System using COSYSMO)

정 성 용(Sung Yong Jung)·박 인 경(In Kyoung Park)
(13551@hanmail.net, parkaegis@hotmail.com)

국방대학교 운영분석과
Department of Operations Research, Korea National Defense University

Abstract

Organization wishes to develop newer and more complex system according as social structure is more complex and a technology develops more.

Therefore, field of system engineering in development of new system is realized by all-important essential boundary.

However cost of SE have considered restrictively being not about SE cost having applied SE.

About this problem, this study provides COSYSMO as model for SE cost estimation, as the application example, estimate SE cost for smart UAV system applying COSYSMO in PRICE Trueplanner.

Key Words : COSYSMO, SE, SUAV

1. 서 론

최근의 무기체계 개발 사업은 과학기술의 발전으로 인해 새로운 개념의 무기체계 개발이 이루어지고 있으며, 뿐만 아니라 기존과 유사한 무기체계도 점점 더 복잡한 형태로 형상화 되어가고 있다.

실제 '05년 지상전술 C4I 대화력전 능력 개발이 군에서 수행한 연구개발에서 아키텍처에 기반하여 요구사항을 개발, 사업에 적용한 최초의 사례로 실질적으로 운용개념분야를 명확히 정립하여 일정과 요구사항 변경에서 20%를 절감하고, 운용 요구사항을 완전히 만족하여 C4I 사업 중 가장 성공적인 사업으로 평가되어지고 있다. 하지만 문제는 이러한 아키텍처에 기반한 연구개발을 할 경우 시스템엔지니어링(SE) 활동비용을 어떻게 반영 할 것 인가 하는 의문이 제기 되었다.

이에 본 연구에서는 그 해결방안에 대한 예로서 스마트 무인기(SUAV)¹⁾ 체계에 대한 SE 비용 추정 방법을 제시하고자 한다.

이를 위해 COSYSMO²⁾를 적용하여 그 비용을 도출하고, 이러한 SE 개념이 개발 과정의 비용 증가

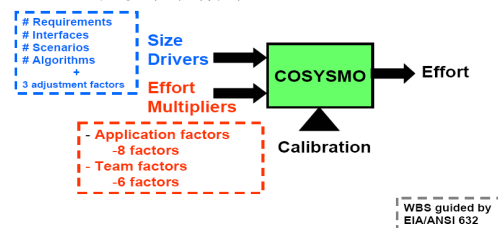
를 감소시키고, 일정지연을 최소화 할 수 있음을 보여준다.

2. COSYSMO 소개

2.1 COSYSMO 개념

COSYSMO는 2005년에 Ricardo Valerdi에 의해서 개발된 SE 비용추정이 가능한 모델로 ISO/IEC15288를 표준으로 수명주기를 적용하고 ANSI/EIA-632 프로세스를 표준으로 WBS 시스템 설계를 적용한다.

COSYSMO는 복잡한 소프트웨어와 하드웨어 프로젝트의 개념화, 개발, 운용 테스트, 운용 변화 단계에서 요구된 SE이 Labor와 Person Months 수를 평가하는데 사용되는 매개변수모델이며, 아래 <그림 1>과 같이 4개의 Size Drivers와 14개의 Cost Drivers로 구성되어 있다.



<그림 1> COSYSMO 운용 개념

2.2 COSYSMO 모형

COSYSMO는 Size drivers와 Cost drivers들의 변수로 이루어진 관계식으로 INCOSE³⁾와 산업단체로부터의 폭넓은 참여를 통해 얻은 광범위한 영역을 포함하고 있다.

$$\langle \text{CER} \rangle \quad PM_{NS} = A \cdot (\text{Size})^E \cdot \prod_{i=1}^n EM_i$$

PM_{NS} = Effort in Person Months (Nominal Schedule)

A = 과거 프로젝트 데이터로부터 얻어진 보정 상수

Size = 4가지 Size drivers의 가중치 합으로 결정

E = 비용의 감소 또는 증가의 비율로 표현 (default: 1)

n = Cost drivers 의 수 (14)

EM_i = i번째 Cost drivers에 대한 노력 승수 (Nominal: 1)

(Effort Multiplier Ratio = 최대값/최저값)

2.2.1 Size drivers

2) COSYSMO : Constructive Systems Engineering Cost Model

3) INCOSE : International Council for Systems Engineering

1) SUAV : Smart Unmanned Aerial Vehicle

COSYSMO에서 신뢰할 수 있는 SE의 Size drivers로 선택된 4개의 기준은 Number of System Requirements, Number of Major Interfaces, Number of Critical Algorithms, Number of Operations이다. 이들 인자들에 대한 가중치 합은 SE 관점에서 시스템의 기능적 Size를 나타내고 아래 비용추정 관계식(CER)으로 표현되어진다.

$$\langle \text{CER 1} \rangle \quad PM_{NS} = \sum_k w_e \Phi_e + w_n \Phi_n + w_d \Phi_d$$

k = {REQ, IF, ALG, SCN}

w = 가중치, e = easy, n = nominal, d = difficult
 $\Phi = "k"$ Size driver 계수

$\langle \text{CER 1} \rangle$ 은 4개의 Size drivers에 대한 Size 기준과 결합된 가능한 12가지의 가중치 조합을 포함한다. 즉, w는 Size 인자의 이산(離散)의 가중치이며, "Easy", "Nominal", "Difficult"의 값을 가지고, 그 값을 수량화를 할 수 있다. Φ 는 시스템 관점에서 요구사항의 수, 인터페이스 수 알고리즘 수, 운용 시나리오의 수에 대한 연속적인 정수 값을 가진다. 여기서 가능한 12가지의 모든 조합은 모든 시스템에 적용되지 않을 수도 있다.

1) Number of System Requirements

이 Size 인자는 디자인의 구체적인 레벨에 있어서 시스템 관점에 대한 요구사항의 수를 나타낸다. 요구사항의 수를 정량화하는 SE에서 시스템 인터페이스, 시스템의 구체적 알고리즘, 운용 시나리오와 관련된 노력들을 포함한다. 각각의 요구사항은 입증과 검증, 기능적 분해, 기능적 할당 등과 같은 것으로 결합된 노력을 가질 수도 있다.

2) Number of System Interfaces

이 Size 인자는 시스템 내부적 구성 또는 기능과 시스템의 외부적 구성 또는 기능 사이의 공유된 물리적이고 논리적인 경계의 수이다.

3) Number of System Algorithms

이 Size 인자는 시스템 성과 요구사항을 달성하기 위하여 유도되어진 독특한 수학적 알고리즘을 요구하는 새롭게 정의되거나 중요하게 변경된 기능의 수를 나타낸다.

4) Number of Operational Scenarios

이 Size 인자는 시스템이 만족해야 하는 운용 시나리오의 수를 나타낸다. 시나리오의 수는 시스템 성과와 기능을 검증하기 위해 사용되어진 최첨단 평가 또는 시스템 평가 시나리오 패키지의 수를 세는 것, 운용 개념과 임무를 포함한다.

$\langle \text{표 1} \rangle$ Size drivers 수의 평가 척도

구분	Easy	Nominal	Difficult
요구사항	단순한 구현 출처 추적 가능성 높음	익숙한 구현 출처 추적 가능성 보통	복잡한 구현 및 공학 출처 추적 어려움
인터페이스	간단한 메시지 연결의 없음	보통의 복잡도 약한 연결	복잡한 프로토콜 강한 결합
알고리즘	대수학적 간단한 구조 수집에 의한 해법 적용	미분학 의사결정 중복 논리구조	복잡한 최적화 분포된 통제의 순환적 구조 시뮬레이션과 모델링 포함
시나리오	잘 정의됨 적은 유효한 시나리오	느슨하게 정의됨 보통의 유효한 시나리오	분명치 않음 많은 유효한 시나리오

5) DoDAF⁴⁾를 이용한 Size drivers 수 결정

시스템 수명주기 초기에 잘 정의된 프로젝트 문서가 시스템의 진화적 특성 때문에 가용하지 않을 수도 있다. 이러한 경우에 4개의 Size drivers와 관련된 선행지표를 확보하기 위해서 데이터의 출처가 도출 되어져야해야 하며 가능한 출처가 $\langle \text{표 2} \rangle$ 에 제시된 DoDAF 산출물이다.

$\langle \text{표 2} \rangle$ COSYSMO Size 결정에 유용한 DoDAF 산출물

Driver	유용한 아키텍처 산출물
요구사항	아키텍처 개발과정으로부터 요구사항을 뽑아낼 수 있다.
인터페이스	SV-1(시스템 인터페이스 설명서)와 SV-2(시스템 통신 설명서) 그리고 OV-3(운용 정보교환 매트릭스)
알고리즘	OV-6a(운용 규칙 모델), V-6b(운용 상태 전환 설명서), OV-6c(운용 이벤트/추적 설명서) 그리고 시스템 관점에서는 SV-10a(시스템 규칙 모델), SV-10b(시스템 상태 전환 설명서), SV-10c(시스템 이벤트/추적 설명서)
시나리오	OV-1(고수준 운용 개념도)

2.2.2 Cost drivers

모델에서 Cost 인자는 아래 $\langle \text{CER2} \rangle$ 에서 보는 바와 같이 노력승수(EM_j)값으로 시스템의 Size 인자에 기초한 추정된 값에 대해 각각 곱의 영향을 끼치기 때문에 곱셈 부분을 나타낸다. 또한 아래 관계식은 과거 자료와 Delphi 기법에 사용되어진 COSYSMO의 최종 CER이기도 하다.

$$\langle \text{CER 2} \rangle$$

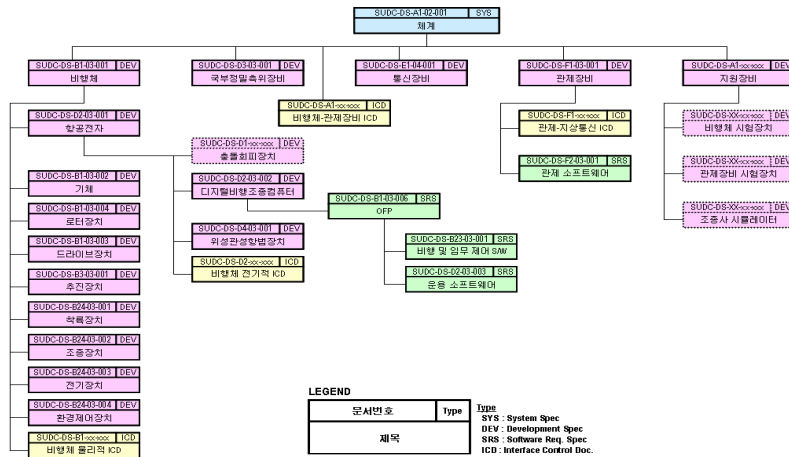
$PM_{NS} = A \cdot (\sum_k w_e \Phi_e + w_n \Phi_n + w_d \Phi_d)^E \prod_{j=1}^{14} EM_j$
 이들 인자는 곱셈 방법으로 전체 SE PM 계산에 영향을 주기 때문에 노력승수(EM_j)로 언급되어지며, 할당 비율에 있어서도 앞에서 언급한 Size 인자만큼 간단하지 않다. 근본적인 차이는 대부분의 Size 인자가 정량화되어지는데 반해, Cost 인자는 특성에 있어서 정성적이고 주관적인 평가를 요구한다.

이러한 Cost 인자는 "Very Low", "Low", "Nominal", "High", "Very High"와 같은 5단계 수준의 비율 척도를 가지며, 14개의 Cost 인자는 아래 $\langle \text{표 3} \rangle$ 과 같이 8개의 Application Factors 와 6개의 Team Factors 로 구성되어진다.

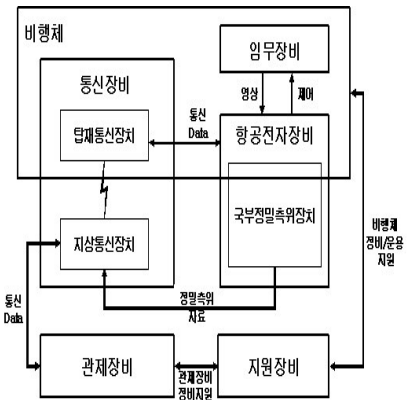
$\langle \text{표 3} \rangle$ Cost Drivers

Application	1. 요구사항 이해 정도
	2. 아키텍처 이해 정도
	3. 서비스 요구사항 수준
	4. 이동/흐름의 복잡성
	5. 기술 위험성
	6. 수명주기 요구에 대한 문서 일치
	7. 설치된 장비 및 플랫폼의 다양성과 수
	8. 디자인에서 반복적 수준의 수
Team	9. 이해관계자 팀 유대
	10. 개인 및 팀 능력
	11. 개인적 경험의 연속성
	12. 프로세스 능력
	13. 다양한 장소의 통합
	14. 도구 지원

4) DoDAF : Department of Defense Architecture Framework



<그림 2> SUAV 체계 규격서 및 내부 연관도



2.2.3 SE 활동에 대한 부분적 비용추정

COSYSMO는 ANSI/EIA 632에 정의된 것처럼 모델의 가정 중 하나는 SE 활동의 표준 셋이 수명 주기에서의 어떤 프로세스를 통해서 이루어지고 있다는 것이다. 이 33개의 활동은 <표 4>에서 보여지는 것처럼 5개의 Fundamental Processes에 의해 분포되어진다. 이 분포는 일반적이지 않지만 COSYSMO 데이터 저장소에서 SE 프로젝트의 특성을 가지는 전형적인 비용의 전개를 제공한다.

<표 4> ANSI/EIA 632 Processes에 따른 SE 노력의 분포

ANSI/EIA 632 Fundamental Process	Typical effort
Acquisition & Supply	7 %
Technical Management	17 %
System Design	30 %
Product Realization	15 %
Technical Evaluation	31 %

2.2.4 SE 수명주기 단계별 노력에 대한 부분적 추정

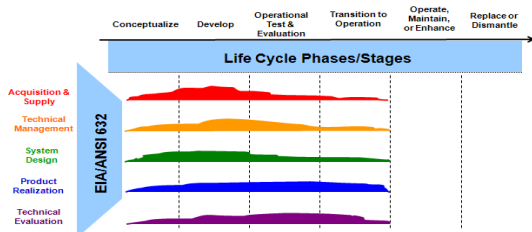
COSYSMO에 의해서 제공된 추정값은 수명주기를 통한 SE 활동의 더 나은 기획과 관리를 위한 수명주기 단계별로 <표 5>와 같이 분포되어질 수 있다.

<표 5> ISO/IEC 15288 단계에 따른 SE 노력 분포 비율

Conceptualize	Develop	Operational Test & Eval.	Transition to Operation
23	35	28	14

2.2.5 SE 수명주기 단계별 프로세스 비용 분포

<표 4>와 <표 5>의 결과는 <그림 2>처럼 단계별 프로세스의 세부 할당으로 나타나도록 결합되어질 수 있으며, SE 비용의 전형적 분포를 결정하는데 유용하다.



<그림 3> 단계별 SE 노력 분포 형상

3. COSYSMO를 이용한 스마트 무인기 체계 SE 비용 추정 및 비용절감 효과

3.1 Size driver 결정

1) 요구사항 수 결정

SUAV 체계 요구사항의 수는 <그림 3>의 SUAV 체계 규격서를 통해서 구할 수 있다.

SUAV 요구사항 규격서는 최상위 규격서로, 체계 규격서와 하위 시스템인 비행체, 국부정밀추위장비, 통신장비, 관제장비로 구분된 4종의 규격서가 있으며, 각 하부 시스템 아래에 하드웨어와 소프트웨어 규격서, 인터페이스 요구사항 규격서로 분류하였다.

비행체의 경우 비행체 개발 상위 요구사항을 정의한 비행체 규격서를 작성하였고 이 체계 규격서로부터 할당/분해된 요구사항으로 9종의 하드웨어 규격서와 물리적 ICD(Interface Control Document)로 분류하였다.

아래 <표 6>에서는 4종의 규격서를 통해 도출한 요구사항에 대해 가중치를 부여한 결과를 보여주고 있다.

2) 인터페이스 수 결정

인터페이스는 외부시스템이나 상위 수준의 시스템, 인터페이스가 있는 시스템, 플랫폼, 사용자 등에 대한 외부 및 내부 인터페이스로 정의되어 정량화 되어질 수 있다.

SUAV 체계에서 인터페이스 수는 <그림 3>의 SUAV 체계 규격서 및 내부 연관도 ICD를 통해서 시스템의 내/외부 인터페이스를 정의하고 그 수를 결정, 각각에 대해 가중치를 부여하여 Size 값에 반영 하였다.

3) 알고리즘 수 결정

알고리즘은 시스템 설명서나 문서에 구체적으로 기술된 요구사항을 실현하는데 필요한 독특한 논리 구조로 정의 되어 진다. 이러한 알고리즘은 시스템의 요구사항이나 인터페이스의 특성으로부터 도출할 수 있다.

SUAV 체계에서 알고리즘의 수는 <그림 3>의 SRS(Software Req. Spec)을 통해서 정의한다. 이러한 독특한 논리 구조는 소프트웨어의 요구사항으로

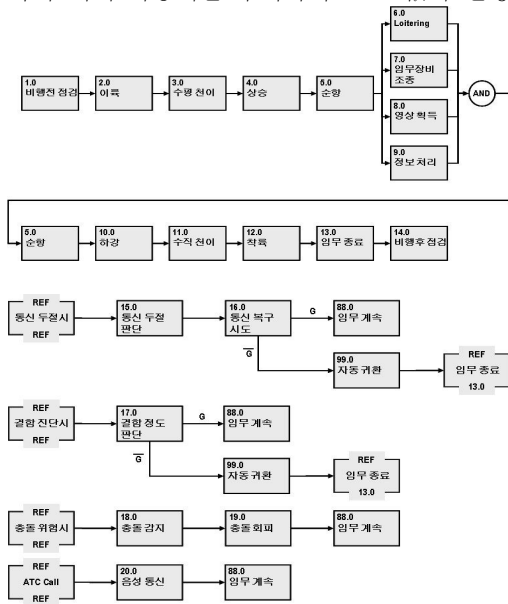
5) 연구개발의 보안 목적상 시스템을 구성하는 세부 요구 사항 수에 대한 입력 자료는 임의의 수치임 밝혀둔다. (이하 입력 데이터 동일)

시스템에서 요구하는 알고리즘의 수로 정의하고 각각에 대해 가중치를 부여하여 Size 값에 반영한다.

4) 운용 시나리오 수 결정

운용 시나리오는 SE 관점에서 정의되어야 하며, 요구사항과 비슷한 방법으로 정의된다. 종종 시스템 운용 시나리오는 최첨단 시스템 기능을 나타내기 때문에 시스템 사용을 통해서나 시스템의 독립적 성능을 통해서 얻어진다.

SUAV 체계에서 운용 시나리오의 수는 요구사항 도출 및 분석을 위한 기능 분석도를 통해서 나타난다. <그림 4> SUAV 운용 기능 FFBD는 최첨단 시스템 기능의 흐름도로 이것과 시스템의 운용개념 및 임무를 통해 운용 시나리오의 수를 결정하고 각각에 대해 가중치를 부여하여 Size 값에 반영한다.



<그림 4> SUAV 운용기능 FFBD

<표 6> Size drivers 수 결정

구분	Essay	Nominal	Difficult
요구사항	500	400	100
인터페이스	24	20	12
알고리즘	17	15	12
시나리오	40	32	20

3.2 Cost driver 평가 척도 결정

1) Application Factors

Application Factors 값의 결정은 "Nominal"이 1의 값을 가지고 최소값과 최대값을 Delphi 기법을 통해 구하고 나머지 값은 최소값을 제공근하여 1에 수렴하고, 최대값을 제공근하여 1에 수렴하는 형태의 값을 취하였다. 즉, "Very Low" 값이 0.7이면 "Low"의 값은 0.84이고, "Very High" 값이 1.74이면 "High"는 1.32의 값을 가진다.

이는 시스템 엔지니어에 의한 정성적이고 주관적인 평가에 의해서 그 값이 도출된다.

6) FFBD : Functional Flow Block Diagram

<표 7> Application Factors 값

Application	평가 척도	값
1	정의되지 않은 영역이 많음 (L)	1.36
2	3-4 단계의 WBS (N)	1
3	난이도 중간 및 위험성 보통 (N)	1
4	과거 시스템 문서가 잘 구축되어 있음 (N)	1
5	연구단계에서 존재하는 정의된 개념 (VH)	1.74
6	부분적으로 능률화된 프로세스로 표준을 따른다 (H)	1.13
7	단일 플랫폼 (N)	1
8	복잡한 상호의존 협력 및 절충분석 (N)	1

2) Team Factors

Team Factors 값 역시 정성적이고 주관적인 평가에 의해서 도출된 값이며, SE 비용에 대해 이해관계자와 팀의 유도와 개인 능력과 경험, 그리고 프로세스 능력 등 인적요소의 영향을 반영하고 있다.

<표 8> Team Factors 값

Team	평가 척도	값
9	공유된 프로젝트에 대해 공감대 형성(N)	1
10	SE 이해도 75%(H)	0.81
11	5년 지속적 경험(H)	0.82
12	정의된 SE 프로세스(H)	0.88
13	다양한 도사와 기업 배치(N)	1
14	다른 학문분야와 결합된 성숙된 SE 도구(H)	0.85

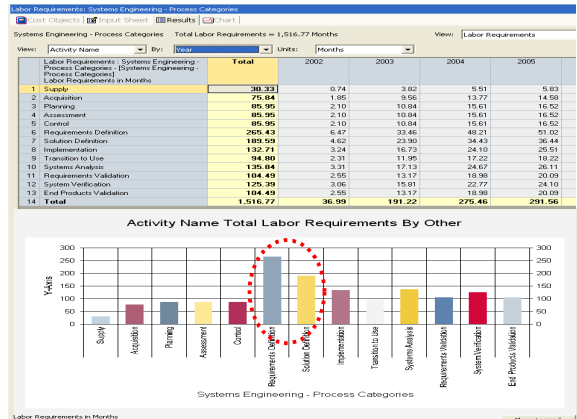
3.3 SUAV 체계 비용추정

아래 계산식은 CER을 통해 일정을 고려하지 않은 SE 비용을 PM단위로 보여주고 있다. 보정상수 A=38.55, 비용감소/증가 비율 E=1.06을 적용하였다.

$$PM_{VS} = (38.55 \div 152) \times ((0.5 \times 500) + (1 \times 400) + (5 \times 100) + (1.1 \times 24) + (2.8 \times 20) + (6.3 \times 12) + (2.2 \times 17) + (4.1 \times 15) + (11.5 \times 7) + (6.2 \times 40) + (14.4 \times 32) + (30 \times 20))^{1.06} \times (1.36 \times 1.74 \times 1.13) \times (0.81 \times 0.82 \times 0.88 \times 0.85) = 1516.7$$

1) SUAV 체계 프로세스별 비용추정

위에서 입력한 Size와 Cost drivers를 통해서 SE 비용을 프로세스별로 산출할 수 있으며, 아래 <그림 5>는 ANSI/EIA-632의 Process Categories에 대한 비용을 PM단위로 산출하였으며, 월별, 분기별, 연별로 제시할 수 있다.

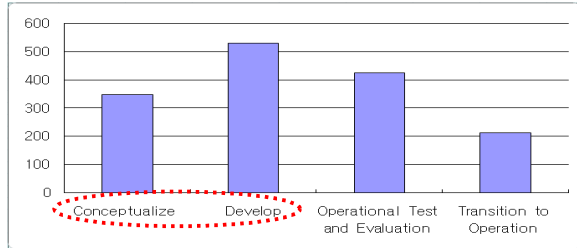


<그림 5>SE Process Categories에 따른 비용추정 결과

프로세스별 비용추정 결과를 도표로 나타내면 시스템 개발에서 시스템 설계와 기술 평가 과정에서 가장 많은 비용이 든다는 것을 알 수 있다.

2) 수명주기 단계별 비용추정

시스템의 수명주기를 적용한 ISO-15288의 단계별 비용추정 값은 아래 <그림 6>에서 제시된 것처럼 개발단계와 운용 시험 및 평가 단계에서 전체 비용의 60% 이상을 차지하고 있음을 알 수 있다.

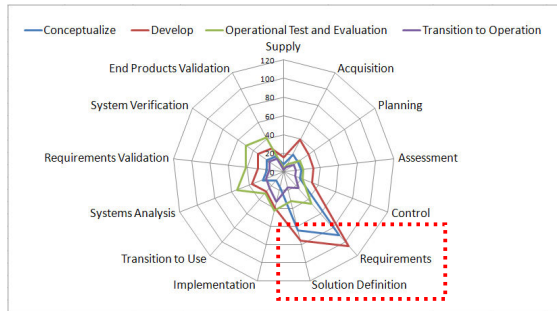


<그림 6> ISO-15288 수명주기 단계별 비용추정 결과

3) 수명주기 단계에 따른 프로세스별 비용추정

SE 비용에 대해서 ANSI/EIA-632 프로세스별 또는 ISO-15288 수명주기 단계별 비용추정 결과를 혼합하여 수명주기 단계에 따른 프로세스별 비용추정 결과는 <그림 7>과 같다.

개념화 및 개발 단계에서는 요구사항과 해법 정의가 가장 많은 비용을 차지하고 운용 시험 및 평가 단계에서는 시스템 분석, 검증, 입증에 가장 많은 비용을 차지한다. 그리고 운용상 변화 단계에서는 제품 구현이 상대적으로 높은 비용을 차지한다.

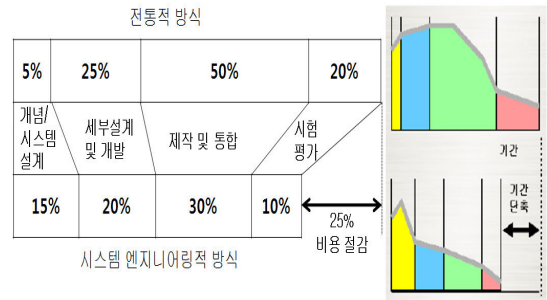


<그림 7> 수명주기 단계에서 Processes Categories에 따른 비용추정 결과

3.4 SE에 의한 비용절감 효과

그동안 많은 연구개발에 있어서 시스템 개발사업의 성공확률은 50% 이하이다. INCOSE에 따르면 전체 시스템 개발 사업에서 성공적인 프로젝트는 16%에 불과하며 부분적으로 성공한 프로젝트도 31%에 불과하다. 결국 절반이상의 프로젝트가 실패한다는 것이다. 또한 비용에 있어서도 평균 비용을 초과하는 프로젝트는 89%에 달하고 있다.

<그림 8>은 시스템 개발에 있어서 SE를 적용할 경우 기존의 방식에 비해서 25%의 비용절감 효과를 볼 수 있음을 보여주고 있으며, 기간 또한 단축할 수 있다. 다시 말해서 SE 방식의 사고는 더 적은 비용으로 더 짧은 기간에 사용자가 요구를 충족하는 더 좋은 제품을 만들 수 있음을 보여준다. 이러한 SE를 통한 개발 사업은 '07년 국방연구개발비 1조3000억을 기준으로 3200억의 비용절감 효과를 기대 할 수 있다.



출처: Value of Systems Engineering(2004)

<그림 8> 시스템 개발에서의 SE 방식과 전통방식의 비교

4. 결론

위와 같은 효과에서 보듯이 시스템 개발에 있어서 주어진 일정, 비용 및 위험범주 내에서 사용자 또는 고객의 요구사항을 충족시키는 시스템을 개발하고 생산하는 일련의 통합된 프로세스가 필요하다는 것을 공감할 것이다. 여기에서 제시하는 SE이 바로 시스템 요구사항, 일정, 의사결정 및 검증을 상호 연결하고 통합하는 조직화된 프로세스이고 이러한 활동이 결국 시스템 개발에 있어서 개발사업의 실패 위험을 감소시키고 비용 감소와 일정 단축을 이룰 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이러한 SE 비용 추정의 예로서 현재 개발 사업이 진행중인 SUAV 체계에 대한 SE 비용을 추정하였다. 이를 통해 SE 비용에 영향을 미치는 시스템의 Size와 Cost drivers를 정의함으로써 COSYSMO를 통한 SE 비용 추정에 대한 기본 개념을 정립하였다.

앞으로 우리는 이 논문에서 제시한 시스템 단계를 넘어 SOS(Systems of Systems) 관점에서 SE 비용추정을 생각하고 고려해야 할 것이다. 미래의 사회가 더 복잡해지고 미래의 전장 상황이 더 다변화 되면서 그 시스템 역시 단순한 하나의 시스템이 아니라 시스템과의 관계로 연결되어 있기 때문이다.

참고 문헌

- [1] 민성기, SE 활동 비용 기준 제안, 시스템체계공학원, 2007.
- [2] 민성기의 2, SE 핸드북, 시스템체계공학, 2006.
- [3] 오수훈외 2, SUAV 개발의 SE 적용 사례, 한국항공우주연구원, 2006.
- [4] 이정진, SUAV 시스템 요건 도출, 한국SE협회, 2007.
- [5] 이정진외 2, SUAV 개발 프로그램의 SE 적용, 한국시스템엔지니어링협회, 2007
- [6] 이태공, NCW 이론과 응용, 홍릉과학출판, 2008.
- [7] Ricardo Valerdi, "The Constructive Systems Engineering Cost Model (COSYSMO)", USC, 2005.
- [8] Ricardo Valerdi, "Academic COSYSMO User Manual : A Practical Guide for Industry & Government", MIT Lean Aerospace Initiative, 2006.
- [9] Ricardo Valerdi외 1, "ANSI/EIA-632 As a Standardized WBS for COSYSMO", American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2005.