creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학박사학위논문

시뮬레이션 기반 획득을 위한 잠수함 기술성능지수를 고려한 EVMS 연구

An Earned Value Management System
with Technical Performance Indices of Submarine
for Simulation-Based Acquisition

2013년 2월

서울대학교 대학원
산업·조선공학부
민 영 기

시뮬레이션 기반 획득을 위한 잠수함 기술성능지수를 고려한 EVMS 연구

An Earned Value Management System
with Technical Performance Indices of Submarine
for Simulation-Based Acquisition

지도교수 이 기 표

이 논문을 공학박사학위논문으로 제출함
2013년 2월

서울대학교 대학원
산업·조선공학부
민 영 기

민영기의 박사학위논문을 인준함
2013년 2월

위 원 장 _____ (인)
부 위 원 장 _____ (인)
위 원 _____ (인)
위 원 _____ (인)
위 원 _____ (인)

초 록

함정을 비롯한 국방 대형 복합 무기체계 개발 사업은 막대한 국방예산과 장기간의 사업기간이 소요되며, 대부분 여러 가지 불확실한 요인들로 인한 다양한 위험을 내포하고 있다. 따라서 사업관리 기간 중에 사업 진행에 대한 비용, 일정, 기술성능 등의 요소에 대하여 주기적인 성과측정 및 관리 조치가 요구되는 실정이다.

현재 국내에서는 무기체계 개발에 관련된 사업관리의 경우에는 성과관리시스템(EVMS : Earned Value Management System)을 적용하여 비용과 일정을 중심으로 관리가 이루어지고 있다. 그러나 현행 EVMS에서는 중요한 사업관리 요소인 기술성능에 대해서는 상대적으로 관리가 되지 못한 상황이다. 또한 기존의 EVMS연구 대부분이 EVMS의 개념 및 활용을 위한 이론적 고찰과 발전방향을 제시한 연구로서 일정과 성능에 기술성능을 적용한 구체적인 통합 방법론은 아직까지 미흡한 상황이다. 따라서 사업 과정에서 발생 가능한 요구 성능에 대한 위험관리와 대책수립의 방법으로 EVMS에 기술성능을 적용하기 위한 방법론이 필요하였다.

대표적인 복합 무기체계인 잠수함의 사업관리에 EVMS을 적용하기 위해서는 복잡한 획득환경과 체계성능을 고려하여 기술성능지수를 도출하여 적용하는 방안이 제시되었다. 시뮬레이션기반획득(SBA : Simulation Based Acquisition)을 위한 시스템엔지니어링(SE : System Engineering)과 모델링 및 시뮬레이션(M&S : Modeling & Simulation) 개념을 도입하여 제시한 기존의 통합 프레임워크에 기술성능지수를 고려한 EVMS을 적용하는 일반적 방법론이 필요하였으며 이를 수행하여 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었다.

첫째, 체계기술 성능지수 선정 절차를 정립하였다. 총 7단계로 이루어지는 선정절차는 통계적 데이터 분석방법인 평가지표설정, 델파이기법, AHP기법(Analytic Hierarchy Process)을 적용하였으며, 데이터 검증방법은 Box-plot, 동의도, 상관계수 분석방법을 활용하였다. 논문에서 제안한 방법을 검증하기 위하여 잠수함에 적용하여 분석한 결과 5개의 핵심기술 성능지수를 도출할 수 있었다.

둘째, 기존 함정에 주로 사용되던 3단계의 함정 작업분류체계(SWBS : Ship Work Breakdown Structure)를 기술성능지수를 포함한 EVMS에 적용 가능하고 기존의 통합 프레임워크와 상호연계가 가능하도록 미국의 국방기준을 바탕으로 확장된 함정 작업분류체계를 확대 적용하여 7단계의 SWBS를 제안하였다.

셋째, 기존의 SE 및 M&S를 통합한 잠수함의 제시모델에 SWBS를 기준으로 각 계통별 체계기술 성능지수를 도출하고 적용한 EVMS를 통합한 새로운 모델을 제안하였다. 마지막으로 기술성능지수가 포함된 EVMS 통합 프레임워크에 기술성능지수별 허용오차 적용 방안 및 적용 절차를 제시하여 제안한 모델의 활용성을 검증하였다.

이러한 연구결과를 통해 그동안 국방 사업관리에서 가장 큰 문제로 대두되었던 비용증가 및 일정지연 이외에 성능 미 충족과 같은 문제를 관리할 수 있는 효과적인 방법을 제시하였고, 향후 다양한 분야로 적용되어 매우 큰 활용도가 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 기술성능지수, SE, M&S, EVMS, 잠수함 통합프레임워크,
학 번 : 2005-30206

목 차

제1장 개 요 ····· **1**
1.1 연구배경 및 목적 ····· 1

제2장 기존 통합 프레임워크에 관한 고찰 ····· **10**
2.1 SBA 개요 ····· 10
2.1.1 SBA 개념 및 필요성 ····· 10
2.1.2 SBA 프로세스 및 적용 개념 ····· 13
2.2 SBA 적용 현황 및 사례 ····· 15
2.2.1 국내·외 적용현황 ····· 15
2.2.2 적용효과 및 효과 ····· 17
2.3 시스템엔지니어링 기본개념 ····· 20
2.3.1 시스템엔지니어링 정의 ····· 20
2.3.2 시스템엔지니어링의 역할 ····· 21
2.3.3 시스템엔지니어링의 필요성 및 효과 ····· 22
2.3.4 시스템엔지니어링 표준의 변천 과정 ····· 24
2.3.5 시스템엔지니어링 절차 ····· 25
2.3.6 SE 적용 모델 ····· 26
2.4 M&S 기본 개념 ····· 29
2.4.1 M&S 정의 ····· 29
2.4.2 M&S 계층구조 ····· 30
2.4.3 M&S와 SE적용 ····· 32

2.5 SE와 M&S를 적용한 통합 프레임워크 ····· 34
2.5.1 SE 적용 사례 분석 ····· 34
2.5.2 SE 기반 잠수함 획득 Vee model ····· 35
2.5.3 잠수함 획득 프로세스 ····· 38
2.5.4 SE 기반 M&S 적용 잠수함 설계 프레임워크 ····· 39
2.6 M&S와 SE을 결합한 통합 프레임워크의 제한점 ····· 42

제3장 EVMS와 성능지수 ····· 45
3.1 EVMS ····· 45
3.1.1 정의 및 목적 ····· 45
3.1.2 발전배경 ····· 48
3.1.3 구성요소 ····· 50
3.1.4 적용절차 ····· 55
3.1.5 성과측정기법 ····· 61
3.2 EVMS 선행연구 고찰 ····· 68
3.2.1 EVMS 국외 연구사례 ····· 68
3.2.2 EVMS 국내 연구사례 ····· 71
3.3 기술성능지수 ····· 76
3.3.1 기술성능요소 측정 ····· 76
3.3.2 기술성능지수 ····· 78
3.3.3 기술성능지수 선정 절차 ····· 81
3.3.4 WBS 검토 및 분류 ····· 84
3.4 기술성능지수를 적용한 EVMS 통합 프레임워크 ····· 97

제4장 EVMS 통합 프레임의 적용사례 분석 ····· 107
4.1 잠수함 기본설계 적용 사례분석 ····· 107
4.2 통제계정 설정 ····· 108
4.3 기술성능지수 선정 ····· 110
4.4 기술성능지수별 가중치 할당 ····· 112
4.5 기술성능 파라미터 계획프로파일 작성 ····· 113
4.6 성과관리 측정방법 결정 ····· 114
4.7 체계 수준의 핵심기술 성과관리 ····· 114
4.8 설계검토, M&S 반영 및 설계수정 ····· 119
4.9 성과측정 및 분석 ····· 120

제5장 결 론 ····· 123

참고문헌 ····· 126

List of Tables

[Table 1] EVMS Related Foreign Research Papers ····· 6
[Table 2] EVMS Related Local Research Papers ····· 6
[Table 3] Examples of M&S Adopting Effect in Acquisition of Weapon System ·· 17
[Table 4] Model Verification by Simulation ····· 18
[Table 5] Analysis of SBA Adopting Effect in Local R&D ····· 18
[Table 6] Project Impaired Factors ····· 23
[Table 7] Attributes and Uses of M&S(DSMC, 1994) ····· 31
[Table 8] Naval system engineering 입력요소(2004) ····· 43
[Table 9] Components of EVMS ····· 50
[Table 10] Standard Process of U.S. EVMS ····· 55
[Table 11] Formula and Definition of EVM ····· 60
[Table 12] Performance measurement for work types ····· 61
[Table 13] Summary of Foreign Research Papers ····· 71
[Table 14] Summary of Local Research Papers ····· 73
[Table 15] Comparison of SWBS and BGI ····· 85
[Table 16] Example of Comparison in Detail of SWBS and BGI 85
[Table 17] Concept of Surface ····· 88
[Table 18] Weighting Considered Professionalism ····· 88
[Table 19] Cases of Reviewing Design report for Calculating System Performance Index · 90
[Table 20] System Technology Performance Index of Submarine 92
[Table 21] Adoption of Core Technology Performance Index by AHP · 93
[Table 22] Weighting of Core Technology Performance Index of Submarine ·· 95
[Table 23] Method of Measurement of Weight/Volume of Submarine · 96

[Table 24] Job Performance Process of Standard EVMS Model ·· 98
[Table 25] Concept of Submarine Model of EVMS with Technology Performance Index ·· 99
[Table 26] New EVMS Formula ····· 104
[Table 27] Identifiability Result of Major Performance Requirement · 110
[Table 28] CPTI measurement and management ····· 111
[Table 29] CPTI weight and performance goal ····· 112
[Table 30] Acceptance limit for measurement ····· 113
[Table 31] EV modification for TPI ····· 115
[Table 32] 5% EV modification index calculation ····· 117
[Table 33] 3% EV modification index calculation ····· 118
[Table 34] Expected Effects of Adoption to Submarine ····· 121

표 목 차

[Table 1] 주요 해외 EVMS 논문 및 내용(정호수, 2008) ····· 6
[Table 2] 주요 국내 EVMS 논문 및 내용(황태호, 2010) ····· 6
[Table 3] 무기체계 획득 부문 M&S 적용효과 예 ····· 17
[Table 4] 시뮬레이션을 통한 모델 검증 ····· 18
[Table 5] 국내 연구개발 분야 SBA 적용효과 분석(국과연, 2009) ·· 18
[Table 6] Project Impaired Factors ····· 23
[Table 7] Attributes and Uses of M&S(DSMC, 1994) ····· 31
[Table 8] Naval system engineering 입력요소(2004) ····· 43
[Table 9] EVMS 구성요소 ····· 50
[Table 10] 미국의 EVMS 표준절차 ····· 55
[Table 11] EVM 산식 및 정의 ····· 60
[Table 12] 작업유형에 따른 성과측정방법 ····· 61
[Table 13] 국외논문 요약 ····· 71
[Table 14] 국내 연구논문 요약(황태호, 2011) ····· 73
[Table 15] SWBS와 BGI의 비교 ····· 85
[Table 16] SWBS와 BGI의 상세비교 예시 ····· 85
[Table 17] 지표의 구성 ····· 88
[Table 18] 전문도를 고려한 가중치 ····· 88
[Table 19] 체계성능지수를 산출하기 위한 목적문건 검토 사례 90
[Table 20] 잠수함의 체계기술 성능지수 ····· 92
[Table 21] AHP기법을 통한 핵심기술성능지수 적용 ····· 93
[Table 22] 잠수함의 핵심기술성능 가중치 ····· 95
[Table 23] 잠수함 중량/체적의 측정방안 ····· 96

[Table 24] 일반 EVMS 모델의 단계별 업무수행 절차(정호수, 2008) ··98
[Table 25] 기술성능지수를 포함한 EVMS의 잠수함 모델의 작성 개념 ·99
[Table 26] 새로운 EVMS 수식 ·····104
[Table 27] 주요 성능요구도 식별결과 ·····110
[Table 28] 핵심기술성능지수 측정 및 관리방안 ·····111
[Table 29] 핵심기술성능지수 가중치 및 성능 목표치 ·····112
[Table 30] 전체 측정관리 허용한계 ·····113
[Table 31] 기술성능지수 허용오차별 EV 수정 ·····115
[Table 32] 5% EV 수정계수 계산 ·····117
[Table 33] 3% EV 수정계수 계산 ·····118
[Table 34] 잠수함 적용 공수절감 효과 ·····121

List of Figures

[Figure 1] Study Range of Paper ····· 8
[Figure 2] Advancement of Process of Acquisition/R&D(ADD, 2006) ·· 11
[Figure 3] Concept, Effect and Development of SBA(KNDU. 2007) · 11
[Figure 4] Importance of Acquisition System Based on SBA ···· 12
[Figure 5] Virtual Prototyping in the System Life cycle(DSMC, 1994) ·· 14
[Figure 6] SBA Architecture Framework of Ministry of Defense of U.S. · 16
[Figure 7] Scope of SE Activities(DAU, 2001) ····· 20
[Figure 8] Two Major Aspects of SE (Calvano, 2007) ····· 21
[Figure 9] Life Cycle Cost against Time (INCOSE, 2007) ····· 22
[Figure 10] Heritage of SE Standards(INCOSE, 2008) ····· 24
[Figure 11] Breadth and Depth of SE Standards(INCOSE, 2008) ·· 25
[Figure 12] Systems Engineering Process(INCOSE, 2008) ····· 26
[Figure 13] Vee Model (Forsberg, 1991) ····· 27
[Figure 14] Vee model in Defense Acquisition (Dau, 2008) ···· 27
[Figure 15] Advantages of M&S ····· 30
[Figure 16] M&S Hierarchy (DSMC 1994, Douglas 1999, NPS 2009) ·· 31
[Figure 17] SE and M&S (Dipetto, 2007) ····· 32
[Figure 18] Development Process for SE application ····· 34
[Figure 19] US Naval Ship Acquisition Framework(GAO, 2009) 35
[Figure 20] Vee model Concept in Submarine Acquisition ····· 36
[Figure 21] Vee Model in Submarine Acquisition ····· 36
[Figure 22] Vee Model Mapping ····· 37
[Figure 23] SE-based Submarine Acquisition Process in Concept Design ·· 38

[Figure 24] Vee Model Concept using SE and M&S ····· 39
[Figure 25] Framework using SE and M&S ····· 40
[Figure 26] Acquisition Framework using SE and M&S ····· 41
[Figure 27] Traditional Management and EV Management ····· 46
[Figure 28] Trend Analysis Chart(Bull′ Eye Chart) ····· 53
[Figure 29] Relation between Measuring Element of EVMS EV 54
[Figure 30] Basic Process of EVMS ····· 56
[Figure 31] Example of Measurement of Performance of 31 0/100 ·· 63
[Figure 32] Example of Measurement of Performance of %Start/%Completion ·· 64
[Figure 33] Example of Measurement of Performance of %Completion ·· 65
[Figure 34] Measurement of Performance of Milestone with Weighting ·· 66
[Figure 35] Milestone with Weighting and Method of %Completion EV ··· 67
[Figure 36] Limit of Existing EVMS in SE Process ····· 75
[Figure 37] Track of Compiling of Control Chart and Performance Achievement ·· 80
[Figure 38] Selection Process of Technology Performance Index ··· 81
[Figure 39] Process of Compiling SWBS ····· 84
[Figure 40] Selection of WBS Level and Criteria ····· 86
[Figure 41] Composition of SWBS of Submarine ····· 87
[Figure 42] Data Verification by Box Polt ····· 91
[Figure 43] Flow Chart of Submarine Model of EVMS with Technology Performance Index · 99
[Figure 44] WBS, OBS, Operation RAM and Result of EA ····· 100
[Figure 45] Example of Compiling Work Sheet ····· 101
[Figure 46] Example of Adopting Research Paper by SE Stages of Propulsion of Submarine ·· 101
[Figure 47] Model of Final Project Achievement ····· 103
[Figure 48] Planning Element, Measurement Element and Analyis Element of New EVMS Model ·· 103
[Figure 49] Design Process of Total Ship with EVMS ····· 105

[Figure 50] New EVMS with Technology Performance index ····· 106
[Figure 51] Set-up of Control Account ····· 108
[Figure 52] Fuel cell arrangement Work sheet ····· 109
[Figure 53] Fuel cell basic design report Work sheet ····· 109
[Figure 54] CPTI plannning profile ····· 113
[Figure 55] Performance Management of System(in case of ±5%) ·· 116
[Figure 56] Modification of EV by Tolerance of Technology Performance Index(in case of ±5%) ·· 117
[Figure 57] Performance Management of System(in case of ±3%) ·· 118
[Figure 58] Modification of EV by Tolerance of Technology Performance Index(in case of ±3%) ·· 119
[Figure 59] Measurement of Performance Management of System(in case of ±5%) ·· 120
[Figure 60] Cost and Schedule of EVMS with Technology Performance Index ·· 121
[Figure 61] SE Process accroding to TPI ····· 122

그 림 목 차

[Figure 1] 논문 연구범위 ····· 8
[Figure 2] 획득/연구개발 프로세스 선진화(국과연, 2006) ····· 11
[Figure 3] SBA 개념, 효과확인 및 발전(국방대학원, 2007) ····· 11
[Figure 4] SBA 기반 획득체계 중요성(국과연, 2006) ····· 12
[Figure 5] Virtual Prototyping in the System Life cycle(DSMC, 1994) ·· 14
[Figure 6] 미 국방부 SBA 아키텍쳐 프레임워크[손미애, 2010] 16
[Figure 7] Scope of SE Activities(DAU, 2001) ····· 20
[Figure 8] Two Major Aspects of SE (Calvano, 2007) ····· 21
[Figure 9] Life Cycle Cost against Time (INCOSE, 2007) ····· 22
[Figure 10] Heritage of SE Standards(INCOSE, 2008) ····· 24
[Figure 11] Breadth and Depth of SE Standards(INCOSE, 2008) 25
[Figure 12] Systems Engineering Process(INCOSE, 2008) ····· 26
[Figure 13] Vee Model (Forsberg, 1991) ····· 27
[Figure 14] Vee model in Defense Acquisition (Dau, 2008) ···· 27
[Figure 15] Advantages of M&S(권용수, 2007) ····· 30
[Figure 16] M&S Hierarchy (DSMC 1994, Douglas 1999, NPS 2009) · 31
[Figure 17] SE and M&S (Dipetto, 2007) ····· 32
[Figure 18] Development Process for SE application ····· 34
[Figure 19] US Naval Ship Acquisition Framework(GAO, 2009) 35
[Figure 20] Vee model Concept in Submarine Acquisition(정연환, 2010) ·· 36
[Figure 21] Vee Model in Submarine Acquisition(정연환, 2010) ·· 36
[Figure 22] Vee Model Mapping(정연환, 2010) ····· 37
[Figure 23] SE-based Submarine Acquisition Process in Concept Design(정연환, 2010) ·· 38

[Figure 24] Vee Model Concept using SE and M&S(정연환, 2010) ··39
[Figure 25] Framework using SE and M&S(정연환, 2010) ·····40
[Figure 26] Acquisition Framework using SE and M&S (정연환, 2010) ··41
[Figure 27] 전통적 관리와 EV관리(이유섭, 2004) ·····46
[Figure 28] 추세분석 차트(Bull's Eye 차트) ·····53
[Figure 29] EVMS EV 측정 요소간의 관계(한국국방연구원, 2006) ··54
[Figure 30] EVMS 기본절차(프라이전트, 2006) ·····56
[Figure 31] 31 0/100 성과측정기법 예시(정호수, 2008) ·····63
[Figure 32] %시작/%완료 성과측정기법 예시(정호수, 2008) ·····64
[Figure 33] %완료 성과측정기법 예시(정호수, 2008) ·····65
[Figure 34] 가중치 적용 마일스톤 성과측정기법 (정호수, 2008) ··66
[Figure 35] 가중치 적용 마일스톤 및 %완료 EV 기법 (정호수, 2008) ··67
[Figure 36] SE 프로세스에서 기존 EVMS의 한계점 ·····75
[Figure 37] 관리도 작성 및 성능 달성도 추적 ·····80
[Figure 38] 기술성능지수 선정절차 ·····81
[Figure 39] SWBS 작성 절차 ·····84
[Figure 40] WBS Level 선정 및 기준선정 ·····86
[Figure 41] 잠수함의 SWBS 구성 ·····87
[Figure 42] Box Polt을 통한 데이터 검증 ·····91
[Figure 43] 기술성능지수를 포함한 EVMS의 잠수함 모델의 작성 순서도 ··99
[Figure 44] WBS 및 OBS와 작업 RAM 및 EA 결과 ·····100
[Figure 45] Work sheet 작성 예시 ·····101
[Figure 46] 잠수함 추진보기부분의 SE단계별 목적문건 적용 예시 ··101
[Figure 47] 최종사업 성과모델 ·····103
[Figure 48] 새로운 EVMS모델의 계획요소, 측정요소, 분석요소103
[Figure 49] EVMS를 적용한 함정전체의 설계 프로세스 ·····106

[Figure 50] 기술성능지수를 포함한 새로운 EVMS 모델 ·····105
[Figure 51] 통제계정 설정(WBS/OBS 설정 및 CA 할당) ·····108
[Figure 52] 연료전지체계 배치도의 작업기술서 ·····109
[Figure 53] 연료전지체계 기본설계 보고서의 작업기술서 ·····109
[Figure 54] 핵심기술 성능지수 계획 프로파일 ·····113
[Figure 55] 체계 수준의 성과관리(±5%인 경우) ·····116
[Figure 56] 기술성능지수 허용범위별 미충족에 따른 EV수정(±5%인 경우) ··117
[Figure 57] 체계 수준의 성과관리(±3%인 경우) ·····118
[Figure 58] 기술성능지수 허용범위별 미충족에 따른 EV수정(±3%인 경우) ··119
[Figure 59] 체계 수준의 성과관리 측정(±5%인 경우) ·····120
[Figure 60] 기술성능지수가 포함된 EVMS 비용 및 일정 ·····121
[Figure 61] 기술성능지수를 고려한 SE 절차 ·····122

약 어

AC : Actual Cost

AHP : Analytic Hierarchy Process

BAC : Budget At Completion

CPI : Cost Performance Index

CTPI : Core Technical Performance Indices

CV : Cost Variance

EAC : Estimate At Completion

ETC : Estimate To Completion

EV : Earned Value

EVMS : Earned Value Management System

IDEF : Integration Definition

MOE : Measures of Effectiveness

MOP : Measures of Performance

M&S : Modeling and Simulation

PDM : Product Data Management

PLM : Product Lifecycle Management

PV : Planned Value

SBA : Simulation Based Acquisition

SE : System Engineering

SPI : Schedule Performance Index

STPI : System Technical Performance Indices

SWBS : Ship Work Brekdown Structure

SV : Schedule Variance

VAC : Variance At Completion

제 1 장

개 요

1.1 연구배경 및 목적

오늘날 국제정세는 자국의 이익보장을 목적으로 정치, 경제, 문화 등의 모든 국가적 역량을 결집하여 새로운 "균형속의 대결" 양상을 보여주고 있다. 아울러 전쟁의 양상도 지식 정보화를 기반으로 첨단 정보와 21C 발달된 과학기술을 응용한 첨단 무기체계의 개발/도입 추진을 강화하고 있다. 정밀 유도무기와 정보 네트워크를 기반으로 하는 21C의 새로운 전쟁 형태는 경쟁적인 첨단 무기체계의 개발 및 운용 요구가 증대되고, 이에 따른 획득비용 뿐만 아니라 유지비용도 급속도로 증가되는 추세이다.

이러한 첨단 무기체계는 하드웨어에서 소프트웨어 중심의 무기로 변환되어가고 있으며, 선진국들은 자국안보와 기술적 우위를 점하기 위해 국가간의 첨단과학 기술의 이전을 기피하고 있는 실정이다. 아울러 보다 적은 예산과 많은 임무 수행에 따르는 고도화된 과학기술의 적용 등으로 무기체계 개발에 있어서 새로운 획득 개념의 요구하는 추세이다.

지난 수 십년간 미국을 중심으로 컴퓨터 관련 기술 및 통신 분야의 정보화 기술 발달로 모델링 및 시뮬레이션(M&S : Modeling & Simulation) 분야의 국방 적용과 시스템 엔지니어링(SE : System Engineering) 절차의 체계적 적용으로 새로운 획득방법인 시뮬레이션기반획득(SBA : Simulation Based Acquisition)을 더욱 발전시켰다. 그 결과 획득 단계에 M&S를 적용하여 획득기간 단축과 전 순기 비용절감 등을 통해 소요군의 요구 성능을 충족시키는 효과적인 방안으로 정착되었다. 그러나, 우리의 경우 최근에서야 획득절차가 SE 기반으로 정립되고 M&S 개념 적용

을 위한 인프라 구축이 활발하게 이루어졌다. 또한 잠수함 획득환경을 고려한 SE 및 M&S 개념을 동시에 적용한 통합 프레임워크 연구도 최근에야 수행되었다.

국방 무기체계 연구개발 사업에 있어서 주기적인 성과측정의 가장 대표적인 기준은 비용, 일정 및 성능이다. 현행 국내 무기체계 연구개발 사업관리의 경우 과학적 사업관리 기법인 성과관리시스템(EVMS : Earned Value Management System) 적용을 통하여 비용 및 일정에 대한 관리를 실시하고 있다. 그러나 무기체계 연구개발에 있어서 가장 중요한 사업관리 요소 중의 하나인 기술성능에 대해서 제대로 관리되지 못한 실정이다. 이러한 연유로 사업 수행과정에서 기술적 위험으로부터 발생할 수 있는 비용의 증가, 일정의 지연, 성능의 미 충족 등과 같은 위험요소에 대하여 조기발견 및 대책수립의 어려움 등의 문제에 직면하고 있다.

또한 기존의 연구들은 대부분 사업성과관리의 개념 및 활용을 위한 이론적 고찰 및 발전 방향을 제시하는 일반적인 연구로서 비용 및 일정 중심으로 기술성능의 통합 적용 및 관리에 대한 구체적인 방법론이 없는 실정이다. 특히 기술성능분야에 있어서는 요구 성능에 대한 관리, 요구충족도에 대한 달성도 추적 및 즉시적 모니터링이 부족하다. 현재, 잠수함 분야에서 기존의 시뮬레이션 기반 획득 방법인 SE 및 M&S 개념의 통합 프레임워크가 제시되어 있으나, 비용 및 일정에 대한 관리와 잠수함의 기술성능지수를 고려한 EVMS를 적용한 프레임워크에 대한 연구가 필요하여 본 연구를 통해 이를 수행하였다.

본 연구의 목적은 기술성능지수가 포함된 새로운 EVMS 통합프레임워크를 통해 사전에 향후 위험요인이 되는 비용증가, 일정지연, 기술성능 미충족과 같은 요인을 발굴하여 집중적인 관리를 통해 위험을 최소화하는 것이다. 아울러 획득되는 첨단 무기체계가 100% 전투성능을 발휘하여, 군 전투력을 극대화함은 물론 획득업무의 경제성과 투명성을 바탕으로 국가 경제에도 이바지 할 수 있는 기틀을 마련할 것으로 기대한다.

1.2 연구동향

미국은 오래전부터 국방 획득분야에서 "Right Product, Better, Cheaper, Faster" 라는 목표를 설정하고 이를 강력하게 추진해오고 있으며, 효과도 향상을 위해 지속적으로 노력하고 있다(National Research Council 2002). 이를 위한 구체적인 방법으로 IPPD (Integrated Product and Process Development), M&S, SE 등을 국방획득 분야에 적용하였으며, 현재 이것은 구체적이면서 체계적인 방법으로 자리매김하고 있다.(DoD 1996, DoD 1998, DoD 2007, Haskins 2007)
이러한 IPPD는 최상의 경험과 의사 결정 과정이 통합된 절차로서 무기체계를 획득함에 있어서 소요 기획 단계에서부터, PRODUCT로 부터 파생된 모든 활동과 절차를 통합하고, 동시에 개발하는 것으로 PROCESS 개선, M&S의 TOOL 사용 및 통합사업팀(IPT : INTEGRATED PRODUCT TEAM)을 운영하는 것이 주요 개념이며, 문제를 해결하기 위한 프로세스로써 시스템 엔지니어링 프로세스를 채택하고 있다.(정연환 2005, DOD 1998)

미 해군 무기체계에 IPPD를 적용한 사례는 Seawolf급 잠수함 SSN-23의 개선(무인 잠수정 추가 탑재)에 따른 설계 수행 시, 설계기간 단축 및 도면 변경 소요를 절감한 것과 상륙함 LPD-17급에서 총 소요비용(TOC : Total Ownership Cost)을 줄이고 획득기간 단축과 프로그램 재작업 소요를 줄이기 위해 한 것이 대표적이다. 그러나 이러한 사례에 대해서는 SSN-23의 경우 Computer-Based Modeling&Simulation, Requirements Management 등의 적용(Griffin 2003)과 LPD-17의 경우 SBA개념이 포함된 일부 자료만 공개하고 적용 효과를 중심으로 내용을 국한(Fireman 1998)하여 구체적인 방법론, 세부적인 내용에 대해서는 확인이 어려운 상황이다. 또한 미국의 경우 모델링 수준 및 정확도는 개념설계 수준이며 초기설계 단계 이상에서는 자료축적, 전산환경, 기술적 연동관계로 한계가 있으며, 점차 확대되어 가는 과정이다.(Doerry 2007)

국내 함정 획득 분야에서 SE 및 M&S 적용에 관한 연구는 정연환(2005), 김용균(2008), 오대균(2008), 전승표(2008) 등에 의해서 이루어졌다. 정연환(2005)은 함정 획득과정에서 생성되는 자료들을 구분하여 정보시스템으로 구현하는 함정 PLM 구축을 위한 자료 환경 구현 방안을 제안하였다. 김용균(2008)은 함정 설계 단계 프로세스 및 함정 제품정보관리 시스템 도입을 위해 필요한 시스템 분석 방법론으로 함정 획득 프로세스 분석 방법론을 제안하였다. 오대균(2008)은 SBA를 위한 함정 제품모델 및 관리시스템을 제안하면서 시뮬레이션 기반 함정 획득을 위한 아키텍처를 정의하였고 함정을 디지털 함정으로 표현하기 위한 함정 제품 정보 및 제품정보 모델을 정의하였다. 전승표(2008)는 미 해군의 개념탐색 단계의 SE 적용사례를 한국 함정에 적용한 함정 개념탐색에서 시스템엔지니어링 적용에 관한 연구를 수행하였다. 이러한 연구결과들을 종합해보면 정연환(2005), 김용균(2008), 오대균(2008)은 소프트웨어 개발 관점에서의 함정 M&S 구현 방법론이며, 전승표(2008)는 M&S와는 별개로 사례 연구를 통한 함정 설계분야의 SE 적용 방법 연구였다.(정연환 2010)

또한 조선 산업에서의 M&S 및 SE 적용에 관한 연구는 신종계(2001), 노재규(2009) 등에 의해 이루어졌다. 신종계 등(2001)은 디지털 선박생산(Digital Shipbuilding) 개념을 도입하여 제품(Product)을 개발함에 있어 위험요소(Risk)와 비용(Cost)을 줄이고, 개발기간을 단축시키기 위한 새로운 패러다임으로 데이터베이스(PDM : Product Data Management)를 기반으로 하는 설계, 생산 그리고 엔지니어링 정보의 통합과 시뮬레이션 기반의 생산을 포함하는 미래 지향적인 개념이다.(신종계 등 2001) PDM은 설계자가 자료(data) 및 제품 개발 절차를 관리하는 도구로서, PDM 시스템은 제품을 설계하고, 만들고, 운용유지 하는데 필요한 모든 자료와 정보를 관리하는데 사용된다(CIMdata 1997). 또한 노재규(2009)는 선체 곡가공 자동화 시스템 개발에 SE 프로세스 기반의 선체 곡가공 자동화 시스템 개발 방법론에 대한 연구를 수행하였다.

국방획득 분야에서 SE를 적용하기 위한 연구는 민성기 등(2008)과 권용수(2007)에 의해 이루어 졌으며, 방위사업청 획득업무 시 무기체계 연구개발의 SE 활동 분석 및 적용방안(권용수 등 2007), 시스템엔지니어링 적용방안 연구(민성기 등 2008) 및 함정사업 과학적 사업관리 기법 적용방안 연구(신종계 등 2009)으로 일반 무기체계 획득에 있어서 SE 적용 방법론에 대한 것이었다.

이상과 같이 국방획득 분야에서 SBA를 위한 SE, M&S 적용에 관한 사례를 검토해 본 결과, 외국의 경우는 유사한 사례는 있으나 지적 재산권 보호나 군사 보안상의 이유 등으로 세부 시스템 구현에 필요한 자료가 공개되지 않고 있으며, 극히 제한적인 자료만 공개되고 있고 획득 체계, 수행 조직 및 획득업무의 상이함 등으로 인해 활용에는 상당한 제약이 있다.(정연환 2010) 국내 사례의 경우 각 관련 연구 분야별로 부분적인 연구들이 수행되었으며 잠수함 획득 분야에서 SBA를 위한 SE, M&S를 적용하기 위한 통합 프레임워크에 대한 연구사례는 잠수함의 시뮬레이션 기반 획득을 위한 시스템엔지니어링과 M&S 통합 프레임워크(정연환 2010)밖에 없는 것으로 확인하였다.

성과관리시스템(EVMS : Earned Value Management System)은 1967년 미국 국방부에서 프로젝트의 자원조달 및 예산집행관리 위해 C/SCSC (Cost/Schedule Control System Criteria)를 개발하면서 생겨난 개념으로 사업의 일정과 비용을 통합하여 계획예산(PV : Planned Value)을 수립하고 투입된 실비용(AC : Actual Cost)과 성과(EV : Earned Value)를 비교분석함으로서 사업진도율을 측정·관리하는 방법이다. EVMS관련 연구는 미 국방부(DoD:Depaartment of Defense)의 EVMS 모델을 참고하여 1980년 말경에 호주와 캐나다가 EVMS를 채택하면서 EVMS는 국제적으로 확산되기 시작하였다. 1998년 EVMS가 미국 표준협회에 등록 및 국가표준으로 채택되어 현재는 전 세계적으로 사업관리 부문에서 비용 및 일정

통제를 목적으로 널리 사용 중이다. 해외 EVMS에서의 주요 연구논문 내용을 요약하면 아래의 [표 1]과 같다

[Table 1] 주요 해외 EVMS 논문 및 내용(정호수, 2008)

저 자	주 요 내 용
David S, Christensen (1995, 2000)	최종사업비 추정액(EAC) 계산방법 사업예비비 반영 필요성
Jim Sumara (1997)	Project의 실질적인 차세대 관리수단으로 성과(EV)에 대한 연구 - EVM 시스템 적용 시 비용절감 및 일정단축 가능
Frank T, Anbari (2003)	성과(EV)를 활용한 사업관리 방법 및 확장성 연구 - 성과지수와 함께 비용 및 일정편차의 계산이 가능해야 함
Henderson, Kym (2005)	성과관리(EVM)의 장점에 관한 연구 - 최종사업비 추정 가능 및 위험관리에 활용

이외에도 EVMS와 타 분야 간의 연계 발전방향으로 EV값이 정량된 값이 아닌 주관적인 평가로 산출하거나, EV값에 품질에 대한 평가보완과 EVMS의 성숙도를 높이기 위한 연구들이 진행되고 있다(US DOD 2006).

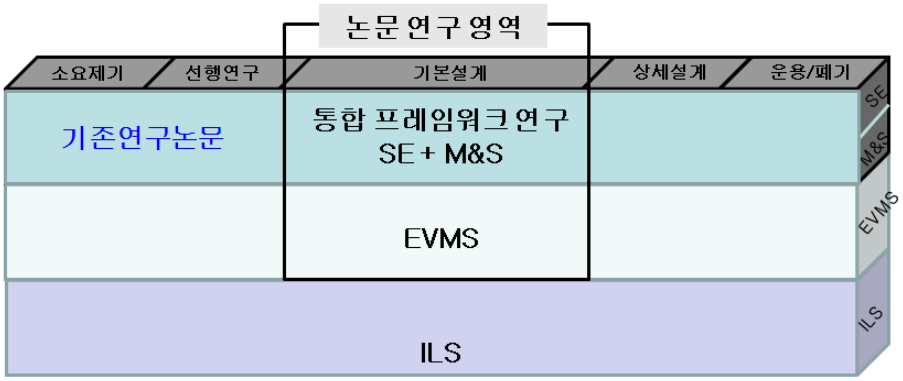
국내의 경우 EVMS에 대한 연구는 도입의 필요성, 적용절차 및 방법 등을 제시하거나 개념적 수준에서 아니라 구체적인 방법론에 이르기까지 활발하게 연구가 진행되어 왔다. 최근 EVMS에 대한 연구는 효율적 운영과 관리가 가능토록 종합적인 성과 평가 방법론과 관리대상 모델의 성능관리를 위한 방법론 등에 관한 연구들이 수행되어 오고 있다. 이러한 국내의 EVMS 주요 연구수행 내용을 요약하면 다음의 [표 2]와 같다.

[Table 2] 주요 국내 EVMS 논문 및 내용(황태호, 2010)

저 자	주 요 내 용
심만수 (2001)	무기체계 연구개발에 EVM 시스템 적용방안 연구 - 규정 및 지침, 안내서, 표준의 제정 등 제도 보완
손해용 (2001)	무기체계 연구개발에서의 비용 및 일정통제 개선방향에 관한 연구 - 단계별로 개략적인 EVM 시스템 적용방향 제시
김종필 (2003)	무기체계사업 비용, 일정 통합관리체계 구현방안 연구 - 비용·일정 통합 관리체계 도입을 위한 정책 및 제도 개선
이봉근 (2004)	한국형 전투기 개발사업의 EVM 시스템 적용방안 연구 - 원가통제계정별 원가구성요소 설정방법 등을 이용하여 예산 코드, 원가통제 계정코드, 원가수검코드를 작성, 비용과 일정을 통합 관리할 수 있는 매트릭스 제시
안경모 (2005)	국방연구개발 사업과 방산원가의 EVM 시스템 적용을 위한 개선방안 연구 - 직접비 및 간접비에 대한 원가통제계정 작성을 위한 매트릭스 작성방법
송승찬 (2006)	EVM 시스템을 활용한 연구개발 원가관리 개선방안 연구 - 업무분할구조 기준 원가계산 및 활동기준 원가계산 방식 적용
김철환 (2008)	PM 및 EVM을 통한 국방사업관리 과학화 방안 연구 - 한국적 EVM 표준안 제정, EVM 시스템 적용 의무화
남용근 · 최석철 (2008)	국방연구개발 사업에서의 EVM 시스템 수행 개선방안 연구 - 방위사업법 및 방위사업관리규정 개선, 사업예비비 편성 - 계약제도 보완, EVM과 ERP(전사적 자원관리) 체계연동
황태호 (2011)	국내 방위사업에서 EVM 시스템의 사용자 만족도에 영향을 미치는 요인에 관한 실증 분석 -EVMS 의 효과적 관리를 위한 평가모델 제시

1.3 연구범위

본 연구의 적용대상 시스템은 잠수함이며 잠수함 획득 프로세스에 대한 것으로, 최초의 소요기획 단계에서부터 잠수함 건조까지의 프로세스를 대상으로 한다. 그러나 주된 연구내용은 [그림 1]과 같이 잠수함 기본설계 단계의 SE, M&S 및 EVSM 적용에 관해 중점적으로 다루었다.



[Figure 1] 논문 연구범위

본 연구는 첫째, 기술성능지수 선정 절차를 정립하였으며, 총 7단계로 이루어지는 선정절차는 통계적 데이터 분석방법인 평가지표설정, 델파이 기법, AHP기법을 적용하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해서, 데이터 검증방법은 Box-plot, 동의도, 상관계수를 활용하였으며, 잠수함에 적용하여 분석한 결과 총 5개의 핵심기술 성능지수를 도출하였다. 둘째, 기존에 사용되던 3단계의 SWBS를 기술성능지수 도출이 용이하고 EVMS에 적용가능하고 기존의 시뮬레이션 기반의 SE 통합 프레임워크와 상호연계 가능하도록 미국의 국방기준을 적용하여 총 7단계의 확장된 SWBS를 제안하였다. 마지막으로 기술성능지수가 포함된 EVMS의 통합 프레임워크 모델을 제시하였으며, 성능지수별 허용오차별 적용 방안 과 총 8단계의 적용 절차를 제시하여 제안한 모델의 활용성을 검증하였다.

1.4 논문구성

본 논문은 전체 5장으로 구성하였다.
앞서 기술된 1장은 본 논문의 연구배경, 관련 연구동향 및 연구 범위에 대해 기술하였다.

2장에서는 문헌연구를 통하여 SBA의 개요 및 적용사례, SE 개요, M&S의 개요 및 기존에 연구된 SE와 M&S를 적용한 통합 프레임워크를 고찰하여 제한점을 도출하였다.

3장에서는 현재 EVMS 개요 및 구성요소, 적용절차를 중심으로 시행되고 있는 성과측정기법인 이산적 활동과 배분된 노력 그리고 시간비례활동에 대해서 살펴보았다. 또한 기존의 EVMS에 성과에 영향을 미치는 기술적 요소에 대해 기술성능지수의 정의 및 목적을 바탕으로 각 분야, 계통별 SWBS단위별 체계의 요구능력에 영향을 미치는 대표적 성능요소를 체계기술 성능지수로 선정하였다. 또한 선정된 체계기술 성능지수에 대해 상대적 가중치를 산정하여 핵심성능요소를 도출하고, 전체성능의 대표 값으로 핵심기술 성능지수를 정의하였다. 그리고 성능지수에 대한 구체적인 적용절차를 제안하였으며, 기술성능지수를 적용한 새로운 EVMS 통합프레임워크를 제시하였다.

4장에서는 대표적인 복합 무기체계인 잠수함사업에 대해 본 논문에서 제안한 기술성능지수가 포함된 EVMS을 기본설계과정에 적용하는 프로세스 내용을 다루었다. 총 8단계로 이루어진 프로세스 및 분석결과를 제시함으로 실제 적용에 대한 검증을 실시하였다.

5장은 본 논문의 결론부로서, 본 연구를 통해 도출된 성과 및 최종 결과들을 종합적으로 정리하여 기술하였다.

제 2 장

기존 통합 프레임워크에 관한 고찰

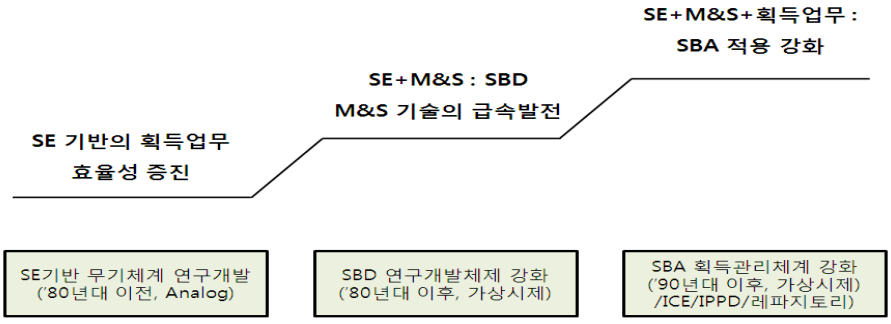
2.1 SBA 개요

2.1.1 SBA 개념 및 필요성

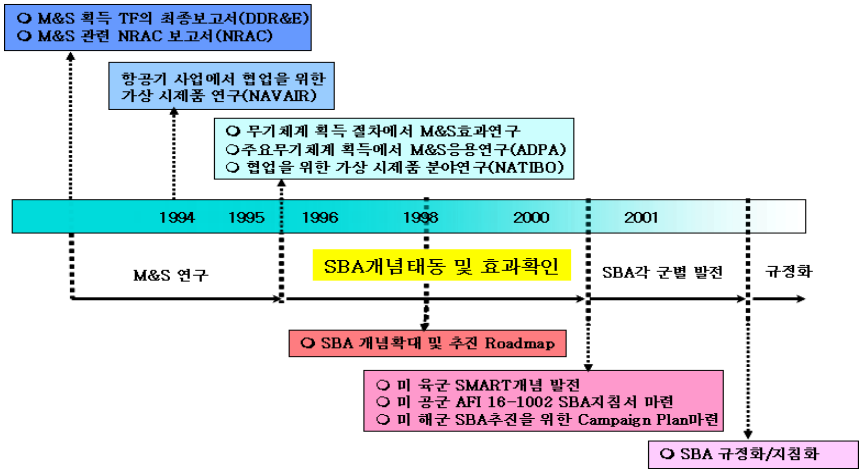
시뮬레이션기반 획득 관리체계인 SBA(Simulation Based Acquisition)는 획득 제 단계에 모델링 및 시뮬레이션(M&S : Modeling & Simulation)을 적용함으로써 획득기간을 단축하고 무기체계 총소유비용(TOC : Total Ownership Cost)을 낮추며 소요군이 요구하는 성능목표를 가진 무기체계를 획득하고자 하는 새로운 획득 패러다임이다. SBA에 대한 정의와 역할은 다양하다. Patenaude(1996)는 SBA를 시뮬레이션 기술의 발달에 따른 도구와 절차를 국방 획득 분야에 적용하는 접근법으로 정의하고 있으며, 미국 Defense systems Management College(1998)에서는 무기체계 소요기획부터 도태 시까지 수명주기 동안 M&S 도구 및 기술을 적용하는 체계적이고 과학적인 접근법으로 정의하고 있다. 원론적 관점에서 살펴보면 SBA란 무기체계 획득이나 연구개발을 M&S 기법 및 도구를 통해 모의·분석 기반으로 수행하는 과정을 의미한다. 소요제기부터 전력화 단계에 이르기까지 가상환경 하에서 무기체계를 운용해 봄으로써, 신 무기체계의 소요에 대한 타당성 검증, 개발비용 절감 및 획득기간 단축, 시행착오 최소화를 달성하려는 획득관리 개념으로 보고 있다.

80년대 이전의 무기체계 연구개발은 주로 시스템 엔지니어링(SE : System Engineering)을 기반으로 이루어졌으며, M&S 활용은 개별 모의

훈련 수준이었다. 80년대 이후 각 계층별 M&S 기술이 급속히 발전함에 따라 SE 와 M&S 기술이 결합하게 되었고, 이에 따라 무기체계 연구개발은 시뮬레이션기반설계(SBD : Simulation Based Design)를 바탕으로 발전하였다. 90년대 이후 슈퍼컴퓨터 및 IT, 가상화 기술에 힘입어 개별적 M&S를 벗어나 전역 단계의 모의분석과 M&S가 연동됨으로서, 모의 훈련체계와 M&S 기반 시험평가체계가 하나의 체계로 만들어지는 통합 M&S 모델로 발전했다. 이는 획득과 연계되어 모의실험기반 획득관리 체계로 발전하였으며,[그림 2]는 M&S와 획득 프로세스 선진화 과정을 보여 준다.



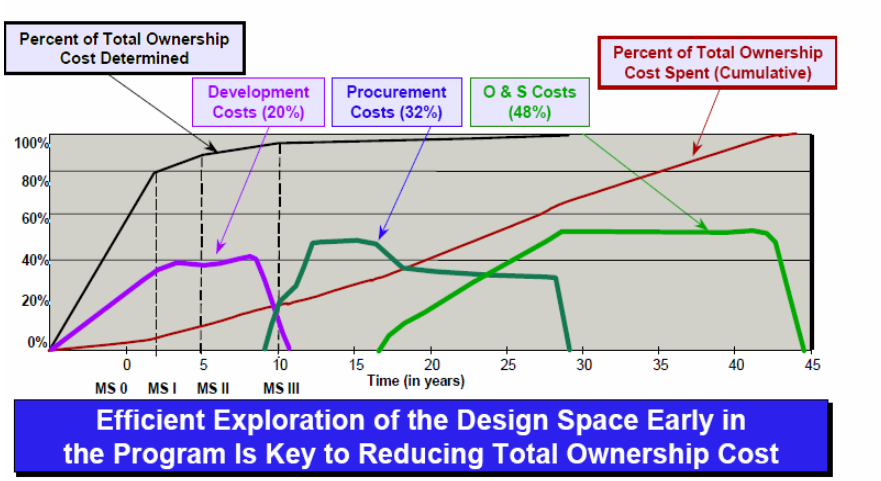
[Figure 2] 획득/연구개발 프로세스 선진화(국과연, 2006)



[Figure 3] SBA 개념, 효과확인 및 발전(국방대학원, 2007)

이후 미국은 [그림 3]와 같이 각 군 별로 SBA 개념을 확대하고 발전을 거듭하였으며 SBA를 규정화하여 시행하고 있다.

M&S의 적극적인 활용이 무기체계 획득 및 연구개발 환경 변화에 효과적으로 대처하기 위한 주요 획득관리 개념임에는 틀림없으나, 획득 과정에서 발생하는 모든 문제에 대한 해답을 M&S가 제공해 줄 수는 없다. 그럼에도 불구하고 SBA는 새로운 체계의 전투개념 개발과 요구능력의 사전 검증을 통해 전체 획득 단계상의 기간, 자원 및 위험을 줄일 수 있으며, 무기체계 수명주기 차원의 운영유지비용은 절감하면서 무기체계 품질과 군사적 가치, 군수지원성 제고 측면에서 매우 유용하다.



[Figure 4] SBA 기반 획득체계 중요성(국과연, 2006)

위의 [그림 4]에서 보듯이 무기체계 총소유비용의 5~10%를 사용하는 개념형성연구와 탐색개발 결과에 따라 무기체계 총소유비용의 약 90%가 결정됨을 알 수 있다. 따라서 전투실험환경 하에서 도출된 요구 성능 확인, 기술적 위험도, 개발기간 및 소요예산 등의 사전 예측을 수행하고, 개념형성연구 및 탐색개발 기간 중 가상시제의 선 개발을 통한 "선(先) 검증-후(後) 개발"의 과학적인 획득관리 체계를 확보하는 것이 비용절감

을 통한 지름길임을 주지할 필요가 있다.

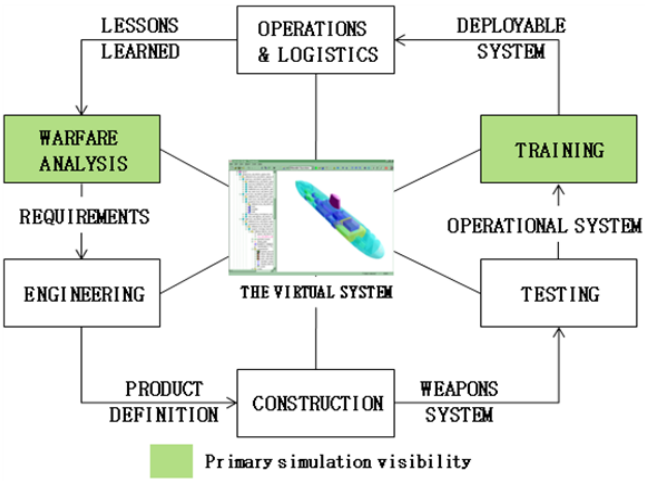
하지만 더욱 중요한 점은 M&S를 통해 획득과정에서 발생할 수 있는 문제들을 사전에 식별하고 해결함으로써 위험요소를 최소화할 수 있다는 점이다. 1994년 3월, 미 국방차관이 1994년 3월 상원 연방정부소위원회에서 "시뮬레이션은 실사시험보다 실패형태를 보다 싸고 빠르게 찾을 수 있는 잠재력을 제공해준다."고 강조한 점과, 미국방획득체계(DoD 5000) 역시 2000년 10월 개정된 규정 5000.1을 통해 전체 무기체계 획득 프로세스 기간, 자원, 위험을 감소시키고, 군사적인 가치, 체계의 품질 및 군수지원성 등을 제고시키기 위해 SBA로 획득관리체제를 전환한 사실들이 이를 뒷받침하고 있다. 이처럼 SBA 획득관리체계의 목표는 정량적으로 기존 대비 획득기간의 단축이며, 정성적으로는 "더 좋은 성능(Better Performance), 더 빠른 일정(Fast Schedule), 더 경제적인 비용(Cheaper Cost)"의 달성이다.

2.1.2 SBA 프로세스 및 적용 개념

앞서 살펴본 것처럼 SBA란 단순히 체계공학 차원에서의 단계적·절차적으로 이루어지는 획득관리 활동이 아닌, 합동환경 하에서 국방 M&S 기법과 도구를 활용하여 무기체계 소요 도출에서부터 체계 수명주기에 걸쳐 모의분석 및 검증을 통한 과학적이고 체계적인 획득관리 활동이다.

다음 [그림 5]는 국방 SBA의 가상 목업의 한 예다. 체계 전 수명주기에 걸친 활동들을 지원하기 위해서는 미래 전장분석(Warfare Analysis)을 통한 운용요구생성(Operational Requirement Generation), 체계설계(Engineering), 생산(Manufacturing), 시험(Testing), 훈련(Training) 및 운용(Operation), 그리고 군수지원(Logistic Support)에 이르기까지 모든 기능분야에서 가상시제가 활용된다. 가상시제는 개발 대상을 컴퓨터 내에서 실물 대신에 디지털 모델로 개발하여 목표 체계에 대한 각종 모의 및 분석을 수행하는 것을 의미한다. 최근에는 합성환경에서 3차원

가상시제를 통해 최적의 체계를 획득할 수 있는 “선검증-후제작” 개념과 “모델-시험-모델(Model-Test-Model)” 개념이 실현되고 있다.



[Figure 5] Virtual Prototyping in the System Life cycle(DSMC, 1994)

이처럼 SBA 구현 개념은 제품 개발을 위한 수명주기 동안에 생성되는 모든 절차와 정보를 포함한 Data통합이며, 실제 개발에 적용하기 위해서는 구체적인 방법론과 기술, 도구가 필요하다. 이러한 방법론의 하나가 SE 이며, 기술 및 도구 중 하나가 M&S가 될 수 있다. SBA의 기술 및 도구인 M&S가 적용되는 세부 업무 영역은 다음과 같이 제품 소요기획 단계부터 도태 시까지 계층적으로 구분된다(NPS 2009, DSMC 1994).

1) 요구조건 정의(Requirements Definition)
2) 프로그램 관리(Program Management-cost, schedule, performance)
3) 설계 및 엔지니어링(Design and Engineering)
4) 제작(Manufacturing)
5) 시험평가(Test and Evaluation)
6) 군수지원(Logistics Support)
7) 교육훈련(Training)

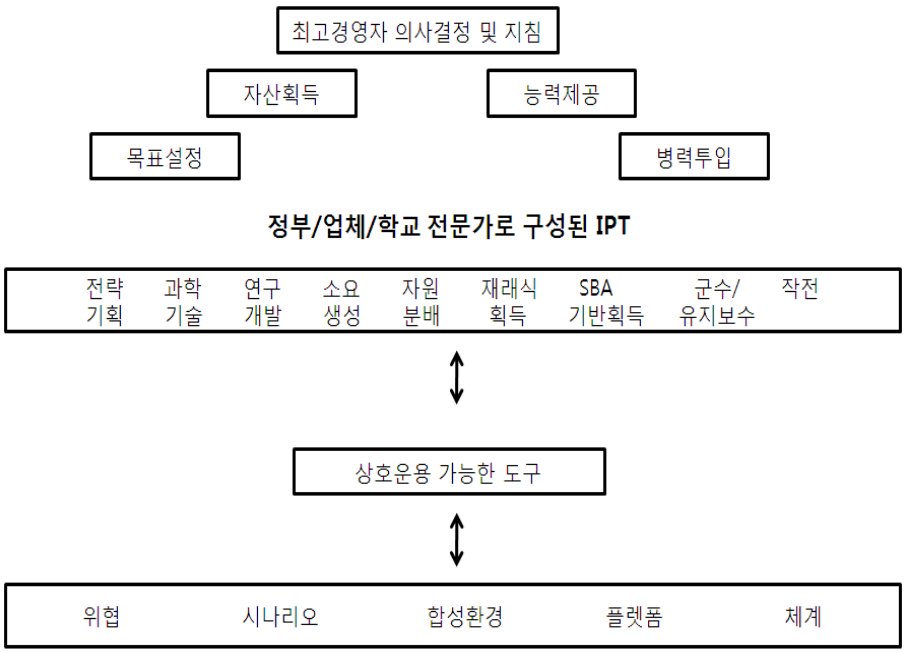
2.2 SBA 적용 현황 및 사례

2.2.1 국내·외 적용현황

국방획득 분야에서 SBA 협업 환경의 필요성을 인지하고 "획득프로세스 혁신을 위한 SBA 체계 발전방안" 연구의 일환으로 개념연구를 수행한 바 있다. 국방 관련기관 역시 SBA와 유사한 개념인 제품수명주기 관리(PLM : Product Life cycle Management)의 적용을 통해 제한적 분야에서의 협업 환경을 구축해 활용하고 있다. PLM은 제품의 기획 단계에서 개념설계, 상세설계, 생산 및 서비스에 이르는 전체 수명 주기에 걸친 제품 정보를 공유·관리하고, 이 정보를 고객 및 협력사의 협업 프로세스에 지원하는 제품 중심 연구개발 지원 시스템이다. 국방과학연구소는 PLM 소프트웨어 기반의 무기체계/제품/기술 개발자들이 분산된 개발환경에서 협업 및 동시공학적인 방법으로 개발 업무를 수행할 수 있는 WISEMAN (Weapon System Information Engineering and Management)을 개발하여 운용 중이다. WISEMAN은 공통 기반소프트웨어, 정보공유 S/W, 설계/형상정보 관리 S/W 및 사용자 인터페이스로 구성되어 있으며, 국과연의 무기체계 연구개발 조직, 한국형 헬기사업 현장기술 관리실, 잠수함(장보고) 설계 정보체계, 차기전차(흑표)를 개발하고 있는 기술연구소 등에서 활용하고 있다. 국방기술품질원은 E-BOM (Bill of Materials) 기반 국방도면, 규격서 등의 기술자료 관리 3차원 CAD 모델을 관리하고, 기술자료 변경 문서와 실제 기술 자료가 상호 연계되어 변경이력을 관리할 수 있는 PLM 기반의 3차원 형상관리 정보시스템을 운영 중에 있다.

국방 선진국인 미국의 경우 1980년대부터 SE 프로세스를 국방 획득 분야에 체계적으로 적용해 오고 있다. 더욱이 미국은 SBA를 정착시키기 위해 M&S 집행위원회(EXCIMS : Executive Council on Modeling & Simulation)에 획득위원회를 설치, 별도의 TFT를 가동해 SBA에 관한 로드맵을 작성

한 바 있다. 이 로드맵에 포함된 아키텍처 프레임워크(AF : Architecture Framework)는 SBA 구현을 위한 청사진으로서 SBA를 위한 ICE(Integrated Collaboration Environment)의 개념과 구성 요소 및 구성 요소들 간의 상호운용성 보장을 위해 이들이 준수해야 할 표준등을 제시하고 있다. 미 국방부가 제안한 SBA 개념은 다음[그림 6]과 같다.



[Figure 6] 미 국방부 SBA 아키텍쳐 프레임워크[손미애, 2010]

전 절의 [그림 3]에서 볼 수 있듯이 미 육군은 FCS(Future Combat Systems)의 개발을 위해 첨단 협업 환경(ACE : Advanced Collaborative Environment)을 구축하였고, 미 공군도 ICE를 구축해 JSF(Joint Strike Fighter)전투기를 개발 하였다. 또한, 미 해군 역시 무기체계와 관련된 공학적 데이터와 도구의 통합관리가 가능한 NICE(Navy Integrated Collaborative Environment)를 활용 중이며, 함정 제품(Product)과 개발 프로세스의 특성을 보완하기 위한 개발환경 개선 연구를 수행 하였다.

2.2.2 적용효과 및 효과

미국 SBA 적용현황은 획득 전 순기 걸쳐 M&S 기법 및 도구를 적용한 SBA 프로세스 정립 및 운용(예: 미 육군 SMART), 전투실험 연계한 임무효과도 분석(무기체계 소요제기, 기술적 위험도, 개발기간, 소요예산 등 사전 예측), 연구개발 시 시뮬레이션 기반 설계 및 정보자원 재활용으로 개발기간 단축, 양산 및 군수지원 시 M&S 기법 및 도구를 이용하여 가상시제 개발로 시행착오 최소화와 각종 SBA 활동상의 M&S 결과 저장소 구축 및 운용 등에서 볼 수 있다. M&S를 활용한 미국의 획득사례를 비용(cost), 시간(time), 인력(manpower) 절감과 생산성(productivity), 품질(quality) 향상 측면에서 살펴보면 [표 3]의 예와 같다.

[Table 3] 무기체계 획득 부문 M&S 적용효과 예

사업명	적용형태	투자비($M)	직접절감액($M)
AMRAAM(공대공)	End Game Analysis	6.5	250.0
공대공 미사일	Lethality plus Engagement	20.0	75.0
Wide Area Anti-Armor Munitions	Lethality Engagement	0.75	30.0
M2 Bradeley FVS	Engineering Design	0.88	30.0

국방획득 분야에 SBA 적용 분야를 요약하면, [표 4]과 같다. 아울러 국방연구소에서 수행한 연구개발 분야 SBA 적용효과 분석 결과는 [표 5]와 같다. 이와 같이 전통적인 획득방법에 비해 M&S 기반 획득 프로세스 적용 시 비용 및 기간, 인력 측면에서 많은 효과가 있었음을 알 수 있다.

[Table 4] 시뮬레이션을 통한 모델 검증

구 분	M&S 적용 분야
ROC 타당성 검증	ROC 타당성 소요기술 수준분석 및 적정 소요 비용 대 효과 분석 기술지원
개념연구/ 요구조건 분석	요구조건 검증/설정을 위한 체계 효과도 분석, 체계 개발 비용 대 효과 분석
설 계 및 개 발	SBD(Simulation Based Design)기반 체계설계 - Model-Test-Model 개념 적용, 시뮬레이션을 통한 모델 검증 및 시제 제작 가능성 확인 - Design + 성능 M&S + 운용환경 ⇒ 가상시제(VP) - 공학 M&S, Hybrid M&S(HILS)
시험평가	실 운용환경 구축 불가능시 M&S 기법을 통한 모의환경 구축 및 ROC 성능 입증·확인
군수지원	RAM과 전(全) 순기 비용을 연계 설계 검증분석
교육/훈련	가상시제를 활용한 Simulator 개발

[Table 5] 국내 연구개발 분야 SBA 적용효과 분석(국과연, 2009)

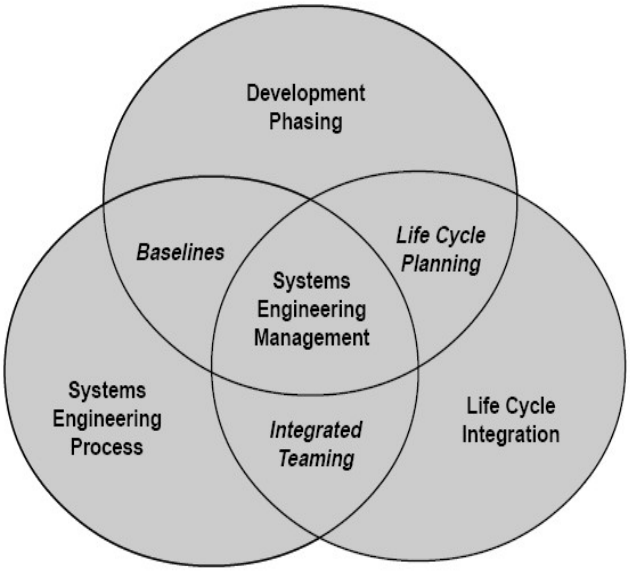
구분	비용(억원)		기간(월)		인력(MM)	
	미적용(a)	적용(b)	미적용(a)	적용(b)	미적용(a)	적용(b)
평균	20	7	25	12	154	57
절감/단축 정도(a-b)	13억원 절감		13개월 단축		97MM 절감	
적용효과 (b/a)	비용 65% 절감		기간 52% 단축		인력 63% 절감	
표본개수	141		173		164	

또한 적용 사례를 살펴보면 국방 획득사업마다 획일적으로 모든 무기체계 연구개발 부문에서 M&S를 적용하기 보다는 M&S를 적용하는 주안점을 다르게 두고 있음을 알 수 있다. 이는 무엇보다 실제 전장 운용환경을 제공할 수 없는 경우나 M&S를 통해 사업관리상의 많은 혜택을 얻을 수 있다고 판단되는 분야에 M&S 도구를 사용하는 것이 효과적임을 시사해 주고 있다.

2.3 시스템엔지니어링 기본개념

2.3.1 시스템엔지니어링 정의

시스템엔지니어링에서 시스템은 [그림 7]과 같이 어떤 특정 요구내용이나 요구능력/목표를 충족시키기 위해 제공되는 하드웨어와 소프트웨어를 포함한 장비, 인력, 물자, 자료, 설비 및 용역, 비용 등의 관련요소들을 총체적으로 통합한 것을 뜻한다.

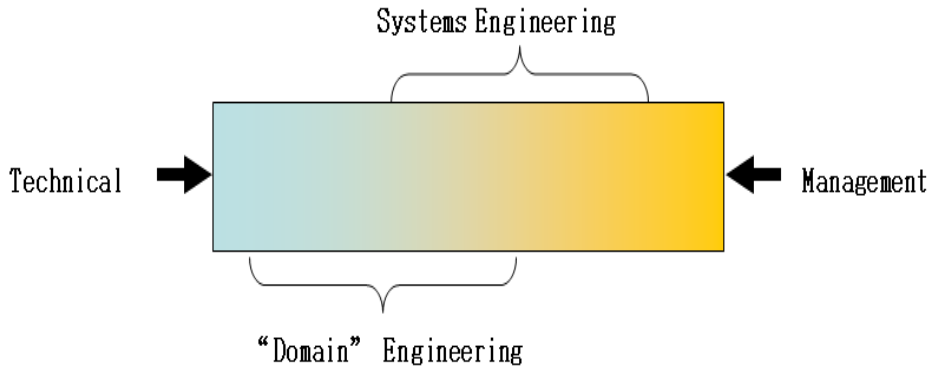


[Figure 7] Scope of SE Activities(DAU, 2001)

미 국방성(MIL-STD-499B)은 운용요구를 시스템 성능요소와 시스템 형상으로 변환시키기 위한 각종 활동과 의견을 수렴하는 하나의 논리적 시퀀스로, EIA/IS 632는 사람, 제품 및 프로세스 솔루션 등을 포함한 고객 운용요구를 만족시키는 수명주기 균형 시스템 개발과 검증, 이를 위해 필요한 모든 기술적 활동을 포함하는 다분야 학문적 접근법으로 조금씩

다르게 정의하고 있지만 전체적인 내용은 유사하다. 다시 말해 시스템엔지니어링이란, 기술의 발달로 인한 복잡한 시스템을 개발함에 있어, 고객의 요구사항을 만족시키기 위해 시스템 전 수명주기에 걸쳐 적합한 해결책을 적용하고 검증(verification)하기 위한 다분야 학문의 엔지니어링 접근방법이다. 여기에는 시스템엔지니어링 프로세스 및 다양한 기법, 도구들이 사용되며, 경험과 지식을 갖춘 전문가 집단이 요구된다. 초기 시스템엔지니어링은 단순한 과학적 공학적 노력으로 정의되었으나, 이후 전체적 관점에서 전수명주기 차원으로 고려되었다. 또한 사용자 관점에서 요구조건의 만족과 결과적 측면에서의 성공으로 정의되어 가고 있다.

2.3.2 시스템엔지니어링의 역할

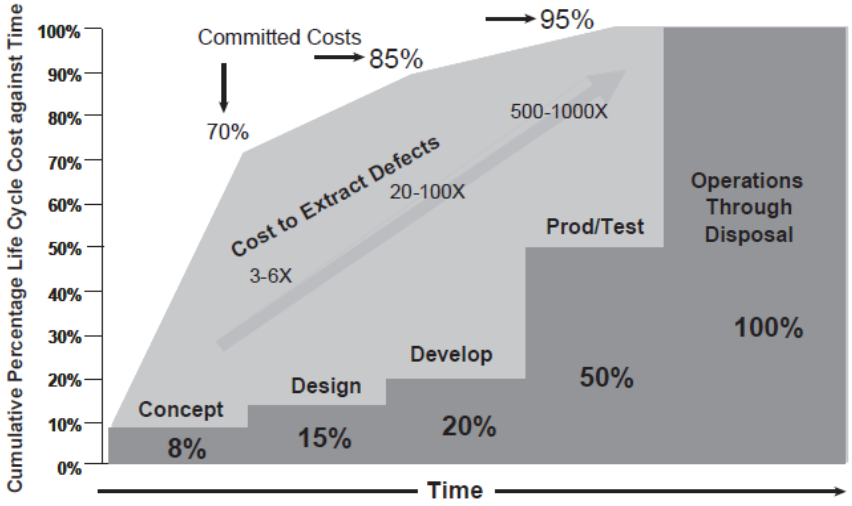


[Figure 8] Two Major Aspects of SE (Calvano, 2007)

시스템엔지니어링(SE)은 두 가지의 역할 또는 관점을 갖고 있는데, 하나는 개발하고자 하는 시스템과 관련된 분야의 공학적(Engineering) 관점이며 다른 하나는 시스템 개발을 위한 행정적인 부분의 관리적(Management) 관점이다. 따라서 시스템엔지니어링(SE)의 역할을 충실히 수행하기 위해서는 해당 분야의 전문 지식이 필수적이며, 이러한 개념을 도식화하면 [그림 8]과 같다.

[그림 8]에서와 같이 시스템엔지니어링의 역할 및 위치는 중간자적 역할로 최종 사용자와 설계자와 가교 역할을 하여야 하며, 사용자의 의견을 설계자에게 전달하고, 설계자의 의견을 사용자에게 전달하여야 한다. 또한 이러한 과정에서 사용자의 의견을 설계자에게 전달할 경우 전문 지식화 하여 전달하여야 하며, 설계자의 의견을 사용자에게 전달할 경우에는 전문적인 지식을 일반 지식화 하여 전달하여야 한다.

2.3.3 시스템엔지니어링의 필요성 및 효과



[Figure 9] Life Cycle Cost against Time (INCOSE, 2007)

시스템엔지니어링을 적용할 경우 정성적인 효과로서 성능을 향상시키고, 일정을 단축시키고, 비용을 줄일 수 있다. 이러한 것들을 정량화 할 수 있는 수명주기에 대한 비용으로 고려해보면, 일반적으로 시간에 따라 개발 비용은 증가하게 되는데, [그림 9]에서 보는바와 같이 시스템 개발 또는 획득 초기단계인 개념 형성단계에서 수명주기 비용의 약 8%만이 실제 집행되지만 전체 수명주기 비용의 약 70%이상이 결정된다. 초기 설계

및 개발 단계에서는 수명주기 비용의 20%가 실제 집행됨에 반하여, 전체 수명주기 비용의 85%이상이 이미 결정된다. 이는 선택과 집중 관점에서 개발 초기단계 즉, 설계단계에서 엔지니어링 노력이 중요하다는 것을 나타낸다.

개발 초기단계에서 요구조건 관리의 중요성을 나타내는 또 다른 보고서는 미국의 Information Technology 분야의 컨설팅 회사인 STADNDISH GROUP의 "1995 CHAOS REPORT"라 불리는 보고서로, 이 보고서에 따르면 비용증가와 일정지연이 발생한 과제들의 실패의 원인들은 다음과 같이 분석되었다.(The Standish Group, 1995)

[Table 6] Project Impaired Factors

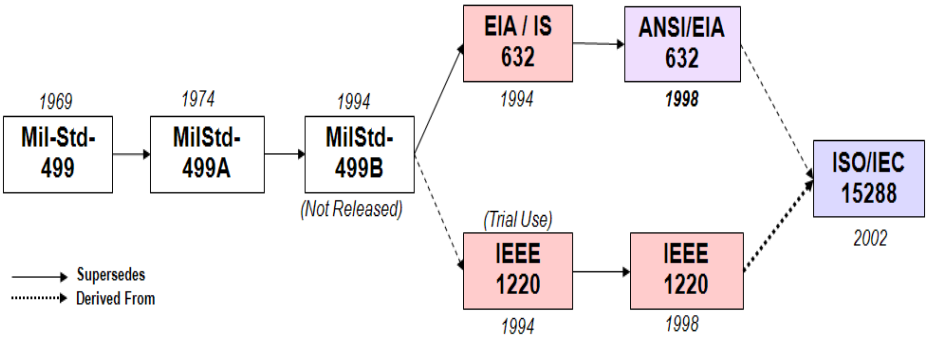
실 패 원 인	비 율
불명확한 요구조건(Incomplete requirements)	13.1 %
사용자 참여 부족(Lack of user involvement)	12.4 %
가용자원의 부족(Lack of resources)	10.6 %
비현실적인 기대(Unrealistic expectations)	9.9 %
집행부의 지원부족(Lack of executive support)	9.3 %
요구조건 및 사양의 변경(Changing reqs/specs)	8.7 %
기획 부족(Lack of planning)	8.1 %
불필요(Didn't need it any longer)	7.5 %

[표 6]에서 보는바와 같이 프로젝트의 실패 원인은 불명확한 요구조건, 비현실적인 기대, 요구조건 및 사양의 변경 등 요구조건과 관련된 것들이 대부분으로 성공적인 과제 수행을 위해서는 요구조건 관리가 무엇보다 중요하다는 것을 보여 주고 있다.

시스템엔지니어링은 요구사항을 입력하여 시스템분석과 통제로 불리는 총체적 기술과 도구에 의해 균형을 이루며, 요구분석→기능분석→할당→설계조합의 과정을 통해 성공적 수행을 위한 프로세스이다. 따라서 시스템엔지니어링 적용 시 정성적 효과로는 성능향상, 일정단축 및 비용절감이 가능하며 복잡하고 다양한 분야가 상호 연관되어 있는 대형 사업에 적용할 경우 그 효과가 크게 나타날 수 있다.

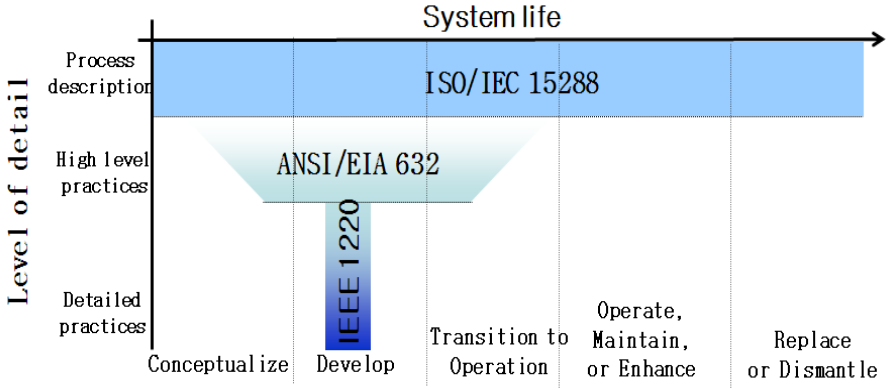
2.3.4 시스템엔지니어링 표준의 변천 과정

시스템엔지니어링 표준은 1969년 최초의 MIL-STD-499에서 시작하여 대체와 변경의 과정을 거치면서 현재는 [그림 10]과 같이 3가지 표준으로 분류되어 존재하고 있는데, MIL-STD-499B를 대체한 EIA/IS 632, MIL-STD-499B 로부터 새로 작성한 IEEE 1220, 그리고 이 두 가지 표준을 종합한 ISO/IEC 15288이 그것이다.



[Figure 10] Heritage of SE Standards(INCOSE, 2008)

[그림 10]에서 EIA/IS 632는 "LIFE CYCLE" 중심의 접근법을 취하고 있으며, IEEE 1220의 경우는 "Process" 중심의 접근법을 중시하고 있다. 또한 각각의 표준이 시스템에 대해 다루고 있는 시간적인 수명(System Life)과 공간적인 관점에서 세분화 정도를 표현하면 [그림 11]과 같다.



[Figure 11] Breadth and Depth of SE Standards(INCOSE, 2008)

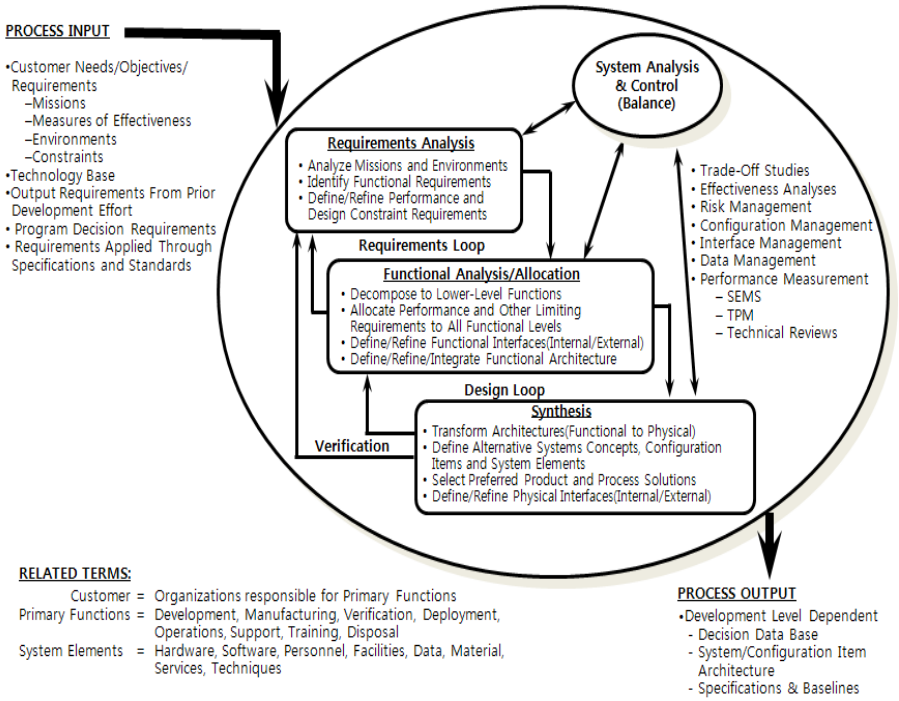
[그림 11]에서와 같이 ISO/IEC 15288는 초기 개념설정 단계에서부터 도태 시까지 전체 수명주기를, ANSI/EIA 632는 초기단계에서부터 운용 전까지의 단계를, IEEE 1220은 개발단계의 Activity를 중점적으로 다루고 있다.

2.3.5 시스템엔지니어링 절차

시스템엔지니어링 절차는 포괄적이며, 반복적이고, 순환적인 문제 해결 프로세스이며, 사용자의 요구(need)와 요구조건(Requirement)을 일련의 시스템 구성요소 및 절차로 전환하며, 의사결정을 위한 정보를 생성하고 개발의 다음단계로 진행시키기 위한 입력을 제공한다. 주요 절차는 프로세스 입력과 출력(Process Input/Output), 요구조건 분석(Requirements Analysis), 기능분석 및 할당(Functional Analysis and Allocation), 요구조건 루프(Requirements Loop), 조합(Synthesis), 설계 루프(Design Loop), 검증(Verification), 시스템 분석 및 통제(System Analysis and Control) 이다 (DAU 2001, 권용수 등 2002)

이 시스템엔지니어링 기본절차는 [그림 12]에서 보는 바와 같이 우선

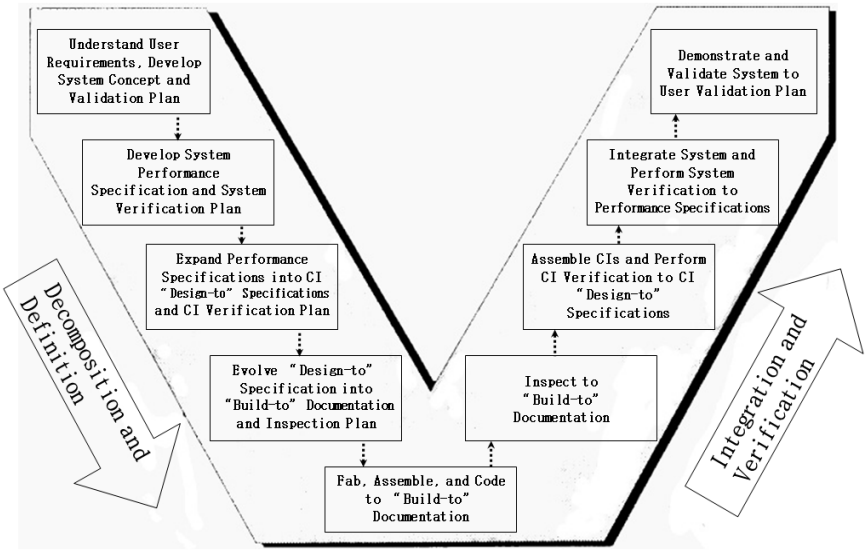
사용자 입장에서의 사용자의 요구(need)를 입력받아서 시스템에서 요구하는 요구조건으로 변경하는 요구조건 분석(Requirement Analysis)을 수행하게 되고 도출된 요구조건을 개발하는 시스템의 기능으로 변환하는 기능분석 및 할당(Functional Analysis/Allocation)을 수행하게 되면 도출된 기능들을 활용하여 조합(Synthesis) 과정을 거치면서 실제 시스템을 설계하게 된다. 설계된 결과가 요구조건과 일치하는지를 검증(Verification)하게 되며, 이것이 전체적인 절차이다.



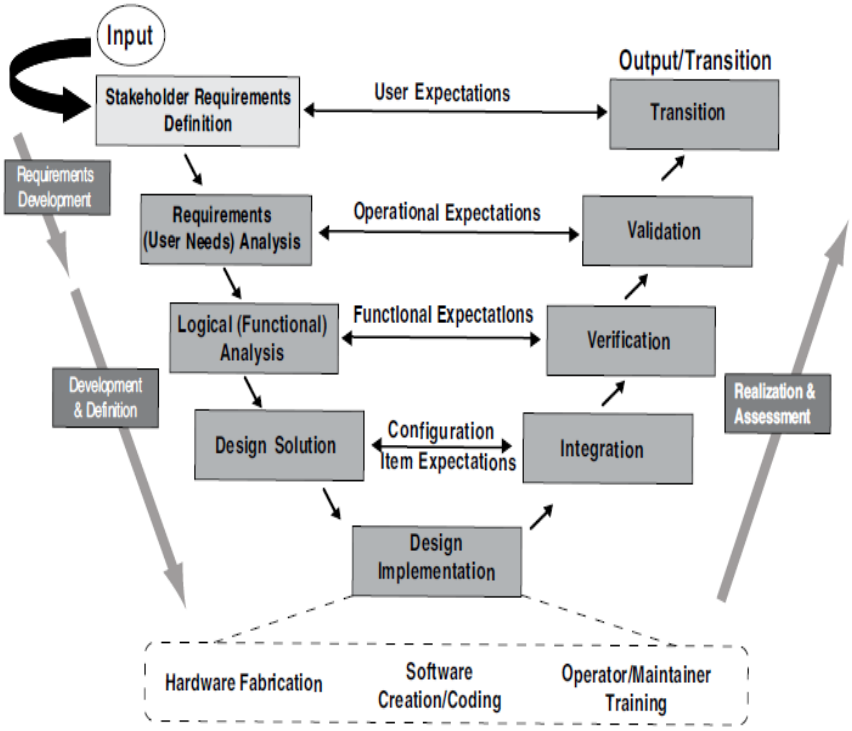
[Figure 12] Systems Engineering Process(INCOSE, 2008)

2.3.6 SE 적용 모델

일반적으로 SE를 적용하기 위한 모델로 [그림 13],[그림 14]와 같은 V자형 'Vee Model'을 사용한다. Vee 모델을 사용하면 SE에 적용되는 주요 개념을 다음과 같이 설명할 수 있다.



[Figure 13] Vee Model (Forsberg, 1991)



[Figure 14] Vee model in Defense Acquisition (Dau, 2008)

■ Top down 개념과 Bottom Up 개념

Top down은 상위레벨에서 시스템에 주어진 임무가 하부레벨에서 해당 시스템의 기능으로 분해되어 설계가 이루어지는 개념으로 Vee Model 의 왼쪽 단계에서 해당된다. Bottom up 개념은 그 반대로 하위레벨에서 상위레벨로 통합되는 개념으로 구현 결과를 활용하는 Vee model의 우측 단계에서 해당된다.

■ Decomposition 개념과 Integration개념

Decomposition은 Top Down 개념이 적용될 때 세분화되는 것을 의미하며, 주요 임무/기능이 세부임무/기능으로 분해되고, Integration은 반대로 Bottom up 개념이 적용될 때 하위레벨에서 상위레벨로 통합되는 개념으로 Vee model 우측 단계에서 해당된다.

■ Verification 개념과 Validation개념

Verification은 설계 자체가 제대로 되었는지, 개발자의 환경에서 데이터를 정확하게 표현하는지 여부를 보는 것이며, Validation은 설계한 것이 실제 환경에 잘 부합하는 여부, 실제 환경에서 데이터를 정확하게 구현하는지를 보는 것이다.

■ Efficiency 개념과 Effectiveness 개념

Efficiency 개념은 Verification 과정에서 검증의 기준 되는 개념으로 얼마나 효율적인가에 해당되는 것이며, Effectiveness 개념은 Validation 과정에서 검증의 기준이 되는 것으로 얼마만큼 효과적인가에 해당되는 것이다.

■ MOP 개념과 MOE 개념

MOP(Measure Of Performance)는 임무와는 별개로 특정 시스에 요구되는 능력에 대한 성능(Performance)이며 위의 Efficiency 개념과 대응되는 개념이다. MOE(Measure of Effectiveness)는 특정 임무 형태에 대한 가치를 표현한 것으로 의도하는 환경 하에서 시스템이 얼마나 잘 수행되는가에 관계되는 것으로 위의 Effectiveness 개념과 대응되는 개념이다.(Blizzard 2008, Demko 2005)

2.4 M&S 기본 개념

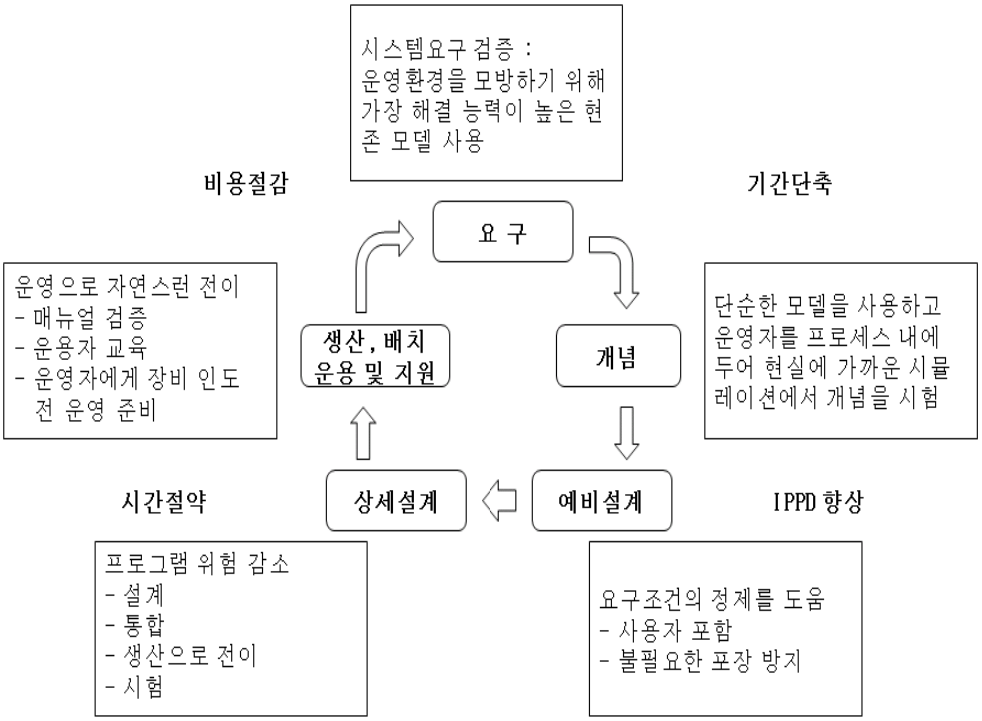
2.4.1 M&S 정의

M&S는 전투체계, 전장 환경, 자연 및 인공 현상 또는 절차·과정 등에 대한 물리적, 수학적, 논리적 표현을 개발하는 과정으로 정의되는 모델링과, 모델링의 산출물인 모델을 연속적인 시간의 흐름위에 구현하기 위한 방법론인 시뮬레이션을 결합한 용어로 다양한 연구·조사·분석 수단을 제공한다. 한편 국방 M&S는 국방기획관리 상의 소요제기, 획득, 분석평가 및 군사 훈련을 지원하는 과학적 도구 및 수단으로 총칭되고 있다.

모델(Model)은 제품과 프로세스의 논리적 표현(Johnson 외 1998), 시스템의 구성요소, 현상 또는 절차를 물리적, 수학적 또는 논리적으로 표현한 것(DAU, 2001), 시스템의 성능을 예측하는데 사용되는 수학적, 논리적 표현이나 컴퓨터 시뮬레이션을 포함하는 실제 또는 개념적인 시스템의 표현(DAU, 2005) 등으로 다양하게 정의된다. 일반적으로 모델은 물리적 특성(physical characteristics)을 모델링하는 Physical Model, 수학적인 기호(symbols)나 연관성(relationships)을 표현하는 기호 모델(symbolic model)인 Mathematical Model, 시스템에 의해 수행되는 절차를 모델링한 것으로 소프트웨어 개발절차를 단개별로 표현하는 것과 같은 형태의 Process Model의 세 가지 형태가 있다.

또한, 모델링(Modeling)이라 함은 모델을 개발하는 절차(NRC, 2002)로 정의할 수 있다. 시뮬레이션(Simulation)은 모델을 구현하는 방법(DAU 2005, DOD 1998), 모델을 이용한 문제 해결방법(Johnson 외 1998) 또는 모델을 실행 가능한 형태로 구현하고 모델을 실행하는 것(NRC, 2002)으로 정의된다. M&S는 모델과 시뮬레이션 기반의 분석적인 문제 해결 접근법(Johnson 외, 1998) 또는 모델과 시뮬레이션을 만들고, 분석하고, 구현하고, 사용하는 방법론(NRC, 2002)으로 정의되어진다. 획득 절차상에

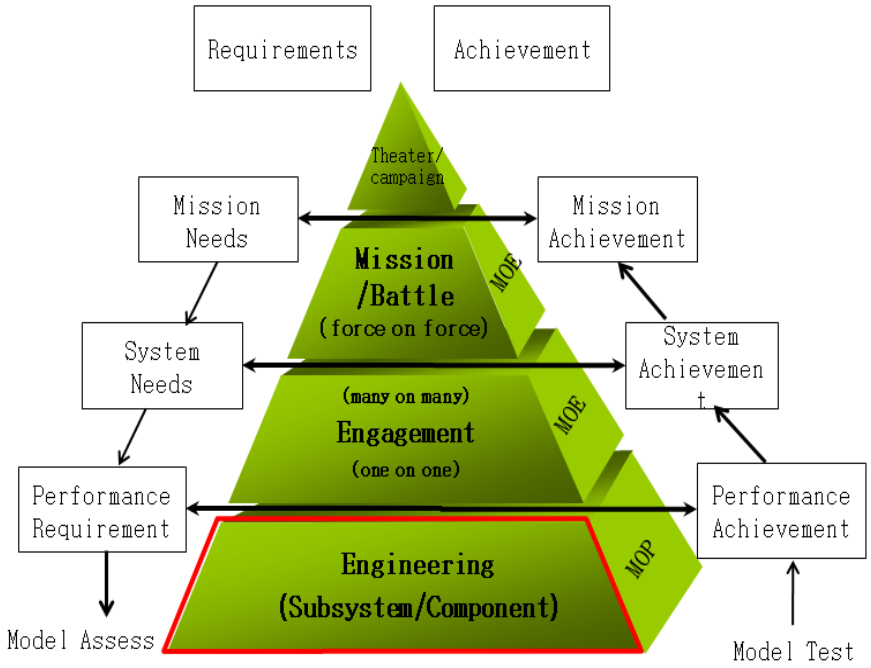
서 M&S를 사용하는 이점은 비용절감, 일정 단축, 품질향상, 시간절약 등으로 도식화 하면 아래의 [그림 15]와 같다.(DAU 2001, 권용수 2007)



[Figure 15] Advantages of M&S(권용수, 2007)

2.4.2 M&S 계층구조

M&S는 초기설계 단계에서 부터 운용 시험평가에 이르는 동안 획득 프로그램에서 지원하는 활동의 종류에 따라서 적절한 M&S를 요구하게 된다. 이것을 M&S의 계층구조(Hierarchy)라 하며 일반적으로 세력수준(Force Level)과 시스템의 작업분할구조(system work breakdown structure)에 따라 ENGEREERING LEVEL, ENGAGEMENT LEVEL, MISSION/BATTLE LEVEL THEATER/CAMPAIGN LEVEL 다음의[그림 16]과 같이 표현한다. 또한, 이러한 M&S 계층구조의 특성을 정리하면 다음의[표 7]와 같다.(NPS 2009)



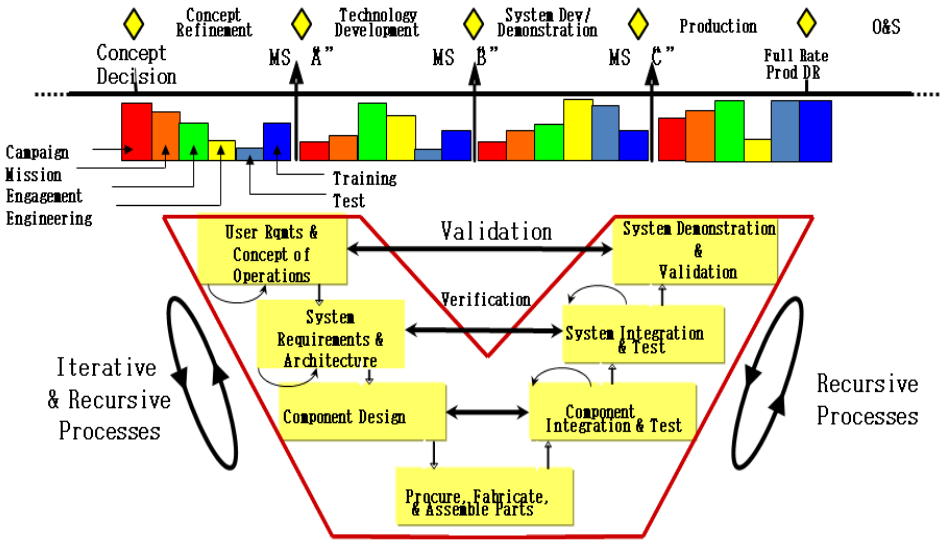
[Figure 16] M&S Hierarchy (DSMC 1994, Douglas 1999, NPS 2009)

[Table 7] Attributes and Uses of M&S(DSMC, 1994)

구분	Engineering model	Engagement model	Mission/Battle model	Theater/Campaign model
세력 (Force)	단일시스템, 하부시스템, 구성품	우군과 적군의 일대일	다중 플랫폼 다중 임무수행 세력	합동군
시간	수개월~초단위이하	수 분 ~ 수 초	수 시간 ~ 수 분	수 주 ~ 수 일
결과물	MOP (예,사정거리)	시스템효과도 (예,생존성)	임무효과 (예, 교전확률)	Campaign Outcome (예, 제공권 확보)
사용 용도	설계 하부시스템 성능/Trade-off 세부요구조건 비용 평가 지원	요구조건 시스템 효과, 시스템 Trade-off	배치 요구조건, 무기체계 통합 상호운용성 전술운용 개념	전술 요구조건 전투 참모 훈련 유지보수 문제

2.4.3 M&S와 SE적용

미국의 경우, 국방 획득에 있어서 SE 및 M&S는 동시에 적용되어, 개발하고자 하는 시스템의 수명주기 동안에 국방 획득 시스템 및 전체 구성 시스템(Systems of Systems)을 정의하고, 개발하며, 시험하고, 제작/건조하며, 운용하고 유지하는 것을 돕는다. [그림 17]은 국방 획득시스템에서 SE와 M&S가 어떻게 적용되고 있는지에 대한 개념을 보여주고 있는데, M&S는 수명주기 동안에 각 단계별로 계층구조에 따라 획득 활동을 지원하게 된다.



[Figure 17] SE and M&S (Dipetto, 2007)

[그림 17]에서 보는 바와 같이 M&S에 대한 획득 단계별 실행 비중은 획득 초기단계에는 주로 초기 요구조건인 상위레벨의 임무와 능력을 정의하여야 하므로 Campaign, Mission, Engagement Level에서 M&S가 중심이 되며, 설계단계에서는 실제 설계 행위가 일어나므로 Engagement, Engineering Level에서의 M&S가 중심이 된다. 그리고 생산단계에 접어

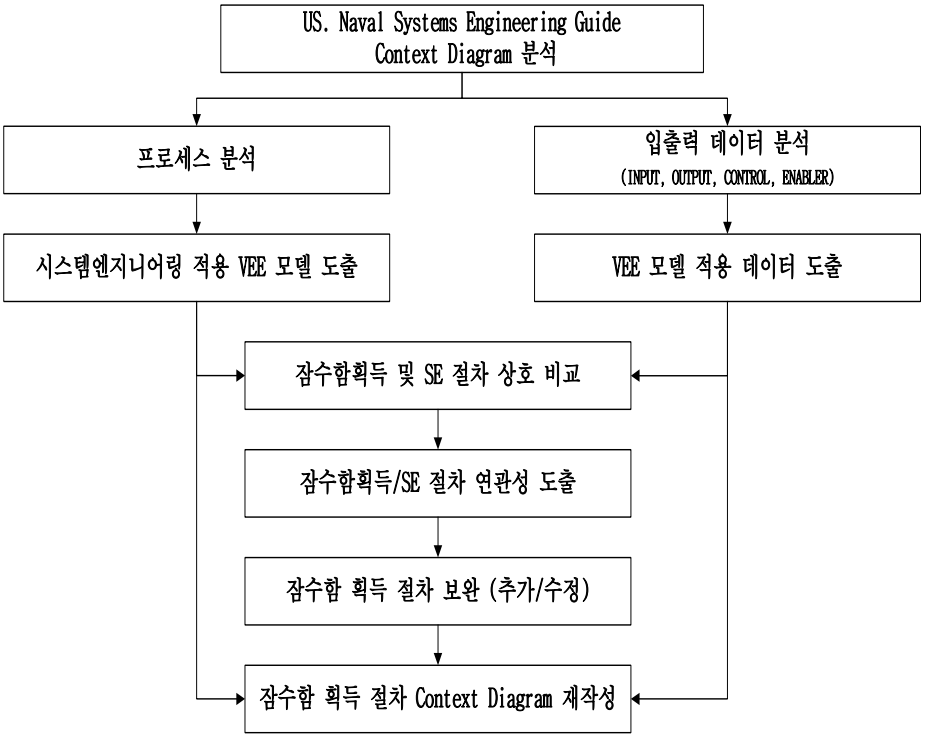
들면 검증 및 확인을 위해서 다시 상위계층 M&S가 중심이 된다. 아울러 SE 적용의 경우에도 전체 획득단계에 대해 Vee Model에 의한 획득을 동시에 지원하고 있음을 보여주고 있다.(Dipetto, 2007)

주요 관심 대상인 M&S 계층구조(Hierarchy)의 Engineering Level은 수명주기 시간 영역에서, 초기 기획단계에서 상대적으로 적은 비중을 차지하고 있지만 시스템 즉 잠수함 설계단계로 갈수록 점차로 큰 비중을 차지하게 되고 최종 생산 및 건조 단계에서는 다시 비중이 감소한다. 아울러, 전체적인 획득 단계는 SE 적용 절차와 동일하게 진행되며 M&S 계층구조의 Engineering Level이 가장 큰 비중을 보여주고 있는 곳이 설계단계이다.(정연환 2010)

2.5 SE와 M&S를 적용한 통합 프레임워크

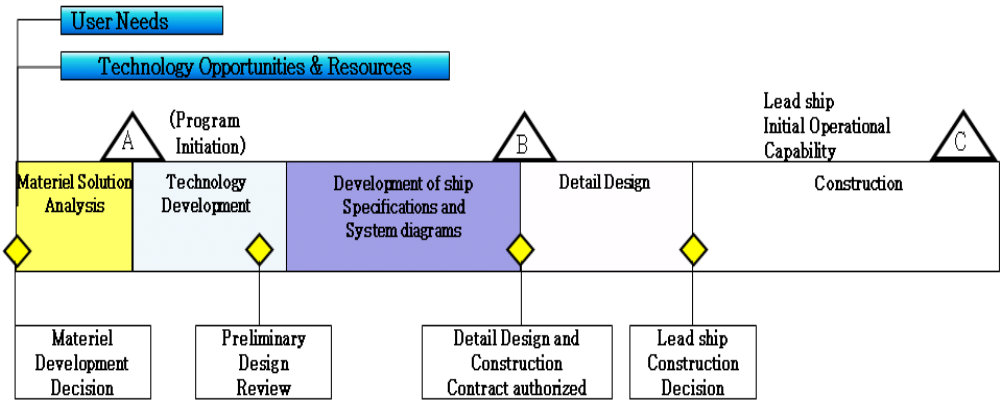
2.5.1 SE 적용 사례 분석

정연환(2010)은 잠수함 시뮬레이션 기반획득을 위한 시스템엔지니어링과 M&S 통합 프레임워크에서 잠수함 획득 프로세스에 시스템엔지니어링(SE) 프로세스를 적용하기 위해서 사례 조사를 실시하였으나, 일반 무기체계 획득프로세스와 다른 잠수함 또는 함정 획득프로세스에 직접 적용된 자료는 발견할 수 없었다. 따라서 [그림 18]과 같이 유사 사례로서 미 해군에서 승인한 일반 무기체계 획득에 적용한 사례를 활용하여 SE 프로세스를 잠수함 획득 프로세스에 적용하였다.



[Figure 18] Development Process for SE application

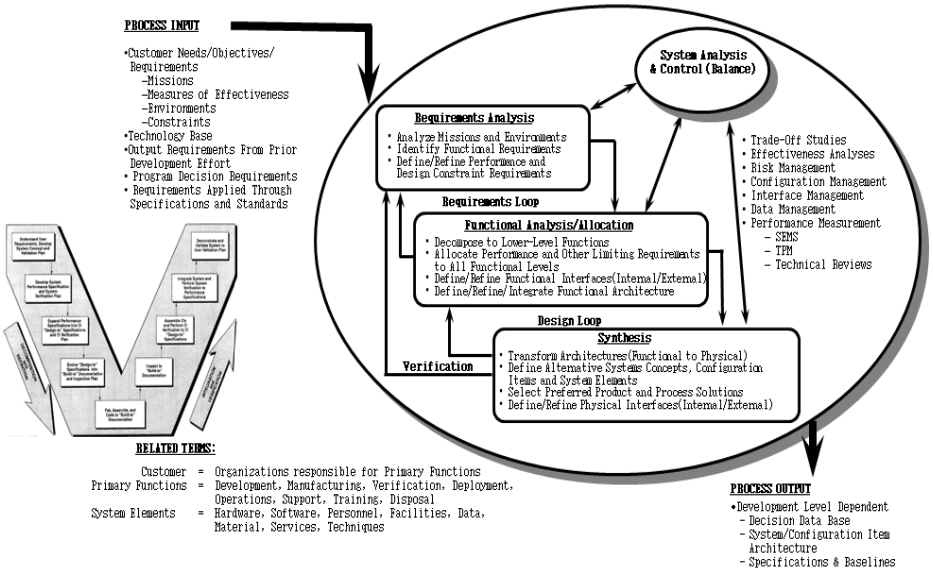
우선, 미 해군의 SE 기반 무기체계 획득 프로세스를 기술하고 있는 'Naval Systems Engineering Guide'(2004)에 대해 IDEF0 프로세스 분석 방법을 활용하여 Context Diagram 분석을 실시하였으며, 프로세스에 대한 분석 결과를 토대로 Activity를 포함한 SE 적용 Vee 모델을 도출하였고, 입출력 정보를 분석하여 Vee 모델에 적용되는 입출력 정보들을 도출하였다. 그리고 잠수함 획득 프로세스와 미 해군의 SE 기반 무기체계 획득 프로세스를 상호비교(PAIRWISE) 하여 잠수함 획득 프로세스와 SE 절차간의 연관성을 분석하여, 잠수함 획득 프로세스에 적용될 SE 프로세스를 도출하였다. 함정/잠수함 획득에 적용되는 아래 [그림 19]와 같은 획득프레임워크를 기준으로(GAO 2009) 잠수함 획득 프로세스에 시스템 엔지니어링(SE) 개념을 적용하기 위해서 잠수함 획득 프로세스에 적용할 수 있는 SE 적용 획득 Vee Model을 도출하였다.



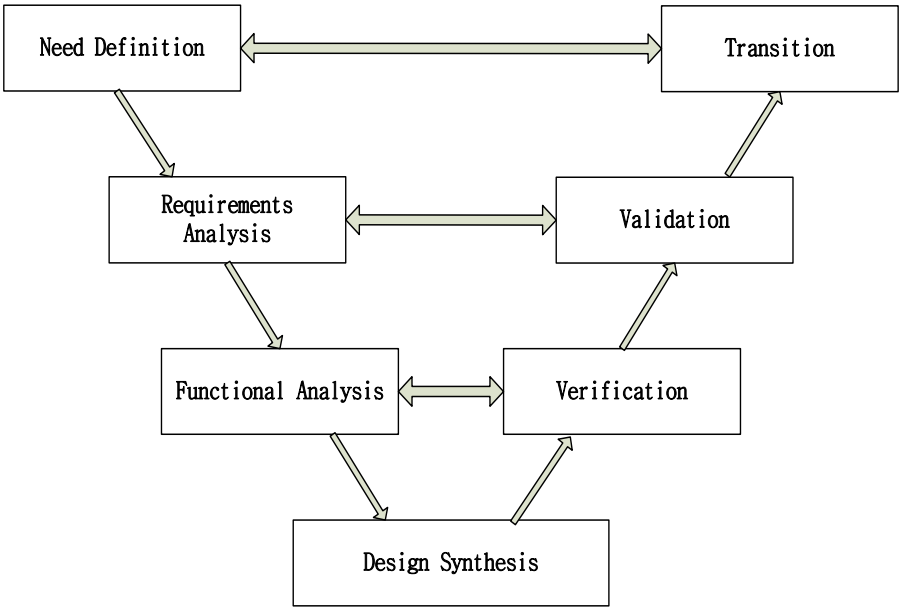
[Figure 19] US Naval Ship Acquisition Framework(GAO, 2009)

2.5.2 SE 기반 잠수함 획득 Vee model

정연환(2010)은 잠수함 획득 프로세스에 시스템엔지니어링(SE) 개념을 적용하기 위해서 SE 적용 잠수함 획득 Vee Model을 그림[20], 그림[21]과 같이 도출하였다.



[Figure 20] Vee model Concept in Submarine Acquisition(정연환, 2010)

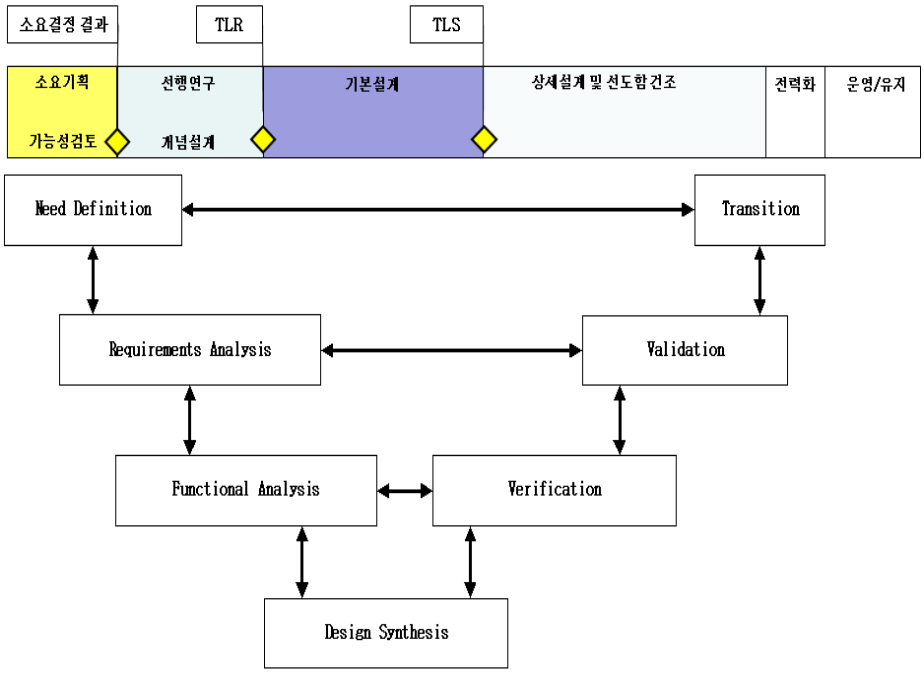


[Figure 21] Vee Model in Submarine Acquisition(정연환, 2010)

Forsberg(1991)가 제안한 'Vee' 형 Model 형태로부터 MIL-STD-499B(1993)에 제시된 SE 프로세스와 NAVAL SYSTEMS ENGINEERING GUIDE (2004)로부터 도출된 Activity를 결합, NEED DEFINITION, REQUIREMENTS ANALYSIS, FUNCTIONAL ANALYSIS, DESIGN SYNTHESIS, VERIFICATION, VALIDATION, TRANSITION으로 정의하였으며 여기에 IEEE 1220의 기본절차를 결합한 위의 [그림 21]과 같이 '시스템엔지니어링 적용 잠수함 획득 Vee Model'을 도출하였다.

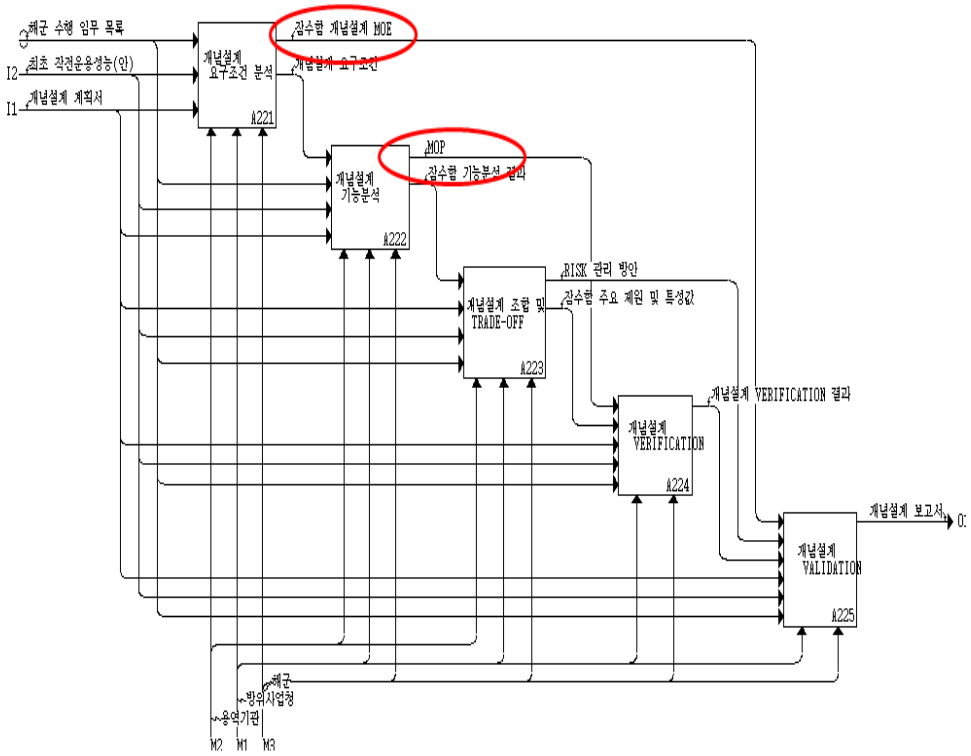
도출된 Vee Model을 활용하여 실제 잠수함의 수명주기 획득 프로세스에 적용하면 아래 [그림 22]와 같다.

전체적 프로세스들은 SE 기본 프로세스의 하나인 설계 루프(Design Loop) 및 요구조건 루프(Requirement Loop) 등을 통해 반복적이며 순환적인 과정을 거치게 되며, 아울러 각 단계별로 내부적인 절차로서 동일한 Vee Model Activity를 실행하게 된다.



[Figure 22] Vee Model Mapping(정연환, 2010)

2.5.3 잠수함 획득 프로세스



[Figure 23] SE-based Submarine Acquisition Process in Concept Design(정연환, 2010)

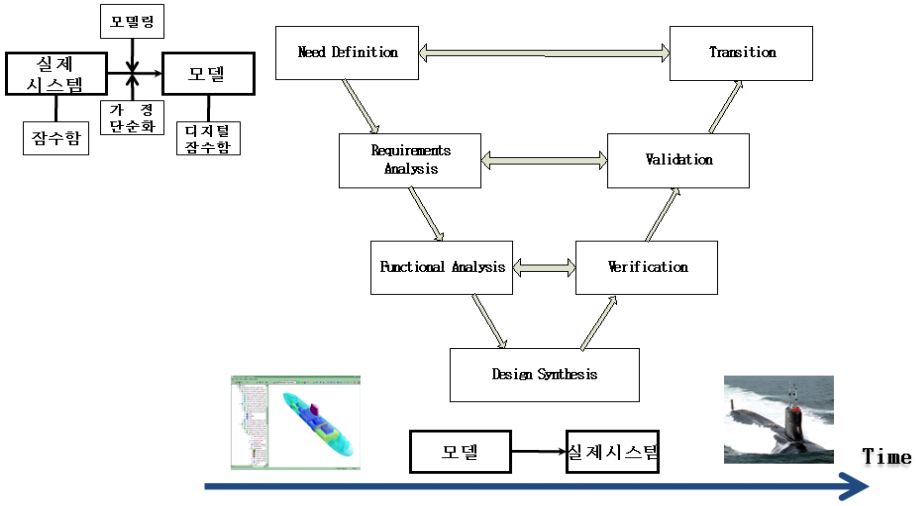
정연환(2010)은 잠수함 획득 프로세스와 SE 프로세스의 연관성을 검토하여 맵핑한 결과를 토대로 당시 실행중인 절차와 보완이 필요한 절차를 종합하여 잠수함 획득 프로세스를 새롭게 정의하였다.

[그림 23]는 잠수함 획득프로세스 중 개념설계 Activity에 대한 사례로서 IDEF0 분석 방법론을 활용하여 새롭게 정의한 잠수함 개념설계 단계의 Context Diagram 이다. 전체 프로세스는 개념설계 요구조건 분석, 기능분석, 설계 조합 및 Trade-off, Verification, Validation 이다. 이와 같은 프로세스는 기본설계 단계에서도 동일하게 적용된다.

2.5.4 SE 기반 M&S 적용 잠수함 설계 프레임워크

정연환(2010)은 서로 다른 Level과 기능을 하는 SE와 M&S를 연결하여 통합하기 위한 수단으로 SWBS(Ship Work Breakdown Structure)를 활용하였다. 또한 잠수함의 모든 획득 과정에서 생성되는 각각의 정보들에 대한 추적성을 관리하기 위해서 잠수함 SWBS를 활용하여 이를 구현하였다. 이는 설계, 건조 및 사업과의 차원에서 가장 많이 사용되고 쉽게 이해가 가능하므로 전체적인 프레임워크의 연관성 및 추적성을 확보할 수 있었다.

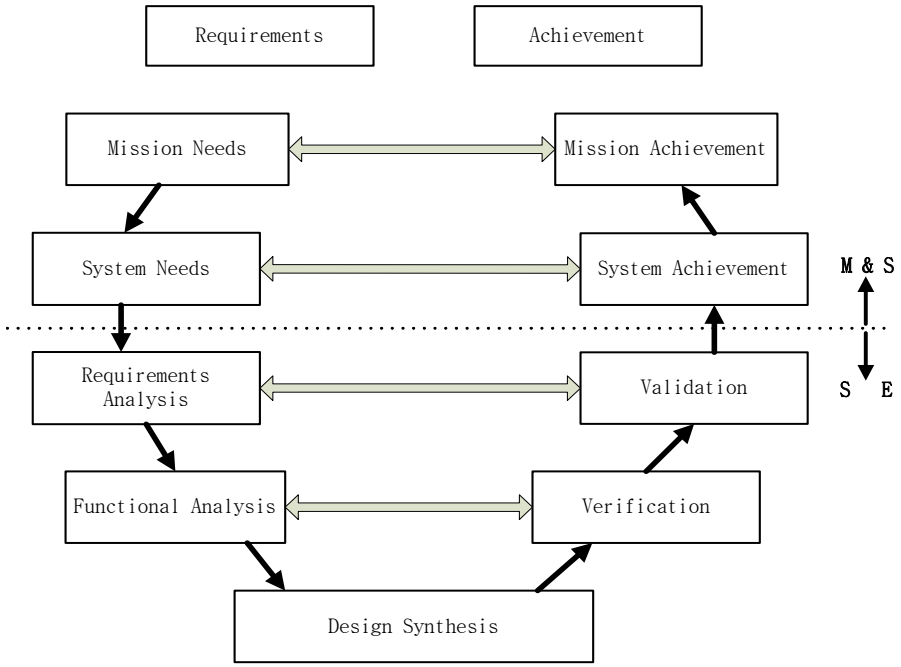
SBA 구현 아키텍처에 의거하여 잠수함의 SBA를 구현하기위한 다음단계는 시스템엔지니어링(SE) 프로세스와 모델링 및 시뮬레이션(M&S)을 통합하는 것이다. 앞서 정립된 잠수함 획득 Vee Model은 [그림 24]에서 보는 바와 같이 M&S 개념을 포함하고 있다.



[Figure 24] Vee Model Concept using SE and M&S(정연환, 2010)

잠수함은 최초의 소요제기에서부터 설계 및 건조 단계에 걸쳐 기본적으로 M&S 개념을 포함하고 있다. 또한 이러한 M&S 개념은 앞서 기술한

M&S 계층구조의 최하위 레벨인 ENGINEERING LEVEL에 해당하는 것이며, 계층구조의 상위레벨로부터의 부여받은 임무와 기능들을 하위레벨에서 잠수함을 구성하는 시스템에까지 반영되는 개념이라 할 수 있다.
SE와 M&S를 동시에 적용하기위한 통합 프레임을 만들기 위해서 잠수함을 획득을 위한 SE 관점의 Vee Model과 M&S 개념의 M&S 계층구조를 결합시켰으며, 이것에 대한 전체적인 프레임워크는 [그림 25]와 같다.

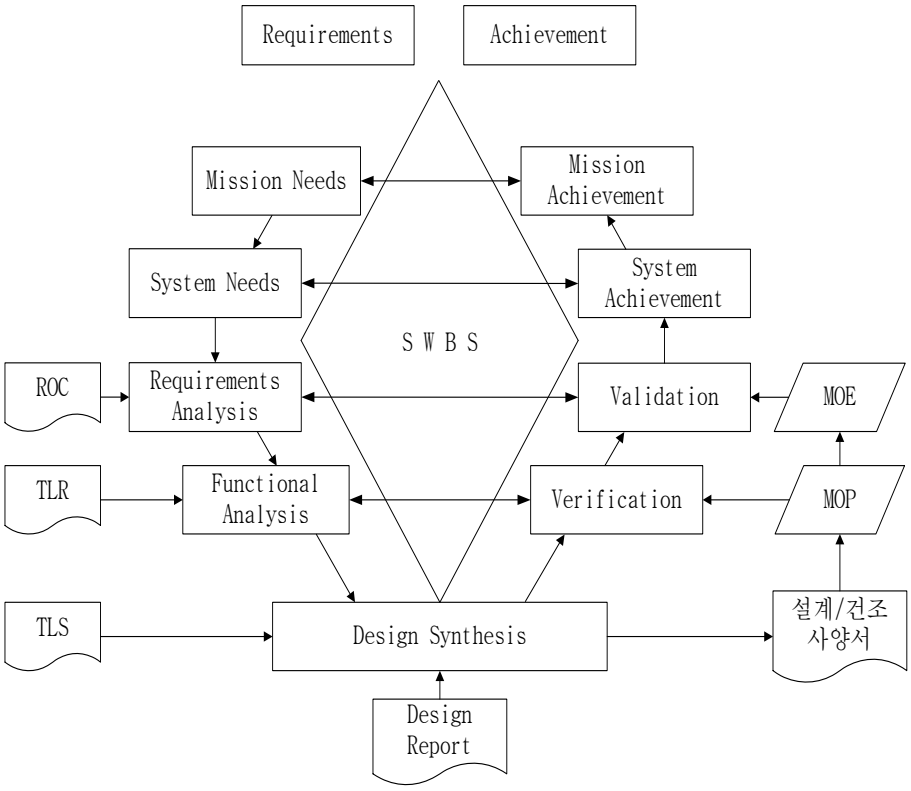


[Figure 25] Framework using SE and M&S(정연환, 2010)

작성된 프레임워크에 대해 실제 적용을 위한 유연성 확보를 위해서는 각각의 잠수함 설계 및 건조 단계에서 발생하는 정보와 절차를 일관되게 연결시킬 수단과 방법이 필요하여 SE 접근법에서 필수적으로 요구하는 추적성 확보 및 관리의 수단으로 작전운용성능(Required Operational Capability, ROC), 함 건조 기본 지침서(Top Level Requirement, TLR), 함 건조 기술 사양서(Top Level Specification, TLS)를 활용하였다.

또한 검증(Verification) 및 확인(Validation) 과정에서 평가 기준은 MOE(Measure of Effectiveness) 및 MOP(Measure of Performance)로 세부적인 정보는 실제 함정 설계 시 정의할 수 있다.

이상과 같은 개념을 통해 제안하는 SE 기반의 M&S 적용 잠수함의 설계 프레임워크는 [그림 26]과 같다.



[Figure 26] Acquisition Framework using SE and M&S (정연환, 2010)

2.6 M&S와 SE을 결합한 통합 프레임워크의 제한점

M&S와 SE을 결합한 통합프레임워크는 SE를 기반으로 모델링 및 시뮬레이션(M&S) 도구를 국방 획득 분야에 적용한 시뮬레이션기반 획득(SBA) 개념을 잠수함 획득에 적용한 것으로써 의미를 갖지만, 기존의 통합 프레임 분석결과 다음과 같은 제한점을 가지고 있었다.

첫째, 획득업무의 주요 요소인 비용 및 일정에 관한 적용이 부족했다. 이는 EVMS를 적용하지 못해서 업무중복 및 오류 가능성 사전방지, 총 사업비 증가 리스크에 대한 사전 경고와 문제점 조기발견을 할 수 없었다.

둘째, 업무과정에서 기술 성능관리 및 즉시적 모니터링이 곤란하였다. 이는 성과관리에 대한 파악이 어렵고 객관적인 기준을 통해 성과측정 관련된 분쟁을 사전에 방지할 수 없으며, 주요 성능에 대한 성능 충족도 달성 추이 파악도 힘들었다.

셋째, 추가 성능요구사항을 반영 시, 단기간에 의사결정 지원 시스템의 역할이 부족하며, 사업관리 의사소통력 향상에도 미흡하였다. 이에 따라 합리적인 의사결정을 위한 적절한 기초자료의 비정기적 제시, 잔여 업무의 체계적인 관리기능 강화가 필요하였다.

넷째, 잠수함 획득절차 위주로 한정하여 설계 적용을 위한 확장이 미흡했으며, 성능관리 및 정보가 환류가 되는 구조를 제시하지 못하였다.

이러한 기존의 통합 프레임워크 제한점을 분석한 결과에 따라 아래와 같이 이를 보완할 필요가 대두 되었다.

첫째, 획득업무에 있어서 성능, 비용, 일정에 관한 주요 목표를 설정하고 이에 대한 지속적인 추적 및 관리가 우선적이다. 그러나 기존의 잠수함 SBA를 위한 SE와 M&S 통합 프레임워크에서는 이에 대한 확인 및 관리 절차가 미흡한 것으로 판단되었다. 선진국의 획득 절차 및 입력요소 분석 과정을 살펴보면 [표 8]과 같이 “Cost Schedule and Performance Constraints(EXT)”는 중요한 요소로 자리 잡고 있다.

[Table 8] Naval system engineering 입력요소(2004)

PROCESS	INPUT
ACQUISITION (2)	Acquisition Strategy (EXT), **Cost Schedule and Performance Constraints (EXT)**
CONTROL (20)	Analyses, Certifications, Changes, Data and Document Management Plan , Functional and physical baselines, Metrics, Policies methods and procedures, Program plans, Proposals, Reports, Request for Information(RFI), Requirements, Schedules, Signed agreements, Specifications, Stakeholder information, Safety, Technical plans, Traceability matrix, Mission Areas (Navy Mission Essential Task List)
REQUIREMENTS DEFINITION (10)	Capability Development Document (CDD) (EXT) DoD/Naval policy and directives (EXT) Engineering Investigation Reports (EXT) Federal/International Laws and regulation (EXT) Initial Capabilities Document (ICD) (EXT) International /National standards (EXT) Specifications from higher level system building blocks (EXT) Sponsor High-Level Operational Concept Graphic architecture (EXT) Team / Project objectives constraints and policy (EXT) Utilization and Readiness Reports (NALCOMIS) (EXT)

따라서 기존의 통합 프레임워크는 획득 업무의 주요 요소인 비용 및 일정에 관한 획득 프로세스 상의 적용이 부족한 측면은, 국방 분야 뿐 아니라 민간 분야에서도 널리 사용되는 EVMS를 적용하여 비용과 일정의 통제 등으로 보완이 필요할 것으로 판단하였다.

둘째, EVMS를 적용하더라도 체계에 대한 주요 성능지수와의 연계성이 미흡하고 주요 기술성능에 대한 관리와 즉시적 모니터링을 하기가 어려웠다. 함정과 같은 대형 무기체계는 체계성능에 대한 주기적인 기술성능에 대한 성과측정과 후속 관리조치가 필요한 실정이다. 그러나 기존의 EVMS는 기술성능에 대한 성과관리가 어렵고 객관적인 기준을 통한 성과측정이 거의 전무한 실정이다. 또한 기술성능에 대한 성과관리에 관한 즉시적인 모니터링이 부족하므로 이에 대한 보완을 할 필요가 있다고 판단되었다.

셋째, 요구성능 충족여부 확인을 위한 기술성능 관리 및 정보에 대한 Feedback 장치가 부족했다. 이는 SE 절차상 요구조건을 충족하지 못한 경우에도 주요 성능에 대한 달성 추이 평가가 없어 문제점에 대한 조기 식별이 어려웠다. 아울러, 하위설계에 대한 수정 필요성에도 둔감할 수 밖에 없는 체계로 설계 설과에 따라 조기 변경할 수 있는 절차적 장치가 필요한 것으로 판단되었다.

넷째, 최종 사업비용 및 일정에 대한 정확한 추정치 제공이 필요하였다.

다섯째, 추가 성능 요구사항 반영 시, 단기간에 의사결정을 지원하는 시스템의 역할이 필요하였다.

따라서 이러한 제한점을 해결하기 위하여 기존의 SE 및 M&S 통합 프레임워크에 비용 및 일정관리를 위한 EVMS에 기술성능지수를 고려한 New EVMS를 적용하여 새로운 통합 프레임워크를 제시하여 설계 과정 및 획득 과정에 적용 할 필요성이 도출되었다.

제 3 장

EVMS와 성능지수

3.1 EVMS

3.1.1 정의 및 목적

성과관리시스템(EVMS : Earned Value Management System)은 1967년 미국 국방부에서 프로젝트의 자원조달 및 예산 집행관리 위해 C/SCSC (Cost/Schedule Control System Criteria)를 개발하면서 생겨난 개념으로 사업의 일정과 비용을 통합하여 계획예산(PV :Planned Value)을 수립하고 이를 바탕으로 투입된 실비용(AC : Actual Cost)과 성과(EV : Earned Value)를 비교 분석함으로서 사업진도율을 측정·관리하는 방법을 말한다.

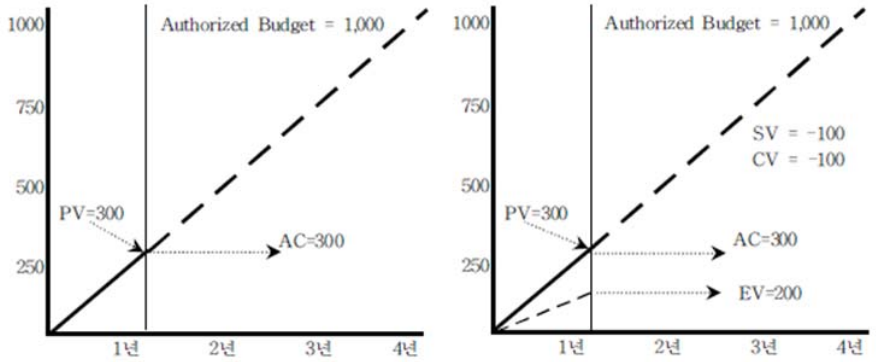
성과(Earned Value)란 어떤 노력을 통해 획득된 가치를 말하는 것으로 사업의 특정시점에서 실제 수행된 작업량 또는 진도율과 유사한 개념이며, 이를 관리하는 기법을 성과관리(Earned Value Management)라 말한다. 미국 국방부(DoD)에서는 EVM을 "정부 측과 계약자 측의 사업관리자 모두에게 그들의 사업에 대한 비용 및 일정계획, 성과, 진도파악 등을 알기 쉽도록 접근할 수 있는 기법"이라고 정의하고 있다.

미국 예산관리처(OBM : Office of Management and Budget)는 "사업비용, 일정 그리고 수행목표의 기준설정과 이에 대비한 성과가치 측정을 위한 성과위주의 관리체계"라 정의하고 있으며, Fleming과 Koppelman은 EVMS를 "상세히 작성된 작업계획에 대한 실제 작업을 계속적으로 추적하

는 것으로서 이를 통하여 사업의 최종비용과 일정을 예측할 수 있도록 하는 관리기법"이라고 정의하고 있다.

이렇듯 각각의 정의에서 EVMS는 성과측정을 통한 사업의 현황을 분석하고 이를 바탕으로 예측 및 관리를 추구하고 있다. EVMS의 개념을 이해하기 위해서는 EV개념 먼저 이해해야한다. EV는 투입한 비용이 창출한 가치를 의미하는데 "투입비용"과 "투입비용이 창출한 가치"는 완전히 별개의 개념이다. 전통적 사업 비용관리에서는 EV의 개념이 사용되지 않았고, 계획요소인 계획예산(PV)과 측정요소인 실비용(AC)의 차이를 비교하여 예산 미달 또는 초과를 판단하였다. 그 결과 관리상 치명적인 오류를 초래할 가능성을 내포하고 있었으며 이러한 방법으로는 사업의 획득단계 및 결과만 제공될 뿐 사업진행과정 확인은 매우 어려웠다.

그러나 EVMS을 적용할 경우 사업관리자나 책임자가 궁금해 하는 "사업계획에 따른 진행상황", "일정지연 등 예정사항 파악", "예산의 적절성" 등에 대한 정보를 사전에 제공하므로 사업관리의 효과성과 투명성 등을 향상 시킬 수 있었다.



[Figure 27] 전통적 관리와 EV관리(이유섭, 2004)

[그림 27]은 전통적 관리모델과 EV개념 관리모델의 차이점을 도시하였다. 그림에서 좌측은 일반적인 관리모델 개념을 소개하였고 우측은 EV기반 관리모델의 개념을 소개하였다. 투입비용의 획득가치를 고려하지 않

는 전통적인 관리모델에서는 1년 경과시점에서 예산에 맞추어 지출이 이루어졌으므로 편차가 없는 것으로 착각할 수 있고, 사업의 진행상태가 이상이 없는 것처럼 보인다. 그러나 투입비용의 획득가치를 고려하는 EV 기반 관리모델에서는 사업의 진행현황에 대한 판단이 달라진다. [그림 27]에서는 성과가 좋지 못한 경우를 보여주고 있는데, 투입비용은 300억원이지만 실제로 획득한 가치는 200억원에 불가한 경우이다. 획득가치에 대한 정보가 제공되어야만 비로소 일정은 지연되고 있고 비용도 과다 투입되고 있다는 사실을 명확히 파악할 수 있다. 즉 EVMS는 비용 및 일정과 관련한 수행실적을 객관적으로 정확하게 판단을 수 있는 기반이 되고, 이를 통해 사업수행과정에서 비용과 일정에 대한 위험요소를 미리 분석·예측하여 문제해결의 실마리를 제공하며, 사업관리 주체의 합리적인 의사결정을 위해 유효한 기법이라 할 수 있다.

이러한 EVMS의 적용 목적은 첫째, 합리적인 의사결정을 위한 자료를 정기적으로 제공하고 둘째, 산업체의 내부 관리체계에 대한 변화를 최소화하고 셋째, 사업비용 및 일정에 관한 관리와 보고를 위한 체계를 단일화시킬 수 있고 넷째, 최종 사업비용에 대한 정확한 추정치를 제공하며 다섯째, 비용, 일정 및 실적가치를 통합 관리함으로써 사업의 목표를 달성하는데 있다. 아울러 Fleming과 Koppelman은 30년 동안 정부 계약에 EVMS를 적용해온 경험을 바탕으로 EVMS 적용에 따른 다양한 기대 효과를 다음과 같이 10가지로 정리했다.

① 단일화된 관리기법의 활용을 통한 객관적인 성과 측정 가능

② 통합된 성과측정 가능으로 프로젝트 성과측정을 위한 중복업무와 그로 인한 오류 가능성을 사전에 방지

③ 축적된 실적자료의 활용을 통한 사업성과 예측 가능

④ 사업비의 효율적이고 지속적인 관리를 통한 사업 관리비 절감이 가능

⑤ 예정일정과 실제 작업일정의 비교 관리 가능으로 실제 작업의 진행을 비교 관리

⑥ 프로젝트 총 사업비의 예측이 가능하며 이는 사업비 증가 리스크에

대한 사전 경고
⑦ 비용·일정성과지수를 함께 고려한 최종사업비의 예측과 통계적 관리 가능
⑧ 잔여 업무들의 체계적인 관리 목표의 수립이 가능
⑨ 계획된 사업비 목표 달성을 위한 체계적인 계획 수립 가능
⑩ 중점관리 항목의 설정과 조치 가능

3.1.2 발전배경

1950년대 초반 미국 국방성은 경제적 인플레이션, 기술적 복잡성의 증대, 일정지연 및 방위산업 부문의 불확실성 증대와 같은 변화된 환경에 직면하여 비용과 계약실적 감시에 대한 개선의 필요성을 느끼고 있었다. 이 시기에 등장한 것이 미국 해군성의 사업평가와 기술검토 및 주공정 기법으로서 1950년대 말과 1960년대 초 해군 Polaris함 탄도미사일 사업에 적용되었다. PERT는 각 활동의 완료 시간에 대한 불확실성을 다루기 위해 개발된 것이며 PERT를 통해 사업기간의 핵심경로를 식별하고, 관리자들은 이 경로상의 활동을 집중 관리함으로써 사업을 가능한 짧은 기간에 완료하는 것이다.

초기의 PERT는 일정만 취급하였으나, 1963년에 비용이 포함된 PERT/Cost가 미국 공군에 의해 개발되었고 미니트맨(Minuteman)미사일 사업에 적용되었다. PERT/Cost의 중요성은 자체가 아니라 그것으로부터 발전된 개념이다. 실적가치 측정 개념은 정부가 1963년에 PERT/Cost에 대한 NASA와 국방성지침을 발표하였을 때, 미국 국방 계약 분야에서 처음으로 소개되었으며, 여기에서 실적가치의 간단한 정의가 제시되었다.

관행처럼 되었던 투입비용에 대한 계획비용을 관련시키는 것 대신으로 PERT/Cost는 자금이 투입된 것으로부터 유용한 성과를 결정하기 위해 투입비용에 의해 성취된 물리적인 작업 가치를 연관시켰다. 또한 당시의 방산업계는 기본적으로 정부로부터 충분한 구현지침 부족과 전산시스템

수준, 운용측면 미흡 등 여러 가지 이유로 인하여 국방성은 1960년대 중반에 PERT/Cost기법을 포기했지만 실적가치 개념은 지속되었으며 국방부는 공식적으로 실적가치 개념을 계속해서 유지하고 있었다.

1963년 미국 공군은 비용, 일정계획 및 통제규격을 설정하여 신규 계약자 관리시스템을 구현함에 있어 보다 더 높은 수준의 특정기준을 충족시켜야 한다고 판단하였다. 1967년 12월 미 국방성은 공군체계 사령부에서 도입한 비용/일정통제규격(C-Spec : Cost/Schedule Control - Spec)을 35개 지침으로 정의하여 회계감시관이 관장하는 재무관리 규정 DoD.I7000.2 (중요 획득사업의 실적측정)를 통해 시행하였다. 3군 합동의 C/SCSC 구현 지침이 1970년도에 발표됨에 따라 3군 모두 C/SCSC를 이용하였으나, 새로운 용어 생성과 복잡한 통제 지향적 운용으로 폭 넓게 수용되지 못하고 엄격한 규칙만을 증대시키는 결과를 초래하였다. 1996년에 육군(Javelin), 해군(A-12), 공군(C-17)사업을 집행함에 있어 비용관리를 부적절하게 수행하여 큰 과실이 나타났다. 국방부와 각 군은 사업을 수행하는 과정에서 발생한 비용문제는 Earned Value 개념을 적절하게 이용하였다면 미리 예견할 수 있던 것으로 인식하여 이 개념을 이용한 사업관리를 강조하게 되었다. 정부의 일방적인 지시에 의해 Earned Value가 산업체에 적용된 이후 산업체가 Earned Value를 요구사항에 직접적으로 반영하도록 요청하여 1996년 12월 미 국방성에 의해 승인되었고, 국가안보산업협회(NSIA : National Security Industrial Association)가 주도한 EVMS의 산업표준화 노력과 획득개혁 노력에 의해 1997년 획득규정 개정시 35개 지침은 32개로 축소되고 C/SCSC에 대한 명칭도 업계에서 제안한 EVMS로 수정되었다. 산업표준화 작업은 1997년 6월 미국규격협회(ANSI : American National Standards Institute)표준이 제정되어 수차의 검토과정을 거쳐 1998년에 ANSI/EIA-748로 확정 채택되었으며, 현재는 미국뿐만 아니라 전 세계적으로 정부와 민간분야 사업관리의 비용 및 일정 통제를 목적으로 사용되고 있다.

3.1.3 구성요소

EVMS기법을 구성하는 요소는 프로젝트 성과측정의 기준설정을 위한 계획요소, 성과측정 및 경영분석을 위한 측정요소, 분석요소로 구분할 수 있으며 그 주요 내용은 [표 9]과 같다.

[Table 9] EVMS 구성요소

용 어		원 어	약 어	수 식
계획요소	작업분류구조	Work Breakdown Structure	WBS	
	조직분류구조	Organization Breakdown Structure	OBS	
	통제계정	Control Account	CA	
	성과측정기준선	Performance Measurement Baseline	PMB	
측정요소	계획가치	Planned Value	PV	
	실적가치	Earned Value	EV	
	실투입비용	Actual Cost	AC	
분석요소	일정편차	Schedule Variance	SV	EV-PV
	비용편차	Cost Variance	CV	EV-AC
	일정성과지수	Schedule Performance Index	SPI	EV/PV
	비용성과지수	Cost Performance Index	CPI	EV/AC
	잔여사업비 추정액	Estimate To Completion	ETC	(BAC-EV)/CPI
	완료시점예산	Budget At Completion	BAC	∑PV
	최종사업비 추정액	Estimate At Completion	EAC	BAC/CPI
	최종사업비 편차 추정액	Variance At Completion	VAC	BAC-EAC

3.1.3.1 계획요소

EV기법을 적용하여 사업성과 측정을 위한 통일된 측정단위를 계획하는 기반으로 작업분해구조(WBS : Work Breakdown Structure),통제계정(CA : Control Account), 성과측정기준선(PMB : Performance Measurement Baseline) 등의 내용을 포함하고 있다. 작업분해구조(WBS)는 작업범위에 대한 직접적인 표현이며 비용을 관리하고 작업을 승인하는데 있어 해당요소들을 세분화한 것이다. 통제계정(CA)은 WBS상의 특정 계층을 말하며 비용·일정 통합 및 성과측정의 기본단위가 되고 사업의 규모, 난이도 등 특성에 따라 상세 정도가 결정된다. 통제계정은 통상 작업패키지(WP : Work Package)로부터 얻어지는 비용정보에 기초하여 성과측정을 관리하는 수준이다.

프로젝트 진행과정상 가장 기본적인 관리기준이 되는 것이 성과 측정기준선(PMB)으로 성과측정 기준선은 통제계정을 구성하는 항목별 비용을 일정에 따라 배분하여 표기한 누계곡선이다.

3.1.3.2 측정요소

사업이 수행되는 과정에서 주기적으로 사업실적을 측정하는 지표로서 계획예산(PV), 성과(EV), 투입비용(AC) 등으로 구분된다. 계획예산(PV)은 일정에 의해 특정시점까지 완료해야 할 작업에 배분된 예산을 말하며 성과 분석 시 실적치의 비교대상이 되는 계획치를 의미한다. 실적가는 투입된 비용이 획득한 가치, 즉 성과(EV)를 의미하며 특정 시점까지 완료된 작업의 가치를 비용으로 환산한 것이다. 실비용(AC)은 특정 시점까지 실제 완료한 작업에 실제 투입된 비용을 말하며 AC의 추세는 손익 분석 및 추정의 근간이 된다.

3.1.3.3 분석요소

분석요소는 측정요소로부터 측정된 기준 값을 통해 실제 프로젝트 수행과정에서 특정시점의 성과를 파악하고 향후 프로젝트의 일정과 비용에

미칠 영향을 분석하는 지표로 일정편차(SV), 일정성과지수(SPI), 비용편차(CV), 비용성과지수(CPI), 완료시점 예산(BAC), 잔여사업비 추정액(ETC), 최종 사업비추정액(EAC), 최종 사업비편차추정액(VAC) 등으로 구성된다.

일정편차(SV)는 특정 시점에서 계획된 작업에 비해 어느 정도 일정이 진행되었는지를 나타내는 것으로 실적가치(EV)와 일정지연 정도를 편차 형태로 나타낸 것이며 수식으로 나타내면 다음과 같다.

일정편차(SV) = 성과(EV) - 계획예산(PV) ☞ SV>0 : 일정초과 달성, SV<0 : 일정지연

즉, SV<0이면 일정지연, SV>0이면 일정단축, SV=0은 정상일정을 의미한다. 이러한 일정편차가 발생하는 원인은 투입되는 인력, 자재 등 자원의 공급과 계획된 업무를 조기에 수행하게 되는 업무수행 능력에 따라 지연 또는 단축의 편차가 발생한다.

비용편차(CV)는 특정시점에서 실적가치(EV)와 실투입비용(AC)의 차이로서 비용의 초과집행 또는 절감여부를 비용의 형태로 나타낸 것이며 수식으로 나타내면 다음과 같다.

비용편차(CV) = 성과(EV) - 실투입비용(AC) ☞ CV>0 : 비용절감, CV<0 : 비용초과집행

즉, CV<0이면 비용 초과, CV>0이면 비용절감, CV=0은 정상집행을 의미한다. 이러한 비용편차가 발생하는 원인은 업무효율, 작업의 복잡도, 자재비의 변동, 계획 시 누락되었던 업무식별 등 여러 가지가 있다.

일정성과지수(SPI)는 계획된 작업에 대한 성취된 작업의 비율(EV/PV)

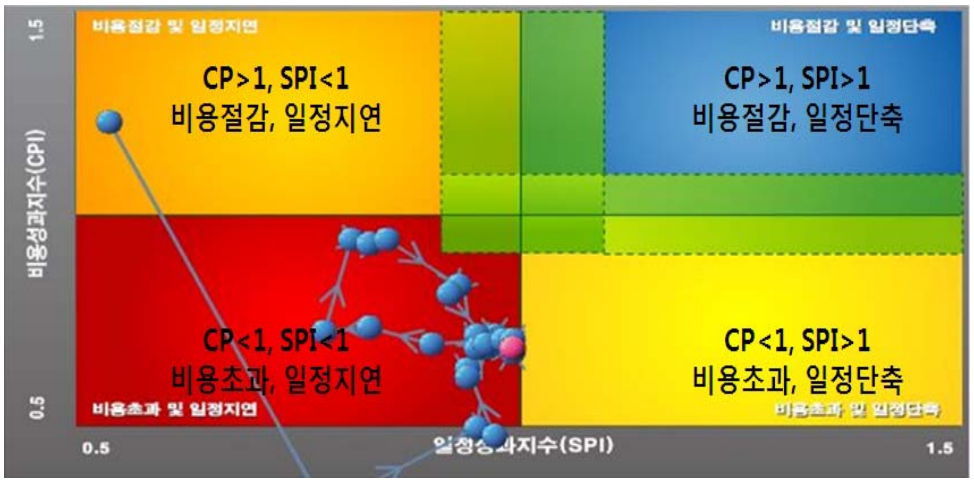
을 나타내며 즉, SPI<1이면 계획 대비 일정 지연을 의미하며 SPI>1이면 계획보다 일정이 단축된 것이며 수식으로 나타내면 다음과 같다.

일정성과지수(SPI) = (EV/PV)×100%
☞ SPI>1 : 일정초과달성, SPI<1 : 일정지연

비용성과지수(CPI)는 실행 작업에 대한 모든 비용의 가치(EV/AC)를 나타내며 수식으로 나타내면 다음과 같다.

비용성과지수(CPI) = (EV/AC)×100%
☞ CPI>1 : 비용절감, CPI<1 : 비용초과집행

즉, CPI<1이면 계획 대비 비용 초과를 의미하며 CPI>1이면 계획보다 비용이 절감된 것을 의미한다. 이러한 비용과 일정에 대한 추세를 분석하여 차트로 표현할 수 있는데 [그림 28]과 같다.



[Figure 28] 추세분석 차트(Bull's Eye 차트)

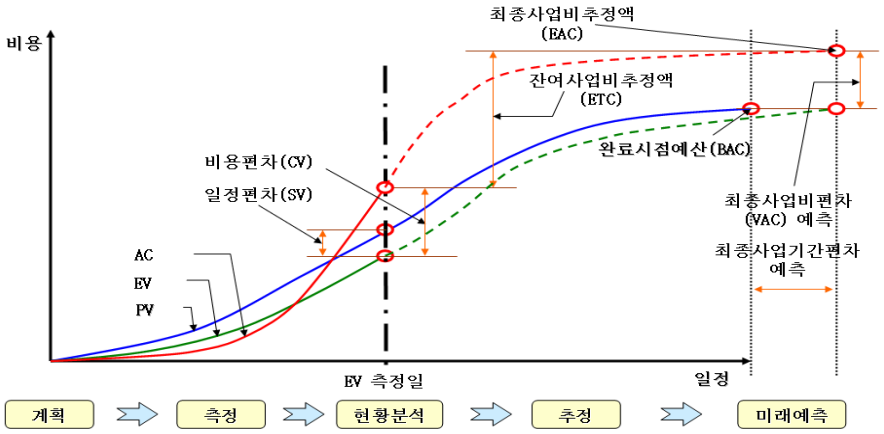
최종사업비 추정액(EAC)은 성과측정 및 분석결과를 바탕으로 사업 착수에서부터 추정 완료일까지 실투입비용에 대한 추정치를 말하며, 수식으로 나타내면 다음과 같다.

최종사업비 추정액(EAC)=AC+잔여사업비
추정액(ETC)=BAC/성과지수(PI)
☞ 잔여사업비 추정액(ETC) = (BAC-PV)/성과지수(PI)

잔여사업비 추정액(ETC)는 사업완료일까지 남아있는 사업비용에 대한 추정액으로 최종사업비 추정액에서 실투입비용(AC)을 차감한 비용으로 산출할 수 있다.

최종사업비 편차(VAC)는 목표사업예산과 최종사업비 추정액의 차이로서 전체사업의 손익을 의미하며 계산식은 아래와 같다.

최종사업비편차(VAC) = 목표사업예산(BAC)-최종사업비 추정액(EAC)
☞ VAC>0 : 목표사업 예산절감, VAC<0 : 목표사업 예산초과



[Figure 29] EVMS EV 측정 요소간의 관계(한국국방연구원, 2006)

이러한 EVM의 요소들을 통하여 비용 집행정도, 일정 진행정도를 각 요소들의 관계들을 통하여 나타낼 수 있으며 이들의 관계를 도식화하면 [그림 29]와 같다.

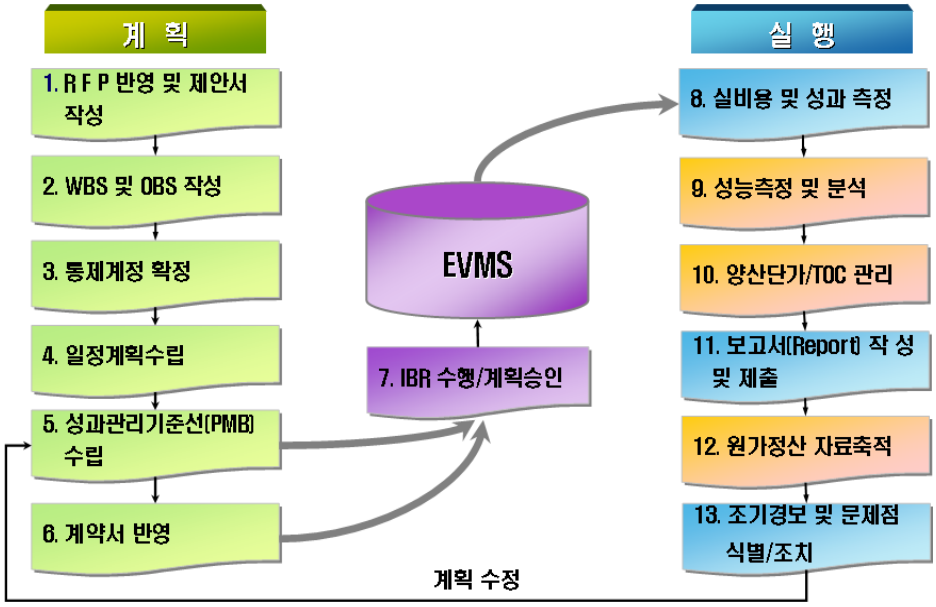
3.1.4 적용절차

미국의 EVMS 표준절차는 [표 10]와 같으며, 국내에서 EVMS 기본절차와 주요 단계별 업무 수행 내용은 살펴보면 [그림 30]과 같다.

[Table 10] 미국의 EVMS 표준절차

항목	세부절차
조직구성	1. 작업분할구조(WBS) 및 통제계정 정의
	2. 조직 및 조직분할구조(OBS) 정의
	3. WBS/OBS에 따른 계약자 내부 시스템 통합
	4. 간접비 관리조직 및 기능 정의
	5. 작업분할구조와 조직분할구조를 통합
일정계획 및 예산편성	6. 작업의 연관관계를 고려한 일정계획 수립
	7. 마일스톤, 수행 목표, 성과측정단위 결정
	8. 통제계정별 성과측정기준선 설정, 유지
	9. 비용요소가 파악된 작업별 예산 편성
	10. 작업 패키지식별 및 측정가능단위로 예산 수립
	11. 통제계정 배정 예산과 내부 편성 예산을 비교, 확인
	12. 관리활동(LOE)의 정의 및 조정
	13. 각 조직 단위의 간접비 책정 및 편성
	14. 예비비(MR)와 미 배정 예산(UB) 설정
	15. 사업목표금액과 예비비+편성예산 비교 확인
회계 고려사항	16. 회계규정에 따라 직접비 기록
	17. 통제계정의 직접비를 작업항목과 연계
	18. 통제계정의 직접비를 조직별로 집계
	19. 소요될 간접 비용 기록
	20. 단위가격 파악
	21. 자원 회계 시스템을 통한 자원 관리

분석 및 보고	22. 월 단위 통제계정상의 비용/일정 편차 파악
	23. 비용/일정 편차의 원인 분석
	24. 간접비 주요 편차 파악
	25. 비용/ 일정 편차에 따른 데이터 수집
	26. 문제 해결을 위한 조치 실행
	27. 사업완료시점의 예산 추정
변경 및 데이터 유지관리	28. 변경사항에 따른 비용/일정의 영향 파악
	29. 기존 예산을 재 계획된 예산으로 조정
	30. 변경 사항에 대한 소급적용 통제
	31. 승인되지 않은 수정/변경 방지
	32. 성과측정기준선 변경 사항 기록 및 문서화



[Figure 30] EVMS 기본절차(프라이전트, 2006)

3.1.4.1 제안요구서 반영 및 제안서 작성

제안요구서(RFP : Request For Proposal)란 발주기관이 프로젝트를 담당할 업체를 최종적으로 선정하기 전에 업체에게 보내는 프로젝트에 관한 요구사항을 체계적으로 정리한 문서이다. 사업관리기관은 사업성과관

리(EVMS)를 사업에 적용시키기 위해서 제안요구서(RFP) 단계부터 사업성과관리(EVMS)에 대한 요구를 명확하게 하고 업체로부터 사업성과관리(EVMS)의 적용에 대한 계획을 검토하여 작성된 제안서를 받아야 한다.

사업관리기관은 제출된 여러 업체들의 제안서를 접수하여 평가한 뒤, 사업자를 선정하여 가격 협상 등의 협상을 하고 계약을 체결한다. 계약 체결 후 사업관리기관과 제안업체는 사업에 착수하게 된다.

3.1.4.2 작업분할구조 및 조직분할구조 작성

사업성과관리(EVMS) 계획단계에서 첫 단계인 작업분할구조(WBS) 작성은 다음과 같다. 작업분할구조(WBS)란 전체 사업의 범위설정 및 업무를 정의하고, 전체 사업의 작업범위를 개개의 활동으로 계층화 시킨 구조를 말하며, 하향식(Top-down) 또는 상향식(Bottom-up) 방식으로 전개한 것으로 순수하게 '일' 만을 정의한다.

작업분할구조(WBS)는 주어진 일들을 보다 명확하고 쉽게 이행할 수 있도록 지원하고, 일정계획 수립 또는 예산분배 및 집행에 적용한다. 작업분할구조(WBS) 작성 시 일반적인 기준은 사업의 작업분할구조 단계를 결정하고, 정해진 단계에 따라 업무를 분할한다.

조직분할구조(OBS)는 작업분할구조(WBS) 작성 후 사업의 계획 및 수행에 참여하는 조직을 계층적으로 작성한 구조이다. 조직분할구조는(OBS)는 사업에 참여하는 모든 부서를 총 망라하여 작성해야 한다. 또한 각 부서별 책임자를 할당해야 한다. 작업분할구조(WBS)에 나타난 업무를 수행하기 위한 조직을 정의하는 단계로서, 작업에 참여하는 모든 부서 또는 팀을 식별하여 하향식(Top-down) 형태의 조직분할구조(OBS)계획을 수립한다.

3.1.4.3 통제계정 확정

통제계정(CA : Control Account)이란 성과관리의 최소관리단위로 구성품이나 계약 등의 관리단위 기준으로 선정 할 수 있다. 통제계정(CA)을

기본으로 성과관리 계획 및 성과관리를 수행한다. 통제계정(CA)은 작업범위를 정의하고, 작업묶음(WP : Work Package)과 활동(Activity)에 대한 일정계획을 수립하여 계획예산을 수립하고, 월별로 성과 및 실비용을 집계한다. 통제계정(CA)의 식별 및 확정을 위해서는 작업분할구조(WBS)와 조직분할구조(OBS)간의 최하위 레벨의 매칭을 통해 책임할당표(RAM : Responsibility Allocation Matrix)를 작성한다. 책임할당표(RAM)란 작업분할구조(WBS)의 최하위 레벨과 조직분할구조(OBS) 최하위 레벨을 매칭 하여 책임을 할당하여 통제계정을 식별할 때 작업분할구조(WBS)와 조직분할구조(OBS)사이의 관계를 나타낸 도표이다. 또한, 월간 사업성과관리(EVMS)회의를 수행할 때 통제계정(CA)단위로 편차분석 보고서 및 대책 보고서를 작성하기 위해 통제계정별로 통제관리자(CAM : Cotrol Account Manager)를 선정한다.

3.1.4.4 일정계획수립

사업성과관리(EVMS)의 최소관리단위인 통제계정(CA)의 하위에는 작업묶음(WP)가 있다. 작업묶음(WP)는 통제계정에 의해 정의된 작업의 분할된 작업범위이고, 각 작업묶음(WP)은 모든 다른 작업묶음(WP)과 명확히 구분해야 한다. 그리고 작업묶음(WP) 하위의 실제로 업무를 수행하는 단위인 활동(Activity)가 있다. 활동은 프로젝트 작업 기간 산정, 작업에 필요한 자원 산정, 작업의 일정계획 수립 및 통제를 위한 기준을 제공한다. 프로젝트의 일정계획 수립은 팀원과 함께 수행해야 하며, 그 과정에서 자원정보, 활동기간 산정치를 변경할 있고 반복, 상세화의 과정을 거쳐 확정된다. 일정계획은 통상적으로 사업 총괄계획, 업무분활구조 수준의 종합 일정계획, 통제계정 수준의 중간 일정계획, 작업묶음 수준의 상세 일정계획 등이 있다.

3.1.4.5 성과관리기준선(PMB) 수립

성과관리기준선(PMB : Performance Measurement Baseline)은 통제계정

(CA)을 구성하는 작업묶음(WP) 및 활동(Activity)에 이미 할당된 예산을 일정에 따라 배분하여 나타나는 계획예산(PV)의 누적곡선으로 성과(EV)의 기준선이 되어 사업의 일정계획 및 비용계획에 대한 총체적인 기준선이다. 또한 성과관리기준선(PMB)은 계획과 실적을 비교하는 성과측정의 관리 기준선이다. 이러한 성과관리기준선(PMB)을 수립하기 위해서는 계획예산(PV) 할당과 목표성과(T/EV)을 먼저 설정하여야 한다.

아울러 사업관리자와 계약자는 성과관리 기준선이 올바르게 수립되었는가를 성과관리 수행 이전에 반드시 확인하고 합의하여야 한다. 또한 각 활동(ACTIVITY)로 업무 특성을 고려하여 가장 적합한 성과측정 방법을 결정하여 목표성과(T/EV)를 설정하여야 한다.

3.1.4.6 통합기준선의 검토(IBR) 수행 및 계획을 승인

통합기준선의 검토(IBR : Integrated Baseline Review)는 통제계정별로 작업범위, 계획예산(PV), 성과측정 방법 등에 대한 사업관리부서의 승인 절차를 밟는다. 성공적인 통합기준선검토(IBR)는 정부(사업관리부서)와 계약자(개발업체)의 초기계획 참여가 필수적이며, IBR의 목적을 달성하기 위하여 최대한 조기에 수행되어야 한다.

통합기준선검토(IBR) 절차에 따라 작업분류구조(WBS)와 조직분류구조(OBS) 호환성 검토, 통제계정(CA)의 적절성을 검토하고 통제계정(CA)에 대한 작업패키지 및 작업기술서(SOW), 일정계획, 계획예산(PV), 성과관리 기준선(PMB), 성과가치(EV) 측정방법 결정의 적절성을 검토한다.

3.1.4.7 성과 측정, 분석

성과 측정, 분석 및 미래를 예측단계는 통제계정별로 성과(EV)를 측정, 분석한 후 향후 사업을 예측 하는 것으로, 성과(EV) 측정은 5, 6단계에서 사업관리부서와 개발업체 간의 상호 합의 및 통합기준선검토(IBR)를 통해 승인된 성과측정 방법을 그대로 적용하여 성과를 주기적으로 측정하는 것이다. 성과측정 시 주의할 점은 단일의 사업에는 다수의 성과측

정 방법들이 사용될 수 있지만, 단일 작업패키지(WP) 또는 단일 활동(activity)에는 반드시 하나의 성과측정 방법이 사용되어야 한다. 또한 어떤 작업패키지에 대한 수행이 개시되면, 기 적용된 성과측정 방법을 바꾸어서는 안 된다.

[Table 11] EVM 산식 및 정의

구분	산식	정의
일정편차	SV (%) = (ΣEV- ΣPV) / ΣPV	특정 시점에서 계획된 작업에 비해 어느 정도 일정이 진행 되었는지를 나타냄
비용 편차	CV (%) = (ΣEV- ΣAC) / ΣEV	특정시점에서 EV와 AC의 차이로서 비용의 초과집행 또는 절감 여부를 비용의 형태로 나타냄
일정 성과지수	SPI = ΣEV /ΣPV	계획된 작업에 대한 성취된 작업의 비율로 나타내며 SPI<1인 경우 계획대비 일정이 지연된 것을 의미하며, SPI>1인 경우 일정이 앞서가고 있는 것을 의미
비용 성과지수	CPI = ΣEV / ΣAC	성취된 작업에 대한 모든 비용의 가치를 나타내며 CPI<1인 경우 계획대비 비용이 초과된 것을 의미하며, CPI>1이면 계획 보다 비용을 절감한 것을 의미
미래 성과지수	TCPI = BAC - ΣEV / BAC - ΣAC	목표로 하는 최종사업비 추정액을 달성하기 위한 성과지수를 비율로 나타낸 것을 의미
최종사업비 추정액	EAC = BAC / ΣCPI	성과측정 및 분석결과를 바탕으로 사업 착수에서부터 추정완료 일까지 투입비용에 대한 추정치를 의미
최종사업비 편차	VAC = BAC - EAC	목표사업예산(BAC)과 최종사업비 추정액(EAC) 간의 차이로서, 전체 사업의 손익을 의미

3.1.4.8 성과보고서 제출, 조기경보 및 문제점 식별/조치, PMB 수정

① 세부 업무수행 내용은 개발업체는 통제계정별로 편차분석보고서를 작성하여 월별로 사업관리부서에 제출한다.

② 조기경보 및 문제점을 식별/조치하는 단계는 통제계정에 대한 편차분석보고서를 사업관리부서에서 검토 분석하여 문제점을 식별하고, 필요시 조기 경보를 발동하는 등 적절한 조치를 취한다.

③ 마지막으로 계획수정을 하는 단계로 세부 업무수행 내용은 필요 시 성과관리기준선(PMB)에 대한 계획을 수정한다.

3.1.5 성과측정기법

[Table 12] 작업유형에 따른 성과측정방법

작업유형	정의	주요 특징	성과측정 방법	비고
이산적 활동 (Discrete Effort)	특정한 제품이나 용역의 완료와 관련된 작업으로 직접 계획되거나 측정 가능	물질적이고 유형의 최종 산출물에 적용	-0/100 -%시작/%완료 -%완료 -마일스톤 -마일스톤+%완료 -단위 완료 기법 -동등 단위 기법	부품 구성품
배분된 활동 (Apportioned Effort)	그 자체로 측정되거나 구분 될 수 없지만, 다른 노력이나 실적에 직접 비례 하여 관련되는 노력	다른 개별 작업에 직접 관련	관련 작업에 비례하여 산출	품질검사
시간비례 활동 (Level of Effort)	통상 인도되는 최종품목이 없는 일반적이고 지원적인 성질의 측정되지 않는 노력	무형의 최종 산출물에 적용 시간중심작업에 적용 일정편차 불필요	시간의 경과에 비례하여 산출	사업관리 계약행정

성과측정 방법은 업무특성, 규모 등에 따라 관련 이해 관계자 간의 상호 협의 하에 결정하여야 하며, 그 방법은 크게 이산형 활동, 배분적 활동과 시간비례 활동으로 구별되어지며 주요특성은 [표 12]와 같이 나타낼 수 있다.

이산적활동은 0-100 기법, %시작/%완료 기법(%Start/%Finished), %완료(%Complete), 가중치 적용 마일스톤 기법(Weighted Milestones), %완료를 적용한 가중치적용 마일스톤 기법(Weighted Milestones with Percent Complete), 단위완료기법(Unit Completed), 동등단위기법(Equivalent Units) 등이 일반적으로 사용되고 있고, 이러한 성과측정 기법들의 많은 변형 및 조합 형태도 가능하다.

배분된 노력(Apportioned Effort)에 대한 성과측정 기법은 생산된 제품에 대한 품질검사 작업을 예를 들어 설명하면, 품질검사는 그 자체로는 작업패키지로 구분되지만 성과를 직접적으로 측정할 수가 없기 때문에 과거 경험자료 등으로부터 추정된 표준화 비율을 적용시켜 간접적으로 성과(EV)를 측정할 수 있다. 배분된 노력은 특정 최종 제품(Item) 혹은 명확한 작업(Work)에 직접 연관이 되기 때문에 다음에 소개할 시간비례활동(Level of Effort)과는 완전히 다른 개념임을 유의해야 한다. 또한, 일정편차(SV)에서는 큰 오차를 발생시키지 않으나, 비용편차(CV)에서는 현격한 오차를 유발할 수 있는 단점도 있다.

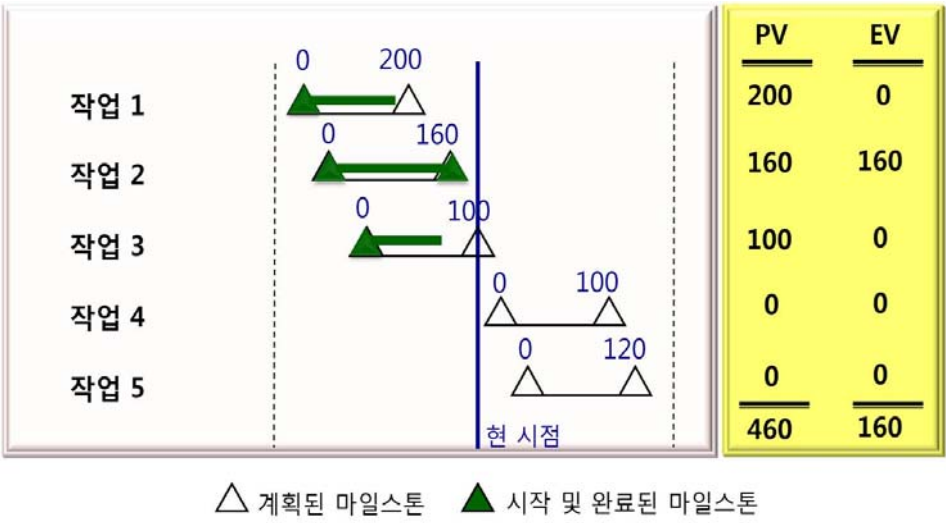
시간비례활동(LOE : Level of Effort)에 대한 성과측정 기법은 매우 주관적인 성과측정 방식이다. 이 기법은 다른 어떠한 성과측정 기법들보다 바람직한 성과측정 방법이 아니기 때문에 최소한의 투입된 노력(LOE)만을 식별하여 적용해야만 한다. 미 국방성 지침서에도 사업관리자(PM)들에게 대부분 LOE 작업으로 구성된 사업에 대해서는 EVMS 지침들을 준수할 것을 강요하지 않고 있다. 이 기법은 최종제품(Item) 혹은 이산적 작업(Work)에 연관이 없는 일반적이고 지원적인 성격을 지닌 작업, 예를 들면 사업관리, 계약행정 작업 등에 한해 제한적으로 적용되어야 한다. LOE 기법은 시간의 경과에 따라 실제 작업진행 상태와는 무관하게

계획예산(PV) 만큼 자동적으로 성과(EV) 달성을 인정해 주기 때문에 해당 보고주기에서 PV와 EV가 같아 일정편차는 항상 “0”이 된다.

3.1.5.1 0/100 성과측정 기법

이 기법은 어떤 특정시점에서 성과(EV)를 측정하고자 할 때 해당 작업이 완료된 경우에만 100%의 성과를 인정해주고 작업이 진행 중일 경우에는 성과를 전혀 인정해 주지 않는 방식이다.

따라서 매우 보수적인 성과측정 기법이며 항상 성과(EV)가 저 평가되는 단점이 있다. 이러한 이유 때문에 단일 회계연도에 시작 및 완료될 작업의 성과측정에만 제한적으로 사용해야하고, 작업이 완료될 때까지 실제 작업 진행상태 보다 항상 저 평가되어지기 때문에 효과적인 성과측정 기법은 아니다.

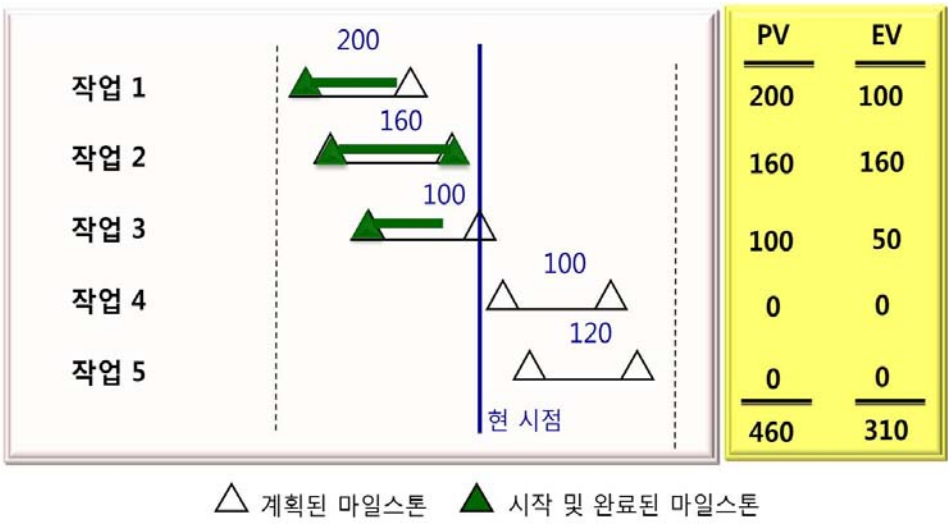


[Figure 31] 31 0/100 성과측정기법 예시(정호수, 2008)

3.1.5.2 %시작/%완료(50/50, 25/75) 성과측정 기법

%시작/%완료 EV 기법은 50/50, 27/75, 80/20 등과 같이 시작 및 완료 마일스톤에 비율(%)을 할당함으로서 작업의 시작 및 완료시 할당된 비율 만큼 성과(EV)를 인정해 주는 방식이다. 이 기법도 비율 할당량에 따라 실제 작업 진행상태보다 성과(EV)가 저 평가되거나 혹은 고 평가되는 단점이 있다. 이러한 이유 때문에 이 기법 역시 2개의 연속된 보고주기 내에서 (예 : 보고주기가 1개월 단위이면 2개월 내에서) 작업이 시작되고 완료가 가능할 경우에 한해 제한적으로 사용해야 한다.

그리고 성과를 부풀리기 위해 고의적으로 작업 수행을 계획된 일정보다 앞서 개시할 수도 있고, 작업 특성과는 무관하게 비현실적으로 시작 마일스톤에 높은 비율을 할당할 수 있으니 이 기법도 추천할 만한 성과측정 기법은 아니다. 하지만, 성과측정을 위해 특별한 시간투자 없이 자동 계산이 가능하고 사용자들이 이해하기가 쉽다는 장점이 있다.

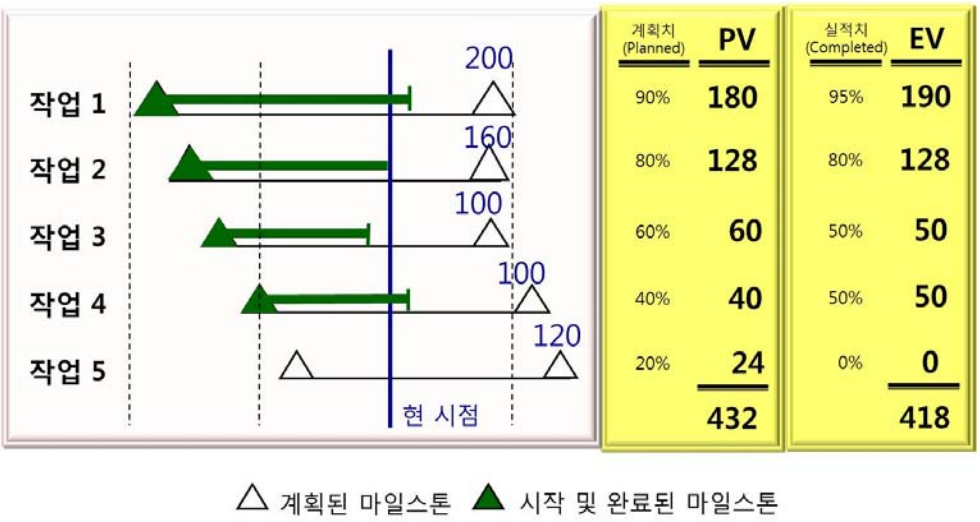


[Figure 32] %시작/%완료 성과측정기법 예시(정호수, 2008)

3.1.5.3 %완료 성과측정 기법

%완료 성과측정 기법은 이산적 작업들에 대한 주관적으로 측정하는 방식으로 "관리자 추정 기법"이라고도 불린다. 이 기법은 장기간에 걸쳐 수행하는 작업들의 성과측정에 주로 사용될 수 있고, 통제계정관리자(CAM) 또는 해당 작업관리자들이 최초 계획예산(PV) 대비 완료된 작업의 성과를 주관적인 비율로 추정하는 방식이다.

하지만, 사업관리자(PM)들은 대부분 낙관적인 사고를 가지고 있기 때문에 이러한 주관적인 성과측정 기법은 객관적인 성과측정 기법에 비해 다소 바람직하지 않지만 때론 %완료 성과측정 기법의 적용이 필요한 경우도 있다.

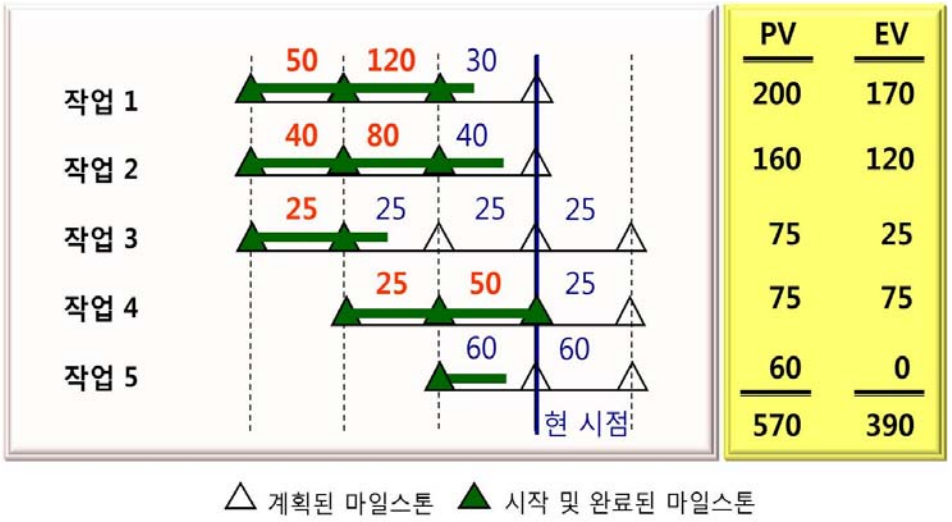


[Figure 33] %완료 성과측정기법 예시(정호수, 2008)

3.1.5.4 가중치 적용 마일스톤 성과측정 기법

가중치 적용 마일스톤(Weighted Milestone) 성과측정 기법은 장기간의 이산적 작업들이 대한 성과를 객관적으로 측정할 수 있는 가장 좋은 방법이다. 이 기법은 각각의 잠정적 보고주기(예 : 매월) 마다 1개씩의

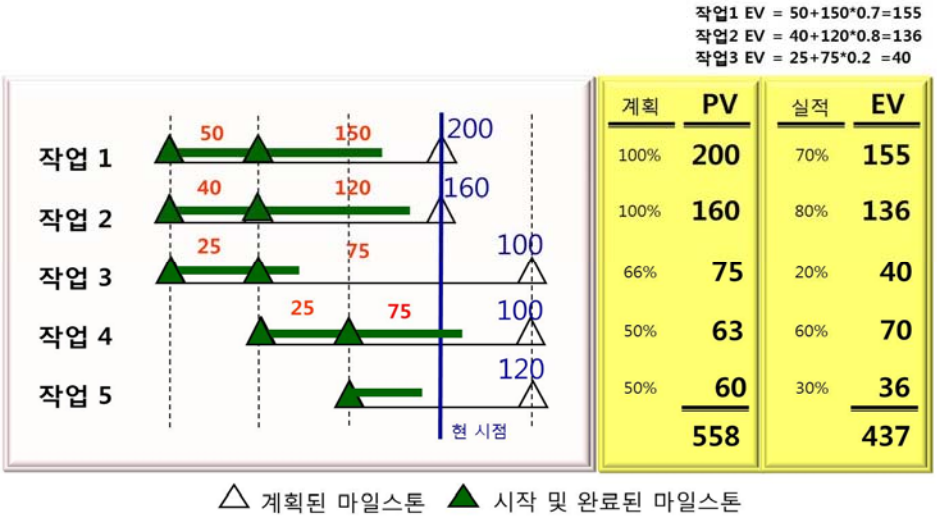
마일스톤(Milestone)을 설정한 후, 마일스톤을 달성하기 위해 투입되는 모든 자원(Resource) 요소들을 고려하여 예산을 마일스톤별로 적절히 분배하고 성과측정 시 해당 작업이 마일스톤을 달성할 경우에만 계획예산(PV)만큼 성과(EV)를 인정해 준다.



[Figure 34] 가중치 적용 마일스톤 성과측정기법 (정호수, 2008)

3.1.5.5 가중치 적용 마일스톤 및 %완료 성과측정 기법

가중치 적용 마일스톤 기법(Weighted Milestones) 및 %완료(Complete) 성과측정 기법은 가중치적용 마일스톤 기법(Weighted Milestones) 기법과 %완료(Complete) 기법을 절충한 방식으로 주로 장기간의 작업들에 대한 성과측정에 적합하다.



[Figure 35] 가중치 적용 마일스톤 및 %완료 EV 기법 (정호수, 2008)

통제계정관리자(CAM) 또는 해당 작업 관리자의 주관적인 요소가 고려되기 때문에 가중치적용 마일스톤(Weighted Milestone) 기법 보다는 덜 실질적이다. 이 기법은 가중치 적용 마일스톤(Weighted Milestone) 기법과 같이 보고주기들 마다 마일스톤을 설정한 후, 예산을 마일스톤별로 적절히 분배하는 방식은 같지만 성과측정 시 마일스톤과 마일스톤 사이에 보고주기가 발생할 경우에 한해 해당 기간의 작업에 대해서는 성과측정담당자의 주관적인 추정치가 고려되는 %완료 기법으로 성과를 측정한다. 따라서 이 기법은 마일스톤이 많으면 많을수록 좋다.

3.1.5.6 단위 완료 성과측정 기법

단위 완료(Units Completed) 성과측정 기법은 연속적인 흐름공정 및 크게 복잡하지 않은 시스템의 대량생산에 주로 적용될 수 있는 간단하면서도 객관적인 성과측정 방식이다. 우선 PV를 계획된 단위(Unit)의 양만큼 설정하고 성과(EV) 측정을 실제 생산된 실제 단위의 양만큼 인정을 해주는 기법이다.

3.1.5.7 동등 단위 성과측정 기법

동등 단위(Equivalent Units) 성과측정 기법은 복잡한 시스템의 제조 공정에서 단일 최종 제품(Item)의 생산이 표준작업의 그룹으로 정의될 경우에 한해 적용 될 수 있는 객관적인 성과측정 방식이다. 이 기법은 최종 제품이 수많은 동일의 예산을 가지는 표준작업으로 이루어진다는 것을 가정하고 있다. 해당 작업들은 계획예산(PV) 및 성과(EV)를 측정할 수 있는데 계획예산(PV)은 보고주기에 계획된 총 표준작업의 양만큼 계산되고, 성과(EV)는 동일한 보고주기에 실제 완료된 실제 총 표준작업의 양만큼 측정할 수가 있다. 때론 EVM 초보자들에게는 잘못 해석할 수 있는 복잡한 성과측정 기법이다

3.2 EVMS 선행연구 고찰

3.2.1 EVMS 국외 연구사례

1996년 EVMS가 미 국방성 지침으로 규정된 이후에는 C/SCSC 관한 연구가 거의 없으며, EVMS 중에도 일정, 기준선, 분석, 보고서 등과 관련된 연구는 미미하였고, EVMS 분야 중에서 성과, 적용, 최종사업비 추정 등과 같은 분야에서는 연구가 활발하게 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 주요 논문의 연구 성과는 다음과 같다.

Christensen, S.(1993)는 국방 획득계약의 초과비용에 관해 연구하였는데, 500개 이상의 사업을 검토한 결과, 일단 사업이 15% 진행된 이후에는 초과된 비용을 회복할 확률이 적어진다는 것을 확인했다. 또한 사업의 진행이 10%에서 70% 사이에서 비용상승이 주로 발생하였고, 사업이 70% 진행되었을 때의 비용상승 정도가 사업종료시점의 비용상승으로 귀결된다는 것을 확인하였다. 그리고 이 결과는 무기체계의 종류, 사업을 관리하는 부서에 관계없이 발생한다고 결론을 내렸다.

Christensen, S.(1995)는 최종사업비추정액(EAC)을 계산하는 방법에 관해 연구하였는데, 그 배경은 최종사업비 추정액 산출과정에 대해 논란이 많다가 결국 사업을 중단했던 해군의 A-12사업 때문에 실시하게 되었다고 하였다. 사업분석가 및 사업관리자는 적정한 최종사업비추정액(EAC)과 그 범위를 결정해야하며, 기존의 25가지 방법에 대해 살펴보았고, 회귀분석에 근간을 둔 방법에 대한 연구의 필요성을 제시하였다.

Jim, S.(1997)는 Project의 실질적인 차세대 관리수단으로써의 성과(EV)에 관해 연구하였는데, 성과관리시스템(EVMS)은 사업비용, 일정과 성과의 현황을 파악하고, 분석하며, 보고를 하는데 사용되는 가장 효율적이고 중요한 툴(tool) 중의 하나라고 하였다. 그러나 불행하게도 이러한 효과들은 성과관리시스템을 민수사업에 적용하기에는 너무 복잡하고 비용이 많이 필요하다고 인식되어 간과되고 있다고 하였다. 사업관리자는 일반적으로 주어진 사업일정 내에 얻어질 수 있는 사업 결과에 대해서만 주안점을 둔다고 하였다. 그러나 성과관리시스템의 적용으로 얻는 효과는 사업추진 실시간에 더 좋은 사업성과를 내기 위해 사업 개선을 촉구함으로써 비용을 절감하고 일정을 단축할 수 있는 것이라고 하였다.

Christensen, S.(1999)는 성과가치 비용관리보고서(Cost Management Report)에 관해 연구하였는데, 성과가치 비용관리보고서는 사업관리자에게 가치 있는 관리도구라고 하였다. 성과가치로부터 작성된 비용관리보고서는 사업관리자에게 비용 및 일정 현황에 대한 가치 있는 통찰력을 제공할 수 있다고 하였다. 또한 비용관리보고서가 적절하게 활용되면 편차 및 성과 지수들은 사업관리자에게 미래에 발생할 문제에 대해 집중하도록 도와준다고 하였다. 비용관리보고서는 재무보고서가 아니라 사업관리자를 위한 도구라고 하였다.

Christensen, S.(2002)는 비용성과지수(CPI)를 활용한 최종사업비 추정에 관한 연구를 하였다. 최종사업비추정액(EAC)을 추정하는 데 있어서 1991년 이후 종료된 52개 국방사업을 분석한 결과, 비용성과지수(CPI)를 사용할 경우 그 추정결과가 사업의 초기 및 중간에서 최소소요예산으

로 판단될 수 있는 반면에 사업의 종료시점에서는 적용되기 어렵다는 것을 증명해 보였다.

Frank, T.(2003)는 성과(EV)를 활용한 사업관리 방법 및 확장성을 연구하면서, EVM 사업관리방법은 업무범위 관리, 비용 관리, 그리고 시간관리 등 사업관리의 세 가지 중요한 요소를 통합하는 것이라고 하였다. 또한 EVM 사업관리방법은 실투입비용 및 업무범위 달성에 대한 지속적인 추적이 필요하고, 성과지수(Performance Indices)와 함께 비용 및 일정 편차의 계산이 가능해야 한다고 하였다. 그리고 사업종료시의 비용과 일정 예측이 가능해야하고, 올바른 조치를 위한 가능한 대책을 제시해야 한다고 하였다. 그는 성과(EV)의 주요 영향에 대해 설명하고, 사업의 성과(EV) 경향을 평가할 수 있는 유용한 차트들을 제시하였다. 이러한 차트들을 통해 사업관리에서 EVM의 효과적인 적용을 강화하기 위한 논리적인 확장성과 간소화를 제공하였다.

Christensen, S.(2004)는 누적 일정비용지수(SCI)를 이용하여 계산된 최종사업비추정액(EAC)을 국방사업의 잠재적인 하한비용으로서 사용하는 방법에 대하여 연구하였다. 연구결과 평균 누적 일정비용지수를 이용한 최종사업비추정액(EAC)은 사업초기 및 중간시점의 평균 최종사업비추정에 비해 매우 작은 것을 보여줬다. 따라서 누적 일정비용지수를 이용할 경우 더 현실적인 최종 사업비추정액(EAC)을 계산할 수 있다고 하였다.

Henderson, K.(2005)은 성과관리(Earned Value Management)의 잇점에 관한 연구에서 사업관리 틀인 “성과관리(EVM)는 ”사업성과 척도”라고 정의하였다. 그리고 성과관리(EVM)는 사업성과에 대한 “조기경보”를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 적기에 정보를 제공하여 적절한 관리적 조치를 취할 수 있도록 해 준다고 하였다. 다시 말해 성과관리(EVM)를 사용하면 사업 위험을 적극적으로 감시하고 관리할 수 있다고 설명하였다. 국외 연구논문에 대한 요약 결과는[표 13]과 같다.

[Table 13] 국외논문 요약

저 자	주 요 내 용
David S, Christensen (1995, 2000)	최종사업비 추정액(EAC) 계산방법 사업예비비 반영 필요성
Jim Sumara (1997)	Project의 실질적인 차세대 관리수단으로 성과(EV)에 대한 연구 - EVM 시스템 적용 시 비용절감 및 일정단축 가능
Frank T, Anbari (2003)	성과(EV)를 활용한 사업관리 방법 및 확장성 연구 - 성과지수와 함께 비용 및 일정편차의 계산이 가능해야 함
Henderson, Kym (2005)	성과관리(EVM)의 장점에 관한 연구 - 최종사업비 추정 가능 및 위험관리에 활용

3.2.2 EVMS 국내 연구사례

국내 최초로 EVMS를 도입한 분야는 건설사업 분야이다. 건설기술관리법 시행령 등을 개정하여 2000년 7월 1일부터 500억원 이상의 공공 건설공사를 대상으로 EVMS 기법의 적용을 의무화하고 있지만, 일부 공공기관에서 부분적으로 활용되고 있고 아직까지는 제대로 정착되지 못하고 있는 실정이다.국방 분야에서는 최근 과학적이고 효율적인 사업관리 도구인 EVMS기법을 도입하기 위해 각종 관련 제도를 검토하고, 기반을 구축하기 위한 노력을 하고 있다.

국방대 심만수(2001)는 무기체계 연구개발에 EVMS 적용방안을 연구하여 EVMS에 대한 이론적 고찰과 국내·외 EVMS 추진동향을 분석하였으며, 국내 무기체계 연구개발에 EVMS 적용을 위한 방안을 제도 및 정책 적용측면, 절차 적용측면, 성과측정 방법 및 보고 적용측면, 구현을 위한 업무 흐름 측면 등에 대하여 제시하였다.

공군대학 손해용(2001) 은 무기체계 연구개발에서의 비용 및 일정통제

개선방향에 관해 연구하였으며, 국내 무기체계 연구개발사업의 사업관리 수단으로써 EVMS를 이용한 단계별로 EVMS 적용방향을 제시하고, EVMS 활성화를 위한 기반 구축방안, EVMS 관련 기반기술 개발 활성화 방안 등을 제안하였다.

연세대 김상철(2003)은 성과지수(Earned Value Index)를 활용한 최종 건설비용 추정에 관해 연구하였으며, 현재 구축되어 있는 EVMS를 효율적으로 운영할 수 있는 방안으로 SPI(일정성과지수), CPI(비용성과지수), EAC(최종사업비추정액)의 활용 방안을 제시하고, 제시한 모델의 효용성 및 타당성은 사례연구를 통해 검증하였다.

국방대 김종필(2003)은 무기체계사업 비용·일정 통합관리체계 구현방안을 연구 하였으며, 비용·일정 통합관리체계 적용을 위한 제도적 기반도 미흡한 것으로 판단하였다. 따라서 비용·일정 통합관리 체계를 도입하기 위해서는 정책 및 제도적 측면에서 구체적인 개선방안이 제시되어야 한다고 그 필요성을 제기하였다.

국방대 이봉근(2004)은 한국형 전투기 개발사업의 EVMS 적용방안을 연구 하였으며, 미국의 EVMS 표준절차를 재편성하여 EVMS 적용 절차를 제시하였다. 또한 사업관리자와 업체가의 모두 동일한 사업관리 툴을 사용하여 사업진행 현황 및 추이에 대해 동일한 데이터베이스를 보유함으로써 실시간으로 의사교환을 할 수 있게 EVMS 구축 개념을 제시하였다.

김철환(2008)은 PM 및 EVM을 통한 국방사업관리 과학화 방안에 대한 연구에서 한국적 EVMS 표준안의 제정이 필요하고, SE 기반 하에서 EVMS 와 PM의 추진이 이루어져야 하며 개발이전 기획단계의 SE 및 PM 업무를 강화하여야 한다고 제시하였다.

남용근·최석철(2008)은 국방연구개발 사업에서의 EVM 시스템 수행 개선방안 연구에서 가중치 마일스톤 측정기법 개선, % 완료 측정기법 개선, LOE 기법 적용 개선 등의 성과(EV) 측정방법과 EVMS 와 ERP(전사적 자원관리) 등 체계연동을 통한 실투입비용(AC)의 신뢰성 향상 등 개선방안을 제시하였다. 국내 연구논문에 대한 요약 결과는[표 14]와 같다.

[Table 14] 국내 연구논문 요약(황태호, 2011)

저 자	주 요 내 용
심만수 (2001)	무기체계 연구개발에 EVM 시스템 적용방안 연구 - 규정 및 지침, 안내서, 표준의 제정 등 제도 보완
손해용 (2001)	무기체계 연구개발에서의 비용 및 일정통제 개선방향에 관한 연구 - 단계별로 개략적인 EVM 시스템 적용방향 제시
김종필 (2003)	무기체계사업 비용, 일정 통합관리체계 구현방안 연구 - 비용·일정 통합 관리체계 도입을 위한 정책 및 제도 개선
이봉근 (2004)	한국형 전투기 개발사업의 EVM 시스템 적용방안 연구 - 원가통제계정별 원가구성요소 설정방법 등을 이용하여 예산 코드, 원가통제 계정코드, 원가수검코드를 작성, 비용과 일정을 통합 관리할 수 있는 매트릭스 제시
안경모 (2005)	국방연구개발 사업과 방산원가의 EVM 시스템 적용을 위한 개선 방안 연구 - 직접비 및 간접비에 대한 원가통제계정 작성을 위한 매트릭스 작성방법
송승찬 (2006)	EVM 시스템을 활용한 연구개발 원가관리 개선방안 연구 - 업무분할구조 기준 원가계산 및 활동기준 원가계산 방식 적용
김철환 (2008)	PM 및 EVM을 통한 국방사업관리 과학화 방안 연구 - 한국적 EVM 표준안 제정, EVM 시스템 적용 의무화
남용근 ·최석철 (2008)	국방연구개발 사업에서의 EVM 시스템 수행 개선방안 연구 - 방위사업법 및 방위사업관리규정 개선, 사업예비비 편성 - 계약제도 보완, EVM과 ERP(전사적 자원관리) 체계연동

3.3 기존 EVMS의 한계

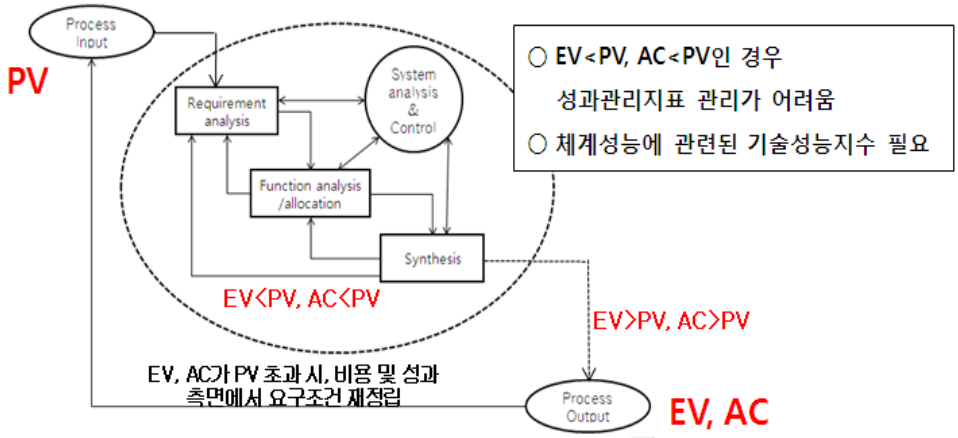
프로젝트를 성공적으로 수행하기 위한 바람직한 사업관리 방안을 모색하는 과정에서 활용된 EVMS는 효과적인 사업관리 도구였다. 그러나, 현재 국방 분야에서 적용되고 있는 EVMS는 단순 일정, 비용만을 관리하고 있으며, 프로젝트 기술적 요구사항 반영 및 관리 방법이 미흡하다. 또한 요구한 계획성능과 실제성능과의 가시적인 결과확인이 미흡하여 계획성능과 실제 성능과의 차이 관리가 필요하며, 주요 요구성능 달성 여부확인과 달성추이에 대한 평가가 필요하였다. 그리고, 중요한 성능에 대한 문제를 조기 식별할 수 있는 방법과 중요한 요구사항에 대한 하위설계를 수정할 필요성에 대한 모니터링이 요구되었다.

Solomon은 Northrop Grumman Corporation의 여러 프로젝트 경험을 바탕으로 고객만족과 위험부담 관리의 관점에서, 비용 및 일정 측면에서의 통합만 고려하고 있어 다음과 같은 문제점이 있음을 언급 하였다. 첫째, 사업성과 측정 시 수행된 업무의 양(Quantity)에 대해서만 측정하여 제품 품질이나 작업 산출물의 기술적 성숙도를 측정하는 것이 미흡하며 둘째, 업무범위에 대해서만 모니터링 하여 제품 기능이나 제품 요구사항에 대한 사업성과는 무시하고 셋째, 위험부담 관리기능이 있으나 문제점에 대한 대책 마련이 늦다고 하였다.

또한 정호수(2000)는 연구개발간 요구 성능이 제대로 충족되어가고 있는지 여부는 실시간에 파악 및 조치되지 못한다는 문제점을 해결하기 위한 방안으로써 EVMS가 비용과 일정뿐만 아니라 성능관리도 통합할 수 있으면 더욱 더 효과적일 것으로 판단하였다.

실제 사업을 진행하다보면, 프로세스 입력을 지나 요구사항 분석 및 기능분석을 종합하는 계획단계에서는 PV이 EV 및 AC보다 크게 하지만, 출력단계에서 요구사항 수정 및 기타 여러 요소들로 인해서 EV와 AC가 PV를 초과하는 경우가 비일비재하다. 이러한 대부분의 경우에는 기술적 요

소와 관련되어 있으나, 요구조건 재정립 등의 수정이 없을 경우에는 매우 위험한 결과를 야기할 수 있다. [그림 36]는 EVMS 와 SE 프로세스에서의 한계점을 나타내고 있다.



[Figure 36] SE 프로세스에서 기존 EVMS의 한계점

획득 프로세스 과정에서는 지속적으로 비용 및 일정뿐만 아니라 기술성능에 대한 관리가 이루어지고, 하위설계 수정과 주요 기술성능에 대한 문제가 조기식별 되어야 하며, 설계 수정요구에 대한 영향 파악을 즉시적으로 할 수 있어야 한다. 향후의 EVMS의 확대 발전된 모습은 이러한 의사결정 도구로서의 역활이 포함되어야 할 필요가 있다. 이렇게 발전된 EVMS가 기존의 과학적 설계 기법인 SE와 맞물려 활용된다면, 더욱 더 큰 시너지 효과를 발휘할 수 있을 것이다.

결론적으로 SE 절차에 따라 요구성능을 충족할 때까지 Engineering Process 수행과정에서 비용 대 효과가 무시될 경우에 대비하여 Process 내에 체계성능에 대한 달성여부 및 달성추이에 대한 주기적인 평가가 필요하다.

3.3 기술성능지수

3.3.1 기술성능요소 측정

기술성능요소 측정(TPM : Technical Performance Measurement)은 기술적 성능 요구사항이나 목표의 달성도를 평가하기 위한 기법으로 프로젝트 수행 과정에서 주요 이벤트 시점에서 예측되거나 실제 성능이 제시된다. 특히 기대되는 성능이 목표(계획) 성능을 충족하지 못하는 경우, 위험요인을 식별하여 이를 해소할 수 있는 후속조치 활동이 이루어지게 된다. Martin은 기술성능요소 측정을 요구사항에 대하여 주어진 조건하에서 특정목표를 성취하는데 필요한 달성 수준(한계 값, 목표)을 제시하는 것으로 정의하고 있다.

또한 기술성능요소 측정은 설계개발 과정에서 설계에 대한 기술적 평가를 말하며 공학적 분석이나 시험을 통해 업무분할구조(WBS) 상의 주요 구성요소에 대한 설계를 기술성능 파라미터를 통해 추적하는 행위로 정의한다.(국과연,1998).

E. S. Timson은 기술성능요소 측정을 무기체계 개발에 있어 사업관리자 또는 개발자가 관리하여야 할 사업관리의 3대 요소인 비용, 일정, 성능 관리를 위해 개발된 관리기법의 하나로 인식하였다. 기술성능요소 측정은 한마디로 개발자가 수행하여야 할 시스템 엔지니어링의 일부분으로 기술적인 위험도가 높은 무기체계를 연구개발 하는데 필요한 관리기법으로 정의하고 있다.

Micheal A. Kaye는 기술성능요소 측정은 계획한 성능 값과 성취한 성능 값을 측정하여 이를 비교하는 것으로 성취한 성능 값이 체계에 어떤 영향을 미칠 것인가를 분석하는 것까지 포함한다고 정의하고 있다.

이상을 종합해 볼 때 기술성능요소 측정은 개발일정에 따라 선정된 기술성능의 목표치를 설정하고 실제 측정치를 비교하여 사업관리자의 의사

결정을 지원하는 방법이다. 또한 선정된 성능 파라미터를 관리하기 위한 개발 일정의 함수로 제시된 계획 프로파일(Planned Profile)에 대해 실제 측정치를 비교하여 측정 시점별 계획치 대비 실측치의 차이를 도식화하여 기술성능요소 측정의 결과를 보여준다. 그리고 사업관리자에게 기술성능과 관련된 문제점을 조기 발견하여 의사결정을 지원하는 사업관리 기법이다. 이러한 기술성능요소 측정은 시스템 엔지니어링 메니지먼트에 포함되는 포괄적인 기술성능에 관한 업무활동 중의 하나이다.

기술성능요소 측정의 적용 목적은 연구개발에 있어서 체계개발 업무의 성공적인 달성으로 성공적인 사업관리를 위해 기술성능의 성과 달성도를 측정하고 위험을 예측하며 사업 책임자의 의사결정 지원 자료를 제공하는데 있다. 기술성능요소 측정의 목적은 첫째, 계획하였던 성능과 실제 성능을 가시적으로 알아볼 수 있게 준비하는 것이고, 둘째, 관리자의 주의를 요하는 문제를 조기에 발견하고 예측해내기 위한 것이며, 셋째, 개발자가 제안한 수정요구 안이 프로그램에 미치게 될 영향을 파악하고 사업 책임자의 의사결정에 도움을 주기 위함이다.

기술성능요소측정 기법은 기술성과의 측정형식으로 기술성능 파라미터에서 체계적인 결과를 얻도록 하는 기술평가 방법을 제안하고 있다.

이러한 기술성능요소 측정의 적용 목적을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 주요 성능 파라미터를 달성하기 위한 수치를 예측한다. 둘째, 실제성능과 예측 성능 사이의 차이점을 확인한다. 셋째, 주요 성능 파라미터의 달성에 대한 추이를 평가 및 예측한다. 넷째, 시스템의 유효성에 대해 실제 성능과 계획 성능 차이의 영향성을 결정한다. 다섯째, 조기에 위험을 식별하여 제공하며 관리의 주의가 요구되는 문제의 발견 또는 예측을 제공한다. 여섯째, 전체적인 위험을 감소시키기 위한 대안 기회의 결정을 지원한다. 일곱째, 중요 요구사항이 하위 설계 수준으로 잘못 흐른 곳을 조기에 결정하도록 지원한다. 여덟째, 시스템 요소 설계 대안의 평가 또는 제안된 대안으로 변경 영향성을 지원한다. 마지막으로, 새로운 중요 기술의 활동과 결과를 모니터링 하는 것이다.

3.3.2 기술성능지수

체계의 기술성능 상태를 한눈에 알 수 없을 정도로 복잡한 프로그램에 대해서 기술성능요소 측정은 매우 복잡하고 무의미 할 수도 있다. 이러한 복잡한 개발체계 예를 들어, 함정, 항공기, 전차와 같은 수많은 기술성능이 복잡하게 연관된 체계에 대해서 대표적인 기술성능에 관한 지수값으로 체계에 대한 성능을 나타낼 수 있을 경우에 기술성능요소 측정과 관리 측면에서 매우 유용할 것이다. 복잡한 기술성능요소 측정을 대신한 개념의 기술성능지수(TPI : Technical Performance Indices)를 EVMS와 연계하여 설정할 경우에 효과적인 성능관리가 가능할 것 이다.

이러한 기술성능지수(TPI : Technical Performance Indices)는 복잡한 체계에 대해 기술성능에 영향을 미치는 성능 파라미터를 선정하고 이에 대해 상대적 가중치와 연관성 등을 고려하여 중요한 기술성능을 대표하는 것으로 기술성능지수를 결정하면 체계의 기술적 성능 요구에 대한 충족도와 기술성능 달성도 측정 등에 효과적으로 활용할 수 있다.

기술성능지수를 TPI = $\Sigma W_i T_i$로 정의하면 여기서 Wi는 체계성능 전체에 대한 가중치이고, Ti는 체계 성능에 영향을 주는 기술이다.

복잡한 체계의 경우에 수십에서 수백의 체계성능 요구기술과 연관되어 기술성능지수의 가중치가 무의미할 것이므로, 체계에서 요구하는 주요 성능에 영향을 미치는 요소들로 대표값을 선정하여 체계 요구성능을 충족할 수 있는 지수로 선정하여 개별 관리할 경우 매우 효과적일 것이다. 또한 EVMS의 개별 통제계정 또는 작업묶음과 활동(Activity)에 대한 성과와 기술에 대한 성과달성도 측면에서 기술적인 요구성능 충족도를 확인할 경우에는 매우 유용한 관리방법이 될 것이다.

기술성능지수는 시스템이나 시스템 요소가 기술적 요구사항이나 목표를 얼마나 잘 만족하는지 또는 만족하기 위해 기대되는지 결정하기 위한 시스템 요소의 특성을 측정할 수 있으며, 설계 진행뿐만 아니라 성능 요구사항의 추적이나 기술적 위험을 평가하는데 사용될 수 있다.

기술성능지수는 시스템의 특정 구조적인 요소의 중요 기술 파라미터에 집중하는 MOP로부터 도출되거나 식별할 수 있으며, 기술성능지수의 선정은 비용, 일정 및 성능 위험에 관계되는 중요 기술적 한계나 파라미터에 한정되며, 시스템이나 시스템요소에 대한 기술적 요구사항 전체 리스트는 아니다. 주로 범위, 정확성, 무게, 크기, 출력, 시간, 안전요구사항, 중요 운영요구사항과 관련되는 제품 품질 특성 등을 다양하게 포함한다.

또한, 기술성능지수는 작업분할구조를 통해 설계의 진행사항과 요구도에 부합되는 설계가 진행되는지 여부를 평가하며, 또한 기술적인 위험도를 관측하고 추적할 수 있도록 해야 한다. 기술성과측정 파라미터는 작전반경, 정확도, 가용도, 요구전력 등 시스템의 성능요구 조건과 직접적으로 연관된 다양한 특성치들을 선정할 수 있으며,기술성능지수 파라미터는 다음의 선정 기준을 가지고 선정한다.

첫째, 주요성능 파라미터는 전체 체계 성능에 큰 영향을 미치는 것을 위주로 선정한다.

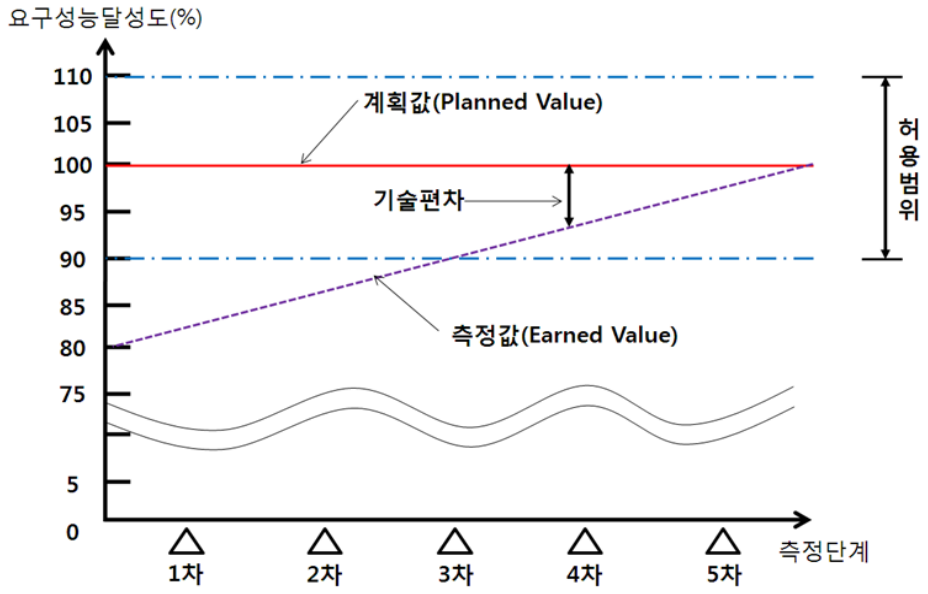
둘째, 파라미터 측정값은 시험 또는 분석으로부터 직접적이며 신속하게 도출될 수 있는 것으로 선정한다.

셋째, 설계진행 단계별로 정해진 파라미터 예상 값과 그 허용범위가 예측 가능한 것으로 선정한다.

넷째, 파라미터 예상 값은 설계, 개발, 시험 등에 의해 구체화될 수 있는 것으로 선정한다.

기술성능지수의 측정은 기술 파라미터들의 예상 및 실제 달성도를 계속적으로 입증하는 것이며 수립된 결정기준의 범위를 벗어나는 측정치는 후속 조치를 취하도록 경고를 준다. 기술성능지수의 수용 가능한 변수에 대해 허용 한계(Tolerance Band)를 가지는 성능 프로파일과 같은 계획된 성능을 포함한다. 시스템 또는 시스템 요소의 성능은 전 수명주기에 걸쳐 추적되고 요구되는 성능 수치와 비교 된다

[그림 37]은 측정단계별 요구성능달성도를 표시하며 관련된 용어는 다음과 같이 정의된다.



[Figure 37] 관리도 작성 및 성능 달성도 추적

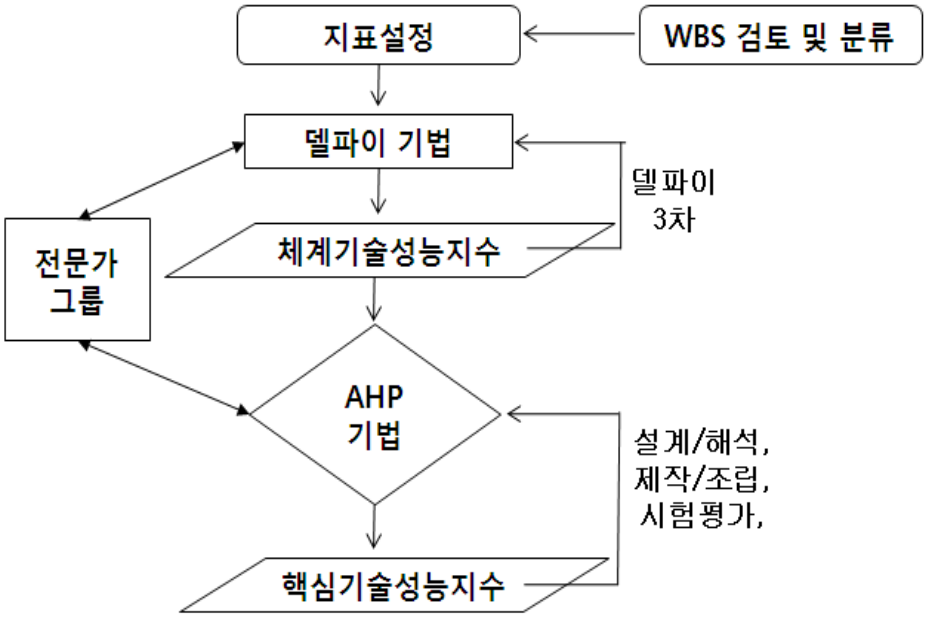
① 계획값(Planned Value) : 계획된 프로파일 기반의 측정시간 동안의 기술성능지수의 예측가치
② 측정값(Earned Value) : 달성될 것으로 예상되는 기술성능지수의 값
③ 기술편차(Technology Variance) : 특정 시점에서 계획값과 측정값 사이의 차이로, 규격서 또는 목표치와 현 추정치 사이의 차이
④ 허용 범위(Tolerance Range) : 허용 변동의 정도를 나타내는 계획 도표상의 관리경고 한계로 허용범위는 추정오차의 예측된 수준
⑤ 한계치(Threshold) :기술성능지수의 제한된 허용치

효율적인 기술성능요소 측정에 필요한 파라미터는 시스템 요구도를 반영한 성능 측정(MOP : Measures of Performance)에서 직접적으로 선정할 수 있다. 이러한 성능측정(MOP)은 개발 시스템의 운용성능 요구도를 반영한 MOE (Measures of Effectiveness) 및 개발된 시스템이 운용될 환경과의 적합성, 정비성, 군수지원요소의 적절성 및 인간 요소와의 적

합성 등을 반영하는 적합성 척도(MOS : Measures of Suitability)에서 추출된다. 초기 수명주기에서 성능 수치는 시뮬레이션이나 모델링에 근거한 평가로 이루어지며, 수명주기가 진전되는 동안 실제 데이터가 평가를 대체하고 정보의 충실도를 더하게 된다. 이러한 측정은 성능 문제에 역점을 두며 시스템의 시험까지 기다리기보다 절차 초기 또는 수행과정에서 설정되는 허용된 실행을 전개한다. 기술성능지수는 기술적 해석이나 시험을 통해서 설계의 주요 성능 파라미터의 수치를 평가함으로써 제품 설계의 평가를 가능하게 한다. 이런 측정의 분석은 주요 성능파라미터의 위험 지표를 제공하기도 한다.

3.3.3 기술성능지수 선정 절차

본 논문에서 제시하는 기술성능지수 선정 절차는 [그림 38]와 같다



[Figure 38] 기술성능지수 선정절차

전문가의 설문조사법(델파이3차)과 분석계층과정법(AHP)을 활용하여 대표적 체계 요구성능 위주로 반영하여, 요구성능 충족을 위한 핵심기술 등을 도출하여 지수화 하는 절차를 수행하였으며 이러한 기술성능지수를 선정하는 절차 단계는 다음과 같다.

① 0~1단계 : WBS 검토 및 분류

WBS는 일정계획과 산정, 정보추적, 팀 의사소통, 보고 등의 많은 기능을 제공하며, 프로젝트 관리의 중요한 전략적인 도구의 하나로 사용된다. 본 논문에서는 WBS를 SE와 시뮬레이션 및 EVMS에서 공동으로 관리될 수 있도록 통합하여 WBS로 분류하였다. 사례검토에서 제시되는 잠수함의 경우, 미 국방부의 Mil-HDBK-881A 및 미 해군 ESWBS Code Book(NAVSEA S9040-AA-IDX-101)를 근간으로 독일의 BGI체계를 상호비교 검토하여, 연구대상 잠수함에 적합한 새로운 SWBS를 구축하여 적용하였다.

② 2단계 : 지표설정

지표는 복합적이고 매우 추상적인 개념을 표현하거나 측정하는 문제를 해결하기 위해서 그 개념에 관련된 경험적 자료를 정리하여 사용되는 방법이다. 본 논문에서 사용되는 지표는 자료의 객관성을 중요시하기 위해서, 먼저 국내기관들이 사용하고 있는 적용사례를 충분히 검토하여 지표 항목을 선정하였다. 이를 통하여 기술성능지수를 선정할 수 있는 항목과 데이터의 정확성 및 신뢰성을 측정할 수 있는 항목, 그리고 정확한 기술성능지수 분석을 위한 가중치를 선정할 수 있는 항목으로 구성하였다.

③ 3~4단계 : 델파이 기법을 통한 체계기술 성능지수(STPI) 선정

델파이 방법은 미국 Rand 연구소가 전문가 그룹으로부터 의견을 체계적으로 도출하기 위해 고안한 방법으로, 응답자의 익명성을 보장하고 반복적인 환류를 통하여 전문가들이 합의하는 아이디어만을 유도하고, 반복적인 피드백을 통한 하향식 의견 도출로 문제를 해결하는 특징을 가지고

있다. 본 논문에서는 사전 검토된 SWBS 와 EVMS의 통제계정 과 목적문건(계약산출물)을 기준으로 각 통제계정별 수행업무 등을 분석, 기술성능지수 파라미터를 도출하였다. 이를 총 3차의 델파이 기법을 활용, 관련 전문가들의 의견 수렴을 통해 체계기술 성능지수(STPI)를 산출하였다. 각 회차(Round) 델파이가 끝난 뒤 동의도를 활용하여 데이터를 분석하여, 보다 객관적이며 체계적인 방법으로 데이터 확보 및 분석하였다.

④ 5~6단계 : AHP기법을 통한 핵심기술 성능지수(CTPI) 선정

AHP기법은 합리적인 의사결정을 지원하기위해 개발된 방법으로 의사결정에 필요한 정보는 평가지표와 대안을 기준으로 계층적으로 분해하여 구한다. 대안의 상대적 중요도를 결정하기 위하여 평가지표에 대한 가중치를 구한 후 개별 평가지표별로 대안의 쌍대 비교로 가중치를 계산하고 우선순위를 도출한다. 객관성을 확보하기 위하여 정량적 기준을 함께 사용하는 특징이 있으며, 평가 지표와 비교할 대안이 많은 경우에는 평가의 용이성과 정확성을 위해 전산 프로그램이 활용되기도 한다. 본 논문에서는 AHP 기법을 활용하여 체계기술 성능지수(STPI)중에서 기술적 중요도에 따라 가중치를 분석하고, 요구 성능 충족에 직접적인 영향을 미치는 요소들로 핵심기술 성능지수(CTPI)를 선정하였다. 그리고 핵심기술 성능지수만으로 상대적 가중치를 도출하고 계수화 하였다.

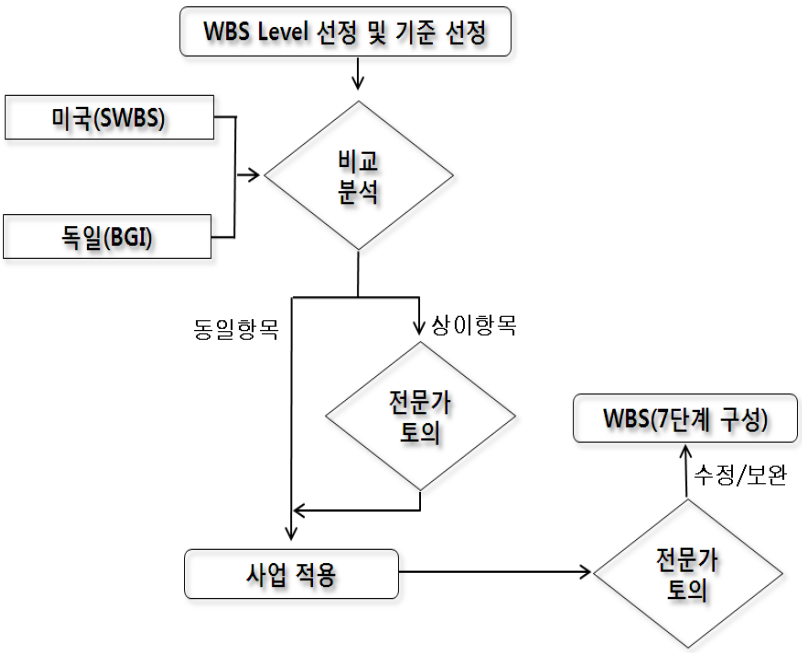
⑤ 7단계 : 기술성능지수 측정 및 관리

선정된 기술성능지수에 대해서 각 성능 파라미터별 기술성능 측정방법을 결정 하여야한다. 이러한 기술성능 측정방법에는 계산, 해석, 모델링, 측정 등의 여러 방법이 있으며, 측정방법이 구체적이고 수치화 되어야만 목표값 과 측정값이 관리단계 기간 중에 즉시적으로 대비될 수 있으며 측정 단계별로 일관성을 유지 할 수 있다.

3.3.4 WBS 검토 및 분류(0 단계)

3.3.4.1 통합 WBS의 구성

SWBS는 함정 또는 잠수함에 적용하는 WBS(Work Breakdown Structure)로써, SWBS는 시스템의 수명주기 동안 정의되고, 개발되고, 유지되는 하드웨어, 소프트웨어, 서비스, 데이터 및 설비류 등으로 구성되는 제품 중심의 구성품 구조(product-oriented family tree)로서 최종 결과물을 완성하는 작업요소들과 관련된 것들이다.(DoD 2005) 본 논문에서 적용 사례로 제시한 SWBS는 미 국방부의 Mil-HDBK-881A 및 미 해군의 ESWBS Code Book(NAVSEA S9040-AA-IDX-101)을 기준으로 독일 잠수함의 BGI와 비교 분석하여 적용 가능한 개념의 공통되는 부분은 우선적으로 적용하고, 상이하거나 상반된 개념에 대해서는 설계과정의 예상 문제점과 전문가의 의견을 수렴하여 도출하였다. SWBS 작성 절차는[그림 39]와 같다.



[Figure 39] SWBS 작성 절차

[표 15]과 [표 16]은 미국의 SWBS와 BGI를 비교한 것이다.

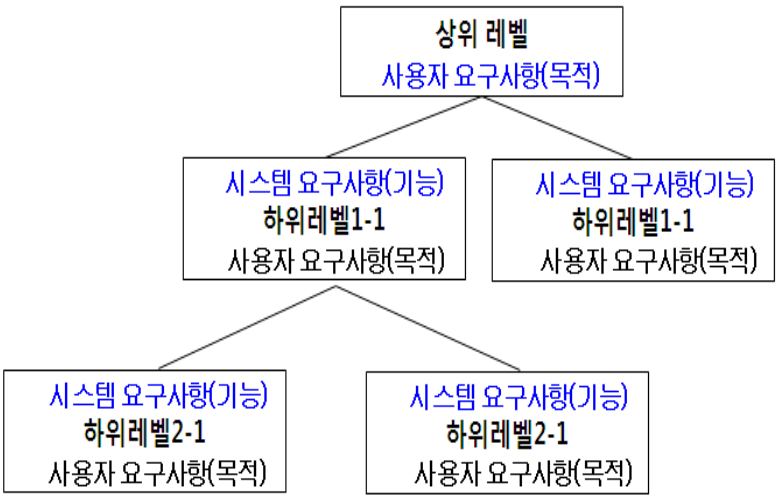
[Table 15] SWBS와 BGI의 비교

구분	SWBS	BGI
자리수(단계)	3자리(3단계)	4자리(4단계)
항목 수	1,000	10,000

[Table 16] SWBS와 BGI의 상세비교 예시

SWBS(Group)	BGI(PBS)
000.General Guidence &Administration	000.Guideelines and Critera for Planning, Construction and Utilisation
100.Hull Structure	1000.Ship with Outfit and Installations
200. Propulsion Plant	2000.Propulsion Systems
300. Electric Plant	3000.Elecric Systems
400.Command and Surveillance	5000.Communition, navigation, Detection and Electric Warfare System 6000.Command and Weapon Control Systems
500.Auxiliary Systems	4000.Ship's Auxiliary Systems
600.Outfit and Furnishings	
700.Armament	7000.Armament
800.Integration/Engineering (Shipbuilder response)	
	8000.barrage Weapon Systems
900.Ship Assembly and Support Service	
	9000.Equipment, Tool, Spare Parts, technical Documents, Machine Tools

SWBS Level 선정 및 기준 선정에서는 [그림 40]과 같이 상위레벨은 사용자의 요구사항이 반영되며, 하위레벨은 시스템 요구사항이 반영된 목적과 기능이 병합된 WBS를 구성하였다. 예를 들면, 최하위 레벨(Level 7)은 0000 보고서, 0000 해석결과, 0000 시험평가서와 같이 측정가능하고, 객관적 자료를 확보하는 구체적인 Action으로 구분하였다.

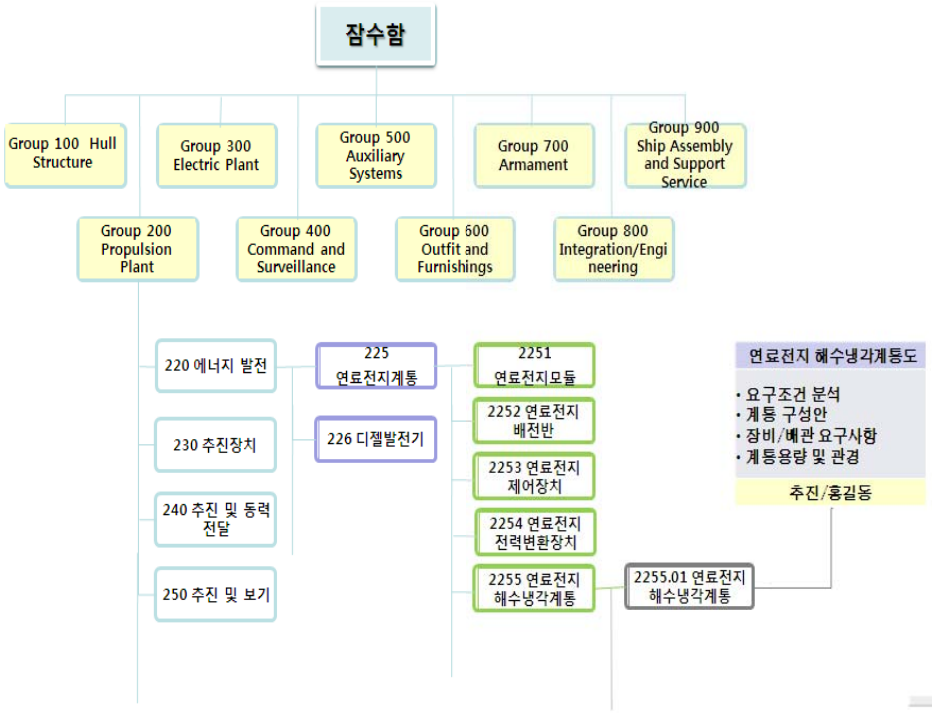


[Figure 40] WBS Level 선정 및 기준선정

LEVEL 1에 SEA SYSTEMS, LEVEL 2 는 End Product 인 잠수함/함정과 이를 지원하는 데이터 및 교육훈련과 같은 Enabling Product로 구성된다. 잠수함/함정은 100 GROUP 선체(Hull structure), 200 GROUP 추진(propulsion plant), 300 GROUP 전기(electric plant), 400 GROUP 통신전자(Command and surveillance), 500 GROUP 보기(Auxiliary systems), 600 GROUP 의장(Outfit and furnishings), 700 GROUP 무장(Armament)으로 enabling product인 800 GROUP Integration/engineering, 900 GROUP ship assembly and support service로 구성된다. (MIL-STD-881)

[그림 41]은 잠수함의 SWBS의 구성의 예를 나타내고 있다. LEVEL3 은 200 GROUP 추진(propulsion plant)에서 예를 들자면, 220 에너지 발전,

230 추진장치, 240 추진 및 동력전달, 250 추진 및 보기로 나누어지고, LEVEL4는 220 에너지 발전에서 예를 들자면, 225 연료전지계통, 226 디젤발전기로 구분되어, 마지막 단위인 LEVEL7에서는 연료전지 해수냉각계통도로 세부 구성이 된다.



[Figure 41] 잠수함의 SWBS 구성

본 논문에서 작성한 SWBS는 최종 산출물 및 업무담당자가 식별 가능하도록 분류하였고, 특히 EVMS와 연계되도록 하였다. 이는 성능지수를 적용한 EVMS의 통제계정, 설계산출물, 제품모델에 상호연계하도록 구성한 것이다. 이를 통해 기존의 통합 프레임워크의 SWBS을 확장하여 총 LEVEL 7단계, 하위 5,962단계로 세분화 하였다. 이는 국내 최초로 잠수함에 대한 SWBS를 세분화하여 적용하였다는데 큰 의미가 있다.

3.3.5 지표설정(1단계)

평가를 위한 지표는 기술성능지수를 선정할 수 있는 항목 및 데이터에 대하여 정확성 및 신뢰성을 측정할 수 있는 항목과 정확한 기술성능지수 분석을 위한 가중치를 선정할 수 있는 항목으로 지표를 구성하였다.

먼저 지표는 국내·외 기술성능지수에 대한 지표 선정사례 분석을 통해 기술성능지수 평가기준을 도출 및 적용하였다. 지표구성은 [표 17]과 같이 전문도, 기술 중요도와 같이 총 2개 항목을 선정하였다.

[Table 17] 지표의 구성

설문항목	내용	적용사례
전문도	1. 전문지식보유 2. 전문지식 어느 정도 보유 3. 약간의 기술 습득 4. 전문지식 전혀 없음	국과연, STEPI 등
기술중요도	1. AHP 기법을 통한 핵심요소기술의 가중치 선정	국과연, STEPI 등

또한 설문 결과의 신뢰도를 높이기 위해 조사에 참여한 전문가의 해당기술에 대한 전문도를 고려하여 [표 18]과 같이 가중치를 선정, 각 지수 산출시 이를 적용하였다.

[Table 18] 전문도를 고려한 가중치

전문도	구분	내용	가중치
1	전문지식 보유	해당기술에 대한 연구 또는 개발업무에 종사하여 전문적인 지식을 가지고 있다.	4
2	전문지식 어느정도 보유	해당기술과 유사분야의 연구/개발업무에 종사하여 전문적인 지식이 어느 정도 있다.	2
3	약간의 기술습득	해당기술에 관련된 전문적인 문헌 혹은 학문적 연구에 의해 지식을 습득하였다.	1
4	전문지식 없음	해당기술에 대한 전문적인 지식이 없다.	0.5

3.3.6 기술성능지수를 산출하기 위한 성능지수 설정(2단계)

주요 기술 성능지수 파라미터는 SWBS를 기준으로 체계성능에 영향을 미치는 요소를 상대적 가중치를 고려하여 산출하였다. 기술성능지수(TPI)를 선정하는 기준은 기술성능에 영향을 주는 파라미터를 대상으로 첫째, 전체 체계성능에 큰 영향을 미치는 요소이고 둘째, 측정값이 시험 또는 분석으로 직접적이고 신속하게 도출가능 하고 셋째, 설계 진행 단계별 예상 값과 허용범위가 예측가능하고 마지막으로 예상 값이 설계, 개발, 시험 등으로 구체화 가능한 값을 선택하도록 하여야 한다.

$$TPI = \sum_{i=1}^{n} C_i W_i \qquad (C_i = \text{가중치},\ W_i = \text{성능지수})$$

이를 통하여 선정된 기술성능지수는 관리자의 주의를 요하는 문제를 조기에 발견하고 예측하기 위한 것이며, 사업 책임자의 의사결정에 도움을 주기 위함이다. 총 기술성능지수는 위의 수식을 통해서 각각의 기술성능과 가중치의 합으로써 결과 값을 산출할 수 있다.

3.3.7 델파이기법을 통한 체계기술 성능지수 확보(3단계)

앞에서 정의한 지표 및 성능지수의 선정요건에 부합되는 방법으로 체계기술성능지수(STPI : System Technical Performance Indices)를 델파이기법을 통해서 도출하였다. 델파이기법이 진행되는 동안 기본적으로 설계에 사용되는 도면을 중심으로 체계기술성능지수를 도출하였다. 각각의 도면에서 사용되는 기술을 나열한 다음 서로 공통 항목에 있는 기술들은 전체적으로 체계의 성능을 좌우하는 기술로 판단하는 것이다. 델파이 1 라운드에서는 각각의 도면에 따른 정리된 기술들의 관계를 제공함으로써

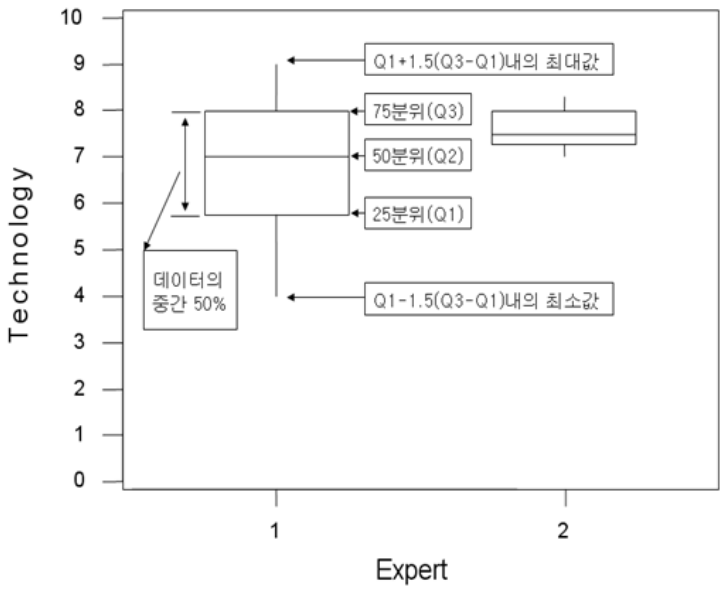
전문가 그룹간의 기술적 공감대를 형성하고, 이를 바탕으로 체계기술 성능지수 및 파라미터를 확보하는 것이다. [표 19]는 잠수함에서 사용되는 도면 및 기술에 관한 검토사례를 보여주고 있다.

[Table 19] 체계성능지수를 산출하기 위한 목적문건 검토 사례

설계 도면 설계 보고서	중량체적	최대대속력	수중작전지속일수	최대잠항심도	항속거리	수중방사소음	음향표적강도	전자기방시	RCS	IR	자체소음	함내공기소음	EMI EMC	기타
AIP설계보고서 (보조계통포함)	√	√	√	√	√									
디젤기관 검토보고서	√	√	√		√	√	√	√			√	√	√	
추진전달계통 설계보고서	√	√				√	√					√		
축계강도 보고서	√	√		√							√			
스노클계통 설계보고서	√				√	√	√		√	√		√		
배기계통 설계보고서	√	√		√		√								
연료유계통 설계보고서	√		√		√	√	√							
압축공기 계통 설계보고서	√			√			√					√	√	
AIP 설계기준서	√	√	√		√									
디젤기관계통 설계기준서	√		√		√	√	√				√			

※ 기타(기술성능지수 파라미터) : 14.긴급부상속도, 15.전력소모율, 16.축전지용량, 17.스노클비, 18.발라스트, 19.승조원수, 20.소나탐지능력, 21.수중통신능력, 22.비상탈출, 23.안전도, 24.체계유지, 25.통행성, 26.정비성, 27.위험도, 28.가용도, 29.~

3.3.8 Box plot을 통한 체계기술성능지수 검증(4단계)



[Figure 42] Box Polt을 통한 데이터 검증

Box-Plot의 정확한 명칭은 skeletal box and whisker plot이다. [그림 42]에서 알 수 있듯이 Q1은 1사분위수, Q3는 3사분위수이고, Q2는 중간값이다. Q3에서 Q1까지의 거리를 IQR(Interqartile range)라고 한다. 본 논문에서는 각각의 델파이 Round를 거치면서 IQR에 의견이 좁혀지는 체계기술성능지수를 선택하였다.

본 논문에서는 델파이기법을 활용하여 기술성능지수 산출 시 이를 적용하였다. 델파이 1차가 끝난 뒤 동의도를 활용하여 데이터를 분석하여 [그림 42]와 같은 Box-Pot로 나타내고, 이를 델파이 2차 시 전문가에게 제공함으로 자신의 응답이 IQR 안쪽으로 위치하게 하였으며, 그렇지 않을 경우 이에 대한 이유를 명시하도록 하였다.

Box-Pot에서 Q1+1.5(Q3-Q1)는 설문의 응답 중 가장 높은 점수를 나타

내며, Q1+1.5(Q3-Q1)는 설문의 응답 중 가장 낮은 점수를 나타태고, 75분위(Q3)~25분위(Q1)는 데이터의 중간 50%를 나타낸다. 본 연구에서는 자신의 응답이 IQR밖에 위치할 경우, 수정 또는 이에 대한 이유를 제시하도록 하였다. 이러한 검증결과를 통하여 연구대상 잠수함의 체계기술 성능지수는 아래표와 같이 13개로 설정하였다.

[Table 20] 잠수함의 체계기술 성능지수

순번	성능 파라미터	분석방법	분석도구
1	중량 및 체적	-유사장비를 이용한 추정 -CAD에 의한 추정	CATIA
2	최대속력		
3	수중작전 지속일수		
4	최대 잠항심도		
5	항속거리	-미해군DDS 200-1 기준 -20노트에서 재급유 없이 운항가능한 거리추정	없음
6	수중방사소음	Frequency(16Hz,63Hz,1Khz)별로 Band 추정	
7	음향표적강도		
8	전자기방사	해군 함정소자 지침 적용	
9	RCS		
10	IR		
11	자체소음	-정숙운항과 순항운항 구분 -Frequency(63Hz,250Hz,500Hz,1KHz,2Kz,2.5KHz)별로Level추정	
12	함내 공기소음	연료전지 탑재시 격실별 함내공기소음 추정	
13	EMI/EMC		

3.3.9 AHP기법을 통한 핵심기술 성능지수 도출(5단계)

분석계층과정법(AHP : Analytical Hierarchy Process)은 의사결정의 목표/평가기준이 다수이며 복합적인 경우, 상호 배반적인 대안들의 체계적인 평가를 지원하는 의사결정 지원기법으로 정성적(qualitative) 요소를 포함하는 의사결정 방법으로 많이 사용되고 있다. 이는 평가자 개인의 서수적 만족도를 객관적 숫자로 전환, 참여한 구성원들의 선호도를 측정, 해당된 문제에 대한 선호 크기를 계산해 내는 방법으로 다수의 속성들을 계층적으로 분류하여 각 속성의 중요도를 파악함으로써 최적 대안을 선정하는 기법이다. 즉 의사결정요소들의 속성과 그 측정 척도가 다양한 다 기준 의사결정문제에 효과적으로 적용되어 의사결정자가 선택할 수 있는 여러 가지 대안들을 체계적으로 순위화 시키고, 그 가중치를 비율척도(ration scale)로 도출하는 방법이다.

이 방법은 1단계에서 자원배분을 위한 기준을 설정, 기준에 대한 구성원의 동의를 구한 다음, 2단계에서 각 기준의 상대적인 중요성(가중치)을 측정하고, 3단계에서 각 프로젝트의 중요성의 기준에 따라 평가, 기준별 가중치로 계산한 이후, 4단계에서 프로젝트별 중요도에 따라 자원배분을 시도하는 과정을 거친다.[표 21]는 AHP기법을 통한 핵심기술성능지수 적용을 위한 설문의 예 이다. 체계기술 성능지수 총 13개에 대하여 AHP기법을 통해서 상대적 중요도를 결정하였다

[Table 21] AHP기법을 통한 핵심기술성능지수 적용

항목	절대중요(9)	(8)	아주중요(7)	(6)	중요(5)	(4)	약간중요(3)	(2)	대등(1)	(2)	약간중요(3)	(4)	중요(5)	(6)	아주중요(7)	(8)	절대중요(9)	항목
중량체적																		최대속력
수중작전 지속일수																		중량체적

3.3.10 동의도를 통한 핵심기술 가중치 설정(6단계)

동의도는 평가자간의 일치 정도를 나타내는 것으로, 동의도 결과가 0.7 이상인 기술항목은 평가자 간의 의견이 일치한다는 것을 의미하며, AHP 결과의 동의도에 대한 재검증 지표이다. 본 논문에서는 이를 적용하였으며, 동의도 산출식은 아래와 같다.

$$\text{동의도} = 1 - \frac{\text{관찰된분산}}{\text{무작위분산}} = 1 - \frac{S_X^2}{\sigma_{\nu ll}}$$

관찰된 분산은 기술별 응답결과(N개)의 분산이며 식은 아래와 같다.

$$S_X^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n} [(X_k - \overline{X})^2 \times weight]}{\sum_{k=1}^{n} weight}$$

무작위 분산은 (1~100범위)의 공분산을 의미하며 식은 아래와 같다.

$$\sigma_{\nu ll}^2 = \frac{(A^2 - 1)}{12}$$

위의 단계별 선정절차를 거쳐 연구대상 잠수함의 핵심 기술성능지수와 가중치는 아래 표과 같이 도출되었다.

[Table 22] 잠수함의 핵심기술성능 가중치

항 목	가중치	관리값 (ROC에서 확정)	허용오차	비고
중량 및 체적(W1)	0.20 (C1)	계획톤수 주요요목	10%	허용오차는 설계진행에 따라 변경 가능
수중작전일수(W2)	0.23 (C2)	지속일수	10%	
최대잠항(W3)	0.15 (C3)	계획수심	10%	
항속거리(W4)	0.18 (C4)	요구항속거리	10%	
수중방사소음(W5)	0.24 (C5)	실적함기준	10%	

3.3.11 기술성능지수 측정 방법 및 관리 방안 작성(7단계)

7단계에서는 각 성능 파라미터 마다 기술성능 측정방법을 결정한다. 기술성능 측정방법은 계산, 해석, 모델링, 측정, 시험 등으로 구분할 수 있다. 선정된 기술성과측정 파라미터와 각 파라미터의 개발일정에 대한 계획 프로파일을 확정하고 최종적으로 각 파라미터를 어떻게 측정할 것인가를 결정하여야 한다. 측정방법은 여러 가지가 있을 수 있으며, 설계단계에서는 기술성과의 측정 및 평가를 대부분 계산으로 수행하여야 할 것이다. 세부 측정방법의 결정은 기술성능지수 파라미터가 선정되고 각 파라미터의 특성에 맞도록 계산, 해석, 시험 등의 방법이 결정된다. 파라미터별 측정방법의 결정(예)은 [표 23]에서 보는 바와 같다.

또한 기술성능지수에 대한 관리방안으로 전체일정을 고려하여 목표치 대비 일정한 한계치를 설정하고 일정 진행에 따라 단계별로 축소하여 주기적인 관리 방법을 모색해야 한다. 통상 초기단계에는 10%이내에서 허용범위를 단계적으로 축소하여 5%~3% 이내로 설정하며 최종단계에서는 목표치에 도달할 수 있도록 하여야한다.

[Table 23] 잠수함 중량/체적의 측정방안

목표치	개념설계 결과, 유사장비 실측자료	TLR 요구조건 000±00톤
평가모델	WV(Weight Volume) = W11(중량 목표치/ 중량 추정치)+W21(체적 목표치/체적 추정치)	TLR에 명시
측정방안	중량(W11) - 주요 구조재, 외판 등 구조도면 기준계산 - 주요장비 유사장비 비교추정 또는 제작사 설계 결과 입력 - 설비, 배관 등 부자재 기준선 비교추정	설계 기간 중, 단계별 보고서 작성
	체적(W21) - G/A마다 3D 모델(CATIA) 활용 및 계산	설계 기간 중, 단계별 보고서 작성

기술성능지수는 총체적 기술성능에 대한 합으로 다음과 같이 나타낸다. TPI=ΣCiWi (Ci=가중치, Wi=성능지수) 체계기술성능지수는 체계에 기술성능요소를 결정하는 주요 기술성능의 합으로 기술성능지수보다 성능지수가 정제되어 나타낸다. 대상 잠수함의 경우 총 13개의 기술성능지수로 체계기술 성능지수(STPI : System Technical Performance Indices)를 타나낸다.

$$STPI = \sum_{i=1}^{n} C_i W_i \qquad (C_i = \text{가중치}, W_i = \text{성능지수})$$

(Wi = 중량 및 체적, 최대속력, 수중작전 지속일수, 최대 잠항심도, 항속거리, 수중방사소음, 음향표적강도, 전자기방사, RCS, IR, 자체소음, 함내 공기소음, EMI/EMC)

체계기술성능지수도 체계성능의 대표값으로 활용하기에는 13개의 많은 성능지수의 관리가 복잡하고 상대적 가중치도 산정하기에 어려웠다. 또한 이러한 기술성능지수를 개별적으로 관리하기 위해서는 많은 노력이

수반되어 진다. 따라서, 핵심기술성능 몇 개로 체계의 기술성과측정을 위한 대표값을 도입할 경우 소기의 목적인 즉시적 관리 및 모니터링이 가능하여 활용도가 높아질 것이다. 이에 따라 체계기술 성능지수에서 성능에 영향을 미치는 중요도에 따라 위의 13개의 체계기술 성능지수에서 5개로 핵심기술성능지수를 (CTPI : Core Technical Performance Indices)을 도입하였다.

$$CTPI = \sum_{i=1}^{n} C_i W_i \qquad (C_i = \text{가중치}, W_i = \text{성능지수})$$

(Wi = 중량 및 체적, 수중작전 지속일수, 최대 잠항심도, 항속거리, 수중방사소음)

체계에 영향을 미치는 기술성능요소를 순차적으로 선정 및 축소하여 핵심 요소만으로 체계 전체에 대한 성능 대푯값으로 도출하였다. 이 성능 대푯값은 즉시적 모니터링이 가능하여, 개별 기술성능지수에 대하여 주기적 관리뿐만 아니라 성능도달 성취도, 체계성능 달성도, 위험요소 사전경보 등의 기능수행이 가능하여 효과적인 지수로 활용가능하다.

3.4 기술성능지수를 적용한 EVMS 통합 프레임워크

3.4.1 EVMS을 적용한 통합 프레임워크의 개념

국방 무기체계 연구개발의 사업성과는 일정, 비용, 성능으로 정의되며, 측정 요소는 개발기간 단축, 개발비용 절감, 군 운용성능 달성으로 정의되고, 정부기관(IPT)은 이러한 성과달성을 위해 항목별 목표 값을 설정하여 도달 가능토록 목표 값을 관리하고자 노력한다. EVMS는 업무범위, 비용, 일정을 관리하는 방법론으로 업무범위는 성능을 일컬으면서 성능/

품질은 만족한 상태로 가정하여, 일정과 비용 관리에만 초점을 맞추어 성능/품질이 제대로 관리되지 않았다. [표 24]에서 제시된 EVMS 모델의 단계별 업무수행 절차에도 일정과 비용 중심으로 업무가 계획되고 있다.

[Table 24] 일반 EVMS 모델의 단계별 업무수행 절차(정호수, 2008)

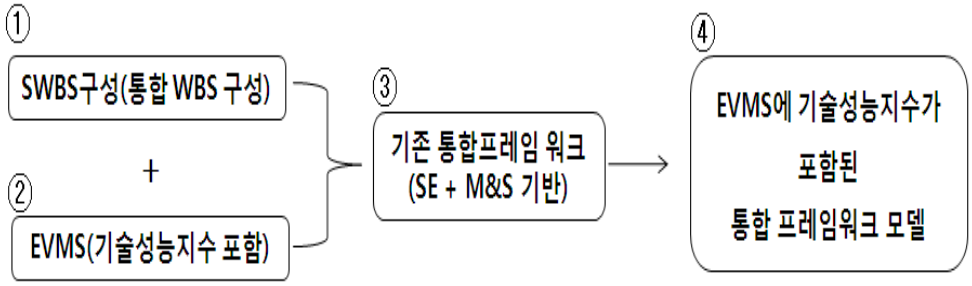
단계		EVM 모델(비용 및 일정관리)
계획단계	1	WBS/OBS작성, 작업책임할당표 구축, 통제계정 설정
	2	일정계획 수립
	3	예산배분
	4	통합기준선(PMB) 수립
	5	성과측정방법 결정
검토/승인 단계	6	IBR 수행/계획승인
실행단계	7	성과 측정/분석/미래 예측
	8	보고서(Report) 작성 및 제출
	9	조기경보 및 문제점 식별/조치
	10	계획 수정

이것은 단순히 사업의 비용, 일정, 성능의 1차원적 관리에서 비용과 일정의 통합만을 고려한 관리를 하게 된 것이다. 무기체계를 연구개발 하는데 있어서 성능을 시험평가 이전에 측정한다는 것은 매우 어렵고 객관성을 갖기 힘들지만 개발단계 혹은 중간 제품을 통하여 측정하고 검사하며 시험함으로 성과에 연계되는 업무가 수행되어야만 효율적인 사업관리를 할 수 있을 것이다. 기존의 EVMS 모델을 통한 비용 및 일정 관리에서 한 단계 더 나아가 요구되는 기술성능을 어떻게 측정하며 관리하느냐 하는 것인데, 사업관리의 현 실태는 기술성능이 통합되지 못하고 분리되어 다루어지고 있다.

이에 따라 앞 절에서 제시한 기술성능지수를 활용하여 EVMS에서 성능/품질을 관리할 수 있도록 하며, 통합프레임워크를 연결할 공통기반으로 SWBS를 활용하여 새로운 통합프레임워크를 제안 할 것이다. 이는 기존의 EVMS에 기술성능지수를 적용하고, 통합 SWBS를 기반으로 기술성능지수를 적용한 EVMS와 통합프레임워크를 연결하여 사업관리에 적용 할 경우, 매우 효과적으로 관리할 수 있을 것이다. 이러한 기술성능지수를 포함한 EVMS의 잠수함 모델의 작성 개념은 [표 25]와 잠수함 모델의 작성 순서는[그림 43]과도 같다

[Table 25] 기술성능지수를 포함한 EVMS의 잠수함 모델의 작성 개념

단계	내 용
1	SWBS 구성(기존의 WBS 재검토, 통제계정설정, 조직구성 및 작업할당)
2	EVMS 구성(기술성능지수가 포함)
3	기존 통합프레임워크 분석
4	기술성능지수가 포함된 EVMS를 기존 통합프레임워크에 적용



[Figure 43] 기술성능지수를 포함한 EVMS의 잠수함 모델의 작성 순서도

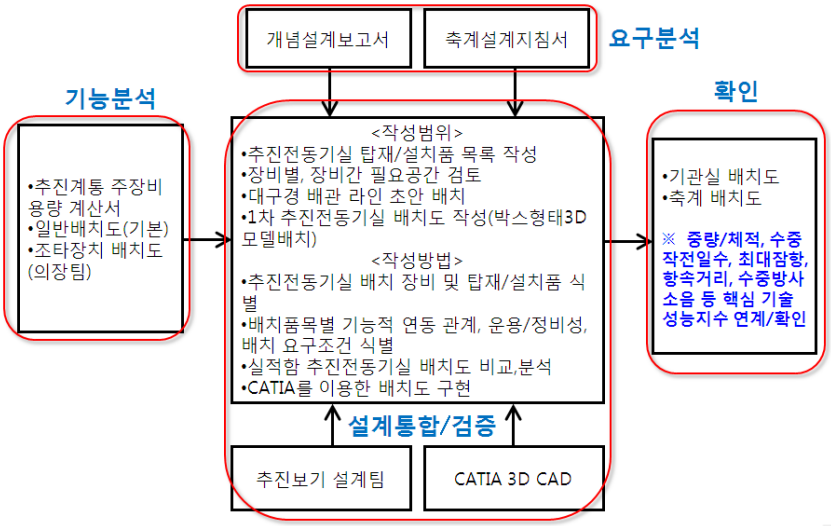
3.4.2 조직분할구조 및 통제계정 설정

SWBS는 앞 절에서 설명한 내용과 같이 미국의 SWBS를 바탕으로 독일의 BGI를 추가하여 기본구성을 하였고, 잠수함의 경우 WBS의 세부항목을 결정할 때, 건조사양서, 일반배치도 등과 같은 목적문건을 중심으로 할당하고, 이에 따라 설계 책임할당 및 통제계정(CA) 설정을 진행하였다. 이는 최소 업무단위에서부터 성과측정을 고려하여 각각의 계통별 체계별 상호 연관성과 독립성을 유지토록 하고자 하였다.
[그림 44]은 잠수함의 일반적인 통제계정 설정을 예시 하였다.

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7	산출물	담당팀	담당자
기본설계	200 추진계통								
기본설계	200 추진계통	200 추진계통, 일반							
기본설계	200 추진계통	200 추진계통, 일반	201 기관구역 배치						
기본설계	200 추진계통	200 추진계통, 일반	201 기관구역 배치	2010 배치 도면					
기본설계	200 추진계통	200 추진계통, 일반	201 기관구역 배치	2010 배치 도면	2010.01 기관실 배치				
기본설계	200 추진계통	200 추진계통, 일반	201 기관구역 배치	2010 배치 도면	2010.01 기관실 배치	기관실 각종 장비 및 탑재/설치품 목록	기관실 배치도	추진보기	정성택
기본설계	200 추진계통	200 추진계통, 일반	201 기관구역 배치	2010 배치 도면	2010.02 기관실 배치	기관실 장비 및 탑재/설치품 배치도	기관실 배치도	추진보기	정성택

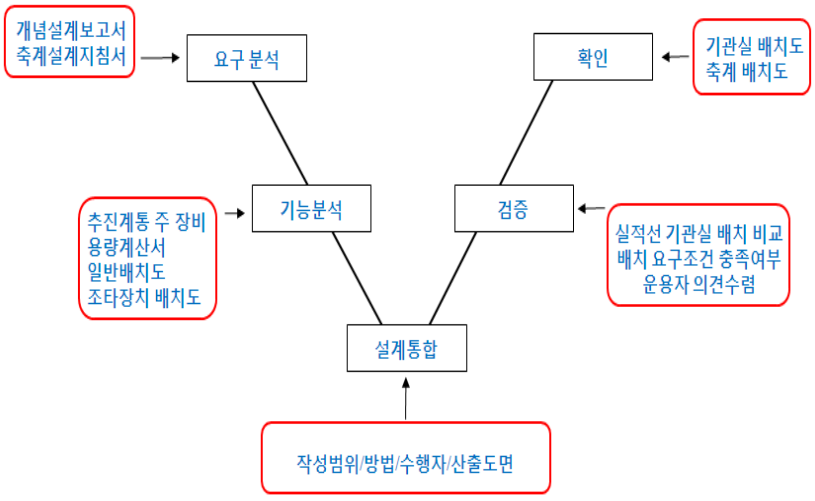
[Figure 44] WBS 및 OBS와 작업 RAM 및 EA 결과

또한 SE 단계 과정인 요구분석, 기능분석, 설계통합, 검증, 확인단계에 각각의 단계별로 설계 목적문건 또는 통제계정을 할당하여 설계과정에서 일관성과 추적성을 유지토록 하였다. 이러한 설계 목적문건 과 통제계정을 기반으로 세부항목을 설정하여 WBS에 반영될 수 있도록 세부항목을 설정한다면, SE 및 EVMS의 단위 과정이 자연스럽게 연계되어 질 것이다. 특히 WBS의 세부항목을 구성시, SE 단계와 연계한 Work sheet를 구체적인 항목을 작성하여 기술성능지수가 포함될 수 있도록 하여야 한다.
[그림 45]는 잠수함 추진보기부분의 SE단계별 목적문건의 Work sheet 예를 나타내고 있다.



[Figure 45] Work sheet 작성 예시

[그림 46]은 잠수함 추진보기 부분의 Work sheet를 기준으로 SE 단계별 목적문건의 적용 예를 나타내고 있다. 각 Work sheet 및 SE 단계별 목적문건뿐 아니라 범위 확장을 통해 하위 계통별 또는 상위 SWBS Group별로 각각에 대해 기술성능지수 적용이 가능할 수 있다.



[Figure 46] 잠수함 추진보기부분의 SE단계별 목적문건 적용 예시

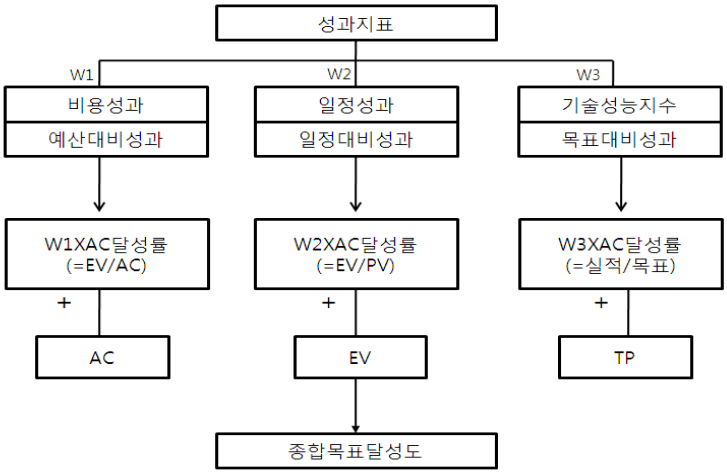
3.4.3 EVMS 통합 프레임워크 모델

EVMS를 수행함에 있어서 객관적인 성과측정을 위하여 다양한 방법이 제시되고 개선되어 왔으나 성능관리와 연계되지 못하여 현실적이고 실제적인 성과를 나타내는 데에는 한계가 있었다. 따라서 기술성능지수가 포함된 EVMS의 성과측정 방법은 기존의 성과를 측정하는 방법을 확장하는 방법이 필요하다. EVMS의 성과 측정시 정확하고 객관적인 성과측정을 위하여 기존의 사업성과 및 비용성과 이외에 성능관리 및 산출물관리 성과를 통합하여 최종적인 성과로 산정될 수 있다면 가장 현실적이고 정확한 성과 측정방법이 될 것이다. 비용성과는 이른바 예산사용에 대한 실적을 측정하는 것으로써 계획예산 대비 실비용의 비율을 나타내며 [그림 47]에서 AC(Actual Cost)나타내고 있다. 일정성과는 계획예산중에서 실제로 수행한 활동에 대한 예산의 합으로 기존의 EV(Earned Value)와 동일하다.

기술성능지수는 TPI(Technical Performance Indices)로 나타내며 기술성능요소 측정에서 관리되는 성능관리에 대한 계획 대 실적을 성과요소로 추가하여 측정한다. 통제계정과 연계된 성능관리항목이 있을 경우 이를 TP로 측정하여 최종성과(TEV : Total Earned Value)로 합산되도록 하면 된다.

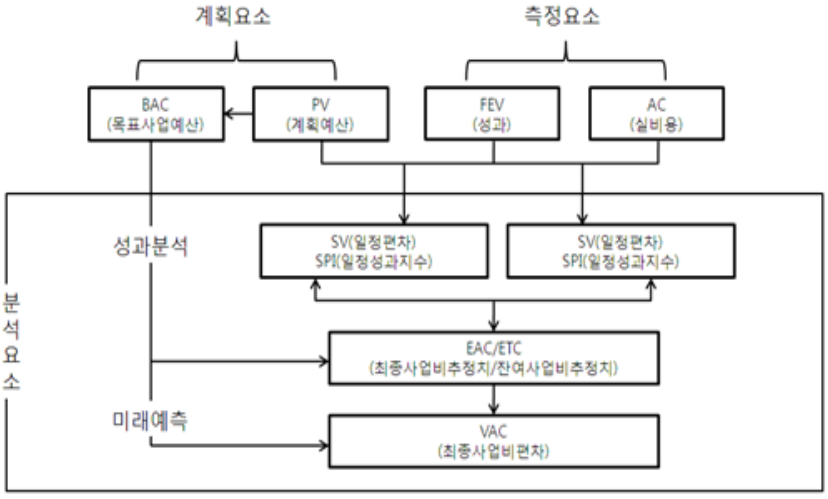
결론적으로 최종적인 사업성과(Total Earned Value)는 비용성과, 일정성과, 기술성능성과를 합산하여 산정하고 이것을 기존의 EV 대신 사용한다. TEV를 기존의 EV대신 사용할 경우 성과측정값이 단순히 계획예산중에서 수행한 활동의 예산의 합으로만 표현되는 것이 아니라 성능관리결과와 연동하고 그리고 산출물결과와 연동하여 실질적인 성과를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

성능관리, 산출물관리를 연계한 최종적인 성과측정방안은 [그림 47]과 같다.



[Figure 47] 최종사업 성과모델

기본적으로 EV는 일정과 밀접한 관계가 있는 파라미터로써 본 모델에 의하면 이제 EV 대신 TEV로 대체하여 EVMS 기본 모형을 다음같이 변형하여 사용할 수 있다. [그림 48]에서 기존에 EVMS는 PV, EV 및 AC에 의하여 모델링되고 운영되던 것을 EV대신 TEV로 대체하여 사용한다.



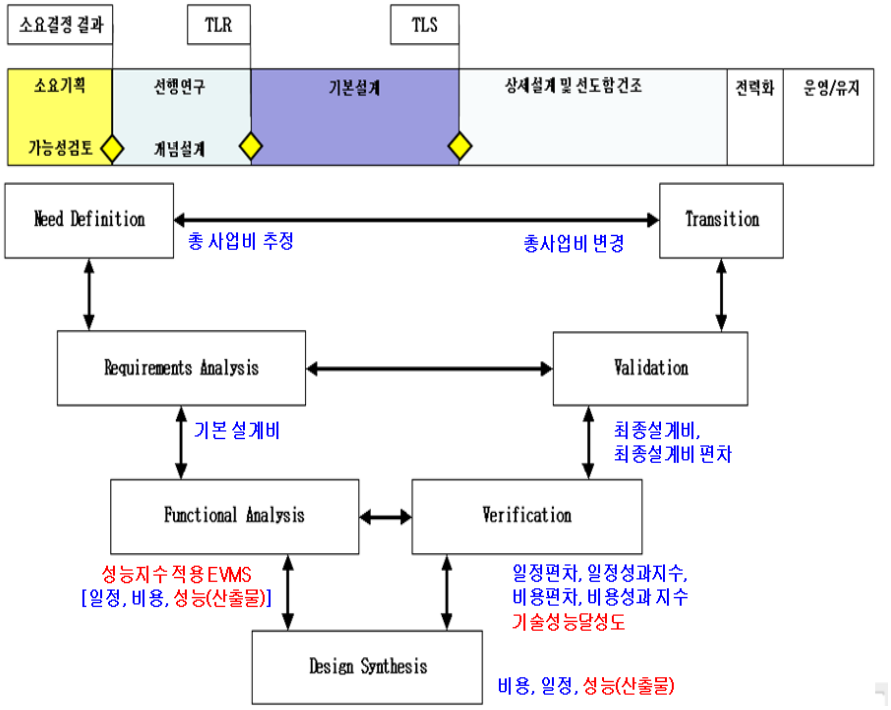
[Figure 48] 새로운 EVMS모델의 계획요소, 측정요소, 분석요소

그리고 성과분석은 SV(일정편차), CV(비용편차)로 구성된다. 최종적으로 EVMS에서 가장 중요하다고 할 수 있는 미래예측부분인 EAC, ETC, VAC의 EV는 모두 TEV로 교체하여 사용한다. 이제 EV대신 TEV를 사용함으로써 프로젝트의 실체에 더 접근한 성과측정이 가능해짐으로써 기술성능이 포함된 일정관리 및 비용관리에 근접하게 될 것이다.

[Table 26] 새로운 EVMS 수식

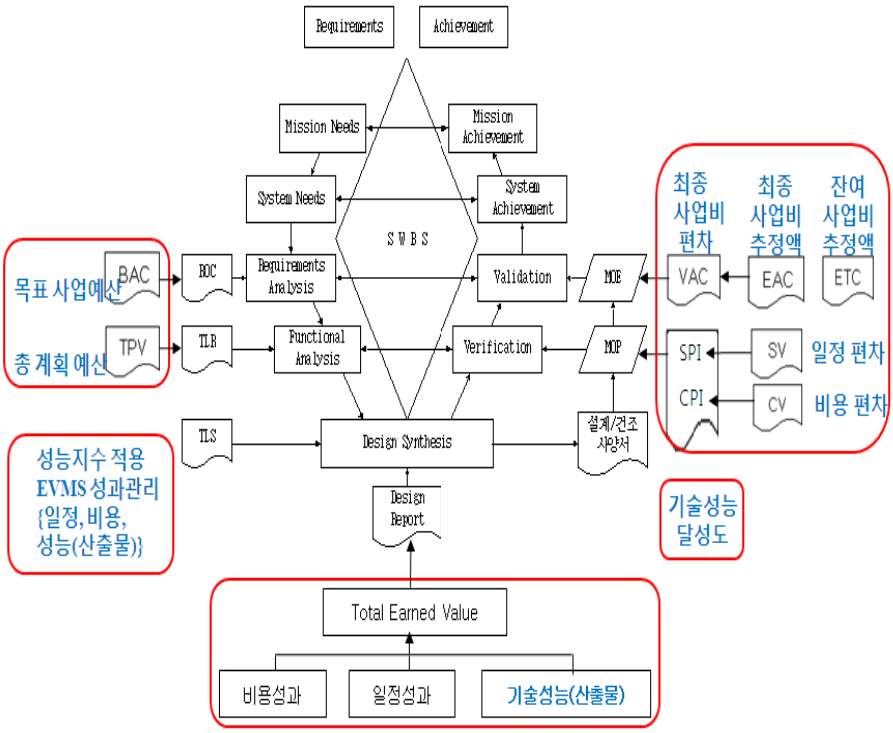
용어	의미	산출방법
TPV(TotalPlannedValue)	총계획예산	-
BAC(BudgetAtCompletion)	목표사업예산	ΣPV
EV(EarnedValue)	성과	-
AC(ActualCost)	실비용	-
TEV(TotalEarnedValue)	총성과	
EAC(EstimateAtCompletion)	최종사업비	BAC/성과지수
ETC(EstimatetoCompletion	잔여사업비추정액	(BAC-EV)/성과지수
SV(ScheduleVariance)	일정편차	TEV-PV
CV(CostValue)	비용편차	TEV-AC
SPI(SchedueleP erformanceIndex)	일정성과지수	TEV/PV
CPI(CostPerformaceIndex)	비용성과지수	TEV/AC
VAC(VarianceAtCompletion)	최종사업비편차	BAC-EAC

각 SWBS 및 통제 계정별 EVMS 요소확정과 각 Group별 확장을 통해 잠수함 전체 프로세스모델로 확대 적용할 경우에는 SE 계획요소, 분석요소, 측정요소가 유지될 수 있다. 따라서 잠수함 전체의 설계 프로세스 모델은 성능지수를 적용한 EVMS와 SE 프로세스를 통합한 [그림 49]과 같이 나타낼 수 있었으며, 각 세부 단계에 있어서도 통제계정별로 할당할 수 있다.



[Figure 49] EVMS를 적용한 함정전체의 설계 프로세스

또한 M&S와 연계사항은 설계과정에서 계통별 체계별 상호 독립적이므로 현 단계에서는 고려하지 않았다 [그림 50]은 기술성능지수를 포함한 EVMS 모델을 기존의 시뮬레이션 기반의 시스템 엔지니어링 및 M&S 통합 프레임워크에 확대 적용한 모델을 나타내고 있다.



※ BAC (목표사업예산) = 기본설계비 + 상세설계비 + 건조비 + 건조지원비,
TPV (총 계획 예산) = 노무비 + 직접경비 + 제비율 + 이윤

[Figure 50] 기술성능지수를 포함한 새로운 EVMS 모델

제 4 장

EVMS 통합 프레임의 적용사례 분석

본 장에서는 기술성능지수가 적용된 EVMS 통합 프레임워크 모델의 단계별 업무수행 절차에 따라 실제 연구개발 사업에 적용하여 정립된 모델의 실현 가능성 여부를 검증하고자 한다. 이를 위해 실제 국방 무기체계 연구개발 사업인 가상 잠수함의 주요 기술성능을 가정하여, 단계별 업무수행 절차에 따라 사례적용 결과를 분석하였다. 이를 통해 통합 사업관리 모델의 실현 가능성을 검증하였다.

4.1 잠수함 기본설계 적용 사례분석

본 절에서는 국방 무기체계 연구개발 사업 중 잠수함사업에 대하여 실제 사례 분석을 통하여 기술성능지수가 적용된 EVMS 통합 프레임워크 모델의 적용 가능성과 유용성에 대해 확인하였다. 이를 위해 앞장에서 제시된 단계별 업무수행 절차에 따라 업무수행 내용과 실제 적용 결과에 대해 분석해 보았다. 본 연구에서는 총 8단계로 적용단계를 구분하고, 단계별 구체적인 내용은 아래와 같다.

1단계 : 통제계정 설정(WBS/OBS 작성 및 CA 할당)
2단계 : 기술성능지수 설정
3단계 : 기술성능지수별 가중치 할당
4단계 : 기술성능 파라미터 계획 프로파일 작성
5단계 : 성과관리 측정방법 결정
6단계 : 체계 수준의 성과관리
7단계 : 설계검토, M&S반영 및 설계수정
8단계 : 성과 측정 및 분석

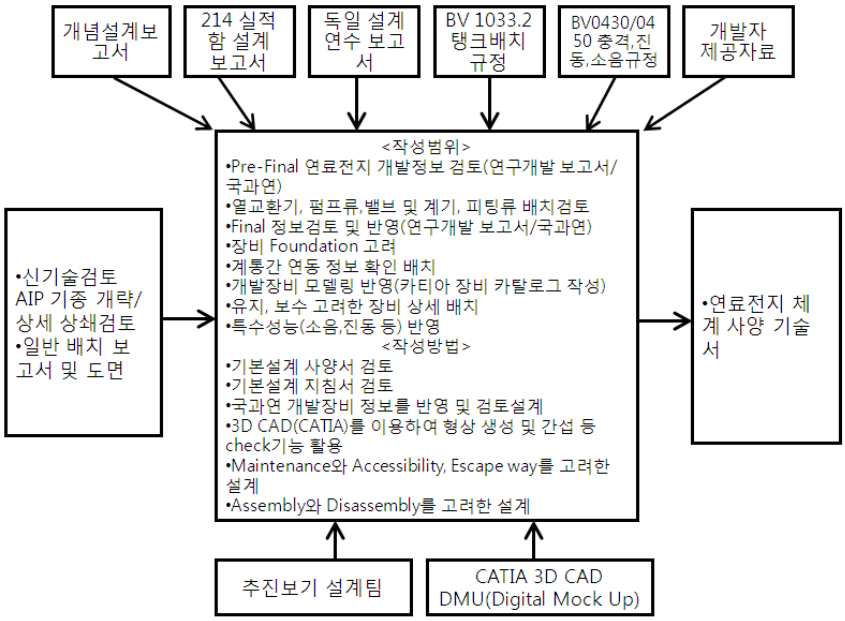
4.2 통제계정 설정

통합 사업관리 모델의 가장 기본요소인 작업분할구조(WBS)와 조직분할구조(OBS)를 작성하여 작업책임 할당표(RAM)를 구축, 해당 작업들에 대한 책임을 할당하여 통제계정(CA)을 설정한다. 이를 위해 우선 잠수함 개발을 위한 WBS와 OBS 작성을 통한 작업책임 할당표(RAM)를 구축하였다. [그림 51]은 잠수함 개발을 위한 작업분할구조(WBS), 조직분할구조(OBS), 통제계정(CA) 작성의 예를 보여준다.

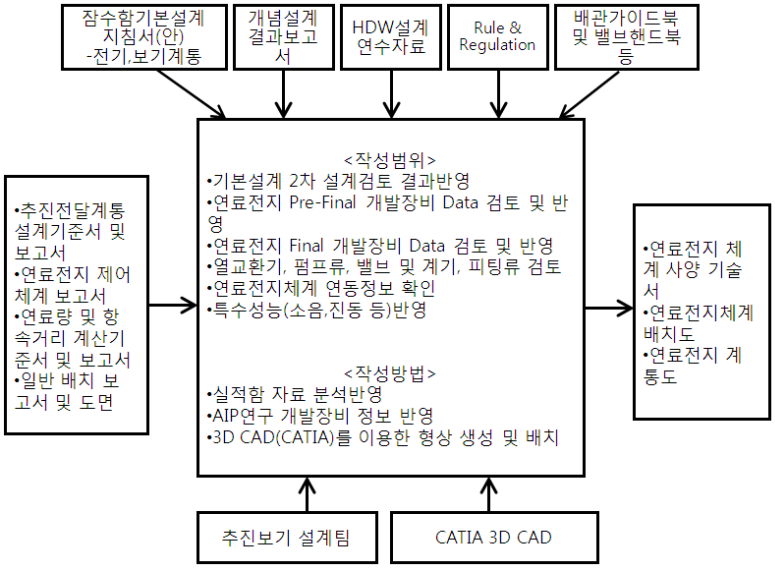
작업분할구조(WBS) 작성							조직분할구조(OBS)	통제계정(CA) 작성			
WBS 번호	WBS 명칭	위험도	분류	획득방법	시작일	종료일		통제계정 관리자	기술성능 관리	연구성과물 관리	평가방법
1.1		●	관리	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	잠수함	홍길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.1.1		●	관리	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	홍길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.1.2		●	관리	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	홍길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.1.3		●	기술자료	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	홍길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.1.4		●	기술자료	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	홍길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.1.5		○	기술자료	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	김길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.2		●	관리	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	김길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.2.1		●	기술자료	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	김길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.2.2		○	기술자료	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	박길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.2.3		●	기술자료	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	박길동	적용	미적용	퍼센트완료
1.2.4		○	기술자료	업체자체개발	2008-01-01	2011-12-31	전투체계팀	박길동	적용	미적용	퍼센트완료

[Figure 51] 통제계정 설정(WBS/OBS 설정 및 CA 할당)

잠수함의 경우 A 방위산업체에서 담당하고 있으며, 책임자 및 하부 작업패키지의 부서장과 담당자가 지정되어 관리되고 있어서 책임감 있는 업무의 수행이 가능하며 이에 따른 명확한 책임소재의 파악이 가능하였다. 작업책임 할당표 구축이 완료되면 잠수함 개발을 위한 작업기술서(Work Sheet)를 작성한다. 작업기술서는 설정된 통제계정에 대하여 작업의 정의를 세부적으로 기술하는 것으로 작성된 작업기술서는 기술성능지수를 도출하기 위한 기준이 된다. [그림 52],[그림 53]는 연료전지에 관한 작업기술서의 예를 보여준다.



[Figure 52] 연료전지체계 배치도의 작업기술서



[Figure 53] 연료전지체계 기본설계 보고서의 작업기술서

4.3 기술성능지수 선정

비용 및 일정, 성능의 통합 사업관리를 위하여 요구되는 것은 기술성능지수에 관한 요구도 식별이다. 이는 기술성능지수 계획서를 통하여 관리해야 할 주요 기술성능 요소에 대한 목표치 및 운용한계와 요구조건 등을 식별하는 절차이다.

사례 분석에서는 잠수함 개발을 위하여 기 선정하여 관리 중인 성능요구도를 식별하였으며, 식별결과는 [표 27]에서 보는 바와 같다.

[Table 27] 주요 성능요구도 식별결과

순번	성능 파라미터	분석방법	분석도구	하위 파라미터	목표치
1	중량 및 체적	-유사장비를 이용한 추정 -CAD에 의한 추정	CATIA	1. 중량 2. 체적	000
2	최대속력	- 저항	보고서		
3	수중작전 지속일수		보고서		000
4	최대 잠항심도		설계보고		000
5	항속거리	-미해군 DDS 200-1 기준 -20노트에서 재급유 없이 운항가능한 거리추정	없음		000
6	수중방사소음	Frequency(16Hz,63Hz,1Khz)별로 Band 추정		1.스노클 운항시 2.순항 운항시 3.정숙운항시	000
7	음향표적강도				000
8	전자기방사	해군 함정소자 지침 적용			000
9	RCS				000
10	IR				000
11	자체소음	-정숙운항과 순항운항 구분 -Frequency(63Hz,250Hz,500Hz,1KHz,2Kz,2.5KHz)별로 Level 추정	계산추정	1.선측배열음탐기 -정숙운항 -순항운항	000
12	함내 공기소음	연료전지 탑재시 격실별 함내공기소음 추정		1.전투정보실 2.기관조종실 3.침실 4.사관실 5.통신실	000
13	EMI/EMC		특정치		000

기술성능지수 파라미터는 체계성능에 관계되는 모든 기술적 특성치뿐만 아니라, 총수명유지 관점에서 운영유지에 필용나 상항도 포함될 수 있다. 그러나, 설계단계에서는 기술적 요소가 최우선적으로 성과에 영향을 미치므로 기술적 주요성능 요구도를 식별하여 체계기술 성능지수를 도출하였다. 보안 및 논문작성 목적을 위해 가상의 목표치를 설정하고 분석도구 방법, 하위 파라미터 등은 축소하였다. 측정방법 및 결과는 주로 설계보고서와 설계방법에 따라서 결정되며 건조과정에서 시험평가에 따라 결과를 얻게된다. 하위 파라미터의 경우 다른 기술성능지수에 종속적인 영향을 미치는 변수임으로, 결과적으로는 기술성능지수 파라미터의 대부분이 포함된다. 핵심기술 성능지수 설정에 따른 측정 및 관리 방안은 아래 표와 같다.

[Table 28] 핵심기술성능지수 측정 및 관리방안

항목	평가모델	측정방안	관리방안
중량 및 체적	○ WV = w11·(중량추정치/중량목표치) + w12·(체적추정치/체적목표치)	○ 중량 및 체적은 3D 모델(CATIA)를 활용하여 추정 ○ 중량은 재질에 따른 시뮬레이션 결과로 분석	○ WBS별로 목표치를 할당하여 관리 ○ 월별로 목표치와 추정치를 비교분석 ○ 년도별로 관리선과 위험치를 다르게 관리
수중작전 지속일수	○ SD = w21·(수중작전지속일수추정치/수중작전 지속일수 목표치)	○ 공기조절능력, 연료소모량 등을 고려하여 수중작전 지속일수 추정모델 개발 ○ 설계결과에 따른 파라미터 값을 입력하여 수중작전 지속일수 추정	○ 시스템차원에서 목표치 설정 및 관리 ○ 수중작전 지속일수에 관한 추정모델 개발필요
최대잠항 심도	○ DS = w31·(잠항심도추정치/잠항심도 목표치) ○ DS는 100을 기준으로 계산	○ 최대 잠항심도 추정모델 개발 ○ 설계결과에 따른 파라미터 값을 입력하여 최대 잠항심도 추정	○ 시스템차원에서 목표치 설정 및 관리 ○ 잠항심도에 관한 추정모델 개발필요
항속거리	○ MO = w41·(항속거리 추정치/항속거리 목표치) ○ MO는 100을 기준으로 계산	○ 미해군 DDS 200-1 기준으로 항속거리 추정모델 개발 ○ 설계결과에 따른 중량 값과 연료량을 입력하여 항속거리 추정	○ 시스템차원에서 목표치 설정 및 관리 ○ 항속거리에 관한 추정모델 개발필요
수중방사 소음	○ SN = (w51·수중방사소음 추정치+ w52·수중방사소음 추정치 + w53·수중방사소음 추정치/ 수중방사소음 목표치)	○ 수중방사소음 분석전용도구를 이용하여 추정 ○ 설계결과에 따른 설계 파라미터 값을 입력하여 수중방사소음 추정	○ 시스템차원에서 목표치 설정 및 관리

4.4 기술성능지수별 가중치 할당

다음으로 식별된 기술성능지수별 가중치를 할당 하였다. 본 사례 분석에서는 기 설정된 핵심기술성능지수를 산・학・연 복합무기체계 기술 전문가들로 관련분야 경력 10년 이상 자격을 보유한 인력을 중심인 총 42명의 전문가 그룹을 구성하여 이들을 대상으로 계층적 분석 과정/방법(AHP :Analytic Hierarchy Process)을 이용하여 가중치를 설정하였다.

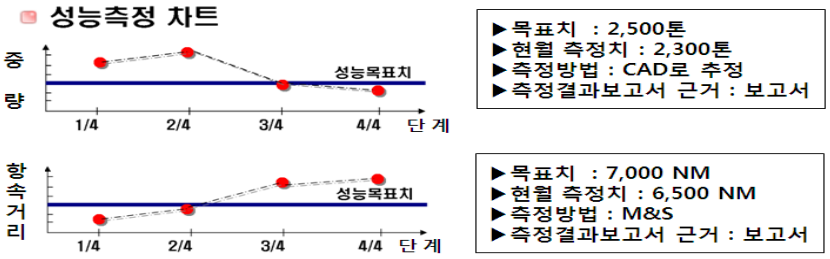
핵심기술성능지수의 가중치의 총합은 1이며, 개별 성능지수의 가중치는 최대30%에서 최소10% 범위 이내로 산정하여 특정 성능지수들이 시스템 전체의 성능을 결정하는 경향을 회피토록 하였다. [표 29]는 논문 목적상 가상 잠수함의 핵심기술 성능지수에 대한 가중치 할당 결과를 보여주고 있다. 기술성능지수 적용을 위한 가상 잠수함의 주요 요구 성능 목표치는 보안상 문제로 표와 같이 가정하여 계산하였다.

[Table 29] 핵심기술성능지수 가중치 및 성능 목표치

순번	성능 파라미터	가중치	성능(가정)
1	중량 및 체적(W1)	0.20(C1)	2,500톤
2	수중작전 지속일수(W2)	0.23(C2)	15일 이상
3	최대 잠항심도(W3)	0.15(C3)	200m이상
4	항속거리(W4)	0.18(C4)	7,000NM이상
5	수중방사소음(W5)	0.24(C5)	125dB이상

4.5 기술성능 파라미터 계획프로파일 작성

기술성능 파라미터에 대한 계획 프로파일 작성은 연구개발 일정과 연계하여 주요 기술검토회의 시점에 대한 계획 프로파일을 작성한다. 주요 기술검토회의 시점은 체계설계 검토시점부터 시험평가 검토시까지 기술성능 파라미터별 계획 프로파일을 작성하였다. 제시된 가상 잠수함 개발의 경우, 식별된 5개의 기술성능 파라미터별로 계획 프로파일을 작성하였다. [그림 54]는 핵심기술 성능지수 계획 프로파일을 보여준다.



[Figure 54] 핵심기술 성능지수 계획 프로파일

[Table 30]은 전체 성능 측정관리 허용한계를 나타내며, 이를 통해서 주요 기술검토 시점별로 목표치와 허용 한계가 일정에 따라 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이는 설계 및 시 제작 등 개발이 진행됨에 따라 기술성능에 대한 성과 달성도가 높아지기 때문에 목표치와 허용한계도 주요 기술검토 시점별로 사업관리부서와 개발업체가 상호 합의하여 목표를 설정하기 때문이다.

[Table 30] 전체 측정관리 허용한계

구분	2008년	2009년	2010년	2011년
관리선	10%	5%	3%	1%
위험선	15%	10%	5%	5%

4.6 성과관리 측정방법 결정

기술성능에 대한 기술성과 측정은 주요 기술검토 시 수행하며, 기술검토 시점별 사전 결정된 기술성과 측정방법을 결정한다. 기 결정된 기술성과 측정방법을 이용하여 개발단계의 주요 기술검토 시점별 기술성과의 목표 값과 추정 값을 계산하여 이를 성공확률로 환산한다.

기술성능지수는 체계기술 성능지수와 핵심기술 성능지수로 구분된다. 시스템을 구성하는 서브시스템의 경우 아래 식과 같이 일정, 비용, 상관계수의 관계를 통해서 기술성능지수를 산출할 수 있다. 즉 서브시스템에서 서로 결과 값에 상호 연관성이 없는 기술은 배재가 되어 서브시스템에서의 기술성능지수가 계산되어진다. 또한 시스템별 각각의 기술성능지수는 위험치를 벋어나지 않아야 한다.

$$\text{서브시스템 기술성능} = \frac{\sum r_d r_p w_n}{N} (\text{단}\, R^2 > 0.7)$$

$$R(X,\ Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)\, Var(Y)}} (-1 \le R(X, Y) \le 1)$$

$$Var(X) = E(X^2) - E(X)^2 = E(X - E(X))^2$$

$$Cov(X, Y) = E(XY) - E(X)E(Y) = E(X - E(X))(Y - E(Y))$$

4.7 체계 수준의 핵심기술 성과관리

성능지수 파라미터별 관리는 성능 파라미터별 목표치 설정, 성능 파라미터별 관리선 설정, 성능 파라미터별 위험치 설정, 매월 추정치를 관리

차트에 도시하여 관리하도록 하였다. 체계(잠수함) 수준에서 성과관리는 핵심기술 성능지수에 따라 별도의 평가모델을 활용하여 측정하며, 각각의 기술성능은 체계(잠수함)수준에서 개별적 성과관리를 실시한다. 체계수준의 종합성능 목표는 100을 기준으로 설정하고 관리하고, 90%를 관리선으로 설정하며, 80%를 위험치로 설정한다. 매월 추정치를 관리차트에 도시하여 관리한다.

기술성능지수 측정관리허용범위 미충족은 결국은 요구기술성능을 충족시키지 못하는 것을 의미하며 이는 성과(EV)가 실제보다 많이 평가된 것으로 성과수정이 필요하다. 핵심기술 성능지수(CTPI)에 따른 기술성능 초과 달성 또는 미달 시에는 EVMS의 TEV(Total Earned Value)값을 조정해야 하며, 이를 조정할 경우에는 조정기준인 수정계수의 도입이 필요하였다. 만약에 핵심기술 성능지수(CTPI)가 허용범위(관리선)내에 존재할 경우에는 편차범위 이내로 수정이 필요하지 않다. 그러나, 핵심기술 성능지수(CTPI)가 관리선~위험선 내에 존재 시에는 TEV 수정이 필요하다. 또한, 핵심기술 성능지수(CTPI)가 관리범위 내에 존재하드라도 핵심기술 성능지수(CTPI)중 일부성능지수가 관리목표에 미달하여 허용범위(관리선)밖에 존재할 경우에는 역시 TEV 수정이 필요하다. 결론적으로 총 TEV 수정은 핵심기술성능지수 (CTPI)미달에 따른 TEV수정과 개별 핵심기술성능지수 미달에 따른 TEV수정의 합계로 나타내어진다.

[Table 31] 기술성능지수 허용오차별 EV 수정

측정관리 허용범위	핵심기술성능지수에 따른 EV수정(1)		개별성능지수 EV수정(2)
max ± 1% 이내	P_i > 0.99 0.99 > P_i >0.98 0.98 > P_i >0.97	무수정 -5% -10%	n = 핵심기술성능 지수 중 허용범위 초과 기술개수, n = 1일 경우 해당 가중치 합산 추가수정 n = 2일 경우 해당 가중치 합산 추가수정 n = 3일 경우 -5% 수정, n = 4일 경우 -10% 수정
max ± 3% 이내	P_i > 0.97 0.97 > P_i >0.96 0.96 > P_i >0.95	무수정 -5% -10%	
max ± 5% 이내	P_i > 0.95 0.95 > P_i >0.93 0.93 > P_i >0.90 0.90 > P_i	무수정 -5% -10% -15%	
max ± 10% 이내	P_i > 0.90 0.90 > P_i >0.88 0.88 > P_i >0.85 0.85 > P_i	무수정 -5% -10% -15%	

측정관리 허용범위별 EV 수정은 [표 31]와 같이 산정하였으며 편차범위가 클수록 수정비율이 크고, 개별적인 핵심기술성능지수의 미충족 기술이 많을수록 수정비율이 크다.

특히 개별성능지수의 허용범위 초과가 많을 경우(n>3) 해당가중치 합산보다는 일정비율을 수정함으로 기술적 위험도에 따르는 조기 경보가 가능토록 하였다. 이러한 성과수정은 허용오차별 EV수정에 따라 개선되며 총수정계수는 CTPI 미충족 수정 + 개별 CTPI 미충족에 따른 수정으로 기존 EV × 총수정계수(± %) 만큼 수정한다.

다음은 측정관리 허용범위가 ±5%인 경우 가상 잠수함의 TEV산정의 예이다.

① 기존 성과관리시스템에 의한 EV측정

② 해당단계에서 기술성능지수 측정

기술성능 달성도 분석

기술성능항목	위험도	목표값	관리값	위험값	실적값	달성도	기술성능 편차율
중량/체적(W1)	×	2500톤	2500톤±5%	2700톤 이상	2645톤	94.3	5.7
수중지속(W2)	●	15일	13~15일	12일 미만	14.5일	96.9	3.1
잠항심도(W3)	●	200m이상	180m이상	150m 미만	195m이상	97.1	2.9
항속거리(W4)	●	7000NM이상	6500NM이상	6000NM이하	6825NM	97.5	2.5
수중소음(W5)	×	125dB이하	130dB이하	135dB이상	134dB	92.7	7.3

[Figure 55] 체계 수준의 성과관리(±5%인 경우)

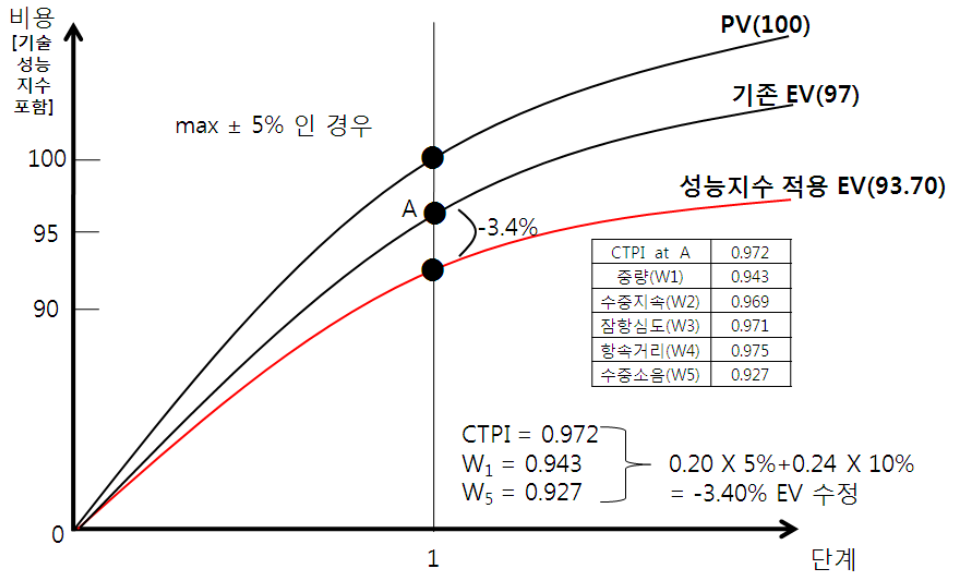
③ [표 32]에 따른 EV 수정계수 계산

[Table 32] EV 수정계수 계산

성능지수	측정값	측정범위	수정	가중치	수정계수
CTPI	0.972	Pi>0.95	무수정	1	-
중량(W1)	0.943	0.95>Pi>0.93	-5%	0.20	-1.0%
수중지수(W2)	0.969	Pi>0.95	무수정		
잠항심도(W3)	0.971	Pi>0.95	무수정		
항속거리(W4)	0.975	Pi>0.95	무수정		
수중소음(W5)	0.927	0.93>Pi>0.90	-10%	0.24	-2.4%

④ 기술성능지수를 포함한 성과

TEV = (1± 총수정계수)EV = 0.966



[Figure 56] 기술성능지수 허용범위별 미충족에 따른 EV수정(±5%인 경우)

다음은 측정관리 허용범위가 ±3%인 경우 가상 잠수함의 TEV산정의 예이다.

① 기존 성과관리시스템에 의한 EV측정

② 해당단계에서 기술성능지수 측정

기술성능 달성도 분석

기술성능항목	위험도	목표값	관리값	위험값	실적값	달성도	기술성능 편차율
중량/체적(W1)	●	2500톤	2500톤±3%	2600톤 이상	2550톤	98.1	1.9
수중지속(W2)	●	15일	14일	13일 미만	15.1일	100.7	0.7
잠항심도(W3)	●	200m이상	190m이상	180m 미만	195m이상	97.5	2.5
항속거리(W4)	●	7000NM이상	6800NM이상	6500NM이하	6825NM	97.5	2.5
수중소음(W5)	×	125dB이하	128dB이하	130dB이상	134dB	95.9	4.1

[Figure 57] 체계 수준의 성과관리(±3%인 경우)

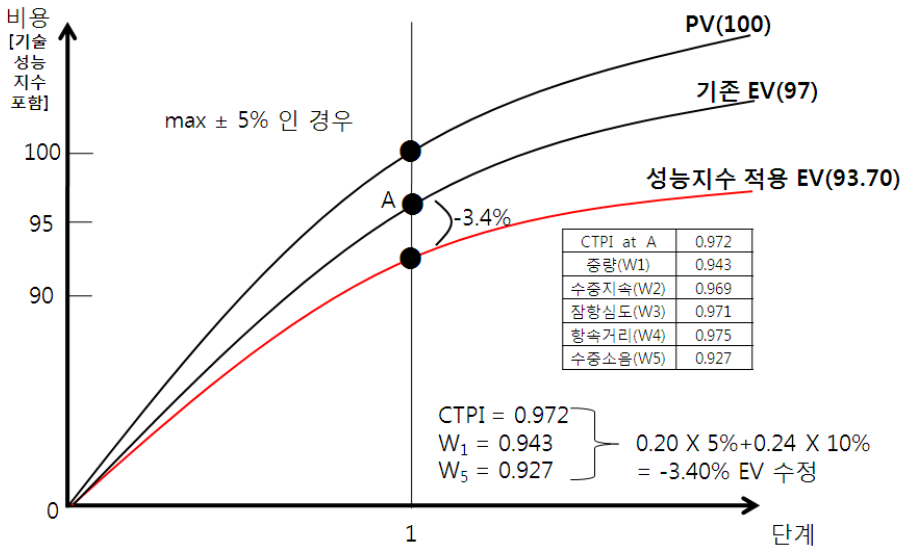
③ [표 32]에 따른 EV 수정계수 계산

[Table 33] EV 수정계수 계산

성능지수	측정값	측정범위	수정	가중치	수정계수
CTPI	0.972	Pi>0.95	무수정	1	-
중량(W1)	0.943	0.95>Pi>0.93	-5%	0.20	-1.0%
수중지수(W2)	0.969	Pi>0.95	무수정		
잠항심도(W3)	0.971	Pi>0.95	무수정		
항속거리(W4)	0.975	Pi>0.95	무수정		
수중소음(W5)	0.927	0.93>Pi>0.90	-10%	0.24	-2.4%

④ 기술성능지수를 포함한 성과

TEV = (1± 총수정계수)EV = 0.966



CTPI at A	0.972
중량(W1)	0.943
수중지속(W2)	0.969
잠항심도(W3)	0.971
항속거리(W4)	0.975
수중소음(W5)	0.927

[Figure 58] 기술성능지수 허용범위별 미충족에 따른 EV수정(±3%인 경우)

4.8 설계검토, M&S 반영 및 설계수정

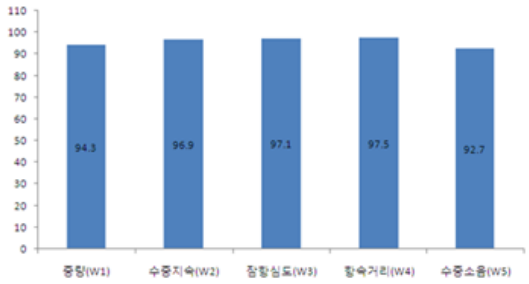
핵심기술 성능지수의 관리 값에 벗어난 위험도가 있는 성능지수의 값들은 ROC를 기반으로 M&S를 기반으로 재 설계과정을 거쳐 기술성능지수 값 들을 관리하도록 하였다. 수중소음의 예를 들면, EVMS관리도 중 비용 성과분석결과 비용편차 5%이상 과다 발생에 따른 사전경보를 바탕으로 계획성능과 실제성능과의 차이를 확인 하였다. 이를 해결하기 위하여 수중방사소음 감소를 위한 각 주파수 대역별 소음수준 조정 등 기술의 세부항목을 재결정 하였으며, 주요 소음원 변경 설계, FND 조정, 주파수 조정 등을 통한 설계 수정을 조기에 진행 하였다. 이러한 방법으로 TEV

를 적용함으로서 기술성능에 대한 관리가 가능하여 기존 성과 측정에 비해 조기에 기술성능 미 충족에 따른 설계추진 방향을 변경하므로 성과측면에서도 이득을 볼 수 있었다.

4.9 성과측정 및 분석

EVMS 설계검토, M&S 반영 및 설계수정을 통해 반영된 설계항목들이 EVMS로 관리되었으며, [그림 59]과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

기술성능 종합달성도 차트(±5%관리)



기술성능 달성도 분석

기술성능항목	위험도	목표값	관리값	위험값	실적값	달성도	기술성능 편차율
중량/체적(W1)	●	2500톤	2500톤±5%	2700톤 이상	2590톤	96.5	3.5
수중지속(W2)	●	15일	13~15일	12일 미만	14.5일	96.9	3.1
잠항심도(W3)	●	200m이상	180m이상	150m 미만	195m이상	97.1	2.9
항속거리(W4)	●	7000NM이상	6500NM이상	6000NM이하	6825NM	97.5	2.5
수중소음(W5)	●	125dB이하	130dB이하	135dB이상	130dB	96.0	4.0

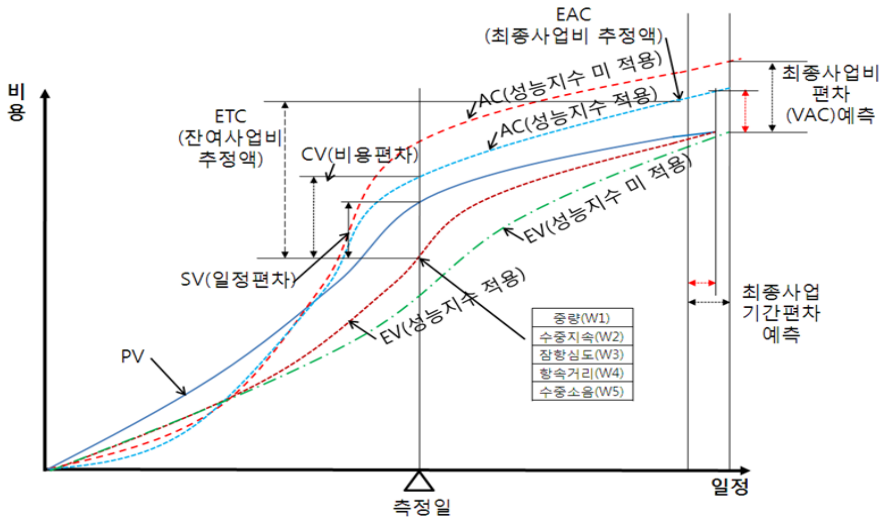
[Figure 59] 체계 수준의 성과관리 측정(±5%인 경우)

기술성능지수가 포함된 EVMS 통합 프레임워크를 실제 잠수함 사례를 통하여 활용결과를 확인한 결과 첫째, 시스템 문제에 대한 조기 경보 및

기술적 위험을 조기에 인식하여 사전에 방안 모색이 가능하였다. 둘째, 요구(계획)성능과 실제 성능과의 차이를 설계과정에서 확인 가능하였다. 셋째, 계통 설계 요구조건 변경 및 목표치 변경 가능성에 대한 검토 및 후행에 대한 업무 예상이 가능해졌다. 이에 따라 추진, 전기, 체계종합 분야에 일부 적용하였으며 기존의 계획보다 약 4.3%의 설계공수 감소효과가 있는 것으로 추정할 수 있었다. 향후에 기술성능지수가 포함된 EVMS 통합프레임워크를 확대 적용 할 경우에는 보다 큰 공수절감 효과가 예상 되어진다. [표 34]은 잠수함 적용 시 공수절감 효과를 나타낸다.

[Table 34] 잠수함 적용 공수절감 효과

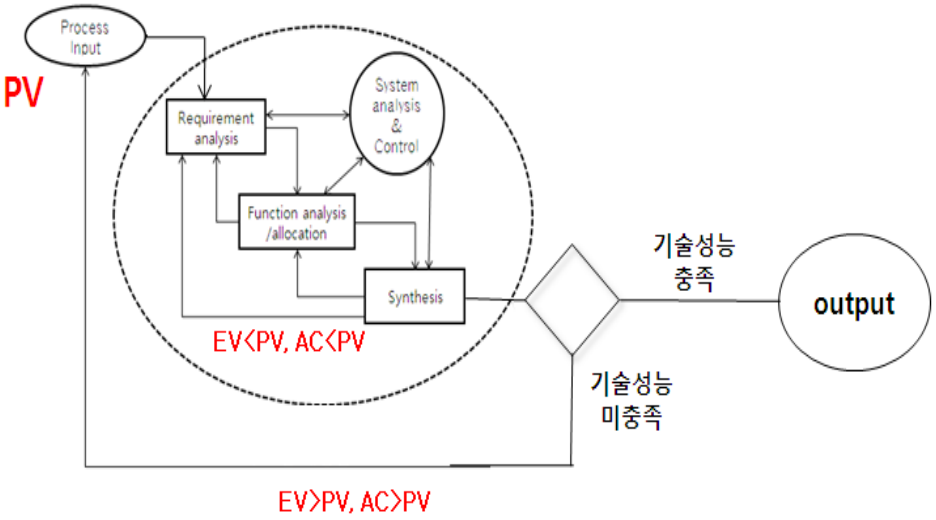
구분	계획공수(A)	인정공수(B)	공수편차(A-B)
2009	21,210	20,242	968
2010	18,577	17,838	739
계	39,787	38,080	1,707



[Figure 60] 기술성능지수가 포함된 EVMS 비용 및 일정

일반적으로 기술성능지수가 포함된 EVMS 프로세스와 잠수함 통합프레임워크를 적용하였을 때, 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 첫째, 주요 기술성능목표관리 및 달성추이 평가가 가능하였다. 둘째, 비용, 일정과 체계기술성능에 대한 추적 및 관리가 가능하였다. 셋째, 실 투입비용과 성과(TEV)에 대한 분석을 통해 조기경보 및 수정가능하였다. [그림 60]은 EVMS의 측정요소(EV, TEV, CPTI 등)간의 관계를 나타낸다.

여기서 사전에 기술성능에 대한 성과추적이 가능하여 조기에 수정가능하므로 성과달성 측면에서 매우 효과적임을 알 수 있다.



[Figure 61] 기술성능지수를 고려한 SE 절차

마지막으로 SE절차와 기술성능이 연계됨으로서 기술성능충족 여부에 따라 비용대효과를 고려한 [그림 61]과 같은 새로운 절차가 도출될 수 있었다.

제 5 장

결 론

기존 통합프레임(SE 및 M&S)는 시뮬레이션 기반 획득을 위한 잠수함 획득에 적용하였다. 잠수함 획득 프로세스에 SE가 적용된 결과를 활용하여 최종적으로 M&S를 결합하여 구현하는 개념으로 통합 프레임워크를 제안하여 실제 잠수함 기본설계 업무환경에 적용하여 방법론과 프레임워크에 대한 효용성을 입증하였다.

그러나 실제사업 적용에 필요한 비용과 일정부분에 대한 항목이 부재하고, 요구 성능 충족 여부에 대한 관리, 사전분석 및 조정 기능이 필요하며, 기존 프레임워크에 확장성 및 효용성 증대가 필요한 것으로 판단되었다.실제 미국의 획득절차 중에서도 Acquisition process 분석에 있어서 Cost Schedule과 performance constrains에 대한 요소를 중요시하고 있음을 착안하여 비용 및 일정 부분을 추가하여 기존 프레임워크에 확장성과 효용성을 증대하고자 하였다.

이를 위하여 국방획득 분야에 관심사인 EVMS를 기존 프레임워크에 적용하기 위해서 기존 EVMS의 활용 및 한계점에 대해 검토하였다. 체계에 대한 계획성능과 실제 성능을 가시적 확인, 요구 성능 충족에 대한 문제점 사전에 조기 발견 및 예측, 요구 사항 수정에 대한 영향 및 사업관리자 의사결정 지원 등이 부족하였다는 검토 결과에 따라 EVMS의 단순한 적용보다는 체계성능과 관련된 기술 성능지수를 적용한 EVMS를 활용하는 것이 효과적이라 판단하였다.

이는 기존 EVMS의 단순한 비용 및 일정관리에서 기술적 요구사항에 대

한 충족여부를 관리하기 위해 기술 성능요소를 적용한 새로운 EVMS를 기존 프레임워크와 연결하여 계획 성능과 실제 성능의 가시적 확인, 사전 문제점 조기발견 및 예측, 수정사항에 대한 영향과 사업관리자의 의사결정 지원 등의 필요성 이 있다는 결론을 도출하였다.

이에 따라 본 논문에서는 첫째, 기술 성능지수 선정절차를 정립하고 잠수함에 영향을 미치는 성능 파라미터를 전문가를 중심으로 델파이기법 및 AHP기법을 통해 최종 5개의 기술 성능지수를 도출하였다. 또한 이들 5개 기술 성능지수에 대한 상관관계를 조사하여 최종적인 가중치를 설정하고 핵심기술 성능지수(CTPI)를 도출하였다.
아울러 각 성능지수 항목별 목표치를 설정하고 개별 항목별 평가모델을 제시하였으며, 측정방안과 관리방안을 정립하여 설계기간 중요 단계별로 관리기준을 조정하여 측정 및 평가토록 하였다. 아울러, 기본설계과정에 적합한 EVMS 성과 측정방법을 결정하고 핵심기술 성능지수(CTPI)에 따른 체계성능이 포함된 EVMS 성과관리 값을 선정하여 적용하였다.

둘째, 기존 프레임워크에 사용한 SWBS를 기준으로 일관성 유지 및 확장이 가능하고 성능지수를 적용한 EVMS의 통제계정, 설계산출물, 제품모델이 상호 연계 될 수 있도록 SWBS 구조를 확정 하였다. 미 국방규격(Mil-HDBK-881A)및 미 해군의 ESWBS(Expanded Ship Work Break down Structure) Code Book(NAVSEA S9040-AA-IDX-010)을 적용한 작업분할구조를 기준으로 SWBS 구조를 확정 하였으며, 이 SWBS 구조에서는 기존의 M&S 제품 모델은 Level 5에서 확인 가능토록하고 6~7단계는 형상정의, 설계, 사양, 건조유지, 보수 영역으로 확장토록 하여 세분화 하였다.

셋째 기존의 통합 프레임워크 모델을 기준으로 계약 목적문건 및 EVMS의 통제계정 단위로 계획요소, 측정요소, 분석요소를 SE절차인 요구조건 분석, 기능분석, 설계검증, 확인에 대한 절차를 정의하였으며 설계프로

세스도 각 설계 분야별로 정리하였다. 이러한 결과로 기존의 통합 프레임워크(SE 및 M&S)에 기술성능지수가 적용된 EVMS를 연결한 SE, M&S 및 EVMS 통합 프레임워크 모델을 제안할 수 있었다. 이는 기존의 통합 프레임워크에서는 관찰 및 예측할 수 없었던 기술성능 분야를 포함함으로써 사업관리자가 획득의 주요 요소인 비용, 일정 뿐 아니라 성능을 동시에 관리할 수 있도록 확대한 것이다.

끝으로 기술성능 지수를 결합한 EVMS 통합모델의 적용절차 과정에 허용오차별 EV 값 수정계수를 적용하여 TEV를 산출 하였으며, 실제 잠수함의 기본설계 과정에 가상 잠수함의 요구 성능을 이용하여 적용해 봄으로써 그 효용성을 확인하였다.

향후 본 연구결과로 제안된 성능지수를 고려한 통합 프레임워크를 상세설계 및 건조단계로 확장하기 위한 추가적인 방법 연구가 필요하며, 기존의 EVMS도 기술성능을 고려한 TEV 산정방법과 EVMS의 제 요소들의 상관관계에 대한 평가방법의 정제화가 필요하다.
국방획득 분야에 있어서 이상적인 SBA가 되기 위해서는 기존의 SE, M&S, EVMS 뿐만 아니라 ILS의 요소가 통합된 가상 통합모델인 DIGITAL SHIP의 구현이 필요하고 이를 위한 기초 연구자료로 활용이 가능 할 것이다.

참고문헌

[1] Brown, A., Salcedo, J., "Multiple-Objective Optimization in Naval Ship Design", Naval Engineers Journal, 2003

[2] David, S., "An Analysis of Cost Overruns on Defense Acquisition Contracts", Project Management Journal, 1993

[3] David, S., "A Review of Estimate at Completion Research", Journal of Cost Analysis and Management, 1995

[4] David S., "Using the Earned Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor's Estimate at Completion", Acquisition Review Quarterly, 1999

[5] David, S., "Is the CPI-based EAC a lower bound to the final cost of post A-12 contracts", Journal of Cost Analysis and Management, 2002

[6] David, S., "Is the cumulative SCI-based EAC an upper bound to the final cost of post A12 defense contracts", Journal of Cost Analysis and Management, 2004

[7] Charles, C,, Kathryn, Kulick., "Technical Performance Measurement" 1996

[8] Hanwool, C., "Naval Ship Concept Design For The Republic Of Korea Navy", A Systems Engineering Approach. Naval Postgraduate School, 2009

[9] DiPetto, C., "DoD Acquisition Modeling & Simulation", Community in DoD Modeling and Simulation(M&S) Conference, 2007

[10] DoD, "Engineering management MIL-STD-499A", Department of Defense, 1974

[11] DoD, "DoD Modeling and Simulation(M&S) Glossary", USD(AT&L), 1998

[12] DoD, "Systems Acquisition Manager's Guide for the use of Models and Simulations", 2009

[13] DOD, "Development Of Naval Ship Characteristics", Department Of The Navy, 1985

[14] EIA, "ANSI/EIA-748-A : Earned Value Management System", 1998

[15] Frank, T., "Earned Value Project Management Method and Extensions", Project Management Journal, 2003

[16] Fleming,Q.M. and Kopplemen,J.M. "Earned Value Project Management 2nd Edition", 2006

[17] Timson, F., "Measurement of Technical Performance in Weapon System Development Program A Subjective Probability Approach", Memorandum, 1968

[18] Roedler, G., "Technical Measurement Guide", 2006

[19] Griffin, L., Winner, R., "Integrated Product/process development in upgrade and mod programs", 2003

[20] Henderson, K., "The Benefits of Earned Value Management for 'Strategic Commercial Imperatives'", Proceedings of the Inaugural PMI Asia Pacific Global Congress Singapore, 2006

[21] INCOSE, "Survey of Model-Based Systems Engineering(MBSE) Methodologies", 2008

[22] James, N., "Systems Engineering Guidebook - A Process for developing systems and products", CRC Press, 1996

[23] Sumara, J., "Earned Value - The Next Generation - A Practical Application for Commercial Projects", PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE 28th Annual Seminars & Symposium, 1997

[24] Michael A.,"Cost as An Independent Variable(CAIV) Principle

and Implementation", Los Angeles, 2001

[25] Micro, F., "Technical Performance Measurement - A Program Management Barometer, DCMA Pilots a Modified Approach to TPMs", Project Management November, 2005

[26] National Research Council, "Modeling and Simulation in Manufacturing and Defense Acquisition : Pathways to Success. Committee on Modeling and Simulation Enhancements for 21st Century Manufacturing and Defense Acquisition", 2002

[27] Paul, J., "Performance-based Earned Value", John Wiley & Sons, 2007

[28] Popescu, M., "Project Planning, Scheduling, and Control in Construction", John Wily&Sons,1995

[29] Project Management Institute, "Practice Standard for Earned Value Management", 2005

[30] Timson, F., "Measurement of Technical Performance in Weapon System Development Program A Subjective Probability Approach", Memorandum RM-5207-ARPA, 1968

[31] 구옥회, "한국 국방획득업무의 제도적 개선방안", 한양대학교 행정·자치대학원, 2009

[32] 국방대학원, "연구개발 및 기술관리", 국방대학원, 1992

[33] 국방부, "국방전력발전업무 훈령", 2009

[34] 국방부 , "국방기획관리기본규정", 1997

[35] 국방부 , "방위력개선업무 집행방침 및 절차", 1996

[36] 국방획득체계개선단, "국방경영 효율화를 위한'09년 국방획득체계 분석 보고서", 2009

[37] 김덕일, "작업분류체계 기반의 공동주택 공정관리 적용 방안에 관한 연구", 인하대학교 대학원, 2004

[38] 국방과학연구소, "고등훈련기 기술성능측정", 1998

[39] 김상철,"Final Construction Cost Prediction by Using the Earned Value Index Application Method", 박사학위 논문, 2003
[40] 강성진, "국방 연구개발 사업의 제도적 비용관리 및 획득단계 비용 평가 방안 연구 ", 정책분석평가학회보, 2005
[41] 김용균, "함정 설계의 제품정보 관리시스템을 구축하기 위한 방법론", 서울대학교 박사학위논문, 2008
[42] 김종필, "무기체계사업 비용·일정 통합관리체계 구현방안 연구", 석사학위 논문, 2003
[43] 김중명, "국방연구개발 사업의 시스템 기술 성숙도 평가 모델 개발", 아주대학교, 2010
[44] 김종하, "미래전쟁과 국방획득, 서울책이된 나무, 2002
[45] 김철환 외, "사업성과관리(EVM)", 비전피엠, 2009
[46] 김철환, "효율적인 무기체계 기술도입생산방안 연구", 국방대학원, 1990
[47] 대림산업, "공동주택의 공정관리를 위한 CAD기반 시뮬레이션 시스템 개발에 관한연구", 1994년도 연구개발사업 연차보고서, 1995
[48] 대한조선학회, "조선해양공학개론", 동명사, 2003
[49] 민성기 외, "INCOSE SEH Working Group", 시스템체계공학원, 2006
[50] 방위사업청. "방위사업관리규정", 2009
[51] 방위사업청,"방위사업관리규정(훈령 제122호)",2010
[52] 방위사업청, "KHP 기술성과측정(기술성능지수) 보고서", 2008
[53] 심만수, "무기체계 연구개발에 EVMS 적용방안 연구", 석사학위 논문, 2001
[54] 손해용, "무기체계 연구개발에서의 비용 및 일정통제 개선방향에 관한 연구", 석사학위 논문, 2001
[55] 원병권, "공사관리 데이터베이스 설계를 위한 개념적 데이터 모델에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 1995
[56] 이유섭, "EV 기반공사관리시스템 기능의 비교 분석 연구", 한국건

설학회 논문집 제5권 제1호, 2004
[57] 서울대학교, “잠수함 설계 기법, 함정설계 특별강좌”, 해양시스템 공학연구소, 2006
[58] 신종계 외, "디지털 선박생산개념", 대한조선학회지, 2001
[59] 오대균, “시뮬레이션 기반 함정 획득을 위한 함정 제품모델 및 관리시스템 연구”, 서울대학교 박사학위논문, 2008
[60] 정연환, “잠수함 모델링 및 시뮬레이션을위한 시스템엔지니어링 기반의 제품정보 관리시스템 프레임워크“, 서울대학교 대학원, 2010
[61] 장영조, “국방획득사업에서의 EVMS 적용 및 발전방안", 전북대학교 행정대학원", 2009
[62] 정호수, “국내 방위산업의 경쟁력 제고를 위한 EVMS 적용방안에 관한 연구”, 2008
[63] 정환진, “무기체계 개발사업의 체계공학 기반 개발프로세스 모델 설계 및 전산화에 대한 연구”, 충남대학교 산업대학원, 2011
[64] 최석 외, “기술척도 적용 연구”, 시스템 엔지니어링 학술지, 2007
[62] 편완주, “국방연구개발 사업성과에 영향을 미치는 사업관리 요인에 관한 실증연구”, 2008
[65] 한국국방연구원, “KHP사업의 효율적 추진을 위한 EVMs 설계연구”, 2005

참고문헌

[1] Brown, A., Salcedo, J., "Multiple-Objective Optimization in Naval Ship Design", Naval Engineers Journal, 2003

[2] David, S., "An Analysis of Cost Overruns on Defense Acquisition Contracts", Project Management Journal, 1993

[3] David, S., "A Review of Estimate at Completion Research", Journal of Cost Analysis and Management, 1995

[4] David S., "Using the Earned Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor's Estimate at Completion", Acquisition Review Quarterly, 1999

[5] David, S., "Is the CPI-based EAC a lower bound to the final cost of post A-12 contracts", Journal of Cost Analysis and Management, 2002

[6] David, S., "Is the cumulative SCI-based EAC an upper bound to the final cost of post A12 defense contracts", Journal of Cost Analysis and Management, 2004

[7] Charles, C,, Kathryn, Kulick., "Technical Performance Measurement" 1996

[8] Hanwool, C., "Naval Ship Concept Design For The Republic Of Korea Navy", A Systems Engineering Approach. Naval Postgraduate School, 2009

[9] DiPetto, C., "DoD Acquisition Modeling & Simulation", Community in DoD Modeling and Simulation(M&S) Conference, 2007

[10] DoD, "Engineering management MIL-STD-499A", Department of Defense, 1974

[11] DoD, "DoD Modeling and Simulation(M&S) Glossary", USD(AT&L), 1998

[12] DoD, "Systems Acquisition Manager's Guide for the use of Models and Simulations", 2009

[13] DOD, "Development Of Naval Ship Characteristics", Department Of The Navy, 1985

[13] EIA, "ANSI/EIA-748-A : Earned Value Management System", 1998

[14] Frank, T., "Earned Value Project Management Method and Extensions", Project Management Journal, 2003

[14] Fleming,Q.M. and Kopplemen,J.M. "Earned Value Project Management 2nd Edition", 2006

[15] Timson, F., "Measurement of Technical Performance in Weapon System Development Program A Subjective Probability Approach", Memorandum, 1968

[16] Roedler, G., "Technical Measurement Guide", 2006

[17] Griffin, L., Winner, R., "Integrated Product/process development in upgrade and mod programs", 2003

[18] Henderson, K., "The Benefits of Earned Value Management for 'Strategic Commercial Imperatives'", Proceedings of the Inaugural PMI Asia Pacific Global Congress Singapore, 2006

[19] INCOSE, "Survey of Model-Based Systems Engineering(MBSE) Methodologies", 2008

[20] James, N., "Systems Engineering Guidebook - A Process for developing systems and products", CRC Press, 1996

[21] Sumara, J., "Earned Value - The Next Generation - A Practical Application for Commercial Projects", PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE 28th Annual Seminars & Symposium, 1997

[22] Michael A.,"Cost as An Independent Variable(CAIV) Principle

and Implementation", Los Angeles, 2001
[23] Micro, F., "Technical Performance Measurement - A Program Management Barometer, DCMA Pilots a Modified Approach to TPMs", Project Management November, 2005
[24] National Research Council, "Modeling and Simulation in Manufacturing and Defense Acquisition : Pathways to Success. Committee on Modeling and Simulation Enhancements for 21st Century Manufacturing and Defense Acquisition", 2002
[25] Paul, J., "Performance-based Earned Value", John Wiley & Sons, 2007
[26] Popescu, M., "Project Planning, Scheduling, and Control in Construction", John Wily&Sons,1995
[27] Project Management Institute, "Practice Standard for Earned Value Management", 2005
[28] 구옥회, "한국 국방획득업무의 제도적 개선방안", 한양대학교 행정·자치대학원, 2009
[29] 국방대학원, "연구개발 및 기술관리", 국방대학원, 1992
[30] 국방부, "국방전력발전업무 훈령", 2009
[31] 국방부 , "국방기획관리기본규정", 1997
[32] 국방부 , "방위력개선업무 집행방침 및 절차", 1996
[33] 국방획득체계개선단, "국방경영 효율화를 위한'09년 국방획득체계 분석 보고서", 2009
[34] 김덕일, "작업분류체계 기반의 공동주택 공정관리 적용 방안에 관한 연구", 인하대학교 대학원, 2004
[35] 국방과학연구소, "고등훈련기 기술성능측정", 1998
[36] 김상철,"Final Construction Cost Prediction by Using the Earned Value Index Application Method", 박사학위 논문, 2003
[37] 강성진, "국방 연구개발 사업의 제도적 비용관리 및 획득단계 비용

평가 방안 연구 ", 정책분석평가학회보, 2005
[38] 김용균, "함정 설계의 제품정보 관리시스템을 구축하기 위한 방법론", 서울대학교 박사학위논문, 2008
[39] 김종필, "무기체계사업 비용·일정 통합관리체계 구현방안 연구", 석사학위 논문, 2003
[40] 김중명, "국방연구개발 사업의 시스템 기술 성숙도 평가 모델 개발", 아주대학교, 2010
[41] 김종하, "미래전쟁과 국방획득, 서울책이된 나무, 2002
[42] 김철환 외, "사업성과관리(EVM)", 비전피엠, 2009
[43] 김철환, "효율적인 무기체계 기술도입생산방안 연구", 국방대학원, 1990
[44] 대림산업, "공동주택의 공정관리를 위한 CAD기반 시뮬레이션 시스템 개발에 관한연구", 1994년도 연구개발사업 연차보고서, 1995
[45] 대한조선학회, "조선해양공학개론", 동명사, 2003
[46] 민성기 외, "INCOSE SEH Working Group", 시스템체계공학원, 2006
[47] 방위사업청. "방위사업관리규정", 2009
[48] 방위사업청,"방위사업관리규정(훈령 제122호)",2010
[49] 방위사업청, "KHP 기술성과측정(기술성능지수) 보고서", 2008
[50] 심만수, "무기체계 연구개발에 EVMS 적용방안 연구", 석사학위 논문, 2001
[51] 손해용, "무기체계 연구개발에서의 비용 및 일정통제 개선방향에 관한 연구", 석사학위 논문, 2001
[52] 원병권, "공사관리 데이터베이스 설계를 위한 개념적 데이터 모델에 관한 연구", 서울대학교 대학원, 1995
[53] 이유섭, "EV 기반공사관리시스템 기능의 비교 분석 연구", 한국건설학회 논문집 제5권 제1호, 2004
[54] 서울대학교, "잠수함 설계 기법, 함정설계 특별강좌", 해양시스템공학연구소, 2006

[55] 신종계 외, "디지털 선박생산개념", 대한조선학회지, 2001
[56] 오대균, "시뮬레이션 기반 함정 획득을 위한 함정 제품모델 및 관리시스템 연구", 서울대학교 박사학위논문, 2008
[57] 정연환, "잠수함 모델링 및 시뮬레이션을위한 시스템엔지니어링 기반의 제품정보 관리시스템 프레임워크", 서울대학교 대학원, 2010
[58] 장영조, "국방획득사업에서의 EVMS 적용 및 발전방안", 전북대학교 행정대학원", 2009
[59] 정호수, "국내 방위산업의 경쟁력 제고를 위한 EVMS 적용방안에 관한 연구", 2008
[60] 정환진, "무기체계 개발사업의 체계공학 기반 개발프로세스 모델 설계 및 전산화에 대한 연구", 충남대학교 산업대학원, 2011
[61] 최석 외, "기술척도 적용 연구", 시스템 엔지니어링 학술지, 2007
[62] 편완주, "국방연구개발 사업성과에 영향을 미치는 사업관리 요인에 관한 실증연구", 2008
[63] 한국국방연구원, "KHP사업의 효율적 추진을 위한 EVMs 설계연구", 2005

Abstract

An Earned Value Management System with Technical Performance Indices of Submarine for Simulation-Based Acquisitio

Young Ki Min
Naval Architecture and Ocean Engineering
Department of Industrial Engineering and Naval Architecture
The Graduate School
Seoul National University

Development project of large military complex weapon system including ship needs enormous defense budget and long standing period and most of them include various risks from different uncertain factors. Therefore, periodic evaluation of achievement and management for diverse factors such as cost, schedule and technological performance are required during the period of project management.

Currently, in the case of that the weapon system development related project management in Korea, it is managed centering to

the cost and schedule by adopting the EVMS (Earned Value Management System). However, the technological performance, the major part of the project management, has been unmanaged comparatively in the current EVMS. And, as most research of existed EVMS presented only theoretical consideration and development direction, concrete integration methodology that adopted the technology performance to the cost and schedule is insufficient so far. Thus, the methodology was needed to introduce the technology performance into the EVMS, as a way of the risk management and measure establishment for the demand performance probable in the project process.

In order to adopt the EVMS to a submarine, a representative complex weapon system, a method was suggested, that deducting and introducing a technological performance indices considered complicated acquisition condition and system performance. There was general methodology was required, adopting the EVMS considered Technological Performance Indiex (TPI) to the existed integration framework introducing the conception of the System Engineering (SE) and Modeling & Simulation (M&S) for the Simulation Based Acquisition (SBA) and its result as followed was showed through the methodology.

Firstly, the selection process of the system TPI is established. The selection process of seven steps adopts statistical data analysis including an evaluation index set-up, Delphi Technique and Analytic Hierarchy Process (AHP) and utilizes data validation method including Box-plot, agreement degree and correlation

coefficient analysis. As the method in this paper adapted to a submarine to validate, five key technological performance index were deducted.

Secondly, the Ship Work Breakdown Structure(SWBS) of seven steps is provided by largely applying extended ship work breakdown structure based on the defense standard of the US to adopt the SWBS of three steps, used to the existed ship and to connect mutually with the existed integration framework.

Thirdly, the new model is suggested that the provided model of a submarine integrating the existed SE and M&S integrated with the EVMS deducting and applying the system technological performance index by system based on the SWBS.

Finally, as the EVMS integration framework with the technological performance index provided to the tolerance application plan and process by technological performance index, availability of the provided model was validated.

Through these research results, this paper suggested effective methods that manages various problems including cost increase and schedule delay, the major trouble of the defense project management and unmet performance and the methods is expected to be utilized into various fields.

Keyword : System technological performance indices, Core technological performance indices, EVMS, SE, M&S, SWBS, submarine integration framework

ID: 2005-30206

감사의 글

어려서 작은 집, 예쁜 집 그리고 살기 좋은 집을 마음속에 그렸습니다. 그리고, 바다를 보면서 무언가에 매력을 느끼며 가슴 한 곳에서 소박한 꿈을 갖게 되었습니다. 지난 10년 동안 막연한 꿈이 현실로 도래할 때 그 꿈이 얼마나 낭만적이었고, 너무 큰 꿈을 품었던 것이 아닌가 하는 생각도 갖은적이 있었습니다.

지금 이 글을 쓰면서도 모자람이 많은 저에게 너무나도 큰 은혜를 베풀어 주신 분들에게 태산같이 많은 빚을 어떻게 보답할 수 있을까 생각하면 송구스러움이 더할 뿐 입니다.

너무도 오랜 기간 관심과 애정으로 마지막 모든 것을 저에게 배려해 주신 이기표 교수님께 고개 숙여 깊은 감사를 드립니다. 저의 모자람과 부족함을 다양한 지식과 경험으로 많은 것을 밝혀주시는 신종계 교수님, 항상 형님 같은 넓은 마음으로 귀중한 가르침과 격려를 해 주신 이현엽 교수님, 명쾌한 논리와 선비의 혼을 간직하시고 조용하게 말씀하시던 홍석윤 교수님, 생각이 깊고 옆에서 많은 조언과 도움을 주었던 오대균 교수님. 모든 분들께 항상 고마움을 간직하겠습니다.

그리고 고령의 학생이라면서도 해군에 대해 후원을 아끼지 않으신 조선해양공학과의 성우제 교수님, 서정천 교수님, 김용환 교수님, 이신형 교수님께도 감사드립니다. 또한, 저를 생도 시절 조선공학으로 인도해 주신 윤범상 교수님과 김주성 교수님께도 감사드립니다.

지난 30년 간 조함 장교로 열심히 업무를 수행하여 조금이나마 해군 발전에 기여토록 도움을 주신 고 엄도제 제독님, 박대성 제독님, 고 김종순 제독님을 비롯한 허일, 이강우, 고 배해룡, 정승환, 심이섭, 고광엽,

정광원, 손귀현, 김형만, 김경중, 박형준, 정재수, 정석호, 이재용, 홍익선, 나양섭 선배님과 박승현, 문길호 동기생, 그리고 많은 후배 조함장교 분들께 감사의 마음을 전하며 앞으로는 해군과 함정을 위해 조금이나마 기여할 수 있도록 노력 하겠습니다. 항상 힘들고 어렵지만 현명함을 가르쳐 주시고 투정을 받아주신 김태운 실장님 감사합니다.

아울러 변변한 인사 한 번 못 드렸지만 항상 든든한 지원군이 되어주셨던 이홍휘 제독님, 우상준 제독님, 함원용 제독님, 황기철 제독님, 임종철 제독님께 감사드립니다.

또한, 아무런 준비 없이 해군본부 분청 별관에서 묵묵히 일하던 그 때부터 고생하며 현재까지도 잠수함 근처에서 고생하는 이웅섭 대령, 최완수 대령, 류성곤 대령, 양한진 대령, 김덕기 대령 및 염왕렬, 김기성, 강준구, 송동용 중령 등 팀원들께도 감사드립니다.

같이 근무하면서 응원해 주시며, 관심과 배려를 베풀어 주신 홍문희 센터장님, 이윤상 박사님, 김정국 박사님, 강인원 박사님, 차대현 전문위원님, 황태호 박사, 김권희 박사, 하삼수 대령, 김성재 대령, 고승철 박사 등과 논문 작성에 있어서 여러 모로 많은 도움을 준 정일호 연구원, 이창희, 방수진, 안혜원 등 부서원 모두에게 감사드립니다.

8년 간 변변치 못 한 학생이지만 많은 도움을 주신 군 위탁교육생들과 선박조종성 연구실의 이성균 박사, 유영준 박사 그리고 선박시스템 연구실 원생 모두에게도 감사드립니다.
또한, 제가 이런 논문을 쓰기까지 앞길을 개척해 주며 친구처럼, 때로는 후배이지만 선배처럼 신경 써 주신 이창민 박사, 정연한 박사, 김용균 박사와 그리고 최원준, 박진원 후배에게도 고마움을 표하고자 합니다.
오랫동안 같은 길을 걸었던 국방과학연구소의 박의동 박사님, 이현곤 박사님, 고용석 팀장, 김상현 팀장 등 많은 연구원분들과 기계연구원의 정

태영 박사님, 정정훈 박사에게도 고마운 마음을 전합니다. 동고동락을 같이 했던 KTMI, 현대중공업, 대우조선해양 등 조선소의 특수선 임직원 여러분들을 비롯한 많은 방산업체 관계관, 한국국방연구원, 국방기술품질원 관계자 여러분들께도 감사드립니다.

오늘이 있기까지 힘든 시절 잠시만 참고 지내라시며 개인적으로 많은 신뢰와 도움을 주신, 충무공처럼 잠수함을 만들자 하시던 김덕수 제독님, 그리고 이정빈 사장님, 하재명 실장님, 묵묵히 바라보며 응원해 준 친구 정선, 재훈, 덕수, 선택, 문용, 창규, 재식, 석영, 영교, 형순, 정현, 승모, 상은, 용석, 성수, 태열, 재식, 성기, 재현, 석웅, 영길, 봉필, 우영이 그 외 모든 친구들에게 감사드립니다.

지금은 먼 곳에서 계시지만 자식들을 지켜주신 어머니, 고생하시며 마음만은 자식을 위해 행복하시다는 아버지 감사드립니다. 그리고 힘이 못되어 미안하지만 항상 생각해 주는 사랑하는 동생들 숙, 은숙, 의기에게도 모두 고맙다.

매일 힘든 하루를 보내시는 고우신 장모님, 빨리 쾌차하십시오. 그리고 장인어른께도 항상 좋은 말씀 주셔서 감사드립니다.

경현이, 경수 모두 바르게 성장하고 있어 항상 고맙다.

끝으로 당신이 힘이 들 때에도 곁에 있지 못해준 남편을 항상 최고라고 생각하며 기쁠 때나, 슬플 때나, 나의 든든한 버팀목이 되어 준 고마운 아내, 오늘도 착한 딸로, 고운 며느리로, 든든한 엄마로 바쁜 아내로, 정말 고맙습니다. 사랑합니다.

"항상 살며 사랑하며 배울 수 있기를 바라며,
나보다는 상대방의 입장에서 생각하며 바라보겠습니다."