

국방 연구개발사업의 시스템엔지니어링 적용사례 분석

Analysis of the Defense R&D Programs Applied Systems Engineering Approach

권용수*

Kwon, Yong-Soo

ABSTRACT

A systems engineering is an interdisciplinary engineering management process that evolves and verifies an integrated, life-cycle balanced set of system solutions that satisfy customer needs. This work describes analysis of the defense R&D programs applied systems engineering approach. FA-18E/F and NSSN defense acquisition programs are adopted for the case study. Those two programs is performed by IPPD, which is one of the systems engineering management techniques. From the analysis results, implementation considerations of domestic defense R&D programs are presented.

주요기술용어(주제어) : Systems Engineering(시스템엔지니어링), IPPD(통합 제품 및 프로세스 개발), IPTs(통합제품팀), IPDTs(통합제품개발팀)

1. 서론

시스템엔지니어링은 고객의 요구를 만족시키는 수명 주기적 통합 시스템 솔루션을 진화적으로 발전시키고 검증하는 다분야 학문의 엔지니어링관리 프로세스이다^[1]. 이들 프로세스는 국방분야의 대형 프로그램뿐만 아니라 상용제품 프로젝트 분야까지 폭넓게 성공적으로 적용되어 왔다. 초기 대형 국방획득사업에 대한 적용으로부터 시작되었던 시스템엔지니어링 접근방법은 NASA의 대형 우주항공프로그램으로부터 소형 시스템인 35mm의 사진기 개발에 이르기까지 거의 모든 연구개발에 적용되는 일반적인 최적화 연구개발 솔루션으로 발전하고 있다.

특히, 다기능 복합화의 현대시스템 속성과 과학기술의 급격한 발달에 따른 정확한 기술예측의 어려움으로 사업초기에 완전한 시스템정의(system definition)가 곤란하며 개발위험도 높아지고 있다. 이와 같은 국방 연구개발사업의 특성으로 인하여 개발위험이 적은 비교적 단순한 시스템에 대해 적용하던 폭포수 방법의 순차적 개발과 같은 전통적인 획득방법으로는 주어진 비용과 일정 내에서 운용환경에 적합한 시스템 구현을 보장할 수 없게 되었다. 그러나, 이러한 환경변화에 따른 새로운 연구개발 프로세스의 요구와 추세에 따라 국내 산업분야에서 항공우주 및 철도산업을 중심으로 한 시스템엔지니어링 적용의 급격한 확산과는 대조적으로 대형 프로그램인 국방 연구개발사업 과정에서의 시스템엔지니어링 접근방법의 적용에 대한 관심과 이해가 미흡한 편이다.

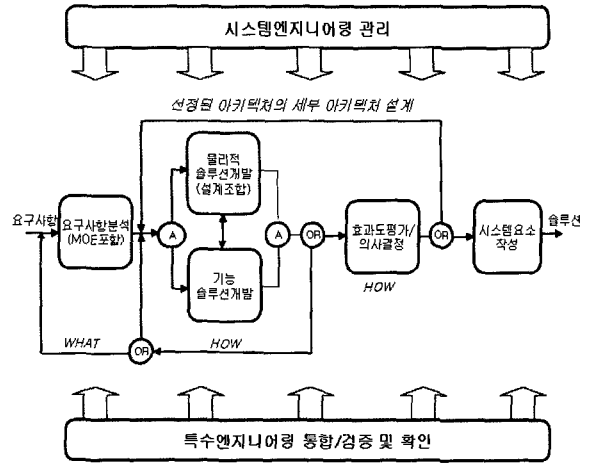
이러한 관점에서 본 연구는 국방획득사업에서의 시스템엔지니어링 적용에 대한 대표적인 사례의 분석결

* 2006년 2월 20일 접수~2006년 3월 17일 게재승인

* 국방대학교(KNDU)

주저자 이메일 : yskwon@kndu.ac.kr

과를 기술하고 이를 기반으로 국내 국방 연구개발 과정에서의 적용 고려사항을 제시한다. 기술기반의 관리적 특성이 강한 시스템엔지니어링의 속성상 본 연구는 획득사업 중 연구개발을 중심으로 한 개발과정에서의 시스템엔지니어링 관리 기법적용 결과를 정성 및 정량적으로 분석한다. 사례분석은 이전 사업과의 비교분석이 비교적 용이한 미 해군의 전술항공기 F/A-18E/F Super Hornet 사업과 차세대 공격핵잠수함 NSSN 사업을 분석대상으로 했다. 이 두 사업은 미 국방획득규정에서 시스템엔지니어링이 명문화되기 이전인 '90년대 초부터 시스템엔지니어링 관리 기법인 IPPD를 적용하여 사업을 성공적으로 수행한 대표적인 사업들이다.

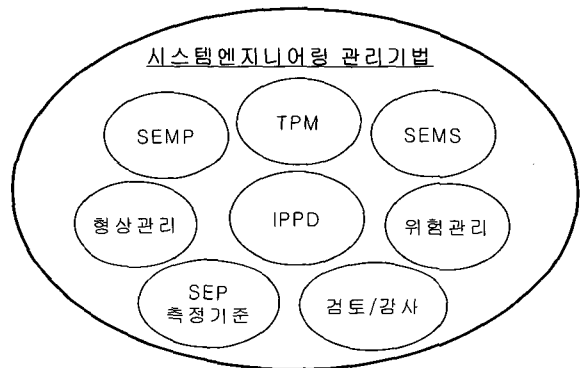


[그림 1] R. Halligan의 시스템엔지니어링 프로세스

2. 시스템엔지니어링과 국방획득 프로세스

가. 시스템엔지니어링프로세스 개념

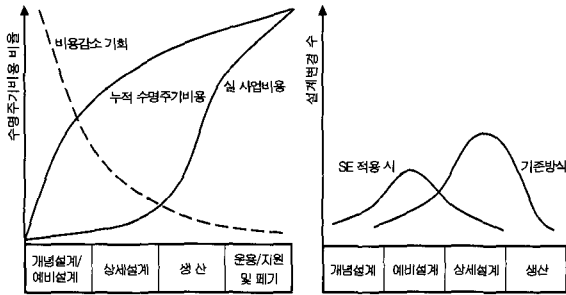
시스템엔지니어링 프로세스(SEP : Systems Engineering Process)는 통합팀에 의해 순차적 하향식(top-down) 방법으로 적용되는 포괄적이고 반복·순환적인 문제해결 과정이다. SEP는 시스템 요구사항을 시스템규격서, 아키텍처 및 형상기준으로 전환하는 구조적 프로세스로, 모든 사업에 대해 개발 단계별로 여러 번 반복하여 적용된다. R. Halligan은 SEP를 그림 1과 같이 시스템엔지니어링 관리와 특수엔지니어링 통합 및 검증/확인을 양측으로 하여 요구사항분석, 기능솔루션 개발, 물리솔루션개발, 효과도평가/의사결정 그리고 시스템요소작성 등의 기능조합으로 보고 있다. 특히, 요구사항을 도출하고 분석하는 초기 활동을 문제도메인(problem domain)으로 보고 'WHAT' 단계로 정의했으며, 이 후는 솔루션도메인(solution domain)인 'HOW' 단계로 정의함으로써 보다 분석을 용이하게 하고 있다. 그림 1 상단의 시스템엔지니어링 관리기법은 그림 2에서와 같이 SEMP, IPPD, SEMS, 위험관리, SEP 측정기준, TPM, 검토/감사, 형상관리 등을 포함한다. 이 중에서도 IPPD(Integrated Product & Process Development)는 일반 기업체들에 의해 제품 수명주기에 걸쳐 개발관리 기법으로 사용해오던 통합제품개발(IPD : Integrated



[그림 2] 시스템엔지니어링 관리기법 영역

Product Development)에 프로세스의 중요성을 추가하여 발전된 것으로, 미 국방부(DoD)에서 1995년부터 국방획득 사업에 공식적으로 적용되고 있는 시스템엔지니어링 프로세스 관리기법이다. IPPD는 다기능 팀을 활용하여 생산/현장을 지원하며 제품개념으로부터 제품과 제작프로세스를 동시에 최적화하기 위해 모든 활동을 통합한 관리 프로세스이다.

이러한, SEP는 기존의 개발방식과 달리 주로 사업 초기단계부터 통합제품팀(IPTs : Integrated Product Teams)에 의해 설계, 개발 및 검증활동이 진화적으로 발전되어가기 때문에 그림 3과 같이 개발 후기에 나타나는 설계변동을 최소화시킴으로써 비용초과와 일정지연 등과 같은 위험요소를 줄일 수 있는 큰 잇점을 갖는다. 초기단계에서의 시스템설계 및 개발에



[그림 3] 개발단계에 따른 비용비율과 설계변경 수

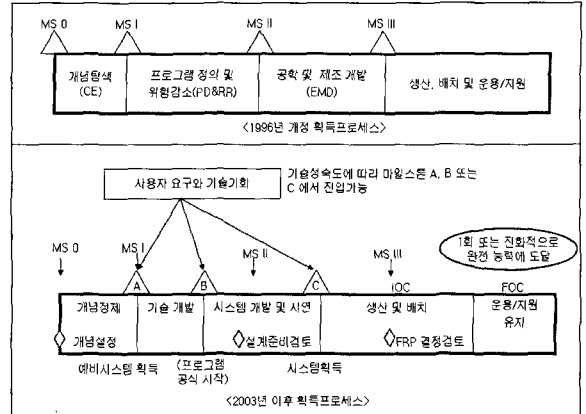
대한 다분야 전문가에 의한 통합 활동의 필요성은 10~15%의 개발비용과 노력으로 80~90%의 설계내용이 확정되기 때문이다^[2]. 따라서 시스템정의의 개발 초기 단계에서 시스템엔지니어링 프로세스의 순차적이며 효율적인 적용은 매우 중요하다.

나. 시스템엔지니어링과 국방획득프로세스

표 1은 미국 국방부(DoD) 연구개발사업의 수명주기 단계에서 수행되는 22가지의 주요 업무활동을 시스템엔지니어링 프로세스 관점에서 나타내고 있다. 비록 개발단계가 1996년도 개정된 구 획득프로세스를 기준으로 한 것이지만, 개념연구, 탐색개발, 체계개발 및 양산 단계로 수행되는 국내의 획득 프로세스와 매우 유사한 프로세스이다. 미 국방사업 획득단계에 대응되는 국내의 연구개발 획득단계를 ()안에

[표 1] 프로그램 수명주기 단계별 주요 업무

	0 단계	I 단계	II 단계	III 단계
요	개념탐색(개념연구)	프로그램정의 및 위험감소(탐색개발)	공학 및 제조개발(체계개발)	생산, 배치/운용지원(양산/운용유지)
요	1. 시스템 분석	6. 개념설계	11. 상세설계	17. 생산률 검증
요	2. 요구사항 정의	7. 하부시스템 검증	12. 개발	18. 운용시험평가
요	3. 개념설계	8. 예비설계	13. 위험관리	19. 배치
요	4. 기술 및 위험 평가	9. 시제화, 시험평가	14. 개발시험평가	20. 운용지원/성능개량
요	5. 추진 개념의 사전비용, 일정 및 성능	10. 제조 및 지원성 고려요소집성 계획등에 통합	15. 시스템 통합, 시험평가	21. 회기
요			16. 제작프로세스 검증	22. 대체계획
요	→ 진화적 요구사항 정의 →			
요	목적	강도개념	기술프로그램 통합	변경문제
요	임무	고충남도 모델링 및 시뮬레이션	기술성능, 측정	제조, 라이선스
요	기능요구사항		설계검토	시험분석
요	후보개념 및 아키텍처	하부시스템 설계/검증, 통합	요구사항 재확인(임의)	생계검증
요	요구사항할당	최상위레벨 규격서작성	문서 시스템	문제해결
요	검증/조합	개발계획	인터페이스 통제	엔지니어링 지원
요	개념정의	비용 및 위험분석	변경문제	물류유지
요	일정 및 수명주기 비용추정	위험관리, 계획	IPDT 참여	훈련지원
요				MOD 개발
요				진화적 계획



[그림 4] 미 국방획득 프로그램 프로세스

나타냈다.

2000년 이후의 미 국방 획득프로세스는 근본적으로 시스템엔지니어링 접근방법을 기반으로 이루어지고 있다. 2003년 개정된 현 미국의 획득프로세스는 그림 4와 같이 사용자요구와 신기술에 대한 적용기회가 마일스톤 C까지 보장되어 있으며, 사용자의 요구를 충족시키는 시스템에 대한 성공적인 획득을 위하여 시스템엔지니어링기반의 진화적 획득접근방법(evolutionary acquisition approach)과 나선형 개발(spiral development)의 개념을 획득프로그램의 초기단계부터 적용하고 있다. 특히, 개념정제(concept refinement)와 기술개발(technical development) 등과 같은 획득사업의 초기 활동이 강조되고 있다. 이는 시스템엔지니어링에서의 초기 활동 중요성이 반영된 것으로 볼 수 있다. 즉, 시스템의 개념결정(concept decision)이 예비 시스템획득프로세스로 진입하기 이전에 반드시 이루어지도록 규정하고, 획득프로세스의 첫 단계는 결정된 개념을 진화적으로 다시 정의하도록 한다. 개념정제가 완료되면 MS I의 A에서의 의사결정을 통해 기술개발 단계로 진입하게 된다.

3. 미 국방 획득사업에서의 시스템엔지니어링 적용사례분석

가. F/A-18E/F 사업

국방분야에서의 시스템엔지니어링 기법 적용은 '95

년 5월, 미 국방장관였던 William J. Perry가 무기체계 획득과정에서 시스템엔지니어링관리 프로세스의 핵심인 IPPD를 즉각 적용할 것을 지시한 이후 일반화 되었다. 여기서는 이전 사업과의 비교분석이 용이한 F/A-18E/F 개발사업을 사례분석 대상으로 선정하여, 설계 및 생산에 IPPD를 어떻게 적용하여 소요군의 요구를 만족시킬 수 있었는지에 대하여 분석을 한다. IPPD의 F/A-18E/F 개발사업 적용은 미 국방획득정책에 공식적으로 반영되기 이전으로 국방획득 분야 정착에 중요한 역할을 했다.

미 해군 전술항공기 Super Hornet F/A-18E/F 사업은 주 계약업체인 맥도날드더글라스(MDC)사에서 개발한 F-18C/D 항공기의 성능개량 개발 사업이다. 1992년에 EMD에 진입하여 2001년 초기운용능력(IOC : Initial Operational Capability) 시험평가를 거쳐 현재 배치 운용 중인 이 사업은 기체의 크기와 성능 면에서 크게 업그레이드되었음에도 불구하고 C/D 기종의 예산 대비 25% 이상 초과할 수 없다는 제약사항이 존재하고 있었다. 따라서 이 사업에 대한 미 해군과 주 계약업체의 주요 관심대상은 비용과 일정관리가 되었으며, 이에 대한 개발대안으로 부각된 것이 동시공학 기반의 시스템엔지니어링 관리기법인 IPPD 개념과 IPTs를 개발과정에 적용하는 것이었다.

IPPD 수행을 위한 미 DoD 지침은 10가지의 교리로 구성되어 있으나, 고객중심(customer focus), 제품 및 프로세스 동시개발(concurrent development of product and process), 다분야전문팀워크(multidisciplinary teamwork), 사전 위험식별 및 관리(preactive identification and management of risk), 그리고 통합정보환경(integrated information environment)의 5개 핵심요소로 그룹화시킬 수 있다.^[3] 이러한 5가지의 IPPD 핵심요소 관점에서 F/A-18E/F 개발 사업을 전통적인 획득방법에 의해 개발되었던 C/D 기종과 비교 분석하면 다음과 같다^[4].

- 고객중심 : 고객중심 사고를 바탕으로 고객의 요구를 정확하게 이해하고 충족시키기 위하여 의사결정과 다분야전문팀에 고객을 포함시켰다. 이러한 고객중심으로 F/A-18E/F 사업 초기부터 MDC와 고객 간의 빈번하고 개방된 의사소통이 가능했으며 이전 C/D사업에 비해 과도한 비용 추가 없이 소요

군의 요구를 충족시킬 수 있었다. 사업의 전 수명주기에 걸친 고객포함의 효과는 사업초기의 요구사항정의 과정과 소요군인 해군이 포함되어 구성된 ITT(Integrated Test Team)에 의해 수행된 개발시험을 통해 분명하게 나타났다. 이전 C/D 사업에서 개발시험은 계약업체와 소요군(해군)에 의해 각각 2년씩 총 4년이 소요되었지만, E/F 사업에서는 해군과 계약업체의 단일 통합시험팀에 의해 개발시험이 이루어 졌으며 관련 데이터를 공유함으로써 개발시험이 4년에서 3년으로 단축될 수 되었다.

- 제품 및 프로세스 동시개발 : 프로세스를 제품과 동시에 개발함으로써 불필요한 비용 또는 운용지원 프로세스의 유발을 억제하였다. 하드웨어 설계를 생산프로세스와 동시에 수행함으로써 생산비용, 결합 및 재작업율을 감소시킬 수 있었다. WBS 레벨 5기준으로 F/A-18E/F의 부품 수는 C/D 기종에 비해 크기, 엔진추력 및 이륙중량 면에서 각각 25%, 35% 및 30% 가량 커졌음에도 불구하고 역으로 약 42% 감소되었다. 또한, 동시적 설계절충에 의해 E/F의 날개제작 비용이 C/D 보다 30% 이상 절감되었으며, 비행통제컴퓨터시스템의 설계과정에서의 많은 반복과 초기절충은 요구사항 변경수를 크게 감소시킬 수 있었다.
- 다분야전문팀워크 : 고객과 공급자를 포함한 이해관계자로 구성되는 IPTs에 의한 다분야 전문가팀워크는 F/A-18E/F 개발 IPPD 프로세스의 중심이 되었다. 설계, 개발 및 생산에 관련된 직접적인 이해관계자뿐만 아니라 수명주기와 전체적(holistic) 관점에서 관련이 있는 다양한 분야 전문가를 설계 프로세스의 초기단계부터 포함시킴으로써 설계변경이 비용과 일정에 크게 영향을 미치는 설계프로세스 후반의 변경을 크게 감소시킬 수 있었다. 또한, IPPD 기법적용과 팀에 대한 권한 부여에는 변화가 없었지만, IPTs 구조는 수명주기 단계에 따라 진화적으로 변화되었다. E/F 사업이 개발로부터 생산으로 전이됨에 따라 생산팀이 커지는데 반해 제품정의 팀은 축소되었다. 이러한 IPTs 조직의 운영에 의해 이전 C/D기종 사업 대비 설계도면 변경수를 50% 이상 감소시켰다.
- 사전 위험식별 및 관리 : 위험에 대한 사전 관리할

동은 F/A-18C/D의 개발 경험을 바탕으로 비용, 일정 및 개발 등의 잠재적 위험요소를 미리 식별할 수 있었다. 초기의 적극적인 계획과 수행은 성공적인 위험관리의 핵심이 된다. F/A-18E/F가 초기 C/D로부터 성능개량을 통한 진화적 개발이라는 사실은 새로운 시스템에 대해 개발위험이 전반적으로 낮아진 것을 의미한다.

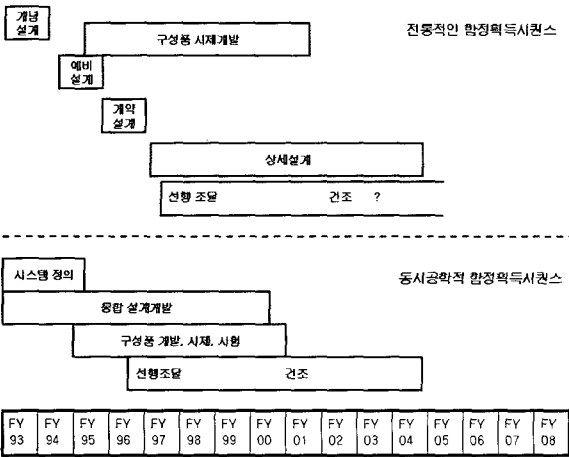
- 통합정보환경 : IPPD 활동 핵심요소로서 요건, 계획, 자원할당, 수행, 그리고 제품 수명주기에 걸쳐 효율적인 사업 추적과 관리를 위해 통합정보체계를 구축했다. HornetWEB과 IMICS(Integrated Management Information Control System), Mod SDF 및 e-메일 등과 같은 통합정보환경 구축을 통하여 효과적인 사업관리가 가능했다. 특히, MDS와 정부의 모든 레벨 관리자가 HornetWEB, IMICS 및 Mod SDF에 직접 접속할 수 있게 함으로써 개방 의사전달체계가 가능토록 했다. 예를 들어, F/A-C/D기종 개발 당시에는 거의 사용하지 않았던 e-메일은 E/F 사업에서 많은 비중을 차지하게 되었으며, 팀 리더의 경우 지리적으로 서로 떨어져 있는 다분야 전문가들과의 긴밀한 의사교환을(어떤 경우에는 하루 100건 이상의 e-메일을 주고받기도 했다.) 통하여 IPPD 프로세스를 효과적으로 수행할 수 있었다.

나. 차세대 공격잠수함(NSSN) 건조사업

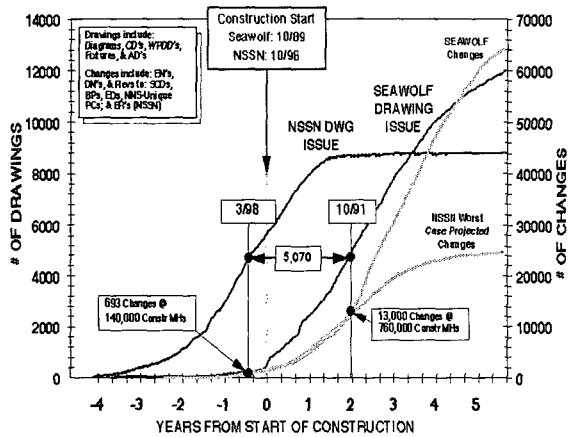
미국의 차세대 공격핵잠수함(NSSN) 개발사업은 미·소 냉전시대에 건조되었던 기존의 SSN 시울프(Seawolf)에 대한 대안으로 94년부터 수행된 사업이다. NSSN사업은 시울프의 건조비가 퇴역 예정인 잠수함전력을 대체하기에는 너무 비용이 높기 때문에 예산제한과 냉전 후의 작전환경 변화 하에서 미국의 향후 공격잠수함 전력소요와 성능요구를 만족시켜야만 하는 제약사항 속에서 시작되었다. 미 해군의 이러한 가용성 목적에 따라 주 계약업체인 Electric Boat 사(1, 3번함)와 Newport News사(2, 4번함)는 시울프 사업과 달리 획득을 포함한 수명주기 비용을 절감하고 효과적인 무기체계개발을 위하여 시스템엔지니어링 프로세스의 주요 관리기법 중의 하나인 IPPD 기법을 도입했다. 플랫폼, 핵추진장치 및 C3I체계를

포함한 사업의 모든 면에서 사용된 IPPD기법의 효과적인 수행을 위하여 다분야 전문팀을 조직하고 제품과 관련 프로세스를 동시에 개발하기 위해 M&S(Modeling & Simulation)와 같은 설계도구, 통합팀, 그리고 프로세스 등을 사용했다. NSSN IPPD 활동은 다음과 같은 4단계를 통해 이루어 졌다.

- 1단계 : 계약자들이 수행하는 IPPD에 대한 이해를 높이기 위하여 해군의 사업관리팀은 이전에 IPPD 기법을 적용하여 수행했던 국방획득 사업에 대한 사례연구를 우선적으로 수행했다. 해군과 Electric Boat사는 Northrop-Grumman사의 B-2, Boeing 777, Lockheed-Martin의 F-22, NAVAIR Advanced Strike Weapon 등과 같은 사업에 대한 종합적인 사례분석과 함께 관련 기관을 방문하여 IPPD에 대한 인식과 명분한 이해를 얻고, 이 과정에서 얻은 교훈을 NSSN 사업에 곧바로 적용하고자 했다.
- 2단계 : IPPD를 위한 리더십 위임이다. NSSN 사업은 플랫폼, C3I체계, 그리고 핵추진플랜트의 3개 하부체계로 구성되었으며, 각 하부체계는 서로 다른 해군조직의 책임 하에 사업이 진행되어야 했다. 따라서 주요 하부체계의 해군 사업관리자는 사업초기에 이러한 조직구성에 따른 잠재적인 문제점을 인식하고 가능한 계약자의 IPPD 활동에 적극 협조하고 서로 통합하는데 동의했다.
- 3단계 : 새로운 함정획득 시퀀스 적용이다. NSSN 함정건조 제한사항을 고려하여 해군에서는 기존의 전통적인 순차적인 함정획득 방법으로부터 동시적 개념이 포함된 그림 5와 같은 새로운 개발전략으로 NSSN 획득시퀀스를 변경했다.
- 4단계 : 의사소통, 권한 및 책임이 새로운 사업시퀀스에 적합하도록 조직화했다. 다분야 학문의 전문가에 의한 솔루션 접근방법은 시스템엔지니어링의 기본이며 핵심으로 특정분야의 전문가가 아닌 다분야 전문가 팀에 의해 수행된다. 사업의 목표를 달성하기 위해 계약업체와 해군은 개발 잠수함 관련 프로세스 활동을 영역별로 분리하여 15개의 MATs(Major Area Teams)을 구성했으며, 이 팀을 SITs(System Integration Teams)와 PITs(Process Integration Teams)의 인력에 의해 구성함으로써



[그림 5] 동시공학적 합성 획득시퀀스



[그림 6] NSSN과 서울프사업의 설계도면 및 변경 수^[5]

을 통해 나타난 설계변경 수는 693건으로 동일 시점에서 서울프 변경수 13,000건에 비해 약 95%가 감소되었다. 또한, NSSN 설계도면 변경은 서울프사업 도면 변경수의 약 5%에 불과하며 건조가 시작된 6년 후, 최악의 상태에서 NSSN 도면 변경수는 25,000건으로 서울프 65,000건(실제) 대비 62.5%가 감소되었음을 알 수 있다.

4. 국방 연구개발사업의 시스템엔지니어링 적용방안

가. 국내 국방획득관리체계 문제식별
 국방획득관리체계는 1972년 국방부 훈령 143호 '연구개발 규정'에 근간을 두고 있다. 이 규정은 1974년 '국산화 촉진 규정', 1988년 '무기체계 소요 및 획득관리 규정' 및 1991년 국방부 훈령 431호 '무기체계 획득관리 규정'으로 발전되어 왔다. 또한, 1999년 1월 국방부 훈령 610호 '국방획득관리 규정'으로 새로 변경되었으나 1999년 2차례의 개정과 2000년 12월 국방부 훈령 676호를 거쳐 현재의 2003년 5월 훈령 733호에 이르고 있으나, 2006년 2월 방위사업청 개청과 함께 새로운 '방위사업관리규정'으로 개정될 예정이다. 현행 국방획득관리 규정 19조에 명시한바와 같이 획득관리는 (i) 작전요구성능을 충족시킬 수 있는 장비획득, (ii) 요구되는 시기에 전력화, (iii) 국방과학기술에 의해 '자주국방 달성'이 가능토록 연구개발 및 국내생산을 우선 추진하며, (iv) 성능이 보장될 수 있는 장비·물자를 경제적으로 획득하여 투자효율을 극대화하고, (v) 수명주기 사이의 효율적인 운영유지를 보장해야 한다. 이러한 획득관리 원칙은 시스템엔지니어링 접근방법과 근본적으로 일치된다고 볼 수 있으나, 시스템엔지니어링 프로세스에 대한 인식과 이해부족으로 인하여 선진국과 달리 국방획득사업에 대한 프로세스 적용과 제도적 보장이 늦어지고 있는 현실이다. 그러나, 현재 준비 중인 '방위사업관리규정(안)'은 통합사업관리체계와 연구개발과정에서의 통합사업팀 등의 운영을 강조하고 있는 것으로 알려져 있다. 이것은 시스템엔지니어링적 활동을 보다 구체화한 것으로 볼 수 있다.

MATs와의 원활한 의사소통을 보장했다. IPPD의 단계별 활동과 별도로 Electric Boat사는 3차원 전산모델을 개발도구로 사용했다. 모든 팀원에게 데이터베이스를 이용하여 실시간 자료 공유가 가능토록 함으로써 과거의 부정확한 정보전달 및 최신 자료공유 지연 등과 같은 문제를 해결할 수 있었다. 그림 6은 전통적인 방법에 의해 건조되었던 서울프사업과 IPPD를 적용한 NSSN 사업의 설계도면 생성과 변경을 비교한 것이다. 5,070건의 설계도면 생성에 소요되는 기간의 예를 들 때 NSSN은 이전의 서울프사업과 비교하여 상대적으로 2.5년 정도 사업기간이 단축됨을 알 수 있다. 이 시점에서 NSSN 건조 과정

나. 시스템엔지니어링 적용 및 전망

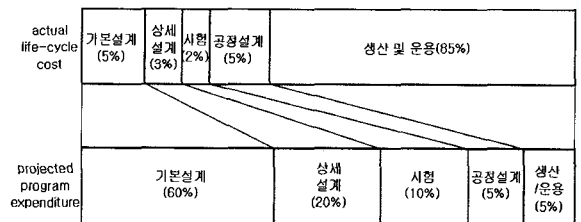
여기서는 시스템엔지니어링 접근방법의 기본 개념과 국방획득사업에 대한 시스템엔지니어링 프로세스 적용 사례분석을 바탕으로 국내 연구개발 과정에서의 시스템엔지니어링을 적용하기 위한 고려사항을 도출하고 전망한다.

첫째, 성공적인 국방 연구개발 사업의 수행을 위해서는 무엇보다도 시스템엔지니어링 활동에 대한 이해와 인식 확산이 중요하다. 시스템엔지니어링은 수명주기 및 전체적인 관점에서 사용자의 요구(user needs)를 만족시키는 성능, 비용 및 일정의 최적 시스템 솔루션으로 전환하여 진화적으로 발전시키고, 검증하는 다분야 학문과 관련된 공동연구 접근이다. 이러한 접근법이 미국을 비롯한 선진국에서 국방분야의 대형사업뿐만 아니라 상용제품 분야까지 폭넓게 성공적으로 적용되어 왔던 사실에도 불구하고 국내 무기체계 획득분야에서의 인식과 이해는 매우 낮은 실정이다. 시스템엔지니어링에 대한 이해가 부족한 국내 실정에서 무엇보다도 중요한 것은 시스템엔지니어링에 대한 이해와 인식 확산으로, 시스템엔지니어링의 교육 확대와 시스템엔지니어 양성이 시급히 요구된다. 미국이 NSSL IPPD 활동을 수행하면서 제일 첫 단계로 시작한 것도 다름이 아니라 시스템엔지니어링 프로세스 활동의 핵심요소인 IPPD에 대한 인식과 분명한 이해를 위해 이전에 수행되었던 국방획득 분야의 타 사업에 대한 사례분석이었다. 이러한 사례분석을 통해 얻어진 교훈은 새로운 국방획득 연구개발 사업의 수행과정에 곧바로 적용할 수 있기 때문이다.

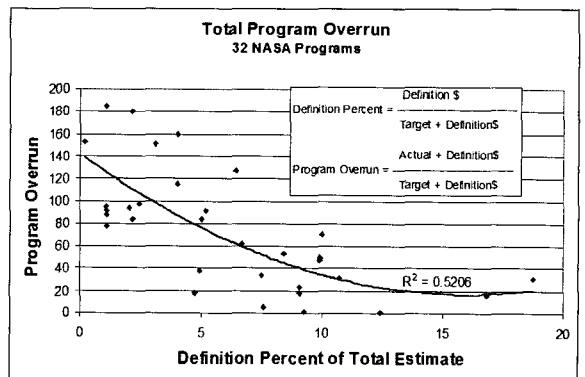
둘째, 국방 획득사업의 초기 활동 투자에 대해 비용 및 일정 면에서의 보장이 요구된다. 시스템엔지니어링 활동은 기존의 개발전략과 달리 이러한 초기 활동을 매우 중요하게 다루고 있다. 기존의 연구방식에서는 수명주기와 전체적 시스템 관점이 소홀하게 다루어 졌을 뿐만 아니라, 초기 활동의 부족으로 사업의 목적과 목표가 불명확하고 시스템에 대한 정의가 불완전한 상태로 진행되었다. 이러한 결과는 당연히, 시스템의 성능, 비용, 일정 그리고 위험관리 면에서 소요군의 요구를 만족시키기에 어려움이 많았다. 하나의 예로 시스템설계에 전통적인 개발방식에 의한 5% 투자를 시스템적 사고관점에서 15%로 확대했을

경우, 설계 변경비용 지출이 매우 큰 통합/생산단계에서 50%의 투자가 30%로 줄어들며, 전체적으로도 비용 및 일정 면에서 25% 정도의 이익이 된다고 설명하기도 한다^[6].

그림 7은 연구개발 단계 수명주기비용 분석을 통해 초기활동의 중요성을 나타내고 있다. 기본설계 시 5%의 실투입비용은 연구개발 누적수명주기 관점에서 전 수명주기비용의 60%를 결정하며, 초기 10%의 투자로 전체 수명주기비용의 90% 이상이 개발단계에서 확정되기 때문에 연구개발 단계에서의 초기활동은 매우 중요함을 알 수 있다. 그림 8은 1970년대와 80년대에 걸쳐 NASA가 수행했던 32개의 주요 프로젝트에 대한 목표 대비 초과량을 나타내는 것으로 상세 작업(체계개발) 진입에 앞서 프로젝트의 초기활동이 얼마나 중요한 지를 정량적으로 나타내고 있다. 여기서 프로젝트정의는 NASA 5단계 프로젝트프로세스^[7] 중 A 및 B 단계가 차지하는 %를 나타낸다. 그림에 따르면 프로젝트정의 활동까지의 초기 투입노력이 약 15%일 때 최적임을 알 수 있다.



[그림 7] 연구개발의 수명주기비용분석^[8]



[그림 8] 프로젝트정의 단계까지의 투입노력(%) 대비 초과량^[9]

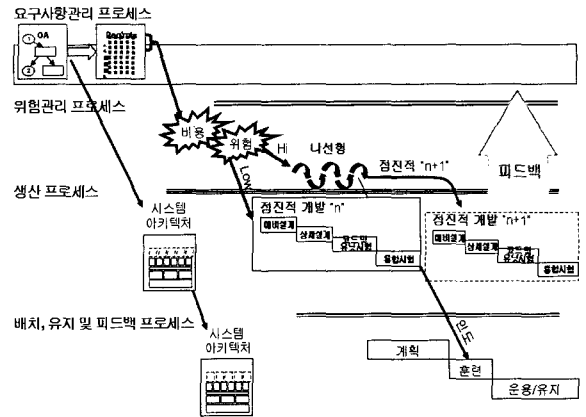
셋째, 급격한 과학기술의 발달과 다기능 복합시스템화 추세로 인한 요구사항의 불완전에 따라 국방연구개발의 성공적인 수행을 위해서는 동시공학을 기반으로 하는 진화적 접근(evolutionary approach) 개발전략이 필수적이다. 진화적 개발전략의 핵심은 지속적으로 수요자의 요구를 받아드리고 이에 따라 개발수명주기에 걸쳐 요구사항을 진화적으로 발전시키는 것이다. 그러나, 동시공학 기반의 진화적 개발전략은 통합제품개발팀(IPDTs : Integrated Product Development Teams)과 성숙된 관련 기술이 충분히 뒷받침되지 않는 경우에는 오히려 개발 위험이 증대된다는 사실에 주목해야한다. IPDTs는 IPPD를 수행하는 주체로서 적절한 자원, 제품 및 서비스 등에 대해 정의하고 개발, 생산 및 지원 활동에 책임 및 권한이 부여된 프로세스 중심의 통합된 상호기능 팀이다. 표 2는 IPDTs의 3가지 팀 유형과 팀별 주요 활동을 나타낸다. 이러한 기반 하에서 수행되는 진화적 획득전략은 소요군이 성숙된 기술을 조기에 획득할 수 있기 때문에 미국을 비롯한 선진국이 선호하는 국방획득전략으로, 그림 9는 진화적 개발전략 프로세스로 1회 반복하는 경우를 나타낸다.

개발 대상시스템이 비교적 간단했던 과거에는 요구

[표 2] IPDTs 유형과 주요활동^[10]

시스템 계층구조	팀 유형 및 주요활동
외부인터페이스	L & A → SEIT(SE & Integration Team) - 통합시스템 및 프로세스 - 외부 및 프로그램 문제점 - 시스템 문제점과 통합 - 팀 통합 및 감사
시스템	
요소	L & A → PIT(Product Integrated Team) - 통합 하드웨어 및 소프트웨어 - 산출품목의 문제점 및 통합 - 다른 팀 자원(SE&IT와 PDTs)
하부시스템	
구성품	P & S → PDT(product Development Team) - 하드웨어 및 소프트웨어 - 제품문제점 및 통합 - 주요 참여자(설계와 제조) - 다른 팀 자원(SE&IT와 PITs)
하부어셈블리	
부품	L & A

주 : L-LEAD, S-SUPPORT, P-PARTICIPATE, A-AUDIT



[그림 9] 진화적 개발전략 프로세스(1회 반복)

사항정의를 명확했을 뿐만 아니라 개발위험이 낮기 때문에 폭포수와 같은 전통적인 순차적 방법이 적합했다. 그러나 다기능 복합화의 현대시스템 속성과 과학기술의 급격한 발전에 따른 기술예측의 어려움으로 요구사항에 대한 완전한 정의가 곤란하며 개발위험도 매우 높아졌다. 완전하게 요구사항을 작성한 후 사업을 진행하는 것보다는 어느 정도 요구사항이 만족된 상태로 사업을 수행하면서 반복적으로 요구사항을 진화적으로 정의해 나가는 것이 비용 및 일정 면에서 훨씬 유리하다. F/A-18E/F 사업은 제품과 프로세스의 동시적 개발방법을 적용함으로써 전통적 획득방법에 의해 개발되었던 이전의 C/D사업에 비해 25% 가량 크기가 커졌음에도 불구하고 부품 수가 42% 가량 줄어들었다.

마지막으로, 획득관리규정에 시스템엔지니어링 적용 규정의 명문화 등과 같은 제도적 보장이 필요하다. 구체적 IPPD나 IPTs 등과 같은 시스템엔지니어링 프로세스 관리활동의 주요 기법에 대한 적용 명문화가 요구된다. 미국은 시스템엔지니어링관리 프로세스 활동의 핵심인 IPPD와 IPTs의 적용을 처음 언급한 1996년 개정 국방획득규정 이전부터 개발업체의 개발전략 요구에 따라 현장 위주로 적용을 하고 있었다. 이후 시스템엔지니어링 접근방법에 의한 획득프로세스의 필요성을 인식한 미국은 DoD 5000.1('00. 10. 개정)부터 시작하여 현행 DoDD 5000.1('03. 5. 개정)에 이르기 까지 모든 획득사업에 대해 이러한 접근방법의 적용을 제도적으로 분명하게 보장하고 있

다. 국내 무기체계 획득사업도 미국의 초기 활동과 비슷하게 계약업체의 기술적 필요에 따라 현장 위주로 일부 적용되고 있고, 실제 개발관리 과정에서 개발이득을 얻고 있다. 그러나 보다 효과적이고 효율적인 국방 연구개발의 수행을 위해서는 제도적인 보장이 요구된다.

5. 결론

시스템엔지니어링은 사용자의 요구를 만족시키는 수명주기 및 전체적인 관점에서 성능, 비용 및 일정의 최적화 시스템 솔루션으로 전환하여 진화적으로 발전시키고 검증하는 다분야학문과 관련된 공동연구 접근이다. 이러한 접근법이 미국을 비롯한 선진국에서 국방분야의 대형 사업뿐만 아니라 상용제품 분야까지 폭넓게 성공적으로 적용되어 왔던 사실에도 불구하고 국내 국방획득 분야에서의 인식과 이해는 낮은 실정이다.

본 논문은 이러한 시스템엔지니어링 접근방법을 적용하여 수행되었던 대표적인 미 국방획득사업에 대한 사례분석을 통해 국내 국방 연구개발과정에서의 시스템엔지니어링을 적용하기 위한 고려사항을 도출하였다.

참 고 문 헌

- [1] Systems Engineering Fundamentals, Defense Acquisition University Press, 2000. 12, p.3.
- [2] SEH WG, Systems Engineering Handbook, Ver.2, INCOSE, 2000, p.17.
- [3] Office of the Under Secretary of Defense, DoD IPPD Handbook, 1998, pp.4~5.
- [4] E. K. Balley, S H. Nash, J P. Woolsey, "Integrated Product and Process Development Case Study: Development of the F/A-18E/F", IDA Document D-2228, 1999. 6.
- [5] R. I. Winner, "Integrated Product/Process Development in the New Attack Submarine Program", Defense Interoperability Directorate, 2000, p.41.
- [6] E.Honour, "Value of Systems Engineering", Summary Report SECOE and related Project, 2004. p.3.
- [7] NASA, Systems Engineering Handbook, SP-6105, 1995. 6, pp.15~16.
- [8] Andersen Consulting in Aviation Week & Space Technology; January 4, 1993.
- [9] E. Honour, B. Mar, "Value of Systems Engineering", SECOE Research Progress Report, INCOSE, 2001, p.1.
- [10] SEH WG, Systems Engineering Handbook, Ver.2, INCOSE, 2000, p.63.