

시스템엔지니어링 기법의 방산분야 적용에 관한 연구

민성기*, 권용수**, 김경진**

* 시스템체계공학원, ** 국방대학교

1. 서 론

시스템엔지니어링은 고객의 기대와 공공의 수용성을 만족시키는 수명주기 균형 시스템 솔루션을 진화적으로 발전시키고 검증하는 다분야 학문과 관련된 기술기반 관리프로세스이다. 오늘날 다기능 복잡화되는 최첨단 무기체계의 특성상 전통적인 획득방법으로는 주어진 비용과 일정 내에 요구성능을 보장할 수 없게 되었다. 따라서 개발 대상 시스템이 비교적 간단했던 과거의 순차적 방법으로부터 벗어나 진화적 획득전략으로의 변화가 요구되고 이를 위해 시스템엔지니어링 프로세스 적용이 필수적이나, 국내 국방획득 사업에서는 이에 대한 관심과 연구가 미흡한 실정이다.

이러한 관점에서 본 연구는 한미 국방획득프로세스를 비교하고 시스템엔지니어링 프로세스 적용사례에 대한 종합적 분석을 통해 시스템엔지니어링 기법의 방산분야 적용방안을 제시하였다.

2. 시스템엔지니어링 프로세스

시스템엔지니어링 프로세스(SEP: Systems Engineering Process)는 통합팀에 의해 순차적 하향식(top-down) 방법으로 적용되는 포괄적이고 반복·순환적인 문제해결 과정이다. 그 목적은 시스템요건을 시스템규격서, 아키텍처 및 형상기준으로 전환하는 구조적이며 융통성 있는 프로세스를 제공하는데 있다. 이러한 프로세스는 주어진 일정과 비용 그리고 위험 범주 내에서 고객의 요구(needs)를 충족시키는 효율적이고 효과적인 솔루션 개발을 위한 통제와 추적성을 제공한다. 따라서 이러한 시스템엔지니어링 프로세스는 개발 프로세스 단계별로 한번 이상 여러 번 반복해서 적용된다. 시스템엔지니어링 프로세스는 모든 사업 단계마다 적용되며, 사업기간 중 주요기능이 동일하게 수행된다. 또한, 일반적으로 형상기준(configuration baseline)이라 불리는 설명서를 만들기 위하여 시스템 개발의 각 레벨에 대하여 적용된다. 이것은 각각의 개발 레벨에서 일련의 형상기준으로 나타난다.

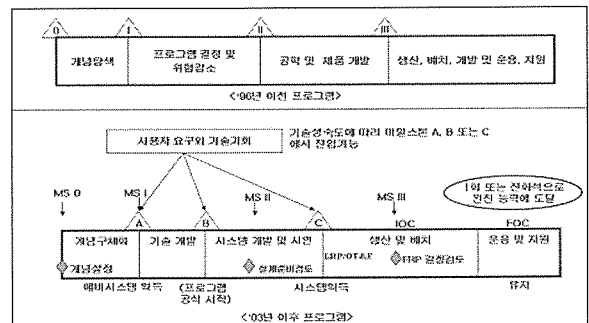
시스템엔지니어링 프로세스는 기존의 개발방식과 달리 주로 사업 초기단계에서 설계, 개발 및 검증활동을 통하여 진화되어 간다. 이러한 초기 활동은 개

발 후기에 나타나는 설계변동을 최소화시킴으로써 비용초과를 억제할 수 있는 큰 이점을 나타낸다. 초기단계 시스템설계 및 개발의 필요성은 5~10%의 개발비용과 노력으로 80~90%의 설계내용이 확정되기 때문이다. 따라서 시스템정의의 개발초기 단계에서 시스템엔지니어링 프로세스의 순차적이며 효율적인 적용은 매우 중요하다.

3. 시스템엔지니어링 현실태

3.1 한·미 국방획득 프로세스 비교

1972년 국방부 훈령 143호로 시작된 국방획득관련 연구개발 규정에서 최근 2003년 5월 733호에 이르기까지 국내 무기체계 획득 프로세스 상에는 시스템엔지니어링이나 진화적 연구개발 적용에 관련된 규정이 없으나, 미국 국방획득 프로세스는 1971년 DoDD 5000.1의 획득관리 규정을 시작으로 1996년, 2000년, 그리고 2003년 5월의 개정에 이르기 까지 획득환경 및 정책변화에 대응하여 진화적인 변화를 이루어 내었다. 현행 미 국방획득제도는 근본적으로 시스템엔지니어링적인 접근방법을 기반으로 추진되고 있으며, 아래와 같은 분야에서 한국의 획득프로세스와는 크나 큰 차이를 보이고 있다.



<그림 1> 국방획득프로그램 프로세스

첫째, 소요제기와 획득관리 활동의 연계성 측면에서 미국의 소요제기 활동은 구체적인 임무와 요구능력 기반의 개념/기술개발(Concept & Technical Development) 단계에서 소요군과 개발자 그리고 모든 이해관계자들이 포함된 통합 팀에 의하여 획득관리 프로세스 활동이 수행된다. 또한, 임무요구서(MNS: Mission Need Statement)

는 각종 이해관계자가 즉시 이해하고 활용할 수 있는 시스템엔지니어링 문서형태로 작성되어 개념 및 기술개발 단계를 통해 개발자가 필요로 하는 운용요구서(ORD: Operational Requirement Document)로 발전된다. 반면, 국내 연구개발사업은 통합팀 구성의 부재와 소요제기 산출물의 획득 사업관리 활용이 미흡하고, 소요제안서가 매우 개념적으로 소요군의 입장에서만 작성되기 때문에 개념연구나 탐색개발 시 문제점이 발생된다.

둘째, 핵심기술 획득 활동 및 개발참여 측면에서 미국의 개념 및 기술개발 단계는 획득 예정 무기체계에 시스템엔지니어링의 분석개념인 하향식의 분석활동을 적용하여 초기 개념연구부터 폐기까지 전 수명주기 및 전체적인 관점에서 개발과정의 요구기술을 명확하게 식별한다. 또한 이와 같이 식별된 기술은 구성품 선행개발(CAD: Component Advanced Development) 단계를 통해 개발위험을 줄이고, 소요군의 요구를 만족시키는 시스템 개발을 가능하게 하지만, 국내 무기체계 연구개발 프로세스의 형태는 탐색개발을 포함한 체계개발 단계에서 소요군의 참여가 매우 미흡해 사업 후반에서의 비용증가와 일정지연의 주원인이 된다.

셋째, 시스템 시연 활동에 있어서 미국은 획득프로세스의 시스템개발 및 시연(System Development & Demonstration) 활동은 전체 시스템의 개발이 이루어지는 시스템개발과 이에 대한 시스템시연 단계로 구성된다. 시스템 개발 도중에 수시로 여러 형태의 시연활동에 대한 철저한 분석결과를 통해 획득대상 무기체계에 대한 최종설계검토(CDR: Critical Design Review)가 수행된다. 이에 반하여 국내 획득프로세스인 체계개발 단계는 개발에 대한 기술 및 운용시험평가 위주로 ROC를 보완하고, 미국과 달리 진화적 개발에 의한 반복적이며 순환적인 시연과정이 없어 양산이후 성능개량이나 형상변경의 위험이 크다.

넷째, 위험감소 활동 면에서 미획득프로세스의 생산 및 배치(Production & Deployment) 프로세스는 운용시험평가를 위해 시제품을 생산하는 소량초도생산(LRIP: Low Rate Initial Production)과 양산/배치의 두 단계로 구성된다. 시스템개발을 통해 철저하게 시연된 시스템이라 할지라도 양산 시 예상되는 각종 문제점과 위험요소들이 상존하므로 LRIP에 대한 운용시험을 통해 양산에 진입하기 전 최종설계 보완이 이루어진다. 그러나 국내 양산단계는 LRIP에 대한 것이 프로세스 상에 명시되어 있지 않아 실제 양산초기에 위험요소가 존재하지만 이에 대해 추가적인 의사결정과 판단이 미흡한 실정이다.

다섯째, 진화적 연구개발 전략 적용 면에서 국방 획득관리 규정은 획득과정의 관점에서 획득방법별 관리절차만을 규정하기 때문에 소요군의 요구와 새로운 기술기회를 LRIP 단계 직전까지 적용할 수 있는 진화적 연구개발 전략의 적용이 쉽지 않다. 이러한 문제점은 국

내 대형 국책사업의 경우에도 나타나는데, 진화적 접근 방법에 대한 이해와 인식 부족은 사업비용의 증가, 일정 지연 및 요구성능의 불만족을 초래하게 된다.

여섯째, 시스템 개발의 계획, 조직 및 관리 운용 측면에서 대형 복합시스템은 다수 업체의 참여에 의한 분산 작업환경, 그리고 고기능 복합 및 통합성에 따른 기술개발 위험성으로 인해 효과적이며 효율적인 시스템을 개발하기 위해서는 시스템엔지니어링적 접근법이 필수적으로 요구된다. 따라서 시스템 개발 이전 무기체계 획득사업에 대한 계획, 조직 및 관리가 포함된 시스템관리계획서(SEMP: Systems Engineering Management Plan)가 시험평가종합계획서(TEMP: Test & Evaluation Master Plan)와 동시에 만들어 져야 하나, 국내 획득규정에는 이와 같은 내용이 규정화 되어 있지 않다.

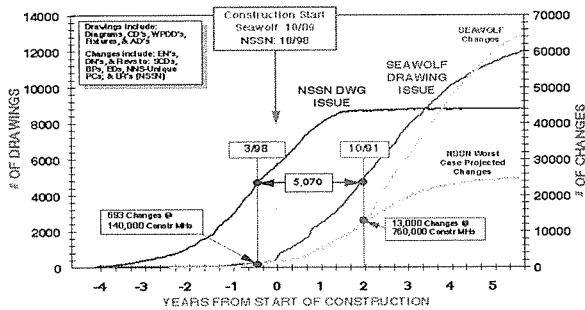
3.2 시스템엔지니어링 적용사례 분석

국내 국책사업의 경우 시스템엔지니어링에 대한 이해와 인식부족으로 사업비용의 증가, 일정지연 및 요구성능의 불만족을 초래하는 경우가 많았다. 이것은 대형 복합 프로젝트 임에도 불구하고 개발계획의 수립에 따른 초기활동 및 수명주기적이며, 전체적인 시스템관점의 부족으로 인하여 발생되었는데, 미국이 IPPD를 활용한 시스템엔지니어링 기법을 적극적으로 활용한 것과 비교하면 그 결과에 있어 큰 차이를 보인다.

첫 번째 사례로 미 해군의 Super Hornet F/A-18E/F 성능개량 사업은 시스템엔지니어링 관리의 핵심 활동인 IPPD와 IPTs(Integrated Product Teams)을 포함하는 새로운 획득 및 개발방법을 사용했다. 이 사업의 핵심 활동인 IPPD는 설계, 제조, 그리고 운용지원 프로세스를 최적화하기 위해 다분야 전문팀에 의한 모든 필수 획득활동을 동시적으로 통합하는 시스템엔지니어링의 관리기능이다. IPPD는 생산, 운용유지를 포함하는 제품개념으로부터의 비용, 일정, 그리고 성능목적의 만족을 크게 촉진시키는 관리 프로세스로, 활동의 핵심요소는 고객중심(customer focus), 제품 및 프로세스의 동시개발(concurrent development of product and process), 다분야전문 팀워크(multidisciplinary teamwork), 사전 위험인식 및 관리(proactive identification and management of risk), 그리고 통합정보환경(integrated information environment) 이었다.

두 번째 사례로 미국의 차세대 공격 핵잠수함(NSSN) 개발 사업은 냉전시대에 대비해 건조되었던 기존의 SSN 시울프(Seawolf)를 비롯한 퇴역함정을 대체하기 위한 사업이다. NSSN 사업은 제한된 예산과 냉전 후의 작전환경 변화 배경 하에서 미국의 향후 공격잠수함 전력소요와 성능요구를 만족시켜야만 하는 제한사항으로 인해 시스템엔지니어링 프로세스를 철저하게 적용했다. 그 중 수명주기비용의 절감뿐만 아니라 개발위험이 적고 효과적인 무기체계를 개발하기 위해 시스템엔지니어링관리 프로세스의 중요한 기법 중의 하나인 IPPD를 사용했는데,

제품과 관련 프로세스를 동시에 개발하기 위해 M&S(Modeling & Simulation)와 같은 설계도구, 통합팀, 그리고 프로세스 등을 사용했다. 또한, IPPD의 단계별 활동과 별도로, NSSN 플랫폼 계약업체인 Electric Boat 사는 모든 활동을 상호적으로 통합시키는 IMS(Integrated Master Schedule)와 IMP(Integrated Master Plan)를 조직했는데, IMS에는 44개의 마일스톤, 375개의 주요 이벤트, 그리고 약 13.5만개의 설계와 공사 활동이 포함되었다. 또한, 설계 및 개발도구는 3차원 전산모델을 사용하였으며, 팀의 모든 인원에게 데이터 베이스를 이용하여 동시에 실시간 자료 공유가 가능토록 하였다. 결국, 이전의 시울프 사업과 비교하여 설계도면 생성에 2.5년 정도의 사업기간이 단축되었으며, 이 시점에서 95%의 설계변경 감소를 이루어 냈다.



<그림 2> 시울프와 NSSN의 설계변경

4. 시스템엔지니어링 적용방안

4.1 SE 패키지 개발 및 활용

SE 패키지는 SEP에 의한 조건분석, 기능분석 /할당, 설계조합 그리고 시스템 분석/통제를 통해 얻어지는 각각의 주요 산출물들과 단계별 기술검토라 할 수 있다. 이러한 산출물들과 단계별 기술검토들은 패키지 내에서 상호 유기적인 연관 관계를 가지며, 각 단계별 주요 산출물들은 운용개념서(OCD), 시스템요건규격서(SRS), 시스템/부분 규격서(SSS), 시스템엔지니어링 관리계획서(SEMP), 시험평가종합계획서(TEMP) 등의 문서와 최종설계검토(CDR), 물리적 형상검사(PCA) 등의 기술검토의 집합을 일컫는다. 그러나 국내 국방 획득사업은 각 단계별 시스템엔지니어링 패키지가 명확하게 정의되지 않고 사업에 따른 패키지의 주체가 모호한 상태이다. 따라서 국방 획득사업은 이해관계자들로 구성된 ICT/IPPT를 운영하여 사업 초기에 사업에 맞는 각 단계별로 산출되어야 하는 패키지를 정의하고 활용함으로써 그 효율성과 효과도를 증대시킬 수 있다. 또한, 정부주도 사업은 ADD에서 시스템 레벨까지의 패키지를 개발하고, 업체에서 하부시스템 이하까지의 패키지를 개발하며, 업체주도 사업에서는 업체에게 모든 레벨의 패키지 템플릿 개발에 대한 책임을 부여함으로써 방산분야에 대한 SE프

로세스 적용을 가능케 할 수 있다. <표 1>은 사업단계별 SE 프로세스 세부활동과 이에서 생성되는 산출물 그리고 검토활동을 나타내고 있다.

<표 1> SE 프로세스 사업단계별 세부활동

프로그램 단계	0	I	II	III	폐기	
범례 •: 주요활동 ◦: 약간의 활동 SE 프로세스	개념 연구 이전	개념 연구	탐색 개발	체계 개발	생산 배치 운영 유지	
1. 프로젝트 제안 사전활동 임무, SRD, SOW RFP, CDRL	•	•	•	•	•	•
2. 요건분석 소스요건획득 운용개념개발 가능성/요건 설계제약요건 요건할당	• • ◦ ◦ ◦	• • • • •	• • • • •	• • • • •		•
3. 기능분석	◦	•	•	•		
4. 시스템 아키텍처 조합 다중아키텍처 조합 시스템요소 요건 아키텍처 선정 및 평가 통합시스템 물리적 형상 인터페이스 정의 및 보완 시양서 트리 및 규격서 개발	◦ ◦ ◦ ◦ ◦ ◦	• • • • • •	• • • • • •	• • • • • •		
5. 시스템 분석 절충연구 시스템 M&S 위험관리 수명주기 비용분석 비용효과분석	◦ ◦ ◦ • • •	• • • • • •	• • • • • •	• • • • • •	◦ ◦ ◦ ◦ ◦	• • • • •
6. SE 결과물 통제		•	•	•	•	
7. SE 프로세스 통제 SEMP, SEMS/SEDS, TPM, 감사 제조/생산관련 활동	◦	◦	•	•	•	
8. 시스템 수명 지원 시스템 통합 시스템 검증 정비기준 엔지니어링 유지	◦	• • •	• • •	• • •	◦ ◦ •	• • •
9. 단계별 기술검토		AFS SRR	SFR SDR	SSR PDR CDR TRR PCA FQA SVR PRR	PCA	DR

4.2 국방획득관련 제도 개선방안

시스템엔지니어링 프로세스 기반의 국방획득사업을 위해서는 아래와 같은 제도 개선이 이루어져야 한다.

첫째, 시스템엔지니어링 초기활동이 보장되어야 한다. 국내사업의 경우 초기 활동 중의 하나인 시스템정의(system definition)가 명확하게 정의되기 전에 연구개발을 시작함으로써 개발 후반에 설계요건과의 상충으로 인한 추가비용, 개발기간 지연, 그리고 설계변경 등이 크게 발생하였다. 불명확한 시스템정의는 이해관계자 요건(stakeholder requirement)과 설계의 기본이 되는

시스템 요건(system requirements)의 부실을 초래하며, 이것은 조사결과에 의하면 사업실패의 주요 요인이 되었다. 따라서 시스템엔지니어링 활동은 이러한 초기 활동을 매우 중요하게 다루고 있으며 성공적인 시스템엔지니어링 프로세스 적용을 위해서는 무기체계 획득사업의 초기 활동 투자에 대해 비용 및 일정 면에서의 보장을 규정화하여야 한다.

둘째, 진화적 접근방법의 적용이다. 국내 획득프로세스인 체계개발 단계는 개발에 대한 기술 및 운용시험평가 위주로 ROC를 보완하게 되는데, 진화적 개발에 의한 반복적이며 순환적인 시연과정이 없어 양산이후 성능개량이나 형상변경에 위험이 크다고 할 수 있다. 따라서, 무기체계 획득사업의 개발방법으로 동시공학을 기반으로 한 진화적 접근방법(evolutionary approach)에 의한 개발이 요구되며, 이는 소요군의 성숙된 기술과 진화적인 요건반영을 가능하게 한다. 개발 대상시스템이 비교적 간단했던 과거와 달리 다기능 복합화의 현대시스템 속성과 과학기술의 급격한 발전에 따른 기술 예측의 어려움은 완전한 요건정의 곤란 및 높은 개발 위험도로 인해 완전한 요건을 작성한 후 사업을 진행하는 것보다는 어느 정도 요건이 만족된 상태에서 반복적으로 요건을 진화시켜 나가는 것이 비용 및 일정 면에서 훨씬 유리하다.

셋째, SEMP와 TEMP 개발을 의무화하여야 한다. 현대의 대형 복합적인 무기체계 개발 추세와 다수 이해관계자 참여에 의한 분산 작업환경, 그리고 고기능 복합 및 통합성에 따른 기술개발 위험성으로 소요군의 요구를 만족시키는 효과적이며 효율적인 시스템을 개발하기 위해서는 시스템엔지니어링적 접근법이 필수적으로 요구된다. 따라서 무기체계 획득사업에 대한 계획, 조직 및 관리가 포함된 SEMP와 TEMP를 개념연구 단계에서 만들도록 하고, RFP와 함께 제출하도록 제도화하여야 한다.

넷째, 무기체계 개발시 IPPD를 적극 활용하여야 한다. 무기체계 개발사업의 주요 관심대상은 비용, 일정 및 개발위험관리이며, 이를 위해서는 개발과정에서의 IPPD와 IPTs 적용이 이루어져야 한다. IPTs를 통한 다분야 전문가 팀워크는 IPPD의 핵심 원리중의 하나이다. 설계, 개발 및 생산에 관련된 직접적인 이해관계자뿐만 아니라 시스템엔지니어링 기본개념의 수명주기(life cycle)와 전체적(holistic) 관점에서 이해관계가 있는 고객, 기능별 책임자, 공급자 등을 포함한 기술, 비용, 제조 및 지원조직 등의 다분야전문가로 구성되는 팀은 IPPD 프로세스 활동의 중심이며 IPPD 활동을 적용하여 초기 계획과 활동에 대해 조직적이고 포괄적이며 반복적인 접근으로 효과적인 위험관리를 수행할 수 있다.

다섯째로 국방획득사업 계약 시 국내·외 경쟁입찰을 추진해야 한다. 현재 국방 획득사업에 있어 연구개발은

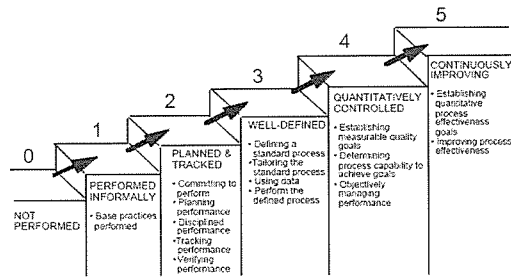
정부주도의 경우 ADD 주관으로 개발업무를 수행하고 있으나, 경쟁대상 부재로 인해 효율성이 떨어지는 한편 기 개발된 기술을 소모에 반영하는 등의 부작용을 초래하고 있다. 또한 이는 업체주도 연구개발 및 핵심기술에 대한 업체의 연구개발 노력을 제한하고 있다. 따라서 ADD, KIDA, 소요군, 방위사업청(가칭)으로 구성된 ICT/IPT를 통해 개념연구 단계에서 SRS 및 시스템검증 규격서를 생산하고 RFP 공고 후 업체 또는 ADD 대상의 사업주도 형태를 확정하여야 한다. 이는 방산업체 연구개발 활성화에 기여할 것이며, 추후 그 대상을 국외업체까지 확대함으로써 그 효율성이 증대될 것이다.

4.3 향후 발전방향

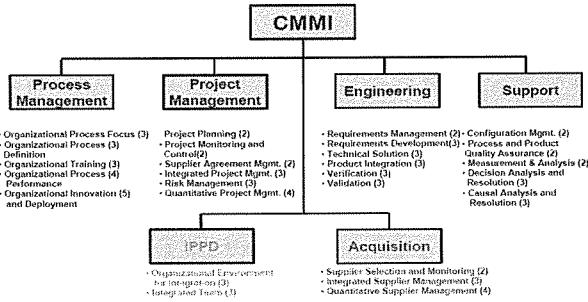
시스템엔지니어링 프로세스의 적용을 위한 장기적 측면에서의 향후 발전방향을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 첨단기술의 신속한 전력화가 요구된다. 미국의 획득사업에서는 첨단기술 확보 시 군사적 효용성을 평가하고 소요제기 및 결정이 되면 개념연구와 탐색개발 단계를 생략하고 바로 체계개발 단계로 진입하는 ACTD 개념을 사용하고 있다. 이와 같이 우리나라도 기술시연과 기술성숙도에 따라 이를 획득단계에 반영시키는 방안이 요구된다. 따라서 ACTD 전담부서를 신설하여 소요와 운용개념에 대해 명확히 이해하고, 방산업체, 특허연구소, 기업체 등 상용기술과 군사기술의 신속한 접목을 유도하여야 한다. 또한 첨단기술의 군사적 활용성을 증대시키기 위해 전투실험, 기술시연 수행을 통한 시제품 생산과 이를 위한 예산반영이 필요하다.

둘째, SE-CMMI(SE-Capability Maturity Mode Integration) 능력을 확보해야 한다. CMMI는 검증된 실무 활동을 반영하여 조직의 성숙도 및 프로세스능력 평가, 프로세스향상을 위한 활동의 우선순위 결정, 실제 공정향상을 위한 구현활동을 지원하는 프레임워크를 구성하고 있다. 시스템엔지니어링의 CMMI 접근방법은 연속(continuous)적 모델로서 <그림 3>과 같이 레벨 0부터 5까지 6등급 능력레벨로 구성된다. <그림 4>는 연속적 모델의 각 프로세스별 활동에 대한 능력레벨을 나타낸다. 대부분의 경우 3등급 이상이 되어야 시스템엔지니어링을 제대로 적용하고 있는 단계라고 할 수 있다. 이러한 기준을 적용에 대한 제도화는 방산업체의 연구개발 단계에서 시스템엔지니어링 CMMI를 적용함으로써 무기체계의 개발, 배치, 운용유지에 있어 성숙한 능력을 조기에 달성할 수 있을 것이다.



<그림 3> SE-CMM 등급



<그림 4> 프로세스별 능력레벨

[1] 국방부. 국방획득관리규정, 2003.
 [2] 민성기, 권용수 옮김. “시스템엔지니어링 입문”. 문원출판, 2002. 6.
 [3] 권용수. “무기체계 획득과정의 시스템엔지니어링 적용사례 분석 및 전망”. 『안보연구시리즈』, 제4집, 제5호, 2003.
 [4] 권용수, “국방획득사업에서 ACTD 접근방법 적용”. 『시스템엔지니어링학술지』, 제1권 제2호, 한국시스템엔지니어링협회, 2005.
 [5] Robert I. Winner, "Integrated Product and Process Development In the New Attack Submarine Program: Case Study", Defense Interoperability Directorate, 2000. 2.

셋째, 체계적인 전문지식을 지닌 시스템엔지니어를 양성을 위해 SE 자격인증제도의 조기 시행이 필요하다. 2002년 KCOSE(Korea Council on Systems Engineering)가 창립된 이래 지속적인 활동은 다방면에서 많은 성과를 얻고 있다. 그러나 한편, 시스템엔지니어링에 대한 산업체, 학계, 연구기관 및 정부기관 간의 공감대 형성 및 사회저변으로의 확대 기회제공, 시스템엔지니어링에 대해 체계적인 지식을 지닌 시스템엔지니어링 전문가 양성 필요, 그리고 KCOSE의 활성화 방안 등에 관련된 근원적인 요구에는 미흡한 부분이 있었다. KCOSE는 이러한 요구에 대한 솔루션으로서 시스템엔지니어링과 관련된 제반 전문지식을 지닌 시스템엔지니어들에게 이들의 능력을 공식적으로 인정해 주는 자격인증제도를 조기 시행해야 할 것이다.

5. 결 론

지금까지 시스템엔지니어링 프로세스와 관리기법에 대하여 이론적으로 고찰하고 이를 기반으로 대표적인 미국의 시스템엔지니어링 프로세스 적용사업인 F/A-18E/F 및 핵잠수함 개발 사례를 종합적으로 분석하였다. 분석결과를 바탕으로 제시한 국내 방산분야 시스템엔지니어링 적용방안과 발전방향을 제시하였으며 이는 향후 시스템엔지니어링 적용에 대한 의사결정시 기본자료가 될 수 있을 것이다.