

국방대학교 시스템엔지니어링 교육과 적용사례

권용수(국방대학교), 공방표(해군사관학교)

The Education and Application of Systems Engineering in KNDU

Kwon, Yong-Soo(KNDU) Kong, Bang-Pyo(Korea Naval Academy)

1. 서론

오늘날 과학기술의 급격한 변화와 복합시스템화추세에 따라 사용자의 요구를 충족시키는 완벽한 무기체계의 개발이 점차 어렵게 됨에 따라 새로운 개발 접근방식이 요구되고 있다. 특히, 일반 상용개발에 비해 개발위험이 높은 국방 무기체계 획득사업의 성공여부는 비용결정율이 매우 높은 사업초기의 활동에 의해 크게 좌우된다. 따라서 초기활동을 중시하고 전체적이며 수명주기적인 시스템엔지니어링 접근관점에서 개발대상 시스템의 운용개념과 운용요구사항 도출, 시스템설계, 시스템 통합/시연 및 전반적인 사업/기술관리 활동은 매우 중요하다.

이러한 국방획득사업의 특수성에 따라 국방대학교 석사과정에서는 시스템엔지니어링을 체계적이며 집중적으로 교육하고 있다. 주간 무기체계 전공 석사과정에 대해서는 시스템엔지니어링 프로세스 식별 능력을 지닌 사업관리자로서 필요한 수준의 시스템엔지니어링의 내용을 전반적으로 교육하고 있다. 또한, 야간 사업관리 석사과정에 대해서는 시스템엔지니어링관리에 중점을 두고 있으며 시스템엔지니어링 전산지원 도구인 CASE (Computer Aided Systems Engineering)의 활용실습을 통해 교육 효과를 증대시키고 있다. 본 논문에서는 이러한 국방대학교의 시스템엔지니어링 교육에 대해 전반적으로 설명하고 있으며, 교육 내용의 실제 적용사례로 2005년도 졸업논문 중의 하나인 “한국해군의 CEC체계 탑재합정 운용 개념에 관한 연구”를 인용하여 제시하였다.

2. 국방대학교 시스템엔지니어링 교육

국방대학교 석사과정의 시스템엔지니어링 교육은 Table 1과 같이 주간 석사과정 1학기 및 3학기에 개설되어 있으며, 야간 사업관리 과정도 추가로 교육을 시키고 있다.

주간 석사과정 1학기 “시스템엔지니어링” 과목은 국방획득사업의 시스템 개발과 수명주기에 관련된 엔지니어링 관리 분야의 기본적인 개념적인 수준의 지식 제공을 목적으로 국방획득사업의 시스템 개발계획 및 평

가에 대한 기본적인 틀을 제공한다. 교재로는 미 국방획득대학에서 활용하고 있는 *Systems Engineering Fundamentals*¹⁾을 사용하고 있다.

Table 1 국방대학교 시스템엔지니어링 교육

학기	과 목	주요 내용
1	시스템 엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템엔지니어링 프로세스 개관 • 요구사항 분석 • 기능분석 및 할당 • 설계조합 • 검증 • 시스템엔지니어링 프로세스 산출물 • 업무분해구조 • 형상관리 • 절충연구 • 측정기준 • 위험관리 • 시스템엔지니어링 계획
3	시스템 엔지니어링 특론	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템엔지니어링 프로세스의 개발 수명주기 적용 • 프로세스 활동 • 소요정의 프로세스 • 시스템엔지니어링 기술관리 • 요구사항정의의 프로세스 • 솔루션정의의 프로세스 • 제품구현 프로세스 • 기술분석 및 평가 • 시스템엔지니어링 프로세스 통제 • 시스템 운용 및 지원 • 프로세스 태일러링
야간 사업 관리 과정	시스템 엔지니어링	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템엔지니어링 개관 • 국방획득과정에서의 시스템 엔지니어링 관리 • 모델링 및 프로세스 모델링 • 콘텍스트 및 외부 시스템 분석 • 운용 요구사항 및 설계문제 정의 • 기능아키텍처 개발 • 물리아키텍처 개발 • 운용아키텍처 개발 • 인터페이스 디자인 • 검증 및 확인 • 요구사항 관리 도구(CORE) 시연

3학기 “시스템엔지니어링 특론” 과목은 무기체계 획득사업에 있어 시스템 엔지니어들이 수행하고 있는 사업의 효율적인 관리를 위하여 적용되어야 할 프로세스를 정확히 제시하고 무엇이 꼭 수행되어야 하는지, 그리고 왜 이와 같이 해야 하는지에 대한 충분한 지식 제공을 목적으로 시스템엔지니어링 프로세스에 대한 심화된 내용을 다루고 있다. 이는 시스템엔지니어링에 대한 기본적인 지식을 지닌 학생을 중심으로 시스템의 수명주기와 솔루션 개발부터 관리까지의 이론적 강의와 발표를 통해 적용 능력을 함양한다. 교재로는 INCOSE의 *Systems Engineering Handbook*²⁾을 사용한다.

또한 야간의 사업관리 과정에서는 국방획득사업의 시스템 개발 및 수명주기와 관련된 엔지니어링 관리 분야의 기본적 지식에 대한 이론 교육과 실무 적용사례 연구를 통해 시스템엔지니어링 관리능력을 배양한다. 수업 진행은 전반부 8주 동안의 시스템엔지니어링에 대한 기본 이론교육과 후반부 8주 동안의 시스템엔지니어링 전산지원 도구인 CORE를 이용한 실습으로 이루어진다. 교재로는 *The Engineering Design of Systems*³⁾를 사용하고 있다.

Table 2 시스템엔지니어링을 적용한 최근 3년간 국방대학교 석사과정 논문

년 도	논 문 제 목
2003	<ul style="list-style-type: none"> •네트워크 기반 해상·공중 미사일 방어 체계 아키텍처에 관한 연구 •시스템엔지니어링 프로세스를 적용한 국방 획득사업 사전분석 연구 •한국해군의 협동교전능력체계 구축방향에 관한 연구 •헬기와 함정간의 데이터링크체계 개념연구
2004	<ul style="list-style-type: none"> •재진입단계 비행특성을 고려한 대탄도 미사일 하층방어체계 개념 연구 •국방연구개발사업의 IPPD 적용에 관한 연구 •헬기와 지상부대 간 한국형 전술데이터링크 체계 구현 방안 연구
2005	<ul style="list-style-type: none"> •한국해군의 CEC체계 탑재함정 운용개념에 관한 연구 •미래 잠수함 위상통신체계 운용개념에 관한 연구 •공군 전술데이터링크체계 운용개념 연구 •통풍형 화생방집단보호시설 설계요건에 관한 연구

주간 석사과정 학생들의 대부분은 야간 사업관리과정 수업에 참여하여 시스템엔지니어링 전산지원 도구의 사용에 대한 지식을 습득하게 된다. CASE 도구 사용에 대한 지식 습득은 SE에 대한 지식을 정량적이고 체계적이며 도식적인

표현으로 전환하는 효율적인 수단이 되고 있다. 특히, 이러한 도구사용은 국방 무기체계 획득 초기에 생성되는 운용개념서 및 ORD(Operation Requirement Document)에 관련된 문서 작성에 있어 임무요구사항, 운용개념 시나리오부터 기능아키텍처, 물리아키텍처 및 운용아키텍처를 구현하는 과정에서 큰 효과를 얻을 수 있다.

3. 시스템엔지니어링 적용 논문 사례 : 한국해군의 CEC체계 탑재함정 운용아키텍처 개발

3.1 CEC체계 탑재함정 운용환경 및 문제식별

3.1.1 운용환경

미래전장은 네트워크에 의한 전장공간의 확대로 다양한 조기경보/감시체계와 정밀타격체계가 복합적으로 이루어진 비선형적 환경이다. 이러한 환경에서는 과거의 플랫폼중심 전투와 달리 각각의 개체들이 서로 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 적절한 조정과 통제가 없이는 공통의 목적을 효과적으로 달성할 수 없다. 그러나 적절하게 관리될 때는 시너지적인 전력승수 효과를 얻을 수 있는 장점을 지니고 있다. 컴퓨터와 통신기술의 급격한 발달로 비선형적 환경으로부터의 승수효과를 얻는 방법은 특별히 어려운 기술이 요구되지 않는다. 이러한 미래 위협환경에 효과적으로 대처하기 위해서는 전술정보에서 전략정보에 이르기까지 넘치는 정보속에 필요한 정보만을 선택 융합하여 전략적대에서 전술제대에 이르는 모든 플랫폼과 정보를 실시간적으로 공유하여 정확한 의사결정을 신속하게 할 수 있도록 하는 전장관리체계가 요구된다.

3.1.2 문제식별

한국해군의 현 공중/미사일 방어능력은 주로 저속과 저기동성 항행체인 항공기와 단거리 순항미사일의 임무 저지(mission kill)에 적합한 수준에 머물러 있다⁴⁾. 특히, 북한을 비롯한 주변국의 불특정 위협에 대한 미사일 방어는 탄도미사일의 자체 고유 비행특성으로 인하여 운용 중인 요격체계로는 요격하기 매우 어려운 실정이다. 이러한 특성은 우리나라 주변의 자연환경과 결합하여 방어의 어려움을 더욱 가중시킨다. 연해의 자연·인공 장애물에 의한 전파의 차단, 클러터에 의한 센서 탐지거리 감소, 수많은 고정/이동물에 의한 표적의 추적과 식별의 복잡성 등은 좋은 예라 할 수 있다. 더욱이 2005년 9월 국방부는 군의 지역 거점 방어체계에서 첨단전력강화를 통한 기동부대 위주로의 개편을 골자로 하는 ‘국방개혁 2020’을 발표하였다. 이에 따라 해군은 기동력을 통한 작전반경 확대를 위한 전력보강을 주요 목표⁵⁾로 설정하여, 수상함, 잠수함 및 항공전력을 대폭 강화해 수중-수상-공중 입체전력을 운용할 계획이다.

이러한 관점에서 CEC체계는 한국해군에 필수적이며, CEC체계를 탑재한 함정에 대한 사전 연구가 이루어져야 할 것이다.

3.2 CEC체계 탑재함정 운용개념

3.2.1 운용개념 설정시 고려사항

미래작전은 단일군이 아닌 합동군 또는 다국적군에 의한 연합작전 능력이 요구되므로, 합동 또는 연합작전을 위한 정보기반 체계 구축이 최우선적으로 이루어져야 한다. 합동작전 요소 간 실시간적 전장인지와 표적에 대한 무기통제 가능 수준의 정밀 트랙정보를 공유하기 위해서는 광통신망을 이용한 초고속 데이터 전송망의 구축이 요구된다. 또한 미래 합동 및 연합작전을 위한 플랫폼간의 상호운용성이 확보되어, 서로 다른 플랫폼으로부터 획득한 정보를 실시간 공유할 수 있는 합동 전술정보 분배체계가 요구된다. 마지막으로 초저고도 비행 순항미사일로부터 고가의 자산인 함정을 보호하고, 미사일방어 작전을 효과적으로 수행하기 위한 네트워크 기반으로 한 전장관리체계 탑재가 필수적이다.

결국 서로 다른 센서와 무기를 갖고 분산된 전투 함정/플랫폼으로부터 제공되는 측정자료의 융합에 의해 얻어진 사격통제 가능 수준의 전술표적 정보인 복합트랙을 공유하여 서로 동일한 전장상황을 유지함으로써 광역 대공방어능력을 단일 광역대공방어체계로 구성할 수 있어야 한다.

3.2.2 CEC체계 탑재함정 운용개념

앞 절에서 언급한 고려사항을 바탕으로 설정된 CEC체계 탑재함정의 임무요구사항(mission requirement)은 다음과 같다.

“CEC체계 탑재함정은 타 플랫폼과 네트워크로 단일 전장공간을 구성하여 실시간 표적정보를 공유하며, 전방위 대공 구역방어를 제공하고 단일 광역대공방어체계의 한 요소로서 임무를 수행해야 한다.”

이와 같은 임무요구사항을 달성하기 위한 운용개념시나리오의 한 예는 다음과 같다.

공중감시자산과의 정보 교환 시나리오(1-1)

- 공중감시자산은 모든 센서를 이용하여 표적 데이터를 획득한다.
- 공중감시자산은 획득한 데이터를 함정에 전송한다.
- 수상함정은 모든 센서를 이용하여 표적 데이터를 획득한다.
- 수상함정은 획득한 데이터를 공중감시자산에 전송한다.
- 수상함정은 공중감시자산으로부터 수신한 데이터와 자체 획득한 데이터를 융합한다.
- 무장 발사와 유도는 수상함정이 수행하며, 타 수상함

정에서 유도할 수 있다.

3.2.3 콘텍스트 분석

운용개념시나리오로부터 개발대상 시스템인 CEC체계 탑재함정과 이와 관련된 외부시스템(환경)은 콘텍스트도로 나타낼 수 있다. 시스템과 외부시스템과의 경계를 식별한 후 개발대상 시스템의 입·출력요소를 Fig.1과 같이 나타내었다.

콘텍스트도에서 CEC체계 탑재함정의 외부시스템은 정보자산, 운용자, 적 플랫폼/미사일 및 타 플랫폼 등 4개의 시스템이다. 외부시스템 간의 기능프로세스 흐름은 IDEF0 모델을 이용 하여 Fig.2와 같이 나타냈다. IDEF0의 메커니즘은 4개의 외부시스템과 CEC체계 탑재함정이며, 통제요소는 지휘관의 지시/의도, 운용자의 숙련도, 형상통제지침, 합동작전 교리 및 적의 임무/전술 등이다. 또한 입·출력요소는 5개 시스템간의 20여개의 데이터로 구성된다. 외부시스템과의 시스템경계를 식별한 후 개발대상 시스템, 즉 CEC체계 탑재함정을 중심으로 시스템기능도(system functional diagram)를 작성하였다. 이를 통하여 외부시스템과의 관계로부터 개발대상 시스템 간의 인터페이스와 요구되는 기능요소의 식별이 가능하다.

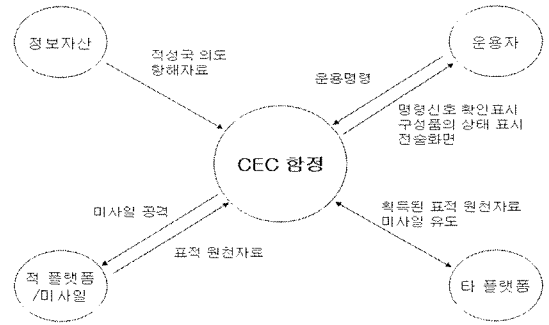


Fig.1 Context Diagram(External System)

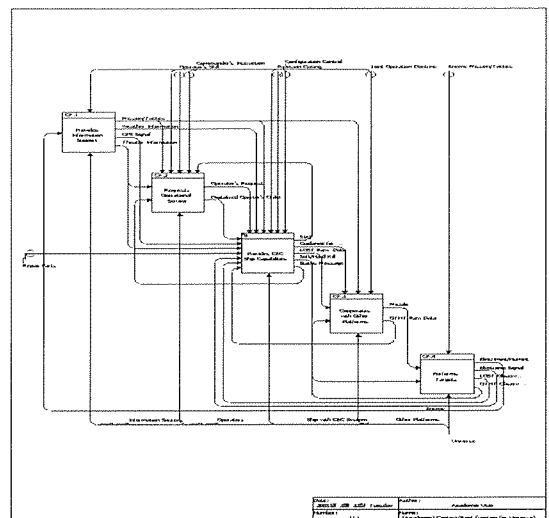


Fig.2 External System Diagram

Fig.2는 이러한 CEC체계 탑재함정의 시스템기능도를 기능프로세스 모델인 IDEFO로 나타낸 것이다. CEC 체계 탑재함정은 4개의 외부시스템으로부터 7개의 입력 요소에 의해 5개 요소가 출력되도록 설계되었다. Fig.3에서 외부시스템인 타 플랫폼의 입력요소는 획득된 표적의 원천자료이며, 운용자의 입력요소는 디지털화된 운용명령이다. 출력요소는 타 플랫폼으로의 획득된 표적 원천자료, 운용자로의 전술화면과 장비의 현상태 표시, 대공미사일 유도, 적 미사일/플랫폼으로의 미사일 공격 등이다. CEC체계 탑재함정의 통제요소는 기상정보, 운용자의 사용 요구, 임무/전술, 합동작전 교리 및 형상통제 규정 등이며, 이를 바탕으로 CEC체계 탑재함정은 임무를 수행하게 된다.

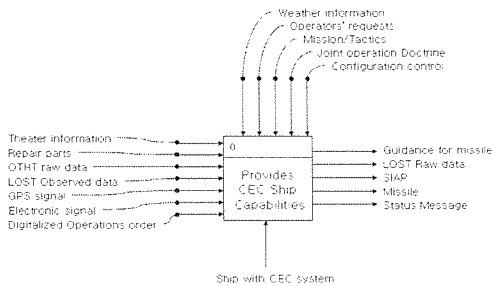


Fig.3 System Functional Diagram

3.3 운용요구사항

CEC체계 탑재함정이 수행해야 할 임무 및 운용개념 시나리오로부터 센서, 지휘/결심, 사격/무장, 통신 및 CEC 체계로부터 Table 3과 같은 플랫폼 요구사항을 식별하였다.

Table 3 Operational Requirements

구분	요구사항
센서체계	<ul style="list-style-type: none"> 다수표적 처리 능력 탐지능력의 정확성 및 신뢰성 표적식별/확인능력(IFF 연동) 정밀 사격통제 레이더 보유
사격/무장 체계	<ul style="list-style-type: none"> 장거리 대공 요격미사일 전방위 대응능력 요격미사일 유도능력
지휘/결심 체계	<ul style="list-style-type: none"> 대공전 지휘능력 교전상황 전시능력 합동작전 지원을 위한 맵기능 TEWA, 교전결과 평가 등의 자동화 표적관리 능력
통신체계	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 전송능력 대용량, 고속 송/수신 능력 자동 중계기능 네트워크식 확장능력 전자 재밍 대응능력

CEC체계	<ul style="list-style-type: none"> 대용량 표적 처리능력 실시간 복합트랙 생성 고속/저속 표적 데이터 선별 타 플랫폼과의 시간 및 위치 동기화
-------	--

3.4 CORE를 이용한 운용아키텍처 개발

입력요구사항을 충족시키는데 필요한 CEC체계 탑재함정의 기능을 11개 하부기능으로 분해하여 기능아키텍처 계층구조로 전환하였다. 기능아키텍처에 따라 모든 기능이 수행되도록 물리아키텍처 계층구조로 나타냈으며, 물리아키텍처 계층구조로 식별된 구성품은 링크를 통하여 물리적 블록선도로 표현했다. Fig.4는 이러한 과정을 통해 얻어지는 운용아키텍처 개발 절차⁶⁾를 나타낸다.

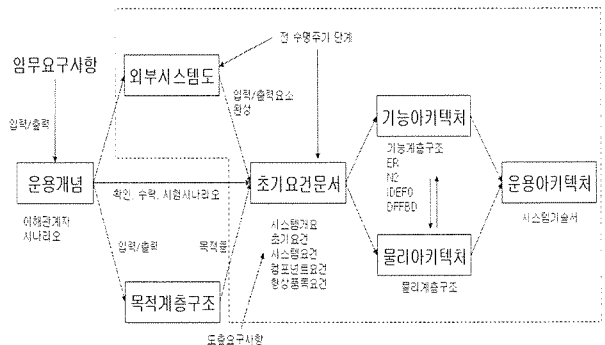


Fig.4 Operational Architecture Development Process

요구사항 입력으로부터 아키텍처 개발은 CASE 도구를 사용하여 요구사항을 입력하고 이를 바탕으로 기능아키텍처, 물리아키텍처 및 운용아키텍처를 작성했다. Fig.4의 점선부분은 본 연구에서 CASE 도구인 CORE 프로그램을 이용한 부분이다.

3.4.1 기능아키텍처

식별된 11개 기능 계층구조는 Fig.5와 같다. 기능의 시차적 수행을 나타내기 위하여 거동모델을 구성했다. 시스템 거동(system behavior)은 CORE의 FFBD(Functional Flow Block Diagram)로 작성하였다. Fig.5로부터 식별된 기능들의 거동모델은 Fig.6과 같다. 거동모델에서 주요한 기능흐름은 전장정보 수집, 표적의 탐지, 타 플랫폼과의 데이터 교환, 데이터 융합, 위협분석, 교전 및 교전결과 평가기능 등이다. 기타 전시 및 구성품의 정비유지 기능은 주 기능과 병행하여 동시에 수행되므로 'and'를 이용하여 구성하였다.

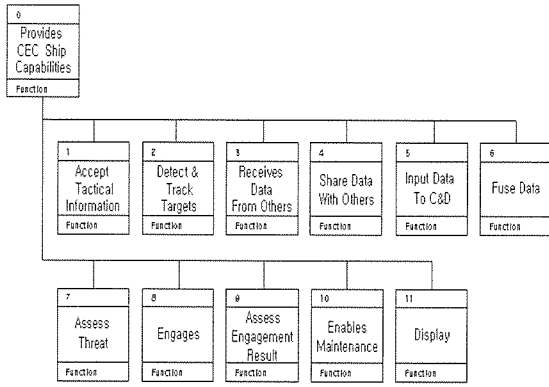


Fig.5 Functional Architecture Hierarchy

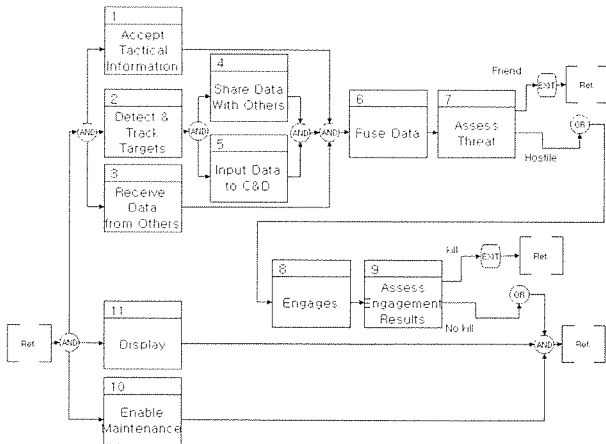


Fig.6 System FFBD

거동모델에 대한 논리적 오류검증은 CORE에 내장되어 있는 시뮬레이터 기능을 사용했으며 Fig.7은 거동모델이 정상적으로 작동하고 있음을 나타낸다. 검증 시뮬레이션 화면의 왼쪽 창은 CEC체계 탑재함정의 기능을 보여주고 있으며, 메인 창은 시간에 따른 기능 수행이 논리적 오류 없이 57.87초 만에 종료되었음을 보여주고 있다.

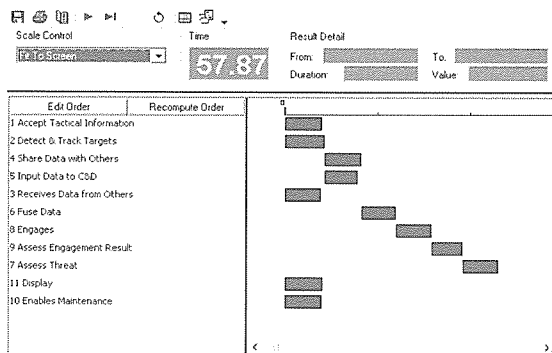


Fig.7 System FFBD Simulation

3.4.2 물리아키텍처

기능아키텍처에서 식별된 모든 기능을 수행할 수 있도록 구성품을 식별하였다. 다기능 수행이 가능한 구성품

을 포함하여 기능과 구성품이 대응되도록 하였다. Fig.8은 본 논문에서 제시한 구성품의 물리 계층구조를 보여주고 있다.

11개의 기능을 수행할 6개의 구성품을 계층구조 상에서 식별한 후 이를 바탕으로 구성품 간의 연결을 통해 상호관계를 나타내는 Fig.9와 같은 물리적 블록선도를 구성하였다. 그림에서와 같이 6개의 구성품은 CEC체계를 통해 타 플랫폼에서 획득한 데이터와 자체 센서체계를 통해 획득한 데이터를 지휘/결심체계에서 융합하여 위협평가 후 사격/무장체계를 통해 적과 교전한다. 이외의 통신은 통신체계에 의해 지원되며, 모든 구성품은 예비체계에 의해 모니터링 된다.

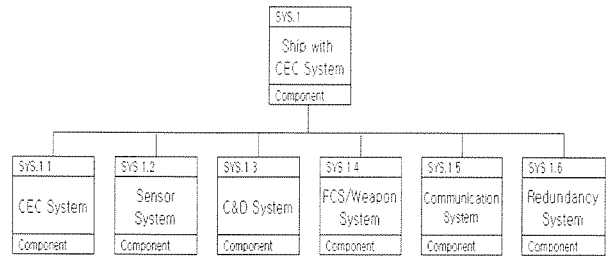


Fig.8 Physical Hierarchy

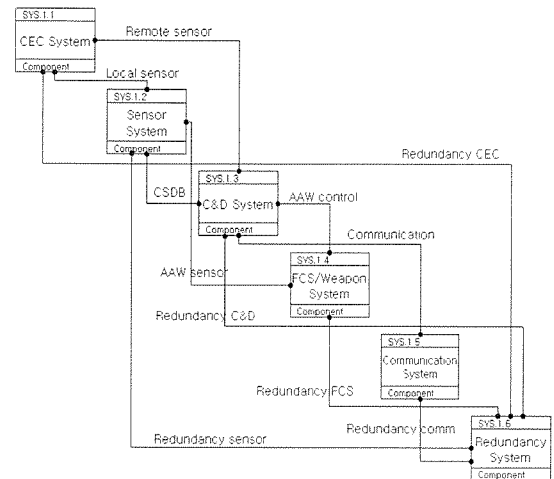


Fig.9 Physical Block Diagram

3.4.3 운용아키텍처

운용아키텍처는 기능아키텍처와 물리아키텍처의 관계 설정을 통해 도출하였다. CEC체계 탑재함정 운용아키텍처는 기능아키텍처의 계층구조를 물리아키텍처의 하부시스템 및 구성품 할당, 도출된 입력과 출력요소, 인터페이스 및 링크간의 관계 설정 등을 포함한 시스템 개념설계에 대한 전반적인 설명을 나타내며, CORE 도구를 사용하여 Fig.10과 같은 개체(entities) 입력으로 개발되었다. Fig.11은 CEC체계 탑재함정의 운용아키텍처 개발과정에서 물리구성품, 요구사항 및 기능 간의 추적성을 나타낸다.

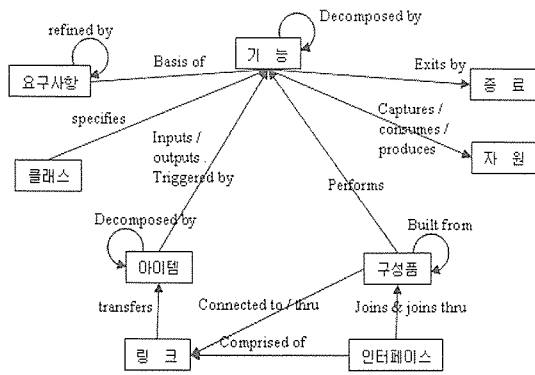


Fig.10 Entity Relationship

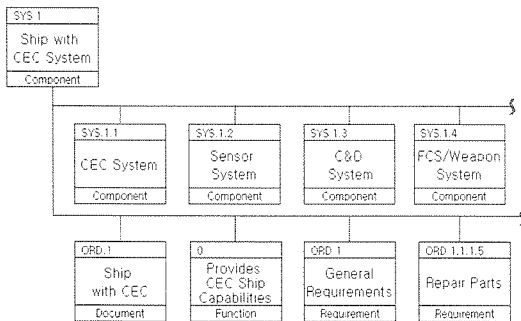


Fig.11 Operational Architecture

4. 결론

국방과학기술의 급격한 변화와 무기체계의 복잡화 추세에 따라 국방획득사업 수행 시 시스템엔지니어링의 역할이 더욱 커지고 있다. 이에 국방대학교 무기체계 전공에서는 시스템엔지니어링을 교과목에 포함시켜 체계적이며 집중적으로 교육하고 있다. 이러한 교육의 효과는 졸업생의 논문에서 나타나고 있으며 앞으로도 시스템엔지니어링과 관련된 논문이 많이 배출될 것이다. 적용사례에서 제시된 운용아키텍처는 CEC체계 탑재함정 연구개발 초기단계에서 소요군의 ROC 작성을 위한 개념형성에 필수적인 활동으로, 이것은 시스템 개발자의 최상위수준인 도출요구사항의 초기 활동에 대한 기반이 된다.

참고문헌

- 1) "Systems Engineering Fundamentals", DoD Systems Engineering Management College, 2001.
- 2) 민성기, 권용수, 김의환, "시스템엔지니어링 핸드북", 시스템 체계공학원, 2006.
- 3) Dennis M. Buede, "The Engineering Design of System" New York : John Wiley & Sons. Inc, 1999.

- 4) 권용수, "탄도미사일과 방어체계", 국방대학교, p.127, 2003.
- 5) <http://www.mnd.go.kr-EBookMaker>, "국방개혁 2020", pp.16-17.
- 6) Dennis M. Buede, "The Engineering Design of System" New York : John Wiley & Sons. Inc, P.149, 1999.