

함정 전투체계 개발을 위한 모델기반 시스템 엔지니어링 프로세스 연구

조명섭¹⁾, 송하석¹⁾, 윤태훈²⁾, 오성균²⁾, 박영원²⁾

1) 삼성탈레스(주), 2) 아주대학교

A Study on the Model-Based Systems Engineering Process for Developing the Naval Combat System

Myeong Seob Cho^{1)*}, Ha Seok Song¹⁾, Tae Hun Yoon²⁾, Sung Gyun Oh²⁾, Young Won Park²⁾

1) Samsung Thales co., LTD., 259, Gongdan-dong, Gumi-si, Gyoungsangbuk-do, 730-030,
Korea, C.P.O BOX 50

2) Department of Systems Engineering, Ajou University, San 5, Woncheon-dong,
Yeongtong-gu, Suwon-si, 443-749, Korea

Abstract : The conventional systems engineering has been performed mainly based on documentation artifacts. Although the Document-Based Systems Engineering has played a very important role in developing and deploying systems, it is difficult for systems engineers to build, to clarify, and to reuse the operational, functional and physical views of the System of Interest (SOI) efficiently. An information-age approach to this problem is the Model-Based Systems Engineering which has been emerging as a very productive solution for stakeholders to define, and understand the desired systems easily, to communicate and collaborate efficiently among each other, and also to verify and validate the systems solutions effectively. This paper proposes a set of MBSE process, methods, and models for use during the systems analysis and design phase of the naval combat system development. An example application of the proposed approach was exercised and a set of artifacts was generated for an export combat system project to demonstrate its effectiveness.

Key Words : Model-Based Systems Engineering, PMTE Paradigm, Naval Combat System

* 교신저자 : mscho@samsung.com

1. 서론

최근의 시스템 설계는 시스템의 복잡도가 증가하고 이해당사자의 수가 많아짐에 따라 상호간의 명확한 의사소통이 시스템 개발에 매우 중요한 요소로 작용하고 있다. 시스템 엔지니어는 시스템 설계 시 문서에 의존하는 대화법을 사용하여 사용자 및 개발자와 운용적, 기능적 및 물리적 관점에서 의사소통을 명확히 하는데 어려움이 있었다. 이러한 문제점을 해결하고자 최근에는 모델기반 시스템 엔지니어링(MBSE; Model Based Systems Engineering)에 대한 연구와 시스템 개발 과제에 대한 적용 노력이 활발하게 진행되고 있다.

본 논문은 이러한 시스템 엔지니어링 흐름에 맞추어 PMTE(Process, Method, Tool, Environment) 패러다임에 따라 MBSE 프로세스(P)와 각 프로세스 단계 별 모델링 방법(M)을 제안하였다. 또, 제안된 프로세스를 CASE(Computer Aided Systems Engineering) 도구(T)를 이용하여 시스템 설계 환경(E)을 구축함으로써 보다 효과적으로 시스템을 개발하기 위한 MBSE 방법론을 제안하는 것을 목표로 두었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MBSE 발전배경 및 기술동향에 대해 설명한다. 3장에서는 MBSE 요소를 PMTE 패러다임에 근거하여 분석하였다. 4장에서는 PMTE 요소에 근거하여 MBSE 프로세스를 제시하였다. 5장에서는 본 논문에서 제시된 MBSE 프로세스를 수출용 함정 전투체계에 적용한 결과로서 설계된 모델을 제시한다. 마지막으로 6장에서는 연구내용을 정리하고 향후 연구방향에 대해 논의하였다.

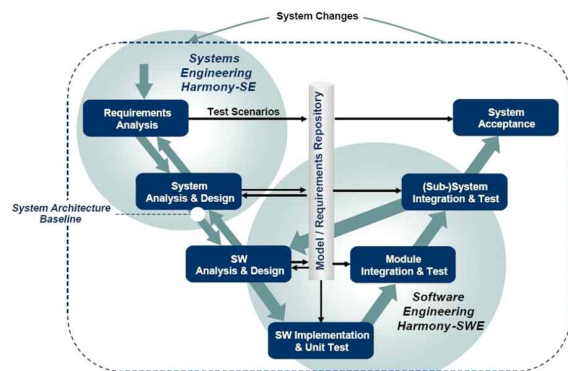
2. MBSE 발전배경 및 기술동향

MBSE는 정보화 시대에 문서기반의 시스템 엔지니어링의 문제점을 해결하기 위해 발전하게 되었다. 전통적인 문서기반 시스템 엔지니어링은 대량의 문서를 관리하는데 어려움이 있었으며 설계 정보의

급격한 증가에 대한 일관성과 추적성을 확보하는데 어려움이 있었다. 이러한 문제해결을 위해 모델의 개념이 도입되었으며 추상화와 모델링을 통해 시스템 요구분석을 수행하기 시작하였다. 또한 시스템 거동 및 하부수준 요구사항 개발을 위한 객체지향 접근이 시도되었으며 이러한 설계정보의 효율적인 관리 및 추적성 확보를 위해 CASE 도구의 필요성이 제기되었다[1].

MBSE는 대표적으로 IBM®의 Telelogic Harmony-SE, Lockheed Martin의 Object-oriented Systems Engineering Method(OOSEM), IBM® Rational Unified Process for SE, Vitech® MBSE Methodology 등의 방법론이 있다[2].

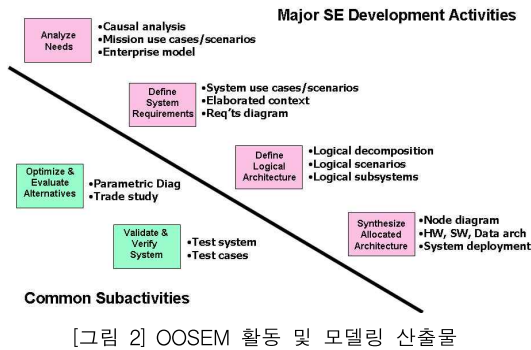
IBM®의 Telelogic Harmony-SE는 Vee Model에 기반을 두고 있으며 [그림 1]과 같은 개발 프로세스를 갖는다.



[그림 1] Harmony® 통합 시스템 개발 프로세스

IBM®의 Telelogic Harmony-SE는 Rhapsody®를 통해 지원되며 OMG™의 SysML™에 따른 서비스 요청 중심의 모델링 접근법을 사용한다[3].

Lockheed Martin의 OOSEM의 경우 객체지향 소프트웨어 개발, 하드웨어 개발 및 시험과의 통합을 용이하게 하고자 개발되었으며 CASE 도구에 독립적인 방법론을 제안하였다[4]. OOSEM은 시스템의 명세, 분석 설계 및 검증에 SysML™을 사용하며 하향식 설계에 기반을 두고 있다.



[그림 2] OOSEM 활동 및 모델링 산출물

IBM[®] Rational Unified Process for SE는 모델 기반 시스템 개발을 위한 RUP[®]의 확장된 형태로서 반복적이고 점진적인 나선형 모델로 생명주기를 표현한다[5]. 또한 UML을 사용하는 객체지향 접근법을 적용하였다.

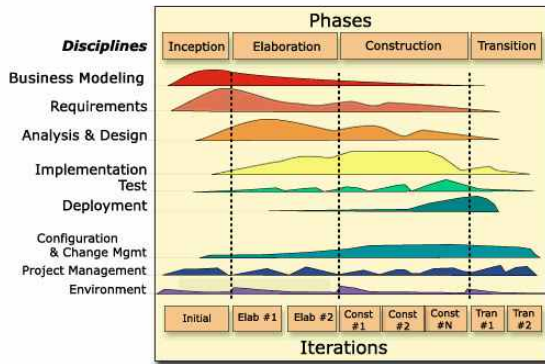
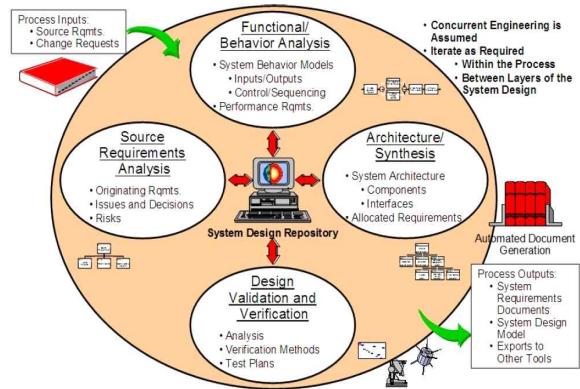
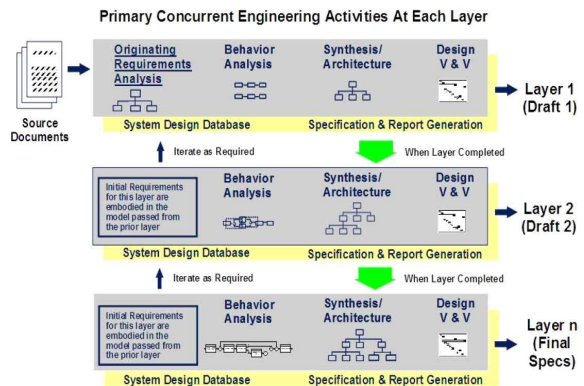


그림 3. The Rational Unified Process[®]

Vitech[®] MBSE Methodology는 Vitech의 CORE[®]를 통해 지원되며 소스 요구사항 분석, 기능 및 거동 분석, 아키텍처 설계 및 합성, 설계 검증 및 확인 등 4가지의 주요 동시공학 시스템 엔지니어링에 기반한다[6]. Vitech[®] MBSE는 System Definition Language(SDL)을 이용한 Entity-Relationship-Attribute 모델을 정의하고 Onion 모델을 중심으로 설계한다. Onion 모델은 앞의 4가지의 주요 시스템 엔지니어링 활동을 각 설계단계마다 반복하는 것을 의미한다.



[그림 4] Vitech[®] MBSE Primary SE Activities



[그림 5] Vitech[®] MBSE Onion Model

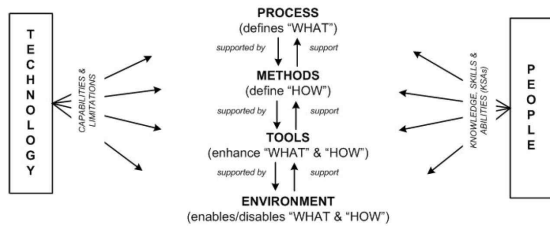
대표적인 네 가지의 MBSE 방법론을 전산지원 도구와 모델링 언어의 관점에서 비교하면 표 1과 같다. 대부분의 방법론은 전산지원 도구에 크게 의존하며, SysML과 같은 객체지향 성격의 모델링 언어를 사용하는 추세에 있지만, 성숙 단계에 있지 않으므로 시행착오의 위험부담이 크게 작용한다.

표 1. 대표적인 MBSE 방법론 비교

구분	전산지원 도구	모델링 언어
Harmony SE	Rhapsody [®]	SysML
OOSEM	(제한 없음)	SysML
RUP SE	Rational ROSE [®]	UML/SysML
Vitech [®] MBSE	CORE [®]	Structured

3. MBSE를 위한 PMTE 요소 분석

MBSE 프로세스 도출을 위해서는 PMTE 패러다임을 이해하고 이를 적용하는 것이 중요하다. PMTE 패러다임은 그림 6과 같이 간략하게 표현할 수 있다[7].



[그림 6] PMTE 패러다임

3.1 프로세스

프로세스는 시스템을 개발하기 위해 수행되어야 하는 일련의 논리적인 업무로 정의된다[7].

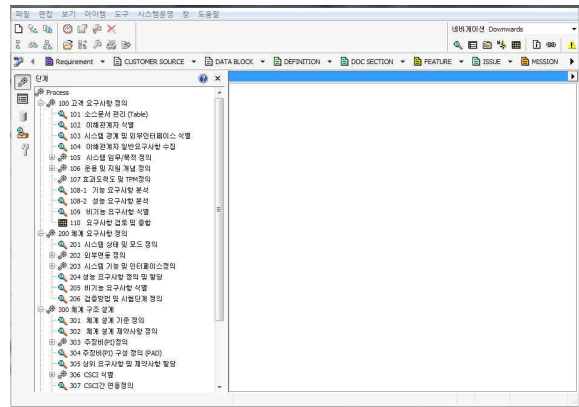
프로세스는 Vee Model, Martin 프로세스, EIA-632, MIL-STD-499B 등과 같은 표준 시스템 엔지니어링 프로세스와 국내 함정전투체계 개발에 적용되어 온 시스템 엔지니어링 프로세스를 참조하여 정립하였다. 정립된 함정 전투체계의 MBSE 기본 프로세스는 4장에서 구체적으로 소개한다.

3.2 도구

도구는 정의된 업무의 능률을 높이기 위해 적용되며, 컴퓨터 소프트웨어 기반의 도구가 사용된다[7].

CASE 도구를 활용함으로써 시스템엔지니어는 방대한 자료의 관리 및 시스템 요구사항 모델을 구축하고 이해당사자들과의 의사소통을 원활히 하여 일관성과 추적성을 갖는 시스템 설계를 수행할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 가장 널리 사용되는 SE 도구들 중 하나인 CRADLE[®]을 사용하였으며, 앞에서 제시된 MBSE 기본 프로세스에 따라 CRADLE[®]의 프로세스 단계는 그림 7과 같이 적용되었다.



[그림 7] MBSE 프로세스가 적용된 CRADLE[®]

3.3 방법

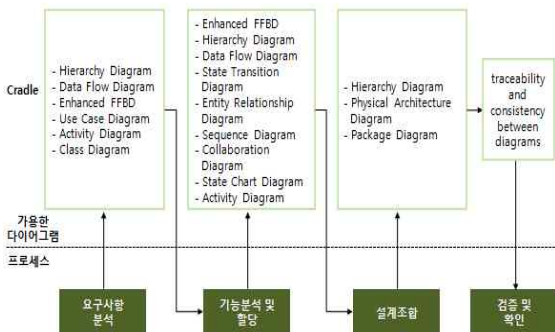
방법은 프로세스에 정의된 업무를 수행하는 기법으로 구성되어 있으며, 프로세스와 도구를 활용한 구체적인 업무 방식을 말한다[7].

모델기반의 시스템 엔지니어링 프로세스 설계를 위해 CASE 도구에서 제공하는 시스템 모델링 언어를 분석하여 활용 가능한 다이어그램을 식별하였다. 본 연구에서 선정한 전산지원도구인 CRADLE[®]은 시스템 엔지니어링을 위한 도구로서 시스템 모델링을 위해 표 1에서 비교한 방법론에서 사용하는 대부분의 도식화 언어를 제공한다[8].

- 기능 모델링:
 - DFD (Data Flow Diagram)
 - STD (State Transition Diagram)
 - STC (Structure Chart)
 - IDEF0 (Integration Definition for Functional Modeling)
 - HID (Hierarchy Diagram)
- 거동 모델링:
 - eFFBD (extended Functional Flow Block Diagram)
- 아키텍처 모델링:
 - AID (Architecture Interconnection Diagram)
 - PAD (Physical Architecture Diagram)
 - SAD (Software Architecture Diagram)

- 데이터 모델링:
 - ERD (Entity Relationship Diagram)
 - DSD (Data Structure Diagram)
- 프로세스 모델링:
 - PFD (Process Flow Diagram)
- 객체지향 모델링:
 - UCD (Use Case Diagram)
 - PD (Package Diagram)
 - SQD (Sequency Diagram)
 - COD (Collaboration Diagram)
 - CD (Class Diagram)
 - SCD (State Chart Diagram)
 - ACD (Activity Diagram)
 - CPD (Component Diagram)
 - DPD (Deployment Diagram)

시스템 엔지니어링의 엔진 프로세스는 요구사항 분석, 기능분석 및 할당, 설계조합의 절차에 따라 수행된다. 각각의 프로세스 단계에 적용할 수 있는 다이어그램을 그림 8과 같이 식별하였다[9].



[그림 8] SE 엔진 프로세스 다이어그램 활용방안

3.4 환경

환경은 시스템 개발에 필요한 연산 및 통신 자원, 조직 및 물리적 업무 환경 등을 말한다^[7]. 본 연구에서 선정된 전산지원도구인 CRADLE[®]에 필요한 통합된 관리 서버와 클라이언트 지원 환경뿐만 아니라 MBSE를 적용한 개발 업무 규칙과 지침, 엔지니어를 위한 다양한 교육훈련제도, 모델 재사용을

위한 모델 자산 관리 소프트웨어 등이 MBSE 프로세스가 바르게 정착되기 위해 필요한 환경이 될 수 있다.

4. 제안된 MBSE 기본 프로세스

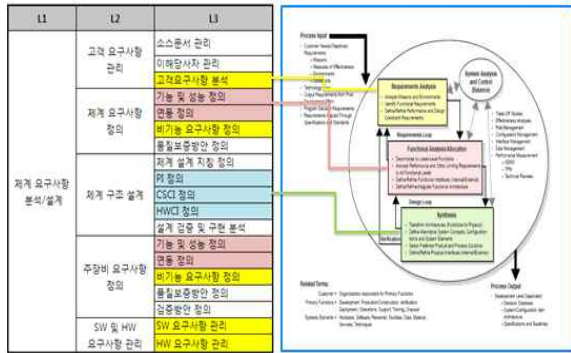
함정 전투체계 MBSE 기본 프로세스는 기존에 적용되어 온 V-커브 기반의 개발 프로세스에 세부적인 모델링 방법의 접목을 통해 그림 9와 같이 고객 요구사항 관리, 체계 요구사항 정의, 체계 구조 설계, 주 장비 요구사항정의, SW 및 HW 요구사항 관리 등의 단계로 정의하였다.



[그림 9] 함정 전투체계 MBSE 프로세스

제안된 함정 전투체계 MBSE 프로세스는 기존에 국내에서 적용되어 온 표준 프로세스를 기준으로 고객 요구사항 분석 활동과 모델링을 추가함으로써 다음과 같은 특징과 장점을 갖는다.

- 모델링의 도입
 - 엔지니어의 시간과 노력을 절감하고 설계 시간을 단축
 - 설계 정보의 일관성, 정확성 및 완전성 향상
 - 다음 단계 수명주기와 재사용을 위한 설계 결과 보존에 용이
- 표준 프로세스 만족
 - 상세 프로세스가 국제표준 프로세스를 충족
 - 업무 표준화 용이
 - 사업 및 조직 환경에 따른 테일러링 용이
 - SE 엔진 프로세스의 흐름 준수[그림 10]
 - SE 엔진 프로세스에서 요구하는 정보를 포함하는 다이어그램



[그림 10] 제한된 프로세스와 엔진 프로세스 비교

- 국내 개발 환경 반영
 - 고객 요구사항 개발 기간 부족에 따른 해당 프로세스 강화
 - 체계 수준 및 부체계 수준의 연속적이고 효율적인 엔진 프로세스의 구체적인 제시
 - 국방 아키텍처 프레임워크(MNDAF) 산출물의 활용 가능[10]

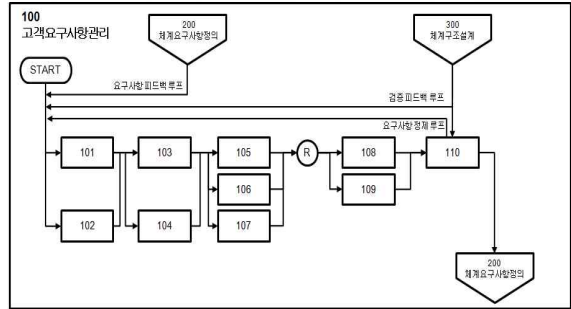
MBSE 프로세스 단계별 구체적인 모델링 방안은 그림 8에서 분석된 SE 엔진 프로세스에서의 다이어그램 활용 방안을 기초로 하여, 타 방법론과 SysML에서 적용하는 다이어그램을 비교분석하여 Cradle에서 지원하는 다이어그램을 중심으로 도출하였다[10].

4.1 고객 요구사항 관리 프로세스

먼저 고객 요구사항 관리를 위한 프로세스를 정의하고 각 단계별로 산출되어야 하는 문서와 모델을 정의하였다. 고객 요구사항 관리 단계에서는 크게 시스템 경계 및 외부인터페이스를 정의하는 단계에서 DFD를 이용하여 시스템의 경계를 정의하고 eFFBD를 사용하여 시스템의 운용개념, 정비개념 및 훈련개념 시나리오를 모델로 표현한다. 시스템 개념 분석을 통해서 고객의 기능 요구사항, 성능 요구사항 및 제약사항을 도출하며, 도출된 고객 요구사항은 HID를 통해 구조적으로 표현한다. 그림 11은 고객 요구사항 관리 단계에서 수행하는 내용을 도식화 하였으며 각 단계별 적용 가능한 모델 및 산

출물을 정의하였다.

Act	output	Act	output	Act	output
101	소스분석목록	104	어셈블리 요구사항	107	MDE TPs
102	어셈블리 관리목록	105	업무 프로파일	108	기능 및 성능 요구사항 (HID)
108	정형도(DFD)	106	시스템 시나리오 (EFFBD)	109	백기능 요구사항 (HID)

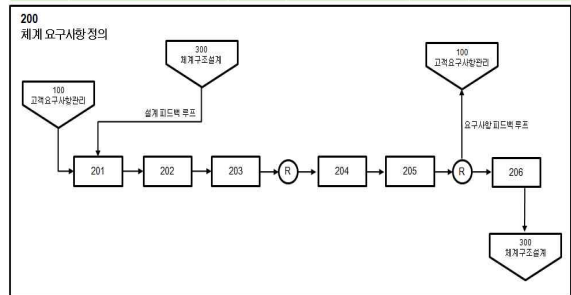


[그림 11] 고객 요구사항 관리 프로세스

4.2 체계 요구사항 정의 프로세스

고객 요구사항이 정의되면 다음 단계로 체계 요구사항을 정의한다. 체계 요구사항은 STD를 이용하여 시스템의 상태 및 모드를 정의하고 DFD, IDEF0, eFFBD를 이용하여 기능 아키텍처와 기능 인터페이스를 수립한다. 그림 12는 체계 요구사항 정의 단계에서 수행하는 내용을 도식화 하였으며 각 단계별 적용 가능한 모델 및 산출물을 정의하였다.

Act	output	Act	output	Act	output
201	시스템 상태/모드(STD) 수명주기	204	상용 요구사항 (PAM)	Doc.	SSS
202	역부 연동(DFD, AID, PAD)	205	백기능 요구사항(HID)		
208	시스템 기능 요구사항 (EFFBD, HID, DFD, IDEF0)	208	RORM		

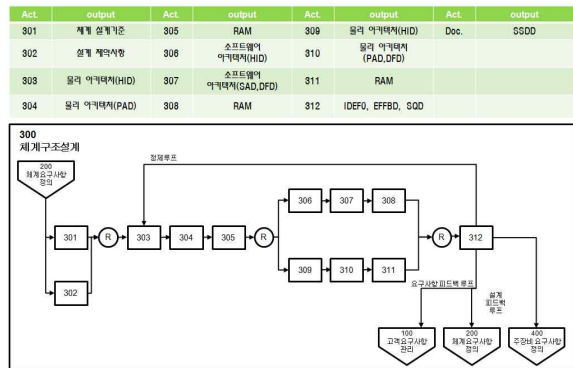


[그림 12] 체계 요구사항 정의 프로세스

4.3 체계 구조설계 프로세스

체계 요구사항이 정의되면 체계 구조설계를 수행한다. 체계 구조설계 단계에서는 주 장비에 대한 물

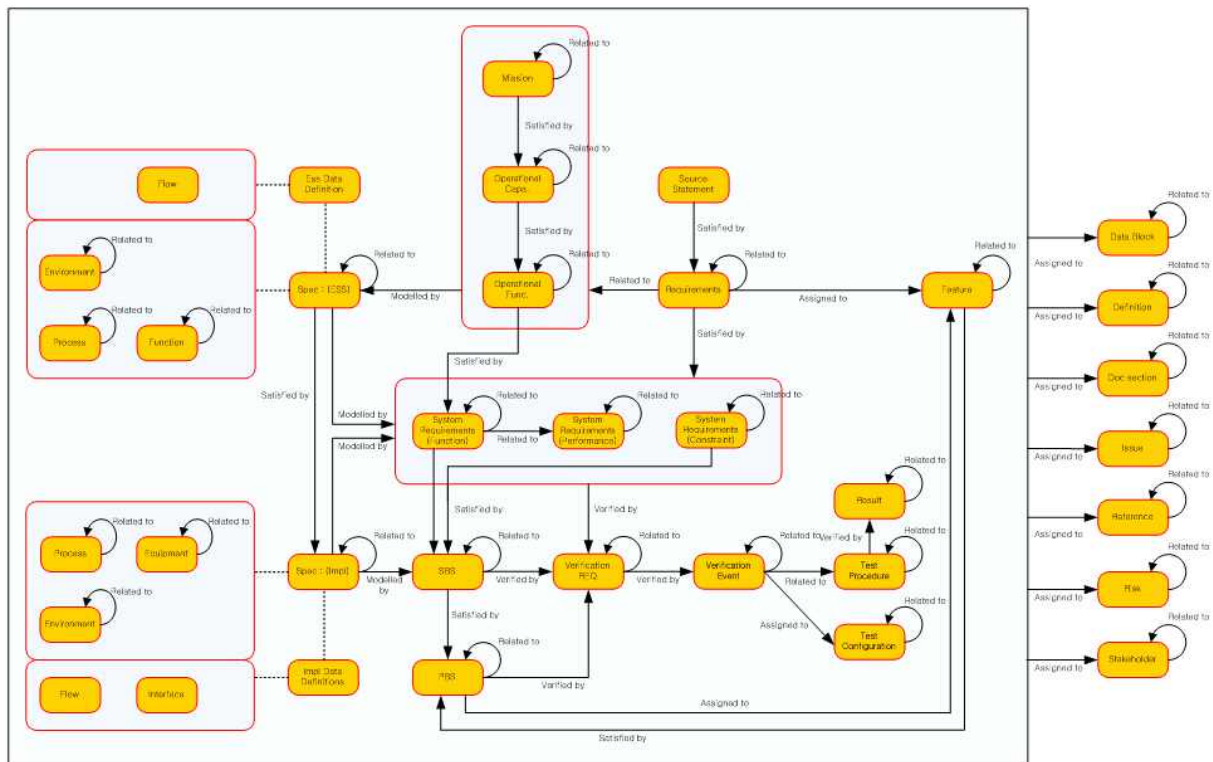
리 아키텍처를 PAD를 통해 수립하고 소프트웨어 기능 분해와 하드웨어 체계구성을 각각 수행한다. 각각의 단계에서 수행되는 기능 아키텍처는 eFFBD를 통해 설계하고 물리 아키텍처는 PAD 또는 HID를 통해 설계하여 시스템의 주 장비(Prime Item)와 형상품목(Configuration Item)을 정의한다. 주 장비를 정의한 후에는 주장비간의 인터페이스를 통해서 주고받는 신호와 정보를 정의하고, 형상품목을 정의한 후 형상품목간의 인터페이스를 통해서 주고받는 신호와 정보를 정의한다. 최종적으로 체계 구조설계 작업의 검증 과정으로서, 형상품목과 그 인터페이스를 통해 시스템의 운용 시나리오 수행 여부를 확인하여 아키텍처의 완전성을 확인한다. 그림 13은 체계 구조설계 단계에서 수행하는 내용을 도식화 하였으며 각 단계별 적용 가능한 모델 및 산출물을 정의하였다.



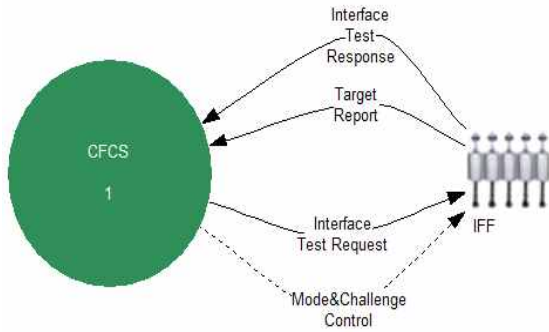
[그림 13] 체계 구조설계 프로세스

4.4 주 장비 요구사항 정의 프로세스

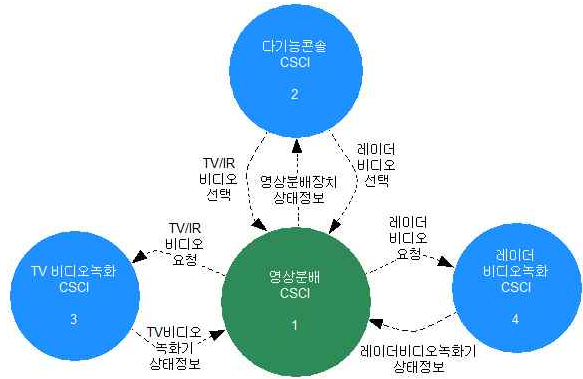
체계 구조가 설계되면 주 장비 요구사항을 정의한다. 주 장비 요구사항은 먼저 STD를 이용하여 주 장비 상태 및 모드를 정의하고 DFD, IDEFO, eFFBD를 이용하여 기능 아키텍처와 기능 인터페이스를 수립한다. 그림 14는 주 장비 요구사항 정의 단계에서 수행하는 내용을 도식화 하였으며 각 단계별 적용 가능한 모델 및 산출물을 정의하였다.



[그림 15] 확장된 CRADLE® 스키마



[그림 18] 적아식별기 외부 연동



[그림 20] 영상분배장치 소프트웨어 연동

203번 활동의 결과로서 나오는 시스템 기능은 전술 모드에서의 기능에 대해 IDEFO 다이어그램으로 그림 19와 같이 표현하였다.

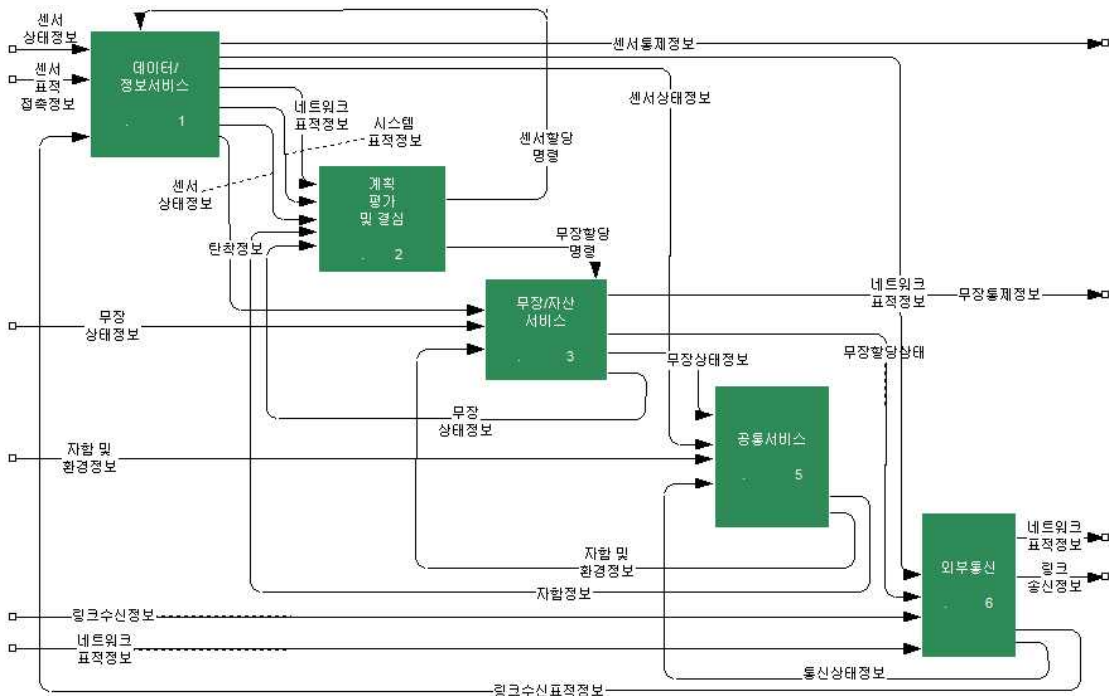
5.3 체계 구조설계 프로세스 산출물

체계 구조설계 프로세스에서 모델이 산출되는 활동은 303번과 304번, 306번과 307번, 309번과 310번 활동이 있으며, 307번 활동의 결과로 나오는 소프트웨어 아키텍처 및 연동 흐름도는 DFD 다이어그램으로 그림 20과 같이 표현하였다.

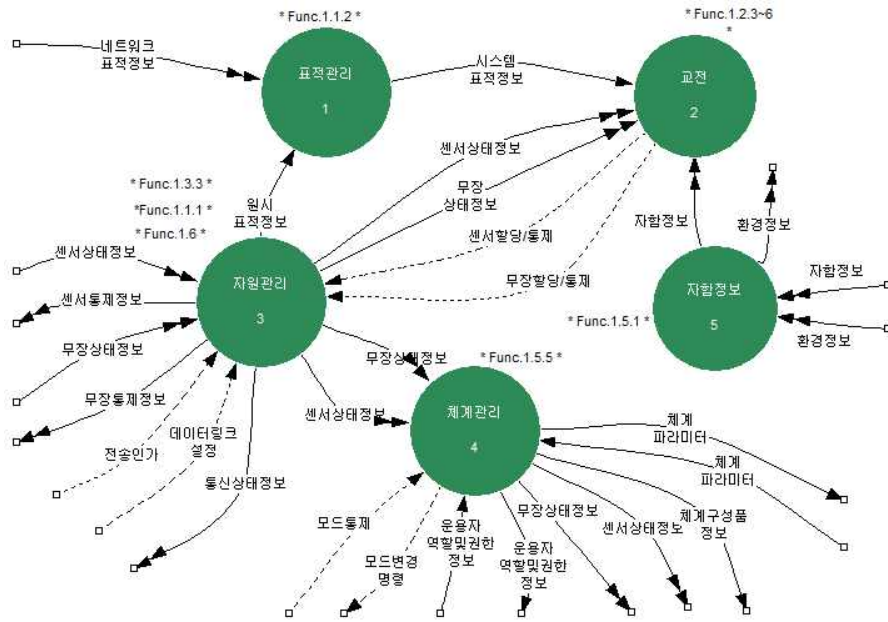
5.4 주 장비 요구사항 정의 프로세스 산출물

주 장비 요구사항 정의 프로세스에서 모델이 산출되는 활동은 401번, 402번 및 403번 활동이 있으며, 403번 활동의 결과로서 나오는 주 장비 내부 연동은 DFD 다이어그램으로 그림 21과 같이 표현하였다.

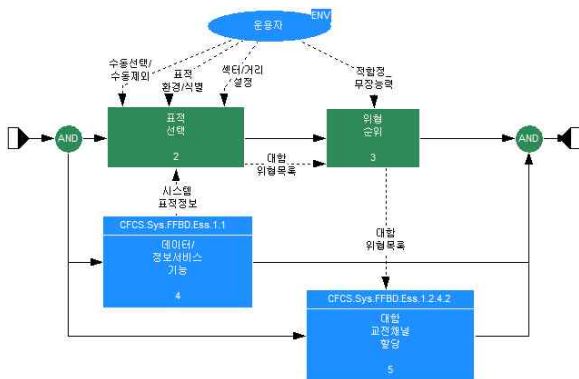
403번 활동의 또 다른 결과로서 나오는 주 장비 기능은 eFFBD 다이어그램으로 그림 22와 같이 표현하였다.



[그림 19] 시스템 기능



[그림 21] 정보처리장치 내부 연동



[그림 22] 정보처리장치 대함 위협평가 기능

6. 결론

모델을 활용한 시스템 엔지니어링은 시스템 개발에 있어서 이해당사자 사이의 의사소통을 향상시키고, 시스템 요구분석 및 설계에서의 정확도를 높인다. 따라서 시스템 품질에 대한 위험 요소를 감소시키고, 시스템 수준의 모델 재사용을 통해 향후 개발되는 시스템의 개발 기간 단축 및 비용 감소의 효과가 있다[9].

본 논문은 함정 전투체계를 개발함에 있어 표준 시스템 엔지니어링 프로세스에 모델링을 적용하여

새로운 MBSE 프로세스를 구축하는 것을 목표로 하여 PMTE 패러다임에 기반을 둔 MBSE 프로세스에 대한 연구를 수행하였다.

우선 기존의 MBSE 방법론을 살펴보았으며 PMTE 패러다임에 따라 프로세스, 방법, 도구 및 환경 요소를 정의하였다. 또한, 기존 문서 기반의 시스템 엔지니어링 프로세스에 근거하여 MBSE 프로세스를 제안하였으며, 제안된 MBSE 프로세스에 따라 수출용 함정 전투체계의 요구분석 및 설계를 수행하였다.

제안된 MBSE 프로세스는 모델 기반으로 시스템 엔지니어링을 수행하고자 할 때 필요한 모델링 방법과 절차를 구체적으로 정의하기 때문에 함정 전투체계 뿐만 아니라 다양한 도메인에서 MBSE를 도입하여 적용할 때 참조 지침으로서 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

향후에는 기 개발완료된 요구분석 및 설계 모델을 재사용하는 방안에 대한 보다 깊이 있는 연구를 수행할 것이다. 그리고 MBSE 프로세스가 문서기반의 시스템 엔지니어링 프로세스에 비해 얼마나 효율적인 것인가를 측정하고, 그 측정된 결과를 활용

하여 다시 MBSE 프로세스를 지속적으로 테일러링 하는 작업을 수행할 것이다. 또한 제안된 MBSE 프로세스를 향후 개발하는 타 국방 사업에도 적용하여 그 효과를 입증할 예정이다.

임위크를 활용한 모델 기반 시스템 엔지니어링”, 한국시스템엔지니어링협회 추계 심포지엄, 219-227, 2010.

참 고 문 헌

1. Gordy, L. W., “Process change in systems engineering : from document-driven to model-based approach”
2. Estefan, J. A., “Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies”, June. 2008
3. Hoffmann, H., “Harmony-SE/SysML Deskbook: Model-Based Systems Engineering with Rhapsody”, Rev. 1.51, Telelogic/I-Logix white paper, Telelogic AB, May 24, 2006.
4. “Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM) Tutorial”, Ver. 02.42.00, Lockheed Martin Corporation and INCOSE OOSEM Working Group, Apr. 2006.
5. Cantor, M., “RUP SE: The Rational Unified Process for Systems Engineering”, The Rational Edge, Rational Software, Nov. 2001.
6. Long, J. E., “MBSE in Practice: Developing Systems with CORE”, Vitech briefing slides, Vitech Corporation, Vienna, VA, Mar. 2007.
7. Martin, J. N., Systems Engineering Guidebook: A Process for Developing Systems and Products, CRC Press, Inc.: Boca Raton, FL, 1996.
8. “Cradle 6.1 Overview”, Ver. 6.1, 3SL, June 2010
9. MSSE/MSSEM Cohort 6, NSWC PHD, “Application of MBSE methods to development of combat system architectures”, March 2009.
10. 윤태훈, 박영원, 조명섭, 송하석, “아키텍처 프레