

잠수함 개념설계에 모델기반 시스템 엔지니어링을 적용하기 위한 방법에 대한 연구

배정훈¹⁾, 김병목¹⁾, 김미희¹⁾, 신성철^{1)*}, 김수영¹⁾, 안진우²⁾

1) 부산대학교, 2) 국방과학연구소

A study on MBSE(Model-Based Systems Engineering) application method for concept design of submarine

Jeong-Hoon Bae¹⁾, Byung-Mok Kim¹⁾, Mi-Hee Kim¹⁾, Sung-Chul Shin^{1)*}, Soo-Young Kim¹⁾, Chin-Woo An²⁾

1) Pusan National University, 2) Agency for Defense Development

Abstract : Because submarine is high-technology and very complex system, it takes a lot of time, cost and manpower for design. For efficient concept design, application of systematic method is required such as system engineering. In this study, we studied application method of MBSE for submarine concept design with SWBS (Ship Work Breakdown Structure). Components of submarine system from SWBS were classified and organized as system architecture with 'Vitech CORE'. Through the MBSE application for concept design, systematic, efficient and traceable concept design of submarine was considered.

Key words : Model-Based Systems Engineering (MBSE), Submarine concept design, Ship Work Breakdown Structure (SWBS), System architecture.

* corresponding author : Sung-chul, shin / Pusan National University / scshin@pusan.ac.kr

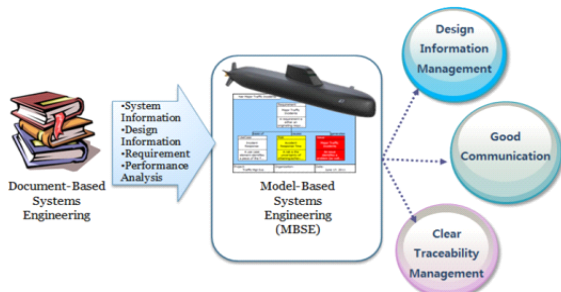
* This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

1.1 연구 배경

현대의 국방 전술 무기체계는 점점 첨단화, 복잡화, 대형화되고 있으며, 국방 연구개발에 있어 시스템의 요구조건과 설계정보가 증가함에 따라 이해당사자 간의 의사소통 문제가 발생하고 있다.

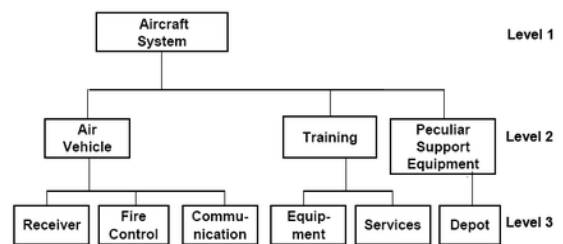
특히 본 연구에서 대상으로 한 잠수함은 다른 시스템에 비해 작은 크기로 다양한 기능을 가져야 하므로 제한된 공간 내에 많은 하부시스템이 배치된다. 높은 복잡도로 인해 이해당사자 간의 의사소통 오류, 설계오류, 계획과의 불일치 등으로 시간과 비용의 낭비가 상대적으로 단순한 시스템에 비해 크다. 그러므로 효율적인 잠수함의 개념설계를 위해서는 가시적이고 직관적인 설계 및 체계적인 정보관리가 필요하며 이를 통해 의사소통 문제도 해결할 수 있다. 이에 대한 대안으로써 대부분의 설계와 관련된 정보들을 모델로 공유하는 모델기반 시스템엔지니어링(model-based system engineering) 기법이 제안되었으며, 이는 개념설계에서부터 개발 및 수명주기 단계에 걸쳐 '시스템 요구사항', '설계', '분석', '검증', '확인' 활동을 지원하는 모델링의 정형화된 형태이다. 모델기반 시스템엔지니어링은 다음의 그림 1(김미희 외, 2013)과 같이 기존의 전통적 문서기반 시스템엔지니어링의 단점인 대량의 문서 및 추적성 관리의 어려움과 의사소통의 문제를 개선하기 위해서 모델과 전산지원도구의 활용을 통해 더욱 효과적이고 효율적인 개발을 수행할 수 있도록 지원해준다.



[Figure 1] Model-based systems engineering method(Kim et al., 2013)

모델기반 시스템엔지니어링과 관련된 연구 현황을 살펴보면, 김영민(2012)은 군사용 무인항공기 체계의 개념설계에 SysML을 사용한 모델기반 시스템엔지니어링 기법의 적용 연구를 수행하였는데, 이는 개념설계 활동을 구성하는 프로세스에서 수행해야 할 활동을 분석하고, 생성되는 산출물 사이의 연동성을 제시함으로써 국내에서 활발하지 않은 시스템 개념설계에 모델기반 시스템엔지니어링 적용을 통한 보편화 방안의 길을 마련하였다고 볼 수 있다. Corey Kerns(2011)는 모델기반 시스템엔지니어링을 통해 해군 선박설계 프로세스 전체를 시스템 아키텍처로 모델링하였으며, 이를 통해 모델기반 시스템엔지니어링으로 효율적으로 선박설계의 변경이 가능하다는 것을 보여주었다.

모델기반 시스템엔지니어링을 구성함에 따라 생성되는 프로젝트 내부의 복잡성 문제를 해결하기 위해서는 작업분류체계(WBS : Work Breakdown Structure)를 이용하여 프로젝트의 전체 범위를 구성하고 정의하는 것이 효율적이다. 작업분류체계는 그림 2와 같이 프로젝트 목표달성을 위해 시스템 전체 범위의 구성요소(component)를 계층형으로 그룹화하여 프로젝트를 조직화한 것이다.



[Figure 2] Work Breakdown Structure (Level1~ 3) of aircraft

WBS와 관련된 연구 현황을 살펴보면, 이승곤(2010)은 고압독성 플랜트 시공을 위한 작업분류체계를 정리하여, 시공에 따른 업무의 범위를 정하고 체계적 관리를 통해 시공의 효율을 높일 방안을 마련하였다. 이경일(2005)은 선박건조에서 설계 및 자재를 통합한 WBS를 정립하여, 선박건조의 정보화를 위한 데이터베이스 기반을 구축하는 방안을

제시하였다.

1.2 연구 방법

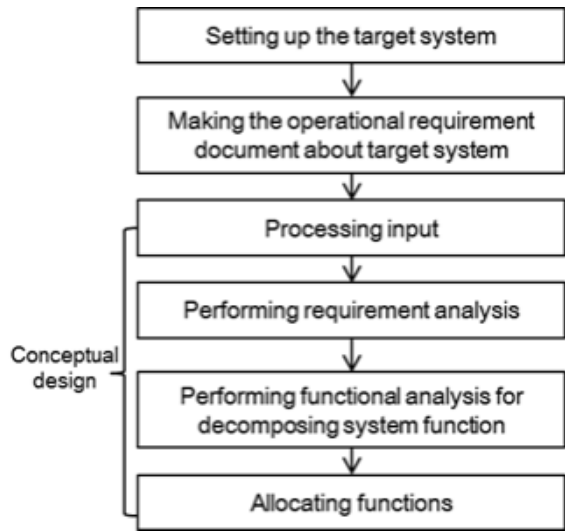
본 연구에서는 임의의 가상 잠수함을 대상 시스템으로 정의하였고, 시스템의 요구사항, 설계분석, 검증 활동을 하는 연구 과정의 일환으로써, 잠수함 개념설계 단계에서 모델기반 시스템엔지니어링을 적용하는 방안을 연구하였다. 나아가 수상함과 잠수함의 통합 작업분류체계인 ‘확장된 선박작업분류체계’ (ESWBS : Expanded Ship Work Breakdown Structure)를 이용하여, 개념설계에 필요한 잠수함 구성요소를 분류하고 정의한 후, 시스템 요구사항 및 기능 분석을 통해 잠수함의 시스템 아키텍처를 수립하였다. 대상 시스템은 임의의 잠수함으로 설정하였으며, 모델기반 시스템엔지니어링의 적용을 위해 CORE(Vitech corporation, 2011)를 사용하여, 효율적인 개념설계에의 적용 가능성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 모델기반 시스템엔지니어링 적용을 위한 개념설계

본 연구에서의 개념설계란 이해당사자의 요구사항을 정의하고 분석하여, 시스템으로 구성하는 절차이다. 이해당사자의 ‘요구사항 분석’, ‘기능 분석’, ‘설계’, ‘검증’, ‘확인’의 절차를 통해 개념설계를 수행한다. 국내 국방연구개발의 개념설계 절차(김영민, 이재천 2012)를 참고하여 그림 3(김미희 외, 2013)과 같은 순서로 연구를 수행하였다.

먼저 대상 시스템을 설정하고, 그 시스템에 대한 이해당사자의 요구사항을 수집하기 위한 운용요구서를 작성한 후, 요구사항 분석을 위한 요구사항 다이어그램을 작성하였다. 요구사항 분석을 통해 산출된 시스템의 기능들을 기능 분석을 통해 하위 기능으로 분해하였으며, 이를 대상 시스템에 할당하였다.

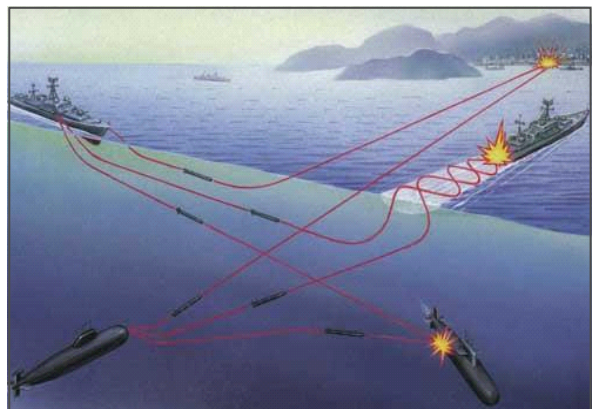


[Figure 3] The work flow for conceptual design using model-based systems engineering (Kim et al., 2013)

2.2 모델기반 시스템엔지니어링 적용

2.2.1 대상 시스템 정의

시스템 정의 단계에서는 그림 4(www.gidropribor.ru)와 같이 이해당사자가 원하고자 하는 시스템이 무엇인지 추상화하여 정의하고, 대상 시스템의 기본적인 운영 개념을 설정하고 분석하며, 그림 5와 같은 이해당사자의 요구사항을 수집하기 위한 운용요구서를 작성한다.



[Figure 4] Operational concept about virtual submarine system (www.gidropribor.ru)

1. Scope
 1.1 Characteristic
 This document is about operating requirements document (ORD) which defines the requirements of a submarine pilot.
 1.2 Overview
 This document is the draft of operating requirements document (ORD) about a submarine pilot. This is a document defining operating requirements based on a letter of requirement.
 2. Reference Paper
 The used documents for the submarine pilot are shown below :
 ORD (This document)
 System Engineering Handbook
 3. Requirements
 3.1 Functional Requirements
 3.1.1 Submarines must gather information and monitor enemy.
 3.1.2 Submarines must lay mines for a blockade.
 3.1.3 Submarines must have secrecy attack and self-defence capability against enemy.
 3.2 Performance Requirements
 3.2.1 Submarines must perform missions within maximum diving depth "A" m.
 3.2.2 Submarines must perform missions at least "B" days in water.
 3.2.3 Underwater speed of submarines must be "C" knot.
 3.2.4 Cruising radius of submarines must be "D" nm.
 3.2.5 Minimum number of submarine crewmembers must be "E".
 3.2.6 Displacement of submarine must be "F" ton.
 3.2.7 Submarines must load armament for missions.
 3.2.8 Submarines must have "G" ton of weight on board for mission modules.

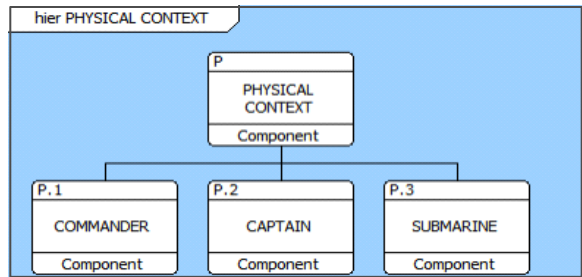
[Figure 5] Operational requirement document about virtual submarine system

2.2.2 입력활동

입력활동 단계에서는 이해당사자의 요구사항을 분석, 입력하여 요구사항 다이어그램을 작성하는 단계로, 시스템 정의 단계에서 작성된 운용요구서를 활용하여 이해당사자의 요구사항을 식별하고 정의한 뒤, 요구사항을 기능 또는 비 기능으로 구분한다. 구분된 요구사항은 요구사항 다이어그램을 통해 요구사항 간의 관계와 의미를 정의한다.

2.2.3 요구사항 분석

요구사항 분석 단계에서는 이해당사자의 추상화된 요구사항을 구체화한 요구사항으로 변환시키는 단계이다. 요구사항을 분석하여 대상 시스템의 외부 시스템을 식별하고 관계를 나타내기 위해, 그림 6과 같이 대상 시스템과 외부 시스템을 물리적 컨텍스트(physical context)로 정의한 다음, 시스템의 경계를 설정한다.



[Figure 6] Physical context

대상 시스템과 상호작용하는 주체인 행위자(actor)를 확인하고, 시스템과 행위자 간의 관계를 기능 중심적 활동으로 정의하기 위해, 그림 7과 같이 유스케이스(usecase) 다이어그램을 작성한다. 이 과정에서 대상 시스템이 수행해야 할 기능 중심적인 임무의 식별이 가능하다.



[Figure 7] Submarine usecase diagram

2.2.4 ESWBS를 적용한 구성요소 정의

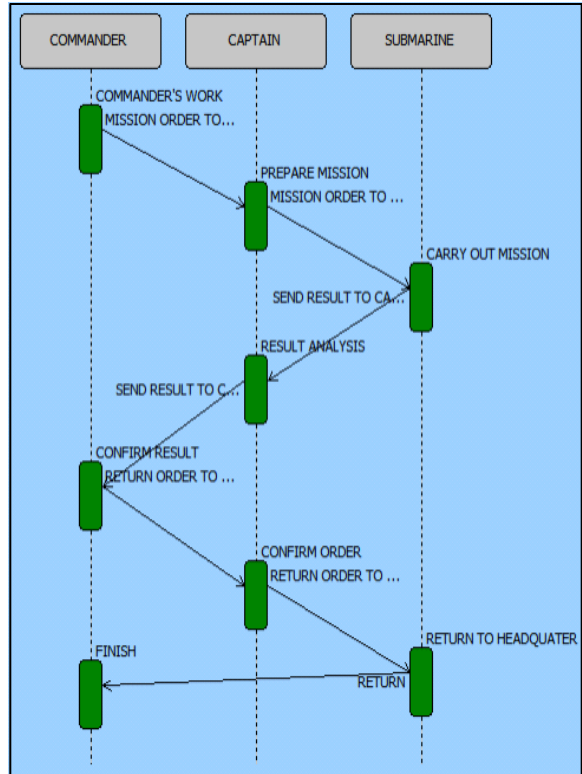
본 연구에서는 기능 분석 및 할당단계 이전에 SAWE (Society of Allied Weight Engineers)의 확장된 선박작업분할구조를 참조하여 구성요소를 분석한 후, CORE를 통해 구성요소 다이어그램을 작성하였다. 그림 8과 같이 시스템의 구성요소를 수준 별로 세분화하여 정의하였다.

- C COMPONENT_SUBMARINE
- C.1 GENERAL GUIDANCE AND ADMINISTRATION.
- C.2 HULL STRUCTURE, GENERAL.
- C.3 PROPULSION PLANT, GENERAL.
- C.3.1 ENERGY GENERATING SYSTEM
- C.3.2 PROPULSION UNITS
- C.3.3 TRANSMISSION AND PROPULSION SYSTEMS
- C.3.4 PROPULSION SUPPORT SYS.
- C.4 ELECTRIC PLANT, GENERAL.
- C.4.1 ELECTRIC POWER GENERATION
- C.4.2 POWER DISTRIBUTION SYSTEMS
- C.4.3 LIGHTING SYSTEM
- C.4.4 POWER GENERATION SUPPORT SYSTEMS
- C.5 COMMAND AND SURVEILLANCE, GENERAL.
- C.5.1 COMMAND AND CONTROL SYSTEMS
- C.5.2 NAVIGATION SYSTEMS
- C.5.3 INTERIOR COMMUNICATIONS
- C.5.4 EXTERIOR COMMUNICATIONS
- C.5.5 SURVEILLANCE SYSTEMS, SURFACE AND AIR
- C.5.6 SURVEILLANCE SYSTEMS (UNDERWATER)
- C.5.7 COUNTERMEASURE SYSTEMS
- C.5.8 FIRE CONTROL SYSTEMS
- C.6 AUXILIARY SYSTEMS, GENERAL.
- C.6.1 CLIMATE CONTROL
- C.6.2 SEA WATER SYSTEMS
- C.6.3 FRESH WATER SYSTEMS
- C.6.4 FUELS AND LUBRICANTS, HANDLING AND STORAGE
- C.6.5 AIR, GAS, AND MISCELLANEOUS FLUID SYSTEMS
- C.6.6 SHIP CONTROL SYSTEMS
- C.6.7 REPLENISHMENT SYSTEMS
- C.6.8 MECHANICAL HANDLING SYSTEMS
- C.7 OUTFIT AND FURNISHINGS, GENERAL.
- C.8 ARMAMENT, GENERAL.
- C.8.1 MISSILES AND ROCKETS
- C.8.2 MINES
- C.8.3 TORPEDOES
- C.8.4 CARGO MUNITIONS
- C.9 INTEGRATION/ENGINEERING (SHIPBUILDER RESPONSE).
- C.10 SHIP ASSEMBLY AND SUPPORT SERVICES.

[Figure 8] Created component by ESWBS level 2

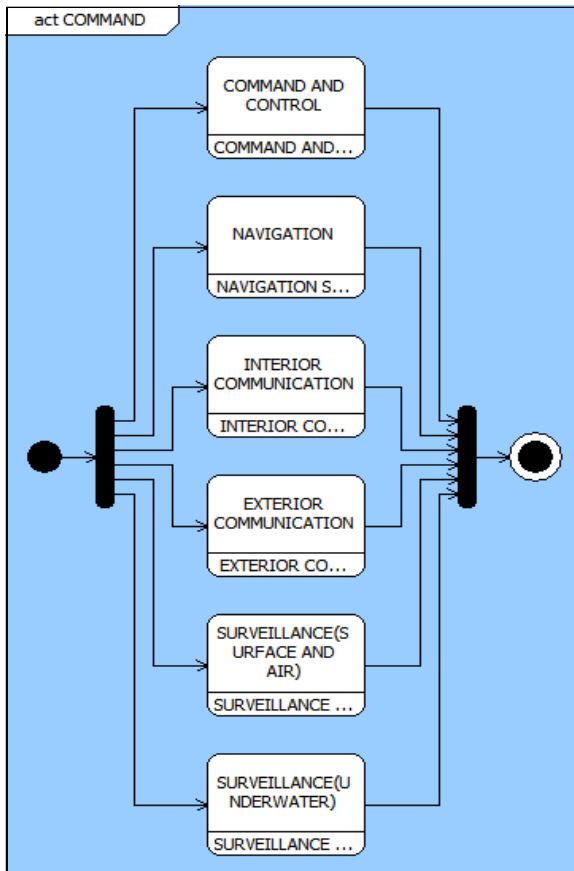
2.2.5 기능 분석 및 할당

기능 분석 및 할당 단계에서는 요구사항 분석 단계에서 식별된 기능중심적인 임무에서의 시스템 기능을 분석하여, 상위수준의 기능에서 하위수준으로 분해하고, 시스템을 구성하는 각각의 구성요소에 분해된 기능들을 할당한다. 기능 분석을 통해 산출된 대상 시스템과 외부시스템의 기능 흐름은 그림 9와 같이 시퀀스 다이어그램을 통해 시스템의 시간변화에 따른 기능의 흐름을 나타낸다.



[Figure 9] Sequence diagram

대상 시스템 내부의 기능 흐름은 활동(activity) 다이어그램을 통해 시스템의 기능 활동의 흐름을 나타낸다. 활동 다이어그램을 통해 산출된 기능들은 요구사항과의 연관성을 맺고 요구사항과 기능 간의 추적성을 부여한다. 또한, 대상 시스템의 기능을 상위 기능에서 하위 기능으로 분해하여 시스템을 구성하는 각각의 구성요소에 할당하여, 이는 그림 10과 같이 활동 다이어그램으로 나타낸다.



[Figure 10] Allocating a function to COMMAND system

2.3 적용 예

본 연구에서는 ESWBS를 기반으로 하는 잠수함의 개념설계에 MBSE를 적용하였다. 대상 시스템을 임의의 가상 잠수함으로 설정하여, 표 1의 절차에 따라 개념설계를 수행하는 방법을 검토하였다.

<표 1> Process for conceptual design using MBSE

Process of MBSE for concept design of submarine	
①	Operational requirement document about submarine system
②	Requirement diagram
③	Physical context of submarine operation
④	Function oriented usecase diagram
⑤	Submarine component diagram with ESWBS
⑥	Sequence diagram between submarine system and external system with function flow
⑦	Activity diagram about internal function flow of submarine

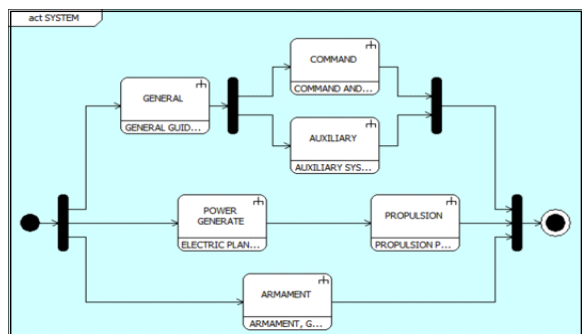
Process of MBSE for concept design of submarine	
⑧	Giving traceability between requirement and function of submarine
⑨	Allocating a internal function to component

개념설계 절차의 초기입력에 해당되는 운용요구서를 바탕으로 그림 11과 같은 요구사항 다이어그램을 작성하였다.

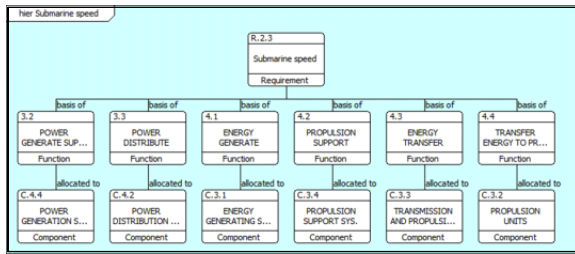
	Name	Description	Type
R	Requirements		Composite
R.1	Functional Requirements		Composite
R.1.1	Gathering information and monitoring enemy	Submarines must gather information and monitor enemy.	Composite
R.1.1.1	Gathering information	Submarines must gather information.	Functional
R.1.1.2	Monitoring enemy	Submarines must monitor enemy.	Functional
R.1.2	Laying mines for a blockade	Submarines must lay mines for a blockade.	Functional
R.1.3	Secrecy attack and self-defence capability against enemy	Submarines must have secrecy attack and self-defence capability	Composite
R.1.3.1	Secrecy attack	Submarines must have secrecy attack.	Functional
R.1.3.2	Self-defence capability against enemy	Submarines must have self-defence capability against	Functional
R.2	Performance Requirements		Composite
R.2.1	Maximum diving depth	Submarines must perform missions within maximum diving depth "A"	Performance
R.2.2	Endurance	Submarines must perform missions at least "B" days in water.	Performance
R.2.3	Submarine speed	Underwater speed of submarines must be "C" knot.	Performance
R.2.4	Cruising radius	Cruising radius of submarines must be "D" nm.	Performance
R.2.5	Crewmember	Minimum number of submarine crewmembers must be "E".	Performance

[Figure 11] Defined requirements

그림 12와 같은 시스템의 내부 기능에 대한 활동 다이어그램에 ESWBS 1단계 수준의 기능을 정의하고, 그림 13과 같이 요구사항, 기능, 구성요소 간의 추적성을 부여하였다.

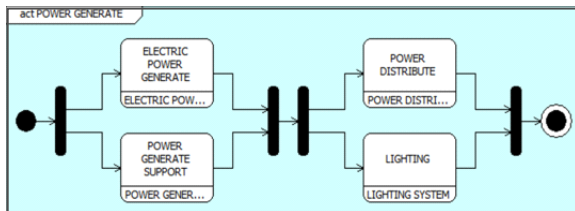


[Figure 12] Activity diagram

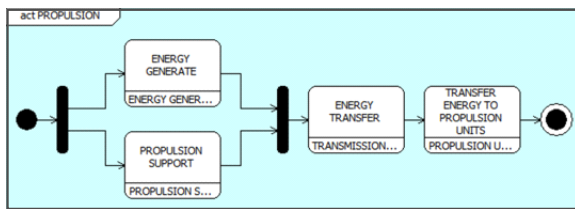


[Figure 13] Giving traceability Requirement/Function/Component

또한, 그림 14, 15와 같이 하부 수준의 기능에 대한 활동 다이어그램을 작성하였다. 이를 통해서 예 를 들어 그림 13에서 요구사항인 ‘Submarine Speed’ 를 변경시켜야 한다면, 추적성이 부여되어 있 어 연관된 각각의 기능과 구성요소인 ‘Propulsion’ 와 ‘Generate’ 시스템의 항목들을 가지적으로 확 인하고 관리할 수 있다. 이는 시스템에 추적성을 부 여하면, 요구사항이 변하더라도 효율적인 설계변경 이 가능한 것으로 볼 수 있다.



[Figure 14] Allocating a function to GENERATE system



[Figure 15] Allocating a function to PROPULSION system

3. 결론

본 연구에서는 잠수함의 개념설계에 모델기반 시 스템엔지니어링을 적용하였으며, 이를 통해 얻어진 결론은 아래와 같다.

- 1) 요구사항, 기능, 구성요소 및 아키텍처 간의 연관성을 부여하여 잠수함의 개념설계에

MBSE를 적용하기 위한 방법을 제시하였다.

- 2) 기존의 시스템엔지니어링으로는 구현하기 어 려운 설계관련 정보를 모델로 공유하여, 설계 변경 시 각 이해당사자들이 그 추적성과 가지 성을 바탕으로 관련된 변경사항에 효율적으로 대처할 수 있는 가능성을 제공하였다.

향후 잠수함의 복잡성을 반영하기 위해 구성요소 들의 기능적인 요구사항을 중심으로 ESWBS 하위 단계의 수준까지 모델링 한다면, 보다 현실적이고 효과적인 개념설계의 지원이 가능할 것이다.

References

- [1] Kim, M.H., Shin S.C., Kim, S.Y., Bae, J.H., Chung B.Y., Kim, B.M., An C.W., A study on MBSE application for concept design of submarine, Joint conference of the Korean association of ocean science and technology societies, Society of naval architects of Korea, 1005–1009, 2013.
- [2] Corey, K., Naval Ship Design and Synthesis Model Architecture Using a Model-Based Systems Engineering Approach, Master thesis, Ocean engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2011.
- [3] Lee, S.G., A Study on Work Breakdown Structure for a High Pressure and Toxic Plant, Master thesis, Plant engineering, Hanyang University, 2010.
- [4] Lee, K.E., A Manufacturing-Oriented Work Breakdown Structure for Shipbuilding Industry, Master thesis, Institute of e-vehicle technology, Ulsan University, 2005.
- [5] Kim, Y.M., Lee, J.C., On the Use of SysML Models in the Conceptual

- Design of Unmanned Aerials Vehicles.,
Journal of Korea information and
communications society, 37(2), 206–
216, 2012.
- [6] Kwon, Y.S., Analysis of the Defense
R&D Programs Applied Systems
Engineering Approach, The Journal of
Korea Institute of Military Science and
Technology, 9(1), 41–49, 2006.
- [7] Industry Workshop, Expanded Work
Breakdown Structure Weight Classification
Guidance, Society of Allied Weight
Engineers, 2011.
- [8] Vitech corporation, CORE,
www.vitechcorp.com, 2011.