



Received: 2023/05/21
Revised: 2023/06/01
Accepted: 2023/06/23
Published: 2023/06/30

***Corresponding Author:**

Yang-Woo Seo

PGM Integrated Product Support R&D Lab,
LIG Nex1
255, Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si,
Gyeonggi-do, 13486, Republic of Korea
Tel: +82-31-326-9255
Fax: +82-31-326-9001
E-mail: yangwoo.seo2@lignex1.com

요구사항 분석에 따른 시스템 아키텍처 설계 사례 연구

A Study on the System Architecture Design Case Based on Requirements Analysis

서양우^{1*}, 남현우², 이승상¹, 김소정²

¹LIG넥스원 PGM IPS연구소 수석연구원

²LIG넥스원 PGM IPS연구소 선임연구원

Yang-Woo Seo^{1*}, Hyun-Woo Nam², Seung-Sang Lee¹, So-Jung Kim²

¹Chief research engineer, PGM Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

²Research engineer, PGM Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

Abstract

시스템 엔지니어링 기반으로 시스템 아키텍처를 설계하는 사례를 제시하였다. 최첨단 잠수함의 요구사항에 따른 시스템 거동도를 작성하였다. 이를 활용하여 기능, 물리적 아키텍처 매트릭스를 작성하여 요구사항을 기능/물리 아키텍처로 변환하였다. 또한, 요구사항을 표현하는 방법인 유스케이스 다이어그램 및 시퀀스 다이어그램을 활용하였다. 이러한 반복적, 체계적 분석된 결과를 OPCAT 도구를 적용하여 시스템 아키텍처를 설계하였다.

We were presented an example of designing a system architecture based on systems engineering. A behavior diagram for high tech submarine was created according to the requirements. And then, a functional, physical architecture matrix was designed to convert the requirements into a functional/physical architecture. In addition, usecase diagram and sequence diagram which are methods of expressing requirements were utilized. These repetitive and systematic analysis results were applied to design the system architecture by applying the OPCAT tool.

Keywords

시스템 엔지니어링(Systems Engineering),
요구사항(Requirements),
거동도(Behavior Diagram),
기능적 아키텍처(Functional Architecture),
물리적 아키텍처(Physical Architecture)

1. 서론

급변하는 기술과 복잡한 이해관계로 인해 무기체계 개발 프로세스에는 더욱 부담이 가중되고 있다. 요구사항은 사용자가 문제를 해결하거나 목표를 달성하기 위해 필요한 조건 또는 기능을 의미한다[1]. 요구사항은 모든 프로젝트의 가장 기본이 되며, 잠재적인 새로운 시스템에서 이해관계자가 필요로 하는 것과 그러한 요구사항을 충족하기 위해 시스템이 해야 하는 것을 정의한다. 요구사항이 잘 전달되고 합의되어야 프로젝트 활동이 촉진될 수 있다. 하지만, 이러한 요구사항이 명확하게 정의되지 않으면 프로젝트는 안정적으로 수행하기 어렵다. Table 1에 나타난 바와 같이 프로젝트 실패의 가장 일반적인 사유는 기술적인 문제가 아니라 요구사항의 불명확성이다[2].

프로젝트 성공률을 개선하기 위해서는 요구사항 개발 및 관리에 대한 보다 규율화된 접근방식이 필요하다[3]. 또한, 요구사항 변경은 시스템의 전체 개발 수명주기 동안에 걸쳐서 발생한다[4]. 즉, 상세화 과정을 거치면서 요구사항이 다양하게 변경되는 것은 문제점이 된다. 요구사항을 명확하게 표현하는 것은 어렵고, 요구사항의 현황을 관리하기도 어렵다.

미 국방부 훈령에 의하면, 무기체계의 효과적인 지속유지를 위해서 시스템 엔지니어링(SE: systems engineering) 방법론을 적용하여 시스템 설계 및 개발을 착수하라고 명시하고 있다[5]. 따라서, 성공적인 프로젝트를 수행하기 위해서는 SE 기반의 프로젝트를 수행하여 요구

사항 분석부터 설계까지 체계적으로 수행하여야 한다.

Table 1. Reasons for project failure

Factor	Ratio (%)
Incomplete requirements	13.1
Lack of user involvement	12.4
Lack of resources	10.6
Unrealistic expectations	9.9
Lack of executive support	9.3
Changing requirements/specifications	8.7
Lack of planning	8.1
Did not need it any longer	7.5

본 논문은 시스템 엔지니어링 기반으로 시스템 아키텍처를 설계하는 사례를 제시한다. 이 때 시스템 요구사항에 대하여 요구사항을 표현하는 시스템 모델링을 활용하여 설계를 구체화한다.

2. 시스템 엔지니어링

시스템 엔지니어링이란 고객 요구를 만족하는 통합된 수명주기 균형시스템 해결책을 발전시키고 검증하는 다(多)분야 학문의 엔지니어링 프로세스이다[6]. 시스템 엔지니어링 프로세스는 순차적 하향식으로 적용되는 포괄적이고 반복적이며 순환적인 문제 해결 프로

세스이다. 고객의 요구사항을 시스템 제품과 프로세스 설명서로 변환하여 이해관계자들에게 필요한 정보를 제공하고, 개발 단계별 상세 내용 및 정의를 포함하고 있다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 프로세스는 요구사항 분석, 기능분석/할당, 조합 및 시스템 분석/통제의 4개의 하부 프로세스로 구성된다[7].

(1) 요구사항 분석

요구사항 분석은 시스템 기능에 대한 요건을 결정하기 위해 식별된 시스템 특성을 근간으로 고객 요구와 목적을 정의한다. 고객의 목적에 따른 성능 목적을 정의하고 요건을 명확히 한다. 이는 시스템이 어떻게 임무를 수행해야 하는지 일련의 요구사항으로 고객요구사항으로 변환되는 것을 의미한다.

(2) 기능분석 및 할당

기능은 요구사항 분석을 통해 식별된 상위레벨 기능을 하위레벨 기능으로 분해한다. 기능분석 및 할당은 시스템이 무엇을 해야 하고, 어떤 방법으로 해야 하는지 알기 쉽도록 한다. 이는 물리적 솔루션을 최적화하는데 필수적인 정보를 제공함에 따라 기능 아키텍처라고 한다.

(3) 조합

조합은 기능 아키텍처를 물리 아키텍처로 전환하는 활동이다. 조합은 하드웨어 및 소프트웨어 관점에서 제품을 정의한다. 물리 아키텍처는 규격서 및 기준을 생성하기 위한 기본 구조를 제공한다.

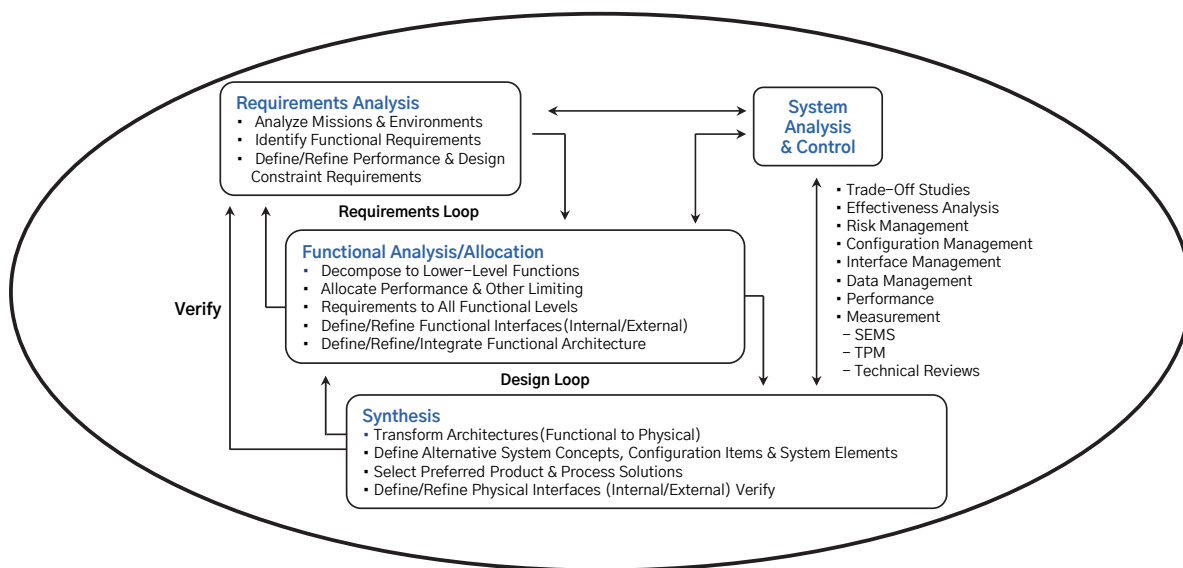


Fig. 1. System engineering process[7]

(4) 시스템 분석 및 통제

시스템 분석 및 통제는 진도측정, 대안평가 및 선정, 의사결정에 요구되는 기술관리 활동이다. 시스템 분석 활동은 질충연구 및 효과도분석이 해당된다. 시스템 통제 활동은 위험관리, 형상관리, 인터페이스 관리 및 데이터관리 등으로 구성된다.

3. 시스템 요구사항 및 시스템 모델링의 관계

시스템 요구사항은 시스템의 기능, 서비스, 운영상의 제약 조건을 상세하게 설정하여 구현되어야 할 것을 정확하게 정의한다. 이에 따라, 요구사항 구조 설정에 시스템의 초기 아키텍처 설계가 필요하다. 시스템 엔지니어링 프로세스의 필수 부분인 요구사항 분석은 우선 문제 범위를 정의한 다음 모든 개발 정보를 연결한다. 이를 통해 프로젝트의 활동을 통제하고 모니터링하여 최적의 비용 효율적인 솔루션 개발 관리를 수행한다.

시스템 모델링은 시스템 사양 및 설계를 다이어그램으로 시각화할 수 있다. 서로 다른 조직 간의 커뮤니케이션을 위한 공통 표준 표기법이 되어 시스템 설계를 지원할 수 있다.

시스템 요구사항 및 시스템 모델링 간의 관계는 상호 지원하는 활동이다. 시스템 모델링은 시스템 설계를 모형화하여 엔지니어가 시스템을 충분히 이해하여 상위 레벨의 요구사항을 하위레벨의 요구사항으로 전개할 수 있도록 지원한다. 허용 가능한 일정 및 비용 내에서 올바른 제품을 생산할 수 있도록 하는데 필수적인 프로세스이기 때문에 문제에 대한 효과적인 솔루션을 개발하고 관리해야 한다. 또한, 시스템을 개발하기 전에 시스템의 필요성을 확인하여 사용자의 요구를 충족시킬

수 있는지를 결정해야 한다.

4. 시스템 아키텍처 설계 사례 적용

4.1 분석대상 선정

원자로 동력을 공급받는 최첨단 잠수함을 선정하였다.

4.2 요구사항 추출 및 임무 분석

최첨단 잠수함의 요구사항을 Table 2와 같이 정리하였다. 대잠전, 전자전, 기뢰전, 대지공격, 특수부대 수송, 자체점검/정보수집/분석, 항해, 기동, 잠항/부상을 임무로 설정하였다.

4.3 시스템 거동도

Fig. 2와 같이 최첨단 잠수함의 거동도를 작성하였다. 거동도는 조건, 상태정보 등을 활용하여 시스템 레벨의 반응을 구체화시킨 거동으로 기술하였다.

4.4 요구사항을 기능/물리적 아키텍처로 변환

기능의 일반 시나리오를 기반으로 시스템 아키텍처를 정의하는데 근간이 되는 기능 아키텍처를 기술하였다. 또한, 시스템 기능을 수행할 수 있는 시스템 요소를 결정 및 구성하여 물리적 아키텍처를 변환하였다. 요구사항 기반의 기능적 아키텍처 및 물리적 아키텍처로 변환한 결과는 Table 3와 같다.

Table 2. Requirements of a high tech submarine

Mission	Requirements
Submarine warfare/Electronic warfare/ Mine warfare/Land attack	It need to be able to overpower the enemy at any time equipped with state-of-the-art weapons.
Special unit transportation	Special unit should be allowed to penetrate.
Information collection/analysis	It must be possessed reconnaissance capability.
Check	It must be possessed BIT capability.
Sea voyage	Even in shallow seas, it should be able to move accurately.
Maneuver	It need to be equipped with mobility fighter jets.
Submarine voyage/float	We need to stay stationary for a few days regardless of the oceanic current. Up to 3 months, it must be able to hide in the sea.

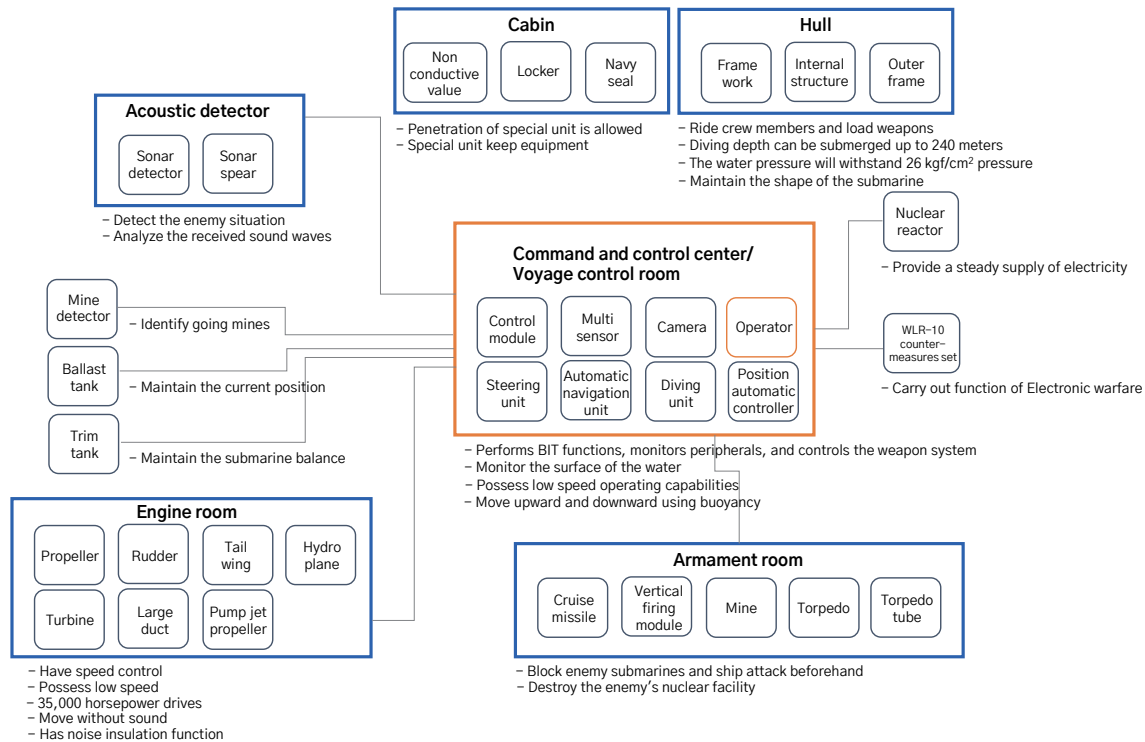


Fig. 2. Behavior diagram of a high tech submarine

Table 3. Matrix of functional-physical architecture

Category	Contents		
	Requirements	Functional architecture	Physical architecture
1	1. It need to be able to overpower the enemy at any time equipped with state-of-the-art weapons.	1. Block enemy submarines and ship attack beforehand. 2. Carry out function of Electronic warfare. 3. Identify going mines under the submarine. 4. Destroy the enemy's nuclear facility from 1,600 km.	1. Torpedo, Torpedo tube 2. WLR-10 Countermeasures set 3. Mine detector, Mine 4. Cruise missile, Vertical firing module
2	1. Special unit should be allowed to penetrate.	1. Ride crew members and load weapons. 2. Without the location of the submarine, penetration of special unit is allowed. 3. Special unit keep equipment available for operations.	1. Internal structure 2. Nonconductive value 3. Locker, Navy seal
3	1. It must be possessed reconnaissance capability.	1. Detect the enemy situation in the dark sea. 2. After transmitting sound waves, analyze the received sound waves. 3. Cover the surface of the water without being exposed to the surface of the water.	1. Sonar detector 2. Sonar spear 3. Multi sensor, Camera
4	1. It must be possessed BIT capability.	1. Performs BIT functions, monitors peripherals, and controls the weapon system.	1. Control module
5	1. Even in shallow seas, it should be able to move accurately.	1. Have speed control for accurate control. 2. Holds above 25 knots over water, above 20 knots under water. 3. It has 35,000 horsepower drives. 4. It provide a steady supply of electricity for 30 years without refueling.	1. Propeller, Rudder, Tail wing, Hydroplane, Steering unit 2. Automatic navigation unit 3. Turbine 4. Nuclear reactor
6	1. It need to be equipped with mobility fighter jets.	1. Cover with hidden function and move without sound to avoid detection of enemies. 2. It has noise insulation function.	1. Pump jet propeller, Position automatic controller 2. Large duct
7	1. We need to stay stationary for a few days regardless of the oceanic current. 2. Up to 3 months, it must be able to hide in the sea.	1. The current position of the tides is corrected to maintain the current position. 2. Maintain the submarine balance and hold it in a minimum of 90 days under submarine voyage. 3. It is possible to move upward and downward using buoyancy. 4. The diving depth can be submerged up to 240 meters, and the water pressure will withstand 26 kgf/cm² pressure. 5. Maintain the shape of the submarine, including the floor and the interior walls.	1. Ballast tank 2. Trim tank 3. Ballast tank, Diving unit 4. Outer frame 5. Framework, Internal structure, Outer frame

4.5 형상항목 설정

형상항목은 형상관리의 대상이 되는 것으로 전체 시스템의 구성요소를 계층적으로 분할한 각 레벨의 항목을 의미한다. 최첨단 잠수함은 음향탐지기, 지휘통제실, 기관실, 항해조정실, 무장실, 승조원 객실, 선체, 원자로, 밸러스트 탱크, 트림 탱크, 기뢰탐지기 등으로 구성된다. 이를 통해 최첨단 잠수함의 하드웨어 및 소프트웨어의 구성 형태를 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 설정하였다.

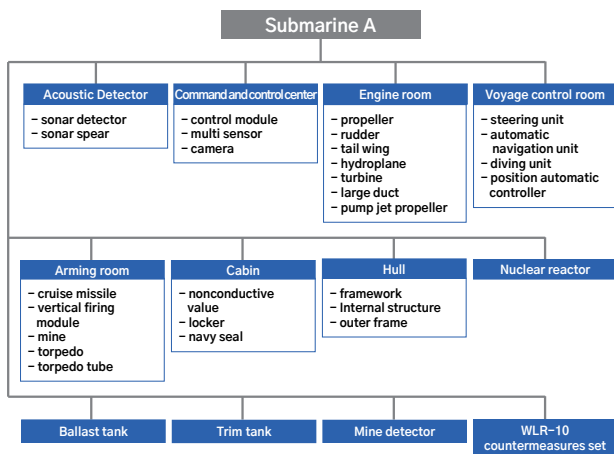


Fig. 3. Configuration item of hardware

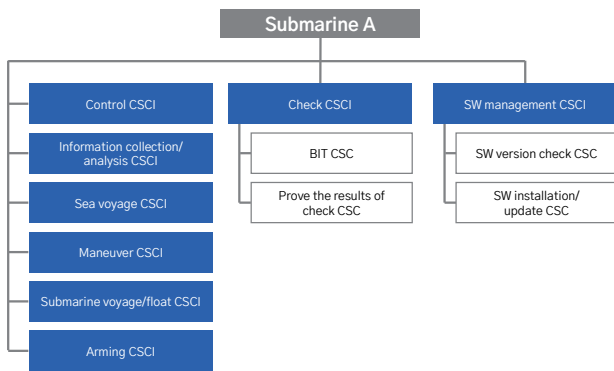


Fig. 4. Configuration item of software

4.6 요구사항 표현 방법

요구사항을 다이어그램으로 구상하여 이해관계자 간의 상호작용을 촉진할 수 있다.

4.6.1 유스케이스 다이어그램

유스케이스 다이어그램은 시스템과 액터의 상호작용을 표현한다. 시나리오 기반의 요구사항을 추출하여 사

용자 관점에서 시스템의 기능 및 서비스를 보여준다. 시스템에 대한 요구사항을 정의하고, 기능 분석을 통한 개발 범위를 정할 때 유용하다. 정보수집 및 분석의 소프트웨어 구성품(CSC: computer software component)에 대한 유스케이스 다이어그램을 작성한 예는 Fig. 5와 같다.

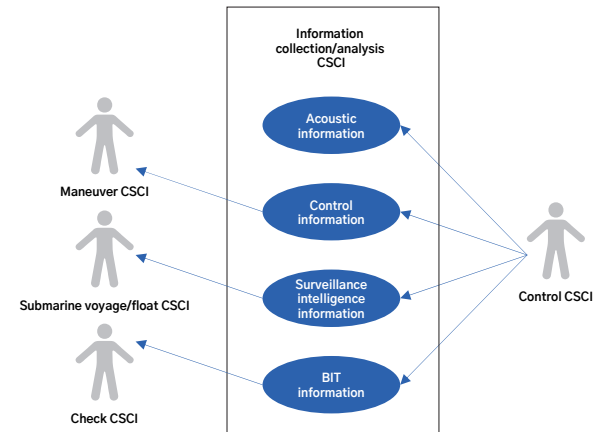


Fig. 5. Usecase diagram

정보수집 및 분석에 대한 사용자와 시스템의 상호작용을 순서대로 묘사한 시나리오를 기반으로 시스템이 어떻게 작동되는지 표현하였다.

4.6.2 시퀀스 다이어그램

시퀀스 다이어그램은 유스케이스에 정보를 추가하기 위해 사용되며, 시나리오 상에서 객체 간 주고받는 메시지를 통해 상호작용을 표현하는 다이어그램이다. 운용자가 콘솔을 작동 및 종료시키는 시퀀스 다이어그램을 작성한 예는 Fig. 6과 같다. 위에서 아래로는 시간 흐름을 나타내고, 수평방향으로는 객체 간 상호작용을 나타낸다. 운용자가 무장실에 위치하는 콘솔에 전원을 인가한 후 각 장비별로 자체점검을 요구한다. 이후 센서가 작동되며, 각 장비별 자체점검 및 상태정보가 수집되어 분석되는 순서를 따르는 것을 쉽게 이해할 수 있다.

4.7 OPCAT를 활용한 시스템 아키텍팅

OPCAT 모델링 도구를 활용하여 시스템 아키텍처를 설계하면 Fig. 7과 같다. OPM은 복잡한 시스템의 개념 모델링 또는 설계를 위한 접근 방법이다. OPM을 활용하여 주어진 시스템이 어떻게 구조화되고 시스템의 각

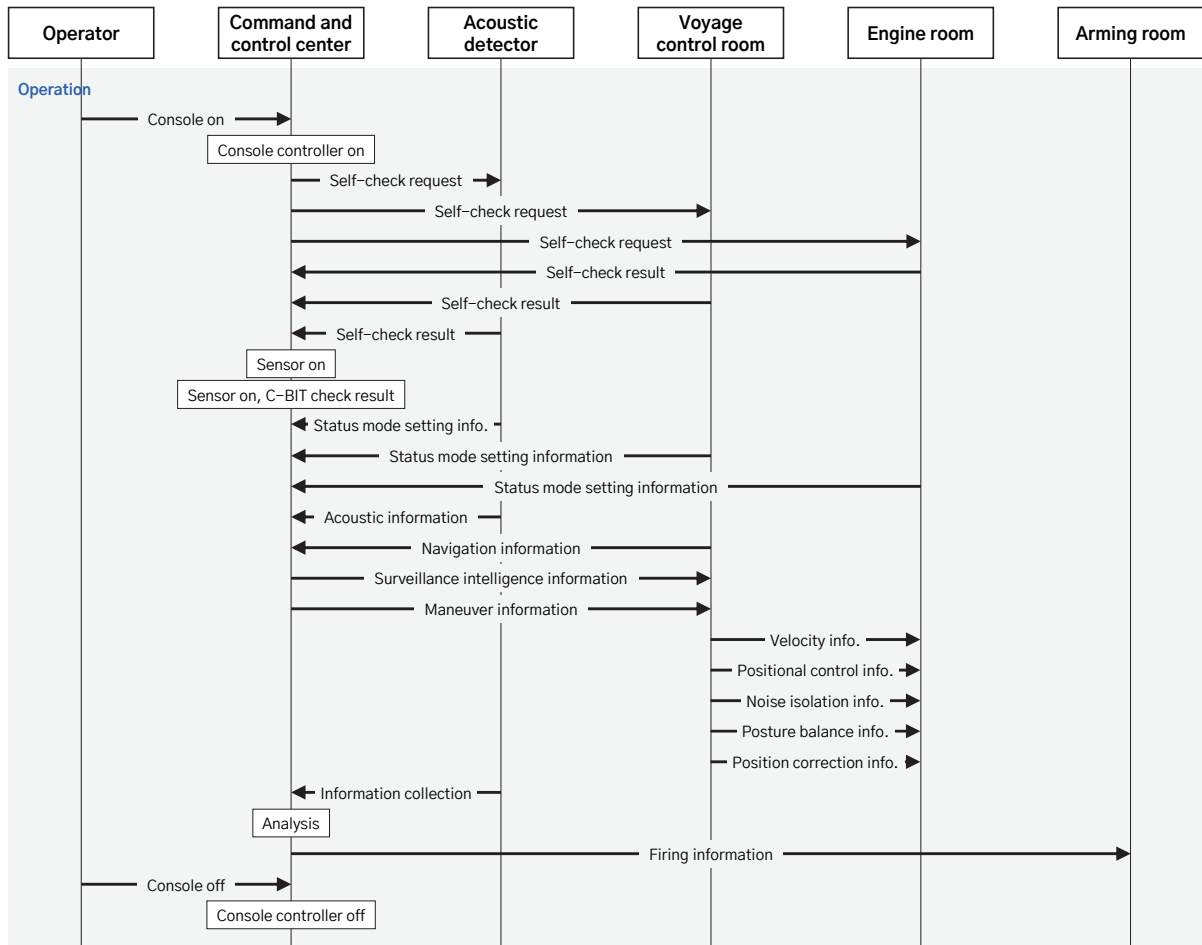


Fig. 6. Sequence diagram

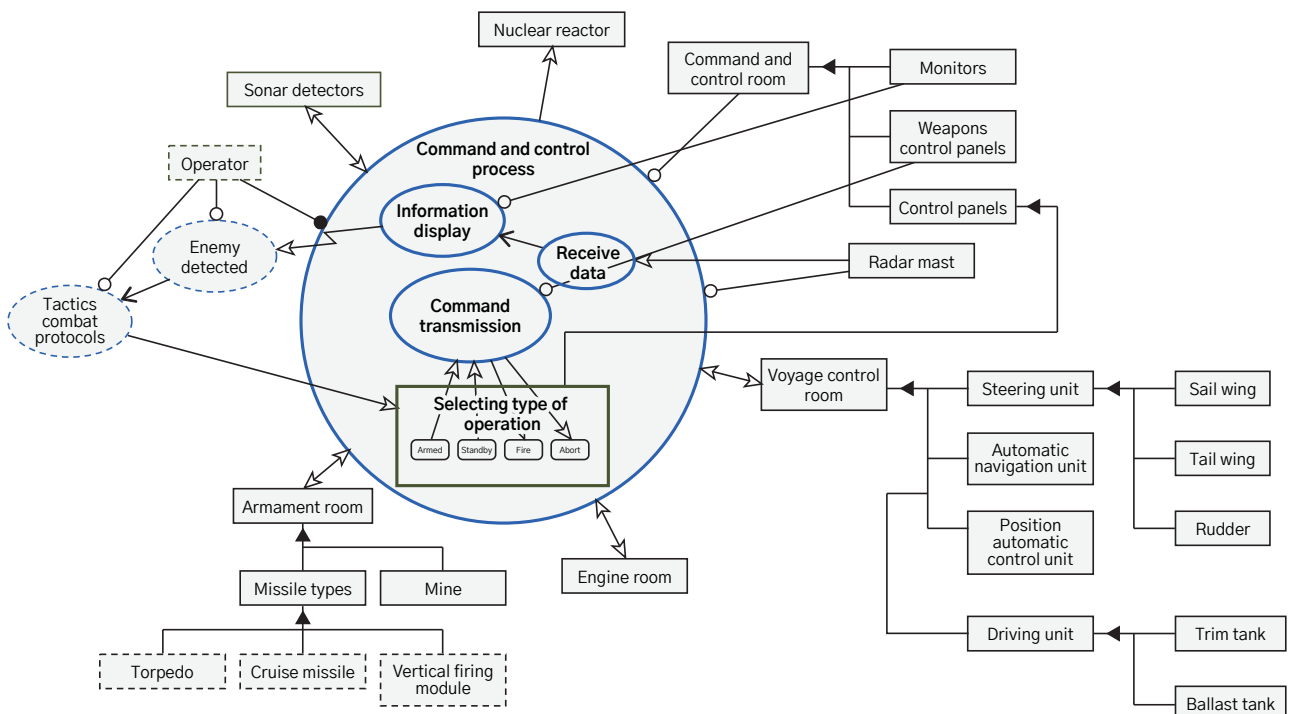


Fig. 7. Architecting using OPCAT

구성요소가 어떻게 작동되는지에 대해서 표현하였다. 이는 반복적인 기능/물리 아키텍처를 통하여 누락되는 요구사항이 없도록 시스템 아키텍처 설계를 수행할 수 있다.

5. 결론

프로젝트 수행 시 초기에 요구사항 정의의 중요성을 한 번 더 인식하고 설계를 수행해야 한다. 본 논문은 시스템 엔지니어링 기반으로 요구사항을 표현할 수 있는 시스템 모델링을 통하여 아키텍처를 설계하는 사례를 제시하였다.

이를 구현하기 위해서 요구사항을 표현하는 시스템 모델링을 활용하여 설계를 구체화하였다. 최첨단 잠수함의 요구사항에 따른 시스템 거동도를 작성하였다. 이를 활용하여 기능, 물리적 아키텍처 매트릭스를 작성하여 요구사항을 기능/물리 아키텍처로 변환하였다. 이후 형상항목을 설정하여 시스템의 구성요소를 계층적으로 구분하였다. 또한, 요구사항을 표현하는 방법인 유스 케이스 다이어그램 및 시퀀스 다이어그램을 활용하였다. 이러한 반복적, 체계적 분석된 결과를 OPCAT 도구를 적용하여 시스템 아키텍처를 설계하였다. 따라서, 시스템 엔지니어링 기반으로 요구사항을 기능, 물리적 아키텍처를 작성하여 시스템 아키텍처 설계의 기초가 될 수 있는 방안을 제시하였다.

본 논문의 결과를 활용하면, 시스템 엔지니어링 기반의 반복적, 체계적인 분석 결과를 통해 요구사항에 따른 시스템 아키텍처를 수행할 수 있다. 결과적으로 이해관계자는 시스템 설계를 수행하기 전에 비용 및 일정을 고려한 최적의 설계 판단을 할 수 있는 근거 및 자료로 활용 가능하다.

참고문헌

- [1] Klaus Pohl and Chris Rupp, "Requirements Engineering Fundamentals", 2nd Edition, Rockynook, p. 25, 2015.
- [2] Elizabeth Hull, Ken Jackson and Jeremy Dick, "Requirements Engineering", 3rd Edition, Springer, p. 3, 2010.
- [3] Ralph R. Young, "The Requirements Engineering Handbook", Artech House INC, p. 1, 2004.
- [4] David D. Walden, Garry J. Roedler, Kevin J. Forsberg, R. Douglas Hamelin and Thomas M. Shortell, "Systems Engineering Handbook - A Guide for System Life Cycle Processes and Activities", International Council on Systems Engineering, 4th Edition, Wiley, p. 125, 2015.
- [5] DOD Instruction 5000.2, "Operation of the Defense Acquisition System", Department of Defense, p. 14, 2003.
- [6] "Systems Engineering Fundamentals", Korean Council on Systems Engineering, p. 16, 2002.
- [7] MIL-STD-499C, "Systems Engineering", Department of Defense, p. 15, 2005.