

## 잠수함 기본설계를 위한 SE 기반 시스템 아키텍처 프로세스

신승철<sup>1</sup>, 박진원<sup>2</sup>, 이재천<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>아주대학교 시스템공학과, <sup>2</sup>방위사업청

### An SE-Based System Architecture Process for Submarine's Basic Design

Sung-Chul Shin<sup>1</sup>, Jin-Won Park<sup>2</sup>, Jae-Chon Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Systems Engineering, Ajou University,

<sup>2</sup>Defense Acquisition Program Administration

**요약** 함정은 일반성능, 특수성능, 탑재장비 성능과 관련된 수많은 요구사항이 있으며, 장기간에 걸친 설계 및 건조기간 동안 요구사항은 각 시스템에 반영되고 구현되어야 한다. 요구사항은 설계기간 동안 작성되는 도면, 보고서, 제안요청서, 사양서 등 다양한 문서들을 통해 구체화 된다. 그러나 함정과 같은 복합시스템의 경우 이런 산출물을 통해 요구사항 추적성을 유지하며 요구사항을 관리하는 것에 많은 어려움이 따른다. 함정의 설계 및 건조기술은 오랜 역사 속에 발전되어 왔기 때문에 기존의 문서기반 설계 방식에 익숙하지만, 각종 설계 산출물과 요구사항, 그리고 시스템의 기능, 물리 아키텍처 간 추적성 관리는 어려움이 있다. 함정의 기본설계는 함정 제원 및 성능, 탑재장비 선정 및 배치, 연동 등을 확정하는 중요한 단계이며 시스템 아키텍처 설계 구현을 위한 구체적인 적용 방법 연구를 통해 변화가 요구된다. 따라서 함정 기본설계 단계에 적합한 요구사항 설계 적용을 위한 시스템 아키텍처 설계 방법 연구가 필요하다. 본 논문에서는 요구사항으로 부터 시스템 아키텍처 설계를 수행하고 SE 기반 기술검토 프로세스를 통해 확인하는 방법을 연구하였다. 잠수함 시스템 아키텍처 설계를 위해 요구사항 분석, 아키텍처 설계, 설계 실행 및 통합의 각 단계별 세부 수행사항과 내용을 제시하였다. 이를 통해 효과적인 시스템 요구사항 개발 및 아키텍처 설계가 가능하였으며, 단계별 추적성 관리, 요구사항의 확인 측면에서 효과적임을 확인하였다. 향후 잠수함을 비롯한 다양한 함정에 제시한 프로세스 적용이 가능할 것으로 판단된다.

**Abstract** Naval Ships have a number of requirements related to performance. Naval ship acquisition takes a long time from initial planning to delivery, and various products such as drawings and reports are created. In complex systems, such as naval ships, it is difficult to maintain the required traceability through these outputs. The basic design of the ship is an important step to determine the specifications, performance, and equipment of the ship. It is necessary to apply the systematic requirements management process. The basic design manages the requirements in accordance with the systems engineering-based technical review process, but the actual system architecture design process is not presented. The traceability between the requirements and the functional and physical architectures of components is unclear. This paper examined how to design the system architecture required for specification and system design, and the design results were verified using SE-based technical review process for requirements management. A step-by-step process for designing a submarine system architecture is presented and verified using the SE technical review. This facilitates the specification of the requirements and system architecture design, and supports traceability management and verification of the requirements. The proposed process can be applied in various ships including submarines.

**Keywords** : Ship Basic Design, Submarine Design, System Engineering, System Engineering Technical Review, System Architecture Design, Requirement Engineering

\*Corresponding Author : Jae-Chon Lee(Ajou Univ.)

Tel: +82-10-8276-7196 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received December 18, 2018

Revised December 31, 2018

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

## 1. 서론

함정 획득은 일반성능, 탑재장비, 특수성능 등 다양한 요구사항을 동반한다. 또한 최초 소요제기부터 실제 설계 및 함 건조에 이르기까지는 최소 10년 이상의 장기간이 필요하다[1]. 설계 초기 단계부터 최종 목적물인 함정 인도까지 최초 요구사항은 설계를 통해 구현하며, 진 획득주기에 걸친 지속적인 추적성 관리가 중요하다. 군의 요구사항에서 설계 보고서, 도면, 그리고 상세설계에 이르기까지 함정의 획득 기간 중에는 수많은 문서들이 작성된다[2]. 함정과 같은 대형, 복합 시스템에서 이러한 문서 기반 설계 수행은 지속적인 문서 간 추적성 유지와 요구사항 관리, 변경 측면에서 어려움이 있다. 함정 설계 및 건조는 오랜 역사를 가지고 있지만 최근 요구사항의 증가와 다수의 탑재장비로 인해 미국 등 주요 선진국에서는 SE 기반 요구사항 관리를 적용토록 제도화하고 관련된 연구를 지속적으로 수행하고 있다[3,4,5]. 국내에서도 효과적인 SE 기반 함정의 설계 및 획득을 위해 SE 기반 함정 사업 수행의 문제점 및 개선연구, 함정 획득 프로세스 연구가 수행되고 있다[6].

함정은 설계 관점에서 군의 소요제기에서 시작하여 선행연구, 기본설계, 상세설계 및 선도함 건조, 후속함 건조 단계에 따라 설계 및 건조가 수행된다. 함정작업분할구조(SWBS, Ship Work Breakdown Structure)에 따라 기본, 선체, 추진, 전기, 지휘 및 탐색, 보기 등의 분야로 구분하며, 설계 초기단계에는 각 분야별로 설계가 수행되기 때문에 통합 관점의 시스템 설계는 한계가 있다. 각 설계자는 운용자 요구사항으로부터 설계를 위한 시스템 요구사항을 식별하며, 시스템 레벨에 따라 서브시스템 요구사항, 구성품 요구사항으로 하향 세분화 후 구체화하고 설계에 반영하는 체계적인 활동이 필요하다.

본 논문은 함정 기본설계 단계에서 요구사항을 시스템 설계에 반영하는 방법을 연구하고, SE 기반 기술검토로 이해관계자가 확인하기 위한 잠수함 시스템 아키텍처 설계 방법을 제시하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 1장은 함정 설계의 특징과 제한사항, 관련 연구 동향에 대해 기술하였고, 2장은 함정 설계 및 건조 단계 SE 기반 기술검토, 요구사항 관리 및 시스템 아키텍처 설계 관련 연구 분석을 통한 문제정의, 연구 목표를 기술하였다. 3장은 SE 기반 잠수함 시스템 아키텍처 설계 및 SE 기술검토를 활용한 확인방법을 제시하였고, 4장은 실제 예시

를 적용하여 설계를 수행하고, 모델링을 통해 결과를 보였다. 마지막으로 5장은 연구수행 결과와 향후 연구 과제를 정리하였다.

## 2. 관련연구 및 문제정의

### 2.1 함정 기본설계 단계 주요 산출물 및 요구사항 관리

함정의 기본설계는 제시된 요구사항을 구체화하며, 함정의 제원 및 성능, 탑재무기체계 및 장비 배치, 장비 사양, 체계간의 연동 등을 확정하고 함정건조기술사양서(TLS), 건조사양서를 작성하는 설계이다[7]. 기본설계 결과 작성되는 각 설계 산출물을 기준으로 자료에 의한 시험평가를 충족한 이후 다음단계인 상세설계 단계로 진입할 수 있다.

함정 기본설계 단계 수행 프로세스를 Fig. 1에 표현하였다. 기본설계 단계는 군 요구사항을 구체화하기 위한 수많은 기준서, 검토보고서 및 개념도, 계통도, 배치도 등의 도면 작성을 통해 설계를 구현하며, Fig. 1 가운데에 있는 예비설계, 계약설계로 이어지는 과정을 거친다. 각 설계 결과는 체계요구조조건검토(SRR, System Requirement Function Review), 체계기능검토(SFR, System Function Review), 기본설계검토(PDR, Preliminary Design Review)의 단계별 SE 기반 기술검토 프로세스를 통해 이해관계자가 검토하고 합의한다[8]. SE 기술검토 프로세스는 Fig. 1의 우측이며, 이러한 절차를 통해 기본설계 단계 요구사항을 구체화하고 설계 반영결과를 지속적으로 확인할 수 있는 연구를 수행하였다[9].

Fig 1. 좌측의 점선으로 표시한 부분은 본 논문의 연구대상 범위로 요구사항에서 시스템, 서브시스템 및 구성품 단위까지 시스템을 세분화 하며 진행되는 아키텍처 설계 프로세스이다. 그러나 현재 함정 기본설계 단계에서는 시스템 아키텍처 설계에 대한 절차가 명확히 정립되어 있지 못하다. 함정 기본설계는 기본설계 프로세스와 SE 기반의 기술검토 프로세스가 함께 수행되지만, 각각의 설계 단계는 시스템 아키텍처 설계를 통해 시스템 구현 차원에서 하위 구성품의 상세 설계 단위까지 구체화된다. 구성요소들 간의 통합을 통해 각 수준별 요구사항의 확인 및 검증을 수행이 필요하다.

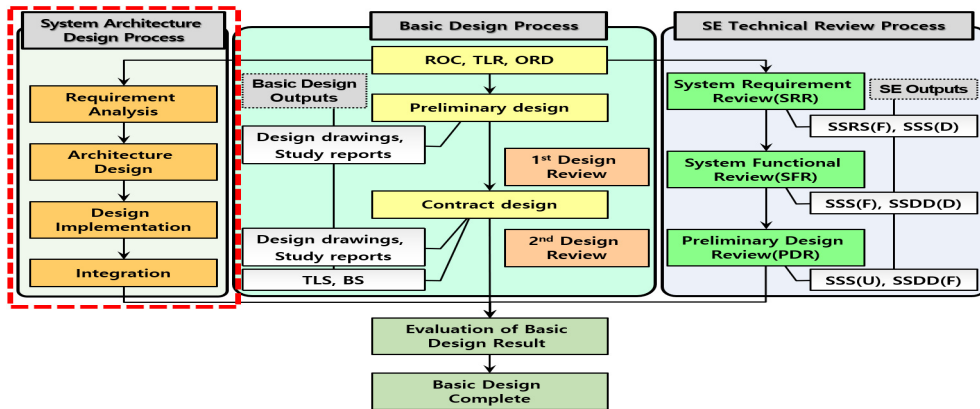


Fig. 1. Naval Ships Basic Design Process

## 2.2 SE 기반 시스템 아키텍처 설계

### 2.2.1 SE 설계 프로세스

SE 설계 프로세스는 시스템 전반에 대해 반복적으로 수행되는 순차적 프로세스로, 단계별 절차에 따라 순서대로 적용된다. 요구사항을 식별하고 의사결정자를 위한 정보를 생성하며, 다음 단계 수행을 위한 정보를 제공한다. 가장 기본적인 SE 설계 프로세스로 Fig. 2의 MIL-STD-499B 프로세스가 있다. 본 연구에서는 다양한 SE 설계 프로세스를 분석하여 잠수함 기본설계에 적합한 시스템 아키텍처 설계 프로세스로 테일러링 후 Fig 4, 5, 6에 재구성하였다.

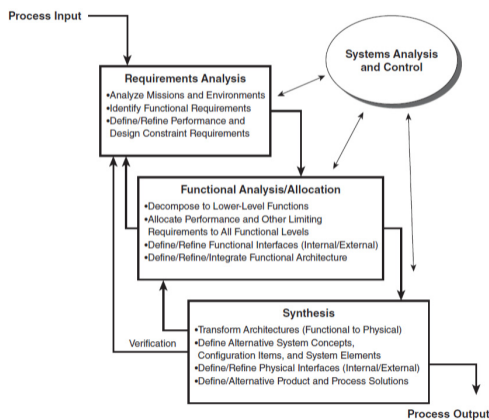


Fig. 2. System Engineering Process, MIL-STD 499B[10]

주요 SE 프로세스는 4가지 활동이 있으며, 첫째, 요구사항 분석은 운용자 요구사항을 시스템 관점에서 요구사

향으로 식별하고 변환하는 활동이다. 요구사항은 명확하고, 완전하고, 간결하게 정의되어야 하며, 기능적 요구사항과 설계 제약요소를 명확히 식별하게 된다. 둘째, 기능 분석 및 할당은 요구사항 분석을 통해 식별된 상위 수준의 기능을 하위 수준의 기능으로 분해하고 할당하는 활동으로 그 산출물을 기능 아키텍처라고 한다. 셋째, 통합은 하드웨어와 소프트웨어 관점에서 제품 또는 항목을 정의하는 활동으로 그 산출물을 물리 아키텍처라고 한다. 도출된 아키텍처는 사양 및 기준선을 생성하기 위한 기본 구조라 할 수 있다. 넷째, 시스템 분석 및 통제는 설계 진행 전반적인 단계에서 필요한 진행상황 확인, 대안 평가, 의사 결정 및 기술 관리활동이다. 각각의 단계에서 수행한 결과는 루프를 통해 이전단계의 결과와 명확히 추적 가능해야 하며, 일관성 있게 관리되어야 한다.

### 2.2.2 시스템 아키텍처 설계 개념

아키텍처 설계는 운용자 요구사항을 기능 아키텍처, 논리 아키텍처를 통해 물리 아키텍처로 변환하는 과정이며, 요구사항의 구체적 수준 및 규모는 Fig. 3과 같이 비교할 수 있다.

기능 아키텍처는 시스템 계층 전반에 걸쳐 블랙 박스화한 사양으로 시스템 기능을 정의한 것으로 FFBD (Functional Flow Block Diagram)와 같은 수단으로 표현된다. 논리 아키텍처는 물리적 설계 구현을 위해 기능 아키텍처를 분석한 결과로 다양한 물리적 설계 대안에 공통적인 기능, 특성 및 인터페이스를 정의한다. 논리 아키텍처는 물리 아키텍처를 설계할 수 있는 기준을 제공한다. 물리 아키텍처는 시스템 설계를 위해 선정된 특정

장비 및 구성품으로 표현될 수 있으며, 특정 설계 구현을 정의할 수 있다. 아키텍처 설계 수행 중 전체 설계 관점에서 추적성은 지속적으로 각 레벨에서 관리되어야 한다 [11,12].

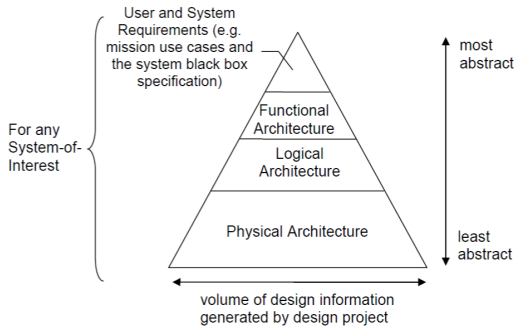


Fig. 3. Levels of System Architecture and Abstraction[11]

### 2.3 문제정의 및 연구목표

함정 탐색개발 단계에서 수행하는 기본설계는 함정에 적합한 시스템 아키텍처 설계 절차의 미흡으로 다음과 같은 어려움이 있다. ①기본설계는 보고서, 도면과 같은 문서 관리 활동 위주로 수행되고 있어 요구사항과 설계에 대한 누락, 중복, 구체화 결과의 효과적인 확인이 제한된다. ②함정의 최초 요구사항에서 시스템, 서비스 시스템, 구성품 단위까지의 구체화와 기본설계 산출물과의 추적성 관리가 되지 않고 있다. ③설계 단계별 시스템 아키텍처 설계 결과를 이해관계자를 통해 확인하고 합의하기 위한 절차가 정립되어 있지 않다.

본 연구에서는 함정 기본설계에 적합한 단계별 시스템 아키텍처 설계를 수행하고 SE 기반 기술검토 프로세스를 활용하여 이를 확인하기 위한 방법을 제시하였다. 그리고 실제 함정 설계에 적용해 봄으로써 이러한 방안을 통해 운용자 요구사항으로부터 함정의 각 시스템 아키텍처 설계에 이르기까지 효과적이고 체계적인 설계 관리가 가능함을 확인하였다.

## 3. SE 기반 잠수함 시스템 아키텍처 설계 방법 연구 및 SE 기술검토 활용

### 3.1 잠수함 기본설계 단계 시스템 아키텍처 설계 프로세스

잠수함 기본설계에서 작전운용성능(ROC), 함정건조 기본지침서(TLR) 등의 요구사항은 SE 기반의 기술검토 프로세스에 따라 분석하고 식별 및 확정된다. 효과적인 잠수함 기본설계를 위해서 각 기술검토는 시스템 아키텍처 설계 결과를 확인하고 검토 및 확정할 수 있어야 하나, 현재 기본설계 단계 시스템 아키텍처 설계 프로세스는 명확히 정립되어 있지 못하다. 잠수함 기본설계 특성에 맞는 시스템 아키텍처 설계 방법 연구를 위해 Fig. 4의 절차에 따라 MIL-STD-499B, EIA-632 및 잠수함 설계 선진국에서 개발된 아키텍처 설계 프로세스를 식별하였다. 유사 항목의 비교 분석을 통해 잠수함 설계 특성을 반영하여 수행절차와 각 단계별 세부 수행방법을 도출하였다.

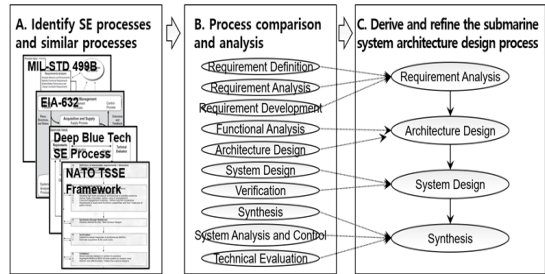


Fig. 4. System architecture design study procedure

최종적으로 유사 프로세스 분석 및 잠수함의 특성을 반영하여 기본설계에 적용하기 위한 시스템 아키텍처 설계 프로세스를 Fig. 5에 제시하였다. 제시한 프로세스를 통해 기존의 절차에서 정의하고 있지 않은 시스템 아키텍처 측면에서의 기본설계 수행 방법을 정의하였다. 각각의 활동은 함정 기본설계 초기의 예비설계에서 주로 요구사항의 분석, 식별 및 개략적 설계 반영이 수행되고, 기본설계 후기의 계약설계에서 각 항목별 설계 구체화 및 통합이 이루어지는 함정의 설계 특성을 반영한다. 설계인원은 최초 요구사항을 기반으로 시스템 요구사항을 식별하는 요구사항 분석, 요구사항 분석 결과를 통해 시스템의 기능을 분석하고, 각 구성품에 할당하는 아키텍처 설계, 설계 측면에서 최적의 방안을 도출하는 설계 수행, 각 설계 요소들을 잠수함 시스템 관점에서 확인하는 통합의 절차로 수행한다.

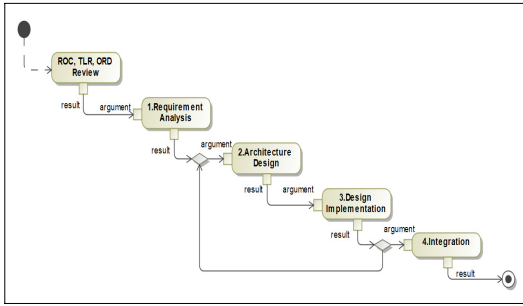


Fig. 5. System Architecture Design Flow

또한 MIL-STD-499B등과 같은 SE 설계 프로세스와 대비하여, 실제 잠수함 기본설계 특성을 고려하여 각 단계별 세부 수행절차와 방법을 보다 구체화하였다.

요구사항 분석에서는 잠수함 설계자가 운용자 요구사항을 정확히 이해하였는지 확인하는 것을 목표로 잠수함 초기 요구사항을 설계를 위한 체계요구사항으로 변환한다. 중점 수행사항은 합성 기능요구사항, 성능요구사항, 인터페이스 요구사항 및 각종 제약요소를 식별하고 분석, 설계개념 및 방안 수립, 요구사항의 계층화, 범주화, 문장 완전성 및 검증방법/시기 등에 대한 포괄적 검토를 통한 설계 초기 요구사항의 안정화이다. 요구사항 다이어그램, 요구사항 분석 매트릭스를 활용 할 수 있으며, 작성된 내용을 통해 개략적인 기능 모델링 결과와를 확인한다.

아키텍처 설계는 요구사항을 기능과 물리적 요소들을 적절히 분해, 분석 및 조합하였는지 확인하는 것을 목표로 한다. 중점 수행사항은 분석된 요구사항을 시스템 기능적 측면, 물리적 측면으로 변환하고, 상위레벨 기능을

하위레벨 기능으로 하향 세분화하는 것이다. 최초 요구사항을 기반으로 FFBD 작성, 기능적/물리적 맵핑 및 아키텍팅을 수행하며, 작성된 내용을 통해 개략적인 대안 검토 결과를 확인한다.

설계 실행은 설계 측면에서 최적 대안 도출을 목표로 하며, 중점 수행사항은 아키텍처 설계를 통해 도출된 결과를 토대로 복수대안을 발굴하고 최적 대안을 도출하는 활동이다. 설계 대안 및 가중치 적용, 최적대안 선정 기법을 활용할 수 있다.

설계 통합은 요구사항, 기능 및 물리적 요소가 누락, 중복 없이 조합되었는지 확인하는 것을 목표로 한다. 중점 수행사항은 설계된 결과물의 상향 통합, 즉 각 분야 최적 대안의 통합차원의 조합이다. 요구사항을 기준으로 시스템 기능을 통해 물리적 요소로 할당하고 요구사항 충족여부를 검증하여 이를 토대로 보고서, 도면을 작성한다. 요구사항 분석에서 통합에 이르기까지의 전반적인 프로세스를 Fig. 6에 제시하였다.

### 3.2 SE 기술검토를 활용한 시스템 아키텍처 설계 결과 확인 및 관리

시스템 아키텍처 설계는 요구사항의 충족 여부와 설계 반영 결과를 지속적으로 확인하고 검토되어야 한다. 2.1절의 잠수함 기본설계 단계의 요구사항 관리를 위한 기술검토 프로세스를 통해 시스템 아키텍처 설계 결과의 확인이 가능하다. SE 기반 기술검토 프로세스를 활용하여 시스템 아키텍처 설계 수행을 위한 방법을 Fig. 7에 제시하였다. 최초 요구사항에 대한 분석을 통해 시스템 아키텍처 설계는 시작한다. 각 요구사항 분석을 통해 구

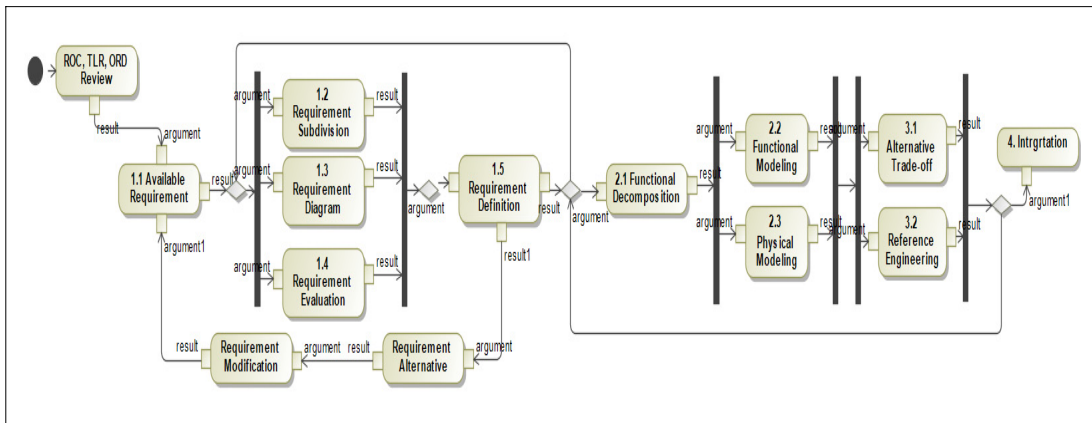


Fig. 6. System Architecture Design Process

현방안을 검토하고 설계 적용을 위한 개략 아키텍처 설계를 수행한다. 설계결과는 체계요구조건검토(SRR)을 통해 이해관계자가 모여 검토하고 확정한다. 결정된 요구사항을 기준으로 각 시스템 아키텍처 설계 결과와 개략적인 설계 실행을 수행하며, 결과는 체계기능검토(SFR)를 통해 이해관계자가 검토하고 확정한다. 시스템의 각 기능을 기준으로 전반적인 시스템 설계 실행 및 각 시스템의 통합을 수행하며, 기본설계검토(PDR)를 통해 이해관계자가 모여 검토하고 확정한다. 최종적으로 최적화된 설계 통합 결과를 기준으로 기본설계 시험평가를 수행하며, 시험평가에 따라 요구사항이 충족하면 기본설계가 종료된다.

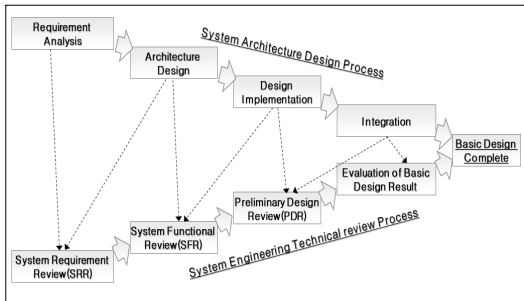


Fig. 7. Systems Architecture Design Method

#### 4. SE 기반 잠수함 시스템 아키텍처 설계 및 SE 기술검토 수행

SE 기반 기술검토를 활용한 시스템 아키텍처 설계를 위해 잠수함 기본설계의 일부를 예시로 적용한다. 요구사항 분석 및 아키텍처 설계를 중심으로 3절에서 제시한 절차에 따라 단계별로 적용하고, 효과적인 설계 수행을 위해 각 단계별로 템플릿을 활용한다.

##### 4.1 요구사항 분석

잠수함의 작전운용성능(ROC), 함정건조기본지침서(TLR) 등 최초 운전자 요구사항을 토대로 요구사항의 수준과 관계를 검토한다. 본 논문에서는 다양한 운전자 요구사항 중 ‘잠수함은 수상 및 수중에서 무선 통신이 가능하여야 한다.’라는 하나의 요구사항을 예로 설계를 진행한다. 잠수함은 육상기지 및 함정과 전파, 위성 등을 이용한 통신이 가능하여야 하며, 요구사항을 기반으로

한 개략적인 운용개념은 Fig. 8<sup>1)</sup>과 같다.

본 논문의 Table 및 Fig.에서 제시한 순번이나 수치를 가상의 값으로 하고, 요구사항에 해당되는 다양한 통신 수단 중 주요 설계방안은 전파를 이용한 통신을 기준으로 한다. 요구사항 분석의 첫 번째 단계로, 식별된 요구사항을 세분화하여 요구사항을 독립적으로 이해할 수 있도록 Table 1<sup>2)</sup>에 정리하였다.

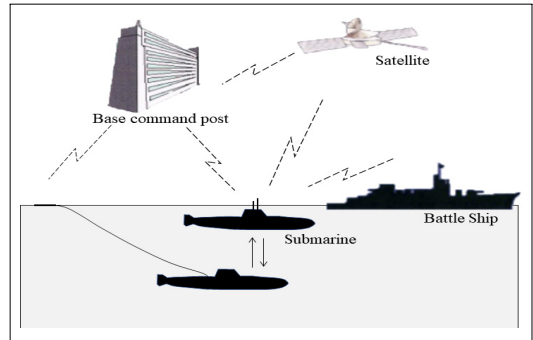


Fig. 8. Submarine Communication Operation concept

Table 1. Requirement Subdivision(example)

SWB S (Lv.3)	SWBSROC (Lv.4)	ROC No.	ROC Contents	ROC Page	TLR No.	TLR Contents	TLR Page	Relation	
								ROC	TLR
460	461	R010	Communication function (RF)	30-10	T051	○○ band transmission and reception should be possible at the time of the voyage	75	R010	T052
					T052	△△ band reception is possible at underwater	75	R010	T051

식별된 요구사항은 함정작업분할구조(SWBS)에 따라 시스템, 서브시스템과 작전운용성능(ROC), 함정건조기본지침서(TLR) 등 요구사항 수준에 대한 수직, 수평적 계층 관계를 확인하고, Fig. 9<sup>3)</sup>로 나타낸다. 요구사항 계층화를 통해 누락된 요구사항이나 중복 요구사항을 확인할 수 있다. 요구사항을 정의하기 위해 요구사항이 시스템 설계를 위한 요구사항으로 적합한 지 평가하고 확인한다. 표현의 명확성, 내용의 정확성, 구현 가능성, 설계

- 1) Fig 7. 프로세스의 요구사항 식별 (1.1 Available Requirement)
- 2) Fig 7. 프로세스의 요구사항 세분화 (1.2 Requirement Subdivision)
- 3) Fig 7. 프로세스의 요구사항 계층화 (1.3 Requirement Diagram)

독립성, 완전성, 불확실성, 유일성, 검증가능성, 중복성, 연결성, 상충요소에 대한 확인한다. 각 요구사항은 적절성과 검증방법 및 시기를 정의하여 Table 2<sup>4)</sup>와 같은 형태로 작성하고, 체계요구조건검토(SRR)를 통해 이해관계자 간의 토의 및 검토를 수행하고, 적절함을 확인한다.

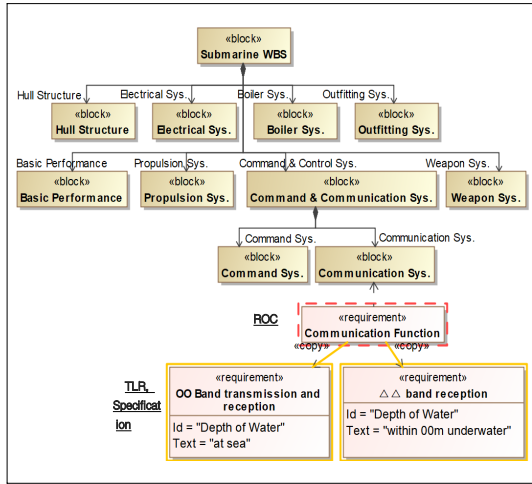


Fig. 9. Requirement Diagram(example)

Table 2. System Requirement Sheet(example)

System Req. no.	SR 51	Original Req. no.	R010	SWBS No.	461
System Req.	○○ band transmission and receipt should be possible at the time of the voyage, and ΔΔ band reception is possible at underwater.				
Req. Analysis	Clarification of requirements : Clarification of communication frequency band according to operating conditions Identify verification conditions : Identify test evaluation conditions and methods				
Referece Materials	ROC(page 10), TLR(page 75), ORD(page 101)				
Verification Method	SRR : - SFR : Communication System Report(Ver.1) PDR : Communication System Report(Ver.2) Basic Design Test Evaluation : Communication System Report(Ver.3), Diagram				
Acceptance Criteria	Design reports and diagrams should demonstrate that they are capable of communication in water and within 00m underwater.				
Review Result	○○ band transmission and receipt should be possible at the time of the voyage, and OO band reception is possible within 00m underwater.				
Acceptance status	acceptance	Stakeholder	Navy Project Manager Shipyard manager		
Follow up Item	None	Follow up Reason	None		

4) Fig 7. 프로세스의 시스템 요구사항 평가 및 정의 (1.4 Requirement Evaluation, 1.5 Requirement Definition)

## 4.2 시스템 아키텍처 설계

요구사항 구현을 위한 시스템 설계를 위해 실적함 자료 및 요구사항 분석결과를 참조하여 개략 아키텍팅을 수행한다. 시스템 하위 레벨까지의 기능을 분해하고 모델링을 하면서 각 서브시스템의 세부 기능을 확인한다. 시스템의 각 기능은 요구사항과의 사상(Mapping)을 통해 검증하고, 필요한 사항은 피드백 하여 상위 단계에서 변경 또는 재검토한다.

잠수함의 수상 및 수중 통신 기능은 함정작업분할구조(SWBS) 서브시스템의 통신기능 항목의 전파 통신 분야 기능으로 Fig. 10<sup>5)</sup>와 같이 할당한다. 수상에서 OO 대역 주파수 송수신은 잠수함의 OO 안테나 운용을 통해 구현하며, 수중에서 ΔΔ 대역 주파수 수신을 ΔΔ 안테나 운용을 통해 구현할 수 있다. 수상에서의 OO 안테나는 양강마스트의 동작으로 외부에 도출되고, 안테나로부터 수신된 전파는 대역선택 필터 및 증폭기 등을 통해 원하는 신호를 획득하고 함내 통신체계에 전달한다. 신호 송신은 원하는 대역을 선택하고 송신 출력을 이용 전력을 증폭하여 원하는 거리까지 안테나를 이용하여 전달한다. 수중에서 ΔΔ 대역 안테나는 송신을 제외한 수신 기능 측면에서 동일한 기능을 수행한다.

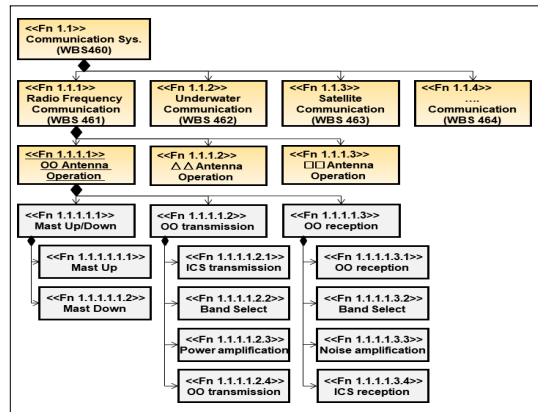


Fig. 10. Functional Decomposition(example)

기능 아키텍처 설계 결과에 따라 시스템이 요구되는 기능을 구현하기 위한 물리적 요소를 식별하고 Fig. 11<sup>6)</sup>과 같이 반영한다. 원하는 주파수 대역의 통신을 위해 안

5) Fig 7. 프로세스의 기능 분해 (2.1 Functional Decomposition)

6) Fig 7. 프로세스의 기능/물리 모델링 (2.2 Functional Modeling, 2.3 Physical Modeling)

테나, 증폭기, 변환기, 필터, 케이블 및 잠수함 운용을 위한 마스트 운용단 등이 요구되었고 물리 아키텍처 설계 결과는 기능 아키텍처 결과와의 사상(Mapping)을 통해 정의된 기능 대비 누락된 구성품은 없는 지 확인한다. 각 시스템은 체계기능검토(SFR)를 통해 이해관계자간 토의 및 검토를 수행하여, 설계 적절성을 확인한다.

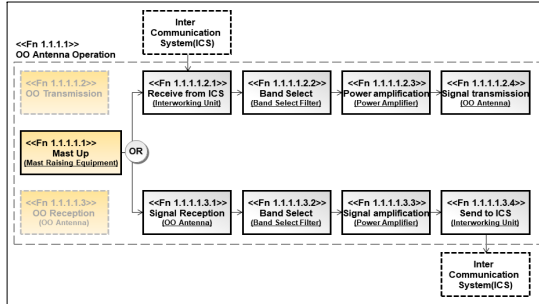


Fig. 11. Functional/Physical Modeling (Example)

### 4.3 설계 실행 및 통합.

아키텍처 설계 결과를 토대로 비용, 성능, 일정 측면에서 최적 대안을 검토한다. 잠수함 통신을 위해 안테나의 위치 및 형태, 송신 출력에 대한 최적 대안 산출이 필요하다. 설계 중 고려요소인 군 운용성, 작전운용성능(ROC), 연동 복잡성, 함 중량 영향성, 신뢰성, 비용, 정비성에 대해 관련기관 인원을 대상으로 중요하다고 판단되는 요소를 확인하였고, AHP 분석결과 군 운용성 및 작전운용성능(ROC)이 설계 대안 평가의 가중치가 가장 높음을 확인하였다.

Table 3. Requirement, Function, Component Allocation (Example)

System Req. no.	System Req.	Function	Interface			Components
			Function	Items	Component	
SR51	○○ band transmission and receipt should be possible at the time of the voyage, and △△ band reception is possible at underwater.	Fn 1.1.1.1 ○○ Ant operation	Fn x.x.xCommunication Management	Signal Control	ICS	Interworking Unit, Band Select Filter, Power Amplifier, ○○ Antenna
			Fn x.x.y Mast Up/down	Mast Control	MRE	
		Fn 1.1.1.2 △△ Ant operation	Fn x.x.xCommunication Management	Signal Control	ICS	Interworking Unit, Band Select Filter, Signal Amplifier, △△ Antenna

각각의 가중치를 기준으로 최적의 안테나의 위치와 형태, 출력을 고려한 설계 대안을 선정하고 타 분야의 설계를 통합하여 최종적으로 관련 보고서 및 도면을 작성하게 된다. 최초 요구사항에서 기능, 물리 아키텍처 설계의 최종 결과를 Table 3<sup>7)</sup>과 같이 정리하고, 기본설계검토(PDR)를 통해 이해관계자간 토의 및 검토를 수행하여, 설계 적절성을 확인한다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문은 SE 기반 기술검토 프로세스를 활용하여 잠수함 기본설계 단계에서의 시스템 아키텍처 설계 방법을 제시하였고 소요군의 원 요구사항의 일부를 예로 들어 아키텍처 설계까지 제안한 방법에 따라 수행하였다.

제안한 시스템 아키텍처 설계를 통해 다음과 같은 효과가 있음을 확인할 수 있었다. ① 요구사항에서 기능 및 물리 아키텍처에 이르는 각각의 설계결과에 이르기까지 효과적인 추적성 관리가 가능하다. ② 체계요구조건검토(SRR), 체계기능검토(SFR), 기본설계검토(PDR)로 이어지는 요구사항 기술검토 프로세스를 통해 시스템 아키텍처 설계 결과의 확인 및 검증, 수정이 가능하다. ③ 단계별 설계결과와 지속적인 확인과 검증으로 요구사항이나 설계요소의 누락, 중복에 대한 확인이 가능하다. ④ 단계별 다양한 설계방안을 도출하고, 최적의 방안을 효과적으로 확인할 수 있다. ⑤ 기존의 문서기반의 파편화된 합정 설계 프로세스를 SE 기반 기술검토 프로세스에 따라 효과적으로 수행 가능함을 확인하였다.

미국 등 선진국들은 함정 연구개발을 위한 요구사항의 관리, 비용 절감, 최적 설계 반영 등을 위해 SE 기반의 프로세스를 적극 활용하고 있으며, 최근 모델기반 시스템엔지니어링(MBSE, Model Based System Engineering) 수행으로 발전하고 있는 추세에 있다. 본 논문은 잠수함 기본설계 단계에서 SE 기반의 시스템 아키텍처 설계를 위한 방법을 제시하였으며, 보다 체계적인 기본설계 수행을 위해 시스템 아키텍처 설계를 MBSE 기반으로 수행하기 위한 연구가 추가적으로 필요할 것이다.

7) Fig 7. 프로세스의 설계 통합 (4. Integration)



## References

- [1] Y. H. Jeong, H. M. Lee, "System Engineering-based Ship Acquisition Procedure Study" Proc. of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 292-296, November, 2011.
- [2] J. H. Shin, "System engineering (SE) based Ship Research and development work manual," DAPA, 2013.
- [3] US. Department of Defense, "Defense Acquisition Guidebook," US. Department of Defense, 2017
- [4] Brian H. Wells, "Applying Systems Engineering to Naval Shipbuilding", Proc. of INCOSE 2006, Vol.16, Issue 1, pp. 1149-1162, July 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2006.tb02802.x>
- [5] C. Kerns, A. Brown, D. Woodward, "Application of a DoDAF Total-Ship System Architecture in Building a Design Reference Mission for Assessing Naval Ship Operational Effectiveness," in Proc. The ASNE Global Deterrence and Defense Symposium, September 2011
- [6] B. W. Choi, "Problems and Improvements of System Engineering(SE) Application in Ship Acquisition Phase," Military Academic Service Research Report, 2016
- [7] DAPA, "Defense Acquisition Term dictionary," DAPA, 2013
- [8] DAPA Acquisition Policy Bureau, "SE-based technology review meeting guidebook," DAPA, 2017
- [9] S. C. Shin, J. W. Park, J. C. Lee, "Improvement of Basic Design Process for Submarines by Integration of SE-Based Technical Review and Requirements Management Process," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 19, No. 11, 2018  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.11>
- [10] DOD, US. "MIL-STD-499B Systems Engineering." US Department of Defense, Washington DC, 1994.
- [11] R. Brouwer, "A framework for systems engineering in ship design from a NATO specialist team perspective," Engineering the Total Ship 2008, 2008.
- [12] Pearce, Paul, and Matthew Hause. "ISO-15288, OOSEM and Model-Based Submarine Design." SETE/APCOSE 2012.

### 신 승 철(Sung-Chul Shin)

[정회원]



- 2002년 3월 : 해군사관학교 전자공학 (공학사)
- 2009년 8월 : 연세대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 2009년 7월 ~ 현재 : 방위사업청 (해군소령)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 (박사과정)

<관심분야>

시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), 합정설계, 무기 체계연구개발, 국방획득프로세스

### 박 진 원(Jin-Won Park)

[정회원]



- 2003년 2월 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (공학석사)
- 2008년 9월 : 미국 버지니아공대 (Virginia Tech) 항공해양공학과 (공학박사)
- 2009년 12월 ~ 2011년 12월 : 국방과학연구소 파견 연구원
- 2016년 6월 ~ 현재 : 방위사업청 (해군소령)

<관심분야>

시스템 공학 분석 및 기술(SE Analysis & Technology), Data Science, Concept Design, Set-Based Design

### 이 재 천(Jae-Chon Lee)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1979년 2월, 1983년 8월 : KAIST 통신시스템 (석/박사)
- 1984년 9월 ~ 1985년 9월 : 미국 MIT Post Doc 연구원
- 1985년 10월 ~ 1986년 10월 : 미국 Univ. of California 방문연구원
- 1990년 2월 ~ 1991년 2월 : 캐나다 Univ. of Victoria (Victoria, BC) 방문교수
- 2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 미국 Stanford Univ. 방문교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>

시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), Systems Safety, System T&E, Modeling & Simulation