

## SE 기반 기술검토 및 요구사항 관리 프로세스의 통합을 통한 잠수함 기본설계 프로세스의 개선

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

<sup>1</sup>아주대학교 시스템공학과, <sup>2</sup>방위사업청

### Improvement of Basic Design Process for Submarines by Integration of SE-Based Technical Review and Requirements Management Process

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 다양한 탑재장비들과 함정 플랫폼이 통합되어 성능을 발휘해야 하는 복합 무기체계이면서, 장기간의 획득기간이 소요되고 시제품이 바로 전력화 되어야 하는 특징으로 인해 독자적인 개발프로세스를 적용해 왔다. 그러나 최근 기술의 발전과 탑재장비의 복잡화에 따라 함정 획득 분야에도 시스템공학(SE) 절차의 적용이 필수불가결하게 되었다. 그럼에도 불구하고 함정 설계에서 아직까지 SE 절차는 기존의 절차와 융합되지 못하고 별도의 체계로 관리되고 있는데, SE 절차를 반영한 실질적인 통합 프로세스가 아직 정립되어 있지 않기 때문이다. 다양한 함정에 대해 SE 절차의 적용 및 설계 방법 개선 연구가 수행되었으나 통합 측면에서 성과는 부족하였다. 따라서 함정을 설계할 때 적용할 수 있는 SE 기반 통합 프로세스 연구가 필요하다. 본 논문에서는 기존 기본설계 프로세스와 SE 기반 프로세스의 통합을 통해 잠수함 기본설계 프로세스를 정립하였다. 이를 위해 함정 기본설계와 병행하여 SE 기반의 기술검토인 체계요구조건검토(SRR), 체계기능검토(SFR), 기본설계검토(PDR)을 수행하는 방법론을 제시하였다. 그리고 체계요구사항명세서(SSRS), 체계/부체계규격서(SSS), 체계/부체계설계기술서(SSDD) 등의 요구사항 문서들의 생성 및 관리를 위한 효율적인 프로세스를 연구하였다. 이러한 2가지의 프로세스를 통합하여 개선된 SE 기반 기본설계 프로세스를 구축하였다. 구축된 프로세스의 적용성을 평가하기 위하여 현재 기본설계를 진행 중인 잠수함에 적용한 결과를 제시하였다. 이를 통해 잠수함의 효과적인 요구사항 관리, 산출물 작성 및 설계반영이 가능하였고, 요구사항과 추적성을 가진 각각의 산출물은 기본설계 시험평가 자료로도 즉각적으로 활용이 가능함을 확인하였다. 잠수함 이외에도 건조중인 다양한 함정 설계에서도 본 연구의 SE 기반 함정 기본설계 프로세스의 유용성이 기대된다.

**Abstract** Military vessels are complex weapon systems consisting of various integrated onboard equipment. Since their acquisition of military equipment takes a long period of time and a prototype ship is deployed and tested, vessel development has relied on its proprietary process. However, due to the growing complexity of onboard equipment technology, application of systems engineering (SE) process has become indispensable. Nonetheless, an effective design process complementing the existing design with the SE has not yet been developed. As such, we have studied an improved basic design process for submarines based on SE. To do so, we analyzed the processes for the basic design, technical review, and requirement management. Included reviews and requirements are SRR, SFR and PDR, and SSRS, SSS, and SSDD. By combining the results in the SE framework, we built an improved basic design process that can be applied in parallel with the SE-based technical review and requirement management. To assess the process, we applied our proposed model to the submarine development undergoing the basic design phase. It is possible to effectively manage the requirements, design artifacts and improve traceability, and also utilize them as test and evaluation materials. The SE-based basic design process is expected to be useful in other kinds of vessel design.

**Keywords** : Ship design, Submarine design, System Engineering, System Engineering Technical Review, Requirement Engineering

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

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

Received August 21, 2018

Accepted November 2, 2018

Revised (1st September 7, 2018, 2nd September 27, 2018)

Published November 30, 2018

## 1. 서론

함정은 다양한 장비들이 탑재되고, 그러한 장비들이 통합된 성능을 발휘하는 복합시스템이다. 기술 발전에 따라 함정에 탑재되는 각 시스템은 점차 복잡하고 고도화 되고 있으며, 함정 성능도 과거에 비해 빠른 속도로 향상되고 있다. 반면 각각의 시스템들이 함정 차원에서 최적화되어 상호 연동되지 못한다면 성능이 우수한 시스템들도 무용지물이 될 수밖에 없다. 최근 많은 함정 설계 및 건조에서 조선소가 중점적으로 관심을 갖고 신경을 쓰는 부분은 바로 함정 통합 측면의 성능 발휘이다[1].

함정 건조는 군의 소요제기로부터 시작한다. 함정 주요 성능은 함참의 소요결정에 따라 요구사항이 되며, 이를 토대로 방위사업청은 함정의 설계 및 건조 사업관리를 수행한다. 최근 기술 발전으로 군은 다양한 성능과 신규 시스템 탑재를 광범위하게 요구하는 추세이다. 따라서 개발 중인 체계와 기존 장비, 그리고 함정의 성능을 체계적으로 통합하고 관리하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 군의 최초 요구사항은 개략적인 부분만을 명시하고 있기 때문에 함정의 상세설계 이전 기본설계 단계에서 시스템 측면의 요구조건을 구체화하고 대안을 검토하며, 최적화 측면에서 통합 성능을 발휘할 수 있도록 준비해야 한다. 도출된 체계요구조건은 개발자를 위한 요구규격이며, 검증 방법의 구체화 및 확인, 시험평가의 효율성 측면에서 기준이 되기 때문에 이러한 전반적인 성능을 결정짓는 함정의 기본설계 단계는 매우 중요한 단계이다[2].

국방 무기체계 획득사업에서는 요구사항을 체계적으로 구현하기 위해 2010년 이후 SE 기반 프로세스를 의무적으로 적용하고 있다. 함정은 그 특수성을 고려하여 별도의 획득절차를 유지하였으나, 2012년 6월 이후 동일한 절차를 따르도록 제도가 개선되었고, SE 기반 프로세스 적용은 함정 설계 및 건조를 수행함에 있어 계약적으로 요구되고 있다. 따라서 각 조선소들은 SE 기반 프로세스를 적용 하고 있으나, 아직까지 SE 절차는 현장에 제대로 정착되지 못하고 있다. 조선소는 SE 기반 절차를 단순히 계약 이행을 위한 요소로만 인식하며, 기존의 절차와 결합되지 못한 채 비효율적으로 각각의 절차가 상호 혼재되어 있는 것이 현실이다[3].

본 논문은 현재 함정 획득 프로세스를 고찰하고, 체계적인 SE 기반 기술검토 및 요구사항 관리를 위한 개선된

SE 기반 잠수함 기본설계 프로세스를 제시하였다. 함정 획득 단계 중 소요군의 요구사항으로부터 대안을 검토하고 설계결과를 도출하는 기본설계 단계를 중점으로 연구를 수행하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 1장은 함정 무기체계 특성과 설계 프로세스 관련 연구 동향에 대해 기술하였고, 2장은 함정 설계 및 건조 프로세스와 관련된 연구 분석을 통한 문제정의, 연구 목표를 기술하였다. 3장은 SE 기반 기본설계 개선 프로세스, SE 기술검토 및 요구사항 관리 프로세스를 제시하였고, 4장은 잠수함 설계에 적용하여 구체적인 예시를 보였다. 마지막으로 5장은 연구수행 결과와 향후 연구과제를 정리하였다.

## 2. 관련연구 및 문제정의

### 2.1 함정 획득 프로세스

장기 소요결정 이후 방위사업청은 소요군과 함께 개념설계를 포함한 선행연구를 수행한다. 선행연구 결과를 바탕으로 주요 작전운용성능을 포함한 중기소요가 결정되고, 방위사업청은 조선소를 통해 탐색개발을 수행한다. 탐색개발 시 함정의 기본설계가 수행하며, 이때 소요 문서상의 작전운용성능(ROC<sup>1)</sup>)과 개념설계를 통해 작성한 함정건조기본지침서(TLR<sup>2)</sup>)를 구체화한다. 기본설계는 예비설계와 계약설계로 구분하여 진행하며, 요구사항 구현을 위한 각 분야별 설계 대안 검토 및 최적 방안 선정, 설계 산출물 작성 및 최산화, 체계 통합 관점에서 함정 및 탑재장비의 성능, 사양을 확정한다. 또한 함정 체계개발을 위한 개략적인 도면을 작성하며, 상세설계를 위한 함정건조기술사양서(TLS<sup>3)</sup>)를 확정한다. 최종적으로 설계 결과 자료에 의해 함정 기본설계 시험평가를 수행하고, 요구하는 성능 구현이 가능한 지 확인 후 체계개발 단계에 진입하게 된다[4]. 함정 획득 프로세스는 Fig. 1과 같다.

1) ROC : Required Operational Capability(작전운용성능)  
2) TLR : Top Level Requirement(함정건조기본지침서)  
3) TLS : Top Level Specification(함정건조기술사양서)

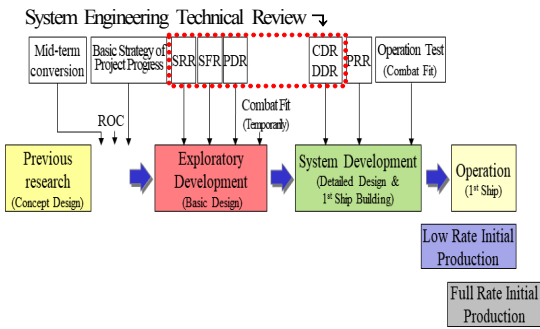


Fig. 1. Ship acquisition Process[5]

함정 획득 단계에서 요구사항을 구체화하고 대안을 선정하여 설계에 반영하는 대부분 업무는 설계 초기인 개념설계 및 기본설계를 통해 수행된다. 따라서 함정의 설계개념 정립, 대안 결정 기법의 연구는 대부분 개념설계 또는 기본설계 단계를 중점으로 수행되고 있다. 미국 등 주요 선진국은 함정 초기 설계단계에서 요구사항을 구체화하고 관리하기 위한 설계 절차 정립 연구를 지속적으로 수행하고 있다[6]. 이러한 흐름에 맞춰 국내에서도 유사한 연구들이 수행되고 있으며, 선진국의 프로세스를 일부 도입하여 국내에 적합하도록 개선한 연구가 많이 있다[7]. 또한 함정을 제한된 기간 내에 요구조건을 충족하는 다양한 대안들을 분석하여 최적방안을 선정하기 위한 기법으로 Set Based Design 방법 등을 활용, 함정 건조에 적용하고자 하는 연구가 수행되고 있다[8].

### 2.2 SE 기반 함정 기본설계 프로세스

기존 함정 획득절차는 소요군의 건조가능성 검토를 시작으로 개념설계, 기본설계, 상세설계 및 함 건조의 절차에 따라 함정 획득 업무가 진행되었다. 그리고 2012년 6월 함정 획득 제도 개선 이후 개념설계는 선행연구, 기본설계는 탐색개발, 상세설계 및 선도함 건조는 체계개발, 후속함 건조는 양산단계로 분류하고 있으며, 일반 무기체계와 같이 SE 기술검토 절차를 따르도록 변화하였다. 소요 결정이후 조선소는 탐색개발 단계에서 군의 작전운용성능(ROC) 및 함정건조기본지침서(TLR)를 기준으로 SE 기반의 함정 기본설계 프로세스를 수행해야 한다.

함정의 소요군 요구사항은 체계요구조건과 사업관리 요구조건으로 구분한다. 체계요구조건은 이해관계자 요구사항을 설계자가 이해할 수 있도록 변환한 함정 플랫

폼 차원의 기술적 요구조건을 의미하며, 사업관리요구조건은 계약적/규정적으로 관리되어야 하는 요구조건이다. 설계 측면에서 중요한 체계요구조건을 정의하고 설계에 반영하기 위하여 체계요구조건검토(SRR), 체계기능검토(SFR), 기본설계검토(PDR)를 수행하며, 각 단계별 주요 산출물을 작성하게 된다. 방위사업청의 SE기반 기술검토회의 가이드북(방위사업청, 2017년)에 따르면 주요 산출물은 Table 1과 같으며, 사업 특성에 맞게 조정하여 적용할 수 있다. 이는 일반 무기체계를 기준으로 한 것으로 함정에서는 적절히 조정할 필요가 있으며, 현재 함정에서 작성이 필요한 주요 산출물이 명확히 정의되어 있지는 않다. 본 연구에서는 함정 설계에서 작성이 필요한 주요 산출물을 3장에서 제시하였다.

Table 1. Technical Review Output[9]

	SRR	SFR	PDR
Purpose	Review that user requirements are properly reflected as system requirements for weapons development	Review that the system requirements are appropriately reflected in the weapon system functional requirements (setting the functional baseline)	Review the basic design completeness of the geometric items of the system/subsystem (assignment standard setting)
Outputs	-SSRS -SDP -System Specification (Draft) -ICD(Draft) -SRR Report -P-Temp	-System Specification -SSDD(Draft) -HRS(Draft) -SRS(Draft) -ICD -SFR Report	-SSDD -HRS -SRS -HDD(Draft) -SDD(Draft) -IDD(Draft) -Development Specification(Draft) -ICD -PDR Report

미국의 국방획득제도는 개발 초기단계의 대안검토와 의사결정 활동을 강조하고 있으며, 제한된 예산과 획득 기간의 단축을 위해 SE 기반의 프로세스를 적용하고 있다. 또한 미 해군 대학원, 버지니아공대 등을 중심으로 TSSE(Total Ship Systems Engineering) 기반의 함정 획득 프로세스를 적용하여 함정을 직접 설계해 봄으로써 함정의 설계 프로세스에 SE를 적용하기 위한 구체적인 방법을 발전시키고 있다[10]. 미국의 SE 프로세스는 운전자 요구사항으로부터 요구사항 분석, 기능분석 및 할당, 통합, 시스템 분석 및 통제와 지속적인 검증 활동을 기반으로 하며, 지침서, 매뉴얼 등을 통해 구체화 된다. 또한 주요 산출물 간의 추적성 관리와 단계별 관계를 Fig. 2와 같이 예를 들어 제시하고 있다.

### 2.3 요구사항 관리 프로세스

하나의 시스템을 제작하기 위해서는 요구되는 운용자 요구사항은 다양하다. 운용자 요구사항은 설계 구현을 위한 기술적 요구조건으로 구체화되어 이해관계자의 검토를 통해 확정된다. 이후 체계기능검토(SFR), 기본설계 검토(PDR) 등을 통해 지속적으로 이해관계자들과 협의하고 최신화하여 관리된다.

또한 설계 기간 중 변경이 필요한 요구조건은 단계별 기술검토를 통해 적절성을 확인하여야 한다. 만약 변경되는 요구조건이 이전에 합의한 요구조건과 관련이 있거나, 변경을 요구하는 것이라면, 이전 요구조건을 합의의를 통해 변경하고, 이력을 관리하여야 한다. Fig. 3을 통해 설계 진행은 지속적인 요구조건 관리와 변경에 대한 합의과정임을 알 수 있다.

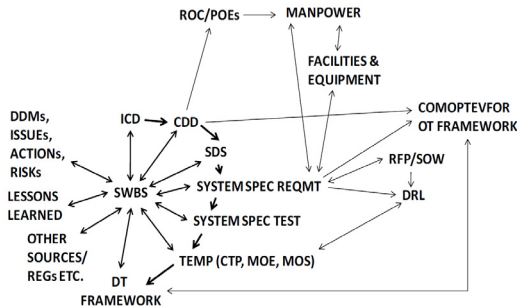


Fig. 2. Example of Typical Requirement Traceability Flow[11]

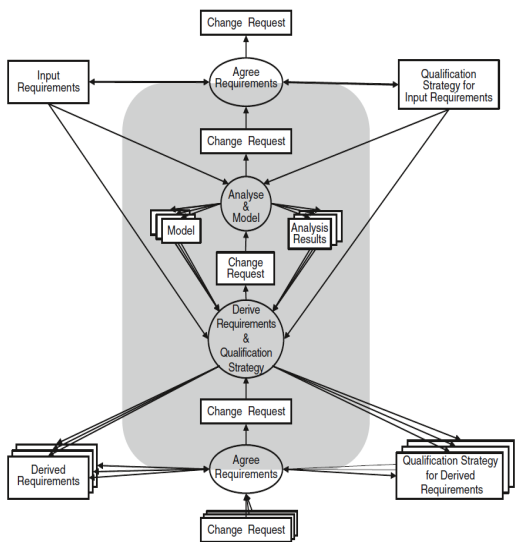


Fig. 3. Engineer Requirements Process[12]

### 2.4 문제정의 및 연구 목표

SE 기반의 획득 절차는 다양한 요구사항을 효과적으로 관리하고 설계에 적용하기 위해 도입되었으며, 제도적으로 명시하고 있는 절차, 기술검토, 산출물 등은 미국과 유사하다. 그러나 단계별로 무엇을 해야하는 지에 대해서는 명시하고 있으나, 아직까지 어떻게 해야하며, 그 결과를 어떻게 활용해야 하는 지에 대한 명확한 프로세스가 없어 함정 설계에 실질적인 활용도는 미흡한 상황이다.

함정사업에 SE 기반 설계 적용에 대한 연구가 다양하게 수행되고 있으나, 아직까지 이론적인 부분에 치중되어 있고 실제 함정에 적용하기 위한 실질적인 방법론의 제시는 부족하다[13]. 또한 함정의 획득제도 개선을 위해 많은 연구가 수행되어 왔으나, 함정의 획득 절차 및 설계 방법 개선을 위한 연구와 SE 기반의 함정 설계 적용 연구가 개별적으로 수행됨에 따라 실제 제도적으로 수행되어야 하는 SE 기반의 함정 설계 프로세스의 구현은 요원한 실정이다. 현재와 같이 SE를 함정 설계의 목적으로 인식하고 적용하는 것은 설계의 복잡도만 향상시키고, 장애요소로 작용할 수 밖에 없으며, 실질적인 수단으로 활용하기 위해 SE 기반 설계 프로세스 개선이 필요하다.

본 연구에서는 SE 기반의 함정 기본설계를 수행하기 위한 단계별 주요 기술검토 및 효과적인 요구사항 관리 프로세스를 제시하였다. 그리고 실제 함정의 설계에 적용해 봄으로써 이러한 방안을 통해 함정의 기본설계 시험평가와 체계개발을 효율적으로 수행할 수 있음을 검증해 보고자 한다.

## 3. SE 기반 기본설계 프로세스

### 3.1 SE 기반 기본설계 프로세스 개선

함정 기본설계 단계 최초 요구사항은 작전운용성능(ROC)과 함정건조기본지침서(TLR)에 의해 주어진다. 우선 기본설계 전반부에 해당하는 예비설계 단계에서 요구사항을 분석하고 요구사항 구현을 위한 기능을 분석하여 기능아키텍처와 물리아키텍처를 작성하는 아키텍처 설계를 진행한다. 아키텍처 설계 결과를 바탕으로 함정 SWBS 분야별 검토보고서 및 도면을 작성하며, 기본설계 후반부인 계약설계 단계를 통해 결과를 구체화하고

최적 대안을 반영하여 각각의 설계결과를 통합한다.

SE 측면에서 군 요구사항을 명확히 반영하기 위한 기술검토는 체계요구조건검토(SRR), 체계기능검토(SFR), 기본설계검토(PDR)가 있으며, 단계별로 요구사항을 정의하고 구체화한 산출물을 작성한다. 기본설계 결과 각 산출물과 분야별 설계를 반영한 함정건조기술사양서(TLS)를 작성하고, 시험평가를 통해 군 요구사항 충족여부를 확인하게 된다.

함정 기본설계 설계 절차와 SE 절차는 별도의 절차가 아닌 상호 보완적으로 수행되어야 하며, 각각의 결과는 다음 단계의 입력으로 고려되어야 한다. 각각의 절차를 통합한 개선된 SE 기반 기본설계 프로세스를 Fig. 4에서 제시하였다. 함정 설계 프로세스와 병행하여 수행하는 SE기반 기술검토 및 요구사항 관리 프로세스는 3.2절, 3.3절에서 제시하였다. 기존의 함정 설계 절차와 SE 기술검토는 개별적으로 수행되어 상호 결과를 활용하고 유기적으로 통합되지 못하였고, SE 방법론을 설계에서 적절히 활용하지 못하였다. Fig. 4를 통해 함정 설계, SE 기술검토 및 요구사항 관리절차는 최종 설계결과를 완성하기 위해 하나의 프로세스로 구현될 수 있음을 확인할 수 있다.

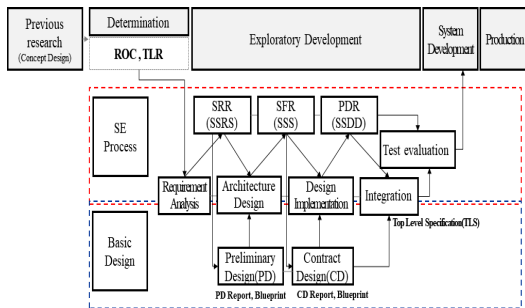


Fig. 4. Improvement process of basic design and SE

### 3.2 SE 기반 기술검토 프로세스

함정 기본설계 단계 SE 기반 각각의 기술검토 조건, 절차, 방법은 다음과 같다. 체계요구조건검토(SRR)를 통해 군 요구사항은 체계요구조건으로 합의되어야 하며, 이를 바탕으로 모든 설계가 진행되어야 한다. 따라서 계약초기 군으로부터 제시된 요구사항의 분해 및 분석, 기능 및 물리 아키텍처(안) 정의, 체계요구조건(안) 작성, 기본설계 기간 중 확인할 주요 성능측정 요소(안)을 도출한 이후 모든 이해관계기관이 참여한 가운데 체계요구

조건검토(SRR)를 실시한다. 주요 검토 항목은 개발기관 요구조건 항목의 식별 및 분석의 적절성, 요구조건의 타당성, 완료 및 검증 가능성, 체계요구조건을 기준으로 한 기능 베이스 라인을 도출이다. 이를 통해 최종적으로 체계요구사항명세서(SSRS)를 작성한다.

체계기능검토(SFR)는 기본설계 시 예비설계를 통해 함정의 주요 사양, 성능 기준과 관련된 목적문건을 작성하고 검토가 완료된 시점에 수행한다. 주요 검토 항목은 체계요구조건검토(SRR)의 후속조치 사항 이행 확인, 체계요구조건 확정 및 검증기준 도출, 설계 구현 확인, 주요 체계의 기능 적절성 및 설계 검토, 체계요구조건 기반의 기능베이스라인 확정이다. 이를 통해 체계규격서(SSS)를 작성한다.

기본설계의 마지막 기술검토 단계인 기본설계검토(PDR)은 예비설계 이후 계약설계를 통해 함정의 주요 사양, 성능 기준과 관련된 목적문건을 작성하고 검토가 완료된 시점에 수행한다. 주요 검토항목은 기본설계 시험평가 관점에서 군 요구사항의 설계 충족성, 함 운용성 및 특수성능 검토, 설계결과의 주요 사양 및 성능기준 충족성 확인, 각 시스템 기능 측면에서 할당 베이스라인 확정이다. 이를 통해 체계/부체계설계기술서(SSDD)를 작성한다.

각각의 요구조건과 설계 결과가 후속단계 기술검토에서 원 요구사항이나, 이전 단계 설계 결과의 변경사항 발생 시 Fig. 3의 요구사항 관리 프로세스와 같이 변경 적절성에 대한 기술검토와 변경 이력관리를 수행하여야 한다.

### 3.3 SE 기반 요구사항 관리 프로세스

함정 설계 단계에서 작성되는 모든 산출물은 최초 요구사항을 구체화하여 정의하고, 이를 설계에 반영하여 그 결과를 기록한 요구사항 문서이다. 기존 함정 설계 산출물 이외에 SE 기반 함정 설계에서 작성이 요구되는 문서를 Table 2에 제시하였다. 체계요구조건검토(SRR)를 통해 체계요구사항명세서(SSRS), 체계기능검토(SFR)를 통해서 체계/부체계규격서(SSS), 기본설계검토(PDR)을 통해서 체계/부체계설계기술서(SSDD)를 완성하며, 각각의 문서들은 원 요구사항부터 설계 결과에 이르기까지 일련번호를 부여하여 Table 3에 제시한 바와 같이 각 항목별 상호 추적성을 보유하여야 한다.

체계요구사항명세서(SSRS)는 사용자 요구사항분석

결과로 체계요구조건검토(SRR)의 검토 및 결과자료가 되며, 이후 설계과정에서 원 요구사항 추적 확인을 위해 활용된다. 체계/부체계규격서(SSS)는 체계요구조건을 기능, 성능, 인터페이스 등의 카테고리별로 구분하고 시험평가 관점에서의 검증 기준 및 대상 문서를 정의한다. 체계/부체계설계기술서(SSDD)는 기본설계기간의 모든 기술검토를 통해 최종 정리된 산출물이며, 체계요구조건 및 검증기준에 따른 설계결과가 해당 검증 대상문서에 누락없이 반영되고 있음을 확인하고 추적할 수 있다.

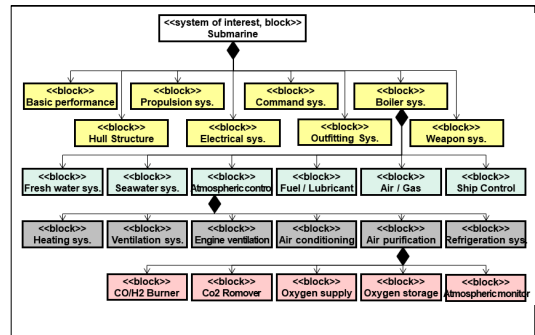


Fig. 5. SWBS of The Submarine

Table 2. Technical Review Output For Ship Design

	Input	Output
SRR	ROC, TLR, ORD, SSRS(D)	SSRS(F), SSS(D) SRR Report
SFR	SSRS(F), SSS(D)	SSS(F), SSDD(D), SFR Report
PDR	SSS(F), SSDD(D),	SSS(U), SSDD(F), PDR Report, TLS(D), BS(D)

\*D(Draft), F(Final), U(Update)

Table 3. Requirement Traceability Management

SSRS	Original Req. no.	Original Req.	-	System Req. no.	System Req.
	R-001	-	-	SR-0001	-
SSS	System Req. no.	System Req.	-	Verification document name	Design result no.
	SR-0001	-	-	-	Design-010-001
SSDD	System Req. no.	-	Design result no.	Design result	-
	SR-0001	-	Design-010-001	-	-

## 4. SE 기반 잠수함 기본설계 및 요구사항 관리

### 4.1 SE 기반 잠수함 기본설계 수행

SE 기반의 기본설계 프로세스 적용을 위해 국내 독자 설계 진행 중인 장보고-III Batch-II 잠수함 기본설계에 적용하였다. 잠수함의 각 분야는 SWBS (Ship Work Breakdown Structure)에 따라 Fig. 5와 같이 8개의 분야로 분류하여 하위단계로 세분화하였다.

잠수함의 작전운용성능(ROC)과 함정건조기본지침서(TLR) 및 운용요구서(ORD)를 기준으로 함정의 요구사항을 분석하였다. 요구사항은 각각 일련번호를 부여하고 요구조건으로서의 적절성을 분석한 후 체계요구사항명세서(SSRS)를 Table 4와 같이 작성하였다. 그리고 해군, 방위사업청, 국방과학연구소 및 외부 전문가 등 관련되는 이해관계자를 통해 체계요구조건검토(SRR)를 수행하였다. 최종적으로 일반 사업관리요구조건을 제외한 기술적 요구조건 1,053건을 체계요구조건으로 도출하였다.

도출한 요구조건을 바탕으로 각 분야별 설계를 진행하면서 설계 구현가능성을 확인하고 아키텍처 설계를 진행하였다. 예비설계를 통해 설계보고서 및 개념도, 계통도와 같은 도면 등을 351건 작성하였고, 작성된 문건은 관련기관 검토를 반영하여 수정, 보완하였다. 이러한 예비설계 결과를 반영하여 체계/부체계규격서(SSS)를 Table 5와 같이 작성하였고, 이를 기준으로 체계기능검토(SFR)를 통해 체계요구조건을 확정하고, 잠수함 및 각 탑재장비의 성능기준인 기능베이스라인을 확정하였다. 체계기능검토(SFR) 시 각 분야별 운전자 관점의 설계결과를 확인하는 1차 설계검토를 병행하여 실시하였다.

체계기능검토(SFR)와 1차 설계검토 결과를 반영하여 기본설계의 다음단계인 계약설계를 진행하였으며, 계약설계를 통해 각 보고서, 도면 등 375건을 작성하였고, 예비설계 대비 설계를 구체화하였다. 예비설계와 마찬가지로 각 분야별 작성된 문건은 관련기관 검토결과를 반영하여 수정, 보완하였고, 이러한 설계결과를 기준으로 Table 6과 같이 체계/부체계설계기술서(SSDD)를 작성하였다. 계약설계의 각 산출물은 기본설계검토(PDR)를 통해 요구사항의 최종 설계 반영여부 확인, 시험평가 관점의 충족여부 등을 확인하였다. 또한 체계기능검토



(SFR)와 동일하게 분야별 운전자 관점의 설계결과를 확인하는 2차 설계검토를 병행하여 실시하였다.

#### 4.2 SE 기반 잠수함 기본설계 기술검토 및 요구사항 관리

기본설계검토(PDR)를 통해 도출된 체계요구사항명세서(SSRS), 체계/부체계규격서(SSS), 체계/부체계설계기술서(SSDD)와 각각에 연관된 설계결과물들과 작전운용성능(ROC), 함정건조기본지침서(TLR) 간의 추적성 관리를 위해 Table 3과 같이 원 요구사항, 체계요구조건, 그리고 설계결과에 대한 일련번호를 통해 추적성을 관리하였다. 이를 통해 원 요구사항에서 최종 설계결과까지 효과적으로 확인이 가능하였다. 또한 각각의 설계보고서에 Table 7과 같이 요구조건 추적표를 작성하여 설계결

과의 요구조건 충족여부를 정확히 확인할 수 있도록 하였다.

또한 요구조건의 구체화 및 설계 과정에서 이전 단계에서 협의된 사항의 수정이 필요한 사항은 체계기능검토(SFR), 기본설계검토(PDR)를 통해 수정하고, 원 요구사항과 관련이 있는 사항은 상위 단계의 위원회를 통해 수정하였다. 이에 따라 장보고-III Batch-II는 체계요구조건으로 분류한 1,053건을 체계기능검토(SFR), 기본설계검토(PDR)를 통해 요구조건 통합, 부적절 내용의 수정 등을 하였다. 또한 함정의 작전운용성능(ROC), 함정건조기본지침서(TLR) 등과 관련이 있는 94건은 적절성을 검토 후 향후 범규에 따른 절차에 따라 변경할 수 있도록 준비하였다.

Table 4. SSRS(System Subsystem Requirements Specification)

SWBS	class	Original Req. no.	Original Req. (Contents)	Clarity	Competitiveness	accuracy	Feasibility	Completeness	Uncertainty	Uniqueness	Verifiability	Redundancy	Connectivity	contradiction	System Req. no.	System Req. (D)
100	ROC	R-001	displacement : 0,000ton	X	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	SR-0001 (D)	The light load displacement shall be 0,000tons (±00%)

Table 5. SSS(System Subsystem Specification)

SWBS	System Req. no.	System Req.	Req. Type	Importance	Original Req. no.	Verification level	Verification method (IADT)	Acceptance criteria	Form of verification document	Verification document no.	Verification document name	Design result no.
100	SR-0001	The light load displacement shall be 0,000tons(±00%)	Performance	Mandatory	R-001	Vessel	inspection (I)	Confirm that the tonnage of sea water is below 0,000tons±00%	Design report	CR-001-0001	Weight estimation report	Design-010-001

Table 6. SSDD(System Subsystem Design Description)

SWBS	System Req. no.	System Req.	Importance	Design result no.	Design Result	Form of verification document	Verification document no.	Verification document name	Chapter / Section / Table / Picture	Satisfaction
100	SR-0001	The light load displacement shall be 0,000tons(±00%)	Mandatory	Design-010-001	The tonnage of sea water is designed to be 0,000tons±00%	Design report	CR-001-0001	Weight estimation report	2.3	O

Table 7. Requirements Tracking Table

Requirement(Input from SSS)									Design Result(Output from SSDD)				
SWBS	System Req. no.	Original Req. no.	Importance	Lev.	System Req.	Verification method (IADT)	Acceptance criteria	Verification no.	Design result no.	Design Result	Chapter / Section / Table / Pic.	Satisfaction	
100	SR-0001	R-001	M	Vessel	The light load displacement shall be 0,000tons(±00%)	inspection (I)	Confirm that the light load displacement is below 0,000tons ±00%	TEST-100-0001	Design-100-001	The light load displacement is 0,000.00tons, which satisfies the requirement of 0,000tons±00%.	Chapter 6-1 ~ 6. 2.3 Table. 8, 9, 26	O	

### 4.3 SE 기반 잠수함 기본설계 결과

SE 기반 잠수함 기본설계 수행은 짧은 기간에 효과적인 설계 완료를 위한 이상적인 기본설계 수행 프로세스임을 확인하였다.

개선된 프로세스를 통해 ① 설계 요구조건 식별, 검토, 구체화를 통한 설계 효율성 향상 및 오류 최소화, ② 소요문서와 설계 산출물과의 연계성 확보 및 중복내용 최적화 가능, ③ SE 기술검토 주요 산출물 및 효과적인 문서관리 가능, ④ 요구조건에 대한 이력 및 설계 결과와의 추적성 관리 가능, ⑤ SE 절차의 실질적 활용을 통한 요구사항의 설계 반영 성숙도 향상이 가능하였다. 그리고 기본설계의 최종 목표는 시험평가를 통해 잠정 전투용 적합 판정을 받고 상세설계 및 함 건조를 진행하는 것이다. 요구사항의 관리를 통해 주요 산출물인 체계/부체계규격서(SSS), 체계/부체계설계기술서(SSDD) 및 설계 보고서, 도면 등을 활용하여 효과적인 시험평가가 가능함을 확인하였다.

또한 SE 기반의 기본 설계는 설계 진행을 위한 수단이 되어야 한다. 설계자를 포함한 많은 이해관계자들은 이러한 절차를 통해 보다 효과적으로 요구사항을 관리하고, 구체화하며, 그것이 설계에 적절히 반영될 수 있는지를 확인할 수 있어야 한다. 장보고-III Batch-II 기본설계를 진행하면서 각각의 기술검토에 모인 조선소, 소요군, 방사청 및 대외기관 검토위원을 참여시키고, 의견을 수렴한 결과, Table 8과 같이 많은 인원들이 만족하는 성과를 얻었다.

Table 8. Survey result of technical review

	The Number of participants	Evaluation Item	Average Point
SRR	30	Requirements analysis, Management, Technical management, Meeting results evaluation	92.3
SFR	35	System requirement traceability management, Design implementation suitability, Technical management, Meeting results evaluation	94.0
PDR	50	Requirement Management, Outputs Management, Evaluation of major design results	97.3

## 5. 결론

합정과 다수의 탑재체계는 기술의 발전에 따라 고도

화 되고 복잡화 되고 있어 보다 체계적인 관리의 필요성이 증대되고 있다. 조선소는 SE 기반 획득절차를 법규에 따라 의무적으로 준수하고 있으나, 구체적인 통합 프로세스의 미흡, 경험의 부족 등으로 아직까지 실질적인 합정 설계 프로세스와 SE 절차의 통합은 되지 않고 있다.

본 논문에서는 합정의 기본설계를 중심으로 설계 프로세스와 SE 기술검토 및 요구사항 관리 절차를 효과적으로 통합하기 위하여 개선된 SE 기반 기본설계 프로세스를 제시하였다. 제안한 프로세스를 현재 설계 진행 중인 장보고-III Batch-II 잠수함 기본설계에 적용하였다. SE 기반의 단계별 기술검토 및 설계 진행을 통해 효과적인 요구사항 관리, 설계 반영 및 산출물 작성이 가능하였고, 요구사항과 추적성을 가진 각각의 산출물은 기본설계 시험평가 자료로도 즉각적으로 활용이 가능함을 확인하였다. 단계별 설계검토에 참여한 다양한 기관의 이해관계자를 통해서도 제안된 프로세스의 유용함을 확인할 수 있었으며, 향후 잠수함 뿐만 아니라 다양한 건조중인 함정에 SE 기반의 프로세스 적용이 가능할 것으로 판단된다.

최근 복잡한 복합 시스템의 효과적인 설계를 위해 모델기반시스템엔지니어링(MBSE, Model-Based System Engineering) 적용이 강조되고 있으며, 선진국을 중심으로 다양한 요구사항과 다수의 장비가 탑재되는 함정에 MBSE 적용을 위한 연구가 수행되고 있다. 본 논문에서 제안한 프로세스를 기반으로 잠수함 기본설계 요구사항 및 산출물 관리를 MBSE를 통해 수행하고, 시험평가 등에 활용하기 위한 연구가 추가적으로 필요할 것이다.

## References

- [1] J. W. Park, "Recent Early-Phase Naval Ship Systems Engineering for Republic of Korea Navy Surface Combatant Design," Naval Engineers Journal 128(3), pp.103-115, 2016.
- [2] D. H. Jeong, M. I. Roh, S. H. Ham, C. Y. Lee, "Performance analyses of naval ships based on engineering level of simulation at the initial design stage," International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol.9, No.4, pp. 446-459, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2016.12.002>
- [3] B. W. Choi, "Problems and Improvements of System Engineering(SE) Application in Ship Acquisition Phase," Military Academic Service Research Repor, 2016.
- [4] Department of Defense, "Defense Power Generation Directive," 2017.



- [5] J. H. Shin, "System engineering (SE) based Ship Research and development work manual," DAPA, 2013.
- [6] R. Brouwer, "A framework for systems engineering in ship design from a NATO specialist team perspective," Engineering the Total Ship 2008, 2008.
- [7] J. W. Park, "A Study on the Process Integrated and Design Optimization Framework for TSSE-based Early Stage Design," in proc Korea Ocean Science and Technology Council Joint Conference 2010, Jeju, Jun. 3-4, 2010, pp. 887-898
- [8] W. L. Mebane, C. M. Carlson, C. Dowd, D. J. Singer, M. E. Buckley, "Set-based design and the ship to shore connector." Naval Engineers Journal 123.3, 2011, pp. 79-92  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.2011.00332.x>
- [9] DAPA, "SE-based technology review meeting guidebook," 2017.
- [10] 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 2011, Bloomington, Sep. 13-14, 2011. pp. 1-22
- [11] Naval Sea Systems Command, "Ship Design Manager(SDM) and System Integration Manager(SIM) Manual," 2012.
- [12] E. Hull, K. Jackson, J. Dick, "Requirements engineering," Springer, 2017.
- [13] Y. H. Jeong, H. M. Lee, "System engineering based ship acquisition procedure study," In Proc. The Annual Autumn Meeting, SNAK, Mokpo. Nom. 3-4, 2011. pp. 292-296

**신 승 철(Sung-Chul Shin)**

[정회원]



- 2002년 3월 : 해군사관학교 전자공학과 (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), 함정설계, 무기체계연구개발, 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, Ser-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. 방문 교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>

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