

시스템엔지니어링과 CBD 방법론을 활용한 함정 승조원 수 추정 프로그램 개발

황인혁^{1)*}

1) 해군사관학교

Development of a Program for Estimating warship manpower using Systems Engineering and Component Based Development Methodology

In Hyuck Hwang^{1)*}

1) Republic of Korea Naval Academy

Abstract : A decrease in the fertility rate leads to a reduction of troops, so the need to efficiently operate the troops is growing. Therefore, it is necessary to develop a system for estimating warship manpower. In this study, system development was performed according to the CBD methodology. The user requirements were defined and the system function that satisfies the requirements was derived. And through the development process, the CBD methodology and the systems engineering process were compared. As a result, similarities were confirmed in the analysis and concept design stages, so the possibility of merging the two processes was suggested.

Key Words : CBD Methodology, Systems Engineering, Warship Crew Estimation, Software Engineering, MND
CBD Methodology

Received: October 15, 2021 / **Revised:** November 16, 2021 / **Accepted:** December 8, 2021

* 교신저자 : In Hyuck Hwang/Republic of Korea Naval Academy/hinhyuck@hanmail.net

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

2000년대 초반의 급격한 출산율 감소는 현재 학령인구의 감소로 그 영향을 확인할 수 있다. 또한 이러한 현상은 가용병력 자원의 감소로 이어져, 향후 군병력의 감소로 이어질 것이다. 국방부에서는 2024년부터 현역 소요 대비 가용병력 자원이 부족한 상태에 빠지게 될 것으로 예측하고 있다. 이러한 상황에서 최근에 다시 한번 급격한 출산율 감소가 일어나고 있고 20년 후에는 병력 자원 부족 현상이 더욱 심해질 것으로 예상할 수 있다.

이에 따라 대한민국 해군은 함정 승조원을 효율적으로 운영하기 위해 신규 함정에 대한 적정 승조원 수를 추정하기 위한 연구를 수행하고 있다.[1] 기존의 연구는 알고리즘을 중심으로 한 연구로 그 결과를 실제 함정의 설계에 활용하는 과정에서 여러 가지 불편한 점을 가지고 있다. 실적함 데이터의 추가나 적용 대상 함정의 변경과 같은 간단한 기능부터 알고리즘을 개선하거나 변경하는 복잡한 기능까지 모두 전문가의 도움이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 소프트웨어 개발 방법론을 활용한 시스템화를 수행하여 그 불편함을 개선하고자 한다.

소프트웨어를 체계적으로 개발하기 위해 개발자들은 다양한 소프트웨어 개발 방법론을 활용한다. 개발 방법론은 소프트웨어 개발 시간을 단축하고 사용자의 요구사항을 정확하게 파악하여 개발 과정에서 발생하는 위험을 줄이는 역할 등을 수행한다. 국방 분야에서도 이와 유사한 역할을 하는 시스템엔지니어링 프로세스가 존재한다. 국방 시스템 개발을 포함한 국방 획득 프로세스에서 전체 수명주기를 관리하기 위한 프로세스로서 소프트웨어 개발 방법론과 비교했을 때 더 넓은 범위에서의 관리 프로세스이다. 국방 시스템 개발 분야 중 소프트웨어 분야는 시스템엔지니어링 프로세스 외에 컴포넌트 기반의 개발 방법론(Component Based Development 방법론, CBD 방법론)을 기초로 한 국방 CBD 방법론을 활용하고 있다.

본 연구에서는 CBD 방법론을 활용하여 프로그램

개발을 진행하고, ISO/IEC 15288 기반의 시스템엔지니어링 프로세스와의 비교를 통해 CBD 방법론과의 유사성과 차이점을 확인하였다. 그리고 이를 통해 통합 표준 프로세스를 정의하고 상세한 과정에 필요에 따라 테일러링을 통해 적용하는 시스템엔지니어링의 기본 철학에 따라 CBD 방법론의 일부 단계를 시스템엔지니어링 프로세스에 병합할 가능성을 제시하고자 한다.

2. 관련연구현황

함정 승조원 수 추정과 관련한 연구로 본 연구의 선행 연구로 해군 함정 승조원 수 예측 모형에 관한 연구가 있다[1]. 실적함 데이터를 기반으로 회귀분석 모형을 작성하여 향후 건조할 신조함의 승조원 수를 예측하는 방법을 제안하였다. 이 연구의 결과를 본 연구에서 하나의 예측 알고리즘으로 포함하였다.

소프트웨어 개발 방법론과 관련한 연구는 개발 방법론을 새롭게 제안하거나 개선하는 연구가 꾸준히 진행되고 있고, 알려진 방법론을 활용하여 시스템 개발을 진행한 사례 연구도 진행되고 있다.[2] CBD 방법론은 2000년대 초반 국내 IT 기술의 발전과 함께 널리 활용되기 시작한 방법론으로 재사용이 가능한 컴포넌트의 조합을 중심으로 개발을 진행하는 방법론이다. 분석, 설계, 구현, 테스트 및 인도의 4단계의 프로세스로 구성되어 있다. 국방 분야에서도 CBD 방법론을 활용하기 위해 국방 CBD 방법론을 제안하고 활용하고 있다.[3] 국방 CBD 방법론은 2000년 개발하기 시작하여 2002년 V1.0을 발표하였다. 그 뒤 두 번의 개정을 거쳐 2010년 이후 국방 CBD 방법론 V2.0을 활용하고 있다.[4]

시스템엔지니어링은 국방 분야를 중심으로 하여 민간 분야에서도 꾸준히 연구되고 있다. 박진원(2019)은 함정 개념 설계 단계에서 프로세스의 개선을 위해 시스템엔지니어링 기반의 설계구조형별 방법론을 활용하였다.[5] 시스템엔지니어링 기반으

<Table 1> Requirement Specification

ID	이름	설명	유형	관련자
R001	합정별승조원추정	지정한 합정에 대한 승조원 수를 추정할 수 있어야 한다.	기능	사용자
R002	계급별 승조원 추정	계급별 인원을 추정할 수 있어야 한다.	기능	사용자
R003	시스템 유지/보수	완성된 시스템의 유지/보수가 용이해야 한다.	비기능	관리자
R004	사용자편의성	시스템 사용 방법이 간단해야 한다.	비기능	사용자, 관리자
R005	알고리즘 품질	기존의 합정 데이터를 기반으로 검증이 가능해야 한다.	비기능	개발자
R006	합정 데이터관리	신규 합정의 데이터를 입력할 수 있어야 한다.	기능	사용자
R007	시스템 업그레이드	시스템의 개선이 용이해야 한다.	비기능	개발자
R008	데이터 수정	입력된 합정 데이터의 수정이 가능해야 한다.	기능	관리자
R009	데이터 추가	합정 데이터의 종류를 추가할 수 있어야 한다.(변수추가)	기능	관리자
R010	데이터 선택	추정에 활용할 합정 데이터를 선택할 수 있어야 한다	기능	사용자
R011	알고리즘 선택	추정식 계산을 위한 여러 알고리즘을 제공해야 한다.	기능	개발자, 사용자
R012	작동환경	윈도우10 환경에서 작동해야 한다.	비기능	개발자

로 분석된 설계 프로세스에 대해 설계구조행렬 방법론을 적용하여 기존 프로세스의 복잡도를 낮출 수 있었고, 그 결과 전체 프로세스의 효율이 증가하였다. 민간 분야에서 시스템엔지니어링을 활용한 연구로 한기인(2019)은 모듈 원자로의 개발 타당성을 검토하기 위해 시스템엔지니어링 프로세스의 요구사항 분석 및 기능분석을 활용하였다.[6] 김준영 외 4인(2018)은 폐열 발전시스템의 경제성 분석을 위한 모듈 설계 과정에서 요구사항 분석과 IDEF0를 활용한 기능분석을 수행하였다.[7] 기존의 시스템엔지니어링 프로세스에 소프트웨어 개발에 적합한 분석 모델을 추가한 모델 기반 시스템엔지니어링 방법을 적용하여 소프트웨어 테스트 케이스 개발에 활용한 연구를 수행한 사례도 있다.[8] 이처럼 소프트웨어 개발을 포함한 다양한 분야에서 시스템엔지니어링을 활용하고 있다.

3. CBD 방법론 기반의 승조원 수 추정 프로그램 개발

3.1 요구사항 파악

소프트웨어 개발을 포함한 대부분의 프로젝트에서 정확한 요구사항을 정의하는 과정은 매우 중요하다. 정확한 요구사항의 파악을 통해 사용자가 필요

로 하는 시스템의 최종 형태에 대한 청사진을 그릴 수 있고 이 청사진을 마지막 단계에서 결과물을 검증하는 도구로 활용하게 된다.

CBD 방법론에서 요구사항 파악 단계는 세부적으로 다시 세 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계는 사용자의 요구사항을 기술하는 요구사항 이해 단계이다. 요구사항 이해 단계의 결과물로 요구사항 기술서를 작성한다. 승조원 수 추정 프로그램의 요구사항 기술서는 합정 설계 전문가 및 합정 승조원의 인터뷰를 기반으로 작성하였다. 표 1은 CBD 방법론에 따라 작성한 요구사항 기술서이다. 요구사항에 대한 ID를 부여하고 요구사항의 이름 및 상세 설명을 작성하였다. 시스템과 사용자의 상호작용 발생 여부에 따라 기능과 비기능 요구사항으로 유형을 구분한다. 문서 작업용 프로그램을 예로 들면 파일 저장, 불러오기, 표 작성 등과 같은 프로그램의 메뉴와 관련된 요구사항은 기능 요구사항이고 프로그램이 제공하는 입출력 파일의 형식의 종류나 제공하는 글꼴의 종류와 같은 프로그램의 동작과 무관한 요구사항은 비기능 요구사항이다. 승조원 수 추정 프로그램의 주요 기능 요구사항은 실적함과 신조함의 주요 데이터를 입력하고 이를 기반으로 신조함의 승조원 수를 추종하는 과정과 관련된 요구사항들이고 비기능 요구사항은 사용자의 편의성과 프로그램의 안정

성 및 호환성과 관련된 요구사항들이다.

CBD 방법론의 요구사항 이해 단계의 결과물인 요구사항 기술서를 시스템엔지니어링 프로세스와 비교해 보았다. CBD 방법론의 요구사항 이해 단계는 시스템엔지니어링 프로세스의 요구사항분석 단계와 일치하며 요구사항 기술서의 형태도 상당히 유사하다. 시스템엔지니어링 프로세스에서는 요구사항의 분류를 세분화하여 정의하고 있다. 시스템엔지니어링의 요구사항은 상태 및 모드 요구사항, 기능 요구사항, 성능요구사항, 외부인터페이스, 환경 요구사항, 자원 요구사항, 물리적 요구사항, 기타 품질 요구사항, 설계 요구사항의 9개로 분류되어 있다.

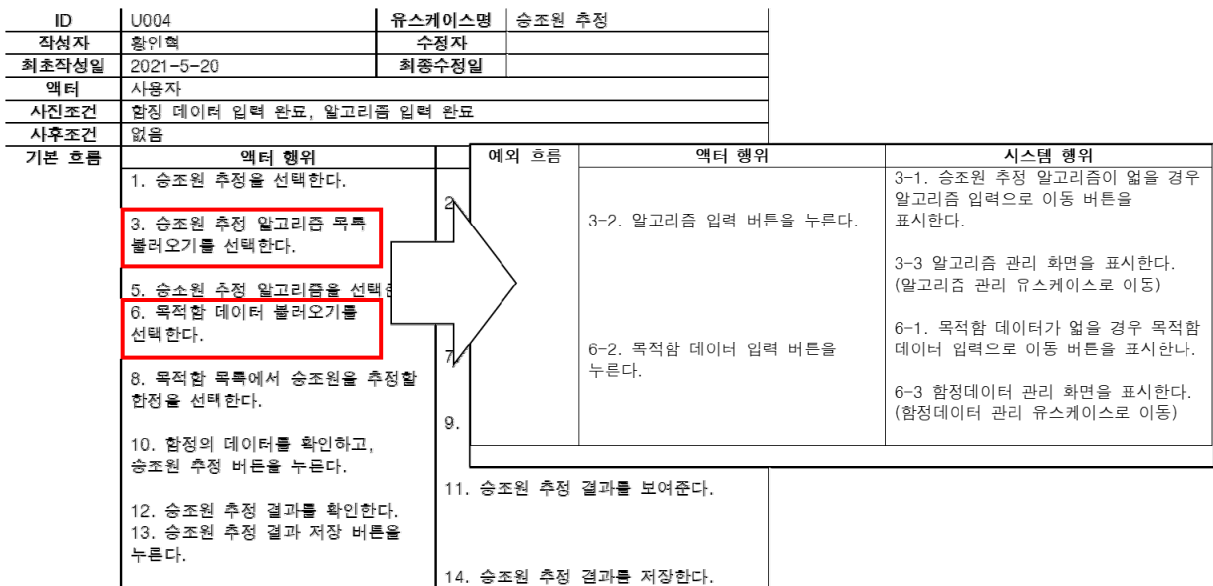
<Table 2> Refinement of Non-Functional Requirement Types

ID	이름	유형
R003	시스템 유지/보수	기타 품질 요구사항, 설계요구사항
R004	사용자편의성	기타 품질 요구사항
R005	알고리즘 품질	외부인터페이스, 기타 품질 요구사항
R007	시스템 업그레이드	기타 품질 요구사항, 설계요구사항
R012	작동환경	환경요구사항

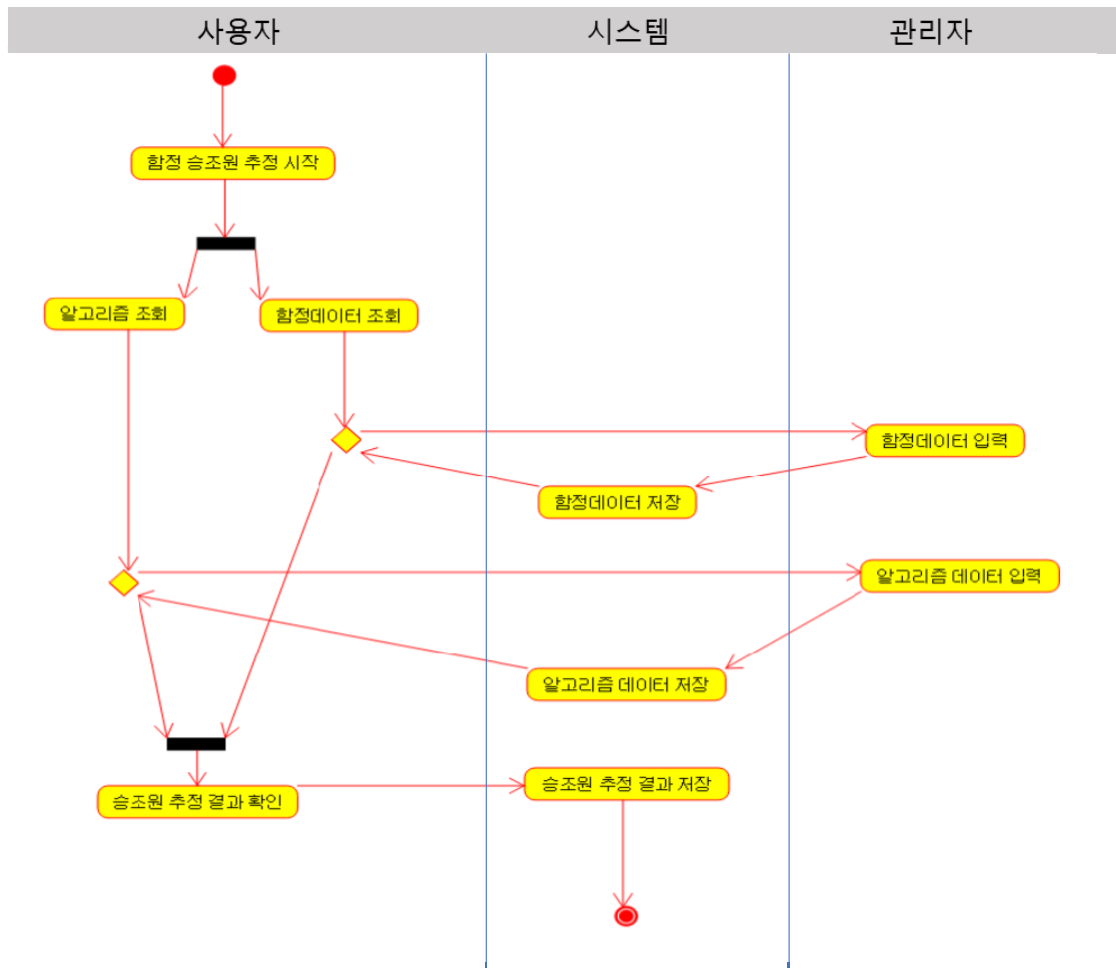
기능 요구사항과 외부인터페이스의 일부가 CBD 방법론의 기능 요구사항에 해당하고 나머지는 모두 비기능 요구사항이다. 표 1에서 작성한 비기능 요구사항을 시스템엔지니어링 요구사항 분류에 맞게 정리하여 표 2와 같이 작성하였다.

요구사항 파악 두 번째 단계와 세 번째 단계는 각각 요구사항 정의, 요구사항 정제 단계이다. 요구사항 정의 단계에서는 요구사항 기술서를 기반으로 시스템을 사용하는 액터를 정의하고 액터가 시스템을 활용하는 행위를 기술하는 유스케이스 기술서를 작성한다. 요구사항 정제 단계는 유스케이스 기술서에 작성된 내용을 구체적이고 간결한 용어로 정리하고 기본 흐름에서 확장하는 대체 흐름과 예외 흐름을 추가로 기술하여 유스케이스 기술서를 정제하는 과정이다. 승조원 수 추정 프로그램의 요구사항 기술서를 기반으로 함정 데이터 관리, 승조원 데이터관리, 알고리즘 관리, 승조원 수 추정의 4개의 유스케이스를 정의하고 각각의 유스케이스에 대한 이벤트 흐름을 작성하여 유스케이스 기술서를 완성하였다.

그림 1은 승조원 수 추정 유스케이스에 대한 유스케이스 이벤트 흐름이다. 승조원 수 추정을 위해 추정 알고리즘과 함정 데이터를 선택하고 승조원 수



[Figure 1] Estimating the Crew Usecase Flow of Event



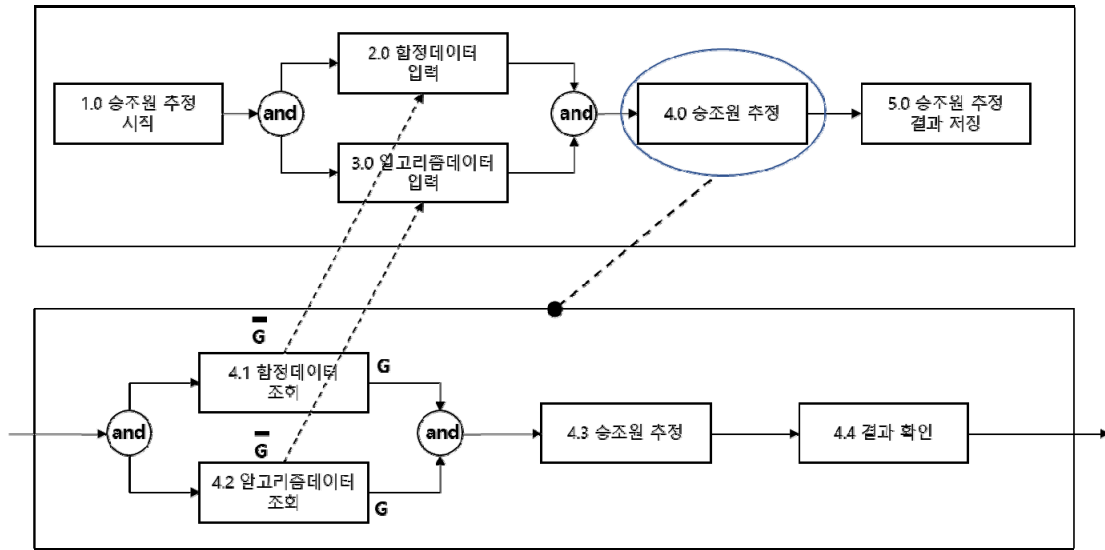
[Figure 2] Activity diagram of Estimating the Crew Usecase

추정을 진행하는 흐름을 나타내고 있다. 요구사항 정제 단계를 통해 입력된 알고리즘이나 함정 데이터가 없을 경우 입력 과정으로 연결되는 예외 흐름까지 작성하여 이벤트 흐름 상세를 완성하였다.

추가로 시스템 및 시스템 사용자의 행위와 행위 사이의 흐름을 표현하는 액티비티 다이어그램을 통해 유스케이스 이벤트 흐름을 시각적으로 표현하여 이해도를 높이는 방법이 있다. 하지만 구체적인 내용이 부족한 단점이 있어 두 가지 방법을 상호 보완적으로 활용한다. 그림 2는 승조원 수 추정 유스케이스에 대한 액티비티 다이어그램을 나타낸다. 유스케이스 이벤트 흐름과 같은 내용이지만 직관적인 흐름의 확인이 가능하다.

CBD 방법론의 요구사항 정의 및 정제 단계는 시

스템엔지니어링 프로세스의 기능분석 및 할당과 연결할 수 있다. 이 단계에서는 기능을 논리적 순서에 따라 정리하고 상하위 기능 레벨을 분해하는 작업을 수행한다. 이 가정에서 기능흐름블록선도(FFBD, Functional Flow Block Diagram)나 IDEF (Integration Definition)와 같은 시계열 분석 도구를 활용한다. 그림 3은 승조원 수 추정 유스케이스에 대한 기능흐름블록선도이다. 기능흐름블록선도와 액티비티 다이어그램을 비교하였을 때 작성된 다이어그램의 형태는 다르지만 같은 기능 활용 시나리오를 담고 있고 상호 빠지는 내용이 없는 것을 확인할 수 있었다. 실제 시스템엔지니어링 프로세스에서 기능분석을 수행하는 과정은 CBD 방법론과 비교했을 때 더 복잡하고 구체적이다. 다양한 시계열 분석



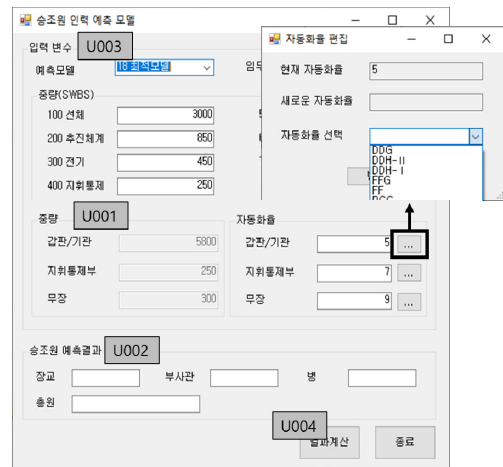
[Figure 3] Functional Flow Block Diagram of Estimating the Crew Usecase

방법 또한 제시하고 있다. 하지만 시스템엔지니어링은 테일러링이라는 높은 수준의 유연성을 제공하고 있기 때문에 프로젝트의 성격에 따라 적절한 분석 방법을 활용할 수 있고, 모델 기반의 시스템엔지니어링에서는 CBD 방법론에서 활용하는 UML(Unified Modeling Language)기반의 SysML(System Modeling Language)을 활용하여 기능분석을 수행한다.[9]

3.2 설계 확인 및 구현

시스템의 구현이 완료되지 않은 상태에서도 요구사항에 대한 추적성을 활용하여 설계 확인(Validation)이 가능하다. CBD 방법론에서는 요구사항 추적성 매트릭스를 통해 요구사항이 유스케이스에 적절히 매핑되었는지 확인을 수행한다. 최종 구현 결과의 확인은 유스케이스 목록과 GUI 설계

결과의 비교를 통해 가능하다. 표 3은 승조원 수 추정 프로그램에 대한 요구사항 추적성 매트릭스를 나타낸다. 8개의 기능 요구사항이 모두 도출된 유스케이스에 매핑되는 것을 확인할 수 있다.



[Figure 4] GUI mapping on Usecase

<Table 3> Requirements traceability matrix

		요구사항						
		R001	R002	R006	R008	R009	R010	R011
유스케이스	U001			○	○	○	○	
	U002			○	○		○	
	U003							○
	U004	○	○					○

그림 4는 프로그램 프로토타입의 실행화면이다. 필수 기능을 중심으로 구현한 프로토타입 형태라 완벽하진 않지만 GUI의 항목들이 유스케이스 항목들과 매핑되는 것을 확인할 수 있다. 즉 요구사항, 유스케이스, GUI로 이어지는 추적성의 확보를 통해 구현하고자 하는 프로그램에 대한 확인을 완료하였다.

4. CBD 방법론과 시스템엔지니어링

3장의 프로그램 개발 과정을 통해 비교한 CBD 방법론과 시스템엔지니어링의 기능을 표 4로 비교하여 정리하였다. 시스템엔지니어링은 기존의 시스템엔지니어링과 SysML을 활용하는 모델 기반 시스템엔지니어링으로 분리하였다. 시스템 개발을 위한 각각의 단계에 대한 적합도를 ○(가능), △(가능하지만 구체화 부족), X(어려움)의 세 가지 수준으로 표시하였다. 요구사항 및 기능분석 과정은 일부 편의성의 차이는 있지만 3가지 프로세스 모두 분석에 필수적인 기능들을 제공하고 있었다. 하지만 소프트웨어 아키텍팅 및 구현과 같이 직접적인 소프트웨어 개발에 가까운 영역에서는 방법론의 구체화 및 적용 편의성이 낮아졌다.

<Table 4> CBD Methodology and Systems Engineering Comparison

	CBD 방법론	모델 기반 시스템 엔지니어링	시스템 엔지니어링
요구사항 분석	○	○	○
기능분석	○	○	○
소프트웨어 아키텍팅 및 UI 설계	○	△	△
구현	○	△	△
모델링 편의성(분석)	○	○	△
모델링 편의성(설계)	○	△	X

시스템엔지니어링에서 정의하는 IEEE 1220 기반의 시스템 개발과 관련된 표준 프로세스는 시스템 개발 과정과 원칙에 관한 규정을 정의하고 있지만 어떻게 적용해야 하는지에 대한 방법의 설명이 부족하였다. 반면에 모델 기반 시스템엔지니어링은 기존의 부족한 부분을 SysML을 기반으로 한 모델링 도구를 통해 보완하여 프로세스의 적용 및 모델링 편의성 수준을 CBD 방법론에 가깝게 끌어 올렸다. 이를 통해 모델 기반 시스템엔지니어링을 활용한 현재의 시스템엔지니어링 프로세스는 기존의 CBD 방법론의 상당 부분을 대체할 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

CBD 방법론을 기반으로 함정 승조원 수 추정 프로그램에 대한 설계 및 프로토타입 구현을 진행하였다. 요구사항 이해 과정을 통해 요구사항 기술서를 작성하고 요구사항 정의 및 정제 과정을 통해 유스케이스 목록과 유스케이스 이벤트 흐름을 포함하는 유스케이스 기술서를 작성하였다. 또한 요구사항 추적성 매트릭스를 활용하여 요구사항과 유스케이스의 매핑 관계를 파악하고 유스케이스에 대한 확인(Validation)을 수행하였다. 최종적으로 프로토타입 구현을 통해 CBD 방법론 기반의 함정 승조원 수 추정 프로그램의 설계를 마무리하였다.

이 과정에서 CBD 방법론과 시스템엔지니어링 프로세스의 비교를 함께 수행하였다. 그 결과 설계단계에서 CBD 방법론과 시스템엔지니어링 프로세스는 그 구성과 상세화에 차이가 있을 뿐 상호 교환이 가능할 정도로 유사함을 확인하였다. 특히 모델 기반의 시스템엔지니어링 프로세스는 CBD 방법론에서 사용하는 UML을 기반으로 한 SysML을 활용한 모델링을 진행하여 모델링 결과물 또한 거의 유사하였다. 즉, 시스템엔지니어링 프로세스는 소프트웨어 개발을 위한 분석 및 개념 결계 단계에서 활용하기에 충분한 기능을 정의하고 있고, SysML을 활용하면 소프트웨어 개발에 적용하기 더욱 용이하였다.

본 연구를 통해 소프트웨어 개발을 위한 CBD 방법론과 시스템엔지니어링 프로세스는 상당히 유사하며 아키텍팅 및 구현 과정에서의 상세화 수준과 일부 모델링 편의성 면에서 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

사 사

이 연구는 2021년 대우조선해양의 연구비 지원에 의한 연구임(계층적 클라우드 기술을 활용한 함정 운용 방안)

References

1. Hwang, I. h., Jeong, Y. H., Lee, K. H. and Kang, S. J., A Study on a Manpower Forecasting Model for Naval Ships, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 56(6), 523-531, 2019
2. Cheu, D. W., Jo, S. H. and Ki, S. D., A Practical Method to Transform Component-based Design to Service-Oriented Design, The KIPS Transactions:PartD ,18(6), 461-480, 2011
3. Jung, Y. D., Lim, J. S. and Yoon, H. B., Present and Future of Advanced Defense Development Methodology, Korean Institute of Information Scientists and Engineers, 24(9), 75-80, 2006
4. MND, Component Based Development Methodology V2.0 User Guide, Ministry of National Defence, 2010
5. Park, J. W., Application of Systems Engineering based Design Structure Matrix Methodology for Optimizing the Concept Design Process of Naval Ship, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 56(1), 1-10, 2019
6. Han, K. I., A Study on the Feasibility of Domestic Development of a Melt-down Proof Modular Micro Reactor (MDP-MMR) applying Systems Engineering Method, Journal of KOSSE, 15(2), 39-46, 2019
7. Kim, J. Y., Cha, J. M., Park, S. H., Shin, J. U. and Lee, T. K., Design of Economic Analysis Module for Waste Heat Recovery based on Systems Engineering Approach, Journal of KOSSE, 14(1), 1-12, 2018
8. Salim, Shelly, Shin, J. U. and Kim, J. N., A Study on the Software Test Case Development using Systems Engineering Methodology, Journal of KOSSE ,14(2), 83-88, 2018
9. Yang, H. S., Jang, J. D., J, H., Choi, S. W., Lee, H. J., Lee, S. Y., A Study on Requirements Development Process Using Model Based Systems Engineering Approach, Journal of KOSSE, 13(1), 51-56, 2017