

함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델 정확도 향상 방안에 관한 연구

조은별^{1*}, 김용현²

¹국방기술품질원 국방신뢰성연구센터, ²한남대학교 산업공학과

A Study on The Method to Improve The Accuracy of The Warship Weapon System Target Reliability Setting Model

Eun-Byeol Jo^{1*}, Yong-Hyun Kim²

¹Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality

²Division of Industrial Engineering, Hannam University

요약 신뢰성 있는 무기체계를 획득하기 위해 획득 초기 단계에 최적화된 RAM 목표값을 설정하는 것은 매우 중요하다. 이러한 인식을 바탕으로 국방기술품질원에서 수행하는 야전운용제원 RAM 분석결과를 통계 분석하여 함정 무기체계 신뢰도 목표값을 설정하는 모델이 최근 제안되었다. 하지만 실제 함정 무기체계 획득 시에 이러한 모델을 활용하기 위해서는 지속적인 정확도 향상을 위한 노력과 이를 검증하는 추가적인 연구의 필요성이 제기된다. 본 연구에서는 통계 분석을 통해 도출한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하기 위해 함정 무기체계에 독자적으로 적용하는 작업분할 구조인 함정작업분할구조 그룹별 신뢰도를 종속변수로 설정하고 총 6개의 독립변수를 대상으로 각각 다중 선형 회귀분석을 수행하였다. 이를 통해 기존 체계 수준에서 통계 분석을 통해 도출한 모델과는 다른 함정작업분할구조 그룹별 독립변수와 그에 따른 선형계수를 산출한 새로운 모델을 제시했다. 제안된 모델의 정확도를 확인하기 위해 함정 5개를 대상으로 신뢰도 목표값을 계산하고 이를 실제 야전운용제원 RAM 분석결과와 비교하였다. 그 결과 본 연구의 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델이 기존 연구에서 제안한 모델보다 야전운용제원 RAM 분석결과에 0.07%에서 10.32%만큼 더 가까운 신뢰도를 나타내 정확도가 향상된 것으로 판단되었다.

Abstract It is very important to set an optimized RAM target value at the initial acquisition stage to acquire a reliable weapon system. Based on this recognition, a model was recently proposed to set the reliability target value of the warship weapon system by statistically analyzing the results of field data RAM analysis performed by the Defense Agency for Technology and Quality. However, efforts to continuously improve the accuracy and the need for additional research to verify the model are raised to use this model when acquiring an actual warship weapon system. In this study, to improve the accuracy, the reliability of each ship work breakdown structure group was set as a dependent variable, and multiple linear regression analysis was performed on each of the six independent variables. Through this, a new model was presented with the calculated independent variables for the work division structure group of each ship and the corresponding linear coefficient. The reliability target values were calculated for five ship types and compared with the actual field data RAM analysis results to verify the accuracy of the presented model. As a result, the reliability of this study was 0.07%-10.32% closer to the field data RAM analysis results than the ship weapon system reliability target value setting model proposed in the previous study.

Keywords : RAM, Setting Target Reliability, Statistical Analysis, SWBS, Warship Weapon System

*Corresponding Author : Eun-Byeol Jo(Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality)
email: jeb0525@dtaq.re.kr

Received April 30, 2024

Revised May 28, 2024

Accepted July 5, 2024

Published July 31, 2024

1. 서론

무기체계의 신뢰성은 요구된 시점에 계획된 능력을 발휘해야 하는 무기체계의 운용상의 특성으로 인해 중요하다고 인식되고 있다. 더불어 최근에는 무기체계가 점차 첨단화, 복잡화됨에 따라 전력화 후 가파르게 증가하는 무기체계의 운용유지비를 고려하여 획득 초기 단계에서부터 운용유지비를 줄이기 위해 신뢰성을 무기체계 설계에 반영[1]하도록 하는 등 무기체계 획득 시 신뢰성에 관련된 요구사항이 점차 증가하고 있다.

방위사업청은 무기체계의 신뢰성을 확보하기 위해 무기체계 획득 초기 단계에서 RAM(Reliability, Availability, Maintainability, 이하 RAM) 목표값을 설정한다. 이후 연구개발주관기관은 설정된 RAM 목표값을 달성하기 위해 고장모드, 고장 원인 등의 신뢰성 문제를 식별하고 개선하는 신뢰성 설계 업무를 수행한다[1,2]. 따라서 RAM 목표값은 신뢰성 있는 무기체계를 획득하기 위한 최상위의 요구조건으로서 획득단계 초기에 최적의 RAM 목표값을 설정하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다.

RAM 목표값을 설정에 대해 관련 규정에는 RAM 목표값 설정에 관한 절차와 참고하는 문서의 종류 등은 명시되어 있다. 하지만 RAM 목표값을 설정하는 방안은 명시되어 있지 않다[1,2]. 따라서 운용형태요약 및 임무유형(Operational Mode Summary / Mission Profile, 이하 OMS/MP)과 유사장비의 사례를 활용하여 RAM 목표값을 설정하는[3-5] 방안 등 최적의 RAM 목표값을 설정하는 방안에 관한 연구가 과거부터 수행됐다.

함정 무기체계를 대상으로 한 RAM 목표값 설정 방안에 관한 연구도 지속해서 수행되었으며, 일반 무기체계와 유사하게 OMS/MP를 활용하여 RAM 목표값 중 운용가용도 목표값을 설정하는 방안에 관한 연구, 함정 무기체계 탑재 장비의 RAM 목표값을 설정하는 연구 등이 수행되었다[6,7]. 최근에는 함정 무기체계의 신뢰도 목표값 설정을 위해 국방기술품질원에서 무기체계 운용 자료를 활용하여 산출한 RAM 분석결과를 대상으로 통계를 분석을 수행하여 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 제시한 연구가 있었다[8].

한편 함정 무기체계는 획득에서부터 운용에 이르기까지 함정 무기체계의 특성을 확인하기 위한 다양한 모델을 활용하고 있다. 예를 들어 함정 무기체계 초기 설계단계에서는 유사 함정 무기체계로부터 산출된 애드미럴티(Admiralty) 계수를 활용하여 획득 예정인 함정 무기체계의 소요 마력을 산출하고 있으며, 같은 방법으로 운용

중인 함정 무기체계에서는 함정 무기체계의 중량 변화에 따른 속력 변화를 확인하는 방법을 사용하고 있다.

이러한 간단한 모델은 다양한 설계 대안을 신속하고 효율적으로 비교분석을 할 수 있도록 하므로 컴퓨터를 이용한 해석이나 모형 시험 등이 가능한 현대에 와서도 초기 설계단계에서는 비교적 활발하게 사용되고 있다. 이러한 관점에서 RAM 목표값 설정 모델 외에도 민간 선박이나 함정 무기체계에 대한 통계적 분석을 통해 중량을 추정하거나, 건조 기간과 승조원 수를 예측하는 연구가 수행된 사례가 있었다[9-11].

하지만 이처럼 실제 함정 무기체계 설계단계에서 활용하기 위해서는 많은 연구를 통해 정확도가 향상되고, 많은 자료를 활용하여 검증하는 절차가 요구된다. 따라서 최근 개발된 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델[8]을, 실제 함정 무기체계 RAM 목표값 설정에 활용하기 위해서는 지속해서 모델의 정확도를 향상하고 이를 검증하는 연구의 필요성이 제기된다.

본 연구에서는 기존에 개발된 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하는 방안을 제시하고, 이러한 방안을 적용한 모델과 기존 모델과의 비교를 통해 정확도의 개선 여부를 검증하였다. 2장에서는 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하는 방안을 제시하였으며, 3장에서는 제시한 방안을 적용한 통계 분석 절차를 나타내었다. 4장에서는 통계 분석을 수행하여 정확도가 향상된 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 제시하고 이를 검증하였다.

본 논문에서는 국방 업무와 관련하여 일부 자료의 수치를 삭제하고 작성했음을 미리 밝혀 둔다.

2. 모델 정확도 향상 방안

국방기술품질원은 국방부 「총수명주기관리업무훈령」에 따라 장비운영의 효율성과 경제적인 군수지원을 보장하기 위해 야전운용제원 수집 및 RAM 분석 활동을 수행하고 있다[1]. 이때 함정 무기체계의 야전운용제원 RAM 분석 과정에서는 함정작업분할구조(Ship Work Breakdown Structure, 이하 SWBS)라고 불리는 독자적인 작업분할 구조를 활용하여 장비별로 분류 및 구조화한 후 RAM 분석을 수행한다.

SWBS 그룹은 함정 무기체계에 포함된 개별 장비의 특성과 기능을 바탕으로 장비를 분류한 것으로, 함정 무기체계의 소요기획부터 폐기에 이르는 전 수명주기 간에

광범위하게 활용되고 있다. 특히 SWBS 그룹에 따라 분류된 장비들은 SWBS 그룹 간에 서로 다른 특성을 나타내므로, 비용, 중량, 건조 기간, 승조원 수 등의 추정을 위한 다양한 모델[9-12]에서는 SWBS 그룹별로 구분하여 산출한 추정 모델을 제시하고 있다. SWBS 그룹별 번호와 그룹명을 아래의 Table 1에 나타내었다.

Table 1. SWBS Group Number and Name

SWBS Group Number	SWBS Group Name
100	Hull Structure
200	Propulsion Plant
300	Electric Plant
400	Command and Surveillance
500	Auxiliary System
600	Outfit and Furnishing
700	Armament

마찬가지로 SWBS 그룹으로 분류된 장비들의 신뢰도 역시 서로 다른 특성이 있을 것으로 예상할 수 있다. 이러한 특성을 예상하여 야전운용제원 RAM 분석결과를 활용한 함정 무기체계 신뢰도 할당 방안을 연구한 사례에서는 장비에 직접 체계 수준의 신뢰도를 할당하지 않고 SWBS 그룹에 먼저 신뢰도를 할당하는 방안을 제시하여 할당의 정확도를 향상하였다[13].

본 연구에서도 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하기 위해 SWBS를 적용하는 방안을 제시하였다. 기존 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델 도출을 위해 수행한 연구에서는 체계 수준의 신뢰도를 대상으로 통계 분석을 수행하였고, SWBS 그룹별로 신뢰도를 구분하여 통계 분석을 수행하지는 않았다. 본 연구에서 제안한 세부적인 통계 분석 방법은 3장에 나타내었다.

3. 통계 분석 방법

본 연구의 통계 분석 방법을 위의 Fig. 1에 나타내었다. 통계 분석은 국방기술품질원이 수행한 야전운용제원 RAM 분석결과로부터 필요한 자료를 수집하는 것으로부터 시작한다. 이때 신뢰도는 체계 수준의 신뢰도뿐만 아니라 함정 SWBS 그룹별 신뢰도를 함께 수집한다. 이후 종속변수를 설정하고 독립변수로 선정 가능한 대상을 조사한다. 함정 SWBS 그룹별 신뢰도에 영향을 미치는 독립변수는 다중 선형 회귀분석(Multiple Linear Regression

Analysis)을 통해 설정하고, 다중공선성(Multicollinearity) 문제를 해결하기 위해 설정된 독립변수 간에 상관관계 분석(Correlation Analysis)을 수행한다. 다중공선성 문제가 예상되는 독립변수가 설정된 경우에는 해당 독립변수 조합을 제외하고 다시 다중 선형 회귀분석을 수행한다. 다중공선성 문제가 발생하지 않으리라고 예상될 때까지 이러한 과정을 반복하여 최종 SWBS 그룹별 독립변수를 선택하여 최종 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 도출한다.

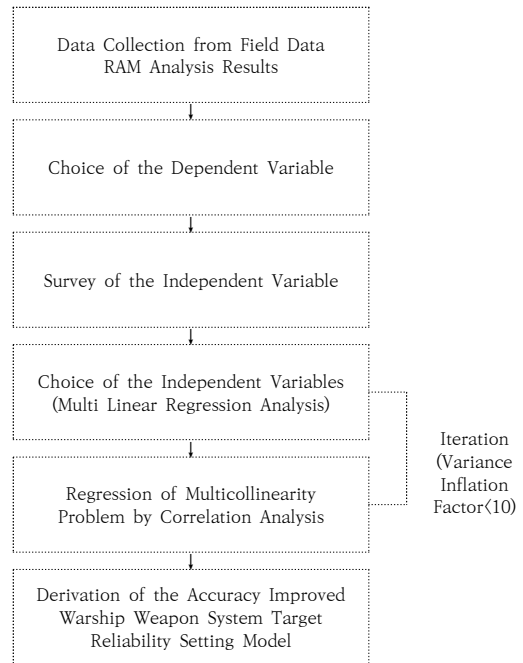


Fig. 1. The Statistical Analysis Process to Improve the Accuracy of the Warship Weapon System Target Reliability Setting Model

3.1 야전운용제원 RAM 분석 자료 수집

국방기술품질원은 2023년까지 같은 함정 무기체계에 대해 수행한 경우를 포함하여 총 206척에 대한 야전운용제원 RAM 분석을 수행했으며, 연속으로 건조한 함정 무기체계의 집합을 뜻하는 ‘함형’으로 구분한 경우에는 총 35종의 함형을 분석했다. 야전운용제원 RAM 분석결과로서 개별 함정 무기체계와 함형의 신뢰도, 정비도, 가용도 등의 RAM 값이 수치로 산출되며, 본 연구에서는 개별 함정 무기체계의 운용 특성에 따른 영향을 줄이기 위해 함형을 대상으로 분석된 RAM 값을 활용하여 통계 분석을 수행한다.

3.2 종속변수 설정

국방기술품질원에서 수행한 야전운용제원 RAM 분석 결과는 실제 장비의 운용 자료를 대상으로 분석한다는 점에서 가치가 있으며, 이러한 분석결과를 활용하여 신뢰도 수명주기 추세 분석 등 다양한 연구가 진행되고 있다[8,13-15]. 본 연구에서도 기존 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델에서 활용한[8] 국방기술품질원의 야전운용제원 RAM 분석결과를 활용하여 통계 분석을 수행하였다.

야전운용제원 RAM 분석결과로부터 산출된 RAM 값에는 신뢰도, 정비도, 가용도 등의 값이 있으며, 본 연구에서는 연구 목적을 고려하여 신뢰도를 종속변수로 설정하였다. 신뢰도는 모든 고장 수를 기준으로 산출하는 군수 신뢰도와 임무 수행에 영향을 주는 고장 수만을 기준으로 산출하는 임무 신뢰도로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 임무 영향성을 검토하는 과정에서 발생할 수 있는 인적 요인을 배제하기 위해 군수 신뢰도를 종속변수로 설정했다. 이때 군수 신뢰도의 척도는 고장 간 평균시간(Mean Time Between Failures, 이하 MTBF)를 사용했다. 설정된 종속변수와 척도는 기존 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델의 종속변수 및 척도와 같다.

3.3 독립변수 조사

야전운용제원 RAM 분석결과를 활용한 통계 분석을 수행하기 위해서는 종속변수인 군수 신뢰도에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상하는 적절한 독립변수를 조사하여야 한다. 본 연구에서 사용하는 독립변수는 기존 함정 무기체계 목표값 설정 모델 개발 시 사용한 독립변수[8]에서 추가 검토를 통해 선정하였다.

기존 함정 무기체계 목표값 설정 모델 개발 연구에서는 함정 무기체계의 특성, 자료를 획득할 수 있는 문서의 작성 시점 등에 대한 검토를 통해 독립변수를 조사하였으며, 조사한 독립변수는 경하 배수량(Light Ship Displacement(ton), D), 길이(Length(m), L), 폭(Width(m), W), 평균 인도 후 연도(Post-Delivery Year(year), Y), 순항속력(Cruising Speed(knot), Vc), 최대속력(Maximum Speed(knot), Vm), 항속거리(Cruising Range(km), C), 연간 운용시간(Annual Operating Hours(hour), H)의 총 8종이었다.

해당 독립변수 중에서 경하 배수량(D), 길이(L), 폭(W)은 함정 무기체계의 크기와 관련이 있는 독립변수로서, 독립변수 간에 밀접한 연관이 있을 것으로 예상된다.

기존 연구 사례[8]에서는 다중공선성 문제를 해결하기 위해 함정 무기체계 크기에 대표적인 성격이 있는 경하 배수량을 최종 독립변수로 설정하였다. 본 연구에서도 크기와 관련이 있는 독립변수를 단일화하기 위해 경하 배수량(D), 길이(L), 폭(W) 중에서 경하 배수량(D)만을 다중 선형 회귀분석을 위한 독립변수로서 최종 설정하였다. 따라서 본 연구의 통계 분석에서 활용할 독립변수는 총 6종으로 조사되었다.

3.4 독립변수 선정

본 연구에서 다중 선형 회귀분석은 SWBS 그룹별 신뢰도를 종속변수로 하여 수행한다. SWBS 그룹별 신뢰도는 특성과 기능으로 분류된 개별 장비의 신뢰도로 구성되어 있으므로, SWBS 그룹별 신뢰도에 영향을 미치는 독립변수가 다를 것으로 예상할 수 있다.

SWBS 그룹별 독립변수는 SWBS 그룹별 신뢰도를 종속변수로 한 다중 선형 회귀분석을 반복적으로 수행하여 가장 큰 조정된 결정계수(Adjusted R-Square)를 나타낸 변수로 선정하며, 더불어 F-통계량(F-Value)과 독립변수 P-값(P-Value) 확인을 통해 SWBS 그룹별로 유의성을 확인한다. 이때 다중 선형 회귀분석의 최대 반복 횟수는 SWBS 그룹별로 총 6개의 변수를 모두 선택한 것에서부터 1개의 변수만을 선택한 것까지 총 63번으로 예상할 수 있다.

3.5 다중공선성 문제 해결

SWBS 그룹별로 선정된 독립변수 간의 높은 상관관계에 의해 나타나는 다중공선성 문제를 해결하기 위해 선정된 독립변수 간의 상관관계를 분석하였다. 이후 상관관계 분석결과와 역행렬로 확인할 수 있는 분산팽창인자(Variance Inflation Factor, 이하 VIF)가 10 이하로 나타나는지를 확인하였다. 독립변수의 VIF가 10 이상으로 확인된 경우에는 해당 경우를 제외하고 독립변수 선정 과정에서 조정된 결정계수의 크기가 차순위로 나타난 경우를 선택하여 다시 VIF가 10 이하로 나타나는지 확인하는 절차를 반복하였으며, 최종 모든 독립변수의 VIF가 10 이하로 나타난 경우를 해당 SWBS 그룹의 독립변수로 선정하였다.

3.6 모델 도출

통계 분석을 통해 도출한 SWBS 그룹별 독립변수와 선형계수를 모두 더해 정확도가 향상된 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 도출한다.

4. 통계 분석 결과

본 장에서는 제3장의 통계 분석 방법을 적용하여 정확도가 향상된 합정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 도출하였다.

4.1 통계 분석 대상 자료

본 연구에서는 통계 분석 대상 자료는 최대한 많아야 한다는 점, 합정 무기체계 분류에 따른 영향을 최소화해야 한다는 점, 분석 자료에 통일성이 있어야 한다는 점 등을 고려하여, 기존 합정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 개발한 연구[8]에서 사용한 전투함 13개의 함형을 우선 선정하였다. 이후 전투함 13개의 함형의 RAM 분석결과를 확인한 결과 비교적 과거에 수행되어 SWBS 그룹별 신뢰도 도출이 제한되는 것으로 확인된 1개 함형을 통계 분석 대상 자료에서 제외하였다.

국방기술품질원은 매년 국방부에서 선정한 무기체계에 대해 야전운용제원 RAM 분석을 수행하며, 2023년에는 분석 대상에 1개의 함형이 포함되어 있다. 다만 본 연구에서는 합정 무기체계의 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하는 연구 목적을 고려하여 도출된 모델의 정확성을 검증하는 절차가 필요하다. 따라서 2023년에 야전운용제원 RAM 분석을 수행한 1개 함형을 통계 분석 대상으로 반영하지는 않았으며, 도출된 모델의 정확성을 검증하는 자료로서 활용하였다.

위 검토를 통해 선정된 통계 분석 대상 자료는 총 12개의 함형이다. 통계 분석 자료로서 12개의 함형이 부족해 보일 수 있으나, 합정 무기체계의 함형 자체의 수가

적어 과거 연구 사례에서도 많지 않은 자료를 대상으로 통계 분석을 수행했다는 점[8-11,13-15], 추가적인 야전운용제원 RAM 분석결과를 확보하기 불가하다는 점 등을 고려하여 12개의 함형을 본 연구의 통계 분석 대상 자료로서 선정하였다.

4.2 통계 분석 수행

제3장의 통계 분석 절차에 따라 최종 도출한 SWBS 그룹별 신뢰도에 대응하는 독립변수별 계수와 Y-절편을 Table 2에 나타내었다. 본 연구에서 수행한 통계 분석은 Microsoft 사의 Excel을 활용해서 수행했다.

경하 배수량(D)의 경우 의장설비계통(Outfit and Furnishing)과 무장계통(Armament)을 제외한 5개의 SWBS 그룹에 관계가 있는 것으로 나타났으며, 전기계통(Electric Plant)을 제외한 나머지 SWBS 그룹과는 음의 관계를 보였다. 순항속력(Vc)은 추진계통(Propulsion Plant), 전기계통(Electric Plant) 등 총 4개의 SWBS 그룹과 관계가 있었으며, 추진계통(Propulsion Plant)과는 양의 관계를 나머지 3개의 SWBS 그룹과는 음의 관계를 보였다. 최대속력(Vm)은 선체구조(Hull Structure), 지휘통제계통(Command and Surveillance), 보조기계통(Auxiliary System)의 3개의 SWBS 그룹과 관계가 있는 것으로 나타났으며, 모두 양의 관계를 보였다. 항속거리(C)는 의장설비계통(Outfit and Furnishing)에만 음의 관계가 있는 것으로 나타났으며, 연간 운용시간은 모든 SWBS 그룹과 관계가 없는 것으로 나타났다. 평균 인도 후 연도(Y)은 추진계통(Propulsion Plant) 등 4개의 SWBS 그룹과 관계가 있었으며, 의장설비계통(Outfit

Table 2. The Coefficients of Chosen Independent Variables by SWBS Groups

SWBS Group	Displacement D(ton)	Cruising Speed Vc(knot)	Maximum Speed Vm(knot)	Cruising Range C(km)	Annual Operating Hours H(hour)	Post-Delivery Year Y(year)	Y-Intercept
Hull Structure	-0.013	-	15.051	-	-	-	-261.389
Propulsion Plant	-0.028	41.828	-	-	-	-5.205	-417.525
Electric Plant	0.010	-28.248	-	-	-	-	644.865
Command and Surveillance	-0.010	-	1.985	-	-	-	70.114
Auxiliary System	-0.011	-	5.586	-	-	-1.710	-27.100
Outfit and Furnishing	-	-122.884	-	-0.570	-	53.767	8,057.370
Armament	-	-98.696	-	-	-	-22.128	2,299.731

and Furnishing)과는 양의 관계를 나머지 3개의 SWBS 그룹과는 음의 관계를 보였다.

SWBS 그룹별로 선정된 독립변수와 SWBS 그룹별 신뢰도를 대상으로 다중 선형 회귀분석을 수행하였으며, SWBS 그룹별 통계 분석 결과의 유의성을 확인할 수 있는 F-통계량과 분석된 회귀분석의 설명력을 나타내는 결정계수, 조정된 결정계수를 Table 3에 나타내었다. Table 3을 보면 F-통계량이 모두 0.05 이하로서 다중 선형 회귀분석 결과가 유의하다고 판단할 수 있으며, 결정계수와 조정된 결정계수가 약 0.84에서부터, 0.99까지의 값을 나타내어 함정 무기체계 신뢰도 목표값을 설정하기 위한 모델로서 적합하다고 할 수 있다.

Table 3. The Results of the Linear Regression Analysis by SWBS Groups

SWBS Group	F-Value	R-Square	Adjusted R-Square
Hull Structure	0.000047	0.917394	0.896743
Propulsion Plant	0.000947	0.891167	0.844524
Electric Plant	0.000252	0.874018	0.842523
Command and Surveillance	0.000001	0.965967	0.957458
Auxiliary System	0.000012	0.968970	0.955672
Outfit and Furnishing	0.000025	0.961920	0.945600
Armament	0.000000	0.988892	0.986115

최종 도출한 SWBS 그룹별 독립변수의 다중공선성 문제를 해결하기 위해 확인한 분산팽창인자(VIF)를 Table 4에 나타내었다. 상관관계 분석을 통해 도출한 분산팽창인자가 모두 10 이하로 나타나 다중공선성 문제는 발생하지 않으리라고 예상할 수 있다. 본 연구에서 개발한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델은 Table 2의 SWBS 그룹별 독립변수의 계수와 Y 절편의 합으로 구성되며, 이를 식으로 나타내면 Eq. (1)과 같다. 함정 무기체계 체계 수준의 신뢰도는 아래 Eq. (2)과 같이 계산된 SWBS 그룹별 신뢰도의 역수를 합한 수에서 다시 역수를 취해 계산할 수 있다.

$$R_{SWBSGroup} = \sum V_i \times C_i \quad \text{Eq. (1)}$$

여기서 V_i 는 SWBS 그룹별 독립변수를, C_i 는 독립변수에 따른 선형 계수를 나타낸다.

$$R_{System} = \frac{1}{\sum \frac{1}{R_{SWBSGroup}}} \quad \text{Eq. (2)}$$

4.3 정확도 검증

본 연구를 통해 도출한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 검증하기 위해 기존 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델[8]을 통해 도출한 신뢰도와 실제 야전 운용제원 RAM 분석결과의 신뢰도를 상호 비교해 보았

Table 4. The Variance Inflation Factors of Chosen Independent Variables by SWBS Groups

SWBS Group	Displacement D(ton)	Cruising Speed Vc(knot)	Maximum Speed Vm(knot)	Cruising Range C(km)	Annual Operating Hours H(hour)	Post-Delivery Year Y(year)
Hull Structure	2.027	-	2.027	-	-	-
Propulsion Plant	9.002	7.723	-	-	-	1.684
Electric Plant	5.475	5.475	-	-	-	-
Command and Surveillance	2.027	-	2.027	-	-	-
Auxiliary System	2.064	-	2.162	-	-	1.273
Outfit and Furnishing	-	2.548	-	8.736	-	6.363
Armament	-	1.024	-	-	-	1.024

Table 5. The Comparison of System Reliability by Field Data RAM Analysis Results with the Presented and Existing Models

Ship	Presented Target Reliability Setting Model (MTBF, hr)	Difference between Field data RAM Analysis Result and Presented Model (%)	Existing Target Reliability Setting Model[8] (MTBF, hr)	Difference between Field data RAM Analysis Result and Existing Model (%)
A	11.77	0.56	11.77	0.63
B	17.28	1.07	15.15	11.39
C	24.52	10.96	24.90	12.66
D	35.98	0.10	36.50	1.52
E	14.55	0.35	14.91	2.84

다. 비교 대상 함형 A, B, C, D는 기존 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델[8]을 개발한 연구에서 검증 목적으로 활용한 함형이며, 함형 E는 2023년에 야전운용제원 RAM 분석이 수행된 함형이다. 함형 E의 경우 기존 모델 개발과 본 연구 모두에서 활용하지 않았으므로 검증에 적합하다 판단되었다.

본 연구의 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 통해 산출한 함정 무기체계 신뢰도와 야전운용제원 RAM 분석결과를 통해 산출한 신뢰도를 비교한 결과를 Table 5 좌측 두 개의 열에 나타내었다. 국방 업무의 특성을 고려하여 야전운용제원 RAM 분석결과를 본 논문에서는 나타내지 않았다. 본 연구의 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 통해 산출한 함정 무기체계의 신뢰도는 야전운용제원 RAM 분석결과와 비교했을 때 0.1%에서 10.96%까지의 차이를 나타냈다. 특히 다른 함형 보다 큰 차이를 나타낸 함형 C를 제외했을 때는 0.1%에서 1.07%의 차이를 나타내어 야전운용제원 RAM 분석결과와 상당히 유사한 결과를 보였다.

기존 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델[8]로부터 산출한 신뢰도와 야전운용제원 RAM 분석결과와의 신뢰도의 비교한 결과를 Table 5 우측의 두 개의 열에 나타내었다. 기존 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델로부터 산출한 신뢰도는 야전운용제원 RAM 분석결과와의 신뢰도와 0.63%에서 12.66%까지 차이를 나타냈다. 그리고 함형 B, C은 각각 그 차이가 11.39%와 12.66%로 나타나 다른 함형보다 큰 차이를 보였다.

함형 A, D, E의 경우 두 모델이 모두 3% 이내의 높은 정확도를 보였으며, 함형 B의 경우에는 본 연구에서 제안한 모델이 10% 이상 높은 정확도를 나타냈다. 함형 C의 경우에는 두 모델 모두 야전운용제원 RAM 분석결과와 10% 이상의 차이를 보였다. 이러한 함형에 따른 높고

낮은 신뢰도 특성은 해당 함형이 가지고 있는 고유한 특성이 반영된 것으로 검토되었으며, 지속적인 자료 확보와 통계 분석을 통해 모델의 정확성을 더욱 높일 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 모델과 본 연구에서 제안한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델 간 야전운용제원 RAM 분석결과와의 차이를 비교했을 때 본 연구에서 제안한 목표값 설정 모델이 기존 신뢰도 목표값 설정 모델 보다 모두 야전운용제원 RAM 분석결과와의 차이가 모든 함형에서 더 적은 것으로 나타났다. 두 모델의 야전운용제원 RAM 분석결과와의 차이는 0.1%에서 최대 12.66%만큼 나타났으며, 통계 분석에 활용하지 않은 함형 E는 야전운용제원 RAM 분석결과와 0.35%에서 2.84%만큼의 차이를 보였다. 이를 통해 본 연구를 통해 제안한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도가 기존 모델보다 더 높다고 판단할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 함정 무기체계 신뢰도를 설계 초기 단계부터 성장관리 하기 위해 설정하는 RAM 목표값 중 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하기 위해 국방 기술품질원이 야전운용제원을 활용하여 수행하는 RAM 분석결과 자료를 통계 분석하였다. 함정 무기체계 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하기 위해 함정 무기체계에서 적용하는 SWBS 그룹을 활용하여, SWBS 그룹별 신뢰도를 구분하여 통계 분석을 수행했다. 통계 분석을 수행하기 위해 SWBS 그룹별 신뢰도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 6가지의 독립변수를 선정했으며, SWBS 그룹별 다중 선형 회귀분석을 수행하여 SWBS 그룹별 신뢰

도의 독립변수와 계수를 선정했다. 산출된 신뢰도 독립 변수 간의 다중공선성 문제를 해결하기 위해 분산팽창인자를 확인하고, 분산팽창인자가 10 이상으로 식별되었을 때에는 해당 경우를 제외하고 다시 다중 선형 회귀분석을 수행하여 분산팽창인자가 10 이하로 나타날 때까지 수행하여 최종 독립변수와 계수를 선정했다.

본 연구에서 제안한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델을 총 5개 함형에 적용하여 신뢰도 목표값을 산출하였으며, 본 연구의 모델로부터 도출한 신뢰도와 야전운용제원 RAM 분석결과와 비교한 결과 0.1%에서 10.96%까지의 차이를 나타내었다. 타 연구에서 도출한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델로부터 산출한 신뢰도와 본 연구에서 제안한 모델로부터 산출한 신뢰도를 비교한 결과 비교 대상 함형 5개 모두에서 본 연구에서 제안한 모델의 신뢰도가 야전운용제원 RAM 분석결과와의 신뢰도와 더 적은 차이를 나타내는 것을 확인하였다.

본 연구는 기존 모델에서 정확도가 개선된 함정 무기체계 목표값 설정 모델을 제안하였다. 이때 함정 무기체계에서 사용하는 작업분할구조인 SWBS 그룹별로 신뢰도를 구분하고 통계 분석을 수행하여 정확도를 높이고자 하였다. 다만, 함정 무기체계의 특성상 많은 양의 데이터를 활용하여 통계 분석을 수행하지 못했다는 점이 제한점으로 판단된다. 하지만 본 연구를 통해 개발한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델은 초기 단계에 확보 가능한 자료만으로 신속하게 함정 무기체계의 신뢰도 목표값을 설정하는 방법으로서, 추가적인 자료 확보와 통계 분석을 통해 모델의 정확성이 더욱 높아질 수 있으리라 기대된다.

향후 본 연구에서 조사한 독립변수 외에도 함정 무기체계 설계 과정에서 점차 구체화할 수 있는 독립변수를 추가 식별하고, 해당 독립변수에 대한 더 많은 야전운용제원 RAM 분석결과를 활용하여 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델의 정확도를 향상하는 추가적인 연구를 진행할 예정이다. 이와 함께 모델을 실제 연구개발에 적용하기 위해 개발한 모델의 정확도를 검증하는 방안에 관한 연구를 수행할 예정이다.

References

[1] Total Life Cycle Management Instruction, Ministry of National Defense, Korea, 2023, pp. 38-39.
 [2] Weapons system RAM Guide Book, Defense Acquisition

Program Administration, Korea, 2018, pp. 7-8.
 [3] I. Y. Na, "A Study on the Data Quantification of Weapon System RAM Objective Setting Using Evidence Theory", *Journal of the KIMST*, Vol. 25, No. 1, pp. 96-107, 2022.
 DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2022.25.1.096>
 [4] N. S. An, S. S. Jo, "A Study on improvement of setting methodology of RAM target value in new ground weapon system", *Korean Journal of Military Art and Science*, Vol. 77, No. 2, pp. 416-433, 2021.
 DOI: <http://doi.org/10.31066/kimas.2021.77.2.017>
 [5] S. J. Han, S. H. Paik, "RAM Goal-Setting Using the AHP and Field Data of Similar Weapon Systems", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 20, No. 2, pp. 154-162, 2020.
 DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2020.6.20.2.154>
 [6] K. H. Song, Y. M. Park, S. K. Hong, S. S. Min, J. Y. You, S. H. Choi, "A Study on Establishing OMS/MP and Target RAM Values of SONAR Using Field Data of Similarity Equipment", *Journal of the KIMST*, Vol. 18, No. 1, pp. 22-30, 2015.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2015.18.1.022>
 [7] S. C. Ha, K. Y. Kim, "A Study on Target Operational Availability Setting for Warship based on OMS/MP and Similar Warship RAM Analysis", *Journal of the KIMST*, Vol. 15, No. 5, pp. 651-659, 2012.
 DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2012.15.5.651>
 [8] E. B. Jo, "A Study on the Model of Setting the Warship Weapon System Target Reliability Through Statistical Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 24, No. 6, pp. 294-301, 2023.
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.6.294>
 [9] Y. J. Cho, "A Development of the Ship Weight Estimating Method by a Statistical Approach", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 48, No. 5, pp. 426-434, 2011.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.3744/SNAK.2011.48.5.426>
 [10] D. W. Choi, J. M. Ma, "A Study on the Prediction Model of the Warship Construction Period through Statistical Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 21, No. 3, pp. 497-502, 2020.
 DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.3.497>
 [11] I. H. Hwang, Y. H. Jeong, K. H. Lee, S. J. Kang, "A Study on a Manpower Forecasting Model for Naval Ships", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 56, No. 6, pp. 523-531, 2019
 DOI: <https://doi.org/10.3744/SNAK.2019.56.6.523>
 [12] Guideline for Warship Cost Estimating, Defense Acquisition Program Administration, Korea, 2019, pp. 88-95.
 [13] E. B. Jo, Y. I. Jung, Y. H. Kim, "A Study on The Reliability Allocation for Warship Weapon System Using Field Data RAM Analysis Results", *Journal of the*

Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 24, No. 4, pp. 439-447, 2023.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.4.439>

- [14] E. B. Jo, Y. I. Jung, S. C. Ha, "A Study on the Correlation between Warship Displacement and Reliability Using Field Data RAM Analysis Results", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 23, No. 1, pp. 89-96, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2023.3.23.1.089>
- [15] E. B. Jo, Y. I. Jung, S. C. Ha, "A Study on Reliability Trend Analysis of Warship Weapon System Using Field Data RAM Analysis Results", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 23, No. 2, pp. 154-164, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2023.6.23.2.154>

조 은 별(Eun-Byeol Jo)

[정회원]



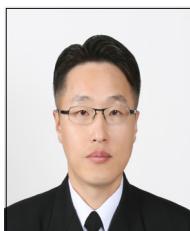
- 2010년 2월 : 해군사관학교 기계조선공학과 (조선공학학사)
- 2017년 2월 : 서울대학교 조선해양공학과 (조선해양공학석사)
- 2022년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

신뢰성, 유체역학, 수치해석

김 용 현(Yong-Hyun Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 해군사관학교 국제관계학과 (문학사)
- 2012년 2월 : 국방대학교 운영분석학과 (공학석사)
- 2021년 ~ 현재 : 한남대학교 산업공학과 박사과정
- 2021년 1월 ~ 현재 : 해군대학 해양전략전력학처 교수

<관심분야>

국방획득, 국방M&S, 전력기획