

통계 분석을 통한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 방안에 관한 연구

조은별
국방기술품질원 국방신뢰성연구센터

A Study on the Model of Setting the Warship Weapon System Target Reliability through Statistical Analysis

Eun-Byeol Jo

Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 함정 무기체계는 선도함이 시험평가 후 해군에 인도되어 시제품이 없다는 특징이 있으며, 해당 특징으로 인해 획득 과정에서 필요한 의사결정을 다른 무기체계보다 이른 시점에 수행한다. 이러한 빠른 의사결정은 국방 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 업무에서도 동일하게 적용된다. 특히 다른 무기체계의 경우 기본설계 검토에서 수행하는 RAM 목표값 설정을 함정 무기체계에서는 기본설계 단계에 포함된 체계요구조건검토까지 수행하게 되어 있다. 따라서 함정 무기체계의 획득 초기 단계에서 적용 가능한 RAM 목표값 설정 방안에 관한 연구의 필요성이 제기된다. 본 연구는 국방기술품질원에서 수행하는 야전운용제원 RAM 분석 결과 중 군수 신뢰도에 대한 통계적 분석을 통해 함정 무기체계의 군수 신뢰도 목표값 설정을 위한 모델을 제안하였다. 이때, 함정 무기체계의 종류에 따라 나타나는 영향을 배제하기 위해 무기체계 세부분류 중 전투함에 대해 통계 분석을 수행하였다. 함정 무기체계의 획득 초기 단계에서 확보 가능한 변수 중에서 상관관계 분석을 통해 경하 배수량, 최대속력, 인도 후 연도로 구성된 3가지의 독립변수를 식별하였으며, 식별된 독립변수와 군수 신뢰도를 종속변수로 하는 다중 선형 회귀분석을 통해 함정 무기체계 군수 신뢰도 목표값 설정 모델을 개발하였다. 개발한 전투함 군수 신뢰도 목표값 설정 모델은 조정된 결정계수를 약 0.95의 값을 나타내었으며, 기존 야전운용제원 RAM 분석 결과와 본 연구를 통해 도출한 모델의 결과를 비교했을 때 0.63%에서 12.66%의 차이를 보였다.

Abstract The warship weapon system is characterized by no prototype and faster decision-making time than other weapon systems because of this characteristic. This rapid decision-making is the same in the defense RAM (Reliability, Availability, and Maintainability) work, particularly in the case of setting the target system reliability, which the warship weapon system requires a System Requirements Review (SRR), but other weapon systems need a Preliminary Design Review (PDR). Therefore, the warship weapon system needs a model for setting the target reliability available at the initial acquisition point. This study proposed a model for setting the warship weapon system target reliability through statistical analysis of field data RAM analysis results conducted by the Defense Agency for Technology and Quality (DTaQ). Among the variables in the early step of acquiring the warship weapon system, independent variables consisting of displacement, maximum speed, and post-delivery year were identified through a correlation analysis. The model for setting the warship weapon system target reliability was developed through multiple linear regression analyses with identified independent variables and system reliability. The model showed an adjusted R-Square of approximately 0.95 and a difference of 0.63% to 12.66% compared to the field data RAM analysis results.

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

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

Received April 28, 2023

Revised May 24, 2023

Accepted June 2, 2023

Published June 30, 2023

1. 서론

방위사업청의 「방위사업관리규정」은 함정 무기체계에 일반 무기체계와 다른 별도의 획득체계를 부여하고 있다 [1]. 함정 무기체계의 획득체계가 분리된 이유는 함정 무기체계가 가진 다른 무기체계와는 다른 특징 때문이며, 그중 일반 무기체계의 시제품이라 할 수 있는 선도함이 시험평가 후 해군에 인도되는 점은 함정 무기체계의 획득 과정에서 가장 눈에 띄는 특징이라 할 수 있다. 함정 무기체계는 이러한 시제품이 없는 특징으로 인해 체계요구조건검토, 체계기능검토, 기본설계검토 등의 체계공학(System engineering, SE) 절차에서 요구하는 기술검토를 일반 무기체계의 탐색개발 단계에 해당하는 기본설계 단계에서 수행하는 등 빠른 의사결정 시점을 가지고 있다.

함정 무기체계 획득 과정에서의 빠른 의사결정은 운용 단계에서 고장 없이 기능을 발휘할 수 있도록 신뢰성 높은 무기체계를 획득하기 위해 수행하고 있는 국방 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 업무에서도 마찬가지이며, 이러한 국방 RAM 업무는 RAM 목표값 정량화, 신뢰성 설계, RAM 산출물 관리 등으로 구성되어 있다. 특히 방위사업청의 「무기체계 RAM 업무 지침」은 국방 RAM 업무 수행의 기준이 되는 RAM 목표값 설정을 다른 무기체계의 경우 기본설계검토에서 수행하도록 하고 있으나, 함정 무기체계는 기본설계 초기에 수행하는 체계요구조건검토까지 수행하도록 명시하고 있다[2]. 따라서 함정 무기체계는 활용할 수 있는 자료가 많지 않은 획득 초기에 RAM 목표값을 설정해야 한다.

「무기체계 RAM 업무지침」에서 RAM 목표값은 유사장비 사례, 운용형태요약 및 임무유형(Operational Mode Summary / Mission Profile, 이하 OMS/MP), 기술발전 추세, 정비 개념 등을 고려하여 최적화된 값으로 설정하게 되어 있으나, 구체적인 설정 방안은 명시되어 있지 않다[2]. 따라서 무기체계의 RAM 목표값 설정에 관한 연구가 지속해서 수행되었으며, 그중 다수의 연구가 OMS/MP와 유사장비의 사례를 활용하여 RAM 목표값을 설정하는 방안을 제시하였다[3-5]. 특히 함정 무기체계는 다른 무기체계와 달리 탑재 장비의 RAM 목표값을 설정하는 연구와 함정 무기체계의 운용 가용도 목표값을 설정하는 방안에 관한 연구는 있었으나, 신뢰도 목표값을 설정하는 연구는 없었다[6,7].

함정 무기체계의 신뢰도 목표값은 고장 간 평균시간(Mean Time Between Failures, 이하 MTBF)을 척도

로 설정되며, MTBF를 척도로 하는 신뢰도 목표값 설정을 위해서는 일반적으로 연도별 운용시간과 해당 기간 중 발생이 예상되는 고장횟수가 필요하다. 이중 운용시간은 획득 초기에 활용 가능한 OMS/MP의 정량화를 통해 계산할 수 있지만, 고장횟수는 장비의 개별 특성이므로 유사장비의 고장횟수를 활용하여 산출해야 한다. 그러나 유사한 함정 무기체계 선정기준, 운용시간 차이에 따른 고장횟수 보정방안 등에 관한 기준이 없어 함정 무기체계별로 차이가 있을 수 있다.

한편 함정 무기체계를 포함한 선박의 건조 초기 단계에서는 과거에 건조된 선박의 자료 분석을 통해 도출된 모델(경험식)을 활용하고 있다. 예를 들어 선박 건조 초기 단계에서의 중량 추정, 요구한 속력 도달을 위한 소모마력 추정 등이 있으며, 이러한 경험식은 컴퓨터를 활용한 수치해석 등이 가능한 현대에 와서도 적용의 간편함과 짧은 계산시간으로 인해 아직도 선박의 설계에서 유용하게 활용되고 있다. 더불어 선박의 특성에 대한 통계적 분석을 통해 선박의 중량을 추정하고 함정 무기체계의 건조 기간을 예측하는 등 선박 건조 초기에 필요한 추가적인 모델을 개발하는 다양한 연구가 수행됐다[8,9]. 하지만 최근 그 중요성이 강조되고 있는 신뢰성 분야에서는 통계적 분석을 통해 함정 무기체계의 특성을 연구한 사례는 함정 무기체계와 경하 배수량 간의 상관관계를 밝힌 사례가 있었으나, 신뢰도 목표값 설정 방안에 관한 연구는 없었다[10].

본 연구는 수집된 함정 무기체계의 신뢰도 자료를 활용한 통계적 분석을 통해 함정 무기체계의 획득 초기 단계에 적용 가능한 신뢰도 목표값 설정에 활용할 수 있는 모델을 제안하였다. 2장에서는 함정 무기체계 신뢰도 목표값 설정 모델 개발을 위한 독립변수(Independent Variable) 및 종속변수(Dependent Variable) 개발 등 방법을 제시하였으며, 3장에서는 제시한 방법을 적용하여 함정 무기체계 군수 신뢰도 목표값 설정 모델을 도출하고 검증하였다.

본 논문의 내용 중 일부 자료의 구체적인 수치는 국방 업무의 특성을 고려하여 제외하고 작성하였다.

2. 통계 분석 방법

본 연구에서 수행한 함정 무기체계의 신뢰도 목표값 설정을 위한 통계 분석 절차를 위의 <Fig. 1>에 나타내었다. 먼저 야전운용제원 RAM 분석결과로부터 통계 분석

수행에 필요한 자료를 수집하고, 종속변수를 설정한다. 이후 독립변수 설정을 위한 변수를 조사하고, 다중공선성(Multicollinearity) 문제를 해결하기 위해 상관관계 분석(Correlation Analysis)을 통해 독립변수를 설정한다. 설정된 종속변수와 독립변수를 대상으로 다중 선형 회귀분석(Multiple Linear Regression Analysis)을 수행한다.

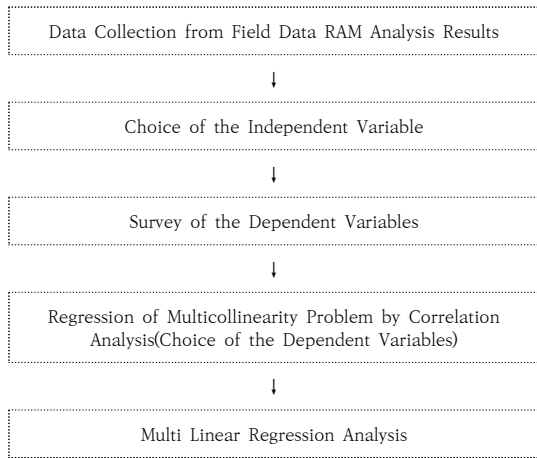


Fig. 1. The Statistical Analysis Process of Setting the Warship Weapon System Target Reliability

2.1 야전운용제원 RAM 분석

국방부 「총수명주기관리업무훈령」은 무기체계 운영의 효율성과 경제적인 군수지원을 보장하고 장비가동률을 향상하기 위하여 야전운용 자료를 수집하여 분석하고 그 결과를 환류시키기 위한 야전운용제원 RAM 분석을 국방기술품질원이 수행하도록 명시하고 있다[11]. 야전운용제원 RAM 분석은 실제 무기체계의 운용 자료인 야전운용 자료를 활용하여 무기체계의 RAM 값을 산출한다는 점에서 높은 가치가 있으며, 이러한 야전운용제원 RAM 분석 결과는 성능개량, 군수지원, 수리부속 산정 최적화 계획수립 등 다양한 요소에서 활용되고 있다.

야전운용제원 RAM 분석 기법은 관련 규정 등에 명시되어 있지 않아 다수의 연구를 통해 구체화되었다 [12-14]. 야전운용제원 RAM 분석을 통해 분석 대상 무기체계의 신뢰도(MTBF), 정비도(Mean Time To Repair, MTTR), 운용 가용도(Operational Availability) 등의 값이 산출되며, 이중 신뢰도는 모든 고장을 고려하여 산출하는 군수 신뢰도와 무기체계의 임무 수행에 영향을 미치는 고장만을 고려하여 산출하는 임무 신뢰도의 2가

지 값을 제공한다. 야전운용제원 RAM 분석을 통해 산출하는 함정 무기체계의 임무 신뢰도는 임무 고장으로 분류하는 방법으로 설문 조사에 의한 방법을 채택하고 있어 함정 무기체계별로 편차가 큰 것으로 알려져 있다 [10]. 따라서 본 연구의 통계 분석에서 활용할 함정 무기체계의 신뢰도 자료는 국방기술품질원에서 수행한 야전운용제원 RAM 분석 결과의 군수 신뢰도를 사용하였다.

2022년까지 국방기술품질원에서 수행한 야전운용제원 RAM 분석 대상 함정 무기체계는 중복으로 수행한 함정 무기체계를 포함하여 총 189척이며, 같은 형태를 가지고 있는 함정 무기체계의 집합을 의미하는 함형으로 구분하였을 때는 중복된 함형을 포함하여 총 31종의 함형이다. 본 연구에서는 단일 함정 무기체계의 운용 특성에 따라 나타나는 군수 신뢰도 특징의 영향을 최소화하기 위해 다수의 함정 무기체계를 함께 분석하여 산출한 함형의 군수 신뢰도를 기준으로 통계 분석을 수행하였다.

2.2 종속변수 선정

국방기술품질원의 야전운용제원 RAM 분석 과정에서는 군수 신뢰도를 산출할 때 고장 확률밀도함수를 지수 분포로 가정하는 방법과 모수에 따라 형상이 변화하는 Power Law 모델로 가정하는 방법 등 두 가지 방법을 사용하며, 해당 방법을 통해 산출한 군수 신뢰도 값을 모두 제공한다. 하지만 과거에 수행된 일부 분석 결과에서 지수분포 가정을 통해 산출한 군수 신뢰도만을 제시한 사례가 일부 식별되었다. 따라서 본 연구에서는 통계 분석에서 최대한 많은 양의 자료를 활용하기 위해 지수분포로 제시한 군수 신뢰도를 종속변수로 설정하고 통계 분석을 수행하였다. 군수 신뢰도의 척도는 고장 간 평균시간(MTBF)을 야전운용제원 RAM 분석과 동일하게 적용하였다.

2.3 독립변수 개발

통계 분석을 통한 함정 무기체계의 군수 신뢰도 목표값 설정을 위한 모델을 만들기 위해서 야전운용제원 RAM 분석 결과로부터 종속변수인 함형별 군수 신뢰도와 함께 수집할 독립변수를 개발해야 한다. 이때 개발할 독립변수는 함정 무기체계 군수 신뢰도 목표값 설정이라는 본 연구의 목적을 고려하여 함정 무기체계 개발 초기 단계에서 확인이 가능한 변수여야 한다.

함정 무기체계의 신뢰도 목표값이 설정되어야 하는 체계요구조건검토 이전에 활용할 수 있는 문서는 사업에

관련된 이해관계자가 제시한 작전운용성능(Required Operational Capability, ROC), 운용요구서(Operational Requirements Document, ORD) 등의 체계요구조건과 사업관리에 필요한 사업관리요구조건이 있다[1]. 특히 함정 무기체계의 경우 체계요구조건검토가 수행되는 기본설계 전에 탑재 무기체계 및 장비 개략배치, 선형 등의 요구성능을 구체화하는 개념설계를 수행하므로 사업 수행에 관한 요소 이외에도 성능에 관한 요소를 획득 초기 단계에서 다수 확보할 수 있는 것을 확인하였다[15].

먼저 본 연구에서는 함정 무기체계에 탑재되는 장비의 수와 관련이 있어 함정 무기체계의 군수 신뢰도와 높은 상관관계가 있는 것으로 나타난[10] 경하 배수량을 변수에 포함하였다. 또한, 같은 관점에서 탑재 장비 수에 영향이 있을 것으로 판단되고 획득 초기에 식별이 가능한 함정 무기체계의 크기에 관한 변수인 함정 무기체계의 길이와 폭을 독립변수 개발을 위한 변수로 반영하였다.

장비의 고장률은 수명주기에 따라 욕조 곡선(Bathhtub Curve) 등의 모양으로 추세가 변화하는 것으로 알려져 있으며, 따라서 고장률과 역수의 관계가 있는 신뢰도 역시 수명주기에 따라 변화할 것으로 예상된다. 따라서 함정 무기체계가 획득되는 시점과 함정 무기체계가 운용되는 시점에 따른 영향을 반영하기 위해 야전운용제원 RAM 분석을 수행하는 시점에서 분석 대상 함정 무기체계의 인도 후 연도를 변수로써 반영하였다. 이때 여러 함정 무기체계를 포함하는 함형을 기준으로 분석한 결과를 사용하기 위해 함형에 포함된 분석 대상 함정 무기체계의 평균 인도 후 연도를 사용하였다.

또한 함정 무기체계의 임무유형(Mission Profile) 등을 고려하여 주요 작전운용성능으로 제시되는 순항속력, 최대속력, 항속거리를 통계 분석 수행을 위한 독립변수 검토대상으로써 반영하였다. 더불어 OMS/MP 정량화를 통해 산출 가능한 연간 운용시간을 변수에 포함하였다. 야전운용제원 RAM 분석 결과에서도 분석 대상 무기체계의 연평균 운용시간을 추출할 수 있는 것을 확인하였다.

상기 검토를 통해 도출한 총 8개의 변수를 위의 <Table 1>에 나타내었다. <Table 1>에는 통계 분석 수행을 위해 선정된 독립변수 검토대상과 가독성을 고려하여 본 연구에서 사용한 기호를 함께 나타내었다. 이후 상관관계 분석 등 추가적인 검토를 통해 함정 무기체계의 군수 신뢰도 목표값 설정 모델을 도출하기 위한 통계 분석의 독립변수를 결정하였다.

Table 1. Variables for Statistical Analysis

Variable	Symbol
Light Ship Displacement(ton)	D
Length(m)	L
Width(m)	W
Post-Delivery year(year)	Y
Cruising Speed(knot)	Vc
Maximum Speed(knot)	Vm
Cruising Range(km)	C
Annual Operating Hours(hour)	H

2.4 통계 분석

먼저 선정된 독립변수 검토대상 간의 높은 상관관계에 의해 발생하는 다중공선성 문제를 제거하기 위해 변수 간의 상관관계를 분석하고, 상관관계가 높게 나타난 변수를 제거하는 등의 절차를 통해 최종 독립변수를 선정한다. 이후 선정된 독립변수 간의 상관관계 분석을 통해 독립변수의 분산팽창인자(Variance Inflation Factor, 이하 VIF) 확인하여 VIF가 10 이하로 나타나는지를 확인하여 다중공선성 문제가 발생하지 않는지를 검증한다.

최종 선정된 독립변수와 함정 무기체계의 군수 신뢰도 간의 다중 선형 회귀분석을 수행한다. 이후 F-통계량(F-Value)을 확인하여 산출된 모델의 유의성과 각 독립변수의 P-값(P-Value)을 확인하여 독립변수의 유의성을 검토한다. 이때 F-통계량과 P-값은 0.05보다 작아야 유의하다 할 수 있다.

다중 선형 회귀분석을 통해 산출한 함정 무기체계 군수 신뢰도 목표값 설정 모델의 설명력을 확인하기 위해 결정계수(R-Square), 조정된 결정계수(Adjusted R-Square) 등의 통계량을 확인한다. 더불어 본 연구에서 활용한 자료와의 일치성을 확인하고, 더불어 최근 함정 무기체계 획득 단계에서 설정한 실제 목표값과의 비교를 통해 모델의 타당성을 확인한다.

3. 통계 분석 결과

본 장에서는 2장에서 제시한 절차에 따라 실제 함정 무기체계의 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 통계 분석을 수행한 결과를 나타내었다.

3.1 분석 대상 자료

본 연구에서는 국방기술품질원에서 2022년까지 야전

운용제원 RAM 분석을 수행한 총 31종의 함형을 분석 대상으로 최초 고려하였으며, 아래의 추가 검토를 통해 검토대상을 최종 선정하였다.

국방기술품질원은 2017년에 개발한 분석 도구인 RAMV&V(RAM 목표값 검증/평가체계)를 통해 야전운용제원 RAM 분석을 수행하고 있다. 본 연구에서는 야전운용제원 RAM 분석 기법의 동일성을 확보하기 위해 RAMV&V의 개발연도를 고려하여 2018년부터 2022년까지 수행된 야전운용제원 RAM 분석 결과를 대상으로 통계 분석을 수행하였다.

Table 2. Classification of Warship Weapon System (National Defense Force Development Instruction)

Middle Classification	Subdivision
Surface Vessel	Battle Ship
	Mine Countermeasures Vessel
	Amphibious Warfare Ship
	Support Ship
Submarine	Submarine
Combat Service Support Boat	Patrol Boat
	Transport Boat
	Supply Boat
	...
...	...

국방부 「국방전력발전업무훈령」은 위의 <Table 2>에서 일부를 나타낸 것과 같이 함정 무기체계를 수면에 대한 위치와 임무에 따라 분류하고 있으며, 이러한 분류에 따라 함정 무기체계는 다른 특징을 가지고 있다[15]. 예를 들어 상륙함(Amphibious Warfare Ship)의 경우 상륙 임무를 수행하기 위해 병력, 차량, 항공기 등을 다수 탑재해야 하며, 이에 따라 경하 배수량과 만재 배수량의 차이가 전투함(Battle Ship)보다 큰 특징이 있으며, 상륙 임무를 고려하여 상대적으로 전투함보다 최대속력이 낮다. 따라서 본 연구에서는 함정 무기체계 분류에 따른 변수에 대한 영향을 최소화하고, 최대한 많은 통계 분석 자료를 확보하기 위해 함정 무기체계 세부분류(Subdivision) 분류 중에서 야전운용제원 RAM 분석이 가장 많이 수행된 전투함을 분석 대상으로 선정하였다.

더불어 2018년부터 2022년까지 수행된 함정 무기체계의 야전운용제원 RAM 분석 결과를 확인한 결과 같은 함형에서 수행된 연도에 따라 군수 신뢰도가 약 1.4배에서 약 2.3배까지 차이를 보이는 경우가 일부 식별되었다. 본 연구에서는 함정 무기체계 군수 신뢰도 목표값 설정

모델을 만들기 위한 목적을 고려하여 같은 함형에서 다른 연도에 수행된 군수 신뢰도와 비교했을 때 큰 차이를 나타내는 자료 3건을 식별하고 통계 분석 자료에서 제외하였다. 또한, 군수 신뢰도의 크기가 다른 함형과 비교했을 때 약 9.8배로 차이가 과도한 것으로 판단되는 1개 함형을 통계 분석 자료에서 제외하였다.

위 검토를 통하여 본 연구의 통계 분석 자료로서 총 108척의 함정 무기체계가 포함된 13종의 함형을 선정하였다. 통계 분석 수행에서는 많은 양의 자료를 활용하는 것이 중요한데, 위 검토를 통해 선정한 13건의 자료는 통계 분석 자료로서 부족해 보일 수 있다. 하지만 우리나라 함정 무기체계의 함형 자체의 수가 적어 많은 양의 자료를 확보하는 것에 제한이 있으며, 과거 선박 또는 함정 무기체계를 대상으로 한 통계 분석 연구 사례에서도 각각 21건, 6건, 9건의 자료를 활용한 점, 현재까지 수행된 야전운용제원 RAM 분석 결과를 보았을 때 추가적인 자료의 확보가 어렵다는 점 등을 고려하여, 본 연구의 통계 분석 자료로서 위 13종의 함형을 최종 선정하였다[8-10].

국방 업무의 특성을 고려하여 통계 분석 대상 변수의 구체적인 수치 등 세부 내용은 본 논문에서 나타나지 않았다.

3.2 통계 분석

본 연구에서 수행하는 상관관계 분석, 다중 선형 회귀 분석 등의 통계 분석은 Microsoft 사의 Excel에서 제공하는 통계 데이터 분석 기능을 활용하여 수행했다.

3.2.1 독립변수 상관관계 분석

독립변수 간의 다중공선성 문제를 제거하기 위해 먼저 위의 <Table 1>에 나타난 변수 간의 상관관계를 분석했으며, 분석한 결과를 아래 <Table 3>에 나타내었다. <Table 3>에 나타난 수치는 본 논문의 가독성을 고려하여 소수점 아래 2자리까지 표시하였다.

Table 3. The Result of the Correlation Analysis between Variables

Vari.	Y	H	Vc	Vm	C	L	W	D
Y	1.00	-	-	-	-	-	-	-
H	0.49	1.00	-	-	-	-	-	-
Vc	-0.29	0.38	1.00	-	-	-	-	-
Vm	-0.27	-0.88	-0.70	1.00	-	-	-	-
C	0.11	0.75	0.84	-0.94	1.00	-	-	-
L	0.00	0.59	0.89	-0.83	0.97	1.00	-	-
W	-0.11	0.46	0.93	-0.73	0.91	0.98	1.00	-
D	-0.11	0.37	0.92	-0.65	0.86	0.95	0.99	1.00

변수 중에서 함정 무기체계의 크기와 관련이 있는 변수는 길이(L), 폭(W), 경하 배수량(D)으로, <Table 3>에서 해당 변수 간의 상관관계수는 0.95부터 0.99까지를 나타내며, 이는 상당히 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 볼 수 있다. 이러한 높은 상관관계는 선체가 밀어낸 물의 중량을 의미하는 배수량(D)이 선체의 부피와 직접적인 관계가 있고, 부피는 길이(L), 폭(W) 그리고 깊이의 곱으로 산출된다는 점에서 예상 가능한 결과라 할 수 있다. 본 연구에서는 서로 높은 상관관계를 나타내고 있어 다중공선성 문제가 나타날 것으로 예상되는 크기에 관한 세 변수 중에서 나머지 두 변수를 포함하는 종합적인 성격을 가지고 있는 경하 배수량(D)을 선형 회귀분석을 위한 독립변수로 선정하고 나머지 길이(L)와 폭(W)은 독립변수에서 제외하였다.

<Table 3>에서 속력과 관련이 있는 최대속력(Vm), 순항속력(Vc), 항속거리(C)와 위 검토를 통해 선정된 독립변수인 경하 배수량(D)의 상관관계를 보면, 순항속력(Vc)과 항속거리(C)가 각각 0.92, 0.86으로 높은 상관관계를 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 다중공선성 문제를 고려하여 경하 배수량(D)과 높은 상관관계가 있는 순항속력(Vc)과 항속거리(C)를 제외하고 최대속력(Vm)을 독립변수로 선정하였다.

마지막으로 시간에 관련된 변수인 인도 후 연도(Y)와 연평균 운용시간(H)를 보면 연평균 운용시간(H)의 경우 선정된 독립변수인 최대속력(Vm)과 0.88로 높은 상관관계를 나타내므로, 본 연구에서는 인도 후 연도(Y)를 독립변수로 선정하였다.

Table 4. The Result of the Correlation Analysis between Independent Variables

Variable	VIF
Y	1.282859
H	2.216157
Vc	2.075089

다중공선성 문제를 제거하기 위해 수행한 상관관계 분석에서 경하 배수량(D), 최대속력(Vm), 인도 후 연도(Y)가 선형 회귀분석을 위한 독립변수로 선정되었으며, 선정된 독립변수를 대상으로 확인한 분산팽창인자를 위의 <Table 4>에 나타내었다. 세 독립변수의 분산팽창인자는 약 1.28에서 약 2.08의 값으로 크기가 10 이하로 나타났다. 이를 통해 독립변수 간의 높은 상관관계에 의해 발생하는 다중공선성 문제가 발생하지 않으리라고 예

상할 수 있다.

3.2.2 다중 선형 회귀분석

선정된 독립변수인 경하 배수량(D), 최대속력(Vm), 인도 후 연도(Y)와 종속변수인 군수 신뢰도를 대상으로 Microsoft 사의 Excel에서 제공하는 다중 선형 회귀분석 기능을 사용하여 통계 분석을 수행했으며, 회귀분석 결과 중 선형 회귀분석 결과의 유의성을 확인할 수 있는 F-통계량과 각 독립변수의 P-값, 그리고 회귀분석의 설명력을 나타내는 결정계수(R-Square), 조정된 결정계수(Adjusted R-Square)를 아래의 <Table 5>에 나타내었다.

<Table 5>를 보면 F-통계량과 P-값 모두 0.05 이하로서 다중 선형 회귀분석 결과가 유의하다고 할 수 있으며, 결정계수(R-Square)와 조정된 결정계수(Adjusted R-Square)가 각각 약 0.96, 0.95로서 함정 무기체계 중 전투함의 군수 신뢰도를 설정하기 위한 모델로서 적합하다고 생각할 수 있다.

Table 5. The F-Value and P-Value of the Linear Regression Analysis

Value	VIF	
F-Value	0.0000008	
P-Value	D	0.0072472
	Vm	0.0004332
	Y	0.0000595
R-Square	0.9637190	
Adjusted R-Square	0.9516253	

3.3 전투함 군수 신뢰도 목표값 설정 모델

경하 배수량(D), 최대속력(Vm), 인도 후 연도(Y)를 독립변수로 하고 야전운용제한 RAM 분석을 통해 산출한 총 13종의 함형의 군수 신뢰도를 종속변수로 하여 다중 선형 회귀분석을 통해 개발한 함정 무기체계 중 전투함의 군수 신뢰도 목표값 설정 모델은 아래 Eq. (1)과 같다.

$$R_{system} = 13.129943 \tag{1}$$

$$- (0.0021087 \times D)$$

$$+ (0.7088937 \times Vm)$$

$$- (0.5869938 \times Y)$$

여기서 R_{System} 은 전투함의 군수 신뢰도를 나타내며 D, Vm, Y는 각각 경하 배수량(D), 최대속력(Vm), 인도 후 연도(Y)를 나타낸다.

Eq. (1)의 전투함 군수 신뢰도 목표값 설정 모델의 타당성을 검증하기 위해, 야전운용제원 RAM 분석을 통해 산출한 함정 무기체계 군수 신뢰도 3건과 함정 무기체계 획득 단계에서 설정한 군수 신뢰도 목표값 1건을 본 연구를 통해 개발한 모델로부터 산출된 군수 신뢰도와 비교하였다. 그리고 그 비교한 결과를 아래 <Table 6>에 나타내었다. 이때 함정 무기체계 획득 단계에서 설정한 군수 신뢰도 목표값과 비교하기 위해 개발된 모델의 인도 후 연도는 0년으로 입력하였다.

Table 6. Comparison of System Reliability by Field Data RAM Analysis Results, Actual Target System Reliability with the Developed Model

Ship	Field Data RAM Analysis Result (hr)	Actual Target System Reliability (hr)	Developed Model (hr)	Difference (%)
A	00.0	-	11.77	0.63
B	00.0	-	15.15	11.39
C	00.0	-	24.90	12.66
D	-	00.0	20.69	6.10

본 연구를 통해 개발한 함정 무기체계 군수 신뢰도 목표값 설정 모델을 통해 산출한 군수 신뢰도는 야전운용제원 RAM 분석 결과의 군수 신뢰도(Ship A, B, C)와 0.63%부터 12.66%까지의 차이를 나타냈으며, 함정 무기체계 획득 단계에서 설정한 군수 신뢰도(Ship D)와는 6.1%의 차이를 보였다. 국방 업무의 특성을 고려하여 야전운용제원 RAM 분석 결과의 군수 신뢰도와 획득 과정에서 설정한 군수 신뢰도 목표값은 본 논문에서 나타내지 않았다.

4. 결론

본 연구는 시제품이 없는 특징 등을 고려하여 다른 무기체계보다 의사결정이 빠른 함정 무기체계 획득 초기 단계에서 활용 가능한 군수 신뢰도 목표값 설정 방안을 도출하기 위해, 실제 함정 무기체계의 운용 자료를 활용하여 수행하는 국방기술품질원의 야전운용제원 RAM 분석 결과를 통계 분석하고 군수 신뢰도 목표값 설정 모델

을 제안하였다. 통계 분석 기법의 하나인 다중 선형 회귀 분석을 수행하기 위해 함정 무기체계의 획득 초기 단계에서 확보할 수 있고 함정 무기체계의 특징을 나타낼 수 있는 변수를 선정했으며, 함정 무기체계 세부분류에 따라 나타날 수 있는 영향을 배제하고 가장 많은 수의 자료를 확보하기 위해 전투함을 통계 분석 대상으로 선정하였다. 이후 검토대상 독립변수 간의 상관관계 분석을 통해 배수량(D), 최대속력(Vm), 인도 후 연도(Y)를 독립변수로 선정했으며, Microsoft Excel을 활용하여 다중 선형 회귀분석을 수행하여 조정된 결정계수가 약 0.95인 전투함 군수 신뢰도 목표값 설정 모델을 제안하였다. 제안된 모델을 통해 기존 함정 무기체계의 군수 신뢰도를 추정할 때는 야전운용제원 RAM 분석을 통해 도출된 군수 신뢰도와 비교했을 때 MTBF 기준으로는 약 0.074 시간에서 약 3.15 시간의 차이에 해당하는, 약 0.63%에서 약 12.66%의 차이를 나타냈다. 더불어 제안된 모델을 통해 함정 무기체계의 군수 신뢰도를 추정할 때는 개발 시 설정한 군수 신뢰도와 비교했을 때는 약 6.1%, MTBF 기준으로 약 1.26 시간의 차이를 나타냈다.

본 연구는 함정 무기체계 또는 선박 건조 시 초기 단계의 의사결정에서 다양하게 활용하고 있는 경험식(모델)과 함정 건조기간 예측, 중량추정 등 통계 분석을 통한 모델 개발 사례에 착안하여, 통계 분석을 통해 함정 무기체계 획득 초기 단계에서 활용 가능한 군수 신뢰도 목표값 설정 모델을 개발하였다. 다만, 함정 무기체계 자료의 특성상 많은 양의 자료를 활용한 통계 분석 수행은 제한되었다. 하지만 본 연구를 통해 도출한 함정 무기체계 군수 신뢰도 목표값 설정 모델은 유사 함정 자료를 활용하여 군수 신뢰도 목표값을 설정하는 방법에 함께 추가적인 검증 방안으로써 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 더불어 지속적인 함정 무기체계 군수 신뢰도 자료 확보와 추가적인 통계 분석 기법 개발 등을 통해 신뢰성이 높은 함정 무기체계의 군수 신뢰도 목표값 설정 모델을 개발할 수 있을 것으로 생각한다.

향후 함정 무기체계 중 전투함 외에도 기뢰전함, 상륙함, 지원함 등의 군수 신뢰도 목표값 설정 모델 개발에 관한 연구와 현재 개발된 모델에 추가적인 독립변수 식별 등을 통해 정확성을 높이기 위한 연구의 필요성이 제기된다. 더불어 함정 무기체계의 군수 신뢰도 목표값 설정과 함께 신뢰도 성장 관리에 필요한 함정 무기체계 획득 과정에서 활용 가능한 신뢰도 분석 방안에 관한 연구를 수행할 예정이다.

References

- [1] Defense Acquisition Management Regulation, Defense Acquisition Program Administration, Korea, 2023, pp. 45-52.
- [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] 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>
- [9] 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>
- [10] 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>
- [11] Total Life Cycle Management Instruction, Ministry of National Defense, Korea, 2022, pp. 45-47.
- [12] G. M. Park, "A Study on Process and Case of RAM Analysis in Ground Weapon System Using Field-Data", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 20, No. 5, pp. 485-491, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.5.485>
- [13] J. M. Sohn, C. M. Chang, Y. D. Won, "A Case Study of RAM Analysis Using Field Data:Focusing on Korean Warship", *Journal of the Korea Contents Association*, vol. 12, No. 12, pp. 395-412, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2012.12.12.395>
- [14] S. C. Ha, S. J. Han, "Study on RAM Analysis Process for Air Force Weapon System Based on Field Data", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 23, No. 11, pp. 227-235, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.11.227>
- [15] National Defense Force Development Instruction, Ministry of National Defense, Korea, 2022, pp. 11-12.

조 은 별(Eun-Byeol Jo)

[정회원]



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

<관심분야>

신뢰성, 유체역학, 수치해석