

## 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용한 함정 무기체계 신뢰도 할당 방안 및 사례 연구

조은별<sup>1</sup>, 정영인<sup>1\*</sup>, 김용현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국방기술품질원 국방신뢰성연구센터, <sup>2</sup>한남대학교 산업공학과

### A Study on The Reliability Allocation for Warship Weapon System Using Field Data RAM Analysis Results

Eun-Byeol Jo<sup>1</sup>, Young-In Jung<sup>1\*</sup>, Yong-Hyun Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality

<sup>2</sup>Division of Industrial Engineering, Hannam University

**요약** 무기체계의 신뢰성이 더욱 강조되고 있는 가운데 무기체계 개발 단계에서는 신뢰도 목표값을 달성하여야 하며, 따라서 신뢰도를 성장 관리하기 위해 체계 수준에서 설정되는 신뢰도 목표값을 하위 수준으로 배정하는 신뢰도 할당은 중요하다. 본 연구는 함정 무기체계의 신뢰도 할당에 관한 연구로서 국방기술품질원에서 수행하고 있는 무기체계의 야전 운용제원 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 분석 결과를 활용한 신뢰도 할당 방안을 제시하고 이를 실제 함정 무기체계에 적용하였다. 함정 무기체계의 신뢰도 목표값을 함정 무기체계의 고유한 작업분할구조인 SWBS(Ship Work Breakdown Structure) 그룹에 할당하고 이어서 장비 수준까지 할당하는 절차를 제시하였으며, 유사장비의 고장률 비율에 따라 신뢰도를 할당하는 ARINC 방법을 적용하는 과정에서 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 가중치를 계산하였다. 제시한 신뢰도 할당 방안을 개발이 완료된 함정 무기체계에 적용하였으며, 할당한 신뢰도 값과 신뢰성 시험평가의 기준이 되는 신뢰도 예측값과의 일치성이 개발 시 할당한 신뢰도 값보다 약 22% 향상되었음을 확인하였다.

**Abstract** This study developed a reliability allocation method for warship weapon systems using the field data RAM analysis results conducted by the Defense Agency for Technology and Quality and applied it to an actual warship weapon system. As a procedure for allocating the target reliability, it was allocated first to the SWBS group, a unique work division structure of the warship weapon system, and then to the equipment. When applying the ARINC method, which allocates reliability according to the failure ratio of similar equipment, weights were calculated using the field data RAM analysis results. The proposed reliability allocation method was applied to the developed warship weapon system. The consistency between the allocated and predicted reliability, which is the basis for the reliability test and evaluation, was improved by approximately 22%.

**Keywords** : Reliability, Reliability Allocation, Field Data RAM Analysis, Warship Weapon System, SWBS

\*Corresponding Author : Young-In Jung(Defense Reliability Research Center, Defense Agency for Technology and Quality)  
email: jungyi@dtaq.re.kr

Received February 23, 2023

Revised March 23, 2023

Accepted April 7, 2023

Published April 30, 2023

## 1. 서론

무기체계는 전쟁이 발발한 순간에 제 성능을 발휘해야 하므로 운용 중에 발생하는 고장에 관련이 있는 신뢰성이 매우 중요하다. 우리나라는 신뢰성 있는 무기체계를 획득하기 위해 연구개발 초기 단계에서부터 신뢰성의 정량적인 기준이 되는 RAM(Reliability, Availability, Maintainability, 신뢰도, 가용도, 정비도) 목표값을 설정하고 이를 달성하도록 관리하고 있다. 그리고 RAM 목표값 중에서 신뢰도는 주어진 조건에서 규정된 시간 동안 의도한 기능을 고장 없이 수행할 수 있는지를 의미하므로, 열악한 환경에서 운용되는 무기체계에 있어 신뢰도는 무엇보다 중요하다 할 수 있다[1].

무기체계 개발 단계에서는 신뢰도 목표값을 달성하기 위해 신뢰도 목표값 할당, 신뢰성 설계, 신뢰도 예측 및 시험평가의 절차를 거쳐 최종적으로 신뢰도 목표값의 달성 여부를 확인한다[1]. 이 중 신뢰도 목표값 할당은 체계 수준의 신뢰도 목표값을 하위 시스템의 신뢰도 목표값으로 배정하는 것으로 신뢰성 있는 무기체계를 획득하기 위한 첫걸음이라 할 수 있다. 「무기체계 RAM 업무편람」[1]은 신뢰도 목표값 할당의 방법으로 동등할당 방법, ARINC 방법, AGREE 방법, Feasibility of Objective 방법을 사용하도록 제시하고 있다. 하지만 무기체계 종류, 보유자료 종류 등에 따른 구체적인 적용 방안이 명시되어 있지 않다. 따라서 신뢰도 할당 방안을 검토하여 수중유도 무기체계 및 함정용 디젤엔진에 적용한 사례에 관한 연구가 수행된 바 있다. 수중유도 무기체계[2]의 사례에서는 자료의 획득 가능 여부와 개발 진행 단계를 고려하여 ARINC 방법을 적용하였으며, 함정용 디젤엔진[3]의 사례에서는 여러 가지 방법을 적용하여 비교하고 이중 운영유지 비용이 가장 적은 방법으로 동등할당 방법을 도출하였다.

함정 무기체계의 경우 체계 수준의 신뢰도 목표값 할당 방안은 연구로서 수행된 사례는 없으며, 000 함정 등 2건의 함정 무기체계 개발 사례에서 유사장비의 신뢰도, NPRD(Non Electronic Parts Reliability Data) 등으로부터 장비별 가중치를 산출하고 가중치와 신뢰도 목표값을 곱하여 할당하는 ARINC 방법을 사용하여 체계 수준의 신뢰도 목표값을 장비 수준으로 할당하였다[4,5]. 하지만 위 2건의 사례에서 장비 수준으로 할당한 신뢰도 목표값과 RAM 분석을 통해 예측한 신뢰도 값의 차이가 커 장비에 대한 신뢰성 설계의 업무 기준으로 할당한 신뢰도 값을 활용하는 것은 제한되는 것으로 나타났다[6].

따라서 함정 무기체계 개발 시 장비에 할당한 신뢰도와 신뢰도 시험평가의 기준이 되는 예측한 신뢰도의 차이를 줄이기 위한 효과적인 신뢰도 할당 방법에 관한 연구가 필요하다.

한편 국방기술품질원은 「총수명주기관리업무훈령」[7]에 따라 야전에서 운용하고 있는 무기체계의 운용 자료를 분석하고 환류하는 야전운용제원 RAM 분석을 2014년부터 수행하고 있다. 현재까지 국방기술품질원은 총 128종의 무기체계에 대해 야전운용제원 RAM 분석을 수행하였으며, 이중 함정 무기체계는 총 31종이 포함되어 있다. 야전운용제원 RAM 분석에 관한 연구는 분석을 수행하는 방안에 관한 연구가 무기체계 유형별로 수행된 사례가 있으나[8-10], 야전운용제원 RAM 분석의 결과를 활용하는 응용에 관한 연구는 수행된 사례가 없어 이와 관련된 연구의 필요성이 제기된다.

본 연구는 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 함정 무기체계에 효과적인 신뢰도 목표값 할당 방안을 제시하고, 할당된 신뢰도 값과 예측된 신뢰도의 차이를 확인하는 사례 연구를 통해 제시한 방안을 검증하였다. 2장에서는 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 함정 무기체계에 효과적인 신뢰도 목표값 할당 방안을 제시하였으며, 3장에서는 제시한 신뢰도 목표값 할당 방안을 실제 함정 무기체계의 사례에 적용하여 비교 분석함으로써 방안의 타당성을 검증하였다. 본 논문에서는 국방 업무의 특성을 고려하여 일부 구체적인 수치에 관한 내용은 제외하고 작성하였음을 미리 밝힌다.

## 2. 야전운용제원 RAM 분석

### 2.1 분석 절차

야전운용제원 RAM 분석은 고장, 운용, 탑재 장비, 수리 부속 등 분석에 필요한 자료를 수집하고 수집된 자료를 보정 후에 신뢰도, 정비도, 가용도를 도출하는 절차로 수행된다. 구체적인 함정 무기체계의 야전운용제원 RAM 분석 방안에 관한 내용은 관련 규정에 명시되어 있지 않아 이와 관련한 연구가 2012년에 수행되었으며[9], 2014년 이후부터는 야전운용제원 RAM 분석을 수행하는 과정에서 분석 방안을 지속해서 보완하고 있다. 야전운용제원 RAM 분석에서 필요한 자료는 국방군수통합정보체계(DELIIIS, Defense Logistics Integrated Information System, 이하 DELIIIS)와 해군으로부터 받고 있으며, 수집한 자료를 해군 등 관계 기관이 참여하는

분석협의체에서 보정하여 사용하고 있다. RAM 분석은 국방기술품질원에서 2017년에 개발한 RAM 분석 도구 (RAMVV)를 활용하여 수행한다.

## 2.2 신뢰도

야전운용제원 RAM 분석을 통해 산출하는 신뢰도의 척도는 고장 간 평균시간(MTBF, Mean Time Between Failures, 이하 MTBF)으로 고장 발생을 지수분포로 가정하여 산출하는 방법(이하 지수분포 방법)과 파라미터 값에 따라 고장률이 변화하는 모델인 Power Law Model을 적용하여 분석한 방법(이하 PLM 방법)의 두 가지 방법을 통해 산출한다. 신뢰도는 실제 임무 수행과의 연관성을 고려하여 임무 신뢰도와 군수 신뢰도로 구분할 수 있으며, 야전운용제원 RAM 분석은 임무 신뢰도와 군수 신뢰도를 모두 제공한다. 군수 신뢰도는 분석 기간 중 발생한 모든 고장을 고려한 신뢰도이며, 임무 신뢰도는 임무 필수장비에 임무 수행에 영향이 있는 고장만을 고려한 신뢰도이다.

본 연구에서는 함정 무기체계의 야전운용제원 RAM 분석 결과로부터 도출된 체계 및 장비 수준의 신뢰도를 신뢰도 목표값을 할당하는 과정에서 활용하고자 하였다.

## 2.3 함정작업분할구조

「총수명주기관리업무훈령」[7]은 무기체계의 체계 수준뿐만 아니라 분석 가능한 하위 수준까지 야전운용제원 RAM 분석을 하도록 명시하고 있다. 따라서 야전운용제원 RAM 분석 초기에 탑재 장비에 대한 구조 자료를 작성하거나 확보하여 해당 구조 자료를 기준으로 야전운용제원 RAM 분석을 수행한다. 하지만 DELIIS는 탑재 장비의 목록은 제공하지만 구조 정보는 제공하고 있지 않으며, 함정 무기체계의 경우 개발 시에 작성하는 구조 정보 자료는 DELIIS의 장비 목록과 일치하지 않고 약 30종의 임무 필수장비에 대한 구조만을 작성하고 있어 탑재되는 모든 장비를 분석 대상으로 하는 야전운용제원 RAM 분석에 직접 사용하는 것은 제한된다.

국방기술품질원은 함정 무기체계의 야전운용제원 RAM 분석을 수행할 때마다 분석 대상 함정 무기체계의 탑재 장비 구조 자료를 작성하고 있으며, 이때 함정 무기체계의 소요기획, 개발, 운영 단계의 전 수명주기에서 적용되고 있는 독자적인 작업분할 구조인 함정작업분할구조(SWBS, Ship Work Breakdown Structure, 이하 SWBS)를 활용하고 있다. SWBS는 함정 하부의 구성요

소들을 기능에 따라 조직화한 구조로서 아래 <Table 1>에 나타난 것과 같이 총 7개의 그룹으로 탑재 장비를 분류하도록 하고 있다.

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

SWBS 그룹은 장비를 함정 무기체계 개발 단계와 야전운용제원 RAM 분석에서 공통으로 적용하고 있으므로, 무기체계 개발 단계에서 수행하는 신뢰도 목표값을 할당하는 과정에서 적용이 용이하다. 더불어 SWBS 그룹은 장비의 기능과 특성에 따라 장비를 분류하므로, SWBS 그룹에 따라 분류된 장비는 기본적으로 기계 장비, 전자 장비 등과 같이 유사한 신뢰도 특성이 있을 것으로 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 신뢰도 목표값 할당이 되는 대상 장비를 SWBS 그룹을 활용하여 구조화하여 신뢰도 목표값을 할당하는 방안을 제시하였다.

## 3. 신뢰도 목표값 할당 방안

야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용한 함정 무기체계 신뢰도 목표값 할당은 신뢰도 목표값을 먼저 SWBS 그룹별로 할당하고 이후 개별 장비에 할당하는 순서로 진행되며, 세부 절차를 위의 <Fig. 1>에 나타내었다. 신뢰도 할당의 수준은 레벨 3인 장비 수준까지 수행한다. 체계 수준에서 SWBS 그룹으로 그리고 SWBS 그룹에서 장비로 할당하는 과정에서 사용하는 신뢰도 할당 방법은 유사한 장비의 고장률 자료를 사용하는 ARINC 방법을 적용한다. 동등할당방법은 SWBS 그룹 또는 장비의 특성을 반영할 수 없다는 제한사항이 있으며, AGREE 방법, Feasibility of Objective 방법은 복잡성, 중요도, 기술 수준, 부품수 등 함정 무기체계 개발 단계 또는 운용 단계에서 획득하고 있지 않은 자료가 필요하여 사용하고 있지 않다. ARINC 방법은 유사 무기체계 또는 장비의

고장률 자료가 있는 경우에 적용할 수 있다는 한계가 있지만, 활용 가능한 자료가 있는 경우에는 간편하게 사용할 수 있는 장점이 있어 현재까지 함정 무기체계의 신뢰도 할당 과정에서 사용하고 있다.

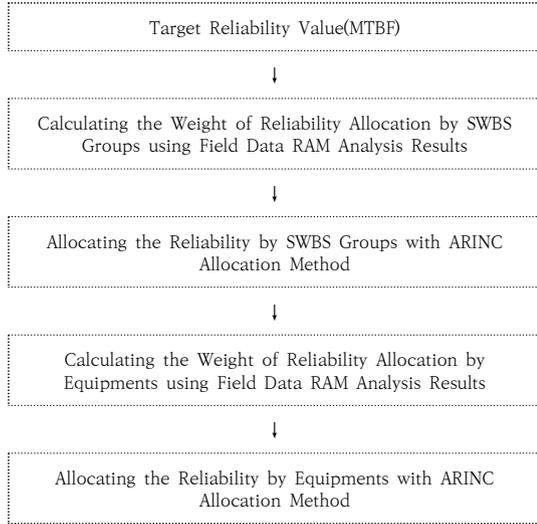


Fig. 1. The Reliability Allocation Process for Warship Weapon System using Field Data RAM Analysis Results

### 3.1 SWBS 그룹별 가중치 계산

함정 무기체계의 개발 단계에서 신뢰도 목표값은 MTBF 값으로 설정된다. 이후 신뢰도 목표값을 SWBS 그룹에 할당하기 위해서 SWBS 그룹별 가중치를 계산한다. SWBS 그룹은 기능에 따라 장비를 분류하며 서로 중복된 기능이 없으므로 신뢰도가 서로 독립적인 직렬 구조로 구성되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 SWBS 그룹별 가중치는 유사 함정 무기체계에 대해 수행한 야전운용제한 RAM 분석 결과로부터 SWBS 그룹별 고장률 자료를 수집하여, Eq. (1)과 같이 계산한다.

$$\omega_i^* = \frac{\lambda_i^*}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^*} \quad (1)$$

여기에서  $\omega_i^*$ 는 SWBS 개별 그룹의 가중치를 나타내며,  $\lambda_i^*$ 는 유사 함정 무기체계의 야전운용제한 RAM 분석 결과로부터 수집한 SWBS 개별 그룹의 고장률을 나타낸다.

야전운용제한 RAM 분석 결과를 활용하여 SWBS 그룹에 신뢰도 목표값을 할당하기 위해서는 유사 함정 무기체계의 선정이 매우 중요하다. 함정 무기체계는 함정

무기체계의 유형별로 SWBS 그룹에 포함된 장비의 수량과 탑재되는 장비의 종류가 다르기 때문이다. 예를 들어 전투함의 경우 탑재되는 무장이 많으므로 SWBS 그룹 중 무장(700)의 장비 수량이 상륙함, 지원함 등 다른 유형의 함정 무기체계와 비교했을 때 많다. 따라서 유사 함정 무기체계의 선정은 전투함, 상륙함, 지원함 등 함정 무기체계의 분류를 검토하여 반영하여야 하며, 더불어 다수의 함정 무기체계를 선정하여 고장률을 산술평균하여 가중치를 계산하는 등 유사 함정 무기체계 선정으로부터 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위한 노력이 필요하다.

### 3.2 SWBS 그룹별 신뢰도 목표값 할당

SWBS 그룹별 신뢰도 목표값 할당은 Eq. (1)을 통해 산출한 가중치를 신뢰도 목표값과 곱하는 Eq. (2)의 ARINC 방법에 따라 수행한다.

$$\lambda_i^* = \omega_i^* \cdot \lambda_{Target} \quad (2)$$

여기에서  $\lambda_i^*$ 는 SWBS 그룹에 할당된 고장률을 나타내며,  $\lambda_{Target}$ 은 함정 무기체계의 신뢰도 목표값으로부터 산출한 고장률을 나타낸다.

SWBS 그룹에 할당된 고장률로부터 SWBS 그룹에 할당한 MTBF는 Eq. (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$R_i^* = \frac{10^6}{\lambda_i^*} \quad (3)$$

여기에서  $R_i^*$ 는 SWBS 그룹에 할당한 MTBF를 나타낸다.

### 3.3 장비별 가중치 계산

SWBS 그룹에서 장비별로 신뢰도 목표값을 할당하기 위한 가중치를 계산하는 방법은 함정 무기체계에서 SWBS 그룹으로 신뢰도 목표값을 할당하기 위한 가중치를 계산하는 방법과 유사하다. 다만 함정 무기체계는 신뢰성과 생존성을 고려하여 같은 장비를 다수 탑재하는 때도 있고 장비 간의 기능이 연관된 때도 있다. 따라서 장비 간의 임무와 수량을 검토하여 직렬 또는 병렬 여부를 구분한 구조를 작성하여야 하며, 구조 작성 후 가중치 계산은 Eq. (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_i^{**} = \frac{\lambda_i^{**}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^{**}} \quad (4)$$

여기에서  $\omega_i^{**}$ 는 SWBS 그룹에서 개별 탑재 장비의 가중치를 나타내며,  $\lambda_i^{**}$ 는 유사한 함정 무기체계의 야전운용

제원 RAM 분석 결과로부터 수집한 탑재 장비의 고장률을 나타낸다.

### 3.4 장비별 신뢰도 목표값 할당

SWBS 그룹에서 장비별로 신뢰도 목표값을 할당하는 방법은 함정 무기체계에서 SWBS 그룹으로 신뢰도 목표값을 할당하는 방법과 동일한 ARINC 방법을 사용하며, Eq. (5)와 같이 개별 장비에 신뢰도 목표값을 할당한다.

$$\lambda_i^{**} = \omega_i^{**} \cdot \lambda_i^* \quad (5)$$

여기서  $\lambda_i^{**}$ 는 SWBS 그룹에 할당한 고장률을 나타낸다.

SWBS 그룹에 할당된 고장률로부터 SWBS 그룹에 할당한 MTBF는 Eq. (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$R_i^{**} = \frac{10^6}{\lambda_i^{**}} \quad (6)$$

여기서  $R_i^{**}$ 는 SWBS 그룹에 할당한 MTBF를 나타낸다.

본 연구에서 제안한 신뢰도 할당 방법은 수중유도무기 체계의 신뢰도 할당 사례[2]와 같이 체계 수준에서 부체계 수준으로 순차적으로 신뢰도를 할당하였다는 점에서 유사하지만, 함정 무기체계에만 존재하고 모든 함정에 공통으로 적용할 수 있는 SWBS를 활용하였다는 점과 ARINC 방법을 적용하는 과정에서 실제 함정 무기체계의 운용 자료가 반영된 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하였다는 점에서 특징이 있다.

## 4. 신뢰도 목표값 할당 결과

본 장에서는 2장에서 제안한 함정 무기체계의 신뢰도 목표값 할당 방안을 개발이 완료된 함정 무기체계에 적용하고, 해당 함정 무기체계의 개발 단계에서 수행한 신뢰도 할당 결과와 비교하고자 한다.

### 4.1 대상 시스템

본 연구에서는 2018년에 취역한 ○○○ 함정 무기체계를 대상으로 신뢰도 목표값을 할당하였다. 해당 함정 무기체계는 개발 단계에서 수행한 체계 수준의 신뢰도 목표값을 장비로 할당한 자료와 예측을 통해 산출한 장비별 신뢰도 예측값을 모두 확보가 가능하여 본 연구에서 제안한 신뢰도 목표값 할당 결과와의 비교가 용이하다. 더불어 ○○○ 함정 무기체계는 전투 임무를 주임무로 하는 전투함으로서, 지금까지 수행한 야전운용제원

RAM 분석에서 다수의 전투함을 수행한 결과가 있어 이를 활용할 수 있다.

○○○ 함정 무기체계는 개발 단계에서 임무 수행에 반드시 필요한 25종의 임무 필수장비를 선정하고 해당 임무 필수장비의 신뢰도만을 고려하는 임무 신뢰도를 목표값으로 설정하였다. 이후 임무 필수장비 간의 구조를 작성하고 구조를 고려하여 임무 신뢰도 목표값을 장비 수준까지 할당하였다. 이때 사용한 신뢰도 할당 방법은 ARINC 방법으로, 가중치 계산에 필요한 유사장비의 고장률은 NPRD-95로부터 도출하였다.

### 4.2 신뢰도 목표값 할당 기준

본 연구에서는 할당한 신뢰도 목표값을 개발 단계에서 예측한 신뢰도 값과 비교하기 위해 ○○○ 함정 무기체계의 개발 단계에서 설정한 임무 신뢰도 목표값을 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 할당하였다. 이때 임무 신뢰도의 척도는 야전운용제원 RAM 분석과 함정 무기체계 개발 단계에서 목표값으로 동일하게 사용하고 있는 MTBF를 사용하였다. 임무 신뢰도 목표값을 할당하는 대상 장비는 ○○○ 함정 무기체계 개발 단계에서 선정한 25종의 장비를 동일하게 선정하였다. 할당하는 임무 신뢰도의 수치와 장비 명칭은 국방 업무 특성을 고려하여 명시하지 않았다.

신뢰도 목표값을 할당하기 위한 구조는 체계 수준에서 SWBS 수준으로 할당할 때는 2장에서 제안한 직렬 구조를 적용하고, SWBS 수준에서 장비 수준으로 할당할 때는 할당 결과의 비교를 위해 ○○○ 함정 무기체계의 개발 단계와 동일한 구조를 적용하였다. 할당되는 장비의 수량은 25종 32개이며, 이중 직렬 구조를 가진 장비는 20종, 병렬 구조를 가진 장비는 5종으로 이었다. 신뢰도 할당은 장비 수준까지 수행하였다.

### 4.3 신뢰도 목표값 할당

#### 4.3.1 SWBS 그룹별 가중치 계산

○○○ 함정 무기체계의 임무 신뢰도 목표값을 SWBS 그룹에 할당하기 위해서 먼저 야전운용제원 RAM 분석 결과로부터 Eq. (1)에 따라 SWBS 그룹별 가중치를 계산하였다. 야전운용제원 RAM 분석 결과는 2022년에 수행한 5종의 함형 중 ○○○ 함정 무기체계와 유사한 전투함 3종의 결과를 사용하였다. 야전운용제원 RAM 분석의 결과로서 신뢰도는 Power Law 모델 방법을 통해 계산한 것과 고장 발생을 지수분포로 가

정하여 산출하는 방법의 두 가지 MTBF 값을 제공하고 있다. 본 연구에서는 신뢰도 변동 추세를 반영할 수 있는 모형인 Power Law 모델 방법을 통해 계산한 MTBF 값을 사용하였다.

야전운용제원 RAM 분석은 전체 고장을 고려하여 계산하는 군수 신뢰도와 임무 필수장비의 임무에 영향을 미치는 고장만을 고려하여 계산하는 임무 신뢰도를 제공한다. 본 연구에서 할당하고자 하는 신뢰도 목표값은 임무 신뢰도이므로 야전운용제원 RAM 분석 결과의 임무 신뢰도를 활용하는 것을 우선 고려해 볼 수 있다. 하지만 개발 단계에서 설정하는 임무 신뢰도 목표값은 임무에 필요한 임무 필수장비의 모든 고장을 고려하여 설정하고 있으나, 야전운용제원 RAM 분석 결과의 임무 신뢰도는 임무 필수장비의 고장 중에서도 실제로 임무에 영향을 미치는 고장만을 포함하여 산출한다는 점에서 차이가 있다. 본 연구는 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 신뢰도 목표값을 장비 수준으로 할당하고 이를 개별 장비의 신뢰도 예측값과 비교하는 것이 목적이므로, 개발 단계에서 신뢰도를 예측하는 방법과 동일하게 개별 장비의 모든 고장을 고려하는 야전운용제원 RAM 분석 결과의 군수 신뢰도를 활용하는 것으로 검토하였다.

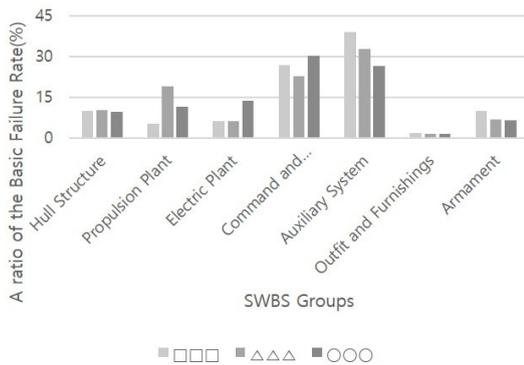


Fig. 2. The Ratio of the Basic Failure Rate by SWBS Groups based on Field Data RAM Analysis

위의 <Fig. 2>에서 2022년에 수행한 3종의 함정의 야전운용제원 RAM 분석 결과로부터 SWBS 그룹별 군수 신뢰도의 비율을 나타내었다. 국방 업무 특성을 고려하여 비율 외의 수치를 나타내지 않았다. 본 연구에서는 위 전투함 3척의 야전운용제원 RAM 분석 결과의 군수 신뢰도 산술평균값을 활용하여 가중치를 계산하였다.

Table 2. The Number of the Mission Essential Equipments by SWBS Groups

SWBS Group	The Number of the Mission Essential Equipments
Hull Structure	0
Propulsion Plant	5
Electric Plant	3
Command and Surveillance	10
Auxiliary System	0
Outfit and Furnishing	0
Armament	7

○○○ 함정 무기체계 개발 단계에서 선정된 25종의 임무 필수장비를 SWBS 그룹별로 구분하면 위의 <Table 2>에서 나타난 것과 같이 Hull Structure, Auxiliary System, Outfit and Furnishing 그룹의 장비는 없는 것을 확인할 수 있다. 이때 임무 필수장비의 SWBS별 분류는 개발 단계에서 중량 통제를 위해 분류한 방식과 동일하게 적용하였다. ○○○ 함정 무기체계의 임무 필수장비는 총 4개의 SWBS 그룹으로 구성되므로, 본 연구에서는 야전운용제원 RAM 분석 결과의 군수 신뢰도 산술평균값에서 임무 필수장비가 없는 3개의 SWBS 그룹을 제외하고, 전체 비율을 '1'로 조정하여 SWBS 그룹별 가중치를 아래 <Table 3>과 같이 결정하였다.

#### 4.3.2 SWBS 그룹별 신뢰도 목표값 할당

MTBF로 값으로 제시되는 ○○○ 함정 무기체계 임무 신뢰도 목표값을 고장률로 변환 후 아래 <Table 3>의 가중치를 사용하여, Eq. (2)와 같이 가중치와 고장률과의 곱의 계산을 통해 SWBS 그룹별로 할당하였다. SWBS 그룹별로 할당한 고장률 값은 국방 업무의 특성을 고려하여 본 논문에서는 나타내지 않았다.

Table 3. The Weight for the Reliability Allocation to SWBS Groups based on Field Data RAM Analysis

SWBS Group	Weight
Propulsion Plant	0.218
Electric Plant	0.157
Command and Surveillance	0.483
Armament	0.142

#### 4.3.3 장비별 가중치 계산

SWBS에 할당한 그룹별 신뢰도 목표값을 장비에 할당

하기 위해 앞서 SWBS 그룹별 가중치 계산 시 선정한 전투함 3종의 야전운용제원 RAM 분석 결과로부터 유사장비 또는 동일장비의 고장률을 확보하였다. 이후 SWBS 그룹별로 장비를 분류하고 확보한 고장률을 Eq. (4)에 적용하여 가중치를 계산하였다. 이때 신뢰도는 모든 고장을 포함하여 산출하는 군수 신뢰도로부터 고장률을 계산하였으며, ○○○ 함정 무기체계 임무 필수장비 25종 중 위 전투함 3종에 1건이라도 유사장비 또는 동일장비가 있는 경우에는 해당 장비의 군수 신뢰도의 평균값을 적용하였다. 또한, 앞서 선정한 전투함 3종에 모두 없는 장비 1종은 과거 다른 함정 무기체계에 대한 야전운용제원 RAM 분석에서 산출한 고장률을 확보하여 적용하였다.

장비 간의 구조는 할당할 값의 차이를 비교하기 위해 ○○○ 함정 무기체계의 개발 시 적용한 구조를 동일하게 적용하였으며, 장비가 속한 SWBS 그룹은 ○○○ 함정 무기체계 개발 시 중량 통제를 위해 분류한 장비의 SWBS 그룹을 적용하였다. 국방 업무의 특성을 고려하여 구체적인 고장률 값과 가중치를 본 논문에서 명시하지는 않았다.

#### 4.3.4 장비별 신뢰도 목표값 할당

SWBS 그룹별 고장률을 Eq. (5)를 통해 장비에 할당하였으며, 할당할 그 결과 중 일부를 아래 <Table 4>에서 나타내었다.

Table 4. The Allocated Failure Rate to the Mission Essential Equipments

Equipment	SWBS Group	Failure Rate
A	Propulsion Plant	1,312.771
B	Propulsion Plant	465.267
C	Electric Plant	1,159.349
D	Command and Surveillance	4,345.721
E	Command and Surveillance	1,964.982
F	Armament	1,105.907
G	Armament	1,327.337
...	...	...

#### 4.4 신뢰도 목표값 할당 결과 비교

본 절에서는 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용한 신뢰도 할당 결과를 검증하기 위해 앞 절의 ○○○ 함정 무기체계 임무 필수장비에 할당할 신뢰도 목표값과 ○○○ 함정 무기체계 개발 시 할당할 신뢰도 값을 비교하였

다. 이때 할당할 신뢰도 목표값과 예측한 신뢰도 값의 차이를 줄이기 위한 본 연구의 목적을 검증하기 위해 각 방법으로 할당할 신뢰도 목표값과 ○○○ 함정 무기체계 개발 시 예측한 신뢰도 값과의 차이를 비교하였다.

신뢰도 목표값의 할당의 적절성 검증을 위한 방안으로 야전운용제원 RAM 분석 결과와의 차이를 확인하는 방법을 검토해볼 수 있다. 하지만 신뢰도 목표값 할당은 무기체계 개발 단계에서 수행된다는 점, 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 할당할 후 야전운용제원 RAM 분석 결과와 다시 비교하는 것은 논리성이 부족하다는 점 등을 고려하여, 본 연구에서는 개발 단계에서 예측한 신뢰도 값과 비교하는 것으로 검토하였다. 특히 예측한 신뢰도 값은 개발 단계에서 신뢰성 시험평가 수행의 기준으로 적용되므로, 개발 단계에서 수행하는 신뢰성 할당은 예측값과의 일치성이 중요한 것으로 판단하였다.

Table 5. The Difference between the Allocated MTBF and the Predicted MTBF

Equipment	MTBF difference by the traditional allocation method	MTBF difference by the allocation method using Field Data RAM Analysis Results
A	2,955.262	3,020.592
B	-4,928.033	-319.463
C	16,841.559	18,264.407
D	10,323.880	11,978.706
E	8,251.659	8,197.364
F	-17,235.190	16,744.618
G	-1,255.694	-7,173.940
H	310.139	-2,181.573
I	1,292.135	518.055
J	3,939.238	4,233.728
K	-684.492	287.969
L	31,096.041	34,629.890
M	71,858.571	71,576.785
N	-33,263.022	590.259
O	15,082.538	37,078.218
P	-32,668.412	1,772.772
Q	40,379.627	1,347.803
R	12,252.147	8,109.466
S	58,187.741	61,326.265
T	721.019	-18,610.840
U	26,477.231	31,082.049
V	27,027.241	-2,391.475
W	92,313.139	92,459.612
X	6,587.529	-36,670.321
Y	92,960.741	4,110.182
The Mean of the Absolute Values	24,355.691	18,987.054

○○○ 함정 무기체계 개발 시 예측한 신뢰도 값과 각 방법으로 할당할 신뢰도 목표값의 차이를 위의 <Table

5)에 나타내었다. 이때, 신뢰도 척도는 MTBF를 사용하였다. <Table 5>에서 양의 수는 예측한 신뢰도 값이 할당된 신뢰도 값보다 큰 값을 나타내며, 이는 해당 임무 필수장비의 예측한 신뢰도 값이 장비 수준의 목표값이라 할 수 있는 할당된 신뢰도 값을 충족한 것으로 생각할 수 있다. <Table 5>을 보면 예측한 신뢰도 값과 본 연구에서 할당된 신뢰도 값의 차이가 개발 단계에서 할당된 신뢰도 값의 차이보다 전체적으로 줄어든 것을 확인할 수 있으며, 절대값의 산술평균이 약 5,368시간만큼 줄어든 것을 알 수 있다. 개발 단계에서 할당된 신뢰도 값보다 본 연구에서 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 할당된 신뢰도 값이 예측한 값과 약 22% 더 일치한 것으로 나타났으며, 아래 <Fig. 3>에서 예측한 신뢰도 값과 할당된 신뢰도 절대값 차이의 총합이 약 134,216시간만큼 줄어든 것을 나타내었다.

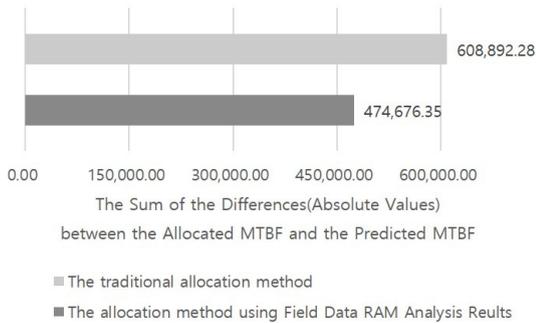


Fig. 3. The Sum of the Differences(Absolute Values) between the Allocated MTBF and the Predicted MTBF

개별 장비의 개발 단계에서 할당된 신뢰도 값과 예측한 신뢰도 값 차이의 표준편차는 약 32,118로 나타났으며, 야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용한 경우의 표준편차는 약 27,599로 나타나 표준편차가 약 14% 감소한 것을 확인하였다.

## 5. 결론

신뢰도 목표값을 하부 체계에 할당하고 이를 관리하는 것은 신뢰성 있는 무기체계를 획득하기 위한 첫걸음이라 할 수 있으며, 특히 탐재 장비의 수가 수백 개에 이르는 함정 무기체계에서 신뢰도 목표값 할당은 매우 중요하다. 본 연구에서는 국방기술품질원에서 수행하고 있는

야전운용제원 RAM 분석 결과를 활용하여 신뢰도 목표값을 장비 수준까지 할당하는 방법을 제안하고, 이를 개발이 완료된 함정 무기체계에 적용하여 신뢰도 목표값을 할당하였다. 그리고 신뢰도 목표값 할당 결과를 개발 당시에 할당된 신뢰도 값과 비교하여 신뢰성 시험평가의 기준이 되는 신뢰도 예측값과의 일치성이 약 22% 향상되었음을 확인하였다.

함정 무기체계의 신뢰도 목표값은 임무 신뢰도 값으로 제시된다. 하지만 본 연구 과정에서 야전운용제원 RAM 분석 결과의 임무 신뢰도를 산출하는 방법과 함정 무기체계의 개발 단계에서 임무 신뢰도 목표값을 설정하는 방법에 차이가 있어, 본 연구에서는 야전운용제원 RAM 분석 결과 중 해당 장비의 모든 고장을 고려하는 군수 신뢰도를 활용하여 신뢰도 목표값을 할당하였다. 따라서 야전운용제원 RAM 분석 결과를 효과적으로 활용하기 위해 함정 무기체계 개발 단계의 임무 신뢰도 목표값 설정과 할당에 직접 활용이 가능한 임무 신뢰도를 산출하는 추가적인 연구 수행의 필요성을 식별하였다.

본 연구에서 제안한 신뢰도 할당 방안과 지속해서 축적되고 있는 야전운용제원 RAM 분석 결과 활용을 통해 효과적으로 함정 무기체계의 신뢰도 목표값을 할당할 수 있을 것으로 기대된다. 더불어 본 연구 과정에서 야전운용제원 RAM 분석과 함정 무기체계의 개발 단계에서의 임무 신뢰도를 구분하는 기준에 차이가 있음을 식별하여, 제안한 할당 방안을 적용한 사례에서는 야전운용제원 RAM 분석 결과의 군수 신뢰도를 활용하여 임무 신뢰도 목표값을 할당하였다. 향후 운용 단계와 개발 단계에서 공통으로 적용 가능한 임무 신뢰도 산출 기준 정립을 위한 연구의 필요성이 제기된다.

## References

- [1] Weapons system RAM Guide Book, Defense Acquisition Program Administration, Korea, 2018, pp. 7-9.
- [2] H. W. Kim, H. P. Lee, G. H. Heo, G. T. Oh, M. S. Kim, "A Study on the Reliability Allocation for an Underwater Guided Weapon System: Case Study", *Journal of Applied Reliability*, vol. 14, No. 1, pp. 29-35, 2014.
- [3] J. H. Park, K. T. Kim, G. W. Jeon, "A Selection Methodology for Reliability Allocation Models to Minimize the Operating Cost", *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, vol. 35, No. 3, pp. 31-45, 2009.

- [4] 000-00 RAM Analysis Result Report, Defense Acquisition Program Administration, Korea, 2017, pp. 43-68.
- [5] 000-00 Integrated Logistics Support-Plan(ILS-P), Defense Acquisition Program Administration, Korea, 2017, 61-62.
- [6] S. Y. Jung, K. J. Jo, "A Study on the Risk Identification Method based on Reliability Analysis for Common Equipment of Warship", *Journal of Defense Quality Society*, Vol. 4, No. 1, pp. 10-16, 2022.
- [7] Total Life Cycle Management Instruction, Ministry of National Defense, Korea, 2022.
- [8] 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>
- [9] 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>
- [10] 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.2022.23.11.2>

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

정 영 인(Young-In Jung)

[정회원]



- 2015년 8월 : UST KARI 항공우주시스템공학과 (항공우주시스템공학석사)
- 2015년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

공기역학, 유동가시화, HVAC, 복합소재, 품질경영, 신뢰성

김 용 현(Yong-Hyun Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 해군사관학교 국제관계학과 (문학사)
- 2012년 2월 : 국방대학교 운영분석학과 (공학석사)
- 2021년 9월 ~ 현재 : 한남대학교 산업공학과 박사과정
- 2021년 1월 ~ 현재 : 해군대학 해양전략전력학처 교수

<관심분야>

국방획득, 국방M&S, 전력기획