Journal of the KNST

2023; Vol.6, No.4; pp. 409-413

ISSN: 2635-4926 https://doi.org/10.31818/JKNST.2023.12.6.4.409

Check for updates

Received: 2023/11/29
Revised: 2023/12/06
Accepted: 2023/12/21
Published: 2023/12/31

*Corresponding Author:
Youngman Park
Dept. of Management Science, Republic of Korea Naval Academy
1 Jungwon-ro, Jinhae-gu, Changwon-si, Gyungsangnam-do, 51704, Republic of Korea
Tel: +82-55-549-5247
E-mail: ymanpark@navy.ac.kr

운용실적을 이용한 근접방어무기체계(CIWS) RAM 목표값 설정 연구

A Study of Setting the RAM Goals for CIWS Using Field Operations Data

박영만[1*], 최영두[2], 홍순국[3], 한민석[4], 정재범[5], 한영진[6], 이기원[7], 이승욱[7]

[1]해군사관학교 국방경영학과 교수
[2]해군 소령/해군사관학교 기계시스템공학과 조교수
[3]해군 대령/해군사관학교 기계시스템공학과 교수
[4]해군사관학교 전자제어공학과 부교수
[5]해군 상사/해군군수사령부 병기탄약창 무장사
[6]울산과학대학교 융합안전공학과 부교수
[7]LIG넥스원 C4ISTAR IPS연구소 수석연구원

Youngman Park[1*], Youngdoo Choi[2], Soonkook Hong[3], Minseok Han[4], Jaebeom Jeong[5], Young Jin Han[6], Kiwon Lee[7], Seungwook Lee[7]

[1]Professor, Dept. of Management Science, ROK Naval Academy
[2]LCDR, ROK Navy/Assistant Professor, Dept. of Mechanical System Engineering, ROK Naval Academy
[3]CPT, ROK Navy/Professor, Dept. of Mechanical System Engineering, ROK Naval Academy
[4]Associate Professor, Dept. of Electronics and Control Engineering, ROK Naval Academy
[5]Senior Chief Petty Officer/Weapon Technician, Naval Ordnance Ammunition Center, Naval Logistics Command, ROK Navy
[6]Associate Professor, Dept. of Integrated Safety Engineering, Ulsan College
[7]Chief research engineer, C4I STAR IPS R&D Lab, LIG Nex1

Abstract

근접방어무기체계(CIWS)는 적의 미사일에 대한 최후의 방어무기로서 함정에서 매우 중요한 방어무기체계이다. CIWS의 새로운 RAM 목표값을 산출하기 위해 현재 CIWS를 운용하고 있는 함정들의 함 행동실적과 CIWS의 정비실적과 수리내역을 수집하였다. 이러한 자료를 바탕으로 CIWS의 운용시간 분석과 고장·수리시간 분석을 통해 새로운 CIWS의 RAM 목표값을 산출하였다.

CIWS(close-in weapons systems) is a very important weapon system in warships as the last defense weapon against enemy missiles. In order to calculate the CIWS RAM value, the operation records of the warships currently operating CIWS and the maintenance and repair details of each warship's CIWS were collected. Based on these data, the RAM value of CIWS was calculated through the operation time analysis of CIWS and the failure and repair time analysis to set the RAM value.

Keywords

신뢰도·가용도·정비도(RAM),
근접방어무기체계(CIWS),
하위무기체계(Sub Weapon System),
야전운용실적(Field Operations Data)

Acknowledgement

이 논문은 근접방어무기체계(CIWS)-II 체계개발주관 LIG 넥스원 위탁과제로 수행되었음.

1. 서론

현대 해상전에서 대함 미사일이나 드론 등의 위협이 커지면서 호위함급 이상의 함정에서는 함정 자체의 생존성을 높일 수 있는 함정 근접방어무기체계(CIWS, close-in weapons system)의 중요성이 더욱 커지고 있다. 일반적으로 해상에서 적의 대함 미사일 공격으로부터 함정을 방어하기 위해 함정은 다층 대공방어체계를 구축하고 있다[3]. 가장 근거리에서 대함 미사일의 공격을 방어하는 CIWS는 대함 미사일 뿐만 아니라 소형선박이나 고속함정, 드론 등의 기습공격이나 근접 해상테러 등에 대비하기 위해서도 그 중요성이 계속 증대되고 있다.

© 2023 Korea Society for Naval Science & Technology

군에서 효과적·효율적인 근접방어무기체계의 개발 및 도입을 위해서는 소요군이 체계를 어떻게 운용할 것인가에 대해 요구사항을 바탕으로 적합한 RAM (reliability, availability, maintainability) 목표값을 설정하는 것이 중요하다[6]. 이를 위해서는 소요군의 작전운용개념과 그에 따른 근접방어무기체계에 요구되는 다양한 종류의 성능, 부대운용과 정비환경 등과 같은 환경요소를 복합적으로 고려해야 한다. 일반적으로 RAM 분석을 통한 목표값 산출은 무기체계의 OMS/MP(operational mode summary/mission profile)를 기반으로 운용시간(OT, operating time), 경계시간(AT, alert time), 대기시간(ST, stand-by time) 등과 같은 시간요소를 정량화한 후 계산식을 이용해서 이뤄지고 있다[2,4].

Kwon and Lee는 무기체계의 OMS/MP 정량화를 기반으로 함정의 유도무기 RAM 목표값 설정의 기초자료로 활용하는 방안을 제안하였다[10]. 그리고 Lee and Choi는 RAM 목표값 설정의 시간요소 중 하나인 행정 및 군수지연시간(ALDT, administrative and logistic delay time) 산출을 위해 의사결정나무(decision tree)를 모형화하는 방법을 제안하였다[7]. 또한, Sohn et al.은 해군의 장비정비정보체계를 통해 획득한 야전운용자료를 바탕으로 함정의 RAM을 분석하는 연구를 수행하였다[1]. Hong and Song은 잠수함의 정량화된 OMS/MP를 바탕으로 하여 하위체계의 시간요소값을 도출하는 연구를 수행하였다[8]. Cho and Park 역시 해상감시레이더의 OMS/MP를 정량화하는 방법과 RAM 목표값을 산출하는 연구를 수행하였다[3]. Kim et al.은 OMS/MP와 유사체계의 야전 운용데이터를 활용하여 감시체계의 RAM 목표값을 산출하는 연구를 수행하였다[5].

최근 시뮬레이션, 빅데이터 분석 등과 같이 데이터 기반의 다양한 분석 기법이 활용되면서 유사무기체계의 고장 및 정비자료를 활용한 RAM 목표값 설정 방법도 같이 진행되고 있다. Yun et al.은 상용 RAM 시뮬레이션 S/W인 AvSim을 이용해서 함정의 중요 하위시스템인 탐지체계의 RAM을 분석하는 연구를 수행하였다[9].

본 연구에서는 CIWS를 탑재한 함정에 대한 과거의 함 행동실적을 분석하여 CIWS의 운용시간을 산출하고, 실제 정비실적 및 수리내역으로부터 CIWS의 RAM 목표값을 산출하고자 한다.

2. CIWS의 RAM 목표값 설정

2.1 CIWS의 구성 및 특징

CIWS는 무장장치(TR조립체, 안테나, 신호처리부 등)과 사격통제체계 등의 장비로 구성되어 있다. CIWS는 항상 운용 준비가 되어있어야 하는 것이 타당하지만 장비의 특성상 24시간 운용했을 때 부품에 문제가 발생할 가능성이 높고, 실제 적의 공격에 대한 최후의 방어무기체계로서 앞선 단계에서 적의 공격이 무력화되는 경우가 많으므로 실제로 장비는 제한된 시간에 사용되고 있다.

CIWS에 대한 정비는 부대정비의 경우 운용요원에 의한 계획정비(PMS, planned maintenance system)가 실시되며, 야전정비는 정비부대에서 야전정비 요원에 의해 계획정비가 이루어진다. 부대정비와 야전정비는 주로 육안검사 및 계측장비를 활용한 점검으로 이루어지며, 창정비는 완전분해하여 대상 부품에 대한 수리 및 교환이 이루어지며 주로 생산업체에 의해 실시된다.

2.2 CIWS의 RAM 목표값 설정 절차

CIWS와 같이 함정 하위무기체계의 RAM 분석을 수행하기 위해서는 최상위 체계인 함정 전체의 운용형태종합/임무유형(OMS/MP) 분석이 선행되어야 하며, CIWS의 실제 운용실적 및 정비수리실적을 이용하여 RAM 목표값을 산출한다. 구체적인 단계는 다음과 같다.

2.2.1 단계 1: 함 행동실적 분석

해군에서 CIWS를 운용 중인 함정을 대상으로 함 행동실적을 조사하여 연간 평균 출동시간, 훈련시간, 지원시간, 대기시간과 및 수리시간을 산출한다. 행동실적을 바탕으로 함정의 총 가동시간(TUT, total up time)과 총 비가동시간(TDT, total down time)을 산출한다.

2.2.2 단계 2: CIWS의 운용 On/Off 시간연구

함정의 TUT 시간에 대하여 하위무기체계인 CIWS

의 실제적인 운용시간(OT), 경계시간(AT), 대기시간(ST) 등을 산정하기 위해서는 이들 개념에 대한 명확한 구분이 필요하다. 본 연구에서는 다음과 같은 상태기준을 제시하였다.

- 운용시간(OT): 장비를 운용하는 시간으로 모든 장비가 작동하는 상태 또는 장비의 각 구성품 전원이 인가되어 즉시 가동할 수 있는 상태이다.
- 경계시간(AT): 장비운용을 위해 경계상태로 대기하는 시간으로 운용장비까지 함전이 인가되어 언제든지 'OT' 상태로 전환할 수 있는 상태이다.
- 대기시간(ST): 장비가동을 위해 대기상태에 있는 시간으로 장비는 꺼져 있는 상태이며, 운용자는 임무 또는 작전투입이 되지 않은 상태이다.

앞서 설명한 대로 CIWS를 항상 운용하는 것이 아니므로 CIWS에 대한 운용전략에 따른 함정의 OT, AT, ST부터 실제적인 CIWS에 대한 OT, AT, ST를 산출한다.

2.2.3 단계 3: CIWS 정비실적 분석

CIWS를 운용하고 있는 함정의 정비실적과 각 함정의 고장 및 수리내역을 수집하여 이를 바탕으로 CIWS의 연간 고장횟수, 총 고장정비시간(TCM, total corrective maintenance time), 총 행정 및 군수지연시간(TALDT, total administrative & logistics delay time)을 분석한다. 또한 CIWS의 정비정책으로부터 총 예방정비시간(TPM, total preventive maintenance time)을 산출한다.

실제적인 고장정비시간 분석에 있어서는 함정의 정기적인 예방정비 중에 발견되어 수리가 이루어진 고장정비수리내역과 고장보고, 이동정비, 긴급수리 실적으로부터 CIWS의 정확한 고장정비시간을 산출해야 한다. CIWS의 운용실적에 대하여 고장별 분류기준을 Table 1과 같이 제시하였다.

2.2.4 단계 4: CIWS의 RAM 목표값 산출

앞에서 산출된 CIWS의 OT, AT, ST, TCM, TPM, TALDT를 바탕으로 산출식을 이용하여 CIWS의 RAM 목표값을 산출한다.

3. CIWS의 RAM 목표값 설정 사례

3.1 함 행동실적 분석

해군에서 운용 중인 함정 ○○척을 대상으로 최근 10년간의 함 행동실적을 조사하여 CIWS 운용 함정의 연간 평균 출동시간, 훈련시간, 지원시간, 대기시간 및 수리시간을 산출하였다.

3.2 CIWS의 운용 on/off 시간연구

제시된 상태기준에 따라 함정에서 CIWS의 운용은 함 행동 실적에서 출동시간과 훈련시간의 경우 CIWS는 1일 3시간은 운용시간(OT), 나머지 21시간

Table 1. Classification criteria for maintenance data

구분	설명
예방정비	정기수리기간 중 표준정비 (계획 예방정비, 주기교환 업무, 정비창 이관 PMS 등)
고장정비	정기수리기간 중 표준정비 외 부품교체가 필요한 고장으로 인한 검사/수리
고장보고	장비고장으로 임무를 완료하지 못하고 입항한 함정에 대한 정비
이동정비	정비지원부대의 계획에 의하여 장비운용부대를 순회지원하는 정비
긴급수리	정박대기 중 실시하는 정비

Table 2. OT, AT, ST, TDT of vessels with CIWS

구분		함정 (일수)	CIWS		
			OT	AT	ST
TUT	출동	–	–	–	–
	훈련	–	–	–	–
	지원	–	–	–	–
	대기	–	–	–	–
TDT	수리	–	–		
총시간		8,760.0 (365.0)		8,760.0 (365.0)	

은 경계시간(AT)으로 구성된다. 함 행동 실적에서 지원시간의 경우 CIWS는 1일 1시간은 운용시간(OT), 나머지 23시간은 경계시간(AT)으로 구성된다. 대기시간의 경우 CIWS는 1일 1시간은 운용시간(OT)이며 나머지 23시간은 대기시간(ST)으로 운용하는 것으로 조사되었다. Table 2는 함정에서의 CIWS의 실제 운용개념을 고려한 CIWS의 OT, AT, ST를 나타내고 있다.

3.3 CIWS 정비실적 분석

함정의 정비내역 중 CIWS와 관련된 고장내역을 분석하여 연평균 고장 횟수를 산정하였다. 연평균 고장수는 식 (1)과 같이 총 고장 횟수를 총 운용대수와 운용년수의 곱으로 나누어 계산하였으며, CIWS 1기당 연평균 고장 횟수는 고장정비실적 결과 ○.○회 정도로 산출되었다. 따라서 한 번 수리 시 평균적인 수리소요시간은 약 ○일 정도로 파악되었다.

$$\text{연평균고장수} = \frac{\text{총 고장수}}{\text{운용문수} \times \text{운용년수}} \quad (1)$$

연간 총 고장정비시간(TCM)은 연평균 고장 횟수에 수리 시 평균 소요일수를 곱하여 계산하였으며, 하루 8시간 동안 수리업무를 수행하는 것으로 가정하여 산출한 결과 TCM은 ○○○.○시간으로 나타났다. 총 행정 및 군수지연시간(TALDT)은 하루 24시간 기준으로 고장/기술지원 발생일시부터 고장/기술지원 착수일시까지로 정의하였다. 산출 결과 TALDT는 ○○○.○ 시간으로 나타났다. 총 예방정비시간(TPM)의 경우 함 행동실적상의 수리시간에서 CIWS의 고장정비시간, 예방정비시간, 행정 및 군수지연시간을 제외한 시간은 함정의 추가적인 대기시간(ST2)으로 고려하는 선행연구를 참고하여 본 연구에서도 같은 방법으로 ST2를 계산하였다.

Table 3는 장비고장을 예방하거나 장비성능향상을 위한 계획정비(PMS) 지침 중 장비불가동 상태가 필요한 계획정비 대상장비별로 예방정비시간을 보여준다. 계획정비 대상 장비의 예방정비시간을 CIWS의 실질적인 비가동시간으로 고려하였으며 연간 206시간을 CIWS의 총 예방정비시간(TPM)으로 적용하였다. 또한, 함정의 전체 수리시간에서 CIWS의 TCM, TPM, TALDT를 제외한 시간은 ST2로 산출하였다.

Table 3. TPM of CIWS

구분	계획정비 대상	시간	소계	총계
출동, 훈련, 지원, 대기기간 중 실시	자동포대 검사	○○	○○	206
	사격전후 검사	○○		
기계획정비기간 중 실시	탐색레이더	○○	○○	
	추적레이더	○○		
	송/수신기	○○		
	도파관 건조기	○○		
	무장통제콘솔	○○		

3.4 CIWS의 RAM 목표값 설정

산출된 CIWS의 가동시간과 불가동시간으로부터 최종적인 CIWS의 RAM 목표값 산출을 위하여 다음과 같이 고장간 평균시간(MTBF, mean time between failure), 고장간 평균발수(MRBF, mean round between failure), 운용가용도(A_o), 정비도(MTTR, mean time to repair)를 산출하였다. CIWS에서 중요한 MRBF 지표는 기존 CIWS의 사격 간 발생한 포신조립체·급탄장치의 부품교체 이상의 정비가 필요한 기능고장 횟수를 식별한 결과 총 ○건으로 식별되었다. 따라서 운용기간을 고려하였을 때 연간 고장횟수는 ○.○회로 산출되었으며, 고장간 사격발수(MRBF)는 7,306발로 산출되었다. 각 RAM 목표값 산출에 사용된 수식은 다음과 같다.

$$\text{MTBF} = \frac{\text{OT}}{\text{고장횟수}} \quad (2)$$

$$\text{MRBF} = \frac{\text{연간 탄 사용량}}{\text{고장횟수}} \quad (3)$$

$$A_o = \frac{\text{OT} + \text{AT} + \text{ST} + \text{ST2}}{\left(\text{OT} + \text{AT} + \text{ST} + \text{ST2} + \text{TCM} + \text{TPM} + \text{TALDT}\right)} \quad (4)$$

$$\text{MTTR} = \frac{\text{TCM}}{\text{고장횟수}} \quad (5)$$

자료분석 결과와 산출 수식을 이용한 CIWS의 최종적인 RAM 목표값을 Table 4에 제시하였다. 신뢰도(MTBF, MRBF)와 운용가용도(A_o)는 제시된 값 이상이 되어야 하며, 정비도는 제시된 값 이내에 수리가 이루어져야 한다.

Table 4. RAM goals for CIWS

구분		결괏값
신뢰도 (R)	고장간 평균시간 (MTBF)	68.5시간 이상
	고장간 평균발수 (MRBF)	7,306발 이상
가용도 (A)	운용가용도 (A_o)	84.5 % 이상
정비도 (M)	정비도 (MTTR)	23.5시간 이내

4. 결론

본 연구에서는 현재 CIWS를 운용하고 있는 함정의 운용실적과 각 함정의 고장 및 수리내역을 수집하여 이를 바탕으로 CIWS의 운용시간 분석과 고장 및 수리시간 분석을 수행하여 CIWS의 새로운 RAM 목표값을 제시하였다. 제시된 CIWS의 RAM 목표값은 새로운 CIWS 체계 개발 시 중요한 지침으로 활용될 수 있으며, 체계 운용방안이나 기술의 발전 정도를 반영하여 지속적으로 관리되어야 한다. 본 연구에서 제시된 RAM 목표값 산출 방법은 함정, 항공기 등 다양한 무기체계의 하위무기체계에 대한 RAM 목표값을 산출할 때 중요하게 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

[1] J. M. Sohn, C. M. Chang, and Y. D. Won, "A Study on RAM Analysis Using Field Data: Focusing on Korean Warship," The Journal of the Korea Contents Association, 12(12), pp. 395-412, 2012.
[2] I. Seok and K. Jung, "Comparative Analysis of RAM Value Correction Method Based on the Evaluation of the Weapon system Staff," Journal of Applied Reliability, Vol. 19, No. 4, pp. 374-381, 2019.
[3] K. H. Cho, S. C. Park, "RAM Calculation of Sea Surveillance Radar using OMS/MP Analysis," Society for Computational Design and Engineering, pp. 215-219, 2015.
[4] K. H. Song, Y.M. Park, S.K. Hong, S.S. Min, J.W. You and C.H. Choi, "A Study on Establishing OMS/MP and Target RAM Values of SONAR Using Field Data of Similarity Equipment," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 18, No. 1, pp. 22-30, 2015.
[5] S. B. Kim, W. J. Park, J. W. You and J. K. Lee, "An Improved Method of Setting the RAM Goals for Surveillance System a Using OMS/MP and Field Operations Data of Similar Systems," Journal of KOSSE, Vol. 15, No. 1, pp. 16-24, 2019.
[6] S. Han and S. 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.
[7] H. G. Lee, J. H. Choi, "A Study on the RAM Object Values," Journal of the KIMST, 3(1), pp. 218-230, 2000.
[8] S. K. Hong, K. H. Song, "A Study on RAM Calculation Method for Naval Vessel's Detective System," Korean Operations Research And Management Society, pp. 240-245, 2014.
[9] W. Y. Yun, Y. J. Han, G. E. Park, C. H. Choi, and D. J. Jung, "Simulation Modelling for RAM Analysis of a Searching System," Journal of the Korean Society for Quality Management, 39(3), pp. 353-364, 2011.
[10] Y. S. Kwon, K. H. Lee, "A Development of OMS/MP Template of Guided Weapons on Board Ship," Journal of the Military Operations Research Society of Korea, 33(2), pp. 17-29, 2007.