



Received: 2023/12/02
Revised: 2023/12/09
Accepted: 2023/12/26
Published: 2023/12/31

***Corresponding Author:**

Young Jin Han

Dept. of Integrated Safety Engineering, Ulsan College
Room No. 408, Industry-Academia Convergence
Building, 93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan, 44610,
Republic of Korea
Tel: +82-52-279-3153
Fax: +82-42-336-7887
E-mail: yjhan@uc.ac.kr

Abstract

근접방어무기체계(CIWS, closed-in weapon system)는 적의 공격을 방어하는 최종 방어체계이다. 본 연구에서는 CIWS에 대한 작전모드요약/임무프로파일을 기반으로 설정된 CIWS의 RAM 목표값 검증을 수행한다. 이를 위해 CIWS의 운영시나리오를 시뮬레이션으로 모형화하고 유사 무기체계의 중요 부품 고장률을 기반으로 CIWS의 RAM 분석을 통해 RAM 목표값 달성 가능성을 검토한다.

Closed-in weapon system (CIWS) is the final defense system that defends against enemy attacks. In this study, we verify the RAM target value of CIWS set based on the operation mode summary/mission profile for CIWS. To this end, the operation scenario of CIWS is modeled through simulation and the possibility of achieving the RAM target value is reviewed through CIWS RAM analysis based on the failure rate of important components of similar weapon systems.

Keywords

신뢰도(Reliability), 가용도(Availability), 정비도(Maintainability), 근접방어무기체계(CIWS), 시뮬레이션(Simulation)

Acknowledgement

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

시뮬레이션을 활용한 근접방어무기체계 (CIWS) RAM 목표값 검증 연구

A Study of Verifying RAM Target Value for Close-in Weapon System (CIWS) Using Simulation

한영진^{1*}, 최영두², 홍순국³, 한민석⁴, 정재범⁵, 박영만⁶, 이기원⁷, 이승욱⁷

- ¹울산과학기술대학교 융합안전공학과 부교수
- ²해군 소령/해군사관학교 기계시스템공학과 조교수
- ³해군 대령/해군사관학교 기계시스템공학과 교수
- ⁴해군사관학교 전자제어공학과 교수
- ⁵해군 상사/해군 군수사령부 병기탄약창 무장사
- ⁶해군사관학교 국방경영학과 교수
- ⁷LIG넥스원 C4I STAR IPS연구소 수석연구원

**Young Jin Han^{1*}, Youngdoo Choi², Soonkook Hong³, Minseok Han⁴,
Jaebom Jeong⁵, Youngman Park⁶, Kiwon Lee⁷, Seungwook Lee⁷**

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

1. 서론

세계 각국에서는 최신 기술이 적용된 무기체계를 도입해서 해상 전투에서 우위를 차지하고자 많은 연구와 기술 개발에 노력을 기울이고 있다. 특히 근접 사거리 공중 및 해상 위협 대응용으로 고속발사가 가능한 포 시스템 개발에도 많은 투자를 하고 있다. 이러한 상황에 맞춰 현대 해상전에서 대함 미사일과 항공기의 위협이 커지면서 호위함급 이상의 주요 함정의 생존 가능성을 높일 수 있는 방어무기체계 도입이 필요하게 되었다. 이에, 해상에서 적의 대함유도탄 공격으로부터 방어하기 위해 해군 함정은 다층 대공방어체계를 구축하고 있다. 그중 근접방어무기체계(CIWS: close-in weapon

System)는 근거리에서 대함 미사일의 공격을 방어하는 최종 방어체계이다. 일반적인 근접방어무기체계는 공중으로부터 접근하는 미사일 격추를 위해 개발된 무기체제로 대공방어체계를 빠져나온 잔여 미사일의 위협에 대해 최후 방어력을 제공하기 위해 개발되었다.

최근 고도화된 대함유도탄의 위협으로부터 함정의 생존성을 보장하기 위해 레이더가 장착된 근접방어무기체계가 도입되고 있다. 또한, 기습공격이 가능한 소형·고속 수상함정 및 근접 해상테러의 위협에 효과적으로 대응하기 위한 근거리 대함방어 능력의 강화도 필요하다. 현재 국내 해군에는 국외로부터 근접방어무기체계가 도입되어 호위함 등에는 미국의 팔랑스(Phalanx), 구축함 등에는 네덜란드 골키퍼(Goalkeeper)가 운용되고 있다.

지금까지 근접방어무기체계는 전량 수입될 뿐만 아니라 유지보수도 개발사에서 직접 수행해서 운용에 많은 어려움을 겪고 있었다. 이러한 상황은 팔랑스와 골키퍼의 방어력이 날로 고도화 및 다양화되고 있는 무기체계의 위협에 대응하기에 부족할 수 있다. 이에, 최근 방위사업청에서는 2030년까지 약 4500억원을 투입하여 근접방어무기체계를 국산화하겠다고 발표했다. 국산화를 통해 향후 국외 근접방어무기체계의 가격 상승과 그동안 지속해서 국내 창정비 제한으로 인한 유지보수비 상승 등 운용비용 절감을 기대할 수 있게 되었다.

효과적·효율적인 국산 근접방어무기체계의 개발 및 도입을 위해서는 소요 군이 체계를 어떻게 운용할 것인가에 대해 요구사항을 바탕으로 다양한 분석 기법을 활용해서 소요제안 단계부터 RAM(reliability, availability and maintainability) 목표값을 결정해야 한다[1]. 그리고 체계에 적합한 RAM 목표값을 설정하기 위해서는 소요군의 작전운용개념과 그에 따른 체계에 요구되는 성능, 부대의 운용 및 정비환경 등 다양한 인자를 복합적으로 고려해야 한다. 일반적으로 무기체계의 OMS/MP(operational mode summary/mission profile)를 기반으로 하여 OT(operating time), ST(stand-by time) 등과 같은 시간요소를 정량화한 후 계산식을 이용해서 RAM 목표값을 설정하였다[2-3]. Hwang과 Hur[4]는 무기체계의 RAM 목표값 설정단계에서 고려되는 요소와 절차를 검토하였다. 그리고 대상장비의 OMP/MP에서 보다 전문

성, 논리성과 타당성 확보를 위한 방안(DELIS 자료 보완 등)을 제안하였다. Kim et al.[5]은 OMS/MP 기반의 RAM 목표값 설정 방법과 유사체계 야전운용데이터를 이용하는 방법을 제안하였다.

최근 시뮬레이션, 빅데이터 분석 등과 같이 데이터에 기반한 다양한 분석 기법이 활용되면서 유사무기체계의 고장 및 정비자료를 활용한 RAM 목표값 설정 방법도 같이 진행되고 있다. Yun et al.[6]은 탐지체계의 탑재함 운영시나리오 분석 기반 상용 RAM 시뮬레이션 S/W인 AvSim으로 모형화하였다. Han et al.[7]은 목표운용가용도 제약 하에서 시스템의 수명주기비용을 최소화하는 부품의 MTBF와 MTTR을 결정하는 연구를 수행하였다. 또한, Han et al.[8]은 탐지체계 최하위부품의 MTBF와 MTTR 최적해 탐색을 위하여 하이브리드 유전자 알고리즘을 제안하였다[8]. 그 외에 Yun et al.[9]은 최하위부품의 MTBF, MTTR뿐만 아니라 ALDT를 결정할 수 있는 하이브리드 유전자 알고리즘을 제안하였으며 시뮬레이션을 이용해서 시스템의 운용가용도와 수명주기비용을 추정하였다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 기반으로 한 RAM 목표값 설정단계에서 수립된 근접방어무기체계의 RAM 목표값 검증을 수행한다. CIWS 탑재장비를 기반으로 평시 운영시나리오와 물리적 구조를 분석한 후 CIWS의 평시 switch-on List를 만든다. 이를 바탕으로 상용 RAM 시뮬레이션인 BlockSim으로 모형화한 후 유사무기체계 중요부품의 고장률 바탕으로 한 근접방어무기체계의 RAM 분석을 통해 RAM 목표값의 달성 가능성을 검토한다.

2. CIWS의 RAM 목표값 검증

시뮬레이션 기반 CIWS의 RAM 목표값 검증을 위해 본 연구에서는 먼저 CIWS 탑재함을 기준으로 임무의 순서와 시간이 포함된 운영시나리오를 분석한다. 그다음 각 임무 수행에 필요한 CIWS의 부체계, 모듈, 부품 파악을 위해 물리적 구조를 파악한 후 마지막으로 switch-on list를 완성한다.

2.1 CIWS의 운영시나리오 분석

CIWS의 RAM 목표값 설정단계에서 총 운용시간

(TUT, total up time)의 시간요소 값 산출을 위해 탑재장비가 평시에 수행하는 임무를 분석하였다. 평시 수행 임무는 4개(출동, 훈련, 지원, 대기, 지원)가 있으며, CIWS의 운용 특성에 따라 각 임무의 시간을 운용 시간(OT, operating time), 경계시간(alert time), 대기시간(stand-by time)을 Table 1과 같이 구분할 수 있다. 예를 들면, Table 1에서 CIWS가 출동 임무를 1일(24시간 기준) 수행하면 3시간 동작, 21시간 경계 태세를 갖추고 있는 것을 의미한다.

Table 1. CIWS의 임무와 시간요소의 종류

임무 종류	시간요소 종류		
	OT	AT	ST
출동	OO	OO	OO
훈련	OO	OO	OO
지원	OO	OO	OO
대기	OO	OO	OO

특히, 훈련 임무는 Table 2와 같이 탑재함의 1년 동안 수행한 합동/협동/연합훈련 수행 실적을 기반으로 산출하였다.

Table 2. CIWS의 평시 훈련 임무 수행 실적

구분	순번	내용	기간	전력
합동	1	OO 전대 협동 훈련	OOOO.00 - OOOO.00	OO함
	2	OO함 어뢰 발사 훈련	OOOO.00 - OOOO.00	OO함
	:	:	:	:
연합훈련	1	O-O 연합기회 훈련	OOOO.00 - OOOO.00	OO함
	2	한·마·일 훈련	OOOO.00 - OOOO.00	OO함
	:	:	:	:

마지막으로 CIWS의 탑재함이 수행하는 평시 임무를 활용해서 Table 3와 같이 임무의 수행 순서와 시간이 포함된 1년 평시 운영시나리오를 수립하였다.

Table 3. CIWS의 평시 운영시나리오

순번	임무	수행기간 (일)	비고
1	출동	○	-
2	출동	○	-
3	대기	○	-
4	출동	○	-
5	출동	○	-
6	지원	○	지원
:	:	:	:
41	출동	○	-
42	대기	○	-

2.2 CIWS의 물리적 구조 분석

CIWS를 구성하는 모든 부체계, 모듈, 부품들이 출동, 훈련, 지원, 대기 임무를 수행하기 위해 항상 작동하는 것은 아니다. 그리고 각 임무에 작동하는 CIWS의 부체계, 모듈, 부품을 파악하기 위해서는 CIWS의 물리적 구조 분석이 선행되어야 한다. Table 4는 CIWS를 구성하는 부체계, 모듈, 부품을 예시로 보여준다. CIWS는 최상위 레벨인 Level 1에 위치하고, 그 아래 Level 2에 있는 레이더는 Level 3인 안테나부와 신호처리부로 구성되어 있다.

Table 4. CIWS의 물리적 구조

Level	Level					품명	수량
	1	2	3	4	5		
○						CIWS	1
	○					레이더	1
		○				안테나부	1
			○			안테나장치	4
			○			신호처리부	1
				○		신호처리부#1	1
				○		처리장치	4
				○		배선장치	1
:	:	:	:	:	:	:	:
				○		신호처리부#2	1
				○		처리장치	1
				○		통제장치	1

2.3 CIWS의 switch-on list 분석

CIWS의 임무의 순서와 시간으로 구성된 운영시나리오와 물리적 구조가 분석되면 최종적으로 임무별 수행되는 CIWS의 부체계, 모듈, 부품을 표현하는 switch-on list를 Table 5와 같이 완성할 수 있다. CIWS의 Level 4에 있는 안테나장치는 OT와 AT 동안 반드시 작동해야 하지만, ST 동안은 고장이 발생해도 CIWS의 임무 수행에는 영향을 미치지 않는다. Table 1과 Table 5의 조합으로 안테나는 대기 임무를 제외한 모든 임무 수행에 필요한 부품인 것을 알 수 있다.

Table 5. CIWS의 switch-on list

Level					품명	OT	AT	ST
1	2	3	4	5				
○					CIWS			
	○				레이더			
		○			안테나부			
			○		안테나장치	○	○	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			⋮
	○				신호처리부			
		○			신호처리부#1			
			○		처리장치	○	○	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮			⋮
			○		배선장치	○	○	○
		○			신호처리부#2			
			○		처리장치	○	○	
			○		통제장치	○	○	

3. CIWS의 RAM 목표값 검증 실험

분석된 CIWS의 운영시나리오와 switch-on list를 바탕으로 상용 RAM 시뮬레이션인 BlockSim을 모형화한다. 그다음 CIWS의 RAM 목표값 검증을 위한 실험을 설계한다.

3.1 상용 RAM 분석 시뮬레이션 모델링

Fig. 1과 Fig. 2는 BlockSim을 이용해서 CIWS의 물리적 구조와 운영시나리오를 모형화한 것이다. CIWS

의 물리적 구조는 RBD(reliability block diagram)으로 표현했으며, BlockSim의 subdiagram을 활용해서 상·하위 level을 나타냈다.

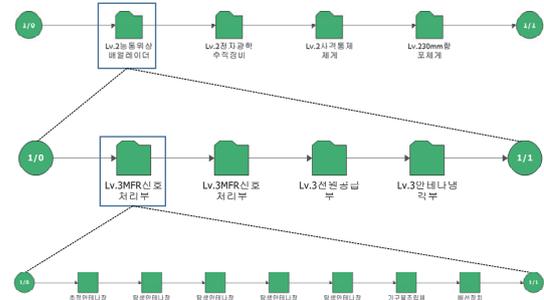


Fig. 1. 시뮬레이션 BlockSim에서 CIWS의 물리적 구조

BlockSim의 operational phase diagram을 활용해서 CIWS의 운영시나리오를 표현했으며, 필요한 부품의 고장이 발생하면 복구될 때까지 임무는 수행하지 못하게 모형화했다.

CIWS의 RAM 목표값 검증을 위해 아래의 가정사항을 고려하였다.

- CIWS는 정지 없이 계속해서 임무를 수행한다.
- 부품의 고장이 발생하면 즉시 수리한다.
- 부품의 고장과 정비시간은 지수분포를 따른다.

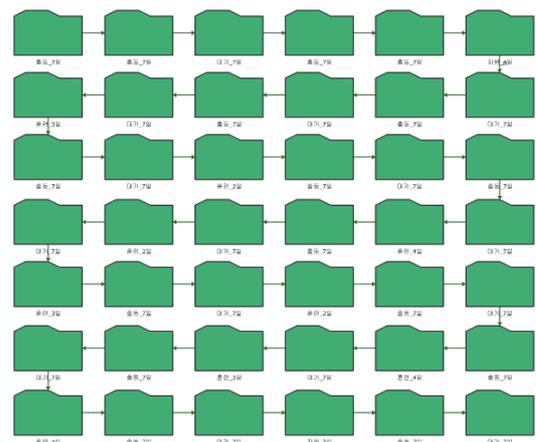


Fig. 2. BlockSim에서 CIWS의 운영시나리오

고장이 발생하는 CIWS 부품의 MTBF(mean time between failures)과 MTTR(mean time to repair)은 유사부품의 정보를 활용하였다. 그리고 부품의 고장이 생기면 발생하는 행정 및 군수지연시간(ALDT,

administrative and logistic delay time)은 CWIS의 RAM 목표값 설정 단계 때 산출된 사격통제부체계와 무장부체계의 ALDT 값을 적용하였다. 나머지 부체계의 부품 고장이 생겨도 ALDT가 발생하지 않는 것으로 가정하였다.

또한, CIWS 부품의 고장시간이 지수분포를 따르므로 CIWS의 예방정비 효과(신뢰도 개선) 없이 비가동시간(down time)만 증가한다. 따라서 BlockSim의 시뮬레이션 시간은 1년(8,760시간) 중 CIWS의 총 예방정비시간을 제외한 시간인 〇,〇〇〇시간, 반복 횟수를 100회로 설정하였다.

CIWS RAM 목표값을 검증하는 실험에서는 먼저 BlockSim 실험 결과와 CIWS의 목표 A_o , MTBF, MTTR을 비교해서 만족 여부를 확인한다. 그다음 사격통제부체계와 무장부체계의 ALDT를 +30 %부터 -30 %까지 변화하면서 CIWS의 A_o , MTBF, MTTR 변화를 분석하였다.

3.2 CIWS RAM 목표값 검증실험 결과

BlockSim으로 시뮬레이션을 실행한 결과 Table 6와 같이 CIWS의 목표 A_o , MTBF, MTTR를 만족하였다.

Table 6. CIWS의 RAM 목표값 검증

구분	신뢰도 (R)	가용도 (A)	정비도 (M)
	고장간 평균시간 MTBF (h)	운영가용도 A_o (%)	정비도 MTTR (h)
목표값	68.5 이상	84.5 이상	23.5 이내
검증값	259.9	86.5	9.1

Table 7은 CIWS의 A_o , MTBF, MTTR를 산출하기 위해 활용한 BlockSim 통계량을 보여준다. CIWS의 TPM은 고정된 값으로 시뮬레이션 수행 후 통계량에 포함해 A_o 를 산출하였다.

Table 7. 시뮬레이션 BlockSim의 통계량

TUT (h)	TDT (h)					Num. of. CM (건)
	TCM	TPM	TALDT			
			사격	무장	Total	
7,582	971	206	19	306	325	29

Table 8은 CIWS의 사격통제부체계와 무장부체계의 ALDT를 -30 %에서 +30 %로 변화하였을 때 CIWS의 A_o , MTBF, MTTR를 보여준다. ALDT가 개선될수록 CIWS의 A_o 는 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 8. 평시 사격통제부체계의 ALDT 변화에 따른 CIWS RAM 분석 결과

구분	MTBF (h)	A_o (%)	MTTR (h)
목표값	68.5	84.5	23.5
ALDT 증감율	+30 %	246.8	85.4
	+15 %	256.6	85.8
	-15 %	245.1	87.0
	-30 %	249.8	87.4

Table 9은 CIWS의 A_o , MTBF, MTTR를 산출하기 위해 활용한 BlockSim 통계량을 보여준다.

Table 9. 평시 ALDT 변화에 따른 시뮬레이션 BlockSim의 통계량

구분	TUT	TDT				Num. of. CM	
		TCM	TALDT		Total		
			사격	무장			
ALDT 증감율	+30 %	7,484	1,069	31	293	324	30
	+15 %	7,516	1,037	33	295	328	29
	-15 %	7,623	930	20	297	317	31
	-30 %	7,652	901	34	287	321	30

4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션을 활용해서 CIWS의 RAM 목표값 설정단계에서 설정된 목표 A_o , MTBF, MTTR 검증연구를 수행하였다. 먼저 CIWS 탑재장비의 임무 종류, 수행시간, 수행순서를 바탕으로 평시 운영시나리오를 수립하였다. 그다음 CIWS의 물리적 구조 분석을 통해 부체계, 모듈, 부품을 파악한 후 switch-on list를 만들었다. 이를 바탕으로 상용 RAM 시뮬레이션 S/W인 BlockSim을 기반으로 유사부품의 MTBF와 MTTR을 활용해서 CIWS의 A_o , MTBF, MTTR를 산출해서 목표값 달성 여부를 확인하였다.

그리고 CIWS의 A_0 에 많은 영향을 미치는 사격통제 부체계와 무장부체계의 ALDT 증감을 통해 CIWS의 A_0 , MTBF, MTTR 변화를 분석하였다. 본 연구에서 제시된 방법론은 다양한 무기체계의 RAM 목표값 검증을 수행할 때 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2][1] 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. 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.
- [4] K.H. Hwang and J.O. Hur, "A Study on the Improvement of RAM Objective Considering Method for Weapon System," *Journal of Applied Reliability*, Vol. 17, No. 2, pp. 150-158, 2017.
- [5] S.B. Kim, S. B., 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 the Korean Society of Systems Engineering*, Vol.15, No.1, pp.16-24, 2019.
- [6] 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*, Vol. 39, No. 3, pp. 353-364, 2011.
- [7] Y. J. Han, H. W. Kim, W. Y. Yun, and J. W. Kim, "Heuristic Method for RAM Design of Multifunctional System," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 36, No. 2, pp. 157-164, 2012.
- [8] Y. J. Han, Y. Y. Yun, J. W. You, C. H. Choi, and H. Y. Kim, "Simulation-based Reliability and Maintainability Design of a Warship," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 39, No. 6, pp. 157-164, 2013.
- [9] W. Y. Yun, G. E. Park, and Y. J. Han, "An Optimal Reliability and Maintainability Design of a Searching System," *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, Vol. 43, No. 8, pp. 1959-1978, 2014.