

1. 서론

RAM은 신뢰도(Reliability), 가용도(Availability) 및 정비도(Maintainability)를 일컫는 용어로 복합적인 임무를 수행하기 위해 다기능·첨단화되고 있는 무기체계의 고장빈도, 정비업무량 및 전투준비태세를 나타내는 척도로 사용되고 있다.

개발 무기체계의 RAM 목표값 설정을 위해서는 운용중인 유사무기체계의 다양한 변수들을 분석하는 운용 데이터 분석 기반 개발 무기체계의 RAM 목표값 설정과 OMS/MP (Operational Mode Summary/Mission Profile, 운용형태종합/임무유형)기반 RAM 목표값 설정 방법이 많이 사용되고 있으며, 개발 무기체계의 OMS/MP 작성을 위해서는 운용 유사무기체계의 실적 데이터 분석이 필수적이다.

무기체계의 고장횟수와 고장정비 시간은 RAM 분석값에 영향을 미치는데, 특히 신뢰도와 정비도는 고장횟수와 고장정비 시간을 어떻게 설정하느냐에 따라 그 분석값이 크게 차이가 난다. 본 연구에서는 광개토-III Batch-II 수상함에 탑재될 통합소나체계 RAM 목표값 설정을 위해 광개토-III Batch-I 함정에 탑재되어 운용되고 있는 소나체계 중 단상태 소나인 선체 고정형능동소나체계(HMS: Hull Mounted SONAR)만 한정하여 운용실적 기반 고장횟수와 고장정비시간 설정방법이 선체고정형능동소나체계 RAM값에 미치는 영향을 분석하였고, 합리적인 고장정비의 기준을 제시하였다.

2. 본론

2.1 RAM 분석 방법 및 절차

고장을 어떻게 정의하고 고장정비의 기준을 어떻게 설정하느냐에 따라 RAM 분석값이 달라진다. 특히, 신뢰도 및 정비도는 고장횟수에 절대적으로 지배를 받기 때문에 시스템의 고장 및 고장정비의 기준 설정은 매우 중요하다.

고장의 일반적인 사전적 의미는 『기계·설비·기구 등의 기능에 문제가 생기는 일』을 말한다. 국방 군수용어 사전에서 고장이란 『총포, 탄약, 기계 등이 불완전한 작용으로 고장이거나 부서져서 가동이 정지된 상태』라고 정의하고 있다.

해군용어사전에서는 고장에 대해 특별한 언급은 없지만 고장과 연관된 고장률을 『특정기간 동안 발생한 품목의 고장수를 같은 기간 동안의 총 운용수명으로 나눈 값』이라고 정의하고 있다. 또한, 신뢰도를 『주어진 환경조건과 기간 동안 부여된 임무를 수행하기 위해 요구되는 기능을 수행할 확률』로 정의하여 고장이 신뢰도 평가의 핵심변수로 고려됨을 알 수 있다.

따라서 시스템에서 발생하는 고장을 『전 수명주기 중 전력화 배치 후 폐기단계 까지 불완전한 작동으로 부여된 임무기능 수행이 불가 또는 저하되는 상태』라고 포괄적 해석이 가능하다.

본 연구에서는 고장을 단순히 운용 중에 발생하여 임무기능 수행 불가 또는 저하되는 상태로 보지 않고 정박 중 기능 저하로 긴급수리 요청 및 함정 수리 태세 부여 시 정비 중 발생한 수리부속 교체 까지를 고장으로 설정하고 고장정비 기준을 3가지 case로 구분하여 선체고정형능동소나체계의 RAM 분석을 수행하였다.

2.2 RAM 분석을 위한 자료

선체고정형능동소나체계의 RAM 분석을 위해서 분석 대상 소나체계 탑재 함정의 O/H(Over Haul, 완전분해정비) 기간이 포함된 2015년 운용 자료를 제외하고 2010~2016년까지 6년간의 다양한 자료를 수집하여 평가하였으며, 표 1에 RAM 분석을 위한 운용자료 및 평가내용을 나타내었다.

2.3 RAM 분석을 위한 계산식

신뢰도는 무기체계가 일정시간 주어진 운용조건하에서 요구된 기능을 고장 없이 만족하게 수행할 확률을 뜻하며, 수리가 가능한 시스템의 신뢰도의 척도는 MTBF(Mean Time Between Failure, 고장 간 평균시간)로 표현한다.

수리가 가능한 시스템의 MTBF는 총 운용시간(TOT)과 총 고장횟수(TFN)로부터 산출 할 수 있으며, 아래와 같은 식으로 정량화 할 수 있다. RAM 분석에 필요한 다양한 변수들을 표 2에 나타내었다.

$$MTBF = \frac{TOT}{TFN} \quad (1)$$

표 1 RAM 분석을 위한 운용자료 및 평가내용

운용자료	분석내용	평가내용
함운용 실적부	출동, 경비, 정박, 수리 등	OT, AT, ST
항박일지	출동, 경비, 정박, 수리 등	OT, AT, ST
해군 종합장비 정보체계	정비지시/시간/내용	CMN, PMN, TCM, TPM
장비종합이력부	고장내용	CMN, TCM
장비고장보고	고장내용, 정비내용 등	CMN, TCM
자재소비보고서	자재(수리부속) 교체 실적	CMN, TCM
PMS 지침서	소나체계 예방정비 내용	PMN, TPM

가용도는 신뢰도와 정비에 의하여 고장이 정상상태로 회복 되는 부분으로 이루어지며, 정비 가능한 시스템이 어떤 운용 조건에서 주어진 시간에 정상적인 기능을 유지하고 있는 확률로 정의할 수 있다.

가용도에는 운용가용도(Ao: Operational Availability), 성취 가용도(Aa : Achieved Availability), 고유가용도(Ai: Inherent Availability)로 구분 할 수 있다. 본 논문에서는 RAM 분석 대상을 실제 광개토-III Batch-I 함정에 탑재되어 운용되고 있는 선체고정형능동소나에 한정했기 때문에 가용도는 운용가용도로 나타내었다.

운용가용도는 시스템의 총 가동시간(TUT)과 총 비가동시간(TDT)으로부터 산출 할 수 있다. 총 가동시간에는 시스템의 총 운용시간(TOT), 총 경계시간(TAT) 및 총 대기시간(TST)이 포함되고, 총비가동시간에는 총 고장정비시간(TCM), 총 예방정비시간(TPM), 총 행정 및 군수지원시간(TALDT)이 포함된다. 운용가용도는 아래와 같은 식으로 정량화 할 수 있다.

$$A_o = \frac{TUT}{TT(TUT + TDT)} \quad (2)$$

정비도는 시스템의 고장 발생 시 정비요원의 가용한 절차 및 자원을 활용하여 주어진 환경 하에서 주어진 시간 내에 시스템을 정비하여 성능을 규정된 상태로 복구 할 수 있는 확률을 뜻하며, 정비도의 척도로 시스템 고장 시 정비하는데 걸리는 평균시간인 MTTR(Mean Time To Repair)로 표현한다.

MTTR은 고장정비시간과 고장횟수로부터 산출할 수 있으며, 다음과 같은 식으로 정량화 할 수 있다.

$$MTTR = \frac{TCM}{TFN} \quad (3)$$

표 2 RAM 분석을 위한 변수

Parameters	Definition
TT	Total calendar time (TUT+TDT, 1year = 8,760hours)
TUT	Total up time(TUT=OT+AT+ST)
TDT	Total down time(TDT=TCM+TPM+TALDT)
TOT	Total operation time
TAT	Total alert time
TST	Total standby time(TST1 + TST2)
TST1	Total SONAR standby time during RFS and MA ※ RFS: Ready for sea, MA: Miscellaneous at anchor
TST2	Total residual time except for only SONAR repairing time in allowed maintenance period such as UPK, RA etc. ※ RA: Restricted Availability, UPK: Up-Keep
TCM	Total corrective maintenance time
CMN	Corrective maintenance number
TPM	Total preventive maintenance time
PMN	Preventive maintenance number
TALDT	Total administrative logistics delay time
TFN	Total failure number

2.4 총 가동시간(TUT) 산출 방법

광개토-III Batch-I 함정에 탑재되어 운용되고 있는 선체고정형능동소나체계의 총 가동시간은 함운용실적부, 법정기록물인 항박일지 등을 참고하여 6년간 자료를 수집하여 총 가동시간을 산출하였다.

총 가동시간에는 운용시간, 경계시간 및 대기시간이 포함되는데 선체고정형능동소나체계는 함정이 훈련, 경비 및 작전 임무 수행 등 항해중일 경우 상시 운용되는 시스템이기 때문에 항해 중 별도의 대기시간은 존재하지 않는다. 광개토-III Batch-I에 탑재되어 있는 선체고정형능동소나체계의 총 가동시간을 정량화하면 표 3과 같다.

표 3 선체고정형능동소나체계의 총 가동시간 정량화 결과

TUT				
Year	OT	AT	ST	
			ST1	ST2
2010	00	-	00	00
2011	00	-	00	00
2012	00	-	00	00
2013	00	-	00	00
2014	00	-	00	00
2016	00	-	00	00
Total	00	-	00	00
Average	00	-	00	00

2.5 총 비가동시간(TDT) 산출 방법

광개토-III Batch-I 함정에 탑재되어 있는 선체고정형능동 소나체계의 총 비가동시간은 6년간 장비고장보고 실적, 해군 장비정보체계의 정비내용 및 정비시간, 정비지원부대의 정비종목, 수리부속 교체실적 등을 면밀히 분석하여 산출하였다.

총 비가동시간 에서 고장횟수(고장정비횟수)는 정비 시 수리부속이 교체된 경우(Case 1), 정비지원부대의 긴급정비인 경우(Case 2), 정비지원부대의 긴급정비와 수리부속교체를 고장정비의 기준으로 설정한 경우(Case 3)로 구분하여 총 고장정비시간(TCM)을 산출하였고, 총 예방정비시간(TPM)은 각 case에 해당되지 않는 정비를 분류하여 총 예방정비시간으로 산출하였다.

총 고장정비시간에는 함정의 장비고장보고 실적이 각 case 에 기본적으로 포함되었다. 또한 총 행정 및 군수지원시간은 (TALDT) 각 고장정비건에 대한 data가 부족하여 정비지원부대의 정비요원 및 함정요원의 자문과 선체고정형능동소나체계의 수리부속 목록을 비교하여, 이를 의사결정계보 기법에 적용시켜 현실적인 행정(ADT) 및 군수지원지연(LDT) 시간을 도출하였다.

광개토-III Batch-I에 탑재되어 있는 선체고정형능동소나체 계 고장 1건에 대해 행정 및 군수지원지연시간 산출 모델을 도식화 하면 그림 1 및 그림 2와 같다. 광개토-III Batch-I에 탑재되어 있는 선체고정형능동소나체계의 총 비가동시간을 산출하기 위해 고장정비시간 산출을 위한 각 case 설정과 현실적인 행정 및 군수지원 지연시간을 고려하여 총 비가동시간을 정량화하면 표 4와 같이 나타낼 수 있다.

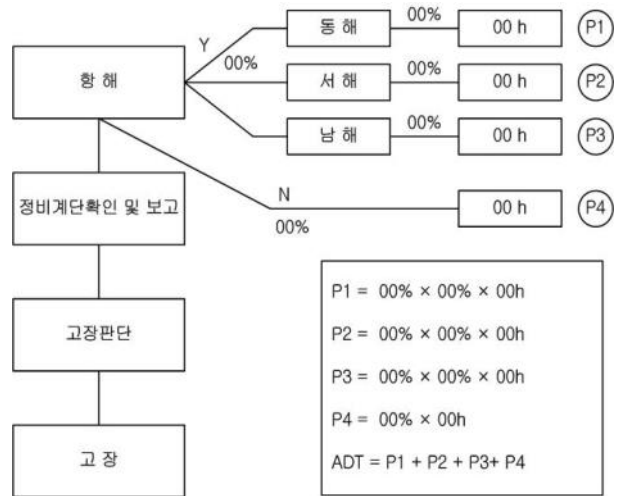


그림 1 행정지연시간 산출 개략도

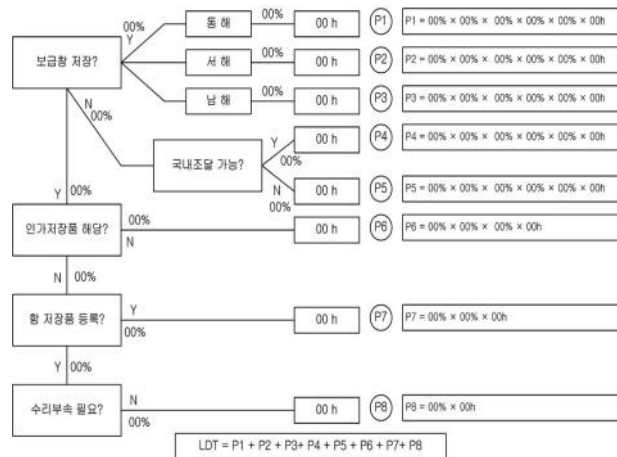


그림 2 군수지원지연시간 산출 개략도

표 4 선체고정형능동소나체계의 총 비가동시간 정량화 결과

TDT					
Year	CMN	PMN	TCM	TPM	TALDT
2010	00	00	00	00	00
2011	00	00	00	00	00
2012	00	00	00	00	00
2013	00	00	00	00	00
2014	00	00	00	00	00
2016	00	00	00	00	00
Total	00	00	00	00	00
Average	00	00	00	00	00

3. RAM 분석 결과 및 고찰

3.1 Case 1의 TUT 및 TDT 결과

광개토-III Batch-I에 탑재되어 있는 선체고정형능동소나체계의 고장횟수와 고장정비 시간을 case 1(수리부속 교체 실적)로 설정하였을 경우 선체고정형능동소나체계의 TUT 및 TDT 정량화 결과를 표 5에 나타내었다.

선체고정형능동소나체계의 경우 운용시간은 함정의 항해시간과 일치하기 때문에 대기시간(ST)에서 ST1은 함정의 RFS 및 MA 태세 시간과 동일한 시간이며, ST2는 함정의 수리태세 시 선체고정형능동소나체계의 수리시간을 제외한 대기시간을 의미한다.

선체고정형능동소나체계는 함정의 하위 무기체계로서 수리 중 함정이 비가동 상태에 있을지라도 함정을 구성하는 다른 무기체계와 독립적으로 운용되므로 소나체계의 수리가 완료 되면 가동될 수 있기 때문에 가동시간에 포함되어야 한다.

표 5 Case 1의 TUT 및 TDT 결과

Parameters		Year		Total (6 years)	Average (6 years)	Rate (%)	
		OT	ST				
TT (1year = 8,760h)	TUT	OT		00	00	28.9	
		ST	ST1		00	00	53.3
			ST2		00	00	15.4
	TDT	CMN		00	00	-	
		PMN		00	00	-	
		TCM		00	00	0.3	
		TPM		00	00	1.6	
		TALDT		00	00	0.5	

3.2 Case 2의 TUT 및 TDT 결과

표 6은 고장 및 고장정비 기준을 case 2(긴급정비)로 설정했을 경우 TUT 및 TDT를 정량화 한 결과이다. case 1과 비교했을 때 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 긴급정비를 제외한 수리부속 교체가 발생한 정비는 예방정비에 포함되었고, 긴급정비 건수와 수리부속 교체 실적 정비건수가 차이가 나지 않았기 때문에 표 5의 결과와 동일한 결과로 분석되었다.

3.3 Case 3의 TUT 및 TDT 결과

표 7은 고장 및 고장정비 기준을 case 3(수리부속 교체+긴급정비)로 설정했을 경우 TUT 및 TDT를 정량화 한 결과이다. 고장정비 결과를 함정의 수리태세와 관계없이 정비지원부대에 긴급지원을 요청하거나, 함정 수리 기간 중 선체고정형능동소나체계의 수리부속이 교체되었을 경우 모두 고장 및 고장정비로 설정했기 때문에 TPM은 줄어들고 TCM은 늘어나는 경향을 볼 수 있다.

또한, 고장횟수가 늘어났기 때문에 총 행정 및 군수지원지연시간이 동시에 늘어난 결과를 Table 5 및 Table 6과 비교했을 때 확인 할 수 있다. 따라서 고장횟수의 증가는 총 행정 및 군수지원시간의 증가를 초래하기 때문에 ST2는 줄어들고, 이러한 결과는 TUT의 감소로 이어지며, 결과적으로 운용가용도(Ao)의 감소에 영향을 미친다.

표 6 Case 2의 TUT 및 TDT 결과

Parameters		Year		Total (6 years)	Average (6 years)	Rate (%)	
		OT	ST				
TT (1year = 8,760h)	TUT	OT		00	00	28.9	
		ST	ST1		00	00	53.3
			ST2		00	00	15.4
	TDT	CMN		00	00	-	
		PMN		00	00	-	
		TCM		00	00	0.4	
		TPM		00	00	1.5	
		TALDT		00	00	0.5	

표 7 Case 3의 TUT 및 TDT 결과

Parameters		Year		Total (6 years)	Average (6 years)	Rate (%)	
		OT	ST				
TT (1year = 8,760h)	TUT	OT		00	00	28.9	
		ST	ST1		00	00	53.3
			ST2		00	00	14.9
	TDT	CMN		00	00	-	
		PMN		00	00	-	
		TCM		00	00	0.8	
		TPM		00	00	1.2	
		TALDT		00	00	0.9	

3.4 RAM 분석 결과

고장 및 고장정비 기준을 3가지 case로 분류하여 RAM 계산식에 의해 분석한 결과를 표 8에 나타내었다.

Case 1과 Case 2에서 신뢰도의 척도인 MTBF는 동일하게 분석되었다. 이는 고장정비 횟수와 운용시간이 동일하기 때문인 것으로 분석되었으며, 정비도의 경우 고장횟수는 동일하지만 고장정비 시간이 차이가 나기 때문에 다른 것으로 분석되었다.

Case 3에서 고장정비 횟수가 case 1 및 case 2와 비교했을 때 늘어났기 때문에 ST2 감소 결과를 초래했으며, 이는 운용가용도 저감의 직접적 원인이 되는 것으로 분석되었다. 또한 고장정비 횟수 증가가 MTBF 저감의 원인으로 작용되었다.

Case 3의 정비도 분석 결과, 정비도 척도인 MTTR은 고장정비 횟수와 고장정비 시간이 동시에 증가해서 case 1 및 case 2와 비교했을 때 크게 차이가 나지 않는 것으로 분석되었다.

표 8 Case별 RAM 분석 결과

RAM	Index	Case 1	Case 2	Case 3
Reliability	MTBF	3799.5h	3799.5h	1899.8h
Availability	Ao	97.7%	97.7%	97.2%
Maintainability	MTTR	43.8h	50.3h	47h

4. 결론

고장 및 고장정비의 기준을 합리적으로 해석하여 3가지 case로 분류하고, 해군 수상함에 탑재되어 운용중인 선체고정형능동소나체계에 적용시켜 RAM 분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 가) 고장의 기준을 운용중인 상태에서 시스템의 임무 수행 불가 및 능력이 저하되는 상태뿐만 아니라 가동 대기상태에서 발생하는 시스템의 불완전 상태 및 수리 중 수리부속 교체 상태도 고장의 범주에 포함시키는 것이 합리적이라고 판단된다.
- 나) 고장 및 고장정비의 기준을 3가지 경우로 분류하여 RAM 분석을 수행한 결과 case 3의 경우 고장정비 횟수가 늘어나기 때문에 ST2가 감소되고, ST2의 감소는 ST의 감소로 이어지기 때문에 운용가용도가 줄어 들었다.

다) 고장 및 고장정비 기준에 따라 신뢰도의 척도인 MTBF 값은 큰 차이를 보인다. 이는 시스템 운용시간이 크게 차이가 나지 않는 한 고장정비 횟수에 절대적 지배를 받는다는 것을 의미하기 때문에 무기체계 개발 시 RAM 목표값 설정에 매우 중요한 영향을 미치며, 무기체계 고장의 기준을 운용부대의 장비고장실적, 정비지원부대의 긴급수리 실적 및 수리부속 교체 실적을 모두 고장의 범주에 포함시키는 것이 합리적이라고 판단된다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 광개토-III batch-II 통합소나체계 신뢰도 성장관리, 운용형태/임무유형(OMS/MP), 효과적 대잠전 수행방안 산출 연구에서 지원을 받아 연구되었으며, 본 내용은 2017년 조선학회 추계 학술대회에서 발표한 내용을 토대로 작성되었습니다.

참 고 문 헌

Han, Y.J, Yun, W. Y, Yoo, J. W, Choi, C. H & Kim, H. W., 2011. Simulation-based reliability and maintainability design of a warship. Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 39(6), pp.461-472.
 Republic of Korea navy., 2011. Navy Terminology Dictionary.
 Seo, S. K., 2015. Reliability Engineering. The Ministry of National Defense., 2008. Defence Logistics Terminology Dictionary.



이 형 민

- 1974년생
- 1997년 해군사관학교 해양학과 졸업
- 현 재 : 해군사관학교 추진체계학 교수
- 관심분야 : 함정추진체계
- 연 락 처 : ***-***-****
- E - mail : hmsj1226@korea.ac.kr



민 승 식

- 1981년생
- 2007년 한국과학기술원 물리학과 졸업
- 현 재 : 해군사관학교 물리학 교수
- 관심분야 : 통계물리학, 해군무기체계
- 연 락 처 : -
- E - mail : fieldsmn@gmail.com



유 재 우

- 1962년생
- 1983년 해군사관학교 OR 과 졸업
- 현 재 : 국방과학연구소 책임 기술원
- 관심분야 : 신뢰성 공학
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : dbwodn98@naver.com



정 연 환

- 1970년생
- 1993년 해군사관학교 조선공학과 졸업
- 현 재 : 해군사관학교 조선공학 교수
- 관심분야 : 함정기본설계, 시스템 엔지니어링
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : pobrain@naver.com



장 정 무

- 1971년생
- 2005년 성균관대학교 경영대학원 졸업
- 현 재 : 국방과학연구소 선임관리원
- 관심분야 : 신뢰성 공학
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : chungmoo71@gmail.com

2018년도 한국해양과학기술협의회 춘계공동학술대회 안내

- 일자: 2018년 5월 24일(목)~25(금)
- 장소: 제주CC
- 주최: 한국해양과학기술협의회
- 주관: 대한조선학회, 한국항해항만학회, 한국해안·해양공학회, 한국해양공학회, 한국해양학회, 한국해양환경·에너지학회
- 후원: 해양수산부
- 사전등록: 5월 4일(금)까지 (한국해양과학기술협의회 홈페이지에서 등록)
- 등록비: 일반 15만원 (사전등록 12만원)
학생 7만원 (사전등록 5만원)
- 문의처 : 박일신/ Tel: 02-3432-9501, info@kaosts.org