

장갑차의 가용도와 운영유지비용에 미치는 고장 다빈도 품목의 영향성 분석

봉주성*, 백일호*, 김민섭*, 허장욱*[#]

*금오공과대학교 기계공학과(항공기계전자융합전공)

The Impact of Failure Frequency Items on Availability and Operation Support Costs of Armored Vehicles

Ju-Sung Bong*, Il-Ho Baek*, Min-Seop Kim*, Jang-Wook Hur*[#]

*Department of Mechanical Engineering(Department of Aeronautics, Mechanical and Electronic Convergence Engineering), Kumoh National Institute of Technology

(Received 13 September 2020; received in revised form 14 November 2020; accepted 17 November 2020)

ABSTRACT

The effects on system availability, operation, and support costs were analyzed using the M&S system (MPS). The failure frequency items of current armored vehicles were identified and the MTBF of the identified items was improved. The results of this study suggest that when we reduce the frequency of failure, the availability increases, and the operation and support costs decrease. By improving the reliability of the failure frequency items, it becomes possible to upgrade or develop the weapons systems. Through this study, we confirmed that improving reliability will enhance combat readiness and reduce operation and support costs.

Key Words : Armored Vehicle(장갑차), Availability, Operation Support Cost(운영유지비용), MTBF(고장간 평균 시간), Failure Frequency Items(고장 다빈도 품목)

1. 서론

과학기술의 급격한 발달로 무기체계는 첨단화, 정밀화 및 복잡화되고 있으며, 이로 인해 무기체계가 전력화된 이후 전투준비태세 유지와 수명주기비용의 절감을 위해 개발 간 신뢰성 업무의 중요성은 날로 증가하고 있다. 이에 따라, 장기간 운용으로 노후화된 무기체계는 신규 무기체계로 대체하거나, 가용도나 체계 성능에 영향을 크게 미치는 주요 구성품의 성능개량 등을 추진하여야

한다.

이와 같은 무기체계의 가용도, 신뢰도 및 정비도와 관련된 분야를 RAM(Reliability Availability Maintainability)분석 기술이라고 할 수 있으며, RAM 분석은 개발단계에서 무기체계에 대한 품질 특성을 파악하여 설계 대안을 제시함으로써, 체계 가동시간 최대화와 운영유지비용 최소화로 전투수행능력 극대화를 목적으로 한다. 주요 선진국에서는 RAM을 무기체계의 운용에 있어서 중요한 요소로 인식하여 다양한 RAM 분석 방법을 시도하고 있다.

최근 국내에서는 과거 상태와 현재 상태가 주어졌을 때 미래 상태는 과거 상태와는 독립적으로

Corresponding Author : hhjw@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7399

현재 상태에 의해서만 결정된다는 마코프 특성을 반영한 MPS(Markov Process Simulation) 소프트웨어를 이용하여 핵심품목의 대안 분석 등에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다^[1-3].

신규로 개발하는 무기체계의 경우 우리나라 환경에 적합하도록 개발하여 신뢰성 있는 무기체계가 전력화되어야 하는데, 이를 위해서는 신규 무기체계를 개발하기 전에 운영되고 있는 유사 무기체계의 고장 다빈도 품목을 분석하여 사전 개발 등 대응방안 강구가 필요하다. 현재 우리 군의 야전운용자료는 DELIIS체계에 의해 고장이력 자료 등이 수집되어 각 군 군수사로 종합되고 있으며, 이를 매년 국방기술품질원에서 분석하고, 차후 신규 무기체계 연구개발이나 성능개량 시에 활용토록 업무분장과 절차가 방위사업관리규정 등에 명시되어 있으나, 형식적인 측면에 치우쳐 제대로 운용이 되고 있지 않은 실정이다. 이러한 이유는 야전에서 수집되는 DELIIS 체계에 장비 고장 발생시 상세한 고장 원인을 기입할 수 없도록 시스템이 구축된 것이 가장 큰 원인이며, 야전운용자료의 중요성을 주요 간부들이 인식하고 관리하여야 하나, 다소 소홀한 측면이 있어 정확한 데이

터 입력의 미흡으로 Garbage in → Garbage out이 되고 있기 때문이다^[4-6].

그리고 야전운용자료와 고장 다빈도 품목의 중요성에 대해서는 많은 논문과 보고서에서 강조되고 있으나^[7-8], 야전에서 운용되고 있는 무기체계의 고장 다빈도 품목의 정량적인 효과나 영향성에 대한 연구가 미흡하여 중요성이 간과되고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내개발 예정인 장갑차를 대상으로 유사 무기체계의 고장 다빈도 품목을 분석하고, 고장 다빈도 품목 중 고장률 측면에서 우선순위가 높은 품목의 고장률 개선시 운용가용도와 운영유지비용에 미치는 정량적인 효과를 MPS 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

2. 장갑차의 고장 다빈도 품목 분석

2.1 시스템 구성

야전에서 운용중인 장갑차는 Fig. 1과 같이 차체와 포탑으로 구분되며, 차체는 동력장치, 유압장치, 연료장치 등으로 세분되고, 포탑은 무장장치, 사통장치, 전기장치 등으로 구성되어 있다.

Table 1 Failure status by component

Div	Component	Number of annual failures	MTBF (H)	Failure rate ($\times 10^{-2}$)	Unit price (₩1,000)
Chassis	Environmental control device	0.23	333.3	0.30	114,536.1
	Controller and brake ring cage	0.58	130.1	0.77	129,678.5
	Suspension and final drive	1.58	47.8	2.09	144,410.9
	Propulsion & steering device	0.73	103.5	0.97	103,164.7
	Hydraulic device	0.79	95.3	1.05	94,991.3
	Electric device	1.04	72.4	1.38	72,165.5
	Fuel device	0.39	191.7	0.52	134,447.7
	Survival device	0.24	322.6	0.31	136,716.0
	Communication navigation device	0.11	714.3	0.14	88,747.9
	Power device	2.80	26.9	3.72	200,000.0
Turret	Chassis incidental device	1.46	51.5	1.94	155,589.1
	Turret device	0.33	226.1	0.44	158,573.9
	Electric device	0.27	276.1	0.36	193,641.1
	Armament device	0.47	161.6	0.62	113,337.2
	Fire control device	0.03	2,265.6	0.04	84,299.4
Turret incidental device	0.04	2,034.5	0.05	75,700.6	

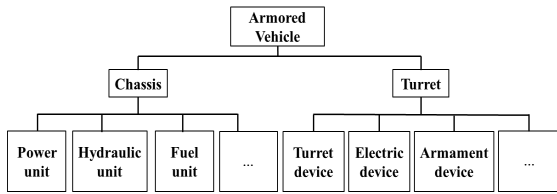


Fig. 1 Composition of armored vehicle

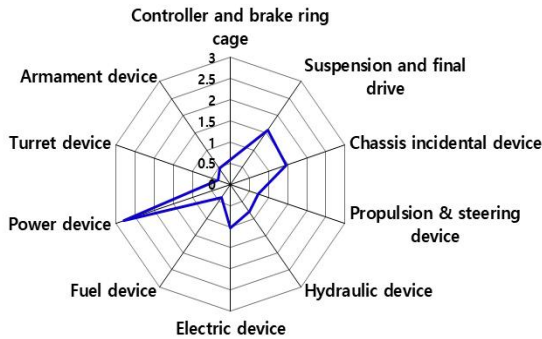


Fig. 2 Number of annual failures by component

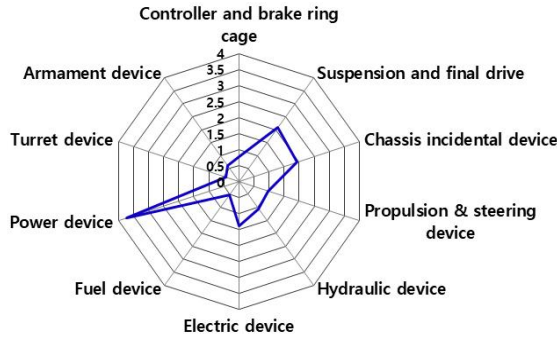


Fig. 3 Failure rate by component($\times 10^{-2}$)

2.2 고장 다빈도 품목 현황

장갑차는 지상과 해상에서 운행되고, 사격보다는 주행위주의 훈련이 많이 이루어지는 평시 운영 방식의 영향으로 차체의 고장이 포탑의 고장에 비해 많이 발생하고 있으며, 차체 및 포탑 구성장치의 고장건수, 고장간 평균 시간(MTBF, Mean Time Between Failure), 고장률 등 고장현황을 Table 1과 같이 나타내었다^[9]. 차체에서 발생된 고장건수는 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치 순으로 많이 발생하여 신뢰도(MTBF)가 낮고, 통

신항법장치, 환경제어장치는 상대적으로 고장발생 건수가 적어 신뢰도가 높게 나타난다. 또한, 포탑에서는 사통장치, 포탑 부수장치의 신뢰도가 높고, 무장장치, 포탑장치의 신뢰도가 낮게 나타났으나, 차체에서 고장발생 건수 상위 장치인 동력장치 등에 비하면 포탑의 장치들은 신뢰도가 높은 편이다. 연간 고장 발생 건수와 고장률에 대해 고장 다빈도 품목 중 상위 10개 품목에 대해 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다. 연간 고장발생 건수는 고장률과 매칭이 되며, 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치 순으로 높게 표시되고 있다.

2.3 야전 분석자료에 의한 운용가용도

운용가용도(A_o)는 무기체계가 실제 운용환경과 규정된 조건에서 사용될 때 임의의 시점에서 만족스럽게 작동될 확률이며, 식 (1)과 같이 표시할 수 있다^[10].

$$A_o = \frac{TUT}{TUT + TDT} = \frac{OT + ST + AT}{OT + ST + AT + TPM + TCM + TALDT} \quad (1)$$

여기서, TUT : Total Up Time

TDT : Total Down Time

OT : Operating Time

ST : Standby Time

AT : Alert Time

TPM : Total Preventive Maintenance Time

TCM : Total Corrective Maintenance Time

TALDT : Total Administrative & Logistics Delay Time

또한, 시스템 수준의 신뢰도(MTBF)는 운용가용도와 야전운용자료를 이용하여 식 (2)와 같이 계산할 수 있다^[10].

$$MTBF = \frac{OT \times ALDT}{(1 - A_o) \times TT - TCM - TPM} \quad (2)$$

여기서, TT : Total Time(TUT+TDT)

ALDT : Administrative & Logistics Delay Time

장갑차를 대상으로 수집된 야전운용자료는 Table 2와 같으며, RAM 분석보고서에 의하면 시스템 수준의 MTBF는 9.6H이고, 운용가용도는 86.6%를 나타내고 있다⁹⁾.

3. 고장 다빈도 품목의 영향성

3.1 영향성 분석 조건 및 방법

고장 다빈도 품목의 영향성을 분석하기 위해 고장 다빈도 품목으로 식별된 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치의 신뢰도 개선 시 효과를 분석할 필요가 있다. 이러한 고장 다빈도 품목에 대해 고장원인 분석과 대책을 강구함으로써 강건설계가 이루어져 고장률이 이들보다 약간 개선되었다고 고려하였다.

즉, 이들 3가지 품목이 네 번째로 고장률이 높은 전기장치 수준으로 Table 3 및 Fig. 4와 같이 개선되었다는 조건에 대해 시스템 신뢰도, 운용가용도 및

운영유지비용의 영향성을 MPS 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

3.2 시스템 신뢰도 개선

고장 다빈도 품목인 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치의 고장률이 전기장치 수준으로 개선 시 차체, 포탑 및 시스템 수준의 신뢰도를 Table 4와 같이 나타내었다. 차체의 고장률 개선(9.09 → 6.02%)에 따라 차체의 MTBF가 향상(11.0 → 16.6H)되었고, 이는 시스템인 장갑차의 고장률과 MTBF를 각각 10.44%, 9.6H에서 7.37%,

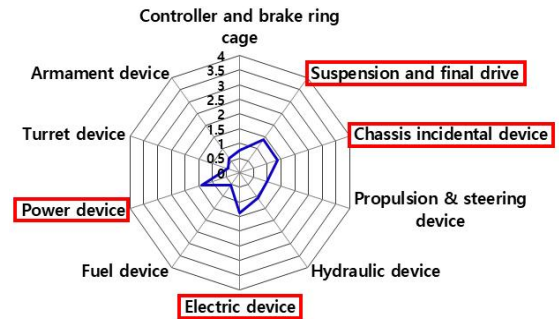


Fig. 4 Failure rate by component after improvement

Table 2 Field operation data for RAM Analysis

TUT(H)			TDT(H)		
OT	AT	ST	TCM	TPM	TALDT
75.4	6978.8		16.2	594.5	1,095.1

Table 3 MTBF and failure rate adjustment of higher failure frequency items

Div	Component	Before improvement		After improvement	
		MTBF(H)	Failure rate ($\times 10^{-2}$)	MTBF(H)	Failure rate ($\times 10^{-2}$)
Chassis	Environmental control device	333.3	0.30	333.3	0.30
	Controller and brake ring cage	130.1	0.77	130.1	0.77
	Suspension and final drive	47.8	② 2.09	72.4	④ 1.38
	Propulsion & steering device	103.5	0.97	103.5	0.97
	Hydraulic device	95.3	1.05	95.3	1.05
	Electric device	72.4	④ 1.38	72.4	④ 1.38
	Fuel device	191.7	0.52	191.7	0.52
	Survival device	322.6	0.31	322.6	0.31
	Communication navigation device	714.3	0.14	714.3	0.14
	Power device	26.9	① 3.72	72.4	④ 1.38
	Chassis incidental device	51.5	③ 1.94	72.4	④ 1.38
Turret	Turret device	226.1	0.44	226.1	0.44
	Electric device	276.1	0.36	276.1	0.36
	Armament device	161.6	0.62	161.6	0.62
	Fire control device	2,265.6	0.04	2,265.6	0.04
	Turret incidental device	2,034.5	0.05	2,034.5	0.05

13.6H로 변경하는 결과를 가져오게 하였다.

이와 같이 시스템 수준의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 고장 다빈도 품목에 대해 고장률을 개선하는 작업이 필요하며, 이를 위해서는 해당 품목의 고장원인, 고장유형, 고장 영향성 및 고장 메커니즘 등을 분석하여 개선 대안을 도출하는 과정이 수행되어야 한다.

3.3 운용가용도 향상

운용가용도(A_o)는 무기체계 운용 간 고장을 최소화하고 가동률을 증대시켜 전투준비태세를 유지하는 중요한 핵심지표라 할 수 있다. 고장 다빈도 품목인 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치의 고장률이 전기장치 수준으로 개선 시 시스템 수준의 운용가용도 변화를 Table 5에 나타내었다. 표로부터 고장 다빈도 품목의 고장률 개선에 따라 운용가용도가 약 3.0% 향상됨을 알 수 있으며, 이는 전투준비태세 유지 능력을 강화시킬 수 있다.

Table 4 Changes in reliability and failure rates

Division	Before		After	
	Failure rate ($\times 10^{-2}$)	MTBF (H)	Failure rate ($\times 10^{-2}$)	MTBF (H)
System	10.44	9.6	7.37	13.6
Chassis	9.09	11.0	6.02	16.6
Turret	1.35	74.1	1.35	74.1

Table 5 Changes in operational availability(A_o)

Division	Before improvement	After improvement	Remark
Operational availability(%)	86.1	89.1	3.0 ↑

Table 6 Changes in operation & support(O&S) cost

Division	Before	After	Remark
O&S cost (billion won)	4,200.5	3,142.4	1,058.1

3.4 운영유지비 절감

급변하는 과학기술에 동반한 수명주기 간 부품 노후화 및 단종 등으로 운영유지비용의 급격한 증가는 현용 무기체계의 최대 성능 발휘와 안정적인 가동률 유지에 제한사항으로 작용하고 있다. 고장 다빈도 품목인 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치의 고장률을 전기장치 수준으로 개선 시 30년간 운영에 대한 운영유지비의 변화를 Table 6에 나타내었다. 표로부터 고장 다빈도 품목의 고장률 개선에 따라 운영유지비가 약 1,058.1억원 절감되었다.

만약, 더 많은 품목에 대해 고장률을 현재보다 더 개선하여 새로운 장갑차 연구개발에 반영하거나 성능개선을 수행한다면 무기체계의 운영유지비용은 더욱 감소할 것으로 예상된다.

4. 고찰

고장 다빈도 품목에 대해 시스템 신뢰도, 운용가용도 및 운영유지비용 측면의 목표지향적 관리가 요구되며, 이러한 절차를 Fig. 5에 나타내었다. 먼저 고장 다빈도 품목(동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치)을 대상으로 목표 고장률

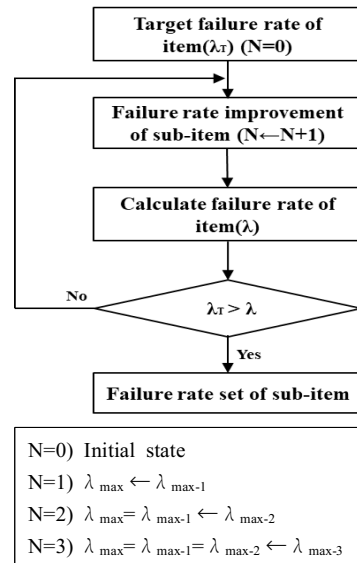


Fig. 5 Sub-item failure rate setting procedure

Table 7 Detailed item status by failure frequency component

Division	item	Before improvement		After improvement		Unit price (₩1,000)
		MTBF(H)	Failure rate ($\times 10^{-2}$)	MTBF(H)	Failure rate ($\times 10^{-2}$)	
Power device	Power generator mount retainer	5,246.7	0.02	5,246.7	0.02	2,014.7
	ENG/trans' disconnected & coupled	50.7	① 1.97	203.0	④ 0.49	39,335.4
	Cooling unit	85.8	② 1.17	203.0	④ 0.49	61,178.5
	Hydraulic reservoir	1,186.8	0.08	1,186.8	0.08	8,669.9
	Power generating filling unit	85.6	③ 1.17	203.0	④ 0.49	64,315.8
	Power generating electric unit	203.0	④ 0.49	203.0	④ 0.49	24,485.6
Suspension and final drive	Shock receiver unit	2,848.2	0.04	2848.2	0.04	113.7
	Hexagonal cap screw	6,230.5	0.02	6,230.5	0.04	2.6
	Support assembly cover	4,153.7	0.02	4,153.7	0.02	2,163.0
	Linear cylinder assy'	702.0	0.14	702.0	0.14	948.8
	Chain gear	379.0	⑤ 0.26	379.0	⑤ 0.26	1,063.9
	Rock assy'(pivot type)	1,107.6	0.09	1,107.6	0.09	3,646.9
	Suspension support assy'	142.4	① 0.70	379.0	⑤ 0.32	11,713.4
	Buffer assy'	307.7	④ 0.32	379.0	⑤ 0.32	1,022.8
	Orbital braking unit	210.8	② 0.47	379.0	⑤ 0.32	46,413.7
	Track shoe	210.8	② 0.47	379.0	⑤ 0.32	16,006.9
	Road wheel	449.0	0.22	449.0	0.22	44,953.6
	Final driver assy'	553.8	0.18	553.8	0.18	9,586.5
	Final driver outlet tube	2,431.4	0.04	2,431.4	0.04	3,114.0
	Double u-joint	949.4	0.11	949.4	0.11	3,661.0
Chassis incidental device	Cover & torsion bar	615.3	④ 0.16	615.3	④ 0.16	19,094.4
	Hatch	280.8	③ 0.35	615.3	④ 0.16	9,843.7
	Cargo door	882.6	0.11	882.6	0.11	10,186.5
	Ramp	626.9	0.16	626.9	0.16	7,235.5
	Tow emergency separator	1,917.1	0.05	1,917.1	0.05	4,138.8
	Chassis & Coolant Drain Plug	2,694.3	0.04	2,694.3	0.04	5,816.7
	Electric drainage pump	914.6	0.11	914.6	0.11	10,554.9
	Communications Security Guard	33,229.4	0.00	33,229.4	0.00	11,669.2
	Load clamp & bracket	859.4	0.12	859.4	0.12	9,917.7
	Crew heater	760.97	0.13	760.97	0.13	8,782.1
	ENG exhaust vent	33,229.4	0.00	33,229.4	0.00	11,669.2
	Contact cooler	16,614.6	0.01	16,614.6	0.01	4,940.6
	Insulator	16,614.7	0.01	16,614.7	0.01	4,940.6
	Plate & gasket	19,937.6	0.00	19,937.6	0.00	5,928.7
	Support & shaft switch mount	1,487.9	0.06	1,487.9	0.06	3,212.2
	Boarding chair	278.4	② 0.36	615.3	④ 0.16	9,760.4
	Slipring & anchor arm	14,241.2	0.01	14,241.2	0.01	4,234.8
	Azimuth indicator	11,076.5	0.01	11,076.5	0.01	3,293.7
	Armored Plate Kit	227.6	① 0.44	615.3	④ 0.16	7,978.1
	STEP & inclined rack	1,107.6	0.09	1,107.6	0.09	2,391.2

($\lambda_T=0.0138$)을 설정하고, 고장 다빈도 품목의 하위 품목들을 대상으로 고장률 개선 조건을 적용한다. 고장률 개선 조건은 고장 다빈도 품목의 하위 품목 중 최상위 고장률(λ_{max})을 차상위 고장률(λ_{max-1})로 변경($\lambda_{max} \leftarrow \lambda_{max-1}$)하여 고장 다빈도 품목의 목표 고장률 충족 여부를 점검하며, 만약 미충족 시에는 최상위 고장률과 차상위 고장률을 차차상위 고장률(λ_{max-2})로 변경하는 방식($\lambda_{max}=\lambda_{max-1} \leftarrow \lambda_{max-2}$)을 적용하여 고장 다빈도 품목의 목표 고장률을 충족할 때까지 반복적으로 수행한다.

고장 다빈도 품목으로 제시된 Table 2의 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치에 대해 Fig. 6에 따른 하위품목의 고장률 설정 절차를 적용한 결과를 Table 7과 같이 나타내었다. 동력장치는 엔진/변속기 분리 및 결합, 냉각장치, 동력발생 주유장치를 대상으로 동력발생 전기장치 수준의 고장률(0.0049)로 변경 시 동력장치의 고장률이 0.0130으로 목표 고장률(≤ 0.0138)을 충족하였으며, 현수장치 및 종감속기는 현수용 지지대 조립체, 레도제동장치, 레도 슈, 체인기어를 대상으로 완충기 조립체 수준의 고장률(0.0026)로 변경시 현수장치 및 종감속기의 고장률이 0.0132로 목표 고장률(≤ 0.0138)을 만족하였고, 차체 부수장치는 장갑판 키트 및 장착유선형 판, 탑승의자, 해치를 대상으로 덮개 및 토션바 수준의 고장률(0.0016)로 변경 시 차체 부수장치의 고장률이 0.0135로 목표 고장률(≤ 0.0138)을 달성하였다.

이상의 결과로부터 확인할 수 있었던 사항은 고장 다빈도 품목의 구체적인 설계변경 대안 등에 대해서는 자료 제한 등으로 분석이 곤란하였으나, 고장 다빈도 품목의 영향성(시스템 신뢰도, 운용가용도, 운영유지비용)을 분석하고, 하위품목의 설계변경을 위한 고장률 설정 절차를 기술하여 고장 다빈도 품목의 개발에 대한 방향을 제시하였다.

5. 결론

국내개발 예정인 장갑차를 대상으로 유사 무기체계의 고장 다빈도 품목을 분석하고, 고장 다빈도 품목 중 고장률 측면에서 우선순위가 높은 품

목의 고장률 개선시 시스템 신뢰도와 운용가용도, 운영유지비용에 미치는 정량적인 효과를 분석하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유사 무기체계의 야전운용자료에 따르면 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치가 고장 다빈도 품목에 해당하였다.
- 2) 고장 다빈도 품목인 동력장치, 현수장치 및 종감속기, 차체 부수장치를 고장률 순위가 네 번째인 전기장치 수준으로 개선시 시스템의 MTBF와 운용가용도는 각각 4.0H, 3.0% 향상되고, 운영유지비용은 1,058.1억원이 절감된다.
- 3) 고장 다빈도 품목의 구체적인 설계변경 대안에 대해서는 자료 제한 등으로 분석이 곤란하였으나, 하위품목의 설계변경을 위한 고장률 설정 절차를 기술하여 개발 방향을 제시하였다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT 연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2021-2020-0-01612).

REFERENCES

1. Kim, B. H., Kim, S. K., D. Pagulayanand and Hur, J. W., "A Study on System Availability Analysis Utilizing Markov Process", Journal of Applied Reliability, Vol. 16, No. 4, pp. 295-304, 2016.
2. Kim, H. S., Kim, B. H. and Hur, J. W., "System Availability Analysis Using Markov Process", Journal of the Korea Society of Systems Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 36-43, 2018.
3. Kim, H. S., Choi, S. D. and Hur, J. W., "Development of Design Alternative Analysis Program Considering RAM Parameter and Cost", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 6, pp. 1-8, 2019.
4. Kim, I. S. and Hur, J. W., "A Comparative Analysis of the Air Weapons System's RAM

- Target Using Field Operation Data”, The Korean Reliability Society, Vol. 15, No. 4, pp. 282-288, 2015.
5. Hwang, K. H., Choi, K. M. and Hur, J. W., “A Study on the Analysis of Administrative and Military Balance Time (ALDT) Using Field Operation Data”, The Korean Reliability Society 2017 Spring Conference, pp. 24-24, 2017.
 6. Park, K. M., “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.
 7. Nam, Y. S., No, S. B., Kim, T. H., Song, J. Y. and Jeong, Y. M., “A Study on Life Cycle Extension of Major Component through the Analysis of T-50 Operation Field Data”, Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 234-240, 2011.
 8. Jang, H. S., Lee, K. W., Choi, Y. H. and Seo, D. S., “Reliability Analysis and Its Application Based on Quality Information of Submarine Installed Equipment During Building Stage”, Korean Society of Marine Engineers, Vol. 41, No. 9, pp. 934-942, 2017.
 9. DTaQ, "RAM Analysis Report Using Ground System Field Data(Korea Amphibious Assault Vehicle)", Jun. 2019.
 10. DAPA, "Weapon System RAM Instructions", No. 568, 2019.