



Received: 2025/08/20  
Revised: 2025/09/01  
Accepted: 2025/09/27  
Published: 2025/09/30

**\*Corresponding Author:**

**Youngwon Choi**

Future Warfare Integrated Product Support R&D  
(Maritime), LIG Nex1,  
20, Daewangpangyo-ro 851beon-gil, Sujeong-gu,  
Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13449, Republic of Korea  
Fax: +82-31-326-9379  
E-mail: youngwon.choi@lignex1.com

# 원격정비체계 기반 무기체계의 RAM-C 시뮬레이션 비교 연구

## A Comparative Study of RAM-C Simulations of Weapon Systems Based on Remote Maintenance System

최영원<sup>1\*</sup>, 김경록<sup>2</sup>, 손은호<sup>1</sup>, 윤연아<sup>1</sup>, 원선주<sup>1</sup>, 송초아<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 미래전쟁IPS연구소 선임연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 미래전쟁IPS연구소 수석연구원

Youngwon Choi<sup>1\*</sup>, Kyungrok Kim<sup>2</sup>, Eun-Ho Son<sup>1</sup>, Yeon-Ah Yoon<sup>1</sup>,  
Sun-Ju Won<sup>1</sup>, Cho-A Song<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research engineer, Future Warfare Integrated Product Support R&D Lab,  
LIG Nex1

<sup>2</sup>Chief research engineer, Future Warfare Integrated Product Support R&D Lab,  
LIG Nex1

### Abstract

본 연구는 원격정비체계(remote maintenance system, RMS) 기반 정비제도를 해군 무기체계에 적용하고, 이를 RAM-C(Reliability, Availability, Maintainability, Cost) 측면에서 비교 분석하였다. 연구는 ① RMS 기반 정비제도 수립, ② LCSC 시뮬레이션을 통한 RAM-C 산출, ③ 절충분석을 통한 최적 대안 도출 순으로 진행하였다. 사례 연구에서는 기존 3단계 정비제도와 RMS 기반 2단계 정비제도를 비교하였으며, 그 결과 RMS 적용이 운용 가용도를 향상시키고 수명주기 비용 절감 효과를 나타낼 수 있음을 확인했다.

This study applied a Remote Maintenance System (RMS)-based maintenance system to naval weapon systems and compared and analyzed it from the perspective of RAM-C (Reliability, Availability, Maintainability, Cost). The research was conducted in the following steps: (1) Establishment of RMS-based maintenance system, (2) RAM-C calculation through LCSC simulation, (3) Derivation of optimal alternatives through trade-off analysis. In the case study, the existing 3-level maintenance system was compared with the RMS-based 2-level maintenance system. The results confirmed that the application of RMS can improve operational availability and reduce lifecycle costs.

### Keywords

신뢰성기반 비용관리(RAM-C),  
원격정비체계(Remote Maintenance System),  
정비개념(Maintenance Concepts),  
절충분석(Trade Study), 시뮬레이션(Simulation)

## 1. 서론

현대 해군 작전환경은 고도화된 무기체계의 안정적 운용과 전투 준비태세 유지가 핵심과제로 부각되고 있다. 해군 무기체계는 염분, 진동, 온도 변화가 높은 혹독한 환경에서 장기간 운용되며 높은 가용도(가동률)를 요구받는다. 이러한 조건은 장비의 고장률을 증가시키고, 결과적으로는 작전 효율 저하나 가용도 저하로 이어질 수 있다. 그동안 해군 무기체계의 정비는 현장 정비(on-site maintenance) 중심으로 수행되어 왔다. 고장 발생 후, 장비를 점검하고, 필요시 정비 인력을 현장에 파견하여 수리와 부품 교체를 진행하는 방식이다. 그러나 이러한 방식은 고장진단에 소요되는 시간 지연, 부품 확보 시간 지연, 전문 정비인력 이동에 따른 시간 증가로 장비 가용도 저하뿐만 아니라 높은 유지비용을 초래한다.

최근에는 원격정비체계(remote maintenance system, RMS)의 도입이 주목받고 있다. 원격정비체계는 장비에 부착된 센서와 데이터수집장치를 통해 실시간 상태정보를 원격관제센터에 전송하고 원격관제센터는 이를 분석하여 이상 여부 확인과 고장 예측을 수행한다. 이를 통해 고장 발생 전 예방조치를 취하거나, 필요한 부품이나 인력을 사전에 준비하여 평균수리시간(MTTR)을 단축할

수 있다. 즉 원격정비체계의 도입으로 무기체계의 신뢰도와 가용도가 향상될 수 있다[1,2].

본 연구에서는 해군 무기체계에 원격정비체계 기반 정비제도를 적용했을 때와 기존 정비제도를 유지했을 때 무기체계 수명주기 동안의 RAM-C(reliability, availability, maintainability and cost, 신뢰성 기반 비용관리) 지표[3]를 시뮬레이션을 통해 비교 분석함으로써, 원격정비체계 도입의 실효성과 효과를 정량적으로 평가해 보았다.

## 2. 연구 개념

본 연구는 앞에서 설명한 해군의 3단계 정비개념 적용 사례와 원격정비체계 기반 정비개념 적용 사례로 구분하여 RAM-C 분석을 수행하였다. RAM-C 분석은 이벤트 기반 시뮬레이션 도구인 LCSC를 활용하였다. 시뮬레이션 결과는 절충분석(trade studies)을 통해 기존 3단계 정비개념과 원격정비체계 기반 정비개념 중 어느 것이 본 사례의 무기체계에 적합한지 판단해 보았다.

### 2.1 원격정비체계 기반 정비제도

원격정비체계는 정비 작업의 상당 부분을 현장에서 직접 하지 않고, 원격으로 진단, 지원, 관리할 수 있

도록 설계된 정비체계이다. 원격정비를 지원하는 관제센터의 전문가가 장비 상태를 모니터링, 진단하고, 필요시 현장 운용요원에게 원격으로 정비 지시를 내려주는 시스템이다.

기존 해군 3단계 정비개념과 비교했을 때, 사전에 장비 이상을 탐지함으로써 부품을 선제적으로 확보할 수 있고, 원격으로 정비 지원을 함으로써 정비요원의 이동시간을 단축시킬 수 있다. 또한 정비 효율을 향상시킴으로써 평균수리시간(MTTR)을 단축하고, 장비의 가동율을 향상시키는 효과를 기대할 수 있다.

반면, 원격정비체계 구축을 위한 시스템 구축 비용이 소요되며, 관제센터 구축을 위한 시설 투자 비용, 원격정비체계 구축을 위한 모니터링 장비 개발 비용 등 초기 투자 비용과 위성 통신 등 원격 통신을 위한 통신 네트워크 구축 비용, 관제센터 인력 운영비 등 운용 간 지속적으로 소요되는 운영비용이 소요된다.

### 2.2 시뮬레이션 기반 RAM-C 분석

RAM-C 분석은 이벤트 기반 시뮬레이션 도구인 LCSC를 활용하였다. LCSC는 무기체계 운영유지비 산출을 위한 기존 공학적 분석 방법의 한계를 해결하고자 개발된 국산 RAM-C 분석도구로, 국내 무기체계의 다양한 운용·정비 특성을 현실적으로 반영할 수 있는 시뮬레이션 도구이며, 국내 훈령[4]에 따른 운

**Table 1.** 3-level maintenance concept vs. RMS-based maintenance concept

Elements	3-level maint. concept	RMS-based maint. concept
Maintenance level	3-level unit-intermediate-depot	2-level unit-depot (RMS)
Part order time	(Relatively) long	(Relatively) short
Transportation time	Necessary	Unnecessary
Part inventory level	(Relatively) high	(Relatively) low
Initial investment costs	(Relatively) low	(Relatively) high
Availability	(Relatively) low	(Relatively) high

**Table 2.** Components for remote maintenance system

Components	Description
Sensors and data acquisition devices	Real-time measurement of equipment status, including vibration, temperature, current, and pressure.
System status monitoring devices	AI, big data-based anomaly detection and fault prediction control
Control portal/ consoles	Terminal for remote diagnosis, parts ordering, and maintenance support by connecting experts
Networks	Communication with the control center via wired and wireless communication networks
Remote support personnel	Control center operators, remote diagnostics, and remote maintenance support personnel
Field maintenance personnel	Personnel (operators) who receive maintenance instructions remotely and perform actual maintenance

영유지비 구조 및 비용항목(cost breakdown structure, CBS)이 산출되도록 설계되었다[5]. 시뮬레이션 결과값으로 RAM 지표와 수명주기비용이 산출되며, 기존 공학적 분석 대비 운용 일정과 고장 이벤트가 현실적으로 반영되므로 RAM 지표 및 운영유지비 산출의 정확성이 높을 것으로 기대된다[6].

시뮬레이션의 정확한 산출을 위해서는 다양한 정보가 필요하며, 무기체계 부품목록(bills of material, BOM), 운용 시나리오, 운용/정비/보급 시설별 제원 정보, 비용 관련 정보(인건비, 수리부속비, 지원장비 구매 단가 등)가 입력되어야 한다.

### 2.3 절충분석(trade studies) 및 최적 대안 선정

기존 3단계 정비개념과 원격정비체계 기반 정비개념 중 어느 대안이 RAM-C 측면에서 적합한지 판단하기 위해 절충분석(trade studies)을 수행하였다. 절충분석은 미 국방부의 RAM-C 절차[7]를 참고하여 진행하였다.

## 3. 사례 연구

사례 연구를 위한 분석대상 무기체계는 해군의 육상에 설치 운용되는 고정형 무기체계로 20년의 운용기간 동안 연중 무중단 운용 시나리오를 가진다.

먼저 기존 해군 3단계 정비개념을 따르는 Case 1과 원격정비체계 기반 정비개념을 따르는 Case 2에 대한 시뮬레이션 입력정보는 다음과 같다.

### 3.1 해군 3단계 정비개념 적용(Case 1)

Case 1은 해군 3단계 정비개념을 적용한 군직정비를 수행했을 때의 사례이다. 1단계(부대) 및 2단계(야전) 수준의 정비는 군에서 수행하며, 3단계(창) 수준 정비는 외주업체에서 수행한다. 고정형 무기체계로서 정비소요가 발생될 경우, 각 단계의 정비부대요원이 운용부대로 이동하는 정비개념이 적용된다.

본 사례 연구의 체계 운용 일정은 다음과 같다. 운용부대는 모두 3개소이며, 각 운용부대에 무기체계가 각 1세트씩 설치되어 있다. 체계는 무중단 운용개념을 따르므로 연간운용시간은 8,760시간(365일)이다. 3교대 근무를 수행하므로 1회 운용시간은 8시간

이며, 정상 임무 수행을 위해 운용요원은 3명이 필요하다(Table 3 참조).

**Table 3.** Operating scenario

Elements	Input data
Operating unit	3 locations
Deployment quantity per operating unit	1 set
Annual operating hours	8,760 hours
Operating personnel per operating unit	3 people

RAM-C 분석을 위해서 무기체계의 구조 및 구성품 정보가 필수적이다. 체계 품목정보(product breakdown structure, PBS)는 Table 4에 정리하였다.

**Table 4.** Product breakdown structure(PBS)

Elements	Input data
Product structure	BOM
Probability of item replace	100 %
Probability of item repair	Apply SMR code (-ZZ: 0 %, etc: 100 %)
Distribution of lead time	Normal distribution (mean: aver. lead time; std.: 10 % of mean)
Average lead time	Domestic Commercial: 3 days; Development: 6 months
	Foreign Commercial: 30 days; Development: 6 months
Replace time	Normal distribution (mean: apply PSA result; std.: 10 % of mean)
Repair time	Normal distribution (mean: aver. repair time; std.: 10 % of mean)
Average repair time	Commercials: 4 hours; Developments: 8 hours

해군 3단계 정비개념을 적용한 정비보급 네트워크는 Fig. 1과 같다.

운용부대 3개소(OP1, OP2, OP3)는 해안가에 위치해 있다. 부대단계 정비업무는 운용요원이 직접 수행하고, 해당 정비단계에서 필요한 수리부속과 물자

는 운용부대에 보관하므로 부대정비부대(Om1, Om2, Om3)와 부대보급부대(Os1, Os2, Os3)는 각 운용부대와 함께 있는 것으로 설정하였다.

야전정비부대는 1개소(Hm)이며, 인근 야전보급부대 1개소(Hs)와의 이동시간은 0.1시간 소요된다. 야전정비부대와 각 운용부대 간 이동시간은 4시간 소요되며, 야전보급부대도 동일하게 각 부대정비부대까지 4시간의 이동시간이 소요된다.

창정비부대는 1개소(Dm)이며, 해당 정비단계에서 필요한 수리부속, 물자는 창정비부대에서 보관하므로 창보급부대는 창정비부대와 함께 있는 것으로 설정하였다. 창정비부대와 야전정비부대 간 이동시간은 4시간이며, 창정비부대와 각 운용부대 간 이동시간은 6시간 소요된다. 창보급부대의 이동시간도 동일하게 설정하였다. Case 1의 정비보급 네트워크 이동시간은 Table 5와 같다.

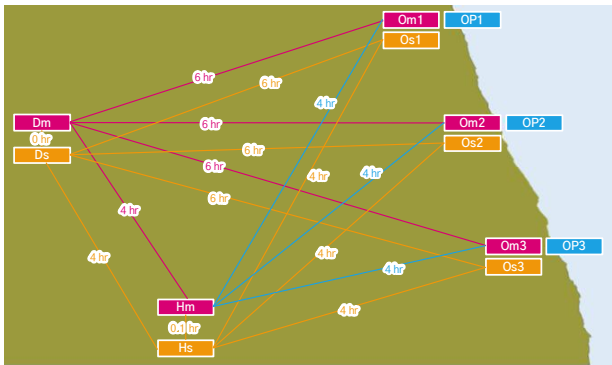


Fig. 1. Maintenance-supply network (Case 1)

Table 5. Transportation time for maintenance-supply network (Case 1)

Components	Hm	Dm	Hs	Ds
Om1	4	6	-	-
Om2	4	6	-	-
Om3	4	6	-	-
Hm	-	4	0.1	-
Dm	4	-	-	-
Os1	-	-	4	6
Os2	-	-	4	6
Os3	-	-	4	6
Hs	0.1	-	-	4
Ds	-	-	4	-

RAM-C 지표 중 비용(cost) 산출을 위해 Table 6에 따라 비용 기초 정보를 입력하였다. 특히, 3단계 정비 개념을 적용하므로 부대 및 야전정비 수준 원활한 정비 수행을 위한 교육 등을 위한 연간 교육비용을 2억 원으로 가정하였다.

Table 6. Basic cost information (Case 1)

Elements	Input data
Inflation rate	2.5 %
Annual working days	365 days
Daily working hours	8 hours
Fuel expenses	1,084 KRW/liter
Operator annual salary	50,000,000 KRW
Intermediate personnel annual salary	50,000,000 KRW
Depot personnel annual salary	90,000,000 KRW
Annual training cost	200,000,000 KRW

### 3.2 원격정비체계 기반 2단계 정비개념 적용(Case 2)

Case 2는 원격정비체계 기반 정비개념이 적용되었을 때의 사례이다.

Case 2의 체계 운용 일정은 Case 1과 동일하다. 체계 품목 정보(PBS)는 대부분 동일하나 평균조달시간은 Case 1보다 적은 시간으로 적용하였다. 원격정비체계가 적용되면, CBM+ 기술 적용으로 주요 구성품에 대한 이상징후 확인 및 고장예지로 사전에 부품 재고를 확보하여 조달시간을 획기적으로 줄일 수 있기 때문이다. Case 2에서 주요 품목으로 선정된 구성품의 평균조달시간은 Table 7과 같이 적용하였다.

원격정비체계가 적용되면 원격으로 전문가의 지원을 받아 현장요원이 정비를 수행하므로, 운용요원이 정비를 수행하는 부대정비와 원격으로 정비를 지원하는 창정비부대(관제센터)만 존재하는 2단계 정비개념이 적용된다.

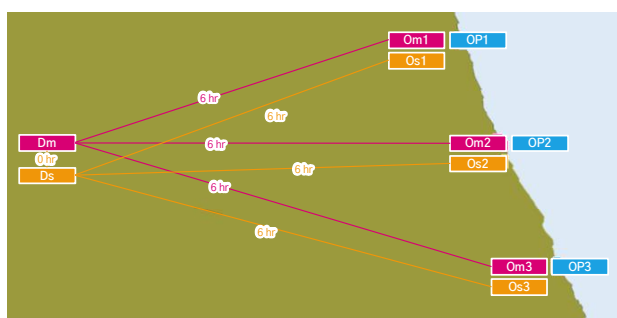
원격으로 정비를 지원받으므로 정비요원의 이동시간이 발생하지 않으나, 공간 제약으로 모든 수리부속과 물자를 부대에서 보관할 수 없으므로, 부대 수준 이외의 수리부속 및 물자는 관제센터에서 보관한다.

1단계(부대) 및 2단계(야전) 수준의 정비는 군에서, 3단계(창) 수준 정비는 외주업체에서 수행한다. 고정

형 무기체계로서 정비소요가 발생할 경우, 각 단계 정비부대요원이 운용부대로 이동하는 정비개념이 적용된다. Case 2의 정비보급 네트워크는 Fig. 2와 같으며, 정비보급네트워크 이동시간은 Table 8과 같다.

**Table 7.** Average lead time for CBM+ items

Elements	Input data	
Distribution of lead time	Normal distribution (mean: aver. lead time; std.: 10 % of mean)	
Average lead time	Domestic (CBM+ item)	Commercial: 1 day; Development: 1 month
	Foreign (CBM+ item)	Commercial: 3 days; Development: 1 month
	Domestic (etc.)	Commercial: 3 days; Development: 6 months
	Foreign (etc.)	Commercial: 30 days; Development: 6 months



**Fig. 2.** Maintenance-supply network (Case 2)

**Table 8.** Transportation time for maintenance-supply network (Case 2)

Components	Dm	Ds
Om1	6	-
Om2	6	-
Om3	6	-
Os1	-	6
Os2	-	6
Os3	-	6

Case 2의 비용 기초 정보는 Table 9과 같다. 원격관제센터에서 정비를 지원하여 고급 정비기술에 대한 교육 소요가 줄어들므로, 연간 교육비용은 5천만원으

로 적용하였다. 대신에 원격정비체계 관련 비용이 추가되는데 센서 데이터 수집장치, 상태 모니터링 장치, 관제 포털/콘솔 등 원격정비체계 구축 비용(1회성)을 20억원으로 가정하였고, 원격정비체계를 운영·관리하기 위한 운영비를 매해 5억원 발생하는 것으로 가정하였다. 관제센터는 외주업체 시설을 활용하여 비용이 발생하지 않는 것으로 가정하였다.

**Table 9.** Basic cost information (Case 2)

Elements	Input data
Inflation rate	2.5 %
Annual working days	365 days
Daily working hours	8 hours
Fuel expenses	1,084 KRW/liter
Operator annual salary	50,000,000 KRW
Annual training cost	50,000,000 KRW
RMS Installation cost (one time)	2,000,000,000 KRW
RMS operating cost	500,000,000 KRW

## 4. 분석 결과

### 4.1 RAM-C 시뮬레이션 결과

Case 1과 Case 2에 대한 RAM-C 시뮬레이션 결과는 Table 10과 같다.

**Table 10.** RAM-C parameter result

Case	Reliability (MTBF, hr)	Maintainability (hr)	Availability (%)	O&M cost (KRW)
Case 1	572.11	61.04	90.36	29.35 billion
Case 2	580.07	55.28	91.30	27.71 billion

### 4.2 절충분석(trade studies) 결과

시뮬레이션을 반복 수행한 결과 Case 1의 정비도 최소값은 약 61시간, 신뢰도 최대값은 약 572시간으로 산출되었으며, 이때 가용도는 91.36 %로 산출되었다. Fig. 3의 붉은 영역은 해군 3단계 정비개념을 적용했을 때 목표 가용도 90 %를 충족하는 실현 가능한

영역으로 볼 수 있다. Case 1의 가용도는 90.36%이며, 운영유지비는 약 293억원으로 산출되었다.

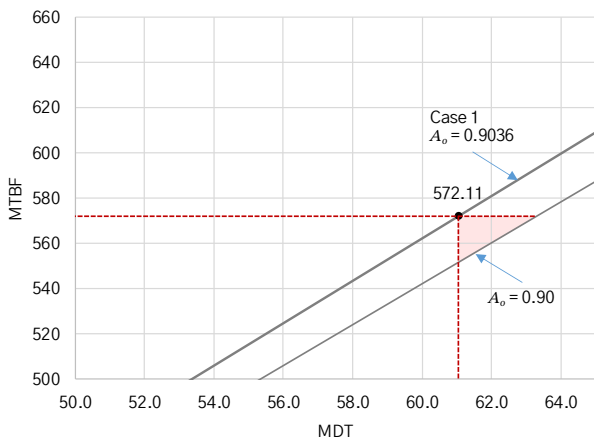


Fig. 3. Conduct trade studies (Case 1)

원격정비개념을 적용한 Case 2의 결과는 Fig. 4와 같다. 시뮬레이션 반복 결과 Case 2의 정비도 최소값은 55.3시간, 신뢰도 최대값은 580시간으로 산출되었으며, 이때 가용도는 91.3%로 산출되었다. RAM 지표가 Case 1 대비 모두 향상되는 결과가 나왔으며, 따라서 목표 가용도 90%를 만족하는 실현 가능 영역이 Case 1 대비 커짐을 확인할 수 있다.

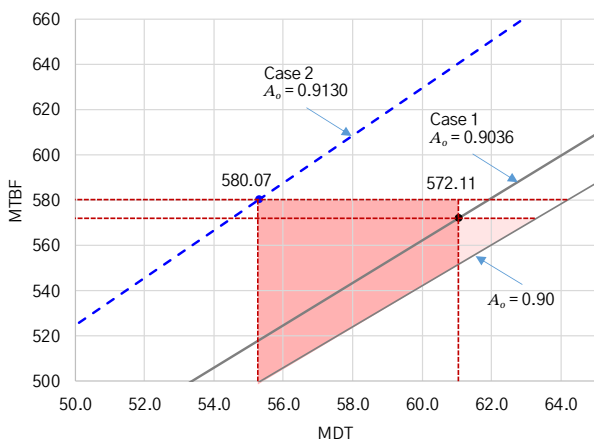


Fig. 4. Conduct trade studies (Case 2)

원격정비체계의 도입으로 정비 이동시간과 조달시간이 줄어들어 평균 불가동 시간(mean down time, MDT)이 줄어들었으며, 불가동시간의 단축은 고장간 평균시간(mean time between failure, MTBF)을 향상시키는 효과를 가져올 수 있었다. 운영유지비 또한 Case 1의 약 293억원 대비 Case 2의 약 277억원으로 절감되었으며, 이는 조달시간의 단축으로 목표가

용도 만족을 위한 재고 확보 비용의 절감, 기존 야전 및 창 단계 정비인력 인건비 절감 효과가 원격정비체계 구축비, 원격정비체계 운영비의 비용 증가 효과를 초과한다고 해석할 수 있다.

원격정비체계 기반 무기체계를 운용할 경우, Fig. 4의 확대된 적색 영역에서 가용도 목표값을 만족하는 RAM 지표가 산출된다. 또한 확대된 적색 영역은 체계 운용 간 Case 1 대비 개선된 RAM 지표가 산출될 확률이 높아질 것으로 해석할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구는 기존 해군의 전통적인 3단계 정비개념을 적용했을 때와 원격정비체계 기반의 정비개념을 적용했을 때 RAM-C 지표 확인을 위해 이벤트 기반 시뮬레이션 분석도구를 활용하여 분석을 수행하였다.

원격정비체계 도입 시, 구축비용과 운영비용으로 인한 비용 증가 요소가 발생하지만, 장기적인 총 운영유지비용은 기존 3단계 정비개념 대비 절감될 수 있음을 확인하였다. 또한 불가동 시간 단축으로 체계 신뢰도를 향상시키고 가용도를 높일 수 있는 효과도 확인할 수 있었다.

본 연구는 원격정비체계가 향후 적용되었을 때를 가정하여 분석하였으므로 실제 원격정비체계가 적용되었을 때 분석결과와는 일부 차이가 있을 것으로 예상된다. 향후 실제 원격정비체계가 적용된 무기체계에 대한 RAM-C 분석을 통해 기존 유사 무기체계 대비 RAM-C 지표의 개선점을 측정해 보는 연구를 해 볼 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

[1] Y. Park (2024), A Study on Extended Reality-Based Remote Collaborative Support Systems for Ships. *Journal of Platform Technology*, Vol. 12, No. 5, pp. 96-104.  
 [2] Editorial Dept. of Defense and Technology (2020, December), "LIG Nex1, Unveiling of the 'Remote Naval Maintenance Support System:' Naval Maintenance Becomes Possible through Real-time Support from Skilled Experts, Even from a Distance, *Defense and Technology*, Korea Defense Industry Association, No. 502, pp. 22-23, 2020  
 [3] A. J. Endharta, Y. S. Kim, J. K. I. H. Cho, Y. K. Park (2023), Study on Effectiveness of CBM+ in Weapons Systems through RAM-C Analysis, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 24, No. 9,

pp. 249–256, 2023. DOI: 10.5762/KAIS.2023.24.9.249

[4] Ministry of National Defense (2023), Lifecycle Management Directive – Appendix 5. Standards for O&M Cost Breakdown Structure and Items.

[5] K. R. Kim, H. W. Kim, J. Jeong, J. H. Cha, D. S. Jeong (2020), Simulation Study on the Calculation of Weapon System's Operating Maintenance Costs to develop LCS-P. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 9, pp. 82–91.

DOI: 10.5762/KAIS.2020.21.9.82

[6] K. Kim, K. Lee, J. Jeong, J. Cha (2021), A Study on RAM-C Growth Management by Calculating Operation and Maintenance Cost of Weapon System, Journal of Applied Reliability, Vol. 21, No. 2, pp. 155–163, Jun. 2021.

DOI: 10.33162/JAR.2021.6.21.2.155

[7] Department of Defense, U.S.A (2017), Reliability, Availability, Maintainability, and Cost Rationale Report Manual, pp. 22–43.