

함정 전투체계의 임무중요도 기반 전자광학추적장비(EOTS) CBM+ 적용에 관한 연구

김휘진^{1*}, 김종철², 박수석³

¹한화시스템 IPS팀, ²한화시스템 해양MRO팀, ³한화시스템 해양연구소

A study on the application of Electro-Optical Tracking System (EOTS) CBM+ based on Mission Criticality of Naval Combat System

Huijin Kim^{1*}, Jongchul Kim², Suseok Park³

¹IPS Team, Hanwha Systems

²Naval MRO Team, Hanwha Systems

³Naval R&D Center, Hanwha Systems

요약 무기체계는 상시 전투준비태세 유지를 위해 가용도를 최대한 보장할 필요성을 가지며, 이는 무기체계의 경제적인 용을 위한 총수명주기관리 범위에서도 최상위 목표가 된다. 또한 현재의 무기체계 운용은 최적의 가용도 대비 비용 목표 설정을 위한 신뢰성기반비용관리(RAM-C)의 개념으로 발전하고 있다. 본 연구는 CBM+를 이용한 시스템의 신뢰성(R) 및 정비성(M) 개선 방안을 통하여 이러한 목표 수준을 향상시키기 위한 연구이다. 연구 방법은 향후 체계 레벨에서 실질적인 목표관리가 필요할 수 있는 함정 전투체계를 대상으로 전투성능을 고려한 임무중요도 기반 상태기반정비(CBM+) 적용에 관한 연구를 하였다. 이는 체계의 건전성 모니터링기반 정비를 통하여 시스템정비 비용 절감 및 가용도를 향상할 수 있으며, 지속적 체계 임무 능력 유지 및 수명주기 연장 효과를 얻을 수 있다. 또한 본 연구는 체계개발단계에서 연구 및 설계반영 활동을 통하여 전투체계의 여러 하부 시스템에도 확장 적용 가능할 것으로 기대된다.

Abstract Weapon systems must be readily available to achieve combat readiness, which is the key objective of the Total Life Cycle Management for the Economic Operation of Weapon System. The current weapon system is based on the concept of RAM-C and the optimization of availability versus cost targets. This study was conducted to improve system Reliability (R) & Maintainability (M) using CBM+ and the Naval Combat System. The improvements enhanced the applicability and expected effect of CBM+ based on considerations of mission criticality and combat system fighting power. Furthermore, they reduce system maintenance costs and improve availability by utilizing predictive maintenance (based on system health monitoring), maintaining system mission capability, and extending system life cycles. In addition, it is expected this method could be extended and applied to various combat subsystems by Research & Design Reflection activities during the development stages of weapon systems.

Keywords : RAM-C, RCM, CBM+, CFCS, EOTS

*Corresponding Author : Huijin Kim(Hanwha Systems)

email: huijin21.kim@hanwha.com

Received November 1, 2022

Revised November 29, 2022

Accepted January 6, 2023

Published January 31, 2023

1. 서론

미국방성(Department of Defence, 이하 DoD) 신뢰성, 가용성, 정비성 및 비용((Reliability, Availability, Maintainability and Cost, 이하 RAM-C) 보고서[1]는 합동성능통합개발시스템(Joint Capabilities Intergration and Development System, 이하 JCIDS) 요구사항과 프로그램관리자가 시스템수명주기 동안 목표를 달성하는데 도움이 되는 임무 및 유지 요구사항을 개발하기 위해 협력해야 한다고 정하고 있다. 이를 위해 RAM-C를 강조하며, 핵심성능파라미터(Key Performance Parameter, 이하 KPP)로써 물자가용도(Materiel Availability, 이하 A_M), 운용가용도(Operational Availability, 이하 A_O)와 핵심시스템속성(Key System Attribute, 이하 KSA)으로써 군수 신뢰도(Materiel Reliability, 이하 R_M)와 소유 비용(Ownership Cost, 이하 OC)을 사용한다. 이는 국방 RAM 업무 지표와 비교하였을 때, 가용도를 중심으로 신뢰도(R) 및 정비도(M)와 OC에 대한 절충 분석(Trade-off)을 통해 최적의 지속가능성을 예측하는 것이 큰 차이점이다. 또한 R&M 향상을 위해 체계 개발계획 수립 시 신뢰도중심정비(Reliability Centered Maintenance, 이하RCM)와 상태기반정비(Condition Based Maintenance Plus, 이하 CBM+) 등의 검토 및 적용을 포함하고, 실행가능성을 입증하도록 정하고 있다.

또한 국방전력발전업무훈령[2] 및 총수명주기관리훈령[3]에는 무기체계의 소요결정 및 선행연구 단계에서 지원체계 대안분석과 비용 대 효과분석을 통한 정비개념 및 보급 주체(PBL 적용 등)에 대한 정비방안과 고장진단, CBM+ 적용 대상 및 범위 등에 대한 체계지원 전략을 수립토록 정하고 있다. 연구 및 설계반영 분야인 정비성 설계반영 활동에서는 고장진단 및 고장예지를 통한 조기고장 식별을 위한 설계반영으로 자체고장진단(Built-in test, 이하 BIT) 능력 및 CBM+ 적용을 확대 적용하도록 정하고 있다.

이는 무기체계의 운용유지단계에 존재하는 운용 및 비용 관리상의 문제에 대하여 개발단계에서부터 계획 및 실행하고, 이를 관리하기 위한 총수명주기관리 정책이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 정책과 연계하여 무기체계의 운용 및 비용개선을 위한 전략적 기술연구를 수행하였다. 연구 대상 및 방법은 추후 운용유지 단계에서 실질적인 운용 및 목표관리가 필요할 수 있는 합정 전투체계의 EOTS를 대상으로 임무중요도 기반 CBM+ 적용 필요성을 연구하였다. 나아가 현재 운용 중인 전투체계를 대

상으로 연구 결과의 적용 가능성 및 기대효과를 예측해 보았다.

2. 본론

연구의 본론에서는 아래 Fig. 1과 같이 연구 절차도를 제시하여 연구 과정 및 결과를 체계적으로 소개하고자 하였으며, 다음과 같이 내용을 전개하였다.

첫째, 총수명주기관리를 위한 정책적 환경의 변화에 대한 인식으로서 이를 서론에서 언급하였다. 둘째, 무기체의 전통적 정비 방식과 CBM+ 방식을 비교분석 하였다. 셋째, 임무중요도에 기반하여 CBM+ 적용 검토를 위한 합정 전투체계의 임무를 분석하였다. 넷째, 임무중요도에 따른 CBM+적용 대상을 구체화하기 위해 유사체계의 운용실적 데이터를 분석하였다. 다섯째, CBM+를 적용하고자 하는 대상 장비의 정비 환경을 검토하였다. 여섯째, CBM+ 인프라 기준의 필수 기능 요구 항목에 대하여 현재 운용 중인 체계에서 적용이 가능한지를 기술적으로 분석하였다. 마지막 결론은 연구 결과를 통해 가용도 향상 및 비용 대 효과성을 예측해 보았으며, 연구 기대효과를 제시하고자 하였다.

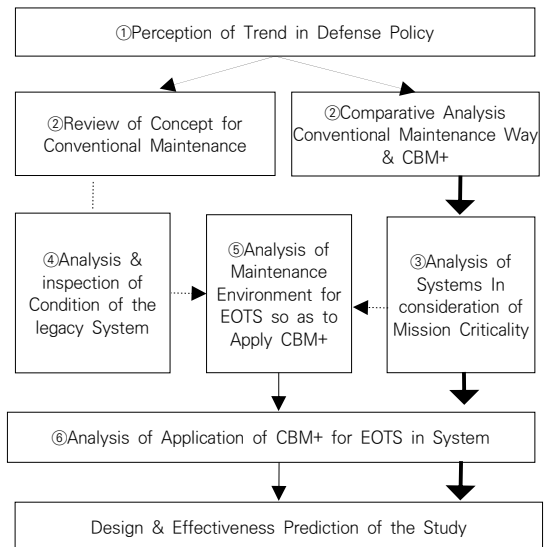


Fig. 1. Procedure for the Study

2.1 전투체계의 전통적 정비 방식 검토

현재의 무기체계는 고장이 발생하였을 때 정비를 수행하는 반응형(Reactive) 정비 방식으로서 이는 장비의 불

량(Run-to-fail)이 발생하였을 때, 정비를 수행하는 정비정책에 따르는 것이다. 그러나 이는 특정 체계의 운용 유지 단계에서 장비 고장 발생 원인을 파악하고 조치하기 위한 많은 노력이 요구된다. 예를 들어, 체계를 구성하는 소프트웨어의 무결성과 하드웨어의 결함을 식별하는 과정에서부터 시스템통합시험과 고장배제를 통한 최하위 단계의 고장부품을 식별해야 하는 절차 등이다. 이와 같은 고장정비 활동은 아래 Table 1의 무기체계 RAM 업무지침[4]에서 정의하는 무기체계의 정비 절차와 같이 단계별 고장탐지-분리-정비-점검-상태 확인 과정으로 진행되며, 일련의 정비 절차에서 예측이 불가한 직·간접적 비용이 많이 발생할 수 있다.

Table 1. Maintenance Procedures

Classification	Process	Parameter
Corrective Maintenance	Fault Detection → Fault Isolation → decomposition → fault repair/removal and replacement reassembly → Calibration and Adjustment → Confirmation of status	MTTR (Mean Time To Repair)
Preventive Maintenance	Maintenance Preparation → Check Fault → Repair/Removal and Replacement → Confirmation of Status	MTPM (Mean Time Preventive Maintenance)

상기 Table 1에서 정비 절차상 소요되는 대표적인 간접비용으로는 규정에 따르는 행정절차와 정비를 위한 부품 조달 과정에서의 공급망 파악, 경제성 분석, 물류비 등이 될 수 있으며, 직접적 비용은 시스템시험 및 검사, 신호분석, 고장분리, 정비작업 등이 있다.

또한 아래 Fig. 2와 같이 반응형(Reactive) 정비 방식은 고장 현상에 따라 정비 행위를 위한 모든 군수지원체계가 체계적으로 동작해야 하며, 정비 수행의 효과성은 시간 파라미터에 의해 측정될 수 있다.

한편, 무기체계의 획득 및 운용유지단계의 최상위 목표지표로서 운용가용도를 만족하기 위한 주요 인자인 평균 불가동 시간(Mean Down Time, 이하 MDT)은 총행정군수지원시간(Total Administrative and Logistic Down Time, 이하 TALDT)을 포함하는데 통상적으로 개발단계에서 고려하는 MDT에는 모든 공급망관리(Supply Chain management, 이하 SCM)가 포함되지 못하고 있는 실정이다. 현 실태는 Fig. 2에서 정의한 모든 시간(t)의 합과 같이 더 많은 ALDT 요소가 존재한다고 볼 수 있다.

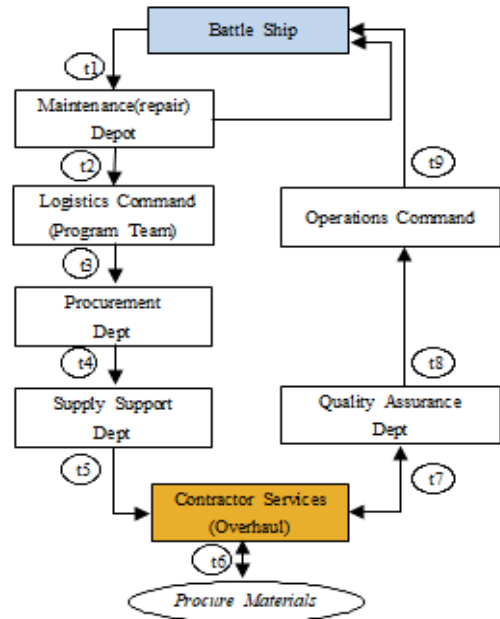


Fig. 2. Logistic Procedure for the system maintenance

2.2 CBM+ 개념 및 이론

무기체계의 지속 유지성 향상을 위한 전략으로서의 CBM+는 무기체계 각 구성 장비의 상태를 정상 가동상태로 유지할 수 있도록 지속적으로 잠재적인 장애 유발 조건에 대한 탐지, 예측을 통해 상태를 정량적으로 분석하고, 고장징후나 성능 저하를 초래하는 시점을 미리 파악하여 사전에 장애를 조치하는 방법이다. 이는 실제 장비의 고장을 줄임으로써 장비가 가지고 있는 최대 수명까지 사용 가능케 하는 최신 정비 형태 중의 하나이다. 다시 말해, CBM+는 부품이 가지는 고유의 신뢰성에 대해 기술적 관리 방법을 적용하여 체계의 신뢰성을 향상하는 방법으로서 장비의 운영시간과 수명을 늘릴 수 있으며 고장 발생을 사전에 예방하여 총수명주기비용이 절감되는 효과를 얻을 수 있다. 이는 기존의 시간기반정비(TBM) 방식으로는 극복하기 힘든 수명주기비용의 절감을 이룰 수 있으며, 비용 발생 시점이 예측 가능한 효과를 얻을 수 있는 방법으로서 매우 효과적인 지원 전략이다.

즉, 아래의 Table 2의 CBM+ 가이드북[5]의 내용과 같이 기존의 반응형 정비는 고장이 발생하였을 때 정비를 수행하며, 선제적 정비는 개발단계 동안 예측된 제품의 수명주기에 근거하여 계획된 정비 주기에 한하여 수행하는 한계를 가진다. 반면 CBM+는 근실시간(Near

Real Time) 시스템의 상태를 지속적으로 수집 및 모니터링하여 정비의 필요 여부를 식별 후 수행하는 고장진단 정비와 근실시간 시스템의 임무 수행 간 스트레스 상태를 기반으로 잔존 수명을 예측하여 정비수행이 가능토록 할 수 있는 예지 정비로서 이는 체계 임무 가용도 향상 및 체계의 수명연장을 위한 매우 효과적인 정비개념이다.

Table 2. Range of Maintenance Approaches

Maintenance Approaches			
Category	Reactive	Proactive	
	Run-to-fail	Preventive	Predictive
Sub-Category	Fix When it breaks	Scheduled maintenance	Condition-based maint-diagnostic
When Scheduled	No scheduled maintenance	Maintenance based on a fixed time schedule for inspect, repair and overhaul	Maintenance based on current condition
Why Scheduled	NA	Intolerable failure effect and it is possible to prevent the failure effect through a scheduled overhaul or replacement	Maintenance scheduled based on evidence of need
How Scheduled	N/A	Based on the useful life of the component forecasted during design and updated through experience	Continuous collection of condition monitoring data
Kind of Prediction	N/A	None	On-and off system, near-real-time trend analysis

다음으로 아래 Table 3의 CBM+ 가이드북[5]에서 제시하는 목표 속성에서 알 수 있듯이 CBM+는 통합 정비 및 군수 체계로 정비 효율성을 향상할 수 있고, 현재 상태 데이터를 기반으로 시스템진단 및 장비의 건전성을 관리함으로써 정비 행위를 최소화하여 비용을 절감할 수 있다. 또한 CBM+를 통한 수집정보는 MDT 관리 및 KPP의 Ao를 예측 및 측정하기 위한 속성으로써 활용될 수 있을 것이다.

Table 3. Goal of CBM+

Content	MA	MR	OC	MDT
Enhance maintenance effectiveness with integrated maintenance and logistics systems	X			X
Incorporate advanced engineering, maintenance, logistics/supply chain, configuration management, and information technologies		X		
Employ weapon system designs that use measurable, consistent, and accurate predictive parameters from embedded CBM+ capabilities		X		
Improve data about maintenance operations and parts/system performance	X			X
Improve advanced diagnostics, system prognostics, and health management capabilities based on current condition	X	X	X	X
Provide more accurate item tracking capabilities				X
Reduce maintenance requirements by performing maintenance tasks only upon evidence of need	X		X	
Enable more effective maintenance training				X
Create a smaller maintenance and logistic footprint			X	
Improve maintenance capabilities, business processes, supply/maintenance planning, and responsiveness leading to optimum weapon system availability				X
Minimize unique support equipment and information systems for individual weapon systems			X	
Improve system maintainability as a part of design modification through the use of reliability analysis		X		X
Provide interoperability/jointness to the warfighter	X		X	

2.3 임무중요도기반 CBM+ 적용 체계 분석

향후 가용도 향상 및 관리가 필요할 수 있으며, 부대 단위 운영을 위한 핵심 체계로서 상태모니터링기반 최적의 정비수행이 필요한 장비를 식별하기 위한 목적으로 대상 체계를 합정 전투체계로 정하였다.

2.3.1 합정 전투체계 임무 중요도 분석

합정 전투체계는 함에 탑재된 무장과 탐지추적센서, 전술통신, 항해체계를 하나의 시스템으로 통합함으로써

센서로부터 수집한 적에 대한 정보를 기반으로 무장체계에 임무를 할당하여 교전을 수행하는 통합 전투관리체계이다. 이는 획득한 표적정보를 신속하게 융합/분석하여 지휘결심을 용이하게 하고, 위협 우선순위에 따라 탑재된 무장을 할당하여 교전하는 자동화된 복합 무기체계에 구성된다.

또한 각 성분작전을 위한 전투체계의 주요 센서 체계로서는 탐색레이더(Surveillance Radar System, 이하 SRS), 추적레이더(Tracking Radar System, 이하 TRS), 전자광학추적장비(Electro Optical Tracking System, 이하 EOTS), 적외선추적장비(Infra-red Search and Tracking System, 이하IRST)가 있으며, 표적의 추적성능은 함정 전투체계 임무 성능의 핵심 파라미터가 된다. 즉, 함정의 통합 전투성능은 아래의 Fig. 3 및 항공용 등 함정 전투체계 획득 프로세스 개선 연구[6] 내용과 같이 Sensor to Shooter Chain의 체계통합 성능에 따른다.



Fig. 3. Sensor to Shooter Chain

이처럼 함정통합 성능을 바탕으로, 운용 및 교전기능은 표적의 탐색과 획득 및 추적이 가장 우선이 되어야 하며, 본 기능을 위해서는 함정의 모든 체계가 가용한 상태여야 한다. 다시 말해, 함정의 임무 수행에 있어서 전투체계의 가용시간은 함정의 모든 신경망이 최고도로 집중되고, 활용되는 순간이라 할 수 있다.

2.3.2 함정 전투체계의 EOTS 임무 분석 및 가정

EOTS의 운용개념은 대공, 대함 표적을 추적하여 함포에 표적정보를 제공하고, 이를 통해 표적 사격 및 교전 지원이 가능한 장비이다. 한편 EOTS를 활용한 표적의 최초 수동 추적은 운용자의 운용능력을 바탕으로 수행되므로 구동기의 민첩성이 더욱더 요구되는 기능이다. 다시 말해, 아무리 장거리를 관찰하고 추적성능이 좋은 센서라 할지라도 그것을 구동하는 구동체의 성능이 원활하지 못하면 목표 성능을 만족할 수 없다. 가령 최악의 상황을 고려하였을 때 아래 Fig. 4와 같은 문제를 가정해 볼 수 있다.

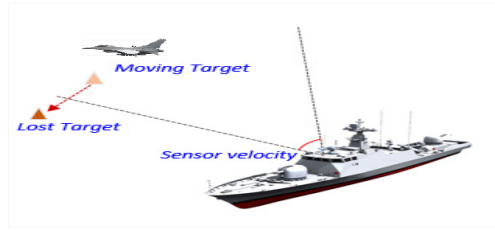


Fig. 4. Characteristic considering worst case

자함의 우현을 기준으로 센서가 바라보는 방향에 표적이 있고, OO초 동안 센서구동체가 움직일 수 있는 속도에 따르는 각도가 OOrad이라고 가정할 때 원거리표적에 대한 최초 수동 추적 시에는 구동체의 상태 및 표적의 특성에 따라 추적 손실의 영향성을 가질 수 있다. 이러한 가정은 상황에 따라 표적손실 위험의 문제가 될 수도 있으므로 EOTS의 수동 추적능력은 임무에 중요한 역할을 가진다고 볼 수 있다.

2.4 유사체계의 EOTS 운용상태 분석

우리 해군의 OOO사격통제시스템이 탑재된 OOO함 OO척의 시스템창정비사업 수행을 통한 유사 체계의 특정 함정에 대한 EOTS 운용상태 분석 결과는 다음과 같았다. 수년간 함정에 장착되어 운용 중인 추적 센서로서 SRS 및 TRS, EOTS에 대한 검사(in-service Inspection)를 하였을 때 장비의 종류를 막론하고 각기 현 상태(Condition)가 달랐으며, 대체적으로는 장비의 추적성능은 물론이고 양륙한 장비의 해체검사 시 기구 구성품의 부식 및 마모의 정도나 기어의 백래시(Backlash)가 모두 다른 값을 가지고 있었다. 이는 동일한 신뢰성을 가지는 부품으로 구성된 체계라 할지라도 임무 구역, 임무 횟수 및 해수로부터의 노출 빈도와 같은 외부 운용환경과 운용자들의 성향에 따라라도 장비의 상태가 모두 상이할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 센서가 가지는 고유의 전자적 성능과 비교하였을 때 구동계의 성능에서 더 큰 차이를 보였는데 대표적으로는 센서가 장착된 구동체의 설침(Kicking) 및 끄덕임(Nodding) 현상이 발생되었었고, 표적에 대한 추적 정밀도 분석 시에는 특정 함정의 구동체에서 미세한 떨림(Hunting) 현상이 발생하였다. 이는 수상함 전투체계로서 가지는 핵심 임무인 함포사격 성능에 영향을 미치는 요인이 될 수 있다.

그러나 더 큰 문제는 이와 같이 운용 시간에 따라 나타나는 간헐적 성능저하 현상이 나타나는 장비들에 대한 고장을 분리하는 기준을 수립하는 것이 어렵다는 것이

다. 다시 말해, 인체의 관절처럼 물리적 결합으로 이루어진 동체의 유연성은 서서히 저하되는 것이 자연현상인 것처럼, 장비의 운동성 저하에 대해 운용자가 계속해서 적응해 나갈 수 있다는 것이 큰 문제이다.

2.4.1 EOTS 운용상태 분석기반 CBM+ 필요성

다음 사례는 000함정의 EOTS 고장분석 결과 사례로서 센서의 CBM+ 필요성을 제시할 수 있었다. 000함정에서 구동체의 공진현상에 의한 고장원인 분석간 수행되어진 사항이었다. 센서의 구동을 관리하는 핵심 전자 부품인 자이로스코프(이하 Rate Gyro)는 시간에 따른 각도 변화율을 나타내는 기능을 포함하는데, EOTS 공진현상으로 인한 고장정비에 따른 부품 검사 결과가 아래 Fig. 5의 시험 결과와 같이 성능에 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

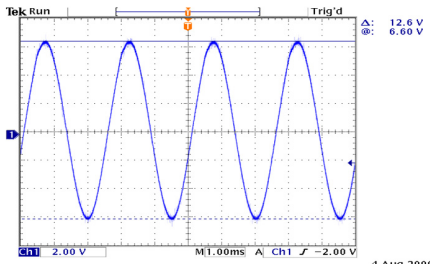


Fig. 5. Performance wave of rate Gyro (100Degree/sec(10V):12.6Vp-p)

다시 말해, 이는 공진현상의 원인이 전자 계통의 불량 이 아닌 기구품의 노화로 인해 발생된 것으로 확인되었으며, 이는 부품의 잔존수명을 예측하여 사전에 정비가 수행되어야 하는 상황임을 설명할 수 있다. 즉, CBM+ 정비개념이 필요한 사례로 볼 수 있다.

2.5 CBM+ 적용 대상 설정 및 환경 분석

함정 전투체계의 임무 중요도와 유사체계 분석 결과를 바탕으로 현재 운용 중인 체계에 CBM+ 적용 가능성을 분석하고자 국내개발 전투체계의 EOTS를 연구 적용 대상 장비로 설정하였다.

2.5.1 EOTS 의 CBM+ 적용을 위한 정비 환경

2.5.1.1 EOTS 의 정비개념

현재 체계개발 및 운용 중인 국내 개발 전투체계에 장착된 EOTS 구동부는 개발단계에서 신뢰도중심정비(Reliability Centered Maintenance, 이하 RCM) 개

념[7] 논리도에 따라 연 2회 주기로 예방정비를 하도록 설정되어 있다. 또한 운용자에 의한 비계획 점검을 통해 구동기의 구동각속도 검사를 수행하여 속도와 관련된 이상 징후 발생을 감지할 수 있으며, 이상 징후 발생 시에는 장비를 탈거 양륙(Debarcation)하여 야전 정비를 수행하도록 정비개념이 적용되어 있다. 즉, 함에 장착된 추적 장비의 구동 계통에 대한 비계획적 고장 발생 시에는 장비 탈거 후 정비를 수행해야 하며, 광학장비에 대한 정비환경 요구 조건이 매우 까다롭고 수송 및 보관에서도 많은 위험이 존재한다.

한편, EOTS는 아래 Fig. 6과 같이 논리표에 따라 설정된 연간 예방정비 주기와 더불어 수년간 운용 후 순환창정비를 수행하는데, 통상적으로 센서 장비는 함정 전투체계의 설정된 창정비주기에 따라 최초 개발단계에서 계획한 순환 창정비를 수행하는 것이 일반적이다.

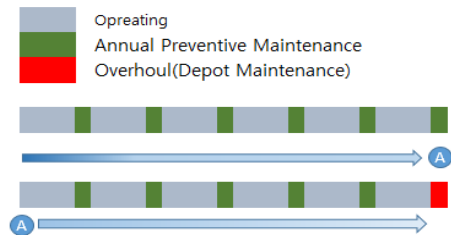


Fig. 6. Concept for the Maintenance of CFCS

그러나 이와 같은 순환 정비에 의한 센서장비의 오버홀 정비는 장비의 현 상태건전성에 의존하지 않으므로 수명의 노화로 인한 잠재적 성능저하의 위험이 존재할 수 있으며, 반대로 잔존수명의 활용 기회를 잃게 되어 비용손실을 발생시킬 수도 있다.

2.5.1.2 EOTS 의 정비 특성 및 CBM+ 타당성 검토

EOTS 구동계는 고장 발생 시 운용 제한성이 크고 정비의 범위가 크므로 CBM+ 적용 대상으로 매우 적절하다고 볼 수 있다. 또한 CBM+를 적용하기 위해서는 장비의 운용 제한성 및 고장 빈도, 정비 범위 등을 고려하여 연구대상을 선정하여야 하며, 현재 운용하고 있는 대상품의 형상 변경을 최소화하는 대상품을 선정하여야 하므로 EOTS에 CBM+를 적용하는 것은 타당하다고 판단하였다.

2.6 CBM+ 적용을 위한 인프라 검토

특정 무기체계 장비에 대하여 CBM+ 적용을 위한 적용 인프라 구조는 아래 Fig. 7과 같다.

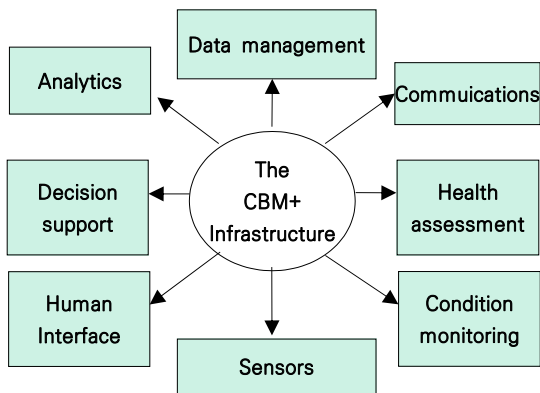


Fig. 7. The Infrastructure of CBM+

각 항목들에 대한 목적은 CBM+ 가이드북[5] 및 정해수의 한국형 무기체계 CBM+ 적용 및 확대를 위한 상태기반정비 발전방향 연구[8] 내용을 참고하여 다음과 같이 정의할 수 있었다.

2.6.1 센서(Sensors)

센서는 장비 또는 구성품 작동 파라미터(진동, 온도, 압력, 유량 등)나 상태(과열, 과전류, 마모, 파손 등)를 모니터링, 기록 및 전송하는 물리적 장치이다.

2.6.2 상태감시(Condition Monitoring)

상태감시는 임박한 고장·장애 징후를 발견하기 위해 물리적 특성과 관련된 장비의 상태를 감시(진동, 전류, 온도 등 측정 및 분석)하는 유지보수 프로세스로 센서와 건전성 평가 사이를 연결한다.

2.6.3 건전성 평가(Health Assessment)

건전성 평가는 상태 감시에서 얻은 정보를 이용하여 장비의 운용 상태에 대한 평가(현재 측정과 관련 데이터에 근거한 평가)를 실시간으로 운영자에게 제공하는 기능이다. 예를 들면, 어떤 장비의 전류 값이 10[A]를 초과하면 '경고'라고 정의하였을 때 측정 전류값이 10[A]이면 '경고'라고 평가한다.

2.6.4 통신(Communications)

통신은 데이터의 저장 위치와 관계없이 CBM+ 환경에 포함된 모든 요소 간에 유지보수 정보 및 기타 데이터(상태 및 기술 관련 데이터 등)를 공유할 수 있어야 한다. 디지털 로그북, 데이터베이스 관리 소프트웨어 등을 구현하여 필요한 통신 기능이 가능해야 한다.

2.6.5 데이터관리(Data Management)

데이터관리는 데이터 획득, 데이터 변환, 데이터 저장, 데이터 전송, 데이터 액세스, 데이터 제공을 하는 것으로 CBM+ 구현의 핵심 요소이다.

2.6.6 분석(Analytics)

분석은 장비의 현재 상태와 이전 정보를 비교·판단하여 장비의 잔존수명을 예측하여 적절한 유지보수 조치 결정을 지원한다.

2.6.7 의사결정지원(Decision Support)

의사결정 지원은 문제 발생여부와 실패를 제시간에 예측하여 유지보수 조치(장비의 수리 일정 수립 등)를 취하는 것이다.

2.6.8 운영자인터페이스(Human Interface)

운영자 인터페이스는 운영자에게 장비의 유지보수 또는 운용에 관한 실행 정보를 제공하여 관리 또는 기술 결정을 제안하거나 지원하며 운영자가 의사결정 지원 아키텍처 내의 모든 데이터에 접근할 수 있는 도구이다.

2.7 CBM+ 적용 기술 구현 방안

2.7.1 EOTS 데이터 수집 분야 정의

유사체계의 운용실태 분석 및 정비환경을 종합적으로 고려하여 EOTS의 전자기능 및 물리적 상태를 동시에 모니터링할 수 있도록 통합적 기능점검 항목을 검토하였으며, 데이터 수집 분야는 EOTS 구동체의 각속도로 정하였다.

2.7.2 EOTS vs CBM+ 인프라 기술 비교분석

연구의 실현 가능성 검토를 위하여 CBM+ 필수 기능과 현재 배치 운용 중인 EOTS가 보유한 기능을 아래의 Table 4와 같이 비교 분석하였다.

아래 Table 4 비교분석 결과와 같이 현재의 국내 개발 전투체계는 각종 센서(Sensors)들의 유용한 상태 정보(Health Assessment)에 대해 모니터링이 가능한 기능을 가지고 있음을 식별하였다. 특히 현재 국내 개발된 EOTS는 센서를 통해 운동 상태를 실시간 모니터링(Condition Monitoring)할 수 있으며, 이는 개발단계에서 연구 및 설계반영을 통해서 데이터의 수집과 관리기능을 추가하고, 운용유지단계에서는 SW 수정개선을 통해 CBM+개념 적용을 검토할 수 있다. 다시 말해 본 연구개념 적용을 위한 HW 적 구성요소는 이미 갖추어져 있었다고 볼 수 있다.

Table 4. The Structure CBM+ VS EOTS

NO	CBM+ Infrastructure	EOTS Status	Possibility of realization
1	Sensors	Y	
2	Condition Monitoring	Y	
3	Health Assessment	Y	
4	Communications	N	Y
5	Data Management	N	Y
6	Analytics	N	Y
7	Decision Support	N	Y
8	Human Interface	N	Y

2.8 EOTS에 CBM+ 인프라 구현 방안

상기 Table 4의 비교분석 항목을 바탕으로 기 보유기능 외에 기술적 구현 항목들에 대하여 다음과 같이 적용 방안을 연구하였다.

2.8.1 데이터관리(Data Management)

EOTS의 구동계 각도 정보는 전투체계로 전송이 되며 아래의 Fig. 8과 같이 운용자 화면에서 실시간으로 확인을 할 수 있다. 또한, 지휘무장통제체계의 연동분석 기능을 사용하여 해당 각도 정보를 저장 및 분석할 수 있다. 이러한 정보는 EOTS 를 CBM+ 연구에 적용, 성능 저하를 예측하여 최상의 장비 가용을 위한 데이터로 활용할 수 있다.



Fig. 8. HCI of EOTS

2.8.2 의사결정 지원(Decision Support)

국방규격에 의거 EOTS는 정지상태에서 선회각 180°까지 구동하는 데 걸리는 시간은 00초 이하로 성능이 정의되어 있다. 따라서 상태 감지 및 경고 기준 적용 값은 이에 따른다.

2.8.3 분석(Analytics)

아래 Fig. 9와 같이 정지상태의 EOTS 선회각 구동계를 최대 속도로 구동을 한다.

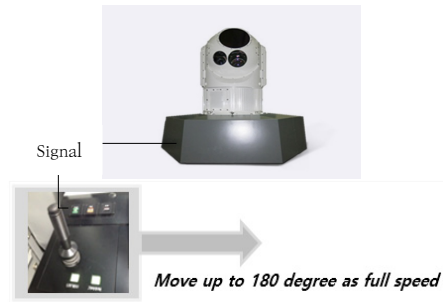


Fig. 9. EOTS rotating joystick

다음으로 아래 Fig. 10과 같은 절차로 EOTS 각도 정보를 수집하여 180°까지의 소요되는 00시간을 측정한다.

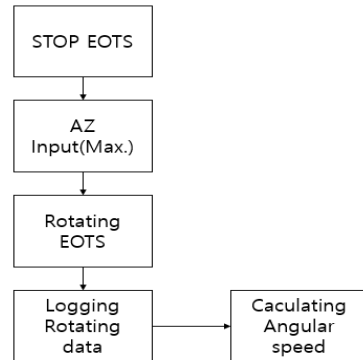


Fig. 10. Process of Measuring angular speed

2.8.4 통신 SW 구현(Communications)

지휘무장통제체계에서는 연동장비의 데이터를 해당 장비의 연동처리 모듈에서 처리한다. 따라서, 연동처리 모듈에서는 수신된 데이터를 정보처리와 운용자 화면에 제공하는데 CBM+ 적용을 위해서는 연동장비의 각 구성품별 상태값을 분석하고 사용자가 확인할 수 있도록 운용자화면에 별도로 전시하는 기능의 추가가 필요하다.

또한 EOTS의 각속도는 센서구동장치의 방위각 정보 (mrad)로 계산 가능하며, 초당 00회 제공되는 디렉터 정보를 통해 연동처리모듈에서 EOTS의 초당 각속도를 계산한 후 각속도가 정상범위 내에 있는지 판단한다. 결과 값이 정상범위 밖이라면 사용자가 확인할 수 있도록 운 용자화면에 진단 알림 전시 요청을 한다. 아래 Fig. 11과 같이 SW 구현이 가능하다.

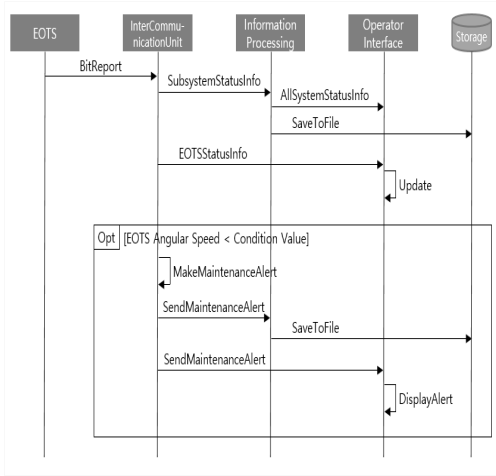


Fig. 11. Diagram of Inter Communication Unit SW

2.8.5 운용자인터페이스 구현(Human Interface)

연동 처리 모듈에서 계산된 EOTS의 구동계 각속도 정보는 운 용자화면 - 체계상태감시 - 장비상태 상세 조회창에서 확인할 수 있다. 각속도가 정상범위 내에 있는 경우에는 운 용상의 차이가 없으며, 각속도가 정상범위 밖으로 계산되는 경우 운 용자화면에 오류 사유를 포함한 진단 알림이 전시된다. 사용자는 이 진단 알림을 통해 EOTS 구동계에 성능 저하가 발생했다는 사실을 즉시 인지할 수 있으며, 이를 통해 고장 발생을 사전에 예측하고, 교체 시기를 빠르게 판단할 수 있다. 또한 운 용 및 정비자가 조금 더 상세한 값을 확인하려고 하는 경우 정보 처리 모듈에서 기록한 로그파일을 확인할 수 있다. 알림 전시 및 로그파일 저장 기능은 기존 전투체계에 이미 포함된 기능으로 이를 활용하면 최소한의 수정으로도 본 연구를 적용할 수 있다.

2.9 연구 기대효과 예측

EOTS에 CBM+ 적용 시 체계의 가용도 향상 및 정비 비용 절감의 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되며, 다음과 같이 연구 효과를 정리하고자 한다.

2.9.1 가용도(Ao) 향상 효과

효과적인 체계지원관리 전략으로 기존 보급되어 운 용 중인 전투체계 및 개발단계의 합정 전투체계에 대한 EOTS 각속도 데이터를 CBM+로 활용 및 적용함으로써 상태기반으로 최적의 예지 정비를 수행할 수 있으며, 아래 Eq. (1)과 같이 MDT 인자로서 체계의 총 예방정비 (TPM), 고장정비(TCM) 및 TALDT 관리를 통해 체계의 가용도를 향상할 수 있을 것이다.

$$\begin{aligned}
 A_o &= \frac{OT+ST+AT}{OT+ST+AT+TCM+TPM+TALDT} \\
 &= \frac{MUT}{MUT+MDT} \quad (1)
 \end{aligned}$$

2.9.2 비용적 효과

장비의 잔존수명과 상태를 기반으로 정비를 수행함으로써 정비 비용을 절감할 수 있고, 체계 수명연장을 통하여 신규 무기 획득비를 절감할 수 있다.

또한 본 연구에서 다른 장비는 EOTS가 보유하고 있는 센서 정보를 수집 및 활용함으로써 HW 추가로 인한 개조 비용이 불필요하며, 이는 비용 효과적인 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한 현재 보급된 국내 개발 전투 체계는 합정의 체급 및 Baseline을 막론하고 EOTS가 장착되어 있으므로 CBM+ 적용 시 규모의 경제효과를 얻을 수 있다.

2.9.3 기술적 나비효과

본 연구는 무기체계 관리정책 및 환경 변화에 따르는 기술연구로서 향후 더 다양하고 심도있는 과제를 발굴할 수 있는 파급효과를 가질 수 있다. 예를 들어 본 연구에서는 EOTS의 각속도를 조건으로 사용했지만, 국내 개발 SW 기술이 적용된 전투체계는 연동장비의 각 구성품별 상태 판단을 기준으로 다양한 조건을 추가할 수 있다. 이는 과거의 정비 이력을 기반으로 구성품별 상태 판단을 위한 인자들을 식별하고 수치화하면 EOTS를 포함한 전투체계 내 다른 연동장비들에 대해서도 본 연구의 적용이 가능하다.

3. 결론

국방부는 무기체계와 전력지원체계 주요 장비의 소요, 획득, 운 영유지 및 폐기에 이르는 모든 활동을 전체 수명

주기 관점에서 경제적이고 효율적으로 운영하도록 총수명주기관련혼령을 제정하였다. 이는 무기체계의 운용유지단계에서 가용도 향상과 경제적 운용성 향상을 위한 방안으로써 과거보다 더 현실적이고, 구체적인 관리 목표 및 전략을 기술하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이와 같은 정책적 환경 변화를 적절히 인식하고 연구 분야의 필요성을 바탕으로 수행한 기술연구 결과를 소개하였다.

합정 전투체계의 가용도 향상 및 경제적 운용을 위하여 임무중요도 기반 CBM+ 적용성 및 기대효과 연구의 종합 결과는 다음과 같다.

현재의 국내 개발 전투체계는 보유기능을 기반으로 CBM+ 기술 적용성이 매우 용이하며, 연구 적용에 대한 기대효과로서 체계 임무 가용도 향상 및 운용 유지비용 절감과 기술적 파생 효과를 예상할 수 있었다. 연구 수행간 제한사항으로는 현재 CBM+ 기술 및 적용 개념이 계속 발전 중에 있다는 점과 국내 합정 전투체계의 수명주기단계가 모두 다르다는 점을 고려하였을 때 본 연구개념 적용을 위한 기술성숙도 및 과제별 의사결정 절차 등 제반 사항이 마련되어야 하는 제한사항이 존재하였다. 따라서 연구의 실효성을 입증하기 위하여 향후 연구에서는 연구개념에 대한 사전 기술 검증방안, 결과 시뮬레이션, 과제별 기술 적용 간 의사결정 프로세스 등을 포함한 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] Department of Defense, Reliability, Availability, Maintainability, and Cost Rationale Report Manual, p.3, 2009.
- [2] Ministry of National Defense, Defense Forces Development Guide, pp.11,80~170, 2021.
- [3] Ministry of Nation Defense, Total Life Total Life cycle Management Instructions by Ministry of National Defense pp.20~21,78, 89~105, 2021.02.
- [4] DAPA, Weapons system RAM LAW & Guide Book, pp.18~19, 2018.
- [5] Department of Department of Defence, Condition Based Maintenance Plus DOD Guidebook ,pp. 16~34, 2008.
- [6] K. Y. Hwang1), B. W. Choi1)* ,H. J. Kim2) ,A Study on the Acquisition process improvement of Warship Combat System (Focus on Combat System Integration), Journal of KOSSE.Vol. 12, No. 2 pp.29-38, 2016.
- [7] Department of Defence, Standard Practice Reliability-Centered Maintenance(RCM) Process, pp.20, 2011.

- [8] H. S. Jeong, A Study on the Condition Based Maintenance Development for the Expansion of CBM Adoption in Weapon Systems, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 22, No. 8 pp. 631-638, 2021.

김 휘 진(Hui Jin Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 영진전문대학교 정보통신학과 (전문공학사)
- 2019년 2월 : 영남대학교 경영학과 (경영학사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : 한화시스템 선임연구원

<관심분야>

정보통신, IPS, RAM-C, CBM+

김 중 철(Jong chul Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (전자전기컴퓨터학부 학사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : 한화시스템 전문연구원

<관심분야>

정보통신, 센서제어공학

박 수 석(Su seok Park)

[정회원]



- 2009년 2월 : 금오공과대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : 한화시스템 전문연구원

<관심분야>

정보통신, SW 공학, 체계공학