

Feasibility and foundational elements of CBM+ technology application in weapon systems

Kim, Yong* · Kim, Daewoong** · Jeong, Dohyeon***

ABSTRACT

The maintenance strategies of weapon systems have evolved from corrective maintenance post-failure to time-based preventive maintenance, driven by the growing adoption of diagnostic technologies and data utilization. Currently, there is a transition to Condition-Based Maintenance (CBM) and, where applicable, Condition-Based Maintenance Plus (CBM+). This study investigated the feasibility of applying CBM+ technology using sensor data from weapon systems and explored methods for implementing the related foundational elements. First, the feasibility of CBM+ technology was confirmed by integrating data collection devices into the engine components of selected weapon systems, enabling sensor data collection and monitoring. Second, empirical evidence was gathered on the foundational elements necessary for the broader adoption of CBM+ technology. Practical application methods were proposed based on this evidence, including criteria for implementing CBM+ technology in major operational weapon systems, estimation of sensor data capacity, network methods for data transmission and collection, and the standardization of sensor data. The study's findings are expected to provide reference points for selecting target weapon systems for the development and application of CBM+ technology, as well as outline essential foundational elements, such as security, networking, and data standardization, critical for leveraging related technologies.

Keywords : weapon system, condition-based maintenance plus (CBM+), sustainment, sensor data

* (First Author) Army Unit 2672, Head of Equipment and Maintenance, jitung7@naver.com,
<https://orcid.org/0009-0003-0320-6645>.

** (Co-Author) Army Unit 2672, Communications Equipment Maintenance Support Officer, edhd5197@naver.com,
<https://orcid.org/0009-0004-0735-7384>.

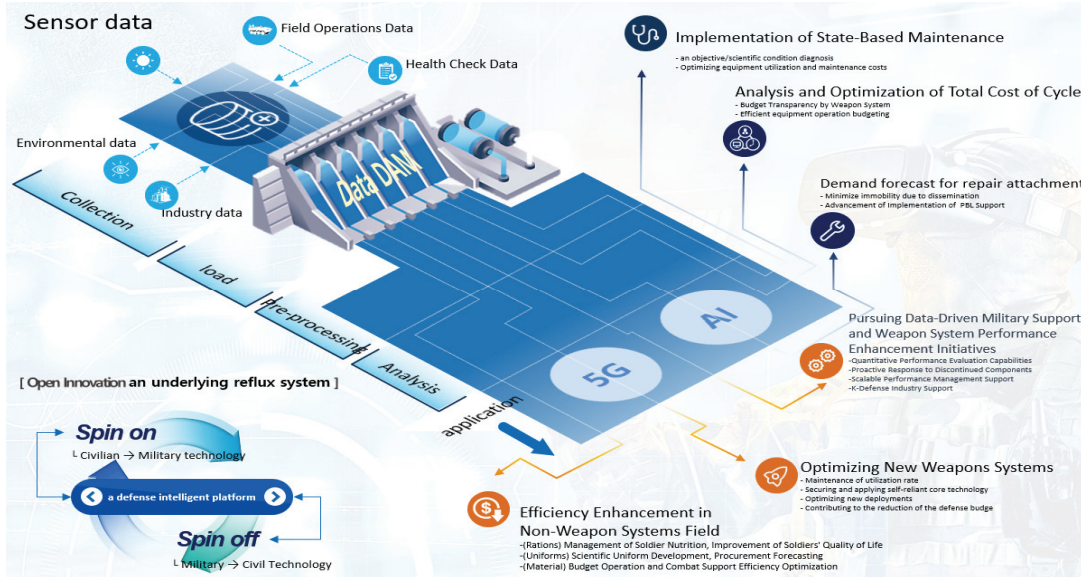
*** (Corresponding Author) Ajou University, Department of Mechanical Engineering, Research Professor, kouksun9@hanmail.net,
<https://orcid.org/0009-0002-6943-5806>.

I. 개요

현재 우리 군은 국방혁신 4.0 구현의 주요 과제로 군수 빅데이터·AI 활용기반 구축,¹⁾ 무기체계 센서 데이터 활용 기술개발, 스마트 군수 인프라 조성(예 : 정비창, 유류고, 탄약고 등)을 선정하여 전투준비, 국방운영 미래 대비 및 민군 상생을 추진하고 있다(e.g., Kim, Kang, & Kang, 2022; Kim, S. G., 2023). 최근 인구절벽(demographic cliff) 문제에 따른 병역자원 감소와 군수·행정인력의 점진적 감축에 직면하면서 군 내에 전문인력 확보의 어려움을 극복하기 위해 정보통신기술(ICT) 중심의 데이터 기반 스마트 국방혁신을 추진하고 있다(Kim & Bae, 2023). 그리고 미래 첨단 전력획득과 연계하여 유·무인 복합체계 전력화, 각 군 지휘 통제기능의 초연결, 초정밀·고위력·장사정에 기반한 한국형 3축 체계구축 및 우주·사이버 전장의 확대 등에 대비한 운영·유지·개선(Sustainment)²⁾ 소요가 증가하고 있다(Park, J. P., 2024). 그래서 현재 군은 미래 전투준비태세와 작전지속능력 수준을 유지할 수 있도록 전력화된 무기체계의 장비 목표가동률을 충족하고, 주어진 운용임무의 정상적 수행에 필요한 수리부속(Kim, Choi, & Park, 2022) 조달을 예측하는 지속적인 성과 품질 개선 활동이 중요하다.

이런 차원에서 우리 군은 군수 빅데이터·AI 기반한 전투준비태세의 지원이 가능한 데이터의 생성·수집·관리·분석에 필요한 정보체계의 고도화와 확장뿐만 아니라 네트워크 기반의 조성을 추진하고 있다. 즉, 정보화 분야에서 군수 빅데이터의 활용 영역을 확장한 국방경영의 효율화(예 : 업무개선, 예산 절감 등)를 위해 국방군수통합정보체계³⁾ 고도화와 군수 빅데이터 정보체계 조성을 병행하여 구축할 계획이다.⁴⁾ 예로 들어 해당 데이터는 주요 장비의 야전 운용(획득·운용, 조달·보급·정비 등) 데이터를 기초로 무기체계 자체에서 생성되는 각종 센서와 상태 검사, 환경 및 산업 데이터 등으로 구성된다. 이에 센서 데이터 기반의 군수 데이터 댐은 클라우드 기반의 국방 지능형 플랫폼⁵⁾에 수집·관리 및 활용성을 확장할 수 있는 기반(Data-Network-Artificial intelligence)을 조성할 것이다(Figure 1).⁶⁾ 이에 본 연구는 무기체계와 관련된 센서 데이터를 활용한 데이터 댐 개념을 토대로 CBM+(Condition Based Maintenance Plus) 기술 활용의 적용 가능성과 필요한 기반요소에 관한 실증연구를 수행하고, 향후 적용방안을 제시하고자 한다.⁷⁾

-
- 1) 국방 군수 분야의 다양한 데이터의 수집, 저장, 활용을 위한 기술을 구축하는 것임
 - 2) 무인 체계(센서-네트워킹-빅데이터·AI)는 상태모니터링과 원격관리 등 고신뢰성 확보가 핵심요소임
 - 3) 국방군수통합정보체계(DELIIS : Defense Logistics Integrated Information System의 약어)는 장비/정비, 탄약, 물자 등의 국방 군수 분야의 각종 데이터를 관리하는 정보체제로 본 연구에서는 무기체계와 관련된 장비/정비의 군수 데이터를 중심으로 연구하였음
 - 4) 군수 빅데이터, 수출형 K 방산 정보체계 구축은 민군 부처 사업추진을 협의 중임.
 - 5) 국방부 주관 개념연구(2회/’20년, ’21년)를 통해 군수 데이터 추진전략(안)을 마련하였음
 - 6) 최선략, 김용(2022. 4). 무기체계 센서 데이터 활용 및 군수 데이터 댐 구축 추진전략 소개. 국방과 기술, 제518호, 84-93.



〈Figure 1〉 Conceptual framework for AI-based data dam future as uses of Artificial Intelligence(AI) applications in Logistics⁸⁾

II. CBM+ 이해와 기술개발 및 관련 연구⁹⁾

무기체계의 정비유형은 데이터 활용과 진단¹⁰⁾ 기술의 점진적 확대에 따라 기존 고장 발생 시 조치하는 사후정비에서 시간제정비(TBM : Time Based Maintenance) 중심의 사전정비로 진행되었고, 현재는 상태기반정비(CBM) 또는 상태기반예측정비(CBM+)로 변하고 있다(Lee, Lee, Park, & Hur, 2024)(Table 1). 한국군은 현재 수준의 진단, 예측(예지)의 적용 목표를 무기체계의 완결성, 비용요소 등을 종합적으로 고려하여 설정한다. 예를 들어 지상·함정 무기체계는 제한적 예측, 항공기 무기

7) 본 연구는 국방부 주관으로 시행한 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP('20.10.16.~'21.12.9.), 국방빅데이터 선도사업(센서 데이터 기반 TAS-815K CBM+체계구축, '21.12.27.~'22.7.25.)의 연구내용을 기반으로 수정·보완하여 연구논문으로 발전시킨 것임을 밝힘

8) 예지 정비 기술개발 및 융합 플랫폼 구축 자료('21.12.1., 국방부), pp. 요약-1., 논자 재정리

9) 영문약어 등의 기술(표기)은 선행연구 논문의 제목을 여과하지 않고 원문을 적용하여 기술하였음

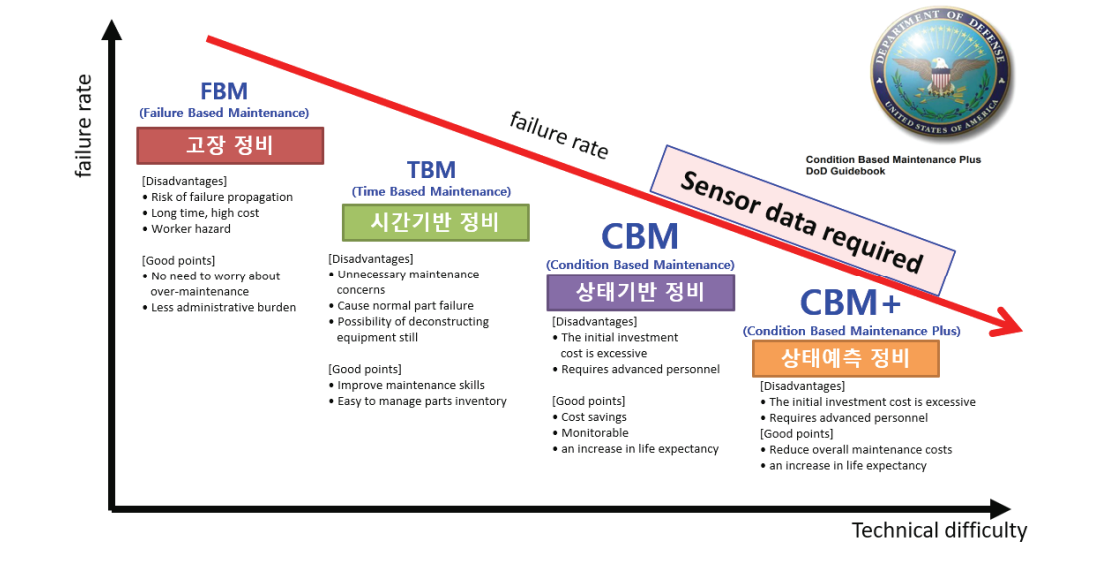
10) 진단, 예측(예지) 관련 용어 설명을 아래와 같음

구분		진단	제한적 예측(예지)	완전 예측(예지)
정의		현재 상태 확인	제한된 수명 예측	완전한 수명 예측
적용 목표	지상 무기체계	○	○	향후 목표
	함정 무기체계	○	○	향후 목표
	항공 무기체계	○	○	완전 가능

체계는 진단부터 완전 예측까지 분석할 수 있는 체계를 구축하는 기술개발을 진행하고 있다. CBM+는 실시간 획득·저장 장비의 상태정보를 DB화하여 예방정비 알고리즘을 개발하고, 이를 통해 고장분석 및 예방, 예측/예지 정비를 수행하여 최적의 정비 시점 판단뿐만 아니라 다양한 운용 유지 계획(예산편성 및 획득, 조달 등)에 활용할 수 있다(부록 1). 즉, 해당 기술활용으로 정비가 필요한 시점에 장비 가동률 유지의 최적화가 가능하며, 사전 예정정비를 통해 고장이나 사고 예방 등 안전성을 제고할 수 있다. 게다가 향후 운용체계 및 장비가 고장 없이 운용가능한 시간을 예측하고, 정비부품의 사전 준비로 물류비용을 절감하여 개별 구성품의 적기 교환으로 장비의 기대수명을 연장할 수 있다(e.g., Oh et al., 2023). 또한, 장기간 수집된 빅데이터를 활용하여 신규 무기체계 최적화나 데이터 기반의 후속군수지원과 성능개량 등의 다양한 분야에 적용하고 활용할 수 있을 것이다.

〈Table 1〉 Types and changes in maintenance trends¹¹⁾

Post-maintenance	Pre-maintenance		
Fault Maintenance (80s)	Preventive maintenance	Predictive maintenance	
	TBM(90s)	CBM(in transition)	CBM+
Maintenance in case of failure	<ul style="list-style-type: none"> part-time maintenance Perform maintenance on a planned schedule 	<ul style="list-style-type: none"> State-based maintenance Diagnostic fault possible The timing of maintenance is judged by maintenance personnel 	<ul style="list-style-type: none"> State-based forecast maintenance Failure prediction



11) 무기체계 센서 데이터 기술 수준 및 적용 가능성(‘21.4.2., 국방부), pp. 3., 논자 재정리

CBM+기술의 대표적 적용사례를 살펴보면, 1990년대 영국은 민간 항공기에 HUMS(Health and Usage Monitoring Systems)를 도입하여 헬기의 건전성을 확인하였고(Park & Jeong, 2023), 미 국방성은 운영유지비 절감과 가동률 향상을 위해 총수명주기 관리요소로 CBM+기술을 장비획득 시 적용·정비정책에 도입하였다(스트라이커 장갑차, AH-64(아파치 헬기), C-17(수송기), F-35(항공기)). 현재 한국군은 빅데이터와 인공지능 기술을 활용한 군별 무기체계의 특성에 부합하는 CBM+기술을 개발하고 있다(부록 2). 실제 육군은 차륜형 장갑차 대상으로 기초 단계의 센서 데이터¹²⁾와 야전운영체원 측정을 활용한 능동형 고장예측 적용 연구를 추진하고 있으며¹³⁾ 해군은 신형 함정에 CBM+의 일부인 통합상태체계를 적용하여 함정별 추진체계의 데이터 수집과 활용을 진행하고 있다.¹⁴⁾ 공군은 육·해군에 앞서 CBM+기술을 발전시키고 있으며 항공기의 주요 구성품에 센서 데이터를 활용하고,¹⁵⁾ 차세대 전투기사업의 경우에 K사(社)는 항공기 분야의 CBM+기술을 적용하여 자체 개발한 고장예측 시스템을 운영하고 있다.

특히, 국방 분야 적용 측면에서 장비의 건전성 예측과 관리를 위한 빅데이터 관련 CBM+기술개발의 활성화를 목적으로 군·산·학·연을 대상으로 무기체계 CBM+특화연구센터¹⁶⁾ 핵심기술과제를 공모하였고, 2028년까지 관련 기술을 개발할 예정이다. 소요단계에서 주요 장비 대상 운용계획, 전자화 수준, 기술성, 경제성, 실효성, 대표성 등(부록 3)을 고려하여 기술개발을 위해 선정된 주요 무기체계를 중심으로 기술개발과 확산 전략을 추진하고 있다(부록 4). 다만 향후 신규 무기체계의 CBM+기술은 필수적으로 적용될 것이라 현행 무기체계에 대한 CBM+기술적용의 대상 여부를 판단하는 다양한 요소를 종합하여 선정해야 한다. 그래서 우선 무기체계별 운용계획¹⁷⁾에 따라 센서 데이터 수집 대상을 결정하며, 장비 유지, 성능개량 예정, 전력화 진행, 소요제기 및 전화 진행 예정인 체계로 분류할 수 있다(부록 5).

한편 무기체계 분야의 CBM 관련 연구동향을 살펴보면, 상태기반의 창정비 주기 산출모델 연구는 기존의 획일적인 창정비 주기가 아닌 장비별 상태 특성과 운용 환경을 고려한 개별적 적용 방안을 제안하였다(Kwon, Lee, & Kim, 2012). Oh et al.(2016)은 미 해군 함정관리의 상태기반 정비 시스템을 한국군 해군에 적용하는 방안으로 진동 관련 센서 데이터를 활용한 통합 상태기반 평가 시스템(ICAS : Integrated Condition Assessment System)을 제시하였다. Kim, Hwang, Im and Ha(2019)는 한국군에 운용하거나 연구개발 중인 항공기의 중요 구성품에 대해 미 F-35 전투기에 적용한 건전성 예측관리(PHM : Prognostics & Health Management) 기술의 적용방안을 연구하였다. 그 외에도 Kim et

12) 차륜형 장갑차 센서 데이터(80여개 항목) 수집장치 부착 및 초도배치('17.12.)

13) 차륜형 장갑차 센서 데이터(300여개 항목) 확대방안 실험사업 추진('21년)

14) 주요 함정 통합 기관제어 감시장치 고장예측 시범사업 진행('16년~'17년)

15) 신형기종 비행기록장치 저장자료를 활용한 건전성 판단('16년~)

16) 국방핵심기술과제(무기체계 CBM+ 특화연구센터)로 기술개발을 추진 중임('23년~'28년)

17) 장비별 운용계획에 따라 도태 진행 중, 도태 예정, 성능개량 중인 체계는 센서 데이터를 수집하는 것이 불필요하거나 제한될 수 있음

al.(2021) 연구는 시간제정비(TBM)와 CBM 기술을 접목한 잠수함의 잔여 수명예측과 진동변화에 대한 자동저장 시스템을 활용한 예지 정비 적용방안을 제안하였다. 그리고 Shin(2022)은 장갑차 설계 초기 단계에서 CBM+ 적용하는 업무 프로세스를 도출하였다. CBM+ 적용한 효과성과 관련하여 Endharta et al.(2023)는 신뢰성 기반비용관리(RAM-C : Reliability(신뢰도), Availability(가용도), Maintainability(정비도), Cost(비용))에 무기체계의 상태기반정비 적용효과를 평가하였다. Jo(2021)는 유도무기 탑재 궤도 차량의 변속기에 CBM+ 모델 적용한 경우와 기존 TBM 모델의 비교를 통해 창정비 효과를 분석하였다. 그 외에도 00 무기체계 대상으로 CBM+기술 적용을 통한 주 체계와 가동시간이 다른 기동장비의 엔진오일에 관한 실시간 수명예측 연구¹⁸⁾로 실제 무기체계 활용이 진행되었다. 본 연구는 상기한 기술개발과 관련 연구고찰을 토대로 기존 연구와 달리 무기체계의 CBM+ 적용의 실증 방법을 제안하고자 한다.

III. CBM+ 기술적용을 위한 센서 데이터 활용 방법

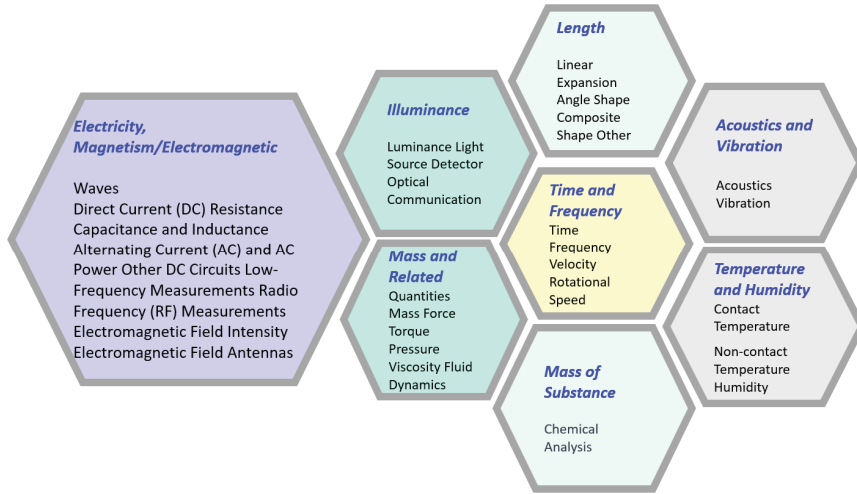
3.1 센서 데이터 특징 및 활용¹⁹⁾

무기체계 운용과정에서 다양한 센서 데이터(온도, 습도, 풍속, 압력, 진동, 음향, 광량, 전류, 전압, 전자기장, 주파수 등)가 생성되며(Figure 2a), 이런 데이터를 수집·저장하고 조달·정비·보급 데이터 등과 결합하여 분석함으로써²⁰⁾ 해당 무기체계의 상태정보를 확인할 수 있다(Lee et al., 2024). 이 같은 센서 데이터 기반의 CBM+기술 적용은 설계 대비 운용도, 운영환경 및 조건에 따른 부품의 피로도 정보를 알아야 하며, 지속적인 점검 및 결합 관련 데이터의 최신화와 수집된 센서 데이터의 비교분석을 통해 예상되는 잔여 수명 파악이 필요하다.

18) 정도현, 정성필, 김용(2022.6.9.). 주 체계와 가동시간이 다른 기동장비 엔진오일의 실시간 수명예측. 2022 한국군사과학 기술학회 종합학술대회 논문집, 110.

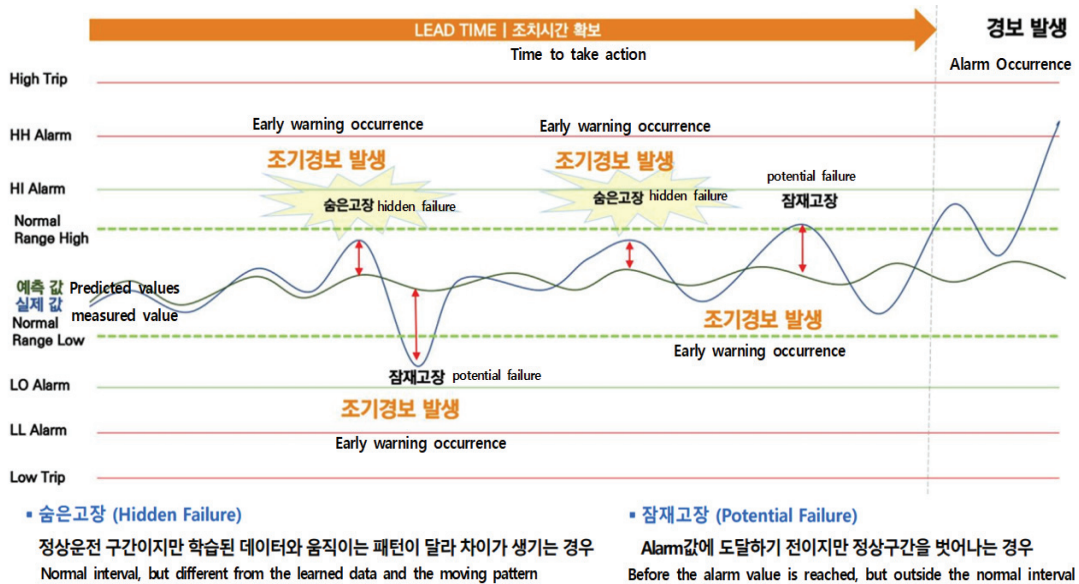
19) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 BPR/ISP 결과보고(‘21.12.9., 국방부), pp. 220-225., 논자 재정리

20) “고장 후 정비 또는 닦고, 조이고, 기름치자” 시대에서 “CBM”으로 진화 중(고장 정비 → 시간제정비(TBM) → 상태기반정비(CBM) → 상태기반예측정비(CBM+)로 정비 트렌드 변화 중)임



〈Figure 2a〉 Types of sensor data²¹⁾

최종적으로 센서 데이터의 표준화를 통해 축적 데이터는 실제값을 기초로 예측값을 비교하면서 숨겨지거나 잠재된 고장상황을 확인할 수 있어 운용자에게 다양한 정보(예 : 조기경보 발생)를 제공하고 각종 분석에 활용할 수 있다(Kim, Shim, Son, & Hwang, 2023)(Figure 2b).



〈Figure 2b〉 Application of sensor data for diagnostic and predictive maintenance²²⁾

21) 출처: 예지정비 기술개발 및 융합 플랫폼 구축 자료('21.12.1., 국방부), pp. 5., 논자 재정리

22) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 결과보고('21.12.9., 국방부), pp. 23., 논자 재정리

3.2 자주포 운용과 주행조건별 장비 상태 측정²³⁾

본 연구는 실제 센서 데이터를 수집하고 활용하기 위해 OO부대 K9A1 자주포 대상으로 엔진부에 제작사의 협조를 통해 센서 데이터 수집 장치, GPS, 가속도 센서, 전방 카메라 실험장치 등을 별도 부착하여 주요 센서와 장비 운용 데이터를 수집하여 분석하였다.²⁴⁾

해당 자주포의 운용 상황과 주행조건별 장비의 상태는 부착된 카메라 신호와 GPS 신호 등을 동기화하여 GPS 데이터와 엔진 관련 센서 데이터를 종합한 일일 운용 실적을 산출하였다(Figure 3a). 이렇게 수집된 데이터는 차체 운용시간, 엔진 운용시간, 대기 시간 등을 정확하게 측정할 수 있어 각종 지표 확인과 분석과정에서 신뢰성 확보에 영향을 미칠 수 있다. 다음 Figure 3b처럼 GPS 데이터 분석을 통해 장비의 위치, 주행거리, 고도뿐만 아니라 직선 및 선회 주행 여부를 판단할 수 있다. 즉, 위치 데이터를 통해 주행거리와 시간, 장비 위치 파악 등에 활용하여 장비의 정지, 정비 중, 기동 중 등의 상태를 파악할 수 있다. 예를 들면, 엔진 가동 상태에서 GPS 정보가 고정값이면 정비나 대기 중으로 판단할 수 있다. 또한, 차량 자세 변화율의 데이터를 토대로 변화율이 높으면 비포장 노면에 위치하고 변화율이 낮으면 아스팔트나 콘크리트 노면에서 장비가 운용되고 있다고 추정할 수가 있다. 그리고 엔진 데이터는 주요 구성품에 대한 상태 확인에 활용될 수 있으며(Figure 3c) 운용되는 무기체계별 주요 구성품과 부분품 등에서 생성된 정보를 효율적으로 확인이 가능하여 실질적인 상태기반의 장비 운용과 확인 외에 정비 활용으로 연계할 수 있다.²⁵⁾

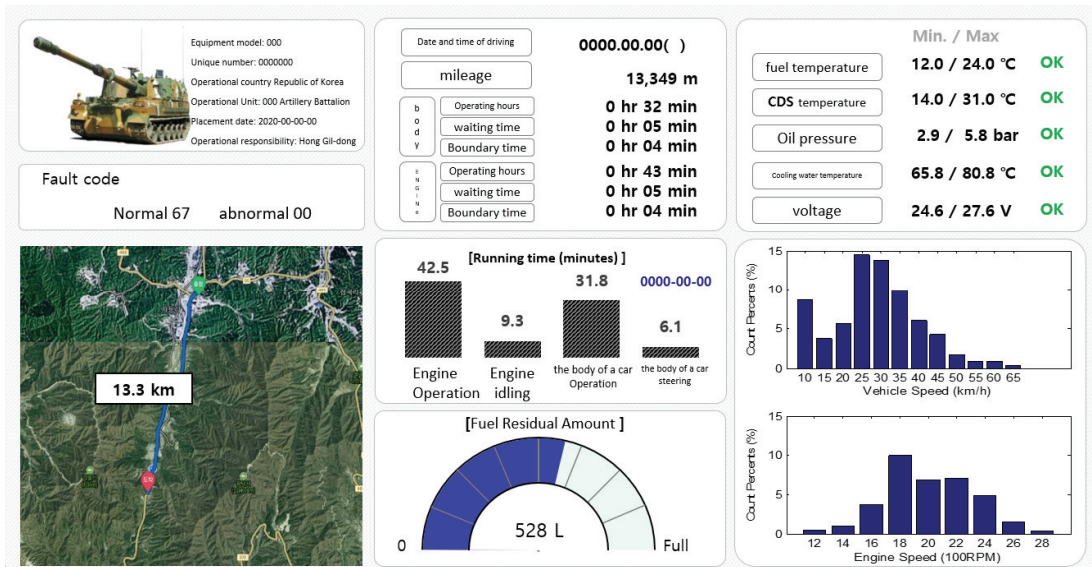
23) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 BPR/ISP 결과보고('21.12.9., 국방부), pp. 220-225., 논자 재정리

24) 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 사업 시 무기체계 센서 데이터 수집·분석의 가능성을 검토하기 위해 OO부대를 대상으로 동계기간('21.2.22.~24.)에 K9A1 자주포를 대상으로 실기동 전·후에 생성되는 엔진부 센서 데이터 등을 수집·분석한 전투 실험결과 내용을 요약 기술하였음

25) 이를 통해 기존 무기체계는 전자식 장비를 중심으로 경미한 성능개량을 통해 적용할 수 있고, 신규 무기체계에 대해서는 센서 데이터 활용 및 반영을 위한 근거를 마련할 수가 있을 것임. 그러나 전력화 배치된 현용 무기체계를 대상으로 한 CBM+기술의 실증에 있어서 데이터 수집을 위한 별도 센서 개발 및 데이터 수집장치 제작과 부착 필요, 통신 네트워크 관련 국방부 보안규정에 명시된 각종 요구사항 충족 필요 등 기반요소가 충분하지 못하여 요구되는 센서 데이터의 양의 확보와 수집을 위한 기반요소 확보의 어려움 등으로 세부 구성품, 부품 등에 대한 CBM+기술의 세부적인 실증에는 일부 제한이 있었음

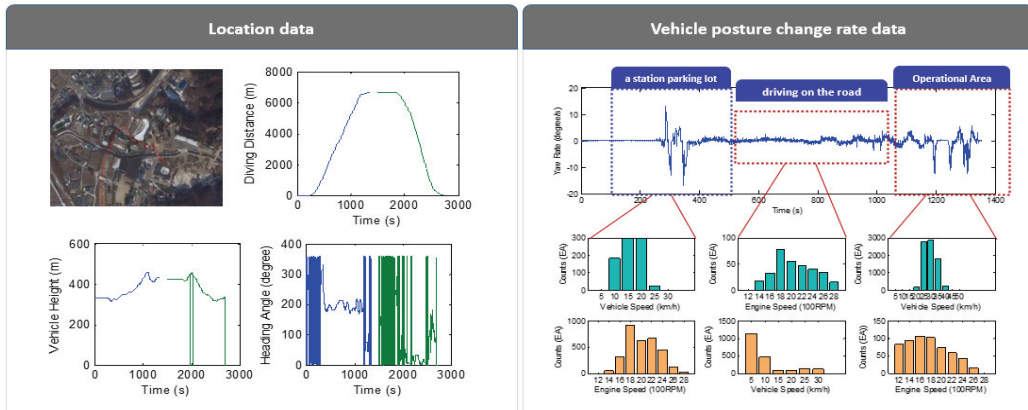


〈Figure 3a〉 An example of condition monitoring system during K9A1 driving²⁶⁾



〈Figure 3b〉 An example data of monitoring systems with K9A1 operation

26) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 결과보고('21.12.9., 국방부), pp. 221., 논자 재정리



〈Figure 3c〉 An example of sensors data of K9A1 engine

IV. CBM+ 기술적용 및 분석결과

4.1 K9A1자주포 엔진오일 오염도 측정²⁷⁾

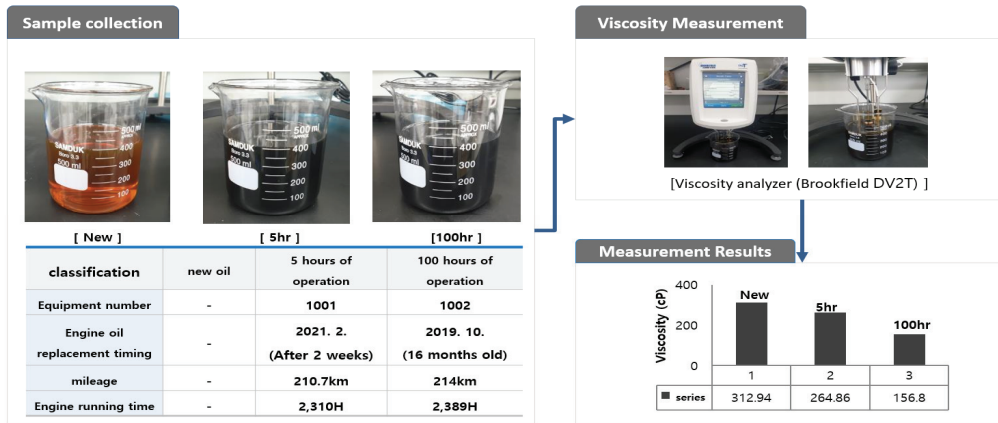
기동체계의 가용성은 장비의 최적 상태를 유지할 수 있도록 관련 장비 상태(가동시간, 주행거리, 엔진의 가동시간, 엔진오일 온도, 냉각수 온도, 배터리 상태 등)를 모니터링하고, 피로도 측정을 통한 정비시기를 산출할 필요가 있다. 특히, 엔진은 엔진 노후화, 실린더·라이너 마모, 밸브 가이드 마모 등이 고장의 주요 원인으로 나타날 수 있다. 예를 들어 엔진오일 연소와 소모량이 증가하면 비정상 소음이나 주요 부품의 과도한 마모가 발생하게 되므로 엔진 노후화가 가속화되고, 출력 저하에 따른 오일 오염으로 연계되어 고장 상태에 도달하게 된다. 이런 의미에서 엔진오일의 오염도 측정은 기동체계 장비의 가용 상태 유지에 중요한 요인이지만, 해당 요인의 오염도를 직접 측정할 수 있는 센서가 상용화되지 않아 관련 분석연구가 부족한 실정이다.

본 연구대상인 K9A1자주포²⁸⁾는 주 엔진과 보조 동력장치가 탑재된 궤도 장비로 체계의 작동시간, 주 엔진의 작동시간, 보조 동력장치의 작동시간이 각각 다르게 누적되는 특징이 있다. 이에 따라 엔진의 가동시간에 따른 엔진오일 교체 시기나 기동체계의 부하 조건에 따른 엔진오일의 오염 정도를 파악하기가 어렵다(Kim, Sin, & Lee, 2017). 그래서 본 연구는 선행연구에서 제안한 엔진오일 오염도와 냉각수 상승속도에 따른 오염 정도를 판단하는 접근을 적용한다(부록 6). 게다가 해

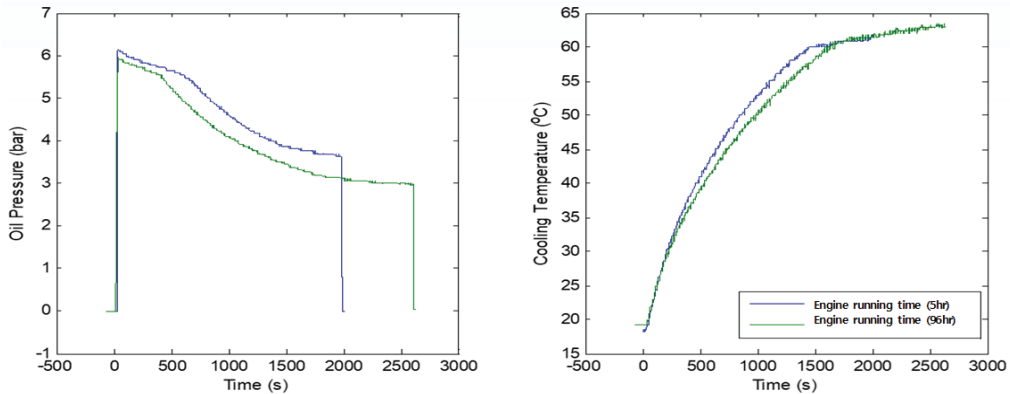
27) K9A1자주포 전투 실험결과에 대한 “주체계와 가동시간이 다른 기동장비 엔진오일의 실시간 수명예측” 관련 학술대회 발표자료를 요약 기술하였음(정도현 외 2, 2022 한국군사과학기술학회 종합학술대회, '22.6.9., pp. 110.)

28) 기동과 연계한 엔진부에 대한 센서 데이터 활용

당 체계는 반 기계식 엔진으로 OBD(On-Board Diagnostics) 단자가 없어 엔진 ECU(Electronic Control Unit)²⁹⁾로부터 냉각수 온도 및 자동시간, GPS 신호 등을 직접 측정하고, 엔진 사용 시간별 오일의 상승속도와 오일 점도 변화를 엔진오일 시편을 활용하여 채취 오염 정도를 측정한다(Figure 4a). 이를 통해 오일 압력(Oil Pressure)과 냉각수 온도 간의 관계를 사용 시간별 각 온도상승 속도의 기울기가 다르다는 것을 확인하였다(Figure 4b).³⁰⁾



〈Figure 4a〉 Measurement of oil viscosity in K9A1 engine³¹⁾



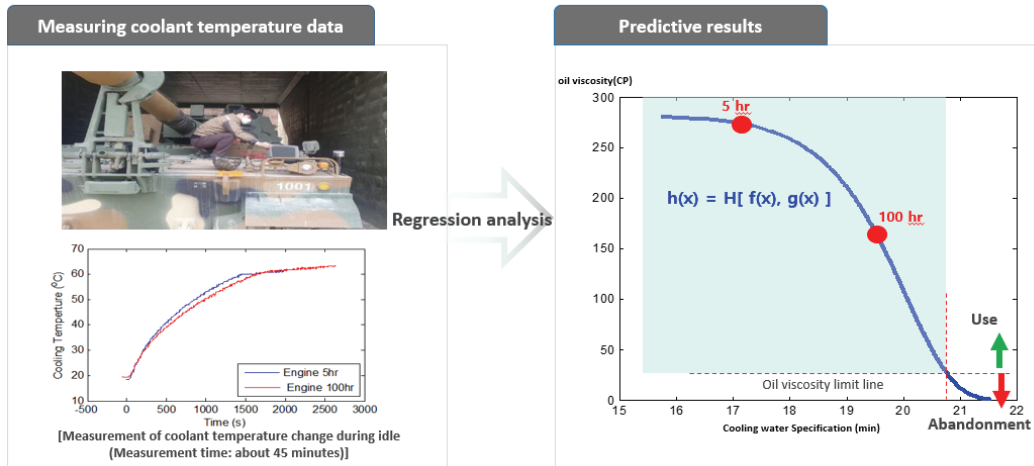
〈Figure 4b〉 Measurement of cooling water temperature and oil viscosity in K9A1 engine

29) 자동차의 엔진, 자동변속기, ABS 등의 상태를 컴퓨터로 제어하는 장치임

30) 출처: 한국자동차연구원, 자동차/부품 상태 예측 기술개발 사례와 관련하여 엔진오일 상태 예측기술에 대한 선행 연구 시 제시된 엔진오일 오염도와 냉각수 상승속도에 따른 오염 정도의 상관관계에 관한 내용을 참고하여 기초적인 수준에서 실험적으로 확인하였다.(관련 특허 : KR 10-2021-0002348 : 엔진오일 상태 예측 기술, 냉각수 온도상승 속도 변화 데이터를 활용하여 엔진오일 수명예측이 가능)

31) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 결과보고('21.12.9., 국방부), pp. 244., 논자 재정리

상기한 엔진오일의 오염에 따른 냉각수 상승의 상관성에 기반하여 엔진오일의 점도 변화에 따른 엔진 냉각수 온도의 상승속도 관계를 통해 엔진오일의 수명시간을 예측한다(e.g., Yu & Jung, 2020) (Figure 4c).³²⁾



〈Figure 4c〉 Correlation between K9A1 engine coolant temperature and engine oil viscosity³³⁾

본 연구는 전차나 장갑차와 유사 무기체계의 엔진 크기와 냉각 특성을 고려한 실험적 함수로부터 정확한 시점을 알아낼 수 있는 시험적 근거를 확보하였다. 이런 연구결과를 통해 궤도형 기동체계 대상으로 엔진오일의 오염도를 파악하는 방법을 확인하였다.³⁴⁾ 실제 Jung and Yu(2023)는 승용자동차 대상으로 엔진오일의 오염도를 오일 점도 변화에 기반하여 엔진오일 오염도와 냉각수 온도의 상승률 간의 상관성을 밝혔다. 기동체계에 적용하여 엔진 냉각수 온도를 측정하여 오염에 대한 상관성을 확보함으로써 엔진오일의 교환 시기를 예측하는 방법을 제시하였다. 즉, 기동체계에 엔진 오일의 양이 많고 오염도에 민감한 체계로 엔진오일 교환주기를 정확히 예측할 수 있을 때 비용 및 전투준비 반응시간을 감소할 수 있을 것이다.³⁵⁾

32) 한국자동차연구원, 엔진오일 상태 예측 기술 특허(특허번호 : KR 10-2021-0002348) 참고, 논자 재정리

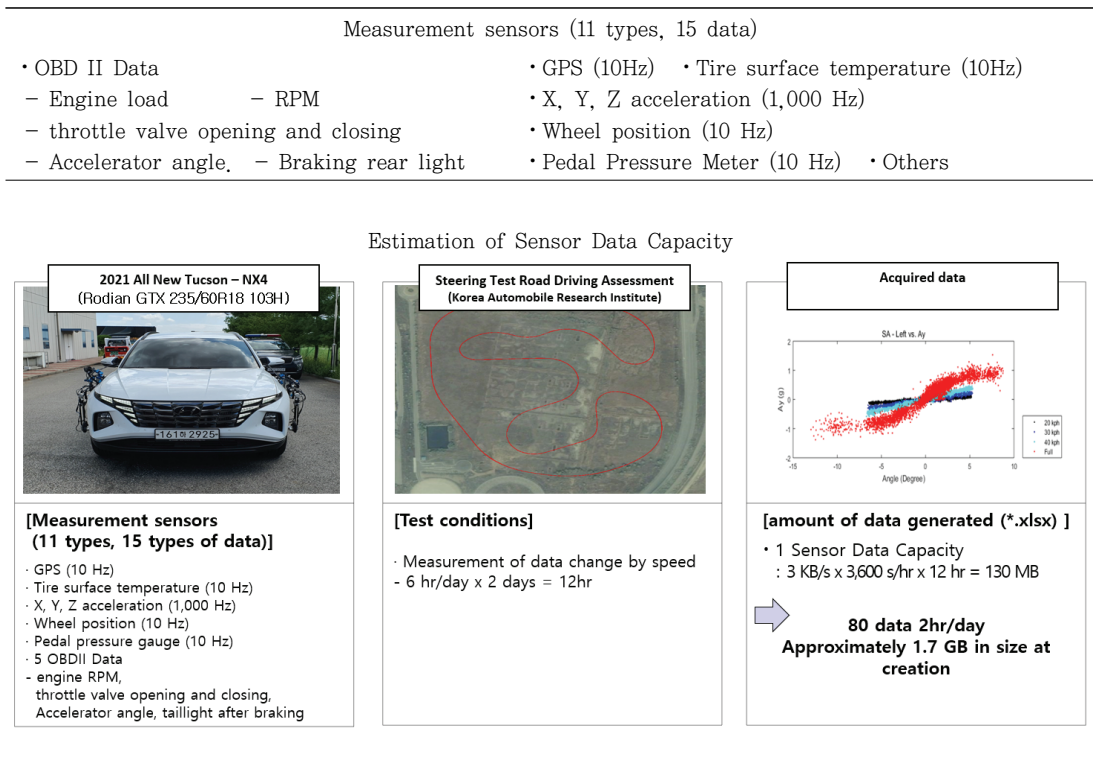
33) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 결과보고(’21.12.9., 국방부), pp. 225., 논자 재정리

34) 단, 세부적인 상관성 확보를 위한 더 많은 양의 데이터 축적과 추가적인 연구 실증이 필요함

35) 오일압력의 기술기가 달라 오일의 건전성을 판단할 수도 있으나 제한치 내에서 작동되거나 예측의 목표인 엔진 및 구성품에 대한 영향성의 내용이 없으면 건전성을 세부적으로 판단하기에는 제한되기 때문에 본 실증 사례가 무기체계별 핵심 구성품들과의 영향성에 대해 전체를 대표할 수 없기에 별도의 세부적인 상관관계 등에 대한 연구가 별도로 필요함. 이와 관련해 국방핵심기술과제(무기체계 CBM+특화연구센터) 추진 시 연구 수행 무기체계 연구실별로 관련 사항의 적용과 개발내용으로 과제가 반영되어 있음을 확인함

4.2 센서 데이터 용량 산정

기동무기체계에 적용할 수 있는 SUV형 자동차 대상³⁶⁾으로 양산 자동차 시험에서 생성되는 데이터 용량을 고려하여 실증하였다.³⁷⁾ 주행 평가는 한국자동차연구원에서 같은 조건을 구성하여 데이터 용량 산정을 위해 총 2일 동안 시행하였다(Figure 5).



〈Figure 5〉 Measurement and estimation of sensor data capacity³⁸⁾

일반적인 무기체계 운행조건을 고려하여 일일 6시간씩 속도별 데이터의 변화량을 계측하여 획득한 데이터를 기준으로 1개 센서 데이터의 용량을 약 130MB로 확인하였다.³⁹⁾ 해당 실증결과를 토대

36) 2021년형 올 뉴 투싼(NX4) 차량의 11종 15개의 센서 데이터를 계측함

37) 자동차는 제품군 특성상 군의 기동무기체계와 유사하며, BIT(Built In Test), OBD-II(On-board Diagnosis-II) 등 관련된 데이터 수집장치가 부착되어 실용화되고 있음. 이러한 기술적 관점에서 군의 무기체계에의 센서 데이터 용량을 산정시 기동무기체계를 기준으로 참고가 될 수 있음. 단, 군별 운용되는 무기체계별 설계 및 구조적 차이가 있기 때문에 일률적으로 적용되기에는 제한됨을 밝힘

38) 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 최종보고회('21.12.9., 국방부), pp. 40., 논자 재정리

39) 3KB/s × 3,600s/hr × 12hr = 130MB; 데이터 생성량은 *.xls 기준으로 적용이 되었고, 80가지 센서 데이터를

로 향후 운용될 CBM+ 기술을 적용할 무기체계의 판단은 1대당 생성된 데이터 용량을 약 1.7GB/일로 설정하였다. 또한, 대상 수량은 무기체계 CBM+ 특화연구센터에서 개발하는 핵심기술개발사업을 기준(9개)으로 적용된 무기체계 수량 약 1,600대를 적용하여 연간 장비 운용일은 약 100일로 가정하였다. 데이터 생성량을 판단한 결과, 장비 4대에서 생성된 센서 데이터를 수집하는 운용부대용 PC를 총 400여 대로 산정하고 전체 장비에서 생성 데이터를 2년간 저장 기준으로 수집부대 내 PC 50대로 판단한다.⁴⁰⁾ 그리고 1,600대 장비로부터 생성되는 센서 데이터를 5년간 저장할 수 있도록 약 1,360TB가 요구되므로 별도의 데이터 저장 플랫폼 공간 활용이 필요할 것이다⁴¹⁾(Table 2).

〈Table 2〉 Application and estimation of sensor data capacity based on empirical results⁴²⁾

① Sensor Data Application Criteria: Approximately 1.7GB per day per unit
② Core Technology Development Projects of Weapon System CBM+ Specialized Research Center (9 projects) Target Equipment: Approximately 1,600 units
③ Annual Equipment Operation Days: 100 days
④ Data Generation Calculation
- Data collected by one PC in the operational unit from 4 units of equipment: 400 PCs required for the operational unit: 1.7GB/day × 4 units × 100 days/year × 6 months = 340GB / Operational unit PC 1 unit (for 6 months)
- 50 PCs in the collection unit store data generated by all equipment for 2 years: 1.7GB/day × 1,600 units × 100 days/year × 5 years = 1,360TB/50 units = 27.2TB / Collection unit PC 1 unit (for 2 years)
- To store sensor data generated by 1,600 units of equipment for 5 years, 1,360TB is required (5-year storage)

4.3 유선 기반 네트워크 방식의 센서 데이터 전송·수집

센서 데이터의 전송과 수집을 위한 네트워크는 단독 망으로 운용 중인 지상 감시장비의 센서 데이터를 활용한 국방 빅데이터 선도사업⁴³⁾을 통해 유선 방식을 기준으로 일부 실증이 진행되었다. 유선 방식의 적용에 적합한 네트워크 방식에 관한 실증은 “보안 가이드”를 준용하여 향후 CBM+체계구축 시 네트워크 연동방식을 검토하며, 무기체계에 적용되는 연동방식은 직접과 간접연동으로

적용 시 일일 기준 약 1.7GB로 확인함. 일일 운용으로 생성되는 데이터 용량이 GB급으로 무선통신 방식보다는 USB 저장장치를 이용한 직결방식이 유리할 것으로 판단함

40) 1.7GB/일 × 4대 × 100일/년 × 6개월 = 340GB/운용부대 PC 1대(for 6개월); 1.7GB/일 × 1,600대 × 100일/년 × 5년 = 1,360TB/50대 = 27.2TB / 수집부대 PC 1대(for 2년)

41) 단, 효율적인 CBM+를 위한 센서 데이터 수집을 위해서는 실시간으로 생성되는 무기체계별 대용량의 센서 데이터 중 필요한 데이터와 불필요한 데이터를 구분하여 최적화가 필요하다. 이를 위한 기술로 edge computing 기술 적용이 필요하고, 해당 기술은 무기체계 CBM+특화연구센터 공통기반기술에 연구 과제로 반영되어 있음

42) 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 최종보고회('21.12.9., 국방부), pp. 41., 논자 재정리

43) 관련된 실증은 국방빅데이터 선도사업 “센서 데이터 기반 TAS-815K CBM+체계구축”(‘21.12.27.~’22.7.25.) 내용임

구분된다(Table 3). 직접연동 방식은 현재 시점에서 국방망의 운용 환경을 고려할 때 보안성의 취약 문제뿐만 아니라 관련 규정 · 지침의 부재로 적합하지 않다. 간접연동 방식은 자동전환 스위치(스위치 방식), 시리얼 케이블(Serial Cable, RS-232C 케이블), CDS 보안 통제장치(암호화 알고리즘), 공유 스토리지(파일전송 방식), 물리적 단방향 장치(물리적 단방향 통제) 방식 등으로 분류된다. 그리고 현재 기술 수준을 감안하여 적용대상 무기체계에 미치는 영향을 고려할 때, 비용 측면에서 시리얼 케이블 방식은 개별 연동 서버 구비와 일부 SW 재수정을 통해 적용할 수 있어 해당 비용이 간접연동 방식 중에서 경제적이다. 이런 점에서 지상 감시장비의 실증에서 단독 망으로 운용되는 무기체계는 보안성 충족 및 경제성 측면에서 시리얼 케이블 방식을 우선 고려할 수 있다.

〈Table 3〉 Summary of wired network configuration⁴⁴⁾

Category		Influence	Cost ⁴⁵⁾	Security	Restrictions
Direct linkage		Laboratory Validated	low	low	• Many non-compliance with security regulations
Indirect linkage	Automatic switching (Switch method)	Validation required	High	medium	• Requires an individual integration server & a transfer control server • Dedicated interlocking program development required
	Serial cable (RS-232C cable)	Validation required	medium	High	• Requires an individual integration server • Remote control SW re-modification required
	CDS Security Control Unit	Validation required	High	High	• Requires individual integration servers & security control equipment • High construction costs
	Shared Storage	Validation required	High	High	• Requires individual linked servers & shared storage • Dedicated interlocking program development required
	Physical one-way device	Validation required	High	High	• Requires individual vaccine & integration servers • Dedicated interlocking program development required

시리얼 케이블 방식의 운용은 물리적으로 시리얼 케이블을 연결하여 데이터를 순차적으로 송 · 수신하며, 전체 바이트를 동시에 전달하는 병렬통신 대비 시리얼 통신은 전송 속도가 느리지만, 보

44) 출처: 000-0000 CBM+체계 구축사업 완료 보고('22.8.12., 국방부), pp. 12., 논자 재정리

45) 장비 1대당 비용을 기준으로 함

안성이 우수하다(부록 7). 시리얼 통신 규격은 3가지의 A타입(단방향 1:1연결), B타입(1:N연결), C타입(N:N연결)으로 분류되며, 실증 시 간접연동은 단방향 통신인 A타입 통신 규격 사용이 케이블 길이 측면에서 불리하지만, 보안성과 데이터 전송 속도에서 가장 적합할 것이다.⁴⁶⁾ 실증결과, 단독 망에 적용되는 무기체계의 네트워크 구성에서 시리얼 연동방식은 단순 구조로 특성상 그 자체로 망 분리 효과가 있으며, 타 방식에 비해 보안성이 높다. 또한, 케이블 연결구간에 비인가자의 임의 접근 차단을 위해 물리적 보안대책을 수립하고 각 체계 내 연동 서버를 대상으로 인증, 접근통제, 백신 운용, 보안패치 등 보안대책을 강구할 수가 있다. 네트워크 구축이 제한되면 데이터 저장장치(USB 메모리)를 활용하여 센서 데이터를 직접 백업하여 서버에 저장하는 방식도 고려할 수가 있다. 단, 군별 무기체계 특성을 고려한 상세 적용방식은 기술개발 시에 네트워크 구축 방식과 각종 송·수신체계⁴⁷⁾ 구축을 위한 구체적인 실증이 요구된다.

4.4 센서 데이터 표준화 방안

현재 운용 중인 군별 무기체계에서 생성되는 다양한 센서 데이터를 효과적으로 활용하기 위해서는 데이터의 표준화가 선행될 필요가 있다. 이를 위해 무기체계별 RAM⁴⁸⁾ 분석, 수리부속 예측 고도화 추진 등 활용(분석) 목적에 부합한 센서 데이터의 항목을 정의하여야 한다. 또한, 센서 데이터의 메타 데이터 속성(예 : 데이터 수집일, 데이터 이름, 고장 유형, 고장 유형 고유번호, 스펙(Spec) 정보)과 센서 관련 실측데이터(예 : 센서값 단위, 수집시간, 데이터 타입, 유효값, 실효값 범위, 샘플 주파수 등)의 표준화 정의가 요구된다. 이런 센서 데이터의 표준화는 데이터 표준 정의 프로세스에 따른 관련 용어와 데이터 표준화 정립이 요구된다(부록 8).⁴⁹⁾ 실증연구를 위해 측정된 K9A1 자주포의 센서 데이터는 Table 4의 데이터 포맷규칙에 기반하여 분류하며, 분류된 데이터는 메타 데이터 기본정보와 함께 데이터 디렉터리와 파일 목록으로 변환할 수가 있다.

46) 단, 타 무기체계 적용 시에는 운용특성, 환경 등을 고려하여 네트워크 운용방식을 결정해야 함

47) 무선 방식에 의한 송수신체계 구축은 근거리 무선망(Blue-tooth, Wifi 등), 원거리 무선망(LTE, 국방망 등) 등에 대한 보안성, 구축비용 등의 세부적인 검증이 필요함

48) 신뢰도(Reliability), 가용도(Availability), 정비도(Maintainability)와 관련한 무기체계의 고장빈도, 전투 준비태세, 정비업무량의 정량적 값으로 표현한 것으로 전력 소요서에서 제시한 값을 의미함

49) 센서 데이터에 대한 메타 데이터 속성과 센서값 단위, 수집시간, 데이터 타입, 유효값, 실효값 범위, 샘플 주파수 등 센서 관련 실측데이터의 표준화 정의는 각 무기체계의 특성에 맞게 해야하며, 각 무기체계별 설계시 또는 연구를 통해 데이터 표준화가 정의되어야 함

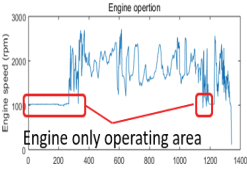
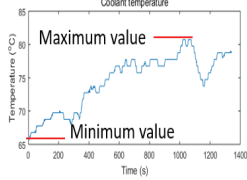
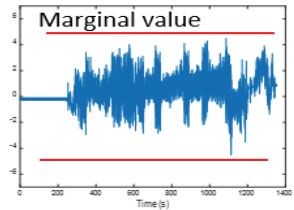
<Table 4> Standardization in sensor data from the case of K9A1⁵⁰⁾

Data Format	Meta data Basic Information	Data set Format																														
<div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Header</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Data</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Filename</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Data Label</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Label_No</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Motor Spec</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Period</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Sample Rate</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">RMS</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Data Length</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">X-Data Y-Data Z-Data</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">X-Data Y-Data Z-Data</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">X-Data Y-Data Z-Data</div> </div>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Type</th> <th>Description</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Date</td> <td>string</td> <td>데이터 수집일</td> </tr> <tr> <td>Filename</td> <td>string</td> <td>데이터 Filename</td> </tr> <tr> <td>Data Label</td> <td>string</td> <td>고장유형</td> </tr> <tr> <td>Label_No</td> <td>string</td> <td>고장유형 고유번호</td> </tr> <tr> <td>Motor Spec</td> <td>object[]</td> <td>모터 rpm, 정격출력, 정격전류</td> </tr> <tr> <td>Period</td> <td>string</td> <td>수집시간</td> </tr> <tr> <td>Sample Rate</td> <td>integer</td> <td>수집시호 샘플주파수</td> </tr> <tr> <td>RMS</td> <td>float</td> <td>고장유형에 따른 실측값</td> </tr> <tr> <td>Data Length</td> <td>integer</td> <td>데이터 길이</td> </tr> </tbody> </table>	Parameter	Type	Description	Date	string	데이터 수집일	Filename	string	데이터 Filename	Data Label	string	고장유형	Label_No	string	고장유형 고유번호	Motor Spec	object[]	모터 rpm, 정격출력, 정격전류	Period	string	수집시간	Sample Rate	integer	수집시호 샘플주파수	RMS	float	고장유형에 따른 실측값	Data Length	integer	데이터 길이	
Parameter	Type	Description																														
Date	string	데이터 수집일																														
Filename	string	데이터 Filename																														
Data Label	string	고장유형																														
Label_No	string	고장유형 고유번호																														
Motor Spec	object[]	모터 rpm, 정격출력, 정격전류																														
Period	string	수집시간																														
Sample Rate	integer	수집시호 샘플주파수																														
RMS	float	고장유형에 따른 실측값																														
Data Length	integer	데이터 길이																														
<div style="display: flex; flex-direction: column;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Data collected from the sensor</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <div style="text-align: center;">Data Directory/File</div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <div style="text-align: center;">Leveraging Sensor Data</div> </div>																														

최종적으로 데이터 셋 포맷을 통해 지속해서 축적된 센서 데이터의 실제값을 기초로 예측값을 비교하여 숨은 고장이나 잠재 고장에 대한 조기경보 등의 발생을 확인함으로써 운용자에게 다양한 정보를 제공하고 장기적으로 각종 분석에 활용할 수 있을 것이다. 특히, 본 연구는 K9A1 자주포의 전투 실험을 통해 센서 데이터 생성과 표준화에 관한 기초적인 실증방안을 실증하였다(Table 5). 해당 무기체계의 운용과 엔진부의 센서 데이터를 실제로 수집하고, 데이터 활용에 필요한 메타 데이터의 기본정보 규칙을 적용하여 데이터를 표준화하였다. 운용 데이터는 장비모델, 고유번호, 운용 부대, 배치 일자, 주행 정보, 운용시간 정보 등을 표준화하였다. 특정 값으로 측정되는 센서 데이터는 데이터를 수집한 엔진부를 중심으로 냉각수 온도, 실린더 온도, 오일압력 등의 센서 데이터에 수집형태, 단위, 측정값을 정의하여 표준화(안)를 제시하였다.

50) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 최종보고회('21.12.9., 국방부), pp. 31., 논자 재정리

〈Table 5〉 Standardized sensor data of K9A1⁵¹⁾

Collect sensor data	Example of standardize data					Example of utilize data	
<p>OO Weapon Systems</p>  	category	variable	Form	Unit	Value	<p>① Advanced Analysis</p> $MTBF = \frac{\text{Operating hours}}{\text{Number of failures}}$ $A_0 = \frac{\text{Operating hours} + \text{Waiting time}}{\text{Total time}}$ <p>.....</p> <p>② Health diagnosis</p> 	
	Operational data	a maintenance model	varchar	-	000		
		Unique number	varchar	-	00000		
		an operational unit	varchar	-	Unit 00		
		Placement date	date	-	20××-××-××		
		Date and time of driving	date	-	20××-××-××		
		mileage	date	m	13,349		
		Operating time (engine)	float	hr	0.72		
		Operating time (body)	float	hr	0.53		
	Sensor data	Cooling water temperature	float	℃	(MAX)80,8		
		cylinder temperature	float	℃	(MIN)65,8		
		temperature	float	℃	(MAX)31,0		
		Oil pressure	float	bar	(MAX)5,8		
		float	bar	(MIN)2,9			
.	.	.	.				
.	.	.	.				
.	.	.	.				

V. 결론

무기체계의 정비유형은 각종 데이터의 활용과 진단 기술의 점진적 확대에 따라 기존 고장 발생 시 조치하는 사후정비에서 시간제 중심의 사전정비로 진행되고 현재는 CBM 및 CBM+로 변화하고 있다. 이런 군수정책 변화에서 본 연구는 우선 CBM+기술의 적용 측면에서 K9A1자주포를 대상으로 엔진부에 데이터 수집 장치를 별도로 부착하여 엔진부의 센서 데이터 수집 및 모니터링의 가능성을 확인하였다. 또한, 엔진사용 시간별로 오일의 상승 속도와 오일 점도 변화를 파악하고자 엔진 오일 시편을 채취하여 오염 점도를 측정 후 승용자동차 관련한 선행 연구결과를 활용하여 엔진의 가동시간에 따른 엔진오일의 최적 교환 시기를 실험적으로 확인하였다. 다음으로 무기체계에 CBM+기술의 확대에 필요한 주요 기반요소를 실증하였다. 이를 통해 현재 운용하는 주요 무기체계에 CBM+기술을 적용할 때 고려할 적용기준(안), 센서 데이터 용량 산정 실증, 데이터 전송·수집

51) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 최종보고회('21.12.9., 국방부), pp. 32., 논자 재정리

을 위한 유선 기반 네트워크 방식, 센서 데이터 표준화에 관한 적용방안을 제시하였다. 결과적으로 본 연구는 무기체계에 대한 직접적인 전투 실험방법을 적용한 실증분석을 시도하였다는 점에서 실무적 연구의 의의가 높다고 볼 수 있다.⁵²⁾ 주요 분석결과를 토대로 무기체계의 CBM+기술 적용을 위한 대상 무기체계 선정에서 관련 기술 활용 시 고려할 필수 요소로 보안, 네트워크, 데이터 표준화의 기반 확보를 제시하였다. 다만 이런 연구적 의의에도 불구하고 연구요소별로 적용되는 CBM+기술은 군별 무기체계의 설계와 구조, 운용방식의 특성별 차이가 상이하므로 본 연구에서 제시한 사항을 동일 기준을 적용하는데 한계점이 존재한다.⁵³⁾ 따라서 향후 연구는 센서 데이터의 다양성과 실시간 수집된 데이터양을 감안하면서 군별 무기체계의 특성을 고려한 데이터의 표준화가 요구되며 이를 위한 기술개발 방향과 검증에 관한 연구를 확대될 필요가 있다.

Acknowledgements

This study is based on the Kim's Ph.D. dissertation (2022) and the present research has been conducted by the Research Grant of Kwangwoon University in 2022.

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Author contributions

Conceptualization, Literature review: KY and KS, Resources and Data curation, Investigation and Methodology: KY, KD, and JD, Writing (Original Draft): KY and KD, Project administration and Supervision: KY and JD.

-
- 52) 본 연구는 CBM+기술 확대를 위한 실증방법으로 00 무기체계의 엔진부에 데이터 수집장치를 부착하여, 센서데이터를 수집하고, 엔진사용시간에 따른 엔진오일점도를 고려한 교환시기를 확인하였다. 실증결과 내용이 기초적인 예측정비의 다양한 요소를 대표하기는 제한이 있으나, 기초적인 실증방법으로 유효하고 의미가 있다고 할 수 있음
- 53) 무기체계별 CBM+기술을 개발 적용하기 위해서는 대상 무기체계별 특성을 반드시 고려하여 적용해야 할 관련기준(CBM+를 수행할 대상과 목적 등) 마련이 우선 결정되어야 함. CBM+를 기술적으로 못하는 것이 아니라 비효율적이고 효과가 미미하며 유지비용이 많기때문에 시간제정비(TBM)를 유지할 수밖에 없는 품목도 다수 존재함에 따라 향후 연구 시에는 CBM+가 효과적인 품목의 세부적인 기준이 필요함. 또한, 설계 시 예상한 운용도와 CBM+를 통해 분석된 운용도에 차이가 발생하더라도 부품의 잔여 수명이 크게 변하지 않는 품목들이 다수 존재하기 때문에 적절한 기준과 부품선정 내용이 필요함. 이와 관련해 국방핵심기술과제(무기체계 CBM+특화연구센터) 추진 시 연구 수행 무기체계 연구실별로 관련 사항의 적용과 개발내용으로 과제가 반영되어있음을 확인하였음

Reference

- Endharta, A. J., Kim, Y. S., Kim, J. W., Cho, I. H., & Park, Y. K. (2023). Study on Effectiveness of CBM+ in Weapons Systems through RAM-C Analysis. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 24(9), 249-256. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.9.249>
- Jo, G. S. (2021). *A Study on the Depot Maintenance Effects of CBM+ Model Application for Transmission in Tracked Vehicle with Missile System*. [Doctoral dissertation, Daejeon University].
- Jung, S. P., & Yu, D. H. (2023). Prediction of Vehicle Engine Oil Viscosity Using OBDII Signal. *International Journal of Automotive Technology*, 24(2), 595-602. <https://doi.org/10.1007/s12239-023-0050-5>
- Kim, D. H., Kang, S. W., Lee, J. H., Nam, K. M., Seong, S. H., & Lee, H. J. (2021). A Study on Applicability of Predictive Maintenance and Vibration Data Analysis by Fast Fourier Transform into Major Equipment of Submarine. *Journal of the KNST*, 4(1), 014-021. <https://doi.org/10.31818/JKNST.2021.03.4.1.14>
- Kim, D., & Bae, K. (2023). Analysis of future defense policy priorities with AHP. *Journal of Advances in Military Studies*, 6(1), 99-118. <https://doi.org/10.37944/jams.v6i1.184>
- Kim, G. Y., Hwang, J. K., Im, Y. K., & Ha, S. W. (2019). Roadmap Configuration for Technical Elements Acquisition of Military Fixed Wing Aircraft Parts PHM and Verification of Parts Selection Phase. *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, 47(9), 665-677. <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2019.47.9.665>
- Kim, J. D., Choi, J. H., & Park, H. S. (2022). A study on Forecasting Initial Provisioning based on Machine-Learning. *Journal of Korea Technology Innovation Society*, 25(3), 477-493. <https://doi.org/10.35978/jktis.2022.6.25.3.477>
- Kim, J. M., Sin, T. H., & Lee, S. H. (2017). Measurement of the Engine Oil Deterioration of the Diesel Vehicle Using the Engine Oil Level Gauge. *Transactions of Korean Society of Automotive Engineers*, 25(1), 60-65. <https://doi.org/10.7467/KSAE.2017.25.1.060>
- Kim, J. Y., Shim, H. S., Son, J. S., & Hwang, Y. Y. (2023). A Study on the Metadata Schema for the Collection of Sensor Data in Weapon Systems. *Journal of Internet Computing and Services*, 24(6), 161-169. <https://doi.org/10.7472/jksii.2023.24.6.161>
- Kim, J., Kang, D., & Kang, B. (2022). Instrument development for measuring determinants in defense R&D policy. *Journal of Advances in Military Studies*, 5(3), 43-65. <https://doi.org/10.37944/>

jams.v5i3.171

- Kim, S. G. (2023). Analysis of the current status of development of core technologies for defense AI and consideration of development plans. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 24(7), 433-442. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.7.433>
- Kwon, C., Lee, S. S., & Kim, J. M. (2012). The Calculation Model of Condition Based on Depot Maintenance Cycles. *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, 19(1), 1-21. UCI : G704-SER000001543.2012.19.1.004
- Lee, S. W., Lee, S. U., Park, G. J., & Hur, J. W. (2024). A Study on the Procedures for the Application of Korean Weapon System Condition Based Maintenance(CBM+). *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 25(5), 365-372. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.5.365>
- Oh, K. W., Baek, C. H., Lee, K. H., & Lee, H. M. (2016). *Research on Activation Plan of Condition Based Maintenance for Naval Weapons System*. 2016 The Society for Aerospace System Engineering (SASE) Spring Conference.
- Oh, K. W., Hwang, J. H., Kwon, B. W., & Shin, I. S. (2023). A Study on Quality of Maintenance of Marine Unmanned Systems Considering Total Life Cycle. *Journal of the Korea Society for Naval Science and technology*, 6(4), 437-445. <https://doi.org/10.31818/JKNST.2023.12.6.4.437>
- Park, J. P. (2024). Analysis of factors causing changes in defense reform and tasks and prospects of “Defense Innovation 4.0”. *Journal of Korea Maritime Security*, 7(1), 61-84. <https://doi.org/10.23270/kmsr.2024.7.1.003>
- Park, J. Y., & Jeong, Y. S. (2023). *A Study on the Application of CBM+ FOR Next Generation UAV*. The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences (KSAS) 2023 Spring Conference.
- Shin, B. C. (2022.). *A Study on the Application Methodology of CBM+ in the Early Stage of Design: Focused on the Case of Armored Vehicles*. [Doctoral dissertation, Kumoh National Institute of Technology].
- Yu, D. H., & Jung, S. P. (2020). *How to predict engine oil and battery life using IoT*. 2020 Transactions of KSAE Conference.

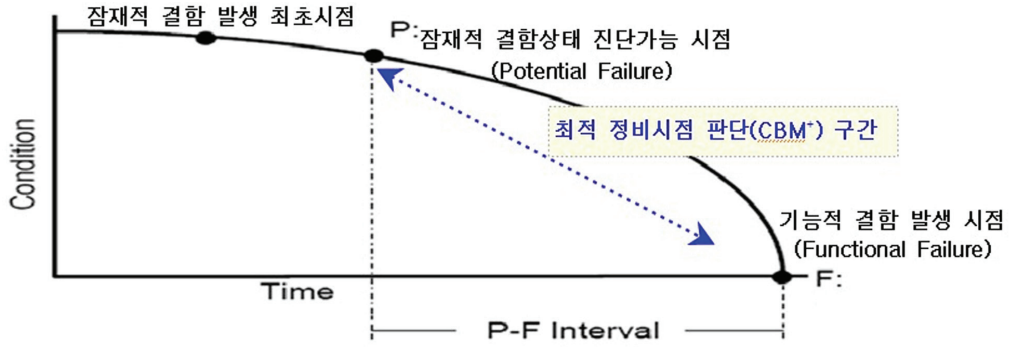
원 고 접 수 일 2023년 12월 26일

원 고 수 정 일 2024년 08월 07일

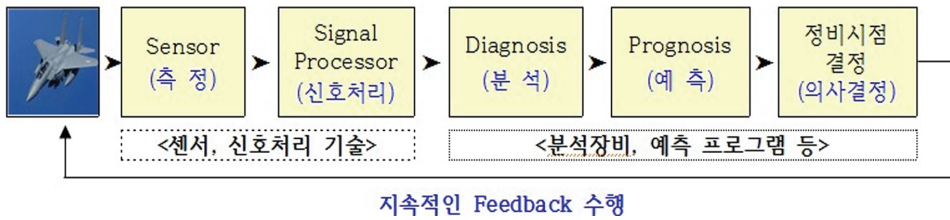
게 재 확 정 일 2024년 08월 26일

〈부록〉

부록 1. CBM+ 기술을 활용한 최적의 정비 시점 판단(P-F 곡선)⁵⁴⁾



※ 적용 Flow



부록 2. 한국군 주요 무기체계 CBM+기술 적용사례⁵⁵⁾

54) 출처: 군수 빅데이터 구축 사업추진계획 책자('20.11.4., 국방부) pp.20-7., 논자 재정리

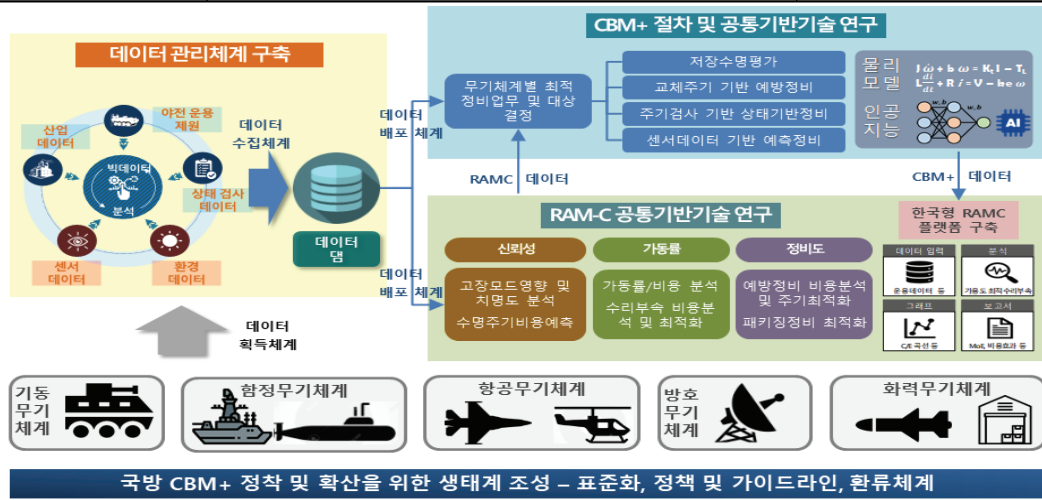
55) 출처: 군수 빅데이터 구축사업 추진계획 책자('20.11.4., 국방부) 부록, 논자 재정리

부록 3. 국방핵심기술과제 개발 대상 장비 선정기준(안)⁵⁶⁾

구분	선정 기준	내용
1	운영계획	무기체계 운영계획에 따라 센서 데이터 수집 대상 무기체계로 포함 또는 불포함 여부를 결정
2	전자화 수준	무기체계별 전자화 정도에 따른 센서 데이터 수집 대상 여부 결정
3	기술성	핵심데이터 수집에 필요한 기술적 문제를 종합적으로 분석
4	경제성	CBM+기술적용 시 비용요소를 종합적으로 분석
5	실효성	데이터 분석을 통해 고장예측이 가능한 무기체계 선정
6	대표성	무기체계의 특성을 고려하여, 해당 무기체계의 대표 특성을 나타낼 수 있는 무기체계를 우선 선정하여 추진

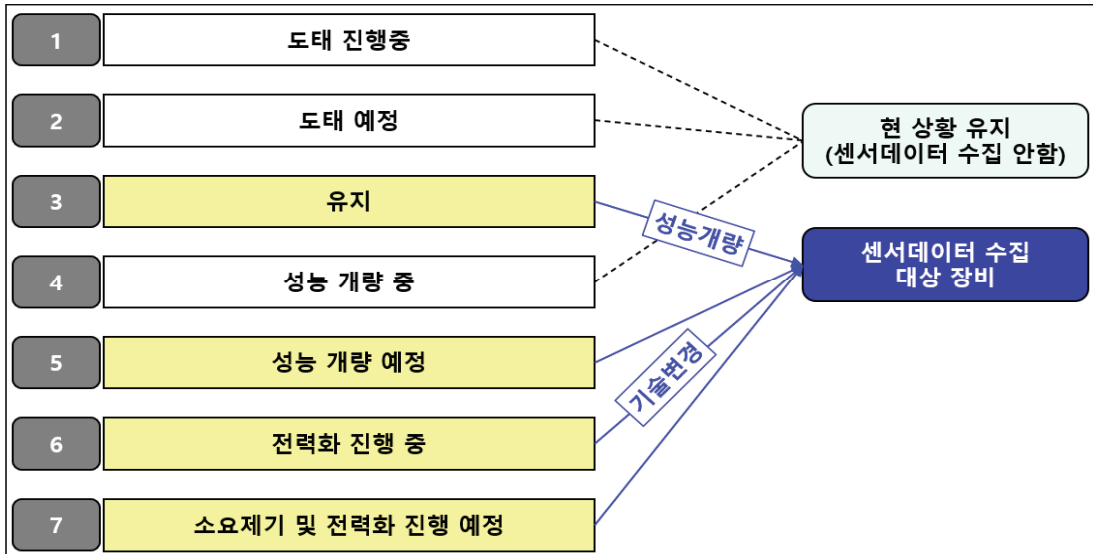
부록 4. 무기체계 CBM+특화연구센터 주요 기술개발⁵⁷⁾

구분	연구실별 기술개발 과제	확산사업
공통기술	공통기반 기술개발 (저장기술, 표준화, 보안기술, 네트워크 등)	전 무기체계 확대
기동 무기체계	K2전차 CBM+핵심기술	기동장비, 화포
함정 무기체계	수상함(3종)(전투체계, 전력계통, 선체) CBM+핵심기술 잠수함(ONA ⁵⁸⁾ 센서) CBM+핵심기술	수상함, 전투지원함 잠수함(소형, 중형)
항공 무기체계	T-50 고정익 항공기 CBM+핵심기술 KUH-1 수리온 헬기 CBM+핵심기술	고정익 항공기 회전익 항공기
방호 무기체계	천마 CBM+핵심기술 지상용 레이더 CBM+핵심기술	방공무기 레이더, 감시장비
화력(탄약) 분야	탄약 저장 신뢰성 및 유도탄 CBM+핵심기술	유도탄(유도무기)

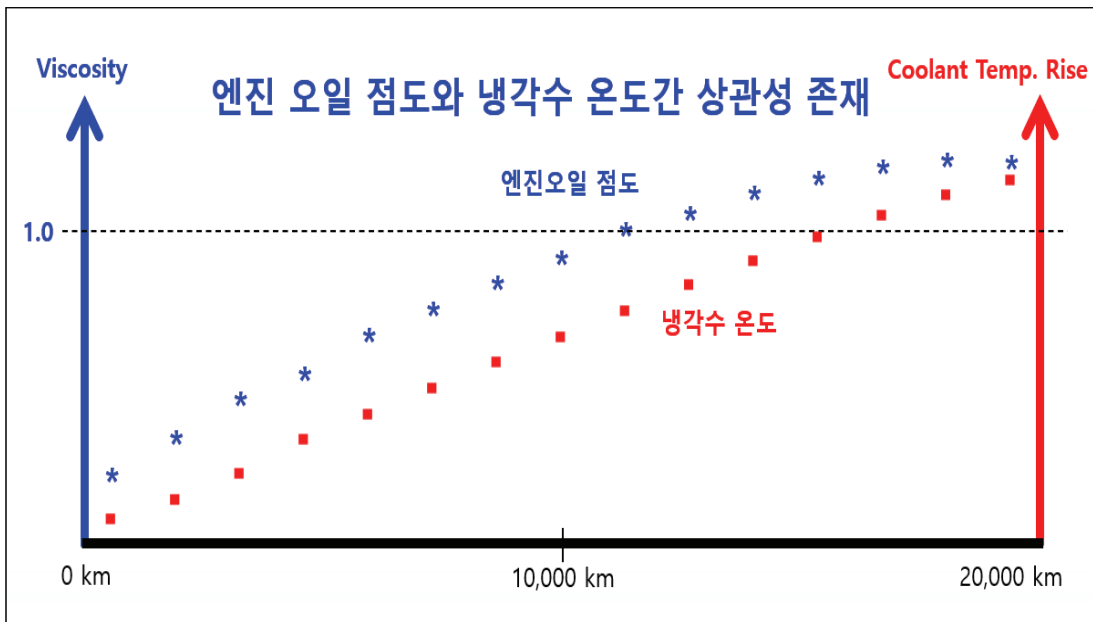


56) 출처: 군수 빅데이터 수집·분석체계 구축 BPR/ISP 결과보고(‘21.12.9., 국방부) pp.233., 논자 재정리. CBM+기술개발 소요에 반영을 위한 무기체계별 도태 및 전력화 등 운영계획을 기초로 해당 무기체계의 전자화 수준, 기술적용 가능성, 기술개발 시 경제성 여부, 기술적용의 실효성, 기술의 확장성을 위한 유사무기체계를 대표할 수 있는 대표성 등 6가지 주요 선정기준을 적용하여 전문가 설문 등을 통해 최종 소요제기를 추진하였다.

부록 5. 운용계획에 따른 센서 데이터 수집대상 판단⁵⁹⁾



부록 6. 승용차 엔진오일 점도와 냉각수 온도 상관성⁶⁰⁾



57) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 결과보고('21.12.9., 국방부) pp.28., 논자 재정리

58) Own Noise Analysis의 약어임

59) 출처: 군수 빅데이터 수집/분석체계 구축 BPR/ISP 결과보고('21.12.9., 국방부) pp.228., 논자 재정리

60) 출처: 무기체계 센서 데이터 기술 수준 및 적용 가능성 보고자료(국방부,'21.4.2) pp.27., 상온에서 측정된 엔진오일

부록 7. 유선 기반 네트워크 방식⁶¹⁾

구 분	검 토 결 과				
	장비 영향성	비용 ⁶²⁾	보안성	계약사항	
직접연동	실험실 검증 완료	하	하	· 보안규정 준수에 부적합 요소 다수 군 사보안업무 훈령 적용에 부적합: 비밀 등급이 다른 정보통신망 간 연동 시 간 접연동 필요	
간접 연동	자동전환 (스위치 방식)	검증 필요	상	중	· 개별 연동 서버 및 전송통제 서버 필요 · 전용 연동 프로그램 개발 필요
	시리얼 케이블 (RS-232C 케이블)	검증 필요	중	상	· 개별 연동 서버 필요 · 원격조종장치 SW 재수정 필요
	CDS 보안 통제장치 (암호화 알고리즘)	검증 필요	상	상	· 개별 연동 서버 및 보안 통제 장비 필요 · 구축비용이 타 연동방식 비교 시 고가
	공유 스토리지 (파일전송 방식)	검증 필요	상	상	· 개별 연동 서버 및 공유 스토리지 필요 · 전용 연동 프로그램 개발 필요 · 별도체계 운영 및 유지예산 필요
	물리적 단방향 장치 (물리적 단방향 통제)	검증 필요	상	상	· 개별 백신 및 연동 서버 필요 · 전용 연동 프로그램 개발 필요 · 별도체계 운영 및 유지예산 필요

부록 8. 국방 데이터 표준 관리 항목표⁶³⁾

구 분	관리항목
표준 용어명	· 모든 기관에서 공통으로 사용하는 표준용어의 한글명 (다수 기관에서 사용 중이며, 칼럼 사용 빈도수가 높은 용어)
표준용어 설명	· 공통 표준용어에 관한 내용을 구체적으로 설명
표준용어 영문 약어명	· 공통 표준용어의 영문명을 축약하는 약어로서, 공통 표준단어의 영문 약어명을 조합해서 생성
표준 도메인명	· 데이터의 형식과 공통 표준용어가 갖는 공통 특성을 그룹화, 분류 · 데이터값의 형식 및 범위를 규정하기 위해 정의 (공통 표준 도메인명은 도메인 분류명+타입+길이로 구성) 예1) 연월일 C8, 금액 N15, 여부 C1 예2) 타입은 Char, Varchar, Number, Date time 등
허용값	· 해당 공통 표준 도메인이 가질 수 있는 최대 / 최소값이나 유효값 예) 월: 01~12, 여부 : Y, N
저장형식	· 해당 공통 표준 도메인의 데이터 값을 저장하는 형식 예) 2020년 2월 → YYYYMM(202002)
표현형식	· 해당 공통 표준 도메인의 데이터 값을 표현하는 방식 예) 2020년 2월 → YYYY-MM(2020-02)

점도가 1.0Pas 이상이면 교체 권장. 승용차를 대상으로 하여 주행 거리별 OBD 단자에서 차량 공회전 시 냉각수 온도상승량을 측정하고 냉각수 온도 27°C에서 78°C까지 상승하는 소요 시간을 주행거리 별 냉각수의 상승 온도 변화를 측정하였음

61) 출처: 000-0000 CBM+체계 구축사업 완료 보고('22.8.12., 국방부) pp.12., 논자 재정리

62) 장비 1대당 비용을 기준으로 함

63) 출처: 국방 데이터 활용 활성화 전략 연구('21.6.22., 한국과학기술정보연구원) pp.21., 논자 재정리

무기체계 CBM+기술적용 가능성 및 기반요소 실증연구

김용* · 김대웅** · 정도현***

국문초록

무기체계의 정비유형은 각종 데이터의 활용기술과 진단 기술의 점진적 확대에 따라 기존 고장 발생 시 조치하는 사후정비에서 시간제 중심의 사전정비로 진행되었고, 현재는 상태기반정비(CBM) 및 상태기반예측정비(CBM+)로 변화되고 있다. 이에 본 연구에서는 무기체계의 센서 데이터를 활용한 CBM+기술의 적용 가능성과 관련 기반요소에 대한 적용방안을 연구하였다. 먼저, CBM+기술의 적용 가능성에 대해서는 00 무기체계를 대상으로 엔진부에 데이터 수집장치를 부착하여 센서 데이터 수집 및 모니터링 가능성을 확인하였다. 다음으로 CBM+기술의 확대에 필요한 기반요소에 대해 실증하였다. 이를 통해 현재 운용 중인 주요 무기체계에 CBM+기술적용 시 판단기준, 센서 데이터 용량 산정, 데이터 전송 및 수집을 위한 네트워크 방식, 센서 데이터 표준화 등에 대한 실증을 통해 적용방안을 제시하였다. 연구결과, 무기체계에 대한 CBM+기술개발 적용을 위한 대상 무기체계 선정에 관한 참고와 관련 기술을 활용하기 위한 보안, 네트워크, 데이터 표준화 등 필수적으로 요구되는 기반요소 확보에 참고가 되길 기대한다.

주제어 : 무기체계, 상태기반예측정비, 지속지원, 센서 데이터

* (제1저자) 육군2672부대, 장비정비과장, jitung7@naver.com, <https://orcid.org/0009-0003-0320-6645>.

** (공동저자) 육군2672부대, 통신장비정비지원담당, ednd5197@naver.com, <https://orcid.org/0009-0004-0735-7384>.

*** (교신저자) 아주대학교, 기계공학과, 연구교수, kouksun9@hanmail.net, <https://orcid.org/0009-0002-6943-5806>.