

신규 전력화 헬기 첨단 센서 기반 상태감시시스템(HUMS) 활용한 효율적 창정비 방안

박대엽, 강석호
건양대학교 안보대학원 방위산업학과 전공
uh60pblack@naver.com

An Efficient Depot-Level Maintenance Strategy Utilizing Advanced Sensor-Based Health and Usage Monitoring Systems (HUMS) for Newly Fielded Helicopters

Dae-Eob Park, Suck-Ho Kang
Department of Defense Industry Studies, College of National Security, Konyang University

요약

본 연구는 육군의 신규 전력화 헬기에 탑재되는 상태감시시스템(HUMS: Health and Usage Monitoring System)에 기반한 센서 기술과 수집된 빅데이터를 활용하여 효율적 기체 창정비 방안을 연구하는 데 목적이 있다. 지금까지의 육군 헬기 창정비는 예방정비 개념의 시간 기반 정비 체계(TBM)로 기종별 정해진 주기(기간)에 창정비가 이뤄졌다. 이러한 창정비 수행으로 인해 기체 성능개량 없이 40년 넘게 육군 항공 공격 및 기동 전력으로 현재까지 유지될 수 있었던 핵심 원동력이었다. 하지만 기체의 피로 손상이나 부식 등 구조적 결함을 제때 반영하지 못해 고장 누락 가능성을 초래하거나 과잉 정비의 단점이 있었다. 따라서 IT와 AI 기술 발전을 활용한 상태기반 정비(CBM: Condition-Based Maintenance)는 HUMS와 구조 건전성 모니터링(SHM: Structural Health Monitoring)을 활용하여 기체 데이터를 수집·분석함으로써 각 호기별 운용 환경과 기계적 특성을 반영한 최적의 창정비 시점을 도출할 수 있을 것으로 예상된다. 특히 피로 및 진동 정보를 수집하는 다양한 센서(예: Strain Gauge, AE Sensor, Accelerometer 등)의 적용은 정비 주기를 정량적으로 설정하고 유연한 운용을 가능하게 한다. 본 논문은 KUH-1과 LAH 헬기에 적용 가능한 정비 센서 기반 창정비 주기 설정 방안을 미군 사례와 비교하여 연구했다.

1. 서론

기체계통은 항공기의 안전성과 생존성을 좌우하는 핵심 구조로서, 반복 비행에 따른 하중, 진동, 피로 누적으로 인해 주기적인 검사와 그에 따른 정비가 필수적이다. 그러나 현재 한국군 운용 헬기 500MD, UH-60, CH-47, BO-105, AH-1S 헬기는 각 호기별 운용환경과 기체 특성을 고려하지 않은 고정된 시간기반(TBM) 주기에 따라 일괄적인 창정비를 수행하고 있어 과잉 정비 또는 정비 누락의 문제점이 있다. 특히 신규 전력과 헬기 수리온(KUH-1)은 센서 기반 상태감시장치(HUMS)가 장착되어 있음에도 실제 운용 강도와 피로 누적 상태를 반영하지 못한 시간기반 정비(TBM) 창정비 요소개발이 진행 중이다. 본 논문은 이러한 한계를 개선하기 위해 HUMS 기반의 상태 데이터와 구조건전성 모니터링(SHM)센서를 활용하여 기체계통의 상태를 정량화하고, 이를 통해 효율적이고 유동적인 기체 창정비 주기를 설정하는 방안을 제시한다. 미군의 CBM 사례(UH-60, CH-47 등)를 기반으로 국내 적용 가능성을 분석하고, 신규 전력화 헬기인 KUH-1 및 LAH 헬기에 현재의 예방정비(PM) 개념의 시간기반정비(TBM) 체계의 장점과 미래의 상태기반정비(CBM)를 최적화 적용하여

안전성과 경제성을 고려한 효율적인 기체 창정비 방안을 연구해 본다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

2.1.1 육군 헬기 정비 수행제대 구분[11]

정비 구분	정비 내용
부대정비	장비를 사용하는 부대에서 수행하는 정비
야전정비	부대정비능력을 초과한 정비로서 검사·조정·결합체 수리·구성품 교환 등 일정한 수준이 요구되고 특수정비용 장비 및 공구로써 실시하는 정비
창정비	분해, 수리나 재생이 요구되는 장비 및 수리부속품에 대해 특수 정비시설·정비용장비 및 공구를 이용하여 창정비 기준에 의해 실시하는 분해·검사·수리·재생·개조 등의 정비

기체 창정비는 기체 구조물 전반에 대한 분해·점검·보수 작업으로, 피로 누적, 균열, 부식 등의 결함을 제거하여 구조적 건전성을 회복하는 정비 단계이다.

2.1.2 상태기반 정비(CBM: Condition Base Maintenance)

CBM은 장비의 실제 상태를 기준으로 정비 시기를 판단하며, 고장 예지와 정비 최적화를 통해 비용 및 시간 절감 효과를 거둘 수 있다[3][5]

2.1.3 HUMS 및 SHM의 기체 적용

HUMS는 진동, 응력, 피로 데이터를 수집하여 기체 상태를 실시간 파악하며, SHM은 구조물 내 균열이나 피로 손상 감지를 위한 고도화된 센서 기반 기술이다[1][5]. 두 체계의 융합은 기체 창정비를 정밀하고 과학적으로 전환시킬 수 있다.

각 센서의 정보통신 기술적 역할은 다음과 같다. Strain Gauge는 구조물에 가해지는 응력을 전기 저항 변화로 변환해 측정하며, 이 정보는 디지털화되어 실시간 모니터링 시스템으로 전송된다. 한편, AE Sensor는 균열 발생 시 발생하는 고주파 음향 에너지를 감지하여 초기 손상을 조기에 탐지할 수 있다. 이 센서는 고주파 신호를 처리하여 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 기체의 구조적 결함을 예측한다. 또 다른 센서인 Accelerometer는 구조물의 진동을 측정하여 이상 징후나 공진 현상을 분석하는 데 활용된다. 이 센서는 또한 디지털 변환 모듈과 통합되어 데이터를 로그하고 실시간으로 전송하는 기능을 수행한다. 특히 최신 플랫폼에는 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) 기반 센서가 적용되어 소형화·경량화와 동시에 실시간 무선 전송이 가능하다. 이러한 정보통신 기술 기반 센서들은 IoT 기반 진단체계와도 연계되어 기체 정비를 네트워크 기반으로 자동화하고 있으며, 향후 AI 기반 고장 예지로 발전할 가능성이 높다.

2.2 미군 기체 창정비 사례 분석

UH-60, CH-47의 구조 손상 진단체계를 예를 들어 살펴보면 미군이 사용하는 센서에는 구조 피로 및 진동 분석을 위한 Strain Gauge, Acoustic Emission Sensor (AE Sensor), Accelerometer 외에도 Piezoelectric Sensor, Load Monitoring Transducer 등이 있으며, 이를 통해 기체 구조물의 피로 누적, 미세 균열, 충격 반응 등을 실시간 모니터링하고 있다[4][5].

미군은 기체계통 창정비에 있어 HUMS와 SHM 시스템을 적극적으로 활용하고 있다[3][4]. UH-60M Black Hawk와 CH-47 Chinook 헬기에는 다양한 센서(Strain Gauge, Acoustic Emission Sensor, Accelerometer 등)가 장착되어 있어 기체 구조물의 피로 하중, 진동, 응력 축적 데이터를 실시간으로 수집한다[4][5].

예를 들어, UH-60M의 메인 로터 접합부와 기체 프레임 사이에서는 반복적인 비행 하중으로 인한 미세 균열이 발생할 수 있다. 이에 대해 Strain Gauge가 응력의 변화를 감지하고, HUMS 시스템은 이 데이터를 분석하여 이상 진동이나 과부하 패턴이 일정

임계치를 초과할 경우 경고 신호를 출력한다. 이러한 경고는 정비 지원 시스템에 자동 전송되며, 정비사는 이를 기반으로 해당 부위에 대해 선별적으로 창정비 여부를 판단한다.

CH-47 헬기의 경우, 장시간의 수송 임무로 인해 하부 기체 프레임 및 랜딩 기어 접합부에 피로 손상이 집중되는데, AE 센서를 통해 구조물 내에서 발생하는 미세 균열음을 조기에 감지할 수 있다. 이 데이터를 기반으로, 기체 상태가 임계 수치를 초과하면 해당 부위의 패널만 분해하여 검사하고, 나머지 부분은 정비 생략함으로써 전체 창정비 시간을 단축할 수 있다.

또한, 미군은 각 기체의 사용 이력과 누적 데이터에 따라 창정비 주기를 기체별로 차등 설정하며, 단일 기종 내에서도 고강도 운용 기체는 짧은 주기로, 저강도 운용 기체는 장기 간격으로 창정비를 수행한다. 이는 정비 자원의 효율적 분배뿐만 아니라, 임무 가용률의 극대화에도 기여하고 있다.

현재 미군의 기체 창정비 기준 주기는 다음과 같다.

[표 1] 미군 기체 창비 주기

기종	창정비 주기
UH-60M	일반적으로 5년 또는 약 1,440 비행시간[8]을 기준으로 하며, HUMS 데이터를 기반으로 가감 조정 가능
CH-47F	약 5년 또는 1,200~1,500 비행시간 주기[8]
AH-64E	약 4~5년 또는 1,200 비행시간 수준[9]이며, 주요 피로 구성품 중심으로 상태 진단 후 주기 조정 가능

이러한 주기는 각 기체의 운용환경, 임무 유형, 실제 구조 응력 데이터를 반영하여 유동적으로 운영되며, 창정비의 범위와 시기를 객관적 데이터에 기반해 결정하는 것이 CBM 체계의 가장 큰 특징이다. 이는 미 육군 정비 정책(Army Regulation 750-1)[10]에 따라 운용 현황 기반의 정비 최적화 원칙을 따르고 있다.

여기에 더해 미군은 SHM 데이터를 군수정보시스템(LCSS)과 연동하여, 기체 손상 수준별로 창정비 주기와 범위를 조정한다. 이를 통해 창정비 시간과 비용을 평균 20~30% 절감하고 있다[3][10].

2.3 국내 기체 창정비 현황

2.3.1 한국군 창정비 주기 설정 방식

현재 한국군의 기체 창정비 주기는 주로 시간 또는 비행시간 기준의 고정된 정기주기를 기반으로 설정되고 있으며, 대부분 약 5년 또는 1,200~1,500 비행시간을 기준으로 정비가 수행된다. 이는 기체 제작사(KAI)의 기술 매뉴얼과 국방부의 정비 지침에 따라 표준화된 기준으로 운영되고 있다. 이 기준은 기체 제작사(KAI) 및 군 정비 매뉴얼에 따라 수립되며, 기종 간 주기는 유사하게 설정되어 있다. 그러나 정비 주기 설정 시 기체별 운용 환경(예: 산악지형, 해안지역, 고온다습 등), 임무 유형, 운용 강도(강착륙, 고하중 수송 등) 등은 반영되지 않는 경우가 많다. 또한, 기체의 구조 피로 상태, 실제 응력 이력, 진동 정보 등에 대한 센서

기반 데이터가 정비 주기 산정에 활용되지 않고 있어 과잉 정비 또는 손상 누락의 가능성이 지속적으로 지적되고 있다.

이러한 점에서 현재의 TBM 기반 고정 주기 방식은 정비 자원의 비효율적 사용과 기체 운용 가능 시간의 감소로 이어진다. 따라서 기체별 운용 환경과 구조 응력 이력, 진동 데이터를 종합적으로 반영한 CBM 기반의 데이터 중심 창정비 주기 설정으로의 전환이 요구된다. 이를 통해 군은 정비 자원 효율화는 물론, 작전 가용성 확보와 정비 예산 절감이라는 전략적 효과를 동시에 기대할 수 있다.

2.3.2 KUH-1 헬기의 창정비 운영 실태

수리온의 기체 창정비는 주기적 분해정비 및 비파괴검사에 의존하고 있으며, 기체별 누적 피로 상태나 운용 강도는 고려되지 않는다[2][6]. 이에 따라 정비 자원 소모가 크고, 운용 특성 반영이 어려운 한계가 있다.

현재 수리온 기체 창정비는 약 5년 또는 1,200~1,500 비행시간 주기로 수행되며[2][6], 주요 검사 항목으로는 동체 용접부 균열 검사, 주기어박스와 결합된 주프레임의 피로누적 상태 점검, 주의 루트(wing root) 부분의 부식 여부 검사 등이 포함된다. 모든 점검은 주로 육안 및 NDI(비파괴검사) 방식으로 수행되며, 이로 인해 정비 품질의 일관성이 정비사 역량에 따라 편차가 발생할 수 있다. 또한 구조 손상이 누적되었음에도 불구하고 주기 기반 정비로 인해 발견되지 않는 사례도 보고되고 있다[6].

기체 손상 예측 및 데이터 기반 정비 결정을 위한 시스템이 부재한 상황에서, 기체 개별 운용 이력이나 환경(예: 염분, 충격 착륙 등)을 반영하지 못하는 구조적 한계가 존재한다[7]. 이러한 한계를 극복하기 위해 HUMS 기반의 IOT 적용으로 실시간 구조 응력 자료를 수집하고 빅데이터를 축적하여 AI를 활용한 고장 징후 분석과 결함 시기를 예측하는 체계가 반드시 요구된다.

2.3.3 HUMS 기반 SHM 기술의 시범 적용 및 LAH 계획

현재 일부 수리온과 차세대 헬기(LAH 등)에 HUMS 기반 피로 감지 기술과 진동 기반 이상 탐지 기술이 시범 적용 중이며, 국방 과학연구소 및 KAI에서 SHM 기반 정비 알고리즘 개발이 추진되고 있다[1][6][7].

기종별 전략적 창정비 체계 도입 방향은 다음과 같다.

[표 2] 기종별 HUMS, SHM 적용 방식 및 발전방향

기종	정비 접근 방식	특징 및 발전 방향
KUH-1	HUMS 적용 확대 + 선별 창정비	TBM 중심에서 CBM 전환, 구조 피로 기반 정비 필요
LAH	설계단계부터 HUMS/SHM 통합	비행 이력 기반 예측정비, 정량 구조 대응 정비 모델 적용
CH-47 (미군)	CBM+ 기반 SHM 연동	구조 하중 중심 정비주기 설정, 선별 분해 방식 적용
UH-60 (미군)	센서 기반 피로 누적 분석	진동·응력 데이터 기반 실시간 정비 경고 체계 운영

LAH(Light Armed Helicopter)는 수리온 이후 개발된 차세대 국산 경공격헬기로, 설계 초기 단계부터 HUMS 장착이 고려된 플랫폼이다. 기체 구조물의 경량화와 고강성화로 인해 피로에 민감한 구조가 많으며, 이에 따라 창정비 체계에서도 고장 징후 분석, 피로균열 감지, 비행 이력 기반의 정비 예측 기능이 요구된다. LAH에 적용 예정인 구조 센서에는 고정밀 진동 측정용 MEMS Accelerometer, 복합재 균열 감지용 AE Sensor, 초소형 Strain Gauge 등이 포함되며, 시범기 수준에서 SHM 기술과의 통합 실증이 진행되고 있다[1][7].

2.3.4 기체 창정비 발전 방안

HUMS 및 SHM 기술의 적용은 단순한 센서 측정을 넘어서, IoT 및 AI 기술과 융합되어 창정비 체계를 자동화하고 지능화하는 방향으로 발전하고 있다. 센서 네트워크 기반으로 축적된 데이터를 IoT 통신 기술과 연계해 정비시스템(MIS) 및 군수지원체계(LCSS)로 자동 전송하고, 이를 기반으로 AI 알고리즘이 이상 패턴을 조기 탐지하거나 고장 예지(PHM: Prognostics and Health Management)를 수행하는 체계가 제시된다. 특히 기체별 운용환경, 비행패턴, 기체 하중 정보 등을 AI가 학습하여 정비 주기를 자동으로 조정하거나 정비 우선순위를 추천하는 형태로 진화할 수 있으며, 이는 향후 정비 효율성뿐만 아니라 작전 가용성 제고 및 정비 자원의 최적 분배에도 기여할 수 있다. 특히 TBM 방식의 일괄 분해정비를 최소화하고, 기체 상태 기반의 유연한 창정비 스케줄 수립을 통해 정비 자원의 낭비를 줄이고 가용성을 높일 수 있다[2][6][7].

기체 창정비 발전 방안을 아래와 같이 제시한다.

- 신규 전력화 헬기에 HUMS+SHM 통합 도입 필요
- 기체 손상 진단 알고리즘 고도화 및 국산화 기술 개발
- CBM 기반 기체 창정비 전환을 위한 제도/운용 지침 정립
- 정비-군수 간 연동을 위한 통합 데이터 플랫폼 구축

3. 결론

본 연구는 CBM 기반 기체 창정비 체계가 정비의 정밀도와 효율성을 획기적으로 향상시키며, 향후 디지털 기반 군수지원체계의 전환을 선도할 수 있는 핵심 전략임을 제시하였다. 특히 기체 구조의 피로와 진동을 실시간으로 감지할 수 있는 센서 기술의 적용은 정비 효율을 극대화할 수 있으며, KUH-1과 LAH 등 국내 헬기에도 이러한 정비 센서 통합이 더욱 확대되어야 한다. 본 논문은 이를 기반으로 각 호기별 운용환경과 특성을 고려한 최적의 기체 창정비 주기를 설정하여 효율적인 정비를 가능케 하고 궁극적으로 적기 정비성을 향상시켜 비행 안전성 확보는 물론 불필요한 과잉 정비를 줄여 경제성까지 확보할 수 있는 기체 창정비 주기설정을 제안한다.

참고문헌

- [1] 국방과학연구소, “HUMS 기반 상태감시 기술 개발 동향,” 2022. 국내 HUMS/SHM 시범 적용 기술 동향
- [2] 한국항공우주산업(KAI), “KUH-1 수리온 정비 매뉴얼,” 2021. 수리온 정비 체계 설명
- [3] 미 국방부, “Condition-Based Maintenance Plus (CBM+) Guidebook,” Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Materiel Readiness, 2012.
- [4] US Army, “UH-60M Black Hawk Technical Manual,” 2020.
- [5] Ahn, H.S. et al., “Application of Structural Health Monitoring to Military Helicopters,” Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 49, No. 5, 2021.
- [6] 김동현 외, “수리온 헬기의 구조 건전성 정비체계,” 2023. 수리온 기체 구조 SHM 연구
- [7] 방사청, “국내 헬기 정비체계 고도화 정책,” 2022. 국방 정책 방향 관련
- [8] US Army Aviation Center of Excellence, “Aircraft Maintenance Manual for CH-47F Chinook,” 2020.
- [9] US Army, “AH-64E Apache Longbow Maintenance Manual,” 2021.
- [10] Department of Defense, “Army Regulation 750-1: Army Materiel Maintenance Policy,” 2019.
- [11] 국방전력발전업무 훈령 제167조 장비정비 구분, 2025.
- [12] 총수명주기관리업무 훈령 제15조, 51조, 2024.