

UAM-AAV의 성공적 운용을 위한 필수 요소 및 안전성·신뢰성 확보를 위한 핵심요소 연구

김진영

한국과학기술정보연구원

jykim@kisti.re.kr

A Study on the Key Factors for Successful Operation of UAM-AAV and the Core Elements for Ensuring Safety and Reliability

Jinyoung Kim

Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

도심항공교통(UAM: Urban Air Mobility)과 미래형항공기(AAV: Advanced Air Vehicle)는 차세대 교통 패러다임으로서, 도심 내 이동 효율성과 접근성을 향상시킬 수 있는 미래형 항공모빌리티로 주목받고 있다. 그러나 도심 저고도 환경에서 운항되는 UAM-AAV는 기존 항공시스템보다 훨씬 높은 수준의 안전성과 신뢰성 확보가 필수적이다. 본 연구는 UAM-AAV의 성공적 운용을 위한 6대 필수요소를 도출하고, 안전성 및 신뢰성 확보를 위한 4대 핵심요소를 제시하였다. 이를 기반으로 상태기반예측정비(CBM+: Condition-Based Maintenance Plus) 개념을 적용함으로써, 데이터 기반의 예지정비 및 통합 운용관리 체계가 UAM-AAV의 안전성과 신뢰성을 동시에 향상시킬 수 있음을 제안한다.

Keywords : UAM, AAV, CBM+, 안전성, 신뢰성, 예지정비, 통합운용체계

I. 서 론

도심항공교통(UAM)과 미래형항공기(AAV)는 교통 혼잡 완화와 이동 효율성 향상을 목표로 하는 새로운 항공 이동수단으로, 세계 주요 도시와 기업이 상용화를 위한 실증사업을 추진하고 있다 [4].

그러나 도심항공 환경은 고밀도·저고도·고빈도 운항이라는 특성을 가지며, 전기추진(eVTOL), 자율비행, 군집운항 등 기존 항공운항과는 전혀 다른 위험요소를 내포한다. 특히 도심 내 운항 중의 결함은 대규모 피해로 이어질 수 있어, 항공기체의 안전성(Safety) 및 운용체계의 신뢰성(Reliability) 확보가 핵심 과제이다. 따라서 기술적 완성도뿐 아니라, 정비 자동화·데이터 기반 예지진단·통합운용관리를 포함하는 체계적 접근이 요구된다 [1][3][4].

본 연구는 UAM-AAV의 성공적 운용을 위한 6대 필수요소와 안전성·신뢰성 확보를 위한 4대 핵심요소를 도출하고, 이들을 유기적으로 관리하기 위한 CBM+ 적용의 필요성을 제시한다.

II. UAM-AAV 성공적 운용을 위한 필수요소

UAM-AAV의 상용화는 기술·운영·제도·사회적 측면을 모두 아우르는 다층적 준비가 필요하다. 본 연구에서는 다음 여섯 가지를 UAM-AAV 운용의 필수 요소로 제시한다.

- (1) 완전한 안전성 확보 - 기술적 신뢰의 기반
 - 도심항공은 대규모 피해를 초래할 수 있는 고위험 교통수단으로, 다중 안전 설계와 자가복구 기능이 필수적이다.
 - 충돌회피 시스템, 비상착륙 알고리즘, 원격 모니터링 체계 등 실시간 안전 기술이 요구된다.
 - 각국 항공당국의 인증 기준을 충족하는 기체 및 시스템 확보가 필수이다.

- (2) 항공 교통 관리 시스템 구축 - 공중의 고속도로 설계
 - UAM은 저고도·고밀도 공역에서 운영되므로, 3차원 항공회랑(UAM Corridor) 및 UTM(UAS Traffic Management) 기반 실시간 관제체계가 필요하다.
 - 비행우선순위, 기상대응, 비상복귀 기능을 포함한 지상-공중 통합 교통관리체계 구축이 필수적이다.
- (3) 도심형 인프라 구축 - 버티포트와 서비스 생태계 조성
 - 도심 내 효율적 이착륙을 위한 버티포트(Vertiport) 구축이 필요하다.
 - 버티포트는 단순 착륙장이 아닌, 전력공급·통신관제·정비·충전 인프라를 통합한 복합 거점으로 발전해야 한다.
 - 공항, 철도, 지하철 등 기존 교통수단과의 연계 및 MaaS(Mobility as a Service) 융합이 요구된다.
- (4) 제도·정책 정비 - 법률과 규제의 민첩한 진화
 - 현행 항공법규는 대형 유인항공기를 중심으로 설계되어, 소형 자율운항체계를 충분히 포괄하지 못한다.
 - 자율운항 인증, 운항고도 및 소음 기준, 보험·운항자격 등 법제화가 시급하다.
 - 규제 샌드박스 및 시범운항 확대를 통한 정책적 유연성이 필요하다.
- (5) 사회적 수용성과 신뢰 확보 - 시민이 인정해야 이동수단이 된다
 - 소음, 낙하사고, 사생활 침해 등에 대한 사회적 우려가 높으며, 이를 해소하기 위한 정보 공개와 시민소통 전략이 필요하다.
 - 공개 시범운항, 체험행사, 교육프로그램을 통한 사회적 신뢰(Social Acceptance) 구축이 필수적이다.
- (6) 운영 효율성과 경제성 - 지속 가능한 산업 생태계
 - 전기추진 효율, 배터리 수명, 정비 자동화, 운항 최적화 알고리즘이 직접적인 비용절감 요소로 작용한다.

III. UAM-AAV 안전성·신뢰성 확보를 위한 핵심요소

UAM-AAV의 안전성 및 신뢰성 확보를 위한 네 가지 핵심요소는 다음과 같다.

- (1) 기체 기술의 안전 강화
 - 다중 안전 설계(Fail-Safe) : 항법장치·센서·배터리의 이중화로 단일 고장 내성 확보.
 - AI 기반 자율운항 알고리즘 : 충돌회피(Detect & Avoid), 자동착륙(Auto Landing), 기상대응.
 - 배터리 안전성 확보 : 열폭주 방지 기술, 실시간 전압·온도 모니터링 체계 구축.
- (2) 지상 - 공중 통합운용체계 구축
 - UTM 기반 실시간 관제 시스템 : 공중 교통흐름 디지털 제어, 통신장애 시 자동 복귀모드 전환.
 - 운항 모니터링 및 원격 제어 : 기체 상태, 속도, 기상정보를 실시간 수집하고 이상징후를 조기 감지.
- (3) 운영기준 및 인증체계 정비
 - 안전 인증체계 마련 : 기체 설계, 시험비행, 정비 기준 수립 및 국제기준 연계.
 - 정비 품질관리 체계 : 비행 전·중·후 자동점검, 부품단위 이력 추적 시스템 적용.
 - 운항자격 관리 : 자율항공기 조종자 및 관제사 자격 인증제 도입.
- (4) 사용자 관점의 신뢰 확보
 - 투명한 정보 공개 : 비행이력, 점검결과, 안전조치 절차 공개.
 - 시범운항 및 테스트베드 운영 : 실증을 통한 상용화 신뢰성 검증.
 - 사회적 수용성 강화 : 보험제도 및 사고책임체계 정립을 통한 이용자 불안 해소.

이 네 가지 요소는 기술적·운영적·제도적·사회적 측면을 통합적으로 포괄하며, CBM+ 체계의 적용을 통해 실질적 실행력이 강화될 수 있다.

IV. CBM+ 기반 안전성·신뢰성 확보 방안

CBM+(Condition-Based Maintenance Plus)은 미국 국방성에서 제안한 통합 정비관리 프레임워크로, 장비의 상태에 따른 정비 수행을 넘어 데이터 기반 예지정비(Predictive Maintenance)와 의사결정지원(Decision Support), 성과 피드백(Feedback)을 통합한 지속적 성능관리 체계이다 [1][2].

기존의 CBM(Condition-Based Maintenance)은 센서 데이터를 활용해 장비의 상태를 진단하고 고장 시점을 예측하는 데 초점을 맞추었다. 반면, CBM+는 이러한 기술적 기능에 더해 운용·물류·정비·정책관리 영역을 포괄하는 생애주기(Life-Cycle) 관리체계를 구현한다. 즉, CBM+는 CBM과 PHM(Prognostics & Health Management)을 통합하고, 여기에 데이터 품질관리(Data Quality Management)와 운용 의사결정체계(Decision Support Framework)를 결합한 고도화된 정비·운용관리 개념이라 할 수 있다.

CBM+는 일반적으로 다음의 5단계 절차로 구성된다.

- ① 데이터 수집(Data Acquisition) : 운항·정비·센서·기상 데이터를 통합적으로 수집하고 품질을 관리한다.
- ② 데이터 분석(Data Analysis) : AI 기반 고장진단 및 수명예측 알고리즘을 적용하여 이상징후를 탐지한다.
- ③ 의사결정 지원(Decision Support) : 위험도 평가를 통해 정비 우선순위와 자원 배분을 최적화한다.
- ④ 정비 실행(Maintenance Execution) : 자동화된 정비 수행 및 결과 데이터 피드백을 관리한다.

- ⑤ 지속적 학습(Continuous Learning) : 정비 결과를 분석해 모델 성능을 개선하고, 운항·정비 정책에 반영한다.

이러한 CBM+ 체계는 단순히 정비 효율화를 넘어, 운항 안정성 향상과 신뢰성 보증을 위한 핵심적 운영 기반으로 기능한다. UAM-AAV 환경에 적용할 경우, 센서 및 운항데이터를 활용한 예지정비 체계 구축, 부품 수명 주기 관리, 운항·정비 통합 의사결정, 데이터 품질 기반 피드백 개선 등이 가능해진다.

따라서 CBM+는 UAM-AAV의 전 생애주기적 안전·신뢰성 관리체계를 실현하는 핵심 프레임워크이며, 정비 효율성 향상과 비용 절감, 운용 안전성 확보를 동시에 달성할 수 있는 통합 관리방안으로 평가할 수 있다.

V. 결론

UAM-AAV의 상용 운항을 위해서는 기술적 완성도뿐 아니라, 데이터 기반의 안전성·신뢰성 확보체계 구축이 핵심이다.

본 연구에서는 UAM-AAV의 성공적 운용을 위한 6대 필수요소와 안전성·신뢰성 확보를 위한 4대 핵심요소를 도출하였으며, 이를 실현하기 위한 방안으로 CBM+ 적용의 필요성을 제시하였다.

CBM+는 예지정비, 품질관리, 의사결정 지원, 피드백 학습의 통합구조를 통해 UAM-AAV의 운항 안전성, 정비 효율성, 자산 신뢰성을 동시에 확보할 수 있다.

향후 연구로는 UAM-AAV CBM+ 데이터 관리를 위한 표준 메타데이터 스키마 개발, CBM+ 데이터 저장·관리·분석·활용이 가능한 데이터플랫폼을 구축할 예정이다. 이를 통해 UAM-AAV의 안정적 상용화와 지속 가능한 운용 생태계 조성에 기여하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 우주항공청 주관 사업인 '(P0028522) 그린 UAM-AAV 핵심 부품 시험평가 기반구축' 과제로 수행된 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] U.S. Department of Defense, "Condition Based Maintenance (CBM+) Guidebook," Defense Acquisition University, Washington, D.C., Aug. 2024.
- [2] Zhu, T., Ran, Y., Zhou, X., and Wen, Y., "A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches," arXiv preprint arXiv:1912.07383, 2019.
- [3] Velayutham, M. S., and Biswas, T. T., "From Corrective to Predictive Maintenance - A Review of Maintenance Approaches Supporting Monitoring and Supervision," Sensors, vol. 22, no. 10, p. 3712, 2022.
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), "K-UAM Roadmap 2.0," Seoul, Republic of Korea, 2023.