

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2024.32.1.039>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

조종사 관점에서 UAM 운영개념 수립에 대한 고찰

윤희석*, 이근영*, 김규왕**

Discussion on Establishing UAM Operating Concept
from the Pilot's Perspective

Hi-seok Yoon*, Keun-young Lee*, Kyu-wang Kim**

ABSTRACT

Aviation industry is moving towards the third innovative era of AAM with electric power and AI after the JET-powered era following the Wright brothers' first flights. Research on UAM, eVTOL development, certification, and operations is competitively progressing, primarily in aviation-leading countries, aiming to resolve urban traffic saturation and foster the future aviation industries. This study introduces the concept of the pilot's role transition in operational safety as AI autonomous flight advances, comparing K-UAM operational concept with research from FAA, NASA, and EASA. It is to identify and propose solutions for challenges from the pilot's perspective in developing UAM and its safe operation system. To succeed in Advanced Air Mobility National Project, we suggest the collaboration among industry, academia, and institutions, along with the cooperation between civilians, governments, military, and the need for Urban Air Mobility integrated policies.

Key Words : AAM(미래항공모빌리티), AI(인공지능), Air Safety(항공안전), Aviation Industry(항공산업), Economics(경제성), eVTOL(전동수직이착륙)

1. 서 론

도심항공교통(UAM)은 도시중심의 환경 안팎에서 항공으로 사람이나 화물을 이동시키는 운송 시스템으로 미래항공교통(AAM, advanced air mobility)의 하위집합으로 이해할 수 있다.

2014년 NASA의 분산전기동력추진 (DEP, distributed electric propulsion) 시스템에 관한 연구와

실험이 시작되면서 새롭게 개발된 분산 하이브리드 전기동력추진 시스템이 항공의 패러다임을 바꾸는 계기를 마련하였다.

자율주행차에 관한 연구와 실험이 활발하게 진행되던 시기에 친환경적 전기동력과 자율 인공지능 기술의 발달은 전기추진 수직이착륙 항공기를 도심에서 운영할 수 있다는 가능성을 열어주었고, NASA와 함께 분산전기동력추진 시스템에 대한 실험에 참여했던 JOBY 연구진들을 필두로 효율성, 안전성, 경제성 및 친환경적 성능을 개량한 도심형 수직이착륙기에 대한 개발이 본격적으로 이루어지게 되었다.

여기에 더해 2016년 스마트기반 승차공유서비스 업체인 UBER의 Elevate Whitepaper 발표를 통한 본격적 UAM 산업에 대한 구상과 UAM 생태계 조성에

Received: 20. Feb. 2024, Revised: 22. Feb. 2024,
Accepted: 24. Feb. 2024

* 한서대교 항공융합 대학원(대한항공, 아시아나 기장)

** 한서대교 항공운항학과 교수

연락처 E-mail : hiyoony@gmail.com

연락처 주소 : 서울시 은평구 연서로 44길7

관한 참여는 자동차 업계에 새로운 미래 창출 산업으로의 방향 전환을 이끌었고, 미래 항법 시스템과 자율비행의 필요성은 여러 통신사와 정보기술(IT)업계의 참여를 유도했다.

아직 UAM 상용화 시대가 열린진 않았지만 2~3년 후에 본격적으로 시작될 도심항공교통 상용화를 위해 미래항공 모빌리티 관련 기술개발과 생태계 선점을 위한 경쟁은 신생항공업계를 넘어 대형 항공기 제조사, 대형항공사, 자동차 제조사, 연관된 기술의 통신사 및 첨단산업 기업가에게 뜨거운 경쟁체제에 돌입하게 하였고, 각국의 대도시교통문제 해결과 첨단산업의 연계성으로 인하여 국가 간 경쟁도 치열하게 전개되고 있다.

본 연구는 이러한 미래항공 모빌리티 국가 프로젝트를 성공시키기 위해서는 비행 경험이 많은 조종사의 연구와 참여가 UAM 기체개발과 안전 운항 체계 수립에 일조할 수 있다는 생각에서 조종사 관점의 문제 파악과 해결방안을 제시하고자 한다. 연구 방법은 에어라인 조종사와 군 헬기 조종사 그리고 항공 정책학자와 항공운항학과 교수 등 항공 전문가를 대상으로 개별심층면담(IDI, in depth interview)과 포커스 그룹 토론(FGD, focus group discussion)을 통해 제기된 안전에 대하여 관계 문헌과 연구서를 토대로 문제점 분석과 개선방안을 도출하였다.

II. 도심항공교통 전망과 이슈

2.1 도심항공교통(UAM) 전망

1903년 라이트형제는 FLYER 1호기에 12마력 가솔린 엔진을 장착하고 3축 운동의 원리(특허번호 US8211393A)를 적용한 비행 제어로 최초의 동력 비행을 성공시켰다. 이후 전개되는 항공, 우주 비행체의 개발과 발전의 역사 또한 새로운 동력원의 확보로부터 시작되었으며, 비행체에 안정적 제어 기술의 적용으로 완성되었다.

AVIATION의 패러다임이 AIR MOBILITY로 진화해 가고 있는 Fig. 1의 3RD단계와 같이 분산전기동력 추진 시스템의 동력원 확보로 시작된 제3의 항공 혁신은 인공지능에 의한 비행체어로 미래항공 모빌리티(AAM)의 시대를 열고 있다.

FAA는 2022년 5월 9일 eVTOL 인증 절차를 표준감항증명 PART 21.17(a)에서 특별감항증명 21.17(b)로 조정한다고 발표했다. “특별등급”(특수항공기)절차에 따

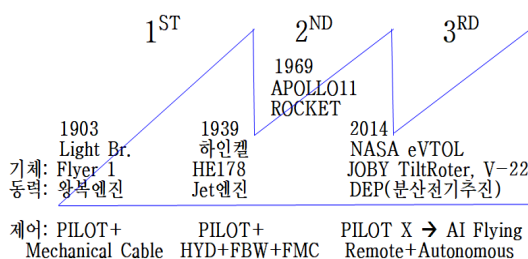


Fig. 1. AVIATION evolve to AIR MOBILITY ¹⁾

라 동력-리프트(powered-lift)형식증명(type certificate)을 발급할 계획이다. eVTOL은 비행기와 헬리콥터가 아닌 새로운 형태의 기체이기 때문에 조종사의 교육과 기체의 안전성을 강화하는 방향으로 규정을 변경하겠다는 계획이다. 2022년 6월 유럽항공안전청(EASA)은 NPA(notice of proposed amendment, 입법예고)에서 UAM 인증을 위한 새로운 항공기 분류기준을 신설하며, 기체 명칭을 VTOL-capable aircraft 즉 3개 이상의 양력발생장치를 갖춘 항공기로 정의했다.

FAA가 새로운 규칙 및 인증 기준을 수립하고 적용하는 데에는 다소 시간이 걸리겠지만, 기술적으로 앞선 미국 eVTOL 산업계와 더불어 과거 소형 드론 시장에서 중국에게 드론산업을 내준 것을 반면교사 삼아 항공산업과 eVTOL 중국주 자리를 지키기 위하여 조속한 인증절차를 수립할 것으로 예상된다.

기체 분야 개발은 Vectored Thrust(tilt-rotor)방식을 채택한 JOBY Aviation이 FAA 형식증명 3단계 심사료 기술적으로 가장 앞서 나가고 있으며, UAM 생태계 조성에도 유리한 위치에 있다. 그러나 Table 1에 서와 같이 2023년 후반이 들어와서는 AAM 실현 지수에서 기술 개발 난이도가 상대적으로 쉬운 Multi-copter, Lift & Cruise 방식을 채택한 Velocopter와 Ehang의 약진이 두드러진다. 파워트레인 분야 개발은 배터리 적용이 제일 많으나, 효율을 높인 전고체 배터리 개발과 적용이 시급하다. 장점이 많은 하이브리드는 배터리와 터보샤프트 발전기를 겸한 방식으로 추운 지역과 중거리 이상에서 이점이 많고 수소 연료전지를 겸한 하이브리드 방식도 효율성은 좋으나 상용화는 늦어지고 있다.

국내 UAM 관련 기술 수준은 Table 2와 같이 최고기술국 대비 약 2~3년의 격차를 보여주고 있다. 기체·부

1) HYD(Hydraulic), FBW(Fly By Wire), FMC(Flight Management Computer), Autonomous(자율).

Table 1. ARI (AAM reality index) update ²⁾

OEM (stock ticker)	ARI	Funding(\$M)	Use case	Vehicle type	Operation	Vehicle	EIS**
Volocopter (Germany)	8.3 ↑	\$761.0	Air taxi	Multicopter Lift + Cruise	Piloted	VoloCity VoloRegion	2024 2026
Ehang(China)	8.0 ↑	\$160.4	Tourism, EMS* firefighting	Multicopter Lift + Cruise	Autonomous	EH216-S VT-30	2023-
Joby Aviation (USA)	8.0 ↓	\$2,251.3	Air taxi	Vectored thrust	Piloted	S4	2025
Beta Technologies (USA)	8.0 ↓	\$796.0	Cargo, regional air taxi	Conventional Lift + Cruise	Piloted	CX300 Alia-250	2025 2026
Archer(USA)	7.9 ↓	\$1,096.3	Air taxi	Vectored thrust	Piloted	Midnight	2025

Source : SMG Consulting, Nov. 2023.

Table 2. Domestic UAM technology level and gap compared to top technology countries

부문별 평균 (%)	주요 분야	기술수준 (%)	격차(년) USA
기체 · 부품 (67.2)	기체구조	66	-3.0
	동력 · 추진시스템	81	-1.4
	기계 · 전기전자시스템	63.5	-2.8
	인증 · 시험평가	65	-2.5
항행 · 교통 관리 (62.1)	UAM통합교통관리	59.2	-3.6
	UAMCNSi	64.9	-3.1
인프라 (79.3)	버티포트구축 및 운용시스템	74	-2.2
핵심기술 (63.3)	자율비행	64.7	-1.8
	기체소음진동저감	58.9	-2.6

Source : K-UAM Technology Road Map.
(Table IV-19, Fig IV-15) p176.

품은 평균 67%, 동력 · 추진시스템은 약 81% 수준이고, 자율비행 기술은 선도국 대 약 65% 수준에 머물고 있다.

2.2 도심항공교통 정책방향과 이슈분석

2~3년 후발 주자로서의 약점을 극복하고자 국토교통부를 중심으로 산 · 학 · 연이 다양한 UAM 팀을 구성하여 각종 정책과 로드맵을 마련하고, 실행 준비에 만전을 다하고 있으나, 운용 정책과 기술 로드맵에서 발견되는 몇 가지 사항들은 기술적 성숙도와 국제적 항공기관인 FAA(Federal Aviation Administration),

NASA(National Aeronautics and Space Administration), EASA(European Aviation Safety Agency), ICAO(International Civil Aviation Organization) 정책과 규정의 제도적 정비가 완비되기 전에 앞선 로드맵을 제시하고 있다. 그중에 먼저 살펴볼 내용은 UAM 항공기가 성숙기의 무인 항공 교통관제시스템(UATM)으로 넘어가기 전에 안전을 책임지는 기장의 위치와 역할이다.

원격조종사(기장)의 도입 시기와 운용방침은 FAA와 NASA가 제시하는 방향과 상이하며, 아직 개념 정리가 구체적으로 안 되어 있다. 기술적 측면에서 Fast Follow Up 전략은 좋은 생각이나, 항공 교통 안전 측면에서는 국제적 기준에 맞춰 충분한 안전 검토가 이루어진 상태에서 상업적 운용에 적용해야 할 것이다. 본 연구에서는 UAM 운영 매뉴얼 등 체계를 조종사들과 브레인스토밍으로 분석하여, 다음과 같은 문제점과 이슈를 분석하였다.

2.2.1 K-UAM 운용개념서 1.0

K-UAM 단계별 운용 시나리오에서는 Table 3과 같이 성장기인 2030년부터 원격조종시스템과 원격조종사(기장)를 도입하고, 원격조종 기능 미지원시에 한하여 조종사(기장) 탑승을 계획하고 있다.

Table 3. K-UAM operating step scenario

항목	초기(2025년~)	성장기(2030년~)	성숙기(2035년~)
기장운용	On Board	Remote 도입	Autonomous 도입

2) *EMS(Emergency Medical Services),

**EIS(Entry Into Service)

Table 4. K-UAM technology road map

항목	초기(2025년~)	성장기(2030년~)	성숙기(2035년~)
가장운용	On Board (조종사 탑승)	Off Board (원격조종)	Autonomous (자율비행)

또한 한국형 도심항공교통(KUAM) 기술로드맵 Table 4에서는 좀 더 명확히 조종사를 대신하여 원격조종을 실시할 계획임을 밝히고 있다. 이를 바탕으로 한국전자기술연구원에서 연구를 작성하여 밝힌 정책 제언에는 UAM 자율비행 및 자동화/효율화 관련 주요 기술로서 “완전자율비행 구현 전까지 파일럿 탑승 혹은 원격 비행 제어가 필수적이며, 이를 위해 수동/반자동 조종 상황에서의 증강 합성영상 기술 필요”라고(KETI Issue Report 2022. 12) 되어 있다.

이 말에는 UAM 원격조종 비행 중에 수동/반자동 시계비행을 실시하겠다는 의미가 포함되어 있다.

2.2.2 FAA UAM ConOps v 1.0

그러나 K-UAM 참고 번역 원본인 FAA UAM ConOps v 1.0에서는 K-UAM 성장기에 해당하는 ConOps 1.0 Operations 단계에 대하여 Chapter 3. Evolution of UAM Operation에서 다음과 같이 PIC(pilot in command, 지휘기장) onboard(탑승)을 명확하게 제시하고 있으며, 자동화 진행에 따른 기장의 임무와 위치이동을 대략적으로 밝히고 있다.

1. Initial UAM Operations : onboard
2. ConOps 1.0 Operations : onboard
3. Mature State Operations : Remote

〈Location of the PIC〉 the physical location of the PIC. UAM operations will evolve from a PIC onboard the UAM aircraft to remote UAM PICs.

성장기 단계에서 K-UAM과 FAA UAM의 차이는 Remote or Pilot과 Pilot and Remote로 분명하게 구분된다. 현재 국내 자율비행 기술이 선도국 대비 약 65% 수준임에도 불구하고, 대한민국 UAM 관계자들은 자동화에 대한 자신감으로 승객 안전에 대한 고려보다 원격조종시스템과 원격조종사(기장)의 조기 도입을 서두르고 있다. 실제 비행 운영에서는 첨단항공기라 할지라도 항공기가 이착륙하는 공항의 저시정 기상을 제외

하고는 운용범위에서 Auto Limitation보다 조종사가 운용할 수 있는 Limitation의 범위가 훨씬 넓다. 자동화에 대한 과도한 기대는 경계하여야 한다. 그리고 FAA UAM ConOps V1.0에서는 PILOT 개입 정도에 따른 UAM 자동화 단계를 Fig. 2에 다음과 같이 분류해 놓고 있다.

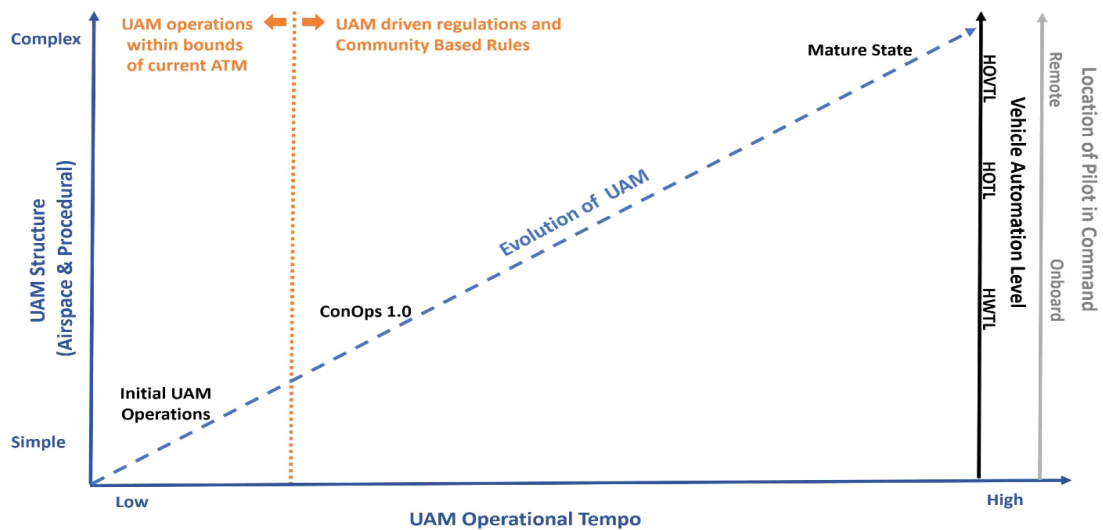
〈Evolution of the Aircraft automation level〉

1. Human Within the Loop (HWTL) ³⁾
조종사가 onboard한 상태에서 Automation system을 직접 조작한다.
2. Human on the Loop (HOTL)
조종사가 onboard한 상태에서 Automation system 작동을 감독하고, 필요시 적극적으로 개입할 수 있도록 시스템을 감시한다.
3. Human Over the Loop (HOVTL)
조종사가 offboard 즉 Remote한 상태에서 수동적으로 system을 감시하다가 Automation system이 조종사 관여가 필요하다고 정보를 주면 개입하게 한다. 조종사는 Automation system이 회복할 수 없는 예외 상황과 적극적 운용 필요시에 개입한다.

2.2.3 FAA UAM ConOps v 2.0 개정

2023년 4월 개정된 FAA UAM ConOps V2.0에서 PIC(pilot in command, 지휘기장)의 임무와 위치이동을 살펴보면 operation 단계별 조종사의 임무와 역할은 변동이 없으나, 성장기에는 조종사 탑승상태에서 전담 RPIC (one remote PIC) 시범 운용을 실시해본 후 성숙기에 들어와 UAM 자동화 기술의 발전에 맞추어 단계적으로 RPICs(remote PICs)/remote operators로 확대 적용시키겠다는 개념을 설명하고 있다.

1. Initial UAM Operations : onboard
 2. Midterm Operations :
Primarily onboard aircraft but complemented by the introduction of RPIC operations (with one RPIC per operation)
 3. Mature State Operations :
Remote piloting is more widely available and as frequent as PIC operations.
- 3) HITL(Human in the Loop) : AI 시스템과 비행체 안의 인간이 소통 피드백하여 운용하는 개념의 적용.



Source: FAA UAM ConOps v1.0

Fig. 2. Evolution of the UAM operational environment

〈Location of the PIC〉 The physical location of the PIC. UAM operations may evolve from a PIC onboard the UAM aircraft to RPICs / remote operators via the advent of additional aircraft automation technologies.

K-UAM 1.0 단계별 운용 개념에서는 성장기 운용에 Remote or Pilot으로만 언급되어 있으므로 추후 K-UAM 2.0 개정 시에는 완전한 자율 비행으로 넘어가기 전까지 Pilot & Remote 운용에 대한 개념 확립과 설명이 필요하다. 이러한 개념이 정립되어야 UAM 자율 운행을 위한 공역 운영 체계와 방식이 제대로 설계될 수 있다.

2.2.4 NASA, UAM 자동화 진행에 따른 조종사의 위치와 역할 변화

NASA 연구 자료 “Public Trust and Acceptance for Remotely Operated Urban Air Mobility Transportation”에서는 〈Level of PIC Distance〉를 다음과 같이 설명하고 있다. Level 단계가 높아질수록 조종사를 대신할 Automation Level이 증가하여 조종사의 항공기 조작이 줄어들고, 결국 조종사는 공간적으로 항공기로부터 분리되게 된다. 즉, Pilot은 Operator 개념으로 바뀌어 가고, 나중에는 System Manager로 변한다. 이것이 UAM 개발과 자동화 진행 과정에서 조

종사가 수행하는 역할의 변화이다.

- Level 1 - Onboard Pilot
- Level 2 - Remote Control Pilot
- Level 3 - Dedicated Remote Operator
- Level 4 - Remote Operator
- Level 5 - System Manager

2.2.5 EASA, AI 신뢰도 발전 단계

EASA는 Aviation에서 Air Mobility로 발전시켜 가기 위한 주 개념과 기준 자체를 AI에 두고 어떻게 Aviation에 접목시켜 Human과 협업하여 안전한 비행제어를 할 수 있는가에 중점을 두었다. 그래서 Artificial Intelligence Roadmap을 발행하며, 소제목을 ‘Human-centric approach to AI in aviation’이라고 붙였다. 그리고 2019년 EASA AI/ML(machine learning) 프로그램을 시작하며, AI roadmap을 설정하고 Table 5와 같이 AI의 Aviation 적용을 3단계로 분류했다.

- Level 1 Human(Pilot)을 도와 인지력을 증대시켜 판단과 행동을 향상시킨다.
- Level 2 Human과 팀을 이뤄 협력과 협업한다.
- Level 3 AI 중심의 판단과 행동을 하다가 필요시 Human이 개입하고, 이후에 Human Error가 발생하면 안전을 위해 AI가 우선한다.

Table 5. Classification of AI application EASA

Level 1 AI assistance to human	1A : Human augmentation
	1B : Human cognitive assistance in decisionmaking and action selection
Level 2 AI human-AI teaming	2A : Human and AI-based system cooperation
	2B : Human and AI-based system collaboration
Level 3 AI advanced automation	3A : The AI-based system performs decisions and actions that are overridable by the human.
	3B : The AI-based system performs non-overridable decisions and actions (e.g. to support safety upon loss of human oversight).

Source: Artificial Intelligence Roadmap v2.0.

Human & AI의 신뢰도 발전을 통하여 자율비행을 완성시키기 위해서는 운항 환경인 저고도 공역의 다양한 변수들을 고려해야 한다. 그러므로 Aviation AI 프로그램 개발 시에는 많은 첨단 항공기 Automation 시스템을 참조하고, 다양한 환경에서 운용 경험이 많은 에어라인 조종사와 회선의 조종사의 경험을 참고해야 한다.

최근 잦은 사고를 일으킨 전기차 테슬라의 대량 리콜 원인이 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS) 오토파일럿 결함인 것처럼 최첨단 항공기들의 결함 발생 주요 원인 중 하나도 각종 센서 신호 오류와 복잡해진 시스템 통합 소프트웨어 체계의 오류이다. 그러므로 향후 Remote와 AI 자율비행 관련 UAM 사고를 줄이기 위해서라도 유인 Aviation에서 조종사를 배제한 자율 AI Mobility로의 전환을 더욱 신중히 해야 한다.

2.2.6 UAM 안전을 위한 조종사 역할

전 세계 주요 eVTOL 제조사 비행방식을 살펴봐도 조종, 조종/자율, 자율만 있지 상용화 단계 중에 원격조종을 위주로 운용하겠다는 eVTOL 제조사는 안 보인다.

Remote Control을 주로 사용하는 일반드론은 GPS와 연동하여 화물, 측량, 촬영, 농사 등 다양한 분야에서 특화되어 있지만, 자율비행의 안전성이 검증되기까지는 확장된 개념으로서 유인 모빌리티로의 적용은 적합하지 않다. 또한 Remote Control을 사용하는 군용무인기에서 지상관제 컨트롤을 통하여 장거리 다양한 군사적 임무 수행이 가능한 것은 작전 성공을 위해 시간과 장소를 비밀로 하고 코드화된 전파와 강화

되고 암호화된 군사위성 GPS를 이용하기 때문에 무인기 Remote Control이 가능한 것이다.

UAM 성장기에 Automation System의 신뢰성과 안전성이 충분히 검증되지 않은 상태로 조종사를 기내에서 배제한 상태의 성급한 원격조종시스템과 원격조종사 도입은 사고의 위험성을 높일 수 있다. 승객과 비행안전을 책임지는 조종사는 국제적 UAM 비행규정과 충분한 기술적 안전성이 확보되어 자율비행으로 넘어가기 전까지는 반드시 기내에 탑승하여 Automation system 정상 작동을 감독하고, 필요시 적극적으로 개입할 수 있도록 시스템을 감시해야 한다.

2.2.7 K-UAM 기술로드맵 검토

K-UAM 기술로드맵 Fig II-7에서는 안전부분 핵심 기술 요소로서 Table 6의 파일럿사출시스템과 탄도회복패러슈트를 제시하고 있다. 파일럿사출시스템은 전투기 개발 핵심기술 요소이지 UAM과는 상관이 없다. 그리고 기술로드맵 여러 곳에서 승객 운항 안전성 확보 기술로 UAM 비상 낙하산 시스템을 언급하고 있다. 그러나 해외에서 개발된 Airframe Parachute는 현재까지 일부 고정익 형식의 경항공기 위주로 사용 가능하다. 다수의 Rotor로 작동되는 UAM에서 로켓사출시스템과 Parachute는 무게만 증가시키는 안전 저해 요소가 될 수 있다.

저고도 도심의 다양한 비행 단계에서 UAM 동력 상 실시 비상 낙하산을 상부로 펼치기 위해서는 로켓폭약 위험, 유효고도, 전진속도, 주변 장애물의 영향, 기상 등을 고려해야 된다. 기술적 실현 가능성과는 별도로 장착 운용시 득보다 실이 더 많을 수 있다.

버티포트의 설계에서는 다수의 Rotor를 장착한 eVTOL 항공기가 고정익보다 돌풍에 취약한 항공역학적 특성이 있으므로 주변 기류에 대한 연구를 미리 진행하여 이륙 및 접근 착륙 단계에서 갑작스런 돌풍의

Table 6. Core technology elements related to UAM manufacturing and operating system

제어 안전	파일럿사출시스템, 탄도회복패러슈트 등 (Ballistic Recovery Parachute) ⁴⁾
-------	---

Source: K-UAM Technology Road Map Fig II-7.

4) Rocket-launched parachute system: Light aircraft Cirrus SR20, SF50 장착사용, 드론 일부 사용 중이나 헬리콥터, UAM은 가능성 테스트 수준.

조우에 대비하여야 한다. 또한 돌풍에 갑자기 휘말려 고도가 떨어지게 되면 배터리 기반 파워트레인 특성상 잉여마력이 부족할 수 있다. 이를 대비해 긴급한 파워증강시 동력계통과 필수계기를 제외한 분산 전기를 차단시켜 자세 회복을 위한 동력계통으로 전원을 몰아줄 수 있도록 파워트레인 시스템 연구시 고려하여야 한다.

III. UAM 개발 및 운영 개선방안

3.1 국내 민간 항공기 개발 교훈

그동안 국내에서 경비행기 개발과 상용화를 위한 여러 시도가 있었지만, 기술적 문제와 경제성 문제로 상용화에는 대부분 실패하였다. 또한 2004년 한국항공우주연구원이 주축이 되어 개발한 전진익형의 보라호가 한국항공대 시험비행 도중 기체 결함으로 발생한 추락 사망사고는 경비행기의 민간개발 의지를 약화시키는 결과를 초래했다. 그 후 정부 차원에서 국내의 형식/제작/감항인증 획득 목표와 한국과 미국 정부 간항공안전협정(BASA, Bilateral Aviation Safety Agreement)을 소형항공기급으로 확대하기 위해 시범 인증용 항공기 개발사업으로 제작된 항공기가 국내 유일 형식인증 취득 비행기 KC-100 이다. 2023년 FAA 형식인증까지 취득했으나, 비싼 개발비와 높은 생산단가로 동급 외국 제조 경비행기에 비해 경제성과 부품 호환성이 떨어져 현재 KT-100으로 개조하여 공군 기본 훈련기 용도 위주로 사용하고 있다.

3.2 전동수직이착륙(eVTOL) 항공기 개발과 인증의 딜레마

항공기가 설계부터 비행이 이루어질 때까지 거쳐야 하는 안전 증명제도는 형식증명(type certification, TC), 제작증명(production certification, PC), 감항증명(airworthiness certification, AC), 운항증명(air operator certification, AOC), 운영기준(operation specification, OPSPEC)이 있다. 그중 최대 난제는 형식증명이다. 이유는 Table 7과 같이 국내 개발 시도 항공기 중에 한 건의 형식증명 절차만 성공적으로 통과시켜 보았기 때문이다.

한국에서 경비행기 포함 민수용 항공기의 엔진과 프로펠러는 Table 8의 인증현황과 같이 99% 수입해

Table 7. Status of type certificate Korea Civil Aviation

순번	형식/모델	감항분류	신청자
1	KC-100	보통(N) 비행기	한국항공우주산업(주)
신청일	상태	증명서번호	교부일
2009-09-30	인증완료	TCA201301	2013-03-28

Table 8. Status of type certificates validation import

Airplane	Rotorcraft	Engine	Propeller	합계
123	31	205	29	408

Source: 2023 Data of aircraft certification system in KIAST(Korea Institute of Aviation Safety Technology).

가 쓴다. 이런 불균형적인 구조적 차이가 발생한 원인은 항공기 설계에 대한 기본 데이터와 부품산업이 활성화 되어 있지 않고, 관련 인력이 축적되어 있지 않기 때문이다. 그리고 관련 인력 활용도도 각자의 전문 분야로만 치우쳐 있어 효율적, 경제적 기체 개발을 위한 시너지 효과가 없어 보인다. 대한민국 상항처럼 비행체 설계 및 개발 시 항공공학과와 엔지니어가 조종 및 정비영역을 경험해 보기 힘든 상황에서는 개발 초기부터 조종, 정비, 시스템 관련 전문가 등을 참여시켜 많은 현장 운용 경험과 참신한 아이디어를 반영시켜야 Lift & Cruise 방식의 Beta Technologies ALIA-250 같은 효율적, 경제적 UAM 기체 개발에 성공할 수 있다.

현재 UAM 관련 국내 제조 참여사 대부분은 FAA 우회 인증 후에 국내 인증시키겠다는 전략을 취하고 있다. 국제 소형기 시장에서 경비행기와 eVTOL 경쟁력을 갖추기 위해서는 한·미 BASA 협정 확대와 개발 관련 인증 절차의 보완과 시험비행 관련 특별감항증명 절차의 개선 및 체계화가 요구된다.

3.3 한국형 군 Agility Prime의 필요성

2020년 4월 미 공군은 NASA, 미 연방항공청(FAA), 미 교통부(DOD)와 협력하여 Agility Prime(민첩성 준비) 프로그램을 개시하였다. 소형드론시장에서 중국에게 빼앗긴 주도권을 차세대 항공 eVTOL 사업에서는 군민 양용 기술(Dual-Use Technology)로 민간 AAM 업체를 지원하며, 앞서 나가겠다는 전략이다. 이를 통해 앞서나가는 대표적인 UAM 업체가 JOBY와 Beta Tech-

Table 9. Status of Korea military aircraft

항공기 보유	공군	육군	해군	해병대
고정익 : 802	781	-	21	-
회전익 : 717	49	607	46	15

Source: The International Institute for Strategic Studies, The Military Balance 2023.

nologies 이다. 또한 미 국방부는 통합 다목적 미래형 수직이착륙기(joint multi-role/future vertical lift, JMR/FVL) 계획을 통해 기존 헬리콥터를 대체하면서 VTOL 수송기까지 확대시키기 위하여 생존성과 항공작전 능력을 높인 차세대 수직이착륙기를 개발하고 있다.

한국은 국토교통부 중심의 UAM 정책을 앞으로 민간 주도형으로 전환하겠다는 전략을 취하고 있다. 그러나 미국의 사례와 같이 민·관·군이 더욱 협력하여야 한다. 그리고 현재 국방부와 MOU 차원으로 맺고 있는 협력을 더욱 확대하여 Table 9의 표와 같이 군 보유 700여 대인 회전익 군용기의 탑재 능력을 UAM 개발에 적극 활용해야 한다. UAM의 비행특성과 운용방식은 동력기관을 제외하고는 유사점이 많으므로 차용하여 연구할 수 있는 이점이 많이 있다. 차세대 대한민국 군 항공작전 능력 향상을 위해서라도 미 공군 Agility Prime(민첩성 준비) 프로그램과 미 국방부의 다목적 미래형 수직이착륙기(JMR/FVL) 계획과 보조를 맞추어 필요가 있다.

영국 국제전략문제연구소(IISS)는 ‘밀리터리 밸런스 2021’에서 대한민국 육군항공작전사령부를 헬기 500여 대 이상으로 전 세계 171개국 중에 세계 4위의 회전익 항공 전력으로 평가하였다. 그러므로 막강한 육군항공을 중심으로 회전익 기반 여러 군 비행대대의 우수한 군 항공 인재들을 활용하여 UAM, RAM, AAM 연구, 개발, 시험 사업에 적극적으로 동참하여야 한다. 그리고 국방 기술을 이용하여 군을 창엽의 요람으로 만든 이스라엘의 시스템을 참고해 볼 필요가 있다. 또한 UAM 개발업체, 대학 및 전문 연구기관과 협업하여 민간에서 실험하기 어려운 회전익 관련 연구 데이터를 공유하여야 한다.

그러기 위해서는 접근성이 떨어 연구 및 시험비행 참여 효율성이 떨어지는 고흥의 국가종합비행시험장과는 별도로 국방과학연구소와도 가까운 세종시 주변 육군 항공부대를 적극 활용할 필요가 있다. 또한 많은 반대 목소리에도 불구하고, 군 전투기 개발에서 KT-1,

T-50(FA-50) 개발 경력만으로 4.5세대급 전투기 KF-21을 성공단계에 이르게 한 노하우를 되새겨 보아야 한다. 주된 성공 요인은 개발 의지에 더해 공군 전투기 조종사들의 많은 비행 데이터를 기반으로 한 연구 결과가 뒷받침된 것이다.

3.4 도심항공교통 통합정책의 필요성

도심항공교통은 통합 모빌리티 서비스(MaaS)의 일부로 지상과 하늘을 공유하여 신속한 이동 수단의 역할을 할 예정이지만, 비행체와 운항 구역 그리고 운항 체계 및 운항 시설과 종사자들의 역할은 주로 항공의 영역과 범주 안에서 이루어지게 된다. 현재 국토교통부 내에서 도심항공교통 정책 및 추진을 위한 총괄 부서는 Table 10과 같이 모빌리티 자동차국 소속의 도심항공교통 정책과에서 담당하고 있다.

도심교통과 항공교통의 첨단산업 융합이라는 차원에서 다방면의 전문가와 연구자 그리고 여러 사업체의 참여는 UAM 개발 성과와 경제성 실현을 위하여 매우 긍정적으로 평가할 수 있으나, 안전성(safety) 및 감항성(airworthiness) 측면에서는 고려해 볼 요소가 있다. 항공업계에는 그동안 많은 사고를 통해 얻어낸 항공종사자(airman)의 항공철학인 항공안전(air safety)과 감항성(airworthiness)의 가치가 있다. 자율비행(autonomous flying)의 시대가 도래하더라도 이 가치는 UAM AI의 프로그램 속에 녹아 들어가 있을 것이다.

차후 UAM 사업이 일관성과 안전성 그리고 전문성을 이루기 위해서는 항공정책실 중심의 도심항공교통 통합정책이 요구된다. 또한 드론 관련 업무 위주의 첨단항공과를 확대 보완하여 ‘첨단항공과’라는 명칭과 같이 드론뿐만 아니라, UAM, RAM, AAM 관련하여 Remote(원격)와 Autonomous(자율) 비행 그리고 연관된 기술 검토 및 자료를 축적하여 차세대 항공 안전 관리 측면의 기술적, 정책적 준비를 해야 한다.

Table 10. UAM-related MOLIT organization

모빌리티 자동차국	항공정책실
모빌리티총괄과	항공정책관
자동차정책과	(첨단항공과)
자율주행정책과	항공안전정책관
(도심항공교통정책과)	(항공기술과)

Source: 2023 MOLIT organization chart.

3.5 UAM 기대치와 안전 대책 수립

현재 한국형 도심항공교통 로드맵을 위시하여 국내 UAM 관련 연구서와 예측 보고서들은 너무 앞선 장밋빛 전망에 기울어 있다. 항공 전문가들의 객관적 진단으로는 더 많은 개발 시간과 비용 및 초기 운용비를 예상하고 있다. 제조사 투자 비용 증가와 인프라 구축 비용을 고려하면 기체 가격과 운용비용은 경비행기와 헬기 중간 가격에서 결정될 것이다. 실제 운용단계에서는 기상과 안전 제약 등으로 인한 비용이 추가될 확률이 높다.

초창기 동력 항공 여객기에 라이트형제 동시대 항공인으로 조종 가능한 글라이더를 처음 개발한 오토 릴리엔탈의 추락 사고를 비롯해 새로운 비행체 개발 초기에는 많은 사고가 있었다. UAM 운영 초기부터 사고 위험과 가능성에 대한 기술적, 사회적 대비가 필요하다. 항공사들의 예와 같이 SMS(safety management system)등 안전에 대한 대비와 투자는 사고율을 감소시켜 결과적으로 운영비용 절감 효과를 이루게 된다.

도심에서의 추락 사고로 인한 인적, 물적 1, 2차 피해는 경제성 대비 효용성의 가치를 제기하는 여러 이슈를 유발할 것이다. UAM 사업이 RAM 운용을 거쳐 AAM 시대로 성공적인 진입을 하기 위해서는 장기적인 안목으로 UAM 안전 문제와 사고 후속 대처를 어떻게 풀어나갈 것인가에 대한 정책적 준비가 요구된다.

IV. 결 론

21세기 새롭게 태동하는 혁신적 개념인 도심항공교통(UAM)의 개발과 진행을 살펴보면서 대한민국 항공 산업을 되돌아보면 운송분야의 빠른 발전에 비해 그동안 민간용 항공기의 개발, 인증, 제조 그리고 General Aviation 분야는 상대적으로 발전이 정체된 상태였다.

그러나 UAM 분야에서는 앞선 정책자들의 비전과 관계자들의 헌신적 노력으로 세계적 미래 항공교통(AAM) 흐름에 맞춰 상당한 준비와 연구가 진행되고 있다. 이제는 정책적 검토와 수립단계를 지나 대한민국 미래 첨단 기술과 산업 경쟁력 강화를 위한 국가적 Project를 성공적으로 이루기 위해서는 일선 연구개발자와 시스템 엔지니어, 현장기술자, 시험비행 조종사 그리고 항공 실무공무원 등 실질적 개발자들의 창의성 있는 참여가 요구되는 시기인 것 같다.

잘못된 정책안이나 로드맵은 연구의 방향을 잘못 설정하게 만들어 연구 인력과 자금의 손실 그리고 개발

일정의 지연을 초래하게 만든다. 다시 한번 그동안 설계하고 진행했던 UAM의 정책과 방향이 FAA, NASA, EASA, ICAO의 정책 방향과 앞으로 수립해야 할 국제적 인증 절차 기준에 맞는 방향인지 안전을 최우선시하여 조종사를 포함한 각 분야 전문가들이 검토 보완해서 귀중한 시간과 자원의 낭비가 없도록 해야겠다.

본 연구는 아직 개발 중인 차세대 비행체 운영방안에 대한 항공정책 제안이므로 객관적 구체적 방안을 제시하기에는 한계가 있다. 그러나 유인 Aviation에서 자율 Air Mobility로 AI 기술의 점진적 발전에 따라 운항 안전을 책임지는 조종사의 역할 전환에 대한 개념은 UAM 공역 체계와 교통량 설계와 연관되어 있으므로 FAA UAM 운용 개념서와 NASA, EASA를 비롯한 해외 연구과제에서 중요하게 다루고 있다. 차후 개편할 K-UAM 운용 개념서에 반영되기를 바라며, 향후 관련된 연구가 심도 있게 다루어지기를 바란다. 그리고 국가 경쟁력 향상을 위하여 가용한 국가 자원인 군 회전의 비행대대의 적극적인 UAM, RAM, AAM 연구와 시험비행 참여로 안전하고 경제성 있는 미래항공 모빌리티(AAM)의 시대가 앞당겨지기를 바란다.

References

1. UAM Team Korea, "K-UAM Concept of operations 1.0", MOLIT, Sejong, 2021, pp.14-16.
2. Korea Aerospace Industries Association · National Research Foundation of Korea, "K-UAM Technology road map", KAIA · NRF, Daejeon, 2021, pp.40,114,155,176,233,273-288.
3. Korea Electronics Technology Institute, "Proposal of policy for K-UAM industry development: KETI Issue report", KETI, Seongnam, 2022, pp.22,39,44.
4. FAA, "UAM Concept of operations V1.0", Office of NextGen, Washington DC, 2020, pp.7-10.
5. FAA, "UAM Concept of operations V2.0", Office of NextGen, Washington DC, 2023, pp.6-10.
6. Chancey, E. T., and Politowicz, M. S., "Public trust and acceptance for remotely operated urban air mobility transportation", NASA, Langley Research Center, Hampton, VA, 2020, pp.1.

7. EASA, "Artificial intelligence roadmap v2.0", EASA, Cologne Germany, 2023, pp.6,18.
8. Park, J. E., Lee, D. J., and Lee, M. J., "A study on the FAA special airworthiness certificate for experimental purpose of R&D", The Society for Aerospace System Engineering, Spring Conference, 2023, pp.1-3.
9. The International Institute for Strategic Studies, "The military balance 2023", Routledge, London, 2023, pp.265-268.
10. Panesar, K., Mathur, A., Atkins, E., and Sarter, N., "Moving from piloted to autonomous operation", HFES 65th International Annual Meeting, University of Michigan, 2021, pp.241-245.
11. Choi, J. H., and Park S. Y., "A study on the selection of UAM pilots and establishment of training", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 30(3), 2022, pp.132-139.
12. Ahn, B. S., and Hwang, H. Y., "Design requirement analysis and configuration proposal of a vertiport for domestic application of the UAM", Journal of Advanced Navigation Technology, 25(1), 2021, pp.40-50.
13. Lim, D. J., and Yee, K. J., "A study on the certification system for eVTOL aircraft", Journal of Aerospace System Engineering, 15(3), 2021, pp.20-29.
14. Choi, J. H., and Choi, Y. M., "Prerequisites urban air traffic & personal air vehicle", Journal of the Korea Convergence Society, 11(12), 2020, pp.147-153.
15. Baek, U. R., Lee, E. H., Kim, J. H., and Lee, K. C., "A study on the risk-based model for validation of civil aircraft", Journal of Aerospace System Engineering, 12(4), 2018, pp.1-8.