

UAM Fleet Operator 운항 관리 및 통제 절차개념 수립 연구

Establishing Operational Management and Control Procedures for UAM Fleet Operators

김정민¹ · 이재균¹ · 허우원² · 송교원^{2*} · 윤영호³ · 차용환³

¹국민대학교 자동차공학전문대학원, ²국민대학교 미래모빌리티학과, ³대한항공 항공기술연구원

Jeongmin Kim¹ · Jaekyun Lee¹ · Uwon Huh² · Kyowon Song^{2*} · Youngho Yoon³ · Yonghwan Cha³

¹Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707 Korea

²Department of Future Mobility, Kookmin University, Seoul 02707 Korea

³R&D Center, Korean Air, Daejeon 34054, Korea

[요 약]

최근 보다 혁신적인 모빌리티 산업의 패러다임을 변화시키기 위해 도심항공교통 (UAM; urban air mobility) 도입에 관한 논의가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 한국형 UAM의 성공을 위해 공역, 버티포트, 항법, 통신 등과 관련된 연구는 관련 연구기관 주도하에 활발히 이루어지고 있으나, UAM 운항사의 운항 관리 개념 정립, 통제절차 개념 수립 등에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. UAM의 상용화를 위해서는 복수의 UAM 운항사의 개별 시스템 개발의 기준이 될 수 있는 표준화된 운항 관리 개념 정립이 필요한 시점이다. 이에 본 논문에서는 UAM 특별법 미적용 사항을 살펴본 후 이로부터 운항사가 준비해야 할 사항과 기존 민항기 및 회전익 항공기의 관련 규정에 대해서 분석하고, 국내 저밀도 운항 관리 및 통제절차 개념 수립을 위한 적합한 방안을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 초기 저밀도 환경에서의 UAM 운항 관리 및 통제절차 개념 수립 방안을 착안하여 추후 시범 운영 및 UAM 대중화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

[Abstract]

Global discussions are actively underway regarding the introduction of urban air mobility (UAM) to revolutionize the paradigm in the innovative mobility industry. While research related to airspace, vertiports, navigation, and communication pertinent to Korean UAM is actively pursued by relevant research institutions, there is a significant dearth in studies focusing on establishing concepts for operational management by UAM operators and formulating control procedures. The commercialization of UAM necessitates the establishment of standardized operational management concepts, pivotal as benchmarks for the individual system development among multiple UAM operators. This paper analyzes UAM exceptional law, operational readiness, existing regulations pertaining to commercial and rotary-wing aircraft, and proposes suitable approaches to formulate domestic low-density operational management and control procedures. By presenting strategies for conceptualizing operational management and control procedures in the initial low-density environment for UAM, this paper aspires to contribute to future trail operations and the wider adoption of UAM.

Key word : Advanced air mobility, Fleet operator, Operational control, Operational management, Urban air mobility.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.6.716>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 15 November 2023; **Revised** 5 December 2023

Accepted (Publication) 21 December 2023 (29 December 2023)

***Corresponding Author; Kyowon song**

Tel: +82-02-910-6696

E-mail: kyowon@kookmin.ac.kr

I. 서론

UN의 'World Urbanization Prospects' 보고서에 따르면 전 세계적으로 도시화가 빠르게 진행되고 있다. 2018년 현재 기준 전 세계 인구의 약 55%가 도시지역에 거주하고 있으며, 2050년 전 세계 도시화율은 68%에 이를 것으로 예측된다 [1]. 이러한 도시집중화 현상은 교통, 소음, 공해, 인프라 부족 등 다양한 도시 문제를 유발하고 있으며, 특히 뉴욕, 런던, 도쿄, 서울 등과 같은 대도시 권역에서는 극심한 교통 체증으로 인해 막대한 사회, 경제적 손실이 발생하는 등 주요한 사회 문제로 대두되고 있다 [2]. 최근에는 모빌리티 산업의 패러다임을 변화시키기 위한 혁신적인 시도들이 대두되고 있으며, 기존 2차원에 국한되어 있던 도심 모빌리티를 3차원 공간으로 변화시키기 위한 도심항공교통 (UAM; urban air mobility) 도입에 관한 논의가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다.

UAM을 현실로 만들기 위해 전 세계의 여러 벤처 기업, 항공 제조사, 자동차 회사들이 UAM 항공기 개발에 열을 올리고 있으며, 많은 eVTOL 기체들이 시험 비행에 성공하고 상용화 단계에 진입했다 [3]-[8]. 또한 각 나라 정부는 UAM 관련 규정 및 정책과 관련 시스템을 개발하며 UAM의 상용화를 준비하고 있다. FAA는 2020년 'ConOps v1.0'에 이어 2022년 'ConOps v2.0'을 발표하여 UAM 운영을 위한 초기의 기초적 컨셉들을 제시하였다 [9]. 이 개념을 실현하기 위해 NASA는 2020년 3월 많은 전문가들과 생태계 구축을 위한 AAM (advanced air mobility) 워킹 그룹을 구성하고 기체, 공역 등 세부 추진 사항을 논의하고 있으며 [10], 기존의 항공 교통 체계와 UAM 교통 관리 체계를 통합하기 위한 ATM-X 프로젝트의 1단계를 진행 중에 있다 [11]. 최근에는 'Vertiport Design' 가이드라인을 포함한 'EB No. 105'를 발표하여 UAM 인프라 구축을 위한 기준 수립을 준비 중이며, 관련 법률은 2024년까지 제정 예정이다 [12]. 유럽 또한 UAM 운용을 위한 포괄적인 규제인 'NPA 2022-06'을 발표하는 등 관련 제도의 수립 및 실증 프로그램을 진행하며 UAM의 시행을 준비 중이다 [13].

UAM의 성공적인 시행을 위해서는 eVTOL 기체 개발 및 제도 수립, 인프라 구축도 중요하지만 초기 운영을 위한 UAM 운항사의 역할 수립 역시 중요하다. 국내에서도 대한항공, SKT, 현대자동차 등이 K-UAM 그랜드 챌린지에 UAM 운항사로 참여하고 있다. 특히 SKT는 UAM 운항서비스를 제공하는 것을 메인 비즈니스모델로 공식 발표하였으며 [14], 카카오모빌리티는 배차 및 운행 계획 생성, 운항 경로 관리, 기체 모니터링 등 UAM Fleet 관제 기능 구현을 위한 시스템을 개발 중이다 [15].

그러나 UAM 운용을 위한 공역 체계, 버티포트 설계, 항법, 통신 등과 관련된 연구는 관련 연구기관 주도하에 활발히 이루어지고 있으나 [16], UAM 운항사의 운항 관리 개념 정립, 통제절차 개념 수립 등에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 것이 현실이다. 특히나 기존 민항기 운항에 대한 대부분의

지침과 노하우가 대형 항공사를 중심으로 관리되어 왔기 때문에 이에 대한 검토 자료나 연구에 참고할 만한 자료가 부족한 것이 사실이다. UAM 운항사 자체 시스템의 개발도 중요하지만 UAM의 2025년 상용화를 위해서는 복수의 UAM 운항사의 개별 시스템 개발의 기준이 될 수 있는 표준화된 운항 관리 개념 정립이 필요한 시점이다.

이에 본 논문에서는 기존 민항기 및 회전익 항공기의 관련 규정에 대해서 분석하고, 국내 저밀도 운항 관리 및 통제절차 개념 수립을 위한 적합한 방안을 제시하고자 한다.

II. 국내 규정 및 문헌 검토

2장에서는 UAM 통제 절차 개념 수립을 위해 참고해야 하는 법률 및 기존 문헌 등에 대한 분석 및 시사점을 기술하였다.

2-1 UAM 특별법

도심항공교통의 도입·확산과 도심형 항공기의 안전하고 효율적인 항행을 위한 운항 기반 조성 및 지원 등에 필요한 사항을 규정하는 UAM 특별법(도심항공교통 활용 촉진 및 지원에 관한 법률)이 2023년 10월 국회 본회의를 통과하여 공포되었으며, 2024년 4월 25일 시행 예정이다. 이는 UAM 참여 기업들이 기존의 항공 관련 법안인 항공안전법, 항공보안법, 항공사업법, 공항시설법 등 '항공 4법' 규제에 얽매이지 않고 UAM 관련 신기술과 서비스를 개발·검증할 수 있는 법적 근거를 마련한 규제 특례 입법이다. UAM 실증 사업 및 시범 운용 사업 참여자들은 본 규제 특례를 통해 UAM 관련 신기술과 서비스를 신속하고 자유롭게 개발 및 검증할 수 있다.

하지만 실증 사업 및 시범 운용 단계에서 규제특례에 해당하지 않는 조항들이 여전히 많이 있으며, UAM 운항사로 실증 및 시범 사업을 진행하기 위해서는 규제특례 예외 조항들에 대한 준비가 필요할 것이다. 이를 위하여 특례 적용을 받지 못하는 내용과 이를 위해 운항사가 준비해야 하는 사항들을 아래 표로 제시하였다. 실증사업 단계에서는 항공사업법, 공항시설법, 항공보안법 전체 조항을 적용받지 않게 되고, 항공안전법의 항공기 등록, 형식증명, 감항증명, 항공안전 보고 등 일부 사항에 대해 최소한으로 적용받게 된다. 반면 시범운용 단계에서는 이보다 더 많은 조항들이 규제특례에 해당하지 않는다.

특히 운항사 관점에서는 항공안전법 내 항공종사자 자격증명에 관한 사항을 준수해야 하기 때문에 UAM 운항을 위해서는 조종사, 정비사, 운항관리사 등 관련 종사자의 자격증명이 필요하다. 또한 항공안전법 제90조에 따라 운항 시작 전까지 안전운항체계에 대한 검사를 받아 운항증명을 취득해야 한다. UAM 운항을 위해서는 소형항공운송사업 운항증명을 획득해야 한다.

표 1. UAM 특별법 미적용 사항 및 운항사 준비사항
Table 1. Not applicables of UAM exception law and operational readiness

Authority of pilot in command (Aviation Safety Act Article 62)	Defining the mandatory reporting procedures for pilot in command responsible for operations and flight safety before, during and after flight
Qualifications of pilot in command (Aviation Safety Act Article 63)	Defining the knowledge and skills required for pilot in command of an aircraft
Dispatcher (Aviation Safety Act Article 65)	Defining the responsibilities and authorities of PSU (provider of services for UAM) substituting for dispatcher in traditional aviation operations
Aircraft flight regulations (Aviation Safety Act Article 67)	<ul style="list-style-type: none"> - Rules regarding general procedures for flight aimed at protecting property and lives - Rules regarding visual flight - Rules regarding instrument flying - Rules on the preparation, submission, receipt, and notification of flight plans - Rules regarding other matters necessary for flight safety

또한 항공안전법 제53조 항공기 연료와 관련된 내용도 적용받게 되며 현재의 기준을 초기 시계 비행 단계의 UAM에 적용할 경우, 최초 착륙예정 비행장까지 비행에 필요한 배터리와 추가로 순항속도로 45분간 더 비행할 수 있는 정도의 배터리 용량이 필요하다. 이렇듯 UAM 특별법으로 규제가 완화되었지만, 여전히 기존 항공 관련 법규에 따라 준수해야 하는 사항들이 상당수 존재하며 이를 위한 준비가 필요하다.

2-2 운항기술기준

항공기 운항기술기준은 현재 운항되고 있는 고정익 항공기와 회전익 항공기에 맞추어 설정되었다. 하지만 UAM은 엔진을 사용하는 현재의 항공기와 달리 전동화 파워트레인을 사용하며, 수직으로 이착륙하는 등 새로운 개념의 비행체이다. 따라서 현행 운항기술기준을 UAM에 그대로 적용시키기 다소 어려움이 있다.

항공안전법 제53조와 운항기술기준(연료, 오일탑재 계획 및 불확실 요인의 보정)에서 항공기 운항 시 탑재하여야 하는 연료 기준을 제시하고 있다. 이는 앞에서 기술한 바와 같이 시범 사업 단계에서 적용하지 않는 규제특례에 제외되었다. 하지만 대부분의 UAM은 배터리를 탑재하는데, 배터리 특성상 외기 기온과 같은 외부요인에 따른 비행가능거리의 영향에 대한 고려가 필요하며, UAM에 사용되는 eVTOL 기체의 특성을 반영한 적정 배터리 산정에 대한 기준 수립이 필요하다.

교체비행장은 항공안전법 시행규칙 제186조와 회전익항공기의 운항기술기준에서 엔진의 종류에 따른 이륙교체비행장까지의 거리를 기준으로 선정하고 있다. 하지만 대부분의 UAM은 엔진이 아닌 배터리와 전기모터가 적용되어 단거리 운항에 최적화된 것으로 현재의 교체비행장 선정 기준을

표 2. 연료탑재 관련사항
Table 2. Fuel loading matters

The related regulations	Civil Aviation Safety Regulations Article 119, operations and technical standards (fuel, oil loading plans, and adjustment for uncertainties)
The existing regulations	<p>Helicopter visual flight : Additional fuel quantity that allows for 20 more minutes of flight at cruising speed</p> <p>Rotary-wing aircraft operational technical standards : Considering the possibility of hindrance, additional load is required.</p>
Implications	<p>It is necessary to consider the impact of external factors like ambient temperature on flight range</p> <p>Applying standards for unusable fuel loaded for aircraft balance and other purposes is challenging</p>

UAM에 적용하는 것은 적합하지 않다. 아울러, Payload에 따른 비행가능시간의 영향이 현재의 항공기보다 크며, 버티포트의 혼잡 등 다양한 요인들에 대한 고려와 민첩한 대응이 필요하기 때문에 UAM에 최적화된 목적지 교체공항 지정 기준이 필요하다.

현재 항공안전법 제25조와 동법 시행규칙 제113조에 따르면 국내 운항 항공기는 소음기준적합증명을 받아야 하며, 운항 시 소음기준적합증명을 탑재하여야 한다. 그러나 소음기준적합증명 대상 항공기에 대하여 터빈발동기를 장착한 항공기와 국제선을 운항하는 항공기로 정의하고 있는데, 대부분 전기모터를 사용하며 도심 운항을 대상으로 하는 UAM의 경우 이에 대한 규정이 현재는 존재하지 않는다. 도심 내 저고도에서 운항하기 때문에 소음에 대한 이슈는 중요한 사항으로 이에 대한 기준 수립이 필요한 부분이다.

표 3. 교체비행장 현행 기준 및 시사점
Table 3. Current standards and implications for alternate airports

Current standards	Implications
It specifies the distance to take-off and replacement aerodrome depending on the type of engine.	<ul style="list-style-type: none"> - UAM vehicles, optimized for short-distance flights with batteries and electric motors, may not align well with existing heliport selection criteria designed for traditional aircraft with conventional engines. This underscores the necessity for adjusted standards in the UAM context. - The impact of payload on flight time is more significant for UAM than for current aircraft. Considering factors such as congestion at vertiports, there is a need for criteria tailored to UAM to designate optimal destination interchange airports, requiring careful consideration and agile responses to various factors.

표 4. 소음기준적합증명 현행 기준 및 시사점

Table 4. Current standard and implications for compliance certification for noise levels

Current standards	Implications
Article 25 of the current Aviation Safety Act & Article 113 of its enforcement regulations : Domestic operating aircraft are required to undergo noise compliance certification, and a noise compliance certificate must be installed during operation. Aircraft subject to noise compliance certification are defined as those equipped with turbine engines and those operating on international routes.	UAM vehicles currently lack specific regulations regarding noise compliance certification. Given their operations at low altitudes within urban areas, addressing noise-related issues has become a crucial and pressing matter that requires a necessary overhaul of existing regulations.

표 5. 운항감시시스템 현행 기준 및 시사점

Table 5. Current standards and implications for flight surveillance system

Current standards	Implications
For aircraft weighing less than 5,700 kg, a flight tracking system is not required when submitting a flight plan.	Considering the safe operation of UAM, future increase in the number of flights, and activation of autonomous flight, operation route and location tracking system are essential. It must be done more precisely and at shorter intervals than the current system.
Fixed-wing aircraft with a maximum takeoff weight of 27,000 kg and more than 19 passenger seats must report their position every 15 minutes.	There is a need to develop a system that can replace the voice communication (SATCOM, VHF, HF) currently used when automatic location tracking is not possible during unmanned flights.

항공기 운항감시시스템의 경우 현행 규정상 5,700 kg 미만의 고정익 항공기와 회전익 항공기에 대해 비행 계획서가 제출되면 운항추적시스템이 필요하지 않으며, 최대이륙중량 27,000 kg 및 승객좌석 19석을 초과하는 고정익 항공기에 대하여만 매 15분 간격으로 위치 보고 의무를 지정하고 있다. 그러나 향후 UAM의 비행편이 증가하게 되고 성숙단계에 접어들어 자율비행까지 활성화된다면 분 단위의 정밀한 운항추적은 필수적일 것이다. 아울러 현재 항공기의 자동 위치 추적 불능 시 사용하는 음성통신(SATCOM, VHF, HF)에 대해서도 향후 UAM의 완전 자율비행에 대비하여 음성통신 시스템을 대체할 수 있는 시스템의 개발 및 관련 규정 수립이 필요하다.

III. 항공기 운항 관리 및 통제절차

3-1 민항기

일반적인 항공운송사업에서 운항 관리란 비행의 실시(개시, 계속, 변경 및 종료)에 관한 권한의 행사를 말하며, 본 권한

표 6. 민항기 운항관리 주요 업무

Table 6. Key duties of civil aviation flight dispatch

Work Procedure	Description
Operations information collection and analysis	Flight schedule, aircraft, payload data, crew information, departure/arrival/alternate airports and en-route weather information, NOTAM, airport restrictions, aircraft performance at each airport and all other necessary information for flight planning.
Operational viability evaluation	Determining the feasibility of the scheduled flight based on the collected operational information and assessing compliance with applicable laws/regulations to decide on the actual operation of the planned flight.
Operational flight plan creation	Creating a flight plan using the system.
Submission of ATS flight plan	Submitting a summarized ATS flight plan to the air traffic control authorities of all transit countries from departure to destination.
Operational briefing	A process to explain all aspects related to the flight to the flight crew before flying, ensuring that they are familiar with all relevant information for the safe operation of the aircraft.
Flight watch	Monitoring the safe operation of the flight in accordance with the flight plan from departure to arrival at the destination and proactively providing necessary information to the flight crew in the event of abnormal situations to ensure the safety of the operation.
De-briefing	The process of receiving all information related to the flight, including encountered unusual weather phenomena, aircraft conditions, discrepancies between the flight plan and actual flight and other relevant situations from the flight crew during the flight.

의 행사는 기장 (PIC; pilot in command)과 운항관리사 간의 협의의 통해 이루어진다. 운항 관리에 대해 기장과 운항관리사가 공동 책임을 지며 그 비행이 운항사 내부의 지침과 항공 안전법에 부합되도록 계획(변경 시 새로 발부되지 않는 수준에서 이뤄져야함) 되었는지 확인하고 안전하게 수행될 수 있는가에 대해 상호 동의하여야 한다. 항공기의 출발이 임박한 시점에 출발공항, 항로 및 도착공항의 기상 이 악화되거나 예기치 않은 운항 제한사항이 발생할 경우, 스케줄대로 운항하지 못할 수 있으며 이러한 상황에 적절하게 대응하지 않을 경우, 안전운항 저해는 물론 탑승객의 불편 및 항공사 비용 부담 증가 등의 손실이 발생하게 된다. 또한 최적의 운항 항로와 고도를 설정하여 적정 연료를 탑재해야만 경제성을 확보할 수 있으며 항공기 운항의 가장 기본인 비행안전을 달성할 수 있다.

위의 민항기 운항관리 및 통제절차를 UAM에 적용하기 위해서는 여러 가지 고려가 필요하다. 고정 회랑 운영 및 단거리 도심 운항 등 초기 UAM 운항 환경을 감안하여 UAM 운항관리 서류 및 비행계획 상호 합의 절차는 간소화가 필요하며, eVTOL 기체 특성을 반영한 교체 버티포트 선정 기준 마련이 필요하다. 또한 도심 내 초단거리 운항 및 비행 안전성 확보를 위한 실시간 항공기 위치 추적과 연료 탑재량 산정 기준을 바탕으로 UAM 특성을 반영한 적정 배터리 용량 산정 등이 필요하다.

표 7. 민항기 통제절차 (이륙 전)

Table 7. Civil aviation control procedures (pre-takeoff)

Procedures	Main agent	Main duties
Flight planning	Dispatcher	Payload plan
		Route selection
		Checking weather information
		Checking NOTAM
		Fuel calculation
		ATS flight plan submission
Pre-flight briefing	Dispatcher/pilot	Checking MEL/CDL
		Company clearance
Weight & balance	Pilot	Flight-related Matters Inspection
NOTOC	Person in charge	Drafting and providing weight & balance
	Pilot	Load sheet reception
Joint briefing	Person in charge	NOTOC supply
External inspection	Pilot	Pilot
		NOTOC acceptance
Checking flight log	Pilot	Joint briefing
		Mechanic
System and equipment inspection	Pilot	External inspection
		Cabin crew
Boarding of passengers	Pilot	Flight and maintenance log entry
		Cabin crew
ATC clearance preparation	Cabin crew	Pre-flight inspection
		Ground staff/pilot
Ramp operation	Ground staff	System inspection
		Ground staff

3-2 회전익항공기

일반적으로 헬기 운송을 의미하는 소형항공운송사업의 비행 실시에 관한 운항관리 및 통제절차는 민항기 통제 절차를 기반으로 일부 간소화해서 진행되며 권한과 책임에 대한 주요 내용은 민항기와 거의 동일하며, 주요 업무와 통제 절차는 아래 표와 같다.

표 8. 회전익항공기 운항관리 주요 업무

Table 8. Key duties of rotary-wing aircraft flight dispatch

Key duties	Description
Dispatch document & company clearance	Equivalent with commercial aircraft
Rooftop helipad	- The following conditions prohibit takeoff and landing - When visibility is less than 4,800 meters and ceiling is less than 2,000 feet. - During rain or snow. - When the rooftop helipad is in an icy condition.
Application of passenger weight	Applying standard passenger weight (75 kg in winter, 73 kg in summer per person)
Aircraft maintenance check	If there is no airworthiness inspector available at a location, a flight crew member who has completed the required training may serve as a substitute.
Fuel loading calculation	- The amount needed for the flight to the initially planned landing destination and required for an additional 20 minutes of flight. - The amount allowing for 10% of the planned flight time to the initially planned landing destination. - The amount of additional fuel deemed necessary for other reasons.

표 9. 회전익항공기 통제절차

Table 9. Rotary-wing aircraft control procedures

Procedures	Description
Aircraft interior & exterior inspection	- Performed by the pilot in command - Delegable to other crew members
Fuel supply	- Main rotor blade In a completely stopped state - Prohibited during passenger boarding
Boarding of passengers	- If engine/rotor in operation, at least one flight crew member must be in the cockpit. - Loading of passenger baggage (performed by ground staff; if not available, flight crew members will conduct the task)
Passenger briefing	- The flight and safety information briefed by the flight crew
Receipt of the load sheet	- Weight & balance personnel provide the load sheet to the PIC. - For checked baggage, the actual weight is applied whenever possible.
En-route flight	- Maintaining the planned route and altitude - Monitoring external navigation - Monitoring the emergency frequency - In case of adverse weather encounters, taking evasive action and reporting to ATC. - The PIC reports the aircraft's position to ATC and, if necessary, to the operations manager at regular intervals. - If there is no position report within 30 minutes after the scheduled report time, the operations manager will confirm the aircraft's position through the air traffic control agency.
Landing	- Obstruction clearance - Ground slope - Noise sensitive area - FOD hazard - When landing at non-airport locations, conduct aerial reconnaissance - Approach into the wind after verifying wind direction

초기 UAM의 운항은 저밀도 시계비행이 주를 이룰 것으로 예상되며 UAM의 운항 거리 및 속도, 비행환경 등이 지금의 회전익항공기와 유사할 것으로 예상된다. 따라서 장거리 노선의 국제선을 주로 운영하는 민항기의 운항관리 개념 및 통제 절차보다는 비교적 비슷한 헬기의 운항관리 주요 사항을 초기 저밀도 UAM 운항관리 및 통제 절차에 반영하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 회전익항공기가 통제센터의 관리를 거의 받지 않는다는 것과 비행 감시 측면에서 다소 민항기 대비 시스템 및 절차 등이 간소화되어 있기 때문에 이런 부분은 민항기의 운항관리 개념 등과의 접목이 필요할 것으로 보인다.

IV. UAM 운항 관리

4-1 UAM 통제 업무 절차

초기 저밀도 운항환경에서 UAM 운항 통제의 가장 중요한 부분은 바로 운항의 안전성 확보이다. 이를 위해서는 첫 번째, 주요 이해관계자들의 안정적이고 효율적인 운항통제 업무체계를 구축하여야 할 것이며 두 번째, 기존의 항공기와는 다른 UAM만의 특성을 운항 통제 업무절차에 적극 반영하여 운항의 안전성을 확보하여야 할 것이다.

초기 UAM 운항 단계에서는 각 이해관계자들이 담당하는 업무의 상호 연계성이 높기 때문에 각 이해관계자들의 업무 범위가 명확하지 않을 수도 있다. 하지만 향후 고밀도 운항 환경에서는 고도화된 기체 간 전략적 분리와 운항 모니터링 시스템 등 업무의 다양화와 고도화가 이루어지는 만큼, 초기 저밀도 운항환경에서 다수의 운항을 거치며 주요 이해관계자들 간의 피드백과 운항 데이터 등의 분석을 바탕으로 명확한 업무체계를 구축하여야 할 것이다. 초기 UAM 운항 단계에서 이루어져야 할 UAM 통제 업무절차를 아래의 그림과 같이 제시하였다.

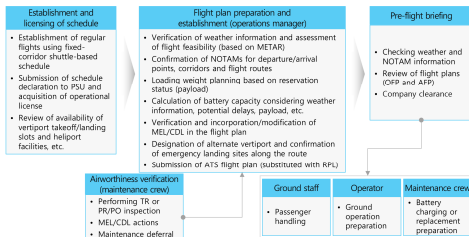


그림 1. UAM 비행계획 단계
Fig. 1. Planning phase of UAM flight

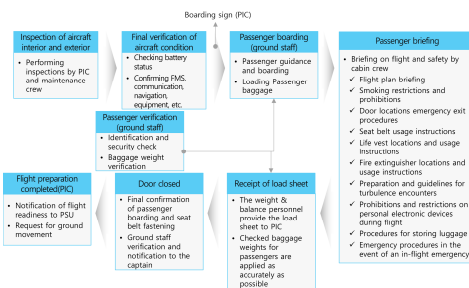


그림 2. UAM 비행 전 단계
Fig. 2. Pre-flight phase of UAM

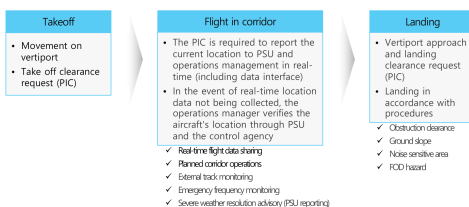


그림 3. UAM 비행 중 단계
Fig. 3. En-route phase of UAM flight

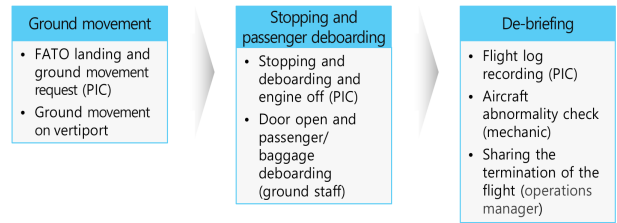


그림 4. UAM 비행 후 단계
Fig. 4. Post-flight phase of UAM

4-2 UAM 비행감시

비행감시 업무란 항공기가 출발하여 목적공항에 도착할 때까지의 비행 전 과정에 대하여 비행 계획 대비 안전하게 운항하는지 실제 진행 상황을 감시함은 물론 안전하게 목적지에 도착하도록 필요한 조치를 취하고, 비정상 상황이 예상되거나 발생할 경우 신속하게 최적의 대응 방안을 검토하여 그 영향을 최소화하는 업무이다.

UAM의 비행감시 주요 요소로는 운항상태 모니터링, 항공기 및 기내상태 모니터링, 위험상황 및 정보수집 모니터링이 있으며, 가장 중요한 부분은 감시의 실시간성이다. 도심 내 저고도 영역에서 단거리 운항을 위주로 이루어지는 만큼 UAM의 위치 정보, 항공기 세부 데이터(배터리 소모량, 통신상태, 기체/장비 결함 여부 등), 공중 장애물 및 기상상황, 그리고 비상상황 등 다양한 요소들에 대해 실시간 감시와 대응이 이루어져야 할 것이다.

특히 UAM의 충돌 방지 및 정밀한 비행 감시를 위해서는 수집된 데이터의 실시간 일치 여부 모니터링이 매우 중요할 것으로 보인다. 특히나 자율비행 시대와 복합 상태 항법이 적용되는 고밀도 운항환경에서는 UAM 및 운항사가 수집한 Data의 실시간 일치 여부를 판단하고 Data 지연이 식별될 경우의 대응 절차 등이 포함되어야 할 것으로 보인다. 이는 현재의 민항기 및 회전익 항공기의 비행감시 체계와 가장 큰 차이점이 될 수 있을 것이다.

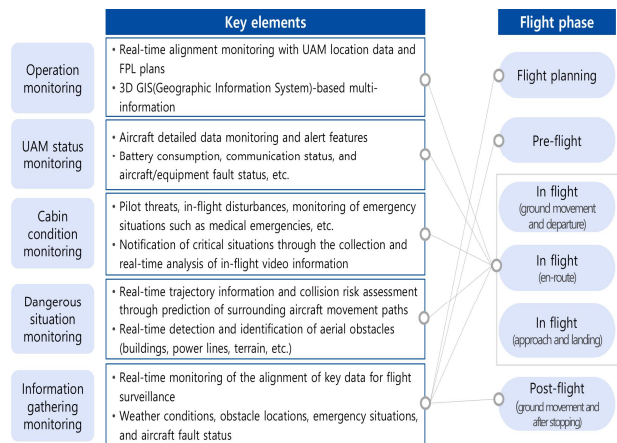


그림 5. UAM 비행감시 주요 요소
Fig. 5. Key elements of UAM flight watch

V. 결 론

본 논문에서는 회전익 항공기와 민항기 관련 규정들에 대한 분석을 통해 UAM의 운항에 앞서 연료탑재와 교체비행장 선정, 소음기준적합증명, 그리고 운항감시시스템 규정에서 선제적 개편의 필요성을 파악했으며, 이를 반영한 초기 저밀도 환경에서 UAM의 운항 관리 및 통제절차를 제시하였다.

현재 UAM의 실증사업이 이루어지고 있고 상용화까지 수 년이 남아있기 때문에 기존 관련 법과 UAM 특별법 그리고 항공업계에서 활용 중인 시스템 및 업무규정을 토대로 제시하였으나, 향후 실제 운항 데이터가 확보된다면 보다 최적화된 운항 관리 절차를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서 제시한 초기 저밀도 환경에서의 UAM 운항 관리 및 통제절차 개념 수립 방안을 착안하여 추후 시범 운영 및 UAM 대중화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

UAM 실증사업 및 시범 운용이 이루어지고 나서는 후속 연구에서는 본 논문 내용을 토대로 UAM 회랑, 배터리 탑재 관련 사항 및 이와 연계한 교체비행장 그리고 정밀 항법 기술을 활용한 비행방식 등의 키워드를 주제로 발전시킬 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgments

국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행 중인 '도심항공모빌리티 감시정보 획득체계 개발사업' 과제 (과제번호 RS-2022-00143625)의 연구 결과이며 지원에 감사드립니다.

References

[1] UN Department of Economic & Social Affairs, World urbanization prospects, 2018.

[2] S. Rath and J. Y. J. Chow, "Air taxi skyport location problem with single-allocation choice-constrained elastic demand for airport access," *Journal of Air Transport Management*, Vol. 105, 2022.

[3] Airbus. Vahana has come to an end. But a new chapter at Airbus has just begun [Internet]. Available: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2019-12-vahana-has-come-to-an-end-but-a-new-chapter-at-airbus-has-just-begun/>.

[4] Ehang. The future of transportation: White paper on urban air mobility systems [Internet]. Available: <https://www.ehang.com/app/en/EHang%20White%20Paper%20on%20Urban%20Air%20Mobility%20Systems.pdf/>.

[5] Boeing. Boeing autonomous passenger air vehicle completes first flight [Internet]. Available: <https://boeing.mediaroom.com/2019-01-23-Boeing-Autonomous-Passenger-Air-Vehicle-Completes-First-Flight/>.

[6] S. Siewert, K. Sampigethaya, J. Buchholz, and S. Rizzor, "Fail-safe, fail-secure experiments for small UAS and UAM traffic in urban airspace," in *2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, San Diego: CA, pp. 1-7, 2019.

[7] C. Reiche, C. McGillen, J. Siegel, and F. Brody, "Are we ready to weather urban air mobility (UAM)," in *2019 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, Herndon: VA, pp. 1-7, 2019.

[8] T. Biehle, "Social sustainable urban air mobility in Europe," *Sustainability*, Vol. 14, No. 15, pp. 9312, 2022.

[9] FAA, Urban air mobility (UAM) concept of operations V2.0, 2023.

[10] NASA. NASA advanced air mobility ecosystem working groups portal [Internet]. Available: <https://nari.arc.nasa.gov/aam-portal/>.

[11] W. N. Chan et al., "Overview of NASA's ATM-X project," in *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, Atlanta: GA, 2018.

[12] FAA, Engineering brief No. 105, Vertiport design.

[13] EASA, Introduction of a regulatory framework for the operation of drones — Enabling innovative air mobility with manned VTOL-capable aircraft, the IAW of UAS subject to certification, and the CAW of those UAS operated in the 'specific' category, NPA 2022-06C, 2022.

[14] ETNEWS. IT Leaders Forum transitioning to a mobility paradigm with UAM [Internet]. Available: <https://www.etnews.com/20230516000178>

[15] H. T. Park, "From ground to sky: experience the UAM journey crafted by kakao mobility", in *UWC Conference*, Seoul: Korea, 2023.

[16] Y. J. Cho, C. Park, and S. H. Yim, "A study on the establishment of education and training program for urban air mobility (UAM) pilot in korea," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 27, No. 4, pp. 330-336, 2023.



김 정 민 (Jeongmin Kim)

2018년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 (공학사)
2023년 9월 ~ 현재 : 국민대학교 자동차공학전대학원 석사과정
※관심분야 : 도심항공교통(UAM), AI, MaaS



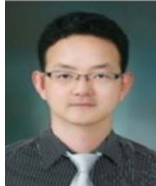
이 재 군 (Jaekyun Lee)

2021년 2월 : 충남대학교 지질환경과학과, 토목공학과 (공학사)
2023년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 자동차공학전대학원 석사과정
※관심분야 : 도심항공교통(UAM), 운항관리, 항공교통



허 우 원 (Uwon Huh)

2022년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 미래모빌리티학과 학사과정
※관심분야 : 도심항공교통(UAM), 운항관리, 항공교통



윤 영 호 (Youngho Yoon)

2000년 2월 한양대학교(안산) 산업공학과 (학사)
2002년 2월 한양대학교 산업공학과 (석사)
2012년 10월 ~ 현재 : ㈜ 대한항공 (ILS, 품질보증, 사업개발)
※ 관심분야 : 도심항공교통(UAM), 항공교통



차 용 환 (Yonghwan Cha)

2006년 8월 연세대학교 전자공학과 (학사)
2009년 9월 ~ 현재 : ㈜ 대한항공 (시스템 엔지니어, 사업관리, 사업개발)
2014년 2월 ~ 2015년 2월 : ㈜ 대한항공 미국 해외주재
※관심분야 : 도심항공교통(UAM), AI, Autonomous, 항공교통



송 교 원 (Kyowon Song)

2010년 8월 : 서울시립대 교통공학과 (공학사)
2012년 8월 : KAIST 건설 및 환경공학과 (공학석사)
2021년 2월 : KAIST 건설 및 환경공학과 (공학박사)
2013년 2월 ~ 2022년 2월 : ㈜ 대한항공 (항공기술연구원, 종합통제본부)
2022년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 미래모빌리티학과 조교수
※관심분야 : 도심항공교통(UAM), 운항관리, 항공교통