

운항사 관점의 저밀도 도심항공교통 운항통제 운용개념 연구

A Study on the Concept of Operation of Low-density Operation in Urban Air Mobility from the Perspective of an Airline

진성현* · 조희덕 · 김다니엘 · 김재우

대한항공 항공기술연구원

Sunghyun Jin* · Heeduk Cho · Daniel Kim · Jaewoo Kim

Research and development Center, Korean Air, Daejeon, 34054, Korea

[요 약]

본 논문은 운항사 시각에서 접근한 저밀도 도심항공교통(UAM) 운항통제 운영 개념 연구를 다루고 있다. 인구수 천만 이상의 메가 시티의 증가와 이로 인한 지상교통 혼잡, 환경 오염, 미래 도시 인프라의 공급과 수요 문제 등 사회적인 문제가 이슈됨에 따라, 도시 내 교통 혼잡의 중요한 해결책으로 UAM이 전세계적으로 큰 관심을 받고 있다. UAM은 친환경적인 전기 수직 이착륙(eVTOL) 기술을 탑재하며, 도심 내의 주요 지점 간의 이동 서비스를 제공하는 차세대 교통 시스템으로 정의된다. UAM 시장은 초기 실용화 단계에서부터 성장기를 거쳐, 성숙기 자동화 단계까지 저밀도에서 고밀도 환경으로 점차 성숙해감에 따라, 안전한 UAM 운영을 위해서는 성장 단계별 UAM 운항 통제에 대한 새로운 개념과 시스템이 요구된다. 본 연구에서는 UAM 시장 초기인 저밀도 운영환경에서의 운영 제어 개념, 중요 인프라, 운영 시나리오 등을 운항사 시각에서 살펴보고, UAM 운항 초기 단계인 저밀도 환경내에서 UAM 운항통제 운용개념을 분석하여 UAM의 안전하고 효율적인 운항에 기여하고자 한다.

[Abstract]

This study investigates the operational facets of low-density urban air mobility (UAM) from an airline's perspective amid burgeoning concerns about urban congestion in megacities. UAM, employing electric vertical takeoff and landing (eVTOL) technology, emerges as a potential remedy to the challenges of traffic gridlock and environmental degradation. As the UAM market progresses from initial stages to maturity, tailored traffic control systems become paramount. Focused on the context of low-density environments during UAM's inception, this research scrutinizes operational frameworks, essential infrastructure, and likely scenarios. It aims to bolster the safety and efficiency of UAM operations by delving into the specifics of traffic control concepts designed for these unique settings. The study seeks to significantly contribute to optimizing UAM's initial phases, providing insights into crucial operational dynamics for a smoother integration of urban air mobility into contemporary urban landscapes.

Key word : Urban air mobility, Fleet operator, Operational control, Concept of operations, Operational scenario.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.2.201>



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 4 January 2024; Revised 25 April 2024

Accepted (Publication) 28 April 2024 (30 April 2024)

*Corresponding Author; Sung-Hyun Jin

Tel: +82-51-970-5278

E-mail: sunghyunjin@koreanair.com

I. 서론

전 세계 국가들은 가속화되는 도시화 현상을 해결하기 위해 ICT (information and communication technology), 빅데이터 등의 신기술을 접목한 스마트시티를 계획하고 있다. 에너지, 교통, 환경, 복지, 행정 등 광범위한 범위에서 사회가 가지고 있는 문제들을 개선해갈 수 있다. 그 중 교통분야는 도시의 인구 과밀로 인한 교통체증을 분산시키는데 중점을 두고 있으며, 도심 항공교통(UAM; urban air mobility)은 중요 해결책으로 대두되고 있다. 도심항공교통은 도심 내 위치한 버티포트에서 eVTOL(electric vertical take-off and landing) 항공기를 이용하여 저고도 공역에서 도심 및 광역권 내 주요 거점을 이동할 수 있는 친환경 차세대 교통체계를 의미한다.

새로운 교통체계를 구축하기 위하여 정부 주도로 인프라 구축을 위하여 다양한 노력 중으로 기존 항공운송사업에서 축적한 운항통제 경험 기반으로 도심항공교통 초기 운용과정에서의 운항통제 요구사항을 제시한다. 또한, 안전한 운항을 위해 현재 연구 중인 도심항공교통 운항통제 시스템을 제안하고 비행 단계별 시나리오를 통한 예상되는 실질적인 문제점 및 시사점을 제기하는 운항통제 운용개념을 다룬다.

II. 도심항공교통

2-1 시장 규모

뉴욕, 로스앤젤레스, 상파울로, 서울 등 1천만명 이상의 인구가 거주하는 도시인 메가시티는 1990년 10개에 불과했으나, 2010년 25개에서 2030년 43개까지 증가할 것으로 예상된다.[1] 그에 따라 교통 혼잡, 환경오염 및 감염병 등 사회적 문제와 도시 인프라의 수요·공급 문제는 불가피할 것이다.

도심항공교통의 시장규모는 2021년 약 9조원에서 2040년 약 2,000조원 규모로 성장할 것이라 전망하고 있다[2].

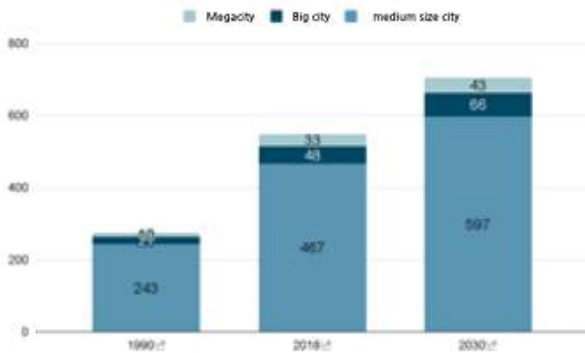


그림 1. 도시 규모별 성장 흐름
Fig. 1. Growth by city size.

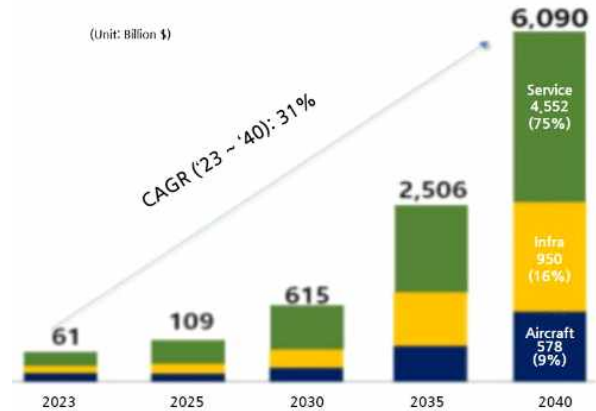


그림 2. 도심항공교통 분야별 시장 동향
Fig. 2. Market trends by urban air mobility sector[3].

eVTOL 항공기를 제작하는 것을 포함하여 인프라 구축, 서비스 플랫폼 구현 등 새로운 생태계를 형성하는 시장이 열릴 것이다. 그림 2는 기체, 인프라, 서비스 분야별 시장 추이를 나타낸다. 전체 시장 규모의 약 75%가 서비스 분야에 집중되어 있다.

2-2 서비스 운영

도심항공교통 시장의 서비스는 현재 항공운송시장과 유사한 서비스가 운영될 것으로 예상되나, 서비스의 제공 주체는 다소 상이할 수 있다. 표 1은 서비스 분야별 운영주체를 나타낸다. 항공운송은 정부와 민간의 역할이 구분되어 있으나, 신기술을 접목한 도심항공교통은 대부분 민간이 주도할 것이다.

먼저, 항공기 간 충돌을 방지하고 계획된 항로로 운항하는지 감시하는 항공교통업무 (ATS; air traffic service), 기상 및 NOTAM (notice to air missions) 등 안전한 운항을 위해 정보를 제공하는 운항지원정보 서비스, 고객의 이동 편의를 돕기 위해 이종 운송수단을 연결하는 MaaS (mobility as a service) 그리고 주요 서비스 분야로는 먼저 승객과 화물을 원하는 목적지로 이동하는 운송서비스가 있다.

표 1. 서비스 분야별 주체
Table 1. Subjects by service category.

Service	Air Transportation	UAM
Airline	Private	Private
ATS	Government	Private
Flight Support Service	Government/Private	Private
MaaS	Private	Private

※ 일부 민간이 운영(제주 정석비행장)

III. 항공운송사업 운항통제

운항사(Airline)는 항공안전법에 따라 고객의 수요에 맞추어 항공기를 사용하여 유상으로 여객이나 화물을 운송하는 서비스 등을 제공한다. 운항사는 운항통제를 위해 항공자원(기체, 승무원)의 효율적 운용, 최적의 비행계획 도출, 항공기 운항 가능성의 결정(운항, 결항, 지연운항, 회항, 항공기 교체, 항로변경 등에 대한 결정), 운항 감시 등을 위한 필수종사자, 인프라, 시설 및 체계 등을 보유하고 있다.

현재 운항사가 운영 중인 운항통제 시스템 및 인프라를 설명하고 도심항공교통에서의 요구사항을 제시하고 이를 기반으로 설계한 구조도와 시스템을 기술한다.

3-1 통신 (Communication)

운항사는 지상의 통제센터 (OCC; operation control center)와 항공기간 원활한 통신망을 구축하여 정상 운항 뿐 아니라 항로 변경, 기상 상황 변화, 기체 결함 등과 같은 비정상 운항에 대응할 수 있도록 VHF (very high frequency) 및 위성 전화 등의 음성통신 기반의 통신 체계를 구축하고 운영한다.

일부 항공사에서는 그림 3과 같이 응급의료헬기 (EMS; emergency medical services) 운용 환경을 가정한 VHF 통신체계를 운용했던 사례가 있다.

또한, 관제사와 운항승무원간에도 이-착륙 허가 및 정보 제공을 위하여 데이터링크에 기반한 CPDLC/AFN (controller-pilot datalink communications/aeronautical facilities notification) 통신체계를 운영하고 있다. 해상 등 원거리는 SATCOM (satellite communication)을 육상에서는 VDL (vhf digital link) 등을 활용한 통신체계를 사용하고 있으며, 음성통신을 보조하기 위한 보조데이터로 교신내용을 복창 (read-back)과 기억/메모에 의존한 음성통신의 한계를 문자화 하여 한계를 극복한다는 장점이 있다. 그림 4는 여객기에서 사용하는 CPDLC/AFN 기능 예시를 보여준다.

그림 3. 운항통제 통신시스템 예시
Fig. 3. Example of operation control communication system.

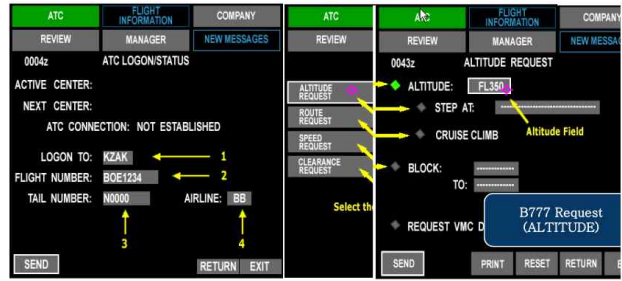


그림 4. CPDLC/AFN 기능 예시
Fig. 4. Example of CPDLC/AFN function.

3-2 항법(Navigation)

비행관리컴퓨터(FMC; flight management computer)에 ICAO RNP (required navigation performance) 요구조건이 저장되어 있어 비행단계별 RNP default 값이 MCDU (multi-function control and display unit) 상에 표시된다. 비행관리컴퓨터가 계산한 ANP (actual navigation performance)가 RNP 기준치를 초과시에는 운항승무원에게 경고 메시지 (unable RNP)를 제공한다. 운항승무원이 해당 메시지를 확인하면 ATC (air traffic control)에게 통보하고 관제사의 지시를 준수하게 되어있다.

3-3 감시(Surveillance)

관제기관으로부터 승인받은 비행계획에 따라 운항사는 운항을 준비한다. 출발지에서 도착지까지 운항하는 구간 동안 항공기가 안전하게 운항할 수 있도록 경로 내 항공기 상태를 관리함에 주목적이 있다.

운항사는 비행감시가 가능한 시스템을 구축하고 그림 5와 같이 운항 중인 항공기의 위치를 수신하여 운항계획 대비 경로 오차를 감시한다. 이때, 제한된 범위 이상의 경로오차가 발생하는 경우 경고 메시지를 띄운다.

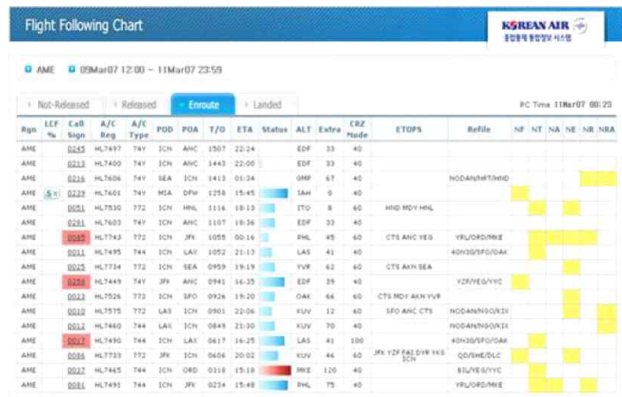


그림 6. 비행감시 시스템 예시
Fig. 6. Example of flight control monitoring system.

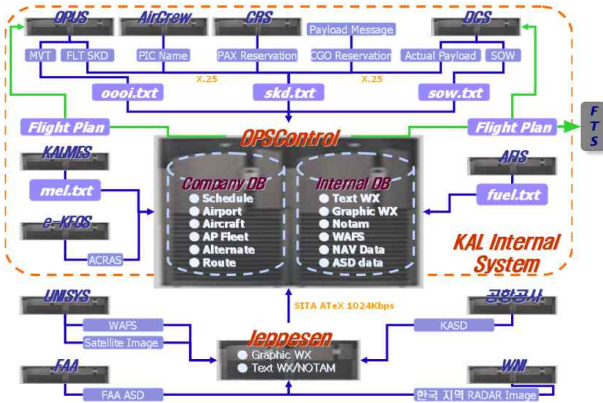


그림 6. 정보공유 시스템
Fig. 6. Example of an information sharing system.

3-4 정보(Information)

운항사는 그림 6과 같이 외부 데이터(기상, NOTAM 등)와 내부 생성 데이터(예약정보, 수하물, 운항스케줄 등)를 유기적으로 연동할 수 있는 정보공유체계를 구축 및 활용하여 비행계획을 수립한다.

또한, 항공기를 운항하기 위해 연관되어 있는 다양한 이해관계자간의 의사 결정 시스템 IROPS/DSS (interline considerations on irregular operations/decision supporting system)을 운영하여 비정상 상황 발생 시, 신속하고 정확한 대응이 가능하도록 한다.

IV. 도심항공교통 운항통제 운용개념

4-1 정의

운용개념 (ConOps; concept of operation)은 사용자 관점에서 시스템의 운영목적, 명확하고 간결하게 언어 또는 그래픽으로 기술한 문서로 운영에 대한 전체적인 개념을 제공하는데 목적을 두고 있다. 본 연구에서는 현재 항공운송사업에서 승객 및 화물 운송을 담당하는 운항사 관점에서 초기 도심항공교통의 저밀도 운용환경의 운송서비스 특징 및 방향, 운항통제를 위한 기본개념, 필수 인프라, 운용 시나리오 등을 기술하였다.

4-2 운송서비스

도심항공교통의 운송서비스 방식은 eVTOL 항공기에 적용되는 기술 발전에 의존적으로 결정될 것이다. 특히 운항시간과 관련이 있는 배터리의 에너지 밀도, 필수종사자와 연관있는 자율비행 기술 등은 운송서비스 방향을 결정 하는데 중요한 요소로 작용한다. 표 2는 각 성숙단계별 운송서비스의 특징과 주요 개념을 정의하였다.

표 2. 성숙단계별 운항서비스(안)

Table 2. Air transport service type by mature stage.

	Initial Stage ('25 ~ '30)	Growth Stage (~ '35)	Maturity Stage ('35 ~)
Key word	Safety	Connectivity	Diversity
Passenger	Airport Shuttle (Close range)	Airport Shuttle (Long range)	Airport Shuttle (Long range) On-demand
Cargo	Urgency (Medical supplies)	Regular (Fresh goods)	All

정부가 발행한 K-UAM 운용개념서 Version 1.0과 다소 상이한 부분이 있을 수 있겠으나, 사회적 수용성과 안전한 교통수단이라는 신뢰를 주지 못한다면 지속적인 고객 확보에 어려움을 겪을 것으로 예상된다.

도입 초기는 새로운 교통수단인 도심항공교통에 대한 사회적 수용성이 낮을 것으로 예상하는 시기로 안전한 교통수단이라는 것을 입증해 보이는 것이 무엇보다도 중요하다. 이를 위해 조종사(PIC; pilot in command)뿐 아니라 안전관리자(SIC; secondary in command)도 항공기에 직접 탑승하는 방안 등 비정상 상황 발생 시 즉각적인 대처가 가능한 방안을 수립하여 안전한 운항이 될 수 있도록 이해관계자 간 유기적인 협력이 필수적이다.

운송서비스는 공항서들과 도심 내 주요 거점 간 정기적인 운항편을 가진 공항서들 서비스 중심으로 운영될 것으로 보인다.[1] 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 국제공항과 도심과의 평균 왕복거리가 약 33 km 이다.

슈퍼커패시터의 S-A1의 배터리 에너지 밀도가 274 Wh/kg, 항속거리가 100 km[2]으로 추정하고 있다. 현재 Tesla 4680 배터리에너지 밀도가 280 ~ 292 Wh/kg[3]의 성능을 보유하고 있으므로 배터리 기술을 고려한다면 운송 서비스 범위는 100km 내 운항이 가능할 것으로 보인다. 표 3은 eVTOL 항공기별 비에너지와 항속거리를 나타낸다.

시범적으로 신속한 배송이 요구되는 긴급화물(예, 혈액, 혈청, 혈소판 및 긴급의료 물품 등) 운송 서비스가 부정기편으로 운용 될 것이다. 초기 상용화 기간 동안 안전성을 확보하여 사회적 수용성이 증대가 수요 확대로 이어짐에 따라 타 교통수단과의 연계하는 MaaS (mobility as a service)와 신속한 이동이 중요할 것이다.

표 3. eVTOL 항공기별 비에너지와 항속거리

Table 3. Energy density and range of eVTOL aircraft.

Manufacturer	Aircraft model	Energy density (Wh/kg)	Range (km)
Supernal	SA-1	274	100
Joby	S4	348	241.4
Beta Tech.	Alia	421	400

또한, 배터리 에너지 밀도 기술의 성숙으로 항속거리의 증가와 인공지능 기반의 자율비행 기술의 고도화와 통합관제시스템 도입으로 PIC (pilot in command)는 지상에서 원격으로 운항 임무를 부여받은 기체를 1:1로 모니터링하며 비정상 상황 시에만 개입한다.

성장기 여객은 정기편으로 운영되는 공항서를 서비스와 부정기편의 도심가 이동이 서비스 될 것이다. 뿐만 아니라, 사회적 수용성 증대에 따라 교통약자 등 이용범위 확대가 발생할 것이다. 신속한 배송이 요구되는 긴급화물과 신속화물(예, 생화, 어패류, 야채)이 주요 서비스로 운영될 것이다. 마지막으로 성숙기인 2035년 이후 여객운송은 승객의 요구에 따라 원하는 시간에 원하는 장소로 이동가능한 수요응대형 서비스까지 제공할 것이다. 화물 또한 현재의 택배 서비스와 유사하게 다양한 품목을 운송할 수 있다.

성숙단계별 서비스가 기술의 발전과 맞물려 변화할 것이다. 본 연구는 초기 상용화 단계의 저밀도 환경에서 운송서비스를 수행하기 위한 운항통제 운용개념을 기술한다.

4-3 요구사항

안전한 도심항공교통의 운항통제를 위해서는 운송사업자로서 법/제도 및 규정에 맞는 준비가 필요하며, 전문인력과 체계를 갖추어야 한다. 기존의 항공운송사업과의 비교를 통해 운항통제를 위한 요구사항에 대해 분석하고 관련 예시를 제안한다.

(1) 법/제도 및 규정사항

사업자등록: 운항통제를 위해 운송사업자는 국토교통부 장관의 허가를 받아야 하지만, 기존의 항공운송사업과 운항고도, 운영방식 등의 차이가 있으므로 새로운 기준 수립이 필요하다.

운항증명(AOC; air operator certification): 도심항공교통의 안전운항 가능 요건을 갖추고 있는지 항공당국이 확인한 후 부여하는 공식 증명서인 운항증명이 필요하다. 도심항공교통 운송사업자는 인력, 장비, 시설, 운항관리지원 및 정비관리지원 등 안전운항체계 전반에 대한 검사를 받아야 한다. 뿐만 아니라 항공로, 공항 및 항공기 정비방법 등에 관한 운영기준을 수립하고 준수할 수 있어야 한다. 다만, 도심항공교통만의 특징을 고려하여 운영 매뉴얼, 종사자 훈련 교과목, 교범, 훈련계약 사항 및 정비규정 등을 새롭게 규정될 필요가 있다. 일례로 eVTOL 항공기 특성 상 비상구 열 좌석을 별도로 구분하기 어려워 비상탈출절차 교범 내 ‘비상구 열 좌석 착석 규정’은 삭제 또는 수정되어야 할 것으로 보인다. 이와 더불어 운항증명 신청자 항공기 형식별 또는 계획하고 있는 운항방식별로 시범비행을 수행하는 현행 절차와 동일하게 도심항공교통 운항을 위해서도 특정 시간 동안 시범비행을 수행해야 할 것이며, 야간비행 및 계기비행, 운항 예정인 버티포트 진입 허가를 위해 추가적인 비행 경험 기준이 필요할 것이다. 이러한 시범비행 중 운항증명 신청자는 표 4와 같이 가상 시나리오를 통해 운항, 정비, 운항통제 등 정상 및 비상대처 능력 등이 있음을 보여야 할 필요가 있다.

표 4. 대응능력 요구 시나리오

Table 4. Response capability requirement scenario.

- MEL (minimum equipment list) or CDL (configuration deviation list) application
- eVTOL emergency situation (such as commercial communication network failure)
- Passenger emergency medical assistance needed situation
- Alternate vertiport turnaround due to weather condition

운영기준 (OPSPEC; operation specification): 운영기준이라 함은 국토교통부장관(또는 지방항공청장)이 안전운항을 위해 준수해야할 운항조건 및 제한사항을 명시하여 운항증명과 함께 교부하는 서류를 말한다. 현행 운영기준은 총 8개 항목으로 구성되어 있다. 도심항공교통 운항자가 운항증명을 신청하게 될 경우, 운영기준 항목에 대한 인가도 함께 진행하여야 하며 운영환경을 고려하여 새롭게 정의되거나 추가적인 제한사항 필요 시 별도의 항목 신설에 대한 검토가 필요하다.

예를 들어, 도심항공교통 운송사업에 사용할 버티포트와 항공기 기종 및 등록번호, 운항하려는 회랑과 지역의 인가 및 제한사항, 버티포트의 제한사항, 항공기 검사/점검 및 분해정밀검사에 관한 제한시간 또는 결정을 위한 기준, 도심항공교통 운송사업자간 항공기 부품교환 요건, 항공기 등의 입차에 관한 사항 등이다.

(2) 인프라

도심항공교통 종사자: 국토교통부 장관의 면허를 받은 PIC, 항공정비사, 운항관리사 등을 말한다. 조종사와 정비사는 항공기의 종류, 등급 또는 형식 및 정비분야별 자격증명에 대한 한정을 할 수 있다. 정부의 도심항공교통 운용개념에서 종사자에 대한 내용을 언급하고 있으나, 현재 지상직 승무원과 객실승무원의 중간 역할을 담당하는 FM(Flight Manager)과 같은 역할이 필요하다고 생각한다. 도심항공교통 항공종사자 별 자격증명 필요여부 및 역할을 표 5과 같이 제시한다.

표 5. 도심항공교통 항공종사자 예시

Table 5. Examples of air transportation workers in urban areas.

Category	Certification	Responsibilities & Authority
PIC	O	Flight operations
Dispatcher	O	Ensuring operational safety
Mechanic	O	Airworthiness of aircraft and equipment
SIC	X	Emergency intervention and passenger safety(Remote Control)
FM	X	Ground operations(including passenger management)

운항관리시스템: 도심항공교통 운송사업자는 안전한 운항을 위하여 크게 4가지 시스템을 보유하고 있어야 하며, 운항자료 및 기상자료의 수집/관리/배포를 위해 항공당국으로부터 인가 받은 운항자료관리시스템, 출/도착 관리 및 운항 상황 감시 등 운항관리를 위한 비행감시 및 통제시스템, eVTOL 항공기의 성능을 모니터링 할 수 있는 성능관리시스템, 그리고 eVTOL 항공기 탑승 승객 관련 이슈가 있는 경우, PIC가 데이터통신(상용망), 음성통신(VHF, HF 등)을 통해 운항관리사에 전달할 수 있는 운항지원시스템으로 구성되어 있다.

(3) 기타

법규/제도, 인프라 외 도심항공교통 운항사가 운항통제를 위해서 절차, 시스템 및 프로그램 등을 보유하고 있어야 한다. 도심항공교통 운항자가 안전한 운항을 위해서는 체계적인 서비스 제공을 위한 기능/지점별 표준 업무 절차 수립을 위한 절차가 수립되어야 한다. 또한, 안전한 운항통제를 위한 다양한 시스템 운영이 필요하며, 정부로부터 인가받은 프로그램 운영이 필수적이다. 예를 들어 정비 프로그램의 경우 정비의 기본 목적을 달성하는데 필요한 정비기법, 요목, 정비작업 등 효율적으로 수행할 수 있도록 하는 체계 등을 말하는 것이다.

4-4 운항통제 시스템

저밀도 환경에서 항공기의 안전한 운항을 위해 도심항공교통 운항자는 현재의 항공운송사업자가 보유하고 있는 시스템의 기능과 유사한 체계를 보유할 것이다. 다만, 도심 내 저고도에서 운용되는 점을 고려하여 기존보다 더 정밀하고 실시간성이 보장되는 시스템 체계를 갖춰야 할 필요가 있다. 도심항공교통 시스템은 운항통제 운영시스템과 운항통제 지원시스템으로 구성한다. 운항통제 시스템(OCS; operation control system)은 그림 9와 같이 스케줄 관리, 비행계획, 비행감시 기능으로 구성하고 지원 시스템(OSS; operation support system)은 정비, 지상조업 및 운항정보를 관리할 수 있도록 구성한다.

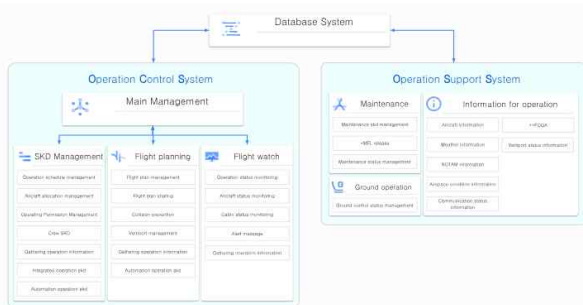


그림 9. 운항통제 시스템 기능 구성도
 Fig. 9. Operation control system functional configuration diagram.

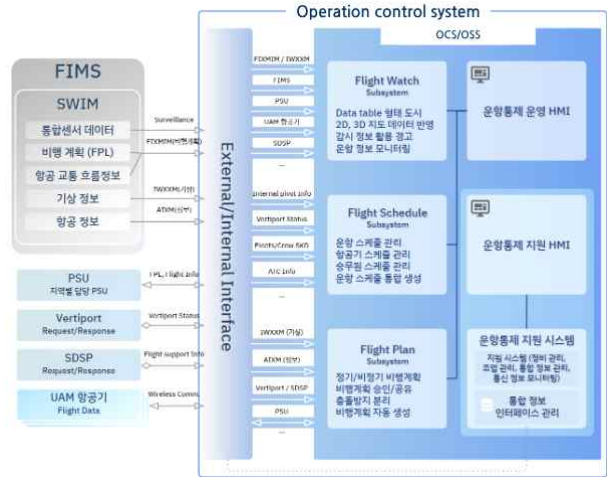


그림 10. 운항통제 시스템 인터페이스 구조도
 Fig. 10. Operation Control System Interface structure chart.

(1) 시스템 구성

운항통제 시스템은 그림 10과 같이 이해관계자 간의 필수 연동 데이터를 기반으로 인터페이스 구조도를 구성하였다.

(2) 운영시스템

스케줄 관리: 고객이 예약할 수 있도록 정기스케줄 (seasonal schedule)을 수립한다. 정기 스케줄, 버티포트의 가용성, 기체 (항공기 등), 승무원 등 현황을 종합적으로 고려하여 통합 운항 스케줄을 수립한다. 통합 운항 스케줄은 비행계획 (flight plan)의 기초자료로 활용한다. 통합 운항 스케줄은 알고리즘을 통해 자동으로 생성되며, 비정상 상황 발생 시 대응 스케줄을 자동으로 생성하여 운항에 영향을 최소화하도록 한다. 스케줄 데이터베이스에서 비행계획서 제출을 통해 승인된 것을 관리한다. 표 6은 세부 기능별 역할을 정의하였다.

비행계획: 버티포트의 가용성 여부 확인하여 수립한 운항 스케줄 기반으로 운항 승인을 위한 비행계획을 생성한다. 생성 시, EDTO (extended diversion time operations) 등을 고려한 최적 항로를 생성할 수 있도록 한다. 또한, 비행계획 간 충돌 가능성, Corridor 중복 등의 사전에 확인하여 충돌을 방지한다. 교통관리서비스 제공자 제출 전 운항승무원 확인하는 과정을 거치고 필요시 비행계획을 수정한다. 운항사 내부용 비행계획과 교통관리서비스 제공자의 승인을 위한 비행계획을 별도로 생성하고 운항 허가번호와 스케줄을 연계하여 관리한다.

비행감시: eVTOL 항공기에 장착된 ADS-B 등의 신호를 통해, 비행계획과 비행계획과의 일치성을 감시한다. 감시를 위해 3D 지도를 활용하여 예정항로, NOTAM, 기상 정보 등 다중 정보를 시각화하여 운항관리사에게 제공한다. 운항 중인 eVTOL 항공기의 상태(배터리 소모량, 통신상태, 결합 여부 등)와 기내 상황을 실시간으로 확인하여 필요시 정비사, 버티포트 운영자, 지상조업사 등과 협력하여 초도 대응될 수 있도록 한다.

FLT	TOWING	External Check	Battery Switching	Catering	Cleaning
0001		●	●	●	●
			08:23	08:18	08:25
			09:37	08:59	09:15
Dep. Time	BDNG SIGN	PAX DR CLOSE	CGO DR CLOSE	PUSH BACK	담당자
10:40	●	09:59 10:02			KEHGD

●: On-going, ●: Delay or Not yet, Blank: N/A

그림 11. 편명별 지상조업 관리 화면 예시
Fig. 11. Example of ground operation management screen by flight name.

(3) 지원시스템

운항통제 지원은 크게 3가지로 구분하였다. eVTOL 항공기 관리를 위한 정비관리 시스템, 승객 탑승/하기 지원, 에너지 교환 등 지상조업 전반을 관리하기 위한 지상조업 관리 시스템 그리고 운항지원정보 제공자가 제공하는 다양한 데이터를 정보화 하여 내부 시스템에 연계할 수 있는 운항 정보 관리 시스템으로 구성되어 있다. 지상조업 관리는 운항사가 계획한 운항 스케줄 정보가 사전에 제공되어 지상조업 (Towing, 항공기 외부 점검, 배터리 관리, door close 등)에 필요한 기체가 사전에 준비되어 원활한 운항이 될 수 있도록 한다. 운항사 소속의 권한을 가지고 있는 인원은 그림 11과 같이 지상 조업의 모든 활동에 대해 현황을 모니터링하고 이상이 있는 경우 조치한다

V. 시나리오

5-1 정상 운항

정상 운항의 절차는 아래와 같이 6개 단계로 구분하고 각각을 정의하였다. 초기 단계에서는 노선, 탑승객 규모 등을 고려하여 현재의 항공운송과 유사하게 조종사 등 다양한 종사자가 직접 개입하겠지만, 사회적 수용성이 높아지고, 기술이 성숙해짐에 따라 필요 시에만 개입하는 형태로 변화해 갈 것이다.

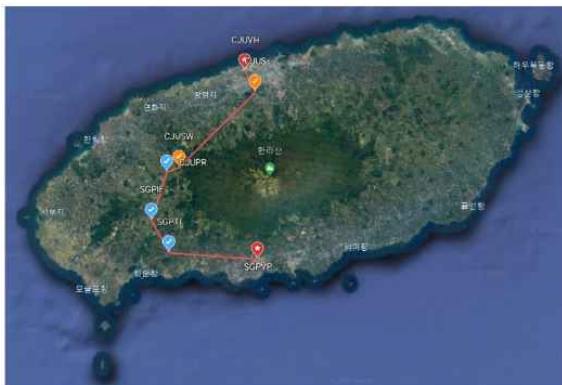


그림 12. 제주지역 공공 Corridor 예시
Fig. 12. Example of jeju public corridor.

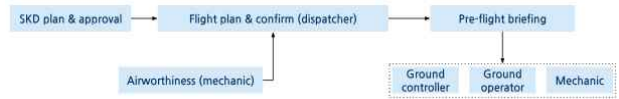


그림 13. 운항절차 예시(비행계획 단계)
Fig. 13. Example of operation procedures (flight plan phase).

(1) 비행 전

초기 PIC가 담당했던 역할 중 일부는 항공기 관리자로 이관되어 운영될 것이다. 항공기의 상태 및 결함여부를 매번 점검하는 정비사의 역할도 기체 성능관리시스템을 통해 이상이 발견되거나, PIC 또는 항공기 관리자의 요청이 발생할 경우에만 점검하는 형태가 될 것으로 예측한다. 교통관리서비스제공자는 UAM 운항자가 제출한 비행계획을 검토 승인하게 될 것이며 필요 시 항공교통관제사, UAS (unmanned ariel system) 교통관리서비스 제공자 등과 승인된 비행계획을 공유할 수 있다. 버티포트 운영자는 버티포트에서 이뤄지는 모든 활동에 대한 관리 권한을 가지게 될 것이다. 마지막으로 지상조업사는 승객 지원, 램프 운영, 객실, 배터리 충전 및 교환 역할을 담당하게 될 것이며 그림 13은 정상 운항 시 비행계획 단계를 나타낸 절차이다.

(2) 지상이동 및 이륙

PIC는 교통관리서비스제공자에게 이륙 승인 요청하고 승인을 득하고 이륙 절차를 수행한다. 성장기에는 PIC가 원격에 위치하는 것 외에 대부분의 역할은 초기와 동일 할 것이다. 정비사 및 운항관리사도 초기에는 기체 성능관리 시스템과 비행감시 및 통제시스템을 통해 계속적으로 감시하지만, 시스템의 신뢰도가 높아짐에 따라 필요 시에만 감시하는 것으로 역할이 변화할 것이다. 교통관리서비스제공자는 회랑 가용성 등을 확인하고 조종사에게 이륙 승인을 통보하고 버티포트 운영자에게 통보할 것이다. 또한, 실제 이륙 시간 등을 반영한 최선화된 비행계획을 관련 이해관계자에게 공유하게 될 것이다. 버티포트 운영자는 지상 이동 및 이륙을 감시하지만, 성장기가 되면 자동화된 시스템을 통해 충돌 발생 등 이슈 발생 시에만 감시하는 역할로 변화할 것이다.

(3) 상승 및 순항

PIC가 기상상황을 감시하거나 운항관리사를 통해 정보를 제공받을 것이며, 성장기에 가까워짐에 따라 비행이 제한되는 조건을 운항자료관리시스템이 자동적으로 모니터링하여 PIC에게 공유하게 될 것이다. 운항관리사도 운항 중인 항공기의 비행계획 일치성을 감시하지만 시간이 지남에 따라 정시성을 보장하지 못하는 운항편에 한해서만 감시하는 방향으로 변화할 것이다. 교통관리서비스제공자는 고도, 간격 분리등 회랑 내 교통흐름을 감시하며, 항공기 운항 상황에 따라 비행계획을 조정할 수 있다. 성장기에는 사람이 확인하는 형태가 아니라 시스템이 자동으로 계산하고 통보함으로써 정시 운항이 이뤄질 수 있도록 할 것이다. 버티포트 운영자는 항공기가 회랑 부근으로 접근

함에 버티포트 권역 내 타 항공기 등이 있는지 지속적으로 감시한다.

(4) 접근 및 착륙

버티포트 진입을 위한 구역에 접근하면 조종사는 교통관리 서비스제공자에게 착륙 승인을 요청하고 승인을 받은 후 접근 및 착륙 절차를 수행하게 될 것이다. 또한, 버티포트 운영자로부터 착륙 FATO (final approach and takeoff area) 정보 확인 및 풍향의 영향에 따라 유연한 교통흐름관리 방안에 따른다. 교통관리서비스제공자는 FATO 여유, 지상 운용 및 이동 상황 등을 버티포트 운영자에게 확인하여 착륙 승인을 조종사에게 통보하고 항공기의 통제 권한을 버티포트 운영자로 이관하게 될 것이다.

(5) 착륙 후 지상이동

주기장으로 이동 간 하기 절차, 지상 교통과의 연계 정보 등이 승객에게 안내될 것이다. 항공기가 FATO에서 주기장으로 이동간 항공기간 충돌이 예상되거나, 자력으로 이동이 불가능한 경우에는 지상조업사의 지원을 받도록 한다.

(6) 비행 후

초기 항공기가 주기장에 도착하면 PIC는 비행 종료를 운항관리사에게 보고하고 항공기 외부 상태를 점검하고 승객 및 수하물의 하기여부를 확인하지만, 성장기에는 원격에 있는 PIC는 비행 종료만을 보고하고 현장에 있는 항공기 관리자가 PIC의 역할을 대신하여 수행할 것이다. 정비사의 경우, 초기에는 주기장에 진입하는 항공기의 상태 및 결함 여부 등을 현장에서 확인하지만 시간이 지남에 따라 원격에서 기체 성능관리시스템을 통해 상태를 감시하고 문제나 이슈가 발생하는 경우 버티포트 내 위치한 공장으로 입고하여 정비한다. 운항관리사는 비행 종료를 교통관리자와 버티포트 운영자에게 통보하고 수집한 비행 데이터를 기존 비행계획과 분석하여 회량별 특이사항을 도출하고 추후 비행에 적용하여 더욱 안전하고 효율적인 운항이 될 수 있도록 한다.

5-2 비정상 운항

eVTOL 항공기 결함: 실시간으로 운항관리사, PIC, 교통관리자에게 공유된다. 조종사는 계획상 대체 버티포트까지 운항이 불가하다고 판단되면 주변에 가장 가까운 버티포트로 비상착륙을 실시한다. 운항관리사는 PIC가 통보한 버티포트로 경로를 재 설정하고 착륙 및 지원 여부 등을 버티포트 운영자에게 확인한다. 교통관리서비스제공자는 정부기관, 타 교통관리자에게 통보하고 다른 항공기들이 주변에 접근하지 못하도록 교통흐름을 관리하고 통제한다. 사용자는 안전벨트 및 안전조끼 등을 착용하고 안내에 따라 충격에 대비한다. 만약, 대체 버티

포트까지 운항할 수 없고 긴급하게 착륙이 요구되는 경우, 안전한 개활지 등으로 착륙할 수 있도록 PIC가 판단한다. 승객들의 상태 확인하고 PIC는 결함 사항에 대해 항공안전 의무보고에 따라 보고서를 작성하고 제출한다.

VI. 결 론

본 연구에서는 저밀도 운용환경에서의 도심항공교통을 효과적으로 운영하기 위한 운항사 관점의 요구조건, 문제점 및 시사점을 제시하였다. 기존 운항사의 시스템은 필수종사자별로 구분되어 있어 비효율적인 부분을 개선하여 하나의 시스템으로 통합 관리하도록 하였다. 또한, 비행계획을 자동으로 생성할 수 있게 할 뿐 아니라 제출한 비행계획도 지속 관리할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 4DT 기반으로 Corridor 통과 시간을 연동하여 실시간 운항 궤적 모니터링, 수평이탈 감시 뿐 아닌 수직이탈 감시도 가능하며 풍향 영향없이 전 방위에서 버티포트 접근이 가능한 개념을 제안함으로써 안전한 운송서비스를 제공할수 있도록 하였다. 뿐만 아니라 지상조업 현황이 실시간으로 공유되어 기재관리를 효과적으로 할 수 있도록 하였으며 운항사 운항통제시스템이 교통관리시스템에 계획을 승인 요청하고 데이터로 송수신 연동하는 차이를 고려한 운용개념을 수립하였다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00143625).

References

- [1] UAM Team Korea, K-UAM concept of operations 1.0, MOLIT, Sejong, Korea, September 2021.
- [2] H. R. Baek, S. B. Kim, H. H. Shin, D. G Kim, "A study on the vertiport installation location of each stage between cities based on the distance derived from the battery capacity of the UAM aircraft," in *Proceedings of The Architectural Institute of Korea Spring Conference*, Seoul: Korea, pp. 653-656, 2022.
- [3] The Limiting Factor, Munro 4680 Energy Density Tested // Model Y Pack Size Explained [Internet]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=4XOHetABrag>



진 성 현 (Sunghyun Jin)

2013년 2월 : 건국대학교 항공우주정보시스템공학과(공학사),
2020년 2월 : 건국대학교 항공우주정보시스템공학과(공학석사)
2015년 3월 ~ 2020년 2월 : (주)대한항공 항공기술연구원 연구기획 담당
2020년 3월 ~ 2023년 5월 : (주)대한항공 항공기술연구원 체계담당
2022년 4월 ~ 2024년 3월 : (주)대한항공 UAM 사업추진 T/F 팀원
2023년 6월 ~ 현재 : (주)대한항공 사업기획부 전략담당
※ 관심분야 : 운용개념, 도심항공교통, 최적설계



조 희 덕 (Heeduk Cho)

1996년 2월 경북대학교 천문기상학과(학사)
1995년 12월 ~ 현재 : (주)대한항공
2015년 7월 ~ 2019년 6월 : (주)대한항공 일본지역 운항관리지원센터
※ 관심분야 : UAM, 운항관리 및 통제, 운항통제 시스템



김 다니엘 (Daniel Kim)

2020년 2월 한국항공대학교 항공교통물류학과(학사)
2022년 8월 한국항공대학교 항공교통물류학과(석사)
2022년 12월 ~ 현재 : (주)대한항공 항공기술연구원 UAM 시스템 체계종합 담당
※ 관심분야 : UAM, 항공교통, 항공교통관제



김 재 우 (Jaewoo Kim)

1992년 2월 인하대학교 기계공학과 (학사)
1997년 2월 인하대학교 기계공학과 (석사)
2017년 7월 국방대학교 국방사업관리 (석사)
2021년 8월 광운대학교 방위사업학과 (박사)
1999년 10월 ~ 현재 : (주)대한항공 항공기술연구원 UAM 과제 책임자
※ 관심분야 : UAM, 항공교통, 버티포트, AI