

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.701>

JCCT 2023-5-81

도심항공교통(Urban Air Mobility) 운영 최적화 연구 동향에 관한 연구

Research on Urban Air Mobility Operations Optimization Research Trends

정지복*

Jibok Chung*

요약 우리나라 정부와 산업계는 도심항공교통(UAM) 서비스 상용화를 위한 로드맵을 제시하고 본격적으로 추진하고 있다. 본격적인 UAM 서비스의 도입을 위해서는 우수한 성능의 기체개발, 네트워크 거점과 회랑(corridor) 설계, 운영관리 최적화, 관련 법과 제도의 정비 등 해결해야 할 다양한 이슈를 가지고 있다. 본 연구에서는 운영관리 최적화 측면에서 우리나라를 중심으로 분야별 연구 동향을 살펴보고 추후 해결해야 할 연구 주제를 정리하여 제시하고자 한다. 국내 연구자는 UAM 서비스 이용요금, 이용 의도와 수용 모델, 버티포트 위치선정을 중심으로 연구가 진행되고 있으나 향후에는 서비스 주문 수락(order acceptance), 항공기 재배치(repositioning), 배터리 충전과 유지보수(charging and maintenance) 스케줄링 등의 운영 최적화 연구가 필요함을 제시하였다.

주요어 : 도심항공교통, 메타분석, 운영관리, 최적화

Abstract The Korean government and industry have presented a roadmap for the commercialization of UAM services and are promoting it in earnest. In order to introduce full-scale UAM services, there are various issues to be solved, such as the development of high-performance aircraft, the design of network bases and corridors, the optimization of operation management, and the establishment of related laws and systems. In this study, in terms of optimizing operation management, we will examine research trends by field, focusing on Korea, and derive research topics that need to be solved in the future. Korean researchers have suggested that research is centered on UAM service usage fees, usage intentions and acceptance models, and vertiport location selection, but operational optimization studies such as service order acceptance, aircraft repositioning, and battery charging and maintenance scheduling are needed in the future.

Key words :UAM, Meta Analysis, Operation Management, Optimization

1. 서론

도심항공교통(urban air mobility, UAM)은 승객과 화물 수송 등의 목적으로 도심지역에서 운용되는 항공

교통수단이다 [1]. UAM 서비스에 이용되는 항공기는 전기동력수직이착륙(electric Vertical Take Off & Landing, eVTOL)이라 활주로가 필요하지 않고 전기 배터리를 동력원으로 사용하기 때문에 배출가스가 없

*정회원, 공주대학교 산업유통학과 교수 (교신저자)
접수일: 2023년 3월 30일, 수정완료일: 2023년 4월 14일
게재확정일: 2023년 5월 8일

Received: March 30, 2023 / Revised: April 14 2023
Accepted: May 8, 2023

*Corresponding Author: jibchung@kongju.ac.kr
Dept. of Retail Management, Kongju National Univ, Korea

는 장점이 있다 [2]. 우리나라 정부와 산업계는 UAM 서비스 상용화를 위해 “2021년 한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술 로드맵”, “2022년 모빌리티 혁신 로드맵”을 제시하여 본격적으로 추진하고 있으며 2022년부터 2024년까지 실증을 마무리하고, 2025년부터 부분적 상용화를 시작한 후 2030년부터는 본격적인 서비스를 시작해 2035년까지 100개 노선과 호출형 서비스로 확대한다는 목표를 제시하고 있다 [2]. 그러나, 본격적인 UAM 서비스의 도입을 위해서는 우수한 성능의 기체개발, 네트워크 거점과 회랑(corridor) 설계, 운영관리 최적화, 관련 법과 제도의 정비 등 해결해야 할 다양한 이슈를 가지고 있다 [3].

본 연구에서는 운영관리 최적화 측면에서 우리나라를 중심으로 분야별 연구 동향을 살펴보고 추후 해결해야 할 연구 주제를 도출하고자 한다. 본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장은 UAM 기본 개념과 운행 방식을 설명하고자 한다. 3장은 우리나라를 중심으로 분야별 연구 동향을 살펴보고 4장에서는 분야별 연구 주제를 도출하고자 한다. 그리고 마지막 장에서 연구결과와 시사점을 제시한다.

II. UAM 기본 개념

1. 기본 개념

UAM은 eVTOL을 이용하여 도심 내에서 승객이나 화물을 운송하는 교통수단을 의미한다. UAM의 구동 방식은 전기 배터리를 이용하기 때문에 친환경적이고 저소음이며 1시간 정도의 육상 이동시간을 20분대로 단축하는 장점이 있다 [3]. 한편, 선진항공교통(advanced air mobility, AAM)은 UAM의 확장된 개념으로 도시 간의 교통수단을 의미한다. UAM 시스템은 1960~1970년대에는 헬리콥터(helicopters), 1980년에는 틸트로터(tiltrotors), 2000년대에는 소형항공기(the small aircraft transportation system, SATS)와 소형제트항공기(very light jet, VLJ), 2010년대에는 전기동력수직이착륙기(eVTOL)의 형태로 기술이 진화하였다 [4].

2. 항공 기체

UAM 시스템 중 기체는 형식별로 정의를 할 수 있는데 크게는 운용방식, 이·착륙 방식, 동력원으로 구분할 수

있다. 운용방식은 지상과 공중을 동시 운영이 가능한 것인가를 의미하는 것이고, 이·착륙 방식은 ‘Non-electric’과 ‘electric’으로 구분되며, 이·착륙 시 전기 모터의 활용 여부를 의미한다 [5]. 현재서 가장 상용화에 앞서고 있는 것은 미국 Joby 사의 S4이다. 해당 기체는 6인승(파일럿 1명+승객 5명)이고, 6개의 틸트 프로프로 구동하는 Vectored thrust 방식이다. 최대속도는 322km/h, 단일 충전 비행거리 241km이다. 한편, 미국 오버에어(Overair)는 우리나라 한화시스템즈와 함께 버터플라이(Butterfly)를 개발 중이다. 버터플라이는 6인승 기체로 4개의 틸트 프로프로 구동하는 Vectored thrust 방식이다. 최대속도는 322km/h, 단일 충전 비행거리 161km이다 [5].

3. 이·착륙

UAM 이·착륙장은 UAM 항공기가 이착륙하기 위한 기반시설(교통시설). 육상, 수상, 또는 건물 옥상 등에 위치할 수 있으며 필요에 따라 정비 지원이나 승객 탑승·하기·환승 및 화물 적재·적하 등을 위한 시설 등을 의미한다. 이·착륙장은 크기와 기능에 따라 버티허브, 버티포트, 버티패드로 불린다. 버티허브(VertiHub)는 UAM 기체의 모(母)기지 역할을 담당하는 곳으로 2개 이상의 착륙대를 보유하여 기체 점검과 정비, 충전 서비스 등을 제공한다. 버티포트(Vertiport)는 도심지 이착륙장으로 1개의 착륙대와 2~3대의 기체를 주기(駐機)한다. 버티패드(VertiPad)는 1개의 착륙대와 1대의 기체를 주기(駐機)하는 형태이다.

4. 운행 방식

UAM 서비스 운행 방식은 기차와 같은 정기노선(timetable), 택시와 같은 실시간 호출(on-demand), 비행기와 같은 사전예약(reservation) 형태를 고려할 수 있으나, 새로운 항공 교통수단이라는 측면에서 기존 육상 교통수단과 달리, 추가적으로 기술적 한계점, 물리적 공간 제약, 높은 고객 요구수준 등 다양한 제약조건을 고려할 필요가 있다.

III. 분야별 연구 동향

선행연구에서는 다이나믹 토포모델링 방법론을 사

용하여 2018~2022년 사이 우리나라 UAM과 관련된 연구 주제의 시계열적 변화추세를 분석한 바 있다 [3]. 2010년 중반까지만 하더라도 UAM 관련된 연구가 미비하였으나, 2018년 이후 관련 연구가 본격적인 증가추세를 보이며 활발히 진행되고 있으며 분석결과 항공기체 개발, 신뢰성과 안전에 관한 연구는 다소 감소하는 추세이지만 사회적 수용, 이용요금, 운영통제 등에 관한 연구가 증가하는 추세로 나타났다 [3]. 본 연구에서는 운영관리 측면에서 서비스 이용요금, 이용 의도와 수용 모델, 버티포트 위치선정, 항공기 재배치 분야로 나누어 구체적으로 살펴보도록 하겠다.

1. 서비스 이용요금

다항로짓모델(multinomial logit model, MLM)을 이용한 UAM 서비스 요금 추정 모델을 개발하여 서울역과 인천공항의 예상 요금을 추정한 결과 96~108 USD로 나타났다 [6]. 한편, 인천국제공항과 인천 길병원 노선을 이용하는 대중교통 이용자 840명을 대상으로 선호의식(stated preference, SP)조사를 통해 수단선택모형을 이용하여 통행에 대한 시간가치를 분석한 결과 시간당 가치는 54,096원으로 나타났다 [7].

2. 이용 의도와 수용 모델

기술수용모델(technology acceptance model, TAM)은 새로운 기술이나 서비스의 수용관련 연구에서 공통적으로 인지된 유용성과 인지된 용이성이 일괄되게 사용되는 연구 모형이다 [8]. TOE(Technological, Organizational, Environmental context) 모형을 이용하여 UAM의 인지된 유용성과 사용 의도의 관계를 연구한 결과 UAM 기술, 신뢰, 가격이 인지된 유용성에 유의한 영향을 보이지만 보안, 인프라, 소음은 인지된 유용성에 유의한 영향을 보이지 않았다. 그러나 인지된 유용성은 사용 의도에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다 [8]. 또한 기술수용모형(TAM)과 통합기술수용모형(UTAUT)을 기반으로 하여 연구모형을 수립하고 분석한 결과 UAM 서비스의 편의성과 유희성이 각각 지각된 유용성에 유의한 영향을 미치지만, 경제성과 신뢰성은 유용성에 유의한 영향을 미

치지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 지각된 사용 용이성, 지각된 유용성, 사회적 영향과 촉진조건 등은 모두 사용 의도에 유의한 영향을 보이는 것으로 나타났다 [9]. 한편, 기존 교통수단 이용에 따른 피로도가 높을수록 UAM 이용 의도가 높아지고 버티포트를 포함한 지상기반시설에 대한 수용성이 높았다. 또한, 이용 목적에 있어서 출퇴근 목적보다는 타 지역 여가활동을 위해 UAM 이용 의도가 높은 것으로 나타났다 [10].

3. 버티포트 위치선정

수도권 고속도로 나들목 근처의 버티포트 4곳을 선정한 후, eVTOL 유형별로 대중교통 수단과 UAM의 소요시간 차이를 분석한 결과, 평균적으로 소요시간은 승용차에 비해서 1/9 수준으로 감소하고, 대중교통과 비교하면 1/13로 감소하는 것으로 나타났다 [11]. 한편 우리나라 수도권을 대상으로 통계청 거주지 및 이동 인구 데이터를 통해, K means 알고리즘을 사용하여 군집화하여 버티포트 후보지를 각각 5개, 40개, 100개를 제시한 바 있다 [12,13]. AHP 방법론을 사용하여 UAM을 포함한 신규 운송 서비스의 수용에 미치는 요인의 가중치를 도출하였다. 연구결과 경제적 요인이 0.525로 가장 높은 중요도를 보이며, 그 다음으로 기술적 요인이 0.325, 마지막으로 법·제도적 요인의 중요도가 0.149로 조사되었다 [14]. ANP(Analytic Network Process) 모형을 이용하여 UAM 버티포트의 입지선정 요인과 중요도를 분석한 바 있으며 연구결과, 대중의 수용성에 영향을 미치는 청각적 소음, 시각적 방해, 환경 문제 등을 포함하는 소음과 환경 요인의 중요성이 제일 높았다 [15]. AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법론을 적용하여 버티포트 입지에 영향을 주는 요인들의 중요도를 도출하고자 하였다. 중요도 분석 결과, 경제적 요인 0.348, 사회적수용성 요인 0.346, 접근성 요인 0.306의 상대적 중요도로 나타나 3가지 요인의 가중치가 유사한 것으로 나타났다 [16].

4. 항공기 재배치

특정 버티포트에는 필요 이상의 항공기 공급으로 유휴 항공기가 발생하고 특정 버티포트에는 서비스 이용을 희망하는 고객 대비 항공기가 부족한 불균형 현상이 발생하며 이를 해결하기 위한 재배치(repositioning) 전략이 요구된다. UAM의 온 디맨드(on-demand) 서비스 운영시 항공기(eVTOL)의 불균형 문제 해소를 위해 항공기를 인접 버티포트로 재배치하는 리밸런싱(re-balancing) 전략의 개념과 필요성만 제시된 바 있다 [17].

IV. 추후 연구 주제

지금까지 UAM 관련 국내 연구동향을 살펴본 결과 다양한 전공(교통, 항공, 경영, 물류, 산업공학, 도시계획 등) 분야에서 다양한 방법론을 적용한 연구가 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나, 향후 UAM의 본격적인 상용화 도입에 따른 복잡성(complexity)을 해결하고 고객서비스 향상과 운영비용 절감 측면에서 운영관리 최적화 이슈를 해결하기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

1. 버티포트 위치선정

기존 연구는 버티포트 위치의 중요도와 가중치를 도출하는 연구가 대부분이다. 버티포트 위치선정 문제는 최적화 이론 측면에서 최적위치선정문제(facility location problem, FLP)에 속하는 문제이다. 해외의 경우 FLP를 응용한 연구가 진행되고 있지만[18], 국내연구는 거의 없으므로 최적화 이론에 기반한 수리적 모형과 해법 개발 연구가 필요하다. 또한, FLP로 접근하기 위해서는 국내 후보지 위치와 버티포트 구축비용 등에 관련된 세부 데이터가 연구자에게 제공될 필요가 있다.

2. 주문 수락 및 이행 가능성

UAM 이용고객은 30분~1시간의 이동시간 절감을 위해 택시 요금의 3배~5배를 지불할 의향을 가진 고객이므로 고객의 이용 희망 시간에서 추가적인 지연 또는 대기시간이 발생하지 않고 신속하게 약속된 서비스를 이행해야 한다. 따라서 보유하고 있는 항공기와 제반 자원으로 약

속된 서비스의 이행가능성(feasibility)을 고려한 운행 스케줄링 모형 또는 UAM 운영자의 수익(revenue) 최대화 모형 등에 관한 연구가 필요하다 [19].

3. 항공기 재배치

우리나라의 경우, 대부분의 UAM 서비스 수요는 해외로 출국하는 수도권 공항(인천공항 또는 김포공항) 이용객으로 추정되고 있으며 수도권 버티포트에서 공항으로 수요가 편중되는 패턴을 보일 것으로 예상할 수 있다. 그러나, UAM 네트워크의 거점에 해당하는 버티포트는 제한된 면적을 가지므로 잉여 항공기가 대기할 수 있는 공간적 제약을 고려한 재배치 최적화에 관한 추가적 연구가 필요하다. 공유 자전거와 컨테이너 재배치 문제에서는 새로운 운반수단이 필요하므로 대부분 차량경로문제(vehicle routing problem, VRP)로 접근하고 있으나 [20], UAM 항공기는 자체 동력으로 이동이 가능하기 때문에 기존 연구와 차별화되어 새로운 접근과 모형 개발이 필요하다.

4. 배터리 충전과 유지보수

UAM eVTOL의 배터리 기술은 지속적으로 발전하고 있지만 아직까지 성능은 제한적이므로 운행과정에 충전 필요성이 발생한다. 또한, 안전에 대한 이용자의 관심이 높으므로 eVTOL은 수시로 유지보수를 받을 필요가 있다. 따라서 최적화된 eVTOL 배터리 충전 및 유지보수 스케줄링에 관한 추가적 연구가 필요하다 [21].

V. 결 론

우리나라 정부와 산업계는 UAM 서비스 상용화를 위해 “2021년 한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술 로드맵”, “2022년 모빌리티 혁신 로드맵”을 제시하여 본격적으로 추진하고 있다. 정부는 2022년부터 2024년까지 실증을 마무리하고, 2025년부터 부분적 상용화를 시작한 후 2030년부터는 본격적인 서비스를 시작해 2035년까지 100개 노선과 호출형 서비스로 확대한다는 목표를 제시하고 있다. 본 연구에서는 우리나라의 UAM 연구 동향을 분야별로 살펴보았다. 본격적

인 UAM 상용화 시대에 대비하고 고객서비스 향상과 운영비용 절감을 위해 운영관리 최적화 측면에서 추후 연구 주제를 정리하여 제시하였다.

References

- [1] S. Lee, Y. Eun, and D. Jeon, "Research Trends in UAM Traffic Management: Focused on Studies of NASA," *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, Vol. 20, No. 1, pp. 55~64, 2022.
- [2] UAM Team Korea, K-UAM Concept of Operations 1.0, 2021.
- [3] S. Baek, C. H. Song, and J. H. Jeon, Analysis of Research Trends Related to Urban Air Mobility (UAM) through Dynamic Topic Modeling," *Innovation Studies*, , Vol. 18, No. 1, pp. 119-142, 2023. <https://doi.org/10.46251/INNOS.2023.2.18.1.119>
- [4] J. Choi, and & Y. M. Choi, "Prerequisites for Realizing Urban Air Traffic (UAM) and Personal Air Vehicle (PAV)," *Journal of the Korea Convergence Society*; Vol. 11, No. 12, pp. 147 - 153, 2020. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2020.11.12.147>
- [5] J. W. Kang, Assessment Framework for Vertiport Location Determination, Ph.D Thesis, Hongik University, 2023.
- [6] J. H. Choi, Y. Park, and I. S. Jeon, "A Study on the Cost of Fare for UAM (Urban Air Mobility) Airport Shuttle Service," *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 39, No. 5, pp. 593-605. 2021. <https://doi.org/10.7470/jkst.2021.39.5.593>
- [7] H. S. Lee, S. B. Lee, and J. B. Lim, "Analysis of Preference for UAM of Public Transportation Users Following UAM Adoption," *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst*, Vol. 21, No. 5. pp. 1-14, 2022.
- [8] H. G. Ju, and J. W. Park, "Analysis of Factors Affecting the Adoption of Urban Air Mobility (UAM)," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 29, No. 4, pp. 96-104,2021. <https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.4.096>
- [9] S. H. Min, A Study on the Factors Affecting the Intention to Use the Urban Air Mobility Passenger Transportation Service, Ph.D Thesis, Soongsil University, 2022.
- [10]J. W. Lee, H. Choi, and S. Hong, "Factors Influencing the Intention to Use UAM (Urban Air Mobility) and Acceptance of Ground Infrastructure (Vertiport)," *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 57, No. 4, pp. 25-36, 2022. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2022.08.57.4.25>
- [11]J. S. Oh, and H. Y. Hwang, "Selection of Vertiport Location, Route Setting and Operating Time Analysis of Urban Air Mobility in Metropolitan Area," *Journal of the Advanced Navigation Technology*, Vol. 24, No. 5, pp. 358-367, 2020.
- [12]J. Y. Jeong, and H. Y. Hwang, "Selection and Evaluation of Vertiports of Urban Air Mobility (UAM) in the Seoul Metropolitan Area using the K-means Algorithm," *Journal of the Advanced Navigation Technology*, Vol. 25, No. 1, pp. 8-16, 2021.
- [13]E. Lim, and H. Y. Hwang, "The Selection of Vertiport Location for On-Demand Mobility and Its Application to Seoul Metro Area," *Int. J. Aeronaut. Space Sci*, Vol. 20, pp. 260-272. 2019. <https://doi.org/10.1007/s42405-018-0117-0>
- [14]S. W. Kwak, "A Study on the Social Acceptance Model for New Mobility Service," *Korean Management Consulting Review*; Vol. 20, No. 4, pp. 415-423, 2020.
- [15]M. C. Jung, K. S. Yu, and M. G. Yoon, "UAM Vertiport Site Selection Criteria and Importance Analysis Based on ANP Model," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 19, No. 5, pp. 3-19, 2021. <https://doi.org/10.30529/amsok.2021.19.5.001>
- [16]W. J. Kim, and J. H. Park, "A Study on the Factors affecting UAM Vertiport Location Selection," *Journal of Urban Studies and Real Estate*, Vol. 13, No. 2, pp. 119-137, 2022. <http://doi.org/10.21447/jusr.e.2022.13.2.119>
- [17]T. G. Yoon, and S. H. Kim, Re-balancing : Tactical Strategy for Efficient UAM Operation, Proceeding of Korean Aerospace Society Conference, pp. 124-135, 2022.
- [18]L. C. Willey, and J. L. Salmon, "A method for Urban Air Mobility Network Design using Hub Location and Subgraph Isomorphism," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 125, pp. 1-23, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.102997>.
- [19]F. Li, S. Xu, and Z. Xu, "New Exact and Approximation Algorithms for Integrated Production and Transportation Scheduling with Committed Delivery Due Dates and Order Acceptance," *European Journal of Operational Research*, Vol. 306, No. 1, pp. 127-140, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.030>.
- [20]B. Legros, "Dynamic repositioning strategy in a

bike-sharing system; how to prioritize and how to rebalance a bike station,” *European Journal of Operational Research*, Vol. 272, No. 2, pp. 740-753, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.06.051>.

- [21] B. C. Choi, and J. Chung, “Scheduling for Drone Operation and the Battery Charging,” *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol. 21, No. 1, pp. 23-35 2021. <https://doi.org/110.25052/KSCM.2021.05.21.1.23>

<p>※ 본 논문은 2022년도 공주대학교 연구년 지원에 의하여 연구되었음</p>
