

특별세션 2 / UAM 기상 측정/예측 1-1

한국형 도심항공교통(K-UAM) 운항 지원을 위한 기상 기술 개발 현황

김재진¹, 권병혁¹, 최원식¹, 문우석¹, 손락훈¹, 신지훈¹, 곽경환², 강성락³, 원완식⁴, 이상현⁵,
박승부⁶, 차동현⁷, 박상서⁷, 손홍선⁸, 김주하⁸, 이재화⁸, 박경석⁹, 강현승¹⁰, 류성현¹¹

¹국립부경대학교 지구환경시스템과학부(환경대기과학전공)

²강원대학교 환경융합학부(에코환경과학전공)

³강릉원주대학교 대기환경학과

⁴한국항공대학교 항공교통물류학부

⁵공주대학교 대기학과

⁶서울시립대학교 환경공학부

⁷울산과학기술원 지구환경도시건설공학과

⁸울산과학기술원 기계공학과

⁹(재)울산정보산업진흥원

¹⁰(주)에이엠피

¹¹(주)미래기후

도심항공모빌리티(UAM, Urban Air Mobility)는 최근 대도시의 교통 혼잡 문제를 해소할 수 있는 차세대 교통수단으로 주목받고 있다. 특히 도심 내 저고도 영역을 비행하는 UAM의 안정적인 운항을 위해서는 고해상도 기반의 기상 정보를 신속하게 제공하는 기술 개발이 필요하다. 현재 운영 중인 항공 기상 시스템은 주로 고고도 항공기 운항을 위해 설계되어 있기 때문에, 지형과 건물 등 지표면 영향을 크게 받는 저고도 환경에서 활용하기 어렵다. 또한, UAM에 특화된 고해상도(수백 m 수준)~초고해상도(수 m 수준)의 기상 예측 모델과 난류 예측 모델, 지상·원격·이동 관측을 통합한 도시 내 실측 기반 관측망 구축 사례 역시 국내외적으로 매우 제한적이다. 이에 따라 UAM 회랑 내 기상 및 난류 특성을 정확하게 관측·예측할 수 있는 기술 개발이 절실한 상황이다. 본 연구에서는 K-UAM 운항을 위한 통합 기상 정보 생산 체계 구축을 목표로 총 5개의 구성 기술(구성 기술 1: UAM 특화 지상·원격 관측 기반 기상정보 생산 기술 개발, 구성 기술 2: 회랑 내 위험기상 감시를 위한 드론 기반 이동관측 기술 개발, 구성 기술 3: 3차원 도시기상 실태정보 생산 및 정합 기술 개발, 구성 기술 4: 고해상도·초단기 예측이 가능한 UAM 특화 수치모델 개발, 구성 기술 5: 위험기상 조기경보를 위한 확률기반 예측정보 생산 기술 개발)에 대한 연구를 수행하고 있다. 본 연구의 최종 목표는, 도시 내 미규모 난류와 위험 기상까지 포착할 수 있는 K-UAM 특화 기상 예측 모델을 구축하여 K-UAM 안전 운항에 필요한 기상·난류 정보를 적시에 제공하는 것이다.

Keywords: K-UAM, 기상 관측망, 기상예측모델, 난류예측모델, 위험기상

※ 이 연구는 기상청 「한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술 개발」(RS-2024-00404042)의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 2 / UAM 기상 측정/예측 1-2

UAM 테스트베드 기상관측망 구축을 위한 도플러 라이다 비교 관측

배혁진, 권병혁, 김상진, 이경훈, 서지우, 구유정

국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경대기과학전공

도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM)은 미래 교통체계의 핵심축으로 주목받고 있으며, 안전한 운항을 위해서는 도심 내 복잡하고 변화무쌍한 기상 환경을 정밀하게 관측하고 예측할 수 있는 기술이 필수적이다. 특히 도심권에서는 지형, 건물 구조, 인공열원 등 다양한 요인으로 인해 미세 규모의 기상 현상이 빈번히 발생하므로, 기존의 관측망만으로는 UAM 운항에 필요한 기상 정보를 충분히 제공하기 어렵다. 본 연구는 한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 'UAM 운항 지원을 위한 기상관측 및 예측 기반기술 개발'을 목표로 한다. 이를 위해 대기의 연직 구조를 실시간으로 파악할 수 있는 도플러 라이다(Doppler LiDAR)를 구매하여 운영할 계획이며, 장비의 성능과 활용 가능성을 평가하기 위하여 라디오존데(radiosonde)와 기상타워의 11개 고도에서 측정한 바람 자료와 비교하였다. 2004년에 연직 라이다 1대, 2005년에 연직라이다 6대와 스캐닝 라이다 1대를 도입하여 보성표준기상관측소에서 비교 관측을 수행하였다. 라이다와 라디오존데 및 초음파풍향풍속계의 동시 관측 결과를 비교·분석하여 도플러 라이다는 풍속과 풍향의 연직 분포를 안정적으로 재현할 뿐만 아니라, 고도별 바람 구조 및 난류 특성을 탐지하는 데에도 효과적임을 확인하였다. 이는 향후 도심 내 국지 기상 감시 및 초단기 예측 기술 개발의 기반 자료로 활용될 수 있으며, 특히 UAM 운항 경로 상의 위험 기상 요소(강풍, 돌풍, 난류 등)를 실시간으로 감시하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 본 연구는 도심항공교통 운항 지원을 위한 기상 관측·예측 체계 구축에 기여할 수 있는 핵심 기술적 성과를 제시한다.

Keywords: UAM, Doppler LiDAR, Radiosonde, Ultrasonic Anemometer, Meteorological Tower

※ 이 연구는 기상청 한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술 개발(RS-2024-00404042)의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 2 / UAM 기상 측정/예측 1-3

Urban Air Mobility (UAM) 안정 운용을 위한 지상 관측 측정망 구축

최원식, 박용미, 신지훈, 김재진

국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경대기과학전공

도심의 교통 혼잡 문제 완화와 긴급 상황 대처를 위한 차세대 교통 산업으로 도심항공교통(UAM: urban air mobility)이 주목받고 있다. UAM에 활용될 소형 기체는 돌풍, 난류, 연직 전단, 착빙 등 국지적인 기상 조건에 민감하게 반응하기 때문에 UAM 운항의 안정성을 확보하기 위해서는 이러한 위험기상에 대한 관측과 단기 예보가 필수적이다. 특히, UAM 운용 고도인 대기경계층은 지형과 지상 구조물을 포함한 지면의 영향을 직접적으로 받는 고도로 비균질한 지면 환경에 기인한 기상과 난류의 변동성이 매우 크고 복잡한 특성을 가지며, 이로 인하여 단기 기상 및 난류의 관측과 예측은 여전히 어려운 과제로 남아 있다. 기존의 기상 관측 시스템과 중규모 수치예보 모델은 이러한 복잡한 대기경계층의 기상 및 난류 관측과 예측에 필요한 시공간 해상도가 충분하지 않고 지상과 고고도에 초점이 맞추어져 있어, UAM에 특화된 대기경계층 내에서의 고해상도 기상 및 난류 관측과 예측 시스템이 요구된다. 본 연구는 UAM 운항에 적합한 기상 관측 체계 구축과 시범 운용을 통해 기존 관측 및 예보 시스템과 UAM 운용에서 요구되는 체계 사이의 간극을 해결하는 것을 목표로 한다. 본 발표에서는 UAM 특화 기상 관측망 구축과 지상 난류 특성에 대한 사전 분석 결과를 통해 'UAM 운항 지원을 위한 기상 관측체계 구축'의 필요성과 진행 상황을 제시하고자 한다.

Keywords: 도심항공교통, UAM, 도심 난류, 대기경계층, 고해상도 기상 관측망

※ 이 연구는 기상청 「한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술 개발」(RS-2024-00404042)의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 2 / UAM 기상 측정/예측 1-4

도심항공교통 운항 지원을 위한 회전익 드론 기반 이동기상관측

곽경환^{1,2,3,4}, 김수연¹, 김연욱³, 고원석¹, 김용찬¹, 최민서², 전예지¹, 박찬호⁴, 이현서⁴, 강현승⁵, 장지훈⁵, 이준화⁵

¹강원대학교 환경학과
²강원대학교 미세먼지통합관리학과
³강원대학교 환경연구소
⁴강원대학교 에코환경과학전공
⁵주식회사 에이엠피

도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM)은 도시 내 이동 또는 도시 간 이동을 목적으로 하는 항공 운송 수단이다. UAM을 초기에 정착시키기 위해서는 안전한 운용 체계를 구축하는 것이 급선무이며, 이를 위해서는 이착륙을 위한 버티포트와 비행을 위한 공역 내 상세하고 정확한 기상 정보가 필수적이다. UAM 운항에 필요한 기상 정보는 도시 규모 혹은 그보다 작은 상세 규모에 해당하기 때문에 국가 기상 관측망의 자료만으로는 충분하지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 도심항공교통 운항을 지원하기 위한 목적으로 이동기상관측망을 구축하는 연구의 일환으로 UAM 테스트베드에서 회전익 드론을 이용하여 시범 관측을 수행하고 있다. 대상 지역은 울산광역시 UAM 테스트베드이며, 버티포트 및 위험기상 우심지역에서 지상으로부터 600 m 고도까지 회전익 드론이 목표 고도에서 정지 비행(호버링)하는 방식으로 관측한다. 2025년 6월 23일에서 7월 7일까지 총 48회에 걸쳐 기압, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속을 관측하였으며, 지면 부근의 난류 발생과 함께 산악 지형에 인접한 위험기상 우심지역에서도 난류가 발생하는 특징을 확인하였다. 이동기상관측을 통해 기상자료를 수집하기 위한 적절한 비행 고도, 비행 시간, 시간 간격을 비교하였으며, 이러한 결과를 바탕으로 향후 안정적인 기상자료 확보가 가능할 것으로 판단된다.

Keywords: 도심항공교통, 이동기상관측, 무인항공기, 위험기상

※ 이 연구는 기상청 「한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술 개발」(RS-2024-00404042)의 지원으로 수행되었습니다.

특별세션 2 / UAM 기상 측정/예측 1-5

퍼스트 패세지(first passage) 문제를 활용한 극한 돌풍의 통계적 예측

전미정, 김혜영, 문우석

국립부경대학교 환경해양대학 환경대기과학전공

UAM은 향후 도심 상공 약 300m에서 600m 사이를 주로 비행하게 될 것이다. 이 고도 영역은 대기 경계층의 일부로서, 지표면에서 발생하는 열 플럭스와 마찰의 영향을 크게 받는 동시에, 약 1km 상공에서 부는 지균풍에도 강하게 조율된다. 그러나 이 구간은 전통적인 대기과학 연구에서 오랫동안 관심 밖에 놓여 있었기 때문에, 관측적·이론적으로 충분히 규명되지 않은 영역이다. 특히 난류가 빈번하게 발생하는 곳이어서, 짧은 시간 범위의 예측조차 쉽지 않은 것으로 알려져 있다.

UAM의 안전하고 안정적인 운항을 위해서는 이러한 영역에서 빈번히 나타나는 돌풍을 사전에 예측하고 대비할 수 있는 기술이 필요하다. 하지만 대기 경계층의 바람장은 본질적으로 난류적 성격이 강하기 때문에, 개별 현상을 정확히 예측하는 것은 사실상 불가능에 가깝다. 따라서 전통적인 수치예보 기법에 전적으로 의존하기보다는, 초단기 바람장의 통계적 특성을 활용한 확률 예보 기술을 개발하는 것이 보다 현실적이고 타당한 접근법으로 판단된다.

본 연구에서는 관측 자료를 통해 초단기 바람장이 정규분포 특성을 따름을 확인하고, 이를 재현하기 위한 통계물리적 모형을 도입한다. 나아가 해당 모형을 이용해 돌풍 발생의 평균 빈도를 계산하고, 이를 예보 지수로 활용할 수 있는 방안을 제시한다.

Keywords: UAM operation, Extreme winds, statistical forecast, first passage problem, Langevin equation

특별세션 2 / UAM 기상 측정/예측 1-6

영상 자료를 활용한 UAM 버티포트 저시정 감시 기술

원완식¹, 서지원¹, 권두영¹, 최윤정¹, 김주은²

¹한국항공대학교 미래항공교통학과

²한국항공대학교 항공교통물류학부

국토교통부는 2028년 UAM(도심항공교통) 상용화를 목표로 K-UAM 사업을 추진, 지원하고 있다. 상용화 초기 UAM 비행은 시계 비행으로 예정되어 있어, 도심 환경에서 UAM 운용 가능 판단을 위한 시정(visibility) 관측의 중요성이 커지고 있다. FAA(Federal Aviation Administration)에서 발행한 관보에 따르면, 수직이착륙을 수행하는 Powered-lift HAA(Helicopter Air Ambulance) 경우 비관제 공역에서 주간 VFR 비행 시 산악과 Local 조건에 따라 시정 2-3 SM (3200-4800 m) 이상을 요구한다. 특히 도심에서 이착륙을 수행하는 UAM의 특성상 기존의 시정 관측 시설의 설치가 어려울 수 있고, 큰 비용이 수반될 수 있다. 이와 관련하여 미국 FAA의 사례로 기상관측망 설치가 어려운 알래스카 지역을 중심으로 카메라를 설치하여 기상 정보를 수집하고 제공하는 Weather Camera Program 을 참고할 만하다. 본 연구에서는 카메라 영상을 활용하여 UAM 버티포트에서 활용 가능한 실시간 시정 산출 기술을 제안한다. 먼저 카메라 영상에서 시정을 산출할 수 있는 알고리즘을 설계하였다. Atmospheric scattering model을 활용하여 이미지 전체에 Dark Channel을 적용한 후, Dark Channel Prior 기법을 이용하여 대기투과율 값을 얻어내고, 대기 투과율 값의 보정 과정을 거쳐, 소광계수와 시정의 관계식을 이용하여 시정 값을 산출하였다. 이러한 알고리즘을 이용하여 UAM 운항 회랑을 고려한 한강 지역을 촬영한 이미지로 시정을 산출하고, 동 시간의 관측값과 비교하였다. 한편, UAM 버티포트에서 적용 가능성을 확인하기 위하여 김포공항 인근 CCTV에서 촬영된 영상을 활용하여 산출된 시정값과 김포공항의 METAR(공항 정시기상관측)의 시정값을 비교하였다. 사례 연구 결과, 알고리즘을 통해 산출한 시정값이 공항의 시정 관측값을 상당히 유사하게 재현함을 확인하였다. 오차 사례에 대해서는 시정의 국지적인 특성을 고려한 추후 연구가 필요할 것으로 보인다. 본 연구의 카메라 기반 시정 산출은 도심 UAM 환경에서 기존 방식의 시정 관측을 보완하며 저비용의 실용적 보조 수단으로 사용할 수 있으며, 특히 버티포트와 운항 회랑에서의 국지적 시정 변화를 관측하여 이착륙 판단을 보조하는 데 활용 가능할 것으로 기대된다.

Keywords: UAM, 시정, 카메라 영상, 시계 비행, 버티포트

※ 이 연구는 기상청 「한국형 도심항공교통(K-UAM) 안전운용체계 핵심기술 개발」(RS-2024-00404042)의 지원으로 수행되었습니다.