



UAM 조류 충돌 방지대책 수립에 관한 연구

A Study on the Prevention of Bird Collision in UAM

김 다니엘* · 조희덕 · 이승우 · 김재우

대한항공 항공기술연구원

Daniel Kim* · Hee-duk Cho · Seung-woo Lee · Jae-woo Kim

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

[요 약]

본 논문은 운항사 시각에서 UAM 운항에서의 조류 충돌 방지대책 수립에 관한 연구를 다루고 있다. 도심 항공교통은 친환경적인 전기 수직 이착륙 항공기를 사용하여 도심 내의 주요 지점 간의 이동 서비스를 제공하는 차세대 교통 시스템으로 정의된다. UAM 산업의 성공적인 정착을 위해서는 대중의 수용성을 결정하는 안전성에 대한 문제를 보장하여야 한다. 항공 운항에서 발생할 수 있는 위험요소 중 도심 환경 내에서 조류 충돌을 방지하는 것은 운항 안전성 및 대중 수용성을 크게 확보할 방안이다. 조류 충돌을 방지하기 위해서는 물리적 방법 외에도 절차적인 통제 방안이 요구된다. 본 연구에서는 UAM 운항의 안전성을 보장하기 위하여 조류 충돌 방지대책을 물리적, 절차적 방법과 이착륙 구간, 회랑구간 등 운항 구간별로 각 특성에 따라, UAM 조류 충돌 방지대책 수립 방안을 제시하였다. 이를 통하여 도심 항공교통 운영시스템의 안전성 향상에 기여하고자 한다.

[Abstract]

This paper deals with the study of bird collision avoidance measures in UAM operations from an operator's perspective. Urban air traffic is defined as a next-generation transportation system that uses environmentally friendly electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft to provide transportation services between key points within and around urban centers. For the successful establishment of the UAM industry, it is necessary to ensure safety issues that determine public acceptance. Among the hazards that can occur in aviation operations, preventing bird collisions in urban environments is a measure that can greatly secure operational safety and public acceptance. In addition to physical measures, procedural control measures are required to prevent bird strikes. In order to ensure the safety of UAM operations, this study aims to provide a direction for the establishment of UAM bird collision prevention measures by categorizing bird collision prevention measures into physical and procedural methods and flight sections such as takeoff, landing, and corridor sections. Through this, we hope to contribute to the improvement of the safety of the urban air traffic operation system.

Key word : UAM operation, ConOps, Flight control, Operation scenario, Bird collision.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.3.338>



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 31 May 2024; Revised 26 June 2024

Accepted (Publication) 29 June 2024 (30 June 2024)

*Corresponding Author; Daniel Kim

Tel: +82-42-868-6057

E-mail: danielkim@koreanair.com

I. 서론

수도권 내 지상 교통량 급증은 차량 정체로 인한 도로 혼잡, 대중교통 정체, 환경오염 등 다양한 사회경제적 문제를 야기하고 있다. 정부는 이러한 문제를 해결하려고 2020년 5월에 K-UAM 로드맵을 발표하였다. 기존 항공교통은 고고도로 고속으로 운항하고 소음이 커 도심 내 운항에는 부적절하다는 평가를 받았다. 그러나 국내에서 운항 예정인 전기 수직 이착륙(EVTOL; electric vertical take-off and landing)형 도심항공교통(UAM; urban air mobility)은 활주도가 필요 없고 소음이 적으며 배출가스가 없어 도심형 친환경 항공교통 수단으로 기대되고 있다.

국제적으로도 UAM 산업의 성장에 관한 관심이 높아지고 있다. UAM은 선도국 도약, 도시경쟁력 강화, 시공간의 새로운 패러다임 변화, 미래형 일자리 창출 등의 비전을 갖고 있다. NASA의 PAVE(Personal Air Vehicle Exploration) 프로그램은 2030년경 세계 PAV 시장을 약 25만대로 전망하고 있으며 항공 선진국들은 관련 기술, 절차, 운용 시스템 개발에 박차를 가하고 있다[1].

그러나 UAM 서비스의 성공적인 정착을 위해서는 대중 수용성이 매우 중요하다. UAM 서비스의 대중 수용성을 결정하는 결정적인 요인은 안전에 관한 우려(75.3%)이다. UAM 운항 안전성이 향상되는 방법으로 기상 예측, 기체 안전성, 보안 절차, 교통감시 시스템 고도화 등의 방안들이 있으나, 도심에서 운항하며 대중교통 수단으로 이착륙 빈도가 높은 UAM 운항 환경과, 도심 내 서식하는 조류들의 비행 고도와 순항 고도가 겹치기 때문에 조류 충돌 위험이 기존 항공기 운항환경에 비해 높다. 특히 도심 내 조류 충돌로 발생 시, 연쇄 사고로 인한 지상에서의 대참사로 이어질 가능성이 크기 때문에 이러한 사고를 미리 방지하고자 도심 항공교통 운항환경에서 조류 충돌 방지 대책을 수립하는 방안을 연구하였다.

II. 관련 연구 고찰

도심 항공교통 운항환경에서의 조류 충돌 방지책을 설정하기 위하여 조류의 일반적인 특성과 도심 내 조류 특성, 기존 항공교통에서의 조류 충돌 방지 절차에 관한 연구를 고찰하였다.



그림 1. UAM 서비스 및 버티포트 설치 우려 설문조사 [2]
 Fig. 1. UAM services and vertiport installation concerns survey [2].

양세훈(2023)은 육군 항공부대 헬기 운항환경을 배경으로 국내 조류의 서식 환경을 분석하고 국내외 공항 조류 충돌 예방 활동을 분석하여 헬기 지휘소 편성 및 조류퇴치 전담반 편성, 드론, 태양열 야생동물 퇴치기 등 육군 부대의 헬리콥터 조류퇴치에 필요한 방안을 제안했다[3].

한국로봇융합연구원 홍현길 외 6명(2019)은 국내 조류와 야생동물의 시각적, 청각적 특성을 분석해 주야간 구분 없이 유해 조류 퇴치 및 야생동물을 퇴치하는 시스템을 연구했다. 유해 조류 퇴치기는 열 감지 센서를 통해 야생동물의 침입을 감지하여 낮에는 유해조류를 퇴치하고, 야간에는 주로 활동하지 않는 새 대신 멧돼지나 고라니 등 야생동물을 대상으로 퇴치 활동하는 시스템을 개발 및 제안했다[4].

항공대 황호원 외 1명(2009)은 항공기 조류 충돌 사고에 대한 효과적인 대응 방안에 관한 연구를 진행했다. 이를 위해 2009년 기준 조류 충돌 발생 현황을 분석하고, 관련 법령 및 국내 공항 조류퇴치 인원, 장비 현황, 해외 조류 충돌 방지 위원회 활동 사항을 비교 분석하여 조류 충돌 활동 방안을 제안하였다[5].

이러한 연구 결과를 통해 시사하는 바는 항공 안전 측면에서 조류 등 야생동물의 활동을 완벽하게 제어할 수는 없으나 선진화되고 체계적인 물리적, 절차적 시스템 및 운항환경 조성을 통해 이착륙 및 순항 구간에서 항공기와 조류 충돌 가능성을 최소화할 수 있다는 것이다. K-UAM의 안전하고 지속적인 운항을 위해 항공기 구조에 중대한 손상을 입히거나 대형 인명피해를 일으킬 수 있는 조류 충돌요인에 대한 심도 있는 검토와 조류 충돌 방지대책을 제안해 K-UAM 운항환경의 안전하고 효율적 운항에 이바지하고자 한다.

III. 주요 연구 내용

3-1 연구 방법

본 연구는 기존 항공교통에서 이용되던 방법을 기반으로 사례 연구를 수행했다. 사례 연구는 특정 사례에 대한 포괄적인 이해를 시도하는 방법이다. 여기에서 사례 연구란, 시간적, 공간적으로 명확한 경계를 가지는 하나의 제한된 체계(bounded system)로, 그 자체가 하나의 연구 대상으로서 취급된다[6].

사례 연구에서 눈에 띄는 사례는 단순히 모집단의 특성을 반영하는 한 개체로서의 의미를 넘어, 대상 사례 자체가 연구자의 구체적인 관심 대상이기 때문에 선정되는 것이다. 따라서, 사례 연구의 실시에 있어서 사례 자체가 가지고 있는 모든 특징을 종합적으로 고려해 분석하는 것이 필요하다[7].

UAM 운항환경은 전 세계적으로 실현화된 사례가 없으며, 미래 운항환경에 대해 항공교통에서 활용된 절차 및 기법을 바탕으로 새롭게 구상해야 한다. 실험 및 분석을 수행하는 데 어려움이 있으므로 정성적 연구 방법으로 연구를 수행하였다.

3-2 UAM 운항노선 내 조류 특성 및 환경 분석

조류의 생물학적 특성은 일반적인 조류가 선호하는 서식 환경을 이해하고 버티포트 인접에 서식지와 반대되는 환경을 구성하여 충돌 방지를 도모하기 위한 중요한 요소이다.

1) 국내 조류의 생물학적 특성

대부분 조류는 비행 중에도 신속하게 수정체를 조절할 수 있어 원근 시야를 자유롭게 전환할 수 있다. 또한, 해부학적으로 후방 안구에 병풍 모양의 조직이 있는 강화된 망막 형태를 지니고 있다. 또한, 인간에게는 1개 밖에 없는 중심와(fovea)가 새에게는 전방시와 측방시 목적으로 2개 또는 3개가 있어, 넓은 시야뿐만 아니라 고해상도로 물체를 식별할 수 있다. 이처럼 새의 시각은 인간보다 훨씬 뛰어나고 예민한 감각기관임을 알 수 있다.

국내 조류의 90% 낮에 활동하고 있으며 올빼미, 족제비 등 야행성 조류는 소수에 불과하다. 낮에 활동하는 조류는 덩그러니 추울 때, 눈비나 안개가 발생한 날을 제외하고는 주로 아침에 활동을 많이 하며, 낮에는 대부분 휴식이나 포식자를 피해 안전한 장소에 머무른다. 그리고 늦은 오후가 되면 활동을 재개해 당일 밤까지 먹이 활동을 한다.

국내 조류의 비행 속도는 작은 종이 평균 시속 15~35 km, 큰 종은 시속 60 km 이상의 비행 속도를 가진다. 새들의 비행 고도는 대부분 300피트 이내에서 이루어지며, 철새의 경우 25,000 피트 이상까지 비행한다. 이러한 새는 선천적으로 큰 소리가 날 경우, 해당 소리가 난 지역에서 멀리 도망치는 도피 반응을 보이지만, 소리가 반복되면 나중에는 해당 소리에 대하여 습관화가 이루어지고 결국 그 자극이 즐겁게 되는 특성이 있다. 하지만 이와는 대조적으로 이전에 경험한 큰 소리에 대해 강한 자극을 경험한 경우, 그 후에도 비슷한 소음에 민감하게 반응하는 특성이 있다. 따라서 폭음기가 설치된 인근에서는 충분히 큰 강도의 소리가 나기 때문에 폭음기의 경우 조류퇴치의 효과가 있지만 폭음기 소리가 멀리서 비교적 작게 들리면 조류의 습관화가 유발될 가능성이 크다. 따라서, 지속적이고 반복적으로 폭음기를 발생시키는 것보다, 조류가 접근하였을 때 큰소리를 발생시키는 것이 조류퇴치에 효과가 좋은 점을 알 수 있다 [8].

2) 국내 조류의 서식 환경

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 조류에게 좋은 서식 환경을 제공하고 있다. 그중 수도권에는 약 235종의 조류가 서식하고 있다. 우리나라는 철새의 이동 경로상에도 있기에, 매년 겨울에 러시아 등지에서 추위를 피해 청둥오리, 흰뺨검둥오리, 백죽지 등 여러 종류의 철새들이 수도권 한강 서식지로 모여든다.

한강 주변, 강서·난지·여의도 셋강·고덕수변·암사 5개의 생태 공원 중, 난지 한강 공원, 여의도 한강 생태 공원, 암사 생태



그림 2. 한강 생태 공원 위치도 [9]
Fig. 2. Location Map of Han River Ecological Park [9]

공원이 철새 도래지에 해당한다.

본격적인 추위가 시작되는 12월이면 흰꼬리수리, 참수리 등 멸종위기 I 급 조류부터 황조롱이 등 천연기념물까지 약 50여 종 이상의 조류가 한강에서 발견된다. 한강을 찾는 대표적인 겨울 철새로는 청둥오리, 비오리, 땃기흰죽지, 흰죽지 등이 있으며, 흰꼬리수리, 참수리, 원앙 등 천연기념물과 멸종위기종도 한강 공원에서 관찰된다.

수도권에서는 철새뿐만 아니라 도심 내에 서식하는 조류의 활동도 많은 편이다. 도심 중심 내에 위치하여 UAM의 이착륙이 빈번한 버티포트의 경우, 도심 내에 서식하는 조류의 충돌 위험성이 높다.

특히 종다리, 멧비둘기, 제비, 황조롱이, 황등새 등의 개체수가 수도권에 많이 서식하고 있다. 이들의 서식 환경 특성을 도심 내에서 가장 빈번하게 발견되는 비둘기를 예시로 살펴보면 이들의 서식지는 그늘진 곳보다 햇빛이 잘 드는 곳에서 주로 서식하며, 저층보다 비교적 높은 층을 선호하는 특성이 있다. 이는 천적(야생 고양이 등)을 피하기 위한 행동으로 판단된다 [11].

표 1. 한강 서식 조류종 및 출현 빈도 [10]
Table 1. Bird species and frequency of appearance in Han river [10].

	Species name	frequency of appearance		Species name	frequency of appearance
1	Brown-eared bulbul	100.0	16	Eastern spot-billed duck	20.9
2	Oriental Magpie	99.5	17	Varied tit	20.2
3	Tree sparrow	99.1	18	Yellow-throated Bunting	19.1
4	Japanese tit	79.8	19	Grey heron	18.6
5	Oriental turtle dove	64.8	20	Long-tailed tit	18.4
6	Marsh Tit	50.1	21	Jungle Crow	17.2
7	Vinous-throated parrotbill	41.8	22	Common kestrel	17.2
8	Black-naped oriole	36.8	23	Phylloscopus coronatus	16.1
9	Common pheasant	31.3	24	Little egret	16.1
10	Pigeon	30.8	25	Common cuckoo	15.9
11	Eurasian jay	28.5	26	Dusky thrush	14.5
12	Great Spotted Woodpecker	27.4	27	Coal Tit	13.1
13	Japanese pygmy woodpecker	26.9	28	Crow	12.9
14	Daurian redstart	23.9	29	Barn swallow	12.9
15	Grey-Headed Woodpecker	21.4	30	Rufous-tailed Robin	12.6

이러한 결과는 도심에 서식하는 조류가 일정한 먹이 공급, 번식 장소 등에서 시기마다 안정적인 번식을 하고 있지만 공간적으로 온도, 포식자 등 여러 환경 요인이나 방해 요인 등에 영향을 받고 있음을 의미한다.

야생 비둘기는 옥수수, 콩 등의 씨앗을 먹지만 도시에서는 거리의 빵, 음식 찌꺼기 등과 인간이 공급해 주는 먹이를 먹기 때문에 도심 내에 서식하는 조류의 퇴치를 위해서는 먹이 환경의 통제와 조류가 살기 불편한 서식 환경조성이 필요하다[3].

3) 공항 인근의 조류 특성

항공기 운항 중, 조류 충돌이 특히 많이 발생하는 구간은 항공기가 이착륙하는 구간이다. 다시 말해 공항 근처에서 항공기와 새들의 충돌이 많이 발생하고 있다.

국내에 서식하는 조류 가운데 항공기와 주로 충돌하는 종은 40여 종이다. 공군에서 2000년부터 2013년까지 수집한 조류 충돌 자료를 보면 총 202건 중 가장 많은 충돌을 일으킨 종은 황조롱이 등 맹금류로 총 29건이 발생했고 이어 종족 등 종다리의 소형 새가 22건, 오리류 21건, 꿩, 메추리가 17건, 물떼새류 15건, 백조류 14건, 멧비둘기 10건 순으로 분석됐다[5].

새들이 비행장 부근에서 활동이 많은 이유는 다음과 같다.

① 비행장은 광활한 초원이어서 새들의 먹이가 되는 곤충류나 식물의 열매가 많다. 특히 비가 온 뒤 활주로와 유도도로가 나오면 많은 지렁이와 가을에 모이는 잡자리는 새에게 최고의 먹이가 된다.

② 활주로와 유도로는 시각적 장애물이 없는 개활지로 초원보다 멀리서 곤충을 발견하기 쉽다.

③ 날씨가 좋은 날에는 열을 받은 활주로 및 유도도로가 상승기류를 발생시켜 주기 때문에 상승 열풍 비행(Thermal Soaring, 태양열로 데워진 지표의 공기 상승으로 발생하는 상승 열풍을 이용, 고도를 높이는 것)의 포인트가 된다.

④ 비행장 지역에는 야생 조류와 사람들이 적기 때문에 새들에게는 안식처가 된다.

3-3 국내외 공항 내 조류퇴치 조직

조류를 통제하기 위해 한국공항공사와 인천국제공항공사, 군공항의 경우 공항별로 조류 충돌 예방 관련 계획을 수립하여 시행하고 있다. 두 공항 공사는 민간 용역에 의한 조류 퇴치반을 운영하고 있으며 공군의 경우 기지별로 운항관제대에서 운영한다.

국토교통부 고시 제2013-130호에 따라 조류 및 야생동물 충돌 위험에 관한 기준이 있으며, 조류 충돌을 인지한 조종사 및 항공중사자는 아래 그림의 절차에 따라 소속 항공사와 지방항공청장에게 제출하도록 규정하고 있으며, 항공사는 조류의 충돌 잔해와 흔적을 발견했을 때는 충돌한 종류의 종을 분석하기 위해 공항 운영자에게 보고하도록 하고 있다.

조류 퇴치반은 공항별로 자체적으로 운영하며, 인원 편성은

공항별로 다르지만 약 3~15명으로 공항 여건에 맞게 운영하고 있다. 조류 퇴치반은 보통 고정조와 이동조로 나누어 운영하며, 조류의 이동 상황 감시 및 보고, 조류의 적극적 포획 활동과 분산 임무를 수행한다.

BAT조가 사용하는 주요 장비로는 활주로 주변에 가스 대포(폭음기), 조류 기피 소음기(경보기)가 설치되어 있으며 공항별로 까치포획용 트, 반짝이 줄, 맹금류모형, 새 그물망 등을 활용하고 있으며, 조류 퇴치반은 폭음이나 섬광을 발생시키는 SHOT TELL 탄과 살상용 염총탄을 사용한다.

일본은 2009년 미국 허드슨강 항공기 사고를 계기로 조류 충돌 방지를 위해 조류 충돌 보고 체계 강화, 공항 내 방재 활동, 조류 순찰 활동 등을 중점 시행하고 있다.

보고 체계는 과거 공항 중심의 보고 체계에서, 현재는 항공기 운항 관련자 전원이 작성 및 보고하는 체계로 운영되고 있다. 이렇게 수집된 자료는 분석과 동시에 각 공항에 조류 예방 활동의 기본자료로 사용될 수 있도록 배포하고 있으며, 효과적인 정보공유를 위해 인터넷을 이용한 DB를 구축하여 활용하고 있다. 일본 내에서는 조류 순찰 활동이 가장 효과적인 예방 활동으로 분석되고 있으나 실시 공항과 미시행 공항을 비교한 결

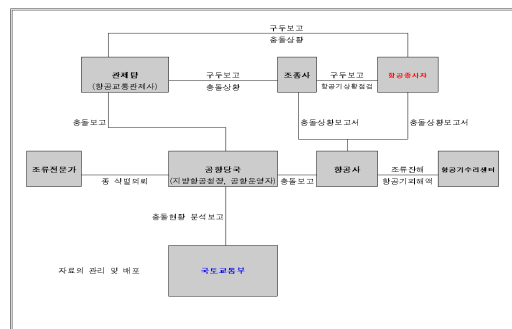


그림 3. 조류 충돌 상황 보고 체계 [12]
Fig. 3. Bird collision reporting system [12].

조류 충돌 보고서

수신 : 01/02	운항에 미친 영향	
항공기 제작사/모델 : 03/04	없음	□ 32
연결 제작사/모델 : 05/06	이름 중지	□ 33
항공기 등록번호 : 07	예상 좌표	□ 34
일과 일 --- 월 --- 년 --- : 08	엔진 위치	□ 35
발생 시간 : 09	기타(사제화)	□ 36
체적D ₁ , 주면D ₂ , 일면D ₃ , 체적D ₄ - 10	기상(상공) 상태	37
비행장 명칭 : 11/12	구름 없음	□ A
사용된 활주로 : 13	약간의 구름	□ B
양행 중일 경우 위치 : 14	조밀	□ C
지상으로 부딪힌 높이 : H 15	상우(강설)	
속도(레이더기속도) : K 16	안개	□ 38
운항 단계 : 17	강우	□ 39
활주로 D _a	감설	□ 40
유도 D _b	순항 중 D _a	
이착륙주 D _c	취항 중 D _b	
상공 D _d	착륙중 D _c	
	조류의 종류* : 41	
	조류의 수	
항공기 충돌 부위	충돌여부	피해여부
radome	□ 18	□ 19
윈드 유리	□ 20	□ 21
전면일출창(상부 개폐)	□ 22	□ 23
엔진 윈도	□ 24	□ 25
1	□ 26	□ 27
2	□ 28	□ 29
3	□ 30	□ 31
4	□ 32	□ 33
프로펠러	□ 34	□ 35
난개 또는 화염	□ 36	□ 37
눈재	□ 38	□ 39
작류 기어	□ 40	□ 41
유체	□ 42	□ 43
엔드등	□ 44	□ 45
기타(사제화)	□ 46	□ 47
	관제탑	□ 48
	조종사	□ 49
	기타(사제화)	□ 50

보고자 : * 뒷줄 조각을 포함한 조류의 모든 관해물의 수신지 :

이 정보는 항공안전을 위해 필요합니다
THIS INFORMATION IS REQUIRED FOR AVIATION SAFETY

그림 4. 조류 충돌 보고서 양식 [12]
Fig. 4. Bird collision report form [12].

과 약 50%의 조류 충돌 감소 효과가 발생한 것으로 조사됐다.

미국은 체계적인 온라인 조류 충돌 보고 시스템을 중심으로 조류 충돌 예방 활동이 이뤄지고 있으며 실시간 조류 이동 정보를 인터넷으로 제공하고 있다. 인터넷을 통하여 조류 충돌에 대한 기본적인 정보와 국제적인 조류 충돌 예방 활동 동향 등에 대한 정보를 제공한다. 공항의 일반 퇴치 활동은 우리나라와 큰 차이가 없으나, 초지 관리의 경우 우리나라와 달리 삭초 작업을 시행하지 않고 긴 초지 길이를 유지하고 있다. 이는 미국 공항 주변 서식하는 조류는 긴 초지를 유지하는 경우, 초지 내에서 활동하는 등 항공기에 덜 위협적인 특성에 따른 것이다. 미국에서는 조류 충돌이 발생했을 경우, 활주로 주변의 조류 사체를 즉시 수집해 스미스소니언 박물관에 분석을 의뢰하고, 박물관은 공항별로 충돌 조류 시료를 확보해 조류 종을 체계적으로 분석하고 예방 활동에 필요한 정보를 공유한다.

이스라엘은 새들의 85% 충돌이 공항 주변에서 발생하지만 군 항공기의 경우 항로상에서 높게 발생한다. 이스라엘의 지정학적 특징으로 계절에 따라 이동하는 조류가 많아 조류 충돌 문제가 항공기에 큰 위협 요소로 작용하기 때문이다. 1972년~1983년 사이에 발생한 조류 충돌을 분석한 결과 74%가 철새 이동 시기에 발생했다. 이에 대한 대책을 수립하고자 이스라엘은 전국망을 이용한 지상 관찰, 무인기 및 경비행기를 이용한 추적으로 해당 새들의 이동 경로, 비행 고도 및 이동 기간 등을 분석해 지도에 표기하고 비행 금지 시간, 비행 고도와 경로를 결정해 항공기 운항 안전에 활용했다. 앞선 통계자료를 토대로 운항 전에 여러 상황을 가정해 대책을 마련하면 조류 충돌 위험을 줄일 수 있을 것이다.

IV. 연구 결과

UAM은 수직 이착륙할 수 있지만 최근 연구에서는 수직이륙 방식에 따른 전기 효율이 저하됨이 고려되어, 사선 이륙 방식을 검토 중이다. 사선 이륙 시, 이륙 방향에 있는 조류를 육안 식별 할 수 있기에, 수직이륙보다 조류 충돌에 대한 가능성이 작다. 그러나, 건물 옥상에서는 빌딩풍 등 순간 풍에 의한 조류 유입 충돌 등 다양한 가변 요인이 발생할 수 있기 때문에 이착륙 구간 인접 구간에 있는 조류에 대한 보다 높은 수준의 통제 방안이 설정되어야 한다.

4.1 물리적 통제 방안

버티포트는 도심 내 조성돼 기존 공항에서 활용됐지만, 인접 빌딩이나 생활권에 미치는 영향을 주는 반사판, 폭음기나 소음발생기, 조류퇴치 레이저 등의 활용이 제한된다. 이에 따라 버티포트에서 활용할 수 있는 물리적 제어 전략을 운항 구간별로 구분했다.

1) 이착륙 지역

인천공항에서는 2022년 1월 국내 공항 최초로 약 6개월간 인천공항 반경 13km 주변 지역의 야생동물 유인시설 및 생태환경을 분석하여, 2021년 11월에 '야생동물 유인 요소 위험성 평가 체계'를 자체 수립해 공항 인근 유인 요소 33곳을 선정 후 유인 요소별로 공항과의 거리, 야생동물 유인 강도, 항공기와의 충돌 가능성 등 중요도를 종합적으로 분석해 요소별 위험도를 4단계로 나눠 진단했다.

평가 결과 위험도별로 매우 높음 1곳, 높음 14곳, 보통 8곳, 낮음 10곳이 선정되었는데, 해당 결과에 따라 위험도가 매우 높다고 진단된 활주로 인근 녹지대 1개소는 즉시 제거하였고, 높음 및 보통 단계에 해당하는 유인 요소 점검을 진행하여, 일 4회 이상 상시 점검, 조류퇴치망 설치, 조류동향 파악, 조류포획, 배수로 정비 등 기능별 맞춤형 저감조치를 적용하였다. 따라서, 모든 요소의 위험도를 낮음 단계로 조정함으로 항공기 조류 충돌을 사전에 방지하는 활동을 수행하였다[13].

UAM 또한 인천공항과 같은 수준에서 이착륙장 인접에 조류활동을 통제하여야 한다. 이착륙장에서의 조류퇴치 방안은 무엇보다 새들이 모일 수 있는 근원지를 제거하는 것이 중요한 과제다. 이 문제는 주민의 이해관계와 조류 보호 환경론자의 마찰이 예상되지만, 조류 충돌에서 오는 비행 사고로 고귀한 인명과 막대한 손실을 고려하여 법 제정과 설득을 통해 추진해야 할 사항이다. 유사한 사례로, 유해야생동물 대리포획단은 전신주 위 등지를 틀어 정전을 유발하는 까치의 포획을 허용하여 더욱 높은 사회적 비용을 경감하고 있다. 항공기와 조류의 충돌을 예방하기 위한 다음과 같은 방안 외에도 여러 가지 방안들을 제안하고 운영하여야 한다.

① 공항 주위에 새가 서식하는 환경조성을 피해야 한다. 이것의 예로는 쓰레기 처리장, 유수수 조정 금지, 버티포트 주변 전신주 및 나무 제거, 유수지 수위 조절과 침적도 준설 등의 방법이 있다.

② 공항 최인접에 대규모 조류활동을 유발할 수 있는 관련 사업이 허가되지 않도록 한다. 예를 들어, 조류가 모일 수 있는 여류 가공공장, 가축사료장 등 초기부터 구성되지 않도록 토지사용규제법이 제정되어 시행해야 한다.

③ 조류퇴치를 위해 공항에는 조류근거지를 살포하고 조류가 이착륙장에 착륙하는 것을 꺼리도록 학습시킴이 필요하다. 또 버티포트 내에서는 BAT CAR 및 새 퇴치용 드론을 활용해 이착륙 구간 내에 있는 조류군집을 흩뿌려 UAM 이착륙 시 운항 안전성을 향상한다. 공항 내 조류퇴치의 목표는 사냥이 아닌 인명과 고가의 항공기 보호에 있음을 전 국민이 이해할 수 있도록 제도적 보장책을 마련하고, 필요시 환경보호단체에 조류 충돌 비행사고 사례와 엄청난 국가적 손실에 대한 적극적인 협조 요청을 통해 버티포트 내 조류 충돌 방지를 위한 조류 충돌 예방 활동에 법적 문제가 없도록 활동을 전개한다.

2) 회랑구간

도심 항공교통 미래 시나리오에서 초기 UAM 기체는 순항 속도 200kts 이하로 운항할 것으로 예상되나 UAM 운항환경이 고밀도 자동화됨에 따라 운항률을 높이기 위하여 점차 빠른 순항속도로 증속될 것이다. 따라서 UAM 운항환경에서는 조종사의 시계 식별 후 회피 방식의 접근보다 새의 출몰 환경을 어떻게 제어할 것인가에 대한 접근이 필요하다.

그러나 UAM 순항 구간 전체 새들의 활동을 제어하기에는 광활한 지역이기 때문에 전체 회랑 내의 조류퇴치 방안은 회랑의 일부를 폐쇄하고 국소적인 부분의 새들 활동을 해소하는 방안밖에 없다. 따라서, 국소적인 부분의 조류활동을 해소하는 방안을 중점으로 하여, UAM에 적용할 수 있는 인접국들의 국소 지역 조류퇴치 방안을 참고하였다.

네덜란드 호로닝언(Groningen)대학과 네덜란드 공군, 이탈리아 투시아(Tuscia)대학 연구팀은 조류 충돌(Bird Strike) 방지용 '로봇 매'를 제작하여 네덜란드 윌컴 공항에서 실험을 진행하였다. 프로펠러와 두 날개로 비행하는 '로봇 매'는 머리에 장착된 카메라를 통해 지상의 조종사에게 '1인칭 시점'을 제공하는데, '로봇 매'는 이륙후 5분 안에 범위내의 새떼를 모두 쫓아냈고, 70초 만에 50%를 몰아냈다. 무게 0.245kg인 '로봇 매'의 성능은 동일 시간 내에 드론 성능보다 125% 정도 성능이 훨씬 뛰어났다.

중국에서 공항 내 비행 안전에 가장 큰 위협은 공항 인근에 사는 주민들이 기르는 비둘기다. 베이징 시엔 공항(PEK/Beijing Capital International Airport)은 중국에서 처음으로 조류퇴치를 위해 매를 도입한 민간 공항이다. 매는 몸집이 크고 높이 날기 때문에 본래 위험한 새이지만 특수한 훈련으로 새의 먹이사슬 안에서의 특징을 발휘할 수 있어 공항 새 퇴치의 효율적인 수단 이 되었다.

도심 환경 내에서는 다양한 조류의 서식지와 겹치는 경우가 많다. 이를 통제하기 위해 '로봇 매' 활용에 의한 조류퇴치 방안 이 인접국의 사례를 바탕으로 조류의 가시 효과, 습관화 특성에 효과적인 방안이 될 것으로 예상된다.

4.2 절차적 통제 방안

새들의 충돌을 막기 위해서는 물리적인 방법 외에도 절차적인 조류 충돌 방지대책도 설정해야 한다. 이러한 절차는 UAM

표 2. 한국형 도심 항공교통 미래 시나리오 내 순항속도 [14]
Table 2. Cruise speed within the future scenario of Korean urban air traffic [14]

Sectors	Requirements	Phased goals (years)		
		Early (2025년~)	Growth (2030년~)	Mature (2035년~)
Airframe Components (Core Technology)	Autonomous Flight Level (Pilot Operated)	On Board (Pilot on board)	Off Board (Remote control)	Autonomous (Autonomous flight)
	Number of seats available	4	4	5
	Cruise speed	150km/h	240km/h	300km/h
	Range	100km	200km	300km

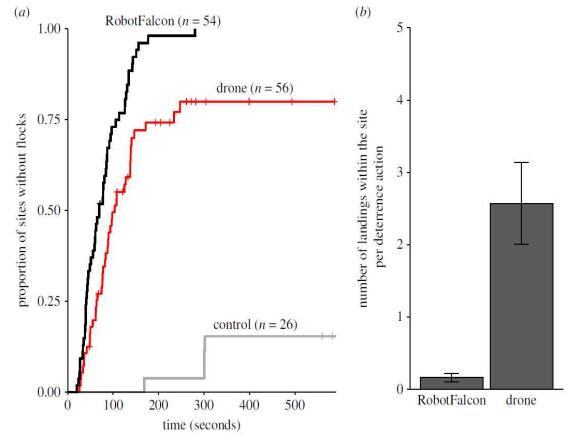


그림 5. 네덜란드 팀 개발 로봇 매 [15]
Fig. 5. Robot falcon developed by Dutch team [15]

과 관련된 이해관계자(조종사, 컨트롤러 등)가 필요한 조치에 대해 절차적 관리방침을 운항구간 별 적용하는 방안을 제안했다.

1) 이착륙 구간

조종사는 이륙 전 이착륙 구간 주변 새들의 이동 상황을 수시로 경계하며 조류활동이 식별되면 이를 관련된 이해관계자(버티포트 운영자, 교통관리 서비스 제공자)에게 즉각 보고하여 새들을 미리 분산시킨 뒤 이륙해야 한다. 이는 버티포트 운영자가 버티포트 권역을 감시 및 관리하고, 교통관리 서비스 제공자가 UAM 회랑을 감시 및 관리하기 때문이다 [16].

또한 이륙 시 태양을 정면으로 향하게 되면 새의 이동 상황이나 안전 저해 요소를 식별하기 어려우므로 주의하고 가능한 빨리 고도를 높게 이륙해야 한다. 접근 및 착륙 시에는 접근 전 고공 정찰을 실시하되 저속 비행으로 새 떼의 접근을 경계하며 접근한다. 착륙장 주변에 조류가 식별됐을 때는 착륙 등을 포함해 모든 등을 점등하며 직진 착륙하는 것이 새 떼를 분산시켜, 충돌을 예방할 수 있다.

버티포트 관리자 또는 교통관리자는 버티포트 FATO(Final Approach and Take Off area) 감시 및 관리권역 이착륙 구간 내 새들의 활동을 계속 감시하고 Bird Watch Condition(BWC)을 발행할 수 있다. BWC는 주로 군 공항에서 사용되는 시스템으

- 유효기간-협정세계시(UTC) 일시(예:10MAR20:30)
- 강도 레벨-강도 레벨은 0~8의 수치로 할당된다. 보고할 수 있는 값은 5 이상만 보고된다. 보고할 수 있는 수치에 할당된 위험 레벨은 다음과 같다.

5: 상당히 크다. 6: 크다.
7: 매우 크다. 8: 매우 크다.

- 영향을 받는 지역 - 그리드 참조로 나열됨. (예: MC)
- 저고도-새의 활동 높이(표면(SFC) 또는 평균 해면(MSL)). (예: SFC)
- 고고도-조류활동 상위 높이(MSL). (예: 6000)

UAM 운항 초기부터, 전 순항 경로상의 조류 식별 및 퇴치는 광역적 시스템 구축 등 현실적으로 어려운 사안이나, 초기 VFR 운항기준으로 조종사를 중심으로 한 관련 보고 체계를 구체화하고, 철새 도래 지역 중심으로 레이더를 설치 및 조류 상시 활동 지역을 설정하여, 조류활동 시간과 운항 시간을 적절히 균형화하여 운영하는 등 지속적인 자료화 및 운영 절차 고도화를 수행하여야 한다.

V. 결 론

UAM 산업의 도입은 새로운 운송 수단의 추가뿐만 아니라 지상 교통 및 교통 체증에서의 해방이며, 비행체와 인간의 공존을 통한 다양한 산업의 연계를 의미하며, 모든 산업 분야에서 관련된 큰 역할을 할 것으로 예상된다. UAM은 자동화와 배터리 기술의 발전 수준에 따라 인간 활동의 물리적 한계를 넘어선 작업을 수행하여 훨씬 낮은 비용으로 같은 업무량 이상의 성능을 기대할 수 있다.

본 연구에서는 안전한 UAM 운항을 위하여 기존 ATM의 조류 충돌 방지 절차 및 환경들을 분석하고, 이를 UAM 초기 도입 시기를 배경으로 물리적, 절차적 방법과 이착륙 구간, 회랑구간 등 운항 구간별로 각 특성에 따라, UAM 조류 충돌 방지대책 수립 방안을 제시하였다.

물리적 통제방안에는 크게 조류기피 환경조성, 조류의 특성을 반영하며 도심내 활용가능한 조류퇴치물품(조류 끈적이, 로봇매) 활용을 방안으로 제안하였으며, 절차적 통제방안에는 이해관계자(조종사, 버티포트 운영자)의 이착륙 전 조류 감시 및 정보공유 절차 수행, 산업초기 BWC 및 BIRDTAM 운영, 데이터 공유로 인한 시스템 체계화방안을 제안하였다.

UAM의 대중 수용성 및 산업의 성장에 있어서 교통수단의 안전성이 산업 및 관련 업계에 중요한 요소이며, 이를 위하여 이착륙 및 순항 중에 발생할 수 있는 조류 충돌 상황에 대한 대응 절차를 구성하여야 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 물리적, 절차적 조류 통제전략을

제시하였고, 기존 ATM의 기법을 배경으로 하여 UAM 환경에 적합한 조류 통제 방안을 제시하였다.

해당 UAM 운항 조류 충돌 방지 전략은 실제 운영 및 실용화 단계에서 더욱더 효율적이고 기술 성장 수준에 따라 고도화할 수 있으며, 기술적, 절차적 운영단계가 성숙화됨에 따라 기존 항공기 운항환경에도 접목이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 UAM 도입 및 상용화 단계에 앞서서 새로운 운항 안전에 이바지할만한 유용한 결과를 도출하였다는 것에 중요한 의미가 있다.

Acknowledgments

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

References

- [1] Korea Aerospace Research Institute, "Final report (TRKO201700017428)," Daejeon, South Korea, 2016. Retrieved from <https://doi.org/10.23000/TRKO201700017428>.
- [2] Korea Transport Institute, "Monthly transport, November 2023" [Internet]. Available: <https://www.koti.re.kr/user/bbs/monthngList.do?month=11&quarter=&year=2023>.
- [3] S.-H. Yang, "A study on measures to reduce bird strikes on helicopters," Master's thesis, Kongju National University, 2023. Retrieved from <http://www.riss.kr/link?id=T16625933>.
- [4] H. Hong et al., "Design and implementation of bird repellent system," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, vol. 18, no. 8, pp. 104-109, Aug. 31, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmp.2019.18.8.104>.
- [5] H. Hwang, J. Choi, "A study on the aircraft's accident of bird strike & effective countermeasure against bird strike," Aviation promotion, vol. 1, pp. 170-189, 2009. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NOD E02047473>.
- [6] S. B. Merriam, "Qualitative research and case study applications in education" [Review of the book Case study research in education by S. B. Merriam], Jossey-Bass Publishers, vol. 2, pp. xviii, 275, Nov. 1998. Retrieved from <https://searchworks.stanford.edu/view/3511521>.
- [7] R. E. Stake, "Qualitative research: Studying how things work" [Review of the book Qualitative research: Studying how things work by R. E. Stake], Guilford Press, vol. 1, pp. 244, 2010. Retrieved from <https://books.google.co.kr/books/abo>

- ut/Qualitative_Research.html?id=qLgJHY7ZCWgC&redir_esc=y.
- [8] H.-S. Choi, "A study on bird strike prevention measures for a aircraft," Master's thesis, Kongju National University, 2017. Retrieved from <http://www.riss.kr/link?id=T14388575>.
- [9] Seoul Metropolitan Government, "Map of Hangang ecological park" [Internet]. Available: <https://opengov.seoul.go.kr/mediahub/28200757>.
- [10] Seoul Institute, "Measures to improve habitat environment for urban influx of birds (Report No. N/A)," Seoul, South Korea, 2015. Retrieved from https://www.si.re.kr/si_download/53359/15472.
- [11] H.-Y. Yoon, S.-J. Kim, J.-C. Yoo, and D.-P. Lee, "Comparison of seasonal breeding progress of pigeons (*Columba livia*) in urban parks (I)," Korean Journal of Ornithology, vol. 12, no. 1, pp. 1-7, 2005. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE01394854>.
- [12] Korea Ministry of Government Legislation, "Standards for reducing the risk of bird and wildlife collisions" [Internet]. Available: <https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000195171>.
- [13] Incheon International Airport Corporation, "Incheon airport conducts first evaluation of wildlife attractants at domestic airports" [Internet]. Available: https://www.airport.kr/co/ko/cmm/cmmBbsView.do?FNCT_CODE=121&NTT_ID=25759.
- [14] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "K-UAM technology roadmap (Report No. TRKO202100022122)," Seoul, South Korea, 2021. Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO202100022122>.
- [15] R. F. Storms, C. Carere, R. Musters, H. van Gasteren, S. Verhulst, and C. K. Hemelrijk, "Deterrence of birds with an artificial predator, the RobotFalcon," Journal of the Royal Society Interface, vol. 19, no. 198, Article No: 20220497, Oct. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2022.0497>.
- [16] UAM Team Korea, "K-UAM concept of operations 1.0 (Report No. N/A)," Seoul, South Korea, 2021. Retrieved from https://smarcity.go.kr/wp-content/uploads/2021/09/%EC%B2%A8%EB%B6%80_%ED%95%9C%EA%B5%AD%ED%98%95_%EB%8F%84%EC%8B%AC%ED%95%AD%EA%B3%B5%EA%B5%90%ED%86%B5K_UAM_%EC%9A%B4%EC%9A%A9%EA%B0%9C%EB%85%90%EC%84%9C1.0.pdf.
- [17] Joint Base Charleston, "The bird/wildlife aircraft strike hazard (BASH) reduction program (Report No. N/A)," Charleston, United States, 2016. Retrieved from <https://www.jbcharleston.jb.mil/Portals/44/Documents/BASH%20documents/BASH%20Plan.pdf?ver=2016-08-15-140106-817>.
- [18] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Korean urban air mobility (K-UAM) roadmap (Report No. 200604)," Seoul, South Korea, 2020. Retrieved from https://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95083976.
- [19] Lee, J., "Study on the characteristics of bird community according to habitat in the Han River basin," Available: <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE0966856>.
- [20] Y.-C. Choi, "A study on bird strike issues and related regulations," Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, vol. 17, no. 4, pp. 85-93, 2009. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10080937>.
- [21] M.-S. Kwak, "A study on reducing the risk of bird strike accidents in aircraft," Master's thesis, Kongju National University, 2021. Retrieved from <http://www.riss.kr/link?id=T16039532>.
- [22] J.-C. Yoo, "Management measures for bird habitats in and around airports to prevent bird strikes," Aviation Promotion, vol. 3, pp. 127-138, 2004. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02067762>.
- [23] J.-H. Kim, "A study on bird strikes involving helicopters: Focusing on army aviation units," Master's thesis, Kongju National University, 2016. Retrieved from <http://www.riss.kr/link?id=T13985545>.



김 다니엘 (Kim Daniel)

2015년 ~ 2022년 : 공군 항공교통관제사
 2022년 : 한국항공대학교 (이학석사)
 2022년 ~ 현재 : 대한항공 항공기술연구원 UAM SW 개발
 ※ 관심분야 : 도심항공교통, 운항통제, 시스템 엔지니어링



조 희 덕 (Cho Heeduk)

1995년 ~ 대한항공 입사, 운항관리 업무
2000년 ~ 2002년 : 부산공항 운항관리 지원센터
2003년 ~ 2015년 : 통제센터, 항공기 스케줄, 운항통제 운영시스템 관리
2015년 ~ 2019년 : 일본지역 통제운항관리 지원센터
2022년 ~ 현재 : UAM 부분 T/F
※관심분야 : UAM 운항통제, 민항기 운항통제, 관련시스템 관리 운영



이 승 우 (Lee SeungWoo)

2016년 ~ 현재 : 대한항공 항공기술연구원 연구개발 업무, 2016년 ~ 2017년 : 신호정보기 성능개량(Upgrade) 체계업무
2017년 ~ 2022년 : 연구기획, 개발관리 및 과제기획 (UAM & AI 항공MRO)
2022년 ~ 2024년 : UAM SW 개발, 운항통제 및 운항사 모의시스템
2024년 ~ 현재 : 대한항공 연구기획, 개발관리
※관심분야 : UAM 운항통제시스템, 연구개발 기획/관리



김 재 우 (Kim Jaewoo)

1992년 2월 인하대학교 기계공학과 (공학사), 1997년 2월 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
2017년 7월 국방대학교 국방사업관리 (석사), 2021년 8월 광운대학교 방위사업학과 (공학박사)
1999년 10월 ~현재 : (주)대한항공 (구조시험/연구기획/사업기획/사업개발/외주개발)
(전)한국무인기시스템협회 이사
※관심분야 : UAM, 항공교통, 버티포트, Ai