

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2025.33.3.116>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

## UAM 비행항로 예측 및 우발상황 조치에 관한 연구 - 수도권 비행을 중심으로 -

김용욱\*, 이경한\*\*, 최지현\*\*\*, 구성관\*\*\*\*

### A study on UAM Flight Path Prediction and Contingency Measures -Based on Flights in the Metropolitan Area -

Yong-Og Kim\*, Kyung-Han Lee\*\*, JiHun Choi\*\*\*, Seong-Gwan Ku\*\*\*\*

#### ABSTRACT

This study presents countermeasures for contingencies that may occur during flight operations on UAM flight routes that will be commercialized in the near future, centered around the Seoul metropolitan area of Korea. This study provides stable separation between UAM aircraft in flight at a fixed point (FIX) when landing is impossible due to encountering adverse weather conditions during flight, or when adverse weather conditions (VFR flight restrictions) and navigation equipment such as GPS fail. This study has limitations such as a lack of prior research data and assuming real situations in a situation where it has not yet been commercialized. However, this study is expected to contribute to aviation safety during UAM flight operations by presenting flight tracks on flight routes(Corridor) actually flown by helicopters in the Seoul metropolitan area and providing temporal and spatial separation of UAM aircraft in contingencies centered around VOR (VHF Omnidirectional Radio Beacon) transmitters that are currently distributed east, west, south, and north centered around the Seoul metropolitan area.

**Key Words** : UAM(도심항공교통), Contingency(우발상황), Adverse Weather Conditions(악천후), Corridor(비행회랑), Aviation Safety(항공안전)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

2020년 세계 최대 IT·가전 박람회인 CES에서 다수의 언론사 헤드라인을 장식한 제품 중 하나는 미래 도시의 하늘길을 누비게 될 항공택시 (air taxi)의 컨셉 모델 (concept model)이었다. 전기화, 자율주행, 공유경제로 촉발된 지상에서의 모빌리티 혁명이 이제는 하늘로 이륙하고 있다. 도심항공모빌리티(urban air mobility, UAM)라는 3차원 공중 교통시스템은 도시의 교통문제를 근본적으로 해결할 새로운 대안으로 떠오르고 있다.<sup>1)</sup>

Received: 27. Jul. 2025, Revised: 10. Sep. 2025,

Accepted: 11. Sep. 2025

\* 경찰청 항공대 기장, 한서대학교 대학원 항공운항관리학과 박사

\*\* 한서대학교 대학원 항공운항관리학과 박사

\*\*\* 진에어 기장, 한서대학교 대학원 항공운항관리학과 박사

\*\*\*\* 한서대학교 항공산업공학과 교수

연락처 E-mail : skku@hanseo.ac.kr

연락처 주소 : 충남 태안군 남면 곱섬로236-49 한서대

학교 항공산업공학과

1) 삼정KPMG 경제연구원(Vol. 70. 2020.) pp. 1-2.

전 세계적으로 차세대 교통수단으로 도심항공모빌리티(UAM)가 개발되고 있으며, 우리나라도 UAM 실증사업(K-UAM Grand Challenge: K-UAM CG)을 통해 단계별로 진행하고 있다.

이에 국토교통부는 K-UAM 운용개념서(K-UAM ConOps)를 통해서 여러 가지 이정표를 제시하고 있으며, 비행회랑(corridor)의 필요성에 대하여 “UAM은 기존 항공체계(유·무인기 운항체계)와는 다르게 도심의 상공(평균운항 지상고도 450m 수준)을 비행한다. UAM 비행경로에 따라 건물의 높이 등의 안전운항 위협요소, 지역별 소음기준 등이 달라질 수 있으므로 자유로운 비행을 허용하기보다는 엄격하게 비행경로를 관리할 필요가 있다. UAM 회랑은 UAM 항공기의 비행이 허용된 제한된 구역으로, UAM 운용에 미치는 부정적 영향을 최소화하면서, 그 이용 효율은 최대화하도록 설정하고 관리해 나가야 한다.” 이와 같이 제시하고 있으며, 초기 상용화 비행회랑은 공항 등 도심외곽과 도심 간 이동을 위한 용도로 설계하고 관련 이해관계자와 협의하여 기존 헬리콥터 비행회랑(corridor)을 활용할 수 있도록 한다.<sup>2)</sup>

앞에서 K-UAM ConOps에서 언급한 바와 같이 초기 UAM 비행항로는 수도권 도심에서는 더욱 엄격하게 비행회랑화 할 것으로 예상된다. 현재 P73 시계비행 요도에 명시된 한강(노들섬) 및 용산 회랑을 이용하는 헬리콥터 비행회랑 형태와 유사할 것이다. 이에 따라 헬리콥터의 수도권 비행회랑 실 비행항적에 대한 분석을 실시하면 UAM 비행항로를 예측할 수 있다고 판단하였다.

본 연구에서는 한강(노들섬) 비행회랑 헬리콥터 비행항적을 분석함으로써 UAM 비행항로를 예측하고, K-UAM ConOps에 명시된 우발상황에 대하여 구체적인 상황을 구분하고, 이에 대한 조치방안을 제시하였다.

## 1.2 연구의 목적

본 연구의 목적은 수도권 비행공역에서 UAM 비행항로를 예측하고, UAM 비행운용간 발생하는 우발상황에 대하여 조치방안을 제시하는데 있다.

먼저 UAM 비행항로 예측은 K-UAM ConOps에서 제시된 UAM 비행회랑(corridor)에 대한 필요성에 근거하여 수도권 한강회랑 헬리콥터 비행항적 데이터를

분석하여 실시하며, UAM 비행운용간 발생하는 우발상황 조치방안은 비행중 악기상에 조우하여 착륙이 불가능하거나, 악기상 상황하(VFR 비행제한)와 GPS 등 항법장비 고장시 또는 갑작스러운 vertiport에 비상상황이 발생되어 착륙이 불가능하여 UAM 항공기가 착륙이 불가능한 경우에 공중대기 절차(holding procedure) 방안을 제시하였다.

현재까지는 UAM 우발상황에 대한 구체적인 연구가 세부적으로 발전되어 있지는 않다. 이 연구는 수도권 한강 비행회랑에 대한 헬리콥터 비행항적 데이터로 UAM 비행항로를 예측하고, 현재 구축되어 있는 지상 항행안전시설을 이용하여 공중대기 절차(holding procedure) 실시방안을 제시했다는데 의미가 있으며, 차후 UAM 비행운용 예측자료가 될 수 있을 것이다.

## II. 본 론

### 2.1 선행연구 검토

UAM 항공기 비행운용에 대한 연구는 여러 가지의 다양한 주제로 접근하여 작성한 여러 편의 논문들이 있다. Won(2023)의 연구는 UAM 비행운용간 기상요소와 그영향을 파악하기 위해 한강 회랑의 기상 관측자료로 시정과 바람의 특성을 분석한 결과, UAM 운용환경은 기존의 항공 운항에서 활용하는 기상 정보 체계로는 파악하기 어려운 미규모의 기상 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 특히 시정 관측 자료는 공항에 한정되어 있어 UAM 실증 및 상용화 예정지의 특성을 분석하기 쉽지 않으며, 현행 지상의 기상 관측망도 수십미터 규모의 고해상도 바람 특성을 파악하기에는 역부족이다. 또한 지상의 관측자료로는 UAM 운용 고도의 바람 특성을 추정만 할 뿐 실제로 증대한 영향을 미치게 될 돌풍과 윈드시어의 체계적인 감시는 불가능하다. 따라서, UAM 실증과 상용화를 위한 구체적인 계획이 논의되고 있는 시점에서 안전성 및 효율성과 관련되는 기상 요인에 대한 연구가 요구되며, 특히 UAM 운용회랑의 기상 특성을 이해하기 위해서 도심지의 저시정 및 돌풍과 윈드시어를 감시할 수 있는 관측 체계의 수립이 필요하다고 하였다.

Kwak(2024)의 연구에서 UAM을 위한 항로를 구성하기 위해 도심 내 지상 항행안전시설을 설치기는 어려우며, 따라서 협의를 통해 미리 지정되고 약속된 무형의

2) K-UAM Concept of Operation v1.0. pp. 26-27.

항공로를 구성하고, 이러한 항공로의 이탈을 항공기가 스스로 탐지하는 RNP 운항이 적용되어야 한다. 이러한 UAM 전용 항공로는 무인 이동체가 이용하는 공역보다 높고, 기존 항공교통에 방해가 없는 고도인 300~600m 사이에 놓일 것으로 예상되고, RNP<sup>3)</sup> 요건은 기존 RNP 항로보다 더 정밀한 RNP-0.03(항로), RNP-0.01(접근)가 될 것으로 보인다. RNP-0.01은 지정된 항로 중심에서 0.01NM 이상 벗어나지 않음을 의미한다.

RNP 항로는 항공로의 형태를 공간 내 정해진 특정한 볼륨 형태인 회랑 형태로 만든다. 기존 항공교통시스템에서도 교통 흐름이 많아 관계 업무량이 많은 지점에서 채택되는 방식이다. UAM 환경에서는 비행경로에 따라 건물과 같은 장애물, 지역별 소음기준 등 엄격한 관리가 필요할 수 있으므로 더 정밀한 항법 성능과 자체적 경보기능까지 항공기가 갖추게 하여 RNP 항공로, 회랑 형태의 항공로를 채택하여 운용하게 될 것이라고 하였다.

Bak(2024)의 연구는 공중 충돌 위험도 위험은 항공기 간 공중 충돌과 관련된 위험을 의미하며, 이러한 위험도는 충돌 가능성을 추정하여 평가할 수 있다. 기존의 공중 충돌 위험도 평가는 정성적인 지표에 의존하기 때문에, 높은 주관성으로 인해 효용성을 결정하기 어렵다는 단점이 있는 반면, 데이터 기반의 정량적 접근법은 데이터 수집과 모델링 복잡성 등으로 인하여 정성적 접근법에 비해 적용에 어려움이 있지만, 적절한 수치 모델링 기법이 사용되면 실제 충돌 위험을 더 잘 포착할 수 있다는 장점을 가지고 있고, 최근 데이터에 기반한 정량적 충돌 위험도 평가가 UAM 분야로 확장되고 있는 추세라고 하였다.

Park(2024)의 연구에서 K-UAM ConOps에 따르면 K-UAM의 항법 시스템은 GNSS<sup>4)</sup>를 기반으로 하고, PBN<sup>5)</sup>을 이행한다. 또한 항로 이탈 모니터링이 요구된다고 하였으므로 RNP 기반의 항법이 적용될 것으로 예상할 수 있다. 이를 위해서 K-UAM의 운용 단계를 세분화하고, 각 단계에서 고려해야 할 사항을 도출하며 이에 기반해 항법 요구도를 제안하고 RNP 기반의 항법을 수행하기 위해서는 항법 성능 감시 및 알림 기능이 요구되어 이를 위해 적합한 증강 항법 시스템을 도입하여야 한다. 특히 순항 이후의 단계에서 UAM

기체는 도심 내에서 운용될 것이므로 이와 같은 운용 환경에 적합한 증강 항법이 요구되었으며, 각 단계의 운용 환경을 고려한 항법 감시 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 통해 검증을 수행한 결과, SBAS<sup>6)</sup>와 ABAS<sup>7)</sup> 기반의 증강 항법을 적용한 제안된 항법 요구도가 충족된 것을 확인 하였다.

Yeo(2024)의 연구에서 UAM 항공기가 이륙 후 Corridor에 안전하게 합류할 수 있는 방안 연구로, 지상에서 사전에 UAM 이륙 시간을 계획한 후, 이륙 및 상승 과정에서의 불확실성으로 인해 추가적으로 발생하는 충돌 위험을 해소하기 위해 공중에서 UAM 간 분리 간격을 조절하였다. 세부적으로 속도 조절, 방향 조절, 속도 및 방향 조절 통합 방식을 적용하였으며, 안전한 합류를 위해 대기 구간 형태의 수평비행 구간을 설정하였다. 이를 통해 간격을 조절하는 동안 UAM간 수직 분리를 제공할 수 있었으며, 매트랩을 활용한 시뮬레이션 결과 제안된 합류 방법을 적용하면 분리 최저치 미 충족 확률이 감소하여 안전도가 향상되었으며, 교통 밀도가 높아질수록 유용성이 증가하는 것을 확인 하였다.

수평비행 구간의 형태와 길이를 주변 공역 및 장애물을 고려하여 유연하게 설정하면 효율적인 공역 사용이 가능할 것으로 예상되며, 이는 UAM의 상용화 초기 단계에서 중요한 안전성을 확보하는데 기여할 수 있다.

## 2.2 연구설계

본 연구에서는 헬리콥터 실비행항적으로 UAM 비행 항로를 예측하며, UAM 비행운용은 비행계획부터 비행전, 지상 및 이륙단계, 상승 및 순항, 접근 및 착륙단계, 지상 이동, 정지 후 절차까지 일련된 절차를 거칠 것이다. UAM 운용과 관련된 모든 시스템이 정상을 유지하는 정상상황(nominal)과 비행계획을 준수할 수 있는 경우와 비행계획을 준수할 수 없는 경우, 마지막으로 비상상황으로 분류되는 비정상상황(off-nominal)이 있을 수 있다.

본 연구는 비정상상황에서 비행계획을 준수할 수 없는 우발상황(contingency) 조치방안을 제시하기 위해 UAM 비행항로로 예상되는 수도권 지역을 헬리콥터를

3) RNP(required navigation performance) 항법성능 요구.

4) GNSS(global navigation satellite system) 위성항법시스템.

5) PBN(performance based navigation) 성능기반 항법.

6) SBAS(satellite based augmentation system) 위성기반 증강 시스템.

7) ABAS(aircraft based augmentation system)항공기 네비게이션 시스템.

Table 1. UAM flight operations

구분	정상상황 (Nominal)	비정상상황 (Off-nominal)
운용 상태	정상운용 <sup>8)</sup> (normal operation)	경미한 비정상상황 <sup>9)</sup> (abnormal operation)
		우발상황(contingency) <sup>10)</sup>
		비상상황(emergency) <sup>11)</sup>

자료: 한국형 도심항공교통(K-UAM) 운용개념서 1.0 p. 42. 제5장.

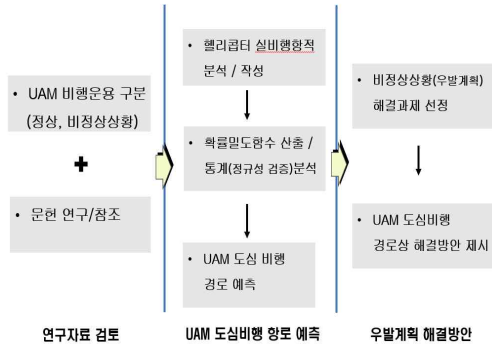


Fig. 1. Research design model

이용하여 비행경로에 대하여 2021년부터 2024년까지 비행항적 자료를 수집하여 분석에 필요한 정보를 추출하고 예상되는 비행항로에서 UAM 비행시 우발상황 조치방안을 제시하였다(Table 1 및 Fig. 1).

### 2.3 연구분석 방법 및 적용

연구에서는 수집된 비행자료로 비행항적을 구현하고 정규성 검토를 하여 자료를 일반화 한후 비행회랑의 역할을 확인하고 수도권 비행회랑 사용 비행간 항법장비 고장(GPS교란 등)으로 항법성능저하 상황과 시각비행(VFR)이 제한되는 악기상 상황시 vertiport착륙이 일시적 제한될 때 수도권 비행구간의 각 구간별 UAM 항공기의 일시적인 공중대기(holding) 지점을 지정하여 안전운항이 가능하도록 하였다.

- 8) 한국형 도심항공교통(K-UAM) 운용개념서 1.0 p. 42. 제 5장 K-UAM 운항시나리오: UAM 운용과 관련된 모든 시스템이 정상을 유지하는 상태.
- 9) 최초 계획된 목적지로 비행이 가능하나 일부 시스템·환경 등이 비정상인 경우.
- 10) 위험한 수준의 요인발생으로 계획된 목적지에 도착할 수 없는 경우. 우발계획(contingency plan) 등으로 대처 필요.
- 11) 치명적 수준의 요인발생으로 항공기 통제가 불가능한 경우. 사고대응 절차 등에 기반하여 조치 필요.

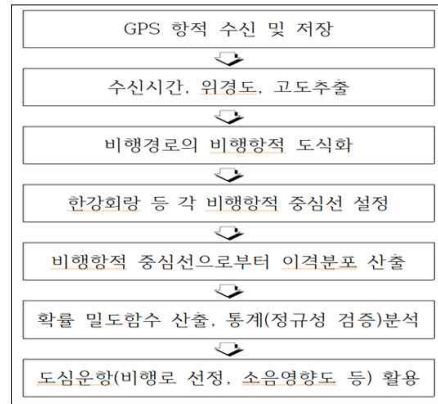


Fig. 2. Flight track data analysis procedure



Fig. 3. P73 VFR flight chart<sup>12)</sup>

비행항적 자료의 분석은 Fig. 2와 같은 절차로 수행하였다. 헬리콥터의 수도권 비행을 실시한 비행항로에 대하여 비행항적 수집기(GPS)를 사용하여 수신된 비행항적 데이터를 저장하여 수신된 자료에서 각각의 항로에서 비행용 데이터를 추출하여 수신시간, 위경도, 고도, 방향 등 필요한 정보를 확인한 후에 MATLAB 프로그램을 이용하여 비행항적을 지도에 도식화하였다. AIP(비행정보간행물) VFR 루트에 명시된 한강회랑 비행경로의 비행항적 데이터의 중심선을 설정하고 비행항적의 중심선으로부터 이격거리, 분포도를 확인하며 확률밀도함수를 산출하였다. 산출된 비행항적 데이터를 통계분석(정규성 검증)을 위하여 SPSS 소프트웨어를 활용하여 정규성 검증 분석을 실시함으로써 비행항적에 대한 정규분포 여부를 확인하여 도심운항(비행로)에 활용할 수 있는 분석절차로 실시하였다(Fig. 3).

12) AIP(aeronautical information publication) ROK ENR 1, 2 VFR.

Table 2. Some flight track collection data

시간	위도	경도	고도 (m)	속도 (km/시간)	총 거리 (km)
2021-10-25 8:38:42	37.55242	126.791	30.8	0	0
2021-10-25 8:38:43	37.55244	126.791	32.4	9.6	0.003
2021-10-25 8:38:44	37.55246	126.791	35	6.7	0.004
2021-10-25 8:38:45	37.55245	126.791	36.7	5.4	0.006
2021-10-25 8:38:46	37.55245	126.7909	36.1	2.1	0.007
2021-10-25 8:38:47	37.55245	126.7909	36.2	2.6	0.008

2.4 헬리콥터 비행항적 자료분석

2.4.1 개요

헬리콥터 수도권 시계비행(VFR) 비행항적 분석에 필요한 항적정보는 4년(2021~2024년)간 헬리콥터의 비행 임무시마다 비행항적 수집기(GPS)를 이용하여 한강(노들섬)회랑 등 수도권 지역에 대한 항적 데이터를 축적하여 파일로 저장하였다. 그리고 분석에 필요한 내용과 정보를 추출하여 MATLAB 프로그램을 활용하여 필요한 항적자료를 산출 도식화 하였다. 항적자료는 항공기가 비행한 위도, 경도, 고도, 속도, 거리 등이 시간과 함께 표시되고, Table 2와 같이 확인 할 수 있으며, MATLAB 프로그램을 이용한 비행항적은 Fig. 4와 같이 도식화 되었다.

2.4.2 헬리콥터 한강회랑 비행항적 분석

한강회랑을 살펴보면 김포공항 ↔ 노들섬 한강회랑의 노들섬(JP#6) 이착륙 접근을 위한 비행에서 비행항적을 항적수집기로 수신하였다. 비행항적분석에 사용된 총 22편 3,800여 개 항적에 대하여 고도 800 ft 이상에서 유효 항적수 571개를 분석하였다.

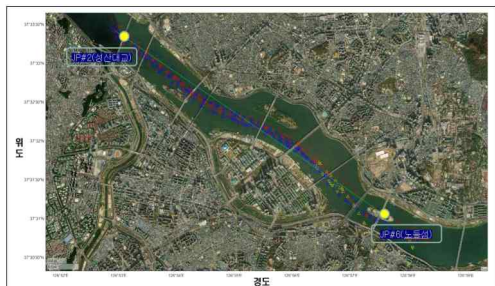


Fig. 4. Han River corridor flight track data

Table 3. Results of calculating the distance from the Han River Corridor (Nodeul Island)(-south, + north)

Element	Measurement result
Mean (m)	-0.2322
Standard deviation (m)	84.93983
Maximum (m)	280.19
Minimum (m)	-231.13

한강회랑 구간(JP#3~JP#6) Fig. 4에서 각 체크포인트를 경유하여 비행한 데이터의 중심선과 항적의 이격거리를 측정된 결과는 Table 3과 같으며, 평균 이격거리는 -0.23m이며, 표준편차는 84.9m, 최대값은 280m 및 최소값은 -231m이다. 한강회랑은 한강의 평균 1Km 폭을 소음의 영향 최소화를 위해 고도 1,500ft를 준수하고 각 체크포인트(통상 한강의 교각 중앙지점)를 경유하여 조종사의 시각으로 참고점을 보면서 목적지로 이동하게 된다. VFR 비행이기 때문에

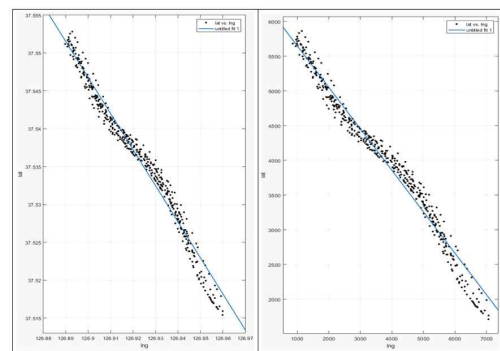


Fig. 5. Linear function route distribution along the Han River Corridor (Nodeul Island) WGS84(left), Relative coordinates(right)

Table 4. Han River corridor regularity test

구분	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	통계	df	유의수준	통계	df	유의수준
한강회랑	.075	571	.000	.980	571	.000

<sup>a</sup> Lilliefors 유의수준 지정.

각 체크포인트로부터 편차를 보이게 되는데 기타 VFR 항로 보다는 편차가 84.9m로서 비행항적 집중도가 상당히 높다고 분석 할 수 있겠다(Fig. 5 참조).

수집한 자료가 정규성 가정을 충족하는지를 알아볼 필요가 있다. 검증방법 중 하나로 Kolmogorov-Smirnov 검정 및 Shapiro-Wilk 검정이 있는데, 실 비행에서 수집한 비행항적 자료가 정규분포와 다르지 않을 것이라는 귀무가설에 대한 검정이다.

- 연구가설 설정
  - H<sub>0</sub> (귀무가설) : 표본의 모집단이 정규분포를 이루고 있다.
  - H<sub>1</sub> (대립가설) : 표본의 모집단이 정규분포를 이루고 있지 않다.

하지만 위 검정은 상당히 엄격하여 자료의 정규성을 만족하는 경우가 많지 않다. 귀무가설이 기각되어 이 검정으로 정규성 가정을 충족되지 못하는 경우, 왜도와 첨도를 이용하여 통계량을 확인하는 방법이 있는데, 각각 2와 7이내라면 정규성 가정을 충족시킨다고 볼 수 있다(George and Mallery, 2010)<sup>13</sup>).

통계 프로그램 SPSS를 이용하여 한강회랑 비행항적 데이터를 분석한 결과(Table 4), Kolmogorov-Smirnov 검정 및 Shapiro-Wilk 검정 방법에 의한 결과는 유의수준(p-value 0.000)이 만족되지 못하여 정규성 검증이 제한되어 기술통계표에서 왜도와 첨도값은 왜도 0.348, 첨도 0.538의 값을 확인할 수 있다. 왜도, 첨도가 각각 2와 7이내 이기 때문에 정규성을 충족하는 결과를 확인하였으며 Fig. 6과 같이 QQ도표와 히스토그램에서 보는 바와 같이 정규분포의 형태를 시각적으로도 확인할 수 있고 또한 평균(-0.23)은 거의 0에 수렴하며 표준편차가 84.9m로 거의 표준정규분포의 형태로 볼 수 있다(Table 5).

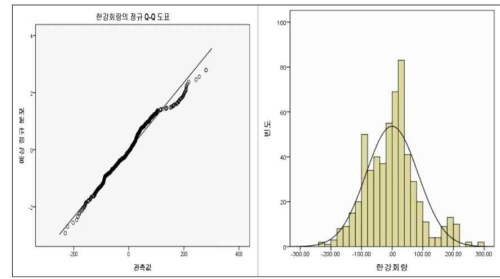


Fig. 6. Han River corridor flight track QQchart(left), histogram(right)

Table 5. Han River corridor technical statistics

구분		통계	표준오류	
한강회랑	평균	-0.2322	3.55462	
	평균의 95% 신뢰구간	하한	-7.2140	
		상한	6.7495	
	5% 잘린 평균	-2.5419		
	중앙값	4.0109		
	분산	7,214.774		
	표준 편차	84.93983		
	최소값	-231.13		
	최대값	280.19		
	범위	511.32		
	사분위 범위	98.31		
	왜도	.384	.102	
	첨도	.538	.204	

## 2.5 UAM 비행항로 예측과 비행 구간별 우발상황 조치

### 2.5.1 개요

수도권 헬리콥터 비행항적을 분석한 결과, 통제된 check point를 경유하는 비행항로는 비행회랑(corridor)형태로 비행항로가 일정하게 유지되며 정형화된 비행경로로 비행하게 된다.

이것은 앞에서 헬리콥터 비행항적 자료분석에서 설명 한것과 같이 정규성 검증을 통해서 자료가 일반화, 보편화되어 자료로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 비행회랑(corridor)화 되어있는 헬리

13) George, D., and Mallery, P., (2010), SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, 17.0 update (10th ed.).

Table 6. UAM Classification of contingency during flight

구분	상황 설명
기상제한	VFR 비행조건에서 갑작스런 악기상 상태 조우
항법장비 고장	GPS 등 항법장비 고장으로 FMS 사용불가 상황(야간 또는 저시정 상황)
착륙장 제한	계획된 착륙장(vertiport 등) 문제발생으로 착륙제한 상황 발생시

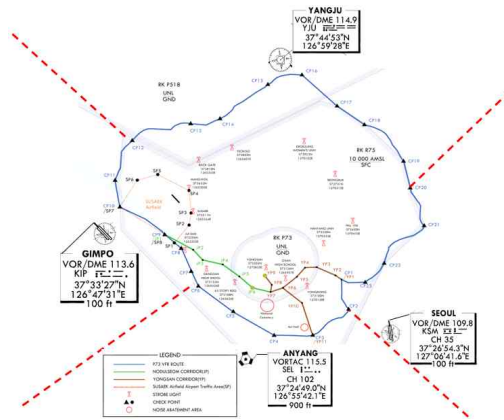


Fig. 7. Zone division by flight segment

Table 7. UAM Navigation facilities by flight segment

구분	북쪽 (North)	동쪽 (East)	남쪽 (South)	서쪽 (West)
구간	CP 12~20	CP 21~2	CP 3~6, YONGSAN CORRIDOR	CP 7~12, NODULSEOM CORRIDOR
항행 시설	양주VOR <sup>15)</sup> (YJU)	서울VOR (KSM)	안양 VORTAC <sup>16)</sup> (SEL)	김포 VOR (KIP)

콤퓨터의 실비행항적은 비행공간의 구분으로 항공안전성과 비행통제 측면에서 UAM 비행항로로 사용될 수 있다고 예측이 가능하다고 판단하였다.

UAM 항공기 수도권 비행항로에서 우발상황 조치로 여러가지 다양한 것이 있겠지만 본 연구에서는 지상에 설치된 항행안전시설을 이용하여 UAM 항공기가 비정상상황에서 비행계획을 준수할 수 없는 상황(Table 6), 즉 악기상 조우되어 VFR비행이 제한 되는 경우, 항법장치 GPS등 고장으로 FMS<sup>14)</sup> 작동불가 상태(야간 및 저시정 상황), 계획된 착륙장(vertiport 등) 착륙 제한 상황에서 수도권 비행

14) FMS(flight management system) 비행관리 시스템.

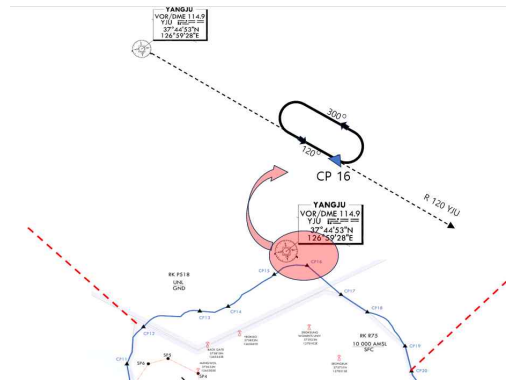


Fig. 8. North Section CP 16 holding procedure

공역에 UAM 항공기가 안전하게 시·공간적으로 UAM 항공기간 간격을 제공하여 순차적으로 착륙을 유도할수 있게 수도권 전방향에서 공중대기 절차(holding procedure) 방안을 제시한 것이다.

수도권 비행구간별 구역 구분은 Fig. 7과 Table 7에서 제시한 바와 같이 동서남북 전방향에 대하여 가용한 지상항행시설을 사용한다.

### 2.5.2 북쪽(North) 비행 구간

수도권 북쪽 비행구간은 P73시계비행로 CP 12 (Gyang IC)부터 CP 20(Guri IC)까지로 구분하였으며, 지상 항행시설은 의정부 서측과 수도권 제1외곽순환도로 외부에 위치한 ‘양주 VOR’을 이용하여 각 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding) pattern을 유지하며, UAM 각 항공기별 시간 공간적으로 분리를 함으로써 항공안전성을 제공할 수 있다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 CP 16(Peak of Saepae-san)의 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding)를 하는 pattern을 하나의 example로 보인 것이며 기타 다른 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding) pattern을 생성하면 된다.

### 2.5.3 동쪽(East) 비행 구간

수도권 동쪽 비행구간은 P73시계비행로 CP 21 (north end of Gangdong Bridge)부터 CP 2(Dae-

15) VOR(VHF omnidirectional range) 전방향 무선표지 시설.

16) VORTAC(VOR과 TACAN 합성) 전방향 무선표지 및 전술항법시설.

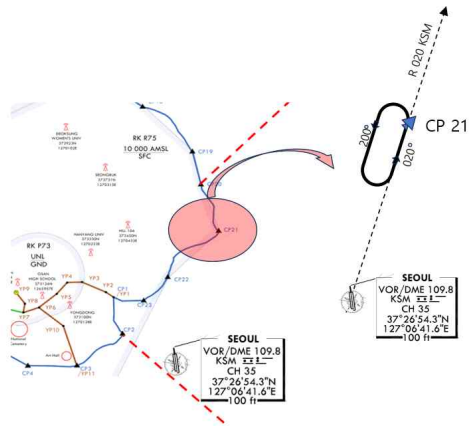


Fig. 9. East Section CP 21 holding procedure

chi Bridge)까지로 구분하였으며, 지상 항행시설은 수도권 동측에 위치한 서울비행장(K-16)에 위치한 '서울 VOR(KSM)'을 이용하여 각 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding) pattern을 유지하며, UAM 각 항공기별 시간 공간적으로 분리를 함으로써 항공안전성을 제공받을 수 있다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 CP 21(north end of Gangdong Bridge)의 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding)를 하는 pattern을 하나의 example로 보인 것이며 기타 다른 check point를 holding fix로 하여 공중대기 절차(holding procedure) 생성하면 된다.

2.5.4 남쪽(South) 비행 구간

수도권 남쪽 비행구간은 P73시계비행로 CP 3(Gyungbu Highway Yangjaechun Bridge)부터 CP 6(Youngdeungpo station)까지 그리고 한강회랑의 YONGSAN CORRIDOR 구간을 구분하였으며, 지상 항행시설은 안양에 위치한 '안양 VORTAC(SEL)'을 이용하여 각 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding) pattern을 유지하며 UAM 각 항공기별 시간 공간적으로 분리를 함으로써 항공안전성을 제공받을 수 있다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이, CP 3(Gyungbu Highway Yangjaechun Bridge)의 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding)를 하는 pattern을 하나의 example로 보인 것이며, 기타 다른 check point를 holding fix로 하여 공중대기 절차(holding procedure) 생성하면 된다.

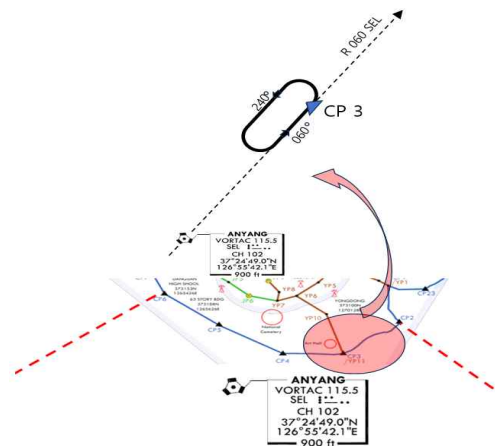


Fig. 10. South Section CP 3 holding procedure

2.5.5 서쪽(West) 비행 구간

수도권 서쪽 비행구간은 P73시계비행로 CP 7 (Mokdong Bridge)부터 CP 12(Gyang IC)까지 그리고 한강회랑의 NODULSEOM CORRIDOR 구간을 구분하였으며, 지상 항행시설은 수도권 서측에 위치한 김포국제공항에 '김포 VOR(KIP)'을 이용하여 각 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding) pattern을 유지하며, UAM 각 항공기별 시간 공간적으로 분리를 함으로써 항공안전성을 제공받을 수 있다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 CP 12(Gyang IC)의 check point를 holding fix로 하여 공중대기(holding)를 하는 pattern을 하나의 example로 보인 것이며 기타 다른 check point를 holding fix로 하여 공중대기 절차(holding procedure)를 생성하면 된다.

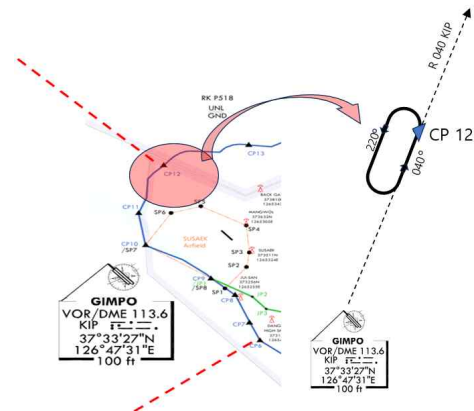


Fig. 11. West Section CP 12 holding procedure

## 2.6 UAM 비행항로 예측 구간 분석결과

본 연구에서는 비행회랑(corridor)화 되어 있는 헬리콥터의 실비행항적은 비행공간의 구분으로 항공안전성과 비행통제 측면에서 UAM 비행항로로 사용될 수 있다고 예측하였다. UAM 항공기 수도권 비행항로에서 우발상황 조치로 현재 지상에 설치된 항행안전시설을 이용하여 UAM 항공기가 비정상상황에서 비행계획을 준수할 수 없는 상황(Table 6)에 수도권 비행구역에서 UAM 항공기가 안전하게 시-공간적으로 UAM 항공기간 간격을 제공하여 순차적으로 착륙을 유도할 수 있게 비행구간을 수도권 전방향 동서남북으로 구분하였다. UAM 항공기 공중대기 절차(holding procedure) 방안으로 각 비행 구간별 한 개의 check point를 FIX로 하여 도식화된 형태를 제시한 것이며, 비행구간 모든 check point에서 FIX로 정하여 공중대기 절차(holding procedure)를 제시하지는 않았음을 밝혀두며 전체 구간에서 더욱 세부적인 방향 등 제한사항을 확인후 추후 AIP(비행정보간행물)등에 수록하여야 할 것이다.

## III. 결 론

본 연구는 대한민국 수도권을 중심으로 가까운 미래에 상용화될 UAM 비행항로를 수도권에서 2021년~2024년 동안 헬리콥터 비행항적자료를 분석하여 확률 밀도함수 산출, 통계(정규성 검증)분석을 통해 자료를 일반화하여 UAM 수도권 도심운항 경로를 예측하고 비행운용간 발생할 수 있는 비정상상황에서 우발상황을 구체화하고 조치방안의 일부분을 제시하였다. 본 연구는 비행중 악기상에 조우하여 착륙이 불가능 하거나 악기상 상황하(VFR 비행제한)와 GPS 등 항법장비 고장시 또는 갑작스러운 vertiport에 비상상황이 발생되어 착륙이 불가하여 UAM 항공기가 착륙이 불가한 경우에 고정된 지점(FIX)에서 수도권 시계비행로와 노들섬회랑, 용산회랑 비행로에서 동서남북 전방향에 위치하고 있는 지상항행안전시설을 이용하여 4개의 구역으로 구분하고, 각 구역에서 앞에서 제시한 우발상황 발생시 비행중인 UAM 항공기간 안정적인 분리를 제공하기 위한 공중대기 절차(holding procedure)를 제시하였다. 본 연구는 UAM 비행이 상용화 되지 않은 상황에서 선행연구자료 부족과 실제 데이터 부족 등 연구하는 한계점이 있으나 본 연구는 실제 수도권 헬리콥터가 비행하는 비행항로에서 비행항

적을 비행회랑(corridor)형태의 UAM 항공기 비행항로로 예측하고 현재 수도권을 중심으로 동서남북으로 분포되어 있는 VOR(전방향 무선표지시설) 송신기를 중심으로 우발상황시 UAM 항공기를 시간-공간적으로 분리를 제공함으로써 UAM 비행운용간 항공안전에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

1. Won, W. S., and Kim, Y. M., "Weather barriers of urban air mobility (UAM) 1ns: A case study of the visibility and wind shear around Han-River corridor", *Atmosphere*. Korean Meteorological Society, 33(4), 2023, pp. 413-422.
2. Kwak, C., "Development of air traffic simulation for UAM trajectory-based operation" Master's Thesis, Konkuk University, Gwangjin-gu, Seoul, 2024.
3. Bak, D. H., "Low-level air collision risk assessment for UAM at Gimpo Airport" Master's Thesis, Korea Aerospace University, Goyang, Gyeonggi-do, 2024.
4. Park, S. D., and Kim, J. Y., "Efficient RNP-based navigation performance monitoring considering the operational phase of K-UAM", *Journal of Advanced of Navigation Technology*, 28(6), 2024, pp. 827-836.
5. Yeo, H. R., "A study on UAM takeoff and corridor entry method under uncertainty" Master's Thesis, Korea Aerospace University, Goyang, Gyeonggi-do, 2024.
6. K-UAM Concept of Operation v1.0. 2021.
7. Concept of Operation v1.0. Urban Air Mobility(UAM), FAA, 2020.
8. UAM Vision Concept of Operations(ConOps) UAM Maturity Level(UML) 4, NASA and Deloitte, 2020.
9. George, D., and Mallery, P., *SPSS for windows step by step: A simple guide and reference*, 17.0 Update (10th ed.). 2010.