

SORA 모델을 적용한 화물운송 한국형 도심항공교통(K-UAM) 시범운용 회랑의 운용위험도 평가 연구

A Study on the Operational Risk Assessment of cargo transport Korean Urban Air Mobility(K-UAM) trial operation corridor applying SORA Model

남궁평^{1*2} · 엄정호² · 이승근¹ · 권태화¹

¹항공안전기술원 UAM 안전지원센터

²대전대학교 대학원

Pyeong Namgung^{1*2} · Jeongho Eom² · Seungkeun Lee¹ · Thawha Kwon¹

¹UAM Technical Center, Korea Institute of Aviation Safety Technology

²Department of Military Studies, Graduate School, Daejeon University

[요 약]

최근 항공산업 분야의 최대 이슈로 부각되고 있는 UAM(Urban Air Mobility)은 국내 뿐 아니라 국제적으로 많은 관심이 집중되고 있다. 현재 우리나라는 미래 K-UAM 운용개념서 제정 등 정부 및 산학연을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있으나 아직까지 비행안전의 핵심 요소인 K-UAM 운용 환경에 대한 위험도 평가 방안은 마련되어 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 유럽 JARUS(Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems)에서 제정한 SORA(Specific Operation Risk Assessment) 모델을 적용하여 정부가 추진하고 있는 화물 운송 목적의 K-UAM 운용 환경 및 특정 회랑을 대상으로 위험도를 평가하고 그에 따른 결과 분석을 통해 위험도 완화를 위한 정책 및 기술적 방안을 제시하고자 한다.

[Abstract]

UAM is emerging as the biggest issue in the aviation industry and which is attracting a lot of attention not only domestically but also internationally. In Korea, active research is being conducted centered on the government and industry-university research institutes, such as the establishment of a future K-UAM concept of operation. Therefore, in this study applies the SORA (Specific Operation Risk Assessment) model established by the European JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems) to apply the K-UAM operation environment and specific corridor for the purpose of cargo transportation that will be operated in the future that the government is promoting. We intend to suggest policy and technical measures for risk mitigation in the initial operating environment by evaluating the level of risk and analyzing the results.

Key word : Concept of Operations, Corridor, Korean-Urban Air Mobility, Specific Operation Risk Assessment, Urban Air Mobility, Vertiport.

<https://doi.org/10.12673/jant.2022.26.3.125>



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 10 May 2022; Revised 7 June 2022

Accepted (Publication) 23 June 2022 (30 June 2022)

*Corresponding Author; Pyeong Namgung

Tel: *** - **** - ****

E-mail: ngpyeong@kiast.or.kr

1. 서론

2021년 11월 국토교통부는 ‘Open the Urban Sky’ 라는 슬로건 아래 미래 우리나라의 새로운 항공교통 시작을 알리는 도심항공교통체계(UAM; Urban Air Mobility, 이하 ‘UAM’이라 한다.)에 대한 비행시연 실증행사를 김포공항 및 인천공항에서 개최하였다. 실증행사를 통해 많은 국민들이 미래의 도심 하늘 공간을 개인교통 수단으로 활용할 수 있다는 기대와 인식을 갖는 계기가 되었으며 정부는 2021년 2월에 UAM 개발 및 운용에 대한 중장기 비전을 포함한 제3차 ‘항공산업발전기본계획’을 발표하였다[1]. 이러한 UAM 개발 전략에 따라 향후 국내 도심 및 도심 간 화물과 승객 운송 목적으로 UAM의 운용 수요는 더욱 증가될 것으로 전망된다.

이미 미국과 유럽 등에서는 화물, 승객 운송용 UAM의 비행안전성 검증을 위한 감항인증 절차 제도 등에 대해 연구하고 있으며 우리나라도 국토교통부를 중심으로 항공안전기술원 등 정부 차원에서 UAM 안전성 인증 관련하여 정책 및 기술적인 방안 마련을 추진하고 있다. UAM이 도심 하늘을 비행하여 화물 및 승객을 운송하는 체계에서 무엇보다도 중요한 것은 안전이며 비행체 설계, 제작 및 조종사의 기량은 물론 운용환경에 대한 안전성 검증 및 확보는 UAM 운용에 가장 중요한 요소이다. 현재 우리나라의 항공기 안전성 검증은 국토교통부에서 고시한 항공기 유형별 항공기기술기준을 적용하여 감항인증을 수행하고 있으나 이는 비행체의 개발 및 성능, 제원 등 계통별로 기술적인 내용에 중점을 두고 있으며 비행하고자 하는 영역의 지상 및 공중 환경에 대한 운용적 측면의 위험도에 대한 과학적 정량적 평가 체계는 마련되어 있지 않다.

따라서, 본 논문에서는 미래 도심 하늘길을 이용하여 화물 및 승객 운송을 위한 한국형 도심항공체계(K-UAM; Korean-Urban Air Mobility, 이하 ‘K-UAM’이라 한다.)의 시범운용에 앞서 화물 운송을 위한 무인형 K-UAM을 대상으로 특정 회랑(Corridor)에 대한 운용위험도평가(SORA; Specific Operation Risk Assessment, 이하 ‘SORA’라 한다.) 모델을 적용하여 위험도 평가 및 결과를 분석하고 완화 방안을 제시하였다.

II. 국내외 UAM 개발 동향 및 인증체계

2-1 국내 UAM 개발 동향

정부는 지난 2019년 4월 국토교통부 및 산업통상자원부와 함께 드론 택시 등 미래의 신개념 항공교통수단으로 운용될 개인 비행체 개발 활성화를 위해 ‘민관합동 발전전략협의체’ 구축을 필두로 2020년 5월 K-UAM의 2030년 상용화 서비스 개시를 주내용으로 하는 ‘K-UAM 로드맵’을 발표하였다[2]. 이러한

정부의 K-UAM 발전 전략을 바탕으로 국내 H사 등 대기업은 물론 B사 등 중소기업, 지방자치단체 등에서도 K-UAM 개발을 위한 투자와 역량을 집중하고 있으며 H사의 경우는 조종사를 포함한 5-6인승급의 승객 운송은 물론 화물 운송용 K-UAM을 개발하고 있으며 중소기업인 B사는 화물 및 승객 운송 목적의 유무인 K-UAM 비행체를 개발 중이다.

또한 국토교통부 및 산업자원부가 공동으로 K-UAM 개발과 연계한 기술력 확보를 위해 개인용 유무인 겸용 수직이착륙항공기를 항공우주연구원 주도하에 산업체, 연구소가 참여하여 비행체 및 안전성 검증 기술 개발 연구를 수행하고 있다.

2-2 국외 UAM 개발 동향

미국은 Uber사에서 UAM 개발을 본격화하기 위해 Uber Elevate 사업부를 설립하고 기체 개발에 착수하여 2023년 상용화를 목표로 추진하였으나 2020년말 Joby Aviation사에 사업을 매각하여 현재는 Joby사에서 표 1에 나타난 바와 같이 5인승 전기추진 수직이착륙항공기(eVTOL; electric Vertical Take off and Landing, 이하 ‘eVTOL’이라 한다.) S4 모델을 출시하여 2023년 미국 연방항공청(FAA; Federal Aviation Administration, 이하 ‘FAA’라 한다.)의 감항인증 획득을 목표로 개발 중이며 특히, 미 공군의 Agility Prime Program에 참여하여 2020년 12월에 미 공군으로부터 특별감항증명을 획득하였다[3]. 또한, Beta Technology사는 화물용 ALIA-250 항공기를 개발하여 2024년 FAA의 인증을 목표로 시험 진행 중에 있으며 2025년에는 ALIA-250 항공기를 도심항공교통체계인 eVTOL 항공기로 개발을 추진하고 있다.

유럽은 독일 Volocopter사가 2인승 멀티콥터형 Velocity를 개발하여 2023년에 유럽 감항인증 당국의 감항인증 획득을 목표로 추진중이며 독일 질병관리청인 Luftrettung GmbH에 응급의료용으로 2023년 정상운용을 목표로 시스템을 준비중에 있다. Lilium사는 6인승 eVTOL 형상인 Lilium Jet 를 개발하여 2024년까지 감항인증 획득 후 독일 Stuttgart를 거점으로 Munich 등 남부지역에 대한 승객운송을 착수 할 예정이다[4].

중국은 이미 잘 알려진 바와 같이 소형 Drone의 세계 시장 점유율이 70%를 차지하고 있어 UAM 분야도 선제적으로 개발에 주력하고 있으며 Ehang사는 2인승 UAM인 Ehang216 등 다양한 모델을 출시하여 비행 시연, 홍보 등 향후 잠재시장 석권을 목표로 하고 있다.

표 1. 국내외 UAM 개발 동향

Table 1. Domestic and foreign UAM development trends

Korea, 00 Inc.	Korea, 00 Inc.	Korea, 00 Inc.
		
Germany, xx Inc.	USA, xx Inc.	China, xx Inc.
		

2-3 UAM 인증 및 위험도 평가 체계

1) 인증 체계

국내에서의 K-UAM 운용은 크게 3 단계로 구분하여 기술 개발 및 운용성 검증을 통해 2035년 이후 정상운용을 목표로 하고 있다. 초기(2025년)에는 기술개발 및 관련 인프라 검증을 위해 제한적으로 유인기 형태로 운용 이후 성장기(2030년)에는 유무인 겸용 체계로 주요 도심에서 전용 회랑으로 운용 할 예정이며 성숙기(2035년 이후)에는 완전자율화 체계를 갖추고 지상의 이착륙 시설 및 교통관제, 공역 통제 등 K-UAM 생태계를 구비하여 정상 운용을 목표로 하고 있다[5].

UAM 운용단계에서 가장 중요한 고려 요소는 비행안전성 확보이며 이를 위해 우리나라 뿐아니라 세계 각국에서는 UAM 인증체계 구축을 위해 정부 및 산업 단계에서 인증 절차, 기준 등 수립에 많은 노력을 기울이고 있다. 먼저, 미국은 UAM을 별도 항공기로 분류하기보다는 기존 항공기의 인증체계를 적용하여 비행안전성을 인증하도록 하는 정책을 수립하고 있으며 유럽의 경우는 그림 1에 나타난 바와 같이 항공안전청(EASA ; European Air Safety Agency, 이하 'EASA'라 한다.)에서 국가별로 UAM 인증시 적용하도록 수직이착륙항공기(VTOL; Vertical Take off & Landing) 특별요구조건(SC; Special Condition)을 2019년 7월 제정하였으며 향후 이를 근간으로 공식적인 인증 기술기준(CS; Certification Specification)으로 발전시킬 것으로 예상된다. [6]. 또한, 전기 추진 동력과 기존 엔진을 함께 사용하는 하이브리드형 UAM의 특별요구조건인 SC-EHPS(EHPS; Electric and Hybrid Propulsion System)를 2021년 4월에 제정하여 적용하고 있다[7].

우리나라의 경우 지난 2019년부터 국토교통부 산하에 미래 드론교통담당관실을 신설하여 K-UAM 개발 및 인프라 구축, 관련 법령 제정 및 정비 등 주요 정책을 입안, 기획하고 있으며 자율비행 개인항공기 인증 운용기술 개발 사업을 통해 인증기술기준 수립을 추진하고 있다.

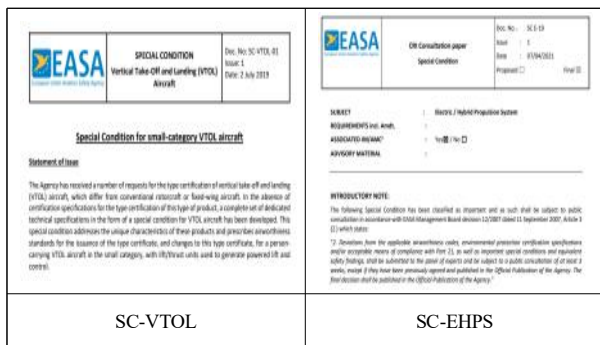


그림 1. 유럽 항공안전청의 수직이착륙항공기 및 전기추진 시스템 특별요구조건
Fig. 1. European EASA special conditions for vertical take-off and landing aircraft and electric propulsion systems

2) 위험도 평가

UAM 안전성 인증은 크게 UAM 기체의 설계 제작 및 지상 통제장비, 이착륙시설 등 관련 인프라에 대한 안전 그리고 UAM을 운용하고자 하는 운용 지역 및 공역 환경에서의 안전성을 확보하는 것이다.

그러나 지금까지 제정된 안전성 분석 및 위험도 평가에 대한 국제적 지침은 주로 비행체 설계 등 개발 분야에 초점이 맞추어져 있으며 최근 미국 자동차기술협회(SAE ; Society of Automotive Engineers)에서는 민간 항공기의 상용 운용에 대한 안전성 평가를 위해 2015년 6월에 ARP 5150 및 ARP 5151을 제정하였다. 그림 2는 항공기 개발 단계에서의 항공기 및 관련 시스템에 대한 안전성 평가 지침과 상용화 운용 단계에서의 운용 안전성 평가 지침을 구분하여 나타내고 있다[8].

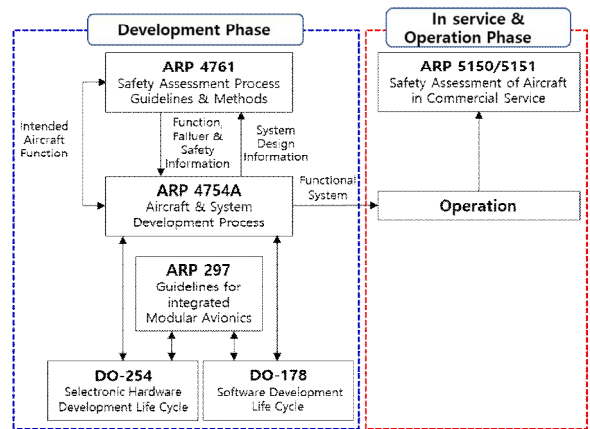


그림 2. 항공기 안전성 평가 지침
Fig. 2. Guideline of aircraft safety assessment

또한, 항공기 개발 단계에서의 안전성 평가 및 개발 완료 후 운용단계에서의 운용위험도(Operation Risk) 평가를 위한 각국의 기준과 산업단체의 표준을 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 항공기 안전성 평가 기준 및 내용
Table 2. Aircraft safety assessment guidelines and contents

Document	Organization	Guidelines and Contents
ARP 4761	SAE	Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment
ARP 4754A	SAE	Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems
ARP 5150	SAE	Safety Assessment of Transport Airplanes in Commercial Service
ARP 5151	SAE	Safety Assessment of General Aviation Airplanes and Rotorcraft in Commercial Service
PART 103	FAA	Ultralight Vehicles
PART 107	FAA	Small Unmanned Aircraft Systems

III. 무인항공체계 운용위험도 평가 모델

3-1 운용위험도 평가를 위한 모델 개발

1) 배경 및 적용

고정의 및 회전의 유인항공기에 대한 안전성 검증은 미국 FAA Part 23, 25 등과 유럽 EASA의 CS-23, 25 등 항공기 유형별로 감항인증을 위한 기술기준을 적용한다.

그러나 무인항공체계의 경우 장거리 비행보다는 주로 도심 주변 비행에 따라 비행지역 및 환경에 의해 위험도가 크게 달라진다. 이러한 상황을 고려하여 유럽 무인시스템규정제정통합기구(JARUS; Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems, 이하 'JARUS'라 한다.)에서는 2019년 2월 무인항공기를 비행하고자 하는 운용 환경에 대한 위험도를 평가하여 요구 수준에 적합하다고 판단 시 비행 승인하는 위험도 평가 절차 SORA를 제정하였다. SORA는 특정영역에서 위험성이 없는 화물 운송을 목적으로 무인항공체계를 운용하고자 할 때 비행지역, 공역 등에 대한 위험도를 평가하여 비행승인 여부를 판단하기 위한 새로운 평가 모델이다[9].

2) 개념

SORA 모델은 무인항공체계를 특정영역에서 비행하고자 할 때 해당 비행영역에 대해 그림 3에 나타난 바와 같이 비행영역을 ① Open, ② Specific, ③ Certified의 3개 영역으로 구분하고 ① Open 영역에서는 비행신청자가 비행안전 규정을 준수하여 별도의 비행승인 인허가 절차없이 비행이 가능한 영역이며, ② Specific 영역은 SORA 모델을 적용하여 비행영역에 대한 지상, 공중 위험도 수준을 평가하고 이에 대한 결과값을 특정보장무결성수준(SAIL; Specific Assurance Integrity Level, 이하 'SAIL'이라 한다.)을 산출하여 SAIL 값을 기준으로 위험도 수준을 판단한다. ③ Certified 영역은 비행체 성능, 제원 및 비행운용 환경에 대한 위험도가 매우 높아 SORA 모델을 적용할 수 없는 영역으로 별도의 비행안전성 검증을 위해 감항인증 절차를 적용하여 비행승인이 필요한 영역이다.

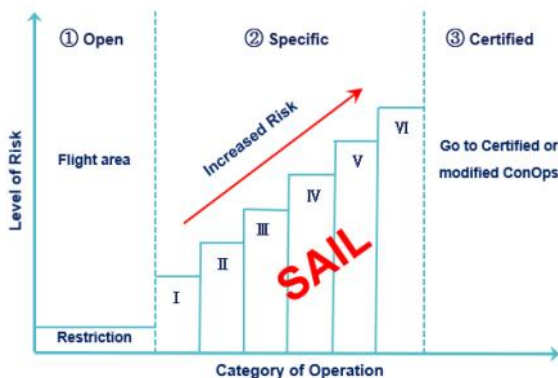


그림 3. SORA 모델의 개념
Fig. 3. Concept of SORA model

3-2 SORA 모델을 활용한 운용위험도 평가 절차

SORA 모델은 특정한 비행영역에 대해 지상 및 공중위험도 평가를 위해 비행체의 중량, 크기 등 제원과 지상의 인구 밀집도, 공중충돌 확률 등을 입력자료로 활용하며 평가를 위한 세부 절차는 그림 4와 같다.

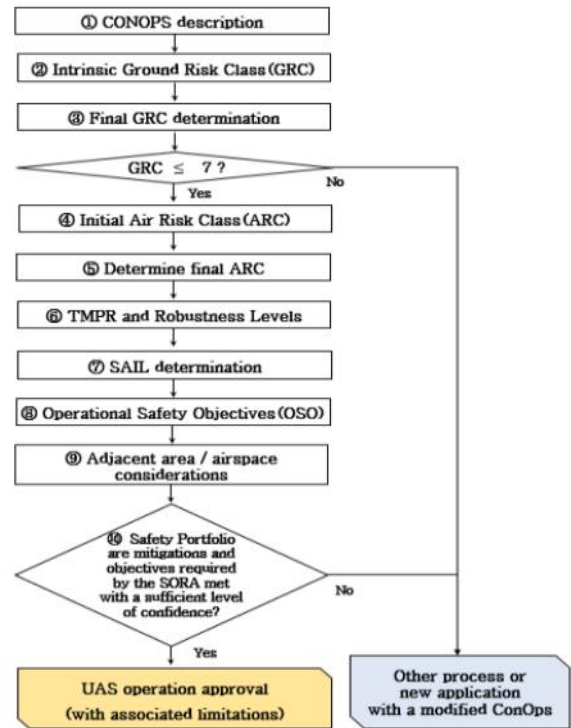


그림 4. SORA 모델 절차
Fig. 4. Procedure of SORA model

- ① ConOps Description : 무인비행기의 비행개념 수립
- ② Intrinsic GRC(Ground Risk Class) : 초기 지상위험도
- ③ Final GRC : 최종 지상위험도
- ④ Intrinsic ARC(Air Risk Class) : 초기 공중위험도
- ⑤ Determine final ARC : 최종 공중위험도 결정
- ⑥ TMPR(Tactical Mitigation Performance Requirement, 전술완화성능요구) : 위험도 평가 결과에 따라 위험도 완화 방안 요구도 설정
- ⑦ SAIL(Specific Assurance Integrity Level, 특정보장무결성 수준) : 비행지역에 대한 운용위험도 수준
- ⑧ OSO(Operation Safety Objective, 운용 안전목표) : SAIL 값에 따라 결정되어지는 최종 비행 운용 목표이며 비행 시나리오별로 Low, Medium, High 등급으로 분류
- ⑨ Adjacent area/airspace considerations (비행지역 및 공역 조정 고려) : SORA 절차에 따라 평가한 위험도를 기준으로 신청자의 비행 지역 또는 공역을 조정
- ⑩ SORA 요구조건에 맞도록 위험도 완화조치 후 조치한 결과를 반영하여 비행 승인 여부를 최종 결정

IV. K-UAM의 특정회랑 운용위험도 평가

4-1 운용위험도 평가를 위한 가설 및 평가 대상

1) 가설

① 가설 1: 이착륙장 및 기체

화물 운송 K-UAM 운용위험도 평가를 위한 이착륙 장소는 정부에서 K-UAM 시범운용 장소로 검토하고 있는 서울 잠실 인근에 Vertiport 구축 및 김포공항 인근에 Vertiport를 구축하여 운용하는 것으로 가설하였으며 정부 K-UAM 운용개념서에 초기 시범 운용 단계는 유인기 형태로 운용하고 성숙기 단계인 2035년경 완전 자율비행 체계를 갖춘 무인기로 운용하는 것으로 명시되어 있으나 본 연구에서는 최종 운용 목표에 대비하여 화물운송 목적으로 무인형태의 K-UAM에 대한 운용위험도를 평가하는 것으로 가설하였다.

② 가설 2: 운용 회랑 및 구역

K-UAM의 시범 운용에 적용되는 항로(Route)는 그림 5에 나타난 바와 같이 기존 헬리콥터의 한강 회랑(Corridor)을 따라 비행하며 고도 150 m로 비행하는 것으로 가설하였다[10]. 또한, 최근 정부의 대통령실 이전 관련하여 한강 회랑이 비행금지구역으로 포함 될 경우 국민 생명과 직결되는 인체 장기, 특수 혈액 등 긴급 운송을 위해 비행금지구역이라 하더라도 사전 승인을 받아 저속 및 저고도 비행은 가능한 것으로 가설하였다.




그림 5. 한강 헬기 회랑을 활용하는 K-UAM 시범운용 항로
Fig. 5. K-UAM demonstration route using Han River helicopter corridor

2) 평가 대상

운용위험도 평가 대상기종은 우리나라 K-UAM 로드맵에 따라 성장기(2035년) 운용 목표인 수직이착륙 형태의 완전자율화 무인항공기를 대상으로 하되 현재 국내에서 개발 완료하여 운용 중인 K-UAM 비행체는 존재하지 않으나 제 2-1절의 UAM 국내개발 동향에서 기술한 국내 B사가 개발하고 있는 OO 형상 무인 비행체를 도심 공역에서 김포-잠실 회랑을 이용하여 인체 장기, 혈액 등 긴급 화물 운송이 가능한 것으로 판단하여 본 연구의 대상 기체로 선정하였다. 연구 대상 기체의 주요 성능 및 제원은 표 3과 같다[11].

표 3. 운용위험도 평가 대상 수직이착륙 무인비행체
Table 3. Vertical take-off and landing UAS subject to operational risk assessment

Configuration	Performance
	<ul style="list-style-type: none"> Type : eVTOL(Unmanned) Dimension : 2.7 m Vmax : 90 km/h Operation Altitude : MSL 150 m Weight(MTOW) : 220 kg Payload : 20 kg

4-2 운용위험도 평가 절차

운용위험도 평가 대상 기종인 국내 B사의 OO 형상에 대해 특정 비행영역인 김포-잠실 회랑의 운용위험도 평가는 아래와 같은 절차로 수행하였다.

1) ConOps Description

비행영역은 미래 K-UAM 운용 개념에 운용고도 300~600 m에서 비행하는 것으로 명시되어 있으나 연구 대상 기체 성능을 고려하여 고도 150 m로 설정하였고 비행 구역은 K-UAM 및 헬기 공동 운용 회랑이며 지상 여건은 이착륙 지점(Vertiport) 인근에 인구 밀집도가 매우 높은 것으로 정의하였다. 기존 유인 헬리콥터의 시계비행 고도는 정부에서 고시한 항공정보간행물(AIP; Aeronautical Information Publication)에 의거하여 고도 450 m를 기준으로 설정하였다[12].

본 연구의 가설 2에 따라 설정한 김포-잠실 회랑의 K-UAM 시범운용을 위한 Flight Profile은 그림 6과 같다.

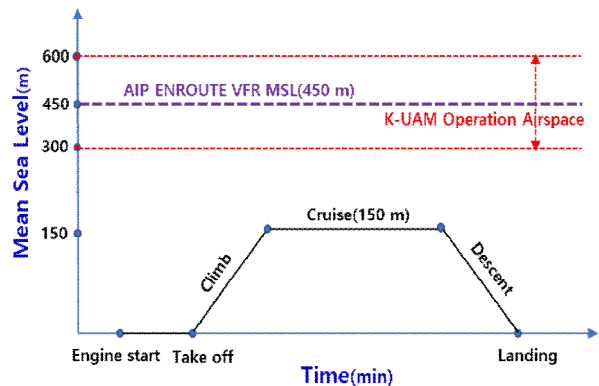


그림 6. K-UAM 김포-잠실 회랑 비행 영역
Fig. 6. Flight profile of K-UAM Gimpo-Jamsil corridor

2) Intrinsic 및 Final GRC

본 연구를 위해 적용한 김포-잠실 회랑에 대한 지상 위험도 수준은 Intrinsic GRC의 경우 비행운용 개념 즉, 가시권 및 비가시권 비행영역과 지상에 분포하는 인구밀집 수준, 비행체 크기 등을 기준으로 표 4에 나타난 바와 같이 SORA 모델에서 제시하는 Kinetic Energy 값을 기준으로 위험도 등급을 평가한다.

지상위험도 산출방법은 특정영역을 비행하는 비행체의 크기(Dimension)에 따라 표 4의 SORA 모델에서 제시하고 있는 지상위험도 산출값 또는 비행체가 지상 충돌 시 발생하는 Kinetic Energy(운동에너지) 값을 상대 비교하여 위험도가 큰 값을 기준으로 지상위험 등급을 결정하며 Kinetic Energy값은 아래의 공식 (1)을 적용하여 산출한다.

$$KE = 0.5 \times m \times V^2 (J) \quad (1)$$

여기서, m은 중량(kg), V는 속도(m/s)

본 연구의 운용위험도 평가 대상으로 선정된 국내 B사 개발 OO 형상의 최대 비행속도는 90 km/h이며 최대이륙중량은 220 kg이다. 이를 기준으로 공식 (1)을 적용하여 Kinetic Energy값을 산출하면 68.7 KJ이다.

산출된 Kinetic Energy 값은 표 4에서 분류한 지상위험도 기준으로 중간단계인 1,084 KJ 미만에 해당하는 영역이다.

표 4. 무인항공체계 지상위험도 분류

Table 4. Ground risk class for UAS

Max UAS Dimension	1 m	3 m	8 m	>8 m
Kinetic Energy	<0.7 KJ	<34 KJ	<1,084 KJ	>1,084 KJ
VLOS*/BVLOS** over controlled	1	2	3	4
VLOS in sparsely populated	2	3	4	5
BVLOS in sparsely populated	3	4	5	6
VLOS in populated	4	5	6	8
BVLOS in populated	5	6	8	10
VLOS in over gathering of people	7	Go to Certified Category		
BVLOS in over gathering of people	8			

* : Visual Line of Sight(가시권)

** : Beyond Visual Line of Sight(비가시권)

Intrinsic GRC 산출을 위해 서울특별시 열린데이터 광장의 홈페이지에서 공개한 서울 인구 통계자료를 기반으로 잠실 지역 Vertiport가 위치한 송파구와 김포 Vertiport가 위치한 강서구 지역의 2021년 기준 거주 인구는 표 5와 같다[13].

지역별 거주인구는 강서구 579,768명이며 인구밀도 13,986 명, 송파구는 거주인구 663,965명, 인구밀도 19,599명으로 매우 높은 수준이다.

표 5. 서울시 지역별 인구 현황

Table 5. Population status by region in Seoul city

Region	Population	Area(km ²)	Population Density
Total	9,736,027	605.24	16,086
Jongno-Gu	153,789	23.91	6,431
Jung-Gu	131,787	9.96	13,231
Yongsan-Gu	237,285	21.87	10,852
Seongdong-Gu	292,672	16.86	17,359
Gwangjin-Gu	352,627	17.06	20,666
Dongdaemun-Gu	352,006	14.22	24,762
Jungnang-Gu	391,885	18.5	21,188
Seongbuk-Gu	440,142	24.58	17,909
Gangbuk-Gu	302,563	23.6	12,820
Dobong-Gu	319,373	20.65	15,465
Nowon-Gu	514,946	35.44	14,530
Eunpyeong-Gu	477,173	29.71	16,061
Seodaemun-Gu	315,659	17.63	17,908
Mapo-Gu	378,686	23.85	15,878
Yangcheon-Gu	450,487	17.41	25,882
Gangseo-Gu	579,768	41.45	13,986
Guro-Gu	421,163	20.12	20,933
Geumcheon-Gu	244,891	13.02	18,808
Yeongdeungpo-Gu	400,908	24.55	16,331
Dongjak-Gu	394,364	16.36	24,113
Gwanak-Gu	499,449	29.57	16,891
Seocho-Gu	416,167	46.98	8,858
Gangnam-Gu	537,800	39.5	13,616
Songpa-Gu	663,965	33.88	19,599
Gangdong-Gu	466,472	24.59	18,970

또한 K-UAM 시범 운용 단계에서 고려하고 있고 본 연구에서 적용하고자 하는 김포-잠실 간 회랑과 Vertiport 위치는 그림 7과 같다.

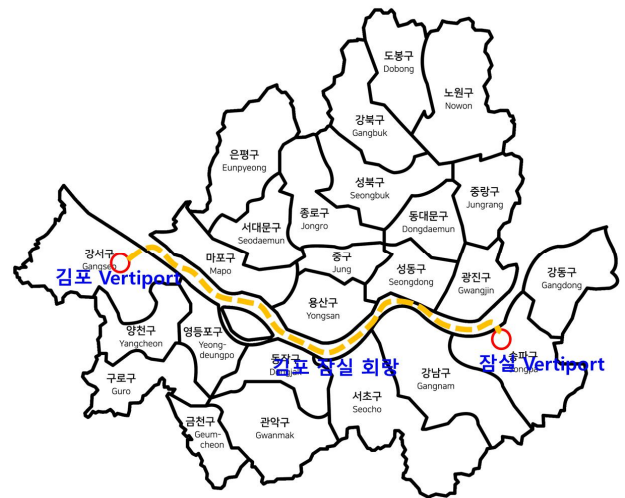


그림 7. K-UAM 김포-잠실 시범 운용 회랑

Fig. 7. K-UAM Gimpo-Jamsil corridor of Demo operation

표 5에 나타난 바와 같이 김포-잠실 시범운용 회랑의 인구 밀집 현황은 SORA 모델에서 명시하고 있는 인구 밀집 수준에 따른 지상위험도는 표 4의 ‘BVLOS in over gathering of populated’에 해당하는 영역이다.

Intrinsic GRC 산출결과 위험도가 높을 경우 비행운용 개념 변경 또는 지상의 인구 밀집 해소 등의 위험완화 조치를 강구하여야 하며 조치결과를 반영하여 최종 위험도 수준인 Final GRC 를 산출한다.

2-1절에서 언급한 K-UAM 운용 로드맵에 따르면 운용 초기 2025년은 시범운용이므로 비행 운용을 위해 비행지역에 대한 지상 인구 분산 등의 위험완화조치를 하지 않는다면 김포-잠실 회랑에 대한 Final GRC는 Intrinsic GRC와 동일하며 표 6의 Factor를 표 4에 적용하여 GRC를 산출하면 GRC 등급은 ‘Go to Certified Category’ 영역에 해당된다.

표 6. 김포-잠실 회랑의 지상위험도 산출 인자
Table 6. Factors of calculating K-UAM ground risk class of Gimpo-Jamsil corridor

Factor	Results	Remarks
UAS Dimension	2.7 m	< 3 m
Flight ConOps	BVLOS	
Population	Over gathering of people	
Kinetic Energy	68.7 KJ	< 1,084 KJ
Final GRC	Go to Certified Category	

3) Intrinsic ARC 및 Determine final ARC

김포-잠실 회랑의 공중위험도는 K-UAM 운용 비행공역에 대한 타 항공기와와의 공중충돌 위험도를 기반으로 산출하며 Intrinsic ARC는 비행공역에서 유인항공기와 공중 조우 확률, 비행체에 감시식별 장비 장착 여부 및 관제사의 감시 통제 기능 등을 기준으로 표 7을 적용하여 산출한다. Intrinsic ARC 산출 결과에 따라 공중 감시 식별장비 장착, 관제사의 항시감시 체제 구비 등 공중위험 완화 조치를 수행하여야 한다. Final ARC는 공중 위험수준 완화조치를 반영하여 최종적으로 산출한 공중 위험도이다.

표 8은 김포-잠실 회랑으로 K-UAM 비행시 실제 비행 적용 가능한 비행 프로파일을 기반으로 표 7을 적용하여 최종 산출한 Final ARC 값이 ‘B’ 등급임을 보여주고 있다.

표 7. 공중위험도 판단 기준
Table 7. Determination of air risk class

ARC	Determination
A	Almost no probability of encountering a manned aircraft in the flight area
B	Possibility of encountering a manned aircraft in the flight area is low
C	Possibility of encountering a manned aircraft in the flight area is rich
D	Probability of encountering manned aircraft in the flight area is very high

표 8. 김포-잠실 회랑의 K-UAM 공중위험도
Table 8. K-UAM air risk class of Gimpo-Jamsil corridor

Profile & Specification	Description
Altitude	MSL 150 m
Max Air Speed	90 km/h
Probability to encountering other aircraft	Low
Detect & Avoid System	Installed
Air space controller	Always
Final ARC	B

4) TMAPR(Tactical Mitigation Performance Requirement)

전술완화성능요구는 김포-잠실회랑의 K-UAM 비행시 산출한 Final ARC에 대해 비행 승인 신청자가 수행하는 위험도 완화의 전술적 조치이며 비행 프로파일의 변경 또는 공역에서 타 항공기와의 조우를 방지하기 위해 비행공역 변경 등의 조치를 수행하며 위험 완화 조치 이후에도 공중 위험도가 높을 경우에는 비행승인이 불가하다.

5) SAIL(Specific Assurance Integrity Level)

K-UAM 시범운용 회랑에 대한 특정보장무결성수준은 비행 임무 지역에 대한 지상위험도 및 공중위험도를 기반으로 산출하며 표 6 및 표 8에 나타난 지상 및 공중위험도 등급을 SORA 모델에서 제시하는 표 9에 대입하여 교차점을 SAIL 값으로 결정한다. SAIL 값은 Level I 부터 VI까지 6개 등급으로 분류하며 지상위험도 수준이 7을 초과 할 경우 SORA 모델을 적용하여 운용위험도를 평가할 수 없으며 별도의 감항인증 절차(Go to Certified)를 따라야 한다.

표 9에 따라 김포-잠실 회랑에 대한 SAIL값을 산출한 결과 공중위험도와 무관하게 지상위험도가 Level 7을 초과하므로 운용위험도가 매우 높아 SORA 모델에서 제시하는 운용안전목표(OSO; Operation Safety Objective, 이하 ‘OSO’ 라한다.) 달성이 불가하여 형식증명 등 감항인증 절차를 적용해야 한다.

표 9. 특정보장무결성수준 산출표
Table 9. Calculation of Specific Assurance Integrity Level(SAIL)

ARC \ GRC	A	B	C	D
≤ 2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI
6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
> 7	Go to Certified Category			

6) OSO

OSO는 해당 비행영역의 비행 운용 시나리오이며 시나리오별 위험수준을 지표로 나타낸다. 위험수준은 선택(O : Option), 고(H; High), 중(M; Medium) 및 저(L; Low) 등급으로 분류하며 표 10과 같이 설계기술, 외부지원요소 악화, 인간실수 및 운용조건 등 4개 영역으로 구분하여 총 24개 운용 시나리오를 제시하고 있다. 4-2절의 표 9에서 산출한 SAIL 값을 표 10에 대입하여 시나리오별 운용 위험수준을 산출한다. 본 연구의 4-1절 가설 2 에서 제시한 한강 헬기 회랑의 경우 지상위험도(GRC)가 7을 초과하여 공중위험도(ARC)와 무관하게 ‘Go to Certified Category’ 영역에 해당하므로 표 10을 적용할 수 없다.

표 10. 비행운용 시나리오별 안전등급 산출기준
Table 10. Safety class of calculation criteria for flight operation scenario

Flight Operation Scenario	SAIL					
	I	II	III	IV	V	VI
Technical issue with the UAS						
Ensure the operator is competent and/or proven	L	L	M	M	H	H
UAS manufactured by competent and/or proven entity	O	O	O	L	M	H
UAS maintained by competent and/or proven entity	O	O	L	M	H	H
UAS developed to authority recognized design standards	O	L	L	M	H	H
UAS is designed considering system safety and reliability	L	L	M	M	H	H
C3 link performance is appropriate for operation	L	M	H	H	H	H
Inspection of the UAS to ensure consistency to the ConOps	L	L	M	M	H	H
Operational procedures are defined, validated and adhered to	L	M	H	H	H	H
Remote crew trained and current and able to control the abnormal situation	L	L	M	M	H	H
Safe recovery from technical issue	L	L	M	M	H	H
Deterioration of external systems supporting UAS operation						
Procedures are in-place to handle the deterioration of external systems supporting UAS operation	L	M	H	H	H	H
The UAS is designed to manage the deterioration of external systems supporting UAS operation	L	L	M	M	H	H
External services supporting UAS operations are adequate to the operation	L	L	M	H	H	H
Human Error						
Operational procedures are defined, validated and adhered to	L	M	H	H	H	H
Remote crew trained and current and able to control the abnormal situation	L	L	M	M	H	H
Multi crew coordination	L	L	M	M	H	H
Remote crew is fit to operate	L	L	M	M	H	H
Automatic protection of the flight envelope from Human Error	O	O	L	M	H	H
Safe recovery from Human Error	O	O	L	M	M	H
A Human Factors evaluation has been performed and the HMI found appropriate for the mission	O	L	L	M	M	H
Adverse operating conditions						
Operational procedures are defined, validated and adhered to	L	M	H	H	H	H
The remote crew is trained to identify critical environmental conditions and to avoid them	L	L	M	M	M	H
Environmental conditions for safe operations defined, measurable and adhered to	L	L	M	M	H	H
UAS designed and qualified for adverse environmental conditions	O	O	M	H	H	H

4-3 운용위험도 평가 결과

1) 지상위험도(GRC)

김포-잠실 회랑에 대한 지상위험도는 이착륙 지점의 인구 밀집 분포와 화물 운송 K-UAM 기체 크기에 대한 지상 충돌 에너지를 비교하여 보수적으로 위험도 등급이 높은 값을 선정한다. 따라서 지상위험도는 ‘BVLOS in over gathering of people’ 운용 조건에서 Kinetic Energy값이 34 KJ를 초과하므로 위험도 등급이 매우 높은 ‘Go to Certified Category’ 영역으로 산출되었다. SORA 모델에서는 지상위험도가 7을 초과하는 무인항공체계에 대해서는 OSO별 위험 수준을 할당하지 않고 형식증명 획득 등 감항인증의 절차를 적용하도록 명시하고 있다.

2) 공중위험도(ARC)

K-UAM 시범운용 김포-잠실 회랑은 이미 정부 항공정보간행물에 유인 헬리콥터의 운항 경로로 지정되어 있으며 운항고도는 450 m로 설정되어 있다[12]. 본 연구에서 적용한 화물운송용 K-UAM 운용을 위해 별도의 K-UAM 회랑을 특별구역으로 설정하지 아니하고 기존의 유인 헬리콥터의 항로를 사용하여 비행고도를 150 m로 유지할 경우 항로상 유인 헬리콥터와 공중 조우 확률은 희박 할 것으로 예상된다.

또한, 항공안전법 제 51조 및 동법 시행규칙 제107조에 따라 무선설비 의무장착 등 위험완화 요인을 적용하여 실시간 감시 관제 수행에 따라 공중충돌 등의 위험도는 낮은 수준인 ‘B’ 등급 수준으로 산출되었다. 이는 비행 항로 및 공역상의 위험도는 존재하나 실시간 관제 및 비행고도 분리 등 적절한 조치를 통해 비행이 가능한 수준이다.

3) 최종 운용위험도 결과

지상 및 공중 위험도 평가를 기반으로 화물운송용 K-UAM 김포-잠실 회랑에 대한 최종 운용위험도는 지상 위험도 ‘Go to Certified Category’, 공중 위험도 ‘B’ 등급으로 공중위험도는 낮은 수준이나 지상위험도가 매우 높아 아무리 공중위험도가 낮은 수준이라고 하더라도 그림 8에 나타난 바와 같이 별도 감항인증 절차를 적용하여야 한다.

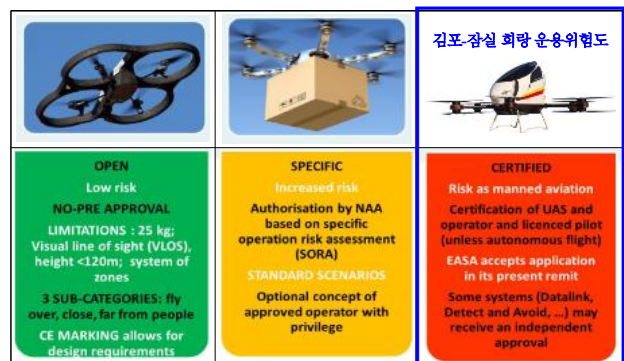


그림 8. K-UAM 김포-잠실 시범 운용 회랑의 운용위험도
Fig. 8. Operation risk of K-UAM Gimpo-Jamsil corridor

4-4 운용위험도 완화 방안

SORA 모델을 적용하여 김포-잠실 회랑에 대한 화물운송 K-UAM 위험도 평가 결과에 따른 위험 완화 방안은 전략적 완화(Strategic Mitigation) 및 전술적 완화(Tactical Mitigation)로 구분한다. 비행승인 신청자의 전략적, 전술적 지상 및 공중 위험 완화조치 단계부터 감항당국의 최종 비행승인 단계까지의 과정은 그림 9와 같다.

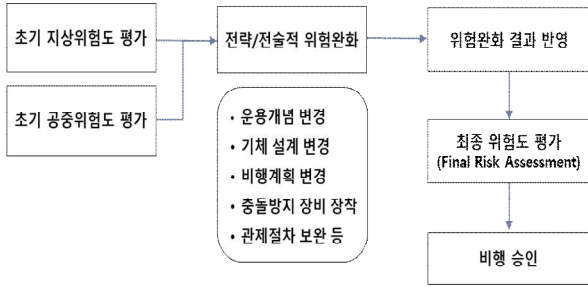


그림 9. 위험도 완화 조치 절차
Fig. 9. Process of risk mitigation

K-UAM 시범 운용 초기 단계(2025년)는 정상운용 이전에 문제점 및 보완사항을 식별하기 위한 과정이므로 위험완화 조치는 한계가 있을 수 있으나 정상운용에 대비하여 위험완화를 위한 위한 정책 제도 및 기술적 방안을 제시하면 표 11과 같다.

표 11. 위험도 완화 방안
Table 11. Method of risk mitigation

Item	Category	Method of Risk Mitigation
GRC	Policies and Institutions	<ul style="list-style-type: none"> · Laws and regulations related to K-UAM development and operation enactment promotion · K-UAM vertiport location populated area build by avoiding · Set up a safe zone for the vertiport neighborhood · Securing K-UAM safe emergency landing zone
	Technology	<ul style="list-style-type: none"> · Design for ground collision when designing K-UAM · Until fully autonomous flight operation Reinforcement of operation training for unmanned operation personnel · Establishment of operation manuals for K-UAM operators and stakeholders
ARC	Policies and Institutions	<ul style="list-style-type: none"> · K-UAM dedicated corridor setting · Existing manned aircraft routes for safe operation of K-UAM readjustment
	Technology	<ul style="list-style-type: none"> · K-UAM and conventional manned aircraft equipped with monitoring and avoidance equipment · Establishment of K-UAM real-time monitoring system · SWIM(System Wide Information Management) early development and build

4-5 운용위험도 평가결과의 적용

1) K-UAM 설계안전수준 목표 설정

본 연구를 통해 분석한 화물 운송용 K-UAM의 시범운용 회랑에 대한 운용위험도 평가결과, 비행지역의 지상위험도가 높아 감항인증 절차를 적용해야 하는 Certified 영역에 해당하므로 감항인증을 위해 우리나라의 항공기기술기준에 대한 설계 적합성이 검증되어야 한다. 특히 승객 운송용 K-UAM은 더욱 높은 안전도가 요구되나 아직까지 우리나라는 화물 및 승객 운송용 K-UAM 설계 적합성 검증을 위한 기술기준이 부재하여 연구중에 있으므로 미국 FAA 및 국제 민간항공기구(ICAO; International Civil Aviation Organization)에서 제시하고 있는 설계안전 요구도를 기반으로 비행체 중량, 좌석 수 및 운용 개념 등을 고려하여 보수적 개념으로 설계안전수준 적용을 검토 할 필요가 있으며 이 경우 파국적(Catastrophic) 위험 발생확률을 1.0×10^{-9} 수준으로 설정하는 것이 요구된다[14], [15].

또한, 유럽의 감항인증 당국인 EASA에서는 앞의 2-3절에서 서술한 바와 같이 SC-VTOL 특별감항요구조건의 부록에서 수직이착륙항공기의 설계안전수준을 승객 수 및 운용개념에 따라 $1.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-9}$ 으로 제시하고 있다[16].

따라서, 상기와 같은 항공기 유형별 국제 안전 설계 요구 기준을 참고하여 국내 도심 환경에서의 화물 및 승객 운송용 K-UAM의 설계 안전목표를 보수적으로 접근하여 설정하는 방안을 검토 할 필요가 있다.

2) K-UAM의 최적화 회랑 설정

SORA 모델을 적용한 위험도 평가 결과를 참고하여 화물 운송 K-UAM 시범운용을 위한 최적의 비행안전, 즉 지상 및 공중 위험도가 낮은 회랑 설정의 자료로 활용이 가능하다. 안전한 비행을 위한 최적의 회랑은 지상 안전 요건 뿐만 아니라 공중 상황의 안전을 모두 고려해야 하므로 여러 가지 회랑 대안을 바탕으로 회랑별 운용위험도를 평가하여 최적 회랑 설정을 위한 객관적 평가 방법으로 SORA 모델을 유용하게 적용할 수 있다.

2) K-UAM 비행안전성 수준 판단의 보완 요소로 활용

SORA 모델은 화물 운송 무인항공체계의 비행안전성을 위한 운용위험도를 평가하는 절차이므로 미래 승객운송 K-UAM의 설계 적합성에 대한 감항인증에 추가하여 특정 운용 회랑에 대한 위험도를 평가하는 보완요소로 활용이 가능하다. 앞의 2-3 절의 표 2에 서술한 바와 같이 항공기 비행안전성을 평가하기 위한 여러가지 기준과 지침이 제정되어 있으므로 승객 운송을 위한 K-UAM의 시범운용 단계에서 적용 기체 및 특정회랑에 대해 다양한 방법을 적용한 안전성 평가를 통해 종합적인 비행 안전 수준을 판단 할 필요가 있다.

향후, SORA 모델을 기반으로 우리나라의 복잡한 도심환경과 공역 조건에 부합된 특정회랑에 대해 위험도 평가 목적의 한국형 K-SORA 모델 개발이 필요할 것으로 판단된다.

V. 결 론

미래 우리나라의 도심 공역을 이용하여 새로운 항공교통체계인 K-UAM 운용을 위해서는 무엇보다도 비행안전성이 가장 중요하다. 비행안전은 크게 비행체 설계 및 제작에 대한 안전 기준 충족은 물론 운용 단계에서 비행공역 등 운용 환경에 대한 운용위험도를 평가하여 안전성을 확보하여야 한다.

본 연구에서는 서울 도심 공역의 김포-잠실 회랑(Corridor)을 K-UAM 시범운용 단계(2025년)에 적용하는 특정 회랑(Specific Corridor)으로 설정하고 국내 B사 개발 기체를 대상으로 화물 운송 목적의 무인항공체계의 운용위험도 평가 방법인 SORA 모델을 적용하여 운용위험도를 평가하였다.

연구결과, K-UAM 시범운용 특정회랑에서 지상위험도는 매우 높은 수준인 'Go to Certified Category'로 평가되어 SORA 모델에서 제시한 위험도 평가 범위를 벗어나 별도의 감항인증 절차를 따라야 하며 공중위험도는 낮은 수준인 'B' 등급으로 평가되었다. 그러나, 공중위험도 수준과 무관하게 지상위험도가 매우 높은 수준이므로 강도 높은 전략적, 전술적 완화조치를 통해 위험을 완화시켜야 한다.

위험 완화 조치는 전략적으로 K-UAM 관련 법령 제정, 절차 수립 등의 정책 제도적 조치가 필요하며 전술적으로는 기체의 중량 및 크기 축소, 각종 충돌 감지 및 회피 장비 장착, 글로벌 항공정보종합관리체계 구축 등 기술적 조치가 필요하다.

본 연구결과와 시사점은 향후 운용하게 될 K-UAM의 운용 회랑 설정 시 공중위험도가 높지 않은 기존 한강 항로 활용은 가능하나 지상위험도는 매우 높으므로 위험 완화를 위해 이착륙장 설치 시 인구 밀집 지역 회피 등의 조치가 필요함을 증명하였다.

연구의 제한사항은 K-UAM 시범 운용은 승객 운송이 주 목적이거나 SORA 모델은 승객 탑승에 대한 운용위험도 평가에는 적용대상이 아니므로 화물 운송 목적의 무인항공체계에 대한 지상 및 공중 위험도를 평가함에 따라 연구결과를 승객 운송 무인항공체계 운용위험도 평가에 적용하는데에는 한계가 있다.

연구결과를 통해 SORA 모델을 활용하여 승객 운송 K-UAM 시범운용 시 특정회랑에 대한 운용위험도 평가를 위한 보완자료로 활용이 가능함을 입증하였으며 향후 K-UAM 운용과 관련하여 비행안전성 검증을 위해 국내 환경에 부합된 한국형 K-SORA 개발 등 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 '소형무인비행기 인증기술개발' 사업의 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호 22CAUV-B152931-04).

References

- [1] Republic of Korea, 3rd Aviation Industry Basic Plan, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, pp. 15-19, Feb. 2021.
- [2] Republic of Korea, Korean Urban Air Mobility Road Map, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, May. 2020.
- [3] Korea Aerospace Research Institute, Aviation and Review, [Internet] . Available: <https://m.blog.naver.com/myungjip/> <https://m.blog.naver.com/myungjip/222176842920>
- [4] eVTOL.com/news, Lilium expects to add Stuttgart Airport to its German eVTOL network, [Internet] . Available : <https://evtol.com/news/lilium-stuttgart-airport-german-evtol-network>
- [5] Republic of Korea, K-UAM Concept of Operations 1.0, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, p. 12, Sep. 2021.
- [6] Special Condition Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft, EASA, Cologne, Germany, Doc No SC-VTOL-01 Issue 1, Jul. 2019.
- [7] Special Condition Electric/Hybrid Propulsion System, EASA, Cologne, Germany, No SC-E-19, Issue 1, Apr. 2021.
- [8] F. Nikodem, J. S. Dittrich, A. Bierig, "The New Specific Operations Risk Assessment approach for UAS regulation compared to common civil aviation risk assessment," Institute of Flight Systems, 38108 Braunschweig, Germany, pp. 2-3, Feb. 2019.
- [9] P. Namgung, J.H. Eom, T.H. Kwon, S.M. Jeon, "Operational Risk Assessment for Airworthiness Certification of Mil Aircraft Systems using the SORA Method," Journal of Aerospace System Engineering, Vol15, No4, pp. 66-68, Aug. 2021.
- [10] Republic of Korea, K-UAM Concept of Operations 1.0, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, p. 27, Sep. 2021.
- [11] Today Korea. Bolt line developed with domestic technology UAM will become a cornerstone for localization, [Internet] . Available : <http://www.todaykorea.co.kr/news/articleView.html>
- [12] Republic of Korea, AIP ENROUTE 1.2-1, Visual Flight Rules, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, pp. 1-2, Sep. 2018.
- [13] Seoul Metropolitan Government, Seoul's Open Data Plaza for Public data for all Seoul citizens, [Internet] . Available: <https://data.seoul.go.kr/dataList/10790/S/2>

[14] Earl Lawrence, "System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes," US DOT FAA AC No 23.1309-1E, Washington, D.C., pp. 22-23, Nov 2011.

[15] Airworthiness Manual Doc 9760, ICAO, Quebec Canada, Fourth Edition, pp. 333-334, Feb. 2022.

[16] Special Condition Vertical Take-Off and Landing (VTOL)

Aircraft, EASA, Cologne, Germany, Doc No SC-VTOL-01 Issue 1, p. 30, Jul. 2019.

남 궁 평(Pyeong Namgung)



2011년 2월 : 산업공학 석사
2014년 4월 : 공군 대령
2020년 7월 : ㈜대한항공 감항인증 부장
2020년 8월 ~ 현재 : 항공안전기술원 책임연구원
※관심분야 : UAS/UAM Airworthiness Standard
eVTOL 인증 시스템

엄 정 호(Jeongho Eom)



2003년 5월 : 컴퓨터 공학 석사
2008년 2월 : 컴퓨터 공학 박사
2021년 8월 : 대전대학교 대학원 부원장
2011년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 군사학과/안보융합학과 교수
※관심분야 : 항공보안, 사이버전, 융합 보안

이 승 근(Seungkeun Lee)



2009년 2월 : 항공공학 학사
2017년 2월 : 항공공학 석사 수료
2017년 2월 : 한국항공우주산업(주) 선임연구원
2017년 3월 ~ 현재 : 항공안전기술원 UAM 센터장
※관심분야 : UAS/UAM 개발 및 인증
항공기 세부계통 개발 및 인증

권 태 화(Thawha Kwon)



1994년 2월 : 항공공학 석사
1999년 7월 : 대우중공업 연구원
2020년 4월 ~ 현재 : 항공안전기술원 연구원
※관심분야 : UAS 인증기준 및 위험도 평가
Flight Control System