

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2026.34.3.130>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

# 델파이 기법을 활용한 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 단독 조종사 자원관리(SRM) 역량 도출

문영석\*, 조영진\*\*

## Derivation of Single-Pilot Resource Management (SRM) Competencies for Electric Vertical Takeoff and Landing (eVTOL) Aircraft using the Delphi Method

Young-seok Moon\*, Young-Jin Cho\*\*

### ABSTRACT

This study identifies single-pilot resource management (SRM) competencies required for eVTOL pilots in the initial phase of Urban Air Mobility (UAM) operations. Although initial UAM is expected to adopt technologies such as distributed electric propulsion, onboard eVTOL pilot operation remains assumed, making resource management important for safety. Based on FAA and EASA SRM components, a three-round Delphi survey with 15 aviation operations experts derived seven components: decision-making, situational awareness, automation management, startle and surprise effect, controlled flight into terrain awareness, coordination, and risk management. This study is expected to support a human-factors-based safety management system for eVTOL pilots.

**Key Words :** Delphi Method(델파이 기법), Electric Vertical Takeoff and Landing(eVTOL), Single Pilot Resource Management(단독 조종사 자원관리), Urban Air Mobility(도심항공교통)

### 1. 서 론

전 세계적으로 도시 인구 집중화와 교통 혼잡 문제가 심화됨에 따라 하늘을 새로운 교통 통로로 활용하는 도심항공교통(urban air mobility, UAM)이 미래 교통 체계의 혁신적인 대안으로 주목받았다(Uber Elevate, 2016). 국내 정부는 2028년 초기 도심항공

교통(UAM) 상용화를 목표로 연구개발, 실증을 활발히 진행하며 본격적인 도심항공교통(UAM) 시대의 개막을 준비하고 있다(MOLIT, 2025).

국토교통부에서 발간한 K-UAM 운용개념서 1.5에 따르면 도심항공교통(UAM)은 도심 내 활용이 가능하고 배출가스가 없는 전기동력 수직이착륙 항공기(electric vertical takeoff and landing, eVTOL) 등을 이용하여 승객이나 화물 운송 등을 목적으로 타 교통수단과 연계 운송을 고려하는 항공체계 기반 모빌리티이다(UAM Team Korea, 2025).

미연방항공청(FAA)은 국가공역체계 내에서 도심항공교통(UAM) 운항을 효과적으로 지원하기 위해 2020년 도심항공교통(UAM) 운용개념서 1.0, 2023년에는

Received: 22. Apr. 2026, Revised: 10. Jul. 2026,  
Accepted: 20. Jul. 2026

\* 한국항공우주연구원 AAM 운용기술팀 연구원

\*\* 한서대학교 헬리콥터조종학과 교수

연락처 E-mail : MYS@kari.re.kr

연락처 주소 : 대전광역시 유성구 과학로 169-84

v2.0을 발간하며 도심항공교통(UAM) 운항, 이해관계자 역할, 회랑 및 교통관리 개념을 보다 구체화하였다(FAA, 2023c). 미연방항공청(FAA)은 이러한 운용개념의 정리에 이어 초기 조종사 자격과 운용에 관한 특별 연방규정을 마련하였다. 2024년에 마련된 특별연방규정에는 미래항공모빌리티(AAM)에 활용될 항공기의 조종사 자격 및 훈련 경로를 안내하고 있다(FAA, 2024).

국내에서는 K-UAM 운용개념서 1.5를 통해 기술성숙도의 단계별 주요 지표를 제시하고 있다. 본 연구의 범위인 초기 단계에서는 조종사 탑승, 지정 구역·지정 경로 또는 고정형 회랑, 도심항공교통(UAM) 교통관리 체계 도입 등을 전제로 한 운용형태를 전제로 하고 있다(UAM Team Korea, 2025). 제도 측면에서는 도심항공교통법을 통해 실증 근거를 마련하였으며 상용화를 위한 제도화는 구체화하는 중이다.

항공기 관점에서 검토하였을 때 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)의 주요 기술 중 하나는 분산전기추진(distributed electric propulsion, DEP)이다. 이 기술은 전기추진의 특성을 기반으로 다수의 소형 전기모터를 항공기 기체 전반에 분산 배치하여 추진계 고장에 대한 중복성을 확보하고 추진·제어 시스템 간 통합 효과를 극대화하는 항공기 추진 개념이다(Moore, M. D., 2010). Uber Elevate의 도심항공교통(UAM) 백서에 따르면 항공사고의 많은 원인은 상황인식 및 제어 상실이며 다음으로 엔진 고장과 관련이 있다고 하였다. 그 중 엔진고장 원인과 관련된 사고는 분산전기추진(DEP) 기술의 구현을 통해 완화할 수 있다고 하였다(Uber Elevate, 2016).

이외에도 일반 항공 제작사 협회(General Aviation Manufacturers Association, GAMA)는 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)와 관련하여 간소화된 운용(simplified vehicle operations, SVO)을 언급하였다. 간소화된 운용(SVO)은 자동화와 인적요인 기반 기법을 결합하여 조종사 또는 운용자가 요구 안전수준에서 항공기를 운용하기 위해 습득해야 하는 기능별 지식과 기술의 양을 줄이는 개념이다(GAMA, 2019). 실제로 현재 개발 중인 많은 상업용 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)는 비행 영역을 보호하거나 전환비행 중 안정성과 제어를 제공하기 위해 어떤 형태로든 간소화된 운용(SVO)을 구현하고 있다(GAMA, 2019).

K-UAM 운용개념서 1.5에 따르면 국내 초기 도심항공교통(UAM) 운용형태는 기장(PIC)이 탑승하여 지

정 구역·지정 경로 또는 단일·복수의 고정형 회랑에서 운용을 시작한다(UAM Team Korea, 2025).

앞서 검토한바와 같이 도심항공교통(UAM)은 첨단 항공기술을 통해 안전성을 향상시키고자 한다. 그러나 본 연구의 범위인 초기 운용 단계에서는 제도적·운용적 측면에서 조종사가 항공기에 탑승하여 운항하는 형태가 전제된다. 따라서 자동화 기술이 조종사의 업무를 보조하더라도 실제 운항 상황을 인식하고 판단하여 비정상 상황에서 최종적으로 대응하는 주체는 여전히 조종사로 볼 수 있다. 이러한 측면에서 보았을 때 초기 도심항공교통(UAM) 운항환경에서의 조종사 인적요인에 관한 검토가 필요하다.

항공안전 분야에서 인적요인은 사고 및 위험관리 차원에서 지속적으로 다루어져 왔다. 운항 중 발생할 수 있는 다양한 위험 요인이 조종사의 오류 및 시스템 내 잠재적 조건과 결합할 경우, Reason(2000)의 스위스 치즈 모델에서 설명한 바와 같이 여러 방어층의 취약점이 일시적으로 정렬되어 경로가 형성되고 위해요인이 사고로 연결될 수 있다(Reason, 2000). 항공사고의 80% 이상이 인적 요인에 기인한다는 통계적 사실은 이러한 우려를 뒷받침한다(FAA, 2023a).

미연방항공청(FAA)은 단독 운항에서 위험관리와 의사결정을 지원하기 위해 승무원 자원관리(crew resource management, CRM) 원칙을 확장한 단독 조종사 자원관리(single-pilot resource management, SRM) 개념을 제시하고 있다(FAA, 2023b). 단독 조종사 자원관리(SRM)는 단일 조종사가 이용 가능한 모든 자원을 활용하여 위험을 식별·평가·관리하는 인지적 및 절차적 체계이다(FAA, 2023b).

앞서 논의한 사항을 정리하면 초기 단계의 도심항공교통(UAM)은 조종사 탑승을 전제로 하며 기장(PIC)이 운항 안전에 대한 책임을 수행한다는 점에서 기존 항공기 운항과 연속성을 가진다. 그러나 고정형 회랑 또는 지정 경로 운항, 신규 교통관리체계 도입, 버티포트 기반 운용, 자동화 기반 운항지원, 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 특성은 기존 운항환경과 구분되는 요소다. 따라서 본 연구에서는 기존 항공기 운항환경에서 발전해 온 단독 조종사 자원관리(SRM)의 필요성과 더불어 초기 도심항공교통(UAM) 운항환경을 반영한 구성요소 도출을 목표로 하였다.

전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)의 기술적 검토를 위해 Joby Aviation S4 항공기를 참조 사례로

설정하였다. S4 항공기는 미항공우주국(NASA)과 공식적인 연구를 활발하게 진행하였으며 대외공개된 기술 보고서를 확인할 수 있다. 다만 S4 항공기가 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 전체를 대표하는 표준으로 전제하지는 않는다. 현 시점에서 공개적으로 확인 가능한 항공기의 제원 및 운용 관련 자료가 제한적이라는 점을 고려하여 S4 항공기는 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)의 기술적 검토를 위한 참조 사례로 한정하여 검토하였다.

본 연구는 초기 도심항공교통(UAM) 운용을 가정한 탐색적 전문가 합의 연구이다. 이를 위해 이론적 배경에서 검토한 초기 도심항공교통 운용체계와 승무원 자원관리(CRM)의 개념을 조명하고 단독 조종환경에 맞게 발전된 단독 조종사 자원관리(SRM) 개념을 검토하였다. 이후 초기 도심항공교통(UAM) 운용단계에서의 단독 조종사 자원관리(SRM) 필요성과 더불어 초기 도심항공교통(UAM) 운용환경을 반영한 단독 조종사 자원관리(SRM) 필요성을 제시하였다. 이에 관한 정량적 검토를 위해 항공 운항 전문가집단을 대상으로 3차에 걸친 델파이 조사를 수행하였다. 1차 조사를 통해 도심 운항 시나리오 기반의 단독 조종사 자원관리(SRM) 역량을 탐색하고 2~3차 조사를 거쳐 각 구성요소의 중요도를 확인하였다. 이를 통해 초기 도심항공교통(UAM) 운용에서 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 조종사에게 필요한 단독 조종사 자원관리(SRM)에 필요한 역량을 식별하고 연구 결론을 제시하였다.

## II. 이론적 배경

### 2.1 승무원 자원관리(CRM)

승무원 자원관리(CRM)는 항공기 사고의 대다수를 차지하는 인적 오류의 원인이 의사소통, 의사결정, 지휘 통솔 실패에 있다는 연구 결과에 따라 시작되었다. 조종사의 실수를 줄이고 조종실 내 인적 자원을 더 잘 활용하도록 훈련하는 과정에 승무원 자원관리라는 명칭이 적용되었다. 미항공우주국(NASA)은 1979년 조종실에서의 자원관리에 관한 워크숍을 통해 훈련 과정을 설명하였으며 항공사들은 이를 계기로 새로운 훈련 프로그램을 개발하였다(Helmreich et al., 1999b; Park, 2020).

1세대 자원관리는 1981년 유나이티드 항공에서 시

작되었으며 심리학자가 개발한 관리 그리드 형태의 훈련을 채택하였다. 부기장의 자기주장 부족이나 기장의 권위주의적인 개인행동의 결점을 바로잡는 데 중점을 두었다. 2세대 자원관리는 1986년 미항공우주국(NASA) 워크숍 이후 명칭이 조종실 자원관리에서 승무원 자원관리로 변경되었다. 팀 훈련, 브리핑 전략, 상황인식, 스트레스 관리와 같은 구체적인 항공 개념들이 포함되었다. 3세대 자원관리는 1990년대 초부터 승무원이 기능하는 항공 시스템의 특성을 반영하기 시작하였으며 조종실 자동화 장비 사용 문제를 다루었다. 자원관리 프로그램은 객실 승무원, 운항 관리사, 정비 인력 등으로 확장되었다. 4세대 자원관리는 1990년대 미연방항공청의 고급 자격 프로그램 도입과 함께 항공사는 자원관리 개념을 기술 훈련에 통합해야 했다. 5세대 자원관리는 가장 중요한 정당성을 오류 관리로 정의하였으며 인적 오류가 어디에나 있고 피할 수 없다는 전제조건을 가지고 있다(Helmreich et al., 1999b; Park, 2020).

Helmreich는 Fig. 1과 같이 5세대 자원관리에서 강조하고 있는 오류의 3대 유형을 도식화하여 설명하였다. 이 그림에서는 오류를 피하고(avoid) 포착하며(trap) 결과를 완화하는(mitigate) 3중 방어선을 강조하고 있다(Helmreich et al., 1999b; Park, 2020).

6세대 승무원 자원관리(CRM)는 위협 및 오류관리(threat and error management, TEM) 개념으로 발전하였다. 이 개념은 오류의 불가피성을 전제하며 위협과 오류의 관리에 중점을 두는 방식이다(Helmreich et al., 1999a; Park, 2020).

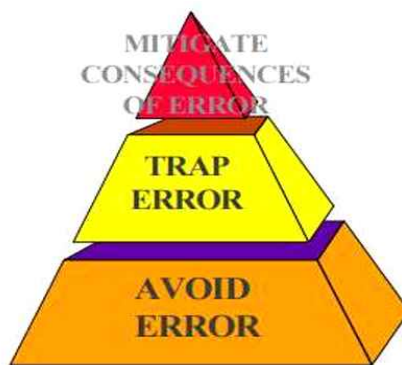


Fig. 1. Three types of error (Helmreich et al., 1999b)

## 2.2 단독 조종사 자원관리(SRM)

승무원 자원관리(CRM)는 승무원 환경에서 운항하는 조종사들에게 초점을 두고 있지만 그 많은 개념은 단독 조종사 운항에도 적용되며 단독 조종사 자원관리(SRM)의 발전으로 이어졌다.

단독 조종사 자원관리(SRM)는 비행의 성공적인 결과를 보장하기 위해 단독 조종사가 비행 전 및 비행 중 이용할 수 있는 모든 자원(항공기 탑재 자원과 외부 출처의 자원)을 모두 관리하는 기술이자 과학으로 정의된다. 즉 조종사가 정보를 수집하고 이를 분석하며 결정을 내리는 방법을 배우도록 돕는 데 초점을 둔다. 비행은 기내 승무원이 아니라 한 명의 조종사에 의해 통제되지만 자동조종장치와 항공교통관제(ATC)와 같은 이용 가능한 자원을 활용함으로써 승무원 자원관리(CRM)의 원칙을 재현할 수 있다(Park, 2020; FAA, 2023b).

미연방항공청(FAA)과 유럽항공안전청(EASA)은 단독 조종사 자원관리(SRM)의 개념은 동일하지만 세부 구성요소에서는 일부 차이가 있다. 따라서 각 항공당국에서 제시하는 단독 조종사 자원관리(SRM) 구성요소를 각각 검토하였으며 공통된 점과 상이한 점을 식별하였다.

Table 1 및 Table 2는 미연방항공청(FAA)과 유럽항공안전청(EASA)에서 제시하는 단독 조종사 자원관리(SRM) 구성요소를 정리한 표다. 각각의 항공당국은 단독 조종사 자원관리(SRM)의 개념에 관해서는 뜻을 같이 하고 있으나 고려되는 구성요소는 일부 상이한 모습을 보인다.

본 연구에서는 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 조종사의 안전 역량에 영향을 미칠 수 있는 특정 기관의 구성요소를 임의로 제외한다면 연구 모델의 타당성을 저해하며 안전에 관한 핵심 변인을 간과할 가능성이 크다고 보았다. 따라서 미연방항공청(FAA)과 유럽항공안전청(EASA)이 각각 제시하는 모든 단독 조종사 자원관리(SRM) 구성요소를 누락 없이 통합·재구성하여 조작적 정의(Table 3)로 설정하였다.

## 2.3 도심항공교통(UAM)

Uber Elevate에서 발간한 백서에 따르면 매일 전 세계에서 수백만 시간이 도로 위에서 낭비되고 있다. 지난해 샌프란시스코 시민은 평균 230시간을 출퇴근에 소비

Table 1. FAA SRM components (FAA, 2023b)

| 요소        | 내용                                                   |
|-----------|------------------------------------------------------|
| 상황인식      | 비행과 관련된 모든 변수를 인지하고 그 의미를 이해하며 미래의 상태를 예측하는 능력       |
| 의사소통      | 다른 조종사나 관제사와 명확하고 간결하게 소통하는 능력                       |
| 팀워크       | 비행 서비스, 관제탑 등 외부 자원과 협력하여 비행 중 도움을 받는 것을 의미          |
| 과업 할당     | 비행 시 발생할 수 있는 여러 작업을 효율적으로 분배하여 업무 부담을 관리하는 능력       |
| 항공 의사결정   | 주어진 상황에 대해 최선의 행동 방침을 결정하는 체계적인 사고 과정                |
| 위험관리      | 비행 안전을 위협하는 위험요소를 식별하고 완화하는 과정                       |
| 자동화관리     | 오토파일럿과 같은 자동화 시스템을 적절하게 활용하여 업무 부담을 줄이고 상황인식을 높이는 능력 |
| 지형충돌 방지인식 | 조종사의 통제하에 있는 항공기가 지형이나 수면과 의도치 않게 충돌하는 것을 방지하는 인식    |

Table 2. EASA SRM components (EASA, 2016)

| 요소             | 내용                                                                          |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 상황인식           | 환경 속의 다양한 요소들의 의미를 이해하고 그 상태가 가까운 미래에 어떻게 전개될지를 예측하는 능력                     |
| 업무량 관리         | 과업을 완료하기 위해 적절한 시간을 배분하는 능력                                                 |
| 의사결정           | 판단에 도달하거나 하나의 선택지를 고르는 과정                                                   |
| 회복탄력성 개발       | 상황평가, 자기성찰, 결정 및 행동을 포함하는 지속적이고 적응적인 과정으로 긍정적 및 부정적 경험 모두에서 올바른 결론을 도출하는 능력 |
| 놀람 및 당황 효과     | 예상치 못하고 이례적이며 스트레스를 유발하는 상황과 그에 따른 통제 불가능한 반응에 대처하는 능력                      |
| 효과적인 의사소통 및 협조 | 의사소통, 리더십, 팀워크 역량을 발휘하여 협조하는 능력                                             |

했으며 이는 매일 50만 시간의 생산성이 사라지는 것과 같다. 또한 로스앤젤레스와 시드니 시민들은 출퇴근에 연간 7주의 근무일을 쓰고 있으며 그 중 2주는 교통 정체 속에서 아무것도 못 한 채 허비된다. 이는 가족과 함께하는 시간, 경제 성장을 위한 업무 시간의 감소, 더 많

Table 3. Operational definitions of SRM

| 요소        | 내용                                                                          |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 상황인식      | 비행과 관련된 모든 내외부 정보를 정확히 인지하고 그 의미를 이해하며 미래 상황을 예측하는 능력                       |
| 의사결정      | 수집된 정보를 바탕으로 주어진 상황에 대해 최선의 행동 방침을 체계적으로 결정하는 과정                            |
| 업무량 관리    | 비행 시 발생할 수 있는 다양한 과업의 우선순위를 효과적으로 판단하고 분배하여 과도한 업무 부담을 피하는 능력               |
| 자동화 관리    | 자동화 시스템을 적절하게 활용하고 시스템의 한계를 이해하며 오류를 관리하는 능력                                |
| 위험관리      | 비행 안전을 위협하는 잠재적 위험 요소를 사전에 식별하고 그 영향을 완화하는 과정                               |
| 의사소통      | 다른 조종사나 관제사와 명확하고 간결하게 소통하는 능력                                              |
| 협조        | 비행 서비스, 관제탑 등 외부 자원과 협력하여 비행 중 도움을 받는 능력                                    |
| 회복탄력성     | 상황평가, 자기성찰, 결정 및 행동을 포함하는 지속적이고 적응적인 과정으로 긍정적 및 부정적 경험 모두에서 올바른 결론을 도출하는 능력 |
| 놀람 및 당황효과 | 예상치 못하고 이례적이며 스트레스를 유발하는 상황과 그에 따른 통제 불가능한 반응에 대처하는 능력                      |
| 지형충돌 방지인식 | 조종사의 통제하에 있는 항공기가 지형이나 수면과 의도치 않게 충돌하는 것을 방지하는 인식                           |

은 연료비 지출 등을 의미하며 스트레스 수준도 뚜렷이 높아진다(Uber Elevate, 2016). 도심항공교통(UAM)은 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 제시되었다.

K-UAM 운용개념서 1.5에서는 도심항공교통(UAM)을 도심 내 활용이 가능하고 배출가스가 없는 전기동력 수직이착륙기(eVTOL) 등을 이용하여 승객 또는 화물 운송을 수행하고 타 교통수단과의 연계 운용을 고려하는 항공체계 기반 모빌리티로 설명하고 있다(UAM Team Korea, 2025).

국내의 도심항공교통(UAM) 추진 단계는 초기, 성장기, 성숙기로 구분하고 있다(UAM Team Korea, 2025). 본 연구에서는 초기단계를 연구범위로 다루며 초기 K-UAM 주요지표는 Table 4와 같다.

미연방항공청(FAA) 도심항공교통(UAM) 운용개념에서는 운용 템포(operational tempo)를 기준으로 발전 단계를 구분하고 있으며 Table 5와 같이 초기에는

Table 4. K-UAM development indicator (UAM Team Korea, 2025)

| 항목          | 초기                                              |
|-------------|-------------------------------------------------|
| 기장 운용       | Onboard                                         |
| 교통관리체계      | UAM 교통관리 서비스 제공자 역할 단계적 확대<br>항공교통관제사 참여 단계적 축소 |
| 항공교통체계 통합   | UATM ↔ ATM 간협조                                  |
| 교통관리 자동화 수준 | 부분 자동화                                          |
| 경로·회랑 운영 방식 | 지정 경로 또는 고정형 회랑                                 |
| 항공 통신망      | (필수) 항공음성통신<br>(보조) 데이터통신(5G)                   |
| 항법 시스템      | 관성항법 장비 및 정밀 위성항법                               |

Table 5. FAA UAM operational phases (FAA, 2023c)

| 항목      | 초기                    |
|---------|-----------------------|
| 조종사 위치  | 조종사 탑승                |
| 운행 밀도   | 낮음                    |
| 자동화 수준  | 현행 유인항공기 기술 수준과 일치    |
| 공역 및 절차 | 현행 항공교통 서비스 및 기존항로 활용 |
| 규정 변화   | 현행 규정 및 지역적 합의(LOA) 등 |
| 운용 개념   | 협력적 운용 관행(COPs) 없음    |

K-UAM 운용개념과 같이 조종사가 직접 탑승하는 운항 체계를 전제로 하고 있다(FAA, 2023c).

미항공우주국(NASA)은 도심항공교통 성숙도(UAM maturity level, UML)를 기반으로 하여 6단계로 나누어 설명하고 있다(NASA, 2021). 본 연구에서 설정한 연구범위는 Table 6의 도심항공교통 성숙도(UML) 기준으로 검토하였을 때 2단계 수준으로 볼 수 있다.

## 2.4 미래항공모빌리티(AAM)

K-UAM 운용개념서 1.5에서 정의하는 미래항공모빌리티(advanced air mobility, AAM)는 차세대 항공을 포괄하는 개념으로 설명하고 있다. 또한 도심항공교통(UAM)은 미래항공 모빌리티(AAM)의 일환으로 간주

Table 6. Reorganized NASA UML (NASA, 2021)

| 단계    | 시기                                          | 조종사                                                                    |
|-------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| UML-1 | 상업 운항 이전                                    | 시험조종<br>(On-board)                                                     |
| UML-2 | 보조적 자동화를 활용한 상업<br>운항 시작<br>(낮은 밀도 및 복잡도)   | 자동화 시스템이<br>조종사를 보조<br>(On-board)                                      |
| UML-3 | 포괄적 안전 보장 자동화를<br>활용한 운영<br>(낮은 밀도, 중간 복잡도) | 포괄적 안전 보장<br>(자동화 시스템이<br>조종사에게 지상/<br>공중 충돌 회피 등<br>조언)<br>(On-board) |

하되 미래항공 모빌리티(AAM)에 대한 명료한 법·제도적 정의는 아직 내려지지 않았다고 설명하고 있다(UAM Team Korea, 2025).

미연방항공청(FAA)에서 정의하는 미래항공 모빌리티(AAM)는 첨단 기술을 적용한 항공기, 전기 항공기 또는 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)를 이용하여 미국 내 두 지점 간에 사람과 재산을 항공으로 이동시키는 교통체계이며 관제공역과 비관제공역 모두에서 운항되는 것을 포함한다고 설명하고 있다(FAA, 2023d).

## 2.5 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)

전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)는 수직 이착륙(VTOL) 능력을 보유한 전기동력 항공기로 설명할 수 있으며 수직 이착륙(VTOL)의 능력은 대도시권 통근 운항을 가능하게 할 수 있다(FAA, 2023c).

Uber Elevate의 백서에서는 도심에서 활용되는 수직 이착륙 항공기(VTOL)의 상용화를 위해 해결해야 할 주요 과제로 안전성, 소음, 배출가스, 성능을 제시하고 있으며 이를 극복하기 위한 핵심 기술로 분산전기 추진(DEP)을 언급하였다(Uber Elevate, 2016). 이외에도 주목할 개념은 간소화된 운용(SVO)이다. 이 개념은 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 운항에서 조종사의 부담을 단순히 제거하는 것이 아니라 조종사가 수행하던 기능 중 일부를 자동화 시스템이 담당할 수 있도록 인간과 자동화 간 기능 배분을 명확히 하는 개념이다(GAMA, 2019). 일반항공 제작사 협회(GAMA)는 개발 중인 다수의 상용 전기동력 수직이착륙 항공기(eVTOL)가 비행 영역 보호와 천이구간 안정성 확보를 위해 일정 형태의 간소화된 운용(SVO)을 구현하고

있다고 설명하고 있다(GAMA, 2019).

규제 측면에서 검토하였을 때 미연방항공청(FAA)은 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)관련 powered-lift 조종사 자격·훈련 및 운용 요건을 제시하였다(FAA, 2024). 이와 별개로 국내에서는 조종사 자격에 따른 다양한 논의가 진행 중이며 법령 개정 논의가 진행 중이다.

본 연구에서는 서론에서 언급한 바와 같이 S4 항공기를 참조하여 자동화·중복성 특성과 조종사 판단 역량의 관련성을 검토하였다.

Joby Aviation의 S4 항공기는 완전 전기식의 첨단 통합 비행·추진 제어 시스템(integrated flight and propulsion control system, IFPCS)을 사용한다. 이 시스템은 통합 제어 법칙, 비행 제어 보강 및 비행 영역 보호 기능을 갖춘 플라이 바이 와이어(fly by wire) 비행제어를 통해 안전하고 쉬운 조종 특성과 낮은 조종사 업무 부하를 제공한다(Zahn et al., 2023).

Joby Aviation이 공개한 실패주입 시험 자료에 따르면 S4 항공기는 추진 장치, 틸트 작동기, 배터리 팩 고장 상황에서 중복성 기반 대응 능력을 보이는 것으로 설명된다.

Joby Aviation S4 항공기의 첫 번째 시험은 단일 추진장치 고장 상황에서의 제어 검증이다. Joby Aviation은 고장 주입 시험을 통해 비행 중 모터, 작동기 및 배터리를 의도적으로 비활성화하고 항공기에 적용된 다중 회복성 설계를 바탕으로 모든 경우에서 조종 절차 변경 없이 안전한 비행과 수직 착륙을 수행할 수 있었다고 설명하였다(Joby Aviation, 2025). 예를 들어 Fig. 2와 같이 4번 스테이션의 추진장치 고장 상황에서는 시스템이 대칭 위치에 있는 1번 스테이션의 추진장치를 정지시킨다. 이후 나머지 2, 3, 5, 6번 스테이션의 추진장치가 출력을 보완하는 방식으로 비대칭 추력 영향을 완화하는 것으로 설명된다. 이 방식은 고장 난 추진장치의 대칭 위치에 있는 추진장치를 함께 정지시켜 비대칭 추력에 따른 제어 부담을 완화할 수 있다.

Joby Aviation S4 항공기의 두 번째 시험은 단일 틸트 작동계통 고장 상황에서의 중복성 검증이다. Joby Aviation은 Fig. 3에서 보이는 바와 같이 각 틸트 스테이션에 이중화된 틸트 작동기가 적용되어 있으며 하나의 작동기 고장이 발생하더라도 나머지 작동기를 통해 틸트 기능을 유지할 수 있도록 설계하였다고 설명하였다. 이를 통해 단일 틸트 작동계통 고장 상황

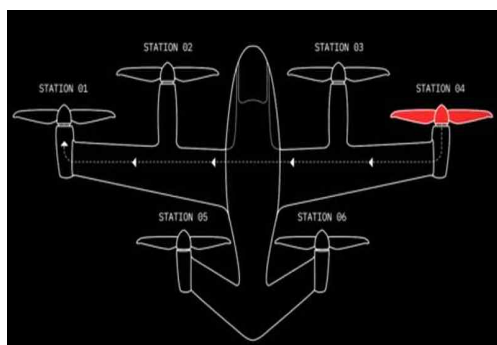


Fig. 2. One engine inoperative (Joby Aviation, 2025)

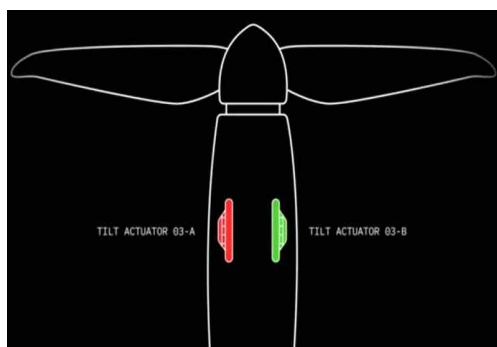


Fig. 3. Single channel tilt inoperative (Joby Aviation, 2025)

에서도 항공기가 안전한 비행과 수직 착륙을 유지할 수 있다고 설명하였다(Joby Aviation, 2025).

세 번째 시험은 단일 배터리 팩 고장 상황에서의 중복성 검증이다. S4 항공기는 4개의 배터리 팩을 탑재한 전기추진 항공기이다. Joby Aviation은 Fig. 4에서 보이는 바와 같이 4개의 배터리 팩 중 하나의 배터리 팩 고장 시에도 3개의 배터리 팩을 활용하여 지속적인

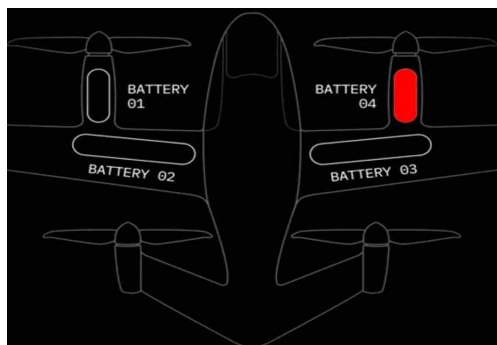


Fig. 4. Single battery pack inoperative (Joby Aviation, 2025)

비행과 수직 착륙능력을 유지할 수 있는지를 검증하였다(Joby Aviation, 2025).

### III. 델파이 기법을 활용한 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 단독 조종사 자원관리(SRM) 역량 도출

#### 3.1 연구 모형

전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)는 첨단 자동화 기술이 적용되어 조종사의 업무부담을 낮출 수 있다. 그러나 서론에서 언급한 바와 같이 연구 범위(UML-2, 운용초기)에서 조종사의 인적요인 검토는 여전히 필요하며 단독 조종사 자원관리(SRM)의 개념과 필요성을 제시하였다.

본 연구에서는 단독 조종사 자원관리(SRM)의 필요성을 제시하는 것과 더불어 도심항공교통(UAM) 운용 환경을 반영한 단독 조종사 자원관리(SRM)를 검토하여 세부 구성요소를 식별하고자 하였다.

도심항공교통(UAM)은 연구개발 단계인 산업이며 아직 데이터가 충분히 축적되지 않은 분야이다. 따라서 분야의 특성을 고려하여 전문가 합의 기반의 델파이 기법을 활용하였으며 Table 7과 같이 4단계 절차로 진행하였다.

1단계는 연구 준비 단계이다. 선행연구와 문헌 고찰을 수행하고 이를 바탕으로 조사를 설계하였다. 이후 Table 8 표본 선정에 근거하여 전문가 패널을 선정하 뒤 1차 델파이

Table 7. Research procedure flowchart

| 단계 | 내용                                                                                                                                             |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 선행연구 및 문헌 고찰</li> <li>• 델파이 조사 설계 및 전문가 패널 선정</li> <li>• 1차 델파이 조사 설문지 개발</li> </ul>                  |
| 2  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차 델파이 조사, 전문가 의견 수렴</li> <li>• 분석 결과 피드백 자료 생성</li> <li>• 2차 델파이 조사 설문지 개발</li> </ul>                |
| 3  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2차 델파이 조사 및 통계 분석</li> <li>• 분석 결과 피드백 자료 생성</li> <li>• 3차 델파이 조사(미합의 항목) 및 통계 분석, 최종의견 수렴</li> </ul> |
| 4  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도심항공교통(UAM) 운항환경에서 요구되는 단독 조종사 자원관리 구성요소 도출</li> </ul>                                                |

Table 8. Sample selection criteria

| 분류     | 범위                 |      |
|--------|--------------------|------|
| 연구 대상  | 사업용 조종사 또는 운송용 조종사 | 비행기  |
|        |                    | 헬리콥터 |
| 업무별 범위 | 단독비행 경험 보유         |      |

이 조사(개방형)를 위한 설문지를 마련하였다.

2단계는 1차 델파이 조사 단계이다. 전문가 패널을 대상으로 개방형 설문을 통해 전문가 의견을 수렴한 후 분석 결과 피드백을 생성하여 2차 델파이 조사를 위한 설문지를 마련하였다.

3단계는 2~3차 델파이 조사 단계로 5점 리커트 척도 기반의 폐쇄형 설문을 수행하였다. 2차 조사에서는 1차 조사 결과를 바탕으로 단독 조종사 자원관리(SRM) 항목 중요도를 측정하였다. 3차 조사에서는 2차 조사의 통계 분석 피드백 자료를 제공하고 미합의된 항목에 대해 재 조사 하였다. 이를 통해 전문가 의견을 최종적으로 수렴하였다.

4단계는 결과 도출 단계로 델파이 조사 결과를 종합하여 도심항공교통(UAM) 단독 조종사 자원관리(SRM) 구성요소를 도출하였다.

### 3.2 델파이 기법

델파이 기법은 1950년대 미국 랜드 연구소에서 군사 전략 및 기술 예측을 위해 개발된 방법론이다. 이 기법은 대면 토의 시 발생할 수 있는 집단 사고의 위험이나 소수 권위자에 의한 의사결정 왜곡을 방지하기 위해 고안되었다(Kang, 2008). 본 연구의 범위인 초기 도심항공교통(UAM) 환경은 아직 실무적 데이터가 축적되지 않은 탐색적 영역에 해당한다. 따라서 불확실성이 높은 미래 산업의 해법을 모색하기 위해 전문가 집단의 통찰력을 체계적으로 수렴할 수 있는 델파이 기법을 연구 방법론으로 채택하였다.

델파이 조사는 총 3회에 걸친 반복 조사를 통해 진행되었다. 1차 델파이 조사에서는 도심항공교통(UAM) 운항 시나리오 기반의 개방형 설문을 통해 기존 단독 조종사 자원관리(SRM) 구성요소 외 추가되는 요소에 관한 의견을 수집하였다. 2차 및 3차 델파이 조사에서는 각각의 이전 라운드의 피드백을 제공하여 전문가들이 자신의 견해를 객관적으로 재고하여 설문에 응답할 수 있도록 유도하였다. 델파이 조사의 특징인 반복과

Table 9. Statistical analysis items and formulas (Kang, 2008)

| 항목          | 산출 공식                                                 |
|-------------|-------------------------------------------------------|
| 내용타당도 (CVR) | $CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$         |
|             | $n_e$ : 해당 문항이 타당하다고 응답한 전문가의 수<br>$N$ : 전체 전문가 패널의 수 |
| 수렴도         | $\frac{Q_3 - Q_1}{2}$                                 |
| 합의도         | $1 - \frac{Q_3 - Q_1}{Mdn}$                           |
|             | $Q_3$ : 제3사분위수(75% 지점의 값)                             |
|             | $Q_1$ : 제1사분위수(25% 지점의 값)                             |
|             | $Mdn$ : 중앙값                                           |
| 안정도         | $CV = \frac{\text{표준편차 (SD)}}{\text{평균 (Mean)}}$      |
|             | $CV$ : 변이계수                                           |
|             | $SD$ : 표준편차                                           |
|             | $Mean$ : 산술평균                                         |

통제된 피드백 과정을 통해 전문가들 사이의 익명성을 보장하면서도 점진적인 합의를 도출할 수 있도록 유도하였다.

Table 9는 강용주(2008)가 정리한 델파이 기법을 통해 추정치를 얻기 위한 통계 분석 항목 및 공식을 정리한 표다. 통계를 위한 분석 도구로는 SPSS 프로그램을 활용하였으며 Table 9에 기술되어 있는 항목당 산출 공식을 적용하였다.

본 연구에서 델파이 조사 결과를 단순한 전문가 의견의 평균값으로 판단하지 않고 항목의 채택 가능성을 다각도로 검토하기 위해 내용타당도, 수렴도, 합의도, 안정도를 함께 통계 분석하였다.

내용타당도(content validity ratio, CVR)는 문항이 측정하려는 내용을 적절히 반영하는지 평가하는 지표로 통계 기준은 Lawshe(1975)가 제안한 값을 적용하였다. 본 연구의 응답 전문가 집단 수(15명)를 기준으로 내용타당도(CVR) 값이 0.49 이상일 경우 내용타당도가 있는 것으로 판단하였다(Table 10).

수렴도는 제1사분위수(Q1)와 제3사분위수(Q3)의 범위를 기반으로 전문가 응답의 분산 정도와 수렴 수준을 확인하는 지표이다. 의견이 한 점으로 수렴할 때

Table 10. Minimum values of CVR (Lawshe, 1975)

| 응답자수 | 내용타당도(CVR) 최소값 |
|------|----------------|
| 12   | 0.56           |
| 13   | 0.54           |
| 14   | 0.51           |
| 15   | 0.49           |

0의 값을 가지며 값이 0에 가까울수록 전문가 의견이 수렴된 것으로 해석된다(Kang, 2008). 본 연구에서는 델파이 기법을 활용한 선행연구의 방법론(Kang, 2025)을 참고하여 수렴도 0.50 이하를 의견 수렴의 판단기준으로 설정하였다.

합의도는 제1사분위수(Q1)와 제3사분위수(Q3)가 일치하여 전문가 의견이 완전히 합의되었을 때 1의 값을 가지며 의견의 편차가 커질수록 그 값이 감소하는 지표이다(Kang, 2008). 본 연구에서는 델파이 기법을 활용한 선행연구의 방법론(Kang, 2025)을 참고하여 합의도 0.70 이상을 전문가 의견의 합의 판단기준으로 설정하였다.

안정도는 반복되는 조사 과정에서 패널들의 응답 차이가 작아서 응답의 일치성이 높은지를 확인하는 과정이며 변이계수(CV)를 활용하여 응답의 안정성을 확인한다. 델파이 기법 적용 관련 문헌(Kang, 2008)을 참고하여 0.80 미만일 경우 응답이 안정적인 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 Table 11의 4가지 항목 모두가 기준에 부합한 경우 채택하고 한 개 이상의 기준을 충족하지 못한 항목은 보류로 판정하였다.

### 3.3 표본 선정

표본 선정은 국내에 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 조종사 자격이 부재한 점을 고려하여 미연방항공청(FAA)의 특별연방항공규정 내 powered-lift 전

Table 11. Statistical analysis criteria

| 항목         | 기준                     |
|------------|------------------------|
| 내용타당도(CVR) | CVR 값이 0.49(15명 기준) 이상 |
| 수렴도        | 수렴도 0.50 이하            |
| 합의도        | 합의도 0.70 이상            |
| 안정도        | 변이계수(CV) 0.80 미만       |

환 훈련 기준(FAA, 2024)을 참고하여 비행기·헬리콥터, 사업용·운송용 조종사 자격을 보유한 조종사 15명을 최종 패널로 선정하였다.

### 3.4 설문 구성 및 절차

설문 조사는 탐색, 구조화, 합의의 단계를 거쳐 총 3차에 걸쳐 수행되었다.

1차 델파이 조사는 탐색 및 발산 단계로 도심항공교통(UAM) 운항 환경과 가상 시나리오, 조작적 정의를 설정한 단독 조종사 자원관리(SRM) 자료를 전문가들에게 제공하였다. 또한 제공된 자료를 기반으로 도심항공교통(UAM) 운항환경을 고려할 때 조종사에게 추가로 필요한 단독 조종사 자원관리(SRM) 요소에 관한 개방형 설문을 수행하였다.

2차 델파이 조사는 구조화 및 1차 수렴 단계로 1차 델파이 조사에서 도출된 도심항공교통(UAM) 운항환경에서의 단독 조종사 자원관리(SRM) 구성요소 목록을 제공하고 각 요소의 중요도를 리커트 5점 척도로 평가하도록 폐쇄형 설문을 수행하였다.

3차 델파이 조사는 최종 합의 및 안정화 단계로 2차 델파이 조사의 통계 분석 결과를 전문가들에게 피드백으로 제공하였다. 전문가들은 본인의 이전 응답과 전체 응답 분포를 비교한 뒤 제시된 통계치를 참고하여 2차 델파이 조사에서 합의되지 못한 항목의 중요도를 최종적으로 재평가하였다.

### 3.5 인구통계학적 특성

인구통계학 조사에 관한 범위는 전문가의 연령, 보유 자격에 관한 항공기 종류, 소속분야, 비행시간, 경력, 자격이며 구체적인 특성은 아래 Fig. 5와 같다.

비행시간을 기준으로 응답자를 구분한 결과 전체 15명 중 5,000시간 이상 비행시간을 보유한 응답자는 10명으로 나타났다. 해당 응답자는 비행기 조종사 6명, 헬리콥터 조종사 4명으로 구성되었으며 분야는 일반항공 5명, 기타 3명, 공공기관 2명으로 나타났다. 경력은 모두 20년 이상이었으며 자격은 운송용 조종사 9명, 사업용 조종사 1명으로 집계되었다.

1,000시간 미만 비행시간을 보유한 응답자는 4명으로 나타났다. 해당 응답자는 비행기 조종사 2명, 헬리콥터 조종사 2명으로 구성되었으며 분야는 일반항공 1명, 군 1명, 공공기관 1명, 기타 1명으로 나타났다. 경

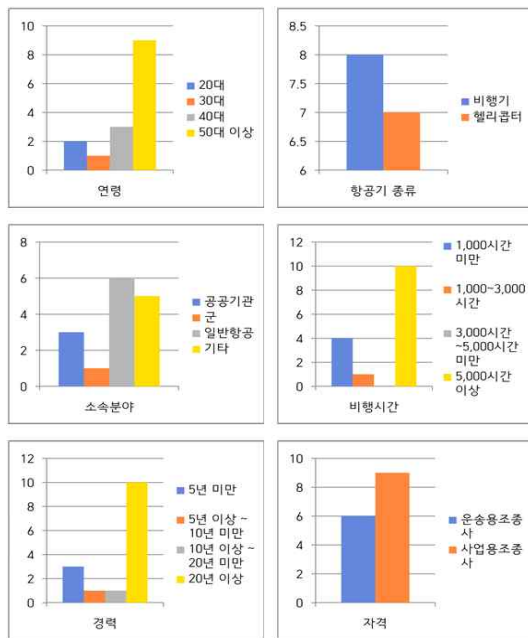


Fig. 5. Distribution of expert panelists

력은 5년 미만 3명, 10년 이상 20년 미만 1명이었으며 자격은 모두 사업용 조종사로 집계되었다.

1,000시간 이상 3,000시간 미만 비행시간을 보유한 응답자는 1명으로 나타났다. 해당 응답자는 40대 헬리콥터 조종사로 분야는 기타이며 경력은 5년 이상 10년 미만, 자격은 사업용 조종사였다. 응답자는 5,000시간 이상 고경력 조종사 비중이 높았으며 비행시간에 따른 자격 분포의 차이가 확인되었다.

### 3.6 델파이 조사 결과

1차 델파이 조사에서 전문가들은 기존 단독 조종사 자원관리(SRM) 10개 요소가 도심항공교통 환경에서도 유효하다고 판단하였으며 새로운 독립 요소의 추가보다는 도심 운항 및 항공기 기술 특성에 따라 각 요소의 행동 지표와 적용 범위가 심화 및 확장되어야 한다는 의견이 주로 나타났다. 특히 도심 협곡에서의 다중 항법 전환, 자동화 편향 관리, 다기관 간 협조 절차, 복합 위험의 연쇄적 발생에 대한 우선순위 기반 대응이 반복적으로 강조되었다.

2차 델파이 조사에서는 상황인식, 의사결정, 자동화 관리, 위험관리, 협조, 지형충돌 방지인식 6개 요소가 모든 통계 기준을 충족하였다.

3차 델파이 조사에서는 2차 델파이 조사에서 합의

Table 12. Final statistical analysis results

| 요소        | 평균   | CVR   | 수렴도  | 합의도  | 안정도   | 결과 |
|-----------|------|-------|------|------|-------|----|
| 의사결정      | 4.53 | 0.870 | 0.50 | 0.80 | 0.141 | 채택 |
| 상황인식      | 4.40 | 0.870 | 0.50 | 0.75 | 0.144 | 채택 |
| 자동화 관리    | 4.20 | 0.730 | 0.50 | 0.75 | 0.165 | 채택 |
| 놀람 및 당황효과 | 4.13 | 0.733 | 0.50 | 0.75 | 0.155 | 채택 |
| 지형충돌 방지인식 | 4.13 | 0.600 | 0.50 | 0.75 | 0.180 | 채택 |
| 협조        | 4.00 | 0.600 | 0.00 | 1.00 | 0.164 | 채택 |
| 위험관리      | 3.80 | 0.600 | 0.00 | 1.00 | 0.256 | 채택 |
| 회복탄력성     | 3.93 | 0.200 | 1.00 | 0.50 | 0.263 | 보류 |
| 의사소통      | 3.80 | 0.467 | 0.50 | 0.75 | 0.237 | 보류 |
| 업무량 관리    | 3.67 | 0.333 | 0.50 | 0.75 | 0.197 | 보류 |

되지 못한 4개 요소(업무량관리, 의사소통, 회복탄력성, 놀람 및 당황효과)에 관한 통계 및 의견 피드백을 제공한 후 조사를 진행하였다. 그 결과 놀람 및 당황효과(CVR: 0.333→0.733)는 기준을 충족하여 합의되었으며 이외 3개 요소는 여전히 통계 기준에 미달하여 보류하였다.

최종 통계 분석 결과는 Table 12와 같다.

## IV. 결 론

본 연구는 초기 도심항공교통(UAM) 운용 단계에서 요구되는 단독 조종사 자원관리(SRM) 역량을 도출하기 위해 항공 운항 전문가 15명을 대상으로 3번의 델파이 조사를 수행하였다. 이를 통해 전통적인 운용 환경에서 발전해 온 단독 조종사 자원관리(SRM) 개념이 초기 도심항공교통(UAM) 운용 환경에서도 적용 가능한지를 검토하고 도심 저고도 운항, 고정형 회랑, 자동화 기반 운항지원, 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)의 기술적 특성을 반영한 구성요소를 도출하고자 하였다.

분석 결과 기존 10개의 단독 조종사 자원관리(SRM) 구성요소 중 의사결정, 상황인식, 자동화 관리, 놀람 및 당황 효과, 지형충돌 방지인식, 협조, 위험관리의 7개 요소가 최종 구성요소로 도출되었다. 이 중 의사결정과 상

항인식은 높은 중요도를 보였으며 이는 복합적인 운항 정보를 정확히 인식하고 변화하는 상황에 따라 적절한 판단을 수행하는 능력이 조종사의 핵심 안전 역량임을 시사할 수 있다. 또한 자동화 관리가 세 번째 중요 요소로 채택된 것은 자동화 기술이 조종사의 업무를 보조하더라도 조종사는 시스템의 상태와 한계를 연속적으로 감시하고 필요한 경우 개입할 수 있어야 함을 보여준다.

보류된 업무량 관리, 의사소통, 회복탄력성은 불필요한 요소가 아니라 본 연구의 전문가 합의 과정에서 초기 도심항공교통(UAM) 운용 환경의 독립적 핵심 요소로 채택될 수준의 합의에 도달하지 못한 항목으로 해석할 수 있다. 이들 요소는 기존 항공 인적요인 분야에서 중요하게 다루어져 왔으므로 향후 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL)의 운항 데이터가 축적된 후 개념적 명료성을 보완하여 재검토할 필요가 있다.

결론적으로 도심항공교통(UAM)의 초기 단계에서 운항 안전은 단순한 항공 기술의 발전으로 확보되기 어렵다. 조종사는 고도화된 자동화 시스템과 협업하면서 도심 저고도 운항환경의 복잡 위험을 인식하고 제한된 시간 안에서 적절한 의사결정을 수행하며 예상치 못한 상황에서 심리적 반응을 통제할 수 있어야 한다. 따라서 초기 전기동력 수직 이착륙 항공기(eVTOL) 조종사에게 요구되는 단독 조종사 자원관리(SRM)는 기술 운용 능력, 인지적 판단 능력, 위험관리 능력, 자동화 감시 및 개입 능력이 결합한 복합적 안전 역량 체계로 이해될 수 있다. 향후 실제 운항 데이터와 시뮬레이터 기반 훈련 자료를 수집하여 본 연구에서 도출한 결과의 실증적 타당성을 검증하는 후속 연구가 필요하다. 이를 통해 승무원 자원관리(CRM)가 시대를 거쳐 발전해 온 바와 같이 도심항공교통(UAM) 운용 환경에서의 단독 조종사 자원관리(SRM)도 체계적으로 발전해 나아가는 것이 필요하다.

본 연구는 이러한 발전 과정에 있는 도심항공교통(UAM)의 인적요인과 관련된 기초연구로서 향후 도심항공교통(UAM) 조종사 역량 체계와 안전관리 기준 정립에 기여할 수 있기를 기대한다.

## Acknowledgments

이 성과는 정부(우주항공청)의 재원으로 한국항공우주연구원 전략연구사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다(과제번호: FS26B00, 사업명: [eVTOL 디지털 통합 시험 COMPLEX 개발 및 운용 사업]).

## References

1. EASA, "Consolidated unofficial AMC/GM to Annex III (Part-ORO): AMC2 ORO.FC.115 Crew Resource Management (CRM) Training", European Aviation Safety Agency, Cologne, 2016, p.114.
2. FAA, "Aviation Maintenance Technician Handbook-General, FAA-H-8083-30B", Federal Aviation Administration, Washington DC, 2023a, Chapter 14, p.31.
3. FAA, "Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, FAA-H-8083-25C", Federal Aviation Administration, Washington DC, 2023b, Chapter 2, p.4.
4. FAA, "Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations 2.0", Federal Aviation Administration, Washington DC, 2023c, pp.1-2, pp.6-8.
5. FAA, "Advanced Air Mobility (AAM) Implementation Plan: Near-term (Innovate28) Focus with an Eye on the Future of AAM, Version 1.0", Federal Aviation Administration, Washington, DC, 2023d, p.1.
6. FAA, "Integration of Powered-Lift: Pilot Certification and Operations; Miscellaneous Amendments Related to Rotorcraft and Airplanes", Federal Aviation Administration, Washington DC, 2024, pp.7-9, pp.11-13.
7. GAMA, "A Rational Construct for Simplified Vehicle Operations (SVO)", General Aviation Manufacturers Association, Washington DC, 2019, pp.2-4.
8. Helmreich, R. L., Kline, J. R., and Wilhelm, J. A., "Models of threat, error, and CRM in flight operations", Proceedings of the Tenth International Symposium on Aviation Psychology, 1999a, pp.677-682.
9. Helmreich, R. L., Merritt, A. C., and Wilhelm, J. A., "The evolution of crew resource management training in commercial aviation", The International Journal of Aviation

- Psychology, 9(1), 1999b, pp.19-32.
10. Joby Aviation, "Failure injection testing at Edwards AFB", 2025, Available from: <https://www.linkedin.com/posts/april-14-2025-edwards-afb-ca-in-preparation-ugcPost-7325303285320470529-vdmx/>
  11. Kang, D. H., "A study on establishing pilot certification for Korea urban air mobility", Hanseo University, 2025, p.55.
  12. Kang, Y. J., "Understanding and application cases of Delphi technique", Korea Employment Agency for Persons with Disabilities Employment Development Institute, Seongnam, 2008, pp.2-10.
  13. Lawshe, C. H., "A quantitative approach to content validity", Personnel Psychology, 28 (4), 1975, pp.563-575.
  14. MOLIT, "K-UAM Commercialization in 2028: UAM Team Korea Will Make It Happen", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, 2025, pp.1-2.
  15. Moore, M. D., NASA Langley Research Center, "NASA Puffin Electric Tailsitter VTOL Concept", 2010, pp.1-4.
  16. NASA, "UAM Vision Concept of Operations(Conops) UAM Maturity Level(UML) 4 Version 1.0", 2021, p.7.
  17. Park, W. T., "Aviation Human Factors", Booknet, Seoul, 2020, Ch.6.
  18. Reason, J., "Human error: Models and management", BMJ, 320(7237), 2000, p.769.
  19. UAM Team Korea, "Korean Urban Air Mobility (K-UAM) Concept of Operations 1.5", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, 2025, p.9, pp.13-15.
  20. Uber Elevate, "Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation", Uber Technologies, San Francisco, 2016, pp.1-19.
  21. Zahn, D., Guion, A., Naru, R., and Eggum, S., "UAM Instrument Flight Procedure Design and Evaluation in the Joby Flight Simulator", NASA, Washington DC, 2023, pp.13-17.