

미래항공교통(AAM) 기술 동향과 AAM V2V 통신 장치 개발 요구사항 분석

A Study on Technology Trends in Advanced Air Mobility (AAM) and Design Requirements for V2V Communication Devices

문권한 (G.H. Mun, gh.mun@etri.re.kr)

이용돈 (E.D. Lee, edlee@etri.re.kr)

강군석 (K.S. Kang, kangks@etri.re.kr)

김대호 (D.H. Kim, daeho@etri.re.kr)

모빌리티인프라연구실 선임연구원

모빌리티인프라연구실 책임연구원

모빌리티인프라연구실 책임연구원

모빌리티인프라연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

Rapid urbanization has intensified traffic congestion, while increasing concerns regarding greenhouse gas emissions and climate change. Urban Air Mobility (UAM), utilizing electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft, has emerged as a promising solution for low-altitude urban transportation. As operational concepts expand beyond dense urban centers to include regional and underserved areas, the concept of Advanced Air Mobility (AAM) has evolved to encompass a broader range of air transportation services.

Compared with conventional aviation, AAM operates in low-altitude airspace with higher levels of automation and increased interaction among manned and unmanned aircraft, resulting in a more complex operational environment. To ensure safe and efficient operations, aircraft within AAM airspace are required to share critical information, including surveillance data and trajectory intent. This paper reviews domestic and international technological developments related to AAM deployment and highlights the importance of Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication technologies. Furthermore, it examines the applicability of existing communication technologies to AAM environments and identifies key technical considerations for implementing safe and reliable V2V communications in AAM environments.

KEYWORDS AAM, UAM, V2V

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2026.J.410401>

* 현 소속: 퍼지컬AI연구소 모빌리티인프라연구실

* This work was supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Korea government, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) [Grant RS-2024-00406112, Development of Core Technologies for Surveillance Information Acquisition and Fusion in UAM Airspace].

I. 서론

인구의 대도시 집중이 가속되면서, 자동차로 인한 교통 혼잡과 이산화탄소 배출에 따른 기후 변화 문제가 점차 심화되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전기 수직이착륙기(eVTOL aircraft: electric Vertical Take-Off and Landing aircraft)를 활용한 도심항공교통(UAM: Urban Air Mobility)이 새로운 교통수단으로 주목받고 있다.

UAM은 승객 혹은 화물을 싣고 다른 교통수단과 연계하여 도심 지역을 운항하는 새로운 형태의 교통 시스템으로서, 저고도 공역 내 항공회랑을 활용하여 지상 교통 혼잡 완화와 신속 운송을 지원한다.

초기 UAM은 고밀도 도시 중심지 내 운항을 주요 운용 환경으로 고려하였다. 이후 연료와 전기를 함께 사용하는 하이브리드 동력 기술의 발전과 전기 추진 시스템의 효율성 향상으로 운항 거리가 증가하여, 교통 서비스 접근성이 낮은 지역 및 도심 외곽 지역까지 운용 범위가 확대되었다. 이러한 운용 환경의 확장에 따라 그림 1과 같이 도시 중심의 UAM 뿐만 아니라 지역 간 이동을 위한 지역항공교통(RAM: Regional Air Mobility) 개념이 등장하였으며, 현

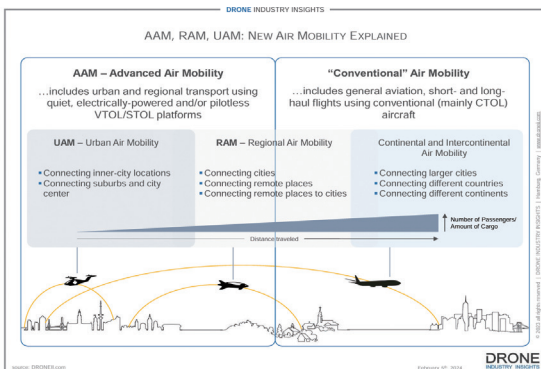
재는 UAM과 RAM을 포괄하는 미래항공교통(AAM: Advanced Air Mobility) 개념으로 논의가 확장되었다.

AAM은 기존 항공 운항과 비교하여, 낮은 운항 고도 및 다수의 기체 운용으로 인해 공중 충돌 및 공역 혼잡 위험이 증가할 수 있다. 이러한 환경에서 AAM 기체들의 안전하고 효율적인 운용을 위해, 운항 공역 내 각 기체는 위치, 속도와 같은 감시 정보, 항공기의 계획된 비행 경로 및 궤적 정보(Trajectory Intent), 항공기 운용 현황 및 주변 기상 정보 등을 공유할 필요성이 제기되었다[2].

본고에서는 AAM 관련 국내외 기술 동향을 살펴보고, AAM을 위한 기체 간(V2V: Vehicle-to-Vehicle) 통신 장치의 필요성을 제시한다. 이를 위해 기존 통신 모듈을 활용한 V2V 통신 장치의 AAM 환경에서의 적용 가능성을 검토하고, 도심 항공 운용 환경의 특수성을 반영한 AAM용 V2V 통신 장치 개발을 위한 요구사항을 도출한다.

II. AAM 기술 동향

AAM은 기체, 인프라, 교통관리 체계 등 다양한 요소를 중심으로 2040년까지 지속적인 시장의 성장



출처 Reprinted with permission from H. Boedecker, "The Future of Transportation: What is Advanced, Regional, and Urban Air Mobility?," Drone Industry Insights, 2024. 2. 7.

그림 1 UAM, RAM, AAM 개념도

표 1 UAM 시장 규모

〈표 II-11〉 연도별 UAM 한국 시장 규모('23~'40)

(단위 : 달러)

구분	연도				CAGR	
	'25	'30	'35	'40	'25~'35	'35~'40
GDP	1.96%	1.92%	1.86%	1.79%	0%	0%
기체(제작)	32,928,832	109,463,039	403,517,228	1,032,129,883	28%	21%
인프라	20,607,610	185,968,875	761,639,682	1,693,242,621	43%	17%
서비스	160,609,326	886,295,742	3,495,470,731	8,176,117,513	36%	19%
총계	214,145,768	1,181,727,656	4,660,627,641	10,901,490,017	36%	19%

출처: 드론 택시 시장 운영분석, 2020, 항공안전기술원

〈표 II-9〉 2040년 UAM 세계시장 전망

(단위 : 백만달러)

구분	2040년	비율(%)
기체(제작)	57,660,887,319	9.5%
인프라	94,594,559,850	15.5%
서비스	456,766,341,507	75%
총계	609,021,790,716	100%

출처: 드론 택시 시장 운영분석, 2020, 항공안전기술원

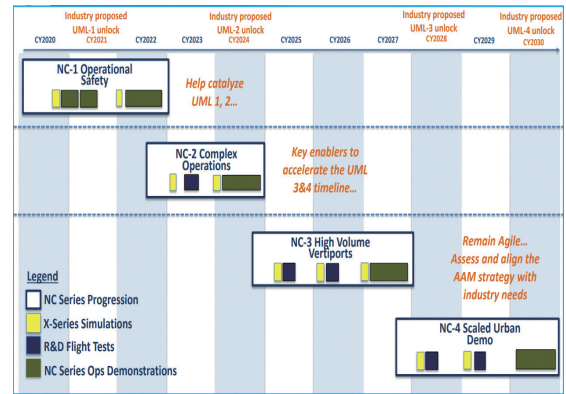
출처 Reprinted from 국토교통과학기술진흥원, "한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵," 2021. 6.

이 예상되며, 세부 시장 규모 전망은 표 1과 같다[4].

국내외 기관들은 앞으로 다가올 시장에서의 경쟁력 확보를 위해, 기술 개발 계획을 단계적으로 수립하여 추진하고 있다.

1. 국외

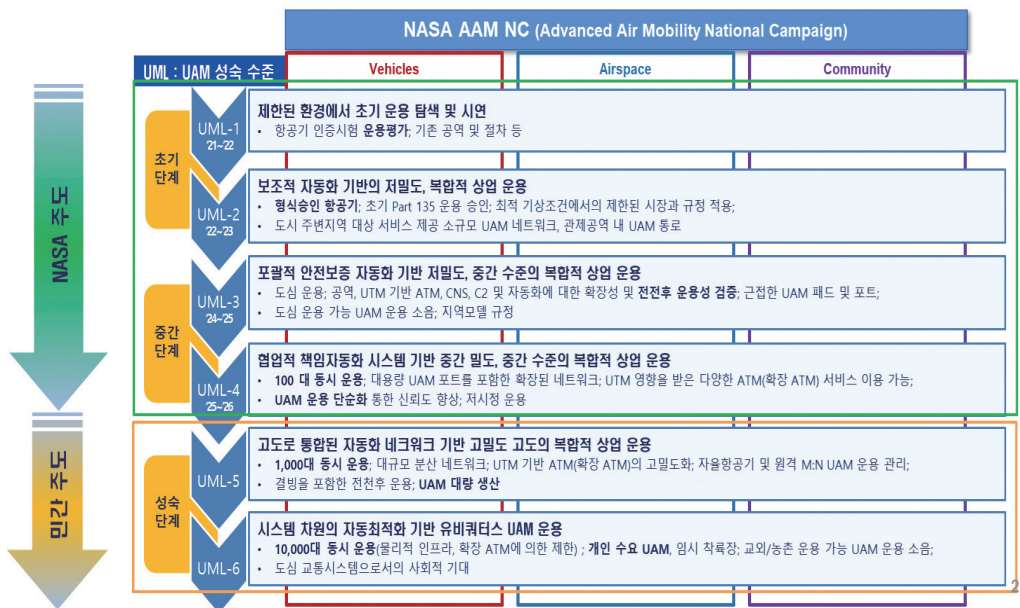
미국은 UAM 시험 운항 및 초기 도입 단계부터 시장을 선도하고 있다. 현재 미국 항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration)을 중심으로 연방항공청(FAA: Federal Aviation Administration), 산업계 및 연구기관이 협력하여 그림 2와 같이 UAM 성숙도(UML: UAM Maturity Level)에 기반한 운용 개념을 수립하고 관련 기술 개발을 추진하고 있다. UML에서는 개발 단계를 초기, 중간, 성숙 단계로 구분하고, 단계별로 2단계의 세부 단계를 두어 UML 1~6까지 총 6단계의 세부 단계를 정의하였다[6].



출처 Reprinted from NASA, "NASA Advanced Air Mobility(AAM) Mission."

그림 3 산업계 기술 성숙도 로드맵 지원을 위한 NASA AAM 국가 실증 캠페인

더불어 NASA는 그림 3과 같이 국가 차원의 AAM 실증 캠페인(NC: National Campaign)을 수행하여 각 UML 단계별 운용 개념과 기술을 검증하고 있다[7]. 이러한 NASA의 체계적인 개발 계획과 병행하여 FAA는 다수의 전기 수직이착륙기 제조사와 협력



출처 Reprinted from 국토교통부, "도심항공교통(UAM) 기술 안정성 드높일 청사진 나온다," 2020. 12. 29.

그림 2 NASA UAM 성숙도 단계

하여 인증 기준과 운용 체계 마련을 위한 논의를 진행하고 있으며, Joby Aviation, Archer Aviation, Wisk Aero 등 주요 기업들이 미국 내 다양한 지역에서 시험 비행과 실증 프로그램을 추진하고 있다.

미국이 초기 도입을 선도하는 가운데, 중국의 EHang은 중국 민용항공국(CAAC)으로부터 EH216-S에 대한 형식인증을 획득하고 시범 운항과 상용화를 추진하고 있다[30]. 일본은 오사카·간사이 엑스포 이후 AAM 상용화를 위한 로드맵을 개정하고, 2027~2028년 초기 상업운항 개시를 목표로 제도·기술·인프라 정비를 추진하고 있다[31]. 두바이는 Joby Aviation 등 글로벌 기업과 협력하여 에어택시 서비스의 조기 상용화를 목표로 버티포트 구축과 시험 비행을 하고 있으며, 2026년 서비스 개시를 목표로 운용체계를 검증하고 있다[32]. 한편 브라질은 Eve Air Mobility와 Revo를 중심으로 전기 수직이착륙기 도입 및 운항체계 구축을 추진하고 있으며, 상파울루 지역을 중심으로 AAM 상용화를 위한 실증과 인프라 구축을 확대하고 있다[33]. 또한, 유럽에서는 유럽 연합항공안전청(EASA: European Union Aviation Safety Agency)을 중심으로 전기 수직이착륙기 인증 체계와 관련 운용 기준 마련이 지속적으로 추진되고 있으며, 이를 바탕으로 UAM 도입을 위한 제도적 기반이 마련되고 있다[5,14].

2. 국내

국토교통부는 2020년 6월 “한국형 UAM 로드맵”을 발표하여 UAM 산업 육성을 위한 정책적 필요성과 추진 방향을 제시하였다. 민·관·학·연 협의체인 UAM Team Korea를 운영하며 관련 기술 개발 및 운용 개념에 대한 논의를 진행하였다. 이러한 논의 결과를 바탕으로 2021년 “한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵”을 발표하였다[3,4].



출처 Reprinted from 국토교통부, “도심항공교통(UAM) 기술·안전성 드높일 청사진 나온다,” 2020. 12. 29.

그림 4 K-UAM 단계별 발전에 따른 주요 지표

해당 기술로드맵은 그림 4와 같이 초기 단계, 성장 단계, 성숙 단계의 3단계 발전 체계로 구성되어 있다. 단계가 진전됨에 따라 운항 속도, 운항 거리, 그리고 회랑당 동시 운용 기체 수를 점진적으로 확대하는 방향으로 설계되었다. 이를 통해 국내 UAM 시장에서의 기술 경쟁력 확보와 단계적 상용화를 추진하고 있다.

한편, 통합 안전성 검증과 운영 체계 확립을 위해 민·관 합동 실증사업인 K-UAM 그랜드챌린지(GC: Grand Challenge)가 추진되고 있다. 해당 사업은 개활지(전남 고흥), 준도심(아라뱃길) 및 도심(한강, 탄천) 환경을 포함한 단계적 테스트베드 환경을 구축하여 운용 안전성과 기술 성숙도를 검증하는 것을 목표로 한다.

K-UAM 그랜드챌린지에는 통신, 모빌리티, 항공, 인프라 분야의 다수 기업이 참여하여 컨소시엄 형태로 실증 사업을 수행하고 있으며, 참여 기관들은 교통관리시스템, 버티포트 운영, 5G 기반 항공 통신망 등 핵심 운용체계의 통합 운용성을 검증하고 있다. 또한, 안전한 UAM 운항을 위해 필요한 핵심 기술에 대한 연구 개발과 실증을 병행하고 있다.

현재 전남 고흥의 개활지에서 수행된 1단계 실증을 통해 기체 비행 성능과 운용 체계에 대한 기본적

인 검증이 이루어졌으며, 이후 2단계에서는 아라벳길 등 수도권 실증 구역을 중심으로 보다 복잡한 운항 환경에서의 통합 운용성 검증이 추진되고 있다 [8-10].

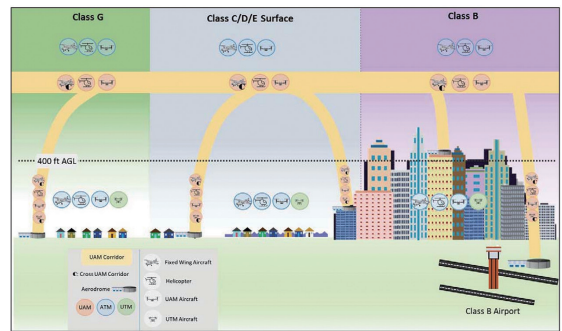
III. V2V 통신 장치 필요성 및 연구 현황

1. V2V 통신 장치 도입 필요성

미국 항공무선기술위원회(RTCA: Radio Technical Commission for Aeronautics) 프로그램관리위원회는 차세대 공중충돌 방지 시스템(ACAS X: Airborne Collision Avoidance System X) 관련 표준, UAS 안전·성능 요구사항 표준(RTCA DO-304A), 범용항공제조자협회(GAMA: General Aviation Manufacturers Association) 산하 전기추진혁신위원회(EPIC: Electric Propulsion Innovation Committee)의 데이터 통신 애드혹 위원회 개념 문서 등에서 제기된 V2V 통신의 필요성을 반영하여, SC-228(UAS Systems)에 V2V 통신 백서 개발을 요청하였다. 해당 백서에서는 미래 AAM 환경을 포함한 다양한 운용 시나리오에서의 V2V 통신 활용 방안을 검토하였다.

백서 개발 과정에서 SC-228은 SC-147(ACAS) 및 SC-186(ADS-B) 등 관련 특별위원회와 협력하여 기술적 요구사항을 논의하였다. 그 결과, SC-228은 2022년 5월 V2V 통신 기술의 배경과 함께 통신 성능, 보안, 신뢰성 및 확장성 측면의 주요 요구사항을 정리한 V2V 통신 백서를 발간하였다[1,2].

UAM은 버티포트의 위치와 운용 시나리오에 따라 그림 5와 같이 다양한 공역을 통과하며 운용된다. 이 과정에서 무인항공기 교통관리(UTM: UAS Traffic Management) 환경에서 운용되는 무인기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)가 UAM 회랑을 교차 통과할 수 있다. 또한, 운항 중인 UAM과 UAV가 회피기동 또는 비정상 상황으로 인해 UAM이 기존 운항 공역



출처 FAA, "Urban Air Mobility Concept of Operations, v1.0," 2020. 6.

그림 5 UAM 예상 운용 공역 개념도

을 벗어나거나, UAV가 UAM 버티포트 인근으로 접근하는 상황도 고려될 수 있다. 더불어 응급 환자 이송과 같은 긴급 운항이 이루어질 경우, 우선권 조정 및 공역 재구성이 요구되므로 기존 항공기 중심의 공역 관리보다 더욱 복잡한 운용 관리 체계가 필요하다[11-13].

AAM 도입은 UAM 회랑 인접 공역을 포함한 전체 저고도 공역의 교통 밀도와 혼잡도를 증가시킬 것으로 예상된다. 증가하는 항공교통량에 따른 항공교통관리(ATM: Air Traffic Management) 업무 부담을 완화하고 운항의 안전성과 효율성 확보를 위해, 분리 유지와 교통 흐름 병합 등의 항공교통관리 업무를 개별 항공기와 조종사에게 적절히 분담할 수 있도록 지원하는 통신 체계가 요구된다.

특히 기존 유인항공기 중심의 충돌 회피(CA: Collision Avoidance) 기술은 대형 항공기 운용 환경을 전제로 설계되었기 때문에, 고밀도, 저고도 환경에서 운용될 소형 무인기, 택배, 물류 배송 드론, UAM, 지역 화물기, 헬리콥터와 같은 다양한 항공기가 혼재하는 환경에 직접 적용하기에는 한계가 있다. 또한, 이러한 기종 중 상당수는 기존 트랜스폰더 기반 감시 체계에 의존하지 않으므로, 항공기 간 실시간 위치 및 상태 정보를 상호 공유할 수 있는 새로운 V2V 통신 장치의 개발이 요구된다[2,15].

2. V2V 관련 연구 현황

NASA는 소프트웨어 정의 라디오(SDR: Software Defined Radio) 기반 확장형 V2V 테스트베드 설계를 위해 표준화 기구인 RTCA 및 전기전자공학자협회(IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 V2V 표준화 논의와 연계하여, NASA SBIR Phase I 과제로 BABEL(V2V Standards Testbed for Enabling Advanced Air Mobility) 프로젝트를 추진하였다. BABEL 프로젝트는 AAM 환경에서의 V2V 통신 시험을 위한 테스트베드 설계 사양 도출을 목표로 한다. 또한, SDR 기반 통신 노드와 차량 애드혹 네트워크(VANET: Vehicular Ad-hoc Network) 구조를 활용한 시험환경(Testbed)을 설계하고, NASA AAM NC 시나리오와 연계하여 AAM V2V 통신 표준을 지원하기 위한 운용 시나리오와 시험 절차를 정립하는 연구를 포함한다[24].

IEEE 드론 위원회의 IEEE 1920.1 작업반(Working Group)은 V2V 표준의 필요성을 인지하였으며, 이러한 인식은 IEEE 1920.2 Working Group을 통해 UAV 간 V2V 통신 표준화 활동으로 발전하였다. 더 나아가, IEEE 1609 작업반, 무인항공기 집행위원회(UAS EXCOM(Executive Committee)) 산하 과학 연구 패널(SARP: Science and Research Panel), IEEE 차량기술학회(VTS: Vehicular Technology Society) 드론 임시위원회 그리고 NASA의 UTM 프로젝트 등 다양한 기관에서도 동일한 필요성이 지속적으로 제기되어 왔다. 이러한 산업·연구계의 공감대를 기반으로 IEEE 1920.2 작업반은 UAS용 V2V 시스템의 활용 시나리오, 보안 요구사항 및 주파수 각각의 백서로 체계화하는 한편, UAS 간 정보 교환을 위한 메시지 형식과 통신 프로토콜을 포함하는 V2V 통신 표준 초안을 개발하였다. 이러한 표준화 활동을 바탕으로 다수 항공기 간 협력 운항이 요구되는 AAM 환경에서도

해당 기술의 활용 가능성이 제기되고 있다[16,27].

2.1 주파수

현재 대부분의 UAS는 비면허 주파수 대역에서 운용되고 있으나, UAS를 안전하고 신뢰성 있게 관리하려면 간섭 통제가 가능한 면허 주파수 대역의 활용이 요구된다. 특히 IEEE 백서에서는 감시 및 회피(DAA: Detect and Avoid)와 CA와 같은 안전 필수적인 서비스를 V2V를 통해 지원하기 위해 면허 주파수 대역의 활용성을 언급하였다.

국제전기통신연합(ITU: International Telecommunication Union)은 무인기 제어 및 비임무용 통신(CNPC: Control and Non-Payload Communications) 용도로 5,030~5,091MHz(C-band) 대역을 UAS 운용을 위해 국제적으로 할당하였다.

이후, 2025년 미국의 연방통신위원회(FCC: Federal Communications Commission)가 Part 88 규정을 제정하여 5,030~5,091MHz 대역의 일부 구간에 대해 드론의 CNPC 운용을 위한 면허 대역 기반 접근 체계를 마련하였지만, 해당 규정은 UAS 제어 관련 통신을 위한 주파수 접근 체계에 초점을 두고 있으며, AAM V2V 통신에 대한 구체적인 운용 요건은 명시하고 있지 않다[17,19].

한편 IEEE 백서에서는 미국 FAA가 제시한 항공 주파수 목록 중 400MHz 대역, 특히 410~415MHz 운용 대역이 UAV 커뮤니티에서 관심받는 대역으로 언급되었다. 우수한 전파특성으로 비가시권(BLOS: Beyond Line-of-Sight) 환경에서 UAV와 조종기 간 양방향 통신(Two-Way Communication)에 유용한 특성을 가지며, 향후 UAV 간 통신 네트워크에 재사용될 가능성도 제시되었다[17].

추가로 FAA 및 산업계에서는 기존 UAT(Universal Access Transceiver) 978MHz 대역의 혼잡 문제를 고려하여, 보완 대역으로 검토되어 온 1,104MHz를 V2V

통신 용도로 사용하는 방안에 대한 논의가 진행 중이다[20].

2.2 보안

백서는 UAV 통신 환경에서 발생할 수 있는 스푸핑과 같은 주요 사이버 위협을 예방하기 위해 표 2와 같이 보안 요구사항으로 상호 개체 인증, 키 합의 기반 인증, 기밀성(Confidentiality), 데이터 무결성 검증(Integrity Verification), 그리고 무신뢰 보안 구조(ZTA: Zero Trust Architecture) 기반 인가 정책을 제시한다. 또한, 인증(Authentication)과 인가(Authorization), 디지털 인증서 관리를 포함한 보안 정책 관리를 위해 공개키 기반 구조(PKI: Public Key Infrastructure)를 활용한 인증서 관리 체계를 활용하도록 제안하고 있다. 이를 통해 송수신자는 메시지 전송 및 처리에 대한 부인 방지(Non-Repudiation) 기능을 확보할 수 있으며, 비정상 행위가 탐지된 UAV에 대해서는 인증서 폐기 메커니즘을 적용하여 보안 위협에 대응할 수 있다[18].

표 2 보안 요구사항

보안 요구사항	설명
상호 개체 인증	송신자와 수신자 간 상호 인증을 통해 데이터 출처 검증
상호 명시적 키 합의 인증	송신자와 수신자가 협상된 공유 키를 오직 서로만 알고 있음을 상호 확인
기밀성	데이터 정보는 암호화를 통해 보호
데이터 무결성 검증	메시지의 정당성 확인 및 데이터 변조를 방지하기 위해 인증된 암호화와 메시지 무결성 코드를 사용
무신뢰 보안 구조 기반 인가 정책	관제소, UAV 인터페이스, 센서 및 액추에이터 등의 자원에 대한 접근은 무신뢰 보안 구조에 기반하여, 신뢰할 수 있는 인증과 인가 절차를 통해 검증된 주체에게만 허용

출처 Reproduced from M. Hernandez et al., "Security for Vehicle-to-Vehicle Communications for Unmanned Aircraft Systems," IEEE White paper P1920.2, 2023. 3. 28.

IV. AAM V2V 통신 장치를 위한 기존 통신 기술 적용 가능성

V2V는 AAM 운용의 안전성과 효율성을 향상시키기 위해 충돌 회피 및 교통 관련 애플리케이션을 위한 데이터 공유를 주요 목적으로 한다. RTCA는 이러한 V2V 데이터 요소를 필수 데이터와 선택 데이터로 구분하는데, 주요 구성 요소는 표 3과 같다[2].

V2V 통신 장치 구현을 위해 기존 통신 시스템의 활용 가능성이 검토되었으며, 대표적인 후보 기술로는 ADS-B 시스템, 상용 이동통신 시스템, 그리고 LoRa/Sigfox와 같은 저전력 광역 네트워크(LPWAN: Low-Power Wide-Area Network) 기술이 있다. LoRa/Sigfox는 장거리 통신 특성을 보유하고 있으나, IoT 응용을 목적으로 개발된 기술로서 항공 환경에 적용하기 위해서는 항공 환경에서의 신뢰성, 지연 요구사항 충족 여부 및 주파수 대역 사용에 따른 간섭 가능성 등 추가적인 분석이 필요하다.

한편, ADS-B는 항공 환경에서 널리 운용되고 있는 기술이며, C-V2X(Cellular Vehicle-to-Everything) 기

표 3 V2V 데이터 구성 요소

구성 요소	설명
필수 (Required) 데이터 요소	핵심 V2V 전술 디컨플릭션 기능을 지원하는 데 필요한 요소로, Vehicle Identification(ID), Vehicle State(Position, Velocity), Vehicle Intent 등이 포함
선택 (Discretionary) 데이터 요소	- 가용한 V2V 대역폭이 허용되는 경우 추가로 전송될 수 있는 데이터 요소로, Environment State와 Critical Message Relay 정보 등이 포함 - Environment State 정보: 결빙(Icing), 윈드시어(Windshear), 비협조 항적(Non-Cooperative Traffic), 장애물, 대규모 새 떼 등과 같은 환경 위험 정보 - Critical Message Relay 정보: A2G 통신 단절 시 착륙 요청 및 허가와 같은 안전 관련 메시지를 주변 항공기가 중계하기 위한 정보

출처 Reproduced from RTCA, "Vehicle to Vehicle Communications White Paper," No. 302-22/PMC-2350, 2022. 12. 15.

술 또한 5G 자동차 협회(5GAA: 5G Automotive Association) 등의 실증 시험을 통해 지상 차량 환경에서 우수한 통신 성능을 보였다. 그러나 이러한 기술들이 항공 V2V 통신의 안전 필수 요구사항을 충분히 만족할 수 있는지에 대해서는 추가적인 검증이 요구된다[2,25].

1. ADS-B

현재 FAA는 무인항공기의 ADS-B Out 송신이 가용 주파수 자원을 포화시킬 수 있으며, 이에 따라 기존 ADS-B 기반 감시체계의 성능을 저하시킬 수 있다는 안전 우려에 따라 무인항공기의 ADS-B Out 송신을 원칙적으로 금지하고 있다. 이에 따라 Part 107의 적용을 받는 소형 UAS는 FAA의 별도 승인이 없는 한 ADS-B Out 장비를 송신 모드로 운용할 수 없다(14 CFR §107.53). 또한, Part 91의 적용을 받는 무인항공기는 비행계획에 따라 운항하면서 운항자가 항공교통관제(ATC: Air Traffic Control)와 양방향 통신을 유지하는 경우 또는 FAA의 별도 승인을 받은 경우에만 ADS-B Out 장비를 송신 모드로 운용할 수 있다(14 CFR §91.225(h)(2)).

기술적 측면에서 RTCA V2V 백서는 기존 ADS-B 방식인 1090ES(Extended Squitter)와 978 UAT가 항공기의 3차원 위치 및 속도 정보는 제공하지만 비행의도 정보는 제공하지 못하며, 1090ES는 주파수 혼잡으로 인해 운용이 제한될 수 있고 978 UAT 역시 데이터 전송률과 보안 측면에서 AAM V2V 통신에 적용하기 어렵다는 점을 지적하였다.

2. 3GPP 기반 UAV/UAM 통신 기술

3GPP는 이동통신 기반으로 무인항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)와 무인항공기 제어기 간 시

스템 연결성을 제공하기 위해 Release 15부터 UAV 지원을 위한 표준화 작업을 수행하였다. 이후 Release 16에서는 UAS 지원 요구사항이 “Unmanned Aerial System(UAS) support in 3GPP(3GPP TS 22.125)” 기술 규격을 통해 구체화되었으며, Release 17에서 UAV/UAS 지원 기능 고도화 관련 표준화 작업이 진행되었다. Release 18(5G-Advanced)에서는 이러한 기능을 토대로 성능 고도화 및 확장 기능이 추가로 논의되었다[21,22].

TS 22.125에서는 UAV 응용 서비스 및 운용 시나리오를 정의하고, 영상 전송과 같은 각 서비스에 대한 데이터 전송률, 종단 간 지연, 운용 고도, 서비스 지역 형태 등의 성능 요구사항을 정리하였다. 특히 웨이포인트 기반 비행 제어, 조종사 직접 조종(수동 비행), UTM 기반 자동 비행, 자율항법 인프라 접근 등 제어·운용 서비스에 대해서도 최대 운용 속도, 메시지 주기, 메시지 크기, 허용 지연, 신뢰도, 응답(ACK: Acknowledgement) 필요성 등의 요구조건을 정의함으로써 3GPP 기반 UAV 지원 체계의 기술적 범위를 구체화하였다.

이와 같은 A2G 기반 5G 기술의 표준화 및 요구사항 정립을 바탕으로, NASA는 최근 UAM 운용 환경에서 상용 5G 인프라의 적용 가능성을 검증하기 위해 5G 기반 A2G 통신 시험을 수행하여 항공 통신 환경에서 5G 기반 A2G 통신 기술의 가능성을 실증적으로 확인하였으며, 향후 5G 표준과 관련 기술을 A2G뿐만 아니라 항공기 간 통신 서비스로 확장하여 검토할 수 있는 가능성을 제시하였다.

한편, 이동체 간 직접통신의 성능을 보여주는 사례로 LTE 기반 C-V2X 시험 결과를 참고할 수 있다. 5GAA가 발간한 시험 보고서에 따르면, 저출력 조건에서도 가시선(LOS: Line of Sight) 환경(90% 수신 성공률 기준)에서 약 1km까지 통신이 가능함이 확인되었다. 또한, 실효 등방성 복사 전력(EIRP: Effective

Isotropic Radiated Power) 증가와 변조 및 부호화 방식(MCS: Modulation and Coding Scheme)의 최적화를 통해 통신 거리의 추가 확장이 가능함을 제시하였다[25,26]. 다만, 이러한 결과는 항공기 대비 낮은 속도로 이동하는 지상 차량 환경에서 도출된 결과로, 항공 환경에서의 V2V 적용에 대해서는 아직 충분한 실증 연구가 이루어지지 않은 상황이므로 추가적인 검증이 필요하다.

V. AAM용 V2V 통신 장치 설계를 위한 주요 고려사항

1. AAM용 V2V 통신 장치에 대한 기술적 고려사항

RTCA는 그림 6과 같이 V2V 백서를 통해 AAM V2V 통신 거리 산정을 위해, ICAO 전 세계 항공교통관리 운용 개념(GATMOC: Global Air Traffic Management Operational Concept)의 충돌 관리 모델을 적용하였다. 해당 모델은 완화 조치가 없을 경우 잠재적 충돌까지 남은 시간에 따라 요구되는 충돌 관리 기능을 정의한다.

백서에서는 AAM 운항 속도를 반영하여, 충돌 회피 기동이 수행되기 위한 최소 인지 거리를 약 10NM로 제시하였다.

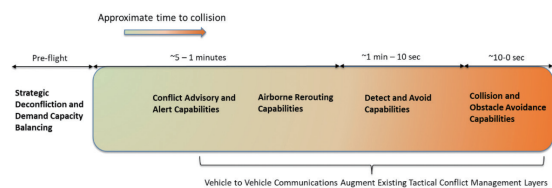
AAM 환경에서는 다양한 주파수 대역이 검토되고 있으나, BLOS 특성이 우수한 저주파 대역이 유

력한 주파수로 고려된다. 그러나 이러한 대역은 기존 항공 및 타 시스템과의 공존 요구로 인해 가용 스펙트럼이 제한적이다. 따라서 추가적인 주파수 자원 확보가 제한적인 상황에서 다수 기체의 통신을 지원하기 위해서는 가용 대역과 시간 자원을 효율적으로 활용하는 방안이 중요하다.

10NM 수준의 장거리 통신을 지원하기 위해서는 충분한 링크 버짓 확보가 요구되며, 이는 고출력 RF 전력증폭기의 적용으로 이어진다. 그러나 고출력 운용은 대역 외 방사(Out-of-Band Emission)를 증가시키며, 이를 억제하기 위한 추가적인 RF 필터 설계를 요구한다. 결과적으로 하드웨어 규모와 중량, 전력 소모 및 비용 증가로 이어져 SWaP-C(Size, Weight, Power, Cost) 관점에서 비효율이 발생할 수 있다.

AAM 안전 운항을 위해 트랜스폰더에 의존하지 않는 다양한 종류의 항공기에 장착 가능한 V2V 통신 모듈이 요구되므로, SWaP-C의 부담을 최소화할 수 있는 통신 구조 및 변조 방식의 설계가 필요하다. 대표적으로, 연속적인 위상 변화 특성을 활용하는 CPM(Continuous Phase Modulation) 계열 변조 방식은 낮은 첨두전력 대 평균전력비(PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)와 우수한 인접 대역 간섭 억제 특성을 가지므로, RF 전력증폭기의 백오프(Back-Off) 요구를 감소시키고 필터 설계 부담을 완화할 수 있다. 특히 Gaussian 필터 기반 CPM 방식은 인접 대역 성분을 효과적으로 억제하여 제한된 주파수 대역에서 공존성 측면의 장점을 가지지만, 상대적으로 낮은 스펙트럼 효율을 가지므로 V2V 메시지에 대한 요구 데이터 전송률과의 정량적 균형 분석이 필요하다.

또한, 통신 범위, 송신 출력, 무전기 중량 간에는 상관관계가 존재하므로 운용 환경에 따른 가변 송신 출력 전략은 다양한 기체가 V2V 시스템에 참여



출처 Reprinted from RTCA, "Vehicle to Vehicle Communications White Paper," No. 302-22/PMC-2350, 2022. 12. 15.

그림 6 ICAO GATMOC 충돌 관리 모델

할 수 있도록 하는 방안이 될 수 있다. 이와 더불어, 도심 운용 환경에서는 고층 건물 및 구조물로 인해 GNSS 신호 차단 및 다중경로 왜곡이 발생할 수 있으므로, 버티포트와 같은 지상 인프라와의 안정적인 통신을 위해 별도의 채널 자원 분리와 같은 추가적인 운용 고려가 요구될 수 있다.

2. AAM용 V2V 통신 링크 간섭 환경

AAM V2V는 BLOS 환경에서의 운용을 위해 전파 도달 특성이 우수한 저주파 대역이 유력한 후보로 검토되고 있다. 특히 1,104MHz는 유력한 후보 주파수 중 하나로 고려되고 있지만, 해당 대역은 거리 측정 장치(DME: Distance Measuring Equipment)와 같은 다양한 항공 항법 시스템이 운용 중인 구간으로, 주변 장비와의 공존 문제를 고려해야 한다.

또한, AAM이 운용될 도심 환경에서는 RF 간섭, 다중경로 전파(Multipath), 차폐(Shadowing) 등 복잡한 전파 특성이 발생할 수 있으므로, AAM용 V2V 링크 설계 시 다양한 간섭 시나리오를 고려한 통신 신뢰성 확보가 요구된다[28].

3. AAM용 V2V 통신 링크 보안 및 메시지 구조

AAM용 V2V 링크 운용에서는 인증서 기반의 네트워크 접속 및 상호 인증과 같은 보안 체계가 요구된다. 특히 제한된 스펙트럼 자원 환경에서 필수 메시지 전송 시, 암호화 및 인증 절차로 인한 오버헤드 증가를 최소화하는 설계가 필요하다.

따라서 경량화된 인증 방식 및 데이터 구조 최적화를 통해 필수 운항 정보를 제한된 채널 자원 내에서 효율적으로 전달할 수 있는 메시지 구조 설계가 요구된다.

VI. 결론

AAM은 기존 유인항공기 중심 공역과 달리 저고도, 고밀도, 다기종 혼재 환경에서 운용되며, 기존의 트랜스폰더 기반 감시 체계 및 충돌 회피 기술만으로는 안전성과 효율성을 동시에 확보하기 어렵다. 이에 따라 기체 간 감시 정보, 비행 의도 정보 및 기타 안전 관련 데이터를 실시간으로 공유할 수 있는 V2V 통신 장치의 도입은 핵심 요소로 인식되고 있다.

본고에서는 AAM 환경에서 V2V 통신 장치의 필요성을 분석하고, 현재까지 논의되어 온 주요 기술적 쟁점을 정리하였다. 특히 UAS 개발을 위해 선행적으로 연구된 IEEE P1920.2 관련 표준화 문서와 RTCA 분석 문서를 중심으로 기술적 요구사항을 검토하였다. 두 문서 모두 공통으로 보안의 중요성을 강조하며, 신뢰 가능한 인증 기반 통신 장치의 필요성을 제시하고 있다.

RTCA 분석에 따르면, AAM 운용 환경에서 충돌 회피 기동을 충분히 지원하기 위해서는 약 10NM 수준의 통신 반경이 요구된다. 이러한 요구사항을 충족하기 위해서는 링크 버짓 확보, 주파수 선택, 변조 방식, 송신 출력 제어 및 간섭 관리 측면에서 기존 지상 V2X 시스템과는 상이한 설계 접근이 필요하다. 특히, 제한된 스펙트럼 환경과 SWaP-C 제약을 동시에 만족하기 위해서는 스펙트럼 이용 효율, 구현 복잡도 및 전력 소모를 종합적으로 고려한 물리계층 설계와 낮은 PAPR 특성을 갖는 변조 기법의 적용이 중요하다.

960~1,215MHz 대역을 포함한 항공 주파수 환경에서는 DME와 같은 기존 항공 항법 시스템과의 공존 문제가 존재하며, CNPC 대역 활용 가능성 역시 제도적, 기술적 검토가 병행되어야 한다. 더불어 인증 기반 보안 체계와 경량화된 메시지 구조 설계는 안전 필수 통신의 신뢰성과 무결성을 확보하기 위

한 핵심 요소이다.

향후 AAM 운용이 고도화됨에 따라 메시지 구조 및 통신 요구사항은 운용 경험 축적에 기반하여 지속적으로 진화할 가능성이 크다. 따라서 V2V 통신 장치는 기능 확장성과 상호운용성을 고려한 구조로 설계되어야 하며, 기술 발전과 운용 개념 변화에 유연하게 대응할 수 있어야 한다.

결론적으로 AAM V2V 통신 장치 개발은 단순한 데이터 링크 구현의 문제가 아니라, 공역 구조, 주파수 정책, 물리계층 설계, 보안 체계 및 운용 개념 등을 종합적으로 고려해야 하는 복합적인 기술 과제로서, 이에 대한 지속적인 실증 연구와 국제 표준화

논의가 병행되어야 한다.

용어해설

AAM(Advanced Air Mobility) UAM과 RAM을 포함하는 차세대 항공 모빌리티 개념으로, 저고도·고밀도 공역에서 다양한 유·무인 항공기가 혼재하여 운용되는 통합 항공교통 체계

V2V(Vehicle-to-Vehicle) 기체 간 직접 통신을 통해 위치, 속도, 의도 등 안전 필수 정보를 실시간으로 공유하는 통신 방식으로, AAM 공역에서 충돌 회피 및 교통관리의 효율화를 위한 핵심 기술

C-V2X(Cellular Vehicle-to-Everything) 3GPP 기반 이동통신 기술을 활용한 V2X 통신 방식으로, PC5(직접 통신) 및 Uu(네트워크 경유 통신) 링크를 통해 차량 또는 기체 간 통신을 지원하는 기술

참고문헌

- [1] B. Barmore and R. Jacobson, "Status of Advanced Air Mobility Vehicle-to-Vehicle Recommendations to RTCA, NASA AAM Ecosystem Working Group, RTCA Presentation," NASA AAM Ecosystem Working Group, 2022. 9. 20.
- [2] RTCA, "Vehicle to Vehicle Communications White Paper," No. 302-22/PMC-2350, 2022. 12. 15.
- [3] 관계부처합동, "도시의 하늘을 여는 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵," 2020. 5.
- [4] 국토교통과학기술진흥원, "한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵," 2021. 6.
- [5] European Union Aviation Safety Agency (EASA), "Urban Air Mobility (UAM)," Available: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/urban-air-mobility-uam>
- [6] NASA, "Urban Air Mobility Operational Concept (OpsCon): Passenger-Carrying Operations," 2020. 5.
- [7] M. Patterson, "An Overview of Advanced Air Mobility (AAM) and NASA's AAM Mission. NASA Presentation," 2022. 2. 23.
- [8] 국토교통부, "한국형 도심항공(K-UAM) 실현, 고층에서 첫 비행 실증 나선다," 2024. 12. 13.
- [9] 국토교통부, "K-UAM 28년 상용화 UAM팀 코리아가 실현하겠습니다," 2025. 8. 28.
- [10] 전자신문, "K-UAM, 도심 첫 실증 착수...수도권 상공서 '하늘길 교통관리' 검증," 2025. 10. 22.
- [11] FAA, "Urban Air Mobility Concept of Operations (ConOps) v1.0," 2020. 6.
- [12] FAA, "Urban Air Mobility Concept of Operations (ConOps) v2.0," 2023. 4. 6.
- [13] IAIA & MITRE, "Advanced Air Mobility Concept of Operations for Incheon Metropolitan City," 2024. 3. 18.
- [14] European Union Aviation Safety Agency (EASA), "Vertical Take-off and Landing (VTOL)," Available: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/vertical-take-and-landing-vtol>
- [15] M. Cohen and D. Coates, "V2V for Collision Avoidance," Ciconia, 2022. 4. 19.
- [16] K. Namuduri and K. Gambold, "3 Challenges to Solve Before We Can Commute by Air Taxi," IEEE Spectrum, 2023. 7. 8.
- [17] A. Ashok et al., "Spectrum Considerations for Vehicle-to-Vehicle Communications for Unmanned Aircraft Systems," IEEE White paper P1920.2, 2023. 3. 24.
- [18] M. Hernandez et al., "Security for Vehicle-to-Vehicle Communications for Unmanned Aircraft Systems," IEEE White paper P1920.2, 2023. 3. 28.
- [19] FCC, "Spectrum Rules and Policies for the Operation of Unmanned Aircraft Systems," Federal Register, vol. 90, no. 5, pp. 1380-1400, 2025. 1. 8.
- [20] GAMA, "Vehicle-to-Vehicle Datalink Communications: Enabling Highly Automated Aircraft and High-Density Operations in the National Airspace," EPIC Concept Paper, Version 1.0, 2021. 12.
- [21] J. Stanczak, "NR Support for UAVs," 3rd Generation Partnership Project, 2023. 7. 6.
- [22] 이현 외, "5G 기반 무인 비행체 운용 표준화 동향," 전자통신동향분석 제36권 제4호, 2021, pp. 13-22.
- [23] L. Mitchell, "NASA Tests 5G-Based Aviation Network to Boost Air Taxi Connectivity," National Aeronautics and Space Administration, 2025. 7. 23.
- [24] NASA, "BABEL: V2V Standards Testbed for Enabling Advanced Air Mobility," NASA TechPort Project 154687, 2023. Available: <https://techport.nasa.gov/projects/154687>
- [25] 5GAA, "V2X Functional and Performance Test Report: Test Procedures and Results," 2019. 4.
- [26] Qualcomm Technologies, Inc., "C-V2X Technical Performance Frequently Asked Questions," Qualcomm Technologies, Inc., Rev. A, 2019. 10.
- [27] IEEE Standards Association, "IEEE P1920.2: Standard for Vehicle-to-Vehicle Communications for Unmanned Aircraft Systems," Project Authorization Request, approved Mar. 21, 2019. Available: <https://development.standards.ieee.org/myproject-web/public/view.html#pardetail/6845>
- [28] NASA, "UAM Airspace Research Roadmap, Rev. 1.2," NASA/TM-20220008917, 2022. 6. 1.
- [29] FAA, "Remote Identification of Unmanned Aircraft," Federal Register, vol. 86, no. 10, Jan. 2021.
- [30] EHang, "EHang Successfully Obtains Type Certificate for EH216-S Passenger-Carrying UAV System Issued by Civil Aviation Administration of China," EHang Holdings Limited, 2023. 10. 13.
- [31] METI and MLIT, "Advanced Air Mobility Roadmap Revised Toward the Social Implementation of Advanced Air Mobility," Joint Press Release, 2026. 3. 27.
- [32] Joby Aviation, "Dubai Air Taxi Network Takes Flight: Joby Completes Landmark Flight and Announces Next Vertiport," 2025.
- [33] Eve Air Mobility, "Eve Air Mobility and Revo Accelerate Urban Air Mobility with \$250 Million Contract," 2025.