

통신을 중심으로 본 도심 항공교통 생태계

김덕경 6G포럼 차세대모빌리티위원회 위원장, 인하대학교 교수

1. 머리말

전 세계 도시화 비율은 꾸준히 증가 추세에 있으며, UN(국제연합, United Nations) 경제사회국에 따르면 2050년 도시화율은 68.4%에 이를 것으로 전망된다. 점점 더 비대해지는 도시는 만성적 교통 혼잡으로 인해 효율적인 경제 활동이 저하되고, 배기가스 배출량은 늘어나 지구 온난화에 따른 막대한 사회적 비용을 유발시킨다. 이를 해결하기 위해 도로 확충, 대중교통 확대, 자율주행 등이 추진됐으나 개선효과는 미미한 상황이다. 이에 따라 이미 포화된 도심의 지상지하 공간이라는 2차원적 교통 패러다임을 극복하고, 3차원 상공에서의 이동성을 활용하는 UAM(도심항공교통, Urban Air Mobility)이 모빌리티 신사업으로 떠오르고 있다.

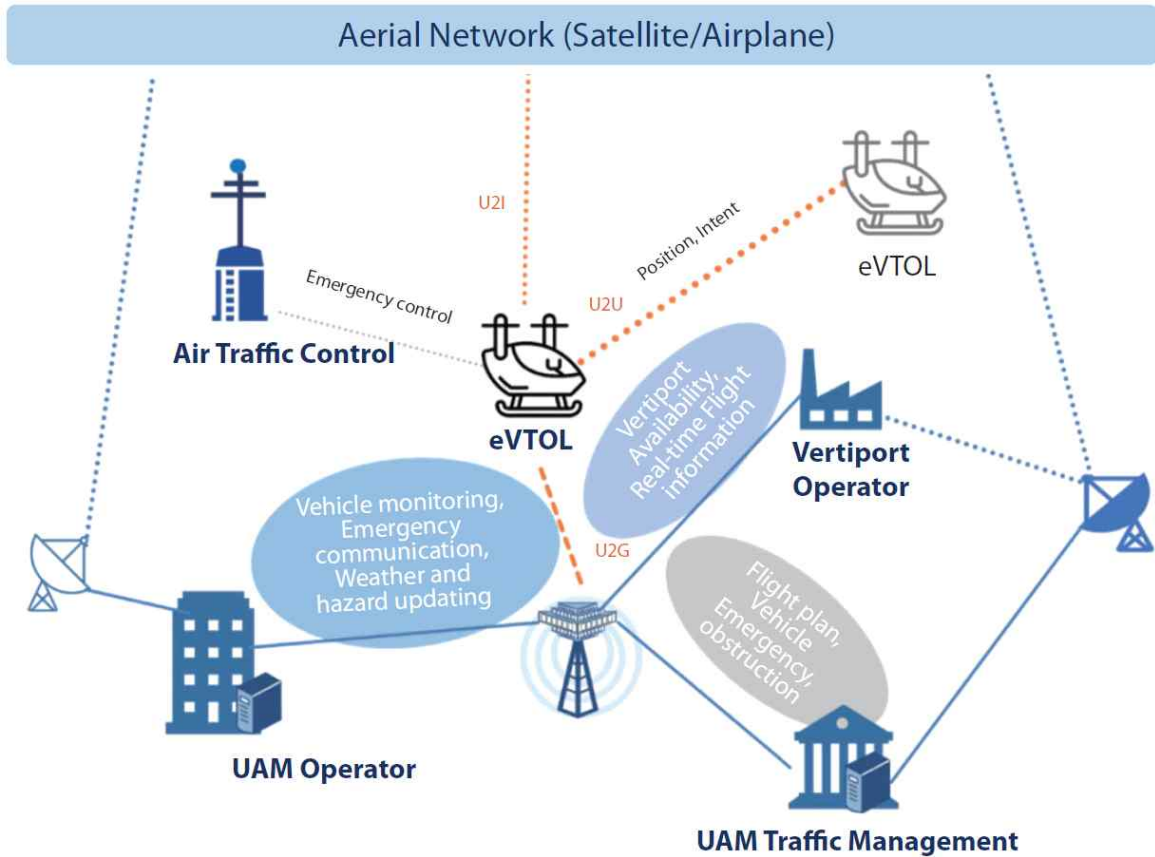
UAM은 도시 도로교통 혼잡을 해결하기 위해 3차원 상공에서 운용되는 저소음, 친환경 동력 기반 수직 이착륙 교통수단, 이를 지원하기 위한 교통관리체계, 이착륙 인프라 등을 모두 포함하는 항공교통체계다. 최근 들어 도심 내 택시 및 공행 셔틀이라는 기존 개념과 더불어, 도시 간 이동 등을 포함하는 AAM(미래항공모빌리티, Advanced Air Mobility)으로 개념이 확장돼 발전하고 있다. 이러한 UAM 시장 규모는 2040년 1조5천억 달러에 달할 것이라는 전망이 나오고 있다. 이에 미국, 유럽, 일본, 중국을 비롯한 전 세계에서 국가적 프로젝트와 다양한 시범서비스를 준비하고 있다. 또한, 조비에비에이션(Joby Aviation)으로 대표되는 기체 제작사와 통신사, 플랫폼 회사, 건설사, 항공사 등을 아우르는 거대한 생태계가 구성되고 있다.

기존 항공교통에서 통신(Communication)은 주로 기체 조종사와 지상 관제사 간의 의사 소통을 위해, 항공 전용 주파수에서 음성 또는 단문의 텍스트 기반 정보 전달을 위해 사용됐다. 그러나, UAM 운용을 위해서는 고밀도 기체들에 고용량 항공운용정보와 운용제어정보들을 전달하고, IFE(탑승객 인포테인먼트, In-Flight Entertainment) 서비스까지 고려한 통신 시스템을 적용해야 한다. 이에 본고에서는 도심항공교통 생태계 내 통신의 역할과 관련 기술동향을 알아보고자 한다.

2. 도심항공교통을 위한 통신기술

2.1 UAM 통신 구성 개체

UAM 통신은 도심 상공에서 승객, 화물 운송 서비스 등을 안정적으로 제공하기 위해 사용된다. 구체적으로 기체 운항 명령 및 제어, 승객과 기체를 위한 데이터 연결, 충돌 방지를 위한 기체간 정보 교환, 기체 위치 확인 및 감시를 위한 데이터 교환 등이다. [그림 1]은 각 UAM 운용 개체들의 구성과 통신 인터페이스, 정보 흐름을 도시한 것이다.



[그림 1] UAM 운용 개체간 통신[2]

UAM 운용 개체와의 연결을 위해, 기체는 기존 지상 통신 네트워크와의 U2G(UAM to Ground) 인터페이스, 위성 기반 비지상 네트워크와의 U2I(UAM to Infra) 인터페이스, 주변 UAM 기체와 U2U(UAM to UAM) 인터페이스를 가진다.

ATC(항공교통 관제, Air Traffic Control)는 항공운용에 사용되는 기존 항공기를 통제하는 체계다. 이는 공중 항공기와 지속적 교신을 통해 항공기의 모든 움직임을 통제하며, 무전기를 이용한 음성 통신, 항공기 탑재 ATC 트랜스폰더, 감시 레이다에 의해 관제 및 제어를 수행한다.

UAM 운영자(UAM Operator)는 UAM 운송 서비스, 비행 계획 수립공유, UAM 기체 기단 관리보안, 승객 안전을 책임지는 운항운용 관리의 주체다.

UAM 교통관리 서비스 제공자는 UAM 기체 비행계획 등 비행정보, 운항 안전정보 공유교환 및 교통관리 서비스를 제공하는 주체다. 이들은 UAS 교통관리서비스 제공자와 상호 간 운항 안전정보를 공유하고 UAM 기체운용상태, 구역제한 여부, 버티포트 가용성, 기상상황 등 여러 운항 안전정보를 UAM 기체 또는 UAM 운영자와 교환한다.

마지막으로 UAM 버티포트 운영자(UAM Vertiport Operator)는 UAM 기체의 안전한 운용을 위해 버티포트의 관리 및 운영, 버티포트 내 서비스를 책임진다.

2.2 요구 사항

전형적인 항공 운행과 달리 UAM 기체는 도심 내 또는 도심 근교에서 저고도로 운행됨에 따라 장애물과 비행체 간 근접 정도가 높다. 이에 따라 비지상 네트워크와의 통신은 신호 차단 또는

방해 정도가 심해진다. 반면 지상 네트워크와의 통신은 전력 효율과 지연 측면에서 우수하나, 웨도잉의 영향이 커지는 문제점이 발생한다. 이러한 영향으로 수십 dB에 이르는 신호 감쇄가 발생할 수 있으며, 이는 심각한 링크성능 저하를 초래할 수 있다.

UAM 통신에서는 도심 내 혹은 도심 근교 저고도기체 운행으로 장애물들과 높은 근접성을 가져 LoS, NLOS, BVLOS 연결이 간헐적으로 차단된다. 그리고 기존 항공 운항과는 달리 저고도에서 고밀도의 기체 운항을 고려해, 기본 항공 운용보다 복잡한 통신요구 사항, 높은 수준의 항법 신호 정확성과 대기 시간 등을 가지게 된다.

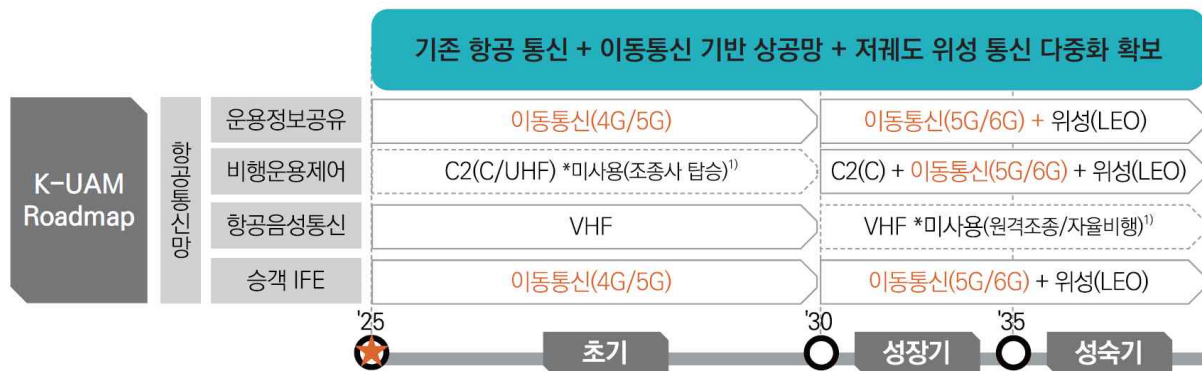
UAM에서의 통신 데이터는 C2와 Non-C2 로 나뉘어 정의된다.

- C2(Command and Control) 데이터
UAM 기체 비행 제어 및 안전 시스템과 관련된 모든 정보들로 정의.
예: 통신 메시지, 원격계측 데이터, 실시간 시스템 진단 데이터, 원격 운행을 위한 이미지
- Non-C2 데이터
페이로드(Payload)라고도 불리며, 높은 전송률을 요구하는 응용에 활용

C2 데이터를 위한 링크는 높은 신뢰성(Reliability)과 가용성(Availability)을 요구하며, 일반적으로 99.999% 이상의 신뢰도를 필요로 한다. 대부분 C2 데이터 전송속도는 300kbps를 넘지 않으며, C2 데이터 전송 지연 또한 충분히 작아야 한다. 반면 non-C2 링크의 경우 응용(Application)에 따라 다양한 가용성을 요구하며, 데이터 전송속도는 지상망의 경우와 유사하다. 이 경우, 링크 지연 등의 요구 사항은 사용 사례 및 응용 서비스에 따라 다양하게 정의된다.

2.3 후보 기술

UAM 교통 관제 및 IFE를 위해 활용될 수 있는 통신 기술로서, 기존 항공관제통신 기술인 초단파(VHF)/극초단파(UHF)와 더불어 C 대역 통신, 5G/6G, 저궤도 위성 통신 등 다양한 기술들이 고려되고 있다. [그림 2]는 UAM 서비스를 위한 데이터 종류와 통신 기술들을 보여준다.



1) 승객 탑승 시, '30년까지는 조종사 탑승 고려 (물류는 원격조종 가능), '30년 이후 승객 탑승 시, 원격조종/자율주행 개시 목표
※ 점선칸은 K-UAM 기술로드맵에 명시되지 않았으며, 기체에 보조로 유지될 것으로 예상되나 미사용 계획인 통신망임

[그림 2] UAM 서비스를 위한 데이터 종류와 통신[2]

2.3.1 제어를 위한 통신 기술

지금껏 항공기 운항 항로상에 존재하는 많은 지상관제 기관과의 비행정보 교환을 위해 음성방식인 초단파, 극초단파, 단파(HF) 등 다양한 통신 방식이 활용됐다. UAM을 위한 자동화된 관제 시스템이 확보되기 전, 상용화 초기에는 관제를 위한 이러한 기존 통신 방식을 활용해야 한다.

FAA(미국 연방항공청, Federal Aviation Administration)은 5030~5091 MHz에 해당되는 C 대역을 무인 항공기 명령 및 제어에 사용하는 것에 대한 안전운용기준을 마련했다. FAA는 최대 60,000개의 1kHz 채널 할당을 고려하고 있으며, C 대역은 위치정보, 원격검침, 기체상태, 비행계획, 실행명령 등의 C2 페이로드 전송을 위해 사용될 수 있다. 현재 해당 C 대역 통신이 UAM 제어를 위해 전세계적으로 논의되고 있으며, 개발 로드맵 상에 포함돼 있다. 다만 현재 할당된 대역폭이 UAV/UAM 기체를 위한 모든 C2 메시지 전송에 충분하지 않을 수 있다는 우려가 제기되고 있어, 추가적인 주파수 확보가 필요하다.

2.3.2 제어와 응용 데이터를 위한 통신 기술

한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술 로드맵에 따르면, UAM 서비스는 2025년 시범 상용화를 시작으로 초기, 성장기, 성숙기 순서로 진행되면서 노선 수, 일일 통행량이 급격하게 증가하게 될 것으로 예상된다. 이에 따라 도심 내 고밀도 UAM 비행 운용 제어/운용 정보 공유/항공 음성통신은 물론 IFE를 위한 데이터 송수신 역시 모두 제공돼야 한다.

UAM 서비스를 위한 5G 이동 통신망은 운항 고도 300~600m, 운항 속도 150km/h~ 300km/h를 고려해야 한다. 이를 위해선 안테나 상향 틸트 및 다중빔 활용 기술을 통해 지상 중심의 데이터 송수신 커버리지 영역을 상공까지 확장해야 한다. 뿐만 아니라 고속 이동으로 인한 무선통신 품질의 빠른 변화를 완화하고 불필요한 핸드오버 절차를 최소화하기 위한 기술이 요구된다. 또한, 도심 내 고밀도 UAM 환경을 고려해 충돌 방지를 위한 기체 간 5G 직접 통신 기술을 활용하는 방안도 해당 기술 개발 범위에 포함돼 있다.

한편 UAM 기체와 같은 3차원 공간 이동체들에게 안정적인 통신 서비스를 제공하기 위해 위성 통신을 적극적으로 도입하는 방법도 고려할 수 있다. 특히 UAM 기체가 불가피하게 회량의 항공 상 커버리지를 벗어나거나 통신 장애가 발생할 경우를 대비해 통신 이중화가 필요한데, 이를 위해서라도 위성통신이 각광받고 있는 것이다. 현재 IESS, DVB, ETSI 등에서 위성통신 표준화를 진행 중이지만, 위성 제조사나 위성통신 서비스 업체 간 상호 운용성을 보장하기에는 충분하지 않다. 이에 따라 지속 가능한 생태계로는 발전하지 못했다. 이에 생태계 확장의 필요성을 인정한 위성 산업체에선 위성을 셀룰러 시스템에 통합해 이동통신을 수용할 필요성을 인식했고, 현재 위성통신을 지원하는 5G/6G 시스템을 채택하기 위해 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에 참여 중이다.

3GPP에선 이미 Release 15에서부터 비행 기체를 위한 LTE 기술 향상 이슈 논의를 시작했고, Release 16, 17에 걸쳐 5G 기술 향상을 위한 논의들을 진행했다. 3GPP는 또한 C2 트래픽에 대한 제어모드 분류,

메시지 전송 간격, 최대 기체 속도, 메시지 크기, 지연 요구 사항을 정의했으며, 응용 트래픽으로 다양한 비디오, 영상 정보들에 대한 요구 사항 및 사용 사례까지 정의했다.

3. 국내 기업 현황 및 해외 실증 동향

국내 통신 3사는 K-UAM GC(Grand Challenge, 그랜드챌린지)의 주요 컨소시엄 참여사로서 CNS 시스템을 제공하고 있다. 이들은 1단계 UAM 비행 실증지역인 전라남도 고흥 국가 종합 성능 비행장 인근에 5G/LTE상공망 시범 기지국/국소를 구축하고, 상공망에 대한 성능 평가와 활용 가능성을 점검했다. 또한 UAM 도심 실증을 위해 수도권 한강 유역을 포함한 다양한 시나리오에서 상향 틸트 각도와 안테나 방향에 따른 기존 지상망과의 간섭의 영향 측정, 3차원 지상망 설계 최적화 필요성을 확인했다. 더불어 통신 3사 모두 통신사업자로서 공중에서의 고품질 통신 서비스 제공을 위한 인프라 구축은 물론, UAM 플랫폼 및 운영 제어를 위한 UATM 시스템, 표준화, 위성통신망 활용에 이르는 다양한 영역에서 연구 개발을 진행하고 있다.

해외에서는 대표적으로 NASA(미국 항공우주국, National Aeronautics and Space Administration)가 첨단 항공 모빌리티 국가 캠페인인 AAM NC(Advanced Air Mobility National Campaign)를 2019년 시작했다. 2022년까지 진행된 NC 1단계에서는 AAM 운영 안전에 초점을 맞춰 지정된 시험장소에서 실증 시험이 이뤄졌다. NC 2단계는 비행시험 시연과 시뮬레이션을 통한 통합 시나리오에 기반한다. 이를 바탕으로 전국 시험 현장의 시스템과 운영 분석을 수행하게 된다. NC 2단계에는 현재까지 일렉타 에어로(Electra Aero), 오버에어(Overair), 슈퍼널(Supernal), 엘리스앤어소시에이츠(Ellis & Associates) 등이 참여하고 있다. 매시추세츠, 미네소타, 북텍사스, 오하이오, 올란도 등의 주정부에서는 AAM을 도심 교통 플랜에 반영하기 위해 업무협약을 체결했다. 이 외에도 영국은 Future Flight Challenge, 프랑스와 일본은 각각 2024년 파리 올림픽, 2025년 오사카 엑스포를 목표로 UAM 개발에 박차를 가하고 있으며, 독일, 중국 싱가포르 등 전 세계적으로 활발한 연구 개발이 이뤄지고 있다.

4. 맺음말

자율주행차를 중심으로 활발하게 연구, 개발됐던 모빌리티 산업이 최근 자율주행차 사고와 애플 차 개발 중단 등으로 주춤하다. 그 사이 UAM을 중심으로 한 3차원 모빌리티가 급속도로 성장하고 있다. 이러한 미래 모빌리티의 상용화 기반을 선제적으로 마련하고 시장을 선점하기 위해선 인증 및 규제 확립, 사고 발생시 책임 소재, 보험 문제, 선택 상황 시 윤리 문제, 법과 제도, 인프라 구축 방안 등 차세대 모빌리티에 공통적으로 나타날 수 있는 문제를 해결해야 한다.

더불어 기체 상용화와 함께 관련 기술의 성숙도와 안정성을 높이기 위한 핵심 기술이 통신이다. 자율주행차 개발 경험에서 알 수 있듯이, 센서 기반 자율주행 기술은 아직까지 엄격한 안전 기준을 만족시키지 못하고 있으며 레벨 4 이상 자율주행을 위해선 통신기술의 융합이 필요하다. 또한 UAM에서 좀 더 안전한 비행, 나아가 무인 자율주행을 위해서는 고용량 데이터의 초저지연, 고신뢰성 있는 통신 기술이 제공돼야 한다.

3차원 공 중 공간에서의 UAM의 통신에는 기존 LTE, 5G-NR 기술을 활용할 수 있다. 이는 현재 2차원 도로 환경에서 운행되는 자율주행 자동차의 연결성 제공을 위한 것들이다. 그러나 공중에서의 UAM 기체 무선통신은 지상 모바일 사용자와 비교해 높은 이동성, 배터리 제약, 빈번한 핸드오버, LoS 및 셀의 하향 링크 간섭으로 인해 새로운 설계 문제가 제기된다. 또한, LTE, 5G NR

의 경우, U2U와 U2I와 같은 통신 링크를 제공할 수는 있지만 지상파 모바일 사용자만을 위해 맞춤화 되기 때문에 완전한 네트워크 커버리지를 보장하지는 않는다.

현재로서는 5G 기술이 UAM 통신을 위한 가장 유력한 후보가 될 수 있으나, 항공 기체는 3차원 연결성, 이음새 없는 연결, 원격 및 실시간 제어, 비행체 식별 및 규제 등 부가적 요구 사항이 존재한다. 특히 자율비행을 위해서는 밀도가 높고 도심 항공 트래픽을 고려한 통신 기술을 개발해야 한다. UAM 기체 간 충돌 감지 및 회피를 위한 수평 거리는 250m, 수직 거리는 50m 수준으로 알려져 있으며, UAV보다 더 높은 고도에서 동작하는 UAM 기체에서는 더 낮은 레이턴시(latency) 및 고정밀 포지셔닝 제공이 필수적이다. 더불어 종단간 지연, 위치 정확도, 신뢰성 측면에서 C2 데이터 요구사항을 모두 만족하기 위한 통신기술 개발이 필요하다.

[참고문헌]

[1] 교통융합의 새로운 패러다임 UAM 기술 백서, 5G 포럼 교통융합위원회,

http://www.5gforum.org/html/sub/member/view.php?bo_table=gallery&wr_id=114

[2] 도심항공교통을 위한 통신, 항법, 감시 시스템 백서, 5G포럼 차세대모빌리티위원회,

http://www.5gforum.org/html/sub/member/view.php?bo_table=gallery&wr_id=137

※ 출처: TTA 저널 제212호