

## UAM 초기 운영을 위한 통신 성능 요구도 도출

# Analysis of Communication Performance Requirements for Initial-Phase UAM Services

정영호<sup>1\*</sup> · 전향식<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국항공대학교 항공전자정보공학부

<sup>2</sup>한국항공우주연구원 무인기연구부

Young-Ho Jung<sup>1\*</sup> · HyangSig Jun<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

<sup>2</sup> Unmanned Aircraft System Research Division, Korea Aerospace Research Institute (KARI), Daejeon, 34133, Korea

### [요약]

도심항공 모빌리티 (UAM; urban air mobility) 서비스를 위한 한국의 K-UAM 운용개념서에서는 초기 운용 과정에서 항공음성통신 뿐만 아니라 4G 및 5G 이동통신의 활용을 고려하고 있다. 본 논문은 UAM 교통관리를 위한 통신 성능 요구사항을 설정하기 위한 방법론을 연구하였으며, 초기 UAM 운항을 위한 통신 성능 요구 항목과 수준을 제시하였다. 이를 위해 K-UAM 운용개념서와 미국 FAA 운용개념서의 UAM 발전 단계별 운영 시나리오를 분석하고, 다양한 UAM 이해관계자 간에 UAM 운용을 위해 전달해야 할 메시지의 종류를 식별하였다. 또한, 이러한 메시지의 전송을 위해 필요한 통신 링크 종류, 데이터 크기, 전송 주기, 허용 가능 지연, 가용성 등을 고려하여 통신 성능 요구사항 초안을 도출하였다. 본 연구 결과는 UAM 서비스를 위한 통신 요구사항 설정 관련 최초 연구로서 향후 UAM 전용 통신망 설계 및 필요 주파수 소요량 산출과 같은 분야에서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

### [Abstract]

The Concept of Operations (ConOps) document issued by the Korean Government (K-UAM ConOps) for urban air mobility (UAM) services takes into account not only aviation voice communication but also the use of 4G and 5G mobile communication to support the initial phase of UAM services. This paper studies a methodology to establish communication performance requirements for UAM traffic management and presents the analyzed results for communication performance requirements. To accomplish this, the operational scenarios of UAM developmental stages outlined in the K-UAM ConOps and FAA ConOps are scrutinized, and the diverse messages that must be communicated among various stakeholders for effective UAM operations are identified. A draft of communication performance requirements is also calculated by considering packet sizes, transmission frequencies, acceptable latencies, and availability. The outcomes of this study are expected to stand as a pioneering effort in defining communication requirements for UAM services, providing a crucial foundation for future initiatives such as the design of dedicated communication networks for UAM and the determination of required frequency bandwidth.

**Key word** : UAM, Communication performance requirement, Air traffic control, Concept of operations.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.1.109>



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 5 February 2024; Revised 23 February 2024

Accepted (Publication) 25 February 2024 (29 February 2024)

\*Corresponding Author; Young-Ho Jung

Tel: +82-2-300-0415

E-mail: yhjung@kau.ac.kr

## I. 서론

도심 항공 모빌리티 (UAM; urban air mobility)에 대한 개념은 UBER에서 2016년 Urban Air Transformation에 관한 기술문서 [1]를 발표한 후 세계 각국의 기업과 정부의 관심이 증가하여, 최근 수년간 세계의 다양한 기업, 연구기관과 정부에서 관련 투자와 연구 활동이 활발하게 이루어지고 있다. 미국 FAA, 유럽 등 여러 나라에서 운용개념서 (ConOps : Concept of Operations)를 발간하고 있고 [2]-[7], 우리나라에서도 2021년 9월 K-UAM 운용개념서 1.0을 발간하고 [8], 2024년까지 2단계에 걸쳐서 K-UAM 그랜드챌린지 (GC) 라는 이름으로 UAM 서비스를 위한 여러 이해당사자가 요소 기술을 실증하는 민관 합동 실증사업을 진행 중이다 [9].

아직 기체, 버티포트, 공역, 교통관제, CNSi 등 각 요소 기술이 검증을 완료되지 않고, 제도가 확립되지 않은 상황이므로 우리나라를 포함한 대부분의 국가에서는 UAM 초기 단계에서는 기체에 조종사가 탑승하고, 기존 유인항공기 비행 절차를 준수하고, 항공음성통신 기반 관제 서비스를 기반으로 한 저밀도 시계비행 서비스를 고려 중이다. 이에 따라 초기 단계 UAM 서비스를 위한 통신 성능 요구도는 높지 않다고 판단할 수 있으나, 자동화와 안전 운항을 위한 실시간 운항 보조 정보 전달을 위한 데이터 통신망으로 지상 사용자와 자원을 공유하는 4G/5G 지상망 기반 상용 통신망의 안정적인 커버리지 확보에 있어 어려움이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 UAM 초기 운용에 필요한 통신 성능 요구도를 분석하였다. K-UAM 운용개념서를 포함한 주요 운용개념서의 초기 서비스 시나리오를 고려하여, UAM 이해관계자 사이에서 전달해야 할 정보를 식별하고, 무선 통신 구간에서 전송해야 할 정보의 크기, 전송 주기, 허용 가능 전송지연 (latency), 신뢰도 (reliability) 등의 요구 성능을 만족하기 위한 통신망의 요구 성능 항목과 값을 정량적으로 분석하는 방법을 제시하였다. 각 정보에 대해 요구되는 신뢰성 수준은 이동통신망이 제공할 수 있는 통신망 가용도 (availability) 수준에 비해 월등하게 높으나 허용 가능한 지연 값 요구 수준이 높지 않아 다수의 재전송을 통해 요구 성능 달성이 가능함을 보였다. 분석 결과 UAM 서비스를 위한 통신 성능 요구도 항목은 기체 당 전송률과 통신망 가용도로 설정하는 것이 타당하고, 현실적인 파라미터 값을 이용하여 잠정적인 값을 산출한 결과 UAM 회랑 영역에 대한 통신 커버리지만 안정적으로 확보되면 초기 UAM 운용을 위한 통신 성능 확보가 가능하다는 분석 결과를 도출할 수 있었다.

## II. UAM 초기 운영을 위한 통신 성능 요구도 설정을 위한 운영개념서 분석

### 2-1 UAM 운용개념 및 시스템 특징

표 1. K-UAM 발전 단계별 주요 특징 [8]

Table 1. Key Indicators of K-UAM evolution [8].

|  | Initial Phase (2025~)  | Progress Phase (2030~)  | Advanced Phase (2035~)   |
|--|--|---|--------------------------|
| Management of the Pilot in Command     | On Board   | Introducing Remoted pilot   | Introducing Autonomous   |
| Traffic Management System              | Gradual increase of UAM air traffic management service providers' roles, and reduction of air traffic controller engagement. |   |                          |
| Automation level of Traffic Management | Introduction of automation   | Automation takes the initiative with human monitoring                                     | Complete automation      |
| Operation Method of the Corridor       | Fixed corridor   | Fixed corridor network  | Dynamic corridor network |
| Air Communication Network              | Commercial mobile communication (4G, 5G) and aviation voice communication  | Commercial mobile communication (5G, 6G), low-orbit satellite communication, C2 LINK, etc |                          |
| Navigation System                      | Precision satellite navigation   | Precision Satellite Navigation + Image-based Relative Navigation                          | Combination navigation   |
| Position and Form of Vertiport         | Vertiport focused on the center of the capital area  | Vertiport focused on the center of capital and metropolitan area                          | Expansion to nationwide  |

K-UAM [8], 미국 FAA [2],[3], 유럽 AMU-LED [4] 등 주요 운용개념서를 분석해보면 구체적인 공역 분리와 회랑 설정 방법에 있어서는 차이가 있으나 공통적으로 드론 등 무인기가 사용하는 150m 이하 저고도와 유인기가 운용하는 고고도 공역 사이의 300m~600m 정도의 영역에 UAM 기체가 이동할 수 있는 영역을 회랑 형태로 설정해두고, 해당 영역만을 이용하여 운항하는 시나리오를 고려하고 있다. 이 경우에도 이 착륙 과정에서 UTM이 관장하는 G 등급 공역 중 일부를 이용할 수도 있고, 공항 근처의 이착륙장을 이용할 경우 유인기가 운항할 수 있는 B/C/D 등급 공역을 운항해야 할 경우도 있다.

표 1은 K-UAM 단계별 발전에 따른 주요 지표이다 [8]. UAM 초기 운용 단계에서는 무선 통신 네트워크로 항공음성통신과 함께 4G/5G 상용이동통신망을 고려하고 있다. UAM 발전 단계가 진화하여 관제 공역 내의 UAM 회랑에 해당하는 공역이 유인기 운항 가능 공역에서 제외되게 되면 비상 상황이 아닌 정상 운항 과정에서는 UAM 기체와 유인기 항공교통관리 (ATC : Air Traffic Control) 타워 사이의 실시간 통신이 필요하지 않게 되겠지만, 초기 운영 과정에서는 UAM 회랑 영역과 유인기 관제 공역이 겹치게 되면 ATC 타워와의 항공음성통신 링크가 필수적으로 확보되어야 한다. 4G/5G 이동통신은 UAM 운항에 관여하는 다양한 이해관계자 사이의 정보 공유를 위한 통신 수단이다.

### 2-2 UAM 서비스를 위한 통신 요구도 설정을 위한 이해당사자 간 교환 정보 분석

UAM 서비스를 위한 무선통신 성능요구도를 설정하기 위해서는 기체와 지상 UAM 이해당사자 사이에서 실시간으로 주고 받아야 하는 정보의 종류, 전송빈도, 패킷 크기, 허용 가능 전송지연 등 서비스품질 (QoS; quality of service) 요구사항 등에 대한 정보가 식별되어야 한다. 이를 위해 여러 운영개념서에서

제시하고 있는 UAM 교통체계와 이해당사자 간 정보 공유 시나리오를 이해할 필요가 있다.

그림 1은 K-UAM 운용개념서에 따른 UAM 교통체계 구조도이고, 그림 2는 FAA 운용개념서 v2.0에 따른 UAM 교통체계 구조도이다. UAM 운영을 위해서는 다양한 이해당사자 간 정보 공유를 위한 통신이 필요하다. 특히 UAM 기체와 지상국 사이의 무선통신을 통한 양방향 정보 전송이 필요하나, 초기 UAM 운항 시나리오에서는 조종사가 기체에 탑승하므로 긴급을 요하는 정보 전달 필요성은 크지 않다. 그림 1, 2의 내용을 바탕으로 UAM 운영을 위해 필요한 통신 체계와 이를 통해 전달해야 하는 정보에 대해 정리해보면 다음과 같다. 통신 수단은 크게 공중에서 지상으로 향하는 air to ground (A2G), 지상에서 공중으로 향하는 ground to air (G2A), 공중의 기체 간 (V2V; vehicle to vehicle) 무선 통신과 지상의 유선 통신 링크로 구분 가능하다.

- UAM 기체와 UAM 운항자 사이 통신 (무선, A2G, G2A)
  - 실시간 위치 및 기체 상태정보
  - 실시간 운항지원 정보
  - ATC 지시 규제 정보, 운항제한 정보
  - 버티포트 관련 정보 실시간 위치 및 기체 상태정보
- UAM 기체와 UAM 교통관리 서비스 제공자 사이 통신 (무선, A2G, G2A)
  - UAM 교통관리, 이착륙관제, 운항관제 정보
- UAM 기체와 유인항공기 ATC 사이 통신 (무선, A2G, G2A)
  - 비상 관제용 음성 통신
- UAM 기체 사이의 통신 (무선, V2V)
  - 충돌방지 및 회피 관련 보조 정보
- UAM 교통관리 서비스 제공자와 타 UAM 교통관리 서비스 제공자, ATC, 운항정보 제공자, 버티포트 운영자, ATC, UTM 서비스 제공자, 기타 이해관계자 사이 통신 (유선)
  - 실시간 UAM 기체 비행계획, 실시간 운항정보, 식별정보
  - 운항지원정보, 버티포트 관련 정보, 운항 제한사항, 제한구역 정보 등

### III. 초기 UAM 운영을 위한 무선 통신 시스템 성능 요구도 설정

#### 3-1 연구 방법

표 1의 K-UAM 초기 운용단계에서 고려중인 상용이동통신 네트워크가 어떠한 최소 성능 기준을 만족해야 하는지 성능 요구도 항목과 그 값을 설정하기 위해서는 하향링크 통신망을 이용하여 기지국에서 기체로 전송해야 하는 데이터와 상향링크 통신망을 이용해서 기체에서 기지국으로 전송해야 하는 데이

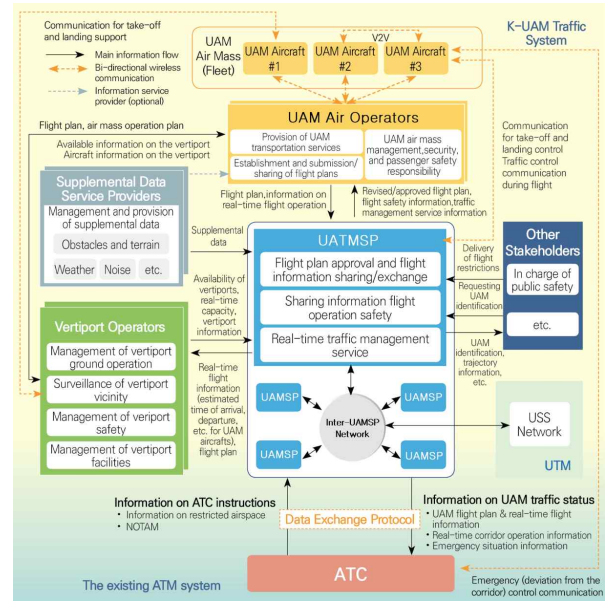


그림 1. 초기 K-UAM 교통관리 시스템 구조도 [8]  
Fig. 1. Structure of initial K-UAM air traffic management system [8].

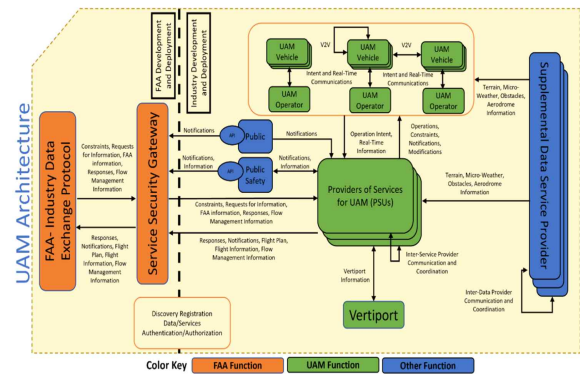


그림 2. FAA 운용개념서에 따른 UAM 교통관리 시스템 구조도[3]  
Fig. 2. Structure of UAM air traffic management system according to FAA ConOps [3].

터가 각각 어느 정도 크기인지, 얼마나 자주 전송해야 하는지, 지연시간은 얼마까지 허용 가능한지, 전송 성공 확률은 얼마 이상 되어야 하는지 등이 정해져야 한다. 이후 이러한 데이터를 요구하는 성능 기준 내에서 전송하기 위한 통신망의 최소 전송률 (minimum data rate), 허용 가능 최대 지연 (end-to-end latency), 신뢰성 (reliability), 가용성 (availability) 등의 성능 항목 중 어떤 항목을 기준으로 해야 하는지, 그 값은 얼마로 설정해야 하는지 등을 분석한다.

#### 3-2 초기 UAM 서비스를 위한 UAM 이해관계자 사이의 전송 정보 식별

초기 UAM 서비스를 위한 통신 성능 요구도 설정을 위해 선

행되어야 하는 것은 어떤 정보를 전송해야 하는지를 식별하는 것이다. 그림 1, 2의 두 운용개념서를 기준으로 UAM 운항 과정에서 서로 정보를 주고받아야 할 이해관계자를 정리하면 ① UAM 항공기 (UAMA), ② UAM 운항자 (UAMO), ③ 버티포트 운영자 (VP), ④ UAM 교통관리서비스제공자 (UATMSP), ⑤ ATC, ⑥ 운항지원정보제공자 (SDSP), ⑦ 기타이해관계자 (ETC)와 같다. 이들 사이에서 UAM 운항 과정에서 기체와 지상 사이에서 A2G, G2A 무선통신을 통해 전송해야 하는 정보의 종류와 해당 정보에 대한 생성 (source), 경유 (relay), 최종목적지 (sink)에 해당하는 이해당사자를 정리하면 표 2와 같다.

이 중 기체에서 지상으로 A2G 통신링크를 통해 전송해야 하는 정보는 기체의 실시간 위치 정보 (U01), 속도, 연료량 등을 포함한 기체정보 (U02)와 ATC와의 비상 음성통신 (V02), 버티포트, UATMSP 등 UAM 이해당사자와의 음성통신 (V04) 정보 정도이다. 반면 지상에서 기체로 G2A 통신링크를 통해 전송해야 하는 정보는 다양하다. 다양한 이해당사자가 생성한 장애물/지형, 기상, 소음 등 실시간 운항지원 정보 (D01 ~ D03), NOTAM (Notice to Airmen/Air Missions), 제한 공역 정보 (D04), 버티포트 관련 정보 (D05 ~ D07), 승인된 비행계획서 (D08), 지상에서 수집한 ADS-B, 레이더 등 감시정보 (D09), 운항제한사항 (D10) 등의 정보를 UAM 운항자에게 우선 링크를 통해 전달하면, UAM 운항자가 해당 정보를 모아 기체로 전달한다. G2A 링크의 경우도 V02, V04에 대응되는 음성통신 정보인 ATC와의 비상 음성통신 (V01), 버티포트, UATMSP 등 UAM 이해당사자와의 음성통신 (V03) 정보가 필요하다. 그림1의 K-UAM 운용개념서 구조도에 따르면 표 2의 전체 정보에 대한 무선통신이 필요하나, 그림2의 FAA 운용개념서 구조에서는 D05 ~ D10의 부가 정보는 무선 데이터통신 링크를 통해 직접 기체로 전송되지는 않는다. ATC와의 비상 통신을 위한 V01, V02의 경우 VHF, UHF 항공음성통신을 반드시 사용해야 하지만, V03, V04 음성통신 정보의 경우 VHF, UHF 등 항공음성통신 채널을 추가로 할당 받아 구현될 수도 있고, 4G/5G 이동통신망을 이용하여 VoIP (voice over IP) 방식으로 구현될 수도 있다.

**3-3 각 정보에 대한 통신 요구 성능 분석**

표 2에서 정의된 정보들의 통신 요구 성능을 표 3에 정리하였다. 생성 주기별로 생성되는 정보의 크기, 정보 갱신 주기, 통신 지속시간, 허용 가능 지연, 신뢰성 등의 값은 [10]-[12] 등의 관련 문헌을 참고하여 정하였다. 예를 들어 U01 실시간 기체 위치 정보의 경우 ADS-B out 메시지의 전송 주기와 동일하게 정보 갱신 주기를 1초로, 최대 허용 지연은 1초, 신뢰성은 ADS-B의 service availability인 99.9% [12]를 기준으로 정하였다. 요구 전송률은 한 번에 생성되는 패킷의 크기를 허용 가능 지연이나 생성 주기 (period) 중 작은 값으로 나누어 계산하였다. 예를 들어 U02 정보의 경우 1kbyte의 정보가 10초 간격으로 발생하지만 1초 이내에 전송이 되어야 하므로 요구 전송률은 8 kbps와

**표 2. UAM 운항을 위한 무선 전송 정보 종류 및 생성/ 경유/ 목적지 이해관계자**

**Table 2. Types of wireless transmission information for UAM operations and stakeholders for source, relay and sink**

| ID  | Information  | Source      | Relay        | Sink                 |
|-----|--|-------------|--------------|----------------------|
| U01 | Real-time aircraft position information                          | SDSP        |              | UAMO,VP, ATC, UATMSP |
| U02 | Real-time aircraft status information                            | SDSP        |              | UAMO,VP, ATC, UATMSP |
| D01 | Supplemental data (obstacles and terrain)                        | SDSP        | UAMO         | UAMA                 |
| D02 | Supplemental data (weather)                                      | SDSP        | UAMO         | UAMA                 |
| D03 | Supplemental data (noise)  | SDSP        | UAMO         | UAMA                 |
| D04 | NOTAM, information on restricted airspace                        | ATC, UATMSP | UAMO         | UAMA                 |
| D05 | Vertiport information for take-off and landing support           | VP          |              | UAMA                 |
| D06 | Availability of vertiports, real-time capacity                   | VP          | UAMO         | UAMA                 |
| D08 | Real-time surveillance information (including ADS-B information) | UATMSP      | UAMO         | UAMA                 |
| D10 | Flight restrictions  | ETC         | UATMSP, UAMO | UAMA                 |
| V01 | Emergency control communication (G2A)                            | ATC         |              | UAMA                 |
| V02 | Emergency control communication (A2G)                            | UAMA        |              | ATC                  |
| V03 | Communication for take-off and landing support or control (G2A)  | UATMSP, VP  |              | UAMA                 |
| V04 | Communication for take-off and landing support or control (A2G)  | UAMA        |              | UATMSP, VP           |

같다. V03, V04의 음성통신의 경우 G.729 코덱에 대한 요구 전송률 31.2 kbps [13]로 계산하였다.

U01, U02, D08과 같이 UAM의 이륙-순항-착륙 전 과정에서 전송이 필요한 정보도 있지만, D05, V03, V04와 같이 이착륙 과정에서만 필요하거나, D01~D04와 같이 운항 도중 정보의 변경이 발생한 경우에만 주고받는 정보도 있다.

**3-4 UAM 초기 서비스를 위한 통신 성능 요구도 잠정안 도출**

UAM 초기 서비스를 위한 통신 성능 요구도는 표 3의 모든 정보들을 주어진 허용 가능 지연과 신뢰성 제약조건을 만족하면서 전송이 가능하도록 하기 위해 통신망이 제공해야 할 성능 항목과 요구 값으로 정의할 수 있다. 예를 들어 U01 정보의 경우 UAM기체의 전체 운항시간 동안 1초에 1회씩 1 kbyte의 정보를 이동통신망의 상향링크를 이용하여 전송해야 하고, 전송 정보는 1초 이내에 99.9% 신뢰도로 성공적으로 수신기에 전달되어야 한다. 정보가 성공적으로 전달되기 위해서는 정보를 전송하고자 하는 시점에 단말이 통신 커버리지 내에 있어야 하고 (가용성), 전송한 패킷이 전송 오류 없이 수신되어야 한다. 표 2의 각 정보에 대해 요구하는 신뢰도 수준은 99% ~ 99.99% 이지만 현재 지상 이동통신망의 경우에도 해당 수준의 가용도 확보가 어려우므로 [14], UAM 회랑 영역에서 이동통신망의 가용성을 요구 신뢰도 수준 이상으로 확보하는 것은 불가능하다.

LTE, 5G 등 기존 셀룰러 이동통신망은 UAM 등 공중 단말을 고려하여 기지국 배치 및 안테나 패턴이 최적화되지 않아 공중

표 3. UAM 운항을 위한 무선 전송 정보 종류 별 요구 통신 성능 요구사항

Table 3. Communication performance requirements for each wireless transmission information required for UAM operation.

| ID  | Information  | Packet size (kbyte) | Latency (sec) | Period (sec) | Required data rate (kbps) | Ratio of information transmission time | Reliability |
|-----|--|---------------------|---------------|--------------|---------------------------|--|-------------|
| U01 | Real-time aircraft position information                          | 1                   | 1             | 1            | 8                         | 100%                                   | 0.999       |
| U02 | Real-time aircraft status information                            | 1                   | 1             | 10           | 8                         | 100%                                   | 0.999       |
| D01 | Supplemental data (obstacles and terrain)                        | 1                   | 1             | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       |
| D02 | Supplemental data (weather)                                      | 1                   | 1             | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       |
| D03 | Supplemental data (noise)  | 1                   | 1             | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       |
| D04 | NOTAM, information on restricted airspace                        | 1                   | 1             | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.9999      |
| D05 | Vertiport information for take-off and landing support           | 1                   | 1             | 10           | 8                         | 10%                                    | 0.999       |
| D06 | Availability of vertiports, real-time capacity                   | 10                  | 1             | 600          | 80                        | 100%                                   | 0.999       |
| D08 | Real-time surveillance information (including ADS-B information) | 20                  | 1             | 1            | 160                       | 100%                                   | 0.99        |
| D10 | Flight restrictions  | 1                   | 1             | 10           | 8                         | low (< 1%)                             | 0.9999      |
| V03 | Communication for take-off and landing support or control (G2A)  | -                   | 0.1           | 0.02         | 31.2                      | 10%                                    | 0.99        |
| V04 | Communication for take-off and landing support or control (A2G)  | -                   | 0.1           | 0.02         | 31.2                      | 10%                                    | 0.99        |

영역을 포함한 3차원 영역에서의 안정적인 커버리지 확보가 어렵다 [15], [16]. UAM 회랑 영역을 고려하여 일부 기지국 안테나를 공중 영역에 맞추어 최적화 하더라도 다수의 지상 기지국으로부터 가시선 (LoS; Line of Sight)으로 간접 신호를 수신하게 되어 고도가 높아질수록 신호대 잡음 간섭 전력비 (SINR; Signal to Interference and Noise Ratio)가 나빠지고, 기준 성능을 만족하지 못하는 음영 영역의 비율이 증가한다 [15], [16]. 이와 같은 이유로 UAM 서비스를 위한 상용이동통신망을 기존 지상망을 활용하지 않고, UAM 전용 주파수를 할당 받아 지상 사용자와 상호 간섭 없이 별도 통신망을 구축하여 안정적인 UAM 서비스가 가능하도록 하는 시도가 진행 중이다 [17].

UAM용 통신 네트워크 구축에 있어 지상 사용자와 주파수 자원을 공유하거나 전용 주파수를 이용하는 경우 모두 가용도 수준을 어느 정도로 통신망을 설계해야 하는지와 전송정보가 요구하는 신뢰도 수준보다 가용도가 낮을 경우 신뢰도를 확보할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

통신 링크의 가용도가 요구 신뢰도보다 낮은 경우 신뢰도를 확보 할 수 있는 가장 쉬운 방법은 재전송을 이용하는 것이다. 이동통신 시스템에서 스케줄러에서 제공하는 목표 패킷 에러률 (PER; Packet Error Rate)이  $P_p$  라고 하고, 통신 링크가 가용하지 않을 확률을  $P_o$  라고 하면 한번의 전송을 통해 얻을 수 있는 신뢰도  $P_{R,1}$  은

$$P_{R,1} = (1 - P_o) \cdot (1 - P_p) \tag{1}$$

와 같다. 만약  $P_o = 0.1$ ,  $P_p = 0.01$  이면 위 식의 계산 값은 0.891이다. 만약  $N$ 번의 전송이 가능하다면  $N$ 번의 전송이 모두 실패하지만 않으면 신뢰도 확보가 가능하므로, 이를 통해 얻을 수 있는 신뢰도  $P_{R,N}$  은

$$P_{R,N} = 1 - [P_o + P_p \cdot (1 - P_o)]^N \tag{2}$$

과 같다.  $P_p = 0.01$  일 때 가용도 값과  $N$  값의 변화에 따른 확

표 4. 링크 가용도 값에 따른 전송 횟수별 확보 가능 Reliability (패킷 에러율 1%)

Table 4. Achievable reliability according to the number of transmissions for link availability values (packet error rate = 1%).

| number of Tx. / availability | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 99%                          | 0.999604 | 0.999992 | 1        | 1        | 1        | 1        |
| 95%                          | 0.996460 | 0.999789 | 0.999987 | 0.999999 | 1        | 1        |
| 90%                          | 0.988119 | 0.998705 | 0.999859 | 0.999985 | 0.999998 | 1        |
| 85%                          | 0.974878 | 0.996018 | 0.999369 | 0.999900 | 0.999984 | 0.999997 |
| 80%                          | 0.956736 | 0.991001 | 0.998128 | 0.999611 | 0.999919 | 0.999983 |

보 가능 신뢰도 값은 표 4와 같다.  $P_o = 0.1$ ,  $P_p = 0.01$  인 경우 신뢰성 0.99를 얻기 위해서는 3회 전송이 필요하고, 0.9999를 얻기 위해서는 최대 5회의 전송이 필요하다. 동일 정보에 대해 최대  $N$ 번의 전송이 필요하다면 통신망에서 확보되어야 하는 전송률은 표 3의 요구 전송률의  $N$ 배가 된다. 이를 바탕으로 UAM 기체 1대를 운용하는데 필요한 통신망의 전송률을 계산할 수 있다. 표 3의 모든 정보가 동시에 전송되고, 최대 전송 횟수만큼 전송된다고 가정하여 모든 요구 전송률을 더하면 피크 전송률을 계산할 수 있고, 전송 주기와 전송 시간비율을 고려하여 계산하면 평균 전송률을 계산할 수 있다.

표 5는 링크 가용도가 95%이고, PER이 1%인 경우 정보별 요구 전송률을 계산한 결과로, 상·하향링크 요구 최대 전송률과 평균 전송률을 계산하였다. 이 경우 UAM 기체 1대 당 상향링크 평균 32.6 kbps, 최대 110.4 kbps, 하향링크 평균 328.0 kbps, 최대 782.4 kbps의 전송률이 확보되면 되는 것으로 나타났다. 이 중 상향링크는 각 UAM별로 다른 정보이므로 기체 수에 비례하여 망 부담이 늘어나지만, 하향링크의 경우 대부분의 정보가 모든 UAM 기체에 공통적으로 전달되는 것이므로 방송 방식이나 멀티캐스트 형태로 전송하게 되면 기체 수가 증가하더라도 통신망 부하가 크게 증가하지 않는다. 표 6은 링크 가용도가 99%로 상승하고, PER이 1%인 경우 요구 전송률을 계산한 결과이다. 링크가용도 95%인 경우에 비해 일부 정보에 대한 필요 최대 전송 횟수가 줄어들어 상향링크 평균 23.8 kbps, 최대 94.4 kbps, 하향링크 평균 327.4 kbps, 최대 654.4 kbps의 전송률

표 5. 패킷 에러율 1%, 링크 가용도 95%인 경우 요구 전송률

Table 5. Required transmission rate for 1% packet error rate and 95% link availability.

| ID                                 | Information  | Period (sec) | Required data rate (kbps) | Ratio of information transmission time | Reliability | Required number of transmission | Peak data rate (kbps) | Average data rate (kbps) |
|------------------------------------|--|--------------|---------------------------|--|-------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| U01                                | Real-time aircraft position information                          | 1            | 8                         | 100%                                   | 0.999       | 3                               | 24                    | 24                       |
| U02                                | Real-time aircraft status information                            | 10           | 8                         | 100%                                   | 0.999       | 3                               | 24                    | 2.4                      |
| D01                                | Supplemental data (obstacles and terrain)                        | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       | 3                               | 24                    | 0.24                     |
| D02                                | Supplemental data (weather)                                      | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       | 3                               | 24                    | 0.24                     |
| D03                                | Supplemental data (noise)  | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       | 3                               | 24                    | 0.24                     |
| D04                                | NOTAM, information on restricted airspace                        | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.9999      | 4                               | 32                    | 0.32                     |
| D05                                | Vertiport information for take-off and landing support           | 10           | 8                         | 10%                                    | 0.999       | 3                               | 24                    | 0.24                     |
| D06                                | Availability of vertiports, real-time capacity                   | 600          | 80                        | 100%                                   | 0.999       | 3                               | 240                   | 0.4                      |
| D08                                | Real-time surveillance information (including ADS-B information) | 1            | 160                       | 100%                                   | 0.99        | 2                               | 320                   | 320                      |
| D10                                | Flight restrictions  | 10           | 8                         | low (< 1%)                             | 0.9999      | 4                               | 32                    | 0.032                    |
| V03                                | Communication for take-off and landing support or control (G2A)  | 0.02         | 31.2                      | 10%                                    | 0.99        | 2                               | 62.4                  | 6.24                     |
| V04                                | Communication for take-off and landing support or control (A2G)  | 0.02         | 31.2                      | 10%                                    | 0.99        | 2                               | 62.4                  | 6.24                     |
| Required uplink data rate (kbps)   |  |              |                           |  |             |                                 | 110.4                 | 32.6                     |
| Required downlink data rate (kbps) |  |              |                           |  |             |                                 | 782.4                 | 328.0                    |

표 6. 패킷 에러율 1%, 링크 가용도 99%인 경우 요구 전송률

Table 6. Required transmission rate for 1% packet error rate and 99% link availability.

| ID                                 | Information  | Period (sec) | Required data rate (kbps) | Ratio of information transmission time | Reliability | Required number of transmission | Peak data rate (kbps) | Average data rate (kbps) |
|------------------------------------|--|--------------|---------------------------|--|-------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| U01                                | Real-time aircraft position information                          | 1            | 8                         | 100%                                   | 0.999       | 2                               | 16                    | 16                       |
| U02                                | Real-time aircraft status information                            | 10           | 8                         | 100%                                   | 0.999       | 2                               | 16                    | 1.6                      |
| D01                                | Supplemental data (obstacles and terrain)                        | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       | 2                               | 16                    | 0.16                     |
| D02                                | Supplemental data (weather)                                      | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       | 2                               | 16                    | 0.16                     |
| D03                                | Supplemental data (noise)  | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.999       | 2                               | 16                    | 0.16                     |
| D04                                | NOTAM, information on restricted airspace                        | -            | 8                         | low (< 1%)                             | 0.9999      | 3                               | 24                    | 0.24                     |
| D05                                | Vertiport information for take-off and landing support           | 10           | 8                         | 10%                                    | 0.999       | 2                               | 16                    | 0.16                     |
| D06                                | Availability of vertiports, real-time capacity                   | 600          | 80                        | 100%                                   | 0.999       | 2                               | 160                   | 0.27                     |
| D08                                | Real-time surveillance information (including ADS-B information) | 1            | 160                       | 100%                                   | 0.99        | 2                               | 320                   | 320                      |
| D10                                | Flight restrictions  | 10           | 8                         | low (< 1%)                             | 0.9999      | 3                               | 24                    | 0.024                    |
| V03                                | Communication for take-off and landing support or control (G2A)  | 0.02         | 31.2                      | 10%                                    | 0.99        | 2                               | 62.4                  | 6.24                     |
| V04                                | Communication for take-off and landing support or control (A2G)  | 0.02         | 31.2                      | 10%                                    | 0.99        | 2                               | 62.4                  | 6.24                     |
| Required uplink data rate (kbps)   |  |              |                           |  |             |                                 | 94.4                  | 23.8                     |
| Required downlink data rate (kbps) |  |              |                           |  |             |                                 | 654.4                 | 327.4                    |

이 확보되면 되는 것으로 나타났다.

이상의 분석 결과를 통해 UAM 초기 운항을 위해 필요한 통신망 성능요구도 항목은 통신망의 가용도와 기체 당 요구전송률의 조합으로 정할 수 있고, 확보 가능 가용도 값이 높아질수록 요구 전송률 값을 낮출 수 있음을 알 수 있다. 특히 극단적으로 전체 정보를 동시에 전송하고, 최대 횟수만큼 재전송 하는 경우를 가정하더라도 최대 요구 전송률이 상향링크 100 kbps 내외, 하향링크 700 kbps 내외로 크지 않아 통신 커버리지만 확보되면 초기 UAM 운항을 위한 통신 성능 확보가 가능하다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 UAM 초기 운항에 필요한 통신 성능 요구도를 분석하였다. UAM 이해관계자 사이에서 전달해야 할 정보를 식별하고, 무선 통신 구간에서 전송해야 할 정보의 크기, 전송 주기, 전송 지연, 신뢰도 등의 요구 성능을 만족하기 위한 통신망의 요구 성능 항목과 값을 정량적으로 분석하는 방법을 제시하였다. 일부 값들을 가정하여 잠정적으로 계산한 결과 요구 전

송률이 높지 않아 공중 영역에 대한 통신 가용성만 안정적으로 확보하면 초기 UAM 운항을 위한 통신 성능 확보가 가능하다는 분석 결과를 도출할 수 있었다. 향후 본 연구 결과를 확장하여 회랑에서의 UAM 기체 운항 상황을 모사한 모의실험을 통해 요구되는 전송률과 요구 대역폭 분석 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### Acknowledgments

본 연구는 산업통상자원부/한국산업기술평가관리원의 지원으로 수행중인 ‘eVTOL 비행안정성, 운용성 실증시험평가 및 충돌회피처리 기술개발’ 과제 (과제번호: 20016489)의 연구 결과이며 지원에 감사드립니다.

#### References

- [1] Fast-forwarding to a future of on-demand urban air transportation, UBER: San Francisco, CA, Oct. 2016.
- [2] Urban air mobility (UAM) concept of operations v1.0,

- Federal Aviation Administration: Washington, DC, Jun. 2020.
- [3] Urban air mobility (UAM) concept of operations v2.0, Federal Aviation Administration: Washington, DC, Apr. 2023.
- [4] AMU-LED Project: D2.2.010 High level ConOps – initial, European Union, Mar. 2021.
- [5] A Roadmap for Flight Automation in Advanced Air Mobility – Creating and Automated Airspace Management and Vehicle Guidance System, Skyroads AG: Munich Germany, Jan. 2022.
- [6] Urban air mobility concept of operations for the London environment, UK Air Mobility Consortium: Whiteley, UK, Mar. 2022.
- [7] Concept of operations for sustainable urban air mobility in Rio de Janeiro, Eve Urban Air Mobility: San Paulo, Brazil, May 2022.
- [8] UAM Team Korea: K-UAM Concept of Operations 1.0, MOLIT: Sejong, Korea, Sep. 2021.
- [9] MOLIT, UAM Team Korea, Establishment of 5 working groups including policy, aircraft and operation, and building the framework [Internet]. Available: [http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m\\_71/dtl.jsp?lcmepage=3&id=95088307](http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmepage=3&id=95088307)
- [10] A. Baltaci, E. Dinc, M. Ozger, A. Alabbasi, C. Cavdar and D. Schupke, “A survey of wireless networks for future aerial communications (FACOM),” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 23, No. 4, pp. 2833-2884, Fourthquarter 2021.
- [11] UAM Team Korea: K-UAM GC-1 structure of data sharing, MOLIT: Sejong, Korea, May, 2023.
- [12] B. A. Solomon, System analysis using automatic dependent surveillance broadcast (ABS-B) for closely spaced parallel approaches, Thesis (S.M.), Massachusetts Institute of Technology, MA, 1999.
- [13] ITU-T Rec. G.729 Annex A, Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech coder, 1996.
- [14] Ministry of Science and ICT: 2023 Coverage inspection and quality evaluation results for communication services, Dec. 2023. [Internet]. Available: <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=238&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3183897>
- [15] M. Jang, D. Kim, H.W. Kim and Y-H. Jung. “3D coverage analysis of LTE network for UTM services considering actual terrain and base station layouts,” *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 26, No. 2, pp. 91-98, 2022.
- [16] X. Lin et al., “The sky is not the limit: LTE for unmanned aerial vehicles,” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 56, No. 4, pp. 204-210, Apr. 2018.
- [17] [Internet]. Available: <https://www.yna.co.kr/view/MYH20230817022900641>



**정영호 (Young-Ho Jung)**

1998년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학사)  
 2000년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 2004년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 2004년 ~ 2007년 : 삼성종합기술원 전문연구원, 삼성전자 정보통신연구소 책임연구원  
 2007년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수  
 ※관심분야 : 무인기 통신, 이동통신, 통신 신호처리



**전향식 (Hyang Sig Jun)**

1988년 2월 : 부산대학교 전기공학과 (공학사),  
 2010년 2월 : 부산대학교 전기전자공학과(공학박사),  
 2004년 ~ 2007년 : 한국항공우주산업(주) 항공기개발센터,  
 1992년 2월 : 부산대학교 전기공학과 (공학석사)  
 1991년 ~ 1999년 : 대우중공업(주) 항공우주연구소  
 2004년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 책임연구원  
 ※관심분야 : 항공항법, 항공전자, 전기추진