

5 GHz 비면허 대역에서의 첨단공항무선통신망(AeroMACS)과 무인항공기(UAV) 간의 공존 연구

A Study on the Coexistence of Aeronautical Mobile Airport Communication Systems and Unmanned Aerial Vehicles in the 5 GHz Band

박유한*** · 이일규** · 박연규**

Yu-Han Bak*** · Il-Kyoo Lee** · Yeon-Gyu Park**

요 약

최근 코로나19 완화 조치에 따른 항공 여객 수요 증가와 더불어 공항 내 이동지역에서의 다양한 차량, 장비, 공항 종사자의 안전에 대한 잠재 위협 요인이 증가하고 있어 이에 대한 해결방안으로 첨단공항무선통신망(Aeronautical Mobile Airport Communication System, AeroMACS)을 많은 국가에서 도입하고 있다. 우리나라도 AeroMACS의 도입을 준비 중에 있으나, 같은 5.1 GHz 대역에서 사용중인 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)가 있어 상호 간의 간섭 영향이 우려된다. 따라서 본 논문에서는 AeroMACS 구축 서비스와 무인항공기 간의 상호 간섭받지 않는 최소 이격거리를 최소결합 손실 방법과 몬테카를로 방법을 이용하여 도출하였다. AeroMACS 시스템과 무인기 간의 간섭분석 결과, 최소 수신 감도에 따라 이격 거리가 결정되었으며, 수신 감도에 따라 최소 이격 거리가 6.4 km에서 25.2 km로 측정되었다. 따라서 일정한 이격거리를 기준으로 두 시스템 간의 공존 가능성을 확인하였다.

Abstract

The increasing demand for air travel and the growing threat to airport safety with regard to vehicles, equipment, and personnel, have led to the adoption of the aeronautical mobile airport communication system (AeroMACS) in many countries. However, UAVs also operate in the AeroMACS band (5.1 GHz), which raises concerns about mutual interference. In this study, we used the minimum coupling loss and Monte Carlo methods to determine the minimum separation distance that prevents mutual interference between AeroMACS and UAVs. Through analysis of the interference between AeroMACS and UAVs, the minimum separation distance was found to be in the 6.4~25.2 km range, depending on the receiver sensitivity. These results confirm the possibility of coexistence between the two systems, provided that a certain protection distance is maintained.

Key words: AeroMACS, UAV, Monte Carlo Simulation, Coexistence Analysis, Protection Distance

*한국정보통신기술협회(Telecommunications Technology Association)

**공주대학교 전기전자제어공학과(Department of Electrical, Electronics & Control Engineering, Kongju National University)

· Manuscript received April 17, 2023 ; Revised May 9, 2023 ; Accepted July 16, 2023. (ID No. 20230417-001S)

· Corresponding Author: Il-Kyoo Lee (e-mail: leeik@kongju.ac.kr)

I. 서 론

최근까지 이어지는 국경 없는 세계화 추세에 따라 국가 간 여행, 무역 등 항공기를 통한 이동 수요 증가 경향에 맞춰 항공교통량이 지속적으로 성장하고 있다. 특히 코로나19 완화 조치 이후 항공교통량이 급격히 증가하여 체계적이고 안전한 공항 운영을 위해 공항 지상에서 사용되는 다양한 응용 서비스가 요구되고 있다. 이에 따라 데이터 트래픽도 증가하여 공항 내 높은 데이터 전송률과 고품질 통신망에 대한 필요성이 대두되었다. 이러한 공항에서의 무선통신망 구축을 위해 국제연합(UN) 산하 국제전기통신연합 전파통신부문(ITU-R)의 세계전파통신회의(WRC)의 두 번의 결의안(결의안 414/03, 결의안 419/07)을 통하여 첨단공항무선통신체계인 AeroMACS (Aeronautical Mobile Airport Communication System)에 사용되는 주파수를 C-band 내의 5,091~5,150 MHz 대역을 사용하도록 규정하였다^[1]. 미국, 캐나다, 일본을 포함하여 '19년 기준 11개국 50개 공항에서 AeroMACS 인프라를 활용 중에 있다^{[2],[3]}. 우리나라도 '25년까지 AeroMACS 도입계획이 있으나, 같은 대역에서 사용 중인 임무용 무인항공기가 있어 상호 간의 간섭 영향이 우려된다.

임무용 무인항공기는 최근 다양한 분야에서 그 용도의 범위가 넓어짐에 따라 사용이 증가하고 있는데 특히, 임무용 무인항공기 중 소방재난을 위해 운용 중인 드론은 임무용을 위해 LTE를 주로 활용하나 특수지역 및 긴급상황 등을 고려하여 보조대역으로 5,091~5,150 MHz 대역 및 Wi-Fi 대역 등을 이용하고 있다. 외산 제품은 5,091~5,150 MHz 대역을 이용하지 않지만 국내 제조 제품은 동 대역을 이용 중에 있어 두 시스템 간의 주파수 공유는 불가피하다.

따라서 본 논문에서는 5.1 GHz 대역에서 국제적으로 주파수 사용이 할당된 AeroMACS 서비스와 임무용 무인항공기 간의 상호 간섭을 받지 않는 최소 이격거리를 최소결합손실(MCL: Minimum Coupling Loss) 방법과 몬테카를로(MC: Monte Carlo) 방법^[4]을 이용하였다. 최소결합손실 방법에서는 최악의 상황을 가정한 무선 환경에서 무인항공기로부터 AeroMACS를 보호하기 위한 보호 이격거리를 도출하였으며, 몬테카를로 방법을 기반으로하

는 시뮬레이션 툴(Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Tool, SAMCAT)^[4]을 활용하여 시나리오를 설정하고, 무인항공기로부터 AeroMACS 운영에 지장을 주지 않기 위한 간섭 영향을 분석하여 그 결과를 도출하고 공존 방안을 제시한다.

II. 간섭 시나리오 개요

2-1 AeroMACS 개요

AeroMACS는 기존 공용 통신의 혼선과 취약한 보안성을 고도화해 효율적이고 안전한 공항 이동 업무를 위해 적용이 확산되는 추세이다. 공항지역에서 사용자 간의 광대역 이동 통신 네트워크로 실시간의 비디오, 그래픽, 음성 및 데이터 통신을 지원하며, 비지도 감시 카메라의 사용으로 원격 유지 관리 모니터링 공항 장비, 공항 표면 움직임 감시 등은 안전 검사 규정 준수와 공항 내 광케이블의 서비스 불가 시 대체 가능한 시스템으로 공항 내 이동 지역(ramp)에서 다양한 분야로 활용 가능한 미래 통신 기술이다.

이러한 AeroMACS는 2008년 국제민간항공기구(ICAO)의 개발 기술기준이 승인되면서 2009년 미국을 시작으로 캐나다, 일본 등 많은 국가에서 활용되고 있다. 특히 AeroMACS는 무선통신 프로토콜 IEEE 802.16e를 표준으로 하는 공항 광대역 이동통신 인프라로서 고속데이터 서비스를 제공하며, 이는 공항 이동지역에서 혼잡한 공간의 상황인식 부족으로 인한 크고 작은 사고를 예방할 수 있다. 우리나라도 2022년 인천공항 시범서비스를 도입하고, 2023년 9월 준공되어 항공기 조정석 내 휴대용 태블릿에 항공기의 위치정보, 이동경로 및 알람을 표출하는 기능(Airport Moving Map Display, AMMD)과 램프버스 운행관리, 활주로 내 이물질(FOD) 탐지 시스템 등의 서비스를 제공할 예정이다.

동 시스템을 위해 운용되고 있는 주파수는 2007년 국제전기통신연합 전파통신부문(ITU-R) 세계전파통신회의(WRC-07)에서 라이선스 없이 사용할 수 있는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역 중 하나인 C-band 내 5,091~5,150 MHz 대역폭을 국제적인 항공교통통신 분야로 할당하여 사용 중에 있다.

표 1. AeroMACS의 특성

Table 1. The parameter of AeroMACS.

Item	Value
Frequency	5,091~5,150 MHz
Bandwidth	5 MHz
Power	27 dBm
Antenna height	13 m
Antenna pattern	MT-463029/NVH
Antenna gain	13.5 dBi
Antenna down tilt	-2°~+2°

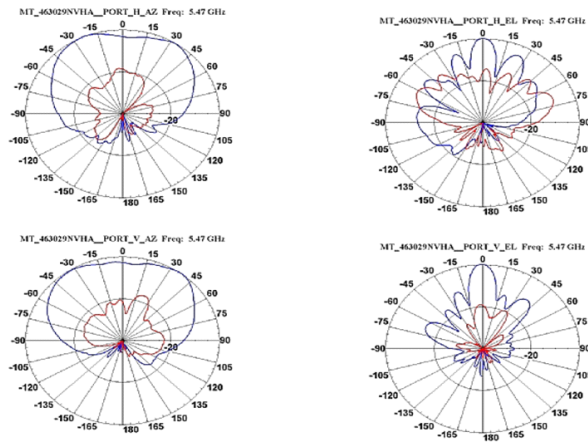


그림 1. AeroMACS BS의 안테나 패턴

Fig. 1. The antenna pattern of AeroMACS BS.

간섭분석을 위해 적용된 AeroMACS의 파라미터값은 표 1과 같으며^[5] 시범적용하고 있는 비행장의 실제 운용 사양을 고려하여 설정하였다.

이때 AeroMACS 기지국(Base Station, BS) 안테나 패턴은 그림 1과 같이 구현^[6]되며, 간섭 시뮬레이션 시 수신되는 간섭의 크기가 제일 커지는 기지국 안테나 최대 이득 방향을 고려(worst case)하여 BS 안테나 기준 방향(0°)과 무인항공기가 이루는 사이 각도가 -30°일 경우로 가정하고 진행하였다.

2-2 무인항공기(소방재난 드론) 개요

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 최근 들어 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특히 소방재난 분

표 2. 소방재난 임무용 드론의 특성

Table 2. The parameter of fire and disaster response drone.

Item	Value
Frequency	5,091~5,150 MHz
Bandwidth	5 MHz
Power	30 dBm
Antenna height	0~150 m
Antenna pattern	Isotropic antenna
Antenna gain	5 dBi

야에서는 다양한 임무에 활용될 수 있는 대체 수단으로 각광받고 있다. 이러한 소방재난 임무용 드론은 기존의 무인항공기에 비해 특화된 기능을 갖고 있으며, 소방공무원들이 직접적인 조종 없이도 빠르고 정확한 정보 수집 및 대응 작업을 수행할 수 있다. 서울소방재난본부에서 운용하는 소방재난 임무용 드론은 LTE 망을 기본적으로 사용하고 있으나, 특수 지역 및 긴급상황 등을 고려하여 보조대역으로 5,091~5,150 MHz 대역을 이용하고 있다. 특히 외산 제품은 위 대역을 이용하지 않지만, 국내 제조 제품은 동 대역을 이용하고 있다. 표 2는 국내에서 사용되고 있는 소방재난 임무용 드론에 대한 시스템 특성을 나타낸다.

2-3 간섭 시나리오

일반적으로 무선시스템 간의 안정된 서비스를 운용하고 유지하기 위해 간섭링크의 간섭원으로부터 희생링크의 희생원이 받는 간섭의 정도를 분석하는 것이 간섭분석이다. 간섭원과 희생원은 각각의 통신링크 안에 배치되어 있으며, 희생원의 서비스 반경 및 간섭원과의 거리에 따라 간섭영향을 평가한다. 일반적인 간섭분석 시나리오의 구성은 그림 2와 같다.

여기서, ILT(Interfering Link Transmitter)와 ILR(Interfering Link Receiver), VLT(Victim Link Transmitter)와 VLR (Victim Link Receiver)은 각각 간섭원과 희생원의 링크에 구성된 송신기와 수신기이다. 각 링크에는 전송신호가 있으며, 희생원인 VLR이 VLT부터 받는 신호를 dRSS(desired Received Signal Strength)라고 하며, ILT부터 받는 신호를 iRSS(interfering Received Signal Strength)라 한다.

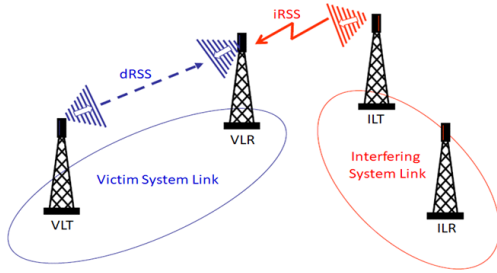


그림 2. 일반적인 간섭분석 시나리오 구성
Fig. 2. Constructing a typical interference analysis scenario.

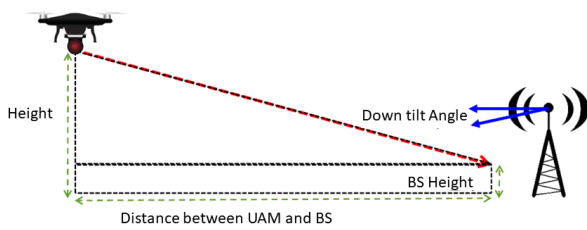


그림 3. AeroMACS-무인기 간 간섭 시뮬레이션 시나리오
Fig. 3. Simulation scenarios for interference between AeroMACS and UAVs.

그림 3과 같이 5 GHz대역 소방재난 임무용 드론은 간섭원(ILT)으로 작용하며, 동 대역의 AeroMACS는 희생원(VLR)이 되어, 본 연구의 간섭분석은 AeroMACS와 소방재난 임무용 드론의 공존을 위한 최소 이격 거리를 도출하였다. 따라서 실환경에서의 수치들을 간섭분석 시 반영하고자 한다.

2.4 전파모델에 따른 경로손실 비교

ITU의 권고 ITU-R P.525에 따른 신호전송에 있어서 자연적 환경이나 건물을 포함한 어떠한 방해요소도 없이 LOS(Line-of-Sight) 전파환경을 보장하는 자유공간 모델^[7]에서 경로손실(path loss)은 각 송신기의 수신기의 등방성 안테나로 구성된 통신링크로서, 식 (1)과 같이 오직 거리로 인해 감소되는 손실만을 계산한다.

$$Path Loss [dB] = 20 \log(d) + 20 \log(f_c) + 32.45 \quad (1)$$

단, 그림 4와 같이 AeroMACS 및 소방재난 임무용 드론의 출력 현황을 고려하여 AeroMACS가 간섭받을 가능성을 염두한 실측기반의 경로손실값을 시뮬레이션에 반

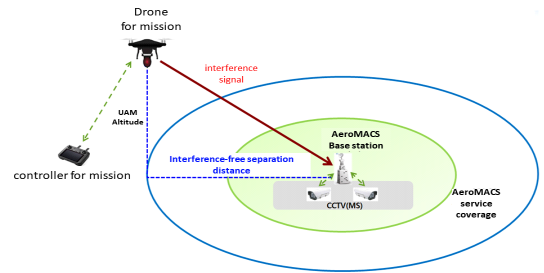


그림 4. AeroMACS와 무인기 간 간섭실측 기본 구성
Fig. 4. Basic configuration of interference measurement between AeroMACS and UAVs.

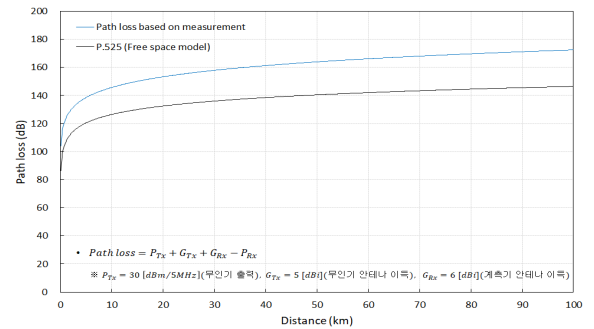


그림 5. AeroMACS와 무인기 간 경로손실 비교
Fig. 5. Comparison of path loss between AeroMACS and UAVs.

영하고자 한다. LOS가 확보된 실환경에서 거리별 채널파워를 측정하였으나, 자유공간 모델과 비교하여 안테나 높이, 주변 환경(나무, 숲) 등의 여러 요소에 의해 그림 5와 같이 자유공간 모델과의 차이를 확인하였다.

III. 분석방법

3.1 최소결합손실 방법

최소결합손실은 최악의 상황을 가정한 환경에서도 안정된 시스템을 유지하기 위해 충분한 보호 대역을 할당하거나 이격거리를 산정하는 간단한 분석이다. 또한 경로손실을 계산하면 이격거리 산출이 가능하므로 파라미터를 단순하게 설정할 수 있다. 본 논문에서는 II장에서 실측한 경로 손실에 근거한 최소결합손실 분석을 하였다. 이때, 사용된 최소결합손실 계산 방법은 식 (2)와 같다.

$$Path Loss = P_{INT} - (Sen - C/I) + G_{INT} + G_{VICT} \quad (2)$$

여기서 P_{INT} 는 간섭원에서의 최대 송신 출력, Sen 은 희생원의 최소 감도(sensitivity), C/I 는 신호 대 잡음비, G_{VICT} 는 희생원 안테나 최대 이득, G_{INT} 는 간섭원의 안테나 최대 이득을 의미한다. 이때 SESAR의 AeroMACS 시스템 요구사항 문서를 기반한 수신기 수신감도는 식 (3)을 통하여 구할 수 있다.

$$Sensitivity = -114 + SNR_{Rx} - 10 \log(R) + 10 \log \left(\frac{F_S \times N_{used} \times 10^6}{N_{FFT}} \right) + ImpLoss + NF \quad (3)$$

식 (3)의 각 파라미터값은 표 3에 정리하였으며, 파라미터값 중 SNR_{Rx} 는 표 4와 같이 AeroMAC의 Modulation 및 coding rate값에 따라 변경되는데, 최악의 상황을 가정하였기 때문에 5 dB로 설정하였다.

여기서 -114는 1 MHz 대역폭과 300 K온도를 기준으로 한 dBm의 열 잡음전력, SNR_{Rx} 는 수신기의 신호 대 잡음, R 은 반복 요소, F_S 는 샘플링 주파수(Hz), N_{FFT} 는 FFT 크기, N_{used} 는 사용된 부반송파의 수(FFT 크기에서 가드밴드 부반송파 수와 DC 캐리어값을 뺀 수치), $ImpLoss$ 는 채널 추정 오류, 양자화 오류 및 위상 잡등 등 비이상적 수신기 손실을 포함하는 구현 손실, NF 는 수신기 잡음 지표를 의미한다.

3.2 몬테카를로 방법

몬테카를로 방법은 다양한 무선 시스템의 관점에서 간

표 3. AeroMACS 수신감도의 특성

Table 3. The parameter of AeroMACS sensitivity.

Item	Value
F_S	5.6×10^{-6}
N_{used}	420
N_{FFT}	512
ImpLoss	5
NF	8 dB
R (repetition factor)	2
SNR_{Rx}	5 dB

표 4. AeroMACS 수신기의 SNR

Table 4. SNR of AeroMACS receiver.

Modulation	Coding rate	Receiver SNR(dB)
QPSK	1/2	5
QPSK	3/4	8
16-QAM	1/2	10.5
16-QAM	3/4	14
64-QAM	1/2	16
64-QAM	2/3	18
64-QAM	3/4	20

섭의 정도를 확률로 도출할 수 있는 수치학적으로 정확하고 통계학적으로도 유용한 접근 방법이다. SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool)은 이러한 몬테카를로 방법을 기반으로 만들어져 간섭 분석을 위한 최적화된 프로그램이다. 다양한 무선 시스템 및 환경에서 잠재적인 전파간섭과 그 원인을 SEAMCAT을 이용하여 분석할 수 있으며 CEPT(Conference of European Postal and Telecommunications Administrations)와 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)에 의해 개발 및 관리된다^[8].

이때, 간섭의 정도는 iRSS와 dRSS 혹은 iRSS와 잡음의 비로도 분석되지만 본 논문에서는 그림 6과 같이 희생원의 수신기를 대상으로 간섭영향을 평가하는 요소 중 간섭신호를 얼마나 허용할 것인지를 제한하는 간섭허용치의 마진값을 설정하는 간섭보호기준을 적용한다. AeroMACS의 수신기가 간섭신호를 감지할 때 그 간섭신호의 세기가 간섭보호기준치 이하로 수신된다면 수용할 수 있는 간섭신호세기로 인지된다. 따라서 간섭보호기준치에 따

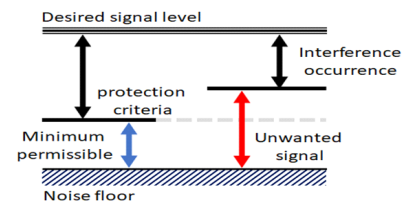


그림 6. 간섭보호기준에 따른 허용할 수 있는 간섭신호 세기

Fig. 6. Allowable interference signal strength according to interference protection criteria.

라 평가의 결과값이 달라진다.

본 논문의 간섭분석 시나리오에서는 SESAR 문서^[9], SNR, I/N(Interference-to-Noise Ratio)을 고려하여 반영한다.

IV. 간섭 분석 결과

4.1 인접대역에서 운용되는 경우

AeroMACS에서 운용하고 있는 5,091~5,150 MHz를 기준으로 인접대역에서 소방재난 임무용 드론을 운용하는 것으로 가정하였으며, ICAO 정보문서에 따라 인접 대역(5 MHz offset)에서 간섭 허용 레벨은 -35 dBm으로 AeroMACS 대역폭으로 인가되는 전력이 아닌 인접 채널의 무인기 대역폭 내의 전력을 의미한다. AeroMACS BS 안테나 기준 방향(0°)과 드론이 이루는 사이 각도(top-view)가 -30°(worst case)인 경우의 SEAMCAT을 통한 간섭영향 시뮬레이션 결과는 그림 7과 같이 0~1,000 m의 지상 거리에서 모두 간섭 허용 레벨을 모두 만족함을 확인하였다.

4.2 동일대역에서 운용되는 경우

최악의 무선통신 환경을 고려하기 위해 동일대역에서 두 시스템을 운용하였을 때 최소결합손실 방법과 몬테카를로 방법을 통한 간섭분석 결과는 다음과 같다.

최소결합손실 방법 수행에서 다양한 간섭에 대한 경우의 수를 분석하기 위하여 III장을 통하여 확인된 수신감도는 -92.37 dBm으로 계산되며, 수신기 SNR은 잡음 레

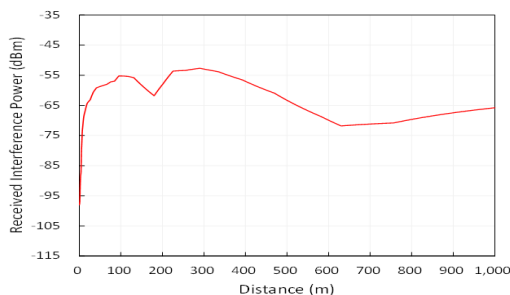


그림 7. 인접대역 운용 시 간섭분석 결과

Fig. 7. Interference analysis result when operating adjacent band.

표 5. MCL을 통한 동일 대역의 보호 이격 거리

Table 5. The protection separation distances in MCL.

Additional options to interference	Path loss	Received interference power	Separation distances
Sensitivity	140.87 dB	-92.37 dBm	6.4 km
SNR=5 dB	145.87 dB	-97.37 dBm	10.2 km
I/N=-6 dB	151.87 dB	-103.37 dBm	17.6 km
I/N=-10 dB	155.87 dB	-107.37 dBm	25.2 km

벨 대비 신호세기로 AeroMACS 수신 감도의 worst case인 QPSK modulation, 1/2 coding rate에서 5 dB로 설정하고, ITU에서 일반적인 통신시스템 간섭분석 시 간섭신호가 잡음신호보다 각 6 dB, 10 dB 낮은 값을 의미하는 I/N=-6 dB와 I/N=-10 dB 기준을 활용하여 추가적인 간섭환경에서의 경로 손실을 고려한 수신감도에 따른 이격거리에 대한 간섭분석 결과는 표 5와 같다.

SEAMCAT을 통한 몬테카를로 방식의 간섭분석 결과, 역시 수신감도 -92.37 dBm을 기준으로, 수신기 SNR, I/N을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 분석 결과, 그림 7과 같이 분석되었으며, AeroMACS와 소방재난 임무용 드론을 동대역의 중심주파수 5,100 MHz에서 운용할 경우 허용간섭 I/N이 -10 dB에서 최소 25.2 km 이상 보호 이격 거리가 요구되어짐을 확인하였다.

V. 결 론

AeroMACS는 공항 내 이동지역(ramp)에서의 차량, 장비, 공항 종사자, 항공기 간 안전 등 다양한 잠재 위협 요인을 해결하고자 이미 많은 국가에서 사용 중에 있으며, 고품질의 고속 통신, 시스템 호환성 그리고 시스템 보안이 우수하여 공항 운영의 성능을 개선할 수 있고, 기상 악화나 상황인식 부재에 따른 안전 위협을 극복할 수 있는 적절한 방안이 되고 있다. 우리나라도 AeroMACS를 인천공항 등 국내 도입을 위한 시범서비스를 도입하고 인접 혹은 동일 주파수를 사용하고 있는 무선통신 시스템이 있다면 전파간섭이 발생할 수 있다. 이에 본 논문에서는 AeroMACS와 같은 대역에서 운용 중인 무인항공기와 인접/동일 대역에서의 간섭 분석을 수행하였다. 최소결합

손실과 몬테 카를로 방법 기반의 SEAMCAT 시뮬레이션을 이용하여 AeroMACS 기지국 안테나 이득이 최대인 방향에 무인기가 존재하는 worst case 상황에서의 간섭 분석 결과, 인접 대역에서 0~1,000 m 내에는 간섭 허용 레벨 -35 dBm을 모두 만족하여 인접 대역에서의 사용 시에는 간섭이 없음을 확인하였다. 동일 대역에서는 최소 수신 감도 -92.37 dBm에서 이격거리는 6.4 km이며, 추가적인 허용 간섭 10 dB까지 고려하였을 때 수신 감도 -107.37 dBm에서 최소 25.2 km 이상이 보호 이격 거리로 요구되어짐에 따라 25.2 km 이격 시 간섭 가능성이 없을 것으로 분석되었다. 더불어 worst case는 AeroMACS 지향성 안테나가 무인항공기 신호를 정면으로 수신하는 경우로, 무인항공기의 이동성을 고려하면 확률적 간섭 발생 가능성은 극히 미미할 것으로 예상된다. 이와 같은 간섭 분석 결과를 통해 일정 이격거리 기준 마련 시 AeroMACS와 무인항공기 간의 공존 가능성을 확인하였다.

References

- [1] *Considerations for Use of the Band 5,091 ~5,150 MHz by the Aeronautical Applications*, WRC-07 Resolution 419, Nov. 2012.
- [2] K. Y. Sohn, Y. O. Park, "Technology trends on AeroMACS system," *2012 Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 27, no. 2, pp. 11-20, Apr. 2012.
- [3] I. K. Lim, J. Y. Kang, "Utilization of AeroMACS infrastructure for airports and airlines," *Journal of Advanced Navigation Technology*, vol. 23, no. 5, pp. 373-379, Oct. 2019.
- [4] European Communications Office, "SEAMCAT[®](Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool)," 2010. Available: <http://www.ero.dk/seamcat>
- [5] N. Yonemoto, N. Kanada, A. Kohmura, S. Futatsumori, K. Morioka, and Y. Sumiya, "Interference evaluation from adjacent channel in 5 GHz band," 2014. Available: https://www.icao.int/safety/acp/ACPWGF/ACP-WG-F-31/ACP-WGF31-WP19%20EMC_5GHz.doc
- [6] Wireless Edge Ltd, "Base station antennas," 2020. Available: <https://www.mtiwe.com/?CategoryID=228&ArticleID=470>
- [7] *Calculation of Free-Space Attenuation*, Recommendation ITU-R P.525-4, Aug. 2019.
- [8] *Monte Carlo Simulation Methodology for the Use in Sharing and Compatibility Studies between Different Radio Services or Systems*, SM.2028-2, Jun. 2017.
- [9] SESAR Joint Undertaking, "AeroMACS system requirements document." Available: https://www.icao.int/safety/acp/acpwgf/acp%20s%20test/aeromacs_system_requirements_document_v1.0.pdf

박 유 한 [한국정보통신기술협회/책임연구원]

<https://orcid.org/0009-0004-5383-986X>



2013년 8월: 인하대학교 정보통신공학부 (공학사)

2016년 2월: 인하대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2016년~현재: 한국정보통신기술협회 책임연구원

2019년 3월~현재: 공주대학교 전기전자 제어공학과 박사과정

[주 관심분야] 전파간섭, 이동통신 시스템

이 일 규 [공주대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-7287-6250>



1992년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

1997년~2004년: 한국전자통신연구원 (ETRI) 선임연구원

2012년~2013년: 미국 조지아텍 교환교수

2004년 3월~현재: 공주대학교 전기전자제어공학부 교수

[주 관심분야] RF 시스템, 스펙트럼 공학, 이동통신 시스템

박 연 규 [공주대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0003-2592-6152>



2016년 2월: 공주대학교 전기전자제어공학부 (공학사)

2018년 2월: 공주대학교 전기전자제어공학과 (공학석사)

2017년 5월~2020년 12월: 한국전자통신연구원 위촉연구원

2018년 3월~현재: 공주대학교 전기전자

제어공학과 박사과정

[주 관심분야] 전파간섭, 이동통신