UAS C2 및 데이터링크 지원을 위한 미래 전파 기술

강 영 흥

군산대학교 전자정보공학부

Ⅰ. 서 론

UAS(Unmanned Aircraft System) 또는 드론은 초기에 군사목적으로 운영되어 왔으나, 오늘날 실생활에 그 응용이 크게 증가하고 있으며, 관련 산업은 UAS 혁신기술로부터 파생되는 이익이 발생함에 따라 수십억 달러의 비즈니스로 빠르게 성장하고 있다. UAS 응용의 활용 분야는 아주 넓고 구체화되고 있으며, 특히 눈사태 또는 홍수와 같은 자연재해에서 실종자의 위치파악, 고속도로 및 교량, 풍력발전 또는 전력망과 같은 기반시설 감시뿐만 아니라, 화재 또는 방사능 노출지역에서의 위험한 작업 등으로 그 범위를 넓혀가고 있다^{[1],[2]}.

UAS는 많은 서브시스템(subsystem)으로 구성되어 있으며, 이러한 서브시스템들은 일반적으로 항공전자, 추진체, 통신 및 데이터링크 시스템, 복구(recovery) 및 페이로드(payload)로 구분된다. 각 서브시스템은 성공적인 UAS 운용에 매우 중요하며, 무인기 설계 구조에 적합하도록 특수하게 설계되어야 한다. 특히 UAS 통신 및 데이터링크는 리모트 제어와데이터 획득에 의해 무인비행기능을 제공하는 서브시스템중의 하나이며, 리모트 제어와데이터 획득능력은 설계절차에 있어 특정 기준을 요구하고 있다^[3].

또한, 상용(즉, 화물 운송)뿐만 아니라, 국가 안전 및 방위, 긴급 재난 재해 대처, 과학 등을 위한 중요한 미션을 수행하기 위해 무인기를 공역(airspace)으로 비행할 필요성이증가하고 있다. 이러한 공역통합에서 해결해야 할 중요한문제 중의 하나가 지상에서 무인기에 접속하는 C2(command and control) 링크(ITU 용어는 CNPC: Control and Non-Payload Communications 링크)를 확보하는 것이다. C2 링크는 명령및 제어, SAA(Sense And Avoid), ATC(Air Traffic Control) 중계, 비디오 및 기상 레이다와 같은 안전의 중요한 기능을 지원한다. 이에 ICAO(International Civil Aviation Organization)에서는 C2 링크가 ITU 지정 AM(R)S(Aeronautical Mobile (Route)

Service) 및 AMS(R)S(Aeronautical Mobile Satellite (Route) Service) 하에서 보호된 항공 스펙트럼에서 운용되어야 한다고 결정했다. AM(R)S 스펙트럼은 LOS(Line-of-Sight) 지상 기반의 C2 링크를 지원하는 반면, AMS(R)S 스펙트럼은 BLOS (Beyond LOS) 위성기반의 C2 링크를 지원하게 된다^{[4],[5]}.

UAS의 안전한 운용을 지원하기 위해서 WRC-12에서는 LOS UAS C2 링크용으로 국제 표준 항공시스템에 한정하여 AM(R)S에 C-대역(5,030~5,091 MHz)을 할당하였으며, 이후 기존의 AMS(R)S C-대역 할당은 BLOS C2 링크용으로 유사 하게 수정되었다. FAA는 이 스펙트럼 자원을 사용하는 안 전 및 운용기준을 마련하기 위해 BLOS 환경에서 UAS를 리 모트 조정할 수 있도록 파일럿(pilot)과 UAS간에 C2 연결 을 가능할 수 있는 방안을 요구하여, 2015년 AMA(Aviation Management Associate)에서는 국가전역의 UAS에 C2 통신을 전송할 PTP(Point-to-Point) 및 Network BLOS 운영방법론 을 제안하였다^[6]. 2017년 5월 QTI(Qualcomm Technologies, INC)는 LTE 망을 이용한 저고도 드론(지상 120 m 이하)에 의 접속을 제공하기 위해 지상기반의 셀룰러망의 응용과 성능 시험에 대한 보고서를 발표하였다. PCS, AWS(Advanced Wireless Service), 700 MHz 대역에서 수백회의 비행시험동 안 비행 플랫폼의 안전 및 로그데이터(logged data)의 정확 성 검증, 최종분석을 위한 데이터 수집 등을 통한 분석이 이루어졌다^[7].

한편, UAS 데이터링크 및 통신시스템은 UA(Unmanned Aircraft) 및 페이로드의 C2를 지원, 네트워크 중심 인프라의 유지관리(maintenance), 다른 UA에 신호를 중계 및 페이로드로부터 수집된 지능형 데이터(레이다 목표물, 합성 비디오, 레이저 조준 등)를 전송하는 아주 중요한 미션업무를 가지고 있다. 이러한 이유에서 데이터링크 및 통신의 지속적인 유지관리는 UAS에서 매우 중요하며, UAS의 광범위한 응용을 실현하기 위해서는 지형적 장애물, 수신 전력의 미약, 재 밍(jamming)과 같은 원인에 의한 통신의 손실을 최소화해

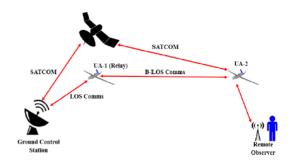
야 한다. 또한, 링크의 유지관리를 위해서는 고속 데이터 레이트(rate) 및 가용 대역폭 기준이 UAS 운용에 중요하다^[3].

최근 LTE 망을 이용한 UAS 활용분야를 넓혀 향후 5G 이 동망을 UAS에 활용하려는 연구개발이 진행되고 있는 시점 에서, UAS C2 및 데이터링크에 대한 국내외 주파수 정책과 개발 중인 관련 표준, 안전한 UAS 운용기준 등에 대한 분 석이 필요하다. 또한, 서비스 지역이 넓고, 고속 대용량의 데이터 전송이 가능한 LTE 이동망을 드론에 탑재하여 화상 데이터 전송 등에 이용하려는 니즈에 따라 해외에서는 이동 통신망을 드론 상공에서의 전파환경 조사 및 서비스 통신품 질 확보를 위해 시험적인 법제도 도입과 실험을 수행하여 Network BLOS C2 및 데이터링크 운용 가능성을 연구개발 하고 있다. 이에 본고에서는 UAS C2 및 데이터링크를 위한 국내외 주파수 정책 현황과 향후 UAS를 국가 공역으로 통 합하여 안전한 비행을 위한 C2 및 데이터링크 관련 표준화, LOS 및 BLOS 운용을 지원하기 위한 네트워크와 LTE UAS 개발현황 등을 통해 UAS C2 및 데이터링크 확보를 위한 미 래 전파 기술을 제시하고자 한다.

Ⅱ. UAS 운용

데이터링크 및 통신시스템 관련 UAS의 주요 부분은 GCS(Ground Control Station), UA 임베디드 ADT(Air Data Terminal) 및 안테나 등이다. 추가로 SATCOM을 이용한 위성시스템이 BLOS 임무를 수행하기 위해 구축되어 있다. LOS 및 BLOS 운용은 통신 및 데이터링크 시스템에 관련된 현재 UA의 CONOPS(Concept od Operations)이다. LOS 통신의 경우, UA 및 GCS의 안테나는 모두 LOS 범위에 있어야 하지만, BLOS 운용에서는 중계 UA 또는 SATCOM에 의해 통신이 수행되며, 여기서 UA는 [그림 1]과 같이 장거리에서 사용될 수 있다. LOS 운용에서는 모든 종류의 비행체들이 전개될 수 있지만, BLOS 운용에서는 고고도 및 장시간 항속시간 비행체인 MALE(Medium Altitude Long Endurance) 및 HALE(High Altitude Long Endurance)만이 가능하다.

UAS는 BLOS 운용에서 통신 및 데이터링크 신호를 먼거리의 비행체에 중계할 수 있어야 하며, 또는 위성과의 통신을 수행할 수 있는 능력을 가져야 한다. UA 뿐만 아니라, GCS는 장거리의 SATCOM BLOS 운용을 수행하는데 위성



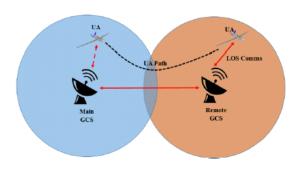
[그림 1] LOS 및 BLOS 운용의 통신 토폴로지^[3]

과의 접속능력을 가져야 한다. 이와는 달리 LOS 운용은 단거리에서 수행되지만, [그림 2]와 같이 LOS 운용에서도 핸드오버(handover) 기법을 사용하여 그 운용범위를 넓히는 방법도 있다. 이 방법에서 UA가 LOS 통신으로 장거리에서 운용될 수 있도록 LOS 범위 내에서 UA 제어를 담당하는 추가적인 GCS를 구축해야 한다.

UAS는 기술적 법적 이슈들을 만족하기 위해서는 여러 가지 무선채널들을 가져야 한다. 기술적 요구조건으로서 명령제어 및 텔레메트리(telemetry) 데이터링크는 안전한 비행을제공하기 위해 아주 중요한 기준이다. 그러므로 이 채널은백업 기능이 있어야 한다. 법적 이슈로서 ICAO에서 규정한표준을 만족하면서 안전한 비행을 수행하기 위한 ATC 무선채널 규정을 강제적으로 따라야 한다. 그 결과 UAS 통신및 데이터링크 시스템은 〈표 1〉에 주어진 링크들을 제공할수 있어야 한다.

Ⅲ. 표준화 동향

UAS는 효율성 증대, 비용 절감, 안전 강화, 생명 구조 등



[그림 2] 핸드오버 방법[3]

⟨₩	1>	LIAS	토시/대	이터리	그 및	가는	주파수	대역 ^[3]

Link	Stations	Comms. direction	Data	Data rate requirement	Frequency band
Flight control	GCS-autopilot	Upink	C2	Low band < 30 kbs	HF, VHF/UHF
Task-payload control	GCS-payload	Uplink	C2	Low band < 30 kbs	HF, VHF/UHF
Flight status	Autopilot-GCS	Downlink	Telemetry	High band < 1 Mbps	HF, VHF/UHF
Task-payload data	Payload-GCS	Downlink	Telemetry/video data	Broad band > 1 Mbps	L, S, C, X, Ku, K, Ka
UA flight process	UA-ATC	Downlink	Telemetry	High band < 1 Mbps	HF, VHF/UHF
Reporting	UA-Traffic	Duplex	Telemetry	High band < 1 Mbps	HF, VHF/UHF
Traffic coordination	GCS-ATC	Duplex	Text/Voice	Low band < 30 kbs	HF, VHF/UHF
Mission task coordination	GCS-Command post	Duplex	Text/Voice/video data	Low band < 30 kbs Broad band > 1 Mbps	HF, VHF/UHF L, S, C, X, Ku, K, Ka

에 힘입어 그 응용범위가 시민, 공공, 상용, 정부로 확산되고 있으며, 그 광범위한 응용 및 서비스를 위해 이러한 플랫폼들을 국가 공역내로 통합운용을 추구해 나가고 있다. 국가 공역내에서 안전한 연속운용을 위해서는 강력한 DAA(Detect And Avoid)와 보안성의 C2 데이터링크가 확보되어야 한다. 이러한 목표를 달성하기 위해서 UAS IO(Integration Office)와 주요 UAS 업체들은 IFR(Instrument Flight Rule) 비행규칙하의 Class A 공역에서 운용할 수 있도록 상용 UAS에 장착되는 DAA 장비의 표준관련 MOPS(Minimum Operational Performance Standards)를 개발하기 위해 UAS 공동체(community)와 공동으로 작업하고 있다. 1단계(Phase 1) MOPS 운용환경은 UAS를 Class D, E, G를 가로질러 Class A 또는 특정 이용 공역에서의 운용이며, 단계 2(Phase 2)에서의 운용환경은 UAS 운용을 Class D, E, G 공역으로 확장해 나가는 것이다.

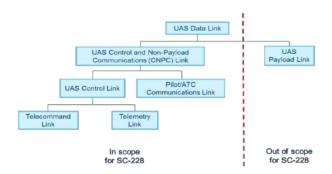
더구나 UAS IO는 C2 데이터링크 표준화에 대한 MOPS 를 개발하기 위해 UAS 공동체와 긴밀히 협조하고 있으며, 단계 1에서 L 대역 및 C 대역 지상 데이터링크를 사용한 C2 데이터링크 표준을 제공하였다. 단계 2의 MOPS 개발은 UAS를 지원하기 위한 C2 데이터링크로서 다수의 대역에서 SATCOM 위성을 이용하는 표준을 제공하게 될 것이다. 즉, 저전력 지상 C2 시스템뿐만 아니라, 지상 및 위성시스템 모두에 네트워킹(networking) 상호호환성을 추구해 나갈 것이다. 〈표 2〉에 단계 1의 MOPS 개발을 정리하였다.

3-1 C2 및 데이터링크 표준화

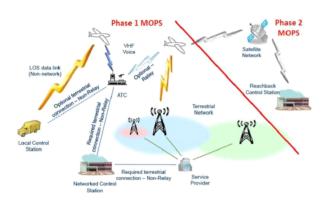
무인항공기의 국가 공역 내 통합 운용을 위한 조정 및 통제(C2)용 데이터 링크 표준화에 대한 요구가 증대되었고, 2013년 5월 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics) 산하에 특별위원회-228(Special-Committee 228, SC-228)이 구성되어 표준화 작업이 시작되었다. 무인항공기 조정 및 통제용 데이터링크는 CNPC(Control and Non-Payload Communication)로 명명되었으며, [그림 3]과 같이 업무용 통신에 해당하는 부분은 표준화하지 않기로 하였다. 표준화 작업은 [그림 4]와 같이 두 단계로 나누어 진행하기로 계획되었으며, 1단계(Phase 1)에서는 지상 제어용 데이터링크에 대한 표준

〈표 2〉 단계 1 MOPS 개발^[8]

Product	Description	Due date	Change
DAA MOPS	This deliverable is the final phase one DAA MOPS based on the results of the V & V activities	October 2016	July 2016
Air-to-air rada MOPS	MOPS for an air-to-air radar to support phase one DAA MOPS	October 2016	
C2 data link MOPS (Terrestrial)	Thus deliverable is the final phase one C2 data link MOPS based on the results of the V & V activities	July 2016	



[그림 3] RTCA SC-228의 CNPC 표준화 범위^[9]



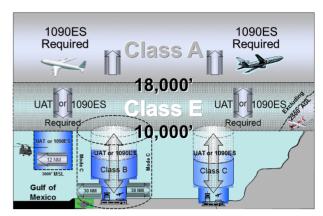
[그림 4] RTCA SC-228의 CNPC 표준화 단계^[9]

화작업을 진행하고, 2단계(Phase 2)에서는 위성기잔 제어를 위한 데이터링크에 대한 표준화를 진행하기로 결정되었다^[9].

3-2 공역에서 ADS-B 기준

[그림 5]에 나타낸 바와 같이, 다음의 공역에서 ADS-B Out 시스템이 필요하다^[10].

- Class A, B, and C 공역
- 2,500 ft AGL(Avove Ground Level) 이하의 공역을 제외한 10,000 ft MSL(Mean Sea Level) Class E 공역
- 지상에서 10,000 feet MSL까지 혼잡 공항에서 30 nm (nautical mile) 이내의 공역
- 10,000 feet MSL까지의 Class B 또는 Class C 공역
- 미국 해안 12 nm 이내의 멕시코 결프만지역의 Class
 E 공역



[그림 5] ADS-B 시스템 요구 공역

2020년 1월 1일부터 트랜스폰더(transponder) 사용을 요구하는 모든 공역은 Version 2 ADS-B Out 시스템^[11]이 장착된 비행기를 요구한다. 이는 1,092 ES(DO-260 B) ADS-B 시스템이거나, UAT(DO-282 B) ADS-B 시스템일 수 있다. FL 180(18,000 ft) 이상에서 운영하는 비행기 또는 미국 이외의 ADS-B 강제규정을 따르기 위해서는 Mode-S 트랜스폰더 기반 ADS-B 송신기를 장착해야 한다. FL 180 이하에서 운영하는 비행기 및 미국 내의 ADS-B 규정 공역 내에서는 Mode-S 트랜스폰더 기반 ADS-B 송신기나 UAT(Universal Access Transceiver) 장비를 장착해야 한다.

3-3 표준화 및 상호호환성

상용 및 군용 UAS 운용 능력을 개발하기 위해서는 여러가지 기술적 이슈들이 제기되고 해결되어야 한다. UAS 사이트는 항공 트래픽 관리, 통신, 네비게이션 및 감시 등의운영에 있어 유인기(manned aircraft)와 동일한 규정 레벨을 갖추어야 한다. 이를 위해 다음의 대표적인 표준 및 상호호환성 규정들이 〈표 3〉과 같이 NATO에서 개발되었다^[12].

Ⅳ. UAS 주파수

4-1 C2 소요 대역폭

WRC-12를 위한 새로운 의제로 WRC-07에서 RES 421이 만들어졌으며, 이 의제는 UAS의 C2를 지원하기 위한 소요 대역폭에 대한 연구였다. 그 결과, ITU-R에서는 지상 LOS와

〈표 3〉 NATO 표준^[12]

표준명	내용
STANAG 3680	명칭 및 정의
STANAG 4586	UAS 제어시스템(데이터 전송, 명령, 제어 및 인터페이스 운영자 시스템), 5레벨의 상호호환성(센서로부터 수신된 데이터의 포착 및 전송을 비롯하여 무인기의 이착륙을 포함한 비행체의 제어 및 모니터링)
STANAG 4626	모듈러 항공 아키텍처
STANAG 4660	UAS C2 데이터 링크
STANAG 4670	UAV 운영자 교육
STANAG 4671	14 CFR Part 23 및 EASA CS-23 문서 이외의 UAF 고정익(fixed wing)에 대한 감항(airworthiness) 관련 최소 표준

위성 BLOS에서의 UAS C2에 필요한 최대 스펙트럼 소요량을 평가하였으며, 2030년까지의 무인기 밀도를 가정하여 계산되었다. 이에 C2용 최대 소요 대역폭은 〈표 4〉와 같다^[13].

4-2 ITU-R 분배

ITU-R에서는 지상 LOS C2 링크를 위해 960~1,164 MHz 대역에 AM(R)S 분배와 위성 BLOS C2 링크를 위해 5,030~5,091 MHz 대역에 AMS(R)S 분배에 대한 연구가 수행되었다^[14].

4-2-1 960~1,164 MHz 지상 LOS 링크

지상 C2 링크를 위한 34 MHz 스펙트럼 요구를 완전히 만족하지 못하며, 일부 국가는 이 대역의 일부를 UAS 지상 소요 대역폭으로 사용이 가능하고, 일부 국가는 이 대역의 10.4 MHz 대역폭이 백업 링크, 항공 기상 레이다 데이터의 비디오 및 다운링크를 제외한 모든 C2 소요량을 충분히 만족하

〈표 4〉 UAS CNPC용 소요 대역폭

통신	총 대역폭	링크
지상 LOS	34 MHz	- UACS to UA: 4.6 MHz - UA to UACS: 29.4 MHz
위성	46 MHz	- UA to SAT: 18.9 MHz - UACS to SAT: 4.1 MHz - SAT to UA: 4.1 MHz - SAT to UACS: 18.9 MHz
BLOS	56 MHz for a regional-beam satellite BLOS	- UA to SAT: 24.05 MHz - UACS to SAT: 4.1 MHz - SAT to UA: 4.1 MHz - SAT to UACS: 24.05 MHz

고 있다. 이와 같이 L-대역(960~1,164 MHz)에서 LOS C2 스 펙트럼이 충분하지 않아 C-대역(5,030~5,091 MHz)에서 새로운 AM(R)S 분배가 WRC-12에서 이루어지게 되었다.

4-2-2 5,030~5,091 MHz 위성 BLOS 링크

MLS(Microwave Landing System)에 대한 보호기준을 만족하고, UAS 위성링크를 위한 56 MHz 소요 대역폭이 수용 가능하다.

4-2-3 BLOS C2 링크

WRC-12에서 LOS C2 스펙트럼 요구를 충족시키고 있지만, BLOS 스펙트럼은 아직도 불충분하다. 왜냐하면 5,030~5,091 MHz 대역의 일부가 지상 LOS C2 링크용으로 사용되어, 나머지 위성 BLOS C2 링크에 필요한 56 MHz 대역폭수용을 충당하기 어렵기 때문이다. 더구나 이 대역에서 C2 서비스 제공 가능한 위성 운용이 없으며, 현재 계획된 위성도 전무하다. 따라서 BLOS C2는 현재 조건에서 보호된 항공용 스펙트럼에서 제공받을 수 없다. 위성 BLOS C2 링크를 조속히 개발하기 위해 FSS 내의 기존 위성을 사용하는 것이 WRC-15에서 허용되어 그 결정은 WRC-23에서 이루어지리라 기대되고 있다.

4-3 미국

RTCA Special Committee 203은 UAS를 국가 공역통합을 지원하기 위해 2004년 10월에 설립되었다. 미국에서는 향후 L-대역 C2 이용을 위한 최상의 서브대역(sub-band)으로 비교적 적은 지상기반의 주파수 할당의 960~977 MHz를 고려하고 있다. 980~1,020 MHz 서브대역은 밀집되지 않은 지

역에서 저고도 무인기에 추가적인 주파수 할당을 제공할 수 있다. 미국, 캐나다, 멕시코를 제외한 대다수 국가들은 셀룰러 기지국으로부터의 간섭 가능성으로 960~964 MHz 대역을 C2용으로 사용하는 것이 어렵지만, 향후 L-대역 ATC 무선시스템은 960~977 MHz 서브대역의 주파수 확보를 고려하고 있다.

4-4 국내

미래창조과학부는 올해 IoT, 드론, 자율주행차 등 향후 성장 잠재력이 큰 3가지 무선통신 기반 유망 신산업 활성화를 위해 관련 주파수 6,850 MHz 폭을 확대 공급한다고 발표하였다. 이 중 드론에는 2,670 MHz 폭의 주파수를 신규·추가로 위성을 활용한 드론 제어용으로 2,520 MHz 폭을 신규 공급하며, 영상전송(환경·화제감시용) 등 각종 드론 임무용을 위해 159 MHz 폭(소형 드론 100 MHz 폭, 중대형 드론 59 MHz)을 추가로 제공하였다. 〈표 5〉에 국내 UAS용 주파수 할당을 보인다[15].

V. PBLOS vs NBLOS

UAS의 안전한 운용을 지원하기 위해서 WRC-12에서는 LOS UAS C2 링크용으로 국제 표준 항공시스템에 한정하역 AM(R)S(Aeronautical Mobile (Route) Service)에 C-대역(5,030~5,091 MHz)을 할당하였다. AMS(R)S에 기존의 C-대역 할당은 BLOS C2 링크용으로 유사하게 수정되었다. FAA는 이 스펙트럼 자원을 사용하는 안전 및 운용기준을 마련

하기 위해 BLOS 환경에서 UAS를 리모트 조정할 수 있도록 파일럿(pilot)과 UAS 간에 C2 연결을 가능할 수 있는 방안을 요구하여 2015년 AMA(Aviation Management Associate)에서는 국가 전역의 UAS에 C2 통신을 전송할 다음의 PTP (Point-to-Point) 및 Network 방법론을 제안하였다^[16].

- PBLOS(PTP BLOS): 통신망 및 중계 시스템을 이용하여 UAS 사업자에 의해 제공됨. 이 방법은 UAS 비행하는 동안 UAS 스펙트럼의 단일채널에 의해 전체비행을 담당함.
- NBLOS(Network BLOS): 공동사용 통신망을 포함한 이 용권한의 캐리어에 의해 제공됨. 이 방법은 UAS 비행 하는 동안 UAS C2 스펙트럼의 다수의 채널에 의해 전체비행을 담당함.

5-1 PBLOS

UAS C2를 지원하기 위한 인프라 기준은 PTP와 Network 에 따라 다르지만, 모두 BLOS 환경의 무선통신을 위한 고정 또는 이동의 시스템을 요구하고 있다. UAS C2용으로 PTP 사용에서 제어국 단거리 5 GHz 전송은 계획된 UAS 비행루트를 통해 근접한 수신기에 의해 수신되거나, 다른 중계 사이트를 통해 재전송된다. 가장 간단한 시나리오에서 중계기는 UAS 비행체에 의해 선택된 C-대역 채널을 사용하여 UAS 비행체와 다른 중계기에 TDD(Time Division Duplexing) 방식으로 동시에 방송한다. 이 시스템은 전이중방식(full duplex system)을 사용하여 비행체에 비행 제어

〈표 5〉 UAS 주파수^[15]

구분	분배 현황	추가 공급	최대 출력	합계
	2,400~2,483.5 MHz	-	10 mW/MHz	
제어용	5,030~5,091 MHz	-	10 W	
^11 10	_	11/12/14/19/29 GHz	52 W	
	_	(2,520 MHz 폭)	32 11	
	-	5,091~5,150 MHz	1 W	총 2,923.5 MHz 폭
임무용		5,650~5,725 MHz	10 mW/MHz	
월구중	5,725~5,825 MHz		10 mW/MHz	
		5,825~5,850 MHz	10 mW/MHz	
계	244.5 MHz 폭	2,697 MHz 폭		

명령을 전송하는 동시에 비행체 운영자에 기체상태 모니터 링 및 상황인식정보를 전송한다. 상황인식정보는 비행체의 위치 및 고도, 비행방향, 주변 환경 등을 포함하며, 그 구조는 카메라 같은 페이로드 센서들과는 다르다. 다른 주파수를 사용하는 무선통신장비 및 중계기들은 이미 저렴한 가격에 고정 또는 이동형태로 장착되고 있는 반면, 5 GHz 장비시장은 아직 가격과 성능 면에서 불확실한 상태이다.

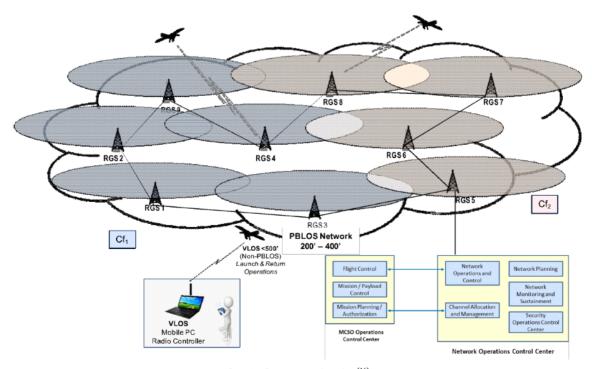
[그림 6]은 MCSO(Mesa County Sheriff's Office)를 설립하여 BLOS 네트워크 사업자의 네트워크 운용제어센터(OCC: Operations Control Center)와 상호연결하기 위한 UAS 운용제어센터를 운용하는 모델이다. C2 네트워크 사업자는 UAS 네트워크 플래닝 및 최적화 프로세스를 구축하여 전체 시스템 성능과 UAS 지상 BLOS 네트워크의 최적화를 확보해나갈 것이다. 이러한 프로세스는 한정된 주파수 스펙트럼자원과 공역을 최적화하면서 모니터와 제어되어야 하는 많은 상호관련 인자(factor)들을 처리하게 된다.

5-2 NBLOS

NBLOS는 마치 셀룰러 이동 네트워크가 유저가 위치를

변경함에 따라 유저의 셀룰러폰에 채널을 동적으로 할당하 듯이 UAS가 미션 루트로 비행함에 따라 UAS에 채널을 동적으로 할당하는 방법을 말한다. NBLOS는 채널할당, 다이나믹(dynamic) 주파수 분배, 다이나믹 송신전력, 유저 분배, 범포밍(beamforming), 다이나믹 데이터 레이트, 핸드오버 기준, 변조기법, 에러정정기법 등과 같은 파라미터들을 제어하는데 필요한 첨단 채널분배 자동화/알고리즘을 적용한다. CR(Cognitive Radio) 기술이 BLOS 네트워크 UAS 및 RGS(Radio Ground Station)간에 적용될 수 있으며, CR 기술은 RF 파형, 프로토콜, 운용주파수 및 네트워킹 프로토콜을 포함하는 RF 송수신기 파라미터들을 동적으로 설정하는 기능을 갖는다.

NBLOS 지상망은 한정된 자원인 공역과 스펙트럼을 좀더 최적화하여 UAS 밀도를 상당히 증가시킬 수 있는 기회를 제공하게 된다. NBLOS 지상망 설계에서 중요목표는 시스템에서 운영되는 각각의 UAS C2 RF 통신링크를 위해전체 스펙트럼 효율(b/s/Hz)을 최적화하는 것이다. NBLOS 시스템 컨트롤러는 주파수 재사용의 다이나믹 능력을 통해네트워크 용량 및 커버리지를 증가시켜 중요한 UAS 밀도를



[그림 6] PBLOS 네트워크^[16]

증가시키게 된다.

5-3 PBLOS와 NBLOS 비교

PBLOS 네트워크는 구현하는데 비용이 덜 들지만, NBLOS 네트워크는 더 큰 용량과 유연성을 갖는다. PBLOS 무선기기 및 안테나들은 가격이 저렴하지만, NBLOS 구축에 있어지상국 및 안테나 수를 줄일 수 있다. 〈표 6〉에 PBLS와 NBLOS의 장단점을 비교하였다.

Ⅵ. 미래의 UAS 전파 기술

2017년 5월 QTI(Qualcomm Technologies, INC)는 LTE 망을 이용한 저고도 드론(지상 120 m 이하)에의 접속을 제공하기 위해 지상기반의 셀룰러망의 응용과 성능 시험에 대한 보고서를 발표하였다. PCS, AWS(Advanced Wireless Service), 700 MHz 대역에서 수백회의 비행시험동안 비행플랫폼의 안전 및 로그데이터(logged data)의 정확성 검증, 최종분석을 위한 데이터 수집 등이 이루어졌으며, 그 분석결과를 요약하면 다음과 같다¹¹⁷.

6-1 다운링크

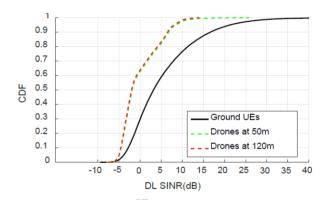
지상레벨, 50 m 및 120 m 고도의 유저들로부터 다운링크 SINR 분포의 시뮬레이션 결과는 [그림 7]에 보인다. 그림으로부터 50 m와 120 m의 분포는 완전히 일치하고 있으며, 이러한 분포는 지상과 비행체 UE(User Equipment) 간의 전파모델 차이에 의해 지배적이다.

• SINR은 비행체 UE에서 지상보다 더 낮은 결과를 보

- 이는데, 이는 이웃하는 셀들로부터 자유공간손실에 해당하는 강한 간섭들의 영향을 받기 때문이며, 지상 유저들보다 평균 감쇠는 약 5 dB 정도이다.
- 시뮬레이션 결과로부터 기준초과 확률(SINR<-6 dB outage probability로 정의)은 약 1 % 이내에서 지상과 비행체 유저들간에 아주 유사하다. 다운링크 스펙트럼 효율은 -6 dB에서 140 kbps/MHz이 기대되며, 이는 10 MHz 대역폭에서 1.4 Mbps throughput을 허용한다.

6-2 업링크

한편, full-buffer 다운링크 시뮬레이션과는 다르게 UE에 대한 업링크 성능은 특정 위치(고도를 포함하여) 및 인접 UE 로부터의 간섭에 의존하며, 전력제어 및 자원분배(resource partitioning) 기법에 의한 성능 향상이 기대되고 있다. 〈표 7〉은 여러 전력제어 기법에 따라 120 m 고도의 UE와 지상 UE에서 얻어지는 평균 throughput을 나타낸다. 전력제어 최적화는 지상 및 비행체 UE간에 공동사용된 네트워크에서 얻



[그림 7] 다운링크 SINR^[17]

〈표 6〉BLOS 네트워크 장단점^[16]

BLOS network	장점	단점
PBLOS	- 저렴한 가격의 무선 노드(UAV 및 RGS) - 단일 고정 채널할당 - 네트워크 컨트롤러 비용 및 복잡성 감소 - 제한된 동시 미션 지원(UAVs/PBLOS)	- 스펙트럼 유연성의 감소 - 고정 대역폭 채널 - 다수의 UAVs/RGS 지원 불가능 - UAV 고밀도 지원 불가능
NBLOS	- 스펙트럼 이용 및 유연성 증가 - 동적의 채널 및 대역폭 할당 - 다수의 UAVs/RGS 지원 가능 - UAV 고밀도 지원 가능	- 고가 및 복잡한 무선 노드(UAV 및 RGS) - 네트워크 컨트롤러 비용 및 복잡성 증가

〈표 7〉 전력제어기법에 따른 업링크 평균 throu	nroughput ^[17]
-------------------------------	---------------------------

Scenario	Mean UL throughput(in Mbps)				
Scenario	Adaptive OLPC	Optimized OLPC	CLPC		
All ground UEs	0.37	0.48	0.44		
All drones at 120 m	0.17	0.18	0.20		
UEs+3.5 % Drones (~1 Drone/cell)	Ground: 0.32(14 %↓) Drone: 0.56	Ground: 0.48 Drone: 0.32	Ground: 0.44 Drone: 0.31		
UEs+17 % Drones (~5 Drone/cell)	Ground: 0.30(19 %↓) Drone: 0.31	Ground: 0.44(8 %↓) Drone: 0.28	Ground: 0.41(7 %↓) Drone: 0.29		
UEs+50 % Drones (~15 Drone/cell)	Ground: 0.24(35 %↓) Drone: 0.23	Ground: 0.38(20 %↓) Drone: 0.22	Ground: 0.37(16 %↓) Drone: 0.24		
OLPC: Open Loop Power Control, CLPC: Closed Loop Power Control					

어진 성능에 중요한 영향을 주고 있다. 적응형 OLPC 기법을 사용하는 경우, 비록 지상과 비행체 UE 간의 성능차를 줄이고 있지만, 드론에 기인하는 지상 유저들의 성능 열화를 가져오고 있다. 최적화된 OLPC와 CLPC 알고리즘이 비교적 우수한 성능을 보이고 있다.

6-3 이동망 기술의 진화

드론운용을 위한 LTE 망의 최적화는 간섭저감 기술, 핸드오버 최적화 기술, LTE 드론 특정 기술기준 등이 개발되어야 한다. 또한, 이동통신 수요에 따라 이동망 기술의 발전또한 급속도록 진화되고 있으며, 여기서는 향후 UAS 통신망 수요를 대비한 이동망 발전방향을 링크증대(link enhancement), 스몰셀 구축, 이종망(heterogeneous network) 관점에서 분석한다.

6-3-1 링크증대

대단위의 스펙트럼이 상용 이동망에 할당되고 있으며, 이러한 스펙트럼 이용을 최적화하는데 새로운 기술과 표준들이 개발되고 있다. 그 예로 간섭제거기술은 인접 유저들의 간섭을 줄이면서 변조전에 들어오는 신호를 효율적으로 평가하여 삭제한다. MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)와 같은 향상된 다중안테나 기법은 목표 유저의 SNR을 증가시키면서, 다른 유저에 공간적으로 간섭을 줄일 수 있도록 효율적 신호 포인팅을 이용하여 광대역 채널에서 사용하도록설계되고 있다. 다른 하나의 방법은 다른 주파수 대역들의

불연속 스펙트럼 블록을 합성하여 최대 데이터 용량과 속 도를 제공하는 CA(Carrier Aggregation)이다.

이러한 링크증대 방법은 모든 유저에게 디바이스 당 throughput, 지원 디바이스 수, 커버리지 등과 같은 이점을 제공한다. 하지만, 지상-지상 신호보다 지상-공중과 공증-지상 신호가 훨씬 멀리 전파되므로, 간섭은 지상 유저보다 비행체 유저에 비교적 크게 영향을 주게 된다. 그 결과, 간섭제거 및 공간처리 기법에 의한 간섭관리가 UAS에 특별히요구되고 있다.

6-3-2 스몰셀 구축

실내와 실외의 연속 커버리지는 상용 이동망에서 궁극적 인 목표이지만, 중요한 도전과제로 인식되고 있다. 여러 다 른 기지국에서의 다양한 송신전력 및 커버리지 에리어를 고 려하거나, 특히 셀들이 중첩되어 있을 때는 간섭을 관리하는 일이 아주 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 SON(Self Optimizing Networks) 기술들이 개발되어 기존의 간섭을 처 리하는데 네트워크 파라미터들을 자동적으로 조정할 수 있게 한다. 추가로 더 많은 기지국으로 인해 네트워크상의 유저 이동에 더욱 고속의 핸드오프가 필요하게 되어, 어떤 경유는 네트워크에 부담을 주고 링크 품질을 감쇠시킨다. 따라서 스몰셀에 적합한 핸드오프 제어가 필요하며, 개발 중에 있다.

스몰셀의 또 다른 목표는 간단한 구축에 의해 로컬 커버 리지를 넓혀나가는 것이며, 자동적으로 더 큰 무선망, 또는 고립된 지역으로의 통합이 이루어져 유선망에 지역 무선망접속을 간단히 제공할 수 있다. 이는 UAV로 하여금 오늘날 사용하는 기존 셀룰러망과 동일한 무선 및 프로토콜을 사용하여 넓은 지역에 서비스를 제공할 수 있도록 한다. UAS에 있어서 커버리지와 용량을 쉽게 증대시키는 스몰셀의 구축능력은 선택지역, 즉 드론의 이착륙 지역, UAV 고밀도 지역및 특정 미션이 집중되는 지역에서의 안전과 성능 개선을 가져온다. 이러한 스몰셀은 반영구적이나 미션 니즈에 따라임시로 구축될 수 있다.

6-3-3 이종망

이종망은 다양한 크기의 셀과 커버리지 에리어를 이용하면서 다른 셀룰러 표준으로부터 비면허(unlicensed) 주파수대역 WiFi에 이르는 다양한 기술형태를 포함하고 있다. 개발중인 기술들은 디바이스가 링크 가용성, 성능, 서비스 비용등을 최적화하는데, 이러한 이종망의 이점을 이용할 수 있도록 한다. 차세대 표준은 EICIC(Enhanced Inter-Cell Interference Coordination)와 같은 네트워크 조정(coordination) 기술을 지원하게 되어 수신기의 성능 향상을 가져오게 될 것이다. [그림 8]은 스몰셀과 이종망 간의 통합형인 미래 이동망을 위한 개발모델을 보인다.

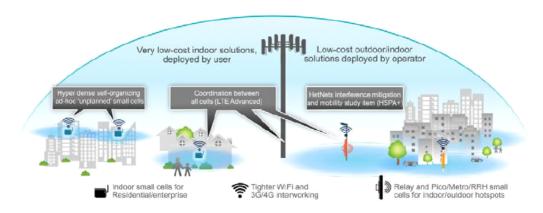
Ⅷ. 결 론

드론 등의 UAS 산업은 4차 산업혁명의 도래와 함께 급격 히 성장할 것으로 예상되고 있으며, 미래성장 동력에 중요 한 역할이 기대되는 UAS 산업을 육성하기 위하여 미국을 비롯하여 EU, 중국, 일본 등에서는 국가 차원의 로드맵을 수립하고, 관련 산업을 적극 육성하고 있다. 이에 UAS의 성공적인 프로젝트 및 미션을 제공하기 위해 UAS의 데이터링크 및 통신시스템의 운용을 위한 관련 표준 및 기준들을 규정하는 것이 매우 중요하다. 결론적으로 UAS 데이터링크 및 통신시스템의 운용 기준은 상호운용성, 신뢰성 통신, 실시간 통신, ATC 채택, BLOS 통신망 구성, 적정 대역폭에 대한 표준 및 기준들이 개발되어야 한다.

최근 UAS C2 및 데이터링크를 위한 미래 전파 기술로서 4G/5G LTE 이동망에 기반한 Network BLOS 운용으로 점차 확대해 나가고 있으며, 그 예로서 Qualcomm은 LTE 망을이용한 저고도 드론(지상 120 m 이하)에의 BLOS 접속을 제공하기 위해 지상기반의 셀룰러망의 응용과 성능 시험에 대한 보고서를 발표하였다. 또한, 일본은 드론의 전파이용 고도화를 통해 드론 상공에서의 전파환경 조사 및 서비스 통신품질 확보를 총해 미래의 UAS C2 및 데이터링크 전파 기술 도입을 추진하고 있다. 이에 우리나라도 법제도를 정비하여 4G LTE 및 5G 이동통신망을 드론, 나아가 UAS 전 산업에 적용할 수 있는 기반을 조성해 나가야 한다.

참 고 문 헌

- [1] KCA 보고서, "무인 이동체를 위한 전파기술 및 정책 연구", 2016년.
- [2] Allianz Global Corporate & Specialty, "Rise of drones;



[그림 8] 현대의 네트워트 개발 모델[17]

- Managing the unique risks associated with unmanned aircraft systems," Sep. 2016.
- [3] H. Okcu, "Operational requirements of unmanned aircraft systems data link and communication systems", *Journal of Advanced in Computer Networks*, vol. 4 no. 1, pp. 28-32, Mar. 2016.
- [4] 강영흥, "초연결 시대의 UAS 주파수의 효율적 활용방 안", 한국전자파학회논문지, 26(10), pp. 914-923, 2015년 9월.
- [5] M. Mostafa, M. Schnell, "Unmanned aircraft systems: Spectrum related issues for control and non-payload communications", *Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS)*, Apr. 2016.
- [6] AMA Report, UAS Command and Control Communication Feasibility Study, May 2015.
- [7] Qualcomm Technologies, INC, Trial Report v1.0.1, LTE Unmanned Aircraft System, May 2017.
- [8] RTCA Paper No. 239-16/PMC-1527, Sep. 2016.
- [9] 국토교통부 보고서, 항행안전시설 관계규정 ICAO 체계

- 화 연구, 2016년 12월.
- [10] https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/airspace/requirements/
- [11] https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/equipment/
- [12] V. Prisacariu, A. Muraru, "Unmanned Aerial System (UAS) in the context of modern warfare", *Scientific Research and Education in the Air Force-AFASES* 2016, pp. 177-183, 2016.
- [13] ITU-R Report M.2171, Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace, Dec. 2009.
- [14] M. Mostafa, M. Schnell, "Unmanned aircraft systems: Spectrum related issues for control and non-payload communications", *Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS)*, Apr. 2016.
- [15] 미래창조과학부 보도자료, 2015년 6월.
- [16] AMA Report, UAS Command and Control Communication Feasibility Study, May. 2015.
- [17] Qualcomm Technologies, INC, Trial Report v1.0.1, LTE Unmanned Aircraft System, May. 2017.

■ 필자소개 =강 영 흥



1984년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사) 1986년 2월: 한국항공대학교 전자공학과(공학석 사)

1993년 2월: 한국항공대학교 전자공학과(공학박사)

1988년 3월~1990년 2월: 한국항공대학교 통신 공학과 조교

1995년 8월~1996년 8월: 일본 오사카대학 객원교수 2003년 8월~2005년 2월: 영국 York대학 방문교수 1990년 4월~현재: 군산대학교 전자정보공학부 교수 [주 관심분야] 위성통신, 이동통신, 표준화