

네트워크기반 무인기 제어용 통신 연구개발 동향

R&D Trends in Network -Based Control and
Non-payload Communications for Unmanned Aircraft Systems

김혁욱 (H.W. Kim, prince304@etri.re.kr) 무인이동체시스템연구그룹 선임연구원
홍태철 (T.C. Hong, taechori@etri.re.kr) 무인이동체시스템연구그룹 선임연구원
김대호 (D.H. Kim, daeho@etri.re.kr) 무인이동체시스템연구그룹 책임연구원
임광재 (K.J. Lim, kjlim@etri.re.kr) 무인이동체시스템연구그룹 책임연구원
안재영 (J.Y. Ahn, jyahn@etri.re.kr) 자율무인이동체연구본부 책임연구원/본부장

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로
수행하였음[R0126-17-1005, 고신뢰성 다중 무인이동체 통신 및 보안SW기술 개발].

무인기의 기술 발전에 따른 운송, 통신중계, 교통감시, 산불감사·진화, 재해·재난대
처 등 무인기의 민간 및 공공 수요가 확대되고 있다. 무인기는 국가 공역으로의 운
행이 요구되는데, 국가 공역으로의 안전한 진입을 위해서는 유인항공기 조종사에
의한 시각 감지 및 회피와 동일할 수준의 안전성을 제공하는 탐지 회피 능력과 함
께 신뢰성 높은 무인기 제어용 통신링크 확보가 필수적으로 요구되고 있다. 따라서,
본고에서는 국외 기술 개발 및 표준화 동향을 바탕으로 국가 공역에서의 무인기의
안정적 진입을 위해 필요한 무인기 지상 제어용 통신 및 네트워크 기술에 대해 살
펴보고자 한다.

2017
Electronics and
Telecommunications
Trends

- I. 서론
- II. 무인기 제어용 통신 기술
개요
- III. 무인기 CNPC 기술
표준화 동향
- IV. 무인기 지상 제어용 통신
- V. 무인기 지상 제어용 통신
네트워크
- VI. 무인기 제어용 통신
주파수 최적 활용
- VII. 결론



본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

I. 서론

무인기의 기술 발전에 따른 운송, 통신중계, 교통감시, 산불 감시·진화, 재난대처 등 무인기의 민간 및 공공 수요 확대로, 무인기는 국가 공역으로의 운항이 요구되고 있다. 국가 공역으로의 안전한 진입을 위해서는 신뢰성 높은 무인기 CNPC(Control and Non-payload Communications) 통신링크 확보가 필수적으로 요구된다[1]. 이를 고려하여 WRC(World Radio Conference)-12에서는 C 대역(5,030~5,091MHz)을 항공이동 업무용으로 신규 분배하고, L 대역(960~1,164MHz)을 기존 항공무선항행 시스템에 혼신을 주지 않는 조건으로 신규 항공통신용으로 사용할 수 있게 하여 무인기 안전운항을 위한 제어용 주파수 확보가 이루어졌다. 이에 따라 무인기 제어 전용 주파수에서의 표준화된 제어용 통신 기술 및 시스템 구축 필요성 등이 증대되고 있다.

이와 관련하여 미국을 중심으로 선진국에서는 무인기의 수요 증대 및 기술 발전 추세에 따른 국가 공역으로의 안정적 진입을 위해, 고신뢰성 제어용 통신 기술 개발 및 표준화를 이미 시작하였다. 미국 NASA는 끊임 없고 신뢰성 높은 제어용 통신 링크 제공을 위해 지상과 위성 기반 통합 네트워크를 고려하고 있으며, 현재 지상 CNPC 링크에 대한 연구를 진행 중으로 통신의 신뢰성을 확보하기 C 대역과 L 대역을 이중 대역으로 하는 무인기 지상 제어용 통신 링크 기술을 연구 개발 중에 있다[2]. 아직 초기 단계이지만 NASA는 네트워크 기반 무인기 제어용 통신 기술에 대한 연구 개발도 진행 중이다. 이러한 NASA의 연구 및 기술 개발 결과는 현재 미국 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)에서 진행 중인 무인기 CNPC 링크 기술 표준 개발에 적극 활용되고 있다.

국내의 경우 현재까지 무인기 제어 전용 주파수 할당과 표준화된 통신기술 및 장비 부재로, 새로운 무인기 개발 때마다 임의로 상용 또는 자체 제작한 제어용 통신

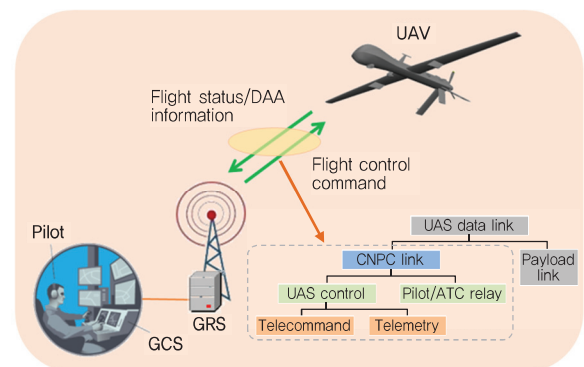
장비를 실험국 형태로 운용하는 상황이다. 이에 따라, 무인항공기 안전운항을 위한 제어 전용 주파수에서의 표준화된 통신 기술 및 시스템 구축 필요성이 대두되고 있다.

따라서, 본고에서는 국외 기술 개발 및 표준화 동향을 바탕으로 국가 공역에서의 무인기의 안정적 진입을 위해 필요한 무인기 지상 제어용 통신 및 네트워크 기술에 대해 살펴보고자 한다.

II. 무인기 제어용 통신 기술 개요

무인기와 함께 이륙·순항, 비행통제, 착륙·회수 등 제어용 통신시스템을 포함하는 전 비행 과정에 필요한 모든 구성 요소를 모두 포괄하여 무인항공시스템(UAS: Unmanned Aircraft System) 또는, 원격조종항공시스템(RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems)이라 한다[3]. 이러한 무인항공시스템은 (그림 1)과 같이 무인기, 지상 통제 장비, 그리고 데이터 링크로 구성되며, 데이터 링크는 제어용 통신(CNPC) 링크와 임무용 통신 링크로 구분할 수 있다.

제어용 통신 링크는 무인기 안전 운항을 위한 필수 링크로서, 무인기 비행 제어, UAS 상태 모니터링, CNPC 링크 관리와 관련된 데이터를 전달하기 위한 링크이다. 제어용 통신 링크는 조종사와 무인기 사이의 안전 운항 관련 제어 정보를 전달하는 UAS 제어 링크와



(그림 1) 무인항공시스템(UAS) 구성요소

〈표 1〉 무인기 CNPC 주파수 분배 현황

	Link		Frequency bands
WRC-12	Terrestrial/ Satellite	Global	5,030~5,091MHz(C-band) 960~1,164MHz(L-band)
WRC-15	Satellite → UA	Global	14~14,47GHz, 29,5~30GHz
	UA → Satellite	Global	10,95~11,2GHz, 11,45~11,7GHz, 19,7~20,2GHz
		Region 1	12,5~12,75GHz
		Region 2	11,7~12,2GHz
		Region 3	12,5~12,75GHz

항공교통관제센터(ATC: Air Traffic Control)와 조종사 간의 음성 및 데이터를 무인기를 통해 중계하는 조종사/ATC 중계 링크로 구성된다. 또한, UAS 제어 링크는 비행궤도 제어 정보, 안전 비행에 요구되는 모든 무인기 시스템 제어 정보 등을 지상의 조종사로부터 무인기로 전달하는 원격명령(Telecommand) 링크와 무인항공기 위치·고도·속도, UAS 시스템 동작 모드 및 상태, 항법 보조 데이터, 탐지 및 회피 관련 추적·기상레이더·영상 정보를 무인기에서 지상의 조종사에게 전달하는 원격측정(Telemetry) 링크로 구성된다. 반면, 임무용 통신 링크는 임무 수행과 관련된 데이터를 전달하기 위한 통신 링크로서, 일반적으로 CNPC 링크에 비해 광대역을 갖는다.

ITU-R(ITU Radio Sector)에서는 무인기 CNPC 링크가 무인기 안전 운항을 위한 필수 링크임을 고려하여, WRC-12와 WRC-15에서 무인기 CNPC 링크를 위한 주파수 대역을 〈표 1〉과 같이 분배하였다.

III. 무인기 CNPC 기술 표준화 동향

1. 미국

2013년 구성된 RTCA 특별위원회(SC: Special Committee)-228에서는 무인항공기시스템 제어용 통신링크 및 충돌 회피 기술에 대한 최소운용성능 표준(MOPS: Minimum Operation Performance Standard)을 개발

중이고, 무인기 제어용 통신 기술 표준화는 SC-228 산하 C2(Command and Control) 작업반 WG(Working Group)-2에서 진행 중이다. 현재 SC-228 산하 WG-2 작업반에서는 무인기 제어용 통신링크에 대한 MOPS 표준을 개발 중이며, NASA를 중심으로 P2P(Point-to-Point) 기반 무인기 지상 CNPC MOPS 표준인 RTCA DO-362 표준 개발을 완료한 바 있다. 현재는 네트워크 기반 지상 및 위성 CNPC 표준화를 진행 중이며, 이와 관련하여 NASA와 Rockwell Collins는 무인기 지상 CNPC Radio Prototype을 개발 중이다. 개발이 완료된 무인기 CNPC MOPS 표준인 RTCA DO-362 표준에는 NASA와 Rockwell Collins사가 공동 개발하고 있는 L 및 C 대역에서 동작하는 TDD 기반 제어용 무선인터페이스 물리계층 규격이 반영되어 있다[4].

향후 FAA(Federal Aviation Administration)는 RTCA에서 개발하는 무인기의 안정적 운용 관련 MOPS 표준을 바탕으로 무인항공기 관련 기술표준규칙(TSO: Technical Standard Order)을 제정할 예정이며 또한, RTCA의 기술 표준화 결과는 ICAO(International Civil Aviation Organization)의 무인항공기 및 시스템 관련 SARPs(Standards and Recommended Practices) 개발에 반영될 예정이다.

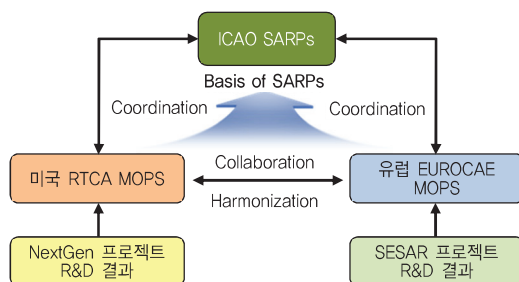
2. 유럽

통상적으로 유럽 EUROCAE(European Organization for Civil Aviation Equipment)는 항공기 시스템의 운용 및 안전성능 요구사항, 상호운용성 요구사항, 항공기 시스템 및 운용 최소 요구사항 표준을 개발하여 유럽연방항공청에 제언한다. 현재 EUROCAE 산하 작업반 WG 105에서 무인기의 유럽 공역 내의 안정적 진입을 위한 표준 및 권고 개발을 진행 중이다. 프랑스는 Thales를 중심으로 위성 CNPC 표준화가 진행 중에 있으나, 지상 CNPC 표준화 활동은 미비한 상태로 미국 RTCA의 지

상 CNPC MOPS 표준을 채택할 예정이다. 새로운 표준의 도입을 위하여 Thales는 위성/지상 하이브리드 CNPC 링크기술을 개발 중에 있다[5].

3. ICAO

국제민간항공기구인 ICAO(International Civil Aviation Organization)는 무인항공기시스템 연구패널인 RPASP(Remotely Piloted Aircraft System Panel)를 결성하여, 무인항공기 관련 업무에 대한 국제적 상호협력, 무인기 관련 규정 및 매뉴얼 개발, 기술적 세부사항과 SARPs의 개정에 대한 연구를 진행 중이다. 무인기 운용에서의 기술적 세부사항은 RTCA와 EUROCAE의 연구 결과를 준용하기로 하였으며, 이에 따라 RTCA의 기술 표준화 결과는 (그림 2)와 같이 ICAO의 RPASP 관련 SARPs에 반영될 예정이다.



(그림 2) ICAO/RTCA/EUROCAE 관계

[출처] 김희욱 외, 전자통신동향분석, 제30권 제3호, 2015.

4. 국내

미래부에서는 2015년 12월 WRC-12에서 분배된 C 대역 지상 기반 무인기 제어용 통신 무선설비 기술 기준을 마련한 바 있다. 국제적으로 지상 CNPC 무선 설비 간 상호양립성을 보장하기 위해 미국 RTCA 기술 기준을 준용하였으며, 2016년 제정된 미국 RTCA DO-362 표준에 맞게 기존 무선설비 기술 기준을 업데이트할 예정이다. 또한, TTA에서는 산하 특수통신 프로젝트 그룹인 PG903에서 지상 CNPC 무선인터페이스 국내

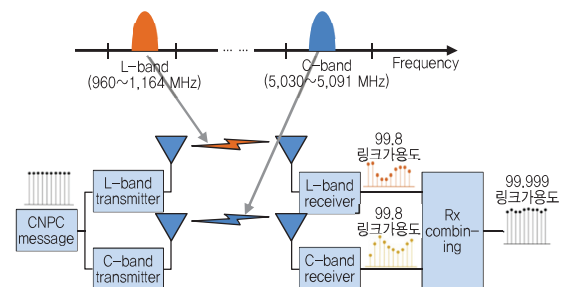
표준화가 진행 중이며, 미국 RTCA DO-362에서 정의하고 있는 NASA의 Baseline Radio 규격과 조화를 이룰 수 있는 국내 표준 제정 추진을 목표로 하고 있다.

IV. 무인기 지상 제어용 통신

국제민간항공기구인 ICAO는 무인기 관련 기술적 사항은 미국 RTCA와 유럽 EUROCAE를 통해 표준화를 진행하는 것으로 결정한 바 있다. 미국 RTCA의 경우 무인기 지상 CNPC 기술 표준화가 활발히 진행되어 1단계 표준화를 완료하고, 2016년 하반기부터 2단계 표준화를 진행할 예정이다. 이에 반해 유럽 EUROCAE의 경우 위성 CNPC 기술에 대한 표준화는 진행 중에 있으나 지상 CNPC 기술 표준화는 미비한 상태이다. 따라서 미국 RTCA의 무인기 지상 CNPC 표준이 ICAO 국제 표준으로 채택될 가능성이 높다.

따라서 본 장에서는 미국 RTCA에 표준화가 진행 중인 지상 CNPC 물리계층 기술을 바탕으로 지상 CNPC 통신 기술의 특징을 살펴본다. 미국 RTCA에서는 1단계 표준화에서 지상 CNPC 물리계층 표준만을 정의하였으며 상위계층 표준은 2단계 표준화에서 진행될 예정이다 [4].

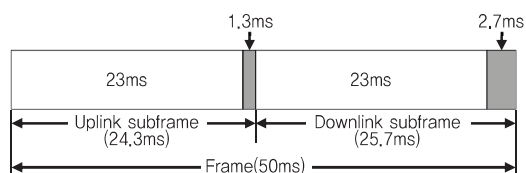
무인기 지상 CNPC는 ITU-R에서 무인기 제어용으로 할당한 C 대역(5,030~5,091MHz)과 L 대역(960~1,164MHz)에서 동작한다. L 대역의 경우 타 항공무선 서비스와의 간섭 영향 분석을 통해 대역 내 일부 대역에서만 동작할 예정이며 아직 동작 대역은 확정되지 않았



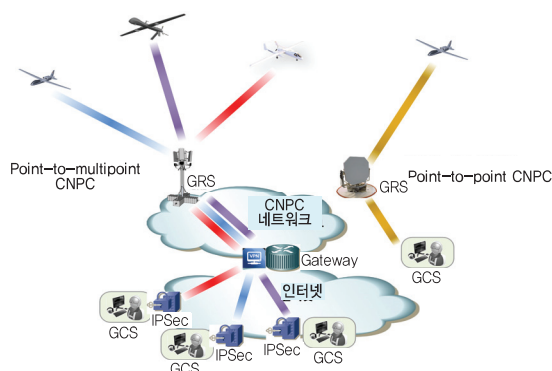
(그림 3) 무인기 CNPC 이중대역 동작

다. (그림 3)과 같이 무인기 지상 CNPC는 고신뢰도 통신링크 확보를 위해 이중대역 동작을 지원하며 단일 대역에서 99.8%, 이중대역에서 99.999% 링크 가용도 만족을 목표로 하고 있다.

무인기 지상 CNPC의 이중화는 시간분할이중화(TDD: Time Division Duplex) 방식으로 동작한다. 지상 무선국 송신이 인접무선국 피간섭원 수신에 주는 간섭 및 탑재무선국 송신이 인접 탑재무선국 피간섭원 수신에 주는 간섭을 피하기 위해, (그림 4)와 같이 모든 지상 CNPC 송수신기는 UTC 시간 기준으로 동기화된 TDD 방식으로 동작한다. (그림 4)의 무인기 지상 CNPC의 TDD 프레임은 50ms 길이를 가지며, 23ms의 길이를 가지는 상·하향 링크 부프레임과 부프레임 사이의 보호 구간으로 구성된다. 50ms의 프레임 길이는 무인기를 수동으로 제어할 때 20Hz 빈도의 제어 명령이 필요하므로 고려하여 결정되었다. TDD 방식을 사용하기 때문에 상·하향링크는 서로 다른 시간에 전송되며 상·하향링크 동작 주파수 채널이 다를 경우 서로 다른 주파수에서 전송된다.



(그림 4) 무인기 CNPC 동기화된 TDD 프레임 구조

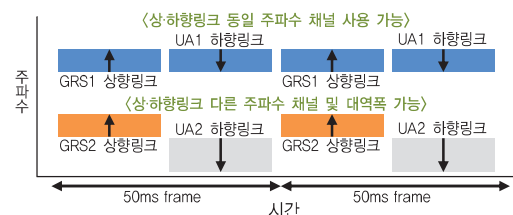


(그림 5) 무인기 CNPC 운용 모드

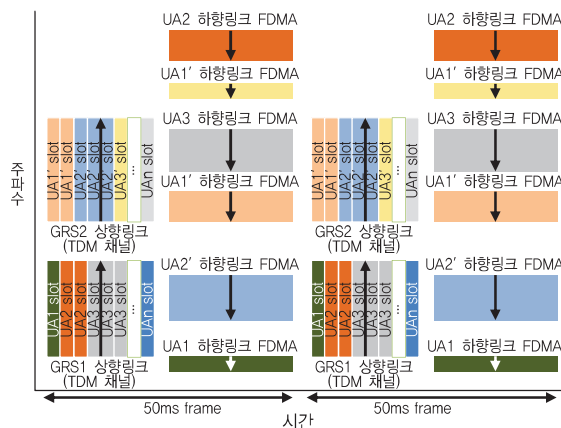
무인기 지상 CNPC는 운용 모드에 따라 (그림 5)와 같이 P2P 형과 P2MP(Point-to-MultiPoint) 형으로 구분할 수 있다. P2P 형은 일대일 통신링크를 형성하기 때문에 다수 쌍의 지상무선국-탑재무선국 링크가 존재한다. P2MP 형의 경우 하나의 지상무선국이 다수의 무인기를 지원하는 일대다 통신링크를 형성하고, 다수의 지상무선국과 다수의 무인기간 통신링크가 형성된다. 현재 P2P 형 물리계층 표준은 미국 RTCA 1단계 지상 CNPC 표준의 Normative 부분에 정의되어 있으며, P2MP 형의 경우 Annex 부분에 정의되어 있다.

무인기 지상 CNPC의 다중접속방식은 탑재무선국에서 지상무선국으로 향하는 하향링크의 경우, 낮은 송신 전력으로 링크마진 확보를 위하여 탑재무선국별로 FDMA(Frequency Division Multiple Access) 협대역 채널을 전송한다. 이에 반해 지상무선국에서 탑재무선국으로 향하는 상향링크의 경우, 지상무선국별로는 상향링크와 같이 FDMA 협대역 채널 전송을 하지만, P2MP 형 지상무선국의 경우 1개의 지상무선국에 의해 서비스 받는 다수 탑재무선국에 대해서 TDM(Time Division Multiplexing) 전송을 한다. (그림 6)은 P2P에서의 상·하향링크 FDMA 다중접속 동작을 보여준다. 그림에서와 같이 상·하향링크 채널 주파수는 다를 수 있다. (그림 7)은 P2MP에서의 상·하향링크 FDMA/TDM 다중접속 동작을 보여준다. 하향링크는 P2P와 같은 방식으로 FDMA 전송을 하며, 상향링크의 경우 GRS 별로 FDMA 채널 전송을 가지며 하나의 GRS에 의해 서비스받는 다수 UA에 대해서는 TDM 전송을 한다.

지상 CNPC는 전력증폭기의 Saturation point에 가



(그림 6) P2P 모드에서의 FDMA 다중접속



까운 동작이 가능한 Constant envelop을 가지는 GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) 변조 방식을 가지며, 스펙트럼의 대역 외 방사 특성을 좋게 하기 위하여 낮은 BT(Bandwidth×Transmission time)인 0.2 값을 적용한다. 부호화 방식으로는 LTE와 같은 이동 통신에서 사용되는 Parallel concatenated convolution code 기반의 부호화율 1/3을 가지는 터보 부호화를 적용한다. 터보 부호 Interleaver로는 고유의 S-random interleaver를 적용하며 물리계층 전송 Payload 크기에 맞게 고유의 Puncturing 패턴을 정의하고 있다.

다음으로 지상 CNPC 하향링크 물리계층 프레임 구조의 경우, 4가지 Data Class(DC)를 정의하고 있으며, DC에 따라 다른 프레임 구조, 전송률 및 대역폭을 갖는다. DC는 무인기에서 통제소로 지상 CNPC를 통해 제공하는 서비스 종류에 따라 다음과 같이 구분될 수 있으며, 각 DC에 대한 전송 특징은 <표 2>와 같다. <표 2>에서 I_{NT} 는 부호화율을 의미한다.

〈표 2〉 하향링크 채널 전송 특징

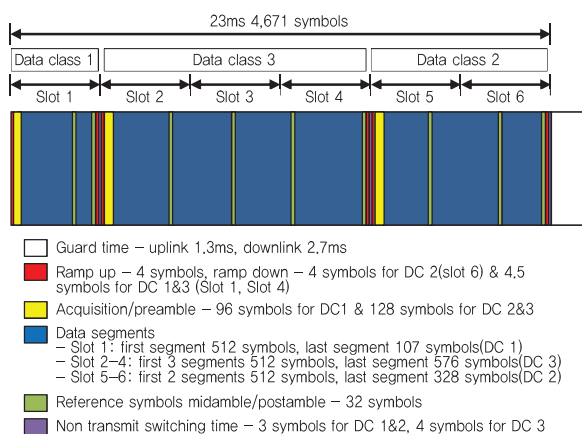
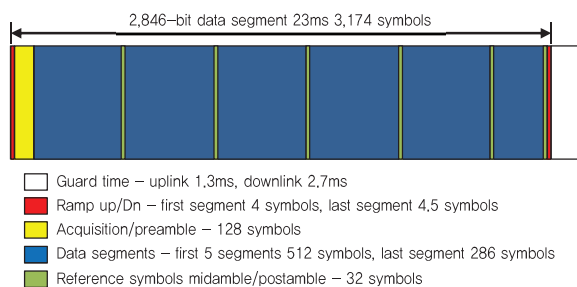
Downlink channel type	Symbol rate(kbps)	99% Energy bandwidth(kHz)	MCS
Data class 1	34,5	30	GMSK, $r=0,614$
Data class 2	69,0	60	GMSK, $r=0,614$
Data class 3	103,5	90	GMSK, $r=0,620$
Data class 4	138,0	120	GMSK, $r=0,618$

- DC 1: Telemetry 정보
- DC 2: DC 1+ATC 음성/데이터
- DC 3: DC 2+항법 보조 정보, 탐지회피타겟 정보
- DC 4: DC 3+날씨 레이더 정보

이에 반해 상향링크 물리계층 프레임 구조의 경우, 지상무선국이 전송하는 무인기 개수에 따라 UL 모드를 정의한다. UL-1 모드의 경우 지상무선국이 1개 탑재무선국으로 전송하는 모드이며 P2P 형에 해당한다. UL-3부터 UL-24 모드의 경우 다수의 탑재무선국으로 TDM 방식으로 전송하는 모드이다. TDM 슬롯 수에 따라 UL 모드가 결정되며, UL 모드에 따라 채널 대역폭이 결정된다. 예를 들어 UL-3은 TDM 슬롯 3개를 가지며 UL-24는 24개의 슬롯을 가진다. 상향링크는 3개의 DC를 가지는데, 각 DC에 따라 점유 슬롯 수가 결정된다. 가령 DC 1은 슬롯 1개를 점유하며 DC 3은 3개의 슬롯을 점유한다. 따라서 각 UL 모드에서 지원할 수 있는 탑재무인기 수는 UL 모드의 TDM 슬롯 수와 전송 DC에 따라 달라진다. 예를 들어 UL-24 모드에서 모든 탑재무인기로 DC 3으로 전송할 경우 DC 3이 3개의 TDM 슬롯을 점유하므로 최대 8대 탑재무선국을 지원할 수 있고, DC 1으로 전송할 경우 최대 24대의 무인기를 지원할 수 있다. 상향링크에서 제공하는 각 DC에 대

〈표 3〉 상향링크 채널 전송 특징

Uplink	Rate (ksps)	99% BW (kHz)	Slot/subfrm	DC	MCS
UL-1	34,5	30	1	DC 1	DC 1: GMSK, $r=0,614$
	69	60	1	DC 2	
	103,5	90	1	DC 3	
UL-3	103,5	90	3	DC occupancy slots	DC 2: GMSK, $r=0,614$
UL-6	207	180	6		
UL-9	310,5	270	9		
UL-12	414	360	12		
UL-15	517,5	450	15	DC 1: 1개	DC 3: GMSK, $r=0,620$
UL-18	621	540	18	DC 2: 2개	
UL-21	724,5	630	21	DC 3: 3개	
UL-24	828	720	24		



한 전송 특징은 <표 3>과 같다.

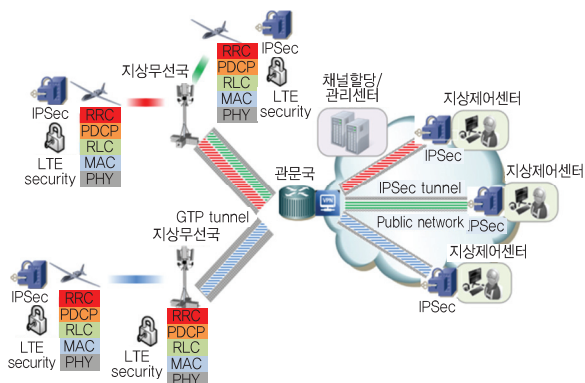
각 DC의 부프레임 구조는 Ramp-up 심볼, Acquisition/preamble 심볼, Reference 심볼, 데이터 Segment 심볼로 구성되며, (그림 8)은 이러한 구조를 갖는 DC 4에 대한 부프레임 구조를 보여준다. 반면 (그림 9)는 각 슬롯에서 DC 1, 3, 2를 순차적으로 TDM 슬롯에 할당하는 UL-6 모드의 부프레임 구조를 보여준다. 이 경우 3대의 무인기를 지원할 수 있다.

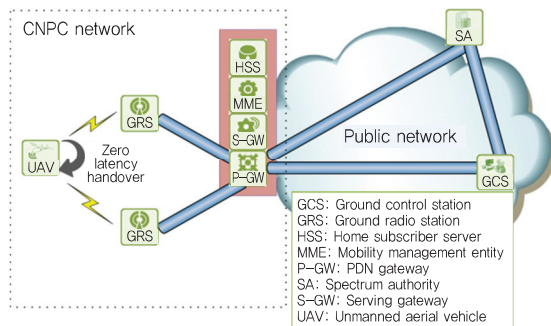
V. 무인기 지상 제어용 통신 네트워크

미국 RTCA DO-362의 무인기 지상 제어용 통신 표준의 경우, 현재는 물리계층 표준만 정의되어 있고, 상위 계층 표준은 2020년 개발 완료를 목표로 표준화가 진행 중에 있다. 현재 미국 RTCA에서는 LTE와 WiMAX 기반의 무인기 CNPC 상위계층을 고려하고 있고, 미국

NASA는 WiMAX 상위계층 프로토콜 적용을 고려하고 있으며, 미국 MITRE와 한국 ETRI는 LTE 상위계층 프로토콜 적용을 고려하고 있다. 향후 무인기 지상 제어용 통신 장비 제작 및 네트워크 구축 등을 고려하면, WiMAX 보다는 전 세계적으로 많이 사용되고 있는 LTE를 적용하는 것이 더 바람직하다고 판단된다. 따라서, 본고에서는 RTC DO-362 물리계층 표준에 LTE 기반의 상위계층 프로토콜 적용할 경우를 살펴본다.

(그림 10)은 무인기, 지상무선국(Ground Radio Station), 지상제어센터(Ground Control Station)를 포함하는 무인기 지상 제어용 네트워크 구성을 보여준다. 상위계층 규격으로 LTE를 적용하는 경우, LTE의 무선 링크 보안이 무인기 제어용 통신의 무선링크에 동일하게 적용되며, 관문국 안쪽의 무인기 지상 제어용 통신 네트워크 부분에는 LTE에서 사용되는 GTP(GPRS Tunneling Protocol) 터널과 GTP를 위한 보안이 동일하게 적용된다. ICAO(International Civil Aviation Organization)에서는 무인기 제어용 통신의 안전을 위하여 단대단(End-to-End)에 대한 보안을 의무적으로 적용하도록 규정하고 있다[6]. 따라서, (그림 10)에서와 같이 LTE에서 제공하는 보안 이외에 지상제어센터와 무인기간의 보안이 적용되어야 하며, 두 개체 사이의 보안에는 IPSec 적용이 고려되고 있다. 지상제어센터가





(그림 11) 핸드오버 지원을 위한 관문국 구성

관문국 내부의 무인기 지상 제어용 통신 네트워크 부분이 아니라 외부의 공용 네트워크(Public Network) 부분에 위치하는 경우에는 단대단 보안뿐만 아니라 무인기 지상 제어용 통신 네트워크의 관문국과 지상제어센터 사이에 IPSec 터널링을 적용하여 지상제어센터와 무인기 사이의 제어용 통신의 안전성을 높일 수 있다.

무선링크에 LTE 프로토콜을 적용하기 위하여, RTCA 표준의 물리계층과 LTE 물리채널 매핑을 정의하고, 무인기 제어용 통신을 위해 필요한 기능들 외의 LTE 기능들은 사용하지 않는 것으로 정의한다. 예를 들어 RTCA의 경우 물리계층에서 별도의 제어 채널을 정의하고 있지 않기 때문에 LTE의 PRACH(Physical Random Access Channel), PDCCH(Physical Downlink Control Channel), PUCCH(Physical Uplink Control Channel)는 사용되지 않으며, 무인기 지상 제어용 통신의 경우 자신에게 할당된 주파수를 이용하여 통신을 수행하기 때문에 PRACH를 이용하는 LTE의 임의접속절차는 적용되지 않는다.

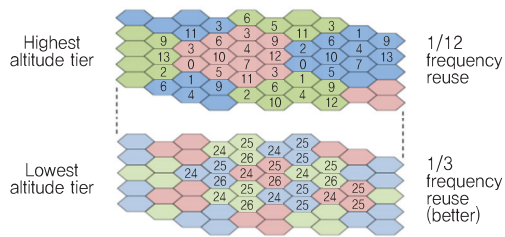
무인기 지상 제어용 통신의 핸드오버를 지원하기 위해서는 (그림 10)의 관문국이 (그림 11)과 같이 LTE EPC(Evolved Packet Core)의 HSS(Home Subscriber Server), MME(Mobility Management Entity), S-GW(Serving Gateway), P-GW(PDN Gateway) 역할을 수행해야 한다. 초기 접속 및 보안 설정에 필요한 가입자 정보를 관리하는 HSS와 핸드오버 및 이동성 관리를 수

행하는 MME, 기지국과의 데이터 트래픽 송수신을 수행하는 S-GW, IP 주소 할당 및 EPC 외부 네트워크의 연결을 관리하는 P-GW의 기능들이 관문국에 필요하다. 또한, 지상무선국(GRS)은 무선링크에 LTE 상위계층 프로토콜을 지원해야 하며, 관문국과 연결된 링크에서는 제어 및 데이터 트래픽 송수신이 수행되어야 한다. 무인기 지상 제어용 통신의 경우, 무인기 운용의 안정성을 위해 끊김 없는 연결이 매우 중요하다. 따라서 매우 짧은 지연(Zero Latency)을 가지는 하드 핸드오버 또는 소프트 핸드오버를 고려해야 한다. 무인기 지상 제어용 통신에서는 현재 연결되어 있는 지상무선국과 통신을 수행하는 주파수와 별도로 핸드오버 후에 연결될 지상무선국에서 사용될 주파수를 주파수 관할청(SA: Spectrum Authority)으로부터 미리 할당받을 수 있기 있으므로 소프트 핸드오버나 빠른 하드 핸드오버가 수행되도록 구현할 수 있다. 핸드오버를 위한 관문국과 지상무선국 사이의 트래픽 스위칭과 시그널링은 LTE 규격을 준용한다.

VI. 무인기 제어용 통신 주파수 최적 활용

무인기의 안정적 운용 및 무인기 수요 확대를 위해서는 제한된 무인기 제어 전용 주파수 대역에서 다수의 무인기를 효율적으로 운용할 수 있는 무인기 제어용 통신 주파수 자원의 효율적 활용 기술이 필요하다. 이를 위해 무인기 클래스별 수직적/수평적 분포, 셀 당 GRS 위치, 셀 크기, 무인기 클래스별 요구 전송속도 등을 고려하여 최적의 3차원 셀 설계 및 스펙트럼 재사용 방식 적용을 고려할 수 있다. (그림 12)는 고도에 따라 다른 스펙트럼 재사용률을 가지는 3차원 셀 설계의 예를 보여준다.

무인기는 다양한 고도에 분포하며 일반적으로 특정 항로에서 운행하기 때문에 비 균일하게 분포한다. 그리고 네트워크에 연결된 GRS는 각 셀의 중심 지역에 위치시키는 것이 가장 좋으나, P2P 기반의 GRS는 셀 가

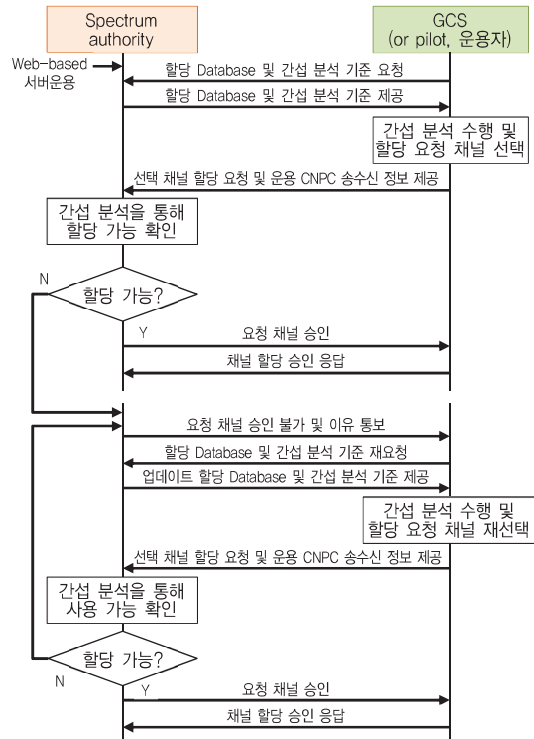


(그림 12) 스펙트럼 재사용을 위한 3차원 셀 설계 예

[출처] RTCA, "Command and Control (C2) Data Link White Paper," RTCA Paper No. 075-14/PMC-1201, Mar. 2014.

장자리에도 위치할 수 있으므로, 보다 큰 인접 셀 간 간섭을 일으킬 수 있다. 또한, 셀 크기를 작게 하면 스펙트럼 재사용 효율이 높아지나 무인기 속도 및 고도 변화 시 잦은 핸드오버가 필요하고, 고도가 높을수록 인접 셀 간섭을 피하고자 낮은 스펙트럼 재사용률이 필요할 수 있다[7]. 이를 위해 주파수 자원을 고도 범위별로 나누어 적응적으로 할당하는 방안 또한 고려해 볼 수 있다.

제한된 무인기 전용 스펙트럼의 효율적 이용을 위해 무인기 제어용 통신에서 고려해야 할 또 다른 부분은 무인기 제어용 스펙트럼 할당 및 관리 방안이다. 무인기 제어용 통신링크의 스펙트럼은 관련 SA에 의해 관리 및 할당될 것으로 예상되며, 한정된 스펙트럼의 효율적 사용 및 무인기의 안정적 운용을 위해서는 스펙트럼의 동적 할당 및 재사용 방식 적용이 고려되어야 한다. 이를 위해 미국 RTCA DO-362의 Appendix I에는 SA 기반의 무인기 제어용 통신 주파수 동적 할당 개념을 정의하고 있다. 미국 RTCA DO-362의 할당 개념을 적용할 경우 할당 주체는 SA가 되며, P2P 형의 경우 GCS에 채널을 할당하게 되며 P2MP 형의 경우 망운용자와 GCS에 채널을 할당할 수 있다. 한정적 무인기 제어용 주파수 자원을 고려하여 각 무인기가 최대 보유할 수 있는 채널 수는 2개 또는 3개로 제한될 수 있다. 채널 할당 방식은 분산형과 중앙집중형 방식이 고려될 수 있으며, 분산형은 SA에서 할당 Database 및 간섭 분석 기준을 제공하고 이를 바탕으로 GCS 또는 망운용자가 간섭 분석 수행 및 할당 요청 채널을 선택하는 방식이며, 중앙집중형은



(그림 13) P2P형 분산형 채널 할당 절차 예

GCS 또는 망 운용자가 채널 할당 요청을 하면 SA에서 간섭분석 수행 및 각 무인기 할당 채널을 선택하는 방식이다. (그림 13)는 미국 RTCA DO-362의 할당 개념을 적용한 P2P 형에서의 분산형 채널 할당 절차의 예를 보여준다.

이와 함께 무인기 제어용 통신 시스템 운용 기간 동안 초기 채널 할당, 운용 완료 후 채널 반납, 무선링크 실패, 핸드오버, 통제권 이관 시 채널 반납, 변경 및 재할당 절차 또한 함께 정의되어야 할 것으로 보인다.

VII. 결론

지금까지 네트워크 기반 무인기 제어용 통신 기술 연구 개발 동향에 대해 살펴보았다. 무인기 기술의 발전에 따른 무인기의 민간 및 공공 수요 확대를 고려할 때, 무인기의 국가 공역에서의 운용이 임박하였으며, 이에 대한 준비가 요구된다. 무인기의 국가 공역으로의 안정적

진입을 위해서는 높은 수준의 안정성을 제공하는 탐지·회피 능력 확보와 함께 신뢰성 높은 무인기 제어용 통신 링크 확보가 필수적이다. 이에 따라 WRC-12에서의 무인항공기 제어용 전용 신규 주파수 분배에 따른 무인기 제어 전용 표준화된 통신 기술 개발 및 시스템 구축 필요성이 증대되고 있다. 이를 위해 무인기 제어 전용 주파수 대역에서의 다수 무인기 제어를 위한 표준화된 제어용 지상 통신 기술, 전국 커버리지의 무선통신 네트워크 구축, 최적 스펙트럼 할당 및 주파수 재사용 방안 등이 필수적으로 고려되어야 할 것으로 보인다. 마지막으로 글로벌 무인기 제어용 통신 기술 시장 진입 및 선점을 위해서는 NASA 등 선진기관과의 협력과 국제표준화 단체에서의 적극적인 활동을 통한 기술개발 가속화 및 개발 기술의 국제표준화 추진이 필요하다. 특히, 네트워크 기반의 무인기 제어용 통신 기술 개발 및 표준화는 아직 초기 단계에 있기 때문에 관련 표준화 선도 및 시장 선점 가능성이 클 것으로 예상된다.

약어 정리

ATC	Air Traffic Control Centre
C2	Command and Control
CNPC	Control and Non-payload Communications
DC	Data Class
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
EPC	Evolved Packet Core
FAA	Federal Aviation Administration
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GCS	Ground Control Station
GRS	Ground Radio Station
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HSS	Home Subscriber Server
ICAO	International Civil Aviation Organization
IP	Internet Protocol

ITU	International Telecommunications Union
ITU-R	ITU Radio Sector
LTE	Long Term Evolution
MME	Mobility Management Entity
MOPS	Minimum Operation Performance Standard
NASA	National Aeronautics and Space Administration
P2P	Point-to-Point
P2MP	Point-to-MultiPoint
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
P-GW	PDN Gateway
PRACH	Physical Random Access Channel
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
RPASP	Remotely Piloted Aircraft System Panel
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SA	Spectrum Authority
SARPs	Standards and Recommended Practices
SC	Special Committee
S-GW	Serving Gateway
TC	Telecommand
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TM	Telemetry
TSO	Technical Standard Order
UAS	Unmanned Aircraft System
UL	Uplink
UTC	Coordinated Universal Time
WG	Working Group
WRC	World Radio Conference

참고문헌

- [1] R.J. Kerczewski and J.H. Griner, "Control and Non-payload Communications Links for Integrated Unmanned Aircraft Operations," NASA, GRC-E-DAA-TN5800, Mar. 2012.
- [2] J.H. Griner, "Overview of Communication Portion of NASA's UAS in the NAS Project," *Integr. Commun., Navigation Surveillance Conf.*, Herndon, VA, USA, Apr. 24-26, 2012.
- [3] ITU, "Characteristics of Unmanned Aircraft Systems and Spectrum Requirements to Support Their Safe Operation

- in Non-segregated Airspace,” ITU-R M.2171, Dec. 2009.
- [4] RTCA DO-362, “Command and Control(C2) Data Link Minimum Operational Performance Standards(MOPS) (Terrestrial),” Sept. 2016.
- [5] EUROCAE, Accessed 2017. <https://www.eurocae.net/about-us/working-groups/>
- [6] A. Munro, “RPAS Security – The Guidance Manual,” *Remotely Piloted Aircraft Systems(RPAS) Symposium*, Mar. 2015.
- [7] RTCA, “Command and Control (C2) Data Link White Paper,” RTCA Paper No. 075-14/PMC-1201, Mar. 2014.