

초연결 시대의 UAS 주파수 정책

강 영 흥

군산대학교

I. 서 론

무인기(UAV; Unmanned Aircraft Vehicle)는 조종사가 탑승하지 않고, 무선링크를 이용한 제어를 통해 조정이 가능하거나, 자율적으로 비행하는 고정익 및 회전익 비행체를 총칭한다. 이러한 무인기는 과거 군용으로 국한되어 활용되었으나, 최근 기술발전이 힘입어 점차 민간용 시장으로 확대되고 있으며, 그 시장규모가 급격히 성장할 것으로 예상된다. 현재 운송, 통신 중계, 교통 감시, 산불 감시·진화, 재해 재난 대처, 생태계 모니터링, 국토해양 감시, 위험지역 정찰, 항공촬영, 과학임무(환경, 기상연구, 자원탐사) 등 다양한 민간 공공분야에서 수요 증대가 전망되고 있다^{[1][2]}.

최근 무인기의 용어가 국제적으로 무인기와 지상제어 등을 포함하는 UAS(Unmanned Aircraft System)로 확장되었으며, UAS는 [그림 1]과 같이 비행체, 페이로드(payload), 데이터 링크, 명령 및 제어(command and control, C2), 지원 장비, 운영자를 포함하고 있다^[3].

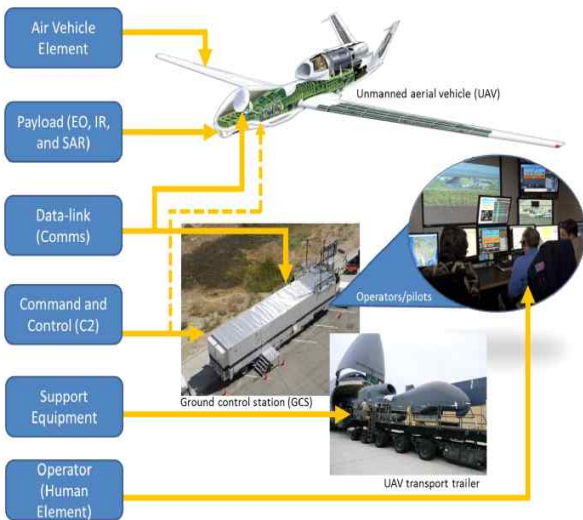
UAS 궁극적인 목표는 국가 공역 시스템(NAS: National Airspace System)으로의 통합 운용이며, ISR(Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 군용 UAS 이용이 대표적인 실행의 예이다. 이를 위해 유럽에서는 2028년 무인기의 완전한 통합을 목표로 단계별 로드맵을 완성하였으며^[4], 최근 FAA(Federal Aviation Administration)에서는 NAS에 UAS 통합을 위한 정책, 절차 및 표준을 개발하고 있다^[5]. 여기에는 향후 무인기 운용 밀도가 급격하게 증가함에 따라 무인기 형식-스펙 NAS 통합뿐만 아니라^[6], 페이로드를 포함한 명령 및 제어(command, control & communications, C3), S&A(Sense and Avoid)에 대한 무선 스펙트럼 할당^[7]을 위한 주파수 정책이 필수적이라 할 수 있다.

이에 본고에서는 현재 UAS 시스템의 운용 주파수를 분석하고, 향후 UAS를 NAS로 안전하고 신뢰성의 통합을 위한 C3 주파수와 S&A의 기술 및 그 응용, 그리고 UAS 주파수 확보방안을 다룬다.

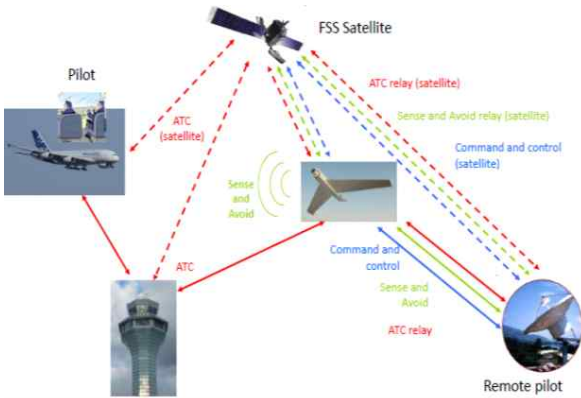
II. 비행 제어

2-1 통신링크

UAS 통신을 위해서는 지상통제시스템(GCS: Ground Control Station)과 무인 비행체를 직접 연결하는 LOS(Line of Sight) 통신, 장애물에 막혀 위성 등을 이용하는 BLOS(Beyond LOS) 통신으로 구분된다. 업링크(uplink)는 지상 조종사가 무인 비행체를 이륙 상승시키고, 임무지역으로 비행조정하기 위해 지상에서 무인 항공기 비행체 탑재장비로 명령과 제어를 전송한다. 다운링크(downlink)는 지상 조종사가 비행체를 조종하기 위해 비행체의 위치, 자세 등 비행체 상태를 확인할 수 있도록 무인 항공기 상태 및 각종 센서 데이터를 비행체 탑재장비에서 지상으로 실시간 전송한다. 또한, 무인 항공기가 유인 항공기 공역에서 함께 운용되기 위해서는 항공관제소와 음성통신 기능도 필요하다^[8]. [그림 2]에 UAS C3 구성



[그림 1] UAS 기본 구성^[3].



[그림 2] UAS C3 구성도.

도를 보인다.

2-2 UAV 레벨

초기의 UAS는 주로 감시 임무를 수행해 왔지만, 그 이용이 좀 더 복잡한 군사용 임무로 점차 확장되어 오늘날 여러 형태의 상용으로 확산되는 등 그 활용의 범위가 매우 넓어졌다. 이러한 운용의 범위가 넓어짐에 따라 UAS 비행 및 그 응용이 유인기 공역과 통합해 나가야만 한다. 이러한 통합에서 유인기와의 충돌회피를 위한 외부 위협, 지형, 기후 등을 고려한 운영자의 비행능력 등이 중요하므로, 유인기에 사용되지 않는 부가적인 S&A 방법들이 필요하다.

유인기 및 UAS에서 기본 비행 및 임무의 자동화는 운영자에 작업로드를 줄이고, 조종성능을 향상시켜 왔다. UAV와 운영자 간의 업무지원 및 업무책임 분류는 <표 1>에 주

<표 1> UAS 비행제어 모드 클래스

제어 형태	클래스	클래스명	제어 방법	예시
On-board pilot	0	Manned aircraft	기본 클래스, 유인기와 동일	Airbus A320 EH101
Remote operator	1	Direct command	기본제어(속도조절, 보조날개, 상승기, 방향키)에서의 직접명령	Jindivik RMA
	2	Attitude command	SAS(Stability Augmentation Systems)를 장착, 자세각 비율 제어	Mirach
	3	Flight parameters command	ACS(Attitude Control Systems)를 장착, 원하는 자세각 세팅	Global Hawk
Programmed flight	4	Stored flight profile command	네비게이션 및 제어 시스템에 원하는 비행 프로파일 세팅	BGM-109
	5	Sensor command	비행 루트는 실시간 센서 데이터로 제어	
	6	Autonomous command	완전 자율 주행	AI-UAV

어지는 PACT(Pilot Authorization and Control of Tasks) 레벨로 주어진다⁹⁾.

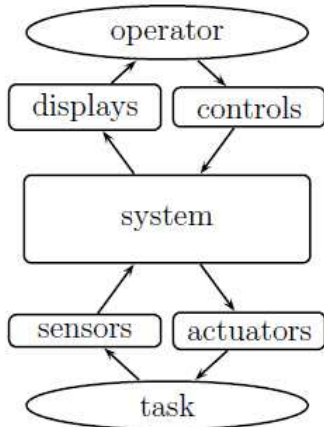
2-3 슈퍼바이저리 제어

UAV 자율주행이 증가할수록 운영자 역할은 고차원의 멀티타스킹(multi-tasking)을 포함하게 되어 <표 1>에서 스틱이나 방향키 입력을 사용하는 클래스 1의 수동 제어로부터 네비게이션 및 목표 속도의 고차원 레벨 시스템을 제공하는 클래스 4의 슈퍼바이저리(supervisory) 제어로 발전할 것이다.

슈퍼바이저리 제어는 인간과 비행체, 업무와 목표와의 조정에 책임자의 형태로 정의되며, 다음의 두 가지 외부 루프 제어 기능을 가져야 한다. 하나는 운영자 입력과 시스템 응답간의 시간지연이 증가하는 경우, 디스플레이에 의한 시각적 확인과 운영자의 UAS 성능 인지능력이 약화될 때 외부 루프 제어를 통한 시스템의 인지력을 활용하는 것이다.

슈퍼바이저리 제어모델의 플로우차트(flowchart)를 [그림 3]에 보이며, 시스템 명령은 운영자에서 GCS로 제공된다. 여기서 GCS는 비행체 자세, 고도, 네비게이션 상황을 포함하는 시스템 상태에 관한 정보를 볼 수 있는 디스플레이와 운영자가 네비게이션 비행, 비행속도 고도 등을 입력하기 위한 제어세트(controls)로 구성된다. GCS의 기능은 고차원의 명령들을 액추에이터(actuator) 입력으로 전환하여 원하는 시스템 성능을 얻는다.

III. Sense and Avoid(S&A)



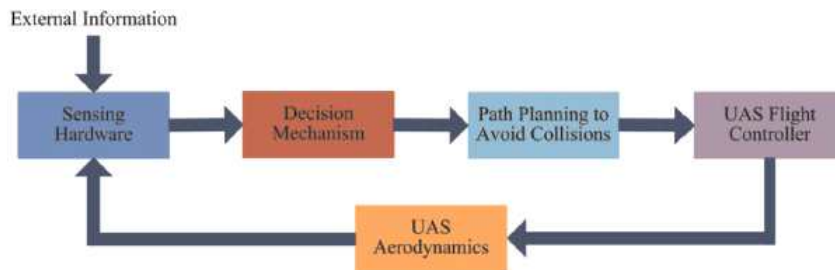
[그림 3] 슈퍼바이저리 제어 플로우 차트^[9].

3-1 S&A 시스템

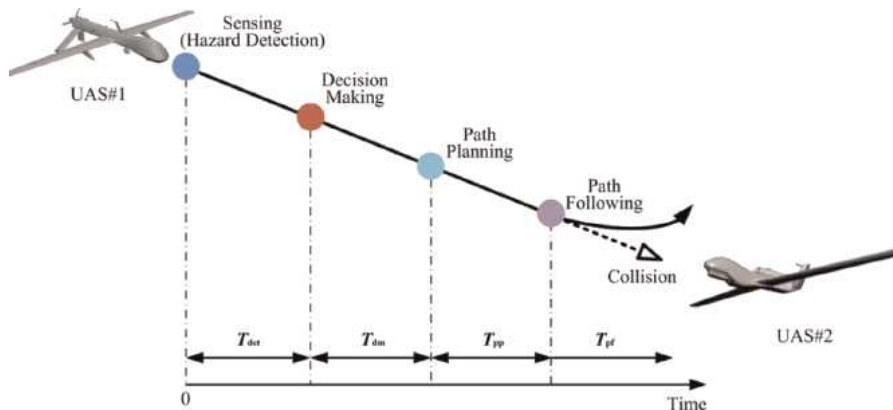
[그림 4]에 센싱 하드웨어, 결정 메카니즘, 경로 플래너(planner), 비행제어로 구성되는 완전한 S&A 파라다임을, [그림 5]에는 S&A 시스템의 동작을 보인다. 장착된 센서들로

부터 UAS와 다른 비행물체에 대한 정보들이 수집되어, 이 결과에 근거하여 메커니즘은 비행궤적을 재설정할 것인지 아니면 제공된 데이터에 근거하지 않을 것인지를 결정한다. 경로 플래너는 충돌을 회피하기 위해 UAS 다이내믹 특성과 연료 경제성을 고려하여 최적 또는 가능한 경로를 찾게 된다. 재설정된 비행궤적과 UAS 다이내믹 특성에 따라 비행 제어기는 엔진을 구동하여 물리적으로 충돌회피를 위한 조종이 수행되도록 제어신호를 발생시킨다. [그림 5]로부터 개별 기능의 S&A 시스템은 특정시간의 블록을 필요로 한다. 특정시간 T_{det} , T_{dm} , T_{pp} , T_{pf} 는 위험검출(hazard detection), 결정수행(decision making), 경로 플래닝(path planning), 경로 폴로잉(path following)에 필요한 실행시간을 나타낸다. 그러므로 S&A는 시간적으로 중요한 임무로서 인식될 수 있으며, 만일 S&A 전체 수행시간이 허용 기준치보다 초과하게 되면 충돌은 회피할 수 없을 것이다^[10].

3-2 센싱 기술

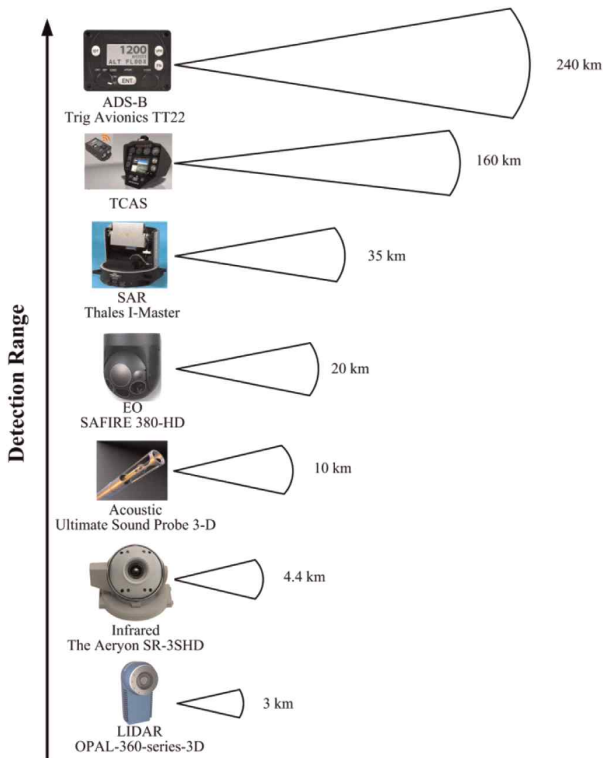


[그림 4] S&A 기능 구조^[10].



[그림 5] S&A 프로세스^[10].

기존의 센싱 기술들이 UAS에 사용될 수 있지만, 여러 가지 장단점을 갖고 있다. 예로서 협력 센서들(TCAS; Traffic Alert and Collision Avoidance System과 ADS-B; Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)이 모든 기후조건에서 사용 가능하지만, 매우 고가이다. 능동 독립기술의 하나로써 SAR (Synthetic Aperture Radar)은 VMC(Visual Meteorological Condition) 및 IMC(Instrument Meteorological Condition) 두 조건 모두 동작하지만, 그 정확도는 개선되어야 한다. 다른 형태의 능동 기술인 LIDAR(Laser/Light Detection and Ranging)는 VMC 및 IMC에서 동작하며 쉽게 구성되지만, FOV(Field of View)는 매우 좁다. 수동 독립기술들(EO; Electro-Optical, 음향, 적외선)의 장점은 매우 저렴하며, 글라이더나 새들과 같은 트랜스폰더 미장착 트래픽을 검출할 수 있는 기능이다. 이들의 가장 큰 단점은 직접거리를 측정할 수 없으며, IMC에서 성능이 좋지 않다는 점이다. 협력 및 독립 센서들의 관점에서 전형적인 센서들의 검출 레인지를 [그림 6]에 보인다^[10].



[그림 6] 전형적인 센싱 디바이스^[10].

IV. 주파수 정책

4-1 무선 조정용 주파수

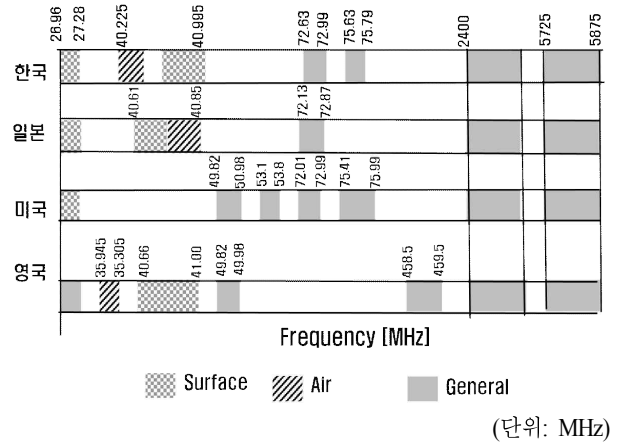
[그림 7]에 각국의 무선 조정용 주파수를 비교하며 나타내었다. 영국에서는 무선 조정용 주파수로 지상이나 해상에서 이용하는 표면용(surface)과 공중용(airborne)으로 구분하고 있으며, 모든 주파수에서 100 mW 이하로 규정하고 있다. 단, 일반 비특정 SRD(Short Range Device)로 할당된 49 MHz에서는 10 mW 이하로 제한하고 있다. 한편, 미국에서는 50 MHz 및 53 MHz 주파수에서는 Ham 아마추어 무선 자격증을 요구하고 있다^[11].

4-2 소요 주파수

UAS C3용 스펙트럼 소요 대역폭은 ITU에서 향후 스펙트럼 할당을 결정하기 위해 2030년까지의 무인기 밀도를 가정하여 계산되었다^[11]. 여기서, 지상 LOS 스펙트럼 소요 대역폭은 34 MHz로 결정되었으며, 위성 BLOS 컴포넌트를 위한 스펙트럼 소요 대역폭은 사용된 위성 시스템 형태(스팟빔이나 지역빔)에 따라 46~56 MHz이다. 이에 UAS용 최대 스펙트럼 소요 대역폭은 다음과 같다.

- LOS 지상 시스템용 소요 대역폭 34 MHz
- BLOS 위성 시스템용 소요 대역폭 56 MHz

이를 바탕으로 WRC-12에서 UAS C3 주파수를 C 대역인 5,030~5,091 MHz 대역의 61 MHz 대역폭을 신규 분배하였



[그림 7] 무선 조정용 주파수 비교.

다. 이에 LOS 소요 대역폭은 17 MHz 여유가 있지만, LOS 소요 대역폭 56 MHz를 만족시킬 수가 없다. 따라서 올해 WRC-15에서는 Ka 대역의 FSS(Fixed Satellite Service)가 UAS의 안전한 운용에 필요한 서비스 레벨을 제공하기 위한 두 서비스간의 호환성이 만족된다면, UAS용으로 FSS 주파수 사용승인이 예상된다.

4.3 Free Band 및 ISM 대역 확보

미래창조과학부는 정보통신기술 융합 서비스 도입촉진을 통한 신산업 창출을 위해 수백 MHz부터 수백 GHz에 이르는 전 주파수 대역에서 다양한 용도로 활용 가능한 ‘용도 자유 대역(K-ICT Free Band)’ 약 8 GHz 대역폭의 공급방안을 마련하였다^[12]. Free Band의 여러 대역 중 262~264 MHz 대역은 원격검침, 스마트 홈 등 장거리 IoT 서비스 등에 활용이 가능하므로 이를 UAS 주파수로 적극 활용하고, 2.4 GHz 및 5.8 GHz ISM 대역의 확장을 통한 UAS 주파수 확보방안이 필요하다.

4.4 UHF 면허대역 확보

현재 UAS BLOS 주파수로 Ka 대역의 위성 주파수를 고려하고 있으나, 위성 서비스의 활용이 활발하지 못한 우리나라에서는 장거리 통신용으로 UHF 면허대역(licensed band)을 확보하는 것이 바람직하다.

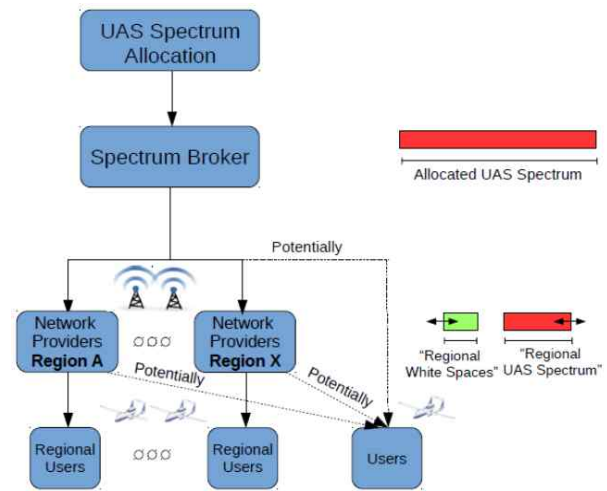
미국의 AccessSpectrum사는 [그림 8]과 같은 700 MHz A 블록인 대역 2 MHz를 UAS BLOS 주파수로 이용하려는 계획을 세우고 있다^[13]. 이 UHF 면허대역을 확보하면 UAS BLOS를 가장 안전하고 신뢰성의 제어가 가능하며, 비행기 당 12.5 kHz 배타적 대역폭 링크를 확보할 수 있다. 더욱이 지상 인프라를 활용하여 뛰어난 전파특성과 서비스 커버리지를 확

보할 수 있으며, 다양한 기술 및 서비스 응용이 가능하다.

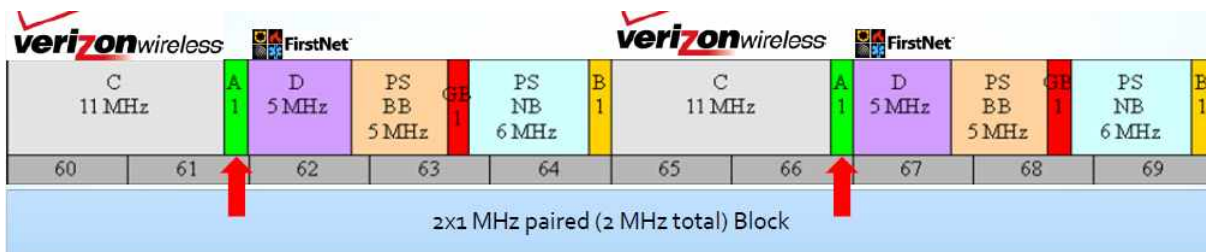
4.5 주파수 공동사용 방안

미국의 UAS 주파수 관리방안에 따르면 UAS 유저에 주파수를 직접 분배하거나, 망제공자를 통해 간접적으로 분배하는 방법을 택하고 있다. 주파수 공동사용을 포함한 UAS 스펙트럼 관리체계는 [그림 9]와 같다^[14].

지역적 주파수 공동사용은 셀룰러 개념을 도입하여 무선 핸드오프 기능을 통한 주파수 재사용을 전제로 한다. 스펙트럼 브로커(broker) 시스템은 정부의 개입을 최소화하면서 위치 기반의 스펙트럼 가용성(white space, 3.5 GHz) 및 UAV 파라미터(위치, 레인지 등)의 지식을 활용하여 주파수 관리를 수행한다. 다수의 지역 망제공자들은 경쟁을 통해 효율적으로 스펙트럼을 이용하며, 망 접속 또는 접속하지 않는 유저들에 UAV 레인지, 비행경로 등에 따라 장기간 안정적 스



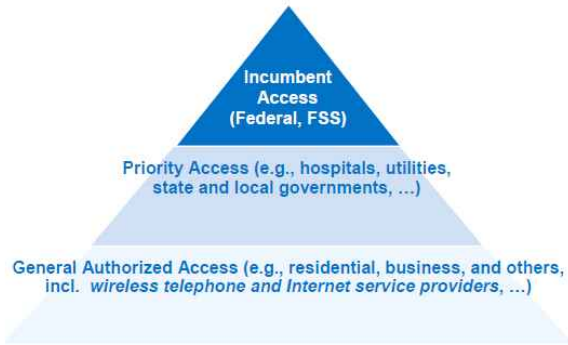
[그림 9] UAS 스펙트럼 관리체계^[14].



[그림 8] 미국의 Upper 700 MHz A 블록^[13].

팩트럼을 제공해야 한다.

NPRM은 SAS(Spectrum Access System)와 지리적 위치에 기반한 기회적 액세스 기술의 사용에 의한 [그림 10]의 3-tiered 공동사용 액세스 모델을 제안하였다^[15]. 제1 티어(tier)는 IA(Incumbent Access)로 연방정부 면허 사용자와 오랜 고정위성업무 면허권자들로 모든 타 사용자들로부터 보호를 받게 된다. 제2 티어는 PA(Priority Access)로 병원, 유틸리티, 정부설비, 공공안전과 같은 중요 사용설비를 포함하고 있으며, 어떤 지정된 위치에서 품질 확보 액세스가 제공되어야 한다. 제3 티어는 GAA(General Authorized Access)로 일반 공공을 포함한 모든 기타 사용자들을 포함하고 있으며, IA 및 PA 사용자들을 보호하면서 이들이 대역을 사용하지 않을 때 스펙트럼 이용이 가능하다. UAS 주파수 확보를 위한 공동사용을 위해서는 [그림 9]의 관리체계 안에서 지역적으로



[그림 10] 3-tiered SAS 모델^[15]

비어있는 [그림 10]의 제3 티어 계층에서의 주파수 활용을 넓혀 나가야 한다.

V. 결 론

UAS의 주파수를 용도별로 정리하면 <표 2>와 같다. 무선 조정이나 업무용 통신링크용으로 이전의 VHF 대역에서 점차 2.4 GHz 대역으로 이동하고 있어 더욱 이 대역의 활용이 증가하리라 예상되고 있다. 뿐만 아니라, 새로운 휴대용 기기의 사용이 증가하고 있어 2.4 GHz나 5.8 GHz 대의 ISM 대역은 이미 포화상태에 이르렀다. 이에 이러한 면허불요 대역인 2.4 GHz나 5.8 GHz 대역의 확장, 262~264 MHz Free band의 적극적인 활용, 특히 BLOS 주파수로 UHF 면허대역을 확보하여 국내의 위성 주파수 부재로 인한 문제를 해결해 나가야 하며, LSA를 이용하여 2-tier나 3-tier로 개방형 주파수의 주파수 공동사용 확장, 인지 무선 기술을 활용하여 동적 스펙트럼 액세스에 의한 주파수 공동사용을 강구해야 한다.

UAS를 NAS로 통합운영하기 위해서는 간섭이 없고, 신뢰성의 C3 통신링크용 스펙트럼 확보도 중요하지만, S&A 기술의 개발을 위한 각종 센서들의 기술개발뿐만 아니라, 여기에 필요한 소요 대역폭 및 운용 주파수의 확보도 매우 중요하다. 현재는 민간 항공기에 사용하는 레이더용 주파수를 사용하고 있지만, 향후 새로운 주파수의 개발이 적극적으로 추진되어야 한다.

<표 2> UAS 용도별 주파수

용도	주파수	특징
무선조정	27, 35, 40, 50, 53, 71, 75, 262~264 MHz, 458 MHz, 2.4 / 5.8 GHz	기존 ISM 및 Free band, 소출력 무선기기들과의 간섭
CNPC	LOS 960~1,164 MHz 5,030~5,091 MHz	DME / TACAN과의 간섭 국제호환, MLS와의 간섭
	BLOS 1,545~1,555 / 1,646.5~1,656.5 MHz 10.95~12.75 / 14.0~14.5 GHz, 17.3~20.2 / 27.5~30.0 GHz	기존 이동위성에 사용 기존 FS와의 간섭, WRC-15에서 논의
Payload	430, 900 MHz, 2.4 / 5.8 GHz, 4G / LTE	기존 ISM / 이동통신대역, 전용주파수 확보 필요
S&A	2,700~3,100 MHz, 9,000~9,200 MHz, 9,300~9,500 MHz	기존 항공레이더 사용, 향후 주파수 개발 필요

참 고 문 헌

- [1] 강영홍, "초연결 시대의 UAS 주파수의 효율적 활용방안", 한국전자파학회논문지, 26(10), pp. 914-923, 2015년 9월.
- [2] 김희욱, 강근석, 장대익, 안재영, "무인기 제어용 무선 통신 기술 및 표준화 동향", ETRI 전자통신동향분석, 30(3), pp. 74-83, 2015년 6월.
- [3] Real World Design Challenge, *F14 State Unmanned Aircraft System Challenge: Precision Agriculture*, Oct. 2013.
- [4] Final Report from European RPAS Steering Group, Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation Systems, Jun. 2013.
- [5] FAA, *Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System(NAS) Roadmap*, First Edition-2013, Nov. 2013.
- [6] T. Simonite, "Air traffic control for drones", *MIT Technology Review*, Oct. 2014.
- [7] P. E. Ross, "When will we have unmanned commercial airliners?", *IEEE Spectrum*, Nov. 2011.
- [8] 송복섭, "무인항공기시스템(UAS)의 운용주파수 및 통신 기술 동향", 항공우주산업기술동향, 12(1), pp. 101-107, 2014년.
- [9] M. Melega, "Autonomous Collision Avoidance for Unmanned Aerial Systems", Ph. D. Thesis, Cranfield University, 2014.
- [10] X. Yu, Y. Zhang, "Sense and avoid techniques with applications to unmanned aircraft systems: Review and prospects", *Progress in Aerospace Sciences* 74, pp. 152-166, 2015.
- [11] ITU-R Report M.2171, "Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace", Dec. 2009.
- [12] 미래창조과학부 보도자료, 2015년 6월.
- [13] AccessSpectrum, LLC, *Licensed 700MHz Spectrum for UAS and Critical Infrastructure*, Q3, 2015.
- [14] J. A. Kakar, "UAV communications: Spectral requirements, MAV and SUAV channel modeling, OFDM waveform parameters, performance and spectrum management", *Master of Science in Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University*, May 2015.
- [15] 강영홍 외, "M/W 중계 주파수의 공동사용 방안 및 기술기준 연구", 방송통신정책연구, 2014.

≡ 필자소개 ≡

강 영 홍



1984년 2월: 한국항공대학교 통신공학과(공학사)

1986년 2월: 한국항공대학교 전자공학과(공학석사)

1993년 2월: 한국항공대학교 전자공학과(공학박사)

1988년 3월~1990년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 조교

1995년 8월~1996년 8월: 일본 오사카대학 객원교수

2003년 8월~2005년 2월: 영국 York대학 방문교수

1990년 4월~현재: 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 위성통신공학, 통신공학, 이동통신공학, 정보통신 표준화, USN