

초연결 사회를 위한 전파기술 및 정책

김 창 주

한국전자통신연구원

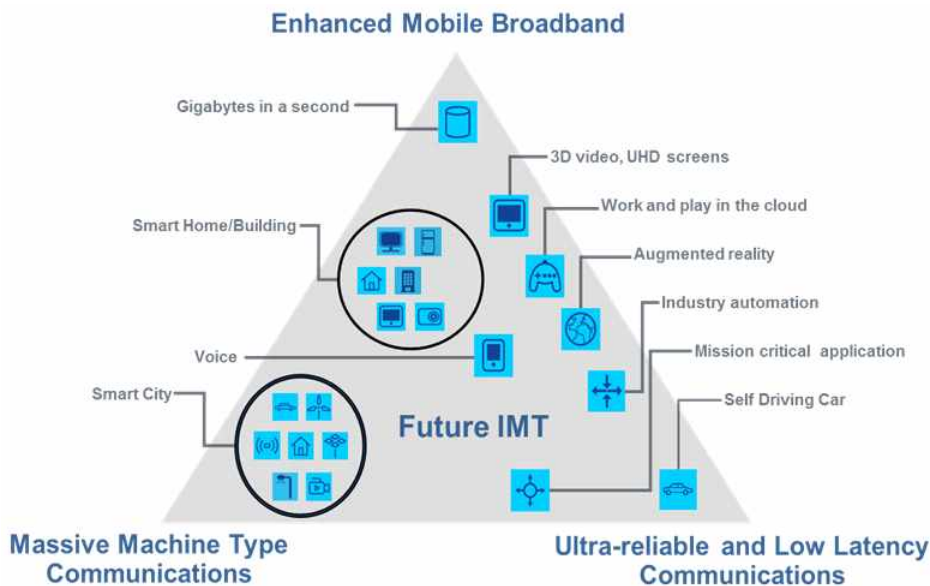
I. 서 론

무선통신 기술이 눈부시게 발전함에 따라 휴대폰은 어느덧 우리 일상생활의 필수품이 되면서 이동 중에도 인터넷 접속은 물론 video streaming이나 핀테크(FinTech) 서비스에 이르기까지 그 응용범위가 매우 다양해지고 있다. 이와 같이 급속도로 발전하는 무선통신은 조만간 모든 사람과 사물을 통신망으로 연결하는 초연결 사회(Hyper-connectivity Society)가 도래할 것으로 예측하고 있다.

먼저 ITU-R^[1]에 따르면 미래 사회는 [그림 1]에 도시한 바와 같이 모바일 브로드밴드 서비스가 더욱 향상되고, 수백억 개 이상의 장치 간에 massive IoT(Internet of Thing) 통신이 가능하며, 초고신뢰성(ultra reliable) 및 저지연(low latency) 통신이 가능해질 것으로 보고 있다. [그림 1]에서 보는 바와 같이 IMT 통신이 “Enhanced Mobile Broadband”, “Massive Machine Type Communications”, 그리고 “Ultra-reliable and Low

Latency Communications”의 3가지 방향으로 진화할 것으로 보인다.

한편, METIS(Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society)의 보고서^[2]에서는 미래의 이동통신이 대용량 사물통신(MMC: Massive Machine Communications), 초밀집망(UDN: Ultra-Dense Network), 이동망(Moving Network), 고신뢰통신(URC: Ultra-Reliable Communication), 그리고 장치 간 직접통신 등의 서비스를 제공할 것으로 예측하고 있다. 그리고 일본의 NTT DOCOMO^[3]는 5G 이동통신서비스를 “everything connected by wireless”, “extension/enrichment of wireless services”, 그리고 상기 두 가지 서비스를 위한 “cloud computing”의 중요한 역할을 차지할 것으로 제시하고 있다. 국내에서도 5G 이동통신서비스를 위하여 5G Forum을 구성하고, 산업체, 학계, 그리고 연구소를 중심으로 활발하게 연구를 수행하고 있다. [그림 2]는 5G Forum에서 제시한 5G 이동통신서비스의 개념도로써, 미



[그림 1] ITU-R의 미래 이동통신서비스 시나리오.



- 초연결 (Hyper-connectivity) 중심 5G 모바일 빅데이터 사회 도래 (다양한 수익 사업모델)
 - 소셜 네트워크의 발전으로 촉발된, 모든 것이 고도로 연결된 네트워크 사회
 - 5G 모바일을 중심으로 빠르게 주변 사람/사물간 지식정보 교류
 - 국민 소통력 극대화, 창의적 협업 사회, 새로운 일자리를 창출할 수 있는 사회

[그림 2] 5G Forum에서 제시한 초연결 사회 개념도.

래에는 5G 이동통신망을 중심으로 모든 사물이 연결되는 초연결(hyper-connectivity) 사회가 도래할 것으로 전망하고 있다^{[4],[5]}.

본고에서는 서론에 이어 제 II장에서는 초연결 사회를 위한 전파기술을 분석하고, 제 III장에서는 초연결 사회를 위한 전파 정책을 분석한다. 이를 토대로 제 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 초연결 사회를 위한 전파기술

먼저 초연결 사회에서의 전파기술을 분석하기 위하여 I장에서 정의한 초연결 사회에서의 서비스(use cases)를 좀더 구체적으로 살펴보자. NGMN^[6]에서는 초연결 사회에서의 use cases를 [그림 3]에서 보인 바와 같이 8개의 families, 13 categories, 그리고 25개의 use cases로 분류하고 있다. 이를 크게 분류하면 이동통신이 더욱 광대역화되고, 이동성이 강화되며, 대용량의 사물인터넷이 도처에서 연결되고, 저지연 및 초 고신뢰도의 통신이 이루어진다고 볼 수 있다.

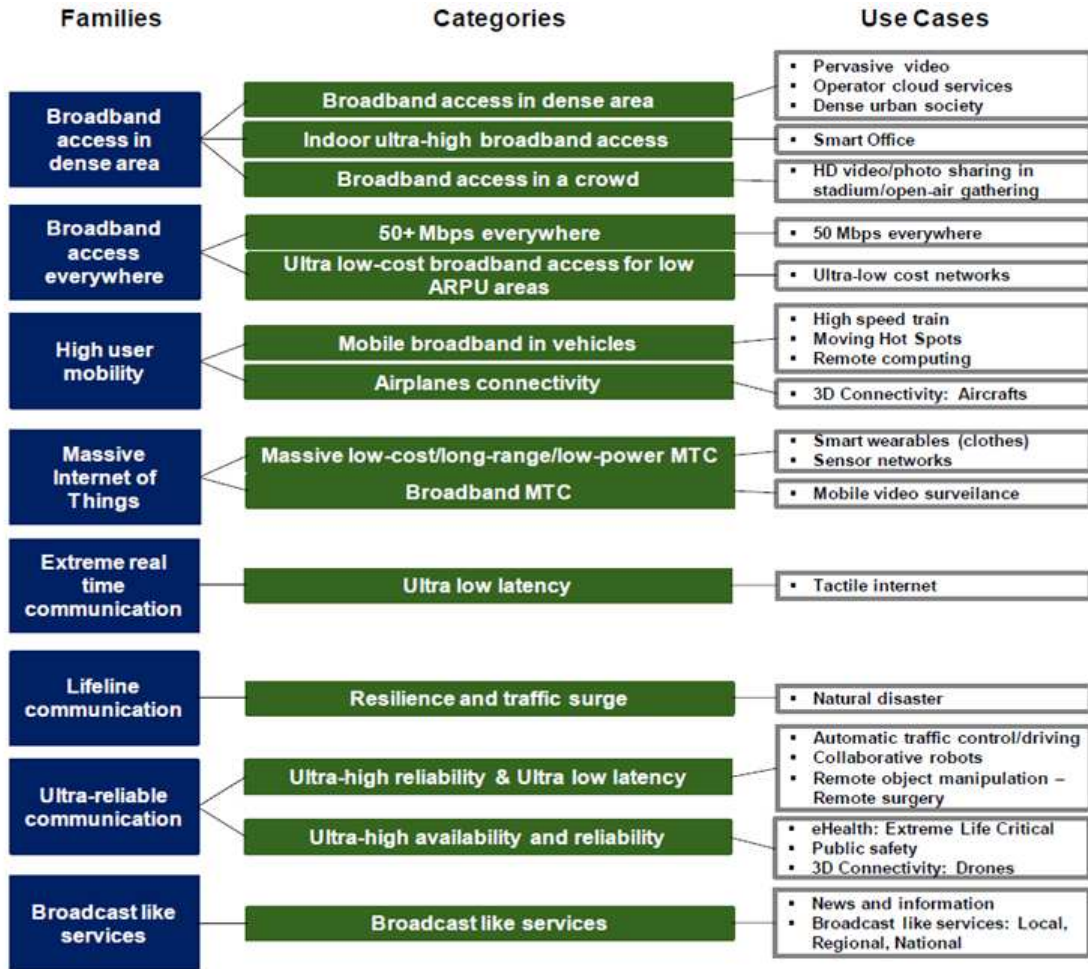
이와 같은 use cases를 토대로 초연결 사회를 위한 플랫폼 구조를 정의해 보면 <표 1>에 정리한 바와 같이 응용계층에서는 브로드밴드 서비스를 포함하여 다양한 감시/정찰 정보 서비스, 건강관리 및 진단, 물류 및 운송 관리, 그리고 원격 정밀제어 및 관리서비스 등이 가능하다. 이러한 서비스를 원활하게 제공하기 위해서는 정보 보안을 비롯하여 데이터

의 분석 및 처리 능력이 필요하고, 기본적으로 정보를 수집할 수 있는 gateway network와 정보를 센싱 및 수집할 수 있는 sensor network가 필수적이다. Gateway network는 유선/무선망을 모두 포함한다. 특히 무선망은 wide area를 커버하기 위한 위성 및 이동통신망을 포함하여 전용 IoT network, 그리고 local area를 커버하기 위한 WLAN(Wireless Local Area Network) 및 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술이 필요하다.

2-1 이동통신 기술

초연결 사회를 구축하는데 가장 핵심적인 역할은 이동통신망이다. 이동통신망은 가장 기술이 성숙되었을 뿐만 아니라, 전국 어디에서나 access가 가능하도록 잘 구축되어 있다. 뿐만 아니라 5G 이동통신은 mobile broadband service는 물론 massive IoT, 그리고 ultra-reliable & ultra low latency service를 제공할 수 있게 된다. 따라서 본 절에서는 이동통신망의 구축 및 기술발전 방향을 먼저 살펴본다. [그림 4]는 NTT Docomo에서 제시한 미래이동통신기술 및 사용 주파수에 대한 그림이다.

미래 이동통신은 전국에 걸쳐 모든 곳에서 통신이 가능하고, hot-spot 지역의 giga bps급의 무선통신이 원활하게 이루어지려면 여러 가지 주파수를 전파특성에 따라 적절히 사용하여야 한다. 초고속 이동 서비스를 제공하기 위해서는 3 GHz 이하의 주파수를 사용하여야 하고, 초광대역 traffic을



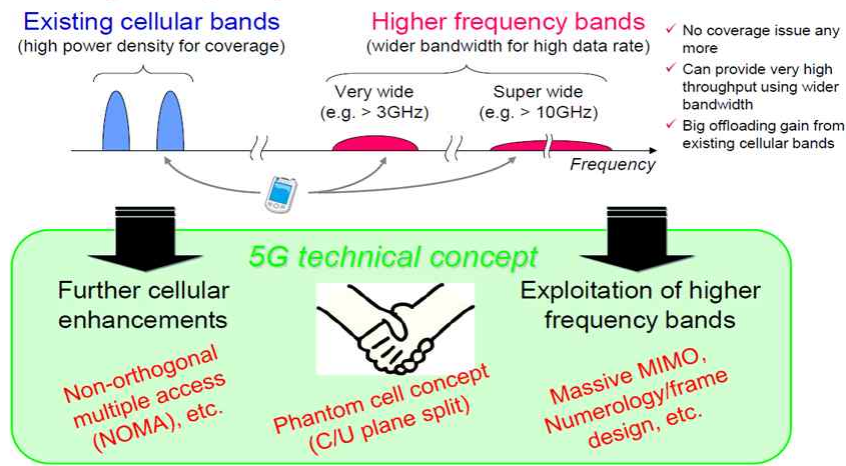
[그림 3] 초연결 사회의 use cases.

<표 1> 초연결 사회를 위한 플랫폼 구조

Applications	Broadband service	Surveillance	Healthcare	Asset management & tracking	Remote control
Data management	Security		Data processing & management		Analytics
Gateway network	Wired		Wireless		
	<ul style="list-style-type: none"> · Ethernet · Fibe · Cable 	Satellite	Mobile	Dedicated IoT	WLAN
			<ul style="list-style-type: none"> · IMT-Advanced · IMT-2020 	<ul style="list-style-type: none"> · Weightless 	
Sensor & sensor network	WPAN		Radio sensor		RFID
	<ul style="list-style-type: none"> · Zigbee · 6LowPAN 	<ul style="list-style-type: none"> · Bluetooth · UWB 	<ul style="list-style-type: none"> · Radar · UWB 	<ul style="list-style-type: none"> · IR/Terahertz Sensor · NFC 	

Combined usage of lower and higher frequency bands

→ Higher frequency bands become useful and beneficial!



[그림 4] NTT DOCOMO가 제시한 이동통신 대역별 주파수 이용방안.

수용하기 위해서는 millimeter wave를 사용하여 대용량의 정보를 전송하는 것이 효율적이다. 또한 IoT 서비스를 위해서는 커버리지나 QoS에 따라 다양한 주파수를 사용할 수 있다. 예를 들면 넓은 지역에서 소량의 센서 정보를 전달하는 경우에는 낮은 주파수를 사용하고, 제한된 지역에서 영상정보를 전송하는 경우에는 3 GHz 이상의 주파수를 사용하는 것이 적절하다. 한편, D2D 서비스는 재난 현장에서는 1 GHz 이하의 낮은 주파수를 사용하고, hot-spot 지역에서는 3 GHz 이상의 주파수를 사용하는 것이 바람직하다. URC 서비스의 경우에는 서비스 영역과 통신 지연시간 등에 따라 주파수 대역을 구분하여 선정할 필요가 있다. [그림 4]는 NTT DOCOMO 사가 제안한 개념도이다^[3]. 기본적으로 제어정보(control plane)와 사용자 정보(user plane)를 분리하여 3 GHz 이하의 주파수는 전국을 커버하면서 제어정보와 저속의 데이터를 처리하고, 3~5 GHz 대역의 주파수는 사용자의 정보를 고속으로 전송한다는 개념이다. 한편, 3 GHz 이하의 주파수 대역은 가용한 대역폭이 충분하지 않기 때문에, 새로운 다원접속에 대한 연구가 필요하다. 일본의 NTT DOCOMO는 NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)^[7] 방식을 연구하고 있고, 중국은 SCMA(Sparse Code Multiple Access)^[8] 다원접속 방식을, 그리고 유럽에서는 FBMC(Filter Bank Multi-Carrier)^[9] 방식을 연구하여 guard time을 줄임으로써 전송효율을 높이는 연구를 수행하고 있다. 또한 10 GHz 이상의 주파수 대역에서는

massive MIMO^[10]와 같은 기술을 이용하여 대용량의 정보를 전송하는 연구를 진행하고 있다.

한편, 3GPP에서는 machine type communications를 직접 수용하기 위하여 <표 2>의 Rel-12 규격을 제정하여 half duplex 방식으로 1 Mbps peak data를 전송하는 규격을 제정하였으나, 이 규격으로는 IoT 전용 규격에 비해 전송거리나 battery 수명의 관점에서 미흡하여, 이보다 전송속도가 낮은 200 kbps 이하의 전송속도를 갖는 규격은 Rel-13에서 제정할 예정이다.

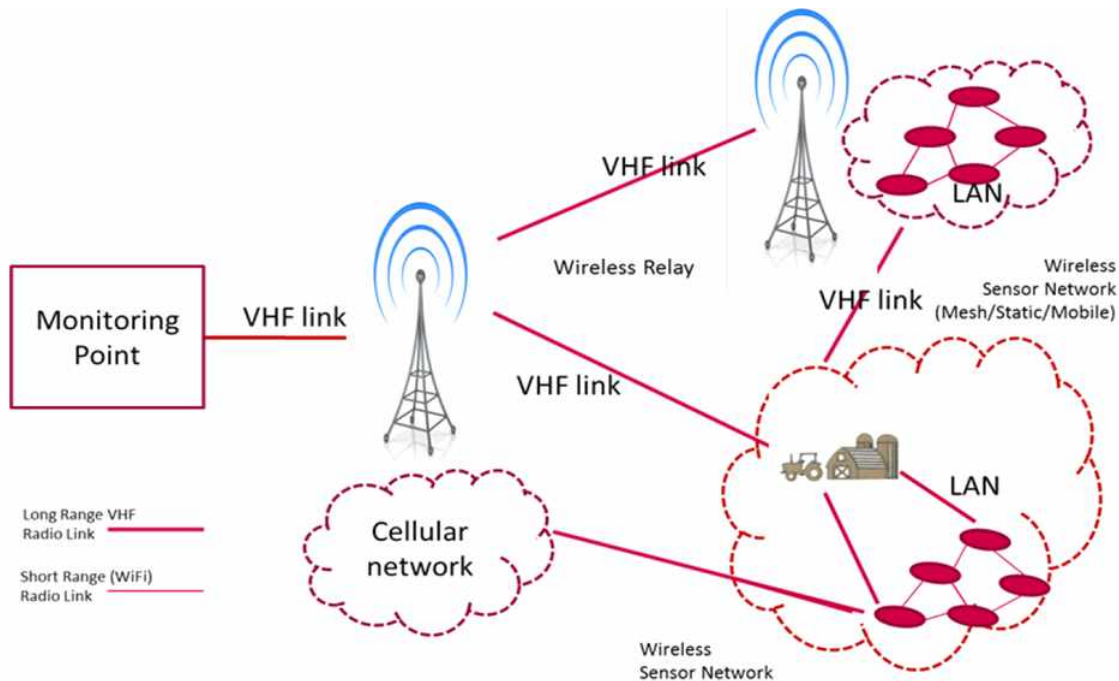
2-2 IoT 전용 통신망

IoT 전용망은 영국 및 유럽을 중심으로 구축되고 있다. 현재는 표 x에 나타낸 weightless 규격을 중심으로 구축하고 있으나, 향후에는 폴 대역을 이용하여 구축할 전망이다. [그림 5]는 Ofcom에서 제안한 IoT 망으로 UHF 대역을 이용하여 장거리 IoT 망을 구축하고, 이동통신망과 WLAN 등과 연계하여 서비스를 제공한다는 개념이다^[11].

<표 3>은 Weightless IoT 표준 규격으로 Weightless-N은 ISM 대역을 이용하여 simplex 방식으로 간단한 정보를 수집하는데 이용된다. 이 규격은 협대역을 이용하여 DBPSK(Differential Binary Phase Shift Keying) 변조방식을 사용하는데, 간섭을 줄이기 위하여 frequency hopping 방식을 사용한다. 이 외에도 TV white space 대역을 이용하는 Weightless-W 규격과 Weightless-P 규격이 있는데, 이 두 가지 규격은 양방향통신이다.

〈표 2〉 LTE 규격

	Rel-8 Cat-4	Rel-8 Cat-1	Rel-12 Cat-0	Rel-13
Downlink peak rate	150 Mbps	10 Mbps	1 Mbps	~ 200 kbps
Uplink peak rate	50 Mbps	5 Mbps	1 Mbps	~ 200 kbps
Max number of downlink spatial layers	2	1	1	1
Number of UE RF receiver chains	2	2	1	1
Duplex mode	Full duplex	Full duplex	Half duplex (opt)	Half duplex (opt)
UE receive bandwidth	20 MHz	20 MHz	20 MHz	1.4 MHz
Maximum UE transmit power	23 dBm	23 dBm	23 dBm	~ 20 dBm
Modem complexity relative to Cat-1	125 %	100 %	50 %	25 %



[그림 5] VHF를 이용한 IoT 전용망.

2-3 면허 불요 소출력 무선기술을 이용한 IoT

2-3-1 RFID 기술

RFID 기술은 IoT 기술의 탄생과 함께 발달한 기술로 tag의 정보를 reader가 읽어 들여 인터넷에 연결하는 기술로 교통카드나 핀테크 등에 이미 활용되고 있고, 많은 문헌에서 잘 정리되어 있으므로 본고에서는 생략한다.

2-3-2 WLAN/WPAN 기술

WLAN 기술은 인터넷 접속은 물론 DSRC(Dedicated Short Range Communication)를 위한 IEEE802.11p, IoT를 위한 IEEE802.11ah, 그리고 Wi-Fi direct 등 매우 다양하게 이용되고 있다. 본고에서는 초연결 사회에 핵심인 IEEE802.11ah에 대하여 살펴본다. 본 표준은 <표 4>에 정리한 바와 같이, 1 GHz 이하에서 IoT를 위한 표준으로 가용 대역 및 응용서비

〈표 3〉 Weightless IoT 규격

	Weightless-N	Weightless-P	Weightless-W
Directionality	1-way	2-way	2-way
Feature set	Simple	Full	Extensive
Range	5 km+	2 km+	5 km+
Battery life	10 years	3~8 years	3~5 years
Terminal cost	Very low	Low	Low-medium
Network cost	Very low	Medium	Medium

〈표 4〉 IEEE802.11ah 표준

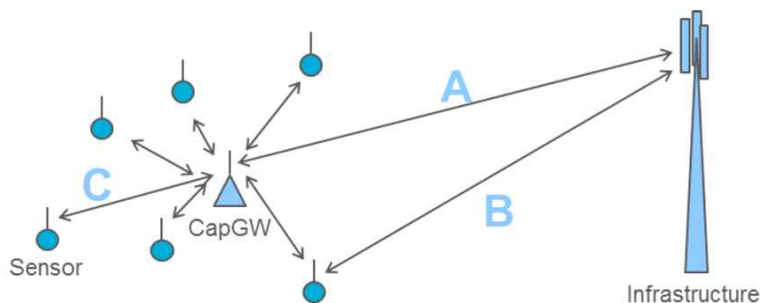
Bandwidth (MHz)	PHY rate	Features
1	150 kbps~4 Mbps	· For license exempt bands below 1 GHz · Enhancements for short packets, reduced power, huge number of devices · Machine type communications, home automation, wearable devices · Extended range connectivity up to 1 km
2	650 kbps~7.8 Mbps	
4	1.35~18 Mbps	
8	2.90~39 Mbps	
16	5.8~78 Mbps	

스의 범위에 따라 데이터의 전송율과 전송거리도 다르다. IEEE802.11ah 표준의 특징은 많은 장치가 IoT를 지원할 수 있도록 협력 장치 간에 그룹을 형성할 수 있는 동시에 저전력의 특성을 갖는다.

WPAN 기술은 10 m 이내의 개인공간에서 이루어지는 통신으로, IEEE 802.15.1 규격의 bluetooth, zigbee, 그리고 UWB (IEEE802.15.1) 등이 대표적인 기술이다. IoT와 직접 관련된 WPAN 기술은 IEEE802.15.4 Low Rate PAN 기술로 낮은 전송속도, battery의 긴 수명, 그리고 복잡도가 낮은 특징을 갖

는다. 또한 IEEE802.15.4a는 UWB 기술이나 chirped FM 방식을 사용하여 1 meter 이내의 고정밀 위치 정보, 가변 데이터 전송, 그리고 장거리 및 저전력 전송특성을 갖는다. 한편, 센서의 정보량이 적은 경우에는 [그림 6]에 나타난 바와 같이, capillary network^[12]를 구축하여 bluetooth나 Weightless 규격을 사용하여 정보를 모은 다음에 이를 infrastructure에 통신하는 방안도 좋은 방법이다.

III. 초연결 사회를 위한 전파 정책 분석



[그림 6] Capillary network를 이용한 IoT 망 구축방안.

제 II장에서 기술한 바와 같이, 초연결 사회를 구축하기 위해서는 <표 5>에서 제시한 바와 같이 이동통신, 위성통신은 물론 전용 IoT 통신망, WLAN/WPAN, 그리고 radar 등의 각종 센서망을 결합하여야 한다. 먼저 초연결 사회의 핵심 기술인 이동통신은 기존에 사용하는 저주파에서부터 밀리미터파까지 모두 사용하여 HetNet을 구축하여야 한다. 특히 3 GHz 이하의 저주파 대역은 macro cell 위주로 주파수를 할당하고, 3~6 GHz 대역은 small cell(pico cell, femto cell, Wi-Fi 포함)로 이용하고, 밀리미터파 대역은 실내나 작은 공간 또는 backhaul 용도로 사용하도록 주파수 정책을 수립하여야 한다. 이를 위해서 5 GHz 대역 이하에서는 주파수의 회수/재배치 또는 주파수 공동사용을 적극 활성화시키고, 밀리미터파 대역은 기술개발을 적극 추진하되, 글로벌 주파수 대역을 발굴할 필요가 있다. 특히 5G 이동통신의 다양한 요구사항을 만족시키기 위하여 이미 배타적 할당을 통하여 공급한 3 GHz 이하의 대역은 전국망 서비스로 이용하고, 3~5 GHz 대역과 같이 이미 기존 사용자가 있는 대역은 LSA(Licensed Shared Access) 방식으로 주파수 공동사용 방식을 이

용하여 small cell 용으로 할당하는 것이 바람직하다. 다만 이 대역에서 주파수의 회수 및 재배치가 가능한 대역은 장기적으로 배타적으로 할당하는 것이 바람직하다.

한편, 5 GHz 대역은 이미 세계적으로 Wi-Fi의 이용 대역으로 분배되어 있고, 많은 국가에서 Wi-Fi 이용이 활성화되어 있기 때문에 Wi-Fi 이용을 적극 활성화하여 이동통신 트래픽을 off-loading하여야 한다. 최근 들어 미국과 유럽을 중심으로 5.35~5.47 GHz 대역과 5.85~5.925 GHz 대역도 Wi-Fi 이용을 추진하고 있다²⁶⁾. 그리고 connected car 기술이 점차 발달하면서 5.85~5.925 GHz 대역의 ITS(Intelligent Transportation Systems) 대역으로 지정하여야 한다. 이 대역은 ITS 서비스를 PU로 지정하고, Wi-Fi 서비스는 ITS에 간섭을 주지 않는 조건으로 허용하는 것이 바람직하다. 현재 우리나라에서는 5.65~5.925 GHz 대역에 방송중계용 주파수를 설정하여 다른 나라와 조화를 이루지 못하고 있다. 이러한 점도 국제 호환성을 위하여 조속히 개정할 필요가 있다. 제 I장에서 기술한 초광대역 서비스를 위한 주파수는 10 GHz 이상의 대역을 적극 활용하여야 한다. 유럽에서는 71~76/81~86 GHz

<표 5> 초연결 사회를 위한 주파수 대역 이용방안

스펙트럼 면허 관점	초연결 사회 통신 수단	주파수 이용 대역	주파수 정책 방안
Licensed	위성	· L, S, C, X, Ku, K, Ka 대역 등	· 기존 대역 활용
	방송	· VHF, UHF 대역 등	· 50~80 MHz 대역 IoT 활용 검토 · 방송대역의 이용효율화 추진
	이동통신	· 3.0 GHz 이하의 대역	· 배타적 주파수 대역 추가 확보
		· 3.0~5 GHz 대역	· LSA 기반 주파수 공동사용 적극 추진
Unlicensed	용도 지정	· 13.56 MHz	· RFID, NFC 등
		· 917~923 MHz 대역	
		· 402~405 MHz 대역	· MICS
		· 1 GHz 이하의 대역(5~6 MHz 대역폭)	· Wide area low/medium QoS 대역 발굴
	용도 미지정	· 5.85~5.925 GHz	· ITS(WAVE 규격 기반)
		· 2.4 GHz, 5.8 GHz	· ISM 대역
· 5.15~5.35, 5.35~5.47 등		· DFS기반 특정 소출력 무선	
		· 60 GHz FACS 대역	· 근거리 초광대역 통신

대역을 적극 검토하고 있고, 우리나라에서는 28 GHz 대역의 기술을 개발하고 있다. 이동통신 대역은 국제적인 조화가 매우 중요하므로 이러한 점을 잘 파악하고, 국제적인 조화를 통하여 통일된 대역의 기술개발이 시급하다고 볼 수 있다.

또한 RFID와 같은 용도 지정의 주파수와 용도 미지정 (spectrum commons) 주파수를 적극 활용하여야 한다. 미국은 용도 미지정의 주파수 확대를 통하여 초연결 사회를 대비하는 반면에, 영국에서는 QoS를 갖는 IoT 대역을 별도로 발굴하는 추세이다. 이 경우 QoS를 보장하기 위하여 Ofcom은 first come first serve 기반으로 light licensing 정책을 검토하고 있다. 한편, QoS 관점에서 서비스 품질을 보장해 주어야 하는 서비스인지? 아니면 best efforts 서비스인지에 따라 주파수 대역을 달리 선정할 필요가 있다. 이와 함께 battery life도 매우 중요하다. 사람의 접근이 어려운 sensor의 경우 전원을 오래 사용하거나, 자체 생산(energy harvesting)하여 사용하여야 하고, 건물을 통과하여 통신하는 경우에는 저주파를 사용하여야 한다.

IV. 결 론

본고에서는 무선통신 기술의 눈부신 발전과 함께 조만간 우리 사회에 다가올 초연결 사회에서의 전파기술 및 서비스에 대하여 살펴보고, 이를 위한 전파정책에 관하여 정리하였다. 초연결 사회를 위한 중요한 연결수단으로써 5G 이동통신기술의 개발이 매우 중요하고, 전용 IoT network 구축과 함께 면허불요대역(licensed band)의 기술 개발 및 활용도 중요하다. 특히 5G 이동통신에서의 향상된 브로드밴드 서비스와 massive IoT, 그리고 초고신뢰도 및 저지연 기술을 기반으로 활용하여야 하고, 새로 개발되는 Rel-13의 LTE-M 규격을 적극 활용하여야 한다. 이와 함께 sub-giga hertz 대역에서 전용 IoT network의 구축도 적극 검토할 필요가 있다. 초연결 사회의 응용서비스에 따라 VHF 대역의 전용망을 구축하여 광역 IoT 서비스를 제공하는 것을 적극 검토하여야 하고, QoS 를 보장하는 IoT 서비스도 고려하여야 한다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-R, "IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", *Document 5D/601-E*, Feb. 2014.
- [2] METIS, "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system", *ICT-317669-METIS/D1.1*, Apr. 2013.
- [3] NTT DOCOMO, "NTT DOCOMO's Views on 5G", *5G-Johnnesberg-Summit*, 2014.
- [4] 5G Forum, "지식강국으로 가는 미래 이동통신 비전", 5G 포럼세미나, 2013년 11월.
- [5] 5G Forum, "5G Vision, Requirements, and Enabling Technologies[V.1.0]", Mar. 2015.
- [6] NGMN, "NGMN 5G white paper", Feb. 2015.
- [7] Y. Saito et al., "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access", *IEEE VTC spring*, 2013.
- [8] H. Nikopour, "Sparse Code Multiple Access", *PIMRC*, 2013.
- [9] T. Ihalainen et al., "Generation of filter bank-based multi-carrier waveform using partial synthesis and time domain interpolation", *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: 57(7)*, Jul. 2010.
- [10] J. Hoydis et al., "Making smart use of excess antennas: Massive MIMO, small cells, and TDD", *Bell Labs Technical Journal*, 2013.
- [11] Ofcom, "More Radio Spectrum for the Internet of Things", Sep. 2015.
- [12] METIS, "Description of the spectrum needs and usage principles", *ICT-317669-METIS/D5.3*, Aug. 2014.

≡ 필자소개 ≡

김 창 주



1976년~1980년: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1986년~1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1989년~1993년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1979년 12월~1983년 3월: ADD 연구원

1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

1994년~1998년: 한국전자통신연구원 전파신호처리연구실장

1999년~2001년: 한국전자통신연구원 이동통신모델연구부장

2003년~2010년: 한국전자통신연구원 전파기술연구부장

[주 관심분야] 이동통신, 전파기술, Cognitive Radio 기술 등