

IEEE 802.22 WRAN 표준기술	김 창 주
	ETRI

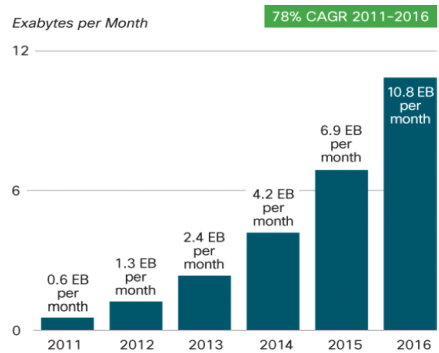
I. 서 론

전파자원은 국가의 소중한 무형자산으로서, 무선 통신의 발전과 함께 자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나, 21세기의 정보화 사회에서는 전파자원도 그에 못지않게 소중한 자산으로 인식되고 있다. 특히 전파자원은 국가의 경제발전은 물론 안보나 공공 안전, 재난 구조, 그리고 새로운 과학기술의 탐구 등 그 응용분야가 매우 다양하여 미국, 영국 등 선진국에서는 이를 체계적이고, 효율적으로 이용하기 위하여 자국의 전파정책방향을 설정하고, 이를 기반으로 관련 정책 및 기술개발을 적극적으로 추진하고 있다^[1].

최근 들어 스마트 사회의 도래와 함께 사회 전 분야에서 무선 트래픽이 폭증함에 따라 주파수에 대한 요구가 급증하고 있으나, 주파수 자원은 한정되어 있어 수요 공급을 맞추기가 어려운 상황이다. [그림 1]은 미국의 Cisco Systems사에서 예측한 모바일 데이터 트래픽으로 2016년도에는 월평균 10.8 exabyte가

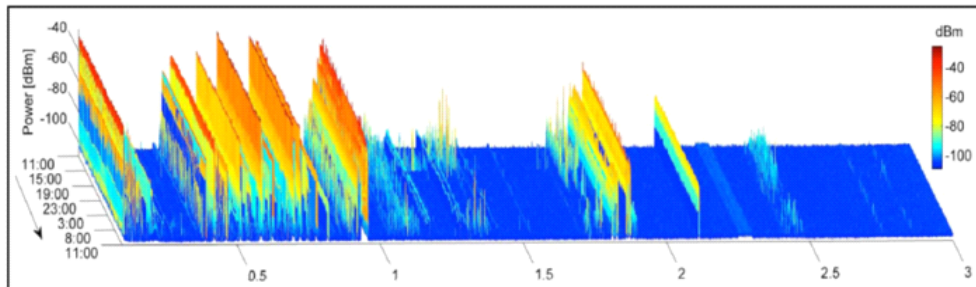
지 증가하여 2011년보다 18배 늘어날 것으로 예상하고 있다^[2].

그러나 무선 트래픽은 상기 언급한 바와 같이 기하급수적으로 증가하는데 비하여, 전파의 이용률은 세계에서 전파의 이용률이 가장 많은 뉴욕시의 경우에도 UHF 주파수의 이용률이 약 15 % 이하로 보고되고 있다^[3]. 특히 European Commission의 측정 결과는 미국보다 낮은 8 % 정도이다. [그림 2]는 체코의 Brno 지역에서 측정된 주파수 이용현황으로 FM 라디오 방



[그림 1] 모바일 트래픽 예측

24-hour cycle near Brno, Czech Republic, July 2008



Source: Valenta, et al(2010)

[그림 2] EU의 주파수 이용률 측정 결과

송이나 이동통신 주파수의 이용률은 매우 높으나, 나머지 무선통신기기의 이용률이 매우 낮은 것을 알 수 있다⁴⁾.

이와 같이 급증하는 무선 트래픽과 저조한 주파수 이용률에 대응하여 세계 각국에서는 cognitive radio^{5),6)} 기술의 발달과 함께 주파수 공동사용에 대한 연구와 기술개발을 활발하게 진행하고 있다. 미국 상무성 산하의 NTIA(National Telecommunications and Information Administration)에서는 CR 기술을 “전파환경을 측정, 이로부터 무선기기의 동작 파라미터를 자동으로 조정함으로써 system operation을 변경하는 기술”로 정의하고 있다. 여기에서 system operation은 전송효율의 향상, 간섭 경감, 이종 시스템 간의 interoperability 향상, secondary market access 등을 일컫는다. 이 중에서 주파수 자원의 효율적 이용에 관한 응용은 secondary market access이다. 이를 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 1차 이용자가 사용하지 않는 주파수를 찾아서 비어 있는 시간에만 이 주파수를 이용하는 dynamic spectrum access 기술이 필요하다.

본 고에서는 서론에 이어 제Ⅱ장에서는 IEEE 802.22 WRAN 서비스의 개요 및 FCC 규격에 대하여 기술하고, 제Ⅲ장에서는 IEEE 802.22 WRAN 표준의 핵심기술을 설명한다. 그리고 제Ⅳ장에서 TVWS 이용에 대한 결론을 맺는다.

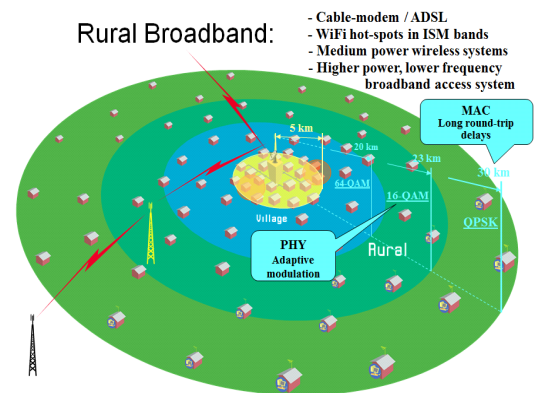
Ⅱ. IEEE 802.22 WRAN

2-1 서비스 시나리오

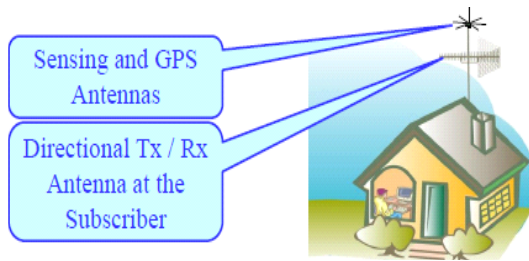
TV 주파수 대역은 전파특성이 매우 우수한데 반하여, 지역적으로 사용하지 않고 비어있는 채널이 많이 있다. 미국이나 영국의 통계에 따르면 시골지역의 경우 100 MHz 이상의 대역이 사용되지 않고 있다. 따라서 IEEE 802에서는 이러한 TVWS를 활용하여 미국, 캐나다, 브라질 등과 같이 광활한 시골지역에서 ADSL이나 케이블 모뎀과 동급의 wireless

broadband 서비스를 제공할 수 있는 표준을 제정할 목적으로 WRAN(Wireless Regional Area Networking) working group을 2004년 11월에 결성되었다. WG은 FCC에서 발행한 “Unlicensed operation in the TV broadcast bands(FCC 04-186)⁷⁾”를 토대로 2005년 1월부터 2005년 9월까지 FRD(Functional Requirements Document)를 작성하였다. 이 FRD에 따르면 서비스 커버리지는 33 km이고, CPE(Customer Premise Equipment)의 최대 전력은 4 watt, 그리고 서비스 availability F(50, 99.9)를 만족하는 제안서를 작성하도록 되어 있다. [그림 3]은 WRAN 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오이다. 그림에서 5 km 이내의 village는 LTE 또는 mobile WiMaX(또는 WiBro)를 이용하여 서비스를 제공하고, 5~40 km의 rural area는 WRAN system으로 service를 제공한다는 개념이다⁹⁾. WRAN system에서 목표로 하는 지역의 인구밀도는 1.25 명/km² 정도의 rural area이다.

WRAN의 Network Topology는 PMP(Point to Multi-point) 형태로서 4 W EIRP의 기지국은 셀 반경이 17 km인 반면에, 100 W EIRP 기지국의 30 km의 Cell Radius를 가정한다. 그리고 기지국 안테나의 높이는 30 m, 가입자 안테나는 높이가 10 m인 방향성 안테나를 사용



[그림 3] WRAN 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 시나리오



[그림 4] WRAN CPE 개념도

하고, FBR (Front-Back Ratio)는 14 dB를 전제로 규격을 제정하였다. 한편, WRAN 기기는 PU와 공존을 위하여 GPS 기반의 위치정보를 확보하여야 한다. [그림 4]는 가정에 설치하는 CPE antenna 및 이용에 대한 개념도이다⁹⁾. Spectrum sensing은 전 방향의 신호를 sensing하고, 기지국과 통신하는 안테나는 방향성을 가지는 안테나를 사용한다.

2-2 WRAN Functional Requirements 및 FCC 규격

〈표 1〉은 TVWS에서 1차 사용자와 TVBD(TV Band Device)가 공존하기 위하여 WRAN WG에서 정한 기

〈표 1〉 WRAN functional requirement

DFS parameters	Value for part 74 devices	Value for TV broadcasting
Channel availability check time	30 sec(recommended)	30 sec(recommended)
Non-occupancy period	10 minutes(recommended)	10 minutes(recommended)
Channel detection time	≤ 2 sec to ≥ 90 % PD with false alarm rate of ≤ 10 %	≤ 2 sec to ≥ 90 % PD with false alarm rate of ≤ 10 %
Channel setup time	2 sec	2 sec
Channel opening transmission time (Aggregate transmission time)	100 msec	100 msec
Channel move time (In-service monitoring)	2 sec	2 sec
Channel closing transmission time (Aggregate transmission time)	100 msec	100 msec
Interference detection threshold	-114 dBm(200 kHz BW)	-114 dBm(6 MHz BW) for DTV

능 요구사항이다. Channel availability check time은 TVBD가 채널을 사용하기 전에 그 채널이 비어 있는 채널인지를 체크하는 시간으로 30초 이상 비어 있어야 한다. 그리고 non-occupancy period는 PU가 한번 나타나면 최소 10분 이상은 그 채널을 사용하지 못하는 시간이다. Channel detection time은 2초 이내로, 이 시간에 -14 dBm의 PU 신호 검출율은 90 %, 그리고 오경보율은 10 % 이하이어야 한다. Channel move time은 PU가 나타난 시간부터 채널을 비우는데 필요한 시간으로, 이 시간에 PU를 검출하고, 해당 채널을 사용하는 장치들이 송신을 중단하고 다른 채널로 전환하는 시간이다.

이 요구사항에서 가장 기술적으로 어려운 사항은 interference detection threshold 문제이다. 6 MHz 대역을 사용하는 -114 dBm의 TV 신호를 90 % 확률로 검출하는 것이 매우 어렵다. 6 MHz 대역의 thermal noise에 noise figure와 antenna cable loss 등을 고려하면 실제로 noise floor가 -95 dBm이 된다. 따라서 -19 dB의 신호를 90 % 확률로 검출하려면 25 dB 이상의 processing gain을 얻어야 한다.

〈표 2〉는 FCC의 규격으로 device type(Fixed, Personal/portable)에 따라 다른 규격을 제시하고 있다^[10]. 고정형의 장치는 매일 한번 이상의 WSDB (White Space Data Base)를 접속하여 가용 채널을 확인해야 하고, personal/portable 장치 중에서 master device (mode II)는 WSDB 를 분당 1회 접속하여 가용채널을 확인하여야 한다. Master device에 연동된 slave device(mode I) 장치는 mode II 장치의 제어 하에 동작하므로 DB 접속이 필수사항은 아니다. 한편, sensing only device는 DB 접속은 요구되지 않으나, spectrum sensing 기능이 필요하다.

III. IEEE 802.22 WRAN 핵심기술

3-1 WRAN Channel Model 및 OFDM 전송방식 설계

WRAN 표준은 서비스 영역이 매우 넓기 때문에 이로 인한 채널 모델이 매우 다르다. WG에서는 이러한 특성을 고려하여 〈표 3〉에 나타낸 바와 같이 A, B, C, D 4가지 채널 모델을 확정하고, 이를 토대로 규격을 제정하고, 성능 시뮬레이션에 사용하기로 하였다.

따라서 OFDM의 GI(Guard Interval)을 최대 74.665 μ s로 설정하고, OFDM symbol time을 이의 4배인 298.66 μ s를 기본 symbol 단위로 정하였다. GI는 WRAN 서비스 영역 및 multipath 환경에 따라 OFDM symbol time의 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 모드 중에서 선택

〈표 3〉 WRAN multipath profile

Multipath profile	A	B	C	D
RMS delay spread(ms)	2.772	1.956	5.692	16.527*

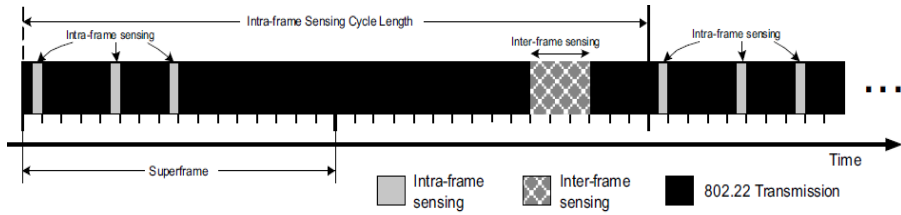
*6번째 전파경로는 상대전력 -10 dB의 excess delay 60 μ s

〈표 4〉 WRAN OFDM parameters

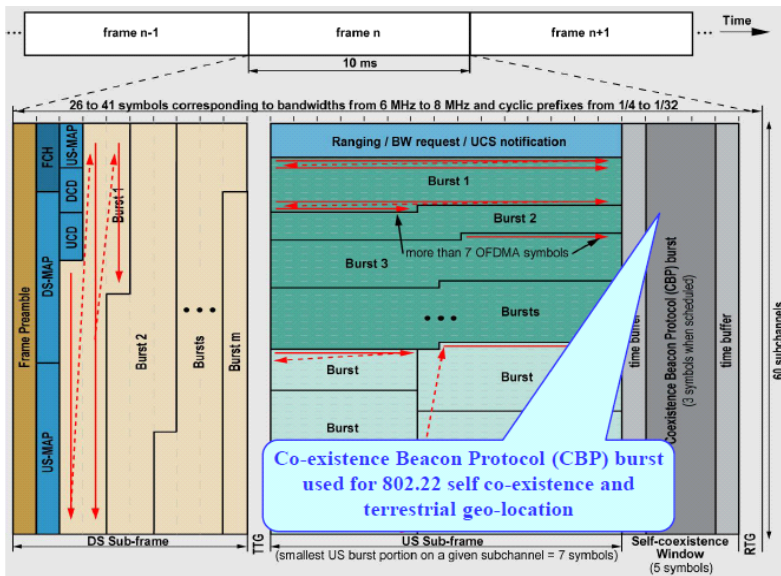
Parameter	1 TV bands		
	6	7	8
Inter-carrier spacing, $\Delta F(\text{Hz})^{(*)}$	3.348	3.906	4.464
FFT period, $T_{\text{FFT}}(\mu\text{s})^{(*)}$	298.66	256.00	224.00
Total no. of sub-carriers, N_{FFT}	2,048		
No. of guard sub-carriers, $N_G(L, DC, R)$	368(184,1,183)		
No. of used sub-carriers, $N_U=N_D+N_P$	1,680		
No. of data sub-carriers, N_D	1,440		
No. of pilot sub-carriers, N_P	240		
No. of sub-carriers per BIN	14(12 datas + 2 pilots)		
No. of BIN per subchannel	4		
No. of sub-carriers per subchannel	56(48 datas + 8 pilots)		
Occupied bandwidth(MHz) ^(*)	5.628	6.566	7.504
Bandwidth efficiency(%) ^(**)	93.8		

〈표 2〉 FCC regulations

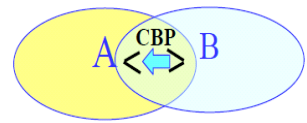
	Fixed device	Personal/portable device		
		Mode I (slave)	Mode II (master)	Sensing only
Geolocation awareness	Required (+/- 50 m)	Not required	Required (+/- 50 m)	Not required
WSDB access	Required(once/day)	Not required	Required(once/minute)	Not required
Spectrum sensing	Not required			Required
Available TV channels	2~51(except 3, 4, 37)	2~51 (except 37)		
EIRP	4 W	100 mW		50 mW



[그림 5] WRAN frame 구조 및 quiet period



(a) CBP MAC 프로토콜 구조



(b) CBP 통신 방법

[그림 6] CBP 프로토콜 구조 및 통신 방법

하여 사용한다^[12].

이렇게 정하면 채널 6 MHz 채널에서 2k FFT sub-carrier 중에서 채널의 양 끝에 guard band를 두고, <표 4>에 나타난 바와 같이 1680개의 sub-carrier를 이용하여 실제 데이터의 전송이나 채널 추정을 한다. 한편, 물리계층에서는 서비스 coverage가 최대 100 km 이기 때문에 delay spread가 다른 서비스와 다르게 최대 60 μs이다. 따라서 채널 특성 자체가 frequency selective channel이어서 channel estimation 및 compensation 기술이 정교하게 설계되어야 한다.

3-2 PU와 WRAN의 Co-existence

본 표준의 주요 특징 중의 하나는 WRAN 서비스가 secondary user로서 TVWS 채널을 이용하기 때문에, database access 기능이나 spectrum sensing 기능, 그리고 primary user가 출현하는 경우 channel movement 등이 고려되어야 한다. 또한 TV channel이 지역적으로 사용 가능한 채널이 다르기 때문에 geo-location이 매우 중요하여 이 기능을 표준에 반영하였다. 특히 채널을 사용하는 중간에도 주기적으로 primary user를 검출하여야 하므로 이를 검출하기 위한 수단으로 [그림 5]에 도시한 바와 같이 quiet period를 두었다^[11].

PU에 대한 spectrum sensing은 구현에 따라 달라지

지만, 통상 2-stage sensing, 즉 intra-frame sensing과 inter-frame sensing을 고려한다. Intra-frame sensing은 frame 내에서 이루어지는 sensing으로 상대적으로 짧은 sensing time에 PU를 검출하는 방법이고, inter-frame sensing은 신호의 존재가 미약하거나 PU 신호에 대한 identification까지 수행하는 경우에 사용된다. MAC 표준은 quiet period를 상황에 맞게 scheduling 할 수 있도록 규격을 제정하였고, primary user가 나타난 경우, 이를 base station에 긴급히 알려주는 UCS(Urgent Co-existence Situation) 기능을 두었다.

WRAN의 또 다른 특징은 광활한 시골지역에서 사용되는 통신망이기 때문에, 유선 backbone network를 기대하기 어렵다. WG에서는 이를 고려하여 CBP(Co-existence Beacon Protocol)을 설계하였다. [그림 6]에 보인 바와 같이 frame structure에 CBP 주기를 두어 base-station 간에 WRAN network을 통하여 통신을 할 수 있다. 예를 들어 WRAN base station은 서로 멀리 떨어져 있기 때문에 직접 통신이 매우 어렵다. 따라서 두 개의 WRAN 기지국 중간 지점에 CPE를 서로 교차시켜 WRAN A 기지국에 associated된 CPE A가 WRAN B 기지국의 CPE B와 단말 간의 통신을 통하여 정보를 중계함으로써 WRAN 기지국간에 통신이 이루어지도록 설계하였다^[11].

3-3 Incumbent Detection 및 기술 기준

WRAN 시스템은 secondary device이기 때문에 주기적으로 primary user인 TV 신호 또는 wireless microphone의 존재를 체크하여야 한다. 이러한 기능을 위해서는 [그림 5]에 도시한 바와 같이 frame 중간에 quiet period를 두어 주기적으로 PU의 존재 여부를 점검하고, PU가 사용하지 않는 환경에서 사용하여야 한다. 만일 PU가 나타나면 즉시 통신을 종료하고 back-up channel로 옮겨서 통신을 하여야 한다. 가장 중요한 parameter는 PU 존재 여부를 확인하는 detection threshold인데, 이 값은 TV의 경우 -114 dBm이다. 이

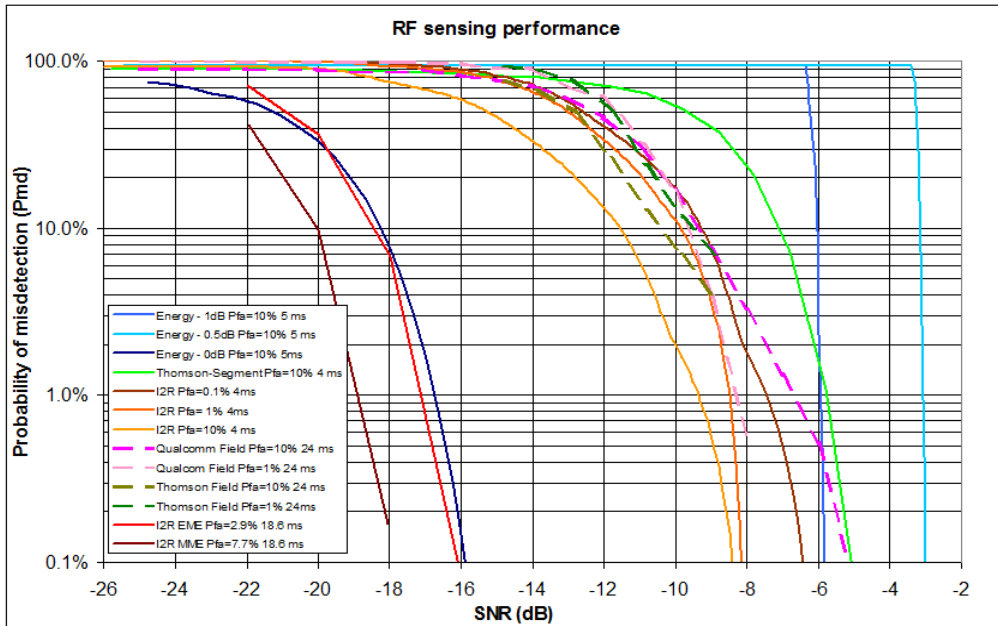
를 SNR로 환산하면 -19 dB로 TV 신호에 대한 신호처리를 통하여 약 25 dB의 processing gain을 얻어야 검출이 가능하다. 이러한 과정을 통하여 -114 dBm의 전력을 가지는 PU 신호를 90 % 이상 검출하여야 하고, 이때의 false alarm은 10 % 이하이어야 한다. [그림 7]은 WG에 제안된 여러 가지 spectrum sensing algorithm이다. 실제로 SNR이 -19 dB에서 PU 신호를 정해진 규격에 따라 검출하려면 sensing time이 20 ms 이상이어야 한다. 따라서 현재의 상황에서 이렇게 많은 센싱 시간을 소비하면서 WRAN 통신을 하기에는 어려움이 있어 FCC에서는 기본적으로 WSDB 접속을 통하여 가능한 채널을 확보하는 방향으로 결정하였다.

3-4 WRAN 시스템을 위한 Channel Management

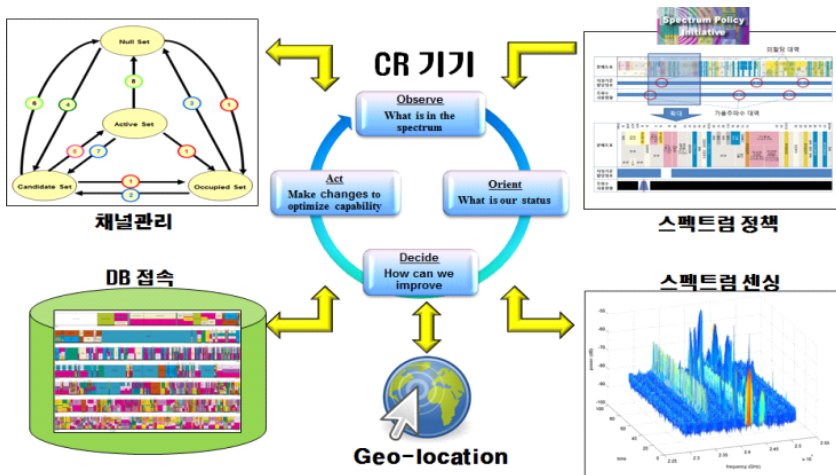
CR 통신 기기는 [그림 8]에 보인 바와 같이 WSD의 정보를 이용하거나, 주변의 전파환경을 센싱하여 얻은 정보를 토대로 채널을 관리한다. 채널관리는 정부의 스펙트럼 정책에 따라 해당 지역에서 가용채널과 사용불가 채널로 구분한다. 그리고 사용 가능한 채널 중에서 채널관리를 통하여 현재 사용하는 동작 채널(operating channel), 백업 채널(backup channel), 후보 채널(candidate channel), 그리고 미분류 채널 등으로 분류하여 사용하되, 동작 채널에 PU 신호가 나타나는 경우에는 channel move time 이내에 backup channel로 전환하여 PU에 간섭을 주지 않으면서 끊임없는 통신을 수행한다^[13].

IV. 결 론

스마트 사회를 맞이하여 각종 무선 트래픽이 급증하는 반면에 가용한 주파수 자원은 한정되어 있다. 이와 같이 폭증하는 주파수 수요에 대비하기 위하여 주파수 이용률이 낮거나, 지역적으로 사용되지 않는 주파수를 적극 활용할 필요가 있다. 미국을 비



[그림 7] ATSC 신호 검출 성능



[그림 8] WRAN 장치의 채널관리 및 운용개념

못한 선진 각국에서는 TVWS를 이용하기 위한 규정을 제정하고, 이를 효율적으로 이용하기 위한 표준을 제정하고 있다.

본 원고에서는 TVWS를 이용한 WRAN 서비스 및 이의 핵심기술에 대하여 소개하였다. 특히 TVWS에

서 spectrum sensing 규격이 매우 엄격하여, 이를 만족시키기 위해서는 sensing time이 20 ms 이상 요구되어 PU의 보호와 원활한 secondary service를 위하여 WSD를 채택한 배경을 설명하였고, PU와 WRAN의 공존 방법 및 backbone network이 없는 시골지역에서

WRAN 기지국 간에 통신 방법인 CBP에 대하여 설명하였다. 전송기술 측면에서는 WRAN 서비스 환경에 맞게 OFDM 전송 표준에 대한 설계개념을 기술하였다.

끝으로 주파수 정책은 ITU-R을 비롯한 국제표준과 국제 이용 동향에 부합되어야 한다. 미국의 PCS 주파수 정책이나 일본의 800 MHz 주파수 정책이 국제 흐름과 맞지 않아 기술적 고립은 물론, 관련 산업의 발전에 지장을 주었던 점을 반면교사로 삼아, 우리나라의 TVWS 주파수 정책도 국제적인 조화 속에 관련 산업이 발전할 수 있도록 추진되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 김창주 등, "주파수 공동사용 정책 및 이용권 분석", 한국전자과학회논문지, 24(8), pp. 805-819, 2013년 8월.
- [2] Cisco, *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2011-2016*, 2012.
- [3] M. A. McHenry, *NSF Spectrum Occupancy Measurements, Project Summary*, 2005, <http://www.shared-spectrum.com>
- [4] S. Forge, R. Horvitz, and C. Blackman, "Perspectives on the value of shared spectrum access", *Final Report for the European Commission*, Feb. 2012.
- [5] J. Mitola III, *Cognitive radio: An integrated agent architecture for software radio architecture*. Ph. D Dissertation, Royal Institute of Technology(KTH), May. 2000.
- [6] J. Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", *IEEE Mobile Multimedia Conference*, pp.3-10, 1999.
- [7] FCC Notice of Proposed Rule Making, *Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands*, FCC 04-186 May. 25. 2004.
- [8] FCC Report & Order, *Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands*, FCC 08-260, Nov. 4. 2008.
- [9] A. N. Mody, "Overview of IEEE 802.22 standard and core technologies", *IEEE 802.22-10/0071r00*, May. 2010.
- [10] C-S. Sum 등, "Cognitive communication in TV white spaces: An overview of regulations, standards, and technology", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, pp. 138-145, Jul. 2013.
- [11] IEEE 표준 802.22, Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands, 2011년 7월.
- [12] 김창주, 황성현 등, "ETRI's Simulation Results for OFDMA Parameters", *IEEE 802.22-0600170-02-0000*, 2006년 10월.
- [13] G. Ko, M-S. Song, and C-J. Kim 등, "Channel management in IEEE 802.22 WRAN systems", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, pp. 88-94, Sep. 2010.

≡ 필자소개 ≡

김 창 주



1976년~1980년: 한국항공대학교 전자
공학과 (공학사)

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

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

1979년 12월~1983년 3월: ADD 연구원

1983년 3월~현재: ETRI 책임연구원

1994년~1998년: ETRI 전파신호처리연구실장

1999년~2001년: ETRI 이동통신모델연구부장

2003년~2010년: ETRI 전파기술연구부장

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