편집위원 : 박광로 (ETRI)

TV White Space WPAN 표준기술 동향

김재환, 오미경, 신철호, 최상성
한국전자통신연구원

요 약

본고에서는 TV White Space (TVWS) WPAN 표준 기술 동향을 알아본다. TVWS WPAN의 표준화가 진행중인 IEEE 802.15.4m의 표준화 현황과 현재 진행중인 표준 전송기술 (TVWS-FSK, TVWS-OFDM, TVWS-NB-OFDM), 그리고 표준화 완료 시 적용될 수 있는 응용 분야에 대해서 서술하였다.

Ⅰ. 서 론

최근 다양한 무선 단말 사용의 급증에 따른 무선 트래픽 사용의 폭발적인 증가로 인해 주파수 자원의 필요가 자연스럽게 증가함으로써 효율적 주파수 사용에 대한 관심이 커지고 있다 [1]. 이에 따른 해결방법으로 많은 주파수 공유 기술이 연구되고 있으며, TVWS를 사용한 주파수 공유 기술 또한 각광을 받고 있다. TVWS는 TV방송 대역 중에 공간적으로 사용하지 않는 대역을 나타낸다.

TVWS는 저대역 주파수를 이용함에 따라, 고대역 주파수를 이용하는 경우에와 비교하여, 전파 도달 거리가 길고, 전파의 투과성 등이 우수한 장점[2]을 가지고 있어 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11 WLAN, IEEE 802.15 WPAN 등 여러 표준 그룹에서 TVWS대역을 사용하는 표준화를 진행 중에 있다. 그 중 TVWS WPAN 기술은 소출력 및 낮은 대역폭 특성으로 모든 미 점유 TV 채널을 할당받을 수 있어 TVWS 자원 효율성을 극대화 하고, 기존의 WRAN/WLAN 그룹에서 추진 중인 TVWS 활용 기술에 비해 주파수 확보가 유리하고 간섭 영향이 작은 장점을 가지고 있다. IEEE 802.15 WPAN 표준그룹에서는 2011년 9월부터 TG4m을 결성하여 IEEE 802.15.4 물리계층을 대체할 수 있는 새로운 전송 기술을 표준화 하고 있으며, 표준화가 완료된다면 기존 WPAN 기술들의 단점을 보완하여 기존 시장 활성화 및 신시장 개척이 가능하리라 기대된다.

본 고의 구성은 다음과 같다. IEEE 802.15.4m 표준화 현황은 Ⅱ절에 나타나 있으며, Ⅲ 절에서 현재 표준화 진행중인 TVWS WPAN 표준 무선 전송기술들이 설명되어 있다. 그리고 Ⅳ절과 Ⅴ절은 각각 TVWS WPAN의 활용 분야와 본고의 결론을 서술하였다.

Ⅱ. IEEE 802.15.4m 표준화 현황

TVWS WPAN 표준화는 IEEE 802.15 WG에서 2011년 1월 SG 4TV로 구성된 후, 2011년 9월 TG4m으로 승격되어 진행되고 있다. <그림 1>은 IEEE 802.15 WG의 표준화 그룹 현황을 나타내며, TVWS WPAN은 IEEE 802.15.4 의 Amendment로 진행중이다. TVWS WPAN표준화는 주로 TVWS 대역 내에서의 PHY 기술과 IEEE 802.15.4의 MAC을 기반으로 TVWS PHY를 지원하기 위한 MAC 기능의 보완에 대해 진행중에 있다.

IEEE 802.15.4m TG는 2011년 9월 오키나와에서 첫번째 회의를 개최하였고, 2012년 7월까지 아래와 같은 기술 기준을 만족하는 조건의 제안서를 받기로 결정하였다[3].

- TVWS 규정을 만족하는 Operation을 구체화 해야 함
- 40 kbps ~ 2000 kbps의 전송속도 (Optional 최대 10 Mbps 까지)
- 1 km의 전송거리
- 적어도 1000 개의 neighboring 디바이스와 연결
- 다중대역을 지원하여 주파수 대역 및 채널 스위칭이 가능해야 함
- 규정에 따라 TV 방송 등 대역 내 기존 사용자와의 Coexistence를 가능하게 하는 Mechanism을 제공해야 함
- TVWS를 사용하는 다른 802 시스템과의 Coexistence Assurance Document 제공

2012년 7월 최종적으로 8개의 제안서가 접수되었으며, 응용의 다양성을 추구하기 위해서 하나의 전송기술로만 표준화를 진행하지 않고, 전송기술 유형에 따라 FSK, OFDM, NB-OFDM 기술로 분류하여 하나의 통합 표준안을 작성하기로 하였다.

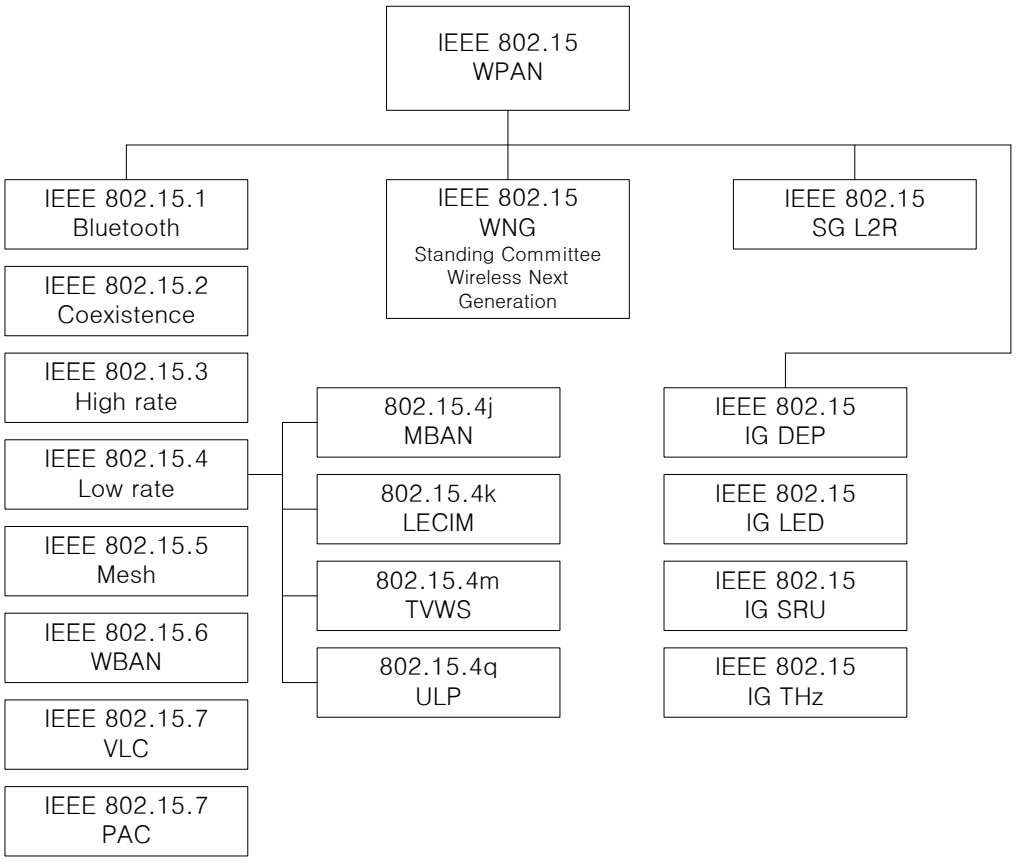

그림 1. IEEE 802.15 WG 표준화 그룹 현황

2012년 9월부터 5개월간 표준안 통합 작업을 거쳐 2013년 1월 캐나다 밴쿠버 회의에서 최종적으로 1차 통합안이 완성되어 2013년 2월에 WG Letter Ballot을 시행하였다. 1차 Letter Ballot 결과, 투표율 77.6%에 찬성 85.6%, 반대 11.3%, 기권 3.1%로 75% 이상의 찬성을 얻어 1차 통합 표준안이 통과 되었다. 2013년 3월 올랜도 회의에서는 1차 Letter Ballot 중에 접수된 551 개의 Comment resolution을 진행하여, 2차 통합 표준안 작성을 완료 하였다[4]. 2013년 4월 현재 2차 표준안에 대한 Letter Ballot Recirculation이 진행되고 있으며, TG 에서는 투표가 끝나는 즉시 전화회의를 통하여, Recirculation에서 접수된 코멘트에 대한 Resolution을 진행할 예정이다. Comment resolution이 완료되면, 3차 통합 표준안에 대한 Recirculation이 다시 시행될 예정이고, 더 이상의 Comment가 없다면 다음 단계인 Sponsor Ballot 단계로 넘어가게 된다.

IEEE 802.15.4m 표준 그룹의 2013년 부터의 계획은 〈표 1〉과 같으며, 가능한 빨리 표준 제정을 완료하여 실제 응용에 빠른 적용을 위해서 2014년 상반기에는 표준 제정 완료를 목표로 하고 있다.

표 1. IEEE 802.15.4m 표준화 일정

2013년 1월	1차 표준안 완성
2013년 2월	WG Letter Ballot
2013년 3월	Comment Resolution
2013년 4월	1차 Recirculation
2013년 5월	Comment Resolution
2013년 6월	2차 Recirculation
2013년 7월	Comment Resolution
2013년 8월	Sponsor Ballot
2013년 9월	Comment Resolution
2013년 10월	1차 Recirculation
2013년 11월	Comment Resolution
2013년 12월	2차 Recirculation
2014년 1월	Comment Resolution
2014년 3월	표준 제정

Ⅲ. TVWS WPAN 표준 무선 전송기술

IEEE 802.15.4m의 주파수 대역은 〈표 2〉와 같다. 각 나라별 TVWS 주파수 대역 이외에 TVWS 대역 사용이 불가할 경

우를 대비하여 IEEE 802.15.4g 의 주파수 대역[5]을 추가로 지원한다.

표 2. IEEE 802.15.4m 주파수 대역

Supported bands field bit number	Frequency band
0	TVWS Band USA
1	TVWS Band UK
2	TVWS Band Japan
3	TVWS Band Canada
4	TVWS Band Korea
5	450–470 MHz
6	470–510 MHz
7	779–787 MHz
8	863–870 MHz
9	896–901 MHz
10	901–902 MHz
11	902–928 MHz
12	917–923.5 MHz
13	928–960 MHz
14	920–928 MHz
15	950–958 MHz
16	1427–1518 MHz
17	2400–2483.5 MHz

현재 IEEE 802.15.4m 에서 진행중인 TVWS WPAN의 전송기술은 TVWS-FSK, TVWS-OFDM, TVWS-NB-OFDM이 있으며, 사용될 응용과 사용자의 요구에 따라 선택하여 사용할 수 있다.

1. TVWS-FSK

TVWS-FSK 표준은 최소 50 kbps 부터 최대 400 kbps를 지원하며, pulse shaping은 각 TVWS 규정에 따라 사용할 수 있으므로 따로 지정은 안되어 있다. TVWS-FSK의 송신 블록도는 〈그림 2〉와 같다. 그림에 나타나 있듯이 FEC, Interleaving, Whitening, 그리고 Spreading이 옵션으로 되어 있어, 저전력 구현이 가능한 표준으로 진행하고 있다. 〈표 3〉은 TVWS-FSK 표준의 전송속도별 변조방식 및 채널 변수를 나타낸다.

표 3. TVWS-FSK 전송속도별 시스템 변수

Parameter	Mode #1		Mode #2		Mode #3		Mode #4	Mode #5
Data rates (kb/s)	50		100		200		300	400
Modulation level	2-level		2-level		2-level		2-level	4-level
Modulation index h	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	0.33
Channel spacing (kHz)	100	200	200	400	400	600	600	600

2. TVWS-OFDM

〈표 4〉는 TVWS-OFDM 모드의 시스템 변수가 나타나 있다. TVWS-OFDM Mandatory 모드는 Subcarrier 간격과 DFT 사이즈를 각각 9.766 kHz와 128로 고정시키고 심볼당 비트 수를 조절하면서 최소 390 kbps에서 최대 1.56 Mbps까지 지원하게 함으로써, FSK와 비해 고속 통신을 가능하게 하였다. 또한, Optional 모드에서는 최대 6 Mbps까지 전송속도를 지원하여 TVWS를 이용한 영상전송 응용 개발도 가능하다.

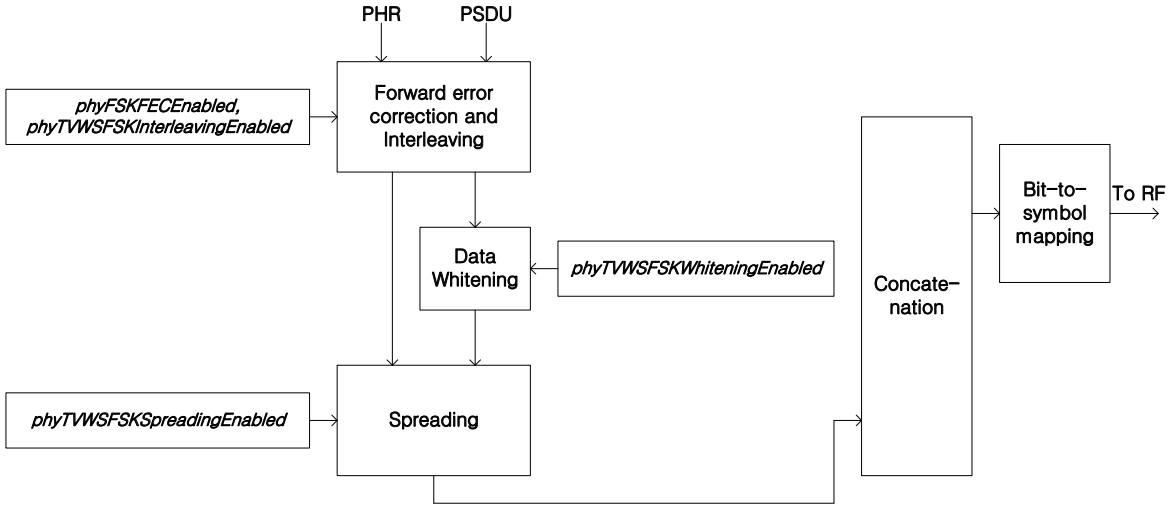

그림 2. TVWS-FSK 송신기 블록도

표 4. TVWS-OFDM 시스템 변수

Parameter		Mandatory Modes	Optional Modes
Nominal bandwidth (kHz)		1064.5	4258
Subcarrier spacing (kHz)		1250/128	4*1250/128
DFT size		128	128
Active tones		108	108
# Pilot tones		8	8
# Data tones		100	100
MCS0 (BPSK)	Data Rates (kb/s)	390.625	
	phySymbolsPerOctet	8 bits/octet * 1/50 symbol/bits	
MCS1 (QPSK)	Data Rates (kb/s)	781.250	
	phySymbolsPerOctet	8 bits/octet * 1/100 symbol/bits	
MCS2 (16-QAM)	Data Rates (kb/s)	1562.5	
	phySymbolsPerOctet	8 bits/octet * 1/200 symbol/bits	
MCS3 (BPSK)	Data Rates (kb/s)		1562.5
	phySymbolsPerOctet		8 bits/octet * 1/50 symbol/bits
MCS4 (QPSK)	Data Rates (kb/s)		3125
	phySymbolsPerOctet		8 bits/octet * 1/100 symbol/bits
MCS5 (16-QAM)	Data Rates (kb/s)		6250
	phySymbolsPerOctet		8 bits/octet * 1/200 symbol/bits

TVWS-OFDM 송신기는 〈그림 3〉에 나타나 있으며, PHR은 Whitener를 사용하지 않고 데이터가 전송되고, FEC는 Constraint length 7의 1/2 Code rate를 가지는 Convolutional code를 사용한다.

3. TVWS-NB-OFDM

TVWS-NB-OFDM은 TVWS 대역에서 광대역 OFDM을 사용할 수 없을 때, 협대역으로 사용하기 위한 기술로써 TVWS-NB-OFDM의 시스템 변수는 〈표 5〉에 나타나 있다.

표 5. TVWS-NB-OFDM 시스템 변수

Parameter	Value
Nominal bandwidth (kHz)	380.95
Subcarrier spacing (kHz)	0.99206 (=125/126)
Total Number of subcarriers – NST	384
Number of pilot subcarriers per OFDM symbol – NSP	32
Number of data subcarriers per OFDM symbol – NSD	352
Effective symbol duration – TFFT (μs)	1008
Cyclic prefix interval duration – TCP (μs)	Mandatory: 1/32 (31.5 μs) Optional: 1/16 (63.0 μs), 1/8 (126.0 μs)
TSYM (μs)	Mandatory: 1039.5 Optional: 1071.0, 1134.0 (TFFT+TGF)
STF duration	1 symbol
LTF duration	1 symbol

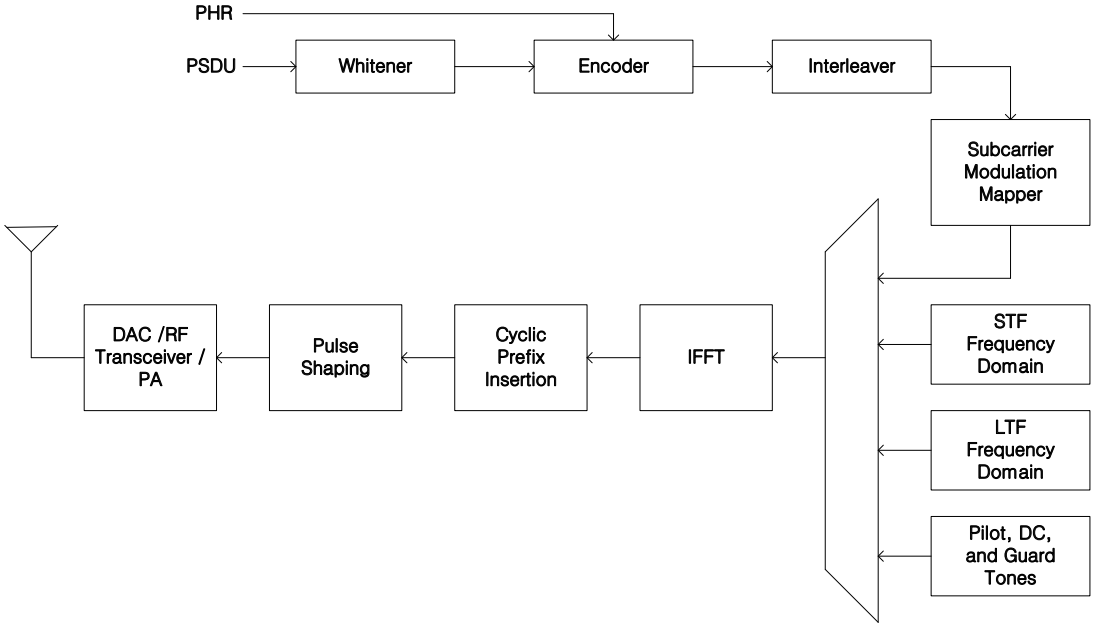

그림 3. TVWS-OFDM 송신기 블록도

표 6. TVWS-NB-OFDM 전송속도

MCS Index	Modulation	CC coding rate	Data Rate (kb/s)	CC Coded bits per subcarrier (NBPSC)	CC coded bits per OFDM symbol (NCPBS)	RS encoded Data bits per OFDM symbol (NDBPS)
MCS0	BPSK	1/2	156	1	352	176
MCS1	BPSK	3/4	234	1	352	264
MCS2	QPSK	1/2	312	2	704	352
MCS3	QPSK	3/4	468	2	704	528
MCS4	16-QAM	1/2	624	4	1408	704
MCS5	16-QAM	3/4	936	4	1408	1056
MCS6	64-QAM	1/2	936	6	2112	1056
MCS7	64-QAM	3/4	1404	6	2112	1584
MCS8	64-QAM	7/8	1638	6	2112	1848

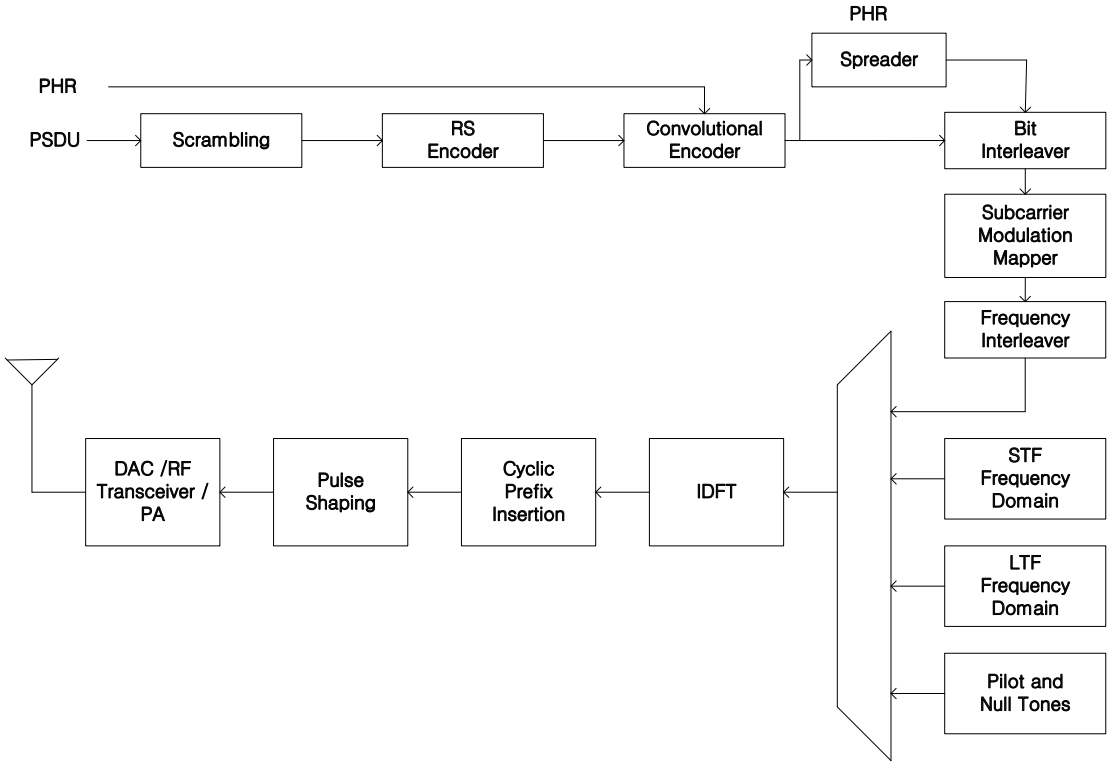

그림 4. TVWS-NB-OFDM 송신기 블록도

TVWS-NB-OFDM의 대역폭은 380.95 kHz로 TVWS-OFDM의 1064.5 kHz에 비해 협대역을 가지는 것을 확인할 수 있다. TVWS-NB-OFDM의 전송속도는 최소 156 kbs 부터 최대 1.638 Mbps까지 총 9개의 속도를 가지며, 이는 〈표 6〉에 나타나 있다.

〈그림 4〉는 TVWS-NB-OFDM의 송신기 구조를 나타낸다. TVWS-NB-OFDM의 PSDU는 TVWS-OFDM과 달리 RS-code와 Convolutional Code가 결합된 Concatenated code를 사용한다.

Ⅳ. TVWS WPAN 활용 분야

TVWS WPAN 기술의 표준화가 완료된다면, 다양한 전송 방식, 전송 속도를 기반으로 스마트그리드, 산업 단지 관리용 무선 네트워크 구축 등 기존의 WPAN 응용의 많은 부분을 수용할 수 있다.

1. 스마트 그리드 응용

TVWS WPAN 기술은 스마트 그리드의 고신뢰성을 가지는 무선통신으로 활용될 수 있다. TVWS 대역을 사용함으로써 신뢰성, 안정성, 보안성 등이 강화된 무선 검침 시스템 및 송/배전 전력설비 감시시스템 개발에 활용 될 수 있으며, 〈그림 5〉와 같은 스마트 그리드용 인프라 구축에 매우 유용한 기술로 사용될 것으로 기대된다.

2. 산업 관리용 무선 네트워크 구축 응용

〈그림 6〉은 산업 단지 관리를 위한 무선 네트워크 구축의 한 예로 조선소 무선 네트워크 구축을 나타낸 것이다. 기존 WPAN 기술의 경우, 광범위한 조선소 특성상 네트워크 범위, 성능 등에서 문제가 발생하였지만, TVWS WPAN을 사용할 경우, 넓은 지역에서의 효율성 높은 Robust한 무선 네트워크 구축이 용이할 것이라 예상한다. 또한 조선소와 같은 산업단지는 지리적으로 해안가에 위치하여 도심지에 비해 TVWS 대역을 확보하는 데에도 큰 이점을 가질 것이라 예상한다.

Ⅴ. 결 론

무선 통신 기기의 다양성 증가에 따른 주파수 자원 효율적 사용의 요구에 따라 TVWS 대역을 사용하는 통신 기술기술에 대

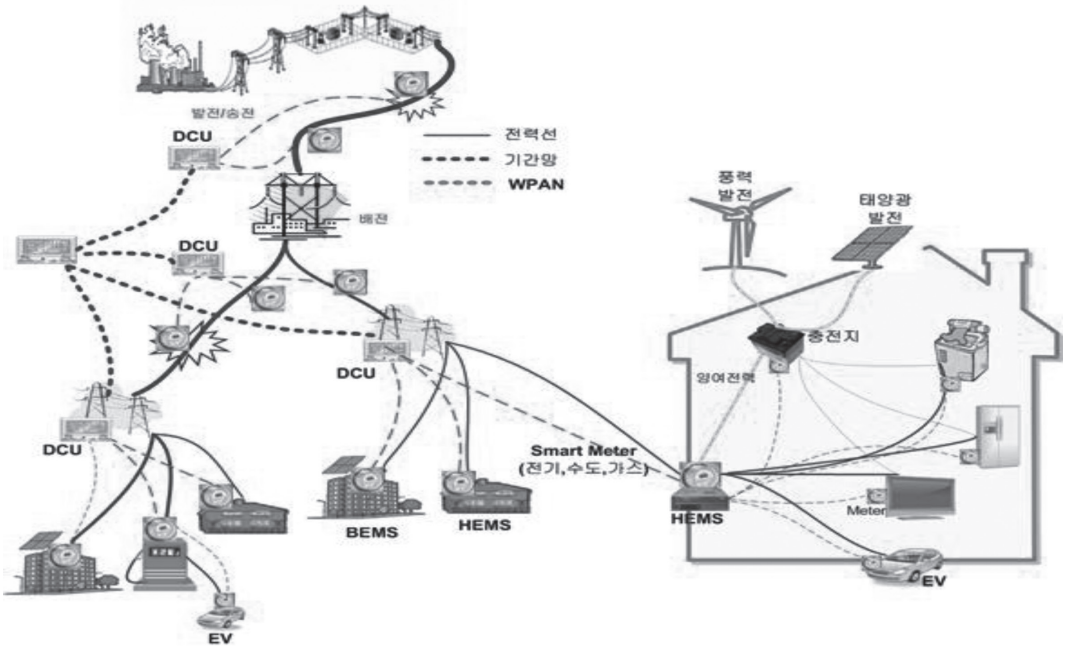

그림 5. TVWS WPAN 스마트 그리드 응용

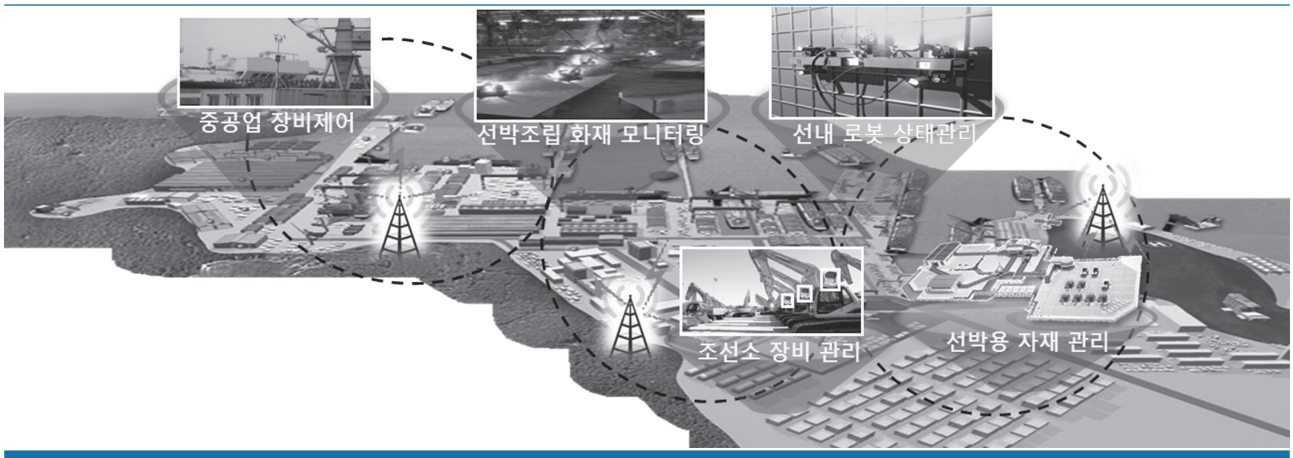

그림 6. TVWS WPAN 조선소 무선 네트워크 구축 응용

한 연구 및 표준화가 활발히 진행되고 있다. 본고에서는 TVWS 대역의 WPAN 기술의 표준화 현황 및 진행중인 표준 전송기술에 대해서 알아보았다. TVWS WPAN 표준은 FSK, OFDM, NB-OFDM 의 세가지 전송 기술을 지원하며, 응용과 사용자의 요구에 따라 선택하여 사용할 수 있도록 하였다. 또한 TVWS WPAN의 다양한 활용분야에 대해서도 살펴보았다.

TVWS WPAN 표준은 기존 WPAN 기술의 전송 거리, 전송 속도 등의 단점을 보완하여 더 넓은 응용 영역을 가질 수 있어, 기존 시장 활성화 및 신시장 개척이 가능하리라 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 한국산업기술평가관리원의 IT신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [10041864, 스펙트럼 자원 효율성 극대화를 통한 스마트 홈네트워크용 다중대역 WPAN 시스템 개발]

참 고 문 헌

[1] 최성웅 외 5인, "TV 화이트 스페이스 이용 기술기준 동향," 전자통신동향분석, 제 26권 제 4호, 2011년 8월

[2] 한규진 외 11인"TV 방송 유휴대역에서의 공유기술(CR) 도입 방안,"방송통신위원회, 2010년 11월

[3] Soo-Young Chang, et. al., "TG4m Technical Guidance Document," IEEE 802.15.4m, Mar. 2013

[4] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, 'Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network(WPANs) - Amendment: TV White Space Between 54 MHz and 862 MHz Physical Layer', P802-15-4m/d1, March. 2013.

[5] LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, 'Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network(WPANs) - Amendment 3: Physical Layer Specification for Low Data Rate Wireless Smart Metering Utility Networks', P802-15-4g, Apr. 2012

약 력

김 재 환

2005년 한국정보통신대학교 공학사
2008년 한국정보통신대학교 공학석사
2008년~현재 한국전자통신연구원
WPAN응용연구실 연구원
관심분야: WPAN, 통신신호처리

오 미 경

2000년 중앙대학교 공학사
2002년 한국과학기술원 공학석사
2006년 한국과학기술원 공학박사
2006년~현재 한국전자통신연구원
WPAN응용연구실 선임연구원
관심분야: 통신신호처리, 근거리 무선통신

신 철 호

1994년 전남대학교 공학사
1996년 전남대학교 공학석사
2007년 충남대학교 공학박사
1996년~현재 한국전자통신연구원
WPAN응용연구실 책임연구원
관심분야: 근거리 무선통신, 스펙트럼공학

최 상 성

1992년 Ohio University 공학석사
1999년 University of Wyoming 공학박사
2000년~현재 한국전자통신연구원
WPAN응용연구실장
2011년~현재 IEEE802.15 TG4m 의장
관심분야: WPAN, 근거리 무선통신