

저속 WPAN 최신 표준화 동향

신철호 · 오미경 · 최상성

한국전자통신연구원

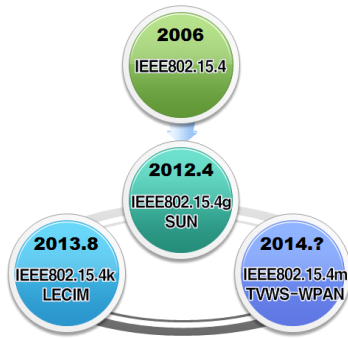
I. 서 론

최근 들어 전기, 가스, 수도, 통신, 농업, 공공의료 시설, 운송 시스템, 안전 서비스 등 매우 넓은 지역에 분포된 주요 시설의 위치와 상태들을 최소의 인프라와 최소의 유지보수로 무선 관리하는 시스템에 대한 요구사항이 증대되고 있다. IEEE 802.15 TG4g Smart Utility Network(SUN) 표준화 그룹에서는 스마트 그리드와 연계하여 전기, 수도, 가스 등과 같은 유틸리티 공급자와 사용자가 무선 네트워크를 이용하여 상호 정보를 교환함으로써 에너지를 효율적으로 관리할 수 있는 무선 전송기술에 대한 표준을 추진하였다. 표준화 초기단계에서는 SUN PHY 기술로서 IEEE 802.15.4<sup>[1]</sup>를 수정하여 사용하는 것에 대해 검토하였으나, 스마트그리드 응용에 필요한 1 km의 통신 거리, 실외 환경에서의 페이딩에 대한 통신 방식의 강인성 및 기존 통신 방식들과의 공존성을 고려할 경우 IEEE 802.15.4를 비롯한 기존의 802표준 규격들로는 SUN 응용의 요구 사항을 만족시키기 어려워서 SUN 응용을 위한 새로운 PHY 표준을 IEEE 802.15.4g에서 진행하였다<sup>[2]</sup>. 그러나 스마트 유틸리티 네트워크 서비스를 목적으로 표준화된 IEEE 802.15.4g SUN 규격은 센싱용으로는 상대적으로 높은 데이터 전송율인 40~1,000 kbps를 제공하고 있기 때문에, 저전력 구현과 링크 마진 측면에서 모니터링 및 제어를 목적으로 하는 무선 시스템 규격 적용으로 활용하기는 어렵다는 판단 하에 미국의 On-

Ramp Wireless사 주도로 ETRI, 인하대, Silver Springs Net-works, Itron 등이 참여하여 40 kbps 이하의 데이터 전송율을 이용하여 수 km의 서비스 반경, 10~20년 이상의 배터리 수명, 서비스 운용의 용이성 등에 초점을 맞춘 IEEE 802.15.4k Low Energy Critical Infrastructure Monitoring(LECIM)에 대한 표준화를 진행하였다<sup>[3]</sup>.

또한, 미국 FCC에서 2008년 11월에 아날로그 TV를 DTV로 전환한 후, 지역적으로 방송사업자가 사용하지 않는 TV 대역인 TV White Space(TVWS)를 비면허로 사용할 수 있도록 허용함에 따라, 무선 단말 사용의 급증에 따른 무선 트래픽 사용의 폭발적인 증가로 인해 새로운 주파수 자원을 필요로 하던 많은 무선 서비스들에서 TVWS에 관심을 가져왔다. 특히 2010년 미국 FCC에서 TVWS 이용을 위한 필수 조건에서 성능 신뢰성 측면에서 문제가 있던 sensing 기능을 옵션으로 하고, data base를 이용하는 방안만으로도 TVWS를 비면허로 사용할 수 있도록 허용한 이후, 전파 전파 특성이 우수하여 서비스 반경이 넓고 전파의 투과성이 좋은 TVWS를 이용하고자 하는 표준화가 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11 WLAN, IEEE 802.15 WPAN 등 여러 표준 그룹에서 진행되었다. 그 중 저속 TVWS WPAN 기술은 저출력 시스템으로 기존 방송 TV 채널과의 간섭을 최소화 할 수 있어, 기존의 WRAN/WLAN 그룹에서 추진 중인 TVWS 활용 기술에 비해 TVWS 확보가 용이하며, 저속 협대역 시스템으로 TV 1개 채널을 수 십개 채널로 분할

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 IT인성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음[10035236, 스마트 유틸리티 네트워크용 무선 전송기술 개발].



[그림 1] 저속 WPAN 표준화 동향

하여 사용할 수 있으므로 TVWS 자원 효율성을 극대화 할 수 있다는 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<sup>[4]</sup>, 2014년에 표준화를 완료할 계획이다.

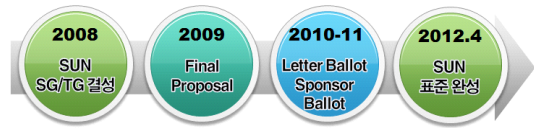
[그림 1]은 기존 WPAN의 개념을 뛰어 넘어 매우 넓은 지역에 분포된 디바이스들의 위치와 상태들을 최소의 인프라와 최소의 유지보수로 무선 관리하는 시스템에 대한 최신 표준화 동향을 도시하고 있다. 본 고에서는 [그림 1]에 도시된 3가지 표준 기술에 대한 표준화 진행 사항 및 표준에서 검토하고 있는 표준안의 주요 내용에 대해 기술하고자 한다.

## II. IEEE802.15.4 g SUN 표준 기술

### 2-1 IEEE 802.15.4 g 무선 전송기술 표준화 현황

IEEE 802.15 WPAN에서는 스마트 유틸리티 네트워크 구축에 필요한 새로운 무선 전송기술 표준을 추진할 TG4g를 2008년 12월에 승인하였으며, 2009년 1월에 발의한 call for proposals을 시작으로 2009년 5월에 제안서를 마감하였다.

SUN(Smart Utility Network)을 지원하기 위한 PHY의 요구 조건으로는 낮은 가격의 구현 구조, 최소



[그림 2] IEEE 802.15.4 g SUN 표준화 일정

40 kbps에서 최대 1 Mbps 미만의 데이터 전송률 제공, 1,500 Octet 이상의 payload 제공, 최소 3개 이상의 동시 운용 가능한 네트워크 제공, 혼잡한 주파수에서 성공적인 운용을 보장하기 위한 주파수 공유 기술 및 지하실 및 코너와 같은 SUN 환경에서 최적의 에너지 효율적인 링크 마진을 제공하는 것이다. 이와 같은 기술조건으로 2009년 5월까지 총 24개의 최종 표준 기술에 대한 제안서가 접수되었으며, 제안된 기술들 간의 통합을 통해 2010년 3월 미국 올랜도 회의에서 최종적으로 MR-FSK, MR-OFDM 및 MR-O-QPSK 규격안이 마련되었다. 2010년 4월부터 2011년 6월까지 Letter Ballot이 진행되었으며, 2011년 8월부터 Sponsor Ballot을 시작하여 2012년 3월 RevCom 승인이 되어 [그림 2]와 같이 2012년 4월에 표준화를 최종 완료하였다.

### 2-2 스마트 유틸리티 네트워크 표준 기술 개요

IEEE 802.15.4g에서는 [그림 3]과 같이 MR-FSK, MR-OFDM 및 MR-O-QPSK 세 종류의 Ait-PHY를 SUN 디바이스를 위한 표준으로 고려하였다. 표준에서 사용하고 있는 MR은 다양한 데이터 전송율을 제공할 수 있다는 의미의 multi-rate와 다양한 지역에 적합한 시스템 규격을 제공할 수 있다는 multi-region의 의미를 포함하고 있다. MR-FSK PHY는 전송신호가



[그림 3] IEEE 802.15.4g에 제안된 세 가지 PHY 기술

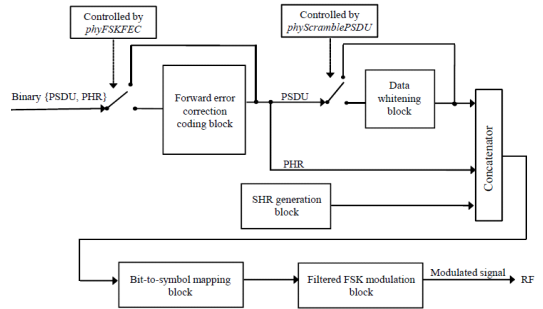
일정하기 때문에 전송 전력 효율이 좋다는 장점이 있고, MR-OFDM PHY는 열악한 무선 환경에서 신뢰성 있는 데이터 통신과 상대적으로 고속인 전송속도를 가질 수 있는 장점이 있다. 그리고 MR-O-QPSK PHY는 현재 IEEE 802.15.4-2006 O-QPSK PHY와 그 특징을 공유할 수 있어 설계가 수월하다는 장점이 있다. 이제 가지 표준 기술에 대한 세부 사항은 아래와 같다.

### 2-2-1 MR-FSK 표준 기술

MR-FSK PHY에서는 전송 스펙트럼 마스크를 만족하는 2 또는 4 레벨 Filterd FSK 변조 방식을 사용한다. <표 1>에 세계 각국의 비 면허 주파수 대역에 할당된 MR-FSK 전송 방식 중 대표적인 몇몇 나라의 주파수 대역에 대한 변조 기법 및 채널 파라미터를 나타내었다. 국내의 경우는 917~923.5 MHz 대역의 RFID/USN 대역을 이용하여 SUN 시스템을 운용할 수 있다. <표 1>에서 동작모드 1은 반드시 지원을 해야 하며, 동작모드 2와 3은 옵션으로 제공할 수 있다.

<표 1> 주파수 대역에 따른 MR-FSK 변조 방식 및 채널 파라미터

Frequency band (MHz)	Parameter	Operating mode #1	Operating mode #2	Operating mode #3
470~510 (China)	Data(kb/s)	50	100	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing(kHz)	200	400	400
863~870 (Europe)	Data(kb/s)	50	100	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing(kHz)	200	400	400
902-928 (ISM) 917~923.5 (Korea) 2,400-2,483.5 (Worldwide)	Data(kb/s)	50	150	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK
	Channel spacing(kHz)	200	400	400



[그림 4] IEEE 802.15.4g MR-FSK 구성도

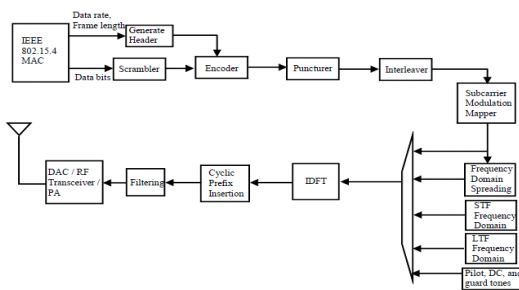
유틸리티 사업자들은 초기 단순한 미터링 자동화 응용을 위해 기술 개발 및 저전력 설계가 용이한 MR-FSK 표준을 가장 선호하고 있으며, 기본적으로 저전력 설계를 위해 [그림 4]와 같이 심볼 매핑과 FSK 변조를 제외한 나머지 모든 구조는 옵션으로 선택할 수 있도록 하였다. 즉, 무선 채널 환경에서 MR-FSK 시스템 성능을 향상시키기 위해 필요한 채널 오류 정정을 위한 Forward Error Correction Coding Block과 Bit Stream의 DC Bias를 없애기 위한 Data Whitening Block 등은 옵션으로 규정하여 실제 운용 환경에서 탄력적으로 적용하도록 하였다.

### 2-2-2 MR-OFDM 표준 기술

MR-OFDM PHY는 <표 2>와 같이 MR-FSK보다 상대적으로 높은 데이터 전송율인 50~800 kbps를 제공할 수 있으며, 세계 각국의 비 면허 주파수 대역 전파 기술 기준을 만족할 수 있도록 PHR과 PSDU를 전송하기 위해 필요한 FFT size에 따라 4가지 옵션을 제공할 수 있다. <표 2>의 4가지 옵션을 위한 Subcarrier 간격은 10.417 kHz로 고정되었으며, FFT 크기를 16개에서 128개까지 조절함으로써 채널링 간격을 200 kHz~1.2 MHz까지 조절할 수 있다. <표 2>에서 설명된 특정 옵션(1, 2, 3 or 4)을 지원하는 모든 디바이스는 BPSK와 QPSK 변조를 사용하는 MCS (Modulation and Coding Scheme) 모드들을 반드시 제공할 수

<표 2> MR-OFDM 표준 규격

Parameter	OFDM option 1	OFDM option 2	OFDM option 3	OFDM option 4	
FFT size	128	64	32	16	
Active tones	104	52	26	14	
# Pilot tones	8	4	2	2	
# Data tones	96	48	24	12	
Data rate (kbps)	MCS0(BPSK rate 1/2 with 4x frequency repetition)	100	50		
	MCS1(BPSK rate 1/2 with 2x frequency repetition)	200	100	50	
	MCS2(QPSK rate 1/2 with 2x frequency repetition)	400	200	100	50
	MCS3 (QPSK rate 1/2)	800	400	200	100
	MCS4 (QPSK rate 3/4)		600	300	150
	MCS5 (16-QAM rate 1/2)		800	400	200
	MCS6 (16-QAM rate 3/4)			600	300
Channel spacing(kHz)	1,200	800	400	200	



[그림 5] IEEE 802.15.4g MR-OFDM 구성도

있어야 하며, 16-QAM MCS 모드들은 옵션으로 선택할 수 있다.

MR-OFDM PHY 구성도는 [그림 5]와 같이 PHY 헤더는 각 옵션에서 가장 낮은 MCS0 모드를 이용하

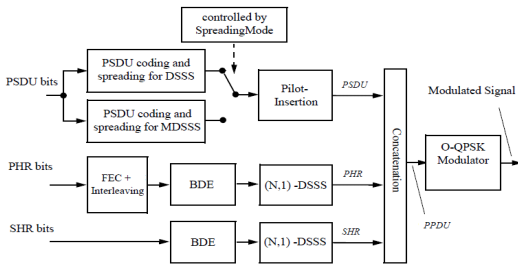
여 scrambler를 사용하지 않고 데이터를 전송하도록 하였다. 또한 MCS0~3까지는 코딩율이 1/2인 convolutional encoder를 사용하기 때문에 puncturer를 사용하지 않고, 데이터를 전송해야 한다.

### 2-2-3 MR-O-QPSK 표준 기술

MR-O-QPSK PHY는 250 kbps로 데이터 전송율이 고정된 IEEE802.15.4와 달리 다중 데이터 전송을 모드를 지원하기 위해 다양한 확산 모드를 사용하고 있으며, 다중 경로 환경에서의 성능을 향상시키기 위해 코딩율이 1/2인 FEC와 Interleaver를 사용하였다. MR-O-QPSK는 확산 모드에 따라 크게 Direct Sequence Spread Spectrum(DSSS)와 Multiplexed DSSS (MDSSS)를 지원할 수 있으며, DSSS 방식은 <표 3>과 같이 허용 가능한 모든 주파수 대역을 지원할 수 있으며, MDSSS 방식은 779~787 MHz, 902~928 MHz 대역 (917~923.5 MHz 한국 RFID/USN 대역 포함)과 2,400

<표 3> MR-O-QPSK 표준 규격

Frequency (MHz)	Chip rate (kchip/s)	Modulation (Spreading)	Bit rates (kbps)
470~510	100	O-QPSK(DSSS)	6.25, 12.5, 25, 50
779~787	1,000	O-QPSK(DSSS)	31.25, 125, 250, 500
		O-QPSK(MDSSS)	62.5, 125, 250, 500
868~870	100	O-QPSK(DSSS)	6.25, 12.5, 25, 50
902~928	1,000	O-QPSK(DSSS)	31.25, 125, 250, 500
		O-QPSK(MDSSS)	62.5, 125, 250, 500
917~923.5	1,000	O-QPSK(DSSS)	31.25, 125, 250, 500
		O-QPSK(MDSSS)	62.5, 125, 250, 500
950~958	100	O-QPSK(DSSS)	6.25, 12.5, 25, 50
2,400~2,483.5	2,000	O-QPSK(DSSS)	31.25, 125, 250, 500
		O-QPSK(MDSSS)	62.5, 125, 250, 500



[그림 6] IEEE 802.15.4g MR-O-QPSK 구성도

~2,450 MHz 대역만을 지원할 수 있다.

[그림 6]은 MR-O-QPSK의 송신 구조로서, SHR과 PHR은 동일한 구조를 사용하고, PSDU에서만 DSSS와 MDSSS 모드를 선택하여 전송할 수 있다.

### III. IEEE802.15.4k LECIM 표준 기술

#### 3-1 LECIM 표준화 추진 현황

IEEE 802.15.4k LECIM은 2010년 1월 Interest Group (IG), 2010년 9월 Study Group(SG)을 거쳐 2011년 1월에 Task Group(TG)으로 구성되었다. 2011년 9월 오키나와 회의에서 PHY proposal 9개, MAC proposal 8개 등 총 17개의 Final proposal을 받은 뒤, 제안된 기술들 간의 통합을 통해 2011년 11월 DSSS PHY, FSK PHY, MAC 규격에 대한 baseline 채택을 거쳐 2012년 7월까지 Letter Ballot을 위한 drafting 작업을 수행하였다.

2012년 8월 Initial, 10월 Recirculation I, 11월 Recirculation II를 통해 Letter Ballot을 마무리 하고, 2012년 12월 Sponsor Ballot을 시작하여 2013년 6월 RevCom 승인이 되어 [그림 7]과 같이 2013년 8월에 표준화를



[그림 7] LECIM 표준화 추진 현황

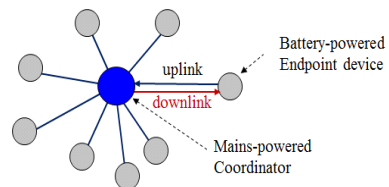
최종 완료하였다.

#### 3-2 LECIM 표준 기술 개요

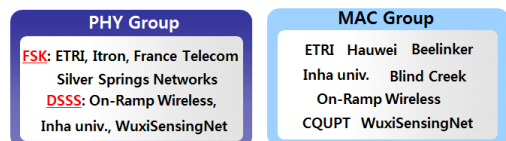
LECIM 네트워크에 대한 기술적 요구사항은 [그림 8]과 같이 상시 전원을 탑재하고 있는 Coordinator가 약 1000 개 이상의 배터리 전원을 사용하는 Endpoint 디바이스를 관리하는 Star Network 구조에서 40 kbps보다 낮은 데이터 전송률로 최소 120 dB 이상의 경로손실 환경에서도 신뢰성 있는 통신을 제공해야 하며, Endpoint 디바이스의 전력소비 최소화 등을 명시하고 있다.

위와 같은 LECIM 기술적 요구사항을 만족하기 위해 IEEE 802.15.4k에서는 [그림 9]와 같이 신뢰성 및 저전력에 중점을 둔 On-Ramp Wireless사 주도의 DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) PHY와 ETRI 및 Silver Springs Networks사 주도의 FSK PHY를 표준으로 채택하였다. 그리고 MAC은 Blind Creek사, ETRI 등을 중심으로 IEEE 802.15.4e 기반에서 수 천 개의 노드를 에너지 효율적으로 관리할 수 있는 Fragmentation, Flexibility, Sleep/Wakeup Mechanism을 중심으로 채택되었다.

#### 3-2-1 DSSS PHY



[그림 8] LECIM 네트워크 구성도



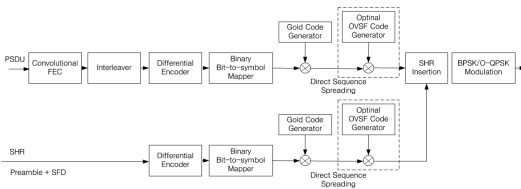
[그림 9] LECIM 표준 제안 그룹

DSSS PHY는 High Processing Gain을 바탕으로 PER 1%에서 Minimum Receiver Sensitivity가 -108~141 dBm로 낮출 수 있어 매우 열악한 환경에서도 신뢰성 있는 통신품질을 보장할 수 있도록 설계되었다. [그림 10]은 DSSS PHY에 대한 Reference Modulator Diagram을 나타내고 있으며, <표 4>에서 정리한 바와 같이 신뢰성 향상 및 Interference rejection을 위해 Gold code 및 Walsh code의 일종인 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor) code를 사용하였다.

[그림 11]은 DSSS Packet 형식을 나타내고 있으며, PSDU Length가 고정되어 있어 보통 length 정보를 포함하는 PHY Header (PHR)가 없다는 것이 특징이다. 그리고 네트워크 설치자가 사전에 PHY 송수

<표 4> LECIM DSSS PHY 특징

Parameter	DSSS PHY
Data rate	30.5 kbps ~ 62.5 kbps
SFD sequence	None or 1 byte
Spreading factor	16 ~ 32,768
Spreading code	Gold code/OVSF code
FEC	K=7 convolutional code
Fragment size	256, 384, 512 bits
Modulation	BPSK/O-QPSK



[그림 10] DSSS reference modulator diagram

Octets		
0 / 2 / 4	0 / 1	16 / 24 / 32
preamble	SFD	PSDU
SHR		PHY payload

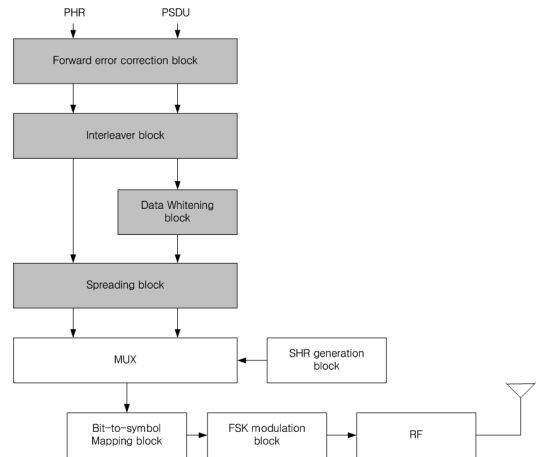
[그림 11] LECIM DSSS packet 형식

신단간 서로 알고 있는 모드로 운용될 수 있도록 관련 설정을 해 놓는다는 가정이 포함되어 있다.

### 3-2-2 FSK PHY

FSK PHY는 저전력 협대역 시스템으로 간단하고, 가격이 저렴하며, 이미 검증된 기술로 인정 받아왔다. 또한 동일 주파수 대역에 대해 채널을 많이 할당할 수 있어 packet collision 확률이 낮아 시스템 운용에 용이하다는 장점이 있어 LECIM PHY로 채택되었다.

[그림 12]는 FSK Reference Modulator Diagram을 나타내고 있으며, 회색으로 표시된 부분인 FEC & Interleaver, Spreading, Whitening 기능은 Optional로 지



[그림 12] FSK Reference Modulator Diagram

<표 5> LECIM FSK PHY 특징

Parameter	FSK PHY
Data rate	37.5, 25, 12.5k bps
SFD sequence	Reliability enhancing 24-bit SFD sequence
PHR sequence	Parity 추가
Whitening	SUN FSK 규격과 동일
FEC	K=7 convolutional code
Interleaving	PHR, PSDU 분리
Spreading	0/1 Alternating sequence
Modulation	FSK/P-FSK
PSDU size	2,047 bytes

정이 되어 각 나라별 법규 및 지역별 무선 환경에 따라 적용할 수 있도록 한 것이 특징이다.

〈표 5〉는 FSK PHY Parameter에 대해 정리한 표이며, FSK와 더불어 신뢰성 향상을 위한 Position-based FSK(P-FSK) 변조방식을 사용할 수 있도록 하였다.

### 3-2-3 MAC

LECIM MAC에서 가장 중요한 특징은 MPDU (MAC Protocol Data Unit) Fragmentation이다. LECIM PHY 특성상 data rate가 매우 낮아 1개 packet의 길이가 길어질 수 있으며, 채널이 좋지 않을 경우 packet 손실 확률이 높아지고, 비효율적인 재전송이 수행되게 된다. 이를 막기 위해 MPDU를 적당한 길이로 분리하여 보내기 위한 MPDU Fragmentation 기법이 채택되었다.

그리고 MAC에서 디바이스 운용을 어떻게 하느냐에 따라 배터리 수명이 결정됨에 따라 Enhanced Low Energy Mechanism을 채택하여 디바이스가 on되는 시간을 최소화시키기 위해 link time을 scheduling하고, 재전송을 최소화하여 link reliability를 최대화할 수 있도록 하였다.

또한 굉장히 긴급한 message의 경우 priority를 주어 latency가 최소가 되도록 하는 Priority Channel Access Mechanism 및 relay를 통해 LECIM 서비스 Coverage를 확장하기 위한 TRLE(Time-slot Relaying Based Link Extension) PAN Relay Mechanism도 LECIM MAC에 추가되었다.

## IV. IEEE 802.15.4m TVWS-WPAN 표준 기술

### 4-1 IEEE 802.15.4m 표준화 추진 현황

2010년 8월에 미국 FCC에서는 TVWS 디바이스 운용 필수 조건에서 sensing 기능을 제거하고, data base를 이용하는 방안만으로도 TVWS를 비면허로 사용

할 수 있도록 허용함으로써 TVWS를 활용하고자 하는 다양한 무선 서비스들이 활성화 될 수 있는 환경을 조성하였다. IEEE 802.15 WPAN WG에서는 광범위한 영역에 분포된 수 많은 디바이스들의 상태를 모니터링하고 제어하는 응용들에 TVWS의 장점을 이용하기 위해 2011년 1월에 study group인 SG 4TV를 구성하였고, 2011년 9월에 TG4m으로 정식 task group을 구성하여 본격적인 TVWS WPAN 표준 작업을 시작하였다. IEEE 802.15.4m TG는 2011년 9월에 오키나와에서 첫 번째 회의를 개최하였고, 2012년 7월까지 제안서를 접수 받았다. 최종적으로 8개의 제안서가 접수되었으며, 2012년 9월부터 5개월간 표준안 통합 작업을 거쳐 2013년 1월 캐나다 밴쿠버 회의에서 최종적으로 1차 통합안이 완성되어 2013년 2월부터 7월까지 WG Letter Ballot을 마무리하고, 2013년 8월에 Sponsor Ballot을 시작하였다. IEEE 802.15.4m 표준 그룹에서는 TVWS의 장점을 활용한 다양한 응용 서비스의 조기 활성화를 위해 2014년 상반기까지 표준을 완료할 계획이다.

### 4-2 TVWS WPAN 표준 기술 개요

TVWS WPAN 네트워크에 대한 기술적 요구사항은 TVWS 규정을 만족하면서 40~2,000 kbps의 전송속도(옵션으로 최대 10 Mbps)로 1 km 정도의 서비스 반경을 제공할 수 있어야 한다. IEEE 802.15.4m에서는 IEEE 802.15.4g와 마찬가지로 1 가지 방식의 전송방식만을 표준으로 채택하는 대신, 각국의 TVWS 기술 기준을 만족하면서 다양한 응용에 맞는 전송 방식을 선택적으로 제공하기 위해 TVWS-FSK, TVWS- OFDM



[그림 13] TVWS WPAN 표준화 추진 현황

및 TVWS-NB(Narrow Band)-OFDM과 같은 3가지 기술을 포함하는 통합 표준안을 작성하였다. 또한 각 나라별 TVWS 주파수 대역 이외에 지역에 따라 TVWS 대역 확보가 불가능한 경우를 대비하여, IEEE 802.15.4g에서 정의한 비면허 주파수 대역도 사용 가능하도록 표준화를 진행하고 있다.

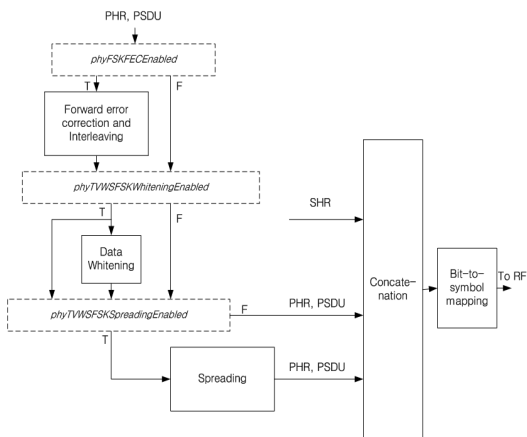
### 4-2-1 TVWS-FSK

TVWS-FSK 표준은 <표 6>과 같이 채널 간격 100~600 kHz를 이용하여 최소 50 kbps 부터 최대 400 kbps의 데이터 전송율을 지원할 수 있다.

TVWS-FSK의 송신 블록도는 [그림 14]와 같으며, IEEE 802.15.4g MR-FSK 및 IEEE 802.15.4k LECIM

<표 6> TVWS-FSK 표준 규격

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



[그림 14] IEEE 802.15.4m TVWS-FSK 구성도

FSK와 구조와 마찬가지로 심볼 매핑과 FSK 변조를 제외한 FEC와 Interleaving, Data Whitening, 그리고 Spreading이 옵션으로 되어 있어, FSK 필수 모드의 경우 SUN, LECIM 및 TVWS에서 상호 호환성을 가지고 운용될 수 있다.

### 4-2-2 TVWS-OFDM

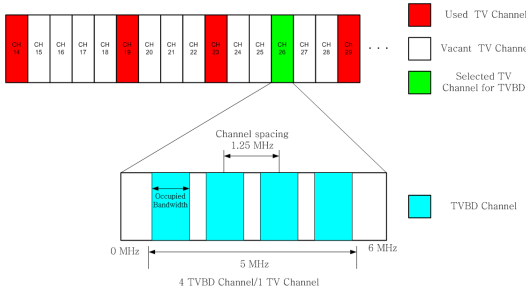
TVWS-OFDM은 <표 7>에서 보듯 Mandatory모드와 Optional 모드를 지원한다. TVWS-OFDM Mandatory 모드는 Subcarrier 간격과 DFT 사이즈를 각각 9.766 kHz와 128개로 고정시키고, 시스템 구조를 단순화하기 위해 가장 기본적인 BPSK, QPSK 및 16-QAM 변조 방식만을 사용하여 최소 390 kbps에서 최대 1.56 Mbps까지 지원하게 함으로써, FSK에 비해 고속 통신을 가능하게 하였다. 또한, Optional 모드에서는 Mandatory 모드에 비해 4배 빠른 클럭을 사용하여 최대 6 Mbps까지 전송속도를 지원할 수 있도록 하였으며 영상 전송과 같은 멀티미디어 전송도 가능하게 하였다.

<표 7>에서 보듯 TVWS-OFDM PHY 규격은 채널 간격을 1.25 MHz로 할당하여 [그림 15]와 같이 6 MHz인 TV 1개 대역을 이용하여 4개의 TVWS-OFDM 채널을 할당할 수 있도록 하였으며, 인접 TV 채널과의 Guard

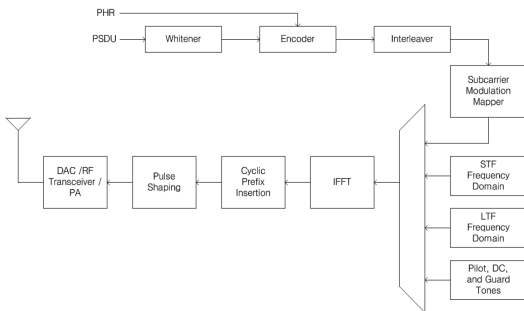
<표 7> TVWS-OFDM 표준 규격

Parameter	Mandatory modes	Optional modes	
Nominal bandwidth(kHz)	1,064.5	4,258	
Subcarrier spacing(kHz)	1,250/128	4*1,250/128	
DFT size	128	128	
Active tones	108	108	
# Pilot tones	8	8	
# Data tones	100	100	
Data rates (kb/s)	MCS0(BPSK)	390.625	
	MCS1(QPSK)	781.250	
	MCS2(16-QAM)	1,562.5	
	MCS3 (BPSK)		1,562.5
	MCS4 (QPSK)		3,125
	MCS5 (16-QAM)		6,250





[그림 15] TVWS-OFDM 채널 할당 예제



[그림 16] IEEE 802.15.4m TVWS-OFDM 구성도

Band로 양쪽에 각각 500 kHz를 할당하였다.

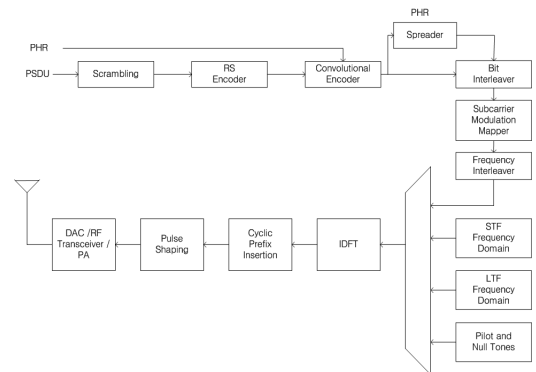
TVWS-OFDM 송신기는 [그림 16]에서 보듯이 PHR은 Whitener를 사용하지 않고 데이터가 전송되고, FEC는 Constraint length 7의 1/2 Code rate를 가지는 Convolutional code만을 사용하여 Puncturer없이 데이터를 전송할 수 있도록 시스템 구조를 단순화 하였다.

### 4-2-3 TVWS-NB-OFDM

TVWS-NB-OFDM은 TVWS 대역에서 광대역 OFDM을 사용할 수 없을 때, 협대역으로 사용하기 위한 기술로써 TVWS-NB-OFDM의 시스템 규격은 <표 8>과 같다. TVWS-NB-OFDM의 채널 간격은 400 kHz로 TVWS-OFDM의 1,250 kHz에 비해 협대역으로 설계되었으며, TVWS-NB-OFDM의 전송속도는 최소 156 kbs 부터 최대 1.638 Mbps까지 총 9개의 데이터 전송율을 제공한다.

<표 8> TVWS-NB-OFDM 표준 규격

MCS index	Modulation	CC coding rate	Data rate(kb/s)
MCS0	BPSK	1/2	156
MCS1	BPSK	3/4	234
MCS2	QPSK	1/2	312
MCS3	QPSK	3/4	468
MCS4	16-QAM	1/2	624
MCS5	16-QAM	3/4	936
MCS6	64-QAM	1/2	936
MCS7	64-QAM	3/4	1,404
MCS8	64-QAM	7/8	1,638



[그림 17] IEEE 802.15.4 m TVWS-NB-OFDM 구성도

[그림 17]은 TVWS-NB-OFDM의 송신기 구조를 나타내고 있으며 TVWS-NB-OFDM의 PSDU는 TVWS-OFDM과 달리 RS-code와 Convolutional Code가 결합된 Concatenated code를 사용한다.

## V. 맺음말

본 고에서는 주로 실내 응용을 위해 표준화된 IEEE 802.15.4 저속 WPAN 기술을 대체하여 실외의 광범위한 영역에 분포할 수 많은 디바이스들을 모니터링하고 제어하기 위해 새롭게 표준화되고 있는 IEEE 802.15.4g SUN, IEEE 802.15.4k LECIM 및 전파 전파 특성이 우수한 TVWS를 WPAN 응용에서 활용

하기 위한 IEEE 802.15.4m TVWS WPAN 표준화 동향에 대해 살펴보았다. SUN, LECIM 및 TVWS WPAN 표준 기술들은 완전히 다른 표준 전송 방식이 아니라, 저속·저전력 응용과 고속·고신뢰 응용 등 운용환경에 따라 상호 보완적으로 동작될 수 있는 표준 규격들이며, 특히 FSK 기본 모드의 경우는 3 가지 표준방식의 상호 운용성을 위해 SUN, LECIM 및 TVWS WPAN에 동일한 규격이 사용되고 있다. SUN, LECIM 및 TVWS WPAN 표준 기술들은 다양한 응용에 Scalable한 전송속도를 제공하며, 열악한 환경에서도 통신 성능을 보장할 수 있는 새로운 무선통신 방식을 사용함으로써, 향후 스마트 그리드, 스마트홈네트워크, 센서네트워크 등 다양한 무선 모니터링 및 제어 응용 시장에서 저속 WPAN 기술을 선도할 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 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)', Jun. 2006.
- [2] 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.
- [3] 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 5: Physical Layer Specifications for Low Energy, Critical Infrastructure Monitoring Networks', P802-15-4k, Jun. 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 6: TV White Space Between 54 MHz and 862 MHz Physical Layer', P802-15-4m/D3, May. 2013.

≡ 필자소개 ≡

신 철 호



1994년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학사)

1996년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학석사)

2007년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)

1996년 2월~현재: 한국전자통신연구원

WPAN응용연구실 책임연구원

[주 관심분야] 근거리 무선통신, 스펙트럼공학

최 상 성



1992년 6월: Ohio University (공학석사)

1999년 5월: University of Wyoming (공학박사)

2000년 11월~현재: 한국전자통신연구원 WPAN응용연구실장

[주 관심분야] WPAN, 근거리 무선통신

오 미 경



2000년 2월: 중앙대학교 전기전자제어공학부 (공학사)

2002년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)

2006년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)

2006년 3월~현재: 한국전자통신연구원

선임연구원

[주 관심분야] WPAN 통신 시스템