

스마트 유틸리티 네트워크 표준 기술 동향

전영애 · 오미경 ·

신철호 · 최상성

한국전자통신연구원

I. 서 론

스마트 그리드(Smart Grid) 기술은 기존 전력망에 정보 통신 기술(IT)을 접목한 차세대 전력망으로, 전력 생산 및 소비 정보를 양방향·실시간으로 유통함으로써 에너지 효율을 최적화하고 에너지 프로슈머의 등장을 가능하게 하여 다양한 부가 서비스를 창출해 경제적 효과를 극대화 시킬 수 있는 신성장 동력 산업의 핵심 기술이다^{[1],[2]}. 이미 미국, 유럽 등 선진국에서는 2000년 초부터 IT 기반의 다양한 전력망 정책을 추진하고 있으며, 국내에서도 2009년부터 국가 단위의 정책 및 전략을 추진하고 있다. 특히 냉방·난방·조명 등에 사용되는 화석 연료 소비를 최소화하여 온실 가스 배출을 줄임으로써 자연과 환경을 생각하는 저탄소 녹색 성장의 핵심 프로젝트로 주목 받고 있다.

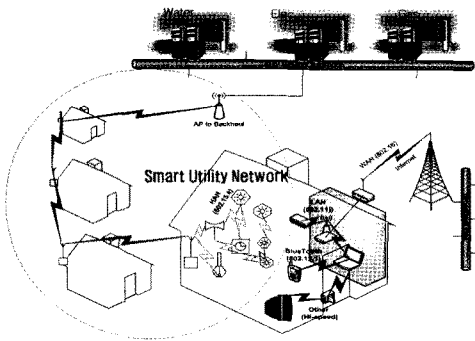
최근 전력 수용가 지역에서 스마트 그리드와 연계하여 가전제품의 전력 사용을 최적화하고 소비자에게 실시간 전기 요금 정보를 제공하는 전력 관리 서비스가 부각되면서 전기뿐만 아니라, 수도·가스와 같은 각종 유틸리티 사용 정보를 유틸리티 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 높이면서 쾌적한 주거 환경을 제공하는 AMI 기반 에너지 관리 장치의 중요성이 강조되고 있다^[3].

현재 전기·수도·가스 등의 각종 유틸리티 사용량을 원격으로 검침하고 관리하는 무선 원격 검침 시스템은 PLC와 ZigBee 기술을 기반으로 활발한 연구가

진행되어 대규모 사업화가 진행되고 있다. 그러나 ZigBee 기술은 열악한 유틸리티 네트워크 통신 환경에서 신뢰성 있는 통신 품질을 얻기 힘들고, 특히 원거리 실외 환경에서 Mesh Routing 기술과 연계하는데 한계를 가지고 있어 미국의 유틸리티 서비스 업체 중심으로 스마트 그리드와 연계한 새로운 국제 표준의 무선 전송 기술 개발의 필요성이 제기되었다.

IEEE802.15 WPAN 표준 그룹에서는 Itron, Elster, Silver Spring Networks, Landis & Gyr 등 미국과 유럽의 유틸리티 서비스 사업자들이 스마트 그리드와 연계하는 스마트 유틸리티 네트워크(Smart Utility Network: SUN) 서비스를 목표로 기존의 ZigBee 기술의 단점을 보완할 수 있는 새로운 물리계층(PHY)에 대한 국제 표준을 추진하기 위해 IEEE 802.15.4g 표준 그룹 결성을 추진하였다. 초창기에는 [그림 1]과 같이 스마트 그리드와 연계된 NAN(Neighbor Area Network)으로 표준을 시작하였으나, HAN(Home Area Network)과의 경계가 모호하여 NAN과 HAN이 통합된 SUN(Smart Utility Network)으로 표준화 진행 중이다^[4]. 또한 IEEE 802.15.4 MAC을 기반으로 새로운 SUN PHY를 수용하기 위한 고신뢰성, 저전력성, 저지연성을 목표로 SUN MAC 기술에 대한 표준화 움직임이 IEEE 802.15.4g 와의 긴밀한 협조로 IEEE 802.15.4e에서 이루어지고 있다^[5].

본 고에서는 스마트 유틸리티 네트워크를 위한 IEEE 802.15.4g/4e 표준화 현황 및 표준 기술 개요에 대해 설명하고, 현재 국내에서 진행되고 있는 SUN 시스템 개발 현황 및 응용에 대해 소개하고자 한다.



[그림 1] 스마트 유틸리티 네트워크 개념도

II. 스마트 유틸리티 네트워크 표준화 현황

2-1 IEEE 802.15.4g 무선 전송 기술 표준화 현황

IEEE 802.15 WPAN 표준그룹에서는 스마트 유틸리티 네트워크 구축에 필요한 새로운 무선 전송 기술 표준을 추진할 TG4g를 2008년 12월 IEEE 802 New Standard Committee(NesCom)에서 승인했으며, 2009년 1월 미국 로스앤젤레스에서 첫 번째 회의가 개최되었다. 이때 많은 유틸리티 서비스 사업자들은 TG4g에서 표준으로 추진하는 새로운 무선 전송기술을 미국의 스마트 그리드 표준에 반영하기 위해서는 신속한 표준 제정이 필요하다고 판단하고, 2009년 5월 캐나다 몬트리올 회의까지 아래의 기술 조건으로 CFA(Call for Application)와 CFP(Call for Proposal)를 동시에 접수 받기로 결정하였다^[5].

- SUN 무선 전송 기술은 IEEE 802.15.4 Alternate PHY-Layer로 정의
- 700 MHz~1 GHz 대역에서 지역적으로 사용할 수 있는 비면허 주파수 이용
- 40 Kbps~1,000 Kbps 전송 속도
- 스마트 미터링 배치 환경에서 최적의 에너지 효율적 링크 마진을 수용
- 실외 통신을 우선적 고려
- 최소 1,500 Octets 이상의 물리 계층 프레임 사이

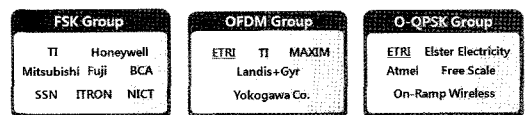
즈 사용

- 최소한 동일 지역에서 3개의 네트워크 동시 운용
- 밀접한 도시 지역에서 적어도 1,000여 개 neighbor 연결
- IEEE 802.11/15/16 시스템을 포함하여 다른 시스템과 공존할 수 있는 메커니즘 보유

위와 같은 기술 조건으로 2009년 5월 2일 총 24개의 최종 표준 기술에 대한 제안서가 접수되었으며, [그림 2]와 같이 전송 방식에 따라 크게 FSK, OFDM, DSSS(O-QPSK) 그룹으로 나뉘어졌다. 2009년 7월 미국 샌프란시스코 회의부터는 전송 방식에 따라 제안서 통합을 시작하였고, 9월 하와이 회의에서 상기 3개 기술을 모두 포함하여 하나의 통합 표준안을 작성하기로 결정하였다.

2009년 11월 미국 애틀랜타 회의, 2010년 1월 로스앤젤레스 회의에서 우선적으로 FSK, OFDM, O-QPSK 그룹별로 각각의 통합된 표준안을 준비하였고, 2010년 3월 미국 올랜드 회의에서 최종적으로 3개의 기술이 통합된 표준이 완성되었다. 그러나 2010년 4월 2일부터 5월 12일까지 WG15에서 진행된 Letter Ballot에서 총 투표자의 75 % 이상의 찬성표를 얻지 못해 2010년 5월 중국 베이징 회의에서 표준안은 부결되었고, 접수된 1,819개의 Comment에 대한 해결 방안을 마련해 다시 WG Letter Ballot을 상정하기로 결정했다.

접수된 1,819개의 Comment들은 기술별로 분류 및 검토되어 2010년 9월 하와이 회의에서 수정된 제안서가 완성되었으며, 2010년 10월 1일부터 11월 4일까지 2차 Letter Ballot이 실시되었고 87 %의 찬성으



[그림 2] IEEE 802.15.4g에 제안된 세 가지 PHY 기술

로 제안서는 통과되었으나, 1,188개의 Comment가 재 접수되었다. 2011년 1월 현재 표준 진행 현황은 Comment로 접수된 반대 의견에 대한 해결 방안을 찾아 재회람을 하고 있는 단계이다.

현재 TG4g에서는 2011년 3월 회의까지 Comment Resolution을 완료해 Sponsor Ballot을 거쳐 2011년 7월까지 표준 제정을 완료하겠다는 계획이지만, 다소 지연되어 늦어도 12월까지의 표준 제정이 완료될 것으로 전망된다.

2-2 IEEE 802.15.4e MAC 표준화 현황

IEEE 802.15 WPAN 표준그룹에서는 스마트 유틸리티 네트워크 구축에 필요한 새로운 무선 전송 기술 표준을 추진하는 TG4g와 더불어 기존의 IEEE 802.15.4-2006 MAC과의 호환성을 보장하면서도 IEEE 802.15.4 규격에 기반을 두는 International Electrotechnical Commission(IEC) 62591, International Society of Automation (ISA) 100.11a, Wireless Network for Automation-Process Automation(WIA-PA), ZigBee Energy Profile 등에 기술된 산업 응용 서비스들의 요구사항을 수용할 수 있도록 MAC 기능을 개선하는 표준화 작업이 TG4e에서 추진 중이다.

TG4e는 2007년 12월 IEEE 802 NesCom에서 승인 되었으며, 2008년 1월 타이페이 회의에서 첫 번째 회의가 개최되었다. 2008년 3월 올랜도 회의에서 CFA를 접수 받았고, 2008년 5월 회의부터 CFP를 접수 받기 시작하여 2010년 3월 올랜도 회의까지 접수된 제안서들을 기술 분야별로 Subgroup(DSME, TSCH, Factory Automation, Channel Diversity, Overhead Reduction, Low Energy)으로 구성하여 Baseline Document들을 작성한 후 하나의 제안서로 완성하였다.

그러나 2010년 4월에 진행된 1차 WG Letter Ballot (LB #53)에서 총 투표자의 75 % 이상의 찬성표를 얻지 못해 2010년 5월 중국 베이징 회의에서 표준안은 부결(찬성 120/반대 43/기권 15)되었고, 접수된 1,643

개의 Comment에 대한 해결 방안을 마련해 다시 WG Letter Ballot을 상정하기로 결정했다.

2010년 9월, 하와이 회의에서 접수된 1,643개의 Comment들을 기술별로 나누어 Comment Resolution 작업을 한 후에 다시 WG Letter Ballot을 상정하였다. 2010년 10월에 진행된 2차 WG Letter Ballot(LB #60)이 실시되었고 83.66 %의 찬성으로 제안서는 통과(찬성 128/반대 25/기권 11)되었다. 하지만 여전히 많은 858개의 Comment가 재 접수되었다.

2011년 1월 Los Angeles 회의에서 재 접수된 WG Letter Ballot에 대한 Comment Resolution 작업을 한 후에 이를 반영한 제안서에 대하여 2011년 2월에 3차 WG Letter Ballot(LB #69)를 실시하였다. 90.9 %의 찬성으로 제안서는 통과(찬성 61/반대 7/기권 2)되었고, 291개의 Comment가 재 접수되었다.

현재 2011년 3월 싱가포르 회의에서는 3차 WG Letter Ballot 결과, 접수된 Comment에 대한 Comment Resolution Database를 정리하여 Comment Resolution을 마치고, 2011년 5월 회의 전까지 4차 WG Letter Ballot을 실시할 예정이며, 2011년 5월 회의 또는 9월 회의에서 Sponsor Letter Ballot을 거쳐서 2012년 3월 회의에서 IEEE Review Committee(RevCom)의 최종 승인 획득을 목표로 하고 있다.

Ⅲ. 스마트 유틸리티 네트워크 표준 기술 개요

여기서는 현재 추진 중인 IEEE 802.15.4g SUN 물리 계층 표준 기술과 SUN MAC으로 유력한 IEEE 802.15.4e 표준 기술에 대해서 알아본다.

3-1 IEEE 802.15.4g 무선 전송 기술 표준 개요

현재 IEEE 802.15.4g에서 추진 중인 스마트 유틸리티 네트워크에 사용할 무선 전송 표준 기술은 MR-FSK, MR-OFDM, MR-O-QPSK의 세 가지 기술로 분류될

수 있고, 사용자의 요구에 따라 선택해 사용할 수 있도록 규정하고 있다. 여기서 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 전송 신호가 일정하기 때문에 전송 전력 효율이 좋다는 장점이 있고, MR-OFDM PHY는 열악한 무선 환경에서 신뢰성 있는 데이터 통신과 상대적으로 고속인 전송 속도를 가질 수 있는 장점이 있다. 그리고 MR-OQPSK PHY는 현재 IEEE 802.15.4-2006 O-QPSK PHY와 그 특징을 공유할 수 있어 설계가 수월하다는 장점이 있다. 이 세 가지 표준 기술에 대한 세부 사항은 아래와 같다.

3-1-1 MR-FSK 표준 기술

MR-FSK PHY에서는 전송 스펙트럼 마스크를 만족하는 2 또는 4 레벨 Filtered FSK 변조 방식을 사용

한다. 각 주파수 대역에 대한 변조 기법 및 채널 파라미터는 <표 1>에 나타내었다. 여기서 동작 모드 1은 반드시 지원을 해야 하며, 동작 모드 2와 3은 추가적으로 제공할 수 있다.

유틸리티 사업자들이 가장 선호하는 MR-FSK 표준은 기본적으로 저전력 설계를 위해 [그림 3]과 같이 심볼 매핑과 FSK 변조를 제외한 나머지 모든 구조는 옵션으로 선택할 수 있도록 하는 매우 간단한 구조를 가지고 있다. 즉 채널 오류 정정을 위한 Forward Error Correction Coding Block과 Bit Stream의 DC Bias를 없애기 위한 Data Whitening Block은 옵션으로 규정하였다.

3-1-2 MR-OFDM 표준 기술

MR-OFDM PHY는 <표 2>와 같이 세계 각국의 비면허 주파수 대역에 적합하도록 Subcarrier 간격은 10.417 KHz로 고정하고, FFT 크기를 16~128로 조절하는 구

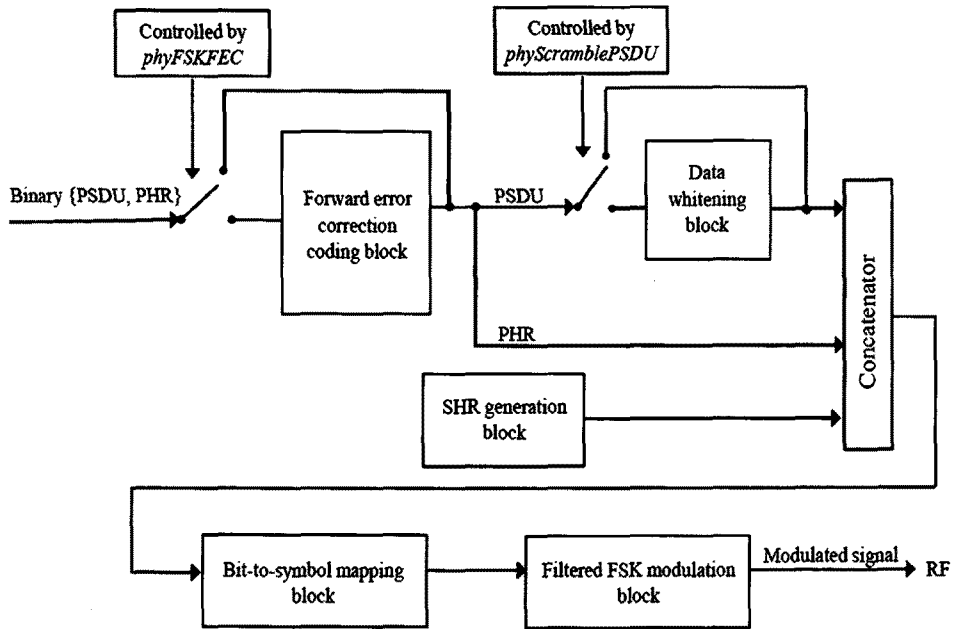
<표 1> 주파수 대역에 따른 MR-FSK 변조 방식 및 채널 파라미터

Freq. band(MHz)	Parameters	Operating mode #1	Operating mode #2	Operating mode #3
450~470	Data rate (kb/s)	4.8	9.6	—
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK	—
	Channel spacing (kHz)	12.5	12.5	—
470~510 (China)	Data rate (kb/s)	50	100	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing (kHz)	200	400	400
863~870 (Europe)	Data rate (kb/s)	50	100	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing (kHz)	200	400	400
902~928 (ISM) 2,400~2,483.5 (Worldwide)	Data rate (kb/s)	50	150	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK
	Channel spacing (kHz)	200	400	400
896~901 901~902 928~960 1,427~1,518	Data rate (kb/s)	10	20	40
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK
	Channel spacing (kHz)	25	25	25

조로 채널링 간격이 200 KHz~1.2 MHz까지 지원되도록 4개의 옵션으로 구성되어 있다. <표 2>에서 설명된 특정 옵션(1, 2, 3 or 4)을 지원하는 모든 디바이스는 특정 옵션에서 제공할 수 있는 모든 BPSK와 QPSK

변조를 사용하는 MCS(Modulation and Coding Scheme) 모드를 반드시 제공할 수 있어야 하며, 모든 16-QAM MCS 모드는 옵션으로 선택할 수 있다.

MR-OFDM PHY 구성도는 [그림 4]와 같이 PHY



[그림 3] IEEE 802.15.4g MR-FSK 구성도

<표 2> MR-OFDM 표준 규격

Parameter	Option 1	Option 2	Option 3	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
MCS0(BPSK rate 1/2 with 4× frequency repetition)	100 Kbps	50 Kbps		
MCS1(BPSK rate 1/2 with 2× frequency repetition)	200 Kbps	100 Kbps	50 Kbps	
MCS2(QPSK rate 1/2 with 2× frequency repetition)	400 Kbps	200 Kbps	100 Kbps	50 Kbps
MCS3(QPSK rate 1/2)	800 Kbps	400 Kbps	200 Kbps	100 Kbps
MCS4(QPSK rate 3/4)		600 Kbps	300 Kbps	150 Kbps
MCS5(16-QAM rate 1/2)		800 Kbps	400 Kbps	200 Kbps
MCS6(16-QAM rate 3/4)			600 Kbps	300 Kbps

헤더는 각 옵션에서 가장 낮은 MCS0 모드를 이용하여 Scrambler를 사용하지 않고 데이터를 전송하도록 하였다. 또한 코딩율이 1/2인 데이터 전송률 모드인 MCS0~3까지는 코딩율이 1/2인 Convolutional Encoder를 사용하기 때문에 Puncturer를 사용하지 않고 데이터를 전송해야 한다.

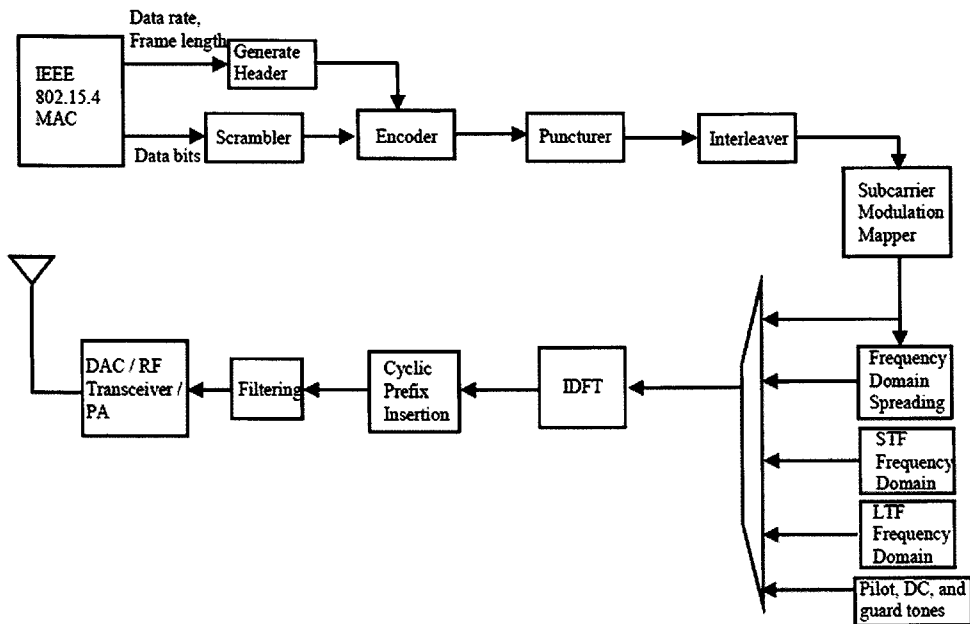
3-1-3 MR-O-QPSK 표준 기술

MR-O-QPSK PHY는 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 대역과 2,400~2,450 MHz 대역만을 지원할 수 있다.

[그림 5]는 MR-O-QPSK의 송신 구조로서, SHR과 PHR은 동일한 구조를 사용하고, PSDU에서만 DSSS와 MDSSS 모드를 선택하여 전송할 수 있다.

3-2 IEEE 802.15.4e MAC 표준 기술 개요

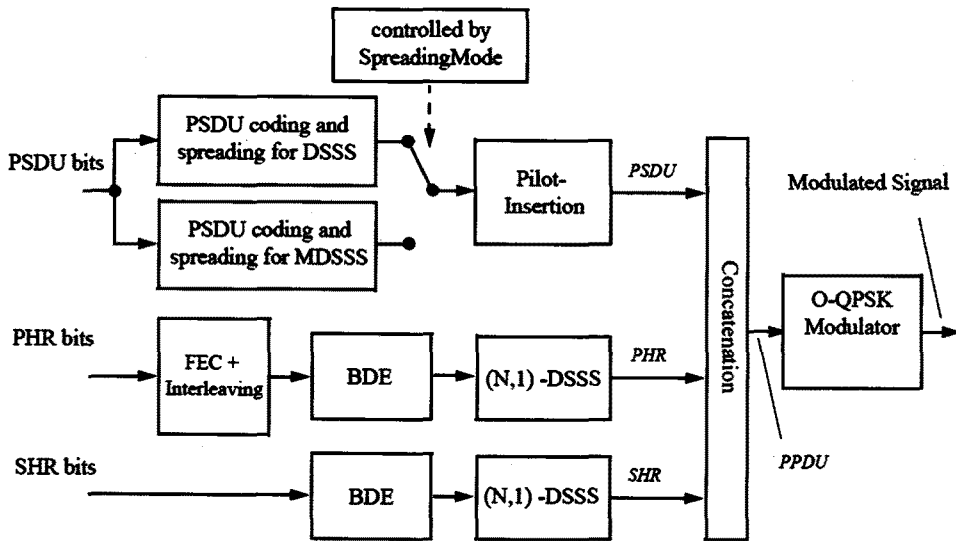
IEEE 802.15 TG4e에서는 IEEE 802.15.4-2006 MAC 표준기술과의 호환성을 유지하면서 IEC 62591, ISA 100.11a, WIA-PA 등과 같은 산업 응용 서비스들을 지원할 수 있도록 기능을 보완하는 표준화 작업이 이루어지고 있다. IEEE 802.15 TG4e MAC은 기존 IEEE 802.15.4-2006 MAC에서와 같이 하나의 MAC 기술 규격에 의해 PAN을 구성하기 보다는 특정 서비스 영역에 따라 최적의 솔루션이 될 수 있도록 복수의 동작 모드를 제공하며, 사용자가 특정 서비스 목적에 따라 MAC 모드를 선택하여 네트워크를 운용할 수 있도록 Low Latency (LL) 모드, Time Slotted Channel Hopping (TSCH) 모드, Deterministic and Synchronous Multi-Channel Extension(DSME) 모드 등이 제공된다.



[그림 4] IEEE 802.15.4g MR-OFDM 구성도

〈표 3〉 MR-O-QPSK 표준 규격

Frequency(MHz)	Chip rate(kchip/s)	Modulation(Spreading)	Bit rate(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, 12.5, 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 5] IEEE 802.15.4g MR-O-QPSK 구성도

지연 시간의 최소화와 고 신뢰성을 보장하는 LL 모드는 무인 로봇, 이동형 장비 제어, 공항 물류 서비스 등을 지원하고, 시간 및 주파수 영역의 중복성을 통하여 네트워크의 안정성을 보장하는 TSCH 모드는 석유·가스 산업, 공정 자동화, 식품·음료 제품 산업, 그린 에너지 생산, 정화/하수 처리 서비스, 환경 모

니터링 서비스를 지원한다. 그리고 DSME 모드는 산업 자동화와 스마트 미터링과 같은 산업 애플리케이션, 홈 오토메이션, 스마트 빌딩, 엔터테인먼트 등을 중심으로 하는 상업 애플리케이션, 원격 의료, 환자 모니터링과 같은 헬스케어 응용 서비스를 지원한다. 이들 MAC 동작 모드에 대한 세부 사항은 아래와 같다.

3-2-1 LL MAC 표준 기술

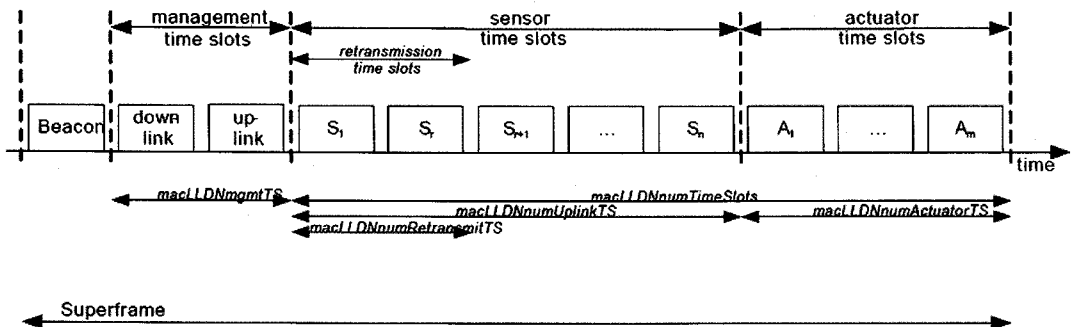
LL 모드는 링크간 패킷 전달 지연 시간 최소를 목적으로 하는 공장 자동화 서비스에 특화된 모드로 다른 동작 모드와 비교해 구체화된 요구사항을 갖는다. 우선, 10 m 내에 20개의 센서들로부터 센싱 정보를 획득해야 하며, 동일 RF 주파수를 공유하는 무선 기기에 의한 무선 간섭의 영향을 최소화하기 위한 주파수 플래닝과 네트워크 관리 비용을 최소화 하여야 한다. 또한 한 개의 Low Latency Deterministic Network(LLDN) PAN 코디네이터에 100개 이상의 센서 노드들이 접속할 수 있어야 한다. 이러한 구체적인 LL 모드의 요구사항은 MAC 성능 목표치에 부합하는 규격을 제공할 수 있으나, 적용되는 응용 애플리케이션이 매우 제한적이라는 단점을 갖는다. 또한, 스타 네트워크 토폴로지 만을 지원하기 때문에 네트워크 확장에 제약을 받는다⁷⁾.

LL 모드는 [그림 6]과 같이 기존에 정의된 Beacon, Management, Sensor, Actuator의 4가지 타임 슬롯(Time-Slot)으로 LL-Superframe을 구성하여 전송 시간을 보장해 준다. Beacon Time Slot은 Superframe의 시작을 알리기 위하여 LLDN PAN으로부터 예약되어 있는 Slot이며, Management Time Slot은 Beacon Time Slot 바로 다음에 오며, Down/Uplink로 구분되어 Discovery 모드와 Configuration 모드에서 사용된다. Sensor Time

Slot은 Management Time Slot 다음에 오며, 이름이 의미하듯이 센서의 데이터 전송에 사용되는 Slot이다. 마지막으로 Actuator Time Slot은 Sensor Time Slot 뒤에 오며, Actuator로 동작하는 디바이스들과 LLDN PAN의 코디네이터 간의 데이터 전송에 사용된다⁶⁾.

3-2-2 TSCH MAC 표준 기술

TSCH는 Non-beacon-enabled Mode에서 운용되며, 시분할 기반 채널 호핑 방식만을 사용한다. TSCH 모드에서는 주기적인 Advertisement 프레임을 통해 가용 자원을 방송하고 네트워크에 참여를 원하는 노드는 이를 청취하여 Join 프레임을 공용 타임 슬롯을 통해 PAN 가입을 요청한다. 네트워크 가입 요청을 받은 노드는 Activate 프레임을 통해 새로운 노드에게 자원을 할당한다. TSCH는 시각 동기를 위하여 두 노드 간 데이터 프레임 교환할 때 데이터 프레임을 수신한 노드는 ACK 프레임에 시각 정보를 포함하도록 하여 두 노드간 시각 동기 정보를 보정하도록 하고 있다. 이러한 시각 동기 방식은 비컨 프레임과 같은 범용 제어 프레임을 사용하는 동기 시스템에서 모든 노드가 이를 청취하기 위해 깨어야 하는 전력 소모 문제를 줄일 수 있는 장점을 갖지만 트래픽이 간헐적이거나 긴 인터벌을 갖는 비주기적인 응용 서비스의 경우 노드간 시각 동기를 맞추기 어렵



[그림 6] LL 모드의 슈퍼프레임 구조

다는 단점도 갖는다^{[6],[7]}.

TSCH 모드에서는 각각의 프레임의 크기는 유동적이며, 각 슬롯에 디바이스를 할당하여 사용할 수 있다. [그림 7]은 프레임의 사이즈가 슬롯 단위로 3인 예를 보이고 있다^[6].

[그림 8]은 TSCH에서 동시에 다른 단위 시간의 주기를 가지고 있는 슬롯 프레임을 여러 개를 사용할 수 있는 멀티 슬롯프레임을 나타낸다. 각각의 네트워크 디바이스는 하나 또는 좀 더 많은 슬롯 프레임에 참여하여 사용할 수 있으며, 모든 슬롯 프레임에 포함되어 있지 않아도 된다. 이를 통하여 하나의 디바이스를 통하여 동시에 다른 일을 수행할 수 있게 된다^[6].

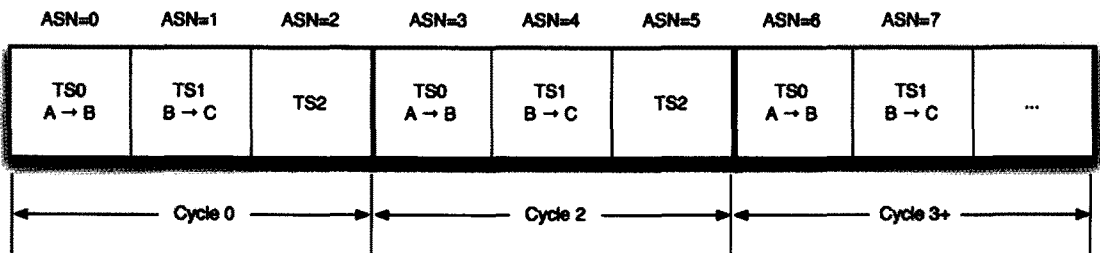
3-2-3 DSME MAC 표준 기술

DSME는 PAN 동작 모드 중 Beacon-enabled Mode에서 운용되며, 채널 다이버시티를 위해 채널 호핑 방식과 채널 적응 방식 모두를 지원한다. 네트워크 관리자는 최초 네트워크가 운용될 때 두 가지 채널 다이

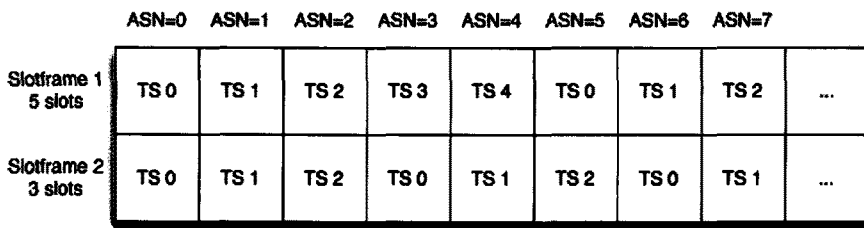
버시티 방식 중에서 하나를 선택하여 네트워크를 운용할 수 있다. DSME는 기존 IEEE 802.15.4 MAC-2006의 Beacon-enabled Mode에서 사용되는 슈퍼 프레임 구조를 유지하고 있지만, 비활성(inactive) 구간이 생략된 형태의 복수 개의 슈퍼 프레임을 묶어 하나의 멀티 슈퍼 프레임이라는 구조를 형성한다^{[6],[7]}.

[그림 9]는 DSME의 채널 다이버시티 방식 중 채널 적응 방식을 사용하는 멀티슈퍼프레임을 도식한 것이다. [그림 9]에 예시된 바와 같이 디바이스가 채널 11의 슬롯 0, 1, 2를 사용하다가 수신 채널 품질이 정해진 임계값보다 저하될 때, 새로운 채널 13의 슬롯 5, 6으로 변경하여 데이터 프레임을 주고받는 예를 보여준다^[6].

[그림 10]은 DSME의 채널 다이버시티 방식 중 채널 호핑 방식을 사용하는 멀티슈퍼프레임을 도식한 것이다. 채널 호핑 방식 통신에서는 송신 노드와 수신 노드간에 미리 예약된 주파수 채널 시퀀스를 이용해 프레임 단위로 채널을 도약해 가며 통신을 한다.



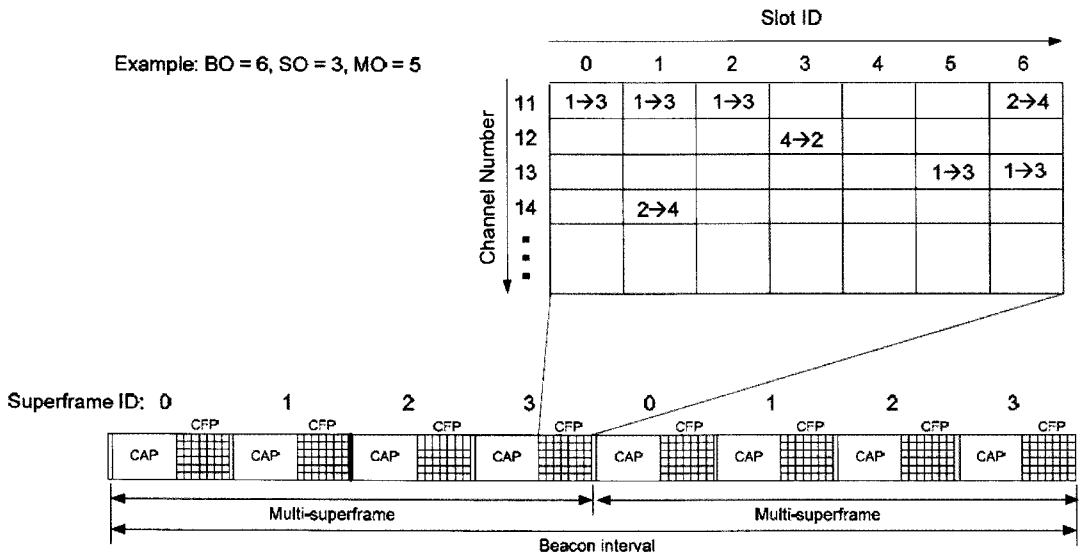
[그림 7] TSCH 모드의 슬롯 프레임



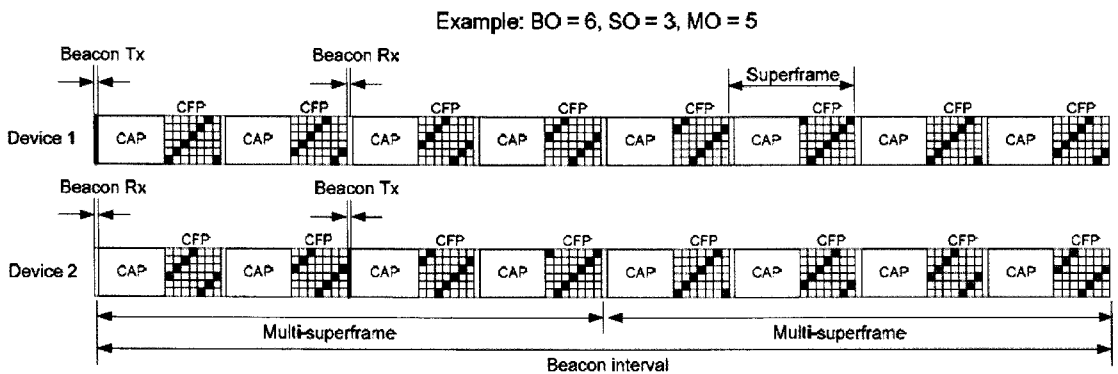
[그림 8] 멀티 슬롯 프레임

[그림 10]에 예시된 바와 같이 채널 홉핑 시퀀스로 {1,2,3,4,5,6}을 사용하여, 상단의 디바이스는 Offset으로 0을 사용하고 하단의 디바이스에서는 Offset으로 2 값을 사용한다. 따라서 상단 디바이스의 슬롯은 (1,1), (2,2), (3,3), (4,4), (5,5), (6,6), (7,1), (8,2), (9,3) 이런 식으로 사용되게 되고, 하단 디바이스는 Offset을 2로 사용하기 때문에 (1,3), (2,4), (3,5), (4,6), (5,1), (6,2)와 같은 순서로 채널 홉핑을 하게 된다^[6].

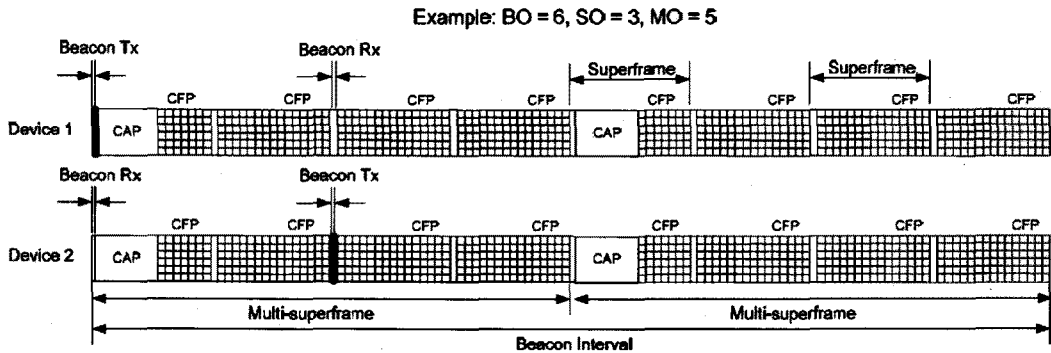
제어 프레임의 교환이 이루어지는 CAP 구간에서 노드들은 일정 시간 동안 채널을 청취해야 하는데, 잦은 CAP 구간의 반복은 노드 기기의 전력 소모를 가중시킬 수 있다. DSME 모드에서는 [그림 11]과 같이 CAP 구간의 반복을 줄이기 위해 CAP reduction 필드를 두어 멀티슈퍼프레임 내의 복수 개의 CAP 구간 중 첫 번째 CAP 구간만을 활성화하는 옵션도 제공하고 있다^[6].



[그림 9] Channel Adaptation Mode를 사용하는 멀티 슈퍼프레임



[그림 10] Channel Hopping Mode를 사용하는 멀티 슈퍼프레임



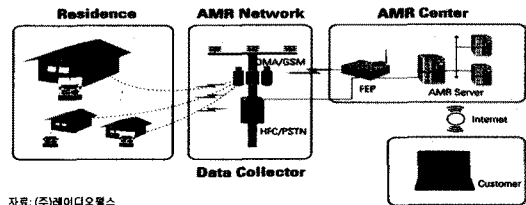
[그림 11] CAP reduction를 사용하는 멀티 슈퍼프레임

IV. 스마트 유틸리티 네트워크 응용 및 개발 현황

4.1 스마트 유틸리티 네트워크 응용

스마트 유틸리티 네트워크의 가장 기본적인 응용은 [그림 12]와 같이 각 가정에서 사용하는 전력량을 자동으로 SUN 통신망을 이용해 전기·수도·가스 등의 양방향 통합 원격 검침망을 구축하는 것이다. 이러한 가정과 기존 전력망 간의 양방향 통신망은 단순한 가정 내의 전력 소비량뿐만 아니라, 가정 내에서 생산할 수 있는 태양열 및 풍력 발전과 같은 새로운 자연친화적 전력 공급망을 기존 전력망에 통합할 수 있는 방법을 제시할 수 있으며, 전력 소모량에 따른 전기 요금을 차별화하고 이를 각 가정에서 확인할 수 있도록 함으로써, 연중 피크 전력량을 평균화하여 불필요한 전력 설비의 추가 증설을 방지할 수도 있다. 또한 요즘 친환경 자동차로 각광 받기 시작한 전기 자동차와 연계하여 전기 자동차의 충전과 전력 저장소로서 이용할 수 있는 특성을 이용하여 저가격의 전기차 충전 인프라 구축을 통한 전기차 활성화에도 기여할 수 있다.

스마트 유틸리티 네트워크 표준 기술은 스마트 그리드와 연계된 응용 서비스뿐만 아니라 홈 네트워크, 센서 네트워크, 홈/공장 자동제어 분야 등에서



자료: (주)에디오텔스

[그림 12] 스마트 유틸리티 네트워크를 이용한 양방향 통합 원격 검침망

다양한 용도로 활용될 것으로 전망된다. 즉, 가전기 기 혹은 무선 제어 콘센트에 SUN 통신칩을 내장하여 에너지 사용량을 감시 및 조절하고, 기존의 홈네트워크와 연동해 홈 게이트 웨이를 통해 전체 송배전 시스템과 연동함으로써 에너지 재분배 및 이산화탄소 배출을 감소시킬 수 있는 친환경 그린 홈 개발의 핵심 기술로 활용 가능하다. 또한 주택, 아파트, 교량, 터널 등의 시설에 센서 네트워크를 구축하여 주기적인 안전 진단과 비상 상황 발생 시 재난 관리 센터에 실시간 통보함으로써 안전 점검 비용을 절감하고, 재난 발생 시 실시간 대처를 가능하게 하는 재난 방지 감시 시스템에 활용될 것으로 전망된다.

4.2 스마트 유틸리티 네트워크 개발 현황

이렇게 다양한 응용 분야로의 적용이 가능하기 때문에 전 세계적으로 스마트 유틸리티 네트워크 포

준 시스템을 개발하려는 움직임이 활발하다. 아직까지 표준화가 완료되지 않아 전 세계적으로 표준에 부합하는 칩을 제작한 곳은 없으나, 현재까지 배포된 표준 드래프트를 바탕으로 플랫폼 형태의 시스템 개발을 진행하고 있는 상황이다.

국내에서는 ETRI가 IEEE 802.15.4g/4e 기반의 스마트 유틸리티 네트워크 시스템을 개발하고 있다. 2011년 2월 현재, 저속·저전력을 목표로 하는 MR-FSK 시스템과, 고속·고신뢰를 목표로 하는 MR-OFDM 시스템 개발을 1차적으로 마친 상태이다.

국외에서는 유틸리티 사업자들이 가장 선호하는 MR-FSK 기술을 바탕으로 시스템 개발이 한창 진행 중이다. TI사는 기존의 FSK 칩을 활용한 SoC 칩을 내놓으면서 스마트 유틸리티 네트워크 응용에 사용할 수 있도록 하였다. 아직 IEEE 802.15.4g/4e 표준에 완전히 부합하지는 않지만, 표준이 완료되는 시점에 맞추어 칩을 출시할 것으로 전망된다.

V. 맺음말

스마트 유틸리티 네트워크는 스마트 그리드와 연계되어 가정·빌딩·공장 등에서 사용하는 전기·수도·가스 등의 유틸리티를 효과적으로 사용하여 친환경적으로 에너지를 절약할 수 있는 기술로써, 새로운 시장 창출이 기대되고 있어 국제 표준 및 기술 개발 경쟁이 점점 치열해지고 있는 상황이다.

본 고에서 검토한 스마트 유틸리티 네트워크를 위한 IEEE 802.15.4g/4e 표준 기술은 현재 ZigBee의 물리 계층 및 MAC 계층으로 사용하고 있는 IEEE 802.15.4

를 대체할 수 있는 기술로, 상용화 초기에는 ZigBee 응용 분야에서 같이 경쟁할 것으로 예상되지만, 궁극적으로는 ZigBee 물리 계층으로 대체되어 스마트 그리드, 홈 네트워크, 센서 네트워크 등 다양한 분야에서 핵심적인 기술로 활용될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] Report to NIST on the Smart Grid interoperability standard roadmap, Jun. 17, 2009.
- [2] Dr. David Hart, "Smart Grid Overview", 15-09-0414-00-wng0, May 2009.
- [3] AMI 기반 에너지 관리 시스템, 전력전자학회.
- [4] Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Data Rate Wireless Smart Metering Utility Networks, P802.15.4g/pre-d3, Jan. 2011.
- [5] Jana Van Greunen, "TG4g Technology Requirements Discussion", IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Network (WPANs), Doc. IEEE P802.15-09-0037-00-004g, Jan. 2009.
- [6] Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 5: Amendment to the MAC sub-layer, IEEE P802.15.4e/D3.0, Feb. 2011.
- [7] 무선 센서네트워크 전송기술 표준화 동향, 전자통신동향분석, 25(4), 2010년 8월.

≡ 필자소개 ≡

전 영 애



2001년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
1991년~현재: 한국전자통신연구원 그린
융합무선시스템연구팀 책임연구원

오 미 경



2006년~현재: 한국전자통신연구원 그린
융합무선시스템연구팀 선임연구원

신 철 호



1994년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학
사)
1996년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학
석사)
2007년 2월: 전남대학교 전파공학과 (공학
박사)
1996년~현재: 한국전자통신연구원 그린
융합무선시스템연구팀 책임연구원

최 상 성



1997년 2월: 한양대학교 무선통신공학과
(공학사)
1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공
학석사)
1991년 6월: Ohio University 전기공학
(공학박사)
1999년: University of Wyoming 전자공
학과 (공학박사)
2000년~현재: 한국전자통신연구원 그린융합무선시스템연구
팀 팀장