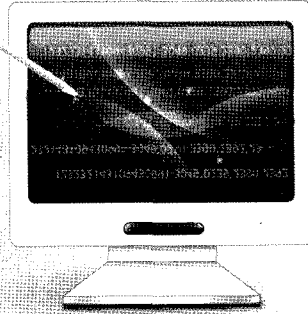


스마트 유틸리티 네트워크를 위한 무선 전송기술 표준화 동향

최상성 ETRI 그린융합무선시스템연구팀 팀장
신철호 ETRI 그린융합무선시스템연구팀 책임연구원
오미경 ETRI 그린융합무선시스템연구팀 선임연구원



1. 머리말

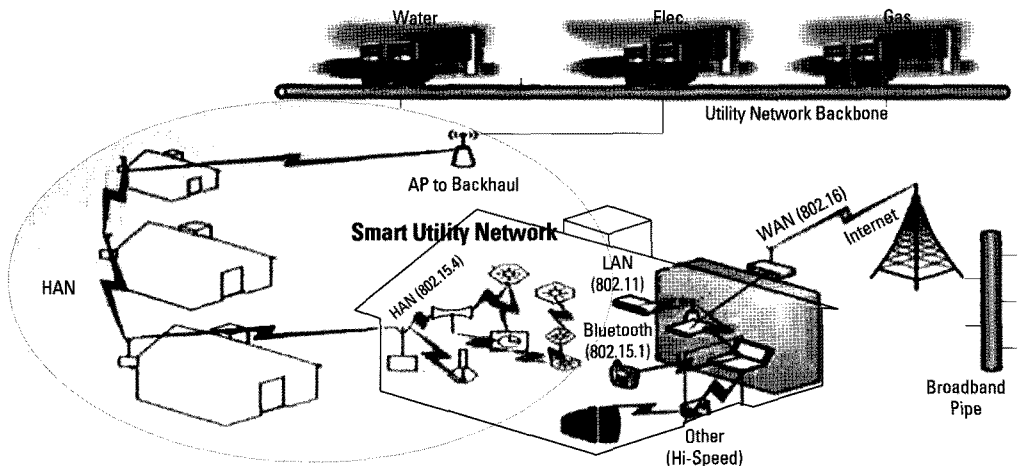
기존의 전력망에 정보통신기술(IT)을 접목한 스마트 그리드(Smart Grid) 기술은 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 전력 에너지 효율을 최적화 시키고, 다양한 부가 서비스를 창출해 경제적 효과를 극대화 시킬 수 있는 신성장 동력 산업의 핵심 기술이다. 특히 냉방, 난방, 조명 등에 사용되는 화석 연료 소비를 최소화하여 온실가스 배출을 줄임으로써 자연과 환경을 생각하는 저탄소 녹색 성장의 핵심 프로젝트로 주목 받고 있다.[1][2]

최근 스마트 그리드 전력 수용가 지역에서 네트워킹을 통해 가전제품의 전력사용을 최적화하고 소비자에게 실시간 전기요금 정보를 제공하는 전력 관리 서비스가 부각되면서 전기뿐만 아니라 수도, 가스와 같은 유틸리티 사용 정보를 유틸리티 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 소비 효율을 높이면서 쾌적한 주거 환경을 제공하는 AMI(Advanced Metering Infrastructure) 기반 에너

지 관리 장치의 중요성이 강조되고 있다.[3]

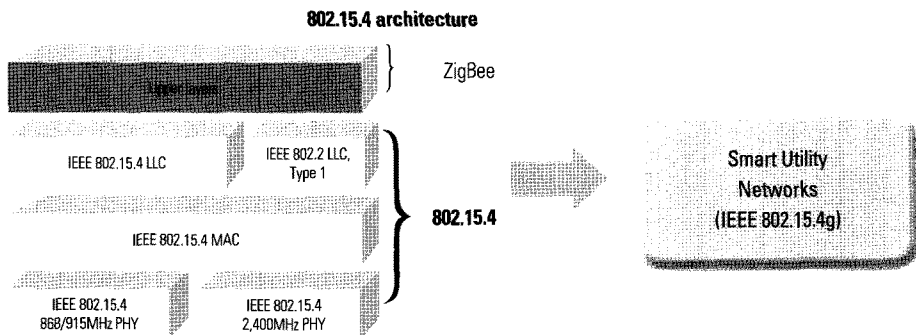
현재까지 전기, 수도, 가스 등의 유틸리티 사용량을 원격으로 검침하고 관리하는 원격 검침 시스템은 PLC와 ZigBee 기술을 기반으로 활발한 연구가 진행되어 미국, 유럽 등지에서 대규모 사업화가 이루어지고 있으나, ZigBee 무선기술은 열악한 유틸리티 네트워크 통신 환경에서 높은 링크 마진 특성을 얻기가 어렵고, 특히 원거리 실외 환경에서 Mesh routing 기술과 연계하는데 한계를 가지고 있어 미국의 유틸리티 서비스 업체 중심으로 스마트 그리드와 연계한 새로운 국제 표준의 무선 전송기술 개발의 필요성이 제기 되었다.[4]

IEEE802.15 WPAN 표준그룹에서는 [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 TG4g를 결성하여 IEEE802.15.4 물리계층을 대체할 수 있는 새로운 근거리 무선 전송기술을 표준화하고 있다.[4][5]



※출처: IEEE802.15.4g SSN 보고서

[그림 1] 스마트 유틸리티 네트워크



[그림 2] ZigBee 물리계층 대체 SUN 기술

2. IEEE802.15.4g SUN 표준화 현황

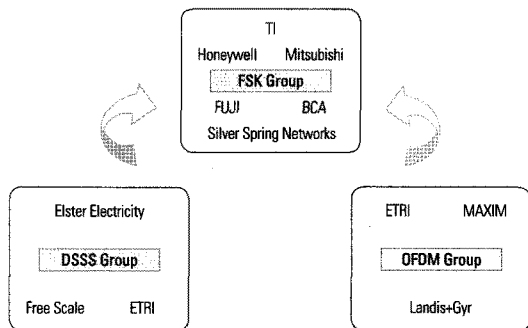
Itron, Elster, Silver Spring Networks, Landis & Gyr 등 미국과 유럽의 유틸리티 서비스 사업자들은 스마트 그리드와 연계하는 스마트 유틸리티 네트워크 서비스를 목표로 기존의 ZigBee 기술의 단점을 보완할 수 있는 새로운 물리계층에 대한 국제 표준을 추진하기 위해 IEEE802.15.4g SUN 표준그룹 결성을 추진하였다.[4]

2008년 12월 스마트 유틸리티 네트워크 구축에 필

요한 새로운 무선 전송기술 표준을 추진할 TG4g를 IEEE802 NesCom에서 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 5월까지 CFA(Call for Application)와 CFP(Call for Proposal)를 다음과 같은 기술 조건으로 동시에 접수 받기로 결정하였다.[5]

- SUN 무선 전송기술은 IEEE 802.15.4 Alternate PHY-Layer로 정의(수정된 IEEE802.15.4 MAC_Layer 사용)
- 700MHz ~ 1GHz 대역에서 지역적으로 사용할 수 있는 비면허 주파수 이용
- 40Kbps ~ 1,000Kbps 전송 속도
- 스마트 메터링 배치 환경에서 최적의 에너지 효율적 링크 마진을 수용
- 우선적으로 실외통신으로 고려
- 최소 1,500Octets 이상의 물리계층 프레임 사이즈 사용
- 최소한 동일지역에서 3개의 네트워크를 동시에 운용
- 밀집된 도시 지역에서 적어도 1,000여 개 neighbour와 연결
- IEEE802.11, 15, 16 시스템을 포함하여 다른 시스템과 공존할 수 있는 메커니즘 보유

2009년 5월 2일 총 24개의 최종 표준기술에 대한 제안서가 접수되었으며, 전송기술 유형에 따라 FSK, OFDM, DSSS 기술로 분류해 5월 캐나다 몬트리올 회의, 7월 미국 샌프란시스코 회의에서 제안서에 대한 발표가 있었으며, 9월 하와이 회의에서 상기 3개의 기술을 모두 포함하여 하나의 통합 표준안을 작성하기로 결정했다.



[그림 3] SUN 표준 제안서 통합

2009년 11월 미국 애틀랜타 회의, 2010년 1월 로스 앤젤레스 회의에서 우선적으로 FSK, OFDM, DSSS 그룹별로 각각의 통합된 표준안을 준비하였고, 2010년 3월 미국 올랜드 회의에서 최종적으로 3개의 기술이 통합된 표준안이 완성되었다.[6] 그러나 2010년 4월 2일부터 5월 12일까지 WG15에서 진행된 Letter Ballot에서 <표 1>과 같이 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 분류하여 그룹별 전화회의를 통해 검토하고, 애드혹 회의를 통해 7월 미국 샌디에이고 회의까지 Comment Resolution을 완료하려고 노력했으나 다소 지연되어 9월 하와이 회의에서 수정된 제안서가 완성되었다.[7][8] 2010년 10월 1일부터 11월 4일간 2차 Letter Ballot이 실시되었고, <표 2>와 같이 87% 찬성으로 제안서는 통과되었으나, 1,188개의 코멘트가 재접수되었다.

IEEE 표준 추진 절차는 [그림 4]에서와 같이 Letter Ballot에서 표준안이 통과되어도 반대 의견으로 접수

<표 1> 1차 Letter Ballot 결과

총 투표수	185
찬성	128
반대	45
기권	12
찬성비율	73.99%

<표 2> 2차 Letter Ballot 결과

총 투표수	186
찬성	156
반대	22
기권	8
찬성비율	87.64%

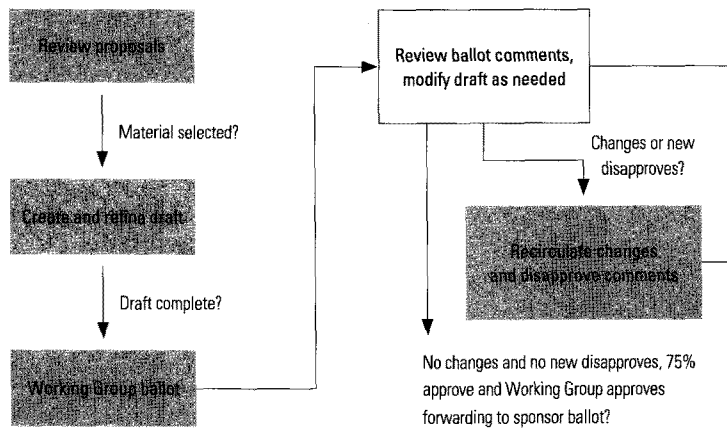
된 Comment에 대하여 모두 만족할 수 있는 해법을 찾을 때까지 재회람을 거쳐 최종적으로 표준안이 완성되고, 다음 단계인 Sponsor Ballot 단계로 넘어가게 된다. 2011년 1월 현재 표준 진행 현황은 Comment로 접수된 반대 의견에 대한 해결방안을 찾아 재회람을 하고 있는 단계이다.

현재 IEEE802.15.4g 표준 그룹은 2011년 1월 로스 앤젤레스 회의까지 Comment Resolution을 완료하고 한번더 재회람을 시행하고, 3월 회의까지 Comment

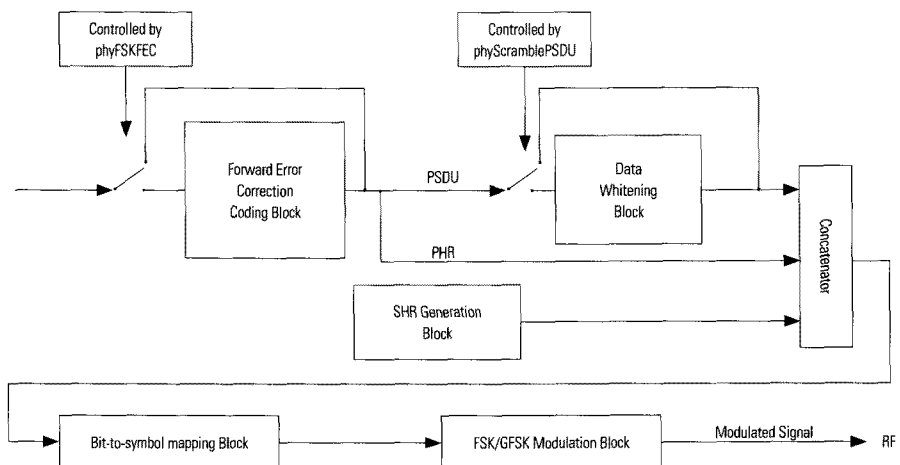
Resolution을 완료해 Sponsor Ballot을 거쳐 2011년 7월까지 표준 제정을 완료하겠다는 계획이지만 다소 지연되어 늦어도 12월까지의 표준 제정이 완료될 것으로 전망된다.

3. SUN 표준 무선 전송기술

현재 IEEE802.15.4g에서 추진중인 스마트 유틸리티 네트워크에 사용할 무선 전송 표준기술은 MR-FSK,



[그림 4] IEEE 표준화 절차



[그림 5] MR-FSK SUN 시스템 구조도

〈표 3〉 MR-FSK SUN 표준 규격

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	-	-
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) 2400-2483.5 (Worldwide)	Data rate(kb/s)	50	150	200
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing(KHz)	200	400	400
896-901 901-902 928-960 1427-1518	Data rate(kb/s)	10	20	40
	Modulation	Filtered 2FSK	Filtered 2FSK	Filtered 4FSK
	Channel spacing(KHz)	25	25	25

〈표 4〉 MR-OFDM SUN 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
MCS0 (BPSK rate 1/2 with 4x frequency repetition) (Kbps)	100	50	-	-
MCS1 (BPSK rate 1/2 with 2x frequency repetition) (Kbps)	200	100	50	-
MCS2 (QPSK rate 1/2 with 2x frequency repetition) (Kbps)	400	200	100	50
MCS3 (QPSK rate 1/2) (Kbps)	800	400	200	100
MCS4 (QPSK rate 3/4) (Kbps)	-	600	300	150
MCS5(16-QAM rate 1/2) (Kbps)	-	800	400	200
MCS6(16-QAM rate 3/4) (Kbps)	-	-	600	300

MR-OFDM, MR-OQPSK 세 가지를 제시하고 있으며, 사용자의 요구에 따라 선택해 사용할 수 있도록 규정하고 있다.[6] 그러나 대부분의 유틸리티 사업자들은 메터링 서비스와 같이 데이터 전송속도는 낮으나 저전력이 요구되는 응용 서비스에 즉시 사용할 수 있는 MR-FSK SUN 시스템을 선호하고 있으며, 향후 스마트 그리드가 활성화 되어 정보량이 증가될 경우 멀티패스에 강하고 고속 전송이 가능한 MR-OFDM 시스템을 미래 대체 기술로 사용할 것으로 전망하고 있다.

3.1 MR-FSK SUN 표준 기술

현재 상용화를 이유로 유틸리티 사업자들이 가장 선호하는 MR-FSK SUN 표준 기술은 기본적으로 저전력 설계를 위해 [그림 5]와 같이 심볼 매핑과 FSK 변조를 제외한 나머지 모든 구조는 옵션으로 선택할 수 있도록 하는 매우 간단한 구조를 가지고 있다.

지역에 따라 <표 3>과 같이 다양한 주파수 대역 사용을 규정하고 있으며, 900MHz 대역에서는 200KHz 대역폭, 50Kbps 전송속도를 의무화하고 있고 대역폭에 따라 최고 200Kbps 전송속도를 선택적으로 사용할 수 있도록 했다.

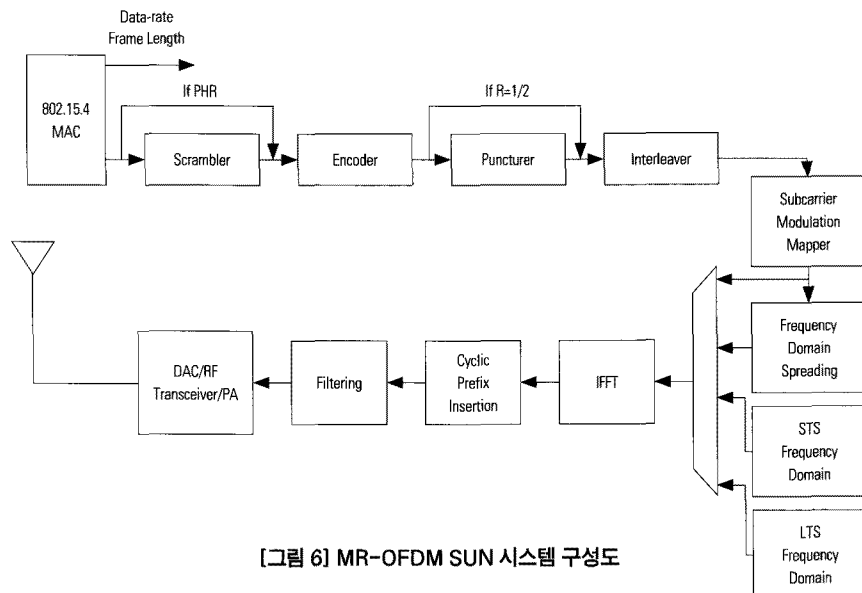
3.2 MR-OFDM SUN 표준 기술

향후 SUN 기술의 차세대 전송방식으로 언급되고 있는 MR-OFDM SUN 시스템은 <표 4>와 같이 세계 각국의 비면허 주파수 대역에 적합하도록 Subcarrier 간격은 10.417KHz로 고정하고 FFT 크기를 16-128로 조절하는 구조로 채널링 간격이 200KHz~1.2MHz까지 지원되도록 4개의 옵션으로 구성되어 있다.

MR-OFDM SUN 구성도는 [그림 6]과 같이 PHY 헤더는 각 옵션에서 제공하는 가장 낮은 MCS 모드를 이용하며, Scrambler를 사용하지 않고 데이터를 전송한다. 또한 코딩율이 1/2인 데이터 전송률 모드인 MCS0~3까지는 코딩율이 1/2인 Convolutional encoder를 사용하기 때문에 Puncturer를 사용하지 않고 데이터를 전송해야 한다.

3.3 MR-OQPSK SUN 표준 기술

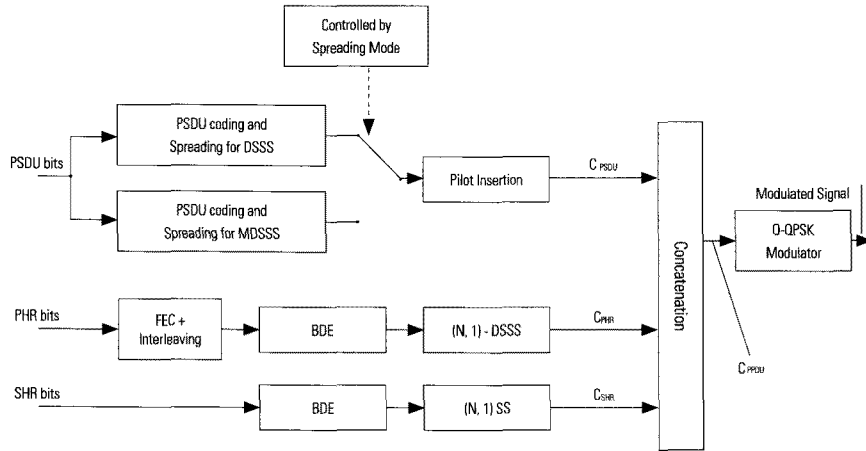
MR-OQPSK SUN 시스템은 <표 5>와 같이 다중 데이터 전송률 모드를 지원하기 위해 다양한 확산모드를 사용하고 있으며, 다중 경로 환경에서 성능을 향상시키기 위해 코드율이 1/2인 FEC와 Interleaver를 사용하였다. DSSS(Direct Sequence



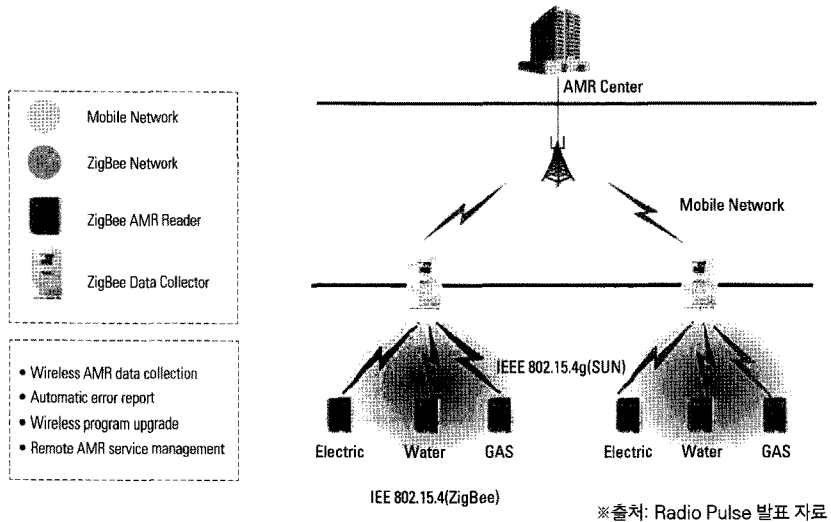
[그림 6] MR-OFDM SUN 시스템 구성도

〈표 5〉 MR-OQPSK SUN 표준 규격

Frequency band(MHz)	Chip rate (kchip/s)	Rate Mode	Differential Encoding	Spreading	1/2 rate FEC+ Interleaving	data rate(kbps)
470-510	100	0	yes	(4, 1)-DSSS	yes	12.5
		1	no	none	yes	50
		2/3	not supported			
779-787	1000	0	yes	(16, 1) _{0/1} -DSSS	yes	31.25
		1	no	(16, 4)-DSSS	yes	125
		2	no	(8, 4)-DSSS	yes	250
		3	no	none	yes	500
868-870	125	0	yes	(4, 1)-DSSS	yes	12.5
		1	no	none	yes	50
		2/3	not supported			
902-928	1000	0	yes	(16, 1) _{0/1} -DSSS	yes	31.25
		1	no	(16, 4)-DSSS	yes	125
		2	no	(8, 4)-DSSS	yes	250
		3	no	none	yes	500
950-958	100	0	yes	(4, 1)-DSSS	yes	12.5
		1	no	none	yes	50
		2/3	not supported			
2400-2483.5	2000	0	yes	(32, 1) _{0/1} -DSSS	yes	31.25
		1	no	(32, 4)-DSSS	yes	125
		2	no	(16, 4)-DSSS	yes	250
		3	no	(8, 4)-DSSS	yes	500
470-510	not supported					
779-787						
868-870						
902-928	1000	0	no	(64, 8)-M-DSSS	yes	62.5
		1	no	(32, 8)-M-DSSS	yes	125
		2	no	(32, 8)-M-DSSS	no	250
		3	no	(16, 8)-M-DSSS	no	500
950-958	no supported					
2400-2483.5	2000	0	no	(128, 8)-M-DSSS	yes	62.5
		1	no	(64, 8)-M-DSSS	yes	125
		2	no	(64, 8)-M-DSSS	no	250
		3	no	(32, 8)-M-DSSS	no	500



[그림 7] MR-OQPSK SUN 시스템 구성도



[그림 8] 무선원격검침시스템

Spread Spectrum) 방식은 모든 주파수를 지원할 수 있으나, MDSSS(Multiplexed Direct Sequence Spread Spectrum) 방식은 902~928MHz 대역과 2400~2450MHz 대역만을 지원할 수 있도록 규정하고 있다.

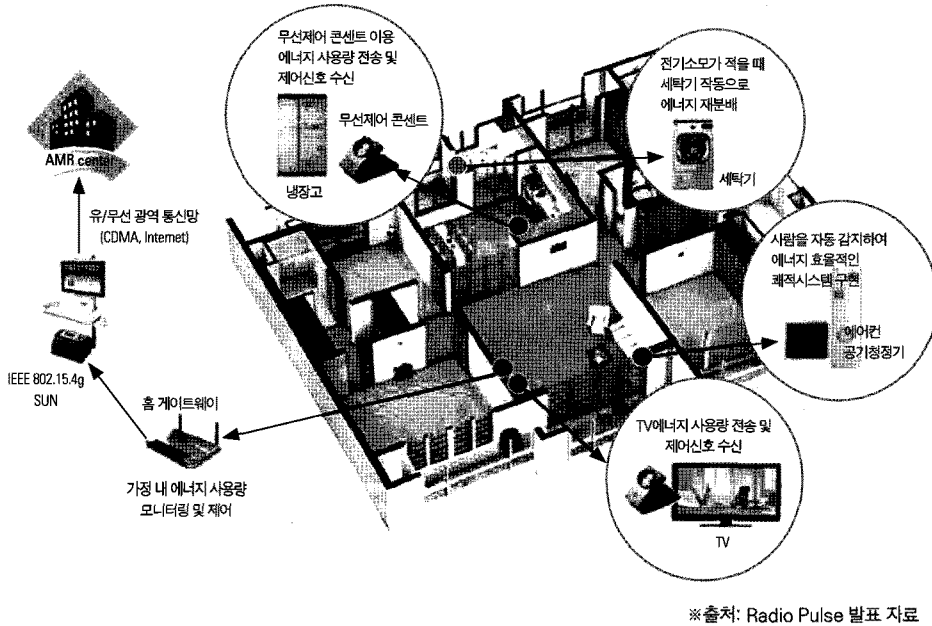
[그림 7]은 MR-OQPSK의 송신 구조로서, SHR과 PHR은 동일한 구조로 사용하고 PSDU에서만 DSSS 모드와 MDSSS 모드를 선택하여 전송할 수 있다.

4. SUN 무선 전송기술 활용 분야

스마트 유틸리티 네트워크 사용을 목표로 표준화된 세 가지 무선 전송기술은 스마트 그리드 분야뿐만 아니라 홈네트워크, 센서네트워크, 홈/공장 오토메이션 분야 등에서 다양한 용도로 활용될 것으로 전망된다.

4.1 스마트 그리드 응용분야

SUN 무선 전송기술은 스마트 그리드와 연계된 다



[그림 9] 에너지 절감시스템

양한 응용 서비스에 활용될 것으로 예상되며, 특히 [그림 8]과 같이 SUN 시스템을 이용하여 전기, 수도, 가스 계량기로부터 데이터를 IT 센터로 모으고 이를 다시 모바일 네트워크를 이용하여 AMR 센터로 보내 전체적인 에너지 수요에 따라 과금하는 DR(Demand Response) 서비스 기반 무선 원격 검침시스템 개발의 핵심 기술로 활용될 것으로 전망된다.

4.2 홈네트워크 응용분야

스마트 유틸리티 네트워크는 스마트 그리드와 연계되어 에너지를 절약하고 기존의 홈네트워크 기술과 융합해 안락한 생활을 제공하는 지능형 그린홈에서 에너지 절약 시스템의 핵심 기술로의 활용이 전망된다. 에너지 절감 시스템은 [그림 9]와 같이 가전기기 혹은 무선 제어 콘센트에 SUN 통신칩을 내장하여 에너지 사용량을 감시 및 조절하고, 기존의 홈네트워크와 연동해 홈 게이트웨이를 통해 전체 송배전 시스템과 연동함으로써 에너지 재분배 및 이산화탄소 배출을 감

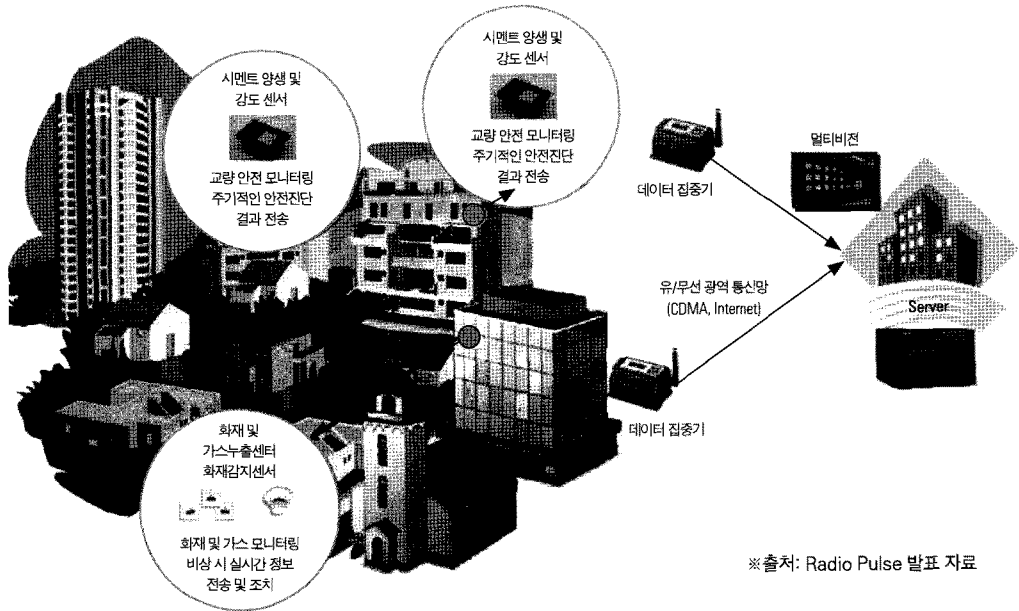
소시킴으로써 친환경 그린홈 개발의 핵심 기술로 활용될 것으로 전망된다.

4.3 센서네트워크 응용분야

SUN 무선 전송기술은 주택, 아파트, 교량, 터널 등의 시설에 센서네트워크를 구축하여 주기적인 안전 진단과 비상상황 발생 시 재난 관리 센터에 실시간 통보함으로써 안전점검 비용을 절감하고, 재난 발생 시 실시간 대처를 가능하게 하는 재난방지 감시시스템에 활용될 것으로 전망된다.

5. 맺음말

스마트 유틸리티 네트워크는 가정·빌딩·공장 등에서 사용하는 전기, 수도, 가스와 같은 유틸리티를 효과적으로 사용하여 친환경적으로 에너지를 절약할 수 있는 기술로써 최근 부각되고 있는 스마트 그리드와 연계되어 새로운 시장 창출이 기대되고 있다. 특히



※출처: Radio Pulse 발표 자료

[그림 10] 재난방지 감시시스템

IEEE802.15.4g에서 국제적으로 사용하기 위한 SUN 무선 전송기술에 대한 표준화가 2011년 연말까지 완료될 전망이어서, 국제적인 기술선도와 시장선점을 위해서는 신속한 기술 개발이 필요한 시점이다.

SUN 무선 전송기술은 IEEE802.15.4 물리계층을 대체할 수 있는 기술로 상용화 초기에는 ZigBee 응용 분야에서 같이 경쟁할 것으로 예상되지만 궁극적으로는 ZigBee 물리 계층으로 대체되어 스마트 그리드, 홈 네트워크, 센서네트워크 등 다양한 분야에서 핵심적인 기술로 활용될 것으로 전망된다.

[참고문헌]

[1] Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap, June 2009.
 [2] Dr David Hart, " [Smart Grid Overview",15-09-0414-00-wng0, May. 2009.
 [3] AMI 기반 에너지 관리 시스템, 2010년, 전력전자학회
 [4] Phil Beecher, 'TG4g-SUN Opening Report for

Montreal', 15-09-0370-00-004g-tg4g, May. 2009.
 [5] Phil Beecher (BCC Ltd), Benjamin A. Rolfe (Blind Creek Associates) et al., 'TG4g PHY Technical Parameters Document', IEEE 802.15-09-0075-08-004g, Dec. 2009.
 [6] 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 4: Physical Layer Specification for Low Data Rate Wireless Smart Metering Utility Networks', P802-15-4g/d1, March. 2010.
 [7] Wei An1, Sangsung Choi2, Cheolho Shin2, Khurram Waheed3, Emmanuel Monnerie4, Charles Razzell5, Rishi Mohindra5, Partha Murali6, Steve Jillings7, Tim Schmid8, Shusaku Shimada9, 'TG4g PHY Technical Parameters Document Proposed OFDM Comment Resolution Responses', 15-10-0768-00-004g, July. 2010.
 [8] Phil Beecher, 'TG4g-SUN Closing Report for Waikoloa, September 2010', 15-10-0807-00-004g-tg4g, September. 2010. **TTA**