

AMI 근거리 통신기술 분석

명노길, 김영현, 김명수, 박병석
한전 전력연구원

요약

선진국 주요 전력사는 단방향 전력망에 정보통신기술을 접목하여 전력공급자와 소비자가 양방향 실시간 정보를 교환함으로써 전력설비운영 최적화와 전력 수요관리 서비스를 통해서 전기에너지 사용 효율을 극대화할 수 있는 SmartGrid 핵심 application인 AMI(Advanced Metering Infrastructure)시스템에 대한 연구개발과 대규모 사업화를 추진 중에 있다. 본고에서는 AMI시스템을 구성하고 있는 유·무선 통신망 중에서 규제 없이 누구나 사용가능한 AMI용 근거리 통신기술의 표준화 기술동향과 관련 이슈에 대해 살펴보고자 한다.

I. 서론

AMI시스템은 단순인력 검침의 대체보다는 양방향 통신을 기반으로 전력예비율에 따른 실시간 요금제 서비스 제공과 수요관리를 통해 고객 만족도 향상과 최대 피크전력을 절감할 수 있어 고객과 전력회사가 win-win 할 수 있는 시스템이다. 더 나아가 최근에는 SmartGrid 핵심 인프라로서 에너지 사용 최적화를 위한 가전기기·냉난방기 등의 제어관리 시스템인 HEMS(Home Energy Management System)/BEMS(Building Energy Management System)과의 연계를 통해 종합적인 에너지 관리기술로 진화하고 있다[1][2].

현재 AMI시스템을 구축하는데 가장 큰 걸림돌은 구축 및 운용비용 대비 효율적인 통신망을 어떻게 구축하는 것에 관한 것이다. 통상적으로 고객에 설치되는 전자식 전력량계가 최소 수십만 대에서 수천만대 스케일을 가지고 있기 때문에 기 구축되고 품질의 통신망을 임차하여 사용할 경우 매년 천문학적인 통신망 비용이 발생할 수밖에 없다. 이에 전력사는 자가 망 구축을 선호하기 때문에 전자식 전력량계로부터 근거리 통신망을 이용하여 1차적으로 전력계량 데이터를 수집 후, 획득한 전력계량 데이터를 병합하여 2차적으로 이동통신망 또는 광통신망과

같은 고품질의 광역통신망을 이용하여 상위 운영시스템으로 전송하는 hierarchy 구조를 채택하여 통신회선 임차비용을 최소화 하려는 노력을 하고 있다.

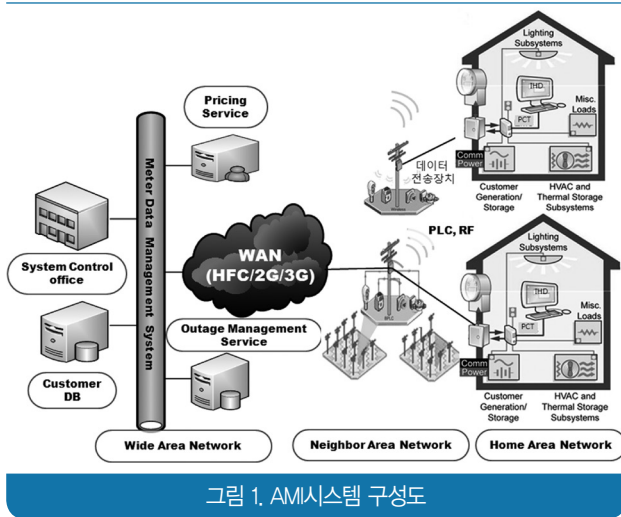
본고에서는 먼저 AMI시스템에 대한 간략한 소개를 한 후 PLC(Power Line Communication)와 소출력 무선통신으로 양분할 수 있는 AMI 근거리 통신기술에 대한 표준화 기술동향과 관련 이슈에 대해서 살펴본 후 마무리하도록 한다.

II. AMI시스템 개요

AMI시스템은 최종 전력사용자인 고객과 전력회사간의 전력서비스 인프라로 전력계량 데이터 수집에만 목적을 둔 AMR(Automatic Meter Reading)시스템보다 진일보한 시스템이다. AMI시스템은 전력공급자와 수요자 간의 양방향 상호 정보제공의 수단이며 TOU(Time Of Use), CPP(Critical Peak Pricing), RTP(Real Time Pricing), OPP(Over Peak Pricing) 등과 같이 고도화된 time-based 요금제 지원을 통해서 능동적인 에너지 절감을 유도하고 부하제어, 전력품질 모니터링, 정전관리 등과 같이 전력수급을 위한 부가서비스를 제공할 수 있는 시스템이다.

〈그림 1〉과 같이 AMI시스템은 고객에 설치된 전자식 전력량계, 전자식 전력량계와 양방향 통신을 수행하면서 1차적으로 전력계량 데이터를 수집하는 DCU(Data Concentration Unit, 데이터 수집장치), DCU와 양방향으로 통신하면서 최종적으로 전력계량 데이터를 수집 및 관리하는 AMI 운영시스템 및 상기 구성 요소 간 상호연계를 위한 통신망으로 구성된다. AMI 운영시스템은 DCU로부터 검침데이터를 실시간으로 수집하는 ADCS(Automatic Data Collection System)와 수집한 전력계량 데이터의 유효성 검증과 유용한 정보로 가공처리 및 관리하는 MDMS(Meter Data Management System) 및 전자식 전력량계, 통신단말 및 통신망을 관리하는 원격단말 관리 시스템으로 구성된다. 통신망은 전자식 전력량계와 변대주에

설치되는 DCU 구간을 담당하는 NAN(Neighborhood Area Network)통신망과 DCU와 AMI 운영시스템간의 WAN(Wide Area Network)통신망으로 구분 할 수 있다. 좀 더 확장된 의미에서의 AMI시스템은 상기 구성요소에 고객에 전력사용 정보를 제공 및 전력사용량을 관리할 수 있는 IHD(In Home Display), HEMS 및 이와 관련된 HAN(Home Area Network)통신망 및 MDMS와 연계된 ESB(Enterprise Service Bus)를 통해서 검침 및 가공된 각종 전력정보를 사용하는 OMS(Outage Management System), DRMS(Demand Response Management System), PQMS(Power Quality Management System), BS(Billing System)등의 AMI 관련 상위 응용시스템을 포함할 수 있다.



Ⅲ. AMI 근거리 통신기술 분석

1. AMI 근거리 통신 요구사항

AMI 근거리 통신은 NAN 또는 SUN(Smart Utility Network)통신망으로 정의할 수 있으며, 전자식 전력량계의 전력계량 데이터 및 HAN에서 생성하는 각종 데이터를 WAN 통신망으로 전달하는 역할을 한다. 통상적으로 전자식 전력량계가 설치되는 고객의 인입선에서 변압기가 설치된 전주까지의 통신 네트워크를 의미한다. <표 1>은 AMI 근거리 통신망의 요구사항을 간략히 정리했다.

유효 커버리지는 고객의 전자식 전력량계로부터 변대주에 설치하는 DCU까지의 거리로 통상적으로 최소 수십m에서 최대 수백m 이상의 거리를 갖는다. 정보보안의 요구사항은 원칙적으로 end to end 보안을 요구하고 있으며,

표 1. AMI 근거리통신망 요구사항

유효 커버리지	Security	유효 속도	Reliability	Latency
~수백m	End to end 보안 (암호모듈, 상호인증)	10~100kbps	99~99.9%	2~10s

CMVP(Cryptographic Module Validation Program)인증 보호함수 사용, 상호기기 인증방식 및 위변조 방지 기능 등이 있다. AMI시스템은 전력수요관리 및 time-based 요금제 지원을 위한 준 실시간 전력계량 데이터인 LP(Load Profile)를 핵심 데이터로 사용한다. LP는 시각 동기화된 데이터로서 누적 유효전력량, 누적 무효전력량, 최대 수요전력, 역률, PQ(Power Quality) 및 각종 이력정보 등을 profile 형태로 정의한 것을 의미하며, 통상적으로 15분 기록주기에서 60분 기록주기를 많이 사용하고 있다. 전력사별로 운영기준에 따라서 유동적이지만 약 200bytes에서 1,500bytes 정도 크기의 LP를 사용하고 있다. 유효 대역폭 산출은 LP 이외에도 통신망 관리를 위한 NMS(Network Management System) 패킷의 크기와 NMS polling 주기 및 1차적으로 LP 데이터를 수집하는 기능을 수행하는 DCU가 관리하고 있는 하위 전자식 전력량계의 개수 등을 종합적으로 고려해야 한다. 하나의 DCU가 최대 수백 대의 전자식 전력량계로부터 전력계량 데이터를 수집하는 경우, 전자식 전력량계에 부착되는 근거리 통신단말은 10~100kbps 정도의 유효전송 속도를 요구한다. 또한 15분에서 최대 60분 LP 기록주기를 기준으로 retry를 포함한 신뢰성은 99%에서 99.9%, latency는 10초 이내를 요구하는 것이 일반적이다[3][4][5][6][7][8][9][34].

2. PLC 통신 기술 분석

PLC 통신은 전력을 공급하기 위해서 포설한 전력선을 통신 회선으로 사용하는 방식으로 전력회사가 추가로 통신회선을 포설할 필요가 없다는 점에서 매력적인 통신방식에는 틀림없다. <그림 2>는 사용 주파수 대역과 전송속도에 따른 PLC 기술을 분류한 그림이다. 사용하는 주파수 대역과 전송속도에 따라서 NB(Narrow Band, 9~450KHz 대역)/저속 PLC(100Kbps 이하 전송속도)와 BB(Broad Band, 2~80MHz 대역)/고속 PLC(1Mbps 이상 전송속도)로 구분한다. 또한 옥내 PLC 및 옥외 PLC로 구분하는데, 옥내 PLC는 건물안에 부설된 저압선로(220V)를 이용하는 통신방식이며, 옥외 PLC는 배전용 변압기를 기준으로 고압배전선로(22.9kV)를 사용하는 옥외 고압 PLC와 저압인입선(220V), 즉 AMI에서 주로 활용하는 옥외 저압 PLC로 구분하기도 한다.

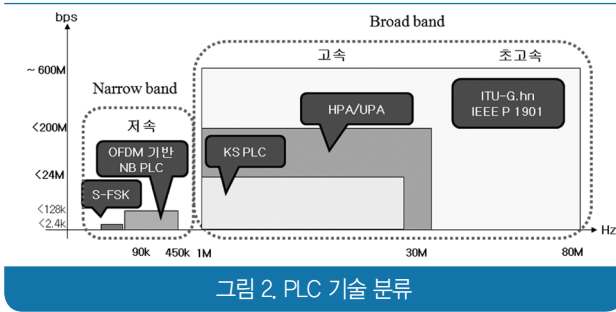


그림 2. PLC 기술 분류

PLC 기술의 시초는 1930년대 부하 직접제어를 위한 ripple control system에서 사용하기 시작했으며, 50/60Hz 전력신호에 100Hz~1,600Hz 대역의 ripple 신호를 중첩하여 10bps 정도의 전송속도로 부하 제어를 수행했었다.[10]. 저속 FSK(Frequency Shift Keying)기반의 PLC는 1990년대 AMR 시스템의 근거리 통신망 또는 전력제어 통신용으로 사용되기 시작했으며, 일부 유럽 국가에서는 현재도 사용 중에 있다. 2000년 초반에는 초고속 인터넷 서비스, VoIP(Voice of IP), 동영상 전송과 같은 멀티미디어 전송목적으로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)기반의 BB PLC 기술이 활성화 되었다. 특히 스페인의 DS2사가(Marvell사가 2010년 DS2사를 인수합병) 주도한 UPA(Universal Powerline Alliance), 미국의 Intellon사가(Atheros사가 2009년 Intellon사를 인수합병하고, 2011년 Qualcomm사는 Atheros사를 인수합병)주도한 HomePlug Alliance 및 일본의 Panasonic사가 주도한 HD(High Definition)-PLC 등의 기업 연합체는 경쟁적으로 200Mbps 급 고속 PLC 칩셋을 시장에 출시했으며, 국내는 Xeline이 24Mbps급 PLC 칩셋을 상용화 했다. <표 2>는 제조사별로 고속 PLC 기술을 간략히 정리했다.

Multiple access 방식은 모두 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)방식과 OFDM 기반의 변조방식을 사용하고 있지만, Panasonic사는 wavelet 기반의 OFDM방식, Xeline사는 DMT(Discrete Multi-Tone) 방식을 사용하여 차별화하고 있다. Wavelet 방식은 OFDM에서 사용하는 rectangular window 기반의 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용할 때 발생하는 side lobe를 최소화하기 위해서 wavelet 기반의 FFT를 사용하는 방식이며, DMT는 각 부반송파의 채널 상태에 따라 adaptive bit loading을 제공하는 장점을 가지고 있다[11][12][13][14][15].

상기 BB PLC 기술들은 제조사별 독자적인 표준을 고수했기 때문에 상호호환성 확보와 날로 시장이 확대되고 있는 SmartGrid 서비스를 지원하기 위해서 ITU-T G.Hn과 IEEE 1901에서 국제표준화를 진행했다[16][17][18][19]. ITU-T G.hn

표 2. BB PLC 기술 비교

제조사	대역폭 (MHz)	PHY속도 (Mbps)	Multiple Access	변조 방식	Alliance
DS2	2~34	200	CSMA/CA	OFDM	UPA
Intellon	1.8~30	200	CSMA/CA	OFDM	HomePlug
Panasonic	2~28	210	CSMA/CA	Wavelet OFDM	HD-PLC
Xeline	2~23	24	CSMA/CA	DMT	-

은 전력선, 전화선 및 동축케이블을 통해 최대 1Gbps급 전송속도를 목표로 하는 차세대 홈네트워킹 기술표준이며 CISCO, Intel, Marvell 등이 주축으로 있는 HomeGrid Forum의 주도하에 2010년 G.9960(PHY), G.9961(data link layer), G.9972(coexistence protocol)등의 3개 규격으로 표준화를 완료했다. IEEE 1901은 Qualcomm 및 Panasonic사의 고유기술인 FFT-OFDM과 wavelet-OFDM을 기반으로 한 2개의 복수 PHY 규격으로 2010년 말 최종 완료했다.

PLC 채널환경은 무선 채널환경처럼 매우 열악한 상황이며 특히 전기를 사용하는 각종 부하에서 발생하는 간섭과 잡음, 전력선에 따라 가변 하는 임피던스 및 전력선 다 분기에 의한 감쇠현상 등을 극복해야 한다. 따라서 최근에는 열악한 AMI 통신환경에서 속도보다는 robust한 통신성능 확보가 이슈가 되면서 고주파 대역을 사용하는 BB PLC 보다는 NB PLC 기술에 대한 관심이 높아지고 있다[20]. NB PLC 기술은 저주파 대역사용과 함께 상대적으로 높은 출력파워를 사용할 수 있기 때문에 PLC 신호 전송특성이 우수할 뿐만 아니라 OFDM 기술을 채택하여 간섭에 강하고 우수한 전송속도를 제공하기 때문이다. OFDM 기반의 대표적 NB PLC 규격인 PRIME(PowerLine Intelligent Metering Evolution)과 G3-PLC는 규격제정에 따른 상용 칩셋 출시와 더불어 유럽 전력사를 중심으로 실증사업을 완료하고 대규모 사업화를 추진 중에 있다. 기업 연합체 규격인 PRIME와 G3-PLC 기술은 ITU-T와 IEEE와 같은 국제표준화 단체에서 ITU-T G.hnem, IEEE 1901.2 표준규격으로 확장되었다[17][18].

표 3. NB PLC 주파수 대역

지역	Regulatory Body	Frequency Band
유럽	CENELEC (European Committee for Electro-technical Standardization)	A : 3~95KHz
		B : 95~125KHz
		C : 125~140KHz
		D : 140~148,5KHz
일본	ARIB (Association of Radio Industries and Businesses)	10~450KHz
미국	FCC(Federal Communications Commission)	10~490KHz

〈표 3〉은 지역별 NB PLC 사용주파수 대역을 보여준다. 유럽의 경우에는 전력사가 사용할 수 있는 저주파대역은 CENELEC A 밴드로서 3~95KHz 대역은 전력사만이 배타적으로 사용할 수 있기 때문에 PRIME과 G3-PLC 모두 CENELEC A 대역을 사용한다.

PRIME alliance는 2007년 스페인의 배전회사인 Iberdrola사의 자체 PLC 솔루션 확보의 일환으로 태동되었으며 Iberdrola사를 중심으로 TI(Texas Instruments), ADD Semiconductor, Current, Itron 등의 통신 칩셋 제조사 및 전력량계 제조사를 중심으로 결성되었다[21]. G3-PLC alliance는 2008년 프랑스 배전회사인 ERDF사와 (Electricity Reseau Distribution France) 반도체 회사인 Maxim을 주축으로 STMicroelectronics, Cisco 등이 연합하여 결성되었다[22]. PRIME과 G3-PLC는 동일한 CENELEC A 대역을 사용하고 동일한 OFDM/DPSK(Differential Phase Shift Keying) 변조 방식을 사용하지만 PRIME의 경우에는 robustness 보다는 전송속도에 중점을 두었고, G3-PLC는 반대로 전송속도 보다는 robustness에 초점을 두었다는 점에서 차별성이 있다. 이러한 사항은 PRIME의 이름에서 알 수 있듯이 LV(Low Voltage)를 대상으로 한 metering에 초점을 맞춘 반면 G-PLC는 MV(Medium Voltage), 변압기 및 LV 전체를 대상으로 하는 SmartGrid 통신망 구축에 목표를 두고 있기 때문이다.

〈표 4〉는 PRIME과 G3-PLC의 PHY 규격을 간단히 비교했다[23]. PRIME과 G3-PLC의 사용주파수 대역은 각각 42~89KHz, 35~91KHz이다. G3-PLC가 표면상 보다 넓은 주파수 대역을 사용하고 있지만 G3-PLC가 사용하는 주파수 대역 중 기존 기술인 S(Spreading)-FSK 규격과의 상호공존성을 위한 gap 대역을 운용하고 있어 실제로는 비슷한 크기의 주

표 4. PRIME과 G3-PLC 기술규격 비교

구분	PRIME	G3-PLC
주파수대역	42~89KHz	35~91KHz
OFDM subcarrier spacing/No	488Hz/97	1,5625KHz/36
Preamble	2,24ms(1 symbol)	5,4ms(9.5 symbols)
Forward Error Correction	Convolutional code	Reed solomon code Convolutional code Repetition code
Modulation	DBPSK, DQPSK, D8PSK in frequency	DBPSK, DQPSK in time
Maximum data rate	128,6Kbps	33,4Kbps
Link adaptation	Data rate	Data rate+band plan
Preamble+control overhead for median packet length	약 10%	약 29%

파수 대역폭을 사용한다.

PRIME과 G3-PLC는 97개의 subcarrier와 36개의 subcarrier, preamble은 각각 1 symbol과 9.5 symbol을 사용하고 변조방식과 FEC(Forward Error Correction)에서도 알 수 있듯이 각각 전송속도와 robustness 확보에 주안점을 둔 것을 확인할 수 있다. 기능적인 측면에서도 PRIME은 채널환경에 따라 전송속도를 가변하는 형태의 link adaptation만 지원하는데 반해 G3-PLC는 여기에 추가적으로 band plan을 지원하고 있다. 따라서 중간 패킷을 기준으로 PRIME은 preamble과 control header에 의한 오버헤드가 전체 패킷길이의 10% 정도인 반면 G3-PLC는 29%에 달하고 있어 각각 전송속도와 robustness 확보에 주안점을 둔 것을 재확인할 수 있다.

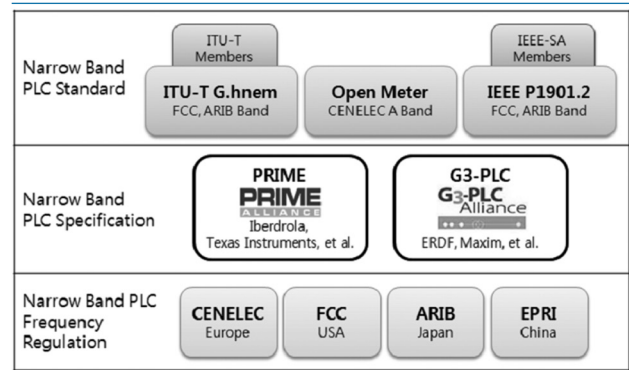


그림 3. NB PLC 표준화 동향

〈그림 3〉은 NB PLC 표준화 동향을 보여준다. NB PLC 표준화를 주도하는 단체는 Open Meter, ITU-T G.hnem 및 IEEE 1901.2 등이 있다[17][24][18]. Open Meter는 유럽의 smart metering의 대규모 사업을 추진하고자 결정된 EU(European Union)산하 단체로서 별도의 NB PLC 규격을 제정하기 보다는 CENELEC A 밴드를 사용하고 규격화가 완료된 S-FSK profile(IEC 61334-5-1), N-PSK profile(Meters & More), OFDM profile (PRIME /G3-PLC) 방식 등의 사용을 장려하고 있다. ITU-T G.hnem과 IEEE 1901.2는 PRIME/G3-PLC 규격을 미국의 FCC와 일본의 ARIB 주파수 대역에 적합하게 PHY 규격 수정과, 상호호환성 확보 및 IPv6를 지원할 수 있게 확장된 규격이다. IEEE 1901.2는 MV, 변압기 및 LV를 대상으로 한다는 점에서 G3-PLC 규격에 기초로 하고 있으며, ITU-T G.hnem은 PRIME alliance 및 G3-PLC alliance와 공조하여 2011년 최종 규격을 완성했다.

OFDM기반의 NB PLC 기술은 BB PLC 기술과 비교하면 전송속도 측면에서는 한계점을 가질 수밖에 없지만, 열악한 채널환경에서도 robust한 성능을 확보할 수 있다는 장점은 실증을 통해서 확인되었다. 유럽의 배전망을 대상으로 Maxim사가 수행

한 G3-PLC 성능시험 결과는 약 200m에서 약 17kbps 정도의 PHY 전송속도를 얻었으며, 국내의 지중 저압배전선로를 대상으로 한 전 전력연구원이 수행한 실증결과에서도 비슷한 성능을 확인했다[25][26]. 따라서 성능 검증이 확인된 OFDM기반의 NB PLC는 유럽의 주요 전력사를 중심으로 AMI 근거리 통신 구축 기술로 각광을 받고 있으며, 향후 활용성이 기대되고 있다.

3. 소출력 무선통신 기술 분석

ISM(Industrial, Scientific, Medical)대역을 사용하는 소출력 무선통신 기술은 PLC 기술과 쌍두마차 격으로 북미를 중심으로 AMI용 근거리 통신기술로 각광받고 있다. 특히 북미는 2.4GHz ISM 대역보다 전파특성이 우수한 900MHz ISM 대역을 사용할 수 있을 뿐만 아니라 다른 국가에 비해서 상대적으로 높은 최대 출력파워를 사용할 수 있기 때문에 ZigBee와 같은 소출력 무선통신 기술을 선호하고 있다.

소출력 무선통신 표준 중에서 AMI용으로 사용할 수 있는 상용화된 대표적인 기술로는 WiFi와 ZigBee를 언급할 수 있다. WiFi와 ZigBee 모두 ISM 대역을 사용하기 때문에 MHz 당 최대 10mW의 출력파워만 사용할 수 있는 제약사항이 있다. 멀티미디어와 같은 고속 데이터 전송을 목적으로 하고 있는 WLAN(Wireless Local Area Network)의 표준인 IEEE 802.11a/b/g/n 규격은 전송속도 측면에서는 매우 우수하지만 PHY 규격 자체가 옥내용으로 설계되었고 옥외 주택가를 기준으로 약 50m 이내의 유효 커버리지를 갖는다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 proactive 및 on-demand 라우팅 기법을 혼합한 HWMP(Hybrid Wireless Mesh Protocol)라고 불리는 MAC 계층에서 최적 경로설정을 할 수 있는 멀티 홉 라우팅 기능을 통해 무선네트워크의 사이즈 확장과 유연성을 확보하려는 IEEE 802.11s 규격이 완성되었으나, 근본적인 문제인 단일 홉의 유효 커버리지 확장이 불가능하다는 제약사항을 가지고 있다는 점에서는 변함이 없다[27][28]. WPAN(Wireless Personal Area Network)기술인 IEEE 802.15.4 규격은 저속(최대 250kbps), 저 전력을 특징으로 하는 센서네트워크 목적으로 개발되었으나 WiFi기술과 유사하게 옥외 주택가를 기준으로 약 50m 이내의 유효 커버리지를 갖는다. 그러나 WiFi가 사용하는 채널과 중첩된 채널을 사용할 경우 WiFi가 사용하는 20MHz/40MHz 채널 폭에 비해서 상대적으로 작은 5MHz 채널 폭을 사용하기 때문에 상호 간섭발생시 성능 열화가 상대적으로 크다는 단점을 가지고 있다[29].

상기에서 언급한 근거리 무선통신 표준의 태생 자체는 옥내를 대상으로 멀티미디어 데이터와 같은 고속 전송 목적과, 수십m

이내에서의 저속 센서네트워크용으로 개발되었기 때문에 옥외에서 최대 수백m 이상의 유효 전송거리를 요구하고 있는 AMI에 적용하는 것에 대한 분명한 한계점이 있다. 상기 문제점을 해결하고자 IEEE 802.11 및 802.15 WG(Working Group)을 중심으로 AMI를 포함한 SmartGrid의 시장 확대에 대응하고자 새로운 PHY/MAC 규격을 제안했다. 특히 최대 출력파워 증가 없이 유효 커버리지 확장을 이루고자 2.4/5GHz ISM 대역 비해서 전파특성이 우수하고 기존 통신단말과의 간섭을 최소화 할 수 있는 TVWS(TV White Space)대역을 포함하는 Sub GHz 대역사용을 기본 전제로 하고 있다. 주파수 대역별 전파특성의 지표인 PL(Pass Loss)특성을 확인하기 위해서 Hata-Okumura model을 사용한 시뮬레이션 결과는 <그림 4>와 같다.

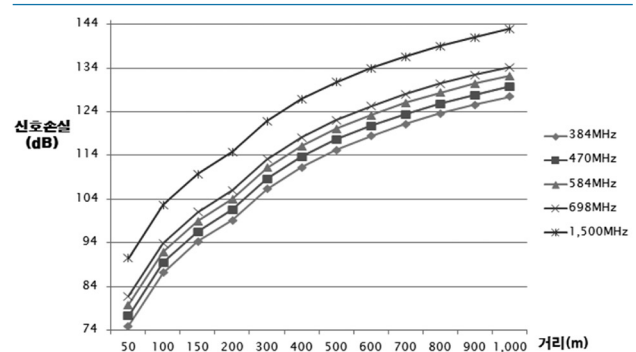


그림 4. 주파수 대역별 PL 시뮬레이션

대도시를 대상으로 하는 Hata-Okumura model을 사용했으며, 변대주에 설치되는 DCU의 높이는 3.5m, 고객의 전자식 전력량계 설치되는 통신단말의 높이는 1.5m를 가정하여 시뮬레이션을 수행했다. Model 자체에서 제공하는 최대 주파수가 1.5GHz라서 2.4GHz 대역과의 직접적인 비교가 불가능하지만 주파수가 낮아짐에 따라서 PL이 <그림 4>와 같이 작아짐을 확인할 수 있다. 실제 유효 커버리지는 동일 최대 출력파워를 기준으로 사용 주파수에 따른 PL, 사용 주파수 채널폭, 변복조 방식에 의한 전송속도 및 채널코딩 방식과 RF(Radio Frequency) 회로 성능에 의해 종합적으로 산출되는 수신기의 최소 수신감도와 직결된다. 동일한 통신 칩셋을 기준으로 주파수 특성 자체로만 2.4GHz 대역에 비해서 Sub GHz 대역은 3~4배 정도의 전송거리가 확장됨을 알 수 있다[30][31].

AMI와 SmartGrid를 지원하기 위해서 WPAN 기술인 IEEE 802.15 WG은 기존 IEEE 802.15.4의 PHY/MAC을 대체하는 새로운 PHY/MAC 규격인 IEEE 802.15.4g 규격 제정을 2012년에 완료했다. WPAN 기술보다 늦었지만 WLAN 기술을 사용하는 IEEE 802.11 WG은 IEEE 802.11ah TG(Task Group)를 결성하여 표준화를 진행 중에 있다.

표 5. IEEE 802.15.4g와 IEEE 802.11ah 비교

구분	IEEE 802.15.4g	IEEE 802.11ah
요구 사항	<ul style="list-style-type: none"> • 속도 : 40Kbps~1Mbps • 전송거리 : 1Km 이상 • 옥외통신(Fading 등에 대한 robustness) • 1,500 Octet이상의 Payload • 최소3개 이상 동시운동 가능한 네트워크 • WLAN 계열과의 상호공존성 • 최소 1,000개 이상의 단말과 접속 • 스마트미터 배치환경을 고려한 최적에너지 효율적 링크 마진 수용 	<ul style="list-style-type: none"> • 속도 : 최소 100Kbps • 전송거리 : 1Km 이상 • OFDM PHY modulation • AP는 최소 2,000개 이상의 단말과 접속 • AP는 다수의 station으로부터 aggregation을 수행하여 최대 20Mbps(PHY)로 전송 • 옥외 PTP/PMP 통신 • Power saving 기능개선 • 기존 802.11표준 규격의 특성을 수용 • WPAN 계열과의 상호공존성
사용 주파수 대역	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4~2.483 GHz(Worldwide) • 863~870 MHz(Europe) • 902~928 MHz(US) • 917~923.5 MHz(KR) • 920~928/950~958 MHz(JPN) • 470~510/779~788 MHz(China) 	<ul style="list-style-type: none"> • 863~868 MHz(Europe) • 902~928 MHz(US) • 917~923.5 MHz(KR) • 917~927 MHz(JPN) • 755~787 MHz(China) • 866~869/920~925 MHz(Singapore)
주도 기관 (회사)	Elster Electricity, ETRI, TI, Landis+Gyr Maxim, Free Scale Silver Spring Networks	ETRI, Intel, Broadcom, Qualcomm, Marvell, Samsung, LG, NEC Motorola Mobility

IEEE 802.15.4g는 NAN과 HAN을 통합한 형태의 SUN(Smart Utility Network)이라는 새로운 용어를 정의했으며 사용주파수 대역은 기존 2.4GHz 대역을 포함한 Sub GHz 대역을 사용하며, Sub GHz 대역은 표5와 같이 국가별로 상이하다. SUN을 지원하기 위한 PHY/MAC 요구조건으로는 최소 40kbps에서 최대 1Mbps의 전송속도, 1Km 이상의 전송거리, 옥외환경에서의 fading 등에 대한 robustness, 1,500 octet 이상의 payload, 최소 3개 이상의 동시 운동 가능한 네트워크, 기존 IEEE 802.11 계열과의 상호공존성 등이 있다[32][33]. 2012년 4월 최종 승인된 PHY 규격은 세 종류의 PHY 즉 MR-FSK, MR-O-QPSK, MR-OFDM 방식을 정의했다. MR은 Multi-Rate 또는 Multi-Region을 의미하며 MR-FSK PHY는 구조가 간단하고 전송신호가 일정하기 때문에 전력효율이 우수하다는 장점이 있다. MR-O-QPSK방식은 기존의 IEEE 802.15.4의 PHY의 특징을 공유할 수 있어 설계가 수월하다는 장점이 있으며, MR-OFDM 방식은 열악한 무선 환경에서 신뢰성 있는 성능과 고속의 데이터 전송이 가능하다는 장점을 제공한다[33][36]. 세 종류의 PHY를 통합 적용하기 위한 MAC 표준은 IEEE 802.15.4e 규격을 준용한다. IEEE 802.15.4g 표준 및 기술은 Elster Electricity, Landis+Gyr, Silver Spring Networks 등과 같은 전력량계 제조사 및 AMI solution 회사가 주도하고 있

다. 하나의 PHY 규격이 아닌 복수개의 PHY 규격과 표준화 완성에 기여했던 통신 칩셋 제조사인 TI, Maxim 등에서 아직까지 상용화된 통신 칩셋 출시가 없는 점과 상대적으로 성능이 우수한 OFDM 기반의 통신 칩셋 개발이 요원하다는 점은 기술 확산에 걸림돌로 작용하고 있다.

IEEE 802.11ah의 요구사항은 IEEE 802.15.4g와 같이 AMI, M2M 및 SmartGrid 서비스를 지원한다는 점에서는 유사성이 많지만, AP에서 수용 가능한 단말 수가 최소 2,000개 이상과 전송속도 측면에서는 최소 100kbps 이상으로 보다 높은 전송속도를 요구한다[34]. 또한 IEEE 802.15.4g 및 IEEE 802.11ah 단말로부터 취득한 데이터를 모아서 상위 응용시스템으로 전송하는 backhaul network 역할도 요구되고 있다. IEEE 802.11ah가 사용하는 주파수 대역은 Sub GHz 대역 중 TVWS(TV White Space)대역을 제외한 ISM 대역을 사용하며, <표 5>와 같이 국가별로 상이하지만 일부 국가는(미국, 한국)IEEE 802.15.4g의 사용 주파수 대역과 동일하다. IEEE 802.11ah의 PHY는 IEEE 802.15.4g와는 다르게 단일 OFDM PHY만을 사용하며 OFDM PHY는 5GHz 대역의 차세대 WLAN 표준규격(제정중)인 IEEE 802.11ac의 PHY를 down clocking하여 사용하는 것을 전제로 하고 있다. 사용가능한 주파수 대역폭은 1/2/4/8/16MHz이며 의무적으로 사용하는 주파수 대역폭은 1/2MHz이다[37][38]. IEEE 802.11ah 표준화는 IEEE 802.5.4g와는 다르게 Intel, Broadcom, Qualcomm, Marvell 등과 같은 주요 통신 칩셋 제조사가 주축으로 활동하고 있다. 향후 AMI 및 SmartGrid 등의 전력분야에서 WPAN과 WLAN 기술의 주도권 다툼이 예상되며 시장에서의 우위를 가져가는 기술은 누가먼저 상용 통신 칩셋을 출시하고 시장을 선점할 것인가에 달려있다.

IV. 결론

본고에서는 AMI시스템의 개요와 AMI시스템을 구축하기 위해서 필요한 근거리 통신망의 요구사항을 분석하고 PLC 및 소출력 무선통신 기술 위주로 살펴보았다. Short-burst 형태의 전력계량 데이터 발생 패턴과 저속이지만 넓은 전송거리와 안정적인 통신 신뢰성을 요구하는 AMI 통신 특성을 만족하고자 새로운 표준 제정과 함께 칩셋 개발에 박차를 가하고 있다. 상기 요구사항을 만족하고자 PLC는 저주파 대역에서 OFDM 기술을 사용하는 NB PLC 위주로 PRIME, G3-PLC, IEEE 1901.2 및 ITU G.hnem 표준을 완료했다. 또한 근거리 무선통신기술도 전송거리 측면에서 유리한 Sub GHz 대역을 사용하는

WPAN 계열인 IEEE 802.15.4g 표준을 완료했으며 WLAN 계열은 IEEE 802.11ah 표준을 제정 중에 있다. 향후 상기에서 언급한 유·무선 통신기술은 전력사가 구축 및 운용할 수 있는 근거리 통신기술의 선택의 폭을 다양화할 뿐만 아니라 AMI를 확대 보급하는데 크게 이바지 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Huibin Sui, et al., "An AMI system for the deregulated electricity markets", IEEE transactions on industry applications, Vol.45, No.6, pp.2104~2108, 2009
- [2] Zhang Luhua, et al., "Effects of AMI on relations of power supply and application in smartgrid", IEEE CICED, pp.1~5, 2010
- [3] V.Cagri Gungor, et al., "A survey on smart grid potential applications and communication requirements", IEEE trans' on industrial informatics, Vol.9, No.1, pp.28~42, 2013
- [4] http://energy.gov/sites/prod/files/gcprod/documents/Smart_Grid_Communications_Requirements_Report_10-05-2010.pdf
- [5] A. Zaballos, et al., "Heterogeneous communication architecture for the smart grid", IEEE Network, Vol.25, No.5, pp.30~37, 2011
- [6] Ye Yan, et al., "A survey on smart grid communication infrastructures: motivations, requirements and challenges", IEEE communications surveys & tutorials, Vol.15, No.1, pp.5~20, 2013
- [7] Bouhafs, et al., "Link to the future : Communication Requirements and Challenges in the Smart Grid", IEEE Power and Energy Magazine, Vol.10, No.1, pp.24~32, 2012
- [8] Kuzlu, et al., "Assessment of communication technologies network requirements for different smart grid applications", IEEE PES, pp.1~6, 2013
- [9] https://energy.gov/sites/prod/files/gcprod/documents/Smart_Grid_Communications_Requirements_Report_10-05-2010.pdf
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/load_management
- [11] Gutierrez, et al., "Overview of the Opera Specification for Broadband Internet Access and its Synergies with the UPA Digital Home Specification for Power Line Home Networking", IEEE ISPLC, 2006
- [12] [Http://www.hd-plc.org](http://www.hd-plc.org)
- [13] [Http://www.home-plug.org](http://www.home-plug.org)
- [14] [Http://www.ipcf.org](http://www.ipcf.org)
- [15] [Http://www.xeline.com](http://www.xeline.com)
- [16] Vladimir Oksman, et al., "G.hn : The New ITU-T Home Networking Standard", IEEE Communications Magazine, Vol.47, pp.138~145, 2009
- [17] [Http://itu.int](http://itu.int)
- [18] [Http://grouper.ieee.org/groups/1901](http://grouper.ieee.org/groups/1901)
- [19] Goldfisher, et al., "IEEE 1901 access system : An overview of its uniqueness and motivation", IEEE Communications Magazine, Vol.48, pp.150~157, 2010
- [20] Shaver, et al., "Narrow band PLC solutions for AMI achieve long distance communizations and flexibility with immediate market impact", IEEE ICCE, pp.603~604, 2011
- [21] [Http://www.prime-alliance.org](http://www.prime-alliance.org)
- [22] [Http://www.g3-plc.com](http://www.g3-plc.com)
- [23] Hoch, M, et al., "Comparison of PLC G3 and PRIME", IEEE ISPLC, pp.165~169, 2011
- [24] [Http://www.openmeter.com](http://www.openmeter.com)
- [25] Hyunwoo Yoo, et al., "Channel and Throughput Measurements of Narrow band Power Line Communication over Korean Underground LV Power Lines," in Proc. International Smart Grid Conference & Exhibition 2013, July 2013, pp.206~210.
- [26] [Https://www.cms.comsoc.org/SiteGen/Uploads/Public/Docs_Glo_becom_2009/6_-_12-03-09_shaver_smart_grid_panel_final.pdf](https://www.cms.comsoc.org/SiteGen/Uploads/Public/Docs_Glo_becom_2009/6_-_12-03-09_shaver_smart_grid_panel_final.pdf)
- [27] IEEE 802.11s standard
- [28] Guido R. Hiertz, et al., "IEEE 802.11s : WLAN Mesh Standardization and High Performance Extensions", IEEE Network, Vol.22, No.3, pp.12~19, 2008
- [29] <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/10/15-10-0668-01-004g-tg4g-coexistence-assurance-document-first-draft.pdf>
- [30] Aust, S, et al., "Sub 1GHz wireless LAN deployment scenarios and design implications in rural areas", GC workshop, pp 1045~1049, 2011

- [31] Aust,S, et al.,“Sub 1GHz wireless LAN propagation path loss models for urban smart grid applications”, ICNC, pp 116~120, 2012
- [32] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4g.html>
- [33] IEEE 802.15.4g standard
- [34] http://www.ieee802.org/11/Reports/tgah_update.htm
- [35] <http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/PAP02Wireless>
- [36] Kuor-Hsin, et al.,“The IEEE 802.15.4g Standard for Smart Metering Utility Networks”, IEEE SmartGridComm, pp 476~480, 2012
- [37] Ali Hazmi, et al.,“Feasibility Study of IEEE 802.11ah Radio Technology for IOT and M2M use Cases”, IEEE GC Workshop, pp 1687~1692, 2012
- [38] Stefan Aust, et al.,“IEEE 802.11ah : Advantages in Standards and Further Challenges for Sub 1GHz WiFi”, IEEE ICC, pp 6885~6889, 2012

약 력



명 노 길

2003년 충북대학교 학사
 2006년 KAIST 석사
 2006년~현재 한전전력연구원 선임연구원
 관심분야: SmartGrid, AMR/AMI, 미터링 프로토콜



김 영 현

2002년 한국항공대 학사
 2004년 GIST 석사
 2004년~현재 한전전력연구원 선임연구원
 관심분야: SmartGrid, AMR/AMI, 무선통신망



김 명 수

1996년 명지대 석사
 2008년 Penn' State University 석사
 2011년~Penn' State University 컴퓨터 공학 박사
 1996년~현재 한전전력연구원 선임연구원
 관심분야: SmartGrid, 배전자동화, 전력제어용 통신망 및 프로토콜



박 병 석

1993년 한남대 학사
 1995년 한남대 석사
 2012년 한남대 전자공학 박사
 1995년~현재 한전전력연구원 책임연구원
 관심분야: SmartGrid, AMI, PLC, 미터링 프로토콜