

IoT 기반 전력망 센서 네트워크 구현을 위한 Small Cell 무선통신시스템 기술개발 현황

김영현·강수경·박명혜 (한전 전력연구원)

목 차	1. 서 론
	2. 본 론
	3. 결 론

1. 서 론

국내 전력산업은 신기술의 발달에 따른 패러다임의 변화, 산업-기술간 융합 확대, 부가가치가 높은 서비스에 대한 관심 증대 등으로 산업 전반에 걸쳐 큰 전환기를 맞이하고 있다. 과학기술 및 정보통신기술(ICT)의 발전으로 산업-기술간 융합이 확대되는 전력산업구조 개편이 진행되고 있다. 전력산업구조 개편과 스마트그리드 도입 등 전력시장의 환경변화에 따라, 전통적인 전력산업은 컴퓨터, 인터넷, 무선통신 등의 정보통신기술과 융합하면서 근본적인 혁신의 바람을 타고 있다. 특히, 스마트그리드의 경우 다른 신기술에 비해 상대적으로 산업 전반적인 융·복합적인 성격이 강하다는 점이 특징적이며, 스마트그리드 자체의 확산에 전통적인 전력과 전기산업분야 뿐만 아니라, 통신, 신재생에너지, 전기자동차, 가전분야, 건설산업 등 다양한 시장참여자가 생겨나고 있다.

한전에서는 2020년 완료를 목표로 하는 AMI 구축, 2030년을 완료 목표로 하는 전력망 지능화

사업 등 국가차원으로 대규모 통신망 구축사업이 진행중에 있음에 따라 관련 사업을 원활하게 지원하기 위한 유무선 통신인프라 구축 및 운영 기술이 요구된다.

지금까지의 스마트그리드 통신망은 유선기술, 특히 PLC 기반의 연구가 주로 수행되었으며, 장기적인 관점에서 무선통신에 대한 현장 활용기술연구가 시급하다. 일례로, 기존 통신망은 변압기를 중심으로 통신망이 설계·운영되었으나, 무선의 경우 변압기 중심이 아닌 수용가 밀집도 및 무선신호 세기를 기반으로 망 설계가 이루어져야 한다. 현재 개발된 운영시스템의 경우 무선의 지형조건 및 수용가 분포를 기반으로 망 설계 및 운영기능을 지원하고 있지 않아 무선기반 시스템 구축사업에 많은 어려움을 겪고 있어 한전에서 보유하고 있는 주파수 자원 및 비면허 대역을 이용, 무선망 활용정책에 대한 연구를 수행하고 더 나아가 한전에서 기확보한 IoT 표준기술(e-IoT : energy Internet of Things)을 기반으로 무선망 설계 기술을 확보하고자 한다.

2. 본 론

IoT 기반 전력망 센서 네트워크 구현을 위한 Small Cell 무선통신시스템 기술개발은 전력망에 최적화된 근거리무선통신망 솔루션 e-WSN (energy Wireless Sensor Network) 구현을 목표로 하고 있다.

추진전략으로서, 시범대상은 전체적으로는 기존 전력제어용 서비스와 IoT 등의 신규시범서비스 분야를 고려하여 크게 전력제어 (現 무선적용: DAS TRS), IoT (現 무선적용: 항공장애등감시 LoRa),AMI (現 무선적용: AMI Wi-SUN), 사회안전망서비스 (드론 활용 등)을 적용대상으로 계획하고 있다.

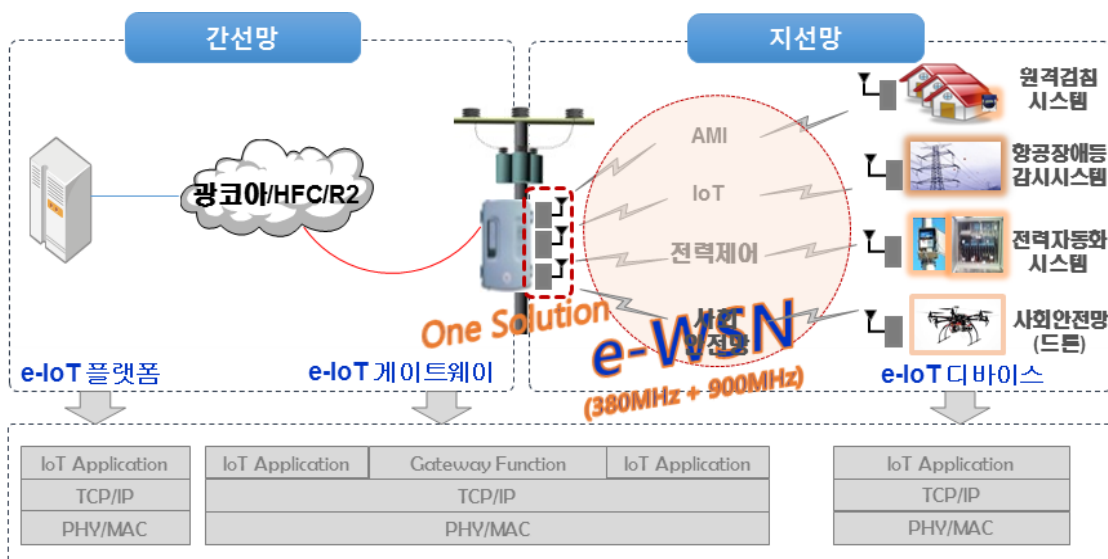
한편 실증전략은 국제표준 기반의 에너지 IoT 플랫폼 체계(e-IoT 플랫폼 ↔ 게이트웨이 ↔ 디바이스)로 무선센서네트워크 e-WSN을 구축하되, 개발 편의성 및 활용 극대화를 위한 One Chip Solution(모뎀+프로토콜+SDK개발환경)을 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

2.1 전력서비스용 무선통신시스템 설계 연구

한전에서 보유하고 있는 380MHz 전용 대역 및 900MHz ISM 대역을 활용하며, 100kbps@25kHz, 500kbps@125kHz 이상의 전송속도를 지원하는 무선 송수신 모뎀 칩과 Protocol Stack 개발을 목표로 하고 있다.

한전 전용 주파수 대역과 ISM대역을 이용하는 무선통신기술을 개발하고 『RF+Baseband+Networking+Application』 하나의 칩으로 구현하여 다양한 전력서비스를 제공하기 위한 시스템을 설계하고, 크게 3대 분야를 중심으로 개발 및 기술확보를 추진하고 있다.

- 물리계층 기술개발 : 100kbps 속도/-120dBm 수신감도를 갖는 전송기술 개발
- 네트워킹 기술개발 : 1,000개 단말 수용/D2D 환경을 제공하는 망구성기술 개발
- SoC 및 운영기술 : 『RF+Baseband+Networking+Application』 One Chip 개발



(그림 1) 전력망 센서네트워크 e-WSN 실증 시스템 구성도

하드웨어 플랫폼 개발을 위해 모뎀 기능 검증 을 위한 FPGA HW 플랫폼 제작, 저전력 CPU 코어를 내장한 MCU 시스템 IP 개발, 저전력 동작 지원 Power Gating IP 구현, 모뎀 기능검증을 위한 FPGA 하드웨어 플랫폼 제작, Gateway emulation/Signal capture 기능의 디버깅 환경 구축, 송수신 데이터를 캡처할 수 있는 대용량 메모리 장착, 송수신 데이터의 업로딩 및 다운로드, 하드웨어 플랫폼을 이용한 모뎀 IP의 기능검증 등을 진행할 계획이다.

전력서비스용 Networking Protocol Stack 개발 측면에서 전력서비스 특성에 따른 Protocol Stack 규격과 Protocol Stack 및 NAS 개발, 전력 서비스 위한 핵심기술로서 D2D(Device to Device) 릴레이 통신 기능 개발, 무선 자원 스케줄러 개발 등이 포함되어있다.

2.2 네트워크 설계 및 모델링 연구

신뢰성 있는 무선망 설계 및 분석을 위해서 공

〈표 1〉 전파모델 종류

전파모델		비고
Fresnel	Fresnel Propagation model	기본적인 자유 공간 모델에 추가적인 감쇄 식을 포함하는 모델이며, UHF와 SHF에서 좋은 성능을 보이며 VHF에서 약간의 마진을 가지고 전계 강도 계산에 적용
ITU-R P.525	CALCULATION OF FREE-SPACE ATTENUATION	프레넬에 반하여 추가적인 감쇄 식을 포함하지 않고 자유 공간 감쇄만을 적용한 모델
ITU-R P.370	VHF AND UHF PROPAGATION CURVES FOR THE FREQUENCY RANGE FROM 30 MHz TO 1000 MHz	방송 망을 계획하는데 사용될 VHF와 UHF 주파수대의 예측 방법이다. 이것의 기본적인방식에서는 지형 고도 지식이 거의 필요하지 않으며, 주로 다른 상황에서 얻은 전계 강도 측정 데이터에 기초
ITU-R P.1546	Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz	일대다중 시스템을 이용하고 있는 방송국, 육상통신, 해상통신 및 임의의 고정 서비스에서 전계강도 예측 방법, 예측은 거리경로(1~1000km), 시간 백분율(1~50%), 여러 가지 송신안테나 높이와 같은 파라미터 범위에 따라서 주파수 계획의 범위 내에서 이루어진다.
Okumura	OKUMURA Model	도심지에서의 신호를 예측할 때 가장 광범위하게 사용되는 모델이다. 150MHz에서 1920MHz 범위의 주파수와 1km에서 100km범위의 거리에 대해 적용할 수 있으며, 30m에서 1000m범위의 기지국 안테나 높이에 대해서 사용될 수 있다
HATA	HATA Model	150MHz에서 2000MHz까지 적용 가능하며, 도심지역 전파경로손실 표준화공식으로써 만들어짐, 다른 환경에 대한 수정공식도 있음. 이 모델은 OKUMURA 모델에 의해 제공된 그래픽 경로손실 데이터의 경험적 공식화 과정에서 나온 결과입니다.
ITU-R P.368	Ground-wave propagation curves for the frequency between 10KHz and 30MHz	LF, MF, HF(AM) 대역 지표파
ITU-R P. 533	HF propagation prediction method	2~30MHz 주파수대역에서 원거리, 전리층 통신의 예측에 사용되며, P2P와 P2A 분석에 사용되며, 7000km 까지 광선경로 분석기법 사용, 9000km 이상은 측정된 실험데이터에서 적절한 실험공식 적용.
ITU-R P.452	Prediction procedure for the evaluation of microwave interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.7GHz	700MHz에서 30GHz까지의 지상망의 간섭 분석을 위해 만들어진 것이다. P2P 분석으로 인접국가간 외래 간섭 발생 시 유입되는 간섭량이나 파라미터들을 예측하기 위한 것.

간상에서 전파 환경에 큰 영향을 주는 지형 및 장애물의 고려가 필수적으로 필요하다. 이를 위한 지형 및 3D 장애물, 경계 지도 등에 대한 GIS DB 데이터의 확보 및 전파전파 분석기술의 발달에 따른 다양한 방식으로 제작된 디지털 지도의 모델링이 필요하다. 모델링의 방법으로 Raster/Vector 방식이 있으며, 일반적으로 무선망 설계에서 가장 중요하게 사용하는 지형 모델의 경우 Rasterizing을 통한 정규격자(pixel)방식으로 모델링하게 된다.

• 전파 모델링

전파의 경로 손실에 대한 예측 모델을 선택하는 것을 전파 모델링이라고 하며, 이는 송신 장비로부터 일정한 거리에 위치한 점에서의 신호의 평균 수신 값을 예측하는 것으로 어느 위치를 중심으로 짧은 거리 범위 내에서 신호 세기의 변화를 예측하는 것이 신호의 전파 전달의 성질을 이해하는데 중요하게 작용된다.

특히 전파의 전달/전송 방법에 있어 반사(Reflection), 회절(Diffraction), 산란(Scattering), 감쇄(Attenuation), 페이딩을 기본으로 이것들을 모델링한 전파 모델과 회절 모델 및 날씨(안개/스모그, 비 등)의 영향이나 지형지물의 영향을 고려한 기법들이 적용되어야 한다.

무선망 설계 및 분석 S/W에는 사용자가 사용하는 기술 및 용도, 사용하는 디지털 지도의 유형에 따라 ITU에서 권고하는 모델들(Deterministic 모델)뿐만 아니라 오투라-하타, 하타-코스트 231, 코스트 231 등의 실측에 의한 경험적인 전파모델들(Empirical)과, 불링톤, Deygout-94 등의 회절 감쇄 모델, 날씨에 대한 모델 등 다양한 전파모델들을 선택할 수 있어야 하며, 실측에 의해 수정된 모델 등 사용자가 임

의 자신의 모델도 만들어 적용할 수 있어야 한다. 이를 사용하여 디지털 지도와 함께 다양한 조건 및 환경에서 전파의 영향을 분석하고 비교해볼 수 있으며, 또한 클러터와 연계하여 최적의 모델을 도출하는 것이 필요하다.

• GIS DB – 브이월드

국토교통부에서 제공하는 공간정보 오픈플랫폼 지도 서비스 ‘한국형 구글어스’로 고품질 3차원(3D)을 기반으로 국가, 지자체 등 공공 기관이 보유한 다양한 공간 정보와 행정 정보를 웹을 통해 제공한다. 국민 누구나 브이월드에 접속하면 오픈 플랫폼의 정보를 열람할 수 있으며, 정보를 활용하여 새로운 서비스를 개발하려는 사람은 제공된 오픈 API(Open-API)를 통해 자유롭게 활용할 수 있다. 디지털 지도를 활용한 무선망 설계를 위하여 국토교통부에서 제공하는 브이월드 지도데이터 중 필요한 자료를 확보하고 이를 변환하여 사용하고자 한다.

• 지형지도(DTM/DEM) & 3D 건물 & 시설물 DB 모델링

무선망 설계에서 가장 중요하게 고려되는 지도가 디지털 지형지도이다. 이것은 공간상에 나타나는 지형기복의 변화를 2차원 평면상에 연속적으로 표현하는 모델이다. DTM은 Digital Terrain Model의 약자이며, DEM은 Digital Elevation Model의 약자이다. 보통 지형만 고려될 때는 DTM을 사용하며, DEM은 지형과 건물(장애물)이 같이 고려되었을 때 사용한다.

• 시나리오 망 모델 시험 및 분석

다양한 요구사항에 맞추어 적절한 무선망 설계 및 분석을 위한 방향을 설정한다. 이에 따른

분석 방법 및 절차를 선정하고 최종 시스템에 부합하는지와 요구된 성능에 따른 분석 결과를 도출한다. 이러한 분석 방법 및 절차는 S/W를 통해 이루어지며, 각 설계 방향과 분석 방법 및 절차에 따라 시나리오를 모델링하고 그에 따른 결과를 시험 및 분석한다.

설계 및 분석방향은 설계 또는 분석하고자 하는 사용자의 요구사항에 따라 방향을 설정하고, 분석 방법 및 절차에서는 망 설계 대상에 대한 세부 요구사항을 파악하고, 분석 방법 및 절차에 반영, 장비와 기술에 대한 식별 및 제원에 따른 망(커버리지, 링크)의 요구사항이 부합하는 지에 대해 분석 방법 및 절차에 반영, 트래픽 또는 품질 등을 목표로 하는 요구사항에 대한 분석 방법 및 절차 반영, 망 운용 방식을 고려한 분석 방법 및 절차 반영 등의 과정을 거친다.

2.3 Critical Communication 적용기술연구

무선 통신 기술의 단점으로 지적되는 time critical 이슈를 정의하고 해결 방안을 제시해 신뢰성 있는 전력 서비스 제공을 목표로 한다.

2015년 Motorola사에서는 critical communi-

cation을 위한 새로운 기술인 WAVE (Wide Area Voice Environment)를 발표했다. 이는 공공 안전 및 정부 서비스의 라디오 시스템을 위한 목적으로 구축된 라디오, 최적화된 광대역 통신망에 대한 전문화된 스마트폰, 광대역 캐리어의 소비자 등급 광대역 기기 등 어느 통신망이나 어느 기기에서든 모두 활용이 가능하다.

공공 안전과 LTE를 공공 안전 통신을 위한 차세대 플랫폼으로 확보하려는 공공 안전 및 중요 통신 분야에 대한 관심이 증가함에 따라, Project 25 및 TETRA (Terrestrial Trunked Radio) 시스템과 같은 전통적인 협대역 기술에 대해, 3GPP는 새로운 그룹과 Release 13에 상응하는 아이템 (MCPTT, Mission Critical Push To Talk)을 출시하였다. 이번 3GPP의 작업에서 주된 목표는 통신 산업의 전 세계 커뮤니티의 요구를 충족하는 단일 공통 표준을 만드는 것이다. PS-LTE (Public Safety over LTE) 표준이 이미 3GPP Release 12 때 부터 ProSe (Proximity Services) 와 GCSE (Group Communication Services Enabler) 주도하에 개발 중에 있으며 MCPTT는 미션 크리티컬 애플리케이션의 전반적인 애플리케이션 및 서비스 계층 측면을 개발하는 업무를

〈표 2〉 전력정보서비스 주요 요구사항

Mode	DAS	AMI
Frame length	300 Byte	100 Byte ~ 500 Byte
Transmission period	특정 event 발생 시	15 min.
Coverage	1,000 m 이내	도심지 : 200 m 이내 준도심지 : 400 m 이내 농어촌 : 500 m 이내
Maximum transmission power	TBD	2 W
Receiver Sensitivity	TBD	-120 dBm
UE capacity (수용단말수)	10대 이내	1,000가구
Data rate	TBD	9.6 kpbs
Error rate	TBD	PER 0.1
Latency	수 ms 이내	

담당한다. 그러나 MCPTT는 IMS, LTE Device to Device Proximity Services (ProSe), LTE용 그룹 통신 시스템 enabler 등과 같은 기본 기술을 활용하여, 필요한 MCPTT의 요구사항을 실현할 것으로 기대된다.

배전 자동화 시스템 (DAS, distributed automation system)은 주기적으로 전송되는 UE (user equipment) 신호와 emergency 신호가 동시에 전송될 때, UE 신호가 손실되지 않고 적절한 성능을 내기 위해 필요한 시스템이다. DAS의 요구사항에 부합하면서 최적의 성능을 얻을 수 있는 시스템 구조를 연구하고 최적화된 파라미터들을 도출하고자 한다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 DAS와 AMI의 요구사항은 다음 표와 같다.

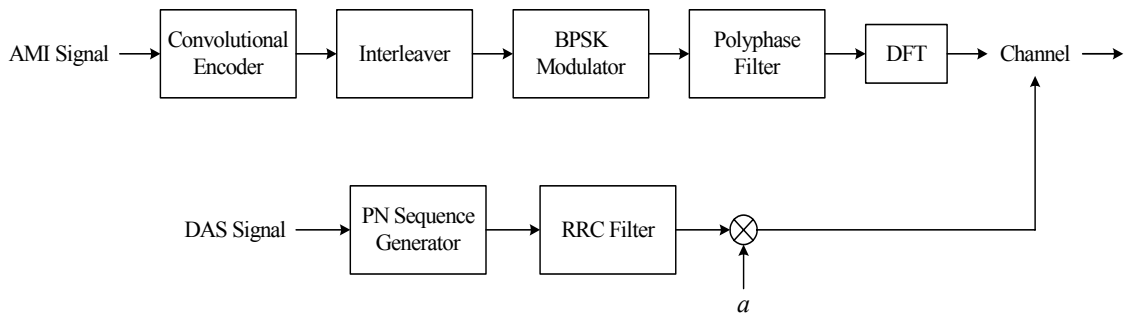
AMI 시스템에서 권장되는 수신 감도는 -120 dBm으로 설정하였으며 이에 따라 25 kHz 채널 하나를 사용할 때를 기준으로 수신 신호의 최소 CNR (carrier-to-noise ratio)를 도출할 수 있다. 실제 구현에 사용되는 RF (radio frequency)부의 NF (noise figure) 값에 따라 차이가 있으나 대략 3 dB 이상의 CNR을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 최악의 경우 3 dB CNR에서 요구되는 에러율(error rate)을 달성할 수 있는 시스템을 설계하기 위하여 변조 방식, 채널 부호화방식 및 부호율 등을 설정해야한다. 특히, 신호 검

출 (signal detection), 프레임 동기 (frame synchronization), 반송파 주파수 (carrier frequency) 및 심볼 타이밍 (symbol timing) 동기 등은 일반적인 동작 SNR (signal-to-noise ratio) 영역보다 낮은 영역에서도 동작하여야하므로 동기를 위한 프레임 구조 그리고 이에 부합하는 수신 동기 알고리즘 설계 시 CNR 3 dB 이하에서도 동작할 수 있도록 설계하여야 한다.

Emergency 신호는 PN sequence에 실려 전송되며 채널에서 spreading spectrum의 형태로 UE 신호와 더해진다. 이때, emergency 신호는 채널로 전송되기 전에 특정 상수 a 가 곱해지며 이로 인해 특정 삽입레벨 (bury ratio)을 갖는 형태로 전송된다. 이를 도식화하면 아래 그림과 같다.

3. 결 론

앞에서 언급한 바와 같이 2020년 2,100만호 AMI 구축, '30년 전력망 지능화사업 등 국가차원으로 추진 중인 전력망 고도화사업으로 인해 통신회선은 급속히 증가하고 있으며, 임차비 증가에 따른 해결책 강구가 필요한 실정이다. 최근 들어 개발 되고 있는 WiSUN, LoRA 등의 무선 통신기술은 비면허 주파수 대역을 활용하고, 많은 데이터 전송을 필요로 하지 않는 응용에 접목



(그림 2) Block diagram of emergency signal and UE signal

되고 있고, 전력산업분야의 독자적인 보안 체계를 적용하기에 용이하지 않다. 표준화된 프로토콜 기반으로 지능화되고 있는 전력망에 고도의 보안기술과 무선통신기술을 융합한 전력서비스용 Device Solution 개발이 필요하며, 저주파 대역인 특히 한전의 380MHz 대역은 면허 대역이고, 송신 및 수신 주파수가 나누어져 있어 전파 특성이 우수하여 전력망 인프라 구축에 핵심 자원으로 활용 가능하기에 지능화되고 고도화되는 전력망 네트워크 요구사항에 적합한 중·고속의 속도를 지원할 수 있는 시스템 개발이 필요하다.

한전에서는 스마트그리드 확대에 따른 무선분야 솔루션 확보(AMI통신방식 기술검증사업(대상기술 : Zigbee), 900MHz AMI 무선통신망 시범사업(대상기술 : SUN) 등), 무선통신 송수신기 설계 기초기술 확보(380MHz 주파수 대역에서의 디지털 TRS기술을 활용한 중고속 데이터통신 송수신기 설계) 및 한전 IoT 표준기술인 e-IoT 구현기술이 확보된 상태이다.

따라서 전력망 사업 및 사물인터넷 활성화 사업 전략 측면에서 모뎀 및 관련 시스템 개발을 추진함으로써, 지능형 전력망 사업 및 사물인터넷 활성화를 위한 위해 수요가 크게 증가할 것으로 예상되는 통신망 수요를 해결하는데 확보된 무선통신기술의 역할이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] AMI 근거리 통신기술분석, 한국통신학회논문지, 2013년 10월
- [2] 전력망에서의 이더넷 활용기술, 한국통신학회논문지, 2015년 1월
- [3] 에너지 IoT플랫폼에 관한 연구, 정보처리학회논문지, 2016년 6월.

저 자 약 력



김 영 현

이메일 : younghyun.kim@kepco.co.kr

- 2002년 한국항공대학교 정보통신공학 (학사)
- 2004년 광주과학기술원 정보통신공학 (석사)
- 2004년~현재 한전 전력연구원 선임연구원
- 관심분야: 유무선 통신시스템 설계, 사물인터넷, 가상 현실 및 증강현실, 시각지능



강 수 경

이메일 : sk.kang@kepco.co.kr

- 2008년 한양대학교 전자공학(학사)
- 2008년~현재 한전 전력연구원 연구원
- 관심분야: 유무선 통신시스템 설계, AMI, 사물인터넷, 시각지능



박 명 혜

이메일 : myunghye.park@kepco.co.kr

- 1993년 경북대학교 전자공학과(학사)
- 1995년 경북대학교 전자공학과(석사)
- 1995년~현재 한전 전력연구원 책임연구원
- 관심분야: 유무선 통신시스템 설계, 사물인터넷, 가상 현실 및 증강현실, 시각지능