스마트그리드 통신 네트워크 구성과 전력선 통신의 역할

윤성국
숭실대학교

요 약

정보통신기술과 전력에너지기술의 융합 기술인 스마트그리드는 지속 가능한 성장의 필수적인 요소이다. 스마트그리드 통신 네트워크는 전력 계통 시스템이 송전, 배전, 소비자로 구분되는 것에 맞춰 세 가지로 구분된다. 본고에서는 이 세 부분에서 사용될 스마트그리드 응용 분야를 소개하고 해당 분야가 요구하는 통신 네트워크의 성능과 후보 기술에 대하여 기술하였다. 추가적으로 전력선 통신이 스마트그리드 통신 네트워크에 활용될 방안에 대하여 논의하였다.

Ⅰ. 서 론

스마트그리드(Smart Grid)는 기존의 전력망을 발전시켜 만들 차세대 전력망으로 그 정의는 각 나라 및 단체마다 조금씩 상이하지만, 공통적으로 정보통신기술(ICT: Information and Communication Technology)을 활용하여 에너지를 효율적으로 사용한다는 개념이 들어가 있다. 스마트그리드의 도입으로 인한 기대 효과로 전력 계통의 안정성을 증대시키며, 신재생에너지를 적극적으로 도입하여 화석 에너지 고갈에 대비하고, 지구온난화의 속도를 감소시킨다[1].

스마트그리드 통신 네트워크는 물리적인 전력망과 동일한 구조로 구성되어 있다. 즉, 송전망을 담당하는 WAN(Wide Area Network), 배전망을 담당하는 NAN(Neighborhood Area Network), 댁내망을 담당하는 HAN(Home Area Network)의 세가지 네트워크로 이루어져 있다. 이 세 네트워크는 담당하는 영역이 다르기에 각각 상이한 응용 분야와 이에 따른 다양한 통신 요구 사항을 가진다.

스마트그리드 통신 네트워크는 다양한 응용 분야의 요구사항으로 인해 하나의 통신 기술이 아닌 여러 종류의 통신 기술이 혼재할 것이다. 따라서 현재 사용되는 다양한 통신 기술이 스마트그리드에서 혼재될 것이고 이들간의 충돌 없는 상호운용이 중요하다. IEEE에서는 다양한 통신 기술 간의 상호운용성을 확보하기 위해 IEEE 2030 상호운용성 가이드라인을 발간하였다[3].

본고에서는 WAN, NAN, HAN에 사용될 응용 분야를 소개하고 각 응용 분야에 요구하는 통신 네트워크 성능에 대하여 정리한다. 이를 바탕으로 각 네트워크에 적용이 가능한 통신 기술의 종류를 알아본다.

추가적으로 본고에서는 스마트그리드에서의 전력선 통신의 역할을 기술한다. 지금까지의 전력선 통신은 제한적인 범위에서만 사용되었으나 전력선을 통해 통신이 되는 점이 전력망을 지능화하는 스마트그리드의 요구사항과 잘 맞아 앞으로 그 역할이 확대될 것으로 기대한다. 본고에서는 전력선 통신의 종류와 그 활용 영역에 대해 소개한다.

Ⅱ. 스마트그리드 통신 네트워크 구조

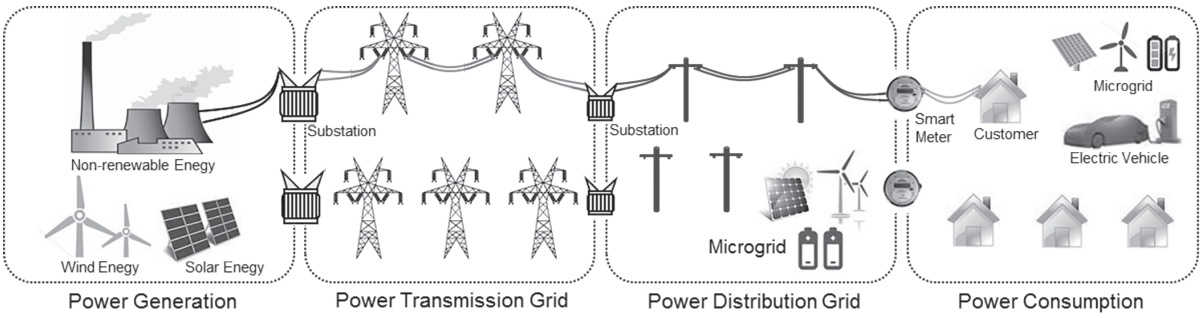
스마트그리드의 구조는 물리적으로 보면 전력 계통망에 통신 네트워크를 합친 구조이며 논리적으로는 전력 계통, 통신, 보안 및 응용 계층까지 합쳐진 복합 계층 구조를 가진다. 그림 1은 전력 계통망과 통신 네트워크가 합쳐진 스마트그리드의 계층 구조를 보여준다[4][8].

1.Wide Area Network

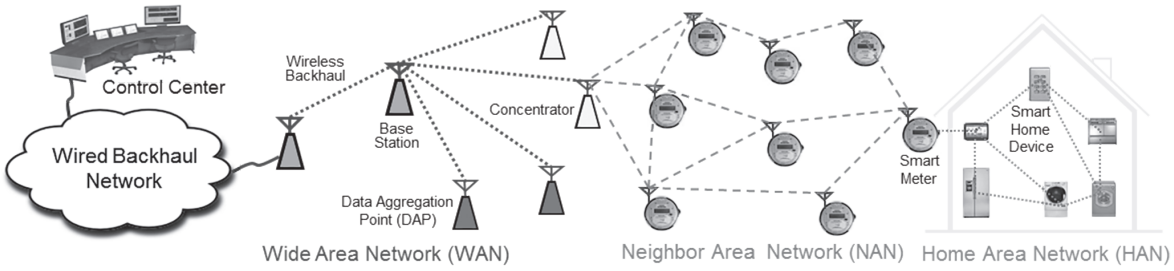
WAN은 송전망에서의 데이터 전송을 담당한다. 송전망은 매우 넓은 지역을 커버하며 고전압 고용량의 전력을 이동시키기 때문에 정밀한 통신 성능을 요구한다[5].

1.1 WAN Applications

WAN에서의 주요 응용 분야는 실시간 모니터링, 제어, 보호 등이 있다. 송전망을 관리하는 기법으로는 송변전자동화시스템(SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition)이 있다. SCADA는 중앙급전소의 EMS(Energy Management System)와 연계하여 송전망에 있는 설비들을 실시간으로 원격감시, 제어 계측하는 자동화 시스템이다[6]. SCADA는 데



(a) 전력 계통 네트워크



(b) 통신 네트워크

그림 1. 스마트그리드 계층 구조[4]

이터를 수초 혹은 수분에 한 번 획득한다. 이 주기는 송전망의 중요성을 고려할 때 SCADA의 데이터 획득은 충분하지 않다. PMU(Phasor Measurement Unit)을 활용한 최신 전력망 모니터링 시스템은 초당 60샘플을 발생하고 GPS를 이용한 시간 동기화를 맞춰 보다 정확한 계통 상황의 모니터링이 가능하고 이를 통해 정밀한 제어와 보호를 가능하게 해준다[7]. PMU 데이터 패킷 크기는 최소 52 bytes이고 0.1초 내로 관리 센터에 도착하여야 때문에 송전망에는 고성능의 통신 네트워크의 구성이 필수적이다.

1.2 WAN 용 통신 기술

스마트그리드 WAN 응용 분야를 지원하기 위한 통신 시스템은 넓은 커버리지와 작은 전송 지연의 요구사항을 만족시켜야 한다. 특히 전송 지연 및 높은 데이터 전송율을 만족시키기 위해서는 고성능의 통신 네트워크가 필요하다. 이런 요구사항을 만족시키는 통신 기술로 광통신과 셀룰라 시스템이 있다. 현재 우리나라의 경우 고압 송전탑에는 광통신이 설치되어 있다. 그러나 이미 설치되어 있는 송전망에 새롭게 광 케이블을 설치하는 것은 매우 큰 설치비용이 요구되는 단점이 있다.

무선 통신 중에서는 넓은 전송범위를 가지는 WiMAX나 WCDMA, LTE 등의 기술이 사용 가능하다[2]. 또한 전력선 통신의 활용도 고려되고 있다. 베이스밴드에서 3 kHz까지의 주파수를 사용하는 초협대역 전력선 통신은 낮은 대역폭으로 인해 수백bps 정도의 낮은 전송율을 보이지만 그 전송거리는 150km 정도에 달한다[9][10]. 따라서 백업 네트워크로서의 전력선 통신의 사용도 고려되고 있다.

2.Neighborhood Area Network

배전망에서 변전소에서부터 최종 소비자 사이의 데이터 전송을 담당하는 통신 네트워크를 NAN 또는 FAN(Field Area Network)이라고 부른다. 배전망은 매우 다양한 토폴로지와 지역 특성을 가지기에 상황에 맞는 다양한 통신 기술이 활용될 것으로 보인다[11]. 송전망이나 댁내에서는 이미 통신 네트워크가 구축되어 있는 경우가 많으나 배전망에서의 통신 네트워크가 새롭게 구축하는 경우가 많아 다양한 통신 네트워크가 테스트되고 있다.

2.1 NAN Applications

최종 소비자까지의 통신을 담당하는 NAN에서는 다양한 응용 분야가 존재한다. 스마트그리드의 대표적인 응용 분야인 AMI(Advanced Metering Infrastructure)와 수요 반응(demand response)이 NAN을 통해 구현된다. 수요 반응을 위한 전력량 검침은 15분 혹은 한 시간에 한 번의 주기로 데이터를 수집하고 전송 지연 요구사항도 1분 이내로 고성능의 통신 네트워크를 요구하지 않는다.

표 1. WAN, NAN, HAN에서의 스마트그리드 응용 분야, 통신 요구사항 및 후보 기술

	응용 분야	데이터 획득 주기	전송 지연	후보 통신 기술
WAN	실시간 모니터링, 제어, 보호	60회/초	0.1초 이내	광통신, 셀룰라, 초협대역 전력선 통신
NAN	AMI, DR	15분, 1시간	1분 이내	DSL, 케이블 모뎀, 이더넷, ZigBee, Wi-Fi, Wireless Mesh, 셀룰라, 협대역/광대역 전력선 통신
	배전자동화	수 분	수초 이내	
	전기자동차 충전	필요 시	15초 이내	
HAN	홈 오토메이션	1분, 15분	수초 이내	ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi, 광대역 전력선 통신

송전망과 마찬가지로 배전망에서도 실시간 모니터링, 제어, 보호 응용 분야가 있고 이는 배전자동화를 가능하게 한다. 배전자동화의 데이터 획득 주기는 수분이고 전송 지연은 수초 내이지만 고장 진단과 고장 지역 고립을 위해서는 좀 더 빠른 데이터 전달이 필요하다.

마지막으로 NAN에서의 응용 분야로 전기자동차 용 통신이 있다. 전기자동차는 충전 시 인증 및 과금을 위해 외부와의 통신이 필요하다. 전기자동차 용 통신은 특별한 주기가 있지 않고 충전 이벤트 발생 시 통신을 필요로 하고 약 15초 이내의 전송 지연을 요구한다.

2.2 NAN용 통신 기술

다양한 응용 분야가 존재하는 것과 같이 NAN 용 통신도 유무선의 다양한 기술이 혼합되어 사용되고 있다. 소비자와 변전소를 연결하기 위해 유선 통신도 많이 사용될 것으로 보인다. DSL, 케이블 모뎀 및 이더넷 등 대부분의 유선 통신이 NAN에서 사용 가능하다. 무선 통신 역시 ZigBee, Wi-Fi, Wireless Mesh, 셀룰라 등 다양한 기술이 사용될 수 있다. 전력선 통신도 후보 기술로 주목 받고 있다. 협대역 전력선 통신은 넓은 전송 범위 (최대 10 km)를 가지고 초협대역 전력선 통신보다 높은 전송율을 가지고 있어 NAN에서 유용하게 활용될 것으로 예상한다.

AMI나 배전자동화의 경우 보안의 문제를 고려하여야 하기 때문에 인터넷과 같은 공공망을 사용하지 않고 내부 사설 망을 사용하는 것을 고려하고 있다[12]. 이 경우 ZigBee 등의 무선 기술과 전력선 통신이 후보 기술로 고려되고 있다.

전기자동차용 통신은 IEC/ISO 15118 표준에 의해 전력선 통신이 결정되었다[13]. 이 표준에 의해 협대역 전력선 통신인 G3-PLC나 광대역 전력선 통신인 HomePlug Green PHY가 전기자동차 충전용 통신 네트워크로 사용될 것이다.

3. Home Area Network

HAN은 댁내 망뿐만 아니라 빌딩 내 네트워크(BAN: Building Area Network)와 공장 내 네트워크(IAN: Industrial Area Network) 또한 포함한다. 즉, HAN은 집이나 빌딩 같은 한 영역 내에서 스마트 미터와 가전 사이의 통신과 가전끼리의 통신 등을 담당한다.

3.1 HAN Applications

한 건물 내의 전기 기기들끼리 통신을 통해 홈 오토메이션이나 최적 전력 사용 등의 응용 분야를 구현할 수 있다. 현재 전력 가격을 스마트 미터를 통해 받아 HEMS(Home Energy Management System)는 미리 설정된 프로파일에 따라 에어컨, 전열 기구 같은 온도 조절 기기나 배터리를 활용하여 소비 전력을 조절하여 전기 요금을 낮출 수 있다. 이런 응용 분야의 데이터 획득 주기는 수요 반응과 동일하게 1분이나 15분 주기로 이루어지고 수초 내의 전송 지연을 요구 한다. HAN은 스마트그리드 응용 분야만을 위해서는 고성능의 통신 네트워크를 요구하지 않으나 많은 경우 홈 네트워크의 백본 네트워크까지 담당하기에 높은 전송율이 요구된다.

3.2 HAN 용 통신 기술

실내에 사용되는 통신 기술은 이미 다양한 종류의 상용 제품이 있다. 그 중 무선 통신과 전력선 통신은 추가적인 배선의 필요 없이 전기기기 간의 통신을 가능하게 함으로 주목 받고 있다. 무선 통신으로는 ZigBee와 Bluetooth, Wi-Fi 등이 후보 기술이고 전력선 통신으로는 상대적으로 좁은 전송거리의 더 높은 전송율을 가지는 HomePlug AV, ITU-T G.hn, IEEE 1901 등의 광대역 전력선 통신이 후보로 고려되고 있다.

표 1은 지금까지 살펴본 스마트그리드 통신 네트워크 구분에 의한 응용분야, 통신 요구사항 및 후보 통신 기술에 대하여 요약한다.

Ⅲ. 스마트그리드에서의 전력선 통신의 역할

1.전력선 통신

전력선 통신은 전력선을 매질로 통신을 한다는 장점에도 불구

하고 급성장하는 무선 기술의 밀려 실제 시장에서 활성화되지 못하고 있었다. 그러나 전력망 내의 정보 전달이 필수적인 스마트그리드에서는 전력선 통신은 중요한 역할을 담당할 것으로 기대한다.

전력선 통신의 가장 큰 장점은 전력이 전송되는 동일한 매질을 통해 정보를 전달하기에 추가적인 배선 작업이 없어 설치 비용이 다른 유선 통신에 비해 매우 적다는 것이다. 또한 무선 통신의 경우 철문과 같은 특수한 장애물을 지나면 신호 감쇄가 매우 커져 음영이 쉽게 존재하는 반면 전력선 통신은 그런 장애 없이 넓은 전송 거리를 가지는 장점이 있다.

반면 전력선 통신의 단점은 전력선이 통신을 위해 설치된 매질이 아니기 때문에 채널 상태가 좋지 않다는 점이다. 전력선 통신의 노이즈는 무선 통신의 잡음 같은 백색잡음이 아닌 일정 대역폭에 더 심한 잡음이 있는 잡음이며 전기기기의 상태 변화에 의한 임펄스 잡음이 주기적/비주기적으로 나타난다[15]. 또한 전력선이 긴 안테나의 역할을 하기 때문에 전력선 통신과 무선 통신은 서로 직접적인 간섭을 일으킨다. 따라서 전력선 통신에 사용할 수 있는 최대 전송 파워는 규제의 대상이고 일반적으로 무선 단말이 송신하는 최대 전력과 유사한 수준으로 전송하도록 규제하고 있다[16]. 결과적으로 전력선 통신은 낮은 SINR을 가지는 단점을 가진다.

다른 단점으로 상호운용성 문제가 있다. 전력선 통신은 베이스 밴드에서 통신이 이루어지고 충분한 주파수 대역이 통신으로 사용 가능한 것이 아니기 때문에 FDM(Frequency Division Multiplexing)으로 다른 표준 간의 간섭을 제어하는 것이 불가능하다. 예를 들어, 대부분의 광대역 전력선 통신은 동일하게 1.8~30MH의 대역을 사용하는데, 상이한 표준이 동일한 영역 내에 존재하면 상호 간의 심각한 간섭을 일으킨다. 따라서 NIST에서는 전력선 통신 간의 상호운영성 문제를 스마트그리드를 위해 해결해야 할 중요 해결 문제로 지정하였고[17], 이 문제를 해결하기 위해 IEEE ISP와 ITU-T의 G.cx 에서 상이한 전력선 통신 표준 간의 상호 공존 기법을 정의하였다[18]. 그러나 이 공존 기법들은 한국에서 사용하는 전력선 통신을 고려하지 않아 한국에서는 여전히 간섭 문제가 생길 것으로 보인다.

〈그림 2〉는 대역폭에 따른 전력선 통신의 구분을 보여준다. 전력선 통신은 3 kHz 이하 대역을 사용하는 초협대역, 3 ~ 500 kHz를 사용하는 협대역, 1.8 ~ 250 MHz를 사용하는 광대역 전력선 통신으로 나뉜다. 사용 대역폭이 넓어질수록 전송 속도가 빨라지는 장점과 전송 거리가 줄어든다는 단점을 가지고 있어 요구 사항에 맞는 전력선 통신을 사용하는 것이 중요하다. 앞서 살펴본 것과 같이 전송 거리에 따라 송전망, 배전망, 댁내망은 각각 초협대역, 협대역, 광대역 전력선 통신이 적절한 기술로 평가 받는다[19].

TWACS(Two-Way Automatic Communication System)으로 대표되는 초협대역 전력선 통신은 0 ~ 3 kHz의 좁은 대역폭으로 인해 수백bps 정도의 낮은 전송율을 보이지만 그 전송

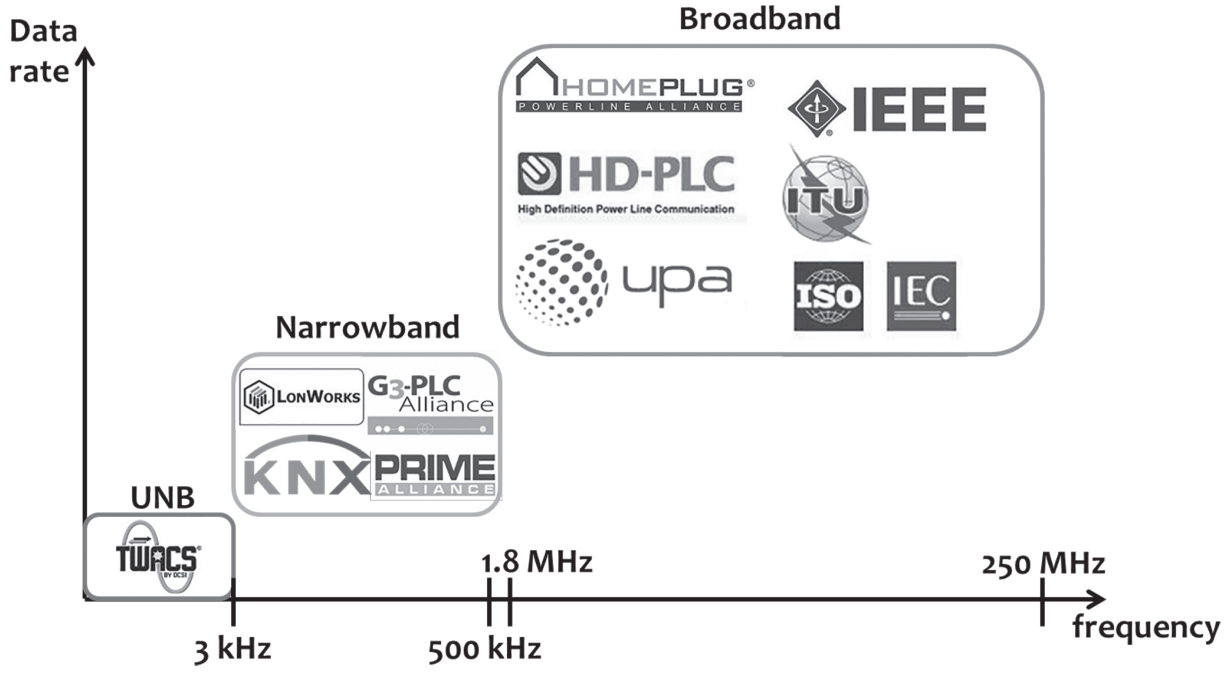


그림 2. 대역폭에 따른 전력선 통신의 구분.

거리는 150km 정도에 달하여 유럽과 북미 송전망에서 유용하게 사용되고 있다[9][10].

협대역 전력선 통신은 3 – 500 kHz의 주파수 대역폭을 사용한다. 단일 캐리어를 사용하는 LonWorks(ISO/IEC 14908-3)와 KNX(ISO/IEC 14543) 전력선 통신은 최대 수 kbps의 전송 속도를 가진다. 스마트그리드의 등장 이후 배전망에서의 고성능의 전력선 통신의 필요성이 커짐에 따라 2010년 이후에 표준화가 완료된 G3-PLC[20]과 PRIME[21] 협대역 전력선 통신의 경우 OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 기술과 복수개의 변조 방식을 사용함으로 전송 속도를 최대 수백kbps로 향상시켰다

광대역 전력선 통신은 1.8 MHz에서 최대 250 MHz의 대역폭을 사용하여 고속의 데이터 전송이 가능한 대신 전송거리가 짧아 댁내 망에 주로 사용될 것으로 보인다. 최신 광대역 전력선 통신은 OFDM과 MIMO(Multiple-Input and Multiple-Output) 기술을 사용하며 1Gbps의 전송 속도를 가진다[22]. 광대역 전력선 통신으로는 퀄컴 주도의 HomePlug (HomePlug AV, HomePlug Green PHY)와 파나소닉 주도의 HD-PLC, 그리고 MAXIM 주도의 UPA 등이 있다. 국제 표준화 단체인 IEEE와 ITU-T에서도 전력선 통신 표준을 제정하였다. IEEE 1901은 HomePlug AV와 HD-PLC를 기반으로 만든 표준이고 ITU-T에서는 새롭게 G.hn를 정의하였다. 한국에서 표준화한 KS X 4600-1 광대역 전력선 통신은 ISO/IEC 12139-1 국제 표준과 같은 표준이다. 1.8 ~ 30 MHz 대역을 사용하고 최대 속도는 25 Mbps이다. 또한 IEEE ISP와 ITU-T G.cx은 광대역 전력선 통신에서의 상호운용성을 위해 정의된 표준으로 HomePlug, HD-PLC, G.hn 등이 혼재된 경우의 해결책을 제시하였다. 그러나 ISO/IEC 12139-1 역시 동일한 대역폭을 사용하나 위 상호운용성 표준에 포함되지 않았다.

2. 응용 사례

2.1 AMI 인프라

AMI를 위한 통신 네트워크로 협대역 전력선 통신의 활용이 많이 시도되고 있다. 배전망에서의 협대역 전력선 통신의 사용은 전송거리가 길어 모든 전기기기에 도달할 수 있는 장점을 가지고 있다. 프랑스의 ERDF 사는 G3-PLC를 사용하여 AMI 구축 프로젝트를 진행하고 있고[24] 스페인의 IBERDROLA 사는 PRIME을 사용하여 AMI 구축 프로젝트를 진행 중이다[25]. IBERDROLA에서 진행하는 프로젝트는 이미 200만 호 이상의 전력량계를 협대역 전력선 통신 기반 스마트 미터로 교체하였고 2018년까지 1000만 호 설치를 목표로 하고 있다.

우리나라에서도 전력선 통신을 통해 AMI를 구축하는 프로젝트를 진행 중에 있다. 한국전력은 ISO/IEC 12139-1을 사용하여 2014년 현재 약 62만 가구에 스마트 미터를 공급하였으며 2020년까지 전국 2294만 가구에 공급한다는 계획이다. 해외에서는 주로 협대역 전력선 통신을 이용해 스마트 미터를 설치하는 반면 국내에서는 광대역 전력선 통신을 이용해 설치하고 있다. 따라서 국내 AMI 시스템은 지중 선로에서 낮은 검침율을 보이고 전기자동차 용 통신인 HomePlug Green PHY와 간섭을 일으킬 것이기에 해결해야 할 기술적인 부분이 있다[23].

2.2 변전소 간 백업 통신망

스페인의 IBERDROLA 사는 배전망에 광대역 전력선 통신을 설치하는 프로젝트도 진행 중이다[26]. 배전망에 광대역 전력선 통신을 설치하면 DSL, 이더넷과 같은 백본 네트워크를 통해 이루어지는 변전소 사이의 통신을 직접적인 통신이 가능한 사설망으로 교체할 수 있다. 광대역 전력선 통신은 협대역 전력선 통신과 사용하는 주파수 대역이 전혀 달라 상호 간섭을 일으키지 않고 두 네트워크 모두 동작할 수 있다.

2.3 전기자동차 용 통신 인프라

전기자동차용 통신으로 전력선 통신이 선정된 이유는 가장 확실한 확인이 가능하기 때문이다. 전력선 통신은 충전을 위해 물리적으로 연결된 전력선을 통해 전기자동차와 충전 회사 간의 인증을 진행한다. 협대역 전력선 통신인 G3-PLC와 광대역 전력선 통신인 HomePlug Green PHY 두 개의 후보 기술들이 검증을 거쳤고 북미와 유럽 등 대부분의 국가가 HomePlug Green PHY를 전기자동차용 충전 방식으로 선정하였다[14]. HomePlug Green PHY는 광대역 전력선 통신이기에 한국에서 AMI를 위해 설치된 ISO/IEC 12139-1 전력선 통신과 간섭을 일으킨다[23]. 현재까지 나온 전력선 통신 상호운용성 기법은 한국형 전력선 통신이 포함되어있지 않기 때문에 이 둘 사이의 간섭을 해결할 방법이 현재까지 없다. 따라서 국내에서는 전기자동차 충전 기술로 다른 전력선 통신을 사용할 것으로 보인다.

3. 통신 이외의 이용

전력망에 설치된 전력선 통신은 통신 이외의 용도로도 사용가능하다. 전력선이 완전히 단락 되기 전 절연재가 손상이 있는 경우 전력선 통신에서는 독특한 잡음 성분이 나오게 된다. 이를 통해 고장 진단이 가능하고 보다 빠른 수리를 할 수 있다[27]. 또한 전력선 통신을 이용해 전력망의 토폴로지를 추정하는데 사용할 수 있다. 배전망의 경우 완전한 토폴로지를 가지고 있지

않은 경우가 있는데, 배전망에 전력선 통신을 사용함으로 신호의 세기와 전송 지연을 바탕으로 대략적인 전력망의 토폴로지를 추정 가능하다[28].

Ⅳ. 결 론

스마트그리드 통신 네트워크는 전력 계통 망의 구성에 따라 WAN, NAN, HAN으로 구분할 수 있다. 본고에서는 각 분야에서 활용될 응용 분야와 통신 요구사항, 적절한 통신 방식에 대하여 기술하였다. 추가적으로 스마트그리드에서 광대역, 협대역, 초협대역 전력선 통신의 역할에 대해 기술하였다.

참 고 문 헌

[1] H. Farhangi, "The Path of the Smart Grid," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 8, no. 1, January/February 2010, pp. 18-28.

[2] M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Communication Network Requirements for Major Smart Grid Applications in HAN, NAN and WAN," Computer Networks, vol. 67, no. 4, July 2014, pp. 74-86.

[3] IEEE 2030-2011, IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads, September 2011.

[4] M. Obaidat, A. Anpalagan, and I. Woungang, Handbook on Green Information and Communication Systems, Elsevier, UK, 2013.

[5] V. Terzija et al., "Wide-Area Monitoring, Protection, and Control of Future Electric Power Networks," Proceedings of IEEE, vol. 99, no. 1, January 2011, pp. 80-93.

[6] S. Boyer, Scada: Supervisory Control and Data Acquisition, ISA, USA, 2009.

[7] R. Nuqui and A. Phadke, "Phasor Measurement Unit Placement Techniques for Complete and Incomplete Observability," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, no. 4, October 2005, pp. 2381-2388.

[8] Y. Ye, Q. Yi, H. Sharif, and D. Tipper, "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges," IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 15, no. 1, First Quarter 2013, pp. 5-20.

[9] S. Mak and D. Reed, "TWACS, A New Viable Two-Way Automatic Communication System for Distribution Networks. Part I: Outbound Communication," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-101, no. 8, Aug. 1982, pp. 2941-2949.

[10] S. Mak and T. Moore, "TWACS, A New Viable Two-Way Automatic Communication System for Distribution Networks. Part I: Outbound Communication," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-103, no. 8, pp. 2141-2147, Aug. 1984.

[11] W. Meng, R. Ma and H.-H. Chen, "Smart Grid Neighborhood Area Networks: A Survey," IEEE Network, vol. 28, no. 1, January/February 2014, pp. 24-32.

[12] F. Cleveland, "Cyber Security Issues for Advanced Metering Infrastructure (AMI),"in Proc. Power and Energy Society General Meeting 2008, USA.

[13] ISO/IEC 15118-3, Road Vehicles - Vehicle to Grid Communication Interface - Part 3: Physical and Data Link Layer Requirements, under development, September 2014.

[14] 이재조, "ISO/IEC 15118 V2G CI 표준화 동향", 스마트그리드 산업 활성화를 위한 기술 워크샵, 2014년 5월.

[15] M. Zimmermann and K. Dostert, "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-Band Powerline Communications," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 44, no. 1, Feb. 2002, pp. 249-258.

[16] R. Tongia, "Can Broadband over Powerline Carrier (PLC) Compete? A Techno-Economic Analysis," Telecommunications Policy, vol. 28, no. 7-8, August-September 2004, pp. 559-578.

[17] Priority Action Plan (PAP-15): Harmonize Power Line Carrier Standards for Appliance Communications in the Home. [Online]. Available: http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/SmartGrid/

PAP15PLCForLowBitRates

[18] M. Rahman, C. Hong, S. Lee, J. Lee, M. Razzaque, and J. Kim, "Medium Access Control for Power Line Communications: An Overview of the IEEE 1901 and ITU-T G.hn Standards," IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 6, June 2011, pp. 183-191.

[19] S. Galli, A. Scaglione, and Z. Wang, "For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid," Proceedings of IEEE, vol. 99, no. 6, June 2011, pp. 998 - 1027.

[20] G3-PLC physical layer specification and G3-PLC MAC Layer specification, G3-PLC Alliance, August 2012.

[21] PRIME Alliance - Technical Working Group, PRIME Specification version 1.3.6, Nov 2011. Http://www.prime-alliance.org

[22] HomePlug Alliance, HomePlug AV Specification Version 2.0, January 2012.

[23] 박창운, 서종관, 진주, 이재조, "ISO/IEC 15118 V2G CI 기반의 전기자동차용 전력선통신에 관한 연구", 대한전기학회 학술대회 논문집, 2013년 7월.

[24] K. Razazian, A. Niktash, V. Loginov, J. LeClare, T. Lys, and C. Lavenu, "Experimental and Field Trial Results of Enhanced Routing Based on LOAD for G3-PLC," in Proc. ISPLC 2013, South Africa.

[25] A. Sendin, I. Berganza, A. Arzuaga, A. Pulkkinen, and I. Kim, "Performance Results from 100,000+ PRIME Smart Meters Deployment in Spain," in Proc. IEEE SmartGridComm 2012, Taiwan.

[26] M. Solaz, J. Simon, A. Sendin, L. Andersson, and M. Maurer, "High Availability Solution for Medium Voltage BPL Communication Networks," in Proc. IEEE ISPLC 2014, Scotland.

[27] J. Adami, P. Silveira, M. Martinez, R. Perez, and A. Dallbello, "New Approach to Improve High-Voltage Transmission Line Reliability," IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 3, July 2009, pp. 1515-1520.

[28] M. Ahmed, and L. Lampe, "Power Line Network Topology Inference using Frequency Domain Reflectometry," IEEE ICC 2012, Canada.

약 력

윤 성 국

2006년 서울대학교 공학사
2012년 서울대학교 공학박사
2012년~2014년 서울대학교 박사후연구원
2014년~현재 숭실대학교 전기공학부 조교수
관심분야: 스마트그리드, 유무선 통신 네트워크