

AMI의 구조

이정준
LS산전

요약

본고에서는 스마트그리드의 수요 측면을 구성하며, 최종 소비자와 전력사 사이의 전력 정보 서비스 인프라이고 소비자의 능동적인 에너지 절감을 위한 수요 반응(Demand Response) 실현의 핵심 수단인 AMI (Advanced Metering Infrastructure)의 그 구조와 기술 동향에 대해 알아본다.

ture)에 대하여 그 구조와 기술 동향에 대해 알아본다. 2장에서는 스마트그리드 내에서 AMI가 어느 부분을 차지하고 있는지에 대해 기술하며 3장에서는 AMI가 필요했던 기저인 수요 반응(Demand Response), 실시간 요금제와 AMI의 상관관계에 대해 이야기 하고 4장에서는 AMI의 구조와 구성 요소 및 관련 표준에 대해 알아본다.

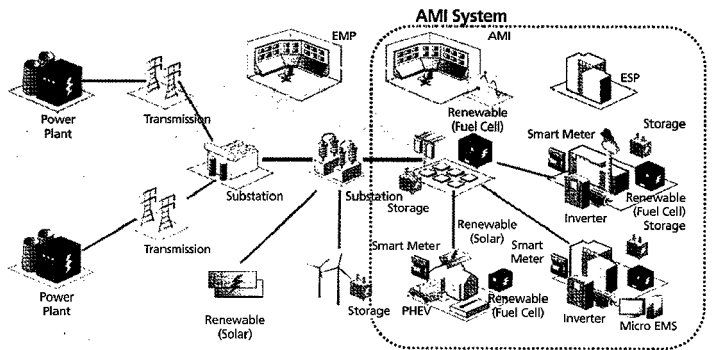
I. 서론

스마트그리드가 국가적 화두가 되어 의욕적으로 추진되기 시작한 지도 1년이 지났다. 저탄소 녹색 성장 패러다임에 기반하여 스마트그리드 추진 국가 로드맵이 2010년 1월에 발표되기도 하였으며 2010년 3월 현재 제주 실증 단지 구축이 활발히 진행되고 있는 등 국가 차원의 스마트그리드 실행 전략이 발빠르게 시행되고 있는 시점이다. 전세계적으로도 지구 온난화로 대표되는 생태적, 기후적 위기를 극복과 고갈되어 가고 있는 1차 에너지 자원의 이슈로 생길 에너지 위기에 대한 대안이 필요한 시점에, 금융 시장의 붕괴로부터 촉발된 세계적인 경제 위기를 돌파하기 위한 대규모 경기 부양의 관점에 있어서도, 대형 투자가 동반되어 경기부양을 선도할 수 있는 항목으로 스마트그리드는 필연의 선택이었다고도 볼 수 있겠다.

본 기고에서는 스마트그리드의 실행에 있어 가장 먼저 구축되어야 할 인프라인 AMI (Advanced Metering Infrastruc-

II. 스마트그리드와 AMI

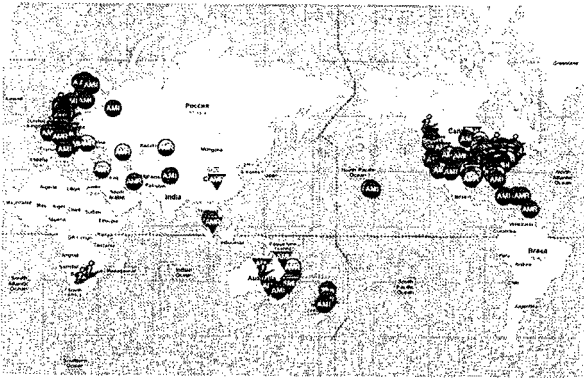
기존의 전력망에 IT기술이 접목되어 실시간 양방향 정보 교환 및 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망인 스마트그리드는 전력 시스템의 모든 분야 즉 발전, 송/배전, 소비자 단 등 모든 분야에 걸쳐 패러다임의 쉬프트라고 여겨질 정도의 혁신적인 변화를 가져 올 것으로 기대되고 있다.



(그림 1) 스마트그리드에서 AMI의 구성 부분

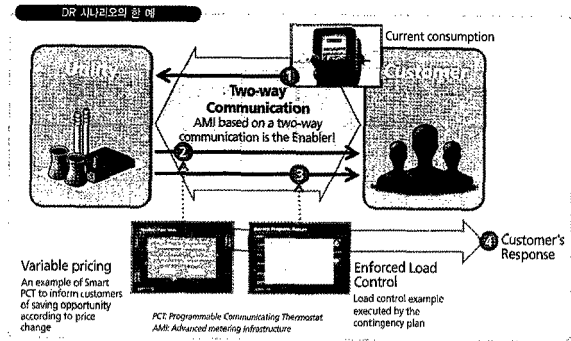
이러한 스마트그리드의 분야 중 주로 배전 및 수용가 부문에서 수요의 측면을 구성하는 것이 AMI로서 (그림 1), 최종 소비자 및 전력 회사 사이의 전력 서비스 정보화 인프라이며 스마트그리드 운용에 필수적인 스마트 미터(Smart Meter)를 기반으로 다음 장에서 설명할 수요 반응(Demand Response) 메커니즘의 실현을 위한 핵심 수단이기도 하다.

이러한 AMI의 구축은 현재 미국을 중심으로 활발히 전개되고 있으며 호주와 유럽지역에서 각기 요구 사양이 다르긴 하나 AMI기반 또는 AMI를 향후 염두에 둔 AMR(Automated Meter Reading)의 구축이 진행되고 있고, 한국에서는 한전 AMR사업이 시범 사업으로 진행되어 고압 수용가 전체와 약 6만 가구 정도의 저압 수용가에 시행되었다고 한다(그림 2).



(그림 2) Status of AMI Project (from Google.com)

그런데 이러한 정전 사태는 Critical Peak라고 하는 전기 사용이 갑자기 급증하는 때에만 일어나고 이러한 기간은 연중 1%도 안 되는 시간이며 그 이외의 대부분의 시간에는 발전량이 수요량보다 항상 남아돌게 되는 현상이 있다. 또한 그동안 Critical Peak가 발생했던 경험에 비추어보면 이 때 사용량을 5%정도만 줄일 수 있었어도 정전 사태는 막을 수 있었다고 한다. 이렇게 Critical Peak가 발생하는 연중 1%도 안 되는 시간대의 전기 수요량을 약 5%만 줄일 수 있다면 발전소를 더 이상 짓지 않고도 수요와 공급의 균형을 맞추어 정전사태를 막을 수 있다는데 착안하여 고안해 낸 방법이 변동 가격 요금제에 기반한 수요 반응 메커니즘이다. 즉 Critical Peak가 발생할 것이 예상되면 이에 따라 전기의 단가를 실시간으로 바꾸어 주어 사용자가 자율적으로 전기 소비를 줄이게 하는 것이다.



(그림 3) 수요 반응 시나리오의 한 예

III. 수요 반응과 AMI

북미지역을 중심으로 AMI시스템의 설치가 활발한 이유는 그 동안 전력 설비나 발전 시설에 대한 투자에 소홀해온 때문에 단순히 발전량이 전력 수요량에 못 미쳐 주로 캘리포니아와 텍사스 주를 중심으로 2000년대 초반부터 생기기 시작한 정전 사태(Blackout)의 해결이 큰 이슈가 되어왔기 때문이다. 증가하는 전기 수요를 맞추기 위한 추가 발전소의 건설이 지지 부진했던 데다가 그나마 발전소 건설에는 막대한 비용과 긴 시간이 필요하기 때문에 당장 일어나고 있는 정전 사태에 바로 대응할 수 있는 현실적인 방법이 없다는 것이 큰 문제였다.

이러한 변동 가격제에 기반한 수요 반응의 시나리오는 다음과 같다(그림 3). 먼저 전력사는 실시간으로 원격 검침을 통해 소비자의 수요를 파악한다(①). 이는 양방향 통신이 가능한 스마트 미터를 통해 이루어진다. 여름철 냉방 수요가 급증하는 경우나 겨울철 전기 난방 수요가 많아질 때, 소비자 측의 총 수요가 전력사가 설정한 여러 단계의 한계점(threshold)를 통과할 때 마다 전력사에서는 통신 인프라를 통하여 새로운 전력 가격(정상시에 비해 높은 가격)을 실시간으로 고시한다(②). 이 때 사용자 측에 설치된 인터페이스인 IHD(In-Home Display)는 전력사로부터 전달된 새로운 전력 가격을 사용자에게 알려주고 사용자가 이에 반응하여 전력 요금을 절감할 수 있는 기회를 제공한다. 만약 이러한

실시간 전력 요금(Real-Time Pricing)에도 소비자들이 많이 반응하지 않아 전력사의 수요 관리에 문제가 생길 수 있는 경우에는 전력사는 미리 계약해둔 고객의 부하(Load)를 전력사가 직접 제어하는 부하제어(Load Control)명령을 통신을 통해 내려주어 Critical Peak의 발생을 방지한다(③). 이러한 수요 반응 메커니즘이 동작하려면 양방향 통신과 스마트 미터에 기반한 AMI가 필수이다. AMI는 기존의 AMR과 달리 보다 많은 일을 할 수 있다. 스마트 미터를 중심으로 양방향 통신과 오픈 프로토콜(Open Protocol)에 기반해 원격 전력 차단(Remote Connect/Disconnect)이 가능하고 선불형 계량(Prepayment)의 인프라가 될 수 있으며 실시간 요금제(RTP), 피크 요금제(Critical Peak Pricing), TOU(Time-of-Use) 요금제 등 다양한 요금제의 적용도 가능하다. 수요반응 메커니즘에는 없어서는 안될 내용이며 더 나아가서는 홈 오토메이션, 홈네트워킹과 연결되고, 결국 스마트그리드의 기본 인프라가 되는 것이 바로 AMI인 것이다.

IV. AMI 구조와 관련 표준

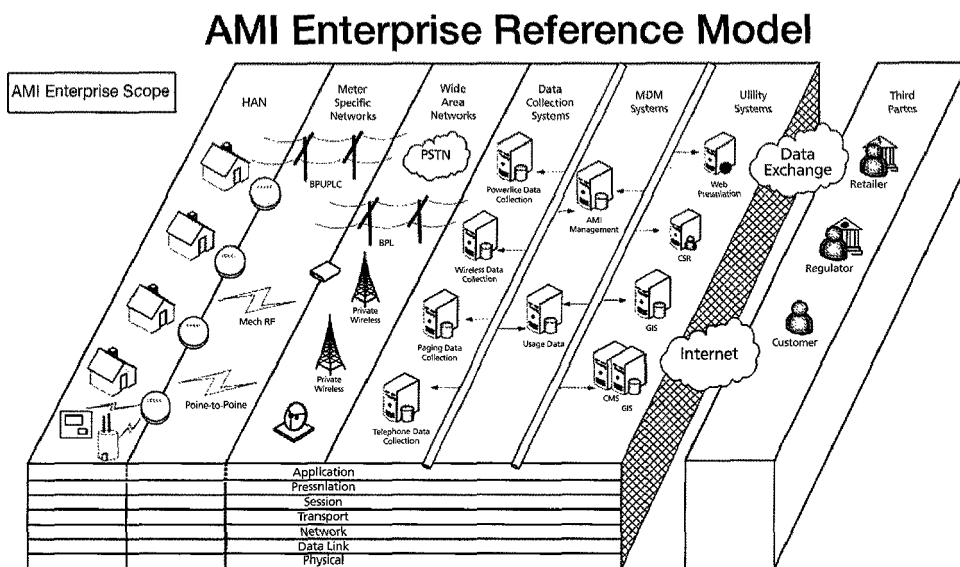
AMI 구조는 국가와 지역별로 처한 환경과, 해당 유틸리티(utility)의 요구사항에 따라 다르지만 AMI를 가장 선도적으로 설치하고 있는 미국의 경우 국가 전력 연구소인 EPRI(Electric Power Research Institute)와 전력사 들 및 전력 관련 제품 공급자들로 구성된 UCAIug (Utility Communication Architecture International Users Group)에서 제시한 AMI 모델(그림 4)이 기본적인 레퍼런스로 많이 사용되고 있다.

이 레퍼런스 모델에 따르면 AMI 는 통신을 기반으로 MDMS(Meter Data Management System)을 중심으로 한 전력사 내의 AMI관련 상위 시스템들과, 전력사와 수용가의 스마트 미터 간을 연결 시켜주는 통신 시스템, 대외와 대내 통신 사이의 게이트웨이 역할을 하면서 미터값을 읽거나 변동 가격 정보를 기록하는 등 AMI의 가장 중요한 역할을 담당하는 스마트 미터, 그리고 HAN(Home Area Network) 내의 가정용 관련 기기들의 네 부분으로 크게 나눌 수 있다.

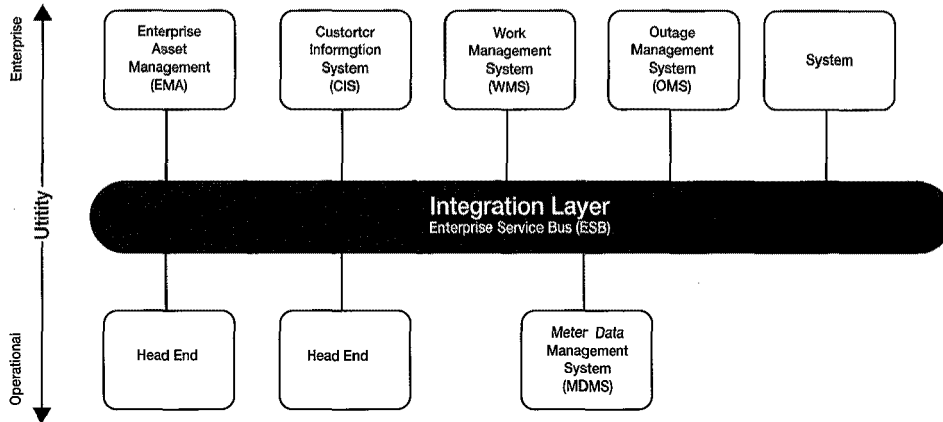
첫 번째 부분은 상위 시스템으로, 상위 시스템은 MDMS를 중심으로 CIS(Customer Information System), OMS (Outage Management System), WMS (Work Management System), EAM(Enterprise Asset Management System)등으로 구성되며 하위의 통신 단의 끝인 Head End를 포함하여 상호간에 ESB(Enterprise Service Bus)로 묶인다. 각 구성 요소들의 역할

을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 MDMS는 스마트 미터와 함께 AMI를 구성하는 필수 요소로 여러 종류의 미터링 시스템으로부터 취득된 미터 데이터들을 모아두고, 관장하며 다른 시스템들이 접근하는 점점으로 Head End들로부터 취득한 미터의 raw data를 유효 데이터로 가공하고 검증하는 통



(그림 4) AMI Enterprise Reference Model (from UtilityAMI)



(그림 5) AMI-ENT Interface Reference Model (from UtilityAMI)

상 VEE (Validating, Editing, Evaluating)라 불리는 기능을 갖는다. 이외에도 미터 등 End Device들의 상태와 이벤트를 기록하고 설정하며, 원격 펌웨어 업그레이드와 Load Control 명령을 내리는 주체이기도 하다. CIS는 고객정보를 기반으로 유틸리티 관점에서 가장 중요한 고객 관리와 과금의 주체가 되는 시스템으로 미터로부터 얻어진 계량값, 예를 들면 Demand 또는 TOU를 기반으로 고객의 과금 내용을 계산하며, 고객이 전력 서비스에 신규 가입하거나 탈퇴하는 경우 필요한 Remote Connect/Disconnect기능, 그리고 고객이 가입한 전력 서비스 플랜에 맞추어 요금제를 설계해 내 려 보내 주는 일에 관계한다.

OMS는 수용가 측의 정전 정보를 수집하고 저장하며, 정전에 대응하여 타 시스템에 이에 따른 조치에 대한 명령을 전달하는 역할을 한다. 이 외에 WMS는 미터의 설치나 서비스 등 작업자 들에 대한 명령과 이의 실행을 기록하며, EAM은 미터나 HAN내의 전력사 소유의 디바이스 등 전력사의 자산에 대하여 그 취득에서 운용과 소멸에 이르는 기록을 관리 한다.

이러한 MDMS를 비롯한 상위 시스템들을 연결시켜주기 위한 ESB의 표준으로 국제 표준인 IEC 61968 CIM(Common Interface Model)이 대표적이다.

두 번째 부분은 통신 시스템으로 대개 수용가에 설치된 스마트 미터와 전력사의 상위 시스템을 인터페이스하는 장치인 Head End사이를 이야기하며 범위에 따라 NAN(Neighborhood Area Network)과 WAN(Wide Area Network)로 나

눌 수 있다. NAN영역과 WAN영역 사이를 잇는 장치로 통상 Concentrator로 불리는 중계기를 둔다. 참고로 (그림 4)의 레퍼런스 모델에서는 NAN구간을 Meter Specific Networks라고 표현하고 있으며, Data collection system이라 표시된 것이 통칭 Head End라고 보면 된다. 중계기와 Head End사이

의 WAN영역에서는 CDMA, GSM/GPRS, 광통신망, 케이블망, WIMAX등 나라와 지역에 맞는 가능한 공중망이 사용되고, 중계기와 미터 사이의 NAN영역에서는 통신 매체로는 주로 무선 통신과 전력선 통신을 많이 사용하고 있으며 특정 통신 방식이 특정 지역이나 특정 전력사에서 선호되는 이유가 다르다. 예를 들면 미주 지역에서는 900MHz 대역의 무선 통신이 선호되는데 도달 거리 및 중계기 하나가 관장하는 가구수 등 경제성의 측면이 많이 고려되었으며, 유럽 지역에서 저속 전력선 통신이 선호되는 이유는 CENELEC-A밴드라고 하는 유틸리티들만 사용할 수 있도록 지정된 전력선 통신 주파수가 존재하기 때문이다. 여기서 미터와 Head End사이에 공중망을 통해 직접 미터 정보를 읽거나 필요한 명령을 내리지 않고 중계기를 두는 이유는 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 경제성이다. 전력사의 수익 구조를 보면 물론 각 사마다 차이가 있지만 대개는 고압 수용가라 불리는 전력을 많이 사용하는 C&I(Commercial & Industrial) 고객은 상대적으로 수용가의 숫자는 적지만 매출이 큰 반면, 가구당 전력을 적게 사용하는 저압 수용가 즉 일반 가정 (Residential)의 경우에는 가구수는 비교가 안되게 많은 반면 가구당 매출은 상대적으로 적다. 그런데 이러한 일반 가정에 AMR/AMI를 실시하고자, 예를 들면 통신사의 데이터 망을 이용하여 직접 데이터를 취득하고자 한다면 매출에 비해 굉장히 큰 통신 비용을 지불해야 하므로 경제적으로 타산이 맞지 않게 된다. 그러므로 설치에 따른 인프라 투자 비용이 들더라도 통신 비용의 측면에서 유리한, 대개는 수십에서 수백 가구의 정보를 한

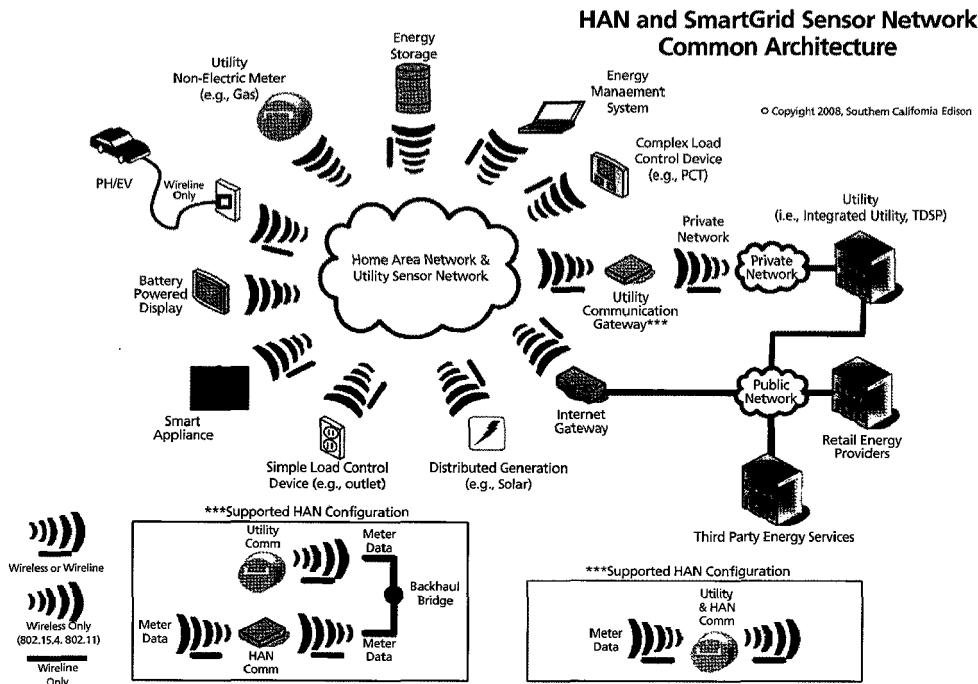
데 모아 한꺼번에 상위 시스템으로 보내거나 받을 수 있는 중계기를 설치하는 것이 전력사의 입장에서 경제적이라고 해석된다. 두 번째로는 시스템의 안정성 측면이 고려된다. 전력사의 입장에서 미터 정보는 과금에 있어 가장 중요한 기반 정보이며 이를 다른 통신 시스템을 통해 받기보다 자신의 시스템 안에서 이 정보들이 수수되기를 원한다. 또한 수요반응을 위한 변동 가격 정보나 Load Control 명령 등은 전력의 안정적 수급에 굉장히 중요한 정보들로서 필요한 때에 꼭 전달되어야 하는데 이러한 중요 정보의 전달을 타 통신 시스템에 맡김으로 인해 생기는 안정성의 저하에 대해 우려가 있다. 그러므로 투자의 여력이 있는 대형 전력사는 대개 자신들의 비용을 들여서라도 자신들만의 통신 시스템을 구축하기를 선호한다.

이 부분의 통신 표준에 있어서는 상위 프로토콜은 미국의 경우에는 ANSI C12의 표준이 있지만 NAN구간에서는 아직까지는 많이 사용되지 않고 현재까지는 대부분 표준화되어 있지 않은 통신 솔루션 제공 업체의 고유(proprietary)의 프로토콜들이 사용되고 있고, 유럽에서는 IEC62056 DLMS/COSEM (Device Language Message Specification/

Companion Specification for Energy Metering)이 표준으로 사용된다. 참고로 한국도 이 표준을 사용하고 있다. 또한 이 구간에서 매체의 표준화를 이루려는 움직임도 있는데 미국 IEEE에서는 802.15.4g Smart Utility Networks Task Group을 중심으로 활동이 전개되고 있다.

세 번째 부분은 스마트 미터이다. 양방향 통신을 기반으로 스마트 미터는 AMI의 중심적인 역할을 하는 기기이며 기존의 미터와 달리 단순히 계량 값만을 읽어 내는 기능에 더하여 다양한 기능들이 구현되는데 예를 들면 다양한 요금제의 지원, 선불형 계량, 양방향 계량, 도전 감지, 정전 감지 등이다.

네 번째 부분은 HAN내의 가정용 기기들이다. 단순히 계량 값만을 읽어가던 AMR과 달리 AMI의 실현에 있어서는 수요 반응 등 사용자와의 상호 작용이 꼭 필요하며 이를 위해 IHD(In-Home Display) 또는 PCT(Programmable Communicating Thermostat) 등이 사용자와의 인터페이스를 위한 기본 기기들이다. 또한 수도, 가스, 열량 등 다양한 에너지의 계량은 물론이고 전력 요금이 실시간으로 변함에 따라 사용자에게 실제로 전력 요금을 아껴줄 수 있는 HEMS(Home



(그림 6) HAN and Smart Grid Sensor Network Common Architecture (from SCE)

Energy Management System)나 지능형 가전기기(Smart Appliance) 들도 필요하며, 가정 내에 설치될 태양광, 소형 풍력 발전기, 연료 전지와 저장 장치 등 분산 전원의 연계와, 전력사로서 차세대 가장 중요한 아이템 중 하나인 전기 자동차의 연계도 HAN영역에서 포함되어야 할 항목들이다. 이 부분의 통신 표준으로는 SEP(Smart Energy Profile)이 두드러진다. ZigBee Alliance를 중심으로 제정된 SEP는 현재 1.0 버전을 거쳐 2.0이 논의되고 있으며, 현재까지 논의되고 있는 ZigBee라는 무선 통신과 HomePlug라는 전력선 통신에 더하여 IP (Internet Protocol)에 기반해 통신 매체에 대한 종속성(dependency) 없이 SEP만 따르면 되는 방향으로 확장이 진행되고 있다.

참고로 (그림 6)은 미국의 대형 전력사 중 하나인 SCE(Southern California Edison)에서 제안한 “HAN and Smart Grid Sensor Network Common Architecture”로 위에 기술한 대부분의 내용이 하나의 구조에 잘 표현되어 있으며 여기에 표현된 Utility Communication Gateway가 스마트 미터를 게이트 웨이 삼아 전력사 중심의 통신 시스템을 표현한 것이고, 눈여겨 볼 부분은 이와 별도로 Internet Gateway를 따로 두고 공중망(Public Network)을 통해 제3자(third party) 에너지 서비스 제공자가 정보를 취하고 서비스를 제공하는 모델을 그린 것으로 현재 Google의 Power Meter나 Microsoft의 Hohm, 그리고 Tendril등 중소 벤처 에너지 관련 기업들이 에너지 관련 서비스와 사업을 할 때 사용할 수 있는 구조까지 포함되어 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본고에서는 스마트그리드의 수요 부문을 구성하면서 스마트그리드의 기반이 되는 인프라인 AMI의 구조와 기술 동향에 대해서 알아보았다. AMI는 단순히 계량값만을 읽어가던 AMR과는 확연히 차원이 다른 서비스를 전력사와 사용자 양쪽 모두에게 제공할 것으로 기대되며, 특히 향후 전개될 태양광이나 풍력, 연료 전지 등 신재생 에너지의 스마트그리드 연계, 전기 자동차와의 연계, 그리고 마이크로 그리드의 연계에 있어서도 AMI가 그 중심 인프라가 될 것으로 기대

된다. 그러므로 AMI의 구현은 스마트그리드의 실현에 있어 가장 필수적인 요소이며 이에 대한 정확한 이해와 구현을 통해 우리나라가 목표하고 있는 세계 최초 국가 단위 스마트그리드 설치 국가가 되는 시발점이 되길 기대해 본다.

참 고 문 헌

- [1] Smart Metering Projects Map, <http://maps.google.com/maps>
- [2] AMI Enterprise Task Force, “AMI Enterprise Reference Model”, AMI-ENT Application Integration - A Framework-1. ppt - downloadable at <http://osgug.ucauiug.org/sgsystems/OpenAMIEnt/>
- [3] ZigBee Alliance, “ZigBee Smart Energy Public Application Profile 1.0”, 2008, downloadable at <http://www.zigbee.org>
- [4] National Institute of Standards and Technology, “NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0”, Sep. 2009, downloadable at http://www.nist.gov/public_affairs/releases/smartgrid_interoperability.pdf
- [5] 이정준, “AMI 기술 동향,” 조명·전기 설비 학회지, Vol. 23, No.6, 2009, pp. 27-31.

약 력



이 정 준

1988년 서울대학교 전기공학 공학사
 1990년 서울대학교 전기공학과 공학석사
 2005년 미국 PURDUE대학교 전기전자 공학과 공학박사
 1990년 ~ 현재 금성산전(이후 LG산전, 현 LS산전) 근무
 현재 LS산전 선형기술 연구소 Smart Metering연구팀장, 부연구위원
 관심분야: 스마트그리드, AMI, 스마트 미터링, EMS(Energy Management System), 유/무선 통신 네트워크, 산업용 유무선 통신, RFID/USN, 전기차 충전인프라용 통신 네트워크 등