

AMI 시스템의 효과적인 계량정보 수집방법

정준홍*, 서충기*

An Efficient Method for Meter Data Collection in AMI System

Joonhong Jung*, Chung-ki Seo*

요약

AMI(Advanced Metering Infrastructure)는 전력 공급자와 소비자 간 다양한 계량정보 교환을 위한 양방향 통신 인프라를 의미하며, 스마트 그리드의 핵심 기능인 수요반응(Demand Response)과 부하제어(Load Control)의 실현을 목표로 하고 있다. AMI 시스템의 대표적인 성능지표는 검침성공률이며, AMI 네트워크의 통신품질이나 계량정보 수집방법에 큰 영향을 받는다. 본 논문에서는 기존 AMI 시스템의 네트워크 구성과 트래픽 분석을 통해 관련 문제점을 도출하고 이를 개선할 수 있는 통신모델을 제안함으로써, AMI 시스템의 계량정보 수집효율을 향상시키고자 한다.

Key Words : AMI, AMI Networks, Data Concentration Unit, Metering Success Rate, Communication Traffic

ABSTRACT

AMI(Advanced Metering Infrastructure) provides bi-directional communication path between utilities and consumers to exchange various metering information. The main objective of the AMI system is to realize the key functionalities of smart grid such as demand response and load control. The most important performance index in the AMI system is metering success rate which is critically affected by network quality and metering method. In this paper, we analyze the network configurations and the communication traffics of the existing AMI system and derive related problems. Also, we present a new efficient communication model for the AMI system to enhance the efficiency of meter data collection.

1. 서론

스마트 그리드(Smart Grid)는 발전, 송변전, 배전, 판매 순으로 연결된 단방향의 전력망에 첨단 ICT 기술을 접목, 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환함으로써 에너지 효율을 최적화한다는 혁신적인 패러다임을 제시하고 있다¹⁻⁴⁾. 이는 계통 영역별로 존재하던 전통적인 전력설비의 지능화, 고도화를 촉진시킬 뿐만 아니라, 분산전원(DER, Distributed Energy Resource), 에너지관리시스템(EMS, Energy

Management System), 에너지저장시스템(ESS, Energy Storage System), 전기자동차(EV, Electric Vehicle) 및 충전인프라 등의 에너지 신산업 창출에도 크게 기여하고 있다. 우리나라는 2010년 제주도에 대규모 스마트 그리드 실증단지 구축하여 핵심 기술을 검증하고 가시적인 Business 모델을 도출한 바 있으며, 2016년부터 지방자치단체, KEPCO, 한전KDN, 민간 기업 합동으로 확산 사업을 추진하고 있는 등 스마트 그리드 활성화에 많은 노력을 기울이고 있다.

스마트 그리드는 통신 인프라에 해당하는 AMI

* First and Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-4027-851X) KEPCO KDN Electric Power IT Research Institute, nelcast.lst@kdn.com, 정희원

* (ORCID:0000-0003-0349-5005) KEPCO KDN Electric Power IT Research Institute, mdragon_20@kdn.com
논문번호 : 201806-D-180-RN, Received April 19, 2018; Revised July 18, 2018; Accepted August 8, 2018

(Advanced Metering Infrastructure, 지능형 전력계량 인프라)를 기반으로 한다. AMI는 좁게는 전력공급자와 소비자 간의 실시간 계량정보 교환을 위한 통신 인프라를 의미하며, 넓게는 수용가에 설치된 스마트 미터(Smart Meter)의 계량정보를 수집하는 것에서 시작하여 이를 실시간 수집, 저장, 분석 후 활용하는 Total Solution을 뜻한다. AMI가 지향하는 최종 목표는 스마트 그리드의 핵심 기체인 부하관리(LC, Load Control)와 수요반응(DR, Demand Response)의 실현, 즉 전력 공급자는 최적의 전력 생산과 운용 계획을 수립하고 소비자는 자발적으로 전력 소비량을 절감토록 함으로써, 범국가적인 전력 사용 효율을 향상시키는 것이다^{1),2)}.

AMI에 대한 연구개발 및 투자는 전 세계적으로 활발히 진행 중에 있으며, 국내에서도 정부 차원에서 “제 1차 지능형전력망 기본계획(2012)”, “전력분야 10대 프로젝트 추진계획(2016)” 등을 발표하여 관련 산업을 촉진하고 있다. KEPCO는 지난 2013년 중장기 전력계량인프라 구축계획을 발표한데 이어, 2017년 초에는 2020년까지 2,250만호 전체 저압고객에 대한 AMI 통신망 구축을 완료하겠다는 추가 계획을 발표하는 등 정부 정책에 적극 부응하고 있다.

AMI 시스템의 성능을 평가하는 대표적인 지표는 검침성공률이며, AMI 네트워크의 통신품질과 계량정보 수집방법에 결정적으로 영향을 받는다. 본 논문에서는 이러한 AMI 시스템의 성능 향상에 효과적인 계량정보 수집방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 2장에서는 AMI 시스템의 구조와 핵심 설비, 통신 네트워크 등을 분석하고 관련 문제점을 도출한다. 3장에서는 AMI 시스템의 네트워크 트래픽을 통신 구간별, 스마트 미터 종류별로 상세히 분석하고 효과적인 계량정보 수집이 가능한 AMI 통신모델을 제안하며, 이를 4장의 구성 사례에 적용하여 그 효용성을 입증한다.

II. AMI 시스템 분석

국내 AMI 시스템 구축은 KEPCO를 중심으로 활발하게 진행 중에 있다. KEPCO는 지난 2010년 50만호 규모의 AMI 구축 시범사업을 시작으로, 2013년 제 1차 AMI 구축사업, 2016년 제 2차 AMI 구축사업을 성공적으로 수행하였고 2018년 현재 300만호 저압고객을 대상으로 제3차 AMI 구축사업을 진행하고 있다. KEPCO AMI 시스템의 특징은 ISO/IEC12139-1 PLC(Powerline Communication, 전력선 통신)⁹⁾를 기반으로 다양한 유무선 통신을 융합한 검침 인프라를

구축했다는 점이다^{2),10)}. 이하 본 논문에서는 ISO/IEC12139-1 규격의 전력선 통신을 PLC라 지칭한다.

2.1 AMI 시스템 구성

KEPCO에서 운영 중인 AMI 시스템의 구성은 그림 1과 같다. AMI 시스템을 구성하는 설비는 수용가의 스마트 미터와 이에 장착되는 통신용 모듈, 변대주의 데이터집중장치(DCU, Data Concentration Unit)¹¹⁾, 원격지의 AMI 운영시스템(Operating System)과 계량정보 관리시스템(MDMS, Meter Data Management System) 등이 있다. 데이터집중장치는 AMI 시스템 구축의 근간이 되는 설비로서, 수용가에 설치된 스마트 미터로부터 각종 계량정보를 주기적으로 수집한 후 AMI 운영시스템으로 전송하는 기능, AMI 운영시스템으로부터 수신한 각종 명령을 스마트 미터와 모뎀에 전달하는 기능, 스마트 미터와 데이터집중장치 사이의 네트워크를 관리하고 최적의 통신 경로를 결정하는 기능 등을 수행한다. 아울러, 데이터집중장치가 변대주에 부설되는 점에 착안하여 배전용 변압기의 각 상별 부하전류, 전압, 전력량, 역률 등을 측정하고 AMI 운영시스템에 전송하는 변압기 부하감시 기능을 일체화하고 있다. 표 1은 AMI 시스템 구축을 위한 핵심 설비와 주요 기능을 설명한 것이다.

AMI 운영시스템에서 보았을 때, 데이터집중장치는 다수의 스마트 미터로부터 계량정보를 수집하여 전송하는 일종의 Gateway라 할 수 있다. AMI 운영시스템은 그림 1에서 보인바와 같이, 계량정보를 관리하는 FEP(Front End Processor), 현장에 설치된 각종 설비와 네트워크를 관리하는 NMS(Network Management System) 서버, 설비인증/키교환/데이터 암호화 등 보안 정책을 관리하는 보안 서버, 관리자 인터페이스

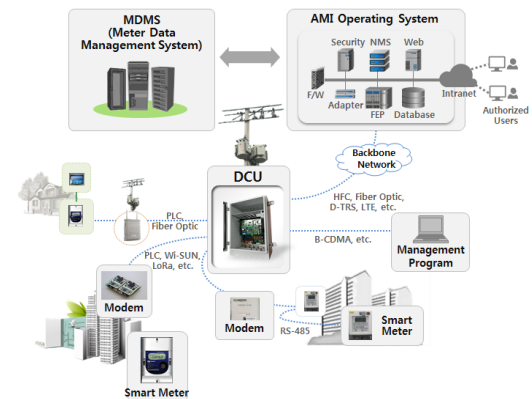


그림 1. KEPCO AMI 시스템 구성도
Fig. 1. An overview of KEPCO AMI system

표 1. AMI 시스템의 핵심 설비와 기능
Table 1. Core equipments and their functions of the AMI system

구분	설비명	주요기능
HAN	IHD (In Home Display)	계량정보의 소비자 피드백으로 수요반응 유도
	스마트 미터	계량정보의 계측 및 저장
NAN	(Master/Slave)모뎀	스마트 미터 ↔ DCU 유무선 통신 지원
	중계장치	모뎀 간, 모뎀 ↔ DCU 통신 연계
	데이터집중장치	스마트 미터 계량정보 수집, NAN 네트워크 경로설정, AMI 운영시스템 연계
WAN	AMI 운영시스템	데이터집중장치 계량정보 수집, AMI 설비 및 네트워크 관리, 보안정책 관리, 외부 연계
	계량정보 관리시스템	계량정보 분석을 통한 다양한 부가서비스 제공

를 제공하는 Web 서버, 데이터베이스(Database) 등으로 구성되어 있다.

계량정보 수집 관점에서 AMI 운영시스템, 데이터 집중장치, 모뎀 사이의 연계를 나타낸 것은 그림 2와 같다. 계량정보 수집에 연관된 데이터집중장치의 실행 프로세스는 크게 계량프로세스(Metering Process)와 SNMP(Simple Network Management Protocol) 에이전트(Agent)가 있다. 여기서, 계량프로세스가 수행하는 기능은 크게 세 가지인 바, 계량정보 수집이 가능한 스마트 미터를 식별하는 스캐닝(Scanning), Slave

모뎀과 스마트 미터의 계량 우선순위를 결정하는 스케줄링(Scheduling), 계량정보를 수집하는 미터링(Metering) 기능이다. SNMP 에이전트는 계량프로세스가 스캐닝 및 스케줄링 기능을 수행할 수 있도록 데이터집중장치와 모뎀 간의 연결정보, 설비의 상태정보, 등록정보 등 다양한 네트워크 정보를 수집하고 관리한다.

2.2 스마트 미터와 Slave 모뎀

스마트 미터는 계량정보의 계측과 통신 기능을 동시에 갖춘 전자식전력량계로 정의할 수 있다^{3,4)}. KEPCO의 저압 스마트 미터는 2000년대 중반 도입된 표준형 미터와 이를 보완한 G-Type 미터, 2010년 도입된 E-Type 미터와 이를 보완한 Ea-Type 미터가 있다. 최근에는 역방향 계량과 전력품질 계측기능이 강화된 Ea-Type과 G-Type 미터가 중점적으로 보급되고 있다.

스마트 미터에서 생성하는 계량정보는 유효전력량, 무효전력량, 피상전력량 등의 전력량 정보, 부하전류, 전압, 역률 등의 전력품질 정보, 계기번호, 계기정수, 정복전 이력 등의 스마트 미터 상태정보가 있다. 전력량 정보는 LP(Load Profile)라 부르는 시차 동기화된 데이터 형태로 저장하며, 전력량 정보와 상태정보의 생성주기는 최소 1분에서 최대 60분까지 선택이 가능하고 기본 값은 15분이다.

Slave 모뎀은 장착되는 스마트 미터에 따라 표준형, E-Type, Ea-Type, G-Type 모뎀, 지원하는 통신 방식에 따라 RS-485와 적외선(IrDA, Infrared Data Association) 모뎀, 설치 위치에 따라 스마트 미터 내

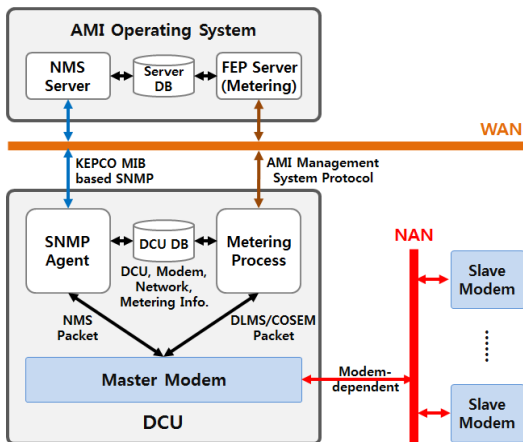


그림 2. 계량정보 수집을 위한 AMI 운영시스템, 데이터집중장치, 모뎀 사이의 연계 구조
Fig. 2. Connection architecture between AMI operating system, DCU and modems for meter data collection

표 2. Slave 모뎀의 종류
Table 2. Types of slave modem

구분	외형	연결방식
표준형		내장 (슬롯형) IrDA (1:1)
E-Type		외장 (단독형) RS-485 (1:N)
Ea-Type		내장 (모듈형) RS-485 (1:N)
G-Type		내장 (슬롯형) RS-485 (1:N)

부에 슬롯이나 모듈 형태로 장착하는 내장형과 스마트 미터 외부에 단독 설치하는 외장형으로 구분한다. E-Type, Ea-Type, G-Type 모델 한 대에는 RS-485를 지원하는 스마트 미터를 최대 30대까지 데이지 체인(Daisy Chain) 방식으로 연결할 수 있고 통신속도는 9.6Kbps에서 최대 38.4Kbps를 지원한다. 표준형 모델은 적외선 통신을 이용하기 때문에 해당 미터와 1:1 연결하며 통신속도는 4.8Kbps에서 최대 19.2Kbps까지 지원한다. 표 2는 Slave 모델의 종류와 특징을 요약한 것이다.

2.3 AMI 통신 네트워크

AMI 통신 네트워크는 데이터집중장치를 기준으로 하위를 NAN(Neighborhood Area Network), 상위를 WAN(Wide Area Network)으로 구분할 수 있다^[2,6-8,13]. 아울러, 국내 AMI 시스템은 PLC를 이용하여 인접 데이터집중장치와 WAN을 공유하거나 Binary-CDMA^[10]로 데이터집중장치에 직접 접속하는 기능도 지원한다. 우리나라를 포함한 세계 각국은 광대역 PLC(HPGP, ISO/IEC12139-1), 협대역 PLC(PRIME, G3)^[14], Low Power Wireless WAN (LoRa, Sigfox), Low Rate Wireless PAN(Wi-SUN, Zigbee), Cellular (GSM, GPRS, Wi-MAX, 2G/3G/ LTE) 등 다양한 유무선 통신을 AMI에 적용하고 있다^[3-6,8,10].

전술한 바와 같이, AMI 시스템의 NAN은 데이터집중장치의 하위, 즉 데이터집중장치부터 Slave 모델을 거쳐 스마트 미터에 이르는 네트워크 구간을 말하며, 국내에서는 주로 PLC를 사용하고 있다. 데이터집중장치 내에는 PLC Master 모델, 스마트 미터에는 PLC Slave 모델이 설치되고 PLC Slave 모델은 다시 RS-485나 적외선 방식으로 스마트 미터와 통신한다. 따라서 데이터집중장치와 스마트 미터는 Slave 모델을 매개로 하여 PLC와 직렬통신이 결합된 네트워크를 갖는다.

데이터집중장치와 스마트 미터 간 정보교환을 위한 프로토콜은 에너지 계량을 위한 국제 표준인 IEC62056에 따라 DLMS/COSEM(Data Language Message Specification/Companion Specification for Energy Metering)^[12]과 HDLC(High-level Data Link Control)^[15]를 사용하고 있다. 이에 따라, 데이터집중장치와 스마트 미터 사이에는 Client↔Server 구조의 1:1 연결이 형성된다^[13]. 그림 3은 AMI 네트워크의 NAN 구성과 HDLC 프로토콜에 따른 일련의 계량정보 전송절차를 나타낸 것이다.

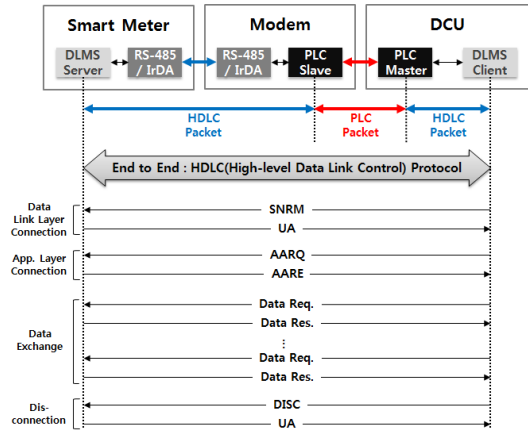


그림 3. AMI 네트워크의 NAN 구성과 계량정보 전송절차
Fig. 3. NAN configuration and transmission procedure of metering data in an AMI network

2.4 문제점 도출

AMI 시스템의 성능을 나타내는 핵심 지표는 검침 성공률이라 할 수 있으며, KEPCO는 이를 LP 일간, LP 적시, 적시 일간, 정기 검침성공률의 4종류로 세분할 만큼 철저히 관리하고 있다. LP 일간 검침성공률은 전일 24시간 동안 취득한 LP 데이터를 기준으로, 표준형과 G-Type 미터는 96개(15분 주기), E-Type과 Ea-Type 미터는 24개(1시간 주기)의 수집 여부를 백분율로 나타낸 것이다. LP 적시 검침성공률은 계량정보 수집의 실시간성을 판단하기 위한 지표로, 표준형과 G-Type 스마트 미터는 30분 전의 LP, E-Type과 Ea-Type 스마트 미터는 2시간 전의 LP 데이터 수집 여부를 백분율로 나타낸다. 적시 일간 검침성공률은 LP 적시 검침성공률에 대한 직전일 24시간 동안의 평균이고 정기 검침성공률은 각 계기별로 설정된 정기검침일 8시 전까지 해당 정기검침 데이터가 취득되었는지를 백분율로 나타낸 것이다.

검침성공률에 영향을 미치는 요소는 현장에 설치되어 있는 AMI 설비의 건전성, 계량프로세스나 SNMS 에이전트의 동작 알고리즘, 외부 환경적 요인 등으로 매우 다양하나 가장 직접적인 것은 AMI 네트워크의 통신품질과 계량정보 수집방식이다. 그런데 그림 3에 나타낸 바와 같이, 기존 AMI 네트워크 구성은 Kbps 급인 저속 직렬통신과 Mbps급인 고속 PLC를 연결한 후 논리적으로 직결된 HDLC 프로토콜을 매핑한 구조이기 때문에, 트래픽 병목현상이 발생할 수밖에 없고 이는 결과적으로 AMI 네트워크의 통신품질을 크게 저하시킨다.

또한, 기존 AMI 네트워크 구성에서 데이터집중장

치가 N개의 스마트 미터에서 계량정보를 모두 수집하려면 그림 3의 HDLC 프로토콜에 따른 일련의 절차를 N번 반복해야 하므로, 계량정보의 적시성에 심각한 문제를 끼칠 수 있다. 아울러, 계량프로세스의 DLMS/COSEM 데이터는 Slave 모뎀을 기준으로 PLC 패킷과 HDLC 패킷으로 분리되므로, 특정 패킷의 전송 실패는 곧 전체 구간의 통신 실패로 이어지게 된다. 특히, PLC 네트워크는 부하 가변이나 잡음, 전력선 분기에 따라 통신품질이 크게 달라지므로^[8] 해당 구간에서 오류가 발생할 가능성이 매우 크다. 이 때문에, 각 구간별로 패킷 재전송 등의 통신 오류를 관리하는 기능이 필요하나, 불필요한 트래픽을 양산시킬 수 있다는 또 다른 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점들은 모두 원활한 계량정보 수집을 방해하는 바, AMI 시스템의 검침성공률을 떨어뜨리는 원인이 된다.

III. AMI 시스템의 효과적인 계량정보 수집방법

2.4절에서 도출한 문제점, 즉 AMI 네트워크의 병목현상과 비효율적인 계량절차를 개선할 수 있는 근본적인 해결책은 스마트 미터의 저속 직렬통신과 HDLC 프로토콜을 다른 것으로 대체하는 것이다. 그러나 천만대 이상 보급된 스마트 미터의 통신방식과 프로토콜을 바꾸는 것은 현실적으로 어려우므로, 본 논문에서는 데이터집중장치와 Slave 모뎀을 중심으로 계량정보 수집방식을 효과적으로 개선할 수 있는 방법을 제안한다.

3.1 AMI 네트워크 트래픽 분석

ISO/IEC12139-1 규격, KEPCO 데이터집중장치 규격, HDLC 패킷 구조를 고려했을 때^[9,11,12,15], 계량정보 전송을 위한 데이터의 순차적인 캡슐화 과정은 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

KEPCO AMI 시스템은 데이터집중장치 1Byte, 스마트 미터 2Bytes의 HDLC 주소체계를 사용하므로 HDLC 패킷의 오버헤드는 LLC(Logical Link Control) 헤더를 포함할 경우 총 15Bytes가 된다. ISO/IEC12139-1 규격 PLC에서 MAC 계층 오버헤드는 24Bytes이며, 물리계층 오버헤드는 Frame Body Block의 패딩과 블록 패딩의 크기에 따라 달라지는데 최소 49Bytes 이상이다. 아울러, 데이터집중장치와 Slave 모뎀 간에는 24Bytes의 ACK 신호^[11]를 매 패킷 수신시마다 상대방에게 전송하는 확인 과정이 존재한다.

그림 4의 캡슐화 과정을 기준으로, 데이터집중장치

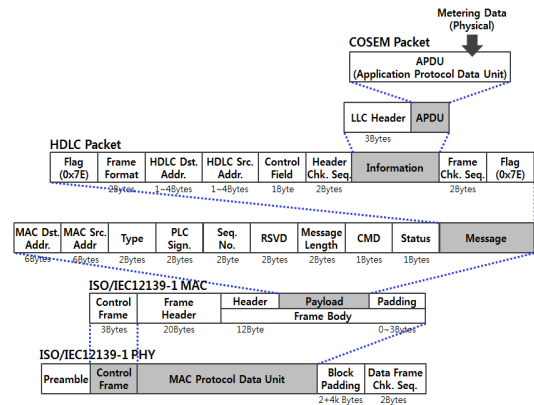


그림 4. 계량정보 전송을 위한 캡슐화 과정
Fig. 4. Encapsulation process for transmission of metering data

가 G-Type 스마트 미터의 계량정보를 수집할 때 발생하는 네트워크 트래픽을 통신 구간별로 산출한 결과는 표 3과 같다. 여기서, 계량항목은 하루 중 데이터집중장치가 G-Type 스마트 미터의 계량정보를 가장 많이 수집하는 시점을 기준으로 하였다. PLC 물리계층의 Preamble, 암호화를 위한 초기 벡터는 제외하였고 RS-485 통신모드는 8N1(Start/Stop 각 1Bit, 데이터 8Bits, Parity 없음)으로 설정하였다. 참고로, G-Type 스마트 미터 제조사에 따라 HDLC Information 필드의 최대 크기 설정 값이나 데이터 분할전송 구현방식이 다르기 때문에, 표 3의 결과와 다소 차이가 발생할 수 있다.

표 3. G-Type 스마트 미터의 계량정보 트래픽(단위:Byte)
Table 3. Traffic of metering information in G-Type smart meter(unit:byte)

계량항목	통신구간	Serial		PLC	
		HDLC	RS-485	Frame Body	PLC PHY
Data Link 연결		43	47	192	300
Application 연결		133	137	280	388
Manufacturer ID		56	60	200	308
Customer ID		56	60	200	308
COSEM 계기 식별자		65	69	212	320
일자/시간		61	65	208	316
유효전력량 계기정수		52	56	196	304
무효전력량 계기정수		52	56	196	304
피상전력량 계기정수		52	56	196	304
정기검침일		64	68	208	316
LP 기록간격		49	53	196	304
평균전압전류 수집주기		49	53	196	304
검침횟수		49	53	196	304
전월 순방향 유효전력량		198	206	488	704
전월 역방향 유효전력량		198	206	488	704

LP Entry 개수	52	56	196	304
LP Entry in Usage	52	56	196	304
LP(Overlap Entry No.)	50	54	196	304
순방향 LP	139	143	284	392
역방향 LP	139	143	284	392
이력기록(정전)	261	269	552	768
이력기록(복전)	261	269	552	768
전월 순방향 최대수요	335	347	772	1096
현재 순방향 유효전력량	198	206	488	704
현재 순방향 최대수요	335	347	772	1096
순시전압전류	141	145	288	396
평균전압전류 이력	139	143	284	392
연결종료	20	24	168	276
합 계	3,299	3,447	8,684	12,680

동일한 방법으로 Ea-Type, E-Type(Version 1.1) 스마트 미터의 계량정보 트래픽을 산출한 결과는 표 4와 같다. 스마트 미터의 초기 형태인 표준형은 설치수량이 적고 더 이상 생산하거나 신설되지 않기 때문에 산출 대상에서 제외하였다.

ISO/IEC12139-1 규격 PLC는 전력선의 통신 환경에 따라 Normal, EDV(Extended Diversity), DV(Diversity) 모드로 동작하며⁹⁾, 해당 모드의 통신속도는 각각 24Mbps, 1.6Mbps, 0.48Mbps이다. 스마트 미터와 Slave 모뎀의 통신속도는 설정을 변경하지 않는 한 9.6Kbps 이므로, 스마트 미터 종류별로 계량정보

표 4. Ea-Type, E-Type(V1.1) 스마트 미터의 계량정보 트래픽(단위:Byte)
Table 4. Traffic of metering information in Ea-Type, E-Type(V1.1) smart meter(unit:byte)

종류	통신 구간	Serial		PLC	
		HDLCL	RS-485	Frame Body	PLC PHY
Ea-Type		3,228	3,247	8,612	12,608
E-Type(V1.1)		1,239	1,315	4,008	6,060

표 5. 스마트 미터 종류별 계량정보 전송시간(단위:초)
Table 5. Metering data transmission time by smart meter type(unit:second)

종류	통신구간	Serial (9.6Kbps)	PLC		
			Normal	EDV	DV
G-Type	1대	2.873	0.004	0.063	0.211
	50대	143.625	0.211	3.170	10.567
	200대	574.500	0.845	12.680	42.267
Ea-Type	1대	2.705	0.004	0.063	0.210
	50대	135.271	0.210	3.152	10.507
	200대	541.083	0.841	12.608	42.027
E-Type (V1.1)	1대	1.096	0.002	0.030	0.101
	50대	54.792	0.101	1.515	5.050
	200대	219.167	0.404	6.060	20.200

전송에 소요되는 시간을 계산한 결과는 표 5와 같다. 데이터집중장치에서 k번째 스마트 미터의 계량정보 수집에 소요되는 총 시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{total}^k = T_{DCU, com}^k + T_{PLC, \neq t}^k + T_{Modem, com}^k + T_{Serial, net}^k + T_{Meter, com}^k \quad (1)$$

식(1)에서, $T_{DCU, com}^k$, $T_{Modem, com}^k$, $T_{Meter, com}^k$ 은 순서대로 데이터집중장치, Slave 모뎀, 스마트 미터에서 송수신 패킷을 처리하는데 소요되는 계산 지연(Computation Delay)을 나타낸다. $T_{PLC, net}^k$ 은 데이터 집중장치와 Slave 모뎀 간 PLC 패킷을 송수신하는데 소요되는 네트워크 지연(Network Delay), $T_{Serial, net}^k$ 은 Slave 모뎀과 스마트 미터 간 HDLC 패킷을 송수신하는데 소요되는 네트워크 지연이다. 여기서, 네트워크 지연은 물리적인 신호의 이동 속도인 전파 지연(Propagation Delay), 네트워크 대역폭과 전송 데이터의 크기에 따라 달라지는 전송 지연(Transmission Delay), 전송할 데이터가 공유 버스를 점유할 때까지 대기하는 큐 지연(Queuing Delay)으로 세분할 수 있다¹⁰⁾. 본 논문에서 산출한 표 5는 네트워크 지연 요소 중 전송 지연에 해당하며, AMI 시스템 구성의 특성상 계산 지연, 전파 지연, 큐 지연에 비해 매우 크기 때문에, 식(1)에 대한 근삿값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{total}^k \approx T_{PLC, trans}^k + T_{Serial, trans}^k \quad (2)$$

AMI 네트워크의 통신 트래픽은 계량정보와 같이 주기적으로 생성되는 정보와 특정 상황에서 비주기적으로 생성되는 정보에 의해 발생한다. 비주기적인 정보의 대표적인 사례는 스마트 미터의 시각 동기화, 모뎀의 F/W(Firmware)나 스마트 미터의 TOU(Time of Use) 업데이트, 수집 실패한 계량정보를 재수집하는 누락검침 등을 들 수 있다. 또한, PLC 네트워크 관리를 위한 NMS 패킷, 오류처리 과정에서 발생하는 재전송 패킷도 비주기적인 정보에 해당한다. 이들 비주기적 정보의 특징은 발생 시점의 예측이 어렵기 때문에 정량화가 힘들다는 점이며, 경험적으로 통신품질이 나빠질수록 비주기적 트래픽은 폭증하게 된다. 이는 결과적으로 전송 지연을 크게 증가시켜 계량정보의 수집효율이나 적시성을 저하시킨다.

예를 들어, 주기적인 트래픽이 가장 많은 G-Type

스마트 미터 200대를 동시에 검침하고 PLC는 DV 모드에서 동작한다고 했을 때, 계량정보 수집에 소요되는 전송 지연은 표 5로부터 616.8초로 계산된다. 데이터집중장치 규격에 따르면, 최대 200대 스마트 미터의 계량정보를 15분 내에 모두 취득해야 하므로^[11], 비주기적인 트래픽에 의한 전송 지연이 283.2초 이상이면 계량정보의 적시성을 보장할 수 없게 된다. 이와 반대로, 계량정보의 15분 적시성을 보장하는 데이터집중장치와 Slave 모뎀간의 통신속도를 산출할 수도 있다. 상기와 동일한 조건에서 직렬통신 구간의 전송 지연은 574.5초이다. 따라서 데이터집중장치와 Slave 모뎀은 325.5초 내에 G-Type 스마트 미터의 PLC 트래픽인 19.35Mbits의 계량정보를 모두 전송해야 하며, 최소 62.33Kbps 이상 통신속도가 보장되어야 적시성을 만족하게 된다. 물론 이와 같은 결과는 비주기적 트래픽이 전혀 발생하지 않는다는 가정 하에 산출한 것이기 때문에, 실제로는 이보다 훨씬 빠른 통신속도가 요구될 것이다.

3.2 AMI 네트워크의 통신모델 개선

표 5에서 살펴본 바와 같이, 스마트 미터의 계량정보 수집시간은 Slave 모뎀에서 스마트 미터에 이르는 직렬통신 구간의 전송 지연이 대부분을 차지한다. 이는 상대적으로 고속인 데이터집중장치부터 Slave 모뎀까지의 통신 구간, 즉 PLC 구간의 대역폭을 낭비하게 되는 병목 현상을 유발한다. 병목 현상을 완화하는 방법 중 하나는 데이터집중장치에서 복수의 검침프로세스를 실행하는 것이다. 각각의 검침프로세스마다 Slave 모뎀을 할당하고 해당 Slave 모뎀에 연결된 스마트 미터의 계량정보를 수집한다. 이 때, 각 검침프로세스에서 송수신하는 패킷은 서로 다른 PLC 채널^[9]을 갖도록 설정한다. 즉, 고속의 PLC 대역폭을 저속의 직렬통신 대역폭에 어울리도록 세분한 후 각각의 대역폭을 통해 동시 다발적으로 계량정보를 수집함으로써, Slave 모뎀이 다수 존재하는 AMI 네트워크에서 계량정보 수집시간을 단축시킬 수 있다.

아울러, 본 논문에서는 AMI 네트워크의 통신모델을 개선함으로써, 계량정보를 효과적으로 수집할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 방법의 핵심은 저속 직렬통신 구간과 고속 PLC 구간의 논리적 연결을 분할하는 것으로, Slave 모뎀에서 HDLC 패킷 처리를 직접 수행하는 것을 전제로 한다. 기존 Slave 모뎀이 HDLC 패킷을 단순히 Bypass 했다면, 이와 같은 모뎀은 독자적으로 계량정보를 처리할 수 있는 기능을 갖추었다는 점에 그 특징이 있으며, 이하 기존 Slave

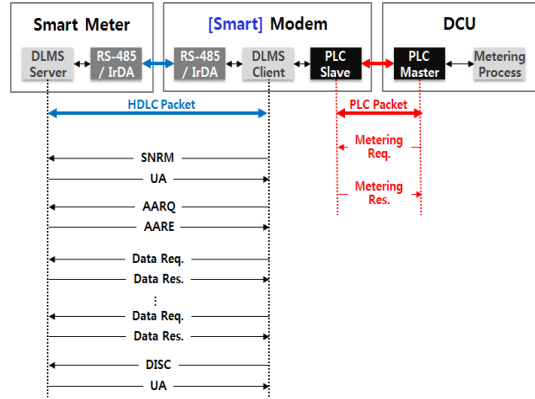


그림 5. AMI 네트워크의 새로운 통신모델
Fig. 5. New communication model for an AMI network

모뎀과 구분하기 위해 스마트 모뎀이라 칭한다. 그림 5는 AMI 네트워크의 새로운 통신모델을 나타낸 것이다. 데이터집중장치는 스마트 모뎀에 접속하여 계량 대상인 스마트 미터와 수집할 계량정보의 프로파일(OBIS 항목^[12] 등)을 일괄 전송한다. 이후, 스마트 모뎀은 HDLC 프로토콜의 처리 절차에 따라 해당 계량정보를 수집한 후 그 결과를 데이터집중장치에 전송한다. 제안한 통신모델은 기존 데이터집중장치가 전달했던 HDLC 프로토콜의 처리를 각각의 모뎀에 분산함으로써, 계량정보 수집시간을 단축할 수 있는 효과가 있다. 또한, 통신품질이 매우 가변적인 PLC 네트워크에서, 계량정보 수집을 위해 수집에서 수백 번의 HDLC 접속을 반복해야 했던 기존 방식에 비해 통신 오류가 발생할 가능성을 획기적으로 줄일 수 있고 그 결과 비주기적인 전송 지연을 크게 단축시킬 수 있다.

IV. AMI 네트워크 구성사례

그림 6과 같이 구성된 AMI 네트워크를 살펴보자. 데이터집중장치는 Slave M1~M3로 표기한 3대의 모뎀과 연결되어 있고 이들 모뎀에는 각각 G-Type 스마트 미터 1대, E-Type 스마트 미터 3대, Ea-Type 스마트 미터 3대가 연결되어 있다. 여기서, PLC는 가장 빠른 Normal 모드로 동작하고 비주기적인 계량정보는 발생하지 않는다고 가정한다.

기존 계량정보 수집방식은 데이터집중장치와 스마트 미터가 HDLC 통신 절차에 따른 1:1 연결을 순차적으로 반복해야 한다. 따라서 그림 6의 AMI 네트워크에서 계량정보를 수집하는데 소요되는 총 시간은 각각의 스마트 미터에 대한 계량정보 수집시간을 모두 합한 것이 되며, 식(2)와 표 5로부터 다음과 같이

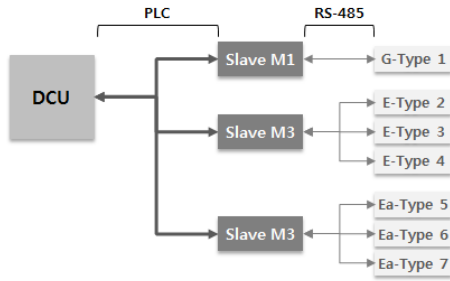


그림 6. AMI 네트워크 구성 사례
Fig. 6. Example of an AMI network configuration

계산할 수 있다.

$$T_{total} \approx \sum_{k=1}^7 \{ T_{PLC,trans}^k + T_{Serial,trans}^k \} \quad (3)$$

$$\approx 0.023 + 14.276 = 14.299[\text{sec}]$$

이제, 동일한 AMI 네트워크 구성에 대해 3장에서 제안한 통신모델을 이용할 경우, 계량정보 수집에 소요되는 총 시간을 계산한다. 제안한 모델을 적용한 계량정보 수집과정을 도식화한 결과는 그림 7과 같다.

그림 7로부터, 식(4)와 같은 계량정보 수집시간을 도출할 수 있다.

$$T_{total, proposed} \approx T_{PLC,trans}^{Req} + T_{PLC,trans}^{Res} + \sum_{k=5}^7 \{ T_{Serial,trans}^k \} \quad (4)$$

여기서, $T_{PLC,trans}^{Req}$ 는 데이터집중장치가 각 Slave 모델에 계량정보 수집을 요청하는 PLC 패킷을 전송하는데 소요되는 지연이고 $T_{PLC,trans}^{Res}$ 는 Slave 모델 3의 PLC 응답패킷이다. 이는 식(3)의 모든 스마트 미

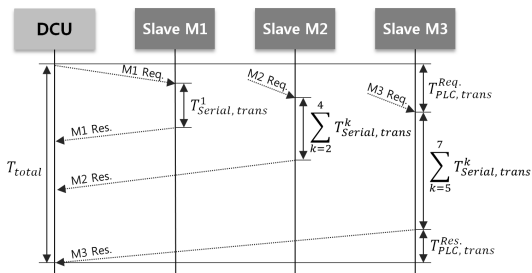


그림 7. 제안한 AMI 통신모델을 이용한 계량정보 수집과정
Fig. 7. Metering procedure using the proposed AMI communication model

터에 대한 PLC 구간의 전송 지연인 $\sum_{k=1}^7 \{ T_{PLC,trans}^k \}$ 보다 작다고 할 수 있으므로, 제안한 방법을 이용했을 때 계량정보 수집에 소요되는 총 시간은 다음과 같다.

$$T_{total, proposed} < 0.023 + \sum_{k=5}^7 \{ T_{Serial,trans}^k \} \quad (5)$$

$$\approx 0.023 + 8.116 = 8.139[\text{sec}]$$

식(5)로부터, 제안한 AMI 네트워크의 통신모델이 기존보다 계량정보 수집시간을 단축할 수 있음을 입증할 수 있다. 이와 같은 계량정보 수집시간의 단축은 AMI 시스템의 검침성공률 향상에 직결될 뿐 아니라, 전력정보의 적시성을 높이는 데에도 효과가 있다. 또한, 통신품질에 대한 불확실성이 매우 높은 PLC 네트워크에서 데이터집중장치와 모뎀 간의 통신 연결횟수를 획기적으로 감소시켜 통신 오류의 발생 가능성을 줄일 수 있는 바, 계량정보 수집효율을 향상시키는데 기여할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 AMI 시스템을 구성하는 데이터집중장치, 스마트 미터, 모뎀 등 핵심 설비의 기능을 살펴보고 데이터집중장치와 스마트 미터 사이의 네트워크 구성을 분석하였다. 이를 통해 기존 계량정보 수집 방식의 문제점, 즉 고속의 PLC와 저속의 RS-485 사이 통신 병목현상, 비효율적인 패킷 송수신 방식, 이에 따른 검침성공률 저하 등을 도출하였다. 상기 문제점의 해결을 위해 본 논문에서는 AMI 시스템의 네트워크 트래픽을 통신 구간별, 스마트 미터 종류별로 상세히 분석하고 계량정보 수집에 소요되는 총 시간을 정량화 하였다. 이를 바탕으로, 계량정보를 보다 효과적으로 수집할 수 있는 AMI 네트워크의 통신모델을 제안하였으며, 기존 대비 계량정보 수집에 소요되는 시간을 단축할 수 있음을 보였다. 향후, 본 논문의 연구 결과를 실제 AMI 시스템 구축사업에 적용할 경우, 계량정보 수집효율을 크게 높임으로써 AMI 시스템의 성능 향상이나 안정적인 운영에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

References

[1] Korean Standards Association, *Insight into Technology and Standards*, 2013.

- [2] J. Jung and J. Lee, "An efficient method for meter data gathering in data concentration unit," in *Proc. KIEE Summer Conf. 2016*, pp. 69-70, Kangwon-do, Korea, Jul. 2016.
- [3] R. R. Mohassel, A. Fung, F. Mohammadi, and K. Raahemifar, "A survey on advanced metering infrastructure," *Int. J. Elect. Power and Energy Sys.*, vol. 63, pp. 473-484, Dec. 2014.
- [4] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif, and D. Tipper, "A survey on smart grid communication infrastructures: motivations, requirements and challengers," *IEEE Commun. Survey & Tuts.*, vol. 15, no. 1, pp. 5-20, First Quarter 2013.
- [5] V. C. Güngör, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergüt, C. Buccella, C. Cecati, and G. P. Hancke, "Smart grid technologies: communication technologies and standards," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529-539, Nov. 2011.
- [6] Y. Kim, N. Myoung, M. Kim, and S. Lee, "Study on AMI system based on IEEE 802.11s mesh technology," *J. IEK*, vol. 50, no. 9, pp. 2344-2350, Sep. 2013.
- [7] I. Yang, N. Jung, and S. Lee, "A study on the design and implementation of simulator adapted in AMI network environment," *The KIPS Trans. Part A*, vol. 18-A, no. 6, pp. 281-292, Dec. 2011.
- [8] N. Myoung, Y. Kim, M. Kim, and B. Park, "Analysis of AMI NAN communication technology," *Inf. & Commun. Mag.*, vol. 30, no. 10, pp. 93-100, Oct. 2013.
- [9] ISO/IEC12139-1, *Information technology -Telecommunications and information exchange between systems-Powerline communication (PLC)-High speed PLC medium access control(MAC) and physical layer (PHY)-Part 1:General requirements*, First Edition, Jul. 2009.
- [10] I. Joe and J. Jeong, "The design and implementation of AMI system using Binary CDMA," *J. KICS*, vol. 37C, no. 8, pp. 663-669, Aug. 2012.
- [11] KEPCO, *Data Concentration Unit for Low Voltage Advanced Metering Infrastructure*, Sep. 2017.
- [12] DLMS User Association, *DLMS/ COSEM Architecture and Protocols, DLMS UA 1000-2*, 7th Ed., Nov. 2009.
- [13] J. Jung, S. Jeong, and D. Kang, "A study on the network architecture for AMI system," in *Proc. KIEE Summer Conf. 2013*, Jeju Island, pp. 185-186, Korea, Jul. 2013.
- [14] M. Hoch, "Comparison of PLC G3 and PRIME," *2011 IEEE Int. Symp. PLCs and its Apps.*, pp. 165-169, Udine, Italy, Apr. 2011.
- [15] IEC 62056-46, *Electricity metering-Data exchange for meter reading, tariff and load control-Part 46:Data link layer using HDLC protocol*, 1.1 Ed., Feb. 2007.
- [16] F. L. Lian, J. Moyne, and D. Tilbury, "Network design consideration for distributed control systems," *IEEE Trans. Cont. Sys. Tech.*, vol. 10, no. 2, pp. 297-307, Mar. 2002.

정 준 흥 (Joonhong Jung)



1996년 2월 : 성균관대학교 전
기공학과 학사
1998년 2월 : 성균관대학교 전
기공학과 석사
2005년 2월 : 성균관대학교 전
기전자및컴퓨터공학과 박사
2007년 9월~2008년 8월 : 성균

관대학교 정보통신공학부 겸임교수
2005년 7월~현재 : 한전KDN(주) 전력ICT개발원 선
임연구원/차장
<관심분야> AMI, 네트워크 기반 제어시스템, 임베
디드시스템

서 충 기 (Chung-ki Seo)



1993년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 학사

1998년 8월 : 인하대학교 전자
공학과 석사

2015년 8월 : 인하대학교 정보
통신공학과 박사

2000년 2월~2003년 8월 : 해태
전자 중앙연구소 책임연구원

2003년 3월~2005년 2월 : 인하공업전문대학 정보통
신공학과 겸임교수

2011년 7월~현재 : 한전KDN(주) 전력ICT개발원 주
임연구원/과장

<관심분야> AMI, AI 알고리즘, 빅데이터 분석,
VLSI&SoC