Article
KEPCO Journal on Electric Power and Energy
Vol. 4, No. 2, December 2018
ISSN 2465-8111(Print), 2466-0124(Online)
DOI : 10.18770/KEPCO.2018.04.02.067

IEC 61850 Based IoT Gateway Platform for Interworking to Microgrid Operational System

마이크로그리드 운영 시스템 연계를 위한 IEC 61850 기반 IoT 게이트웨이 플랫폼

Jeewon Park[1], ByungKwen Song[2†], InJae Shin[3]
박지원[1], 송병권[2†], 신인재[3]

Abstract

There are many types of power facilities such as transformers, switches, and energy storage devices in the micro grid environment. However, with the development of IoT technology, opportunities to acquire sensor information such as temperature, pressure, and humidity are provided. In the existing micro grid environment, the communication protocols such as MMS transport protocol in IEC 61850 standard is applied in accordance with the integrated operation between the power facilities and the platform. Therefore, to accommodate IoT data, a gateway technology that can link IoT data to a data collection device (FEP) based on IEC 61850 is required. In this paper, we propose IEC 61850 based IoT gateway platform prototype for microgrid operating system linkage. The gateway platform consists of an IoT protocol interface module (MQTT, CoAP, AMQP) and database, IEC 61850 server. For databases, We used open source based NoSQL databases, Hbase and MongoDB, to store JSON data. We verified the interoperability between the IoT protocol and the IEC 61850 protocol using Sisco's MMS EASY Lite.

마이크로 그리드 환경에는 변압기, 스위치, 에너지저장장치 등 많은 종류의 전력 설비가 존재하지만, IoT 기술의 발달에 따라 온도, 압력, 습도와 같은 센서 정보를 취득할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 기존의 마이크로 그리드 환경에서는 IEC 61850 표준에서 정의하고 있는 MMS 등의 통신 프로토콜을 준용하여 전력 설비와 플랫폼 간 통합 운용되고 있다. 그렇기 때문에 IoT 데이터를 수용하기 위해서는 IEC 61850 기반으로 구성된 데이터 수집 장치(FEP)에 IoT 데이터를 연계해 줄 수 있는 게이트웨이 기술이 필요하다. 본 논문에서는 마이크로그리드 운영 시스템 연계를 위한 IEC 61850기반 IoT 게이트웨이 플랫폼 프로토타입을 제안하고자 한다. 게이트웨이 플랫폼은 IoT 프로토콜(MQTT, CoAP, AMQP) 인터페이스 모듈과 데이터베이스, IEC 61850서버로 구성되어 있다. 데이터베이스의 경우, JSON 데이터를 저장하기 위해 오픈소스 기반의 NoSQL 데이터베이스인 Hbase와 MongoDB를 이용하였다. IoT 프로토콜을 검증하기 위해 라즈베리파이·아두이노·인텔 에디슨 SoC 기반 전력 IoT 디바이스 시뮬레이터를 이용하였고, IEC 61850은 Sisco's MMS EASY Lite를 이용하여 IoT 프로토콜과 IEC 61850 프로토콜간의 상호호환성을 검증하였다.

Keywords: Microgrid, IEC 61850, IoT Protocols, Hbase, MongoDB

Manuscript received January 24, 2017, Accepted October 25, 2018
[1] DAEATI Co., Ltd., 139, Sudo-ro, Bucheon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
[2] Seokyeong University, 124, Seogyeong-ro, Seongbuk-gu, Seoul, Republic of Korea
[3] Seoul Energy Corporation, 20, Mokdongseo-ro, Yangcheon-gu, Seoul, Republic of Korea
† bksong@skuniv.ac.kr

This paper is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0. This paper and/or Supplementary information is available at http://journal.kepco.co.kr.

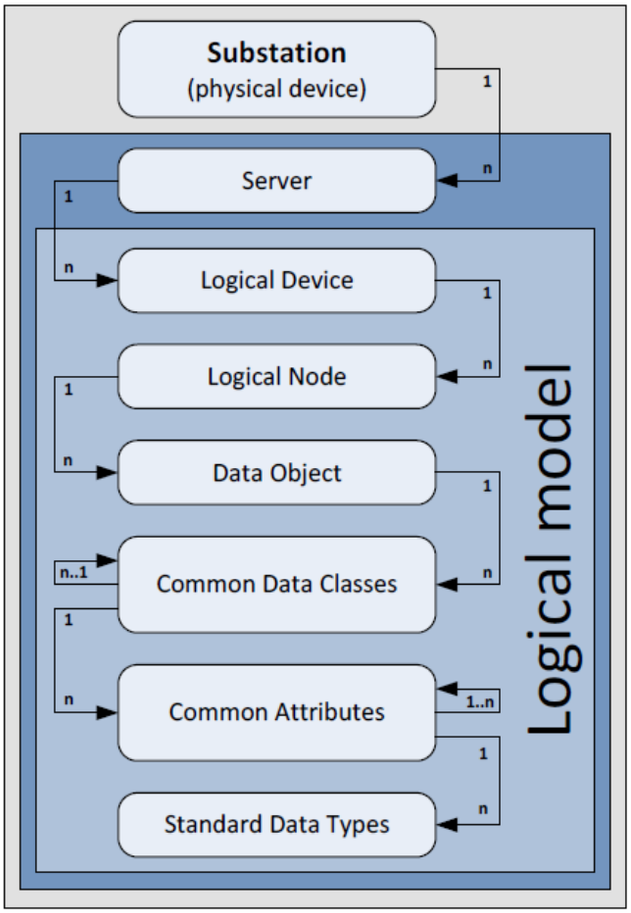

Fig. 1. IEC 61850 data model hierarchy [8].

I. 서론

최근 사물인터넷(IoT)과 M2M 환경에서 제한된 성능을 갖는 센서 노드를 이용하여 온도, 습도 광합성도, 기울기, 오염 등과 같은 정보를 획득하는 기술 개발이 활발히 진행되고 있다 [6]. 마이크로 그리드 환경에는 변압기, 개폐기, 스위치, 에너지저장장치, 풍력발전기 등 많은 종류의 전력 설비가 존재하지만, IoT 기술의 발달에 따라 위와 같은 종류의 정보를 취득할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

국내에서는 2015년 기준 에너지 신사업 모델 기술개발 신규지원과제로 "사물인터넷(IoT) 기반 캠퍼스 마이크로그리드 구축 및 실증"이 추진 중이다 [2]. 한전에서는 사람에 의존해서 전력설비를 감시하던 방식에서 IoT를 기반으로 스마트 감지 기술을 도입해 설비를 진단, 감시하는 방식으로 패러다임을 변경하였다 [3]. 또한 전력 IoT 프로토콜 표준화에 관한 연구가 진행 중이다 [4].

마이크로 그리드 환경에서는 IEC 61850 표준 기반으로 다양한 종류의 전력 설비 및 분산자원을 LN 단위로 표현하고, 표준에서 정의하고 있는 MMS 등의 통신 프로토콜을 준용하여 전력 설비와 플랫폼 간 통합 운용된다. IEC 61850은 변전소자동화 및 보호기능에 초점을 맞춘 표준 프로토콜로서 통신기능뿐만 아니라 IEDs간의 상호 정보처리와 운용에 필요한 기능을 제공하는 국제 표준 프로토콜이다 [5]. IoT 데이터를 수용하기 위해서는 IEC 61850 기반으로 구성된 데이터 수집 장치(FEP)에 IoT 데이터를 연계해 줄 수 있는 게이트웨이 기술이 필요하다. 우리는 마이크로그리드 운영 시스템 연계를 위한 IEC 61850기반 IoT 게이트웨이 플랫폼을 제안한다. 게이트웨이 플랫폼은 IoT 프로토콜 인터페이스 모듈과 데이터베이스, IEC 61850서버로 구성되어 있다. 데이터베이스의 경우, JSON 데이터를 저장하기 위해 오픈소스 기반의 NoSQL 데이터베이스인 Hbase와 MongoDB를 이용하였다. 또한 마이크로그리드 운영 시스템과의 연계를 위해 IEC 61850 클라이언트 시뮬레이터와 게이트웨이 플랫폼 내 서버 간의 IPv4/IPv6 듀얼모드 통신을 구성하였다.

IEC 61850 기반 IoT 게이트웨이 플랫폼의 상호 호환성을 검증하기 위해 라즈베리파이·아두이노·인텔 에디슨 SoC 기반 전력 IoT 디바이스 시뮬레이터를 이용하였다.

II. 관련 연구

A. 마이크로그리드

마이크로그리드는 소규모 독립형 전력망 내에서 전력정보를 공유하여 에너지 효율을 최적화하는 지능형 전력망 기술로서 일정지역 내에서 풍력태양광 발전 등 신재생에너지원과 에너지 저장장치(ESS) 등을 에너지 관리시스템(EMS)으로 제어하여 외부의 전력망에 연결하거나 독립적으로 운전할 수 있는 소규모 전력망이다 [6]. Navigant Research의 2014년 보고서에 따르면 마이크로그리드 관련 시장 규모는 2015년에 1,623만 달러에서 2024년까지 약 14억 달러로 성장할 것으로 전망하고 있다 [7]. 마이크로그리드용 운영플랫폼(이하, 운영플랫폼)은 마이크로 그리드 환경에 적용된 다양한 설비들로부터 실시간으로 정보를 취득·수집·분석하여 환경 내 다양한 사업자에게 마이크로 그리드 관련 서비스를 제공하는 공통의 플랫폼이다. 운영플랫폼 내 탑재된 마이크로그리드 데이터 수집 장치(이하 FEP)는 국제 표준인 IEC 61850을 준수한다.

B. IEC 61850

IEC 61850이란 변전소 자동화 시스템 설계 및 구현을 위한 국제 표준 규약이다. 변전소 자동화 시스템(SAS)은 변전소 전력설비에 자동화 기술을 접목한 시스템으로서, 감시/제어 기능의 고도화를 목적으로 한다.

IEC 61850은 정보 모델은 객체지향 모델을 이용하여 변전소 내부 설비 및 기능들을 추상화하여 체계적으로 표현한다. Fig. 1은 계층적 구조를 갖는 IEC 61850 정보모델을 나타낸다. 물리적 디바이스인 Substation 내 논리적 모델이 존재하며, IEC 61850 기본 정보 모델은 Server, Logical Device, Logical Node, Data Object, Common Data Classes, Common Attributes, Standard Data Types 구조로 되어있다. 상위 구조는 하위 구조를 포함한다. Standard Data Types은 기본적인 데이터 형식을 나타낸다. Common Attributes는 Standard Data Types을 Qulity, Analog Value, Time Stemp, Vector 등으로 표현한 정보를 의미한다. Common Data Classes는 변전소 설비 부품의 상태정보를 표현하는 데이터 형식이다.

각각의 Data Object는 Common Data Classes로 정의된다. Logical Node는 시스템 Logical Node(N), 스위치 기능(X), 보호 기능(P), 보호 관련 기능(R), 제어 기능(C), 일반적인 참조 기능(G), 인터페이스와 기록 보관 기능(I), 자동 제어 기능(A),

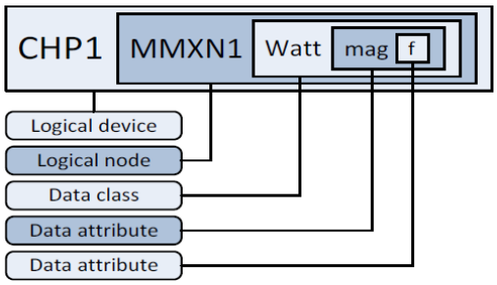

Fig. 2. Illustration of an IEC 61850 reference [8].

Fig. 3. Infrastructure configuration diagram of power grid based IoT [9].

측정 및 계량 기능(M), 전력 트랜스포머(Y), 계기 트랜스포머(T) 등 기능에 따라 Logical Node 이름 첫 글자를 정의한다. Logical Device는 Logical Node의 그룹으로 이루어져 있다.

IEC 61850은 객체를 이름으로 묘사한다. Fig. 2는 IEC 61850의 Object references를 나타내며, LD/LN.DO.DA의 형식을 따른다.

C. 사물인터넷 기반 마이크로그리드

한국전력공사에서는 "IoT기반 에너지 플랫폼 개발에 관한 연구"가 진행 중이다. 현장 중심의 IoT 인프라 구축을 위해서는 경제적이고 안정된 통신망 기술의 확보가 필요하며, 이를 토대로 다양한 IoT 센서와의 조합 및 연계기술이 요구된다 [9]. Fig. 3은 전력IoT 인프라 구성도를 나타낸다. 전력현장에는 위치확인센서, 물리센서, 환경감지센서, 품질감시센서 등이 존재하며 이는 표준 프로토콜을 통해 게이트웨이로 전송된다. 게이트웨이는 IoT 센서로부터 전송된 데이터를 에너지 플랫폼에 연계한다. 에너지 플랫폼은 사용자에게 OpenAPI를 제공한다. 이를 위해서는 각종 센서에 대한 표준적인 데이터 모델링을 통해 기존 인프라에 수용될 수 있는 표준 프레임워크가 구축되어야한다. 일반적인 IoT센서에 대하여 다양한 표준화(IETF CoAP, OMA LWM2M, IPSO, oneM2M)가 이루어지고 있으며, 주로 아키텍처 수립 및 댁내 서비스와 관련된 내용으로 표준화가 진행되고 있다 [9].

Fig. 4는 비표준 전력망 IoT 센서 체계를, Fig. 5는 국제표준 기반 전력망 IoT 센서 체계를 나타낸다. 비표준 전력망의 경우, 전력망 통합서버와 전력망 IoT 장치는 MQTT, CoAP, KNX, HTTP, ModBus, BacNet 프로토콜을 통해 JSON, Text, XML, Binary 형태의 데이터를 교환한다. 국제표준 전력망의 경우, 사물인터넷 기기 관리 표준인 OMA의 LWM2M과 국제인터넷 표준화 기구(IETF)의 CoAP 프로토콜을 통해 JSON 형태의 데이터를 교환한다.

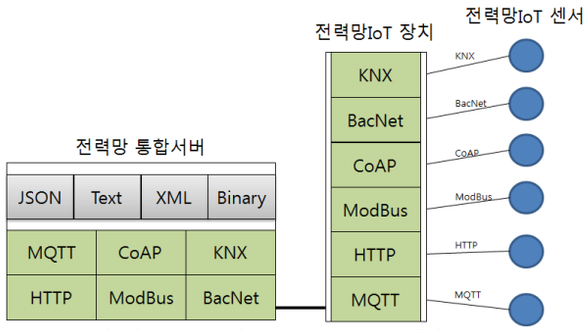

Fig. 4. Non-standard power grid IoT sensor system [4].

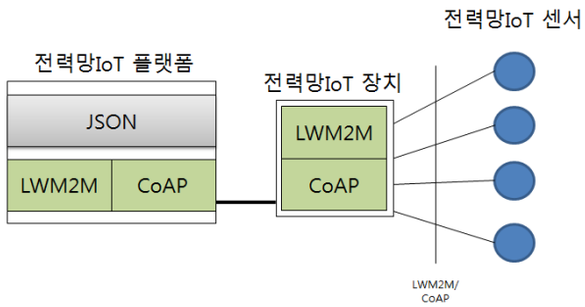

Fig. 5. International standard-based power grid IoT sensor system [4].

D. IoT 프로토콜

IoT는 기존 인터넷의 개념을 확장하여 다양한 주변 사물이 인터넷에 참여하는 사물 대 사물, 사람 대 사물간의 네트워크를 포괄하는 차세대 인터넷의 패러다임이다. 하지만 현재까지 IoT의 패러다임에 대한 미래 인터넷의 정의는 대학과 연구기관, 표준화 단체에서 각기 다른 IoT 정의로 연구와 표준화를 진행하고 있는 실정이다 [10].

OMA의 LWM2M은 사물인터넷 기기 관리 표준을 말한다. LWM2M은 개별 장치라 할 수 있는 클라이언트와 이 장치들을 유지 관리하는 서버로 구성된다. 서버와 클라이언트 사이는 장치를 관리하기 위한 4개의 인터페이스가 정의되어 있다. 클라이언트들은 관리하고자 하는 객체를 가지고 있으며, 객체는 실제적인 데이터 리소스의 인스턴스를 통해 제공된다. 따라서 하나의 객체는 여러 개의 인스턴스로 구분하여 관리될 수 있으며, 리소스는 그 하위계층 리소스를 가질 수 있도록 계층화 되어 있다.

CoAP는 망 내의 통신이 불안정한 네트워크 또는 저성능, 저전력을 특성으로 하는 기기에서 사용하기 위해 특성화된 전송 프로토콜이다. CoAP의 표준화 초안은 2010년에 제안되었으며, 기능 추가와 개선을 거쳐 2014년에 RFC 7252로 등록되었다 [11]. MQTT는 저전력, 경량화를 요구하는 컴퓨팅 환경에서 사용하는 경량 메시징 프로토콜이다. TCP 기반으로 M2M(Machine to Machine)과 IoT(Internet of Thing)을 위해서 IBM에서 개발하였다. OASIS에서 2013년에 IoT 표준으로 지정하였다.

MQTT는 Publish/Subscrib 모델로 Server/Client가 아닌 Broker와 Client로 구성된다. Client는 Publisher와 Subscriber로 나누어진다. Publisher에서는 데이터를 발행하고 Broker는 데이터를 저장 및 중간 역할을 하며 Subscriber는 데이터를

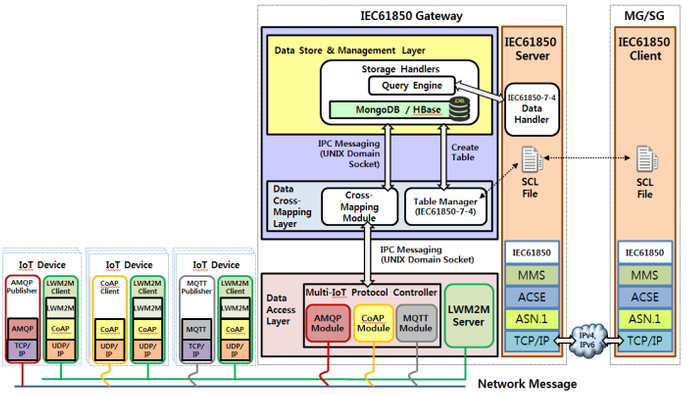

Fig. 6. IoT Gateway S/W Architecture.

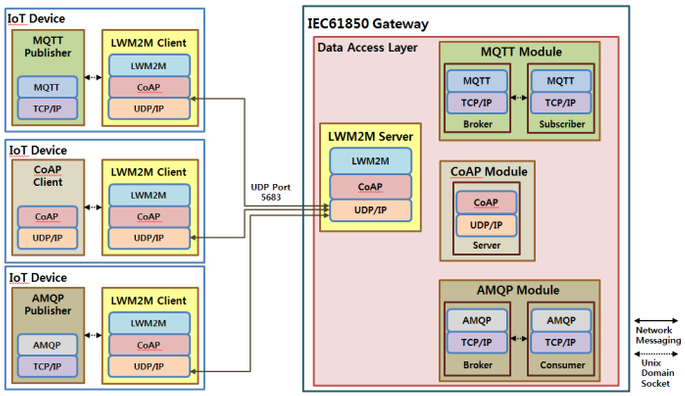

Fig. 7. System structure related to parameter change.

구독하는 기능을 가진다 [12].

AMQP는 MQ(Message Queue)의 오픈 소스에 기반한 표준 프로토콜을 의미한다. JP Morgan과 iMatix, Cisco, RedHat등의 여러 단체가 공동으로 개발한 application 계층의 개방형 표준 메시지 기반 middleware 프로토콜이다 [13]. AMQP를 개발하게 된 목적 다음과 같다. 이전에도 상용화 된 MQ 제품들은 많았지만, 한 가지 문제가 있다면 대부분 플렛폼 종속적인 제품들이었다는 것이다. 이 때문에 서로 다른 이기종 간에 메시지를 교환하기 위해서는 메시지 포맷을 맞추기 위한 브릿지를 이용하나 시스템 자체를 통일 시켜야 했다. 이로 인해 속도 저하와 불편함이 발생하자 이를 보완하여 등장한 것이 AMQP이다.

E. NoSQL

NoSQL은 비관계형 데이터베이스로 불리며 MongoDB, HBase 등이 존재한다. 마이크로 그리드에서는 다양한 프로토콜의 정보를 저장하기 위해 NoSQL으로 데이터베이스를 구축할 필요가 있다. Apache HBase는 하둡 플랫폼을 위한 NoSQL 분산 데이터베이스이다 [14]. Apache 재단의 Apache Hadoop Project 일부로서 개발되었으며, Hadoop의 분산 파일 시스템인 HDFS위에서 동작을 한다. MongoDB는 문서 지향 NoSQL 데이터베이스이다. JSON과 같은 스키마형 문서들을 저장할 수 있다. MongoDB는 이러한 형태의 데이터를 BSON이라 정의한다. 아페로 GPL과 아파치 라이선스를 결합하여 공개되어 있다 [15].

III. 게이트웨이 플랫폼 설계

전력 IoT 센서 데이터를 저장하기 위한 IoT 게이트웨이 플랫폼을 설계하였다. Fig. 6은 오픈소스 기반의 NoSQL 데이터베이스를 이용한 IEC 61850기반 IoT 게이트웨이 플랫폼 구조를 나타낸다.

해당 게이트웨이 플랫폼은 Data Access Layer, Data Cross-Mapping Layer, Data Store & Management Layer 등, 세 가지 레이어로 구분되며 FEP 과의 통신을 위한 IEC 61850 서버가 존재한다.

Data Access Layer에는 IoT 프로토콜 인터페이스 모듈이 존재한다. IoT 프로토콜은 CoAP, MQTT, AMQP 등, 세 가지 프로토콜을 선정하였다. 앞서 세 가지 프로토콜을 관리하기 위해 LWM2M 프로토콜을 사용하였다. Data Cross-Mapping Layer에는 Cross-Mapping 모듈과 Table Manager 모듈이 존재한다. Cross-Mapping 모듈은 IoT 프로토콜 인터페이스 모듈로부터 전송받은 센서 데이터를 IEC 61850 정보 모델에 부합하도록 변환한다. Table Manager 모듈은 변환된 센서 데이터가 저장될 테이블을 구성한다. Data Store & Management Layer에는 Hadoop과 컬럼 지향형 데이터베이스 중 하나인 Hbase, 문서 지향형 데이터베이스 중 하나인 MongoDB, 마지막으로 Storage Handler 모듈이 존재한다. Storage Handler 모듈을 통해 IoT Device로부터 수집한 센서 데이터를 저장한다. IEC 61850 서버에는 Data Handler 모듈이 존재한다. Data Handler 모듈은 FEP가 요청한 IEC 61850 데이터를 Data Store & Management Layer 내 Hbase 혹은 MongoDB에서 데이터 질의를 통해 취득한다. 취득한 데이터는 IPv4/IPv6 듀얼스택을 통해 FEP으로 전송된다.

A. LWM2M기반 IoT 프로토콜 파라미터 설계

LWM2M 인터페이스 모듈을 통해 CoAP, MQTT, AMQP 프로토콜을 제어하는 파라미터를 변경할 수 있다. Fig. 7은 각 프로토콜의 파라미터 변경 관련 시스템 구조를 나타낸다. 게이트웨이 플랫폼 내 LWM2M 서버가 IoT 디바이스 내 LWM2M 클라이언트에게 파라미터 변경을 요청한다. 해당 클라이언트와 서버는 UDP 포트 5683을 통해 통신한다. 요청을 수신한 LWM2M 클라이언트는 MQTT, CoAP, AMQP 프로토콜의 파라미터를 변경한다. 공통 파라미터는 Rate, IP, Port, Pause 등이 있다. Rate는 프로토콜 메시지 발생 주기를 의미하며, IP와 Port는 접속하고자 하는 게이트웨이의 IP와 Port를 의미한다. 또한 Pause 파라미터를 통해 프로토콜 메시지 발생을 중지할 수 있다.

B. 테이블 설계

1) Hbase

Hbase 테이블은 IEC 61850 서버를 위한 Server 테이블과 IEC 61850 정보 모델을 수용하기 위한 LDevice_LNode 테이블 두 가지로 구성하였다. 게이트웨이 플랫폼 구동 시, IEC 61850 서버의 SCL 파일을 참조하여 테이블을 생성하게 된다. Table 1은 Hbase Server 테이블의 구조를 나타낸다. 로우 키(Server_ID)는 고유 주소 값으로 IEC 61850 서버의 이름을 정의한다. 칼럼 패밀리 'Attributes'에서는 Identifier를

Table 1. Hbase server table example

RowKey (Server_ID)	Column 'Attributes'			Column 'Realation'
	ColumnFamily : Identifier			ColumnFamily : Identifier
	IEDname	ServerAddress	AccessPoint	LDevice_LNode
D388_C617	D388_C617	210.110.34.173	P1	MEAS_MMXU01 ... MEAS_MMXU03

Table 2. Hbase LDevice_LNode table example

RowKey (Object_Reference_ID)	Column 'Value'		
	ColumnFamily : Identifier		
	ValueID	Value	TimeStamp
MX.Tmp.mag.i	Value_0	22	14558567
	Value_1	22	14558568
	Value_2	24	14558569
	…	...	...
	Value_n	19	14558600

이용하여 속성 값을 저장한다. 속성 값은 IEDname, ServerAdderess, AccessPoint 세 가지로 구성한다. IEDname 은 IEC 61850 서버의 IED 이름을 나타내며, ServerAdderess 는 IEC 61850 서버의 IP Address(논리적 접속점)을 나타낸다. 마지막으로 AccessPoint는 IEC 61850 서버의 물리적 접속점을 나타낸다. 칼럼 패밀리 'Relation'에서는 Identifier를 이용하여 서버가 소유하고 있는 LDevice_LNode의 로우 키를 한 개 이상 저장한다.

Table 2는 Hbase LDevice_LNode 테이블의 구조를 나타낸다. 로우 키(Object_Reference_ID)는 고유 주소 값으로 IEC 61850 Object Reference중 LD와 LN을 제외한 이름을 의미한다. 칼럼 패밀리 'Value'는 Identifier를 이용하여 속성 값을 저장한다. 속성 값은 ValueID, Value, TimeStamp 세 가지로 구성한다. ValueID에는 Value의 ID가 저장된다. Value는 실제 센서 데이터, TimeStamp에는 시간 데이터가 저장된다.

2) MongoDB

MongoDB 는 Database 내 Collection 을 통해 문서형 데이터를 저장한다. Database 는 IEC 61850 서버를 위한 Server Database 와 IEC 61850 정보 모델을 수용하기 위한 LDevice_LNode Database 두 가지로 구성하였다. Server Database 의 경우 Hbase 테이블과 동일하나, LDevice_LNode Database 의 경우 JSON 형태의 데이터를 그대로 저장한다. 게이트웨이 플랫폼 구동 시, IEC 61850 서버의 SCL 파일을 참조하여 Database 를 생성하게 된다.

Table 3는 MongoDB Server Database의 구조를 나타낸다. Server Database는 다섯 개의 Collection으로 구성된다. Server_ID는 고유 주소 값으로 IEC 61850 서버의 이름을 정의한다. IEDname은 IEC 61850 서버의 IED 이름을 나타내며, ServerAdderess는 IEC 61850 서버의 IP Address(논리적 접속점)을 나타낸다. 마지막으로 AccessPoint는 IEC 61850 서버의 물리적 접속점을 나타낸다. LDevice_LNode는 IEC 61850 Object Reference 중 LD와 LN 명을 나타낸다.

Table 4는 MongoDB LDevice_LNode Database의 구조를 나타낸다. LDevice_LNode Database는 'LN Attribute' Collection으로 구성된다. LN Attribute는 IEC 61850 Object Reference 중 LD와 LN을 제외한 값을 의미한다. Collection에는 JSON

Table 3. MongoDB server table example

Collection 'Server_ID'	Collection 'IEDname'	Collection 'ServerAddress'	Collection 'AccessPoint'	Collection 'LDevice_LNode'
D388_C617	D388_C617	210.110.34.173	P1	MEAS_MMXU01
D388_C617	D388_C617	210.110.34.173	P1	...
D388_C617	D388_C617	210.110.34.173	P1	MEAS_MMXU03

Table 4. MongoDB LDevice_LNode database example

Collection 'LN Attribute'

Document(JSON Data)
{
"Value" : "13",
"Timestamp" : "2016-02-16_08:24:19_KST"
}

Document(JSON Data)
{
"Value" : "9",
"Timestamp" : "2016-02-16_08:25:10_KST"
}

...

Document(JSON Data)
{
"Value" : "27",
"Timestamp" : "2016-02-16_08:26:22_KST"
}

데이터가 저장되며, JSON 데이터는 실제 센서 데이터인 Value와 시간 데이터인 TimeStamp로 구성된다.

IV. 게이트웨이 플랫폼 시뮬레이션

설계된 IEC 61850 기반 IoT 게이트웨이 플랫폼의 상호호환성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. IoT 프로토콜을 검증하기 위해 라즈베리파이·아두이노·인텔 에디슨 SoC 기반 전력 IoT 디바이스 시뮬레이터를 이용하였다. IEC 61850 프로토콜을 검증하기위해 Wireshark를 사용하였다. 전력 IoT 디바이스 시뮬레이터에서는 IEC 61850-7 기반 데이터 모델 구조를 따르는 시험용 센서 데이터 생성하였으며, 생성한 데이터는 JSON 형태로 변환된다. 데이터를 전송하기 위한 IoT 프로토콜로는 국제 표준으로 채택된 CoAP 외 사물인터넷 환경을 위한 경량 프로토콜인 MQTT, AMQP를 추가로 선정하였다. 변환된 JSON 데이터는 각각 CoAP, MQTT, AMQP를 통해 게이트웨이 플랫폼으로 전송된다. 전송받은 센서 데이터는 게이트웨이 플랫폼 내부의 하둡 기반 Hbase, MongoDB에 저장하였다. IEC 61850 클라이언트의 요청 시 게이트웨이 플랫폼 내부의 IEC 61850 서버가 Hbase/MongoDB에 접속하여 저장된 데이터를 추출하도록 구현하였다.

A. 구동환경

Table 5는 CoAP, MQTT, AMQP 디바이스 시뮬레이터의 개발환경을 나타낸다.

Table 6은 게이트웨이 플랫폼 및 클라이언트 시뮬레이터의 개발환경을 나타낸다.

B. 시뮬레이션 시나리오

Fig. 8은 게이트웨이 플랫폼 내 메시지 흐름도를 나타낸다. ①은 IoT 디바이스 내 CoAP, MQTT, AMQP 프로토콜 시뮬레

Table 5. IoT device simulator development environment

	CoAP Simulator	MQTT Simulator	AMQP Simulator
모델명	Raspberry Pi 2 Model B	Arduino Yun	Intel Edison
CPU	900 Mhz ARM Cortex-A7 쿼드코어	ATmega32U4& Atheros AR9331	듀얼 코어 인텔 쿼크 x86
RAM	1 GB (GPU와 공유)	64MB DDR2 RAM, 16MB Flash memory	1GB LPDDR3
OS	Raspbian	OpenWrt-Yun	Debian (Ubilinux) Linux
S/W version	libcoap v4.1.1	MQTT v3.1	RabbitMQ AMQP v0.9.1
Wifi	-	O	O

Table 6. Gateway platform development environment

	게이트웨이 플랫폼	IEC 61850 클라이언트
모델명	PC	PC
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-2500 3.30GHz	Intel(R) Core(TM) i5-2500 3.30GHz
RAM	4GB	2GB
OS	Ubuntu 14.04 Linux	
IEC 61850 S/W	Sisco's MMS EASY Lite Source Code Library	

이터에서 게이트웨이 내 프로토콜 인터페이스 모듈로 전송되는 메시지를 나타낸다. 해당 메시지는 SensorID, Data, TimeStamp를 나타내는 JSON 데이터이다. Fig. 9는 IoT 디바이스에서 전송되는 센서 정보, SensorID, Data, TimeStamp를 Wireshark로 캡쳐한 화면이다. ②는 프로토콜 인터페이스 모듈에서 Data Cross-Mapping 모듈로 전송되는 메시지를 나타낸다. 해당 메시지는 CoAP, MQTT, AMQP 헤더를 제외한 JSON 데이터이다. JSON 메시지는 LogicalNodeSet, DeviceID, SensorID, Value, Timestamp로 구성되어 있다. ③은 JSON 데이터를 저장하기 위한 Hbase 혹은 MongoDB API 메시지이다. ④ MG 내 IEC 61850 클라이언트의 데이터 요청 메시지이다. IEC 61850 클라이언트는 LD/LN.DO.DA의 형태로 요청한다. Fig. 10은 Fig. 9에서 전달 받은 ZB8_27_E8_D6_B8_76/MENV 1.MX.O2.mag.i 센서 정보를 IE C61850 클라이언트가 요청하는 메시지를 Wireshark로 캡쳐한 화면이다. ⑤는 IEC 61850 클라이언트의 요청을 받은 IEC 61850 서버가 Hbase 혹은 MongoDB에 접속하여 해당 데이터를 추출하기 위한 API 메시지이다. IEC 61850 서버는 Hbase 혹은 MongoDB에 LD/LN.DO.DA를 요청한다. ⑥은 Hbase 혹은 MongoDB가 IEC 61850 서버 요청에 대한 응답을 나타내는 메시지이다. Hbase 혹은 MongoDB는 서버가 요청한 데이터와 TimeStamp를 전송한다. ⑦ 최종적으로 IEC 61850서버는 IEC 61850 클라이언트에게 데이터와 TimeStamp를 전송한다.

C. 시뮬레이션 결과

IEC 61850기반 IoT 게이트웨이 플랫폼의 시뮬레이션 시나리오의 Wireshark 정보를 통해 IoT 디바이스와 IEC 61850의 상호 호환성을 검증하였다. Fig. 11은 IEC 61850기반 IoT 게이트웨이 플랫폼에서 캡처한 MongoDB, HBase, MQTT, IEC 61850, AMQP, CoAP 패킷을 그래프로 나타낸 것이다. 게이트웨이 구동 시 약 120초간 Table Manager에 의해 MongoDB 및 HBase Table이 생성된다. Table 명은 게이트웨이 내 IEC

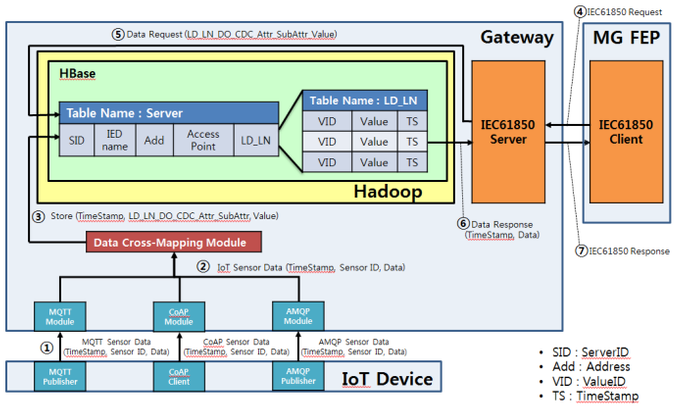

Fig. 8. Gateway platform message flow diagram.

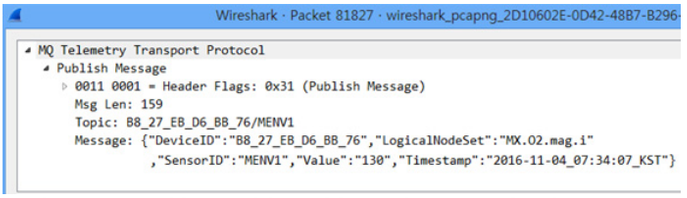

Fig. 9. MENV1.MX.O2.mag.i delivered from MQTT Device Simulator (capture Wireshark)

Fig. 10. Request MENV1.MX.O2.mag.i information from IEC61805 client (capture Wireshark)

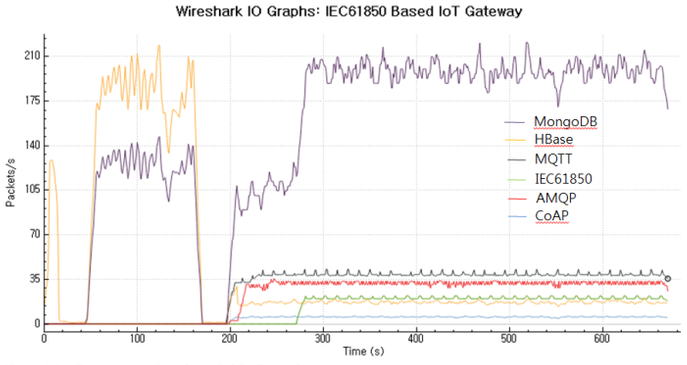

Fig. 11. Gateway Packet I/O Graphs.

61850 Server의 SCL File을 참조한다. Table 생성이 완료되면 전력 IoT 디바이스로부터 데이터 수신이 가능하다. Fig. 9의 200초부터 MQTT, AMQP, CoAP 패킷이 수신되는 것을 확인할 수 있다. MQTT 패킷의 경우 평균 40packets/s를 보이며, AMQP의 경우 평균 33 packets/s, CoAP의 경우 평균 6 packets/s, IEC 61850의 경우 평균 20 packets/s을 보인다. UDP를 사용하는 CoAP에 비해 TCP를 사용하는 MQTT,

AMQP, IEC 61850의 패킷량이 많은 것을 확인할 수 있다. MQTT 및 AMQP의 경우, Broker를 이용한 Pub-Sub 방식으로 인해 IEC 61850 패킷보다 패킷량이 많은 것을 확인할 수 있다. MQTT, AMQP, CoAP 패킷 수신 시 MongoDB 및 HBase에 데이터가 저장된다. 약 270초부터 IEC 61850 클라이언트의 요청이 시작되었으며, 요청을 받은 게이트웨이 내 IEC 61850 서버는 MongoDB 및 HBase에서 데이터를 추출한다. MongoDB의 경우, 요청이 시작된 270초부터 초당 패킷량이 105 packets/s에서 210 packets/s로 증가한 것을 확인할 수 있다.

V. 결론 및 향후과제

최근 IoT와 전력망을 연결하기 위해 다양한 연구가 수행되어져 왔다. 우리는 마이크로그리드 운영플랫폼을 위한 IEC 61850기반 IoT 게이트웨이 플랫폼을 제안하였다. EC61850기반 IoT 게이트웨이 플랫폼에서는 기존의 전력 설비뿐만이 아니라 IoT 기반 센서 데이터를 할 수 있는 기능을 제공한다. 또한 HBase와 MongoDB 데이터베이스를 통하여 취득한 데이터를 저장하였다. IoT 게이트웨이에서 사용하는 데이터 모델은 IEC 61850 표준 데이터 모델을 준수한다. 이를 통해 디지털 변전소, 스마트 배전 시스템 등 IEC 61850을 기반으로 하는 모든 시스템에 IoT 서비스 수용이 가능하다. IEC 61850 기반 IoT 게이트웨이 플랫폼의 상호호환성을 검증하기 위해 Wireshark를 이용하였다. IoT 디바이스의 센서 정보가 IEC 61850 클라이언트로 정확하게 전달하는 과정을 시나리오와 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

게이트웨이 플랫폼 내부의 로컬 데이터베이스로 인하여 센서 데이터의 양이 방대해질 경우, 게이트웨이 플랫폼의 부하 증가 및 성능 감소 등의 한계점이 발생한다. 그렇기 때문에 향후에는 게이트웨이 플랫폼 내부의 로컬 데이터베이스를 제거하고 Fog Computing을 통해 게이트웨이 플랫폼을 구축하고자 한다. 센서 데이터는 최종적으로 클라우드에 있는 중앙 데이터 서버 및 스토리지로 전송된다. 이를 통해 게이트웨이 플랫폼의 부하 감소 및 경량화를 꾀하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the project of “A study one the IoT Technology Application plans for Microgrid Common Platform” by Korea Electric Power Corporation.

본 논문은 한국전력공사의 “마이크로그리드 공통 플랫폼 IoT 기술 적용방안 연구” 과제의 지원을 받아 수행된 것임.

REFERENCES

[1] Kyoung-ju Min, Yong-woon Kim, Sang-keun Yoo, Hyoung-jun Kim, Heo-kyung Jung, “Implementation of CoAP Protocol for USN Environment”, Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.15, No.5, 2011, pp.1189-1197.

[2] Jae-yong Lee, "New support of 160 billion KRW for technology development in the energy field this year", Electric Power, February, 2015, pp.34-35.

[3] KEPCO, "Leading the Creation Economy by Building KEPCO's Future-Type Power Facilities", 2015, Available at: http://www.epj.co.kr/news/articleView.html? idxno=8807, Accessed on September, 2015.

[4] Young Hyun Kim, Seung Bae Lee, Myung Hye Park, Hee Un Kang, Hyun Cheol Cho, Myung Ho Kim, “A Study on the protocol standardization of energy IoT”, Conference of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.60, Jun, 2016, pp.1062-1064.

[5] Communication networks and systems for power utility automation – Part 1: Introduction and overview, IEC61850-1 Edition 2, 2013

[6] Hyun-Hee Lee, Dae-Sang You. "Service Development Tool for Micro Grid Common Platform", The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol 19, No. 6, Jun, 2015, pp.1455-1461.

[7] Navigant Research, 2014. Community Resilience Microgrids. Available at https://www.navigantresearch.com/research/community-resilience-microgrids, Accessed on (2016).

[8] Hauksson, Einar Bragi, and Anders Bro Pedersen. "Enabling distributed energy resources in a virtual power plant using IEC-61850.", M.S Thesis, Department of Informatics and Mathematical Modeling, Technical University of Denmark, 2010

[9] Young Hyun Kim, Seung Bae Lee, Myung Hye Park, Hyun Cheol Cho, Myung Ho Kim, “A Study on the development of platform based on IoT”, Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 60, Jun, 2016, pp.1059-1061.

[10] Dae Young Kim, Seong Hoon Kim, Min Keun Ha, Tae Hong Kim, Yoh Han Lee. “Internet of Things Technology and Trends”, Journal of the Korean Institute of Communication Sciences, Information and Communication, Vol. 28, No. 9, August, 2011, pp.49-57.

[11] “Constrained Application Protocol draft-ietf-core-coap-18”, CoRE Working Group, 2013.

[12] "MQTT version 3.1.1.", OASIS standard, 2014, Available at http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf, Accessed on (2016).

[13] Vinoski, Steve. “Advenced Message Queuing Protocol”, IEEE Internet Computing, Vol. 10, No. 6, Nov, 2006, pp.87-89.

[14] Fay Chang, Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, Wilson C. Hsieh, Deborah A. Wallach, Mike Burrows, Tushar Chandra, Andrew Fikes, Robert E. Gruber, “Bigtable: A Distributed Storage System for Structured Data”, Journal ACM Transactions on Computer Systems (TOCS), Vol. 26(2), No. 4, Jun, 2008.

[15] “Release Notes for MongDB 3.4”, MongoDB Inc, 2016, Available at https://docs.mongodb.com/manual/release-notes/3.4/, Accessed on (2016).