JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 20, No. 1 : 200~206 Jan. 2016

사물인터넷 기반 수배전반 상태 모니터링 시스템

이영동*

Distributing Board Monitoring System based on Internet of Things

Young-Dong Lee*

Department of Mobile Communications Engineering, Changshin University, Changwon 51352, Korea

요 약

수배전반 전기사고 사전 예방을 위해 전기 관리자가 시간과 장소에 구애받지 않고 전력설비의 상태를 실시간으로 감시할 수 있는 시스템 개발이 필요하다. 본 논문에서는 사물인터넷 기반 수배전반 상태 모니터링 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 기존 수배전반 및 제어반 등에 설치하여 수배전반 및 제어반의 상태정보와 제어정보를 인터넷 망과 연결된 클라우드 서버와 근거리 무선통신망으로 실시간 전송된다. 관리자는 관리자 단말기를 통해 언제, 어디서나 상태정보 모니터링을 신속하고 용이하게 관리할 수 있으며, 수배전반 상태정보의 성능평가 결과 판정기준 ±5% 이내 오차범위 내의 측정결과를 얻었다.

ABSTRACT

It is necessary to develop a real-time monitoring system for electric facilities, operating and managing system for the accident prevention of electrical demand facilities anytime, anywhere. In this paper, we propose the implementation of distributing board monitoring system based on Internet of Things(IoT). The proposed system is installed in existing distributing board that it can transmit status information of distributing board and control information through the cloud server and the wireless local area network. The distributing board monitoring system can monitor and control the condition of distributing board by system administrator. The results show that the margin of error was ±5% in performance evaluation.

키워드 : 사물인터넷, 전력설비, 수배전반, 제어반

Key word : Internet of Things(IoT), Electric facilities, Distributing board, Control panel

접수일자 : 2015. 11. 13 심사완료일자 : 2015. 11. 25 게재확정일자 : 2015. 12. 09

* **Corresponding Author** Young-Dong Lee(E-mail:ydlee@cs.ac.kr, Tel:+82-55-250-3109)
Department of Mobile Communications Engineering, Changshin University, Changwon 51352, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.1.200 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

안전하고 편리한 사회에 대한 기대가 증가됨에 따라 사물인터넷(IoT: Internet of Things)에 대한 관심이 급격히 증가하고 있으며, IoT 기술은 개인의 일상생활에서부터 전기·수도·가스·철도·도로 등의 공공분야와 자동차·가전·전자·화학 등 제조업·유통·물류 등 다양한 응용분야를 확대하고 있다[1-4]. 최근에는 IoT를 활용한 사회안전망 서비스 구축, IoT 기반 미래형 전력설비 구축 등 전력·IoT 융합에 대한 연구들이 진행중에 있다.

공공건물 및 산업용 건물 등의 대형 건축물 내에는 다수의 수배전반을 시공 설치한 전기실을 마련하여 건물 내외 및 구역 내의 전력관리를 수행하고 있다. 여기서 전기사고 발생 시 파급되는 인적, 물적 피해 또한 급증하므로, 안정적인 전력공급이 필수적으로 요구되고 있는 실정이다. 따라서, 수배전반 전기사고 사전 예방을 위해 전기 관리자가 시간과 장소에 구애받지 않고 전력설비의 상태를 실시간으로 감시할 수 있는 시스템 개발에 대한 필요성이 요구되고 있다. 하지만, 수배전반 관리시스템은 일반적으로 설비의 상태를 모니터링 할 수 있는 감시부, 설비 데이터 분석을 통해 설비의 상태를 미리 예측하고 이상을 진단하는 진단부, 그리고 승인된 관리자만 접속 및 관리가 가능하도록 하는 보안부로 구성되고, 원격감시를 위하여 주로 현장에 설치된 로컬 유닛의 디스플레이를 사용하거나 인터넷 망과 PC를 통해 감시가 수행되도록 하고 있다.

이러한 종래의 원격감시의 경우 현장 방문시 또는 사무실 및 감시실 등에서 PC를 사용해야만 전력설비의 감시가 가능하여 사고 발생 시 즉각적인 인지가 어렵다는 단점이 있으므로, 온라인 혹은 모바일 환경에서 수배전반의 안전관리, 방재관리, 보안관리 등을 복합적으로 처리할 수 있는 시스템이 개발되어 사용되고 있으나, 인터넷망에 접속된 PC나 이동통신망에 연결된 이동통신 단말기를 통해 제한적으로 원격감시가 수행되도록 하는 것임에 따라, 여전히 원격감시 환경에 제한이 따르는 한계가 있었다.

이에 본 논문에서는 사물인터넷 기반 수배전반 관리시스템을 통해 수배전반의 상태정보 및 제어반의 제어정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 제안하고자 한다. 이는 특고압반, 고압반, 저압반과 같은 수배전반, 자동제어반, 계장제어반, MCC반과 같은 제어반의 각종 상태정보(전압, 전류, 전력, 역률, 주파수)가 사물인터넷을 기반으로 하여 실시간 수집되고 인터넷망과 연결된 클라우드 서버와 근거리 무선통신망으로 실시간 전송됨으로써 관리자는 관리자 단말기를 통해 장소나 시간에 구애없이 언제, 어디서나 상태정보 모니터링을 신속하고 용이하게 수행할 수 있다.

Ⅱ. IoT기반 수배전반 관리시스템

IoT 기반 수배전반 관리시스템은 기존 수배전반 및 제어반 등에 설치하여 수배전반 및 제어반의 상태정보와 제어정보를 실시간으로 모니터링 하게 된다. 수배전반 관리시스템과 데이터를 주고받기 위한 RS-232 인터페이스부, 수배전반의 시스템제어, 상태감시 등을 위한 IoT 플랫폼부, 외부 유무선 네트워크를 통한 실시간 데이터를 전달하는 통신부, IoT 서버 내 실시간 데이터 저장 및 운영체제 운용을 위한 메모리부 등의 기능을 포함하는 IoT기반 모니터링 서버와 관리자가 원격지에서 수배전반 및 제어반을 모니터링 할 수 있는 클라우드 서버부, 관리자 단말기를 통한 모니터링 프로그램으로 구성된다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 IoT 기반 수배전반 관리 시스템의 전체 구성도를 보여준다.

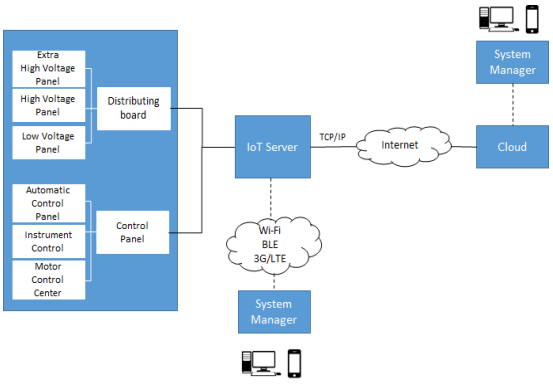

Fig. 1 Design of distributing board monitoring system based on IoT

특고압반, 고압반, 제어반과 같은 수배전반, 자동제어반, 계장제어반, MCC반과 같은 제어반에서 수집된

각종 상태정보들은 IoT기반 모니터링 서버로 전달되고, 관리자는 관리자 단말기를 사용하여 인터넷망에 연결된 클라우드 서버 또는 와이파이, BLE(Bluetooth Low Energy)[5], 3G/LTE 통신 등의 무선통신망으로 수배전반 정보를 송수신하게 된다.

2.1. 모듈형 입력부

수배전반 상태 모니터링은 전압, 전류, 전력, 역률, 주파수를 모니터링 할 수 있는 고전압, 전도성, 방사성 노이즈에 강한 시스템 입력부를 모듈형으로 설계하고, 상태 모니터링 항목 중 CT의 경우 0~5A 전류량 변화를 검출하여 전류 이상 유무를 모니터링 한다. 상태 모니터링 항목 중 PT의 경우 AC 110V이하의 전압 변화를 검출하여 전압 이상 유무를 모니터링하고, 전력은 유효전력, 무효전력, 피상전력 등을 계산하기위해 전압과 전류의 위상차를 측정한다. 상시 정격 주파수 측정 및 전압, 전류 위상차를 이용하여 역률을 측정하고, 전압, 전류의 위상확인 및 과부하 상태를 검출하여 고장검출 기능을 수행한다. 상태 모니터링 대상은 변전소 및 수배전반의 특성상 특고압 등의 선로에서 발생하는 잡음이 유입될 수 있으므로, 이를 제거하기 위한 절연회로의 구성이 필수적이다. 이를 위해 아날로그 입력부는 입력회로 설계 시 고주파 노이즈 및 서지를 제어하기 위한 회로를 설계하고 전압부스터 및 전류부스터를 적용하여 신뢰성 있는 신호 검출회로로 구성한다. 또한, 증폭회로 및 필터회로의 조합을 통해 불필요한 노이즈로 인한 오동작을 방지한다. 그림 2는 전압, 전류, 상태 모니터링에 필요한 모듈형 입력부 구성도를 나타낸다[6].

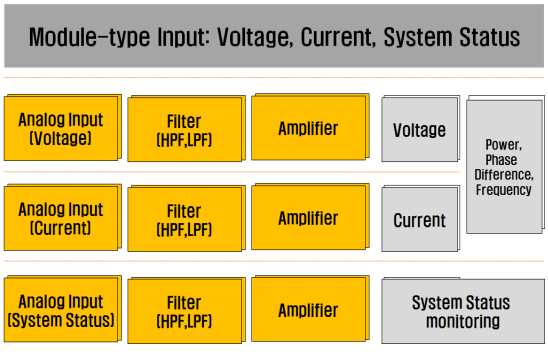

Fig. 2 System architecture of input module

2.2. 수배전반 시스템 제어부

계측된 상태 정보를 디지털신호로 변환하여 신호처리 및 디스플레이하기 위하여 저전력 마이크로프로세서를 이용해 그림 3과 같이 시스템 제어부를 구성하고, 먼저 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위하여 각각의 입력신호를 초당 128회의 속도로 샘플링, 10-bit의 분해능으로 디지털 신호로 변환한다. 상태모니터링을 수행하기 위해 전류, 전압, 전력, 역률, 주파수에 해당하는 아날로그 입력 처리부를 구성하고, 주변장치부로서 사용자 인터페이스, 이더넷, HMI표시부, 출력부, 확장모듈 인터페이스를 적용한다[6].

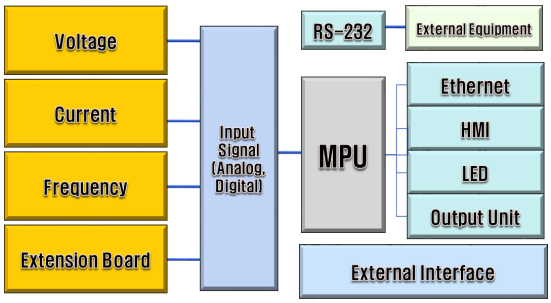

Fig. 3 Distributing board system control part

2.3. IoT 기반 모니터링 서버

IoT 기반 모니터링 서버는 그림 4에서와 같이 수배전반의 상태정보 모니터링이나 수배전반의 제어를 위한 수배전반 모니터링/제어 시스템에 구비되는 IoT 모니터링 서버로서, 기존 수배전반 관리시스템에 연결되어 수배전반 제어설비 상태정보를 전달받거나, 수배전반 제어신호를 전달하게 된다. RS-232 인터페이스 유닛은 RS-232 접속단자에 접속된 RS-232 통신선으로부터 수배전반 상태정보를 입력받아 IoT 플랫폼 모듈로 전달하고, IoT 플랫폼 모듈로부터 전달되는 제어신호를 RS-232 접속단자에 접속된 RS-232 통신선으로 전달한다. 수배전반 관리시스템과 IoT 플랫폼 간 통신은 MODBUS Slave 라이브러리를 사용하여 수배전반 관리시스템으로부터 상태정보를 입력받게 되는데, 이를 통해 상태정보가 신속하고 안정되게 수집될 수 있게 된다. 또한, 인터넷망에 연결된 클라우드 서버 또는 와이파이 통신, BLE(Bluetooth Low Energy) 통신, 3G/LTE 통신 등의 무선통신망으로 수배전반 정보를 송수신하게 된다.

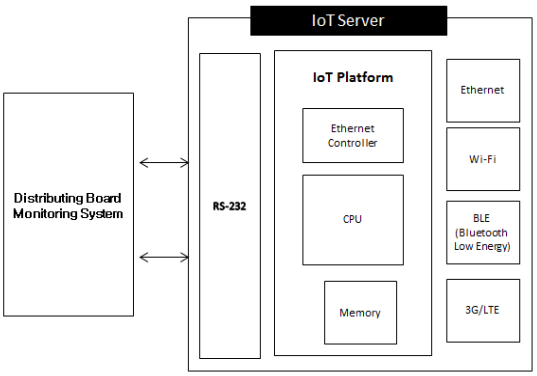

Fig. 4 Interface between distributing board management system and IoT monitoring server

Ⅲ. 시스템 구현 및 실험결과

본 논문에서 제안하는 IoT 모니터링 서버는 그림 5와 같이 설계하였으며, IoT 모니터링 서버는 사물인터넷을 기반으로 하여 수배전반의 상태정보 실시간 수신과, 수배전반의 제어를 위한 제어신호 실시간 송신이 유무선 통신을 통해 이루어 질 수 있도록 구현하였다. 수배전반 장치는 아날로그 및 디지털 입력핀을 통해 데이터 입력이 가능하도록 하였으며, IoT기반 수배전반 관리시스템 구현을 위해 라즈베리파이와 상호 연동이 가능하도록 구현하였다. IoT 모니터링 서버에 설치된 운영체제는 라즈비안(Raspbian) 운영체제를 설치하였고, 수배전반 관리시스템과 IoT 서버 간 통신은 모드버스 프로토콜을 통해 상호 통신이 이루어질 수 있도록 시리얼통신용 Modbus 232 드라이버를 적용하였다. 또한, IoT 기반 모니터링 서버는 기존 수배전반 관리 시스템에 연결되어 수배전반 상태정보를 실시간 전달받아 관리할 수 있는 RS-232 직렬통신으로 직접 연결 가능하도록 설계하였다. 이는 IoT 관련 선행 연구들과 비교하였을 때, 일반적인 IoT 관련 연구들은 IoT 단말들을 통해 데이터를 수집하고, 수집된 데이터들은 IoT 게이트웨이를 통해 전달되는 방식들을 사용하고 있다[7-9]. 반면, 본 연구에서 제안하는 IoT기반 시스템은 리눅스 기반의 운영체제를 탑재하고 있으며, 단말보다는 인터넷을 통해 수배전반의 데이터를 실시간으로 모니터링을 할 수 있는 게이트웨이와 서버로 연결되는 구조로 서비스를 수행할 수 있다. 또한, 다양한 산업현장에 응용 가능한 모듈형 설계를 통해 시스템 구현이 가능하며, 스마트폰과 같은 모바일 디바이스와 연동하여 원격지에서 IoT 모니터링 서버로 직접 연결되어 상대적으로 고성능을 요구하는 게이트웨이 및 서버에서 경량 시스템으로 구현할 수 있는 장점을 갖추도록 설계하였다. IoT 모니터링 서버 내에 장착된 IoT 플랫폼 모듈은 수배전반의 상태정보를 전달받는 한편 제어신호를 전달하고, 수배전반 상태정보의 저장, 관리, 모니터링이 수행되며, 필요시 상태 모니터링 정보와 제어신호를 생성할 수 있다. 수배전반 상태 모니터링 정보는 상태정보를 기반으로 하여 도출되는 설정 포맷의 모니터링용 정보로서 메모리에 설치된 운영체제에 추가적으로 설치되는 모니터링 프로그램에 의해 자동 생성될 수 있도록 하였다. 그리고 제어신호는 제어를 위해 생성되는 신호로서, 제어신호도 메모리에 설치된 운영체제에 추가적으로 설치되는 제어 프로그램에 의해 자동 생성될 수 있다. 또한, 제어신호는 서버 후면부에 위치한 모니터장치 연결포트(HDMI)에 연결케이블을 통해 연결되는 디스플레이 모니터장치를 통해 관리자로부터 직접 입력받을 수 있도록 설계하였다.

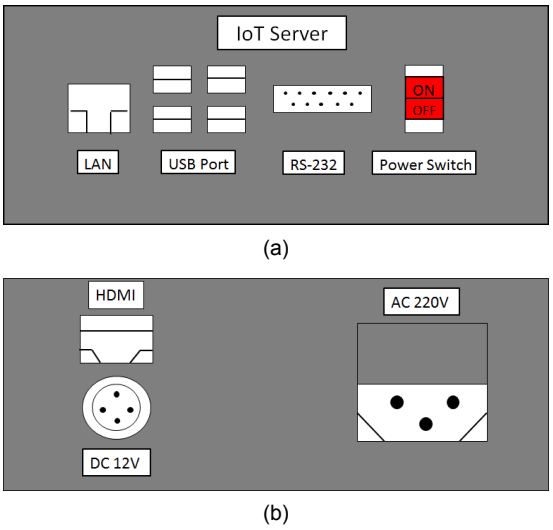

Fig. 5 IoT monitoring server appearance; (a) front panel, (b) rear panel

그림 6은 실제 구현한 IoT 모니터링 서버의 구현 모습을 보여준다. 전면부에 랜 케이블이 접속되는 랜 접속단자, 수배전반으로부터 상태정보를 전달받고, IoT

플랫폼 모듈로부터 전달되는 제어신호를 수배전반에 전달하기 위한 RS-232 접속단자와 외부의 관리자 단말기와 직접 와이파이 통신 등 USB 접속단자를 두었다.

Fig. 6 Implementation of IoT monitoring server

IoT 모니터링 서버에 설치된 랜 접속단자와 와이파이 접속모듈을 통해 수배전반 상태정보 및 제어정보는 외부 인터넷망과 상호 연결되도록 하였다. 이로써, 관리자는 클라우드 서버에 접속하거나 무선통신망에 연결된 관리자 단말기를 통해 수배전반 상태정보를 모니터링하거나, 필요시 수배전반 제어신호를 생성하여 클라우드 서버나 무선통신망으로 전달하게 되었다.

Fig. 7 Operation of IoT monitoring server to cloud server and internet network

관리자는 원격지에서 관리자 단말기를 통해 수배전반의 상태정보 및 제어정보 관리가 가능하며, 그림 8과 같이 스마트폰을 활용해 클라우드 서버나 근거리 무선통신망을 통해 원격 접속이 가능한 모바일 기반 HMI를 구현하였다. 스마트폰에서 웹 접속환경 설정을 통해 이루어지며, 서버주소, 포트, 사용자 ID와 비밀번호 입력을 통해 원격지에 있는 수배전반 상태 정보 모니터링이 가능하였다.

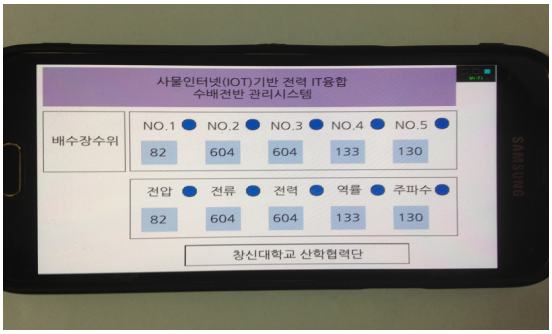

Fig. 8 Distributing board monitoring on Mobile device

표 1은 본 논문에서 구현한 시스템의 관리방식, 통신방식, 시스템 관리자가 사용 가능한 단말기에 대한 특징을 기존 시스템과 비교한 결과를 나타낸다. 기존 수배전반 관리시스템은 직접 관리시스템에 방문하여 관리하던 불편함이 있었던 반면, 제안한 시스템에서는 원격지에서 관리 할 수 있는 장점을 가지며, 수배전반 관리시스템과 근거리에서 블루투스 통신만으로 이루어지던 통신방식을 개선하여 와이파이, BLE, 3G/LTE 통신방식을 통해 장소에 구애받지 않고 접속이 가능하였다.

Table. 1 Comparison of existing system with proposed system

	Existing system	Proposed system
Management	Field management	Remote management
Communication method	Bluetooth	Wi-Fi, BLE, 3G/LTE
System manager device	PC	Remote PC, mobile devices

스마트폰 화면에 전압, 전류, 전력, 역률, 주파수 등 수배전반 상태정보가 실시간으로 표시되도록 구현하였으며, 관리자의 모바일 단말기는 IoT 모니터링 서버와 Wi-Fi 통신을 통해 원격에서 접속이 가능하였다.

사물인터넷 기반 수배전반 관리 시스템의 동작 성능평가를 위해 전압 값을 4~20mA로 설정 가능하도록 하였으며, 대표되는 값을 지정하여 성능평가를 진행하

였다. 수배전반 상태정보에 해당하는 전압, 전류, 전력, 역률, 주파수 각각의 입력에 따른 출력 값의 응답 특성을 분석하였으며, 하한치와 상한치 값에 따른 판정기준을 바탕으로 결과값을 획득하였다. 시스템 성능평가 결과는 표 2와 같이 나타났으며, 전력, 전압, 전력, 역률, 주파수에 해당하는 수배전반 상태정보의 성능이 판정기준 ±5%이내 오차범위 내의 출력 값을 결과로 보였다.

Table. 2 Result of performance evaluation

Input	Output				
	Voltage [V]	Current [A]	Power [kW]	Power factor [COSΘ]	Frequency [Hz]
4mA	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0
5mA	32.5	31.3	6.3	6.3	55.6
6mA	65.0	62.5	12.5	12.5	56.3
7mA	97.5	93.8	18.8	18.8	56.9
8mA	130.0	125.0	25.0	25.0	57.5
9mA	162.5	156.3	31.3	31.3	58.1
10mA	195.0	187.5	37.5	37.5	58.8
11mA	227.5	218.8	43.8	43.8	59.4
12mA	260.0	250.0	50.0	50.0	60.0
13mA	292.5	281.3	56.3	56.3	60.6
14mA	325.0	312.5	62.5	62.5	61.3
15mA	357.5	343.8	68.8	68.8	61.9
16mA	390.0	375.0	75.0	75.0	62.5
17mA	422.5	406.3	81.3	81.3	63.1
18mA	455.0	437.5	87.5	87.5	63.8
19mA	487.5	468.8	93.8	93.8	64.4
20mA	520.0	500.0	100.0	100.0	65.0

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 기존의 수배전반 관리시스템의 경우 현장 방문 또는 사무실 및 감시실 등에서 PC를 사용해야만 전력설비의 감시가 가능하여 사고 발생 시 즉각적인 인지가 어렵다는 단점을 해결하고자 IoT 기반 수배전반 상태 모니터링 시스템을 제안하였다. IoT 모니터링 서버를 통해 수배전반의 상태정보를 실시간으로 수신함은 물론 수배전반의 제어를 위한 제어신호를 실시간 송신이 유무선 통신을 통해 이루어 질 수 있도록 구현하였다. 관리자는 클라우드 서버에 접속하거나 무선통신망에 연결된 관리자 단말기를 통해 수배전반 상태정보를 모니터링이 가능하였다. 본 논문에서 제안한 시스템의 구현을 통해 수배전반 모니터링 및 제어 효율이 극대화되며, 시공간의 제약없이 신속하고 안정되게 수배전반 모니터링 및 제어가 수행될 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work (Grants No. C0237399) was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2014.

REFERENCES

[1] K. Ashton , "Internet of things," *RFID Journal,* vol. 22, no. 7, pp. 97-114, June 2009.

[2] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, Oct. 2010.

[3] P. Middleton, P. Kjeldsen, and J. Tully, “Forecast: The Internet of Things Worldwide,” Gartner Inc., Nov. 2013.

[4] A. R. Al-Ali, and R. Aburukba, “Role of Internet of Things in the Smart Grid Technology,” *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 229-233, May 2015.

[5] Heydon, Robin. *Bluetooth low energy: the developer's handbook,* Prentice Hall, 2012.

[6] S. J. Kim, S. H. Jeong, H. S. Kang, and Y. D. Lee, “Design of the Internet of Things based Incoming Panel Management System for Electric Power monitoring,” *in Proceeding of the Korea Institute of Signal Processing and Systems Conference*, 2014.

[7] S. T. Kim, J. S. Jeong, J. K. Song, and H. Y. Kim, “Trends of IoT Device Platforms and Buildings its Ecosystems,” *Electronics and Telecommunications Trends,* vol. 29, no. 4, pp. 82-90, Aug. 2014.

[8] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Gen. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645-1660, Sep. 2013.

[9] L. Foschini, T. Taleb, A. Corradi, and D. Bottazzi, "M2M-based metropolitan platform for IMS-enabled road traffic management in IoT," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49 , no. 11, pp. 50-57, Nov. 2011.

이영동(Young-Dong Lee)

2004년 동서대학교 정보통신공학과(공학사)
2006년 동서대학교 컴퓨터네트워크학과(공학석사)
2009년 동서대학교 유비쿼터스IT학과(공학박사)
2010년 핀란드 University of Oulu 전기정보공학과(공학박사)
2009년 ~ 2012년 동서대학교 BK21 u-헬스케어사업팀 연구교수
2012년 ~ 현재 창신대학교 모바일통신공학과 조교수
※관심분야 : 무선센서네트워크, 임베디드시스템, 무선통신