

논문 2018-13-04

IoT 디바이스를 이용한 클라우드 플랫폼 기반의 실시간 공장 모니터링 시스템 개발

(A Development of Real-time Monitoring System in Industrial Factory Based on Cloud Platform Using IoT Device)

박 건 수, 트란 트럼 틴, 당 반 치엔, 길 기 중, 신 용 빈, 최 재 원, 김 중 욱*
(Geon-Soo Park, Tran Trung Tin, Dang Van Chien, Ki-Jong Gil, Yong-Bin Shin, Jae-Won Choi,
Jong-Wook Kim)

Abstract : In this paper, we present a proposed monitoring system for smart factories with several aspects, including information gathering, analysis, control, and display that relate to concurrently operation processes in the factory area. This paper proposes a monitoring and management system for industrial automation. In particular, it uses an Internet of Thing (IoT) device with a data protocol unit to convert the industrial protocols and transfer the information on various parameters. In the case of data communication, the proposed monitoring system is designed to support users to remotely manage with the cloud server by implementing conversion between Modbus RTU and Modbus TCP of protocol communications. The proposed communication technique has been verified by experiments.

Keywords : Embedded IoT device, Cloud platform, Modbus RTU, Modbus TCP, Real-time monitoring system

I. 서 론

제조업에서 공정의 불량률을 줄이고 생산량을 증가시키기 위해서는 공정시스템이 자동화되고 실시간으로 정보들을 수집하여 공정마다 최적화된 의사결정을 내릴 수 있어야한다. 이를 위한 실시간 모니터링 시스템은 제조 프로세스의 긴급 상황을 감지하고 경고할 수 있어야 하며, 장비의 상태 진단 및 성능평가를 위한 정보를 제공하고 표시해야 한다. 모니터링 시스템에 의해 수행되는 업무의 특성 및 범위를 고려할 때, 공장 모니터링은 실시간으로 수행되도록 보장되어야하며 이는 측정 및 데이터

통신이 동시에 구현되어야 함을 의미한다.

본 논문에서는 제조업 분야의 실시간 모니터링 시스템을 위한 분산형 구조 기반의 임베디드 네트워킹 시스템을 제안한다. 이를 구축하기 위해 직렬 인터페이스 프로토콜의 입력으로 작동하는 온도센서, 전류센서 등과 같은 많은 중요한 파라미터를 갖는 실시간 제어 시스템의 설계가 필요하다 [1]. 이를 기반으로 제안하고자 하는 시스템에서는 DC Power Supply를 가상의 제조·공정장비로 대체하여 사용하였고, 발생하는 실제 센서데이터 (전류, 전압)를 디지털 미터로 수집하여 실시간 모니터링 하고, 클라우드 서버로 전송하여 원격 모니터링이 가능한 클라우드 플랫폼 기반의 임베디드 네트워킹을 구현하였다 [2].

임베디드 네트워킹에서 데이터 수집에 필요한 노드는 마이크로 컨트롤러 유닛이 포함된 IoT 디바이스를 사용한다 [3]. 센서와 노드 간의 데이터 통신에는 직렬통신 프로토콜의 RS485를 표준으로 하는 Modbus RTU를 이용하며 노드와 클라우드 서버 간의 데이터 전송은 IP기반의 Modbus TCP를 이용한다 [4].

*Corresponding Author (kjwook@dau.ac.kr)

Received: Nov. 24 2017, Revised: Jan. 4 2018,
Accepted: Feb. 5 2018.

G.S. Park, T.T. Tran, V.C. Dang, K.J. Gil, Y.B. Shin,
J.W. Choi, J.W. Kim: Dong-A University

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학CT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2014-0-00743)

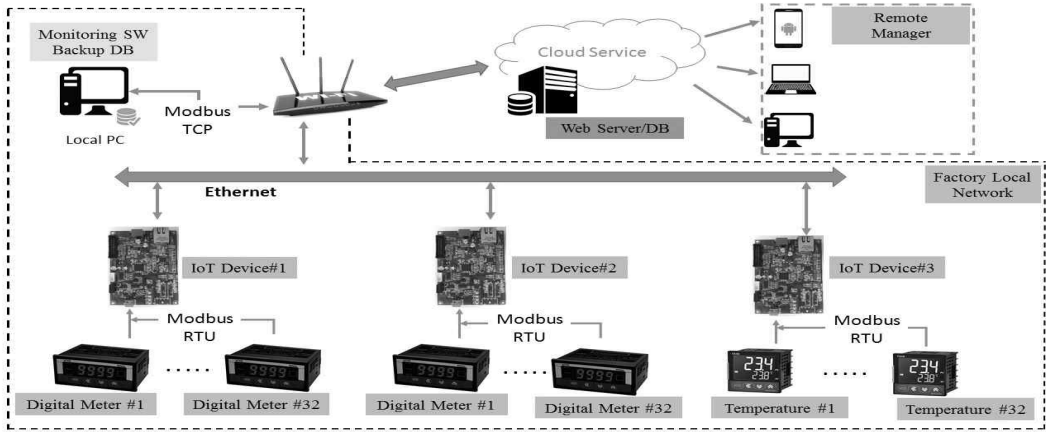


그림 1. 제안된 실시간 모니터링 시스템 구성도

Fig. 1. Configuration of the proposed real-time monitoring system

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 하드웨어 (HW) 및 소프트웨어 (SW)를 포함한 실시간 모니터링 시스템의 구조에 대해 설명하고, 3장에서는 실시간 모니터링 시스템에서 데이터를 주고받는 데 사용된 통신 프로토콜에 대해 설명한다. 4장에서는 데이터를 저장하고 원격 모니터링 시스템을 지원하는 클라우드 플랫폼을 소개하고, 5장에서 본 연구의 결론 및 향후 목표에 관해 논의한다.

II. 시스템 구조

제조현장에서 전압, 전류, 온도, 진동과 같은 파라미터들은 일반적으로 산업용 장비나 기계의 실시간 모니터링 및 관리의 주요 정보를 담고 있다. 그림 1은 본 연구에서 개발한 임베디드 IoT 디바이스와 클라우드 플랫폼을 기본으로 한 분산형 모니터링 시스템의 전체 구조를 나타낸다.

본 시스템에서는 통신 프로토콜로서 Modbus RTU와 Modbus TCP를 사용한다. IoT 디바이스는 Modbus RTU를 사용하여 최대 32개의 엔드 포인트를 제어 할 수 있다. 본 시스템에서는 엔드 포인트로서 Autonics 社의 디지털미터 (MT4W-DV-49)를 사용하였다. 디지털 미터에서 수집된 데이터는 백업 및 데이터베이스에 저장되기 위해 Modbus TCP에 맞는 데이터 패킷 변환이 필요하다. IoT 디바이스는 데이터 패킷을 변환하는 컨버터 역할을 수행하여 실시간으로 모니터링 소프트웨어용 데이터 수집을 목표로 한다.

1. IoT 디바이스

본 시스템에서 머신 또는 디바이스와 클라우드 간의 데이터 통신을 위해서는 데이터 패킷변환이 필요하며, 이를 위해 컨버터 역할을 수행하는 IoT 디바이스를 개발하였다. IoT 디바이스의 MCU (Micro Controller Unit)는 ARM Cortex-M3 STM32F10x를 사용하였다. 또한 데이터통신의 USART 인터페이스 및 이더넷 통신을 위해 여러 주변 장치들로 구성되어있으며, 자세한 사양을 표1에 정리했다.

로컬 PC는 IoT 디바이스와의 데이터 통신에서 Modbus 프로토콜을 사용하는 로컬 서버 및 백업 데이터베이스 역할을 수행하며 모니터링 소프트웨어를 통해 실시간으로 데이터의 상태를 표시한다.

표 1. IoT 디바이스 사양

Table 1. Specifications of IoT device

IoT Device	Specifications
	-MCU: ARM Cortex-M3
	-Ethernet: W5500
	-Serial Communication: Max485, Max3232
	-EEPROM: AT24C16
	-Power Supply: 24V DC

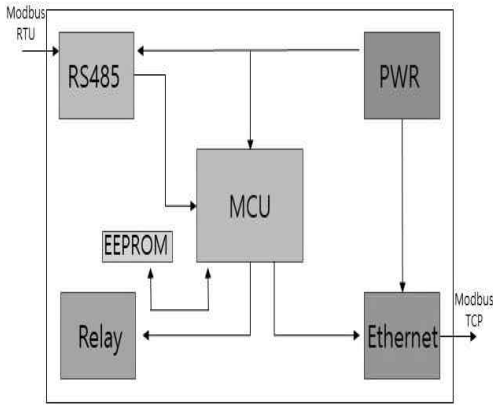


그림 2. IoT 디바이스 구성도
Fig. 2 Diagram of IoT device

그림 2는 IoT 디바이스의 구조를 나타내는 다이어그램이다. 그림 2에서 보이는 것처럼 IoT 디바이스는 RS485를 표준으로 하는 직렬 Modbus 통신을 사용하고 Modbus RTU 전송방식을 통해 디지털 미터로부터 데이터를 수집한다. 또한 이더넷 통신을 사용하기 위해 Modbus RTU에서 Modbus TCP로의 데이터 패킷을 변환하는 기능을 가지고 있다.

2. 소프트웨어 플랫폼

본 시스템에서 사용하는 모니터링 소프트웨어는 로컬PC에서 실시간으로 수집된 데이터를 모니터링하기 위해 C# Winform을 사용하여 개발하였다. 데이터는 실시간으로 차트 형식으로 표시되며 클라우드 네트워크에서 공유하기 위해 웹 서버에 연결되어 인터넷 또는 스마트폰을 통해 원격 제어 및 모니터링을 구현할 수 있다 [5].

그림 3은 로컬 PC상의 데이터 통신 시스템의 구조도를 나타내는데, IoT 디바이스의 펌웨어를 통해 제공된 데이터는 실시간으로 처리된 다음 로컬 데이터베이스에 저장되어 클라우드 서버로 전송된다. 또한 산업 자동화 네트워크에서 Modbus TCP를 통해 IoT 디바이스에서 데이터를 수집하도록 설계되었다. 이는 사용자가 산업용 기계에서 몇 가지 파라미터를 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 지원한다.

소프트웨어의 데이터 형식을 만들기 위해 데이터 베이스 관리시스템은 데이터가 저장되고 쿼리되는 속도가 빠른 Non-SQL기반의 몽고DB를 사용하였다.

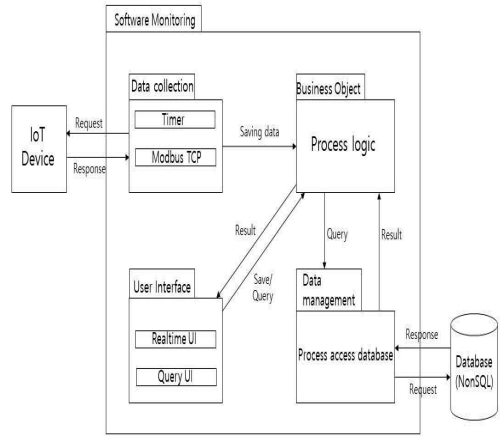


그림 3. 로컬 PC에서 실행되는 소프트웨어의 전체 구조
Fig. 3 Overall structure of software running on local PC

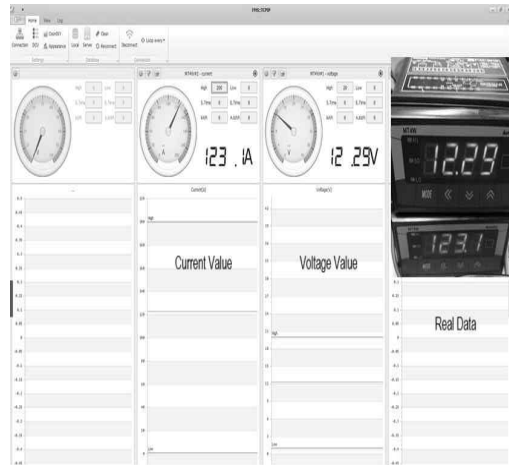


그림 4. IoT 디바이스 #1의 실시간 모니터링
Fig. 4 Real-time Monitoring of IoT device #1

또한 클라우드 서버에 데이터를 업로드하기 위해 매 5초마다 데이터가 업로드 되는 RESTful API 웹 아키텍처를 사용하였다. 그림 4는 로컬 PC에서 실제의 디지털 미터 값 (전압, 전류)을 실시간으로 나타내주는 모니터링 소프트웨어이다. 빨간 선과 초록 선은 사용자 설정 기준 값을 나타내며, 파란 선은 시간별 변화량을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 디지털 미터로 측정된 DC Power Supply에서 발생한 데이터가 모니터링 소프트웨어를 통해 실시간으로 출력된다.

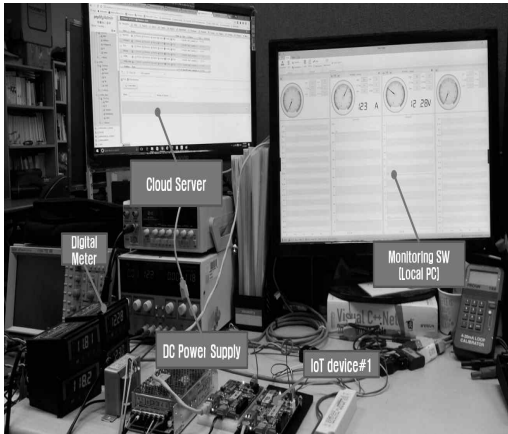


그림 5. 개발한 공장모니터링 시스템
Fig. 5. Designed factory monitoring system

3. 모니터링 시스템 구현

그림 5는 2.1절과 2.2절에서 언급한 IoT 디바이스와 모니터링 소프트웨어를 사용한 전체적인 모니터링 시스템을 구현한 모습이다. DC Power Supply를 사용하여 가상의 머신을 대체하였고 Autonics 社의 디지털 미터로 읽은 데이터가 모니터링 소프트웨어 화면에 나타나고 클라우드 서버의 데이터베이스에 저장되게 하였다.

III. 데이터 통신 프로토콜

본 시스템에서는 실시간 모니터링 시스템을 구현하기 위해 Modbus RTU와 Modbus TCP 간에 데이터 통신이 이루어진다. IoT 디바이스와 클라우드 서버 간의 통신 프로토콜은 Modbus TCP를 통해 수행되는 반면, Modbus RTU는 IoT 디바이스에서 디지털 미터로 데이터를 통신하는 데 사용된다.

1. Modbus 프로토콜

Modbus는 1979년 미국의 Modicon 社에서 개발되어 오늘날까지 전 세계의 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있는 통신방식 중의 하나로 자리잡게 되었다. Modbus 통신의 종류는 크게 Modbus Serial, Modbus plus, Modbus TCP/IP 세 가지로 나누어진다. 이 중에서 Modbus Serial은 다시 RS-232 기반 Modbus, RS-422 기반 Modbus, RS-485 기반 Modbus로 세분화되고 Modbus의 전송방식에 따라 RTU 전송방식과 ASCII 등 두 가지로 나눌 수 있다 [6].

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

그림 6. Modbus ASCII 메시지 프레임
Fig. 6 Modbus ASCII message frame

MODBUS message					
Start	Address	Function	Data	CRC Check	End
≥ 3.5 char	8 bits	8 bits	N x 8 bits	16 bits	≥ 3.5 char

그림 7. Modbus RTU 메시지 프레임
Fig. 7 Modbus RTU message frame

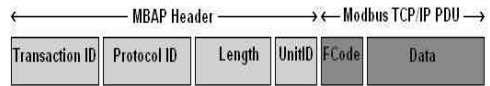


그림 8. Modbus TCP 메시지 프레임
Fig. 8 Modbus TCP message frame

본 논문에서는 RS-485기반의 Modbus 통신과 Modbus TCP를 사용하였다. 그리고 Modbus의 전송방식은 Modbus RTU를 사용하였다. 시리얼 통신에서 RS-485의 장점은 여러 장비들을 하나의 망으로 묶을 수 있으며, 하나의 master에서 여러 개의 slave들과 통신할 수 있다.

시리얼 전송모드는 데이터 인코딩 방식에 따라 아스키와 RTU 모드로 나누어진다. 아스키 모드에서는 한 바이트가 두 개의 아스키 문자로 기록되기 때문에 데이터 전송효율이 떨어지지만, RTU 모드에서는 이진 데이터를 그대로 전송하기 때문에 이런 문제가 없다. 시리얼통신에 기반한 Modbus를 이용하여 수집한 데이터들을 모니터링 한 내용을 서버로 전송하고 원격시스템을 제어하기 위해서는 Modbus TCP를 이용한다. 각각에 대한 메시지 프레임은 그림 6, 7, 8에 나타냈다 [7].

2. Modbus 프로토콜 변환

본 시스템의 목적은 실시간으로 제조용 장비나 기계의 상태를 확인하고 데이터를 수집하는 것이다. 이를 위해 클라우드 서버와 디지털 미터간의 데이터 통신프로토콜의 변환이 이뤄져야 한다 [8].

그림 9는 Modbus RTU를 Modbus TCP로, 또는 그 역으로 변환하는 알고리즘이다. 프로토콜 변환은 응답되는 데이터 패킷을 분석하여 이루어지는데 블록다이어그램에서 볼 수 있듯이 서버에서 데이터를 요청받아 데이터 프레임을 확인하고,

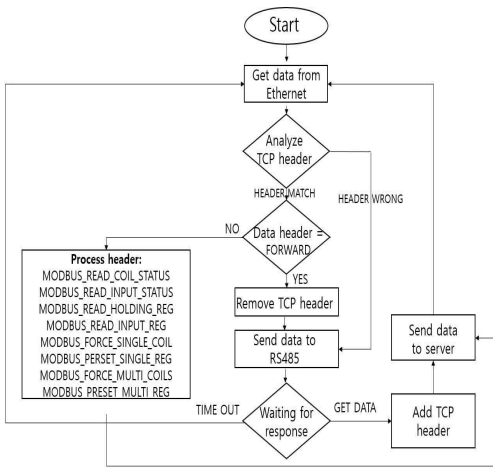


그림 9. Modbus 프로토콜 변환 블록다이어그램
Fig. 9 Block diagram of converting Modbus protocol

Modbus TCP의 헤더 조건을 판단한다. 이 조건이 충족되면 직렬통신을 이용하는 디지털미터에서 데이터를 요청받기 위해 Modbus RTU 데이터 프레임으로 패킷이 변환된다. 그리고 수신된 데이터는 클라우드 서버로 전송되어야 하므로 또다시 역으로 프로토콜 변환이 이루어진다. 만약 디지털 미터에서 데이터를 받지 못하면 처음의 순서로 돌아가 서버의 요청을 기다린다.

IV. 클라우드 플랫폼

그림 10은 IoT 디바이스로부터 받은 데이터를 데이터베이스에 저장하고 모니터링 시스템 및 원격 관리를 지원하도록 설계된 클라우드 플랫폼의 구성도이다. IoT 디바이스는 클라우드 서버에서 요청 받은 데이터를 전송하고, 클라우드 서버는 데이터를 데이터베이스에 저장하는 동시에 실시간 모니터링 시스템용 웹 애플리케이션에 전송한다. 웹 애플리케이션은 데이터 분석 및 차트를 실시간으로 표시하는 웹 브라우저이다. 사용자는 웹 브라우저를 통해 공장의 제조기계 상태를 확인하고 관리할 수 있다.

클라우드 플랫폼에서 웹 서버의 데이터를 지원하기 위해 웹 소프트웨어 아키텍처인 RESTful API를 사용했다 [9]. 그림 11에서 13은 각 데이터베이스 구조 및 웹 애플리케이션의 쿼리 데이터를 보여준다 [10].

그림 11에서 알 수 있듯이 클라우드 플랫폼의 데이터베이스 구조는 그림 1의 공장영역에서 데이터

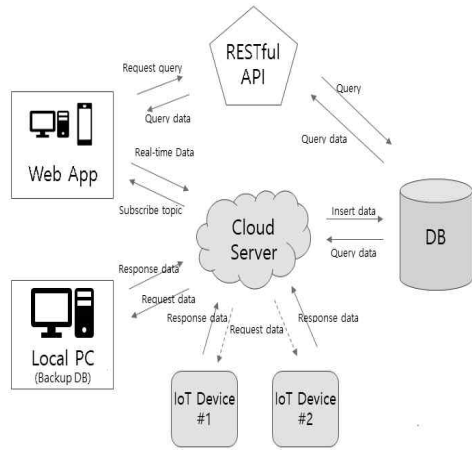


그림 10. 클라우드 플랫폼 구성도
Fig. 10 Configuration of cloud platform

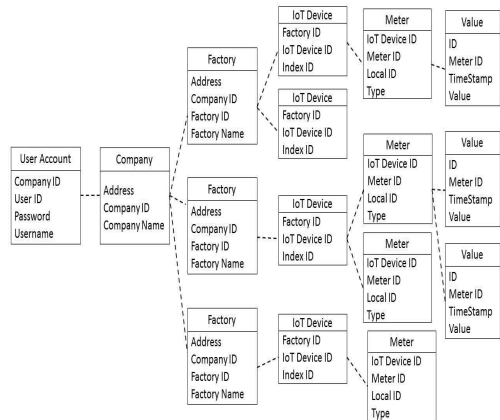


그림 11. 클라우드 플랫폼의 데이터베이스 구조
Fig. 11 Database structure on cloud platform

를 관리하도록 설계되었다. SQL 데이터베이스를 사용하여 디지털 미터와 IoT 디바이스간의 연결 구조를 형성한다.

웹 애플리케이션에서 이루어지는 실시간 온라인 모니터링 시스템을 그림 12에서 볼 수 있다. 본 연구에서 개발한 모니터링 시스템에서는 클라우드 서버에 웹 애플리케이션을 구축하여 실시간 원격 모니터링을 제공한다.

그림 12에서 보이는 것처럼 전압 값은 실제 시스템의 시뮬레이션으로서 직류 전압·전류 발생장치에 의해 생성된다. 시간별 변화량은 차트에 실시간으로 표시되며, 붉은 색 선은 사용자 설정 값, 녹색 선은 실시간으로 변화되는 데이터를 나타낸다.

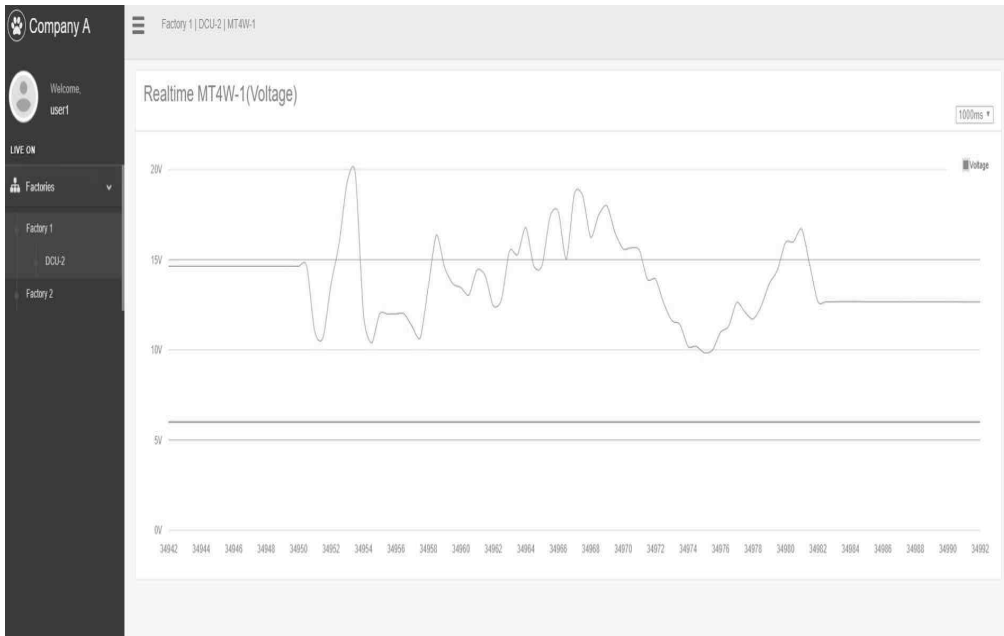


그림 12. 웹 어플리케이션에서의 실시간 측정값
Fig. 12 Monitor value in realtime on web application

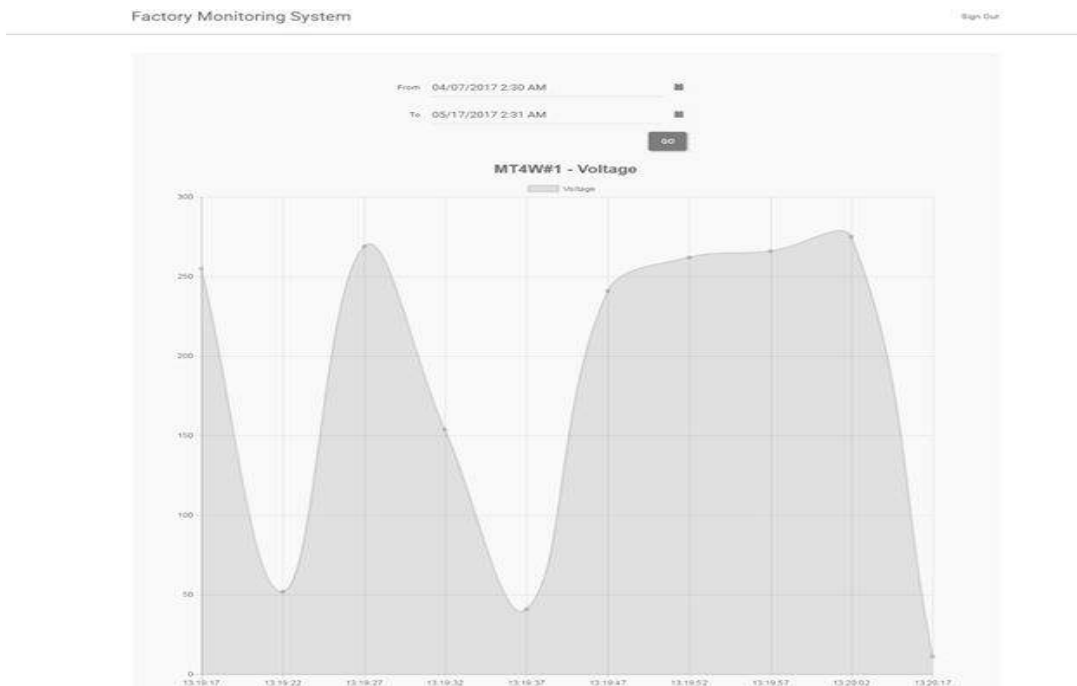


그림 13. 웹 어플리케이션의 쿼리 데이터
Fig. 13 Query data on web application

그림 13은 클라우드 플랫폼의 데이터베이스에서 쿼리된 데이터의 웹 어플리케이션을 보여준다. 사용자는 원하는 시간, 날짜를 선택하여 데이터를 확인할 수 있다. 차트에서 보이는 검은 점은 디지털 미터가 데이터를 측정 할 때의 각 작동시간을 나타내며, x축과 y축은 각각 작동시간과 측정된 데이터 값을 가리킨다. 이는 IoT 어플리케이션을 통한 모니터링 기능을 넓게 확장되도록 설계되었으며, 데이터베이스에 저장된 데이터는 향후 분석 및 진단을 위한 시스템의 소스로 사용된다.

V. 결론 및 향후 목표

본 논문에서는 제조 산업에서 사용하는 장비나 기계의 상태를 실시간으로 측정하고 제어하기 위해 기계의 주요 운전 파라미터 즉, 전류, 전압, 전력소비, 온도, 진동 등의 값을 측정하고 수집하여 원격으로 관리하기 위한 분산형 구조 기반 IoT 플랫폼을 개발하였다. 그리고 클라우드 서버는 IoT 디바이스에서 수집한 정보를 실시간으로 저장하고 웹서버를 위한 RESTful API를 지원함으로써 원격 관리를 할 수 있도록 설계하였다. 로컬 PC와 웹 어플리케이션에서 실시간으로 데이터를 모니터링한 결과는 그림 4와 12에서 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안한 모니터링 시스템의 향후 목표는 딥러닝 등의 빅데이터 솔루션을 분석 데이터에 적용하고, 최적화 된 데이터를 바탕으로 시스템의 상태를 분석하고, 진단하는 클라우드 서비스 개발이다. 또한 기존의 IoT 디바이스와 디지털 미터를 결합하여 데이터 측정 및 통신을 위한 종합 기능을 갖춘 새로운 IoT 디바이스를 개발할 예정이다.

References

- [1] T. Menaka, S. Vanila, F.A.L. Prizzi, "Real Time Controlling of the Critical Parameters With Time and Power Efficient Model in the Refinery," Proceedings of IEEE International Conference on Information Communication and Embedded Systems, pp. 908-912, 2013.
- [2] K.W. Park, K.O. Kim, K.J. Ban, E.K. Kim, "Design and Implementation of Cloud-based Sensor Data Management System," The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, Vol. 5, No. 6, pp. 672-677, 2010 (in Korean).
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Protocol_data_unit
- [4] S. Tamboli, M. Rawale, R. Thoraiet, S. Agashe, "Implementation of Modbus RTU and Modbus TCP Communication Using Siemens S7-1200 PLC for Batch Process," Proceedings of International Conference on Smart Technologies and Mangement for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials, pp. 258-263, 2015.
- [5] J.H. Kim, C.W. Lee, "Design and Implement a Gateway Based on Mobile Device and a web Monitoring System for u-Healthcare Service," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 4. No. 3, pp. 126-133, 2009 (in Korean).
- [6] <http://www.modbus.org>
- [7] S.M. Won, J.H. Kim, "A Study on the Remote Control of Factory Automation Equipment Using the Modbus Protocol," Journal of the Korean Entertainment Industry Association, Vol. 5. No. 4, pp. 194-198, 2011 (in Korean).
- [8] E. Joelianto, Hosana, "Perfomance of an Industrial Data Communication Protocol on Ethernet Network," Proceedings of IEEE International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, pp. 1-5, 2008.
- [9] <http://meetup.toast.com/posts/92>
- [10] K.M. Yang, S.K. Park, H.Y. Kwon, "Analysis on Performance of Database Query Methods for Information Processing Systems," Proceedings of IIEEK Conference, Vol. 2012. No. 11, pp. 662-664, 2012 (in Korean).

Geon-Soo Park (박건수)



B.S in Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, Korea in 2016. He will receive M.S. degree in Electronic Engineering from Dong-A University in

2019.

Email: gspark116@gmail.com

Tran Trung Tin (트란 트링 틴)



M.S. in Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, Korea in 2015. 2015~now PhD. course student in Electronic Engineering from Dong-A university,

Busan, Korea.

Email: trantrungtin.vhit@gmail.com

Dang Van Chien (당 반 치엔)



M.S. in Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, Korea in 2016. 2016~now PhD. course student in Electronic Engineering from Dong-A university,

Busan, Korea.

Email: DVChienbkvn@gmail.com

Ki-Jong Gil (길기종)



B.S in Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, Korea in 2016. M.S. in Electronic Engineering from Dong-A University in 2018.

Email: kkjong89@naver.com

Yong-Bin Shin (신용빈)



B.S in Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, Korea in 2016. M.S. in Electronic Engineering from Dong-A University in 2018.

Email: therobot90@naver.com

Jae-Won Choi (최재원)



B.S in Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, Korea in 2017. He will receive M.S. degree in Electronic Engineering from Dong-A University in

2019.

Email: cjo0024@naver.com

Jong-Wook Kim (김종욱)



B.S in Department of Electronics and Electrical Engineering, POSTECH, Pohang, Korea in 1998. M.S. in Department of Electronics and Electrical Engineering, POSTECH,

Pohang, Korea in 2000. PhD. In Electronics and Electrical Engineering, POSTECH, Pohang, Korea in 2004. Associate Professor in Department of Electronic Engineering, Dong-A University, Busan, Korea.

Email: kjwook@dau.ac.kr