

스마트 팩토리 디지털 트윈(Digital Twin)을 위한 IIoT 통신 기반 ZMP(Zone Master Platform) 설계

박선희¹, 배종환^{2*}

¹주식회사 유토비즈 부사장, ²주식회사 유토비즈 대표이사

A Design on The Zone Master Platform based on IIoT communication for Smart Factory Digital Twin

Seon-Hui Park¹, Jong-Hwan Bae^{2*}

¹Vice President, Utobiz, ²President, Utobiz

요약 본 논문은 스마트 팩토리(Smart Factory) 디지털 트윈(Digital Twin) 구축을 위해서 다양한 산업용 센서(IoT/비 IoT)로부터 센서데이터를 획득하기 위한 표준 노드(Node)를 생성하고 그룹별/공정별 존(Zone)을 연동하여 상호호환적인 데이터의 교환 기능을 제공함으로써 데이터의 안정성을 확보하고 스마트 팩토리의 디지털 트윈(Digital Twin)을 위한 효과적인 존 마스터(Zone Master) 플랫폼 구축 방안을 제시하였다.

존 마스터(Zone Master) 플랫폼의 Process는 독립된 시스템 간의 센서 객체 및 센서 상호작용이 어떻게 수행하는지를 정의해 주기 위한 인터페이스 명세를 포함하고 있으며 고유의 데이터 교환 규칙에 대한 개별 정책들을 수행하고 있다. 존 마스터 플랫폼 프로세서의 실행 통제를 위한 인터페이스는 시스템관리, 자료교환의 협상(publish-subscribe)을 위한 선언 관리, 센서 객체의 등록 및 상태 정보를 통신하기 위한 객체 관리, 속성 소유권 공유를 위한 소유권 관리, 데이터 동기화를 위한 시간 관리, 데이터 교환에 대한 Route 정보를 위한 자료 분배 관리를 제공한다.

주제어 : 사물인터넷, 스마트 팩토리, 디지털 트윈, 존마스터 플랫폼

Abstract This paper creates a standard node for acquiring sensor data from various industrial sensors (IoT/non-IoT) for the establishment of Smart Factory Digital Twin, and provides inter-compatible data by linking zones by group/process to secure data stability and to ensure the digital twin (Digital Twin) of Smart Factory.

The process of the Zone Master platform contains interface specifications to define sensor objects and how sensor interactions between independent systems are performed and carries out individual policies for unique data exchange rules. The interface for execution control of the Zone Master Platform processor provides system management, declaration management for public-subscribe, object management for registering and communicating status information of sensor objects, ownership management for property ownership sharing, time management for data synchronization, and data distribution management for Route information on data exchange.

Key Words : IoT, Smart Factory, Digital Twin, Zone Master Platform

*교신저자 : 배종환(blacksmith@utobiz.co.kr)

접수일 2020년 9월 16일 수정일 2020년 10월 25일 심사완료일 2020년 10월 28일

1. 서론

근래 들어, 제조업 혁신을 위해서 생산 전 과정에서의 지능화(Intelligence), 연결화(Connectivity), 가상화(Virtualization)를 통한 스마트 팩토리(Smart Factory)의 보급 및 확산이 널리 이루어지고 있다[1]. 이와 더불어 제조 공정에서의 제어 및 모니터링을 위한 데이터 교환에 대해, 표준화를 통한 데이터 교환의 필요성은 IEC 62541 표준[2]에서 명세 되어있는 OPC-UA[3-8]를 비롯하여 PLC, HMI(Human Machine Interface), SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition, MES(Manufacturing Execution System) 등 서로 다른 산업용 자동화 장치들 사이의 상호운용성 확보를 통한 신뢰성 있고 상호호환적인 데이터 교환을 가능하게 한다[9-13]. 이러한 표준화를 통한 데이터 교환은 다양한 산업용 센서(IoT/비 IoT)의 안정적이고 신뢰할 수 있는 데이터 획득을 가능하게 해준다. 이를 통하여 공정 시스템에 대한 지능화(Intelligence), 연결화(Connectivity), 가상화(Virtualization) 목표를 달성함으로써 스마트 팩토리 혁신이 가능하게 될 것이다. 또한, 안정적인 데이터의 획득은 데이터 관리를 위한 공통 플랫폼 서비스 지원을 가능하게 하며 혁신적인 스마트 팩토리의 구축을 위한 디지털 트윈(Digital Twin) 서비스의 실현이 가능하게 할 것이다.

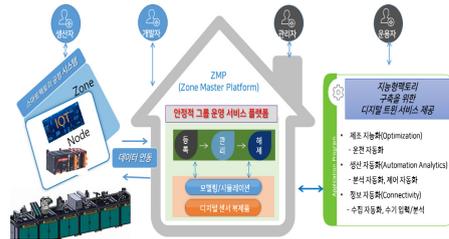
본 논문에서는 스마트 팩토리(Smart Factory) 디지털 트윈(Digital Twin) 구축을 위해서 다양한 산업용 센서(IoT/비 IoT)로부터 센서데이터를 획득하기 위한 표준 노드(Node)를 생성하고 그룹별/공정별 존(Zone)을 연동하여 상호호환적인 데이터 교환 기능을 제공함으로써 데이터의 안정성을 확보하고 스마트 팩토리의 디지털 트윈(Digital Twin)을 위한 효과적인 플랫폼 구축 방안을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 스마트 팩토리 디지털 트윈(Digital Twin)을 위한 존 마스터 플랫폼(ZMP : Zone Master Platform)에 대한 개요 및 계층 구조 설계 내용을 기술하고, 3절에서는 존 마스터 플랫폼(ZMP)의 동작을 확인하기 위한 테스트베드를 구축하여 동작을 검증하였으며, 4절에서 결론을 도출하였다.

2. 관련 연구

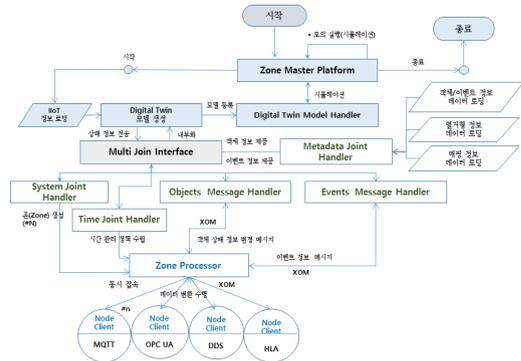
2.1 존 마스터 플랫폼 개요

존 마스터(Zone Master) 플랫폼은 공정용 IoT/비 IoT센서의 멀티 입출력을 처리하기 위한 그룹관리 기법으로 산업용 센서로부터 수집된 센싱 데이터를 최적화하고, 주기별/비 주기별 데이터 교환을 위한 통신 노드(Node)를 지원한다[Fig. 1].



[Fig. 1] Zone Master Overview

또한, 개별 통신 노드는 MQTT[14-16], OPC AU 등 통신 프로토콜에 대한 데이터 송/수신 및 변환알고리즘을 탑재하여 디지털 센서를 생성하기 위한 데이터 변환(Encode/Decode) 기능을 수행한다. 이러한 개별 통신 노드 정보는 그룹관리를 위한 존(Zone)으로 통합되며 디지털 트윈(Digital Twin) 객체 관리를 위한 존 마스터(Zone Master) 플랫폼에 등록하여 데이터 분석 및 시각화를 위한 서비스를 수행하도록 한다[Fig. 2].



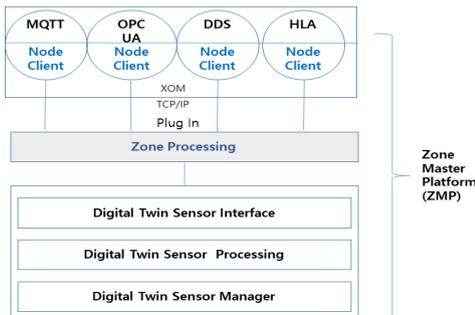
[Fig. 2] Zone Master Platform(ZMP) Operational Concepts

2.2 계층 구조 설계

존 마스터(Zone Master) 플랫폼은 독립적인 센서모델의 입장에서 데이터 연동을 위한 한 개의 시스템에 의존하지 않고 자유롭게 다수의 시스템에 동시 접속하여 데이터를 교환하기 위한 서비스를 제공한다. 또한, MQTT, OPC UA, DDS, HLA 등 표준화된 데이터 교환

체계뿐만 아니라 비 표준화된 독립 시스템 및 독립 센서에도 각각의 전용 노드(Node)를 통하여 자유롭게 데이터 교환이 가능하다.

존 마스터(Zone Master) 플랫폼의 Process는 독립된 시스템 간의 센서 객체 및 센서 상호작용이 어떻게 수행하는지를 정의해 주기 위한 인터페이스 명세를 포함하고 있으며, 고유의 데이터 교환 규칙에 대한 개별 정책들을 수행하고 있다. 이러한 독립적인 정책 및 규약을 처리하기 위해서는 공통 구조(Common Structure)를 가져야 하며 공통 구조를 통해서 상호운용성 및 재사용성을 확보해야 한다. 존 마스터 플랫폼 프로세서의 실행 통제를 위한 인터페이스는 시스템관리, 자료교환의 협상(publish-subscribe)을 위한 선언 관리, 센서 객체의 등록 및 상태 정보 통신하기 위한 객체 관리, 속성 소유권 공유를 위한 소유권 관리, 데이터 동기화를 위한 시간 관리, 데이터 교환에 대한 Route 정보를 위한 자료 분배 관리의 6가지 관리영역으로 구분되어 진다.



[Fig. 3] Zone Master Platform Hierarchy

마스터(Zone Master) 플랫폼은 표준 혹은 비표준 데이터를 교환하기 위한 서비스를 제공하며 이를 위한 Zone Processing Layer, Digital Twin Sensor Processing Layer, Interface Layer, Manager Layer로 구성되어 진다[Fig. 3].

2.2.1 Zone Processing

- 외부와 데이터 교환을 위한 네트워크를 담당
- 외부 시스템과 연동을 위한 노드(Node) 클라이언트 (독립적인 데이터 교환 정책 수립)들을 관리
- 존 마스터 관리자로부터 수신한 데이터 교환 메시지 (디지털 트윈 센서모델/이벤트)를 각 노드(Node)에 분배해줌
- 독립 노드(Node)에서 수신한 센서모델/이벤트 정보를 수신하고 존 마스터 관리자에 전송하기 위한 처리

2.2.2 Digital Twin Sensor Interface

- 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 정보에 대한 메타데이터를 조회하기 위한 인터페이스 기능
- 센서의 상태 변경 메시지 전송 인터페이스 기능
- 센서의 이벤트 정보 전송하기 위한 인터페이스 기능

2.2.3 Digital Twin Sensor Processing

- 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 및 이벤트의 메타정보를 관리하는 메타정보 관리기능
- 독립 노드(Node)를 생성하고 모든 센서 노드의 상태 정보를 관리 하는 시스템 접속 관리기능
- 존 마스터 플랫폼 시간을 외부 노드 시스템 시간과 동기화하기 위한 시간 관리기능
- 디지털 트윈 센서모델 메시지 관리를 위한 센서 메시지 관리기능
- 데이터 교환 이벤트 메시지 관리를 위한 이벤트 메시지 관리기능

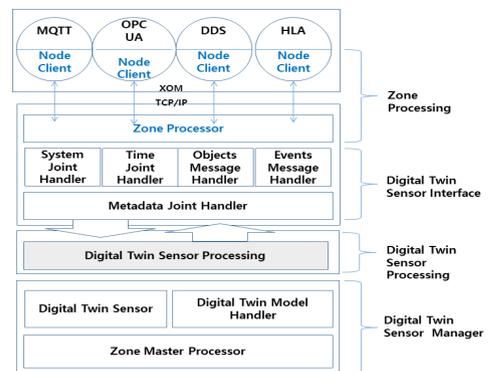
2.2.4 Digital Twin Sensor Manager

- 디지털 트윈을 위한 센서모델 생성/삭제
- 디지털 센서모델 조회 및 관리기능
- 디지털 트윈 모델 데이터 교환 및 이벤트 처리를 위한 기능

2.3 존 마스터(Zone Master) 플랫폼 상세설계

2.3.1 시스템 구성도

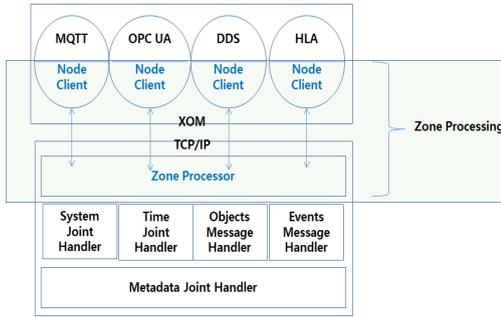
존 마스터(Zone Master) 플랫폼에 대한 시스템 구성은 다음과 같이 구성되어 진다[Fig. 4].



[Fig. 4] Zone Master Platform System Configuration Diagram

2.3.2 존(Zone) 처리기(Processing)

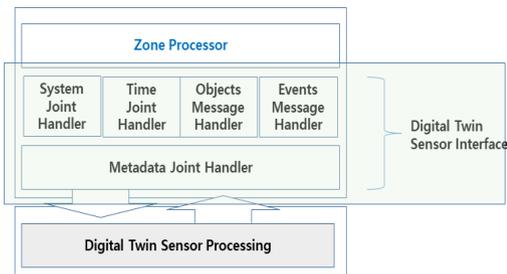
존 처리기(Zone Processing) 계층은 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 인터페이스(Interface) 계층의 상위에 존재하며 외부 시스템(IoT/비IoT-PLC)과 직접 데이터 교환을 하는 Node Client(독립 시스템)와 각 노드(Node)의 정보를 처리하는 존 처리기(Zone Processor)로 구성한다[Fig. 5].



[Fig. 5] Zone Processing Diagram

2.3.3 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 인터페이스

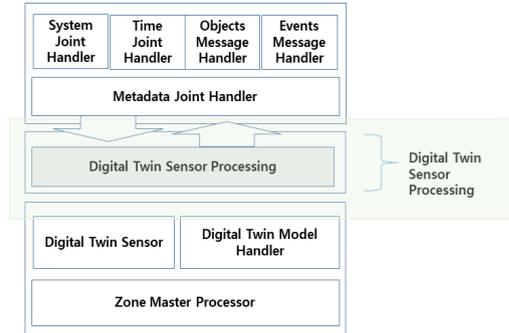
디지털 트윈(Digital Twin) 인터페이스 계층은 내부 모델(디지털 센서모델)의 연동 센서모델을 관리하기 위한 계층으로 연동 노드(Node)를 생성하거나 삭제하고, 각각 Node 및 Zone의 동기화 시간을 관리하며 존 마스터(Zone Master)의 객체상태 정보 메시지 및 이벤트(상호작용) 메시지 정보를 관리한다[Fig. 6]. 또한, 데이터의 형식 및 변환을 위한 메타정보관리 기능을 포함한다. 존 마스터 플랫폼은 메타정보를 사용한 구조화된 데이터 형식으로 관리가 되며, 메타정보는 파일 형태의 정형화된 형식으로 제공이 된다.



[Fig. 6] Digital Twin Sensor Interface Configuration Diagram

2.3.4 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 처리기

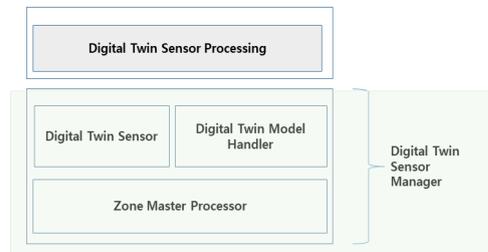
디지털 트윈(Digital Twin) 센서 처리기 계층은 존(Zone)/노드(Node)에서 수신한 센서 정보를 존 마스터(Zone Master)의 디지털 트윈(Digital Twin) 센서에 적용하기 위한 기능을 제공하며 상호작용을 위한 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 정보를 산업용 센서에 전송하기 위한 인터페이스를 제공한다[Fig. 7].



[Fig. 7] Digital Twin Sensor Handler

2.3.5 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 관리자

디지털 트윈(Digital Twin) 센서 관리자 계층은 존 마스터 플랫폼(ZMP)의 가장 낮은 계층으로 사용자모델의 객체를 생성/관리하기 위한 계층이다. 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 정보를 산업용 센서와 연동을 통해 데이터의 송신/수신할 수 있으며 이를 위해서 존 마스터(Zone Master) 플랫폼은 디지털 트윈(Digital Twin) 센서에 접근하기 위한 생성/삭제/조회 등 인터페이스를 제공한다[Fig. 8].



[Fig. 8] Digital Twin Sensor Manager

〈Table 1〉 Digital Twin Sensor Manager Layer Components and Features

Component	Function
Digital Twin Sensor	•Works with industrial sensor information to manage real-time status information and provides services for sensor data collection, analysis and visualization
Digital Twin Model Handler	•Digital Twin Sensor Creation/Deletion and Lookup Service Functions •Provides synchronization service capabilities for model status/log management
Zone Master Platform Processor	•Provides simulation, information analysis and data storage service capabilities for digital twin sensors

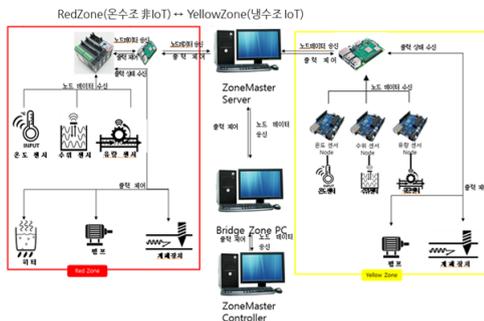
3. 존 마스터(Zone Master) 플랫폼 동작

3.1 동작 실험을 위한 시스템 구성

존 마스터(Zone Master) 플랫폼 동작 확인을 위해서 비 IoT(PLC) Zone, IoT Zone, Bridge Zone으로 구성된 테스트베드(A타입)[Fig.9], 비IoT(PLC) Zone, 비 IoT(PLC) Zone, Bridge Zone으로 구성된 테스트베드(B타입)[Fig.10]를 구성하였다.

3.1.1 비IoT(PLC)/IoT Zone(테스트 A 형) 구성

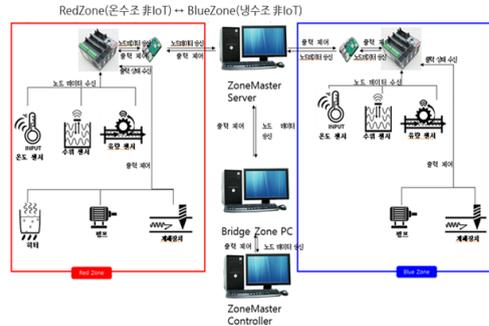
테스트 A형은 데이터 입력을 위해 온도 센서, 수위 센서, 유량 센서를 사용하였고, 데이터 출력을 위해서 히터, 펌프, 계폐 장치를 통하여 데이터 출력 동작 확인이 가능하도록 구성하였으며, 비 IoT(PLC) Zone, IoT Zone, Bridge Zone에 각각의 센서 노드(Node)를 등록하여 동작을 확인하였다[Fig. 9].



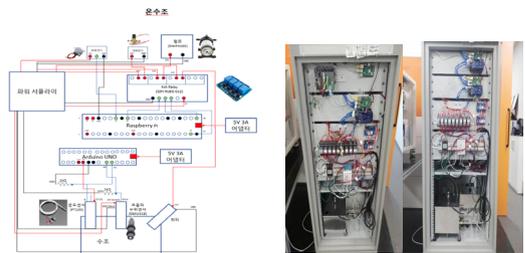
[Fig. 9] Non IoT(PLC)/IoT Zone(A Type)

3.1.2 비 IoT(PLC)/비 IoT(PLC) 구성 실험

테스트 B형은 테스트 A형과 동일한 입출력 센서를 비 IoT(PLC) Zone, 비 IoT(PLC) Zone, Bridge Zone으로 구성하여 동작 실험을 하였다[Fig. 10].



[Fig. 10] Non IoT/Non IoT Zone(B Type)

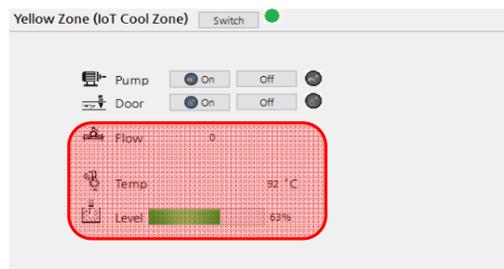


[Fig. 11] I/O Diagram

[Fig. 12] Prototypes

3.2 디지털 트윈 센서모델 제어/감시

동작 실험을 위해 구성된 비 IoT(PLC) Zone, IoT Zone을 통해 획득된 센서 정보(Node)는 존 (Zone) 정보 처리기를 통하여 존 마스터 플랫폼(ZMP)에 등록되어 디지털 트윈(Digital Twin) 센서 형태로 관리되고 Bridge Zone을 통하여 스마트 팩토리 통제(Controller) 도구에 연동되어 제어 및 감시의 정상 동작을 확인하였다[Fig. 13].



[Fig. 13] Sensor Control And Monitor

4. 결론

본 논문에서는 스마트 팩토리 디지털 트윈(Digital Twin)을 위한 IoT/비 IoT로 구성된 사업용 센서데이터를 획득하기 위한 표준 노드(Node)를 생성하고 그룹별/공정별 존(Zone)을 연동하여 상호호환적인 데이터 교환 기능을 제공하기 위한 존 마스터(Zone Master) 플랫폼 서비스를 구현하였다.

존 마스터(Zone Master) 플랫폼의 Process는 독립된 시스템 간의 센서 객체 및 센서 상호작용이 어떻게 수행하는지를 정의해 주기 위한 인터페이스 명세를 포함하고 있으며 고유의 데이터 교환 규칙에 대한 개별 정책들을 수행하도록 하였다. 이러한 독립적인 정책 및 규약을 처리하기 위한 공통 구조를 구현하였으며, 공통 구조를 통해서 상호운용성 및 재사용성을 확보하도록 하였다. 존 마스터 플랫폼 프로세서의 실행 통제를 위한 인터페이스는 시스템관리(System Management), 자료교환의 협상(publish - subscribe)을 위한 선언 관리, 센서 객체의 등록 및 상태 정보 통신하기 위한 객체 관리, 속성 소유권 공유를 위한 소유권 관리, 데이터 동기화를 위한 시간 관리, 데이터 교환에 대한 Route 정보를 위한 자료 분배 관리의 6가지 관리영역에 대한 서비스 기능을 구현하였다.

비 IoT(PLC) Zone, IoT Zone, Bridge Zone으로 구성된 테스트 베드(A타입), 비 IoT(PLC) Zone, 비 IoT(PLC) Zone, Bridge Zone으로 구성된 테스트 베드(B타입)를 구성하여 동작을 확인하였고 센서모델의 제어/감시하기 위한 존 마스터 통제기를 구현하여 디지털 트윈(Digital Twin) 센서에 대한 구현 상태를 확인하였다.

향후 연구로는 존 마스터(Zone Master) 플랫폼에 MQTT, OPC-UA, DDS, HLA와 같은 표준화된 데이터 교환을 위한 노드(Node)의 구성을 위한 효율적인 방안 에 대한 설계 및 구현 방안을 제시할 예정이다.

REFERENCES

- [1] S.Y.Oh, "Design and Implementation of OPC-UA Framework for PLC-based Industrial Control Applications" KIISE Transactions on Computing Practices, Vol.24, No.10, pp.513-526, 2018. 10
- [2] OPC Unified Architecture - Part 1: Overview and Concepts, IEC 62541-1, Oct. 2016.
- [3] "IEC 62541 OPC Unified Architecture Specification Part1: Overview and Concepts, ver 1.01", OPC

Foundation, Feb, 2009

- [4] "IEC 62541 OPC Unified Architecture Specification Part2: Security Model, ver 1.01", OPC Foundation, Feb, 2009
- [5] "IEC 62541 OPC Unified Architecture Specification Part3: Address Space Model, ver 1.0", OPC Foundation, Feb, 2009
- [6] "IEC 62541 OPC Unified Architecture Specification Part4: Services, ver 1.0", OPC Foundation, Feb, 2009
- [7] "IEC 62541 OPC Unified Architecture Specification Part5: Information Model ,ver 1.0", OPC Foundation, Feb, 2009
- [8] "IEC 62541 OPC Unified Architecture Specification Part6: Mappings, ver 1.0", OPC Foundation, Feb, 2009
- [9] T. Hannelius, M. Salmenpera, and S. Kuikka, "Roadmap to adopting OPC UA," Proc. of the 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp.756-761, Jul. 2008.
- [10] M. H. Schwarz and J. Börsök, "A survey on OPC and OPC-UA: About the standard, developments and investigations," Proc. of the XXIV International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT), pp.1-6, Oct. 2013.
- [11] J. Lange, F. Iwanitz, and T. J. Burke, OPC, 4thEd., VDE VERLAG GMBH., Berlin, Germany. 2010.
- [12] W. Mahnke, S.-H. Leitner, and M. Damm, OPC unified architecture, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany, 2009.
- [13] D.W.Lee, K.M.Cho, "Analysis on Smart Factory in IoT Environment", Journal of KIOTS, Vol.5, No.2, pp. 1-5, 2019
- [14] D. Soni, and A. Makwana, "A survey on MQTT: a protocol of internet of things(IoT)", in Proceeding of the International Conference on Telecommunication, Power Analysis and Computing Techniques, Chennai: IN, 2017.
- [15] Nitin Naik, "Choice of Effective Messaging Protocols for IoT Systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP", 2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE), 2017.
- [16] P. Ferrari, E. Sisinni, D. Brandão, M. Rocha, "Comparison with HTTP and MQTT on Required Network Resources for IoT", The 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC), 2016.

박 선 희(Seon-Hui Park) [정회원]



- 2016년 2월 : 부산외국어대학교 일반대학원 ICT창의융합전공 (공학박사)
- 2017년 5월 ~ 현재 : 주식회사 유토비즈 부사장
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍 대학 아산캠퍼스 정보통신시스템과 겸임교수

<관심 분야>

사물인터넷, 디지털 트윈, M&S, AR/VR/MR

배 종 환(Jong-Hwan Bae) [정회원]



- 2014년 7월 : 한남대학교 무기체계/M&S 학과 (공학석사)
- 2018년 2월 : 공주대학교 군사과 학정보학과 (공학박사)
- 2017년 4월 ~ 현재 : 주식회사 유토비즈 대표이사

<관심 분야>

사물인터넷, 정보통신, 표준연동, M&S