

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.789>

JCCT 2023-5-93

메타팩토리를 위한 IEC62541기반 IIoT·시뮬레이터 설계 및 구현

Design and Implementation of IEC62541-based Industry-Internet of Things Simulator for Meta-Factory

임채영*, 여채은**, 조우진***, 구재희****, 이상현*****

Chae-Young Lim*, Chae-Eun Yeo**, Woo-jin Cho***, Jae-Hoi Gu****,
Sang-Hyun Lee*****

요약 디지털 트윈은 디지털 공간에서 시뮬레이션 및 최적화함으로써 스마트팩토리 구현에 중요한 핵심 기술로 인식되고 있으며 이러한 시스템을 구현하기 위해서는 상호 운용성과 기기종 플랫폼 간 연결에 강점을 보이는 IEC62541 기반의 OPC-UA 프로토콜을 채택하고 있다. 이에 본 논문에서는 기기종 플랫폼 간 연결할 산업용 IIoT 시스템을 설계 및 구현하고, IEC 62541기반으로 OPC-UA 시뮬레이터를 제안하여, 개발한 시뮬레이터를 통해 실제 제조현장의 온도, 압력, 유량 등 센서에서 수집되는 데이터를 디지털 트윈 플랫폼에 적용해 동작하는지를 제시하고, 이에 대한 성능시험 및 평가를 진행하였다. 제안한 디바이스에서 경량화된 디지털 트윈 플랫폼의 동작 성능과 OPC-UA 성능 평가를 진행하여 최적의 IEC62541기반 IIoT 시뮬레이터 시스템을 제안한다. 제안한 IIoT 시뮬레이터에서는 OPC-UA 래핑으로 데이터를 송/수신하는 성능평가를 진행하고, 경량화된 디지털 트윈 플랫폼이 운영됨을 알 수 있다. 이 연구는 한정된 자원을 사용하는 제조 현장에서 스마트 팩토리 및 메타팩토리 구현을 위한 OPC-UA 프로토콜을 적용할 수 있으며, OPC-UA 시뮬레이터를 통해 현장에서의 시간 및 공간의 낭비를 최소화하고, 효율성을 크게 기여할 것으로 기대한다.

주요어 : 스마트 팩토리, 디지털 트윈, 국제산업표준 62541, OPC-UA, 산업용 IIoT시뮬레이터

Abstract Digital-Twin are recognized as an important core technology for the realization of Smart Factories by simulating and optimizing the monitoring and predictive maintenance of manufacturing equipment and the operation of production lines in a digital space. To implement this system, we adopt the IEC62541-based OPC-UA (Open Platform Communications Unified-Architecture) Protocol, which has strengths in interoperability and connectivity between heterogeneous platforms. Therefore, In this paper, We designed and implemented an IIoT(Industry Internet of Things) system that connects heterogeneous platforms, and developed an OPC-UA simulator based on IEC 62541. We will present whether the data will be applied to the Digital-Twin Platform and whether it will work, and proceed with performance tests and evaluations. We evaluate the operation performance and OPC-UA performance of the Digital-Twin platform lightened by the proposed device, and present the optimal IEC62541-based simulator system. We proceeded with the performance evaluation of sending and receiving data with OPC-UA wrapping with the proposed simulator, and found that a lightweight Digital-Twin platform can be operated. This research can apply the OPC-UA protocol for implementing smart factory and meta-factory in the manufacturing shop floor with limited resources, avoiding the waste of time and space on the shop floor through the OPC-UA simulator. We expect that this will contribute to a significant improvement in efficiency by minimizing.

Key words : Smart Factory, Digital-twin, IEC62541, OPC-UA, Industry Internet of Things Simulator

*정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 선임연구원 (제1저자)Received: April 10, 2023 / Revised: April 17, 2023

**정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 (참여저자)Accepted: May 8, 2023

정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 (참여저자)*Corresponding Author: leesang64@honam.ac.kr

****정회원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구위원 (참여저자)Dept. of Computer Engineering, Honam University, Korea

*****정회원, 호남대학교 컴퓨터공학과 부교수 (교신저자)

접수일: 2023년 4월 10일, 수정완료일: 2023년 4월 17일

게재확정일: 2023년 5월 8일

I. 서 론

오늘날 제조업은 복잡하고 다양한 고객의 니즈에 효율적으로 대응하기 위해 다양한 솔루션을 추진하고 있으며, 그 중 디지털트윈(Digital-Twins)과 메타 팩토리(Meta-Factory)와 같은 첨단화를 추진하고 있다. 디지털 트윈(Digital-Twin)은 가상의 세계를 현실을 반영한 모델을 구현하여 실제 세계와 가상의 세계를 실시간으로 통합하는 것이 핵심이며, 스마트 팩토리(Smart Factory) 기술은 메타버스(Meta-Factory) 기술과의 융합을 통해 메타 팩토리와 같은 기술을 추진하고 있다. 스마트팩토리는 제조업의 핵심적이고 대표적인 기술이라고 할 수 있으며, 이를 통해 현장 설비와 공정을 실시간으로 모니터링하고 분석 및 제어할 수 있다. 이를 통해 분석한 데이터는 생산 공정에 소요되는 시간과 비용을 절감시키는 최적제어 및 가이던스 제공을 통하여 생산성 향상을 시킬 수 있다 [1][2].

효율성 향상 기술로 제조현장의 설비와 공정을 동일하게 볼 수 있도록 쌍둥이 모델을 통한 디지털트윈 기술이 핵심기술 중의 하나로 각광 받고 있으며, 공정설비 모니터링 및 예지보전 그리고 공정 운영 등을 디지털 공간에서 시뮬레이션 및 최적화를 함으로써 효율성 향상과 중요한 의사결정을 지원할 수 있어, 스마트 팩토리 구현에 중요한 핵심 기술로 인식되고 있다 [3][4].

이러한 시스템을 구현하기 위해서 상호 운용성과 이기종 플랫폼 간 연결에 강점을 보이는 IEC 62541기반의 OPC-UA(Open Platform Communications Unified-Architecture) 프로토콜의 사용이 효율적이나 아직 스마트 팩토리 구현에 있어서 적용 연구와 사례는 부족한 상황이다 [5]. 이러한 디지털트윈 기반의 실시간 모니터링을 위해서 OPC-UA를 산업계에서는 표준 프로토콜로 채택하고 있다. OPC-UA는 특정 기술에 종속적인 OPC DA와 OPC classic의 단점을 보완하여 정보 처리 상호운용을 위해 만든 M2M 통신 프로토콜이다 [6].

OPC-UA(Unified Architecture)는 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼에 독립적이고 여러 시스템에 다양하게 활용될 수 있다. 이러한 특성때문에 여러 종류의 기술들을 이용하여 통신이 가능하며 현재 XML등의 데이터 인코딩 기술과 SOAP등의 전송프로토콜을 지원한다 [7][8].

OPC-UA는 다양한 통신 환경을 지원함으로써 임베디드 시스템부터 x86 기반의 컴퓨터에 이르는 산업 자동화

시스템 전반에 대한 통합을 가능하게 한다 [9][10].

본 논문에서는 메타팩토리를 위한 IEC62541기반 IIoT 시뮬레이터 구현 및 성능 평가 결과를 제시한다. 제안된 시뮬레이터 모델을 활용하여 현장설비를 OPC-UA를 통해 실시간으로 모니터링하는 시스템을 구현한다. 이에 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 상호운용성을 위한 메타팩토리와 관련된 배경기술 및 관련연구들에 대하여 설명한다. 3장에서는 메타팩토리를 위한 IEC62541기반 IIoT 시뮬레이터의 구조를 제안하고 구현에 대하여 상세하게 설명한다. 4장에서는 시뮬레이터의 성능 지표 선정 및 성능을 평가한다. 5장은 앞의 내용을 정리하여 결론을 기술하며 후속 연구에 대하여 다룬다.

II. 관련연구

2.1 스마트 팩토리(Smart Factory)

스마트팩토리는 설계 및 개발, 제조 및 유통 등 생산과정에 디지털 자동화 솔루션이 결합된 정보통신기술을 적용하여 생산성, 품질, 고객 만족도를 향상시키는 지능형 생산공장으로 공장 내 설비와 사물인터넷(IoT : Internet of Things)을 설치하여 공정 데이터를 실시간으로 수집하고, 이를 분석해 스스로 제어할 수 있게 만든 공장이다 [11].

이러한 스마트팩토리의 핵심 가치는, 공장 생산 과정의 최적화를 원하는 기업들이 스마트 팩토리를 도입하는 이유가 되었고 이에 도입 기업의 사례도 증가하고 있다.

2.1.1 메타 팩토리(Meta-Factory)

실제 제조현장과 동일한 디지털 공장을 가상환경에 구현하는 미래형 공장이다. 이는 물리적 사물과 세계를 디지털 환경에 그대로 옮겨내는 것을 일컫는 “디지털 트윈(Digital Twin)개념을 기반으로 한다 [12].

2.2 디지털 트윈

아래 그림1은 디지털트윈의 구조를 설명한다. 가상의 세계를 현실을 반영한 모델을 구현하여 실제 세계와 가상의 세계를 실시간으로 통합하는 것이 핵심이며, 이러한 시스템을 구현하기 위해서 상호 운용성과 이기종 플랫폼 간 연결에 강점을 보이는 IEC 62541기반의 OPC-UA프로토콜의 사용이 효율적이다.

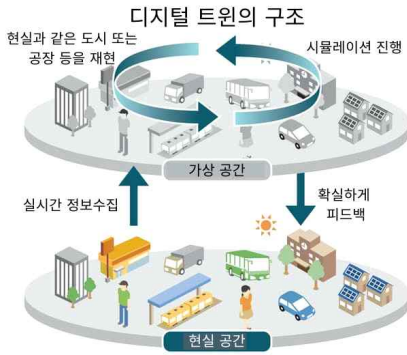


그림 1. 디지털트윈의 구조
 Figure 1. Structure of Digital Twin

2.3 OPC-UA(Open Platform Communication Unified Architecture)

아래 그림2는 전형적인 OPC UA의 서버/클라이언트 구조를 설명한다. OPC UA는 정보 상호운용을 위해 개발된 M2M(machine to machine) 통신 프로토콜이며, 기존의 OPC DA, OPC A&E, OPC HDA의 기능을 상속받고 있다 [3].

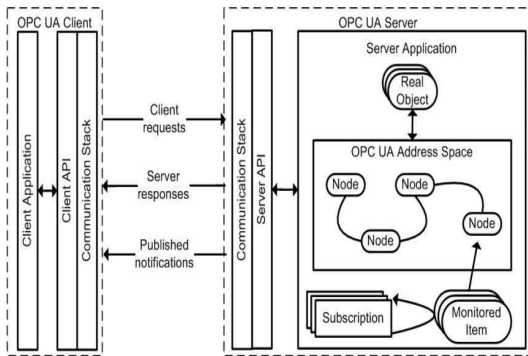


그림 2. 전형적인 OPC UA 서버와 클라이언트의 구조
 Figure 2. Typical OPC Unified-Architecture Server/Client

2.3.1 OPC-UA Wrapper 종류

OPC-UA Wrapper는 OPC-UA Client가 OPC-DA Server에 접근할 수 있도록 OPC-DA Server의 데이터를 OPC-UA로 표현하며, OPC-UA Server에서 요청받은 서비스로 변환하여 제공한다. 아래 그림3은 OPC-UA의 Wrapper 종류를 설명한다. OPC-UA Wrapper는 내장형 Wrapper와 독립형 Wrapper로 나눌 수 있다. 내장형 Wrapper의 경우 Client-Embedded Wrapper, Server-Embedded Wrapper로 나눌 수 있다 [4].

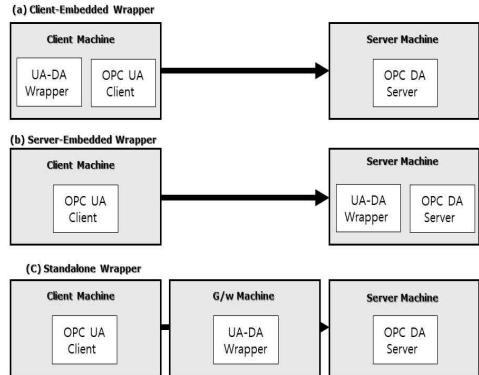


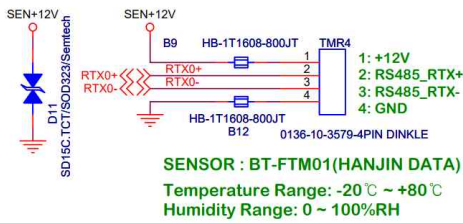
그림 3. OPC-UA Wrapper의 종류
 Figure 3. Type of OPC-UA Wrapper

III. IEC62541기반 IIoT·Simulator 설계

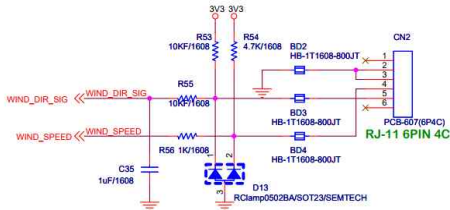
본 절에서는 트랜스미터 등 이기종간 연결할 산업용 IIoT(Industry Internet of Things) 시스템을 설계하고, 메타팩토리 구현을 위한 IEC 62541기반의 IIoT 시뮬레이터를 설계한다.

3.1 IIoT 단말기의 하드웨어 설계

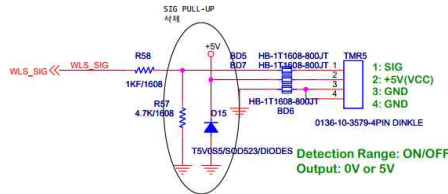
본 논문에서 제안하는 IIoT 단말기는 그림 4와 같이 다양한 인터페이스와 인디케이터를 갖고 있다. 4~20mA의 아날로그 신호를 수집할 수 있는 전류 수신부 및 전압 수신부와 RS-232, RS422, RS-485, Modbus RUS 등의 디지털 신호를 수집할 수 있는 디지털 수신부로 구성되어, 이기종 플랫폼간 연결이 가능한 수집구조를 갖도록 회로를 구성하였고, Modbus 프로토콜 등 신 베이스 드라이버를 구현하여, 게이트웨이와 호환성을 갖는다.



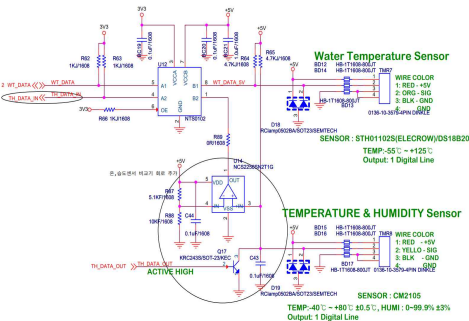
(a)TEMPERATURE HUMIDITY Sensor I/F



(b)Flow sensor I/F



(c)Level Sensor I/F

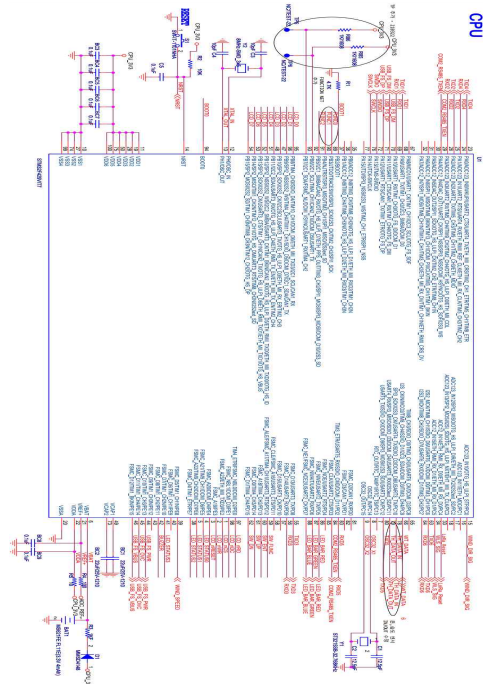


(d)One-Wire Bus Data Level Buffer

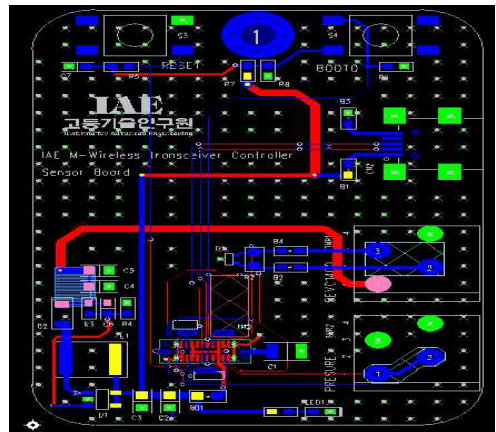
그림 4. IIoT 단말기의 센서 인터페이스
Figure 4. Sensor Interface on IIoT Device

본 연구에서는 제조현장의 각 배관의 온도, 압력, 유량 그리고 열에너지 데이터등 IIoT 단말기로 수집을 하며, 열에너지 공급원인 온압보정기인 DEVC-1400과 DEVC-1300 시리즈부터 신호를 수집하여 게이트웨이로 전송하도록 구현하였다. 게이트웨이는 동적으로 토폭을 수용할 수 있도록 설계하였으며, 데이터 정확성 검증은 온압보정기와 PC를 연결하여 수신율검증을 통하여 신뢰성을 확보하였다.

그림 5은 IIoT 단말기의 회로도 및 CAD의 일부이며, IEC62514 기반의 시스템 구축을 위해, IIoT 단말 MCU에 FreeRTOS를 사용하여 다양한 센서와 디바이스 모듈이 장착 가능하도록 포팅하였으며, 센서와의 인터페이스는 추가 부착이 가능한 형태로 보드 설계 및 제작하였다.



(a)IIoT 단말기의 MCU회로도



(b)IIoT 단말기 PCB 일부

그림 5. IIoT 단말기의 MCU회로도 및 PCB
Figure 5. MCU Schematics and PCB Artwork of IIoT Device

3.2 IIoT Simulator 하드웨어 및 OPC-UA 설계

본 논문에서 제안하는 IIoT Simulator의 하드웨어는 Qualcomm의 QCS610 ARM 2.2GHz 기반으로 AP를 구성하였으며, 메모리는 DDR 32GB와 eMMC는 64GB로 구현하였다. OPC-DA는 자바 기반으로 Utgard를 기반으로 OPC-DA 클라이언트 스택으로 구성하였고, UA는 그림 6과 같은 구조로 Request와 Response 처리량을 최대한으로 설정하기 위해 Garbage Collector와 힙(heap)영역을 최적화하여 구현하였다.

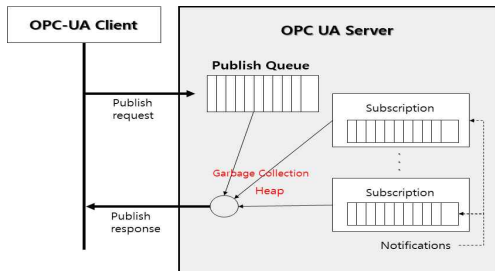


그림 6. OPC-UA 구독 요청 및 반환 구조
 Figure 6. OPC-UA Request and Reponse Structure

IV. IIoT Simulator 구현 및 평가

본 절에서는 제안한 시뮬레이터의 구현을 통해 실제 제조현장의 온도, 압력, 유량등 센서에서 수집되는 데이터를 실험을 위해 OPU-UA를 통해 경량화된 디지털 트윈 플랫폼에 동작하는지를 제시하고, 이에 대한 성능시험 및 평가를 진행하였다.

4.1 IIoT Simulator 시스템 구현

에너지 효율을 향상시키고, 전력 소모를 줄이기 위해 IIoT 단말은 Advertising mode를 사용하여 저전력 통신 모드로 데이터를 게이트웨이로 전송하도록 구현하였으며, IIoT 시뮬레이터는 OPC-UA Client로 시스템을 구현하였다. 그림 7과 8은 본 연구에서 개발한 IIoT 단말기 및 IIoT 시뮬레이터 시스템이다.

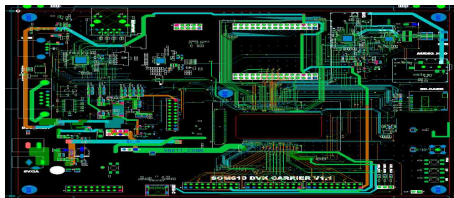


그림 7. IIoT Simulator 시제품
 Figure 7. IIoT Simulator Prototype

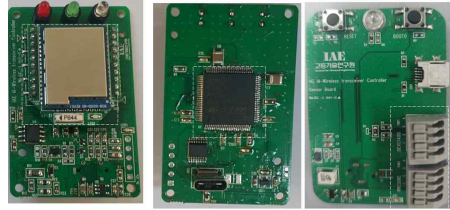


그림 8. IIoT 단말기 시제품
 Figure 8. IIoT Device Prototype

4.2 데이터 측정

실제 제조현장의 온도, 압력, 유량, 열에너지등의 정보는 IIoT 단말기와 G/W로부터 수집되어 그림9와 같이 저장되고 실시간으로 가시화되고 있다.



그림 9. DB 및 가시화
 Figure 9. DB 및 Visualization

4.3 성능평가

이기간 수집이 가능한 신뢰성 테스트와 데이터 정합성은 온압보정기와 PC를 연결하여 Modbus프로토콜 방법과 아날로그측정방법으로 진행하여 그림 10과 같

이 비교 및 확인하였다.

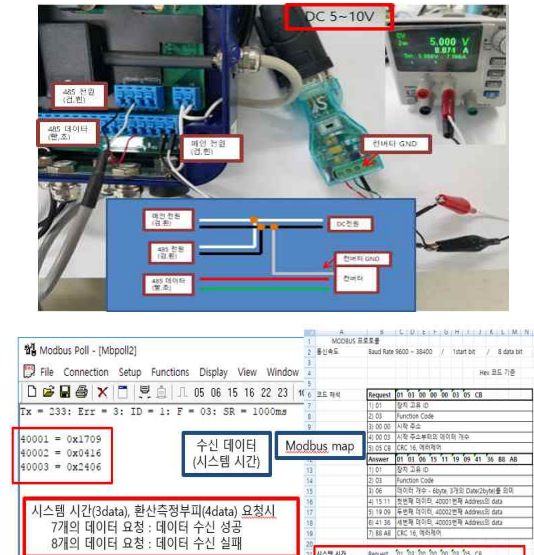


그림 10. 정합성 TEST를 위한 PC통신
Figure 10. PC Communication for Consistency TEST

4.3.1 IIoT 시뮬레이터의 사용성 평가

본 논문에서는 제안한 IEC 62514 기반 IIoT 시뮬레이터는 이더넷 통신을 통해 OPC-UA 서버에서 데이터를 받아오는 방식을 취하였으며, 해당 데이터는 100ms마다 7,168개의 센서 데이터를 받아오는 것을 확인하였고, Android 포팅시 Firefow에서 WebGL 기반 시각화 엔진인 경량화된 디지털 트윈플랫폼을 통해 실제 제조현장의 데이터들이 실시간으로 IEC62514기반으로 동작하고 있음을 확인하였으며, 가시화는 그림11과 같다.



그림 11. 경량화 디지털트윈 플랫폼 구동화면
Figure 11 Lightweight Digital Twin Platforms

4.3.2 OPC-UA 지연시간 측정

본 논문에서는 구현한 IIoT 시뮬레이터를 이용하여 OPC-UA 성능평가를 위해 지연시간을 지표로 데이터를 1,024개씩 증가하며 7,168개의 데이터를 100ms 마다 9case로 나누어 지연시간을 측정하였다. 7,168개의 데이터를 동시에 불러올 때 DA Client의 평균지연시간은 1870ms를 소비하였으며, UA Server는 1570ms의 시간을 소비하는 결과로 그림 12와 같다.

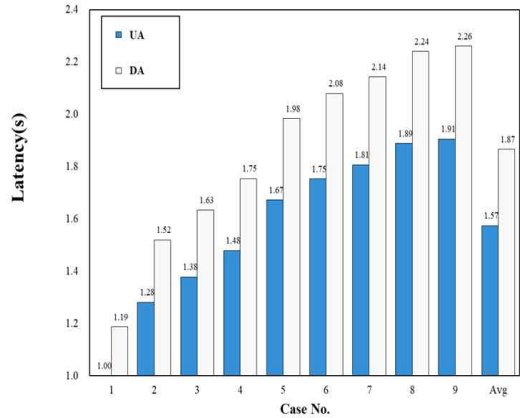


그림 12 데이터 요청에 따른 지연시간
Figure 12. Latency based on data request

V. 결론

본 연구에서는 이기종 플랫폼간 연결할 산업용 IoT(Industry Internet of Things)·Simulator시스템을 설계하였으며, IEC 62541기반 OPC-UA 프로토콜을 구현하여 실제 제조현장의 온도, 압력, 유량등 센서에서 수집되는 데이터를 수집 후 경량화된 디지털 트윈 플랫폼에 적용해 동작하는지를 제시하고, 이에 대한 성능시험 및 평가를 진행하였다.

제안한 IIoT 시뮬레이터에서 IEC62514기반 데이터를 Request와 Response 요청에 의한 지연시간을 지표로 성능평가를 진행하였고, DA Client는 평균 지연시간 1870ms, UA Server는 평균 지연시간 1570ms를 소비하는 결과를 가졌다. 실험을 통해 경량화된 디지털 트윈 플랫폼이 IIoT 시뮬레이터에서 운영됨을 알 수 있다. 이 연구는 한정된 자원을 사용하는 제조현장에서 시간 및 공간의 낭비를 최소화 시키고, 메타팩토리 구현에 크게 기여 할 것으로 기대한다.

본 논문에서는 IEC 62514 기반 OPC-UA기술을 활용

해 메타팩토리 구현을 위한 기술을 확보하였고, 제조현장에서 이기종간 수집이 가능한 IIoT 및 모니터링기술을 통해, 경량화할 수 있는 Simulator을 제안하였으며, 단말기의 효율성 검증을 통해 다양한 제조현장에서의 활용가능성을 확인하였다.

향후 연구로는 처리속도와 지연시간을 단축하기 위하여 OPC-UA의 최적 설정값에 대한 추가적인 연구와 보다 정확한 예측기술을 적용하기 위해 딥러닝 기술을 결합하여 메타팩토리를 위한 다양한 응용서비스를 개발할 예정이다.

References

- [1] G.N. Schroeder, C. Steinmetz, R.N. Rodrigues, R.V.B. Henriques, A. Rottberg, and C.E. Pereira, "A Methodology for Digital Twin Modeling and Deployment for Industry 4.0," Proceedings of the IEEE, Vol. 109, No. 4, pp. 556-567, 2020.
- [2] S. H. Moon, "Big Data Platform Construction and Application for Smart City Development," The journal of the convergence on culture technology, vol. 6, no. 2, pp. 529-534, May 2020.
DOI: <https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.2.529>
- [3] D. Park, M. Choi, and D. Yang, "A Study on a Framework for Digital Twin Management System Applicable to Smart Factory," Journal of Convergence for Information Technology, Vol. 10, No. 9, pp. 1-7, 2020.
- [4] Gi-Seok Lee and Sang-Hyun Lee. "A Study on Real-time Detection Using Odor Data Based on Mixed Neural Network of CNN and LSTM" The International Journal of Advanced Culture Technology 11, no.1 (2023) : 325-331.
- [5] G. Jo, S.H. Jang, and J. Jeong, "A Study on CPPS Architecture Integrated with Centralized OPC UA Server," The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 19, No. 3, pp. 73-82, 2019
- [6] H. S. Kang, J. Y. Lee, S. S. Choi, H. Kim, J. H. Park, J. Y. Son, B. H. Kim, and S. D. Noh, "Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, Vol.3 No.1, pp.111-128, 2016.
- [7] W. Mahnke, S. H. Leitner, and M. Damm, "OPC unified architecture," Springer Science & Business Media, 2009.
- [8] B. K. Song, "The Integrated SCADA Data Gateway

Platform based on SmartGrid," Journal of IKEEE, Vol.18 No.1, pp. 140-145, 2014.

- [9] IEC 62541-1 "Ed. 1.0 OPC Unified Architecture Specification - Part 1: Overview and Concepts," IEC Std., 2008.
- [10] A. Han, M. Shin, I. Kim, and H. S. Jang, "A Study on Communication Controller of Electric Vehicle Supply Equipment for Information Exchange between Electric Vehicle and Power Grid," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.63, No.11, pp.1564-1570, 2014.
- [11] D.H.Kim, "Design and Implementation of Real Time Device Monitoring and History Management System based on Multiple devices in Smart Factory" Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 25, no.1 (2021) : 124-133. doi: 10.6109/jkiice.2021.25.1.124
- [12] LIU, Mengnan, et al. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. Journal of Manufacturing Systems, 2021, 58: 346-361

※ 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구입니다. (No. 20202020900170)