

원통형 박판 제품의 통합 용접 모니터링 시스템 구축 -스마트 공장 구현 중심으로-

김국태¹, 김충민^{2*}, 이현수¹
¹국립 금오공과대학교 산업공학과, ²더이음

Establishment of an integrated welding monitoring system for cylindrical thin plate products -Focusing on smart factory implementation-

Kug-Tae Kim¹, Choong-Min Kim^{2*}, Hyun-Soo Lee¹

¹Division of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology
²The Ieum

요약 기업에서 4차 산업혁명과 관련하여 생산 제조 현장에 ICT와 융합된 스마트 공장을 구축하고 있다. 기존에 구축된 용접 모니터링 시스템은 용접 장비에 감지기를 부착하여 데이터를 수집하기 때문에 측정 장비 및 데이터 수집 구조에 따른 데이터 신뢰성 문제 및 중앙 통합 모니터링 부재하였다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위하여 통합 용접 모니터링 시스템의 프레임워크는 용접기에서 발생하는 전류, 전압, 가스유량 및 사양정보 등의 데이터를 PLC에 저장하였고, 이 데이터를 현장에 Edge Computing을 사용하여 가공하였다. 또한 원시 데이터는 시계열 DB에 저장되어 활용되고, 설정 및 통계 데이터는 RDBMS에 저장되어 활용되는 플랫폼을 구성하였다. 시뮬레이션을 통해 용접기에서 데이터 수집 주기는 0.5초에 10개, 용접기와 시스템간의 수집 주기는 0.5초로 하는 최적의 값을 설정하였다. 시스템 도입을 통하여 생산성 8.1% 증가, 공정불량률은 14.7%로 감소되어 유효성을 입증하였다.

Abstract Companies are building smart factories that are converging with information technology in production and manufacturing sites in relation to the 4th industrial revolution. Since existing welding monitoring systems collect data by attaching detectors to welding equipment, there are data reliability problems and an absence of centralized monitoring according to the measurement equipment and data collection structure. In order to solve this problem, a framework of an integrated welding monitoring system was used to store data such as current, voltage, gas flow rate, and specification information generated by a welding machine in a PLC. The system processes this data using edge computing on site. In addition, the raw data are stored and utilized in a time series database, and the setting and statistical data are stored and utilized in a relational database management system. Through a simulation, the optimal value was set as 10 data collection cycles in 0.5 seconds for the welder and 0.5 seconds for the collection cycle between the welder and the system. Through the introduction of the system, the productivity was increased by 8.1%, and the process defect rate was decreased by 14.7%, proving its effectiveness.

Keywords : Smart Factory, Big Data, MES, PLC, AI

*Corresponding Author : Choong-Min Kim(The Ieum)

email: chmin@hanmail.net

Received April 5, 2023

Accepted May 12, 2023

Revised May 8, 2023

Published May 31, 2023

1. 서론

Klaus Schwab에 의해 제창된 제 4차 산업혁명(정보통신기술(Information and Communication Technology, ICT)을 바탕으로 다양한 기술과 융합되는 새로운 기술혁명을 지칭한다[1]). 이러한 4차 산업혁명 기술이 제조 및 생산 환경에 적용되는 표준으로 인터스트리 4.0(Industry 4.0) 이 자리 잡고 있으며, 이를 구현방법의 핵심이 스마트 공장이다.

많은 기업들이 빠르게 변화하는 시장에서 경쟁력을 유지하기 위한 경영전략으로 스마트 공장을 도입하고 있다. 경영전략은 전략수립과 전략실행을 통해 이루어진다. Thomas and Mullaly(2008)에 따르면 기업 경영실패의 원인이 전략 수립보다 전략실행 능력에 문제가 있다는 것이다[2].

본 논문에서는 기존에 구축된 용접 모니터링 시스템은 용접 장비에 감지기를 부착하여 데이터를 수집하기 때문에 측정 장비 및 데이터 수집 구조에 따른 데이터 신뢰성 문제 및 중앙 통합 모니터링 부재하였다. 이를 개선하기 위하여 통합 용접 모니터링 시스템의 프레임워크는 용접기에서 발생하는 전류, 전압, 가스유량 및 사양정보 등의 데이터를 PLC에 저장하였고, 이 데이터를 현장에 Edge Computing을 사용하여 가공하였다. 또한 원시 데이터는 시계열 DB에 저장되어 활용되고, 설정 및 통계 데이터는 RDBMS에 저장되어 활용되는 플랫폼을 구성하였다. 통합 용접 모니터링 시스템구축 실행을 통해 기업의 경쟁력을 확보하였다.

이를 위해 2.1 절에서 스마트 공장의 구성에 대한 기존연구를 살펴본다. 다음으로 통합 용접 모니터링 시스템 구축의 필요성, 시스템 구축, 시스템 검증 기술하였고, 마지막으로 시스템 도입의 성과 지표로 생산성 향상 및 공정불량률 감소로 시스템의 유효성을 검증하였다.

2. 본론

2.1 스마트 공장 구성

독일형 스마트 공장은 Walter Benjamin이 주장한 실제 존재를 복제한 모사품을 통해 현재 시스템을 예측하고 개선하는데 바탕을 두고 있으며, 이러한 관점을 적용하여 사이버물리시스템(Cyber Physical System, CPS) 구축에 중점을 두고 있다[3]. 이와 같은 개념은

Jean Baudrillard의 시뮬레이션(Simulation)에서 출발하였다[4]. 반면 미국형 스마트 공장은 공급 사슬 망(Supply Chain Network, SCM) 관점에서 네트워크를 연계하여 제품의 경쟁력 강화에 초점을 두고 있으며, 대표 사례로 Cisco사에 의해 제창된 커넥티드 공장(Connected Factory, CF)이다.

반면 국내의 스마트 공장 정의는 연구 주체에 따라 관점이 다르다. 스마트제조혁신추진단은 생산성에 중점을 두어 설계, 개발, 제조, 유통 판매 등 전체적인 과정이 사물인터넷, 빅 데이터, 클라우드, AI등 ICT기술을 적용하여 자동화 및 디지털화 구현하여 생산성을 향상시키는 것이라 정의하고 있다[5]. 한국정보통신기술협회는 기술적 관점에 중점을 두어 스마트 공장에 CPS를 이용하여 실제와 똑같이 제품 설계 및 개발을 모의 실험하여 자산을 최적화하고, 공장 내 설비와 기기 간에 사물인터넷을 설치하여 실시간 정보를 교환하게 하여 생산성을 증가시키고 돌발 사고를 최소화한다고 정의하고 있다[6].

스마트 공장 구성은 제조 환경에서 발생하는 데이터를 수집하는 기능을 하는 감지기, 수집된 데이터를 가공 및 처리하여 시스템에 맞는 정보로 변형하는 플랫폼, 가공된 정보를 바탕으로 실제 공정 운영을 지원하는 애플리케이션으로 구성된다.

감지기에 대한 개념은 “온도, 소리, 진동, 압력, 동작 등과 같은 물리적, 환경적 조건을 모니터링하고 이에 대한 데이터를 수집 및 전달 자체 구성된 네트워크”로써 정의되어진다[7]. 감지기 및 액추에이터 구축은 스마트 공장 시스템의 기술적 요구사항으로 감지기와 액추에이터의 결합을 통해 센서-액추에이터 네트워크를 통해 구현될 수 있다[8]. 통신용 네트워크 구축은 TCP/IP, Ethernet, Bluetooth, Wi-Fi 등으로 통신 시스템을 통해 구현될 수 있다[9]. 감지기 감지 역량은 다양한 기계설비 등에 부착된 감지기를 감지 및 수집이 스마트 공장의 기본적인 구현 사항이다[10].

플랫폼 개념은 감지기와 애플리케이션을 연결하는 채널로 감지기로부터 수집된 다양한 데이터를 분석 및 활용하여 애플리케이션에 제공하는 기능을 한다. 제조 현장에 다양하게 발생하는 위험과 불확실성을 개선하기 위해서는 모델링 및 시뮬레이션 역할이 필요하다[11]. 클라우드 컴퓨팅은 방대한 데이터를 저장하는 저장 공간의 역할과 이를 통해 기업 내 외부 간의 연결성을 개방형 형태로 하는 역할이 필요하다[12].

2.2 용접 모니터링 프로세스와 문제점

Fig. 1 은 기존 원통형 박판 제품의 용접 모니터링 프로세스를 보여주며, 다음과 같은 순서로 수행된다.

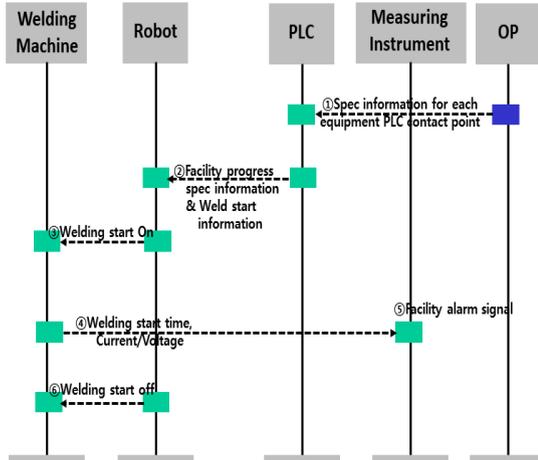


Fig. 1. Welding Process for Cylindrical Sheet Products

1) 첫 번째 모니터링 지시화면에서 오퍼레이팅을 실행한다. 2) 두 번째 PLC에 점점별 사양정보를 보낸다. 3) 세 번째 PLC는 로봇에 설비 진행사양정보와 용접 기동 신호를 보내면 용접기는 용접을 기동 한다. 4) 네 번째 용접기는 용접 시작 시간과 전류 및 전압 정보를 PLC로 보낸다. 5) 다섯 번째 PLC가 가지고 있는 초기 세팅 데이터와 용접기에서 받은 수신 데이터가 불일치할 경우 설비 알람 신호를 계측기로 송신한다. 6) 여섯 번째 설비 알람 신호를 받으면 로봇은 용접 기동을 중지한다.

기존 용접 모니터링 시스템은 용접기에 전압센서, 전류센서, 가스유량센서를 부착하여 계측장비를 통하여 측정된 값을 산업용 PC에 저장하는 구조이다. Fig. 2 은 기존 용접 모니터링 시스템을 구조를 나타내고 있다.

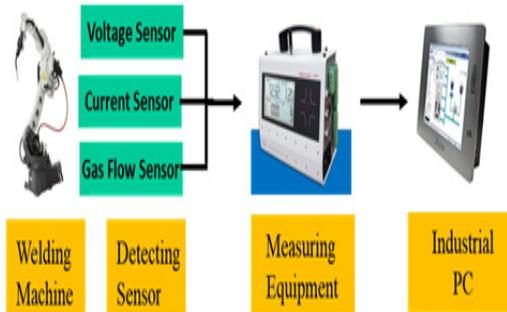


Fig. 2. Previous welding monitoring system

기존 용접모니터링시스템의 문제점은 첫째는 감지기를 통한 데이터 수집으로 노이즈 문제 등을 포함한 감지기 장치의 취득 데이터가 부정확하고, 둘째는 측정 장비 정보 미흡으로 인한 취득 데이터와 디스플레이 정보의 불일치이며, 마지막으로 현장에 적용된 산업용 PC로 인하여 중앙통합 모니터링이 되지 않는 점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 통합 용접 모니터링 시스템을 구축하였다.

2.3 통합 용접 모니터링 시스템 구축

2.3.1 시스템 프레임워크

프레임워크는 첫째는 도입회사가 보유하고 있는 효성, Panasonic, Fronius 용접기로부터 전류, 전압, 가스유량, 사양정보 등을 실시간으로 PLC에 수집할 수 있도록 이 기존 용접 데이터 인터페이스를 구축하며, 둘째는 PLC에 저장된 데이터 현장에서 처리할 수 있도록 Edge Computing 구축이며, 마지막으로 용접기에서 수집된 원시 데이터는 시계열 DB에 설정과 통계에 관련된 데이터는 RDBMS에 저장되도록 통합 용접 모니터링 플랫폼을 구축하였다. 통합 용접 모니터링 프레임워크의 목적은 실시간으로 수집된 용접 파형 데이터를 통해 용접 불량률 확인하고, 누적된 데이터를 기반으로 패턴 분석을 할 수 있는 빅 데이터 분석 환경을 구축하여 제품의 불량률 감소와 품질 개선을 하고자 함이다. Fig. 3 은 통합 용접 모니터링 시스템 프레임워크를 나타내고 있다.

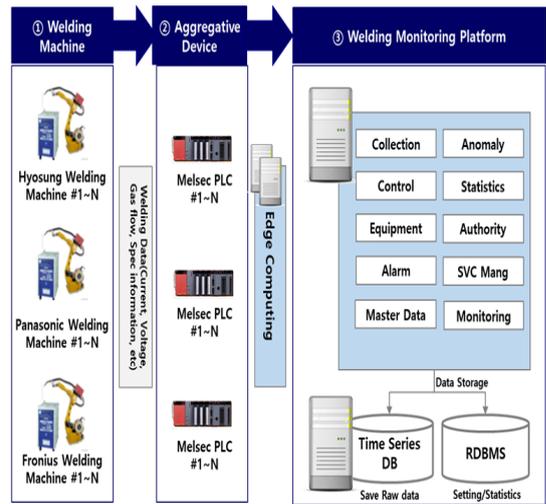


Fig. 3. Welding monitoring system framework

2.3.2 이 기종 용접기 인터페이스 구현

효성용접기의 PLC 수집 데이터 인터페이스 구현은 효성용접기 자체에 내장되어 있는 RS485 통신을 사용하여 구현하였다. 세부 인터페이스 절차는 다음과 같은 순서로 수행된다. 1) 첫 번째 PLC에 RS485 통신카드를 추가하여 카드 하나당 여러 개의 공정 인자를 순차적으로 수집 한다 2) 두 번째 매 0.5초 단위로 PLC에서 대상기기의 데이터를 정해진 데이터 번지에 저장하고, 해당 상위 시스템에서 해당 주기시점마다 데이터를 가져가는 구조로 인터페이스를 구현하였다. Fig. 4 은 효성용접기의 데이터 인터페이스 절차를 나타내고 있다.

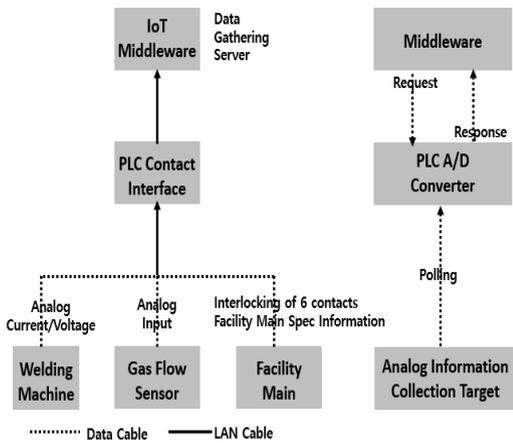


Fig. 4. Data interface using RS485

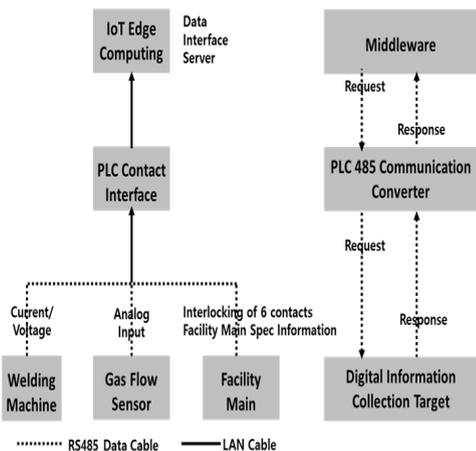


Fig. 5. Data interface using A/D Converter

Panasonic 및 Fronius 용접기의 PLC 수집 데이터 인터페이스 구현은 용접기 자체에서 디지털 통신이 제공되지 않으므로 전류 및 전압 등의 아날로그 데이터 값을 PLC에 0.5초 단위로 평균한 데이터 값으로 변환하여 구현하였다. 세부 인터페이스 절차는 다음과 같은 순서로 수행된다. 1) 첫 번째 전류, 전압, 가스 압력, 선속 등의 아날로그 출력 데이터를(4~20mA, 0~5V전압출력)를 PLC A/D 입력카드로 수집 한다. 2) 두 번째 카드 하나당 최대 8개의 공정인자를 수집하도록 구성한다. 3) 세 번째 매 0.001초마다 생성되는 아날로그 값을 0.5초 단위로 평균한 값을 PLC의 해당 데이터 번지에 저장하고, 해당 상위시스템에서 해당 주기시점 마다 데이터를 가져오는 구조로 인터페이스를 구현하였다. Fig. 5 은 Panasonic 및 Fronius 용접기의 인터페이스 절차를 나타내고 있다.

용접로봇의 PLC 수집 데이터 인터페이스 구현은 용접로봇 자체가 가지고 있는 Main PLC와 점접 6개 연동하여 생산 사양 정보 및 가동 정보를 사용하여 구현하였다. 세부 인터페이스 절차는 다음과 같은 순서로 수행된다. 1) 첫 번째 최대 2^6개의 상태 신호를 수집한다. 2) 두 번째 상태 신호에 변동사항이 있으면 상위에서 정보를 보낸다. 3) 세 번째 일정기간 동안 변동이 없으면 주기적으로 최근 상태를 읽어 가는 구조로 인터페이스를 구현하였다. Fig. 6 은 용접로봇의 데이터 인터페이스 절차를 나타내고 있다.

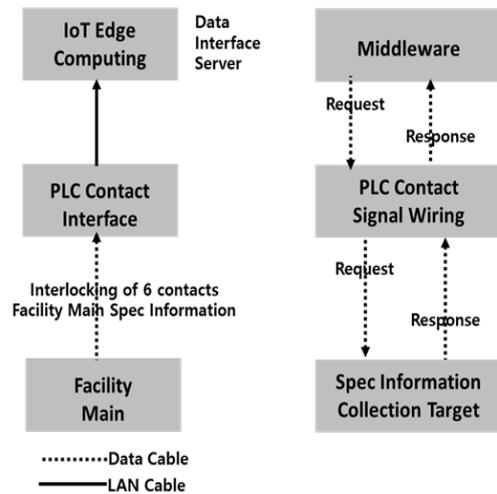


Fig. 6. Data interface using Welding Robot

Fig. 7 은 이 기종 용접기 간의 전체 데이터 인터페이스 구현을 나타내고 있다.

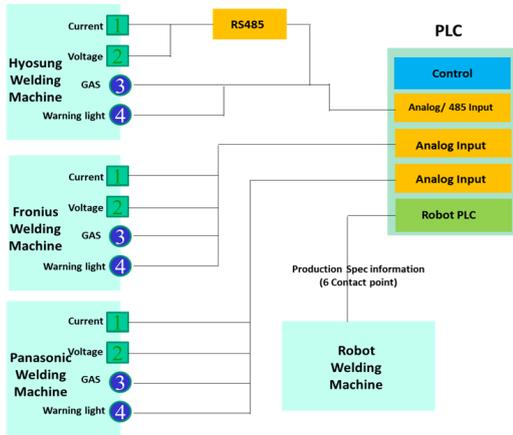


Fig. 7. Integrated Welding Data interface

2.3 통합 용접 모니터링 시스템 검증

수집된 용접 모니터링 데이터가 용접 불량 파형 식별 가능한 수준으로 분석하기 위해 용접기로부터 데이터 수집 주기는 0.5초에 10개, 용접기와 시스템간의 수집 주기는 0.5초로 설정하였다.

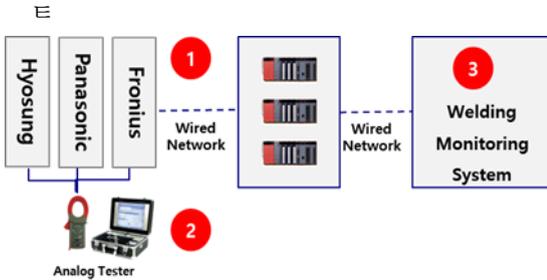


Fig. 8. Conceptual diagram of data valid

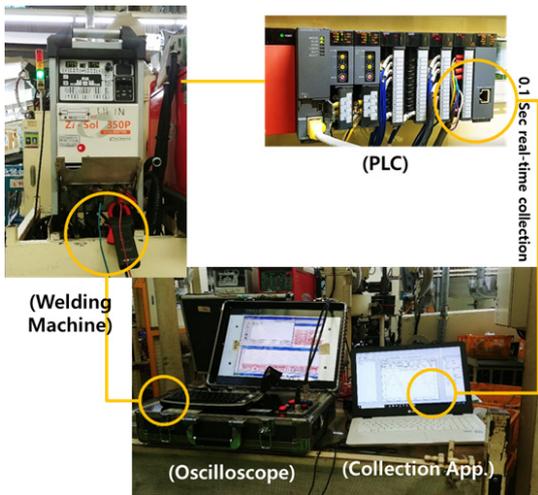


Fig. 9. Data waveform verification conditions

모니터링 시스템 검증은 데이터 영향을 줄 수 있는 포인트별로 데이터 측정값 전후를 비교하는 것으로 하였다. Fig. 8 은 모니터링 시스템 검증의 개념도와 데이터 파형 검증 조건을 나타내고 있다.

오실로스코프로 0.1msec로 0.1sec 샘플링 한 결과 평균 전류는 124/0.1sec, 전압은 19/0.1sec를 나타내고 있으므로 용접 불량 파형 식별 가능한 수준으로 검증되었다. Fig. 10 은 데이터 파형 측정 결과를 나타내고 있다.

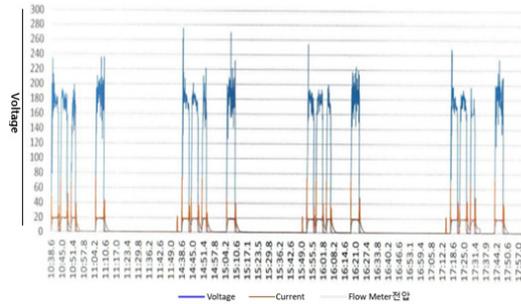
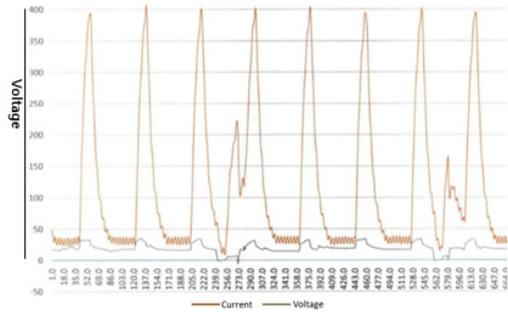


Fig. 10. Data waveform measurement

2.4 통합 용접 모니터링 시스템 적용 성과

도입기업 MES 시스템 상에서 생산목표 대비 생산실적으로 측정하였다. 시스템 도입 전인 2020년 12월 한 달간 목표생산수량은 1656개 이며, 실적생산수량은 1487개로 89.8%로 측정되었다. 시스템 도입 후인 2022년 3월 한 달간 목표생산수량은 1766개 이며, 실적생산수량은 1715개로 97.1%로 측정되었다. 시스템 도입 전후 생산성은 8.1%로 향상됨을 검증하였다.

도입기업의 사내 전자결재 문서상의 폐기 수량으로 공정불량률을 측정하였다. 시스템 도입 전인 2020년간 총 폐기 수량은 1,173개로 불량률은 373ppm 이며, 시스템 도입 후인 2022년간 총폐기 수량은 720개로 218ppm 측정되었다. 시스템 도입 전후 공정불량률은 14.7% 감소됨을 검증하였다.

3. 결론

본 논문은 기존에 구축된 원통형 박판 제품의 용접 모니터링 시스템은 용접 장비에 감지기를 부착하여 데이터를 수집하기 때문에 측정 장비 및 데이터 수집 구조에 따른 데이터 신뢰성 문제 및 중앙 통합 모니터링 부재의 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위하여 통합 용접 모니터링 시스템의 프레임워크는 용접기에서 발생하는 주요 데이터를 PLC에 저장하여 현장에서 Edge Computing로 데이터 가공을 하였다. 데이터 저장은 시계열 DB, 설정 및 통계 데이터는 RDBMS에 저장되는 플랫폼을 구성하여 성능을 검증하고 유효성을 확인하였다.

연구 분야로는 통합 용접 모니터링 시스템 적용으로 지속적으로 수집 빅 데이터를 분석하여 용접 품질에 영향을 미치는 요인을 분석과 설비 예지 정비에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] Klaus Schwab, "The Forth Industrial Revolution", *World Economic Forum, 2011*.
- [2] Thomas, J. & Mullaly, M. (2008). Researching the Value of Project Management. Project Management Institute.
- [3] Walter Benjamin, "The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction", *Illuminations*, New York, 1969.
- [4] Jean Baudrillard, "Simulacres and Simulation", *University of Michigan Press, 1994*.
- [5] 스마트제조혁신추진단, <https://www.smart-factory.kr>
- [6] 한국정보통신기술협회, <http://www.tta.or.kr>
- [7] Matin, M. A. and Islam, M. M.(2012) Overview of Wireless Sensor Network. *Wireless Sensor Networks-Technology and Protocols*. Intech Open, London: UK.
- [8] Zuehlke, D.(2010) "SmartFactory-Towards a Factory-of-things". *Annual Reviews in Control*, vol. 34, no. 1, pp. 129-138.
- [9] Imtiaz, J. and Jasperneite, J.(2013) "Scalability of OPC-UA Down to the Chip Level Enables "Internet of Things" In Industrial Informatics (INDIN), 2013 11th IEE International Conference, pp. 500-505.
- [10] Kagermann, H., Hellbig, J., Hellinger, A. and Wahlster, W.(2013) Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.
- [11] Simons, S., Ab, P. and Nesar, S.(2017) "Learning in the AutFab.The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt". *Procedia Manufacturing*, vol. 9, pp. 81-88.

- [12] Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A. and Khan, S. U. (2015) "The Rise of "Big Data" on Cloud Computing: Review and Open Research Issues". *Information Systems*, vol. 47, pp. 98-115.

김 국 태(Kug-Tae Kim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 동아대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2018년 2월 : 국립금오공과대학교 컨설팅대학원 (컨설팅학석사)
- 2020년 2월 : 국립금오공과대학교 산업공학과(박사 수료)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 한가람컨설팅협동조합 이사장

<관심분야>

Smart Factory, Big Data

김 충 민(Choong-Min Kim)

[정회원]



- 1992년 2월 : 울산대학교 전자전산기공학과 (공학사)
- 2022년 11월 ~ 현재 : 더이음 대표

<관심분야>

Smart Factory, Big Data

이 현 수(Hyun-Soo Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : POSTECH 기계산업공학/ 생산공학 석사
- 2010년 8월 : Texas A&M University 시스템공학 박사
- 2011년 9월 ~ 현재 : 국립 금오공과대학교 산업공학과 교수

<관심분야>

Smart Factory, Deep Learning