

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.935

JCCT 2023-9-112

바이오매스 플랜트기반 디지털트윈 프로토타입 설계 및 성능 평가

Design and Performance Evaluation of Digital Twin Prototype Based on Biomass Plant

임채영*, 여채은**, 안성율***, 이명옥****, 성호진*****

Chae-Young Lim*, Chae-Eun Yeo**, Seong-Yool Ahn***, Myung-Ok Lee****, Ho-Jin
Sung*****

요약 인공지능 및 사물인터넷의 기술 발전에 따라 디지털전환(DX)은 가속화 되고있으며, 디지털전환을 위한 기술은 제조, 생산 라인등 모든 산업의 혁신적인 방안으로 떠오르고 있다. 디지털 전환의 대표적인 기술로 디지털 트윈 기술이 주목받고 있다.

이에, 본 논문에서는 디지털 전환을 위하여 플랜트의 운영 에너지를 최적화하고, 에너지 효율성 향상을 하기위해 미활용 자원을 기반으로 하는 바이오매스 플랜트용 디지털트윈 프로토타입을 구현하고 성능을 평가한다.

제안된 디지털트윈의 프로토타입에서는 프레임워크와 게이트웨이간 표준 통신 플랫폼을 응용하여 양방향으로 실시간 연동이 가능하도록 제안 및 구현한다. 프레임워크는 클라이언트 서버와 게이트웨이간 메시지 시퀀스를 정의하여 호스트 서버와 통신이 가능하도록 인터페이스를 구현한다. 제안된 프로토타입의 성능을 검증하기 위해 서버에서 양방향 데이터를 수집 및 저장하는 가상환경을 설정하여, 데이터양에 따른 성능평가를 진행한다.

제안된 플랫폼에 적용된 알고리즘이 기존 엔진에 비해 향상된 성능을 보여, 미활용 자원을 기반으로 하는 바이오매스 플랜트용 디지털트윈에 적용시 운영 에너지의 최적화와 에너지 효율 향상에 큰 기여를 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

주요어 : 바이오매스 플랜트, 디지털트윈, 프레임워크, 프로토타입, 표준 통신 플랫폼, 성능평가

Abstract Digital-twin technology is emerging as an innovative solution for all industries, including manufacturing and production lines. Therefore, this paper optimizes all the energy used in a biomass plant based on unused resources. We will then implement a digital-twin prototype for biomass plants and evaluate its performance in order to improve the efficiency of plant operations.

The proposed digital-twin prototype applies a standard communication platform between the framework and the gateway and is implemented to enable real-time collaboration. and, define the message sequence between the client server and the gateway.

Therefore, an interface is implemented to enable communication with the host server. In order to verify the performance of the proposed prototype, we set up a virtual environment to collect data from the server and perform a data collection evaluation. As a result, it was confirmed that the proposed framework can contribute to energy optimization and improvement of operational efficiency when applied to biomass plants.

Key words :Biomass-Plant, Digital-twin, Framework, Prototype, Standard Communication Platform,
Performance-Evaluation

*정희원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 선임연구원 (제1저자)Received: August 14, 2023 / Revised: August 30, 2023

**정희원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 (참여저자)Accepted: September 5, 2023

정희원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 책임연구원 (참여*Corresponding Author: leesang64@honam.ac.kr

저자)

Dept. of Computer Engineering, Honam University, Korea

****정희원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 연구원 (참여저

자)

*****정희원, 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹 수석연구원 (교신

저자)

접수일: 2023년 8월 14일, 수정완료일: 2023년 8월 30일

게재확정일: 2023년 9월 5일

I. 서론

인공지능 및 사물인터넷의 기술 발전에 따라 디지털 전환(DX)은 가속화 되고있으며, 디지털전환을 위한 기술은 제조, 생산 라인등 모든 산업의 혁신적인 방안으로 떠오르고 있다. 디지털 전환의 대표적인 기술로 디지털 트윈 기술이 주목받고 있다. 디지털트윈은 가상의 세계를 현실을 반영한 모델을 구현하여 실제 세계와 가상의 세계를 실시간으로 통합하는 것이 핵심이다 [1].

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 가이드스 제공을 통하여 생산성 향상을 시킬 수 있다 [2][3].

제조현장의 설비와 공정을 동일하게 볼 수 있도록 쌍둥이 모델을 통한 디지털트윈 기술이 각광 받고 있다 [4].

디지털 트윈은 현실세계를 가상세계에 모사하고, 이를 통해 현실세계의 문제를 해결 또는 최적화하는 기술이다 [5]. 현실세계의 여러 사물 및 환경에 대한 정보가 가상세계에서 유기적으로 연계되어 기존에 없었던 새로운 서비스들이 가능해지면서 디지털 트윈의 응용 분야가 지속적으로 확장되고 있다 [6]. 디지털트윈에 대한 관심은 Industry 4.0 기반의 스마트제조와 같은 첨단 제조 분야를 중심으로 산업 공공 환경 등 다양한 분야에서 디지털 트윈에 대한 관심이 커지고 있다 [7].

본 연구에서는 바이오매스 재생연료 플랜트 기반 디지털 트윈 설계를 제안하고 플랫폼을 프로토타입 레벨로 구현한다. 또한 구현된 디지털 트윈 플랫폼 프로토타입을 통해 가상환경을 설정하여 데이터양에 따른 성능평가를 진행한다.

이를 통해 본 연구에서는 플랜트용 디지털 트윈의 소프트웨어 설계를 제안하고, 성능평가에 대한 방법론에 대해 설명한다.

II. 관련연구

1. 디지털 트윈 제안 및 적용

디지털 트윈의 개념은 많은 논문에서 다양하게 유사한 방식으로 제시되고 있다. 대표적으로 모든 기능적 특

징 및 작업 요소와의 연결을 나타내는 물리적 장치 또는 시스템의 컴퓨터화 된 모델을 디지털 트윈이라 정의하였다. 디지털 트윈은 그림 1과 같이 실시간 정보를 현실공간에서 수집하여 가상공간에서 재현 또는 시뮬레이션하는 구조를 갖고 있으며, 가상세계가 현실세계를 정확하게 모사하고 실시간으로 데이터를 받아 동일하게 움직이는 것이라고 정의하였다 [8]. .



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

이를 기반으로 생산시설의 원격제어를 웹기반 디지털 트윈 모델링을 통한 시스템을 제안하였다 [9]. 수학적 모델링을 해당 가상세계 객체에 적용하여 무선 네트워크에서 디지털 트윈을 기반으로 한 원격수술 제어 어플리케이션을 제안하였다 [10].

제조, 플랜트 등의 다양한 분야에서 산업/사회 문제를 해결할 수 있는 기술로 산/학/연의 주목을 받고 있다.

2. 예측을 위한 엔진의 한계

인공지능 기반 예측 기술의 결과를 제어하기에는 많은 데이터를 실시간으로 반영해야 하므로, 데이터 수집에 한계가 있는 Unity 3D, Unreal Engine 등 게임엔진에 대한 관심이 증가하고 있지만 실시간 반영 및 적용에 대한 고려가 미흡하여 적용하기 어렵다 [11][12].

III. 디지털 트윈 플랫폼 및 모델링

1. 디지털 트윈 플랫폼 프로토타입 설계

본 연구에서 제안하는 디지털 트윈의 프로토타입을 구현하기 위해서 필요한 구성도는 그림 2와 같으며, 필요한 구성요소를 4가지로 나누어 본장에서는 구체적인 설명한다.

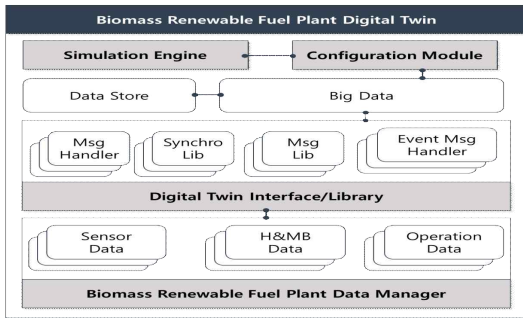
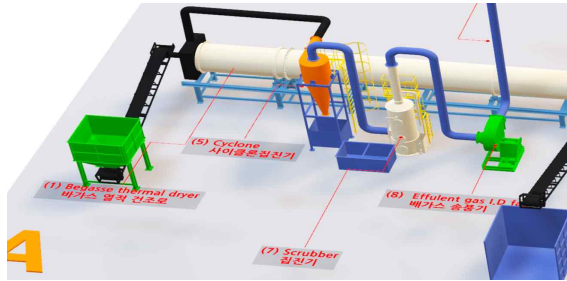


그림 2. 디지털트윈 프로토타입 구성도
 Figure 2. Architecture of platform-based digital twin prototype

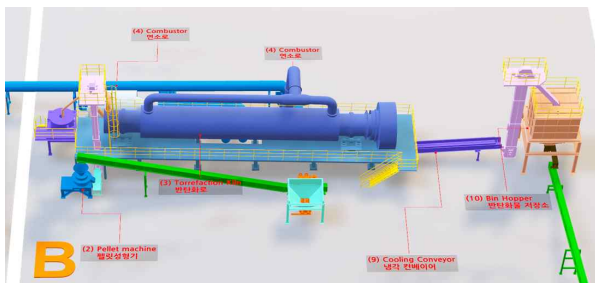
2. 3D 시각화를 위한 시뮬레이션 엔진 설계

제안하는 디지털트윈 프로토타입의 플랫폼에서의 시각화 및 시뮬레이션 엔진은 Unity를 통해 모듈을 구현하였고, 그림 3은 3가지 Zone으로 나눈 바이오 매스기반의 플랜트 유틸리티를 3D 시각화하여 나타내고 있다.

실시간 모니터링을 위하여 시뮬레이션 엔진의 Data Manager와 인터페이스를 통해 Edge G/W와 OPC-UA Server 통해 Client Server로 Sensor의 계측값을 저장하고 실시간으로 시각화하는 기능을 제공한다.



A. (A Zone) Cyclone의 3D 시각화 및 모핑

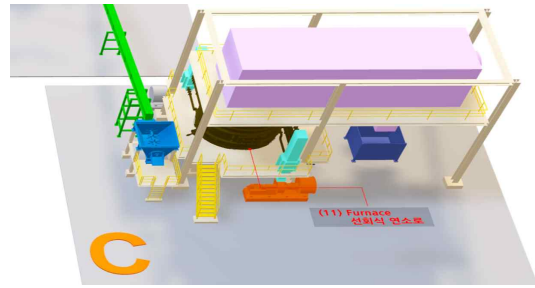


B. (B Zone) 반탄화로의 3D 시각화 및 모핑

그림 3. 바이오 매스 플랜트의 시각화 모듈(A,B,C)
 Figure 3. Visualization Module based on Unity

3. 프로토타입 플랫폼의 테이블 정의 및 모듈기능

디지털 트윈 플랫폼의 프로토타입을 구현하기 위한 테이블 정의서는 표 1와 같이 나타내며, Logical 및



C. (C Zone) 선회식 연소로의 3D 시각화 및 모핑
 Physical 테이블들은 플랜트에 맞는 레빗파일 정보, 유틸리티의 컴포넌트, 파일정보, 배치도, 공정운전의 매뉴얼, 계측기 정보 등등 Biomass Renewable Fuel Plant Data Manager와 Configuration Module에서 수집 및 처리한다.

표 1. 디지털트윈 플랫폼의 테이블 정의서
 Table 1. Table Definitions for Digital Twin Platforms

구분	Logical Table	Physical Table
생성	레빗	BESTDT_REVIT
	컴포넌트	BESTDT_COMPONENT
	설비배치도	BESTDT_LAYOUT
	매뉴얼	BESTDT_MANUAL
	코드	BESTDT_CODE
	설비	BESTDTV_EQUIP
수집	계측기	BESTDTV_INST
	설비정비	BESTDTV_EQUIP_MNTN
	설비정비 파일	BESTDTV_EQUIP_MNTN_FILE
	예지보전 측정	BESTDTV_PREDICT
	합수량	BESTDTV_ENG_H&MB
	탄화도	BESTDTV_H&MB_PNT

4. 성능 검증을 위한 I/F 및 스토리지 엔진성능 평가
 디지털트윈 I/F와 스토리지 엔진의 성능 평가를 위한 환경 및 자원사양은 표 2와 같으며, 제안된 디지털 트윈 I/F와 스토리지 성능평가는 파라미터 셋팅 후 Insert 성능에 대한 소요시간을 측정하여 평가를 진행하였다.

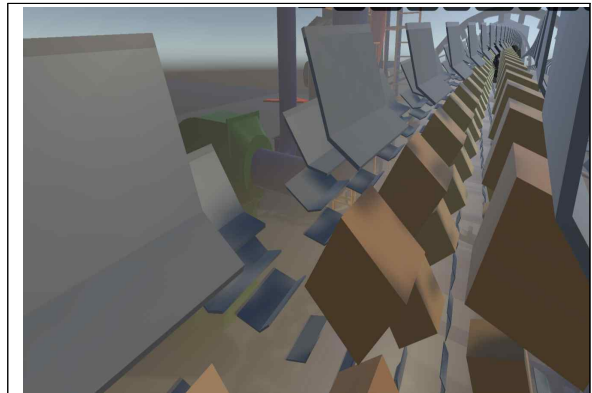
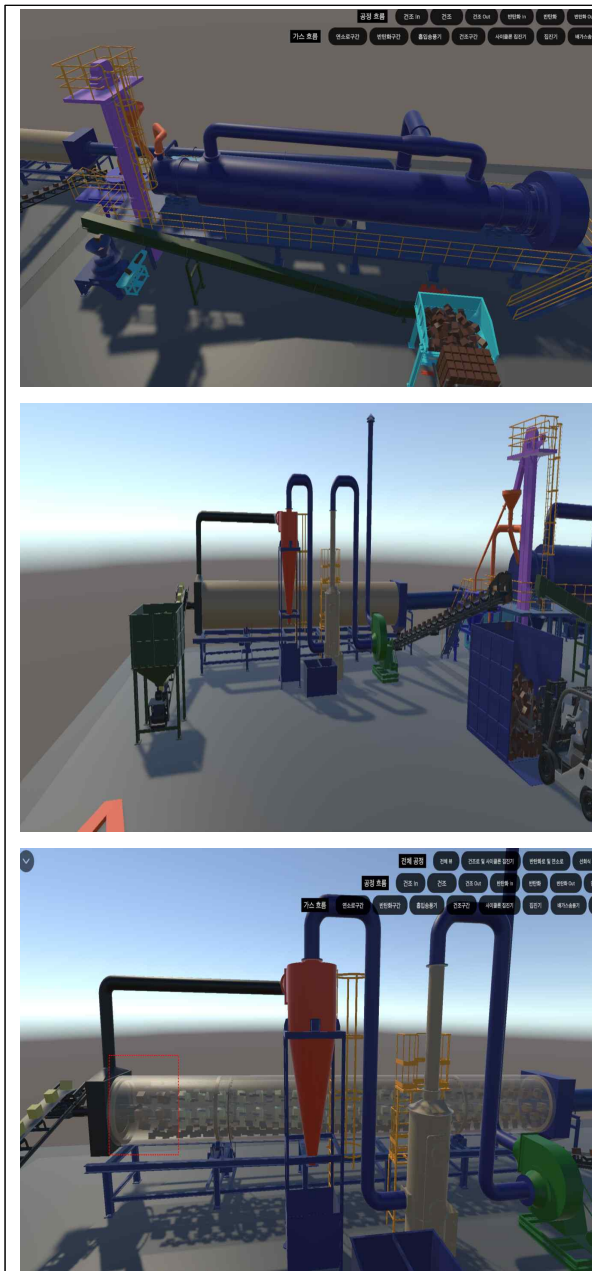
표 2. 스토리지 성능평가 Server 사양
 Table 2. Storage Engine Performance evaluation Server Spec

Values	Temperature, Pressure, Flow
CPU	Intel Xeon Silver 4210R
Memory	64GB
OS	Ubuntu 20.04 LTS
Engine	InnoDB(MySQL), RocksDB

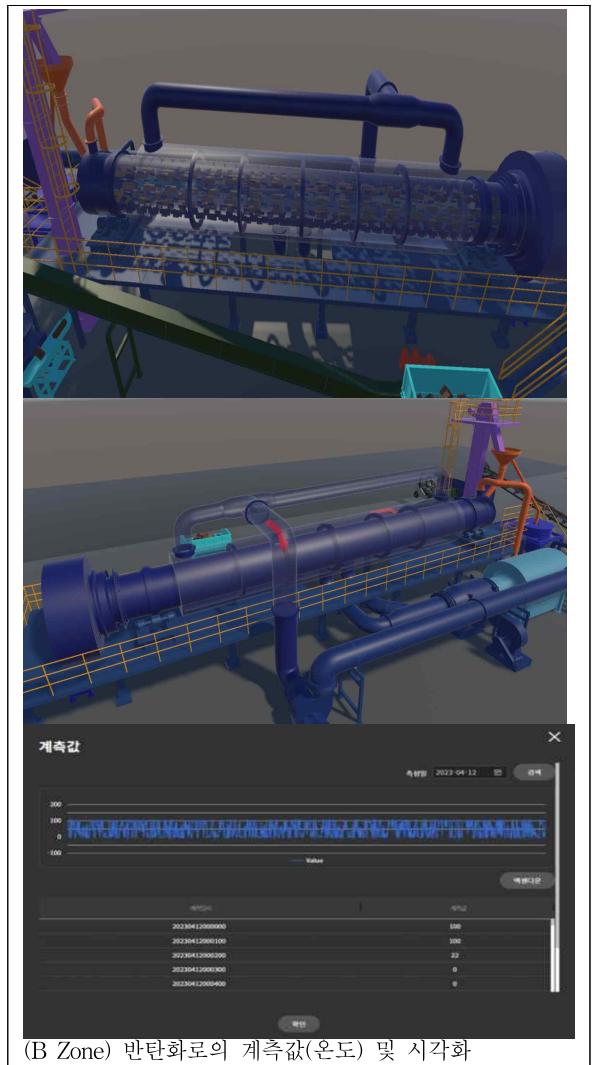
IV. 구현 및 실험결과

1. 바이오플랜트 디지털 트윈 프로토타입

바이오매스 가상 플랜트구현을 위한 디지털 트윈 플랫폼을 제안하여, 본문에 그림 4와 같이 디지털 트윈 프로토타입을 구현 하였다. 제안한 디지털 트윈 플랫폼의 H&MB 로 함수율과 탄화도를 예측하는 시뮬레이션을 수행하고, 이를 기반으로 운전 가이드를 제안하며, 온도, 압력, 유량등의 계측값을 시각화 한다.



(A Zone) Cyclone의 시뮬레이션 및 시각화



(B Zone) 반탄화로의 계측값(온도) 및 시각화

그림 4. 바이오 매스 플랜트의 시각화 모듈
Figure 4. Visualization Module based on Unity

2. 디지털 트윈 시뮬레이션 엔진 및 경량화 모듈

시뮬레이션의 가시화를 위해 Keyframe 설정시 Object의 속성값을 조정하고, Object의 폴리곤을 85% 압축하여, 경량화로 모듈로 구성하였으며 Playmaker 스크립트 도구를 활용하여 시뮬레이션을 구현하였다.

3. 실험방법 및 결과

본 논문에서 3D 가시화 및 그래프 출력을 위해 입/출력 소요시간을 고려한 Insert 성능평가를 수행하였으며, 데이터 셋으로는 실수형의 데이터로 이루어진 바이오매스 플랜트용 데이터 셋을 500MB 가량 추출하여 사용하였다.

그림 5와 같이 바이오매스 플랜트용 디지털 트윈 플랫폼에 적용된 LZ4 알고리즘 기반의 제안된 DB엔진은 평균 6,314ms로 기존 엔진에 비해 소요시간이 3.51배 정도의 향상된 결과를 확인할 수 있었다.

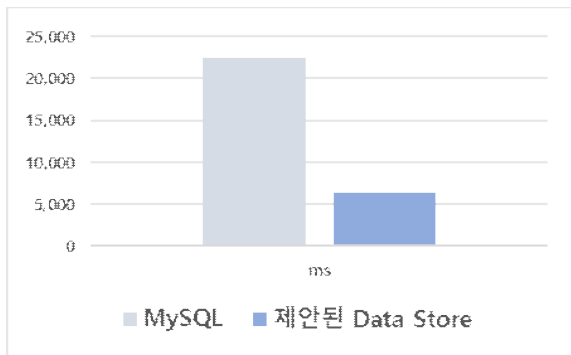


그림 5. Database(Storage) Engine의 Insert 성능평가 그래프
 Figure 5. Performance evaluation graph of storage engine through insert experimentation

V. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 미활용 자원을 기반으로 하는 바이오매스 플랜트의 운영 에너지를 최적화하고, 에너지 효율성 향상을 하기위해 바이오매스 플랜트용 디지털트윈 프로토타입을 구현하고 성능을 평가하였다.

제안된 디지털트윈의 프로토타입에서는 프레임워크와 게이트웨이간 표준 통신 플랫폼을 응용하여 양방향으로 실시간 연동이 가능하도록 제안 및 구현하였고, 프레임워크는 클라이언트 서버와 게이트웨이간 메시지 시퀀스를 정의하여 호스트 서버와 통신이 가능하도록 인터페이스를 구현하였다.

제안된 프로토타입의 성능을 검증하기 위해서 서버에서 양방향 데이터를 수집 및 저장하는 가상환경을 설정하여, 데이터양에 따른 성능평가를 진행하였다. 그 결과 제안된 프레임워크에 적용된 알고리즘이 기존 엔진에 비해 소요시간은 3.51배의 이득을 보여 향상된 성능을 확인할 수 있었다. 이에 바이오매스 플랜트에 적용시 예측 및 유지 보수를 위한 수집 데이터를 효율적으로 적재할 수 있음을 알 수 있다.

향후 제안된 프레임워크를 성능적으로 고도화하고 경량화 작업을 진행할 뿐만이 아니라, 플랜트의 운영 에너지를 최적화하고, 에너지 효율성을 향상 하기위해 더 다양한 예측 모델을 연구하여 적용하고자 한다.

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] Chae-Young Lim, Chae-Eun Yeo, Woo-jin Cho, Jae Hoi Gu, Sang-Hyun Lee "Design and Implementation of IEC62541 based Industry Internet of Things Simulator for Meta-Factory" The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT) 9, no.3 (2023) 803-809.
- [5] GE, <https://www.ge.com/> (accessed July 20, 2021)
- [6] S. Haag and R. Anderl, "Digital twin - Proof of concept," Manufacturing Letters, Vol.15, No.2, pp.64-66, January 2018.
- [7] Chae-Eun Yeo, Woo-jin Cho, Jae Hoi Gu, Chae-Young Lim, "Energy Consumption Analysis of Batch Type Heating Process for Energy Savings in Food Processing Plants" The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT) 9, no.3 (2023) 817-823.

- [8] A. Madni, C. Madni, and S. Lucero, "Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering," *Systems*, Vol.7, No.1, pp. 1-13, January 2019.
- [9] C. Liu, P. Jiang, and W. Jiang, "Web-based digital twin modeling and remote control of cyber-physical production systems," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol 64, No.1, pp. 1-16, August 2020.
- [10] H. Laaki, Y. Miche, and K. Tammi, "Prototyping a Digital Twin for Real Time Remote Control Over Mobile Networks: Application of Remote Surgery," *IEEE Access*, Vol.7, No.1, pp.20325-20336, February 2019.
- [11] Unity 3d, <https://unity.com/> (accessed July 20, 2021)
- [12] Unreal Engine, <https://www.unrealengine.com/> (accessed July 20, 2021)

※ 본 연구는 국토교통부와
국토교통과학기술진흥원 (Korea Agency for
Infrastructure Technology Advancement, KAIA)의
지원을 받아 수행한 과제입니다.
No.RS-2021-KA161883, 미활용 자원 기반
바이오매스 플랜트 실증 기술개발 사업)