

식물공장의 기능성분 분석을 위한 디지털 트윈 프레임워크 구현

고 태 환*, 이 헤 민*, 노 동 희^o

Implementation of Digital Twin Framework for Functional Ingredients Analysis in Plant Factory

Tae-Hwan Ko*, Hea-Min Lee*, Dong-Hee Noh^o

요 약

본 연구는 식물공장의 디지털화를 위한 디지털 트윈 시스템의 프레임워크 구현 결과를 기술하였다. 식물공장 내 재배되는 기능성분이 포함된 엽채류에 대하여 기능 성분이 증대될 수 있는 최적의 환경 제어 및 모니터링을 할 수 있는 시스템을 디지털 트윈 기반으로 시스템을 구현함을 목적으로 한다. 본 논문에서는 이러한 시스템 구현을 위하여 식물공장에 범용으로 적용할 수 있는 디지털 트윈 프레임워크에 대하여 설계하였다. 본 설계 구조는 크게 1) 물리적 세계 계층, 2) 사이버 및 물리적 상호 작용 계층, 3) 디지털 트윈 시스템 계층, 4) 애플리케이션 계층으로 구분하여 설계하였다. 본 연구에서는 이렇게 설계된 식물공장 디지털 트윈 프레임워크는 경기도에 소재한 식물공장을 운영하는 업체의 테스트베드 공간에서 실증 구현하였다.

키워드 : 스마트팜, 식물공장, 디지털 트윈 프레임워크, 모델

Key Words : Smart Farm, Plant Factory, Digital Twin, Framework, Model

ABSTRACT

This study described the results of implementing the framework of the digital twin system for digitalization of plant factories. The background of this paper is to implement a system based on digital twins that can control and monitor the optimal environment for increasing functional ingredients and leaf vegetables grown in plant factories. In this paper, in order to implement this system, a digital twin framework that can be applied universally to plant factories was designed. This design structure was designed largely by dividing it into 1) physical world layer, 2) cyber and physical interaction layer, 3) digital twin system layer, and 4) application layer. The designed results of the digital twin framework system were implemented in a testbed in a plant factory.

※ 본 결과물은 농림축산식품부, 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원, (재)스마트팜 연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421034-04)

• First Author : IT Application Research Center, Jenbuk Regional Branch, Korea Electronics Technology Institute (KETI), kth1147@keti.re.kr, 정희원

o Corresponding Author : IT Application Research Center, Jenbuk Regional Branch, Korea Electronics Technology Institute (KETI), dheeh.noh@keti.re.kr, 정희원

* IT Application Research Center, Jenbuk Regional Branch, Korea Electronics Technology Institute (KETI)

논문번호 : 202208-158-0-SE, Received August 1, 2022; Revised September 10, 2022; Accepted September 21, 2022

1. 서론

식물공장은 식물의 재배환경요인(온도, 습도, 이산화탄소, 광도, 광질, 광주기, 배양액 등)을 조절하여 작물의 성장과 품질을 향상할 수 있고, 다단식의 재배 단에서 작물을 연중 계획 생산 가능하여 단위 면적당 생산량을 혁신적으로 증진할 수 있는 식물생산 시스템이다(그림 1). 즉, 식물공장은 수분, 양분, 이산화탄소 등 자원 이용효율이 높아 친환경적이면서 미래지향적인 농업으로 지속할 수 있는 농업이 가능하며 크게 발전할 것으로 전망되고 있다.

현재 농업 분야에서는 스마트팜으로의 진출을 위해 온도, 습도, CO₂ 등을 측정할 수 있는 센서는 물론 작물 재배의 원격제어 등 스마트팜용 Internet of Things (IoT) 기기가 활용되고 있다¹⁻⁴⁾. 현재 식물공장은 ICT 기술의 결합을 통하여 현재 식물 재배환경의 정보를 실시간으로 수집하고, 각종 스마트기기를 통하여 환경을 조절할 수 있으며, 더 나아가 기존 농업 방식보다 더 정밀한 환경조절이 가능하여 규격화된 작물 생산과 Information & Communications Technology (ICT) 기술의 활용을 통해 자동화 공정을 접목하여 대량 생산이 가능하다.

사물인터넷(IoT), 빅데이터, AI 등 4차 산업혁명 걸인기술이 발전 및 보편화됨에 따라 이를 적용하여 다양한 산업현장에서 생산성, 경제성, 안전성 등을 향상시키고자 하는 요구가 확산되고 있는데, 이를 위한 중요한 기술로 디지털 트윈(Digital Twin)이 주목받고 있다^{5, 6)}. 디지털 트윈(Digital Twin)이란 물리적 객체(프로세스 및 시스템 등)들에 대한 디지털 복제(쌍둥이)로서, 수명주기 전체에 걸쳐 대상 객체 요소들의 속성/상태를 유지하며 이들이 어떻게 작동하는지의 동적 성질을 묘사하는 가상의 모델이라 정의할 수 있다(그림 2).

특히, 디지털 농업은 지능정보 기술과 네트워크 데이터 기반 융복합 산업(Data, Network, AI)으로 진화

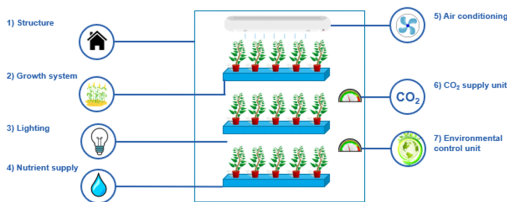


그림 1. 식물공장 환경 모니터링 및 제어 정보
Fig. 1. Overview of Environment and Control Information in Plant Factory

Figure 2. Digital twin conceptual architecture

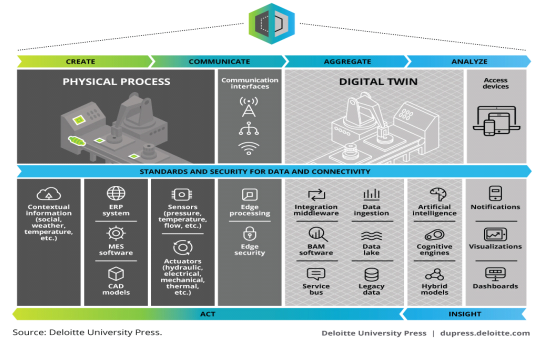


그림 2. 디지털 트윈의 개요
Fig. 2. Overview of Digital Twin

한 농업체계로, 최근 미래농업의 잠재력 강화를 위해 중점 육성의 필요성이 증가하고 있으며, 전 세계적으로 사회적 이슈인 COVID-19로 인한 농산물 수출입 제한은 농산업 리쇼어링(reshoring) 필요성의 확대와 국내 농업공급망 변화 등 농산업 정책환경의 급변 속에서 국내 농산업 전주기에 대한 디지털화를 통한 혁신을 요구하고 있다. 이러한 흐름은 디지털 트윈 기술이 농업 분야에 적용됨에 있어 필요한 방향이며, 이를 위한 기술 개발 및 연구가 필요하다.

본 논문은 식물공장에서 적용할 수 있는 디지털 트윈 관련한 프레임워크를 설계하고 이를 구현한 연구 내용에 관하여 기술하고자 한다. 본 연구에서는 특히 식물공장은 물론 스마트팜 분야에서 활용할 수 있도록 디지털 트윈 프레임워크를 설계하였으며, 기능 및 목적에 따라 크게 4개 계층으로 구분 지었으며, 특히 본 프레임워크의 핵심이라 할 수 있는 디지털 트윈 시스템 계층의 경우, 객체 핸들러 계층과 모델 계층으로 세분화하여 설계하였다. 객체 핸들러 계층의 경우, 디지털 트윈 하드웨어 플랫폼으로 많이 사용되는 Eclipse Foundation에서 개발한 Eclipse Ditto를 분석하여 그 기능을 구성하였다. 디지털 트윈 프레임워크를 통해 구현된 결과물은 크롬을 기반으로 WebGL을 통해 적용된 Unity 기반 가상공간의 식물공장을 구현하였다.

본 논문은 관련 서론을 기술한 후 2장으로 디지털 트윈 프레임워크에 대한 상세 설계 내용을 기술하였으며, 3장에서는 디지털 트윈 프레임워크 구현에 필요한 인터페이스 설계 및 구현 사례를 설명하였으며, 4장은 설계된 프레임워크 및 인터페이스를 실제 구현한 결과를 설명하였으며, 마지막으로 연구 결과 및 향후 연구계획에 관하여 기술하였다.

II. 프레임워크 설계

본 장에서는 식물공장에 범용으로 적용할 수 있는 디지털 트윈 시스템을 위한 프레임워크 설계 방법에 관하여 기술한다. 본 장에서 기술하고자 하는 디지털 트윈 프레임워크 설계 방법은 크게 1) 물리적 세계 계층, 2) 사이버/물리적 상호 작용 계층, 3) 디지털 트윈 시스템 계층, 4) 애플리케이션 계층의 4개 계층 구성 요소로 구성된다. 데이터 흐름 관점에서 물리적 데이터는 다양한 센서 또는 액추에이터로부터 획득되는데, 센서는 기계와 같은 환경 또는 유지보수 정보이며 액추에이터는 실시간 상태의 동작 정보를 수집 및 운영한다.

특히, 디지털 트윈 시스템 계층은 그림 3과 같이 파란색의 도면으로 설명된다.

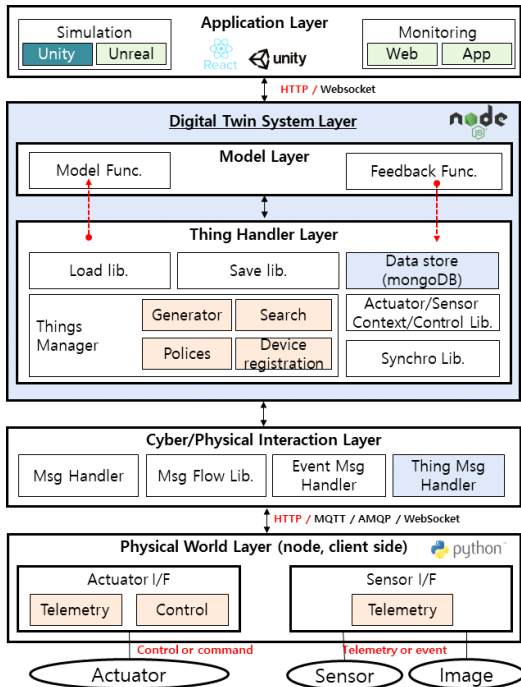


그림 3. 디지털 트윈 프레임워크 구조
Fig. 3. Architecture of Digital Twin Framework

2.1 물리적 세계 계층 구현

물리적 세계 계층에는 센서 또는 액추에이터와 같은 두 가지 노드 구성 요소가 있다. 센서 노드에서는 환경 정보의 원격 측정으로서 중요한 역할을 한다. 한편, 액추에이터 노드는 원격 측정과 제어와 같은 두 가지 중요한 역할을 한다.

각 센서 또는 액추에이터에는 디지털 트윈 프레임워크와 통신해야 하는 인터페이스 라이브러리가 존재한다. 이것의 역할은 센서 또는 액추에이터 인터페이스의 자체 라이브러리에 의존하여 동작한다(그림 4).

2.2 사이버/물리적 상호 작용 계층 구현

식물공장 시설은 센서 또는 액추에이터 데이터를 통해 사이버/물리적 상호 작용 계층을 통해 디지털 트윈 프레임워크와 통신한다. 이 과정에서 “물리적 객체”의 데이터는 사이버 세계 데이터인 “디지털 객체”로 변환된다. 디지털 트윈 프레임워크의 “디지털 객체”는 JSON 포맷을 사용하여 HTTP, MQTT, AMQP, 웹 소켓과 같은 IoT 프로토콜을 통해 통신한다.

예를 들어 환기창 #1의 “물리적 객체”는 환기창 동작 정보와 설치 위치 정보를 동시에 전송하며, 이는 JSON 형태의 “디지털 객체” 형식으로 “Things” 형태로 변환된다(그림 4).

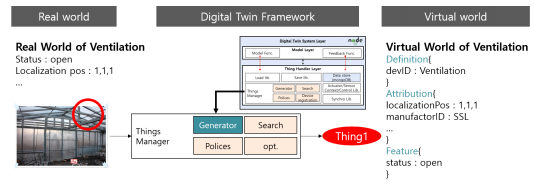


그림 4. 물리적 객체의 디지털 객체 변환 예시
Fig. 4. Example Conversion of the Physical Thing to Digital Thing

2.3 디지털 트윈 시스템 계층 구현

2.3.1 객체 핸들러 계층 구현

이 계층에는 객체 관리자, 액추에이터 제어 라이브러리 및 센서 컨텍스트 라이브러리의 세 가지 기능이 포함되어 있다(그림 5).

첫째로, 객체 관리자 모듈은 “물리/디지털 객체”의 생성(Generator), 검색(Search), 보안정책관리(Polices),

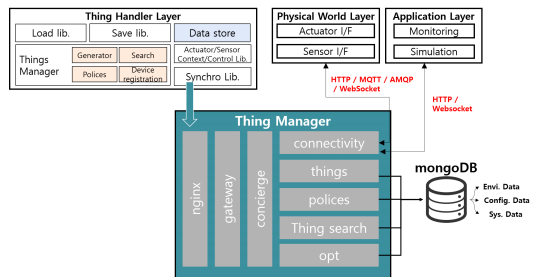


그림 5. 객체 핸들러 계층 설계도
Fig. 5. Example of the Thing Handler Layer

물리/디지털 객체 업데이트(Updates) 및 디바이스 등록(Device registration) 기능을 관리한다. 특히, 물리적 객체과 디지털 객체의 동기화를 위하여 본 계층에서는 객체의 전 주기 이력 관리(생성에서부터 소멸까지의 전 과정을 포함한다.)를 담당한다.

둘째, 액추에이터 제어 라이브러리는 기계의 제어 파라미터 또는 buad rate 등과 같은 액추에이터 인터페이스를 관리하며, 이를 통해 디지털 트윈 프레임워크로 액추에이터와 통신하는 것을 포함한다.

셋째, 센서 컨텍스트 라이브러리에는 센서 구성 파라미터, 즉 센서 수집 데이터의 최대/최솟값, 보정 값 등 센서 인터페이스를 담당하며, 이는 곧 디지털 트윈 프레임워크와의 통신도 포함되어 있다.

본 장에서 기술한 디지털 트윈 프레임워크의 객체 핸들러 계층의 주요 기능인 액추에이터 제어 라이브러리 및 센서 컨텍스트 라이브러리에서는 식물공장에서 다양하게 사용될 수 있는 제어장치와 센서 기자재를 모두 포함할 수 있도록 구현하였다. 특히 가상 객체의 이력 관리 기능을 통해 물리 환경에서의 객체의 등록, 생성, 데이터 관리 및 장치 철거 시의 이력 관리 등을 가능케 하였다. 또한 다양한 사물인터넷 프로토콜 또한 통신할 수 있도록 하였으며(그림 5), HTTP 외에 MQTT, AMQP, Websocket 등 다양한 프로토콜을 제공한다. 이러한 기능을 본 프레임워크 설계 시 반영하여 식물공장 적용 시의 범용 기능을 강화할 수 있도록 연구하였다.

2.3.2 모델 계층 구현

이 계층에는 1) 레시피 정보 분석, 2) 생육 정보 분석, 3) 기능성분 분석이 가능한 모델 엔진 기능이 포함된다. 해당 계층은 프레임워크 내 적재된 데이터를 활용하여 분석하거나, 외부 서버에서 분석된 정보를 API 형태로 수집하여 조회할 수 있는 기능을 포함하여 설계되었다.

본 계층은 크게 1) 모델 함수와 2) 피드백 함수로 구분된다. 모델 함수는 위에서 설명한 크게 3가지의 분석할 수 있는 모델이 탑재되어 있다.

둘째, 피드백 계층의 목적은 모델에 의해 디지털 객체의 정보가 변동되었을 경우, 이를 물리적 객체에게 전달 반영하여 사이버와 물리적 세계 간에 동기화하는 것이다.

2.4 어플리케이션 계층 구현

본 장에서는 수집된 데이터를 가시화할 수 있는 기능을 설계한 내용을 기술하였다. 디지털 트윈 기반으

로 물리 세계를 가상환경으로 표현하기 위하여 본 연구에서는 게임 등 3D 시각화 개발 시 사용하는 유니티 엔진을 사용하였다. 또한 본 프레임워크의 사업성을 고려하여 어플리케이션 환경은 웹 환경을 고려하여 관련 기능 및 구조를 설계하였으며, 유니티 엔진을 웹 환경 내에서 연동하기 위하여 WebGL 라이브러리를 활용하여 어플리케이션 계층을 설계 및 구현하였다.

유니티 환경으로 구현된 가상환경 정보를 웹 환경에서 시각화하고 물리 세계의 데이터가 안정적으로 웹 기반 유니티로 표현된 가상환경에 표현될 수 있도록 UnityWebGLConnector 및 관련 기능을 모듈화하여 설계하였다(그림 6).

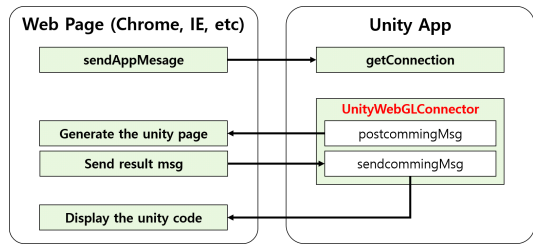


그림 6. 어플리케이션 계층 설계도
Fig. 6. Example of the Application Layer

III. 인터페이스 설계

본 장에서는 실증 온실로 설정한 경기도 내 식물공장에서 데이터를 수집하기 위한 인터페이스 설계 방법에 관하여 기술하였다.

실증온실 내 설치되는 센서는 소하테크(모델명: SH-VT260)로, 본 제품은 표 1과 같이 Modbus RS485 통신을 지원하며, 온도, 습도, CO₂ 정보를 수집하며 그 범위는 표 1과 같으며, 이를 위한 테이블 정보는 아래 표 2와 표 3에서 기술한다. SH-VT260 센서는 데이터 수집에 사용된 하드웨어 장치인 라즈

표 1. 소하테크 SH-VT260 재원 정보
Table 1. Soha-Tech SH-VT260 Hardware Specification

Sensor Type	Range	Update Time	Communication
Humidity	0.0~99.9 %RH	2sec	RS-485 Modbus RTU (analog : 4~20mA, digital : RS485)
Temperature	-10℃~50℃	5~30sec	
CO2 Sensor	0~3000ppm, 0~5000ppm, 0~10000ppm	8sec	

표 2. 소하테크 SH-VT260 Modbus Address Map
Table 2. Soha-Tech SH-VT260 Modbus Address Map

Address		Address Map Value (2 Bytes)
Hex	Dec	
0x64	100	CO2(Int)
0x66	102	Temperature(Float)
0x68	104	Humidity(Float)
0x6A	106	Error State
0x6C	108	Device ID

표 3. 소하테크 SH-VT260 재원 정보
Table 3. Soha-Tech SH-VT260 Hardware Specification

Sensor Request Command Code (Master(PC or Raspberry Pi) → Slave(SH-VT260))							
Slave ID	Func Code	Start Address Hi	Start Address Lo	Read Address Hi	Read Address Lo	CRC Check Code	
0x01	0x03	0x00	0x64	0x00	0x04	0x05	0xD6
Sensor Response Command Code (Slave(SH-VT260) → Master(PC or Raspberry Pi))							
Slave ID	Func Code	Byte Count	CO2 Value	Temperature Value	Humidity Value	Temperature & Humidity Sensor Status	CRC Check Code
0x01	0x03	0x08	0x02 0xd0	0x00 0xeb	0x01 0xf7	0x00 0x30	0x51 0xce

베리퍼와 RS485 통신을 통해 데이터를 수집하였다.

IV. 디지털 트윈 프레임워크 구현

본 장에서는 식물공장 대상으로 구현된 디지털 트윈 프레임워크를 활용하여, 식물공장 데이터를 수집하고 이를 가시화하는 구현 사례를 설명한다. 실험에 사용된 하드웨어 장치로는 라즈베리파이 개발 보드를 사용하였으며, 개발 언어로는 C#, java/javascript를 사용하였다. 서버 개발 시 우분투 리눅스 18.04에서 RDBMS 중 하나인 SQLite, MariaDB를 사용하였다. 기본 디지털 트윈 프레임워크는 Eclipse 재단에서 제공하는 오픈소스 기반 소스인 Eclipse Ditto 프레임워크를 기반으로 개발을 진행하였다.

4.1 가상환경 내 식물공장 구현

본 장은 디지털 트윈을 위해 사전에 렌더링 된 가상 이미지를 가상화 객체에 좌표에 실시간으로 투영될 수 있도록 시스템을 개발한 결과에 관하여 기술하였다. 데이터는 실시간으로 수집되며, 이를 가시화하기 위해 그림 7과 같이 WebGL 기반으로 가상환경을 구현하였다.

특히, 가상환경 내 구현된 식물공장은 별도 확대 기

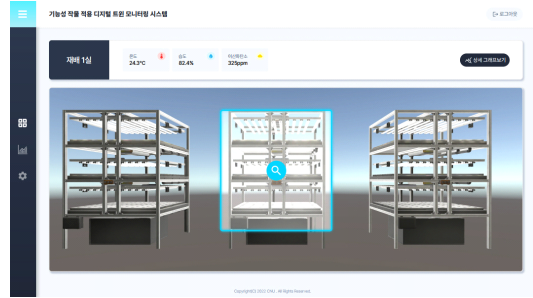


그림 7. WebGL 기반 식물공장 디지털 트윈 구현 화면
Fig. 7. A Scene of Digital Twin Implementation of WebGL-based Plant Factory

능을 통해 G社에서 별도로 설치한 30평 내외의 식물공장 테스트베드를 가상환경으로 구현하였으며, 환경 내 각 랙에서 재배되고 있는 기능성 작물정보를 조회할 수 있다. 이에 대한 화면은 그림 8, 그림 9와 같이 구현하였다. 본 논문에서 조회되는 기능성분 데이터로는 크게 Anthocyanin, Carotenoid, Chlorophyll, Glucosinolate, Phenolic로 정의하였으며, 이는 그림 10 및 11을 통해 가시화 결과를 제공한다.

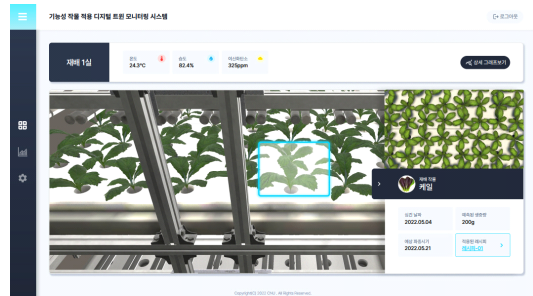


그림 8. 가상환경 내 식물공장 작물 이미지 조회 화면
Fig. 8. A Scene of Inquiry Screen of Plant Factory Crops in Virtual Environment

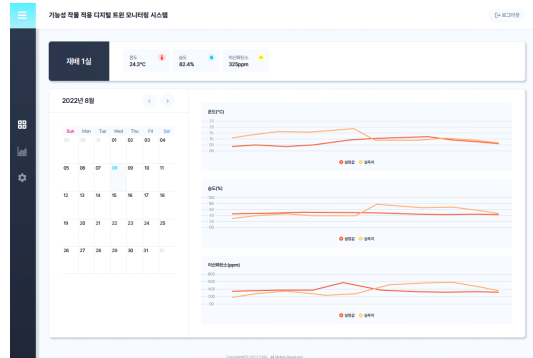


그림 9. 가상환경 내 식물공장 환경 데이터 조회 화면
Fig. 9. Environmental Data Inquiry Screen for Plant in Virtual Environment

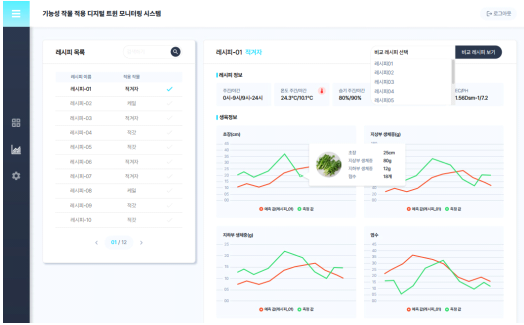


그림 10. 식물공장 재배 작물별 레시피 정보 제공 화면
Fig. 10. A Scene of Recipe Information as Plant Cultivation

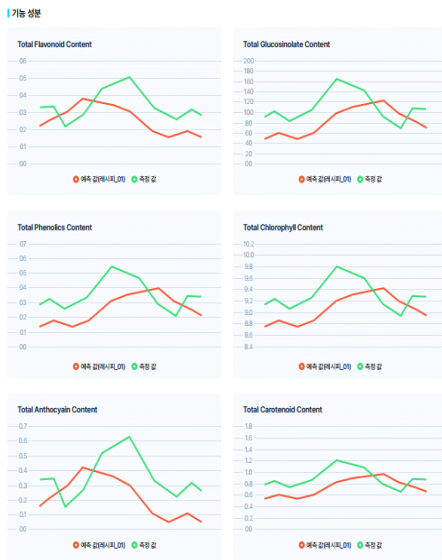


그림 11. 식물공장 재배 작물별 기능성분 정보 제공 화면
Fig. 11. A Scene of Functional Ingredients of Plant Factory crops

4.2 환경 데이터 가시화 구현

본 프레임워크는 경기도 소재 G社 식물공장 업체에서 운영하는 30평 내외의 테스트베드 환경에서 실증이 이루어졌다. 재배 작물로는 바질, 케일, 적겨자 3종이 선정되어 해당 테스트베드에서 재배되었다. 테스트베드에서 우선 수집되는 데이터 종류로는 온도, 습도, CO2를 SH-VT260 복합환경 센서를 통해 수집(그림 9)하였으며, RS485 통신 프로토콜을 통해 실시간으로 데이터를 수집하였다. 데이터는 설치 후 2022년 5월 1일부터 5월 30일까지 약 30일 데이터를 수집하였다.

4.3 기능성분 및 환경 정보 가시화 구현

본 장에서는 엽채류 작물이 재배되는 식물공장 환경에서의 환경 정보(온도, 습도, CO2) 및 파괴적 방법을 통해 측정된 기능성분 데이터를 웹 환경을 통해 가시화하는 결과에 관하여 기술하였다. 기능성분 엽채류의 기능성분 별 파괴적 측정은 사람의 수기에 의한 측정 및 기록을 남긴 후 이를 로거 형태로 기록하였다. 그 결과는 그림 11과 같이 가시화 가능하도록 구현하였다.

V. 결론

본 연구는 식물공장을 가상의 디지털 트윈 시스템으로 운영, 관리하기 위한 식물공장 적용 디지털 트윈 프레임워크를 설계하고 이를 구현한 사례에 관하여 기술하였다. 디지털 트윈 프레임워크 설계는 기능 성격에 따라 1) 물리적 계층, 2) 사이버/물리적 상호 작용 계층, 3) 디지털 트윈 시스템 계층 및 4) 애플리케이션 계층으로 세분화하여 설계하였다. 특히 디지털 트윈 시스템 계층은 가상 객체를 관리하기 위한 1) 객체 핸들러 계층과 데이터 분석 및 가시화 결과 제공을 위한 2) 모델 계층으로 세분화하여 설계하였다.

이렇게 설계된 프레임워크는 경기도 소재 식물공장 업체에서 운영하는 30평 내외의 테스트베드 환경에서 실증을 진행하였다. 재배 작물로는 바질, 케일, 적겨자 3종이 선정되어 해당 테스트베드에서 재배되었다. 재배 작물에 대한 재배 환경 모니터링 및 제어 기능을 통합 운영관리하기 위한 기능을 본 프레임워크에서 제공하였으며, 실증을 통해 그 성능을 검증하였다.

향후 연구로는 식물공장 대상 디지털 트윈 프레임워크에 대한 고도화 방안에 관한 연구를 진행할 계획이며, 특히 서버 구현의 비동기적 한계를 극복하는 방안에 관하여 연구할 계획이다. 또한 디지털 트윈 프레임워크로 활용할 수 있는 기타 프레임워크에 대해 추가 연구를 통해 최적의 디지털 트윈 프레임워크를 설계할 수 있도록 연구할 계획이다.

References

[1] R. G. Alves, et al., "A digital twin for smart farming," *2019 IEEE GHTC*, pp. 1-4, 2019. (<https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046>)
[2] M. Jans-Singh, K. Leeming, R. Choudhary, and M. Girolami, "Digital twin of an urban-integrated hydroponic farm," *Data-*

Centric Eng., vol. 1, 2020.

(<https://doi.org/10.1017/dce.2020.21>)

- [3] A. Ghandar, A. Ahmed, S. Zulfari, Z. Hua, M. Hanai, and G. Theodoropoulos, "A decision support system for urban agriculture using digital twin: A case study with aquaponics," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 35691-35708, 2021. (<https://doi.org/10.1109/access.2021.3061722>)
- [4] D. Mitchell, et al., "Symbiotic system of systems design for safe and resilient autonomous robotics in offshore wind farms," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 141421-141452, 2021. (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3117727>)
- [5] G. S. Martínez, S. Sierla, T. Karhela, and V. Vyatkin, "Automatic generation of a simulation-based digital twin of an industrial process plant," *IECON 2018, 44th Annu. Conf. IEEE Ind. Electr. Soc.*, pp. 3084-3089, 2018. (<https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591464>)
- [6] D.-Y. Jeong, "The technical definition of the digital twin and the detailed development 5 level model," *OSIA*, Mar. 2021.

고 태 환 (Tae-Hwan Ko)



2019년 2월 : 전북대학교 전자공학부 졸업

2022년 3월~현재 : 전북대학교 전자공학부 석사과정

2021년 2월~현재 : 한국전자기술연구원 IT응용연구센터 연구원

<관심분야> 스마트팜 IoT기기, 스마트팜 디지털트윈
[ORCID:0000-0002-1742-5035]

이 헤 민 (Hea-Min Lee)



2014년 2월 : 금오공과대학교 전자공학 학사

2016년 2월 : 금오공과대학교 전자공학 석사

2021년 2월 : 경북대학교 전자공학 박사 수료

2016년 2월~2021년 12월 : 한국전자통신연구원 대경권연구센터

2021년 1월~현재 : 한국전자기술연구원 IT응용연구센터 연구원

<관심분야> 제어공학, 임베디드 시스템, 자율주행
[ORCID:0000-0001-9573-2500]

노 동 희 (Dong-Hee Noh)



2013년 2월 : 금오공과대학교 전자공학 학사

2015년 2월 : 금오공과대학교 전자공학 석사

2018년 4월~현재 : 한국전자기술연구원 IT응용연구센터 선임연구원

<관심분야> 스마트팜, 빅데이터, 디지털 트윈, 로봇 제어 시스템

[ORCID:0000-0001-6931-2377]