

# 소규모 재배 환경의 디지털 트윈 시스템 구현

정도균\*, 김영진\*, 이성환\*\*, 양명균\*

\*전북대학교 생물산업기계공학과

\*\*전북대학교 농업기계공학과

e-mail:yangmk@jbnu.ac.kr

## Implementation of a Digital Twin System in Small-scale Cultivation Environment

Dokyoon Jeong\*, Yeong-Jin Kim\*, Seong-hawn Lee\*\* Myongkyoon Yang\*

\*Dept. of Bioindustrial Machinery Engineering, Jeonbuk National University

\*\*Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Jeonbuk National University

### 요약

작물의 생애 주기를 고려하였을 때 온실에서 직접 작물을 재배하며 최적 환경 도출을 위한 연구를 진행하기에는 여러 한계가 존재한다. 이 한계를 극복하기 위한 대안으로 현실의 물리적 환경을 가상환경에 구현하는 디지털 트윈 기술이 주목받고 있다. 디지털 트윈을 통해 작물이 자라는 온실을 가상 공간에 구현하고 작물의 생육 정보와 온실 내 환경 정보를 전달하여 사용자가 가상 온실을 원격으로 통제할 수 있다. 또한, 데이터 구조 차원에서 다양한 데이터 활용 기술을 통해 제품의 전체 수명주기에서 특정 판단을 신속하고 종합적으로 내릴 수 있어 작물이 성장하는 시간을 조작하여 다양한 시뮬레이션을 도출할 수도 있다. 해당 디지털 트윈 시스템은 아두이노를 기반으로 구성된 소형 재배 시설을 가상환경에 구현한 후 데이터베이스와 연동하여 현실과 가상의 환경 조건을 통합하였다. 또한 액추에이터와의 작동을 연동하였으며 시각화 측면에서 개선을 시도하였다. 이 시스템을 고도화한다면 현실 조건과 동일한 여러 시뮬레이션 구현이 가능할 것이라 기대된다.

## 1. 서론

최근 사회는 기술 발전에 따라 다양한 사회적 이슈에 대해 빠른 해결 방안을 요구하고 있다. 4차 산업 혁명으로 인해 다양한 기술이 발전되었고, 꾸준히 발전해온 인공지능 기술은 각 산업에 밀접하게 적용되고 있기 때문이다. 이에 농업도 ICT(Information and Communications Technologies) 기술을 접목한 여러 방향의 디지털 농업으로 나아가고 있으며, 시간과 공간의 제약 없이 작물을 관리하는 스마트팜은 이에 대한 대표적인 예시 중 하나이다. 스마트팜은 농장의 생육 정보와 환경 정보, 기상 정보를 주기적으로 수집하고 이를 시각화하여 작물이나 온실을 관리할 수 있는 시스템을 말한다[1]. 이를 통해 농작물을 최적의 상태로 관리할 수 있고, 최소한의 투자로 최대의 이익을 실현할 수 있게 한다. 스마트팜을 위한 여러 요소 기술의 발전으로 다양한 연구 가능성이 열리게 되었다. 이러한 발전은 더욱 확장되어 디지털 트윈(Digital Twin)이라는 개념을 더해 변화를 이끌고 있다. 스마트팜에 디지털 트윈을 적용하는 것은 인공지능, 5G, 센서 기술 뿐만 아니라

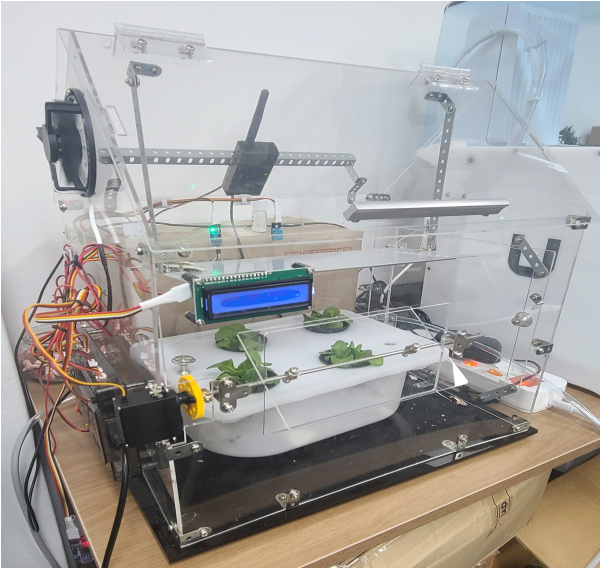
작물에 대한 원예학적인 정보까지 포함하는 융합연구에 해당한다. 이를 활용한다면 데이터 생성, 전달, 분석 등의 구조 차원에서 다양한 데이터 활용 기술을 통해 작물의 전체 생애주기에서 특정 판단을 신속하고 종합적으로 내릴 수 있으며, 다양한 상황을 설정하여 시뮬레이션을 수행할 수 있게 된다[2]. 또한, 작물에 따른 온실 내 최적 기후 조건 범위를 설정하고, 센서로 온실 내 미기후를 측정하여 기준 범위 내로 환경 자동 제어까지 확인해볼 수도 있다[3]. 따라서 본 연구에서는 디지털 트윈 기술을 시설원에 및 온실에 적용하기 위해 스마트 온실을 3차원 가상환경에 구현하는 시스템을 설계하고자 하였다. 아두이노 기반의 소규모 온실을 선정하여 디지털 공간에 모델링하고 이들에 대한 상호작용을 구현하기 위한 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 소규모 재배 환경 구현

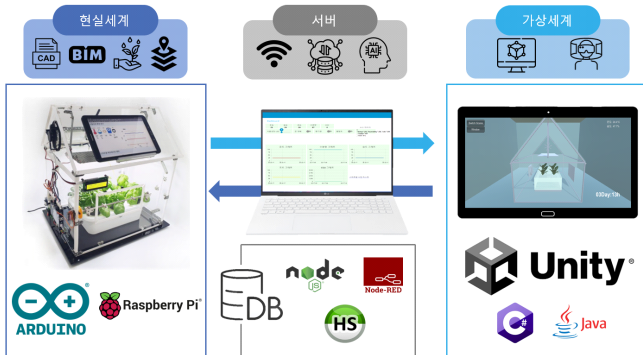
디지털 트윈을 구현하기 위해 실제 규모의 온실보다 접근성과 환경 제어가 비교적 유리한 소규모의 시

시스템을 고려하였다. 작은 규모로 운영되면서 여러 종의 작물을 재배할 수 있어야 하고, 사용자 설정 환경을 쉽게 조성할 수 있어야 했다. 또한, 센서값을 정확히 측정하기 위해 밀폐형 환경 조성이 되어야 함을 고려하여 그림 1과 같이 가장 적절한 소규모 재배 환경을 선정 및 구성하였다.



[그림 1] 선정된 소규모 재배 환경

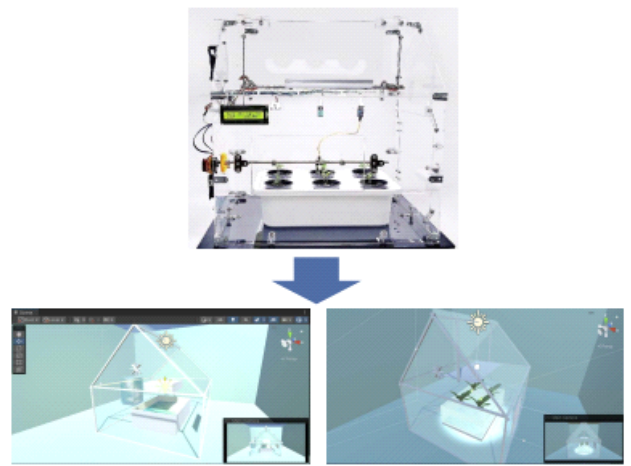
그림 2는 선정된 소규모 재배 환경을 활용해 디지털 트윈 시스템을 구성한 전체 구조를 보여주고 있다. 소규모 재배 환경은 아두이노 기반으로 작동되며 온·습도, 조도 등 다양한 센서로 구성되었다. 와이파이 모듈을 활용하여 아두이노 보드의 IP를 입력해 컴퓨터 웹 서버와 연결하였고, 원격으로 제어하며 이를 위한 데이터베이스를 구축하는 것이 가능하도록 하였다. 또한, 블루투스 모듈을 활용해 스마트폰 앱으로 접속하여 모바일 상에서 온실 환경 확인 및 제어가 가능하도록 구현하였다. 추후 연구 확장에 따른 센서의 수, 종류의 추가가 자유롭고 이에 대한 통합 관리 또한 수월하도록 모듈화해 구성하였다.



[그림 2] 디지털 트윈 구성

## 2.2 가상환경 구성

디지털 트윈을 위한 가상환경 구성은 재배 환경과의 연동 및 액추에이터 작동 구현을 고려하여 Unity를 연구 프로그램으로 선정하였다. 먼저, 외형을 구성하기 위해 3차원 모델링을 수행하였고, 가상환경 내에 재배 환경과 더불어 환풍기, 창문, LED, 워터펌프 등 각종 액추에이터를 구현하였다. 다음으로 C#과 JavaScript를 이용하여 모델링한 요소들에 대해 세부적인 기능과 온·습도와 같은 다양한 환경 구현을 구현하고자 하였다. 그림 3은 이에 대한 구체적이고 정밀한 가상환경 구현을 구현한 모습을 보여준다.



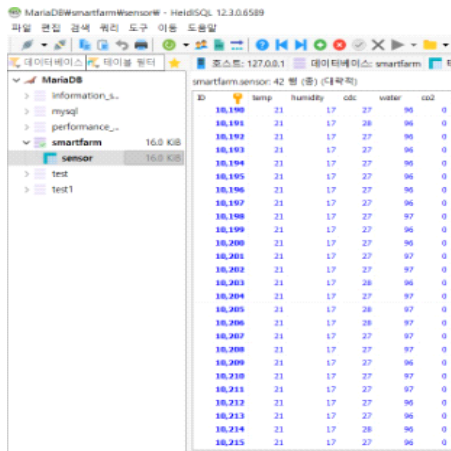
[그림 3] 소규모 재배 환경의 가상화

## 2.3 데이터베이스 구축

데이터베이스를 구축하기 위해 MariaDB, HeidiSQL, node-red를 활용하였다. 그림 4와 같이 소규모 재배 환경의 와이파이 센서 IP를 node-red에 입력하여 통신 연동 과정을 수행하였다. 또한, MariaDB를 설치 후 데이터베이스 테이블을 제작하고 HeidiSQL을 통해 그림 5와 같이 데이터베이스 시각화를 구현해 소규모 재배 환경 DB를 구성하였다.

시료	온도(C)	습도(%)	CDS(%)	토양수분(%)	Co2(ppm)
10184	21	17	27	96	0
10183	21	17	27	96	0
10182	21	17	27	96	0
10181	21	17	27	95	0
10180	21	17	27	96	0
10179	21	17	27	96	0
10178	21	17	27	96	0
10177	21	17	27	96	0
10176	21	17	27	96	0
10175	21	17	27	96	0
10174	21	17	27	96	0

[그림 4] node-red 대시보드



[그림 5] HeidiSQL 대시보드

#### 4. 결론 및 향후 연구계획

본 연구는 소규모 재배 환경의 디지털 트윈을 구현하고 데이터베이스를 통해 현실과 가상 세계 간 액추에이터가 연동되어 작동하는 것을 확인하는 단계까지 진행되었다. 시설 온실의 디지털 트윈 개발에 필요하고 요소를 연구하였으며, 접근성이 좋은 웹 서버의 구축과 동시에 가상환경 내에서 환경 정보를 볼 수 있도록 시각화하였다.

추후 연구로는 가상환경 내에서 더 나은 시각화를 위해 UI 기능을 덧붙일 계획이며, 추가적인 환경 요소를 고려할 예정이다. 또한, 식물 모델링을 통해 작물의 성장과 환경 요소 간 상호작용을 구현하여 소규모 온실 국소 정밀 제어 시스템에 대한 연구로 진행할 계획이다. 본 연구의 결과를 인공지능 기반 작물 표현형 분석에 적용하여 분석한다면 온실 운영에 있어 에너지의 효율적인 투입을 통한 운영비 절감 효과와 온실 자동화 운영을 통한 노동력 보존과 작물의 품질 상승효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

#### 5. 사사

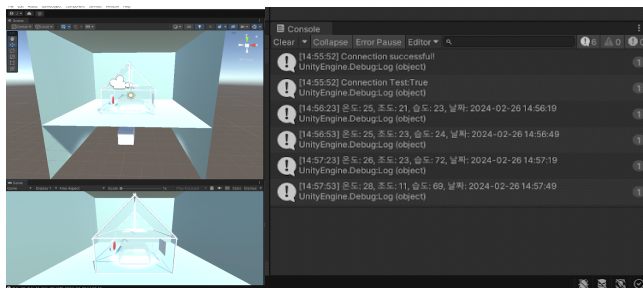
이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1C1C2005959).

#### 참고문헌

- [1] 장준영, 박구만, “디지털 트윈 기술을 이용한 스마트팜 프레임워크 시각화 기술 개발에 관한 연구”, 방송공학회논문지 제28권 제6호, 11월 2023년
- [2] 고태환, 노석봉, 노동희, 최주환, 임태범 “식물공장 적용 디지털 트윈 프레임워크 설계”, 방송공학회논문지 제26권 제4호, 7월 2021년.
- [3] 이종표, 신원섭, 강정아, 권유정, 정길연, 최정열 “디지털 트윈을 적용한 식물공장 내 식물 성장 예측모델 연구”, 한국통신학회 학술대회논문집 2022년.

### 3. 결과

Maria DB의 데이터베이스 정보에 대하여 소규모 재배 환경에서의 동작과 Unity를 활용한 가상환경상의 동작이 이루어졌고, 이들은 3초 정도의 간격으로 연동이 됨을 확인할 수 있었다. 그림 6은 Unity에 대한 디지털 트윈 동작 모습을 보여주고 있다.



[그림 6] 데이터베이스를 통한 소규모 재배 환경 연동