

Implementation of A Thin Film Hydroponic Cultivation System Using HMI

Gyu-Seok Lee*, Tae-Sung Kim*, Myeong-Chul Park**

*Student, Dept. of Industrial Engineering, National Kumoh Institute of Technology, Gumi, Korea
*Professor, Dept. of Industrial Engineering, National Kumoh Institute of Technology, Gumi, Korea
**Professor, Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University, Gumi, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose a thin-film hydroponic plant cultivator using HMI display and IoT technology. Existing plant cultivators were difficult to manage due to soil-based cultivation, and it was difficult to optimize environmental conditions due to the open cultivation environment. In addition, there are problems with plant cultivation as immediate control is difficult and growth of plants is delayed. To solve this problem, a cultivation environment was established by connecting the MCU and sensors, and the environment information could be checked and quickly controlled by linking with the HMI display. Additionally, a case was applied to minimize changes in environmental information. Implementation of a thin-film hydroponic cultivation system made soil management easier, improved functionality through operation and control, and made it easy to understand environmental information through the display. The effectiveness of rapid growth was confirmed through crop cultivation experiments in existing growers and hydroponic growers. Future research directions will include optimizing growth information by transmitting and storing cultivation environment information and linking and comparing growth information using vision cameras. It is expected that this will enable efficient and stable plant cultivation.

▶ **Key words:** HMI display, IoT, Thin-film hydroponic cultivation, MCU and sensors, Optimization of growth information

[요 약]

본 논문에서는 HMI 디스플레이를 활용하고 IoT 기술을 이용한 박막식 수경 재배 방식의 식물재배기를 제안한다. 기존의 식물재배기는 토양 기반의 재배로 관리가 어렵고, 개방된 재배 환경으로 인해 환경조건 최적화가 어려웠다. 또한 즉각적인 제어가 어려워 식물재배의 성장이 지연되어 식물재배에 대한 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, MCU와 센서를 연결하여 재배 환경을 구축하고, HMI 디스플레이와 연동하여 환경정보를 확인하고 빠르게 제어할 수 있게 구현하였다. 또한, 환경정보의 변화를 최소화하기 위해 케이스를 적용하였다. 박막식 수경 재배시스템 구현으로 토양에 관한 관리를 편하게 하였고 동작과 제어를 통해 기능성을 높였으며, 디스플레이를 통해 환경정보를 쉽게 파악할 수 있다. 기존 재배기와 수경재배기에서의 작물 재배 실험으로 성장이 빠른 효과성을 확인하였다. 향후 연구 방향으로는 재배 환경정보 전송 및 저장, 비전 카메라를 활용한 성장 정보를 연동하고 비교하여 생육 정보를 최적화할 것이다. 이를 통해 효율적이고 안정적인 식물재배할 수 있을 것으로 기대한다.

▶ **주제어:** HMI 디스플레이, IoT, 박막식 수경 재배, MCU와 센서, 생육 정보 최적화

- First Author: Gyu-Seok Lee, Corresponding Author: Tae-Sung Kim, Myeong-Chul Park
*Gyu-Seok Lee (coro20@kumoh.ac.kr), Dept. of Industrial Engineering, National Kumoh Institute of Technology
*Tae-Sung Kim (tkim@kumoh.ac.kr), Dept. of Industrial Engineering, National Kumoh Institute of Technology
**Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, Kyungwoon University
- Received: 2024. 03. 18, Revised: 2024. 04. 03, Accepted: 2024. 04. 09.

I. Introduction

우리나라는 급격한 기술 개발과 경제 성장으로 온실가스 배출량이 증가하고 환경오염으로 생태계 교란, 해충 증가, 기온 변화 등이 일어나 농작물의 생산성이 저하되고 피해가 발생하고 있다[1]. 이에 농업 분야에서는 혁신적인 해결책이 필요하게 됐다. 농업과 IoT(Internet of Things)를 융합한 스마트팜(Smart Farm)이 도입되면서 농작물의 생산성 향상, 안정성, 환경보호 등의 문제를 해결하는 데 기여하고 있다[2]. 그러나 스마트팜 도입에는 초기 투자 비용 및 관리 비용, 기술의 복잡성 등으로 접근이 어려워 펫 플랜트(Pet Plant)를 요구하는 수요자들은 대체 방안으로 식물재배기를 통해 반려 식물을 재배하는 사람들이 증가하고 있다. 기존의 식물재배 방식은 대부분 토양재배 기반으로 토양오염, 수분공급 및 영양분 관리의 어려움이 있고 개방된 환경조건으로 재배 환경변화의 문제점이 발생한다. 이에 즉각적인 제어와 변경에 어려움이 있어 반려 식물 성장이 지연되어 키우는 데 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고자 HMI(Human Machine Interface) 디스플레이를 활용하고 IoT 기술을 융합한 박막식 수경 재배 방식의 식물재배기를 구현하고자 한다. 이를 통해 외부 환경의 영향을 최소화하고 안정적인 재배 환경을 제공할 수 있으며 사용자가 쉽게 재배 환경을 모니터링하고 제어할 수 있도록 하여 편의성을 높이고자 한다. 논문의 2장에서는 식물재배기의 종류와 관련 연구에 대해 작성하고 3장에서는 시스템 설계와 구현에 관해 기술한다. 4장에서는 구현한 식물재배기의 제어 및 동작 실험과 재배 실험에 대해 작성하고 5장에서는 연구 결과와 향후 계획을 논한다.

II. Preliminary

1. Preliminary Research

최근의 식물재배기는 자연광인 햇볕 및 인공광원인 LED(Light emitting diode)를 사용해 영양을 공급하고 최근 시설원예의 발달과 함께 토양의 역할을 수용액이 담당하는 수경 재배 방식으로 대체 활용되고 있다. 또한 국내 및 해외의 IoT를 결합한 식물재배기의 구성으로는 Fig. 1 과 같이 모종을 심을 수 있는 재배 포트, 영양분 및 물 공급을 위한 영양액, 광합성을 위한 광원, 산소 및 이산화탄소, 온습도 센서들을 이용하여 제어할 수 있는 기능도 구현하고 있으며, 카메라를 통한 모니터링(Monitoring) 또

는 스마트폰(Smart phone) 애플리케이션(Application)을 통해 자동으로 제어하고 있다.

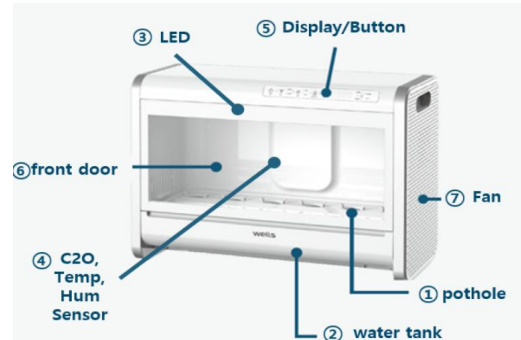


Fig. 1. Plant cultivator combining IoT

현재 국내에 상용화되는 식물재배기는 다양한 종류와 기능을 가지고 있다. Fig. 2의 (a)는 LG전자의 가정용 식물재배기로 신선한 채소를 갖 따서 먹는 경험과 식물을 쉽게 키우는 재미로 식물 생활 생활을 제안한다. 초보자가 쉽게 키울 수 있는 간편한 홈 가드닝(Home gardening)을 제시하고 전용 애플리케이션으로 빛을 조절하고 온도 상태 및 물 부족 알림으로 최소의 생육 정보 확인할 수 있다. Fig. 2의 (b)는 웰스의 식물재배기이다. 플로린은 식물 성장을 위해 LED로 광원을 사용하고 수조를 통한 수경 재배 방식이며 LED 색상으로 물 부족 등의 경고 알림으로 관리를 돕는다.

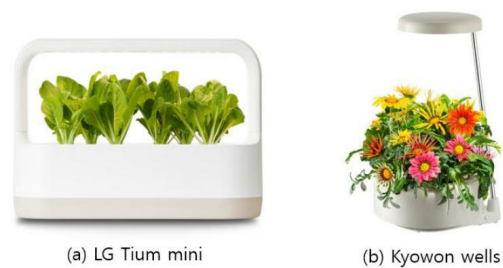


Fig. 2. Home plant grower

수경 재배의 종류에는 담액수경, 박막수경, 분무경, 고행배지경이 있으며 박막식 수경 재배는 Fig. 3과 같이 생육기간이 짧은 채소를 재배할 때 사용되며 좁은 파이프라인이나 재배 상자를 이용하여 뿌리가 위치한 곳으로 배양액을 계속 흘려보내는 방법이다[3]. 수경 재배와 물고기 양식의 합성어인 아쿠아포닉스(Aquaponics) 방식으로 물고기를 키우면서 발생하는 배설물을 자연 속의 박테리아(Bacteria)가 식물의 양분으로 전환하면 수경 시스템(System)에 공급하여 식물이 질소를 흡수하고 남은 깨끗

한 물은 수조로 다시 돌아가는 방식으로써 생태적 재순환을 통해 물고기와 식물이 공생하는 재배법도 있다[4].

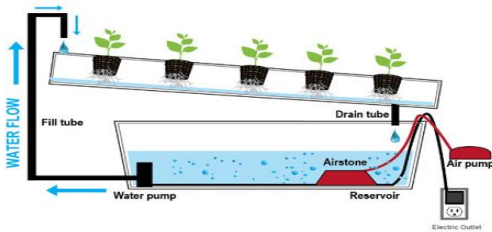


Fig. 3. Thin film hydroponic cultivation system

2. Related works

IoT를 이용한 식물재배에 관한 연구로 이수아의 연구에서는 라즈베리파이(Raspberry Pi)에 센서(Sensor)를 연결하여 내부 환경을 측정하고 실시간 모니터링으로 작물 상태를 파악할 수 있으며 라즈베리파이와 안드로이드(Android) 앱으로 통신하여 원격으로 제어와 관리를 할 수 있도록 구현하였다[5]. Lin Zhiming의 연구에서는 안드로이드 기반으로 아두이노 보드(Arduino board)에 조도, 토양, 온습도 센서를 사용하여 정보를 얻고 급수 펌프(Water pump), 조명등을 제어할 수 있는 시스템을 설계로 안드로이드 기반 구현으로 IOS 버전 추가와 WI-FI, Zig bee가 합쳐진 전송방식의 개선이 필요하다[6].

IoT 기반의 수경 재배 식물 공장의 품질관리로 모니터링과 정보수집에 대해 PLC(Programmable Logic Controller) 제어 방법을 제안한 연구에서는 산소와 영양액 정보를 확인하고 환풍기 및 제습장치를 제어하여 식물의 성장을 돕는 시스템을 적용하였다[7].

Peng Bo의 연구에서는 자연재해와 경지면적 감소로 인한 생산성 하락을 해결하기 위한 수경 재배 방법과 IoT 기술을 활용하여 재배 환경 모니터링과 배양액의 배합과 관계에 대해 원격으로 제어하여 단일 작물 재배시스템의 안정성을 보완하고 추후 인공지능을 이용한 자동 관리 시스템을 구현할 예정이다[8].

Chungman Yoon 연구에서는 작은 공간에서 안전하게 식물을 생산할 수 있도록 수경 재배시스템의 구현으로 환경 요소들을 계측하고 설정값을 제어하여 식물의 성장 유지 관리를 할 수 있는 밀폐형 지능형 식물재배기를 구현하여 작은 공간에서도 작물을 재배할 수 있었으며 추후 온·냉 시스템 추가로 작물의 생산효율을 높이려 한다[9].

Jeong Seung Gyun의 연구에서는 반려 식물'과 '플랜테리어'에 적합하지 않은 기존 스마트 화분을 순환식 메커니즘(Mechanism)을 이용하여 가정용 IoT 재배시스템을 제안하였다. 또한, IOS 인터페이스를 통해 인터넷 접속으

로 다수의 화분을 효율적으로 제어할 수 있게 하였다[10].

Eunyoung Choi는 아쿠아포닉스 환경에서 작물의 생육 정보를 관찰하고 영상처리 기법을 활용하여 자동으로 측정하여 최적화된 데이터 솔루션(Solution)이 가능하고 확장성에 대응할 수 있는 재배 단위별 모듈화 시스템을 구현하여 생육 정도를 판단할 수 있었다. 추후 생산량 증가를 위해 병충해 발생 여부 판단 시스템 개발이 필요하다고 하였다[11].

III. System Design & Implementation

1. Hydroponic cultivation system configuration

박막식 수경재배기 시스템 구성으로 식물 생장에 필수요소인 LED, 토양을 대신할 영양액과 물 공급을 위한 수조와 급수 펌프, 환경정보 확인을 위한 센서와 디스플레이로 구성한다. 식물재배기의 환경정보를 확인하기 위해 온·습도 센서와 TVOC(Total Volatile Organic Compounds) 센서를 사용하고 실내 공기 순환을 위한 Fan, 광원 공급을 위한 LED, Ph 센서를 통해 영양액 농도를 측정하고 영양액 공급을 위한 수조와 급수 펌프를 이용한 자동급수 기능을 개발한다. 식물재배기 시스템 구성으로 MCU(Main control unit)와 HMI GUI를 사용하여 식물재배 관리 시스템을 구현한다. 하드웨어 개발 환경은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Hardware development environment

Hardware	Function , Role
MCU Board(STM32F)	• Microprocessor functions
BME280 sensor	• Cultivation environment measurement • Check temperature and humidity
SGP30 sensor	• Carbon dioxide measurement • Air quality monitoring • Measurement and monitoring of air pollution concentration
pH sensor	• Water quality measurement and nutrient solution concentration measurement
Water tank	• Water storage for nutrient solution supply
Water pump	• Pump for water supply circulation
Water level sensor	• For checking and notification of stored water capacity
LED	• Artificial lighting to replace sunlight
Fan	• For air circulation within the growing season
Display (Nextion HMI)	• For information display and control

소프트웨어(Software) 개발 환경으로 마이크로컨트롤러 코드 작성 및 컴파일, 디버깅을 위하여 STM32CubeIDE를 사용하였고 GUI(Graphical user interface) 바탕의 터치스크린의 HMI를 만들 수 있도록 Nextion editor를 사용하였다. 관련 정보는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. S/W development environment information

Software	function
STM32CubeIDE (Ver 1.14.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Write and compile code • Fix error occurrence • Provides libraries and tools for STM32F MCU • Firmware update available • HMI integration possible
Nextion editor (Ver 1.65.1)	<ul style="list-style-type: none"> • GUI design possible • Writing code based on C language • Nextion HMI display executable • Simulation possible

2. Hardware configuration

식물재배기는 Fig. 4와 같이 구성하였다. 하층에는 제어부로 전원인가 및 영양액 공급의 편리성을 위해 영양액 공급과 센서를 제어할 수 있는 컨트롤 박스를 배치하였다. 중단과 상층에는 재배를 위한 공간으로 동일한 환경에서 여러 작물을 재배할 수 있도록 중단과 하단에 재배 포트와 재배단을 배치하였다. 광원은 LED를 적용하였고 재배단에서 15cm 간격으로 설치하여 빛을 조사할 수 있게 하였다. 또한 온습도 및 CO₂, TVOC 센서는 재배단이 위치한 중단과 상단에서 측정할 수 있게 하였고, pH 센서는 영양액의 농도를 측정하기 위해 수조안에 위치하였다.

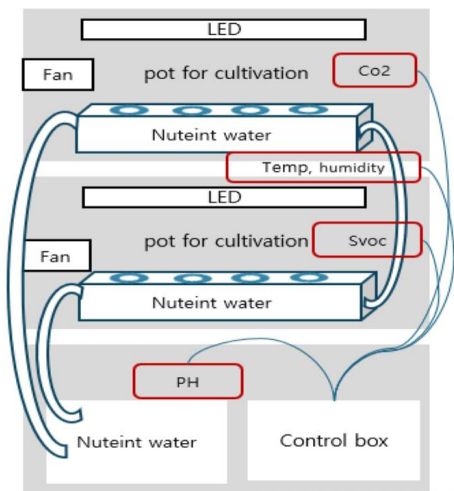


Fig. 4. Configuration of hydroponic plant grower

기구부 구성으로는 제어 보드와 외부 케이스 및 재배단, 광원을 구성하였으며 제어 보드는 STM 32f 103 MCU를 기반으로 HMI, Water Pump, LED를 제어할 수 있게 설계하였다. 재배 환경 측정을 위해 제어 보드에 온·습도 센서와 C2O 센서, pH 센서를 연결하여 MCU에 연동하고 재배 환경정보 확인과 급수 펌프와 주변 장치 제어를 위해 Nextion HMI Display에 연결하였다. 또한 H/W Block 특성 및 인터페이스(Interface) 및 레이아웃(Layout)을 검토하며 system 구성에 필요한 회로 구성요소들을 설계하여 제작하였다. Fig. 5는 제작한 제어 보드 회로도 와 제어 보드이다.

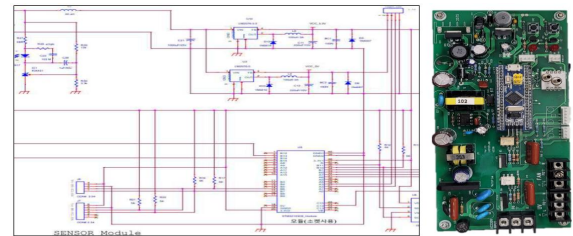


Fig. 5. Control board circuit diagram and production photos

식물 재배기 외관은 Fig. 6과 같이 CAD(Computer aided design)로 전면, 옆면, 후면을 기준으로 디자인하였다. 캐비닛(Cabinet) 형태의 식물 재배기의 기초 뼈대는 알루미늄 프로파일, 옆과 뒤는 스테인리스를 적용하여 가볍고 견고하고, 외관의 충격과 이물질 혼입을 방지하여 내구성을 높였다. 식물의 성장 과정 및 재배 환경을 확인하기 위해 투명한 아크릴(Acrylic)을 적용하고 공기 순환을 위한 Fan 적용으로 기능성을 높였다. 또한 원하는 장소에 쉽게 배치하기 위해 바퀴를 적용하여 이동성을 확보했다.

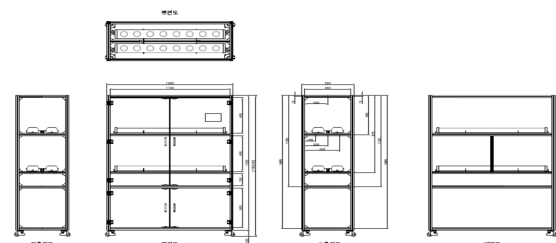


Fig. 6. Plant cultivation equipment exterior drawing

3. Control system configuration

Fig. 7은 수경재배기 시스템을 제어하는 구성도로 온습도, CO₂, pH 및 TVOC 센서를 제어하기 위하여 중앙 제어 보드는 센서의 아날로그 신호를 수집하여 디지털로 변

환하여 SPI(Serial Peripheral Interface) 통신으로 제어부에 전송한다. 제어부에서는 센서들의 데이터 여부를 모니터링하고 제어한다. 제어부 구성은 각 센서의 데이터 모니터링 및 제어가 가능 및 HMI 및 시스템 보드로 설계하였고 터치 제어를 위한 프로그램으로 온습도 센서, pH 센서, TVOC 센서, CO2 센서, LED, 모터(Moter), Fan을 제어할 수 있도록 하였다.

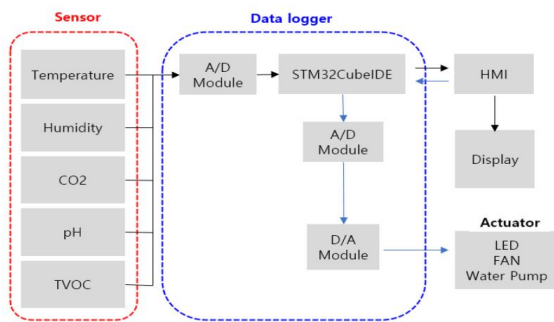


Fig. 7. System configuration diagram

4. System development

시스템 제어를 위해 개발 Tool을 이용하여 MCU와 HMI의 문자열 전송 및 센서의 정보를 디스플레이에 전송하여 정보 표시를 하고 터치를 통해 제어할 수 있게 하였다. HMI와 MCU 간에 문자열 전송을 위해 Fig. 8의 코드 적용으로 함수를 호출하기 위해 ID와 문자열을 인수로 전달한다. ID는 전송할 텍스트 블록이며 String은 전송할 문자열이다. 이때 전송할 문자열은 저장할 버퍼를 생성하고 명령어를 생성하여 HMI로 전송하고 디스플레이에서 나타난다. 전송이 완료되면 종료 명령어를 전송하고 HMI로 명령어 처리를 알려 종료한다.

```
void NEXTION_SendString(char *ID, char *string){
    char buf[20];
    int len=sprintf(buf,"%s.txt=\"%s\"",ID,string);
    HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t *)buf, len,1000); //1000
    HAL_UART_Transmit(&huart2, Cmd_End, sizeof(Cmd_End),100); //100
}
```

Fig. 8. String transfer code

식물 생장에 중요한 부분으로 온도, 습도에 따라 성장 속도와 식물상태에 영향을 받기에 재배기 내 센서를 이용하여 온습도를 측정하도록 하였다. 센서는 주변 환경에 민감하게 반응하여 노이즈(Noise)가 발생할 수도 있어 정확도를 높이는 것이 중요하다. 이에 필터 프로그램(Filter Program)을 구현하여 센서의 정확도를 높이고자 하였다.

필터 프로그램을 구성하여 입력된 데이터 값을 저장하고 최근에 저장된 필터 데이터를 제외한 데이터의 평균값을 계산하여 급격한 데이터의 변화를 완화하여 안정적인 값을 얻을 수 있다. 온도, 습도를 측정하기 위해 BME280 센서를 사용하였다. 센서의 제어를 위해 BEM280_Config로 센서의 설정을 변경하고, 센서의 정확한 측정을 높이기 위해 보정 파라미터를 읽어오게 하였다. 이후 온도, 습도, 압력을 측정 후 데이터를 저장하게 하였다. 또한 식물 생장에 적절한 온도는 20~30°, 습도는 60~80%로 권장 온도 25~30°, 습도 60~70%로 설정하여 경고 메시지(message)를 나타내게 하였다. 또한 재배기 내 공기 순환이 되지 않으면 온·습도의 변화와 이산화탄소 발생이 높아지고 식물의 성장이 낮아지고 식물의 잎의 색상이 변하면서 건강이 나빠지는 현상이 발생하기에 식물 재배기 재배단 근처에 공기 질 센서(SGP30)를 배치하여 온도, 습도, 기압을 파악하였다. 센서가 실행되면 센서를 초기화하고 정상적으로 연결되었는지 확인 후 센서를 통해 CO2와 TVOC 농도를 측정하여 측정값을 확인하였다.

4.1 User interface design

식물재배기의 재배 환경정보 확인을 위해 Fig. 9과 같이 아키텍처를 구성한 후 Nextion HMI 프로젝트 개발 tool을 사용하여 드래그 앤 그룹 구성요소인 그래픽 텍스트, 버튼, 슬라이더와 텍스트 기반으로 표기하게 하였다. 이때 디바이스모델을 선정한 후 디스플레이 방향과 인코딩(Encoding)을 설정하고 tool box의 컨트롤(Control) 설정으로 디스플레이(Display)에 배치하였다. 이후 폰트 생성과 등록을 거친 후 text, number, button 등에 속성 적용하였다. 첫 번째 페이지에는 LED 조명과 급수 펌프 제어, 온·습도, CO2, TVOC 값을 나타내게 하였다. 다음으로 pH, Water level, 자동 공급 주기와 기압에 대한 측정값이 표시하게 하고 다음으로 환경기준과 수분 및 영양분 보충 시기를 나타내었다.

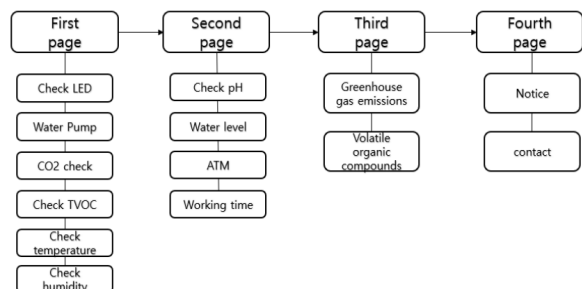


Fig. 9. Plant cultivation user interface

4.2 Automatic Water Module

식물재배에 영양액 공급을 위해 구성된 1개의 수조에 급수 펌프를 구성하였다. 식물재배의 관리로 장시간 자리를 비웠을 때 자동으로 급수를 하기 위하여 급수 펌프를 공급 지연시간 설정하여 지속해서 공급할 수 있게 하였다. 설정은 터치(Touch) 디스플레이를 통해 24시간을 기준으로 지연시간을 입력하여 명령을 내린다.

4.3 System implementation

Fig. 10은 시스템이 적용된 실제 구현된 재배기이다. 박막식 수경 재배 시스템으로 물 공급의 순환을 위하여 재배기 하단부의 수조에서 상단의 재배기로 물을 공급한다. 토양을 대신할 영양액의 농도 및 비율 확인으로 pH 센서와 연동하기 위해 수조 옆에 컨트롤 박스를 위치하였다.

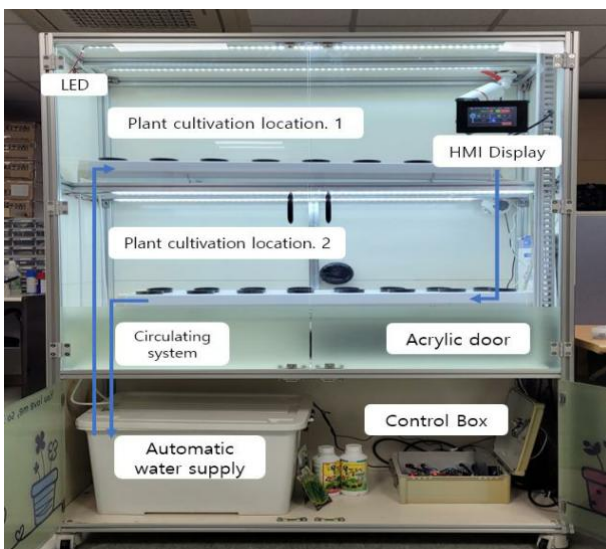


Fig. 10. Implementation of a thin-film hydroponic grower

상단과 중단에는 LED 조명과 재배단 2개를 배치함으로써 서로 다른 식물을 재배하여 비교분석 할 수 있고 재배 정보 확보할 수 있었다. 또한 아크릴 문으로 외부 충격 방지할 수 있어 안전성을 확보하였다. 센서와 연동된 데이터는 HMI 디스플레이를 통해 재배 환경을 확인과 제어를 할 수 있다.

IV. Experiments and Results

본 장에서는 구현한 식물재배 시스템 동작으로 센서의 측정 여부와 케이스 적용으로 일정하게 데이터값이 유지하는지 디스플레이를 통해 확인하였다. 또한 터치 입력으

로 LED, Fan과 급수 펌프, 자동급수 시스템의 동작과 제어를 확인하였다. 첫째, 온도, 습도, CO2, TVOC 측정을 확인한 결과 정상적으로 데이터가 송출되는 것을 확인하였다. 데이터값의 정확성을 위해 별도의 온-습도 기기로 비교하여 측정값에 신뢰성을 높였다. 또한 Fig. 11을 통해 실시간으로 디스플레이를 통해 측정값이 나타나는 것을 확인하였다. 식물 생장에 환경관리는 필수적인 요소로 최적의 성장을 위해 환경관리가 중요하며 업체류 특성으로 일정한 온도 및 습도, CO2 농도를 유지해야 한다. 재배 환경은 온도 15~20°, 습도 50~80%, CO2 농도 350 ~ 1000ppm으로 기준하고[12] 측정데이터가 기준범위를 이탈하는지에 대한 시험으로 안정성을 확인하였다. Table 3에 나타난 측정 결과로 밀폐형 공간에서의 식물재배 환경은 식물재배의 생육환경을 안전하게 구현하는 것을 알 수 있다. 기존 연구의 식물재배기는 별도의 개폐문이 없는 개방형으로 환경구성에 있어 온-습도 조절이 어려움이 있었으나 밀폐형 식물재배기를 구축함으로써 식물 생장의 환경을 최적화할 수 있었다.

Table 3. Sensor data measurement results

	CO2 (ppb)	TVOC (ppm)	Temp (°C)	Hum (%)	Result
1 weeks	408	700	19.4	36	OK
2 weeks	405	692	19.7	38	OK
3 weeks	504	689	19.5	38	OK
Aver	439	694	19.5	37.3	OK



Fig. 11. Measurement data screen appears

둘째, 제어 확인을 위해 터치 디스플레이에서 LED, Fan, 급수 펌프 버튼을 눌렀을 때 정상동작과 오동작 실험을 진행하였고 자동급수의 설정값 입력을 통한 시스템도 확인했다. 실험 횟수는 10회로 1회에 5번 테스트를 하

였을 때 제어 여부는 98%로 동작을 하였다. 미 동작의 원인으로서는 터치스크린의 터치 실수에 의한 것으로 오동작과는 연관이 없다. 타사의 식물재배기는 시스템 동작 및 제어 기능이 있지만, 별도의 애플리케이션과 스마트폰 필요하고 인터넷 접속으로 불편함이 있다. 그러나 본 연구의 식물재배기는 HMI 디스플레이를 적용하여 터치스크린 방식을 도입하여 식물재배기의 환경제어와 설정에 있어 입력 실행속도가 빠르고 편리함을 확인하였다.

Table 4. LED, fan, water pump operation test

NO	LED	Fan	Pump	Automatic supply
	(Success / Failure)			
1	5/0	4/1	5/0	5/0
2	5/0	4/1	5/0	5/0
3	5/0	5/0	5/0	5/0
4	5/0	5/0	5/0	5/0
5	5/0	5/0	4/1	5/0
6	5/0	5/0	5/0	5/0
7	5/0	5/0	5/0	5/0
8	5/0	5/0	5/0	5/0
9	4/1	5/0	5/0	5/0
10	5/0	5/0	5/0	5/0

기존의 식물재배기와 구현한 수경 재배 식물재배기의 식물 생장 차이점을 확인하기 위해 식물재배 실험을 진행하였다. 재배 실험에는 식물 품종은 상추로 선택하였고 기존 재배기는 토양 기반의 케이스가 미포함된 환경에서 실험하고 구현한 식물재배기는 수경 재배 방식과 케이스를 사용한 환경에서 실험하였다. 상추의 생육 정보는 농촌진흥원의 자료를 참고하여 온도 15~20°, pH 6~7, 물은 1일 10ml 기준으로 하였고 자동급수 시스템은 8시간/일 간격으로 설정하였다. 실험 기간은 7일 기준 4회로 발아 후 측정된 성장 정보는 Table 5에 나타내었다. 실험 결과로 기존 식물재배보다 구현된 식물재배 시스템에서 생장이 빠른 것을 확인하였다.

Table 5. Plant growth by growing season

Type	Plant heigh(mm)		Stem length(mm)		Number of leaves		Length of leaves(mm)	
	Old	New	Old	New	Old	New	Old	New
1 day	1.9	2.8	0.24	0.35	2	2	7.5	6.7
7 day	19.4	20.9	1.28	1.49	6	6	55.9	58.8
14 day	89.1	89.5	3.6	3.72	9	11	88.4	56.3
21 day	141.9	152.8	10.6	15.8	13	14	149.5	86.2
28 day	158	160.8	16.6	16.6	15	16	155.7	91.7

본 실험의 결과로 기존의 개방형 식물재배기의 문제점인 재배 환경 최적화에 대해 밀폐형으로 구성하여 외부 침입 방지와 산소와 CO₂, 온·습도 등의 환경구성에 변화가 없게 하였다. 또한 안전한 식물재배를 위한 센서 및 H/W 제품들은 정상적 동작을 하였고 HMI 디스플레이를 통해 정보 확인과 시스템 제어를 신속하고 할 수 있어 편리함을 느낄 수 있었다. 또한 재배기의 식물재배를 통해 환경에 따라 생육 성장이 다름을 확인하였고, 구현된 식물재배기의 우수함을 확인하였다.

V. Conclusion

해당 연구에서는 안전하고 편리한 식물 생장을 위해 센서, LED, 자동급수 기능이 포함된 시스템을 개발하였고, HMI 디스플레이로 재배 환경정보를 모니터링하고 제어할 수 있는 수경 재배 방식의 식물재배기를 구현하였다. 개발된 시스템의 효과를 평가하기 위해 기존의 식물재배 방식과 수경 재배 방식을 통한 재배 실험을 진행하였고, 실험 결과 박막식 수경 재배 시스템을 사용하면 식물의 성장 속도가 빠름을 알 수 있었으며, 기존의 식물 재배기보다 제어가 쉽고 편리하여 안전하게 식물 생장을 할 수 있다는 것을 확인하였다. 이러한 시스템은 수동으로 재배 환경을 구성하는 한계를 벗어나며, 식물 중심의 데이터를 기반으로 자동 설정되어 생산량을 높이고 재배 실패율을 낮출 수 있다. 또한, IoT와 스마트 기술을 통해 경제적이고 농업 발전에 기여할 것으로 기대된다. 향후 연구 방향으로는 재배 환경정보 전송 및 저장, 비전 카메라를 활용한 성장 정보를 연동-비교하여 생육 정보의 최적화를 고려하고 있다. 이를 통해 다양한 작물에 대한 재배 정보를 구축하여 사용자 중심으로 자동으로 재배를 제공하는 식물재배 시스템을 개발할 계획이다. 이를 통해 농업 생산성을 높이고, 농업 분야에서의 스마트 기술 활용을 촉진할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Xu Chenlin, "IoT-based smart control operation system for mushroom cultivation," Domestic doctoral thesis Won Gwang University, 2016.
- [2] Park Dae-heon, "Research on IoT-based plant factory integrated operation system," Domestic doctoral thesis, Jeonghwa University,

2015.

- [3] Dong-Hwan Lee, "Study on a small smart farm system for growing sprout crops," Domestic doctoral thesis, Sungkyunkwan University Graduate School, 2018
- [4] Kyung-Hyun Kim. "Research on tropical fish aquaponics using IoT," Domestic Master's Thesis Jeonju University, 2020.
- [5] Su-A Lee, and Ju-Whan Song, "Implementation of a Raspberry Pi-based IoT plant cultivator," Journal of the Korea Digital Content Society Vol. 22, No 5, pp 767-772, 5, 2021.
- [6] Lin Zhiming, "Development of Arduino-based smart gardening system using IoT," Domestic Master's Thesis, Honam University Graduate School, 2018.
- [7] Jinhan Ko, and Hochan Kim, "PLC automatic control for IOT-based hydroponic plant factory," Journal of the Institute of Electrical and Electronics Engineers Vol. 23, No. 2, pp 487-494, 6, 2019 DOI: 10.7471/ikeee.2019.23.2.487
- [8] Peng Bo, Numanov Iliyosbek Rakhim Jeon Ugli, Yeoseong-gu, and Kim Tae-guk, "Implementation of a hydroponic cultivation system based on the Internet of Things," Journal of the Internet of Things Korea Society, Vol. 9, NO. 4, pp. 56-69, 9, 2023
- [9] Chungman Yoon, "Research on the development of intelligent smart plant cultivators," Domestic Master's Thesis Chosun University Graduate School, 2017.
- [10] Jeong Seung Gyun, Kim Gyu Dong, and Kim Byeong Chang. "Design and implementation of a home IoT cultivation system supporting iOS interface," Journal of Information Processing Society Computer and Communication Systems, Vol. 12, No. 2, pp. 61-68, 12, 2023. DOI: 10.3745/KTCCS.2023.12.2.61
- [11] Eunyoung Choi, "Analysis of crop area data using aquaponics," Domestic doctoral thesis, Dongeui University Graduate School, 2023. UCI: 1804:21010-200000674375
- [12] Farming road, farming technology, agricultural technology guide, <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbx/cropEbookMain.pps?menuId=PS65290&sText=&pageIndex=1&pageSize=10&sKeyword=&sNameOrderAt=Y&group2Cnt=&cropEbookGubunChk=&sStdPrdlstCode=&sStdTchnlgyCode=&stdPrdlstCode=&sRdaStdPrdlstCode=&sRdaStdTchnlgyCode=&kidofcomdtyNo=0&sOIdDtShowAt=N&sSearchText=&sSearchType=srchType02&cNo=&stdItemCd=&cropsEbookNm=%EC%8B%9D%EB%AC%BC%EA%B3%B5%EC%9E% A5>

Authors



Gyu-Seok Lee earned a bachelor's degree from Yeungnam University in February 2018 and a master's degree in industrial engineering from Kumoh Institute of Technology in August 2020.

He is currently pursuing a doctoral degree in industrial engineering at Kumoh Institute of Technology and is currently working as the director of research at R&C Co., Ltd. His areas of interest include IoT solutions, semiconductors, and 3D printing.



Tae-Sung Kim received his bachelor's degree in industrial engineering from Dongguk University in February 1991 and his master's degree in industrial engineering from New Jersey Institute of Technology in January

1994. And he graduated with a doctorate in engineering from the Department of Industrial Engineering at Louisiana State University in December 2000. Dr. Kim is currently serving as a professor in the Department of Industrial Engineering at Kumoh Institute of Technology. He is interested in CM/APS, MESM Smart Factory, and Blockchain.



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, and the M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002 and

2007, respectively. He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Healthcare, and DTx(Digital Therapeutics).