

버섯재배 무균 생육환경 조성을 위한 스마트팜 통합제어 시스템

주영태* · 김선희* · 김응곤**

Smart Farm Control System for the Creation of Mushroom-Cultivated Aseptic Environment

Yeong-Tae Ju* · Sun-Hee Kim* · Eung-Kon Kim**

요 약

ICT의 발전에 따라 농업 분야에서는 재배시설의 첨단화를 위해 스마트팜 관련 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 하지만 현재의 스마트팜은 특정 작물이 아닌 여러 분야에 활용이 가능한 범용 시스템이 대부분을 이루고 있다. 본 논문에서는 버섯재배에 특화된 무균 생육환경 조성이 가능한 환경제어 장치 및 통합제어시스템을 제안하고, 구성되는 시스템의 설계, 제작 및 프로그램을 구현해 재배환경에 대한 시험을 진행하였다. 이를 통해 정밀한 생육환경 유지가 필요한 작물에 최적화된 스마트팜 구축이 가능하다.

ABSTRACT

With the development of ICT, research on smart farms is steadily progressing in the agricultural field for the modernization of cultivation facilities. However, most of the current smart farms are not specific crops, but general-purpose systems that can be used in various fields. In this paper, an environmental control device and an integrated control system capable of creating a aseptic growing environment required for mushroom cultivation were proposed, and the system was designed, manufactured, and programmed. Through this, it is possible to build a smart farm optimized for crops that is needed to maintain a precise growing environment.

키워드

Control System, Embedded, Growth Environment, Monitoring, Smart Farm
제어 시스템, 임베디드, 생육 환경, 모니터링, 스마트팜

1. 서 론

우리나라의 버섯재배는 노지재배에서 시설재배로 변화되어왔으며, 비닐하우스나 패널 하우스를 이용한

시설로 계절 및 환경과 관계없이 균일한 버섯재배가 이루어질 수 있는 환경 조성을 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다[1].

또한, 원목 재배에서 톱밥 배지 재배로 자연 발생

* 순천대학교 컴퓨터공학과
(niea@daum.net, mok94@daum.net)

** 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2021. 04. 18
• 수정완료일 : 2021. 05. 18
• 게재확정일 : 2021. 06. 17

• Received : Apr. 18, 2021, Revised : May. 18, 2021, Accepted : Jun. 17, 2021

• Corresponding Author : Eung-Kon Kim

Email : kek@scnu.ac.kr

재배에서 연중 발생 재배로 재배 유형도 버섯의 상품성과 관리의 경제성 등을 고려하여 재배환경의 변화가 이루어지고 있다. 이를 위해 버섯재배 생육에 적합한 실내 환경을 갖추기 위해 냉난방기, 가습기, 제습기, 조명, 환기 등의 설비에 높은 비용이 투입되고 있으며, 그 종류는 산업용, 농업용, 가정용 등 제품이 다양하다. 대부분의 환경설비 제어시스템은 전체적인 버섯 생산을 통합관리하는 것이 아닌 버섯 생육실의 단순한 온도, 습도, CO₂, 제어에만 관련된 것들이 주를 이루고 있다[2-3].

스마트팜 형태의 버섯재배는 2013년부터 개발이 시작되었으나, 2021년 현재 완전 설비 형태의 버섯 스마트팜은 10곳이 채 되지 않는다. 현재 버섯재배를 위한 스마트팜은 특정 작물에 최적화된 제품이 아닌 시설원에 분야, 과수 분야, 노지 분야 등 여러 분야에 사용 가능한 제품들로 시장을 형성되어 국내뿐만 아니라 국외의 버섯재배 시장에서 요구되는 맞춤형 시스템은 미흡한 것이 현실이다[4].

농촌진흥청 스마트팜 개발과는 “느타리버섯 정밀재배를 위한 최적 생육 모델 개발 및 버섯 재배사 표준화(2016~2018, 이성현 등)” 과제를 통해 1세대 스마트팜을 개발하고 센서에서 수집되는 데이터를 분석하여 버섯재배에 최적화된 생육모델을 연구하였다.[5] 여기에 버섯재배에 최적화된 환경이 조성되면 버섯의 품질 및 생산성 향상을 기대할 수 있다.

버섯재배에서 가장 중요한 것은 생육환경 관리 및 병해 피해를 최소화하는 것으로 집중 시 다양한 살균 방법을 이용하여 병균을 차단해야 하고 생육 테이블 자체에 수분 공급장치를 설치하여, 수분을 일률적으로 공급해 배지의 습도를 유지해야 한다. 또한, 환기 시 내·외부의 온·습도 차이로 내부 환경에 온도 편차를 최소화해야 한다[6].

이를 위해 본 논문은 버섯재배에 최적화된 무균 생육환경 조성을 위한 환경제어장치 및 통합관리시스템을 제안한다. 2장에서는 버섯재배에 특화된 스마트팜을 구성하는 무균 생육환경 조성을 위한 환경제어 및 생육 장치의 설계 및 제작에 관한 내용을, 3장에서는 통합관리를 위한 제어시스템의 H/W, S/W 설계 및 구현에 관한 내용을, 4장에서는 본 논문의 결과를 기술한다.

II. 무균 생육환경 조성 환경제어 장치 개발

2.1 열교환 환기장치

열교환 환기장치는 버섯재배 시설물의 내·외부 환기를 주목적으로 갖는 장치로 버섯 재배사 생육 시설은 온도와 습도, CO₂ 등의 환경에 따라 버섯의 가치를 정할 수 있을 정도로 버섯의 생장과 수확량, 상품성 등을 좌우한다.

생육 시설의 적절한 온도를 유지 시킬 수 있는 환기시설이 필요하며, 대부분의 환기시설은 환기 팬을 이용하여 공기의 흡입 및 배출이 이루어진다. 생육 시설의 내부 온도를 유지 시켜 줄 수 있는 장치가 필요하며, 이를 위하여 내부 환경을 자동으로 컨트롤 할 수 있는 제어시스템과 연동하였다.

열교환 환기장치의 내부는 그림 1과 같이 진공 자외선(VUV) 모듈, 송풍기, 열 교환소자 및 필터로 구성하고, 외부에는 공기의 유입 및 차단할 수 있도록 하였다. 흡입부와 배출부로 구분하여 효율적인 열교환이 가능한 구조로 설계 및 제작하였다.

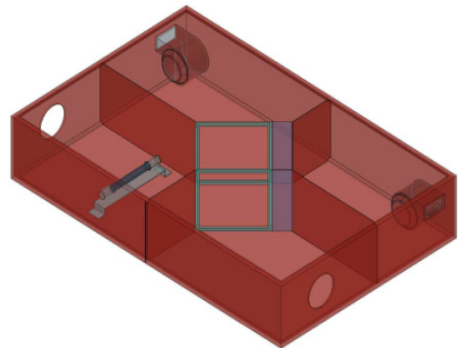


그림 1. 열교환 환기장치 내부 설계 모식도
Fig. 1 Design of heat exchange ventilation layout

진공 자외선 살균 모듈은 외부에서 유입된 공기를 살균하는 모듈로 100~200nm 파장대에서 발생하는 플라즈마 영역으로 공기 중의 산소 분자와 물 분자를 분해하여 정화 시키고, 연쇄반응에 의해 지속적인 살균을 진행한다[7].

송풍기는 열교환 또는 환기 시 공기 순환을 시켜 줄 수 있는 장치로 버섯 재배사의 특수한 고습(高濕) 환경을 고려하여 방습형 모터 소형 팬으로 효율 및 구조에 설계 및 제작하였다.

2.2 통합 공기조화 장치

버섯 재배사는 환경 유지를 위해 냉방기, 난방기, 제습기, 보일러 등 온·습도 관련 장치들의 설치 및 가동을 하고 있다. 이런 설비들은 시설 내부의 많은 부피를 차지하고 일괄제어를 하지 못해 비효율적이다 [8]. 열교환 환기장치에서 유입된 외부 살균 공기를 이용하여 냉·난방이 이루어질 수 있도록 제작하였다.

유입되는 살균 공기를 생육환경 온도 목표치를 위해 냉·난방 장치로 온도를 낮추어야 할 때는 냉각 장치로, 올려야 할 때는 난방장치로 공기가 우선 분배되어 추후 상태 유지를 필요로 할 때는 양방향으로 재분배하여 순환되도록 해 에너지를 효율적으로 관리할 수 있도록 하며, 환경 수집 센서 데이터에 의해 제어가 되도록 설계 및 제작하였다. 통합 공기 조화장치의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 통합 공기조화 장치 사양
Table. 1 Integrated air conditioning unit spec.

Div	Spec
Cooling Type	Coil
Cooling Area	40~60m ²
Heating Type	Pin Heater
Heating Capacity	1~2kW
Blower Diameter	400∅
Blower Power	0.2kW
Wind Power	40CMM

2.3 배지 생육 장치

스마트팜 형태의 버섯재배 시 효율적인 공간 활용을 위해 선반 형태의 거치대에 배지를 보관하고 일정 기간 생육을 진행하게 되는데, 이때 지속적인 수분 및 광원 공급이 필요하다. 수분 공급은 노즐을 통한 물의 무화가 대표적이며 시설 내 습도 유지가 쉽고 단시간에 물을 넓게 퍼트릴 수 있는 장점이 있다. 하지만 선반에 여러 층으로 적층 되어 보관되는 버섯재배 형태 특성상 배지 위치에 따라 수분 및 광원 공급의 편차가 발생하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 선반 층마다 배지에 균일한 수분 및 광원을 공급하기 위한 전용 선반을 설계 및 제작하였다. 그림 2와 같이 선반 층의 밸

브 내에 스프링과 유체 압력에 의해 개폐되는 자력식 밸브를 사용함으로써 각 배지에 동시에 일정한 양의 수분 및 광원을 공급하도록 설계 및 제작하였다.

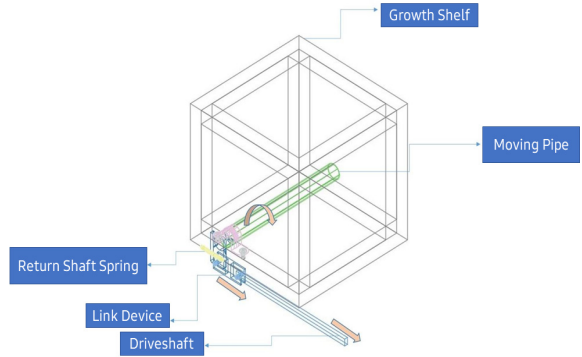


그림 2. 배지 생육 장치 링크 구동 설계도
Fig. 2 Design of growth plate link drive diagram

2.4 버섯재배 시설 및 환경제어 장치 적용

버섯재배 시설은 컨테이너 형태의 약 5평 규모의 재배환경을 구축하였다. 버섯의 생육환경 비교를 위해 2개소를 각각 제작하고 환기, 세균, 병해 등 환경적인 조건에 가장 영향을 많이 받는 대표적인 버섯인 새송이버섯을 선정하여 환경조건에 따른 생육 데이터를 수집, 비교할 수 있도록 하였다. 버섯재배 시설은 관리실과 생육실로 구분하여 제작하고, 생육환경을 조성하는 주요 장치들을 최적의 구조로 아래 그림 3과 같이 구성하였다.

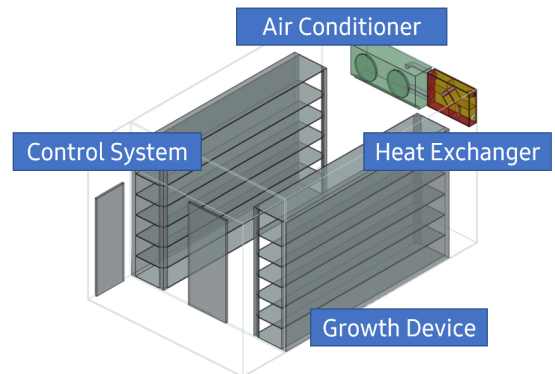


그림 3. 버섯재배 스마트팜 구성도
Fig. 3 Mushroom Smart Farm composition diagram

III. ICT 기반 통합제어관리시스템 개발

3.1 환경 데이터 수집을 위한 센서 노드

온도, 습도, CO₂ 공기 질, VOC 센서 등을 통한 환경 값을 실시간 모니터링하여 통합 관리시스템이 현재 버섯재배 환경 데이터값을 기준으로 무균 생육환경을 조성하는 주요 환경 장치들을 통합적으로 제어할 수 있도록 센서 노드를 구성하였다[9]. 센서는 결로가 생기는 습한 환경에서도 값의 변화 없이 데이터 전송이 가능하고 사용자의 제어방식에 따라 통신 방식을 다양하게 선택할 수 있게 하였다. 아래 표 2는 환경데이터 수집 주요 센서들의 사양이다.

표 2. 재배시설 환경데이터 수집 센서 사양
Table. 2 Environment data collection sensor spec

Div	Spec
Connection No.	max 4
Temp Sensor Range	-40~85℃
Humidity Sensor Range	0~99% RH
CO ₂ Sensor Range	0~3,000ppm
VOC Sensor Range	0~500nm

3.2 스마트팜 통합 제어기 설계 및 개발

통합제어 보드는 MCU를 사용하여 버섯 재배시설의 다양한 센서 데이터를 수집하여 시스템으로 전달하고 제어 알고리즘을 기반으로 무균 생육환경을 조성하는 주요 환경설비들의 제어를 수행한다. 이를 위하여 센서 인터페이스와 릴레이 등 제어 신호 전달을 위한 고가용성, 확장성을 위한 멀티채널 포트를 내장한 일체형 통합 제어기를 아래 그림 4와 같이 보드 회로를 설계하였다.

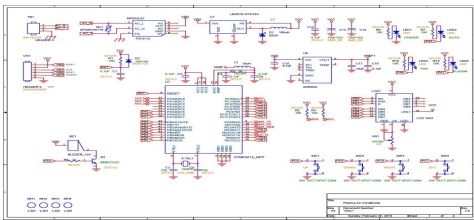


그림 4. 통합 제어기 회로 설계도
Fig. 4 Design of intergrated controller unit diagram

통합 제어기는 현장에서 제어가 가능한 제어 패널 및 통합제어 보드를 연계하여 일체형으로 제작하였다. 제어 채널별 독립 전원 사용으로 안정성을 높이고 고장 발생 시 독립교체가 가능하다. 프로그램 오류나 기타 고장 등의 원인으로 전원 On, Off가 계속 반복되는 문제가 발생하면 환경제어 장치의 과부하 위험 방지를 위한 보호회로를 적용하고 에러 레벨 설계 및 응급상황 알림으로 사고 위험을 방지하였다. 그림 5는 현장에 설치된 통합 제어기이고 사양은 표 3과 같다.



그림 5. 스마트팜 일체형 통합 제어기
Fig. 5 Smart Farm Integrated controller unit

표 3. 스마트팜 통합 제어기 사양
Table. 3 Smart Farm integrated controller unit spec

Div	Spec
MCU	Cortex-M3
Max Data Node	Sensor Node(32) Control Node(8)
Power	DC 12V with SPD
Communication Type	LTE Ethernet RS-485 LoRa
Operating Env.	Temp: -10~60℃ Humidity: MAX 95% RH
Control Channel	24(AC 220, 40A)

3.3 제어시스템 및 알고리즘 설계

국내 소비자들이 많이 구매하는 대표적인 버섯인 새송이, 표고, 느타리버섯 등 다양한 버섯의 생육환경을 지원하기 위해 생육 목표 버섯 종을 선택하면 버섯재배 생육실에 해당 버섯 종에 맞는 최적 환경조건(온도, 습도, CO2, LED 등)을 제어 알고리즘에 따라 무균 생육환경 조성 주요 설비를 자동 제어할 수 있도록 설계하였다. 센서 노드에 의해 수집된 생육실의 환경데이터를 분석하여 생육 버섯 종에 해당하는 환경을 유지하기 위해 환경제어 장치들을 구동하고, 스케줄링을 통한 버섯 생육에 필요한 수분 및 광원을 공급할 수 있도록 설계 및 구현하였다.

또한, 사용자가 직접 생육실의 환경조건을 설정할 수 있도록 하였으며 각 생육 장치 별로 습도 및 광원 조절이 가능하도록 설계 및 구현하였다. 그림 6은 제어시스템의 알고리즘 순서도이다.

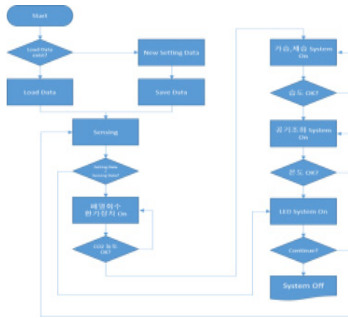


그림. 6 제어 알고리즘 순서도
Fig. 6 Control algorithm flowchart

3.3 관리자용 모니터링 및 제어 프로그램 개발

버섯재배 스마트팜의 실시간 현황을 관리자가 확인할 수 있도록 환경 센서 데이터 수집 현황, 환경 제어 장치 구동 상황 등을 원격지에서 PC, 스마트기기 등을 이용해 접속이 가능한 모니터링 및 제어 프로그램을 구현하였다. 생육 목표 버섯의 최적 성장환경 데이터에 따른 제어 알고리즘을 선택할 수 있고, 스케줄링, 임계치 설정, 환경 제어 설비 설정 등의 관리 기능 사용이 가능하다.

사용자 요구사항에 따라 자동 제어, 현장 제어, 원격지 제어 등 상황에 따라 유연하게 관리 할 수 있도록 하였다. 그림 7은 센서 노드에서 수집된 환경 데이터 및 환경제어 장치의 실시간 현황 화면이다.



그림. 7 관리자용 관제 프로그램 UI
Fig. 7 Control program UI for administrator

IV. 결론

본 논문에서는 버섯재배에 특화된 스마트팜 구축을 위해 무균 생육환경 조성이 가능한 환경제어 장치들을 설계 및 제작하고, 목표 작물에 대한 최적의 환경 유지 및 생장에 필요한 수분, 광원을 제어할 수 있는 통합관리시스템을 개발하였다. 이를 통해 표 4와 결과와 같은 무균 환경과 정밀한 환경제어가 가능한 버섯재배 생육환경 시설을 구축하였다. 표4는 일반적인 스마트팜 재배환경과 버섯재배에 특화된 스마트팜 재배 환경에 대한 시험 비교 결과이다.

표 4. 스마트팜 재배환경 시험 결과
Table. 4 Smart Farm environment test result

Test Case	General System	Aseptic system
Anti Fungus	Grown	Ungrown
Airborne Fungi Reduciton	30%	55%
Growth Environment Deviation (Temp)	±4°C	±0.5°C
Growth Environment Deviation (Humidity)	±3%	±1%

버섯재배 무균 생육환경 조성이 가능한 환경제어 시스템이 적용된 스마트팜을 통해 재배환경 개선을 통한 생육 버섯에 대한 생산성 절감 및 품질 확보가 가능하고, 상품성 증가에 따른 경제적 효과를 얻을 수 있다. 스마트팜의 지속적인 운영으로 생육 데이터, 시기별 환경데이터, 통합제어시스템 로그 데이터 등의 누적으로 향후 데이터마이닝을 통해 인공지능 적용이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 “지역특화산업육성(R&D, S2889514)”사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

References

[1] C. Lee, E. Lee, H. Park, J. Lim, and W. Kong, “Yield characteristics and medium composition of winter mushroom in cultivation farms in Korea,” *J. Korean Society Of Mushroom Science*, vol. 18, no. 1, 2020, pp. 120-124.

[2] S. Park, “NPC Modeling of Plants for Farm Simulation Game,” *J. Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 5, 2020, pp. 939-948.

[3] J. Kim, “Development of an Integrated Controller to the Control Vertical Agitation Heater and Facilities,” *J. Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 4, 2020, pp. 753-758.

[4] E. Kim, “Developed plasma heater to increase cultivation environment and storability of greenhouse and non-storage pool,” *J. Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 4, 2019, pp. 761-768.

[5] B. Yoo and H. Jang, “The Present and Future of Mushroom Smart Farm,” *J. Korean Society of Mushroom Science*, vol. 23, no. 2, 2019, pp. 14-15.

[6] K. Kim, J. Jeon, K. Lee, Y. Lee, C. Lee, and M. Jang, “Analysis of growth environment of *Flammulina velutipes* using the smart farm cultivation technology,” *J. Korean Society Of Mushroom Science*, vol. 17, no. 4, 2019, pp. 197-204.

[7] J. Ahn and Y. Jeon, “Development of Ozone Plasma Sterilizer with Air Circulation Device,”

J. Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, vol. 31, no. 1, pp. 105-110.

[8] E. Kim, “Smart Control System for Greenhouse Environment,” *J. Korean Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 5, 2017, pp. 907-914.

[9] Y. Jeong, Y. Sin, C. Lee, and S. Yang, “Environmental Study of Sensors for Smart Farm,” *J. Korean Society of the Agricultural machinery*, vol. 23, no. 2, 2018, pp. 269-269.

[10] J. Jeong and S. Hyun, “AI+ Add Intelligence to Future Society(Agriculture),” *National Information Society Agency*, 2017.

저자 소개

주영태(Yeon-Tae Ju)



2006년 2월 : 순천대학교 컴퓨터 과학전공 졸업(공학사)
2018년 3월 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정

※ 관심분야 : ICT 융합, 에너지 ICT, 영상처리

김선희(Seon-Hi Kim)



1998년 2월 : 순천대학교 원예학과 졸업(농학사)
2015년 9월 ~ 현재 순천대학교 컴퓨터공학과 석사수료

※ 관심분야 : ICT 융합, 멀티미디어, SW 교육

김응곤(Eung-Kon Kim)



1980년 2월 : 조선대학교 공학사
1986년 2월 : 한양대학교 공학석사
1992년 2월 : 조선대학교 공학박사

1993년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, HCI