

전력선 통신을 이용한 스마트팜 시스템 구축

이재건*, 이순흠**, 한재용***

Implementation of a Smart Farm System using Power Line Communication

Jae-Geon Lee*, Sunheum Lee**, and Jae-Yong Han***

본 연구는 2020년에 농림식품기술 기획평가원(과제번호 : 320093-1)의 지원과 순천향대학교 학술연구비 지원으로 이루어진 연구임

요 약

스마트 팜에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 본 논문에서는 기존 스마트 팜 시스템에서 사용하는 개폐기가 ON/OFF 제어만 가능하여 개폐율이 제어되지 못하는 문제점을 개선하였다. 본 논문의 개폐기는 개도율의 정밀 제어 및 양방향 통신이 가능하여 온실 내 환경 제어의 정확도 및 신뢰도를 높였다. 본 논문의 스마트 팜 시스템은 기존에 설치된 전원선을 이용하여 별도의 통신선 설치비용이 필요 없는 전력선 통신 기반의 스마트 팜 시스템을 구현하여, 센서 노드와 제어노드 사이의 네트워크 구성을 용이하게 하여 영세한 농가 설치 시 비용 부담을 줄였다. 전력선 통신 성능 시험 결과 통신성공률(송신 100/수신 100), 송출전압 4.5Vp_p 이상, 수신레벨 80dB 이상으로 만족한 결과를 얻었다. 또한 필드 성능 시험 결과 개폐기의 작동오차는 최대 1.47%로 매우 낮은 오차율을 확인하였다. 성능 시험을 통해 구현된 시제품의 신뢰성 및 안정성을 검증하였다.

Abstract

Interest in smart farms is increasing. In this paper, the problem that only simple ON/OFF control of existing switchgears is available and opening rate control is not available is corrected. fine control of opening rate and bidirectional communication capability of the switchgear implemented in this paper have improved the accuracy and reliability of environment control in the green house. The implemented smart farm system reduces the network installation cost between sensor nodes and control nodes by using powering line communication, which lowers the system installation burden of small and poor farmhouse. Power Line Communication Performance Test shows an excellent communication success rate (transmission 100/receive 100), a transmission voltage of 4.5Vp_p or higher, and a receive level of 80dB or higher. In field test, the operating error of the switchgears was a maximum of 1.47% which is very low error rate. The reliability and stability of the implemented smart farm system are verified through field test.

Key words

smart farms, power line communication(PLC), switchgear

* 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4422-7576>
** 순천향대학교 정보통신공학과 교수 (교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1626-4276>
*** (주) 퓨처테크 대표이사
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6248-5371>

• Received: Oct. 15, 2021, Revised: Nov. 15, 2021, Accepted: Nov. 18, 2021
• Corresponding Author: Sunheum Lee
Dept. of Information and Communication Engineering, Soonchunhyang University, 22, Soonchunhyang-ro, Asan-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea
Tel.: +82-41-530-1346, Email: sunheum@sch.ac.kr

I. 서 론

농림축산식품부의 스마트 팜 관련 예산은 해마다 증가하고 있는 추세이며, 2019년 스마트 팜 관련 예산은 1890억원 규모였다. 스마트 팜 구축에서 통신 장비가 차지하는 비중은 약 5.3%[국내외 스마트 팜 기자재 기술 현황 분석보고서, 농림축산식품부, 2018]로 정부 사업예산만 고려하면 약 100억원 이상의 시장규모를 가진다.

세계의 스마트 팜 동향으로 미국은 대규모 경작지를 효율적으로 관리하기 위해 농업 로봇 개발에 집중하고 있고, 유럽은 대규모 노지 농업에 적용할 정밀 농업 기술, 시설원예, 축산 등의 기술개발이 이루어지고 있다. 또 일본은 원격탐사, 기상재해 예측, 농업용수관리, 자동화 농기계 등 세부요소기술 개발 및 농업로봇 개발에 집중하고 있다[1].

국내 농업은 기후변화, 농촌인구감소, 고령화에 따른 노동력 감소, 농가의 소득 정체, 곡물의 자급률 하락, 농한기 등의 문제로 작물의 생산이 계획대로 이루어지지 못해 어려움이 있다[2][3].

현재 국내 농가에 확산되고 있는 스마트 팜 시스템은 각종센서(온·습도, CO₂, 조도) 및 LED조명 등을 접목하여 구축되어 왔지만 환기장치 오동작에 대한 피해 등 잦은 오류 발생, 전원 공급 미비, 옥외 환경(습도, 고온, 저온) 모니터링 신뢰성 부족 및 AS 어려움 등 효과대비 비용적인 측면만 증가하여 효율적인 관리가 되지 못하는 실정이다. 또한, 각기 다른 규격의 센서 및 제어기를 사용해 서로 호환되지 않아 부품의 교환이나 고장, 수리 시 어려움이 있다[4]-[8].

자동 제어 장치에 있어서는 단순한 형태의 제품 외에는 네덜란드 등 해외 선진업체의 제품에 의존하고 있는 실정이다[9][10]. 따라서 본 논문에서는 기존 스마트 팜 시스템의 문제점인 개폐기(환기장치)의 단순 ON/OFF 제어가 아닌 실내 온실 환경의 따라 개도율 제어 및 양방향 통신이 가능하고 별도의 통신선 부설이 없는 전력선 통신을 이용함으로써 설치비용을 절감할 수 있는 전력선 통신 기반의 스마트 팜 시스템을 구축하고자 한다.

II. 문제점 분석 및 시스템 제안

2.1 문제 분석

기존의 스마트 팜 시스템은 개폐기의 제어방식이 단순 ON/OFF제어 방식이며 ON/OFF시간에 따른 개도율을 계산하는 방식이다. 따라서 실제 개도율과 맞지 않는 문제점이 있고 온실내 환경제어의 정확한 제어에 한계가 있다. 통신 방식은 스마트 센서 박스 통신 방식으로 유선 또는 무선 방식을 사용한다[11][12].

무선 통신의 경우 식물성장에 따라 간섭으로 인한 통신의 신뢰성을 보장하지 못하는 문제가 있다. 유선 통신의 경우 별도의 통신선로를 설치해야하므로 설치비용이 발생한다.

기존 스마트 팜 시스템의 위와 같은 문제점을 해결하고자 전력선 통신을 이용한 스마트 팜 시스템을 제안, 구축하였다.

2.2 제안 시스템 구성

그림 1은 제안 시스템 구성도이다. 제안 시스템은 다양한 센서와 구동기를 통합제어하기 위한 전력선 통신 프로토콜 변환기, 전력선 통신 모뎀, 스마트 구동기 노드 등으로 구성되며, 특히 개폐기는 내부 기어박스 회전 수에 따라 저항값 변화를 계산하여 정확한 개도율을 모니터링 할 수 있도록 설계 구현한다. 1%단위 정밀 제어 할 수 있고, 전력선 통신을 이용하여 개폐기의 개도율의 상태 모니터링이 가능하다.

이러한 개도율의 정밀한 제어는 온실 내 환경 제어의 정확도를 높인다. 스마트 센서 박스 통신 방식을 전력선 통신방식으로 사용해 별도의 통신선로를 설치할 필요가 없는 환경제어 시스템 구축이 가능하다. 표 1은 기존시스템과 제안 시스템을 비교하였다.

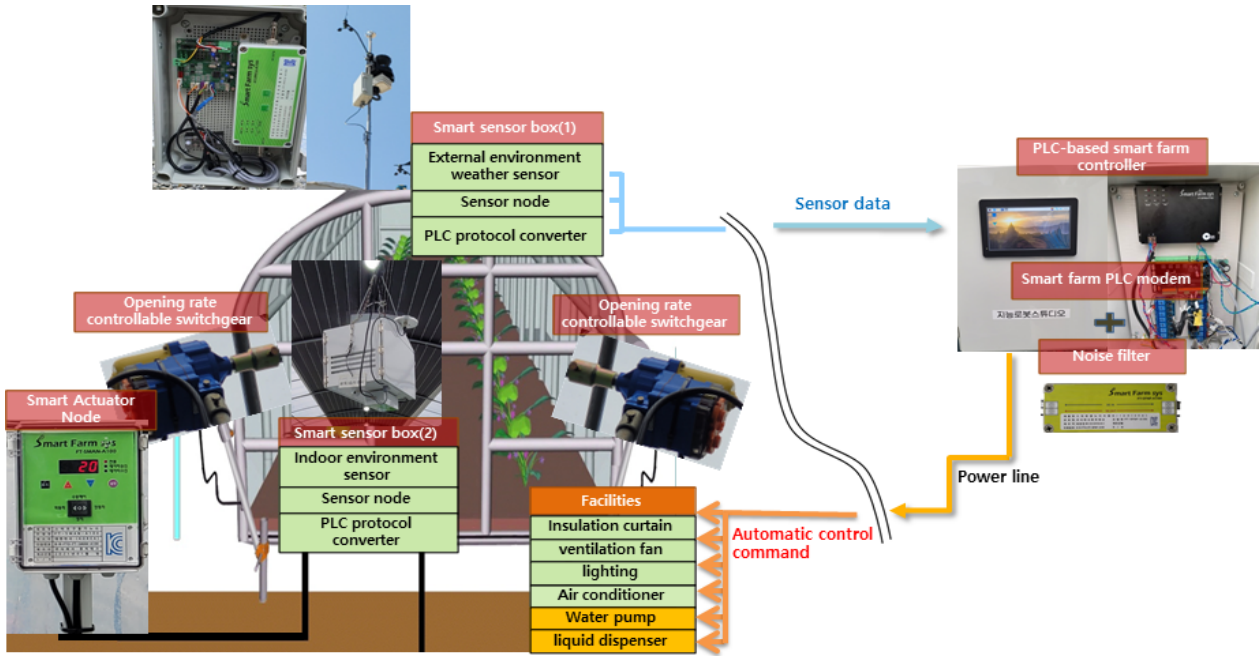


그림 1. 제안 시스템 구성도
Fig. 1. Proposed system configuration

표 1. 기존 시스템과 제안된 시스템의 비교

Table 1. Comparison of current system and proposed system

Items	Current system	Proposed system
Switchgear opening rate monitoring & accuracy	Inaccurate	Accurate
Switchgear monitoring & control	Impossible	Possible
Control method of switchgear	Power ON/OFF control	PLC control
Smart sensor box communication method	Wire/wireless	PLC
Smart farm operation method	Switchgear ON/OFF	Switchgear opening rate control
System stability	Less robust	Better robust
Environmental control in the greenhouse	Restricted control	Full control

III. 시스템 설계

을 구성하여 프로토콜 변환기의 신뢰성을 높였다.

3.1 전력선 통신 프로토콜 변환기

전력선 통신 프로토콜 변환기는 RS-485 통신신호를 전력선 통신신호로 변환하고, 전력선 통신신호를 RS-485 통신신호로 변환한다. 또한 별도의 센서 노드의 전원(DC24V/MAX 3A)을 공급한다. 그림 2는 전력선 통신 프로토콜 변환기 블록도이다. 전력선 통신을 위한 PLC모듈, 485 통신을 위한 RS-485 Driver, 내부사용전압(+5V, +3.3V)을 공급하는 DC전원공급부, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러의 오작동을 감지하는 WatchDog, 하드웨어 WatchDog

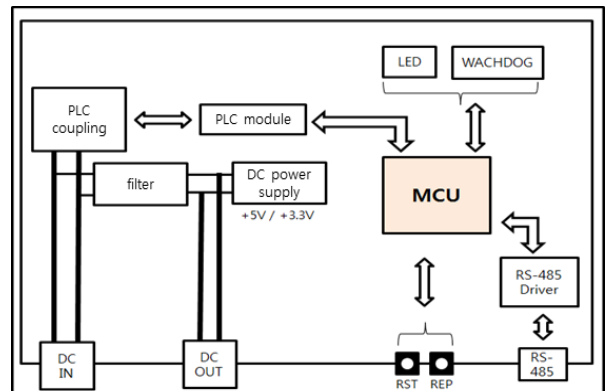


그림 2. 전력선 통신 프로토콜 변환기 블록도
Fig. 2. Block diagram of power line communication protocol

전력선 통신 프로토콜 변환기의 소프트웨어는 전원이 인가되면 초기화를 진행한다. 초기화 진행 후 RS-485를 통해 RS-485 통신 신호를 수신한다.

RS-485 통신 신호는 국가표준 프로토콜(KS X 3267)을 사용하며 수신된 RS-485 통신 신호는 기존 전력선 통신 프로토콜에 메시지 부분에 추가하여 전력선 통신 신호로 송신한다.

전력선 통신 신호로 수신된 신호는 메시지 부분을 RS-485 통신 신호로 변환하여 송신한다. 전력선 통신이 원활하지 않을 경우 REPEAT 기능을 이용하여 중계기 역할을 수행함으로 기존 제품에 비해 원활한 전력선 통신 기능을 수행할 수 있다.

3.2 스마트 팜 전력선 통신 모델

스마트 팜 전력선 통신 모델은 통신신호를 수신해 제어기와 구동기 노드, 각 센서노드와 제어기간에 통신신호를 송·수신한다. 그림 3은 스마트 팜 전력선 통신 모델 블록도이다. 전력선 통신을 위한 PLC모듈, 485 통신을 위한 RS-485 Driver, 마이크로 컨트롤러의 오작동을 감지하는 WatchDog, 내부사용전압(+5V, +3.3V)을 공급하는 DC전원 공급부, 마이크로 컨트롤러, 원격제어기가 고장 난 경우 제어의 2중화를 위한 이더넷 모듈로 구성되어 기존 제품에 비해 안전성 및 신뢰도를 높였다.

스마트 팜 전력선 통신 모델의 소프트웨어는 전원이 인가되면 초기화를 진행한다. 전력선 통신 프로토콜 변환기에서 전력선 통신으로 수신된 전력선 통신신호를 RS-485통신으로 제어기에 송신한다.

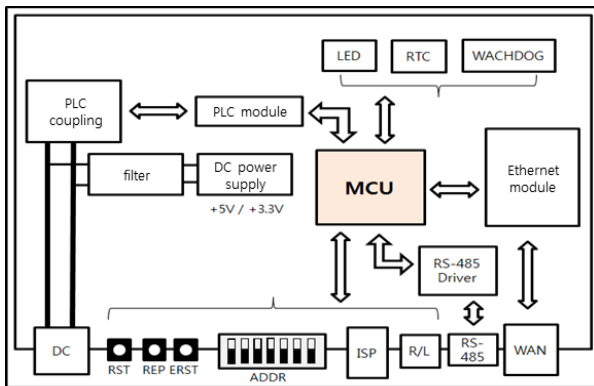


그림 3. 스마트 팜 전력선 통신 모델 블록도
Fig. 3. Block diagram of smart farm power line communication modem

제어기에서 RS-485통신으로 수신된 구동기 노드 상태요청 및 제어, 각 센서노드의 상태요청을 전력선 통신으로 구동기 노드와 센서노드에 송신한다. 구동기 노드 상태요청 값, 각 센서노드의 센서의 값을 전력선 통신으로 수신하고, RS-485 통신으로 통합제어기로 송신한다.

3.3 스마트 구동기 노드

스마트 구동기 노드는 기존의 단순 ON/OFF 기능이 아닌 외부 모터의 개도율을 설정 및 저장하고 제어기에서 보낸 개도율 제어 명령을 수행함으로 개도율을 정밀하게 제어할 수 있는 특징을 가진다.

그림 4는 스마트 구동기 노드 블록도이다. 전력선 통신을 위한 PLC모듈, 485통신을 위한 RS-485Driver, 마이크로 컨트롤러의 오작동을 감지하는 WatchDog, 내부사용전압(+5V, +3.3V)을 공급하는 DC전원공급부, 마이크로 컨트롤러, 구동기의 통신선택(PLC, RS-485), 개도율 저장을 위한 설정모드 스위치 입력부, 개폐기를 제어하는 모터 릴레이 제어부, 개폐기를 수동으로 제어하는 수동제어부로 구성되어 있다.

스마트 구동기 노드의 소프트웨어는 전원이 인가되면 기존 설정된 파라미터 값으로 설정된다. 외부 모터의 현재 개도율을 FND에 출력한다. 제어기로부터 개폐기 제어명령이 전력선 통신을 통해 수신된다. 외부모터의 현재 개도율 상태요청은 전력선 통신으로 수신되고, 현재 개도율 상태를 전력선 통신으로 제어기에 송신한다.

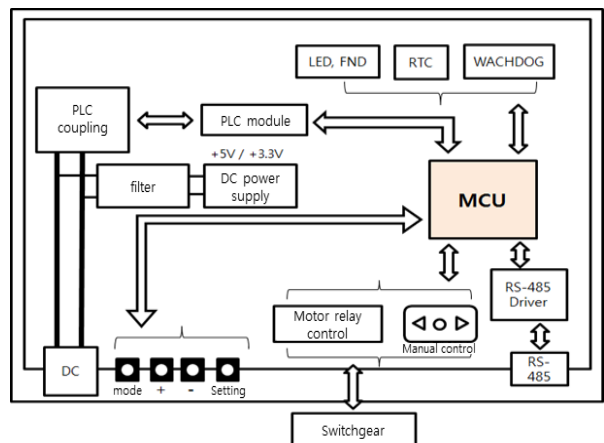


그림 4. 스마트 구동기 노드 블록도
Fig. 4. Block diagram of smart driver node

또 제어기가 외부모터를 제어할 때 개도울 제어 명령을 전력선 통신으로 수신하여 제어기에서 설정한 개도율로 외부모터를 제어한다.

IV. 시제품 제작

4.1 전력선 통신 프로토콜 변환기

그림 5는 전력선 통신 프로토콜 변환기 시제품 사진이며 사양은 표 2와 같다.



그림 5. 전력선 통신 프로토콜 변환기 시제품
Fig. 5. Prototype of power line communication protocol converter

표 2. 전력선 통신 프로토콜 변환기 사양
Table 2. Power line communication protocol converter specifications

Item	Description
DC IN	2 line (DC Power In) DC power IN & PLC
DC OUT	2 line (DC Power Out) DC power Out/ MAX 3A
	2 line (RS-485 Comm.) RS-485 Comm. line A(D+), B(D-)
RS-485Port	9600bps, 8bit, 1Stop bit, Non-Parity
PLC protocols	NULL protocol
Interface	RS-485
LED indicators	Power, PLC(TX,RX), RS-485(TX,RX)
Switch	MAIN CPU reset, Ethernet S/W reset

4.2 스마트 팜 전력선 통신 모듈

그림 6은 스마트 팜 전력선 통신모뎀 시제품사진이며 사양은 표 3과 같다.



그림 6. 스마트 팜 전력선 통신모뎀 시제품
Fig. 6. Prototype of smart farm power line communication modem

표 3. 스마트 팜 전력선 통신 모듈 사양
Table 3. Smart farm power line communication modem specifications

Item	Description	
WAN	Protocol	TCP,UDP,IP,ARP,ICMP,IGMP, Ethernet MAC, PPPoE
	Network interface	10/100 Base-T Ethernet (Auto detection)
	Serial Tx speed	19,200bps
	Software	Remote download & remote environment setting
	Memory	Internal memory(62KB Flash memory), 2KB EEPROM, 16KB SRAM
RS-485 Spec.	9600bps, 8bit, 1Stop bit, Non-Parity	
PLC protocols	NULL protocol	
Configuration method	SystemBase PortView program	
Interface	RJ-45 10/100 BASE-T, RS232 Serial Interface, ISP	
LED indicators	Power, PLC(TX,RX), RS-485(TX,RX),WAN(T/RX,Link, ACT)LED	
Switch	MAIN CPU reset, Ethernet S/W reset, Repeater S/W	

4.3 스마트 구동기 노드

그림 7은 전력선 스마트 구동기 노드 시제품사진이며 사양은 표 4와 같다.



그림 7. 스마트 구동기 노드
Fig. 7. Smart driver node

표 4. 스마트 구동기 노드 사양
Table 4. Smart driver node specifications

Item	Description	
PLC	Modulation	Chirp-CSK
	Frequency	100k~400kHz 195k~125kHz selectable
	MAC	CSMA/CA
	Error correction	16bit CRC, 8bit CRC
	Protocols	NULL protocol
RS-485Port	9600bps, 8bit, 1Stop bit, Non-Parity	
FND indicators	4 DIGIT	
LED indicators	Power, DATAC(TX,RX) LED	
Switch	UP, DOWN, SET, MODE SW	

V. 성능 시험

5.1 전력선 통신 성능 시험

시제품의 성능 시험을 위해 전력선 통신 성능 시험과 필드 성능 시험으로 나누어 진행하였다. 전력선 통신 성능 시험으로 프로토콜 변환여부, 리피트 기능을 시험하였고, 또 통신 모듈의 송신 출력, 수신레벨 등의 시험은 테스트베드장비에서 진행하였다. 전력선 통신 성능 시험결과는 표 5에 기술하였다. 전력선 통신 프로토콜 변환기, 스마트 팜 전력선 통신모뎀, 스마트 구동기 노드의 성능 시험 결과 송출전압은 4.5Vp_p이상, 수신레벨은 80dB이상, 통신성공률은 100%(송신 100/수신 100)로 만족한 결과를 얻었다.

표 5. 전력선 통신 성능 시험 결과

Table 5. Power line communication performance test results

Items	Transmission voltage	Reception level	Comm. error rate	Comm. success rate
PLC protocol converter	4.5 Vp _p or higher	80dB	<0.5%	100%(100/100)
Smart farm PLC model	4.5 Vp _p or higher	80dB	<0.5%	100%(100/100)
Smart actuator node	4.5 Vp _p or higher	80dB	<0.5%	100%(100/100)

5.2 필드 성능 시험

필드 성능 시험은 농촌진흥원 농업공학부 딸기 재배 비닐하우스에 전력선 통신 프로토콜 변환기 2대, 스마트 팜 전력선 통신 모뎀 1대, 스마트 구동기 노드 4대를 그림 8, 9, 10, 11과 같이 설치하였다.



그림 8. 실내환경센서 설치된 전력선 통신 프로토콜 변환기

Fig. 8. Power line communication protocol converter installed on the indoor environment sensor

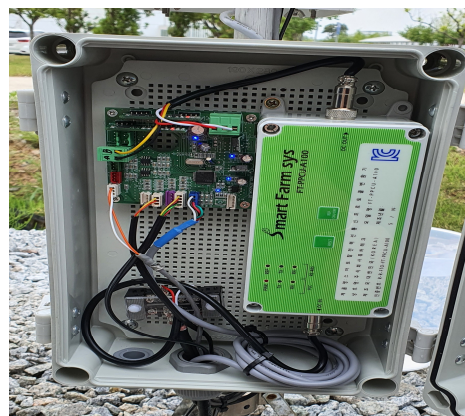


그림 9. 외부환경센서에 설치된 전력선 통신 프로토콜 변환기

Fig. 9. Power line communication protocol converter installed on the outdoor environment sensor



그림 10. 비닐하우스에 설치된 스마트 구동기 노드와
 Fig. 10. Smart driver node and switchgear installed in
 green house

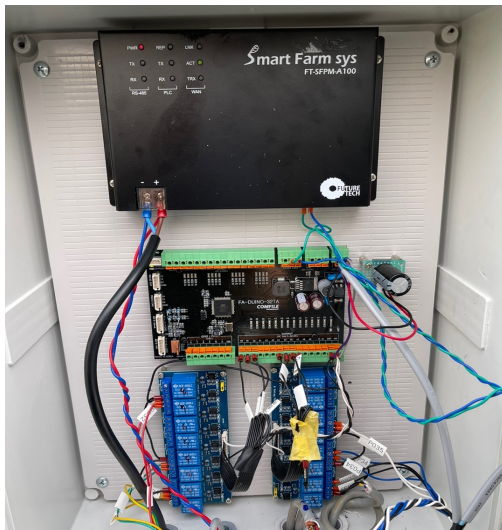


그림 11. 비닐하우스에 설치된 스마트 팜 전력선
 통신모뎀
 Fig. 11. Smart farm power line communication modem
 installed in green house

외부기상 환경센서와 내부 환경센서의 센서의 값에 따라 개폐기의 개도율을 정밀하게 제어되는 것을 확인하였다. 제어기에서 0%, 25%, 50%, 75%, 100% 제어명령을 통해 실제 개폐기의 작동오차는 표 6과 같이 최대 1.47%로 만족한 결과를 얻었다. 2021년 4월 22일 설치하여 현재까지 잘 운영되고 있다.

표 6. 개폐기 작동오차 시험 결과
 Table 6. Switchgear operation error test results

Device	Operation error
Switchgear	Maximum 1.47%

VI. 결 론

본 논문에서는 기존 스마트 팜 시스템에 문제점인 개폐기의 단순 ON/OFF 제어 방식과 모니터링이 되지 못하는 점을 개선하였다. 개폐기의 개도율의 정밀한 제어 및 양방향 통신이 가능하여 온실 내 환경 제어의 정확도 및 신뢰도를 높여 기존 환경 제어의 한계성을 극복하였다.

기존에 설치된 전원선을 이용하여 별도의 통신선 설치비용이 필요 없는 전력선 통신 기반의 스마트 팜 시스템을 구현하여 영세한 농가 설치 시 비용 부담을 줄였으며, 식물 성장 등의 온실 내의 환경 변화에 영향을 받지 않는 스마트 팜 통신환경을 구현하였다. 전력선 통신 성능 시험 결과 통신성공률 (송신 100/수신 100), 송출전압 4.5Vp_p 이상, 수신 레벨 80dB 이상으로 만족한 결과를 얻었다. 또한 필드 성능 시험 결과 개폐기의 작동오차는 최대 1.47%로 매우 낮은 오차율을 확인하였다. 이를 통해 구현된 시제품의 신뢰성 및 안정성을 검증하였다.

전력선 통신을 이용한 스마트 팜 시스템은 기존 전동화된 온실에서 별도의 통신라인 부설 없이 농업 시설 내 센서 노드와 제어기 노드간 네트워크를 구성하는데 활용이 가능하고, RS-485 MODBUS의 표준 프로토콜을 접목해 제조사별 센서 노드 및 제어기 간 호환이 가능하여 산업 발전 촉진과 제조사의 제품 개발 비용의 절감에 활용이 가능하다.

본 논문에서 구현한 시스템은 기존 1세대 스마트 팜의 온실 환경 제어의 한계성을 극복함으로써 2세대의 스마트 팜의 플랫폼이나 영세한 농촌 축사의 스마트한 환경관리에 적용 가능하다.

References

- [1] Lee Jae Kyun and Seol Byung Moo "Intelligent Smart Farm A Study on Productivity: Focused on Tomato farm Household", Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship Vol. 14, No. 3, pp. 185-199, Jun. 2019. <https://doi.org/10.16972/APJBVE.14.3.201906.185>.
- [2] Uk-hyeon Yeo, et al., "Analysis of Research Trend and Core TechnologiesBased on ICT to Materialize Smart-farm", Journal of Bio-Environment Control.

The Korean Society for Bio-Environment Control, Vol. 25, No. 1, pp. 30-41, Jan. 2016. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.1.30>.

[3] Kim Sang-Cheol, "4th Industrial Revolution and Smart Farm Technology Development", Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 59, No. 2, pp. 10-18, May 2017.

[4] Taewan Gam, "Current status and tasks of facility horticultural agriculture ICT convergence", KREI, Vol. 52, pp. 59-94, Jan. 2015.

[5] G. J. Kim and J. D. Huh, "Trends and Prospects of Smart Farm Technology", Electronics and Telecommunications Trends. Vol. 30, No. 5, pp. 1-10, Oct. 2015.

[6] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, "Measures to spread ICT convergence smart farms", Oct. 2015.

[7] Ikeda, S. and A. Okamoto, "Hybridization-sensitive on-off DNA probe: Application of the exciton coupling effect to effective fluorescence quenching", Chem.Asian Journal, Vol. 3, No. 6, pp. 958, Jun. 2008. <https://doi.org/10.1002/asia.200800014>.

[8] Yun Nam-Gyu, et al., "Current status of Korean smart farm policy and technology development", Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 59, No. 2 pp. 19-27, May 2017.

[9] Becker W., "Advanced Time-Correlated Single Photon Counting Techniques", Springer. New York, PP. 149-152, Oct. 2005.

[10] Min-Sik Ghil, et al, "A Study on the Architecture Design of Smart Farm System based on Technology", Proceedings of the KIPe Conference, The Korean Institute of Power Electronics, Yesan, Korea, pp. 543-545, Jul. 2019.

[11] Wonyoung An and YunHi Chang, "A Study on the Livestock Feed Measuring Sensor and Supply Management System Implementation based on the IoT", Journal of The Korea Institute of Information & Electronic Communication Technology, Vol. 10, No. 5, pp. 442-454, Oct. 2017. <http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2017.10.5.442>.

[12] Seon Gwnag Kim, et al., "Design and Implementation

of Control Module based on Wi-Fi Network for Smart Farm", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 57, No. 3, pp. 91-98, Mar. 2020. <http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2020.57.3.91>.

저자소개

이 재 건 (Jae-Geon Lee)



2020년 2월 : 순천향대학교
정보통신공학과(공학사)
2020년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교
정보통신공학과(공학석사 재학)
관심분야 : 임베디드 시스템,
사물인터넷, 웹 서비스

이 순 흠 (Sunheum Lee)



1983년 2월 : 고려대학교
전자공학과(공학사)
1985년 2월 : 고려대학교
전자공학과(공학석사)
1989년 8월 : 고려대학교
전자공학과(공학박사)
1991년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교
정보통신공학과 교수
관심분야 : 컴퓨터네트워크, 임베디드시스템

한 재 용 (Jae-Yong Han)



2003년 2월 : 순천향대학교
정보통신공학과(공학사)
2008년 8월 : 순천향대학교
정보통신공학과(공학석사)
2012년 2월 : 순천향대학교
정보통신공학과(공학박사)
2010년 11월 ~ 현재 : (주)퓨처테크
대표이사
관심분야 : 전력선통신, 지능제어, 홈네트워크,
임베디드시스템