

IT 융합기술을 이용한 식물생장 제어시스템 연구

A Study on the Control System of Plant Growth Using IT Convergence Technology

김민수*, 지승욱, 김민규, 조영창*

Min-Soo Kim*, Seung-Wook Jee, Min-Kyu Kim, Young-Chang Cho*

Abstract

In this study, a study is conducted on a monitoring system that can control the environment of plants using sensors in conjunction with the LED light system and the plant growth control system. To verify the performance of the developed plant growth system, an experiment was conducted on the characteristics of energy efficiency, data transmission rate, and light volume control. The experiment resulted in a satisfactory result by controlling more than 80% energy efficiency, 1Mb/sec wireless communication speed, and 5 levels of optical control. The proposed system can be applied to LED plant facilities and will contribute to the automation of agriculture by organizing an automated system for production efficiency and labor cost reduction for future commercialization.

요약

본 연구에서는 LED 광시스템과 식물생장제어시스템을 연계하여 센서를 이용하여 식물환경을 제어 가능한 모니터링시스템에 대한 연구이다. 시스템의 성능을 검증하기 위해 에너지효율, data 전송률, 광량제어 특성에 대한 실험을 실시하였다. 실험한 결과 에너지 효율은 80%이상, 무선통신속도가 1Mb/sec이고 광량제어를 5단계이상 조절 가능함으로써 만족한 결과를 얻었다. 제안된 시스템은 LED 식물공장설비에 적용가능하며, 향후 상용화를 위해서는 생산효율 및 노동비 절감을 위한 자동화시스템을 구성하여 농업 자동화설비에 기여할 것이다.

Key words : Data transfer rate, Energy efficiency, LED Light source system, Plant growth control system, Plant factory

1. 서론

최근 기온, 강수량, 일사량 변화와 이상기후 및 기상 이변 등으로 농작물 재배에 많은 어려움을 주고 있으며, 농산물 가격이 급변하여 생산자는 물론 소비자들도 어려움을 겪고 있다.

따라서 기후 및 자연환경에 영향을 받는 농업분

야에 광원, 온도, 습도 등을 제어함으로써 환경에 영향을 덜 받는 식물공장(plant factory)이 최근 국내, 국외에서 많이 등장하고 있다[1-2].

사물인터넷(IoT)기술을 이용하여 식물재배에 필요한 온도·습도·토양·이산화탄소를 측정 가능한 모니터링 시스템을 이용하여 원격으로 환경감시 및 제어가 가능하여 스마트 팜(smart farm) 기술이 점차

* Dept. of Aviation Information & Communication Engineering, Kyungwoon University

★ Corresponding author

E-mail : yccho@ikw.ac.kr, Tel : +82-54-479-1313

※ Acknowledgment

Manuscript received Nov. 27, 2018; revised Dec. 4, 2018; accepted Dec. 10, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

성장하고 있다[3-5].

앞으로 재배시설은 친환경, 에너지 효율화, 식물 성장모니터링 및 환경제어, 자동화시설 등과 같은 종합적인 기술의 집적화를 통해 고부가 가치 농산물의 파종에서 숙성까지 원스톱 관리 시스템 체계가 마련되어야 한다.

종래의 조명장치에 사용하는 램프는 에너지효율이 낮아 전력소모가 많은 것은 물론 식물성장에 적합하게 빛의 파장을 조절하는 데에도 어려움이 있다. 따라서 에너지효율이 좋고 빛의 파장을 선택하기에 비교적 용이한 LED 조명제어용 모듈개발이 요구된다.

또한 식물성장제어시스템에 요구되는 기술은 생장환경모니터링[6-9], LED 광원도입[10], 자동화시스템[11], 환경 센싱용 모듈개발[12] 등 안정성에 요구되는 시스템개발이 연구되고 있다.

본 연구는 농작물을 재배하는데 있어서 자연재해나 외부 환경에 영향을 덜 받으면서 LED 광원을 이용하여 식물을 재배 가능한 식물공장을 설계하였다. 온실내부 및 그 주변에 CO₂ 센서, 온도, 습도 등 각종 센서로 식물성장 환경을 모니터링하고 그 정보를 기반으로 환기, 습도, 온도 등에 대한 최적의 제어가 가능하도록 시스템설계 및 제작을 통하여 현장 적용 가능성을 연구하였다.



Fig. 1. Composition of environmental control system for plant growth control.

그림 1. 식물성장조절용 환경제어시스템 구성

II. 재료 및 방법

식물성장 조절용 시스템은 온·습도, 광량 및 CO₂량을 측정하기 위해 두 개의 보드로 구성된 센서 모듈, 통신을 위한 wifi 모듈, 식물성장용 광원을

만드는 LED bar 모듈, LED 모듈의 광량을 제어하기 위한 PWM 파워 컨버터 모듈, 전체 시스템을 제어하기 위한 제어 모듈 등 총 5개의 모듈로 구성되어 있다.

2.1 센서 모듈

본 연구를 통해 개발된 식물성장조절시스템으로 온도와 습도 및 CO₂가 광합성을 분석하기 위해 온·습도 센서모듈과 광량 감지를 위한 센서 및 CO₂량을 측정하기 위한 CO₂ 센서모듈이 사용되었다. 온습도 측정용 센서는 Si7013을 사용하였고, 광량 센서는 Si1147을 사용하였다. Si7013은 세계 최고 수준의 저전력 소모 및 뛰어난 RH 센싱 정밀도를 제공하는 센서로, 향후 IoT 기반의 식물성장용 광원을 개발하는데 많이 사용될 수 있다. 표 1의 사양은 Si1147 단일 칩 디지털 UV 지수 센서 IC로서, 주변광과 적외선 IR(infrared) 근접 센싱 성능도 제공하고 있다.

Table 1. Light volume sensor specifications.

표 1. 광량 센서 사양(Si1147)

공급전압	1.71~3.6 V
동작범위	1~ klx
정확도	100 mlx
동작범위(온도)	-40~85 °C

CO₂ 센서는 동작전압이 4.5~5.5 V로서 제어 모듈로부터 전력을 공급받고, 실시간으로 대기중의 CO₂ 농도를 측정하여, 그 정보를 제어 모듈로 전송하게 된다. 크기는 58×35 mm 이고, 0~50 °C, 0~

Table 2. CO₂ sensor module specification.

표 2. CO₂ 센서 모듈 사양

동작범위		0~10000 ppm
분해능	0~2000 ppm	5 ppm
	2000~5000 ppm	10 ppm
	5000~10000 ppm	20 ppm
정확도		±50 ppm ±5%
응답시간		30 S 이하
워밍업 시간		3 min
동작온도		0~50 °C
동작전압		4~6 V
동작전류	최대전류	100 mA
	평균전류	50 mA

95% RH 범위에서, 0~5000 ppm 사이의 CO₂ 농도를 10 ppm의 분해능으로 0.4~2 V DC의 PWM 신호로 변환하여 출력하게 된다. 표 2에서는 CO₂ 센서의 사양을 나타내었다.

2.2 무선통신 모듈

무선통신 모듈은 제어 모듈의 센서 모듈로부터 취득한 온·습도, CO₂ 광량 정보를 식물성장 환경 분석시스템으로 전송하고, 식물성장 환경 분석시스템으로부터 제어 모듈로 각 과장별 광량 정보를 전송하는데 사용되는 모듈이다. 범용으로 사용되는 802.11 b/g/n 프로토콜을 지원하는 wifi 모듈로 그 크기는 14×25 mm 이다.

2.3 LED bar 모듈

본 연구를 통해 개발하고자 하는 식물성장용 인공광원에는 발열과 효율문제 등을 고려하여 3 가지의 LED 칩을 사용하였다. LED bar 제작에 사용된 3 가지 LED chip은 smd 타입으로 사용하였다.

식물의 종류와 식물 성장 단계별로 최적의 광공급을 위해 과장별로 LED bar를 제작하였다. LED bar들 중 적색 LED bar에는 적색 LED 만, 청색 LED bar에는 청색 LED 만, 황색 LED bar에는 황색 LED만 장착함으로써 총 세 가지의 LED bar를 제작하였다. 각각의 LED bar에 대해 독립적으로 광량을 조절함으로써 식물별로, 식물성장 단계별로 최적의 광을 최소의 에너지로 공급할 수 있게 하였다. 개발에 사용된 LED chip의 외형특성이 동일하므로 적색 LED bar 청색 LED bar 및 황색 LED bar는 그림 2와 같이 동일하다.



Fig. 2. LED bar for plant growth.
그림 2. 식물성장용 LED bar

2.4 PWM 파워컨버터 모듈

PWM 파워컨버터 모듈은 제어 모듈로부터 식물에게 필요한 과장별 최적의 광량을 LED bar 모듈로부터 만들어 내기위해 LED bar 모듈로 공급되

는 전류를 제어하는 모듈이다. PWM 제어를 위한 DC-DC LED 드라이버 제작에는 AMC7150을 사용하였다. AMC7150은 동작전압 4~40 V, 최대 200 KHz의 외부 제어 신호에 대해서, 최대 1.5 A 까지 출력전류를 제어할 수 있다. 출력측에 인덕터를 달아 펄스 에지 부분에서 발생하는 과전압으로부터 AMC7150을 보호하였고, 병렬로 연결한 저항들을 추가로 달아 전류를 제어하였다. 이 저항의 수를 조절하여 각각의 LED bar에 적합한 최적의 전류를 조절할 수 있다.

최대 출력전류가 1.5 A이고, 하나의 PCB에 5개의 PWM 파워컨버터 모듈을 내장함으로써 한 개의 PWM 파워컨버터 모듈로 최대 10개의 LED bar 모듈을 제어할 수 있지만 발열 등의 문제를 해결하기 위해 하나의 PWM 파워컨버터 모듈에 5개의 LED bar 모듈을 제어하도록 구성하였다.

2.5 제어 모듈

제어 모듈은 센서 모듈로부터 실시간으로 온도, 습도, CO₂농도 및 광량 정보를 획득하고 이를 무선통신 모듈을 이용해 식물성장 환경 분석시스템으로 전송한다. 또한, 식물성장 환경분석 시스템으로부터 각 과장별 LED bar의 광량 정보를 무선통신 모듈로 전달받아 PWM 파워컨버터 모듈을 통해 각각의 LED bar 모듈의 광량을 제어하는 기능을 한다. 또한, 제어 모듈은 AC-DC 파워서플라이로부터 24 V DC를 공급받아 두 개의 레귤레이터를 통해 5 V DC와 3.3 V DC로 DC-DC 변환한 후, 센서 모듈과 무선통신 모듈에 전원을 공급하는 기능도 겸하고 있다. 그림 3은 제어 모듈을 나타내었다.

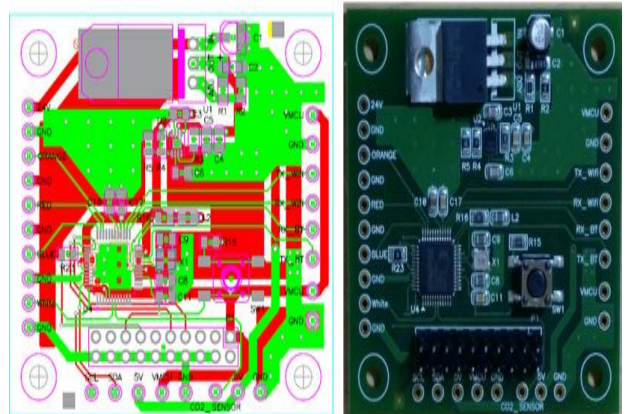


Fig. 3. Controller module.
그림 3. 제어기 모듈

III. 실험 결과

본 연구의 식물성장환경 분석시스템은 식물성장 조절용 시스템에서 전송되어온 온도, 습도, 광량, CO₂ 정보를 종합하여 식물성장환경을 분석하고, 이를 토대로 각각의 식물성장 조절용 시스템의 LED bar 모듈들이 최적의 광을 만들도록 파장별 광량 정보를 식물성장 조절용 시스템으로 전송하는 역할을 하는 시스템이다.

식물성장 환경 분석시스템은 범용성과 보편성을 높이기 위해 Windows7 PC 기반에서 구축되었으며, 내부망도 일반 라우터를 이용해 구축하였다. 본 연구를 통해 개발된 식물성장 조절용 시스템이 사용될 환경이 전자기기나 통신기기 등에 좋지 않은 고온 다습한 환경으로 예상되므로 통신의 신뢰성을 높이기 위해 IEEE 802.11ac, 25dBi wifi 실외 안테나를 추가로 사용하였다. 그림 4는 식물성장 환경분석 시스템을 나타내었다.



Fig. 4. Control module plant growth environment analysis system.

그림 4. 제어 모듈 식물성장 환경분석 시스템

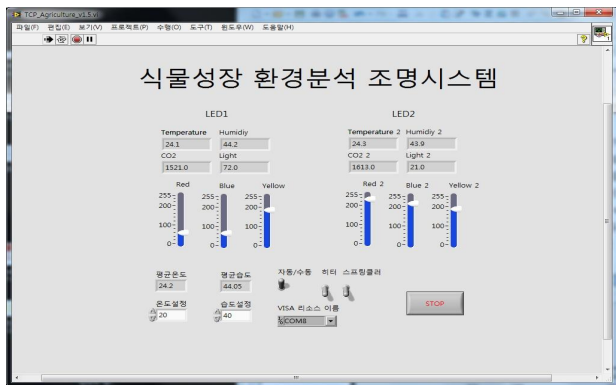


Fig. 5. Implementation of the control module plant growth environment analysis system.

그림 5. 제어 모듈 식물성장 환경 분석시스템의 실행

식물성장환경분석시스템의 프로그램은 LabVIEW 2012로 제작하였으며, 식물성장 조절용 시스템에서 보내온 각 영역별 온도, 습도, CO₂ 및 광량을 토대로 각 식물성장 조절용 시스템의 LED bar 모듈에 필요한 파장별 광량을 설정한 모습을 보여준다. 그림 5에서 2대의 식물성장 조절용 시스템 중 “LED1”의 광량이 “LED2”보다 높다.

식물성장 환경 분석시스템은 식물성장 조절용 시스템으로부터 받은 온도와 습도 정보를 분석하여 온·습도 조절을 위해 각각 히터와 가습기를 전원제어를 통해 동작가능 하도록 제작되었다. 그림 6에서는 식물성장 환경 분석시스템에서 USB 직렬 포트를 이용해 히터와 가습기의 전원을 제어하는 온·습도 조절용 전원제어 모듈로 히터와 가습기의 동작여부를 지시하는 루틴이다. 전원제어 모듈 중 식물성장환경 분석시스템으로부터 USB 직렬포트를 통해 히터 또는 가습기의 동작여부를 명령받아 각각을 on-off 제어할 수 있도록 하는 제어모듈이다.

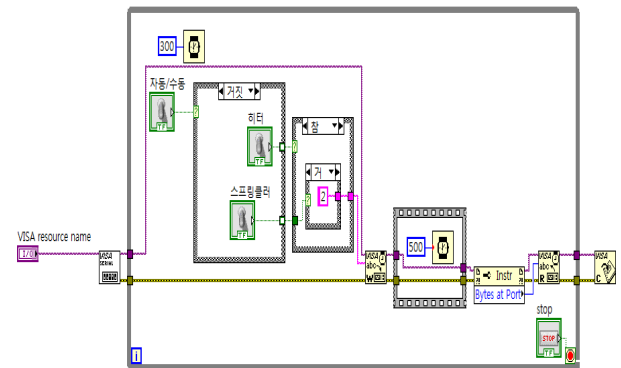


Fig. 6. Power control module for temperature and humidity control of plant growth environment analysis system.

그림 6. 식물성장 환경 분석시스템의 온·습도 조절용 전원 제어 모듈

본 연구에서 개발된 식물성장용 제어시스템은 에너지효율(출력전력/입력전력): 85.7%(62.4 W /72.82 W × 100)으로 80% 이상의 성능을 가짐으로서 만족한 결과를 나타내었다. 그림 7은 에너지효율의 실험 결과를 나타낸 것이다. 그림 8은 개발제품과 노트북을 공유기로 연결하여 ‘ping’을 이용하여 1024 byte를 데이터 전송시간을 4회 측정하여 실험을 실시하였다. 데이터 전송시간은 1 ms(데이터크기 1024 Bytes)로 초당 1Mb/s이상의 속도를 넘을 확인 하였다. 광량제어는 개발제품과 노트북을 공유기로

연결하여 Controller인 NI사의 Labview 제어시스템의 프로그램으로 최대광량부터 점차 감소하여 단계별로 개발 제품의 광량 및 출력전력을 측정하였다. 광량제어는 Controller로 개발제품의 광량을 5단계 이상 실시하였다. 표 3은 광량제어를 6단계 이상으로 바꾸어 가면서 실험을 실시하여 5 step 이상으로 조절이 가능함을 증명하였으며, 최대 출력이 71.45 W이고, 나머지 6단계 이상을 자유롭게 조절 가능하였다.

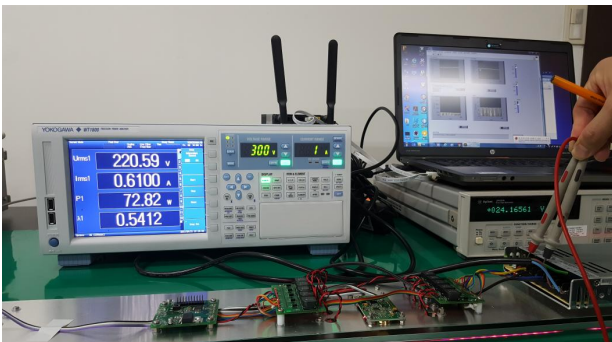


Fig. 7. Experimental result of output power(62.4 W).
그림 7. 출력전력 : 62.4 W(DC 244 V × 2.6 A)실험 결과

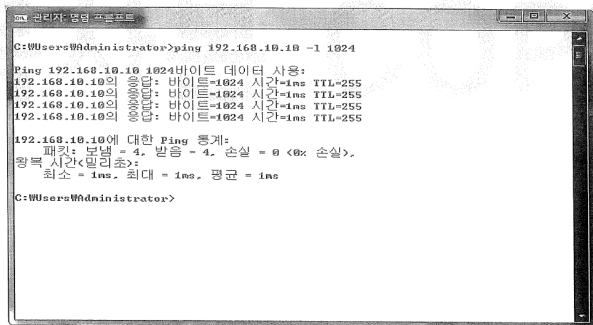


Fig. 8. Experimental result of data transmission.
그림 8. 데이터 전송실험결과

Table 3. Light control using six step.

표 3. 6 step을 이용한 광량제어

구분	출력전력(W)						비고
	1 step	2 step	3 step	4 step	5 step	6 step	
측정결과 [W]	71.45	52.43	44.58	31.54	18.01	조절 가능	

IV. 결론

본 연구에서 개발한 농장자동화를 위한 식물생장 제어시스템은 친환경 식물재배, 에너지 효율화, 식

물생장모니터링 및 환경제어, 자동화시설 등과 같은 종합적인 기술의 집적화를 통해 고부가 가치 농산물성장시스템으로 활용 가능한 시스템이다.

식물생장 환경 모니터링 및 LED 조명제어용 시스템 모듈의 성능 검증을 위하여 4가지 항목에 대해서 테스트를 실시하였다.

개발제품의 성능결과에서 에너지효율(80이상), data 전송(1Mb/sec)이상, 광량제어(5 step이상), 집광각(40deg)성능을 가짐으로 에너지효율, data 전송속도, 광량제어 항목 등에서 만족한 결과를 얻었다. 따라서 본 개발품은 농장자동화를 위한 식물생장 환경 모니터링 및 LED 조명제어 시스템에 가치가 높은 제품이다.

앞으로 상용화를 통해서 생산효율 향상 및 노동비용 절감을 위한 자동화 분야에서 본 제품은 한국형 식물생장제어시스템에 활용가능 할 것으로 생각된다.

References

[1] F. Ijaz, A. Siddiqui, B. Im and C. Lee, "Remote management and control system for LED based plant factory using ZigBee and internet," *2012 14th International Conference on Advanced Communication Technology(ICACT)*, pp.942-946, 2012.

[2] A. Harun, R. Ahmad and N. Mohamed, "WSN application in LED plant factory using continuous lighting (CL) method," *2015 IEEE Conference on Open Systems(ICOS)*, pp.56-61, 2015. DOI:10.1109/ICOS.2015.7377278

[3] K. Kim, K. Park, J. Kim, M. Jang and E. Kim, "Establishment of Web-based Remote Monitoring System for Greenhouse Environment," *2012 Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol.6, no.1, pp.77-83, 2011. DOI:10.13067/JKIECS.2011.6.1.077

[4] U. Yeo, I. Lee, K. Kwon, T. Ha, S. Park, R. Kim and S. Lee, "Analysis of Research Trend and Core Technologies based on ICT to Materialize Smart-farm," *Journal of Protected Horticulture and Plant Factory*, vol.25, no.1, pp. 30-41, 2016. DOI:10.12791/KSBEC.2016.25.1.30

- [5] I. Jafa, K. Raihana, S. Bhowmik and S. R. Shakil, "Wireless monitoring system and controlling software for Smart Greenhouse Management," *2014 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, pp.1-5, 2014. DOI:10.1109/ICIEV.2014.6850748
- [6] S. Joo, et al., "A middleware with efficient memory management technique and advanced structure for M2M network," *J. KIIT*, vol.12, no.6, pp.101-108, 2014. DOI:10.14801/kiitr.2014.12.6.101
- [7] P. Limprasitwong and C. Thongchaisuratkrul, "Plant Growth Using Automatic Control System under LED, Grow, and Natural Light," *2018 5th International Conference on Advanced informatics: Concept Theory and Applications*, 2018. DOI:10.1109/ICAICTA.2018.8541308
- [8] M. Fakaim, K. Banlupholsakul and K. Khongseeprai, "Case Study of Automatic Plants Watering System Using Solar Energy for Rice Breeding Plan," *Journal of Industrial Technology, Ubon Ratchathani*, vol.1, pp.55-66, 2016.
- [9] Q. Zhang, et al., "A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology," *J. 1584 Zhejiang Univ. Sci.*, vol.8, no.10, pp.1584-1587, 2007. DOI:10.1631/jzus.2007.A1584
- [10] M. Wada, K. Shimazaki, and M. Iino, *Light Sensing in Plants*, Springer, 2005.
- [11] K. Seo, et al., "Design of adaptive neurofuzzy inference system based automatic control system for integrated environment management of ubiquitous plant factory," *J. Bio-Environ. Control*, vol.20, no.3, pp.169-175, 2011.
- [12] E. Lee, et al., "Development of agriculture environment monitoring system using integrated sensor module," *J. of Korea cont. Assoc.*, vol.10, no.2, pp.63-71, 2010. DOI:10.5392/JKCA.2010.10.2.063

BIOGRAPHY

Min Soo Kim (Member)

1996 : MS degree in Electrical Engineering, Yeungnam University
 2004 : Ph. D: degree in Electronic Engineering, Yeungnam University
 2014~current : Professor, Dept. of Aviation Information & Communication Engineering, Kyungwoon University

Seung Wook Jee (Member)

1997 : MS degree in Electrical Engineering, Yeungnam University
 2005 : Ph. D: degree in Electrical Engineering, Yeungnam University
 2018~current : Professor, Dept. of Fire Protection and Engineering, Kangwon National University

Min Kyu Kim (Member)

2002 : MS degree in Electronic Engineering, Kyungpook National University
 2006 : Ph. D: degree in Electronic Engineering, Kyungpook National University
 2017~current : Professor, Dept. of Automation System(Ulsan Campus), Korea Polytechnics

Young Chang Cho (Member)

1996 : MS degree in Electronic Engineering, Yeungnam University
 2001 : Ph. D in degree in Electronic Engineering, Yeungnam University
 1999 : current: Professor, Dept. of Aviation Information & Communication Engineering, Kyungwoon University