

IOT 기반 수경재배 식물공장을 위한 PLC 자동제어

PLC Automatic Control for IOT Based Hydroponic Plant Factory

고진한*, 김호찬*

Jin-Han Ko*, Ho-Chan Kim*

Abstract

In this paper, we designed IOT(Internet of Things) based hydroponic plant factory in order to avoid the effects of fine dust penetrating into the soil, and proposed the PLC(Programmable Logic Controller) control methods. The designed plant factory could monitor the density of oxygen, the density of nutrient solution, temperature and humidity through touch screen and smart phone, and control the heater and cooler, ventilation and dehumidifier, and wavelengths of LEDs to grow plant in appropriate environments.

요약

본 논문에서는 토양에 침투하는 미세먼지의 영향을 피하여 폐쇄된 공간에서 물과 배양액을 이용하는 IOT(Internet of Things) 기반의 수경재배 식물공장을 제작하고, PLC(Programmable Logic Controller) 제어 방법을 제안한다. 제작된 수경재배 식물공장은 터치스크린과 스마트폰을 통하여 산소의 농도, 양액의 농도, 온도, 습도의 정도를 모니터링 하고, 히터 및 쿨러 제어, 환풍기 및 제습장치 제어, LED의 파장 등을 사용하여 식물이 적절한 환경에서 성장할 수 있도록 제어한다.

Key words : Hydroponice system, Internet of things, Programmable logic controller, LED wavelength, Monitoring

1. 서론

대기 중 이산화황(SO₂)이나 이산화질소(NO₂)가 많이 묻어있는 미세먼지는 토양을 황폐화시키며 공기 중에서 카드뮴 등 중금속이 포함된 미세먼지가 식물의 잎에 부착되면 잎의 기공을 막고 광합성 작용 등을 저해함으로써 작물의 생육을 지연시킨다. 이렇게 성장한 식물에는 다량의 납(Pb)과 카드뮴(Cd)이 포함되어 있어 식물을 섭취 할 때 인체에

영향을 줄 것으로 우려된다.

잎을 이용 목적으로 사용되는 엽채류 식물을 미세먼지로부터 보호하기 위해 밀폐된 공간에서 물과 배양액을 이용하여 적절하게 조정하고 빛이 없는 공간에서 LED 파장을 식물의 생육시기에 맞도록 제어하여 작물의 수확시기를 단축시키고 재배면적의 효율성을 극대화시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. IOT(Internet of Things) 기반의 다양한 센서를 활용하여 식물이 적합한 환경에서

* Dept. of Electrical Engineering, Jeju National University

★ Corresponding author

E-mail : hckim@jejunu.ac.kr, Tel : +82-64-754-3676

※ Acknowledgment

This research was supported by 2018 scientific promotion program funded by Jeju National University.

Manuscript received June. 6, 2019; revised Jun. 17, 2019; accepted June 23, 2019.

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.

최적의 조건으로 성장할 수 있도록 식물공장내의 온도, 습도, 산소농도, 양액의 농도 등을 터치스크린(Touch Screen) 및 스마트폰으로 실시간 모니터링하고 냉각팬(Cooling Fan), LED, 펌프 등을 제어할 수 있도록 설계한다[1].

수경재배의 방식에는 식물을 양분과 산소가 충분한 용액에 담가 재배하는 담수식 수경재배, 재배상자에 특정한 경사를 만들어 뿌리에 양액을 흘려주는 박막식 수경재배, 그리고 양액을 작은 입자 상태로 뿌리에 살포하는 분무식 수경재배 등이 있다[2].

본 논문에서는 비교적 생육시기가 빠른 상추를 대상으로 작물의 재배 위치를 A, B, C, D 4개의 단으로 분류하고 A, B단은 분무식 시스템과 C, D단은 담수식 시스템으로 구성하고, 분무식과 담액식의 양액주입 방식에 따른 식물의 성장속도를 비교하고 LED의 빛의 파장이 식물에 미치는 영향을 적용하여 빛의 파장대별 최적의 생육환경을 도출하였다. 이러한 시스템의 자동제어는 Arduino와 PLC(Programmable Logic Controller), 터치스크린, 스마트폰을 사용하여 시스템을 구축하였고 식물의 성장속도를 비교하여 컨테이너형 식물공장에 적합한 시스템을 제안하였다.

II. 수경재배 식물공장의 기능

수경재배 식물공장 시스템은 LED 제어, 환경제어, 양액제어, 원격관리로 구성된다. 식물이 성장하는데 필요한 온도, 습도, 산소농도, 양액의 농도 등의 데이터는 각종 센서를 통해 수집하고 제어시스템은 데이터를 기반으로 빛을 제어하고 온도와 습

Table 1. Major system of hydroponic plant factory.

표 1. 수경재배 식물공장의 주요 시스템

LED control	It controls wavelengths that fit the growing area of a plant in place of light sources in a closed plant.
Environmental control	Heater, FAN, cooler etc. are controller so that plants can grow in a pleasant environment by using temperature, humidity, oxygen concentration, and positive concentration sensors.
Nutrient control	Using a nutrient film technique system and Aeroponics system of controls the pump and solenoid valves of the nutrient control.
Remote control	The LED control, environment control, and nutrient systems are monitored by the Touch Screen and the Smart Phone in real time.

도 및 양액농도를 적정하게 제어하도록 한다. 수경재배 식물공장의 주요기능의 상세 내용은 표 1과 같다.

1. LED 제어시스템

녹색식물에 작용하는 광합성은 엽록체 내에서 엽록소와 광방사에너지에 의하여 물과 이산화탄소로부터 화학에너지의 축적물인 탄수화물을 합성하고 산소와 물을 방출하게 한다[3]. 이 중 식물의 광합성작용과 가장 밀접한 빛은 식물의 성장에 가장 큰 도움을 준다. 식물공장 LED 제어 시스템은 식물이 성장하는데 필요한 흡수율이 높은 파장을 조합하여 성장 시기별 흡수 파장을 식물에 자동으로 조사하여 식물의 생육을 돕고 성장 시기를 단축시키도록 한다.

가. LED 파장이 식물에 미치는 영향

식물의 광합성에 필요한 빛(가시광선)의 파장대역은 400~800nm이며 종자의 발아, 분화, 개화, 엽록소, 마디성장, 광합성작용, 대사물질의 변화 등에 파장대역이 식물 성장에 영향을 미친다.

본 논문에서는 RGB LED를 사용하여 빛의 흡수가 이루어지는 적색 660nm, 청색 430nm, 적색과 청색을 4:1비율로 혼합하여 식물에 조사하여 식물의 성장속도를 비교한다. 표 2는 광파장이 식물 성장에 미치는 영향을 나타낸다.

Table 2. Effect of light wavelength on plant growth.

표 2. 광파장이 식물생장에 미치는 영향

wavelength(nm)		Action effect
Infrared ray	780	Wavelengths that promote special kidney effects on plants
Visible ray	700	Maximal photosynthesis(670), Germination stop(730)
	660	Chloroplast action maximum(655), Germination and leaf distribution(660)
	610	Not beneficial to photosynthesis, Pest control(580~650)
UV-ray	440	Maximal photosynthesis(430), Chloroplast action maximum(440)
	350	Promoting pigmentation of pigment, Pest control

나. 식물의 광흡수 스펙트럼

광합성 색소는 광합성에 유효한 빛을 흡수하는

색소를 의미하며, 가장 중요한 색소는 엽록소 a와 b이다. 엽록소 a는 주색소로 작용하며 보조색소인 b는 흡수한 빛을 엽록소 a에 전달하는 역할을 한다. 그림 1에서 식물의 광합수 스펙트럼은 440nm, 470nm, 650nm, 680nm에서 첨두값을 나타내는데, 일반적인 식물 재배용 인공광원들은 이 첨두값 과장을 조합하여 사용된다. 그러나 실제로는 가시광선 전 영역에 걸쳐 광합수가 일어나므로 첨두값 과장 조합만으로는 식물의 성장 저해 현상이나 결핍 영양소 문제를 야기 할 수 있다. 본 논문에서는 백색 LED를 추가로 사용하여 가시영역에 고루 분포된 광합수 스펙트럼에 일치시키도록 한다[4].

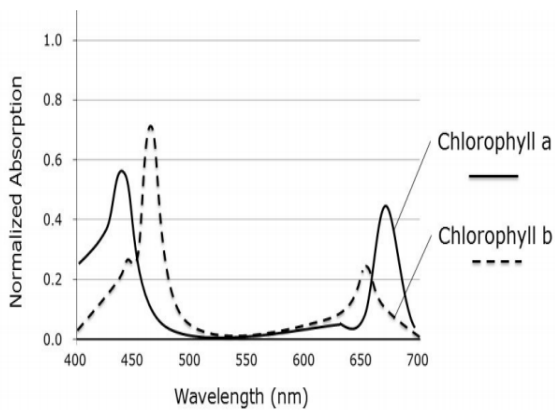


Fig. 1. The light absorption spectra of chlorophyll a and b. 그림 1. 엽록소 a와 b의 광합수 스펙트럼

다. 재배 작물의 최적 온도

광포화점이란 식물의 잎에 빛을 쬐이면 빛의 세기에 비례하여 증가하는 광합성의 속도가 더 이상 증가하지 않을 때의 빛의 세기를 말한다. 그 이상의 광량에서는 상추의 추가적인 성장효과가 없으며, 보다 높은 빛의 조사는 채소를 고사시킬 위험성이 있다. 식물의 성장에 최소한의 광량을 나타내는 광보상점은 식물에 의한 이산화탄소 흡수량과 방출량이 같아져서 식물체가 외부 공기 중에서 실질적으로 흡수하는 이산화탄소의 양이 0이 되는 광도를 말하며, 광보상점 이하의 광량은 광합성을 일으키지 못해 식물의 성장 저해를 받는다[5]. 상추가 최적의 성장을 돕기 위한 조도는 표 3과 같다.

본 논문에서는 식물성장의 최적의 조도를 도출해내기 위하여 LED바의 위치를 50mm, 100mm, 150mm 단위로 위치를 변화하여 조도를 측정하고 식물과 LED바의 최적의 이격거리를 선정한다. 또한, 평균 조도가 많은 곳과 적은 곳을 비교하여 조도에 의한

식물의 성장 속도차이를 비교한다.

Table 3. The light saturation point and the light compensation point of the plant.

표 3. 식물의 광포화점 및 광보상점

Crop name	Light saturation point[Lux]	Optical compensation point[Lux]
Tomato	70,000	3,000
Cucumber	55,000	2,000
Tangerine	40,000	200
Ginseng	12,000	500
Lettuce	25,000	1,500
Radish stem	1,241	583

2. 양액제어 시스템 종류

그림 2에서 수경재배의 방식에는 식물을 양분과 산소가 충분한 용액에 담가 재배하는 담액식, 재배 상자에 특정한 경사를 만들어 뿌리에 양액을 흘려주는 박막식, 양액을 작은 입자 상태로 뿌리에 살포하는 분무식 수경재배 등이 있다.

원예작물이 건전한 생육을 위해서는 16종류의 필수 원소가 필요하다. 이러한 필수 원소의 공급조건은 물과 공기이며 공기 중의 탄산가스(CO₂)와 물(H₂O)로 공급한다. 식물생산의 필수원소는 탄소, 산소, 인, 칼륨, 마그네슘, 망간, 아연, 붕소, 수소, 질소, 황, 칼슘, 철, 구리, 몰리브덴, 염소이다. 이러한 다량의 원소가 부족하거나 양액의 농도 비율이 맞지 않으면 식물은 과잉증상 또는 영양결핍을 일으키므로 양액의 농도의 비율을 적정하게 유지해야 한다. 양액의 농도를 측정하는 단위를 EC(Electrical Conductivity) 전기전도도라 하며 배양액에 들어있는 이온수치가 높아지면 전기전도도가 높은 것이므로 양액의 농도가 진하다는 것을 의미한다.

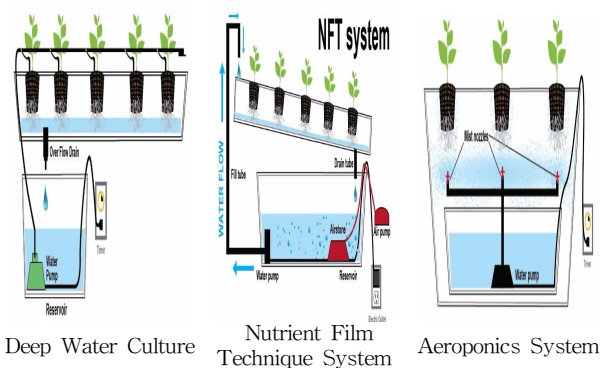


Fig. 2. Types of hydroponics.

그림 2. 수경재배 방식의 종류[6]

일반적으로 양액의 농도는 1.5~3.0 범위에서 재배를 하는데, 농도가 너무 높아지면 끝부분이 타들어가고 너무 낮아지면 성장속도가 느려지므로 적절한 농도를 유지해야 한다[7]. 식물이 적절한 농도로 영향을 원활하게 공급받기 위한 결정적인 인자는 산도(pH)이다. 토양은 모재나 기후에 따라 산성, 중성, 알칼리성을 띤다. 이는 토양의 생산성과 밀접한 관계가 있으며 산도가 식물에 잘 맞지 않으면 작물의 생육은 지체된다. 수경재배에서는 공급하는 양분도 중요하지만 산도를 적절한 범위 내에서 유지하여야 식물이 양분을 잘 흡수한다. 대부분의 식물의 산도는 5~7에서 잘 자란다. 이 범위를 벗어나면 양분을 흡수할 수 없는 형태로 변화하며 산도가 높아지면 인산과 질소를 주입하여 산도를 낮추어 준다.

3. 환경제어 시스템

식물공장의 환경제어 시스템은 재배환경의 최적화를 의미한다. 따라서 환경요소와 식물상태를 정밀하게 계측하고 진단하기 위한 센서가 필요하고 각 제어요소인 온도, 습도, 이산화탄소, 빛, 공기순환, 배양액 등을 효과적으로 제어하기 위한 소프트웨어 및 하드웨어 기술의 뒷받침이 중요하다. 이러한 환경요소를 인위적으로 제어해 식물의 성장촉진, 생산성 증대, 품질 향상 및 성장 균일화 등이 가능해진다.

본 논문에서는 온도센서, 습도센서, EC센서, PH센서 등을 사용하여 아두이노에서 터치스크린으로 데이터 값을 센싱하고 각 재배단의 온도와 습도를 모니터링 할 수 있도록 한다. PLC 제어 프로그램은 냉각팬을 동작시켜 각 재배단의 실내온도 값을 적정하게 유지하도록 구현하였다.

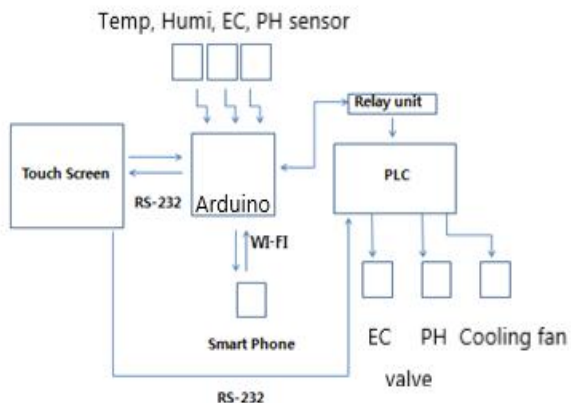


Fig. 3. Plant factory environmental control flowchart.
그림 3. 식물공장 환경제어 흐름도

III. 식물공장 하드웨어 구성 및 실험

본 논문에서는 LED 광질의 변화에 의한 식물의 생육의 관찰과 식물의 광포화점과 광보상점에 의한 식물성장에 있어서 최적의 조도를 찾기 위한 LED와 식물과의 이격거리를 선정한다. 또한, 양액의 공급방식에 따른 식물의 뿌리에 관한 성장형태와 성장속도를 관찰한다. 이를 위해 식물공장의 온도나 습도, 양액의 농도, 산도 농도 등의 환경적인 부분을 개선하여 컨테이너형 식물공장에 적용할 수 있도록 그림 4와 같은 식물공장을 제작하였다. 이번 장에서는 식물공장의 하드웨어적 구성 및 프로그램 설계와 제작과정을 설명한다.

1. 식물공장 LED 배치도

표 4는 식물공장 LED제어의 각 재배단별 LED 설치 구성도이다. A, C 재배단은 발아기와 생육시기에 맞추어 뿌리와 줄기를 튼튼하도록 청색 LED와 백색 LED를 사용하였고, 성장기에는 식물의 광합성 작용을 최대로 하기 위해 적색 LED와 백색 LED를 사용하였다. B, D 재배단은 4:1 비율의 적색 LED와 청색 LED를 혼합하여 각 재배단별 식물의 성장 변화를 비교하였다.



Fig. 4. Plant Factory Overall composition diagram.
그림 4. 식물공장 종합 구성도

A, C단의 LED바의 설치 길이는 70cm이고 RGB LED 50개 3줄씩 150개를 A단과 C단에 각각 설치하였다. B, D단의 LED는 4:1 비율로 적색과 청색 혼합 LED 50개를 3줄씩 150개를 설치하였다. 재배단에 설치된 총 LED의 개수는 600개이며 1개당

0.24W가 소비되므로 LED의 소비전력은 144W이다. 하루에 LED를 15시간정도 제어를 수행하였고, 식물공장의 한 달 전력량은 약 60kWh로 계산된다.

Table 4. LED installation diagram.

표 4. LED 설치 구성도

(A) Initial Growth RGB Blue, White LED (A) Growing Period RGB Red, White LED	
(B) 4:1(Red : Blue) Mix LED	
(C) Initial Growth RGB Blue, White LED (C) Growing Period RGB Red, White LED	
(D) 4:1(Red : Blue) Mix LED	
Deep Water Culture nutrient solution	Aeroponics nutrient solution

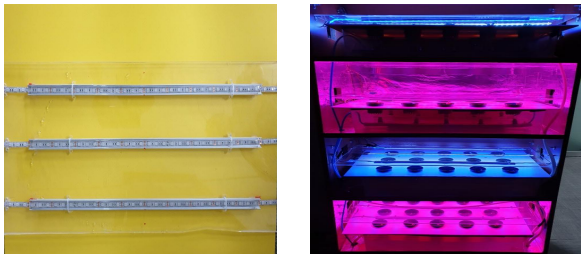


Fig. 5. Plant factory overall composition diagram.
그림 5. 식물공장 종합 구성도

생육시기별 LED 파장의 타이밍은 PLC로 제어하여 빛이 없는 어두운 상태에서 발아 시킨 후 3일 후 싹이 올라오면 청색, 백색 LED를 점등하고 10일 후 뿌리가 자리 잡고 성장기에 돌입되면 적색, 백색 LED를 점등하며 24시간기준 16시간 광합성 작용, 8시간 휴면 할 수 있도록 LED를 자동제어 하였다. 그림 6은 식물공장 LED제어 알고리즘 및 LED PLC LOGIC PROGRAM 이다.

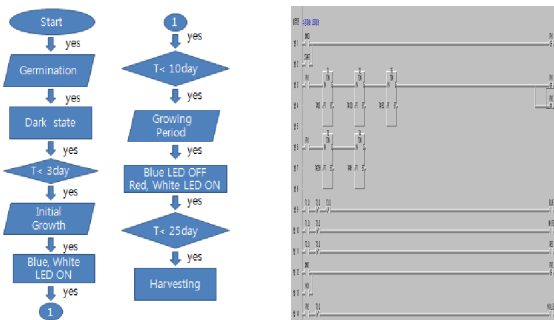


Fig. 6. LED control algorithm for plant factory and LED PLC logic program.
그림 6. 식물공장 LED제어 알고리즘 및 LED PLC Logic Program

2. 식물공장 양액제어 시스템

본 실험에서는 분무형 수경재배 방식과 담액식 수경재배 방식을 선택하였다. 재배 A, B단은 고압의 펌프를 동작시켜 미세 노즐에 의해 분무형태로 뿌리에 살포하여 식물에 필요한 수분과 영양을 공급하였고, 재배 C, D단은 담액식과 박막식을 혼합하여 재배상자에 뿌리가 상시 물에 잠겨있지만 펌프의 압력으로 순환 될 수 있도록 하였다. 그림 7에서 분무 노즐은 식물의 뿌리 하단에서 분사되고 A, B단 합하여 20개의 노즐이 설치하였다.



Fig. 7. Aeroponics nutrient control composition diagram.
그림 7. 분무식 양액제어 구성도

그림 8에서 재배 C, D단 담액식 시스템은 하단의 분무식 양액통에서 100W 순환펌프를 거쳐 상단의 재배 C단으로 입수된다. 입수된 양액은 재배 C단의 재배상자를 가득 채우며 직렬로 재배 D단의 식물의 뿌리까지 채우고 출수를 통과하여 담액식 양액통으로 순환되는 시스템이다.

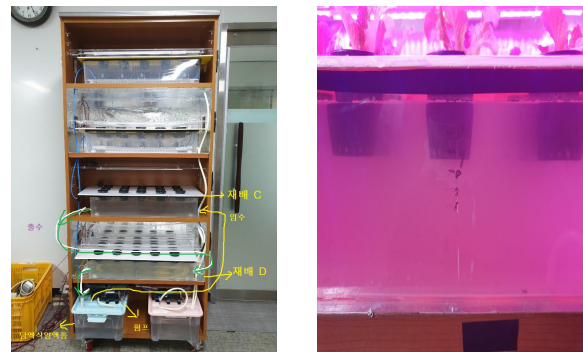


Fig. 8. Deep water culture control composition diagram.
그림 8. 담액식 양액제어 구성도

3. IOT 기반의 식물공장 환경 모니터링 시스템

식물공장에서는 환경의 모니터링과 함께 재배실 내부의 환경을 조성해주고 목표 환경 값을 일정하

게 유지시키는 환경제어가 중요하다. 식물공장은 외부환경을 직접적으로 받는 노지와 달리 작물이 최적의 성장을 할 수 있도록 내부에서 조절하여 식물에게 제공해 줄 수 있다.

그림 9에서 환경측정은 IOT 기반의 온도센서, 습도센서, 양액농도센서, pH농도센서를 계측하고 연산하는 MCU(Micro Control Unit)에 수집된다. MCU는 가격이 저렴하고 쉽게 구할 수 있으며 오픈소스로 되어있는 아두이노 우노를 사용하였다.

아두이노에서 프로그램을 통하여 무선망에 접속되어 IP주소를 얻으면 스마트기기에서 IP주소에 접속하여 현재 식물공장내의 온도, 습도 값을 모니터링하고 냉각팬이나 솔레노이드 밸브를 동작 할 수 있도록 하여 식물공장내의 환경을 효율적으로 관리 할 수 있다.

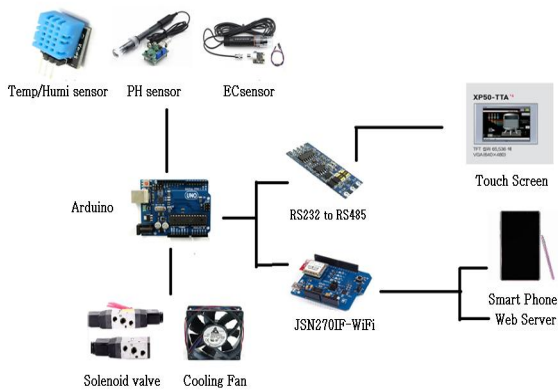


Fig. 9. Monitoring system flow diagram.
그림 9. 모니터링 시스템 흐름도

IV. 실험 및 결과

1. 식물공장 생육기 재배 조건별 성장 비교

본 실험에서는 씨앗, 발아, 어린새싹까지의 성장은 씨앗자체에서 영양분이 공급되는 시기이므로 80% 이상의 수분을 유지하면서 LED를 가동하지 않은 암실에서 3일을 A, B, C, D단 동일한 조건으로 성장시킨다. 그리고 A, C단은 청색 80%와 백색 20%를 사용하고, B, D단은 4:1(적색4:청색1) 혼합 LED를 16시간 광합성작용과 8시간 휴면 주기를 둔다. 이때 A와 B은 분무식 수경재배이고, C와 D는 담액식 수경재배이다. A, B단의 양액공급 조건은 같은 상황에서 LED 파장을 다르게 하였을 때 식물의 성장과 C, D단의 양액공급 조건은 같은 상황에서 다른 LED 파장으로 식물의 성장을 비교하였다.

그림 10에서 생육기 초기 5일 동안에는 A, B, C, D단의 성장률이 유사하게 나타났지만, 7일 이후부터는 분무식 재배단의 뿌리가 담액식 재배단의 뿌리보다 커지고 단단해지면서 차이를 보이기 시작했다. A단과 B단을 LED 파장 차이별로 비교 하였을 때 청색과 백색의 LED가 4:1혼합 비율보다 미세하지만 15mm정도 더 성장하였다. 그림 11은 채소의 초기 성장사진이고, 그림 12는 생육시기 때의 분무식과 담액식의 뿌리 비교이다.

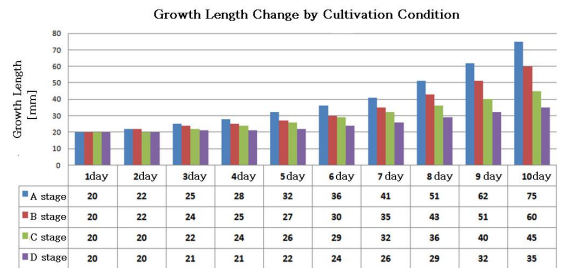


Fig. 10. Monitoring system flow diagram.
그림 10. 모니터링 시스템 흐름도

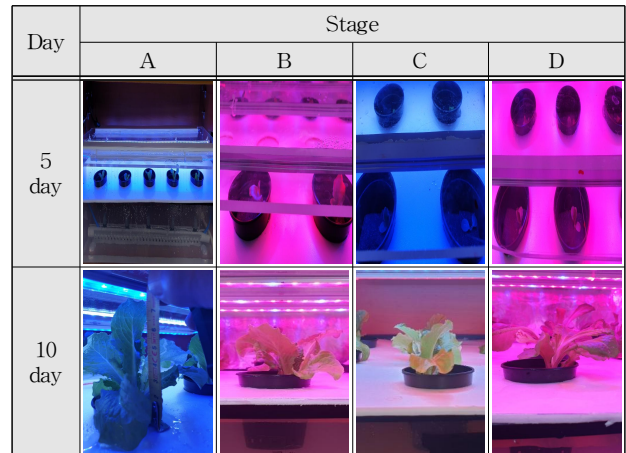


Fig. 11. Initial growth photo.
그림 11. 초기 성장 사진

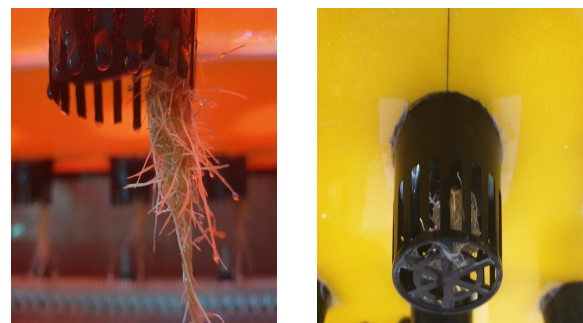


Fig. 12. Comparison of roots in aeroponics and deep water culture.
그림 12. 분무식과 담액식의 뿌리 비교

2. 식물공장 성장기 재배 조건별 생장 비교

생육기가 끝나고 성장기에서 A, B단의 LED 파장은 적색 80%, 백색 20%로 변화하였고, B, D단은 생육시기 때와 같이 4:1 혼합비율로 유지하였다. 양액공급 방식은 A, B단은 분무식 C, D단은 담액식이며 성장시기에 양액공급 주기는 뿌리가 성장하여 영양을 많이 공급해주어야 하는 시기이므로 분량을 10초, 휴식주기는 2분으로 짧게 주었다.

성장기에는 뿌리가 더욱 탄탄해지면서 A, B단은 하루 평균 8~11mm 꾸준히 성장하는 것을 그림 13의 그래프에서 볼 수 있다. 반면 C, D단은 성장기 초기에는 하루 평균 4~6mm정도 생장이 분무식 보다 느리다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 C 단도 15일 이후부터는 성장속도가 빨라지면서 15일 이후에는 10~11mm의 성장을 유지하였고 D단은 유난히 성장속도가 느린 것을 그림 14에서 확인

할 수 있다. 이는 담액식인 C와 D단은 뿌리가 물에 잠겨 있기 때문에 뿌리가 물에 적응하는 시간이 분무식보다 늦기 때문이다. C단은 입수펌프에서 어느 정도 공기가 유입되어 물에 산소가 공급 되었지만, D단은 산소 공급이 없는 담수식에 가깝기 때문에 생장이 느리다. LED 파장에 의한 성장속도는 A와 B단 또는 C와 D단의 비교에서 적색과 백색의 파장이 혼합 파장보다 식물성장에 도움을 준다.

V. 결론

본 논문에서는 IOT 기반의 식물공장을 구축하였다. 제작된 수경재배 식물공장을 PLC 자동제어를 통해 LED 파장에 의한 식물의 성장속도를 비교하고 수확시기를 단축시킬 파장대역을 도출하였다. 도출된 파장대역을 이용하여 식물의 성장 영역에 맞도록 빛의 파장을 자동으로 제어하여 기존에 사용하던 혼합된 LED보다 생육시간을 단축시켰다.

청색과 백색 LED, 적색과 백색 LED의 주기를 시간적인 타이머로 주었고 생육시기에서 성장시기로 넘어가는 정확한 데이터 값을 도출한다면 식물의 수확시기를 추가적으로 단축할 수 있으리라 기대된다. 또한 양액의 주입방식을 담액식 수경재배와 분무식 수경재배를 비교하였을 때, 분무식 수경재배방식이 뿌리에 충분한 영양공급과 분무에 의한 산소공급으로 뿌리가 더 탄탄해지고 성장하는 환경에 적응능력도 빠르다는 것을 확인하였다.

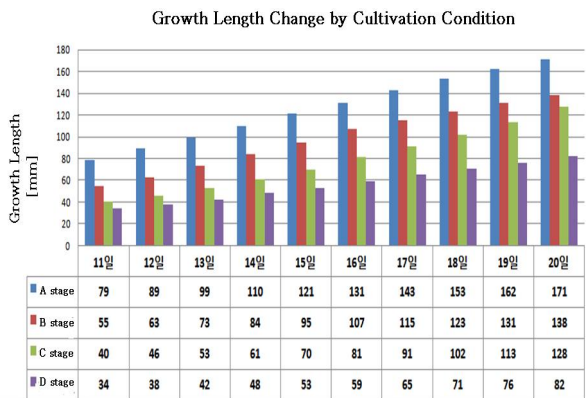


Fig. 13. Growth length change graph by cultivation condition (Growing period).

그림 13. 재배 조건별 생장 길이 변화 그래프(성장기)

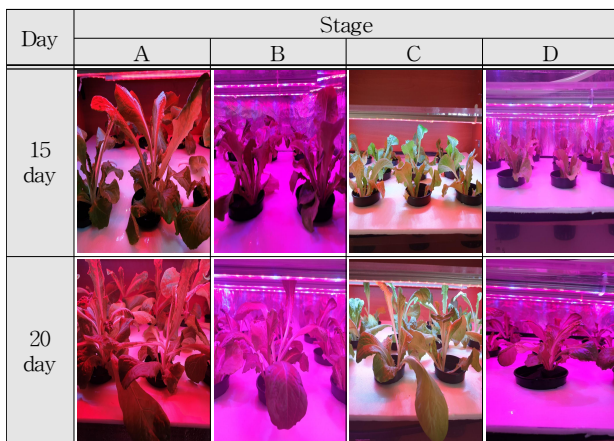


Fig. 14. Growing period photo.

그림 14. 성장기 사진

References

[1] Rural Development Administration, *Plant Factory*, Agricultural Technology Guide, vol.191, Human Culture Arirang, 2018.
 [2] Rural Development Administration, *Hydroponics*, Agricultural Technology Guide, vol.71, Human Culture Arirang, 2017.
 [3] Sung Bo Oh, *Lighting Entrance for Smart Lighting*, Moon Un Dang, 2016.
 [4] Sung-Won Lee, *Household Plant Factory Suppling a Constant PPFd*, Master degree, Kyungpook National University, Daegu. Korea, 2013.

[5] Cheol-Gu Yoon, *A Study on the LED Illumination Lamp Development and Application for Plant Factory*, Doctoral degree, Hongik University, 2011.

[6] Opentutorials, Hydroponis System, <https://www.opentutorials.org/module/2276/12872>.

[7] Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research Institute, Smart Farm Facilities Agricultural Management Technology, 2015.

BIOGRAPHY

Jin-Han Ko (Member)



2017 : BS degree in Business Administration, National Institute for Lifelong Education
 2019 : MS degree in Electrical Engineering, Jeju National University.

2017~Curent : Dept. of Electrcial Eng. Jeju Int. Univ.

Ho-Chan Kim (Member)



1987 : BS degree in Control & Instrument Engineering, Seoul National University.
 1989 : MS degree in Control & Instrument Engineering, Seoul National University.
 1994 : PhD degree in Control & Instrument Engineering, Seoul National University

1995~Current : Dept. of Electrical Eng. Jeju National University