

# 스마트 식물 재배기의 양액 제어에 관한 연구

정상화\*<sup>#</sup>, 윤충만\*

\*조선대학교 기계공학과

## A Study on the Culture Media Control of Smart Plant Cultivator

Sang-Hwa Jeong\*<sup>#</sup>, Chung-Man Yoon\*

\*Department of Mechanical Engineering, Chosun University

(Received 27 February 2019; received in revised form 23 March 2019; accepted 01 April 2019)

### ABSTRACT

In this paper, a closed hydroponics device was designed and fabricated to grow and harvest plants in a small space for safe consumption, which enables horticultural activities that are difficult to perform due to space constraints from urbanization. This device also aimed to minimize the air pollution of crops. To obtain data for the optimal growth conditions for crops in this intelligent plant-growing system, sensors were used to measure and control the growth conditions. To investigate the optimal growth conditions, blue lettuce and crown daisy were selected as representative crops. The growth rates were comparatively analyzed through four experiments for each plant. This hydroponics device was used to collect data on growth rates that are altered depending on cultivation conditions, which can then be used to study methods to control the growth rate of crops.

**Key Words** : On-off control(On-off 제어), Hydroponics(수경재배), Blue lettuce(청상추), Crown daisy(쑥갓)

### 1. 서 론

우리나라의 수경재배는 1954년 도입되었으며<sup>[1]</sup> 수경재배 시스템, 재배시설 내 환경 관리 및 배양액의 조성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[2,3]</sup>.

우리나라의 식물 재배시스템은 이제 시작하는 초기 단계로서 시범적으로 식물공장이 운영되고 있다. 일부 업체에서 식물공장 시스템에 대한 특허를 가진 상태이지만 완전 제어형 무인 자동화된 식물공장은 없는 상황이다. 식물공장 시스템은 고

가의 시설비가 투자되어야 하는 단점이 있어 생산을 목적으로 하는 경우 쉽게 접근할 수 없으며, 재배작물에 대한 세부적인 연구가 병행되지 않아 다양한 작물로의 적용이 어렵다. 작물생산 시스템을 통한 동적 자동제어를 위해서는 각종 환경요인들을 계측하고, 이를 환경제어의 피드백 신호로 활용할 수 있어야 한다<sup>[4,5]</sup>. 현대인의 주거공간은 도심화로 인하여 아파트 형태로 바뀌고 있으며, 이러한 생활공간에서는 원예활동이 제약이 많은 실정이다. 실내에서 식물을 키우는 일은 충분한 광원의 확보가 가장 중요한 요건이며, 작은 공간을 최대한 이용할 수 있어야 한다<sup>[6]</sup>.

최근에는 시설 내에서 각종 작물을 대량으로 재배하고 생육에 영향을 미치는 각종 환경요인을 제

# Corresponding Author : shjeong@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7178

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <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.

어하는 것이 가능하며, 이러한 작물생산의 장점을 극대화하기 위한 작물 생산 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 더 나아가 미래의 농업 형태로 주목받고 있는 완전 제어형 작물생산 시설, 즉 식물공장의 생육환경에 대한 자동제어 시스템과 이에 소요되는 계측 및 제어장치 분야에 관한 연구가 체계적으로 이루어지고 있다<sup>[7,8]</sup>.

본 연구는 작은 공간에서도 안전하고 자동으로 식물을 재배하여 식용까지의 일정을 조절할 수 있는 밀폐형 수경재배 시스템을 제작하는데 목적을 두었다. 성장환경을 모니터링하고 제어하기 위하여 재배기내에 센서들을 배치하고, 각각의 성장환경요소들을 계측하고 구동기를 설치하여 원하는 설정값을 제어할 수 있게 제작하였다. 재배작물별로 성장환경조건을 실험적으로 구하기 위해 청상추와 쪽갓 재배 실험을 진행하였다. 재배작물 실험은 각각 4차례에 걸쳐 실험을 하였으며, 재배작물의 성장 조건에 따른 성장 속도를 측정하였다. 식물이 자라는데 필요한 환경요소를 측정하여 식물의 성장 제어와 유지관리를 위한 지능형 스마트 식물 재배기 시스템을 구현하는데 목적을 두고 본 연구를 수행하였다.

## 2. 수경재배 시스템

### 2.1 시스템 구성

수경재배 시스템은 실시간으로 모니터링하고 제어를 하기 위하여 데이터 로고와 NI-LabVIEW 프로그램을 사용하여 시스템을 구성하였다. 수경재배 시스템의 모니터링 및 제어하는 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. CO<sub>2</sub> 센서, 온도센서, EC(Electrical Conductivity) 센서, pH 센서, 광도 센서의 데이터를 A/D 모듈인 NI장비를 사용하여NI-cDAQ에 데이터를 보내 NI-cDAQ에 데이터를 보내 모니터링 하였다.

또한, 소프트웨어를 통해서 양액의 EC 값을 범위를 조정하여 수중 펌프를 온-오프 제어를 할 수 있게 프로그램을 개발하였다. 양액 탱크 내의 단상 220V 수중펌프는 스위치 회로를 이용하여 On-off 제어를 적용하였다. 프로그램 내에서 EC

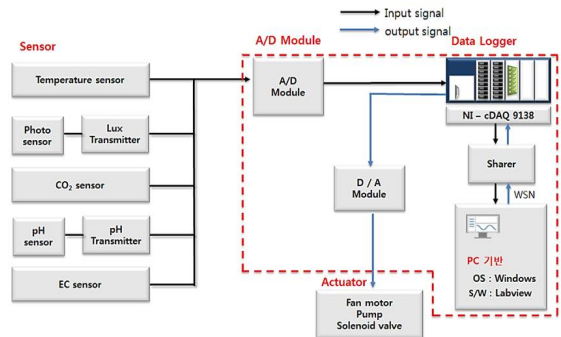


Fig. 1 Monitoring and control concept of hydroponic cultivation system

범위의 세팅 값을 입력을 하면 D/A 모듈로부터 Relay 신호를 전달받아 수중 펌프가 온-오프 제어를 하게 된다. EC값의 설정 값을 600 $\mu$ S/cm로 설정하고 온오프 범위를  $\pm 100$ 으로 설정하였을 때 EC값이 500 $\mu$ S/cm일 때 펌프가 작동하여 700 $\mu$ S/cm일 때 펌프가 정지하도록 설계하였고 강제종료 버튼을 누르게 되면 정지하도록 설계하였다. 펌프의 On-off 제어 플로우 차트를 Fig. 2에 나타내었다.

수경재배를 하기 위한 작물들의 재배 환경조사를 통해 온도, CO<sub>2</sub>, EC, pH, 광도 등을 성장 조건

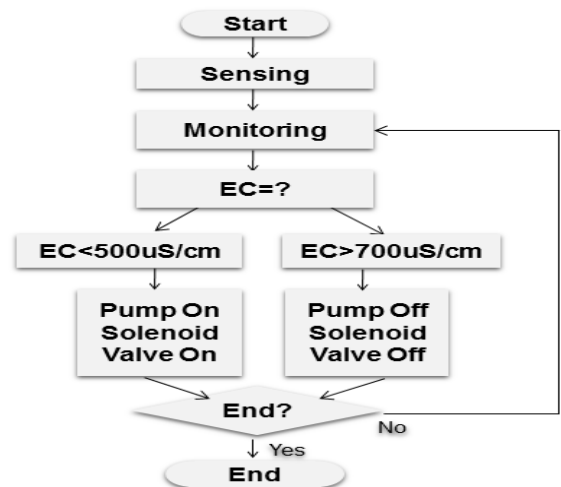


Fig. 2 Flow chart for On-off control of underwater pump

**Table 1 Specification of hydroponics cultivation system**

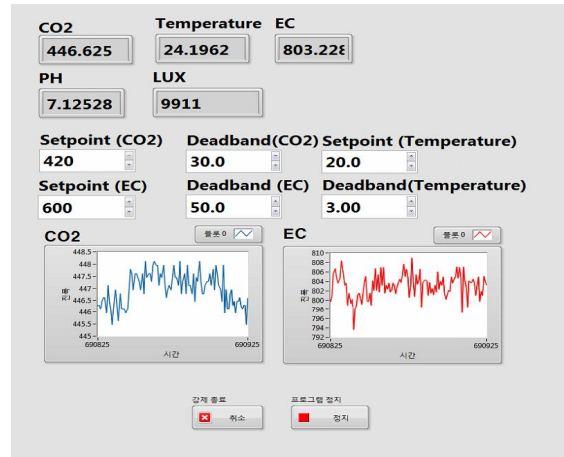
Hydroponics cultivation system	Specification
Temperature sensor	AO, 6 VDC Range : 0 ~ 50 °C
Photo sensor	AO, 12 VDC Range : 0 ~ 20000 lux
CO <sub>2</sub> sensor	AO, 6 VDC Range : 0 ~ 4000 ppm
PH sensor	AO, 220 VDC Range : 0 ~ 13
EC sensor	AO, 12 VDC 200 ~ 2000 uS/cm
Controller	AI, AO, DI, DO

에 맞게 데이터를 실시간으로 계측할 수 있도록 프로그램을 설계하였다. 밀폐형 수경재배기에서의 최적의 성장 조건을 찾기 위해 각각의 요소별 데이터를 수집하였다. EC 센서를 이용하여 재배기 안의 양액의 농도를 측정하여 설정된 EC 값보다 낮아지면 양액 탱크의 수중 펌프를 온-오프 제어하여 재배기내 양액의 EC 값을 맞추어 주었다. 또한, 온도 및 CO<sub>2</sub> 센서를 이용하여 챔버 내의 온도와 CO<sub>2</sub>의 설정 범위 내에서 팬을 작동시켜 공기를 순환 시키도록 설정하였다. 수중 펌프는 소프트웨어의 프로그래밍을 통해 EC 값의 범위를 세팅하여 Relay 신호를 통해 온-오프 제어가 되도록 설치하였다. 수경재배기에 사용된 장치의 사양을 Table 1에 나타내었다.

## 2.2 On-off 제어

재배 박스내에 EC 센서를 설치하여 센서값을 설정하고 배양액 내의 EC 값이 일정하게 유지되도록 온-오프 제어를 하였다.

또한, 작물이 성장하는 동안 CO<sub>2</sub> 값이 떨어지고 LED 패널에서 방출된 열 때문에 내부 온도가 상승한다. 그래서 밀폐형 수경재배기에 환기팬을 설치하여 CO<sub>2</sub> 값과 온도 값을 설정하여 환기팬을 가동해 내부 공기를 순환시키며 온도를 맞춰주기 위해 환기팬도 온-오프 제어하였다. 제어시스템의 각 센서들의 값을 모니터링하는 화면을 Fig. 3에



**Fig. 3 Front panel of monitoring for control system**

나타내었다.

밀폐형 수경재배기의 제어 시스템을 모니터링하기 위하여 재배기 내에 CO<sub>2</sub> 센서와 온도 센서, 광도 센서, EC 센서, pH 센서를 설치하였다. 제어 프로그램은 5개의 센서 데이터를 받아 저장하는 프로그램과 양액 제어를 위해 수중 펌프 및 솔레노이드 밸브를 제어하는 프로그램 그리고 온도, 공기 순환을 제어하기 위한 팬을 제어하는 프로그램으로 작성하여 적용하였다.

## 3. 수경재배기 제작

작물을 재배할 베드와 수중펌프를 이용하여 양액을 공급하는 양액 탱크는 아크릴판을 이용하여 제작하였으며 쇼케이스 내에 설치하였다. 작물이 발아하였을 때 스펀지에 옮겨 정식하고 작물을 재배할 재배판인 스티로폼에 고정하여 재배하였다.

각 재배 요소들을 계측하는 센서들을 배치하고 온도, 이산화탄소, EC, pH를 실시간으로 센싱하여 저장하는 모니터링 프로그램을 개발하고 프로그램 내의 설정 값을 조정하여 환기팬, 수중펌프, 솔레노이드 밸브를 제어하는 수경재배 장치를 설계 제작하였다. 센서가 연결된 배치 박스와 버퍼 탱크의 상세 사진을 Fig. 4에 나타내었고, 수경재배 시스템을 구성하는 전 실험장치의 사진을 Fig. 5에 나타내었다.

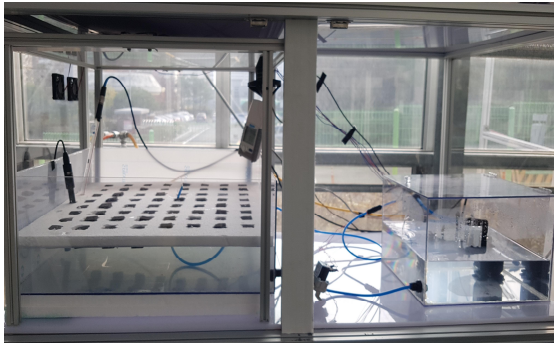


Fig. 4 Hydroponic cultivator with sensors

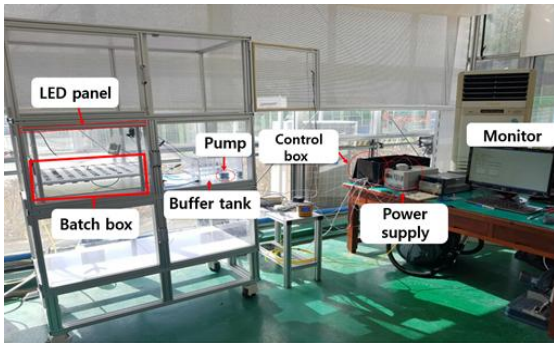


Fig. 5 Photograph of total hydroponic cultivation system

## 4. 실험 결과

### 4.1 청상추 재배

노지에서 청상추를 재배하기 위해서는 일반적으로 싹이 발아한 후 평균 2개월 정도의 시간이 걸리며 온도 조건에 따라 길게는 3개월까지 시간이 소요된다. 이와 반면에, 수경재배로는 싹이 발아하기 위해서는 2주 정도의 시간이 소요된다.

Table 2 Cultivation conditions of blue lettuce

	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	LUX (Lux)	Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	Light hour/day
1st	800	9500	15~25	24
2nd	600	9500	15~25	12
3rd	600	15000	20~30	12
4th	800	15000	20~30	12

본 실험은 싹이 발아한 후 정식하고 나서 데이터를 수집하여 지능형 스마트 식물재배기에서 작물을 재배하는데 최적의 조건을 찾아보기 위하여 실험을 진행하였다. 재배기 안의 양액의 농도와 빛의 세기를 조절하여 청상추가 가장 빠르게 잎의 크기가 식용 가능한 정도로 자라는 조건을 찾기 위한 실험을 수행하였다. 청상추가 수경재배기 내에서 성장하는데 필요한 평균성장 데이터를 베이스로 하여 스마트 식물재배기에서 EC 값과 LUX 값을 조절하여 총 4차에 걸쳐 청상추가 최적의 조건으로 자라는 조건을 찾기 위한 재배 실험을 수행하였다.

빛은 도광판을 이용해 하루 중 12시간 동안 가동하였고 12시간 동안 가동을 중지하여 낮과 밤을 구현했으며 1차 실험에서는 빛의 세기를 평균 9500Lux 값으로 하고 양액의 농도는  $800\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 맞추어 진행하였다. pH 값은 식물이 자라는데 최적의 조건인 6.5에서 7 사이로 맞추었으며 온도 조건은  $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 를 맞추어 실험을 진행하였다. 청상추의 각 단계별 EC농도, 도광판의 광도, 온도, 광조사 시간등의 재배조건을 Table 2에 나타내었다.

1차 청상추 재배실험에서는 빛의 공급을 24시간 공급하였는데 옷자람 현상이 발생하였다. 이 실험에서는 과도하게 청상추의 키만 자라게 되어 더 이상 실험이 불가능하였다. 이러한 이유로 2차 재배실험부터는 도광판의 가동시간을 하루 중 12시간 간격을 두어 빛을 공급하였다. 재배조건을 다르게 하여 청상추를 재배한 결과 재배기 내에서의 성장률의 차이를 볼 수 있었다.

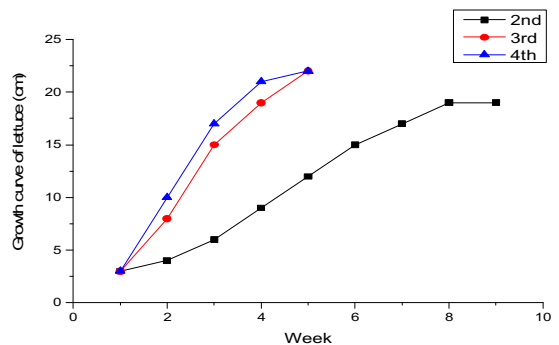


Fig. 6 Growth curve of blue lettuce

2차 재배 실험에서는 비교적 낮은 EC 값과 LUX 값의 영향으로 상대적으로 낮은 성장률을 보였으며 최종 성장 길이도 다른 재배 실험에 비해 길이가 짧았다.

3차 실험과 4차 실험에서는 같은 LUX 값으로 재배 실험을 하였고, 양액의 농도를 각각  $600\mu\text{S/cm}$ ,  $800\mu\text{S/cm}$ 로 다르게 설정하여 재배 실험을 진행하였다. 재배 실험 결과 성장률은 양액의 농도를  $800\mu\text{S/cm}$ 로 유지하고 광도의 세기를  $15000\text{Lux}$  값으로 설정해 주었던 4차 재배 실험에서 가장 좋은 성장률을 보였다. 청상추의 각 조건에서의 성장곡선은 Fig. 6에 나타내었다. 청상추가  $15\text{cm}$  이상 자라게 되면 수확할 수 있으므로 2차, 3차 재배실험에서는  $22\text{cm}$  도달했을 때 실험을 중지하였다.

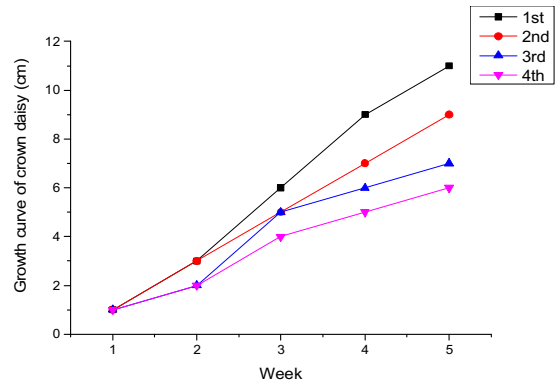
## 4.2 썩갯 재배

썩갯의 종자가 발아하는 온도는  $10 \sim 35^\circ\text{C}$  이지만 적정온도는  $15 \sim 20^\circ\text{C}$  이며 3 ~ 5일이면 발아한다. 썩갯을 수확하는 방법은 파종 후 1개월이 지나면 슈음수확을 할 수 있는데, 조밀한 부분을 슈어서 수확을 하다 키가  $15\text{cm}$  이상 자라하면 원줄기를 잘라서 수확한다. 수확후 곁가지가 여러 갈래로 나와서 자라게 되어 자라는 곁가지를 계속해서 수확할 수 있다. 썩갯의 기본적인 재배 실험 방법은 청상추 재배와 동일하게 진행하였으며, 스마트 식물재배기 내에서 최적의 조건으로 성장하는 데이터를 얻기 위해 실험을 진행하였다.

썩갯 재배 실험은 5주간의 기간을 정해 썩갯의 성장률을 비교하는 실험을 진행하였다. 1,2차 재배 실험은 LUX 값은 동일하나 EC 값을 다르게 설정해 주었다. 3차 재배 실험과 4차 재배 실험은 1,2차 재배 실험보다 높은 LUX 값을 설정하여 실험

**Table 3 Cultivation conditions of crown daisy**

	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	LUX (Lux)	Temp ( $^\circ\text{C}$ )
1st	800	15000	20~30
2nd	1200	15000	20~30
3rd	800	20000	20~30
4th	1200	20000	20~30



**Fig. 7 Growth curve of crown daisy**

을 하였다. 썩갯의 재배조건은 Table 3에 나타내었다. 5주간의 기간 동안 가장 좋은 성장률을 비교하여 실험을 진행한 결과 성장률이 상대적으로 가장 좋은 조건은 1차 재배 실험으로 나타났다.

1차 재배 실험과 2차 재배 실험을 비교하고 3차 재배 실험과 4차 재배 실험의 성장률을 비교해보면 EC 값의 농도가 더 낮은 조건에서 좋은 성장률을 보였다.

또한, 1차 재배 실험과 3차 재배 실험을 비교하고 2차 재배 실험과 4차 재배 실험의 성장률을 비교해보면 광도가 더 낮은 조건에서 좋은 성장률을 보였다. 결과적으로 양액의 농도나 빛의 세기가 높다고 하여 더 좋은 성장률을 보인다는 것은 아니라는 것을 알 수 있고, 각각 작물의 최적의 재배조건이 있다는 결과를 도출하였다. 썩갯의 각 조건에서의 성장곡선은 Fig. 7에 나타내었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 일반적인 수경재배기와는 다르게 On-off제어를 이용한 밀폐형 스마트 수경재배기를 제작하였다. 두가지의 각 작물을 선택하여 재배기 내에서의 재배 환경 조건을 찾는 실험을 진행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 청상추 재배 실험 중 빛의 공급은 가동시간을 12시간 간격을 두어 On-off 제어하여 빛을 공급하는 것이 보다 효율적임을 확인하였다.

2. 청상추 재배 조건실험에서 성장률은 양액의 농도를  $800\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 유지하고 광도의 세기를  $15000\text{Lux}$  값으로 설정해 주었던 4차 재배 실험에서 가장 좋은 성장률을 보였다.
3. 쪽갓 재배 실험 결과 양액의 농도를  $800\mu\text{S}/\text{cm}$ 을 유지하고 광도의 세기는 평균  $15000\text{Lux}$ 로 설정해주었던 1차 재배 실험의 재배조건에서 가장 빠른 성장률을 보였다.
4. 각 작물별로 환경요소 값을 다르게 설정해 주면 각 작물의 성장 속도를 제어할 수 있고, 재배자가 원하는 날짜에 맞추어 작물 성장을 자동으로 제어할 수 있는 스마트 식물 재배기를 설계제작하였다.

## 후 기

“이 논문은 2018학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음”

## REFERENCES

1. Kim, K. Y. and Park, S. G., “Hydroponics”, Osung, Seoul, Korea, pp. 43-127, 1991.
2. Choi, K. Y., Yang, E. Y., Park, D. K., Kim, Y. C., Seo, T. C., Yun, H. K., and Seo, H. D., “Development of Nutrient Solution for Hydroponics of Cruciferae Leaf Vegetables Based on Nutrient-Water Absorption Rate and the Cation Ratio”, Journal of Bio-Environment Control, Vol. 14, No. 4, pp. 289-297, 2005.
3. Ha, S. K., Lee, B. S., Suh, B. S., and Chung, S. J., “Effects of Hydroponic System and Ionic Concentrations on Growth of Lettuce (*Lactuca sativa* L.)”, Journal of Korean Society Horticultural Science(Korea Republic), Vol. 34, No.1, pp. 1-6, 1993.
4. Takagi, T., and Sugeno, M., “Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modeling and Control”, IEEE Transaction on Systems Man Cybernetics, Vol. 15, No.1, 1985.
5. Tanaka, K. and Sugeno, M., “Stability Analysis and Design of Fuzzy Control Systems”, Fuzzy Zets and Systems, Vol. 45, No.2, pp. 135-156, 1992.
6. Sim, S. Y., Lee, S. Y., Lee, W. S., Cho, C. H., Kim, S. J., and Lim, J. W., “Development of Built-in Hydroponics”, Korean Society For Horticultural Science, Vol. 33, p. 117, 2015.
7. Kim, K. S., Lee, K. M., and Jang, I. J., “Development of Automatic Water Manger System in Horticulture”, The Korean Society For Bio-Environment Control, Vol. 1, No. 1, pp. 61-71, 1992.
8. Hong, S. H., “Automatic Control of Growth Environment for Plant Factory”, Ph. D. Thesis, Seoul National University, 1995.
9. Yoon, C. M., Bae, J. H., Lee, D. W., and Jeong, S. H., “A Study on the Lettuce Hydroponics Cultivation using On-off Cotrol in Enclosed Hydroponics Cultivator”, Proceedings of the KSMPE Spring Conference, p. 117, 2017.