

RESEARCH ARTICLE

수경재배 방식에 따른 소형 수직농장 최적화 연구

황민영¹, 박기동¹, 임류갑^{2*}

¹국립순천대학교 스마트농업공학과

²국립순천대학교 융합바이오시스템기계공학과

Study on the Optimization of Small Vertical Farm by Hydroponic Cultivation Method

Min-Young Hwang¹, Ki-Dong Park¹, Ryu-Gap Lim^{2*}

¹Department of Smart Agricultural Engineering, Suncheon National University, Suncheon, Republic of Korea

²Department of Convergent Biosystems Engineering, Suncheon National University, Suncheon, Republic of Korea

*Corresponding author: limrg11@scnu.ac.kr

Abstract

In contrast to the existing large-scale smart farm system, this study was designed and manufactured a vertical farm system that can be used even in small indoor spaces such as homes or offices. Among the hydroponic cultivation methods, the system was designed and manufactured by dividing it into nutrient film technique (NFT) and deep water culture (DWC) cultivation methods. Experiments were conducted indoors without environmental management to identify optimized cultivation methods for romaine blue lettuce. For water environment control, the atmospheric environment and nutrient solution conditions were measured using EC, pH, and temperature and humidity sensors, and a growth survey was conducted. A comparison of production indicated that the DWC cultivation method yielded approximately 109 g higher than the NFT. In addition, a comparative analysis was performed on the leaf area through YOLO v8-based object detection using a camera. The optimal cultivation method of a small vertical farm that can be grown indoors without managing the weather environment was confirmed.

Keywords: vertical farm, hydroponic, nutrient film technique (NFT), deep water culture (DWC)

Introduction

최근 기후변화로 인한 농업 생산 환경의 불안정성이 심화되면서, 안정적인 식량 공급을 위한 대안으로 실내 수직농장이 주목받고 있다. 지난 40년간 전 세계 평균기온은 약 0.8°C 상승했으며, 우리나라는 약 2.4°C 증가한 것으로 보고되고 있다(Kang, 2021). IPCC 제6차 보고서에 따르면, 현재와 유



OPEN ACCESS

Journal of Agricultural Machinery Engineering
5(2):59-68

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.2025.5.2.2>

Received: May 30, 2025

Revised: June 12, 2025

Accepted: June 13, 2025

Copyright: © 2025 Korean Society for Agricultural Machinery



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

사한 수준의 이산화탄소 배출이 지속될 경우, 지구 평균기온은 2021~2040년 사이에 1.5℃ 상승할 것으로 예측한다(IPCC, 2023). 이러한 기후변화는 경지면적 감소, 재배 적지의 변화, 기상이변 등을 초래하여 식자재 생산 및 공급에 문제를 야기하고 있다(Yoo et al., 2022).

세계 곡물 시장은 기후변화, 코로나19 등 여건 변화에 따라 국제 곡물 가격의 변동성이 심화되고 있다. 특히 주요 생산국의 기상이변과 공급망 불안성이 맞물리며, 곡물 가격은 예측 불가능한 등락을 반복하고 있다. 이러한 상황에서, 2050년 까지의 농산물 생산량에 대한 예측에 따르면, 현재 대비 최대 50%까지 생산량이 감소할 가능성이 제기되고 있다. 국내는 2024년 기준 전년 대비 농가는 4천 가구(-0.4%), 농가인구는 9만 9천 명(-4.3%)으로 감소하고 있고 농가인구 65세 이상이 46.8%를 차지하여 우리나라 농촌은 초고령사회로 진입함으로써 농업 위기를 초래하고 있다(Woo et al., 2023).

이와 같은 문제 해결 방안 중 하나로 최근 수직농장이 주목받고 있다. 수직농장은 인공광과 환경 제어 기술을 활용해 실내 구조물 내에서 작물을 다층으로 재배하는 시스템으로, 외부 환경의 제약을 최소화하고 연중 안정적인 생산이 가능하다는 점에서 대안으로 떠오르고 있다. 특히, 수직농장은 도심 내에서의 식량 자급과 녹지공간 확충, 도시 환경 회복, 그리고 주민들의 여가 및 커뮤니티 공간 제공 등 도시민의 삶의 질 향상에 기여하고 있는 것으로 보고되고 있다(Yang, 2015).

수직농장 관련 연구는 다양한 측면에서 여러 요인으로 수행되고 있다. 수직농장에서의 광도 및 광주기 변화가 바질 생육 및 폐놀 함량에 미치는 영향을 분석하였다(Kim and Park, 2023). 동일한 일적산광량(day light integral, DLI)을 기준으로 광도와 광주기를 달리하여 실험한 결과, 광주기 18시간, 광도 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 가장 우수한 생육과 함께 폐놀 함량이 최대치를 기록하였다. 코이어(coir) 배지를 활용하여 포수액 종류와 정식 방식에 따른 수경재배 오이의 생육과 과실 특성을 비교 분석하였다(Lee et al., 2024). 포수액으로는 원수와 배양액을 비교하고, 정식 방식으로는 암면 큐브 묘(rockwool cube, RC), 암면 플러그 묘(rockwool plug, RP), 배지 직접 파종(directly seedings, DS) 방식을 도입하였다. 실험 결과, 배양액을 사용하고 슬라브 내 직접 파종(DS) 방식이 가장 우수한 생육 및 과실 특성을 보였다. 센서와 IoT 기술을 활용하여 온도, 습도, 양액 농도 등의 생육 환경을 실시간으로 모니터링하고, 이를 바탕으로 자동 제어가 이루어지는 수경재배 시스템을 구현하여 생육 환경의 안정성과 관리 효율을 높이는 데 유의미한 결과를 보였으며, 가정용 스마트팜 구현의 가능성을 제시하였다(Peng B et al., 2023). Lee와 Kim은 아쿠아포닉스(Aquaponics) 시스템을 기반으로 한 해당 연구에서는 온도, 습도, 수온, pH 등 다양한 환경 요소를 통합적으로 측정하고 생육 상태를 정량화할 수 있는 센서 기반 모니터링 시스템을 설계하였다(Lee and Kim, 2023). 이러한 접근은 수직농장과 같은 밀폐된 재배 환경에서도 정밀한 생육 분석 및 자동화 기술 도입이 가능하다는 점을 나타내며, 본 연구에서도 유사한 기반 기술을 적용하였다.

국내의 대규모 수직농장은 생산성을 위해 환경 제어 기술을 활용하여 운영되고 있으나, 초기 투자비용이 높고, 고가의 설비와 전문 인력이 필요하여 일반 가정이나 소형 식당 등에서 적용하기에는 현실적인 제약이 크다. 또한, 도시 내 유휴 공간을 활용한 소형 수직농장에 대한 최적화 연구는 부족한 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서는 가정이나 사무공간에서도 대기환경 조절 없이 생육이 가능한 소형 수직농장 재배 장치를 제작하고, 재배 장치의 형태 및 방법에 따른 비교 실험을 통해 수경재배 방법에서 최적의 생육 방식을 도출하였다. 특히, 작물 재배를 처음 접하는 사람들도 부담 없이 재배할 수 있도록 사용자 친화적인 설계를 목표로 하며, 실내 어디서든 키울 수 있는 편리성을 확인하고자 한다. 또한, 객관적인 생육 데이터에 대한 검증을 위해 수작업과 AI 모델인 YOLO V8을 활용하여 비교분석하였다.

Materials and Methods

수경재배 장치

본 연구에서 활용한 수경재배 시스템은 2단 조립식 구조의 32 포트 수경재배 장치로 구성되었다. 주요 구성 요소는 재배 필드, 필드 거치대, 재배 포트, 수중펌프, 양액통, 입출수용 호스, 배지, LED 조명 등이며, 구체적인 사양은 Table 1에 제시하였다. 재배 필드는 PVC 및 GG 관(총 4개)으로 구성하였고, 재배 포트는 플라스틱 재질을 사용하였다. 수중펌프는 20 W 사양의 HJ-950 모델을 적용하였으며, 양액통의 용량은 52 L이다. 배지는 난석과 암면을 혼합하여 사용하였다. 재배방식은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 양액 공급 방식의 차이에 따라 NFT, DWC 방식 두 가지로 나누어 비교하였다. 양액은 수중펌프를 통해 양액통에서 상부 재배 필드로 공급되며, 필드에 형성된 경사에 의해 다시 양액통으로 순환된다.

필드당 8개의 재배 포트를 배치하여 총 4개의 필드를 구성하였고, 전체적으로 32개의 포트가 운용되었다. 양액은 비료 A제와 B제를 각각 1 L당 0.75 L의 비율로 혼합하여 사용하였다. 고광량 LED 조명(GL-100 W)은 백색광을 사용하여 작물의 광합성 촉진을 유도하였으며, 입출수 호스 및 니플은 양액의 흐름 조절 기능을 수행하였다.

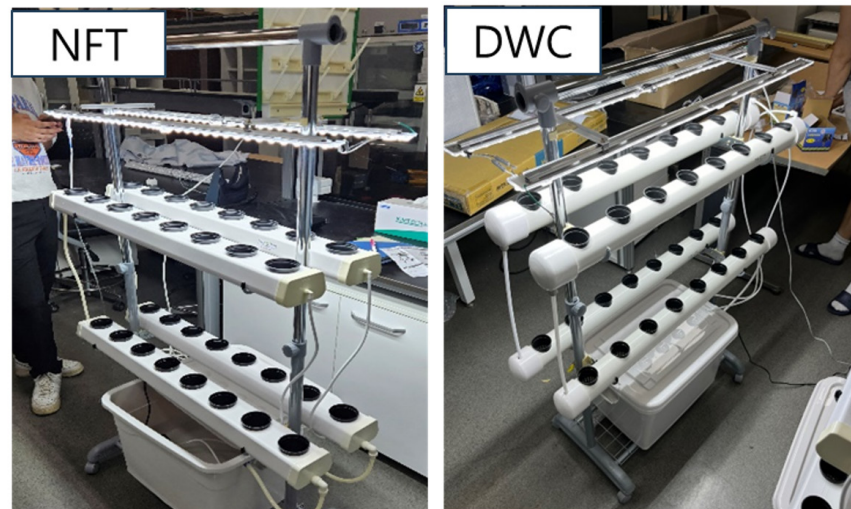


Fig. 1. Small Vertical Farm System in this study.

Table 1. Hydroponic cultivation device detailed composition.

Methods	Item	Specification
NFT	Cultivation Field	material: GG, 65mm*8*4ea, length:105cm
	Cultivation Pot	Ø 55mm*57*32ea
	Circulation Pump	20W
	Nutrient solution tank	52L
	LED	100W
DWC	Cultivation Field	material: PVC, Ø 65 mm*8*4ea, length:105 cm
	Cultivation Pot	Ø 66 mm*68*32ea
	Circulation Pump	20 W
	Nutrient solution tank	52 L
	LED	100 W

재배환경 모니터링 센서

수직농장 시스템의 환경 모니터링을 위해 EC, pH, 온도 및 습도 측정용 센서를 설치하였다. 모니터링은 가정 및 사무실과 유사한 실내 환경에서 최적 생육 조건을 모사하고, 이에 대한 환경 데이터를 수집하는 데에 있다. 사용된 센서는 Fig. 2와 같다. 작물에 공급되는 양액의 pH, EC를 측정하기 위해 HI9814-Groline 센서(Hannah Machinery, Seoul, Korea)를 사용하였다. 온도 및 습도 측정을 위해 CNT-TM100(CONOTEK, Daegu, Korea)를 사용하였으며, 온도는 -20°C 에서 80°C 까지, 습도는 0%~100% 범위에서 각각 측정할 수 있다. 해당 센서는 $\pm 0.2\%$ 의 정확도를 제공한다. pH, EC에 대한 측정데이터 비교를 위해 SUP-PH5018(SUPEA, Hangzhou, China) 유리 전극형 센서를 사용하였으며, pH 0~14 범위에서 ± 0.5 의 정확도를 가지며, 약 7초의 응답 시간을 제공한다.

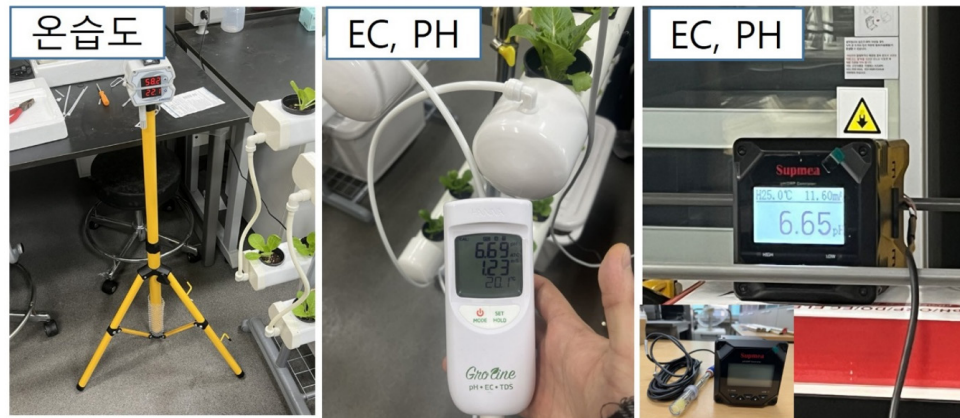


Fig. 2. Environmental monitoring sensor of Small vertical farm.

재배방법 및 작물

NFT 재배 방식은 사각형 형태의 재배 필드를 기반으로, 필드 바닥을 따라 얇고 넓게 양액이 흐르도록 설계되었다. 양액은 바닥면을 따라 5 mm 미만의 얇은 층으로 유지되며, 재배 포트는 필드 바닥에 밀착되어 양액을 흡수한다. 이때 뿌리 대부분은 공기 중에 노출되어 산소 흡수가 원활하게 이루어지며, 이는 작물 생장을 촉진하는 요인으로 작용한다. 해당 방식은 DWC 비교 시 내부 공간이 더 넓은 특징을 지닌다. 생육 초기에는 순환펌프를 24시간 가동하였으며, 생육 중기 이후부터 1시간 간격으로 15분간 작동되도록 설정하였다. DWC 재배 방식은 NFT방식을 결합한 형태로, 원통형 필드 구조를 갖는다. NFT 방식과 동일하게 각 필드에 8개의 포트를 배치하여 총 32개의 포트를 운용하였으며, 동일한 사양의 20W 수중펌프를 사용하였다. 펌프가 작동할 경우, 필드 내부는 약 절반 정도까지 양액이 채워져 담액 상태를 형성하며, 이는 포트가 양액에 직접 닿아 초기 흡수가 용이하도록 한다. 펌프 작동이 중단되면, 출수 니뷸의 소구경 구멍을 통해 양액이 배출되어 박막 상태로 전환되며, 이때 뿌리가 공기 중에 노출되어 산소 공급이 촉진된다. 이러한 방식은 가변 수위를 활용하여 담액식과 박막식 상태를 반복, 작물 생장에 필요한 수분 및 산소 조건을 최적화한다. 혼합식의 경우 생육 초기부터 중기까지 순환 펌프를 동일하게 1시간 간격 15분 작동으로 설정하였다. 재배작물은 로메인 청상추로, 재배 난이도가 낮고 생육 특성이 뚜렷하여 실험에 적합한 품종이다. 묘는 육묘사에서 구입하여 사용하였으며, DWC 방식의 경우 Fig. 3의 우측에 나타난 바와 같이 흙과 난석을 함께 활용하여 이식하였다. NFT의 경우 Fig. 3의 좌측과 같이 뿌리가 공기과 양액에 노출되도록 흙을 제거하고 수경재배용 스펀지에 이식하였다.

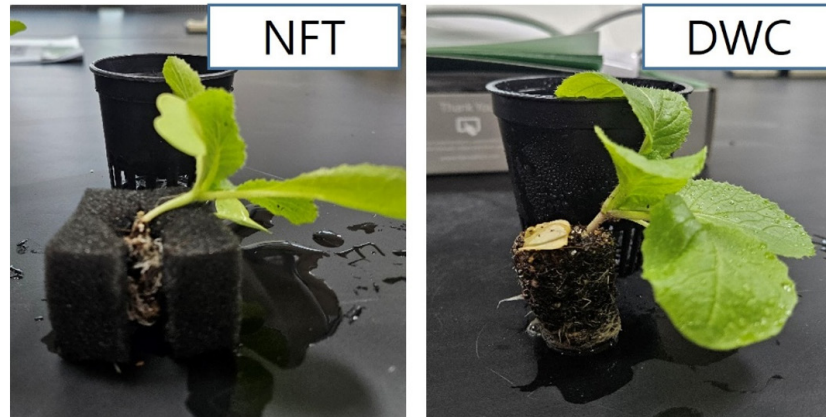


Fig. 3. Cultivation methods and crops used in NFT and DWC.

재배환경 모니터링 방법

본 실험은 소형 수직농장 내 환경 조건과 양액의 pH 및 EC 농도를 측정하여, 환경변화에 따른 재배방식 간 농도 변화를 분석하기 위해 수행되었다. 실험은 2024년 10월 21일부터 12월 11일까지 진행되었으며, NFT 및 DWC 재배 방식 각각에 대해 주 2회 대기 환경과 양액 내 pH 및 EC 농도를 측정하였다. pH 측정 센서의 정확도 검증을 위해 SUP-PH5018 센서를 비교군으로 활용하였고, EC 농도 측정은 HI9814-Groline 센서를 사용하였다. 추가적으로, 12월 10일에는 1시간 간격으로 총 10시간 동안 연속 측정을 수행하여 시간에 따른 pH 및 EC 농도의 변화를 분석하였다.

작물 생육조사 방법

로메인 청상추의 생육 조사는 농촌진흥청 노지작물 생육 조사 매뉴얼에 준하여 수행하였다. 실험은 NFT와 DWC 방식의 각 재배 필드 층별로 4개의 포트를 지정하고, 평균 3일 간격으로 엽 수(개) 및 엽폭(cm)을 측정하였다. 엽 수는 하나의 개체 내에서 완전히 전개한 잎만 기준으로 하였으며, 색이 연하거나 잎의 표면이 시들거나 미전개 상태의 잎은 제외하였다. 엽폭은 완전히 전개된 잎을 대상으로, 가장 넓은 부위의 폭을 수직 방향으로 측정하였고, 엽장은 잎의 기부에서 끝까지의 길이로 정의하여 기록하였다. 측정의 정확도 향상을 위해 조사 기간과 측정 조건은 각 포트 간 동일하게 유지되었으며, 생육 환경의 차이를 최소화하였다. 모든 측정값은 기록지에 소수점 첫째 자리까지 입력하였고, 분석에 앞서 데이터 간 측정 오차 여부를 검증하였다. 이를 통해 재배 방식에 따른 생육 특성 비교의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

YOLO v8을 이용한 객체탐지와 잎 면적 계산

로메인 청상추에 대해 직접 생육조사한 데이터와 비교하기 위해 객체 인식은 YOLOv8(ultralytics, Frederick, USA) 모델을 활용하였다. 학습용 이미지 데이터는 아이폰 16 pro 카메라를 사용하여 일주일 간격으로 촬영하였다. 촬영 시에는 수평 및 수직 각도를 고려하여 카메라 위치를 일정하게 유지하려 하였으나, 앞과 카메라 간의 수직 거리 고정이 어려워 촬영 전에 사전 높이를 측정한 후 촬영을 진행하였다. 객체 탐지 모델 학습을 위해 오픈소스 플랫폼(Roboflow, Iowa, USA)을 활용하였다. 육안 및 사진상 구분이 가능한 생육 시기인 2024년 11월 11일, 11월 20일, 12월 9일의 이미지를 기반으로 데이터셋을 구성하였다. 총 215장의 이미지 중 중복되거나 품질이 낮은 이미지를 제거하고, 판별이 용이한 59장의 이미지를 선정하여 활용하였다. 객체 라벨링은 polygon 형태로 수행하였으며, 모든 이미지에서 동일하게 클래스를 지정하였다. 이 과정을 통해

총 384 개의 객체 인스턴스를 포함하는 학습용 데이터셋을 구축하였다. 데이터는 train과 validation 세트로 구분하여 8:2 비율로 분할하였다. 완성된 데이터셋은 YOLOv8 포맷으로 변환한 뒤 Google Drive에 저장하였다. 모델 학습은 Google Colab 환경에서 수행하였으며, 초기 설정 단계에서 Google Drive 연동과 Ultralytics YOLO 라이브러리 설치를 진행하였다. 모든 데이터 셋을 한 번 학습하는 것을 뜻하는 Epoch는 100, 이미지 크기 640×480, 배치 사이즈 6으로 설정하고, 학습을 실행하였다.

Results and Discussion

수경재배 방식에 따른 생육 결과

재배 방법과 재배 장치 형태에 따라 로메인 청상추를 재배한 후, 시간 경과에 따른 엽폭 및 엽수의 생육 변화를 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 생육 초기에는 모든 처리 간 큰 차이가 없었으나, 정식 20일 이후부터 엽폭과 엽수 모두에서 차이가 확인되었다. NFT 및 DWC 방식 각각 9개 샘플의 생육 데이터를 대상으로 *t*-test를 실시한 결과, 신뢰수준 95%에서 엽폭의 *p* 값은 0.0239, 엽수의 *p* 값은 0.0441로 모두 유의한 차이를 보였다. 정식 30일 후인 12월 9일, 총 18개 포트에 대해 수확량 결과는 Fig. 5에 나타내었다. DWC 방식에서 수확한 상추의 총중량은 330.0 g, NFT 방식은 221.8 g으로, 약 109 g의 차이를 보였다. 동일한 환경에서 로메인 청상추에 대해 두가지 재배 방식으로 재배한 결과, 상단부는 모두 정상적인 생육을 보인 반면, 하단부에서는 Fig. 6과 같이 광 부족으로 인한 생육 저하 및 뿌리 활착 미흡 현상이 나타났다. 이는 광 조건에 따른 환경적 요인에 기인한 것으로 판단된다.

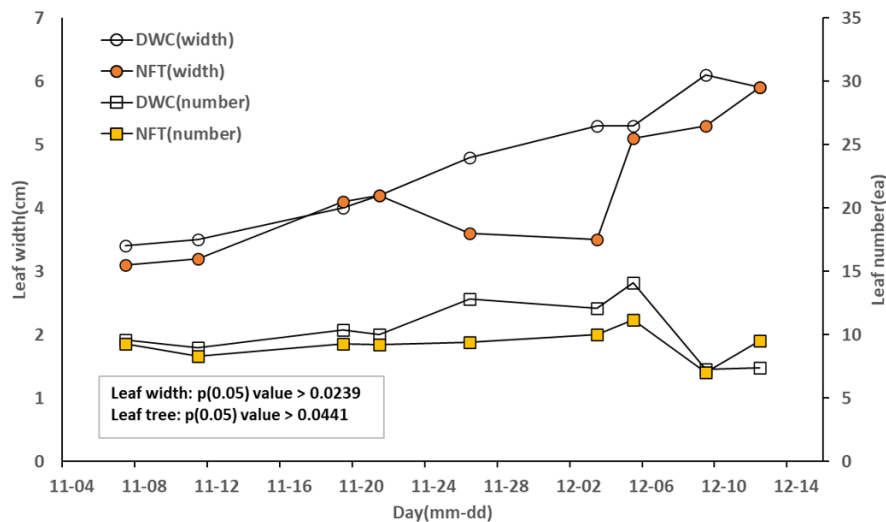


Fig. 4. Growth survey results of the small vertical farm.



Fig. 5. Yield weight results of the small vertical farm.



Fig. 6. Cultivation growth status for the lower part of the small vertical farm.

재배방법에 따른 환경 모니터링 결과

재배 방식에 따른 양액환경(pH, EC)에 대한 모니터링 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 생육 초기에는 모든 처리에서 pH 및 EC 값이 유사하게 유지되었으나, 정식 25일 이후부터 EC 값은 전반적으로 증가하였고, 30일 이후에는 pH 값이 감소하는 경향을 보였다. 이는 뿌리의 생장에 따라 음이온(N, P, S 등) 흡수가 증가하고 생식생장이 촉진된 데 따른 현상으로 해석된다. 박막식 및 혼합식 장치에서 측정된 pH 및 EC 값에 대해 t-검정을 수행한 결과, pH의 경우 p 값이 0.0109로 유의한 차이를 나타냈으며, EC는 p 값이 0.6909로 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 뿌리 활착, 생식생장, 장치 내 공기막 형성 등의 요인에 영향을 받은 결과로 판단된다.

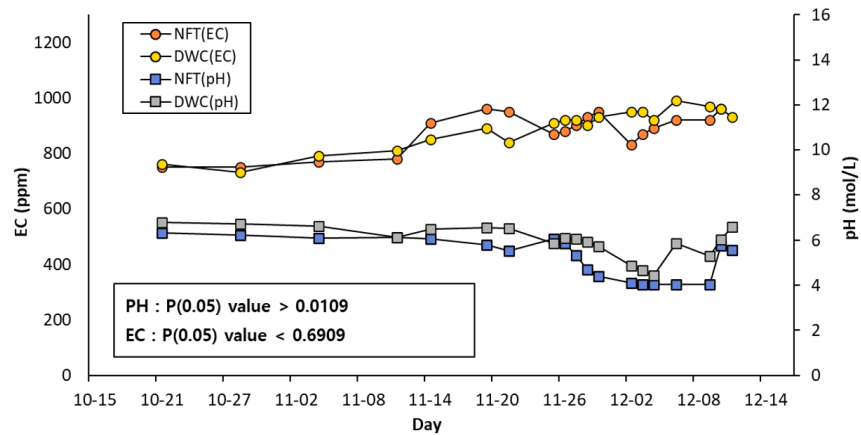


Fig. 7. Nutrient solution environment monitoring results of small vertical farm.

본 연구에서는 별도의 냉난방 장치를 사용하지 않았으며, 계절 변화에 따른 외부 온도 변화가 실험 공간의 대기 환경에 영향을 미쳤다. 온도는 Fig. 8과 같이 초기 22.1~18.5℃ 범위로 측정되었고, 상대 습도는 초기 57.6%에서 30%까지 감소하였다. 해당 실험 환경은 일반적으로 가정이나 사무공간의 실내 환경 조건과 유사한 수준으로 유지되었다고 판단된다.

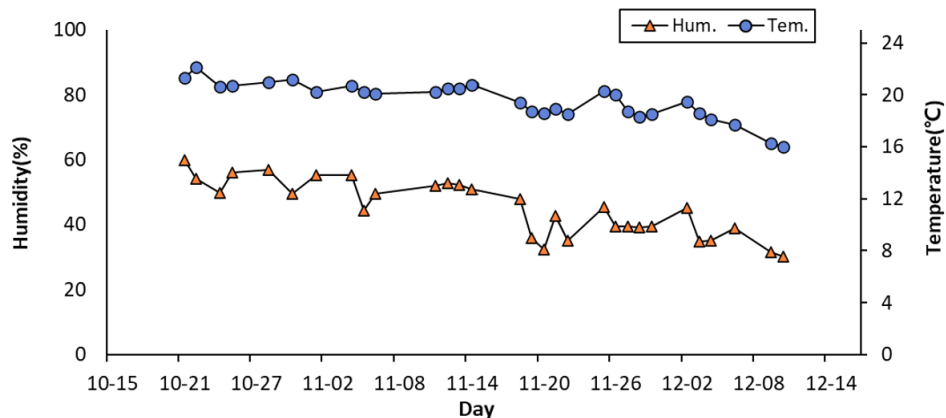


Fig. 8. Atmospheric environment monitoring results of small vertical farm.

생육 조사 및 카메라 영상인식 결과 비교

세 시점의 이미지 데이터를 대상으로 객체 탐지를 수행한 결과, 모든 경우에서 정확도 0.90 이상을 기록하여 높은 검출 성능을 보였다. 잎의 면적 계산을 위해 YOLOv8n-seng 모델을 사용하여 세그멘테이션 학습을 수행하였으며, 입력 이미지는 640×480, 학습은 설정된 Epoch 수를 기준으로 진행되었다. 세그먼트 결과는 날짜 간 큰 차이를 보이지 않았으나, 해당 방식은 가정에서 활용하기에는 실용성이 떨어지는 것으로 판단되었다. 이에 따라, 실제 환경에서는 육안 확인이나 수시 점검이 더 효율적일 것으로 사료된다. 이미지 촬영 시, 잎과 카메라 사이의 수직 간격을 고정하지 않아 촬영 높이에 일관성이 부족하였고, 이는 면적 계산 시 오차 요인으로 작용하였다. 이를 보완하기 위해, 촬영에 앞서 카메라 높이를 사전에 측정 및 고정한 후 촬영을 수행하였다.

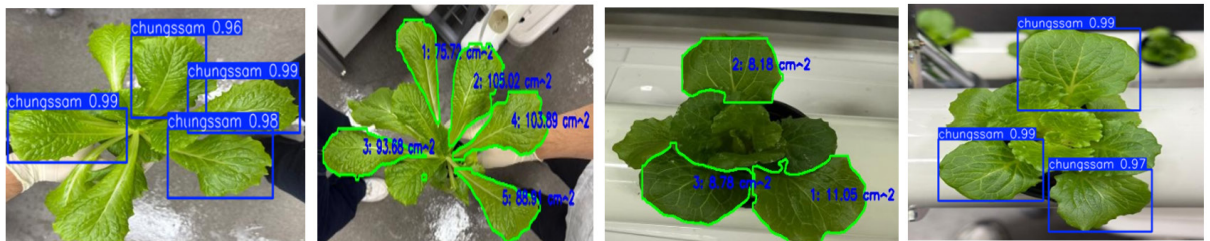


Fig. 8. Area calculation using object detection and images of small vertical farm crops.

Conclusion

기존 스마트팜 수직형 농장 시스템은 주로 330m² 규모로 운영되고 있으나, 본 연구에서는 가정이나 사무실 등 일상적인 실내 환경에서도 손쉽게 활용할 수 있는 소형 수직형 농장 시스템을 제작하고, 이를 통해 최적의 재배 방식을 도출하고자 하였다. 수경재배 방식은 NFT와 DWC를 고려하여 소형 수직농장 시스템을 제작하고 생육 상태를 비교하였다. 실험 기간 동안 EC, pH, 온도, 습도 등의 환경 데이터를 측정하였으며, 온도와 습도는 매일, pH 및 EC 값은 주1회 측정하여 환경 조건을 모니터링하였다. 소형 수직형 농장시스템에서 재배된 로메인 청상추에 대해 매주 2회 생육 조사를 실시하였다. 생산량은 DWC 방식이 NFT 방식 대비 평균 109 g/높게 나타났다. 이는 경제성, 생산성 측면에서 DWC 방식이 상대적으로 우수함을 시사한다. 따라서, 별도의 냉난방 장치 없이도 가정 또는 사무실 수준의 실내 환경에서 효과적으로 활용할 수 있는 소형 수직농장 재배 방식은 DWC 수경재배 방식이 적합할 것으로 판단된다. 또한, YOLOv8 모델을 활용하여 객체 탐지 및 잎 면적 계산을 수행하였으며, 세 시점의 실험 데이터 모두에서 0.90 이상의 높은 정확도를 확인하였다. 그러나 이미지 촬영 시 잎과 카메라 사이의 수직 간격이 일정하지 않아 날짜별 잎 면적 비교에는 일부 오차가 발생하였다. 이에 따라, 향후에는 깊이 카메라를 활용한 입체 정보 기반의 잎 면적 분석 기법을 적용하여 정확도를 높이는 연구가 필요하다. 본 연구는 로메인 청상추 한가지 작물을 대상으로 수행되었기 때문에, 향후 바질, 케일, 허브류 등 실내에서 재배하기 적합한 작물을 대상으로 한 확장 실험과 광의 세기를 변화시킨 조건에서의 최적 성장 조건 도출 연구가 추가로 수행될 필요가 있다.

Acknowledgements

본 논문은 국립순천대학교 교연비 사업에 의하여 연구되었음

References

- Kang DH. Climate Change and the Future of Indoor Farming (2021). [in Korean]
- IPCC 2023. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle>
- Yoo SY, Kim YS, Song SJ. 2022. A Study on the Application of Smart Farms to Respond to Climate Change Using the Balcony of Each Household -Focused on unit households with an exclusive area of 84m² in Seoul for the past 3 years. KISD. Vol.17, no.3, pp. 139-154. [in Korean]
- Woo JK, Choi IS, Kim YH, Yu SW, Moon SP, Lee CG, Lee MH and Choi KS. 2023. Field Test for Regional Adaptability Improvement of Fresh Corn Harvester for Tractors. KSAM 2023 Autumn Conference. 28(2), 199-199. [in Korean]
- Yang WC. 2015. A Study on the Introduction of LED Lighting to Vertical Farm for Urban Agriculture. Journal of the Korean Society of Design Culture. Vol.21, no.2. pp. 335-345. [in Korean]
- Kim SO and Park JS. 2023. Influence of Light Intensity and Photoperiod on the Growth and Phenol Contents of Hydroponic Basil in Vertical Farms. Journal of Bio-Environment Control Vol. 32, No. 4:353-358. [in Korean]
- Lee HS, Bae HJ, Bae JH and Ko B. 2024. Growth and Fruit Characteristics according to Filling and Planting Methods of Coir Medium Hydroponically Grown Cucumber. J. Bio-Env. Con., vol.33(1), pp. 37-44. [in Korean]
- Peng B, Numonov IRU, Yeo SK and Kim TK. 2023. Implementation of IoT-Based Hydroponic Cultivation System. KIOTS. Vol. 9, No. 4, pp. 59-69. KISD. [in Korean]
- Lee HS and Kim JD. 2023. A Design of Growth Measurement System Considering the Cultivation Environment of Aquaponics. JKIIICE, 27(1), 27-33. [in Korean]