

# IoT 기반 수직형 스마트 팜의 설비운영에 따른 지점별 실내온도분석

김한돈<sup>1</sup> · 정민철<sup>2</sup> · 오동근<sup>3</sup> · 조현상<sup>4</sup> · 최세은<sup>5</sup> · 장현승<sup>6</sup> · 김지민<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 건축과 석사과정 · <sup>2</sup>서울과학기술대학교 건축과 석사과정 · <sup>3</sup>서울과학기술대학교 건축학부 학사과정 ·  
<sup>4</sup>서울과학기술대학교 건축학부 학사과정 · <sup>5</sup>서울과학기술대학교 건축학부 학사과정 · <sup>6</sup>서울과학기술대학교 건축학부 교수 ·  
<sup>7</sup>서울과학기술대학교 건축학부 조교수

## Indoor Temperature Analysis by Point According to Facility Operation of IoT-based Vertical Smart Farm

Kim, Handon<sup>1</sup>, Jung, Mincheol<sup>2</sup>, Oh, Donggeun<sup>3</sup>, Cho, Hyunsang<sup>4</sup>, Choi, Seun<sup>5</sup>, Jang, Hyouonseung<sup>6</sup>, Kim, Jimin<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>2</sup>Graduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>3</sup>Undergraduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>4</sup>Undergraduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>5</sup>Undergraduate Student, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>6</sup>Professor, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

<sup>7</sup>Assistant Professor, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

**Abstract :** It is essential for vertical smart farms that artificially grow crops in an enclosed space to properly utilize air environment facilities to create an appropriate growth environment. However, domestic vertical smart farm companies are creating a growing environment by relying on empirical data rather than systematic methods. Using IoT to create a growing environment based on systematic and precise monitoring can increase crop production yield and maximize profitability. This study aims to construct a monitoring system using IoT and to analyze the cause by demonstrating the imbalance of temperature environment, which is a significant factor in crop cultivation. 1) The horizontal temperature distribution of the multi-layer shelf was measured with different operating methods of LED and air conditioner. As a result, there was a temperature difference of “up to 1.7°C” between the sensors. 2) As a result of measuring the vertical temperature distribution, the temperature difference was “up to 6.3°C”. In order to reduce this temperature gap, a strategy for proper arrangement and operation of air conditioning equipment is required.

**Keywords :** Vertical Smart Farm, IoT, Air Uniformity, Indoor Air Temperature, Sensor Monitoring

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

수직형 스마트 팜은 외부환경의 영향을 차단한 상태에서 Information of Communications Technology (ICT) 기술을 활용하여 생육환경을 조성하고 다층 선반에서 작물을 재배하는 농장을 말한다(Kim et al., 2021). ICT 기술을 통해 환경 정보에 대한 정확한 데이터를 기반으로 정밀한 재배가 가능

하여 수확량, 품질 등을 향상시켜 생산의 수익성을 높일 수 있다(Kim et al., 2021).

하지만, 국내 다양한 기업들은 수직형 스마트 팜을 운영하고 있지만 ICT 기술을 효과적으로 활용하고 있지 못하는 실정이다. 수직형 스마트 팜의 국가 기술 경쟁력 확보를 위해 국내에서 다양한 연구 활동이 이루어지고 있으나, ICT 융복합을 위한 연구는 활발히 이루어지고 있지 않기 때문이다(Kim et al., 2021). 수직형 스마트 팜을 운영하는 한 기업에 따르면, 실내 생육환경이 균일하지 못하여 다층 선반의 재배 위치에 따라 작물의 생육상태가 상이한 문제가 발생하고 있다(Fig. 1). 이는 ICT 기술을 적극 활용한 실내 공기 환경 모니터링을 하지 않고, 경험에 의존하여 실내 공기 환경을 관리하고 있기 때문이다.

ICT의 하위 개념인 Internet of Things (IoT)는 인터넷을

\* **Corresponding author:** Kim, Jimin, Assistant Professor, Architectural Engineering Program, School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea  
**E-mail:** jmkim@seoultech.ac.kr

**Received** December 27, 2021; **revised** -

**accepted** January 3, 2022



Fig. 1. Cultivation failure case of vertical smart farm

기반으로 모든 사물을 연결하여 정보를 상호 소통하는 지능형 기술 및 서비스를 말한다. IoT 활용은 농업 분야에 있어서 효율성과 생산성을 향상시킬 수 있다(Parvez et al., 2020). IoT 기술을 통해 다양한 장치를 넓은 지역에 배치하여 데이터를 수집할 수 있기 때문이다(Ramli et al., 2020). 따라서, 수직형 스마트 팜의 재배 공간에 IoT 기술을 접목하여 모니터링한다면 적절한 생육환경을 효과적으로 관리할 수 있다.

## 1.2 연구의 목적

수직형 스마트 팜의 생육환경에 영향을 미치는 요인은 다양하다. 그중 온도는 작물의 성장과 발달 속도에 영향을 미치는 주요한 요인이다(Hatfield & Prueger, 2015). 작물은 고정되어 있기 때문에 주변 온도의 변화를 감지하고 신속하게 대응하기도 한다. 식물의 호흡 속도는 주변 온도가 상승함에 따라 증가한다(Samach & Wigge, 2005). 이렇듯 온도는 작물 수확량의 주요 결정요인이다(Li et al., 2020). 이번 연구에서는 식물 생장의 주요한 요인인 온도로 한정하여 생육환경의 균일성을 분석하고자 한다.

수직형 스마트 팜의 실내 공조는 잘못 운영할 경우 수확량이 줄어들고 품질이 저하될 수 있어 매우 중요하다(Kacira et al., 2018). 대규모 재배 공간에서는 각 선반의 불균일한 공기 순환으로 인해 생육환경의 균일성이 떨어져 생산 품질, 수율 및 속도가 줄어들 수 있기 때문이다(Zhang & Kacira, 2017). Zhang et al. (2016)은 Computational fluid dynamics (CFD) 시뮬레이션을 활용하여 생육환경을 조절할 수 있는 환기 시스템 등 설비의 설계 방안을 연구했다. Kim et al. (2021)은 CFD 시뮬레이션을 활용하여 적정 생육환경 조성을 위해 실험 공간에서 다양한 풍속, 온도, CO<sub>2</sub> 조절 시나리오를 분석하였다. Niam et al. (2019)은 CFD를 활용하여 에어컨의 위치에 따른 온도 분포 및 패턴을 분석하였다. 이렇듯 기존의 연구는 주로 CFD를 활용하여 수직형 스마트 팜 생육환경의 균일성을 분석하였다.

본 연구의 목적은 공조 시스템의 작동으로 인한 수직형 스마트 팜의 실내 온도의 불균형을 실증하고 그 원인을 분석하는 것이다. 이를 위해 CFD 분석이 아니라, IoT 기반 모니터링 시스템 구축을 통해 여러 위치를 동시에 센싱 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 실험 설계

#### 2.1.1 실험공간

실험공간은 4.05m×6.8m×2.7m 규모의 공간으로 <Fig. 2>와 같이 문과 창문이 위치하고 있다. 실험 공간의 높이를 고려하여 정중앙에 5단의 다층 선반을 배치하였다. 선반이 위치한 천장에는 천장형 2way 냉방기가 설치되어 있으며 냉방기는 장방형 공간의 긴 변을 따라 양쪽에서 바람을 내보낸다.

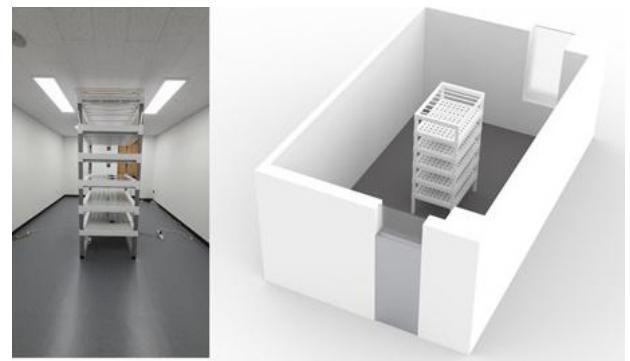


Fig. 2. Experimental space

#### 2.1.2 IoT 기반 모니터링 시스템 구축

온도 측정을 위한 센서의 구성은 <Fig. 3>과 같다. WeMos D1 R1은 와이파이 모듈(ESP-8266)이 내장된 IoT 보드로 센서를 통해 수집한 데이터를 처리하여 와이파이로 송신하는 역할을 한다(Budiharto et al., 2021). DHT22는 온습도를

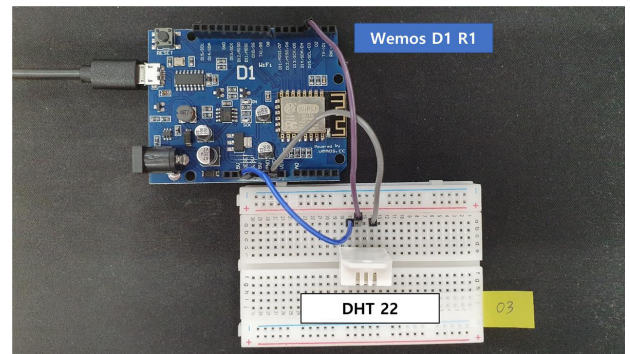


Fig. 3. Sensor configuration

측정할 수 있는 센서로 주변 온도 변화에 따른 저항값의 변화를 통해 온도와 습도를 측정한다. 상온에서 오차는 온도와 습도가 각각  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 2\%$ 이다(Mihai, 2016).

실시간으로 온도를 측정하기 위한 시스템의 구성은 (Fig. 4)와 같다. 실험실에서 측정한 데이터를 원거리 연구실에서 조회하는 방식이다. 실험실에서 측정한 온습도 데이터는 와이파이를 통해 웹서버에 전송되고, 수집된 데이터는 원거리 연구실의 컴퓨터에서 조회 가능하다. 웹서버는 XAMPP라는 오픈소스 크로스 플랫폼 웹 서버 소프트웨어를 활용하여 구성하였다. XAMPP는 웹서버인 Apache, 데이터베이스인 MariaDB를 통합·지원하여 편리하게 웹서버를 구성할 수 있다(Dvorski, 2007). 데이터는 PHP 프로그래밍 언어를 활용하여 웹서버에 코드를 인식시켜 원하는 페이지를 생성하였다. 웹서버에 기록되는 온습도 데이터는 csv 파일로 저장하여 분석할 수 있다.

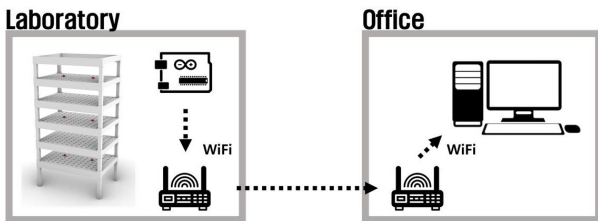


Fig. 4. Structure of the IoT based monitoring system

### 2.1.3 실험 계획

실험은 수평의 온도 분포를 측정하는 A 수평 실험과 수직의 온도 분포를 측정하는 B 수직 실험 2가지로 진행하였다. A 수평 실험의 경우 다층 선반의 중단(3단)에 센서를 5개 설치하였다. (Fig. 5(a))처럼 재배 홀(Hole)의 가장 가장자리에 4개의 센서를 배치하고, 4개의 센서 정중앙에 1개의 센서를 배치하여 온도를 측정하였다. B 수직 실험의 경우는 (Fig. 5(b))처럼 상단(5단), 중단(3단), 하단(1단)에 각각 2개의 센서를 배치하여 온도를 측정하였다.

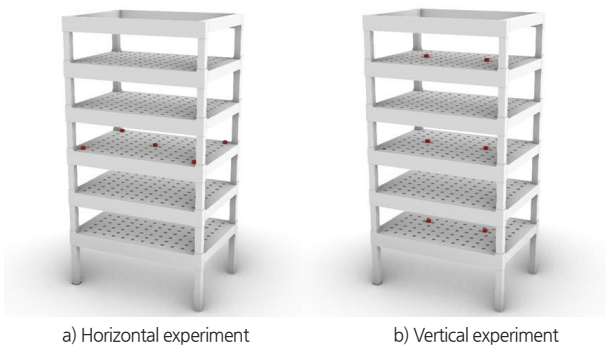


Fig. 5. Position of the sensor according to the experiment

## 2.2 실험 진행 방법

### 2.2.1 A 수평 실험

수평 실험은 5개의 센서를 가지고 3가지 시나리오로 진행하였다. 센서의 세부 배치는 (Fig. 6)과 같으며 실험의 주요 조절 변수는 LED와 냉방기의 바람세기이다: (1) 실험 1: LED를 켜고 바람의 세기를 미약으로 설정; (2) 실험 2: LED를 켜고 바람의 세기를 강으로 설정; (3) 실험 3: LED를 끄고 바람의 세기를 강으로 설정. 실험 2의 경우 2,100초 이후에는 냉방기 가동을 멈춰 온도 변화가 어떻게 일어나는지도 확인하였다. 냉방기의 설정온도는 3가지 실험 모두  $23^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다. 하루 동안 실험을 진행하였으며 실험의 여건에 맞춰 시간을 조절하였다(Table 1). 또한, 실험 간에 영향을 차단하기 위해 앞선 실험이 종료되면 15분간의 자연환기를 수행하였다.

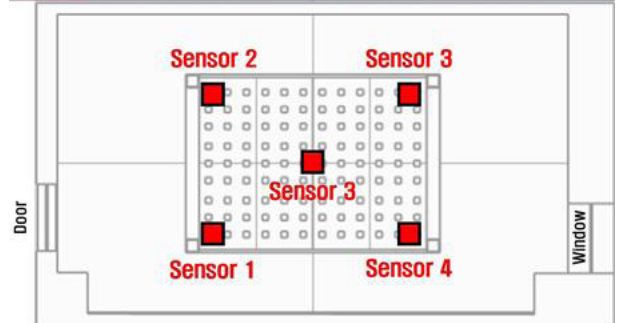


Fig. 6. Detailed position of the sensor (horizontal)

Table 1. Experimental design (horizontal)

Horizontal Experiment	Time (s)	LED	Air conditioner		Number of sensors
			Wind force	Set temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	
experiment 1	3600	ON	weak	23	5
experiment 2	2346	ON	strong	23	5
experiment 3	2100	OFF	strong	23	5

### 2.2.2 B 수직 실험

수직 실험의 경우 6개의 센서를 가지고 3가지 시나리오로 진행하였다. 센서의 세부 배치는 (Fig. 7)과 같으며 실험의 주요 조절 변수는 LED와 냉방기의 바람세기이다: (1) 실험 4: LED를 켜고 바람의 세기를 미약으로 설정; (2) 실험 5:

LED를 켜고 바람의 세기를 강으로 설정; (3) 실험 6: LED를 끄고 바람의 세기를 강으로 설정. 냉방기의 설정온도는 3가지 실험 모두 23°C로 설정하였다(Table 2). 실험의 여건에 맞춰 시간을 조절하였으며, 실험 간의 영향을 없게 하기 위해 앞선 실험이 종료되면 15분간의 자연환기를 수행하였다.

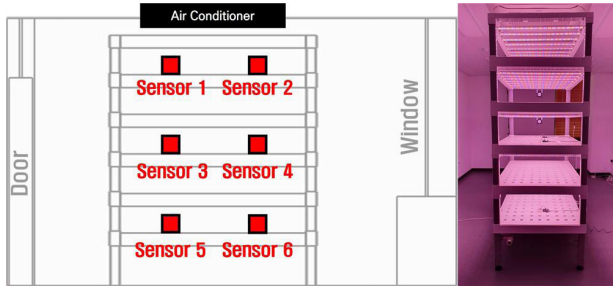


Fig. 7. Detailed position of the sensor (vertical)

Table 2. Experimental design (vertical)

Vertical Experiment	Time (s)	LED	Air conditioner		Number of sensors
			Wind force	Set temp. (°C)	
experiment 4	3600	ON	weak	23	6
experiment 5	2100	ON	Strong	23	6
experiment 6	2100	OFF	Strong	23	6

## 3. 결과

### 3.1 A 수평 실험

#### 3.1.1 실험 1

실험 1은 LED를 켜고 냉방기의 바람세기는 미약으로 설정한 경우이다. 측정에 대한 주요 결과값은 <Table 3>과 같다. 평균온도는 센서 3, 센서 5, 센서 2, 센서 1, 센서 4의 순서대로 높았다. 온도 최고점과 최저점의 차이는 가장 큰 경우 2.3°C, 가장 작은 경우는 1.1°C로 센서 4, 센서 2, 센서 1, 센서 5, 센서 3의 순서로 온도 변화가 크게 나타났다. 센서 간의 최대 온도 격차는 실험 2,426초에 센서 1과 3사이에서 관측되었으며 1.4°C로 측정되었다(Fig. 8). 초반에는 센서 간의 온도가 비슷하다가 갈수록 격차가 발생하였다.

Table 3. Results of experiment 1

Sensor num.	Avg temp. (°C)	High temp. (°C)	Low temp. (°C)	Difference (°C)	Low temp. arrival time(s)
1	24.8	25.9	24.2	1.7	2811
2	25.0	25.9	24.1	1.8	1684
3	25.5	25.9	24.8	1.1	1662
4	24.6	25.9	23.6	2.3	1647
5	25.2	26.1	24.6	1.5	1710

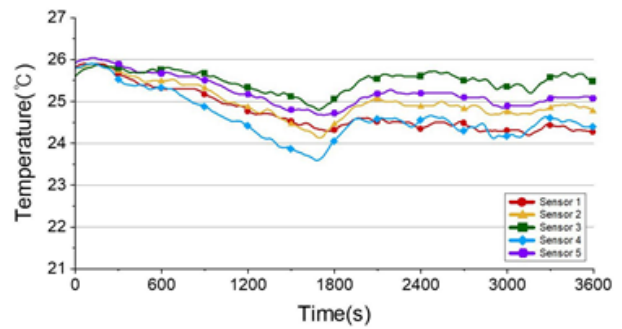


Fig. 8. Graph of experiment 1

#### 3.1.2 실험 2

실험 2는 LED를 켜고 냉방기의 바람세기는 강으로 설정한 경우이다. 측정에 대한 주요 결과값은 <Table 4>와 같다. 평균온도는 센서 3, 센서 5, 센서 2, 센서 4, 센서 1의 순서대로 높았다. 온도 최고점과 최저점의 차이는 가장 큰 경우 2.9°C, 가장 작은 경우는 2.1°C로 센서 1, 센서 2, 센서 5, 센서 4, 센서 3의 순서로 온도 변화가 크게 나타났다. 센서 간의 최대 온도 격차는 실험 1,236초에 센서 1과 3사이에서 관측되었으며 1.7°C로 측정되었다(Fig. 9). 시간이 갈수록 온도 격차가 커지며 2,100초 이후에 냉방기를 끄는 때 온도가 급격히 상승하였다.

Table 4. Results of experiment 2

Sensor num.	Avg temp. (°C)	High temp. (°C)	Low temp. (°C)	Difference (°C)	Low temp. arrival time(s)
1	24.2	26.1	23.2	2.9	1413
2	24.9	26.4	23.9	2.5	1961
3	25.5	26.7	24.6	2.1	1565
4	24.7	26.2	24.0	2.2	1628
5	25.2	26.6	24.3	2.3	1957

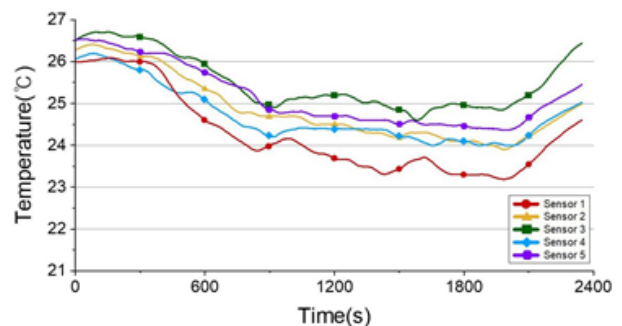


Fig. 9. Graph of experiment 2

#### 3.1.3 실험 3

실험 3은 LED를 끄고 냉방기의 바람세기는 강으로 설정

한 경우이다. 측정에 대한 주요 결과값은 아래 <Table 5>와 같다. 평균온도는 센서 5, 센서 3, 센서 2/센서 4, 센서 1의 순서대로 높았다. 온도 최고점과 최저점의 차이는 가장 큰 경우 2.9℃, 가장 작은 경우는 2.2℃로 센서 3, 센서 1, 센서 2, 센서 4, 센서 5의 순서로 온도 변화가 크게 나타났다. 센서 간의 최대 온도 격차는 실험 1,512초에 센서 1과 3 사이에서 관측되었으며 1.3℃로 측정되었다(Fig. 10). 실험 1과 2와 비교해 보면 시간에 따른 온도 격차가 크게 발생하지는 않았다.

Table 5. Results of experiment 3

Sensor num.	Avg temp. (°C)	High temp. (°C)	Low temp. (°C)	Difference (°C)	Low temp. arrival time(s)
1	23.1	24.8	22.0	2.8	1509
2	23.6	25.1	22.7	2.4	1536
3	23.9	25.7	22.8	2.9	1601
4	23.6	25.1	22.8	2.3	1548
5	24.0	25.3	23.1	2.2	1579

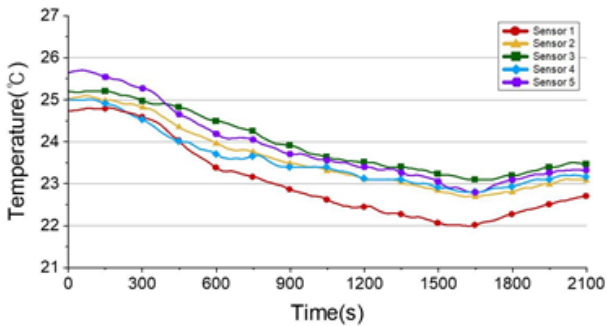


Fig. 10. Graph of experiment 3

### 3.2 B 수직 실험

#### 3.2.1 실험 4

실험 4는 LED를 켜고 냉방기의 바람세기는 약으로 설정한 경우이다. 측정에 대한 주요 결과값은 아래 <Table 6>과 같다. 평균온도는 센서 3, 센서 4, 센서 5, 센서 6, 센서 1, 센서 2의 순서대로 높았다. 온도 최고점과 최저점의 차이는 가장 큰 경우 7.0℃, 가장 작은 경우는 1.2℃로 센서 2, 센서 1, 센서 5, 센서 6, 센서 5, 센서 3의 순서로 온도 변화가 크게 나타났다. 센서 간의 최대 온도 격차는 실험 2,835초에 센서 2와 3사이에서 관측되었으며 6.3℃로 측정되었다(Fig. 11). 센서 1과 2를 제외한 센서의 최대 온도 격차는 2,296초에 센서 3과 5사이에서 관측되었으며 1.0℃로 측정되었다. 시간의 흐름에 따라 온도 격차는 증가하였으며 수직적 높이에 따라 온도 격차를 보였다. 상단부의 센서 1과 2의 온도는 급격한 변화를 보였다.

Table 6. Results of experiment 4

Sensor num.	Avg temp. (°C)	High temp. (°C)	Low temp. (°C)	Difference (°C)	Low temp. arrival time(s)
1	23.5	26.9	21.2	5.7	2753
2	22.0	26.6	19.6	7.0	2834
3	26.2	26.7	25.8	0.9	2866
4	26.1	26.8	25.6	1.2	2039
5	25.9	26.9	25.1	1.8	2956
6	25.8	26.6	24.9	1.7	3015

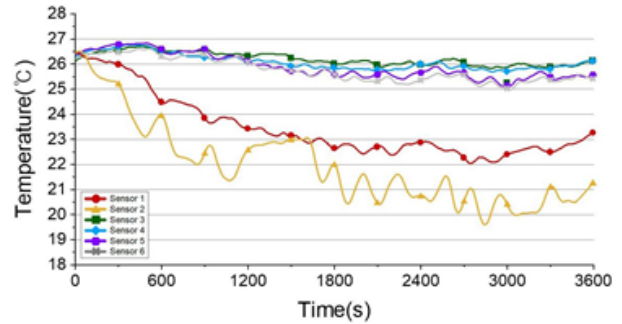


Fig. 11. Graph of experiment 4

#### 3.2.2 실험 5

실험 5는 LED를 켜고 냉방기의 바람세기는 강으로 설정한 경우이다. 측정에 대한 주요 결과값은 아래 <Table 7>과 같다. 평균온도는 센서 3, 센서 4, 센서 5, 센서 6, 센서 1, 센서 2의 순서대로 높았다. 온도 최고점과 최저점의 차이는 가장 큰 경우 5.8℃, 가장 작은 경우는 2.5℃로 센서 1, 센서 2, 센서 5, 센서 3, 센서 4, 센서 6의 순서로 온도 변화가 크게 나타났다. 센서 간의 최대 온도 격차는 실험 1,843초에 센서 2와 4사이에서 관측되었으며 5.8℃로 측정되었다(Fig. 12). 센서 1과 2를 제외한 센서의 최대 온도 격차는 1,620초에 센서 4와 6사이에서 관측되었으며 1.4℃로 측정되었다. 시간의 흐름에 따라 온도 격차가 증가하였으며 역시 수직적 높이에 따라 온도 격차를 보였다. 상단부의 센서 1과 2의 온도는 변화를 보였으나 바람세기를 약으로 설정한 실험 4보다는 변화가 작았다.

Table 7. Results of experiment 5

Sensor num.	Avg temp. (°C)	High temp. (°C)	Low temp. (°C)	Difference (°C)	Low temp. arrival time(s)
1	22.2	25.8	20.0	5.8	1226
2	21.9	24.5	20.0	4.5	1854
3	25.8	27.2	24.7	2.5	1238
4	25.7	27.2	24.7	2.5	1191
5	25.2	26.7	24.1	2.6	1274
6	25.0	26.6	24.1	2.5	1119

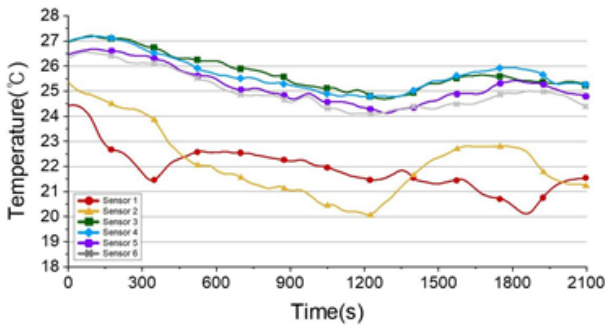


Fig. 12. Graph of experiment 5

### 3.2.3 실험 6

실험 6은 LED를 끄고 냉방기의 바람세기는 강으로 설정한 경우이다. 측정에 대한 주요 결과값은 아래 <Table 8>과 같다. 평균온도는 센서 4, 센서 3, 센서 5, 센서 6, 센서 1, 센서 2의 순서대로 높았다. 온도 최고점과 최저점의 차이는 가장 큰 경우 5.0°C, 가장 작은 경우는 2.9°C로 센서 1/센서 2, 센서 3, 센서 4, 센서 6, 센서 5의 순서로 온도 변화가 크게 나타났다. 센서 간의 최대 온도 격차는 실험 835초에 센서 2와 4사이에서 관측되었으며 5.6°C로 측정되었다(Fig. 13). 센서 1과 2를 제외한 센서의 최대 온도 격차는 235초에 센서 4와 6사이에서 관측되었으며 1.1°C로 측정되었다. 상단부의 센서 1과 2의 온도 변화가 크게 나타났다. 또한, 상단부와 중, 하단부의 온도 격차는 큰 편이었으나 중단부와 하단부 간의 온도 격차는 크지 않았다.

Table 8. Results of experiment 6

Sensor num.	Avg temp. (°C)	High temp. (°C)	Low temp. (°C)	Difference (°C)	Low temp. arrival time(s)
1	21.5	24.8	19.8	5.0	940
2	20.7	23.6	18.6	5.0	833
3	23.9	26.0	22.4	3.6	1971
4	24.1	26.2	22.7	3.5	1927
5	23.8	25.5	22.6	2.9	1896
6	23.5	25.3	22.3	3.0	1893

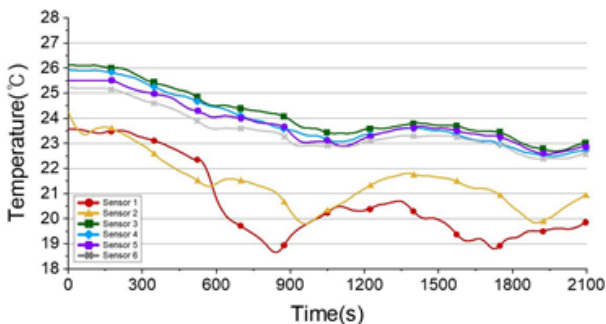


Fig. 13. Graph of experiment 6

## 4. 고찰

### 4.1 A 수평실험

수평 실험 결과 냉방기의 가동으로 인하여 온도 분포가 불균일해지는 현상을 확인하였다(Fig. 14). 실험 1과 2를 비교해 보면 바람의 세기에 따라 최저 온도가 측정된 위치가 센서 4에서 센서 1로 바뀌었는데, 이는 설비의 운영방식에 따라 온도 환경이 달라질 수 있음을 의미한다. LED를 켜 실험 1과 실험 2에서는 센서 3의 온도가 가장 높게 측정되었으나 LED를 끈 실험 3의 경우 센서 3이 아닌 센서 5의 온도가 가장 높게 측정되었다. 이를 통해 실험 1과 실험 2에서 센서 3의 온도가 가장 높은 것은 LED에 가장 많이 노출되어 나타난 결과로 분석되었다. 온도 격차의 경우 실험 1은 최대 1.4°C, 실험2는 최대 1.7°C, 실험3은 최대 1.3°C로 나타난 것으로 보아 설비를 적극적으로 운영할 때 온도 격차가 더 발생함을 알 수 있었다. 같은 단의 선반 내에서도 1°C 이상의 온도 격차를 보이는 것으로 보아 온도를 균일하게 하는 전략이 필요한 것으로 분석되었다.

실험 2의 경우 1,800초 이후에는 냉방기의 가동을 멈추었는데 온도가 급격히 상승한 것으로 보아 LED가 수직형 스마트 팜 내부 온도를 상승시키는데 주요한 역할을 하는 것으로 분석되었다. 또한, 냉방기 바람세기를 강하게 했을 때 온

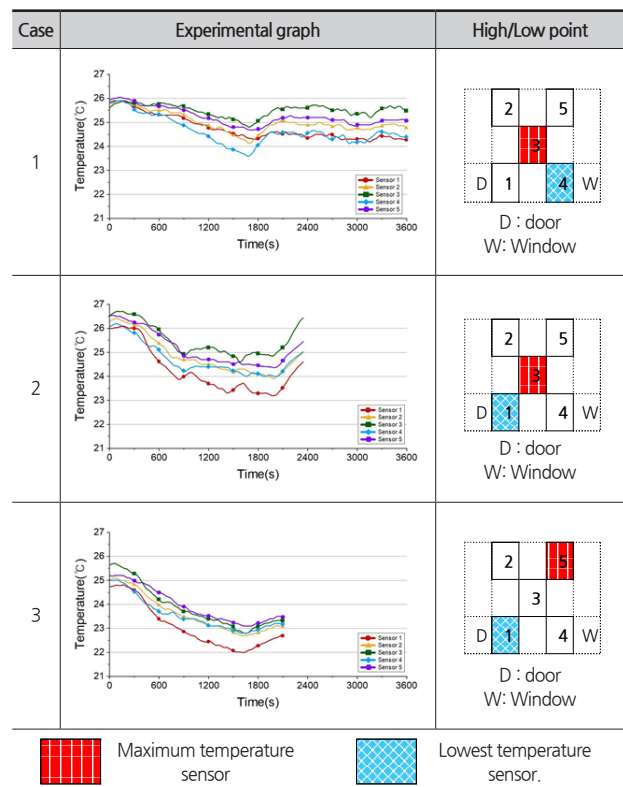


Fig. 14. Overall result of horizontal experiment

도가 더 급격하게 하강하는 것을 확인하였으며, LED를 켜올 때가 LED를 켜올 때보다 온도의 변동이 더 많음을 확인하였다.

#### 4.1 B 수직실험

수직 실험 결과 냉방기의 가동으로 인하여 온도 분포가 불균일해지는 현상을 확인하였다(Fig. 15). 모든 실험에서 냉방기와 가까운 센서 1, 센서 2의 온도 변동이 크게 일어남을 확인하였다.

온도 분포의 경우 냉방기와 가까운 상단이 가장 온도가 낮았고, 하단보다는 중단의 온도가 높았다. 이는 온도의 층화 현상에 기인한 것으로 분석되었다. 냉방기의 영향을 많이 받는 상단을 제외하고 중단과 하단의 센서 온도만을 비교해 본 결과 최대 온도 격차가 실험 4의 경우는 1.0°C, 실험 5의 경우는 1.4°C, 실험 6의 경우는 1.1°C인 것으로 나타났다. 실험 4와 실험 6과는 다르게, 실험 5는 LED를 켜고 바람의 세기를 강하게 하였다. LED와 바람세기 2가지 요인을 모두 극단적으로 사용할 때 온도 격차가 더 발생한 것으로 보아 설비를 적극적으로 운영할 때 온도 격차가 더 발생한다는 결과를 도출하였다. 수직형 스마트 팜에서 LED를 끄기는 불가능하므로 수직의 온도 격차를 줄이기 위해서는 바람의 세기를 조절하는 전략이 유효한 것으로 분석하였다.

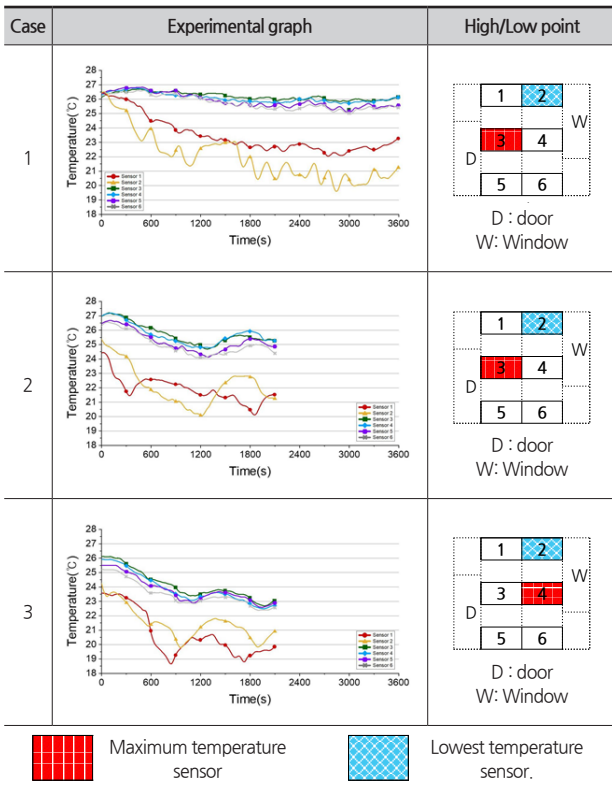


Fig. 15. Overall result of vertical experiment

## 5. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구를 통하여 수직형 스마트 팜에 설치하는 다층 선반의 위치별 실측 온도 데이터를 효과적으로 수집할 수 있었다. 실험실에서 측정된 데이터는 무선통신 방식을 통해 공간적으로 분리된 연구실에서도 조회할 수 있도록 시스템을 구성하였다. IoT를 활용하여 연구를 진행한 결과 공조설비 및 LED를 가동하게 되면 온도 분포가 불균일하게 형성됨을 실증하였다. 수평 실험의 경우 선반의 한 단 내에서도 최대 1.7°C의 온도 격차를 보였고, 수직 실험의 경우 다층 선반의 위치에 따라 최대 6.3°C의 온도 격차를 보였다. 수평 실험을 통해서는 LED에 영향을 받는 위치와 설비의 운영방식에 따라 온도 격차가 발생함을 분석하였고, 수직 실험을 통해 공조설비에 가까이 위치할수록 온도 변화가 더 빈번해짐을 분석하였다. 두 실험 모두에서 냉방기의 바람세기가 강할 때보다 바람세기가 약할수록 온도의 위치별 균일성이 확보됨을 알 수 있었다.

수직형 스마트 팜의 경우 건물 내에서 공기 환경 설비를 운영하면서 작물을 기를 수밖에 없다. 공기 환경 설비의 무분별한 운용은 재배 공간의 온도를 불균일하게 만드는 주요 원인이 된다. 온도가 불균일해지면 작물을 고르게 생육하는데 방해요소로 작용하게 되므로 공기 환경 설비의 적절한 배치와 운영이 중요하다.

본 연구는 수직형 스마트 팜의 다층 선반 위치에 따른 온도만을 임의의 실험실에서 단기간 측정하였다. 따라서 향후 연구에서는 본 실험을 조금 더 확장시켜 실제 스마트 팜 공간에 더 많은 수의 센서를 설치하여 장기간 공기 환경의 변화를 모니터링하고 분석할 예정이다. 또한, 온도만이 아닌 작물의 생육에 영향을 미치는 온도, 습도, 풍속, 조도 등 다양한 요인들을 측정하여 이러한 요인들이 공기의 균일성에 미치는 영향과 상관관계를 분석할 예정이다. 다양하게 수집된 모니터링 데이터를 기초로 수직형 스마트 팜의 공기 환경 균일성을 확보할 수 있도록 공기 환경 설비의 설치 및 운영에 대한 전략도 연구할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행된 결과의 일부임.

## References

Budiharto, W., Andreas, V., Irwansyah, E., Suroso, J.S., and Gunawan, A.A.S. (2021). "IMPLEMENTATION OF

- WEMOS D1 FOR WI-FI BASED CONTROLLER TANK-BASED MILITARY ROBOT." *ICIC express letters, Part B, Applications: an international journal of research and surveys*, 12(4), pp. 377-382.
- Dvorski, D.D. (2007). "Installing, configuring, and developing with Xampp." *Skills Canada*.
- Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. (2015). "Temperature extremes: Effect on plant growth and development." *Weather and climate extremes*, 10, pp. 4-10.
- Kacira, M., Mattson, N., Dickson, R., and Lopez, R. (2018). "Urban crop production in vertical farms." *Produce Grower, USA*, <<https://www.producegrower.com>> (Mar, 26, 2018)
- Kim, Y.G., Jung, G.M., and Lim, J.S. (2021). "Internet of Things Communication Technology Research Trend in Smart Farm Environment." *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Korea Institute Of Communication Sciences, 38(8), pp. 11-18.
- Kim, H.D., Jung, M.C., Jang, H.S., and Kim, J.M. (2021). "Development of an Air Quality Monitoring Systems Optimized for Vertical Smart Farm." *Proceedings of the 2021 Spring Annal Conference of AIK, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA*, 41(1), pp. 473-474.
- Kim, H.D., Jung, M.C., Choi, S.E., Cho, H.S., Oh, D.G., Jang, H.S., and Kim, J.M. (2021). "Analysis of Indoor Air Temperature by Point of the Vertical Smart Farm Using IoT." *Proceedings of the 2021 Autumn Annal Conference of AIK, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA*, 41(2), pp. 383-384.
- Kim, H.D., Lee, J.A., Choi, S.E., Jang, H.S., and Kim, J.M. (2021). "Development of Building System for Achieving an Optimal Growth Environment in a Vertical Smart Farm." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 22(4), pp. 3-10.
- Li, X., Shi, W., Broughton, K., Smith, R., Sharwood, R., Payton, P., Bange, M., and Tissue, D.T. (2020). "Impacts of growth temperature, water deficit and heatwaves on carbon assimilation and growth of cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.)." *Environmental and Experimental Botany*, 179, p. 104204.
- Mihai, B.O.G.D.A.N. (2016). "How to use the DHT22 sensor for measuring temperature and humidity with the arduino board." *Acta Universitatis Cibiniensis – Technical Series*, 68, pp. 22-25.
- Niam, A.G., Muharam, T.R., Widodo, S., Solahudin, M., and Suchayo, L. (2019). "CFD simulation approach in determining air conditioners position in the mini plant factory for shallot seed production." *In AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 2062(1), p. 020017.
- Parvez, B., Haidri, R.A., and Verma, J.K. (2020). "IoT in Agriculture." *In 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation*, IEEE, pp. 844-847.
- Ramli, M.R., Daely, P.T., Kim, D.S., and Lee, J.M. (2020). "IoT-based adaptive network mechanism for reliable smart farm system." *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, p. 105287.
- Samach, A., and Wigge, P.A. (2005). "Ambient temperature perception in plants." *Current opinion in plant biology*, 8(5), pp. 483-486.
- Zhang, Y., and Kacira, M. (2017). "Analysis of environmental uniformity in a plant factory using computational fluid dynamics (CFD) analysis." *In International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant* 1227, pp. 607-614.
- Zhang, Y., Kacira, M., and An, L. (2016). "A CFD study on improving air flow uniformity in indoor plant factory system." *biosystems engineering*, 147, 1

---

**요약** : 밀폐된 공간에서 인공적인 방법으로 작물을 재배하는 수직형 스마트 팜은 공기 환경 설비를 적절히 활용하여 적절한 생육환경을 조성하는 것이 중요하다. 하지만 국내 수직형 스마트 팜 기업들은 체계적인 방법이 아닌 경험적 데이터에 의존하여 생육환경을 조성하고 있다. IoT를 활용하여 체계적이고 정밀한 모니터링을 토대로 생육환경을 조성한다면 작물의 생산 수율을 높이고 수익성을 극대화할 수 있다. 본 연구의 목적은 IoT를 활용하여 모니터링 시스템을 구성하고, 작물 재배에 주요한 요인인 온도 환경의 불균형을 실증하여 그 원인을 분석하는 데 있다. LED와 냉방기의 가동 방식을 달리하며 1) 다층 선반의 수평 온도 분포를 측정하고 결과 센서 간에 "최대 1.7°C"의 온도 격차를 보였다. 2) 수직 온도 분포를 측정하고 결과 "최대 6.3°C"의 온도 차이를 보였다. 이러한 온도 격차를 줄이기 위해서는 공조설비의 적절한 배치와 운영 방식에 대한 전략이 필요하다.

**키워드** : 수직형 스마트 팜, 사물인터넷, 공기 균질성, 실내 온도, 센서 모니터링

---