

온실 내부 온도 센서의 최적 위치 실시간 판별

양 오 석*, 임 동 혁*, 김 태 현*, 김 만 중*, 이 정 호*, 박 성 진*, 이 흥 로**, 백 정 현^o

Real-Time Determination of the Optimal Location of the Greenhouse Environment

Oh-Seok Yang*, Dong-Hyeok Im*, Tae-Hyun Kim*, Man-Jung Kim*, Jeong-Ho Lee*,
 Seong-Jin Park*, Hong-ro Lee**, Jeong-Hyun Baek^o

요 약

국내 스마트 온실에서 사용 중인 복합환경제어는 온실 내부의 특정 위치에 있는 환경 센서에서 수집되는 데이터를 기준으로 제어하는 것이 대부분이다. 비닐온실은 유입되는 외부 환경에 따라 내부 환경이 수시로 변화된다. 같은 온실에도 다른 환경 상태가 존재함에도 불구하고 단일값으로 제어하는 것은 내부 환경의 불균일성을 초래하며, 작물 재배 기간 증가 및 생산량 저하 등의 문제를 일으킨다. 본 연구에서는 표준편차를 이용하여 온실 내부의 온도 균일성을 분석하고, 군집화를 이용하여 온실 내부의 대표값을 추정하는 센서 위치를 도출했다. 본 연구의 시스템을 이용하여 실시간으로 센서의 최적 위치를 판별했을 때 센서의 최적 개수는 2~4개로 나타났으며, 온실 내부 온도의 표준 편차에 따라 센서의 최적 위치가 다르게 나타났다. 기존 제약된 유선 데이터 수집 장치를 유무선 겸용 센서로 구성하여 유동적으로 이동할 수 있게 구성하여 온실 내부 변화에 따른 환경 적응형 온실 정밀 제어 연구가 가능할 것으로 본다.

키워드 : 온실, 센서, 온도, 균일도, 군집화

Key Words : Greenhouse, Sensor, Temperature, Uniformity, Cluster

ABSTRACT

Most of the complex environmental controls used in smart greenhouses in Korea are controlled based on data collected from environmental sensors located at specific locations inside the greenhouse. The internal environment of a vinyl greenhouse frequently changes depending on the external environment flowing in. Even though different environmental conditions exist in the same greenhouse, controlling them with a single value causes non-uniformity of the internal environment and causes problems such as increased crop cultivation period and reduced production. In this study, the temperature uniformity inside the greenhouse was analyzed using standard deviation, and the sensor location that estimates the representative value inside the greenhouse was derived using clustering. When the optimal location of sensors was determined in real time using the

* 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호:RS-2021-RD010195)의 지원에 의해 이루어진 연구입니다.

• First Author : National Institute of Agricultural Sciences Department of Agricultural Engineering, dhtjr9596@gmail.com 학생회원

^o Corresponding Author : National Institute of Agricultural Sciences Department of Agricultural Engineering, butterfly@korea.kr, 정희원

* National Institute of Agricultural Sciences Department of Agricultural Engineering, imdh1004@korea.kr; thkim8205@korea.kr, 정희원; mj0403@korea.kr; ljh09150915@korea.kr, 정희원; psj8475@korea.kr, 정희원

** Kunsan National University Department of Computer Information Engineering, boiselee@kunsan.ac.kr

논문번호 : 202307-144-0-se, Received June 29, 2023; Revised October 6, 2023; Accepted October 16, 2023

system of this study, the optimal number of sensors was found to be 2 to 4, and the optimal location of sensors varied depending on the standard deviation of the temperature inside the greenhouse. By configuring the existing limited wired data collection device with a wired and wireless sensor so that it can move flexibly, it is expected that research on precise greenhouse control that adapts to the environment according to changes within the greenhouse will be possible.

I. 서 론

1.1 국내 시설 재배 현황

국내 시설원예 면적은 1970년 3,272ha에서 2021년 82,810ha로 증가했으며, 생산량은 139,542kg에서 2,280,122kg으로 증가했다¹⁾. 그러나 무분별한 사업지원과 금융위기, 농가의 경영부실 증가로 인해 2000년 중반 이후 정부 보조 비율이 줄어들어 시설재배면적이 감소세로 돌아섰다²⁾.

스마트 온실은 시설원예와 정보통신 기술을 접목하여 생육 환경을 자동으로 적정하게 유지할 수 있는 농장이다³⁾. 스마트 온실의 주요 기술은 데이터 분석, 수직농장, 작물용 조명, 센서 기술 및 인공지능 등이 있다⁴⁾. 기술 수준과 적용에 따라 스마트 온실을 세대별로 정의할 수 있다. 1세대는 실시간 모니터링과 원격제어, 2세대는 빅데이터, 인공지능 및 클라우드를 활용한 지능형 자동 제어, 3세대는 농업용 로봇과 에너지 최적화를 이용한 무인 자동화이다^{3, 4)}. 최근 국내의 농업환경은 개방화, 고령화 등의 구조적 문제로 인한 농업의 성장, 소득 및 수출이 정체되는 현상을 해결하기 위해 스마트팜 청년 창업생태계 조성, 산업인프라 구축, 확산 거점으로서 스마트팜 혁신밸리 조성 등을 추진전략으로 설정했고, 2020년 기준 국내 스마트팜은 5,985ha에 보급되어있으며, 1세대 보급 비중은 84.2%, 2세대는 15.8%이다⁵⁾. 향후 경쟁력 강화와 규모화된 스마트 온실의 보급을 위해서 더욱 정밀하고 안정적인 시스템이 필요하다.

1.2 온실 내부 환경 센서 위치

국내 온실은 내부의 특정 위치에서 측정된 센서의 데이터가 온실 전체의 환경을 대표하는 것으로 제어되고 있다. 이러한 측정방식은 국외의 외부환경과 차단된 형태의 밀폐형 온실에는 적합하나, 외부 환경에 따라 변화되는 국내 온실 환경에는 적합하지 않다. 국내 온실의 경우 온실 내부의 온도, 습도, CO₂ 등의 환경이 균일하지 못하며⁶⁾, 온실 내부 환경이 불균일하면 작물 재배 기간 증가 및 생산량과 품질 저하를 일으킨다. 이에 대해 내부 환경의 균일도를 확인하고 불균일을 해

결하기 위한 관련 연구와 적정 센서 위치를 탐색하는 연구가 필요하다.

균일도 분석은 온실 유형과 난방방식별 균일도 분석⁶⁾, 순환팬 설치 조건에 따른 온실 내 온습도 분포 분석⁶⁾, 온실 내 미기후 균일화를 위한 위치별 데이터 측정 시스템 설계⁷⁾ 등이 있다. 온실 유형과 난방방식별 균일도 분석 연구에서는 토마토 재배 온실의 난방과 환기 및 공기 유동 관련하여 실태를 조사하고 온실 유형과 난방방식별 온습도 분포를 실측하여 균일도를 분석한다⁵⁾. 순환팬 설치 조건에 따른 온실 내 온습도 분포 분석 연구는 순환팬 설치 조건에 따른 온실 내 온습도에 미치는 영향을 조사한다⁶⁾. 온실 내 미기후 균일화를 위한 위치별 데이터 측정 시스템 설계 연구에서는 온실 내 온습도의 균일성 여부를 확인하기 위해 유선 센서 125개를 온실 내 설치한다. 온실 내 센서 데이터는 1분 간격으로 저장되며, 웹서비스를 이용하여 실시간으로 데이터 변화를 가시화한다⁷⁾. 온실 내부에서의 온도 최적화를 위한 센서 위치 설정에 대한 연구는 크게 2가지 진행되었다. 하나는 대기 온도 변화가 큰 영역을 검출하기 위한 최적의 센서 위치 선정을 하는 연구로 온실 내 9개 지점에서 측정된 온도 데이터를 활용하여 모니터링 위치의 가능한 조합을 모두 평가하고 센서의 개수에 따른 최적의 센서 배치를 선택했으나 측정된 9개 지점이 같은 높이(0.9m)에 배치되어 있어 온실 내부의 전체 온도 변화를 반영하지 못했다⁸⁾. 다른 하나는 센서를 통한 온실 내부 환경의 적절한 데이터와 센서 비용 감소를 위한 최적 센서 수 및 위치에 관한 연구로 딸기 온실 내 56개의 센서를 설치하고 최적의 센서 위치를 선택하기 위해 기계 학습 알고리즘을 사용하여 3~5개의 센서가 적당한 것으로 나타났다⁹⁾. 해당 연구에서 대상 작물인 딸기는 생육 높이가 일정하여 높이는 고려하지 않고 온실의 x, y축에 대한 센서의 적정 위치를 표현했다. 본 연구는 토마토의 성장점 높이 변화를 반영하기 위해서 x, y, z축을 기준으로 일정한 간격으로 배치된 60개 센서에서 수집된 온도 데이터에 군집화를 이용하여 센서의 최적 개수와 위치를 판별하는 차이점이 있다.

본 연구는 온실에서 수집하고 있는 여러 환경 데이터

중에서 온도를 중심으로 온실 내부의 온도 변화 중심점을 찾기 위하여 데이터 군집화 방법 중 K-Means++를 사용하며, 군집의 개수를 정하기 위해 실루엣 계수를 사용한다. 도출된 온실 내부 온도의 군집과 중심점에 ANOVA(Analysis Of Variance)를 이용하여 결과에 대한 검증을 진행한다.

II. 본 론

2.1 온실 환경 데이터 수집

데이터는 토마토를 재배하고 있는 전라북도 전주시에 위치한 국립농업과학원 농업공학부 첨단디지털온실의 수경 온실 1개 동(512㎡, 16m×32m×8.55m)에서 수집하였다. 첨단디지털온실의 수경 온실은 외부환경에 노출된 기온 비닐온실과 달리 내부창과 공조실 외부창의 연동계폐로 외부환경에 대응하여 적극적인 대응이 가능한 반밀폐형 비닐온실 구조를 취하고 있다. 온실 내부의 대기 순환을 통해 온도, 습도, CO₂ 등의 환경제어를 할 수 있도록 공조실이 별도로 구성되어 있다. 또한, 온실 하단의 온도를 높이기 위한 튜브 레일 시스템을 사용하고 있다.

시험 온실 내 온도 변화의 중심점을 찾기 위해 2022년 11월 8일부터 2023년 5월 31일까지 데이터를 수집했다. 수집된 기간 중의 2월과 5월 중 각 계절 주기의 온도 변화의 차이를 도출하고, 센서의 고장으로 인해 같은 값을 보이는 이상치와 결측치가 없는 2023년 5월 1일부터 2023년 5월 31일까지의 데이터를 이용하여 온실 내 대표온도를 측정하는 유효값을 분석한다.

본 연구에서는 반밀폐형 온실의 환경 제어를 위한 내·외부 환경측정 센서와 온실 내부 환경의 균일 분포 시험 데이터를 수집하기 위한 별도의 환경측정 센서를 설치하여 데이터를 수집한다. 온실 외부 환경은 온도, CO₂, 풍속, 풍향, 일사량, 감우를 측정한다. 온실 내부 환경은 온실 제어를 작동하기 위한 시스템과 연계된 온실 중앙의 백엽상에서 온도, 상대 습도, CO₂ 를 수집한다. 환경제어는 온실 내·외부에서 수집된 환경 데이터를 기준으로 환기, 차광, 단열, 포그, 순환팬, 냉난방, 양액 및 CO₂ 등의 시스템을 하나의 대시보드에 구현한 복합환경제어 통합시스템을 활용한다. 온실 내부 환경의 균일 분포 시험 데이터를 수집하기 위해 온도, 상대 습도, CO₂ 를 실시간으로 측정하는 60개의 센서가 설치되어있다. 60개의 센서는 온실을 가로 10m, 세로 4m, 재배 베드부터 높이 1m 간격으로 3×4×5로 구성되었다.

그림 1은 60개 센서 중 하나의 센서를 보여주며, 개



그림 1. 온습도 복합센서
Fig. 1. Temperature and Humidity Combination Sensor

별 센서는 복사열로 인한 이상 데이터 수집을 방지하기 위해 알루미늄 외관으로 구성되어 있다. 센서 그룹은 상단 마스터 센서와 연결된 하단의 슬레이브 센서는 RS-485 통신을 통해 마스터 센서로 데이터를 보내며, 마스터 센서의 Wi-Fi를 통해 클라우드 데이터 서버에 전송된다. 표 1은 센서에 대한 성능을 나타낸 것이다. 온도 센서의 측정 범위는 -40℃ ~ 80℃이며, 오차는 ±0.5℃이다. 상대 습도 센서의 측정 범위는 0 ~ 100%이며, 오차는 ±2%이다. CO₂ 센서의 측정 범위는 0 ~ 5,000ppm으로 오차는 ±50ppm이다.

표 1. 온실 환경 데이터 수집 센서 스펙
Table 1. Greenhouse environmental data collection sensor specifications

Item		Spec.
Operate Voltage		DC +5V ± 10%
Output CH.	Network	Wi-Fi 1CH, RS-485 1CH
	Measurement	1CH
Precision	Temperature	± 0.5℃
	Humidity	± 2%
	CO ₂	± 50ppm
Function	ID Setting	Self ID Set Function, 5Bit
	1:N Communication	1:N = Master:Slave Communication support
	User Interface	Built-in WEB UI
Con.	Top	WI-FI Top NMS
	Sub	RS-485 Sub Extension
Range	Temperature	-40~80℃
	Humidity	0~100%
	CO ₂	0~5000ppm
Size		74mm × 74mm × 110mm

2.2 데이터 군집화

온실 내부에서 수집된 60개 환경측정 센서 데이터에서 유사한 데이터들을 그룹으로 나누기 위해 사용하는 군집화는 목적과 방법에 따른 다양한 알고리즘이 존재

한다. K-Means 알고리즘은 임의의 지점을 선택하고 해당 지점을 중심점으로 전체 데이터에서 중심점과의 거리를 측정하고 가장 가까운 중심점으로 배치하여 군집화한 후 각 군집의 중심점을 다시 선정하는 과정을 반복하는 알고리즘으로 쉽고 간결하다. 그러나 비지도 알고리즘의 특성상 군집의 수를 결정하는 중심점의 수와 초기 임의의 지점을 설정하는 방식을 사용자가 임의로 결정해야 하므로 사용하기에는 복잡하다. Mean Shift는 K-Means와 비슷하지만, 거리 중심이 아니라 밀도가 가장 높은 곳으로 중심점을 이동하며 군집화를 수행하는 방법으로 미리 군집의 개수를 정할 필요가 없으나 알고리즘의 수행 시간이 오래 걸린다. DBSCAN은 밀도 기반 군집화의 대표적인 예시로 데이터의 분포가 기하학적으로 복잡한 데이터 세트에도 효과적인 군집화가 가능하다.

본 연구에서는 센서의 최적 위치를 실시간으로 판별하기 위해 K-Means++ 기법을 사용하며, 적정 군집 수를 파악하기 위해 실루엣 계수를 사용한다. K-Means는 각 군집의 평균을 이용하여 K개로 묶는 방법으로 군집에 속하는 데이터와 중심점과의 거리를 최소화한다¹⁰⁾. K-Means는 초기 중심점을 무작위로 선정하여 군집이 흩어져있으면 중심점의 이동이나 변화가 없을 수 있다. K-Means++은 K-Means의 중심점 무작위 설정으로 인한 문제점을 해결하는 방법으로 중심점을 선택할 때 처음 선택한 중심점과 가장 거리가 먼 곳의 데이터를 중심점으로 선택한다⁹⁾. 실루엣 계수는 군집화 결과를 평가하는 지표로 그 데이터가 속한 군집 내의 유사도와 인접한 군집의 유사도를 비교하는 방식이다. 또한, K-Means++ 군집화를 진행할 때 거리 알고리즘은 서로 다른 시계열 데이터를 얼마나 유사한지 판단하는 알고리즘인 DTW(Dynamic Time Warping)를 이용한다¹¹⁾.

III. 실험

3.1 온실 내 온도 균일도 분석

본 연구에서 온실 내부 환경의 온도 균일도를 확인하기 위해 60개의 온습도 센서를 그림 2와 같이 3x4x5 배치로 설치했다. 그림 3은 첨단디지털온실 수경 1번 온실에 설치된 60개 센서 데이터가 데이터베이스에 저장된 그림으로 2022년 11월 8일부터 2023년 5월 31일까지 총 21,513,474개의 데이터가 저장됐으며, 센서 1개당 294,475개 데이터가 저장됐다.

그림 4와 그림 5는 2023년 2월과 2023년 5월의 온도 데이터를 1시간 평균 및 최댓값과 최솟값을 나타낸 것이다. 2023년 2월 온도 데이터에서 온도의 표준편차가

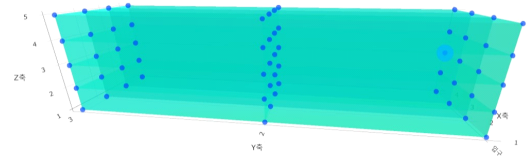


그림 2. 첨단디지털온실 60개 센서 배치
Fig. 2. High-tech Digital Greenhouse II 60 Sensor Deployment

GE_IN_ID	GB_INNER_FA_ID	GE_SENSOR_NO	GE_IN_TIME	GE_IN_TEMP	GE_IN_HUMI
129.030.856	34	0	2022-11-08 00:00:00.000	15.6	61.61
129.030.591	34	11	2022-11-08 00:00:01.000	14.9	64.6
129.030.592	34	12	2022-11-08 00:00:01.000	15	64.4
129.030.593	34	13	2022-11-08 00:00:02.000	15.3	66.7
129.030.594	34	14	2022-11-08 00:00:02.000	15.9	63
129.030.595	34	15	2022-11-08 00:00:02.000	16.2	68
129.030.611	34	26	2022-11-08 00:00:06.000	14.9	63.7
129.030.612	34	1	2022-11-08 00:00:06.000	15.7	63.9
129.030.613	34	27	2022-11-08 00:00:06.000	15.1	62.7
129.030.614	34	2	2022-11-08 00:00:06.000	15.6	60.7
129.030.615	34	28	2022-11-08 00:00:06.000	15.5	62
129.030.616	34	3	2022-11-08 00:00:06.000	16	59.4
129.030.617	34	4	2022-11-08 00:00:06.000	15.9	61.4
129.030.618	34	29	2022-11-08 00:00:06.000	15.6	60.3
129.030.619	34	5	2022-11-08 00:00:06.000	15.8	60.7
129.030.620	34	30	2022-11-08 00:00:06.000	16.1	60.9
129.030.631	34	31	2022-11-08 00:00:09.000	15.1	61.2
129.030.632	34	32	2022-11-08 00:00:09.000	15.6	62.6
129.030.633	34	33	2022-11-08 00:00:10.000	15.4	61.8
129.030.634	34	34	2022-11-08 00:00:10.000	15.3	63.6
129.030.635	34	35	2022-11-08 00:00:10.000	16.1	60
129.030.671	34	46	2022-11-08 00:00:22.000	14.8	62.2

그림 3. 첨단디지털온실 60개 센서 데이터
Fig. 3. High-tech Digital Greenhouse II 60 Sensor Data

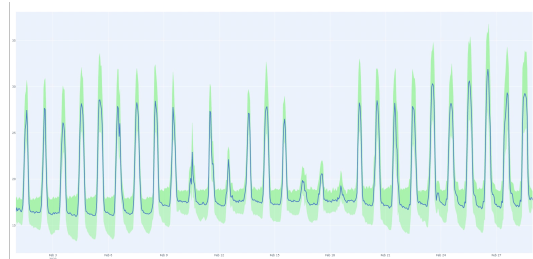


그림 4. 첨단디지털온실 2월 온도 그래프
Fig. 4. High-tech Digital Greenhouse II February Temperature Graph

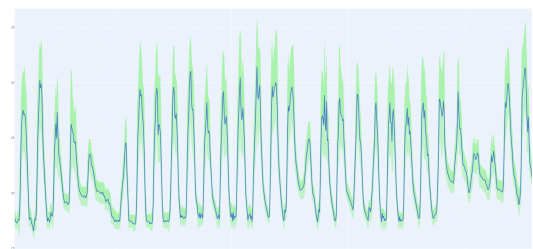


그림 5. 첨단디지털온실 5월 온도 그래프
Fig. 5. High-tech Digital Greenhouse II May Temperature Graph

가장 높았던 때는 2월 27일 16시로 3.01이며, 표준편차가 가장 작았던 때는 2월 18일 17시로 표준편차는 0.37이다. 2월 27일 16시에 온실 내부 온도는 평균 26.2℃, 최대 33.4℃, 최소 19℃이며, 외부 온도와 일사량은

11.6℃, 228.7W/m²이다. 2월 18일 17시에 내부 온도는 평균 18.3℃, 최대 19.2℃, 최소 17.5℃이며, 외부 온도와 일사량은 9℃, 0W/m²이다. 2023년 5월 온도 데이터에서 온도의 표준편차가 가장 높았던 때는 5월 15일 13시로 표준편차는 10.8이며, 표준편차가 가장 낮았던 때는 5월 8일 23시로 표준편차는 0.15이다. 5월 15일 13시에 온실 내부 온도는 평균 29.1℃, 최대 35.1℃, 최소 24.3℃이며, 온실 외부 온도와 일사량은 27.2℃, 862.2W/m²이다. 5월 8일 23시의 온실 내부 온도는 평균 17.4℃, 최대 18℃, 최소 17℃이며, 온실 외부 온도는 9.9℃이다.

그림 6과 그림 7은 첨단디지털온실에서 측정된 2023년 2월과 5월의 시간에 따른 표준편차를 산포도로 가시화한 것이다. 그림에서 색상은 일사량을 나타내고, x축과 y축은 각각 시간과 표준편차를 나타낸다. 10시에서 16시 사이 일사량이 높을 때 표준편차도 높게 나타났으며, 17시부터 다음날 8시 사이 일사량이 낮을 때 표준편차도 낮게 나타났다.

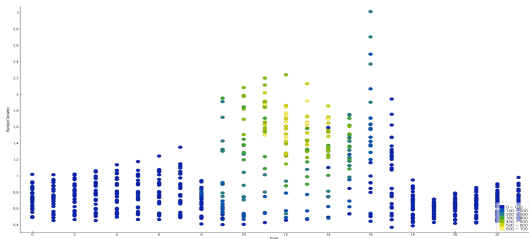


그림 6. 첨단디지털온실 2월 표준편차 산포도
Fig. 6. High-tech Digital Greenhouse II February Standard Deviation Distribution

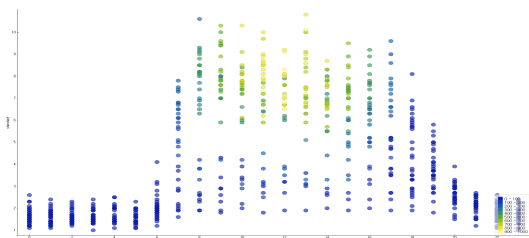


그림 7. 첨단디지털온실 5월 표준편차 산포도
Fig. 7. High-tech Digital Greenhouse II May Standard Deviation Distribution

3.2 실시간 온실 내부 환경 센서의 최적 위치 판별

그림 8은 실시간 온실 내부 환경 센서의 최적 위치 판별을 위한 흐름도이다. 본 연구에서 센서의 위치를 실시간으로 파악하기 위해 측정된 시점부터 3시간 이전의 60개 센서 데이터를 이용하며, 해당 데이터에 Standard Scaler를 이용하여 데이터의 범위를 조정한다

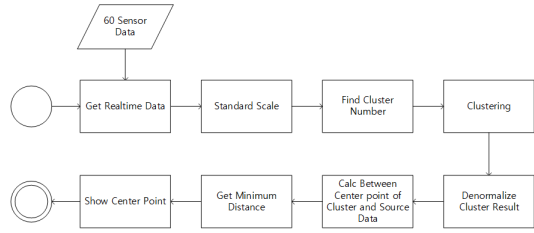


그림 8. 실시간 온실 내부 환경 센서의 최적 위치 판별 흐름도
Fig. 8. Flowchart for determining the optimal location of a real-time greenhouse internal environment sensor

다. 군집화를 진행하기 전 군집의 수를 2부터 10까지 1씩 증가하면서 실루엣 계수를 추출하여 가장 높은 실루엣 계수를 가진 군집의 개수를 선정한다. 범위가 조정된 60개 센서 데이터에 대해 K-Means++와 DTW 알고리즘에 실루엣 계수를 통해 선정된 군집의 개수를 이용하여 군집화를 진행한다. 군집화 결과로 나온 중심점에 대한 데이터와 원본 데이터를 DTW로 비교하여 유사도가 높게 나온 센서를 최적 위치로 판별한다.

그림 9와 그림 10, 그림 11은 2023년 5월 16일 11시부터 14시까지의 데이터를 이용하여 군집화를 진행한 것이다. 그림 9는 군집의 최적 개수를 정하기 위해 사용된 실루엣 계수에 대한 그래프이다. 그림 10과 그림 11은 군집의 개수를 그림 9에서 결정된 3개로 설정하여 K-Means++ 군집화를 진행한 그래프이다. 그림 10은 60개 센서의 온도 그래프를 군집 별로 표현한 것이다. x축은 시간, y축은 온도를 나타낸다. 각 군집의 중심점을 마커로 표시하고 해당 군집의 온도 범위를 영역으로 표시했다. 그림 11은 센서의 위치별 군집을 표시했다. 사각형과 원형은 속하는 군집을 나타내며, 속이 채워진 도형은 해당 군집의 중심점을 나타낸다.

그림 10과 그림 11에서 온도가 높은 구간, 중간 구간,

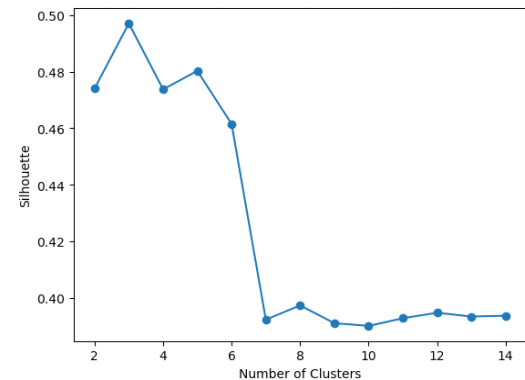


그림 9. 실루엣 계수 그래프
Fig. 9. Silhouette Coefficient Graph

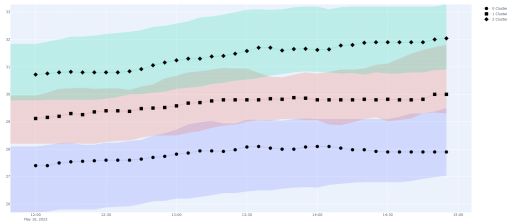


그림 10. 군집의 온도 분포 그래프
Fig. 10. Temperature distribution graph of the cluster

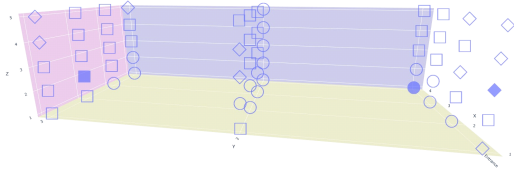


그림 11. 센서 위치별 군집 분포도
Fig. 11. Cluster distribution by sensor location

낮은 구간으로 군집이 이루어진 것을 볼 수 있다. 온도가 높은 구간은 최고 33.28℃, 최저 29.78℃이고, 중간 구간의 온도는 최고 30.96℃, 최저 28.2℃이며, 온도가 낮은 구간은 최고 29.5℃, 최저 25.7℃이다. 높은 구간에 포함된 센서는 온실 좌측에 밀집해 있고, 중간 범위에 속한 센서는 대부분 온실 후면에 밀집해 있으며 전면과 중앙에도 7~9개 있다. 낮은 범위의 군집은 온실 우측 하단에 존재한다. 본 연구의 대상 온실 입구가 남향에 있고, 5월 16일 11시부터 14시까지의 전주 기준 태양이 방위각 125°~236°, 고도 72°~63°에 있어서 이러한 결과를 보인다.

그림 11에서 온실 내부 환경 센서의 최적 개수는 3개로 보인다. 온도가 높은 군집에서의 중심점은 온실 입구 좌측에서 높이 3m에 있는 센서이다. 중간 온도의 군집에서의 중심점은 온실 후면에서 높이 2m, 좌측에서 8m 떨어진 위치에 있는 센서이다. 온도가 낮은 군집의 중심점은 온실 입구 우측에서 높이 1m 떨어져 있는 센서이다.

IV. 결 과

본 연구에서 진행한 온실 내부 환경 센서의 최적 위치 판별 시스템에 대한 검증을 위해 ANOVA를 진행했다. ANOVA는 다수의 집단 간 분산의 비교를 통해 만들어진 F-분포를 이용하여 가설검정을 하는 방법이다. F-분포는 분산의 비교를 통해 얻은 분포 비율로 집단 간 분산과 집단 내 분산을 비교하여 하나의 집단에 대한 평균이 다른 집단과 차이가 있는지 확인한다. ANOVA는 모든 평균과 분산이 같다는 귀무가설과 모

두 같지 않다는 대립가설을 세운다. 이때, 가설검정을 위한 확률 측도로 p-값을 사용한다. 일반적으로 p-값이 0.05보다 작으면 대립가설, 0.05보다 크면 귀무가설에 해당한다^[2]. 본 연구에서의 대립가설은 군집화가 잘 이루어져 센서의 최적 위치 판별이 된 것이며, 귀무가설은 군집화가 잘 이루어지지 않아 센서의 최적 위치 판별이 안 된 것이다.

그림 12와 표 2는 60개 센서 데이터를 2023년 5월 1일 0시부터 5월 31일 23시까지 1시간씩 증가시키며 3시간 간격으로 온실 환경 센서 최적 위치 판별을 수행한 후 ANOVA를 진행하여 시간별로 군집의 유의미한 차이가 있는 대립가설에 해당하는 날짜와 귀무가설에 해당하는 날짜의 개수를 표현한 것이다. 그림 12의 x축은 시간, y축은 p-값의 개수, 색상은 p-값이 0.05 초과했

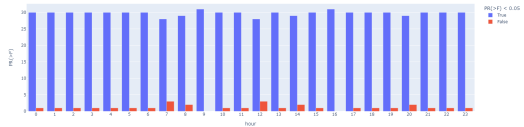


그림 12. ANOVA PR(>F)의 값 개수
Fig. 12. Number of values in ANOVA PR(>F)

표 2. ANOVA 대립가설과 귀무가설의 시간별 개수
Table 2. Number of ANOVA Alternative Hypothesis and Null Hypothesis by Time

시간 \ 가설	대립가설	귀무가설
0-3	30	1
1-4	30	1
2-5	30	1
3-6	30	1
4-7	30	1
5-8	30	1
6-9	30	1
7-10	28	3
8-11	29	2
9-12	31	0
10-13	30	1
11-14	30	1
12-15	28	3
13-16	30	1
14-17	29	2
15-18	30	1
16-19	31	0
17-20	30	1
18-21	30	1
19-22	30	1
20-23	29	2
21-24	30	1
22-01	30	1
23-02	30	1

는지를 나타낸다. 그림 12와 표 2에서 시간마다 31일 결과 중 1~3일의 결과를 제외한 군집의 p-값이 0.05 이하로 대부분의 군집이 대립가설에 만족하여 유의미한 차이가 있다는 것을 보인다. 이는 본 연구의 시스템을 이용하여 온실 내부 온도 센서를 군집화했을 때 겹치는 온도 범위가 거의 없도록 군집화가 되었으며, 각 군집의 중심점이 해당 군집의 대표 온도 센서라고 할 수 있는 최적의 위치로 적절하게 선정된 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 온실 내부 온도의 균일도 및 센서의 최적 위치를 판별하기 위해 가로 3개, 세로 4개, 높이 5개로 배치된 60개 센서를 이용했다. 센서의 상위 모듈은 하위 모듈들과 RS-485 통신을 이용하여 데이터를 수신했으며, Wi-Fi 모듈을 이용하여 무선으로 데이터를 전송했다. 데이터는 농업공학부 내 클라우드 서버의 데이터베이스 인터페이스로 저장됐다. 저장된 60개 센서의 데이터를 이용하여 2023년 2월과 5월의 온도 분포를 분석했을 때 10시부터 16시 사이 일사량이 높을 때는 표준편차도 높게 나타나며, 17시부터 다음날 8시 사이 일사량이 낮을 때는 표준편차도 낮게 나타났다.

센서의 최적 위치를 판별하기 위해 군집화 방법인 K-Means++와 군집화 결과를 평가하는 지표인 실루엣 계수를 사용했다. 본 연구의 결과로 센서의 최적 개수는 2~4개로 나타났다. 또한, 온실 내부 온도의 표준편차가 높으면 온실 입구와 중앙의 센서가 최적 위치의 센서로 나타났고, 온실 내부 온도의 표준편차가 낮으면 온실 중앙의 센서로 나타났다. 이는 기존 온실에 설치된 환경 데이터를 수집하는 백엽상이 상하 이동을 통해 온실 환경을 수집하는 것보다 작물 생육 상태와 계절에 따른 위치 이동이 필요함을 보여준다. 또한, 그림 12와 표 2에서 2023년 5월 1일부터 5월 31일까지의 데이터에서 대립가설에 만족하는 날짜는 약 96.1%이며, 이는 군집화가 잘 이루어져 센서의 최적 위치 판별이 잘 된 것을 나타낸다.

본 연구에서는 온도 데이터로 균일도 분석 및 센서의 최적 위치 판별을 진행했으며, 습도와 CO₂ 를 이용하고 여러 지형적 특성을 가진 온실에서 데이터를 수집하면 좀 더 심화된 연구가 가능하다. 추후 본 연구를 활용하여 계절과 온습도에 따라 온실 내 대표 환경 값을 생육 환경과 연계하고, 온실복합환경제어기를 통해 정밀 제어가 가능할 것으로 본다. 또한, 기존 제약된 유선 데이터 수집 장치를 유무선 겸용 센서로 구성하여 유동

적으로 이동할 수 있게 구성하여 온실 내부 변화에 따른 환경 적응형 온실 정밀 제어 연구가 가능할 것으로 본다.

References

- [1] H. J. Bang, *Greenhouse status of facility vegetables and vegetable production performance in 2021*, MAFRA, 2022.
- [2] C. S. Lee, *Smart agriculture, facility horticulture, yesterday and today*(2021), Retrieved Mar. 15, 2023. from <http://www.newsam.co.kr/news/article.html?no=33759>
- [3] J. Y. Byun, *Analysis on the status and future development of Smart Farming projects*, NABO, 2022.
- [4] KOTRA, *2022 Smart Farm Overseas Expansion Strategy Report*, 2022.
- [5] S. W. Nam and Y. S. Kim, "Analysis on the uniformity of temperature and humidity according to environment control in tomato greenhouses," *J. Bio-Environ. Control*, vol. 18, no. 3, pp. 215-224, Aug. 2009.
- [6] T. S. Lee, G. C. Kang, Y. Paek, J. P. Moon, S. S. Oh, and J. K. Kwon, "Analysis of temperature and humidity distributions according to arrangements of air circulation fans in single-span tomato greenhouse," *Protected horticulture and plant factory*, vol. 25, no. 4, pp. 277-282, Nov. 2016. (<https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.4.277>)
- [7] J. H. Baek, D. H. Im, T. H. Kim, O. S. Yang, and J. S. Lee, "Design of sensor data acquisition by location for microclimate uniformization in facility greenhouse," in *Proc. Korea Contents Assoc. Conf.*, pp. 327-328, Daejeon, Korea, Aug. 2021.
- [8] S. Y. Lee, I. B. Lee, U. H. Yeo, R. W. Kim, and J. G. Kim, "Optimal sensor placement for monitoring and controlling greenhouse internal environments," *Biosystems Eng.*, vol. 188, pp. 190-206, Oct. 2019. (<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.005>)
- [9] D. D. Uyeh, A. Akinsoji, S. Asem-Hiablie, B. I. Bassey, A. Osinuga, R. Mallipeddi, M.

Amaizu, Y. Ha, and T. Park, "An online machine learning-based sensors clustering system for efficient and cost-effective environmental monitoring in controlled environment agriculture," *Computers and Electron. in Agric.*, vol. 199, pp. 1-14, 2022. (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107139>.)

- [10] S. W. Lee, "Comparison of initial seeds methods for K-Means clustering," *JICS*, vol. 13, no. 6, pp. 1-8, 2012. (<https://doi.org/10.7472/jksii.2012.13.6.1>)
- [11] S. D. Kim, Y. J. Jeon, and H. J. Oh, "Analysis of PM10 data using spatio-temporal correlation clustering and time series similarity," *J. Korean Data & Inf. Sci. Soc.*, vol. 32, no. 6, pp. 1259-1279, 2021. (<https://doi.org/10.7465/jkdi.2021.32.6.1259>)
- [12] M. S. Park and H. J. Jung, "Classification of industry-university cooperation foundation using k-means clustering," *J. Next-generation Convergence Technol. Assoc.*, vol. 6, no. 12, pp. 2324-2332, 2022. (<https://doi.org/10.33097/jncta.2022.06.12.2324>)

양 오 석 (Oh-Seok Yang)



2018년 2월 : 군산대학교 컴퓨터 정보공학과 졸업
2021년 2월 : 군산대학교 컴퓨터 정보공학과 석사
2021년 3월~현재 : 군산대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정
<관심분야> 객체지향시스템, 빅

데이터, 스마트팜

[ORCID:0000-0001-5016-6146]

임 동 혁 (Dong-Hyeok Im)



1999년 2월 : 성균관대학교 생물 기전공학과 석사
2005년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 박사
2016년 4월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 연구관
<관심분야> 객체지향시스템, 빅

데이터, 스마트팜

[ORCID:0000-0003-1204-8274]

김 태 현 (Tae-Hyun Kim)



2011년 2월 : 세종대학교 컴퓨터 공학과 박사수료
2019년 1월 : (주)아이앤씨테크 놀로지 책임연구원
2019년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사
<관심분야> HCI, 인공지능, 스

마트팜

[ORCID:0000-0002-4478-667X]

김 만 중 (Man-Jung Kim)



2022년 2월 : 전북대학교 기계시스템공학과 박사
2023년 1월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 전문연구원
2023년 2월~현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 연구사
<관심분야> 농업 로봇, 농업자동

화, 자동화시스템

[ORCID:0000-0003-0600-489X]

이 정 호 (Jeong-Ho Lee)



2015년 2월 : 성균관대학교 생명
공학과 석사
2022년 8월 : 성균관대학교 바이
오메카트로닉스 박사
2022년 9월~현재 : 농촌진흥청
국립농업과학원 전문연구원
<관심분야> 영상처리, 인공지능,
스마트팜

[ORCID:0009-0003-4088-7064]

이 흥 로 (Hong-ro Lee)



1986년 2월 : 전북대학교 전자계
산기학과 석사
1994년 8월 : 전북대학교 전산응
용공학과 박사
2002년 4월~현재 : 군산대학교
컴퓨터정보공학과 교수
<관심분야> 객체지향시스템, GIS,
스마트 팜

박 성 진 (Seong-Jin Park)



2018년 8월 : 순천대학교 산업기
계공학과 학사
2020년 2월 : 순천대학교 산업기
계공학과 석사
2022년 4월~현재 : 농촌진흥청
국립농업과학원 전문연구원
<관심분야> 스마트팜, 자동화 온
실, 농업로봇

[ORCID:0000-0001-8808-6686]

백 정 현 (Jeong-Hyun Baek)



2016년 2월 : 군산대학교 컴퓨터
정보공학 박사
2020년 1월 : 농촌진흥청 국립농
업과학원 전문연구원
2020년 2월~현재 : 농촌진흥청
국립농업과학원 농업연구사
<관심분야> 스마트팜, 클라우드
컴퓨팅, 데이터분석

[ORCID:0000-0002-5867-2171]