

전 략 체 계	안정 - 6 - 2		구 분	세부완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	C02	작목구분코드	VC-01-0803
과 제 종 류	기관고유		과제번호	LP004580	
과 제 명	시설과채류 결로 모니터링 및 제어시스템 개발				
과 제 책임자	성 명		직 급	소속기관 및 부서	
	이 원 경		농업연구사	강원도원 원예연구과	
연 구 기 간	2021 ~ 2023		참여연구기관	-	
세부과제명			부 서	세부책임자	연구기간
1) 시설과채류 결로 모니터링 및 제어시스템 개발			원예연구과	이원경	'21~'22
2) 시제품 현장실증 및 데이터 수집			원예연구과	이원경	'22~'23
색 인 용 어	시설과채류, 결로, 보급형 스마트팜, 모니터링				

ABSTRACT

The high-altitude and high-latitude regions of Gangwon-do are capable of summer production of vegetables and fruits by utilizing the geographical and climatic characteristics of low nighttime temperatures and large diurnal temperature differences compared to southern region. The area of protected horticulture in Gangwon province is 3,224 ha in 2021. Fruits and vegetables are produced on 2,860 ha which is over 85% of whole greenhouse. However, 70% of the total greenhouses are high-tunnel greenhouses, and 58% do not have heating facilities, so passive environmental management is conducted focusing on heat-conservation material. Although there are appropriate environmental management methods such as heating and ventilation, they are not effectively utilized due to an insufficient monitoring system. The mechanism of condensation in the greenhouse is a rapid rise in temperature after sunrise in greenhouse, and low night temperature, and an increase in absolute humidity and dew point due to transpiration of crops, resulting in condensation on surface with low temperatures. At this time, if proper heating temperature setting or dehumidification through ventilation is not performed, dew condensation occurs on covering materials and crops, especially fruits, which have a relatively low surface temperature. It can be used for dehumidification through a screen gap if anti-condensation covering material is applied and facilities for inducing and discharging condensation. However, dew condensation on leaves and flowers inhibits the transpiration and photosynthesis of crops and causes mold diseases and deformed fruits due to poor pollination. Condensation on fruits causes fruit russetting and degrades fruit quality. To suppress the occurrence of condensation, there is a method of raising the temperature of crops

through heating before sunrise, releasing humidity through minimum ventilation, and slowing down the rate of temperature rise. Some farmhouses hang a water bottle and use it to adjust the heating temperature and ventilation timing by seeing dew on the surface of the water bottle after going to work. Therefore, by using the model fruit and estimation model, the surface temperature of the actual fruit by fruit type and fruit size is estimated and compared with the dew point to monitor the condensation condition of the fruit. This experiment was conducted to develop and demonstrate a system that can remotely control greenhouse cultivation environments such as fans and ventilation facilities by using condensation monitoring information.

1

연구목표

강원도의 고랭지·고위도 지역은 남부지역 시설과채류 주산지에 비해 야간기온이 낮고 일교차가 큰 지리적·기후적 특성을 활용해 시설과채류 여름생산이 가능하다. 도내 시설재배 면적은 '21년 3,224ha이며, 85.6%인 2,860ha에서 과채류를 생산하고 있다. 하지만, 전체 온실 중 70%가 단동형 온실이며, 58%가 가온시설이 없이 보온시설 위주의 소극적인 환경관리를 하고 있다. 제한된 여건에서 난방 및 환기 등 적절한 환경관리 방법은 있으나, 모니터링 시스템이 미비해 효과적으로 활용하지 못하고 있다. 시설 내 결로 발생 원인은 낮은 야간기온과 보온위주의 밀폐된 시설에서 일출 후 급격한 기온 상승과 작물의 증산에 따라 절대습도와 이슬점 상승으로 표면온도가 낮은 부분에 결로가 발생하게 된다. 이때 적절한 난방온도 설정 또는 환기를 통한 제습이 이루어지지 않으면 상대적으로 표면온도가 낮은 피복재와 작물, 특히 과실에 결로가 발생하게 된다. 유적처리된 기능성 피복재와 결로 유도·배출 시설을 갖춘 경우 스크린 갭(screen gap)을 통해 제습에 활용할 수 있다. 하지만, 잎과 꽃에 발생한 결로는 작물의 증산과 광합성을 억제하며 곰팡이병과 수정불량에 따른 기형과가 발생하게 된다. 과실에 발생한 결로는 미세열과를 유발시켜 과실의 품질을 저하시킨다. 결로발생을 억제하기 위해 일출 전 가온을 통해 작물의 품온을 상승시키고, 최소환기를 통해 습도를 배출하고 온도상승 속도를 늦추는 방법이 있다. 일부 농가에서는 물병을 걸어 두고 출근 후 물병 표면에 이슬이 맺힌 것을 보고 난방온도와 환기 시점을 조정하는데 활용하고 있으나, 물병에 맺힌 이슬은 기록되지 않으며 실제 과실의 온도와 달라 활용하기 어렵다. 따라서, 모형과실을 활용해 실제 과실의 과종별·과실크기별 표면온도를 추정하고 이슬점과 비교해 과실의 결로상태를 모니터링 할 수 있는 시스템과, 유동팬, 측창 등 재배환경 조절시설을 원격으로 제어할 수 있는 시스템 개발 및 실증을 위해 수행하였다.

〈제1세부과제: 시설과채류 결로 모니터링 및 경보시스템 개발〉

(시험 1) 모니터링 서버 구축 및 시제품 개발

본 연구는 2020년 출원한 결로현상을 방지할 수 있는 스마트팜 시스템 특허를 기반으로 모형 과실을 이용한 시설과채류 결로 모니터링 및 경보 시스템의 시제품을 제작하고 모니터링 데이터를 수집하는 서버 및 가공하여 사용자에게 환경정보를 제공하는 인터페이스 개발을 위해 수행하였다.

(시험 2) 시제품 현장실증 및 시스템 보완

2021년 개발한 시설과채류 결로 모니터링 및 경보시스템을 춘천 3개소, 철원 2개소 실증농가에 설치하여 데이터를 수집체계를 구축하고 온실 내 위치별로 결로상태를 분석하기 위해 수행하였다. 실증농가는 토마토와 파프리카 2작목에 대해 온실 형태(단동형, 연동형)와 재배방식(수경재배, 토경재배)를 고려하여 선정하였다.

(시험 3) 원격제어 구축 및 시제품 개발

본 연구는 2020년 출원한 결로현상을 방지할 수 있는 스마트팜 시스템 특허와 2021년 개발한 시설과채류 결로 모니터링 및 경보시스템을 기반으로 모형과실을 이용한 시설과채류 결로 모니터링 및 제어 시스템의 시제품을 제작하였다. 농업기술원의 통합관제시스템과 연계하여 데이터를 수집·저장·가공하였으며, 사용자용 웹과 전용 앱을 통해 원격 모니터링 및 제어가 가능하도록 제어시스템을 개발하였다. 춘천과 철원 시설과채류 농가 7개소에서 개발 시제품을 실증하였다.

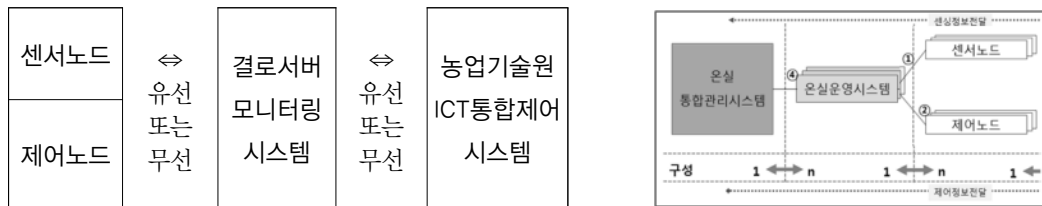
(시험 4) 시제품 현장실증 및 시스템 보완

2022년 개발한 시설과채류 결로 모니터링 및 제어시스템을 춘천 6개소, 철원 1개소 실증농가에 설치하여 데이터를 수집체계를 구축하였다. 실증농가는 토마토 수경재배 농가를 대상으로 온실 형태(단동형, 연동형)를 고려하여 선정하였다. 온실 내 위치별로 결로상태를 분석하고 농가의 시스템 활용도를 조사하기 위해 수행하였다.

〈제1세부과제: 시설과채류 결로 모니터링 및 경보시스템 개발〉

(시험 1) 모니터링 서버 구축 및 시제품 개발

가. 소프트웨어 개발



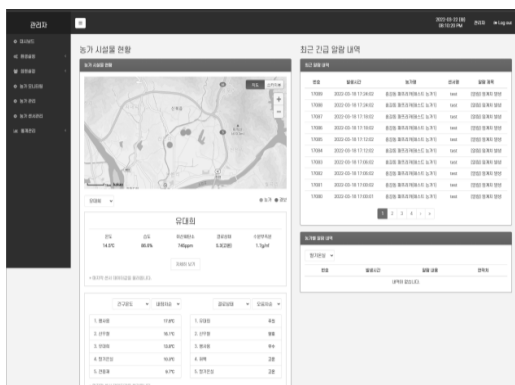
(그림 1) 데이터 수집 및 제어 인터페이스 구성

<표 1> 자동 수집 센서 코드

분류명	센서코드	센서명	단위	DB TYPE	수집방식	수집주기
내부환경	EI-FG-TI	온도(건구)	℃	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-TW	온도(습구)	℃	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-CI	CO ₂	ppm	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-TF	모형과실온도	℃	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-TS	지온	℃	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-TL	물통 수위	충분, 부족	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-HI	상대습도	%	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-DP	이슬점	℃	FLOAT	자동	1분
	EI-FG-HD	HD	g/m ³	FLOAT	자동	1분
외부환경	EO-FG-RP	강우감지	Y/N	INT	자동	1분
	EO-FG-RF	외부강우	mm	FLOAT	자동	1분
	EO-FG-HE	외부습도	%	FLOAT	자동	1분
	EO-FG-TE	외부온도	℃	FLOAT	자동	1분
	EO-FG-WS	외부풍속	m/s	FLOAT	자동	1분
	EO-FG-WD	외부풍향	°	FLOAT	자동	1분
	EO-FG-SR	외부일사량	w/m ²	FLOAT	자동	1분
제어기 (경보기)	CR-FG-CA	결로경보(적)	단계	INT	자동	1분
	CR-FG-CA	결로경보(황)	단계	INT	자동	1분
	CR-FG-CA	결로경보(녹)	단계	INT	자동	1분
	CR-FG-CA	결로경보(청)	단계	INT	자동	1분
	CR-FG-CA	결로경보(백)	단계	INT	자동	1분

※ 농림수산식품교육문화정보원 “시설원에 ICT 융복합 장비규격 및 서비스 기준(2021. 2. 1.)” 준용

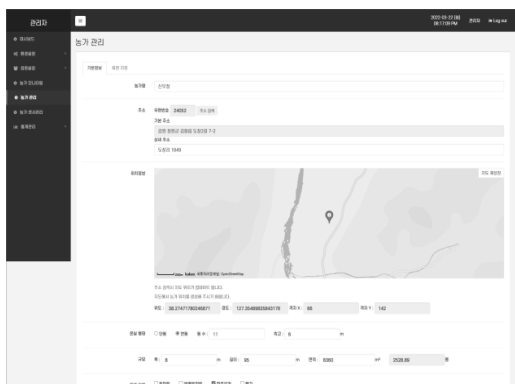
센서노드 및 제어노드가 온실운영시스템(서버)와 직접 각각의 정보를 주고받는 체계로 구성했으며, 각 노드에 SBC(single board computer)를 적용해 수집된 데이터를 저장, 연산, 서버로 송신한다. 장비(센서노드 및 제어노드)는 종류 및 설치 위치에 따라 고유 이름을 부여하고 기본 사항을 기록하게 된다. 센서노드에 설치된 센서는 건구온도, 습구온도, CO₂ 농도, 모형과실온도, 지온, 물통수위 6개 정보를 수집하고, 건구온도와 습구온도를 이용해 상대습도, 이슬점, 수분 부족분(Humidity deficit)을 계산하여 서버로 전송한다. 서버로 전송된 데이터를 이용해 24AVT(24Hour Average Temperature, 24시간 평균온도, 작물생육속도관리에 중요한 요소이며, 24AVT를 참고하여 평균온도의 상승 또는 유지 여부를 판단함), DIF(주야간 온도차, 주간과 야간의 평균온도 차이를 뜻하고, 적용 시간에 따라 하루의 DIF, 일출 전·후, 일몰 전·후 세 가지로 구분할 수 있음), 결로상태(Condensation, 온실내부의 이슬점(T_{Dew})과 모형과실의 표면 온도(T_{Fruit})를 비교하여 결로상태($T_{Fruit} - T_{Dew}$), 누적 결로 유지시간 표시) 등 재배 환경관리 의사 결정에 참고할 수 있는 환경관리 지표를 분석하여 사용자 화면(웹/앱 인터페이스)을 통해 제공하고 조회할 수 있다.



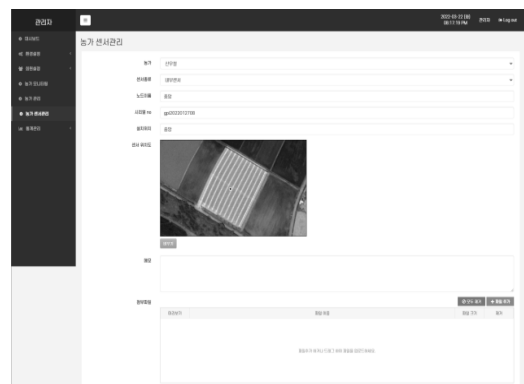
관리자 대시보드



농가 모니터링 페이지



농가 등록 페이지



센서 등록 페이지

(그림 2) 데이터 수집 및 제어 인터페이스 구성

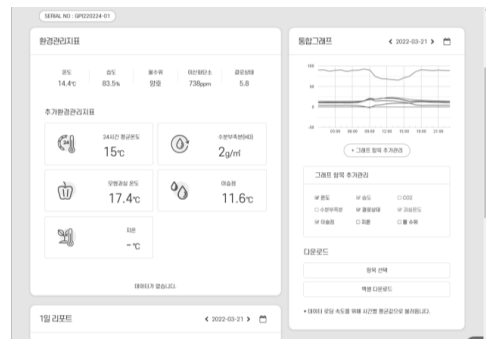
<표 2> 결로상태에 따른 타워램프 점등 기준

구분	결로상태 (과실온도-이슬점)	타워램프				
		적	황	녹	청	백
결로 발생	0 이하	점등	—	—	—	—
주 의	0 ~ 1	—	점등	—	—	—
양 호	1 ~ 3	—	—	점등	—	—
고 온	3 ~ 5	—	—	—	점등	—
차 광	5 이상	—	—	—	—	점등
센서 이상	—	점멸	점멸	—	—	—
저 수 위	—	—	점멸	—	점멸	—

결로상태에 따라 타워램프의 색상별 점등으로 결로상태를 경보할 수 있으며, 온도, 습도, HD, 외부기온, 외부광량 등 항목도 사전에 설정한 적정범위를 벗어난 경우 사용자 앱을 통해 알람이 가능하다. 또한 장치의 정상 작동여부를 확인할 수 있도록 장치의 오작동, 네트워크 상태, 센서노드 물 없음 등 시스템 문제를 앱과 타워램프의 점멸신호를 통해 사용자에게 알릴 수 있다.



사용자 기본화면



센서 상세 페이지

(그림 3) 웹 버전 사용자 페이지



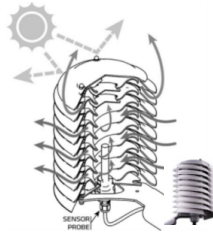
(그림 4) 모바일 앱 사용자 페이지

나. 시제품 제작

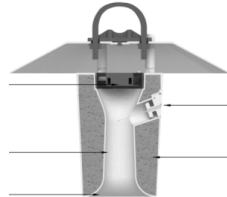
시설 내 재배환경 모니터링을 위한 백엽상은 정확한 정보를 측정하기 위해 직사광선 차폐와 원활한 공기순환 기능을 갖춰야 한다. 이를 위해 다단식 자연대류형 백엽상에 팬을 설치해 통풍식 백엽상을 제작했다. 다단식 백엽상 1단의 하부는 원형, 상부는 사각형으로 제작해 연결되는 사면의 틈에서 공기가 유입될 수 있고, 물방울과 직사광선은 차단될 수 있도록 디자인했다.



자연대류형 백엽상
(디지털 센서)



나선난류형 백엽상
(디지털 센서)

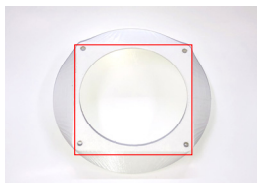


통풍식 단열 백엽상
(디지털 센서)



통풍식 백엽상
(건습구 센서)

[그림 5] 백엽상의 종류



실드의 상부



실드의 하부

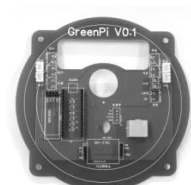
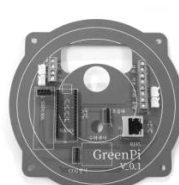


실드의 측면



실드 사이 틈

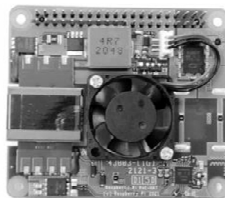
[그림 6] 백엽상의 형태적 특성



백엽상 센서 PCB보드의 개발과정



Raspberry Pi 3



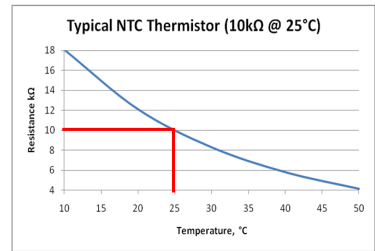
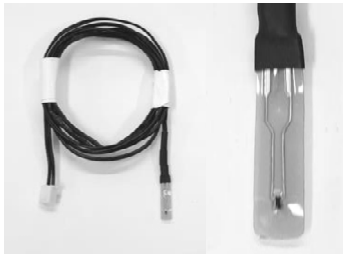
PoE 실드



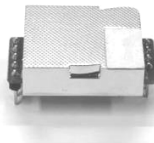
Aduino 커넥터

[그림 7] 백엽상 센서 PCB보드 및 SBC(single board computer) 구성

백엽상 내부에 SBC(single board computer)가 내장되어 있어 확장성 및 활용도 높으며, 센서가 읽은 아날로그 값을 디지털로 변환하고 간단한 계산(RH, Dew 등) 후 서버로 데이터 전송한다.



온도센서(Negative Temperature Coefficient Thermistor, Resistance 25°C=10KΩ)



CO₂ 센서



수위센서



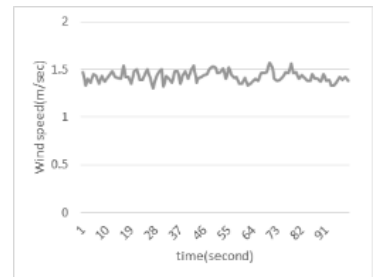
A/D Converting MCU



팬(DC 12V, 120mm)



풍속 측정위치



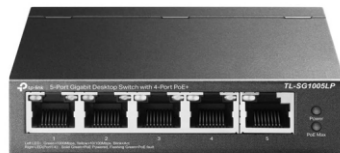
평균 풍속 1.43m/sec

[그림 8] 센서노드의 구성

온도가 높을수록 저항이 작아지는 부저항 온도계수를 이용한 센서 NTC 써미스터를 적용했다. 온도에 따른 저항의 선형적이지 않은 단점이 있으나, 0~70°C 조건에서 정확도 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 로 우수하며, 빠른 응답속도와 저렴한 가격 등 고려해 선정하였다. 온실 내 CO₂ 농도를 모니터링 해 적정 환기 시점 판단에 활용하기 위해 적용했으며, 습구온도계의 심지가 젖은 상태를 유지할 수 있도록 물통 모니터링 및 저수위 알람을 위해 수위센서가 적용되어 있다. MCU(Arduino Nano)는 아날로그 센서값을 디지털로 변환하여 SBC(Raspberry Pi 3)와 통신기능을 수행한다.



LTE 라우터(통신)

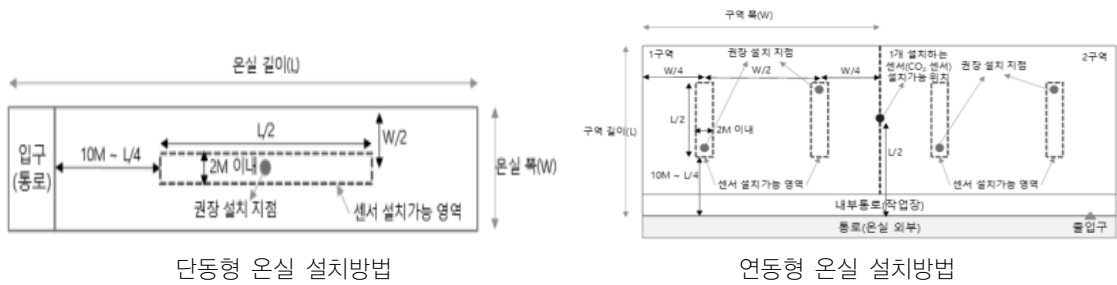


PoE 허브(통신+전원)



실증농가 설치모습

[그림 9] 통신 및 전원 공급장치 구성



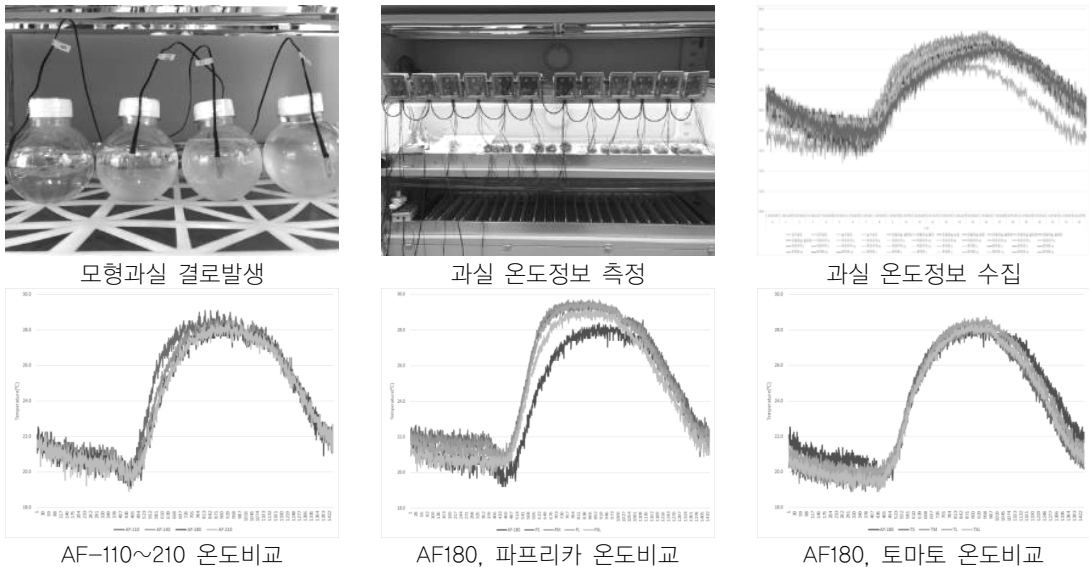
(그림 10) 온실 유형별 센서노드 설치 방법

센서노드로부터 수집된 데이터의 신뢰도와 관련하여 크게 두 가지 짚어볼 점이 있다. 센서의 정확도는 NTC 센서의 측정환경과 통풍식 건습구 온도계를 적용해 확보할 수 있으며, 수집된 정보의 대표성은 농림수산식품교육문화정보원 「시설원에 ICT 융복합 장비규격 및 서비스 기준 (2021.2.1.)」을 준용해 센서노드를 설치함으로써 확보할 수 있다. 저전력 설계와 무선인터넷 기술을 활용해 설치의 제약 없이 다수의 센서노드를 온실에 설치·운영하는 제품과 서비스도 있으나, 시설원에 환경에 적합한 통풍식 건습구 방식을 적용할 시 상시 전원공급이 필수적이라 유선으로 통신 및 전원을 공급하는 방식을 채택하였다.

(시험 2) 시제품 현장실증 및 시스템 보완

가. 센서 정확도 고도화

온도와 습도를 조절할 수 있는 식물공장에서 고습도 조건에서 급격한 온도변화로 과실 결로가 발생하는 조건을 조성하였다. 온습도와 모형과실을 이용해 실제과실의 온도를 추정하기 위해 모형과실과 실제과실의 크기별 온도변화 데이터를 수집하였고, 머신러닝 모델을 개발하였다.



(그림 11) 모형과실과 실제 과실의 온도변화 데이터 수집

최적 모델:
RSquared: 0.97
모델: FastForestRegression

모델 사용해 보기

샘플 데이터
다음 행들은 1행 데이터로 미리 채워져 있습니다.

DBT1	20.5
WB11	17.9
AF180	22.5

결과
PM118: 22.47

계속

파프리카 S규격(120g) 예측

최적 모델:
RSquared: 0.98
모델: FastForestRegression

모델 사용해 보기

샘플 데이터
다음 행들은 1행 데이터로 미리 채워져 있습니다.

DBT1	20.5
WB11	17.9
AF180	22.5

결과
PM142: 22

계속

파프리카 M규격(140g) 예측

최적 모델:
RSquared: 0.98
모델: FastForestRegression

모델 사용해 보기

샘플 데이터
다음 행들은 1행 데이터로 미리 채워져 있습니다.

DBT1	20.5
WB11	17.9
AF180	22.5

결과
PM142: 22

계속

파프리카 L규격(180g) 예측

최적 모델:
RSquared: 0.98
모델: FastForestRegression

모델 사용해 보기

샘플 데이터
다음 행들은 1행 데이터로 미리 채워져 있습니다.

DBT1	20.5
WB11	17.9
AF180	22.5

결과
PM147: 20.8

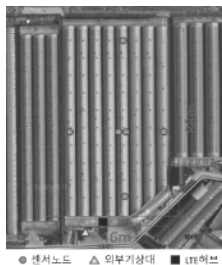
계속

파프리카 XL규격(240g) 예측

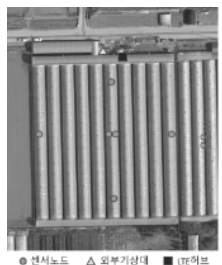
(그림 12) 건구, 습구, 모형과실을 이용한 과실온도 예측모델

나. 시제품 현장실증 및 시스템 보완

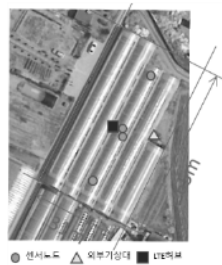
춘천
단동형
방울토마토
(토경)



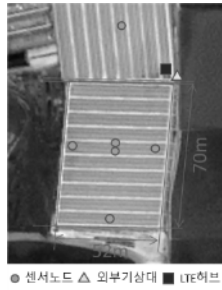
춘천
단동형
완숙토마토
(수경)



춘천
연동형
방울토마토
(수경)



철원
연동형
파프리카
(토경)

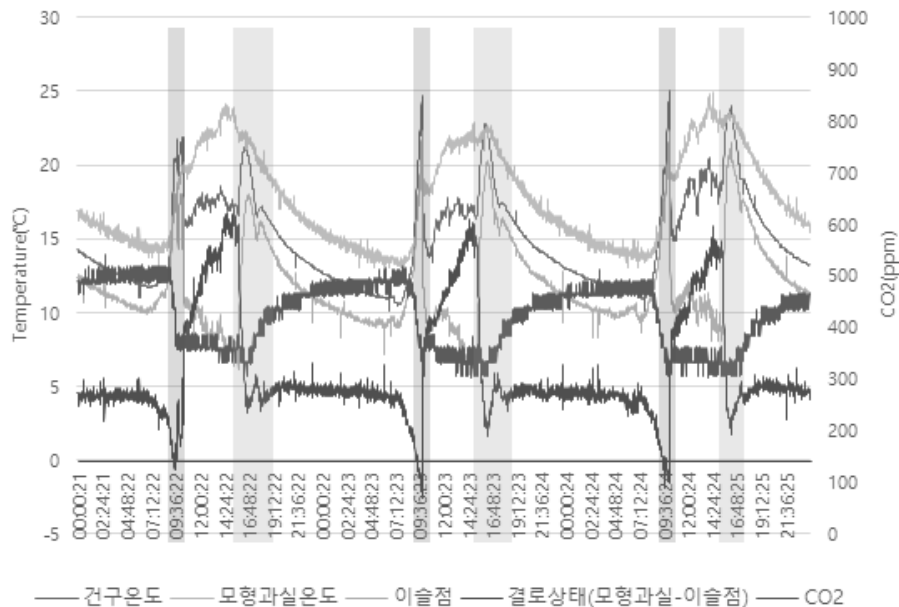


철원
연동형
파프리카
(수경)

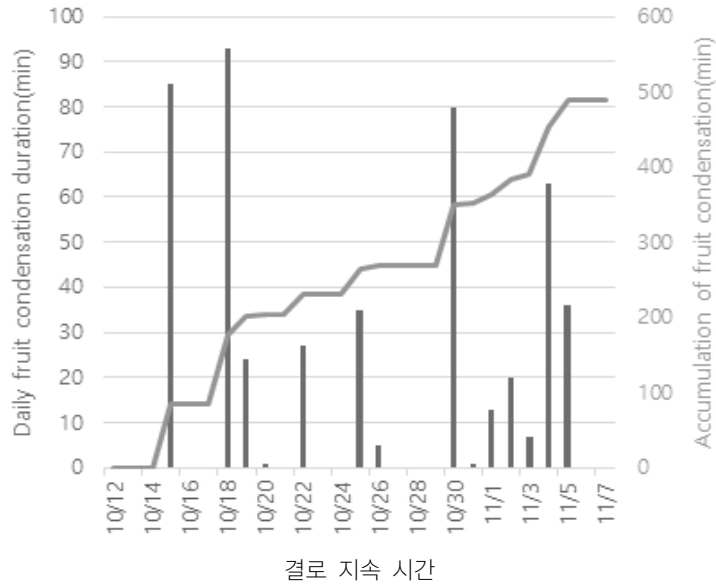


[그림 13] 실증농가 센서노드 설치 현황

일출 후 온실 내 급격한 온습도변화로 과실 결로 발생이 관찰되었고, 결로에 지속적으로 노출될 경우 과실 품질저하 및 병 발생 우려되므로 예방적 방제와 환경변화속도 조절이 필요하다.

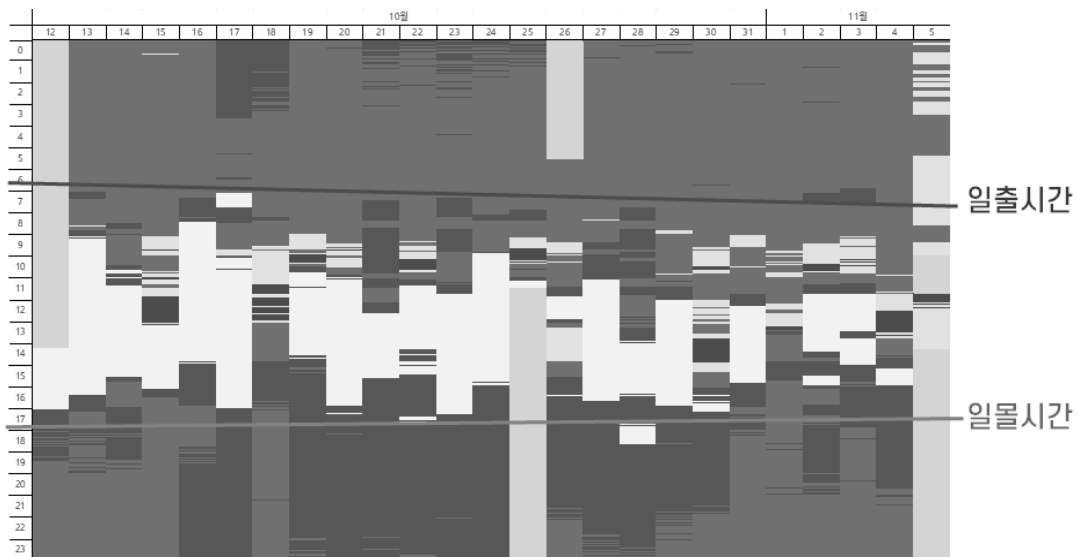


결로상태와 재배환경 변화



(그림 14) 결로발생과 누적 시간

매 10분마다 결로상태(과실온도-이슬점)를 계산하여 표 2의 계급별 색상을 시계열로 표현하고 일출과 일몰시간을 나타내었다. 일출 후 2시간 경과 후 과실 결로가 발생(적색)하는 것을 관찰할 수 있었다. 외부기상을 고려하여 환기 시점과 환기량 조절을 통한 환경개선이 필요하다.



(그림 15) 결로상태 계급별 시계열 분석

(시험 3) 원격제어 구축 및 시제품 개발

가. 서버구축

센서정보를 수집·가공·모니터링 기능을 기구축한 농업기술원 통합관제시스템과 데이터를 연계하여 관제 체계 일원화하였고, 데이터 집적도를 향상시켰다. 데이터 이상치 보정과 수집률 분석 등 신뢰도 향상을 위한 분석·통계기능 갖춘 할 수 있는 대시보드를 구성하였으며, 농가별 운영상태, 생육사진, 실시간 환경정보를 차트로 조회 가능하다.



(그림 16) 관리자용 대시보드 구성

나. 인터페이스

환경 모니터링 및 원격제어 가능한 사용자 전용 웹과 앱은 부근의 AWS 데이터를 기준으로 외부기상정보를 제공하며, 천창, 측창, 커튼, 스크린, 팬 작동 및 제어시간을 설정할 수 있다. 웹캠연동으로 생육이미지 수집 및 구동기 정상작동 여부 모니터링 가능하다. 대시보드는 기상청 예보정보 실시간 연동되며, 농장 환경상태와 센서 및 구동기 상태 요약 제공한다. 데이터는 Area, Line 등 다양한 차트로 조회가 가능하며, 데이터 공유(카톡) 통한 컨설팅 등 다양하게 활용할 수 있다. 인터넷 연결만 된다면 원격으로 온실 제어가 가능하며, 농장을 비운 상황에서도 작동규칙 적용과 사전 설정값에 따라 구동기 제어가 가능하므로 원하는 환경을 조성할 수 있다. 시스템 이상 또는 재배환경이 설정 값을 벗어나면 휴대폰으로 알림 발송되며, 연동된 웹캠의 사진 및 영상으로 상황을 파악하고 대응할 수 있다.



(그림 17) 통합관리시스템 웹 정보조회

수집된 정보는 품목, 농가, 기간, 집계주기, 집계방법 등 다양한 조건을 기준으로 농가에서 수집한 환경과 제어정보를 그래프와 표 형태로 조회할 수 있다. 집계주기는 10분, 1시간, 1일 중 선택할 수 있으며, 집계방법도 평균값, 최댓값, 최솟값 중 선택하여 적용 가능하다.



외부기상정보 조회



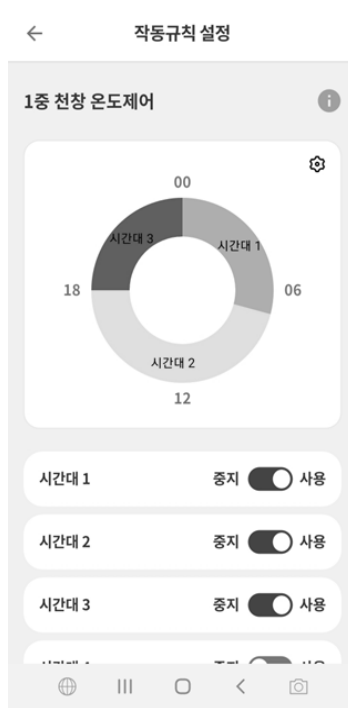
1분주기 환경정보 조회



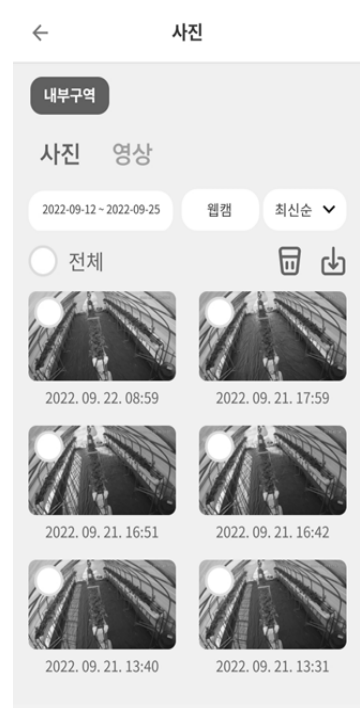
제어 및 환경설정 기능



구동기별 작동버튼



시간대(Period) 관리

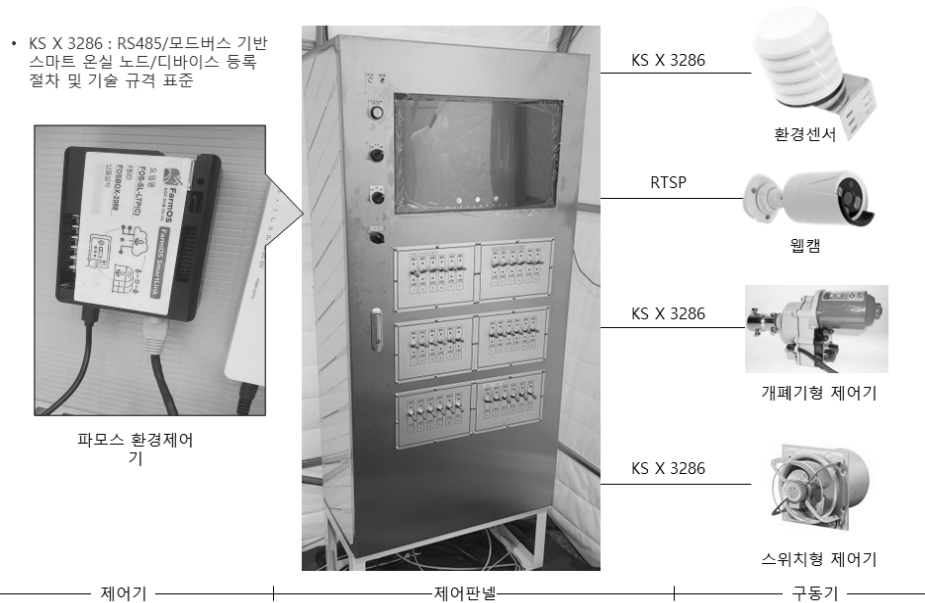


웹캠 모니터링

(그림 18) 사용자용 원격제어 앱 구성

다. 시제품 제작

스마트온실 KS 표준 기반으로 센서노드 및 제어 장치(ICT) 구성하였으며, 장치 단에서 결측 값과 이상치를 보정하고, 미전송 데이터를 관리하는 데이터로거 기능을 갖추고 있으며, 제어판넬 릴레이에서 정확한 제어상태(제어 성공/실패 확인)데이터 수집하여 시스템 활용도 및 시스템 활용에 따른 환경개선 모니터링 가능하다.



[그림 19] 제어기 및 제어시스템 구성

(시험 4) 시제품 현장실증 및 시스템 보완

가. 실증농가 및 제어항목 선정

<표 3> 실증농가 온실 및 재배현황

No.	농가명	위치	재배품목	재배면적 (m ²)	온실형태	동수	재배유형	실증항목
1	유대희	춘천시	방울토마토	2,000	연동	5	수경	모니터링+제어
2	곽나영	춘천시	방울토마토	1,700	연동	2	수경	모니터링+제어
3	하광복	춘천시	방울토마토	4,600	단동	8	수경	모니터링+제어
4	이희성	춘천시	토마토	2,600	단동	3	수경	모니터링+제어
5	신금영	춘천시	방울토마토	3,600	단동	6	수경	모니터링+제어
6	308동	기술원	딸 기	1,500	단동	5	수경	모니터링+제어
7	이순우	철원군	토마토	1,500	연동	2	수경	모니터링+제어

토마토 작목을 대상으로 온실형태와 규모를 고려하여 실증농가 7개소 선정하였으며, 시설 과채류 결로 모니터링 시스템 구축과 연계하여 제어시스템 설치하였다.

<표 4> 제어노드와 센서노드 구성

No.	농가명	기초정보		제어부		센서부		
		통신	제어구간	개폐기	스위치	온습도	CO ₂	웹캠
1	유대희	유선	개별	25	9	2	1	2
2	곽나영	LTE	개별	12	1	2	1	2
3	하광복	LTE	개별	32	0	2	1	2
4	이희성	LTE	개별	34	6	3	1	2
5	신금영	유선	개별	24	7	3	1	1
6	308동	유선	개별	30	1	2	1	2
7	이순우	LTE	개별	11	1	2	1	2

제어시스템 설치를 위해 농가 인터넷 공급 여건에 따라 유선인터넷 또는 LTE 라우터 개통하였으며, 모든 제어부는 개별적인 제어가 가능하도록 구성하였다. 제어항목은 천창과 측창의 개폐기, 차광스크린, 유동팬, 보온커튼이 해당되며, 온실의 규모에 따라 센서노드 2~3개 설치하였고, 구동기 작동상태 점검 및 작물 생육 관찰용 웹캠 2개 설치하였다.



춘천 곽○○ 농가



춘천 신○○ 농가



춘천 유○○ 농가



춘천 이○○ 농가



춘천 하○○ 농가



철원 이○○ 농가



농업기술원

[그림 20] 실증농가 설치 전 현황



춘천 광○○ 농가



춘천 신○○ 농가



춘천 유○○ 농가



춘천 이○○ 농가



춘천 하○○ 농가



철원 이○○ 농가



농업기술원

(그림 21) 실증농가 원격제어 시스템 설치 현황

4 적 요

〈제1세부과제: 시설과채류 경로 모니터링 및 경보시스템 개발〉

(시험 1) 모니터링 서버 구축 및 시제품 개발

가. 센서노드 및 제어노드가 온실운영시스템(서버)와 직접 각각의 정보를 주고받는 체계로 구성하였고, 각 노드에 SBC(single board computer)를 적용해 수집된 데이터(건구온도, 습구온도, CO₂ 농도, 모형과실온도, 지온, 물통수위)를 저장, 연산, 서버로 송신함

- 나. 결로상태(Condensation)는 모형과실을 이용해 추정한 과실의 표면온도(T_{Fruit})와 온실내부의 이슬점(T_{Dew})의 차이를 계급별로 구분하여 재배자에게 환경관리 의사결정에 참고할 수 있는 환경관리 지표를 분석하여 사용자 화면(웹/앱 인터페이스)을 통해 제공함
- 다. 재배환경 모니터링을 위해 통풍식 건습구계 방식의 백엽상을 제작하였고, 온도센서(NTC 써미스터), CO₂ 센서, 수위센서와 팬을 적용하였고, MCU(Arduino Nano)는 아날로그 센서값을 디지털로 변환하여 SBC(Raspberry Pi 3)와 통신기능을 수행함
- 라. 센서노드 데이터의 통풍식 건습구 온도계를 적용해 신뢰도를 높였고, 농림수산식품교육문화정보원 「시설원에 ICT 융복합 장비규격 및 서비스 기준(2021.2.1.)」을 준용해 센서노드를 설치함으로써 수집된 정보의 대표성을 확보함.

(시험 2) 시제품 현장실증 및 시스템 보완

- 가. 온도와 습도변화를 통제할 수 있는 식물공장에서 과실 결로가 발생하는 조건을 조성하여 모형과실과 실제과실의 크기별 온도변화 비교
- 나. 모형과실과 온도, 습도 정보를 활용한 실제과실 온도 예측모델은 과종별·크기별 과실 온도를 높은 정확도로 예측함
- 다. 토마토와 파프리카 두 작목을 대상으로 춘천과 철원의 단동·연동형 온실에 모니터링 시스템을 설치 및 실증함
- 라. 일출 후 작물 증산에 따라 온도·습도·이슬점 급격히 높아지고 CO₂ 감소하는 경향을 확인할 수 있으며, 과실온도가 이슬점보다 낮아 결로가 발생하는 상황이 반복되고 있음
- 마. 일몰 전 2시간 전후 측창 및 스크린을 급격히 닫아 하강하던 온실 내 온도 및 습도가 상승 후 다시 하강하는 경향이 나타나므로 개폐정도와 시점 조정함

(시험 3) 원격제어 구축 및 시제품 개발

- 가. 센서정보를 수집·가공·모니터링 기능을 기구축한 농업기술원 통합관제시스템과 데이터를 연계하여 관제 체계 일원화하였고, 데이터 집적도를 향상 시켰음
- 나. 환경 모니터링 및 원격제어 가능한 사용자 전용 웹과 앱은 부근의 AWS 데이터를 기준으로 외부기상정보를 제공하며, 천창, 측창, 커튼, 스크린, 팬 작동 및 제어시간을 설정할 수 있음
- 다. 시스템 이상 또는 재배환경이 설정 값을 벗어나면 휴대폰으로 알림 발송되며, 연동된 웹캠의 사진 및 영상으로 상황을 파악하고 대응할 수 있음
- 라. 수집된 정보는 품목, 농가, 기간, 집계주기, 집계방법등 다양한 조건을 기준으로 농가에서 수집한 환경과 제어정보를 그래프와 표 형태로 조회할 수 있음
- 마. 스마트온실 KS 표준 기반으로 센서노드 및 제어 장치(ICT) 구성하였으며, 장치 단에서 결측값과 이상치를 보정하고, 미전송 데이터를 관리하는 데이터로거 기능을 갖추고 있음

(시험 4) 시제품 현장실증 및 시스템 보완

- 가. 토마토 작목을 대상으로 온실형태와 규모를 고려하여 실증농가 7개소 선정하였음
- 나. 시설과채류 결로 모니터링 시스템 구축과 연계하여 제어시스템 설치함
- 다. 제어시스템 설치를 위해 농가 인터넷 공급 여건에 따라 유선인터넷 또는 LTE 라우터 개통합
- 라. 천창과 측창의 개폐기, 차광스크린, 유동팬, 보온커튼이 개별적으로 제어할 수 있도록 구성하였음
- 마. 온실의 규모에 따라 센서노드 2~3개 설치하였고, 구동기 작동상태와 작물생육 관찰용 웹캠 2개 설치함

5

인용문헌

- 이문행, et al. “토마토 잎마름역병 발생 예측 및 방제 시기 연구.” 한국국제농업개발학회지 29.4 (2017): 454-458.
- Ehret, David L., et al. :Artificial neural network modelling to predict cuticle cracking in greenhouse peppers and tomatoes.: Computers and Electronics in Agriculture 61.2 (2008): 108-116.
- Skolik, Paul, et al. “Determination of developmental and ripening stages of whole tomato fruit using portable infrared spectroscopy and Chemometrics.” BMC plant biology 19 (2019): 1-15.
- Wei, Y. Q., B. J. Bailey, and B. C. Stenning. “A wetness sensor for detecting condensation on tomato plants in greenhouses.” Journal of agricultural engineering research 61.3 (1995): 197-204.

6

연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목
2022(1년)	기초자료	머신러닝 분석을 위한 DB 구축
		실증농가 환경정보 DB 구축
2022(2년)	기술이전	결로현상을 방지할 수 있는 스마트팜 시스템

성과지표명		연도	1년차(2021)		2년차(2022)		3년차(2023)		계	
			목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
특허	출원									
	등록						1		1	
학술 발표	국제									
	국내		1		1				2	
영농 활용	기술									
	정보						1		1	
기술이전					1	1			1	1
책자발간							1		1	
홍 보					3	6	3		6	6
계			1		5	4	2		12	7

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
					'21	'22
과제책임자	원예연구과	농업연구사	이원경	과제 총괄	○	○
세부책임자	원예연구과	농업연구사	이원경	시험수행 및 평가	○	○
공동연구자	원예연구과	농업연구사	서현택	현장조사 지원	—	○
	원예연구과	농업연구사	김경원	현장조사 지원	○	○
	원예연구과	공업주사보	박기진	품질조사 지원	○	—
	원예연구과	공업주사보	유정영	품질조사 지원	○	○
	원예연구과	농업연구관	권혜정	평가분석 지원	○	—
	원예연구과	농업연구관	박영식	평가분석 지원	—	○
	원예연구과	농업연구관	원재희	평가분석 지원	○	○