

과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
농업빅데이터 기반의 스마트팜 활용기술 개발		빅데이터	'20~	농업기술원 원예연구과	박남원
스마트팜 오이 빅데이터를 활용한 환경관리 기술 개발		빅데이터	'20~'21	농업기술원 원예연구과	박남원
색인용어	오이, 스마트온실, 스마트팜, 복합환경제어				

### ABSTRACT

This study was conducted to present a recommended setting value that can be used as a reference for the operation of a smart farm complex environment control system when growing cucumbers with semi-stimulation and suppression. The data used in the analysis were data collected through sensing data and growth survey of smart farms. First, through regression analysis( $\text{Shipment(kg)} = 1.54838 + 0.20073 \text{ harvest}$ ), it was confirmed that 'harvest number' among the items of the growth survey collected by us was suitable as an indicator of farm household productivity.

In order to derive the recommended setting value for cucumber semi-stimulatory cultivation, ANOVA and post-test on 15 datasets were conducted and it was confirmed that 'KLS1901' had the best productivity. Accordingly, environmental data of excellent crops were analyzed and a rough table was presented. After that, we tried to demonstrate the reference table derived from two smart farms. As a result, the possible items and scope of environmental control were different according to the size, shape, and type of greenhouse, and the effect of applying the recommended set value could be different depending on the conditions.

Analysis of variance was performed on the number of harvests for 12 datasets of the cucumber suppression cultivation period. As a result of the analysis, it was confirmed that the harvest number of the 'kuh2019' plant was the highest. environmental factors of high productivity cultivation were the regular setting of opening and closing ventilation windows and the high carbon dioxide in the greenhouse before sunrise. After that, a rough guide was presented based on the environmental data of the relevant crop.

**Key words** : Cucumber, Smart greenhouse, Smart farm, Complex environment control

## 1. 연구목표

경기도의 시설 오이 재배면적은 623ha로써 전국 재배면적 3,652ha의 17%를 차지하고 있으며 경기도 과채류 재배 면적의 28%를 차지하고 있다(통계청, 2020). 한편, 정부는 스마트팜 확산방안<sup>18</sup>(관계부처 합동)을 통해 시설농업 스마트팜 보급 목표를 수립하고 '22년까지 국내 시설원에 분야 스마트팜 7,000ha 보급을 목표로 지원사업을 확대해 나아가고 있으며 경기도 내 스마트팜 도입 농가 역시 점진적으로 늘어날 전망이다.

경기도 내 기존 시설재배 오이 농가들도 스마트팜 장비를 도입하여 농업 생산성과 작업의 편의성을 높이고자 스마트팜의 도입 및 적용이 확대되고 있다. 농가가 스마트팜을 효과적으로 활용하기 위해서는 센서로부터 측정된 데이터를 확인하여 재배 환경이 작물생육에 적합한지 확인하고 복합제어시스템 조작을 통해 온실 환경을 제어할 수 있어야 하기 때문에 아직까지 효율적으로 활용하는 농가는 적은 편이다.

따라서 본 연구는 스마트팜 센서로부터 측정되는 온실 환경 데이터와 현장 생육 조사를 통해 수집한 오이 생육데이터를 분석하여 경기지역 오이 반축성과 역제재배시 스마트팜 복합환경제어시스템 설정에 활용할 수 있는 권장 설정값(조건표)를 제시하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 데이터의 수집과 전처리(EDA)

스마트팜 복합환경제어시스템 권장 설정값 도출을 위해 활용된 온실 환경 데이터는 경기도 소재에 있는 스마트팜(농가) 환경 센서로부터 수집하였다. 스마트팜 센서로부터 수집된 데이터는 API, Socket, DB Link 등과 같은 연계 방식으로 '경기도농업기술원'에서 운영·관리하는 'GABMS(경기도농업빅데이터관리시스템)<sup>24</sup>'로 저장된다(그림 1). 센서에서 1분~15분 간격으로 측정되는 온실의 환경 데이터를 클라우드에 자동 저장 및 관리하는 방식으로 자료를 수집하였다.

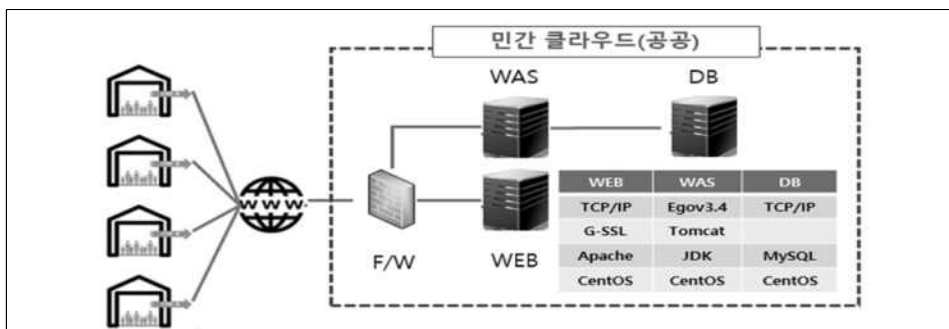


그림 1. GABMS 데이터 수신 체계도

오이 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값 도출을 위해 내부 센서[(온도, 습도, 이산화탄소, 토양수분(토경), 양액측정센서(양액농도EC, 산도pH), 수분센서(배지) 등]와 외부 센서(온도, 습도, 풍향/풍속, 강우, 일사량 등)를 활용해 수집한 온실 환경 데이터의 변수 정의서는

24) 스마트팜 센서에서 측정된 정보를 수집·관리·저장하기 위한 RDBMS(관계형데이터베이스관리시스템)

다음과 같다(농림수산식품교육문화정보원, 2021)(표 1).

표 1. 온실 환경 데이터 변수 정의서

연번	변수명	단위	유형	설명
1	내부온도	℃	등간척도	내부온도 1시간 평균
2	내부습도	%	비율척도	내부습도 1시간 평균
3	이산화탄소	ppm	등간척도	이산화탄소 1시간 평균
4	토양온도	℃	등간척도	토양온도 1시간 평균
5	토양수분	%	비율척도	토양수분 1시간 평균
6	토양 EC	dS/m	등간척도	토양 EC 1시간 평균
7	토양 pH	-	등간척도	토양 pH 1시간 평균
8	내부광량	μmol/m <sup>2</sup> /s	등간척도	온실 내부 광량 1시간 평균

오이 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값 도출을 위해 활용한 오이 생육 데이터에 대한 변수 정의서는 다음과 같다(표 2). 생육 데이터는 오이 농가 현장에서 재배기간 중 매주 1회씩 생육조사를 실시하여 수집하였다.

표 2. 오이 생육 데이터 변수 정의서

연번	변수명	단위	유형	설명
1	출하량*	kg	비율척도	주차 별 출하량 평균
2	암꽃수	개	비율척도	개체 당 암꽃수 평균
3	수확수	개	비율척도	개체 당 수확수 평균
4	열매수	개	비율척도	개체 당 열매수 평균
5	적과수	개	비율척도	개체 당 적과수 평균

\*출하량: 지역농협, 친환경학교급식센터 등 해당 농가의 출하처로부터 수집

본 연구에서는 총 27건의 오이 재배 작기에 대한 스마트팜 온실 환경 데이터와 생육 데이터가 활용되었다.

15건의 작기에 대한 데이터세트<sup>25)</sup>는 반촉성 재배(봄 작기) 수집 자료이며, 12건의 작기에 대한 데이터세트는 억제 재배(가을 작기) 수집 자료이다.

### 나. 상관·회귀분석 및 일원배치 분산분석의 활용

농가 현장에서 오이 복합환경제어시스템 권장 설정값을 도출하기 위해 생산성이 가장 우수한 작기를 선별하여 해당 온실 환경 데이터를 기술 통계하는 방식으로 분석을 진행하였다. 이와 같은 방식은 오이 재배 시 생산성이 우수했던 작기의 환경 조건을 제시하는 것이기 때문에 시험연구 방식처럼 별도의 실증 없이 현장 적용이 가능하다.

생산성이 우수했던 작기를 선별하기 위해서는 27건의 작기에 대한 실제 출하량과 수확수, 열매수, 암꽃수 간의 상관분석과 회귀분석을 수행하여 인과성을 분석하여 생산성 지표로 ‘수확수’가 적합하다는 것을 확인했다. 그러므로 27건(반촉성 15, 억제 12)의 작기 중 ‘수확수’가 가장 높은 작기를 선정하여 오이 반촉성 재배와 억제 재배에서 높은 생산성을 확보할 수 있는 복합환경제어시스템 권장 설정값을 도출하고자 했다.

2018년부터 2020년까지 수집한 오이 반촉성 재배와 억제 재배의 작기에 대한 데이터세트 중 오이 반촉성 재배의 경우, 총 15건의 작기에 대한 One way ANOVA를 실시하였으며 오이 억제 재배의 경우, 총 12건의 작기에 대한 One way ANOVA를 실시하여 각각의 우수 작기를 선별하였다. 이 과정에서 활용된 통계 프로그램은 ‘R’과‘SAS’이다.

### 다. 복합환경제어시스템을 활용한 현장 실증

분석 결과로 도출된 오이 반촉성 재배 시 복합환경제어시스템 권장 설정값을 경기도 오산시 소재한 스마트팜 오이 재배 농가 2개소에서 실증하였다(표 3).

25) 한 작기의 온실 환경-작물 생육데이터의 조합을 의미한다.

표 3. 오이 반촉성 재배 복합환경제어 실증대상

구분	A농가	B농가
재배지역	오산	오산
작목/품종	오이 / 굿모닝	오이 / 스마일
재배유형	수경	토경
재배기간	2020.12.13.~2021.05.12.	2021.01.11.~2021.07.06.
온실유형	연동	연동
환경제어시스템	마그마	마그마
구성 요소	내부온도, 내부습도, CO <sub>2</sub> , 외부온도, 풍향, 풍속, 외부일사, 감우, 배지수분, 배지EC, 배액EC, 배액pH, 배액수온, 급액EC, 급액pH, 급액수온, 함수저울, 유량계	내부온도, 내부습도, CO <sub>2</sub> , 외부온도, 풍속, 외부일사, 감우, 토양수분, 토양온도, 토양EC, 토양수분장력
제어	일중천창, 이중천창, 측창, 천정보온스크린, 측면보온스크린	일중천창, 이중천창, 측창, 천정보온스크린, 측면보온스크린

두 농가 모두 2021년 오이 반촉성 재배를 하였으며 생육단계에 따라 복합환경제어시스템 권장 설정값을 설정하는 방식으로 수행되었다. 생육 초기, 중기, 후기를 구분하여 환경제어 프로그램을 설정하였으며 재배기간 동안 온실 환경과 오이 생육 데이터를 반복적으로 수집하였다. 실증 결과는 측정된 온실 환경데이터와 설정값의 격차, 그에 따른 수확량 차이를 비교하여 제시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 오이 반촉성 재배 시 복합환경제어시스템 권장 설정값

총 15건의 작기에 대한 데이터세트가 포함하는 출하량, 암꽃수, 수확수, 열매수, 적과수 간에 상관분석을 실시한 결과, 출하량과 수확수의 상관관계가 0.33으로 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 오이의 생식생장과 관련된 생육변수 중 수확수가 작기의 생산성 지표로 적합했다.(표 4).

표 4. 상관분석 결과(SAS)

	출하량	암꽃수	수확수	열매수	적과수
출하량	1	0.08	0.33	0.21	-0.04
암꽃수	0.079	1	0.08	0.05	0.18
수확수	0.33	0.08	1	0.08	0.02
열매수	0.21	0.05	0.08	1	0.18
적과수	-0.04	0.18	0.02	0.18	1

단위: coefficient of correlation

이후 ‘수확수’로 해당 작기의 실제 출하량을 설명할 수 있는지 확인하기 위해 단순회귀분석을 실시한 결과, 모형과 해당 모형의 계수는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미하였다(표 5). 회귀식을 살펴보면, ‘출하량(kg) = 1.54838 + 0.20073수확수’인데, 일반적으로 농가에서 출하되는 오이의 무게가 150g ~ 250g 사이라는 점을 고려한다면 생육조사 항목 중 ‘수확수’는 생산성 지표로서 충분한 신뢰성을 갖는다.

표 5. 단순회귀분석 결과(SAS)

Analysis of Variance						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F value	Pr>F	
Model	1	129.66130	129.66130	131.25	<.0001	
Error	1069	1056.07170	0.98791			
Corrected Total	1070	1185.73299				
Parameter Estimates						
Variable	Label	DF	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr> t
Intercept	Intercept	1	1.54838	0.05631	27.5	<.0001
n_yield	n_yield	1	0.20773	0.01813	11.46	<.0001

수확수를 기준으로 수집된 오이 반촉성 재배 15건의 작기에 대한 일원배치 분산분석 결과, 15건의 작기의 수확수는 통계적으로 유의한 차이를 보였다(표 6).

표 6. 분산분석 결과(SAS)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	13	1155.167635	88.859049	38.92	<.0001
Error	1543	3522.409758	2.282832		
Corrected Total	1556	4677.577392			

일원배치 분산분석을 통해 개별 작기의 수확수 차이를 확인하였으므로 사후검정을 수행하여 각각의 작기(집단)의 수확수 차이가 어떻게 나타나는지 확인하고자 하였다. 본페로니 사후검정 결과, 총 9건의 작기가 A, B, C 집단으로 분류되었다. 나머지 5건의 작기는 수확수 기준 최하위 집단으로 검정 결과에서 제외됐다. 분석 대상 중 수확수가 가장 높았던 작기는 ‘KLS1901’이었으며 9건의 작기의 수확수 평균 2.78개보다 32% 높은 3.69개로 집계되었다. 또한, 분석에 사용된 ‘KLS1901’의 관측값의 개수가 153개로 나머지 작기의 것보다 높았기 때문에 상대적으로 평균값에 대한 신뢰도가 높았다(표 7).

표 7. 사후검정 결과(SAS)

작기 구분	평균 수확수(개)	관측값 개수	집단화 결과
KLS1901	3.6863	153	A
KEH1901	3.6131	137	A
LSH1901	3.4862	109	A
KHH1901	3.0818	110	B
BSJ1901	2.5729	96	B
CGH1901	2.4052	116	B
JJC2001	2.3696	92	C
LKD1901	1.9467	75	C
LKD2001	1.9318	88	C

오이 반촉성 재배 시 복합환경제어시스템 권장 설정값을 도출하기 위해 생산성이 가장 높았던 작기인 ‘KLS1901’의 온실 환경 데이터를 분석(기술통계)하였다. 오이의 생육단계에 따라 시간대별 환경 관리가 어떻게 이뤄졌는지를 파악하여 권장 설정값(조건표)을 제시하였다(표 8). 본 조건표에서 오이 반촉성 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값으로 제시한 항목은 내부 온/습도, 이산화탄소량, 토양/온도/수분/EC/pH로써 이러한 항목들은 스마트팜에서 오이를 재배할 때 사용자가 복합환경제어시스템을 통해 제어 가능한 것들이다. 다만, 스마트팜에 따라 적용 가능 범위와 정도는 제한될 수 있다.

스마트팜에서 수집된 데이터로 오이 생산량에 중요한 영향을 미치는 요인을 분석한 선행 연구결과에 따르면, 온도, 야간 상대습도, 토양수분 및 수분장력이 오이 생산량에 중요한 영향을 미친다(이지은 외, 2019). 그러나 온실 내부의 온도와 습도, 이산화탄소 등은 서로 영향을 미칠 뿐만 아니라(다중공선성) 다양한 외생변수가 존재하기 때문에 단순히 회귀모형을 통해 주요 인자를 설명하는 것에는 현실적인 한계가 존재한다.

그러므로 본 연구에서는 회귀분석이 아니라 일원배치분산분석을 활용하여 생산성이 높은 작기 내지 집단을 선별하고 해당 작기의 환경데이터를 분석(기술통계)하는 방식으로 오이 반촉성

재배 복합환경제어시스템 권장 설정값에 대한 조건표를 제시하였다.

표 8. 오이 반촉성 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값(조건표)

생육 단계	시간대 (HH)	내부온도 (°C)	내부습도 (%)	CO2 (ppm)	토양온도 (°C)	토양수분 (%)	토양EC (µmol/m <sup>3</sup> s)	토양pH
초기 (1~2월)	00~03	12.25	82.35	1034.34	16.00	20.49	0.53	7.04
	04~07	12.69	80.16	1112.55	15.48	20.37	0.53	7.07
	08~11	17.39	75.09	1109.66	17.57	20.51	0.52	7.00
	12~15	22.39	56.29	717.04	22.03	20.80	0.53	6.78
	16~19	16.47	73.33	714.56	19.81	21.08	0.55	6.87
	20~23	13.75	81.93	904.97	17.47	21.01	0.54	7.02
중기 (3~6월)	00~03	15.46	85.94	860.19	20.50	26.71	0.49	6.70
	04~07	15.50	86.49	961.98	19.59	26.52	0.49	6.71
	08~11	23.24	67.14	583.58	21.27	27.17	0.49	6.61
	12~15	26.09	52.17	422.39	23.77	27.60	0.50	6.54
	16~19	22.27	63.71	458.83	23.41	27.27	0.50	6.60
	20~23	17.62	83.36	677.75	21.82	26.93	0.50	6.66
후기 (7월)	00~03	20.10	86.29	651.46	24.00	25.90	0.29	6.69
	04~07	20.50	85.97	655.04	23.47	25.81	0.29	6.69
	08~11	26.31	68.64	412.29	24.33	26.65	0.30	6.63
	12~15	30.06	58.32	385.77	26.16	27.03	0.30	6.57
	16~19	27.03	63.93	398.17	26.09	26.61	0.30	6.58
	20~23	21.85	80.25	484.49	24.90	26.23	0.29	6.67

#### 나. 경기 남부지역 오이 반촉성 재배 스마트팜 농가 대상 현장 실증

앞서 도출한 ‘오이 반촉성 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값’을 스마트팜 농가 2개소를 대상으로 실증하였다. 일반적으로 보급형 스마트팜의 제어범위는 환기창 온도설정으로 제한되기 때문에 환기창 제어로 가능한 온실 내부온도와 습도가 실증의 대상이 되었다. 실증대상에 대한 정보는 ‘표 3’과 같다.

실증 결과, A 농가는 야간 내부온도, B 농가는 주·야간 내부온도 관리를 권장 설정값에 따른 제어가 가능하였지만, 두 농가 모두 내부습도는 제어할 수 없었다(표 9). 복합환경제어 프로그램을 통한 환기창 온도설정으로 정해진 시간에 맞춰 천창 및 측창 개폐를 통해 온도와 습도의 변화를 줄 수 있는 반면, 환기창은 온도를 기준으로 설정하기 때문에 습도를 직접적으로 제어할 수 없기 때문이었다.



표 9. 권장 설정값 - 실증 온실 측정값 분산분석 결과 비교

	권장 주간내부온도	A농가 주간내부온도		권장 주간내부온도	B농가 주간내부온도
평균	22.75	20.62	평균	22.75	22.49
분산	8.21	3.18	분산	8.21	6.76
관측수	26	22	관측수	26	25
t 통계량	3.131571076		t 통계량	0.342435241	
p-value	0.003124154		p-value	<b>0.733487945</b>	
	권장 야간내부온도	A농가 야간내부온도		권장 야간내부온도	B농가 야간내부온도
평균	16.03	15.09	평균	16.03	16.82
분산	7.08	0.70	분산	7.08	7.16
관측수	26	22	관측수	26	25
t 통계량	1.695696524		t 통계량	-1.050739361	
p-value	<b>0.099965965</b>		p-value	<b>0.298532937</b>	
	권장 주간내부습도	A농가 주간내부습도		권장 주간내부습도	B농가 주간내부습도
평균	64.47	77.02	평균	64.47	77.392
분산	31.03	153.46	분산	31.03	107.42
관측수	26	22	관측수	26	25
t 통계량	-4.391666714		t 통계량	-5.514931116	
p-value	0.000145894		p-value	3.09335E-06	
	권장 야간내부습도	A농가 야간내부습도		권장 야간내부습도	B농가 야간내부습도
평균	84.08	90.99	평균	84.08	95.73
분산	7.80	78.99	분산	7.80	15.94
관측수	26	22	관측수	26	25
t 통계량	-3.503049229		t 통계량	-12.02647232	
p-value	0.001752044		p-value	2.39689E-15	

오이 반촉성 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값 적용에 따른 현장 실증 결과, A 농가의 수확수는 '20년도 대비 72% 향상되었으나, B 농가의 경우 A 농가보다 환경관리가 권장 설정값에 더 근접했음에도 불구하고 '19년도 대비 41% 감소하여 생산성 증대 효과가 없었다(그림 2).

이에 대한 원인을 파악한 결과, B 농가의 경우 오이 반촉성 재배 간 '뿌리혹선충(root knot nematodea)'에 의한 작물의 병해충 피해를 입었을 뿐만 아니라 토양 내 양분과다가 생육과정에서 염류장해를 일으킨 것으로 확인되었다. 그러므로 외생변수(병해충 및 양분관리) 발생으로 인해 오이 반촉성 시 복합환경제어시스템 권장 설정값 적용에 따른 효과를 실증할 수 없었다.(표 10).

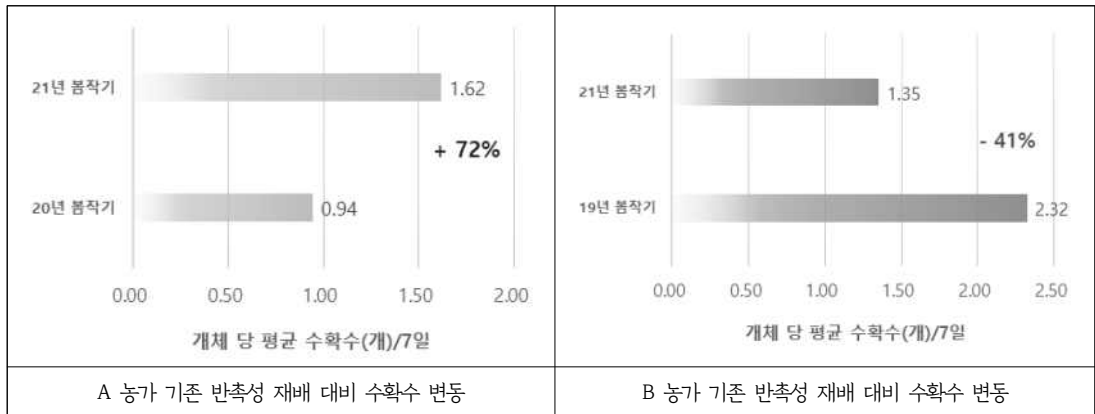


그림 2. 권장 설정값 적용에 따른 수확수 변화 비교

표 10. 오이 재배농가(B)의 병해충 발생 및 토양분석 결과

구분	분석 결과	적정범위
pH(1:5)	6.5	6.0~6.5
유기물(g/kg)	44	20~30
유효인산(mg/kg)	1404	400~500
칼륨(cmol+/kg)	1.84	0.7~0.8
칼슘(cmol+/kg)	13.5	5.0~6.0
마그네슘(cmol+/kg)	4.7	1.5~2.0
전기전도도(dS/m)	3.7	2이하



뿌리혹선충 피해



염류장해 피해

국내 대부분의 스마트팜 현장실증 연구 및 사례는 고사양의 스마트팜 구성 장비를 대상으로 수행되었다. 실증 연구에서 사용되는 스마트팜은 온실 내/외부 센서와 환기창 개폐, 관수, CO<sub>2</sub>시비, 가온 기능을 갖추고 있는 ‘기본+선택 2~3형’인 반면(농촌진흥청, 2019), 농가 현장에서 보편적으로 사용되고 있는 스마트팜은 기본 센서와 환기창 개폐 기능만 갖춘 ‘기본형’이다. 그러므로 온도, 습도, 이산화탄소 등의 센서로부터 데이터를 분석하여 유의미한 정보를 도출했다 하더라도 복합환경제어시스템에 의존하여 온실 환경을 원하는 대로 통제하기 어려울 것이다.

최근 머신러닝을 통해 스마트팜 실증 및 시험 연구데이터가 아닌 실제 농가 스마트팜 센서 데이터를 학습하여 수확량 예측 모델 개발이 가능하다는 것을 확인하였다(이브람, 2021). 충분한 정확도를 갖춘 예측 모델을 응용하여 시뮬레이션을 갖춘다면 개별 환경데이터를 바탕으로 제어 가능한 범위 내에서 수확량을 극대화 할 수 있는 조건을 찾을 수 있을 것이다.

### 다. 오이 억제 재배 시 복합환경제어시스템 권장 설정값

2019년부터 2020년까지 수집한 오이 억제 재배 작기에 대한 데이터셋 12건의 작기의 수확수를 기준으로 정규성 검정을 진행하였다. 검정 결과, 12건의 작기 중 bsj2019, khh2020, kuh2019, lgd2019가 정규성 가정을 만족하였다(그림 3).

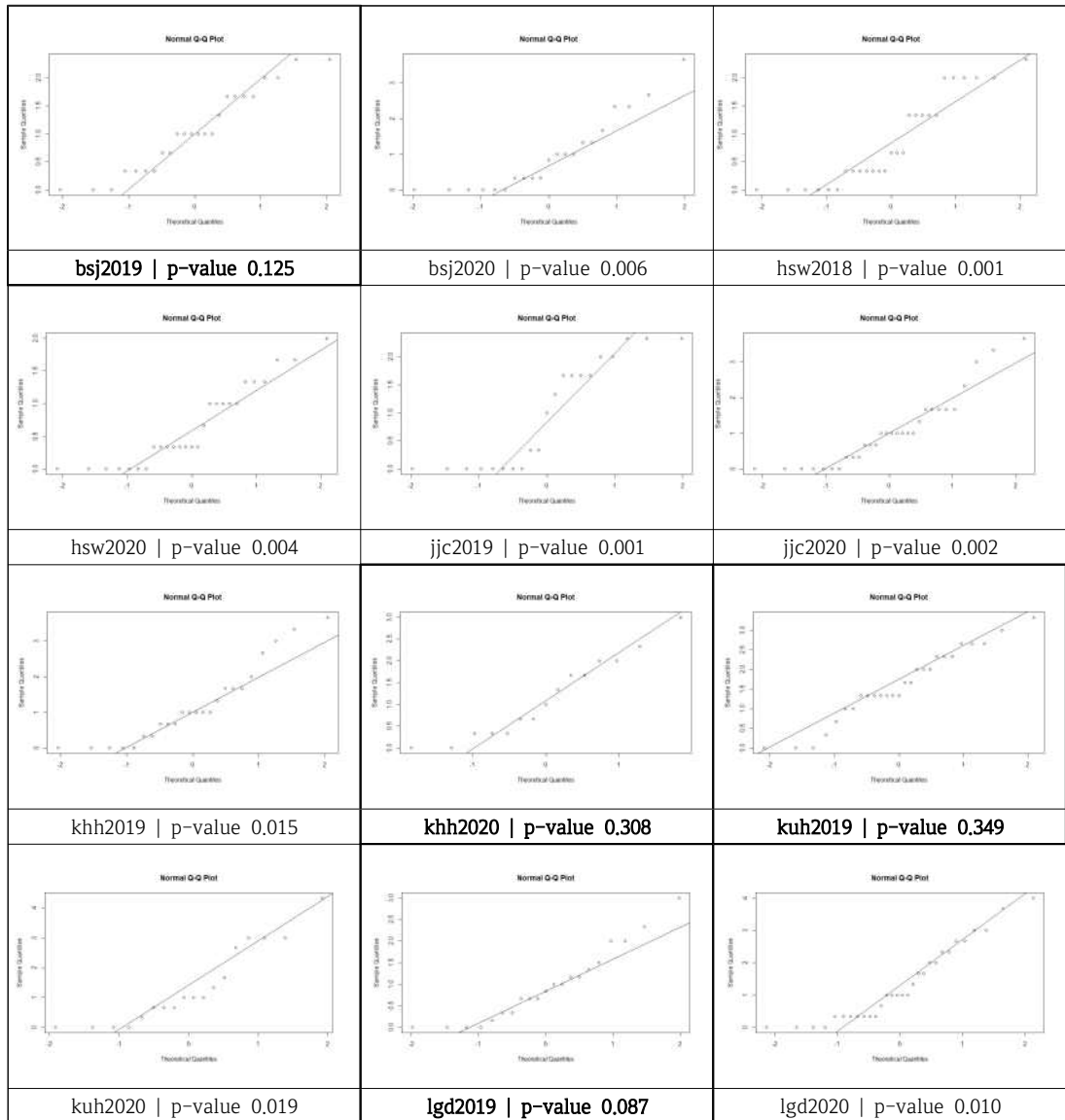


그림 3. 정규성 검정 결과(R)

따라서 정규성을 만족하는 4건의 작기에 대한 등분산성 검정을 수행하였다. 등분산성 검정 결과, 4건의 작기에 대한 차이를 비교할 수 있는 등분산성 가정을 충족하였다(표 11).

표 11. 등분산성 검정 결과(R)

Method	K-squared	DF	P-value
Bartlett test	1.4078	3	0.7037

그다음 정규성과 등분산성 가정을 충족하는 4건의 수확수 데이터세트에 대한 일원배치 분산분석(Oneway-ANOVA)을 실시하였다. 그 결과, 유의확률(P-value) 0.0512로 유의수준 0.1 기준으로 볼 때 통계적으로 차이가 있을 수 있다는 것을 확인하였다(표 12). 그러므로 4건의 작기에 대한 수확수에 어떠한 차이가 있는지 살펴보기 위해 사후검정을 진행하였다.

표 12. 일원배치 분산분석 결과(R)

	DF	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
id	3	5.87	1.9582	2.695	0.0512
Residuals	83	60.30	0.7265		

사후검정 결과, 4건의 억제 재배 작기에 대한 수확수는 A, AB, B 집단으로 분류되었다. A 집단은 kuh2019였으며 수확수 1.59개로 전체 집단의 평균 1.19개 대비 33% 가량 높은 생산성을 보였다(그림 4).

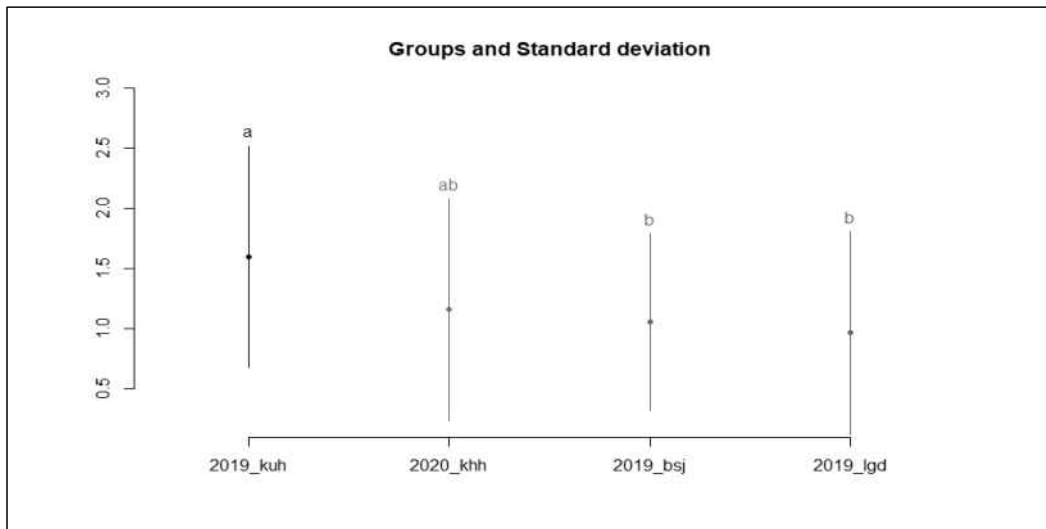


그림 4. 사후검정 결과(R)

그에 따라서 분석 대상이 되는 억제 재배 작기 중 생산성이 가장 우수한 kuh2019 작기에 대한 온실 환경 데이터 중 보편적인 스마트팜에서 제어 가능한 변수(온도, 습도, 이산화탄소, 광량)를 모니터링하였다(그림5, 6).

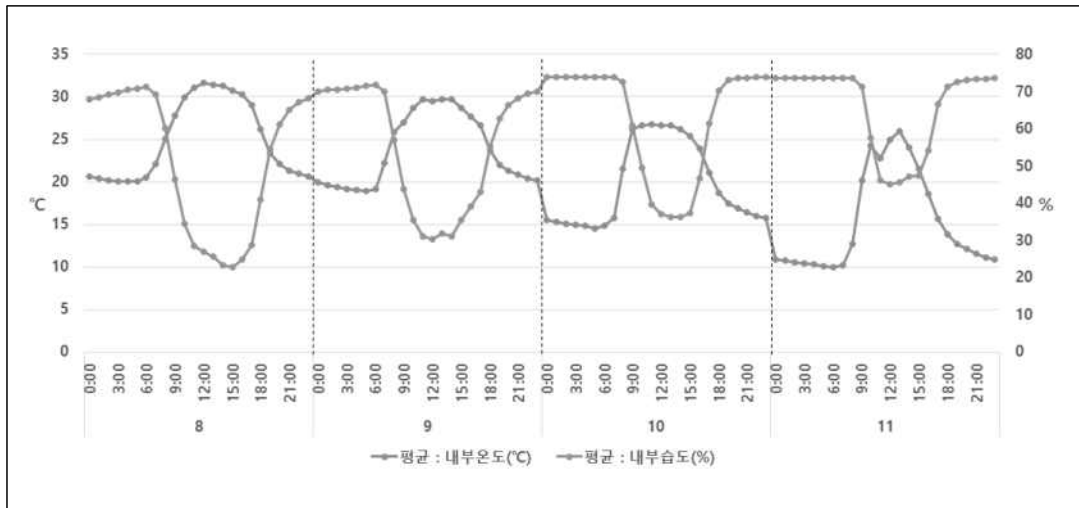


그림 5. 월/시간별 내부온도·습도 변화

내부습도의 경우, 작기 중에 80%를 상회하지 않았으며 여름철 한낮에는 25%까지 떨어지는 모습을 보였으나 9월 이후에는 30% 이상을 유지하였다. 일반적으로 억제 재배 시 온실 내 온도 유지를 위해 환기를 거의 하지 못해 습도가 높아지게 되어 증산과 광합성을 감소시켜 생산성이 떨어지는 주요 요인이 된다 (infoagro, 2019). 그러므로 생산성이 우수했던 kuh2019 작기의 습도 관리는 안정적이라고 할 수 있다.

한편, 온실 내부온도는 외부온도의 영향을 계절 변화에 따라 점차 감소하였다. 8월~9월에는 주간 온도를 30°C 내외로 유지함으로써 조기 생산을 촉진하였고 10월~11월에는 계절적 요인으로 야간 온도가 거의 15°C까지 감소하였다. 오이는 17°C 이하에서 잎과 과일의 기형이 발생할 수 있으므로 해당 작기의 온도는 안정적으로 관리되었다고 할 수 없으나(infoagro, 2019), 온도 제어가 상대적으로 유리한 8~9월에 주간 온도를 25°C 이상으로 유지하는 동시에 야간 온도를 20°C 이상으로 관리함으로써 조기 생산을 유도했다는 점이 효과적이었다고 볼 수 있다.

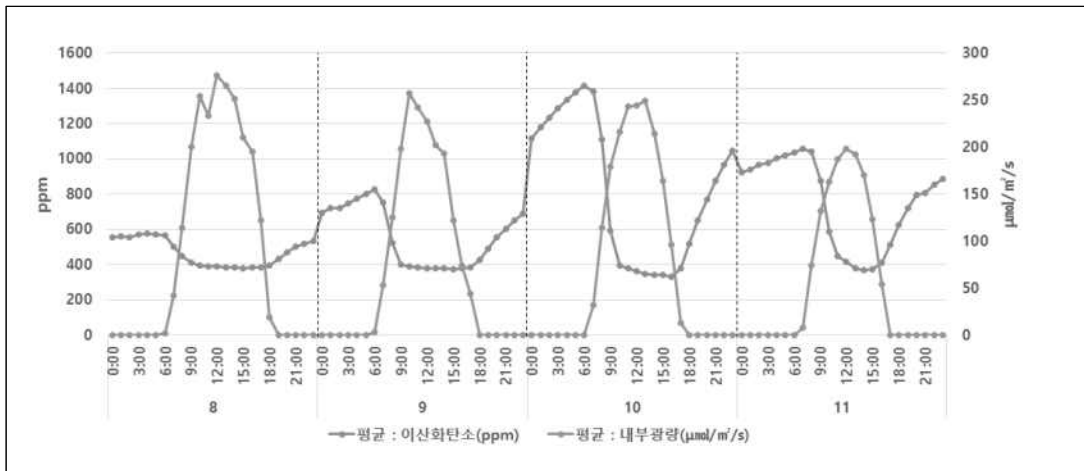


그림 6. 월/시간 별 내부 이산화탄소·광량 변화

한편, 오이는 일조 시간이 짧아도 정상적인 생식생장이 가능하지만 광량이 많을수록 수확량이 더 높아질 수 있다고 알려져 있는데(infoagro, 2019) 농가에서의 재배기간중 광량은 오이의 광 포화점인 55klx(태양광 400~700nm 기준, 654 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 환산)에 훨씬 못 미쳤다(문원외, 2011).

이산화탄소 농도는 수확기(8월 하순) 이후 매우 높았는데, 특히 야간(00시~04시)에 적정 수준(700~1,200ppm) 이상을 유지하였고 해가 뜨는 시간에 이산화탄소량이 급격히 감소하여 일출 시 환기가 규칙적으로 이뤄졌다는 것을 유추할 수 있었다(농촌진흥청, 2013). 일반적으로 해가 뜨기 시작할 때부터 오후 2~3시까지 탄산시비로 인한 생육 촉진 효과가 좋다고 알려져 있다(농촌진흥청, 2018).

수확수 증가에 핵심적인 영향을 미친 요인을 알아보기 위해 제시한 변수와 수확수의 상관분석을 진행한 결과, 이산화탄소와 야간내부습도가 수확수와 높은 양의 상관관계를 갖고 있었다. 반면, 이산화탄소와 야간 내부습도는 주·야간 내부온도와 음의 상관관계를 갖고 있었다(그림7). 이는 온실 내 이산화탄소와 습도가 증가하면서 온도가 낮아지는 상황, 즉 야간 환기창 폐쇄가 상대적으로 높은 수확량의 핵심적인 요인이었다는 것을 설명한다.

분석 결과를 종합적으로 살펴봤을 때, 생육 초기(8~9월) 온실 내 온도를 25~30 $^{\circ}\text{C}$ 로 관리하여 수확시기를 앞당겼으며 수확이 시작된 9월 하순부터 환기창 제어와 이산화탄소 시비를 통해 온실 내 야간 이산화탄소를 극대화함으로써 일출 이후 활발한 광합성 작용을 유도한 것이 오이 억제 재배시 생산성 향상의 핵심적인 재배 기술이었다. 그러므로 스마트팜을 활용하여 오이 억제 재배를 할 때, 복합 환경제어 프로그램 설정 또는 수동 조작을 통해 야간에 이산화탄소를 높게 유지하고 일몰·일출시 환기창 제어를 적정 수준으로 설정해야 높은 생산성을 기대할 수 있다.

단위: coefficient of correlation

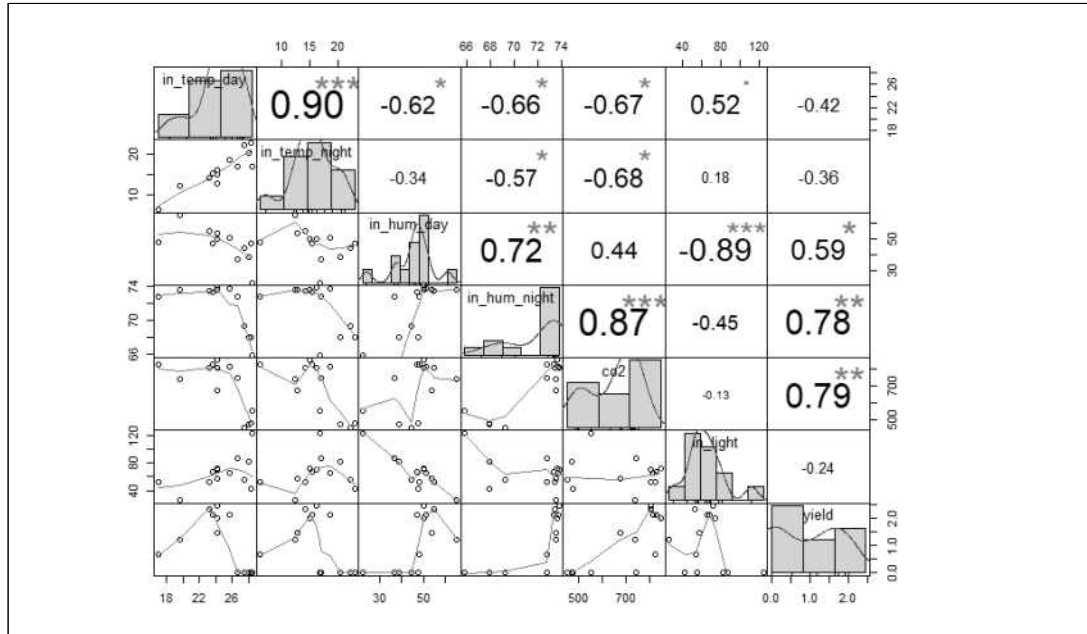


그림 7. 상관분석 결과(R)

오이의 생육 과정에서 광합성에 밀접한 영향을 미치는 환경요인으로는 광량, 기온, 이산화탄소량 등이 대표적이다. 오이의 광합성률(GPR)은 광보상점과 포화점의 격차 그리고 이산화탄소 보상점과 포화점의 격차가 큰 반면, 대기온도 24°C~32°C에서 큰 차이를 보이지 않는다(임준택 외 2021). 그러므로 온도 조건이 동일하다면 광량과 이산화탄소량이 오이의 광합성률을 결정하여 수확량에 결정적인 영향인 미친다는 결론에 도달 할 수 있다.

이러한 내용은 앞서 수행한 생산성 우수 작기(kuh2019)에 대한 환경데이터 모니터링 및 상관분석 결과에 대한 신뢰성을 뒷받침해 주고 있다. 그리고 본 연구는 변수 간의 상관인과 관계를 밝히는 것이 아니라 특정 시점, 특정 변수마다 적정한 범위를 제시한다는 점에서 차별성을 갖는다.

이상의 결과를 토대로 오이 억제 재배 시 보급형 스마트팜에서 복합환경제어시스템을 활용하여 제어할 수 있는 항목에 대한 권장 설정값을 제시하였다(표 13). 단, 제시된 광량은 이론적 수치와 차이가 있으며 온실 피복의 종류와 형태, 내구연수에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로 광량은 외부 기상의 영향을 받기 때문에 변화 추이에 따라 탄소 시비량과 시간을 결정하는 척도로 보는 것이 타당하다.

표 13. 오이 억제 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값(조건표)

	시간대	온도(°C)	상대습도(%)	이산화탄소(ppm)	광량( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )
8월	00:00 ~ 03:00	20.30	68.83	562.81	0.00
	04:00 ~ 07:00	20.69	70.47	554.37	11.05
	08:00 ~ 11:00	28.44	42.35	411.38	200.38
	12:00 ~ 15:00	31.27	24.66	386.36	250.27
	16:00 ~ 19:00	27.24	37.21	400.90	84.36
	20:00 ~ 23:00	21.24	65.44	507.82	0.00
9월	00:00 ~ 03:00	19.53	70.43	722.42	0.00
	04:00 ~ 07:00	19.84	71.09	788.88	14.10
	08:00 ~ 11:00	27.80	41.96	426.55	204.85
	12:00 ~ 15:00	29.44	32.07	379.09	189.72
	16:00 ~ 19:00	24.84	50.65	424.66	27.30
	20:00 ~ 23:00	20.70	68.47	626.86	0.00
10월	00:00 ~ 03:00	15.20	73.86	1205.17	0.00
	04:00 ~ 07:00	15.01	73.88	1378.91	8.19
	08:00 ~ 11:00	25.31	55.67	619.35	188.38
	12:00 ~ 15:00	26.19	36.66	350.06	218.34
	16:00 ~ 19:00	20.31	62.81	468.88	27.66
	20:00 ~ 23:00	16.25	73.77	913.69	0.00
11월	00:00 ~ 03:00	10.65	73.64	952.73	0.00
	04:00 ~ 07:00	10.14	73.71	1030.48	1.96
	08:00 ~ 11:00	19.97	62.12	739.93	139.43
	12:00 ~ 15:00	24.13	46.26	383.85	170.89
	16:00 ~ 19:00	15.18	66.18	567.61	13.55
	20:00 ~ 23:00	11.41	73.34	835.38	0.00

↓ 경기남부지역, 8월 하순 정식 기준



#### 4. 적 요

2019년부터 2020년까지 경기도 오이 재배농가에서 수집한 스마트팜 데이터를 분석하여 오이 반촉성·억제 재배의 스마트팜 복합환경제어시스템 권장 설정값을 다음과 같이 도출하였다.

- 가. 오이의 생식성장 지표인 암꽃수, 수확수, 열매수, 적과수와 실제 농가의 출하량 데이터의 상관분석 결과 수집한 생육변수 중 수확수가 0.33으로 가장 높게 나타났으며 회귀식「출하량(kg) = 1.54838 + 0.20073수확수」을 도출하였다. 위와 같이 생육변수 중 수확수가 생산성 지표로 적합하였다.
- 나. 오이 반촉성 재배 작기의 데이터세트 15건에 대한 분산분석을 수행한 결과 수확수가 통계적인 차이를 보였고 사후검정 결과「KLS1901」작기의 수확수, 즉 생산성이 가장 높게 나타났다. 이 결과를 활용하여 온실 환경제어를 위한「오이 반촉성 재배 복합환경제어시스템 권장설정값(조건표)」를 제시하였다.
- 다. 복합환경제어 프로그램의 환기창 온도설정을 통해 현장실증한 결과 온도를 권장 설정값에 맞춰 재배하는 것은 가능하였지만 온실의 규모, 형태, 유형 등에 따라 농가별로 권장 설정값 적용 효과가 다르게 나타나 추후 농가 유형별 권장 설정값 제시가 필요하다고 판단되었다.
- 라. 오이 억제 재배 작기의 데이터세트 12건을 대상으로 수확수에 대해 분산분석을 수행한 결과「kuh2019」작기의 수확수가 가장 높은 것을 확인하였고, 환경 데이터를 분석하여 환경적 요인이 규칙적인 환기창 개폐 설정과 일출 전 온실의 높은 이산화탄소량이 생산성의 요인이라는 것을 확인하였다. 이를 토대로 월별 환경제어를 위한「오이 억제재배 복합환경제어시스템 권장 설정값(조건표)」를 제시하였다.

#### 5. 인용문헌

- 제수만, 윤중근, 박원규. 2021. 시설원에 ICT 융복합 장비규격 및 서비스 기준. 농림수산식품교육문화정보원.
- 농촌진흥청. 2018. 스마트 온신허관리 가이드라인(2018).
- 농촌진흥청. 2014. 농업기술길잡이 4(개정판) 시설원예.
- 문원, 이용범, 손정익. 2011. 시설원예학. 방송통신대학교출판부.
- 이지은, 강소라, 옥유진, 전명희, 나명환. 2019. 시설오이의 생육에 영향을 미치는 최적 환경 요인에 관한 연구. Journal of the Korean Data Analysis Society(December 2019)Vol 21, No 6. pp 2913-2920.
- 이브람. 2021. 시설재배 오이 수확량 및 가격예측 모형. 제1회 농산물 수급 예측모형 경진대회 우수논문집 2장 2절. pp 246.
- 임준택, 김학진, 정순주, 이범선. 1999. 일사량, 온도, 탄산가스 농도 및 엽중 질소농도가 양

액재배 오이엽의 광합성율에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회:학술대회논문집. pp 187-191

Google.“Cucumber Growing(Part I).”infoAgro. January 31, 2019.

<http://agriculture.infoagro.com/crops/cucumber-growing-part-i/>.

## 6. 연구결과 활용제목

- 오이 억제 재배 복합환경제어시스템 권장 설정값(영농활용, 2021)
- 경기지역 봄 작기 오이 재배환경 제어값 도출(영농활용, 2020)

## 7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						'20	'21
스마트팜 오이 빅데이터를 활용한 환경관리 기술 개발	책임자	원예연구과	농업연구사	박남원	세부과제 총괄	○	○
	공동연구자	농업기술원	농업연구관	정윤경	연구자문	○	○
		"	농업연구사	이영석	자료조사	○	○
		"	"	정현경	자료실증	○	○
		"	농업연구관	원선이	방향설정	○	○
"	"	"	조창휘	방향설정	○	-	