



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

환경제어를 통한 블러드오렌지
생육에 관한 연구

濟州大學校 大學院

機械工學科

文 成 富

2022年 2月

환경제어를 통한 블러드오렌지의 생육에 관한 연구

指導教授 玄明擇

文成富

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2021年 12月 3日

文成富의 工學 碩士學位 論文을 認准함.

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2021年 12月

A study on the growth of blood orange according to environmental control

Sung-Bu Moon

(Supervised by Professor Myung-Taek Hyun)

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master in Mechanical Engineering

2021. 12. 3.

Department of Mechanical Engineering
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

List of figures	i
List of tables	ii
Summary	iii
I. 서 론	1
1.1 연구배경	1
II. 연구시설 환경	3
2.1 실증사이트 선정	3
2.2 시설온실	5
III. 실험 방법	10
3.1 실험방법	10
IV. 실험결과 및 고찰	12
4.1 온실환경제어 알고리즘 분석	12
4.2 실증사이트의 생육정보 비교 및 분석	18
4.3 광합성 제어시스템을 고도화	24
4.4 관수 제어 기술 고도화	30
4.5 블러드 오렌지의 품질 및 생산성 비교	36
4.6 재배 알고리즘 개발	40
V. 결 론	44
참고문헌	45

List of Figures

Fig. 1	Demonstration site model	4
Fig. 2	Schematic diagram of demonstration site	4
Fig. 3	Layout diagram of greenhouse complex	6
Fig. 4	Internal environment sensor installation point of greenhouse for blood orange	6
Fig. 5	Sensors and main facilities	9
Fig. 6	Blood orange sample	10
Fig. 7	Analysis of growing environment	23
Fig. 8	Correlation between integrated solar irradiance of outside and CO ₂ of greenhouse inside	25
Fig. 9	Flower initiation and full flowering periods(2020)	26
Fig. 10	End of petal fall period	26
Fig. 11	Fruit maturity period	27
Fig. 12	Sugar content increase period	28
Fig. 13	Harvest period	29
Fig. 14	Estimation of irrigation amount considering optimal growth environmental conditions	31
Fig. 15	Irrigation point by growth stage - End of petal fall period	32
Fig. 16	Irrigation point by growth stage - Fruit maturity period	33
Fig. 17	Irrigation point by growth stage - Sugar content increase period	34
Fig. 18	Irrigation point by growth stage - Harvest period	35
Fig. 19	Sugar content and acidity of blood orange	38
Fig. 20	Fruit flesh and fruit peel color of blood orange	39
Fig. 21	RNN environment control algorithm setting	40
Fig. 22	Integrated control algorithm of blood orange	43

List of Tables

Table 1	Current status of greenhouse complex	5
Table 2	Specification of measurement sensor for indoor environment monitoring of greenhouse	7
Table 3	Growth information of Citrus hybrid ‘Kanpei’	11
Table 4	Set point of control parameter for greenhouse environment (Temperature_monthly/hourly)	13
Table 5	Set point of control parameter for greenhouse environment (Humidity_monthly/hourly)	14
Table 6	Set point of control parameter for greenhouse environment (CO2_monthly/hourly)	15
Table 7	Set point of control parameter for greenhouse environment (Soil moisture_monthly/hourly)	16
Table 8	Set point of control parameter for greenhouse environment (Electrical conductivity of soil_monthly/hourly)	17
Table 9	Irrigation management manual according to fruit growth characteristics	30
Table 10	Analysis of production and sugar content of blood orange	36

SUMMARY

In this study, the growth of the blood orange was compared by using thermal effluent from a power plant as an energy source for cooling and heating in a greenhouse. In addition, environmental control such as temperature, irrigation, and CO₂ was performed for comparison of growth.

This study was conducted during two years, and in the first year(2019), only temperature control(turned on at 12°C, turned off at 14°C) was performed as a general irrigation method in farms. Also, in the second year(2020), growth information of the citrus hybrid 'Kanpei' was used, and complex environmental control such as temperature, irrigation, and CO₂ was performed, and the harvest was compared with the first year.

As a result of comparison of a growth of the blood orange in the first and second years, the blood orange harvested in the second year, which was subjected to complex environmental control, increased the yield by 468%. The sugar content was increased, on the other hand, the acidity was decreased, therefore, the sugar acidity was increased. Also, the fruit peel and fruit flesh became red, and it was improved to a product with the characteristics of the blood orange containing a lot of anthocyanins. The growth information of the citrus hybrid 'Kanpei' and the blood orange was analyzed using RNN artificial intelligence model, and optimal control values for each growth stage were derived, and the greenhouse environment control algorithm was developed.

I. 서론

1.1 연구배경

우리나라 소득 수준이 높아짐에 따라 단순 노지 농업에서 벗어나 시설재배를 통한 수확시기 조절을 통해 같은 농산물을 연중 공급하고 소비하는 패턴으로 바뀌고 있다. 또한 시설 재배를 이용해 고소득 작물인 아열대 작물로의 품종 변경을 통해 소비자의 욕구에 맞추고 농가의 소득을 증대시키고자 하는 노력이 병행되고 있다.

시설재배의 경우 대부분 가온(혹은 냉방까지)해야 하기 때문에 필연적으로 에너지의 사용이 수반된다. 가온을 위해서는 예전부터 경유, 등유 등을 사용하는 열풍기를 많이 사용해 왔고, 최근에는 경유, 등유에서부터 펠릿을 이용하는 보일러까지 다양하게 적용되고 있다. 최근 고품질의 농산물을 생산하기 위해 야간 냉방이 필요해짐에 따라 공기열 혹은 지열 히트펌프 방식을 도입하여 난방 뿐 아니라 냉방 시스템을 적용하기도 한다.

이러한 추세로 인하여 농가에서의 에너지 사용이 급증하고 있으며, 고품질 작물의 생산 및 품질 향상을 위해서 난방비의 부담은 더욱 가중되고 있는 실정이다. 우리나라의 시설온실 농가 경영비 중 유류비가 차지하는 비중은 약 35~58%에 달한다.[1] 난방비 절감이야말로 시설재배 농가의 수익에 크게 영향을 미치는 상황으로 시설온실의 연간 겨울철 고액의 난방비를 절감할 수 있는 시스템 구축이 시급하다.

이를 위해 시설원에 농가가 이용하고 있는 에너지를 초기 투자만 하면 지속적으로 에너지를 생산할 수 있는 지열시스템으로 대체하고 보온시설을 대대적으로 도입하는 한편, 화석연료를 이용 시에도 고효율의 설비를 도입하는 등 농가의 에너지 절감방안 및 보온시설 이용에 대한 활용 방안이 활발히 논의되고 있다. 특히 지구온난화에 대비한 세계기후협약에 대처하기 위하여 국가적 차원의 신재생에너지 보급정책이 이루어지고 있는 상황에서 시설재배 농가에 신재생에너지 확산은 중요한 요소이다.

2016년 정부에서는 에너지신산업을 발표하면서 발전소 온배수(Thermal effluent)를 신재생에너지원으로 고시하였다. 발전소온배수는 화력발전소에서 냉각용으로 유입된 바닷물의 데워져 나오는 온수를 말한다.[2] 사실 대부분의 발전소에서 에너지를 얻기 위해 랭킨(Rankine) 사이클을 적용하는데 여기에서는 응축기를 냉각하기 위한 많은

물(대부분 바닷물 사용)이 필요하다. 이 냉각수는 터빈에서 나오는 수증기를 응축하는 과정에서 원래의 온도보다 5℃ 내외 온도가 상승하게 되는데 이는 그대로 방류시 주변 바닷물의 온도보다 높기 때문에 환경 변화 원인의 하나로 지목되고 있다.

UN 해양법 협약상 온배수는 ‘직·간접적으로 인위적으로 해양환경에 유입되는 물질 또는 에너지로서 해양생물에 해롭거나, 해양의 쾌적한 이용을 저해시키는 오염물질’로 정의하고 있다.[3]

그러나 발전소 온배수는 바닷물보다 온도가 높아 난방용 에너지원으로 활용하기에는 적합하기 때문에 이를 에너지원으로 사용할 경우 난방의 경우 어느 에너지원보다 고효율의 장치를 설계할 수 있다. 이러한 특성 때문에 일찍부터 많은 선진국에서는 적극적으로 활용되고 있다. 발전소온배수를 활용한 시설재배 농가의 에너지원으로 활용하는 경우에 대한 연구도 많이 진행되어 있다.[4-9]

본 논문에서는 화력발전소 온배수열을 시설재배 단지의 에너지원으로 활용하고 있는 지역에서 환경제어를 통해 아열대 작물인 블러드오렌지의 생육에 관한 연구를 하고자 한다. 연구는 2개년에 걸쳐 시행되었는데 1차년도(2019년)에는 농가에서 관습적으로 행해지던 관수 방법에 난방온도 제어만 이루어진 경우에 대해 연구하였다. 2차년도(2020년)에는 블러드오렌지에 적용할 수 있는 생육정보가 전혀 연구되지 않은 상황이어서 레드향 생육정보를 활용하여 온도제어 및 CO₂, 관수를 시행하여 1차년도와의 수확물에 대한 비교를 수행하였다. 또한 1, 2차년도의 데이터를 기준으로 빅데이터 분석을 통해 생육단계별 블러드오렌지의 통합제어 알고리즘을 제시하였다.

II. 연구시설 환경

2.1 실증사이트 선정

본 연구를 위한 실증사이트는 제주도 조천읍의 한국중부발전 제주본부와 약 2km 떨어진 신촌백합화훼영농단지를 선정하였다. 발전소 온배수의 열원을 이용하기 위한 주요 시스템 구성은 Fig. 1에서와 같이 발전소-제1기계실-관로-제2기계실-시설온실로 이루어져 있다. Fig. 2는 실증사이트 구성도로 발전소 온배수는 발전소 응축기에서 바다로 유출되기 전 저류조에 체류하였다가 수증펌프에 의해 제1기계실로 공급되며, 열교환기를 통해 제1기계실로 유입되는 담수와 열교환된 후 배수로로 유출된다. 제1기계실의 열교환기와 제2기계실의 히트펌프 사이에서는 순환펌프에 의해 담수가 순환 공급된다. 제1기계실에서 승온된 담수는 제2기계실에는 히트펌프의 증발기에서 냉매의 증발(냉방시 응축)에 활용된 후 온도가 하강된 채 다시 제1기계실의 열교환기로 공급되어 온배수의 열원에 의해 승온됨으로서 제2기계실의 히트펌프의 증발기로의 열원 공급을 반복하게 된다. 히트펌프와 버퍼탱크(축열조) 사이에는 담수가 순환하게 되는데, 증발기에서 증발된 냉매는 히트펌프 응축기에서 응축되면서 열을 유출(냉방시 유입)시킴으로서 축열조에서 공급되는 물을 고온의 온수(냉방시 저온의 냉수)로 생성하게 된다. 이 축열조에 저장된 물은 시설재배지의 설정온도에 반응하면서 시설온실 내부에 공급되고 팬 등을 통해 시설온실에 열원이 공급되면서 발전소온배수를 냉난방에너지원으로 활용되는 것이다.

본 연구에 적용된 실증사이트는 발전소에서 먼 거리(약 2km)에 떨어져 있기 때문에 관로를 통해 물의 운송 중 혹시 유출 사고에 대비해 해수를 직접 사용하지 않고 열교환기를 통해 담수에 열에너지를 전달하고 이 담수를 제1기계실과 제2기계실을 순환하는 방식을 적용하였다. 또한 매설관을 HDPE관을 사용하여 용접하고 단열재로 외부를 피복하여 누수나 원거리 이송에 따른 열손실을 최소화하도록 조치하였다. 실측결과 약 2km의 원거리 이송에 따른 온도강하가 1℃ 이하에 불과하였다. 또한 관로 5곳에 점검구를 두어 압력을 측정함으로써 누수를 조기에 발견하여 조치를 할 수 있도록 하였다.



Fig. 1 Demonstration site model

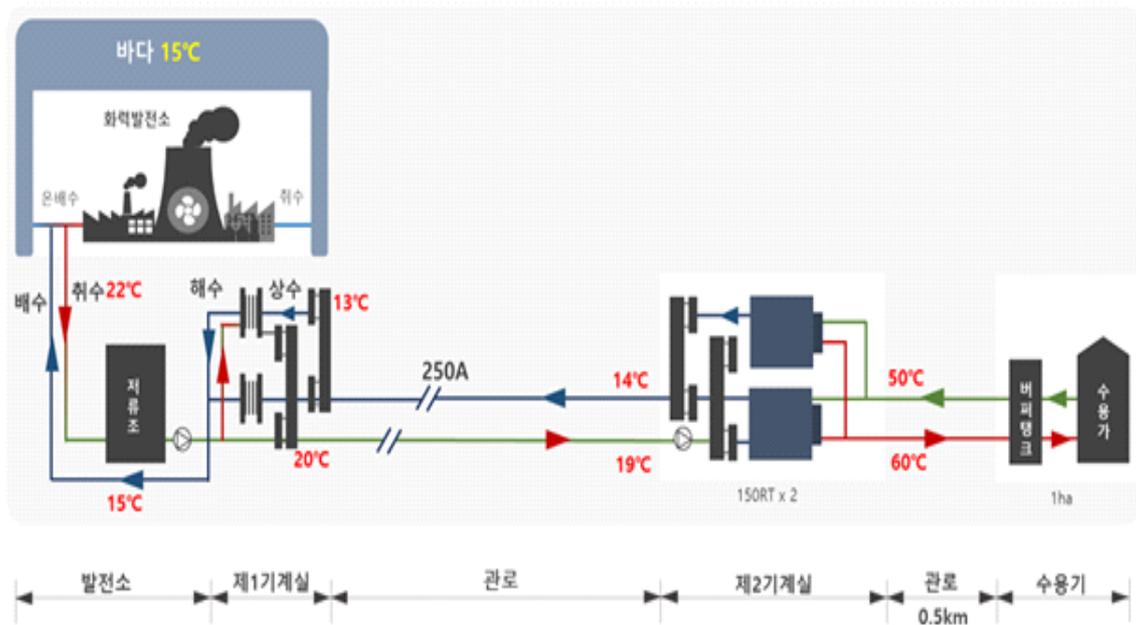


Fig. 2 Schematic diagram of demonstration site

2.2 시설온실

실증사이트 시설온실의 규모는 약 1ha 정도이다. Fig. 3과 같이 크게 3개의 동으로 이루어져 있으며 1동과 3동은 비닐하우스, 2동은 유리온실이다. 각 시설온실의 규모 및 재배 작물은 Table 1에 나타내었다. 발전소 온배수는 3개의 모든 시설온실에 공급하였으나, 본 연구에서는 유리온실인 2동의 블러드 오렌지를 실험대상으로 하여 환경제어를 통한 생육 상태 조사를 진행하였다.

이를 위해 3개의 블러드 오렌지 나무군을 선정하였는데, Fig. 3에서 보듯이 통로쪽에 위치하여 가장 일조량이 좋은 A나무, 블러드 오렌지 나무군 내에 존재하는 B나무 그리고 시설온실의 벽쪽에 위치한 C나무에 대해 생육데이터를 측정하여 그 결과를 제시하였다.

시설온실 내부 환경을 측정하기 위한 각종 계측장비의 설치 지점은 유리온실 2-2동과 2-3동에 위치하며, Fig. 4의 ①, ②, ③과 같다. 상대습도, 광도, CO₂ 센서 등 주요 계측장비의 사양은 Table 2에 제시하였다. 또한 중요 센서의 설치 모습과 설비를 Fig. 5에 제시하였다.

Table 1 Current status of greenhouse complex

Test bed facility greenhouse status		Crops	Area(m ²)
Building 1. (Plastic greenhouse)	1-1	Sunred(미하야)	661
	1-2	Lily	1,322
Building 2. (Glass greenhouse)	2-1	Blood orange	1,322
	2-2	A plan to grow subtropical crops. (Apple mango or lily.)	1,652
	2-3	Blood orange	661
Building 3. (Plastic greenhouse)	3-1	Citrus hybrid 'Kanpei'(레드향)	826
	3-2	Beni Madonna(황금향)	1,487



Fig. 3 Layout diagram of greenhouse complex

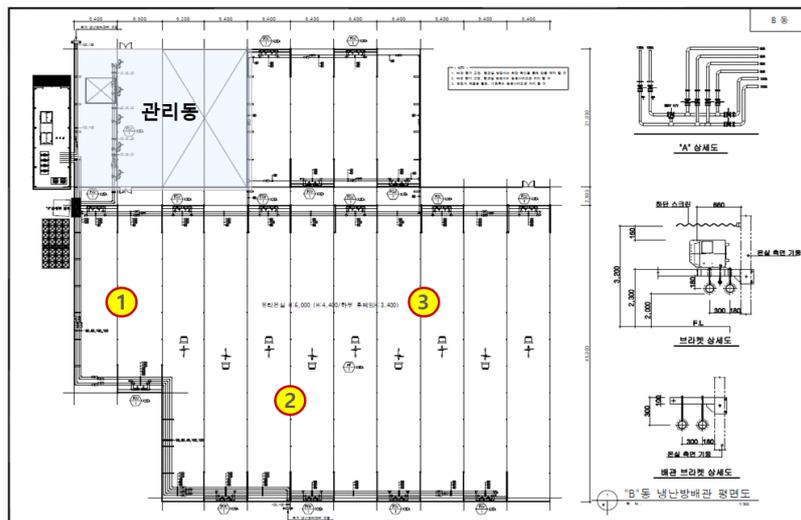


Fig. 4 Internal environment sensor installation point of greenhouse for blood orange

Table 2 Specification of measurement sensor for indoor environment monitoring of greenhouse

Product name	Standard	Quantity
Vaisala Temperature/RH Probe	HMP60 (50M)	3Set
Solar Radiation Shield	41303	
Quantum Sensor	LI-190R-SMV-50 (50M)	
Mounting & Leveling Fixture	2003S	
CO ₂ Probe	GMT252 (10M)	
12cm Water Content Reflectometer Plus for ET	CS655 (50M)	
Data Logger	CR1000	1EA



(a) Temperature and humidity sensor and solar radiation sensor



(b) Soil moisture sensor



(C) CO₂ generator



(d) Irrigation equipment



(e) Nutrient solution mixing equipment

Fig. 5 Sensors and main facilities

Ⅲ. 실험 방법

3.1 실험방법

3.1.1 1차년도(2019년) 연구 방향

앞에서 설명한 바와 같이 실증사이트 시설온실은 제주특별자치도 제주시 조천읍 신촌리에 위치하고 있으며, 시험 대상 아열대 작물은 2동에서 재배중인 블러드 오렌지를 선정하였다. 이 중에 Fig. 3의 A, B, C 지역에 있는 나무를 대표군으로 선정하였다. A 나무는 통로에 위치하여 다른 나무에 비해 충분한 광량을 취할 수 있는 것으로 선정하였고, B나무는 블러드 오렌지 군내에 위치한 나무를, C나무의 경우 온실 벽 근처에 위치한 나무를 대표군으로 선정하였으며 각각의 나무는 Fig. 6과 같다.

1차년도에는 온도제어(12℃에서 작동, 14℃에서 중지)와 관습적인 관수에 의해 생산된 블러드 오렌지를 평가하였다.



Fig. 6 Blood orange sample

3.1.2 2차년도(2020년) 연구 방향

블러드오렌지는 우리나라에서 재배를 시작한 지 얼마 되지 않아 자세한 생육 정보 확인이 어렵다. 제주농업기술원과의 협의 결과 블러드오렌지 재배 방법은 레드향과 유사하게 적용하는 것이 적정하다는 결론에 이르렀다. Table 3에는 레드향 생육 정보를 제시하였다.

2차년도에는 레드향 생육정보를 바탕으로 온도, 관수, CO₂ 등 복합적으로 제어하여 블러드 오렌지를 생산하였다. 시험 나무군으로 선정한 A, B, C의 나무군에서 생산된 2차년도 결과물을 1차년도에 생산된 결과물과 비교 평가하였다.

Table 3 Growth information of Citrus hybrid ‘Kanpei’

Citrus hybrid ‘Kanpei’				
The growing season	Growing situation	Irrigation method		Note
		Interval	Irrigation volume (ton/10a)	
harvest~ Before germination	Dormant 휴면기	2~3 weeks	5~10	Maintaining tree growth and promoting germination 수세유지 및 발아촉진
Mid-March~ Early April	Germination 발아기	5-7 days	20	Promotion of growth 생육촉진
Late April	Full bloom 만개기	5-7 days	5~10	Preventing the gray mold rot 잿빛곰팡이 방지
End of April~ Late June	End of petal fall period 생리낙과기	5-7 days	20	Enough irrigation 충분한 관수
Early July~ Late October	Fruit maturity period 과실비대기	3~5 days	20	Prevention of heat 열과방지
Early November~ Late November	Coloring Period 착색기	10~15 days	10	Control according to acidity 산함량에 따라 조절
Early December~ Mid-February	Maturity 성숙기	10 days	5	Maintaining water to doesn't cut off 물이 끊어지지 않도록
End of February~ Mid-March	After harvesting 수확종료 후	1st and 2nd times	20	Recovering growth of tree 수세회복

IV. 실험결과 및 고찰

4.1 온실환경 제어 알고리즘 분석

본 연구에서는 보통 시설농가에서 시행하는 온도제어 방식의 결과와 다른 환경 요인을 복합적으로 고려하였을 때 제품에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 연구는 1차년도(2019년)와 2차년도(2020년) 2개년에 걸쳐 시행되었으며, 1차년도의 경우 온도제어와 관습적 관수가 이루어진 반면 2차년도에는 온도 외에도 관수제어 및 CO₂ 제어까지 이루어져 2개년간의 생산 품목에 대한 평가가 이루어졌다.

아열대과수는 블러드 오렌지에 대해 시행되었는데 우리나라에서 재배를 시작한 지 얼마 되지 않아 자세한 생육정보 확인이 어렵다. 제주농업기술원과의 협의 결과 블러드 오렌지 재배 방법은 레드향과 유사하게 적용하는 것이 적절하다는 결론에 이르러 2차년도에 제어 기준은 레드향 생육정보를 활용하였다.

1차년도에는 온도제어만이 이루어졌는데 2018년 12월 6일 18시부터 2019년 12월 31일까지 12℃에서 작동, 14℃에서 중지하도록 제어하여 자동 난방운전을 시행하였다. 2차년도에는 난방온도 외 레드향 생육에 영향을 미치는 Table 3과 같이 환경조건을 복합적으로 제어하였다. 2차년도에 측정된 실증사이트의 온도, 습도, CO₂, 토양수분, 토양전기전도도를 측정하여 Table 4~8에 제시하였다. 모든 데이터는 월별 시간단위로 평균낸 값으로 제시하였다.

Table 4 Set point of control parameter for greenhouse environment
(Temperature_monthly/hourly)

시간	1월		2월		3월		4월		5월		6월		7월		8월		9월		10월		11월		12월	
	최소	최대																						
0	10.1	11.9	7.8	8.3	12.3	14.8	11.9	14.2	16.6	19.1	19.9	22.7	21.1	24.6	24.9	25.7	21.5	24.3	13.3	14.8	9.6	15.0	6.7	8.2
1	9.9	11.7	7.7	8.3	12.0	14.7	11.9	13.9	16.2	18.8	19.4	22.4	21.1	24.4	24.8	25.4	21.3	24.2	13.3	14.8	9.4	14.3	6.6	7.7
2	9.7	11.6	7.7	8.5	11.9	14.8	11.7	13.7	16.1	18.8	19.3	22.1	21.1	24.3	24.5	25.3	21.5	24.1	13.4	15.0	9.3	14.1	6.4	7.7
3	9.8	11.5	7.7	9.1	11.8	14.7	11.4	13.6	15.9	18.6	19.3	21.9	21.1	24.3	24.4	24.9	21.6	24.0	13.3	15.1	9.3	14.0	6.4	8.0
4	9.7	11.5	7.5	8.9	11.9	14.3	11.2	13.6	15.5	18.5	19.3	21.8	21.1	24.3	24.3	24.7	20.9	24.0	13.0	15.1	9.4	14.6	5.7	8.1
5	9.6	11.5	7.7	8.8	12.0	13.9	11.0	13.4	15.3	18.4	19.5	21.5	21.0	24.5	24.0	24.5	20.7	24.1	13.1	15.2	9.4	14.8	6.2	7.7
6	9.6	11.5	7.7	9.0	12.0	13.4	11.1	13.6	16.5	18.8	20.1	23.0	21.1	24.7	24.3	24.7	20.7	23.9	12.5	15.4	9.4	14.9	5.5	7.5
7	9.6	11.5	7.8	9.0	12.0	14.6	12.8	16.2	19.1	21.4	21.8	25.5	22.2	25.8	25.6	27.4	21.8	24.2	13.1	15.7	9.3	14.9	5.0	7.8
8	9.7	11.7	8.8	10.1	14.1	17.3	17.0	22.7	21.3	25.2	24.1	28.5	24.2	26.6	29.2	30.7	23.1	25.7	15.9	18.3	10.7	16.0	6.4	8.9
9	11.3	13.6	11.1	13.6	17.0	24.1	20.7	25.2	22.9	28.1	25.6	31.4	25.8	30.0	30.2	32.0	24.4	27.8	19.4	21.3	14.4	18.8	9.9	12.1
10	12.8	16.6	13.9	19.3	16.5	25.4	22.4	26.9	24.3	30.8	26.0	33.3	27.5	31.5	31.0	34.3	26.2	29.4	21.4	24.4	17.6	22.0	12.0	17.8
11	14.5	19.7	17.5	24.5	16.2	26.6	23.3	28.3	26.2	32.1	26.5	33.7	27.9	31.5	32.6	36.0	26.1	30.0	22.9	25.8	18.7	23.6	13.6	19.0
12	16.2	21.8	18.5	24.5	16.3	28.9	24.9	29.9	26.1	33.1	26.5	34.5	27.2	32.1	33.1	36.5	26.2	30.1	23.9	27.1	18.8	24.8	14.6	19.0
13	16.0	23.5	19.0	23.0	17.6	28.1	25.6	30.0	27.3	33.2	26.1	33.9	27.4	31.3	34.1	36.1	26.6	29.6	22.8	27.3	19.6	25.6	14.5	19.0
14	15.7	22.5	19.1	21.8	17.2	26.8	24.5	29.5	27.0	31.8	26.9	33.7	26.9	31.0	34.2	35.8	26.5	29.6	22.7	25.4	18.4	24.6	14.8	18.0
15	14.7	21.4	16.0	20.2	16.6	25.8	23.0	27.6	26.6	30.5	27.1	33.1	26.9	31.3	32.7	34.1	26.2	28.6	21.8	24.6	17.7	22.7	14.3	16.2
16	13.2	18.7	14.5	16.3	18.0	25.6	20.9	26.1	25.5	28.7	26.0	31.3	26.6	30.7	32.6	33.3	26.2	27.9	20.0	22.4	15.0	20.5	12.6	15.0
17	12.0	15.4	11.8	15.1	18.0	23.1	19.1	25.7	23.5	26.7	25.6	29.6	26.6	30.2	31.6	32.9	25.2	27.3	17.9	20.1	13.2	18.8	9.4	13.3
18	11.2	13.8	9.7	11.5	16.7	18.8	16.9	22.6	21.4	24.3	24.6	27.2	25.8	29.4	30.3	31.1	24.1	26.3	15.3	18.2	11.6	17.3	8.0	10.9
19	11.0	13.0	9.2	10.2	14.0	16.9	15.7	18.3	19.6	22.2	23.1	25.5	24.2	27.3	28.5	29.4	22.4	25.2	14.3	17.1	10.9	16.4	7.6	10.0
20	10.7	12.7	8.6	9.6	13.9	15.8	14.2	16.4	18.4	20.7	21.7	24.1	22.7	26.0	27.3	27.8	21.7	24.8	13.8	16.2	10.6	16.1	7.5	9.4
21	10.6	12.4	8.2	9.7	13.6	15.5	13.2	15.5	18.1	20.0	20.8	23.9	22.2	25.5	26.6	27.1	21.3	24.4	13.5	15.7	10.0	15.9	7.4	9.0
22	10.2	12.2	8.2	9.2	13.3	15.6	12.5	15.2	17.5	19.7	20.2	23.4	21.8	25.3	26.1	26.7	21.4	24.3	13.5	15.4	9.7	15.3	7.1	8.8
23	10.1	12.0	8.1	9.2	12.9	15.3	12.2	14.7	17.1	19.5	20.0	23.1	21.4	25.0	25.7	26.1	21.6	24.3	13.2	15.2	9.4	15.1	6.5	8.6

Table 5 Set point of control parameter for greenhouse environment
(Humidity_monthly/hourly)

시간	1월		2월		3월		4월		5월		6월		7월		8월		9월		10월		11월		12월	
	최소	최대																						
0	84.5	92.1	85.4	89.0	90.0	92.8	87.3	92.8	90.8	93.3	91.2	94.3	89.0	94.2	88.0	91.6	90.1	96.4	68.0	83.7	75.2	89.3	69.5	83.3
1	85.4	92.3	84.9	89.2	90.0	93.6	87.8	93.3	91.2	93.9	92.0	94.7	89.9	94.4	89.7	91.9	90.2	96.7	68.5	84.6	75.8	89.3	70.0	80.7
2	85.3	92.3	85.6	88.7	90.9	94.3	88.5	93.6	91.9	94.1	92.7	94.9	90.7	94.7	89.8	91.8	89.9	96.8	68.3	85.3	75.0	89.0	69.9	82.5
3	86.5	92.1	83.2	90.5	91.0	94.9	88.8	94.6	92.4	94.4	93.1	95.4	91.4	95.0	89.8	92.6	89.2	96.9	67.7	85.0	73.4	89.3	70.1	84.7
4	86.0	92.2	84.9	90.2	90.8	95.2	89.2	93.9	92.8	94.7	93.1	95.6	91.6	95.2	91.0	92.3	90.4	97.4	66.0	85.2	75.5	89.5	72.3	86.3
5	86.4	92.0	85.4	90.5	90.7	95.1	89.2	94.5	93.0	95.0	93.6	95.7	92.0	95.4	90.6	92.2	91.2	97.7	68.0	86.7	78.1	90.6	72.1	86.3
6	86.5	92.3	80.9	90.3	92.3	95.0	90.0	94.8	93.4	95.5	92.0	96.1	92.1	95.6	91.8	93.4	92.4	97.5	70.4	86.1	79.6	91.3	72.6	87.5
7	86.2	92.7	83.0	90.1	94.2	95.5	88.6	94.7	75.9	94.8	83.6	95.0	89.1	95.3	85.8	90.3	92.5	97.2	70.9	87.4	78.2	92.6	75.0	88.0
8	86.1	92.2	81.9	90.0	88.6	95.1	55.6	89.7	61.7	90.2	71.6	88.2	79.4	93.9	73.1	77.1	85.6	95.3	65.2	81.5	75.0	92.5	72.4	87.1
9	82.5	91.1	75.1	84.0	69.5	89.5	41.6	71.5	50.7	83.8	58.4	83.0	70.1	88.4	69.5	74.7	76.3	91.9	54.4	69.5	58.2	81.2	60.2	78.8
10	77.4	87.5	61.8	78.9	42.3	89.2	36.1	47.4	42.7	76.8	53.0	79.0	66.7	84.1	63.9	74.4	71.0	88.0	49.6	60.7	50.0	75.9	48.9	61.2
11	62.4	84.6	50.0	70.9	37.8	89.0	33.0	43.9	41.0	69.1	51.8	78.6	67.1	79.9	59.9	68.7	69.8	87.3	46.0	59.8	44.6	71.7	42.9	57.2
12	57.5	81.0	41.0	54.4	33.6	87.0	29.9	40.3	39.9	66.3	50.3	78.3	65.9	79.8	58.5	65.4	67.6	87.4	39.6	56.1	41.9	67.6	40.0	57.3
13	54.0	80.7	40.9	51.6	34.1	81.0	29.3	39.5	38.5	62.3	52.1	79.3	66.0	78.5	60.8	65.2	69.2	86.9	37.3	59.2	41.0	67.3	41.6	54.4
14	51.6	80.2	41.9	60.4	34.4	67.6	30.0	41.2	43.2	60.5	51.7	75.9	66.3	77.4	62.2	66.4	70.2	87.4	41.2	61.2	45.3	67.3	42.9	57.9
15	56.8	81.3	46.6	62.1	37.7	82.2	32.4	45.0	45.9	61.2	54.8	73.4	64.1	79.1	65.5	69.9	72.8	89.0	40.4	62.3	45.6	69.6	46.7	58.2
16	61.7	84.1	49.4	63.7	39.5	83.5	36.4	54.1	47.9	61.0	57.8	75.6	65.4	78.1	68.6	71.6	74.1	90.5	46.5	64.9	52.1	72.7	51.5	67.6
17	71.9	86.0	57.4	71.8	51.4	81.5	43.5	60.7	53.7	66.5	61.5	80.3	66.5	78.6	65.9	70.3	71.2	91.2	58.5	68.7	59.9	78.1	59.7	71.2
18	82.0	88.2	78.1	82.0	68.4	78.8	57.1	74.6	60.6	75.9	66.9	84.6	69.6	80.1	70.1	74.8	78.0	91.7	66.8	75.7	67.9	82.9	66.1	75.0
19	84.7	89.9	83.6	87.5	79.8	86.9	72.1	83.6	71.1	82.1	75.7	86.7	75.4	85.0	76.1	80.7	83.6	94.4	68.7	78.6	69.9	84.7	68.0	77.1
20	85.4	90.1	85.8	88.8	85.7	90.4	81.1	87.9	81.4	88.0	83.4	89.7	81.9	89.4	82.8	84.8	86.5	95.2	70.1	80.0	69.7	86.0	67.8	76.0
21	86.6	90.4	86.7	88.4	89.4	91.7	84.5	90.1	86.6	90.6	87.5	91.7	85.6	92.4	85.9	86.8	89.3	95.5	68.9	82.3	70.5	86.5	67.3	77.8
22	86.4	91.7	85.3	88.1	90.3	91.9	86.1	91.6	88.6	91.9	89.2	93.0	87.0	93.0	86.9	88.9	90.6	95.9	67.1	84.1	73.0	87.8	67.5	80.4
23	87.0	92.1	84.9	88.5	88.0	92.0	86.8	92.5	89.8	92.9	90.5	94.0	88.1	93.6	87.8	89.9	90.7	96.2	67.1	83.9	74.4	88.8	67.8	81.8

Table 6 Set point of control parameter for greenhouse environment
(CO₂_monthly/hourly)

시간	1월		2월		3월		4월		5월		6월		7월		8월		9월		10월		11월		12월	
	최소	최대																						
0	568.6	624.2	565.2	596.0	850.0	897.0	769.8	856.0	707.6	780.0	566.7	750.2	572.3	661.6	702.2	754.5	492.8	529.8	627.4	652.9	656.4	699.7	567.4	679.6
1	569.7	624.9	571.6	596.6	857.0	913.0	772.1	862.0	716.1	798.2	562.2	768.8	571.3	662.5	716.2	738.0	492.5	534.5	629.6	654.9	657.1	699.6	565.3	679.5
2	568.6	628.0	575.5	595.3	844.8	922.0	773.1	866.0	717.9	822.0	566.2	795.4	569.0	664.7	717.5	739.9	491.9	527.5	631.5	658.2	656.6	701.9	563.8	680.2
3	568.5	632.5	577.1	599.4	838.0	936.3	766.9	866.0	716.8	839.0	564.3	815.0	567.0	671.3	714.2	738.8	492.6	532.5	632.0	657.7	657.1	701.5	563.9	680.1
4	566.9	638.2	575.3	602.8	825.0	944.3	765.3	857.0	721.7	846.0	562.1	845.0	571.4	669.0	711.7	732.0	495.7	526.8	631.2	653.8	658.4	697.2	569.7	681.1
5	565.1	636.7	572.7	605.0	830.0	947.0	767.7	855.0	739.6	854.0	560.4	854.0	569.3	681.7	714.7	726.6	489.4	518.9	632.6	652.9	657.4	696.3	571.4	681.3
6	564.2	625.8	568.9	608.2	839.0	952.0	761.6	847.0	721.7	850.0	556.2	807.0	557.1	677.5	702.6	723.7	487.5	520.5	635.5	654.3	657.7	692.6	572.6	687.0
7	565.2	623.9	570.6	609.1	821.8	943.0	723.8	824.0	574.2	791.0	549.3	692.6	550.6	626.4	671.7	690.8	479.1	514.1	628.7	656.8	657.8	691.0	584.6	688.8
8	563.6	622.1	551.8	598.7	774.0	853.0	662.8	760.6	554.5	675.4	542.2	582.9	542.5	615.4	647.6	669.4	475.9	501.2	614.6	651.6	650.4	681.7	576.2	680.2
9	545.9	604.1	524.6	567.6	703.5	781.4	642.6	688.6	549.4	596.5	538.3	553.5	534.6	607.3	639.9	657.7	466.3	489.1	609.0	644.7	642.8	672.9	599.3	662.5
10	514.2	575.6	491.7	529.2	677.6	743.1	641.4	671.4	548.0	570.9	537.1	552.9	534.5	605.6	635.2	653.1	462.8	481.0	607.7	643.9	638.7	669.4	609.7	655.0
11	495.9	535.7	479.9	493.9	677.4	718.4	644.6	670.9	546.0	564.8	536.4	556.1	533.4	601.0	634.3	651.3	463.0	477.0	606.6	640.0	639.0	669.7	611.3	647.8
12	489.4	515.6	482.4	492.6	677.7	736.6	647.0	674.8	548.5	566.5	537.7	556.5	534.1	599.4	631.7	649.7	463.5	475.1	610.8	640.6	639.2	664.4	611.7	666.9
13	483.8	507.4	483.5	497.1	672.8	695.0	649.1	673.2	549.1	568.2	539.0	552.3	538.1	596.9	629.2	651.7	464.3	474.9	612.0	640.5	636.5	664.4	602.6	664.8
14	482.7	503.6	478.8	497.8	669.2	702.8	646.9	670.0	550.3	566.9	539.4	554.8	539.0	597.9	626.6	647.6	460.4	475.3	615.8	640.0	639.5	671.6	577.7	672.0
15	484.7	509.9	474.2	500.0	668.7	704.4	645.8	672.9	549.9	566.0	540.4	556.3	538.4	598.0	623.3	637.0	462.4	473.6	618.7	640.8	643.7	678.0	596.3	675.0
16	489.7	521.5	477.0	498.3	672.0	695.2	646.4	671.0	550.5	563.0	540.2	559.2	540.3	600.0	624.1	638.0	466.6	479.2	621.3	644.3	647.6	684.4	608.7	678.2
17	499.8	539.5	488.4	500.3	673.0	696.1	652.3	678.5	553.4	566.7	543.2	558.4	542.0	606.6	628.9	644.6	472.7	487.4	624.2	652.3	655.1	690.7	589.7	687.2
18	519.6	560.8	505.6	522.4	693.6	739.4	659.1	712.2	557.6	574.5	546.0	559.8	548.1	618.7	633.6	649.2	477.8	495.1	626.8	666.6	659.7	697.0	577.6	695.7
19	537.4	578.5	527.0	544.4	737.3	769.5	698.8	757.5	565.0	615.7	552.1	568.9	554.5	624.1	643.9	663.8	485.9	511.0	627.2	667.7	660.7	700.4	575.9	691.6
20	546.0	594.9	540.9	562.7	776.5	799.3	726.7	793.5	585.1	663.8	557.9	585.3	563.1	639.2	641.8	675.4	496.4	527.4	626.6	662.1	662.7	698.7	576.1	688.6
21	551.9	605.6	552.8	575.3	805.0	828.0	751.1	820.0	630.6	696.8	560.0	622.5	568.1	646.0	658.1	691.4	499.6	530.6	627.2	658.8	658.2	696.3	572.4	689.6
22	559.1	608.5	559.8	584.6	814.0	864.0	762.3	843.0	671.8	733.5	565.6	650.1	578.9	655.8	684.5	707.6	496.3	536.7	627.1	657.2	659.1	698.1	568.5	684.2
23	561.4	619.3	568.4	591.4	830.5	883.0	762.4	849.0	697.2	752.6	565.7	707.1	582.3	659.4	701.9	709.4	493.2	529.2	626.3	655.1	658.7	697.4	567.5	683.4

Table 7 Set point of control parameter for greenhouse environment
(Soil moisture_monthly/hourly)

시간	1월		2월		3월		4월		5월		6월		7월		8월		9월		10월		11월		12월	
	최소	최대																						
0	0.214	0.217	0.213	0.214	0.280	0.287	0.246	0.292	0.277	0.329	0.258	0.298	0.260	0.308	0.250	0.279	0.299	0.360	0.223	0.260	0.224	0.260	0.240	0.280
1	0.214	0.217	0.213	0.214	0.280	0.287	0.247	0.299	0.277	0.329	0.258	0.304	0.260	0.307	0.250	0.279	0.299	0.359	0.223	0.260	0.224	0.260	0.240	0.280
2	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.287	0.247	0.299	0.277	0.329	0.259	0.304	0.261	0.307	0.250	0.280	0.299	0.359	0.223	0.260	0.224	0.260	0.240	0.279
3	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.287	0.247	0.298	0.277	0.329	0.259	0.303	0.260	0.307	0.250	0.280	0.299	0.359	0.223	0.259	0.224	0.260	0.240	0.279
4	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.287	0.247	0.298	0.277	0.328	0.259	0.303	0.262	0.322	0.250	0.279	0.299	0.359	0.223	0.259	0.224	0.260	0.240	0.278
5	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.287	0.247	0.298	0.277	0.328	0.259	0.303	0.261	0.321	0.250	0.279	0.300	0.359	0.223	0.259	0.224	0.259	0.240	0.278
6	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.287	0.247	0.297	0.277	0.328	0.259	0.303	0.261	0.321	0.250	0.279	0.300	0.359	0.223	0.258	0.224	0.259	0.240	0.278
7	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.286	0.247	0.297	0.278	0.328	0.259	0.303	0.267	0.320	0.250	0.279	0.300	0.359	0.223	0.258	0.224	0.258	0.240	0.277
8	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.286	0.247	0.297	0.277	0.331	0.261	0.307	0.267	0.322	0.250	0.278	0.299	0.359	0.223	0.257	0.224	0.258	0.240	0.277
9	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.287	0.247	0.296	0.277	0.341	0.261	0.307	0.266	0.319	0.250	0.277	0.301	0.359	0.223	0.257	0.225	0.258	0.240	0.276
10	0.214	0.217	0.212	0.214	0.280	0.287	0.247	0.298	0.277	0.340	0.260	0.306	0.265	0.317	0.249	0.276	0.305	0.360	0.224	0.271	0.225	0.262	0.240	0.276
11	0.214	0.217	0.212	0.214	0.279	0.287	0.247	0.302	0.277	0.339	0.260	0.314	0.263	0.316	0.248	0.274	0.304	0.359	0.226	0.275	0.224	0.260	0.240	0.276
12	0.214	0.217	0.212	0.214	0.279	0.287	0.246	0.301	0.277	0.337	0.259	0.312	0.263	0.313	0.247	0.273	0.303	0.357	0.224	0.273	0.224	0.257	0.240	0.275
13	0.214	0.217	0.212	0.214	0.278	0.286	0.245	0.299	0.276	0.335	0.260	0.309	0.264	0.314	0.245	0.270	0.305	0.356	0.224	0.270	0.224	0.254	0.239	0.274
14	0.214	0.217	0.212	0.214	0.278	0.286	0.245	0.297	0.275	0.333	0.259	0.308	0.263	0.313	0.253	0.269	0.309	0.357	0.224	0.268	0.225	0.257	0.241	0.273
15	0.214	0.216	0.212	0.214	0.277	0.286	0.244	0.295	0.273	0.331	0.259	0.304	0.261	0.311	0.252	0.267	0.306	0.362	0.223	0.265	0.225	0.255	0.241	0.286
16	0.214	0.216	0.213	0.213	0.277	0.286	0.246	0.296	0.273	0.329	0.258	0.301	0.260	0.309	0.252	0.265	0.305	0.362	0.223	0.263	0.225	0.264	0.240	0.284
17	0.214	0.216	0.213	0.213	0.276	0.284	0.246	0.295	0.275	0.329	0.257	0.299	0.259	0.307	0.250	0.264	0.304	0.361	0.223	0.262	0.224	0.263	0.244	0.284
18	0.214	0.216	0.213	0.213	0.276	0.284	0.246	0.300	0.276	0.330	0.258	0.299	0.260	0.307	0.250	0.263	0.304	0.361	0.223	0.261	0.224	0.262	0.244	0.283
19	0.214	0.216	0.213	0.213	0.275	0.284	0.246	0.299	0.275	0.330	0.258	0.298	0.260	0.308	0.250	0.263	0.303	0.361	0.223	0.260	0.224	0.262	0.244	0.283
20	0.214	0.216	0.213	0.213	0.275	0.284	0.246	0.299	0.275	0.329	0.259	0.298	0.259	0.308	0.250	0.263	0.302	0.361	0.220	0.254	0.224	0.262	0.244	0.282
21	0.214	0.216	0.213	0.213	0.275	0.283	0.246	0.299	0.275	0.331	0.260	0.298	0.259	0.308	0.250	0.263	0.302	0.360	0.220	0.254	0.224	0.261	0.244	0.282
22	0.214	0.216	0.212	0.213	0.275	0.283	0.246	0.299	0.276	0.329	0.260	0.298	0.260	0.307	0.250	0.263	0.302	0.360	0.221	0.254	0.224	0.261	0.244	0.281
23	0.214	0.216	0.212	0.213	0.275	0.283	0.246	0.299	0.276	0.329	0.260	0.298	0.260	0.308	0.250	0.263	0.302	0.360	0.220	0.254	0.224	0.261	0.244	0.281

Table 8 Set point of control parameter for greenhouse environment
(Electrical conductivity of soil_monthly/hourly)

시간	1월		2월		3월		4월		5월		6월		7월		8월		9월		10월		11월		12월	
	최소	최대																						
0	0.079	0.080	0.078	0.079	0.203	0.226	0.136	0.195	0.162	0.209	0.126	0.176	0.171	0.214	0.156	0.183	0.176	0.233	0.108	0.139	0.085	0.129	0.095	0.130
1	0.079	0.080	0.078	0.078	0.203	0.226	0.136	0.194	0.161	0.208	0.126	0.181	0.171	0.214	0.155	0.183	0.176	0.232	0.108	0.139	0.085	0.128	0.094	0.129
2	0.079	0.080	0.078	0.078	0.202	0.225	0.136	0.193	0.161	0.208	0.126	0.181	0.171	0.213	0.155	0.184	0.176	0.232	0.107	0.138	0.085	0.127	0.094	0.129
3	0.079	0.080	0.077	0.078	0.201	0.225	0.135	0.192	0.161	0.207	0.126	0.180	0.171	0.213	0.155	0.184	0.176	0.232	0.107	0.138	0.085	0.126	0.094	0.128
4	0.079	0.080	0.077	0.078	0.201	0.224	0.135	0.191	0.161	0.206	0.126	0.180	0.171	0.214	0.155	0.183	0.176	0.232	0.107	0.138	0.085	0.126	0.094	0.128
5	0.078	0.080	0.077	0.078	0.200	0.224	0.134	0.191	0.160	0.206	0.126	0.180	0.171	0.213	0.154	0.182	0.176	0.232	0.108	0.138	0.085	0.125	0.095	0.127
6	0.078	0.080	0.077	0.078	0.200	0.224	0.134	0.190	0.160	0.206	0.126	0.180	0.171	0.213	0.154	0.182	0.176	0.232	0.107	0.137	0.085	0.125	0.095	0.127
7	0.078	0.080	0.077	0.078	0.200	0.223	0.134	0.189	0.160	0.206	0.126	0.181	0.172	0.214	0.154	0.182	0.176	0.232	0.107	0.137	0.085	0.125	0.095	0.126
8	0.078	0.080	0.077	0.078	0.200	0.223	0.135	0.190	0.162	0.208	0.129	0.183	0.172	0.219	0.155	0.182	0.177	0.233	0.107	0.136	0.085	0.125	0.095	0.126
9	0.078	0.080	0.077	0.078	0.202	0.223	0.135	0.190	0.163	0.211	0.129	0.183	0.180	0.220	0.155	0.181	0.178	0.234	0.108	0.135	0.085	0.126	0.095	0.126
10	0.078	0.080	0.077	0.078	0.203	0.223	0.136	0.193	0.163	0.211	0.129	0.183	0.180	0.220	0.155	0.181	0.179	0.238	0.108	0.163	0.085	0.129	0.095	0.126
11	0.078	0.080	0.077	0.078	0.204	0.223	0.138	0.199	0.164	0.213	0.129	0.183	0.175	0.220	0.156	0.180	0.179	0.237	0.109	0.169	0.087	0.128	0.096	0.126
12	0.079	0.080	0.078	0.079	0.204	0.223	0.138	0.199	0.164	0.214	0.130	0.182	0.175	0.220	0.156	0.179	0.178	0.233	0.110	0.168	0.087	0.126	0.097	0.127
13	0.079	0.081	0.078	0.079	0.206	0.224	0.139	0.199	0.163	0.215	0.130	0.180	0.180	0.219	0.155	0.176	0.180	0.233	0.110	0.166	0.087	0.124	0.097	0.127
14	0.079	0.081	0.078	0.079	0.207	0.224	0.139	0.199	0.163	0.215	0.130	0.181	0.179	0.218	0.160	0.175	0.180	0.237	0.110	0.162	0.092	0.134	0.097	0.126
15	0.079	0.081	0.079	0.080	0.207	0.225	0.139	0.200	0.163	0.213	0.130	0.179	0.177	0.216	0.160	0.173	0.180	0.238	0.110	0.151	0.092	0.133	0.097	0.138
16	0.079	0.081	0.079	0.080	0.207	0.224	0.141	0.202	0.162	0.212	0.129	0.178	0.176	0.214	0.158	0.171	0.180	0.237	0.110	0.149	0.087	0.140	0.096	0.136
17	0.079	0.081	0.079	0.079	0.206	0.210	0.140	0.201	0.163	0.210	0.126	0.177	0.175	0.213	0.158	0.170	0.180	0.236	0.110	0.144	0.086	0.138	0.101	0.135
18	0.079	0.081	0.079	0.079	0.205	0.210	0.140	0.200	0.164	0.211	0.126	0.177	0.177	0.213	0.157	0.169	0.180	0.235	0.109	0.143	0.086	0.136	0.101	0.134
19	0.079	0.081	0.079	0.079	0.204	0.209	0.140	0.199	0.163	0.211	0.125	0.177	0.178	0.218	0.156	0.169	0.180	0.235	0.109	0.142	0.085	0.134	0.101	0.133
20	0.079	0.081	0.078	0.079	0.203	0.208	0.139	0.199	0.163	0.210	0.126	0.177	0.177	0.218	0.156	0.168	0.180	0.234	0.109	0.130	0.085	0.133	0.100	0.133
21	0.079	0.080	0.078	0.079	0.202	0.207	0.138	0.198	0.162	0.211	0.126	0.177	0.176	0.217	0.156	0.168	0.179	0.233	0.108	0.129	0.085	0.131	0.100	0.132
22	0.079	0.080	0.078	0.079	0.201	0.206	0.137	0.197	0.162	0.210	0.126	0.177	0.176	0.216	0.156	0.167	0.179	0.233	0.108	0.129	0.085	0.131	0.100	0.131
23	0.079	0.080	0.078	0.079	0.201	0.206	0.137	0.196	0.162	0.209	0.126	0.176	0.174	0.215	0.156	0.167	0.179	0.233	0.108	0.129	0.085	0.129	0.099	0.131

4.2 실증사이트의 생육정보 비교 및 분석

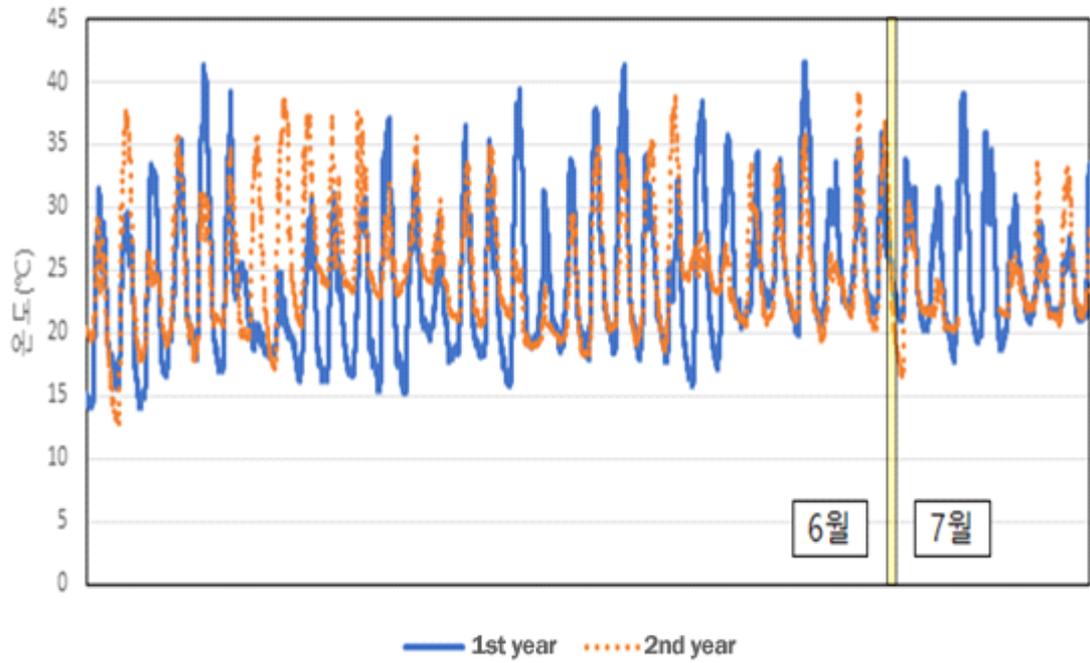
실증사이트에서 측정된 생육정보의 비교와 분석을 위해 1차년도(2019년)와 2차년도(2020년) 동일 나무 위치에 대한 비슷한 시기의 생육정보를 수집하여 분석하였다.

총 데이터 수집 날짜는 2019년 5월 31일부터 2020년 8월 3일까지에 해당하나, 이 중 결측일을 제외하고 1차년도(2019년)와 2차년도(2020년)에 중복되는 날짜의 6월, 7월의 분별 생육정보 분석하였다. 생육정보 분석 A, B, C 나무군 각각에 대한 온도, 습도, CO₂, 수증기압, 순간광량값, 평균광량값, 누적광량값, 토양수분, 토양전기전도도, 토양온도 등 총 10개의 생육정보 분석하였으며 대표적으로 A 나무군에 대한 데이터만 분석하여 Fig. 7에 제시하였다.

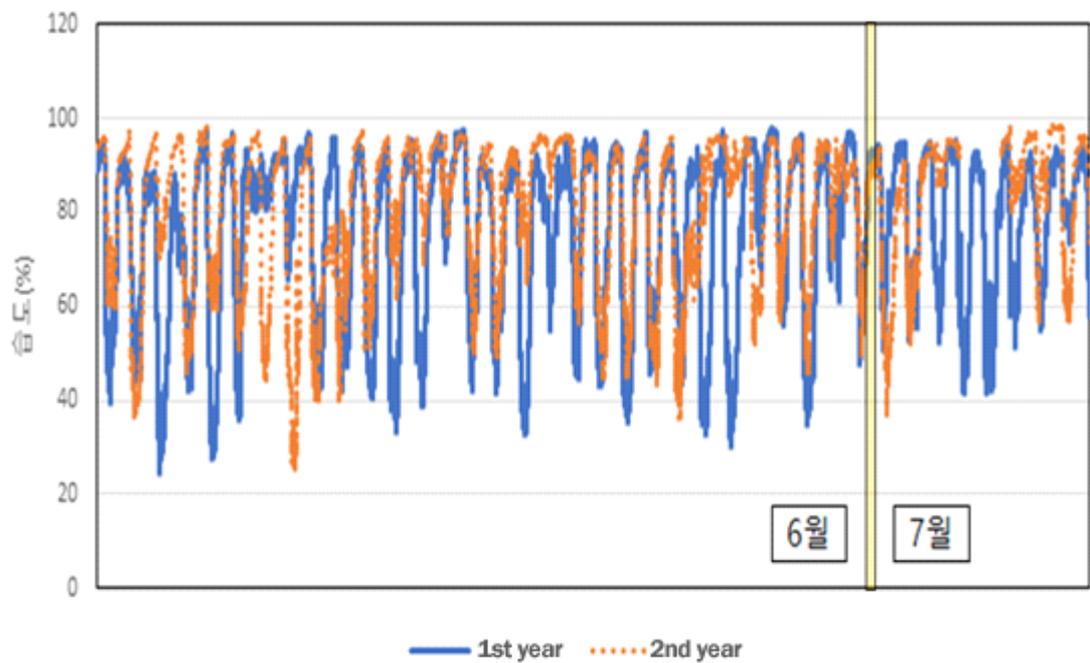
온도의 경우 대체로 비슷했지만 차이가 나는 구간이 일부 있었으며, 습도는 1차년도가 대체로 낮은 편이었으며, 광합성에 영향을 미치는 CO₂의 경우 2차년도에 더 높은 값을 기록하고 있다.

수증기압차 또한 대체로 비슷하고 일부에서 차이를 보였으나 뚜렷한 특징은 나타나지 않았으며, 순간광량값과 평균광량값도 뚜렷한 패턴은 없었으나 누적광량값의 경우 2차년도의 값이 높게 분석되었다.

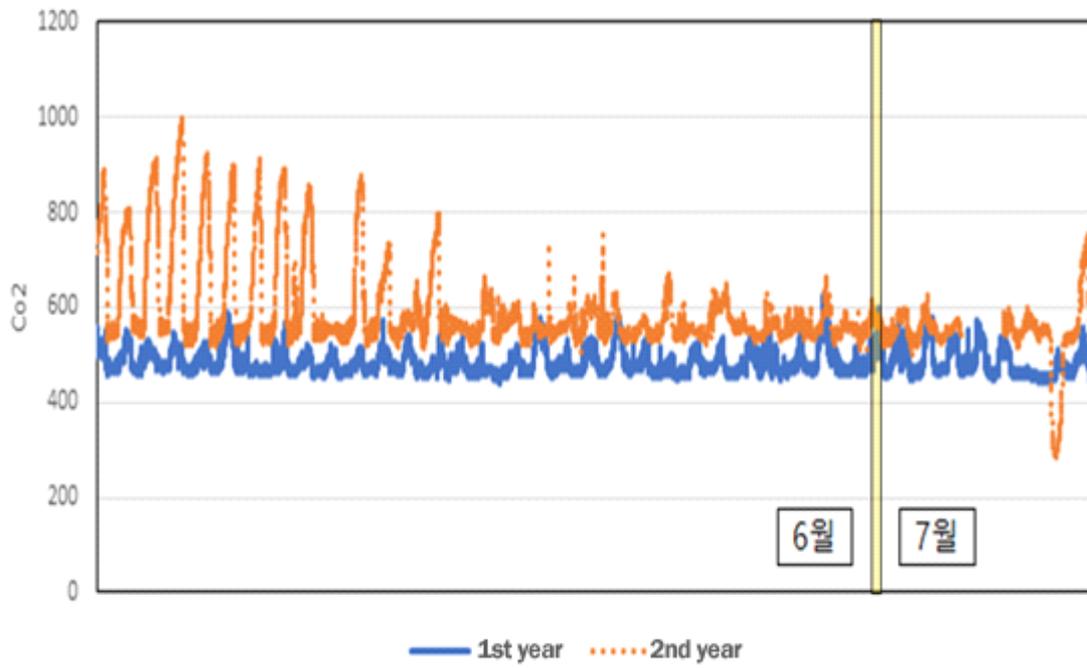
토양수분의 경우 관수 조절로 인해 2차년도 최저수분과 최고수분 사이에서 제대로 통제됨을 알 수 있으며 토양 전기전도도도 같은 경향을 보인다. 그러나 토양온도의 경우 2차년도 값의 변화폭이 큼을 알 수 있다.



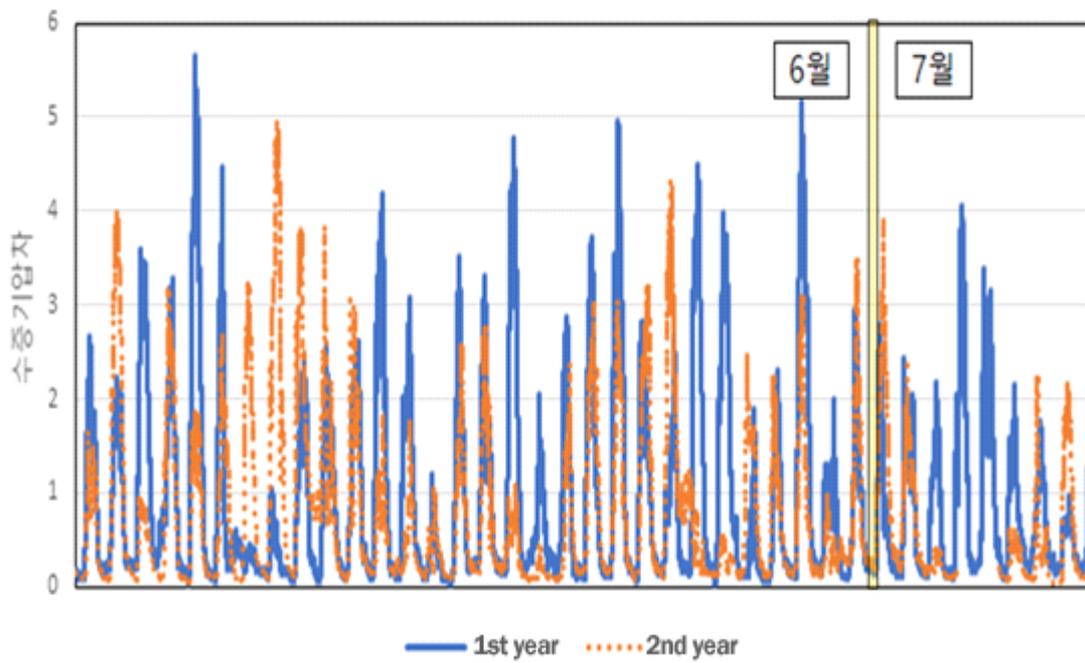
(a) Comparison of measured dry bulb temperature



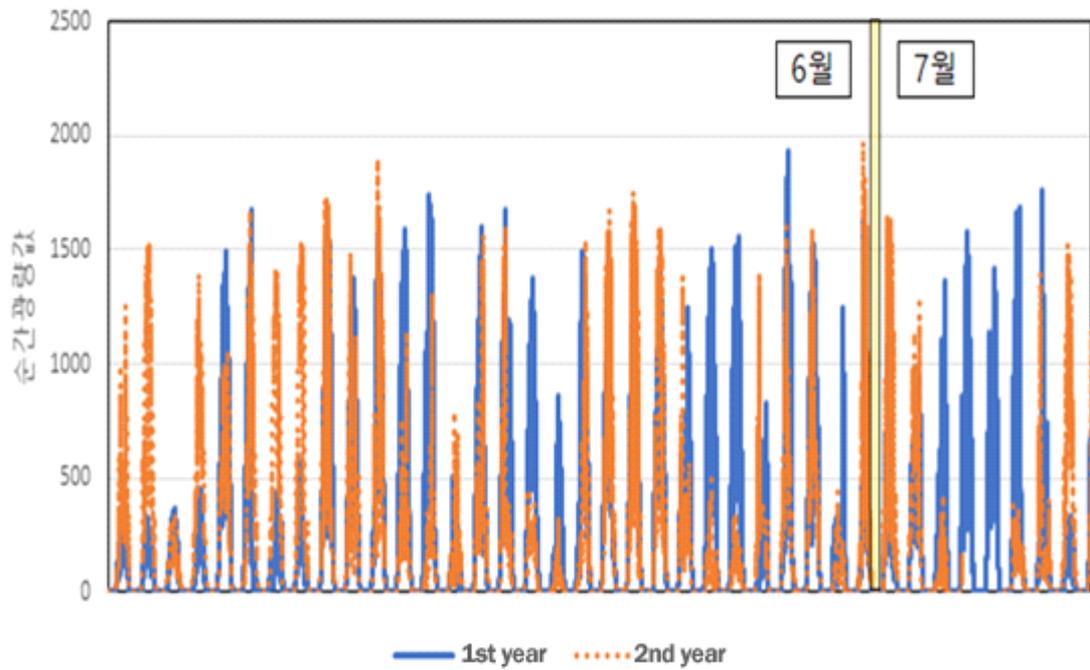
(b) Comparison of measured relative humidity



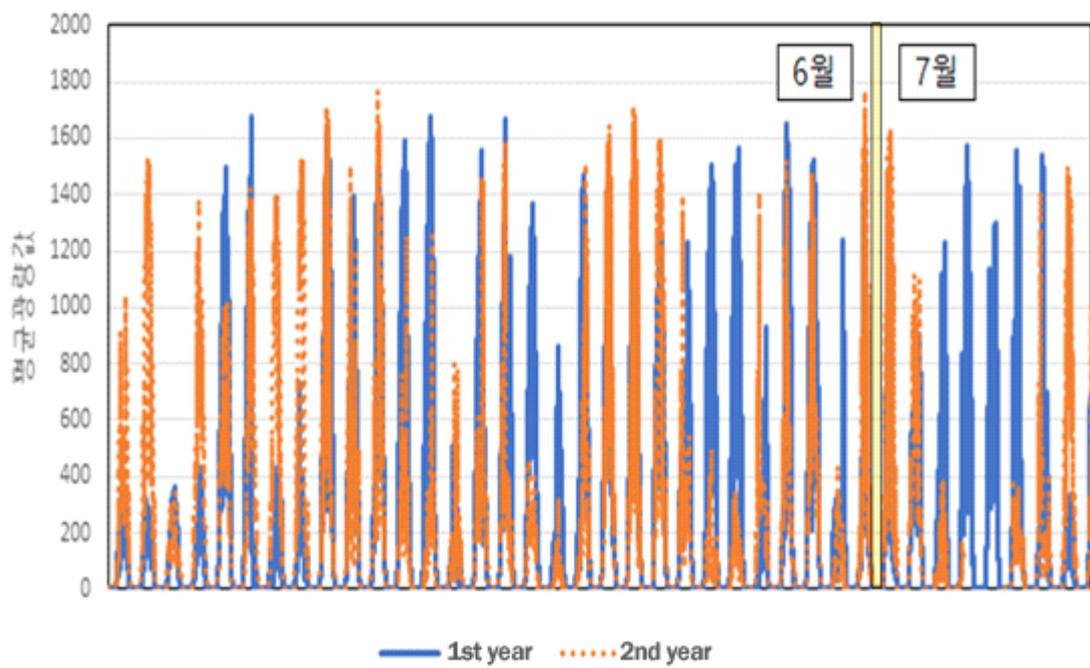
(c) Comparison of measured CO₂



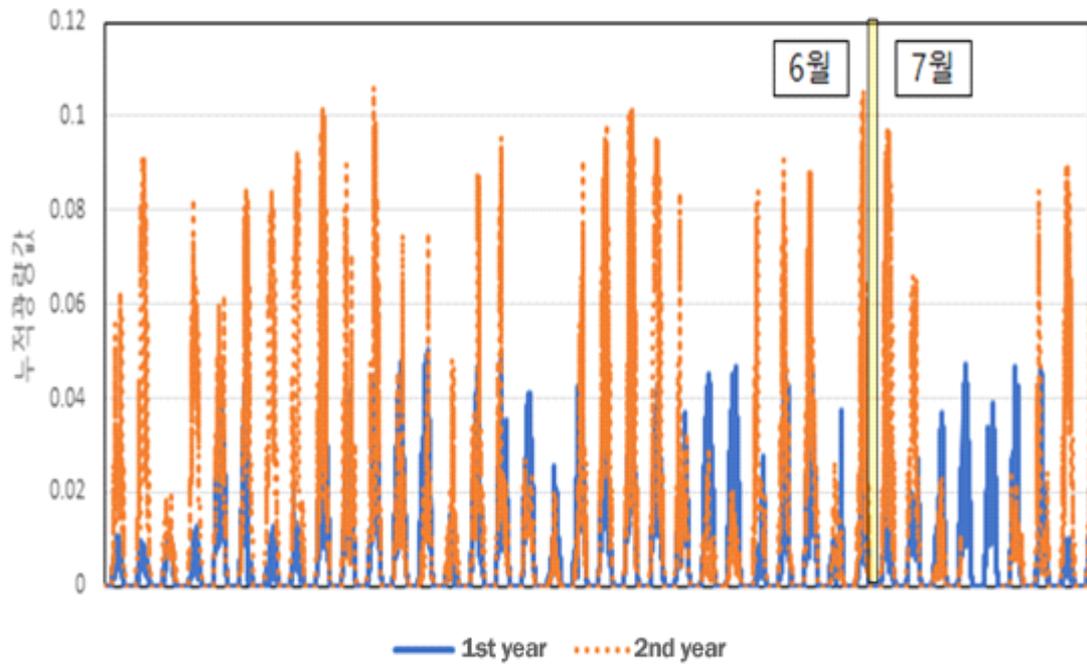
(d) Comparison of measured vapor pressure deficit



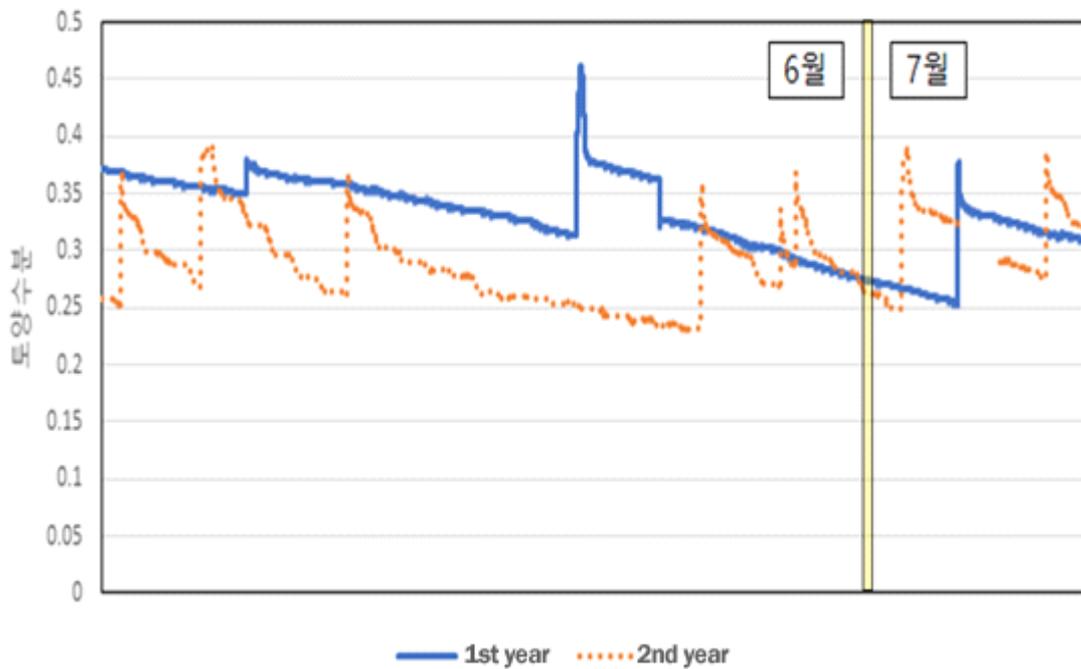
(e) Comparison of measured instantaneous solar irradiance



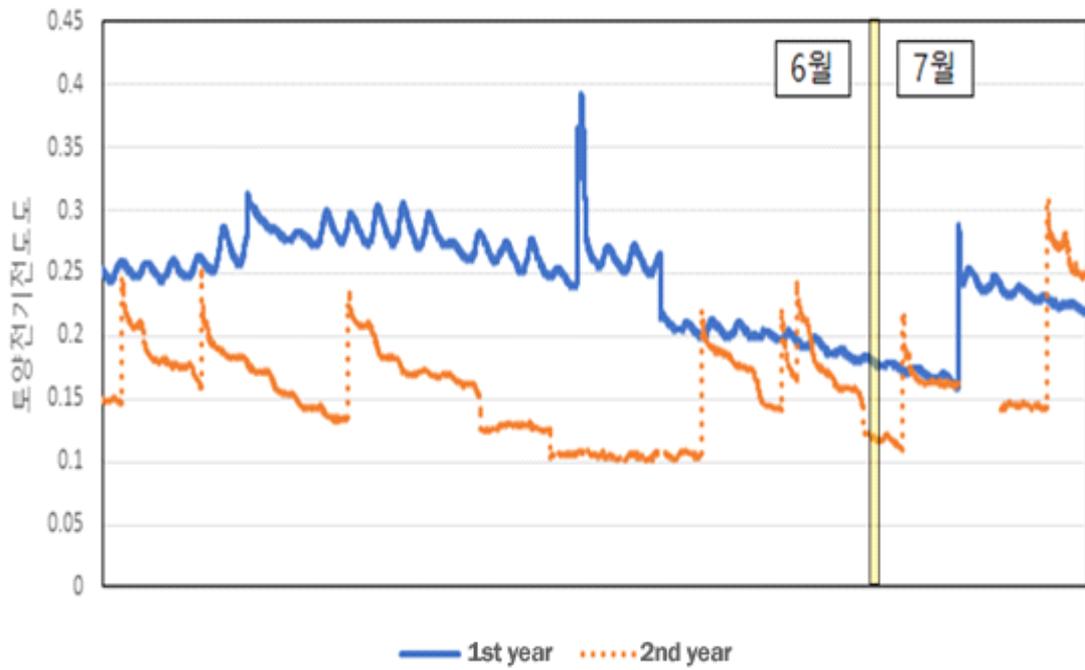
(f) Comparison of measured average solar irradiance



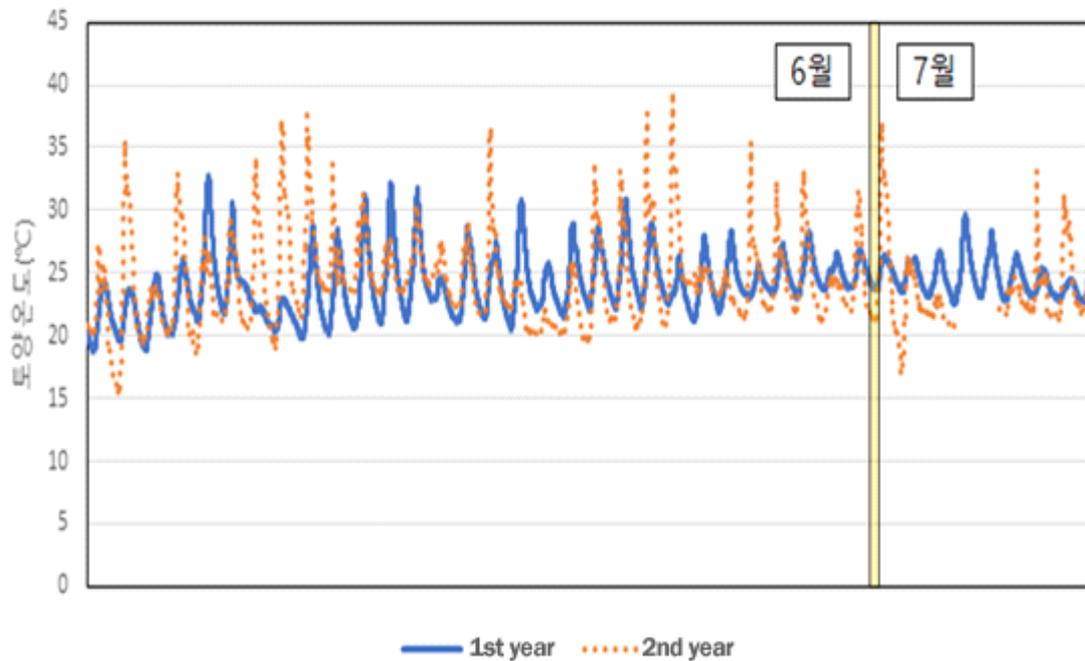
(g) Comparison of measured integrated solar irradiance



(h) Comparison of measured soil moisture



(i) Comparison of measured electrical conductivity of soil



(j) Comparison of measured soil temperature

Fig. 7 Analysis of growing environment

4.3 광합성 제어시스템 고도화

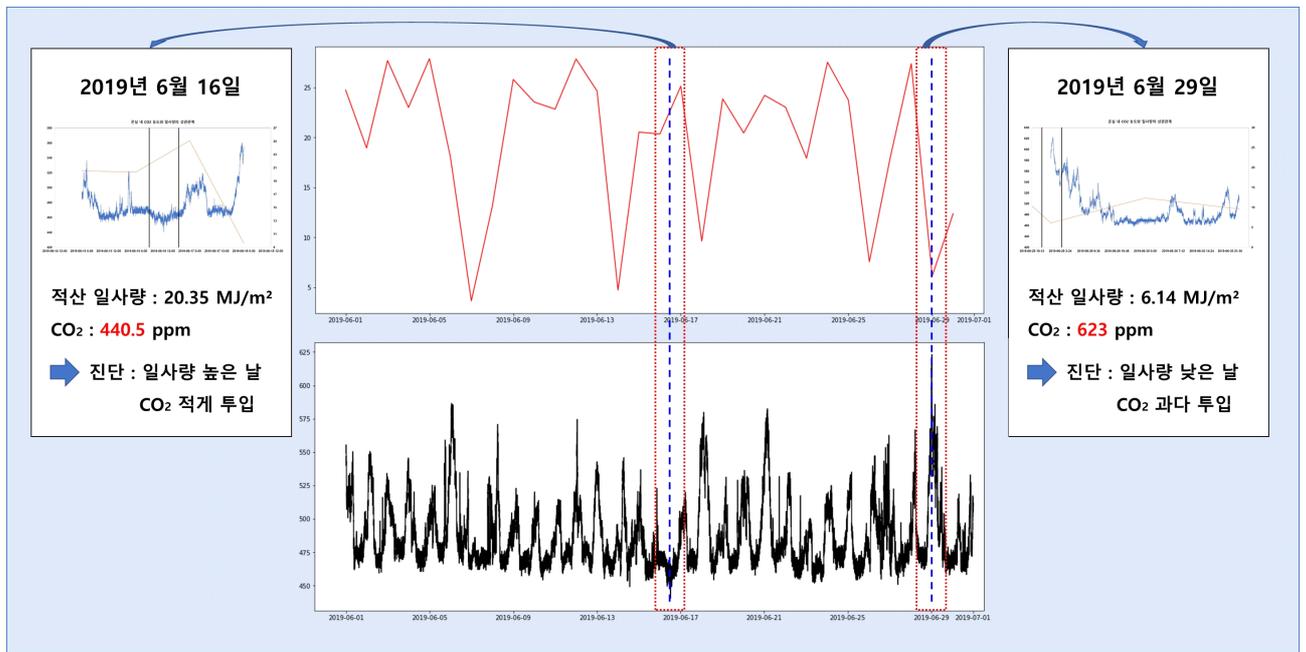
과수의 품질, 생산량 증대를 위해서는 광합성에 의한 동화산물이 증대되어야 하며, 고농도의 CO₂에 노출시켜 광합성 속도를 증가시키는 등 과수의 생육 및 품질 향상을 위한 기술이 필요하다. 따라서 광합성 증진을 위한 CO₂ 공급설비를 적용하고 천장개폐, CO₂ 공급기, 환기시스템의 통합 제어를 통하여 아열대과수의 품질을 개선할 수 있다.

일사량(광)은 온도와 함께 과수의 수확량, 품질, 작물의 생육에 영향을 주므로 광에 대한 관리가 필요하며 광합성으로 일사량이 높으면 CO₂가 낮아지므로 온도와 함께 환경 분석하여, 온실내부의 일사량, 온도, CO₂의 농도를 함께 복합 제어하는 것이 효과적이다.

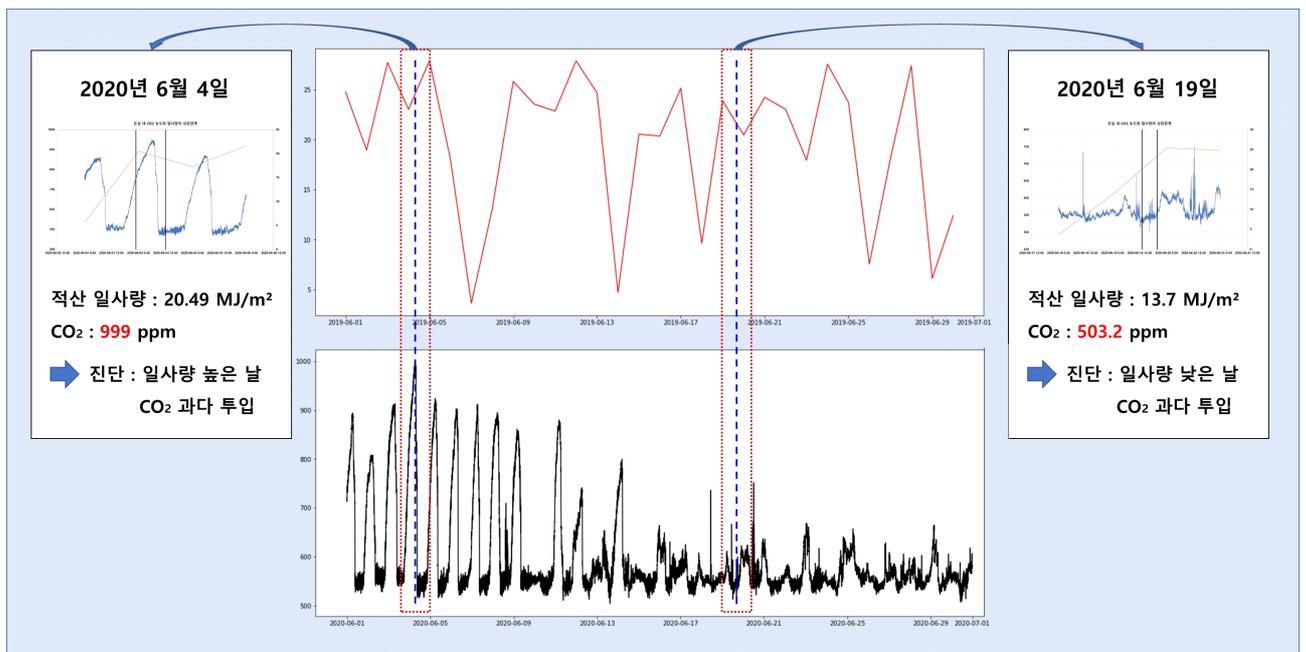
Fig. 8은 이들의 상관관계를 나타내는 그림으로 2019년 6월 16일의 경우 적산일사량 20.35MJ/m²일 때 CO₂ 농도 440.5ppm의 경우 CO₂가 적게 투입되어 CO₂ 발생기의 가동이 요구되나, 2019년 6월 29일, 2020년 6월 4일, 6월 19일의 경우 적산일사량 대비 과다투입된 것으로 판정되어 환기 등에 의해 농도 조절이 필요한 상황이다.

또한 생육단계별로도 CO₂의 양을 달리해야 하는데 Figs. 9-13에는 1차년도(2019년)와 2차년도(2020년)의 생육단계별 A, B, C 나무군에 대한 측정된 CO₂의 농도를 제시하였다.

1차년도(2019년)의 경우 주로 환기에 의해 CO₂ 공급이 이루어지는 만큼 2차년도(2020년)의 경우보다 다소 낮은 값을 보이나 나무군에 상관없이 거의 일정한 값을 보인다. 2차년도(2020년)의 경우 CO₂ 발생기와 환기시스템을 가동하여 생육단계별 CO₂ 농도를 조절한 만큼 광합성에 충분히 공급되었을 것으로 보이며 A, B, C 나무군 간의 차이는 각 위치에 따른 일조량, CO₂ 발생기의 위치에 따라 다소 다르게 나타나는 것으로 사료되며, 대체로 햇빛에 노출이 많은 A 나무군의 농도가 높게 나타남을 알 수 있다.



(a) 1st year



(b) 2nd year

Fig. 8 Correlation between integrated solar irradiance of outside and CO₂ of greenhouse inside

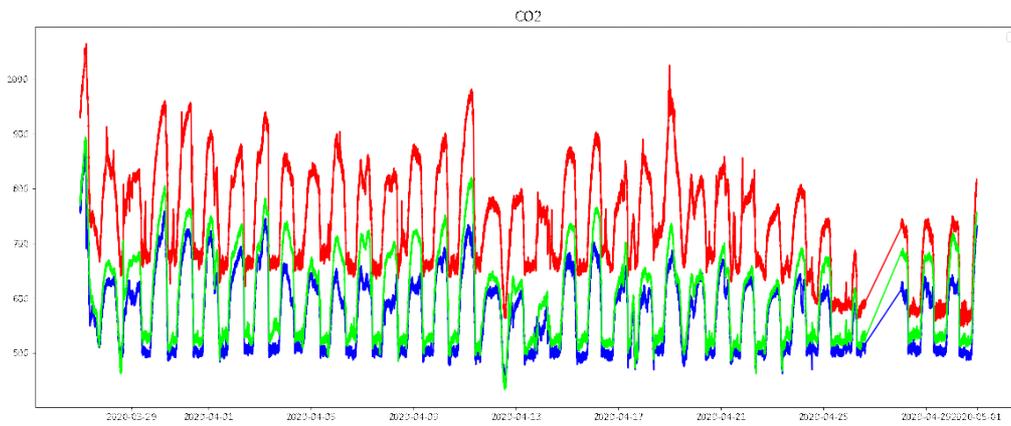
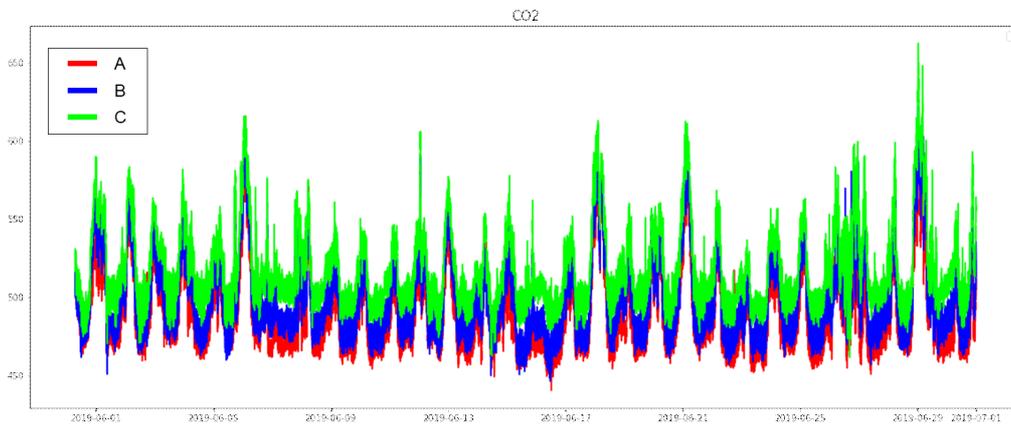
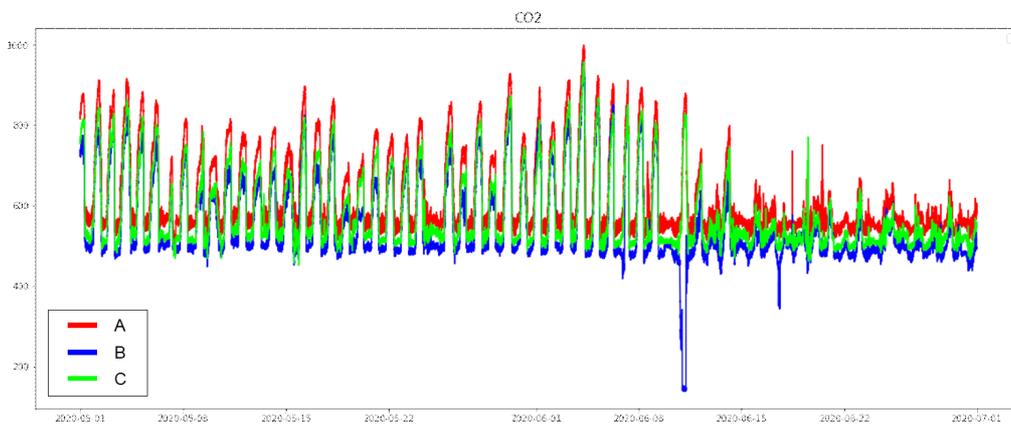


Fig. 9 Flower initiation and full flowering periods(2nd year)

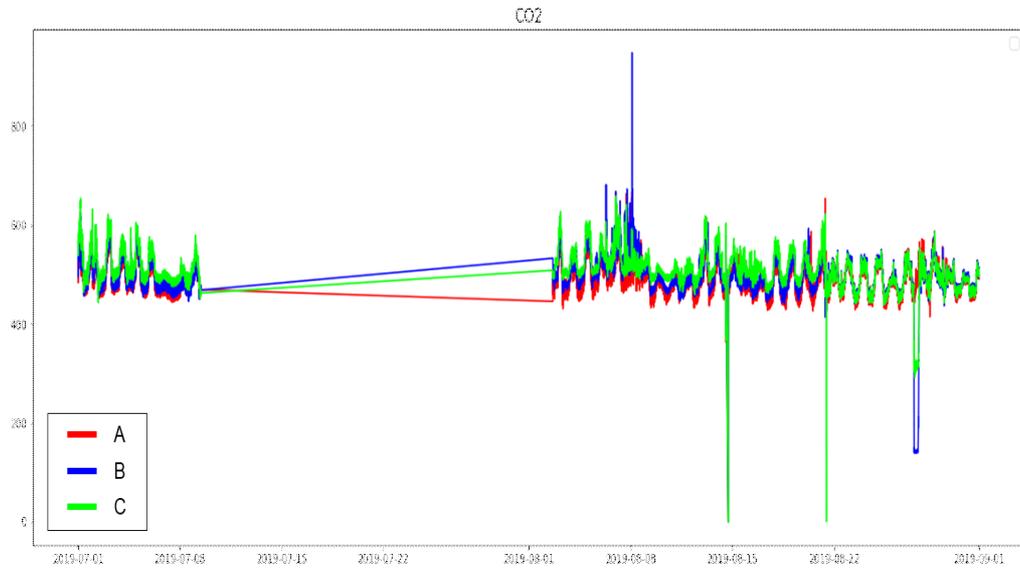


(a) 1st year

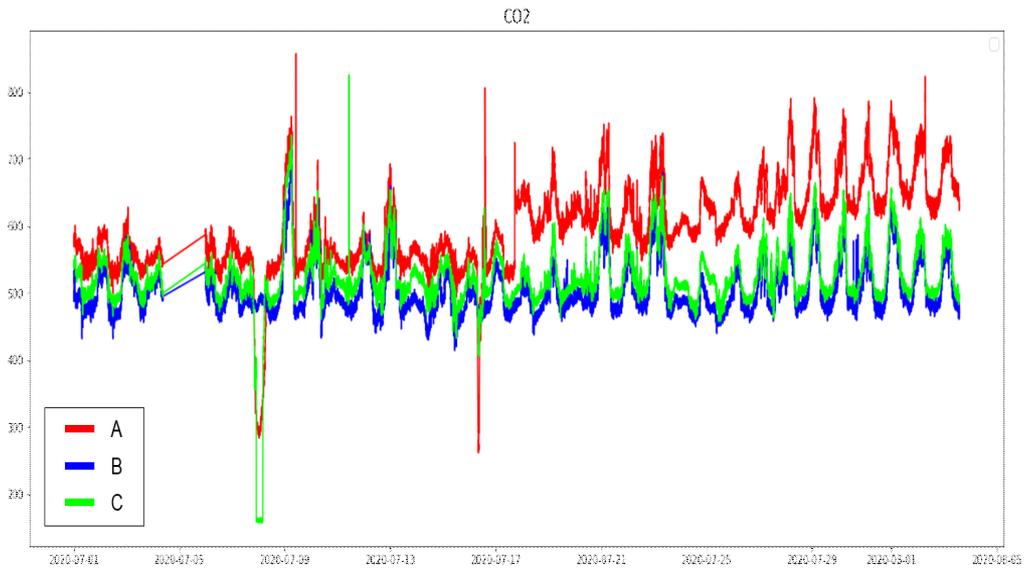


(b) 2nd year

Fig. 10 End of petal fall period

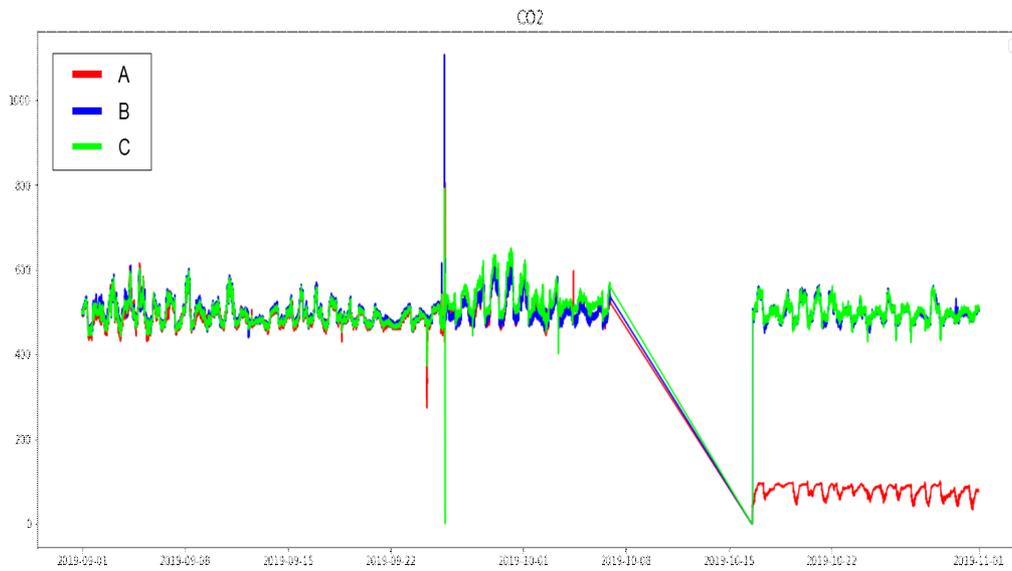


(a) 1st year

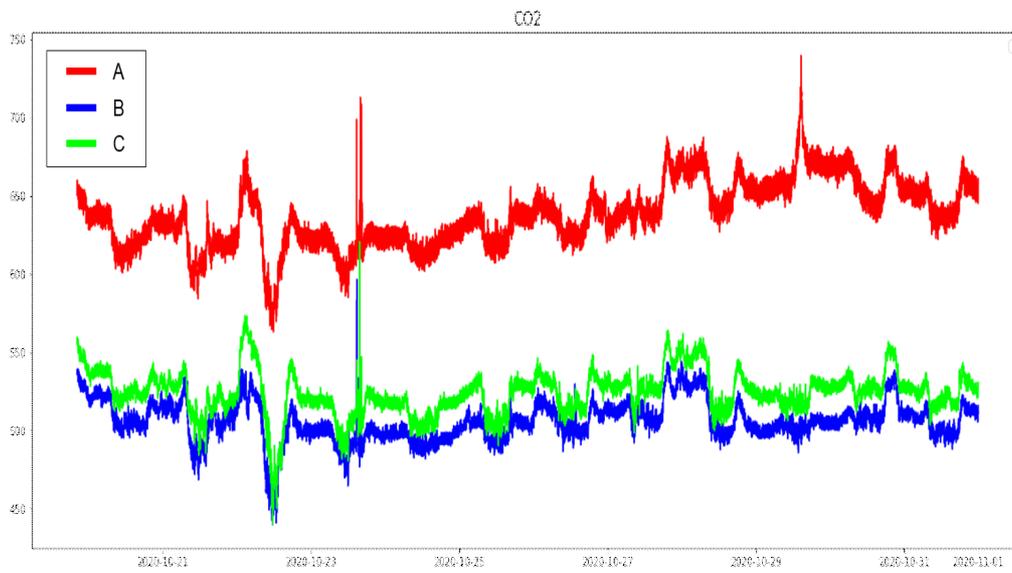


(b) 2nd year

Fig. 11 Fruit maturity period

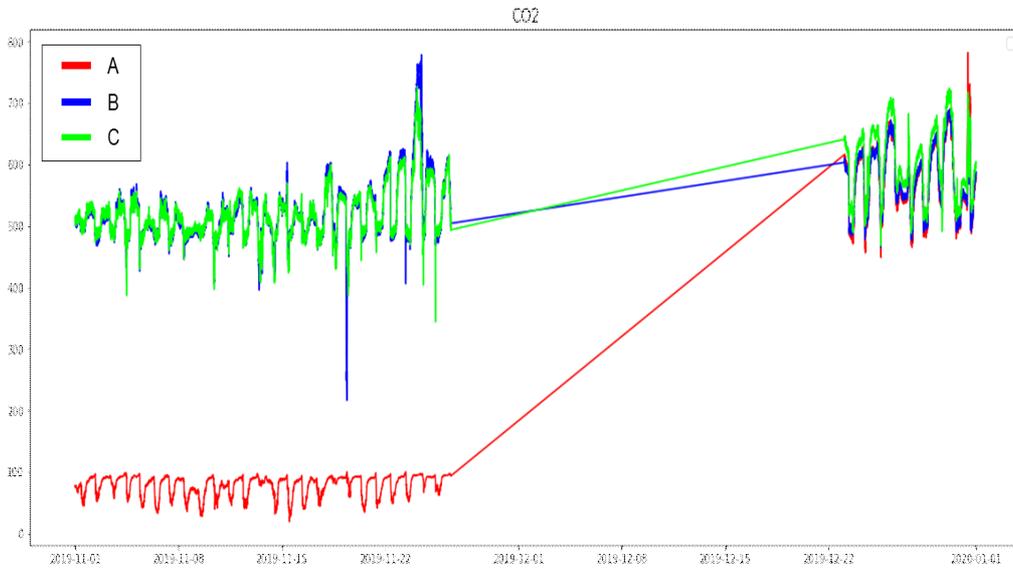


(a) 1st year

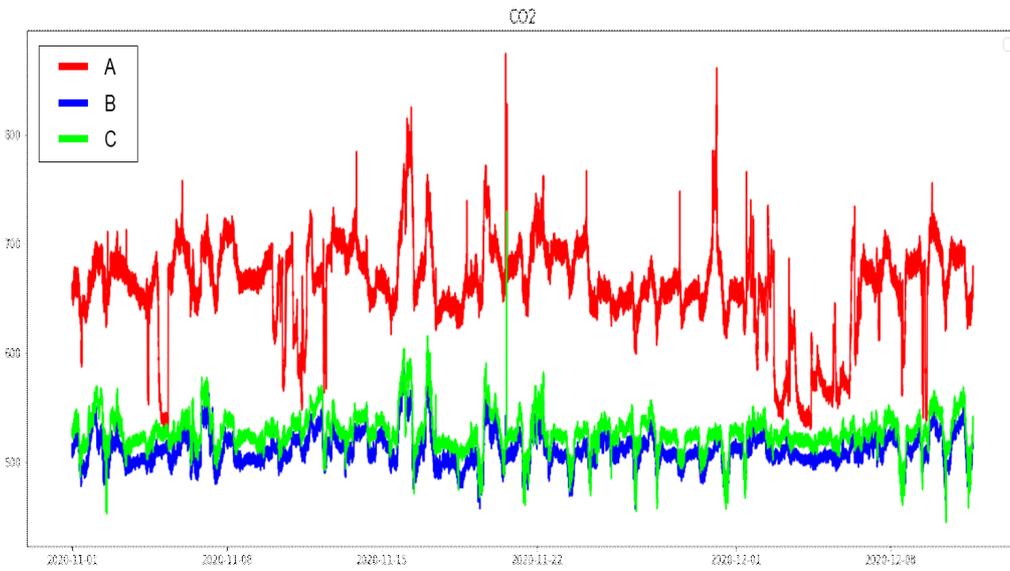


(b) 2nd year

Fig. 12 Sugar content increase period



(a) 1st year



(b) 2nd year

Fig. 13 Harvest period

4.4 관수 제어 기술 고도화

본 블러드오렌지의 아열대과수 시설온실의 과실 생육 특성에 따른 관수관리 매뉴얼을 Table 9와 같이 구축하였으며, 생육단계별 관수시점을 통해 최적 관수제어값을 도출하고자 하였다. 최고, 최저 토양수분량을 설정하면 최저 관수시점에서 관수가 이루어지고 최고 관수 시점에서 관수가 중지된다. Fig. 14는 관수시점 설정시 실제 토양습도를 제시한 것으로 잘 제어되고 있음을 알 수 있다.

Figs. 15-18은 1차년도와 Table 9에 근거하여 관수시점을 설정한 2차년도(2020년)의 생육환경에 따른 토양수분을 나타낸 것이다. 생리낙과기와 과실비대기에는 2차년도(2020년)가 세밀하게 조정되는 반면 당도증가기와 수확기에는 1차년도(2019년)의 경우 관수가 빈번하게 이루어졌으나 2차년도(2020년)에는 거의 하지 않았음을 알 수 있다.

Table 9 Irrigation management manual according to fruit growth characteristics

Establishment of a irrigation management manual according to the characteristics of fruit growth.												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Growth stage			Flower initiation and full flowering periods		End of petal fall period		Fruit maturity period		Sugar content increase period			Harvest period
Soil moisture	Very little		Much		Less		Much		Less ~ Very little			

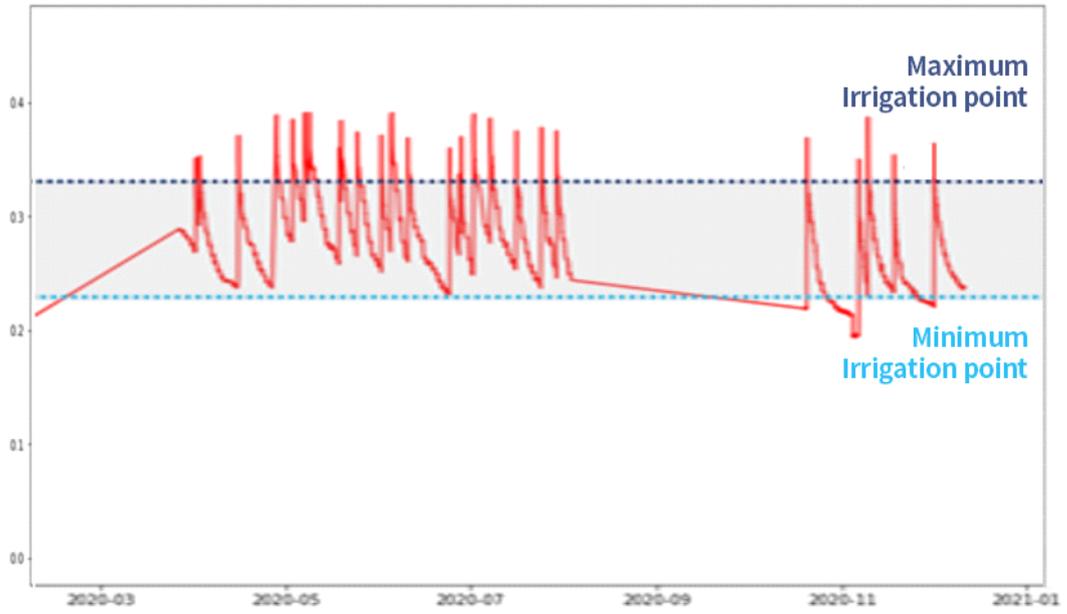


Fig. 14 Estimation of irrigation amount considering optimal growth environmental conditions

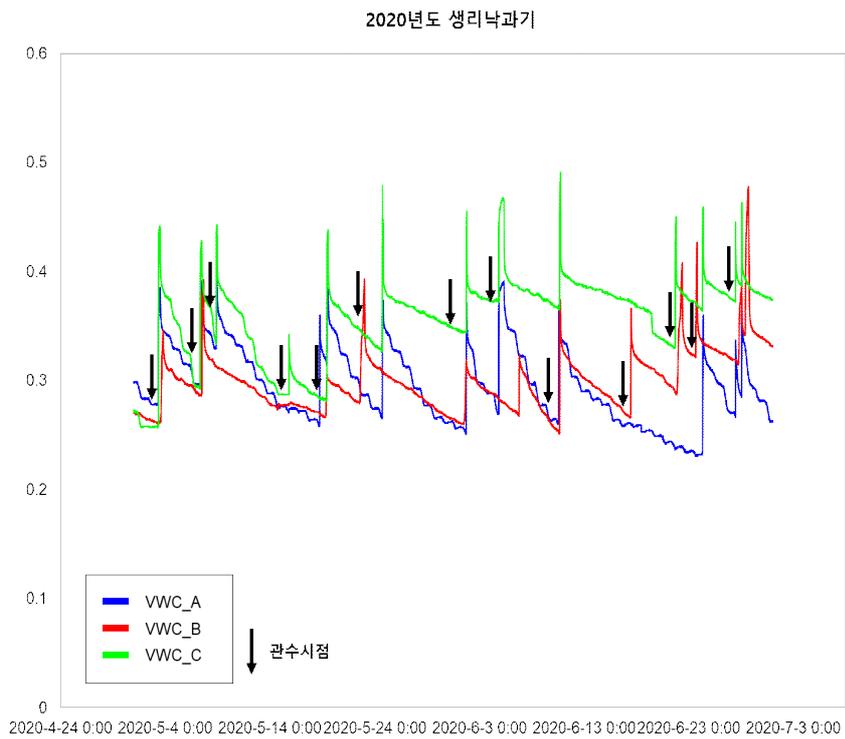
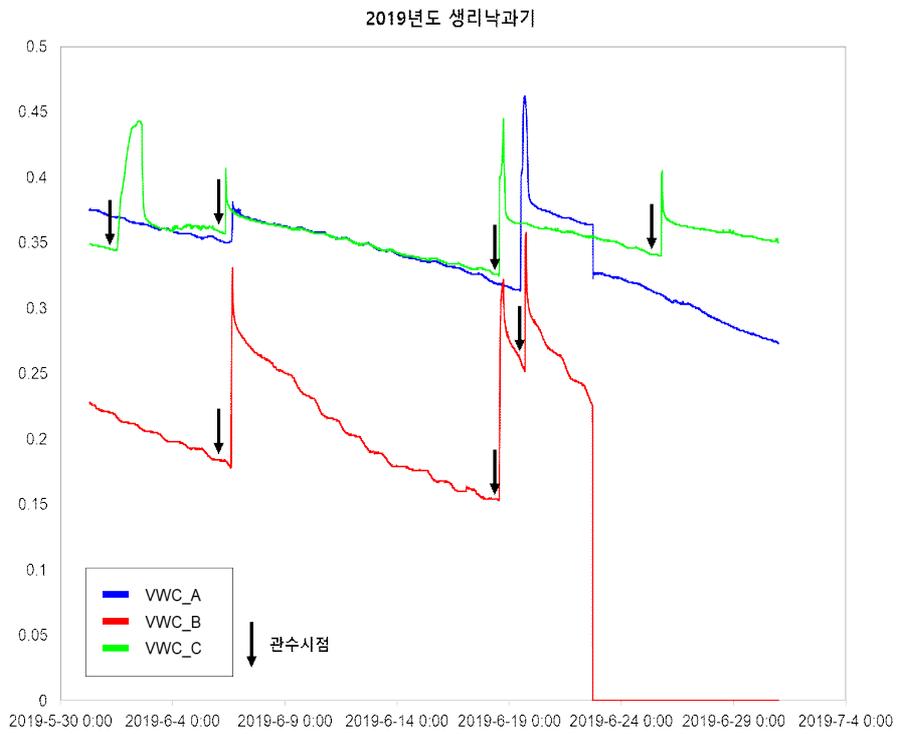


Fig. 15 Irrigation point by growth stage - End of petal fall period

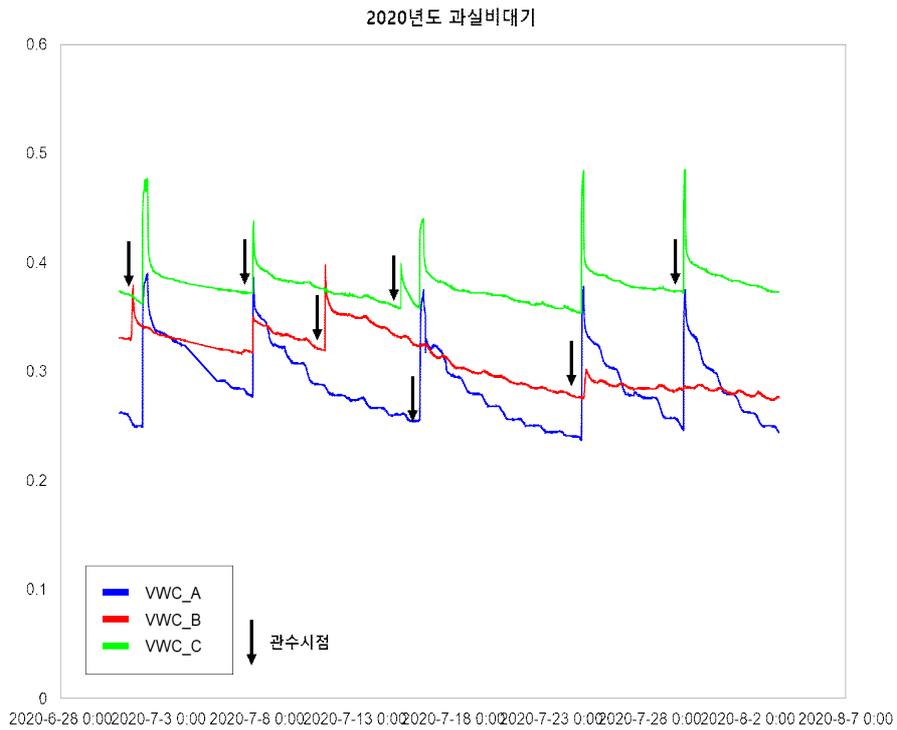
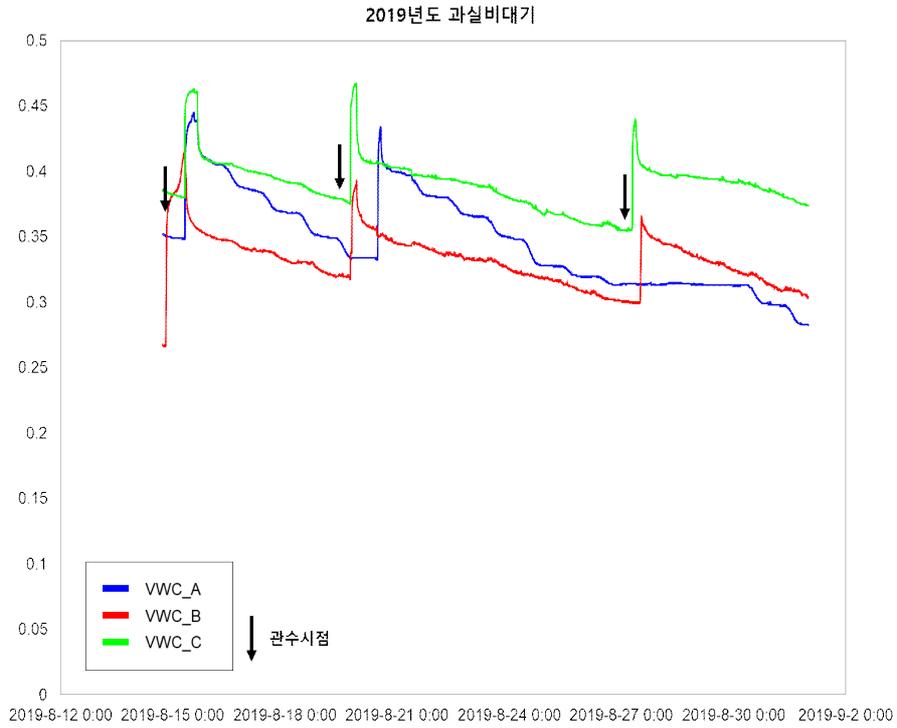


Fig. 16 Irrigation point by growth stage - Fruit maturity period

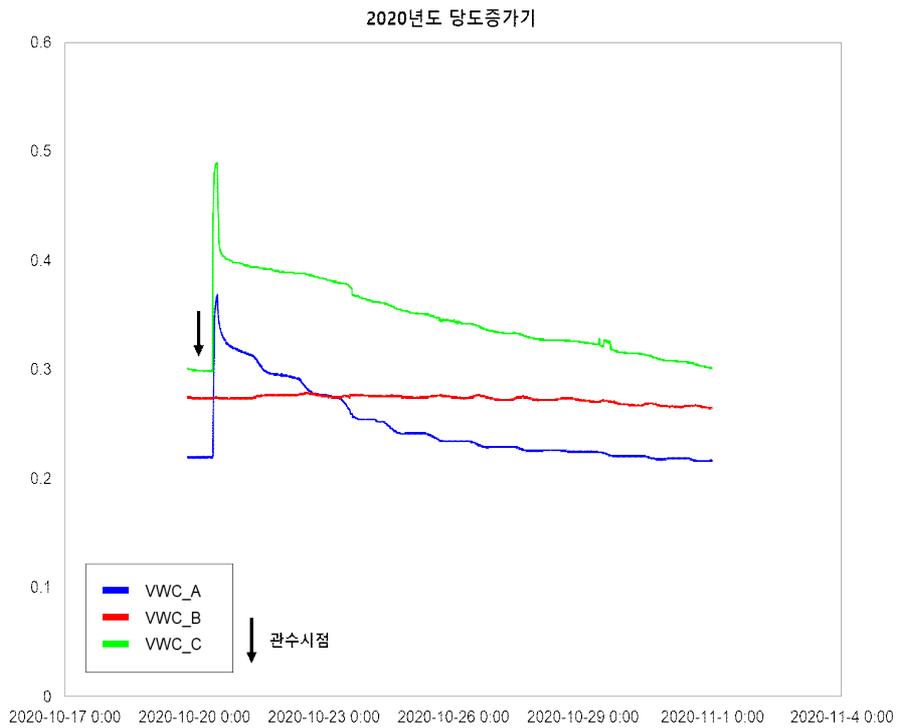
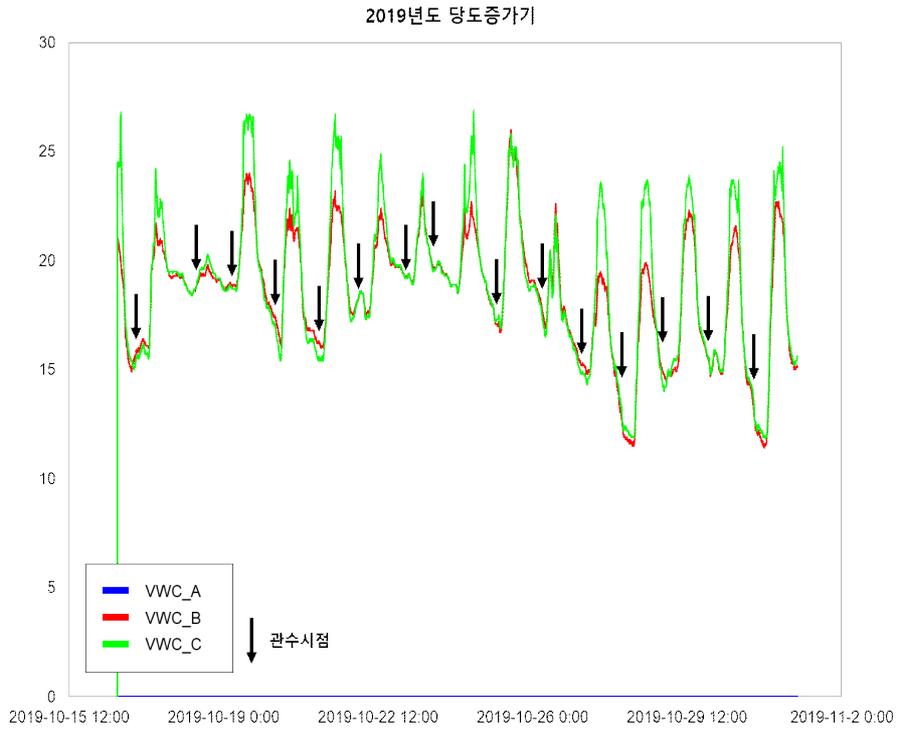


Fig. 17 Irrigation point by growth stage - Sugar content increase period

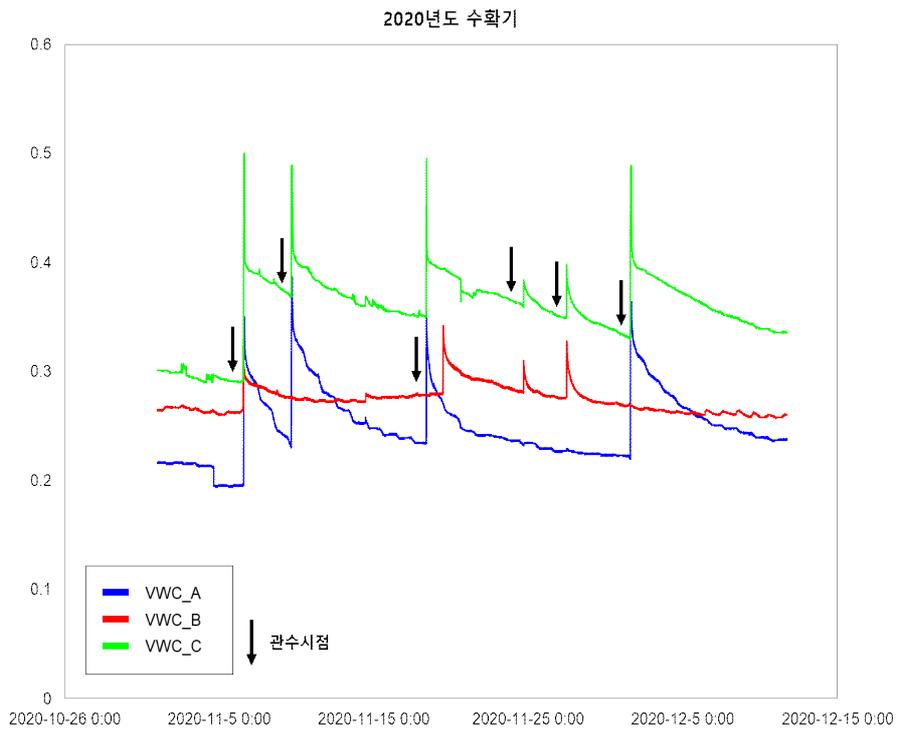
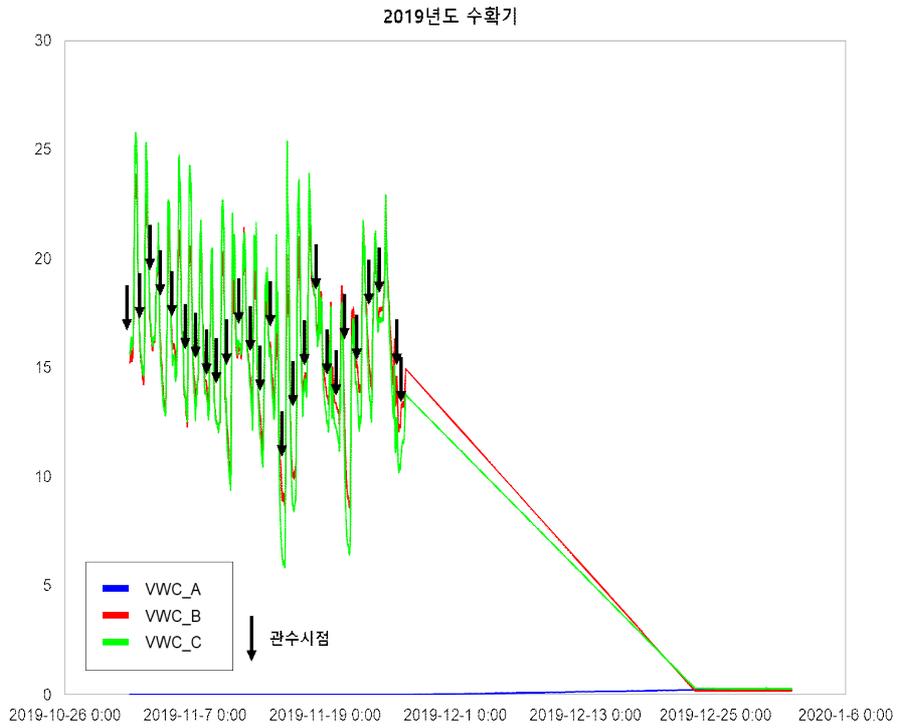


Fig. 18 Irrigation point by growth stage - Harvest period

4.5 블러드 오렌지의 품질 및 생산성 비교

시험대상 시설온실은 1차년도(2019년) 2018년 12월 6일 18시부터 2019년 12월 31일까지 12℃에서 작동, 14℃에서 중지하도록 제어하여 자동난방운전을 시행하였으며, 2차년도(2020년)에는 난방온도 외 아열대과수 생육에 영향을 미치는 환경조건을 복합적으로 제어하였다.

경제성 분석을 위해 1차년도(2019)와 2차년도(2020년)의 A, B, C나무군에 대한 과실수량 및 당도 비교하여 Table 10에 제시하였다. 과수 생산량 분석 자료 중 당도 측정 자료는 블러드오렌지 최종 수확 후 파괴측정 자료를 사용하였고, 과실수량 자료는 2019년은 11월 26일 측정자료와 2020년은 11월 20일 측정자료를 사용하였다. 과수의 수량은 1차년도(2019년)보다 2차년도(2020년)의 모든 나무군에서 많이 달리 평균 4.68배 증가하였음을 알 수 있다. 또한 과실크기의 경우 소과에서 특대과까지 일정하지 않은 크기의 생산성을 보인 1차년도(2019년)와 달리 중소과(145-165g)에서 중과(180-220g) 사이의 일정한 크기의 과수를 생산한 것으로 조사되었다. 당도는 1차년도(2019년)보다 2차년도(2020년)에 A, C 나무군이 약 0.5°BX 높게 나타났으며 B 나무군은 비슷한 값을 보임을 확인할 수 있다. 따라서 온실 환경 자동제어시스템을 적용한 결과 과수 생산량이 크게 증가했을 뿐 아니라 당도 또한 높게 나타난 것을 확인되어 경제성이 높아졌음을 알 수 있다.

생산량 증가 및 당도 향상은 농가의 소득 향상에 직결되는 일이며, 그 외에도 온실 환경자동제어시스템 설치를 통해 시스템 미설치 때보다 노동력이 약 25% 절감되는 효과를 볼 수 있을 뿐 아니라 자동제어시스템의 작물 맞춤형 환경제어로 인해 불필요한 온실 시설장비 가동을 줄일 수 있어 추가 비용 절감효과가 더욱 클 것이다.

Table 10 Analysis of production and sugar content of blood orange

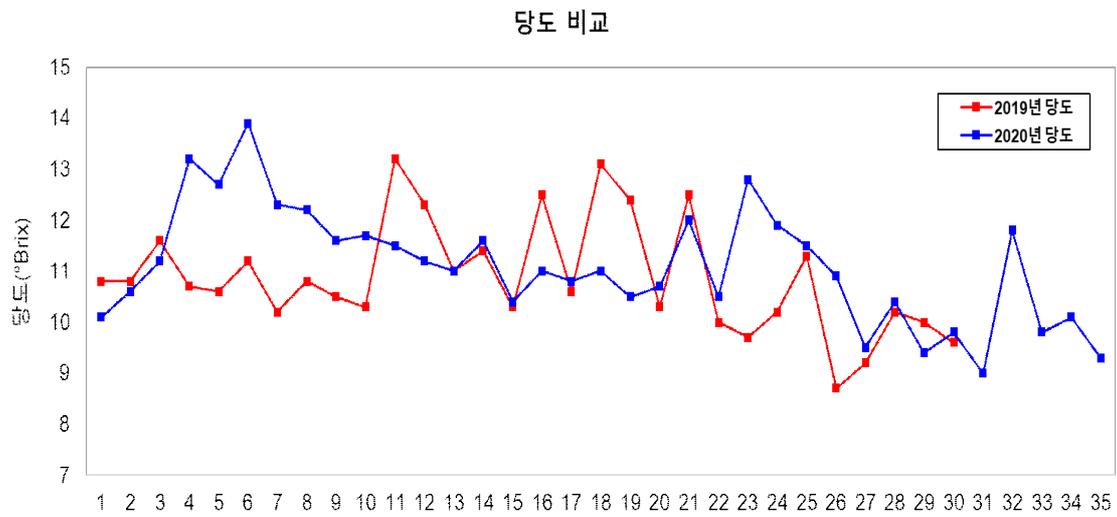
(Units, °BX EA)

	Tree A		Tree B		Tree C	
Year	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Fruit quantity	79	381	54	171	9	233
Sugar content	11.287	11.711	11.26	11.191	9.54	10.0

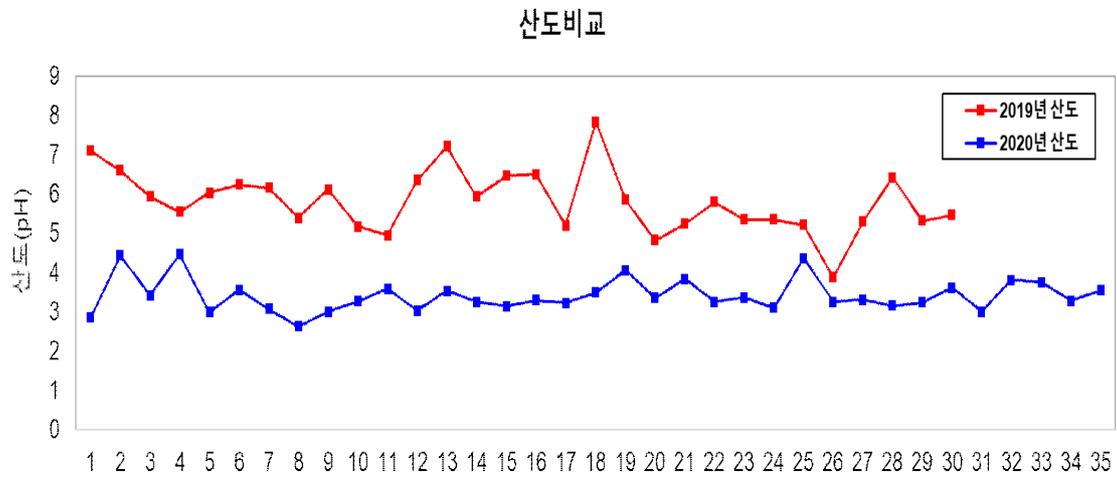
대표적으로 과실을 샘플링하여 당산도를 측정하여 Fig. 19에 제시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 1차년도(2019년) 평균 당도는 10.9°Bx이며, 2차년도(2020년) 평균 당도는 11.1°Bx으로 1차년도(2019년) 대비 0.2°Bx 더 높은 결과를 나타냈으며, 과실 산도의 경우 1차년도(2019년) 평균 산도는 5.8pH, 2차년도(2020년)의 평균 산도는 3.4pH로 나타났다. 따라서 당산비는 1차년도(2019년) 1.88이며, 2차년도(2020년)에는 3.26이어서 우리 국민이 기호에 적합한 결과를 보이고 있다.

과피 및 과육색은 Fig. 20에 제시하였는데 A, C, B 나무군에서 모두 1차년도(2019년) 과실보다 2차년도(2020년) 과실의 과피나 과육이 확연히 붉은 색을 띠어 안토시아닌이 풍부한 블러드 오렌지의 특성이 잘 나타남을 알 수 있다.

과실 당산도 비교, 과실의 색을 통해 1차년도(2019년) 보다 최적 생육환경조건에 맞는 시스템 제어를 적용한 2차년도(2020년)에 생육 품질이 상당히 향상됨을 확인할 수 있다.



(a) Sugar content comparison



(b) Acidity comparison

Fig. 19 Sugar content and acidity of blood orange



(a) 1st year



(b) 2nd year

Fig. 20 Fruit flesh and fruit peel color of blood orange

4.6 재배 알고리즘 개발

본 연구에서는 보통 시설농가에서 시행하는 온도제어 방식의 결과와 다른 환경요인을 복합적으로 고려하였을 때 제품에 미치는 영향을 조사하고자 한다. 연구는 1차년도(2019년)와 2차년도(2020년) 2개년에 걸쳐 시행되었으며, 1차년도(2019년)의 경우 온도제어와 관습적 관수가 이루어진 반면 2차년도(2020년)에는 관수제어 및 CO₂ 제어까지 이루어져 2개년 간의 생산 품목에 대한 평가가 이루어졌다.

아열대과수는 블러드 오렌지에 대해 시행되었는데 우리나라에서 재배를 시작한 지 얼마 되지 않아 자세한 생육정보 확인이 어렵다. 제주농업기술원과의 협의 결과 블러드오렌지 재배 방법은 레드향과 유사하게 적용하는 것이 적정하다는 결론에 이르러 레드향 생육정보를 활용하였다.

레드향 생육정보와 2차년도(2020년)에 수집한 생육정보를 분석하기 위해 RNN 인공지능 모델을 사용하였으며 이때 “R” 프로그램의 ‘keras’패키지 사용하였다. 온실환경정보를 입력변수로 하고 온실 시설 제어값을 출력값으로 설정하여 Fig. 21에서와 같이 최적의 온실환경제어치를 산정하게 된다.

여기서 얻은 블러드오렌지에 대한 재배시기별 온실환경제어 알고리즘(온도, 습도, CO₂, 관수)을 Fig. 22에 제시하였다. 물론 이러한 데이터는 아주 초보적인 데이터이기 때문에 앞으로 많은 검증을 통해 세밀히 조정되어야 할 것이다.

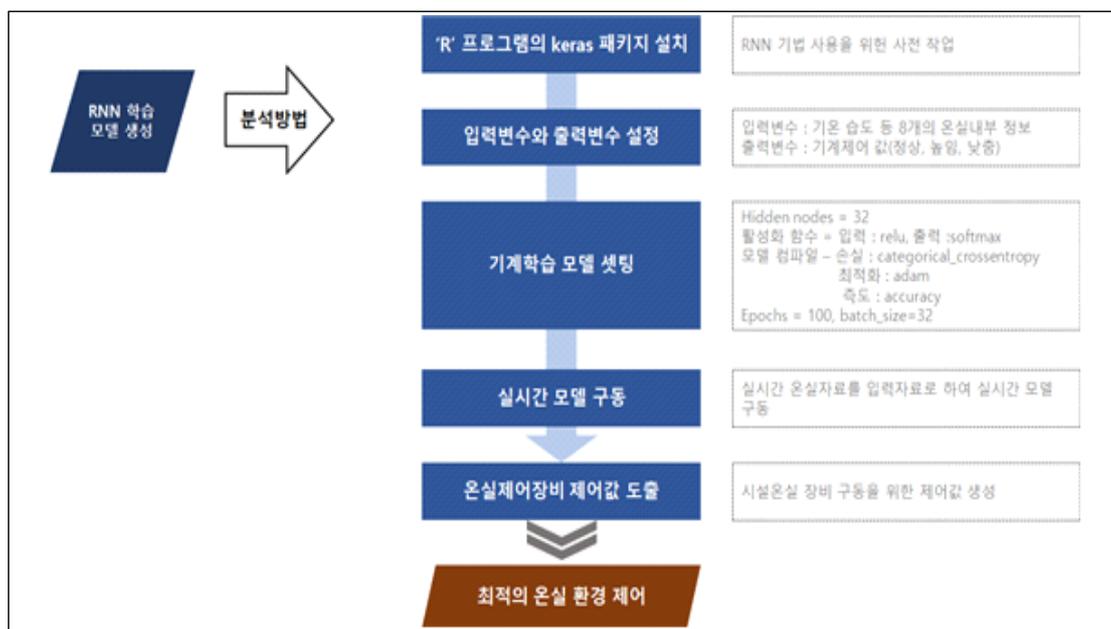
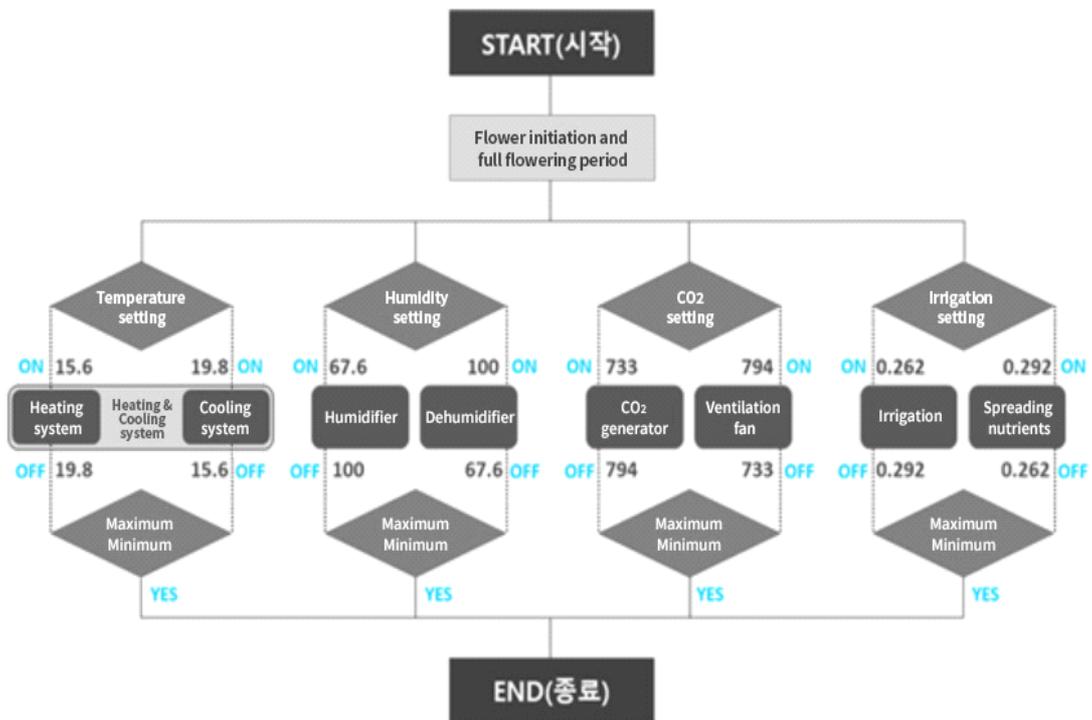
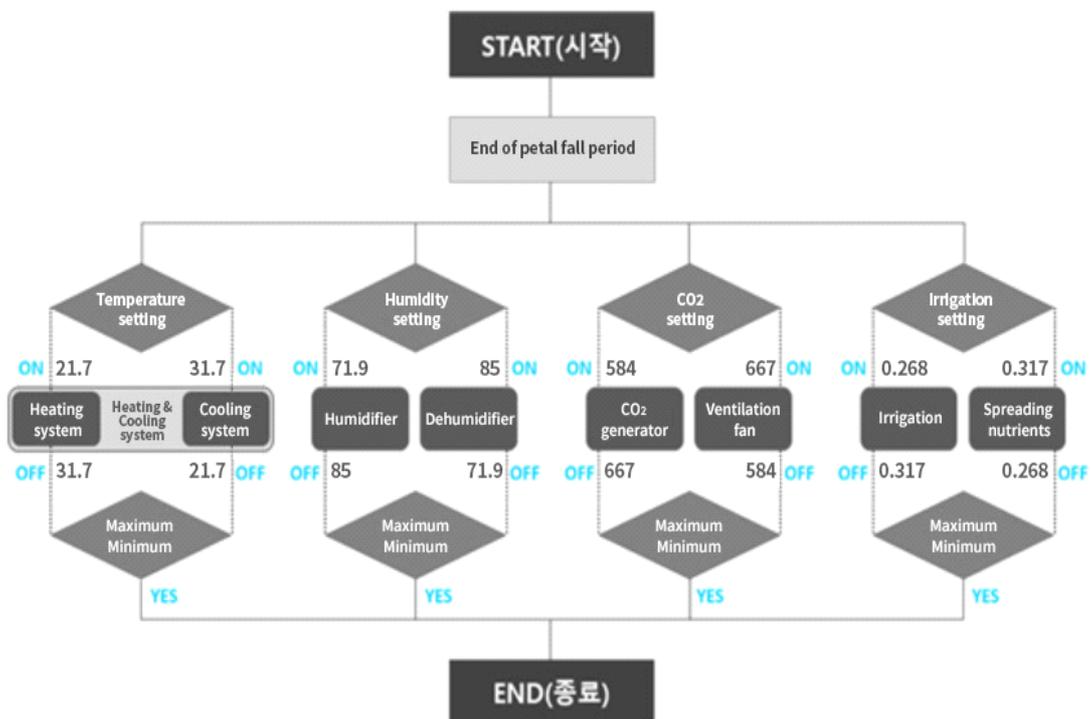


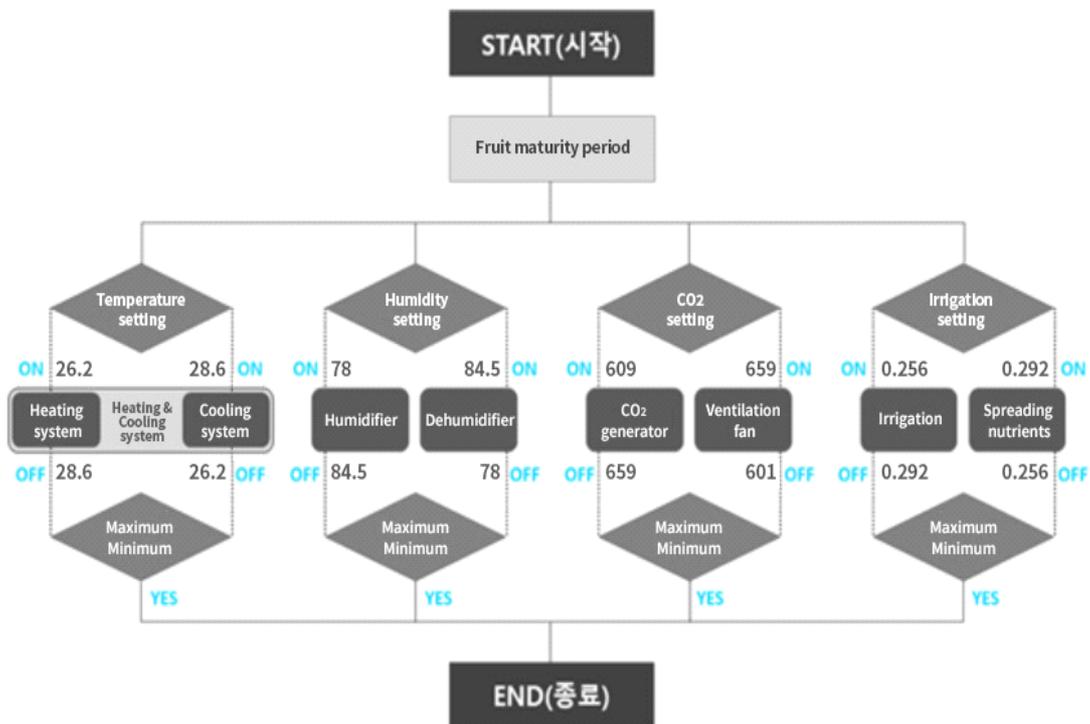
Fig. 21 RNN environment control algorithm setting



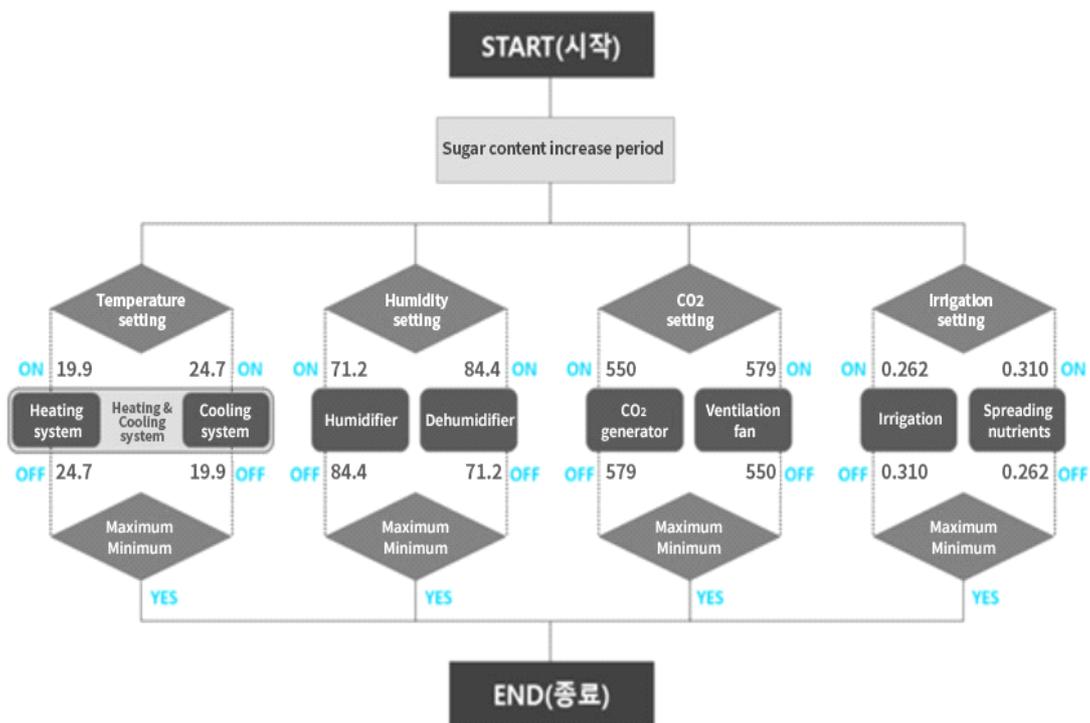
(a) Flower initiation and full flowering periods



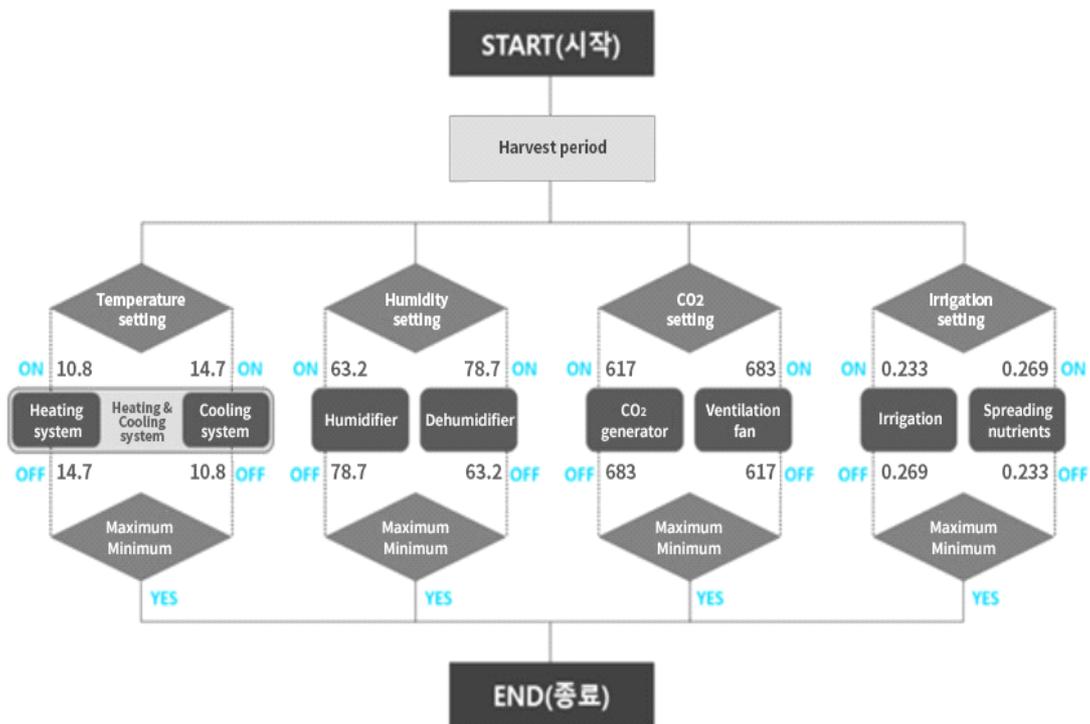
(b) End of petal fall period



(c) Fruit maturity period



(d) Sugar content increase period



(e) Harvest period

Fig. 22 Integrated control algorithm of blood orange

V. 결론

본 연구에서는 발전소온배수를 냉난방에너지원으로 활용하는 시설재배 농가에서 보통 시설농가에서 시행하는 온도제어 방식과 경험적 관수의 결과(1차년도, 2019년)와 여러가지 다른 환경 요인을 복합적으로 고려하여 재배하였을 때(2차년도, 2020년) 제품에 미치는 영향을 조사 하였다. 실험대상 과수는 블러드 오렌지이며 온도제어만 이루어졌을 때와 레드향 생육정보를 적용하여 온실환경을 통합 제어한 2차년도의 실험을 토대로 RNN 기법을 도입하여 생육단계별 새로운 통합제어 알고리즘을 제시하였다.

1. 단순한 온도제어만 이루어진 1차년도(2019년) 보다 2차년도(2020년)의 과수량이 평균 4.68배 증가하였으며, 과실 크기도 소과에서 특대과까지 일정하지 않은 크기의 생산성을 보인 1차년도(2019년)와 달리 2차년도(2020년)에는 중소과(145-165g)에서 중과(180-220g) 사이의 일정한 크기의 과수를 생산한 것으로 조사되었다.
2. 당산도의 경우 1차년도(2019년) 평균 당도는 10.9°Bx 이며, 2차년도(2020년) 평균 당도는 11.1°Bx 으로 1차년도(2019년) 대비 0.2°Bx 더 높은 결과를 나타냈으며, 과실 산도의 경우 1차년도(2019년) 평균 산도는 5.8pH, 2차년도(2020년)의 평균 산도는 3.4pH로 나타났다. 1차년도(2019년) 당산도 1.88이며 2차년도(2020년)에는 3.26으로 나타났다.
3. 과피 및 과육색은 Fig. 28에 확인할 수 있듯이 1차년도(2019년) 과실보다 2차년도(2020년) 과실이 과피나 과육이 확연히 붉은색을 띄어 안토시아닌이 풍부한 블러드 오렌지의 특성이 잘 나타남을 알 수 있다.
4. 2개년 간의 재배정보를 바탕으로 RNN 분석을 통해 블러드오렌지의 생육단계별 온도, 관수, CO_2 등의 온실환경 최적의 제어값을 도출하여 통합제어 알고리즘을 제시하였다.

참고문헌

- [1] 농촌진흥청, “농업에너지 절감 및 신재생에너지 기술의 확대 보급기반조성을 위한 현장실증”, 2010
- [2] 김은정, “발전시설과 온배수 관리를 위한 제도 개선에 관한 연구, 환경법과 정책”, pp.79-100, 2018
- [3] UN Convention on the Law of the Sea, 1994
- [4] 이연건, 허재혁, 이동원, 현명택, “제주 시설온실 냉난방을 위한 발전소 온배수 활용 열펌프 시스템 구축 및 냉방성능 평가”, 한국에너지학회, pp.70-79, 2018
- [5] 김진욱, 박미란, “버려지는 발전소 온배수, 원예시설 난방에너지원으로 활용”, 한국농어촌연구원, 2015
- [6] 유영선, 유영선, 강연구, 장재경, 김영화, 김종구, 강금춘, “화력발전소의 온배수를 열원으로 이용하는 시설원예 난방용 히트펌프 시스템의 열교환기 설계기준 설정”, 생물환경조절학회지, pp.372-378, 2012
- [7] 김민지, 임연주, 현명택, “발전소 온배수 난방시스템을 적용한 아열대과수의 생육정보에 대한 연구”, 한국기계기술학회지, pp.671-677, 2020
- [8] 김대영¹, 김대영², 강경문, 임연주, 허재혁, 이연건, 현명택, “발전소 온배수용 판형열교환기의 개발”, 한국기계기술학회지, pp.48-55, 2019
- [9] 문성부, 현명택, 허재혁, 이동원, 이연건, “An Evaluation of Heating Performance of the Heat Pump System Using Wasted Heat from Thermal Effluent for Greenhouse Facilities in Jeju”, 한국에너지학회, pp.22-29, 2019

감사의 글

무엇을 하든 시작이 있으면 끝이 있듯이 이제 그 끝맺음을 앞에 두고 있습니다. 아름다운 마무리가 될 수 있도록 성심껏 지도해주신 현명택 교수님께 감사를 드립니다. 또한 부족한 저의 논문을 세심히 살펴주신 박윤철 교수님, 김남진 교수님께도 감사드립니다.

학부생 시절과 대학원 진학에 많은 조언과 도움을 주신 이동원 박사님과 연구실 식구들에게도 깊은 감사의 말을 전합니다.

또한 마음으로 항상 응원해주시 어머니와 장인어른, 장모님께도 감사드립니다.

마지막으로 언제나 내 옆에서 묵묵히 격려해주고 응원해준 나의 아내 강수경과 나의 딸 문소정에게 항상 감사하고 사랑합니다.