

발 간 등 록 번 호

11-1543000-003539-01

일반 소득작물의 Best Farmer 영농기법 모델화 연구(오이)

2021. 6.

주관연구기관 / 경상북도농업기술원
협동연구기관 / 전남대학교산학협력단

농림축산식품부
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

<제출분>

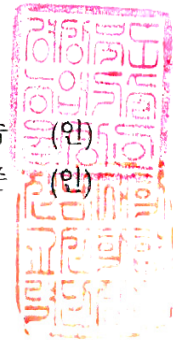
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “일반 소득작물의 Best Farmer 영농기법 모델화 연구(오이)”(개발기간 : 2018. 07. 31 ~ 2020. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021. 5 . .

주관연구기관명 : 경상북도 농업기술원 (대표자) 신 용 습 (인)
협동연구기관명 : 전남대학교산학협력단 (대표자) 민 정 준 (인)



주관연구책임자 : 이 지 은

협동연구책임자 : 나 명 환

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	318064-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2018.07.31. ~2020.12.31	단 계 구 분	(3)/(3)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	일반 소득작물의 Best Farmer 영농기법 모델화 연구(오이)			
연구책임자	이 지 은	해당단계 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 천원 민간: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 21명 내부: 15명 외부: 6명	총 연구개발비	정부: 470,000천원 민간: 천원 계: 470,000천원
연구기관명 및 소속부서명	경상북도농업기술원 원예경영연구과			참여기업명	
연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제				

<ul style="list-style-type: none"> • 오이 선도농가(Best farmer) 선정 : 상주(백다다기) 4개소, 군위(가시오이) 2개소 • 농가 환경측정 장치 설치 및 조사기준표 작성 : 환경, 생육조사, 생리분석 등 5항목 기준설정 • 재배 전작기 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 빅데이터 수집 및 과학적 검증 분석 : 묘소질, 재배전작기 환경(온도, 습도, 일사량, 지온 등), 생육, 수량, 토양이화학성, 엽록소형광 분석 등 주기적으로 수집 분석 • 우수농가 핵심영농기술 발굴 : 정밀환경관리, 겨울철 조조가온, 여름철 수시차광 기술 • 생산성 추정을 통한 단계적 선택법 다중회귀모형 : $과중_t = 358.2 - 36.43 * 누적.GDD.내부온도.상단부_{t-1}$ • 수확량과 상관성이 높은 생육요인과 핵심인자 발굴 : 생육요인(생장점 길이, 줄기직경 1마디, 접수직경), 환경요인(토양수분, 상대습도, 야간CO2, 주간 최대누적일사량) 	<p>보고서 면수</p>
---	---------------

<요약문>

<p>연구의 목적</p>	<p><input type="checkbox"/> 최종목표</p> <ul style="list-style-type: none"> 시설 오이 스마트팜 선도농가(Best farmer)들의 생산성 향상 및 생산비 절감에 기여할 수 있는 영농기법을 과학적.기술적으로 분석 검증하고 모델화하여 현장에 확산하고자 함 <p><input type="checkbox"/> 세부목표</p> <ul style="list-style-type: none"> 오이 스마트팜 선도농가들의 영농기법 모델화 매뉴얼 제작 및 확산 연구 시설오이 스마트팜 빅데이터 분석을 통한 생산성과 품질향상 예측 모델 개발 																				
<p>연구개발 내용 및 성과</p>	<p><input type="checkbox"/> 연차별 연구개발 내용 및 결과</p> <table border="1" data-bbox="293 622 1422 1346"> <thead> <tr> <th>구분 (연도)</th> <th>연구개발 수행내용</th> <th>연구결과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1차년도 (2018)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 농가 선정 : 상주(백다다기) 3개소, 군위(가시오이) 2개소 시설 내외부 기상 및 토양환경 측정장치 설치 및 조사기준표 작성 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 선정농가 환경, 분석시료 등 주기적으로 조사 분석 실시 오이 조사기준표 환경, 생육, 생리분석 등 5항목 기준 설정 </td> </tr> <tr> <td rowspan="2">2차년도 (2019)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 묘소질, 재배전작기 환경(온도, 습도, 일사량, 지온 등), 생육, 수량, 토양이 화학성, 엽록소형광 분석 등 주기적으로 수집 </td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 생육요인, 환경요인에 따른 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 전 생애기간 주요변수 도출 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 단계적 선택법 다중회귀모형 과중_t = 358.2 - 36.43*누적.GDD.내부온도.상단부_{t-1} </td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3차년도 (2020)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 우수농가 핵심영농기술 : 정밀 환경 관리, 겨울철 조조가온, 여름철 수시 차광 기술 적용 </td> </tr> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> 수확량과 상관성이 높은 생육요인과 핵심인자 발굴 시차변수, 최적시차 분석, 랜덤포레스트 핵심인자 발굴 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 생육요인 : 성장점길이, 줄기직경 1마디, 접수 직경 환경요인 : 토양수분, 상대습도, 야간CO₂, 주간 최대누적일사량 등 </td> </tr> </tbody> </table>					구분 (연도)	연구개발 수행내용	연구결과	1차년도 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> 농가 선정 : 상주(백다다기) 3개소, 군위(가시오이) 2개소 시설 내외부 기상 및 토양환경 측정장치 설치 및 조사기준표 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 선정농가 환경, 분석시료 등 주기적으로 조사 분석 실시 오이 조사기준표 환경, 생육, 생리분석 등 5항목 기준 설정 	2차년도 (2019)	<ul style="list-style-type: none"> 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 묘소질, 재배전작기 환경(온도, 습도, 일사량, 지온 등), 생육, 수량, 토양이 화학성, 엽록소형광 분석 등 주기적으로 수집 	<ul style="list-style-type: none"> 생육요인, 환경요인에 따른 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 전 생애기간 주요변수 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 단계적 선택법 다중회귀모형 과중_t = 358.2 - 36.43*누적.GDD.내부온도.상단부_{t-1} 	3차년도 (2020)	<ul style="list-style-type: none"> 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 우수농가 핵심영농기술 : 정밀 환경 관리, 겨울철 조조가온, 여름철 수시 차광 기술 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 수확량과 상관성이 높은 생육요인과 핵심인자 발굴 시차변수, 최적시차 분석, 랜덤포레스트 핵심인자 발굴 	<ul style="list-style-type: none"> 생육요인 : 성장점길이, 줄기직경 1마디, 접수 직경 환경요인 : 토양수분, 상대습도, 야간CO₂, 주간 최대누적일사량 등
구분 (연도)	연구개발 수행내용	연구결과																			
1차년도 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> 농가 선정 : 상주(백다다기) 3개소, 군위(가시오이) 2개소 시설 내외부 기상 및 토양환경 측정장치 설치 및 조사기준표 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 선정농가 환경, 분석시료 등 주기적으로 조사 분석 실시 오이 조사기준표 환경, 생육, 생리분석 등 5항목 기준 설정 																			
2차년도 (2019)	<ul style="list-style-type: none"> 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 묘소질, 재배전작기 환경(온도, 습도, 일사량, 지온 등), 생육, 수량, 토양이 화학성, 엽록소형광 분석 등 주기적으로 수집 																			
	<ul style="list-style-type: none"> 생육요인, 환경요인에 따른 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 전 생애기간 주요변수 도출 	<ul style="list-style-type: none"> 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 단계적 선택법 다중회귀모형 과중_t = 358.2 - 36.43*누적.GDD.내부온도.상단부_{t-1} 																			
3차년도 (2020)	<ul style="list-style-type: none"> 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 우수농가 핵심영농기술 : 정밀 환경 관리, 겨울철 조조가온, 여름철 수시 차광 기술 적용 																			
	<ul style="list-style-type: none"> 수확량과 상관성이 높은 생육요인과 핵심인자 발굴 시차변수, 최적시차 분석, 랜덤포레스트 핵심인자 발굴 	<ul style="list-style-type: none"> 생육요인 : 성장점길이, 줄기직경 1마디, 접수 직경 환경요인 : 토양수분, 상대습도, 야간CO₂, 주간 최대누적일사량 등 																			
<p>연구개발 성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p><input type="checkbox"/> 활용 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 : 농촌진흥청 영농정보기술 자료 활용, 스마트팜 확산교육, 언론.신문 등의 매체를 활용한 홍보 실시 저서, 논문 등 지식재산권 : 오이(백다다기) 스마트온실 축성재배 기술(1,000부), 오이(백다다기) 축성재배 현장 실증과 우수사례(500부) 등 2권의 매뉴얼 배부, 논문 2편 게재 완료, 향후 관련 논문 1편 투고 예정 <p><input type="checkbox"/> 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> 현재 시설 수준과 현장 요구를 고려한 선도농가의 영농기법 모델화 적용으로 현장 밀착형 ICT 활용 Best farmer 영농기법 모델 보급 확산 2세대 스마트팜으로 발전하기 위한 연동하우스 시설 오이 스마트팜 모델 확산 보급사업 활용 																				
<p>국문 핵심어</p>	<p>오이</p>	<p>핵심기술</p>	<p>영농기법</p>	<p>모델화</p>	<p>백다다기</p>																

〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제의 개요	6
제1절 연구개발 목적	6
제2절 연구개발의 필요성	10
제3절 연구개발 범위	11
제2장 국내외 기술개발 현황	13
제1절 국내외 기술 수준 및 시장 동향	13
제2절 국내외 기술 수준 비교	19
제3장 연구수행 내용 및 결과	20
제1절 시설오이 Best farmer 선정 및 현장 조사방법 기준 설정	20
제2절 2018~2019년 재배작기 오이 재배 영농기법 모델 연구	27
제3절 2018~2019년 재배작기 오이 생산성 향상 분석	57
제4절 2019~2020년 재배작기 오이 재배 영농기법 모델 연구	68
제5절 2019~2020년 재배작기 오이 생산성 향상 분석	87
제6절 오이(백다다기) 축성재배 현장실증과 우수사례	125
제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	141
제1절 목표달성도	141
제2절 관련 분야 기여도	141
제5장 연구결과의 활용 계획	142
제1절 연구성과 활용 분야 및 활용 방안	142
제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술 정보	143
제1절 네덜란드 시설원에 스마트팜 관련 정보 수집	143
제2절 일본 시설원에 최신 연구동향 및 스마트팜 관련 정보 수집	173
제3절 해외 선진사례와 국내 기술 현황 분석	187
붙임. 참고 문헌	189

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 목적

1. 연구배경

- 국내 농업은 인구 고령화 심화와 중소농 비중의 증가, 생산성 감소 문제에 직면
 - 60세 이상 경영주의 비중이 증가하고 있는 반면, 40대 이하 경영주의 비중은 감소
 - 60세 이상/49세 이하 경영주 비중 : (1995년) 42.3%/27.9% → (2010년) 60.9%/14.7% → (2013년) 67.3% / 9.3% (농림축산식품부, 2014, 농업의 미래 성장산업화 방안)
 - 전체 농가에서 중소농이 차지하는 비중이 과반을 차지
 - 중소농(1ha 미만) 비중 : (1995년) 59% → (2013년) 6% (농림축산식품부, 2014, 농업의 미래성장산업화 방안)

2. 연구현황

- 국내 스마트팜 농업 현황
 - '90년대 중반부터 추진된 원예시설의 현대화를 통하여, '14년까지 587ha에 달하는 유리온실과 5.3천ha에 달하는 비닐온실 및 축사, 자동화 시설이 보급
 - 시설원예 면적은 '05년부터 꾸준히 증가 추세에 있으며, 호당 시설원예 면적과 연동온실의 면적 또한 지속적인 상승 추이를 보임
 - (시설 면적) '05년 40,07ha, '10년 48,836ha, '13년 51,038ha로 지속적으로 증가하였으며, 그 중 비닐온실은 9.3%에 달하는 50,686ha에 달함
 - (호당 시설원예 면적) '05년 0.37ha, '10년 0.53ha, '12년 0.60ha로 꾸준히 증가
 - (연동온실 면적) '05년 5,264ha, '10년 5,27ha, '13년 6,038ha로, '10년 소폭으로 감소하였으나 '13년 다시 증가
 - 국내 온실은 대부분 단동온실 형태로 구성되어 있으며, 연동온실은 전체 면적의 15%에 달하는 7.9천ha 수준으로 지속적으로 증가 추세를 보임
 - 보온 커튼, 자동 개폐기 등 자동화된 온실은 10.5천ha로, 그 중 단동온실은 3.8ha정도의 규모로 추정되고, 정밀하게 환경제어가 가능한 스마트팜 온실은 405ha에 달함
 - 국내 시설원예에서 주로 재배되는 채소류의 경우, '10년 기준 전체 시설의 94%에 해당하는 면적에서 재배되고 있었으며, 채소류 소비 및 수출 증가가 시설 면적 성장에 견인차 역할을 수행
 - 비닐하우스 면적은 '90년부터 '05년 지속적으로 증가하다가 '10년 다소 감소하였으며, 경질판 온실은 '95년에서 '10년 사이에 약 20배 가량 면적이 증가하였고, 유리온실은 '95년부터 급격

히 증가하다가, '10년 이후 다소 감소

- 비닐하우스 면적은 '90년 25,450ha에서 '05년 52,02ha까지 지속적으로 증가하였으나 '10년 다소 감소
- 경질판 온실은 '95년 18ha에서 '10년 343ha로 15년 사이에 약 20배 가량 증가하는 추이가 나타남
- 유리온실은 '95년부터 '00년까지 2배 수준으로 급격히 증가하였다가, '10년에는 다소 감소
- '10년 말 기준, 전체 원예시설 면적 대비, 단동비닐온실 89%, 연동플라스틱온실 10%, 유리온실 및 경질판 온실이 각각 0.7%, 0.6%를 차지

□ 시설원에 스마트팜 도입 현황

- 스마트팜 보급면적은 1,258ha이며, 전체 시설면적의 1.9% 수준에 불과함(2016, 스마트팜 실패 및 성공요인분석)
- 일부 선도농가에서 스마트팜을 통해 생산성을 높이고 노동력을 줄이는 성과를 거두고 있으나, 보급은 아직까지 미미한 수준에 그치는 실정

<시설원에 스마트팜 보급 현황>

구 분		농가수(호)	시설면적(ha)
전체시설(A)		151,496	64,528
ICT시설	정부지원	1,047	769
	민간 등	1,578	489
	계(B)	2,625	1,258
비율(B/A)		1.7%	1.9%

주) 농업경영체 통계 기준, 축산시설 제외

자료 : 농림축산식품부 농업경영체 등록 농업시설현황 실태조사자료(2015).

- 스마트팜 보급농가 927호 중 시설원에 분야의 스마트팜 적용 농가는 760호(전체 농가의 82%)로 스마트팜은 대부분 시설원에 분야에 집중되어있음(2016, 스마트팜 실패 및 성공요인분석)
- 이들 시설원에 농가의 온실형태는 유리온실과 연동온실이 전체의 78% 수준이고, 면적을 기준으로 할 경우 유리온실과 연동온실이 91%를 점유하고 있으며, 이는 스마트팜 시스템 적용이 비교적 선진화되고 규모화 된 온실시스템에서 구현하기 쉽기 때문임

<시설원에 스마트팜 농가의 온실 형태>

구 분	단동	연동	유리온실	계
농가(호)	171(22.5%)	323(42.5%)	266(35.0%)	730(100.0)
면적(ha)	61 (8.8%)	213(30.8%)	418(60.4%)	692(100.0)

- 스마트팜 보급농가 927호 중 시설원에 분야의 스마트팜 적용 농가는 760호(전체 농가의 82%)로 스마트팜은 대부분 시설원에 분야에 집중되어있음(2016, 스마트팜 실패 및 성공요인분석)
- 이들 시설원에 농가의 온실형태는 유리온실과 연동온실이 전체의 78% 수준이고, 면적을 기준으로 할 경우 유리온실과 연동온실이 91%를 점유하고 있으며, 이는 스마트팜 시스템 적용이 비교적 선진화되고 규모화 된 온실시스템에서 구현하기 쉽기 때문임

<시설원예 스마트팜 농가의 온실 형태>

구 분	단동	연동	유리온실	계
농가(호)	171(22.5%)	323(42.5%)	266(35.0%)	730(100.0)
면적(ha)	61 (8.8%)	213(30.8%)	418(60.4%)	692(100.0)

□ 시설원예 스마트팜 운영현황

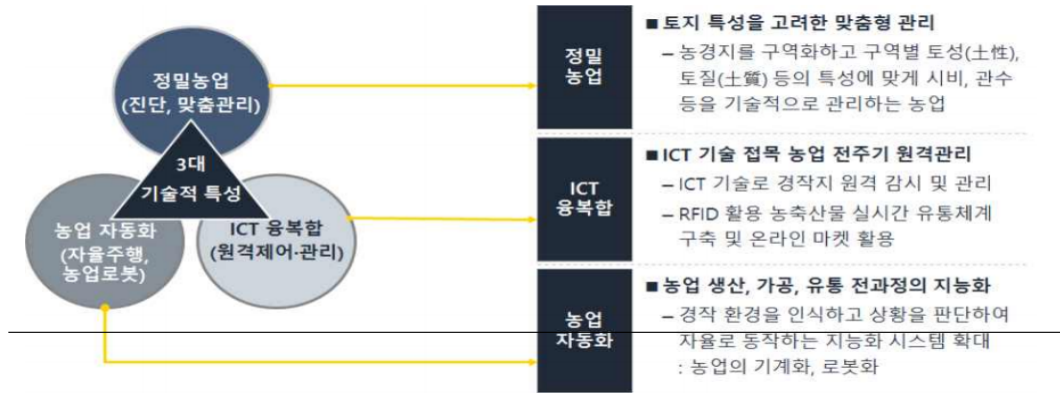
- 시설활용도 : 생육정보 수집과 환경 정보를 조절하는 수준 높은 농가는 29%(223호)임
 - 단순 내외부 온도조절 및 자동개폐 등 중간 수준 이하의 시설 보유 농가가 많음
- 도입시스템 : 국산화율 72% 수준(단동 및 연동온실에 적용)
 - 유리온실은 외국산의 비율이 85% 육박 : Priva, Netafim, Horti-max 등
- 우리나라 대부분을 차지하는 일반 소규모 하우스 농가들을 대상으로 하는 지역과 작목에 따른 저비용 고효율 스마트팜 시스템의 설계가 필요

□ 스마트팜의 개념 및 범위

- 스마트팜의 정의 : 자동화된 설비를 활용하여 생육 및 환경을 진단하고 필요 충분 조건을 원격으로 조정하는 농법으로 농업 생산의 전주기적 과정의 지능적 시스템화 된 농업 형태
- 스마트팜의 기준 : 한 개 이상의 자동화된 설비를 원격으로 조정하여 사람과 작물 또는 가축을 유익한 상태로 만들 수 있는 농장
- 스마트팜의 범위
 - (광의적 스마트팜의 범위 : 스마트 농업) 스마트 기술을 적용한 노지 농업, 시설원예, 축산 등 농업분야에서 농산물 생산, 유통, 소비의 전주기적 과정과 스마트화를 통한 농촌의 삶의 질 향상을 포함
 - (협의적 스마트팜의 범위) 스마트 기술을 적용한 노지 농업, 시설 원예, 축산 등 농업분야에서 농·축산물의 생산과 관련된 분야

□ 스마트팜의 기술적 특성

- 스마트팜의 기술적 특성은 '정밀농업', 'ICT 융복합', '농업 자동화'로 정의 가능
 - (정밀농업 : 진단 및 맞춤관리) 토지 특성을 고려한 맞춤형 관리
 - (ICT 융복합 : 원격제어.관리) ICT 기술 접목 농업 전주기 원격관리
 - (농업 자동화) 농업 생산, 가공, 유통 전과정의 지능화



<스마트팜의 3대 기술적 특성>

□ 오이 생산 동향

- 2019년 재배면적은 전년보다 7% 감소한 4,962ha이며, 이 중 노지면적 비중은 20%로 2010년보다 2%p 증가한 반면, 시설면적 비중은 2010년보다 2%p 감소한 80%를 차지(농업전망, 2020)
- 오이 단수는 농가 재배기술 향상 및 다수확 품종 전환 등으로 꾸준히 증가하였고, 최근 3년에는 10a당 7,090kg 수준까지 확대되었으며, 2019년 단수는 작황이 좋아 전년보다 8% 증가한 10a당 7,939kg으로 추정(농업전망, 2020)
- 2019년 품종별 전국 도매시장 반입비중 : 백다다기오이 58%, 가시오이 24%, 취청오이 14%



정장계 오이



백다다기 오이



가시오이



피클용 오이

<오이 주요 품종>

- 백다다기오이는 과거에 비해 최근 반입량 증가폭/감소폭 대비 가격 하락폭/상승폭이 크지 않아 변동성이 적은 특징을 가져 안정적인 성장세가 유지되는 품목으로 간주됨(농업전망, 2020)
- 오이 시설재배 면적은 3,906ha이며, 전체 재배면적의 81.6%를 차지하고, 충남(868ha) > 경북(721ha) > 경기(682ha) 순으로 재배되고 있으며, 생산단수는 노지재배보다 2배 이상 높음
- 오이 재배작형은 축성, 반축성, 조숙, 역제작형 등으로 구분되고, 과실 표면 침의 색깔에 따라 흑침계와 백침계, 그리고 착과 방식에 따라 주지착과형과 측지착과형 등으로 다양하므로 재배자는 계절이나 용도에 따라 품종 선택에도 유의해야 함.

제2절 연구개발의 필요성

1. 필요성

- 영세성 극복 및 대외 경쟁력 확보를 위한 기술집약적 차세대 농업시스템, 즉 스마트팜(smart farm) 모델 및 이를 실현할 차세대 핵심기반기술개발 필요
 - 국내 농업의 경쟁력 강화를 위해서는 농업생산성 제고 및 신성장동력 확충을 통한 영세성 극복 및 대외 경쟁력 확보 노력 필요
 - 특히, 시설원예, 축산분야는 ICT 융복합 기술적용 중요성이 높아 농가수요가 있음에도 불구하고 기술력의 한계로 인해 현장적용 및 보급에 한계
 - 경남 파프리카 농장은 자동화온실 도입 후 생장환경 관리시간 및 비용 절감 : (도입전) 180분/일, 27만원/월 → (도입후) 10분/일, 1.5만원/월
 - 2013년 ICT 적용 희망농가 : 원예(과채.화훼 0.5ha 이상) 부문 43%, 양돈(전업농규모) 부문 41%
 - 따라서 우리 농업환경에 최적화된 스마트팜 기술개발과 이를 통한 현장적용 및 보급, 확산 노력 필요
 - 대농.선도농, 중소.영세농 등 대상별 맞춤형 지원이 가능한 스마트팜 기술은 국내 농업생산성 제고 및 관련 산업 경쟁력 향상에 기여

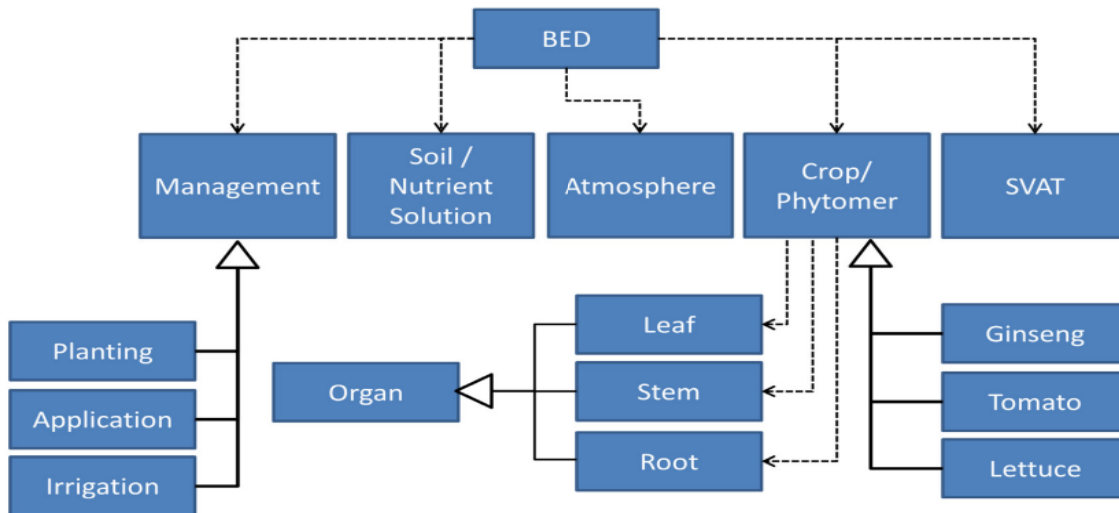
- 한국형 스마트팜 적용 품목의 전략적 확대 필요
 - 파프리카, 토마토, 화훼 등 수출전략 품목 중심에서 탈피하여 적용 품목을 확대하기 위한 기초연구 강화
 - 파프리카, 토마토, 화훼 등 수출전략품목에 집중된 한국형 스마트팜 보급의 확대를 위해 오이, 딸기, 수박, 참외 등 주요 수출 및 내수 품목에 대한 생육모델 개발 확대

- 국내 농업 환경에 적합한 스마트팜 모델 다양화
 - **중소, 영세 농가에도 적용이 가능한 스마트팜 모델 개발 및 보급**
 - 국내의 경우, 미국, 네덜란드 등 스마트팜 선진국과 비교하여 농가 호당 경지 면적, 원예 시설 규모 및 가축 사육 두수가 소규모 비중이 높음
 - 이에 국내 농업 환경에 적합한 한국형 스마트팜 모듈 개발 및 보급 필요

제3절 연구개발 범위

1. 기술개요

- 기존 스마트팜을 도입한 선도농가(5군데 이상)의 전주기 영농활동을 과학적·기술적으로 검증하여 최적의 오이재배 영농기법을 모델화하는 연구임
- ‘리빙랩(Living lab)’의 오이 선도농가에 도입 : 생활현장(real-five setting)에서 살고 있는 사용자들이 적극적으로 혁신활동에 참여하는 사용자 주도형 혁신 모델(STEPI Insight 제140호, 2014)
- 오이 선도농가의 생육단계/재배시기별 최적 환경설정에 의한 품질 및 생산 극대화 모델 개발 가능



※ 자료 : 데이터기반 스마트팜 생산성 향상 방안, 2016

<미래 작물생육 모델>

2. 핵심기술 발굴

□ 시설오이 재배농가 선정

○ 선정방법

- 상주, 군위 등 시군농업기술센터 추천 선도농가
- 과제수행 추천자격 규정(스마트팜 설치, 연동하우스 등), 현장검토, 영농마인드 심사 후 선정

□ 전주기 영농활동 검증·분석 및 모델화

- 생산관리 전과정(육묘, 재배관리, 병해충방제, 수확 등)을 2작기 동안 과학적으로 데이터 분석
 - 온실 환경 측정 데이터 수집 : 16개 항목

(온실외부) 온도, 일사량, 상대습도, 풍향, 풍속, 강우 : 7개

(온실내부) 온도(주간, 야간), 일사량(순간, 평균, 적산), 상대습도, CO₂ 농도, 풍속 : 5개

(토양환경) 지온, 토양수분, 토양EC, 토양pH : 4개

- 작물 재배 생육 데이터 수집 : 19개 항목

(재배기초) 품종, 재배방법, 정식일시 등 6개

(생육) 초장, 엽수, 경경, 착과수, 수확량 등 13개

- 작물 이미지 및 생리분석 데이터 수집 : 4개 항목

(생리분석) 엽록소함량, 엽록소형광(양자수율, 스트레스지수), 열분석(잎, 과실) 등 4개

- 경영 데이터 수집 : 5개 항목

(경영) 조수입, 수량, 품질, 난방비, 인건비, 감가상각비 등 5개

□ 모델화 및 현장 확산

○ 오이 스마트팜 영농기법 모델화 매뉴얼 제작 및 배부 : 1,000부

○ 현장평가회 및 기술지도 : 현장평가회, 오이 스마트팜 재배기술 영농교육 등

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내외 기술 수준 및 시장 동향

1. 국내외 기술 및 산업동향

□ 국내 기술 및 산업동향

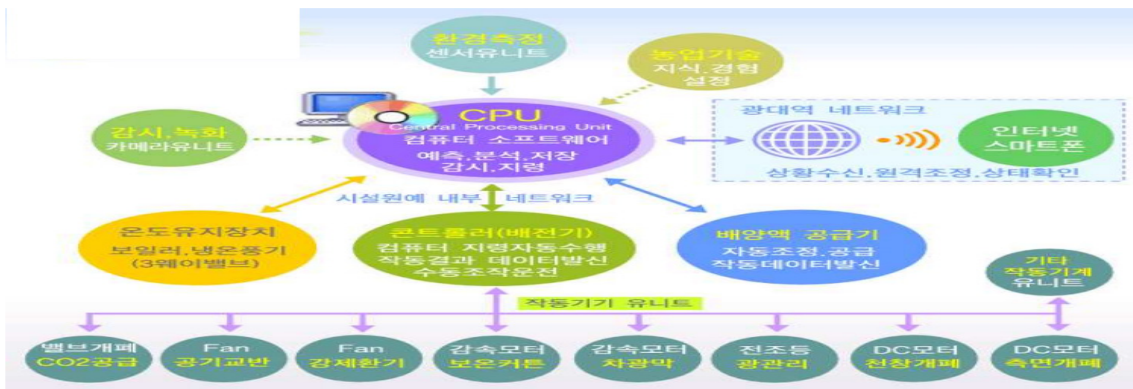
○ 국내 기술동향

- 우리나라의 스마트팜 기술은 주요 부품(센서, 제어기 등)은 외산을 구입하여 시스템을 구축하는 수준에 머물러 있으며, 상당수 농가는 외산 시스템을 솔루션 형태로 도입/설치하고 있어 제품 가격 및 운용·유지보수비가 비싸고, 제품(부품) 간 상호 호환성 결여로 유지보수에 어려움을 겪고 있음
- 외산 의존적인 구조적인 문제로 농가의 재배 생육정보 데이터가 네덜란드 등 시스템 설치 국가로 유출, 해당국에서는 유출 정보를 활용하여 국내 시설재배 농가의 시스템 적용 시 활용되는 안타까운 실정임
- 국내 제품은 영세한 중소기업의 한계성으로 부분적인 기술과 기자재를 개발/공급하여 기자재/부품 간의 호환성이 되지 않아 농가에 보급된 ICT장비 및 S/W에 대한 유지보수에 어려움을 겪고 있고, 기업의 영세성으로 인해 지속적인 개발능력에 한계가 있고 도산하면 농가 피해로 이어지고 있음
- 또한, 현재 스마트팜 시스템은 주로 스마트미디어를 통한 원격제어(개폐, 관수, 보일러 작동 등), 현장 영상 및 환경정보 제공 등으로 농민에게 편리성 향상에 커다란 기여를 하고 있으나, 아직 작물의 생산성 및 품질 향상에는 기대치에 미치지 못하고 있음
- 온실의 복합환경제어센서가 분단위로 수집하는 데이터(외부 기상·온도·풍향·습도·강우 등)를 실제 영농현장에 어떻게 적용할것인지 농가에서는 판단하기가 어려운 실정이며, 농민이 직접 기록해야 하는 생육데이터를 소홀히 다루는 농가도 많아 스마트팜의 시설 내 환경제어가 작물의 생육에 어떤 영향을 주는지 확인하기 어려움
- 현재 양액 재배면적이 증가하고 있음에도 불구하고 대부분 비순환 방식으로 재배하고 있으며 일부 순환식 양액재배장비를 갖춘 곳에서도 회수된 배액에 전기전도도(Electrical Conductivity: EC)를 기준으로 미리 조성된 농축 양액을 첨가하여 일정한 전기전도도만 유지하고 있다. 완전한 순환식 재배관리시스템을 통해 작물의 재배환경변화 및 생육단계에 따라 달라지는 양액 내 다양한 영양분의 농도를 개별적으로 측정하고 부족한 이온만 보충하는 정밀 배양액관리 기술이 요구됨
- EC 기반 농도제어는 양액 내 개별 이온의 농도를 알수 없으며 특정 성분이 저하되거나 높아지는 등 개별 이온 농도의 불균형이 발생할 수 있으므로 작물의 생육단계에 따라 부족성분의 보충과 과잉성분의 배제 등 효율적 관리가 어려움
- 국내 재배시설의 낙후로 시설의 작동성 미흡 및 정밀제어 곤란, 재배자의 운영능력에 따라 효율성과 경제성이 좌우되는 경향이 있어, 최소한 비닐하우스의 개폐는 가능한 수준의 시

설 현대화 작업의 지속적인 추진이 요구되고 있음

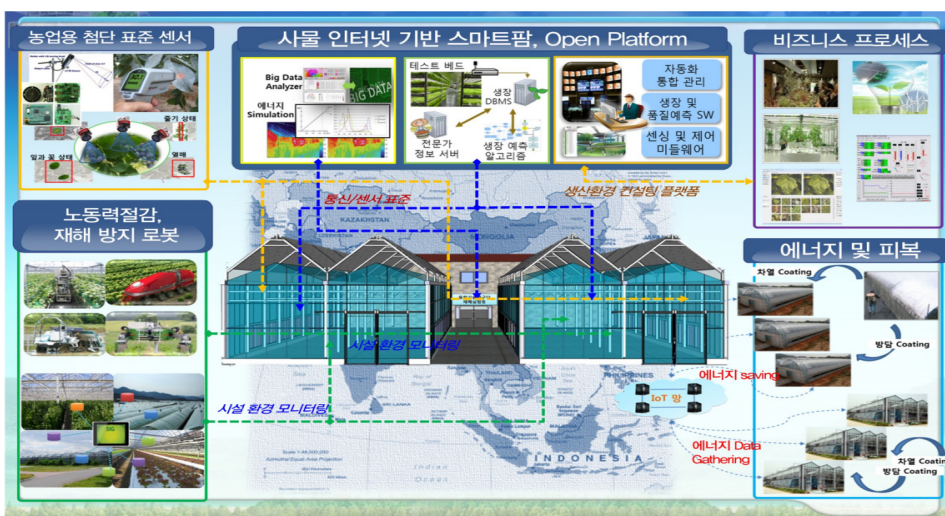
○ 국내 산업동향

- 우성하이텍은 국내 온실조건에 적합하도록 환경제어가 가능하고 적용 시스템에 대한 AS 및 기술자문력이 상대적으로 우수한 편임
- 연동 그린하우스 내외부에 설치된 온도센서, 습도센서, CO2센서, 풍향/풍속센서, 강우 센서 등으로 환경상태를 인식하고 분석/예측하여, 각종 환경조절용 기계장치를 유기적으로 작동시켜 최적의 재배환경을 유지
- 주요생산 제품은 시설원에 원격제어시스템, ICT 복합환경시스템, 자연환기시스템, 배양액 자동공급기, 시설원에 커튼제어시스템 등이 있음
- 양액 공급기는 원수에 양액을 혼합하여 배지에 연속적으로 공급하는 장치로 원하는 시간과 유량 및 EC, Ph값을 컴퓨터에 설정하면 자동으로 재배지어 관수되며 공급된 시간, 관수량, EC, Ph값 등의 데이터가 컴퓨터에 저장되어 관리



※ 자료 : 스마트 농업의 현황과 발전 방향, 2013

<(주)우성하이텍 복합환경제어 네트워크>



※ 자료 : 스마트 기술 동향 및 전망, 2016

<차세대 스마트팜 시스템 개요도>

□ 국외 기술동향

○ 미국

- 미국 농무부는 ICT 융복합 농업의 주관 부서로서 ICT 융복합 농업 정책은 장기적 관점에서 기반기술 개발을 위한 연구를 주로 진행하고 있으며 농업연구청(ARS)과 국립식품농업연구소(NIFA)를 통해 ICT 융복합 농업 R&D 사업을 지원하고 있음
- 연구 분야는 나노 농약(농약 사용량최소로 환경보호와 생산비용 절감 추구), 나노제초제, 나노 비료, 나노 센서(토양분석, 축산관리, 유통시스템에 활용) 분야가 각광을 받고 있으며, 경지면적부족의 대안으로 무토양 분무상태에서 LED 조명과 필요양분을 공급하여 재배하는 도시농업이(aeroponics) 대두하고 있음
- IBM社는 국지지역밀착형 일기예보를 제공하는 Deep Thunder를 기반으로 기상예측 모델 생성하여 수확량 증가, 품질개선을 지원하는 시스템을 개발함
- John Deere社는 자사의 파종기와 연동하여 파종 정보를 실시간으로 지원하고, 모바일 디바이스 기반 파종작업수행, 사용자간 데이터 공유가 가능한 소프트웨어인 SeedStar Mobile을 상용화함
- DuPont Pioneer社는 축적된 경작지, 기상, 강우량 정보를 연계하여 농장을 관리하는 소프트웨어 Field360 Select을 상용화함
- Blue River Technology社는 식물이미지 데이터베이스에서 식물과 잡초를 구분하여 잡초를 선별 제거하고 비료를 살포하는 Lettuce Bot을 개발함
- Google社는 토양, 수분, 작물건강 데이터수집 및 의사결정 지원시스템, 기후악화 대비 신작물 품종개발, 조건 맞춤형 파종에 의한 생산량 극대화, 드론을 이용한 작물 모니터링 및 관리개선, 파종, 관개, 수확, 휴경관리로봇 등을 연구 중임
- Kellogg社 등 식품기업들은 기후변화, 물부족, 경지면적부족 대비 안정적 원료확보의 대안으로 정밀농업분야에 자체 연구와 투자를 강화하고 있음

○ 네덜란드

- 네덜란드는 정부에 농업 전담부서가 부재하고 농업 진흥정책은 산업부에서 관할함.
- 대신 민간 주도의 ICT 융복합 농업이 발달하여 농민 대상 기술 이전은 민영회사에서 주도하고 있으며 농가의 신기술 수용성이 높아 시설농업이 고도로 발전함
- Priva社는 시설제어 기술, 센서와 RFID, Labor Tracking, 모듈 연동기술을 적용한 온실 환경 제어 시스템을 구축하여 프로그램과 기자재를 패키지로 공급하고 운영 중 표준화된 유리온실 모델의 최적 생산성의 생육정보를 제공함. 온실 환경제어 기술을 기반으로 빌딩 에너지 소비량 관리 시스템을 개발하여 네덜란드의 공공건물의 약 30%에 적용하였음
- Nedap社는 전자 사료 공급, 발정기감지, 모든 접촉기록 자동저장, 이전접촉기록 비교, 스프레이 분사 등을 수행하여 최적 조건 사육과 최대 생산성을 추구하는 돼지 사육 통제 시스템 Nedap Velos을 출시함
- Hortimax社는 센서, 기상정보 기반 작물 환경 정보를 수집 및 제어 서비스 가능한 복합

환경제어기를 개발하여 우리나라 파프리카 재배 농민들이 주로 적용하고 있음

- Alsmeer 화훼교역시스템은 온라인 직거래를 활성화하기 위해 아날로그와 실물을 대체하는 전자화된 화훼경매와 네트워크 기반 원격구매 서비스를 제공하고 있음
- Wageningen UR에서는 센서를 농지에 적용하여 무기염류, 영양소, 수분, 산성도, 이산화탄소, 온도, 습도, 성숙도를 수집하여 농장 환경 제어에 활용하고 있음

○ 일본

- 일본은 우리나라와 비슷한 시기에 농업 ICT 융합산업을 육성하기 시작하였으나, 정부 주도보다는 민간 중심, 개방혁신의 기반구축 전략으로 산업을 육성하고 있음. 가공, 유통을 포함한 밸류 체인을 포함한 일본 ICT 융복합 농업 규모는 농업생산 총규모 100조원의 10%로 전망됨
- 총무성은 2010. 4 하라구치 비전을 발표하고 녹색 분권개혁 추진계획, ICT 유신비전을 통해 농업 분야 ICT 프로젝트를 전개하였음
- 후지쯔는 농업생산관리, 생산매니지먼트, 시설원예환경제어 체계 마련을 목표로 食·農 클라우드 영농관리시스템 Akisai(秋彩)을 구축하고 스마트 농업의 상업화와 해외 진출을 추진하고 있음
- 지바대학은 시설농업 시범공간을 조성하여 관련회사들의 기술시연과 생산자의 필요 기술을 채택을 유도하고 통합기술 구축과 경쟁을 통한 발전을 유도하고 있음

○ 중국

- 중국 정부는 13차 5개년 계획에 ICT를 통한 농업의 선진화를 중요한 과제로 설정하고 투자를 확대하고 있으며 중국 국무원은 2014년 '농촌개혁의 전면적인 심화와 농업현대화 가속화에 관한 의견'을 발표하고 농업기술 혁신 정책을 적극적으로 추진하고 있음
- 농업 선진기술 도입을 위한 해외 국가 파트너십 강화전략, 시범사업추진, 국부펀드투자 등 정부 주도의 진흥 정책과 민간 참여를 병행 추진하고 있음
- 화이트칼라와 대학생들을 주축으로 농업경영관리, ICT 융합 생산, 유통 서비스를 제공하는 이른바 신농업인이 등장하여 기대를 받고 있으며, 2014년 신농업인은 100만명 규모로 추산되고 있음

○ 독일

- 정부 주도로 농업 시스템 개발 및 연구가 활발하게 진행되고 있으며, iGreen 프로젝트를 통해 위치기반 서비스, 에너지 효율 개선, 농기계 사용 최적화 등의 주제를 농기계 제조업체, 관련 시스템, IT 분야 등 총 24개의 업체와 함께 공동 진행하고 있음

○ 이스라엘

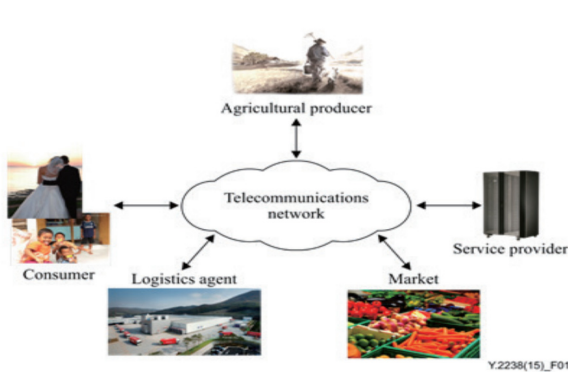
- 히브리대학은 수확량 예측 정밀농업 시스템을 개발하고 작물 센서를 부착하여 작물의 크기, 줄기변화, 잎 두께 온도 등을 측정하고 급수주기 급수량을 최적화하는 재배법을 보급함

2. 스마트팜 표준화 현황

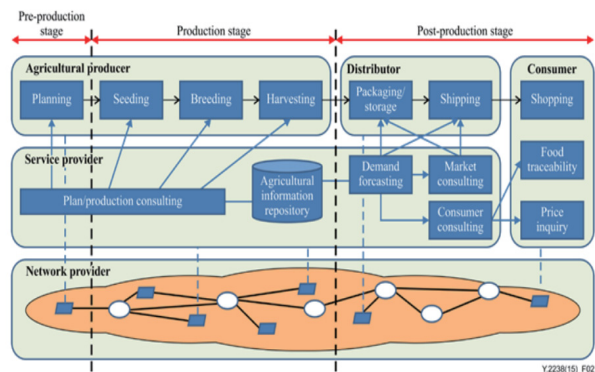
□ 표준화 현황

○ 네트워크기반 스마트농업 국제 표준(Y.2238)

- 미래네트워크와 클라우드 분야의 표준화를 담당하는 ITU-T SG13 그룹에서는 2012년도부터 네트워크에 기반한 스마트농업 개요에 대한 표준(ITU-T Y.2238) 개발
- 농업과 정보통신 기술간 융합에 대한 IT 종사자와 농업 종사자간의 이해도의 폭을 줄이고, 농업 전분야에 걸쳐 IT를 적용하기 위한 필수 고려 사항들을 정의하기 위함
- IT 종사자와 농업 종사자 간의 이해도차이가 발생하는 주된 이유는 농업분야에서의 불확실한 기후 조건, 작물의 생육 조건의 변화, 예측 불가능한 작물의 질병을 들 수 있으며, IT 분야에서의 센서의 수명이나 정확성 등을 들 수 있음
- 또한 정보통신 기술과 자동화 기술을 접목할 경우 기존 농업생산 방법에 비해 생산량의 증가와 품질의 개선이 가능할 것이라는 기대감에 따라 기존 농업 분야에 있어서는 주로 온실 자동화 등과 같은 생산 단계에 집중
- 최근 들어 농산물의 생산 이외에도 유통 및 소비 단계에 이르기까지 전주기 프로세스에 대한 조명이 비춰짐에 따라 스마트농업의 영역을 확대시켜야 한다는 요구가 발생
- ITU-T Y.2238은 네트워크에 기반한 스마트팜의 개요를 정의하고 이를 위한 스마트팜 참조 모델, 스마트팜에 필요로 하는 서비스 및 네트워크 기능들을 정의하는 것을 목적



※ 자료 : 스마트농업 국제 표준화 동향, 2016
<네트워크 기반 스마트농업 개요>

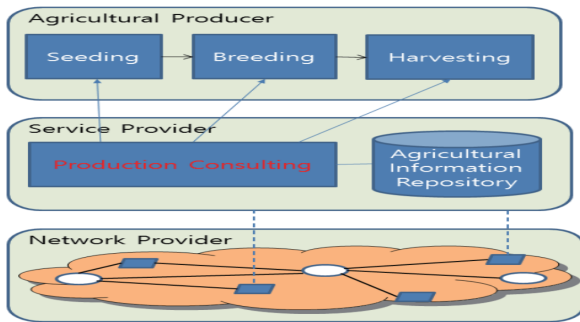


※ 자료 : 스마트농업 국제 표준화 동향, 2016
<스마트농업 참조 모델>

○ 스마트농업 생산단계 국제 표준화 동향(ITU-T Y.PSF)

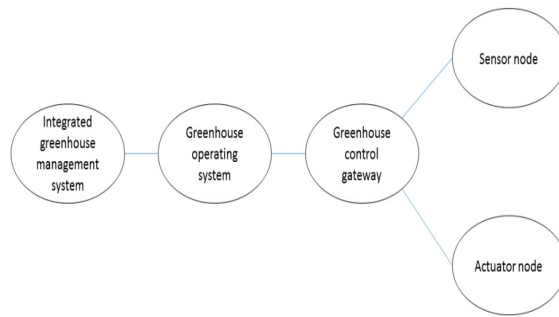
- 스마트농업에서의 생산단계란 스마트 농업 참조 모델 중 생산에 관련된 표준 모델로 네트워크 기반의 실제적인 생산 단계를 의미
- 스마트농업 생산단계에서의 대표적인 동작은 비닐하우스, 유리온실, 식물공장 등의 생산 시설환경의 온도, 습도 등을 모니터링하고, 자동 제어기술을 통하여 최적의 생육 환경을 원격이나 자동으로 구성하는 것을 포함

- 농업 생산자는 스마트농업 서비스에서 제공하는 생산 컨설팅 단계에 의해 파종, 생육 및 추수를 하는 주체를 의미하고, 서비스 제공자는 생산 컨설팅과 농업정보DB 개체를 포함하며, 생산 컨설팅은 저장된 농업정보 DB를 통해 농업 생산자에게 최적 식물 생육 환경을 구성하기 위한 정보를 제공하며, 제공받은 정보를 통해 생산자는 파종, 생육 및 추수에 해당되는 모든 단계에 대한 최적 생산 활동을 가능하게 하는 것을 목적으로 하고, 마지막으로 네트워크 제공자는 스마트농업 서비스를 제공하기 위한 안정적인 회선 서비스나 클라우드 서비스를 제공함



※ 자료 :스마트농업 국제 표준화 동향, 2016

<생산단계 참조 모델>



※ 자료 : 스마트농업 국제 표준화 동향, 2016

<생산단계 기능 구성도>

○ 스마트팜 인터페이스 국제 표준화 동향(ITU-T Y.ISG-RF)

- 스마트팜 서비스는 온실의 작물 생산량과 품질을 높이기 위해 작물의 생장, 온실 내부의 환경 정보 등 다양한 정보를 센서를 통해 수집하고, 수집된 정보를 통해 적정 생장환경을 조성하며, 생장환경 관리, 생장환경 제어와 같은 응용 서비스 기능 등을 제공
- 온실 내외부의 환경 정보와 작물별 최적 생육 정보를 토대로 작물의 최적 생육 환경을 제어할 수 있을 뿐만 아니라, 구축된 빅데이터를 통해 생산 이외의 다른 서비스로까지 확대 제공
- 각각의 기능들을 센서, 센서노드, 구동기, 구동기노드, 온실통합제어기, 온실운영시스템, 온실통합관리시스템 및 사용자 개체로 나누어서 고려함
- 하나 이상의 센서 기능을 포함하는 센서 노드는 센서들에게 통신 기능을 제공하여 스마트팜 서비스에 참여할 수 있게 해 주는 개체이며, 센서 노드는 온실 내외부 상황을 센서들로부터 실시간 모니터링이 가능하게 해 주며, 하나 이상의 구동기를 포함할 수 있는 구동기 노드는 센서 노드와 마찬가지로 구동기가 통신에 참여할 수 있게 해 줌과 동시에 최적 생육 환경 조건에 따라 온실을 조절할 수 있는 개체임
- 온실통합제어기는 센서 노드로부터 정보를 수집하고 온실운영시스템으로 전달하는 역할과 온실운영시스템으로부터 받은 명령을 구동기 노드로 전달하는 역할을 한다. 필요에 따라 이종 제품간 상호연동을 위해 프로토콜을 변환하는 역할도 하며 간단한 제어로직을 포함할 수 있음
- 온실운영시스템은 온실 운영자 혹은 생산자가 온실 내·외부센서 들로부터 환경 및 작물 생장 정보를 모니터링 하며 동작주기 및 장애를 관리하고, 또한 외부로부터 온실운영에 필요한 서비스 및 제어 소프트웨어를 온실통합관리시스템으로부터 제공받을 수 있기 때문에, 이를

통한 효율적인 온실 제어를 위해 온실 환경제어 알고리즘을 통한 운영과 이를 통한 제어가 가능하다. 또한 수집된 데이터를 자신의 시스템에 기록보관하며 저장된 데이터를 바탕으로 영농일지를 작성할 수 있음

- 온실통합관리시스템은 다른 사이트에 위치한 온실운영시스템과 연동이 가능하며, 온실운영시스템으로부터 수집한 정보를 토대로 빅데이터를 구축할 수 있다. 구축된 빅데이터는 연구자들로 하여금 최적생육환경을 도출하는데 활용할 수 있으며, 이를 기반으로 온실을 제어하기 위한 작물별 제어 로직을 온실운영시스템에 제공해 주는 역할을 한다. 끝으로 사용자는 원격에서 온실을 관리하거나, 경영 일지를 작성하고, 자동으로 운영되는 온실의 세부 사항들을 정밀 조정하는 역할을 담당함

제2절 국내외 기술 수준 비교

- 국가별로 자국의 농업 특성에 따라 스마트팜 관련 기술 분야별 기술수준 및 중점추진분야 상이
 - 미국과 네덜란드가 스마트팜 분야의 최고 기술 보유국으로 분석
 - 미국은 정밀농업, 원격 모니터링 및 (자동)제어, 농업로봇 관련 분야를 중심으로 세계 최고 수준의 기술을 보유
 - 네덜란드는 시설원예와 축산시설 관련 스마트팜 기술 분야를 중심으로 세계 최고수준의 기술을 보유
 - 국내 스마트팜 관련 기술수준은 최고 기술보유국 대비 70% 수준으로 기술격차는 약 6년 내외로 나타나고 있는 것으로 분석(한국형 스마트팜 기술개발 사업기획연구, 2015)

<국내외 스마트팜 분야 기술수준 현황>

기술 분야	핵심전략기술	최고기술		한국의 기술수준
		보유국	기술수준	
정밀농업	첨단 지능형 정밀농업 구현 기술	미국/네덜란드	79.0	70.8
	지능형 농업용수 통합제어 시스템	미국	86.9	71.2
	농림축산 실시간 첨단 기상재해 예측경보 시스템	일본	86.1	78.6
	BIT 융복합 병해충·질병 신속진단 기술	미국	90.4	71.3
	시설원예 경영비 절감 및 생산성 향상 기술	네덜란드	91.8	73.1
자동화·농업로봇	스마트(완전 제어형) 친환경 식물공장 상용화 기술	네덜란드	82.8	81.9
	첨단 친환경 동물복지형 축사 개발	네덜란드	82.9	58
	농림축산 활용 로봇 기반 기술	미국	89.9	68.4
스마트 저장·유통기술	신선 농축산물 수확 후 관리 및 선도유지 저장유통기술	미국/네덜란드	88.2/88.1	74.3
	농산물 안전생산 및 위해요소 안전관리기술	미국	88.3	81.3
	전주기 축산식품 안전관리 체계구축 기술	독일	88.3	81.4
	농산물 생산단계 안전성 조사 및 품질관리 기술	미국	93.3	75.8

제3장 연구수행 내용 및 결과

제1절 시설오이 Best farmer 선정 및 현장 조사방법 기준 설정

1. Best farmer 선정방법

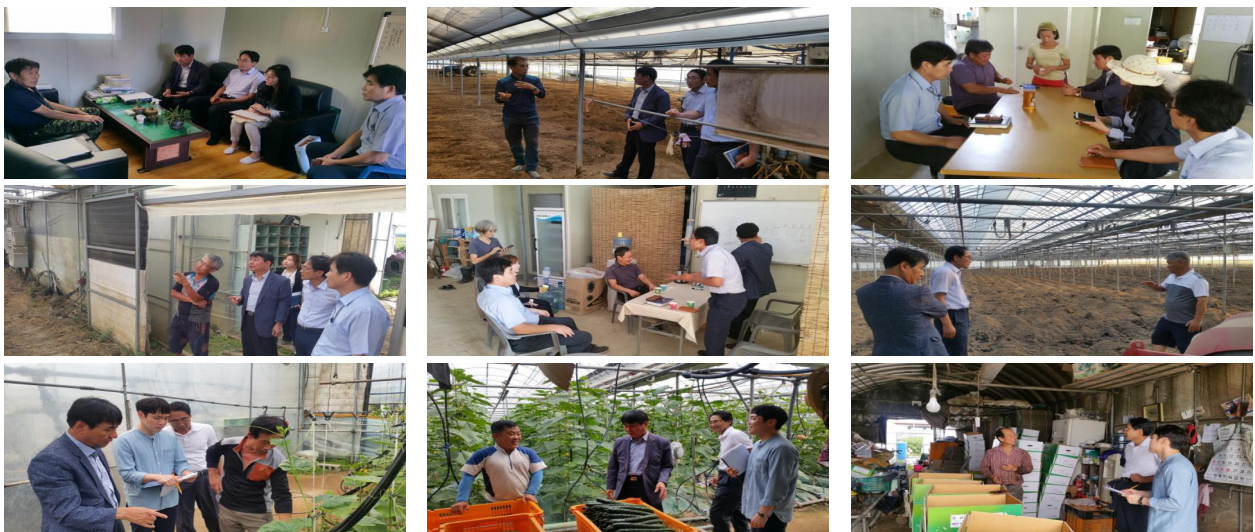
- 선정방법
 - 상주, 군위 시군농업기술센터 선도농가 추천 : 상주 6개소, 군위 3개소
 - 과제수행 추천자격 규정, 현장검토, 영농마인드 심사 후 선정 : 상주 3개소, 군위 2개소
- 평가위원 : 과제책임자, 참여연구원, 농업기술센터 담당자 등 6명
- 현장평가표

평 가 요 소	배 점
가. 과제수행 의욕, 성실성 등	20점
나. 작물재배 적합성 및 전문성	20점
다. 기존시설 활용가능성	20점
라. 발전가능성(파급효과)	20점
마. 심사위원 가점	20점
계	100점

□ 선정결과

지역(품종)	선정 농가명	비 고
상주(백다다기)	김 00	현장평가표 집계 결과
	우 00	
	이 00	
군위(가시오이)	이 00	
	김 00	

□ 현장심사 관련 사진(2018.9.17.~19)



2. Best farmer 선정 농가 현황

□ 일반현황

지역	구분	농가명	품목	주소	재배경력	온실유형	재배면적
상주	A	우00	백다다기	상주시 사벌면	12년	연동	0.7ha
상주	B	이00	백다다기	상주시 이안면	7년	연동	0.2ha
상주	C	김00	백다다기	상주시 함창읍	27년	연동	0.6ha
상주	D	권00	백다다기	상주시 사벌면	10년	연동	0.7ha
군위	E	이00	가시오이	군위군 군위읍	30년	연동	0.3ha
군위	F	김00	가시오이	군위군 군위읍	22년	연동	0.3ha

□ 재배현황

구분	재배기간	재배품종	육묘방법	스마트팜 시설	업체명	재배유형
A	18.10.5~19.6.10	흑존	구입묘(접목)	단순제어	다스텍	토경
	19.10.18~20.6.19	흑존				
B	18.10.10~19.6.11	월동명	구입묘(접목)	단순제어	우성하이텍	토경
	19.10.7~20.5.14	00				
C	18.10.14~19.5.18	조은	구입묘(접목)	단순제어	우성하이텍	토경
	19.10.20~20.6.15	조은				
D	19.10.5~20.6.15	한강맛	구입묘(접목)	단순제어	나래트랜드	토경
E	18.12.5~19.5.30	신동	구입묘(접목)	관수제어	미래센서	토경
	19.12.10~20.5.11	신동				
F	19.1.28~19.5.30	신동	구입묘(접목)	관수제어	미래센서	토경
	20.2.3~20.4.29	신동				

□ 재배시설 이미지

A (상주-우00)		
		
상주형 연동하우스	다스텍 단순제어시스템	보온덮개(권취식)
		
온풍 난방기	관비시스템	3중 골조 비닐 피복

B (상주-이00)



연동하우스



우성하이텍 단순제어



2중 골조 비닐



시설 내부 구조



관수공급(점적호스 3줄)



병해충 방제시설

C (상주-김00)



연동하우스



팜시스 단순제어



스마트관개시스템



공기순환팬, 충유인 롤트랩



2중 골조 비닐



온풍 난방기

D (상주-권00)



상주형 연동하우스



나래트랜드 단순제어



2중 골조(내부 권취식 보온)









내부 보온덮개(권취식)









온풍 난방기



제어시스템

E (군위-이00)		
		
연동하우스	측고 4M	자동관개시스템
		
2중 골조 비닐	관수공급(점적호스 4줄)	스마트 관개시스템

F(군위-김00)		
		
연동하우스	스마트 관개시스템	2중 조 비닐
		
온풍 난방기	관비공급시스템	정식 직후 터널 보온

□ 환경측정 센서 규격 및 사양

항 목	이미지	규 격	설치위치
온습도 센서 (ATMOS 14)		온도 -40℃~80℃	시설 내부 2지점 시설 외부 1지점
풍향, 풍속계 (Davis Cup Anemometer)		풍향 16point(22.5°) 풍속 2~175mph	시설 외부 1지점
강우계 (ECRN-100)		강우 감도 0.2mm Double-spoon tipping bucket	시설 외부 1지점

항목	이미지	규격	설치위치
일사계 (PYR Pyranometer)		파장 380~1,120nm	시설 내부 1지점 시설 외부 1지점
광량계 (QSO-S PAR Sensor)		파장 400~700nm	시설 내부 1지점 시설 외부 1지점
이산화탄소 함량 (aM-21A)		400~10,000ppm	시설 내부 1지점 시설 외부 1지점
토양수분장력 (Watchdog 645WD)		0~200centibar	시설 내부 1지점
토양수분, EC, 지온 (Watchdog 6470-6)		수분 0~100% EC 0~10mS/cm 온도 -30~50°C	시설 내부 1지점
토양수분, EC, 지온 (TEROS 12)		수분 0~100% EC 0~10mS/cm 온도 -30~50°C	시설 내부 2지점

□ 설치현장



3. Best farmer 조사방법 기준표

□ 온실환경 측정

구 분	항목수	측정항목
시설 외부 환경	7	기온, 상대습도, 일사량, 풍향, 풍속, 강우, 이산화탄소농도
시설 내부 환경	5	기온(2지점), 상대습도(2지점), 일사량(순간, 평균, 적산), 광량(순간, 평균, 적산), 이산화탄소농도
토양(근권) 환경	4	지온, 토양수분, EC, pH

□ 작물재배 및 생육

구 분	항목수	측정항목
재배기초	6	품종(접수, 대목), 묘소질(초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 엽면적, 생체중, 건물중, C/N율 등), 재배방법, 정식일, 수확종료일, 병해충 발생밀도(예찰트랩)
생육	13	초장, 마디수, 절간장, 줄기직경(1, 5, 10마디 아래), 엽장, 엽폭, 엽수, 열매상태, 과장, 과폭, 과중, 상품수확량(과실수, 무게), 비상품수확량(과실수, 무게)

□ 생육 조사방법

항목	주기	단위	측정방법
초장	주	cm	지표면에서의 생장점까지 길이(수확화의 마디부터 생장점까지 길이)
마디수	주	마디	지표면에서부터 최상부 마디까지 측정
절간장	주	cm	마디 간 길이 측정
줄기직경	주	cm	생장점에서 10번째 마디 아래쪽 잎 아래의 줄기 굵기
엽장	주	cm	생장점에서 10번째 마디 아래쪽 엽의 길이
엽폭	주	cm	생장점에서 10번째 마디 아래쪽 엽의 폭
엽수	주	개	개화 아래 엽의 수
열매상태	주	-	마디별 열매를 숫자로 표시(2=성숙과, 1=미성숙과, 0=비품)
과장	주	cm	과의 길이로 성숙과는 뒷면 곡선부위 길이와 직선길이, 미성숙과는 직선길이 측정
과폭	주	cm	과의 꼭지 부분의 폭 측정

항목	주기	단위	측정방법
과중	주	g	수확한(상품) 열매의 무게(합계) 측정
수확과수	주	개	수확한(상품) 열매의 수 측정
수확무게	주	g	수확한(상품) 열매의 무게 측정
비상품과수	주	개	수확한(비상품) 열매의 수 측정
비상품무게	주	g	수확한(비상품) 열매의 무게 측정

□ 경영데이터

구 분	항목수	측정항목
경영분석	5	조수입, 수량, 상품화율, 경영비(중간재비 : 광열비, 종묘, 비료 등), 인건비

□ 생리분석 및 토양 이화학 분석

구 분	측정주기	측정방법
엽록소함량	주	분석기기 : 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta) 생육 조사하는 잎 중 잎몸을 3회 측정 후 평균값 사용
엽록소형광분석	4회/월	분석기기 : 휴대용엽록소형광분석기(FluorPen FP110, PSI) 생육 조사하는 잎 중 잎몸을 Dark 클립을 이용하여 암적응 15분 후 OJIP 측정
엽온	4회/월	분석기기 : 열화상카메라(T420, FLIR) 생육 조사하는 잎의 10매를 측정 후 평균값 사용
토양성분분석	1회/월	분석지점 : 멀칭 비닐 아래 근권부 15cm 내외 토양시료 분석항목 : pH(1:5), EC, 유기물함량, 유효인산, K, Ca, Mg, Na

제2절 2018~2019년 재배작기 오이 재배 영농기법 모델 연구

1. 상주지역 백다다기오이 빅데이터 수집 및 분석 결과

가. 정식 전 오이 묘소질

- 백다다기 오이 농가들의 대부분이 육묘장으로 부터 모종을 구입하여 이용하고 있으며, 묘소질에 따라 오이의 초기 수량 및 품질에 차이가 발생하기 때문에 구입시 가격보다 모종의 건전성과 접목상태를 고려하는 것이 필요하다.
- 토양병(덩굴썩음병 등)과 급성위조 등을 막고, 저온신장성의 강화, 초세 유지 등의 이점이 있어 접목모종을 주로 이용하고, 대목으로는 호박 중에서 저온신장성과 초세 강화에 가장 좋은 흑종 호박을 이용한다.
- 정식에 알맞은 모종의 크기는 재배 작기에 따라 다르지만 대체로 본엽 3~5매로 파종 후 20~30일 전후의 모종으로 알려져 있다.
- 묘소질 조사 방법은 각 농가별 10주씩 조사하였고, 접수, 대목, 뿌리길이, 접수직경, 대목직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 조사하였다. 엽면적은 완전 전개한 잎(1cm 이상)을 채취하여 엽면적 측정기(LI 1400, LI-COR, USA)로 측정하였다. 지상부(접수+대목)와 지하부의 생체중, 건물중, 건물률, S/R(지상부 건물중/지하부 건물중), 조직충실도(건물중/지상부 길이)를 조사하였다. SPAD 값은 엽록소함량 간이 측정기(SPAD-520, Minolta, Japan)로 측정하였다.
- 현장에서 조사한 백다다기 오이 구입 모종의 형태적 특성은 지상부(접수+대목) 전체 길이가 16~22cm 내외이고, B 농가가 가장 크고 굵은 묘를 이용한 편이었다. 잎은 완전 전개한 잎을 기준으로 2~2.6장 정도이며, 엽록소함량은 큰 차이가 없었으나, 엽면적은 엽수에 따라 차이가 나기 때문에 가장 적은 엽수를 확보한 C 농가가 69.2cm²로 가장 적었다.
- 건물율은 A 농가가 6.3~6.8% 내외로 가장 낮았으나, S/R율은 6.7 내외로 가장 낮았고, 조직충실도 또한 26.1mg/cm로 가장 높았다.
- 일반적으로 과채류 묘의 품질은 지상부와 지하부의 건물중 비율을 의미하는 T/R률과 전체 건물중에 지상부의 길이를 나눈 값으로 조직충실도를 나타내는데, T/R율이 낮을수록 조직충실도가 높을수록 묘의 품질이 우수하다고 하였다.
- 어린 모종일수록 뿌리가 밑으로 신장하려는 경향이 있고, 노화된 모종일수록 뿌리가 옆으로 뻗는 경향이 있어, 정식 초기 지온과 물 관리로 뿌리가 땅속 깊이 들어가도록 유도하고, 초세를 오랫동안 유지하려면 되도록 어린 모종을 정식하는 것이 좋은 편이라고 알려져 있다.

<백다다기오이 접목묘 생육특성(2018)>

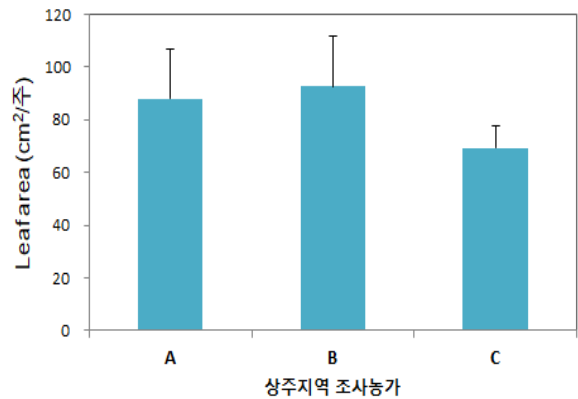
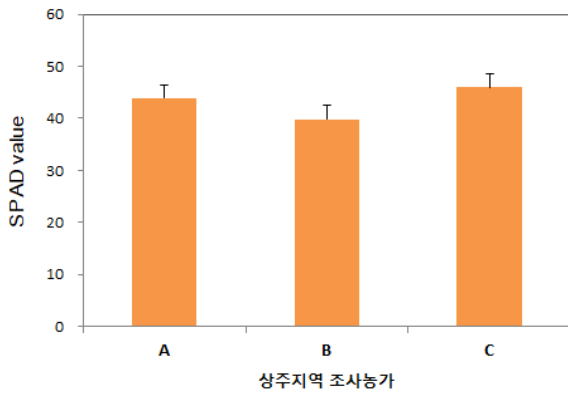
농 가	접수길이 (cm)	대목길이 (cm)	뿌리길이 (cm)	접수직경 (mm)	대목직경 (mm)
A	15.4±1.1	3.5±0.4	13.7±3.0	3.8±0.6	4.2±0.4
B	16.0±0.8	6.1±1.4	17.6±3.7	4.2±1.5	4.1±0.3
C	11.0±0.8	5.1±1.1	17.2±3.2	3.3±0.3	3.7±0.3

※ Mean±S.E.

<백다다기오이 접목묘 엽 특성(2018)>

농 가	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	장폭비 (엽장/엽폭)	엽 수 (매)
A	8.4±1.0	8.5±0.9	1.0±0.1	2.1±0.3
B	8.4±0.7	9.2±0.9	0.9±0.0	2.6±0.5
C	7.4±0.5	8.1±0.6	0.9±0.1	2.0±0.0

※ Mean±S.E.

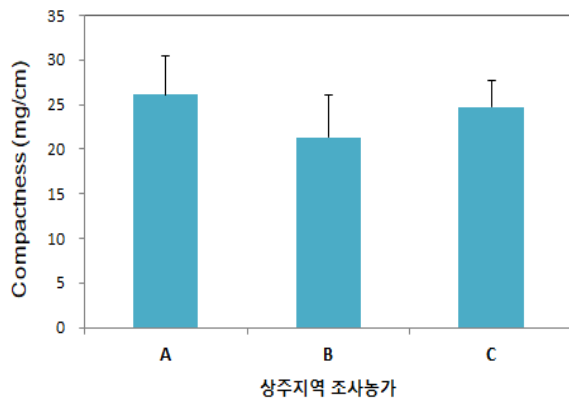
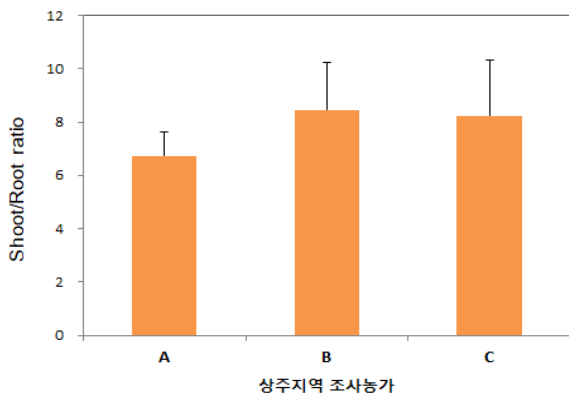


<백다다기오이 접목묘 SPAD 값과 엽면적 지수(2018)>

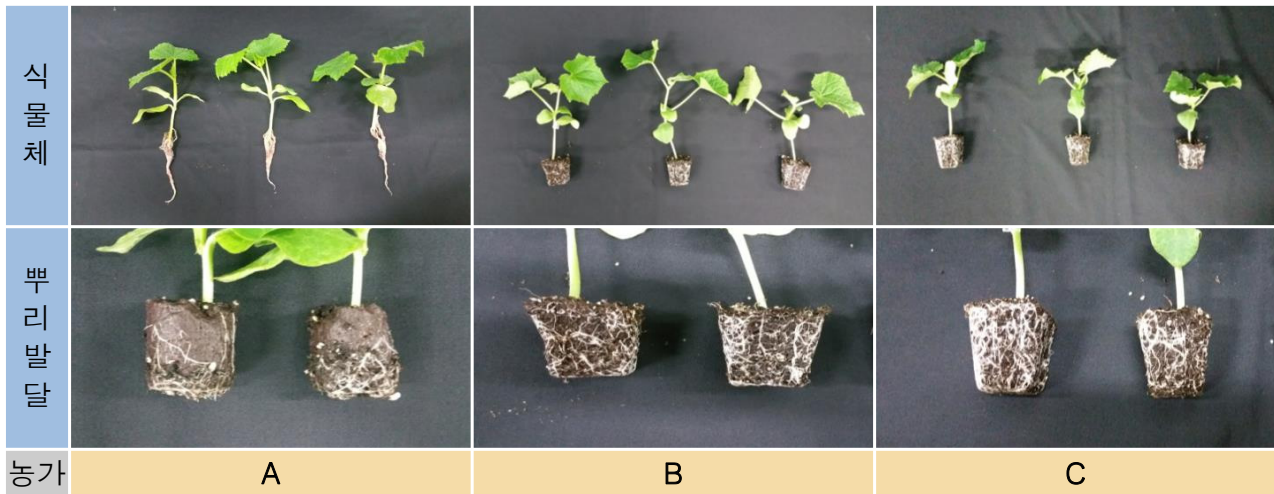
<백다다기오이 접목묘 건물생산능력(2018)>

농가	생체중 (g/주)		건물중 (g/주)		건물율 (%)	
	지상부	지하부	지상부	지하부	지상부	지하부
A	6.3±1.1	1.0±0.3	0.43±0.08	0.065±0.016	6.8±0.4	6.3±0.9
B	5.3±0.6	0.7±0.3	0.42±0.08	0.052±0.017	7.8±0.8	8.2±2.2
C	4.6±0.4	0.8±0.2	0.35±0.04	0.045±0.012	7.6±0.6	5.5±0.4

※ Mean±S.E.



<백다다기오이 접목묘 S/R율과 조직충실도(2018)>

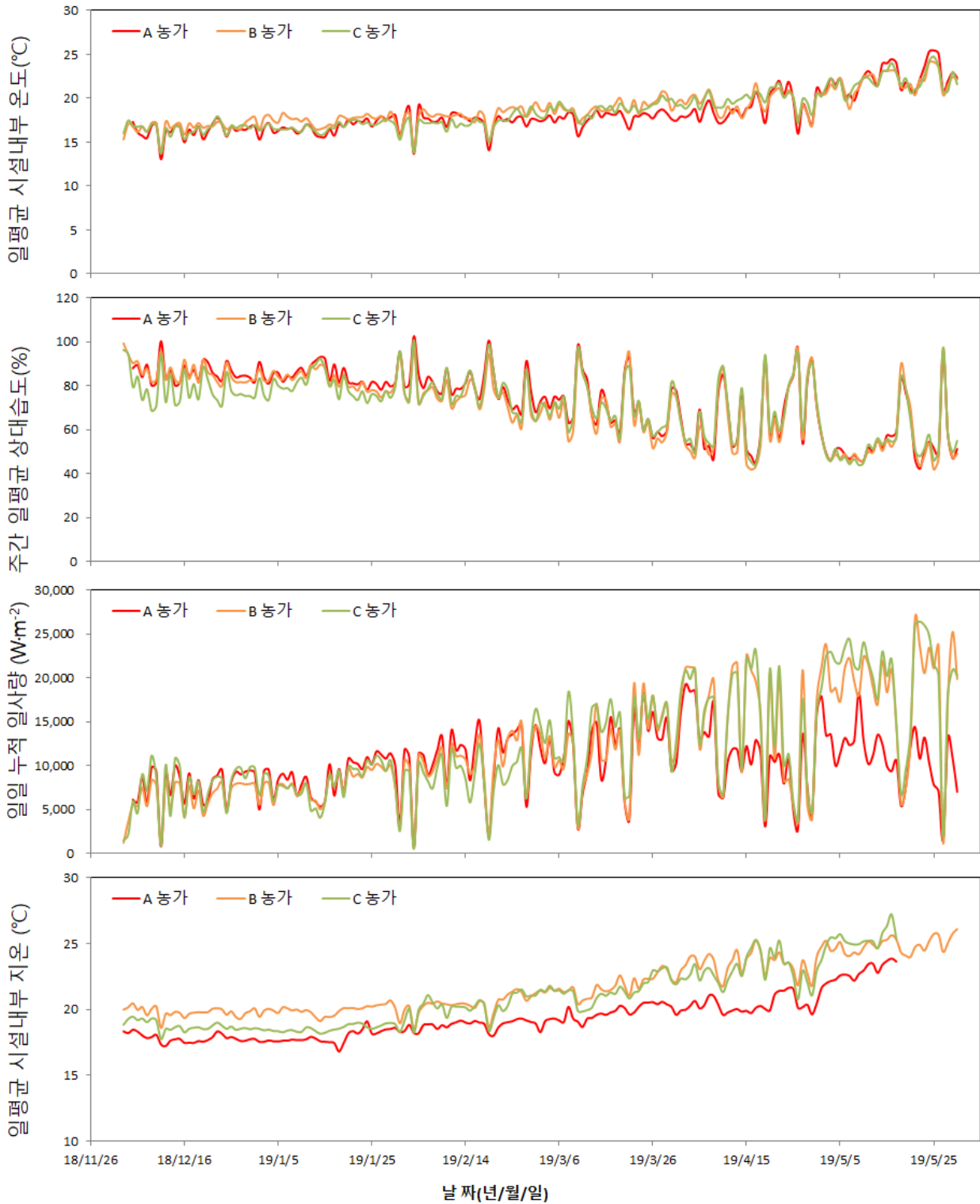


<백다다기오이 접목묘 이미지(2018)>

나. 시설 환경

- 연동하우스 시설 내부의 환경을 알아보기 위해 2018년 12월 3일부터 2019년 5월 30일까지 6개월 간의 일일 누적일사량, 평균온도, 주간 평균습도, 평균지온을 3지점에서 관측하였다.
- 시설 내부 지상부 환경 측정을 위해 오이 선단부인 높이 2m 지점에 일사량(PYR, ICT, AU), 온습도(ATMOS 14, ICT, AU) 센서를 설치하고, 지하부 환경 측정을 위해 깊이 15cm 지점에 지온(6470-6, Watchdog, USA) 센서를 매설하고, 1시간 간격으로 데이터를 수집하였다.
- 오이 정식 1개월 이후부터 재배가 종료되는 기간까지의 총 누적일사량은 A지점이 가장 많았고, B와 C지점은 비슷한 경향이였다. A지점의 계절별 누적일사량 분포를 알아보면 겨울철(12~2월)은 다른 지점에 비해 10~11% 많았고, 봄철(3~5월)은 25~29% 적었다. A지점의 재배자는 봄철 과도한 일사량을 차단하여 내부 온도를 낮추기 위해 보온커튼을 이용하여 차광을 실시한 결과로 생각된다.
- 시설 내부 평균온도는 겨울철 15~19°C 내외, 봄철 17~23°C 내외를 유지하였다. 봄철 A 지점은 4월부터 차광을 실시하여 내부 온도가 다른 지점에 비해 2°C 정도 낮았으나 5월 이후는 차광을 실시하여도 온도 차이가 없었다.
- 오이는 비가 오는 시기에 생육하는 원산지의 습성에서도 알 수 있듯이 습도가 중요한 생육환경 조건 중 하나이다. 특히 건조에 민감하고, 습도가 너무 낮으면 잎과 줄기의 생육이나 과실의 비대가 현저히 억제된다. 오이에 알맞은 습도는 주간 70~80%, 야간 90% 정도로 다른 과채류 비해 상당히 높은 편이다. 겨울철 주간 평균습도는 C지점에 비해 A와 B지점이 80~90%로 조금 높지만 비교적 높은 습도를 유지하였다. 겨울철에는 외부 찬 공기가 유입되지 않기 위해 천창과 측창 개폐를 거의 실시하지 않아서 습도 유지가 가능한 것으로 생각된다. 그러나 봄철에는 내부 온도를 낮추기 위해 천창과 측창을 개폐하여 비오는 날을 제외하고는 습도가 낮아지는 경향을 나타내었다.
- 오이는 지온에도 비교적 민감하여 12°C 이하에서는 생육이 정지되므로 적어도 15°C 이상을 유지시켜야 하며, 25°C 이상이 되면 줄기와 잎이 웃자라게 되고 노화를 촉진시켜 재배기간이 단축된다고 알려져 있다. 이로 인해 경북 상주지역에서도 오이 재배에 적당한 지온을 확보하

기 위해 볏짚 투입 등 다양한 노력을 하고 있으며, 연구결과에서도 3지점 모두 18~20°C 이상의 지온을 유지하고 있었다. 그러나 일사량 유입이 많은 5월에는 25°C 이상이 되는 경우가 많았으나, A지점에서는 차광실시로 인해 20~23°C 내외로 유지할 수 있었다.



<2018-2019 상주지역 시설 내부 환경 변화>

다. 생장 변화

- 정식 3주 후부터 수확을 종료할 때까지 각 지점별 식물체 10주씩을 선정하고, 초장, 마디수, 줄기직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 1주일 간격으로 조사하였다. 수확한 과실무게는 3일 간격으로 측정하였다. 초장은 지표면에서 생장점까지의 길이를 측정하였고, 마디수는 절간장이 2cm 이상인 마디까지 유효한 마디수를 측정하였고, 줄기직경은 생장점 아래로 10번째 마디 아래 부위의 굵기를 측정하였다. 엽장과 엽폭 또한 10번째 마디 앞의 길이와 너비를 측정하였고, 엽수는 3cm 이상의 완전 전개 엽의 수를 조사하였다.
- 정식 3주 후부터 3지점의 생육 특성을 조사한 결과, 초장은 B지점이 10.2m로 가장 길었고, 마디수는 A지점이 97.6개로 가장 많았고, C지점이 80.8개로 가장 적었다. 1주간 성장량을 비교해 보면 전 생육기간 동안 A지점이 25~30cm 내외로 가장 균일하게 성장하였고, C지점이 5~40cm 내외로 생육이 불균일하였다. 오이는 영양생장과 생식생장의 균형이 잘 맞으면 계속해서 잘 자라나, 어느 한쪽으로 기울면 초세관리가 어려워진다. 불균일한 생육의 원인은 과실 결실관리, 병충해발생, 환경조절 등의 영향을 받은 것으로 생각된다. 성숙엽 10번째 아래의 줄기직경은 0.65~0.85mm 내외이며, 재배 후기로 갈수록 가늘어지는 경향을 나타내었다.
- 잎의 성장특성은 엽장과 엽폭 모두 20~30cm 내외로 비슷하게 성장하였고, 재배 후기로 갈수록 잎의 크기가 작아지는 경향을 나타내었고, 엽수는 주지 1개만을 유인재배하기 때문에 12~15장 내외를 유지하였다(Fig. 3). 잎의 광합성 능력은 완전 전개 후 20~30일 사이의 잎이 가장 높고, 45일 후면 광합성 능력이 급격히 떨어지는 것으로 알려져 있다. 따라서 현장에서 연동하우스 시설 측고와 토경재배시 유인작업, 노엽의 병충해 발생 등의 어려움으로 인해 많은 엽수를 확보하고 있지 않았다.

A 농가



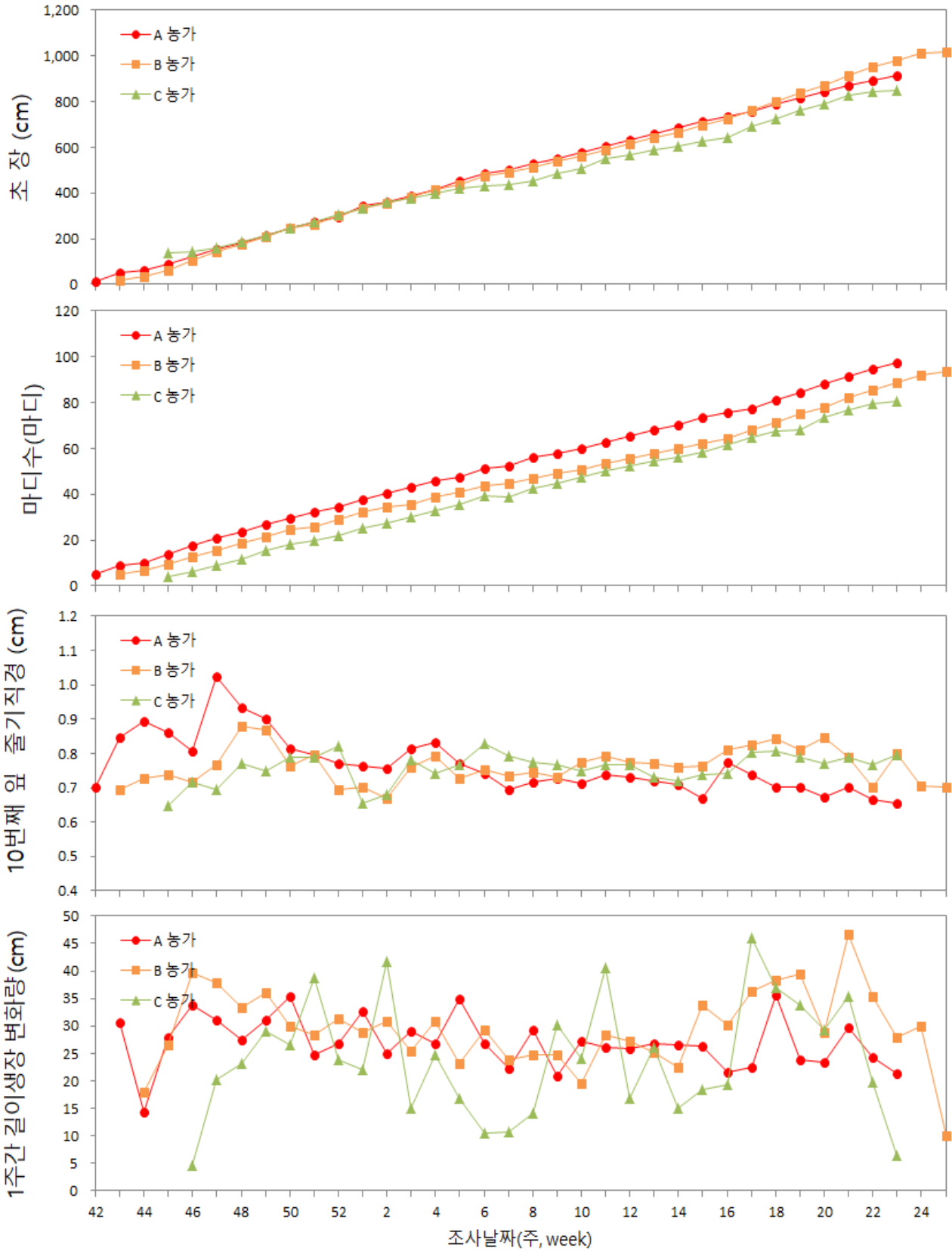
B 농가



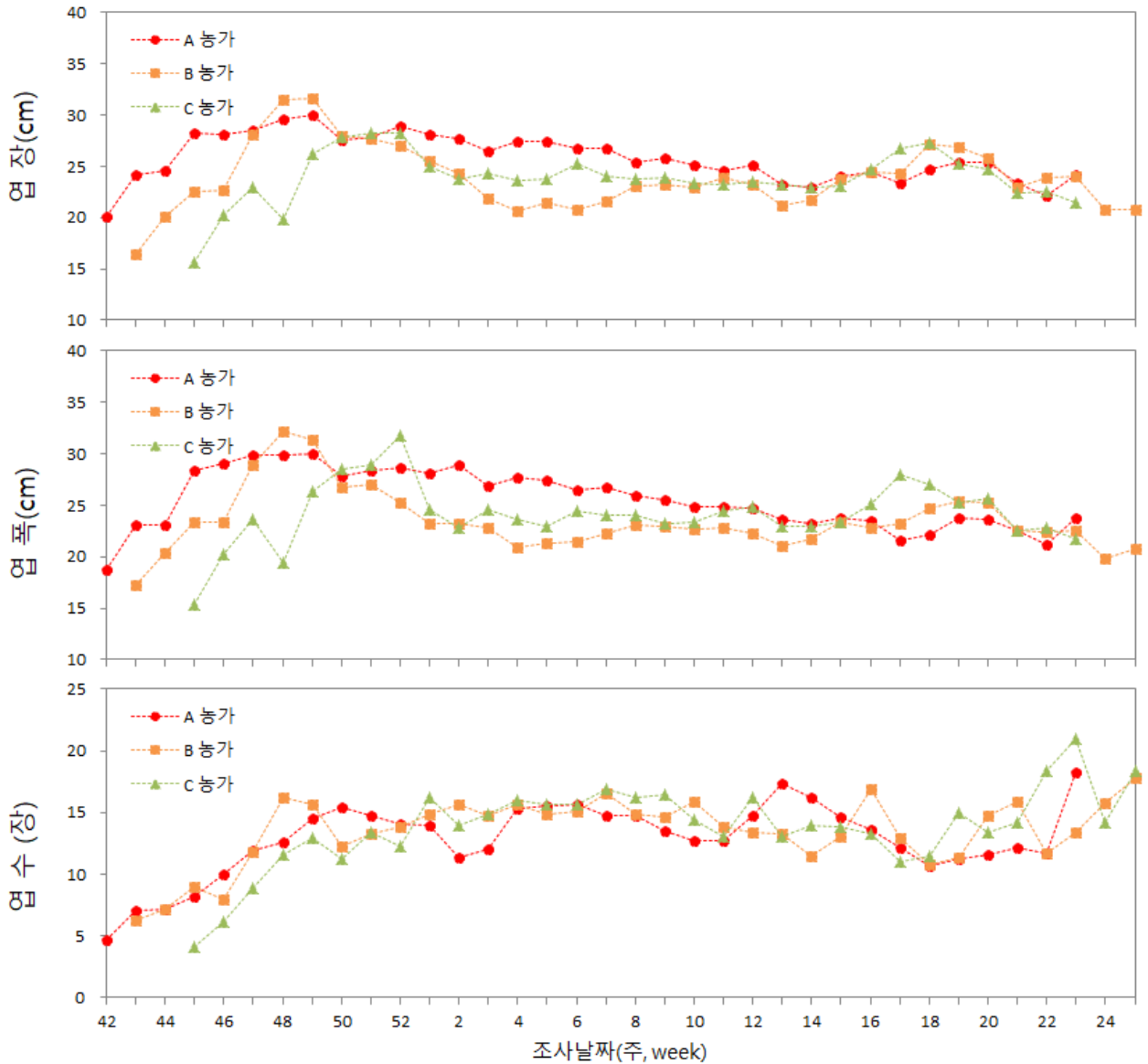
C 농가



<전 생육 기간 동안 3개소 농가 초기 생육 이미지>



<2018-2019년 전 생육 기간 동안 매주 조사한 길이 성장 변화>



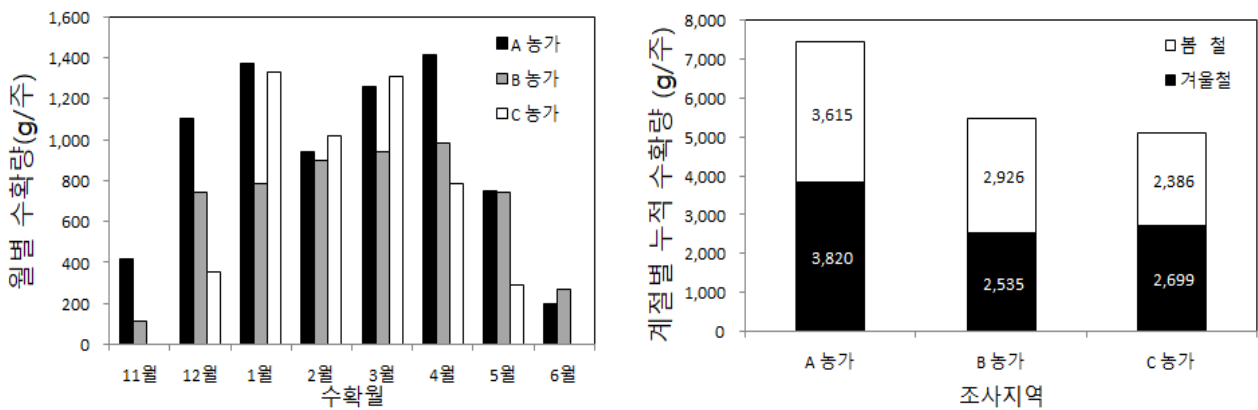
<2018-2019년 전 생육 기간 동안 매주 조사한 엽 성장 변화>

라. 수확량 변화

- 3지점의 수량성을 조사한 결과, 총수확량은 A지점이 주당 7.44kg으로 가장 많았고, 다음으로 B 지점 5.46kg, C지점 5.09kg 순이며, A지점이 다른 지점과 비교했을 때 36~46% 이상 더 많이 수확하였다. 겨울철 수확량을 비교해보니 A지점은 다른 지점에 비해 42~51% 더 많이 수확하여, 전체 소득에 중요한 영향을 끼쳤을 것으로 생각된다.
- 매월 수확량을 비교해보니 B지점은 2월 이후 수확량이 증가하는 경향을 보였으며, 총 수확량이 C지점보다 많았지만 월별 경매가격을 확인해보면 총 소득은 가장 적을 것으로 생각된다. 대부분의 축성재배 작형은 10월 상중순에 정식하여 12월부터 수확 가능하고, 12~2월까지 최고 가격수준을 보이며, 특히 1월의 가격이 가장 높은 편이다.
- 오이는 품종과 사용 용도에 따라서 수확과의 크기가 다르지만 보통 백다다기 생과용은 무게 120~160g 내외, 과실 길이는 22~25cm이고, 일본의 백침계 오이의 경우 길이 20cm, 무게

100g 정도로 약간 작은 것을 선호하지만 우리나라는 이보다 약간 큰 것을 선호하는 경향이
다.

- 현장에서 수확된 과실의 품질 또한 C 농가를 제외하고 고온기인 봄철 이후에는 과실 길이가 길어지고, 과중 또한 무거워지는 경향이였다.
- 일반적으로 개화기부터 수확까지의 소요일수는 고온기 7~10일, 저온기 12~20일 걸리는데 품종과 재배시기에 따라 차이가 있으며, 어린 과실을 수확하면 초세가 강해지고 곁줄기 수가 많아져 착과 수가 증가하므로 초세와 시장의 기호성을 감안하여 수확시기를 정한다.
- 축성재배는 아주 심은 후 약 40일이면 수확이 시작되고, 개화에서 수확까지 수확 초기에는 겨울철이며 15~18일정도 소요되고, 봄철과 여름철인 수확 중·후기에는 10~15일정도 소요 된다.



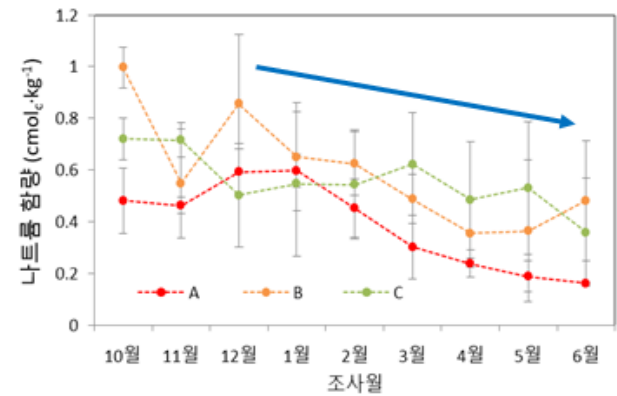
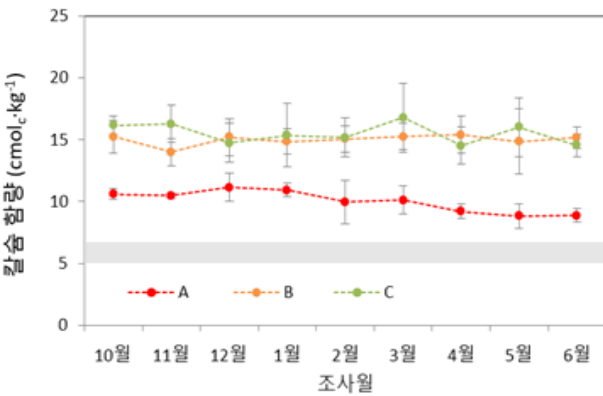
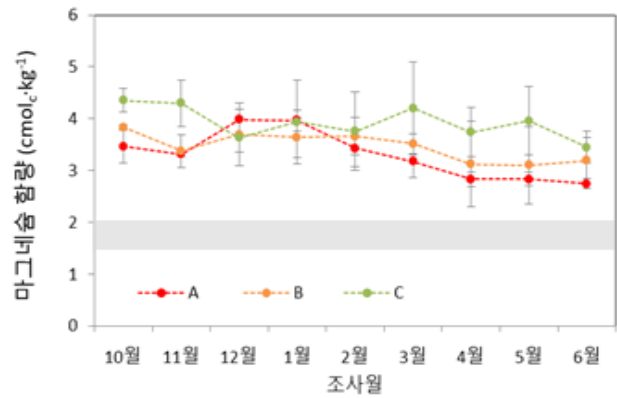
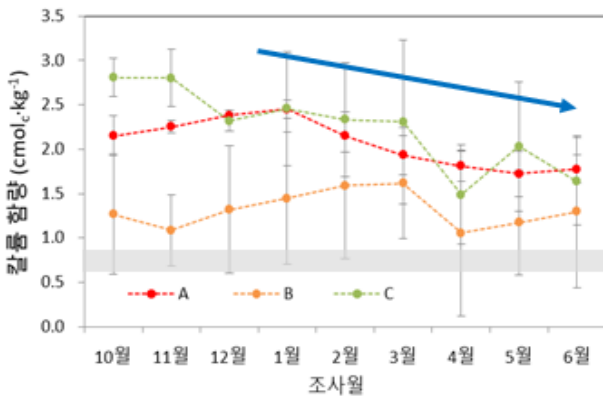
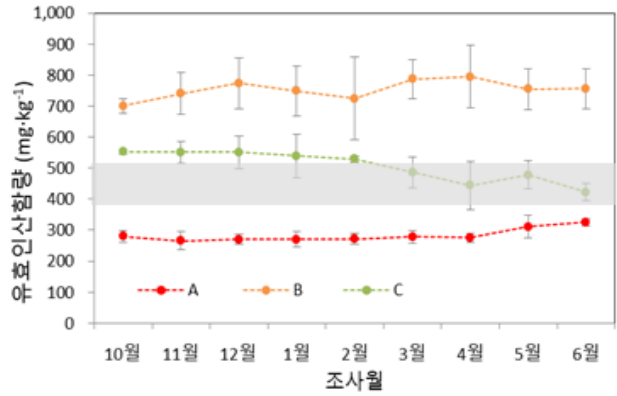
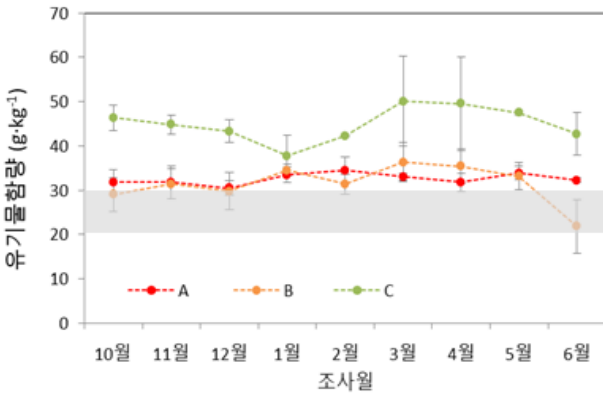
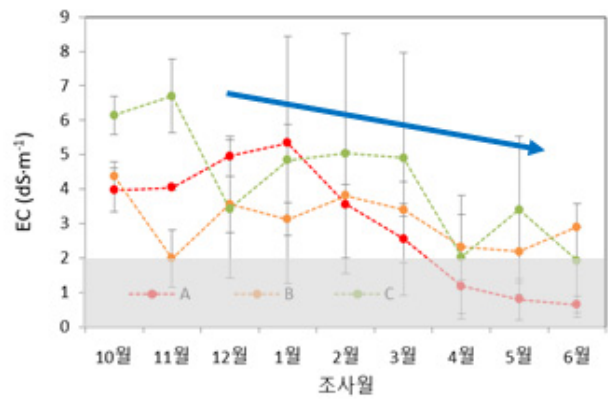
<2018-2019년 전 생육 기간 동안 3개소 농가 수확량 변화>

<2018-2019년 전 생육 기간 동안 계절별 수확 과실 특성 비교(겨울철 11~2월, 봄철 3~6월)>

구 분	조사기간	과 장 (cm)	과 폭 (mm)	과 중 (g)
A	겨울철	22.7	31.6	152.8
	봄철	24.9	32.4	168.9
	전 생육기간	23.8	32.0	160.2
B	겨울철	23.5	30.7	152.7
	봄철	27.0	33.5	182.9
	전 생육기간	25.2	32.1	167.5
C	겨울철	26.4	30.9	176.5
	봄철	25.6	32.1	172.9
	전 생육기간	26.0	31.5	174.6

마. 토양 이화학성 분석 변화

- 토양시료는 2018년 11월부터 2019년 5월까지 각 지점별 3군데를 채취하여 분석하였다. pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 하여 측정하였고, 유효인산은 Lancaster법에 의하여 토양시료 5g에 단일침출액 20mL를 넣고 10분간 진탕 후 여과한 후 증류수로 5배 희석하고, UV-Spectrometer를 이용하여 720nm에서 비색 정량하였다. 치환환성 양이온(K, Ca, Mg, Ca) 염기분석은 건토 5g에 단일 침출액 25mL를 넣고 30분간 진탕한 후 여과하여 ICP(GBC, Intergra XL, Australia)로 측정하였다.
- 재배 전 작기 동안 3지점의 토양 이화학성 변화를 매일 분석한 결과, pH는 A지점이 6.2~6.5 범위로 생육 전체 기간 동안 큰 변화가 없었고, C지점 또한 7.0~7.4 범위로 큰 변화가 없었으나, C지점은 6.9~7.8 범위로 변화 폭이 크고 지점 내 구역 간에도 편차가 큰 편이었다. EC는 B지점을 제외하고 A지점과 C지점은 생육 후기로 갈수록 낮아지는 경향을 나타내었고, 각 지점마다 지점 내 구역 간에도 편차는 큰 편이었다.
- 유기물과 유효인산 함량은 지점 간에는 차이가 있었으나, 생육 전 기간 동안 큰 차이가 없었다. 치환성 양이온인 칼륨은 A지점과 C지점은 생육 후기로 갈수록 낮아지는 경향이었으나, 지점 내 구역 간에 편차도 많이 발생하였고, 칼슘과 마그네슘은 큰 차이가 없었다. 나트륨은 3지점 모두 생육 후기로 갈수록 낮아지는 경향을 나타내었다.
- 많은 농가에서 증수를 위해 과도한 비료를 공급하고 있는데, 이로 인해 농도장해나 일부 성분의 과잉으로 양분 불균형 등 각종 장애가 발생하는 편이다.
- 토양은 환경에 따라 성질이 변하기 때문에 외관상 같아도 관리 방법에 따라 짧은 기간에 전혀 다른 토양으로 변하므로, 적당한 보수력과 보비력을 갖추고 pH 6.0~6.5(약산성) 수준으로 양분을 균형 있게 공급해 주는 토양조건을 지속적으로 관리하는 것이 중요하다.
- 오이의 연작토양은 수량 감소, 품질 저하 등 많은 장애가 발생하고, 근래에 들어 화학비료의 사용보다는 퇴비(유기물)의 사용이 증가하고 있지만, 미숙 유기물을 토질이나 사용 시기를 고려하지 않고 다량으로 사용하여 실패하는 사례가 많다.
- 유기물을 시용한 후에는 반드시 깊이갈이를 해야 하며, 얇게 경운하면 생육 초기에 필요 이상의 비료(특히 질소)가 흡수되어, 잎이 너무 커지고 연약하게 도장되어 병해가 발생하고 수확량 감소가 발생한다.
- 뿌리를 깊고 넓게 뻗게 하여 뿌리 양을 증가시키고 저온, 건습의 영향을 받아도 고품질의 오이를 지속적으로 다수확 할 수 있는 재배지 조건을 만들려면 양질의 퇴비를 충분히 시용해서 통기성, 보수성과 배수성이 좋은 토양구조를 만드는 것이 무엇보다 중요하다.

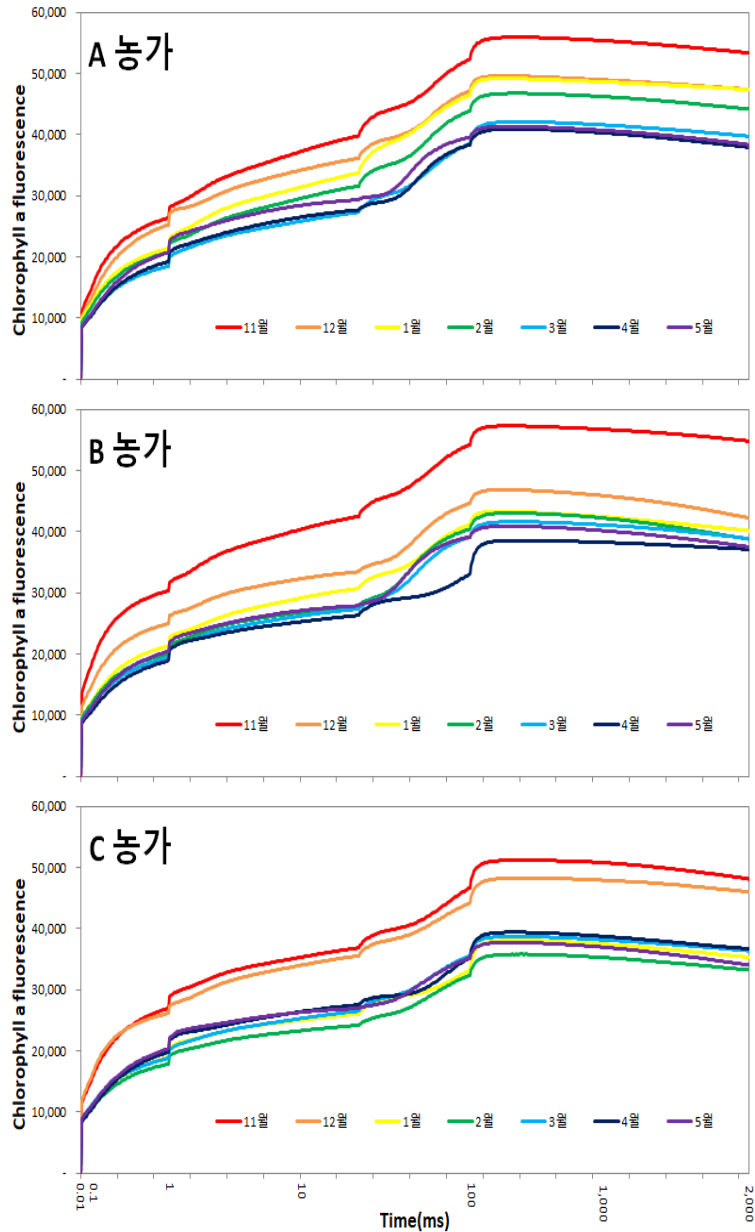


※ 적정범위(시설오이 흙토람 사이트 참고) : pH 6.5~7.0, EC 2.0 이하, 유기물 20~30g/kg, 유효인산 400~500mg/kg, 칼륨 0.7~0.8cmol+/kg, 칼슘 5~6cmol+/kg, 마그네슘 1.5~2cmol+/kg

<2018-2019년 전 생육기간동안 3지점의 토양 이화학적 변화>

바. 엽록소 형광 반응 변화

- 엽록소 형광분석(Origin Jump Intermediate Peak, OJIP)은 생장점 아래 10번째 잎에 leaf dark clip을 물려서 15분간 암처리 후 휴대용 엽록소형광측정기(FP-100, Photon System Instruments, Czech Republic)를 이용하여 2018년 11월부터 2019년 5월까지 매월 동일한 시간에 측정하였다. JIP 분석결과를 통해 생체 물리학적 변수(biophysical parameters ; Φ , P_0 , Ψ_0 , ΦE_0 , $P_{I_{ABS}}$, ABS/RC , TR_0/RC , ET_0/RC , DI_0/RC)를 산출하여 제시하였다(Strasser et al., 2000).
- OJIP 곡선은 광계 II의 전자수용체 풀의 연속적인 환원을 나타내며(Govindjee, 1995), 암적응된 잎에 빛을 비추어 유도해 낼 수 있는데 크게 3단계로 구분할 수 있다(Strasser and Govindjee, 1992). 먼저 O(50 μ s)와 J(2 ms)를 연결하는 O-J 구간은 광계 II의 반응중심에서 초기 전자수용체인 Q_A 의 광화학적 환원, 즉 $Q_A^-Q_B$ 의 축적을 의미하며, J(2 ms)와 I(60 ms)를 연결하는 J-I 구간은 광계 II의 반응중심에서 $Q_A^-Q_B^-$ 의 축적을 반영하는 것으로 광계 II의 donor 부분(water splitting activity)에 의해 조절된다. 마지막으로 I(60 ms)와 P(300 ms)를 연결하는 I-P 구간에서는 광계 II의 반응중심에서 plastoquinone pool (PQ pool)로의 전자 전달활성, 즉 $Q_A^-Q_B^{2-}$ 의 축적을 의미한다(Stirbet et al., 1998). 식물체가 빛, 온도, 수분 또는 화학적 스트레스 등에 의해 영향을 받았을 때, OJIP 곡선의 패턴이 변하게 된다(Lu and Zhang, 1999; Mathur et al., 2011, Oh and Koh, 2013; Oh et al., 2014).
- 3지점의 재배 전 생육 기간 동안 엽록소 형광 반응(OJIP) 변화를 매월 분석한 결과, A지점이 다른 지점에 비해 최대 형광량의 수치가 높게 유지되었고, 생육 후기로 갈수록 감소하는 경향을 나타내어 노화로 인한 활성 감소로 생각된다. 특히 11~2월까지의 겨울 동안 A지점이 다른 지점에 비해 최대 형광량이 매우 높게 유지되었고, B지점은 12월부터 계속 급격하게 감소하였으며, C지점 또한 1월 이후 급격하게 감소하였다.
- 이러한 형광 반응은 생산량에도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 엽록소 형광반응은 광합성 기구의 변화를 모니터링하여 정량화 할 수 있는 민감하고 신뢰성 있는 방법으로 엽록소 형광 반응 측정을 통해 광계 II의 구조와 기능변화를 빠르고 간편하게 측정할 수 있는 장점이 있다(Strasser et al., 2000; Naumann et al., 2007; Lee et al., 2014). 따라서 향후 재배 현장에서 엽록소 형광반응을 이용하여 생리 상태나 광합성능력 간이 분석이 가능할 것으로 생각된다.



<2018-2019년 전 생육기간동안 매월 측정된 엽록소형광 OJIP 분석 변화>

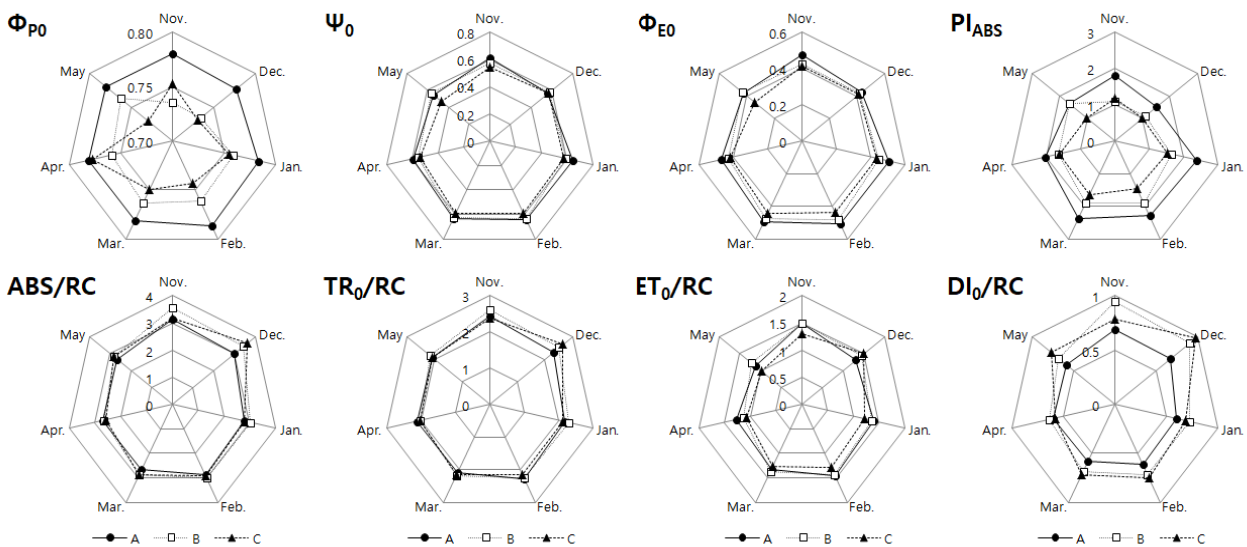
- 다양한 엽록소 형광 매개변수 중 주요 변수들에 대한 설명은 아래 표와 같다.
- 광화학 반응의 각 단계에 광계 II의 에너지 전이 비율 및 형광수율을 의미하는 Φ_{P0} , Ψ_0 , Φ_{E0} 는 A지점이 다른 지점에 비해 높은 경향을 나타내었고, 그 중 초기 광화학반응에서 최대 양자수율을 나타내는 Φ_{P0} 변수가 생육 전 기간 동안 0.78 수준으로 큰 변화 없이 안정적인 값을 유지하였다. 식물의 활력도를 나타내는 PI_{ABS} 역시 A지점에서 높은 경향을 나타내었고, 11~3월까지 다른 지점과 비교했을 때 1.2~1.5배 이상 큰 차이가 있었다. 모든 지점이 1~3월 동안 높은 활력을 나타내었고, 그 이후 감소하는 경향이였다.
- PI_{ABS} 는 흡수된 빛에너지를 이용해 전자 운반자들(electron carriers)이 환원되는 과정에서 에너지 보존 효율을 의미하며(Holland et al., 2013), 광계 II의 반응중심에서 광합성 활성을 조절하는 3가지 주요한 단계, 즉 활성 반응 중심의 전체밀도, 반응중심에 의해 흡수된 에너지

가 광화학 과정으로 포획되는 비율, Q_A 의 환원 후 전자수송 과정 내에 전자 이동 등을 모두 반영한다. 따라서 PI_{ABS} 는 스트레스를 평가하고 광합성 능력을 모니터링 하는데 좋은 지표로 사용되며(Van Heerden et al., 2007; Lee et al., 2014), 스트레스에 따라 PI_{ABS} 는 감소하는 것으로 알려져 있다(Wang et al., 2012).

- 반응중심 당 에너지 흐름의 변화를 나타내는 ABS/RC , TR_0/RC , ET_0/RC 모두 생육 후기로 갈수록 낮아지는 경향이었고, 지점 간에 큰 차이가 없었으나, 오히려 버려지는 비광화학적 에너지 소실인 DI_0/RC 는 A지점은 큰 감소폭이 없었으나, B와 C지점은 월별 감소폭이 다양하였다. 이러한 결과는 식물의 재배나 환경 등에 의해 스트레스 상황에 처했을 때 불활성 상태의 반응 중심이 많아지고 포획된 에너지의 대부분이 전자전달로 보내어지지 않고 있음을 간접적으로 보여주고 있다고 할 수 있다. 이것은 최종적으로 생산물의 수량과도 연관이 있을 것으로 생각된다.

<주요한 엽록소형광 매개변수 설명>

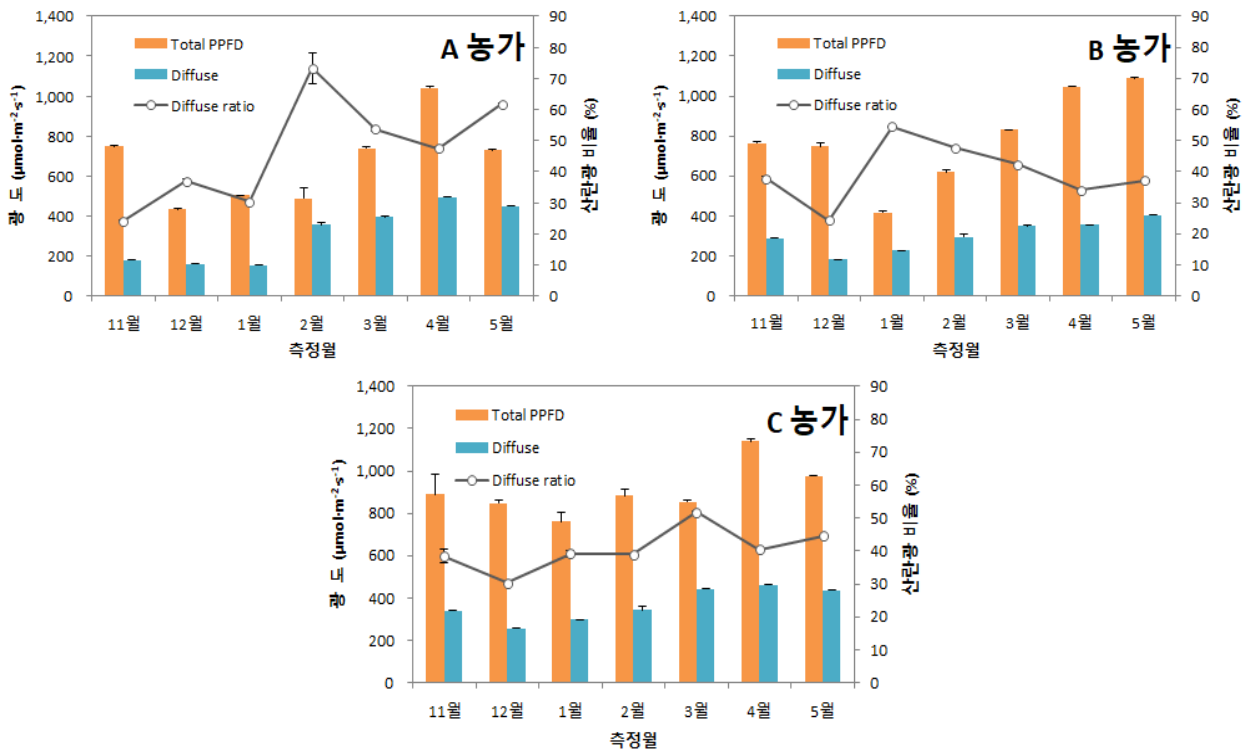
Flux ratio of PS II	
Φ_{P0}	Maximum quantum yield of primary photochemistry, equal to F_v/F_m
Ψ_0	Probability that a trapped exciton moves an electron into the electron transport chain beyond QA^-
Φ_{E0}	Quantum yield of electron transport
Specific energy fluxes per RC	
ABS/RC	Absorption flux per reaction center
TR_0/RC	Trapping of electrons per reaction center
ET_0/RC	Electron flux per reaction center beyond QA^-
DI_0/RC	Energy dissipation flux per reaction center (energy dissipation as heat and fluorescence)
Phenomenological energy fluxes per excited cross section	
PI_{ABS}	Performance index on the absorption basis



<2018-2019년 전 생육기간동안 매월 측정된 엽록소형광 매개변수 변화>

사. 시설 내부 산란광 분석

- 광량은 계절적으로 달라 한겨울에는 여름보다 부족하고, 하루 중에도 시각에 따라 변하고 위치에 따라서도 달라진다. 같은 광량이라도 광 파장의 조성이 다르면 작물의 생육반응이 달라진다. 광량과 관련한 개념으로는 400~700nm 파장의 광합성에 유효한 광량을 나타내는 광합성유효광량자속밀도(Photosynthetic Photon Flux Density, PPFD)와 광합성유효복사량(Photosynthetic Activation Radiation, PAR)이 있고, 단위로 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 또는 $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}$ 를 사용한다.
- 시설 내부에 형성되는 광환경은 노지와는 매우 다르다. 피복자재를 통과하는 동안 광질이 달라지고, 광량이 감소되는 등의 변화가 있다. 시설 내의 광량은 노지에 비해 감소하여 상대적으로 광도가 낮아지기 쉽다. 그 원인은 골격재에 의한 광선의 차단, 피복재 자체의 광흡수 및 반사, 피복재의 오염 등이 있다.
- 태양복사는 대기를 통과하는 동안에 공기분자·먼지·수증기 등에 의하여 감소되는데, 대기 중의 어느 한 점 또는 지표의 어느 한 점에서 받는 태양복사를 가리킨다. 기상학적으로는 지구 표면의 수평면이 직접 태양으로부터 받는 것을 직달일사(直達日射)라고 하며, 천공의 각 부분으로부터 지표의 수평면에 도달하는 산란광(散亂光)의 합계를 전천일사(全天日射)라고 한다. 일반적으로 일사량이라고 하면 수평면에 받는 에너지로서 태양으로부터 받는 직달광(直達光)과 천공으로부터 오는 산란광의 합을 의미한다.
- 시설 내부로 유인되는 열량은 주로 태양으로부터 도달하는 직달일사량과 산란일사량이며, 여기에 일부 장파장 복사가 추가된다. 이와 같이 온실에 도달한 일사량은 피복재에서 일부 반사되고 일부는 흡수되며, 그 나머지가 시설 내로 유인된다.
- 현장 내부의 골조 구조나 비닐의 종류 및 사용연차에 따라 광량이 큰 차이가 있었으며, 그 중 A 농가가 겨울철 광량이 가장 적었고, 여름철 또한 수시차광으로 인해 광량이 가장 적고 산란광 비율은 높은 경향이였다.



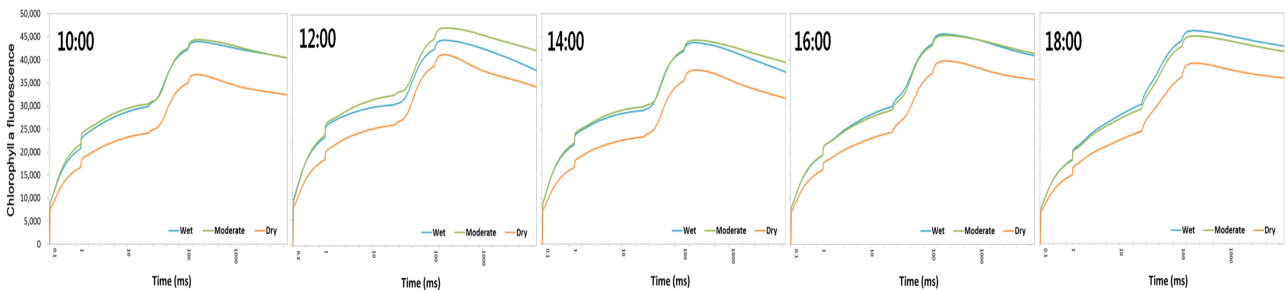
<2018-2019년 전 생육기간동안 매월 측정된 시설 내부 광도와 산란광 비율>

아. 수분스트레스에 따른 생리 반응 변화

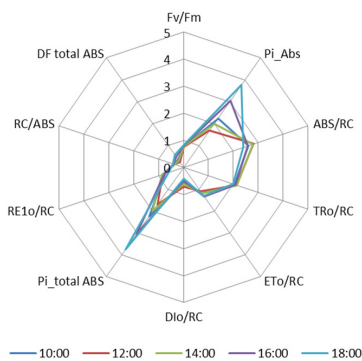
- 작물 생산에 중요한 영향을 끼치는 물과 토양(또는 인공배지), 작물, 대기 간의 복잡한 상호작용을 고려하여 생육에 필요한 최적의 환경조건을 만들기란 쉬운 일이 아니다. 특히 갑작스런 이상 저온 및 고온, 일조부족 등의 환경변화는 시설재배작물의 생산성 감소를 초래하며, 이를 해소하기 위해 ICT 기반의 정밀농업 연구는 반드시 필요하다. 이미 농업 관련 거대 다국적 기업에서는 광, 온도, 습도, 수분, CO₂, 외부 풍향, 풍속, 지질의 상태에 따른 생육정보를 데이터화고 분석하여 안정적인 수확량을 확보하고 있다.
- 작물이 받는 스트레스는 병해충으로 인한 생물학적 스트레스와 물 부족, 가뭄, 냉해 그리고 고온 등과 같이 외기 환경의 변화로 발생하는 비생물학적 스트레스로 구분할 수 있다. 여기서 환경적 요인으로 발생하는 스트레스에 능동적으로 대처하기 위해 작물은 스트레스 내적 저항성을 증가시키거나 생육환경을 조절하는 등 식물 내부 체계를 적당히 조절한다. 하지만 작물이 허용할 수 있는 스트레스의 정도를 넘어서게 되면, 체내 조직을 통해 작물은 다양한 반응이 나타나게 된다.
- 특히 수분은 식물의 광합성이나 증산과 같은 여러 대사작용과 다양한 생리현상에 밀접하게 관여하기 때문에 식물 생장에 없어서는 안 될 중요한 요소이다. 수분 부족의 경우 수분응력의 비탈력화, 세포팽압 감소, 뿌리 수분포텐셜 저하, 기공감소, 증산작용 저하, 작물 수분장해, 뿌리 경화 등 스트레스 요인에 노출되는 시간, 강도에 따라 다양한 반응을 나타내며, 이는 결국 작물의 생산량 저하 및 품질 악화를 초래한다.
- 엽록소형광반응은 수확 중기인 2019년 6월 5일에 오전 10시부터 오후 6시까지 2시간 간격으로 Fluorpen FP-100(PSI, Czech)을 이용하여 잎을 15분 암반응 처리 후 OJIP를 측정된 결과입니다. 열화상 이미지도 동일한 시간에 FLIR T420(FLIR, USA)을 이용하여 성엽기의 엽온 측정한 결과입니다. 토양 수분스트레스 처리에 따른 오이 잎에서의 OJIP 전이과정의 엽록소 형광 현상은 2 ms 이내에 일어나는 아주 빠른 반응인 O-J, 그리고 열 의존적인 J-I 및 I-P 전이를 수치로 개량화하여 수분스트레스에 따른 각각의 phase를 정량화하였습니다.
- 적외선 열화상카메라의 원리는 우리 주위에 존재하는 모든 물체들은 모두 절대온도 영도(-273°C) 이상의 온도를 갖고 있으며, 각 물체에서는 그 온도에 상응하는 열에너지(적외선)를 방사하고 있다. 물체에서 방사되는 적외선은 열화상 카메라 광학렌즈를 통과하여 카메라 내부의 검출기로 모아지며 검출기는 적외선을 전기신호로 변화하고 이것을 온도에 해당하는 화상으로 표현한다. 즉 물체의 표면온도를 수 만개의 점으로 온도에 따라 그림처럼 표현할 수 있다.
- 열화상카메라를 이용하여 온실 내 전기기기 고장 감지, 물공급 고장 감지, 또는 식물의 스트레스를 감지하기 위해 활용되고 있다.
- 식물 줄기 내의 증산에 의한 흐름을 자연상태로 정확히 측정하는 것은 식물 생리·생태의 연구 분야에 매우 중요한 관심사이다. 이 때문에 많은 측정법이 개발되어 왔으나, 간편성과 신뢰성 문제 등으로 일시적이 보고에 그치고 있었다. 최근 개발된 마이크로 수액흐름 센서는 센서 끝부분에 가열부와 온도가 단일 소자로 구성되어 있고, 열소멸법(Heat Dissipation Method) 원리를 이용하여 가열함과 동시에 온도를 읽을 수 있으며, 식물체 물관에 삽입된

탐침이 식물체 내에서 발열하고 냉각할 때 양수분의 흐름에 따라 발생하는 온도 차이를 이용하여 양수분 이동 속도를 비파괴적으로 실시간 측정이 가능하다. 또한 센싱부의 바늘 폭 1.2mm 내외로 매우 작아 줄기에 손상을 최소화하여 오이 같은 초본식물에도 적용이 가능하게 되었다.

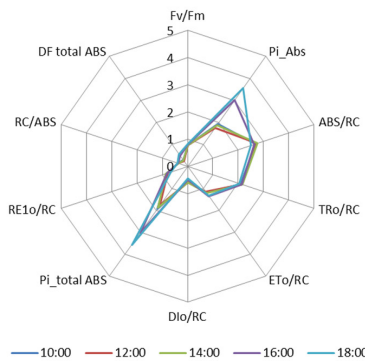
- 부족 조건에서는 모든 시간대에서 다른 처리구에 비해 전이 활성이 낮은 경향을 보였고, 과습 조건에서는 대부분 적습 조건과 유사하였지만, 12시경에는 각 전이 단계의 급격한 감소현상을 보이는 것으로 판단된다.
- 수분 스트레스를 받은 오이 잎에서의 OJIP 산정 변수들 중 Pi_ABS, Pi_total ABS는 증가하는 것으로 나타났으며, ABS/RC는 감소하는 현상을 나타내었습니다. Pi_ABS는 광계 II에 의해 흡수된 광자와 광합성계 내부의 전자수용체 환원 정도를 나타내고 광계 I의 최종 전자수용체 환원 정도를 나타내는 지표로 알려져 있습니다. 수분스트레스 처리에 따른 광합성계의 전자전달 감소는 결국 순환적 광인산화 반응에 의한 NADPH 생성 및 ATP합성 능력의 저하로 이어진다고 생각된다.
- 열화상 이미지 측정결과에서도 부족 조건에서의 평균 엽온은 28.8°C로 다른 처리구에 비해 약 4°C 이상 높았으며, 수분스트레스가 높은 조건에서는 잎의 증산 저하로 인해 엽온이 높아진 것으로 생각됩니다. 잎은 열 용량이 적기 때문에 흡수하는 복사에너지의 경시변화에도 민감하게 반응하여 엽온의 변동이 커지게 되었다.
- 오이의 수분스트레스를 비파괴적으로 조기에 진단하기 위해 엽록소형광과 열화상을 이용한 기술이 유리할 것으로 판단되며, 향후 환경조절시스템과 연계하여 수분 공급 제어 기술에도 적용 가능할 것으로 생각된다.



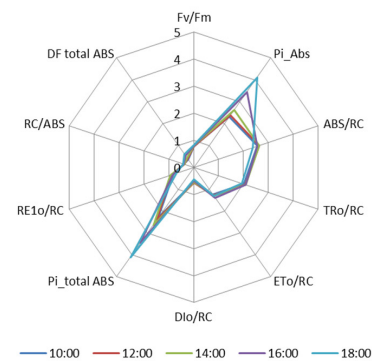
<수분스트레스에 따른 하루 중 엽록소형광 반응 변화>



(과습)

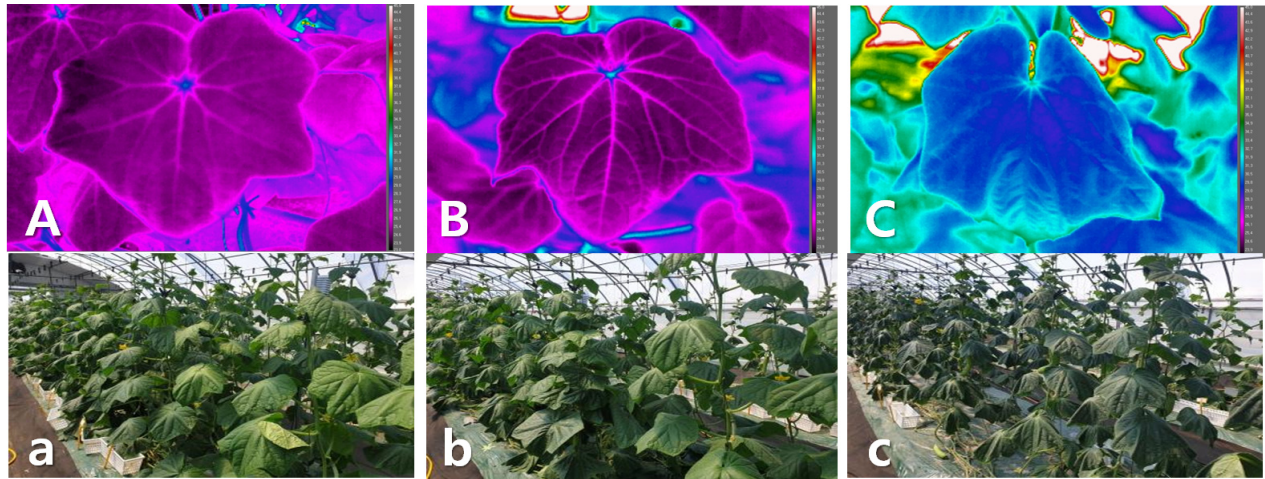


(적습)



(부족)

<수분스트레스에 따른 하루 중 엽록소형광 매개변수 변화>



(과습)

(적습)

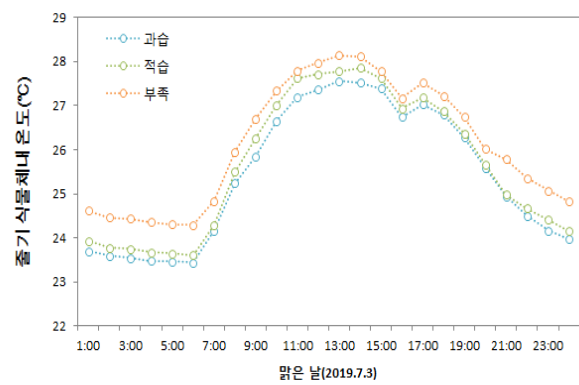
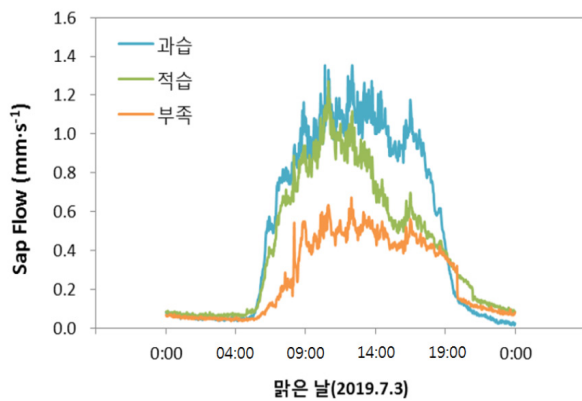
(부족)

<수분스트레스에 따른 열화상 이미지 분석 결과(촬영일시 : 2019. 6. 5, 12:00경)>

<수분스트레스에 따른 엽온 분석(측정일시 : 2019. 6. 5, 12:00경)>

처리내용	평균값(°C)	최대값(°C)	최소값(°C)
과습	25.0±0.3 ²	27.3±0.4	24.2±0.3
적습	24.9±0.3	27.4±0.3	23.7±0.6
부족	28.8±1.2	30.7±0.8	27.9±1.2

²Mean±SE



<수분스트레스에 따른 마이크로수액유동량 및 줄기 식물체내 온도 변화>

2. 군위지역 가시오이 빅데이터 수집 및 분석 결과

가. 정식 전 오이 묘소질

- 가시오이 농가들의 대부분이 육묘장으로 부터 모종을 구입하여 이용하고 있으며, 묘소질에 따라 오이의 초기 수량 및 품질에 차이가 발생하기 때문에 구입시 가격보다 모종의 건전성과 접목상태를 고려하는 것이 필요하다.
- 토양병(덩굴썩음병 등)과 급성위조 등을 막고, 저온신장성의 강화, 초세 유지 등의 이점이 있어 접목모종을 주로 이용하고, 대목으로는 호박 중에서 저온신장성과 초세 강화에 가장 좋은 흑종 호박을 이용한다.
- 가시오이 또한 정식에 알맞은 모종의 크기는 재배 작기에 따라 다르지만 대체로 본엽 3~5매로 파종 후 20~30일 전후의 모종으로 알려져 있다.
- 묘소질 조사 방법은 각 농가별 10주씩 조사하였고, 접수, 대목, 뿌리길이, 접수직경, 대목직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 조사하였다. 엽면적은 완전 전개한 잎(1cm 이상)을 채취하여 엽면적 측정기(LI 1400, LI-COR, USA)로 측정하였다. 지상부(접수+대목)와 지하부의 생체중, 건물중, 건물물, S/R(지상부 건물중/지하부 건물중), 조직충실도(건물중/지상부 길이)를 조사하였다. SPAD 값은 엽록소함량 간이 측정기(SPAD-520, Minolta, Japan)로 측정하였다.
- 현장에서 조사한 가시오이 구입 모종의 형태적 특성은 지상부(접수+대목) 전체 길이가 21~22cm 내외이고, 품종 간의 차이로 인해 백다다기오이 보다 길이가 길고 굵은 편이었다. 잎은 완전 전개한 잎을 기준으로 2.7~3.1장 정도이며, 엽록소함량은 농가 간에 큰 차이가 없었고, 엽면적 또한 83~97cm²로 비슷하였다.
- 건물율은 E 농가가 8%로 F 농가보다 1.2%p 높은 편이었고, S/R율은 10.9~12 내외로 비슷하였으나, 조직충실도는 건물율의 영향으로 인해 E 농가가 27mg/cm로 F 농가 대비 24% 높았다.
- 일반적으로 과채류 묘의 품질은 지상부와 지하부의 건물중 비율을 의미하는 T/R률과 전체 건물중에 지상부의 길이를 나눈 값으로 조직충실도를 나타내는데, T/R율이 낮을수록 조직충실도가 높을수록 묘의 품질이 우수하다고 하였다.
- 어린 모종일수록 뿌리가 밑으로 신장하려는 경향이 있고, 노화된 모종일수록 뿌리가 엉켜서 옆으로 뻗는 경향이 있어, 정식 초기 지온과 물 관리로 뿌리가 땅속 깊이 들어가도록 유도하고, 초세를 오랫동안 유지하려면 되도록 어린 모종을 정식하는 것이 좋은 편이라고 알려져 있다.

<가시오이 접목묘 생육특성(2018)>

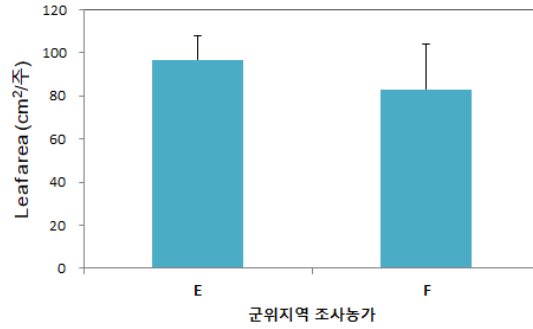
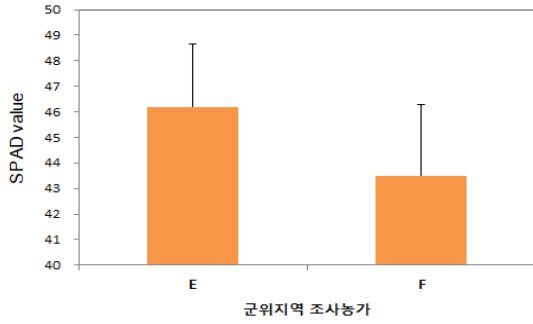
농 가	접수길이 (cm)	대목길이 (cm)	뿌리길이 (cm)	접수직경 (mm)	대목직경 (mm)
E	16.4±1.7	4.7±0.9	15.8±2.0	4.5±0.6	4.0±0.3
F	18.3±2.2	4.2±0.7	14.4±1.9	4.0±0.5	3.9±0.2

※ Mean±S.E.

<가시오이 접목묘 엽 특성(2018)>

농 가	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	장폭비 (엽장/엽폭)	엽 수 (매)
E	8.4±0.9	8.4±0.9	1.0±0.1	3.1±0.3
F	8.6±1.1	8.6±1.1	1.1±0.1	2.7±0.5

※ Mean±S.E.

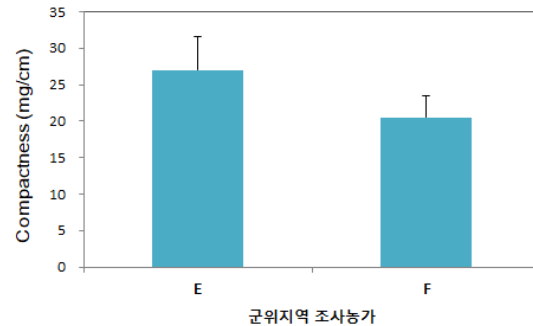
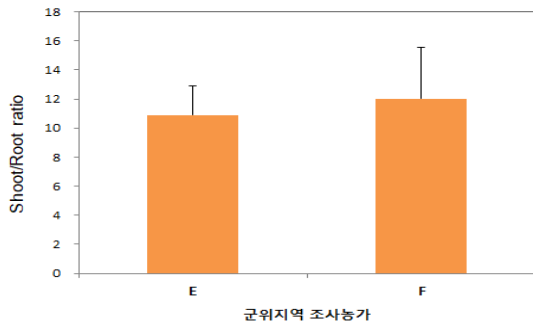


<가시오이 접목묘 SPAD 값과 엽면적 지수(2018)>

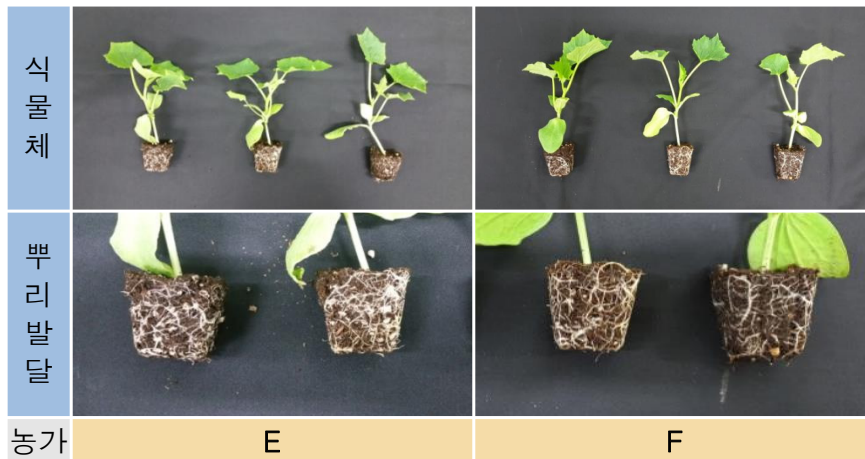
<가시오이 접목묘 건물생산능력(2018)>

농 가	생체중(g/주)		건물중(g/주)		건물율(%)	
	지상부	지하부	지상부	지하부	지상부	지하부
E	6.5±0.5	1.0±0.2	0.52±0.07	0.049±0.014	8.0±1.0	4.9±0.7
F	6.2±1.2	0.8±0.2	0.43±0.10	0.037±0.008	6.8±0.8	4.4±0.4

※ Mean±S.E.



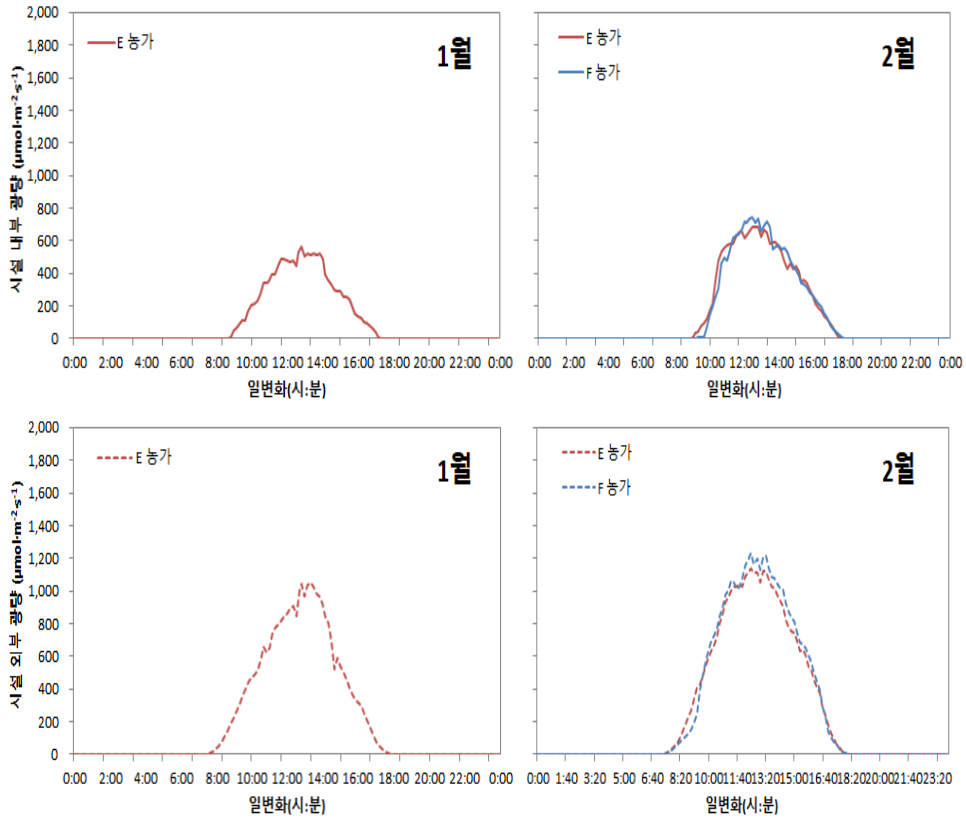
<가시오이 접목묘 S/R율과 조직충실도(2018)>



<오이 접목묘 이미지(2018)>

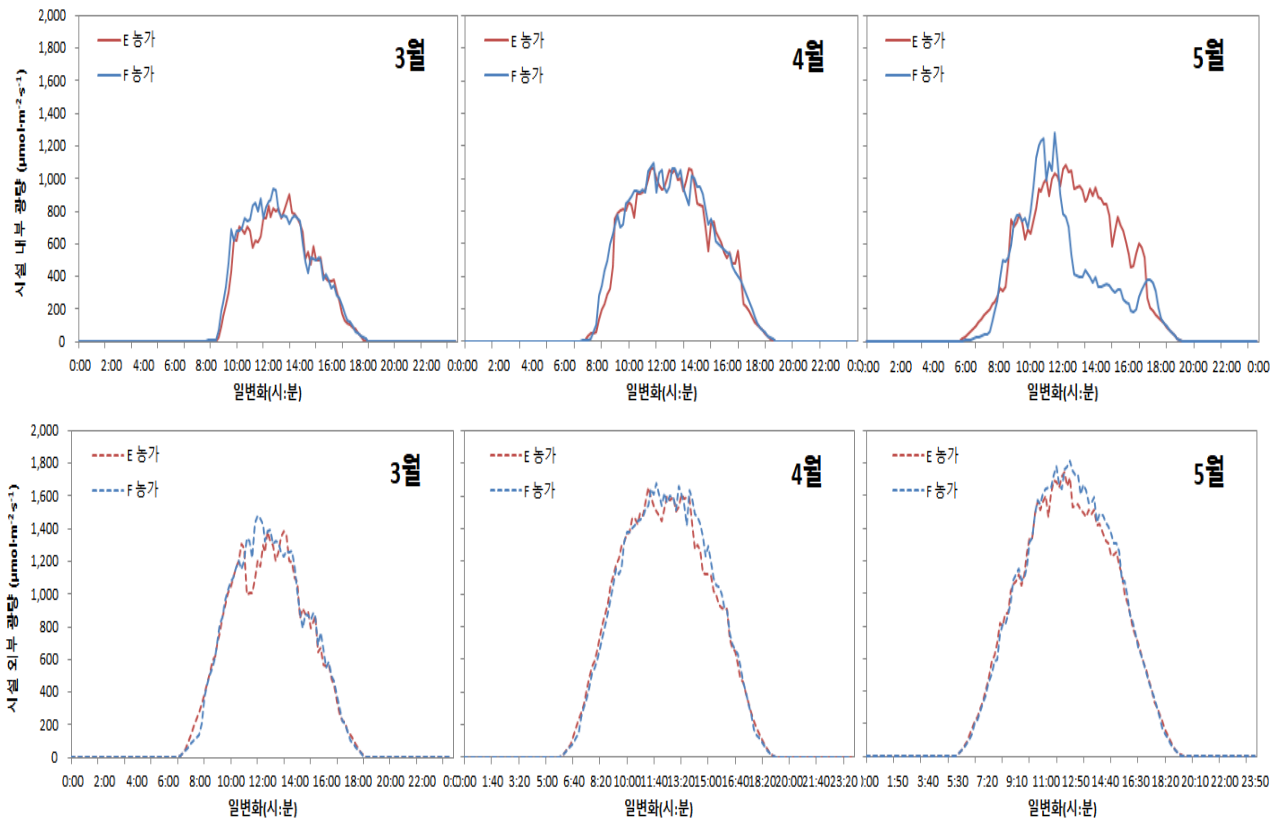
나. 시설 환경

- 연동하우스 시설 내외부의 환경 측정을 위해 오이 선단부인 높이 2m 지점에 광량(PAR, ICT, AU), 온습도(ATMOS 14, ICT, AU), 이산화탄소(aM-21A, Wisesensing, KOR) 센서를 설치하고, 지하부 환경 측정을 위해 깊이 15cm 지점에 지온(6470-6, Watchdog, USA) 센서를 매설하고, 1시간 간격으로 데이터를 수집하였다.
- 겨울철 관측조사일은 1월(2019. 1. 16 ~ 20), 2월(2019. 2. 4. ~ 8)이고, 봄철 관측조사일은 3월(2019. 3. 12 ~ 16), 4월(2019. 4. 15 ~ 20), 5월(2019. 5. 11 ~15)로 맑은 날 기준으로 5일 평균값을 적용하여 일변화를 나타내었다.
- 겨울철 시설 내부 최대 광량은 12 ~ 13시경이 $560\sim740\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 많았고, 외부와 비교했을 때 38~44% 정도 광량이 감소하였다. 봄철에는 시설 내부 최대 광량은 $800\sim1,200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 정도이고, 외부와 비교했을 때 33~38% 정도 광량이 감소하였다. 일반적으로 과채류의 광포화점은 $1,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 내외로 알려져 있으며, 5월에는 맑은 날에는 과도한 광량을 유입을 차단하는 노력이 필요할 것으로 생각된다. F 농가의 경우 5월 경에 보온커튼을 이용하여 13~16시까지 수시차광을 실시하였다.
- 시설 내부의 대기온도는 겨울철에는 야간온도 14°C 내외를 유지하였고, 주간온도 $24\sim26^{\circ}\text{C}$ 내외를 나타내었다. 외부의 야간 기온이 -4°C 까지 떨어져도 시설 내에 온풍기를 이용하여 난방을 실시하고 있어 야간온도 유지에는 어려움이 없었다. 봄철에는 야간온도 $16\sim18^{\circ}\text{C}$ 내외로 겨울철보다 높게 유지되었고, 주간온도 역시 $25\sim28^{\circ}\text{C}$ 내외를 유지하였으나, 5월 이후에는 과도한 일사량 유입으로 인해 수시차광을 실시하지 않은 E 농가에서는 30°C 까지 온도가 상승하였다.
- 오이는 비가 오는 시기에 생육하는 원산지의 습성에서도 알 수 있듯이 습도가 중요한 생육환경 조건 중 하나이다. 특히 건조에 민감하고, 습도가 너무 낮으면 잎과 줄기의 생육이나 과실의 비대가 현저히 억제된다. 오이에 알맞은 습도는 주간 70~80%, 야간 90% 정도로 다른 과채류 비해 상당히 높은 편이다. 겨울철 상대습도는 E 농가에서는 주간에도 65~70% 내외로 유지되었으나, F 농가는 20%까지 매우 낮게 유지되었고, 야간 습도 또한 60~65% 매우 낮게 유지되어 생육에 불리한 환경이 조성되었다.
- 이산화탄소함량은 외부는 400~450ppm 내외였으나, 시설 내부는 오이의 광합성과 호흡 작용으로 인해 주간에는 400ppm 내외였고, 야간에는 1,000~1,200ppm 내외를 유지하였다.
- 오이는 지온에도 비교적 민감하여 12°C 이하에서는 생육이 정지되므로 적어도 15°C 이상을 유지시켜야 하며, 25°C 이상이 되면 줄기와 잎이 웃자라게 되고 노화를 촉진시켜 재배기간이 단축된다고 알려져 있다. 이로 인해 균위지역에서도 $18\sim20^{\circ}\text{C}$ 이상의 지온을 유지하고 있었다. 그러나 일사량 유입이 많은 5월에는 $25\sim27^{\circ}\text{C}$ 이상이 되는 경우가 많았으나, F 농가에서는 차광실시로 인해 22°C 내외로 유지할 수 있었다.



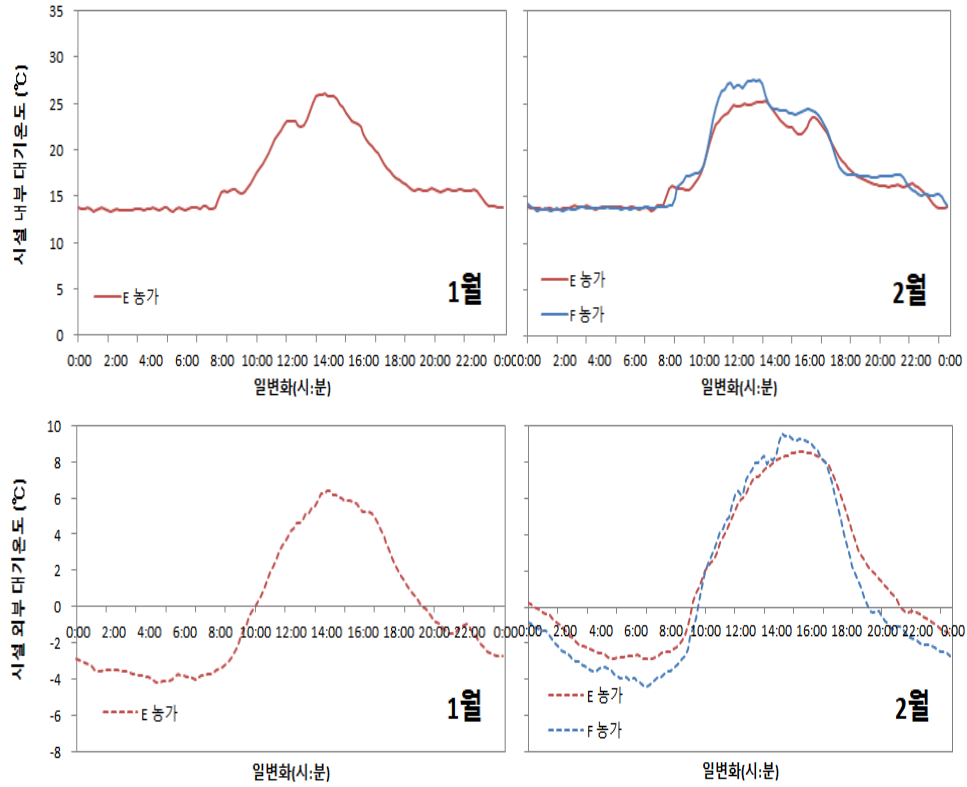
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 1월(2019. 1. 16~20), 2월(2019. 2. 4~8)

<시설 내외부 광량 일변화(겨울철 1~2월)>



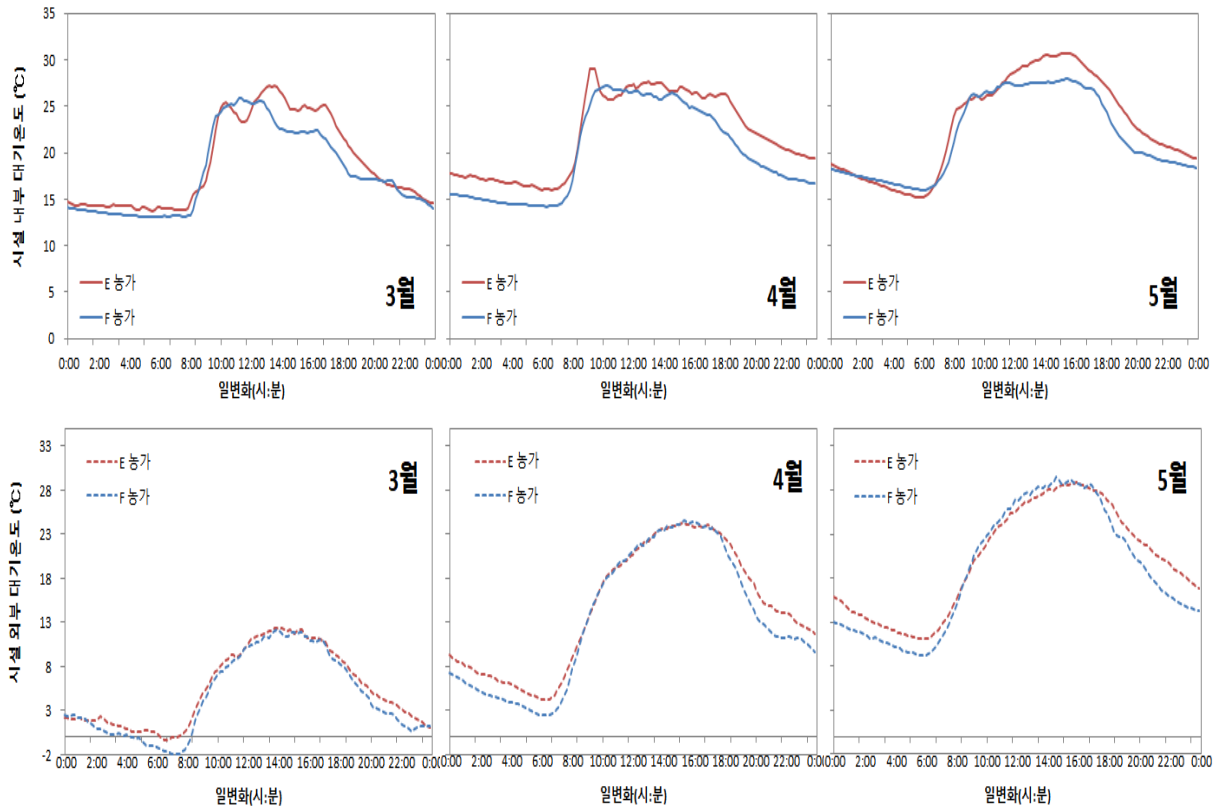
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 3월(2019. 3. 12~16), 4월(2019. 4. 15~20), 5월(2019. 5. 11~15)

<시설 내외부 광량 일변화(봄철 3~5월)>



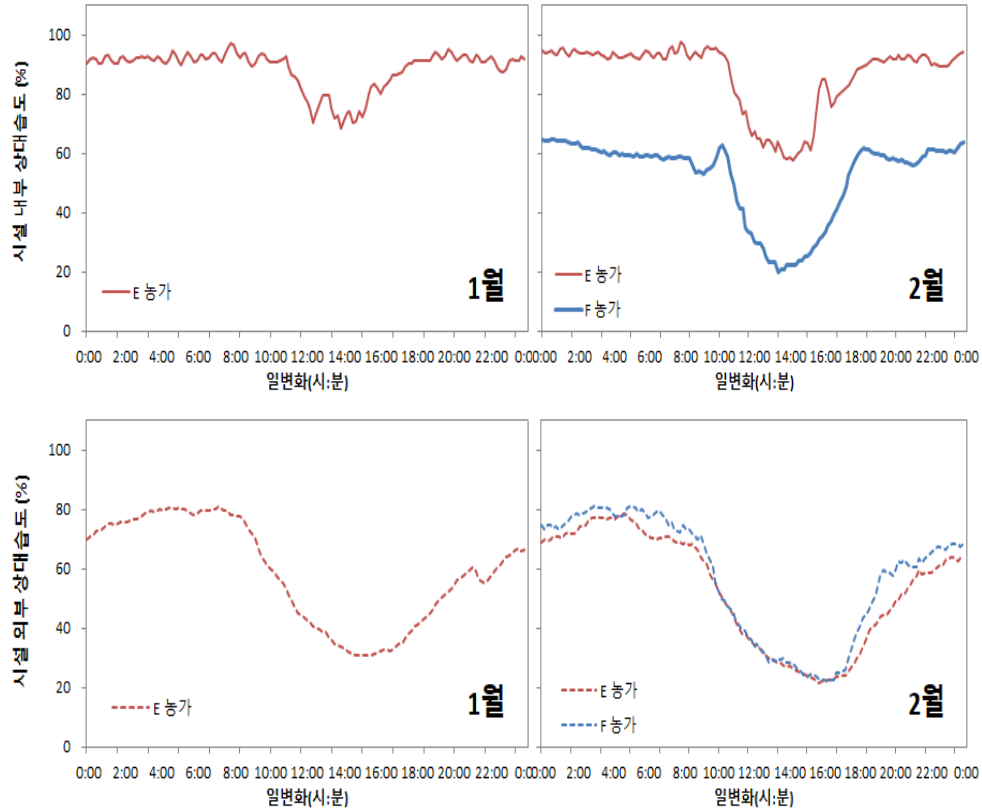
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 1월(2019. 1. 16~20), 2월(2019. 2. 4~8)

<시설 내외부 대기온도 일변화(겨울철 1~2월)>



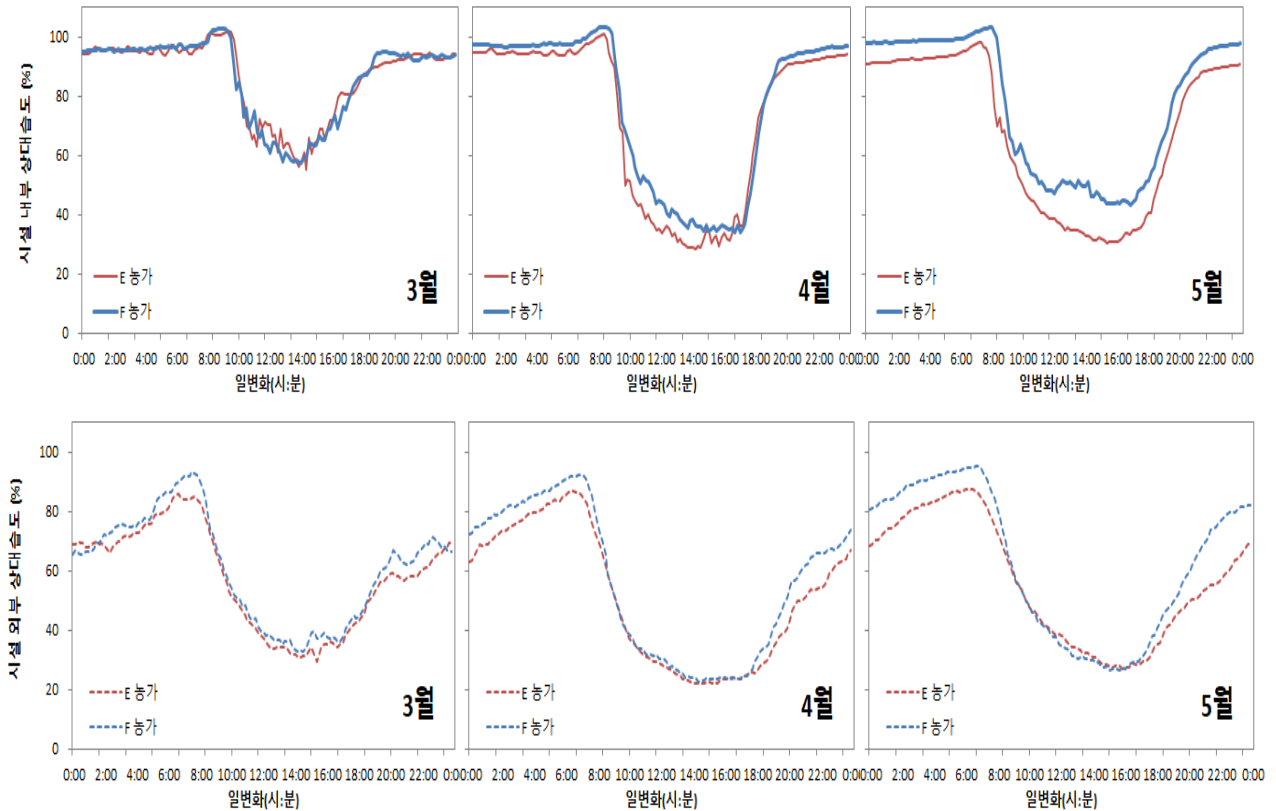
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 3월(2019. 3. 12~16), 4월(2019. 4. 15~20), 5월(2019. 5. 11~15)

<시설 내외부 대기온도 일변화(봄철 3~5월)>



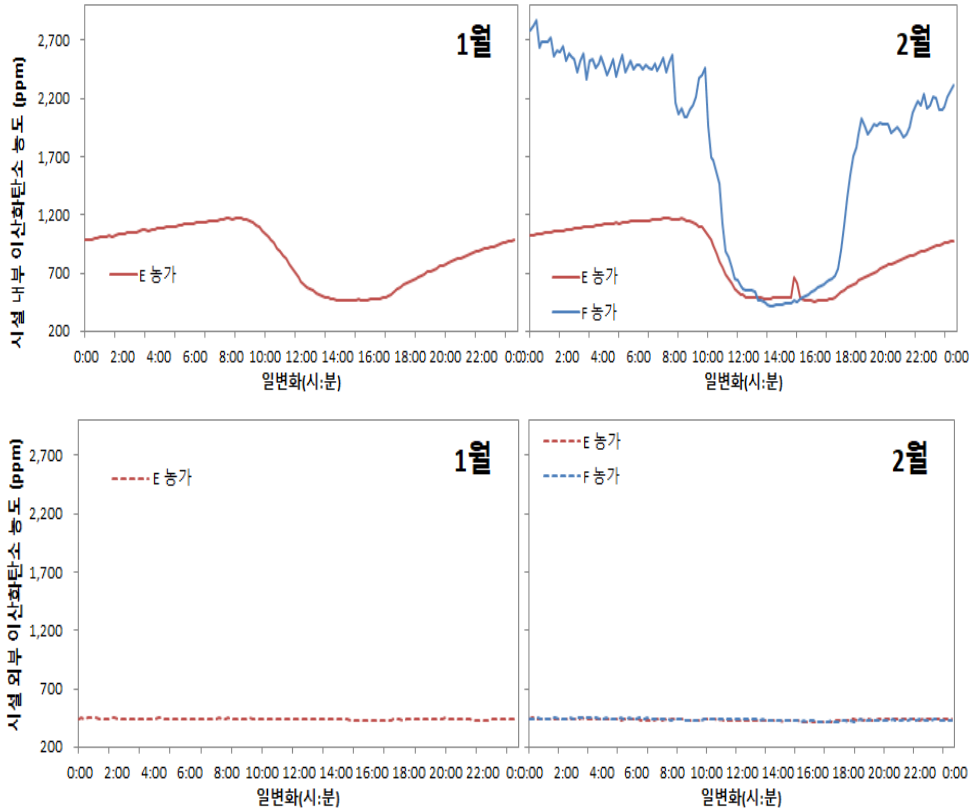
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 1월(2019. 1. 16~20), 2월(2019. 2. 4~8)

<시설 내외부 상대습도 일변화(겨울철 1~2월)>



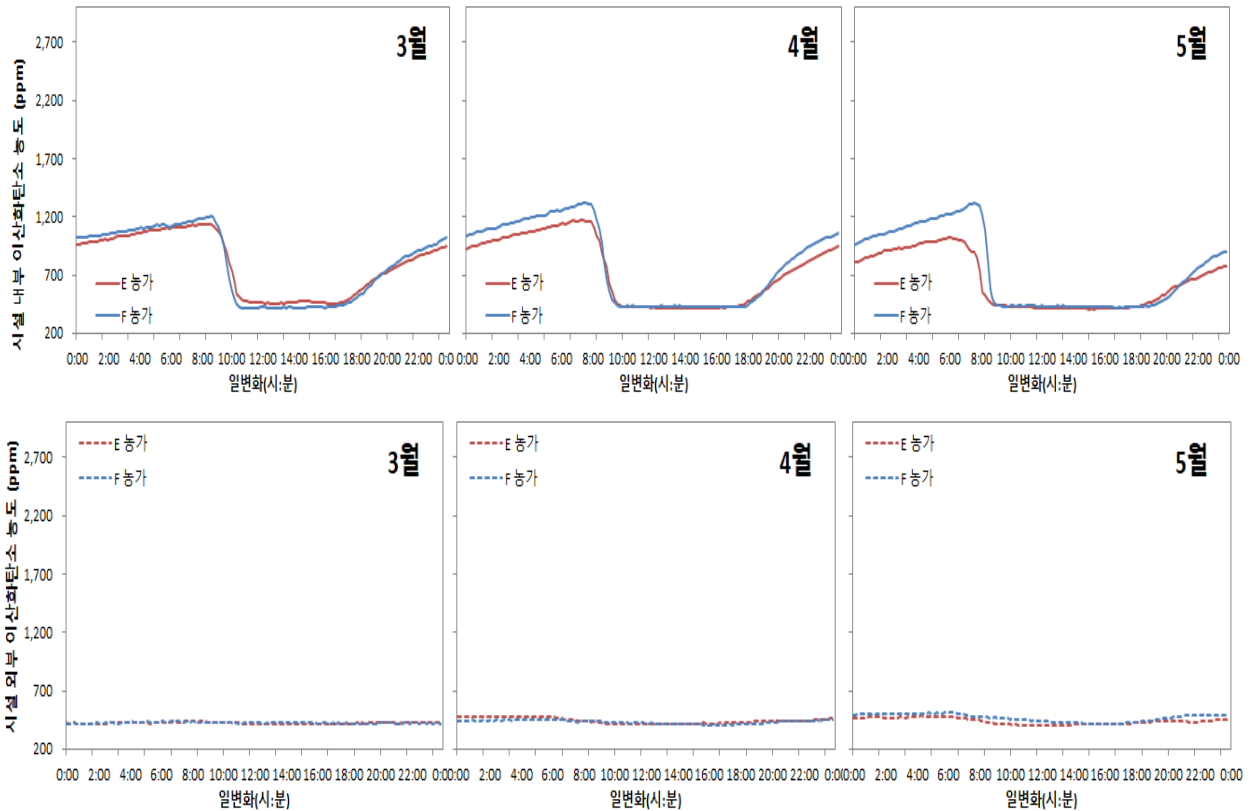
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 3월(2019. 3. 12~16), 4월(2019. 4. 15~20), 5월(2019. 5. 11~15)

<시설 내외부 상대습도 일변화(봄철 3~5월)>



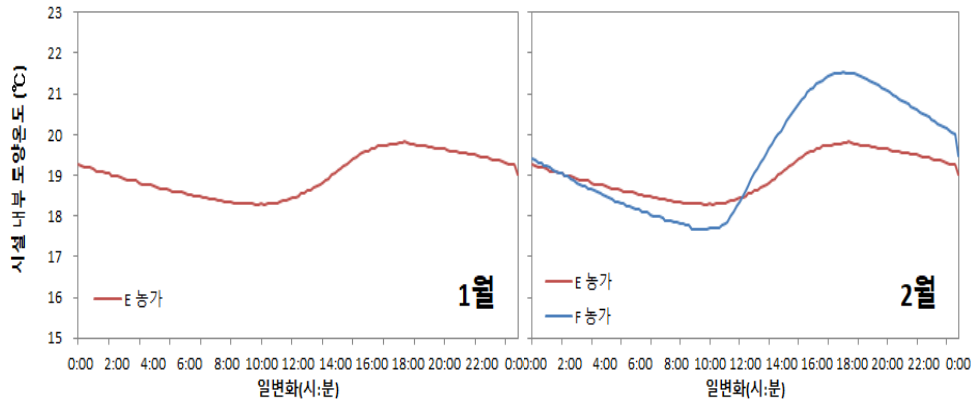
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 1월(2019. 1. 16~20), 2월(2019. 2. 4~8)

<시설 내외부 이산화탄소 농도 일변화(겨울철 1~2월)>



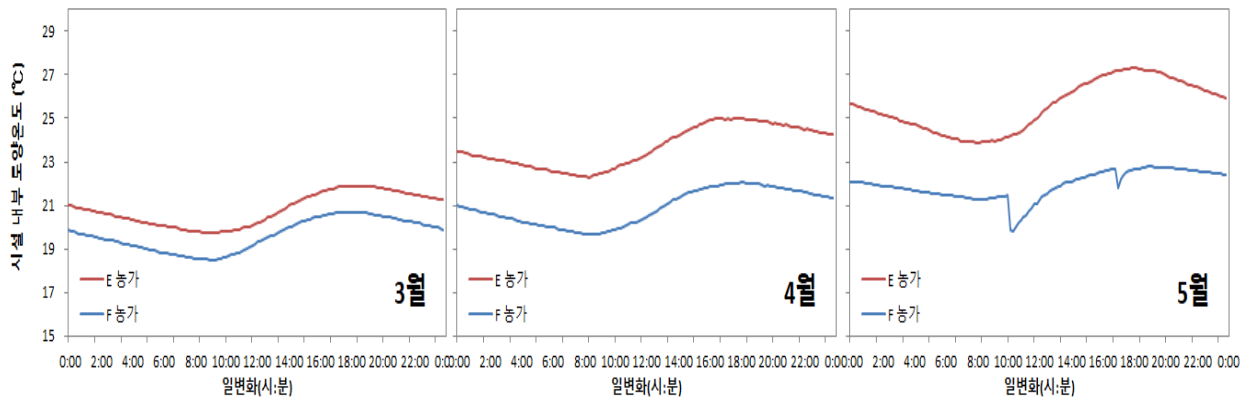
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 3월(2019. 3. 12~16), 4월(2019. 4. 15~20), 5월(2019. 5. 11~15)

<시설 내외부 이산화탄소 농도 일변화(봄철 3~5월)>



※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 1월(2019. 1. 16~20), 2월(2019. 2. 4~8)

<시설 내부 토양온도 일변화(겨울철 1~2월)>



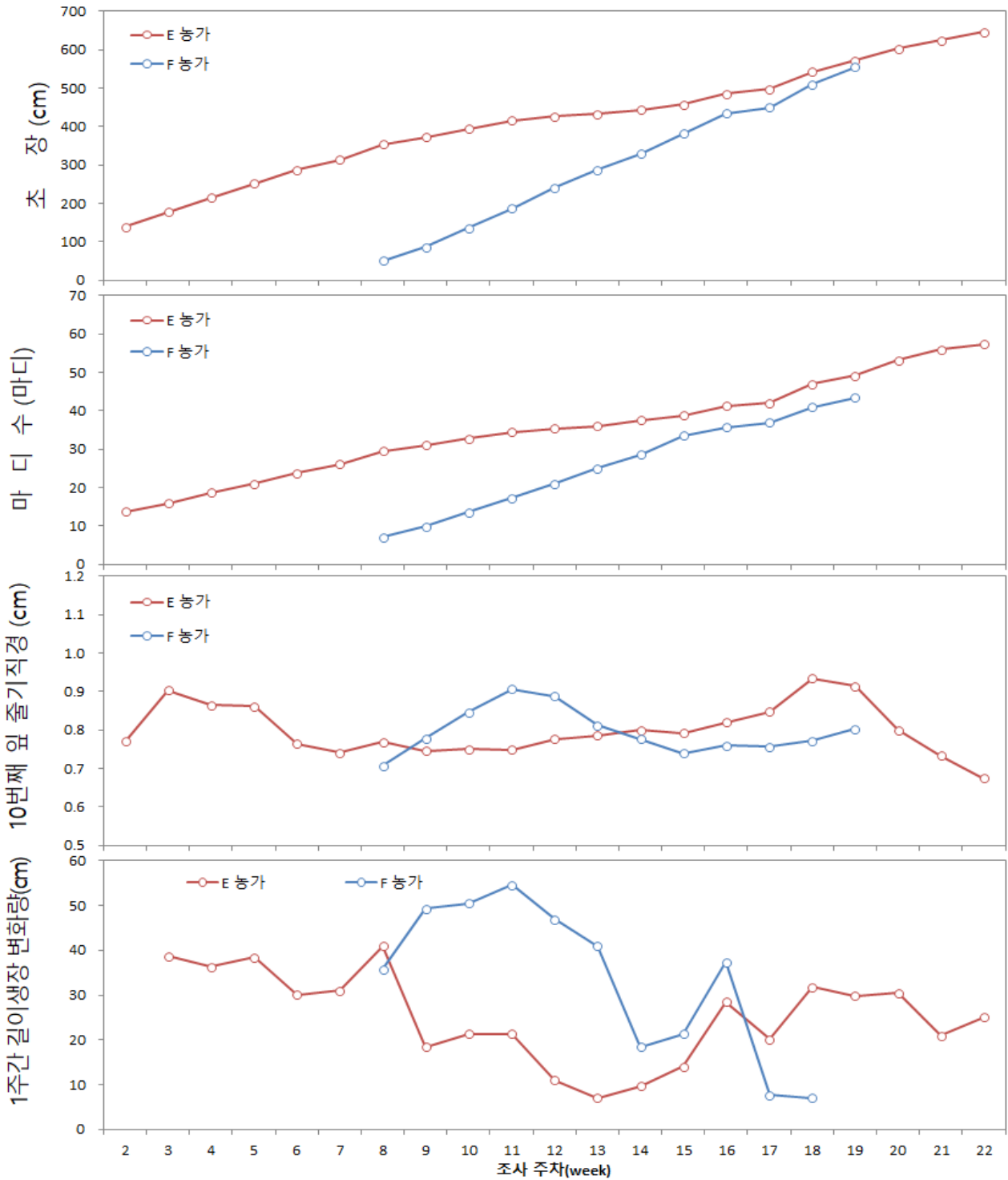
※ 관측조사일(맑은 날 기준, 5일 평균값 적용) : 3월(2019. 3. 12~16), 4월(2019. 4. 15~20), 5월(2019. 5. 11~15)

<시설 내부 토양온도 일변화(봄철 3~5월)>

다. 생장 변화

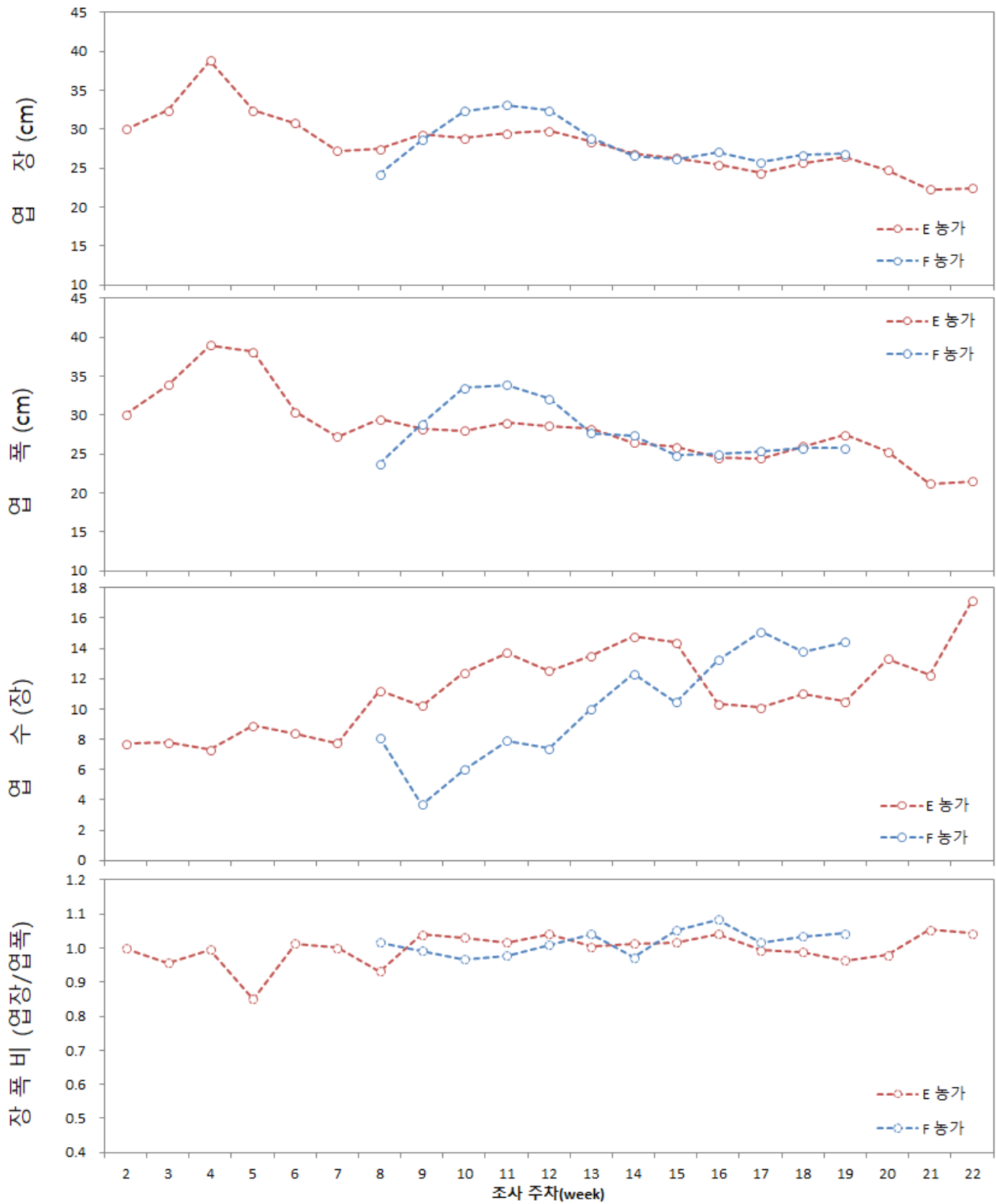
- 정식 3주 후부터 수확을 종료할 때까지 각 농가별 식물체 10주씩을 선정하고, 초장, 마디수, 줄기직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 1주일 간격으로 조사하였다. 수확한 과실무게는 3일 간격으로 측정하였다. 초장은 지표면에서 생장점까지의 길이를 측정하였고, 마디수는 절간장이 2cm 이상인 마디까지 유효한 마디수를 측정하였고, 줄기직경은 생장점 아래로 10번째 마디 아래 부위의 굵기를 측정하였다. 엽장과 엽폭 또한 10번째 마디 앞의 길이와 너비를 측정하였고, 엽수는 3cm 이상의 완전 전개 엽의 수를 조사하였다.
- 정식 3주 후부터 두 농가의 생육 특성을 조사한 결과, 초장은 재배기간이 6개월 정도인 E 농가가 645cm로 가장 길었고, 마디수는 57개 정도였다. 재배기간이 4개월 정도인 F 농가는 초장 555cm, 마디수 43개로 성장속도는 정식시기의 환경으로 인해 재배기간 대비 빠른 편이었다. 10번째 잎 아래의 줄기직경은 재배 전 생육기간 0.7~0.9cm 내외를 유지하였다.
- 오이는 영양생장과 생식생장의 균형이 잘 맞으면 계속해서 잘 자라나, 어느 한쪽으로 기울면 초세관리가 어려워진다. 불균일한 생육의 원인은 과실 결실관리, 병충해발생, 환경조절 등의 영향을 받은 것으로 생각된다.
- 잎의 생장특성은 엽장과 엽폭 모두 25~35cm 내외로 비슷하게 성장하였고, 재배 후기로 갈수

록 잎의 크기가 작아지는 경향을 나타내었고, 엽수는 주지 1개만을 유인재배하기 때문에 10~15장 내외를 유지하였다. 잎의 광합성 능력은 완전 전개 후 20~30일 사이의 잎이 가장 높고, 45일 후면 광합성 능력이 급격히 떨어지는 것으로 알려져 있다. 따라서 현장에서는 연동하우스 시설 측고와 토경재배시 유인작업, 노엽의 병충해 발생 등의 어려움으로 인해 많은 엽수를 확보하고 있지 않았다.



※ 조사방법 : 정식 후 3주 이후부터 매주 조사(각 개소별 10개체)

<2018-2019년 전 생육 기간 동안 매주 조사한 길이 성장 변화>



※ 조사방법 : 정식 후 3주 이후부터 매주 조사(각 개소별 10개체)

<2018-2019년 전 생육 기간 동안 매주 조사한 엽 성장 변화>

E 농가



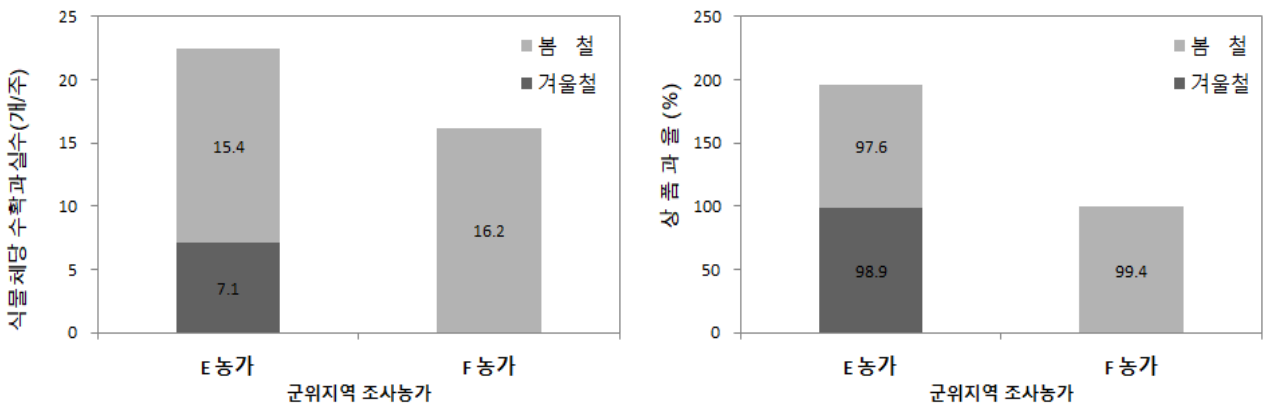
F 농가



<전 생육 기간 동안 2개소 농가 초기 생육 이미지>

라. 수확량 변화

- 수량성을 시기별로 확인한 결과, 정식시기가 늦은 F 농가에서는 겨울철에는 생산되지 않았고, 전 생육기간 동안 식물체당 수확과실 수는 E 농가 22.5개, F 농가 16.2개를 생산하였다. 상품과율은 98~99% 정도로 매우 높은 편이었다.
- 현장에서 수확한 가시오이의 무게는 200~250g 내외이며, 과실 길이는 30~33cm이고, 고온 기인 봄철 이후에는 과실 길이가 길어지고, 과중 또한 무거워지는 경향이였다.



<2018-2019년 전 생육 기간 동안 2개소 농가 수확량과 상품과율 비교(겨울철 12~2월, 봄철 3~5월)>

<2018-2019년 전 생육 기간 동안 수확 과실 특성 비교(겨울철 12~2월, 봄철 3~5월)>

농 가	구 분	과 장 (cm)	과 폭 (mm)	과 중 (g)
E	겨울철	29.6	32.3	206.4
	봄철	32.4	34.8	258.3
	전 생육기간	31.0	33.5	241.9
F	겨울철	0	0	0
	봄철	31.0	33.9	234.5
	전 생육기간	31.0	33.9	234.5

- 군위지역 오이 재배농가들은 일 년 중에 2번 정도 오이(봄, 여름)를 심거나 1번 정도는 다른 작목(토마토 등)을 정식하는 편이었고, 시설 면에서는 상주지역에 뒤쳐지지 않았고, 가시오이라는 품종 차이가 있기는 하지만 재배 방법적인 부분에서 환경관리와 기술수준이 매우 큰 차이가 나는 편이었다. 또한 짧은 재배기간 동안 많은 수량을 얻기 위해 결실률을 높여 순댓이 현상을 오는 경우와 잦은 병(봄철 흰가루병, 노균병) 발생으로 인해 수확량이 저조한 편이었다.



순댓이 증상



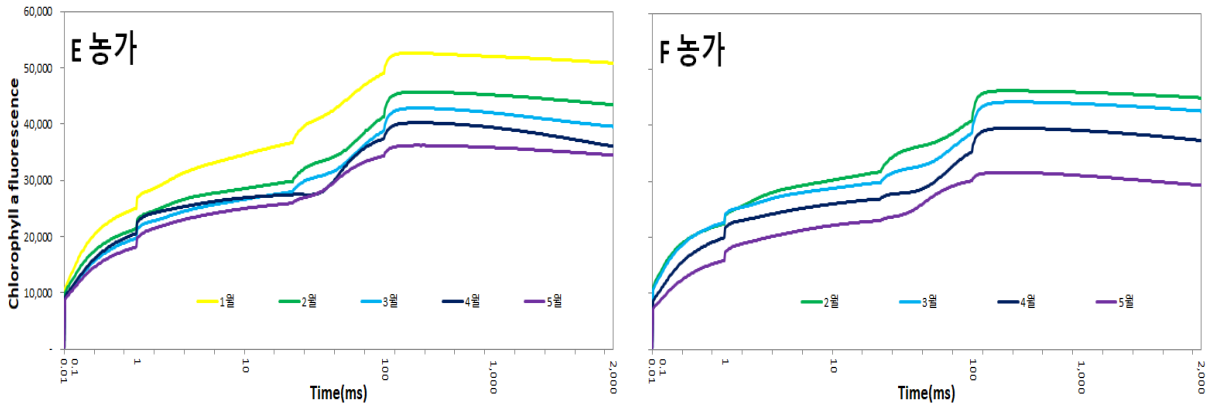
노균병 발생



생육후기 흰가루병 발생

마. 엽록소 형광 반응 변화

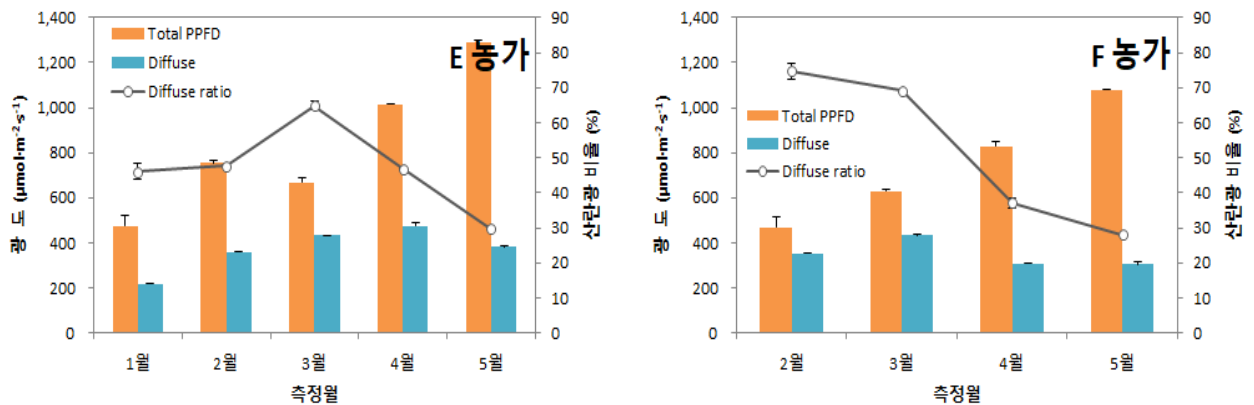
- 엽록소 형광분석(Origin Jump Intermediate Peak, OJIP)은 생장점 아래 10번째 잎에 leaf dark clip을 물려서 15분간 암처리 후 휴대용 엽록소형광측정기(FP-100, Photon System Instruments, Czech Republic)를 이용하여 2019년 1월부터 2019년 5월까지 매일 동일한 시간에 측정하였다.
- OJIP 곡선은 광계 II의 전자수용체 풀의 연속적인 환원을 나타내며, 암적응 된 잎에 빛을 비추어 유도해 낼 수 있는데 크게 3단계로 구분할 수 있다. 먼저 O(50 μ s)와 J(2 ms)를 연결하는 O-J 구간은 광계 II의 반응중심에서 초기 전자수용체인 Q_A 의 광화학적 환원, 즉 $Q_A^-Q_B$ 의 축적을 의미하며, J(2 ms)와 I(60 ms)를 연결하는 J-I 구간은 광계 II의 반응중심에서 $Q_A^-Q_B^-$ 의 축적을 반영하는 것으로 광계 II의 donor 부분(water splitting activity)에 의해 조절된다. 마지막으로 I(60 ms)와 P(300 ms)를 연결하는 I-P 구간에서는 광계 II의 반응중심에서 plastoquinone pool (PQ pool)로의 전자전달활성, 즉 $Q_A^-Q_B^{2-}$ 의 축적을 의미한다. 식물체가 빛, 온도, 수분 또는 화학적 스트레스 등에 의해 영향을 받았을 때, OJIP 곡선의 패턴이 변하게 된다.
- 재배 전 생육 기간 동안 엽록소 형광 반응(OJIP) 변화를 매일 분석한 결과, E 농가와 F 농가가 비슷한 경향을 나타내었고, 특히 F 농가의 5월 형광값은 매우 낮았다. 생육 후기로 갈수록 감소하는 경향을 나타내어 노화로 인한 활성 감소로 생각된다.
- 이러한 형광 반응은 생산량에도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 엽록소 형광반응은 광합성 기구의 변화를 모니터링하여 정량화 할 수 있는 민감하고 신뢰성 있는 방법으로 엽록소 형광 반응 측정을 통해 광계 II의 구조와 기능변화를 빠르고 간편하게 측정할 수 있는 장점이 있다(Strasser et al., 2000; Naumann et al., 2007; Lee et al., 2014), 따라서 향후 재배 현장에서 엽록소 형광반응을 이용하여 생리 상태나 광합성능력 간이 분석이 가능할 것으로 생각된다.



<2018-2019년 전 생육기간동안 매월 측정된 엽록소형광 OJIP 분석 변화>

바. 시설 내부 산란광 분석

- 광량은 계절적으로 달라 한겨울에는 여름보다 부족하고, 하루 중에도 시각에 따라 변하고 위치에 따라서도 달라진다. 같은 광량이라도 광 파장의 조성이 다르면 작물의 생육반응이 달라진다. 광량과 관련한 개념으로는 400~700nm 파장의 광합성에 유효한 광량을 나타내는 광합성유효광량자속밀도(Photosynthetic Photon Flux Density, PPFD)와 광합성유효복사량(Photosynthetic Activation Radiation, PAR)이 있고, 단위로 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 또는 $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}$ 를 사용한다.
- 시설 내부에 형성되는 광환경은 노지와는 매우 다르다. 피복자재를 통과하는 동안 광질이 달라지고, 광량이 감소되는 등의 변화가 있다. 시설 내의 광량은 노지에 비해 감소하여 상대적으로 광도가 낮아지기 쉽다. 그 원인은 골격재에 의한 광선의 차단, 피복재 자체의 광흡수 및 반사, 피복재의 오염 등이 있다.
- 시설 내부로 유인되는 열량은 주로 태양으로부터 도달하는 직달일사량과 산란일사량이며, 여기에 일부 장파장 복사가 추가된다. 이와 같이 온실에 도달한 일사량은 피복재에서 일부 반사되고 일부는 흡수되며, 그 나머지가 시설 내로 유인된다.
- 현장 내부의 골조 구조나 비닐의 종류 및 사용연차에 따라 광량이 큰 차이가 있으나, E 농가가 광 투과율이 높은 편이고, 겨울철보다는 봄철이 산란광 비율이 낮은 편이었다.



<2018-2019년 전 생육기간동안 매월 측정된 시설 내부 광도와 산란광 비율>

제3절 2018~2019년 재배작기 오이 생산성 향상 분석

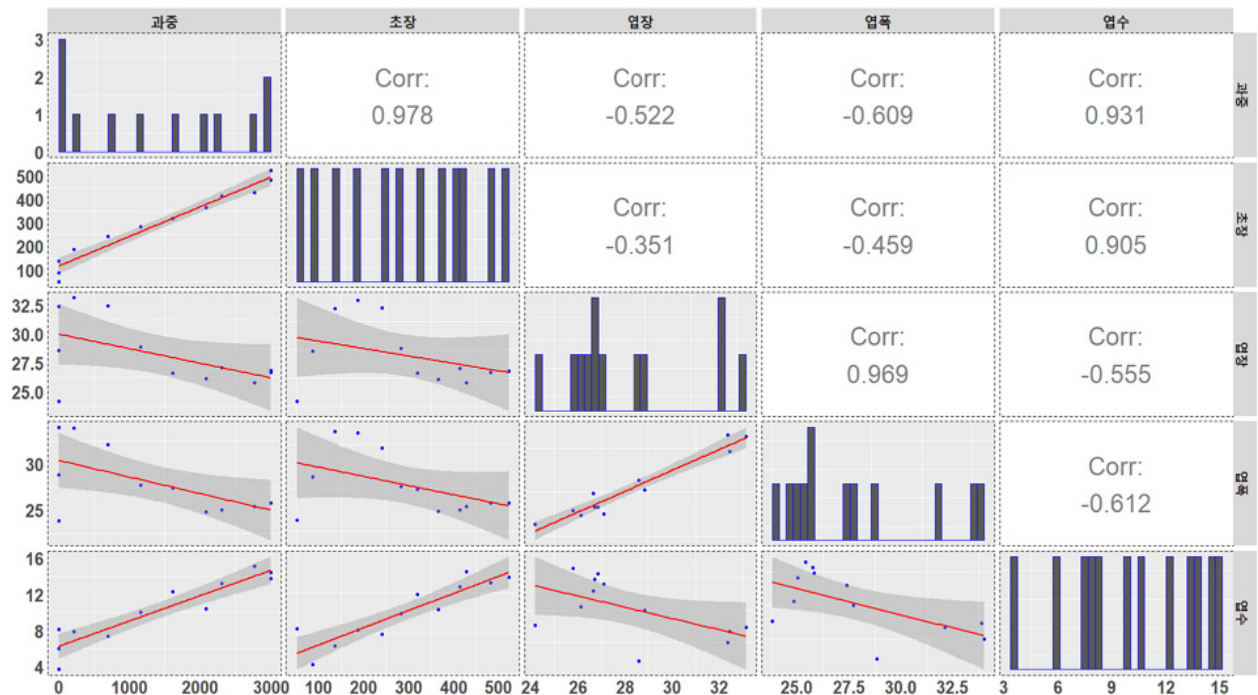
1. 생육단계별 환경관리 및 생육환경에 대한 (vital few's) 발굴

가. 탐색 방법

- 시설농업으로부터 측정되는 농가의 환경요인과 시설오이의 생육자료의 상관성을 비교하여 오이 생육에 영향을 미치는 요인들을 다각적인 방법으로 분석하였다. 수집된 환경요인으로부터 다양한 요인을 추가 생성하였다.
- 예를 들면, 수집된 온도데이터로부터 주간평균온도, 야간평균온도, 일출전후4시간의 평균온도, 일출부터정오까지의 평균온도, 유효적산온도, 일교차 등의 추가변수를 생성하였다.
- 수집된 환경요인 27개 항목으로부터 100여개의 항목으로 변수(Feature)를 다양하게 생성하여 상관분석을 통해 핵심요인을 탐색하였다.

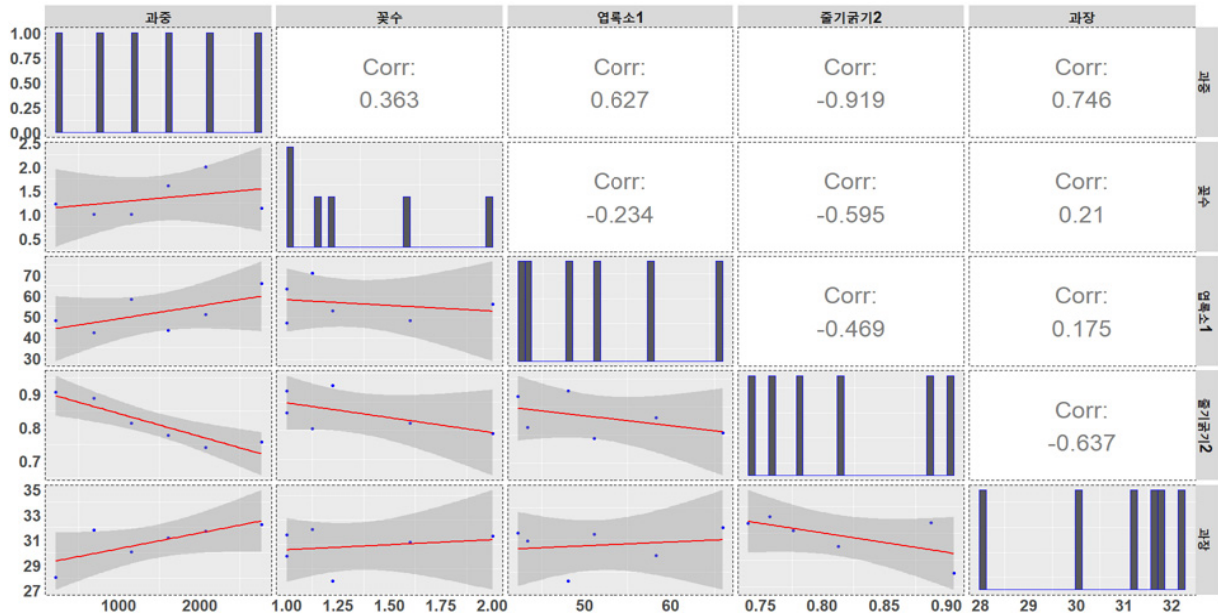
나. 생육요인, 환경요인의 변화에 따른 생산성 추정을 통하여 핵심요인 탐색

- 요인이 오이의 생육발달에 어떠한 영향을 미치는지 생육변수 중 수확량 인자인 과중(果重)을 중심으로 생육요인, 환경요인과의 상관성을 검토하였다.
- 과중변수는 수확량과 양의 상관성을 가질 것으로 예측하여 과중을 수확일별로 누적시킨 과중합을 사용하였다.
- 생육요인(초장, 엽장, 엽폭, 엽수) 상관분석



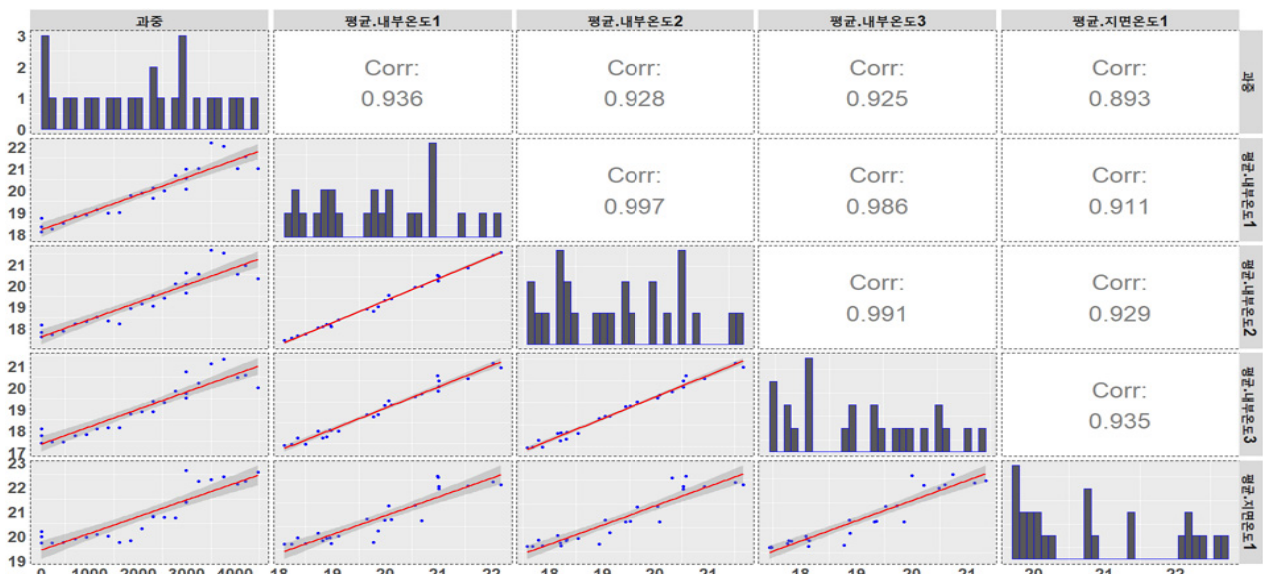
<과중과 생육요인(초장, 엽장, 엽폭, 엽수)의 상관분석>

- 과중과 생육변수(초장, 엽장, 엽폭, 엽수)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 초장의 상관관계가 제일 높고 엽폭, 엽수, 엽장의 순으로 높았다. 과중과 초장, 엽수는 양의 상관관계를, 과중과 엽장, 엽폭은 음의 상관관계를 보였다. 즉, 엽장, 엽폭이 커지면 과중은 감소한다.
- 생육요인(꽃수, 엽록소, 줄기굵기, 과장) 상관분석



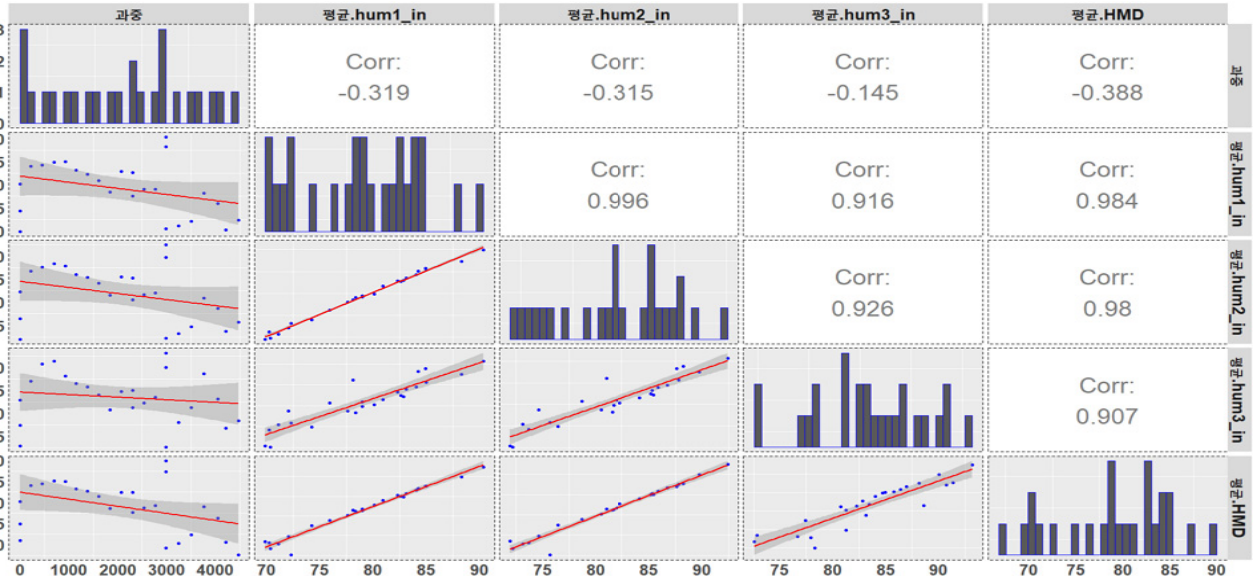
<과중과 생육요인(꽃수, 엽록소, 줄기굵기, 과장)의 상관분석>

- 과중과 생육변수(꽃수, 엽록소, 줄기굵기, 과장)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 가장 상관관계가 높은 요인은 줄기굵기이며 음의 상관관계를 보인다. 다음으로 과장, 엽록소, 꽃수의 순으로 높으며 양의 상관관계를 보였다.
- 줄기굵기가 클수록 수확량이 감소하고 과장, 엽록소, 꽃수가 많을수록 수확량은 증가한다.
- 환경요인(내부온도1, 내부온도2, 내부온도3, 지면온도1) 상관분석



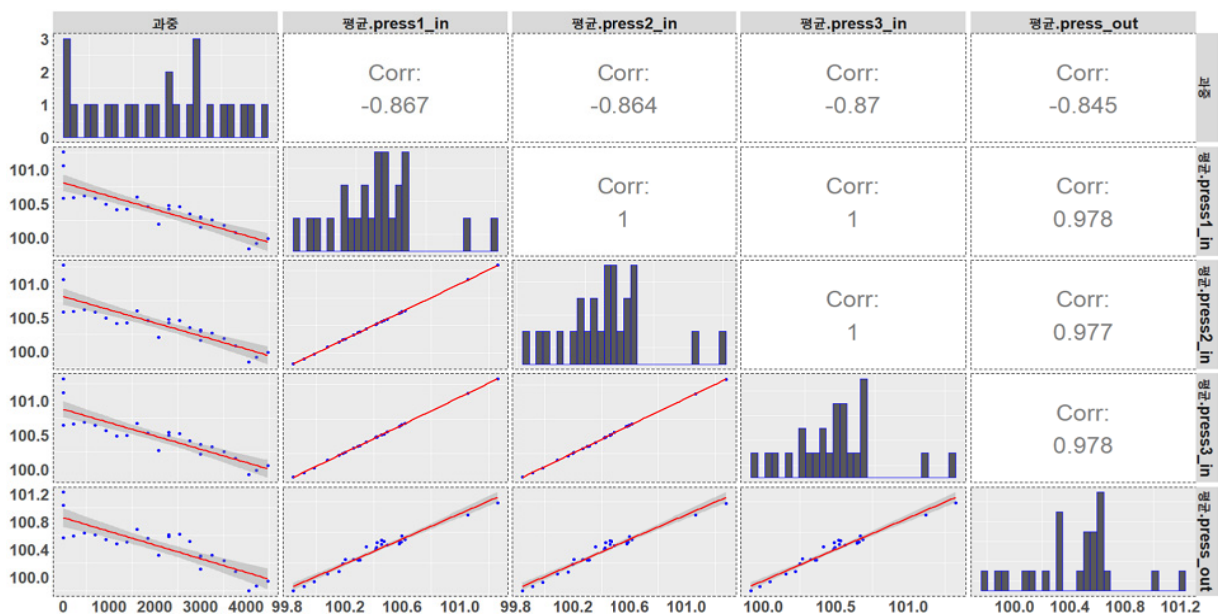
<과중과 환경요인(내부온도1, 내부온도2, 내부온도3, 지면온도1)의 상관분석>

- 과중과 환경변수(내부온도1, 내부온도2, 내부온도3, 지면온도1)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 내부온도1이 가장 큰 상관관계를 보였다. 다음으로 내부온도2, 내부온도3, 지면온도1의 순으로 높았으며 매우 높은 양의 상관관계를 보였다. 온도가 중요한 환경요인임을 알 수 있다.
- 내부온도1, 2, 3은 환경측정위치로 각각 상단부, 중단부, 하단부를 의미한다.
- 환경요인(내부상대습도1, 내부상대습도2, 내부상대습도3, 지하부상대습도) 상관분석



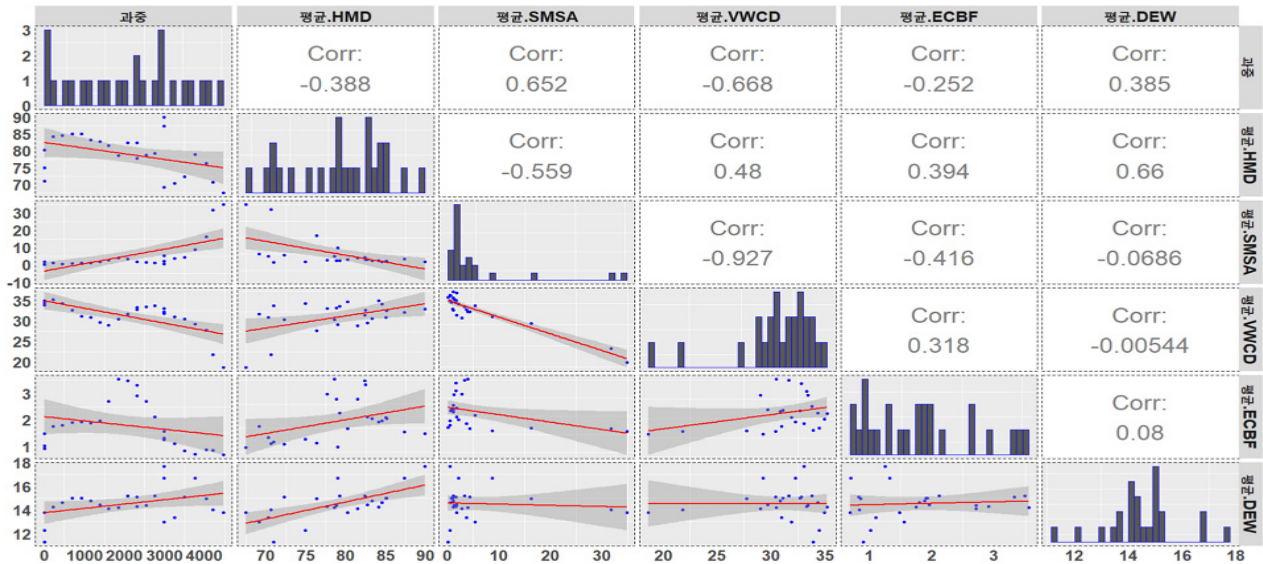
<과중과 환경요인(내부상대습도1, 내부상대습도2, 내부상대습도3, 지하부상대습도)의 상관분석>

- 과중과 환경변수(내부상대습도1, 내부상대습도2, 내부상대습도3, 지하부상대습도)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 지하부상대습도가 가장 큰 상관관계를 보였고, 내부상대습도1, 내부상대습도2, 내부상대습도3의 순으로 높으며 모두 음의 상관관계를 보였다.
- 내부상대습도1, 2, 3은 지상부 환경측정 위치로 각각 상단부, 중단부, 하단부를 의미하고 HMD는 지하부 15cm에서 측정된 상대습도를 의미한다.
- 환경요인(내부기압1, 내부기압2, 내부기압3, 외부기압) 상관분석



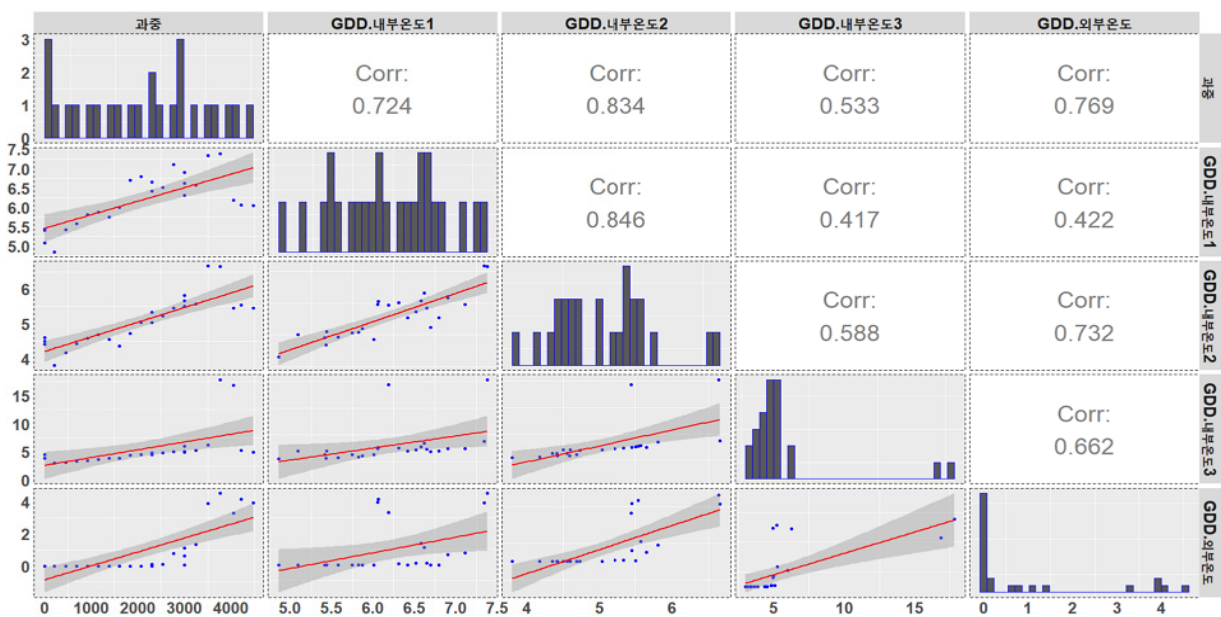
<과중과 환경요인(내부기압1, 내부기압2, 내부기압3, 외부기압)의 상관분석>

- 과중과 환경변수(내부기압1, 내부기압2, 내부기압3, 외부기압)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 내부기압3이 가장 높은 상관관계를 보이며 내부기압1, 내부기압2, 외부기압의 순으로 높으며 모두 음의 상관관계를 보인다.
- 내부기압1, 2, 3은 지상부 환경측정 위치로 각각 상단부, 중단부, 하단부를 의미한다.
- 지하부 환경변수(상대습도, 토양수분장력, 토양수분함량, 토양EC, 이슬점) 상관분석



<과중과 환경요인(상대습도, 토양수분장력, 토양수분함량, 토양EC, 이슬점)의 상관분석>

- 과중과 지하부 환경변수(상대습도, 토양수분장력, 토양수분함량, 토양EC, 이슬점)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 토양수분함량이 가장 큰 상관관계를 보였으며 음의 상관관계로 나타났다.
- 다음으로 토양수분장력, 토양상대습도, 토양EC, 토양이슬점의 순으로 나타났으며 토양수분장력과 토양이슬점은 음의 상관관계를 보였다.
- HMD는 토양상대습도, SMSA는 토양수분장력, VWCD는 토양수분함량, ECBF는 토양EC, DEW는 토양이슬점을 의미한다.
- 환경요인(유효적산온도, GDD) 상관분석

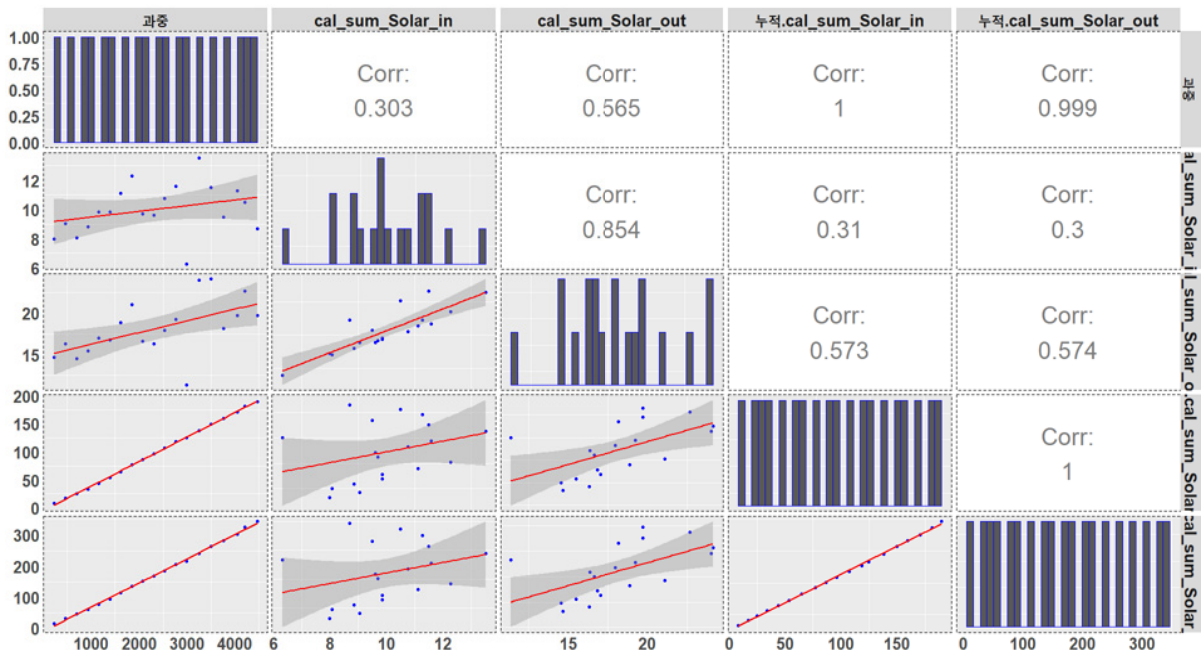


<과중과 환경요인(유효적산온도, GDD)의 상관분석>

- GDD란 유효적산온도(growing-degree-days)의 약자로, 작물의 생육가능온도를 적산한 값이다. GDD는 그 지역의 기후에 따른 작물 또는 품종의 재배가능성을 예측하거나 현재 재배하는 작물의 생육단계를 예측할 수 있도록 한다.
- 본 연구에서는 오이의 생육의 발생에 결정적인 영향을 주는 온도 변수를 가지고 누적온도 GDD 변수를 생성하였다. 오이의 유효적산온도(GDD)는 TBASE=15.5°C로 설정한 후 다음식을 계산한 값을 사용하였다. 여기서 TBASE는 해당 작물이 생육을 정지하는 기본온도(base line)를 설정한 것이다.

$$GDD = \sum_{\text{생육조사일}} \left(\frac{TMAX - TMIN}{2} - TBASE, 0 \right)_{\max}, TBASE = 15.5$$

- 과중과 유효적산온도(내부온도1, 내부온도2, 내부온도3, 지면온도1)의 상관관계를 살펴보면, 모두 양의 상관관계를 가지며 내부온도2가 가장 큰 상관관계를 보였다. 다음으로 내부온도1, 내부온도3, 지면온도1의 순으로 높았다.
- 내부온도1, 2, 3은 환경측정위치로 각각 상단부, 중단부, 하단부를 의미한다.
- 지면온도1은 지면15cm깊이의 온도를 말한다.
- 환경요인(내부일사량, 외부일사량) 상관분석



<과중과 환경요인(평균내부일사량, 평균외부일사량, 누적내부일사량, 누적외부일사량)의 상관분석>

- 과중과 일사량(평균내부일사량, 평균외부일사량, 누적내부일사량, 누적외부일사량)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 누적내부일사량, 누적외부일사량은 매우 높은 양의 상관관계를 가지며 평균외부일사량, 평균내부일사량의 순으로 양의 상관관계가 나타났다.

다. 단계적 다중회귀분석을 이용한 핵심인자 발굴

- 본 연구에서는 단계적 다중회귀분석을 실시하여 수확량과 환경 및 생육 변수간의 상관성 검토 및 생육 모델을 추정하였다.
- 먼저 수확량과 연관성이 가장 높은 과중(果重, Fruit Weight)의 누적합을 종속변수로 설정하였고, 생육환경변수에 대한 산점도를 확인하여 이를 생육환경요인으로 하고, 다음과 같은 생육환경요인을 갖는 다중회귀분석 기본모형을 가정하여 분석하였다.

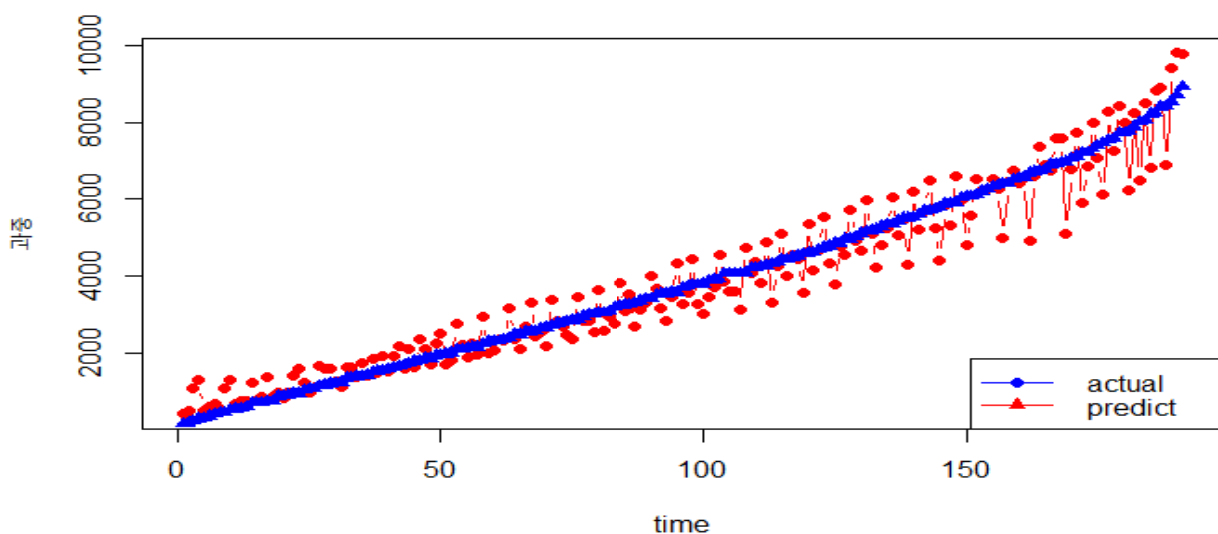
$$y_t = x_{t1} + x_{t2} + \dots + x_{ti}, \quad y_t = t\text{시점 생산량}, \quad x_{ti} = t\text{시점 } i\text{생육환경요인}$$

- 본 연구에서는 오이에 대한 생육환경 데이터 분석을 실시한 후 환경관리 및 생육환경에 대한 생산성 향상 핵심요인(vital few's)을 발굴하였다.
- 시설농업으로부터 측정되는 농가의 환경요인과 작물의 생육자료의 상관성을 비교하여 작물의 생육에 영향을 미치는 요인들을 여러 가지 통계적 분석기법으로 분석하였다.
- 빅데이터 분석 기법인 회귀분석, 랜덤포레스트 등 통계적 분석 기법을 활용하여 생육환경 데이터에 대한 분석 실시하였다. 시설농업으로부터 측정되는 농가의 환경요인 중 오이의 수확량에 영향을 미치는 인자를 도출하였다.
- 단계적 선택법을 사용한 다중회귀모형 적합 결과, 다음과 같은 다중회귀모형이 도출되었다.

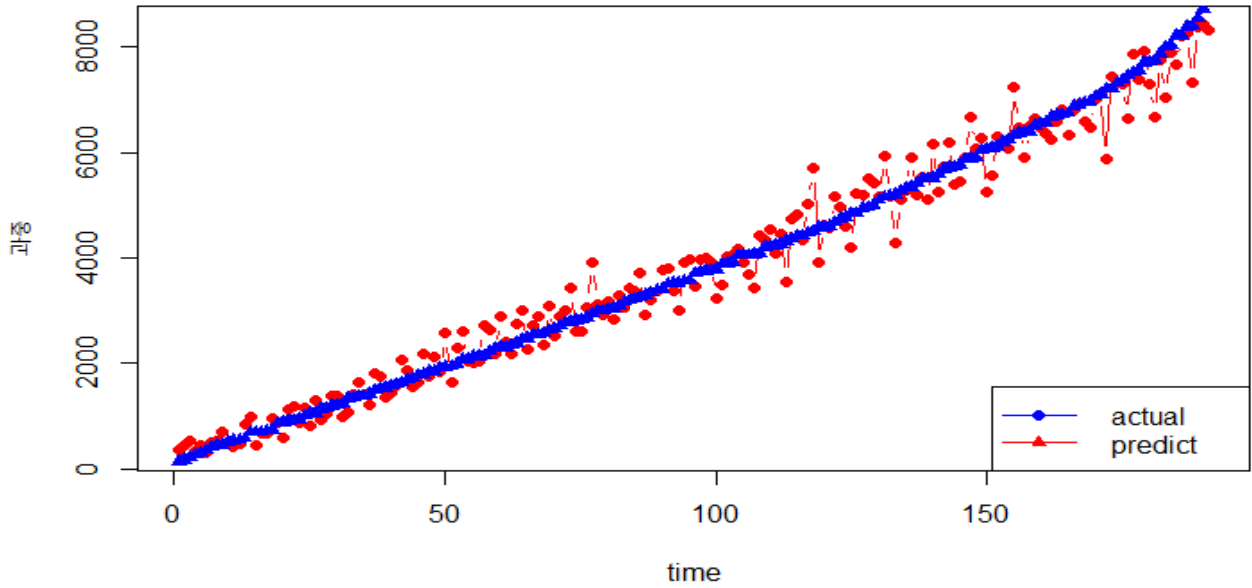
$$\text{과중}_t = -10258 + 22.72 * \text{누적 GDD.내부온도.상단부} - 85 * \text{최대.내부상대습도.하단부} - 13.57 * \text{주간평균.내부상대습도.하단부}$$

- 즉, 누적.GDD.내부온도.상단부, 최대.내부상대습도.하단부, 주간평균.내부상대습도.하단부의 3가지 환경변수가 수확량에 영향을 미치는 핵심요인(vital few's)임을 알 수 있다.
- 다중회귀모형에 대한 통계량은 다음의 표와 같고, 결정계수는 0.93로 매우 높은 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 단, 일부 농가에서는 다른 요인이 나타나며 각 농가의 환경요인이 다름을 의미한다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.94	0.93	204.5	<.001



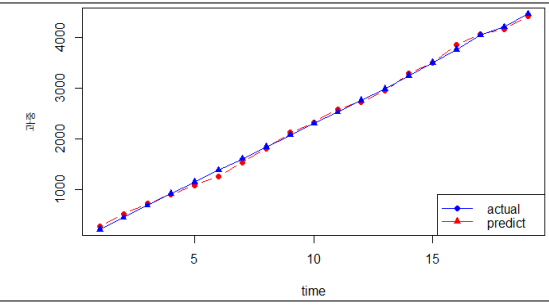
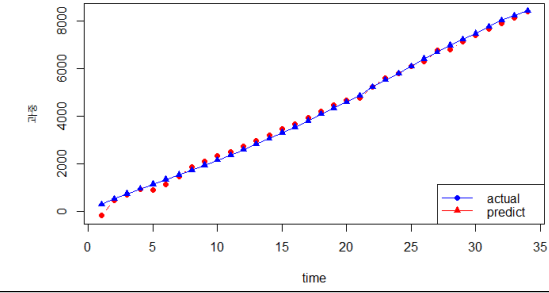
<오이 과중에 대한 실제값과 회귀분석 예측값의 비교>



<오이 과중에 대한 실제값과 랜덤포레스트 예측값의 비교>

○ 농가별로 분석한 결과, 과중에 영향을 주는 환경요인 핵심인자는 다음과 같이 추출되었다.

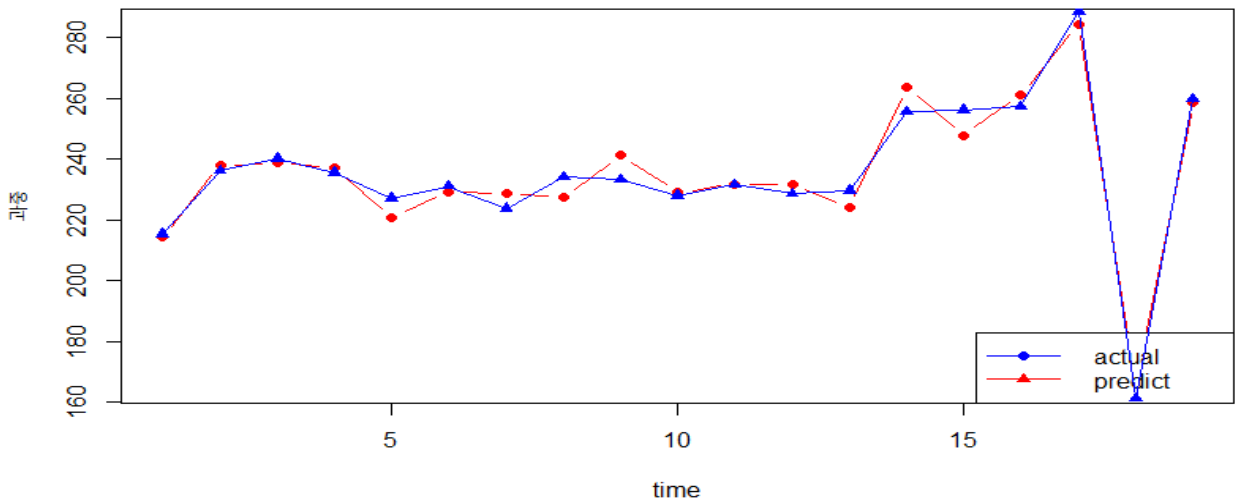
지역 농가	환경요인	R ²	실제값과 예측값의 비교
상주 농가1	누적.GDD.내부온도.상단부 최대.내부온도.중단부 최대.내부상대습도.상단부	0.99	
상주 농가2	누적.GDD.내부온도.중단부 누적.GDD.외부온도	0.99	
상주 농가3	누적.GDD.내부온도.상단부 최대.내부상대습도.하단부 최소.토양수분장력 최소.내부온도.상단부	0.99	

지역 농가	환경요인	R ²	실제값과 예측값의 비교
군위 농가1	누적.GDD.내부온도.중단부 최대.토양EC 평균.내부상대습도.중단부	0.99	
군위 농가2	누적.GDD.내부온도.상단부 최소.외부기압	0.99	

- 과중의 누적합을 사용하지 않고 분석을 수행한 결과는 아래와 같으며 주간평균.지면온도, 최대.지면상대습도, GDD.내부온도.하단부, 최대.내부상대습도.상단부, 최소.지면온도, 주간평균.외부상대습도 등 5가지 환경변수가 수확량에 영향을 미치는 핵심요인(vital few's)임을 알 수 있다.
- 하지만 모형이 설명하는 비율을 나타내는 설명력 R^2 는 높으나 과적합(overfitting)의 경향을 보였고 수확량 예측변수로 사용하는데 적절한지 검토가 필요하다.

$$\text{과중}_t = 2715 - 43.5 * \text{주간평균.지면온도} - 27.28 * \text{최대.지면상대습도} + 8.95 * \text{GDD.내부온도.하단부} + 62.3 * \text{최대.내부상대습도.상단부} - 9.15 * \text{최소.지면온도} - 1.05 * \text{주간평균.외부상대습도}$$

R^2	$adj R^2$	F	$p - value$
0.96	0.95	52.34	<.001

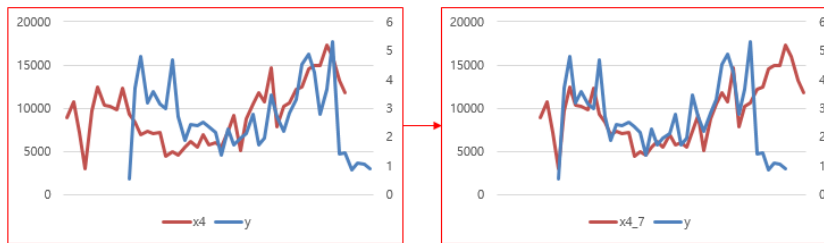


<오이의 단순 과중에 대한 실제값과 예측값의 비교>

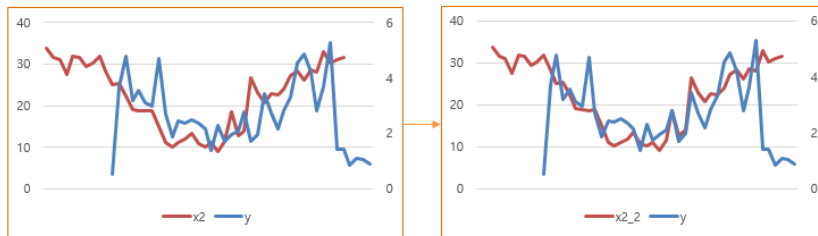
라. 빅데이터 분석 기법을 사용하여 생산성 향상 모형 개발을 위한 핵심인자 발굴

- 선행연구의 결과에 따라, 수확량에 영향을 미치는 생육환경요인을 찾기 위하여 각 생육환경요인에 대한 최적시차변수를 생성하였다.(나명환 등[2016], 나명환 등[2017])*
 - * 나명환 등(2016), '시설농업데이터를 활용한 토마토생육에 미치는 환경인자 분석'
 - * 나명환 등(2017), '스마트팜 데이터를 이용한 토마토 최적인자에 관한 연구'
- 분석을 실시하기 전, 수확량에 영향을 미치는 생육환경요인을 찾기 위해 각 생육환경요인에 대해 시점 m , $m=1,2,\dots,k$ 를 갖는 최적시차변수를 새롭게 생성하기 위한 방법으로 다음과 같은 시차이동 방법을 고려하였다.
- 그래프 패턴을 분석해본 결과, 생산량과 시차 이동한 설명변수의 패턴이 유사함에 착안하여 시차이동 변수를 생성하였다.

- X4 일주일 누적 일사량 :



- X2 외기최고온도 :



<수확량에 대한 시차이동 설명변수와의 관계>

- 생성된 변수는 다음과 같은 시차(lag)를 가지며 (red로 표시), 시차이동 후 가장 R^2 가 높은 변수가 새로운 최적시차변수가 된다.

		t-1	t-2	t-3	t-4	t-5	t-6	t-7	t-8	t-9	t-10
x1	Av.outside temp.24h	0.550837	0.4512375	0.3581438	0.5059177	0.4939519	0.3945261	0.2173688	0.148192	0.0938347	0.0451501
x2	Hight temp	0.351815	0.5392844	0.3866356	0.3872239	0.4769741	0.456419	0.3512148	0.2246944	0.0971917	0.0308237
x3	Low temp	0.582402	0.4142532	0.3905416	0.4627049	0.3749532	0.248088	0.1534391	0.1654784	0.0835209	0.0476701
x4	24h Radiation sum(J)	0.003476	0.0883622	0.2777597	0.2177074	0.2331195	0.4825787	0.6315658	0.2387262	0.0554403	0.0764932
x5	Av temp.24h	0.298308	0.2732229	0.2860023	0.3880635	0.2858334	0.4005791	0.3525091	0.116661	0.1224439	0.0148451
x6	Av temp.(day)	0.002645	0.0056905	0.126539	0.0697427	0.0370885	0.4081307	0.2476413	0.1245372	0.1774475	0.0981055
x7	Av temp.(night)	0.388138	0.238599	0.1983181	0.2703526	0.1850758	0.2962541	0.1000907	0.0550448	0.0636814	0.0015152
x8	Av hum.(day)	0.009148	0.1681734	0.420949	0.4186139	0.3109343	0.4074331	0.5335995	0.1672737	0.0323535	0.0099946
x9	Av hum.(night)	0.023006	0.0256093	0.2943982	0.3707183	0.1016688	0.0968495	0.280847	0.0707962	0.0057011	0.036976
x10	Max hum	0.005514	0.0481504	0.2759211	0.2770997	0.0711598	0.0421535	0.1825715	0.0588102	0.0021315	0.1121257
x11	Min hum	0.116234	0.2149675	0.3503556	0.3599666	0.3751561	0.5030836	0.5431419	0.0682697	0.0196791	0.0084638
x12	CO2 level day(ppm)	0.082216	0.0000138	0.0265932	0.1327696	0.0222693	0.0602799	0.0218361	0.011698	0.0282868	0.0129808
x13	Water (gift-driper)	0.013396	0.0267757	0.0971098	0.3613347	0.3828873	0.0731415	0.0409111	0.0040618	0.0008067	0.0048014
x14	Water (gift-no)	0.09281	0.2686707	0.4719777	0.3196656	0.3420192	0.5294374	0.4643914	0.2418043	0.0551619	0.0226548
x15	Water (gift)	0.094225	0.2603351	0.4858282	0.4158051	0.4299615	0.5363975	0.4679973	0.2141381	0.0388343	0.0218661
x16	Water (gift)/m'	0.094221	0.2603546	0.4857978	0.4157874	0.4299457	0.5363927	0.4680196	0.2141463	0.0388303	0.0218697
x17	Water (drain)/slab	0.09263	0.2754289	0.4917058	0.3969046	0.2793319	0.3072614	0.3124656	0.1812389	0.0052212	0.0067442
x18	Water (drain)/m'	0.092632	0.2754308	0.4916978	0.3968964	0.2793404	0.3072599	0.3124588	0.1812414	0.0052205	0.0067435
x19	Water (cc/J)/m'	0.28775	0.3391387	0.3354132	0.3444503	0.3736673	0.1306809	0.004962	0.0164589	0.0169135	0.0208644
x20	Water uptake/m'	0.237527	0.189457	0.0933385	0.1369336	0.3413325	0.128551	9.273E-05	0.0005429	0.0356243	0.0145602
x21	Water drain (cc/J)/m'	0.148393	0.2259001	0.3030501	0.2539178	0.1130766	0.0417981	0.0081606	0.0284919	0.0013794	0.0934945
x22	Water (drain/gift)%	0.018893	0.0883318	0.1553073	0.090158	0.003663	4.149E-05	0.0027157	0.0253722	0.0056109	0.1294633

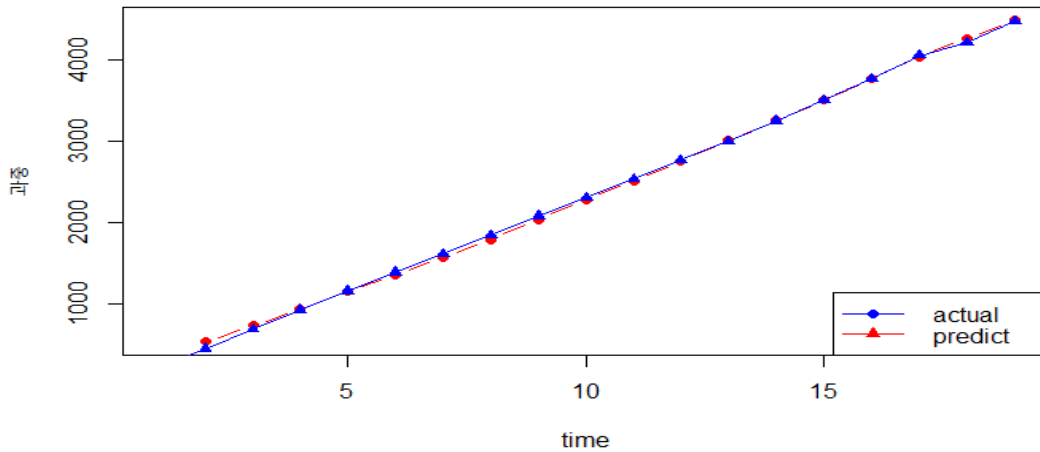
<시차이동 변수 생성 결과>

- 본 연구에서는 최종적으로 생육환경요인을 변형한 최적시차변수(시차이동변수)를 이용하여 생육환경 데이터 분석을 실시하였다. 단계적 선택법을 사용한 다중회귀모형 적합 결과, 다음과 같은 다중회귀모형이 도출된다.

$$\text{과중}_t = 358.2 - 36.43 * \text{누적.GDD.내부온도.상단부}_{t-1}$$

- 즉, 1시차전 누적.GDD.내부온도.상단부의 환경요인이 수확량에 영향을 미치는 핵심요인(vital few's)으로 나타났다.
- 본 분석의 농가의 데이터에서 1시차는 3일 간격으로 구성되어 있다.
- 다중회귀모형에 대한 통계량은 다음의 표와 같고, 결정계수는 0.99로 매우 높은 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 단, 일부 농가에서는 다른 요인이 나타나며 각 농가의 환경요인이 다를 수 있다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.99	0.99	2163	<.001



<오이 과중에 대한 실제값과 예측값의 비교>

- 농가별로 살펴보면, 과중에 영향을 주는 환경요인 핵심인자는 다음과 같다.

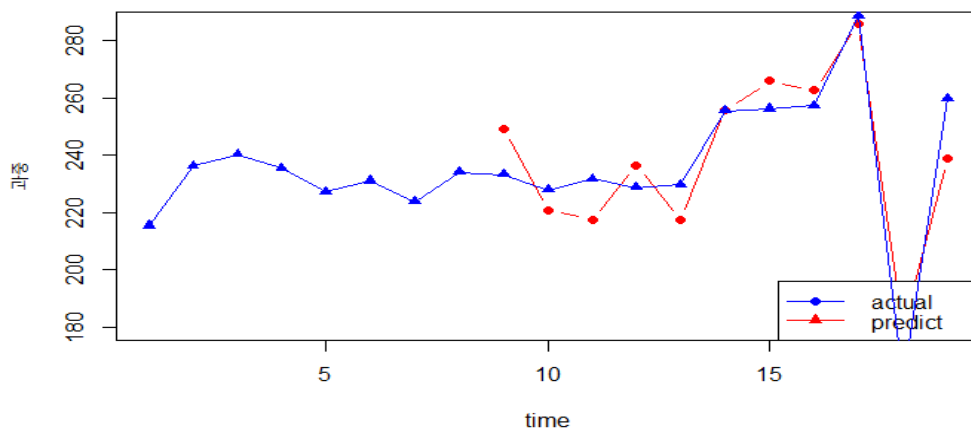
지역 농가	환경요인	최적시차	R^2	예측그래프
상주 농가1	누적.GDD.내부온도.상단부 최대.내부상대습도..하단부	3시차전 1시차전	0.99	
상주 농가2	누적.GDD.내부온도.상단부 주간평균.지면상대습도 평균.지면온도	4시차전 6시차전 1시차전	0.99	

지역 농가	환경요인	최적시차	R ²	예측그래프
상주 농가3	누적.GDD.지면온도 누적.GDD.외부온도 야간평균.지면상대습도 최소.토양수분장력	8시차전 1시차전 8시차전 8시차전	0.99	
군위 농가1	누적.GDD.내부온도.상단부 최소.외부상대습도.하단부 최소.지면온도	6시차전 8시차전 1시차전	0.99	
군위 농가2	누적.GDD.내부온도.상단부 최대.내부상대습도.하단부 GDD.내부온도.상단부	1시차전 6시차전 7시차전	0.99	

○ 과중의 누적합을 사용하지 않고 분석을 수행한 결과는 아래와 같으며 8시차전 최대.외부상대 습도, 평균.외부상대습도의 환경요인이 수확량에 영향을 미치는 핵심요인(vital few's)으로 나타났다. R^2 는 높으나 과적합(overfitting)의 경향을 보였고 수확량 예측변수로 사용하는데 적절한지 검토가 필요하다.

$$\text{과중}_t = 2023 - 26.023 * \text{최대.외부상대습도}_{t-8} - 10.917 * \text{평균.외부상대습도}_{t-8}$$

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.97	0.95	68.07	<.001



<오이의 단순 과중에 대한 실제값과 예측값의 비교>

제4절 2019~2020년 재배작기 오이 재배 영농기법 모델 연구

1. 상주지역 백다다기오이 빅데이터 수집 및 분석 결과

가. 정식 전 오이 묘소질

- 백다다기 오이 농가들의 대부분이 육묘장으로 부터 모종을 구입하여 이용하고 있으며, 묘소질에 따라 오이의 초기 수량 및 품질에 차이가 발생하기 때문에 구입시 가격보다 모종의 건전성과 접목상태를 고려하는 것이 필요하다.
- 토양병(덩굴썩음병 등)과 급성위조 등을 막고, 저온신장성의 강화, 초세 유지 등의 이점이 있어 접목모종을 주로 이용하고, 대목으로는 호박 중에서 저온신장성과 초세 강화에 가장 좋은 흑종 호박을 이용한다.
- 정식에 알맞은 모종의 크기는 재배 작기에 따라 다르지만 대체로 본엽 3~5매로 파종 후 20~30일 전후의 모종으로 알려져 있다.
- 묘소질 조사 방법은 각 농가별 10주씩 조사하였고, 접수, 대목, 뿌리길이, 접수직경, 대목직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 조사하였다. 엽면적은 완전 전개한 잎(1cm 이상)을 채취하여 엽면적 측정기(LI 1400, LI-COR, USA)로 측정하였다. 지상부(접수+대목)와 지하부의 생체중, 건물중, 건물률, S/R(지상부 건물중/지하부 건물중), 조직충실도(건물중/지상부 길이)를 조사하였다. SPAD 값은 엽록소함량 간이 측정기(SPAD-520, Minolta, Japan)로 측정하였다.
- 현장에서 조사한 백다다기 오이 구입 모종의 형태적 특성은 지상부(접수+대목) 전체 길이가 15~18cm 내외이며 전년도 보다 작은 경향이였다. B 농가가 가장 작은 묘를 이용하였고 노균병이 발생한 모종을 정식하게 되어 전년도와 다른 결과를 나타내었다.
- 잎은 완전 전개한 잎을 기준으로 2장 정도이며, 엽록소함량은 큰 차이가 없었으나, 엽면적은 엽장과 엽폭의 차이로 인해 B 농가가 32.9cm²로 가장 적었다.
- 형태적인 묘소질에 따른 차이는 자가 육묘를 하지 않고 구입해서 정식하기 때문에 원하는 시기에 일정한 품질의 규격묘를 받기가 어려워 발생한 결과로 생각된다.
- 건물율은 6.5~7.8% 내외이며, S/R율은 5.4~10 정도로 농가 간에 큰 편차가 발생하였고, 조직충실도 또한 19.3~26.2mg/cm로 차이가 있었다.
- 일반적으로 과채류 묘의 품질은 지상부와 지하부의 건물중 비율을 의미하는 T/R률과 전체 건물중에 지상부의 길이를 나눈 값으로 조직충실도를 나타내는데, T/R율이 낮을수록 조직충실도가 높을수록 묘의 품질이 우수하다고 하였다.
- 어린 모종일수록 뿌리가 밑으로 신장하려는 경향이 있고, 노화된 모종일수록 뿌리가 엉켜서 옆으로 뻗는 경향이 있어, 정식 초기 지온과 물 관리로 뿌리가 땅속 깊이 들어가도록 유도하고, 초세를 오랫동안 유지하려면 되도록 어린 모종을 정식하는 것이 좋은 편이라고 알려져 있다.

<백다다기오이 접목묘 생육특성(2019)>

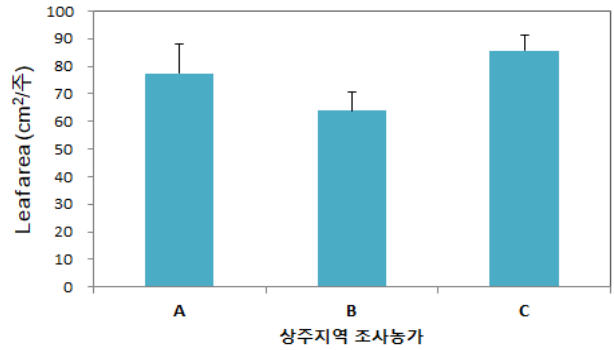
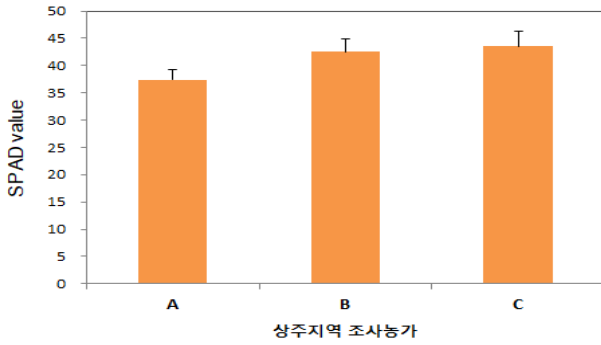
농 가	접수길이 (cm)	대목길이 (cm)	접수직경 (mm)	대목직경 (mm)	배축직경 (mm)
A	12.9±1.1	5.1±0.4	3.7±0.3	4.5±0.3	4.8±0.5
B	10.8±0.4	4.5±0.6	3.0±0.3	4.2±0.4	4.4±0.6
C	13.4±1.0	4.9±0.6	4.0±0.6	4.1±0.3	3.5±0.2

※ Mean±S.E.

<백다다기오이 접목묘 엽 특성(2019)>

농 가	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	장폭비 (엽장/엽폭)	엽 수 (매)
A	8.6±0.7	8.9±0.8	1.0±0.0	2.0±0.0
B	7.0±0.5	7.4±0.6	0.9±0.1	2.0±0.0
C	8.4±0.5	8.5±0.4	1.0±0.0	2.0±0.0

※ Mean±S.E.

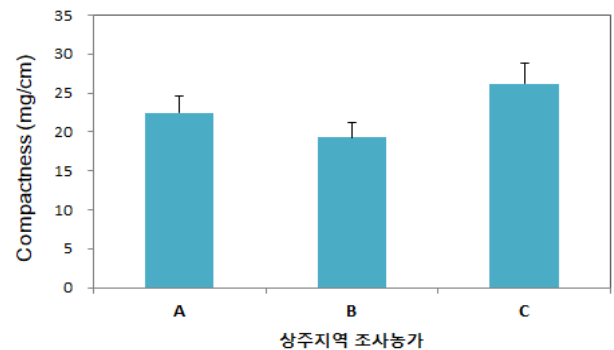
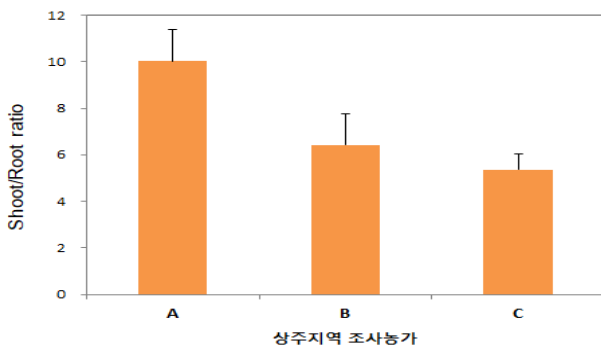


<백다다기오이 접목묘 SPAD 값과 엽면적 지수(2019)>

<백다다기오이 접목묘 건물생산능력(2019)>

농가	생체중 (g/주)		건물중 (g/주)		건물율 (%)	
	지상부	지하부	지상부	지하부	지상부	지하부
A	5.2±0.5	0.5±0.1	0.37±0.03	0.029±0.004	7.2±0.4	5.6±0.4
B	4.0±0.3	0.6±0.1	0.26±0.02	0.035±0.009	6.5±0.3	5.4±0.6
C	5.5±0.3	1.0±0.1	0.42±0.05	0.055±0.006	7.8±0.7	5.4±0.3

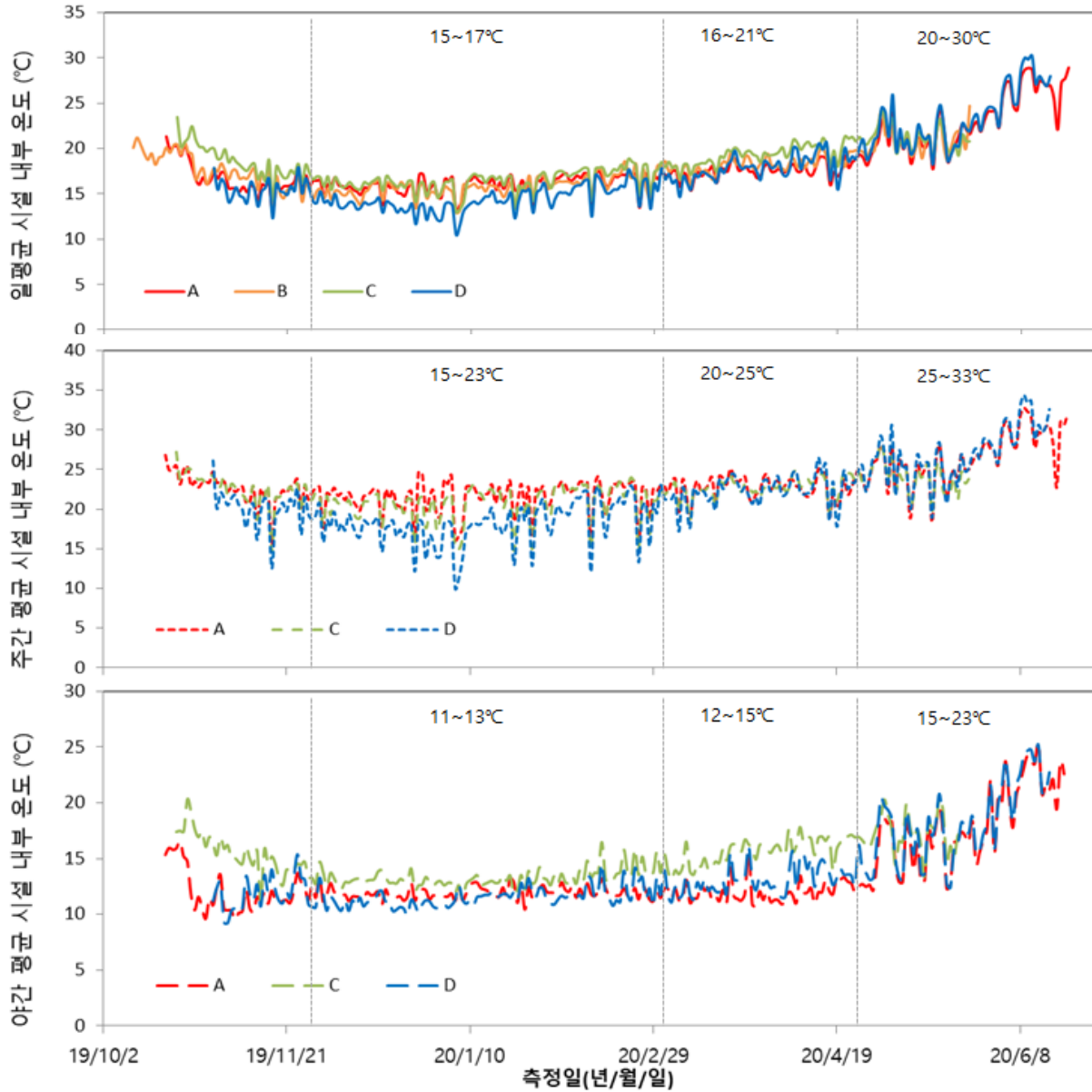
※ Mean±S.E.



<백다다기오이 접목묘 S/R율과 조직충실도(2019)>

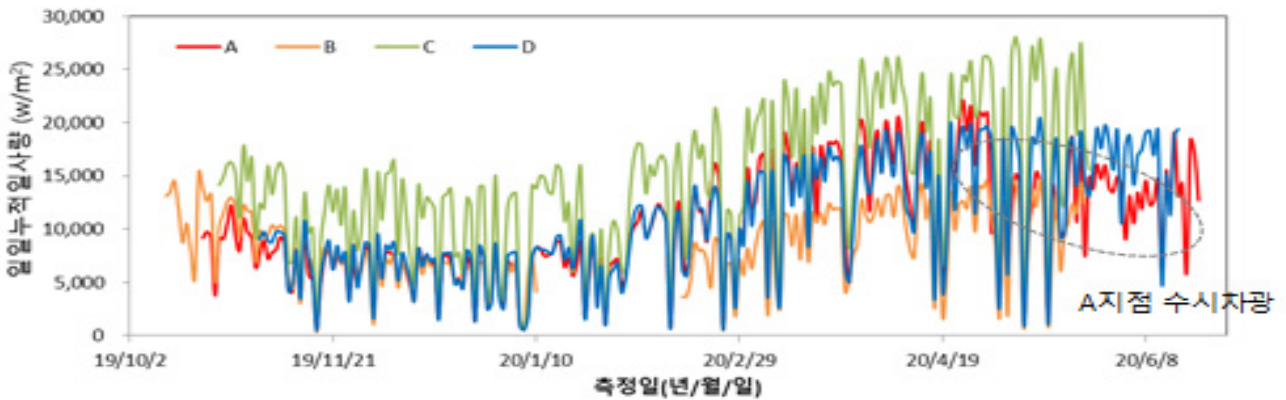
나. 시설 환경

- 연동하우스 시설 내부의 환경을 알아보기 위해 2019년 10월부터 2020년 6월까지 9개월 간의 시설 내부 환경을 4 농가에서 관측하였다.
- 시설 내부 지상부 환경 측정을 위해 오이 선단부인 높이 2m 지점에 일사량(PYR, ICT, AU), 온습도(ATMOS 14, ICT, AU), 이산화탄소(aM-21A, Wisensing, KOR) 센서를 설치하고, 지하부 환경 측정을 위해 깊이 15cm 지점에 지온(TEROS12, ICT, AU) 센서를 매설하고, 1 시간 간격으로 데이터를 수집하였다.
- 시설 내부 일평균온도는 겨울철 15~17°C 내외, 봄철 16~21°C 내외를 유지하였고, 5월 이후 20~30°C 매우 높아지는 경향이였다. 주간 평균기온은 겨울철 15~23°C 내외, 봄철 20~25°C, 여름철 25~33°C를 유지하였고 야간 평균기온은 겨울철 11~13°C, 봄철 12~15°C 내외로 잘 유지되었으나, 5월 이후 급격히 상승하여 23°C 높아졌다. 그 중 D 농가는 겨울철 주간온도 관리가 다른 농가에 비해 2~5°C 정도 낮게 유지되어 일평균 기온 또한 낮은 기온을 유지하였다.
- 오이는 비가 오는 시기에 생육하는 원산지의 습성에서도 알 수 있듯이 습도가 중요한 생육환경 조건 중 하나이다. 특히 건조에 민감하고, 습도가 너무 낮으면 잎과 줄기의 생육이나 과실의 비대가 현저히 억제된다. 오이에 알맞은 습도는 주간 70~80%, 야간 90% 정도로 다른 과채류 비해 상당히 높은 편이다.
- 백다다기 오이 상주지역의 겨울철 일평균 상대습도는 80~90%이고, 봄철 이후 60~80%를 유지하였다. 주간 평균 상대습도는 겨울철 70~90%, 봄철 이후 50~80% 정도로 기온상승으로 인해 낮아지는 경향이였다.
- 오이 정식 이후부터 재배가 종료되는 기간까지의 일일누적일사량을 확인한 결과, C 농가가 다른 농가에 비해 광 유입이 많은 편이고, A와 D 농가는 비슷한 경향이였으나, 5월 이후 A 농가는 과도한 일사량을 차단하여 내부 온도를 낮추기 위해 보온 커튼을 이용하여 차광을 실시하고 있어 일사량이 매우 낮은 것을 확인할 수 있었다.
- 재배 농가별 시설유형(2중 또는 3중)과 비닐의 종류, 사용연차가 달라서 일일 누적일사량 값이 1.4~1.8배 정도 큰 차이가 있는 것을 확인할 수 있었고, 특히 겨울철 오전 중에 광합성량을 최대로 하는 조건을 만들기 위해서는 시설 내부 광 환경을 개선하는 방법을 모색하는 것이 필요할 것으로 생각된다.
- 오이는 지온에도 비교적 민감하여 12°C 이하에서는 생육이 정지되므로 적어도 15°C 이상을 유지시켜야 하며, 25°C 이상이 되면 줄기와 잎이 웃자라게 되고 노화를 촉진시켜 재배기간이 단축된다고 알려져 있다.
- 2019-2020년 현장에서 전 생육기간 동안 측정한 시설 내부 일평균 지온 관리는 겨울철(12~2월) 18~20°C, 봄철(3~4월) 20~22°C, 여름철(5~6월) 22~27°C 내외이며, 여름철에는 과도한 일사량 유입으로 인하여 지온이 25°C 이상으로 유지되어 지하부의 뿌리 활력이 감소하고, 식물체 노화를 촉진시키므로 지온을 떨어뜨리기 위한 노력이 필요할 것으로 생각된다.



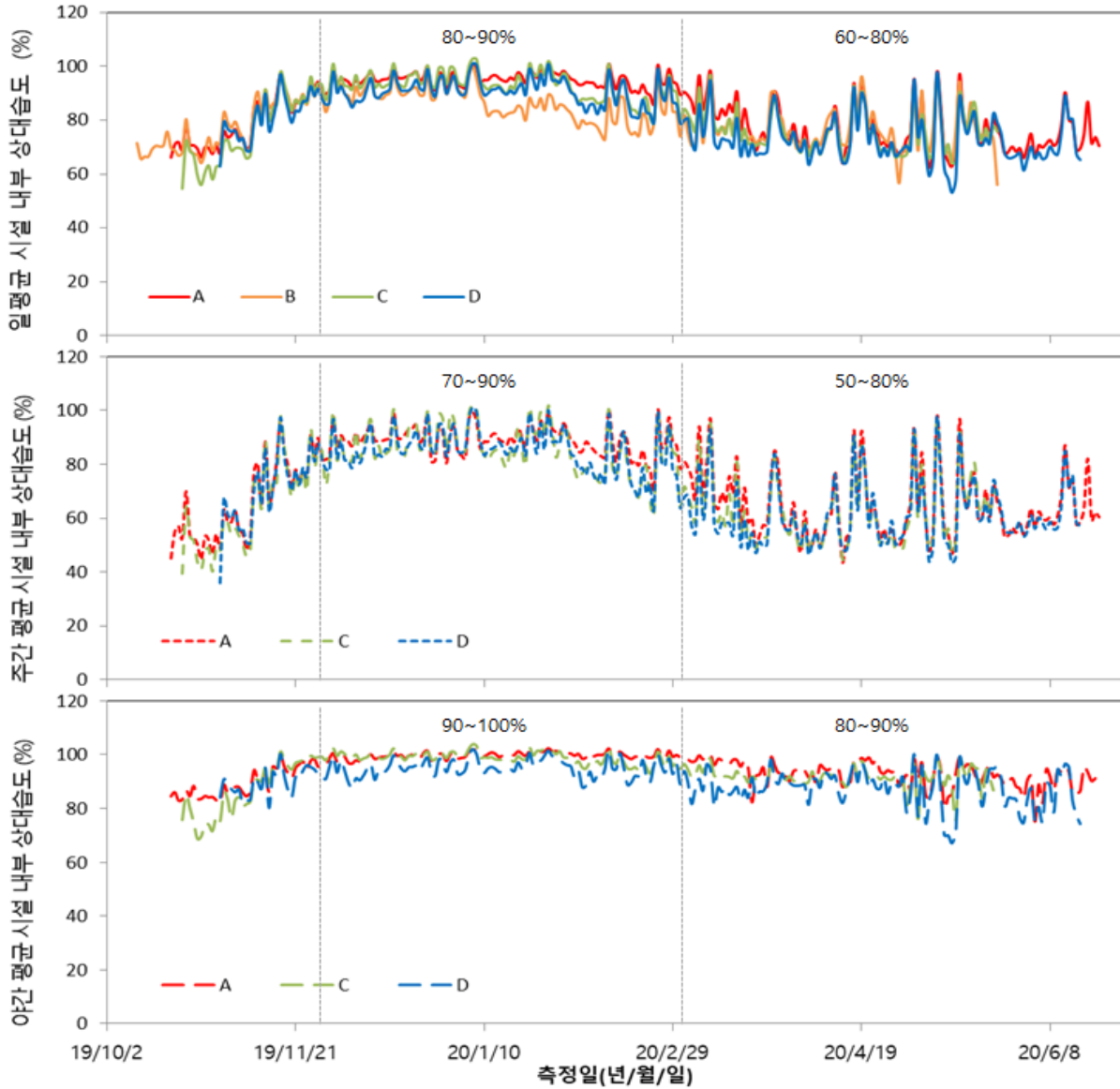
※ 온도 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 온도 변화>



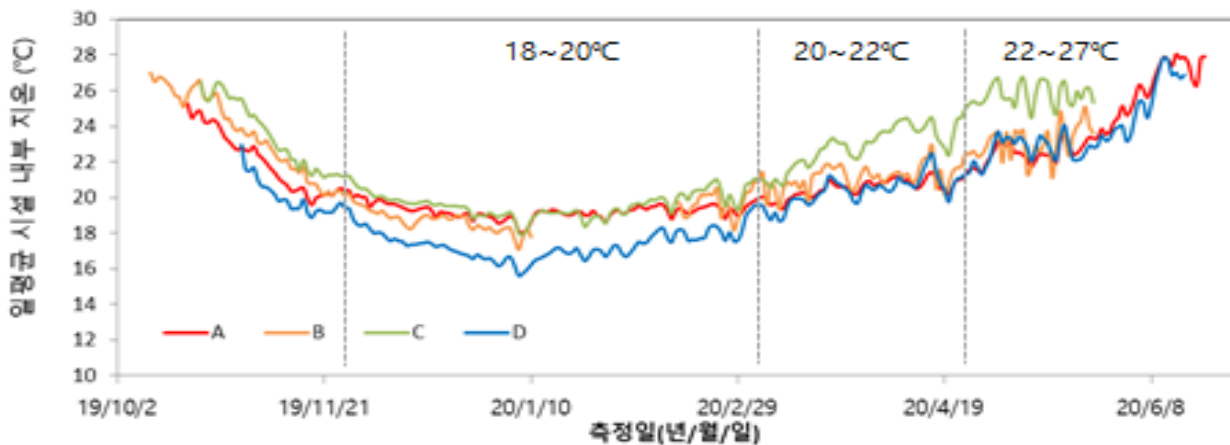
※ 일사량 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 일일누적 일사량>



※ 상대습도 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

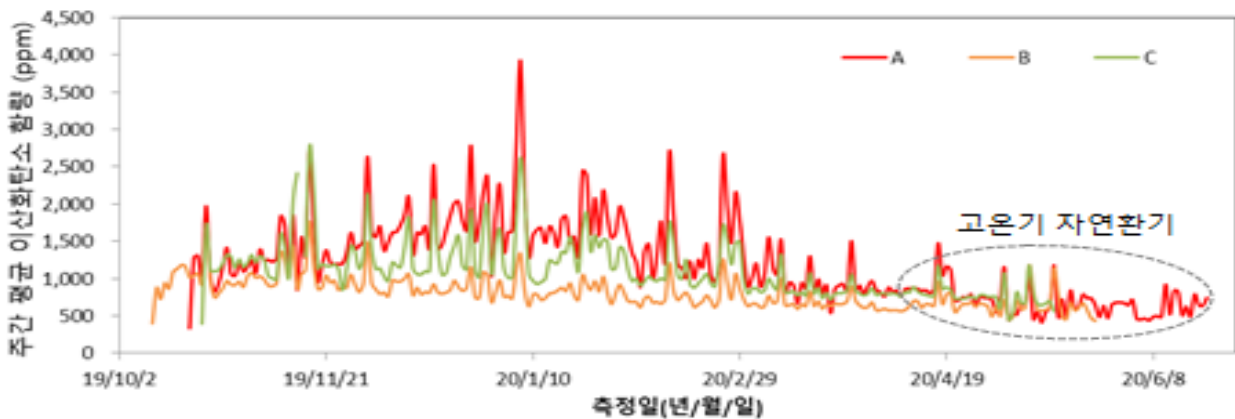
<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 일평균 상대습도 변화>



※ 지온 측정지점 : 지표면 15cm 깊이(뿌리 분포 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 일평균 지온 변화>

- 겨울철 하우스 재배 시에는 시설 내 탄산가스 농도가 생육의 제한요인이 되는 경우가 많기 때문에 액화탄산, 탄산가스발생기 등을 이용한 탄산가스 시비가 보편화되어 있다.
- 일반적인 시용 시간은 해가 뜬 후 30분부터 환기하기까지의 2~3시간, 환기하지 않을 경우에도 3~4시간 정도하고, 시용농도는 맑은 날 900~1,200ppm, 흐린 날 500~600ppm으로 하며, 비오는 날은 시용하지 않는다.
- 경북 상주지역에서는 탄산가스 시비를 하고 있지 않음에도 토양 속에 벚짚을 많이 사용하고 있어 측창 환기를 시작하는 5월 이전까지는 주간의 이산화탄소 함량을 800~1,200ppm으로 높게 유지되는 편이고, 4월 이후 자연환기를 많이 실시하게 되면 내부 이산화탄소 함량은 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

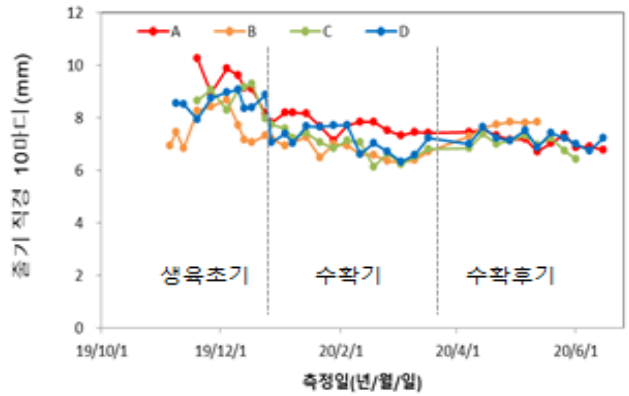
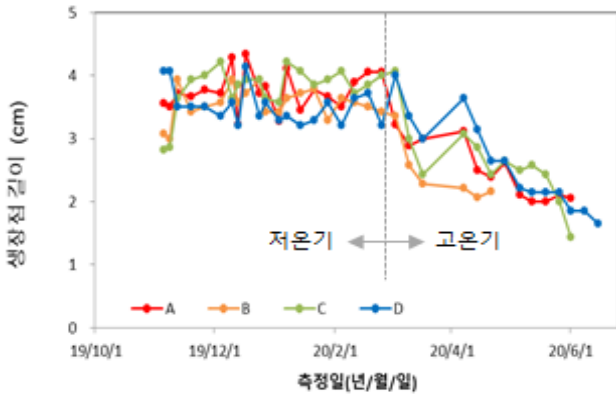
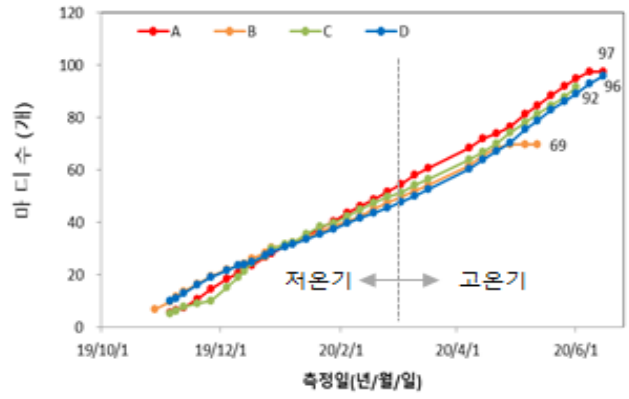
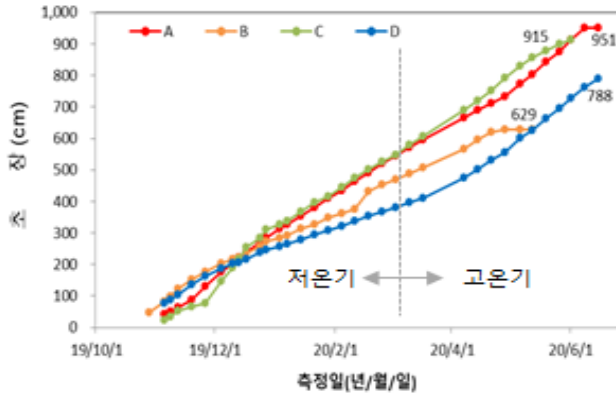


※ 이산화탄소 측정지점 : 지표면 1m 높이(과실 착과 결실 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 주간 평균 이산화탄소 함량 변화>

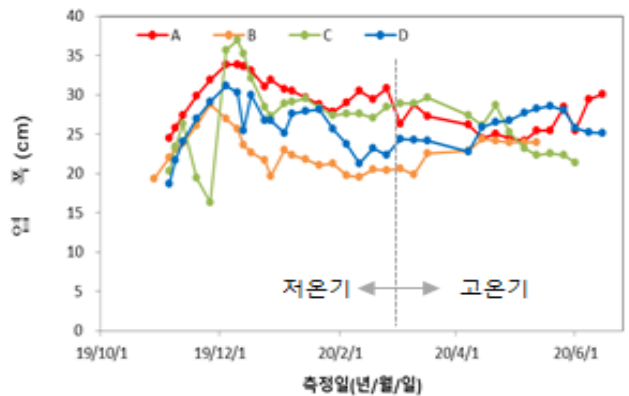
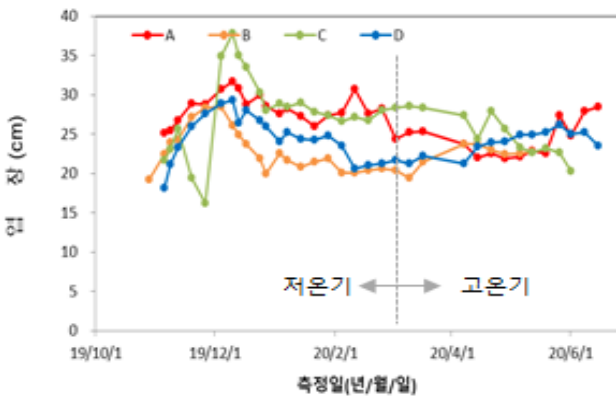
다. 생장 변화

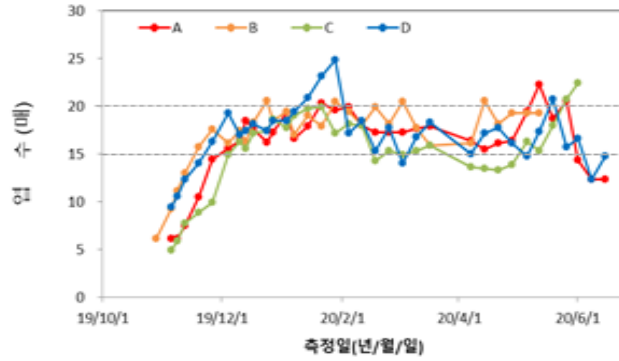
- 정식 3주 후부터 수확을 종료할 때까지 각 농가별로 식물체 10주씩을 선정하고, 초장, 마디수, 줄기직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 1주일 간격으로 조사하였다. 수확한 과실무게는 3일 간격으로 측정하였다. 초장은 지표면에서 생장점까지의 길이를 측정하였고, 마디수는 절간장이 2cm 이상인 마디까지 유효한 마디수를 측정하였고, 줄기직경은 생장점 아래로 10번째 마디 아래 부위의 굵기를 측정하였다. 엽장과 엽폭 또한 10번째 마디 앞의 길이와 너비를 측정하였고, 엽수는 3cm 이상의 완전 전개 엽의 수를 조사하였다.
- 길이생장을 조사한 결과, 초장은 A 농가가 951cm로 가장 길었고, 마디수 또한 97개로 가장 많았으며, B지점은 병 발생으로 인해 생육이 불균일하여, 수확을 조기에 종료하였다.
- 약 8개월의 재배기간 동안 안정적인 재배조건에서는 전체 식물체 길이 9~10m 내외이고, 마디수 92~97개이며, 마디길이는 10~12cm 내외이고, 저온기의 생장점 길이는 4cm 내외이나 고온기로 갈수록 2cm 내외로 짧아지는 경향이였다.
- 생장점 아래로 10번째 마디의 줄기직경 또한 생육 초기에는 9mm 내외였으나, 과실을 수확하는 시점부터는 가늘어지기 시작하여 수확종료까지 7~8mm 내외를 유지하였다.
- 불균일한 생육의 원인은 과실의 결실관리 방법, 병충해 발생 정도, 환경 조절 등의 영향을 많이 받으므로 정밀 재배관리에 주의해야 한다.



※ 생장점 길이 : 최상단부(생장점)~완전 전개 1엽(3cm 이상) 사이 길이, 줄기직경 : 생장점 아래로 10번째 마디의 2cm 아래 부위
<2019-2020년 전 생육기간 동안 매주 조사한 길이 성장 변화>

- 생장점 아래로 10번째 잎의 성장특성은 엽장과 엽폭 모두 20~30cm 내외로 비슷하게 성장하였고, 재배 후기로 갈수록 잎의 크기가 작아지는 경향을 나타내었으며, 엽수는 주지 1개 만을 유인 재배하기 때문에 15~20장 내외로 관리하였다.
- 현장에서는 연동하우스 시설의 3m 내외로 낮은 측고와 토경재배시 유인작업, 노엽의 병충해 발생 등의 문제로 인해 많은 엽수를 확보하지 못하는 상황이었다.



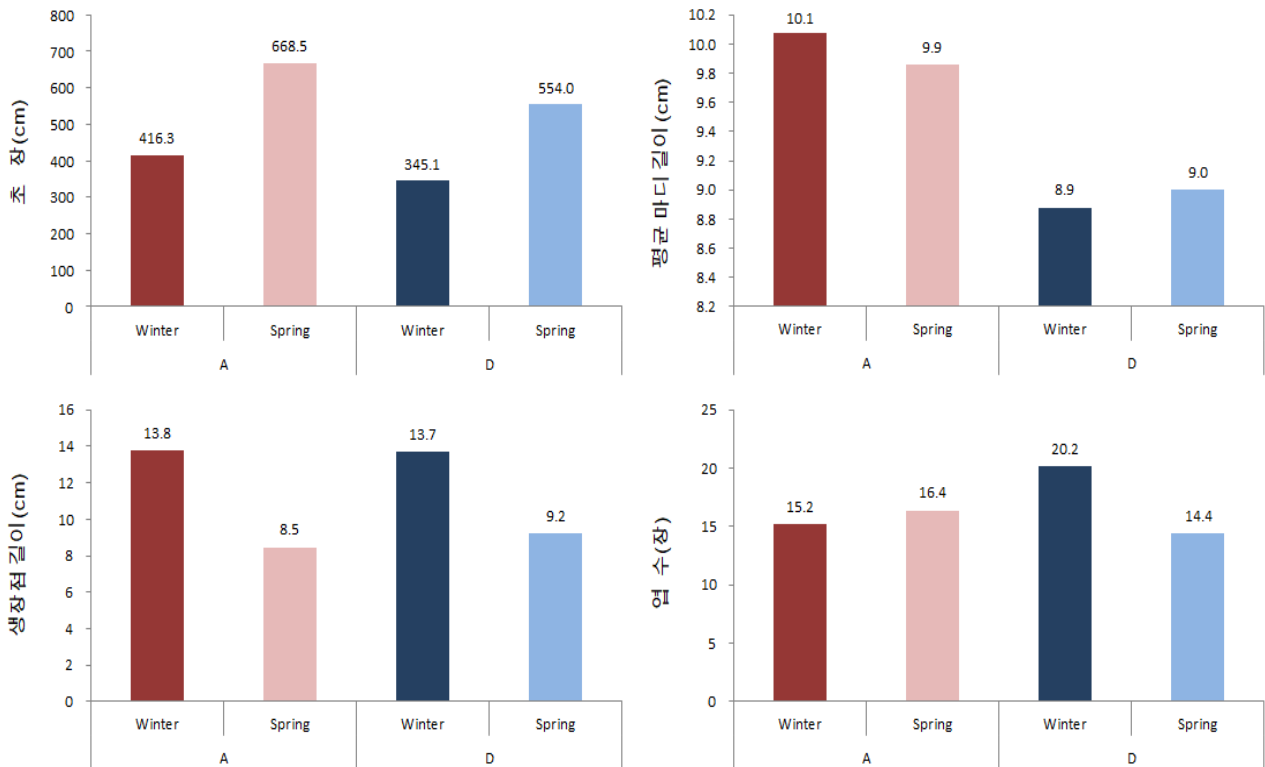


※ 엽 측정지점 : 생장점 아래로 10번째 마디에 부착된 잎

<2019-2020년 전 생육기간 동안 매주 조사한 잎 성장 변화>

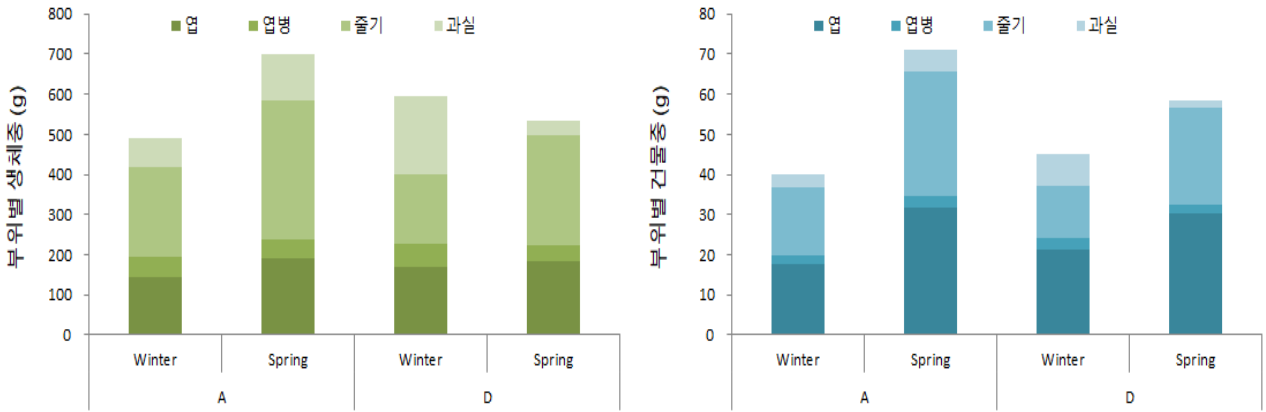
라. 계절별 우수농가(A)와 일반농가(D)의 성장 비교

- 우수재배자인 A 농가와 일반재배자인 D 농가의 지상부 생체 변화를 정밀하게 분석하기 위해 겨울철(2020. 1. 31)과 봄철(2020. 4. 17)에 식물체를 5주씩 채취하여 초장, 평균 마디길이, 생장점길이, 엽수를 조사하였다.
- 겨울철 A 농가의 초장은 416.3cm이고, D 농가보다 71.2cm 더 길었고, 봄철에는 668.5cm이고, D 농가보다 114.5cm 더 길었다. 평균 마디길이는 A 농가는 겨울철과 봄철 모두 9.9~10.1cm 정도이고, D 농가는 8.9~9.0cm 정도로 마디가 짧았다. 생장점의 길이는 두 농가 모두 계절에 따른 차이로 겨울철 13.7~13.8cm, 봄철 8.5~9.2cm로 고온기로 갈수록 짧아지는 경향이였다. 엽수는 A 농가에서는 전 생육기간 동안 15.2~16.4장 정도로 유지되었고, D 농가에서는 겨울철에는 20.2장으로 많은 엽수를 확보하였지만, 그 이후 과다 결실로 인해 세력이 약화되어 노균병이 발생하여 봄철에는 14.4장을 유지하였다.



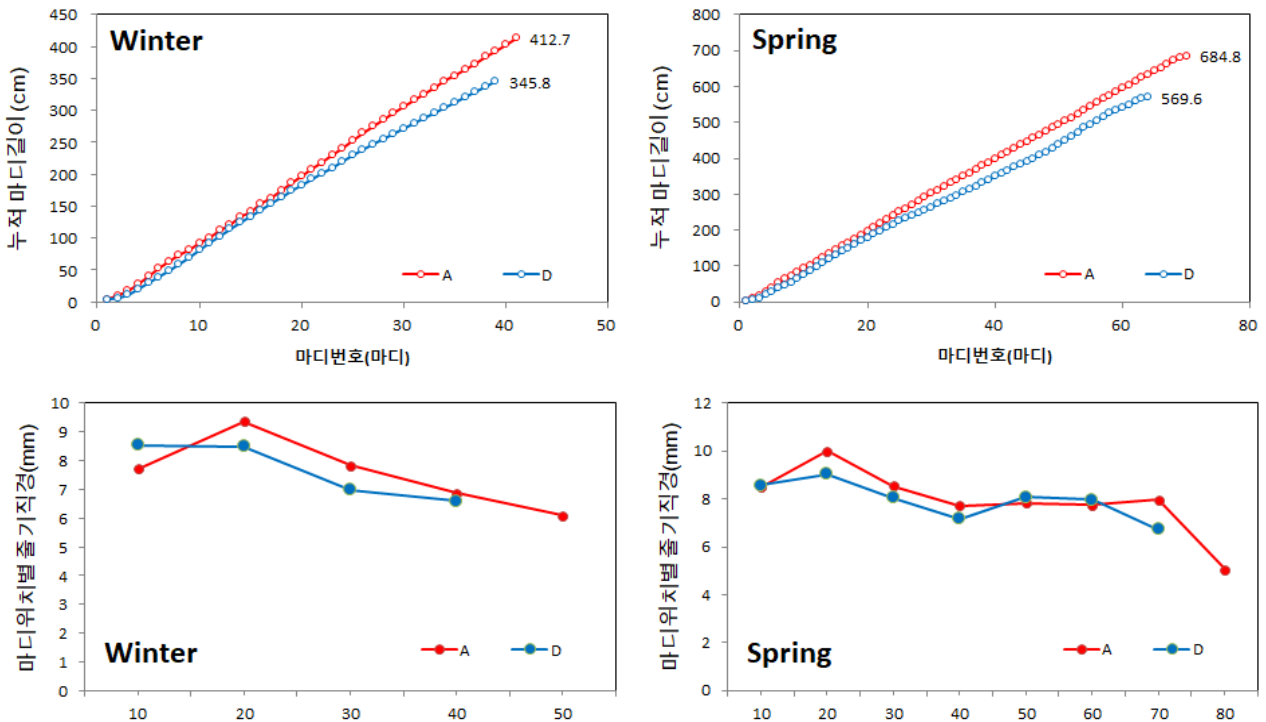
<계절별 우수농가(A)와 일반농가(D)의 지상부 길이성장 비교>

○ 지상부 전체 식물체의 부위별 생체중과 건물중을 분석한 결과, A 농가에서는 겨울철에는 엽과 줄기의 비중이 높은 편이었고, 봄철에는 줄기의 비중이 급격히 늘어나고 엽과 과실의 비중도 높아지는 편이었으며, 건물중도 비슷한 경향을 나타내었다. D 농가에서는 겨울철 많은 엽의 확보로 인해 줄기 비중보다는 엽의 비중이 높은 편이었고, 과다 결실로 인해 과실의 비중도 높은 편이었으나, 봄철에는 줄기 비중이 늘어나기는 했으나 과실은 줄어들었다.



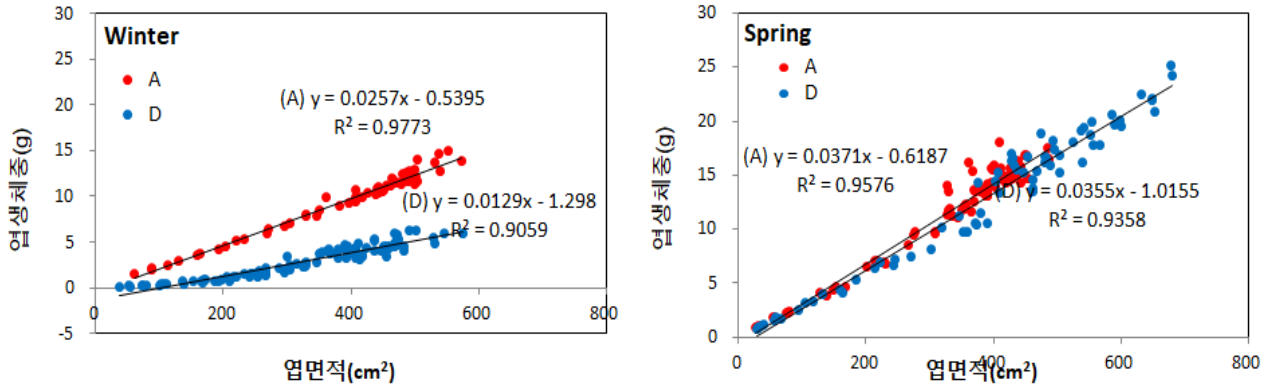
<계절별 우수농가(A)와 일반농가(D)의 지상부 부위별 생체중과 건물중 비교>

○ 누적 마디별 길이 생장을 보면 A 농가는 마디별 생장이 균일하게 자란 것을 확인할 수 있고, D 농가에서는 30번째 마디 이후부터 생육이 더딘 것을 확인할 수 있다. 봄철에는 재배환경의 양호한 조건으로 인해 두 농가 모두 균일한 생장을 이루고 있었다. 줄기직경은 마디번호가 올라갈수록 가늘어지는 것을 볼수 있었고, 겨울철 보다는 봄철이 더욱 가늘어지는 것을 알수 있었다.

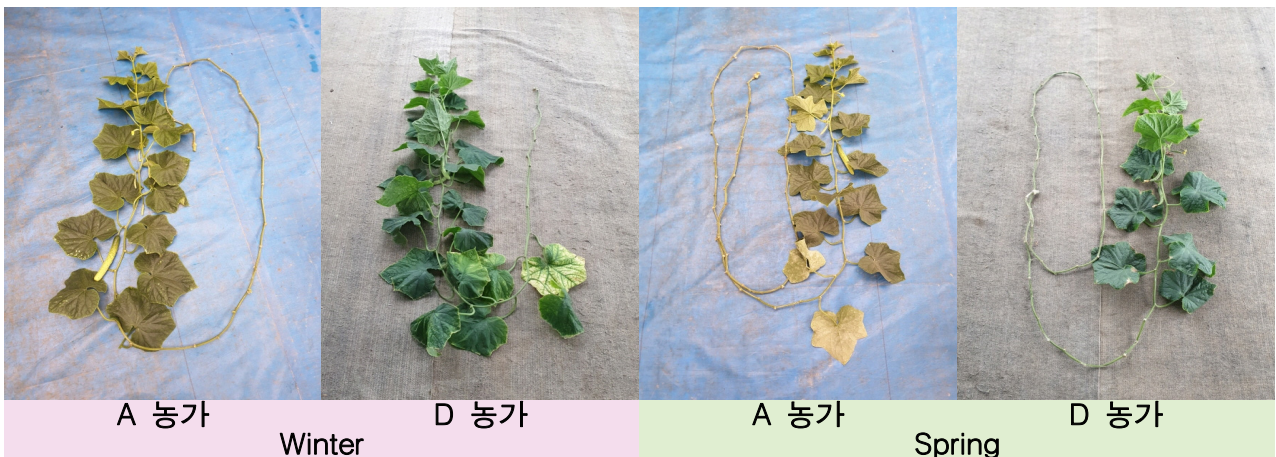


<계절별 우수농가(A)와 일반농가(D)의 마디위치별 생장 비교>

- 엽면적과 엽 생체중과의 상관관계를 비교한 결과, A 농가는 겨울철 분석에서 엽면적이 넓고 생체중이 무거운 것으로 나타났고, D 농가는 엽면적은 넓으나 생체중이 가벼운 것으로 나타났다. 봄철에는 두 농가 간에 엽면적과 엽생체중의 상관관계사의 R^2 값은 큰 차이가 없었으나 D 농가는 엽의 크기가 상위엽과 하위엽 간에 편차가 크게 발생하였다. 통상적으로 엽의 충실도를 생체중으로도 비교가 가능한 것으로 알려져 있다.

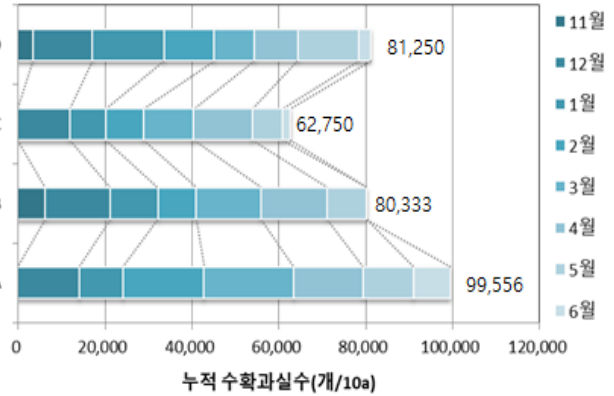
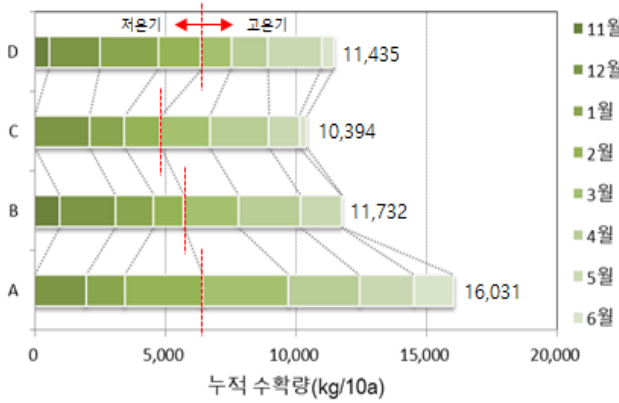


<계절별 우수농가(A)와 일반농가(D)의 엽면적과 엽생체중의 상관관계>

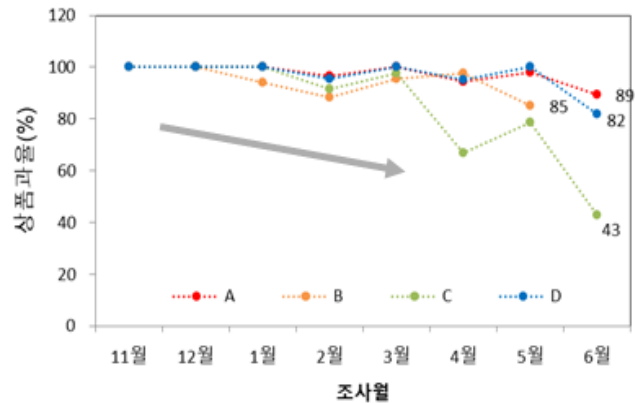
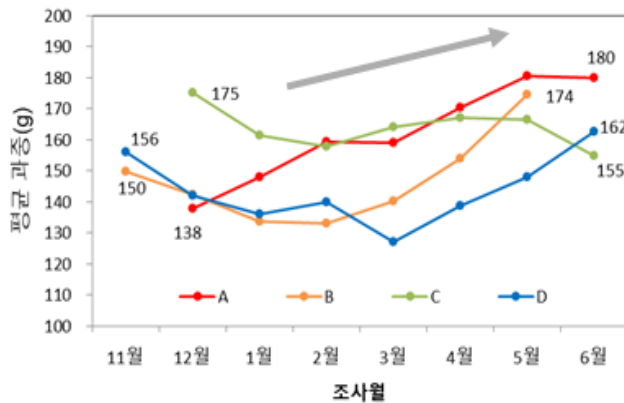


마. 수확량 변화

- 총수확량은 A 농가가 10a 당 16,031kg으로 가장 많았고, 다음으로 B 농가 11,732kg, D 농가 11,435kg이며, C 농가가 10,394kg으로 가장 적었으며, 농가 간에도 수확량 25~35% 정도 차이가 발생하였다.
- 수확과실수는 매월 안정적으로 생산한 A 농가가 10a 당 약 10만개 정도 수확하였고, 평균 8만개 정도 수확이 가능한 편이며, 높은 가격을 형성하는 2월까지 4만개 이상 수확해야 높은 조수입을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.
- 일사량과 기온이 낮은 저온기의 평균 과중은 140~160g 내외이고, 일사량과 기온이 높은 고온기로 갈수록 평균 과중은 160~180g 내외로 크고 무거워 지는 경향이였다.
- 비상품과실(곡과, 어깨빠진과(편세과), 곤봉과, 끝이 가는 과 등)이 고온기로 갈수록 발생 비율이 높아지는 경향을 나타내었으나, 80% 이상의 높은 상품과율을 유지하는 편이였다.

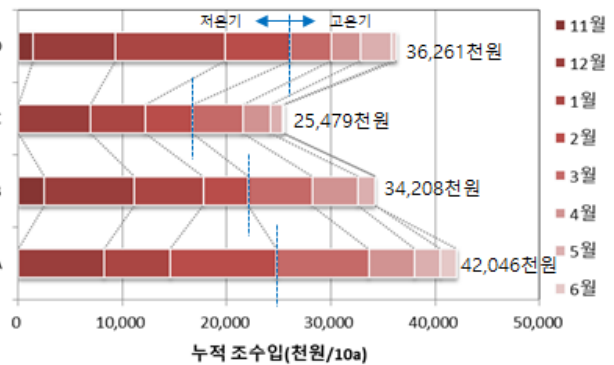
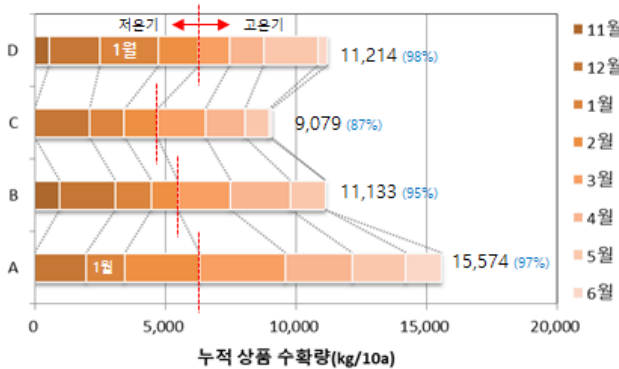


<2019-2020년 전 생육기간 조사한 과실 총수확량과 수확과수 월별 변화>



<2019-2020년 전 생육기간 조사한 과실 평균과중과 상품과율 월별 변화>

- 상품 수확량 또한 총수확량이 많은 A 농가가 10a 당 15,574kg으로 가장 많았고, 상품율도 97%로 높은 편이었다.
- 상품을 기준으로 매월 평균 가격을 반영한 결과, 겨울철 조수입은 1월 생산량이 많았던 D 농가가 가장 높았으나, 고온기 수확량 저조로 인해 총 조수입 36,261천원이며, 전 재배기간 동안 안정적으로 생산한 A 농가가 42,046천원으로 소득이 가장 많았다.
- 오이는 영양생장과 생식생장이 동시에 이루어지므로 이 두 생장의 균형을 잘 유지해야 수명을 길게 유지시키고, 재배를 잘하는 것으로 알려져 있다.

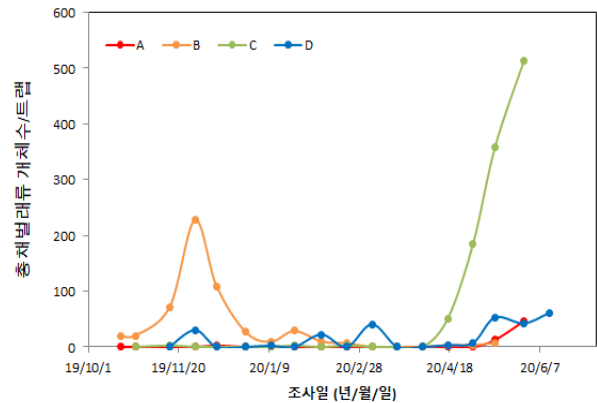
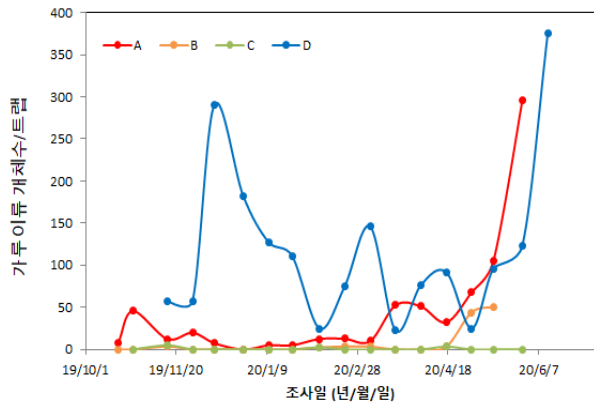


※ 조수입 산정 기준 : 가락시장 2014~2018년산 5개년 상품 매월 평균가격 11월 19,629원, 12월 28,789원, 1월 31,966원, 2월 28,281원, 3월 21,350원, 4월 14,616원, 5월 10,679원, 6월 10,724원

<2019-2020년 전 생육기간 조사한 과실 상품 수확량과 조수입 월별 변화>

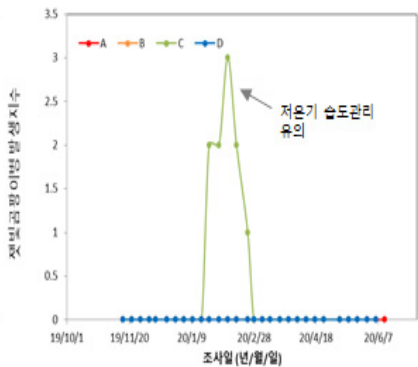
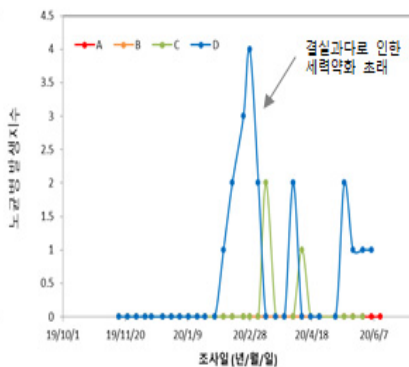
바. 병해충 발생

- 시설재배는 작물 생육에 적합한 환경을 유지할 수 있지만, 연속으로 병원균과 해충의 전염원을 단절할 수 없기 때문에 이들의 밀도는 높아지기 쉽고, 토양 내 염류가 과다 집적되어 양분 간 길항작용을 일으켜 특정 양분의 결핍으로 작물이 본래 갖고 있는 저항력이 약화되고 병해충 피해가 더욱 심해지는 요인으로 작용한다.
- 오이 시설재배에서 문제시되는 병원균은 노균병, 흰가루병, 역병, 바이러스병 등이 있으며, 해충은 응애류, 진딧물류, 총채벌레류, 가루이류 등 미소해충의 피해가 크다.
- 조사 농가들의 해충들은 주로 가루이류인 온실가루이, 담배가루이가 주로 발생하였고, 총채벌레류는 대만총채벌레, 꽃노랑총채벌레가 많이 발생하였으며, D 농가에서 가루이류가 전 재배작기 동안 많이 발생하였고, B 농가에서는 겨울철 총채벌레류가 많이 발생하였으며, 환기를 많이 실시하는 5월 이후 대부분의 농가에서 급격히 증가하였다.



<2019-2020년 전 생육기간 동안 2주 간격으로 조사한 총 발생 양상 변화>

- 오이에 알맞은 습도는 주간 60~80%, 야간 90% 정도로 다른 과채류에 비해 상당히 높은 편이나, 습도가 너무 높게 되면 잿빛곰팡이나 노균병 등 각종 병해 발생은 물론 증산량 감소에 따른 생리장애가 쉽게 발생되므로 주의해야 한다.
- 조사 농가에서도 특히 B 농가에서 흰가루병 발생이 전 재배기간 동안 많이 발생하였고, C 농가는 흰가루병 뿐만 아니라 저온기 습도관리 부족으로 인해 잿빛곰팡이 병이 발생하였고, D 농가에서는 겨울철 과다 결실로 인해 세력이 약화되어 노균병 발생이 많은 편이었다.



※ 발생지수(달관조사) = 0 : 발생없음, 1 : 병반면적율 1~5%, 2 : 병반면적율 5.1~20%, 3 : 병반면적율 20.1~40%, 4 : 병반면적율 40.1% 이상

<2019-2020년 전 생육기간 동안 2주 간격으로 조사한 병 발생 양상 변화>

2. 군위지역 가시오이 빅데이터 수집 및 분석 결과

가. 정식 전 오이 묘소질

- 가시오이 농가들의 대부분이 육묘장으로 부터 모종을 구입하여 이용하고 있으며, 묘소질에 따라 오이의 초기 수량 및 품질에 차이가 발생하기 때문에 구입시 가격보다 모종의 건전성과 접목상태를 고려하는 것이 필요하다.
- 토양병(덩굴썩음병 등)과 급성위조 등을 막고, 저온신장성의 강화, 초세 유지 등의 이점이 있어 접목모종을 주로 이용하고, 대목으로는 호박 중에서 저온신장성과 초세 강화에 가장 좋은 흑종 호박을 이용한다.
- 가시오이 또한 정식에 알맞은 모종의 크기는 재배 작기에 따라 다르지만 대체로 본엽 3~5매로 파종 후 20~30일 전후의 모종으로 알려져 있다.
- 묘소질 조사 방법은 각 농가별 10주씩 조사하였고, 접수, 대목, 뿌리길이, 접수직경, 대목직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 조사하였다. 엽면적은 완전 전개한 잎(1cm 이상)을 채취하여 엽면적 측정기(LI 1400, LI-COR, USA)로 측정하였다. 지상부(접수+대목)와 지하부의 생체중, 건물중, 건물물, S/R(지상부 건물중/지하부 건물중), 조직충실도(건물중/지상부 길이)를 조사하였다. SPAD 값은 엽록소함량 간이 측정기(SPAD-520, Minolta, Japan)로 측정하였다.
- 현장에서 조사한 가시오이 구입 모종의 형태적 특성은 지상부(접수+대목) 전체 길이가 16~18cm 내외이고, 전년도 모종과 비교했을 때 작은 편이었다. 잎은 완전 전개한 잎을 기준으로 2장 정도이며, 엽록소함량은 농가 간에 큰 차이가 없었고, 엽면적은 E 농가가 65.5cm², F 농가 48.2cm²였다.
- 건물율은 E 농가와 F 농가 모두 7.1~7.6% 정도이고, S/R율은 엽면적의 영향으로 E 농가는 6.7, F 농가는 8.7로 차이가 있었고, 조직충실도는 건물율의 영향으로 인해 E 농가가 25.5mg/cm로 F 농가 대비 15.7% 높았다.
- 일반적으로 과채류 묘의 품질은 지상부와 지하부의 건물중 비율을 의미하는 T/R률과 전체 건물중에 지상부의 길이를 나눈 값으로 조직충실도를 나타내는데, T/R율이 낮을수록 조직충실도가 높을수록 묘의 품질이 우수하다고 하였다.
- 어린 모종일수록 뿌리가 밑으로 신장하려는 경향이 있고, 노화된 모종일수록 뿌리가 엉켜서 옆으로 뻗는 경향이 있어, 정식 초기 지온과 물 관리로 뿌리가 땅속 깊이 들어가도록 유도하고, 초세를 오랫동안 유지하려면 되도록 어린 모종을 정식하는 것이 좋은 편이라고 알려져 있다.

<가시오이 접목묘 생육특성>

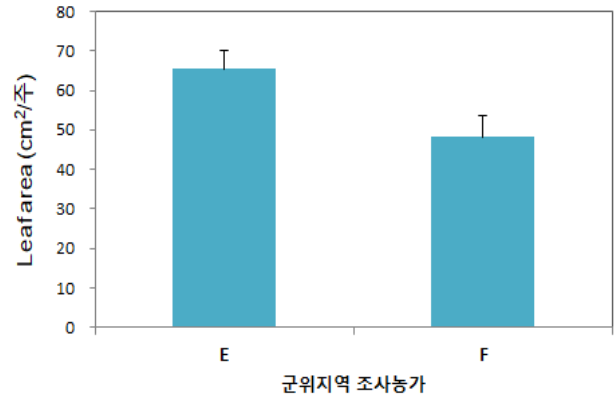
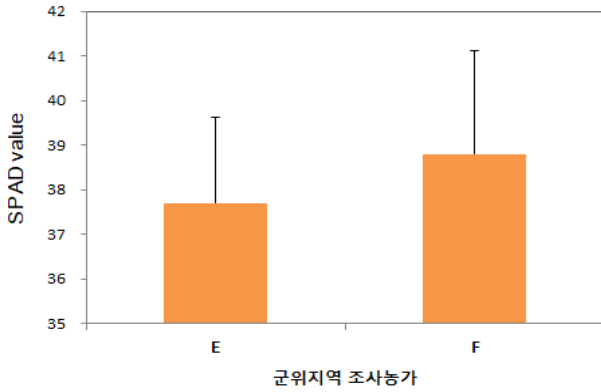
농 가	접수길이 (cm)	대목길이 (cm)	접수직경 (mm)	대목직경 (mm)	배축직경 (mm)
E	14.3±1.2	4.2±0.7	3.7±0.3	4.4±0.3	4.9±0.4
F	12.3±1.3	3.7±0.8	3.2±0.3	4.3±0.5	3.8±0.4

※ Mean±S.E.

<가시오이 접목묘 엽 특성>

농 가	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	장폭비 (엽장/엽폭)	엽 수 (매)
E	7.6±0.5	7.1±0.4	1.1±0.1	2.0±0.0
F	6.3±0.4	6.2±0.4	1.0±0.1	2.0±0.0

※ Mean±S.E.

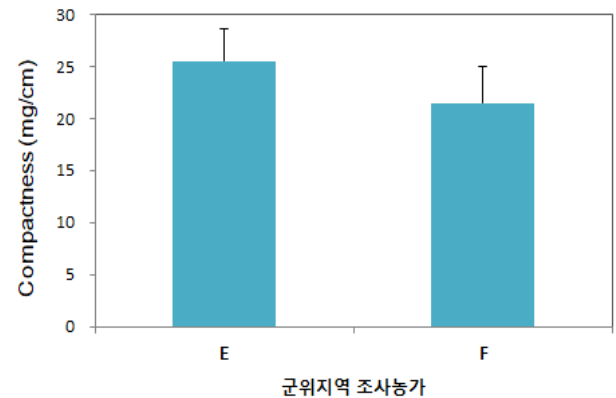
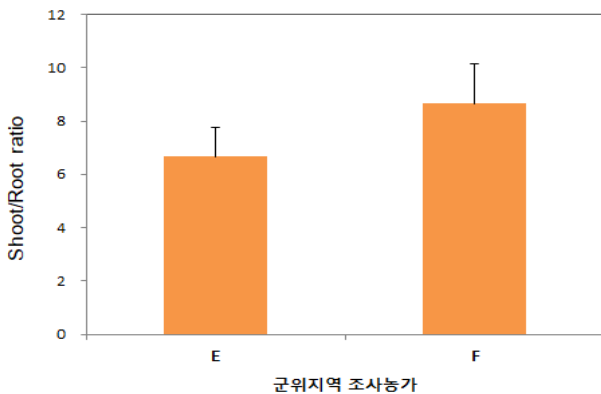


<가시오이 접목묘 SPAD 값과 엽면적 지수>

<가시오이 접목묘 건물생산능력>

농 가	생체중(g/주)		건물중(g/주)		건물율(%)	
	지상부	지하부	지상부	지하부	지상부	지하부
E	5.4±0.5	0.8±0.2	0.44±0.04	0.034±0.008	8.2±0.9	4.0±0.5
F	4.3±0.6	0.5±0.1	0.32±0.05	0.021±0.007	7.5±0.5	4.1±0.7

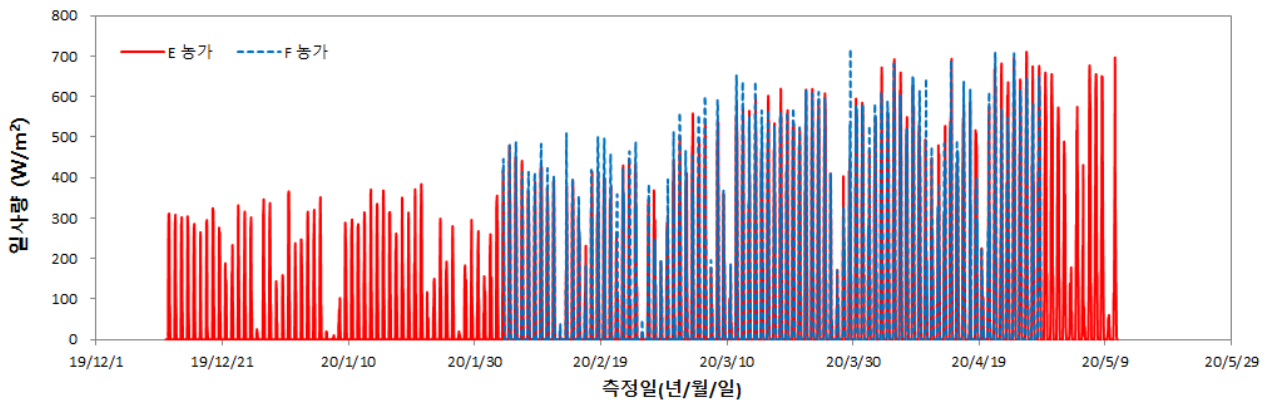
※ Mean±S.E.



<가시오이 접목묘 S/R율과 조직충실도>

나. 시설 환경

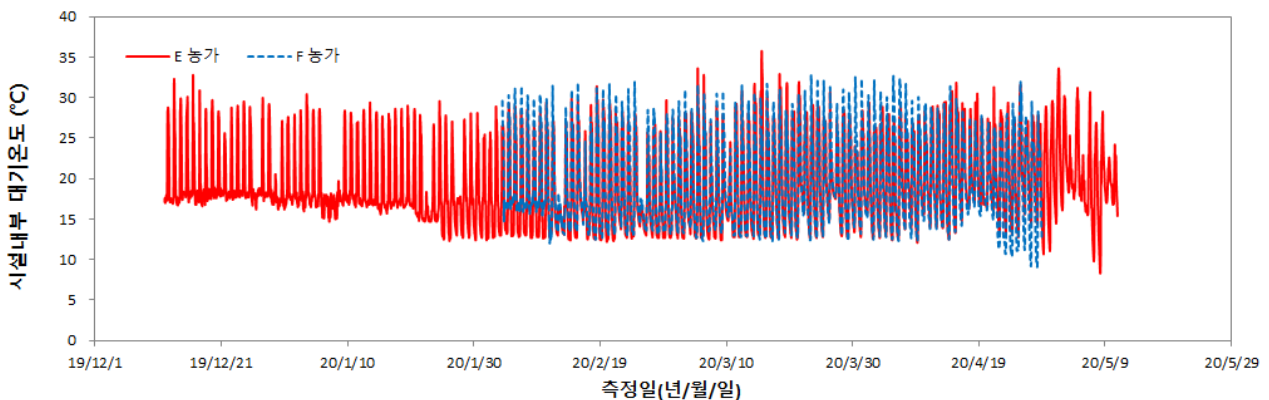
- 연동하우스 시설 내부의 환경을 알아보기 위해 2019년 12월부터 2020년 5월까지 6개월 간의 시설 내부 환경을 2 농가에서 관측하였다.
- 시설 내부 지상부 환경 측정을 위해 오이 선단부인 높이 2m 지점에 일사량(PYR, ICT, AU), 온습도(ATMOS 14, ICT, AU) 센서를 설치하고, 지하부 환경 측정을 위해 깊이 15cm 지점에 지온(TEROS12, ICT, AU) 센서를 매설하고, 1시간 간격으로 데이터를 수집하였다.
- 오이 정식 이후부터 재배가 종료되는 기간까지의 일사량을 확인한 결과, 두 농가 모두 비슷한 광 환경을 유지하였고, 고온기로 갈수록 일사량 유입이 증가하는 것으로 확인되었다.



※ 일사량 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 일사량 변화>

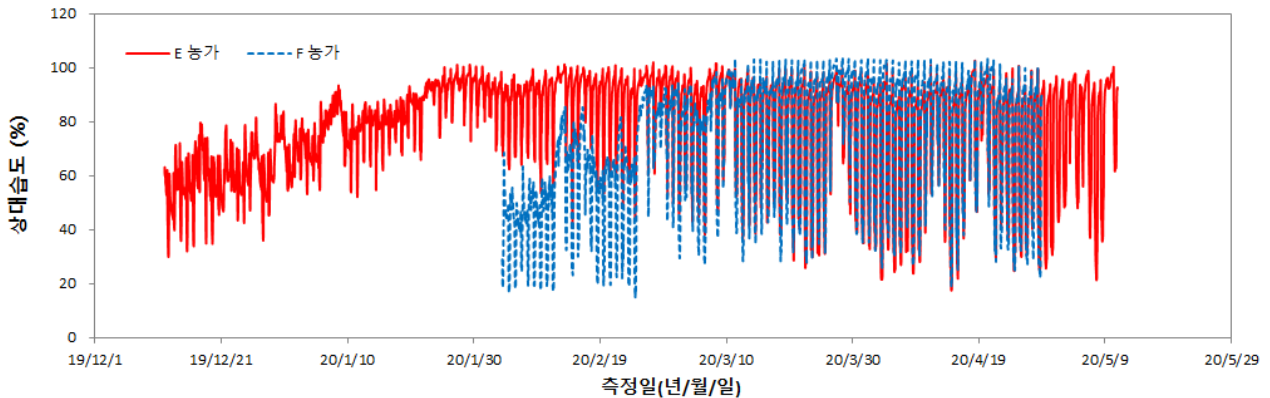
- 시설 내부 야간온도는 겨울철 15~17°C 내외, 봄철은 약간 낮은 온도인 13~16°C 내외를 유지하였고, 4월 이후 주야간 온도 관리가 불안정한 경향이였다. 주간 최고 기온은 겨울철 27~30°C 내외, 봄철 28~33°C을 유지하였다.



※ 온도 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 온도 변화>

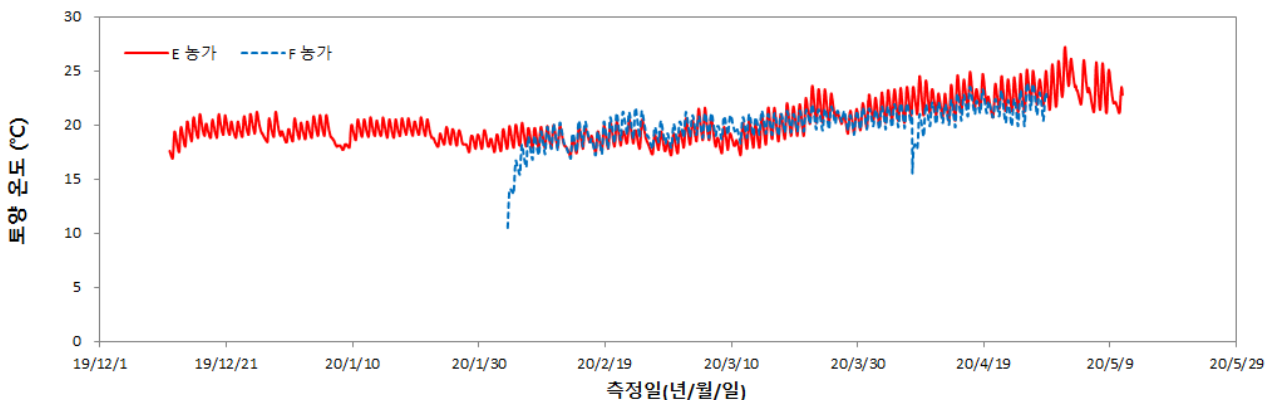
- 오이는 비가 오는 시기에 생육하는 원산지의 습성에서도 알 수 있듯이 습도가 중요한 생육환경 조건 중 하나이다. 특히 건조에 민감하고, 습도가 너무 낮으면 잎과 줄기의 생육이나 과실의 비대가 현저히 억제된다. 오이에 알맞은 습도는 주간 70~80%, 야간 90% 정도로 다른 과채류 비해 상당히 높은 편이다.
- 상대습도는 E 농가에서 정식 초기 주간 40~60%, 야간 80% 정도로 습도가 낮은 환경이 조성되었고, F 농가 역시 정식 초기에 20~40%, 야간 70% 내외로 습도가 매우 낮은 환경이 조성되었다. 겨울철에 초기 정식 활착을 위해 가동한 온풍기가 습도를 낮추는 주요한 원인이므로 온도뿐만 아니라 습도도 고려한 재배환경을 조성하는 것이 필요할 것으로 생각된다.



※ 상대습도 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 일평균 상대습도 변화>

- 오이는 지온에도 비교적 민감하여 12°C 이하에서는 생육이 정지되므로 적어도 15°C 이상을 유지시켜야 하며, 25°C 이상이 되면 줄기와 잎이 웃자라게 되고 노화를 촉진시켜 재배기간이 단축된다고 알려져 있다.
- 2019~2020년 현장에서 전 생육기간 동안 측정한 시설 내부 일평균 토양온도는 18~20°C 내외로 안정적으로 유지되었으나 4월 이후 25°C 정도로 고온이 형성되어 노화를 촉진시키기 때문에 수시차광 기술 등을 적용하여 지온을 하강시키도록 노력해야 한다.

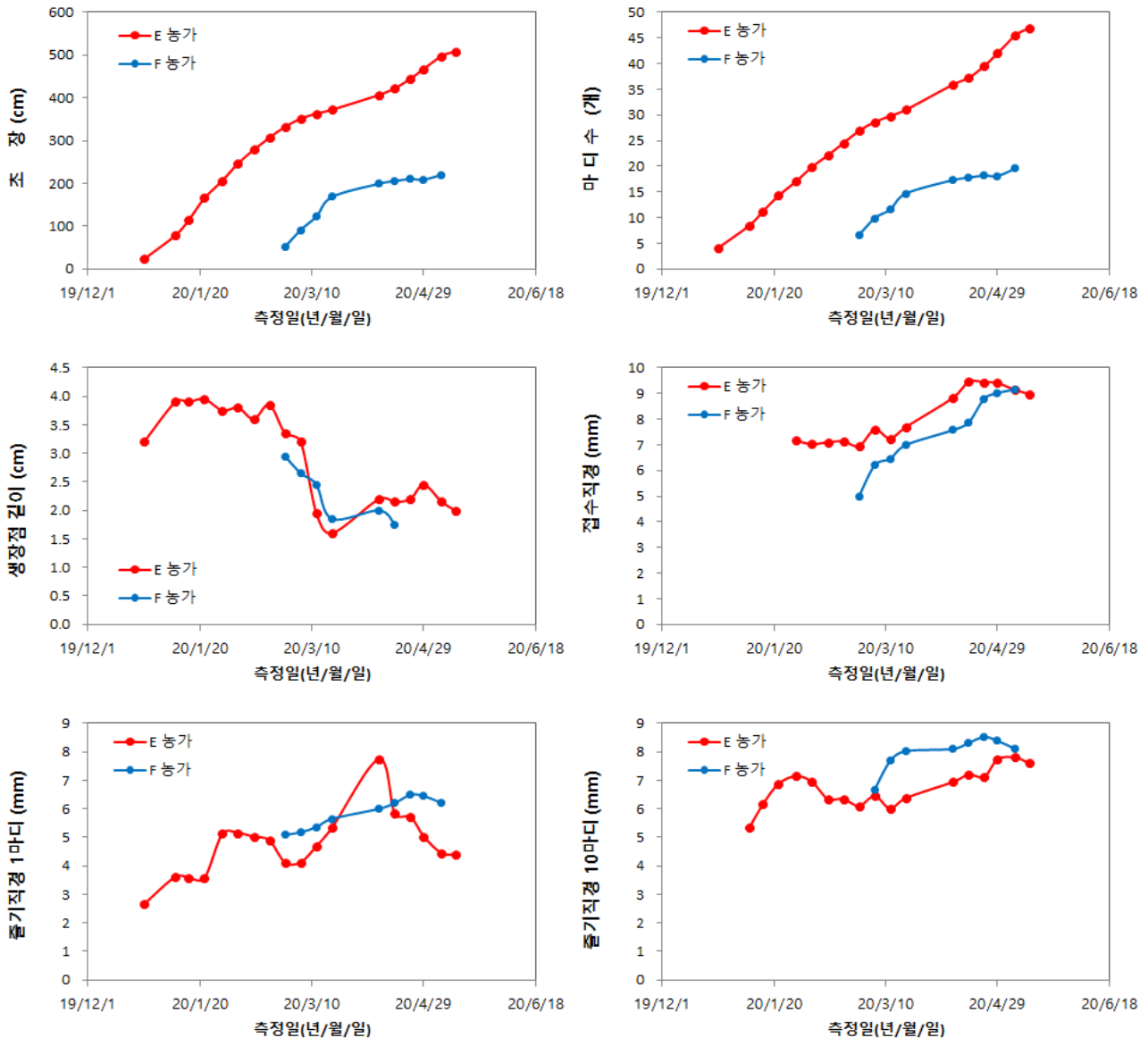


※ 지온 측정지점 : 지표면 15cm 깊이(뿌리 분포 부위)

<2019-2020년 전 재배작기 시설 내부 일평균 지온 변화>

다. 생장 변화

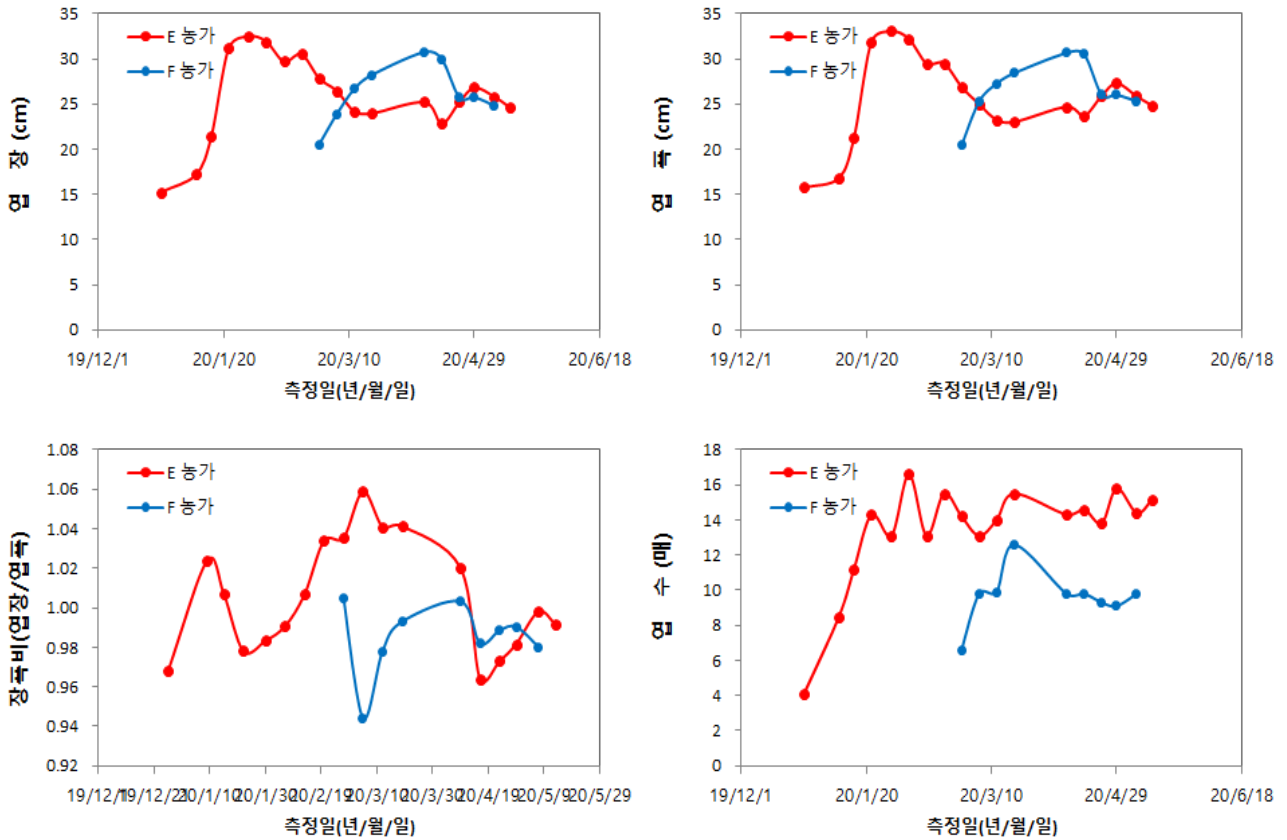
- 정식 3주 후부터 수확을 종료할 때까지 각 농가별로 식물체 10주씩을 선정하고, 초장, 마디수, 줄기직경, 엽장, 엽폭, 엽수를 1주일 간격으로 조사하였다. 수확한 과실무게는 3일 간격으로 측정하였다. 초장은 지표면에서 생장점까지의 길이를 측정하였고, 마디수는 절간장이 2cm 이상인 마디까지 유효한 마디수를 측정하였고, 줄기직경은 생장점 아래로 10번째 마디 아래 부위의 굵기를 측정하였다. 엽장과 엽폭 또한 10번째 마디 앞의 길이와 너비를 측정하였고, 엽수는 3cm 이상의 완전 전개 엽의 수를 조사하였다.
- 길이생장을 조사한 결과, 초장은 재배기간이 길어서 E 농가가 508cm로 가장 길었고, 마디수 또한 47개로 가장 많았으며, F 농가는 노균병 발생으로 인해 생육이 불균일하여, 수확을 조기에 종료하였다. 생장점 길이 생장은 고온기로 갈수록 짧아지는 경향이고, 접수직경과 줄기직경은 반대로 굵어지는 경향이었다.



※ 생장점 길이 : 최상단부(생장점)~완전 전개 1엽(3cm 이상) 사이 길이, 접수직경 : 상배추 위의 1마디 부위

<2019-2020년 전 생육기간 동안 매주 조사한 길이 생장 변화>

○ 성장점 아래로 10번째 잎의 성장특성은 엽장과 엽폭 모두 25~32cm 내외로 비슷하게 성장하였고, 재배 후기로 갈수록 잎의 크기가 작아지는 경향을 나타내었으며, 장폭비 또한 감소하는 경향이였다. 엽수는 주지 1개 만을 유인 재배하기 때문에 12~15장 내외로 관리하였다.

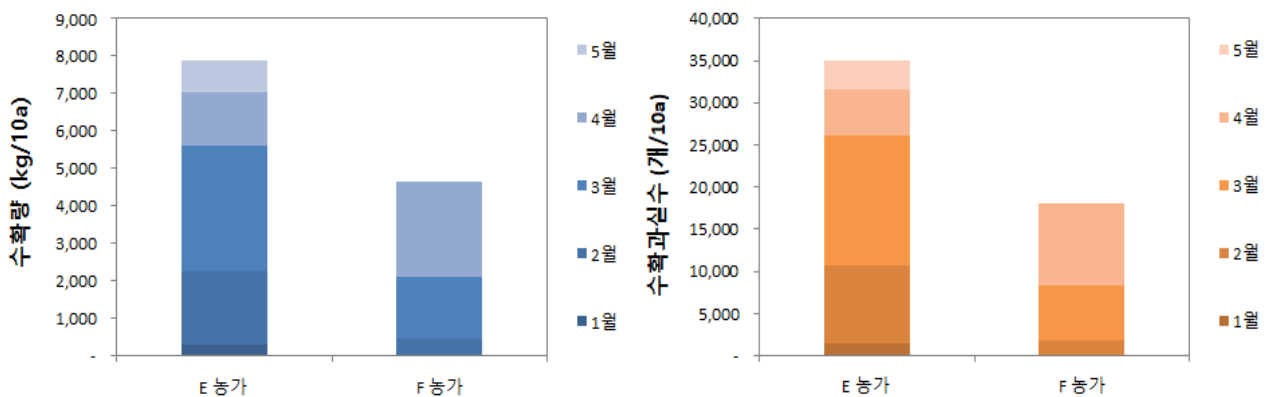


※ 엽 측정지점 : 성장점 아래로 10번째 마디에 부착된 잎

<2019-2020년 전 생육기간 동안 매주 조사한 잎 성장 변화>

라. 수확량 변화

○ 총수확량은 E 농가가 10a 당 7,868kg, F 농가가 4,659kg이며, 재배기간의 차이로 인해 수확량이 40% 정도 차이가 발생하였다. 수확과실수는 E 농가가 10a 당 약 35,000개 정도 수확하였고, 초기에 과다 결실로 인해 4월 이후 정밀환경 관리의 어려움으로 인해 수확량이 감소하였다.



<2019-2020년 가시오이 수확과실의 월별 수확량과 과실수 변화>

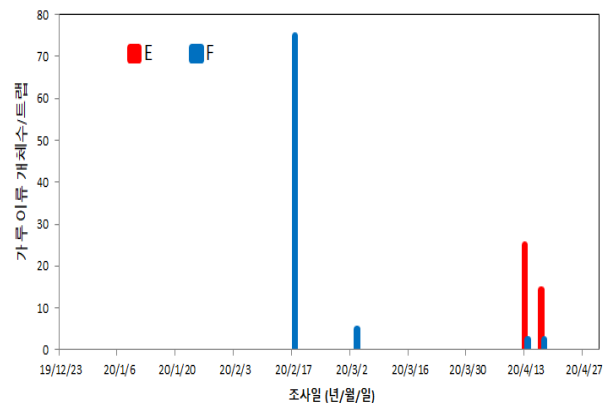
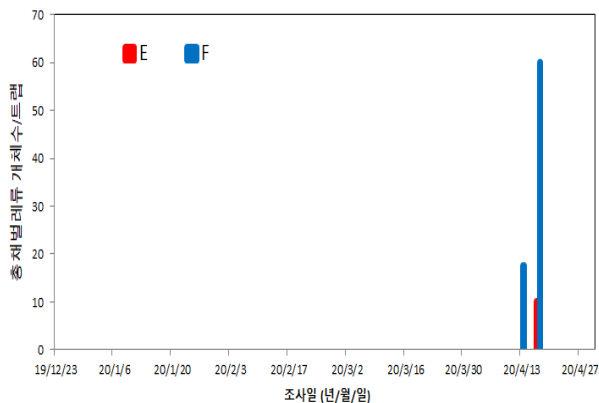
- 일사량과 기온이 낮은 저온기의 평균 과중은 200~220g 내외이고, 일사량과 기온이 높은 고온기로 갈수록 평균 과중은 250~260g 내외로 크고 무거워지는 경향이였다.
- 현장에서 수확한 가시오이의 무게는 200~250g 내외이며, 과실 길이는 30~32cm이고, 고온기인 봄철 이후에는 과중이 무거워지는 경향이였다.

<2019-2020년 가시오이 수확과실의 월별 품질과 평균과중 변화>

농 가	조사월	과 장 (cm)	과 폭 (mm)	평균과중
E	1월	29.2	33.6	220
	2월	30.2	31.5	207
	3월	31.0	32.2	219
	4월	31.1	36.6	258
	5월	28.1	39.1	250
	평균	29.9	34.6	230
F	2월	31.6	33.7	259
	3월	29.7	34.4	254
	4월	30.4	32.7	262
	평균	30.4	33.6	258

마. 해충 발생 양상

- 시설재배는 작물 생육에 적합한 환경을 유지할 수 있지만, 연작으로 병원균과 해충의 전염원을 단절할 수 없기 때문에 이들의 밀도는 높아지기 쉽고, 토양 내 염류가 과다 집적되어 양분 간 길항작용을 일으켜 특정 양분의 결핍으로 작물이 본래 갖고 있는 저항력이 약화되고 병해충 피해가 더욱 심해지는 요인으로 작용한다.
- 오이 시설재배에서 문제시되는 병원균은 노균병, 흰가루병, 역병, 바이러스병 등이 있으며, 해충은 응애류, 진딧물류, 총채벌레류, 가루이류 등 미소해충의 피해가 크다.
- 조사 농가들의 해충들은 주로 가루이류인 온실가루이가 주로 발생하였고, 총채벌레류는 환기를 많이 실시하는 4월 이후 F 농가에서 급격히 증가하였다.



<2019-2020년 전 생육기간 동안 2주 간격으로 조사한 총 발생 양상 변화>

제5절 2019~2020년 재배작기 오이 생산성 향상 분석

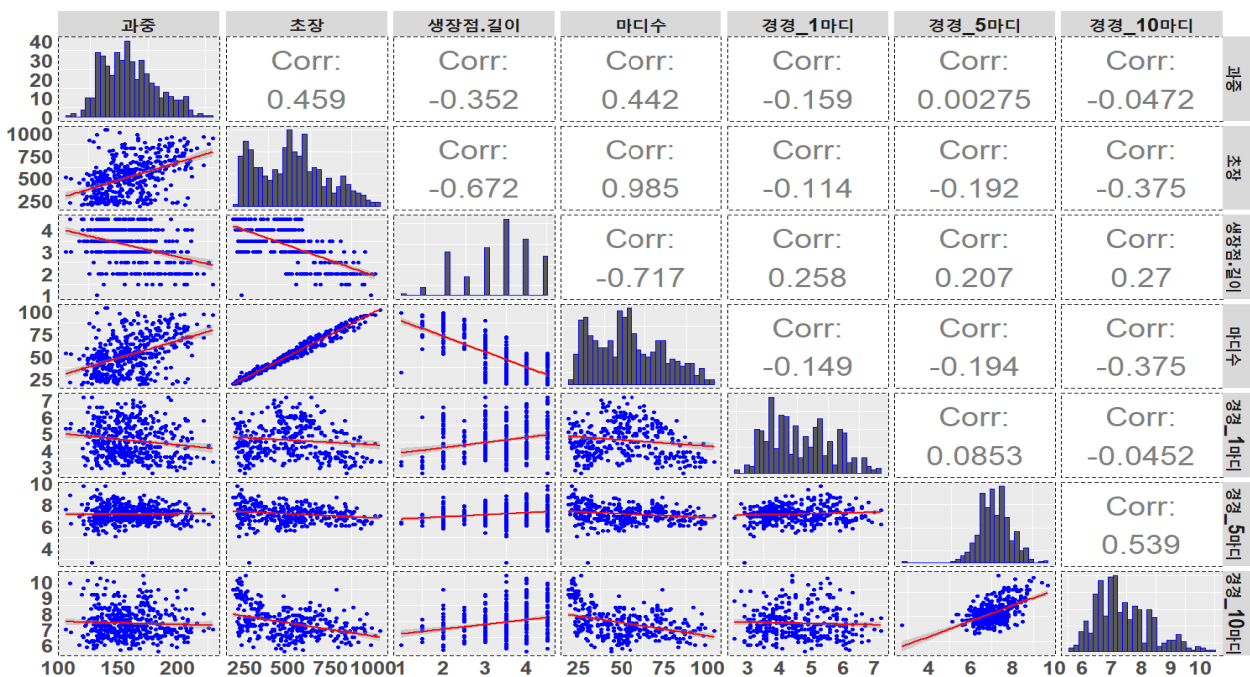
1. 생육단계별 환경관리 및 생육환경에 대한 (vital few's) 발굴

가. 탐색 방법

- 시설농업으로부터 측정되는 농가의 환경요인과 시설오이의 생육자료의 상관성을 비교하여 오이 생육에 영향을 미치는 요인들을 다각적인 방법으로 분석하였다. 수집된 환경요인으로부터 다양한 요인을 추가 생성하였다.
- 예를 들면, 수집된 데이터로부터 주간평균, 야간평균, 일교차(DIF) 기온, 주간최대 누적일사량 등의 추가변수를 생성하였다. 수집된 환경요인 15개 항목으로부터 46여개의 항목으로 변수(Feature)를 다양하게 생성하여 상관분석을 통해 핵심요인을 탐색하였다.

나. 생육요인, 환경요인의 변화에 따른 생산성 추정을 통하여 핵심요인 탐색

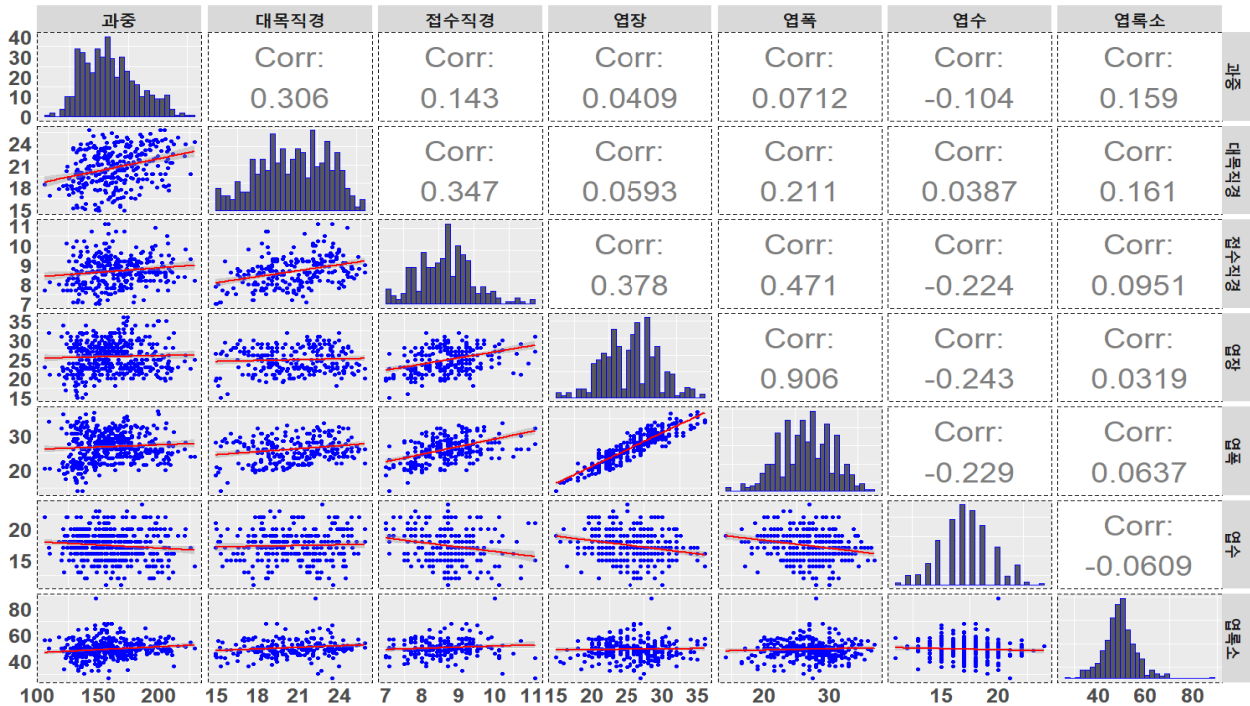
- 생육 및 환경 요인이 오이의 생육 발달에 어떠한 영향을 미치는지 생육변수 중 수확량 인자인 과중(果重)을 중심으로 생육요인, 환경요인과의 상관성을 검토하였다.
- 과중 변수는 수확일에 따라 조사된 각 개체별 과중을 의미한다.
- 과중과 생육요인(초장, 생장점 길이, 마디수, 경경) 상관분석



<과중과 생육요인(초장, 생장점 길이, 마디수, 경경)의 상관분석>

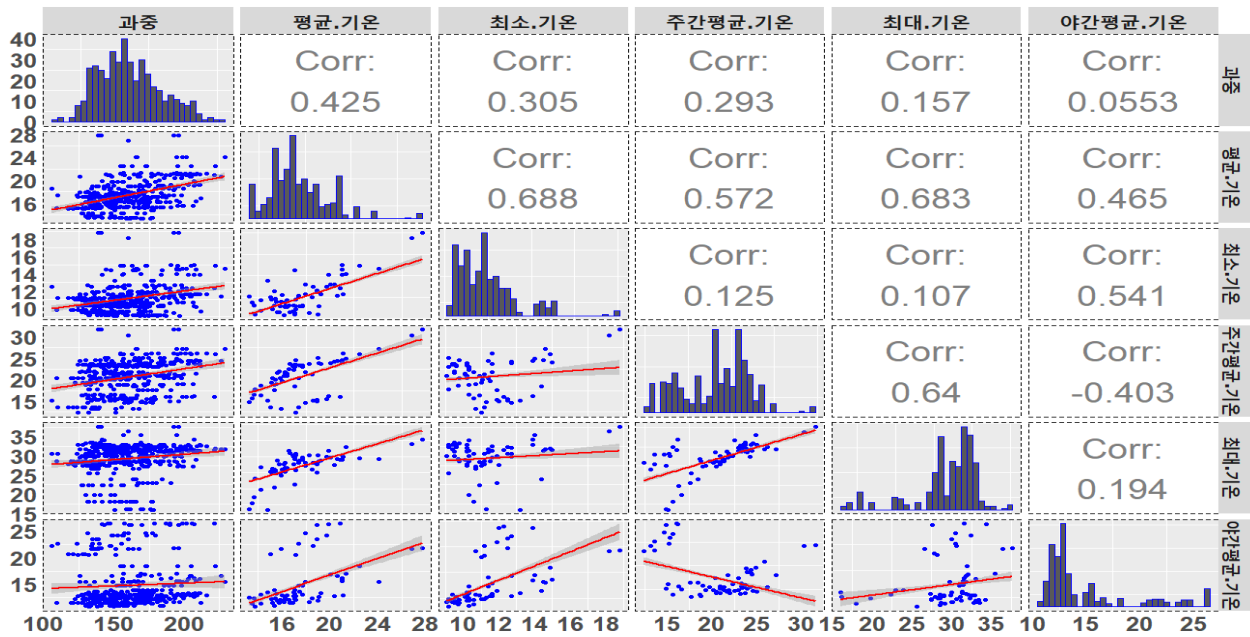
- 과중과 생육변수(초장, 생장점 길이, 마디수, 경경)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 가장 상관관계가 높은 요인은 초장이며 양의 상관관계를 보인다. 다음으로 마디수, 생장점 길이, 경경의 순으로 나타났다. 과중과 마디수, 경경(5마디)는 양의 상관관계를 보였으며, 과중과 생장점 길이, 경경(1마디, 10마디)은 음의 상관관계를 보였다.

- 즉, 초장이 길수록 과중이 증가하는 것을 알 수 있다.
- 과중과 생육요인(대목직경, 접수직경, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소) 상관분석



<과중과 생육요인(대목직경, 접수직경, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소)의 상관분석>

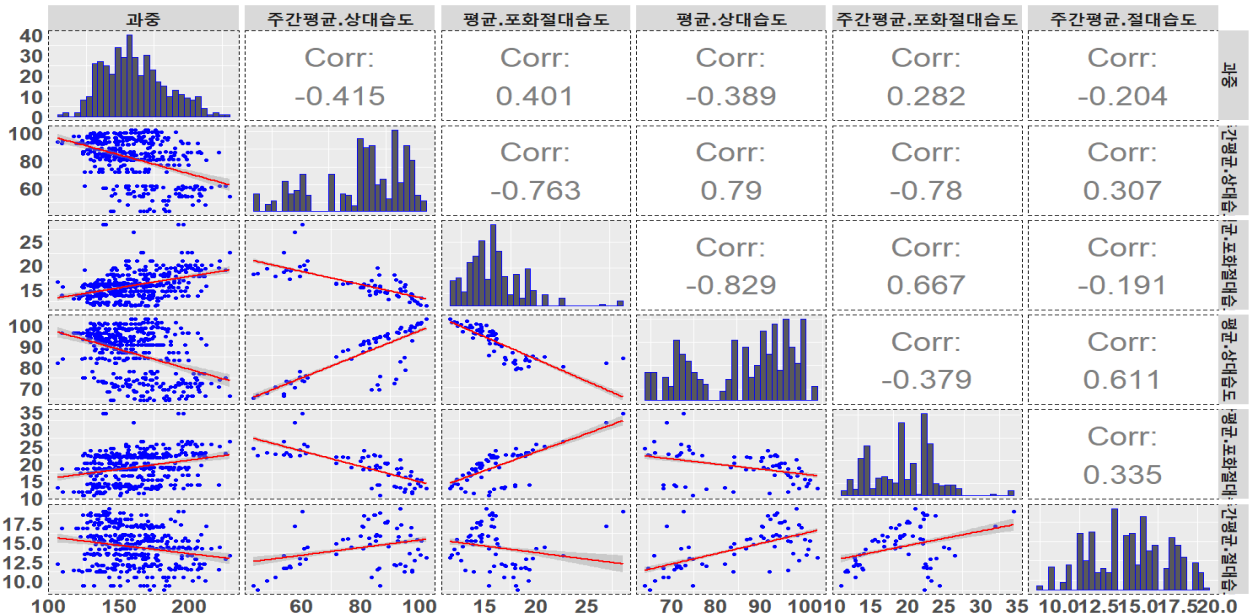
- 과중과 생육변수(대목직경, 접수직경, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 가장 상관관계가 높은 요인은 대목직경이며 양의 상관관계를 보인다. 다음으로 엽록소, 접수직경, 엽수, 엽폭, 엽장의 순으로 나타났다. 엽수를 제외한 나머지 생육변수는 과중과 양의 상관관계를 보였다.
- 즉, 대목직경이 길수록 과중이 증가하는 것을 알 수 있다.
- 과중과 환경요인(기온) 상관분석



<과중과 환경요인(기온)의 상관분석>

○ 과중과 상위 5위 환경변수(기온)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 평균.기온이 가장 큰 상관관계를 보였으며 다음으로 최소.기온, 주간평균.기온, 최대.기온, 야간평균.기온의 순으로 나타났다. 또한 과중과 모두 양의 상관관계를 보였다.

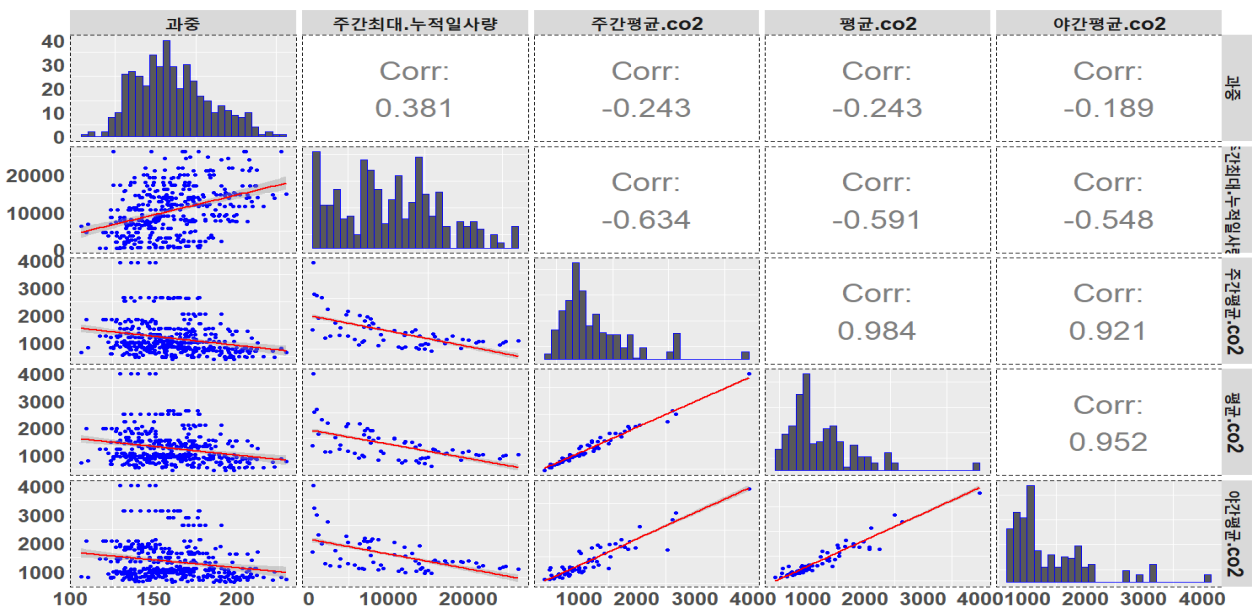
○ 과중과 환경요인(습도) 상관분석



<과중과 환경요인(습도)의 상관분석>

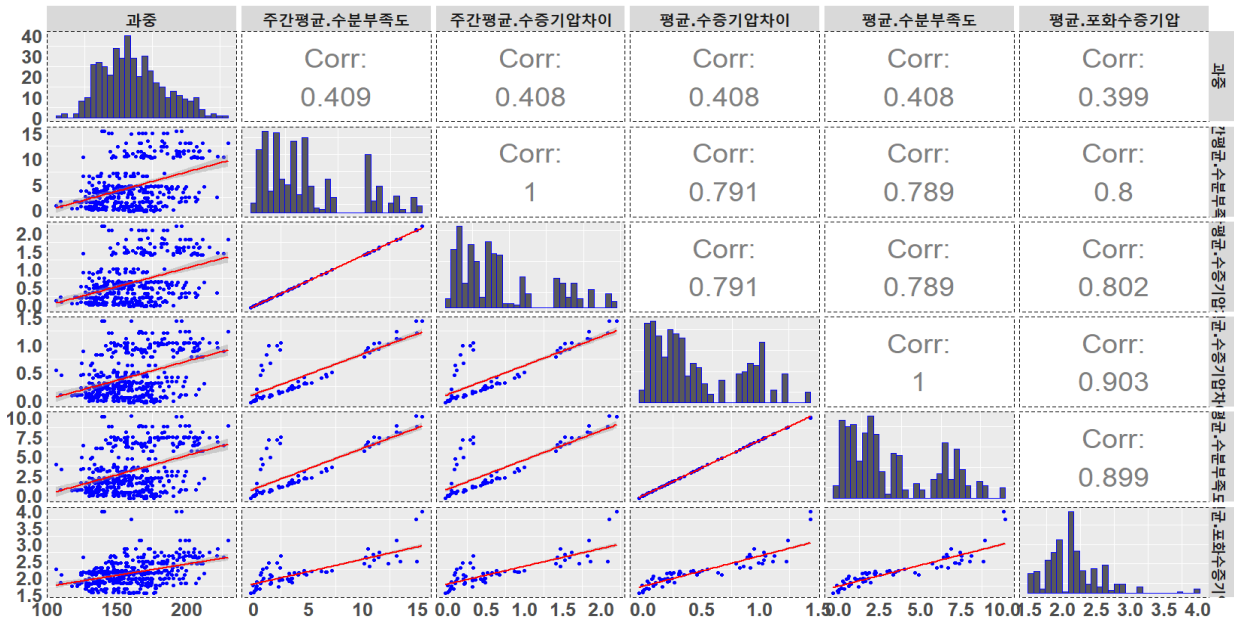
○ 과중과 상위 5위 환경변수(습도)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 주간평균.상대습도가 가장 큰 상관관계를 보였으며 다음으로 평균.포화절대습도, 평균.상대습도, 주간평균.포화절대습도, 주간평균.절대습도의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 평균.포화절대습도와 주간평균.포화절대습도는 양의 상관관계를 보였으며 주간평균.상대습도, 평균.상대습도, 주간평균.절대습도는 음의 상관관계를 보였다.

○ 과중과 환경요인(일사량, co2) 상관분석



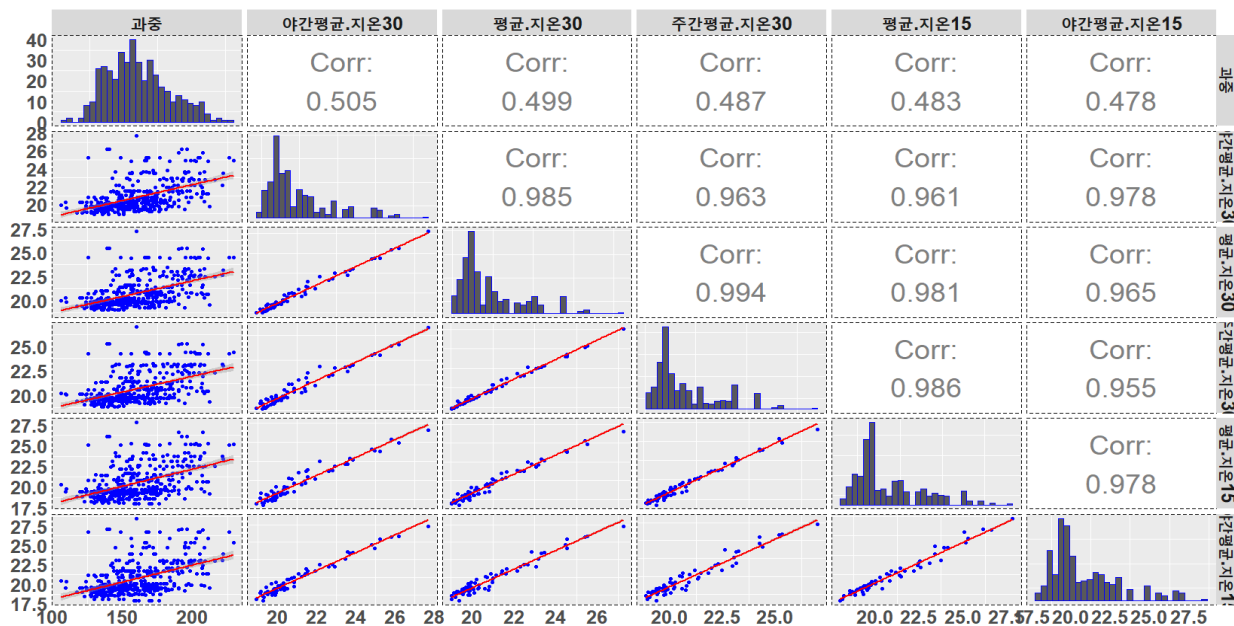
<과중과 환경요인(일사량, co2)의 상관분석>

- 과중과 환경변수(일사량, co2)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 주간최대.누적일사량이 가장 높은 상관관계를 보이며 다음으로 주간평균.co2, 평균.co2, 야간평균.co2의 순으로 나타났다. 과중과 주간최대.누적일사량은 양의 상관관계를 보였으며 주간평균.co2, 평균.co2, 야간평균.co2는 음의 상관관계를 보였다.
- 과중과 환경요인(수분) 상관분석



<과중과 환경요인(수분)의 상관분석>

- 과중과 상위 5위 환경변수(수분)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 주간평균.수분부족도가 가장 높은 상관관계를 보였으며 다음으로 주간평균.수증기압차이, 평균.수증기압차이, 평균.수분부족도, 평균.포화수증기압의 순으로 나타났다. 또한 모두 과중과 양의 상관관계를 보였다.
- 과중과 지하부 환경변수(토양수분, 지온) 상관분석



<과중과 환경요인(토양수분, 지온)의 상관분석>

- 과중과 상위 5위 지하부 환경변수(토양수분, 지온)의 상관관계를 살펴보면, 과중과 야간평균.지온30이 가장 큰 상관관계를 보였으며 다음으로 평균.지온30, 주간평균.지온30, 평균.지온15, 야간평균.지온15의 순으로 나타났다. 또한 모두 과중과 양의 상관관계를 보였다
- 지온15, 지온30, 토양수분15, 토양수분30에서 15, 30은 지면 15cm, 30cm 깊이의 온도와 토양수분을 의미한다.

다. 단계적 다중회귀분석을 이용한 핵심인자 발굴

- 본 연구에서는 단계적 다중회귀분석을 실시하여 수확량과 환경 및 생육 변수간의 상관성 검토 및 생육 모델을 추정하였다.
- 먼저 수확량과 연관성이 가장 높은 과중(果重, Fruit Weight)을 종속변수로 설정하였고, 생육 환경변수에 대한 산점도를 확인하여 이를 생육환경요인으로 하고, 다음과 같은 생육환경요인을 갖는 다중회귀분석 기본모형을 가정하여 분석하였다.

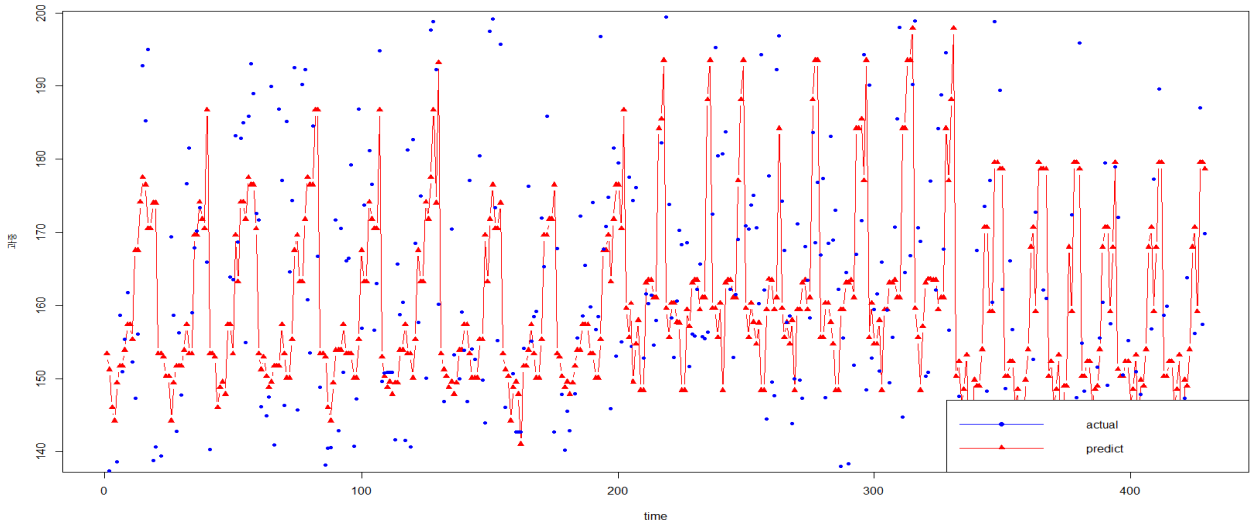
$$y_t = x_{t1} + x_{t2} + \dots + x_{ti}, \quad y_t = t\text{시점 생산량}, \quad x_{ti} = t\text{시점 } i\text{ 생육환경요인}$$

- 본 연구에서는 오이에 대한 생육환경 데이터 분석을 실시한 후 환경관리 및 생육환경에 대한 생산성 향상 핵심요인(vital few's)을 발굴하였다.
- 시설농업으로부터 측정되는 농가의 환경요인과 작물의 생육자료의 상관성을 비교하여 작물의 생육에 영향을 미치는 요인들을 여러 가지 통계적 분석 기법으로 분석하였다.
- 빅데이터 분석 기법인 회귀분석, PLS 등 통계적 분석 기법을 활용하여 생육환경 데이터에 대한 분석 실시하였다. 시설농업으로부터 측정되는 농가의 환경요인 중 오이의 수확량에 영향을 미치는 인자를 도출하였다.
- 단계적 선택법을 사용한 다중회귀모형 적합 결과, 다음과 같은 다중회귀모형이 도출되었다.

$$\begin{aligned} \text{과중}_t = & 66.14 + 6.387 * \text{주간평균.지온30} + 0.001 * \text{주간최대.누적일사량} \\ & - 0.998 * \text{최대.기온} - 13.01 * \text{야간평균.수증기압} \end{aligned}$$

- 즉, 주간평균.지온30, 주간최대.누적일사량, 최대.기온, 야간평균.수증기압의 4가지 환경변수가 수확량에 영향을 미치는 핵심요인(vital few's)임을 알 수 있다.
- 다중회귀모형에 대한 통계량은 다음의 표와 같고, 결정계수는 0.28로 비교적 낮은 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 단, 일부 농가에서는 다른 요인이 나타나며 각 농가의 환경요인이 다를 수 있다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.28	0.27	41.28	<.001



<오이 과중에 대한 실제값과 예측값의 비교>

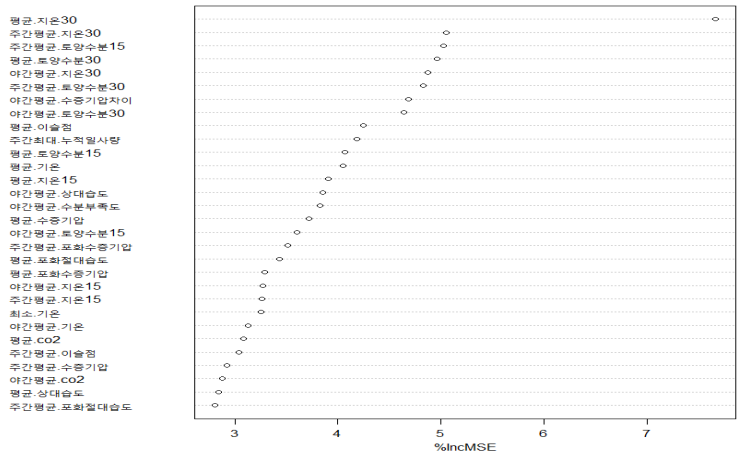
○ 농가별로 분석한 결과, 과중에 영향을 주는 환경요인 핵심인자는 다음과 같이 추출되었다.

지역 농가	환경요인	R ²	실제값과 예측값의 비교
상주 농가1	야간.토양수분15, 주간.CO2, 최대.내부온도	0.45	
상주 농가2	평균.토양수분30, 주간최대.누적일사량	0.32	
상주 농가3	평균.지온30, 야간평균.토양수분30	0.50	

라. 빅데이터 분석 기법을 사용하여 생산성 향상 모형 개발을 위한 핵심 인자 발굴

1) 랜덤 포레스트(Random Forest) 모델

- 이 방법은 앙상블 기법 중 하나로 여러 개의 결정 트리들을 임의로 학습하는 방식이다. 훈련용 데이터와 테스트 데이터의 비율을 7 대 3으로 분할하여 분석을 진행하였다. 종속변수는 과중, 설명변수는 환경변수로 하여 모형을 구축한 후에 Variable Importance를 통해 과중에 가장 영향을 미치는 핵심 인자를 발굴하였다.
- 환경을 바탕으로 수확량을 예측하는 모델은 RMSE가 18.04로 나타났으며 지온 및 토양수분과 관련된 변수들이 중요한 변수로 선택되었다. 구체적으로 상위 5위 변수는 평균.지온30, 주간평균.토양수분15, 평균.토양수분30, 야간평균.지온30이었다.



<변수의 중요도>

- 농가별로 분석한 결과, 과중에 영향을 주는 환경요인 핵심인자는 다음과 같이 추출되었다.

지역 농가	환경요인	RMSE	실제값과 예측값의 비교
상주 농가1	야간평균.토양수분15, 주간평균.이슬점, 평균.토양수분15, 평균.co2, 야간평균.토양수분30	22.59	
상주 농가2	야간평균.토양수분15, 평균.토양수분15, 야간평균.토양수분30, 주간평균.토양수분30, 평균.co2	22.62	
상주 농가3	야간평균.토양수분30, 평균.토양수분15, 평균.토양수분30, 야간평균.토양수분15, 주간평균.상대습도	22.96	

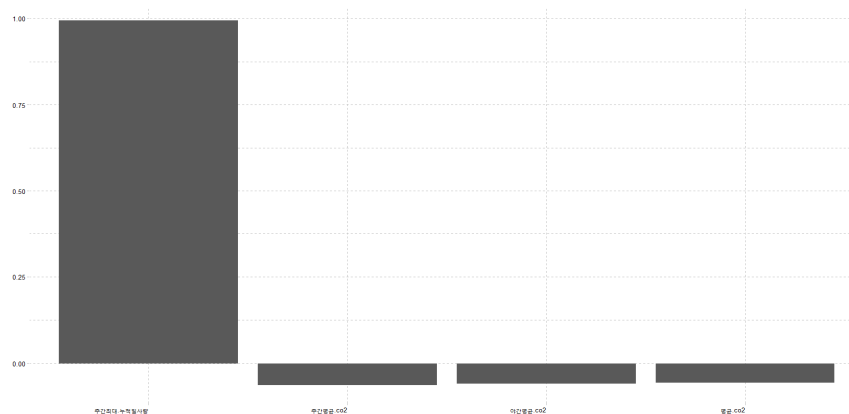
2) PLS(Partial Least Square, 부분최소제곱법) 모델

- 서로 상관되지 않는 인공변수를 생성한 후, 데이터의 차원이 축소된 효율적인 모델을 구축하였다. 즉, 수확량 정보와 환경변수들의 정보를 모두 활용하여 선형 회귀분석을 수행하는 기법이다.
- 1개의 주성분으로 설명변수의 약 98%, 반응변수의 약 15%를 설명할 수 있다.

Components	PC1	PC2	PC3
Cumulative Proportion of X	98.18	99.63	99.98
Cumulative Proportion of Y	14.55	14.84	15.88

<주성분 수에 따른 분산 설명 정도>

- 첫 번째 주성분은 주간최대.누적일사량의 기여도가 양의 방향으로 매우 크게 나타났다.

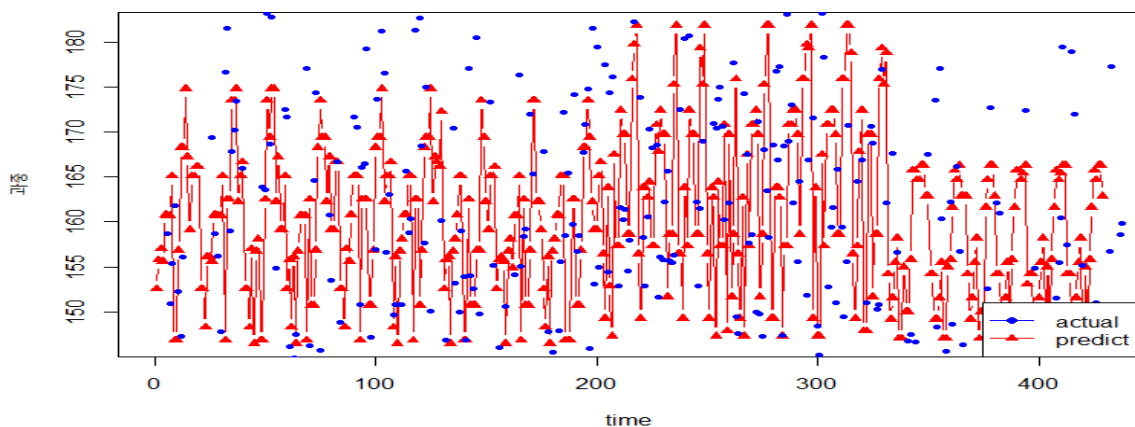


<첫 번째 주성분의 기여도>

- 1개의 주성분을 설명변수로 선형 회귀분석을 하였을 때, 모형에 대한 통계량은 다음의 표와 같고, 결정계수가 0.15로 비교적 낮은 설명력을 가지는 것을 알 수 있다. 단, 일부 농가에서는 다른 요인이 나타나며 각 농가의 환경요인이 다를 수 있다.



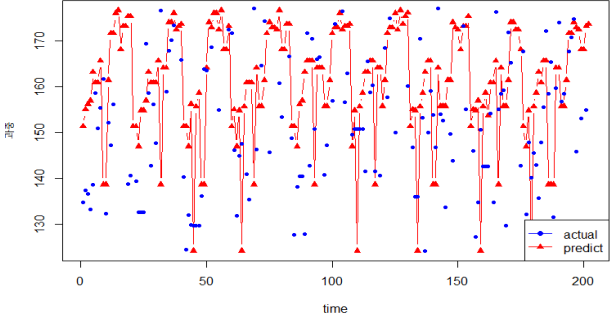
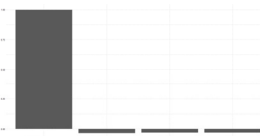
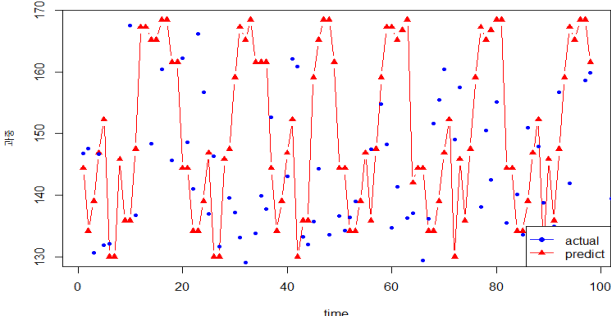
$$\text{과중} = 146.7 + 0.001 * PC1$$

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.15	0.14	72.7	<.001



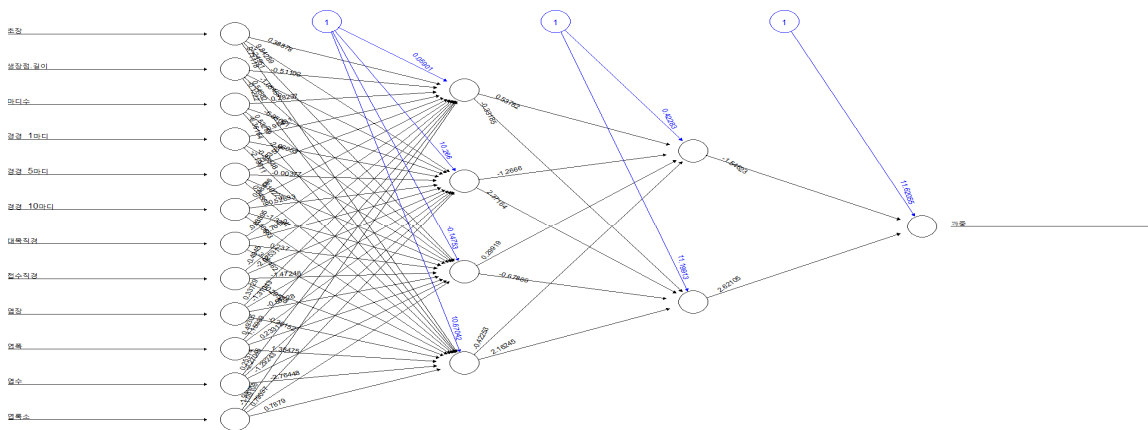
<오이 과중에 대한 실제값과 예측값의 비교>

○ 농가별로 살펴보면, 과중에 영향을 주는 환경요인 핵심인자는 다음과 같다.

지역 농가	환경요인	R ²	실제값과 예측값의 비교
상주 농가1	<ul style="list-style-type: none"> PC1: 누적일사량(양의 영향)  <p><PC1의 기여도></p> <ul style="list-style-type: none"> PC2: CO2(음의 영향)  <p><PC2의 기여도></p>	0.27	
상주 농가2	적합하지 않음	X	X
상주 농가3	<ul style="list-style-type: none"> PC1: 누적일사량(양의 영향)  <p><PC1의 기여도></p>	0.36	

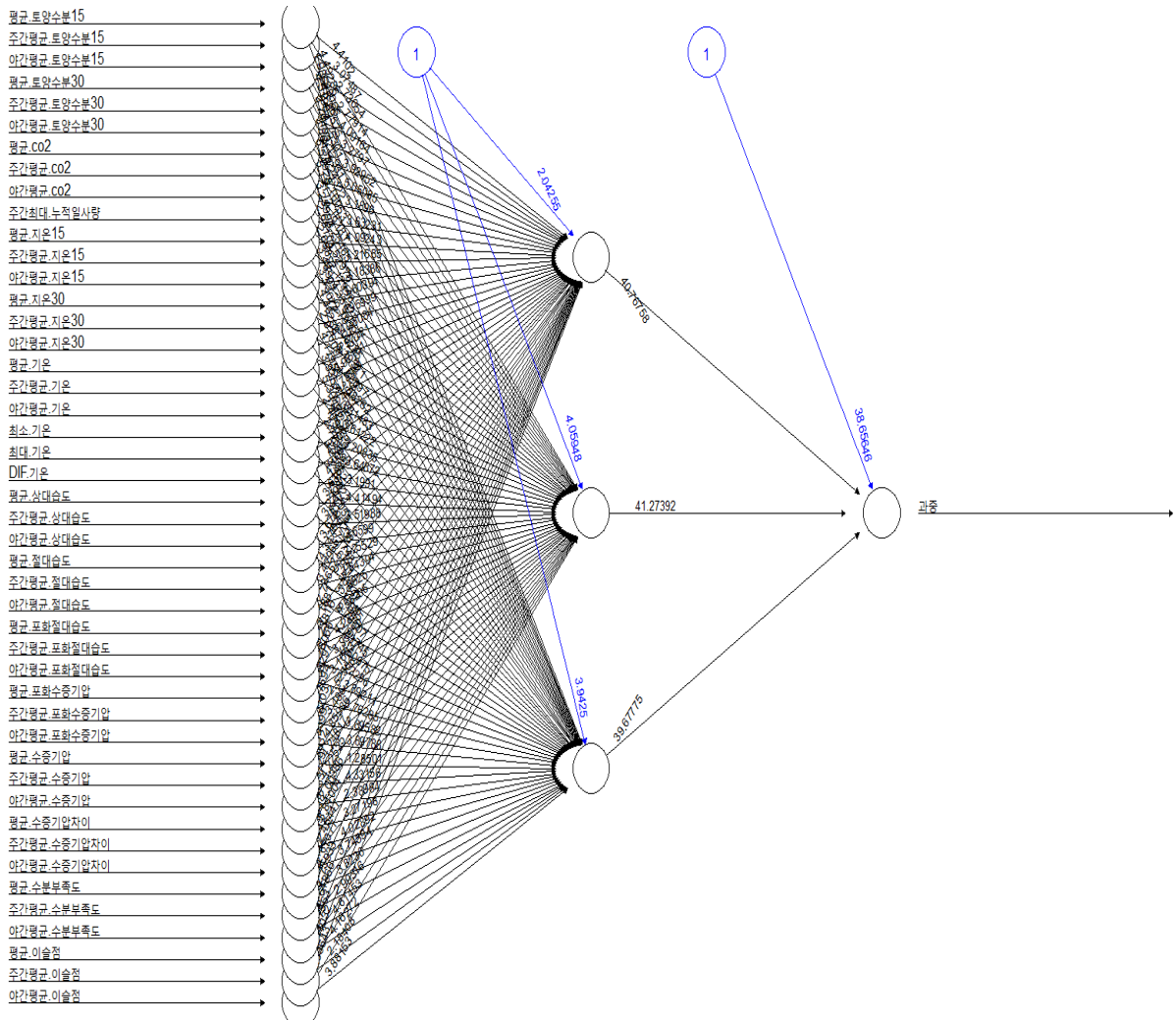
3) 인공신경망 모델 개발

- 환경과 생육 자료를 바탕으로 각각의 딥러닝 기법인 인공신경망 모델을 구축하였다.
- 생육 변수를 활용한 수확량 Simulation 모델 (RMSE=21.264)



< 생육과 수확량의 Simulation 모델 >

○ 환경 변수를 활용한 수확량 Simulation 모델 (RMSE=23.491)



< 환경과 수확량의 Simulation 모델 >

2. 2018-2019년 백다다기 오이 우수농가 생산성 향상 요인 분석

가. 분석 개요

- 농업빅데이터 기반의 스마트팜 활용 기술 개발의 일환으로, 스마트팜 농가의 재배환경관리 모델링 연구를 위해 농장에서 수집되는 작물의 생육환경 데이터를 통계적 기법으로 분석하여 작물별 유형별 최적 재배환경을 위한 생육환경요인을 도출하고자 한다.

나. 분석 데이터 및 분석 방법

- 분석 대상 데이터셋의 정보는 아래와 같다.
 - 작물 : 오이(백다다기)
 - 재배기간 : 2018년 10월 ~ 2019년 6월
 - 재배방법 : 토경재배
 - 농가 : (경상북도 상주 사벌면) 우00 농가
 - 조사주기 : 정식 후 3주 이후부터 매 3일마다 조사
- 생육환경 데이터의 수집항목

구분	수집 항목	추가생성항목
생육데이터	초장, 절간장, 엽장, 엽폭, 엽수, 꽃수, 줄기굵기, 엽록소, 과장, 과폭_위, 과폭_중앙, 과폭_아래, 과중*주1	초장증가량, 절간장증가량, 엽장증가량, 엽폭증가량, 엽수증가량, 꽃수증가량, 줄기굵기증가량
환경데이터	내부온도, 내부습도, 내부일사량, 내부기압, 외부기압, 외부온도, 외부습도, 외부일사량, 이슬점, 토양온도, 토양습도, SMSA, VWCD, ECBF*주2	GDD*주3, 누적, 주간, 야간 최소, 최대 DIF(일교차) 일출4시간전후

*주1 : 수확과 생육의 수집 일자가 일치하지 않으며 결측값이 있음.

*주2: 환경데이터는 스마트팜 농가의 환경관리시스템으로부터 수집된 센서 데이터로서 결측치가 존재하였다. 본 분석에서는 결측치를 제외하는 것이 아니라 통계적 기법을 활용하여 보정하였으며, 날짜, 시간 단위로 측정된 특성에 적합한 주기법(Time Interpolation Method)을 활용하였다.

*주3: 수집된 환경변수부터 추가생성된 가공변수 및 가공방법은 아래와 같다.

수집 환경변수	가공 환경변수
내부온도	주간_내부온도, 야간_내부온도, 최소_내부온도, 최대_내부온도, DIF_내부온도, 일출4시간전후_내부온도, GDD_내부온도
내부습도	주간_내부습도, 야간_내부습도, 최소_내부습도, 최대_내부습도
내부기압	최소_내부기압, 최대_내부기압
토양온도	최소_토양온도, 최대_토양온도
토양습도	최소_토양습도, 최대_토양습도
SMSA(토양수분장력)	최소_SMSA, 최대_SMSA
VWCD(토양수분함량)	최소_VWCD, 최대_VWCD
ECBF(토양EC)	최소_ECBF, 최대_ECBF
내부일사량	누적_내부일사량

첨자구분	가공방법
GDD	<p>- GDD(Growing degree days, 생육온도일수)는 오이의 생육 발달에 영향이 큰 변수로 알려져 있으며 재배온도로부터 계산 가능하다(김기덕 외, 2015). 생육기본온도인 TBASE를 15.5°C로 설정한 후 다음 식을 계산한 값을 사용하였다. 여기서 TBASE는 해당 작물이 생육을 정지하는 기본온도(base line)를 설정한 것이다.</p> $GDD = \sum_{\text{생육조사일}} \left(\frac{TMAX + TMIN}{2} - TBASE, 0 \right)_{\max},$ <p>(TBASE = 15.5, TMAX = 일최고기온, TMIN = 일최저기온)</p> <p>- 조사일 기준하여 주별 생육조사일에 대한 GDD값을 계산</p>
누적	- 일일 누적값의 주별 평균값 계산
주간	- 일일 낮 시간 동안의 주별 평균값 계산
야간	- 일일 밤 시간 동안의 주별 평균값 계산
최소	- 일일 최소값의 주별 평균값 계산
최대	- 일일 최대값의 주별 평균값 계산
DIF	- 일일 일교차(최소값과 최대값의 차이)의 주별 평균값 계산
일출4시간전후	- 일일 일출 4시간 전과 후 동안의 평균값의 주별 평균값 계산

- 먼저 생육요인 중 오이의 생산에 영향을 주는 생육변수를 탐색하여 기초통계를 제시하였다. 다음으로 도출된 생육변수에 영향을 주는 환경요인을 회귀분석을 통하여 도출하고자 한다. 분석 S/W로는 RStudio(R ver 3.6.2), SPSS(ver. 25)를 사용하였다.

다. 데이터 탐색(기술통계)

- 다음은 생산량(과중)과 생육요인에 대한 기본적인 통계적 수치이다. N은 데이터 개수, 사분위수(25%순위 : 1/4 분위수, 50%순위: 2/4 분위수, 75%순위 : 3/4 분위수)는 측정값을 낮은 순에서 높은 순으로 정렬한 후 4등분 했을 때의 각 등위에 해당하는 값을 의미한다.

- 생산량(과중)에 대한 기술통계

생산량 정보	N	평균	표준편차	25%순위	50%순위	75%순위
과중	144	159.80	23.65	146.29	158.70	174.39

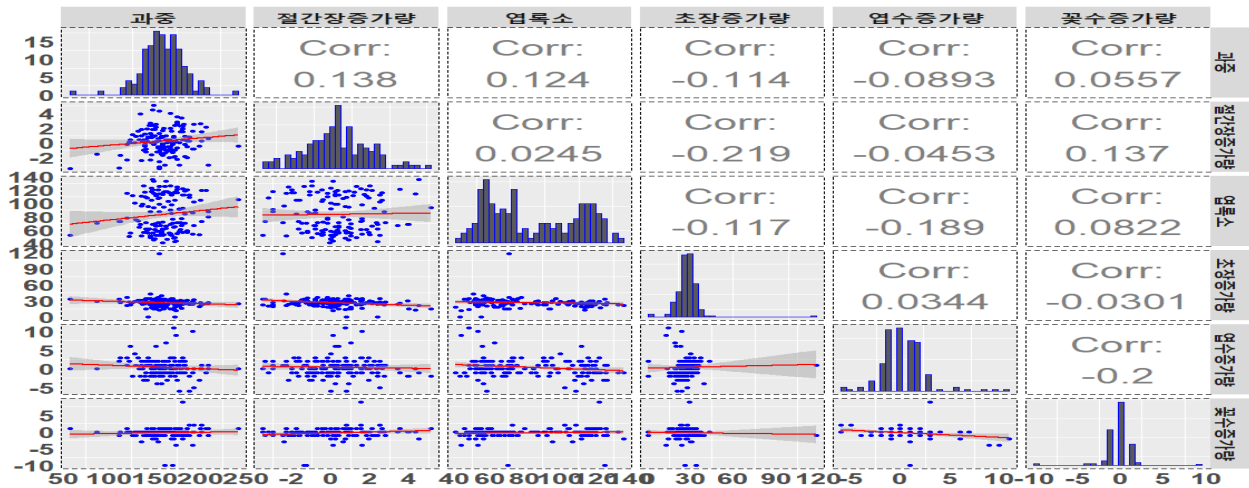
- 생육에 대한 기술통계

생육요인	N	평균	표준편차	25%순위	50%순위	75%순위
초장증가량	310	32.37	58.47	23.10	27.20	31.90
절간장증가량	310	0.17	2.14	-1.10	0.00	1.30
엽장증가량	310	0.13	2.27	-1.30	0.10	1.30
엽폭증가량	310	0.16	2.82	-1.10	-0.10	1.10
엽수증가량	310	0.44	2.47	-1.00	0.00	2.00
꽃수증가량	310	0.02	1.68	-1.00	0.00	1.00
줄기굵기증가량	310	0.00	0.10	-0.07	-0.01	0.05
엽록소	290	73.31	26.00	53.00	61.95	94.40

라. 생산량(과중)을 중심으로 생육 및 환경요인에 대한 분석

1) 과중과 생육요인

- 생산량(과중)은 수확일에 따라 조사된 각 개체별 과중을 의미한다. 과중과 생육요인과의 상관관계를 알아보기 위한 상관분석을 실시하였다.
- 생산량(과중)과 생육요인 간 상관관계를 보면, 절간장증가량, 엽록소, 초장증가량, 엽수증가량, 꽃수증가량, 엽폭증가량, 줄기굵기증가량, 엽장증가량의 순으로 나타났다.
- 과중과 절간장증가량, 엽록소, 꽃수증가량과 양의 상관관계로 나타났고, 초장증가량, 엽수증가량과는 음의 상관관계로 나타났으며 그 외의 생육변수는 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.



< 과중과 생육요인의 상관관계 >

2) 과중과 환경요인

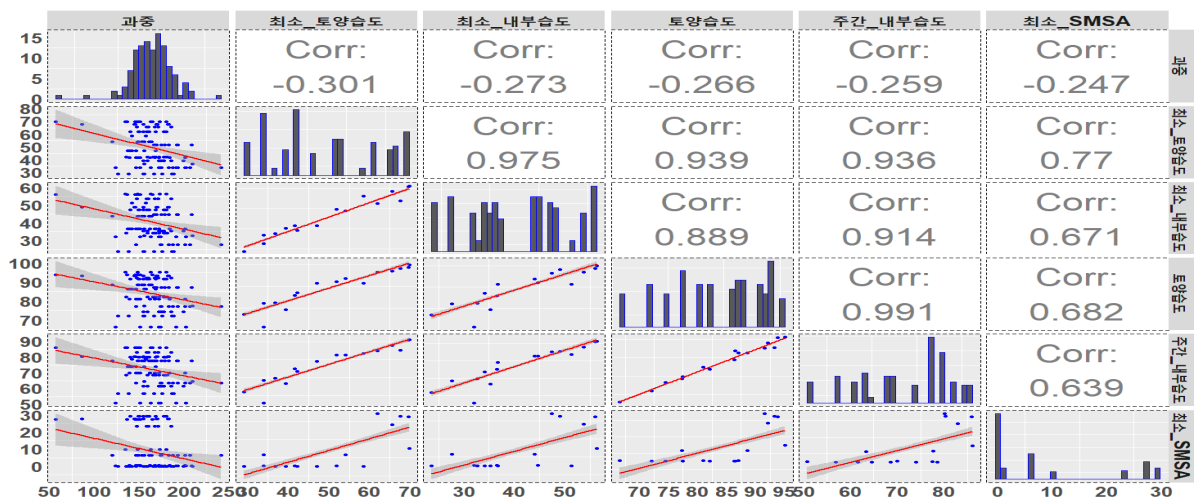
- 생산량(과중)에 영향을 미치는 생육요인(절간장증가량, 엽록소, 초장증가량)을 중심으로 환경요인과의 상관분석 및 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다.
- 분석에 사용된 환경요인은 내부온도, 내부습도, 내부기압, 토양온도, 토양습도, SMSA(토양수분장력), VWCD(토양수분함량), ECBF(토양EC), 내부일사량의 9개 요인이며 각 요인으로부터 파생된 환경요인이 추가되었다.

가) 상관분석

- 생산량(과중)과 환경요인과의 상관관계를 알아보기 위한 상관분석을 실시하였다.

① 생산량(과중)과 환경요인(전체)

- 생산량(과중)과 32개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다. 영향력이 가장 높은 환경요인은 최소_토양습도, 최소_내부습도, 토양습도, 주간_내부습도, 최소_SMSA의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 음의 상관관계를 가진다.



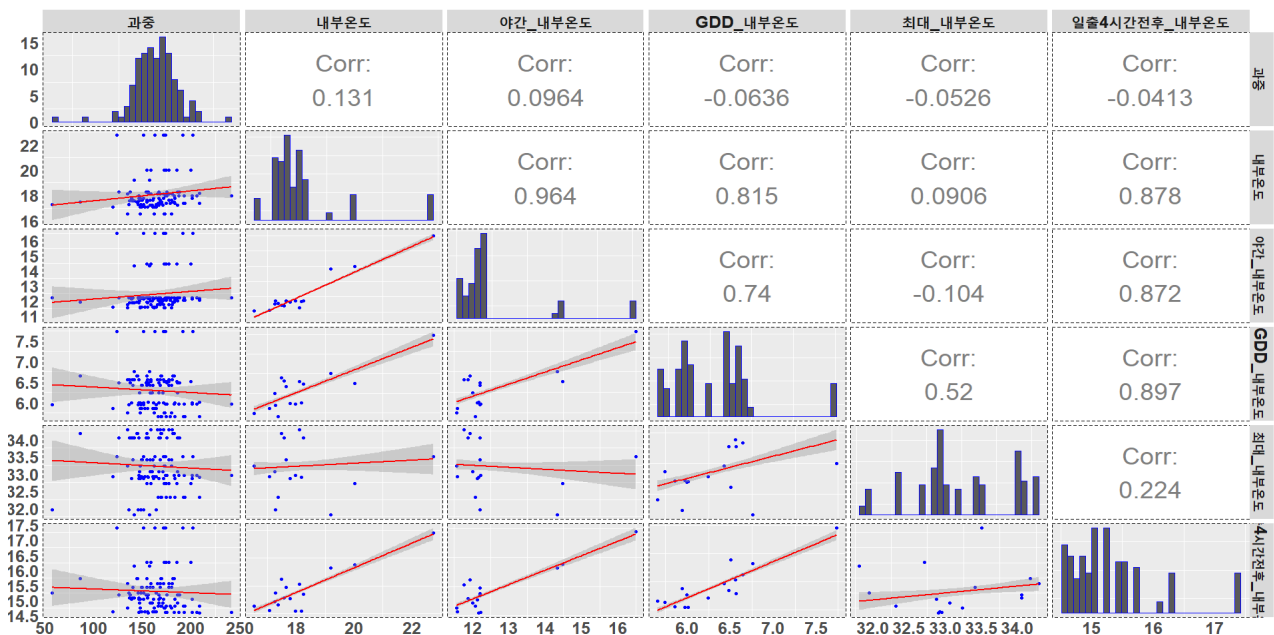
<생산량(과중)과 환경요인(전체)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	최소_토양습도	-0.30
2	최소_내부습도	-0.27
3	토양습도	-0.27
4	주간_내부습도	-0.26
5	최소_SMSA	-0.25
6	최대_내부기압	-0.25
7	내부습도	-0.24
8	내부기압	-0.23
9	SMSA	-0.23
10	최대_SMSA	-0.22

<생산량(과중)과 환경요인(전체)의 상위 10위 상관계수>

② 생산량(과중)과 환경요인(온도)

- 생산량(과중)과 온도에 관련된 8개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 내부온도, 야간_내부온도, GDD_내부온도, 최대_내부온도, 일출4시간전후_내부온도의 순으로 나타났다.
- 또한 생산량(과중)과 내부온도, 야간_내부온도는 양의 상관관계를 가지고, GDD_내부온도, 최대_내부온도, 일출4시간전후_내부온도는 음의 상관관계를 가진다.



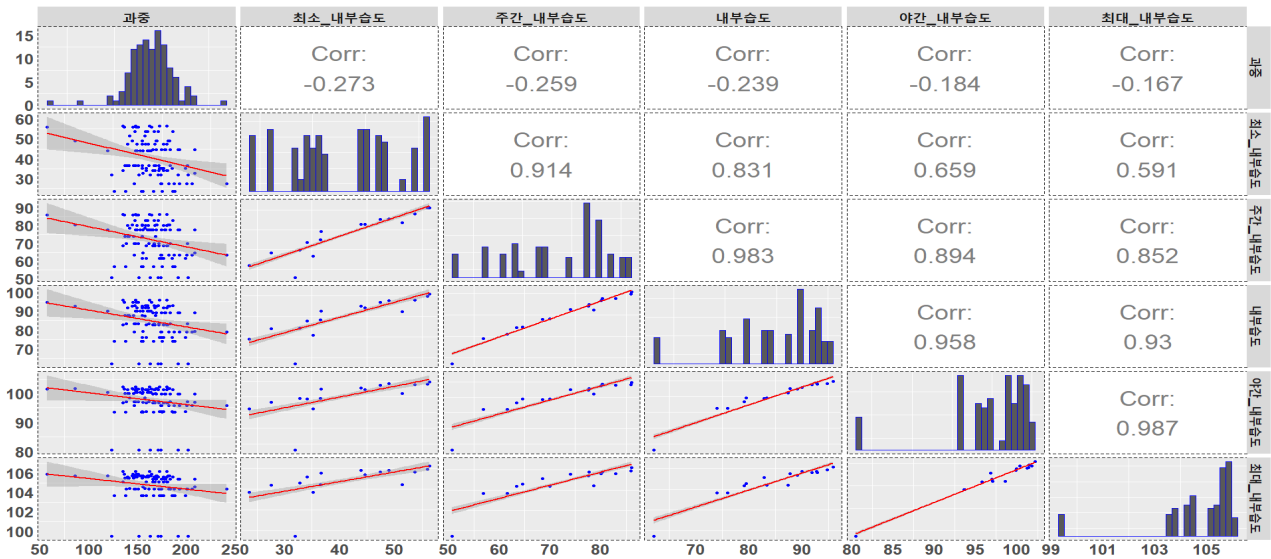
<생산량(주당과중)과 환경요인(온도)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	내부온도	0.130858
2	야간_내부온도	0.096416
3	GDD_내부온도	-0.06359
4	최대_내부온도	-0.05265
5	일출4시간전후_내부온도	-0.04127
6	주간_내부온도	-0.04107
7	DIF_내부온도	-0.01883
8	최소_내부온도	-0.01619

<생산량(과중)과 환경요인(온도)의 상관계수>

③ 생산량(과중)과 환경요인(습도)

- 생산량(과중)과 습도에 관련된 5개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 최소_내부습도, 주간_내부습도, 내부습도, 야간_내부습도, 최대_내부습도의 순으로 높다. 또한 생산량(과중)과 음의 상관관계를 가진다.



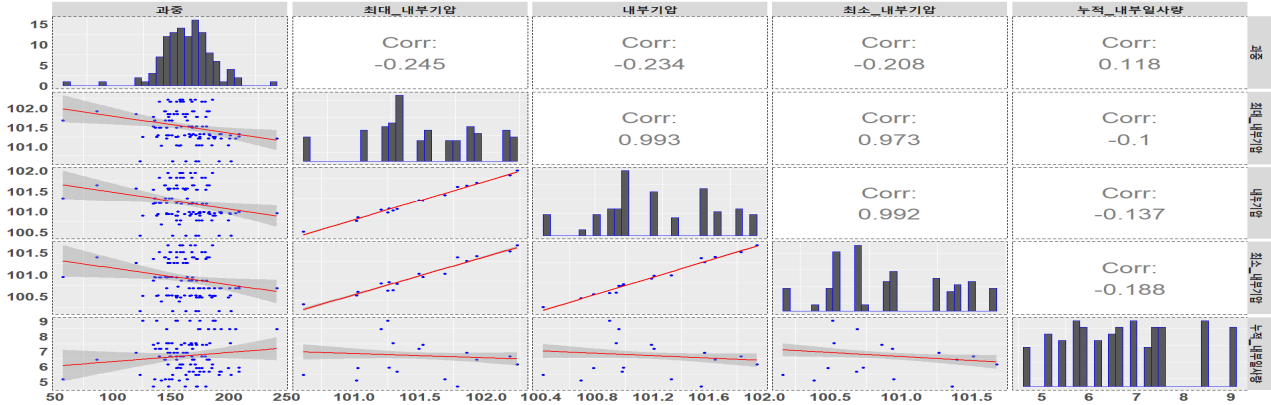
<생산량(과중)과 환경요인(습도)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	최소_내부습도	-0.27
2	주간_내부습도	-0.26
3	내부습도	-0.24
4	야간_내부습도	-0.18
5	최대_내부습도	-0.17

<생산량(과중)과 환경요인(습도)의 상관계수>

④ 생산량(과중)과 환경요인(그 외의 지상부)

- 생산량(과중)과 그 외의 지상부에 관련된 4개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 4위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 최대_내부기압, 내부기압, 최소_내부기압, 누적_내부일사량의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 기압은 음의 상관관계를 가지고, 일사량은 양의 상관관계를 가진다.



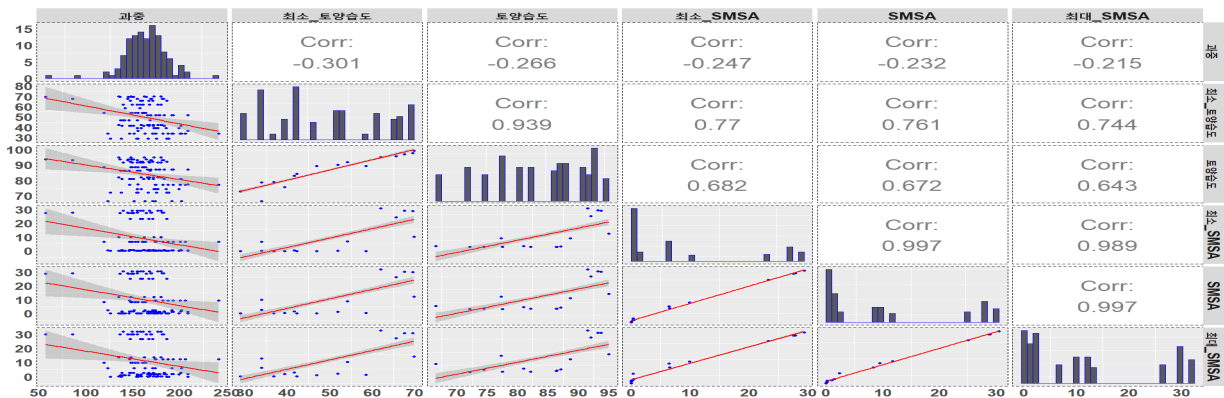
<생산량(과중)과 환경요인(그 외의 지상부)의 상위 4위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	최대_내부기압	-0.25
2	내부기압	-0.23
3	최소_내부기압	-0.21
4	누적_내부일사량	0.12

<생산량(과중)과 환경요인(그 외의 지상부)의 상관계수>

⑤ 생산량(과중)과 환경요인(근권부)

- 생산량(과중)과 근권부에 관련된 15개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인은 아래와 같이 나타났다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 최소_토양습도, 토양습도, 최소_SMSA, SMSA, 최대_SMSA의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 음의 상관관계를 갖는다.



<생산량(과중)과 환경요인(근권부)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	최소_토양습도	-0.30
2	토양습도	-0.27
3	최소_SMSA	-0.25
4	SMSA	-0.23
5	최대_SMSA	-0.22
6	VWCD	0.14
7	최대_VWCD	0.13
8	최소_VWCD	0.11
9	최대_ECBF	0.09
10	최대_토양온도	0.08
11	ECBF	0.08
12	최대_토양습도	-0.08
13	토양온도	0.05
14	최소_토양온도	-0.04
15	최소_ECBF	0.04

<생산량(과중)과 환경요인(근권부)의 상관계수>

나) 회귀분석

○ 생산량(과중)에 영향을 미치는 환경요인을 알아보기 위해 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다.

① 생산량(과중)에 영향을 미치는 환경요인

- 생산량(과중)을 종속변수로 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다.
- 최종 선택된 모형은 통계적으로 적합하나 설명력은 매우 낮게 나타났다. 생산량(과중)에 영향을 미치는 환경요인은 최소_토양습도로 나타났다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.10	0.10	11.42	<.001

$$\text{과중} = 189.66 - 0.52 * \text{최소.토양습도}$$

○ 최소_토양습도가 작을수록 과중이 증가하는 것을 알 수 있다.

마. 생육에 영향을 미치는 환경요인에 대한 분석

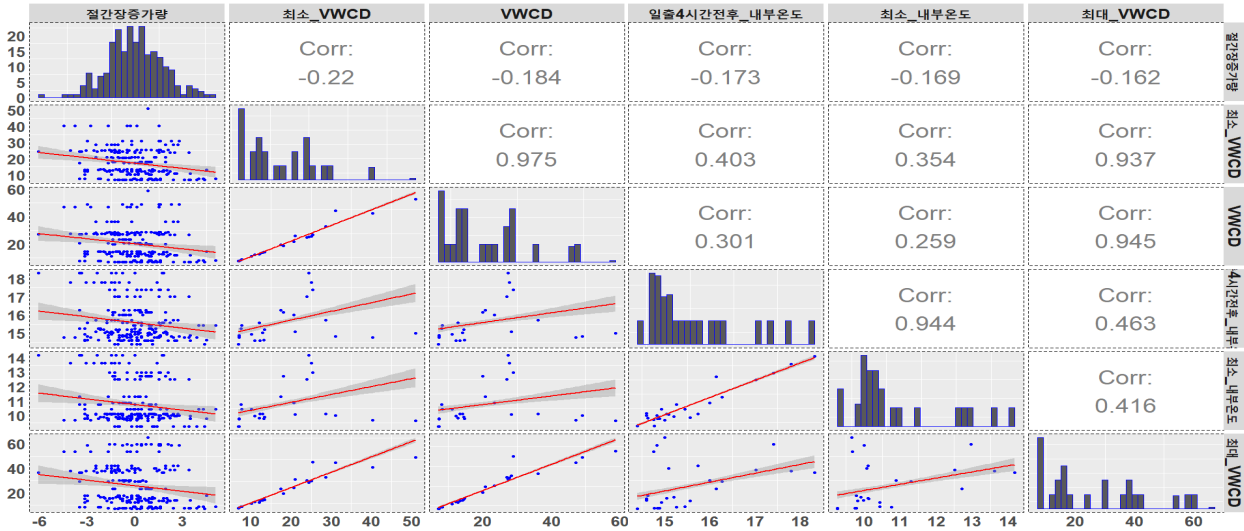
1) 생육요인과 환경요인

○ 생산량(과중)에 영향을 미치는 생육요인(절간장증가량, 엽록소, 초장증가량)을 중심으로 환경요인과의 상관분석 및 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다.

가) 절간장증가량

① 상관분석

- 생육요인(절간장증가량)과 32여개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 최소_VWCD, VWCD, 일출4시간전후_내부온도, 최소_내부온도, 최대_VWCD의 순으로 높다. 또한 생육요인(절간장증가량)과 음의 상관관계를 가진다.



<생육요인(절간장증가량)과 환경요인의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	최소_VWCD	-0.22
2	VWCD	-0.18
3	일출4시간전후_내부온도	-0.17
4	최소_내부온도	-0.17
5	최대_VWCD	-0.16
6	DIF_내부온도	0.15
7	최소_토양온도	0.14
8	GDD_내부온도	-0.14
9	야간_내부온도	-0.14
10	내부온도	-0.14

<생육요인(절간장증가량)과 환경요인의 상위 10위 상관계수 >

② 회귀분석

- 생육요인(절간장증가량)을 종속변수로, 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시한 결과, 통계값과 모형은 아래와 같다. 모형은 적합하며 설명력은 비교적 낮게 나타났다. 환경요인 중 최소_VWCD의 1가지 환경변수가 절간장증가량에 영향을 미치는 핵심요인으로 나타났다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.05	0.04	11.65	<.001

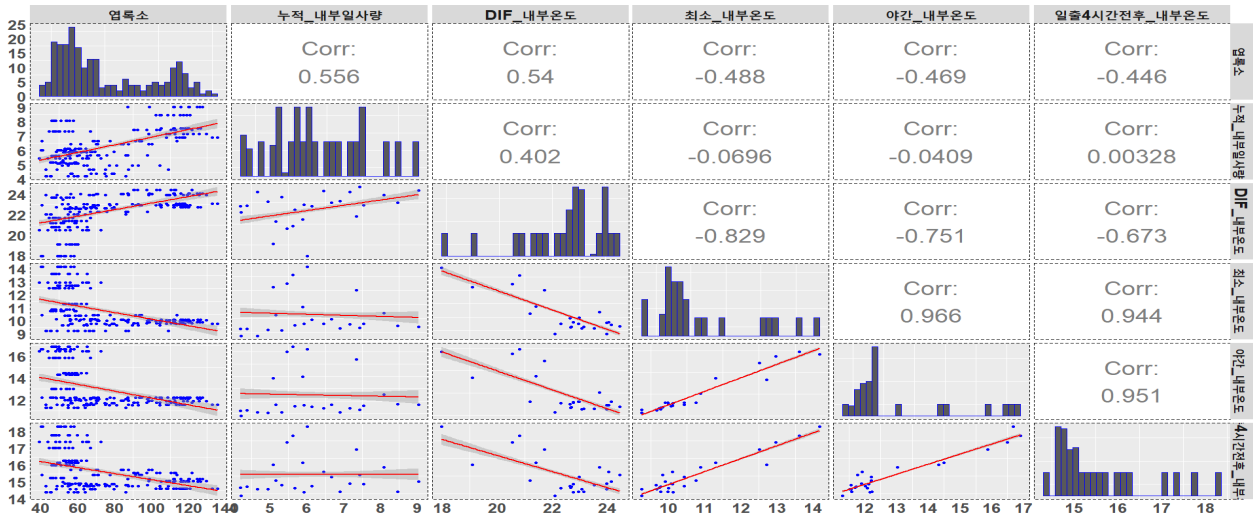
절간장증가량 = 0.70 - 0.04 * 최소_VWCD

○ 즉, 최소_VWCD가 작을수록 절간장증가량이 늘어나는 것을 알 수 있다.

나) 엽록소함량

① 상관분석

- 생육요인(엽록소)과 32여개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 누적_내부일사량, DIF_내부온도, 최소_내부온도, 야간_내부온도, 일출4시간전후_내부온도의 순으로 높다. 또한 생육요인(엽록소)과 누적_내부일사량, DIF_내부온도는 양의 상관관계를 가지고 최소_내부온도, 야간_내부온도, 일출4시간전후_내부온도는 음의 상관관계를 가진다.



<생육요인(엽록소)과 환경요인의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	누적_내부일사량	0.56
2	DIF_내부온도	0.54
3	최소_내부온도	-0.49
4	야간_내부온도	-0.47
5	일출4시간전후_내부온도	-0.45
6	내부온도	-0.39
7	주간_내부온도	-0.37
8	최대_토양습도	0.36
9	최대_내부습도	0.32
10	GDD_내부온도	-0.30

<생육요인(엽록소)과 환경요인의 상위 10위 상관계수 >

② 회귀분석

- 생육요인(엽록소)을 종속변수로, 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시한 결과, 통계값과 모형은 아래와 같다. 모형은 적합하며 설명력은 높게 나타났다.
- 환경요인 중 누적_내부일사량, 내부온도, 최대_토양온도, 최소_VWCD, 최대_SMSA의 5가지 환경변수가 엽록소에 영향을 미치는 핵심요인으로 나타났다.
- 상관분석의 결과와 비교하면 영향력이 높은 환경요인이 다르게 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 회귀분석에서 모형의 정확도를 위하여 단계적 회귀분석의 변수선택 시 다중공선성이 있는 변수를 배제하였기 때문인 것으로 추정된다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.70	0.69	102.1	<.001

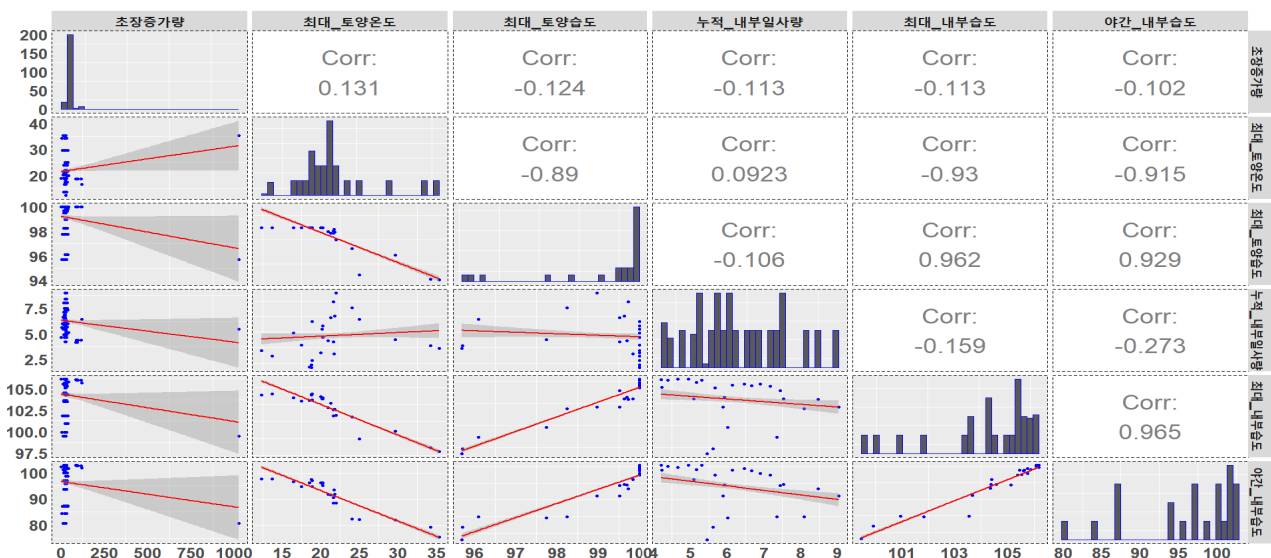
$$\text{엽록소} = 189.78 + 14.58 * \text{누적_내부일사량} - 16.08 * \text{내부온도} + 3.86 * \text{최대_토양온도} + 0.84 * \text{최소_VWCD} - 0.48 * \text{최대_SMSA}$$

- 즉, 엽록소 함량은 누적_내부일사량, 최대_토양온도, 최소_VWCD가 높을수록 증가하고 내부온도, 최대_SMSA가 작을수록 증가하는 것을 알 수 있다.

다) 초장증가량

① 상관분석

- 생육요인(초장증가량)과 32여개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 최대_토양온도, 최대_토양습도, 누적_내부일사량, 최대_내부습도, 야간_내부습도의 순으로 높다.
- 또한 생육요인(초장증가량)과 최대_토양온도는 양의 상관관계를 가지고 최대_토양습도, 누적_내부일사량, 최대_내부습도, 야간_내부습도는 음의 상관관계를 갖는다.



<생육요인(초장증가량)과 환경요인의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	최대_토양온도	0.13
2	최대_토양습도	-0.12
3	누적_내부일사량	-0.11
4	최대_내부습도	-0.11
5	야간_내부습도	-0.10
6	야간_내부온도	0.10
7	최대_VWCD	0.09
8	일출4시간전후_내부온도	0.08
9	최소_토양온도	-0.08
10	DIF_내부온도	-0.08

<생육요인(초장증가량)과 환경요인의 상위 10위 상관계수 >

② 회귀분석

- 생육요인(초장증가량)을 종속변수로, 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시한 결과, 통계값과 모형은 아래와 같다. 모형은 적합하며 설명력은 비교적 낮게 나타났다.
- 환경요인 중 최대_토양온도의 1가지 환경변수가 초장증가량에 영향을 미치는 핵심요인으로 나타났다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.02	0.01	3.978	0.047

$$\text{초장증가량} = -5.31 + 1.77 * \text{최대.토양온도}$$

- 즉, 최대_토양온도가 커질수록 초장증가량이 늘어나는 것을 알 수 있다.

2) 결론

- 오이의 생산량과 가장 밀접한 과중을 예측하기 위해서 빅데이터를 기반으로 분석한 결과이다.
- 과중에 영향을 미치는 생육요인을 탐색하고 그 생육요인에 영향을 미치는 주요 환경요인을 도출하였다.
- 경상북도 상주시 오이를 재배하는 농가들 중 재배관리를 잘하는 우00 농가를 대상으로 분석이 진행되었다.

< 생산량(과중)에 영향을 미치는 주요 생육요인과 회귀모형식 >

생산량정보	재배기간	주요 생육요인	회귀모형식
과중	2018.10 ~ 2019.06	절간장증가량, 엽록소, 초장증가량	$\text{과중} = 189.66 - 0.52 * \text{최소. 토양 습도}$

- 상관분석과 회귀분석을 통하여 나타난 결과, 과중과 상관관계가 높은 생육요인은 절간장증가량, 엽록소, 초장증가량이었으며, 주요 환경요인은 최소 토양습도로 나타났다.

<생육요인과 상관관계가 높은 주요 환경요인>

생육요인	주요 환경요인
절간장증가량	최소_VWCD, VWCD, 일출4시간전후_내부온도, 최소_내부온도, 최대_VWCD
엽록소	누적_내부일사량, DIF_내부온도, 최소_내부온도, 야간_내부온도, 일출4시간전후_내부온도
초장증가량	최대_토양온도, 최대_토양습도, 누적_내부일사량, 최대_내부습도, 야간_내부습도

- 상관분석 결과, 생육요인에 따라 다르게 나타났다.
- 생육요인들(절간장증가량, 엽록소, 초장증가량)에서 공통적으로 상관관계가 높은 환경요인은 없으며 2회 이상 추출된 주요 환경요인은 내부온도(최소)와 내부일사량(누적)으로 나타났다.
- 절간장증가량의 경우 내부온도(일출4시간전후, 최소)와 VWCD(평균, 최소, 최대)가 주요 환경요인으로 나타났고, 엽록소의 경우 내부일사량(누적)과 내부온도(DIF, 최소, 야간, 일출4시간전후)가 주요 환경요인으로 나타났고, 초장증가량의 경우 토양온도(최대), 토양습도(최대), 내부일사량(누적), 내부습도(최대, 야간)가 주요 환경요인으로 나타났다.

<생육요인에 영향을 미치는 환경요인의 회귀모형식>

생육요인	주요 환경요인
절간장증가량	절간장증가량=0.70-0.04*최소.VWCD
엽록소	엽록소=189.78+14.58*누적.내부일사량-16.08*내부온도+3.86*최대.토양온도+0.84*최소.VWCD-0.48*최대.SMSA
초장증가량	초장증가량=-5.31+1.77*최대.토양온도

- 회귀분석 결과, 생육요인(절간장증가량, 엽록소, 초장증가량)에 영향을 미치는 환경요인은 다르게 나타났다. 상관분석의 결과와 비교하면 영향력이 높은 환경요인이 다르게 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 회귀분석에서 모형의 정확도를 위하여 단계적 회귀분석의 변수선택 시 다중공선성이 있는 변수를 배제하였기 때문인 것으로 추정된다.
- 절간장증가량에 영향을 미치는 주요 환경요인은 VWCD로 나타났고, 엽록소에 영향을 미치는 주요 환경요인은 내부일사량(누적), 내부온도, 토양온도(최대), VWCD(최소), SMSA(최대)로 나타났고, 초장증가량에 영향을 미치는 주요 환경요인은 토양온도(최대)로 나타났다.
- 근권부 환경요인은 모든 생육요인에서 주요한 환경요인으로 나타났고, 2회 이상 추출된 환경요인은 VWCD(최소)와 토양온도(최대)로 나타났다. 또한 내부일사량(누적), 내부온도, SMSA(최대)은 특정 생육요인에만 주요하게 나타났다.

3. 2019-2020년 백다다기 오이 우수농가 생산성 향상 요인 분석

가. 분석 개요

- 농업빅데이터 기반의 스마트팜 활용 기술 개발의 일환으로, 스마트팜 농가의 재배환경관리 모델링 연구를 위해 농장에서 수집되는 작물의 생육환경 데이터를 통계적 기법으로 분석하여 작물별 유형별 최적 재배환경을 위한 생육환경요인을 도출하고자 한다.

나. 분석 데이터 및 분석 방법

- 분석 대상 데이터셋의 정보는 아래와 같다.

- 작물 : 오이(백다다기)
- 재배기간 : 2019년 10월 ~ 2020년 6월
- 재배방법 : 토경재배
- 농가 : (경상북도 상주 사벌면) 우00 농가
- 조사주기 : 정식 후 3주 이후부터 매 3일마다 조사

- 생육환경 데이터의 수집항목

구분	수집항목	추가생성항목
생육데이터	초장, 생장점 길이, 마디수, 경경_1마디, 경경_5마디, 경경_10마디, 대목직경, 접수직경, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소, 과장_곡선길이, 과장_원래길이, 과장_직선길이, 과폭_상, 과폭_중, 과폭_하, 과중*주1	초장증가량, 마디수증가량, 엽장증가량, 엽폭증가량, 엽수증가량
환경데이터	내부온도, 상대습도, 포화수증기, 수증기압, 수증기압차이, 포화절대습도, 절대습도, 수분부족도, 이슬점, 토양수분15, 토양수분30, 지온15, 지온30, EC15, EC30, co2, 내부일사량, 풍속, 풍향, 외부광량, 외부일사량, 외부상대습도, 외부기온*주2	주간, 야간 최소, 최대 DIF(일교차) 주간최대*주3

*주1 : 수확과 생육의 수집 일자가 일치하지 않으며 결측값이 있음.

*주2: 환경데이터는 스마트팜 농가의 환경관리시스템으로부터 수집된 센서데이터로서 결측치가 존재하였다. 본 분석에서는 결측치를 제외하는 것이 아니라 통계적 기법을 활용하여 보정하였으며, 날짜, 시간 단위로 측정된 특성에 적합한 주기법(Time Interpolation Method)을 활용하였다.

*주3: 수집된 환경변수부터 추가생성된 가공변수 및 가공방법은 아래와 같다.

수집 환경변수	가공 환경변수
내부온도	주간_내부온도, 야간_내부온도, 최소_내부온도, 최대_내부온도, DIF_내부온도
상대습도	주간_상대습도, 야간_상대습도
절대습도	주간_절대습도, 야간_절대습도
지온15	주간_지온15, 야간_지온15
지온30	주간_지온30, 야간_지온30
토양수분15	주간_토양수분15, 야간_토양수분15
토양수분30	주간_토양수분30, 야간_토양수분30
EC15	주간_EC15, 야간_EC15
EC30	주간_EC30, 야간_EC30
co2	주간_co2, 야간_co2
포화수증기	주간_포화수증기, 야간_포화수증기
수증기압	주간_수증기압, 야간_수증기압
수증기압차이	주간_수증기압차이, 야간_수증기압차이
포화절대습도	주간_포화절대습도, 야간_포화절대습도
수분부족도	주간_수분부족도, 야간_수분부족도
이슬점	주간_이슬점, 야간_이슬점
누적일사량	주간최대

첨자구분	가공방법
주간	- 일일 낮 시간 동안의 주별 평균값 계산
야간	- 일일 밤 시간 동안의 주별 평균값 계산
최소	- 일일 최소값의 주별 평균값 계산
최대	- 일일 최대값의 주별 평균값 계산
DIF	- 일일 일교차(최소값과 최대값의 차이)의 주별 평균값 계산
주간최대	- 일일 낮 시간 동안의 주별 최대값 계산

- 먼저 생육요인 중 오이의 생산에 영향을 주는 생육변수를 탐색하여 기초통계를 제시하였다. 다음으로 도출된 생육변수에 영향을 주는 환경요인을 회귀분석을 통하여 도출하고자 한다. 분석 S/W로는 RStudio(R ver 3.6.2), SPSS(ver. 25)를 사용하였다.

다. 데이터 탐색(기술통계)

- 다음은 생산량(과중)과 생육요인에 대한 기본적인 통계적 수치이다. N은 데이터 개수, 사분위수(25%순위 : 1/4 분위수, 50%순위: 2/4 분위수, 75%순위 : 3/4 분위수)는 측정값을 낮은 순에서 높은 순으로 정렬한 후 4등분 했을 때의 각 등위에 해당하는 값을 의미한다.

○ 생산량(과중)에 대한 기술통계

생산량 정보	N	평균	표준편차	25%순위	50%순위	75%순위
과중	436	160.68	24.01	142.98	156.50	174.99

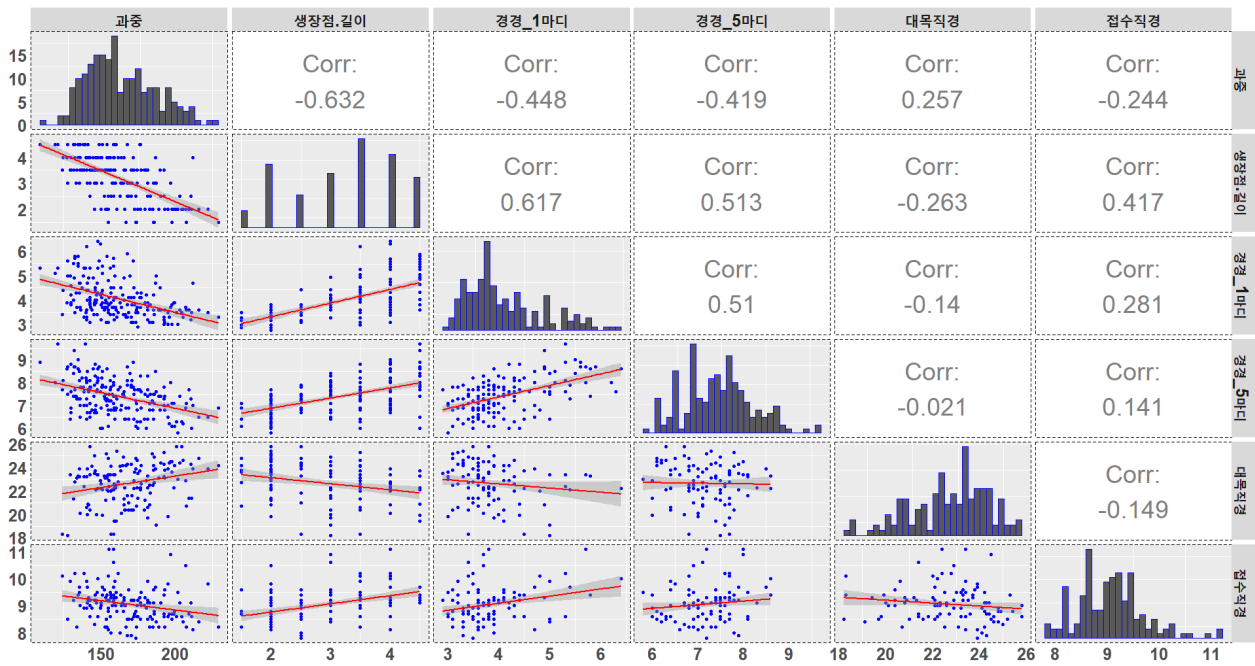
○ 생육에 대한 기술통계

생육요인	N	평균	표준편차	25%순위	50%순위	75%순위
초장증가량	329	27.47	13.25	20.00	27.00	34.00
마디수증가량	329	2.78	1.46	2.00	3.00	3.00
엽장증가량	329	0.09	3.15	-1.50	0.00	1.50
엽폭증가량	329	0.15	2.79	-1.50	0.00	1.50
엽수증가량	329	0.19	2.30	-1.00	0.00	2.00
생장점 길이	320	3.30	0.81	3.00	3.50	4.00
경경_1마디	340	4.25	0.85	3.60	4.00	4.80
경경_5마디	330	7.57	1.01	6.90	7.50	8.10
경경_10마디	310	7.79	1.25	7.10	7.70	8.40
대목직경	180	22.84	1.77	21.80	23.10	24.15
접수직경	180	9.04	0.69	8.60	8.90	9.30
엽록소	311	49.02	8.49	45.20	49.10	52.00

라. 생산량(과중)을 중심으로 생육 및 환경요인에 대한 분석

1) 과중과 생육요인

- 생산량(과중)은 수확일에 따라 조사된 각 개체별 과중을 의미한다. 과중과 생육요인과의 상관관계를 알아보기 위한 상관분석을 실시하였다.
- 생산량(과중)과 생육요인 간 상관관계를 보면, 생장점 길이, 경경_1마디, 경경_5마디, 대목직경, 접수직경, 경경_10마디, 엽장증가량, 엽수증가량, 엽폭증가량, 마디수증가량, 초장증가량의 순으로 나타났다.
- 과중과 생장점 길이, 경경_1마디, 경경_5마디, 접수직경과 음의 상관관계로 나타났고, 대목직경과는 양의 상관관계로 나타났으며 그 외의 생육변수는 상관관계가 낮은 것으로 나타났다.



< 과중과 생육요인과의 상관관계 >

2) 과중과 환경요인

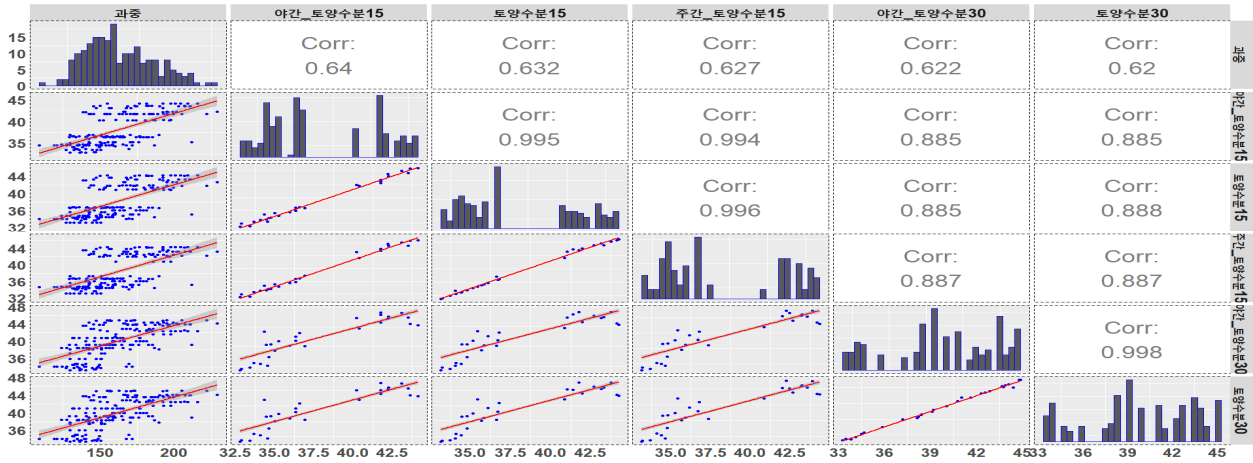
- 생산량(과중)에 영향을 미치는 생육요인(생장점 길이, 경경_1마디, 접수직경)을 중심으로 환경요인과의 상관분석 및 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다.
- 분석에 사용된 환경요인은 내부온도, 상대습도, 포화수증기, 수증기압, 수증기압차이, 포화절대습도, 절대습도, 수분부족도, 이슬점, 토양수분15, 토양수분30, 지온15, 지온30, EC15, EC30, co2, 내부일사량의 17개 요인이며 각 요인으로부터 파생된 환경요인이 추가되었다.

가) 상관분석

- 생산량(과중)과 환경요인과의 상관관계를 알아보기 위한 상관분석을 실시하였다.

① 생산량(과중)과 환경요인(전체)

- 생산량(과중)과 45개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 야간_토양수분15, 토양수분15, 주간_토양수분15, 야간_토양수분30, 토양수분30의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 높은 양의 상관관계를 가진다.



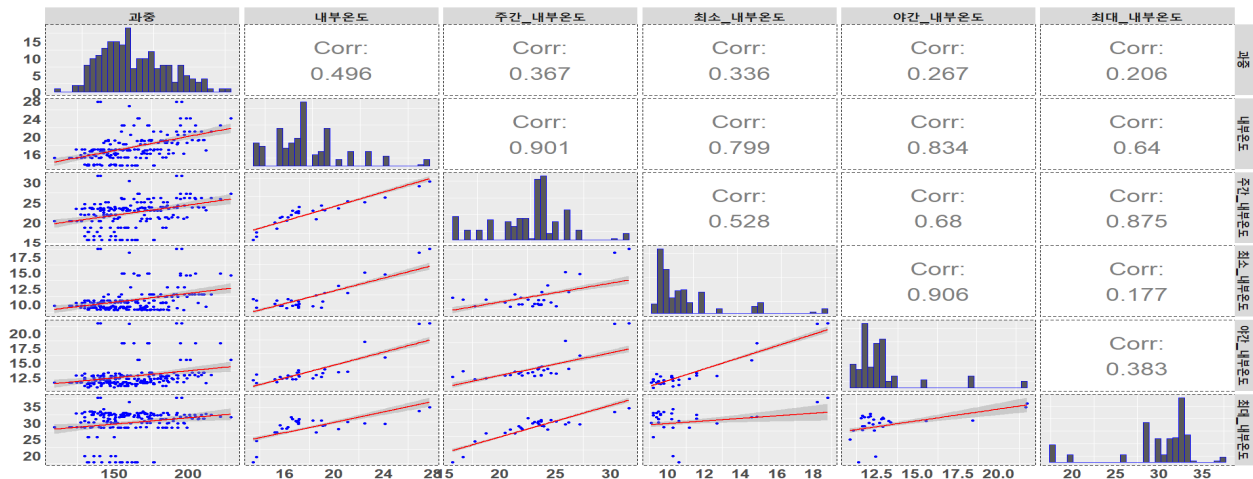
<생산량(과중)과 환경요인(전체)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	야간_토양수분15	0.64
2	토양수분15	0.63
3	주간_토양수분15	0.63
4	야간_토양수분30	0.62
5	토양수분30	0.62
6	주간_토양수분30	0.62
7	상대습도	-0.56
8	수분부족도	0.54
9	주간_상대습도	-0.54
10	수증기압차이	0.54

<생산량(과중)과 환경요인(전체)의 상위 10위 상관계수>

② 생산량(과중)과 환경요인(온도)

- 생산량(과중)과 온도에 관련된 6개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 내부온도, 주간_내부온도, 최소_내부온도, 야간_내부온도, 최대_내부온도의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 양의 상관관계를 가진다.



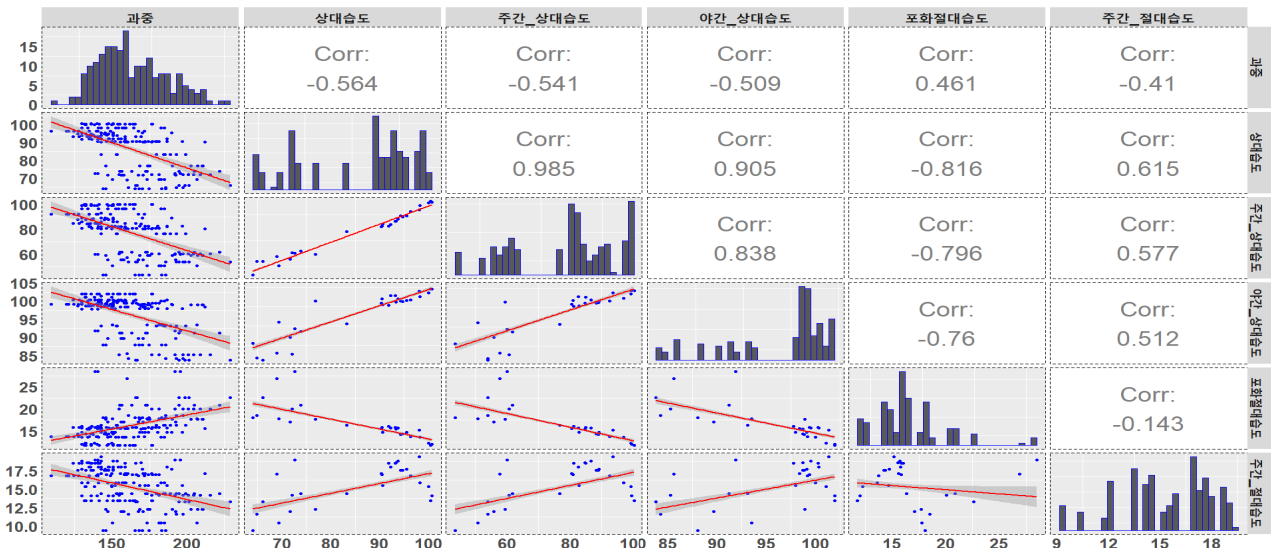
<생산량(주당과중)과 환경요인(온도)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	내부온도	0.50
2	주간_내부온도	0.37
3	최소_내부온도	0.34
4	야간_내부온도	0.27
5	최대_내부온도	0.21
6	DIF_내부온도	0.05

<생산량(과중)과 환경요인(온도)의 상관계수>

③ 생산량(과중)과 환경요인(습도)

- 생산량(과중)과 습도에 관련된 9개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 상대습도, 주간_상대습도, 야간_상대습도, 포화절대습도, 주간_절대습도의 순으로 높다. 또한 생산량(과중)과 상대습도, 주간_상대습도, 야간_상대습도, 주간_절대습도와는 음의 상관관계를 가지고 포화절대습도와는 양의 상관관계를 가진다.



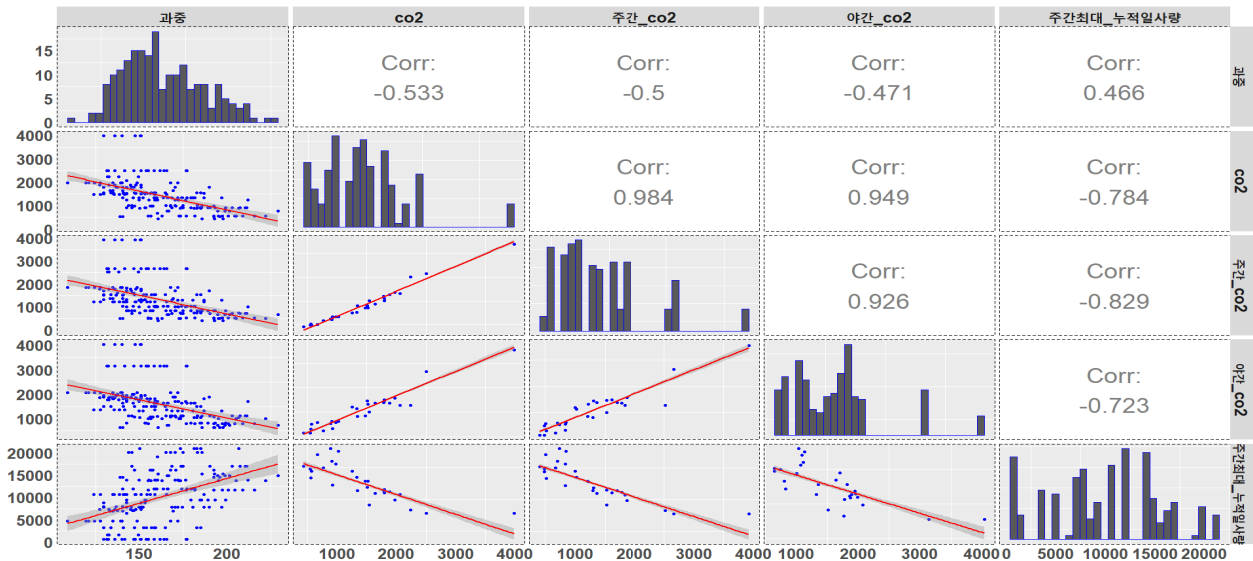
<생산량(과중)과 환경요인(습도)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	상대습도	-0.56
2	주간_상대습도	-0.54
3	야간_상대습도	-0.51
4	포화절대습도	0.46
5	주간_절대습도	-0.41
6	주간_포화절대습도	0.35
7	야간_포화절대습도	0.25
8	절대습도	-0.12
9	야간_절대습도	0.04

<생산량(과중)과 환경요인(습도)의 상관계수>

④ 생산량(과중)과 환경요인(일사량, CO2)

- 생산량(과중)과 일사량, CO2에 관련된 4개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 4위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 co2, 주간_co2, 야간_co2, 주간최대_누적일사량의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 co2, 주간_co2, 야간_co2는 음의 상관관계를 가지며, 주간최대_누적일사량은 양의 상관관계를 가진다.



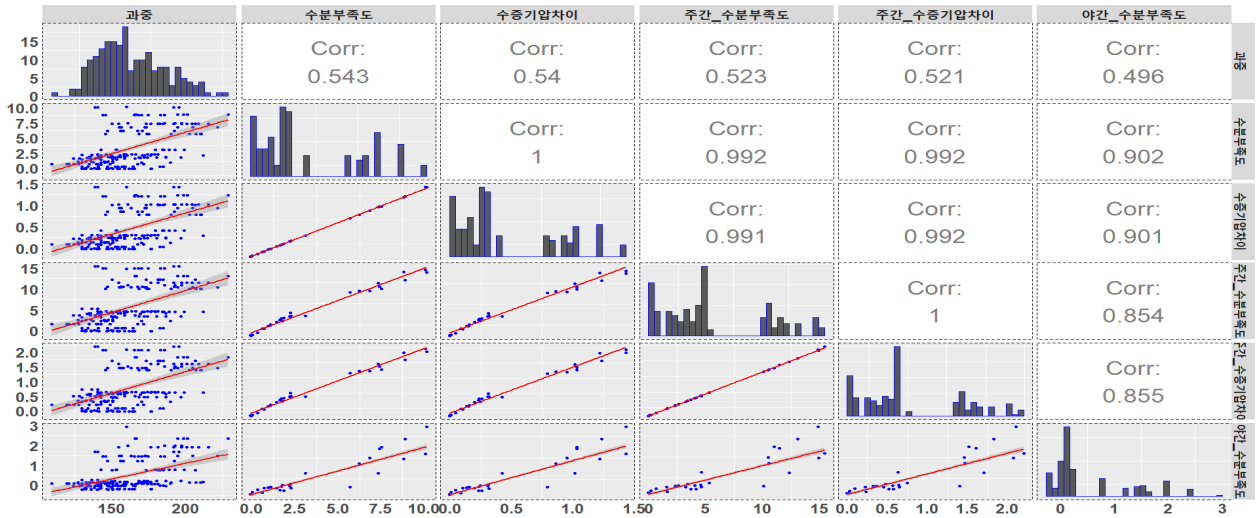
<생산량(과중)과 환경요인(일사량, CO2)의 상위 4위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	co2	-0.53
2	주간_co2	-0.50
3	야간_co2	-0.47
4	주간최대_누적일사량	0.47

<생산량(과중)과 환경요인(일사량, CO2)의 상관계수>

⑤ 생산량(과중)과 환경요인(수분)

- 생산량(과중)과 수분에 관련된 15개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인은 아래와 같이 나타났다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 수분부족도, 수증기압차이, 주간_수분부족도, 주간_수증기압차이, 야간_수분부족도의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 양의 상관관계를 갖는다.



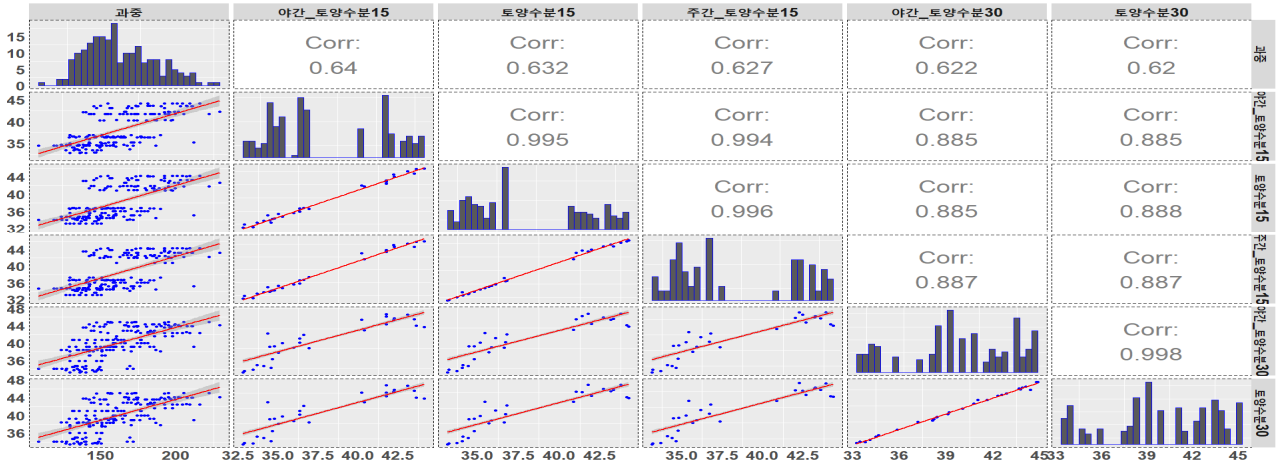
<생산량(과중)과 환경요인(수분)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	수분부족도	0.54
2	수증기압차이	0.54
3	주간_수분부족도	0.52
4	주간_수증기압차이	0.52
5	야간_수분부족도	0.50
6	야간_수증기압차이	0.49
7	포화수증기압	0.46
8	주간_수증기압	-0.39
9	주간_이슬점	-0.36
10	주간_포화수증기압	0.35
11	야간_포화수증기압	0.24
12	수증기압	-0.08
13	이슬점	-0.06
14	야간_수증기압	0.05
15	야간_이슬점	0.04

<생산량(과중)과 환경요인(수분)의 상관계수>

⑥ 생산량(과중)과 환경요인(근권부)

- 생산량(과중)과 근권부에 관련된 15개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인은 아래와 같이 나타났다.
- 영향력이 가장 높은 환경요인은 야간_토양수분15, 토양수분15, 주간_토양수분15, 야간_토양수분30, 토양수분30의 순으로 나타났다. 또한 생산량(과중)과 높은 양의 상관관계를 갖는다.



<생산량(과중)과 환경요인(근권부)의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	야간_토양수분15	0.64
2	토양수분15	0.63
3	주간_토양수분15	0.63
4	야간_토양수분30	0.62
5	토양수분30	0.62
6	주간_토양수분30	0.62
7	야간_지온15	0.52
8	주간_지온15	0.51
9	지온15	0.51
10	야간_지온30	0.49
11	지온30	0.47
12	주간_지온30	0.46

<생산량(과중)과 환경요인(근권부)의 상관계수>

나) 회귀분석

○ 생산량(과중)에 영향을 미치는 환경요인을 알아보기 위해 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다.

① 생산량(과중)에 영향을 미치는 환경요인

○ 생산량(과중)을 종속변수로 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다. 최종 선택된 모형은 통계적으로 적합하나 설명력은 낮게 나타났다. 생산량(과중)에 영향력을 미치는 환경요인은 야간_토양수분15, 주간_co2, 최대_내부온도로 나타났다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.45	0.44	53.4	<.001

$$\text{과중} = 127.08 + 2.63 * \text{야간.토양수분15} - 0.01 * \text{주간.CO2} - 1.53 * \text{최대.내부온도}$$

○ 야간_토양수분15이 클수록 과중이 증가하고 주간_co2, 최대_내부온도가 작을수록 과중이 증가하는 것을 알 수 있다.

마. 생육에 영향을 미치는 환경요인에 대한 분석

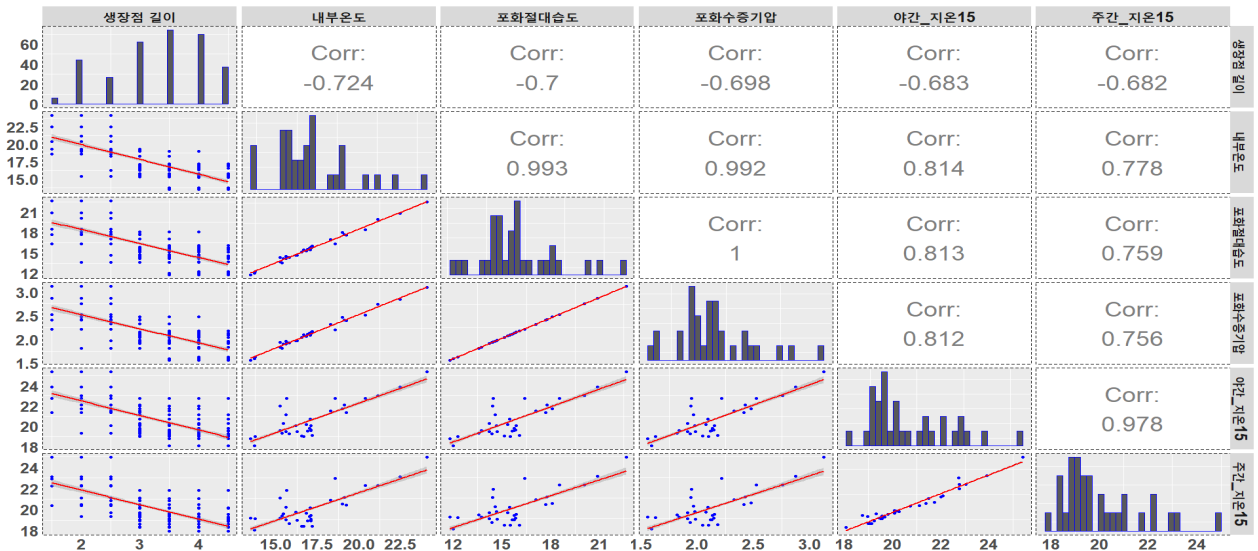
1) 생육요인과 환경요인

- 생산량(과중)에 영향을 미치는 생육요인(생장점 길이, 경경_1마디, 접수직경)을 중심으로 환경요인과의 상관분석 및 단계적 다중 회귀분석을 실시하였다.

가) 생장점 길이

① 상관분석

- 생육요인(생장점 길이)와 45여개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 내부온도, 포화절대습도, 포화수증기압, 야간_지온15, 주간_지온15의 순으로 높다. 또한 생육요인(생장점 길이)과 높은 음의 상관관계를 가진다.



<생육요인(생장점 길이)와 환경요인의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	내부온도	-0.72
2	포화절대습도	-0.70
3	포화수증기압	-0.70
4	야간_지온15	-0.68
5	주간_지온15	-0.68
6	지온15	-0.67
7	수증기압차이	-0.66
8	수분부족도	-0.66
9	co2	0.66
10	야간_co2	0.66

<생육요인(생장점 길이)와 환경요인의 상위 10위 상관계수 >

② 회귀분석

- 생육요인(생장점 길이)를 종속변수로, 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시한 결과, 통계값과 모형은 아래와 같다. 모형은 적합하며 설명력은 높게 나타났다.
- 환경요인 중 내부온도, 상대습도, 야간_co2, 주간최대_누적일사량, 야간_토양수분30의 5가지 환경변수가 생장점 길이에 영향을 미치는 핵심요인으로 나타났다.
- 상관분석의 결과와 비교하면 영향력이 높은 환경요인이 다르게 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 회귀분석에서 모형의 정확도를 위하여 단계적 회귀분석의 변수선택 시 다중공선성이 있는 변수를 배제하였기 때문인 것으로 추정된다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.63	0.63	108.00	<.001

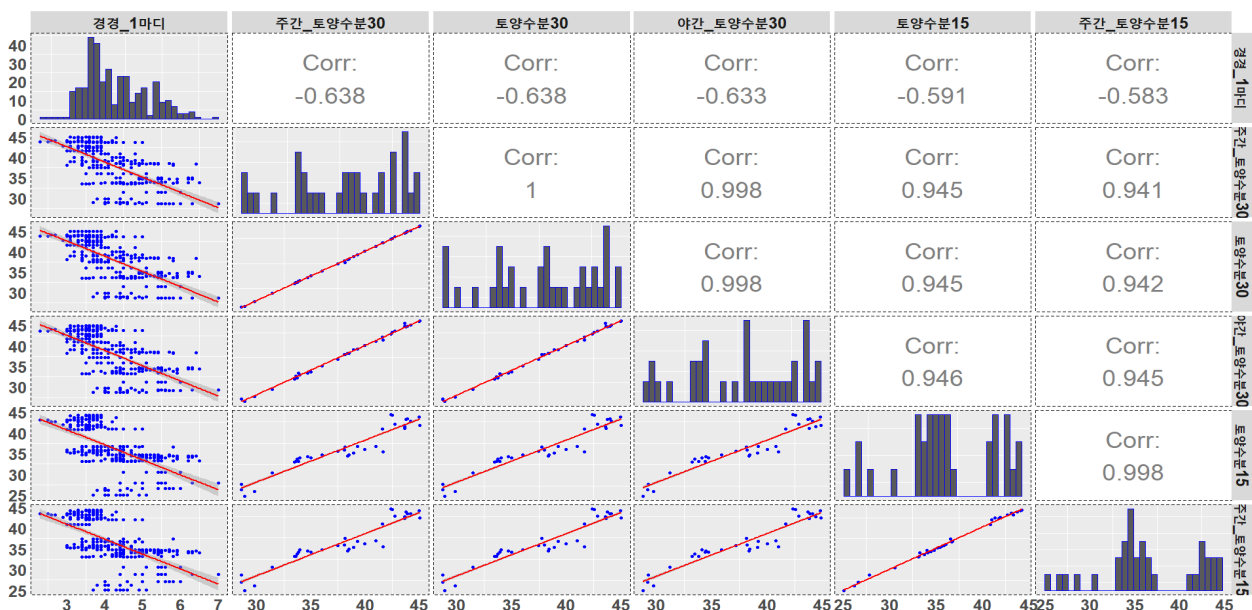
$$\text{생장점길이} = 3.756 - 0.10 * \text{내부온도} + 0.02 * \text{상대습도} + 0.0002 * \text{야간.CO2} + 0.00005 * \text{주간최대.누적일사량} - 0.05 * \text{야간.토양수분30}$$

- 즉, 상대습도, 야간_co2, 주간최대_누적일사량이 클수록 생장점 길이가 늘어나고 내부온도, 야간_토양수분30이 작을수록 생장점 길이가 늘어나는 것을 알 수 있다.

나) 경경_1마디

① 상관분석

- 생육요인(경경_1마디)와 45여개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 주간_토양수분30, 토양수분30, 야간_토양수분30, 토양수분15, 주간_토양수분15의 순으로 높다. 또한 생육요인(경경_1마디)과 높은 음의 상관관계를 가진다.



<생육요인(경경_1마디)과 환경요인의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	주간_토양수분30	-0.64
2	토양수분30	-0.64
3	야간_토양수분30	-0.63
4	토양수분15	-0.59
5	주간_토양수분15	-0.58
6	야간_토양수분15	-0.58
7	수증기압차이	-0.55
8	수분부족도	-0.55
9	내부온도	-0.53
10	상대습도	0.52

<생육요인(경경_1마디)과 환경요인의 상위 10위 상관계수 >

② 회귀분석

- 생육요인(경경_1마디)을 종속변수로, 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시한 결과, 통계값과 모형은 아래와 같다. 모형은 적합하며 설명력은 낮게 나타났다.
- 환경요인 중 주간_토양수분30, 상대습도, 야간_co2, 최대_내부온도, 주간최대_누적일사량의 5가지 환경변수가 경경_1마디에 영향을 미치는 핵심요인으로 나타났다.
- 상관분석의 결과와 비교하면 영향력이 높은 환경요인이 다르게 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 회귀분석에서 모형의 정확도를 위하여 단계적 회귀분석의 변수선택 시 다중공선성이 있는 변수를 배제하였기 때문인 것으로 추정된다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.52	0.51	72.1	<.001

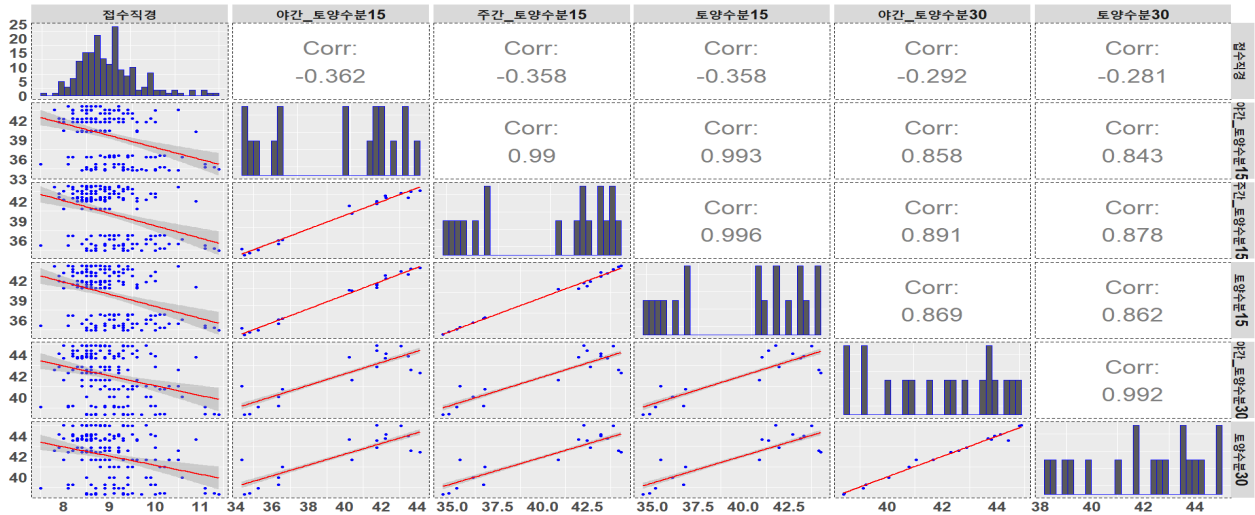
$$\text{경경1마디} = 6.804 - 0.116 * \text{주간.토양수분30} + 0.04 * \text{상대습도} - 0.0004 * \text{야간.CO2} - 0.05 * \text{최대.내부온도} + 0.00005 * \text{주간최대.누적일사량}$$

- 즉, 상대습도, 주간최대_누적일사량이 높을수록 경경_1마디가 증가하고 주간_토양수분30, 야간_co2, 최대_내부온도가 작을수록 경경_1마디가 증가하는 것을 알 수 있다.

다) 접수직경

① 상관분석

- 생육요인(접수직경)과 45여개의 환경요인 간 상관분석 결과, 상관계수와 상위 5위의 환경요인에 대한 그림은 아래와 같다.
- 영향력이 높은 환경요인은 야간_토양수분15, 주간_토양수분15, 토양수분15, 야간_토양수분30, 토양수분30의 순으로 높다. 또한 생육요인(접수직경)과 낮은 음의 상관관계를 갖는다.



<생육요인(접수직경)과 환경요인의 상위 5위 상관관계 >

순위	환경요인	상관계수
1	야간_토양수분15	-0.36
2	주간_토양수분15	-0.36
3	토양수분15	-0.36
4	야간_토양수분30	-0.29
5	토양수분30	-0.28
6	주간_토양수분30	-0.28
7	co2	0.28
8	상대습도	0.27
9	야간_co2	0.27
10	주간_상대습도	0.26

<생육요인(접수직경)과 환경요인의 상위 10위 상관계수 >

② 회귀분석

- 생육요인(접수직경)을 종속변수로, 환경요인을 설명변수로 하여 단계적 다중 회귀분석을 실시한 결과, 통계값과 모형은 아래와 같다. 모형은 적합하며 설명력은 매우 낮게 나타났다.
- 환경요인 중 야간_토양수분15의 1가지 환경변수가 접수직경에 영향을 미치는 핵심요인으로 나타났다.

R^2	$adj R^2$	F	$p-value$
0.13	0.13	26.92	<.001

$$\text{접수직경} = 11.85 - 0.07 * \text{야간.토양수분15}$$

- 즉, 야간_토양수분15가 작아수록 접수직경이 늘어나는 것을 알 수 있다.

2) 결론

- 오이의 생산량과 가장 밀접한 과중을 예측하기 위해서 빅데이터를 기반으로 분석한 결과이다.
- 과중에 영향을 미치는 생육요인을 탐색하고 그 생육요인에 영향을 미치는 주요 환경요인을 도출하였다.
- 경상북도 상주시 오이를 재배하는 농가들 중 재배관리를 잘하는 우00 농가를 대상으로 분석이 진행되었다.

< 생산량(과중)에 영향을 미치는 주요 생육요인과 회귀모형식 >

생산량정보	재배기간	주요 생육요인	회귀모형식
과중	2019.10 ~ 2020.06	생장점 길이, 경경_1마디, 접수직경	$과중 = 127.08 + 2.63 * 야간_토양수분15 - 0.01 * 주간_CO2 - 1.53 * 최대_내부온도$

- 상관분석과 회귀분석을 통하여 나타난 결과, 과중과 상관관계가 높은 생육요인은 생장점 길이, 경경_1마디, 접수직경이었고, 주요 환경요인은 야간_토양수분15, 주간_CO2, 최대_내부온도로 나타났다.

< 생육요인과 상관관계가 높은 주요 환경요인 >

생육요인	주요 환경요인
생장점 길이	내부온도, 포화절대습도, 포화수증기압, 야간_지온15, 주간_지온15
경경_1마디	주간_토양수분30, 토양수분30, 야간_토양수분30, 토양수분15, 주간_토양수분15
접수직경	야간_토양수분15, 주간_토양수분15, 토양수분15, 야간_토양수분30, 토양수분30

- 상관분석 결과, 생육요인에 따라 다르게 나타났다. 생육요인들(생장점 길이, 경경_1마디, 접수직경)에서 공통적으로 상관관계가 높은 환경요인은 습도와 수분과 관련된 환경요인이었으며 그 중 경경_1마디와 접수직경은 토양수분과 관련이 높았다.
- 생장점 길이의 경우 내부온도와 포화절대습도, 포화수증기압, 지온(야간, 주간)이 주요 환경요인으로 나타났고, 경경_1마디의 경우 토양수분30(주간, 평균, 야간)과 토양수분15(평균, 주간)이 주요 환경요인으로 나타났고, 접수직경의 경우 토양수분15(야간, 주간, 평균)와 토양수분30(야간, 평균)이 주요 환경요인으로 나타났다.

< 생육요인에 영향을 미치는 환경요인의 회귀모형식 >

생육요인	주요 환경요인
생장점 길이	$생장점길이 = 3.756 - 0.10 * 내부온도 + 0.02 * 상대습도 + 0.0002 * 야간.CO2 + 0.00005 * 주간최대_누적일사량 - 0.05 * 야간_토양수분30$
경경_1마디	$경경1마디 = 6.804 - 0.116 * 주간_토양수분30 + 0.04 * 상대습도 - 0.0004 * 야간.CO2 - 0.05 * 최대_내부온도 + 0.00005 * 주간최대_누적일사량$
접수직경	$접수직경 = 11.85 - 0.07 * 야간_토양수분15$

- 회귀분석 결과, 생육요인(생장점 길이, 경경_1마디, 접수직경)에 영향을 미치는 환경요인은 다르게 나타났다.
- 상관분석의 결과와 비교하면 영향력이 높은 환경요인이 다르게 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 회귀분석에서 모형의 정확도를 위하여 단계적 회귀분석의 변수선택 시 다중공선성이 있는 변수를 배제하였기 때문인 것으로 추정된다.
- 생장점 길이에 영향을 미치는 주요 환경요인은 내부온도, 상대습도, CO₂(야간), 누적일사량(주간최대), 토양수분30(야간)으로 나타났고, 경경_1마디에 영향을 미치는 주요 환경요인은 토양수분30(주간), 상대습도, CO₂(야간), 누적일사량(주간최대), 내부온도(최대)로 나타났고, 접수직경에 영향을 미치는 주요 환경요인은 토양수분15(야간)로 나타났다.
- 토양수분은 모든 생육요인에서 주요한 환경요인으로 나타났고, 2회 이상 추출된 환경요인은 상대습도, CO₂(야간), 누적일사량(주간최대)으로 나타났다.

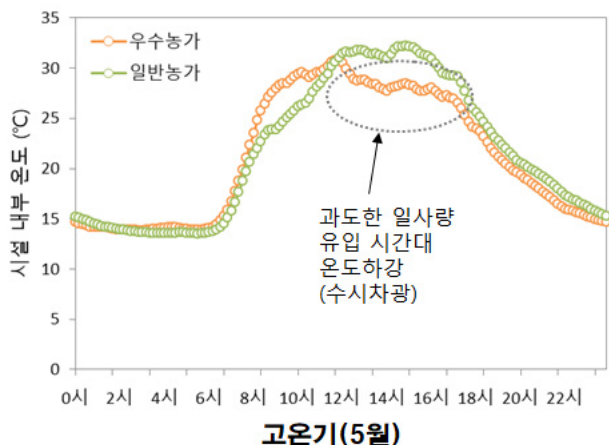
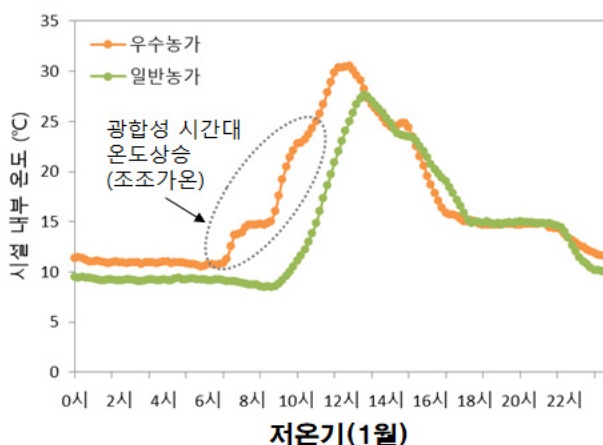
제6절 오이(백다다기) 특성재배 현장실증과 우수사례

1. 우수농가와 일반농가의 현장 실증 분석 결과

가. 재배환경

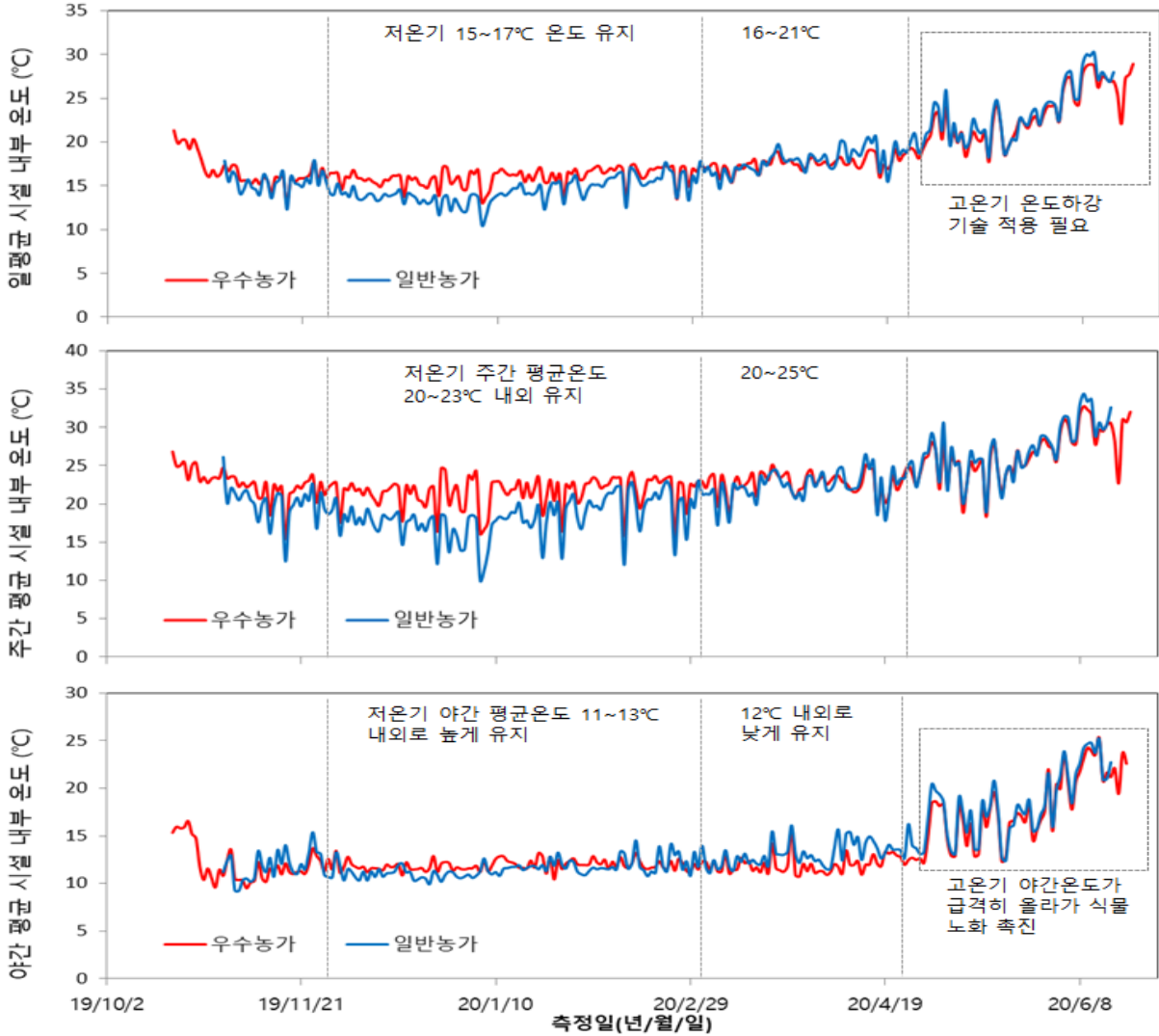
1) 대기온도

- 오이는 1년생 초본으로 과채류 중 저온성 작물이지만 온도변화에 민감한 반응을 보이며, 생육 적온은 주간 22~28°C, 야간 15~18°C이며, 밤과 낮의 온도 차이는 7~10°C 내외가 적당한 편이고, 35°C 이상의 고온과 5°C 이하의 저온에서는 생육이 중지되고, 0°C 이하로 온도가 내려가면 얼어 죽는다.
- 아침 햇빛이 강해짐에 따라 오이의 광합성이 왕성해지는데, 낮 동안 발생한 동화량의 70% 이상이 오전 중에 생성되므로 동화작용이 왕성한 오전 중에는 온도를 약간 높게 유지하여 동화작용을 촉진하고, 오후에는 광호흡(光呼吸)에 의한 소모를 억제하도록 온도를 약간 내려 해가 진후에 전류온도로 이어지도록 하는 것이 합리적이다.
- 재배방식에 따라 온도 조건이 다르지만 대체로 아주심기에서 활착까지는 25~28°C 내외, 활착 후 오전 중에는 27~28°C로 높여주며, 오후에는 환기하여 23~25°C를 기준으로 관리함
- 현장에서 전 생육기간 동안 측정한 시설 내부 일평균 온도는 겨울철(12~2월) 15~17°C, 봄철(3~4월) 16~21°C, 여름철(5~6월) 20~30°C 내외이다.
- 겨울철 주야간 평균 기온이 일반농가가 조금 낮게 유지되었고, 주야간 온도편차는 작물 생육과 과실 비대에 영향을 미치고, 고온기 야간온도가 높게 유지되면 호흡량 증가로 인해 작물의 노화를 촉진시키므로 온도를 낮추도록 주의해야 한다.



※ 측정기간 : (저온기) 2020. 1. 10 ~ 14, (고온기) 2020. 5. 4 ~ 8

<저온기와 고온기의 하루 중 온도 변화>

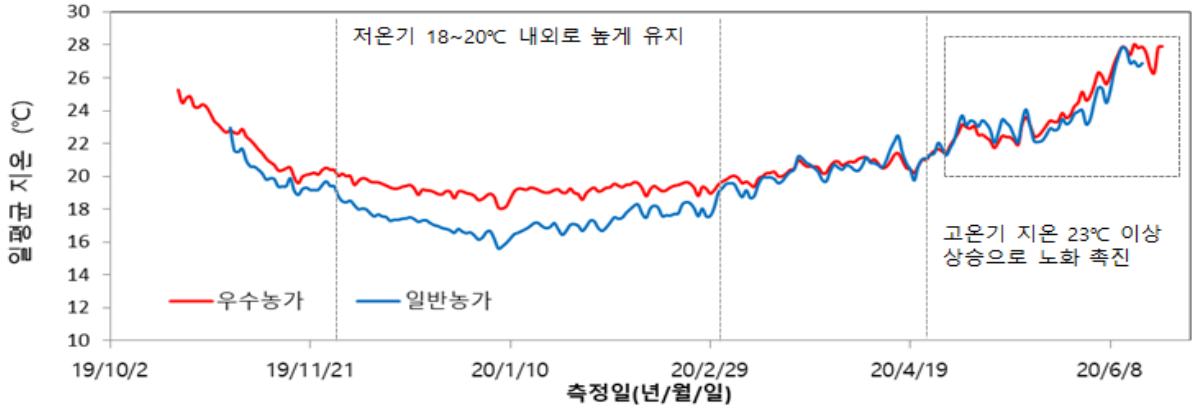


※ 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<전 생육기간 동안 시설 내부 온도 변화>

2) 지온(토양온도)

- 지온은 뿌리 자람에 직접적인 영향을 줄 뿐만 아니라 양분과 수분 흡수, 토양미생물의 활동 등에 많은 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다.
- 인산 비료는 13°C 이하가 되면 흡수가 급격히 낮아져 인산 결핍증이 나타나고, 칼리나 질산 태 질소의 흡수는 10°C 이하가 되면 현저히 낮아지며, 암모니아, 고토, 석회 등의 양분 흡수도 지온이 낮으면 억제되므로 적정 수준의 지온관리가 필요하다.
- 뿌리의 대부분이 지표 15~30cm 부근에 분포하는 천근성이며, 산소의 요구량이 크고, 건조나 다습조건에 약하고, 지온도 비교적 민감하여 12°C 이하에서는 생육이 정지되므로 20~23°C 전후가 적당한 편이다.
- 일반농가에서 겨울철 지온이 우수농가보다 2~3°C 낮게 유지되었고, 누적된 지온 관리는 작물 생육과 양수분 전류에 영향을 미친 것으로 생각된다.
- 여름철에는 과도한 일사량 유입으로 인하여 지온이 25°C 이상으로 유지되어 지하부의 뿌리 활력이 감소하고, 식물체 노화를 촉진시키므로 지온을 떨어뜨리기 위한 노력이 필요하다.

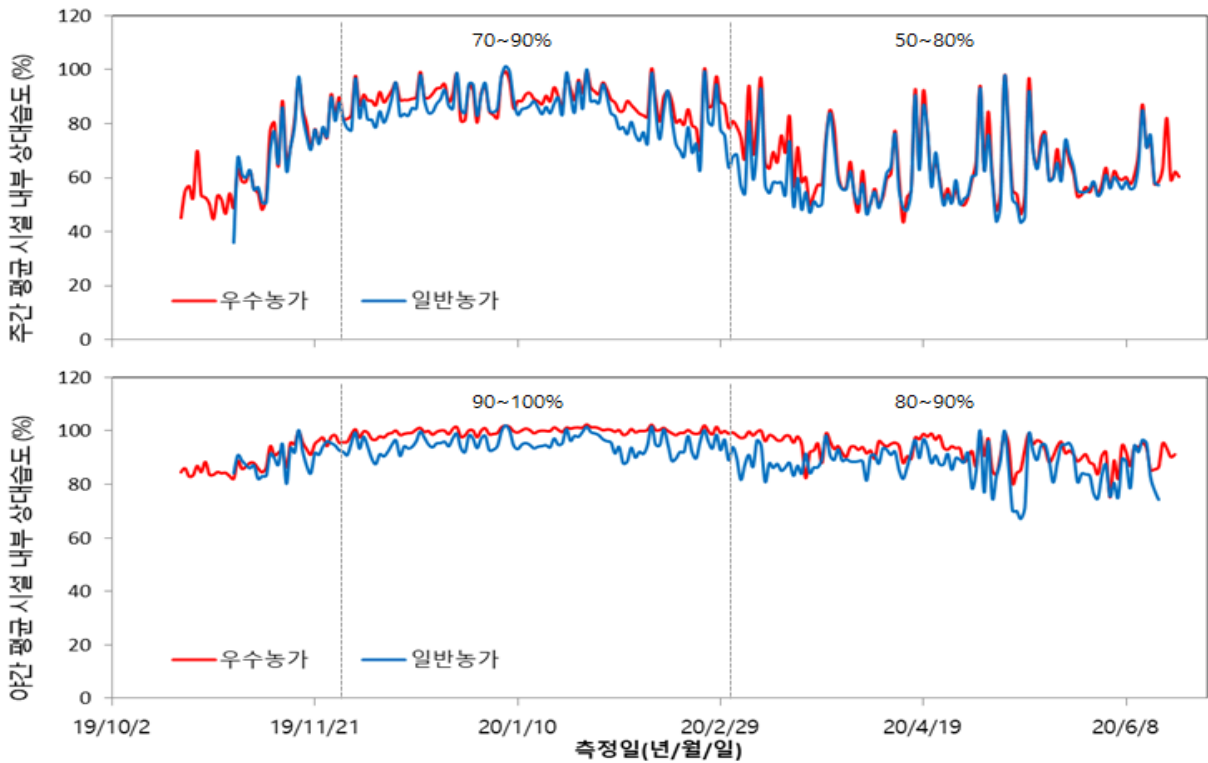


※ 측정지점 : 지표면 15cm 깊이

<전 생육기간 동안 시설 내부 지온 변화>

3) 상대습도

- 오이는 비가 오는 시기에 생육하는 원산지(인도 서북부 히말라야 지방, 네팔)의 습성에서도 알 수 있듯이 습도가 매우 중요한 생육환경 조건 중의 하나이며, 건조에 민감한 편임
- 대기 중의 습도는 광합성에도 중요한 요인이며, 습도가 너무 높으면 기공이 열려도 증산이 일어나지 않아서 물이 뿌리로부터 앞으로 이동되지 않아서 광합성이 안 되고, 습도가 너무 낮으면 기공의 내·외부 간에 습도 차이가 너무 커서 작물이 위험을 감지하여 기공을 열지 않으므로 마찬가지로 광합성이 일어나지 않음
- 환기를 많이 하지 않는 겨울철에는 70~90% 정도로 높게 유지되고, 봄철 이후부터는 비오는 날을 제외하고는 50~80% 정도를 유지함

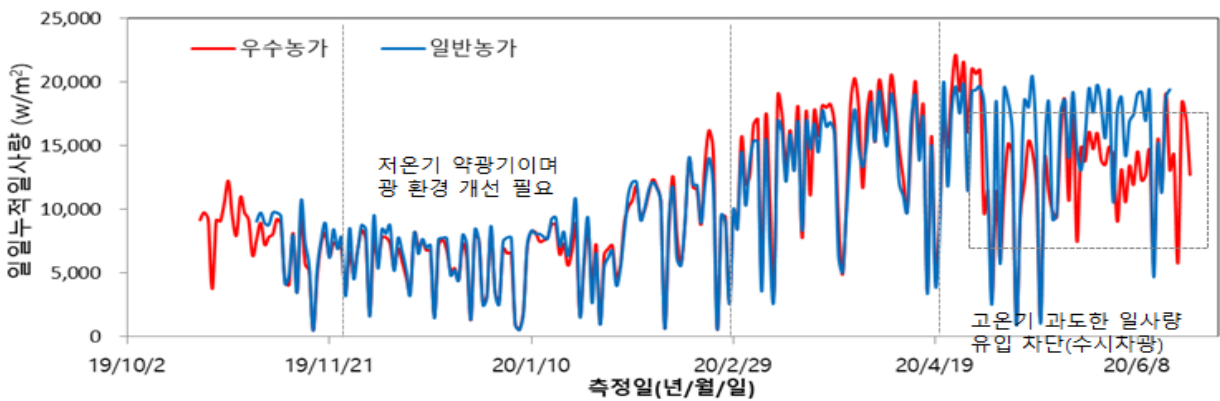


※ 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<전 생육기간 동안 시설 내부 상대습도 변화>

4) 일사량(광)

- 오이는 다른 과채류에 비해 비교적 약한 광에서도 생육은 잘 되는 편이나 수확이 계속적으로 이루어지므로 일조가 부족하면 과실 성장 속도가 늦고, 기형과의 발생이 증가한다.
- 특히 시설재배, 밀식지주재배 등에서는 햇빛이 부족하게 되는 경우가 많기 때문에 가능한 한 햇빛을 많이 받도록 커튼, 보온덮개 등을 일찍 열어 주는 것이 좋다.
- 잎이 전개되고 20~30일까지는 동화작용이 왕성한 시기이며, 45일 이후에는 감소하므로 노화 잎이나 병든 잎, 겹쳐 있는 잎은 적당히 따줘야 한다.
- 현장에서 재배 지점별 시설유형(2중 또는 3중)과 비닐의 종류, 사용연차가 달라서 일사량이 큰 차이가 있고, 특히 겨울철 오전 중에 광합성량을 최대로 하는 조건을 만들기 위해서는 시설 내부 광 환경을 개선하고 여름철에는 과도한 일사량을 차단하는 것이 필요하다.



※ 측정지점 : 지표면 2m 높이(생장점 부위)

<전 생육기간 동안 시설 내부 일일 누적일사량 변화>



2중 시설하우스 피복필름



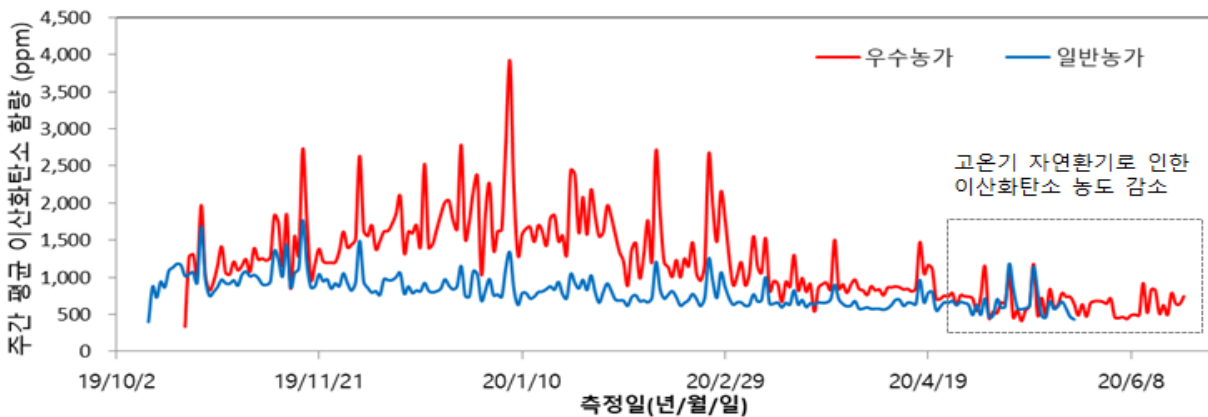
3중 시설하우스 피복필름

<다양한 시설 유형>

5) 이산화탄소

- 겨울철 하우스 재배 시에는 시설 내 탄산가스 농도가 생육의 제한요인이 되는 경우가 많기 때문에 액화탄산, 탄산가스발생기 등을 이용한 탄산가스 시비가 보편화되어 있다.
- 일반적으로 탄산가스를 시용하면 생육이 촉진되고 과실수량이 증가되며 곡과의 발생이 줄어드는 등 품질이 향상된다.
- 축성재배에서는 아주심고 30일경 후 착과가 된 다음에 시용하며, 아주 심은 직후부터 시용하면 덩굴이 웃자랄 위험이 있으므로 과일이 착과된 후 시용하는 것이 안전한 편이다.

- 사용시간은 해가 뜬 후 30분부터 환기하기까지의 2~3시간, 환기하지 않을 경우에도 3~4시간으로 끝나며, 사용농도는 맑은 날에는 900~1,200ppm, 흐린 날은 500~600ppm으로 하며 비오는 날은 사용하지 않도록 한다.
- 퇴비를 많이 주어 토양으로부터 다량의 CO₂가 발생하고 있는 시설에서는 사용효과가 적은 편이며, 사용에 앞서 시설 내의 CO₂ 농도를 측정하여 필요한 농도만큼만 사용하는 것이 경영상 합리적이다.
- 현장에서는 토양 속에 볏짚을 많이 사용하고 있어 측창 환기를 시작하는 5월 이전까지는 주간의 이산화탄소 함량을 800~1,200ppm으로 높게 유지되는 편이고, 4월 이후 자연환기를 많이 실시하게 되면 내부 이산화탄소 함량은 낮아지게 된다.



※ 측정지점 : 지표면 1m 높이(과실 착과 결실 부위)

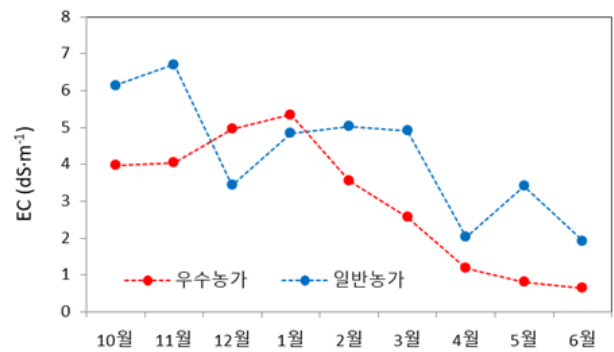
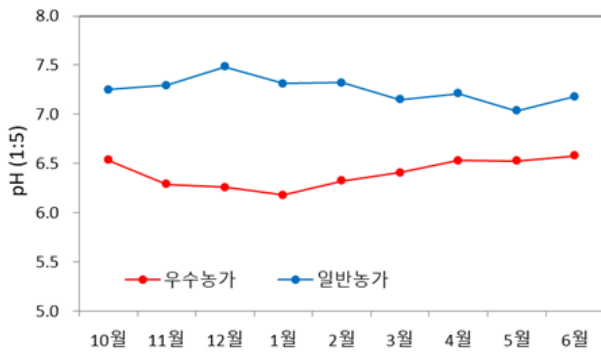
<전 생육기간 동안 시설 내부 주간 평균 이산화탄소함량 변화>

6) 토양 pH와 EC

- 많은 농가에서 증수를 위해 과비를 하고 있는데, 이로 인해 농도장해나 일부 성분의 과잉으로 양분 불균형 등 각종 장애가 발생한다.
- 토양은 환경에 따라 성질이 변하기 때문에 외관상 같아도 관리 방법에 따라 짧은 기간에 전혀 다른 토양으로 변하므로, 적당한 보수력과 보비력을 갖추고 pH 6.0~6.5(약산성) 수준으로 양분을 균형 있게 공급해 주는 토양조건을 지속적으로 관리하는 것이 중요하다.
- 오이의 연작토양은 수량 감소, 품질 저하 등 많은 장애가 발생하고, 근래에 들어 화학비료의 사용보다는 퇴비(유기물)의 사용이 증가하고 있지만, 미숙 유기물을 토질이나 사용 시기를 고려하지 않고 다량으로 사용하여 실패하는 사례가 많다.
- 유기물을 시용한 후에는 반드시 깊이갈이를 해야 하며, 얇게 경운하면생육 초기에 필요 이상의 비료(특히 질소)가 흡수되어, 잎이 너무 커지고 연약하게 도장되어 병해가 발생하고 감수를 초래한다.
- 뿌리를 깊고 넓게 뻗게 하여 뿌리 양을 증가시키고 저온, 건습의 영향을 받아도 고품질의 오이를 지속적으로 다수확 할 수 있는 재배지 조건을 만들려면 양질의 퇴비를 충분히 시용해서 통기성, 보수성과 배수성이 좋은 토양구조를 만드는 것이 무엇보다 중요하다.
- 현장에서 매월 토양을 시료를 채취하여 토양 내 양분 흡수에 영향을 미치는 pH 값을 측정한 결과, 우수농가에서는 6.2~6.5 범위로 생육 전 기간 동안 안정적인 값을 유지하였고, 일반농

가에서는 다소 높게 유지되는 경향이였다.

- 전기전도도인 EC는 2dS/m 이하가 적정 범위로 알려져 있지만 대부분의 농가에서 4~5dS/m 내외로 높게 유지되는 편이며, 생육 후기로 갈수록 감소하는 경향이였다.
- 상주지역에서는 하우스 내 벚짚의 시용이 많은 편이며, 월동기 토양온도를 증진시키거나 공기의 유동과 뿌리 발생을 좋게 하고, 토양 중 염류와 양분 집적을 방지하기 위한 목적으로 사용되였다.
- 시설 재배지의 연작재배와 장기간 재배로 비료의 시비량이 많아 토양 중 염류집적이 증가하고 있어 생육 장애가 발생할 염려가 크므로, 염류농도를 낮추는 방법(담수, 제염작물, 합리적 시비 등)을 실시해야 한다.
- 오이는 매일 수확하기 때문에 웃거름을 전혀 주지 않으면 비료분이 떨어져 노균병이 심하게 발생하므로 초세가 다소 지나치더라도 웃거름 양과 횟수를 줄여서 제때에 시비하는 것이 필요하다.



※ 분석방법 : 지표면 15cm 깊이 토양시료 3지점 평균, 1:5 희석법

<전 생육기간 동안 토양 pH와 EC 변화>



유기물(벚짚 등) 시용



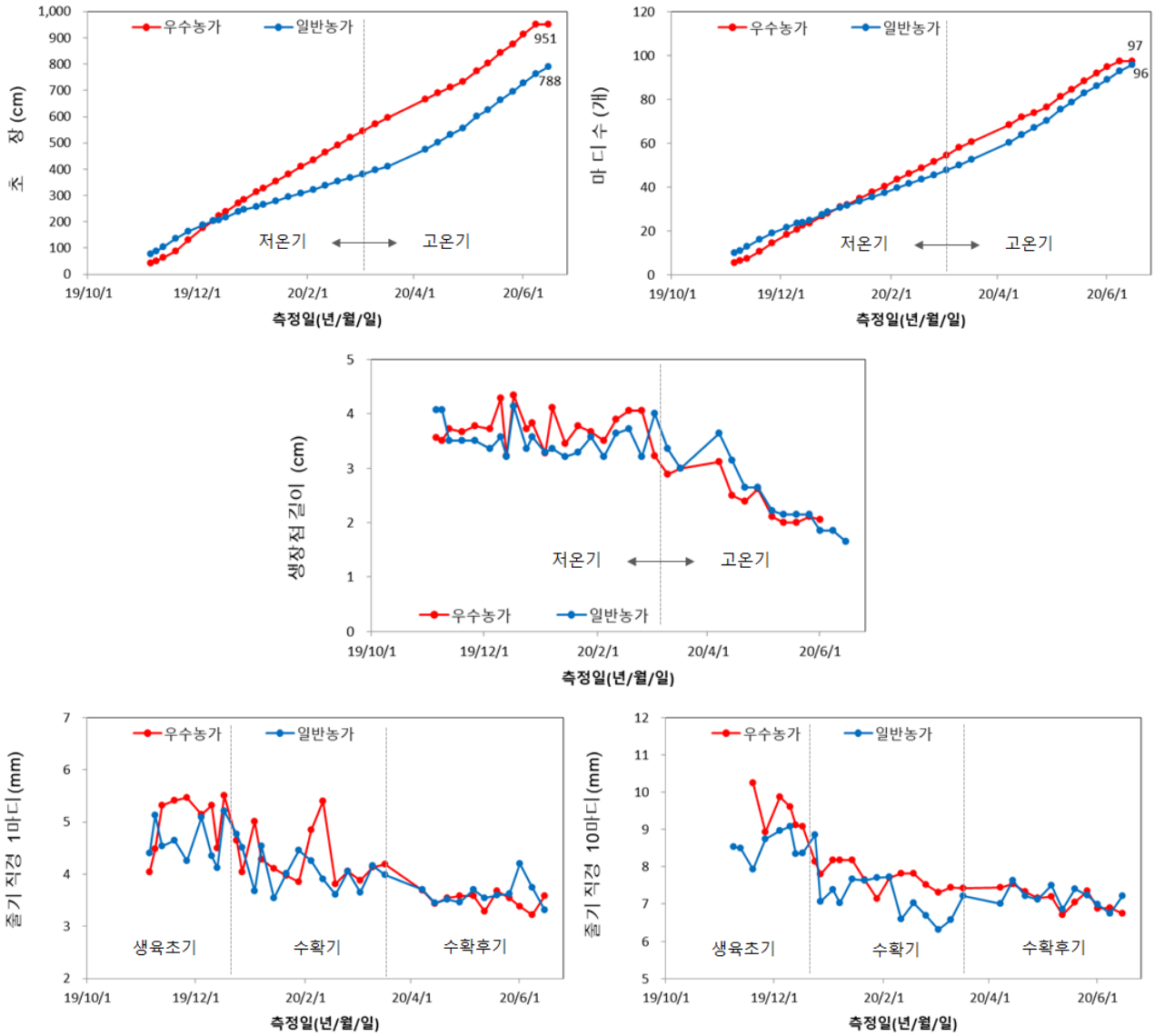
염류농도 경감(담수처리)

나. 생장변화

1) 길이생장

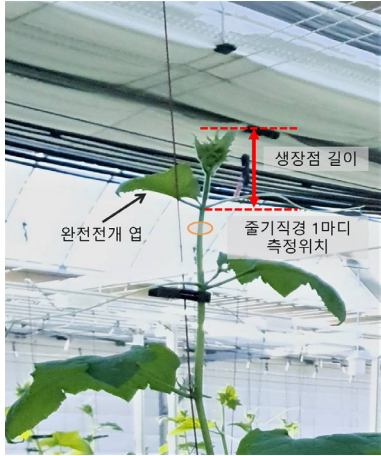
- 정식 3주 후부터 1주일 간격으로 길이생장을 조사한 결과, 초장은 우수농가가 951cm로 가장 길었고, 마디수 또한 97개로 가장 많았고, 일반농가에서는 마디수 생장에 비해 초장 생장량이 저조한 경향을 나타내었다.

- 약 8개월의 재배기간 동안 안정적인 재배조건에서는 전체 식물체 길이 9~10m 내외이고, 마디수 96~97개이며, 마디길이는 10~12cm 내외이고, 저온기의 성장점 길이는 4cm 내외이나 고온기로 갈수록 2cm 내외로 짧아지는 경향이였다.
- 성장점 아래로 10번째 마디의 줄기직경 또한 생육 초기에는 9mm 내외였으나, 과실을 수확하는 시점부터는 가늘어지기 시작하여 수확종료까지 7~8mm 내외를 유지하였다.
- 불균일한 생육의 원인은 과실 결실관리, 병충해 발생, 환경 조절 등의 영향을 많이 받으므로 관리에 주의해야 한다.



※ 성장점 길이 : 최상단부(성장점)~완전 전개 1엽(3cm 이상) 사이 길이, 줄기직경 : 성장점 아래로 1와 10번째 마디의 2cm 아래 부위

<전 생육기간동안 길이 성장 변화>



생장점과 1마디 줄기직경



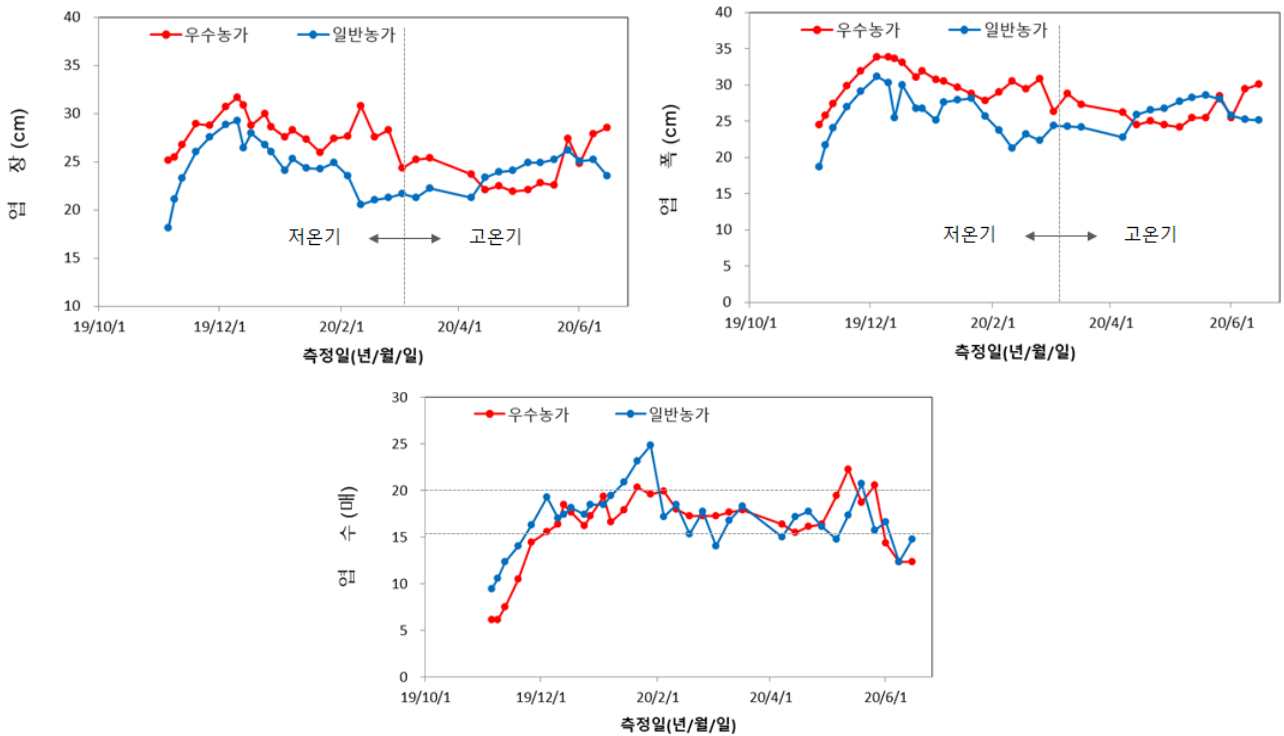
주지 유인



주지 결실성

2) 잎 성장

- 성장점 아래로 10번째 잎의 성장특성은 엽상과 엽폭 모두 20~30cm 내외로 비슷하게 성장하였고, 재배 후기로 갈수록 잎의 크기가 작아지는 경향을 나타내었으며, 엽수는 주지 1개만을 유인 재배하기 때문에 15~20장 내외로 관리해야 한다.
- 현장에서는 연동하우스 시설의 3m 내외로 낮은 측고와 토경재배시 유인작업, 노엽의 병충해 발생 등의 문제로 인해 많은 엽수를 확보하고 있지 못하고 있다.



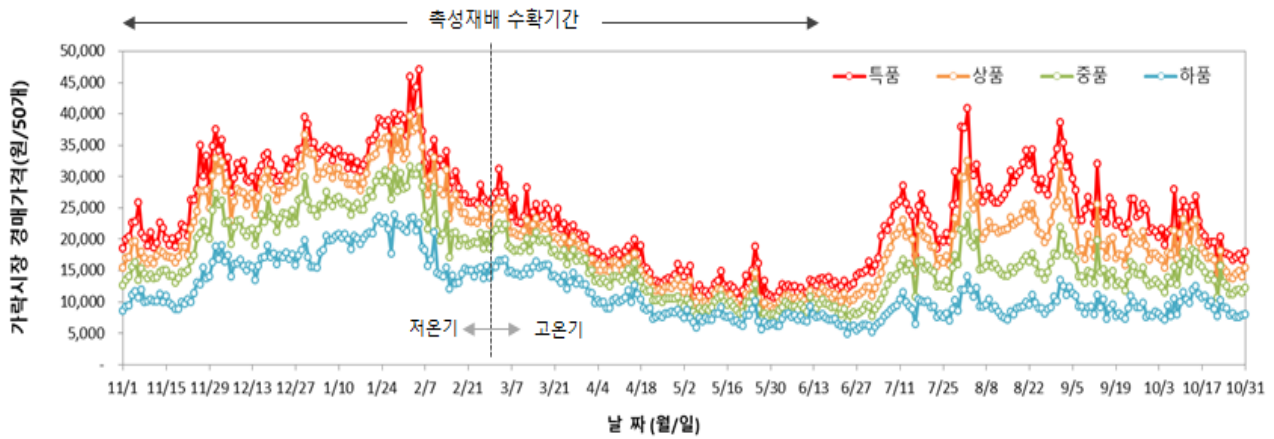
※ 엽 측정지점 : 성장점 아래로 10번째 마디에 부착된 잎

<전 생육기간동안 잎 성장 변화>

다. 수확량과 조수입

1) 도매시장 가격 변동

- 대부분의 축성재배 작형은 10월 상중순 경에 정식하면 12월부터 수확이 가능하고, 12~2월까지 최고 가격수준을 보이며, 특히 1월의 가격이 가장 높은 편이다.
- 가락시장 2014~2019년산 5개년 평균 가격을 살펴보면, 백다다기 오이는 상자 당 50개를 기준으로 생산물의 품질에 따른 특품과 하품의 가격차이가 2~2.5배 정도 차이가 나며, 2월 중순 이후부터 가격이 하락하기 시작하며, 반축성 또는 노지 오이가 출하되는 4~6월의 가격이 가장 낮게 형성되고 있다.
- 축성재배 작형을 주로 하는 경북 상주지역의 백다다기 오이 재배자들은 겨울철에 고품질 안정생산을 위한 노력을 위해 하우스 광투과율이 높은 비닐을 이용하거나, 보온성이 높은 보온커튼, 조조가온 등을 실시하여 광합성 능력을 높이는 노력 등을 실시하고 있다.



<가락시장 경매가격 변동(2014~2019년산 5개년 평균)>



백다다기 오이 포장

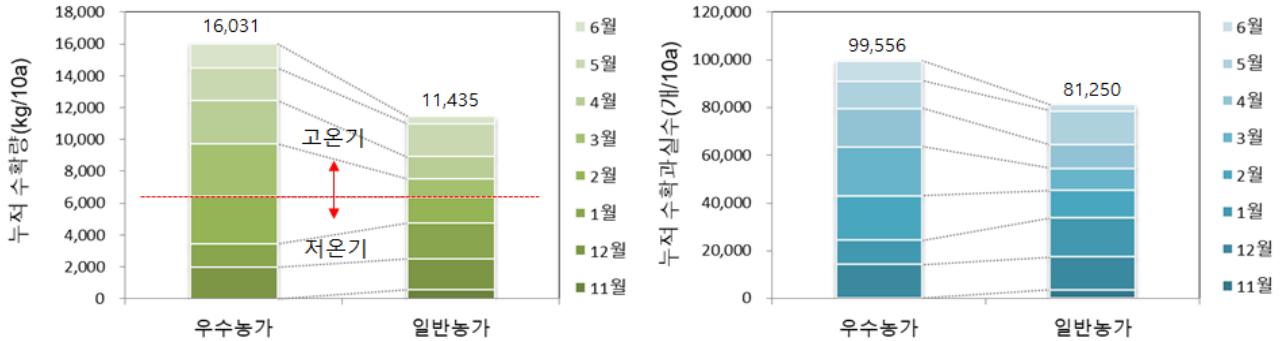


저온 수송

2) 수확량과 조수입

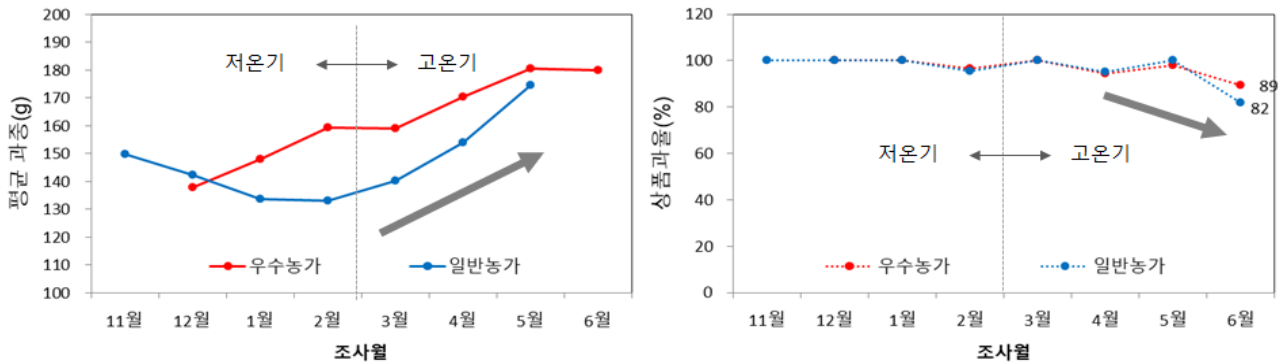
- 재배 전 생육기간 동안 총 수확량은 우수농가가 10a 당 16,031kg으로 가장 많았고, 일반농가 대비 40.2% 차이가 발생하였다.

- 수확과실수는 매월 안정적으로 생산한 우수농가가 10a 당 약 10만개 정도 수확하였고, 평균 8만 개 정도 수확이 가능한 편이며, 높은 가격을 형성하는 2월까지 4만개 이상 수확해야 높은 조수입을 기대할 수 있다.



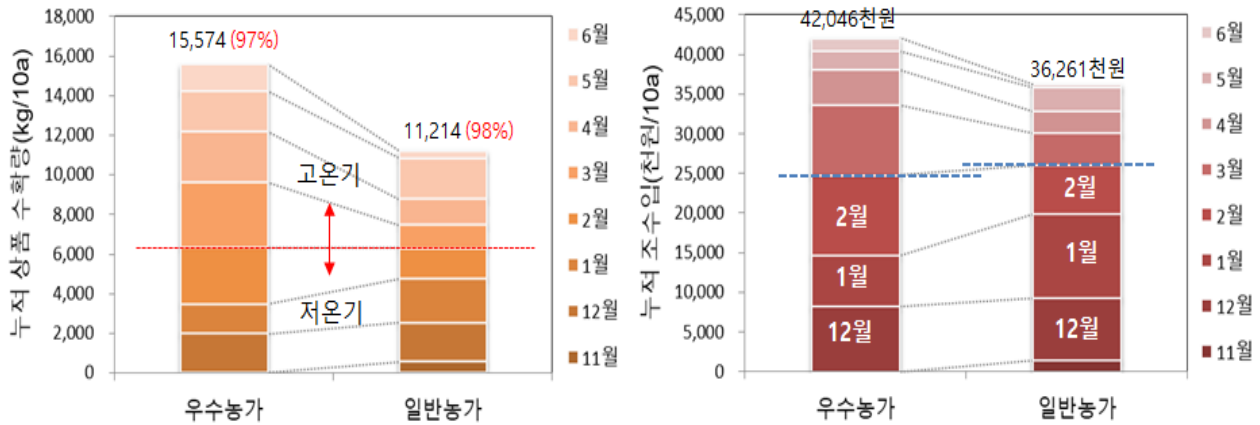
<전 생육기간 동안 총 수확량과 수확과실수 월별 변화>

- 일사량과 기온이 낮은 저온기의 평균 과중은 140~160g 내외이고, 일사량과 기온이 높은 고온기로 갈수록 평균 과중은 160~180g 내외로 크고 무거워지는 경향이였다.
- 비상품과실(곡과, 어깨빠진과(편세과), 곤봉과, 끝이 가는 과 등)이 고온기로 갈수록 발생 비율이 높아지는 경향을 나타내었으나, 80% 이상의 높은 상품과율을 유지하는 편이다.



<전 생육기간 동안 평균과중과 상품과율 월별 변화>

- 상품 수확량 또한 총 수확량이 많은 우수농가가 10a 당 15,574kg으로 가장 많았고, 상품율도 97%로 높은 편이다.
- 상품을 기준으로 매월 평균 가격을 반영한 결과, 겨울철 조수입은 1월 생산량이 많았던 일반농가가 가장 많았으나, 고온기 수확량 저조로 인해 총 조수입 36,261천원이며, 전 재배기간 동안 안정적으로 생산한 우수농가가 42,046천원으로 소득이 가장 많았다.
- 일반농가의 고온기 수확량 저조 원인은 저온기 과다 결실로 인한 세력 약화로 노균병이 발생하여 광합성능력 저하된 것이 생산성에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.
- 오이는 영양생장과 생식생장이 동시에 이루어지므로 이 두 생장의 균형을 잘 유지해야 수명을 길게 유지시키고, 장기간 재배하는 축성재배에서는 안정적인 생산성을 확보할 수 있다.

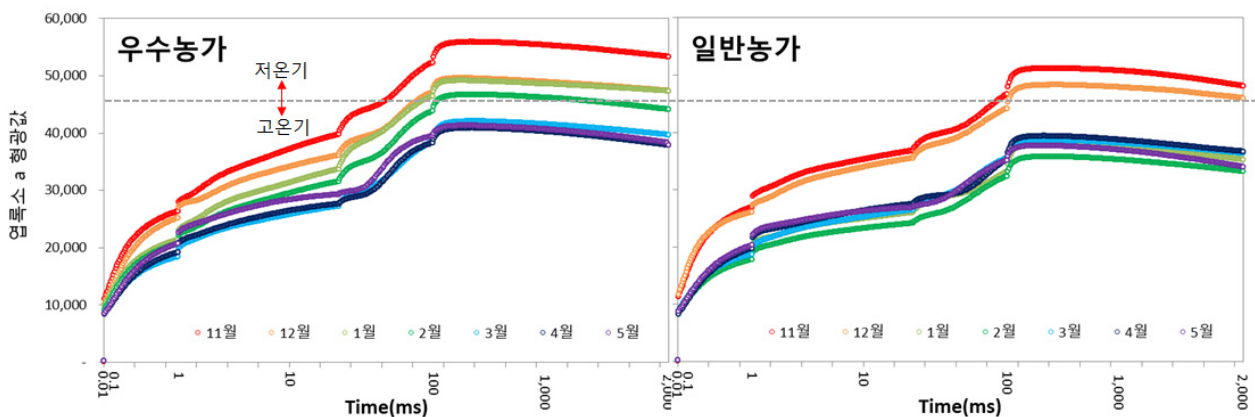


※ 조수입 산정 기준 : 가락시장 2014~2018년산 5개년 상품 매월 평균가격 11월 19,629원, 12월 28,789원, 1월 31,966원, 2월 28,281원, 3월 21,350원, 4월 14,616원, 5월 10,679원, 6월 10,724원

<전 생육기간 동안 상품 수확량과 조수입의 월별 변화>

3) 작물생리 활성 변화

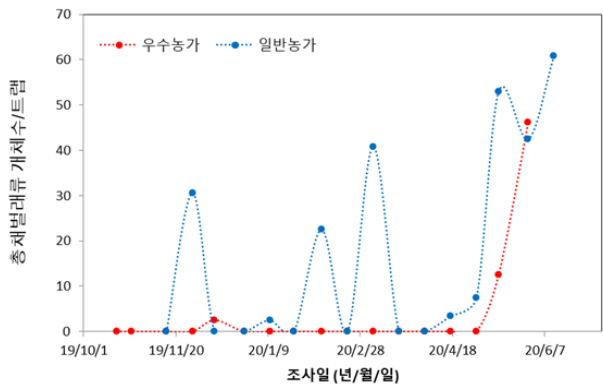
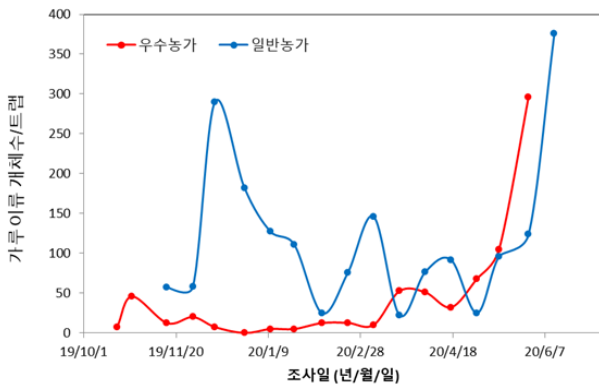
- 식물체가 빛, 온도, 수분 또는 화학적 스트레스 등에 의해 영향을 받았을 때, 엽록소 형광반응 곡선의 패턴이 변하게 되며, 이를 통해 광합성 과정 중 광계II의 구조와 기능 변화를 빠르고 간편하게 측정하여 광합성 기구의 변화를 간편하게 모니터링 할 수 있으며, 식물의 활력도를 측정할 수 있다.
- 전 생육 기간 동안 엽록소 형광 반응 변화를 매월 분석한 결과, 우수농가가 일반농가에 비해 최대 형광량의 수치가 높게 유지되었고, 생육 후기로 갈수록 감소하는 경향을 나타내어 노화로 인한 활성 감소로 생각된다.
- 특히 11~2월까지의 겨울 동안 우수농가가 일반농가에 비해 최대 형광량이 매우 높게 유지되었고, 일반농가는 12월 이후 급격하게 감소하였으며, 이러한 형광반응은 생산량에도 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.
- 이러한 결과는 식물의 재배나 환경 등에 의해 스트레스 상황에 처했을 때 불활성 상태의 반응 중심이 많아지고 포획된 에너지의 대부분이 전자전달로 보내어지지 않고 있음을 간접적으로 보여주고 있다.



<엽록소 형광 반응(OJIP, Origin Jump Intermediate Peak) 월별 변화>

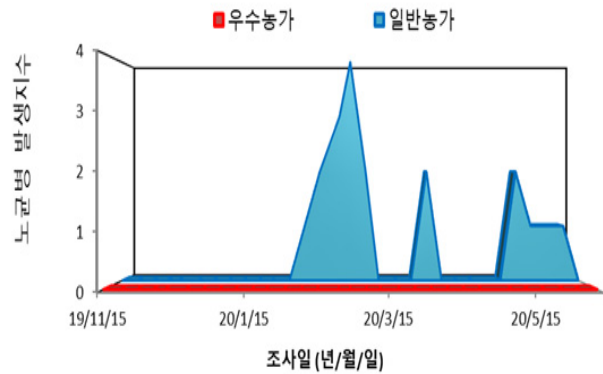
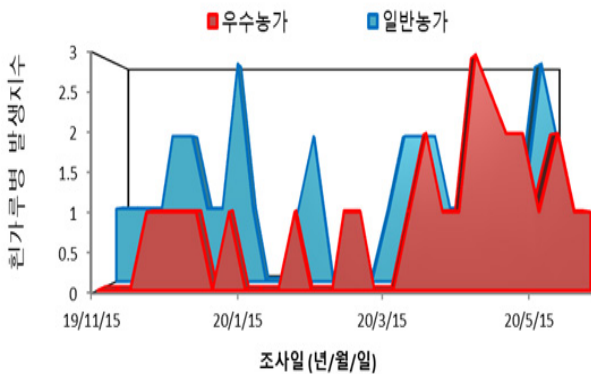
4) 병해충 발생

- 시설재배는 작물 생육에 적합한 환경을 유지할 수 있지만, 연속으로 병원균과 해충의 전염원을 단절할 수 없기 때문에 이들의 밀도는 높아지기 쉽고, 토양 내 염류가 과다 집적되어 양분 간 길항작용을 일으켜 특정 양분의 결핍으로 작물이 본래 갖고 있는 저항력이 약화되고 병해충 피해가 더욱 심해지는 요인으로 작용한다.
- 오이 시설재배에서 문제시되는 병원균은 노균병, 흰가루병, 역병, 바이러스병 등이 있으며, 해충은 응애류, 진딧물류, 총채벌레류, 가루이류 등 미소해충의 피해가 크다.
- 조사지점의 해충들은 주로 가루이류인 온실가루이, 담배가루이가 주로 발생하였고, 총채벌레류는 꽃노랑총채벌레, 대만총채벌레가 많이 발생하였으며, 일반농가에서 가루이류와 총채벌레류가 전 생육 기간 동안 많이 발생하였고, 환기를 많이 실시하는 5월 이후는 대부분의 농가에서 급격히 증가한다.



<전 생육 기간 동안 트랩으로 유인된 총 발생 양상>

- 오이에 알맞은 습도는 주간 60~80%, 야간 90% 정도로 다른 과채류에 비해 상당히 높은 편이나, 습도가 너무 높게 되면 잿빛곰팡이나 노균병 등 각종 병해 발생은 물론 증산량 감소에 따른 생리 장애가 쉽게 발생되므로 주의해야 한다.
- 현장에서 특히 흰가루병 발생이 전 생육기간 동안 많이 발생하였고, 일반농가에서는 겨울철 과다 결실로 인해 세력이 약화되어 노균병 발생이 많은 편이었다.



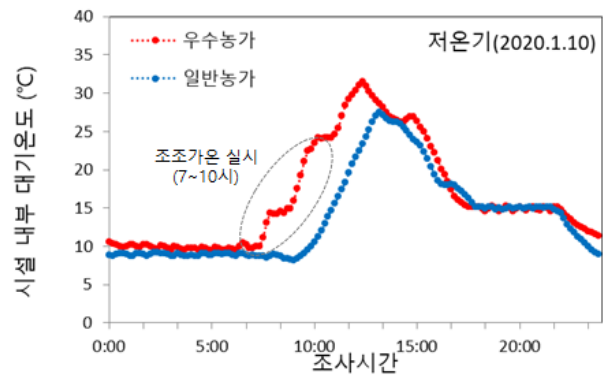
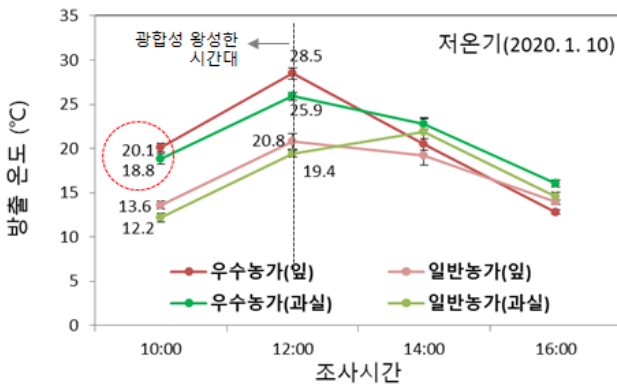
* 발생지수(달관조사) = 0 : 발생없음, 1 : 병반면적율 1~5%, 2 : 병반면적율 5.1~20%, 3 : 병반면적율 20.1~40%, 4 : 병반면적율 40.1% 이상

<전 생육 기간 동안 병 발생 양상>

2. 우수농가의 핵심기술 및 생산성 향상 요인

가. 저온기(겨울철) 조조가온 효과

- 과실의 발육을 지배하는 외적 요인은 온도, 광, 수분, 영양 등이 관여하지만 특히 온도, 광 조건이 가장 큰 영향을 미치며, 건전한 생육을 위해 낮 동안은 광합성 작용이 촉진되어 충분한 광합성 산물을 생산할 수 있는 25~28°C 온도와 야간에는 저장기관인 과실로 보다 잘 축적될 수 있도록 하는 15~16°C 정도의 온도관리가 중요하다.
- 하루 중 광합성에 의한 동화건물량의 70% 이상이 오전 중에 생산되므로 오전에 많은 햇빛이 잘 들어오도록 하는 것이 겨울철에는 매우 중요하다.
- 조조가온은 일출 전 1~2시간을 비교적 높은 온도로 관리하는 방법이며, 작물은 일출 후 바로 광합성이 개시되지만 한참 동안은 시설 내부가 저온이기 때문에 광합성 능력이 떨어지기 때문에 일출 전 미리 가온을 해줌으로써 일출과 함께 광합성을 왕성하게 하도록 하는 방법으로 알려져 있다.
- 겨울철 조조가온을 실시한 우수농가에서는 시설 내부 대기 온도 상승으로 인해 식물체 내 엽온 20~28°C 내외로 실시하지 않은 일반농가에 비해 7~8°C 높게 유지된 것을 확인할 수 있다.
- 그러나 조조가온에 의한 과실수량의 증가분과 난방에 소요되는 연료비를 감안하여 조조가온의 필요성과 적정 조조가온 시간과 기간을 판단하는 것이 중요하다.



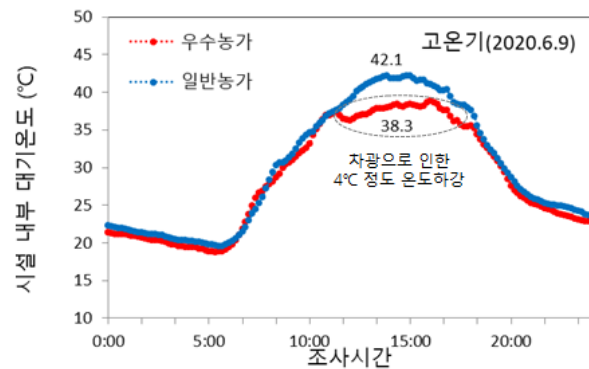
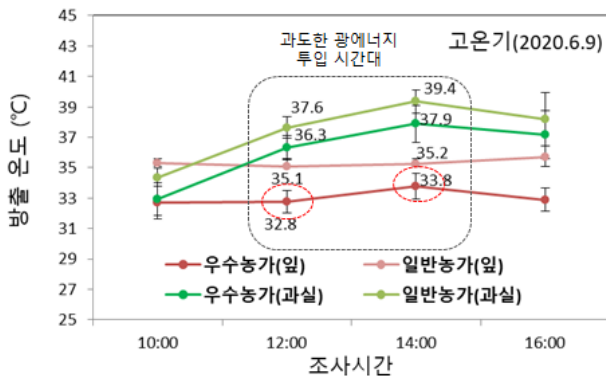
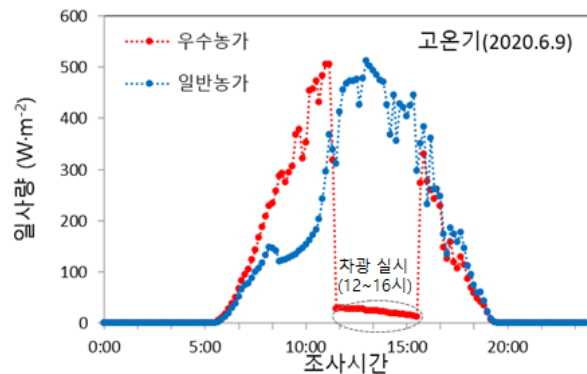
<조조가온으로 인한 엽온과 시설 내부 온도 변화>

나. 고온기(여름철) 수시차광 효과

- 여름철 자연환기만을 이용할 경우 온실 내부의 최고 기온은 40°C 이상이며, 40~50% 차광과 강제환기를 병행하더라도 과채류의 생육 한계 기온인 35°C 이하로 하강시키기는 역부족이며, 물의 증발잠열 능력을 이용한 포그시스템(fog system)이 도입되어야만 30°C 수준으로 하강시킬 수 있다.
- 물의 증발잠열 능력을 이용한 시스템은 야간에는 사용할 수 없으며, 다습한 지역에서는 시스템의 효과가 상당히 감소되어 시설의 효율성이 떨어진다.
- 고온 고광도 환경에서 작물은 과다한 증산작용을 억제하기 위해 기공을 닫아 이산화탄소 흡수가 억제되고, 체내에 있는 산소를 소모하는 광호흡을 하게 됨으로써 작물 자체를 보호하는 대사과정을 실시하게 되고, 이로 인해 광효율이 낮아져 생산성이 저하된다.
- 극고온과 광포화점 이상의 과다한 일사량을 효과적으로 적정 수준의 차광율로 차단함으로써 기공 폐쇄를 억제하여 기공이 열리도록 하고, 기공전도도를 높임으로써 작물 생장이 가능한 환경을 조성할 수 있다.
- 수시차광은 일사량이 필요 이상으로 높아지는 시기에 차광을 하여 여름철에 지나친 온도 상승을 억제하여 고온기에도 작물의 개화, 수정불량, 광합성 저하 등 생육장애를 감소시켜 생산성을 향상시키고 고품질의 작물을 생산할 수 있도록 하는 방법이다.
- 여름철 내부 온도가 30°C 이상이 되면 12~16시까지 보온커튼을 이용하여 수시차광을 실시한 우수농가의 내부 온도는 38°C 내외이며, 실시하지 않은 일반농가에 비해 4°C 정도 온도가 낮았으며, 이로 인해 엽온 또한 2~3°C 정도 낮게 유지되어 생육 억제 현상이 적은 편이다.



수시차광 전경



<수시차광으로 인한 엽온과 시설 내부 일사량과 온도 변화>

다. 생산성 향상 요인

- 우수농가의 생산성 향상 요인을 분석하기 위해 생산량(과중)에 영향을 미치는 생육요인을 탐색하고, 그 생육 요인에 영향을 미치는 주요한 환경요인을 확인한 결과임
- 과중과 상관관계가 높은 생육요인은 **생장점 길이, 줄기직경 1마디, 접수직경**이었고, 환경요인은 야간 토양수분(15cm), 주간 CO₂, 최대 내부온도로 나타남

< 생산량(과중)에 영향을 미치는 주요 생육요인과 회귀모형식 >

주요 생육요인	회귀모형식
생장점 길이 줄기직경 1마디 접수 직경	과중 = 127.08 + 2.63 × 야간 토양수분(15cm) - 0.01 × 주간 CO ₂ - 1.53 × 최대 내부온도

- 생육 요인들에서 공통적으로 상관관계가 높은 환경요인은 **습도와 수분**과 관련된 환경요인이었으며, 그중 줄기직경 1마디와 접수직경은 **토양수분**과 관련이 매우 높았음

<생육요인과 상관관계가 높은 주요 환경요인>

생육요인	주요 환경요인
생장점 길이	내부온도, 포화절대습도, 포화수증기압, 야간 지온(15cm), 주간 지온(15cm)
줄기직경 1마디	주간 토양수분(30cm), 토양수분(30cm), 야간 토양수분(30cm), 토양수분(15cm), 주간 토양수분(15cm)
접수직경	야간 토양수분(15cm), 주간 토양수분(15cm), 토양수분(15cm), 야간 토양수분(30cm), 토양수분(30cm)

- 생장점 길이에 영향을 미치는 주요한 환경요인은 내부온도, 상대습도, 야간 CO₂, 주간 최대 누적일사량, 야간 토양수분(30cm)이고, 줄기직경 1마디에 영향을 미치는 환경요인은 주간 토양수분(30cm), 상대습도, 야간 CO₂, 주간 최대 누적일사량, 최대 내부온도이며, 접수직경은 야간 토양수분(15cm)으로 나타났음
- **토양수분**은 모든 생육요인에서 중요한 환경요인이며, 다음으로 **상대습도, 야간 CO₂, 주간 최대 누적일사량**으로 나타남

<생육요인에 영향을 미치는 환경요인의 회귀모형식>

생육요인	주요 환경요인
생장점 길이	생장점길이 = 3.756 - 0.10 × 내부온도 + 0.02 × 상대습도 + 0.0002 × 야간 CO ₂ + 0.00005 × 주간 최대 누적일사량 - 0.05 × 야간 토양수분(30cm)
줄기직경 1마디	줄기직경 1마디 = 6.804 - 0.116 × 주간 토양수분(30cm) + 0.04 × 상대습도 - 0.0004 × 야간 CO ₂ - 0.05 × 최대 내부온도 + 0.00005 × 주간 최대 누적일사량
접수직경	접수직경 = 11.85 - 0.07 × 야간 토양수분(15cm)

- 오이 농가의 소득증대를 위해서는 가격이 높은 겨울철 수량 증대와 장기간 안정적인 생산을 유지하는 것이 필요하며, 재배기술(결실률 조절, 양수분 공급)과 생육단계별 정밀한 환경 관리 기술이 필요함

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 목표달성도

구분 (연도)	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차년도 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> • 오이 Best farmer 농가선정 • 데이터 수집장치 설치 • 조사방법 기준 설정 	100	<ul style="list-style-type: none"> • 농가 선정 : 상주(백다다기) 3개소, 군위(가시오이) 2개소 • 시설 내외부 기상 및 토양환경 측정 장치 설치 • 조사기준표 작성
2차년도 (2019)	<ul style="list-style-type: none"> • 전작기 영농활동 데이터 수집 • 과학적 검증 분석 	100	<ul style="list-style-type: none"> • 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증
	<ul style="list-style-type: none"> • 빅데이터 분석방법 발굴 • vital few's 발굴 및 품질 특성치 동시 최적화 	100	<ul style="list-style-type: none"> • 생육요인, 환경요인에 따른 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 • 전 생애기간 주요변수 도출
3차년도 (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • 전작기 영농활동 데이터 수집 • 과학적 검증 분석 	100	<ul style="list-style-type: none"> • 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증
	<ul style="list-style-type: none"> • 생육요인과 환경요인의 상관관계 분석 • 단계적 다중회귀분석을 이용한 핵심인자 발굴 	100	<ul style="list-style-type: none"> • 수확량과 상관성이 높은 생육요인과 핵심인자 발굴 • 시차변수, 최적시차 분석, 랜덤포레스트 핵심인자 발굴

제2절 관련 분야 기여도

- 시설 오이 재배농가 중 선도 농가를 선정하고 생육 전주기에 걸쳐 환경과 생육 정보를 수집하여 생육에 영향을 미치는 최적 환경요인을 도출하여 생산성 향상과 생산비 절감에 기여할 수 있는 영농기법을 과학적으로 분석·검증하고 모델화하여 현장에 확산 기여도가 높은 과제임

제5장 연구결과의 활용 계획

제1절 연구성과 활용 분야 및 활용 방안

1. 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 계획

- 오이 우수 재배농가 핵심 기술 확산 : 농촌진흥청 영농정보기술 자료 활용, 스마트팜 확산교육, 언론·신문 등의 매체를 활용한 홍보 실시

2. 저서, 논문 등 지식재산권 확보 계획

- 저서발간, 관련 기관 및 농업인 배부 : 오이(백다다기) 스마트온실 축성재배 기술(1,000부), 오이(백다다기) 축성재배 현장 실증과 우수사례(500부)
- 논문 : 오이의 엽록소 형광 분석에 의한 광합성능 지표화 연구 등 2편 게재, 향후 관련 논문 1편 투고 예정

제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술 정보

제1절 네덜란드 시설원에 스마트팜 관련 정보 수집

1. 네덜란드 시설원에 산업 동향

가. 네덜란드 농업의 일반현황

- 수출농업을 적극 육성하고 있는 국가로서 2013년을 기준으로 농업과 원예의 수출액이 750억 유로로, 네덜란드 전체 경제 GDP와 고용에서 이들이 차지하는 비중은 각각 8.3% 수준임
- 네덜란드는 농산물 수출이 전체 수출의 17.5% 정도이며, 주요 수출품은 채소와 화훼류임
- 정부는 농식품 정책 기능이 식량자급 등과 같은 식량안보가 아닌 수출농업, 경제적 진흥 등 산업 목적이 강한 특성을 반영하여 2010년 농업식품부와 경제부를 통합한 바 있음
- 핵심 농어정책으로는 '지속가능한 농업'이 있으며, 가축의 배설물과 같은 환경오염 물질 배출을 엄격하게 규제하며 에너지를 적게 소비하는 첨단유리온실을 장려함
- 또한 유기농 육성을 위해서 네덜란드 농업 및 원예협회(the Dutch Organization for Agriculture and Horticulture)와 유통업계가 공동 협정을 맺어 매년 10% 이상 유기농산물 소비 비중 확대를 추진 중이며, 농업혁신정책으로서 해마다 2,500만 유로의 혁신보조금을 통해 농가들(통상 기업농)의 태양광·지열·조명·바이오매스 등과 같은 신재생에너지 이용, 에너지효율 및 절감 기술 등의 확대를 촉진하고 있음
- 2014년 기준 네덜란드의 경지면적은 약 107만 5,000ha 정도로 전 국토 대비 경지면적은 25.8%에 달함. 우리나라 농지면적은 171만ha 정도로 전 국토 대비 경지면적이 17.1%에 그친 점으로 비춰보았을 때 농업의 규모화가 이루어 있다고 볼 수 있음

※ 네덜란드와 한국 간 주요 지표 비교(2014)

구분	네덜란드	한국
국토면적(천 ha)	4,154	10,027
경지면적(천 ha)	1,075	1,711
국토면적 대비 경지면적(%)	25.8	17.1

자료: FAOSTAT(2015).

나. 네덜란드 시설원예작물 재배면적 및 농가수 변화

- 2011년 기준 네덜란드 원예산업의 총 면적은 14만 9,368ha이며, 이 중에서 노지원예가 93%로 대부분을 차지하고 있고, 시설원예농업의 비중은 1만311ha로 전체 7%를 차지하고 있음
- 유리온실 시설원예 농가의 수는 전체 1만 1,146호이며, 이 중 시설원예농가는 4,464호로 전체 40%의 비중을 차지하고, 그 중 시설채소 재배농가는 1,463호이며, 시설화훼는 3,001호로 각각 13.1%와 26.9%를 차지하고 있음

※ 네덜란드 원예작물 재배면적 및 농가수(2011)

단위: ha, %, 호

구분	면적	비율	농가수	비율
시설원예	10,311	7.0	4,464	40.0
(시설채소)	(5,041)	(3.4)	(1,463)	(13.1)
(시설화훼)	(5,270)	(3.6)	(3,001)	(26.9)
노지원예	139,057	93.0	6,683	60.0
합계	149,368	100	11,146	100

자료: 네덜란드 중앙통계국(Centraal Bureau voor de Statistiek: CBS).

- 규모별 시설원예 농가의 비중은 0.25ha 미만의 농가가 2000년 기준 3,179호(전체의 29%)로 가장 큰 비중을 차지하였으나, 2010년에 이르러서는 1,380호(23%)로 줄어든 반면, 5ha 이상 농가는 2000년 151호(1.4%)에서 2010년 454호(8.8%)로 증가하였음
- 농가당 평균 재배면적은 2000년 0.95ha 정도였으나, 2010년 1.78ha로 점차 시설원예 농업이 규모화 되어가고 있다는 사실을 알 수 있으며, 이러한 규모화는 시설채소 재배 농가에서 더욱 뚜렷하게 나타나는데, 2000년 1.79ha 정도였던 농가당 재배면적이 2011년에는 4.12ha로 2배 이상 증가했으며, 이는 생산비를 절감해 국제 시장에서 경쟁력을 유지하기 위한 노력으로 풀이할 수 있음

※ 네덜란드 시설원예농업 규모별 농가 수

단위: 호, ha

구분	규모(ha)별 농가 수							농가수	시설면적
	<0.25	0.25 ~ 0.5	0.5 ~ 0.75	0.75 ~ 1.5	1.5 ~ 3.0	3.0 ~ 5.0	>5.0		
2000	3,179	1,537	1,354	2,790	1,638	413	151	11,062	10,526
2005	2,438	1,033	974	1,860	1,493	509	289	8,596	10,540
2010	1,380	683	628	1,086	1,044	507	454	5,782	10,307

자료: 네덜란드 중앙통계국(Centraal Bureau voor de Statistiek: CBS).

다. 네덜란드 시설원예작물 품목별 재배현황

- 2015년 네덜란드 시설채소 품목별 농가 수와 시설면적, 경영규모는 아래 표와 같음

※ 네덜란드 시설채소 품목별 농가 수, 시설면적 및 경영규모(2015)

단위: 호, ha

구분	농가수	시설면적	경영규모(ha/농가)
토마토	300	1,755	5.85
오이	220	545	2.48
딸기	250	357	1.43
파프리카	250	1,200	4.80
가지	50	110	2.20
기타	420	450	1.07

자료: 이지원(2015).

- 네덜란드의 시설 토마토는 2000년 1,134ha에서 꾸준히 증가하여 2007년 1,545ha까지 증가하였으나, 생산 농가는 1999년 700호에서 2007년 468호로 크게 감소하였고, 경영 규모가 3ha 이상되는 농가는 1999년 대비 2007년에 2배 가까이 늘어났고, 농가당 경영규모도 1999년 평균 1.68ha에서 2007년 3.3ha로 2배 가까이 증가하였음

※ 토마토 재배규모별 농가 수 변화

단위: 호, ha

구분	0.01 ~ 0.25ha	0.25 ~ 0.5ha	0.5 ~ 0.75ha	0.75 ~ 1ha	1 ~ 1.5ha	1.5 ~ 2ha	2 ~ 3ha	3ha	농가 수	면적
1999	99	17	43	90	149	116	103	83	700	1,178
2000	116	26	41	71	121	93	104	96	668	1,134
2001	116	13	31	59	111	89	105	112	636	1,224
2002	111	11	24	48	101	81	106	120	602	1,227
2003	91	17	15	38	84	71	105	122	543	1,257
2004	106	15	18	30	69	67	94	139	538	1,353
2005	118	15	15	23	64	60	90	146	531	1,396
2007	108	8	10	20	48	40	70	163	468	1,545

자료: 네덜란드 중앙통계국(Centraal Bureau voor de Statistiek: CBS).

- 파프리카는 시설 재배면적에 큰 변화가 없는 동안 재배농가는 1999년 737호에서 2007년 399호로 크게 감소하였고, 파프리카 생산농가가 점차 규모화되면서 경영규모가 3ha 이상인 농가는 1999년 63호에서 2007년 142호로 2배 이상 증가하였으며, 농가당 평균 경영규모도 1999년 1.5ha에서 3.0ha로 2배 가까이 증가하였음

※ 파프리카 재배규모별 농가 수 변화

단위: 호, ha

구분	0.01 ~ 0.25ha	0.25 ~ 0.5ha	0.5 ~ 0.75ha	0.75 ~ 1ha	1 ~ 1.5ha	1.5 ~ 2ha	2 ~ 3ha	3ha	농가 수	면적
1999	54	27	48	102	206	125	112	63	737	1,119
2000	58	24	35	96	185	121	123	74	716	1,155
2001	61	16	31	78	151	117	137	87	678	1,194
2002	50	19	26	73	138	115	127	99	647	1,235
2003	61	15	21	50	119	103	123	110	602	1,213
2004	55	16	19	41	102	87	121	118	559	1,205
2005	65	13	14	42	83	85	115	127	544	1,236
2006	51	11	10	28	69	73	90	135	467	1,214
2007	39	9	7	17	52	51	82	142	399	1,187

자료: 네덜란드 중앙통계국(Centraal Bureau voor de Statistiek: CBS).

라. 네덜란드 시설원예 농업의 생산성 수준

- 네덜란드 시설채소 농가들의 0142생산성은 세계에서 가장 높은 수준으로 전창곤(2009)에 따르면, 2009년 기준 토마토의 경우 600톤/ha, 파프리카 300톤/ha, 오이 750톤/ha, 딸기 80톤/ha임
- 네덜란드에서 과채류들의 생산성이 높은 이유는 최적 환경관리 체계 및 수경재배 시스템을 도입했기 때문이며, 현재 토마토, 파프리카, 오이 등 과채류는 2009년 기준 80% 가까이 수경재배로 이루어지고 있으며, 특히 토마토의 경우에는 90% 이상 수경재배를 통해 생산되고 있음
- 또한 작물의 광합성을 극대화할 수 있도록 온실의 광 투과율을 높이고, 충분한 엽면적을 확보하기 위해 유인 높이를 3.5m, 측고 높이를 6m 이상으로 설정해 시설원예작물의 품질을 높이고 생산성을 증대시키고 있음

마. 네덜란드 시설원예 농산물의 수출 현황

- 시설채소의 총 생산량 중 토마토, 파프리카, 오이가 생산액의 80% 정도를 차지하고 있으며, 이들이 세계 신선 원예농산물 중에서 수출액 1위를 차지하고 있고, 시설채소 전체 생산량 중에서 약 80%가 독일, 영국 등 해외로 수출되는데 이 중에서 50% 이상이 독일로 수출되고 있음
- 2011년 네덜란드 원예작물의 수출액은 농식품 수출액의 34% 수준이고 원예 작물의 교역량은 세계 교역량의 24%를 차지하고 있고, 특히 화훼의 경우 세계 교역량의 50%를 차지하고 있으며, 채소 부문에서도 세계 최대의 수출국으로서 2010년 기준 수출액 42억 유로를 기록했음
- 이는 다른 국가들이 식량자급을 달성한 후 나머지 수출하는 것과는 극명하게 다르며, 네덜란드가 식량자급보다는 수출지향형 농업을 지향하고 있다는 것을 알 수 있음

바. 네덜란드 시설원예 농업 정책

- 네덜란드 정부는 기술개발 지원, 농지기반 정비, 교육 지원, 한계농가의 이탈 및 농지유동 지원, 환경보전을 위한 정책에 집중하고 있으며, 1957년부터 1980년대 중반까지 EU 내외의 시장과 펀드 및 재정적 지원, 재건 계획 등의 훌륭한 농업시스템을 활용해 농업과 원예 분야가 국제경쟁력을 갖추게 되었고, 농업을 성장산업으로 만들었음
- 그러나 1980년대 중반 이후 EU의 총 생산 과잉, 세계 시장에서 가격경쟁력 약화로 인해 EU는 좀 더 시장친화적인 정책을 개혁을 단행하였으며, 이시기에 네덜란드 시설원예 농업은 지나치게 생산성에 치중해 품질은 떨어지고 환경오염을 유발하는 생산방식을 취해 좋은 평가를 받지 못해 이에 대처하기 위해 1980년대 말부터 지금까지 환경문제에 대한 규제를 담은 다양한 정책들을 시행하고 있음
- 네덜란드의 시설원예농업 정책은 경제농업혁신성(The Ministry of Economic Affairs, Agriculture & Innovation)에서 추진하고 있으며, 혁신성에서는 농업부문의 일자리 정책을 수립하고, 지속가능하고 활력이 넘치며 혁신적인 국제 경쟁력있는 애그리비지니스를 촉진하며, 식품 안전과 품질 관련 요구에 부응하는 역할을 담당하고 있음
- 경제농업혁신성은 2010년 10월 신정부 출범 이후 신산업정책을 추진하기 시작하였고, 신산업정책은 기업농(farm enterprise)이 비즈니스하고 성장하는 공간(room)을 제공하

고, 네덜란드만의 특별한 정책을 추진하는 것을 목적으로 하고 있음. 또한 국제 교역의 확대로부터 수혜를 받고 신흥경제권의 성장 기회를 활용하며 지속가능한 경제성장을 달성하는데 목적을 두고 있음

- 특히 정부는 시설원예 농업 분야에서 지속가능성과 에너지 절감을 강조하고 있으며, 시설원예농업의 지속가능성(sustainability)을 위해 정부에서는 작물의 영양분과 작물보호제(농약)를 지하수나 지표수에 방출하는 것을 억제하는 ‘폐쇄적인 물 이용체계(Closed Water Systems)’와 생물학적 작물보호 및 에너지 절감 시스템을 적극 추진하고 있음
- 시설원예 생산농가에게 에너지절감(Energy Saving)을 위해 유리온실 난방에 천연가스(LNG)를 사용하도록 권장하고 있으며, 네덜란드는 천연가스자원의 보고로 천연가스를 이용해 유리온실을 재배할 경우 총 생산비용의 25%에 달하는 에너지 비용을 절감할 수 있음. 이를 위해 유리온실 사업 부문과 정부의 담당부서 간 MOU를 체결하고 있음
- 또한 정부는 화석연료 이용과 CO₂ 발생을 실질적으로 줄이기 위해 혁신과 액션 프로그램을 만들어 추진하고 있으며, 정부에서는 에너지 중립적인 시설원예농업을 위해 2020년부터 신축되는 유리온실을 대상으로 에너지 전환 유리온실(Energy Transition Greenhouses)을 설치하기로 하였음. 이는 화석연료 사용을 궁극적으로 없애고 신재생 에너지, 즉 풍력, 수력, 조력, 태양, 지열, 해양 에너지 등으로 전환하는 것을 일컫음. 이 프로젝트를 위해 원예위원회, 생산자, 관련 부처, 연구소, 에너지 컨설턴트, 자재 공급업체 등의 민관파트너십을 강조하고 있음
- 정부는 이러한 시설원예농업 정책을 위해 혁신 투자와 시범프로젝트를 지원하고, 지속가능한 사업에 대한 투자에 대해서는 세금감면을 추진하고 있으며, 이산화탄소 저감을 위한 법규와 지침(CO₂ cap system)을 만들고 지열 프로젝트에 대한 리스크 축소에 지원하고 있음

<참고문헌>

- 김병률, 채상현. 2016. “시설원예농업 활성화를 위한 정책방향”. 한국농촌경제연구원.
- 이지원. 2015. “네덜란드 시설원예산업 동향” 『세계농업』 173호, 한국농촌경제연구원.
- 임청룡, 리재웅, 홍나경, 김태균. 2014. “시설토마토 생산의 효율성 요인 분석.” 『농업경영·정책연구』 41(3):380-399. 한국축산경영학회·농업정책학회.
- 전종화. 2011. 『한국과 네덜란드의 파프리카와 토마토 산업의 경쟁력 비교 연구』. 전남대학교 박사학위논문.
- 전창곤. 2009. “선진국의 과채류생산, 재배기술, 상품화, 유통, 수출에 대한 조사.” 『해외 출장 보고서』. 한국농촌경제연구원.

2. 네덜란드 시설원예 산업 주요 견학 내용

가. Agriport A7 : Barendse-DC 대형 유리온실

1) Agriport A7 첨단 유리온실 재배단지 개요

- Agriport A7은 북 홀란드 주 북부의 A7 고속도로변에 위치해서 붙여진 이름으로 2만 ha 넓이의 간척지에 조성되었으며, 유리온실용 부지만 약 1,000ha의 첨단 온실로 이루어진 재배단지임
- 이 지역에는 첨단 유리온실 농가뿐만 아니라 유통업체, 가공업체, R&D, 교육.컨설팅업체, 열병합 발전소 등이 집적화돼 관련 산업 간 유기적인 협력체계가 잘 구축돼 있는 것이 가장 큰 특징으로, Agro-Park라는 새로운 농업 모델로 제시되고 있음
- 현재 이곳에서는 10 농가가 1차로 450ha를 개발 완료했고, 2차로 550ha를 개발 중이며 계속 확장하고 있음. 한 농가당 보통 50~100ha 규모의 온실을 가짐

2) Barendse-DC 재배 농장

- 파프리카(오렌지색), 토마토 재배농가이며, 전체규모는 약 47ha이고, 11년 전 westland 에서 농장을 확장하기 위해 이곳으로 이전함
- 온실 곳곳의 센서는 온실 내부의 온도, 습도, 조명과 작물의 수분, 영양분 상태를 파악하면 제여기가 이를 바탕으로 작물이 생육하기에 최적의 조건을 유지해 생산성을 높이는 데 사용
- 열병합 발전기 : 3대 보유
 - 작은 발전기 1대 당 3000kw 생산가능, 1대 100만 유로 넘지만 에너지 절감율이 50% 이상 높아 개인 돈을 투입하여 사용
 - 처음 20ha 농장운영에 모든 시설 투자비 600억 이상 투입하여 사업을 시작할 당시 열병합 발전기 3대 구입 비용만 100억원 정도 소요
 - 노란색선은 천연가스 공급라인이며, 이 라인을 통해 천연가스를 주입하면 발전기를 통해 전기를 생산하고, 냉각수를 넣어 냉각시키는 과정에서 데워진 온수는 야간 난방으로 활용하고, 이때 발생하는 이산화탄소 가스는 정제 후 농장으로 보내 활용(1석 3조 효과)
- 지열시스템
 - 2007년 농장 시작할 때는 열병합 발전기를 사용했으나, 전기 값이 내려가고 천연가스 값이 올라가서 2014년도에 지열시스템 이용하고 있음
 - 처음 4개의 관정을 뚫었고, 그중 2개는 온수 펌프를 뽑아내는 역할이고, 남은 2개는 식어진 물을 아래로 다시 밀어 넣어 주는 역할을 하여 땅이 꺼지는 것을 막아줌
 - 관정 깊이는 2.5km이며, 600미터 정도는 수직으로 가고, 나머지는 사선으로 가는데 매우 어려운 공법이며, 1km 당 약 30°C 정도 온도가 올라가기 때문에 약 90°C 정도 온수를 받을 수 있음
 - 사실 물은 필요가 없고 열만 필요하며, 땅 속 염수를 그대로 사용해서 돌리면 파이프가 부식되므로 열교환 장치(TSL)에 있는 일반 파이프 속에 있는 단수에다가 열만 전달하고 다시 땅속 돌아감

- 열교환장치는 자동차 라지에이터와 비슷한 역할이며, 뜨거운 물을 뽑아 올려서 사용하고 식어진 물을 그곳에 다시 넣으면 열효율이 낮아지므로 1.5km 정도 떨어뜨려놓음
- ※ **장점** : 열병합 발전기 돌릴 때 나오는 소음이 없고, 가스 분출이 없으며, 항상 안정적인 지열이 존재하므로 화석연료에 의지하지 않아도 됨
- ※ **단점** : 관정 1개 뚫는데 800만 유로(90억 정도)로 설치 가격이 매우 비싸며, EU 지원금이 없으면 할 수가 없고, 이산화탄소 발생이 없어 CO₂를 구입 후 공급해야 하므로 별도 비용이 발생하고, CO₂는 산업폐기물에서 발생한 곳에서 구입해서 사용하고 있음
- 양액공급실
 - 양액 원수 : 빗물 활용, 온실지붕에 떨어진 빗물도 외부 저장소에 저장하여 사용
 - 대용량으로 비료를 사용하기 때문에 액비상태로 공급받아서 바로 희석해서 사용
 - 모든 것은 중앙 컴퓨터 시스템의 제어를 받으며, 자동으로 조제해서 공급되어지나, 수동으로도 작동 가능함
 - 거터베드는 약 1%정도 기울어져 있어서 양액을 공급하면 한곳으로 모여지는 폐액을 모아서 모래 여과기로 유기물 등을 1차 정제한 후 UV램프를 이용해 살균해서 다시 사용(재순환 방식), 방류는 불가능함
- 파프리카 재배 관리
 - 재배작기 : 11월 하순 ~ 다음해 11월 중순
 - 11월 중순이나 말까지 수확하고 다치우고 청소하고 소독하고 새로운 배지깔고 하는데 2주정도 소요되고 업체에서 대부분 설치 정리해 줌, 연중 생산을 위해 작기를 약간 차이를 두어서 정식 재배실시
 - 생육초기 관리 : 11월 중순~3월 초까지는 광량이 1일 300J/m² 정도임, 수확에는 800J/m² 정도가 필요함, 그래서 지금 시기에는 어린 묘를 심어서 키우는 기간으로 활용함, 어린묘는 300~350J/m²이면 충분함
 - 묘 중에서 생육 초기에 문제가 있을 때 교체하기 위해 앞쪽에 예비묘를 키우고 있음
 - 재배방법 : 보통 3줄기 재배를 하지만 예비묘는 2줄기로 두로 세력을 강하게 키우고 있음, 암면배지 재배, 드립퍼 관수, 줄기가 딱딱해서 직립형으로 재배
 - 수확기 관리 : 3월~11월까지의 파프리카를 수확(3만kg/일)하며, 95% 이상 유럽국가, 미국, 일본, 중국으로 수출
 - 근무인력 : 성수기 200명(파프리카 20ha 100명, 토마토 10ha 100명), 팀장, 재배관리 전문가, 컴퓨터 행정관리, 비료관리 전문가 등은 네덜란드 현지인, 나머지 수확 재배관리자들은 동유럽 쪽 폴란드인, 최근 루마니아인들이 근무하고 있음, 현재 토마토 수확은 하고 있으나, 파프리카는 큰 일이 없어서 현재 75명 정도 근무 하고 있음
 - 운반 및 작업 관리 : 난방파이프, 작업차량 레일, 로봇차량 운행을 위해 바닥에 유인선 묻혀있음, 작업차량 작동, 인식 후 작업레일 위로 지나가면서 센서와 교신이 되면서 시작 작업 일시 종료시간, 작업량 등등을 기록하여 관리, 수확 종료 후 로봇카트가 혼자서 선별포장으로 운반, 이때 수확량 무게 측정 후 작업자 휴대폰으로 자료를 보내 확인 가능
 - 인력 관리를 하는 이유는 인력투입 계획을 짜기 위해서임
 - 시설환경관리 : 복합환경제어 PRIVA, 보온스크린 개폐를 위해 설정 값을 컴퓨터에 입

력하여 사용 실시, 생산성을 극대화시키기 위해 작물 세력(영양 생식생장 균형을 맞추기 위해 온습도 등등 관여)을 유지하는 것이 필요

- 병해충 관리 : 끈끈이 트랩으로 모니터링 실시(해충 발생 빈도 체크, 천적 투여 여부 등 모두 복합적으로 관리), 유황훈증기 사용(흰가루병, 곰팡이병 제거용)
- 납품하는 곳의 요구에 맞춰서 재배관리 실시, 무농약을 원하는 마켓에서는 무농약 재배를 실시하고 다양한 인증을 받으며, 그렇지 않는 마켓에서는 최대한 생물학적으로 방제를 실시하여 납품, Greenko 협동조합에 소속되어 있어서 자체 협력포장 작업장을 유지함

※ 네덜란드 시설 구분

- (1) High-tech greenhouse : 유리온실, 복합환경제어시스템
- (2) Middle-tech system : 유리온실
- (3) Low-tech system : 최소한의 관수시스템 정도 유지, 비닐하우스 시설

- 네덜란드 온실은 99.9%가 유리온실임, 대부분 Hi-tech 온실임

○ 토마토 재배 관리

- 수정벌 박스 : 자동 개폐장치 부착하여 오전에 열고, 저녁에 닫아 둠
- 재배관리 : 코코피트배지, 접목묘(합접), 고압 나트륨 보광등 사용하여 연중 생산 가능하며, 최소 6시간 이상 사용, 겨울철에는 사용시간이 많은 편임, 보광등에서 나오는 열기도 팬을 이용하여 아래로 내려주어 에너지 절감에 활용, 줄기가 부드러워서 눕혀서 재배
- 병해충 관리 : 천적키트(황온좀벌-온실가루이 천적), 가루이 발생정도가 높은 편이어서 끈끈이 트랩에 부착된 가루이 밀도를 파악 후 천적 키트를 투입하여 생물학적 방제 실시
- 재배품종 : 2015년 재배 당시 스넥토마토(방울토마토, 대추형 등)가 수익이 좋아서 많이 재배했으나 지금은 많이 재배해서 가격이 많이 내림



열병합발전기 시설



에너지 관리 시설(보조 보일러 등)



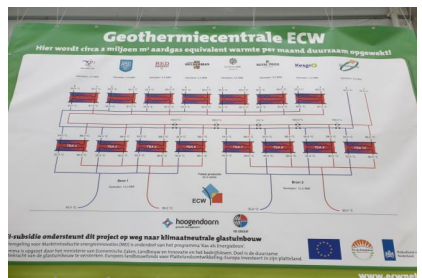
모래여과시설(폐양액)



양액공급 및 혼합탱크



지열시스템 설명



지열시스템 구성도



파프리카 암면배지, 자동유인줄



온수난방 레일 및 예비묘



수확 운반 등 작업레일 무인화



파프리카 재배온실



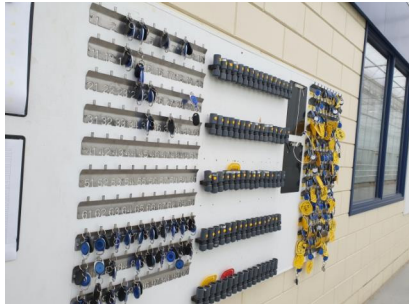
토마토 보광온실(고압나트륨등)



토마토 수정벌



생물학적 방제(천적 키트)



작업자 관리



부가가치 창출 상품 판매대

나. Tomato World Center

1) Tomato world 현황

- 같은 방식으로 재배를 하고 품종을 선택하여 관리하고자 하는 6농가들이 합쳐서 Greenko라는 협동조합을 세움, 재배면적 50ha 정도 늘어나면서, 자체 선별포장 작업장이 필요해서 Greenko 옆에 네덜란드 시설원예사업을 홍보하는 토마토월드 홍보관을 세우게 됨
- 활용방법 : 농가 모임, 회의, 지식교환 장소, 해외 견학 방문, 학생들의 교육장소 등으로 활용, 토마토의 다양한 품종을 재배시험 장소로도 활용, 여러 업체들이 후원하고 있음
- 토마토 생산의 전 과정에 관한 모든 것들을 연구하고 생산성과 부가가치를 높이기 위한 노력함, 환경문제의 해결을 위한 기술로 정의하며, 농업을 통한 경제적 부가가치의 창출 뿐 만 아니라 환경 문제해결에 도움을 줄 수 있는 방향으로 발전해 나가자 함
- 토마토 농가들이 새로운 판로를 찾기 위해 제일먼저 미니토마토(스낵용)를 재배하기 시작하였고, 미니토마토에 맞는 포장용기를 만들고 브랜드 명을 "Tommie"로 지음

2) 환경문제

- 지구에 사는 사람들에게 지구가 주는 메시지
 - “나는 너희가 필요하지 않은데 너희는 나를 필요로 하는 구나!!”
- 기후변화
 - 지구온도가 많이 올라가고 있고, 네덜란드도 2018년 여름 38°C까지 올라갔으며, 이것은 온실가스 배출이 문제임, 온실가스의 1/4이 농업분야에서 배출됨
- 물 부족 문제
 - 97.5% 염수, 사람이 이용할 수 있는 물 1% 정도임, 가축, 사람, 식물 모두가 이 적은 양으로 살아야하기 때문에 다시 땅으로 돌려줄 때 오염되지 않은 물로 돌려보내야함
- 인구 증가 문제
 - 도시 집중화 현상 심각, 인구 10명 중 7명은 도시 생활
- 식량 확보 문제
 - 전체 인구 중 30% 정도만 충분한 식량 섭취, 그 중 15%는 과체중 문제, 25% 식량 부족 문제, 그 중 1% 정도는 기아현상
- 쓰레기 문제
 - 하루에 버려지는 쓰레기양(포장재, 음식물쓰레기 등) 1인당 2.5kg, 식품 중에서도 주로 과일·채소류가 50% 정도 차지
- 화석에너지 고갈 문제
 - 대체에너지 개발(태양광, 풍력, 지열)이 필요함

3) 토마토 생산 산업 현황

- 토마토 종자 1kg = 8만유로(1억원), 종자 1립=50센트(600원), 채소종자 중 가장 비싼 종자는 아스파라거스임
- 재배작기 : 종자를 10월 초에 구매 후 육묘 업체에 의뢰해서 육묘 실시, 12월 초 정도 까지 20~30cm 정도 키움, 온실을 다시 소독하고 거터 위에 배지매트를 놓고 육묘회사에서 키운 플러그 묘를 올려놓으면 정식 시작, 약 3월부터 첫 수확 시작해서 10월 까지 수확 완료
- 수확량 : 방울, 대추토마토 30kg/m², 완숙토마토 70kg/m² 수확가능
- 작기 완료 후 작업 : 비닐제거, 작물은 수거해서 퇴비로 만들거나 포장지 만드는 원료로 쓰고, 암면은 블록으로 재활용
- 암면배지 : 원료는 독일에서 나오는 화산 현무암이고, 1,800°C에서 녹이면 용암이 되고 그것을 돌아가는 원판에 부으면 솜사탕 같은 점유가 발생하여 이것을 모아서 암면 블록을 만들고, 폐기할 때는 점토와 섞어서 보도블록, 건축자재 등으로 활용
- 코코피트 배지 : 대체배지, 코코넛을 부시고 점유와 칩으로 분리해서 적당히 배합해서 배지를 만들고, 코코블럭도 만들기도 함, 네덜란드에서 가격은 암면배지보다 비싸지만 코코피트를 매트로 이용하면 뿌리부분 지탱에 더욱 효과적으로 알려져 있음, 코코피트 배지는 작기 후 다른 퇴비와 혼합해서 가정용 배양토로 재활용
- 농가들의 배지 선택 방법 : 독일 슈퍼체인 같은 경우는 코코피트에서 재배한 토마토를 납품하라고 하면 코코피트 배지를 가지고 재배함, 소비자의 요구에 의해 재배방식들이 결정되고 있음, 특별한 요구사항이 없다면 암면배지가 저렴하고 기술력이 안정적으로

재배되므로 재배자들은 암면배지를 선호하고 있음

- 유통판매 : 네덜란드 농가들이 협동해서 만든 유통센터들은 무역기능들을 가지고 있는 편임, Greenko에서 선별 포장을 마치면 Greenery로 보내어서 유통 판매를 함, 세계에서 가장 큰 채소 과채류 유통체인, 소비자(마켓 체인)가 원하는 열대과일 등 다양한 재료들을 토달로 제공함

4) 유리온실 산업 현황

- 유리온실 재배단지 지리적 조건 : 유리온실들이 대부분 해안가에 위치하고 있음, 해양성 기후는 온도편차가 크지 않아서 온실재배에 유리함, 바닷가쪽이 구름형성이 적거나 빨리 이동하므로 일조량이 다른 지역에 비해 풍부함
- 200년 전 해안가 채소재배단지 형성 : 모래땅이 많아서 배수가 잘되어서 자연적으로 채소재배단지가 형성됨
- 광원 : 작물은 광이 필요하기 때문에 고압나트륨등을 사용했으나, 열 발생이 많고, 다른 여러 가지 이유로 LED에 대한 연구도 많이 되고 있음, 토마토는 작기가 길어서 LED 보광효과가 아직은 미약하나 재배기간이 짧은 작은 채소류는 효과가 많이 나타남
- 열병합발전기 : 천연가스 투입하여 전기 생산, 기계를 냉각시키는 물을 온수로 이용, 이 때 이산화탄소 발생한 것은 농장에 공급
- 이산화탄소 공급 : 30년 전 만든 정유소에서 나오는 가스를 수송라인 관을 이산화탄소 발생가스 운송 이용으로 활용, 미래에 해저에 매설하여 활용하기를 원함, 교토의정서 협약, 농가에서는 필요한 이산화탄소 공급으로 20~30% 증수

5) 홍보관 토마토 재배현황

- 시험재배 품종 : 80종의 토마토가 재배되고 있는 중
- 활용방법 : 농가들이 재배특성, 맛 등을 확인해서 품종 선택하는데 활용, 육종회사들이 품종을 제공하여 홍보 효과도 봄
- 방제방법 : 친환경적 재배, 농약을 살포하지 않고, 천적을 투여하여 생물학적 방제를 실시, 천적키트(알) 또는 기어다니는 천적은 통에 넣어서 배지 위에 뿌려줌, 단위 면적당 해충 발생밀도를 파악해서 천적 투여 시기와 양을 결정, 대부분의 농가들이 생물학적 방제를 실시
- 수정방법 : 수정벌을 이용함, 수정벌 1통에 여왕벌 1마리와 100마리 일벌(2~3개월 간격으로 교체)
- 관수시스템 : 각 작물마다 드리퍼를 꽂아서 물과 양분을 공급
- 유인방법 : 유인줄은 1줄에 한번씩 20cm씩 풀어주고 옆으로 밀어줌, 1작기가 끝나면 보통 16~18m 정도 길이로 자람
- 품질특성표 : 저장성, 균일성, 색상, 맛, 당도, 향 등을 거미줄표로 작성
- 자두토마토 : 케첩, 소스용 토마토로 많이 활용
- 체리토마토(원종) : 안데스산에서 발견한 토마토 원종
- 파프리카모양 토마토 : 새로운 변종, 당도와 아로마 향이 좋아 유럽에서 인기있는 품종
- 용도별 주요 인기 품종
 - 요리용 : 피콜로 품종, 샐러드용 : 캄파리(완숙토마토-다수확 가능), 매들리(생산량 많음)



Tomato World 홍보관



홍보관 내부 시설



Tomato World 소개



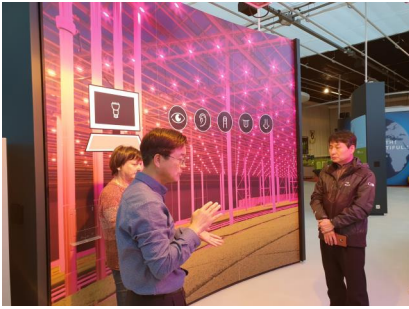
Tomato World 환경문제



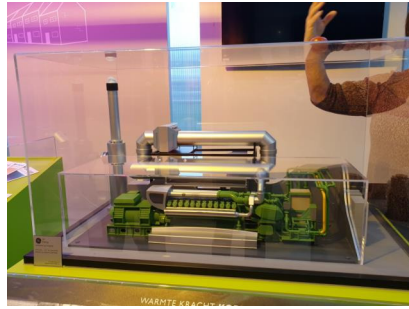
암면블럭 배지 생산 과정



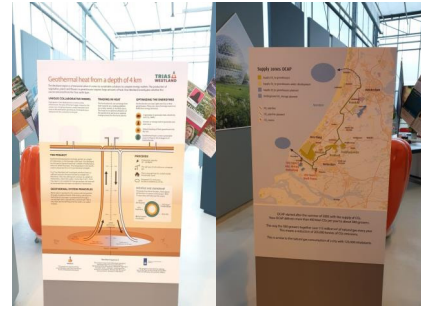
코코피트 배지 생산 과정



보광용 LED 연구 동향



열병합발전기 모형



지열시스템 및 이산화탄소 공급 구성



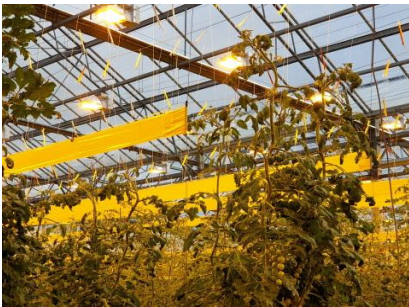
해충 발생 생물학적 방제력



천적키트



예찰 트랩 및 천적 방사(머미)



토마토 예찰 트랩



토마토 품종 재배 온실 내부



품종설명서



수정별 관리 설명



다양한 토마토 품종



토마토 원종



앞면배지, 양액관수(드립퍼)



주요 품종(캄파리, 피콜로)



토마토 품종별 전시



생물학적 방제 상품 전시



사용 용도별 토마토 구입 안내서



다. Hollandplant 육묘회사

1) Hollandplant 육묘회사 현황

- 사업체 현황 : 면적 26ha, 고정직원 70명, 계절노동자 200명
- 취급품목 : 파프리카, 토마토, 오이, 가지 등 시설과채류, 실내 화초
- 연간 출하량 : 시설채소 과채류 1300만개, 실내 화초 1300만개 출하
- 농가에서 계약 주문량을 받아서 육묘를 실시하고, 품종은 농가 선택
- 네덜란드 내 큰 육묘장 규모 10~12개 정도 있고, 대형 육묘장 3개 있으며, Hollandplant 3번째로 큰 육묘장임

2) Hollandplant 육묘 생산

- 파종
 - 파종트레이를 자동 파종기계에 투입하면 물+양액이 공급되고, 드럼으로 1개씩 종자 파종 가능, 종자가 비싸므로 사람들이 앉아서 수작업으로 확인 후 버미큘라이트로 복토(종자가 마르지 않도록)

- 이식
 - 3~4cm 정도 자라면 이식을 실시, 카메라로 대중소로 크기 분류하고, 아주 작은 묘는 폐기함, 판별 방법은 녹색부분이 얼마만큼 있는지를 구분하는 카메라(키, 폭, 엽면적 지수 체크)
 - 1차 가식 완료 후 암면플러그에 꽂아서 관리 시작(2개 또는 1개의 선택은 농가 요구 사항)
 - 양액을 플러그에 공급 후 1개씩 구멍에 사람이 수작업으로 이식, 작물 손상을 막고 불량 묘를 선별하여 제거하기 위해 작업을 함
- 토마토 접목 활착실(터널 보온비닐)
 - 파종 후 20일 정도 되면 접목 실시, 터널비닐 안에서 5일 정도 접목활착을 돕고, 그 이후 공기를 넣어서 순화시킴, 접목묘 클립 사용
 - 대목 : 토마토 원종 품종, **세력강화용**-장기간 재배가 가능한 품종, 내병성용
 - 주요 대목 품종 : 현재 **DRO-141** 대목을 80% 이상 사용, 과거에는 **맥시포트**를 많이 사용
 - 토마토 접목 : 합접, 기기를 활용하지 않고 쉽기 때문에 사람이 직접 실시(작업량 300~400개/인) 45도 정도 기울여서 사선으로 절단하여 닿는 면적을 넓힘, 접목하는 시간이 짧아서 기기를 활용하지는 않음
- 오이 육묘
 - 파종 방법 : 씨가 크기 때문에 플러그 구멍에 바로 직파하며, 발아율이 100%에 가까움
 - 오이 육묘기간 : 동절기 30일, 하절기 20일 정도 소요
 - 오이 묘소질 : 잎 6장 정도 발생한 묘, 40~50cm 길이, 육묘시 짧고 단단하게 키우는 게 필요함
- 육묘장 온실 관리
 - 난방파이프를 내려놓은 것은 작물의 생장점 부근의 기온을 맞추기 위해서이고, 육묘장 온실시설이 큰 이유는 기온 내부를 변화를 최대한 줄이고, 균일하게 맞추기 위해서이며, 작업 차량 때문임, 현재 측고 5m 유리온실임
- LED 육묘 연구
 - 전면 LED, LED+고압나트륨등 비교해서 실험 중
- 운반·유통·판매 관리
 - 운반시 주의를 요하기 때문에 자동화보다는 인력으로 운반, 그러나 카트, 트럭 모두 규격화되었음
 - 1주당 가격이 종자값 제외하고 2.25유로, 종자값은 농가가 지불, 별도 가격 책정, 지불방법은 50%는 파종전 지불, 남은 50%는 납품시 지불
 - 묘농사가 전체 농사의 80%를 차지한다고 생각함, 대부분 전문 원예농만 소비자로 취급함
 - 수출 유럽권역은 트럭으로 운반, 아랍에미레이트까지 항공운송 1일 가능, 터키나 스페인도 3일정도 소요



트레이 양액 공급 라인



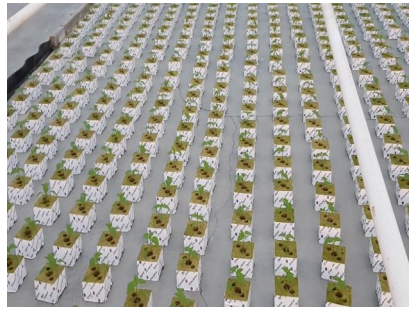
트레이 종자 파종



이식묘 크기 및 품질 구분



토마토 접목 순화실



암면블럭 이식묘 관리



보광광원 간이 실험



토마토 접목묘



오이 접목묘



Hollandplant 온실 내부

라. World Horti Center

1) World Horti Center 현황

- 역할 : 국제온실원예업을 위한 세계지식과 혁신센터, 국제 온실 원예업 분야에 종사하는 모든 사람들을 위한 교육, 연구, 프리젠테이션 서비스를 제공
- Demokwekerij 컨셉을 옮겨서 확장한 사업이며, 2001년 온실을 세워서 6개의 시설원에 자재 업체들이 함께 제품들을 전시하기 시작, 2008년 연구프로젝트 확장 병행, 지금은 100여개 업체가 함께하고 있음, 2015년도 이전계획 세움
- 건립 : 2016년 9월 공사시작, 2017년 8월 중순 입주, 2018년 3월 공식오픈
- 주요기능 : 연구(기술 지식과 교육-학교와 협력), 시험재배, 제품홍보 등을 함께하는 공간이며, 협력을 통해서 혁신적인 기술과 발전을 모색하는 곳임
- 2018년 4만명 정도 방문(목표 매년 2만5천명 방문), 학교 교육생(전문대과정) 1200명, 4년제 농과대학생, 공과대학생 등
- Golden triangle 협력 시스템 : 교육기관, 산업체, 연구소
- 물, 에너지, 식량확보, 지속가능한 농업에 대해 동참하고 기여하고자 함
- 구성

◆ MBO Westland

- Lentiz Education Group의 한 부분, 렌티즈는 센터의 공동 설립자이며, MBO는 알베다 대학, 렌티즈 교육 그룹, ROC 몬드리안 등 3개 MBO 교육 기관의 독특한 협력 기관
- 무역, 비즈니스 서비스, 엔지니어링, 그린, 케어, 식품 과목이 있는 MBO 웨스트랜드는 학생들을 다양한 분야의 전문가와 전문가가 되도록 교육

◆ Greenport Food & Flower Xperience(GFFX)

- 기업, 원예 단체, 정부, 그리고 '녹색' 교육 사이의 협력, 영구적인 식품 및 꽃 무역 박람회를 개최하며, 30개 이상의 선도적인 원예 및 수출 기업들이 지식 및 혁신 센터에 대한 입장을 가지고 있어 기업, 교육, 정부 및 연구가 서로 만나고, 지식을 공유하고, 영감을 줌
- 학생들과 젊은 전문직 종사자들을 디지털 렛츠 워크 플랫폼을 통해 원예 산업과 연결 시킴, 다음 세대에게 온실 원예학은 젊은이들에게 도전적인 직업 기회를 제공함, 또한 혁신과 지속 가능한 사업 관행을 더욱 장려하기 위한 목적으로 학생들과 원예 전문가들을 위한 주제 행사를 조직함

◆ Demokwekerij Westland

- Demokwekerij Westland는 Proeftuin Zwaagdijk의 한 부분이자 공동 설립자임, 이 기구는 약 15년간 존재해 왔으며 실질적인 연구, 연중 전시, 지식 전달을 통해 시설 원예 분야의 혁신에 초점을 맞추고 있음
- (혁신) 비즈니스, 교육 및 연구, 네덜란드 원예기술의 촉진 및 진보 사이의 연결 고리임, 미래의 원예산업에 필요한 과정, 기술, 자원에 대한 실무 작업이 진행 중임

◆ Municipality of Westland

- 웨스트랜드는 세계에서 가장 큰 연속적인 온실 원예 공동체로서 사회적 책임감과 관련된 독특한 경제적 힘을 가지고 있다. Westland 지역의 고유한 특징은 식품, 물, 에너지 문제에 대한 해결책을 공동으로 제공하는 온실 관련 기업들과 부문들의 집단이다. 온실 원예 기업의 예로는 수입업자, 수출업자, 재배자, 운송 및 포장 회사, 공급 업체 및 씨앗 번식 업체 등이 있다.
- 총 도시 생산량이 41억 유로에 달하는 Westland는 경제 활동의 부가 가치에 관한 한 네덜란드 지방 자치 단체 중 상위 10개 지역에 속하며 세계 경제 침체의 도시이다.
- 국제적으로 경쟁력을 유지하기 위해서는 지식과 혁신의 개발이 필수적이다. 원예업 분야의 혁신 기반은 기업가들과 긴밀히 협력하여 교육 및 지식 개발로 이어지고 있다.
- Westland는 World Horti Center의 탄생과 함께 국제 원예 분야의 국제 지식 및 혁신 센터를 제공한다. 비즈니스, 교육 및 정부를 혁신, 연계, 창출 및 고무하는 센터.

2) 원예자재 산업

○ 온실산업

- 일부 나라에서는 지진 때문에 유리온실을 할 수 없는 경우, 일본에서 개발한 유리온실 대용 비닐 개발, Hi-Tech 비닐온실 : 비닐 씌우기 작업(클립형 타입)

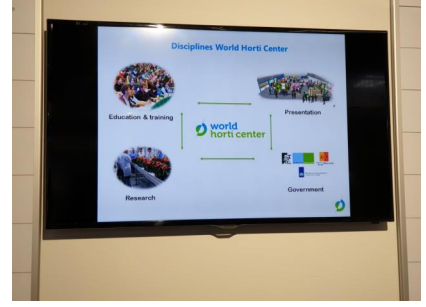
- Semi-closed greenhouse(반밀폐형온실)
 - 천창을 열지 않고도 내부 온실 관리 및 격실을 따로 두어서 환경 관리
 - 천창을 열 경우 : 더운 공기를 주입해서 냉각시킬 경우 내부 압력이 높아서 골조에 문제가 생길 경우 천창을 개폐함, 양압이 있어서 외부 해충 유입이 적은 편
- 스크린 자재 업체
 - ☞ 에너지절감용 보온 스크린 자재 개발 : Luxous
 - ☞ 산란광 효과도 볼수 있는 자재 : Harmony
 - ☞ 단일조건 조성을 위한 차광보온 스크린 : Obscura
 - ☞ 알루미늄 광차단 스크린 : Solaro
- 유리업체(Glasimport Greenhouses, www.glasimport.nl)
 - 산란율에 따른 유리 자재 개발 : 직달광 보다는 광을 분산시켜 산란광을 유도하여 아래쪽 잎까지 광합성이 잘 되도록 유도, 가격이 비싸기 때문에 천창 쪽 위주로 해서 설치를 많이 하는 편임
 - 지역별(광도, 광량), 작물별에 따라 필요한 분산 정도를 파악하고 유리자재를 추천해 주고 있음, 사용하는 농가가 늘고 있는 추세임, 산란광 유리를 썼을 때 얻어지는 작물 수확량 등을 예측 가능
- 스크린, 천창 개폐 관련 부품 업체(Van Der Valk)
 - ventilation systems : 각 지역 풍속 등을 고려하여 환경에 맞는 부분을 제작 생산하고 있음 환기설비 부분 부품
 - 개폐시스템 : 온실 천창을 한 줄로 한번에 여는 방식으로 기어를 이용, 과거 방식은 각각 모터가 부착되지만 개선된 방식은 모터 한 대로 모든 온실 개폐 가능
 - 기타 부자재 기기 : 스크린 설치시 끌고 가는 장비, 양쪽에 레일이 있어서 개폐함
- 보광등(Clima LED3)
 - 토마토 온실 보광을 위한 LED 조명등
 - 위쪽에 유동팬이 있어서 등에서 발생한 열을 식히거나 더운 공기를 아래로 밀어주는 역할
 - 미래의 조명등 LED를 이용할 경우 약 25% 정도 에너지 절감 효과 기대
- VAN DER ENDE GROEP
 - 환기 유동팬 : 수평적 이동, VERTI-FAN : 수직적 이동
 - AIRMIX : 공기와 습도를 조절 가능, 스크린이 쳐서 있으면 습도가 많이 올라가므로 그런 경우 제습을 하면서 희석해서 불어내어 줄수 있는 시스템, 예전에는 농가들이 스크린을 닫을 때 습도와 온도가 올라가므로 이것을 막기 위해 스크린을 약간 열어둠, 스크린을 닫으면 스크린 밑에 있는 공기를 흡입을 하면 온도가 높고 습기가 많은 공기가 들어가고 스크린 바깥은 온도가 낮고 습도도 낮으므로 같이 혼합해주면 습도가 낮아지게 되는 역할



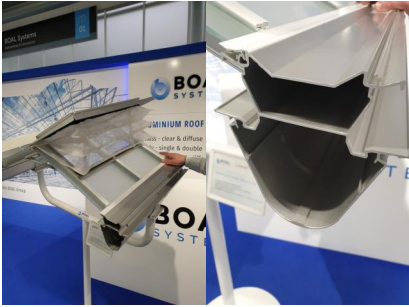
World Horti Center 전경



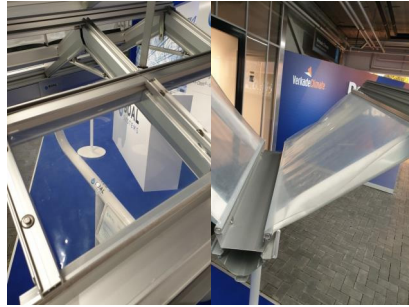
World Horti Center 설명



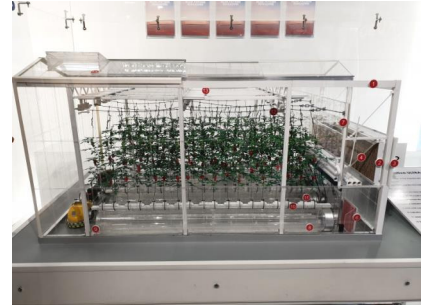
World Horti Center 이념



첨단유리온실 연결 골조



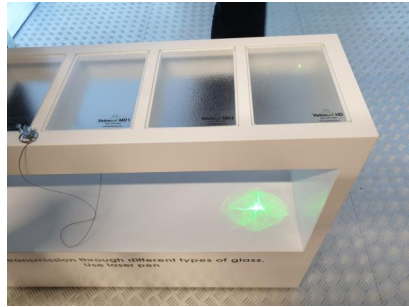
특수 비닐 첨단온실 적용



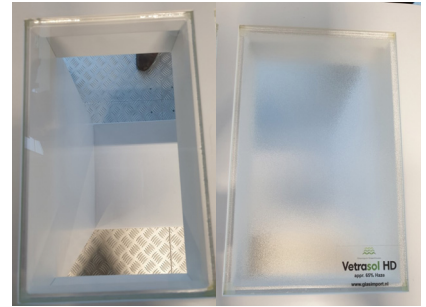
Semi Closed Greenhouse 모형



용도별 스크린 자재



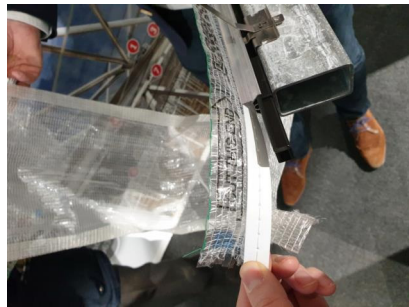
산란광 유리 광투과 산란 정도 비교



산란유리 비교



첨단유리온실 연결 골조



차광 보온 스크린 설치 마감재



LED 보광등(Clima LED3)



공기유동 관련 자재



수경재배 배지



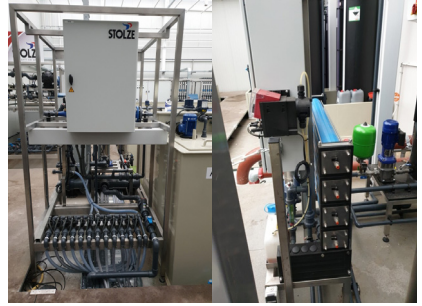
관수공급 자재



양액 공급 센서 및 연결밸브



양액 펌프



양액기 및 UV 살균 램프 필터



테스트베드 내부



초화류 관수 실험 연구



작물보호 실험 연구

마. Priva 시설환경제어 회사

1) Priva 회사 현황

- 회사개요 : Jar Prins & Cor Valk에 의해 1959년에 설립된 가족 회사이며, 17개국에 지사가 있고, 직원 800여명으로 대규모 온실을 만들어 단위 면적당 세계 최고의 생산성을 창조하는 기술 역량 보유
- 연혁
 - 1959년 시설원에 온실 난방 보일러 보급하기 시작
 - 1960년대 초 처음 기후조절 장비 개발
 - 1970년대 처음 컴퓨터 제어 시스템 개발하여 데이터들을 집적하기 시작
 - 1977년 원예분야에 대한 최초의 기후 시스템을 도입(기후, 에너지와 물 관리 제어)
 - 1983년 원예 제어 기술을 기반으로 단순한 빌딩관리 시스템 개발(건물의 실내환경 관리)
 - 2001년 Van Beek(Arnhem) 에너지 모니터링 회사 합류(최적의 에너지 효율 관리)
 - 2007년 De Lier 지역에 Priva 본사 설립(환경 친화적 건물-탄소 중립)
- 주요업무 : Process solution, Climate solution, Water solution, Energy solution, Management solution
- 물관리(Water solution)
 - ◆ Clean water : 적정 pH 5.5~6.5 정도 유지, 양액사용시 중요 양분 불용성 문제 발생 주의
 - ◆ Nutrients efficiently dose : 적기에 필요한 만큼 충분히 공급, 양분 농도, 공급시기 등은 외기에 상황에 따라 변하게 됨
 - ◆ 양액의 재활용 : 재순환(HD-UV살균)하도록 급수시스템을 자동화, Priva 물관리 프로

그램

○ 환경관리(Climature solution)

- 온실 기후의 제어를 위해 빛, 온도, 습도 및 CO₂ 농도를 정확한 센서를 이용하여 조절하고, 외부 기후의 바람, 비와 햇빛의 영향을 고려함

※ Hi-tech 온실에서 최적 기후를 조성하기 위한 중요한 요인

1. CO₂ : 광합성에 필요한 요소
2. 광 : 광합성, 성장과 발달
3. 온도 : 작물생장에 중요한 역할
4. 습도 : 작물의 증산율

○ 온실 내 기후 조절 과정

- 수경재배 시설 관수(양액) 조절 → CO₂ 공급 → 온도 하강 시 보일러 작동(난방), 온도가 올라가면 작물체가 스스로 냉방(증산작용-수증기 발산)하지만 조절이 잘 안되면 천창을 열어서 환기 실시(풍속에 따라 천장을 여는 속도를 달리하고, 풍향에 따라 어디 문을 열어야 할지 결정) → 내부 공기순환팬 : 광합성을 위해 공기유동이 필요하고 시설 내부의 온도를 균일하게 맞추기 위해 실시 → 그래도 온도가 안 잡히면 추가 조치 필요(격실을 두고 PAD AND PAN 방식을 이용해서 온도와 습도를 맞추어 주는 것이 좋음) → 포그시스템(냉방과 습관리에 이용) → 보광시스템 → 차광스크린(여름철 강광도를 제어) 안과 밖 모두 설치 가능(차광으로 인해 물 흡수량이 적어지면 관수량을 조절해 줌) → 최적의 조건을 맞추기 위해 센서를 설치 → 외기에 따라 영향을 많이 받기 때문에 외부에 미니 기상대를 설치 → 내외부에서 얻어진 값을 컴퓨터로 보내어 작물이 최적조건이 되는 조건과 비교하여 최적조건이 되기 위해 조치를 취함(예, CO₂공급시 환기창을 닫음) → 설정값은 농가가 임의로 설정하며, 모든 지시 작동을 컴퓨터로 제어

○ 온실 형태와 설비 수준에 맞추어 제어 프로그램 구성 : Compass→Compact→Connex

- Hi-tech greenhouse & Connex
- Compass 단순제어 프로그램(컴퓨터나 휴대폰으로 제어 가능)
- 아이디로 로그인 후 농장주와 priva 직원도 함께 보고 공유 가능

○ 실시간 작물관리(Top Crop Monitor)

- 최고의 작물 상태를 유지하기 위해 모든 품질관리와 병해충 예방에서 최대의 수확량을 생산하기 위한 작물집약관리 시스템

○ 인력관리 및 농장관리 시스템

- 농장 안에서 일어나는 모든 상황들을 모두 입력 관리 가능하며, 수확량을 확인하고 파악 후 팩킹에 필요한 인력 구성

○ Priva 제공 가능한 영역

- 소프트웨어, 내외부 측정센서, 양액시스템, 내부 공기순환과 온도조절(냉난방가능), 인력관리, 컨설팅 시스템



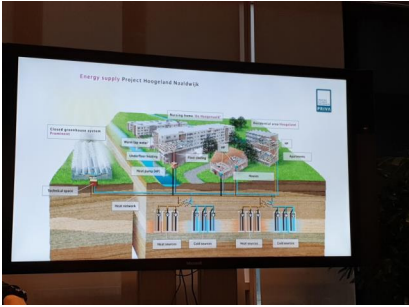
Priva 본사 건물 전경



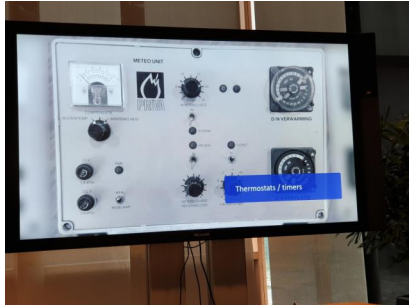
Priva 본사 내부(탄소제로 건물)



Priva 회사 소개



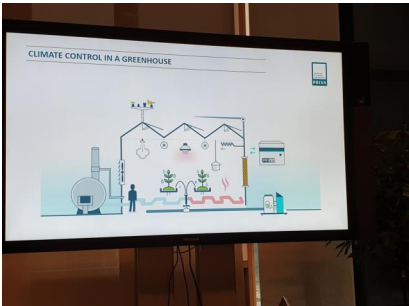
도시 에너지 관리 적용 모델



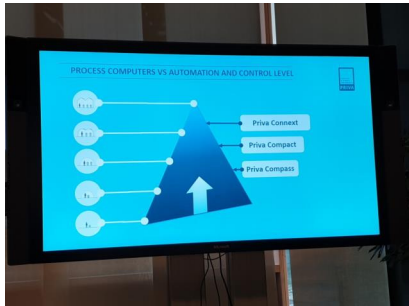
Priva 초기 환경 제어기



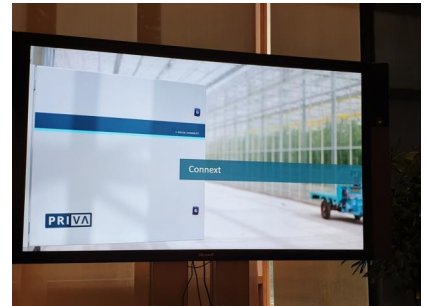
Priva 최초 복합환경제어 컴퓨터



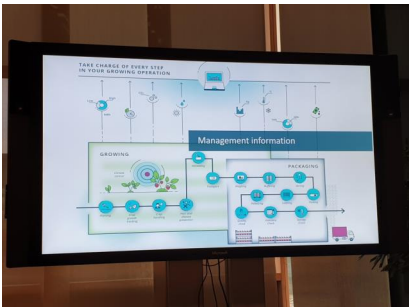
첨단온실 내 기후 조절 관리 방법



Priva 적용가능 모델



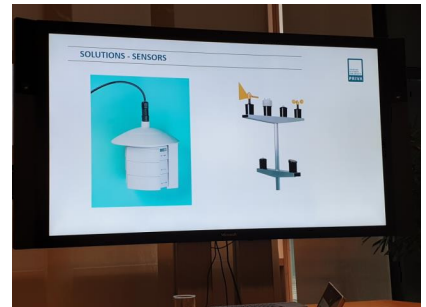
첨단 온실 적용 Connext 제품



복합환경제어 시스템 관리



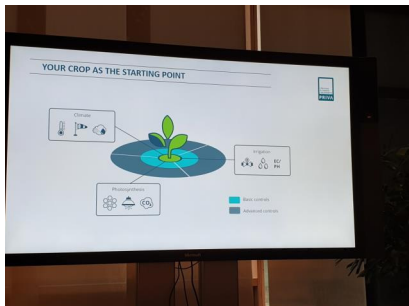
하드웨어 모듈화 가능



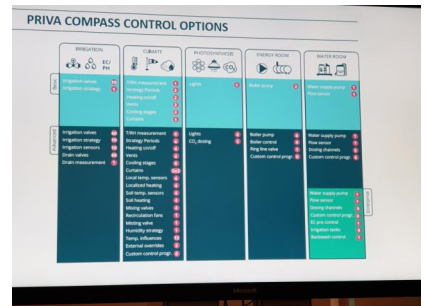
각종 센서 및 미니기상대



인력관리 프로그램



최적 생육 작물관리 시스템



Compass 제품 제어 가능 기능

바. Greenpack 포장선별 업체

1) Greenpack 포장선별 업체 현황

- 5개의 농장(Agrocare, Belt-Kommer, Kesgro, Lans, CombiVliet) 주주의 소유이며, 이후 65개의 농가를 영입해서 총 400ha 분량의 농산물을 선별, 포장, 유통을 대행해 줌
- 서유럽에서 가장 큰 과일 및 채소 포장 유통센터(건물 면적 6ha) 중 하나로 네덜란드를 비롯한 서유럽 국가, 스페인, 모로코, 튀니지의 농장에서 생산된 토마토, 파프리카, 오이 등의 과채류를 하루 24시간, 주 7일 전천후로 선별 포장작업

2) 네덜란드 유리온실 산업 현황

- 네덜란드에서는 5개의 유리온실 재배단지가 있으며, 네덜란드 온실 면적 전체 9,600ha이며, 그중 westland 지역이 2,400ha임
- 북해 쪽에 하우스가 많은 이유는 해양성 기후로 인해 여름에 많이 덥지않고 겨울이 많이 춥지 않음
- 과거 목조구조에 유리 온실을 이용하였고 수로를 이용해서 농산물을 운반
- 과거 유리온실 형태에서 점점 높아져서 측고가 7m까지 올라갔으며, 온실 내부의 공기 용적이 크면 클수록 기후 조절이 용이함
- 유리 온실에서 작물 재배시 중요한 6가지 요소
① 광 ② 온도 ③ 이산화탄소 ④ 좋은 물(원수) ⑤ 습도 ⑥ 재배자

3) Greenpack 포장선별 시스템

- 입고와 출고
 - 건물의 양쪽에서는 수확된 토마토의 입고와 수확된 토마토를 선별 포장하여 출고하는 곳이 있으며, 토마토 입고부터 출고까지 걸리는 시간은 24시간 이내이며, 신선도 유지를 위함
 - 최고의 식품위생 및 식품안전 규정에 따라 작업하며, 가장 엄격하기로 정평이 나 있는 영국 소비자 연맹 (BRC Global standard)과 IFS (국제 식품 품질 및 안전 인증)의 인증을 보유하고 있으며, HACCP 인증을 받은 시설로 청결관리 또한 매우 잘 되어있음
 - 각 농가에서 플라스틱 박스에 실어서 출하되어 들어오며, 기계가 자동으로 인식하여 각 라인으로 보내져 포장됨, 빈 플라스틱 박스는 세제를 전혀 사용하지 않고 90°C 온도에서 완전히 세척하여 다시 농장으로 보내짐
- 포장 작업
 - 각 포장라인에는 직원들이 플라스틱 박스에 담긴 토마토를 꺼내 포장을 하며, 각 라인의 직원의 역할이 유니폼의 색으로 구분되어있음(빨간색-라인의 팀장, 파란색-품질관리, 초록색-완제품 스티커 부착 및 이동, 오렌지색-전체 관리자)
 - 청결관리를 위해 당일 사용된 유니폼은 세탁을 하며 다음 날은 새 유니폼을 입을
 - 입고된 토마토는 자체적인 라인을 보유하고 있어 고객의 요구에 맞는 다양한 형태(플

라스틱 용기/실링(밀봉)/박스 등)로 포장되어 로고까지 부착되어 출고가 가능

○ 인력관리

- 인건비 절감을 위해 계절노동자(집중적으로 일이 많이 몰리는 기간만 일을 하는 노동자)도 운영되고 있으며, 휴식공간이 넉넉하며 1년에 3~4번 축제를 여는 등 직원의 복지가 매우 좋음

○ 추적관리시스템

- 최고 품질을 유지하기 위해 체계적인 추적관리 시스템을 활용해 입고부터 출고까지의 모든 상황을 기록하여 문제가 생기면 바로 찾아 처리가 가능하도록 되어있음
- 또한, 생산라인 마지막 출하 전에 검품관이 상시 배치되어 있어, 제품의 품질검사 및 분석을 하여 유해요소가 있는지 꼼꼼히 검사한 뒤에 출고가 되며, 그린팩 내에 소비자 분들이 보낸 검사관들이 불시에 오기도 함

○ 포장 운송

- 포장박스의 경우 운송비 절감을 위해 미완성된(접혀지지 않은 상태의) 박스의 형태로 입고하여 8대의 박스를 접어주는 기계로 각각의 모양으로 제작

○ 네덜란드에서 생산되는 시설원에 과채류는 80%가 수출되고 있으며, 가장 큰 수출 대상국은 독일과 영국임

○ 전체 수출되는 작목 : 50% 채소 과채류, 50% 화훼류이며, 토마토 선별 포장 가능 종류 20여종

○ 농업협동조합 : 회원농가 약 70여 농가, 토마토 450ha 정도 생산하고 있음, 성수기 6~8월 (3교대 작업 약 1,100명 정도 근무), 비수기 보광을 하면서 재배해야하므로 12월에는 생산량이 많지 않음, 그러나 보광재배하는 농가들이 늘고 있으며, 지금은 고압 나트륨등을 쓰고 있지만 앞으로 LED 보광등으로 바뀔 것임

○ 네덜란드에서 가장 큰 유리온실 농가 : Agrocare 180ha

○ Greenpack의 최고 장점 : 융통성

- 고객이 원하는 형태로 만드는 것을 우선시하며, 과잉생산이나 가격 하락 시에는 이를 가공한 제품을 만들어 출고시키는 방법을 사용함
- 작년 1년간 기준 평균 약 10만 t(1억 kg)의 토마토를 선별, 포장함



Greenpack 건물 전경



Greenpack 업체 소개



네덜란드 유리온실의 변화



과거 네덜란드 목재온실 및 수로 운반



Greenpack 본사



Greenpack 농장주(Harvest House)



첨단온실 재배단지



Greenpack 취급 토마토 종류



Greenpack 취급 과채류



Greenpack 선별 포장 작업 전경



선별 포장시 검품 검사



다양한 포장 용기



운송 시스템

※ 일부사진 출처 : Greenpack 홈페이지 참고

사. Rijk Zwaan 육종회사

1) Rijk Zwaan 육종회사 현황

- 회사현황 : 근무인력 약 700명, 42% 연구개발쪽(R&D) 파트에 근무하며, 연구개발비는 전체 매출액의 30% 정도 투자
- 육종전문인력(육종가, 선별가) 25명 이상, 토마토 육종 투입 인력 70명 이상, 연구인력이 가장 많음
- 육종 지역 : 네덜란드, 프랑스, 스페인, 터키, 중국, 멕시코, 탄자니아, 브라질, 일본

- 육종 목표 : 상품성 수량, 품질, 저항성, 지역적응성, 노동력절감 등
- 육종을 하는데 필요한 항목 : 유전자원, 온실시설, 지원(연구자, 실험실, 소프트웨어/하드웨어), 현지 검증 등

2) Rijk Zwaan 토마토 육종

- 육종시장 파악 : 토마토 종류 약 70개 정도가 되지만 대략 시장성에 맞추어 6가지 정도로 구분

구분	적용가능온실	대표 시장성
Intermediate loose	Heated, High Tech	NL, Scan
Beef large	Heated, High Tech	BE, PL, CA, USA, RU, MX
Cherry	Heated	NL, JP
Truss large	Heated, High Tech	NL, BE, CA, USA, MX
Momotaro	Heated	JP
Pink Beef	Heated, High Tech	PL, RU

- 토마토 대목 육성의 목표
 - 노지 재배를 할 경우 병에 강한 품종을 육종하고, 수경재배를 할 경우 작물의 세를 강하게 할 수 있고 생산성을 높일 수 있는 쪽으로 품종 육성
 - 일본의 경우 : 생식생장을 유도할 수 있는 대목을 원함. (품종명 : Emperor)
- Rijk Zwaan 육성 토마토 세력강화용 대목
 - : Emperor RZ F1(61-065), Suzuka RZ F1(61-081)
 - 대목세가 강한 것을 쓰게 되면 품종 세가 약한 것을 쓰는 것이 좋음, 품종 세가 강한 것을 쓰게 되면 생식생장 쪽으로 계속 가게 되므로 주의

3) Rijk Zwaan 오이 육종

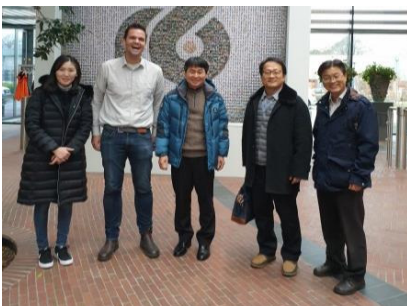
- 네덜란드에서 오이 농가의 60%는 Rijk Zwaan 회사 종자를 이용하고 있으며, 스낵오이 시장은 80%를 차지하고, 회사에서도 오이 품종을 주력으로 육성하고 있음
- 네덜란드에서는 길이가 긴 오이를 많이 먹지만 스낵 오이의 소비 비율도 많이 늘고 있음
- 미니오이 : 22cm 미만, 스낵오이 : 9cm 내외
- 네덜란드 오이재배 시스템 : High tech, 연중생산 재배, 무접목, 인공광 보광 실시

4) Rijk Zwaan 시장성

- 육종 회사들의 계속된 합병으로 인해 현재 Rijk Zwaan이 전세계 4번째로 큰 회사이며, Monsanto가 가장 큰 회사임
- 한국에는 파프리카 위주로 많이 종자가 수출되고 있으며, 강원도 철원쪽에서 재배
- 한국 수출품목 : 파프리카, 상추(salanova), 토마토, 시금치, 콜라비

5) 네덜란드 종자산업

- 네덜란드 통계청(CBS)에 따르면 지난 2016년 기준 종자 수출액 18억유로로 세계 1위, 수입액 8억3600만 유로로 3위를 기록하고 있음
- 최근 8년간 네덜란드의 종자 수출은 약 80% 증가한 것으로 나타남
- 세계 종자 시장의 74%는 상위 10개 회사가 점유하고 있으며, 네덜란드의 Rijk Zwaan 기업도 포함됨, 'Rijk Zwaan'는 지난 2011년 매출액이 2억유로였으나, 6년 만에 4억 2000만유로를 달성했으며 꾸준히 상승세를 보이고 있음
- Rijk Zwaan의 성공요인 : 연구·개발에 대한 투자, 실제 2016년 연구·개발 투자액은 총 매출액의 약 30% 1억2000만 유로에 달하며, 또 향후 5년간 2억5000만 유로를 온실·연구·실험기관에 투자, 2021년까지 1,500명을 고용할 계획이라고 함
- 네덜란드 정부 차원에서 2017년 11월 멸종 위기에 처한 야생식물 종을 보존·개량하는 'Living Archive, National Seed collection' 프로젝트를 실시하는 등 종자산업 분야 프로젝트가 꾸준히 진행 중임



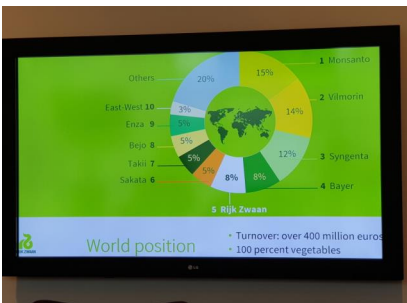
Rijk Zwaan 본사



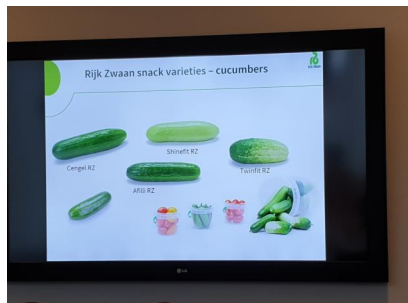
Rijk Zwaan 육종 시장성



Rijk Zwaan 육종 목표



Rijk Zwaan 육종회사 세계 위치



Rijk Zwaan 오이 육종 품종



Rijk Zwaan 한국 시장성



인공수분 교배 육종



육종계통 자원



발아율 검사실



종자 세척 후 보관



종자 선별



종자 코팅



종자 선별 및 포장



종자 포장 작업



종자 보관 창고

※ 일부사진 출처 : Rijk Zwaan 홈페이지 참고

아. Qcumber 오이 재배농장

1) Qcumber 농장 재배 현황

- 재배면적 : 6ha(3ha 2개 온실로 구성)
- 정식현황 : 1번 온실 10월 10일 정식, 2번 온실 11월 22일 정식
- 품종명 : High power, 무접목 재배
 - 노지재배 및 유기농 재배할 경우 접목 실시(대략 1% 정도)
- 인력관리 : 성수기 50명, 비수기 10명, 연간 80% 정도 40명 유지
 - 인력구성 : 경영팀 4명, 관리 4명 외 수확, 선별포장 인력으로 구성
- 시설현황 : High tech greenhouse, 측고 6m, 열병합발전기 2대 보유

2) Qcumber 농장 재배 관리

- 온도관리 : 일평균기온 22°C 기준, 보광 낮시간 23°C, 야간 18°C
- 이산화탄소 공급량 : 800ppm 공급, 쉘 산업단지에서 온 이산화탄소와 열병합발전기에서 발생한 이산화탄소 가스를 이용
 - 여름에는 열병합발전기에서 나오는 이산화탄소를 이용하고, 겨울에는 환기를 시키지 않아서 적은 양의 이산화탄소를 구입하여 사용
- 난방 : 열병합 발전기에서 발생한 온수와 이웃 농장에서 설치한 지열시스템의 온수를 대여하여 사용
- 전기 구입 비율 : 50% 열병합발전기로 활용, 50% 정도 구입
 - 겨울철 총 전력사용량 : 6,000가구 사용량과 동일함
- 재배방법 : 암면배지
 - 네덜란드 오이 재배 배지 비율 : 94-96% 암면배지, 2% 펄라이트, 2% 기타배지

- 인공광원(보광등) : 고압나트륨등
 - 보광시간 : 작기 초기 18시간 보광, 작기 후기 20시간 보광 실시
 - 보광등 재배 농가 : 현재 Qcumber 6ha, 3ha 다른 오이재배 농가, 그 외 일부분만 이용
 - 12월 네덜란드에서는 Qcumber 농장에서만 생산하고 있음(현재 가격 오이 2개 1유로)
 - 보광등 광량 : $190\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 광량 유지, 겨울에도 수확 가능한 광량임
 - 보광등 설치 간격 : 1개/10m², 1,000개/1ha
 - 보광사용기간 : 전작기 모두 사용, 작물의 생육 단계별로 필요한 광량이 다르므로 생육의 상태에 따라 보광을 실시(예, 여름 비오는 날, 맑은 날에도 과실이 많이 달려있을 때 등)
 - 보광등 사용 내구연한 : 보증기간 5년(10,000시간 후 교체), 현재 7년(14,000시간) 사용했지만 약 2% 정도 성능이 감소하였음
- 재배작기 : 3작기
 - 1작기 11월 22일~4월 4일, 2작기 4월 4일~7월 15일, 3작기 7월 15일~10월 15일 종료
 - 한 작기 끝나면 정리하고 정식하는데 반나절도 걸리지 않기 때문에 쉬지 않고 바로 정식함
 - 최종 3 작기가 완료되면 경우에 따라 소독을 하기도 하지만 필수사항은 아님
- 수확량 : 1 작기 100~120개, 2~3작기 90개 정도 수확 가능, 잎 2장에 1개 정도 착과시킴
- 수확크기 : 1개당 380g 정도, 네덜란드 350g 내외, 독일 400g 내외
- 재식밀도 : 2.25~2.5개/평
 - 2.25개 재식밀도를 유지하는 온실은 보광등 조건이 더 좋아서 재식밀도를 조금 더 높여도 무방하고 정식 후 생육 단계도 고려하여 재식밀도 결정
- 유인방법 : 줄기를 눕혀서 유인하고 수확 높이에 맞추어서 유인 높이조절
 - 한 작기에 12m 정도 자라고, 여름철에는 1주일에 50cm 정도씩 자람
- 병해충 방제 : 생물학적 방제 실시
 - 흰가루병 발생은 많지 않은 편이며, 유행훈증을 하면 오이가 타들어가서 사용하지 않음
 - 주요 발생 해충 : 점박이응애, 총채벌레, 가루이, 진딧물-생물학적 방제 실시
 - 방제율 : 점박이 응애 90%, 총채벌레 99%, 가루이 100%, 진딧물 발생시 농약 사용
- 양액관리
 - 보광 시작을 9시에 하므로 양액은 1시간 후부터 공급, 다음날 5시까지 보광을 하므로 보광 중단 1시간 전이 오전 4시에 양액 공급 중단
 - 관수전략 : 90분 마다 1 작물당 100cc 공급, 폐액량은 공급의 30% 배출, 폐액량이 작으면 공급시간 간격을 줄이고, 폐액량이 많으면 공급시간 간격을 늘림
 - 배지 속 EC 2.8, 폐액 속 EC 2.3 정도(20% 정도 감소), 양액 pH 5.2, 배지 속 pH 6.3
- 복합환경제어기 : Horti Max 사용
 - 네덜란드 시장점유율 : Priva 40%, Hoogendoorn 30%, Horti Max 25%, 기타 5%
- 습도관리 : 보광시간일 때 80% ~ 야간 90% 정도 유지
- 순수익 : 3~5%, 투자비, 감가상각비, 경영비를 모두 제외한 수익
- 농장주가 생각하는 작물재배에 가장 중요한 관리 기준
 - ① 기후 환경 관리 ② 물관리 ③ 에너지절감 ④ 인건비



Qcumber 농장 입구



농장 안내표지판



농장 외부 보광 전경



오이 포장 자동화 시스템



오이 선별 포장 작업장



농장주 컨설팅



오이 작업장



10월 10일 정식 온실



Air Mix 설치



오이 재배 시스템 및 생육상태



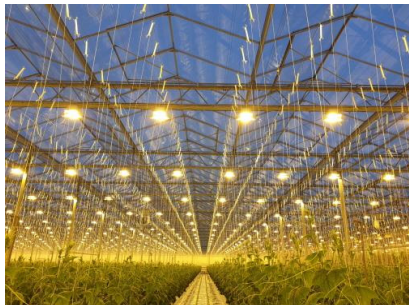
생육 상황 설명



11월 22일 정식 온실



정식 후 1개월 생육 상태



보광등 설치 전경



첨단온실 보광 오이재배

자. 네덜란드 원예산업 주요내용 요지

- 네덜란드는 시설원예 분야에서 첨단기술을 기반으로 세계의 기술농업을 선도하고 있다. 지형적 특성, 풍부한 천연가스와 피트, 온난한 기후 등으로 일찍부터 시설원예가 발달하였고, 이제 시설원예는 네덜란드 농업의 상징이 되었다.
- 네덜란드 시설원예 기술 개발은 1990년대까지 수량성에 중점을 두었으나 그 이후에는 생산성은 물론 지속가능성에 초점을 두고 이루어지고 있다. 지속가능성은 에너지와 노동력의 투입을 줄이는 것이 중요한 목표이다. 정부는 2020년부터 신축하는 온실은 탄소중립을 유지하여 이산화탄소 방출 금지 정책을 추진하고 있다.
- 시설원예는 수준 높은 시설 인프라와 첨단 기술력을 바탕으로 높은 생산성을 가지고 있고, 시장 환경도 매우 개방적이다. 반면 국내적으로 젊은 후계인력 부족, 노동력의 외국 의존 증가, 내수시장 취약, 대형 소매유통체인 확대, 경영수익의 불확실성 증가 등의 약점도 상존한다.
- 네덜란드 농업경쟁력의 원인
 - 독립 이후 장악한 해상권을 근거로 발달했던 중개무역에서 쌓아온 무역과 물류 인프라를 그대로 농업에 적용, 2차 대전 후 유럽수출을 위한 농산물 유통을 시작, 수출주도형 농업을 육성
 - 신선한 농산물을 저가에 공급하는 Know-how를 축적, 총생산액의 12%가 농산물, 원예산물 90% 이상을 수출, 수출흑자의 40%는 농산물
 - 농업인들의 기업가 정신, 정부의 보조금에 의지하지 않음, 대부분 융자금을 이용, 모든 농가는 기업으로 등록, 세무신고, 최근 농업 인구는 줄고 있으나 농업생산성과 규모는 커지고 있음, 농가는 경제성을 가장 중요시
 - 협동조합운영 : 자율적 작목반 운영, 몇농가 또는 몇천농가 조합, 출하, 유통, 마케팅을 담당, study group 운영, 정보교환, 세계적 규모 협동조합(Greenery, Flora Holland 등)으로 발달
 - 네덜란드 농업인은 95%가 승계형이고, 학력수준이 높으며, 농업형 중고등학교 졸업 후 농업 시작
 - 농업 R&D 분야 발달, 와게닌겐대학은 세계적 수준, PTC+를 중심으로 한 실습중심 교육, 농업인도 협동조합의 기금으로 R&D센터 운영 지원

제2절 일본 시설원에 최신 연구동향 및 스마트팜 관련 정보 수집

1. 일본 시설원에 동향

가. 일본의 농업현황

- 일본의 경지면적 : 전체 토지의 11.8%를 차지하는 447만ha(우리나라 국토대비 경지면적 비율 17%)
- 일본 농업의 특성 : 좁고 한정된 면적에 많은 자본과 노동력을 투입하여 집약적인 농업 생산 활동을 영위, 그 중에서 벼 농사를 중심으로 한 경작 구조가 발달하여, 경지면적의 절반 이상이 논으로 구성

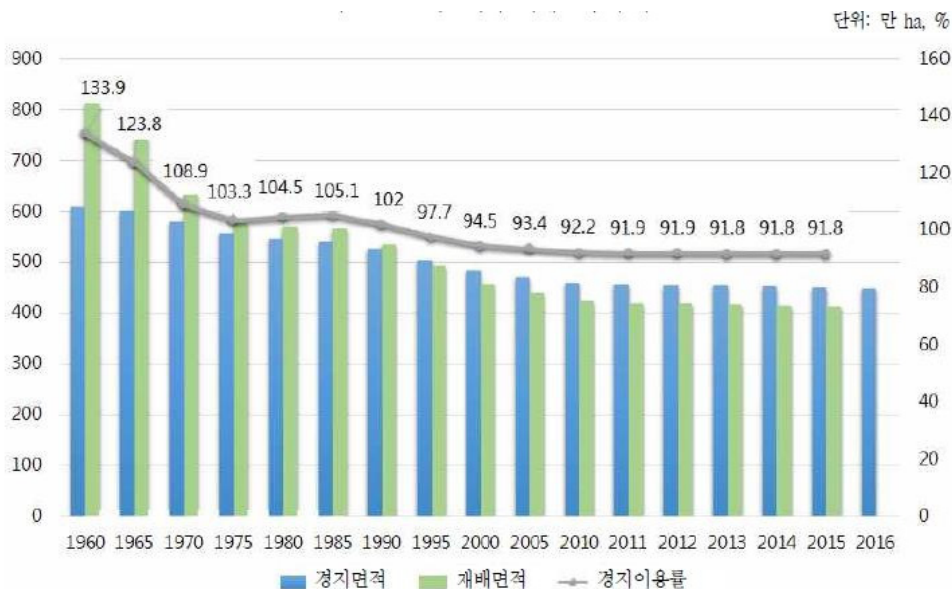
표. 경지이용현황(2017 국가별 농업자료, 일본의 농업현황, 한국농촌경제연구원)

단위: 만 ha

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
□ 경지면적	459.3	456.1	454.9	453.7	451.8	449.6	447.1
- 논	249.6	247.4	246.9	246.5	245.8	244.6	243.2
- 밭	209.7	208.7	208	207.2	206	205	203.9
□ 개폐면적	1.8	3.3	1.7	2	2.6	2.6	3
□ 확장면적	0.2	0.2	0.6	0.7	0.7	0.4	0.5

주: 개폐(改廢)면적이란 논이나 밭을 다른 지목으로 전환하거나 작물 재배가 곤란해진 경지면적을 의미함.
 자료: 농림수산성(<http://www.maff.go.jp/tokei/sihyo/data/10.html>).

- 경지면적과 재배면적의 감소 : 20세기 후반 고령화, 후계자 부재, 농업 수익성 악화 등의 문제로 농업을 포기하는 농가들이 늘고 있음



자료: 농림수산성(<http://www.maff.go.jp/tokei/sihyo/data/10.html>).

그림. 경지면적과 재배면적 추이(2017 국가별 농업자료, 일본의 농업현황, 한국농촌경제연구원)

- 농가당 평균 경지면적은 증가 추세 : 토지 비소유 농가의 경작지 임대 증가, 조직경영체의 정가, 영농기계화 등으로 인해 평균 경지면적 증가 추세이며, 경지면적의 감소율보다 농업경영체의 감소폭이 상대적으로 더 큰 것도 농가당 경지면적의 증가 요인임
 - 일본 내 농업생산량 전국 1위인 홋카이도 : 농업경영체당 경지면적 2010년 23.49ha → 2016년 27.13ha 증가
- 2015년 작물별 재배면적 : 미곡(32%), 채소류(7%), 맥류(6%), 과수(4%)
 - 미곡 재배면적은 꾸준히 감소하고, 맥류, 잡곡류, 두류의 재배면적은 증가 추세
 - 홋카이도 지역에서 노동 절약적인 작물로 전환하려는 농가들이 많아졌고, 1999년부터 ‘논 중심 토지이용형 농업활성화 대책’이 본격적으로 추진되면서 잡곡류 재배면적이 늘어남

표. 작물별 경영체수와 재배면적(2017 국가별 농업자료, 일본의 농업현황, 한국농촌경제연구원)

단위: 개, ha

구분	2005		2010		2015	
	경영체수	면적	경영체수	면적	경영체수	면적
미곡	1,407,697	1,388,960	1,170,055	1,370,978	952,684	1,313,713
맥류	114,965	247,045	61,122	259,607	49,229	263,073
잡곡류	45,256	33,335	40,800	43,241	36,814	58,170
감자류	194,928	90,976	117,045	91,603	86,885	86,122
두류	207,857	147,503	132,806	165,336	96,447	160,010
채소류	516,200	280,672	442,842	289,453	381,982	272,471
공예농작물	98,896	152,212	76,368	150,141	56,994	126,683
화훼·화목	83,040	32,791	69,236	31,315	54,830	27,505
과수	287,372	174,322	253,941	162,554	221,924	145,418

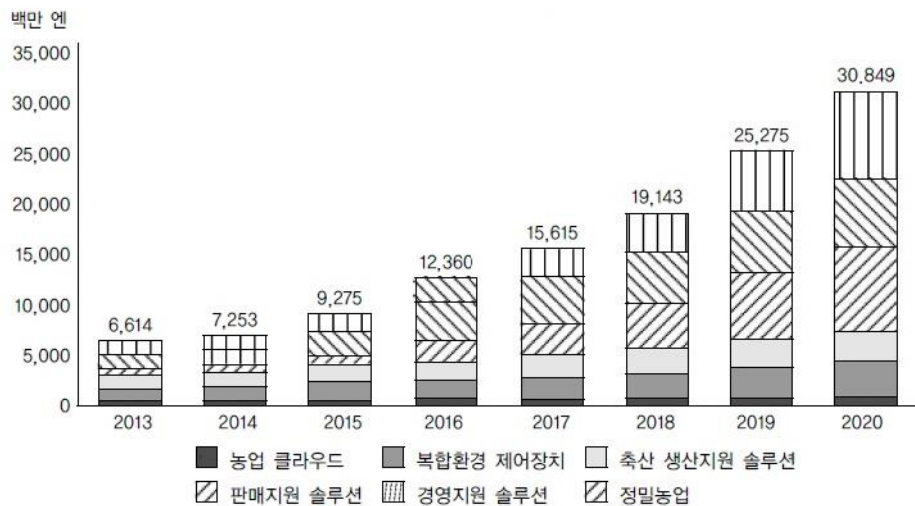
주: 판매목적으로 생산된 작물에 한함.
 자료: 농림업센서스(<http://www.maff.go.jp/tokei/census/afc/index.html>).

- 총 인구 대비 농가인구 비중 급감 : 1990년 14% → 2015년 3.8%
 - 감소 원인 : 영농후계자의 부재, 고령화, 산업화, 농산물 가격 하락 등
 - 농가인구의 고령화 39.7%(전체 인구 고령화 26.9%)가 심각하고, 최근 16년간 농가 인구 중 39세 이하 연령층 비율은 31%→27%로 감소, 65세 이상의 노년층은 34%→40% 증가
 - 농업을 전문적인 직업으로 하는 기간적 농업종사자 추이 : 2010년 205만명 → 2016년 158만명, 청년농업인(15~39세 이하) 전체에 5%, 65세 이상 고령농업인 65% 차지
- 2015년 전국 판매농가의 평균소득 : 496만엔(약 5,907만원)
 - 전년대비 8.7% 상승, 농업소득 29%, 농외소득 1.4%, 이전소득 1.9%의 증가율을 보여, 농업소득이 농가소득 향상에 크게 기여
 - 농업소득 증가이유 : 2014년 쌀 가격이 폭락한 것에 비해 2015년 쌀과 축산물 가격이 점차 상승하여, 농업조수익이 500만엔에서 544만엔으로 증가하였기 때문

- 일본농업의 특징 : 부업농이 많음, 부업적 농가(2016년, 74.1만호), 주업농가(28.5만호), 준주업농가(23.7만호) 차지

나. 일본의 스마트농업

- 스마트농업 : 전통적인 농업 기술에 다른 업종의 기술지식(로봇 기술, 정보과학 등)을 활용하여 더욱 향상된 생산성과 농산물의 고부가가치화를 목표로 하는 것
- 일본스마트농업 시장 : 2013년 66억 1,400만엔 → 2020년 308억 4,900만엔(약3.6배 성장, 야노경제연구소)



주: 1) 일본 국내시장을 대상으로 메이커 출하금액 기준으로 산출함.
 2) 농업용 로봇 및 POS³⁾ 등 하드웨어 미포함.
 3) 2014년은 전망치, 2015년 이후는 예측치.
 자료: 야노경제연구소 '기대가 높아지는 스마트농업의 현상과 장래 전망'(2015).

그림. 일본 스마트농업 시장 동향 및 전망(2016 세계농업, 한국농촌경제연구원)

- 일본 농업의 쇠퇴를 막고 농업 부흥을 통해 지역 경제를 활성화하고자 네덜란드형 모델을 지향하며 농업의 스마트화를 추진
- 일본 농림수산성 : 2013년 11월 '스마트농업의 실현을 위한 연구회' 출범

다. 스마트농업 기술 동향

- 스마트농업이란? 정보통신 기술 등의 선진기술을 활용하여 농업의 생산관리나 품질·생산효율 등의 향상을 실현하는 농업
 - 지속성 : 토지와 물의 보전과 활용, 에너지 자원 절약, 생산물 안전성 향상, 고품질화, 노동부담 완화와 노동안전, 기후변화 대응, 농가 경영 안정성 등
- 환경정보 : 환경정보 센서는 현재 상당한 기술 축적이 이루어져 있고, 비교적 저렴한 센서 네트워크형 환경정보 수집 장비도 존재함
 - 예) 은 나노 잉크 기술로 종이에 회로를 인쇄하여 매우 저렴하게 토양 수분 측정
- 생체정보 : 생체정보 계측에 대해서는 대부분 수작업에 의존하여 대응이 늦어지고 있음

- 예) 비파괴 수액유량센서(니시오카 2013), MEMS 기술을 이용한 FTIR(오카노 2013) 삽입 센서, 디지털 카메라로 작동이 간편한 생육진단 알고리즘(Guo et al. 2013, 2015), 소형 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)가 농작물 상태를 탐사하거나 카메라와 UAV를 조합하고 작물 군락의 3차원 구조를 재구축하는 방법 등

- ※ MEMS : 미세전자기계시스템, 실리콘이나 수정, 유리 등을 가공해 초고밀도 집적회로, 머리카락 절반 두께의 초소형 기어, 손톱 크기의 하드디스크 등 초미세 기계구조물을 만드는 기술
- ※ FTIR : 신속 측정이 가능하고 미약광을 높은 S/N비로 측정할 수 있으며, 높은 분해능을 얻을 수 있고 물결수정밀도 및 물결수재현성이 대단히 높은 특징을 가짐.

- 재배관리 정보 : 농가의 생산에 관련한 재배관리 정보 수집에 대해서는 일본 농림수산성의 위탁 프로젝트 등에서 IC태크나 기상GPS(Global Positioning System) 등을 이용하여 효율적으로 재배 관리 정보를 수집하는 기술 개발이 이루어지고 있음
 - 기술 활용을 위해서는 효율성과 비용문제가 관건임
 - 센서의 고기능화, 저가격화, 위성 화상의 광역성을 살리면서 지상센서와 위성 간 데이터를 동화시켜 광역 생육 모니터링이 가능하고 정밀도 향상 효과도 기대함
 - 예) 후지쯔 농업관리 클라우드 서비스(Akisai) : IoT 센서를 이용하여 재배환경의 데이터를 실시간으로 계측, 수집하는 동시에 클라우드 서비스를 이용하여 데이터를 축적·분석하여 토마토 등 작물 재배에 활용

○ 스마트농업 솔루션 분야별 정의

솔루션		정의
재배 지원 솔루션	농업 클라우드	농사일에 관련되는 데이터를 인터넷상에서 관리해 생산성을 향상시키는 시스템
	복합 환경 제어장치	외부공기온도, 하우스 내 온도, 습도, 일사, CO2농도 등을 측정해 각각을 최적의 상태로 유지하기 위해 난방기기와 보온커튼, 환기와 차광을 자동제어 하는 것
	축산업 생산지원 솔루션	축산업의 생산비용 절감을 위해 정보통신기술(ICT)을 활용한 계획적 번식을 통한 경영 효율화를 실현하는 솔루션. 예를 들면, 소에 센서를 장착해 발정 감지나 건강관리 등에 도움을 주는 시스템 등
판매지원솔루션	1. 농작물을 조달하는 식품 관련 사업자의 4정(정량, 정시기, 정품질, 정가격)을 실현하는 솔루션 2. 전국 농업협동조합연합회(JA) 직원의 업무를 ICT로 경감하는 솔루션	
경영지원솔루션	1. 회계소프트와 농업법인의 회계업무를 ICT로 지원하는 솔루션 2. 기상데이터와 과거의 기상정보를 토대로 수확시기와 수확량을 예측하고, 발생하는 병해충 등을 사전 파악할 수 있는 솔루션	
정밀농업	농업용 GPS안내지도시스템, GPS를 이용한 자동조타시스템, 위성화상으로부터의 정보로 농작물의 품질과 농지 정보 등을 파악하는 시스템	

자료: 야노경제연구소 '기대가 높아지는 스마트농업의 현상과 장래 전망'(2015).

라. 일본 스마트농업 방향

- 농기계 자동주행 : 트랙터 등의 농기계 자동 주행으로 에너지절약 및 대규모 생산을 동시에 추구
- 정밀농업실현 : 탐사기술과 기존에 축적된 빅데이터 활용을 통해 정밀농업을 실현하고, 고품질 우량종의 대규모 생산을 실현
- 농업 인력 안전작업 : 수확물의 적하 등 중노동과 제초작업을 돕는 시스템을 개발하여 안전한 농작업 가능
- 쉬운 농업 실현 : 농기계 운전 보조장치, 재배 노하우 데이터화 등을 통해 경험이 없는

사람도 쉽게 농사짓도록 함

- 소비자 안전농산물 제공 : 생산 정보를 클라우드 시스템을 통해 제공함으로써 생산자와 소비자, 실수요자를 직접 연결하여 소비자들에게 안심과 신뢰를 제공

<참고문헌>

- 고충성. 2019. ‘돈이 되는 농업’이 일본 농업을 살린다. KOTRA 해외시장뉴스.
- 김관중.허재두. 2016. 스마트팜 기술동향과 전망. 한국전자통신연구원.
- 유영석. 2017. ICT 융복합 기술 및 현장 적용 사례 조사 귀국보고서. 전북농업기술원
- 유지은. 2016. “일본의 스마트농업” 『세계농업』 185호. 한국농촌경제연구원.
- 전영현.박재성. 2017. “일본의 농업현황” 『세계농업』 200호. 한국농촌경제연구원.

2. 일본 시설원에 산업 주요 견학 내용

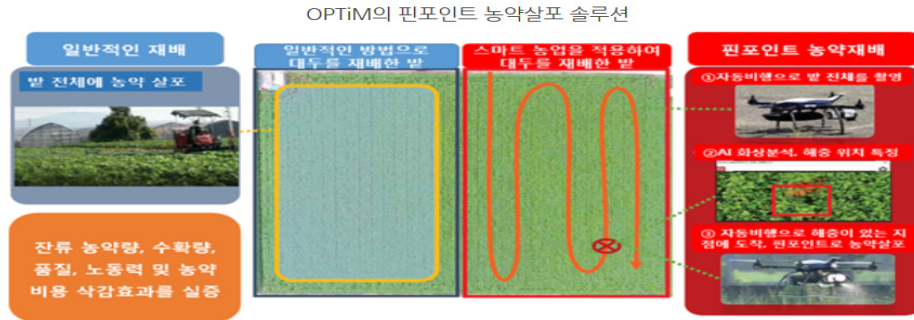
가. OPTiM

1) 회사현황 및 개요

- IT 관련 소프트웨어를 개발하는 글로벌 산업체로 2000년에 설립되어 현재 약 300여명의 엔지니어들로 구성
- 타 기업체, 대학과 연계한 연구를 통해서도 기술을 개발, 적용하고 있음.
- 최근 의료, 건설, 보안 등 여러 분야에 대한 AI, IoT 기술 활용에 초점을 둬. 최근 농업에 관심을 가지고 투자를 시작하는 단계임
- 농촌 고령화를 심각한 문제로 인식하고 있으며, 젊은 층의 농업에 대한 관심을 향상시키기 위해 신기술을 개발하고 적용하는 것을 중요하게 생각하고 있음
- 농업 효율화 관련 각종 솔루션을 제공하며, 기존 농업 관련 ICT 솔루션 개발기업과 차별화 되는 비전과 비즈니스 모델을 제시하며 큰 주목을 받음

2) 주요내용

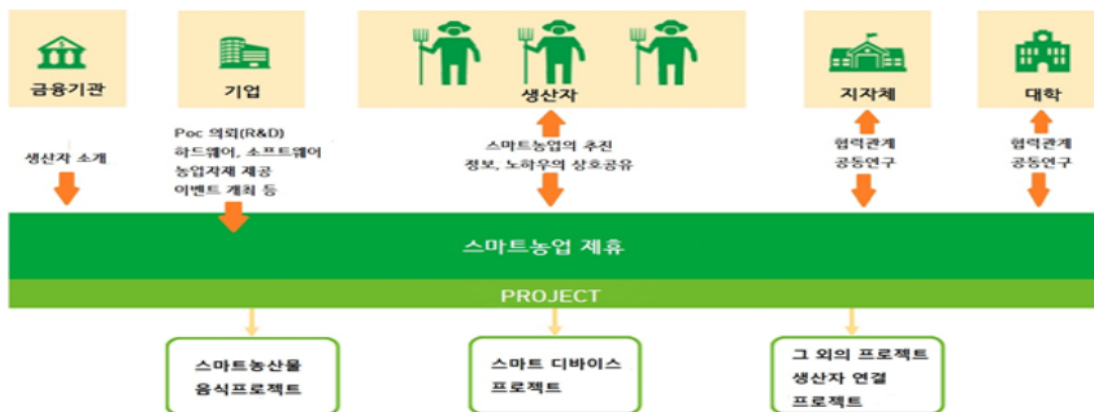
- 드론을 활용한 핀포인트(pin point) 농약살포 기술
 - 수확량은 그대로 유지하며, 농약사용량과 농약살포 작업에 따른 일손 투입을 대폭 줄여줌
 - 자율 비행 드론을 통해 경작지를 촬영해 AI 화상분석으로 지점별 해충의 위치를 확인하고, 해충이 있는 지점에 방제용 드론이 자동으로 날아가 핀포인트로 농약을 살포
 - ※ AI 화상분석 기술 : 해충피해업 딥러닝(Deep Learning)
 - 현재, 센서 기술 한계로 인해 식물병 모니터링은 현실적으로 어렵다고 판단하며, 추후 잎의 성숙도도 고려한 해충 약제 살포 기술을 개발할 예정임
 - 대두, 쌀 농사에 적용이 가능한 해당 솔루션은 실증실험을 통해 농약 사용량 90% 절감에 성공, 농약살포에 따른 작업 시간도 대거 단축되었으며, 살포작업자의 안전성도 향상시킴



자료: OPTiM 홈페이지

- OPTiM은 단순히 IoT 제품을 보급해 농업을 효율화시키는데 그치지 않고 ‘돈이 되는 농업’이라는 비전을 명확히 제시함으로써 IoT 솔루션 초기 도입을 망설이는 실수요자의 마음을 잡고 있음
 - 솔루션을 도입해 만든 작물이 시장에서 기존 농작물과 동일한 가격으로 판매된다면 도입비용 자체가 적자가 돼 버림. 이에 OPTiM은 자사의 솔루션을 생산농가에 무상으로 제공하며 해당 솔루션을 통해 생산되는 모든 작물을 사들이는 조건으로 서비스를 공급
 - 해당 솔루션을 통해 재배된 작물을 ‘저농약, 무기농’ 제품으로 브랜딩, ‘스마트 콩’(스마트枝豆)의 이름으로 기존 제품 대비 약 3배의 가격으로 판매, 해당 제품은 소매업 중 시장개척이 가장 어려운 백화점에도 신규 납품하는데 성공함
- IoT 관련 기업·기관이 연합해 일본 농업을 둘러싼 과제를 근본적으로 해결하기 위한 구조를 만들고자 노력하고 있음
 - OPTiM의 비전은 ‘즐겁고 멋있고 돈 벌 수 있는 농업’(楽しく、かっこよく、稼げる農業)을 실현하는 것으로 이를 실현하기 위해 2017년 ‘스마트농업 얼라이언스’(スマート農業アライアンス)를 발족함
 - 스마트농업 활용 농가, IoT 개발기업 뿐만 아니라 금융기관이나 지자체, 대학 등 전방위적으로 영입

OPTiM이 주도하는 스마트농업 얼라이언스의 구조



자료: OPTiM IR 자료

- OPTiM의 비전에는 젊은 층의 농업으로의 유입을 유도하고자 하는 의도가 담겨 있으며, 이는 IoT 활용을 통해 개별적인 문제점을 해결해 나가는 것으로는 근본적인 개선이 어려운 ‘농업의 지속가능성 확보’ 실현을 위한 실마리를 제공
- OPTiM은 핀포인트 농약 살포 시스템 외에도 비닐하우스 정보관리시스템, 경작지 정보관리시스템, 로봇을 활용한 자동화 시스템 등 다양한 솔루션을 제공해 기존 농업 종사자의 업무 효율화 방안을 제시하면서 신규 취업자가 손쉽게 농업에 종사할 수 있는 다양한 솔루션을 개발
- 시설원에 스마트팜 기술의 경우, 토마토 색도를 모니터링하여 수확시기·수확량을 예측할 수 있는 소프트웨어를 개발 중에 있음
- OPTiM의 성공사례는 농업분야 IoT 보급을 위해서는 실수요자를 끌어들이 수 있는 명확한 비전이 있어야 함을 시사
 - 기후의 영향이 크며 대부분 작물은 1년에 1번밖에 수확할 수 없어 비즈니스 모델 확립이 어렵고, 작물, 재배방법에 따라 효율화의 방법이 다르기 때문에 기성제품 중 최적의 솔루션 발굴이 어려우며 종사자의 대다수가 소규모 가족경영 형태인 농업의 특성을 고려할 때 실수요자 입장에서 IoT 도입에 따른 장점이 명백해야 함
 - 엔드유저를 유치하기 위해서는 IoT 솔루션의 직접적인 효능은 물론 해당 제품·서비스의 도입을 통한 수익 개선을 구체적으로 제시할 수 있어야만 함
- 각종 ICT가 농업분야의 개별 과제 해결의 수단에만 그치지 않고 산업 전반의 선순환 고리를 만들어주는 매개로 기능하도록 해야 함
 - 일본 정부의 적극적인 정책 지원, 대기업과 유력 벤처기업, 연구기관이 잇따라 농업 효율화에 유효한 제품을 시장에 선보임에도 불구하고 업계 전반에 IoT 보급이 빠르게 확산되지 못하고 있다는 지적이 있음.
 - 기존 농업종사자의 업무 효율성 제고뿐만 아니라 젊은 인력의 농업분야 신규 취·창업을 유도할 수 있는 IoT 솔루션 및 이를 활용한 비즈니스 모델 제시 필요



OPTiM 본사



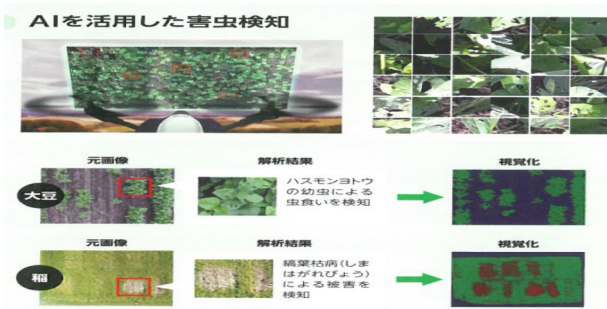
OPTiM 회사 소개 및 스마트 기술 회의



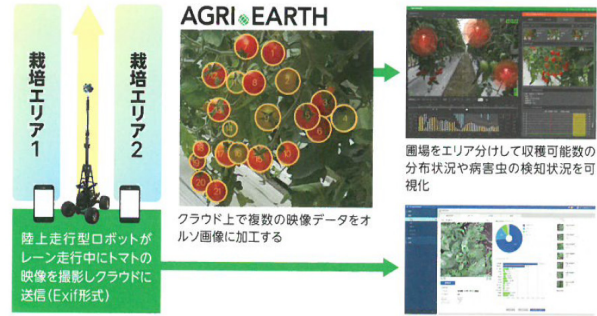
드론 방제 시연회 홍보



Agri Field Manager



Agri House Manager



Agri House Manager



OPTiM 브랜딩 제품 기대 효과



스마트 농산품 : 스마트양파, 스마트쌀 등 (핀포인트 방제, 90% 농약 절감)

나. 중앙농업연구센터(NARO)

1) 개요

- 법 인 명 : 국립연구개발법인 농업·식품산업기술총합연구기구(농연구구)
National Agriculture and Food Research Organization(NARO)
- 소 재 지 : 본부_ 쓰쿠바현 쓰쿠바시 칸논다이(茨城県つくば市観音台3-1-1)
- 설 립 일 : 2001년 농림수산성 12개 시험연구기관 통합하여 독립행정법인화
- 사업내용 : 농산물·식품의 고부가가치화와 안전·신뢰 확보, 생산현장 강화·경영력 강화, 강한 농업 실현과 신산업 창출, 환경문제·해결 지역자원 활용
- 조 직 : 본부(쓰쿠바), 지역농업연구센터 5개(본부, 홋카이도, 이와테현, 히로시마현, 쿠마모토현), 중점화연구센터 3개(본부2, 사이타마현), 연구기반조직 2개(본부2)

2) 주요내용

- 약 7~8년 전 일본에서 처음으로 식물공장 개념이 등장하였으나 현재 일본의 원예용 시설 면적은 총 49,049ha(과수 15.1%, 화훼 15.8%, 채소69.1%) 정도로 한국보다 적은 상황임 - 식물공장(40ha)과 유리온실을 비롯하여 복합환경제어시스템이 적용된 시설(816ha)이 전체 시설원예농가 면적에서 1.4% 수준으로, 나머지(48,233ha)는 비닐하우스, 터널재배, 비가림 재배방식을 적용하고 있음
- 일본은 국가차원에서 ICT 관련 기술개발에 중점을 두고 있어 향후 지속적인 증가가 예상되며, 이와 관련하여 NARO에서도 2016년~2020년까지 5년간 중장기 계획을 수립하여 운영 중에 있음

- 시설채소생산에서 지중축열을 이용한 재생에너지, 저코스트, 내기후형의 재배시설 개발
- 태양광 이용형 식물공장의 재배관리 생력화, 생에너지화, 안정다수화, 농약절감, 기능성 성분의 양적제어가 가능한 기술 개발

*** 농림수산성 연구기본계획(2010년 책정)에서 NARO의 미션 ***

일본형 고수익 시설원에 생산시스템 구축을 목표로 자재나 연료비의 폭등, 환경문제, 수익성 저하 등 시설원예의 직면과제 해결을 위해 에너지 생력화로 코스트가 절감된 고도 환경제어기술과 생산체계에 적합한 품종 등을 조합하여 생력, 저코스트, 저탄소형 재배기술체계 개발

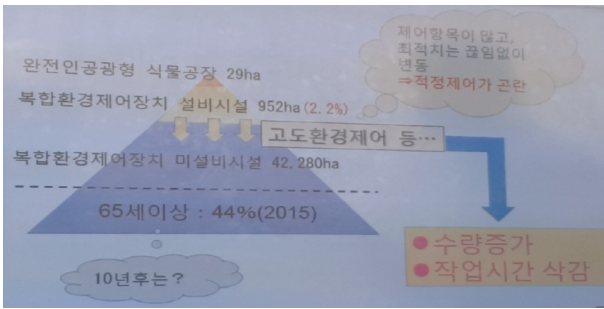
- 농림수산성 모델하우스형 식물공장 실증·전시·연수사업은 6개 실증거점에서 진행 중이고, 각 거점에서 실증·전시테마에 따라 관계 연구기관, 기업(민간회사), 생산자 등과 컨소시엄 형태로 운영함으로써 식물공장의 채소 생산코스트 절감(30%)기술을 확립시킴
- 히트펌프, 양액재배 컨트롤러, 작업대, 미스트 시설 등에서 민간회사와 컨소시엄



그림. 농림수산성 모델하우스형 식물공장

- 일본의 식물공장은 완전 인공광형, 태양광이용형 두가지로 나뉘어져 있으며 쓰쿠바거점은 태양광이용형을 적용하고 있음
 - 다만 육묘실험에 있어서는 계절에 관계없이 동일한 조건의 육묘를 적용하기 위해 인공광을 활용한 패쇄형 육묘생산시스템을 이용하고 있음
- NARO 식물공장 실증거점의 특징 : 식물공장용 품종육성, 재배기술, 환경제어, ICT·AI의 활용, 생력화, 생자원, 생에너지, 안전성, 신뢰성 등
 - 국내외와의 다양한 연계하에 기초부터 생산현장까지 일관화된 연구시설 운영
 - 새로운 니즈(needs)의 파악, 신기술개발, 특히 제품화, 실증화를 추진
- NARO 식물공장 쓰쿠바 실증거점에서는 토마토, 파프리카, 오이를 주요작물로 하여 환경제어하면서 생산성 향상 기술을 개발 중에 있음
 - 첫째, 식물공장(양액재배)에 적합한 품종육성
 - ※ 토마토 신품종 ‘린쿄쿠’로 연간 수량 55톤/10a 실증(국내평균 12톤/10a), 오이, 파프리카로 육성 전개 중
 - 둘째, 저탄소형의 고도환경제어 시스템
 - ※ 차세대형 유비쿼터스 환경제어시스템(UECS)을 전면 도입하여 통합환경제어의 효과 실증과 동시에 태양에너지 축열이용 기술의 발전 도모

- 셋째, 작업환경의 쾌적화, 자동화, 고도정보 이용
 - ※ 작업자의 쾌적성 확보 및 자동운반시스템 등에 의한 작업 합리화 추구하고 작물정보, 작업자 정보의 이용기술 발전
- 또한, UECS(Ubiquitous Environment Control System)라는 독자적인 기술을 개발하여 환경제어를 하고 있음
 - 온도제어, 양수분제어, CO₂제어, 풍속, 차광, 보온 습도 등 모든 환경설정이 CPU 안에 들어있음
- 일본 시설생산의 효율화 방향 : 생산성 향상, 노동력(작업시간 절감)



일본 시설생산 방향



NARO 식물공장 현황



노지 스마트농업(지중관수시스템) 실증



폐쇄형 육묘장 실증 실험실



토마토 양액재배 생육모델 예측 연구포장

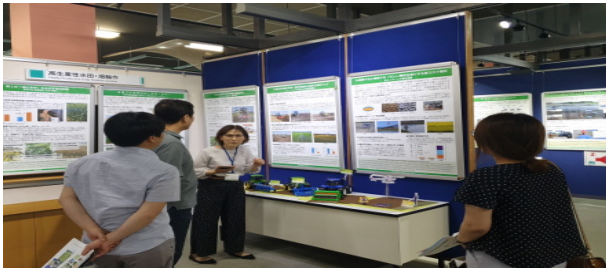


오이 스마트농업 실증시험포장

다. 식농과학관(食と農の科學館)

- NARO는 농업·식품·축산에 대한 시험연구, 개발, 조사, 교육 등을 종합적으로 시행하는 일본 최대의 연구기관으로서 건강한 식생활의 실현과 농업환경 보존, 차세대 농업, 식품산업 강화와 새로운 생물 산업의 창출, 생산기반, 농업 생산현장부터 가공·유통·소비까지의 안전 관리 및 응용기술 연구를 수행하고 있음
- 식농과학관(食と農の科學館)은 연구실적 홍보하기 위해 연구의 역사, 연구 체계, 분야별 우수 연구성과 등 식과농에 관한 다양한 전시를 하고 있으며, 주요 연구자료를 얻을 수 있음

- 노동력 절감을 위한 연구결과 : 논농사 직파재배(무인파종), 무인수확농기계, 무인 관수시스템(스마트폰 어플 이용, 수위조절, 광대역관리 등), 무인항법시스템(GPS이용) 등



NARO 연구현황 설명



노동력 절감 농기계 개발



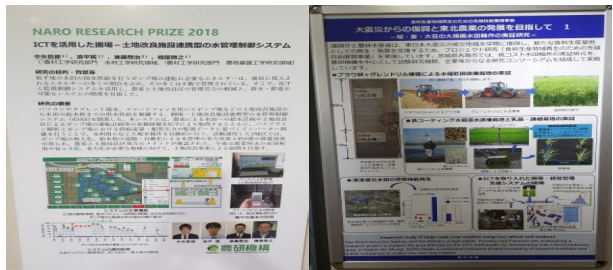
논재배 무인관수시스템(스마트폰 이용, 수위조절)



시설원에 스마트농업 기술 연구결과



벼 주요 품종 육성



스마트농업 주요 연구결과

라. 지바대학 식물공장

1) 개요

- 일본 내 산업체와 지바대학교가 산·학·연 개념으로 연계하여 운영하고 있는 연구용 식물공장으로 야마(Yanmar), 프리바(Priva), 다이킨(Daikin) 등 약 50여개의 업체가 관련되어 연구 중에 있음
- 식물공장은 농업, IT, ET 등 기술융합이라는 점에서 제조, 조명 등 여러 분야의 업체가 연구에 참여 중

2) 주요내용

- 자연광 이용형 식물공장의 경우, 벤로형 온실에서 토마토를 주요 작물로 연구 수행. 탄산 시비, 양액 급·배액 기술 등에 대해 연구 중
 - 일본 토마토 재배방법 : 동양계(pink계), 고당도(13°brix) 목표, 토경재배, 4~5단 재배
- 인공광 이용형 식물공장의 경우 LED를 광원으로, 엽채류 재배에 관한 연구 수행중. 식품 업체가 연구사업에 참여하기도 하였는데, 일본의 대형 음식 체인점인 요시노야(吉野家)는

광원에 따른 상추 생산성 연구를 수행

○ 토마토 ICT 이용 기술(미쓰비시수지아크릴)

- 토마토 양액재배 기술(NFT 시스템), 증산속도를 실시간으로 계측하여 광합성 제어
- EC 조절로 고당도 토마토 생산, 하엽 제거로 착색 촉진
- UV 투과 방지 필름 사용으로 벌 비산능력 저하(착과제 사용)
- 대형히트펌프를 설치하여 냉난방 실시
- 환경 및 광합성 요인을 빅데이터 활용하여 투입 에너지를 산정함

○ 시설 탄산가스 공급 기술 개발(이와타니 : 미니휴대용 부탄가스 개발업체)

- 토마토 분무경 형식의 양액재배시설 내 탄산가스 공급 방법 개발
- 수량목표 : 15톤/10a(당도 8°brix)
- 가정용 냉방기(24대), 공업용 냉방기(12대) 적용성 검토 : 2000㎡
- 가정용 냉방기가 열전환계수(COP) 측면에서 우수하고 저렴함, 교체 수리가 유리

○ 압력스티로폼 반원형 식물공장(미라이)

- 밀폐형(4단) 재배방식, 포기상추(일시 수확용), 광원(형광등+LED(적색, 청색)), 담액수경(스티로폼베드), 생산량 400주/1일(백화점 직거래)



지바식물공장 현황 설명



단동형 하우스 팬앤패드 냉각시스템



탄산가스 시비 기술 개발



토마토 시설원에 재배시설(코코배지)



토마토 선별기계



토마토 육묘 폐쇄형 시스템



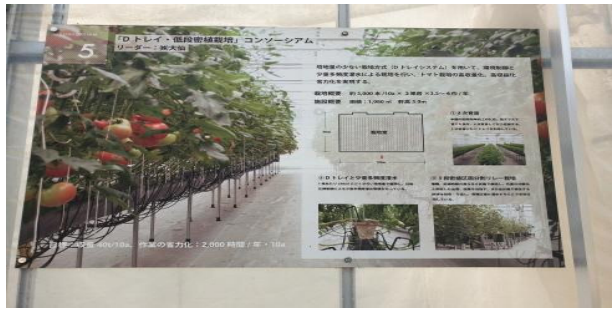
돔형 완전밀폐형 식물공장 외부



돔형 완전밀폐형 식물공장 내부



요시노야 상추 LED광원별 생산성 검증



토마토 스마트농업 재배 기술 적용

마. 일본 원예산업 주요내용 요지

1) 한국과 일본의 농업부문에서의 공통점

- 벼농사 위주의 농경사회가 발전해 왔기 때문에 농업정책의 중심이 쌀이었으며, 현재 쌀 소비량의 지속적인 감소로 공급과잉의 문제를 겪어 같은 고민을 공유
- 집약적이고 영세농 위주의 농업구조에서 벗어나지 못하고 있으며, 낮은 식량자급률과 이로 인한 식량안보의 위협을 마주하고 있음
- 양국의 농촌인구가 감소하고 있으며, 저출산 고령화가 빠른 속도로 진전되고 있으며, 특히 고령화는 장기적으로 농업생산력 저하와 도농 불균형을 심화시킬 것이며, 나아가 농업농촌의 붕괴를 초래할 수 있기 때문에 가장 심각한 사회문제로 간주

2) 한국과 일본의 농업부문에서의 차이점

- 농가인구와 경지면적의 차이만큼 전체 농업의 규모도 일본이 한국에 비해 2배 이상 큰편이며, 2015년 기준 일본의 영농후계자가 있는 농가의 비율은 30%로 한국 9%의 3배 수준에 달함
- 일본은 1992년부터 다양한 겸업농 지원 정책을 펼치고 있는 가운데 전업농 보다 겸업농 비중(67%)이 높으며, 화훼경영농가의 소득비율이 높다는 점에서 한국과는 다소 다른 농가 구조를 보임

3) 스마트농업 현황 시사점

- 농업은 지역 특유의 기상, 토양, 물 등의 환경조건, 재배 방법 등에 다양한 조건이 복잡하게 얽혀 있기 때문에 다른 산업에 비해 기술 활용에 있어 일반화된 모델을 적용하기가 어려움

- 한국의 국토 또한 일본과 유사하게 남북으로 길고 다양하기 기후.문화를 가지고 있으며, 지역별 기후에 따라 재배 방법이 각기 다르고, 소비자의 요구가 다양하기 때문에 네덜란드형 (집중.집약.대규모형) 모델을 추구하고는 있지만 네덜란드와 같이 선택과 집중을 추구하기는 어려움
- 한국 농업을 지속하고 부흥하기 위해서는 지역의 강점을 바탕으로 지역성을 고려한 농작물의 다양성을 유지하는 것도 중요하므로 스마트농업 추진을 통해 작업의 효율화, 비용 절감 기술, 농업경영 노하우 축적을 이룬 후에는 한국형 스마트팜 모델을 개발하는 단계까지 꾸준한 노력이 요구됨
- 따라서 현재 추진 중인 네덜란드형 모델은 소규모 농가에 적용하기 어렵기 때문에 별도의 노력이 필요하고, 소규모 농가의 가치.역학에 대한 재검토 또한 선행되어야 하며, 스마트 농업 기술 교육, 정보 관리 등을 위한 지방 정부의 행정적.제도적 지원이 절실함

제3절 해외 선진사례와 국내 기술 현황 분석

1. 국내 스마트팜 문제점 및 개선점

문 제 점	개 선 점
<ul style="list-style-type: none"> • 우리나라 원예시설 중 대부분 단동형 비닐 하우스 • 자동제어가 가능한 시설은 약 30% 정도에 불과 	<ul style="list-style-type: none"> • 작은 규모의 비닐하우스에 맞는 현실성 있는 스마트팜 시설 필요 • 스마트팜 시설의 규모화/단지화 필요
<ul style="list-style-type: none"> • 유류 의존도가 높아 난방비 상승으로 경영난 가중 • 초기 투자비가 높아 면적확대에 제한 	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지 활용 확대와 효율적인 냉난방 기술의 모색 • 효율적인 환경제어 기술로 냉난방비 절약 효과 모색
<ul style="list-style-type: none"> • 수경재배는 대부분 비순환식 양액재배임 • 작목별 생육 단계별 정밀농업 기준 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 물과 양분을 재사용할 수 있는 기술 개발 필요 • 각 단계별 정밀농업의 기준을 정립하고 이 용할 수 있는 기술 개발
<ul style="list-style-type: none"> • 온습도, 일사량 등에 의존한 단편적 제어 • 생체나 생육정보, 양액 성분의 계측 정보 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 온도 기반의 단편적 제어에서 온습도를 기 반으로 복합 정밀제어 • 신속 정확하게 계측하는 기술 개발을 통해 환경제어에 적용
<ul style="list-style-type: none"> • 작물 생육에 미치는 다른 요인들에 대한 파악 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 병해충, 탄산가스 등 작물 생육에 미치는 다 른 요인들에 대해서 스마트하게 관리할 수 있는 기술 개발 필요

※ 참고 : 농촌진흥청 스마트온실 환경관리 가이드라인(2018)

2. 네덜란드와 국내 농업 현황 비교

구분	네덜란드	국내
하우스 구조	유리온실	비닐하우스
겨울철	영상	영하
여름철	17~18°C	23~25°C
여름철 상대습도		장마기 습도 높음
약광기(800J 이하)	10월~3월	없음
연평균 광량	986J	1,330J
생산량	네덜란드보다 30% 광량이 높지만 50% 생산량이 적음 <원인> <ul style="list-style-type: none"> • 겨울철 광량 낮음, 여름철 광량 높음 • 비닐온실이 유리온실 보다 투광율 떨어짐 • 2, 3중 차광이 많음 	

3. 농업의 변화



농부의 직관적인 **경험** 및 노하우 의존

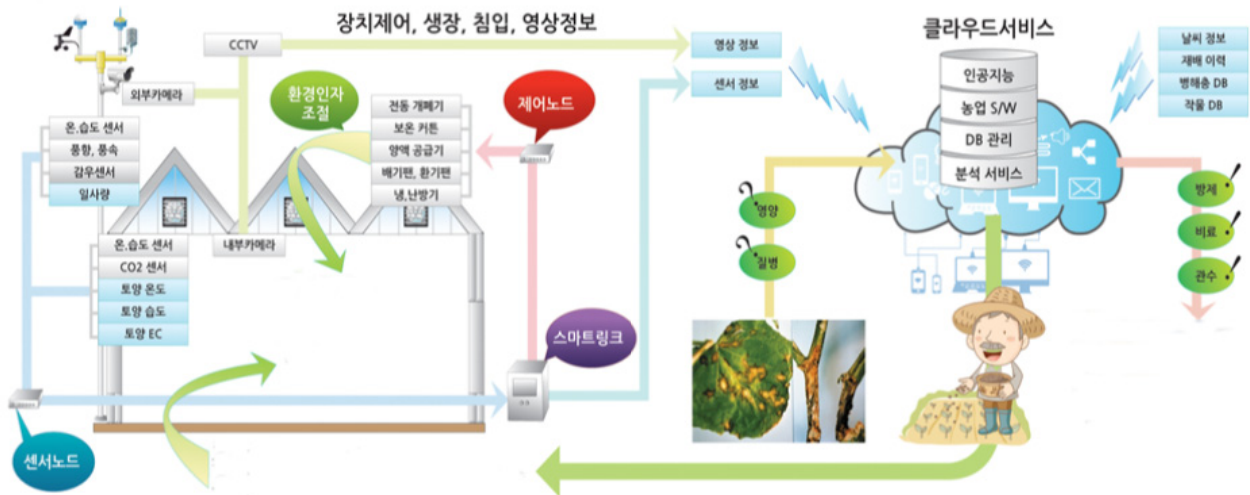
(생산시스템) **경험** 기반의 농장 운영
 (데이터 형식) **아날로그** 데이터
 (사용언어) **농민**의 언어
 (의사결정) 농민의 **지식** 및 **경험**

생육, 재배환경 **데이터** 기반

(생산시스템) **ICT** 기반의 농장 운영
 (데이터 형식) **디지털** 데이터
 (사용언어) **데이터베이스**
 (의사결정) **인공지능**

※ 참고 : 스마트팜으로 여는 농업의 미래, 양중석, 2020

4. 향후 스마트팜 방향



※ 참고 : 스마트팜 빅데이터의 이해와 활용, 농촌진흥청, 2018

붙임. 참고문헌

- Govindjee, 1995, Sixty-three years since Kautsky : Chlorophyll a fluorescence, Aust. J. Plant Physiol., 22, 131-160.
- Holland V., Koller S. and Brüggemann W. 2013. Insight into the photosynthetic apparatus in evergreen and deciduous European oaks during autumn senescence using OJIP fluorescence transient analysis. Plant Biology(Stuttg). doi: 10.1111/plb.12105.
- Lee, K. C., Kim, S. H., Park, W. G. and Kim, Y. S. 2014. Effects of drought stress on photosynthetic capacity and photosystem II activity in *Oplopanax elatus*. Korean J. Medicinal Crop Sci. 22(1):38-45.
- Lu, C. and Zhang, J. 1999. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. J. Exp. Bot. 50:1199-1206.
- Mathur, S., A. Jajoo, P. Mehta, and Bharti, S. 2011. Analysis of elevated temperature-induced inhibition of photosystem II using chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leaves (*Triticum aestivum*). Plant Biol. 13:1-6.
- Naumann J. C, Young D. R and Anderson J. E. 2007. Linking leaf chlorophyll fluorescence properties to physiological responses for detection of salt and drought stress in coastal plant species. Physiologia Plantarum. 131:422-433.
- Oh, S. J. and Koh, S. C. 2013. Chlorophyll a fluorescence response to mercury stress in the freshwater microalga *Chlorella vulgaris*. J. Environ. Sci. 22:705-715.
- Oh, S. J., Moon, K. H., Son, I. C., Song, E. Y., Moon, Y. E. and Koh, S. C. 2014. Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of chinese cabbage in response to high temperature. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 32(3):318-329.
- Strasser, R. J. and Govindjee, 1992, The Fo and the O-J-I-P fluorescence rise in higher plants and algae, in:Argyroudi-Akoyunoglou, J. H. (ed.), Regulation of Chloroplast Biogenesis, Plenum Press, New York, 423-426.
- Stirbet, A., Govindjee, Strasser, B. J. and Strasser, R. J. 1998, Chlorophyll a fluorescence induction in higher plants: Modelling and numerical simulation, J. Theor. Biol., 193, 131-151.
- Strasser, R.J., A. Srivastava, and Tsimilli-Michael, M. 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples, p. 445-483. In: M. Yunus, U. Pathre, and P. Mohanty (eds.). Probing photosynthesis: Mechanisms, regulation and adaptation. Taylor & Francis, New York, NY, USA.
- Van Heerden P., Swanepoel J. and Krüger G. (2007). Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C3-mode CO₂ assimilation. Environmental and Experimental Botany. 61:124-136.
- Wang Z. X., Chen L., Ai J., Qin H. Y., Liu Y. X., Xu P. L., Jiao Z. Q., Zhao Y. and

Zhang, Q. T. 2012. Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in amur grape(*Vitis amurensis* Rupr.). *Photosynthetica*. 50:189-196.

Information theory as an extension of the maximum likelihood principle(Akaike, H. 2nd International Symposium on Information Theory, Budapest: Akademiai Kiado, 267-281, 1973)

Computerized Environmental Control in Greenhouses, P.G.H. Kamp, G.J. Timmerman, 사단법인 한국첨단시설농업협의회, 1998

고랭지배추 생산성 관련요인 평가 및 생육량과 생육도일에 의한 수량예측(김기덕, 서종택, 이종남, 유동림, 권민, 홍순춘. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 33(6):912, 2015)

농경지의 야수들(제157호), RDA인테러뱅, 농촌진흥청, 2015

스마트 온실환경관리 가이드라인, 농촌진흥청, 2018

시설원예 스마트팜 현장적용기술, 국립원예특작과학원 기술지원과, 2017

시설원예학, 문원, 이용범, 손정익, 한국방송통신대학, 2017

시설원예 에너지절감기술, 농촌진흥청, 2014

시설환경제어, 농촌진흥공무원 교육교재, 농촌진흥청, 2016

오이 농업기술길잡이107, 농촌진흥청, 2019

토마토 스마트 온실 관리 매뉴얼, 농촌진흥청 국립원예특작과학원 기술지원과, 2017

현장에서 바로 보는 오이 병해충 원색도감, 농촌진흥청, 2018

회귀분석(김충락, 강근석. 교우사, 제2판, 225-226, 2010)

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	일반 소득작물의 Best Farmer 영농기법 모델화 연구(오이) A Study on the Model of Best Farmer Farming Techniques for General Income Crops(Cucumber)				
주관연구기관	경상북도 농업기술원		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 경상북도농업기술원	
참 여 기 업	-		(성명) 이 지 은		
총연구개발비 (470,000천원)	계	470,000,000	총 연 구 기 간	2018.07.31. ~ 2020.12.31.(2년 6월)	
	정부출연 연구개발비	470,000,000	총 참 여 연 구 원 수	총 인 원	21
	기업부담금	-		내부인원	15
	연구기관부담금	-		외부인원	6
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 최종목표 <ul style="list-style-type: none"> • 시설 오이 스마트팜 선도농가(Best farmer)들의 생산성 향상 및 생산비 절감에 기여할 수 있는 영농기법을 과학적·기술적으로 분석 검증하고 모델화하여 현장에 확산하고자 함 - 세부목표 <ul style="list-style-type: none"> • 오이 스마트팜 선도농가들의 영농기법 모델화 매뉴얼 제작 및 확산 연구 • 시설오이 스마트팜 빅데이터 분석을 통한 생산성과 품질향상 예측 모델 개발 <p>○ 연구내용 및 결과</p>					
구분 (연도)	연구개발 수행내용		연구결과		
1차년도 (2018)	<ul style="list-style-type: none"> • 농가 선정 : 상주(백다다기) 3개소, 군위(가시오이) 2개소 • 시설 내외부 기상 및 토양환경 측정장치 설치 및 조사기준표 작성 		<ul style="list-style-type: none"> • 선정농가 환경, 분석시료 등 주기적으로 조사 분석 실시 • 오이 조사기준표 환경, 생육, 생리분석 등 5 항목 기준 설정 		
2차년도 (2019)	<ul style="list-style-type: none"> • 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 • 생육요인, 환경요인에 따른 생산성 추정 등을 통한 핵심요인 탐색 • 전 생애기간 주요변수 도출 		<ul style="list-style-type: none"> • 묘소질, 재배전작기 환경(온도, 습도, 일사량, 지온 등), 생육, 수량, 토양이화학성, 엽록소 형광 분석 등 주기적으로 수집 • 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색 • 단계적 선택법 다중회귀모형 : $과중_t = 358.2 - 36.43 * 누적.GDD_{내부온도.상단부_{t-1}}$ 		
3차년도 (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • 환경, 재배생육, 생리분석, 병해충 발생 등 데이터 수집 및 과학적 검증 • 수확량과 상관성이 높은 생육요인과 핵심인자 발굴 • 시차변수, 최적시차 분석, 랜덤포레스트 핵심인자 발굴 		<ul style="list-style-type: none"> • 우수농가 핵심영농기술 : 정밀 환경관리, 겨울철 조조가온, 여름철 수시차광 기수 적용 • 생육요인 : 생장점길이, 줄기직경 1마디, 접수직경 • 환경요인 : 토양수분, 상대습도, 야간CO₂, 주간 최대 누적일사량 등 		
<p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 : 농촌진흥청 영농정보기술 자료 활용, 스마트팜 확산교육, 언론·신문 등의 매체를 활용한 홍보 실시 - 저서, 논문 등 지식재산권 : 오이(백다다기) 스마트온실 특성재배 기술(1,000부), 오이(백다다기) 특성재배 현장 실증과 우수사례(500부) 등 2권의 매뉴얼 배부, 논문 2편 게재 완료, 향후 관련 논문 1편 투고 예정 					

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		318064-03	
사업구분	농림축산식품연구개발사업				
연구분야	-			과제구분	단위
사업명	첨단생산기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	일반 소득작물의 Best Farmer 영농기법 모델화 연구(오이)			과제유형	(기초,응용,개발)
연구기관	경상북도농업기술원			연구책임자	이지은
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2018.07.31.~2018.12.31.	100,000	-	100,000
	2차연도	2019.01.01.~2019.12.31.	170,000	-	170,000
	3차연도	2020.01.01.~2020.12.31.	200,000	-	200,000
	계		470,000		470,000
참여기업	-				
상대국	-	상대국연구기관		-	

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2021. 2. 4.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
경상북도농업기술원	농업연구사	이지은

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
-----------	--

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

우수

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
• 오이 Best farmer 농가선정 및 조사방법 기준 설정	5	100	• 오이 품종군 2개 지역 선도농가 선정 완료
• 전작기 영농활동 데이터 수집 및 과학적 검증 분석	55	100	• 재배 전작기를 2년동안 수집한 데이터 분석 실시
• 우수농가 영농기법 모델 탐색	10	100	• 우수농가 핵심기술 도출
• vital few's 발굴 및 품질 특성치 동시 최적화	10	100	• 핵심요인 탐색 완료
• 생육과 환경요인의 상관관계 분석	10	100	• 빅데이터 수집 결과를 바탕으로 상관관계 분석 실시
• 단계적 다중회귀분석을 이용한 핵심인자 발굴	10	100	• 생산성 향상 핵심요인 및 핵심인자 발굴
합계	100점	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 시설 오이 스마트팜 선도농가(Best farmer)들의 생산성 향상 및 생산비 절감에 기여할 수 있는 영농기법을 과학적·기술적으로 분석 검증하고 모델화하여 현장에 확산하기 위한 과제임
- 현장 위주의 우수사례를 중심으로 매뉴얼화한 저서를 교육, 지도용으로 활용 가능함

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 코로나19 발생으로 인한 현장 확산 노력 중 현장평가회, 세미나 등의 개최에 어려움이 있었음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 오이(백다다기) 특성재배 우수농가 현장 실증 사례 기술 교육, 홍보, 저서발간 배부 등을 통한 확산

IV. 보안성 검토 : 해당없음

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	첨단생산기술개발사업	
연구과제명	일반 소득작물의 Best Farmer 영농기법 모델화 연구(오이)			
주관연구기관	경상북도농업기술원	주관연구책임자	이 지 은	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	470,000,000	-	-	470,000,000
연구개발기간	2018. 07. 31. ~ 2020. 12. 31.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 오이 Best farmer 농가선정 및 조사방법 기준 설정	<ul style="list-style-type: none"> • 선정농가 환경, 분석시료 등 주기적으로 조사 분석 실시 • 오이 조사기준표 : 환경, 생육, 생리분석 등 5항목 기준 설정
② 전작기 영농활동 데이터 수집 및 과학적 검증 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 묘소질, 재배전작기 환경(온도, 습도, 일사량, 지온 등), 생육, 수량, 토양이화학성, 엽록소형광 분석 등 주기적으로 수집
③ 우수농가 영농기법 모델 탐색	<ul style="list-style-type: none"> • 우수농가 핵심영농기술 : 정밀 환경관리, 겨울철 조조가온, 여름철 수시차광 기수 적용
④ 생육요인, 환경요인에 따른 생산성 추정을 통한 핵심요인 탐색	<ul style="list-style-type: none"> • 단계적 선택법 다중회귀모형 : $과중_t = 358.2 - 36.43 * 누적.GDD.내부온도.상단부_{t-1}$ • 생육요인 : 생장점길이, 줄기직경 1마디, 접수직경 • 환경요인 : 토양수분, 상대습도, 야간CO₂, 주간 최대누적 일사량 등

3. 연구목표 대비 성과

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타(타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책 활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치														20	15		30	30	5
최종목표												3		3	10		1	2	1
연구기간내 달성실적												3		6	13		1	5	2
달성율(%)												100		100	100		100	100	100

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	오이(백다다기) 특성재배 현장실증과 우수사례

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허출원	산업체이전(상품화)	현장애로 해결	정책자료	기타
①의 기술		√						√		√

* 각 해당란에 √ 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 오이(백다다기) 특성재배 우수농가 현장 실증 사례 기술 - 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 : 농촌진흥청 영농정보기술 자료 활용, 스마트팜 확산교육, 언론·신문 등의 매체를 활용한 홍보 실시 - 저서, 논문 등 지식재산권 : 오이(백다다기) 스마트온실 특성재배 기술(1,000부), 오이(백다다기) 특성재배 현장 실증과 우수사례(500부) 등 2권의 매뉴얼 배부, 논문 2편 게재 완료, 향후 관련 논문 1편 투고 예정

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책활용-홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치																			
최종목표												3		3	10		1	2	1
연구기간내 달성실적												3		6	13		1	5	2
연구종료 후 성과창출 계획												1						1	

8. 연구결과의 기술이전조건 : 해당없음