

어젠다코드	1 - 5 - 1		구분	완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	C10	작목구분코드	VC-01-0803
과제종류	기관고유		과제번호	12-LP003739	
과제명	강원 스마트 팜 안정 기반 구축 연구				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	이원경		농업연구사	강원도원 원예연구과	
연구기간	2018 ~ 2020		참여연구기관	-	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 스마트팜 기술적용 재배환경 개선			원예연구과	이원경	'18~'20
2) ICT 활용 환경제어 최적화를 위한 요인 구명			원예연구과	이원경	'19~'20
색인용어	ICT, 스마트 팜, 기능성피복재, 결로				

## ABSTRACT

Gangwon-do's main fruit and vegetable production period is from April to October, which is a key region for fruit and vegetable production in the summer. However, because environmental control standards suitable for summer cultivation are not established, it is dependent on the experience of farmers. Since Gangwon-do has different cultivation periods and environments from the central and southern regions, the standards for growth management and environmental control must also be different. It is necessary to establish nutrient and moisture management standards and develop growth management technologies suitable for irregular cultivation environments in the summer season leading to summer cropping in Gangwon region, especially high temperature weak light, high humidity and high temperature strong light drying. In a greenhouse where the height of the greenhouse is low and the application of facilities for environmental control is limited, it is necessary to verify the difference in the cultivation environment according to the light transmission characteristics of functional covering materials such as light quality conversion, heat ray blocking, and scattered light, and select suitable covering materials for summer cultivation. Growth regulators are used for the purpose of suppressing the overgrowth of the seedlings due to lack of wheat, high humidity, and light during the tomato seeding period. Even after planting, there is a problem, such as delays in survival and harvest due to the effect of the growth regulator. It is necessary to prepare alternatives to the use of growth regulators such as artificial light, humidity control, and liquid supply concentration control. Condensation easily occurs on crops and fruits due to the rapid rise in temperature in the greenhouse right after sunrise in spring, autumn, and fall. Since condensation causes deformities and occurrences due to fungal diseases and poor fertilization, it is necessary to develop technologies to predict and avoid condensation.

### 1 연구목표

강원도 과채류 주 생산시기는 4~10월로 하절기 과채류생산 핵심지역이다. 하지만 여름재배에 적합한

환경제어 기준이 마련되지 않아 농가의 경험에 의존하고 있다. 강원도는 중부와 남부지역과 재배기간과 환경이 다르므로 생육관리 및 환경제어 기준도 달라야 한다. 강원지역 여름작형 특히 고온약광다습-고온강광건조로 이어지는 여름철 불규칙한 재배환경에 적합한 양·수분 관리기준 설정 및 생육관리 기술개발이 필요하다. 온실의 높이가 낮고 환경조절을 위한 시설의 적용에 제한적인 온실에서 광질전환, 열선차단, 산란광 등 기능성피복재의 광투과 특성에 따른 재배환경의 차이를 검증하고 여름재배에 적합한 피복재 선발 필요하다. 토마토 육묘시기에 밀식, 다습, 광 부족으로 인한 묘의 웃자람을 억제하기 위한 목적으로 성장조정제 등을 사용하고 있다. 정식이후에도 성장조정제의 영향으로 활착 및 수확이 지연되는 등 문제가 되고 있다. 인공광, 습도조절, 급액농도 조절 등 성장조정제 사용에 대한 대안 마련 필요하다. 봄가을 일출직후 온실 내 온도의 급격한 상승으로 작물과 과실에 결로가 쉽게 발생한다. 결로는 곰팡이병과 정불량에 의한 기형과 발생의 원인이 되므로 결로발생을 예측하고 회피할 수 있는 기술개발을 위해 수행하였다.

## 2 재료 및 방법

### 〈제1세부과제: 스마트 팜 기술적용 재배환경 개선〉

#### (시험 1) 온실 외부 피복재 종류별 시설 내 생육환경 분석

본 연구는 2018년에 일반PE필름, 열선차단PE필름, 산광PO필름, 조광PO필름 4종의 광투과 특성과 외부기상에 따른 토마토 재배시설 내부의 환경을 비교하기 위해 수행하였다. 춘천에 위치한 단동형 온실 4동에 각 동별로 기능성 피복재를 피복하고 외부기상의 특징이 두드러지는 시기를 구분하여 시기별 내부 온실 환경을 비교하였다. 각 필름의 투광특성을 비교하기 위해 암조건에서 250W 메탈할라이드 램프와 2m 거리에 필름을 설치하고 투과된 빛의 분광특성과 가시광선부(400~700nm)의 투과율을 각각 분광광도계(Black-Comet C50, StellarNet, USA)와 퀴텀센서(S-LIA-M003, Onset Computer, USA)를 이용해 조사하였다. 온실 중앙부 지면으로부터 높이 1.5m 지점에 온도/습도 센서(S-THB-M002, Onset Computer, USA)를 설치해 매 1분마다 수집하여 분석하였다.

#### (시험 2) 기능성 피복재 적용에 따른 재배환경 및 작물생육 모니터링

본 연구는 기능성 피복재 종류에 따른 토마토 재배시설 내부의 환경을 비교하기 위해 수행하였다. 2018년 춘천에 위치한 단동형 온실 4동에 일반PE필름, 열선차단PE필름, 산광PO필름, 조광PO필름을 각각 피복하고 춘계(5. 24.), 하계(8. 4.), 추계(10. 16.) 온실 내부 기온과 일사량을 비교하였다. 또한 반축성작형의 완숙토마토와 억제작형의 방울토마토의 생육과 수량특성을 조사하였다.

#### (시험 3) 여름재배 시설채소 산광필름 적용 효과 구명

본 시험은 산광피복재의 산광율에 따른 재배환경과 엽채류 및 과채류의 생육특성을 비교하기 위해 수행하였다. 피복재 산광율에 따른 재배환경 변화와 그에 따른 생육 특성을 비교하기 위해 적측면 타입(Lactuca sativa L. '선풍포참(SPPC)', 권농종묘) 1종, 미니 로메인 타입(Lactuca sativa L. 'Mini Cup

Romain', 아시아종묘) 1종, Batavia타입 (Lactuca sativa L. 'Caipira', Enza Zaden) 1종, 버터헤드 타입 1종(Lactuca sativa L. 'Volare', Enza Zaden), Eazyleaf 타입 2종(Lactuca sativa L. 'Exatrix', 'Ezabel', Enza Zaden) 등 5가지 타입 6품종의 상추를 시험에 사용하였다. 고온기 재배가 가능한 반결구 상추 품종을 다양한 엽형별로 선발하였고, 처리 간 착색정도를 비교하기 위해 적치마 타입의 상추품종을 시험에 적용하였다. 시험포장은 춘천시 신북읍에 위치한 단동형 온실에 농촌진흥청 표준 시비량에 따라 10a당 질소 3.5kg, 인산 3.0kg, 칼리 1.8kg, 퇴비 1,800kg, 석회 200kg을 사용한 뒤 경운하여 폭 120cm, 높이 20cm로 두둑을 조성하고, 직경 3cm의 재식구멍이 가로세로 10cm간격으로 뚫려있는 흑백멀칭 필름을 윗면이 흰색이 되도록 씌웠다. 강원도농업기술원 내에 위치한 유리온실에서 펠렛 처리된 종자를 128공 흑색 플러그트레이에 4월 23일, 6월 1일 파종하고 입자가 굵은 질석으로 얇게 복토하여 각각 27일, 25일간 주간온도 25℃ 내외를 유지하여 육묘했다. 정식은 주간 20cm, 열간 20cm 간격 정방향으로 5열 정식하였고, 시간당 700ml 공급 가능한 점적침이 10cm간격인 점적테이프를 열과 열 사이 4줄 설치해 오전 9시경 15분간 3~4회/주 급액 관리하였다. 1차 정식은 5월 20일 정식하여 34일간 재배한 뒤 6월 24일 수확하였고, 2차 정식은 6월 26일 정식하여 25일간 재배한 뒤 7월 21일 수확하였다.

시험재료는 일산화화공업에서 주문 생산한 투명필름(H16), 산광필름(H37) 그리고 산광 기능성 첨가물을 증량해 산광율을 높인 산광필름(H81) 3종의 두께 0.15mm인 첨가형 폴리올레핀(PO)필름을 폭 7m, 동고 3.7m, 동간격 2m인 단동형 온실에 피복하였다. 온실 측면에 롤업개폐형 측창(50cm~150cm)과 같은 방식의 천창(50cm)을 설치하였으며, 개폐기 컨트롤러(롤업마스터, 우성하이텍, 한국)에 의해 주간 열림 온도 25℃, 야간 닫힘 온도 15℃로 설정하여 자동으로 관리하였다.

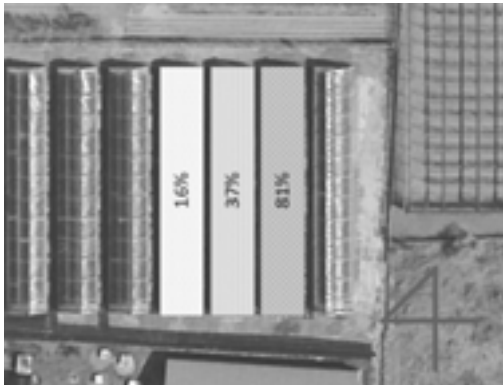


그림1. 단동온실 시험구 배치



그림2. 연동온실 시험구 배치

필름의 투광특성은 디지털헤이즈미터(TC-HIII DPK II, Tokyo Denshoku, Japan)를 이용하여 흐림도, 확산투과율, 평행투과율, 전광선투과율을 측정하여 비교했다. 자외선, 가시광선, 근적외선의 투과율은 분광광도계(Black-Comet C50, StellarNet, USA)를 이용하여 맑은 날 오전 태양광 아래에서 측정했다.

외부기상은 강우량, 전운량, 일조시간, 합계일사량 등 재배기간 중 외부기상 정보는 시험지로부터 2km거리에 위치한 춘천기상대(북춘천93)의 종관기상관측(ASOS) 자료를 활용하였다. 재배환경 각 온실마다 지면으로부터 1m 높이에 간이백엽상을 설치하여 온·습도(S-THB-M002, Onset Computer, USA), PAR(S-LIA-M003, Onset Computer, USA)센서를 이용하여 데이터로거(H21-USB, Onset Computer,

USA)로 매 1분마다 정보를 수집하였고 시간별 일별 평균값을 사용하였다. 온실 내 수평적 광 분포를 조사하기 위해 남북방향으로 설치된 온실의 중심과 동서방향으로 중심으로부터 1m간격마다 PAR센서를 지면 20cm높이에 총 5개 설치하여 매 1분마다 정보를 수집하였다.

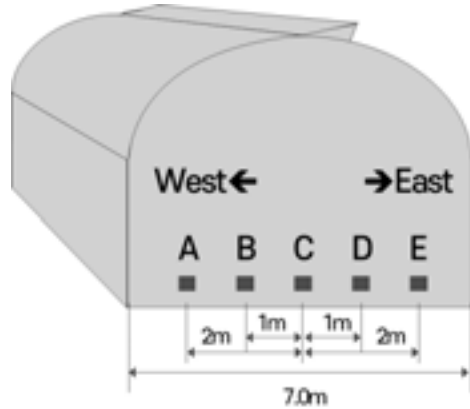


그림 3. 온실 내 광 분포를 비교하기 위한 Par센서 설치 위치

생육조사는 수확기 일시에 포기째 10주씩 3회 임의선별 수확하여 전자저울(HS1000TB, Hansung, Korea)로 지상부 생체중을 측정하였고, 완전히 전개된 하단으로부터 10번째 본엽에 대한 엽장, 엽폭, 엽록소함량(SPAD-502, Konica Minolta, Japan), 색차계(CR-300, Konica Minolta, Japan)를 이용하여  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 값을 측정했다. 통계분석은 SAS package (statistical analysis system, version 9.3, SAS Institute Inc, USA)를 이용하여 Duncan's Multiple Range Test를 실시하여 5% 유의수준에서 각 처리간의 유의성을 검정하였다.

경제성 검토를 위해 피복재 산광율에 따른 투입비용 및 감가를 분석하였고, 수확시기별 청상추 평년 가격(서울 가락시장 15~19년 6월 하순, 7월 하순)을 적용하여 생산수량 증감에 따른 이익적 요소를 비교하였다.

측고 높은 연동형 온실에서 수직으로 높게 자라는 파프리카 재배 시 피복재 산광율에 따른 광환경의 수직적 분포를 검토하기 위해 춘천에 위치한 강원도농업기술원 연동형 온실(폭 9.6m, 측고 4m)에 H37, H16, H46 3종의 산광피복재를 설치하고 각 동별 가운데 지점에 높이 0.5m, 1.5m, 2.5m 마다 PAR센서를 설치하여 높이별 광환경을 조사하였다. 파프리카 '나가노' 품종을 2. 22. 파종하여 5. 4. 정식하고, 첫 수확일은 7. 1. 이었으며 작기는 10. 27. 종료하였다. 피복재 처리에 따른 상품수량, 상품율 및 과실특성에 대해 시기별로 조사하였다.

## 〈제2세부과제: ICT 활용 환경제어 최적화를 위한 요인 구명〉

### (시험 1) 고온기 누적일사량에 따른 관수 개시점 설정

본 시험은 유럽계 완숙 토마토('대프니스') 하계재배 시 누적일사량 기준 금액량 결정에 있어 수분 부족분을 고려한 금액량의 변화 및 다량소화, 소량다회 금액에 따른 생육특성, 수량 및 과실특성을 비교

하고자 수행하였다. 20 L 코코피트 배지에 줄기밀도 3.13줄기/m<sup>2</sup>로 정식하였으며 3ml/J/cm<sup>2</sup>를 기준 급액량으로 하여 100J/cm<sup>2</sup> 당 100ml/주를 급액하는 것을 대조군으로 하고 수분부족분(HD)처리는 6단계로 나눠 습한 경우 기준 대비 50% 감량, 건조한 경우 150% 증량하여 변량 급액했으며, 다량소회처리는 150J/cm<sup>2</sup> 당 150ml/주를 급액하고, 소량다회처리는 50J/cm<sup>2</sup> 당 50ml/주를 급액하였다.

### (시험 2) 고온기 근권 함수율 편차에 따른 작물 생육특성 구명

본 시험은 유럽계 완숙 토마토(‘대프니스’) 하계재배 시 함수율 편차 처리에 따른 생육특성을 비교하고자 수행하였다. 1월 하순부터 육묘하여 4월 상순 20 L 코코피트 배지에 줄기밀도 3.13줄기/m<sup>2</sup>로 정식해 급액 시작시간과 종료시간을 조절해 근권 함수율편차를 5%, 8%, 11%, 14% 4가지로 처리하였다. 함수율 측정은 근권부 함수율 모니터링 장치를 활용해 측정하였고, 생육특성, 수량 등을 조사해 비교하였다.

### (시험 3) 과채류 동계육묘 보광기술 개발

본 시험은 과채류 하계재배를 위한 동절기 육묘 시 불량한 광조건을 개선하기 위해 적정 광원, 광량, 조사시간을 구명하기 위해 수행하였다. 유럽계 완숙 토마토(‘대프니스’)를 대상으로 강원도농업기술원 내에 식물공장에서 QD LED, MH, HPS 3종 광원을 적용하였고, 연동형 온실에서 광량 100~300μmol/m<sup>2</sup>/s 3수준, 조사시간(일장) 13~17시간 3수준을 적용해 묘소질, 생육 및 수량을 비교하였다.

### (시험 4) 토마토 육묘시 고농도 급액처리에 따른 생육특성 구명

본 시험은 토마토 육묘 시 고농도 급액 통한 묘소질 개선효과를 구명하기 위해 수행하였다. 강원도 농업기술원 연동형온실에서 토마토 4품종(유럽계 3, 동양계 1)을 대상으로 급액 EC 2~10dS/m 5처리를 적용하여 묘소질, 생육 및 수량을 비교하였다.

### (시험 5) 작물 결로 감지 및 경보시스템 개발

본 연구는 대표적인 시설과채류 작목인 토마토 재배 시 과실 표면에 결로 발생여부를 모니터링하고 경보하는 시스템을 개발하기 위해 수행하였다. 토마토 과실과 모형과실의 내부와 표면온도 변화를 비교하고 모형과실을 이용한 결로 모니터링 시스템을 개발하였다.

### (시험 6) 작물 결로 예측 및 제어시스템 개발

본 연구는 모형과실을 이용한 결로 모니터링 시스템을 고도화하여 토마토 및 파프리카로 작목을 확대하고, 결로발생을 예측하여 사전에 환경제어를 할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 수행하였다. 토마토와 파프리카 과실의 크기별 부피와 밀도, 온도변화특성을 조사하였다. 클라우드서버 및 사용자 인터페이스를 구축해 수집된 정보를 이용해 환경관리지표를 제공하고 결로 발생알람 기준을 수립하였다.

### 3 결과 및 고찰

#### <제1세부과제: 스마트 팜 기술적용 재배환경 개선>

##### (시험 1) 온실 외부 피복재 종류별 시설 내 생육환경 분석('18)

기능성필름 적용에 따른 재배환경 변화를 비교하기 위해 외부기상의 특징이 두드러지는 3시기를 선정하여 비교하였다. 첫 번째는 장마기(6. 26. ~ 7. 12.)로 일평균 기온은 20~28℃내외이며, 일 누적 일사량과 최대광량은 각각 1~10MJ/m<sup>2</sup>, 100~300W/m<sup>2</sup>으로 광이 부족한 시기이며, 두 번째는 장마직 후(7. 13. ~ 7. 31.)로 일평균 기온 28~33℃내외이며, 일 누적일사량과 최대광량은 각각 20~25MJ/m<sup>2</sup>, 600~1,000W/m<sup>2</sup>으로 고온과 강광이 지속되는 시기이다. 세 번째는 추분 이후 일장이 짧아지면 평균 기온이 내려가는 시기(9. 25. ~ 10. 10.)로 일평균 기온 10~18℃내외이며, 일 누적일사량과 최대광량은 각각 10~15MJ/m<sup>2</sup>, 300~600W/m<sup>2</sup> 이었다.

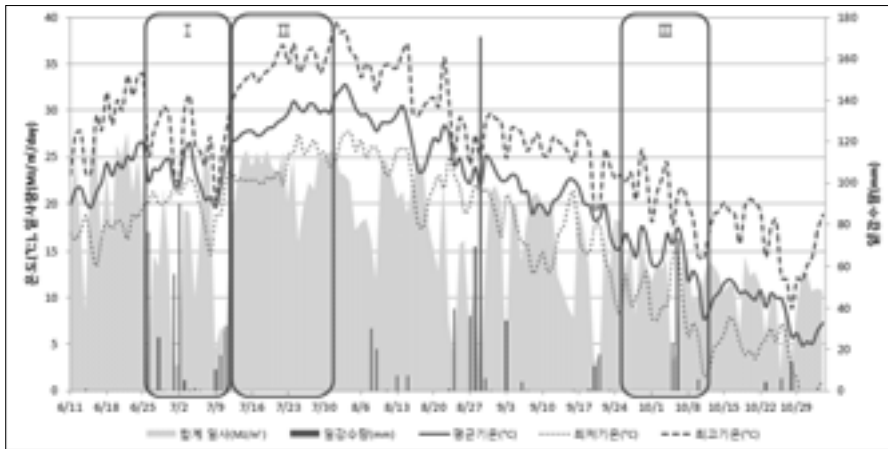


그림 4. 시험기간 중 외부 기상

시험에 사용한 필름의 가시광선부 투과율은 일반필름>산광필름>조광(25℃)>열선차단>조광(50℃) 필름 순으로 높았으며, 310~840nm의 스펙트럼을 50nm씩 구간별로 비교해보면 파장이 짧을수록 청색-녹색-적색 순으로 투과율의 차이가 크게 나타났다.

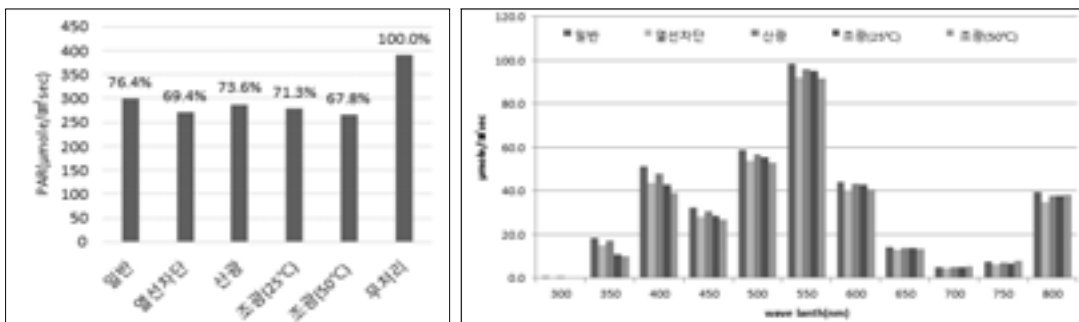


그림 5. 기능성 피복재의 투광특성

조광필름의 경우 필름의 표면온도에 따라 투과율이 상온(25℃)에서 71.3%, 고온(50℃)에서 67.8%로 줄어들었으며, 필름의 흐림도도 투과율과 마찬가지로 변화하였다.



4그림 6. 필름 종류와 표면온도에 따른 흐림도

열화상 카메라를 이용해 필름 종류에 따른 기온 및 지면온도를 비교해보면 기온은 일반필름>열선차단필름>조광필름>산광필름 순으로 높았고, 지면온도는 열선차단필름>일반필름>산광필름>조광필름 순으로 높게 나타났다.

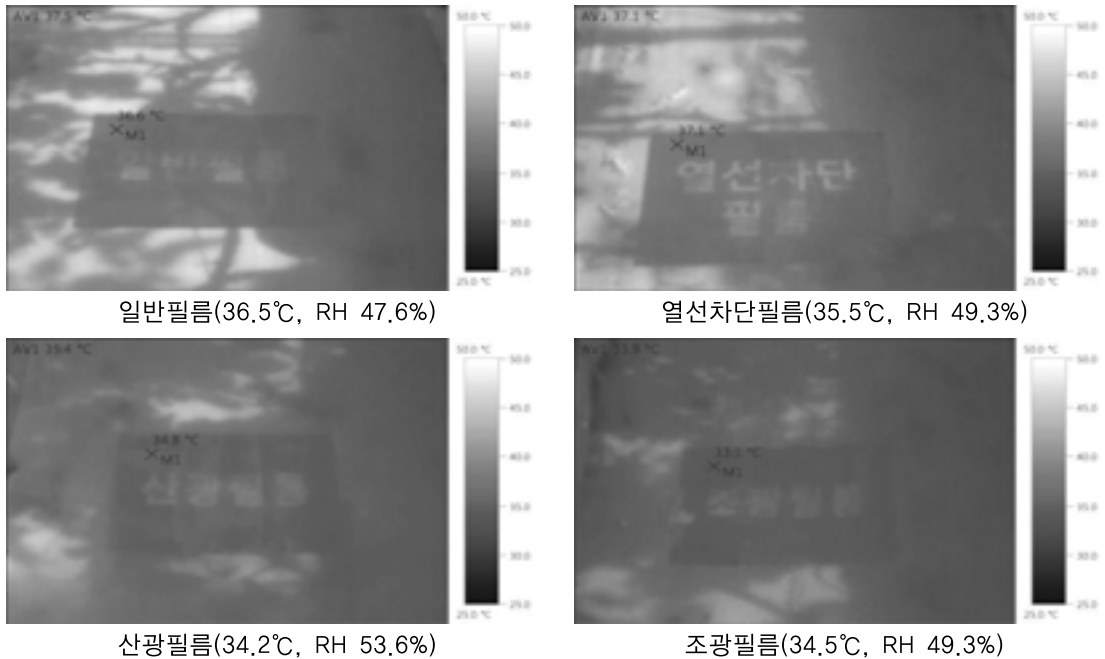


그림 7. 필름에 따른 기온 및 지면온도의 차이(2018.8.10. 14:40)

온실 내부의 수분부족분(HD, Humidity deficit)을 0~1.1g/m<sup>3</sup>, 1.1~2.8, 2.8~6.0, 6.0~11.0, 11.0~15.0, 15.0이상 여섯 단계로 나눠 시기별·시간대별 비교하였다. 하루 중 작물의 정상적인 증산에 적합한 3~4단계(2.8~11.0g/m<sup>3</sup>)와 너무 건조하여 생육에 부적합한 6단계(15g/m<sup>3</sup>이상)의 분포를 비교해보면 I 시기에 산광필름과 조광필름 처리에서 주간에 건조한 6단계가 적었고 적절한 3~4단계가 더 많이 분포하였으나, II, III시기는 처리에 따른 차이가 크지 않았다.

표 2. 수분부족분 구간별 분포

	I (6.26.~7.12.)						II (7.13.~7.31.)						III (9.25.~10.10.)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
A	303	167	151	107	59	29	109	203	131	82	53	334	400	116	104	129	19	0
B	300	165	151	116	53	31	76	219	132	80	62	343	402	115	116	124	11	0
C	300	172	162	133	49	0	125	201	123	94	78	291	396	113	117	122	19	1
D	292	173	169	135	46	1	88	206	144	93	66	315	396	125	111	121	15	0

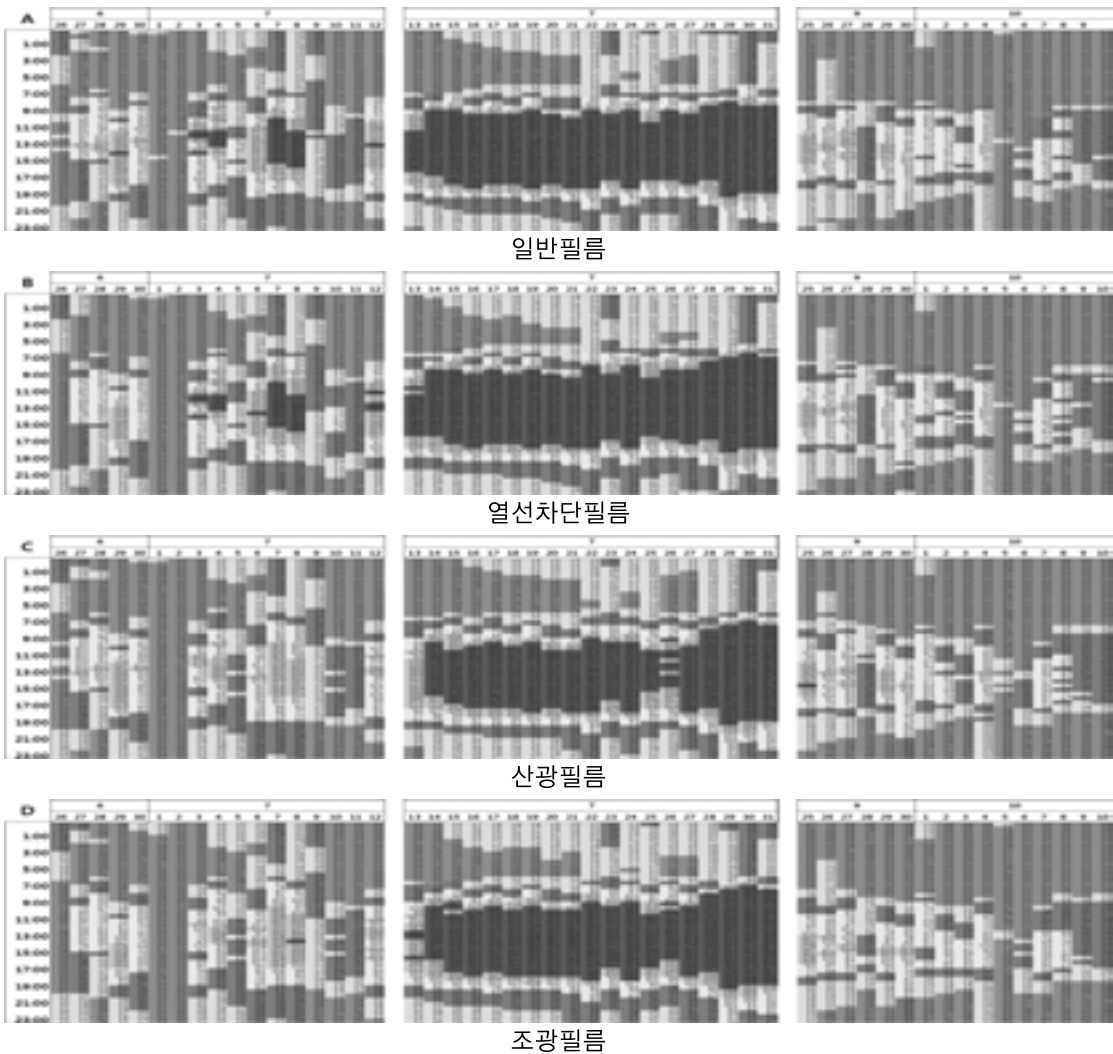


그림 8. 비교기간 온실 HD값 변화

(시험 2) 기능성 피복재 적용에 따른 재배환경 및 작물생육 모니터링(’ 19)

작기 중 온도와 광량이 높아지는 시기, 온도가 높은 시기, 온도와 광량이 낮아지는 시기로 나누어 피복재에 따른 재배환경을 비교하였다. 5월, 8월, 10월 3시기 모두 산광필름 처리에서 24시간 평균온도가 일반필름에 비해 0.4~0.6℃ 높게 나타났으며, 5월과 8월 일반PE, 열선차단PE, 조광PO의 평균온도는 차이가 없었으나, 10월의 경우 산광PO>조광PO>일반PE>열선차단PE 순으로 온도가 높았다.

표 3. 피복재종류에 따른 24시간평균기온

기온(℃)	2019. 5. 24.		2019. 8. 4.		2019. 10. 16.	
	*기온	**Δt	기온	Δt	기온	Δt
일반 PE	22.6	0.8	31.0	0.9	13.4	1.7
열선차단 PE	22.5	0.7	30.9	0.9	13.2	1.5
산광 PO	23.0	1.2	31.6	1.6	13.8	2.1
조광 PO	22.6	0.8	31.1	1.0	13.6	1.9
외 부	21.8	0.0	30.0	0.0	11.7	0.0

\* 24시간평균기온(℃)

\*\* 내부 24시간평균기온(℃) - 외부 24시간평균기온(℃)

피복재의 사용시간이 경과함에 따라 투과율이 점차 줄어드는 경향을 보였으나, 조광필름의 경우 고온기 투과율이 줄어들었다가 외부기온이 낮은 10월 다시 투과율이 높아지는 특성을 나타냈다.

표 4. 피복재종류에 따른 적산일사량 및 투과율

적산일사량	2019. 5. 24.		2019. 8. 4.		2019. 10. 16.	
	내부 (MJ/m <sup>2</sup> )	*투과율 (%)	내부 (MJ/m <sup>2</sup> )	투과율 (%)	내부 (MJ/m <sup>2</sup> )	투과율 (%)
일반 PE	20.0	70.9	17.4	69.1	8.3	59.1
열선차단 PE	17.7	63.1	15.0	59.6	7.0	49.6
산광 PO	20.9	74.2	17.4	69.1	8.9	63.1
조광 PO	20.4	72.4	16.8	67.0	10.6	75.2
외부	28.1	100.0	25.1	100.0	14.1	100.0

\* 내부적산일사량/외부적산일사량×100

표 5. 피복재 종류별 감가상각비

구 분	피복재 (원/10a)	*기타자재 (원/10a)	교체인건비 (원/10a)	내구연한 (년)	**감가상각비 (원/10a)
일반 PE	335,512	296,780	1,650,000	3(2~4)	984,333
열선차단 PE	580,008	296,780	1,650,000	3(2~4)	1,228,667

구분	피복재 (원/10a)	*기타자재 (원/10a)	교체인건비 (원/10a)	내구연한 (년)	**감가상각비 (원/10a)
산광 PO	951,808	296,780	1,650,000	5(5~8)	960,400
조광 PO	1,100,528	296,780	1,650,000	5(5~8)	1,049,600

\*기타자재: 10a 피복을 위한 패드스프링 등 소모성 자재

\*\*감가상각비: (취득원가-잔존가치)×정액법상각율(1/n)

열선차단PE, 산광PO, 조광PO의 원자재비용은 일반PE에 비해 각각 172%, 283%, 328% 높지만, 부자재, 교체인건비, 내구연한을 고려한 감가상각비는 각각 124%, 97%, 106%로 예상되었다.

반축성작형으로 완숙토마토 “데프니스” 품종을 2월 27일 정식해 7월 7일 작기를 종료하고, 억제작형으로 방울토마토 “유니콘” 품종을 7월 17일 정식해 12월 말까지 수확하였다. 반축성작형은 산광PO, 조광PO 처리에서 초장성장 및 화방출현 속도가 빨라 일반PE, 열선차단PE 처리보다 2주 먼저 적심하였다. 반축성작형 산광PO, 조광PO 처리구에가 일반PE, 열선차단PE 처리 생육상이 안정적으로 유지되었고, 성장강도가 강했다. 억제작형의 방울토마토는 산광PO와 조광PO에서 수량이 높은 것으로 조사되었다.

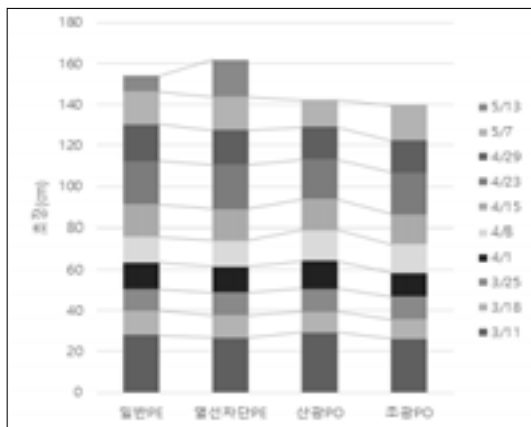


그림 9. 반축성작형 초장 성장특성

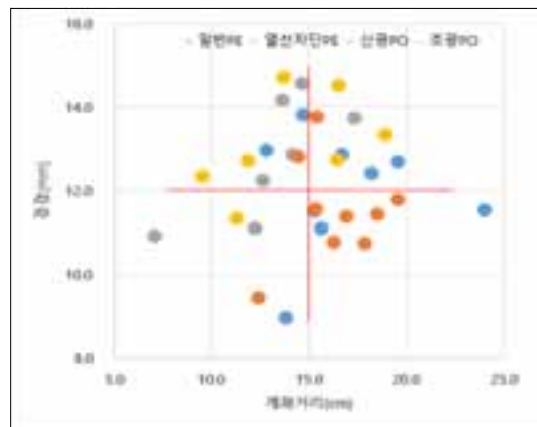


그림 10. 반축성작형 생육강도와 생장상

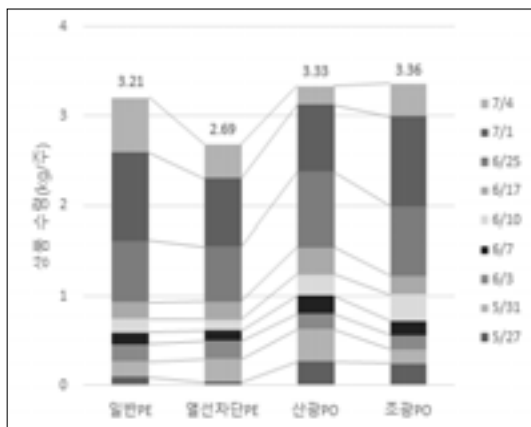


그림 11. 반축성작형(완숙토마토) 상품수량

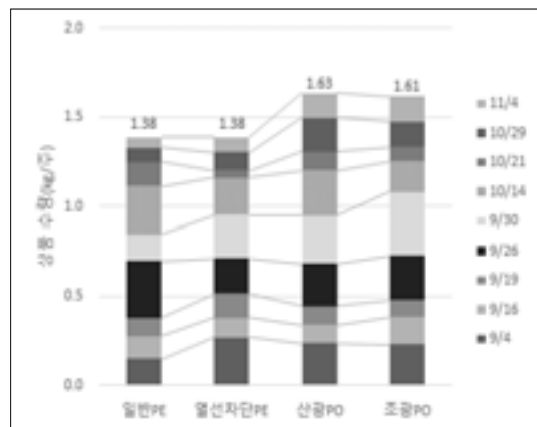


그림 12. 억제작형(방울토마토) 상품수량

(시험 3) 여름재배 시설채소 산광필름 적용 효과 구명( 20)

흐림도(Haze)는 빛이 투명한 재료의 내부를 통과할 때 반사나 흡수 외에 재료의 고유성질에 따라 광선이 확산되어 불투명한 흐림상 외관을 나타내는 현상을 뜻한다. 필름을 통과한 빛이 진행방향에서 2.5° 이내로 직진한 빛을 평행투과율, 2.5°를 벗어나 산란된 빛을 확산투과율 이라고 정의하며, 전광선 투과율은 확산투과율과 평행투과율을 합을 뜻한다. 흐림도는 전광선투과율 중 확산투과율의 비율로 계산한다(Hemming et al., 2017).

$$\text{Haze}(\%) = \frac{\text{확산투과율}}{\text{전광선투과율}} \times 100$$

시험에 사용된 피복재 H16, H37, H81 3종의 전광선투과율은 각각 89.7%, 90.5%, 90.1%이며, 확산투과율은 각각 14.2%, 33.7%, 73.0% 이므로 흐림도는 각각 15.9%, 37.3%, 81.0%로 조사되었다.

직진성이 강한 레이저를 이용해 필름의 흐림도에 따른 가시적 투광특성을 비교하였다. 레이저가 피복재를 투과하고 1m 거리에서 발생하는 산란정도가 그림 13과 같이 나타났다. 피복재의 흐림도가 높을수록 레이저의 초점이 작고 퍼짐정도가 큰 것을 명확하게 확인할 수 있었다. 맑은 날 H81 필름이 적용된 온실에서는 구조재의 그림자를 바닥에서 구분하기 어려울 정도로 그림자가 열었으며, 작업자의 눈부심이 덜 하였다.

표 6. 산광피복재의 광 투과 특성

처 리	흐림도(Haze) (%)	평행투과율 (%)	산란투과율 (%)	전광선투과율 (%)
H16	15.9	75.4	14.2	89.7
H37	37.3	56.8	33.7	90.5
H81	81.0	17.2	73.0	90.1

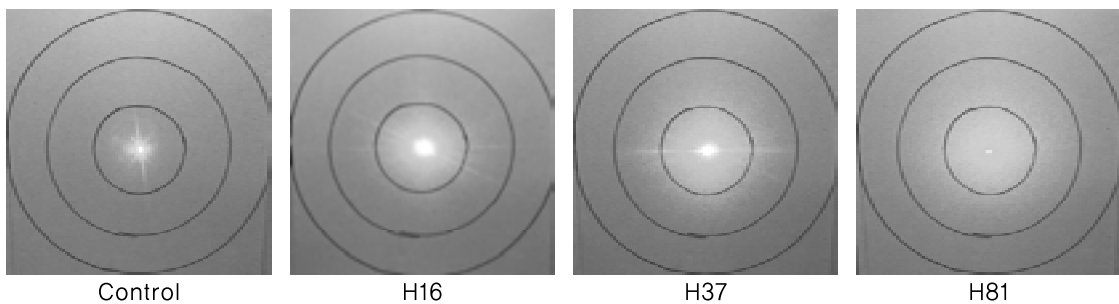


그림 13. 피복재 산광율에 따른 가시적 투광 특성

안토시아닌 발현(Cyanidin-3-malonygucoside)에 영향을 미치는 UV-A (315~400nm) 파장의 피복재별 투과율은 H16, H37, H81 각각 83.2%, 80.1%, 68.8%이며, 광합성 유효파장의 투과율은 각각 89.0%, 88.2%, 80.9%, 근적외선 파장의 투과율은 90.0%, 89.9%, 85.5%로 측정되었다. H16과 H37의 파장별 투과율 차이는 0.1~3% 내외로 광질과 광량의 차이가 적었으나, H81은 H16에 비해 자외선,

가시광선, 근적외선 파장이 각각 14.4%, 8.2%, 4.5% 낮은 것으로 조사되어 높은 산광율에 따른 피복재의 흐림상이 차광기능을 한 것으로 생각된다. 고온·강광기 차광에 의한 승온억제 효과를 활용할 수 있을 것으로 생각되나, 전반적인 투과율이 낮고, 특히 UV-A 투과율이 낮아 작물의 형태성 및 안토시아닌 발현에 불리하게 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

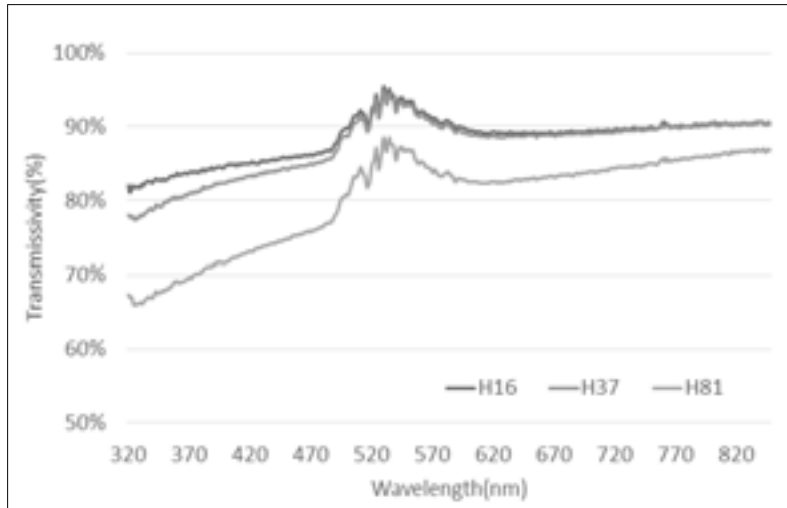


그림 14. 피복재 산광율에 따른 파장대별 투과율

1차 재배기간 중 일 강수량 0.1mm이상인 날은 5일이고, 평균 일사량 23.8MJ·m<sup>-2</sup>로 엽채류 재배에 충분했으며, 평균 전운량과 일조시간이 각각 5.2, 8.4로 맑은 편이었다. 반면 2차 재배기간은 강우일수가 전체 재배기간의 절반 이상인 16일 이었고 평균 전운량과 일조시간이 각각 7.0, 5.3으로 대체로 흐린 날씨였다.

날씨가 흐릴수록 직달일사량은 감소하지만, 반대로 산란일사량은 구름이 없는 날씨보다 옅은 구름이 있는 날씨에 더 많다고 하였다. 연평균 직달일사량 49%, 산란일사량 51%의 비를 이루고 있으나, 계절적으로는 봄과 여름에는 직달보다 산란일사가 많고 특히 여름에 산란일사가 가장 높다. 운량이 증가할수록 전천일사량이 줄어들었으며, 운량이 4보다 큰 경우 산란일사량의 비중이 직달일사량보다 높아진다. 운량 6~8인 경우 운량 0~2에 비해 전천일사량은 55% 줄고, 산란일사량의 비중은 78%에 이른다(Jeong et al., 2000).

1차 재배기간은 운량 5.5 미만의 맑은 날 비율이 57%이나 2차 재배기간은 28%에 그쳤다. 전운량이 높아 대기 중 구름을 뚫고 지면까지 도달하는 태양광의 양이 줄어들고, 산란광의 비율이 높아 필름의 산광율에 따른 환경변화 등 처리효과가 크지 않을 것으로 판단된다.

표 15. 재배기간 중 외부기상

기 간	총 강수량(mm)	일조시간(hr/day)	일사량(MJ/m <sup>2</sup> )	전운량 <sup>z</sup> (1/10)
1st(5.21.~6.23.)	23.4	8.4±3.8	23.8±5.8	5.2±2.3
2nd(6.26.~7.20.)	84.9	5.3±4.3	17.8±8.2	7.0±1.9

전운량<sup>z</sup>은 0.0 ~ 10.0으로 표현되며 강수현상이나 강수유무와 관계없이 하루 평균 구름의 양

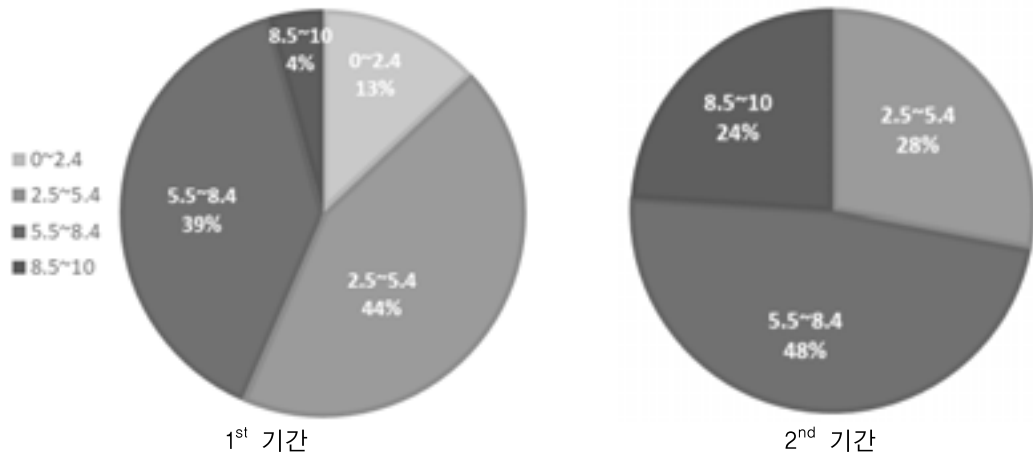


그림 15. 재배기간 동안 전운량 계급별 분포

1차 재배기간의 평균 누적광은 각각 35.5mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, 35.4mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, 32.3mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 으로 H16, H37, H81 순으로 높았으며, 외부 누적광 대비 73.9%, 73.6%, 67.3%로 조사되었다. 2차 재배기간 동안 평균 누적광은 각각 25.5mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, 25.6mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, 23.5mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 으로 H37, H16, H81 순으로 높았다. 2차 재배시기 H37 누적광이 H16보다 근소하게 높은 이유로 투과율이 비슷한 조건에서 외부 산란광 비율이 높아 광의 분포가 더 균일했기 때문으로 추정된다.

상추의 적정 DLI는 14~16정도이며(Lynette 2013), 상추의 초기생육은 광질보다는 광량의 영향을 더 크게 받는다고 보고하였고(Choi et al., 2013), DLI를 20이상 증가시킨 경우에도 생체중은 증가하였지만 증가폭이 둔화하였다. 1차 재배기간 중 DLI 15mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 이하인 날은 1일에 불과해 전 재배기간 차광이 필요하다고 판단되었으며, 2차 재배기간은 잦은 강우와 짙은 구름으로 광의 편차가 심하고, 상추의 정상적인 생육에 충분하지 못한 DLI 15mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 미만인 날이 7일 있었다.

1차와 2차 재배기간 하루 중 PPFD의 경시적 변화를 보면 맑은 날 H16, H37은 비슷한 경향을 보였고, H81은 6% 낮은 수준을 유지했다. 반면 흐린날은 처리간 차이가 맑은 날에 비해 매우 적었다. 이는 외부의 직달광이 비율이 낮고 산란광 비율이 높기 때문에 산광필름의 효과가 없었던 것으로 생각된다.

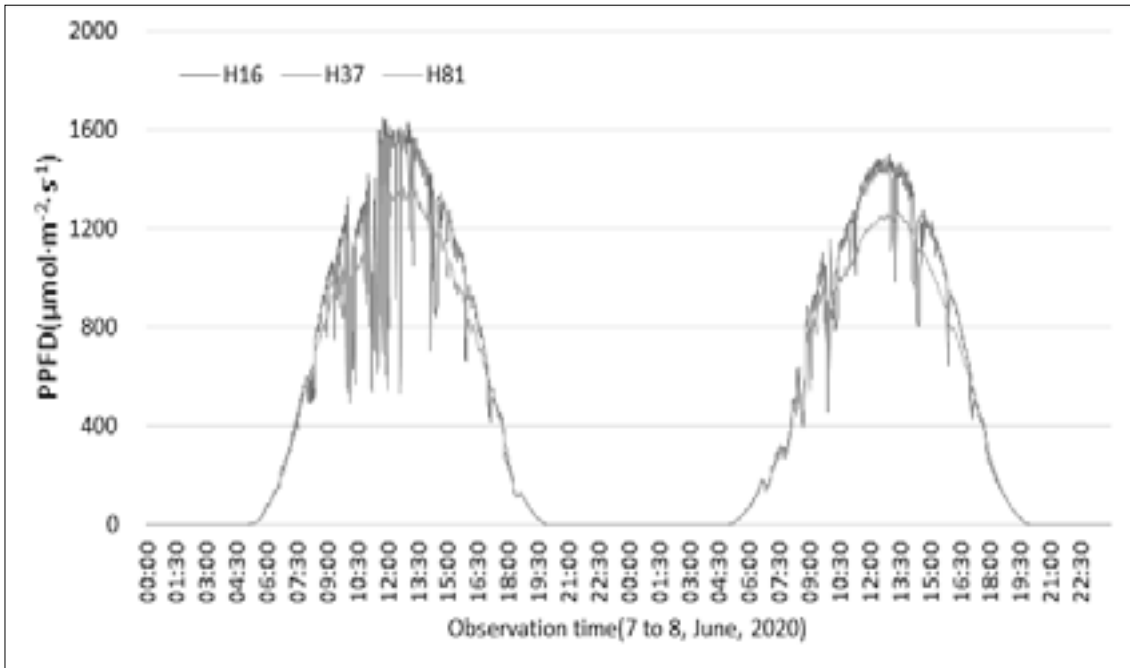
상추와 같이 생육기간이 짧고 생육 속도가 빠른 작물의 경우 일사량이 적고 불규칙한 날이 지속되면 광합성광량자속의 부족에 의한 생산량 감소 등 수확시기 좋지 않은 영향을 줄 가능성이 있으며, 광합성에 필요한 적정일사량을 초과할 경우에는 온도조절보다 작물의 생장조절을 우선적으로 고려하여 차광을 실시할 필요가 있다(Lee et al., 2001). 따라서 누적광량이 충분한 강광기에 H81의 투과율이 낮아 적정한 광량을 유지할 수 있어 생육에 유리하고, 누적광량이 불규칙하고 부족한 약광기에 H16, H37과 투과율의 차이가 적어 상추 생산성에 부정적인 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다.

표 8. 피복재 산광율에 따른 재배기간 중 평균 일 누적광량 (단위: mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>)

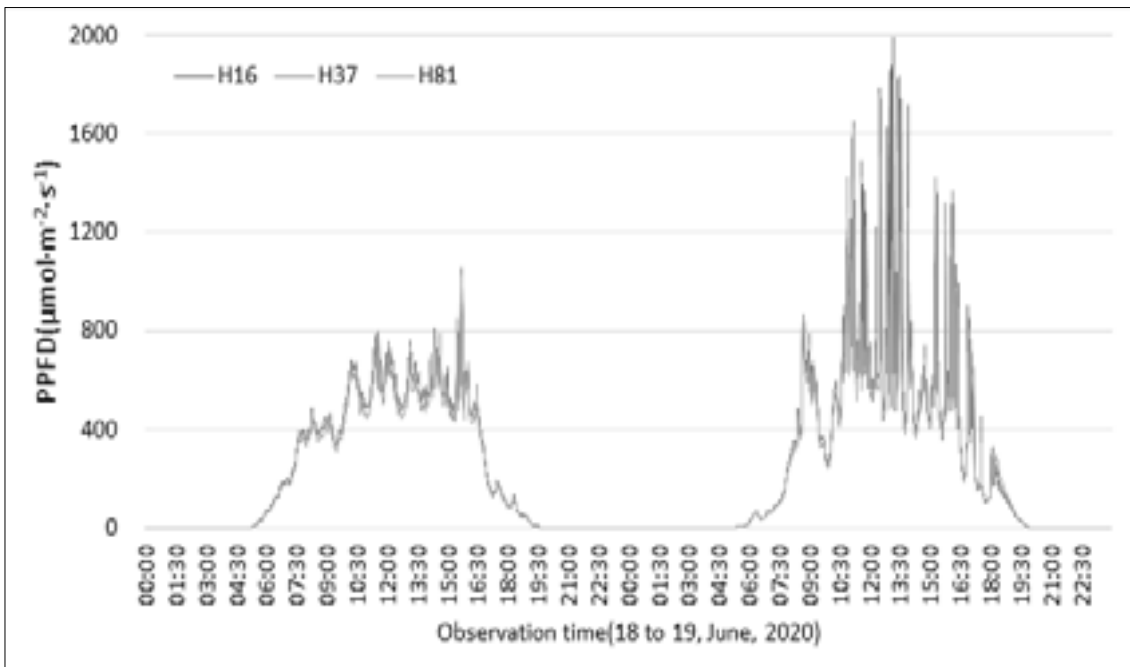
기 간	H16	H37	H81	외부
1st	35.5±8.4*(73.9**)	35.4±8.4(73.6)	32.3±7.5(67.3)	48.0±10.8
2nd	25.5±12.1(71.9)	25.6±12.1(72.1)	23.5±10.9(66.2)	35.5±16.1

일 누적광\*: DLI, Daily Light Integral

\*\*외부 일 누적광 대비 처리별 비율

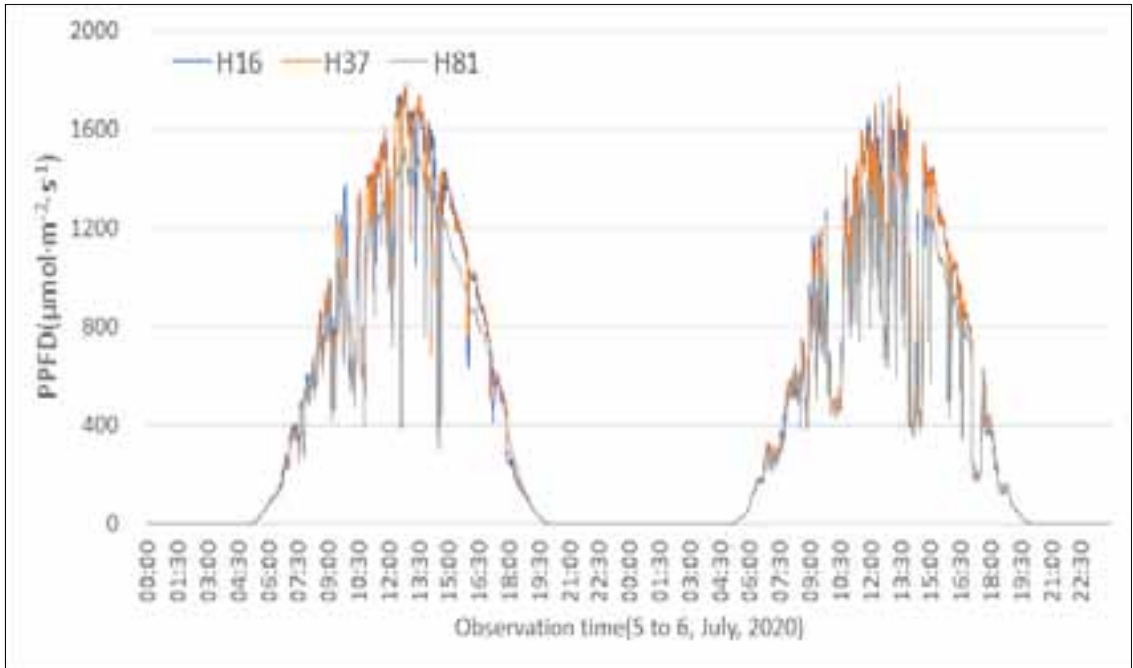


A

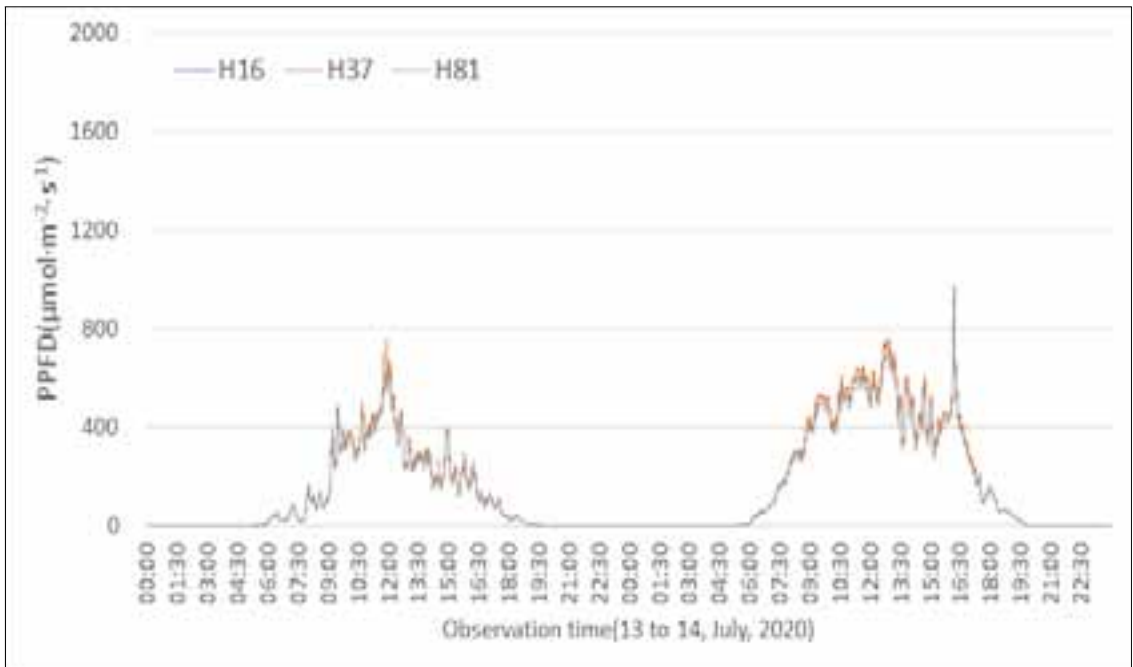


B

그림 16. 재배기간 중 외부기상에 따른 온실 내부 DLI의 경시적 변화  
(A 1차 재배기간 중 맑은 날, B 1차 재배기간 중 흐린 날)



C



D

그림 17. 재배기간 중 외부기상에 따른 온실 내부 DLI의 경시적 변화  
(C 2차 재배기간 중 맑은 날, D 2차 재배기간 중 흐린 날)

2020년 10월 18일부터 11월 6일 중 운량 3 미만인 맑은 날 10일간 온실 내부 위치별 일 누적광의 처리별 평균 투과율은 H37 66.1%, H16 63.4%, H81 59.6% 순으로 높았다. 일출방향에 따라 온실 지붕의 경사각과 태양의 입사각이 큰 오전시간 동쪽에 설치한 D, C, B 순으로 누적광이 높은 것을 확인할 수 있었다. 온실 측면에서 1.5m 떨어진 A와 E 지점은 상대적으로 높이도 낮고, 측창, 방충망, 골조 등과 가까워 온실 중앙에 비해 광환경이 불량했으며, 산광율이 높은 H81도 중앙부와 측면의 편차는 다른 처리구와 비슷한 수준을 보였다. 온실 중앙부 세 지점(B, C, D)의 편차는 H81 0.9, H37 1.9, H16 2.2로 산광율이 높을수록 균일한 것을 확인할 수 있었다.

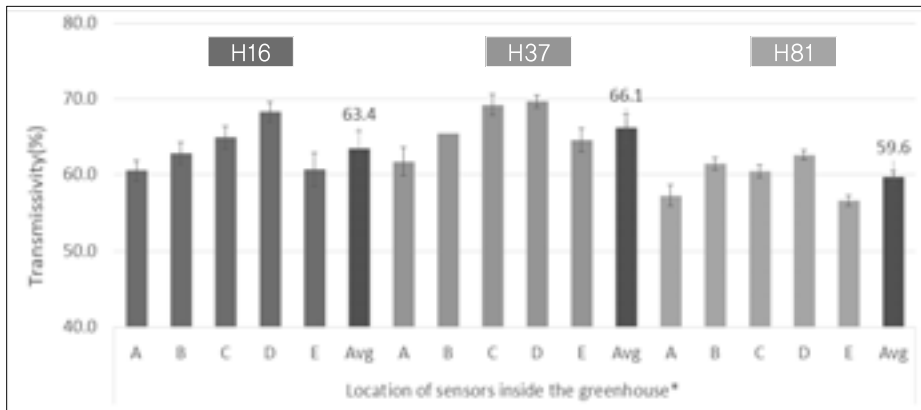


그림 18. 피복재 산광율에 따른 온실 내부의 광 분포

1차와 2차 재배기간동안 지면으로부터 1.0m 높이의 일 평균온도와 날씨에 따른 기온의 경시적 변화를 조사하였다. 고온 강광기인 1차 재배기간 산광필름 처리구 H16, H37, H81의 평균기온은 각각 26.8℃, 26.9℃, 26.5℃로 처리간 차이가 0.4℃ 내외로 처리간 차이가 작지만 H37>H16>H81 순으로 높았다. 최고온도도 각각 38.8℃, 39.2℃, 38.5℃로 처리간 차이가 작지만 평균기온과 같이 일관되게 H37>H16>H81 순으로 높게 관측되었다. 최저온도는 최고온도의 차이에 비해 작은 0.3℃ 내외의 차이가 확인되었다. 온도의 경시적 변화는 광환경과는 달리 외부기상과 상관없이 처리간 차이가 미미하였다. 와이드스판형 온실에서 차광율 10%에 0.4℃의 차광에 의한 승온 억제효과가 있다고 보고된 바 있고, 맑은날은 승온억제 효과가 잘 나타나나, 흐린날의 효과는 낮다고 하였다(Lee et al., 1998)

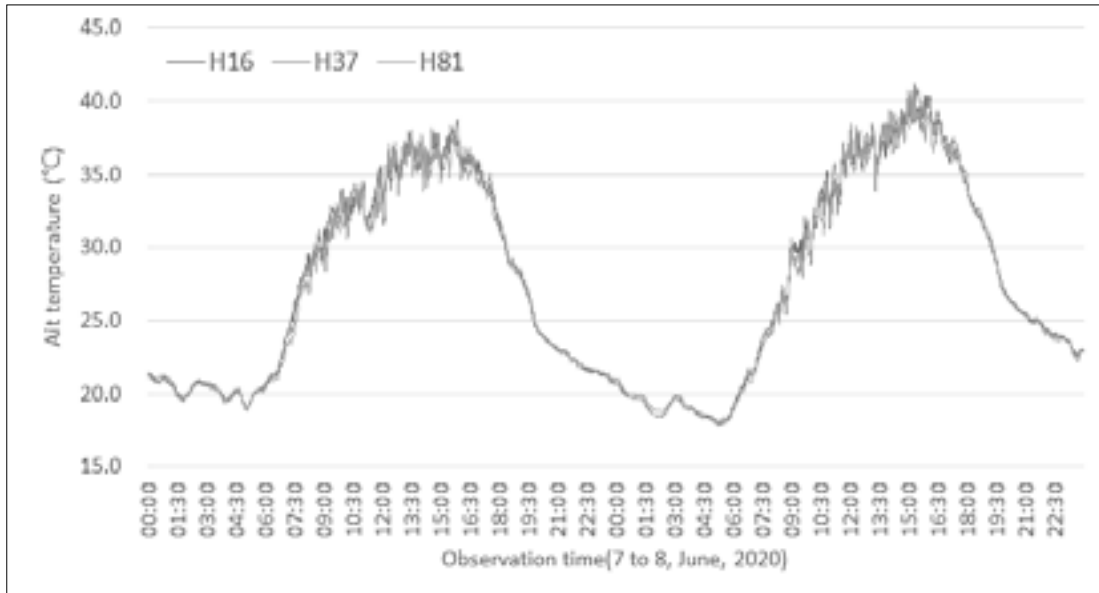
다만, 상추는 호냉성 작물로 발아 및 생육 적온은 15~20℃이며, 결구 적온은 10~16℃이다(RDA Lettuce, 2017). 따라서 1차와 2차 재배기간 모두 평균온도가 생육 적온보다 높아 온도가 낮게 유지되는 처리에서 수량이 높을 것으로 예상할 수 있었다.

고온기 일반 PO필름과 조광필름을 대상으로 온도변화를 비교한 경우 조광필름의 흐림도가 올라갔을 때 평균기온이 2℃이상 차이가 났다는 보고(Shin et al., 2018)에 비해 작은 차이지만 같은 경향을 보였다.

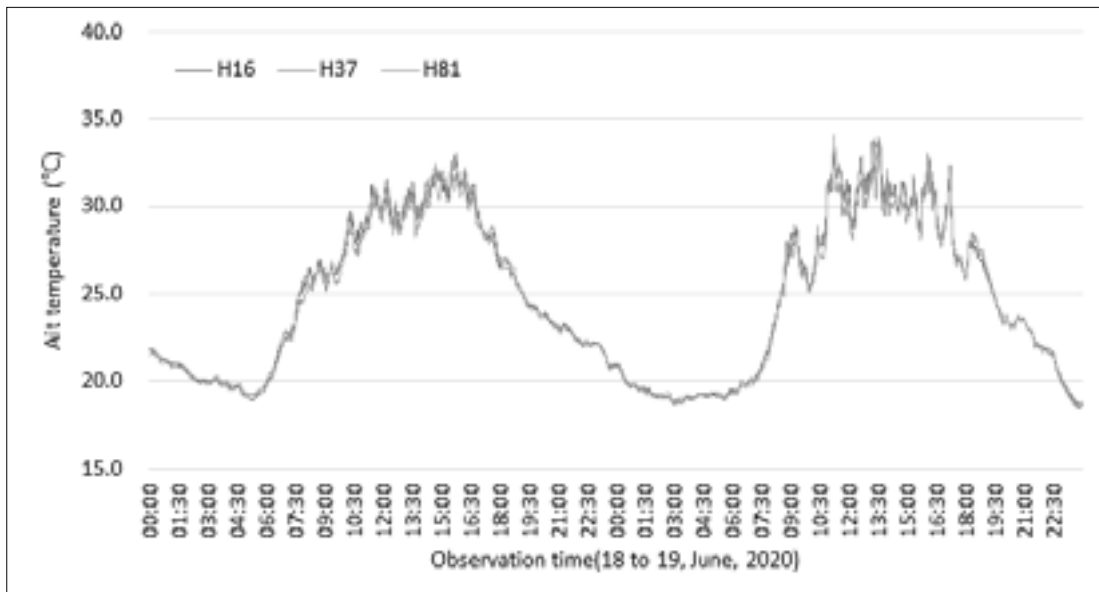
표 9. 재배기간 중 피복재 산광율에 따른 평균, 최대, 최저 온도 (단위: °C)

기 간	처 리	평균온도	최고온도	최저온도
1차 (6.1.~6.23.)	H16	26.8±2.4	38.8±3.6	17.8±1.9
	H37	26.9±2.4	39.2±3.8	18.0±1.9
	H81	26.5±2.4	38.5±3.6	17.7±1.9
	외부	24.3±2.2	31.9±3.2	17.6±1.9

기 간	처 리	평균온도	최고온도	최저온도
2차 (6.26.~7.20.)	H16	25.2±2.4	35.3±5.1	18.8±1.6
	H37	25.3±2.4	36.0±5.3	18.9±1.6
	H81	25.0±2.4	35.0±5.2	18.7±1.6
	외부	23.2±1.9	29.2±3.6	18.4±1.6



A



B

그림 19. 재배기간 중 외부기상에 따른 온실 내부 온도의 경시적 변화  
(A 1차 재배기간 중 맑은 날, B 1차 재배기간 중 흐린 날)



C



D

그림 20. 재배기간 중 외부기상에 따른 온실 내부 온도의 경시적 변화  
(C 2차 재배기간 중 맑은 날, D 2차 재배기간 중 흐린 날)

상추의 생육에 영향을 미치는 광조건에 관한 많은 연구 결과가 있으며 특히 광원의 광질과 광량에 따른 분석에 관한 연구가 많다. 광합성유효광량(PPFD)이 높을수록 성장속도가 비례하여 증가하였다 (Choi et al., 2013). 하지만, 1차 재배기간의 경우 처리별 평균적인 DLI는 32~35mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 이므로 오히려 차광이 필요한 조건으로 판단되며, H16과 H37에 비해 광투과율이 낮아 차광효과가 있었던 H81 처리에서 대부분의 품종에서 높은 생체중을 나타냈고 통계적 유의성이 인정되었다. 일부 품종은

평균의 차이는 있으나 통계적 유의성이 없는 경우가 있었다.

반면 2차 재배기간은 강우 등 외부기상의 영향으로 불규칙한 일조량 및 산란광 비율이 높은 조건이 조성되어 처리에 따라 근소한 생체중의 차이가 나타났으나 통계적 유의성이 인정되지는 않았다. H37의 경우 산광기능을 갖추고 누적광이 충분했으나, 재배기간 가장 높은 평균온도와 최고온도를 기록해 수량감소요인으로 작용한 것으로 판단된다.

일반적으로 식물의 생장량은 생체중에 직접적인 영향을 미치고, 생체중은 엽수와 엽면적 그리고 잎의 두께와 관계가 있다(Heo et al., 2009). 1차 재배기간 H81에서 생체중이 증가한 것과 같은 경향으로 엽장과 엽폭의 크기도 큰 것으로 조사되었다. 2차 재배기간 품종에 따라 평균적인 잎크기의 차이는 있으나 통계적 유의성은 나타나지 않았다.

표 10. 피복재 산광율에 따른 품종별 엽장 (단위: cm)

기 간	처 리	Caipira	Ezabel	Ezatrix	Romain	SPPC	Volare
1차	H16	13.5 a <sup>z</sup>	10.5 a	11.7 b	10.9 b	15 b	10.5 b
	H37	12.6 a	11.7 a	12.1 b	10.9 b	15.3 b	11.8 ab
	H81	14.9 a	11.1 a	16.9 a	13.7 a	19.7 a	13.4 a
2차	H16	18.6 a	14.8 a	19.4 a	16.4 a	21.0 b	14.7 a
	H37	18.8 a	14.1 a	19.0 a	16.1 a	21.6 ab	14.1 b
	H81	18.5 a	15.6 a	19.2 a	16.8 a	22.0 a	13.9 b

<sup>z</sup> Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

표 11. 피복재 산광율에 따른 품종별 엽폭 (단위: cm)

기 간	처 리	Caipira	Ezabel	Ezatrix	Romain	SPPC	Volare
1차	H16	11.7 a <sup>z</sup>	14 a	12.6 ab	8.7 b	12.8 b	9.2 b
	H37	12.7 a	13.9 a	10.6 b	8.5 b	12.3 b	10.1 ab
	H81	13.3 a	14.1 a	15.3 a	10.5 a	12.2 a	11.7 a
2차	H16	14.8 a	13.5 b	12.0 a	11.2 a	14.4 b	11.0 a
	H37	13.7 b	13.0 b	11.7 a	10.1 b	14.6 b	10.8 a
	H81	13.0 b	14.2 a	11.0 a	11.0 ab	16.3 a	11.2 a

<sup>z</sup> Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

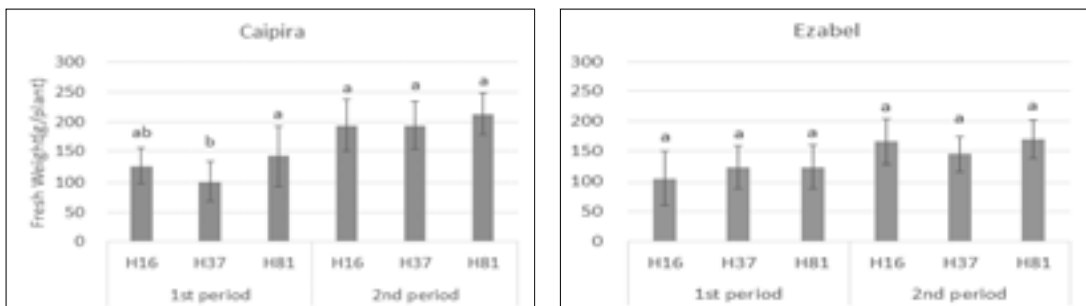


그림 21. 피복재 산광율에 따른 품종별 생체중

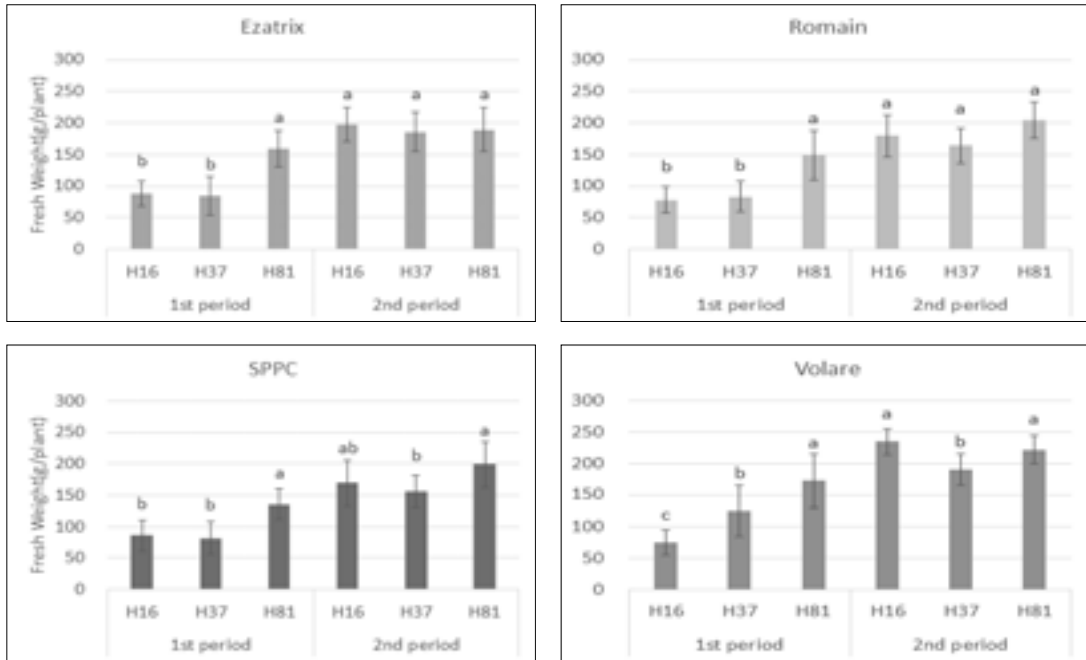


그림 21. 피복재 산광율에 따른 품종별 생체중

적상추의 붉은색은 이차대사산물 중 하나인 안토시아닌 색소의 함량으로 결정된다. 안토시아닌색소 발현과 관련하여 여러 가지 요인이 복합적으로 작용한다고 알려져 있다. 광합성에 의해 체내 탄수화물이 증가함에 따라 안토시아닌 생성이 촉진되고, 저온에서 안토시아닌 생성이 촉진된다고 알려져 있다. 질소양분 부족 시 체내 아미노산 합성 감소로 인해 탄수화물을 축적시켜 안토시아닌 생성을 촉진하며, 토양 수분이 부족해도 불용성 탄수화물이 가용성으로 변해 안토시아닌 생성이 촉진된다(RDA, 2018). 상추의 적색발현에 영향을 미치는 요인 중 재배시설에 따른 경향으로는 노지>비가림하우스>온실 순으로 색택 발현이 좋다고 하였다. 이는 상추 시설재배 시 자외선이 피복재를 투과되는 정도에 따라 안토시아닌(Cyanidin-3-malonygocside)의 발현에 차이가 있는 것으로 추정되며, 청색과 UV-A의 선택적 보광을 통해 어린잎 상추의 안토시아닌 함량을 높일 수 있다.(Li Qian et al., 2009)

적치마 타입 ‘선풍포잡(SPPC)’ 품종의 수확시기별 피복재 산광율에 따른 착색정도를 보면 1차 재배시기 산광율이 높은 처리에서 잎색이 밝고 녹색도와 황색도가 높아지는 경향을 나타냈고 유의성이 인정되었으나, 2차 재배시기에는 처리에 따른 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

이것은 고온기 상추의 안토시아닌 발현이 억제되는 조건에서 H81처리구의 UV-A의 투과율이 상대적으로 적었던 결과로 생각된다. 2차 재배시기 비슷한 고온조건이었으나, 불규칙한 일조시간 및 운량 증가에 따른 처리간 광량의 차이가 줄어들므로 발색의 차이도 줄어들 것이라고 볼 수 있다. 또한 산광필름을 피복한 온실에서 상추 재배 시 광량이 줄어 일반필름에 비해 비타민 C와 페놀계 물질의 함량이 낮아지는 결과와 같은 경향을 나타낸다.(Riga et al., 2018) 고온 강광기 상추의 수량증가를 위해 H81과 같이 산광율 높은 필름을 사용하는 것이 유리할 수 있으나, 적색품종은 착색불량에 주의하여 신중한 품종선택이 필요하다.

표 12. 피복재 산광율에 따른 품종별 잎의 L\* 값

기 간	처 리	Caipira	Ezabel	Ezatrix	Romain	SPPC	Volare
1차	H16	47.4 b <sup>z</sup>	52.5 a	36.2 b	40.4 b	43.5 b	44.6 b
	H37	48.3 b	51.2 a	38.5 b	41.3 b	45.4 b	45.7 ab
	H81	51.1 a	53.7 a	41.7 a	43.2 a	48.6 a	46.9 a
2차	H16	54.8 a	55.4 a	43.5 b	47.5 a	49.7 a	52.2 b
	H37	54.7 a	53.1 a	44.9 a	47.0 a	49.5 a	52.1 b
	H81	55.3 a	54.9 a	44.5 a	48.1 a	51.1 a	53.1 a

<sup>z</sup> Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

표 13. 피복재 산광율에 따른 품종별 잎의 a\* 값

기 간	처 리	Caipira	Ezabel	Ezatrix	Romain	SPPC	Volare
1차	H16	-18.1 a	-20.2 a	-14.9 a	-15.1 a	-14.1 a	-18.1 a
	H37	-19.3 b	-20.9 a	-15.5 a	-15.6 ab	-15.1 a	-19.3 b
	H81	-20.6 c	-21.1 a	-16.6 b	-17.5 b	-19.9 b	-19.6 b
2차	H16	-22.9 c	-22.7 b	-19.0 b	-20.8 a	-20.4 ab	-22.7 b
	H37	-22.3 b	-21.8 ab	-18.9 b	-20.3 a	-20.0 a	-22.0 a
	H81	-21.4 a	-21.5 a	-17.8 a	-20.8 a	-21.1 b	-22.5 b

<sup>z</sup> Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

표 14. 피복재 산광율에 따른 품종별 잎의 b\* 값

기 간	처 리	Caipira	Ezabel	Ezatrix	Romain	SPPC	Volare
1차	H16	28.8 b	34.0 a	21.6 a	22.3 b	29.4 b	26.9 b
	H37	29.1 b	34.6 a	22.2 a	21.8 b	30.8 b	28.4 ab
	H81	32.0 a	35.2 a	23.0 a	25.6 a	36.0 a	29.7 a
2차	H16	37.4 a	39.8 a	29.2 a	33.6 ab	37.3 a	36.3 a
	H37	36.9 a	37.6 b	29.3 a	32.1 b	36.8 a	37.1 a
	H81	36.2 a	38.5 ab	26.9 a	33.7 a	38.2 a	38.7 a

<sup>z</sup> Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

엽록소의 함량은 1차와 2차 재배기간 모두 누적광량에 비례하여 SPAD 값이 높게 측정되었고 통계적 유의성이 인정되었다. 엽록소의 함량은 잎의 크기보다 두께가 발달할수록 높게 측정되며, 2차 재배시기 H37의 생체중 발달은 H16보다 낮았지만 누적광량과 엽록소 함량은 가장 높게 조사되었다. 하지만, 엽록소 함량과 상관없이 1차와 2차 생산물의 외관상 품질은 크게 차이 나지 않으므로 상품성에 문제는 없는 것으로 판단된다.

표 15. 피복재 산광율에 따른 품종별 잎의 SPAD 값

기 간	처 리	Caipira	Ezabel	Ezatrix	Romain	SPPC	Volare
1차	H16	46.1 az	27.9 a	49.2 a	52.9 a	28.3 a	50.0 a
	H37	35.8 b	25.5 a	42.1 a	48.7 ab	26.2 a	44.5 ab
	H81	30.1 c	20.8 b	43.9 a	45.5 b	21.6 b	40.4 b
2차	H16	25.5 b	21.0 a	37.2 a	37.2 a	20.8 b	29.8 b
	H37	27.6 a	20.6 a	37.6 a	35.8 a	23.6 a	32.9 a
	H81	21.8 c	17.1 b	30.0 b	34.2 a	19.2 b	27.1 b

<sup>z</sup> Mean separation within each columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

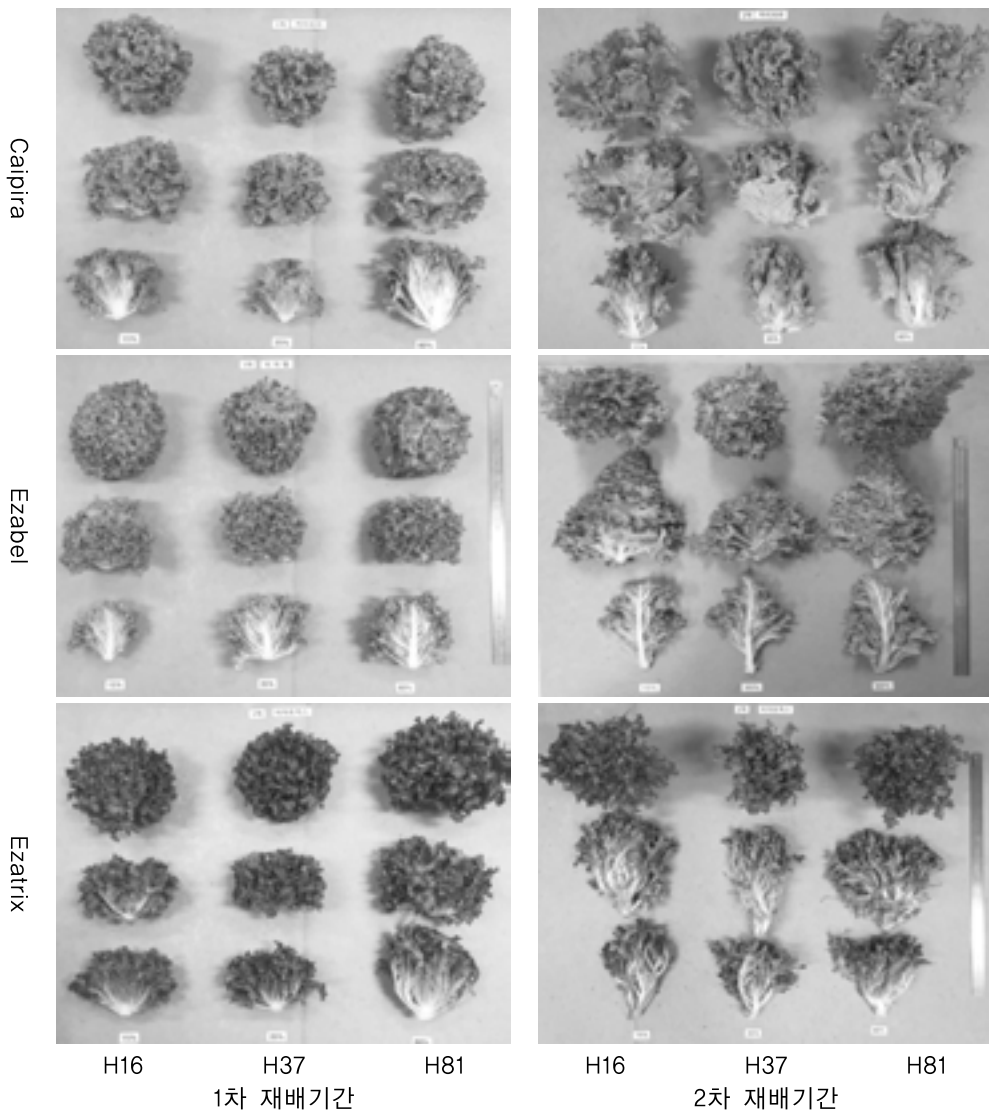


그림 22. 피복재 산광율에 따른 품종별 생육 이미지

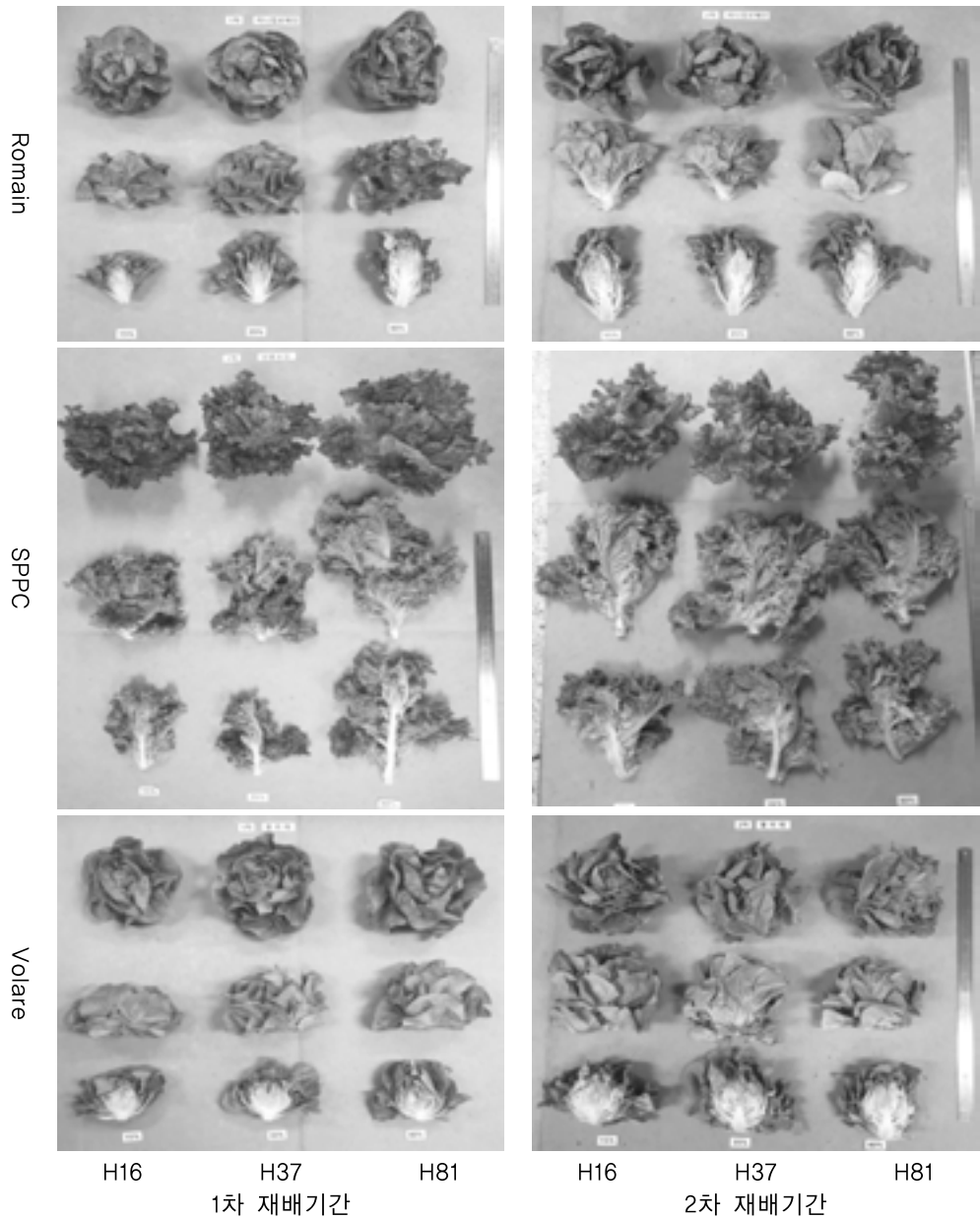


그림 23. 피복재 산광율에 따른 품종별 생육 이미지

스크린 등 환경조절을 위한 시설을 설치하고 운영하기 어려운 단동형 온실의 경우 산광율이 높은 기초피복재 교체를 통해 고온 강광기 재배환경 개선 및 수량증가의 효과가 있었다.

6월 하순과 7월 하순에 수확하는 봄-여름재배 시설상추의 경우 외피복을 일반 PO필름에서 산광율 높은 PO필름으로 교체하는 경우 피복재 단가(원/kg)가 200원 ~ 400원 차이가 있으며 3년 내외의 사용 가능 햇수를 감안할 때 감가상각액은 10a당 15,000원 ~ 30,000원의 추가적인 손실적 요소가 발생한다. 산광율이 16%인 일반PO필름 대비 산광율이 81% 산광PO필름의 재배기간별 상추 6품종의 평균적인

수량은 각각 1,354kg/10a, 241kg/10a 높고 해당 기간의 청상추 평년가격의 기준으로 각각 3,965천 원/10a, 1,327천 원/10a 이익적 요소가 발생한다. 따라서 일반 PO필름 대신 산광율 81% PO필름을 사용할 경우 1,594kg/10a의 수량증가와 5,262천 원/10a의 추가소득을 기대할 수 있다.

표 16. 피복재의 종류별 가격 및 감가상각

처리	단위가격 (원/kg)	피복재 가격 (103원/10a)	부자재 가격 (103원/10a)	설치 인건비 (103원/10a)	내구연한 (년)	감가상각* (원/년)
H16	7,000	1,575				1,114,933
H37	7,200	1,620	269.8	1,500	3	1,129,933
H81	7,400	1,665				1,144,933

\* 정액상각법. (취득 비용 잔존 가치)×고정 상각 비율(1/n)

표 17. 농가소득 분석

기 간	품 종	H16		H37		H81	
		생산량 (kg/10a)	소득 (103원/10a)	생산량 (kg/10a)	소득 (103원/10a)	생산량 (kg/10a)	소득 (103원/10a)
1차	Caipira	3,181	9,316	2,527	7,402	3,570	10,457
	Ezabel	2,632	7,710	3,096	9,069	3,106	9,097
	Ezatrix	2,188	6,409	2,104	6,163	3,994	11,698
	Romain	1,956	5,729	2,083	6,100	3,713	10,876
	SPPC	2,148	6,292	2,043	5,985	3,395	9,946
	Volare	1,865	5,462	3,123	9,148	4,313	12,633
	평 균	2,328	6,820	2,496	7,311	3,682	10,785
2차	Caipira	4,839	26,659	4,854	26,742	5,330	29,363
	Ezabel	4,159	22,913	3,621	19,946	4,253	23,428
	Ezatrix	4,940	27,215	4,647	25,599	4,735	26,086
	Romain	4,480	24,681	4,088	22,523	5,126	28,239
	SPPC	4,233	23,317	3,898	21,476	4,973	27,398
	Volare	5,862	32,292	4,763	26,242	5,541	30,525
	평 균	4,752	26,180	4,312	23,755	4,993	27,507
합 계	7,080	32,999	6,808	31,066	8,675	38,291	

9월 중순 이후 초장 2.0m 이상 자란 경우 낮아진 입사각과 작물의 그림자 때문에 광의 간섭이 장시간 발생하므로 산광필름 적용효과를 검토할 수 있었다. 산광율에 따른 높이별 광환경(2020. 9. 16. ~ 10. 7.)을 비교하기 위해 3연동 온실에 H37, H16, H46 3종의 산광피복재를 설치하고 각 동별 가운데 지점에 높이 0.5m, 1.5m, 2.5m 마다 PAR센서를 설치하여 높이별 광환경을 조사하였다.

H16보다 H46처리구에서 일평균 누적광이 많은 것으로 조사되었고 특히 1.5m 지점에서 가장 큰

차이로 높았다. 반면 H37는 H16보다 전반적으로 수치가 낮았는데, 동쪽으로 40°가량 기울어진 남북향 온실의 특성상 측면보강기둥, 측창, 바람막이, 보온커튼, 스크린 등의 설치물로 인해 발생한 그림자의 영향 때문인 것으로 생각된다.

표 18. 피복재 산광율과 높이에 따른 평균 누적광량 비교


구분	일 평균 DLI(mol/m <sup>2</sup> /day)		
	H16	H37	H46
 2.5m	14.5	13.9	14.9
1.5m	8.7	7.6	9.9
0.5m	3.4	3.2	3.7



그림 24. 시기별 상품무게 및 상품율

착과는 정식직후인 5월 상순, 장마직전인 6월 중순, 장마직후인 8월 중순경 집중적으로 이루어졌다. 7월 중순 이후 배꼽썩음과 발생이 급격하게 증가하여 상품수량 감소의 원인이 되었으며, H46에서 배꼽썩음과 발생이 적어 상대적으로 높은 상품율을 유지했다. 과실의 품질은 처리간 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

표 19. 피복재 산광율에 따른 과실특성

항 목	조사일	H16	H37	H46
과중(g/개)	7.23.	173.3 ±21.4	176.9 ±16.4	158.9 ±18.8
	8.26.	156.9 ±21.5	165.9 ±23.8	161.4 ±14.2
	9.17.	147.0 ±27	141.5 ±20.7	149 ±22.8
과고(mm)	7.23.	87.4 ±6.4	83.0 ±7.4	82.3 ±5.5
	8.26.	85.0 ±8.2	91.6 ±8.6	89.1 ±4.8
	9.17.	88.4 ±8.2	86.3 ±6.8	86.4 ±9.4

항 목	조사일	H16	H37	H46
과폭(mm)	7.23.	79.7 ±5.2	85.4 ±5.5	82.2 ±6.1
	8.26.	78.6 ±3.7	78.9 ±5.6	78.3 ±3.2
	9.17.	76.3 ±5.5	75.1 ±4.7	77.3 ±6.3
과육두께(mm)	7.23.	6.3 ±0.8	6.2 ±0.5	6.4 ±0.3
	8.26.	5.7 ±0.4	6.0 ±0.4	5.8 ±0.5
	9.17.	5.7 ±0.9	5.3 ±0.6	5.2 ±0.6
심실수(개)	7.23.	3.1 ±0.5	3.0 ±0.4	3.0 ±0.4
	8.26.	3.5 ±0.5	3.2 ±0.4	3.0 ±0.0
	9.17.	2.9 ±0.7	3.2 ±0.5	3.0 ±0.7
경도(kg/mm)	7.23.	2.0 ±0.3	1.9 ±0.2	2.0 ±0.3
	8.26.	2.4 ±0.3	2.4 ±0.3	2.4 ±0.4
	9.17.	1.9 ±0.4	1.9 ±0.3	2.0 ±0.5
수량(ton/10a)		4.64	4.70	4.95
상품율(%)		71.0	73.1	73.6

## 〈제2세부과제: ICT 활용 환경제어 최적화를 위한 요인 구명〉

### (시험 1) 고온기 누적일사량에 따른 관수 개시점 설정

변량급액 처리는 장마에 맞춰 시작했으며, 강우에 의한 내부 수분부족분의 변화와 불규칙한 외부 광량에 따라 급액량 및 급액간격이 적용되도록 하였다.

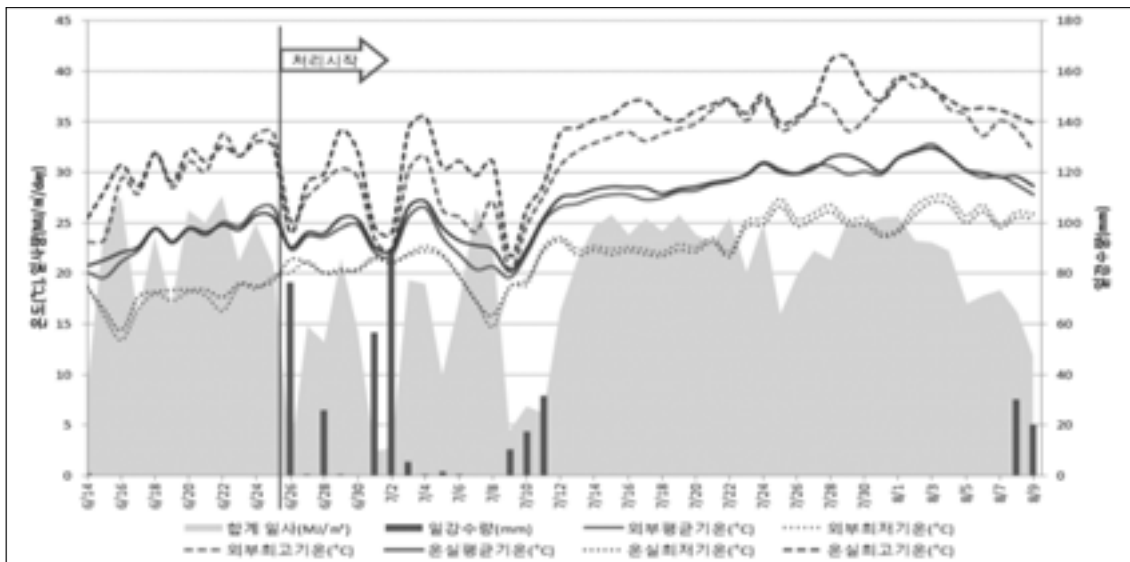


그림 25. 시험기간 중 내·외부 기상

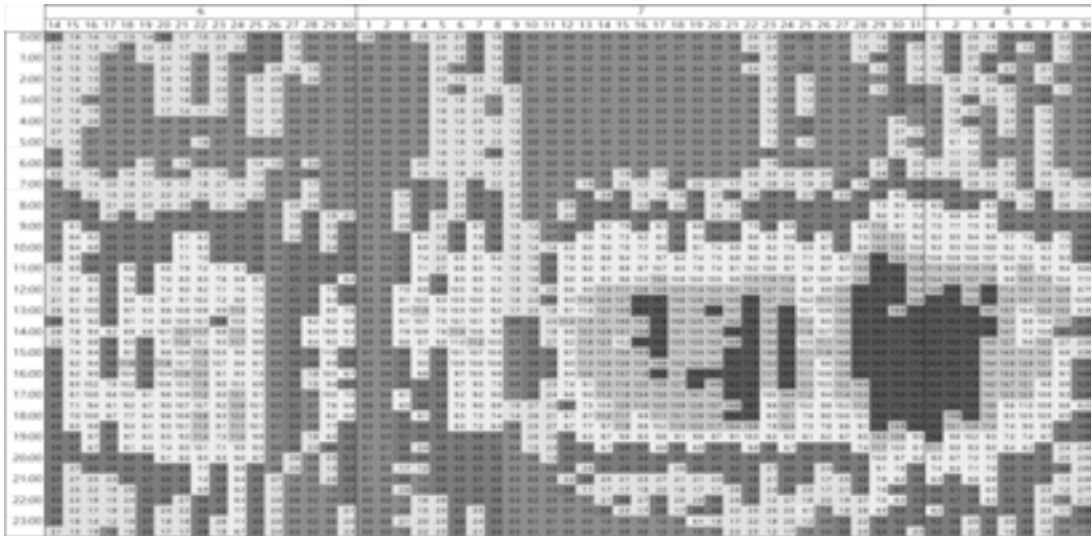
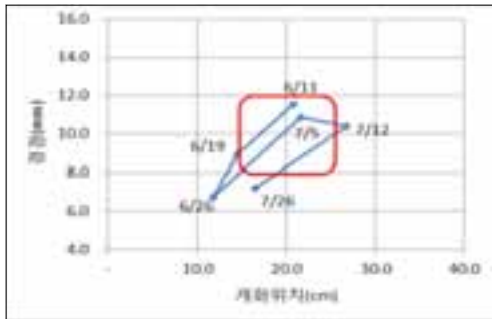
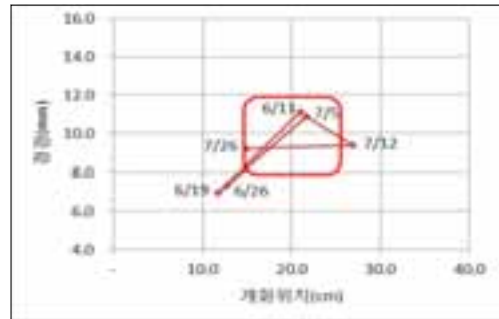


그림 26. 처리기간 중 온실 내 HD값 변화

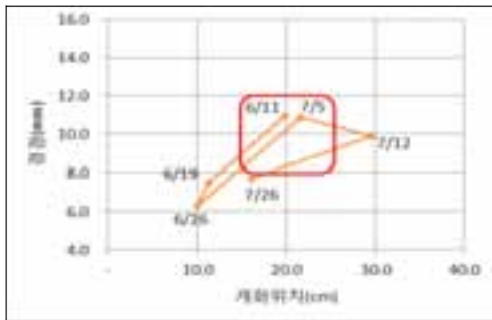
금액처리 전 광이 충분하지만 평균온도가 25℃ 이상 유지되어 생육상황은 경경이 가늘어지고 개회위치가 짧은 약한생식생장 상태로 치우치다가, 장마기 강우와 불규칙한 광조건으로 약한 약한영양생장-약한 생식생장으로 생장상이 변화하였다. 처리별로 보면 수분부족분에 비례하여 변량금액한 경우 생장상의 변화폭이 다른 처리에 비해 적었다. 그러나 수량 및 과실의 특성은 처리간 차이가 크지 않았다.



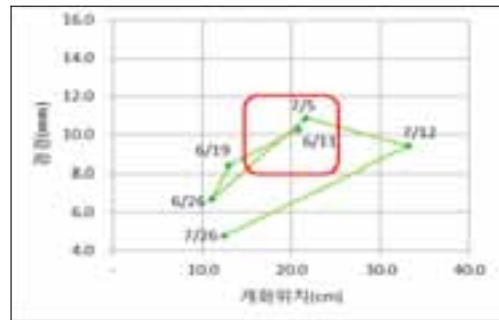
관행금액



HD비례



다량소회



소량다회

그림 27. 기간 별 경경 및 개화위치의 변화

표 20. 과실특성 및 수량 차이

구분	과고 (mm)	과폭 (mm)	총수량		상품		비상품	
			개수(개)	무게(g)	개수(개)	무게(g)	개수(개)	무게(g)
관행	60.2 ± 3.2	72.1 ± 5.7	20.5 ± 1.1	3,280 ± 187	20.3 ± 1.1	3,271 ± 186	0.2 ± 0.0	9.3 ± 2.0
HD비례	60.1 ± 2.7	72.0 ± 6.6	20.7 ± 0.9	3,364 ± 164	20.1 ± 0.9	3,319 ± 162	0.5 ± 0.1	45.7 ± 8.1
다량소화	59.8 ± 2.1	72.3 ± 6.0	19.7 ± 0.8	3,326 ± 144	19.5 ± 0.8	3,311 ± 145	0.3 ± 0.0	15.4 ± 2.2
소량다화	59.9 ± 4.6	72.3 ± 6.4	20.5 ± 1.1	3,455 ± 192	20.3 ± 1.1	3,440 ± 193	0.3 ± 0.0	15.0 ± 2.4

(시험 2) 고온기 근권 함수율 편차에 따른 작물 생육특성 구명

일중 배지 함수율 최저점과 최고점간의 차이를 함수율 편차라 하고 급액관리를 통한 생육상의 변화를 유도하기 위해 편차를 좁게 또는 넓게 급액하는 방법을 활용하고 있다. 첫 급액을 늦추고 마지막 급액을 앞당겨 함수율 편차는 크게 둘 수 있고, 반대로 첫급액을 앞당기고 마지막 급액을 늦추면 함수율 편차를 작게 할 수 있다.

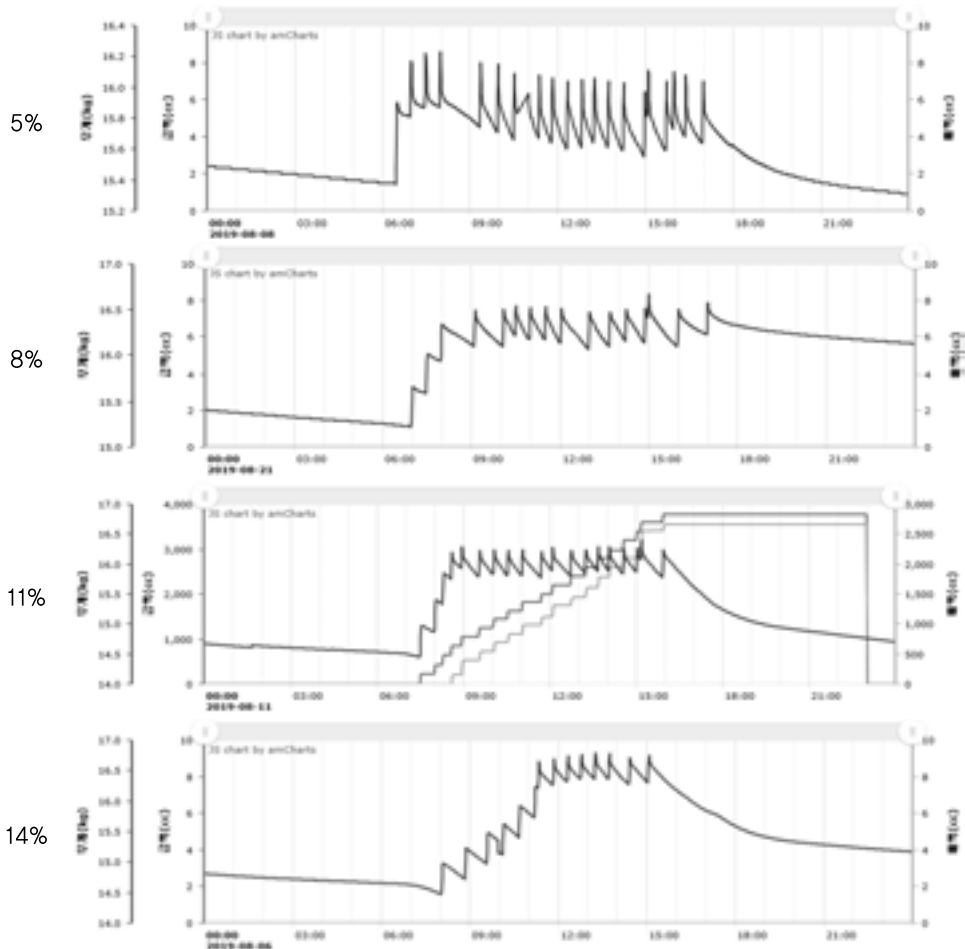


그림 28. 함수율 편차 처리에 따른 일간 급액관리 패턴

처리목표에 맞춰 급액 시작-종료시간을 설정하지만, 기상여건과 스크린 사용에 따라 충분한 증산이 이루어지지 않는 경우 목표하는 수준의 처리가 이루어지지 않고, 정상적인 패턴으로 복귀하는데 시간이 소요되므로 일정한 처리를 유지하기 까다롭다.

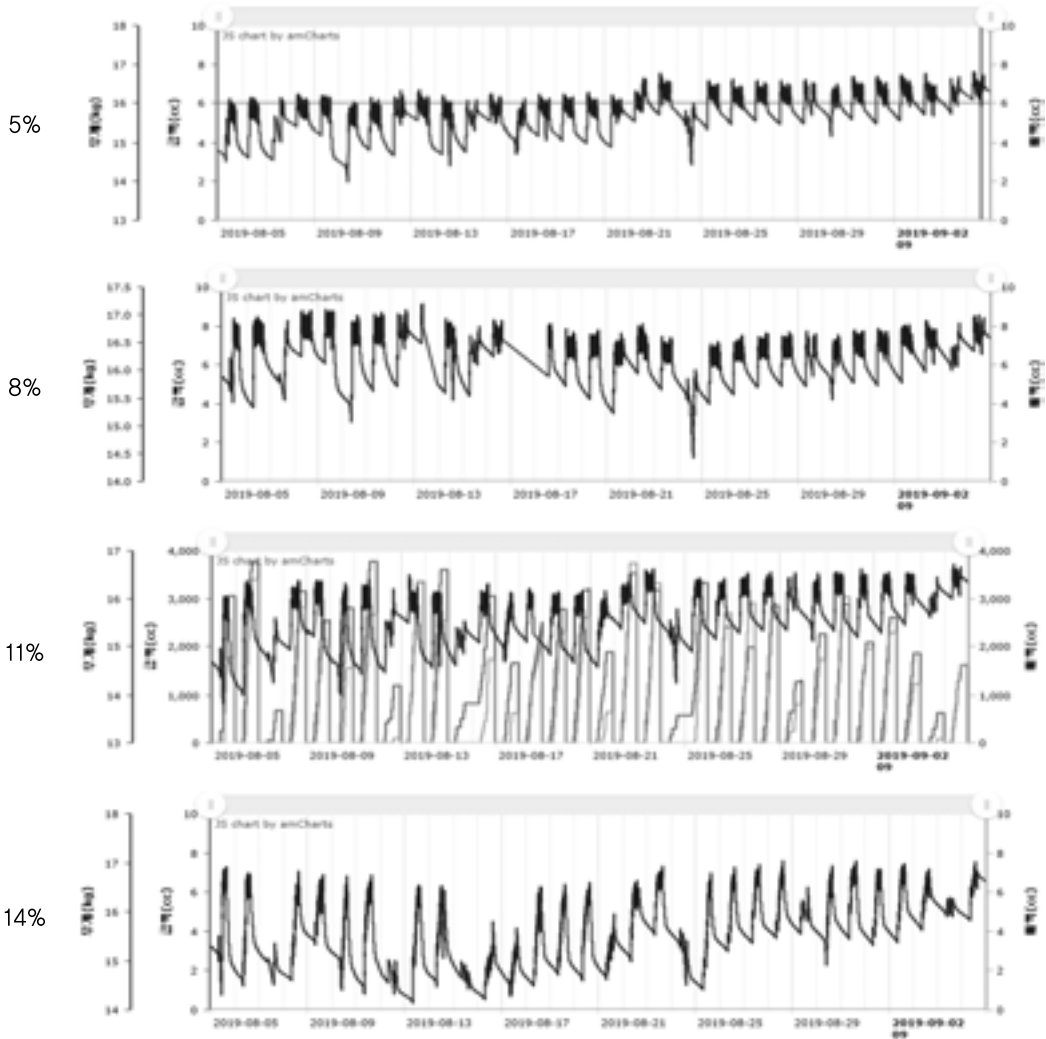


그림 29. 함수율 편차 처리에 따른 월간 급액관리 기록

함수율 편차에 따라 배지 내 뿌리의 발근형태가 다른 것을 확인할 수 있었으며 함수율 편차가 작은 5%, 8% 처리에서는 일평균 함수율 자체가 높아 근권의 분포가 배지 하단에 집중되어 있으나, 11% 처리의 경우 상대적으로 뿌리가 고르게 분포했다.

급액처리가 시작됨과 동시에 장마와 고온기가 이어졌다. 모든 처리구에서 극단적인 세력이 약해지고 화방을 건너뛰는 등 고온·약광 불규칙 환경에 의한 생리장해 증세를 보이다 8월 장마 이후 성장상은 회복되었지만 성장강도는 회복되지 않았다.



그림 30. 함수율편차 처리에 따른 근권 분포

### (시험 3) 과채류 동계육묘 보광기술 개발

인공조명의 종류에 따른 묘소질은 다른 광원에 비해 적색광과 근적외선의 비중이 높은 HPS 조명에서 초장, 엽수, 엽면적, 생체중 등 생육지표가 높은 것으로 조사되었다. QD LED 조명에서 엽록소가 가장 높았으며 초장은 작고 엽면적도 작게 유지되어 밀식된 육묘환경에 적합한 조명으로 판단되나 생체중과 묘의 충실도 면에서는 추가적인 검토가 필요하다.



QD LED(퀀텀닷LED)



MH(메탈할라이드램프)



HPS(고압나트륨램프)

그림 31. 육묘 중 인공조명 처리

표 21. 인공조명에 따른 품종별 생육특성

품종	처리	초장(cm)	엽수(매)	엽면적(cm <sup>2</sup> )	생체중(g)	엽록소(SPAD)
데프니스	HPS	30.9 ± 3.6	9.4 ± 0.6	339.4 ± 74.2	16.6 ± 3.2	27.2 ± 2.7
	MH	24.8 ± 3.9	8.4 ± 0.9	247.6 ± 55.1	12.8 ± 2.8	28.8 ± 2.1
	QD	23.0 ± 3.2	8.2 ± 1.0	243.5 ± 44.9	11.2 ± 1.9	34.1 ± 2.6
라피도	HPS	31.0 ± 4.0	9.1 ± 0.5	322.9 ± 53.1	17.9 ± 3.2	21.3 ± 2.7
	MH	25.6 ± 2.7	9.0 ± 0.6	239.5 ± 60.2	13.1 ± 3.3	26.2 ± 3.0
	QD	22.3 ± 4.4	7.9 ± 1.1	187.1 ± 70.6	9.9 ± 3.1	29.1 ± 2.2
244	HPS	20.7 ± 3.6	8.0 ± 1.2	201.7 ± 77.3	8.9 ± 3.6	20.6 ± 2.7
	MH	16.6 ± 3.2	8.2 ± 0.6	130.4 ± 49.4	6.4 ± 2.4	19.1 ± 0.9
	QD	18.5 ± 4.0	7.5 ± 0.5	117.5 ± 42.5	5.3 ± 1.9	23.0 ± 1.5
도태랑	HPS	36.1 ± 2.4	9.0 ± 0.7	281.7 ± 76.7	15.9 ± 3.2	21.3 ± 1.2
	MH	29.5 ± 3.1	9.4 ± 0.7	203.2 ± 49.0	14.5 ± 4.1	24.5 ± 1.2
	QD	28.5 ± 5.1	8.4 ± 0.7	194.3 ± 45.2	10.0 ± 2.1	29.4 ± 1.7

육묘기간 중 보광 강도 및 보광 시간에 따른 수량특성을 비교하기 위해 단동형 유리온실 상부에 250W 메탈할라이드 조명을 설치하였다. 조명의 밀도로 조정하여 보광강도를 각각 100 $\mu$ mol, 200 $\mu$ mol, 300 $\mu$ mol 수준으로 조사하였다. 그리고 200 $\mu$ mol 기준으로 각각 13시간, 1시간, 17시간 조사시간을 달리 하였다.

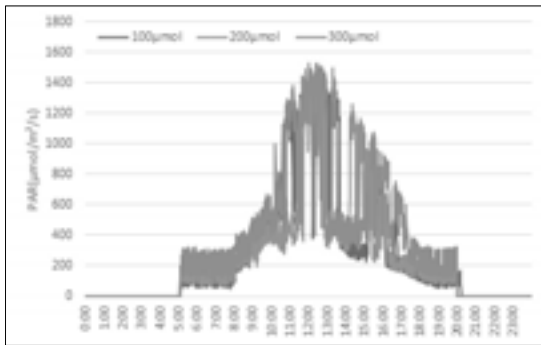


그림 32. 100~300 $\mu$ mol 보광 처리

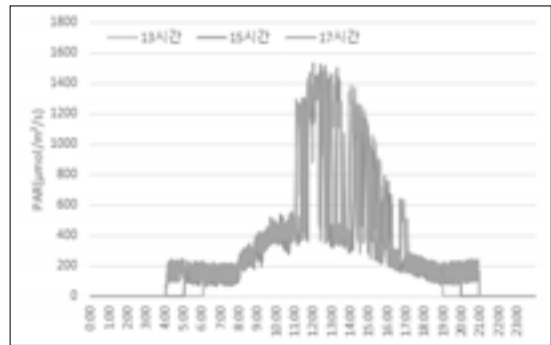
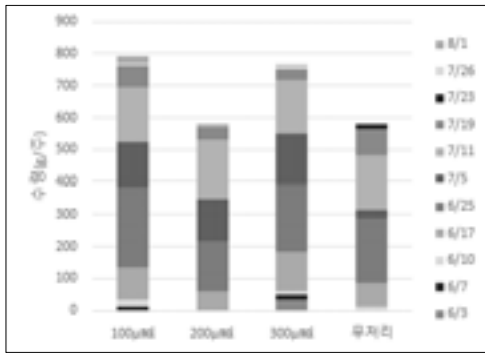
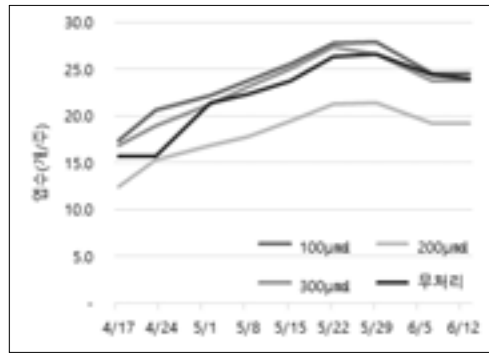


그림 33. 13~17시간 보광 처리

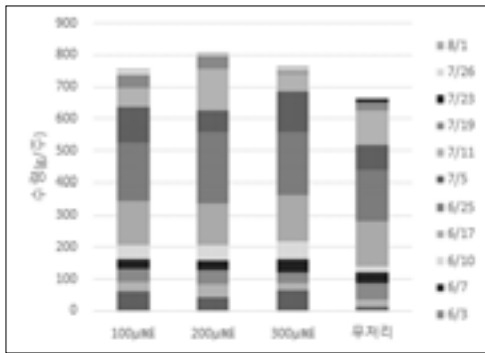
보광처리에 따라 전반적인 수량은 두 품종 모두 무처리에 비해 향상되었으며, ‘데프니스’ 품종에서 개선된 폭이 컸다. 하지만, 200 $\mu$ mol 처리에서는 무처리와 비슷한 수준을 나타냈는데, 이것은 생육 초기부터 엽수를 충분히 확보하지 못했기 때문으로 사료된다. 반면 100 $\mu$ mol, 300 $\mu$ mol 처리에서는 무처리에 비해 초기 엽수가 높았고, 첫수확 시기가 7일가량 빨랐다.



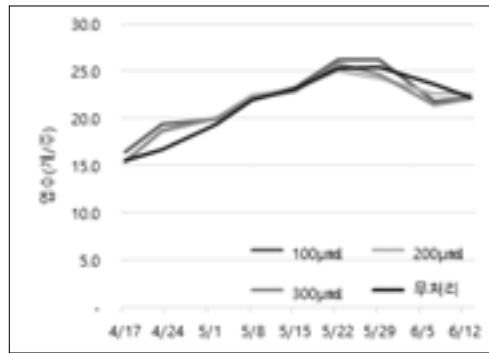
‘데프니스’ 총수량



‘데프니스’ 엽수



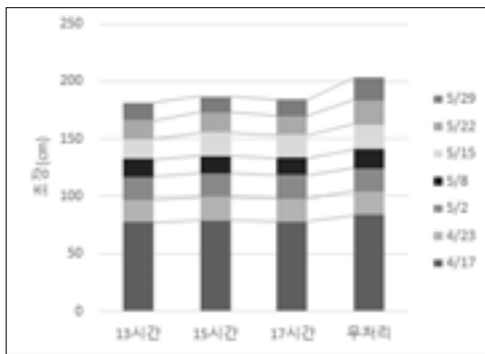
‘도태랑’ 총수량



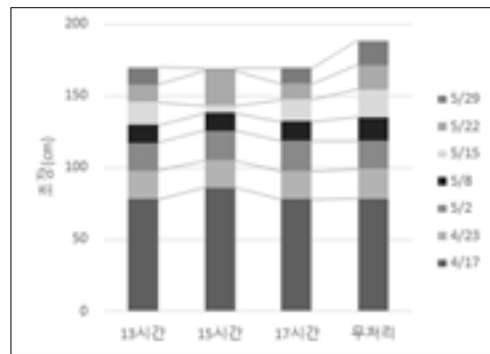
‘도태랑’ 엽수

그림 37. 품종별 광량에 따른 총수량

일장이 짧은 시기 보광 시간에 따른 토마토 생육 및 수량특성에 대해 조사하였다. 육묘기간 중 보광처리를 한 경우 초장은 처리수준과 관계없이 무처리 보다 짧았고, 수량은 보광시간이 길수록 높았지만 그 차이가 미미하였다. ‘데프니스’의 경우 보광 시간이 길수록 초기수량이 높았고, ‘도태랑’의 경우 총 수량은 보광 시간이 길수록 높았지만, 초기수량의 차이는 적은 것으로 보아 보광의 효과가 ‘데프니스’보다는 적은 것으로 판단된다.



‘데프니스’ 초장



‘도태랑’ 초장

그림 38. 품종별 보광 시간에 따른 생육 및 수량특성

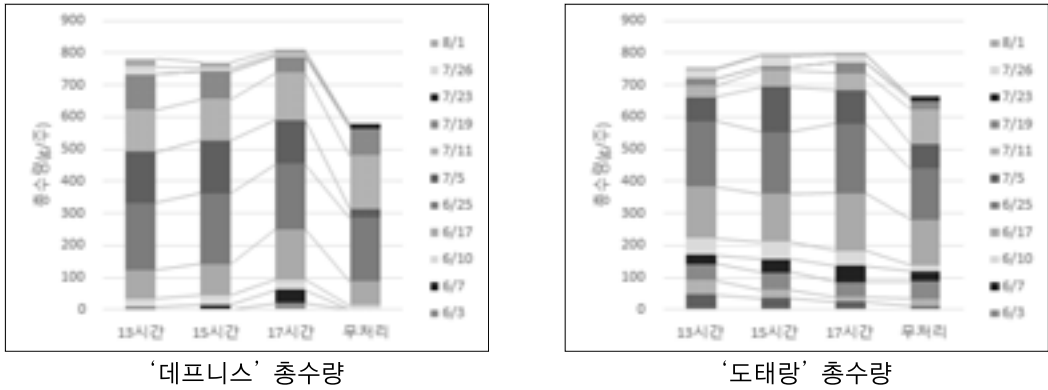


그림 38. 품종별 보광 시간에 따른 생육 및 수량특성

(시험 4) 토마토 육묘시 고농도 급액처리에 따른 생육특성 구명

육묘기간 고농도 급액처리에 따른 생육특성 및 묘 품질 개선정도를 비교하였다. 급액농도는 EC 2.0dS/m, 4.0dS/m, 6.0dS/m, 8.0dS/m, 10.0dS/m 5처리를 하였고, 급액처리에 따른 묘소질 및 생육특성과 수량을 비교하였다.

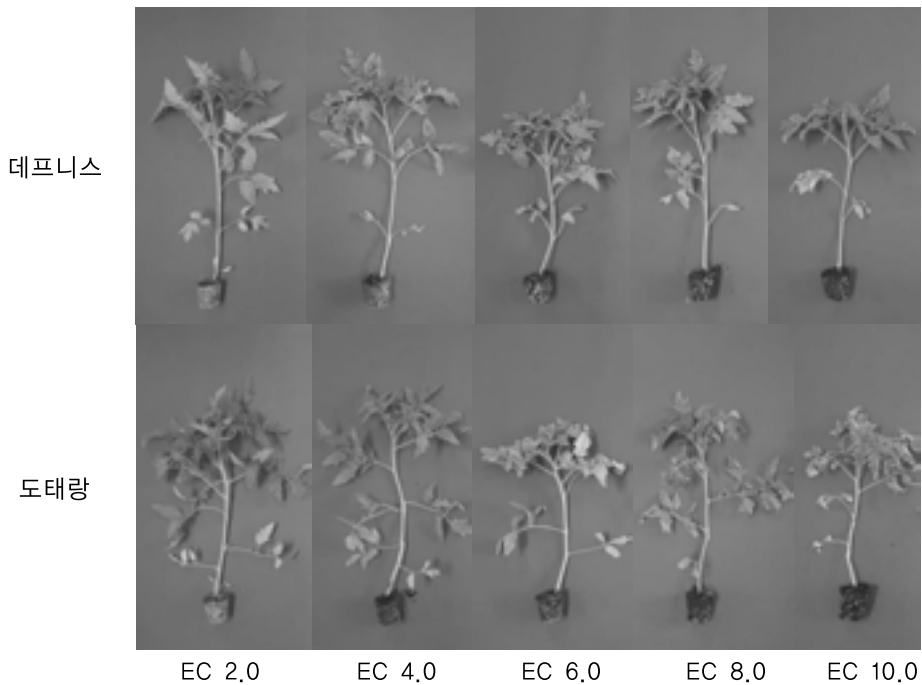


그림 39. 품종별 급액농도에 따른 묘소질 특성

육묘기간 밀도가 높은 재배조건에서 급액농도를 달리하여 처리한 결과 농도가 높을수록 초장, 생체중, 엽면적, 경경이 줄어드는 경향을 나타냈으며, 엽수는 큰 차이가 없었고, 꽃수는 작게나마 증가하는 추세로

나타났다. 묘소질에 있어서 EC 4.0~6.0ds/m 처리가 적절한 것으로 판단되었으며, EC 8.0ds/m 이상의 처리는 잎 끝이 타는 등 생리장해가 발생했고, EC 10.0ds/m 처리는 정식하기 부적합했다.

정식 이후 같은 방식으로 재배한 결과 급액농도가 높은 처리일수록 초장생장이 적었으며, EC 4.0ds/m 처리에서 총 수량이 가장 높았다. 묘소질을 개성하고 수량을 향상시키기 위해 육묘기간 EC 4.0ds/m 정도의 급액관리가 적합한 것으로 판단된다.

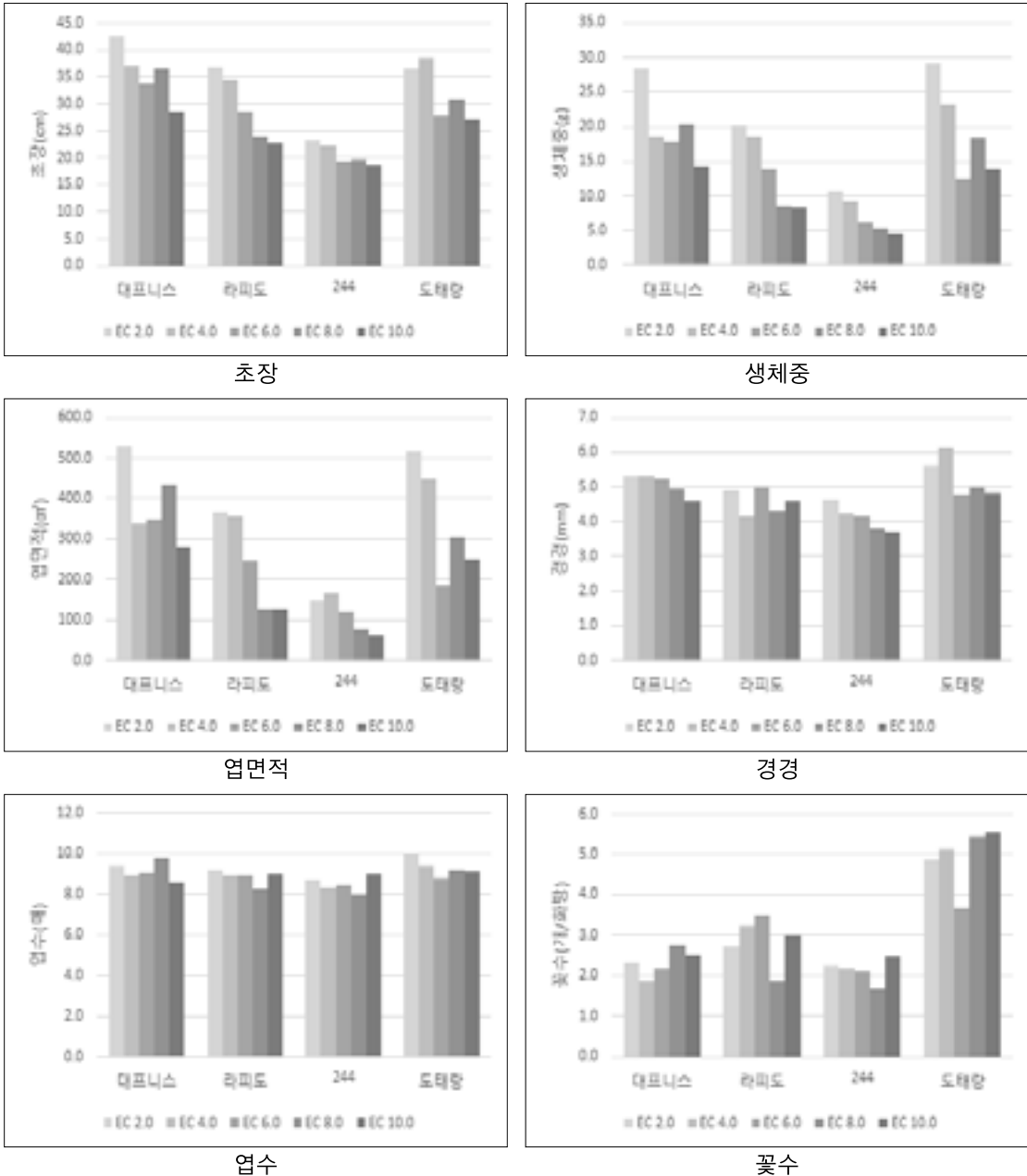


그림 40. 품종별 급액 EC에 따른 생육특성

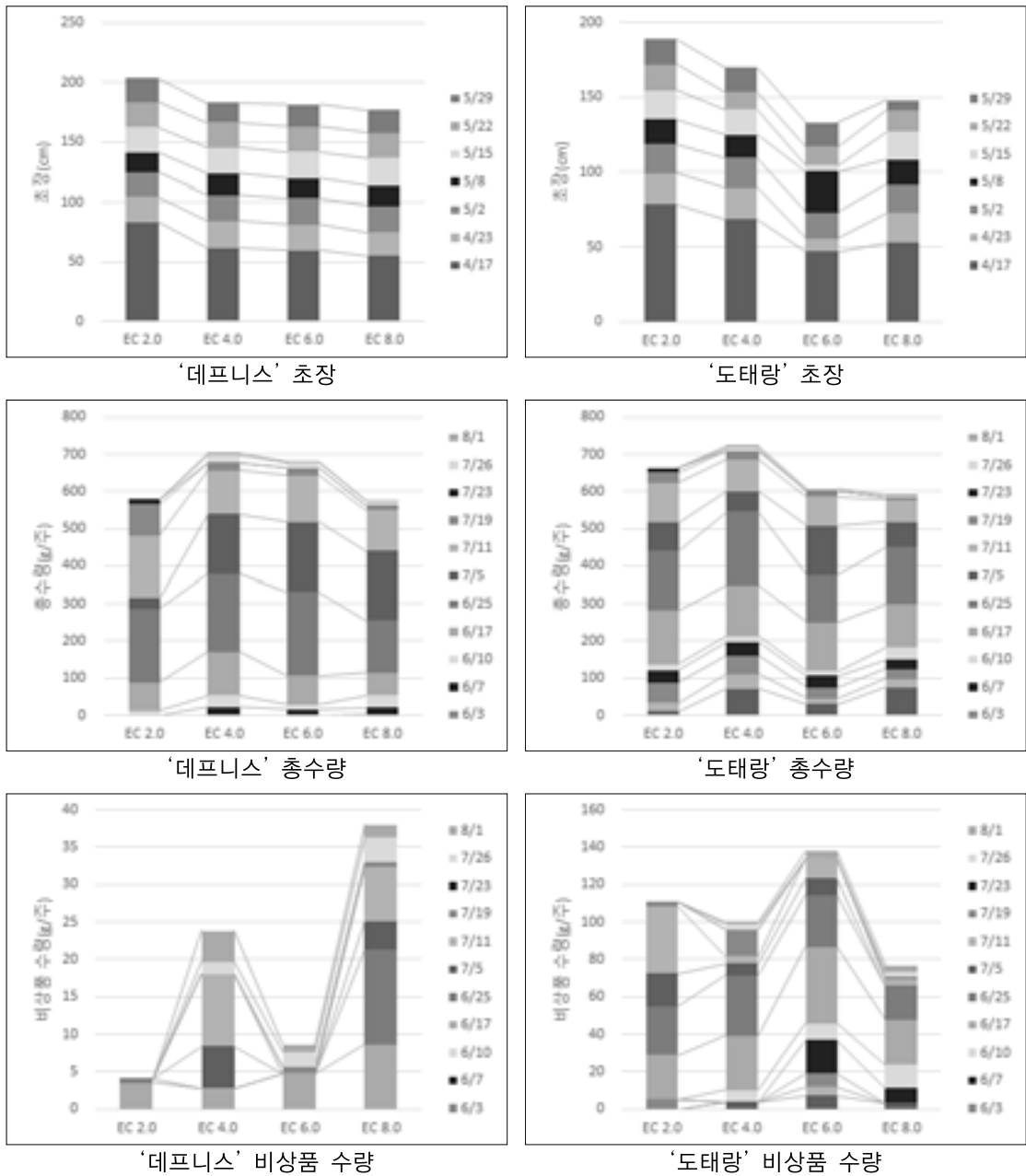


그림 41. 품종별 금액 EC에 따른 수량특성

(시험 5) 작물 결로 감지 및 경보시스템 개발('19)

외부기온이 낮아지고 일교차가 큰 시기에 일출 직후 온실 내부기온은 급격하게 상승하는 반면 큰 과실의 온도상승 속도는 기온에 비해 늦다. 작물이 기공을 열고 증산을 시작하면 온실 내의 절대습도가

높아져 이슬점도 함께 상승하게 된다. 이 때 환기·난방 등 적절한 환경제어가 이루어지지 않는다면 이슬점이 과실온도보다 높아져 과실에 결로가 발생하게 된다. PET 재질의 용기에 채워진 물의 양을 달리하여 온도변화 하는 속도를 비교해보면 물의 양이 많을수록 온도변화 속도가 느리다는 것을 확인할 수 있다.

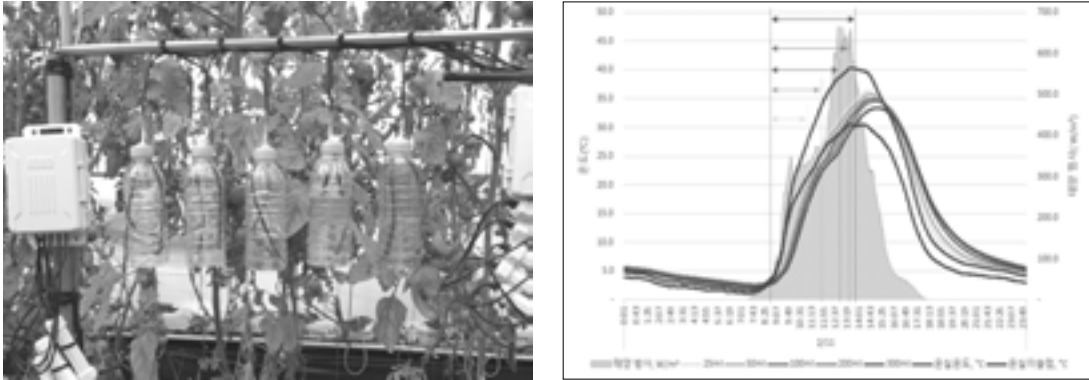


그림 42. 물의 양에 따른 온도변화와 결로 발생 시간

온도와 습도가 제어되는 식물공장에서 무게 150g 토마토 과실과 물 150ml가 들어있는 PET 용기의 온도변화를 비교하였다. 과실표면과 PET표면의 온도는 기온과 상관계수가 각각 0.9718, 0.9974로 1에 가까운 정비례 관계로 매우 유사하게 변화하였다. 이를 응용하면 모형과실을 이용한 연속적인 정보를 수집으로 과실의 표면온도를 추정하고 이슬점과 비교해 환경제어의 지표로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

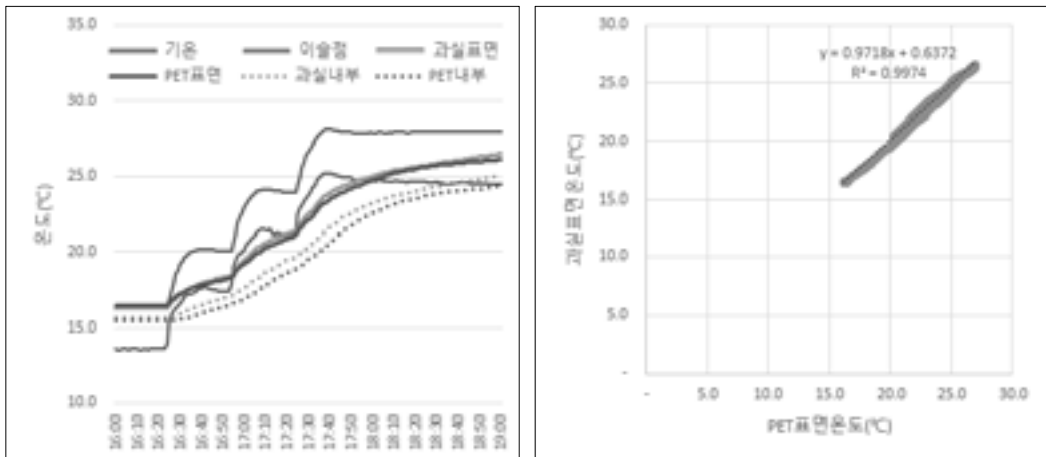


그림 43. 기온과 이슬점의 변화에 따른 과실온도 변화

과실 결로 모니터링 장치의 하드웨어는 통풍식 온·습도 센서 박스, 입출력보드, 터치패드 프로그램, 타워램프로 구성되어 실내 온·습도 측정해 이슬점을 계산하고, 모형과실센서 표면온도가 이슬점보다

낮을 경우 화면과 타워램프로 알람을 보내는 시스템을 수행한다. 시제품 2는 통풍식 온·습도 센서 박스와 입출력보드를 일체화 하여 부피를 줄이고 하드웨어비용을 낮추기 위해 터치스크린 대신 무선 네트워크를 이용해 모니터링과 알람이 가능하도록 개선하였다.



시제품 1



시제품 2



모바일 웹 구성

그림 44. 모니터링 장치 시제품 제작 및 모바일 웹 구성

### (시험 6) 작물 결로 예측 및 제어시스템 개발('20)

파프리카 등 다양한 시설과채류 작목에 모형과실을 이용한 표면온도 모니터링 시스템 적용하기 위해 작목별로 과실의 특성을 조사하고 온도변화를 비교하였다.

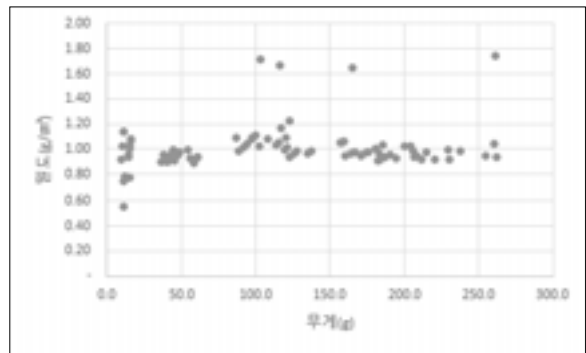
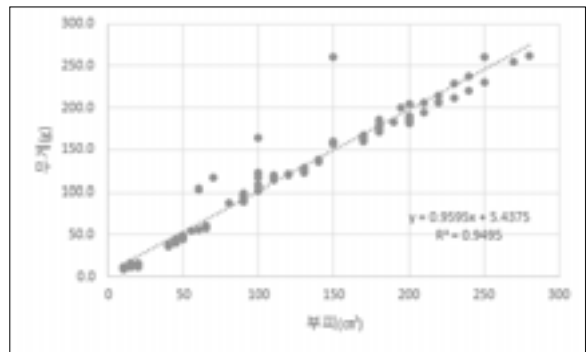


그림 45. 토마토 무게별 부피 및 밀도

토마토의 경우 과실의 성숙단계나 무게와 관계없이 밀도가 1kg/m<sup>3</sup>에 가까우나, 파프리카의 경우 작과기 밀도가 높고 비대기-성숙기 비중은 0.5kg/m<sup>3</sup> 정도로 낮았다. 속이 비어있는 파프리카 과실의 특성상 밀도의 차이가 발생 한 것이며, 과실의 온도변화에도 영향을 미친 것으로 판단된다.

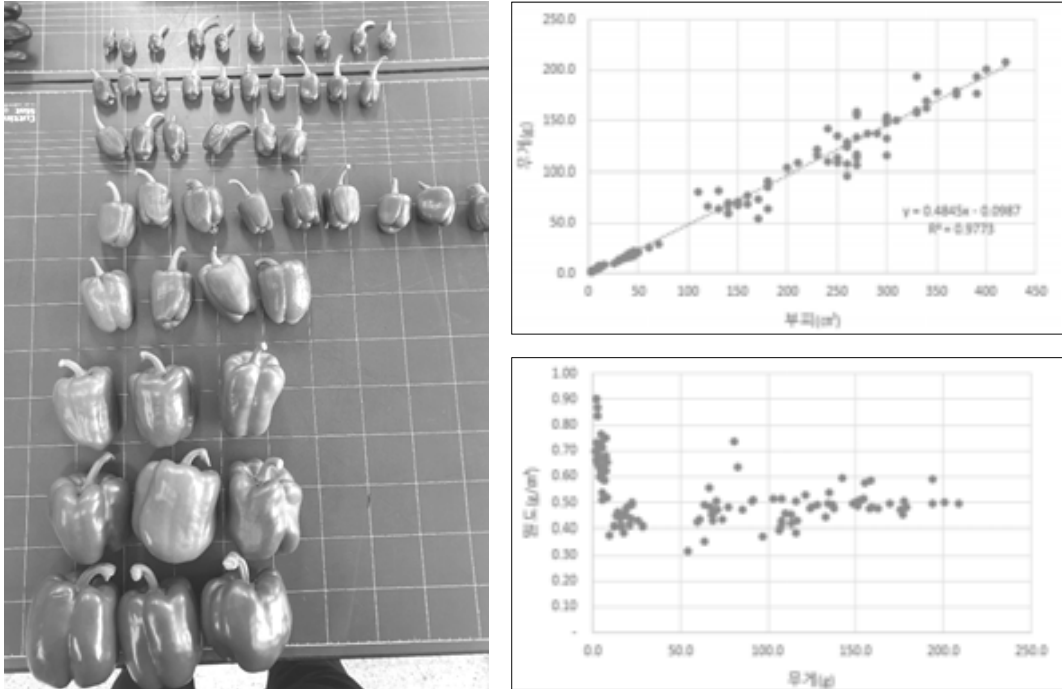


그림 46. 파프리카 무게별 부피 및 밀도

토마토와 파프리카 모두 무게가 무거울수록 온도변화가 늦었다. 크기가 작은 과실보다 큰 과실의 온도변화가 느린 경향은 토마토와 파프리카가 같았으나, 파프리카의 경우 150g~200g 내외 비대가 거의 완료된 과실의 온도변화 속도가 같은 것에 비해 토마토 150g, 200g 과실은 작지만 온도변화 속도에 차이가 있었다.

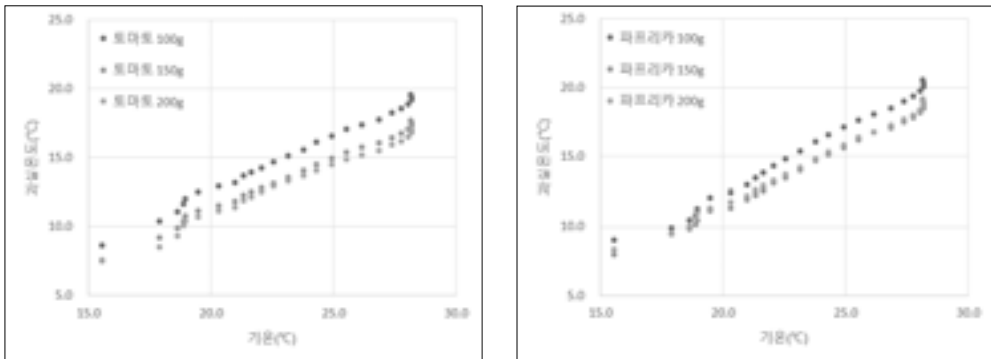


그림 47. 과종별 · 무게별 온도변화 특성

모형과실을 이용한 결로 발생 모니터링 및 제어시스템은 센서노드, 제어노드, 서버로 구성된다. 통풍식 건습구온도계와 모형과실의 표면온도를 수집하여 서버로 전송하고, 이슬점을 계산해 모형과실의 표면온도와 비교하여 피드백 한다. 적절한 환경제어 의사결정을 위해 외부기상정보도 같은 방식으로 수집하여 재배자가 구동기 가동여부 및 정도를 판단할 수 있도록 정보를 제공한다. 서버에서는 내부와 외부 센서노드에서 수집된 환경정보를 저장하고 연산하여 이슬점, 결로여부, 수분부족분 등 작물의 생육 및 환경관리지표를 실시간으로 사용자 인터페이스를 통해 제공한다.

표 22. 결로 예측 및 제어 시스템 구성

구분		내용	
센서노드	내부	구성	건구·습구온도(통풍식), 과실온도(박막 NTC+모형과실), 과실결로(Dew센서)
		방식	4가지 항목 매 1분마다 수집, 무선네트워크로 서버에 전송
	외부	구성	온도, 습도, 광량, 풍향, 풍속, 감우
		방식	6가지 항목 매 1분마다 수집, 무선네트워크로 서버에 전송, 데이터 저장
제어노드	구성	천창, 측창, 유동팬, 환풍기, 난방기 등 환경조절장치 구동기	
	방식	구동기는 컨트롤박스를 통해 개별 또는 통합적으로 제어	
서버	방식	클라우드형 서버 데이터 저장, 연산, 제어신호 송출 사용자용 웹 인터페이스 구축	



그림 48. 온실환경 및 과실온도 모니터링 대시보드

이슬점(TDew)과 모형과실표면온도(TFruit)를 활용해 단계별 경보(알람) 시 재배자 수동제어, 결로 지속시간 기록하고, 외부기상을 고려하여 단계별 설정에 따라 난방·천창·측창·유동팬 작동해 결로 발생 횟수와 지속시간 최소화 할 수 있다. 결로발생을 예측하고 경보의 기준은 모형과실표면온도

(TFruit)보다 이슬점(TDew)이 낮으면 결로가 발생한 상황이므로 경보알람을, 2℃이내의 차이가 있다면 주의알람을, 차이가 2℃ 이상은 양호한 상황이므로 별도의 알람 없이 작동여부를 피드백 한다. 모형과실 표면온도가 이슬점보다 높다 하더라도 결로센서를 통해 맺혀있는 결로의 지속여부를 별도로 알람 한다.

표 23. 과실온도와 이슬점의 차이에 따른 타워램프 작동 조건



구 분	조 건	비 고
경 보	$T_{\text{Fruit}} - T_{\text{Dew}} \leq 0$	온도 센서
주 의	$0 < T_{\text{Fruit}} - T_{\text{Dew}} < 2$	
양 호	$2 < T_{\text{Fruit}} - T_{\text{Dew}}$	
결 로	과실 표면 결로 시	결로 센서
작 동	On / Off	작동 여부

## 4 적 요

### 〈제1세부과제: 스마트 팜 기술적용 재배환경 개선〉

#### (시험 1) 온실 외부 피복재 종류별 시설 내 생육환경 분석

- 가. 피복재 시험기간 중 일평균온도 20~28℃, 누적일사량 1~10MJ/m<sup>2</sup>, 최대광량 100~300W/m<sup>2</sup>인 6.26~7.12 I 구간, 일평균온도 28~33℃, 누적일사량 20~25MJ/m<sup>2</sup>, 최대광량 600~1,000W/m<sup>2</sup>인 7.13~7.31 II구간, 일평균온도 10~18℃, 누적일사량 10~15MJ/m<sup>2</sup>, 최대광량 300~600W/m<sup>2</sup>인 9.25~10.10 III구간으로 나누어 필름에 따른 재배환경 변화 분석함
- 나. 메탈할라이드(250W) 광원을 기준으로 필름의 가시광선(400~700nm)투과특성을 비교해보면 일반 PE필름에 비해 열선차단필름과 산광필름의 가시광선 투과율은 각각 64.1%, 64.8%로 비슷하고, 표면온도 25℃와 50℃의 조광필름 투과율은 각각 70.8%, 67.4%로 온도가 높은 조광필름의 투과율이 낮아짐
- 다. 필름 특성에 따라 불투명도가 다르며, 특히 조광필름의 경우 필름의 표면온도가 높아질수록 불투명도가 증가함
- 라. 비교기간(I, II, III) 필름 종류에 따른 온실 내부 수분부족분 분포를 비교하면 I 구간 산광필름과 조광필름 처리구에서 HD 15 이하로 유지되었으며, 적정 수준인 HD 3~10 의 비율이 일반PE와 열선차단필름 처리구보다 높은 비율로 나타남
- 마. II, III구간에서는 필름 종류에 따른 수분부족분 분포 차이가 뚜렷하지 않음
- 바. 열화상 카메라를 이용한 지면온도 측정 시 일반필름, 열선차단필름, 조광필름, 산광필름 순으로 온도가 높았음

## (시험 2) 기능성 피복재 적용에 따른 재배환경 및 작물생육 모니터링

- 가. 봄, 여름, 가을 온실의 24시간 평균온도는 산광PO-조광PO-일반PE-열선차단PE 순으로 높음  
나. 온실 내부의 광량은 필름의 특성에 따라 계절별 차이가 있음
- 다. 외부기온에 따라 필름의 탁도가 변하는 조광 PO 필름의 경우 봄과 여름에는 일반 PE, 산광 PO 필름과 비슷한 투과율로 측정되었지만, 외부기온이 낮은 가을에 투과율이 높은 특성을 나타냄  
라. 산광필름은 일반PE필름보다 약 3배가량 고가이지만, 교체인건비 및 내구연한을 고려했을 때 감가상각비용은 큰 차이가 없음
- 마. 반촉성작형 첫 수확부터 5회 수확까지 초기수량은 일반PE 처리에 비해 산광PO, 조광PO 처리구에서 각각 66.2%, 36.6% 높았고, 총수량도 각각 4.0%, 4.8% 높음
- 바. 억제작형의 경우 9월까지의 수량은 처리간 차이가 거의 없으나, 광량과 온도가 낮아지는 10월 이후 24시간 평균온도가 높고, 광투과율이 높은 산광PO, 조광PO 처리구에서 총수량이 각각 12.8%, 11.9% 높음

## (시험 3) 여름재배 시설채소 산광필름 적용 효과 구명

- 가. H81은 H16에 비해 전반적인 투과율이 낮고, 특히 UV-A 투과율이 낮아 약광기 안토시아닌 발현에 불리하게 작용할 수 있을 것으로 판단됨
- 나. 광의 분포는 온실 중앙부 세 지점(B, C, D)의 편차는 H81 0.9, H37 1.9, H16 2.2로 산광율이 높을수록 균일함
- 다. 고온 강광기인 1차 재배기간 산광필름 처리구 H16, H37, H81의 평균기온은 각각 26.8℃, 26.9℃, 26.5℃로 처리간 차이가 0.4℃ 내외로 처리간 차이가 작지만 H37>H16>H81 순으로 높았다.
- 라. 1차 재배기간의 경우 처리별 평균적인 DLI는 32~35mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 이므로 차광이 필요한 수준으로 판단되며, 광투과율이 낮아 차광효과가 있었던 H81 처리에서 대부분의 품종이 높은 생체중을 나타냄
- 마. 2차 재배시기도 비슷한 고온조건이었으나, 불규칙한 일조시간 및 운량 증가에 따라 처리간 광량의 차이가 줄어들므로 발색의 차이도 줄어든 것이라고 판단됨
- 바. 엽록소의 함량은 1차와 2차 재배기간 모두 누적광량에 비례하여 SPAD 값이 높게 측정되었고 통계적 유의성이 인정됨
- 사. 스크린 등 환경조절을 위한 시설을 설치하고 운영하기 어려운 단동형 온실의 경우 산광율이 높은 기초피복재 교체를 통해 고온 강광기 재배환경 개선 효과가 있었으며, 일반 PO필름 대신 산광율 81% PO필름을 사용할 경우 1,594kg/10a의 수량증가와 5,262천 원/10a의 추가소득을 기대할 수 있음

## <제2세부과제: ICT 활용 환경제어 최적화를 위한 요인 구명>

### (시험 1) 고온기 누적일사량에 따른 관수 개시점 설정

- 가. 부피 12.5리터의 코코피트 배지에 줄기밀도 3.13주/m<sup>2</sup>으로 정식했으며, 1회 급액량은 주당 100ml를 기준으로 누적일사량 100J/cm<sup>2</sup> 마다 급액함

- 나. 수분부족분(Humidity deficit)은 0~1.1g/m<sup>3</sup>, 1.1~2.8g/m<sup>3</sup>, 2.8~6.0g/m<sup>3</sup>, 6.0~11.0g/m<sup>3</sup>, 11.0g/m<sup>3</sup> 이상 5단계로 구분하여 기준 급액량 100ml 대비 25%씩 가감하여 50~150ml를 급액함
- 다. 장마기간(6/26~7/11) 중 일 누적강수량이 10mm이상인 날은 7일 있었으며, 6월 26일부터 4가지 급액처리 적용함
- 라. 6/14~8/9 기간 동안 온실 내부의 수분부족분 변화를 30분 간격으로 나타내었으며, 수분부족분을 5단계로 구분하여 도표로 나타냄
- 마. 6/11~26 기간은 광량이 충분하고 일평균 온도가 생육에 적당하지만, 6~7화방 개화, 5~6화방 착과로 인한 착과부하가 커 세력이 약해지고, 생장상은 생식생장으로 치우치는 것으로 관찰됨
- 바. 장마기인 6/26~7/12 기간은 17일 중 13일 비가 와 광량이 부족하고 광합성 산물이 적지만, 과실을 수확하면서 세력이 호전됨
- 사. 장마 이후 25MJ/m<sup>2</sup>/day 내외의 강광과 고온이 지속되며, 별도의 가습장치 없이 최대의 환기량을 유지해 실내가 건조하게 되어 증산이 과다하고 호흡이 증가해 순동화량의 감소로 세력이 약화됨
- 아. 급액처리 전·후의 생체중, 건물중의 차이는 처리별 오차범위 내에서 큰 차이가 없으나, HD비레 처리에서 건물중이 다소 낮음
- 자. 관행처리와 HD비레처리에서는 배지의 상·하단 모두 뿌리가 고르게 분포했으나, 다량소회 및 소량다회 처리에서는 뿌리분포가 균일하지 못함

### (시험 2) 고온기 근권 함수율 편차에 따른 작물 생육특성 구명

- 가. 일 평균온도가 25℃ 이상 유지되는 7월 20일 이후부터 급액처리 함
- 나. 처리시작 20일 이후부터 낮은 함수율편차 처리구에서 총수량이 높아지는 차이를 나타내기 시작했으며, 수확 종료시점인 10월 22일 총수량은 5%, 8%, 11%, 14% 순으로 높았음
- 다. 함수율 편차 5%, 8% 처리구에서는 근권의 분포가 배지 아래쪽에만 세력이 약하게 매트를 형성하고 있으며, 11%, 14% 처리구에서는 뿌리의 세력이 상대적으로 강하며 넓게 분포하고 있음
- 라. 수세가 약하고 극단적인 생식생장에 치우친 작물에 높은 함수율을 유지하며 함수율 편차를 줄인 5% 처리구가 영양생장으로 유도되었고, 5% 처리구에서 생육상과 성장강도가 상대적으로 빠르게 안정화됨.
- 마. 9월 초 늦장마 시기 약광·다습한 조건에서 열과가 많이 발생함
- 바. 처리별 총수량과 상품율은 각각 5% 2,923.7g/주, 93%, 8% 2,671.6g/주, 95.7%, 11% 2641.7g/주, 92.6%, 14% 2494.4g/주, 94.4%로 조사됨

### (시험 3) 과채류 동계육묘 보광기술 개발

- 가. 인공조명의 종류에 따른 묘소질은 HPS 조명에서 초장, 엽수, 엽면적, 생체중이 큰 것으로 조사되었고, 경경은 큰 차이가 없었으며, 엽록소는 QD LED조명에서 가장 높게 조사됨
- 나. ‘데프니스’의 총수량은 100μmol, 300μmol, 200μmol 순으로 높았으며, 소과, 배꼽썩음과, 열과 등 비상품과 발생함
- 다. ‘도태랑’의 총수량은 200μmol, 300μmol, 100μmol 순으로 높았으며, 열과, 창문과, 배꼽썩음과 등 비상품과의 발생이 많았음.

라. 보광 시간에 따른 생육 및 수량특성은 ‘데프니스’와 ‘도태랑’ 비슷한 양상을 나타냈고, 보광 시간이 길수록 수량이 높았다.

#### (시험 4) 토마토 육묘시 고농도 급액처리에 따른 생육특성 구명

- 가. 고농도 육묘 시 급액농도가 높을수록 생육이 억제되어 초장, 생체중, 엽면적, 경경이 작아지는 경향을 보였고, 첫화방 꽃수는 처리농도가 높을수록 증가함
- 나. 급액농도가 높을수록 초장이 작았으며, 총수량은 EC 4.0 처리구에서 가장 높음
- 다. ‘데프니스’의 경우 EC 4.0, 8.0처리에서 기형과 발생이 많았고, ‘도태랑’은 전체 처리구에서 배꼽썩음과, 창문과, 열과 등 기형과 발생이 많았음

#### (시험 5) 작물 결로 감지 및 경보시스템 개발

- 가. 일중 온도변화가 큰 봄·가을 적정 재배환경 관리기준으로 결로의 발생여부에 대한 측정과 경보가 가능한 시스템 개발
- 나. 무게가 같은 과실과 물병의 내·외부에 온도센서를 설치해 온도변화를 비교한 결과 과실표면과 물병표면 온도변화 결정계수는 0.997로 과실표면의 온도변화 모니터링을 위해 물병표면의 측정값 활용 가능
- 다. 입력단자와 제어용 릴레이가 임베디드된 상용보드를 적용하여 부피를 줄이고, 터치스크린 대신 무선네트워크를 이용해 스마트폰을 통한 모니터링이 가능하므로 사용편의성 개선 및 하드웨어 비용 절감

#### (시험 6) 작물 결로 예측 및 제어시스템 개발

- 가. 과종과 과실 발육단계에 따라 토마토 1kg/m<sup>3</sup>, 파프리카 0.5kg/m<sup>3</sup> 내외로 과실의 밀도가 다름.
- 나. 과종별 과실 밀도 차이에 따라 온도변화속도 차이 발생함
- 다. 결로 발생 모니터링 시스템은 센서노드, 제어노드, 서버로 구성됨
- 라. 적정 재배환경 조절을 위해 구동기 제어 시 내부·외부 환경정보 모니터링 필요
- 마. 온실 내 이슬점의 변화와 모형과실 표면온도 변화를 모니터링하여 과실의 결로발생을 예측할 수 있고, 재배자에게 알람을 보내 결로 발생 전 적절한 환경조절이 가능함

## 5 인용문헌

- Aldaftari, H. A., Okajima, J., Komiya, A., & Maruyama, S. (2019). Radiative control through greenhouse covering materials using pigmented coatings. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 231, 29–36.
- Al-Mahdouri, A., Baneshi, M., Gonome, H., Okajima, J., & Maruyama, S. (2013). Evaluation of optical properties and thermal performances of different greenhouse covering materials. *Solar Energy*, 96, 21–32.

- Cha MK, Cho JH, Cho YY. (2013). Growth of Leaf Lettuce as Affected by Light Quality of LED in Closed-Type Plant Factory System. *Protected Horticulture and Plant Factory* 22(4), 2013.12, 291-297
- Choi CS, Lee JG, Jang YA, Lee SG, Oh SS, Lee HJ, Um YC.(2013). Effect of Artificial Light Sources on Growth and Quality Characteristics of Leaf Lettuce in Closed Plant Factory System. *Journal of Agriculture & Life Science* 47(6) pp.23-32
- Choi MK, Baek GY, Kwon SJ, Yoon YC, Kim HT. (2014). Effect of LED Light Wavelength on Lettuce Growth, Vitamin C and Anthocyanin Contents. *Protected Horticulture and Plant Factory* 23(1), 2014.3, 19-25
- Chun H, Yum SH, Yun NK, Lee SY, Kim HJ, Kang YI. (2004). Analysis of macro-environment in greenhouse covered with light diffusion woven film. *Horticulture and Plant Factory*, 2004.11, 110-115
- Dueck T, Janse J, Kempkes F, Li T, Elings A & Hemming S.(2012). Diffuse light in tomato. Wageningen UR, Projectnummer: 3242104711 | PT nummer: 14231
- Ghoulem, M., El Moueddeb, K., Nehdi, E., Boukhanouf, R., & Calautit, J. K. (2019). Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. *Biosystems Engineering*, 183, 121-150.
- Hemming, S., Swinkels, G. L. A. M., van Breugel, A. J., & Mohammadkhani, V. (2016, May). Evaluation of diffusing properties of greenhouse covering materials. In VIII International Symposium on Light in Horticulture 1134 (pp. 309-316).
- Hemming, S., Mohammadkhani, V., & Dueck, T. (2008, October). Diffuse greenhouse covering materials-material technology, measurements and evaluation of optical properties. In International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions 797 (pp. 469-475).
- Hemming, S., Kempkes, F., Van Der Braak, N., Dueck, T., & Marissen, N. (2006, April). Greenhouse cooling by NIR-reflection. In International Symposium on Greenhouse Cooling 719 (pp. 97-106).
- Hemming, S., Dueck, T., Janse, J., & van Noort, F. (2007, October). The effect of diffuse light on crops. In International Symposium on High Technology for Greenhouse System Management: Greensys2007 801 (pp. 1293-1300).
- Hemming, S., Mohammadkhani, V., & Van Ruijven, J. (2013, October). Material technology of diffuse greenhouse covering materials-influence on light transmission, light scattering and light spectrum. In International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant 1037 (pp. 883-895).
- Hemming, S., Kempkes, F., Van Der Braak, N., Dueck, T., & Marissen, N. (2006, April). Greenhouse cooling by NIR-reflection. In International Symposium on Greenhouse Cooling 719 (pp. 97-106).

- Heo, J.W., Y.B. Lee, D.B. Lee, and C.H. Chun. 2009. Light quality affects growth, net photosynthetic rate, and ethylene production of ageratum, african marigold, and salvia seedlings. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:187-193.
- Jung MJ, Cho HG, Kim YJ. (2000). Changes in photosynthetic effective radiation according to cloud cover. *Korean Meteorological Society*, 2004.4, 165-167.
- Kempkes, F. L. K., Stanghellini, C., García Victoria, N., & Bruins, M. (2011, June). Effect of diffuse glass on climate and plant environment: first results from an experiment on roses. In *International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys2011* 952 (pp. 255-262).
- Kang WH, Zhang F, Lee JW, & Son JE. (2016). Improvement of Canopy Light Distribution, Photosynthesis, and Growth of Lettuce (*Lactuca Sativa L.*) in Plant Factory Conditions by Using Filters to Diffuse Light from LEDs, *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 34(1):84-93, 2016
- Kim HC, Jung SG, Lee JH, Bae JH. (2009). Effects of Greenhouse Covering Material on Environment Factors and Fruit Yield in Protected Cultivation of Sweet Pepper. *Journal of Bio-Environment Control* 18(3), 2009.9, 253-257
- Li, T., Heuvelink, E., Dueck, T. A., Janse, J., Gort, G., & Marcelis, L. F. M. (2014). Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. *Annals of botany*, 114(1), 145-156.
- Li, Q., & Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 59-64.
- Lee HW, Lee SG, Lee JW, Jin LS. (2001). Control of Photosynthetic Photon Flux by the Shading Screen. *Journal of Bio-Environment Control*, 10(2), 35-39.
- Lee SG, Lee JW, Lee HW, Li ZH. (1998). The effect of shding on the inside themperature of greenhouse. *Horticulture and Plant Factory*, Vol.7(1), 1998.5, 33-38
- MAFRA. 2019 Facility Vegetable greenhouse status and vegetable production results. (2020).
- Moon JP, Park SH, Kim JG, Lee JH, Kang YK, Lim MY, & Kim HM. (2020). Yield Increase and Energy Saving Effect on Plastic Greenhouse Covered with Polyolefin Film. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 29(4), 428-439.
- Riga P, Benedicto L. (2017). Effects of light-diffusing plastic film on lettuce production and quality attributes. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(1), e0801, 11p
- RDA. (2018) *Agricultural Technology Guide "Lettuce"*. 2018
- Riga P, Benedicto L, Gil-Izquierdo A, Collado-González J, Ferreres F, Medina S, (2018). Diffuse light affects the contents of vitamin C, phenolic compounds and free amino acids in lettuce plants. *Food Chemistry* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.051>
- Sultana, P. R., & Benedicto, L. (2017). Effects of light-diffusing plastic film on lettuce production and quality attributes. *Spanish journal of agricultural research*, 15(1), 23.
- Shin YS, Lee JE, Do HW, Chun H, Chung DS. (2018). Changes in Air Temperature of Plastic House as Affected by Light Control Film and Their Impacts on Korean Melon Yield. *Horticulture and Plant Factory*, Vol. 27, No. 1:80-85, January (2018)

## 6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2019(2년)	영농기술	춘천지역 토마토 반축성-억제작형 기능성 피복재 이용 효과
	학술발표	비닐하우스 피복재 종류에 따른 반축성 재배 토마토의 생육특성 및 환경 조건
2020(3년)	특허출원	결로현상을 방지할 수 있는 스마트 팜 시스템(10-2020-0183119)
	영농기술	고온·강광기 상추 재배 시 산광 PO필름 적용 효과
	학술발표	농업용 피복재 산광율에 따른 재배환경 및 상추 생육특성 비교

성과지표명		연 도		1년차(2018)		2년차(2019)		3년차(2020)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적		
특허	출원	-	-	-	-	1	1	1	1		
	등록	-	-	-	-	-	-	-	-		
학술 발표	국제	-	-	-	-	-	-	-	-		
	국내	1	0	1	1	1	1	3	2		
영농 활용	기술	-	-	1	1	1	1	2	2		
	정보	-	-	-	-	-	-	-	-		
기술이전		-	-	-	-	1	0	1	0		
계		1	0	2	2	4	3	7	5		

## 7 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도		
					'18	'19	'20
과제책임자	원예연구과	농업연구관	이원경	과제 총괄	○	○	○
1세부책임자	원예연구과	농업연구사	이원경	세부주관 수행	○	○	○
공동연구자	원예연구과	농업연구사	전신재	시험수행 및 평가	○	○	○
	원예연구과	농업연구사	김경원	현장조사 지원	○	○	○
	원예연구과	농업연구사	이재희	현장조사 지원	○	○	-
	원예연구과	공업서기	박기진	현장조사 지원	○	○	○
	원예연구과	농업연구관	김기선	평가분석 지원	○	-	-
	원예연구과	농업연구관	엄남용	평가분석 지원	-	○	-
	원예연구과	농업연구관	권혜정	평가분석 지원	-	-	○
	원예연구과	농업연구관	임상현	평가분석 지원	○	○	-
원예연구과	농업연구관	원재희	평가분석 지원	-	-	○	

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도		
					'18	'19	'20
2세부책임자	원예연구과	농업연구사	이원경	세부주관 수행	-	○	○
공동연구자	원예연구과	농업연구사	전신재	시험수행 및 평가	-	○	○
	원예연구과	농업연구사	김경원	현장조사 지원	-	○	○
	원예연구과	농업연구사	이재희	현장조사 지원	-	○	-
	원예연구과	공업서기	박기진	현장조사 지원	-	○	○
	원예연구과	농업연구관	엄남용	평가분석 지원	-	○	-
	원예연구과	농업연구관	권혜정	평가분석 지원	-	-	○
	원예연구과	농업연구관	임상현	평가분석 지원	-	○	-
	원예연구과	농업연구관	원재희	평가분석 지원	-	-	○