

819010-2

과
채
류

재
배
에

최
적
화
된

하
이
브
리
드

보
광
등

개
발

2021

농
림
축
산
식
품
부

농
림
식
품
기
술
기
획
평
가
원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
농식품연구성과후속지원 사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003598-01

과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발

2021.07.12

주관연구기관 / 농업회사법인 늘품
협동연구기관 / 한국산업기술대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발”(개발기간 : 2019.05.10 ~ 2021.01.09)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.07.12

주관연구기관명 : 농업회사법인 늘품 (대표자) 김 지 하



협동연구기관명 : 한국산업기술대학교 산학협력단 (대표자) 안 동 희



주관연구기관책임자: 서 원 상



협동연구기관책임자: 오 재 곤



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

사업명	농식품연구성과후속지원			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		819010-2
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0203	%	ED0105	%	%
	농림식품 과학기술분류	AA0203	%	AA0204	%	RC0102
총괄연구개발명 (해당 시 작성)						
연구개발과제명 과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발						
전체 연구개발기간 2019. 05. 10 - 2021. 01. 09 (1년 9개월)						
총 연구개발비 총 219,000 천원 (정부지원연구개발비: 175,000천원, 기관부담연구개발비: 44,000천원, 지방자치단체: 0천원, 그 외 지원금: 0천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점기준() 종료시점목표()
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표			<ul style="list-style-type: none"> - 과채류 재배용 하이브리드(HPS + LED 광원) 보광등 개발 - 광량의 제어 및 조절이 용이한 전자식 안정기 개발 - 일조량이 부족한 시기에도 작물 생육이 가능해 생산량 증대 가능한 환경 구축 - 광량 부족으로 인해 발생하는 수확량 감소, 휘어진 오이, 착색불량 등을 저감하는 환경 구축 - 시장에 작물을 안정적인 공급이 가능한 작물 맞춤형 보광환경 및 시설 구축 		
	전체 내용			<p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과채류에 적합한 하이브리드 보광등 개발로 지속적으로 작물생육이 가능한 환경 구축 가능성 확인 - 광대역 스펙트럼과 충분한 광량 조사가 가능한 고효율 하이브리드 보광등 개발 - 식물 광합성의 필수 영역인 440nm와 660nm를 만족시키는 하이브리드 보광등 개발 - Double ended형 600watts급 고압나트륨램프와 450nm 및 660nm LED광원 제어기 개발 - 광량 부족에 의한 생리장애(휘어진 오이, 착색불량 등)저감 및 스마트팜과 보광등으로 발생하는 '그립자 발생 모순'의 최소화 환경 실현 		

		<ul style="list-style-type: none"> - 지속적인 작물 생육이 가능한 PPFD 190$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 이상 보광환경 실현 : 제품 시험결과 - 고효율 하이브리드 보광 시스템 적용으로 긴 장마에도 불구하고 생산량 21.5% 증대 : 실증테스트 진행 결과 <p>○ 연구성과 실적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 하이브리드 보광등 실증 테스트 환경 구축 - 하이브리드 보광등 시제품 개발 완료 - 스마트팜 상황에 따라 맞춤형으로 설계 가능한 고효율 하이브리드 보광등 개발 - 특허 출원 1건 (10-2020-0147062, 식물 성장용 수직형 스마트 광원 시스템 및 식물 생육 방법) - 농림축산식품부장관상 대상 수상 (2020.12.09, 스마트농업 빅데이터 활용 우수사례 공모전) - 국회도서관 해커톤대회 금상 수상 (2019.12.12, 파스-타 기반 서비스 개발 및 아이디어 공모전) 				
	1단계 (해당 시 작성)	<table border="1"> <tr> <td>목표</td> <td></td> </tr> <tr> <td>내용</td> <td></td> </tr> </table>	목표		내용	
목표						
내용						
	n단계 (해당 시 작성)	<table border="1"> <tr> <td>목표</td> <td></td> </tr> <tr> <td>내용</td> <td></td> </tr> </table>	목표		내용	
목표						
내용						

연구개발성과	<p>본 연구는 스마트팜 환경에 적용이 용이하고 과채류 재배 생산성이 향상된 하이브리드 보광등 시스템을 개발하고자 수행되었고, 개발된 결과를 실제 운영하고 있는 오이 스마트팜에 설치하여 실증 실험을 병행함으로써 그 우수성 및 실용성을 확인하였으며, 타 농가에 확산 적용을 위한 노력을 경주하였다.</p> <p>○ 작물생육에 양호한 광대역 스펙트럼 구현</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고효율 경량화 전자식 HPS 등기구 개발 및 필수 광합성 파장대인 Blue 450nm, Red 660nm의 광원을 LED를 이용하여 공급 - Double ended형 600w급 HPS와 450nm 및 660nm LED광원 제어기 개발 <p>○ 날씨와 무관하게 작물 생육이 가능한 PPFD 190$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 이상의 보광환경 실현</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구과제 목표로 설정한 PPFD 값을 만족하는 하이브리드 보광등 개발 <p>○ 실증실험을 위한 테스트베드 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시설면적 19,925m²(약 6,000평) 중에서 648m²(약 200평)의 테스트베드 공간 구축 - 기존 100kW 저압 3상에서 실증을 위해 600kW 고압 3상으로 수전공사 실행 <p>○ 하이브리드 보광등 시스템 적용으로 인한 생산량 증대 확인</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미이라과 발생 비율 감소로 생산량 증가 - 휘어진 오이 발생과 오이 착색불량 비율 감소
--------	---

	<ul style="list-style-type: none"> - 실증실험을 통해 약 20% 생산량 증가 확인 ○ 스마트팜 운영상황에 따른 광원 조사 기술을 구현 <ul style="list-style-type: none"> - 작물 생육 단계 : 육묘기, 생육초기, 생육중기 등에 따른 선택적 광원조사 가능 - 스마트팜 환경제어 프로그램 제어 : 스크린 제어상태에 따른 선택적 광원조사 가능 - 기상상황으로 인한 광부족시 선택적 광원조사 가능 ○ 선택적 광원 조사 구현을 통해 전력에너지 절감 효과 실현 <ul style="list-style-type: none"> - 고효율 저전력 LED inter-lighting 활용 ○ 다양한 설치 및 적용 경험에 의한 운영 Know-How 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 실제 적용을 통한 누적된 경험으로 농장 상황에 따른 맞춤형 컨설팅이 가능 ○ 기타 성과 <ul style="list-style-type: none"> - 과채류에 적합한 하이브리드 보광등 개발로 지속적으로 작물생육이 가능한 환경구축 - 특허 출원 1건 (10-2020-0147062, 식물 성장용 수직형 스마트 광원 시스템 및 식물 생육 방법) - 농림축산식품부장관상 대상 수상 (2020.12.09, 스마트농업 빅데이터 활용 우수사례 공모전) - 국회도서관 해커톤대회 금상 수상 (2019.12.12, 파스-타 기반 서비스 개발 및 아이디어 공모전)
--	---

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 개발된 하이브리드 보광등을 당사의 제2농장과 협력농장에 우선적으로 적용 - 하이브리드 보광등 테스트 공간과 결과를 통해 스마트팜 운영 농장주들에게 홍보하고 각 농장경영 상황에 적합한 보광등 도입 계획을 수립하여 계약하여 공급 - 국내 스마트팜에 확산 적용을 위해 스마트팜 시공사들과 업무협약을 체결 - 향후 수출을 위해 유럽협력사들과 협력하여 수출 노력을 경주 - 스마트팜 농가 : 수익 증대, 고용 증가, 새로운 재배 기술 적용가능 - 보광등 개발 업체 : 조명시장 차별화, 농업시장 개척, 글로벌 시장 진출, 기업성장, 고용 증가 - 유통업체 : 고품질 농산물 유통, 서비스 질 향상, 경영예측가능, 고용증가 - 최종 소비자 : 고품질농산물 구매, 안전한 먹거리, 농산물 신뢰도 증가, 소비 증가
---------------------	--

연구개발성과의 비공개여부 및 사유	
--------------------	--

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화학물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			

국문핵심어 (5개 이내)	오이	유리온실	인공광원	작물 재배등	스마트팜			
영문핵심어 (5개 이내)	cucumber	greenhouse	artificial light	growing light	smartfarm			

〈 목 차 〉

1장. 연구개발과제의 개요	3
1절. 연구개발의 필요성	3
1. 기후환경 변화에 자유로운 작물생육 환경구축 필요	3
2. 농가인구 감소 및 노령화 대비 스마트팜 영농기술 확대 필요	5
3. 스마트팜 시스템상의 광 부족 현상 해소 필요	5
2절. 연구개발의 목표	11
1. 하이브리드 보광등 개발	11
2. 보광등 개발 목표 광량	12
3. 실증실험 진행	13
3절. 개발기술의 범위 및 목표 설정의 배경	13
1. 광 스펙트럼 설정 및 PPF(광합성 광자에너지 밀도)	13
2. 광원별 파장 특성과 PAR에너지 관계	14
3. 광원별 광파장 특성과 발광효율 측정	15
2장. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	17
1절. 하이브리드 보광등의 개발	17
1. 하이브리드 보광등의 광원특성	17
2. HPS 램프 원리 및 구조	18
3. 전자식 안정기의 구성	19
4. HPS 안정기 구성 회로의 기능	19
5. LED Lighting 모듈	23
6. LED 구성 및 유닛	24
2절. 하이브리드 보광등 제작과 파장 특성의 측정	29
1. 하이브리드 보광등 제작	29
2. 복합 광원의 파장 특성	30
3절. 테스트베드 구성 및 시험 결과	32
1. 목표	32
2. 시험 계획 및 구성	33

4절. 실증실험	37
1. 실증실험 준비과정	37
2. 실증실험 일정 및 요약	40
3. 효율적인 하이브리드 보광등 운영 방법	41
4. 실증실험 결과	44
3장. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	51
4장. 목표 미달 시 원인분석	66
5장. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	68
6장. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	68

1장. 연구개발과제의 개요

1절. 연구개발의 필요성

국가 혁신성장 8대 선도과제중 하나인 스마트팜 산업의 활성화를 위한 다양한 프로그램이 진행되는 가운데 그림 1과 같이 농작물 생산 기술 분야에 있어서 생장환경 제어기술은 작물의 생산성과 경제성과 직결되는 요소로써 식물생장에 필수적인 인위적 광합성(photosynthesis) 조작기술이 중요부분을 차지한다고 볼 수 있다. 이것은 생장 환경 중 일사 에너지와 습도를 포함하는 기후 부분, 이산화탄소(CO2) 그리고 수분과 양분의 조절부분인데 이것들은 서로 유기적인 관계에 있지만 본 연구 개발에서는 식물성장용 광원을 효과적으로 설정하기 위한 광 특성을 분석하고 광원을 제작하며 그 효과를 평가함에 있다.

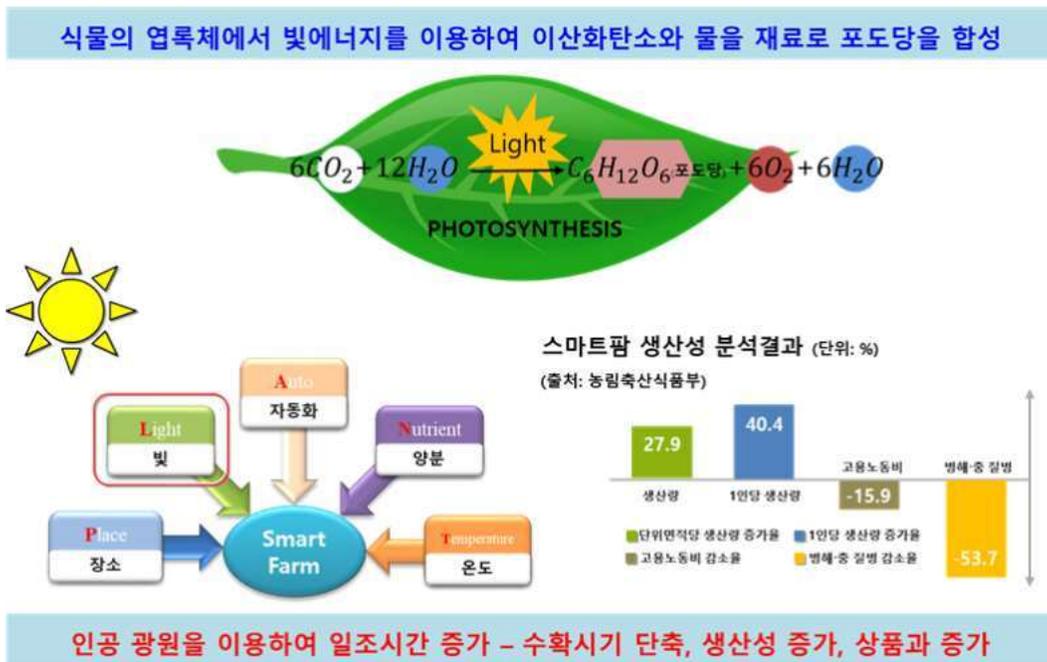


그림 1. 스마트팜 생산성 증대를 위한 인공 광원의 중요성

1. 기후환경 변화에 자유로운 작물생육 환경구축 필요

우리나라 농업환경에서 기후환경은 스마트팜 산업추진 필요성에 가장 큰 근거가 된다. 대표적으로 남한의 위도 중위지역인 청주 지방은 북위 36.99도 동경 127.92도로써 이에 따른 식물 생장기의 구분은 그림2와 같다. 이것은 태양의 고도와 일사시간의 변화에 따라서 일어 날 수 있는 필연적인 기후의 결과이다. 그림 2와 그림 3은 기상청 자료를 기반으로 작성 된 것으로서 노지 영농을 할 수 있는 충분조건을 갖춘 기간은 4월 중순부터 10월 중순 까지 12달 중에서 6개월 정도이고 연중 맑은 날은 40%에 태양복사에너지는 5.7kwh ~ 6.5kwh에 분포한다. 이는 낮 시간인 12시 ~ 14시 40분에 분포함으로써 이때가 식물성장의 최대 성장기를 이루고, 이 외의 기간에는 현저한 성장 감소로 노지 영농은 생산성을 기대

하기 어렵다. 스마트팜이 주목 받는 이유로는 이러한 우리나라의 기후에 따른 영농 기후영향에서 벗어나서 자유롭게 영농을 할 수 있다는 점이며, 또한 농작물 시장에서 출하시기에 따른 가격 조정과 물량조절을 자유롭게 설정 할 수 있다는 점이다.

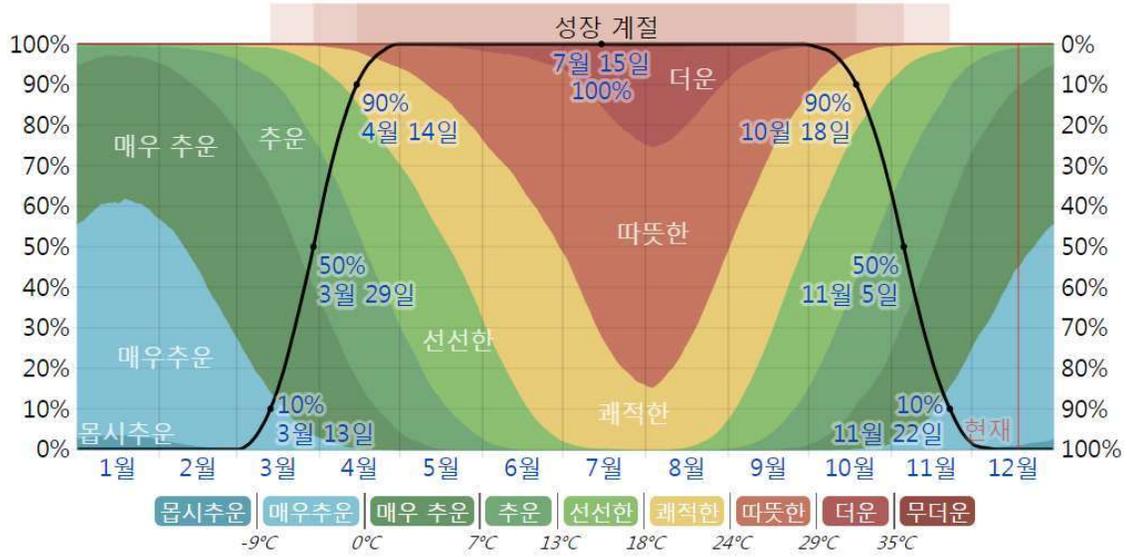


그림 2. 중부지방(청주) 작물 생장계절 분포

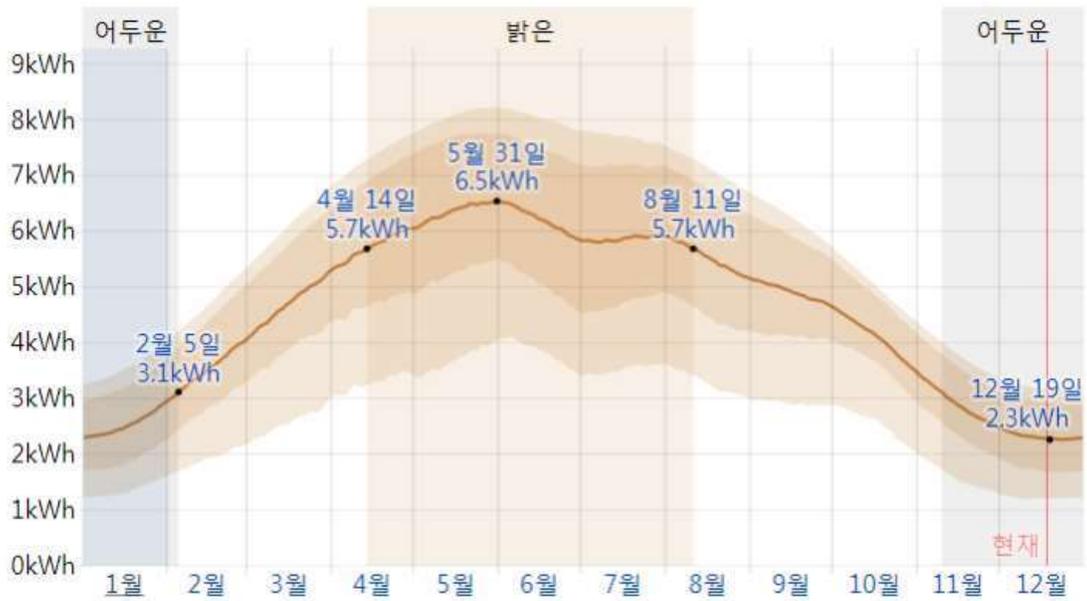


그림 3. 중부지방(청주) 태양복사에너지의 계절 분포

2. 농가인구 감소 및 노령화 대비 스마트팜 영농기술 확대 필요

농업인구의 노령화에 따른 노동력의 결여와 인구의 도시화 편중은 도농 간의 경제격차를 유발하고 있다. 그림 4는 농가인구와 농가수를 통계로 나타내어 1970년대부터 2019년도까지의 인구변화를 보여주고 있다.

농가 인구는 2019년 2,245천명으로 1970년 14,422천명에 비해 12,177천명(-84.4%) 감소하였고 농가 수는 2019년 1,007천 가구에 비해 1,476천 가구에 비해 1,476천 가구(-59.4%) 감소하였다. 그리고 인구감소와 함께 농가 노령화 지수(유소년인구 100명당 고령인구)는 1970년 11.4명에서 2019년 1,073명으로 1,061.9명으로 증가하고 있기 때문에 전통적인 영농법의 한계가 있어 영농업의 구조 개혁이 절대 필요한 시점에 와 있다고 볼 수 있다. 이에 따라 영농분야에 첨단 기술을 적용한 스마트팜 농업기술을 통하여 이를 극복 할 수 있다는 점에서 스마트팜 기술의 필요성이 강조된다.

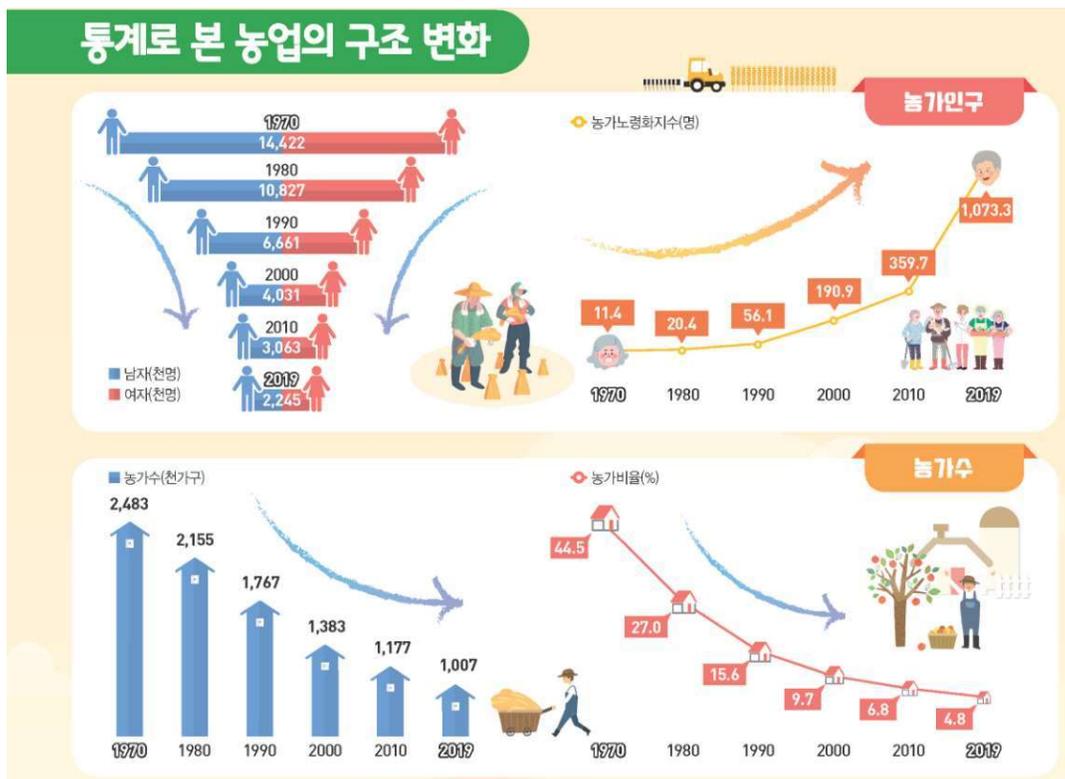


그림 4. 통계로 본 농업의 구조 변화

3. 스마트팜 시스템상의 광 부족 현상 해소 필요

스마트팜에서의 광부족 현상은 날씨에 의한 영향 이외에도 1)스마트팜 재배동에 인접한 건물(예: 서비스동)에 의해 발생하는 그림자에 의한 광부족, 2)스마트팜 내 작물의 생육과정에서 발생하는 그림자에 의한 광부족, 3)여름철에 강한 햇빛을 피하기 위해 사용하는 차광스크린에 의한 광부족, 4)겨울철에 저온 방지를 위해 사용하는 보온스크린에 의한 광부족 현상 등이 추가로 발생한다.

가. 서비스동 그림자에 의한 광부족 발생

스마트팜은 일반적으로 크게 재배동과 서비스동 두 가지 공간으로 나누어진다. 재배동은 작물이 생육되는 공간을 말하며, 서비스동은 스마트팜 운영에 필요한 양액시스템, 난방시스템, 방제기, 고소작업을 할 때 필요한 레일카 등의 기계시스템이 위치하는 공간, 수확한 열매를 보관하고 선별하는 공간, 사무실 공간 등을 통틀어 말한다.

스마트팜에서의 광 부족 현상은 비오는 날, 흐린 날 등의 기상상황 이외에도 그림 5와 같이 스마트팜 구조상 건축된 위치에 따라서 구조물, 특히 서비스동에 의한 그림자가 발생하는 구역이 발생한다. 재배동은 외부가 빛이 투과 가능한 피복으로 되어있으나 서비스동의 외부는 보통 빛이 투과하지 못하는 판넬로 시공되기 때문에 서비스동으로 인한 그림자가 발생된다. 온실 건축 시에 서비스동이 북쪽에 위치하도록 하는 것이 가장 좋지만, 온실이 위치하는 땅의 조건에 따라 서비스동이 북쪽으로 향하지 못하는 경우가 발생하며, 이러한 온실의 경우, 해가 이동하면서 재배동쪽으로 필연적으로 그림자가 발생하는 구역이 존재하게 된다. 그림자가 발생하는 구역에서 생육하는 작물은 그림자가 발생하지 않는 구역에서 생육하는 작물 보다 생육상태가 좋지 못해 수확량이 감소할 수밖에 없다.

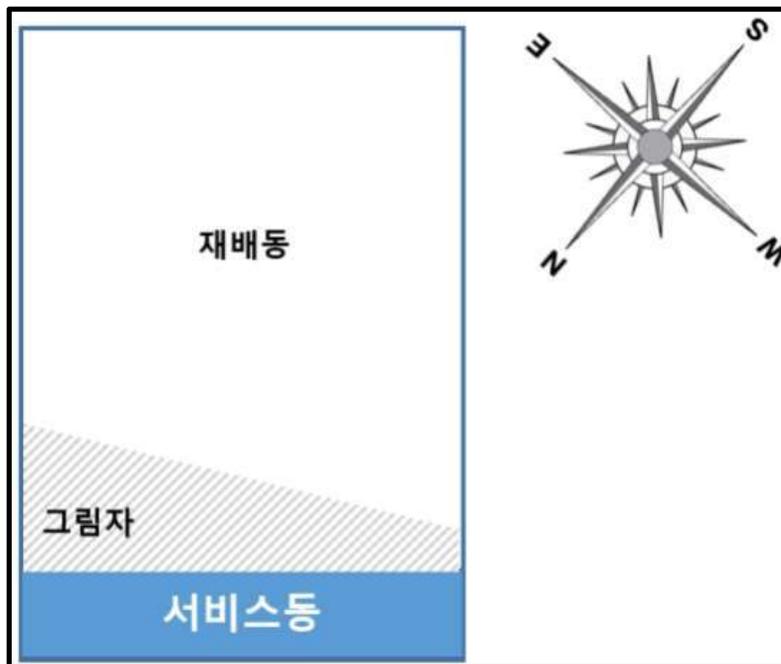


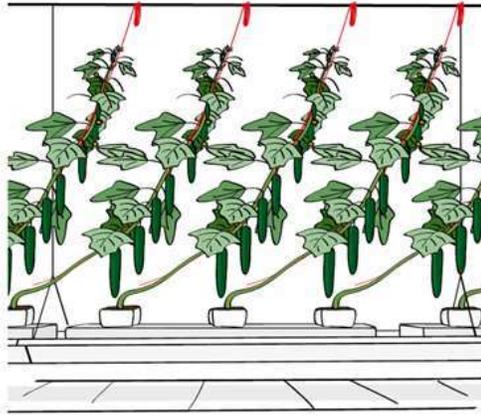
그림 5. 스마트팜 구조물에 의한 그림자 발생

나. 식물 성장시 발생하는 그림자에 의한 광부족 발생

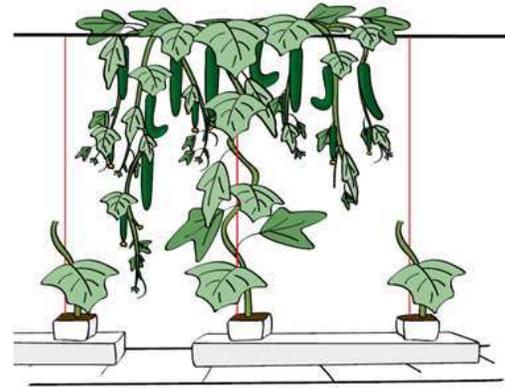
스마트팜에서 과채류를 재배하는 방법으로 아래 그림 6에서와 같이 유인재배(Highwire system)법과 적심재배(Umbrella system)법이 있다.

스마트팜에서는 대부분 유인재배법을 채택하고 있다. 유인재배법은 적심재배법에 비해 작물관리의 편리성 및 장기재배가 가능하지만, 이외에도 상대적으로 식물의 성장에 따른 그림자 발생이 상대적으로 적다는 효율성도 있다. 하지만 유인재배법이든 적심재배법이든 생

장하는 작물 키로 인하여 아래 그림 7에서와 같이 작물 하단에 그림자가 발생하는 문제점이 발생한다.



(a) 유인재배법



(b) 적십재배법

그림 6. 스마트팜에서의 과채류 재배 방법



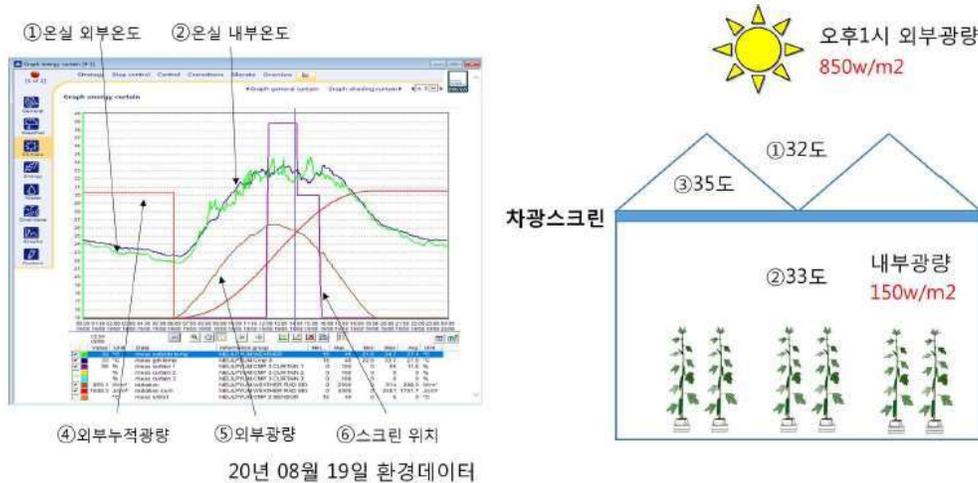
그림 7. 스마트팜 구조상 문제에 의한 재배방법에 따른 그림자 발생

그림자가 발생하는 부분에 위치한 잎의 경우에는 광합성을 통한 동화작용보다는 이화작용을 더 많이 하게 되어 동화 산물을 생산하기 보다는 소비가 늘어나, 열매를 생산하는데 부정적인 영향을 초래하는 유효엽면적 감소 등이 나타난다. 또한 그림자가 발생하는 부분에 위치한 열매의 경우 착색에 어려움이 있어 상품과율을 떨어뜨려 농가의 수익성을 감소시킬 수 있다. 작물의 생육과정에서 발생하는 광 부족 현상을 방지하고 재배동에서 재배되는 작물들이 광을 균일하게 받을 수 있도록 조치를 한다면 작물의 생산량을 증대시킬 수 있는 가능성이 크다.

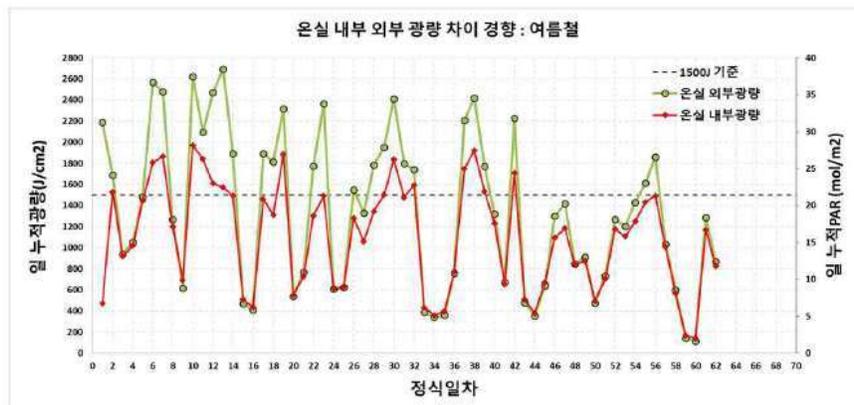
다. 여름철 차광 스크린 사용으로 인한 광부족 발생

여름철에 차광스크린을 사용하는 이유는 강한 햇빛에 의한 온실의 온도증가로 작물체 온도가 상승하고 그에 따른 여러 부작용이 발생하기 때문이다. 아래 그림 9(a)은 여름철에 스마트팜을 운영할 때 스마트팜 상황을 보여준다. 포인트는 빛이 좋은 여름철에도 스크린을 사용한다는 것이다. 참고사항으로 그래프의 x축은 시간, y축은 온도, 형광녹색 선은 온실외부온도①, 파란색 선은 온실내부온도②, 빨간색 선은 외부누적광량④, 갈색 선은 외부광량⑤, 보라색선은 스크린⑥의 위치를 나타낸다.

그림 9(a)의 오른쪽 그림은 여름철 오후 1시에 외부광량 850w/m², 외부온도① 32도 일 때, 차광스크린이 사용되고 있는 온실의 상황도이다. 차광스크린을 사용하여 온실내부광량이 150w/m²으로 감소하는 것을 알 수 있고, 온실내부온도는② 외부온도보다 크게 올라가지 않고 33도 정도로 유지된다. 반면에 차광스크린의 영향을 받지 않는 공간인 온실 캐노피 쪽은③ 35도로 외부온도 보다 높은 것을 알 수 있다. 만약 외부광량이 850w/m²이상일 때 차광스크린을 사용하지 않는다면 온실내부온도는 외부온도보다 높은 35도 이상으로 상승 가능성이 크다.



(a) 여름작기의 환경 데이터 및 온실 내외부의 온도와 광량 차이



(b) 온실 내외부 광량 차이 경향 : 여름철

그림 8. 스마트팜 시스템 운영상 광 부족 현상 - 여름작기

이렇게 여름 작기에 차광스크린 전략을 사용하는 이유는 과도한 광량이 온실내부의 온도 증가와 작물체의 온도증가로 과도한 증산이 발생하기 때문이다. 온실온도와 작물체 온도가 증가하는 환경조건에서 작물은 과도한 증산을 막기 위해 기공을 닫고 잎에 닿는 광량을 줄이기 위해 작물 스스로 잎을 처지게 만든다. 이러한 작물 보호 현상이 발생하면 이후에 광합성하기 좋은 조건이 형성이 되더라도 작물이 광합성 할 수 있는 상태로 돌아오는 데 시간이 걸리기 때문에 광합성이 가능한 시점에도 광합성을 못하는 상황이 벌어진다.

여름철에는 실제로 광이 풍부하지만 작물이 시들고, 광합성을 못하는 상황이 발생하는 경우가 있다. 이러한 이유로 환경조건을 보완하기 위하여 온실내부로 들어오는 광을 차광스크린으로 차단하여 작물을 보호하는 전략을 사용하고 있다. 차광스크린 전략은 보통 오전 11시 ~ 오후 2시 사이에 실시한다. 그러나 이 경우에는 차광스크린에 의한 광 부족 현상이 발생할 수도 있다.

그림 8(b) 그래프는 20년 05월 19일 ~ 20년 08월 10일까지 여름철 유리온실의 내외부 누적광량 차이 경향이며, 그래프를 통해서 온실 내부와 외부의 광량차이가 발생하는 것을 확인 가능하고 실제 스마트팜 운영에서 스크린 전략을 사용하면 외부누적광량 대비 작물에 직접적으로 영향을 주는 내부누적광량은 상대적으로 적은 경향이 있다.

여름 작기의 온실내부와 외부의 누적광량을 확인해 보면 외부누적광량 대비 온실내부누적광량이 적은 것을 환경데이터를 통해서 확인가능하다. 하지만 대부분의 스마트팜 농가는 외부광센서와 내부광센서 두 가지를 보유하지 못하는 실정이기 때문에 보통 외부광센서를 기준으로 환경관리를 하고 있다. 그래서 광 부족 현상을 인지하기 어려운 상황이며, 확인되는 광량 대비 수확량이 적게 나온다고 느낄 수 있다.

여름철 작물의 경우 차광스크린 전략을 사용을 통해 작물을 선제적으로 보호가 가능하지만 높은 온도로 인해 호흡량이 증가하고 광합성량은 감소하기 때문에 수확량이 감소하는 현상이 발생 할 가능성이 높다. 차광스크린 전략 사용 시 작물 입장에서는 광 부족 현상이 발생 할 있다는 것을 인지하고 차광스크린 전략 사용 시 하이브리드 보광등을 사용한다면 작물의 광합성 작용을 활성화 시켜 수확량을 증가 시킬 수 있다.

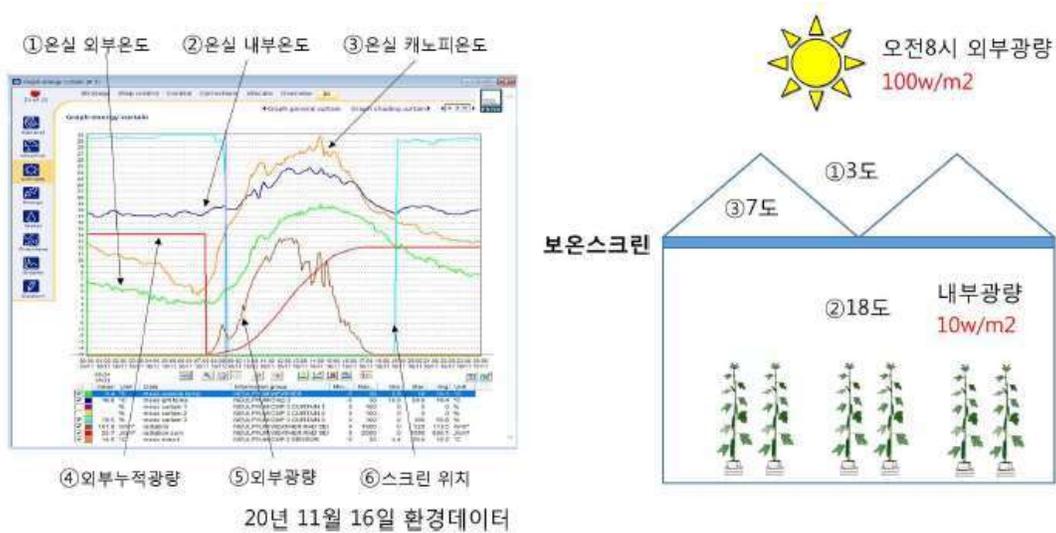
라. 겨울철 차광 스크린 사용으로 인한 광부족 발생

겨울철에는 햇빛이 부족하여 적은 광량으로도 효율적인 광합성을 유지하기 위하여 차광스크린을 사용한다. 따라서 확보한 광량을 가지고 어떻게 광합성을 효율적으로 하는지에 따라 농가의 생산량에 큰 영향을 미친다. 아래 그림 10(a)은 겨울철 스마트팜을 운영할 때 스마트팜 상황을 보여주고 있다. 겨울철 일출 후에 외부에 광합성이 가능한 광이 있음에도 그림 10(a)의 데이터처럼 겨울 작기에는 내부에 광을 비추지 못하는 경우가 있다. 참고사항으로 그래프의 x축은 시간, y축은 온도, 형광녹색 선은 온실외부온도①, 파란색 선은 온실내부온도②, 주황색선은 온실 캐노피 온도③, 빨간색 선은 외부누적광량④, 갈색 선은 외부광량⑤, 하늘색선은 스크린⑥의 위치를 나타낸다.

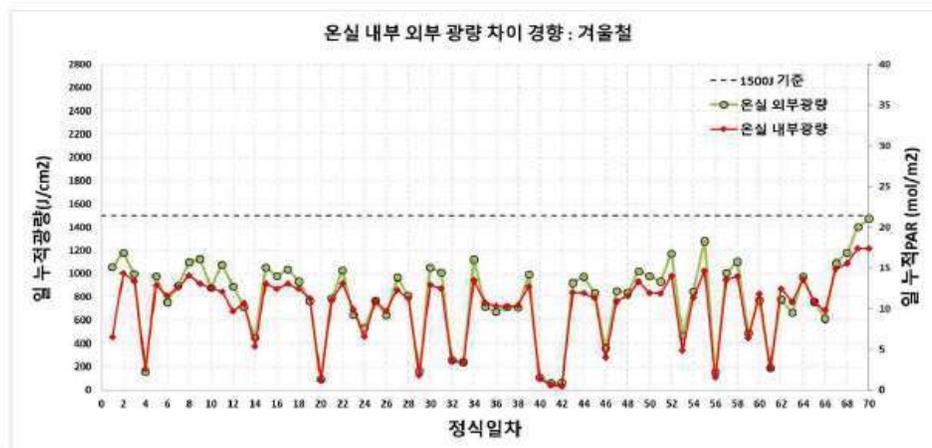
그림 10 (a)의 오른쪽 그림은 겨울철 오전 8시에 외부광량 100w/m², 외부온도① 3도 일 때, 보온스크린이 사용되고 있는 온실의 계약도이다. 보온스크린을 사용하여 온실내부광량이 10w/m²으로 감소하는 것을 알 수 있고, 외부온도가 낮지만 보일러가 가동되고 보온스크린을 사용하기 때문에 온실내부온도는② 18도 정도로 유지된다. 반면에 보온스크린의 영향

을 받지 않는 공간인 온실 캐노피 쪽은③ 7도로 외부온도 보다 높지만 온실내부온도 보다 낮은 것을 있다. 만약 겨울철 외부온도가 3도이하일 때 보온스크린을 사용하지 않고 보일러를 가동하면 온실내부로 공급되는 열량보다 온실내부에서 외부로 빠지는 열량이 많아 작물의 생육적온을 맞추기 어렵고 경영비도 크게 증가 할 것 이다.

겨울철의 낮은 외기온도로 태양광을 사용하지 못하는 경우가 있고, 특히 일출 후 야간동안 사용했던 보온스크린을 열어서 작물에게 광을 보여줘야 하지만, 보온스크린 상단에 있는 캐노피공간의③ 낮은 온도의 공기가 급격한 온도변화를 유발하여 작물에게 냉피해, 결로 발생 등의 부정적인 영향을 줄 수 있기 때문에 보온스크린 상단의 공기온도가 일정수준으로 올라간 이후에 보온스크린을 열어 작물에게 광을 제공한다. 이렇게 겨울 작기는 외부에 광은 있지만 외부의 낮은 온도로 인한 온실내부의 급격한 온도변화를 최소화하기 위해서 보온스크린 전략을 사용한다. 그래서 스마트팜 운영전략에 따라 작물 입장에서 광이 부족한 시점이 발생하며, 광이 부족한 시점에 하이브리드 보광등을 사용한다면 작물의 광합성 작용을 도울 수 있다.



(a) 겨울작기의 환경 데이터 및 온실 내외부의 온도와 광량 차이



(b) 온실 내외부 광량 차이 경향 : 겨울철

그림 9. 스마트팜 시스템 운영상 광 부족 현상 - 겨울 작기

그림 10.(b) 그래프는 19년 11월 28일 ~ 20년 02월 05일까지 겨울철 유리온실의 내외부 누적광량이다. 그래프를 통해서 여름철과 같은 큰 차이는 아니지만 온실 내부와 외부의 광량차이가 있는 것을 확인 가능하다. 실제 겨울철은 낮의 길이도 짧고 외기온도로 인해 스크린 전략도 사용하기 때문에 작물이 광합성 할 수 있는 시간이 부족하다. 만약 하이브리드 보광등을 사용한다면 광합성 시간도 증가 시키고 겨울철 특성상 천창을 열지 않기 때문에 온실내부의 CO2 농도를 높게 유지 가능해 광합성 효율도 극대화 할 수 있다.

2절. 연구개발의 목표

고품질의 작물생산을 위해서는 작물의 충분한 광합성에 따른 동화산물의 생산이 중요하다. 이를 위해서는 광합성에 영향을 미치는 요인들 즉, 광, 이산화탄소, 수분 조건이 필요하며, 특히 광합성은 광에 의한 영향을 가장 많이 받게 된다. 광환경이 열악한 장마철이나 겨울의 경우 광량의 부족으로 충분한 광합성을 하지 못하므로 그림 10에서와 같이 상품가치가 떨어지는 휘어진 오이가 증가하기도 한다.



(a)일조량이 충분한 오이



(b)일조량이 부족한 오이

그림 10. 일조량에 따른 오이의 성장

이러한 문제점을 극복하기 위하여 백열등, 고압나트륨등, LED등을 이용한 보광이 필요하게 되며, 본 과제에서는 아래 항목의 개발을 추진하였다.

- 일조량 부족에 의한 상품가치가 떨어지는 곡과(휘어진 오이) 발생 비율 저감
- 365일 시장에 안정적으로 작물 공급이 가능한 생육환경 구축
- 과채류 맞춤형 광원 및 유리온실에 설치가 용이한 보광등 개발
- 날씨 변화에 따른 광량 제어가 가능한 하이브리드 보광등 적용 및 테스트베드 구축
- 일조량 부족과 무관한 작물 생육환경 구축으로 생산성 증대 및 농가 수익 향상

1. 하이브리드 보광등 개발

그림 11은 연구개발계획서에서 제안했던 하이브리드 보광등 컨셉 사진이다. 제안한 하이브리드 보광등은 HPS(high-pressure sodium)와 LED를 결합하여 서로의 부족한 광 파장대역

을 보충해준다. 안정기에서는 자체 제작한 전자식 HPS 안정기와 안전하게 LED에 전원을 공급하는 SMPS(Switched Mode Power Supply)를 탑재하고 있다.



그림 11. 하이브리드 보광등 컨셉

2. 보광등 개발 목표 광량

표 1은 본 과제를 시작할 때 제안한 하이브리드 보광등 목표를 보여준다. 하이브리드 보광등(HPS+LED)의 PPF(Photosynthetic Photon Flux Density, $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)는 $190 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 이상 되도록 적용하고, PPF 측정은 1,000mm 작물과 이격하여 측정을 진행한다.

평가항목(주요성능 Spec)	단위	개발 목표치	평가방법
PPFD(광합성광량자속밀도)	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	190 이상	1m 이격 Par meter 측정 공인기관 시험성적서 발급
Total light Output	lumen(lm)	20,000 이상	적분구 측정 공인기관 시험성적서 발급
Luminaire Efficacy	(lm/w)	60 이상	적분구 측정 공인기관 시험성적서 발급
Dimension	mm(LxWxH)	500X160X350 이하	검교정 확인 장비 측정
Weight	kg	8 이하	검교정 확인 장비 측정

표 1. 하이브리드 보광등 세부 성능 목표

3. 실증실험 진행

그림 12와 같이 시설면적 19,925m²(약 6,000평) 중에서 648m²(약 200평)을 테스트베드 공간으로 사용하였다. 테스트베드 공간에 개발한 하이브리드 보광등을 설치할 진행하였다. 제한된 시간과 비용을 고려했을 때 광 효율이 좋은 분리형 하이브리드를 설치하는 것이 합리적이라고 판단하였다. 이 공간에서는 작물의 성장과정을 관찰하고 보광구역과 비보광구역의 차이를 비교하였다. 비교 방법은 수확량, 육안검사, 생육조사, 배액검사 등을 이용하였다. 실증실험 과정에서 발행할 수 있는 문제점과 개선점을 즉시 파악하고 개발에 보완·적용하기 위해 실증실험은 개발과 동시에 진행하였다.



그림 12. 늘품 농장 전체 레이아웃

3절. 개발기술의 범위 및 목표 설정의 배경

1. 광 스펙트럼 설정 및 PPF(광합성 광자에너지 밀도)

식물 광합성 반응은 식물 엽록체에서 단백질효소인 루비스코(Rubisco)가 빛을 에너지로 탄소를 고정하여 (CO₂) 물(H₂O) 받아 효소반응(산화반응)을 통하여 당(C₂H₁₂O₆)을 생성하는 과정이다. 따라서 빛에너지는 광합성의 동력이며 이때 Green 엽록소는 Red파장과 Blue 파장의 에너지를 흡수하고 Green파장을 반사시키는 특징을 갖는데 이때 PAR(Photosynthetic activity reaction)효율이 가장 높은 파장은 Red 660nm와 Blue 450nm로 알려져 있다. 일반적으로 식물의 광합성 작용에서 빛의 세기는 광합성의 유효구간에서 최소값과 최대값을 정의하는데 광합성 활성화 에너지 최소점을 광보상점이라 하고 광합성 활성화 에너지 최대점을 광포화점이라 한다. 이것은 식물의 품종마다 다른 것으로써 양지 식물과 음지 식물의 구별척도로도 구분되며, 단위는 광합성 광자에너지 밀도 PPF로써 그림 13과 같이 식물의 종별로 차이가 크다.

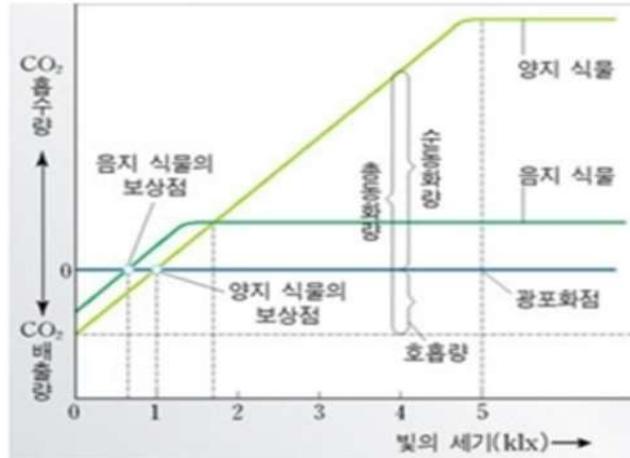


그림 13. 식물의 광보상점과 광포화점

2. 광원별 파장 특성과 PAR에너지 관계

지상의 모든 식물은 태양광 에너지의 영향에 생멸의 과정이 진행된다. 태양광은 식물의 엽록소에 광합성에너지를 제공하고 온도와 습도환경 그리고 양분 생성환경을 제공 하지만 식물의 종에 따라, 생지 환경에 따라 선택적으로 광 에너지의 특성영역을 활용하여 성장한다. 따라서 식물의 광합성 조건을 알 수 있다면 광원 기술을 이용하여 필요 충족 조건의 광원을 만들 수 있고, 인공적으로 특정 작물의 재배가 가능하다. 식물의 광합성에 영향을 주는 태양광 특성에 있어서 광파장(optical wave length)에 대하여 알려진 바로는 그림 14와 같이 빛의 전 영역에 걸쳐서 일정한 광 파장 에너지를 나타내지만 식물의 광합성에 주로 기여하는 파장 구간은 가시광선 영역의 400~700nm로써 이 구간의 에너지를 PAR에너지라고 하며 이는 인공식물조명의 기본 파장구간(wave length range)이며 에너지 개념이다.

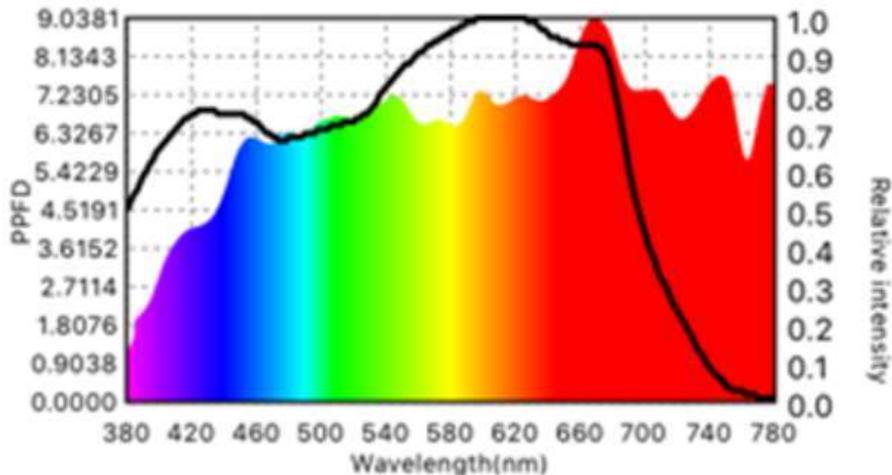


그림 14. 태양광 스펙트럼과 PPFD 분포도

지상의 모든 식물은 태양광 에너지의 영향에 생명의 과정이 진행된다. 태양광은 식물의 엽록소에 광합성 에너지를 제공하고 온도와 습도환경 그리고 양분 생성환경을 제공 하지만 식물의 종에 따라, 생지 환경에 따라 선택적으로 광 에너지의 특성영역을 활용하여 성장한다. 따라서 식물의 광합성 조건을 알 수 있다면 광원 기술을 이용하여 필요 충족 조건의 광원을 만들 수 있고, 인공적으로 특정 작물의 재배가 가능하다. 식물의 광합성에 영향을 주는 태양광 특성에 있어서 광파장(optical wave length)은 빛의 전 영역에 걸쳐서 일정한 광 파장 에너지를 나타내지만 식물의 광합성에 주로 기여하는 파장 구간은 가시광선 영역의 400~700nm로써 이 구간의 에너지를 PAR에너지라고하며 이는 인공식물조명의 기본 파장구간(wave length range)이다.

그림 15는 식물의 엽록소 chlorophyll a, chlorophyll b의 흡수 광파장 영역을 말한다. chlorophyll a는 430~662nm, chlorophyll b는 450~650nm에서 흡수되는 광파장 영역을 보면, Blue영역인 430~450nm, 그리고 Red 영역인 650~662nm에서 가장 효율이 높은 구간임을 알 수 있다. 이것은 작물 재배에 있어 광파장의 조건과 동일한 개념이며, 이 요구 조건을 만족하는 파장의 광원으로 작물의 광 보상점과 광 포화점 사이의 에너지를 공급 할 수 있는 인공 광원의 개발은 인위적으로 광합성 조작을 가능하게 하여 자연기후 환경에서 자유로운 식물재배가 가능한 것이다.

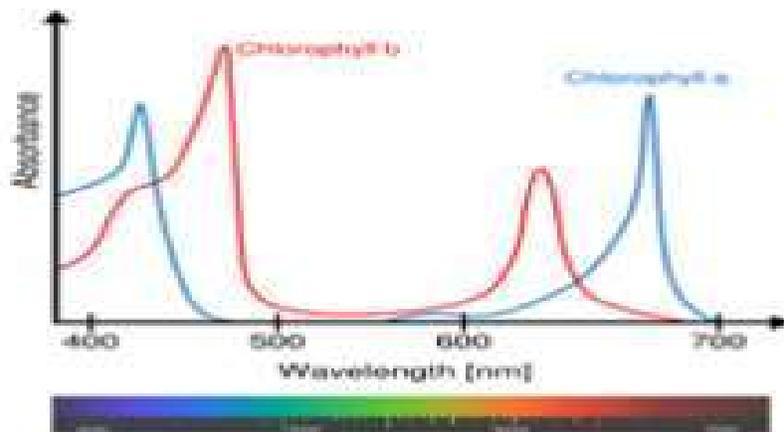


그림 15. chlorophyll a, chlorophyll b의 흡수 광파장 영역

3. 광원별 광파장 특성과 발광효율 측정

HPS 램프, MH(metal halide) 램프, LED 램프의 발광 파장특성을 측정한 것으로써 표 2과 같이 광원으로부터 1M, 2M, 3M 거리에서 제품의 특성에서 나타나는 PPF, PFD값을 측정한다. 우리가 산업적으로 활용 할 수 있는 현실적 광원은 HPS, MH, LED, 형광등, 할로겐 등으로 볼 수 있는데 측정 자료에서와 같이 광원별 파장특성이 광합성 유효파장 필요충분 영역을 전부 갖고 있지 못한 것을 알 수 있다. 한 예로 HPS광원은 파장범위가 PAR영역에 있지만 90% 이상의 에너지의 분포가 550nm에서 730nm에 걸쳐있어 중요 광합성 파장 범위인 Blue 파장(450nm)영역의 결핍을 나타내고, 광효율이 높다고 알려진 LED광원은 그림 17(c) 같이 450nm에서 높은 peak가 나타나지만 600nm 이상의 Red 영역에서는 부족함을 확인할 수 있다.

이격 거리	등 종류	MH (250W)	MH (400W)	LED(150W) _Lens 각 15°	나트륨(250W)
1 m	PPFD	139.8	289.6	454.2	94.07
	PFD	151.4	312.9	466.7	100.8
2 m	PPFD	77.46	107.8	223.9	34.64
	PFD	82.76	116.5	230.1	37.27
3 m	PPFD	34.96	50.38	79.01	13.99
	PFD	37.47	54.73	81.36	15.18

표 2. 광원별 측정거리에 따른 PPFD의 변화

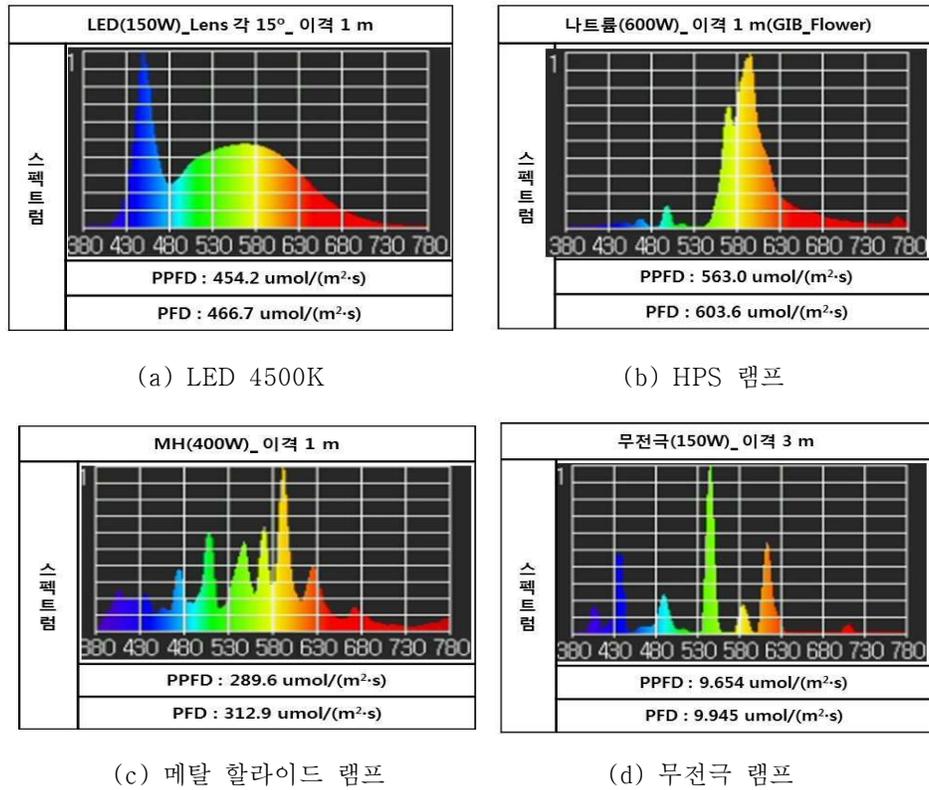


그림 16. 광원별 스펙트럼 분포 특성 및 PPFD

그림 17에서 태양광과 그 외 광원들의 일반적인 파장 분포를 보여준다. PAR에너지는 광 파장대에서 400~700nm대의 광자에너지의 합의 개념으로 식 1과 같이 표현 될 수 있다.

$$H = \int_0^{\infty} E(\lambda) d\lambda \Rightarrow \sum_{i=0}^N E(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (\text{식 1})$$

H : PAR에너지

$E(\lambda_i)$: 임의 광파장에서의 광자 에너지

$\Delta\lambda_i$: 유효 측정 파장 구간

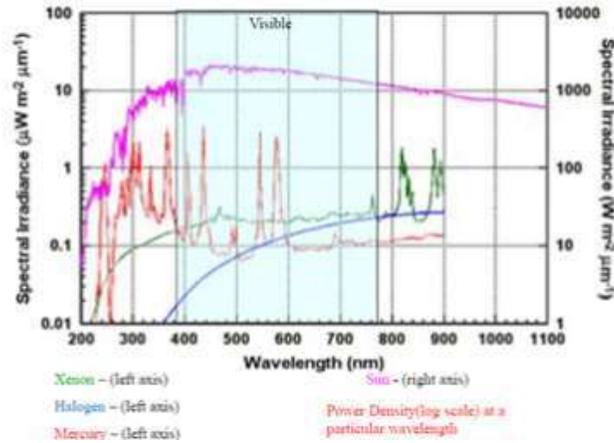


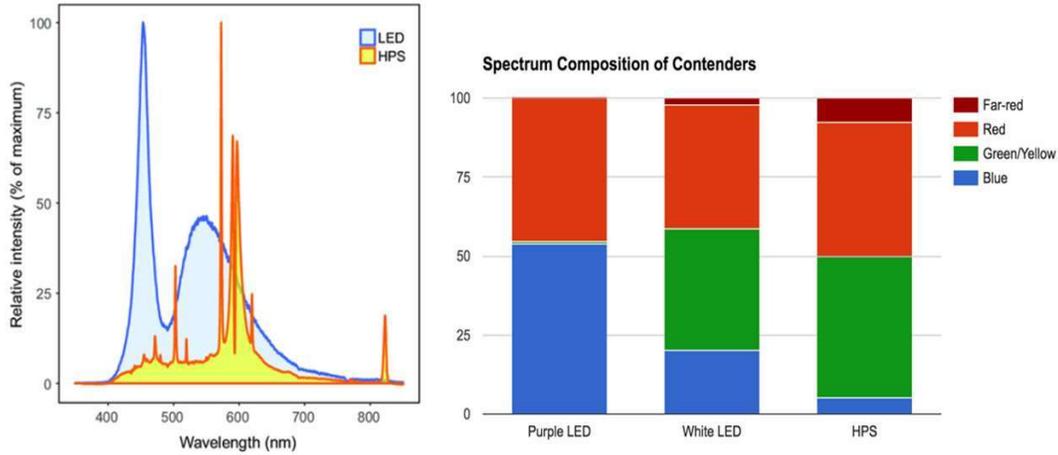
그림 17. 광원별 PAR에너지 분포도

2장. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1절. 하이브리드 보광등의 개발

1. 하이브리드 보광등의 광원특성

식물용 보광등으로 사용될 수 있는 광원은 PAR영역을 포함하는 광원으로 여러 종류의 방전관과 LED광원들이 있고, 그 중에서 PAR에너지가 높고 광합성 효율이 높은 스펙트럼 Blue 450nm, Red 660nm대를 포함하는 고효율 광원이 요구된다. 하지만, 각 광원은 발광 파장 분포가 서로 다르고 특정 파장에서는 발광 효율이 높은 반면, 광합성에 요구되는 다른 파장에서는 발광 효율이 낮을 뿐만 아니라 비용적인 측면에서도 유불리가 있다. 그러므로, 유효한 광원을 적절히 구성하여 적용한다면 요구스펙트럼을 만족하고 또한 경제적인 보광 시설을 구성할 수가 있다. 그림 18은 HPS와 백색 LED의 스펙트럼 분포도로써 LED에서는 blue 파장이 전체광량의 20%정도를 차지하나 far-red 파장이 3% 이하인 반면에 HPS에서는 blue 파장이 3%대에 머물고 far-red 파장은 10%대의 높은 비중과 충분한 red 파장을 방사하는 것으로 알려져 있다. far-red 파장은 식물의 성장과정에서 광합성에 기여하지는 못하지만 토양과 식물에 열에너지를 전달하는 중요한 기능한다. 이에 따라 적색 파장대의 발광 효율이 높은 HPS 램프와 청색 파장의 발광 효율이 높은 LED를 동시에 또는 선택적으로 구동시켜서 광합성 영역범위에서 효율을 높이기 위한 보광등 시스템을 개발하고자한다.



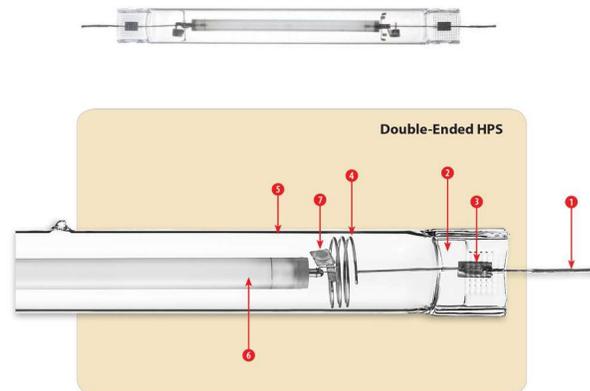
(a) 파장 패턴

(b) 파장 에너지분포

그림 18. HPS 와 LED 스펙트럼의 비교

2. HPS 램프 원리 및 구조

그림 19는 고압 나트륨 방전 램프(Double-Ended HPS)를 나타내며, 이 나트륨 방전 램프는 10[kPa](약 0.1기압) 정도의 나트륨 증기압 중의 아크방전에 의한 발광을 이용한 램프로써 발광관은 700~800[°C]의 고온에서도 나트륨에 침식되지 않는 투광성 알루미늄이나 세라믹스 발광 관을 사용한다. 발광 관내에는 나트륨 가스와 시동보조용인 크세논(또는 아르곤, 네온) 가스가 봉입되어 있다. 외구는 경질유리로 만들어져 있으며, 외구 내에는 바륨(Ba) getter를 사용하여 고진공으로 만듦으로써 화학적 산화와 주위온도의 영향을 받지 않도록 하고 있다. 일반적으로 HPS 램프효율은 100-140[lm/W]로서 백색광원 중에서 가장 효율이 높다. 24,000시간 정도까지의 장수명이 가능하며, 광속유지율도 우수하다.



①lead wire ②pinch area ③molly foil ④twin coil suspension ⑤outer jacket ⑥arc tube ⑦button

그림 19. Double ended HPS 튜브의 구조

그림 20은 HPS의 분광분포를 나타낸다. 일반형의 고압나트륨램프는 램프효율을 최대로

높이기 위하여 정상 점등할 때 나트륨증기압이 4~25[kPa]에서 동작하도록 나트륨수은아말감이 과잉봉입 되어 있으므로, 점등 중에 증발하는 아말 감량은 일부분에 지나지 않고 대부분이 관 단부의 최냉점 부분에서 미 증발 상태로 존재하는 소위 포화증기압형 방전램프이다. 고압나트륨램프에서는 관내의 최냉점 온도가 변하면 나트륨 증기압이 변하기 때문에 램프전압이 변동하게 되므로, 전원전압의 변동이나 관 단부 흑화에 의해 과도한 램프전압 상승이 일어나는 경우 램프가 꺼지는 경우가 많다. 이와 같이 전원전압 변동에 대해서 램프전력의 변동이 크므로 정격 $\pm 6\%$ 이내에서 사용하는 것이 바람직하다. 한편, 시동시간은 광속이 안정되기까지 수 분 걸린다. 재시동시간은 점등회로에 의해 고전압 펄스를 발생시키므로 다른 HID 램프에 비해 비교적 짧다.

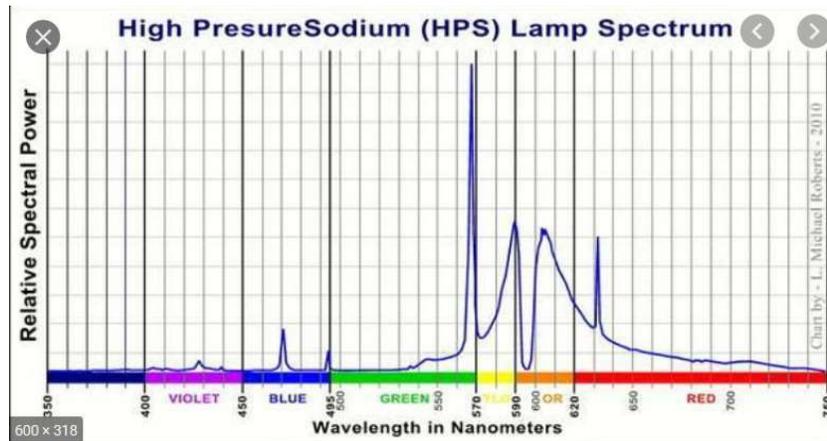


그림 20. HPS의 분광분포

3. 전자식 안정기의 구성

전자식 안정기는 일반적인 자기형 안정기와는 달리 고주파공진 인버터와 출력제어 전압 주파수 제어부와 half-bridge 드라이브 출력부 그리고 방전관측의 직렬 공진회로로 구성되어 있다. 본 개발에서는 double ended형 600watts급 HPS 램프와 460nm 파장대 청색 LED와 660nm 파장대 적색 LED를 구동하기 위한 안정기와 직류 전원장치를 패키지화하였다.

4. HPS 안정기 구성 회로의 기능

가. 안정기 기능도

안정기 구성은 그림 21과 같이 전원공급부와 L6562를 PFC 제어부 그리고 고압펄스 SPA17N80으로 구성된 Half bridge 고압드라이브 부분으로 이루어져 있다. 전원부는 UC3844에 의한 5V, 12V DC 전원을 주 회로와 제어 회로에 공급하고, PIC16F616과 SG3525 제어에 의한 펄스 발생부를 구성하고 부하 측에 고압 전류를 유도한다. 그림 22는 전자식 HPS 안정기의 상세 회로도를 나타낸다.

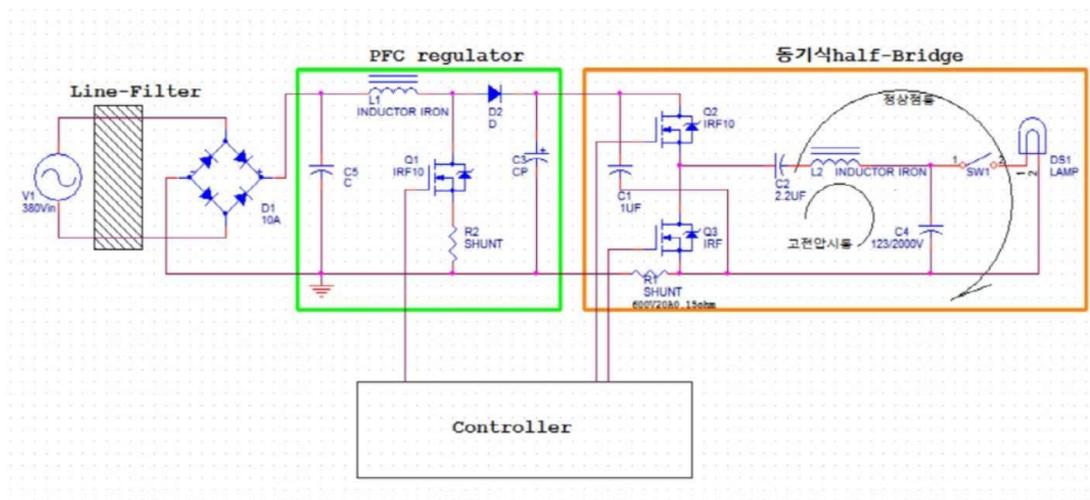


그림 21. 전자식 HPS 안정기 기능도

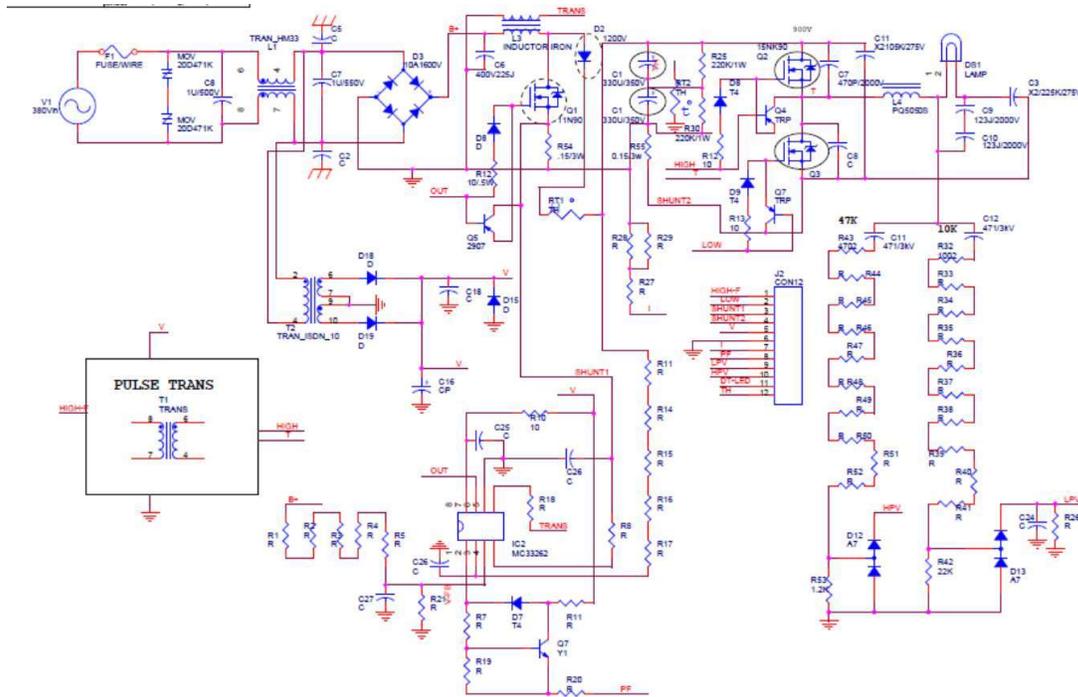


그림 22. 전자식 HPS 안정기 주회로

나. 구동회로의 구성과 기능

HPS 안정기에 있어서 직렬공진회로의 공진은 L2과 C2로 이루어지며 캐패시터 C7, C8은 영전압스위칭(ZVS)을 위한 것이다. 직렬공진 회로에서 impedance를 최소화하는 resistance는 램프 방전관의 순수 부성저항 특성으로 결정되는데 방전개시 전과 방전포화 상태의 저항값의 범위를 나타낸다. 초기 램프의 저항성분은 거의 부도체에서 출발되므로 방전관의

ignition 이후의 이온화 과정이 상태에 따라 직렬회로내의 impedance가 변화한다. 따라서 정상 상태의 도달시간을 줄이기 위하여 전류제어 펄스컨트롤이 되어야한다.

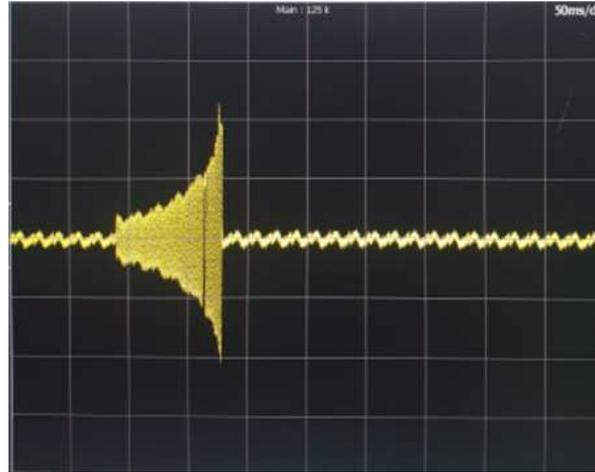


그림 23. Ignition Waveform

본 개발에서는 34kHz~46kHz(40kHz±15%)범위를 채택한다. 이는 MOSFET의 효율과 acoustic resonance 문제를 고려한 범위이다. 방전 튜브 내에서의 초기 방전 ignition signal은 약 2kV, 240kHz로써 decay time을 포함하여 매회100msec 간에 공급되어야 한다. 이 과정은 전류 검출 피드백으로 정상상태의 방전이 개시 될 때까지 지속 된다. 그림 23은 램프에 드라이브된 ignition signal의 wave form을 나타낸다.

다. 램프 구동 출력 특성

그림 24와 같은 전자식 ballast의 특징은 외형적인 구조와 무게가 가볍고, 점멸 시간을 단축 할 수 있다.

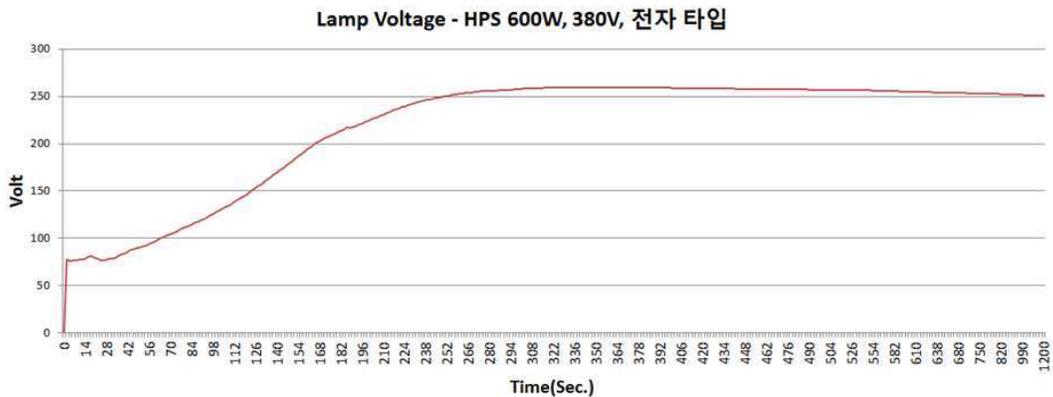


그림 24. 전자식 HPS 안정기의 구동전류 변화

그림 25와 같은 일반적인 마그네틱 필드형의 안정기는 점등 시 방전 포화 시간이 6~7분의 시간이 소요되고 재점등 시에도 5~7분의 긴 시간을 요한다. 이는 cool start time이 점멸

시간을 결정했기 때문에 전자식 안정기의 관내 전자농도에 따른 전류제어가 가능하여 3~4분 내에 점등이 가능하다. 본 개발에서는 초기 점등시의 포화 시간은 3분 50초로 나타난다. 그림 24와 그림 25는 HPS 안정기의 출력 특성을 나타내고 있다.

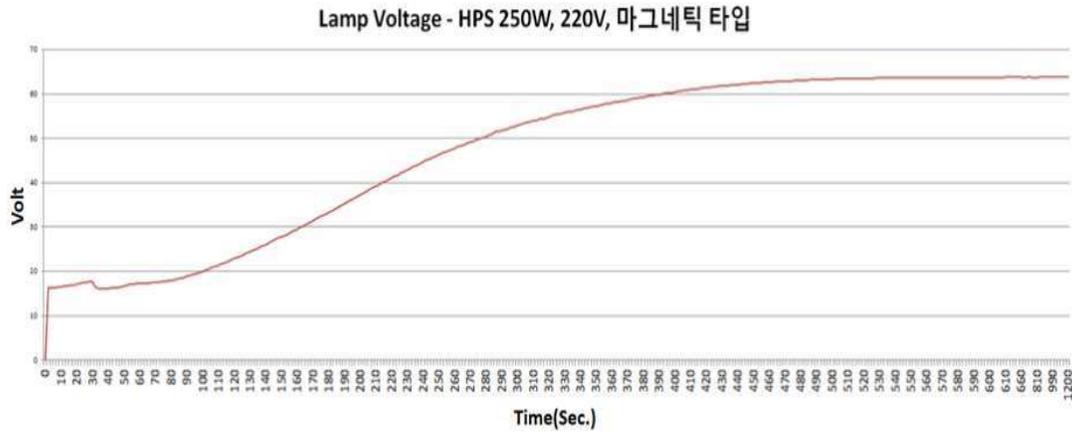
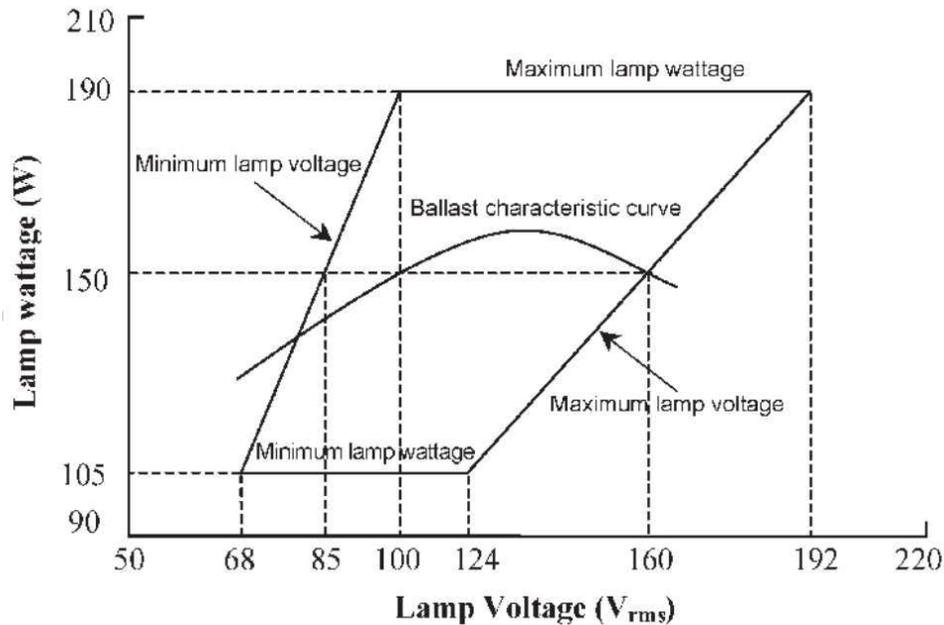


그림 25. 마그네트식 HPS 안정기의 구동 전류 변화

일반적인 HPS 출력 특성은 방전포화 상태까지 전자농도가 증가하면서 전류가 증가하고 관 전압이 증가하는 형태를 유지하는데 일반적으로 그림 26에서와 같이 최소 방전 전압과 최대 방전 전압사이에서 소비전력이 결정됨과 동시에 이에 따르는 발광량은 소비전력에 비례되는 특성을 보인다. 그림 27은 개발한 전자식 안정기 회로의 PCB기판과 그 기판이 실장된 모습을 보여준다.



ANSI C78.42 operating limits for a 150-W-100-Vrms HPS lamp.

그림 26. HPS 방전 전압 및 전력 특성

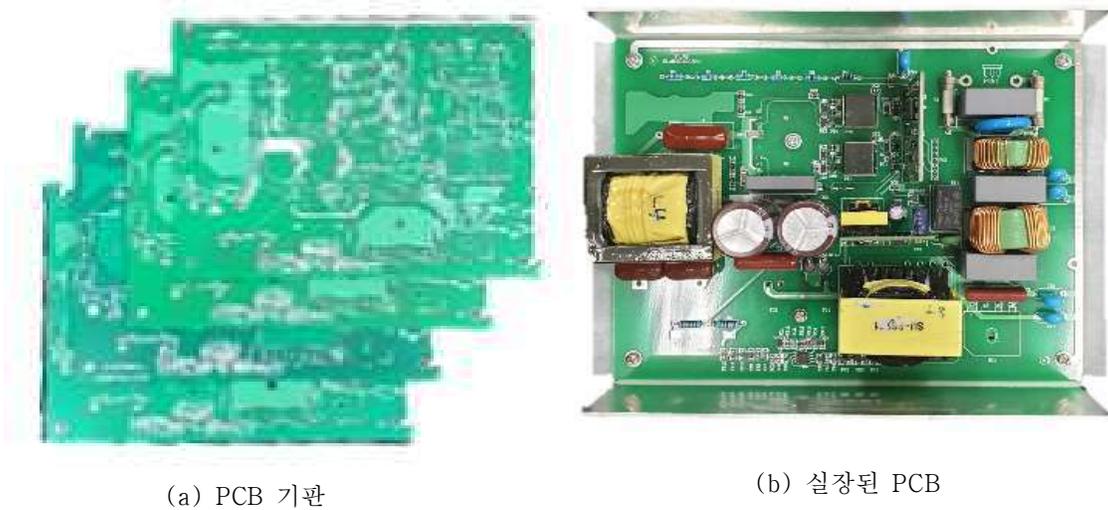


그림 27. 전자식 안정기의 회로

5. LED Lighting 모듈

LED는 발광효율이 높을 뿐만 아니라 유효 광합성 광과장 영역에서 선택적으로 광과장을 효율이 높은 구간을 활용 할 수 있다는 점에서 장점이 있다.

표 3에서와 같이 LED는 백색(cool white 5650K), 청색(blue 450nm), 적색(red 660nm)의 경우 광 효율은 각각 111lm/w, 47m/w, 17m/w를 나타낸다. 이에 비해 광합성에 실효적인 광자 에너지효율(photon efficiency)은 1.52 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, 1.72 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, 1.87 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 로 나타낸다. LED에 의한 보광조건을 설계하기 위해서는 실효적 광자에너지 효율을 설정하고 필요한 광량을 구현하기 위한 출력 수준을 결정해야 한다. 작물에 따라 상대적인 차이는 있지만 일반적으로 광합성에 기여하는 광과장대는 단파장(blue)이다. 즉, 발광량 대비 유효 광자 에너지는 단파장(blue)에서 0.11 $\mu\text{mol}/\text{lm}$ 로 높고 장과장(red)에서 0.036 $\mu\text{mol}/\text{lm}$ 3배 이상 현저하게 낮다. 따라서 상대적 실효 효율을 고려한다면 광량기준으로 Red LED의 배치 비율을 blue에 비하여 3배 이상 설정하는 것이 균형을 맞출 수 있을 것으로 예상된다. 하지만, 적색 LED의 부품 비용을 고려한다면 요구되는 광량을 LED만으로 구성하는 것이 비용부담이 크다. 그에 대한 대안으로 HPS의 장과장 에너지를 동시에 활용하는 방안이 제안된다.

LED Color	Peak wavelength or color temperature	Photon efficiency ^z ($\mu\text{mol}/\text{J}$)	Electrical efficiency ^y (%)	Luminous efficiency ^x (lm/W)
Cool white	5650 Kelvin	1.52	33	111
Red	655 nm	1.72	32	47
Blue	455 nm	1.87	49	17

표 3. LED(White, Blue, Red) 발광 효율 @ 700mA

6. LED 구성 및 유닛

본 개발에서는 단위 모듈의 전원 사양을 설정하기 위한 구조를 제시한다. 단위 모듈은 12 VDC, 1.5A, 1m x 15mm Bar type의 방열형으로 직병렬 회로를 구성하고 단위 모듈은 다시 병렬접속으로 구동되는 구조를 갖도록 한다. 표 4은 White LED에 대한 특징을, 그림 28은 파장 분포를 나타낸다.

Parameter	Symbol	Value			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
Forward Current	I_F	-	65	-	mA
Forward Voltage	V_F	-	2.95	3.0	V
CRI ^[1]	R_a	80	83	90	
Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$	-	120	-	Deg.
Storage Temperature	T_{stg}	-40	-	+85	°C
Thermal resistance (J to S) ^[2]	$R\theta_{J-S}$	-	30	-	°C/W
ESD Sensitivity(HBM)	-	Class 2 JESD22-A114-E			

표 4. White LED(full spectrum) characteristics

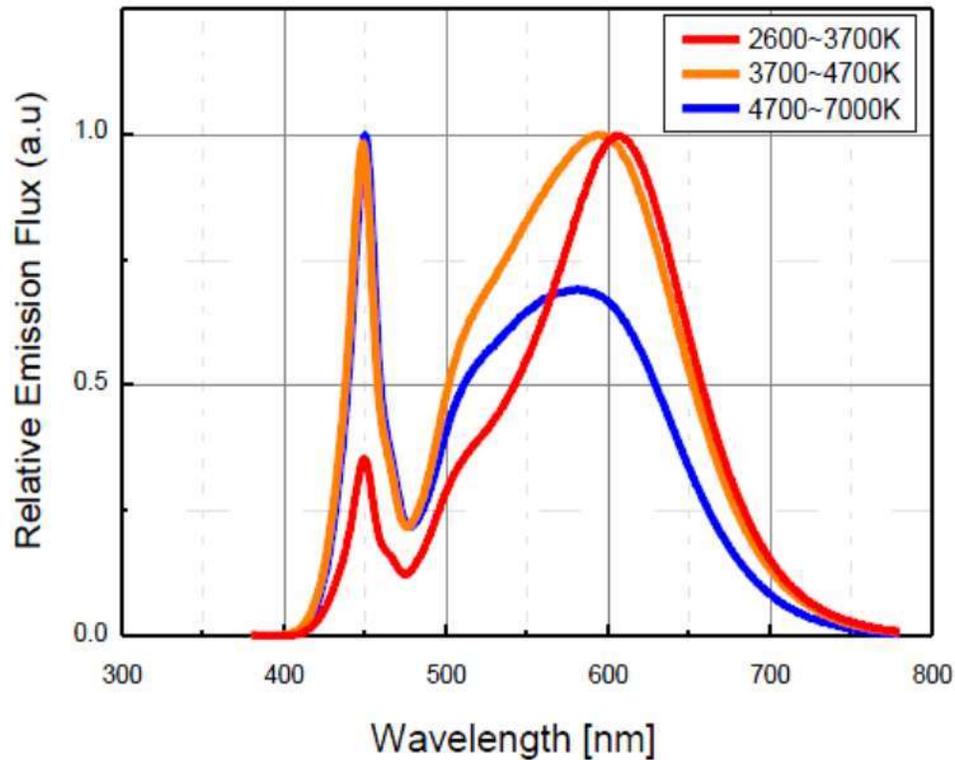


그림 28. White LED 파장 분포

표 5와 표 6는 개발에 사용된 Blue와 Red LED의 특성을 보여준다.

(Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	V_F	$I_F=60\text{mA}$	2.8		3.6	V
Reverse Current	I_R	$V_R=5\text{V}$	-	-	10	μA
Luminous Intensity ■	I_V	$I_F=60\text{mA}$	-	700	-	mcd
Viewing Angle ★	$2\theta_{1/2}$	$I_F=60\text{mA}$	100	120	140	deg.
Dominant Wavelength	Wd	$I_F=60\text{mA}$	-	455	-	nm
Peak Wavelength	Wp	$I_F=60\text{mA}$	-	450	-	nm

■ Luminous intensity is measured with a light sensor and filter combination that approximates the CIE eye-response curve. Please refer to rank table.

★ $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity.

⌘ 5. LED package PCL -D9BBN10SC, Blue LED

(Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	V_F	$I_F=60\text{mA}$	1.8		2.6	V
Reverse Current	I_R	$V_R=5\text{V}$	-	-	10	μA
Luminous Intensity ■	I_V	$I_F=60\text{mA}$	-	1000	-	mcd
Viewing Angle ★	$2\theta_{1/2}$	$I_F=60\text{mA}$	100	120	140	deg.
Dominant Wavelength	Wd	$I_F=60\text{mA}$	637	-	644	nm
Peak Wavelength	Wp	$I_F=60\text{mA}$	-	660	-	nm

■ Luminous intensity is measured with a light sensor and filter combination that approximates the CIE eye-response curve. Please refer to rank table.

★ $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity.

⌘ 6. LED package PCL -D9RBN10SC, Red LED

그림 29는 광학 특성을 측정하는 적분구이다. 이 적분구를 사용하여 그림 30의 LED lighting 모듈 Bar(White type, Blue- Red LED type)에 대한 특성을 측정할 수 있다.



그림 29. 광학특성 TEST, 적분구 : SM-240 Neolight PL 5000



그림 30. LED lighting 모듈 Bar, 12VDC, 1.5 A

그림 31과 그림 32는 LED lighting 모듈 Bar를 적분구에 측정 한 결과를 나타낸다.

Test User	KSH	Average	20
Report No.		ND Filter	1
Report Date	2020-12-01		
Description	B_WHITE		
Light Output		Color Characteristics	
Total Light Output (Lumen, lm)	813.382	X	0.0198847
Luminaire Efficacy (lm/W)	114.079	Y	0.0209474
		Z	0.0230677
Electrical Characteristics		x1931	0.3112
Input Voltage (V)	11.74	y1931	0.3278
Input Current (A)	0.6071	u1960	0.1972
Input Power (W)	7.13	v1960	0.3116
		u1976	0.1972
		v1976	0.4675
		CCT(K)	6597.5
		Duv	0.00336788
		Dominant WL(nm)	488.5
		Purity (%)	0.08
		Peak WL(nm)	454
		Center WL(nm)	454.9
		Centroid WL(nm)	538.6
		FWHM(nm)	22.7
		CRI	83.7
		R[1]	82.2
		R[2]	88.6
		R[3]	90.7
		R[4]	82.3
		R[5]	81.9
		R[6]	82.4
		R[7]	89.1
		R[8]	72
		R[9]	14.3
		R[10]	70.9
		R[11]	80.8
		R[12]	55.5
		R[13]	84.4
		R[14]	95.1

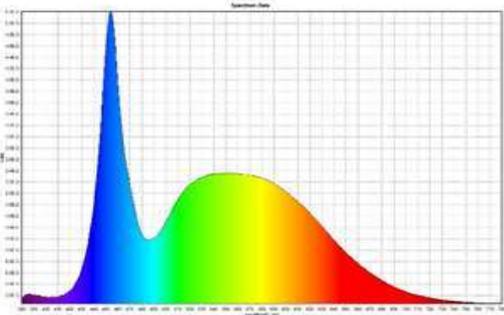
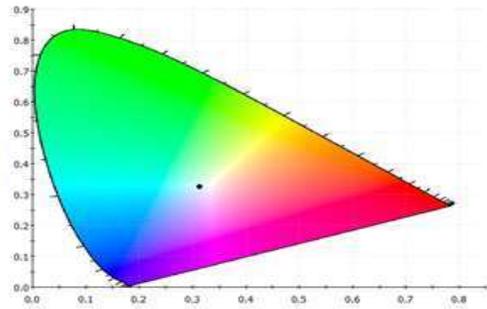


그림 31. White LED, 적분구 test data

General Information		Sample Information	
Company	GLOWONE	Stabilization	NONE
Test Name	INTERLIGHTING	Total Time(s)	1800
Test Date	2020-12-01	Interval Time(s)	30
Test No.		Integration Time(ms)	1000
Test User	KSH	Average	20
Report No.		ND Filter	1
Report Date	2020-12-01		
Description	C_RED BLUE		
Light Output		Color Characteristics	
Total Light Output (Lumen, lm)	89.164	X	0.00739221
Luminaire Efficacy (lm/W)	12.3874	Y	0.00245968
		Z	0.0192851
Electrical Characteristics		x1931	0.2537
Input Voltage (V)	11.7	y1931	0.0844
Input Current (A)	0.615	u1960	0.2895
Input Power (W)	7.2	v1960	0.1445
		u1976	0.2895
		v1976	0.2167
		CCT(K)	2146.4
		Duv	-0.0216731
		Dominant WL(nm)	0
		Purity (%)	0
		Peak WL(nm)	664
		Center WL(nm)	661.7
		Centroid WL(nm)	646.6
		FWHM(nm)	20.6
		CRI	-183.6
		R[1]	-170.9
		R[2]	-273.1
		R[3]	-330.2
		R[4]	64.9
		R[5]	-247.6
		R[6]	-374.3
		R[7]	-50.7
		R[8]	-87.1
		R[9]	-476.4
		R[10]	-713
		R[11]	41.9
		R[12]	-876.7
		R[13]	-260.7
		R[14]	-109

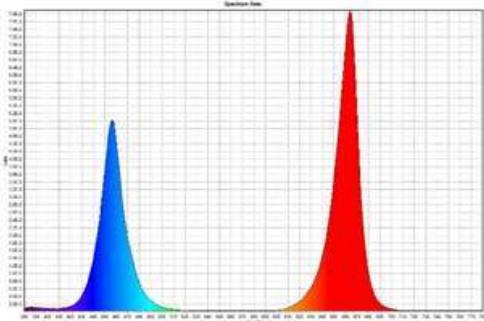
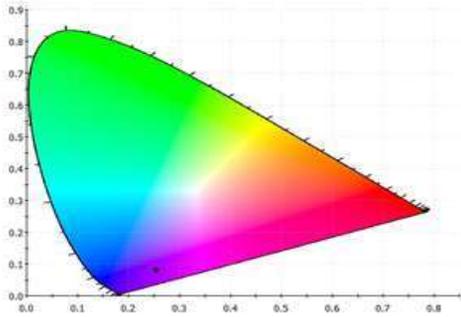


그림 32. Blue-Red LED, 적분구 test data

2절. 하이브리드 보광등 제작과 파장 특성의 측정

1. 하이브리드 보광등 제작

가. 하이브리드 보광등 전원 및 외형 규격

표 7은 하이브리드 보광등 시제품에 대한 사양을 나타낸다. 하이브리드 보광등 안정기 내부에는 HPS 안정기와 LED에 전원을 공급하는 SMPS가 함께 포함되어 있다. 그림 33은 하이브리드 보광등의 외형 사진을 보여준다.

Technical specifications	
HPS 램프 타입	Double ended HPS 600W
입력 AC 전원	380V(HPS)/220V(LED SMPS)
입력 AC 전류	1.6A(HPS)/0.16A(LED SMPS)
입력 주파수	50/60Hz
입력 전력	635W(HPS)/35W(LED SMPS)
LED 입력 전압	DC 30V
LED 입력 전류	0.7A
LED 빔 각도	270도
치수(LxWxH)	558.2 x 265 x 308mm
무게	5kg

표 7. 하이브리드 보광등 시제품의 사양



그림 33. 하이브리드 보광등 외형 사진

2. 복합 광원의 파장 특성

가. HPS spectrum 분포 측정 및 특징

그림 34는 측정된 HPS 파장분포를 나타내며, 전형적인 HPS등의 파장특성을 나타내고 있다.

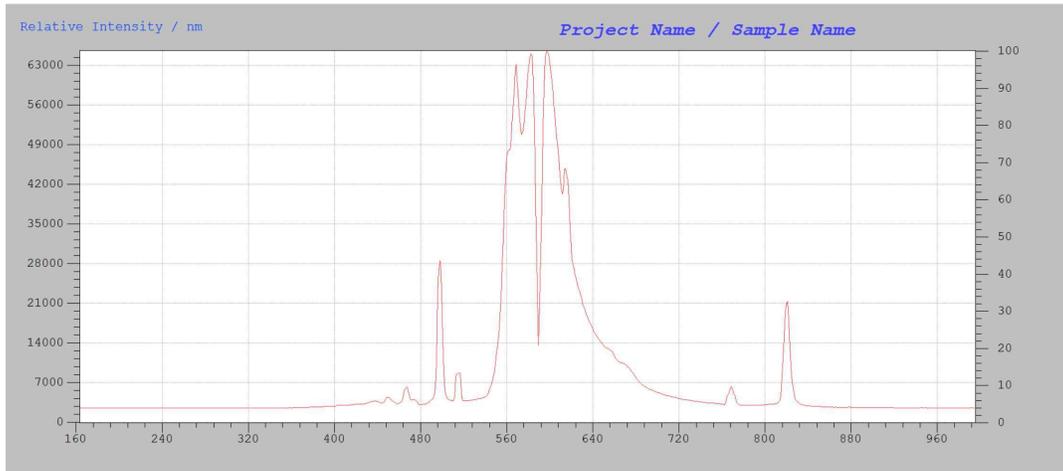


그림 34. HPS 램프 발광 스펙트럼

식물의 광합수 파장대를 나타낸 그림 35에서와 같이 HPS의 파장은 적색영역 최대 흡수 밴드를 갖는 phytochrome pr의 550~700nm 영역에서 충분한 파장특성을 갖고 있다고 볼 수 있다. 하지만 carotenoid 영역대의 400~500nm 영역과 엽록소 영역인 chlorophyll b영역 450nm, 660nm에서는 상대적으로 낮은 방사 특성을 보이고 있다.

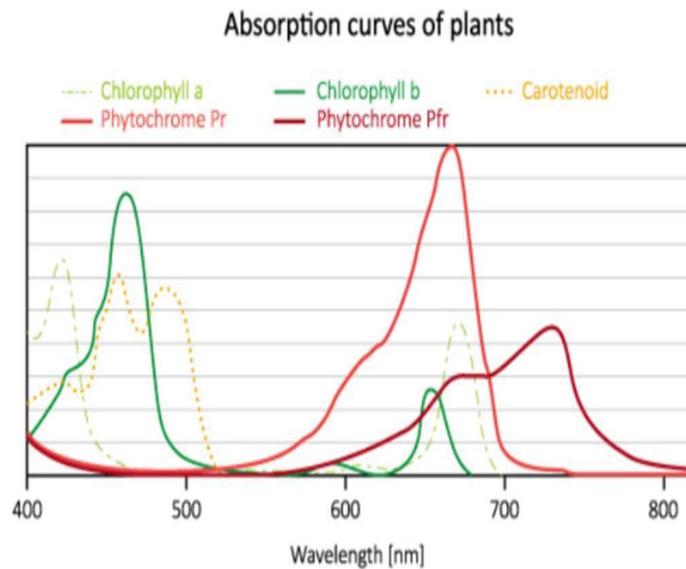


그림 35. 엽록소 광합수 파장 영역 분포도

나. LED spectrum 특성 측정

그림 36은 주광색 6597k의 색온도 값을 갖는, 그림 37은 Blue와 Red의 색온도 값을 갖는 LED의 발광 spectrum의 분포 특성을 보인다. 주광색 LED는 454nm peak wave length를 갖고 있음으로써 chlorophyll b영역에서 흡광 파장특성을 충족시킬 수 있다. 하지만, phytochrome 흡광 영역 600nm대 이상에서는 상대적으로 결핍한 방사 특성인 것을 알 수 있다.

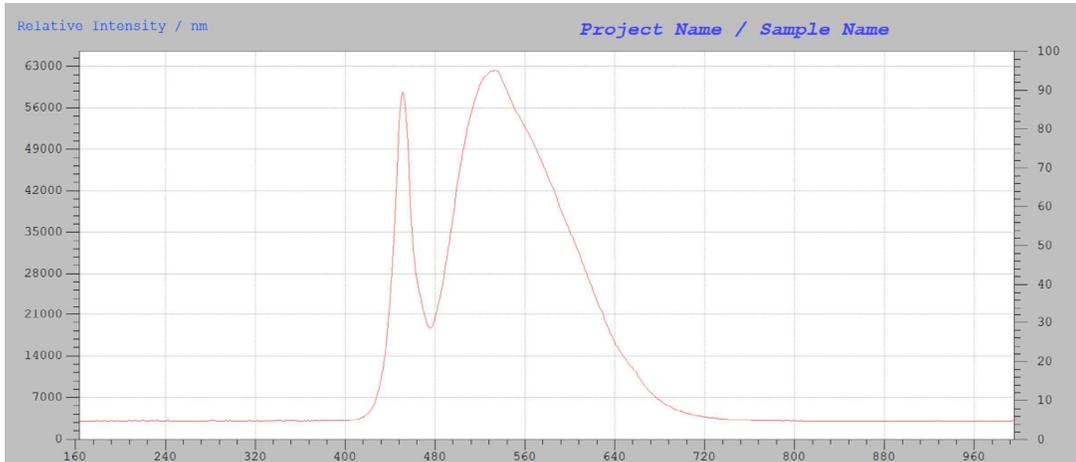


그림 36. LED 6500K 에서의 파장 분포 특성

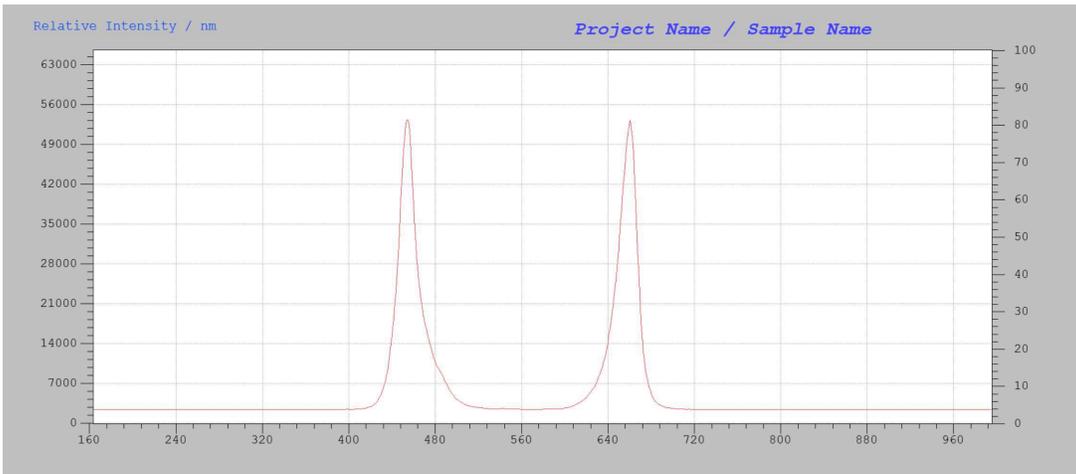


그림 37. LED(Blue, Red)에서의 파장 분포 특성

다. HPS 와 LED 의 합성파장

HPS는 광합성 PAR에너지 파장대인 400~700nm에서 90%이상의 고효율 방사특성을 나타내지만 chlorophyll b영역을 보상하는 450nm 대의 광파장이 결핍되어 식물광합성 조건에 불충분하다. 측정된 합성 데이터 그림 38과 그림 39는 HPS와 LED의 파장을 합성한 파장 분포 특성을 보여준다. 450nm 파장과 660nm 파장 피크가 공존함으로써 HPS의 고효율 PAR에

너지와 엽록소에서의 고효율 광합성 파장을 제공하는 광원 모듈로 유효하다고 볼 수 있다.

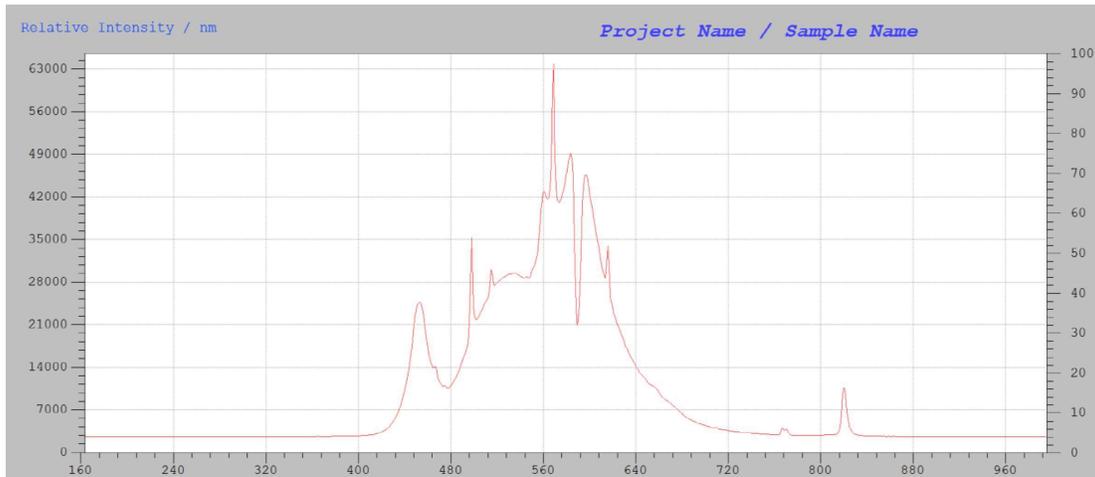


그림 38. LED 6500K 와 HPS 의 합성 파장 분포 특성

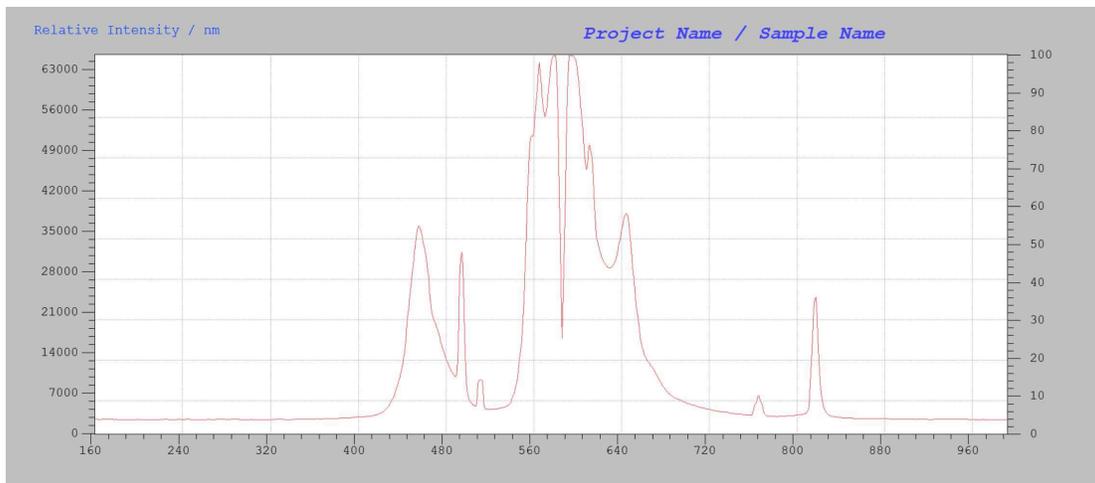


그림 39. LED (Blue,Red)와 HPS의 합성 파장 분포 특성

3절. 테스트베드 구성 및 시험결과

1. 목표

스마트팜 오이 농장 및 오이 육묘장에서의 HPS 보광등과 LED 인터라이팅 효과를 실증 실험을 통하여 확인하고 상용 제품 HPS와 LED 모듈을 인터라이팅화하여 시제품 개발에 반영하기 위함이다. 또한 장기간 실증 시험을 개발기간 내에 추진하기 위한 목적으로 목표를 설정하였다.

2. 시험 계획 및 구성

가. 광원 배치 시뮬레이션

광원 배치 시뮬레이션은 Relux 프로그램을 사용하였고, 그림 40과 같은 방법으로 광원 배치 시뮬레이션 데이터를 확보하여 테스트베드 환경에서 하이브리드 보광등을 효율적으로 배치 할 수 있는 간격을 미리 예측하였다.

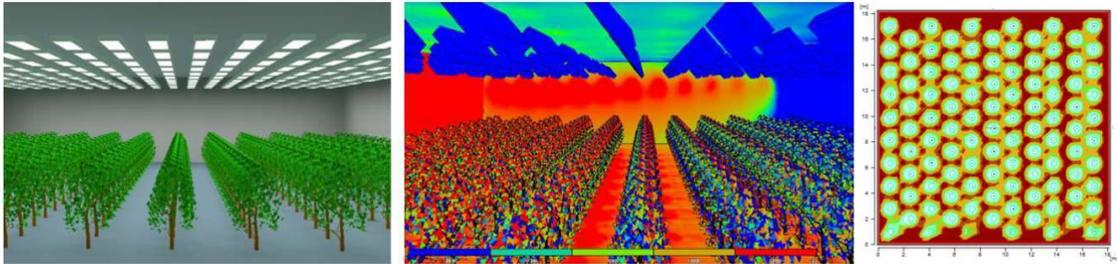


그림 40. 광원 배치 시뮬레이션 데이터

나. 하이브리드 보광등 배치 및 제어

테스트베드를 구성하며 실제 재배환경에 적용하였을 때, 작물의 하단부분에 그림자가 발생하는 문제점을 확인하였고 이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 41과 같이 하이브리드 보광등을 작물 재배환경에 적합하도록 광원을 재배치하였다. 그림 42는 광원을 재배치한 하이브리드 보광등 외형을 나타낸 사진이다. 광원을 재배치한 하이브리드 보광등은 LED 광원을 작물에 직접 조사할 수 있도록 안정기에서 LED 광원까지의 전원 공급선을 길게 조절하였고 100mm 거리에서 광합성의 필수 파장대인 Blue(440nm)와 Red(660nm) LED를 1:3 비율로 사용하여 광 효율을 높였다.

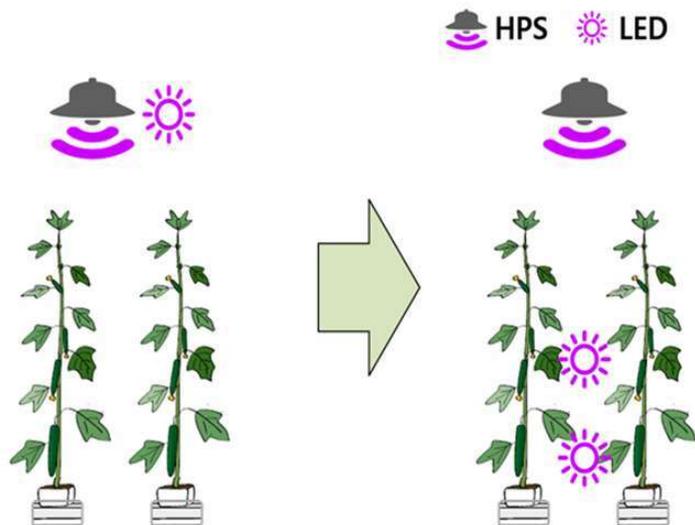


그림 41. 작물 재배환경에 적합하도록 하이브리드 보광등 광원 재배치



그림 42. 광원을 재배치한 하이브리드 보광등 외형 사진

그림 43은 테스트베드 면적 648m²에 배선한 HPS 배선도를 보여주고, 그림 44는 HPS 설치 레이아웃을 나타낸다.

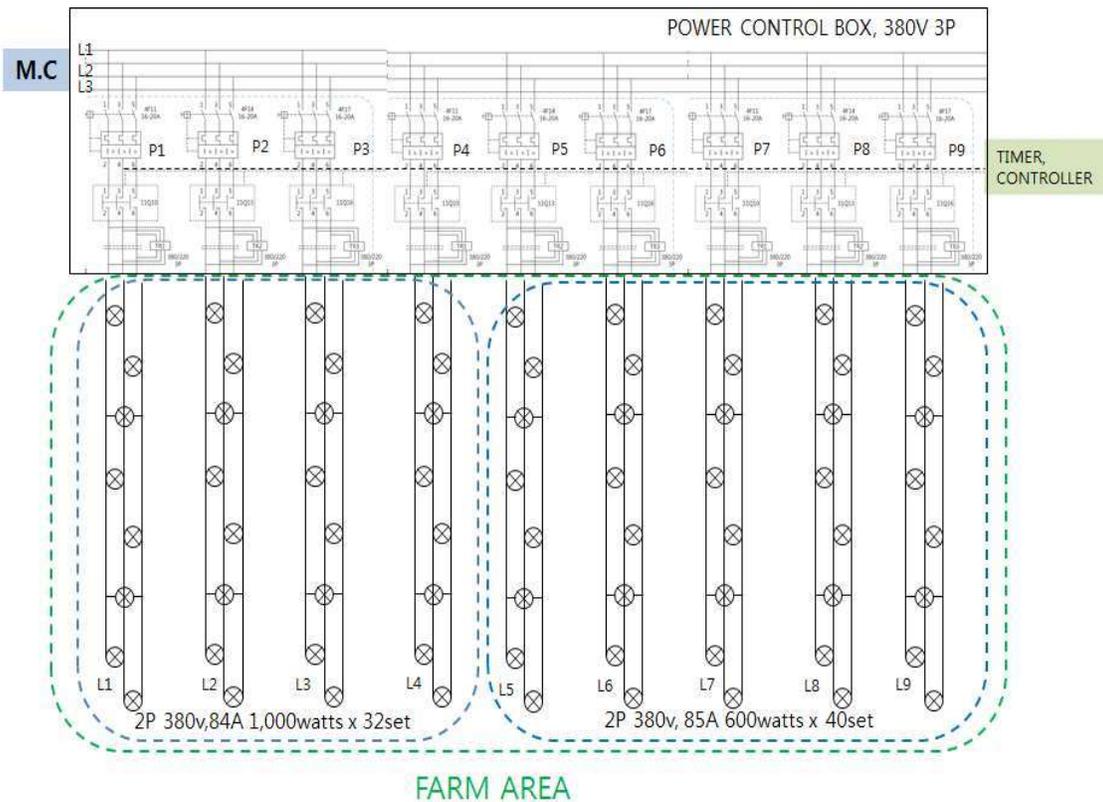


그림 43. 테스트베드 HPS 배선도

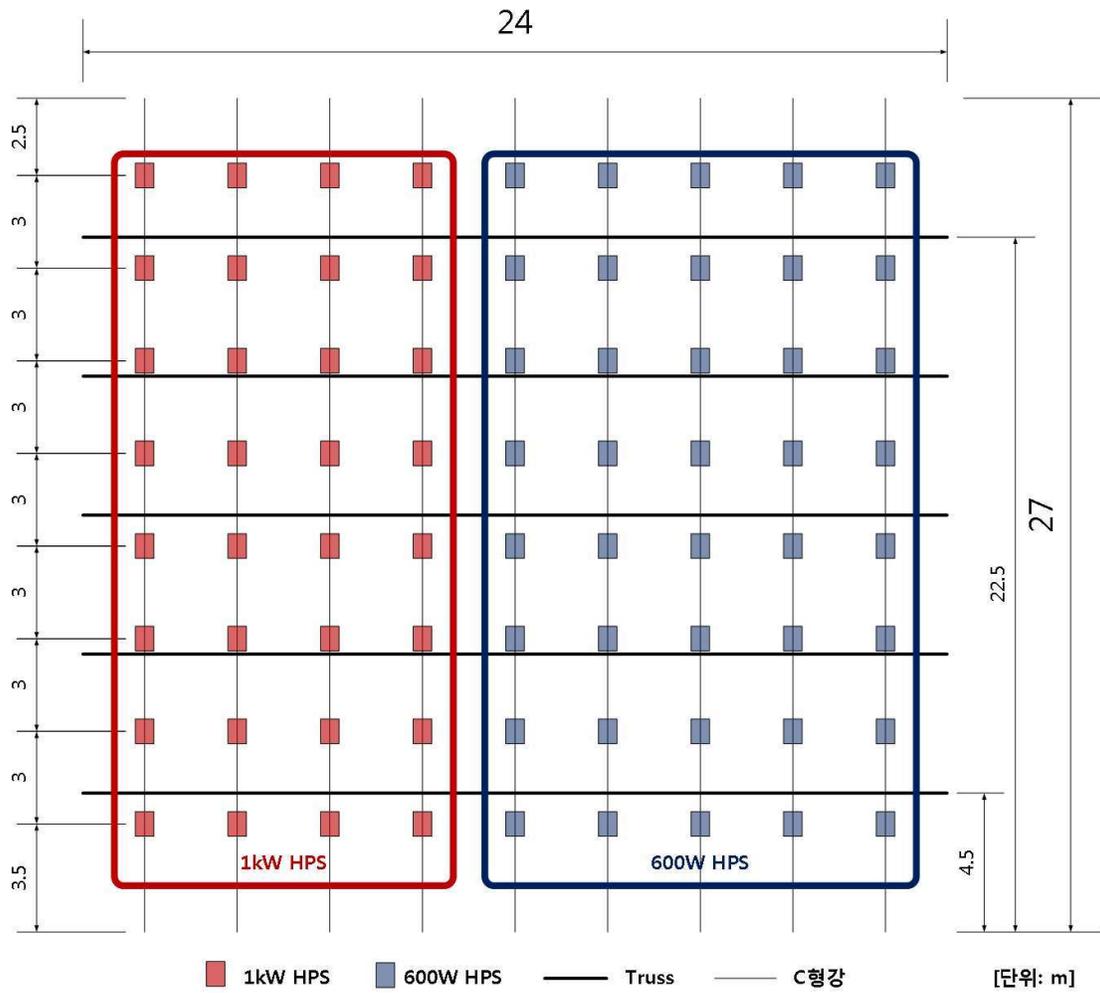


그림 44. 테스트베드 HPS 레이아웃

다. LED(Blue/Red) 배치 및 제어

그림 45는 테스트베드 구역에 배선한 LED 배선도를 보여준다.

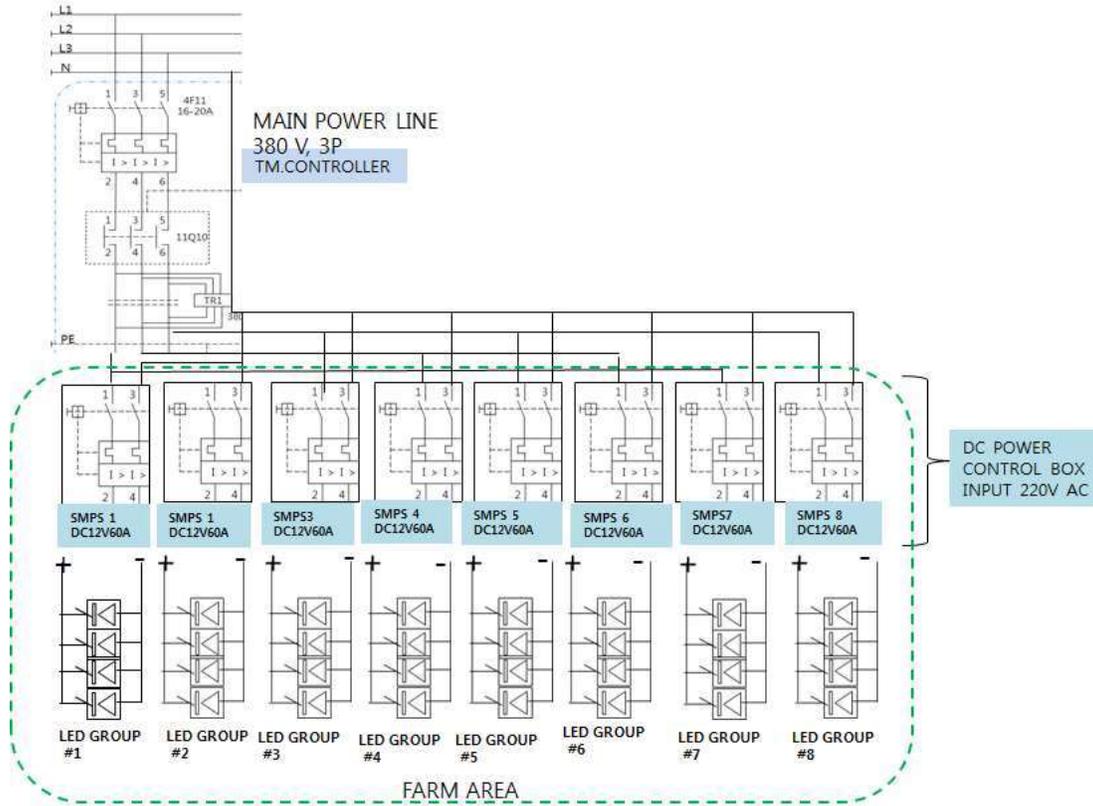


그림 45. 테스트베드 LED 배선도

그림 46은 LED 설치 레이아웃을 나타내며 총 288set(1152EA)의 LED를 사용하였다.

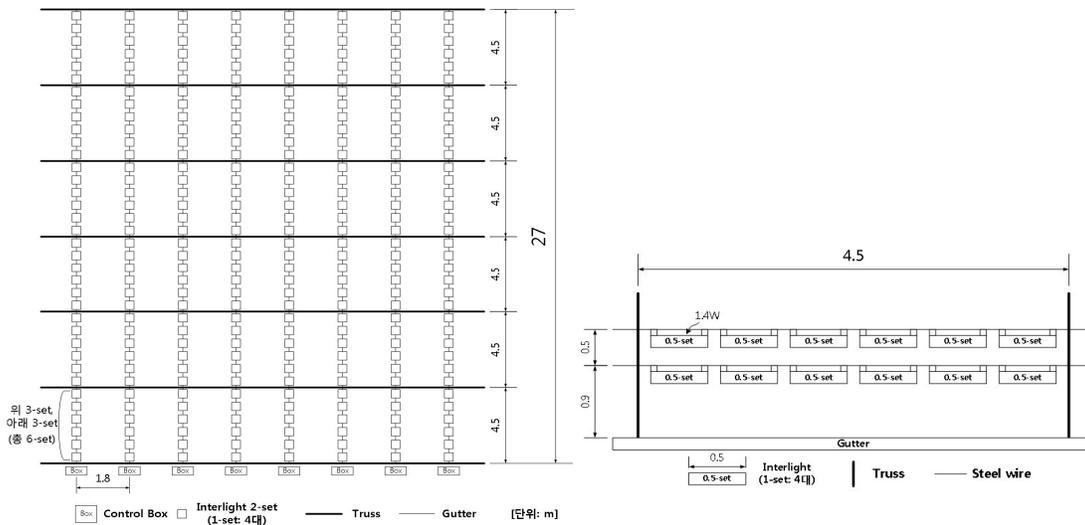


그림 46. 테스트베드 LED 인터라이트 레이아웃

그림 47은 테스트베드 구역에 HPS와 LED 배선과 배치를 완료한 사진이다.



그림 47. HPS 및 LED 인터라이팅 합성광원을 적용한 테스트베드

4절. 실증실험

1. 실증실험 준비과정

가. 19년 10월 21일 ~ 19년 10월 24일: 수전공사

기존 5000평 유리온실에 공급되는 전력량으로는 하이브리드 보광등을 운영하기는 전력량이 부족하기 때문에 그림 48과 같이 늘봄 유리온실에서 하이브리드 보광등 운영에 필요한 예상 전력량을 계산하여 수전공사를 진행하였다.

- 기존 100kW 저압 3상 → 변경 600kW 고압 3상
- 하이브리드 보광등 필요 예상 전력: 약 465kW(Top 600w 약300개, Inter 80w 약 3600개)



그림 48. 수전공사 진행 과정

나. 19년 12월 27일 ~ 19년 12월 28일: 하이브리드 보광등 고정 구조물 설치

하이브리드 top-light 설치하기 위해서 필요한 고정 구조물 설치 작업을 진행하였다. 유리 온실 상부 쪽에 하이브리드 top-light를 배치하기에 제약부분들이 존재하여 유리온실의 트러스 구조물에 설치하는 것보다 그림 49와 같이 트러스 구조물 수직방향으로 C형강을 추가로 설치한다면, 유리온실 전체적으로 균일하게 보광등이 가능한 하이브리드 top-light를 설치가 가능하고 C형강 자체에 배선을 숨길 수 있는 공간으로 활용이 가능해졌다.



그림 49. Top-light 배치용 C형강 설치

다. 20년 04월 02일 ~ 20년 04월 03일: 하이브리드 inter-light 설치(1차)

그림 50과 같이 실증실험 전에 하이브리드 inter-light를 사전에 설치하여 예상하지 못한 문제점을 확인하기 위하여 진행하였다. 하이브리드 inter-light 설치 후 고정 와이어의 처짐이 발생하고, 전원부와 20미터 이상 떨어진 경우에 광량 차이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

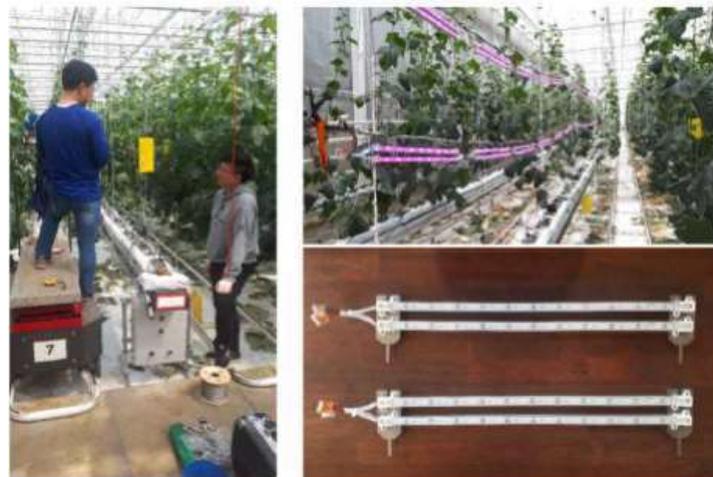


그림 50. Inter-light 설치(1차)

라. 20년 05월 26일 ~ 20년 05월 29일: 하이브리드 top-light 설치 및 전기공사

6월 여름 작기부터 실증테스트를 진행하기 위해 실증실험을 진행할 정식 구역을 미리 철거하여 하이브리드 top-light 설치하였고 필요한 배선공사 및 컨트롤 패널 제작 설치도 함께 진행하였으며, 설치 과정을 아래 그림 51에 나타내었다.



그림 51. top-light 배선 및 설치 진행

마. 20년 06월 19일 ~ 19년 10월 24일: 하이브리드 inter-light 설치(2차)

여름 작기 시작 후 작물이 inter-light 위치까지 성장하기 전에 사전테스트 설치부분을 철거하고, 사전테스트에서 발견된 문제점인 구조물/결선 등에 대해 수정·보완한 하이브리드 inter-light 설치 공사와 전기공사를 진행하였으며, 이를 아래 그림 52에 나타내었다.



그림 52. Inter-light 설치(2차)

2. 실증실험 일정 및 요약

그림 53과 같은 방법으로 하이브리드 보광등을 구역에 맞게 설치하였고 하이브리드 보광등이 작물에 미치는 영향을 파악하기 위해 2020년 06월 10일 ~ 2020년 12월 09일(6개월) 동안 실증실험을 진행하였다. 실증실험 기간 동안 겨울 작기를 시작하기 전까지 작기를 두 번 운영했으며, 실증실험 첫 번째 작기는 백다다기 강인한 품종, 두 번째 작기는 백다다기 베테랑 품종을 계절에 맞게 선택하여 운영해야한다.



그림 53. 하이브리드 보광등 설치구역 사진

가. 실증실험 1차 작기

강인한(백다다기) 품종을 재식밀도 3.0으로 30,300주 정식하였고 보광등 설치구역의 작물과 보광등이 설치되지 않은 작물에 대해서 생육상태를 비교하였다. 여름 작기에는 특성상 높은 기온과 지온으로 인해 줄기와 잎이 웃자라게 되고 노화를 촉진시키는 문제가 있으며, 이러한 문제에 대해 대응하기 위한 재배 방법은 적심재배(Umbrella system)로 진행하여, 총 76일 동안 작기를 운영했으며 50일 동안 수확하였다.

1차 작기 중에는 장마기간이 길었기 때문에 보광여부에 따른 뚜렷한 작물 생육차이를 정성적, 정량적으로 확인할 수 있었다.

품종	오이/백다다기/강인한
재식밀도	3.0
정식주수	30,300주
재배방법	Umbrella system
파종일	20년 05월 19일
정식일	20년 06월 10일
첫수확일	20년 07월 06일
적심	20년 07월 06일
철거	20년 08월 25일
작기운영	76일
수확일수	50일
보광등 운영	20년 06월 24일 ~ 20년 08월 12일



그림 54. 실증실험 1차 작기 정보

나. 실증실험 2차 작기

베테랑(백다다기) 품종을 재식밀도 3.0으로 32,000주 정식하였고 보광등 설치구역의 작물과 보광등이 설치되지 않은 작물에 대해서 생육상태를 비교하였다. 수확일 확보를 위해 약식으로 철거 진행 후 정식 진행하였으며, 정식 후 해충피해를 최소화하기 위해 철거기간 동안 방제를 중점적으로 진행하였다.

재배방법은 3개월 이상 작기 운영에 적합한 유인재배(High-wire system)로 작기를 운영하였다. 그리고 상대습도는 오이생육에 중요한 환경조건으로 상대습도가 너무 낮으면 잎, 줄기, 과실 생육이 크게 억제되므로, 2차 작기 동안 낮에 건조공기유입으로 상대습도가 내려가는 것을 대비하여 포그기를 운영했으며, 상대습도가 70%이상 유지하도록 설정하였다.

실증실험 2차에는 실증실험 1차 기간 동안 긴 장마로 인하여 양액 공급량이 적고 배액을 볼 수 없는 상황으로 확인하지 못한 보광 유무에 따른 배액 상태 및 작물 생육상태에 대해 집중적으로 확인하였다.

품종	오이/백다다기/베테랑
재식밀도	3.0
정식주수	32,000주
재배방법	High-wire system
파종일	20년 08월 09일
정식일	20년 08월 28일
첫수확일	20년 09월 30일
적심	20년 11월 07일
철거	20년 12월 10일
작기운영	105일
수확일수	72일
보광등 운영	20년 09월 09일 ~ 20년 12월 03일



그림 55. 실증실험 2차 작기 정보

3. 효율적인 하이브리드 보광등 운영 방법

스마트팜 운영 시 비오는 날, 흐린 날, 안개, 계절변화 등과 같은 날씨 영향으로 인한 광 부족, 스마트팜 구조상 발생하는 광 부족, 스마트팜 시스템 운영 시 발생하는 광 부족 시기와 작물의 생육 상태를 종합하여 그림 56과 같이 네 가지 case로 나누었다. 그리고 각각의 case에 따라 하이브리드 보광등 운영시기를 세분화하여 운영하고 비교하였다.

- Case 1: 하이브리드 보광등 운영하지 않을 때, 작물 철거 시기, 정식 후 초기와 같이 보광이 불필요하다고 판단되는 시기 운영 방법
- Case 2: 정식 후 일정수준의 엽을 확보하였으나, 작물의 키가 아직 Inter-light 까지 도달 하지 못했을 때 Top-light 만 작동하여 운영하는 방법
- Case 3: 정식 후 작물이 Inter-light 위치까지 키가 올라왔고, 충분한 엽을 확보했을 때 그림자가 발생하는 하단부 보광을 위해 평소에도 운영가능하며, Inter-light 만 작동하여 운영하는 방법(Inter-light의 경우 발광부와 잎 사이의 거리를 최소화 하고 LED를

이용한 보광으로 투입되는 전력대비 효율적인 광합성이 가능하다. 또한, Inter-light에서 발생하는 열로 인해 그로잉파이프 역할도 가능) 그리고 여름철 차광 스크린 전략을 사용할 때 주로 사용 가능한 방법

- Case 4: 하이브리드 보광등의 Top-light와 Inter-light를 동시에 작동하는 방법으로 일반적으로 광이 부족한 시기인 흐리거나 비가 오는 날, 안개가 많은 날, 해뜨기 전후, 해지기 전후 그리고 겨울철 보온 스크린 전략을 사용할 때 주로 사용 가능한 방법

Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
<ul style="list-style-type: none"> • 정식 초기 • 광이 불필요한 시기 	<ul style="list-style-type: none"> • 정식후 • 작물 키가 인터라이트까지 올라오기 전 	<ul style="list-style-type: none"> • 평소 사용가능 • 빛이 잘 들어오지 못하는 하단 부분 보광 	<ul style="list-style-type: none"> • 흐린날 • 해뜨기 전후 • 해지기 전후 • 스크린 사용시

그림 56. 효율적인 하이브리드 보광등 운영 방법

가. Case 2 실증 테스트: Top-light 만 작동하여 운영

정식 후 작물의 엽이 일정수준으로 전개되었으나 작물 키는 아직 Inter-light 위치까지 도달하지 못했을 때 그림 57과 같이 Top-light 만 작동하여 작물에게 보광을 시켜줌. 보통 흐린 날이나 해뜨기 전후, 해지기 전후에 Top-light 만 작동해서 사용가능하다.



그림 57. 하이브리드 보광등 운영 : Case 2

나. 실증테스트 Case3: Inter-light만 작동하여 운영

정식 후 작물이 Inter-light 위치까지 키가 올라왔고, 충분한 엽을 확보했을 때 작물 가까이서 보광이 가능하고, 그림자가 발생하는 하단부 보광을 위해 평소에도 운영 가능한

Inter-light만 작동하여 운영하는 방법이다. 스마트팜에서 Inter-light가 위치하는 곳에 그로잉 파이프(growing pipe)를 설치하여 운영하는 경우가 있는데 그로잉 파이프는 직경이 작은 난방튜브이며, 에너지 최적화 시스템 중에 하나이고, 그로잉 파이프의 효과로는 열매의 온도를 높여 열매 쪽으로 동화 산물이 원활하게 이동할 수 있도록 도와 생산량을 증대시킬 수 있고 작물 주변의 상대습도를 낮출 수 있어 곰팡이 발생 비율을 감소시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 그로잉 파이프를 설치하는 스마트팜 농가가 점점 증가하는 추세이다. Inter-light의 경우 발광부와 잎 사이의 거리를 최소화 하고 LED를 이용한 보광으로 투입되는 전력대비 효율적인 광합성뿐만 아니라 Inter-light에서 발생하는 열로 인해 그로잉 파이프 역할도 할 수 있다.



그림 58. 하이브리드 보광등 운영 : Case 3

다. 실증테스트 Case4: Top-light와 Inter-light 작동

작기 중후반에 작물 전체적으로 보광이 필요할 때 그림 59과 같이 하이브리드 보광등의 Top-light와 Inter-light를 동시에 작동하는 방법으로 일반적으로 광이 부족한 시기에 사용 가능하다. 흐리거나 비가 오는 날, 안개가 많은 날, 해뜨기 전후, 해지기 전후 그리고 스크린전략을 사용할 때 주로 사용 가능한 방법이다.



그림 59. 하이브리드 보광등 운영 : Case 4

라. 스마트팜 상황에 따라 유연하게 제어 가능한 하이브리드 보광등

스마트팜 운영에 있어 온습도 관리는 중요한 부분이며, 온습도 상황에 맞게 하이브리드 보광등을 운영한다면 보광의 장점뿐만 아니라 환경조절의 기능도 할 수 있는 부분이 많다. 기존의 보광등의 경우는 운영하기 위해 투입되는 비용 대비 효과가 미비했다면 하이브리드 보광등의 경우 운영하기 위해 투입되는 비용도 절감 가능한 구조이며, 보광등에서 발생하는 열도 스마트팜 운영하는데 긍정적인 방향으로 활용 할 수 있다. 결국 스마트팜에서 하이브리드 보광등을 사용하면 재배되는 작물의 생육상태도 양호하게 관리하면서 수확량도 증대 시킬 수 있는 역할이 가능하다.

4. 실증실험 결과

가. 실증실험 확인 사항 (보광구역 VS 미보광구역)

추가되는 광량에 따라 온도, CO₂, 관수전략 등과 같은 환경요소도 변화를 주어 작물 상태를 비교분석할 필요가 있지만, 실증실험이 같은 공간의 유리온실에서 진행되어 하이브리드 보광등 설치구역과 미설치구역을 분리하여 환경조건을 조절은 어려운 상황이다. 하이브리드 보광등 설치 유무와 관계없이 하이브리드 보광등으로 추가되는 광량 차이를 제외한 다른 환경관리요소는 하이브리드 보광등이 미설치된 곳의 작물 생육상태에 따라서 설정하였고 아래와 같은 항목을 기준으로 작물 생육 차이를 확인하였다.

- ① 수확량: 추가적인 광량으로 인한 수확량 차이 확인
- ② 육안상의 수확물 상태 확인
- ③ 생육조사를 통한 생육상태 차이
- ④ 배액검사를 통한 배액량 및 배액 EC차이

나. 하이브리드 보광등 운영으로 인한 수확량 차이

1차 실증실험은 2020년 6월~8월 사이에 작기를 운영했으며, 2020년도 여름은 이례적으로 장마(1987년 이후 가장 긴 장마)가 긴 해였다. 1차 실증실험 통해 작물 재배에 있어서 광량의 중요성을 확인 할 수 있는 기간이었다. 광량 부족으로 인한 수확량 감소 및 작물 생육 저하로 인한 비상품과 증가를 실증실험을 통해 확인하였다.

그림 60은 1차 실증실험에서 보광 여부에 따라 달라지는 누적 수확량을 확인할 수 있는 결과이고, 누적 수확량(EA) 미보광구역은 1630EA, 보광구역은 2106EA로 약 30%의 증가율을 확인할 수 있다.

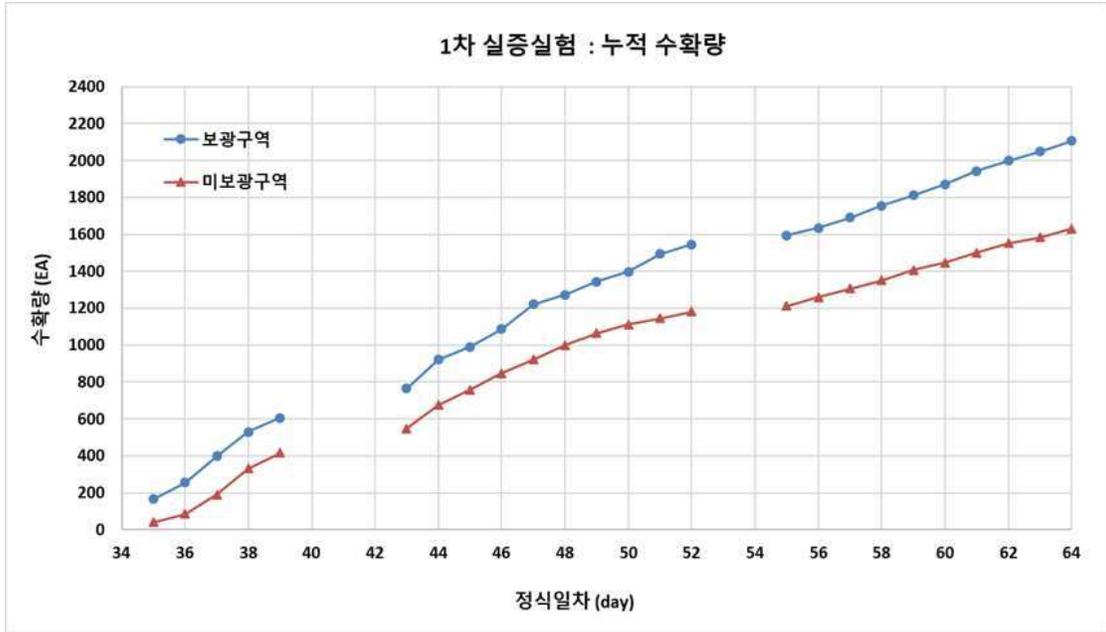


그림 60. 1차 실증실험: 보광 여부에 따른 누적 수확량

그림 61은 2차 실증실험에서 보광 여부에 따라 달라지는 누적 수확량을 확인할 수 있는 결과이고, 누적 수확량(kg) 미보광구역은 980kg, 보광구역은 1100kg로 약 13%의 증가율을 확인할 수 있다.

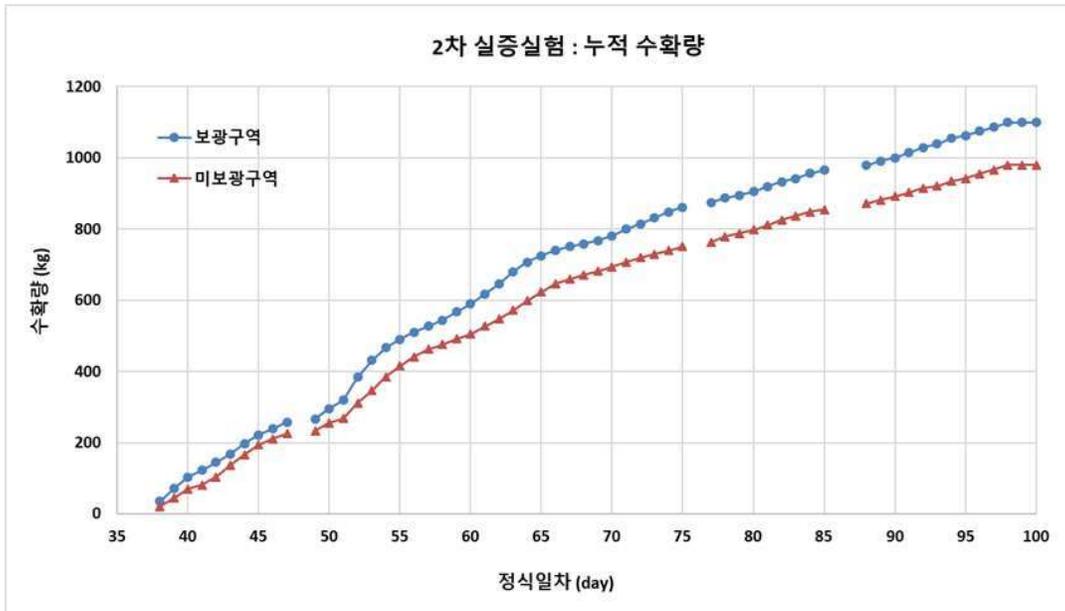


그림 61. 2차 실증실험: 보광 여부에 따른 누적 수확량

실증실험 1차와 2차 결과를 보면, 긴 장마로 외부 광이 부족했던 실증실험 1차는 보광의 효과가 크게 나타났고, 광이 충분했던 실증실험 2차는 실증실험 1차보다 보광 효과가 낮게

나타났다. 하지만 365일 항상 맑거나 비가 오는 일은 없으므로, 종합해보면 누적 수확량이 약 21.5%의 증가했다는 것을 알 수 있다.

- 1차 실증시험에서는 긴 장마기간으로 수확량이 적어 수량으로 확인하였고, 2차 실증시험에서는 수확량이 많아 무게로 확인함
- 수확을 진행한 미보광구역과 보광구역의 면적은 동일하게 비교하였지만 보광구역의 경우 보광구역 전체에 하이브리드 보광 시스템이 있는 것이 아니고 60% 면적에만 하이브리드 보광등 시스템을 적용되었기 때문에 향후, 보광구역 전체에 하이브리드 보광등 시스템을 적용한다면 수확량 증가 폭은 더 증가할 것으로 보임

다. 보광 여부에 따른 수확물 상태 차이

오이 재배 시, 광이 부족한 경우에는 광합성 작용의 양이 감소하고 엽면적이 증가하며, 질소흡수량이 증가하게 되어 작물은 초세가 약해지면서 웃자람과 생육불량이 발생한다. 그 결과로 열매에 영향을 미쳐 낙과와 곡과가 발생하게 되고 상품성 감소와 생산량 감소로 이어진다. 실증시험 기간 동안 미보광구역의 경우 광 부족으로 작물의 초세약화, 미라과 증가, 곡과 증가 등을 확인하였으며, 하단까지 빛이 들어오지 못하여 열매의 착색 불량도 발생하였다. 반면에 보광 구역의 작물은 상대적으로 생육불량 비율이 낮게 보였고 열매의 착색 불량이나 곡과 같은 비상품량 발생 비율이 낮았으며, 결국 그림 62와 같은 수확량 증가로 이어진다.

	06월 25일	07월 15일	07월 26일	07월 28일
보광등 설치 구역		 91개 수확		
보광등 미설치 구역		 45개 수확	 착색불량	 곡과

그림 62. 보광 여부에 따른 수확물 상태 비교

라. 보광 여부에 따른 노엽 발생 차이

하이브리드 보광등 구역의 경우 Inter-light 보광으로 인해 하단에 위치한 엽의 엽록소 파괴가 속도가 늦어져 노엽 발생 비율이 낮은 반면 미보광등 구역의 작물은 광 부족으로 노엽 발생비율이 높은 것을 확인하였다. 온실 작업자가 작물의 하엽작업을 진행할 때, 그림 63과 같이 미보광등 구역은 10장이 하엽되는 동안 하이브리드 보광등 구역은 7장이 하엽이 되는 것을 확인하였다.

7월 14일



미보광등 구역 : 10단까지 하엽

보광등 구역 : 7단까지 하엽

그림 63. 보광여부에 따른 노엽 발생 차이

마. 보광 여부에 따른 배액률 차이

1차 실증실험 기간은 긴 장마로 인해 배액량을 확인 할 수 없었고, 2차 실증실험 기간 동안 확인한 배액 정보를 기반으로 분석하였다. 동일하게 양액을 공급했을 때 보광여부에 따른 배액률 차이를 확인한 결과 하이브리드 보광등이 운영된 구역에서 생육한 작물의 배액률이 적은 것을 확인하였다. 그림 64와 같이 실증실험 작기 동안 보광등 구역의 평균 배액률은 약 24%이고, 미보광등 구역의 평균 배액률은 약 34%로 보광등 구역의 작물들이 상대적으로 약 10% 정도 양액을 더 흡수했다고 판단 가능하며, 추가적인 광량으로 인해 광합성을 더 했다는 근거 중에 하나라고 할 수 있었다.

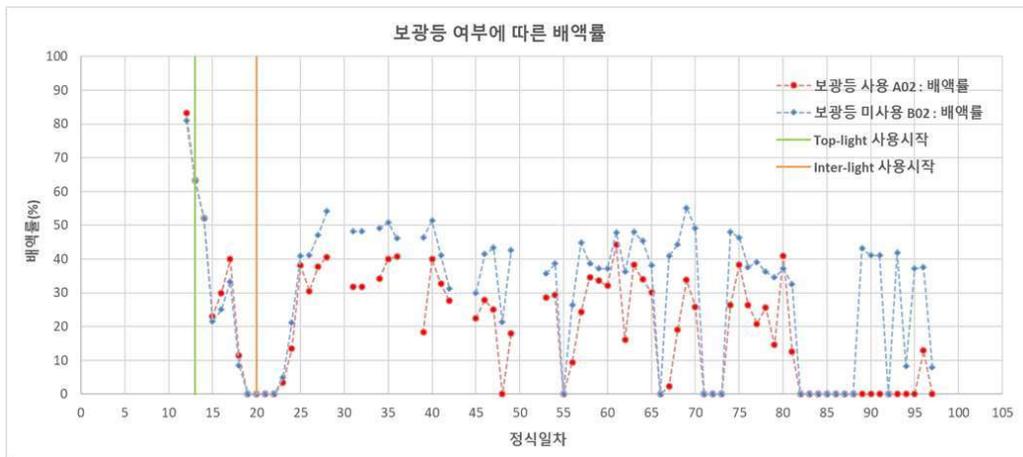


그림 64. 보광등 여부에 배액률 차이

바. 보광 여부에 따른 배액 EC 차이

일반적으로 작물이 수분 흡수가 많을 경우 배액 EC는 높게 측정되고 배액EC를 낮추기 위해 공급량을 조절하여 충분한 배액을 유도한다. 또한, 작물이 무기이온 흡수가 많을 경우 배액EC가 낮아지며, 배액EC를 높이기 위해 공급액의 EC를 조절하여 배액을 유도한다. 작물 상태와 측정된 배액 EC값을 확인하여 공급액을 조절하고 배액 EC를 목표치에 도달하게

하여 배지내 EC를 안정화 한다. 그림 65와 같이 하이브리드 보광등 구역에서 생육한 작물의 배액 EC가 상대적으로 높은 이유는 작물이 무기이온 흡수보다 수분 흡수를 많이 했다고 판단하기 보다는 배액량이 상대적으로 적어 배지를 씻어내는 효과가 적기 때문에 배액 EC가 증가했다고 판단된다. 일반적인 배액 EC 범위가 2.5ms/cm ~ 4.5ms/cm 사이 값이면 작물이 생육하는데 큰 문제가 없다고 보면 된다.

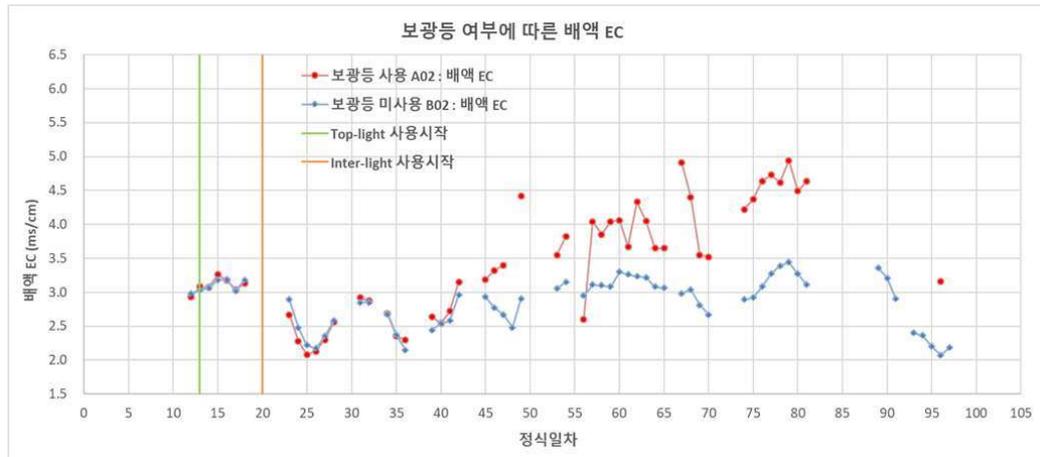


그림 65. 보광등 여부에 배액 EC 차이

사. 보광 여부에 따른 엽전개속도 차이: 전체 작기

엽전개속도는 작물의 수확량과 밀접한 관계가 있다. 그림 66과 같이 보광 여부에 따라 구역별로 작물의 엽전개속도를 측정하여 평균값을 확인하였다. 그 결과 하이브리드 보광등 구역의 작물이 정식일차 15일부터 엽전개속도 1마디 정도 차이를 보이기 시작하였고, 그 이후로 2~3마디 차이를 보였다. 엽전개속도가 증가함에 따라 착과수가 증가되는 것도 함께 확인하였다. 하이브리드 보광등 구역 작물의 착과수는 적심 이후 약 2개 정도의 차이가 발생하였고 착과수 차이는 결국 수확량 증가로 이어 졌다고 판단된다.

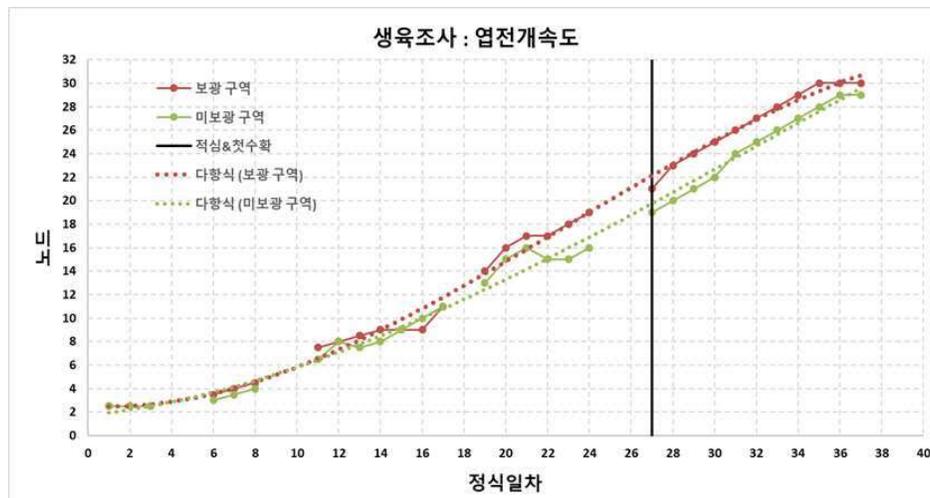
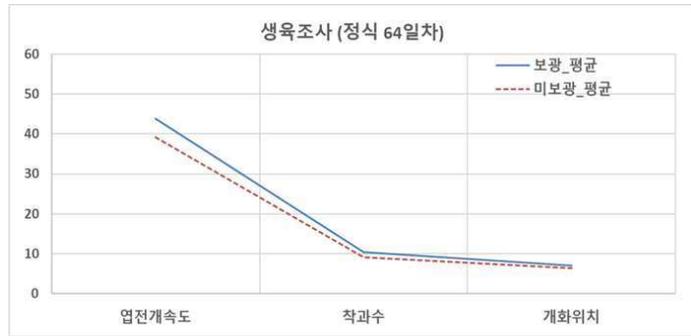


그림 66. 보광 여부에 따른 작물의 엽전개속도 차이

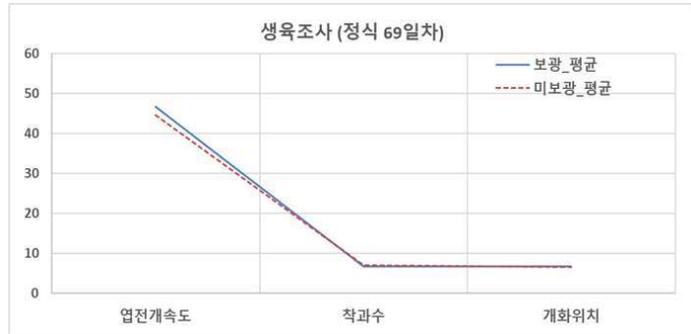
아. 보광에 따른 엽전개속도/착과수/개화위치 차이: 특정일별 생육상태 확인

그림 67을 보면 알 수 있듯이 작물 관리 작업중 하엽이나 적과 같은 작물 관리 작업중 측정된 데이터를 실시간으로 반영하였을 때에도 보광등 구역 작물의 엽전개속도와 착과수에서 차이를 보였으며, 작물의 영양/생식 성장 정도를 확인 할 수 있는 개화위치의 경우는 큰 차이가 없는 것을 확인하였다. 하이브리드 보광등 시스템 적용 시, 작물의 광합성량을 증가로 엽전개속도와 착과수가 늘고 이러한 작물 생육 변화는 생산량 증가로 이어졌다. 또한 빛을 꾸준하게 조사 할 수 있어서 고품질 열매를 안정적으로 생산 가능하였다.

10월 30일		정식일차	64	
No.	엽전개속도	착과수	개화위치	
보광_1	44	11	7	
보광_2	46	8	7	
보광_3	44	11	7	
보광_4	40	10	7	
보광_5	45	12	7	
보광_평균	43.8	10.4	7	
미보광_1	32	5	4	
미보광_2	43	10	7	
미보광_3	41	12	8	
미보광_4	39	10	6	
미보광_5	41	9	7	
미보광_평균	39.2	9.2	6.4	
평균차이	4.6	1.2	0.6	



11월 04일		정식일차	69	
No.	엽전개속도	착과수	개화위치	
보광_1	46	4	6	
보광_2	47	7	7	
보광_3	49	9	6	
보광_4	41	6	5	
보광_5	48	6	6	
보광_6	44	5	6	
보광_7	49	5	7	
보광_8	49	7	8	
보광_9	49	6	8	
보광_10	45	11	7	
보광_평균	46.7	6.6	6.6	
미보광_1	45	10	6	
미보광_2	45	9	6	
미보광_3	47	8	7	
미보광_4	44	7	6	
미보광_5	42	6	6	
미보광_6	43	6	7	
미보광_7	43	8	7	
미보광_8	44	4	5	
미보광_9	47	6	8	
미보광_10	45	6	7	
미보광_평균	44.5	7	6.5	
평균차이	2.2	-0.4	0.1	



11월 09일		정식일차	74	
No.	엽전개속도	착과수	개화위치	
보광_1	51	7	7	
보광_2	53	7	7	
보광_3	51	7	6	
보광_4	51	4	7	
보광_5	49	8	8	
보광_6	53	7	6	
보광_7	49	5	8	
보광_8	50	10	8	
보광_9	51	9	6	
보광_10	46	8	6	
보광_평균	50.4	7.2	6.9	
미보광_1	48	5	7	
미보광_2	48	6	7	
미보광_3	48	6	7	
미보광_4	50	6	7	
미보광_5	45	7	6	
미보광_6	50	4	6	
미보광_7	47	5	6	
미보광_8	51	6	7	
미보광_9	49	5	6	
미보광_10	48	6	7	
미보광_평균	48.4	5.6	6.6	
평균차이	2	1.6	0.3	

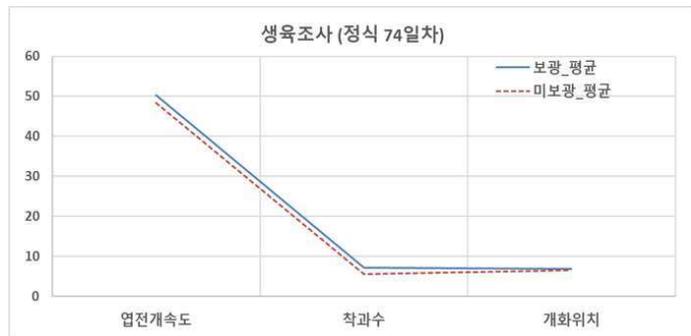


그림 67. 보광 여부에 따른 작물의 엽전개속도/착과수/개화위치 차이

3장. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

본 연구는 스마트팜 환경에 적용이 용이하고 과채류 재배 생산성이 향상된 하이브리드 보광등 시스템을 개발하고자 수행되었고, 개발된 결과를 실제 운영하고 있는 오이 스마트팜에 설치하여 실증 실험을 병행함으로써 그 우수성 및 실용성을 확인하였으며, 타 농가에 확산 적용을 위한 노력을 경주하였다.

- 작물생육에 양호한 광대역 스펙트럼 구현
 - 고효율 경량화 전자식 HPS 등기구 개발 및 필수 광합성 파장대인 Blue 450nm, Red 660nm의 광원을 LED를 이용하여 공급
 - Double ended형 600w급 HPS와 450nm 및 660nm LED광원 제어기 개발
- 날씨와 무관하게 작물 생육이 가능한 PPFD 190 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 이상의 보광환경 실현
 - 연구과제 목표로 설정한 PPFD 값을 만족하는 하이브리드 보광등 개발
- 실증실험을 위한 테스트베드 구축
 - 시설면적 19,925m²(약 6,000평) 중에서 648m²(약 200평)의 테스트베드 공간 구축
 - 기존 100kW 저압 3상에서 실증을 위해 600kW 고압 3상으로 수전공사 실행
- 하이브리드 보광등 시스템 적용으로 인한 생산량 증대 확인
 - 미이라과 발생 비율 감소로 생산량 증가
 - 휘어진 오이 발생과 오이 착색불량 비율 감소
 - 실증실험을 통해 약 20% 생산량 증가 확인
- 스마트팜 운영상황에 따른 광원 조사 기술을 구현
 - 작물 생육 단계 : 육묘기, 생육초기, 생육중기 등에 따른 선택적 광원조사 가능
 - 스마트팜 환경제어 프로그램 제어 : 스크린 제어상태에 따른 선택적 광원조사 가능
 - 기상상황으로 인한 광부족시 선택적 광원조사 가능
- 선택적 광원 조사 구현을 통해 전력에너지 절감 효과 실현
 - 고효율 저전력 LED inter-lighting 활용
- 다양한 설치 및 적용 경험에 의한 운영 Know-How 확보
 - 실제 적용을 통한 누적된 경험으로 농장 상황에 따른 맞춤형 컨설팅이 가능

* 하이브리드 보광등 성능시험 성적서 하기 사진참고

평가항목(주요성능 Spec)	단위	개발 목표치	개발 결과
PPFD(광합성광량자속밀도)	$\mu \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	190 이상	394.1
Total light Output	lumen(lm)	20,000 이상	74,112
Luminaire Efficacy	(lm/w)	60 이상	107.1
Dimension	mm	500X160X350 이하	570X260X300
Weight	kg	8 이하	4.9Kg

표 9. 하이브리드 보광등 세부 성능 목표에 대한 결과

표 9는 하이브리드 보광등 세부 성능 목표에 대한 결과를 나타낸다. 연구개발계획서에
 서 제안한 목표치에서 PPFD는 $394.1 \mu \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, Total light Output은 74,112lm,
 Luminaire Efficacy는 107.1lm/w, Weight는 4.9kg를 만족시켰고 Dimension은
 570X260X300mm로 만족시키지 못 하였고 그 이유는 ‘4장. 목표 미달 시 원인분석’ 에
 상세하게 설명하였다.

- 연구과제 결과를 통해 농업회사법인 주식회사 그로존(재배면적 5000평 유리온실)과
 2020년 11월에 하이브리드보광등 물품공급계약도 1건 체결했다.

TEST REPORT



시험성적서 번호 : N2103R-1038
 전체페이지 : 4 페이지
 발행일자 : 2021. 03. 24.
 시험소 : (주)엔트리연구원
 주소 :
 신청자 : 주식회사 에스랩
 주소 :
 제품명 : 식물성장용 나트륨 등
 모델명 / 정격 : S600H / 600 W
 제조번호 : -
 시험방법 : 의뢰자 제시 방법 (2 페이지 참조)
 시험환경 : 온도: (25 ± 1) ℃, 습도: (45 ± 15) % R.H.
 접수번호 : A2021-02306
 접수일자 : 2021. 02. 22.
 시험기간 : 2021. 03. 23.
 시험결과 : 시험결과 참조
 성적서 용도 : 품질관리용
 비고 :

- 이 성적서의 시험결과는 신청자가 제공한 시료에 국한합니다.
- 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용할 수 없습니다.
- 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련이 없습니다.
- 이 성적서의 진위확인을 위해서는 위의 주소로 연락 주시기 바랍니다.

1. 시험개요

- 이 설적서는 신청자가 제공한 식물성장용 나트륨 등에 대하여 (주)엔트리연구원에서 신청자 요청에 따라 시행한 결과입니다.

2. 시험조건 및 시험방법

- 시험조건
 - 입력전원 : 220 V, 60 Hz (LED 모듈)
 - 380 V, 60 Hz (나트륨 등)
- 시험방법(외투자 제시 방법)
 - CIE 84-1989 : Measurement of Luminous Flux
 - 1m 이격 거리에서의 PPF와 등기구의 무게를 측정

3. 일반요구사항

- 본 설적서 전반에 걸쳐 소수 구분 기호로 점이 사용됩니다.

4. 첨부

- 첨부1 : 사진

NTREE

시험 결과

시험항목	단위	결과	비고
소비전력 ¹⁾	W	691.7	-
총광속	lm	74,112	-
광효율	lm/W	107.1	-
PPFD	$\mu \cdot \text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$	894.1	-
무게	kg	4.9	-

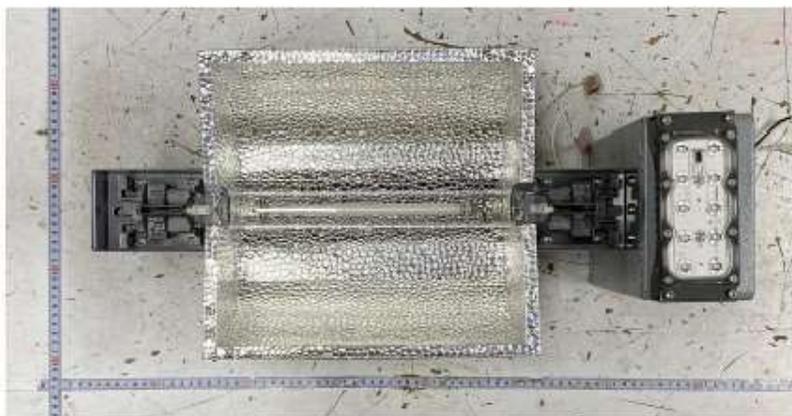
비고 : 10 분 안정화 후 측정된 결과임.

¹⁾ 나트륨 등 소비전력과 LED 모듈 소비전력을 합산한 소비전력
(나트륨 등: 667.9 W, LED 모듈: 23.8 W)



첨부 1: 사진 (1/2)

[전면]



[후면]



(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

농림축산식품 연구개발사업 정량적 연구개발성과표							
사업명	과제명				주관연구기관		연구책임자
농식품기술개발사업	과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발				농업회사법인 주식회사 늘품		서원상
과제유형(지정/자유)	연구개발비(백만원)				정량점수 종합(E)	정량점수 종합 (E*0.4)	연구기관
	정부 출연금	기업 부담금	기타	합계			
자유	175	44		219	52.94	21.18	2019.05.1 0.~2021.0 1.09

(단위 : 건, %, 점)

성과지표		계획(A)	달성(B)	유효성 여부	목표 달성률	지표 달성률	적용비율	점수(D)
사업 화	제품화 (건)	1	1	○	1	100%	0.5	0.98
	매출액 (백만원)	50	0	○	0	0%		
	수출액 (백만원)	0	0	×	-	-		
	고용창출 (명)	0	0	×	-	-		
	투자유치 (백만원)	0	0	×	-	-		
	소계	51	1	○	0	2.0%		
지식재산권 (출원)		1	1	○	1	100%	0.5	50
지식재산권 (등록)		0	0	×	-	-	-	-
기타 (공모전 수상)		0	2	×	-	-	-	-
계		52	4	2				50.98점

*최종평가 정량성과 실적표 참고

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	식물 성장용 수직형 스마트 광원 시스템 및 이를 이용한 식물 생육 방법		한국산업기술대학교 산학협력단	2020.11.05.	10-2020-0147062-10-147062-01470						

관인생략

출원번호통지서

출원 일자 2020.11.05
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(DPP20209032)
 출원 번호 10-2020-0147062 (접수번호 1-1-2020-1184280-33) (DAS접근코드 1A74)
 출원인 명칭 한국산업기술대학교산학협력단(2-2005-025769-7)
 발명자 성명 오재근 형정태
 발명의 명칭 식물 성장용 수직형 스마트 광원 시스템 및 이를 이용한 식물 생육 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통보된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 무채권 또는 은행에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호: 013(가관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고개번호 정보변경(경정), 정정신고서)을 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 ※ 특허청(patentk.or.kr) 접속 > 민원서비스(문로드) > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
 4. 특허(실용신안/특허)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
 5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허 실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
 ※ 제도 안내: <http://www.kipo.go.kr>-특허/과업-PCT/마드리드
 ※ 우선권 인정기간: 특허 실용신안은 12개월, 상표디자인은 6개월 이내
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기점으로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원일 미국출원일로부터 15개월 이내에 미국특허상표청에 (전자특허고개번호PTO5839)를 제출하거나, 우리나라에 우선권 출원서류를 제출하여야 합니다.
 6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
 ※ 특허출원 10-2019-0000000, 상표등록출원 40-2019-0000000
 7. 출원인이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
 8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 통보된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	분리형 하이브리드 보광등	2020.09.25	주식회사 에스랩		스마트팜 보광등			

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과제명	과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발			
주관연구기관	농업회사법인 주식회사 농품	참여기관	한국산업기술대학교 산학협력단	
연구책임자	서원상	연구기간	19년 05월~ 21년 01월(총 2년)	
총 정부출연금	175,000,000원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	(●)	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	()	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 제작일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
과채류 전용 하이브리드 보광등		식물 생장용 Top Lighting & Inter Lighting	2020.09	100
<p>* 첨부 : 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수</p> <p>상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.</p>				

2020년 09월 25일

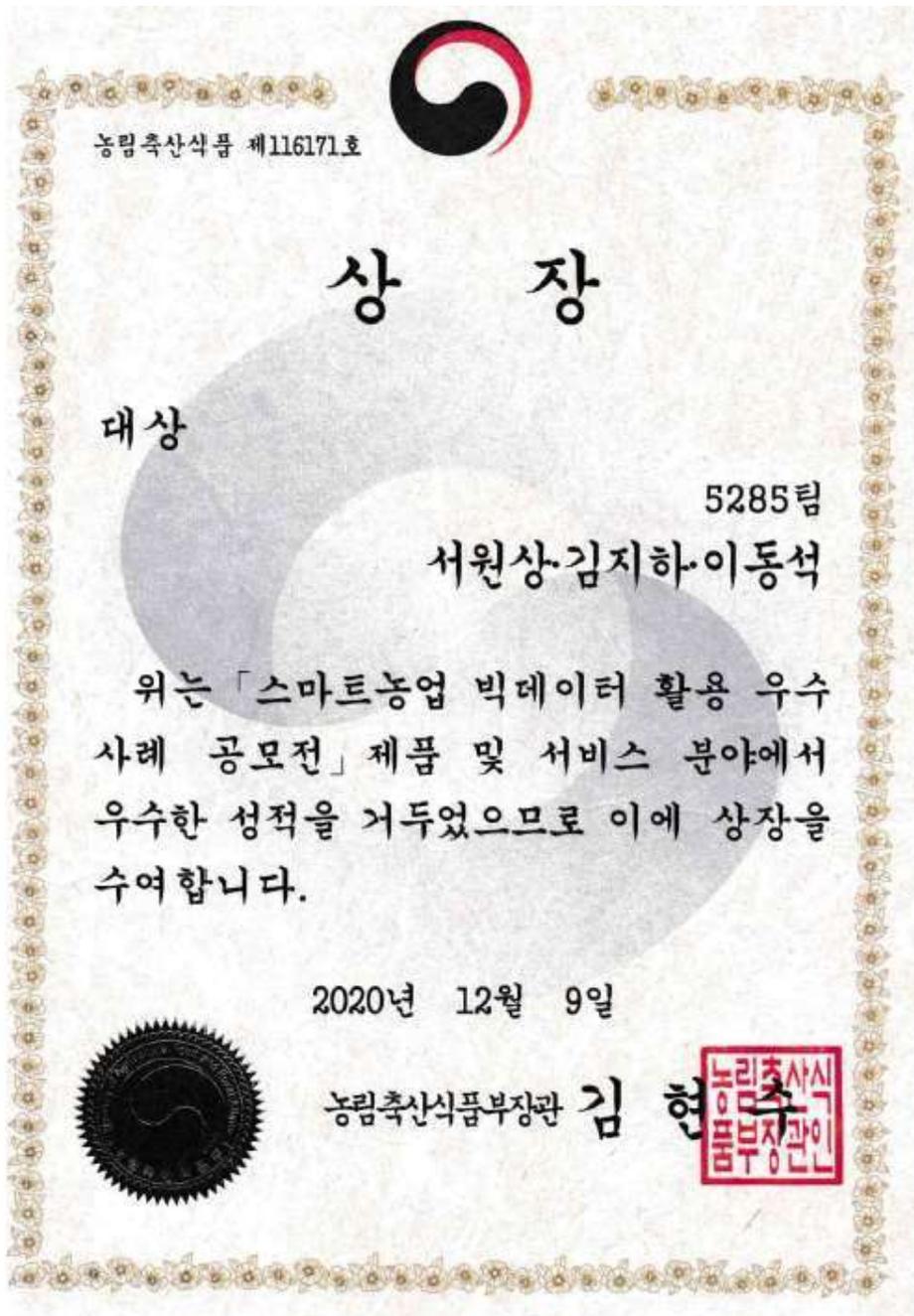
연구책임자 : 서원상 (서명 또는 인)



[사회적 성과]

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
농림축산식품 제116171호	공모전	농림축산식품부장관상	대상	서원상, 김지하,이동석	2020년 12월 09일	농림축산식품부
대한민국국회 제420호	공모전	국회도서관장상	금상	서준민	2019년 12월 12일	과학기술정보통신부





제420호

대한민국국회

상 장

서비스 개발 부문

금 상

Agries

성명: 서준민

귀하는 국회도서관과 과학기술정보통신부가 주최하는 「제2회 국회도서관 해커톤 대회 : 파스-타 기반 서비스 개발 및 아이디어 공모전」에서 우수한 작품을 출품하여 위와 같이 입상하였으므로 이에 상장을 수여함.

2019년 12월 12일



국회도서관

현진권



(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

하이브리드 보조광 물품공급계약 : 261,360 천원
계약일 : 2020년 11월 30일

물품공급계약서

(이하"갑"이라 칭함)과 농업회사법인 주식회사 늘품(이하"을"이라 칭함)은 다음과 같이 스마트팜용 식물재배 하이브리드 보조광에 대한 매매계약을 준수키로 합의하고 동 계약을 체결한다.

- 다 음 -

제 1 조 (계약내용)

1) 건명 : 스마트팜용 식물재배 하이브리드 보조광

2) 세부내역

(단위:원)

품 명	규 격	수 량	공급가	부가가치세	계
하이브리드 보조광		1,200	198,000	19,800	261,360,000
- 설치비는 갑의 부담으로 한다					

제 2 조 (납품기한)

1) 납기 : 2021년 07월 31일

2) 본 계약서의 납기라 함은 "갑"이 지정하는 납품장소에 운반하여 현장설치 완료상태를 일하며, 납품일은 양사 협의하여 진행토록 한다.

제 3 조 (납품장소 및 물품운반)

납품장소 : "갑"의 지정 납품장소(전북 김제시 백학동 1010-3)

계약물품의 납품장소까지의 운반비용은 "을"이 부담한다.

단, 지정납품장소 이외의 장소에서 인도 때에는 "갑"은 "을"이 정하는 소요비용을 계약 금액 이외에 별도로 부담한다.

제 4 조 (대금지불방법) : 발주처기성 즉시 지불

1) 선금 없음

2) 단, 납품 후 1개월 이내 100% 현금 결제조건으로 한다.

제 5 조 (권리·의무의 양도)

"을"은 "갑"의 승낙없이 이 계약으로부터 발생되는 권리 또는 의무를 제3자에게 양도할 수 없고, 본계약에 의해 제작중이거나 현장에서 반입되어야 하는 물품을 제3자에게 매각, 대여 또는 담보목적으로 제공할 수 없다.

제 6 조 (계약의 해지 및 손해배상청구)

- 1) "갑" 또는 "을"은 아래 각항의 사유가 발생될 경우 본 계약을 해지 및 손해배상을 청구할 수 있다.
 - ① 약정된 기일까지 물품을 납품하지 않을 시
 - ② 약정된 기일까지 물품대금을 납부하지 않을 시
- 2) "을"은 납품기한을 엄수하여야 하며, 계약기간내에 물품의 납품을 완료하지 못할 때는 지체일수마다 계약금액의 3/1,000에 해당하는 지체보상금을 대금지불시 공제한다.
- 3) 납기에 의거 "을"이 납품한 물품을 거부하거나, 약정된 기일까지 물품대금을 납부하지 않을시 "갑"은 지체일수마다 계약금액의 3/1,000을 "을"에게 손해 배상 하여야 한다.
- 4) 본 계약의 불이행으로 인한 그 일방이 상대방에 그 이행을 서면으로 최고하고 서면을 받는날로부터 7일 이내에 그 위반사항을 시정하지 아니할 경우 상기와 같이 본 계약을 해지 및 손해배상을 청구할 수 있다.

제 7 조 (물품검사)

"갑"은 "을"의 물품인도시 물품의 검수를 하여야 하며, 검수완료 후 보관이나 "갑"의 주관에 의한 이동 또는 조립시 발생하는 물품의 손상 및 파손에 대하여 책임을 물을 수 없다.

제 8 조 (분쟁의 해결)

본 계약과 관련하여 분쟁이나 이견이 발생되는 경우, "갑""을"은 상호 협의하여 이문 원만히 해결토록 노력하여야 하며, 합의가 이루어지지 아니한 경우 "갑"의 주소지를 관할하는 법원을 관할법원으로 한다.

제 9 조 (변경의 통지)

"갑"과 "을"은 계약체결시 작성한 상호, 대표자, 소재지, 업종 및 기타 계약의 주요내용에 변경이 있을 경우 지체없이 그 사실을 서면으로 상대방에게 통보하여야 하며, 본계약과 관련해서 불통보로 의해 발생하는 모든 문제는 통보하지 않은 측에서 책임 지도록 한다.

제 10 조 (일반사항)

본 계약서에서 정하지 아니한 사항은 일반 상거래와 관련법규 및 법령에 따른다.

제 11 조 (부 칙)

이 계약은 당사자가 서명날인한 때부터 효력을 발생하며, 위 사실을 증명하기 위해 본 계약서 2부를 작성하여 날인한 후 각각 1부씩 보관한다.

제 12 조 (보증기간 및 계약 특수 조건)

- 1) "을"은 관리 부주의 등 의 원인을 제외한 분리막 고유의 성능문제로 인한 손상시 무상으로 교체하며 "갑"과 상의하여 기 설치된 제품과 동등 또는 그 이상의 제품으로 설치한다.
아울러, "갑"은 현장 유지 관리 시 "을"이 제출한 유지보수 및 관리지침서에 따라 운전/관리 하여야 하며, 만약 "을"이 제출한 유지보수 및 관리지침서에 위배된 운전/관리에 의하여 발생한 하자에 대하여는 "을"은 책임을 면하도록 한다.
- 2) "을"은 계약후 준공 이전까지 유지보수 및 관리지침을 "갑"에게 제출하여야 한다.
- 3) "을"은 준공 시 제품보증서(기간 5년)를 "갑"에게 제출한다
- 4) "을"은 준공 시 하자이행증권(1년 10%)을 "갑"에게 제출한다.

제 13 조 (기타사항)

- 1) 본 계약 이행에 있어서 쌍방의 의견이 있을시에는 상호협의를 의하여 처리한다.
- 2) 본 계약이 성립된 것을 증명하기 위해 "갑" "을" 쌍방 기명날인 후 각각 1통씩 보관한다.

2020. 11. 30.

"갑"
주 소 :
상 호 :
대 표 이 사:

"을"
주 소 :
상 호 : 농업회사법인 주식회사 늘품
대 표 이 사 : 김 지 하 (인)

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 연구개발 보광등 세부 성능 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이브리드 보광등 개발 시제품 달성 ○ PPF(광합성광량자속밀도) 394.1 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 달성 ○ Total light Output 74,112 lumen(lm) 달성 ○ Luminaire Efficacy 107.1 m/w 달성 ○ Dimension(mm) 570X260X300 ○ Weight : 4.9kg 이하 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 100% ○ 100% ○ 100% ○ 30% ○ 100%
○ 연구개발 성과 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특허출원 - 1건 달성 ○ 사업화 - 제품화 1건 달성 ○ 사업화 - 매출액 0원 으로 미달성 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 100% ○ 100% ○ 0%
○ 연구개발 추가 달성 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공모전 수상 2건 ○ 물품공급계약 1건 (261,360 천원) 	

4장. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

1. 사업화 - 매출액 5,000만원 미달성 : 전기 인프라 구축 관련 인지 부족

하이브리드 보광등 제품 개발에 초점을 두고 진행되다 보니 실제 스마트팜에 설치 및 운영하기 위한 기본 인프라 구축에 대한 부분을 정확하게 확인하지 못한 문제로 연구개발 기간 동안 제품을 설치하지 못하고 매출을 달성하지 못 했음.

가. 하이브리드 보광등 설치하기 위한 수전공사 필요 문제

5000평 유리온실 하이브리드 보광등 설치시 약 450kw ~ 650kw 추가 필요

수전공사 비용 발생 : 약 7,000만원 ~ 9,000만원

나. 기존 전기설비용량과 추가되는 전기설비용량을 합했을 때 1,000kw 이상 전기안전관리자 상주해야하는 문제

물품공급계약은 1건 진행 완료 되었으며, 상기 인프라 구축 및 운영방법에 대한 문제를 해결하고 하이브리드 보광등 공급예정.

2. 제품 Dimension 500*350*160 이하 미달성 : 제품 신뢰성 문제

연구 초기 개발 시 HPS single-end type을 적용하여 하이브리드 보광등을 개발하려고 했으나 연구 개발중 HPS single-end type의 경우 스마트팜의 높은 습도 환경에서 누전문제가 빈번하게 발생한다는 문제점을 발견하였다. 누전이 빈번하게 발생하는 이유는 그림 1과 같이 HPS single-end type은 전극 간의 거리가 짧아 누전 발생 비율이 크게 증가한다. 반면 HPS double-end type은 그림 2와 같이 전극 간의 거리가 길어 누전 발생 비율이 크게 감소하는 장점이 있다. 하지만, 단점으로 제품의 Dimension이 길어지는 문제가 있었다. 본 연구를 진행하면서 Dimension의 목표는 달성하지 못했지만 향후 하이브리드 보광등이 설치되었을 때 발생할 수 있는 문제점을 미리 해결했다는 점에서 큰 의미가 있다고 생각한다.



전극 간의 거리가 짧음

그림 1. HPS single-end type



전극 간의 거리가 김

그림 2. HPS double-end type

2) 자체 보완활동

하이브리드 보광등 도입 농가의 초기 부담과 운영 부담을 최소화 하면서 생산량을 증대 가능하도록 일체형 하이브리드 보광등 보다 초기 인프라 구축 및 운영비를 더 절감 가능한 분리형 하이브리드 보광등 보급에 중점을 두고 있으며, 분리형 하이브리드 보광등의 Top-light 부분을 HPS에서 LED로 대체하는 연구개발도 진행 중이다.

3) 연구개발 과정의 성실성

하이브리드 보광등 도입 농가의 초기 부담과 운영 부담을 최소화 하면서 생산량을 증대 가능하도록 초기 목표했던 하이브리드 보광등 보다 초기 인프라 구축 및 운영비를 더 절감 가능한 분리형 하이브리드 보광등 개발도 추가적으로 진행했으며, 분리형 하이브리드 보광등의 Top-light 부분을 HPS에서 LED로 대체하는 연구개발도 진행 중이다. 또한 하이브리드 보광등 설치를 많은 농가에 확대 보급하기 위해 하이브리드 보광등을 도입하고자 하는 농가의 규모 및 투자비용에 따라 다양한 설치 방법을 제안하고 준비 중이다.

5장. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

스마트팜에 대한 관심도가 매년 증가하고 국가에서도 미래성장동력 및 일자리 창출 측면에서 8대 선도 사업으로 스마트팜을 포함시켰다. 이로 인해 스마트팜 관련한 정책방향 수립 및 성장 기반을 마련하였고 2019년 10월에 ‘스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발’ 사업 예비타당성조사 통과가 되어 2021년부터 7년간 3,867억 원 투자가 된다. 7년간 스마트팜 현장 보급 및 확산을 위한 제2세대 스마트팜의 기술고도화와 인공지능/로봇/에너지 등 제3세대 스마트팜 원천기술 확보에 집중 투자될 예정이다. 이렇게 스마트팜이 확산되고 있으며, 향후 더 빠르게 확산될 것으로 보인다.

본 연구는 과채류 재배에 적합한 하이브리드 보광등 개발을 진행했으며, 기존에 식물공장 및 엽채류에 집중되어 있던 인공광 기술을 태양광병용온실과 과채류에 적합한 인공광을 연구개발 했다는 점에서 큰 의미가 있다. 작물이 광합성 하는데 광은 필수적인 요소이며, 현재 적용되고 있는 스마트팜 기술에도 인공광부분이 적극적으로 추가 된다면 스마트팜 기술을 도입한 농가의 수확량과 수익성을 크게 증대 시킬 수 있다.

또한, 본 연구는 대부분의 보광등이 해외에서 수입하여 스마트팜에 적용되고 있는 시장에서 국내연구개발을 통해 국내 제품이 개발되어 도입될 수 있는 가능성을 보여줬다. 본 연구에서는 HPS(고압나트륨등)과 LED를 조합한 하이브리드 보광등을 개발했으며, 특히 고효율 하이브리드 보광등은 실증 실험을 통해 얻은 결과들을 활용하여 하이브리드 보광등을 도입을 원하는 농가의 스마트팜 위치 및 상황에 따라서 맞춤형 설계를 제안 가능하고, 기존 보광등 대비 초기 투자비용과 운영비용을 절감하면서 수확량을 증대 시킬 수 있다는 장점이 있다.

본 연구를 시작으로 스마트팜과 과채류에 적합한 보광등 기술들이 다양한 방향으로 개발될 것으로 보이며, 본 연구의 결과가 향후 보광등 기술 개발에 다양한 방향으로 기초자료로 활용 가능하다.

6장. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

본 연구개발을 통해서 하이브리드 보광등의 긍정적인 연구결과를 얻었다. 주요 연구결과로는 식물 광합성의 필수 영역인 440nm와 660nm를 만족시키는 하이브리드 보광등 및 제어기 개발로 일조량이 부족한 장마철이나, 겨울에도 지속적인 작물 생육이 가능한 환경을 구축함으로써 스마트팜 농가의 수확량 증대에 기여가능하고, 기후상태 변화에 따른 광부족 뿐만 아니라 스마트팜 시스템 상에서 발생할 수 있는 광부족 현상까지도 고려하여 하이브리드 보광등을 개발했기 때문에 하이브리드 보광등을 도입하고자 하는 스마트팜의 위치 및 상황에 따라서 운영비를 절감하면서 수확을 증대 할 수 있는 방법을 다양하게 제안 가능하다.

향후 하이브리드 보광등 활용계획은 다음과 같다.

- 늘봄에서 운영하는 스마트팜에 하이브리드 보광등 설치를 확장 운영하고 보광등을 운영하면서 작물 생육상태 차이 및 수확량 증대관련 데이터를 지속적으로 수집함.
- 스마트팜 농장주, 농협관계자, 농식품부관계자, 청년스마트팜보육대상자 등 빈번하게 방문하는 점을 잘 활용하여 하이브리드 보광등 설치 공간과 결과를 자연스럽게 홍보하고 스마트팜을 운영하는 농장주들에게 농장경영상황에 적합하게 보광등 도입 할 수 있는 계획을 수립하여 제안하고 계약 및 공급 진행
- 국내 스마트팜 주요시공업체인 크린플러스와 티에스팜과 업무협약 체결을 통해 스마트팜 시공시 하이브리드 보광등 도입 추천
- 향후 HPS Toplight를 대체할 수 있는 LED Toplight 개발을 위한 기초자료로 활용예정
- 국내 스마트팜에 확산 적용하면서 해외 수출 계획 및 영업을 준비하고 유럽 협력사들과 협력 예정

또한, 향후 하이브리드 보광등에 대한 추가 연구개발 사항은 다음과 같다.

- 하이브리드 보광등 적용으로 생산량 증가와 비품 감소에 대한 부분은 확인 되었지만 보광등 적용으로 수확된 상품의 신선도 유지 부분 추후 검토
- 생산량, 착색정도와 같은 수집 자료의 통계적인 유의성을 확보하기 위해 작기마다 데이터 수집 진행
- 수확물의 질적이고 양적인 부분에서 적외선, 자외선, 녹색광 영역의 미치는 연구를 진행하여 효율적인 하이브리드 보광등 개발 검토
- 향후 HPS Toplight를 대체할 수 있는 LED Toplight 개발을 위한 기초자료로 활용예정
- 국내 스마트팜에 확산 적용하면서 해외 수출 계획 및 영업을 준비하고 유럽 협력사들과 협력 예정

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 과제보고서 관련 별첨자료 FRIS 사이트에 업로드	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 요약서
	4) 초록
2. 농림식품기술기획평가원 담당자 메일로 전송 (붙임 자료)	1) 최종평가 정량성과 실적표
	2) 성과요약

연구개발보고서초록

과 제 명	(국문) 과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발				
	(영문) Developed Hybrid Growing Light Optimized for Fruit Vegetables Cultivation				
주 관 연구 기관	농업회사법인 주식회사 늘품	주 관 연 구 책 임 자	(소속) 농업회사법인 주식회사 늘품		
위탁연구기관	한국산업기술대학교 산학협력단		(성명) 서 원 상		
총연구개발비 (219,000 천원)	계	219,000	총 연구 기간	2019. 05.10, ~ 2021. 01. 09. (1년 9개월)	
	정부출연 연구개발비	175,000	총 연 구 원 수	총 인원	6
	기업부담금	44,000		내부인원	6
	연구기관부담금			외부인원	-

1. 연구개발 목표 및 성과

- 과채류 재배용 고효율 하이브리드(HPS등 + LED 광원) 보광등 개발
- 광량의 제어 및 조절이 용이한 전자식 안정기 개발
- 일조량이 부족한 시기에도 지속적인 작물 생육이 가능한 환경구축으로 생산성 증대
- 장마철이나 겨울철에 광량 부족으로 인해 발생하는 ‘휘어진 오이의 증가’ 저감 환경 구축
- 시장에 작물을 365일 안정적인 공급이 가능한 작물맞춤형 보광환경 및 시설 구축
- 스마트팜 시스템 및 보광등에 의한 ‘그림자 발생 모순’의 최소화 환경 구축
- 설치된 보광등 위치에서 하단으로 1m 이격 시, PPFD 190 μ mol/(m²·s) 이상 보광환경 구축

2. 연구내용 및 결과

- 작물생육에 양호한 광대역 스펙트럼 구현
 - 고효율 경량화 전자식 HPS 등기구 개발 및 필수 광합성 파장대인 Blue 450nm, Red 660nm의 광원을 LED를 이용하여 공급
 - Double ended형 600w급 HPS와 450nm 및 660nm LED광원 제어기 개발
- 날씨와 무관하게 작물 생육이 가능한 PPFD 190 μ mol/(m²·s) 이상의 보광환경 실현
 - 연구과제 목표로 설정한 PPFD 값을 만족하는 하이브리드 보광등 개발
- 실증실험을 위한 테스트베드 구축
 - 시설면적 19,925m²(약 6,000평) 중에서 648m²(약 200평)의 테스트베드 공간 구축
 - 기존 100kW 저압 3상에서 실증을 위해 600kW 고압 3상으로 수전공사 실행
- 하이브리드 보광등 시스템 적용으로 인한 생산량 증대 확인
 - 미이라과 발생 비율 감소로 생산량 증가
 - 휘어진 오이 발생과 오이 착색불량 비율 감소
 - 실증실험을 통해 약 20% 생산량 증가 확인

- 스마트팜 운영상황에 따른 광원 조사 기술을 구현
 - 작물 생육 단계 : 육묘기, 생육초기, 생육중기 등에 따른 선택적 광원조사 가능
 - 스마트팜 환경제어 프로그램 제어 : 스크린 제어상태에 따른 선택적 광원조사 가능
 - 기상상황으로 인한 광부족시 선택적 광원조사 가능
- 선택적 광원 조사 구현을 통해 전력에너지 절감 효과 실현
 - 고효율 저전력 LED inter-lighting 활용
- 다양한 설치 및 적용 경험에 의한 운영 Know-How 확보
 - 실제 적용을 통한 누적된 경험으로 농장 상황에 따른 맞춤형 컨설팅이 가능

3. 연구성과 활용실적 및 계획

- 과채류 재배에 적합한 하이브리드 보광등 개발로 지속적인 작물 생육이 가능한 환경구축
- 고효율 하이브리드 보광시스템 적용으로 긴 장마에도 불구하고 생산량 21.5% 증대
- 특허 출원 1건 (10-2020-0147062, 식물 성장용 수직형 스마트 광원 시스템 및 식물 생육 방법)
- 농림축산식품부장관상 대상 수상 (2020.12.09, 스마트농업 빅데이터 활용 우수사례 공모전)
- 국회도서관 해커톤대회 금상 수상 (2019.12.12, 파스-타 기반 서비스 개발 및 아이디어 공모전)
- 하이브리드 보광등 시제품 개발 완료
- 하이브리드 보광등 물품공급계약 1건, 2021년 하반기 공급 예정

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		819010-2	
사업구분	농식품기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	농식품연구성과후속지원사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발			과제유형	개발
연구개발기관	농업회사법인 주식회사 늘품			연구책임자	서원상
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2019.05.10. ~ 2020.01.09.	75,000	19,000	94,000
	2차년도	2020.01.10. ~ 2021.01.09	100,000	25,000	125,000
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
	계	2019.05.10. ~ 2021.01.09.	175,000	44,000	219,000
참여기업					
상대국		상대국연구개발기관			

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2021년 03월 15일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
농업회사법인 주식회사 늘품	연구소장	서원상

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	서원상
----	-----



I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : √ 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

과제 목표인 과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발 목적을 달성하였고 스마트팜의 구조물에 의한 그림자 발생 / 재배기술로 작물 하단에 발생하는 그림자 환경을 이용하여 광효율을 극대화 하기 위한 고효율 하이브리드 보광등으로 실증 테스트까지 진행하여 작물 생육상태 차이를 확인함

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : √ 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

고효율 경량화 전자식 HPS 등기구 개발 및 필수 광합성 파장대인 Blue 450nm, Red 660nm의 광원을 LED를 이용하여 공급하는 하이브리드 보광등 개발로 일조량이 부족한 장마철이나, 겨울에도 지속적인 작물 생육이 가능한 환경을 구축함으로써 안정적인 작물 공급으로 농가의 생산량 증대됨. 또한 농가 입장에서 보광등 초기 투자비용과 운영비를 절감하면서 수확을 증대 할 수 있기 때문에 농가 수입에도 큰 도움이 됨

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : √ 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

국내 환경에서 스마트팜이 가지는 단점(여름철 차광스크린에 의한 광합성 부족 및 겨울철 보온스크린에 의한 광량부족)을 극복하고, 설치가 용이하며 관리가 수월한 하이브리드 보광시스템 적용으로 생산량이 21.5% 증가된 국내 스마트팜에 적합한 작물맞춤형 보광환경 및 시설을 구축함. 하이브리드 보광등 테스트 공간과 결과를 통해 스마트팜 운영 농장주들에게 홍보하고 각 농장경영 상황에 적합한 보광등 도입 계획을 수립하여 계약하여 공급 진행

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : √ 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

재배면적 16,002m²(약 4,800평)의 유리온실에서 648m²(약 200평) 테스트베드 공간을 확보하여, 하이브리드 보광등 설치지역 및 비 설치지역의 수확량, 육안검사, 생육조사, 배액검사 등의 진과정을 모니터링 하였으며, 상호관계의 의한 문제점 파악 및 보완을 실시간으로 수행하기 위하여 데이터기반 생육환경 및 시설을 구축하고 지속적인 개선과 노력을 경주함.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : √ 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

1. 재배 식물의 성장에 따른 유효한 과장 및 광량의 투사가 선택적으로 가능한 효율적인 광원 시스템에 관한 특허(10-2020-0147062)를 출원하였으며,
2. 생육조사, 수확량, 환경데이터 등의 스마트팜 데이터를 수집분석하여 하이브리드 보광등 제어에 적용한 사례가 ‘스마트농업 빅데이터 활용 우수사례’로 선정되어 농림축산식품부장관상 대상을 수상 (2020.12.09.) 하였고,
3. 작물 생산량 예측 및 관리가 가능한 웹기반 서비스를 개발하여 국회도서관 해커톤대회 금상을 수상(2019.12.12.) 하였음.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
하이브리드 보광등 개발	40	100	스마트팜에 설치가 용이하고 과채류 재배에 최적화된 고효율 하이브리드 보광등 개발 완료함. 또한, 단순 보광등 개발이 아닌 스마트팜 시스템과 작물상태를 고려하여 보광등을 운영가능하도록 했다는 점에서 큰 의미가 있음
PPFD(광합성광량자속밀도) 190 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 이상	40	100	하이브리드 보광등용 전자식 안정기를 개발을 했고 목표했던 광합성광량자속밀도를 달성함
Total light Output 20,000lumen(lm) 이상	5	100	목표하는 값 달성
Luminaire Efficacy 60 m/w 이상	5	100	목표하는 값 달성
Dimension(mm) 500*160*350 이하	5	30	하이브리드 보광등 신뢰성 확보를 위해 제품의 치수가 증가하였고 추후 추가적인 연구개발을 통해 치수를 줄이도록 노력하겠음.
Weight 8kg 이하	5	100	목표하는 값 달성
합계		96.5%	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

과제 목표인 과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발 목적을 달성하였다. 스마트팜의 구조물에 의한 그림자 발생 / 재배기술로 작물 하단에 발생하는 그림자 환경을 이용하여 광효율을 극대화 가능한 고효율 하이브리드 보광등으로 실증 테스트까지 진행하여 작물 생육상태 차이를 확인하였고 그 내용을 활용하여 창의적으로 제품 개발을 완성하였다.

다양한 설치 및 적용 경험에 의한 하이브리드 보광등 운영 Know-How 확보했어 보광등을 도입하고자 하는 농장의 상황에 따른 맞춤형 컨설팅이 가능하다. 이를 통해, 향후 스마트팜에 하이브리드 보광등을 보급하기 위한 촉석을 마련함.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

스마트팜을 운영하는 고객의 요구사항을 최대한 반영하기 위해 단순한 과제 목표 달성에 국한하지 않고, 양호하고 실용적인 생장 시스템 구축을 위하여 반복적이고 적극적인 시스템 변경 및 추가를 적극적으로 실시하였으며, 과제 수행 결과를 효율적으로 활용하기 위하여 생육 현장의 원격 관리 및 생산량 예측이 가능한 빅데이터 기반 웹 환경을 실용적으로 개발을 했다. 스마트팜 기술과 하이브리드 보광등 기술의 융합을 통해 안정적인 생산이 가능하여 스마트팜 시장에서 긍정적인 반응이 기대됨.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

개발된 하이브리드 보광등을 당사의 제2농원과 협력농장에 우선적으로 적용 예정이며, 하이브리드 보광등 테스트 공간과 결과를 바탕으로 스마트팜 운영 농장주들에게 홍보하고 하이브리드 보광등에 도입에 관심있는 농가의 농장경영 상황에 적합한 보광등 도입 계획을 수립하여 계약하고 제품 공급을 진행한다. 또한, 국내 스마트팜에 확산 적용 및 유럽 협력사들과 협력하여 수출 노력을 경주.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구개발기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

해당없음

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

해당없음

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	
연구과제명	과채류 재배에 최적화된 하이브리드 보광등 개발			
주관연구개발기관	농업회사법인 주식회사 늘품		주관연구책임자	서원상
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구개발기관부담금	총연구개발비
	175,000,000	44,000,000	-	219,000,000
연구개발기간	2019. 05. 10 ~ 2021. 01. 09 (21개월)			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(사업화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 하이브리드 보광등 개발	고효율 하이브리드 보광등 개발 완료
② PPF(광합성광량자속밀도) 190 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 이상	394.1 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
③ Total light Output 20,000lumen(lm) 이상	74,112 lumen(lm)
④ Luminaire Efficacy 60 m/w 이상	107 m/w
⑤ Dimension(mm) 500*160*350 이하	570*260*300 (mm)
⑥ Weight Weight 8kg 이하	4.9kg

* 결과에 대한 의견

스마트팜을 운영하는 고객의 요구사항을 최대한 반영하기 위해 단순한 과제 목표 달성에 국한하지 않고, 양호하고 실용적인 생장 시스템 구축을 위하여 반복적이고 적극적인 시스템 변경 및 추가를 적극적으로 실시하였으며, 그 결과 스마트팜 환경 프로그램과 작물 생육 상태에 따라서 하이브리드 보광등을 선택 운영가능하기 때문에 고효율 하이브리드 보광등을 개발을 할 수 있었음. 또한, 스마트팜 기술과 하이브리드 보광등 기술의 융합을 통해 안정적인 생산이 가능하여 스마트팜 시장에서 긍정적인 반응이 기대됨.

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T 평 균 등 급	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문	논 문 평 균 I F	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												S C I				비 S C I	학 술 발 표			
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건			
가중치	10						50	40												
최종 목표	1						1	50												
당해 년도	목표	1					1	50												
	실적	1					1	0										2		
달성률 (%)	100						100	0												

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	파채류 재배에 최적화된 고효율 하이브리드 보광등
②	하이브리드 보광등용 국산 전자식 안정기 개발
③	재배 식물의 성장에 따른 유효한 파장 및 광량의 투사가 선택적으로 가능한 효율적인 광원 시스템 (특허)

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타
①의 기술					√					
②의 기술					√					
③의 기술						√				
·										

* 각 해당란에 v 표시

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농식품연구성과후속지원 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농식품연구성과후속 지원 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.