

319025-0
1-1-SB010

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
1세대 스마트 플랜트팜 산업화 개발사업 2020년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003219-01

보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화

2020년 7월 27일

주관협동기관 / 팜에이트(주)
협동연구기관 / 한국과학기술연구원
협동연구기관 / 충북대학교
협동연구기관 / 전남대학교

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화

2020

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화”(개발기간 : 2019.01.22. ~ 2020.01.21.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020년 7월 27일

주관연구기관명 : 농업회사법인 팜에이트 (대표자) 박 종 위 (인)
협동연구기관명 : 한국과학기술연구원 (대표자) 윤 석 진 (인)
협동연구기관명 : 충북대학교 (대표자) 최 상 훈 (인)
협동연구기관명 : 전남대학교 (대표자) 김 재 국 (인)



주관연구책임자 : 강 대 현
협동연구책임자 : 박 수 현
협동연구책임자 : 오 명 민
협동연구책임자 : 김 운 형



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	319025-01-1-SB010	해 당 단 계 연 구 기 간	2019.01.22. ~2020.01.21	단 계 구 분	(1차년도)/ (1차년도)
연구사업명	단 위 사 업	농림축산식품연구개발사업			
	사 업 명	1세대 스마트 플랜트팜 산업화			
연구과제명	대 과 제 명	보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화			
	세부 과제명	보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화			
연구책임자	강 대 현	해당단계 참여연구원 수	총: 24명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 600,000천원 민간: 150,000천원 계: 750,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 24명 내부: 명 외부: 명	총 연구개발 비	정부: 600,000천원 민간: 150,000천원 계: 750,000천원
연구기관명 및 소속부서명	농업회사법인 팜에이트(주), 한국과학기술연구원, 충북대학교, 전남대학교			참여기업명 농업회사법인 팜에이트(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) 보고서 면수

요약문

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 보급형 식물공장 자동화 생산시스템 모델 구축 및 실증 ○ 분화류 식물공장 자동 재배 시스템 고도화를 위한 칼라코에 표준재배 기술 및 이송모듈, 제어, DB분석 자동화 ○ 약용작물(이고들빼기) 자동화 재배를 위한 광조건 및 시스템 고도화 ○ 식물공장 자동화 시스템을 이용한 품목별 단기 실증재배를 통한 보급형 식물공장의 경제성 및 경제적 파급효과 분석
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 팜에이트 <ul style="list-style-type: none"> - 고용창출 2인, 교육지도 2건, 연구인력 활용 1인, 전시회 참가 1건, 기술이전 3건, 제품화 3건 ○ 한국과학기술연구원 <ul style="list-style-type: none"> - 이송자동화설계도 1건, 표준재배문서 1건, 환경/양액제어 시스템 자동화 1건, 특허출원 5건, DB 구축 4종, 실증결과보고서 1본, 이고들빼기 성분 분석 1건 ○ 충북대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 특허출원 1건, 학술대회 발표 2건, 논문 게재 1건(SCI급) ○ 전남대학교 <ul style="list-style-type: none"> - 경제성 평가보고서 1본, 학회대회 발표 1건, 교육지도 1건
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경제성 확보 식물공장 비즈니스 모델 구축 및 생산시스템 보급 ○ 시스템 및 품목별 재배기술의 선진국 수준 달성에 의한 해외 수출 판로 개척 ○ 식물공장 생산 원물의 바이오(식의약) 산업 2차 제품화 연계를 통해 신성장 동력 창출 및 전후방 산업의 동반 성장 활성화 기대 ○ 식물공장 자동화 시스템 모델 구축에 의한 노력 절감 및 생산성 증대 ○ 경제성 확보 식물공장 분화류 재배 시스템 보급 ○ 시스템 및 품목별 재배기술의 선진국 수준 달성에 의한 해외 수출 판로 개척 ○ 침체된 국내 화훼류 시장 신성장 동력 창출 및 전후방 산업의 동반 성장 활성화 기대 ○ 경제성 확보 식물공장 비즈니스 모델 구축 및 생산시스템 보급 ○ 시스템 재배기술의 선진국 수준 달성에 의한 해외 수출 판로 개척

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식물공장 생산 원물의 바이오(식의약) 산업 2차 제품화 연계를 통해 신성장 동력 창출 및 전후방 산업의 동반 성장 활성화 기대 ○ 식물공장 자동화 시스템 모델 구축에 의한 노력 절감 및 생산성 증대 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경제성 확보 식물공장 분화류 재배 시스템 보급 ○ 시스템 및 품목별 재배기술의 선진국 수준 달성에 의한 해외 수출 판로 개척 ○ 침체된 국내 화훼류 시장 신성장 동력 창출 및 전후방 산업의 동반 성장 활성화 기대 ○ 운영비 절감, 경제성 평가 및 경제적 파급효과 분석을 통한 식물공장 보급에 기여 ○ 향후 식물공장에 대한 국가 지원의 타당성 확보에 기여 				
국문핵심어 (5개 이내)	식물공장	현장보급형	약용식물	분화류	엽채류
영문핵심어 (5개 이내)	Plant Factory	Field-distribution	Medicinal plant	Pot-plant	Leafy vegetables

목 차

제1장 연구개발과제의 개요	
제1절 연구개발 목적	1
제2절 연구개발의 필요성	2
제3절 연구개발 범위	8
제2장 연구수행 내용 및 결과	
제1절 식물공장 자동화라인 실증재배를 통한 경제성 있는 고부가가치 엽채류 재배관리 모델 구축	12
제2절 재배 효율성 및 품질 안정성을 확보할 수 있는 양산형 자동화 생산 시설에서의 약용작물(이고들빼기) 재배 관리 모델 구축	27
제3절 식물공장 자동화 생산 시스템 고도화를 위한 환경 및 생육 데이터 전문 소프트웨어를 통한 분석 및 모델링	34
제4절 자동화 시스템에서 재배된 작물의 기능 성분 분석을 통한 식물공장 작물의 표준화 모델 제시 및 고부가가치화	36
제5절 분화류(칼랑코에)에 대한 자동화 시스템 고도화	37
제6절 자동화 시스템 고도화	40
제7절 칼랑코에 단기 실증 재배	43
제8절 칼랑코에 생육 단계별 재배법 표준화	47
제9절 약용작물 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화	48
제10절 고기능성 약용작물 생산 증대를 위한 광질 및 수광 분포 개선	53
제11절 엽채류, 약용식물 재배 기술 식물공장 자동화 시설 고도화 실증 기관 전수 및 컨설팅	60
제12절 경제성 평가의 의의	62
제13절 비용과 편익의 유형 및 범위	63
제14절 비용·편익 분석 방법	64
제3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	
제1절 목표	72
제2절 목표달성여부	73
제3절 목표 미달성 시 원인 및 차후대책	76
제4장 연구결과의 활용 계획	
제1절 기관별 연구결과의 활용 계획	77
참고 문헌	79

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 목적

1. 팜에이트

- 저비용, 고효율의 현장보급형 식물공장 자동화 시스템 모델 개발
- 식물공장 자동화 설비에 최적화된 고소득 작물의 생산 표준화 모델 개발 및 실증
- 식물공장 자동화 시스템을 통한 운영비 절감 및 경제성 평가를 통한 비즈니스 모델 확립

2. 한국과학기술연구원

- 분화류 재배 공정 간소화 및 노동력 절감을 위한 식물공장 분화류 자동재배 기술 개발이 목적임

3. 충북대학교

- 고품질 약용작물(이고들빼기)의 대량생산의 위한 생산 체계를 확립한 식물공장 비즈니스 모델 구축 및 생산 시스템 보급
- 저비용/고효율 현장 보급형 식물공장 시스템 모델 개발이 최종 목표임

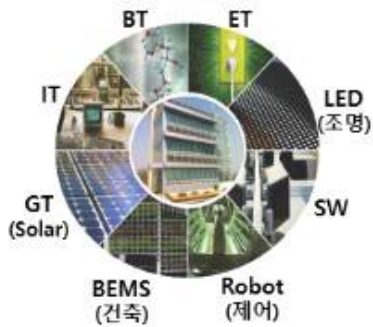
4. 전남대학교

- 경제성 분석을 순현재가치(net present value: NPV), 편익/비용 비율(benefit-cost ratio: B/C Ratio), 내부수익률(internal rate of return: IRR)의 기법을 사용하여 시행함
- 식물공장 지원활동별 가치 사슬 분석을 통한 부가가치 증대 방안 제시
- 품목별 판매 연계 성공 모델 제시

제2절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 배경

- 가. 식물공장은 미래의 한국 농업 경쟁력 확보 및 신성장 동력 발굴을 위한 농업의 4차산업 혁명 유망 산업분야
- 나. 농업기술과 산업기술을 융복합 기술화 하여 연관 산업의 동반성장, 농업의 블루오션 비즈니스 모델 창출

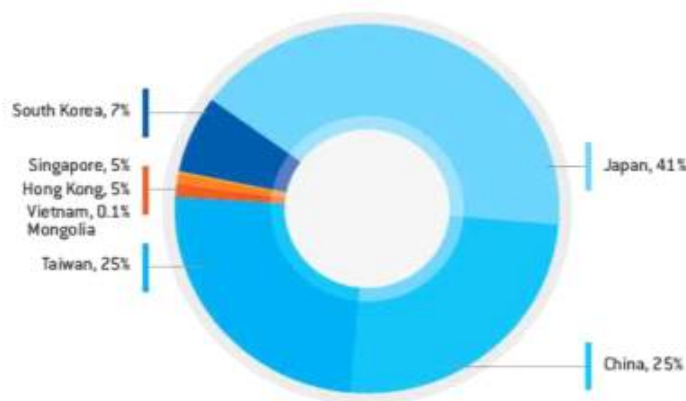


1> ICT융합복합산업



그림2> 식물공장시스템

- 다. 일본을 비롯한 유럽, 미국, 중국 등에서도 식물공장에 대한 민·관 투자 증가로 상용화 기반 구축에 총력을 기울이고 있음
- 라. 아시아 국가를 기준으로 식물공장의 분포는 일본이 41%, 중국과 대만이 각각 25%, 한국은 7% 정도 점유



Sources: Japan Plant Factory Association, Dr. Wei Fang, Dr. Changhoo Chun, Dr. Qing Yang, Singapore Farming / Newbean Capital analysis

그림 3> 아시아의 식물공장 분포

- 마. 51개국과 FTA(자유무역협정)가 발효되어 관세장벽이 허물어지고 무한경쟁으로 접어드는 한국 농업에 대한 국제 경쟁력 확보가 시급한 실정임
- 바. 최근 식물공장의 시장성이 이슈화되고 있으며, 농업이 다른 분야와 융합하여 새로운 산업으로의 성장 가능성을 높게 평가 받음

표1. 기존 농업 방식과 식물공장 비교

구분	노지재배	시설재배	수경재배	식물공장
농업적 이미지	전통농업	근대농업	현대농업	미래농업
기반	토양	토양 + 시설	시설 + 기술	시설 + 기술 + 과학
비료원 (비효성)	토양 + 비료 (완효성)	토양 + 관주 (완효성)	양액 (속효성)	양액 + 공급프로그램 (속효성)
생산주기	계절적	반계절적	반계절적	연작생산 공급
생산주기별 상품성	적기에만 우수	계절적으로 맛과 영양 부족	시설재배와 동일 수준	과학적 제어시스템으로 연중동일
수량 구성 요소	환경	자연	부분적 인공	완전 인공
	유전성	자연	자연	자연 + 인공
	재배기술	자연 순응	자연회피 + 생리활성	자연극복 + 생리활성
수량성	자연에 의존	부분 극복	부분 극복	완전극복 (최적수량)
안전성	화학적 방제 불가피 (재배자 중심)	화학적 방제 심함 (재배자 중심)	부분적 화학적 방제 (재배자 + 소비자 중심)	친환경. 무농약재배 (소비자 중심)

- 사. 농업분야의 경우 기후변화에 대응하여 식물공장을 활용한 전천후 농산물 생산과 기능성 고부가가치 농산물에 대한 관심이 커지고 있음(전남대학교, 7-10)
- 아. 이러한 식물공장의 보급은 스마트 농업의 구현으로 생산·유통·소비·농업·농촌 부분에 신성장 동력원을 창출하게 되고 이를 통해 농업의 생산·유통·소비 전 과정에 걸친 생산성·효율성·품질 향상 등 고부가가치 창출을 가능하게 할 수 있음
- 자. 식물공장의 보급 및 확산을 위해서는 식물공장의 경제적 효과 분석 및 부가가치 창출 효과 등의 기초 연구가 필요함
- 차. 이 연구는 스마트 플랜트 팜의 보급을 위한 경제성을 검토하기 위함임. 세부적으로는 이 연구를 통해 운영비 및 인건비 절감의 효과, 경제성 평가 및 가치사슬 분석을 통한 비즈니스 모델을 확립하고자 함.

2. 연구개발의 기술적 필요성

- 가. 초기 시설투자비 또는 운영비용의 과다에 의한 경제성 확보 문제로 식물공장 산업화의 한계
- (1) 단위 면적당 공간 활용 적용기술 미흡에 의한 식물공장 운영 효율 저하
 - (2) 품종별 적정 광원 적용의 기술적 한계 및 효율적인 구조물 설계, 레이아웃 설계기술 미흡에 의한 경쟁력 저하
 - (3) 식물공장 시스템의 수작업 분야의 효율적인 개선에 의한 인건비 등 운영비용 절감 기술 개발이 필요

나. 첨단시설 및 농작업 관점에서의 비효율/비생산적 식물공장 운영 및 노동 관리 시스템

- (1) 다단식 재배 시 발생하는 온.습도 제어 편차, 양액관리 등의 체계적인 기술 정립이 필요
- (2) 고층 다단식 재배의 육묘, 이식, 수확 관리 등의 비효율적인 노동력 개선이 필요
- (3) 식물공장 재배작물(엽채류, 약용작물 등) 품종별 최적 재배 시스템 공정자동화 구축에 의한 수익성 확보가 필요

3. 연구 개발의 산업적 필요성

가. 사회적 필요성

- (1) 국내에도 약 60여개소의 식물공장이 운영 중이나 대부분 연구기관, 대학교의 연구용, 기업의 연구용 목적이 대부분
- (2) 초기 시설투자비와 운영비가 높아 현장보급형의 식물공장시스템 등 비즈니스모델이 확립되지 못한 실정
- (3) 식물공장시스템은 농업용 LED, 생산자동화시스템 등 첨단기술의 복합체로 농업과 IT, BT 등의 기술력이 융·복합된 산업으로서 다양한 산업발전을 촉진할 수 있음
- (4) 첨단 농업 분야로서 국내에서는 아직 민간자본만으로 가격 및 기술경쟁력을 갖추기엔 한계가 있는 실정
- (5) 식물공장의 본격적인 보급 확산을 위해 수익형 식물공장의 성공비즈니스 모델 개발과 재배기술 체계화가 필요

나. 문화적 필요성

- (1) 안전하고 건강한 먹거리에 대한 소비자 관심이 꾸준히 높아지고 있으며, 특히 웰빙 등 건강에 대한 관심 증가로 인하여 친환경, 기능성 식품의 소비가 지속적으로 증가 추세
- (2) 식물공장에서 생산되는 농산물은 기본적으로 친환경, 무농약 농산물이기 때문에 연중 무휴로 친환경 기능성 식품의 원료를 생산할 수 있어 그 수요가 증가할 것으로 예상
- (3) 건강 지향적 소비트렌드로의 변화로 인하여 향후 식물공장에서 기능성 고부가가치 작물의 연중 생산 시스템 발전으로 인하여 경제성을 확보할 수 있음
- (4) 현재 식물공장에서 재배된 작물은 대부분 엽채류 등 식용작물이 주를 이루고 있지만, 향후 재배 기술 발달로 인하여 기능성 허브류 및 약용작물 등의 고부가가치 작물의 대량 생산도 예상

4. 연구 개발의 융합연구의 필요성

표 2. 현장보급형 식물공장 기술 개발에 필요한 학문분야

번호	기술군명	기술군의 핵심학문분야	기술 개발 시 결합되는 동종학문분야	기술 개발 시 결합되는 이종학문분야
1	식물공장 기반 고부가가치 식물 원료 생산시스템 개발	-농학(재배학) -시설원예학	- 대사공학 - 식물생리학	- 전자제어 - 천연물화학
2	산업화 원료 통합공정 시스템 개발	-천연물화학	- 기기분석 - 약학 - 식품공학	- 원예학(수확 후 처리) - 농학, 시설원예학
3	스마트 기술 적용 편이성 증대 식물공장 시스템 개발	-영상/분광학 -전자제어 -기계/정밀제어	- 컴퓨터 모델링 - 수치해석	- 시설원예학 - 식물생리학 - 통계분석
4	현장보급형 표준화 설비 및 최적환경 제공 기술 개발	- 광학 - 시설공학 - 정밀농업	- 유동해석 - 기계공학	- 원예학 - 작물생리학

표 3. 표2. 의 기술개발 학문 분야의 달성을 위한 융합의 필요성

구분	동종 융합의 필요성	이종 융합의 필요성
식물공장 기반 고부가가치 식물 원료 생산시스템 개발	- 식물공장을 통한 식물 원료 생산 시 원료 품질의 지표가 되는 기능성 성분의 증대를 위한 대사공학, 환경 조절 기반의 식물생리작 적용이 필요함	- 식물공장 원료의 품질 및 생산성 증대를 위해서는 환경제어에 필요한 전자제어 기술, 그리고 기능성분 증대 분석에 필요한 천연물화학 분야 기술의 융합이 필요함
산업화 원료 통합공정 시스템 개발	- 식물공장 생산 원료의 식의약 제품화 연계를 위해서는 제품화 공정 중 효율 및 품질 최적화를 위한 천연물화학 분야와 약학, 식품공학 기술적용을 통한 원료 품질분석 연계가 필수임	- 식물공장 생산 원료의 수확 후 처리, 산업화를 위한 대량 생산을 위해서는 식물 내에서 변화되는 수확 후 생리변화 연구, 수확 전 최적 생육단계 유지를 위한 식물재배분야 기술의 융합이 필요함
스마트 기술 적용 편이성 증대 식물공장 시스템 개발	- ICT기반 스마트 기술 적용을 위해서는 영상/분광 기반의 모니터링 시스템과 식물생육모니터링을 통해 생산되는 데이터의 처리 및 모델링의 연계가 필요함	- 식물의 생육상태 진단과 생육 조절을 위한 환경공조제어 연계를 위해서는 ICT 기술과 식물생리 및 시설원예 분야 기술의 융합이 필수임
현장보급형 표준화 설비 및 최적환경 제공 기술 개발	- 표준화된 식물공장 설비를 위해서는 재배공간의 환경균일성을 위해 기계공학, 시설원예학, 유동해석과의	- 작물의 수광분포 및 유동의 흐름에 의해 제공되는 작물의 최적 환경조건에 대한 연구를 위해 작물생

	연계가 필요함	리학과 원예학의 융합이 필수적임.
중합 (목적기능을 달성하기 위한 융합의 필요성)	- 식물공장 생산 원료의 식의약 제품화 및 ICT 기술적용 편이성 증대, 표준설비 모델 제시를 위해서는 농학, 농공학, 천연물화학, ICT 기술 간 각각의 동종 기술 융합이 필요함	- 융합 시너지 극대화를 위해서는 농공 및 시설원예학, 천연물화학, ICT 기술간의 교차 이중 기술 융합 및 활용이 필수적인 요소임

5. 컨소시엄의 경쟁력 (농업회사법인 팜에이트 - 한국과학기술연구원 - 충북대 - 전남대)



가. 본 과제의 목표는 국내 현장보급 및 해외 수출 가능 식물공장 자동화 생산시스템의 개발 및 사업화임

(1) RFP상 선행 기술개발 실적과 경험이 있는 산업체를 주관으로 컨소시엄을 구성하되, 식물공장을 보유한 기업, 농업경제 분야 전문 연구팀 참여 필수로 되어 있음

나. 본 컨소시엄의 주관기관인 농업회사법인 팜에이트(구 농업회사법인 미래원)는 식물공장 시스템 구축 사업화, 가공·제조 분야와 함께 샐러드 채소 중심의 다양한 업체류를 생산하는 농업회사법인으로 최상의 가치창출을 목표로 하는 한국의 대표적인 Plant Factory 전문기업임. 실 평수 약 330평 규모의 국내 최대 대형식물공장, 베이비로봇 자동화 라인, 업소용 식물공장 시스템 등을 가지고 있는 팜에이트는 다수의 업체류 생산 재배 뿐 아니라 지속적인 고부가 가치 신제품 재배 연구 개발을 진행 중임. 또한 과종 및 육묘의 최적화 재배 기술을 확보 및 식물공장 재배작물의 판매, 가공, 유통체계 구축 또한 수립하여 보급형 식물공장 토탈 솔루션 구축 사업도 추진 중임

다. 참여기관 한국과학기술연구원(천연물연구소, KIST)는 15평 복합공조 식물공장 1실, 총 60평(20평 독립제어 3실) 1동, 60평 유리온실 1동, 400평 비닐하우스 1동(80평 독립제어 4실)을 보유하여 최신 환경 공조시설부터 기술개발에 필요한 국내 최고 수준의 실험 환경

을 기 보유하고 있고, 기능성식품 소재 작물 연구를 통한 제약회사로의 기술이전 실적을 다수 보유하고 있음.

KIST 강릉분원 천연물연구소는 2014년도부터 기관고유 연구개발 사업을 통해 국내외 식의 약 산업 제품에 접목될 수 있는 고기능성 식물 소재 발굴 및 식물공장 생산 연구를 선수행 하여 본 과제를 통해 개발된 보급형 식물공장 자동화 시스템과 접목되어 보급-확산 시너지를 낼 것으로 기대됨

- 라. 참여기관인 충북대학교는 2010년부터 식물공장 재배 관련 연구를 수행하였으며, 채소류(상추, 케일, 미나리 등)뿐 만 아니라 다양한 산업용 고부가가치 작물(이고들빼기 포함)의 수경 재배화 및 특정 생리활성물질함량 증진을 위한 환경제어기술을 개발하고 있으며, 25평 식물공장 1동(6개의 독립된 연구 공간)과 30평 규모의 스마트팜 온실 6동을 보유하고 있음
- 마. 참여기관인 전남대는 농업기반시설 활용 에너지개발사업 타당성 검토 용역, 농업 폐자원 재활용 경제성 분석, 청라국제도시 친환경복합단지 개발사업 공공기관 예비 타당

제3절 연구개발 범위

1. 팜에이트

○ 로봇자동화 식물공장을 이용한 자동 재배 시스템 고도화 및 실용화 개발 범위를 포함함

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">· 품종별 수광 분포 및 광질 연구를 통한 광 효율 개선· 생산 공정 재배 자동화를 위한 시스템 고도화· 소재 작물 품종의 생산단계별 생산 공정 분석 및 표준화 |
|---|

○ 연구에 활용된 재배 시스템

가. 컨테이너형 수직농장(Econursery)

(1) 구성

- 이동 및 설치가 자유로운 컨테이너형 타입의 수직농장은 물탱크, 새싹선반, 작업선반 및 육성선반으로 구성되어 있으며, 현재 40피트와 20피트 크기의 컨테이너형 수직농장을 모두 보유하고 있음

(2) 특징

- 파종 작업부터 출하 작업까지의 모든 작업과정이 트레이 반송 로봇을 통해 자동으로 이루어져 운영비용이 최소화됨
- 원격제어 및 소프트웨어를 활용한 자동 제어로 작물별 자동재배 및 맞춤재배가 가능. 식물생육에 최적의 환경(빛, 온도, 습도, CO₂, 배양액 등)이 유지되고 있으며 연중 안정적인 재배가 가능함. 또한 식물의 생산기간 단축, 식물 생산의 계획화 및 매뉴얼화도 가능함
- 작물의 종류에 따른 최적의 재배 레시피 등록으로 원하는 작물의 자동제어 및 재배가 가능하나 현재는 각 작물에 대한 재배 레시피는 없음. 실험을 통해 어린잎채소 위주의 재배 레시피를 확보할 예정임

(3) 재배환경

- 일장 : 24시간
- 광량 : 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 광질 : LED Red : Blue = 1:1
- 온도 : 21-23°C
- 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%
- CO₂ : 700ppm
- 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1 (저면관수, 순환식 시스템)
- 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
- 재배기간(어린잎채소) : 파종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)



그림 1. 컨테이너형 수직농장 식물공장 외형



그림 2. 컨테이너형 수직농장 식물공장 외부 및 내부

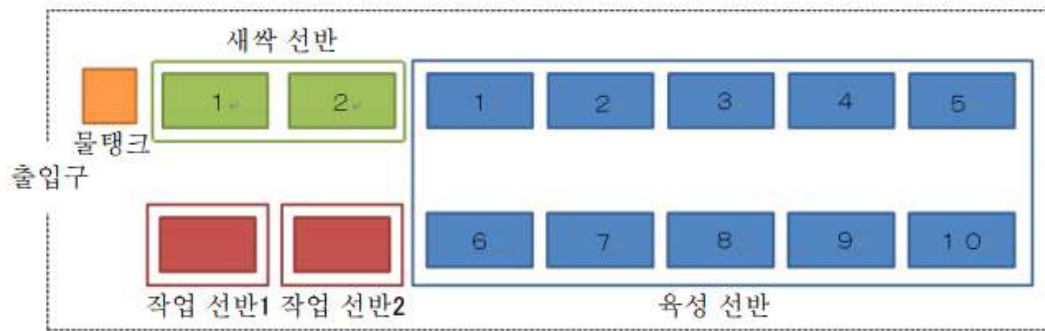


그림 3. 컨테이너형 수직농장 장치 내 레이아웃



그림 4. 소프트웨어를 통한 내부 환경제어 및 재배작물 사진

2. 한국과학기술연구원

- 기존 낙후되어 있고 재배 전문지식이 필요한 분화류 재배과정을 식물공장재배시스템 활용이 가능한 수준으로 이끌어낼 수 있는 분화류 식물공장 자동 재배 시스템을 고도화함, 아래와 같은 연구개발 범위를 포함함

- 칼랑코에 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화
- 식물공장 환경/양액제어 시스템 자동화
- 통합 DB 분석 자동화 (DB구축 3중, 자동분석플랫폼 제시)
- 분화류 단기 실증 재배
- 식물공장 재배 식물 성분 분석(이고들빼기 및 엽채류)

3. 충북대학교

- 약용작물(이고들빼기) 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화
 - 자동화를 위한 적질 배지선발 및 테스트
 - 자동화에 맞는 수경재배 방식 선정 및 테스트
- 고기능성 약용작물(이고들빼기) 생산 증대를 위한 광질 및 수광 분포 개선
 - 백색 LED 기반 성장 증진 광질 조건 구명
 - 광 이용효율 증진을 위한 수광 개선 장치 적용
- 엽채류, 약용식물 재배 기술 식물공장 자동화 시설 고도화 실증 기관 전수 및 컨설팅
 - 보고서 및 연구 자료 검토를 통한 각 품목별 재배 시 전체 공정에 필요한 요소 도출



그림 6. 충북대학교 최종 목표

4. 전남대학교

- 3품종 소재작물 자동화설비 실증재배를 통한 경제성 평가
 - 품목(엽채1, 분화1, 약용1)별 식물공장 자동화 모델의 노동력 절감, 운영비용 등 경제성(B/C Analysis) 분석
- 개발 내용 및 범위
 - 경제성 분석을 순현재가치(net present value: NPV), 편익/비용 비율(benefit-cost ratio: B/C Ratio), 내부수익률(internal rate of return: IRR)의 기법을 사용하여 시행함
 - 식물공장 산업연관 분석을 통한 경제적 파급 효과 분석

제2장 연구수행 내용 및 결과

제1절 식물공장 자동화라인 실증재배를 통한 경제성 있는 고부가가치 엽채류 재배관리 모델 구축

1. 실증 테스트 실시

- 기존에 보유하고 있는 컨테이너 식물공장을 활용하여 어린잎채소 기본 재배 매뉴얼로 다양한 품목의 어린잎채소 실증 테스트를 실시함



그림 7. 원하는 LED 광량 조절이 가능한 컨테이너형 수직농장 광 시스템

- 환경설정
 - 실험재료 : 롤라로사, 로메인
 - 일장 : 24시간
 - 광량 : $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
 - 광질 : LED Red : Blue = 1:1
 - 온도 : 21-23℃
 - CO₂ : 700ppm
 - 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1 (저면관수, 순환식 시스템)
 - 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
 - 반복 : 처리구 당 4 또는 5반복씩
- 재배기간
 - 파종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)
- 총 재배일수 : 109일

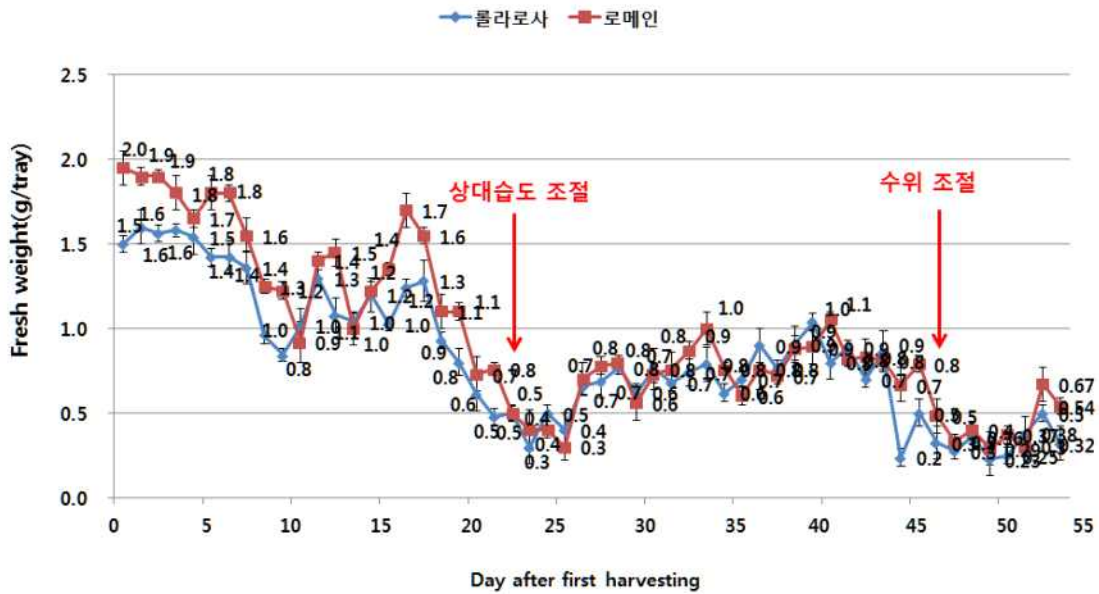


그림 8. 컨테이너형 수직농장 식물공장 어린잎채소 실증테스트

- 하드웨어 구축 후 작물 테스트를 실시하였으나 첫 수확량은 높았지만 첫 번째 수확 5일 후 부터 어린잎채소 두 품목의 수량이 감소함
 - 주간 상대습도 설정값은 60%였으나 재배력에 어린잎이 가득 찬 이후에는 90% 이하로 내려가지 않았음
 - 주간의 습도 증가로 인한 생육저하 문제는 출입문 개방을 통한 환기로 일정부분 개선되었음. 이후 제습기 및 환기팬을 설치하고, 주간에 제습 및 환기를 실시하여 주간 고습 문제를 해결하였음(60~70% 유지)
 - 상태가 회복되어 수량이 조금씩 증가하다가 그 첫 수확 45일 후부터 급격히 수량이 감소하였음.
 - 관수량의 증가는 녹조 발생 증가로 이어졌고 그로 인해 수량이 계속 감소한 것으로 추정됨. 관수 시 높은 수압 및 관수량으로 인해 트레이 위에 위치한 마시트 배지가 서서히 잠기게 되며, 이 때 양액 및 녹조가 식물체를 타고 빠르게 올라옴. 한 번 생긴 녹조는 식물의 줄기를 타고 올라가기 시작하여 식물이 자랄 때 잎까지 타고 올라감. 이러한 녹조 문제는 수위를 조절하여 조금씩 개선하였음. 수압(6→3)과 관수시간(6분→4분)을 조절하여 관수량을 조절하였고, 그로 인해 양액 및 녹조가 생육초기부터 식물체를 타고 올라가는 현상은 해결할 수 있었음
 - 완전한 개선은 이루어지지 않는 않았으나 어린잎채소의 환경 조절실험 및 문제점 제거를 통해 조금 개선되었음
2. 적정 재배환경 구명
- 가. 광환경 구명
- 재배 테스트를 통해 제시된 재배 환경이 어린잎채소 재배에 부적절함을 실증함
 - 따라서, 재배 환경 중 우선적으로 어린잎채소의 최적 광원을 구명하기 위해 본 실험을 진행함

- 환경설정
 - 실험재료 : 롤라로사, 로메인
 - 일장 : 24시간
 - 광량 : 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
 - 광질 : LED Red : Blue
 - 처리구1 : R:B = 1.1 → 2:1(파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 처리구2 : R:B = 1.1 → 1:2(파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 처리구3 : R:B = 1.1 → 1:1(파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 온도 : 21-23°C
 - 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%
 - CO₂ : 700ppm
 - 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1 (저면관수, 순환식 시스템)
 - 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
 - 처리당 10 tray 재배 후 평가
- 재배기간
 - 파종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)
- 총 재배일수 : 18일

[표 1] 어린잎채소 광 레시피

	광레시피(R:B)	
	파종 후 3-8일 (3시간씩 교대 점등)	파종 후 9-16일 (동시 점등)
처리구1	R:B = 1:1	R:B = 2:1
처리구2	R:B = 1:1	R:B = 1:2
처리구3	R:B = 1:1	R:B = 1:1

(1) 롤라로사

- 3가지 처리구로 재배하였을 경우, 엽록소 함량은 처리구 간에 큰 차이를 보이지 않았으나 생체중과 엽장은 처리구1이 다른 광원에 비해 상대적으로 높았음
- 컨테이너형 수직농장 식물공장에서는 단기간 내에 최대 중량을 내는 것이 목표이므로, 긴 엽장을 가지며 생체중이 가장 높은 처리구1이 컨테이너형 수직농장 내 롤라로사 재배에 적합할 것으로 판단됨



그림 9. 처리구 별 롤라로사의 수확 후 엽장 (n=10)

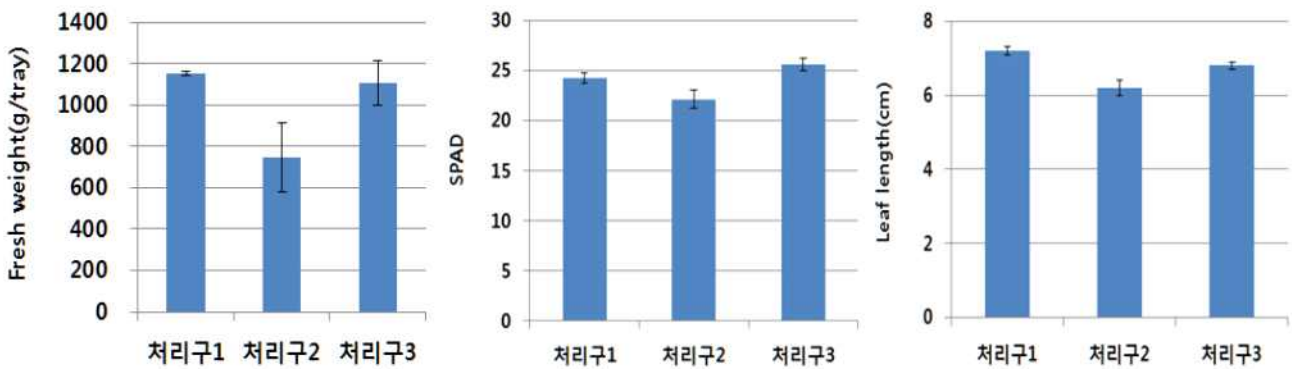


그림 10. 처리구 별 롤라로사의 지상부 생체중, 엽록소 함량 및 엽장

(2) 로메인

- 로메인 재배광원을 구명하기 위해 롤라로사와 동일한 환경에서 약 16일 주기로 3가지 테스트 처리구 실험을 반복하여 진행하였음
- 3가지 처리구 중 처리구1로 재배하였을 경우, 생체중 및 엽장이 다른 처리구에 비해 높았으며, 특히 처리구1의 생체중은 생육이 가장 저조한 처리구2에 비해 약 600g 가까이 높은 것을 알 수 있었음
- 다른 처리구에 비해 생장이 매우 우수한 처리구1이 컨테이너형 수직농장 내 로메인 재배에 적합할 것으로 판단됨

처리구1

처리구2

처리구3



그림 11. 처리구 별 로메인의 수확후 엽장 (n=10)

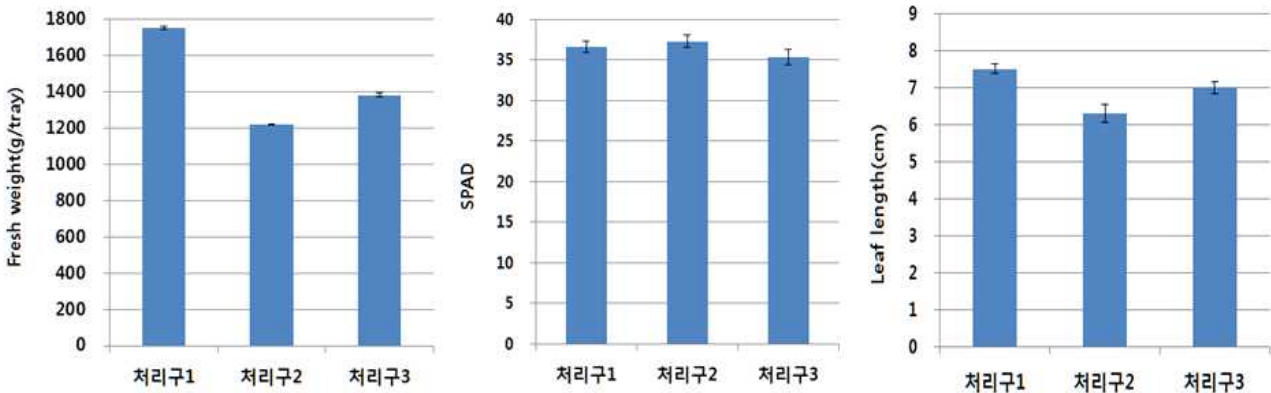


그림 12. 처리구 별 로메인의 지상부 생체중, 엽록소 함량, 엽장 및 엽폭

나. 광량 구명

- 과도한 광량은 많은 에너지를 요구함. 광량에 따른 생육 차이를 확인해보기 위해 기존광과 변경된 광을 통해 본 실험을 진행함
- 환경설정
 - 실험재료 : 로메인
 - 일장 : 24시간
 - 광량
 - 기존광 : 230→230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 변경광 : 130→230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 온도 : 21-23°C
 - 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%
 - CO₂ : 700ppm
 - 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1(저면관수, 순환식 시스템)
 - 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
 - 처리당 4 tray 재배 후 평가
- 재배기간 : 파종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)
- 총 재배일수 : 31일

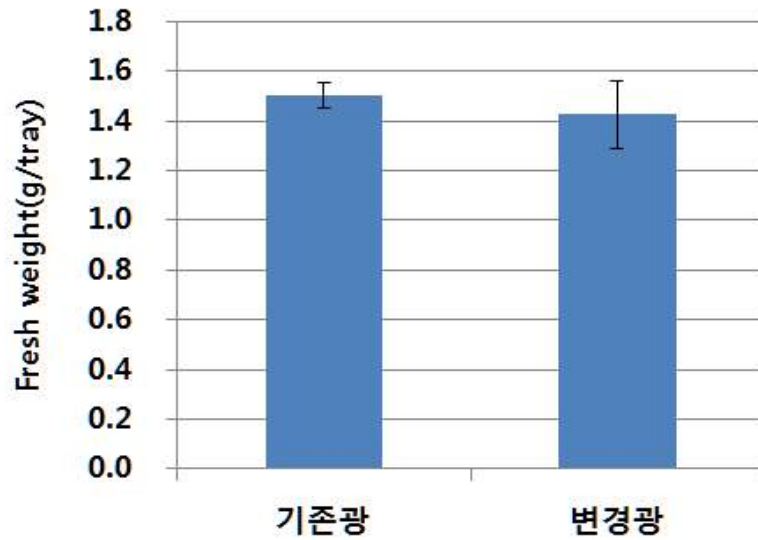


그림 13. 로메인의 기존광 및 변경광의 생체중

- 기존광이 변경광에 비해 조금 높았으나 광량에 따른 유의적인 차이는 없었음. 따라서 생육 초기부터 광량을 높일 필요가 없으며, 에너지 효율을 높이기 위해 초기에는 광량을 약하게 하고 생육단계에 따라 조금씩 늘려주는 것이 좋을 것으로 판단함

3. 녹조방지 구멍

가. 처리구 별 광질 실험

- 어린잎 채소가 자라면서 마시트에 도달하는 광량이 엽면적이 증가함에 따라 줄어들며 재배 공간 내 녹조 발생이 억제됨
- 하지만, 재배 초기 첫 본엽이 완벽히 전개되기 전까지는 조사되는 광이 마시트에 직접 도달함에 따라 녹조가 발생오디고, 이후 엽면적이 증가되더라도 재배 초기에 자란 녹조는 제거되지 않고, 어린잎채소 생육 억제에 영향을 미침
- LED를 이용하여 미세조류의 유용물질의 함량을 증진시키거나 성장을 촉진시킬 수 있는 결과들이 보고되고 있음(Kwon, 2013)
- 따라서, 재배 초기 녹조 발생을 최소화시키기 위해 작물이 없는 빈 배지를 이용하여 광질에 따른 녹조 발생을 확인함
- 환경설정
 - 실험재료 : 실험용 빈 마시트 배지
 - 일장 : 24시간
 - 광량 : 130 → 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 광질 : LED Red : Blue

[표 2] 녹조방지 테스트용 처리구 별 광질

	처리구 R	처리구 B	처리구 R+B
R:B 비율	100:0	0:100	50:50

- 온도 : 21-23℃
- 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%
- CO₂ : 700ppm
- 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1(저면관수, 순환식 시스템)
- 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
- 처리당 5 tray 재배 후 평가
- 재배기간 : 파종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)
- 총 재배일수 : 19일

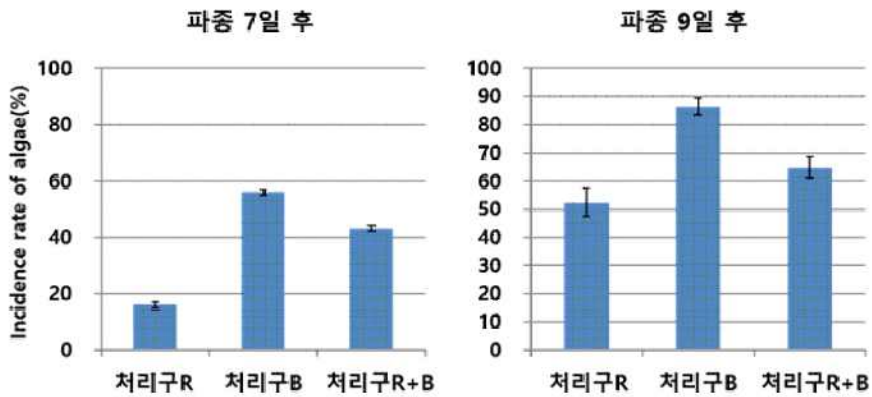


그림 14. 파종 5일 및 7일 후 처리구 별 녹조발생율

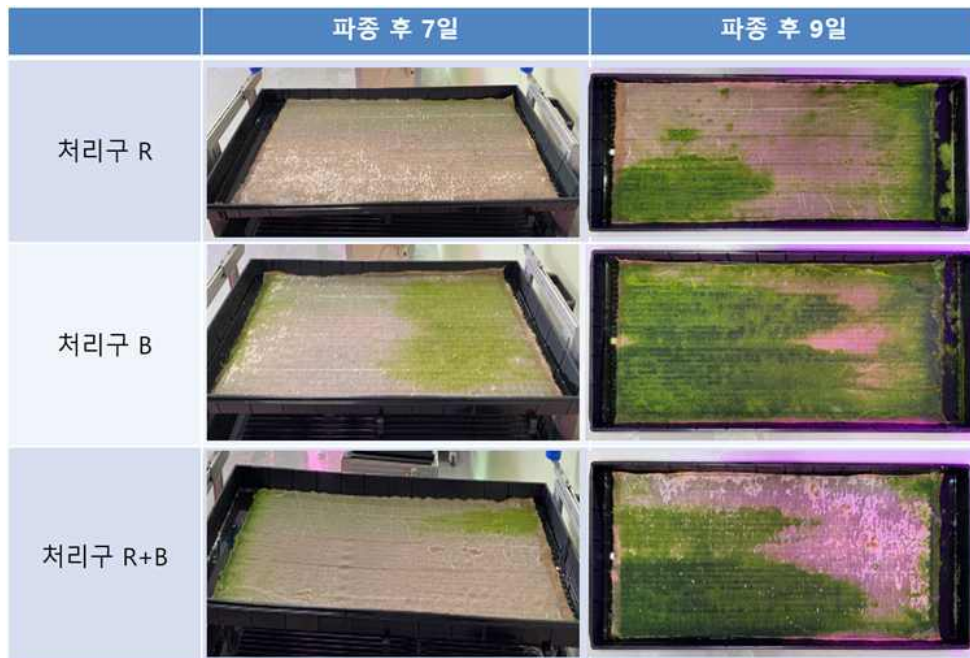


그림 15. 파종 5일 및 7일 후 처리구 별 녹조발생 사진

- LED 조사 5일 후, 처리구 B, 처리구 R+B, 처리구 R 순으로 녹조가 많이 발생하였으며, 녹조 발생량은 각각 15, 56, 43.2% 였음. 적색광 비율이 높을수록 청색광에 비해 녹조 발생이 덜하고, 어린잎채소의 생육도 증진시키는 것을 확인할 수 있었음
 - LED 조사 7일 후에도 5일 후와 마찬가지로 동일한 순서로 녹조가 발생하였으나 그 발생량이 훨씬 더 심하였음. 녹조 발생량은 처리구 R, 처리구 B, 처리구 R+B순으로 각각 52.4, 86.4, 64.8% 였음. 종료 시점에는 처리구 B가 다른 처리구들에 비해 눈에 띄게 녹조 발생량이 증가하였음
 - 처리구 별 광질 실험을 통해 녹조 발생에 영향을 많이 미치는 것은 적색광보다는 청색광인 것으로 판단되었음
- 나. 처리구 별 광질 실험2
- 보다 높은 에너지 효율을 얻기 위해 새로운 광질 5가지로 실험을 수행함
 - 환경설정
 - 실험재료 : 롤라로사 및 로메인
 - 일장 : 24시간
 - 광량 : 130 → 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 광질 : LED Red : Blue

[표 3] 어린잎채소 광원 레시피

	광레시피(R:B)	
	파종 후 3-8일 (3시간씩 교대 점등)	파종 후 9-16일 (동시 점등)
처리구1	R:B = 1:1	R:B = 2:1
처리구2	R:B = 1:1	R:B = 1:2
처리구3	R:B = 1:1	R:B = 1:1

* 롤라로사는 처리구 1~4까지만 활용하여 실험을 수행함

- 온도 : 21-23℃
- 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%
- CO₂ : 700ppm
- 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1 (저면관수, 순환식 시스템)
- 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
- 처리당 4 tray 재배 후 평가
- 재배기간 : 파종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)
- 총 재배일수 : 19일

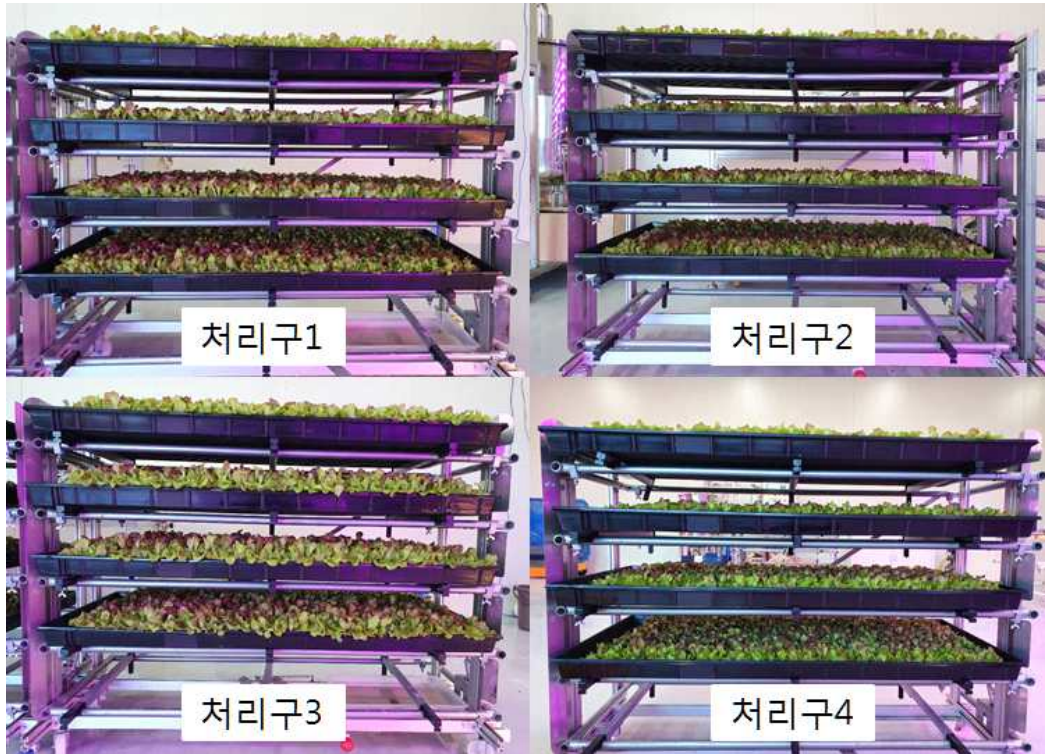


그림 16. 롤라로사 처리구 별 수확 직전



그림 17. 롤라로사 처리구 별 수확 후 녹조사진

(1) 롤라로사

- 생육초반에 적색광을 조사하고 중기 및 후기로 갈수록 점차적으로 청색광을 적은 비율로 늘려준 처리구 3에서 녹조가 가장 적게 발생하였음
- 생육초반부터 적색광에 비해 청색광 비율이 높았던 처리구 2와 4에서 녹조 발생이 매우 심하였으며, 청색광 비율을 최대로 조사한 처리구 4가 특히 녹조 발생량이 많았음
- 청색광이 높을수록 녹조 발생 및 증식률이 증가하는 것을 알 수 있었음

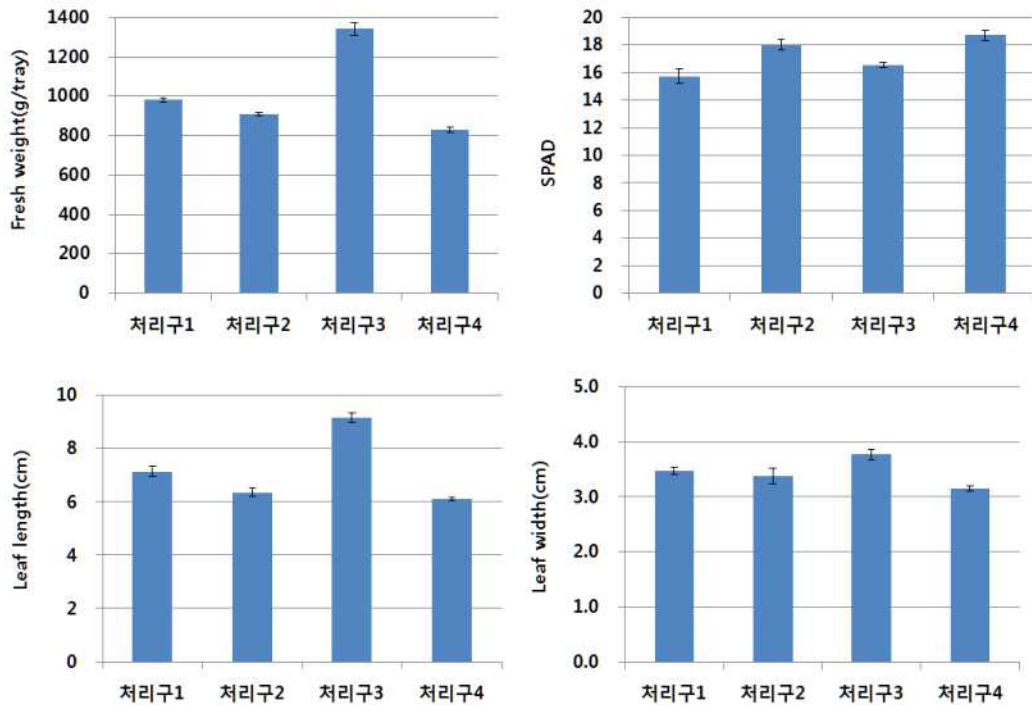


그림 18. 롤라로사 처리구 별 생체중, 엽록소 함량, 엽장 및 엽폭

- 생육조사 결과 생육초기부터 생체중 및 엽장, 엽폭 모두 적색광의 비율이 청색광에 비해 높았던 처리구 3에서 가장 우수하였으며, 적색광의 비율이 청색광의 비율 보다 적었던 처리구 4에서 생육이 가장 저조하였음
- 청색광에 의한 녹조발생으로 롤라로사와 녹조와의 경합이 일어나 롤라로사에 가야 할 영양분이 녹조로 가게 되어, 롤라로사의 생육에도 영향을 미쳤음. 그로 인해 녹조 발생량이 높았던 처리구에서 롤라로사의 생육이 다른 처리구에 비해 상대적으로 저조하였음. 이는 청색광의 비율이 높을수록 녹조발생을 촉진시킨다는 것을 알 수 있으며, 녹조 발생을 줄이기 위해서는 적색광의 비율을 높이되, 적색광보다 낮은 비율로 점차적으로 적은 비율만큼만 청색광을 조사해주는 것이 생육을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단됨
- 실제로 다양한 연구결과를 통해 청색과장에서 성장한 미세조류는 동일한 광량의 형광램프 및 다른 광에서 성장한 미세조류보다 더 많은 아미노산과 단백질을 세포 내에 함유하며, 그 함유량은 광량이 증가함에 따라 증가한다고 보고되었음(Wallen and Geen, 1971; Veski and Jeffrey, 1977; Grotjohann et al.,)

(2) 로메인



그림 19. 처리구 별 로메인의 수확후 엽장 (n=10)

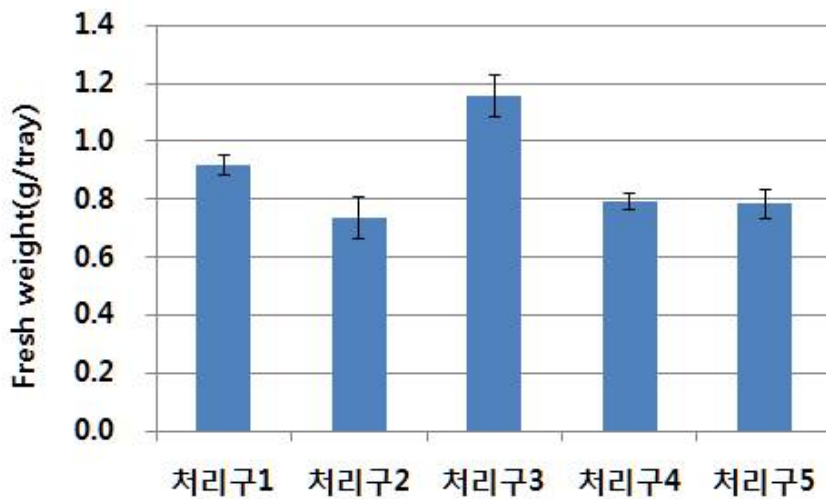


그림 20. 처리구 별 로메인의 지상부 생체중

- 로메인 실험도 플라로사 실험과 마찬가지로 적색광의 비율이 청색광에 비해 높았던 처리구3이 생육이 가장 우수하였음. 처리구3과 처리구1을 제외한 다른 처리구들 간에는 큰 차이는 없었음.
- 따라서 적색광의 비율은 높이고, 청색광은 적색광보다 낮은 비율로 조사해주는 것이 생육을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단됨

다. 녹조 방지캡 실험

- 녹조 발생 방지를 억제하기 위한 방지캡을 개발하여 캡의 유무에 따른 녹조발생을 확인함
- 환경설정
 - 실험재료 : 로메인
 - 일장 : 24시간
 - 광량 : 130 → 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (파종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 광질 : LED Red : Blue
R:B = Red only → 4:1 → 4:3
 - 온도 : 21-23°C

- 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%
- CO₂ : 700ppm
- 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1 (저면관수, 순환식 시스템)
- 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
- 처리당 3 tray 재배 후 평가
- 재배기간 : 파종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)
- 총 재배일수 : 18일

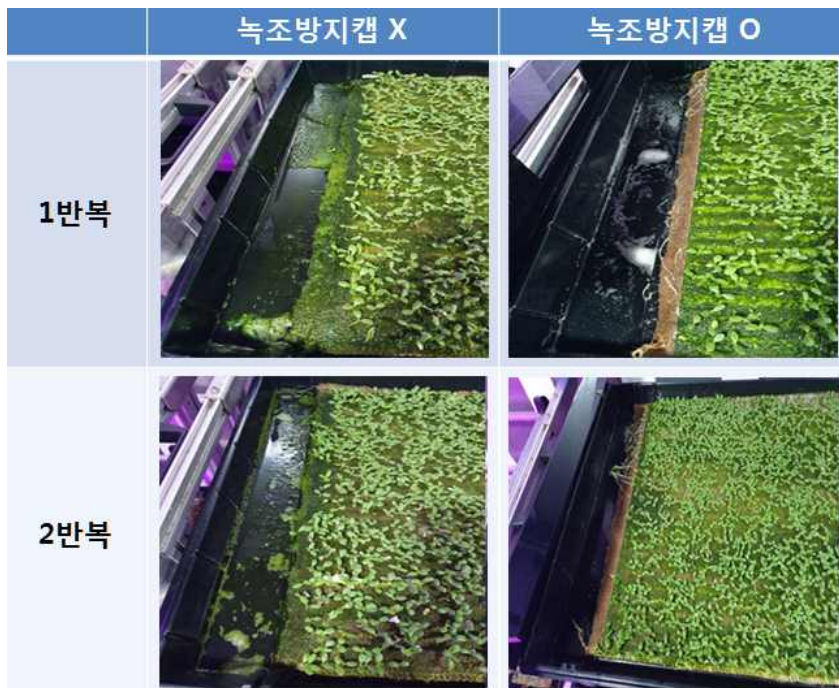


그림 21. 녹조방지캡 유무에 따른 로메인 파종 후 7일째

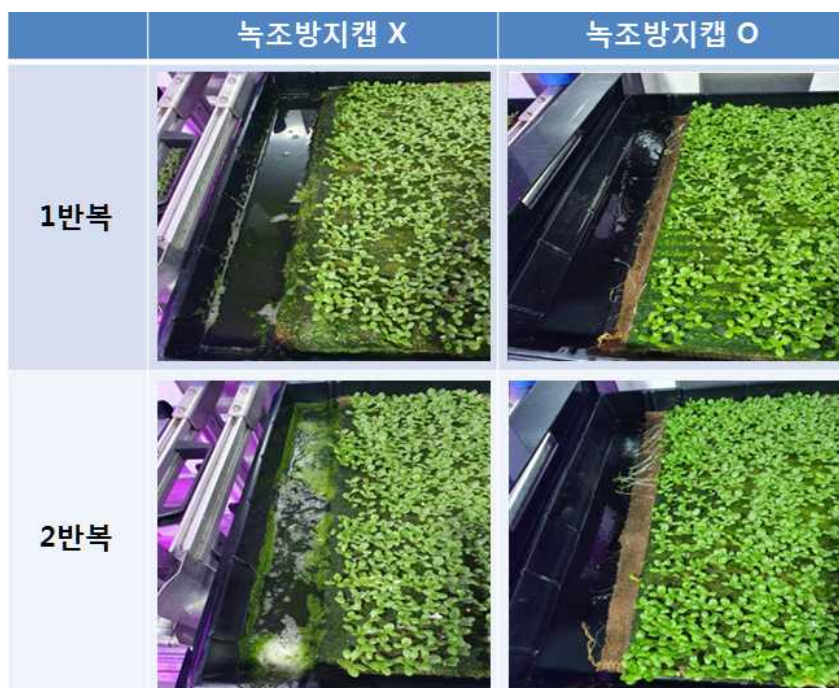


그림 22. 녹조방지캡 유무에 따른 로메인 파종 후 9일째

- 녹조 방지를 막기 위해 개발한 녹조 방지캡을 이용하여 LED 조사 7, 9일 째에 1, 2반복 처리에서 녹조 방지캡 유무에 따른 녹조발생량 확인을 진행하였음
 - 생육 중기에 녹조 발생량을 조사하였으며, 1, 2반복 모두 칸막이 설치유무에 따른 차이는 크지 않았음. 그러나 녹조 방지캡의 유무에 따라 두 처리구 모두 녹조 발생량이 확연히 증가하는 것을 알 수 있었음
 - 관수 시 배관 튜브에서 흐르는 양액과 LED로 인해 녹조 발생량이 증가하였으나, 그 부분을 칸막이로 막게 되면 그 부분까지는 녹조가 전혀 발생하지 않아 녹조 발생을 줄일 수 있을 것으로 판단됨
 - 녹조는 한 번 발생하면 빠르게 번식하는 특징이 있으므로, 컨테이너형 수직농장 내부 및 트레이의 주기적인 세척이 필요함. 필터교체(2회/주), 컨테이너형 수직농장 물탱크 청소(1회/주) 및 주기적인 배수 튜브와 트레이 세척이 이루어져야 함
4. 컨테이너형 수직농장 내 어린잎채소의 최적 재배환경 구명
- 컨테이너형 수직농장에서 녹조발생은 최소화하면서 단 기간에 최적 생산량을 낼 수 있는 최적 환경을, 재배 초기부터 실시한 여러 실험을 통해 구명된 결과를 바탕으로 정리함
- 가. 재배환경 구명
- 환경설정
 - 일장 : 24시간
 - 광량 : 130 → 230 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (과종 후 3-8일 → 9-16일)
 - 광질 : LED Red : Blue
R:B = Red only → 4:1 → 4:3
 - 온도 : 21-23°C
 - 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%
 - CO₂ : 700ppm
 - 배양액 : EC 1.4 dS/m, pH 5.8±0.1 (저면관수, 순환식 시스템)
 - 관수 간격 : 발아선반(60분 간격, 5분관수), 육성선반(45분 간격, 4분관수)
 - 재배기간 : 과종 후 16일(발아 2일, 육성 14일)
 - 어린잎채소 재배용 컨테이너형 수직농장 식물공장 제작
 - 현재 이송 테스트 진행 중(상단→하단, 하단→상단)
 - 테스트가 완료되면 컨테이너형 수직농장 재배레시피를 완벽히 확보하여 자동화가 가능할 것으로 사료됨
- 나. 녹조방지 대안
- 칸막이 설치
 - 녹조방지캡 실험을 통해 칸막이를 설치함으로써 녹조발생을 억제하는 것을 확인
 - 과종 시 배관 튜브가 위치한 부분에 칸막이를 설치하여 녹조 발생을 줄일 수 있음
 - 컨테이너형 수직농장 청소
 - 필터교체(2회/주), 컨테이너형 수직농장 물탱크 청소(1회/주) 및 주기적인 배수 튜브와 트레이 세척 필요
 - 재배 트레이 이송 방식 변경
 - 기존 방식은 발아된 트레이가 발아랙에서 재배랙 최 상단으로 이동, 재배기간이 늘

- 어남에 따라 하단으로 이송되어 수확 시기에 수확력으로 이동함
- 관수는 상단트레이에 공급되어 하단 트레이로 흘러가는 방식으로, 상단의 관수량 및 트레이 내 양액 유지 시간이 긴 반면, 작물 생육 단계 초기라 수분 흡수량이 적어 녹조 발생이 촉진됨
- 하단에 수분 요구량이 높으므로 상단에 불필요하게 많은 양의 양액이 공급되어 녹조 발생을 촉진시킴
- 따라서, 말아된 트레이를 재배랙 최하단에 이송하고 재배 기간이 증가함에 따라 상단으로 이송하여 생육 단계가 초기인 작물의 수분량을 줄이고, 생육 단계가 후기인 작물에는 수분량을 늘림
- 현재 이송 테스트 진행 중(상단→하단, 하단→상단)

다. 컨테이너형 수직농장 신규 구축

○ 다목적 컨테이너형 수직농장 구축

- 기 사용된 컨테이너형 수직농장은 어린잎채소 재배에 특화(재배랙 당 재배베드 10단으로 구성)되어 있어 다른 품목 재배에 어려움이 있음
- 수직농장 재배 품목 중 상용 대형 수직농장에서는 수익성이 나오는 샐러드 채소의 경우도 재배기간이 길고, 재식 주수가 적어 컨테이너형 수직농장에 서도 경제적이 지 못한 품목임
- 과채류 접목묘 생산은 접수와 대목을 접목하여 생산하는 묘 생산법 중 하나로 접목 기술자가 필요하여 한정적인 생산 및 고가에 판매되고 있으나, 기술자 확보가 점점 어려워지고 이와 같은 기술이 부족한 해외에서 수요가 증가함에 따라 접목 기계 활용이 증대되고 있는 실정임
- 접목 자동화(접목 로봇 사용)에 가장 중요한 것은 균일한 크기의 접수 및 대목 생산인데 온실에서는 불가능하므로 수직농장에서의 접수 및 대목 생산이 대안으로 부각되고 있음
- 접수와 대목을 생산하는데 있어서 컨테이너형 수직농장이 적절한 대안이 될 수 있으므로 이에 대응하기 위해 재배랙 별 재배 베드 수를 10개 → 8개로 줄이고, 베드 간격을 넓혀서 어린잎채소 재배 뿐 아니라 접목묘 생산용 접수 및 대목 생산까지 가능한 시스템으로 구축하였음. 그와 함께 엽채류 묘 생산 및 보리와 밀짚 생산도 가능할 것으로 판단됨



그림 23. 이고들빼기 재배용 컨테이너형 수직농장 식물공장

○ 컨테이너 식물공장용 어린잎채소 최적 재배환경 구명

- 컨테이너 내 식물공장 자동화 시스템은 시스템 상의 문제는 없었으나, 소프트웨어의 문제가 있었으며, 이는 어린잎채소 최적 재배환경 구명 실험을 통해 개선하였음(그림 24).

재배 환경	환경 조건 (기준)	문제점	실험 내용	최적 재배환경 구명
광량 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	230	생육 초기 강광 사용 : 불필요	에너지 효율 증진을 위한 생육 단계별 적정 광량 구명	120 (파종 후 3~8일) 230 (파종 후 9~16일)
광질 (Red : Blue)	1 : 1	청색에 의한 녹조 발생 촉진 확인	녹조 억제를 위한 생육 단계별 적정 R:B 비율 구명	1 : 0 (파종 후 3~8일) 3 : 1 (파종 후 9~16일) 4 : 3 (파종 후 9~16일)
일장	24시간	이상 없음	-	24시간
기온 ($^{\circ}\text{C}$)	22	이상 없음	-	22
RH (%)	제어 X	과습으로 인한 생육 저하	환기에 따른 어린잎 채소 생육량 비교	60~70
CO_2 (ppm)	700	이상 없음	-	700
배양액	EC 1.4 dS/m, pH 6	이상 없음	-	EC 1.4 dS/m, pH 6
기타	-	급수부 및 배수부 녹조 발생 심각	녹조방지캡 적용 유무에 따른 녹조 발생 여부 확인	녹조방지캡 적용

그림 24. 컨테이너 식물공장용 어린잎채소 최적 재배환경 구명 실험

제2절 재배 효율성 및 품질 안정성을 확보할 수 있는 양산형 자동화 생산시설에서의 약용작물(이고들빼기) 재배 관리 모델 구축

1. 이고들빼기 재배를 위한 기초 자료(충북대 제공)

가. 재배 배지 : 테라플러그 성형 배지

나. 재배조건

- 온도 : 20-23℃
- 습도 : 60%
- 광도 : 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
- 광원 : 2700K+Far-red
- CO₂ : 700-1000ppm
- 광주기 : 주간 16시간, 야간 8시간
- 양액 : 이고들빼기 전용 배양액(EC 1.0 → 2.0 dS/m, pH 5.5-6.0(2주마다 교체))

[표 4] 이고들빼기 전용 배양액 조성표

배양액	필수원소	100배액(g) (500ml에 100배액)
A액	질산칼슘(Ca(NO ₃)·24H ₂ O)	23.6
	질산칼륨(KNO ₃)	27.775
	철(Fe-EDTA)	0.77
B액	질산칼륨(KNO ₃)	27.775
	제1인산암모늄(NH ₄ H ₂ PO ₄)	5.75
	황산마그네슘(MgSO ₄ ·7H ₂ O)	12.3
	구리(CuSO ₄ ·5H ₂ O)	0.01
	붕소(H ₃ BO ₃)	0.1285
	망간(MnSO ₄ ·5H ₂ O)	0.0635
	아연(ZnSO ₄ ·7H ₂ O)	0.066
	몰리브덴산나트륨(Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O)	0.0065

다. 재배 방법

○ 파종

- 준비물 : 50공 테라플러그(코이어+피트모스 압축배지), 플러그 받침대, 종자, 물, 핀셋
- 파종 순서

테라플러그 셀 당 전선된 종자를 파종(3-5립/홀) → 발아될 때 까지 물을 충분히 줌
→ 약 2주일 후 셀 당 개체가 1개씩 있도록 솟아내기 함

○ 정식

- 준비물 : 포트, 심지, 핀셋



그림 25. 정식단계에서 필요한 심지 및 포트

- 파종 순서

파종 후 3주에 정식 → 심지 1개를 포트에 꽂아줌 → 105공 테라플러그에서 자란 개체를 핀셋으로 뽑아 정식할 포트에 넣음 → 포트를 재배베드에 꽂음



그림 26. 이고들빼기 재배과정

라. 이고들빼기 재배용 LED

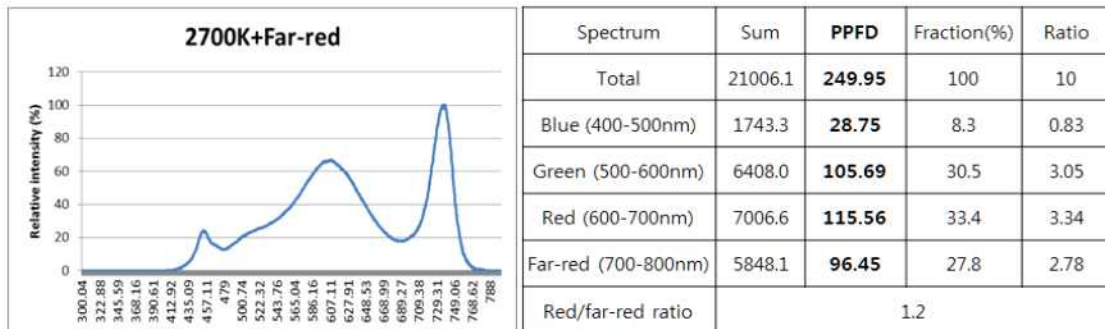


그림 27. 백색 기반의 이고들빼기 LED 스펙트럼 및 광과장

마. 실증 재배단

- LED 광원과 식물 캐노피 사이 거리는 최소 15cm이며, 20-25cm 이상 거리를 두는 것을 권장함
- 화분 높이 7-10cm를 고려하면 재배단 바닥에서부터 LED 광원까지의 거리는 최소 35cm 이상은 되어야 함
- 다양한 백색 기반 LED를 이용한 이고들빼기 재배 실험을 통해 구명된 성장 결과가 가장 우수하였던 충북대학교의 2700K+Far-red 광원과 동일한 광원을 식물공장 실증재배에 이용

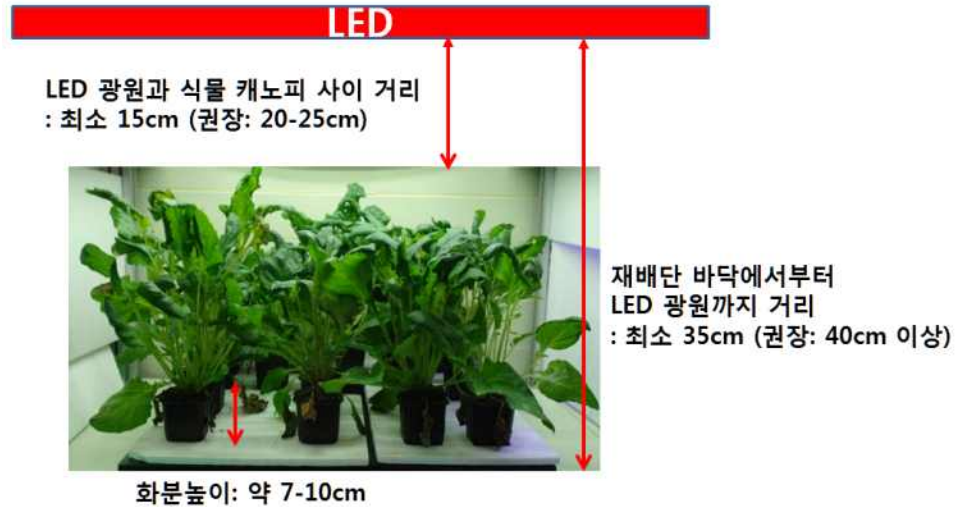


그림 28. 이고들빼기 재배단 높이

2. 이고들빼기 재배를 위한 사전 준비
 - 가. 재배판 개발



그림 29. 이고들빼기 재배판

- 이고들빼기 정식에 적합한 재배판을 개발하기 위해 한 재배판에 32포트의 이고들빼기가 들어갈 수 있는 재배판을 설계함
- 트레이 위에 재배판(120x62cm)을 올려둔 후, 재식밀도를 충분히 넓혀준 후 정식일에 맞추어 재배판 holes에 이고들빼기를 정식함

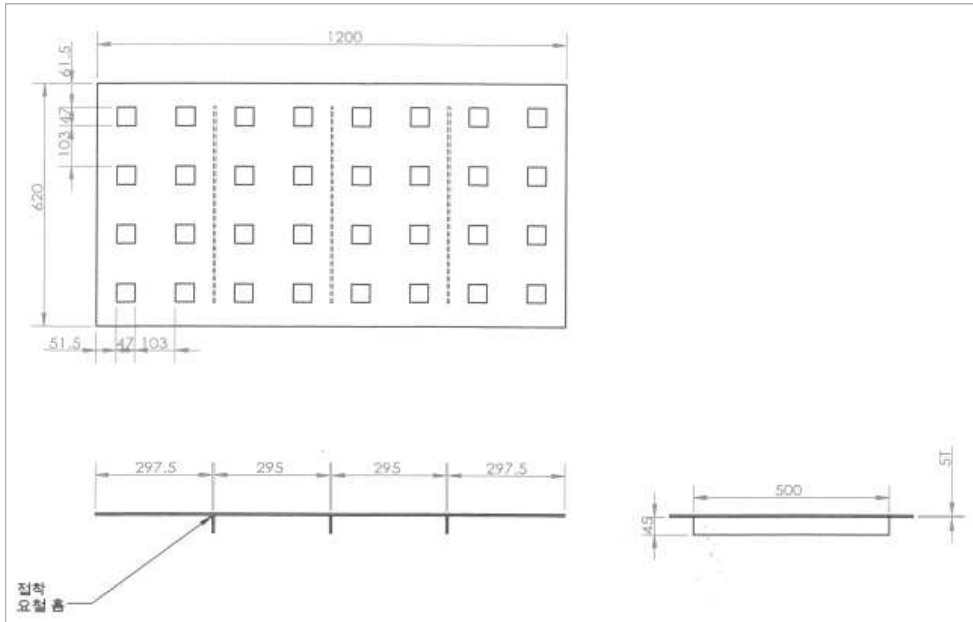


그림 30. 이고들빼기 재배판 도면

나. 재배단

- 이고들빼기 재배를 위해 컨테이너형 수직농장 내 재배단과 재배단 사이의 거리는 30cm로 변경 하였음



그림 31. 컨테이너형 수직농장 내 이고들빼기 재배단

다. 이고들빼기 광환경

- 충북대학교에서 이고들빼기 재배에 사용한 10가지 광원 중 광 이용 효율이 가장 높고, 성장 결과가 가장 우수하였던 2700K+Far-red의 광원과 동일한 광원을 팜에이트 컨테이너형 수직농장 식물공장에서 적용하여 실증재배 하였음

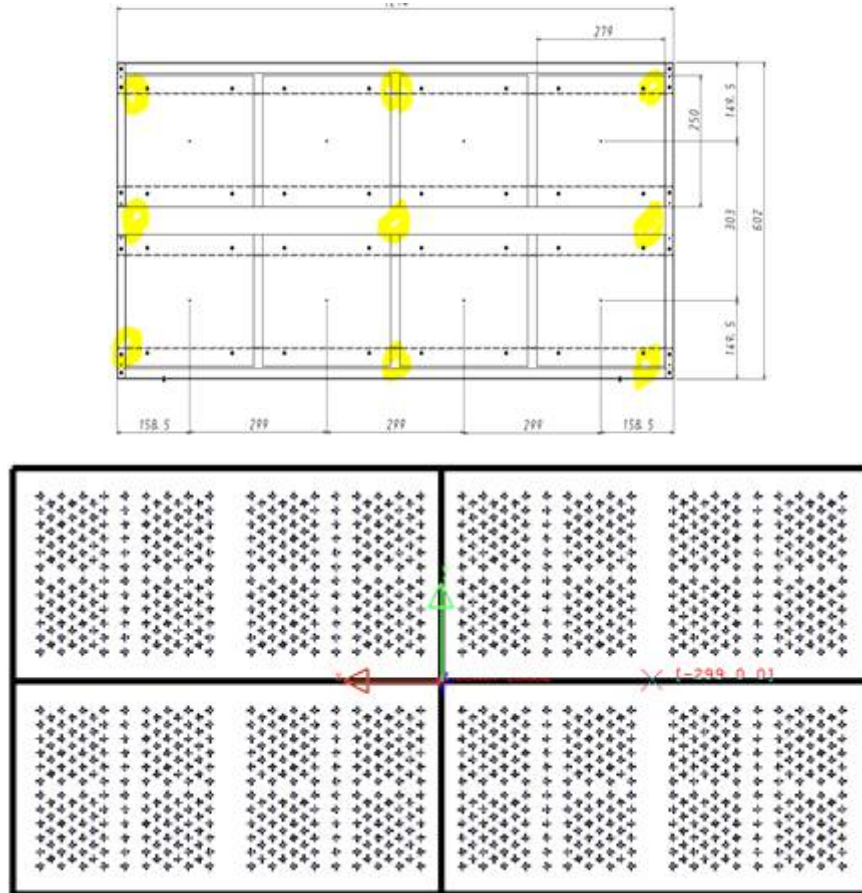


그림 32. 이고들빼기 재배용 LED 설계도 및 시뮬레이션

3. 최적 재배 관리 프로세스 구축을 위한 약용작물(이고들빼기)의 자동화 라인에의 적용 가능한 이고들빼기 실증 재배

○ 이고들빼기 실증 재배를 위해 충북대학교에 제공한 이고들빼기 재배 정보를 바탕으로 준비되어있는 팜에이트 공간에서 실증 재배를 실시함

(1) 이고들빼기 배양액

(2) 재배환경 구명

○ 환경설정

- 일장 : 주간 19시간, 야간 5시간

- 광량 : $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

- 광질 : LED:White(2700K) LED+Far-red(red:far-red=1.2:1)

- 온도 : 21-23°C

- 습도 : 주간 60-70%, 야간 90-100%

- CO₂ : 700-1000ppm

- 배양액 : 육묘 시 EC 1.0 ⇒ 정식 후 1.5~2.0 dS/m, pH 5.5-5.6

(저면관수, 순환식 시스템)

- 육묘 : 저면관수

- 정식 후 재배 : 심지 재배

(포트 아래에 심지를 꽂아 배양액이 닿는 곳과 1.5-2cm 공간을 띄워줌)

- 반복 : 처리구 당 32반복씩
 - 배지 : 테라플러그 성형배지
 - 정식 : 심지를 넣은 포트를 재배판에 꽂아 재배
- 총 재배일수 : 파종에서 수확까지 약 9주 소요



그림 33. 정식일수에 따른 이고들빼기 재배과정

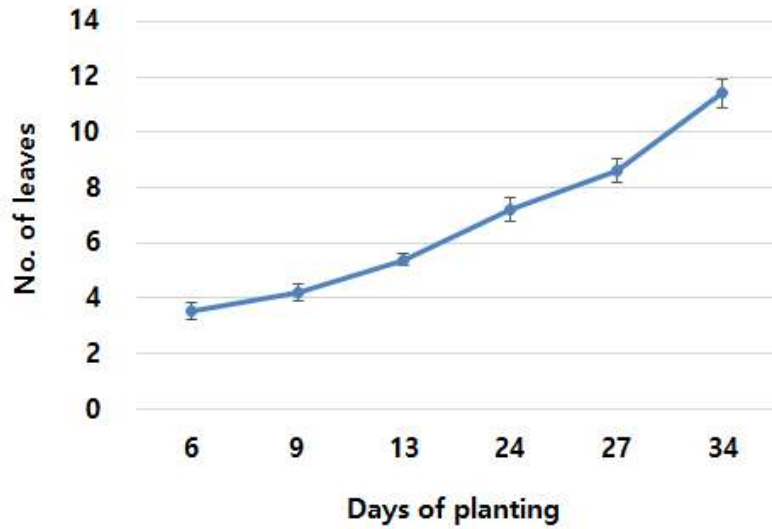


그림 34. 정식 후 이고들빼기 엽수 변화

[표 5] 수확 후 이고들빼기 중량

	총 중량(g/tray)	개체 당 중량(g/pot)
이고들빼기	600±0.7	18.8±3.9

○ 정식 6일 차에는 트레이 당 이고들빼기의 평균 엽수가 112개였으며, 재배일수가

- 늘어날수록 점차 증가하여, 수확시점에는 222개까지 늘어남
- 파종 3주 후 컨테이너형 수직농장 재배관(4동, 2단/동)으로 이동하여 정식하였고 파종 9주 후 수확하여 재배관 당 이고들빼기 생체중을 측정하였음
 - 이고들빼기의 단위면적당 평균 생산량은 600g 이었으며, 한 개체 당 중량은 18.8g 이었음
 - 장기간 재배에도 불구하고 재배량은 저조한 편임. 40일 기준 엽채류 한 포기 중량은 약 110g으로 같은 기간동안 생산되는 이고들빼기는 이것의 10분의 1 정도로 약 19g임. 단가가 나오지 않으면 컨테이너형 수직농장 시스템을 통한 양산은 어려울 수 있을 것으로 생각됨

제3절 식물공장 자동화 생산 시스템 고도화를 위한 환경 및 생육 데이터 전문 소프트웨어를 통한 분석 및 모델링

1. 온도/습도/CO2, 양액기 정보 모니터링 및 데이터 수집 (5분당 1회, 재배기간 데이터 수집)



그림 35. 환경 및 양액 조건 데이터 모니터링 모습

2. 3품종(엽채, 분화류, 이고들빼기) 데이터 수집을 위한 DB 설계

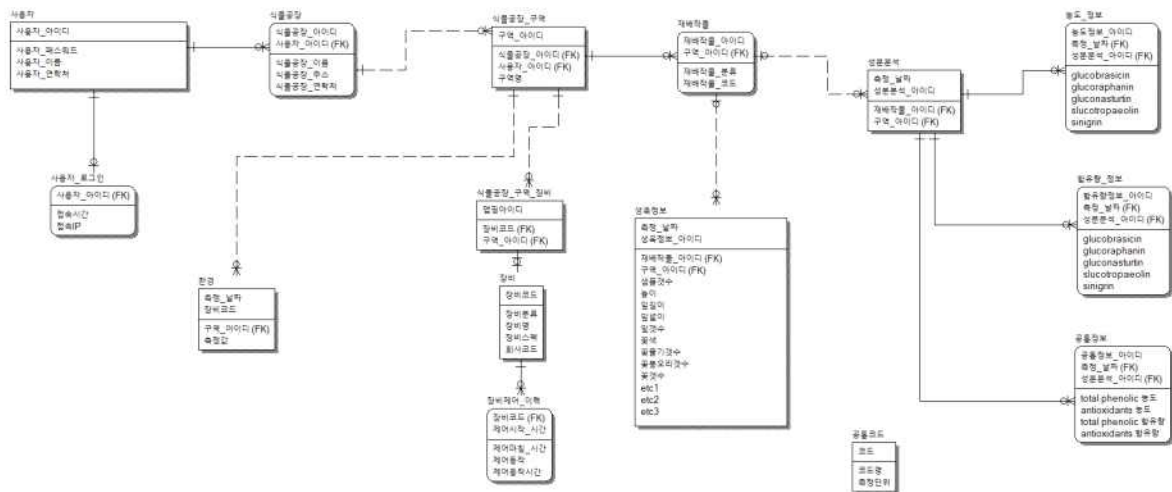


그림 36. 분화류 식물공장 논리ERD

제4절 자동화 시스템에서 재배된 작물의 기능 성분 분석을 통한 식물공장 작물의 표준화 모델 제시 및 고부가가치화

1. 노지토경재배 및 식물공장 재배 엽채류(버터헤드 상추) 미네랄 분석 결과

- 노지재배 식물 대비 식물공장 재배 상추의 칼슘, 마그네슘함량이 높음
- 나트륨 함량이 높은 부분은 재배 기간에 사용한 양액성분의 나트륨 때문으로 보임
- 재배환경에 상관없이 투입 양액 및 흡수율 대비 미네랄 함량을 비교할 수 있는 신규 지표 개발이 필요함

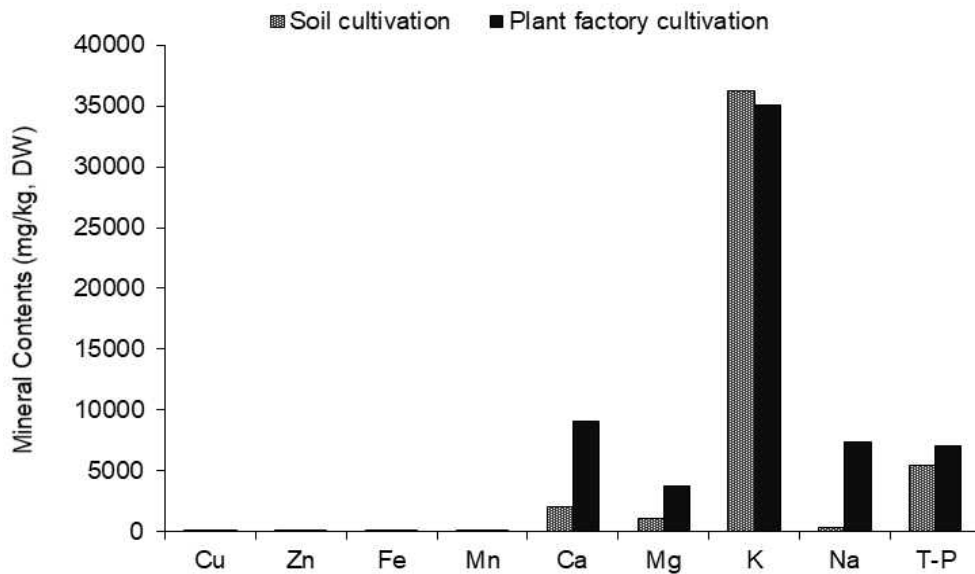


그림 39. 버터헤드상추 노지토경 및 식물공장 대비 미네랄 함량 분석 결과

2. 이고들빼기 노지재배 및 식물공장 재배 성분 분석

- 노지 재배 이고들빼기는 4주-8주 사이에 치코릭산의 성분이 높음
- 식물공장 재배 이고들빼기는 4주 - 8주차까지 함량이 유지되고 이후 감소

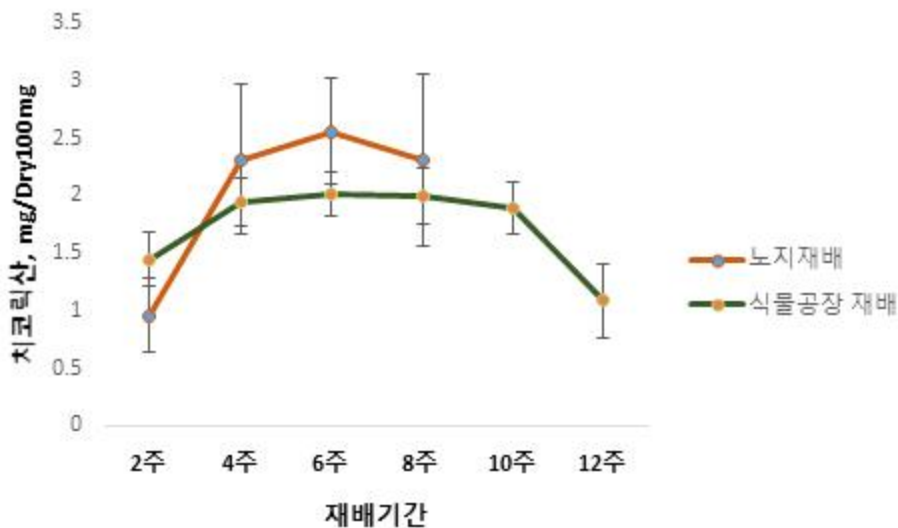


그림 40. 노지 및 식물공장 재배 이고들빼기의 치코릭산 함량

제5절 분화류(칼랑코에)에 대한 자동화 시스템 고도화

1. 기존 재배형태 유지를 통한 재배시스템 변경 최소화, 분화류 재배트레이 활용을 통한 최적 재배환경 조성

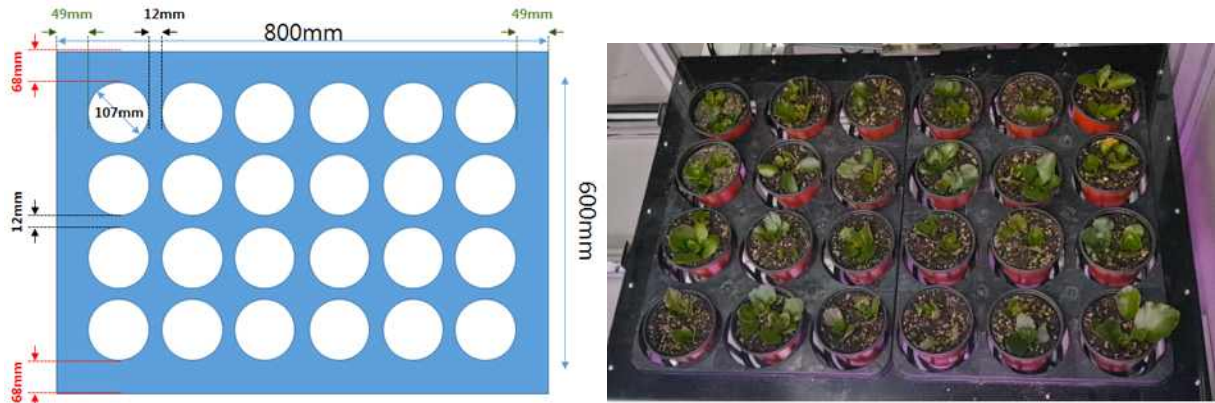


그림 41. 분화류 최적 재배를 위한 포트이송트레이 설계 및 사용 모습

2. 분화류 수분조절을 위한 심지재배 방식 채택



그림 42. 분화류 최적 재배를 심지재배 관수 구현 모습

3. 환경/양액제어 통합 DB 고도화, 자동 제어 고도화
 - 기존 PLC 기반 환경 및 양액제어기 화면 통합을 통한 재배환경 통합제어 고도화
 - 자동 수집 환경데이터 외의 생육정보와 같은 매뉴얼 수집의 데이터의 경우 연구자가 손

- 쉽게 프로젝트를 생성하고 추가 DB항목 구성을 통한 수동입력 지원하는 형태로 고도화
- DB 구성을 통한 자동 환경, 양액, 제어 데이터 수집은 가능하나 수동으로 측정하는 생육 정보 및 기능성분량 등의 정보를 한 DB에 수집할 수 있어야 추후 환경-생육, 환경-성분 모델링 분석이 용이함
 - 데이터 수동입력 항목(생육 및 성분 관련 지표)은 다음과 같이 정의함

[표 6] 생육 및 성육 관련 지표

구분	항목
업체류	샘플갯수, 높이, 잎길이, 잎넓이, 잎갯수, 뿌리길이, 생체중_AERIAL PART, 생체중_UNDERGROUND PART, 견체중_AERIAL PART, 견체중_UNDERGROUND PART 기능성분 관련 수치 6개
분화류	샘플갯수, 높이, 잎길이, 잎넓이, 잎갯수, 꽃색, 꽃줄기개수, 꽃봉오리개수, 꽃개수, 기타생육지표
약용류	샘플갯수, 높이, 잎길이, 잎넓이, 잎갯수, 뿌리길이, 생체중_AERIAL PART, 생체중_UNDERGROUND PART, 견체중_AERIAL PART, 견체중_UNDERGROUND PART, Concentration G1-8, Content C1-8



그림 43. 양액제어기 통합화면 모습



그림 44. 환경제어기 통합화면 모습



그림 45. 프로젝트 기반 재배 및 식물 기초정보 웹 플랫폼 고도화



그림46. 생육정보 매뉴얼 측정 및 DB 입력 화면 모습

제6절 자동화 시스템 고도화 (자동이송 모듈, 통합제어 및 분석 시스템 고도화)

1. 재배단 높이 조절, 작업용이형태 설계, 재배단 자동이송 모듈 고도화

- 기존에 분화류를 식물공장에서 소규모로 재배하는 사례는 있으나 상업적인 식물공장에서 대규모 재배 사례는 없음, 따라서 본 연구에서는 분화류의 자동이송모듈 추가를 통한 기존 식물공장 최적 재배 기술을 개발하였음
- 분화류 품종 별 재배단의 높이 수동 조절을 통한 성장공간 확보 및 최적 광량 높이 조절 가능



그림 47. 재배단 수동 높낮이 조절 구현 모습

- 기존 재배단 형태 훼손 최소화를 위한 이송대차 개발 및 재배단 수평이동을 위한 트레이 측면 푸시형태 장치 구성

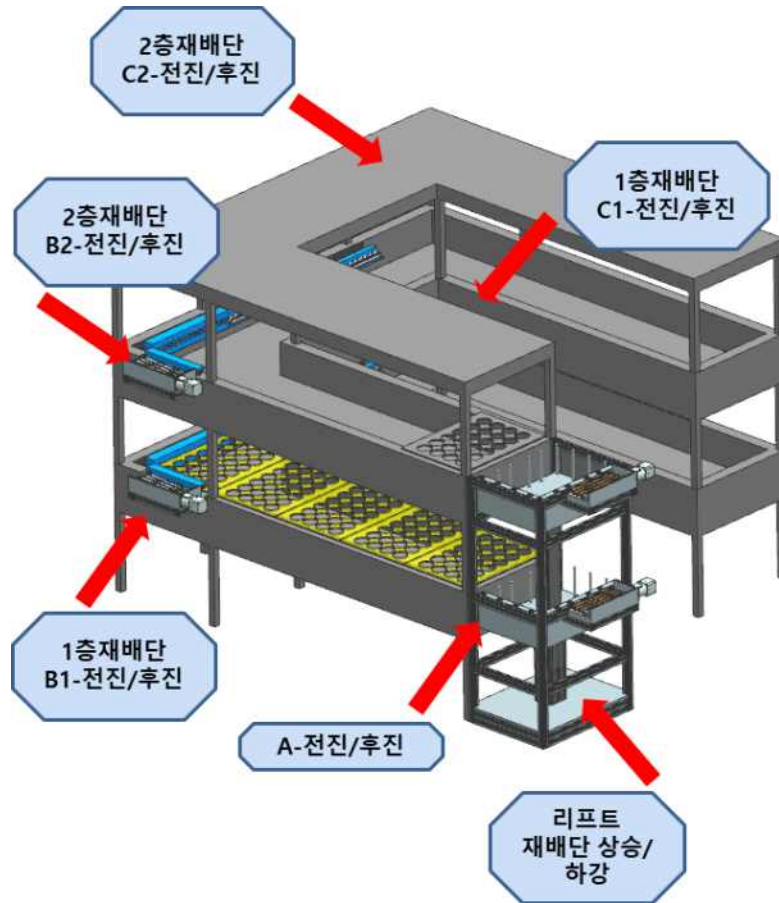


그림 48. 분화류 자동이송 설비 구축 개요



그림 49. 재배단 1층과 2층이동 및 재배트레이 삽입 및 수확시 제거를 위한 이송대차 모습



그림 50. 트레이 푸시를 위한 액추에이터 설치 및 동작 시 모습

* 특허

1. 2019년, 광효율 향상과 공기조화 기능을 갖는 식물재배용 광제어장치, 한국과학기술연구원, 박수현, 박재익, 안태인, 진창호, 김형석, 양중석, 이택성, 김호연, 대한민국, 10-2019-0088464
2. 2019년, 영양액의 안정적 공급과 재사용이 가능한 식물재배용기, 한국과학기술연구원, 박재익, 양중석, 이주영, 김정도, 박수현, 김호연, 진창호, 대한민국/10-2019-0097827
3. 2019년, 식물 자동 재배시스템, 한국과학기술연구원, 박수현, 박재익, 이택성, 정대현, 김호연, 김준호, 진창호, 최재영, 양중석/대한민국, 10-2019-0140994
4. 2019년, 낮낮이 조절식 유틸리티 공급장치를 갖춘 스마트 재배시스템, 한국과학기술연구원, 이주영, 박수현, 양중석, 대한민국, 10-2019-0179376

제7절 칼라코에 단기 실증 재배

1. 예비 실증재배

- 자체 확보한 칼라코에 삽수와 경기도 농업기술원에서 분양받은 삽수(선인장다육식물연구소 2016, 2017, 2018년도 국내육종) 80개체를 활용하여 2차례 실증재배 진행
 - * 품종이름 : 러블리탱고, 샤이닝스타, 레드윈, 핑크스타, 옐로우스타, 오렌지스타
- 환경설정
 - 일장: 주간 14시간, 야간 10시간 ⇒ 주간 9시간, 야간 15시간
 - 광량: 정식 후 식물 캐노피 기준 약 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
 - 광질: 6500k 14W 삼파장 형광등
 - 온도: 주간 24℃ 야간 18℃
 - 배양액: EC 1.2 dS/m, 저면관수
 - *배양액의 농도는 선행연구 참고와 염류축적을 고려하여 설정함[1]
- 재배기간
 - 삽목 후 약 110일 (2019.10.01. ~ 2020.01.20.)



삽목 당일



삽목 후 50일 (단일처리 시작)



단일처리 후 5주



단일처리 8주 후 (삽목 후 15주)

그림 51. 칼라코에 재배 모습

2. 단기 실증재배

- 칼라코에 분화 구입 후 삽수를 채취하여 자동화 재배 시스템을 활용한 실증재배 진행
- 심지 재배방식 도입 및 자동화 재배시스템 단계별 LED 광제어

- 선행 연구에서 660nm 파장은 개화를 촉진하고, 450nm 파장은 개화 지연에 영향을 미치는 것으로 보고됨[2, 3, 4] 이에 따라 칼라코에 최적 생육을 위한 광원 선정을 별도로 하지 않고 기존 선행 연구 논문을 기반으로 LED 광원을 활용하고 생육 단계별 파장광원의 비율을 표준으로 제시함.
- 삼목 후 1단계에는 충분한 광량을 공급하기 위해 R:BW 비율을 1:1로 설정
- 2단계에서는 화아분화를 유도하기 위해 단일조건으로 변경하며 R:BW 비율을 3:1로 설정

○ 환경설정

- 일장: 주간 14시간, 야간 10시간 ⇒ 주간 9시간, 야간 15시간
- 광량: 정식 후 식물 캐노피 기준 약 $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
- 광질: LED Red (660nm), Blue+White (450nm + 6500K)
- 온도: 주간 24°C 야간 18°C
- 배양액: EC 1.2 dS/m, 심지관수 (심지 폭 1cm, 화분내 삼입 깊이 4cm, 양액 침지 깊이 2cm)
- 구축한 분화류 자동이송 설비를 이용한 실증

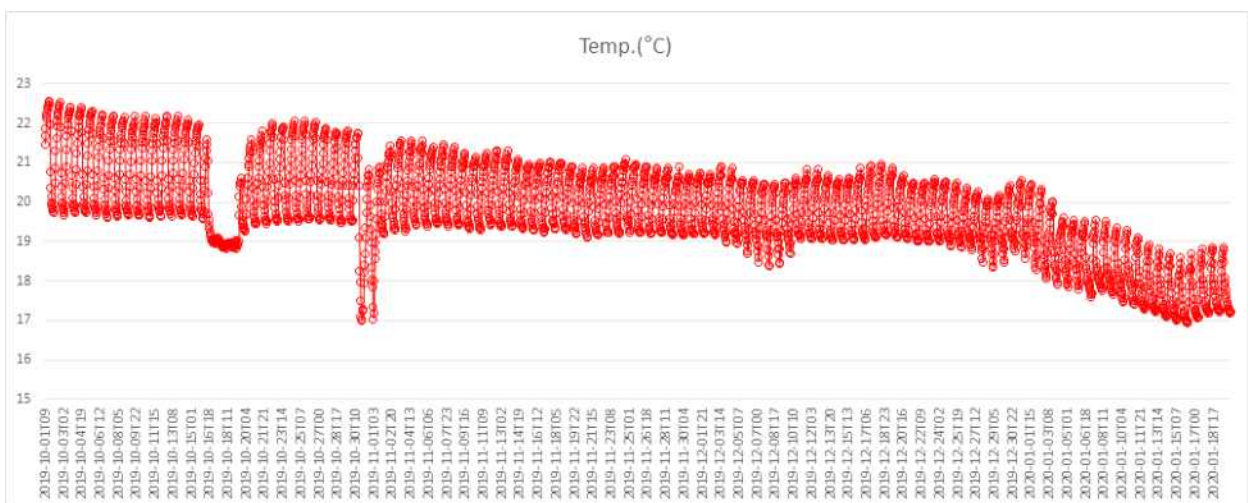


그림 52. 실증기간 동안의 양액 온도

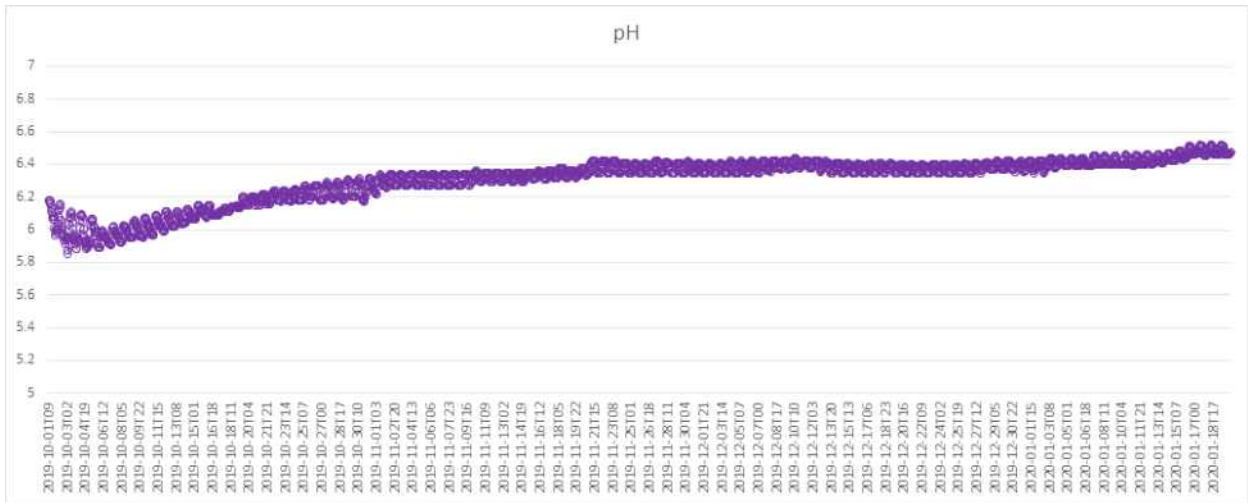


그림 53. 실증기간 동안의 양액 pH

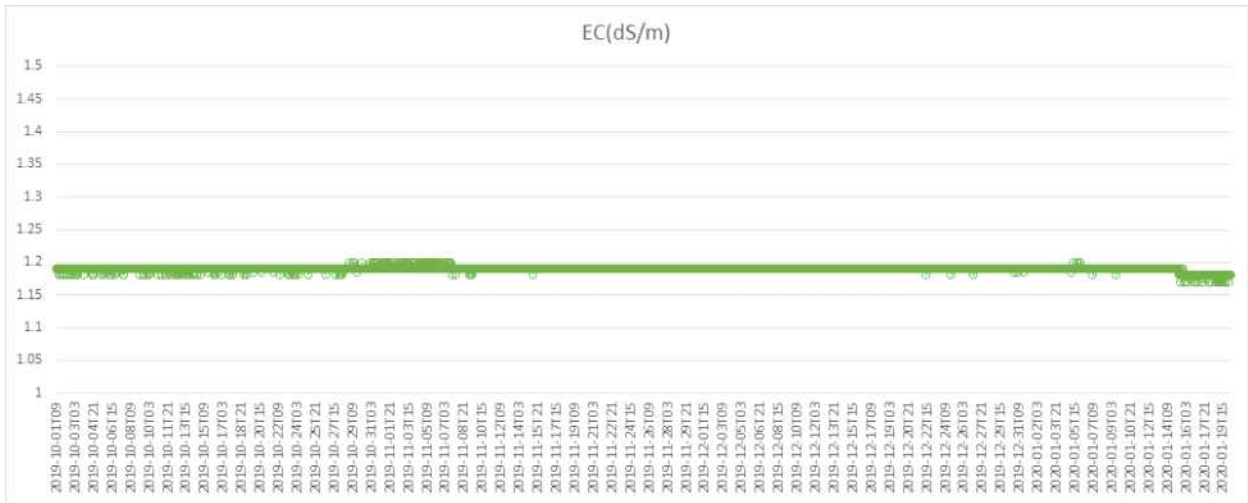


그림 54. 실증기간 동안의 양액 EC

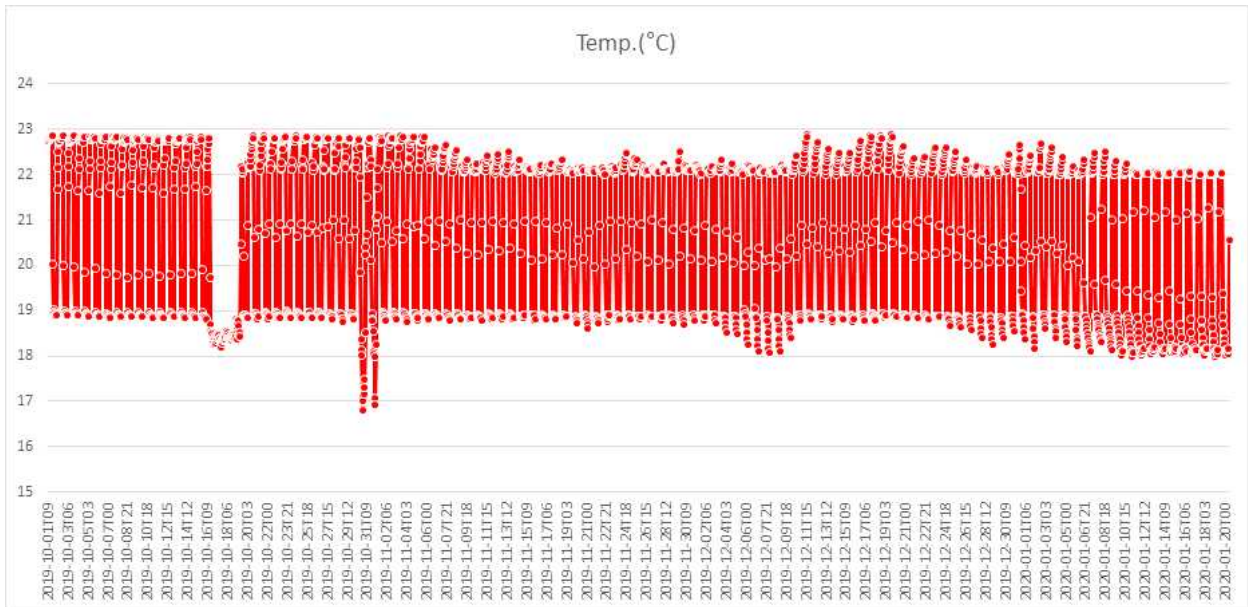


그림 55. 실증기간 동안의 내부 환경 온도

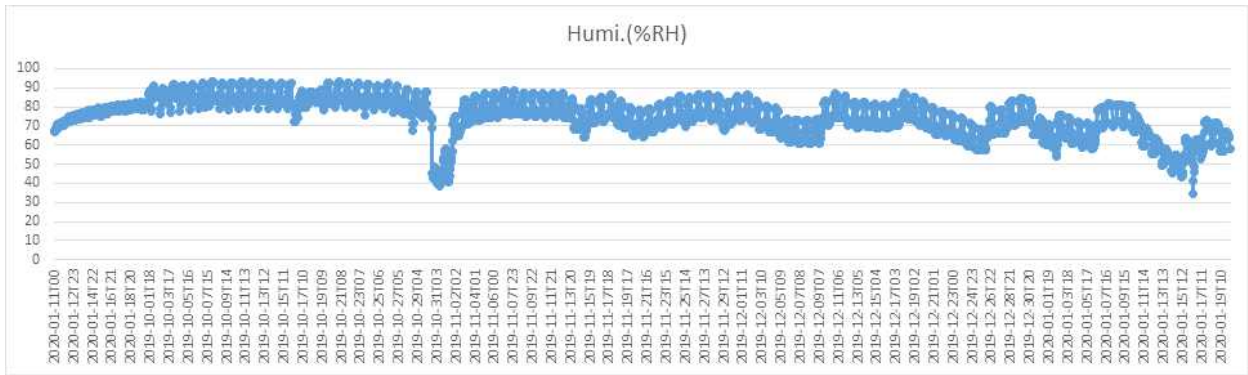


그림 56. 실증기간 동안의 내부 환경 습도



삼목 후 14일



삼목 후 15주



단일처리 후 6주



단일처리 8주 후 (삼목 후 15주)

그림 57. 칼랑코에 재배 모습

제8절 칼라코에 생육 단계별 재배법 표준화

- 단기 실증재배 결과로부터 식물공장을 활용한 자동화 시스템에서의 칼라코에 표준 재배법을 작성함
- 배양액 농도는 선행 연구와 배지내 염류축적을 고려하여 1.2 dS/m으로 설정
- 광질 및 광량은 선행 연구와 LED 사양을 고려하여 단계별 비율 설정
- 칼라코에와 같은 CAM식물은 고온 조건에서 야간에 이산화탄소를 흡수한 후 주간에 광합성을 하지만, 식물공장에서는 주간온도가 30도 이상 올라가지 않으므로 일반 식물과 같이 주간에만 이산화탄소를 공급함[5]

[표 7] 자동화 시스템 연동 생육단계별 재배 및 환경관리 표준

주 일	1							2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	1	2	3	4	5	6	7															
생육단계 및 재배관리	○			○				○			○			○				○				○
	↑			삽목				새순 발달			적심			단일처리 시작			화경신장			출하		
	삼수채취 및 음건							발근 확인														
자동화시스템	1단계											2단계										
광질	R:BW = 1:1											R:BW = 3:1										
일장	주간 : 야간 = 14 : 10											주간 : 야간 = 09 : 15										
온도	주간: 22 °C ± 1 °C / 야간: 19.5 °C ± 0.5 °C																					
CO ₂	주간: 700 ppm																					
배양액	1.2 dS/m (N 354, P 186, K 420, Ca 230, Mg 13, S 83, Fe 2.80, B 0.32, Mn 0.77, Cu 0.04, Zn 0.02, Mo 0.02 ppm)																					

제9절 약용작물 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화

1. 성형배지(그로우폼)을 이용한 이고들빼기의 발아 실험

① 그로우폼 물리·화학적 특성

- pH: 5.5
- Avg. Total porosity: 99%
- Avg. Air porosity: 17%
- Avg. Water holding capacity: 82%
- Fertilizer: No
- 성형배지는 기존의 배지(원예용상토)와 다르게 모양이 잡혀 있어 자동화가 용이하며 가루가 떨어지지 않아 청결함



그림 58. 그로우폼(한국스미더스코리아)

② 그로우폼 배지밀도에 따른 이고들빼기의 발아 실험

- 그로우폼 배지밀도가 다른 2가지 성형배지와 기존 파종 방식(원예용 상토)에 따른 이고들빼기의 발아율을 확인하기 위해 온도 20℃, 습도 60%, 광도 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 조건으로 설정되어 있는 식물공장에서 약 3주 동안 실험을 진행하였음
- 파종 3주 후, 그로우폼 밀도 소, 그로우폼 밀도 고, 기존 파종 방식(원예용 상토)의 발아율은 각각 32%, 33%, 38%였고, 그로우폼의 밀도와 상관없이 이고들빼기의 발아율 차이는 보이지 않았지만 밀도가 높은 처리구의 묘의 성장 속도가 빨랐음
- 기존 파종 방식인 원예용 상토와 비교하여 2가지 그로우폼의 발아율은 낮았고 묘의 크기도 매우 작아 이고들빼기 재배 배지로는 적합하지 않았음

[표 8] 그로우폼 배지 밀도에 따른 이고들빼기의 발아율

배지 종류	밀도 소	밀도 고	원예용 상토
발아율 (%)	32	33	38

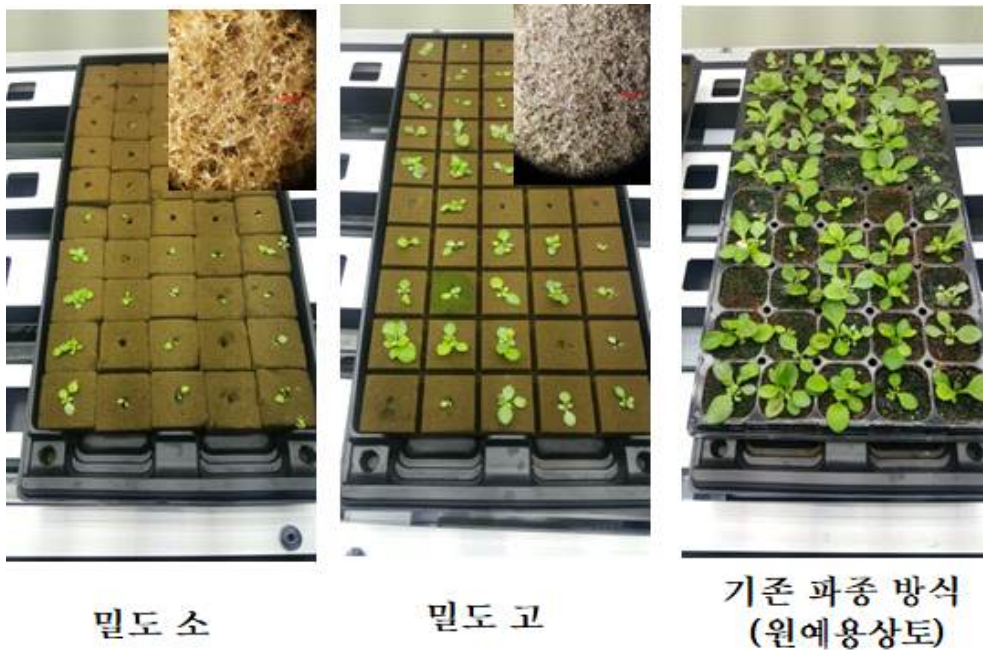


그림 59. 밀도가 다른 2가지 그로우폼 배지와 원예상토에 이고들빼기 종자를 파종 후 3주 모습

2. 성형배지(테라플러그)을 이용한 이고들빼기의 발아 및 재배 실험

① 테라플러그의 물리·화학적 특징

- pH: 5.4-5.9
- Avg. Total porosity: 88%
- Avg. Air porosity: 8%
- Avg. Water holding capacity: 80%
- Fertilizer: No



그림 60. 테라플러그(한국스미더스코리아)

- ② 테라플러그를 이용한 이고들빼기의 발아율 실험
- 이고들빼기 종자를 파종 후 13일째, 테라플러그와 기존 파종 방식(원예용 상토)의 발아율은 각각 43%와 24.4%를 기록하였고 테라플러그에서 발아된 이고들빼기 묘의 크기가 원예용 상토보다 컸으며 묘의 생장이 균일하였음
 - 파종 후 약 3주째, 테라플러그에서는 녹조가 발생하지 않았지만 원예용 상토에는 녹조가 발생하였음
 - 파종 후 약 4주째, 테라플러그에서 이고들빼기의 발아율과 묘의 성장 속도는 원예용 상토보다 컸으면 녹조도 발생하지 않았음
 - 식물공장에서 수경재배용 배지로 원예용 상토를 사용할 경우 상토의 오염과 녹조 발생, 재배 배드로의 유입, 그리고 재배 공간과 작업 환경을 더럽혀 많은 문제점을 갖고 있었음
 - 본 실험을 통해 테라플러그가 이고들빼기 재배에 적합한 배지라고 판단하였고 식물공장에서 이고들빼기를 재배시 사용하였던 원예용 상토를 대체하여 사용할 수 있는 성형 배지로 테라플러그를 선발하였음



- | | |
|--|--|
| <p>✓ 테라플러그</p> <ul style="list-style-type: none"> • 발아율: 43% • 녹조 발생 X | <p>✓ 원예용상토</p> <ul style="list-style-type: none"> • 발아율: 24.4% • 녹조 발생 O |
|--|--|

그림 61. 테라플러그(성형배지)와 원예용 상토에서 약 3주 동안 재배된 이고들빼기 묘

- ③ 테라플러그를 이용한 이고들빼기의 재배 실험
- 이고들빼기의 근권부 환경은 수분 함량에 민감하여 과도한 수분에 의해 생장이 저해 받거나 잎에 무름병에 걸리기 쉽다고 알려져 있음. 심지재배는 배지의 수분함량을 일정하게 유지하는 특징을 갖고 있지만 심지 개수에 따라 배지의 수분함량이 매우 다름. 따라서, 테라플러그 배지를 이용하여 심지 개수에 따른 이고들빼기의 생장을 비교하기 위해서 6주 동안 실험을 수행하였음
 - 정식 후 6주차, 기존 재배 방식(원예용 상토)와 비교하여 테라플러그에서 자란 이고들빼기의 지상부 생체중과 엽면적은 유의적인 차이를 보이지 않았음
 - 또한, 원예용 상토와 테라플러그 두 처리구 모두 다 심지 개수에 따른 이고들빼기의 지상부와 엽면적에서 차이가 없었음
 - 따라서, 기존 재배 방식(원예용 상토)와 비교하여 테라플러그에서 자란 이고들빼기의 성장 차이가 없었으므로 원예용 상토 대신 테라플러그 성형배지로 대체가 가능하다고 판단하였음
 - 실제 산업 현장에서 심지 재배 방식을 이용할 때 심지를 배지에 삽입하는 과정에 번거롭기 때문에 이를 해결하기 위한 “심지를 이용한 수정재배 장치”를 개발하였으며 특허 출원하였음

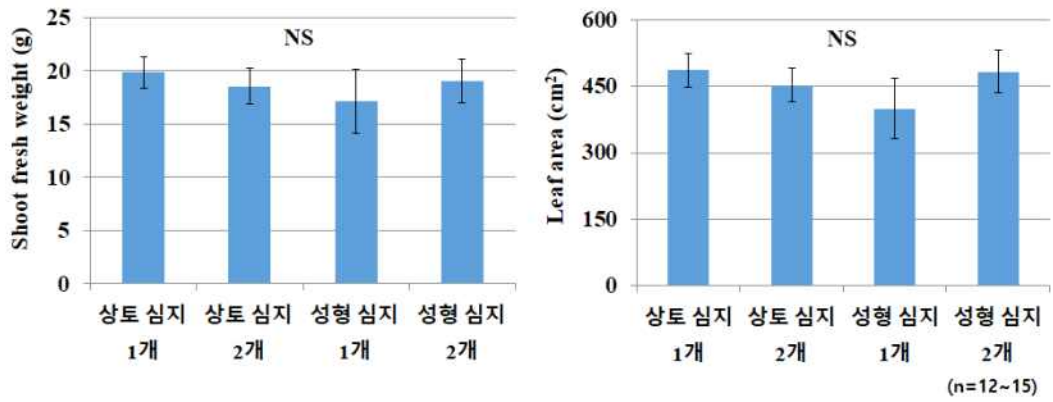


그림 62. 심지 개수가 다른 원예용 상토와 테라플러그에서 6주간 재배된 이고들빼기의 지상부 생체중과 엽면적



그림 63. 심지 개수가 다른 원예용 상토와 테라플러그에서 6주간 재배된 이고들빼기의 모습

*특허

1. 2019년, 심지를 이용한 수정재배장치, 충북대학교 산학협력단, 오명민, 박송이, 대한민국, 10-2019-0179376

제10절 고기능성 약용작물 생산 증대를 위한 광질 및 수광 분포 개선

(가) 백색 LED 기반 성장 증진 광질 조건 구명

① 다양한 백색 기반 LED를 이용한 이고들빼기 재배 실험

- 온도 20℃, 습도 60%, 광도 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 광주기 16시간으로 설정되어 있는 식물 공장에서 이고들빼기는 파종되고 약 3주 동안 재배되었음

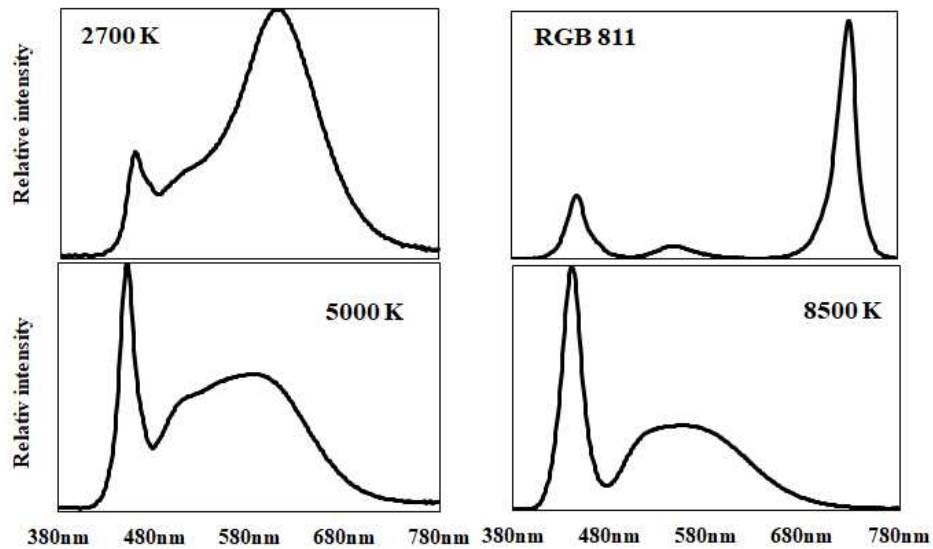


그림 64. 다양한 백색 기반 LED의 스펙트럼 분포

*K는 색온도를 나타내고 RGB811은 red:geen:blue LED=8:1:1인 대조구임

- 다양한 백색 기반 LED에 따른 이고들빼기의 생장을 비교하기 위해서 온도 20℃, 습도 60%, 광도 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 광주기 16시간으로 설정되어 있고 3가지 타입의 White LED(그림 65)를 이용한 총 10가지의 광원이 설치되어 있는 식물공장에서 이고들빼기를 약 7주 동안 재배하였음
- Far-red(700-800nm)는 엽병과 줄기 신장 촉진 및 엽면적 증가와 같은 음지회피반응을 일으키는 주된 광원이며 이러한 반응들은 지상부 biomass를 증가를 유도함. 이전 연구에서 음지식물인 이고들빼기에 far-red 광원을 조사해주었을 때 지상부 생장이 촉진됨. 따라서 백색 기반 LEDs에 far-red 광원을 추가해주어 지상부 생장에 미치는 효과를 확인하기 위해서 far-red 그룹을 추가하였음
- Far-red가 없는 2700K, 5000K, 8500K, 5000K+Red, RGB 811(Group I)와 far-red이 있는 2700K+Far-red, 5000K+Far-red, 8500K+Far-red, 5000K+Red+Far-red, RGB 811+Far-red(Gruop II)으로 총 10가지 처리구를 조성해주었음.
- 모든 Far-red 처리구의 red/far-red 비율은 1.2로 동일하였음



그림 65. 다양한 백색 기반 LEDs에서 자라는 이고들빼기 모습

- 10가지의 백색 기반 LEDs에서 이고들빼기를 7주 동안 재배하였고 정식 후 6주차에 앞에서 광 투과율을 측정하였고 정식 후 7주차에 수확하여 지상부의 생체중과 엽면적, 엽폭, 엽장을 측정하였고 총 재배기간 동안의 광 이용 효율을 계산하였음
- Far-red가 없는 Group I에 비해 Far-red가 존재하는 Group II의 광 투과율이 전체적으로 높았음
- 이러한 높은 광 투과율은 상단부에서 투과된 광 에너지가 하단부에 있는 잎까지 도달하여 하편생장의 증진을 촉진할 수 있음

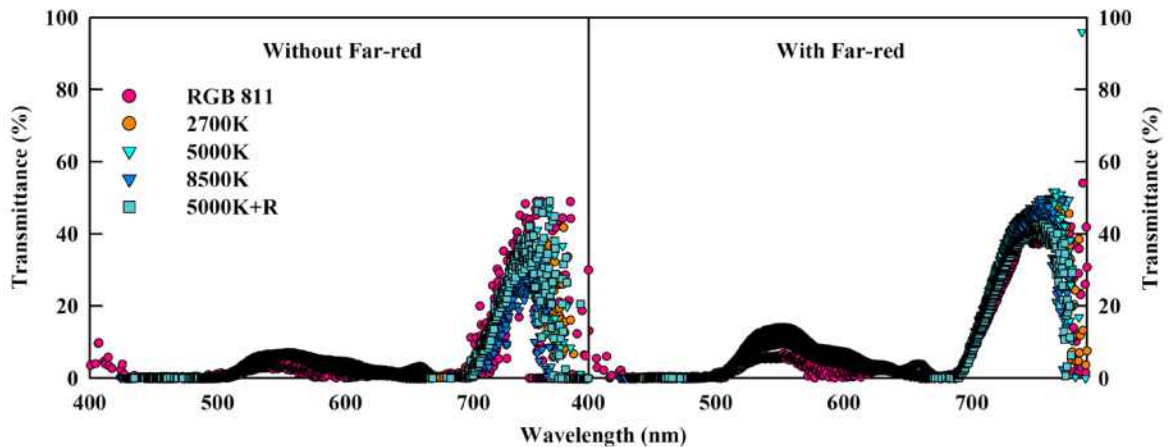


그림 66 다양한 백색 기반 LED에서 7주 동안 재배된 이고들빼기 앞에서의 광 투과율

- 정식 후 7주차에 이고들빼기를 수확하여 생육 특성을 조사한 결과, RGB 811+Far-red를 제외한 Far-red가 있는 Group II의 지상부 생체중과 ,엽면적, 엽장이 유의적으로 높았음. 특히, 2700K+Far-red 처리구의 지상부의 생체중은 5000K+Far-red 처리구를 제외하고 가장 유의적으로 컸음. 반면에 Far-red가 없는 Group I에서 지상부의 생체중과 엽면적에서는 유의적인 차이는 없었고 엽장은 5000K에서 엽폭은 8500K에서 유의적으로 가장 낮은 수치를 가졌음
- 재배기간 동안의 각 광원의 광 이용 효율(총 재배기간 동안 사용된 광 에너지 대비 총 지상부 생산량)을 계산한 결과 생장 결과가 가장 우수하였던 2700K+Far-red의

광원이 가장 높았음

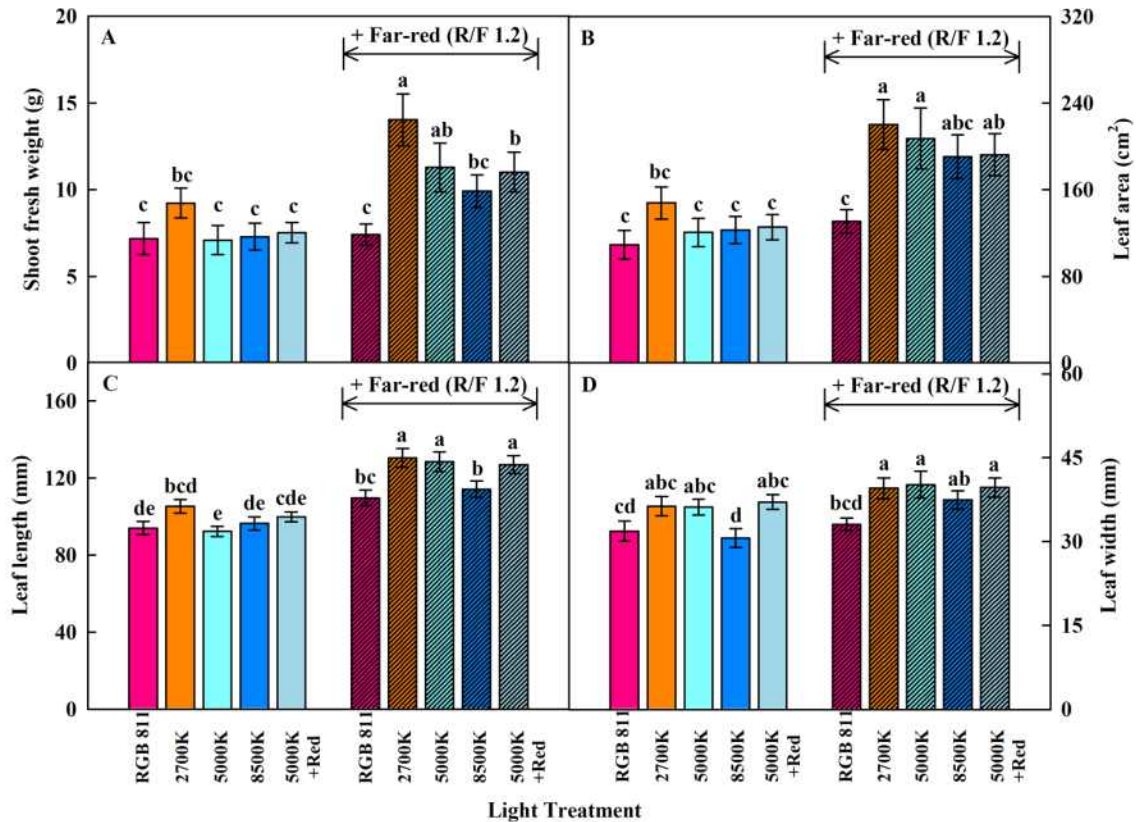


그림 67. 다양한 백색 기반 LED에서 7주 동안 재배된 이고들빼기의 지상부 생체중(A), 엽면적(B), 엽장(C), 엽폭(D)

- 이전 연구의 결과, RGB LED기반 여러 비율 중 8:1:1이 그리고 Red/Far-red 비율 1.2가 되는 Far-red LED 추가조사는 이고들빼기의 성장과 품질(생리화합물질 함량)을 증대시켰음(Bae 등, 2017; Park 등, 2020). 하지만, 단색 LED의 단가가 높아 식물공장의 초기투자비용을 증대시키기 때문에 인공광원 조사 기술의 개선이 필요한 상황임
- 본 실험에서는, 다양한 백색기반 LEDs에 따른 이고들빼기의 성장을 비교하여 메인 광원으로써의 사용을 검증하고 추가적인 Far-red 효과를 확인하고자 하였음
- 다양한 백색 기반 LED에서 이고들빼기를 7주 동안 재배한 결과 red 비율이 가장 풍부한 2700K 백색 LED에 Far-red를 추가한 처리에서 지상부 성장(지상부의 생체중, 엽면적, 엽장, 엽폭)이 가장 우수하였고 광 이용효율도 가장 높아 인공광 이용형 식물공장에서 2700K+Far-red는 이고들빼기 재배에 적합하다고 판단하였음
- 따라서, 다양한 백색 기반 LED에서 이고들빼기를 7주 동안 재배한 결과 2700K+Far-red에서 지상부 성장(지상부의 생체중, 엽면적, 엽장, 엽폭)이 가장 우수하였고 광 이용 효율도 가장 높아 인공광 이용형 식물공장에서 2700K+Far-red은 이고들빼기 재배에 적합하다고 판단하였음

[표 9] 다양한 백색 기반 LEDs의 광 이용 효율

Light treatment	Light use efficiency (Total FW g·mol ⁻² ·d ⁻¹)	
	Without Far-red	With Far-red
RGB 811	0.34	0.35
2700K	0.44	0.67
5000K	0.33	0.53
8500K	0.35	0.46
5000K+Red	0.36	0.52

② 캐노피 광합성률 측정

- 일반적으로 식물 생리 반응 연구에서 사용되는 광합성률은 식물 잎의 단위 면적 당으로 측정되는 방식으로 식물체 전체의 광합성률을 대표할 수 없기 때문에 광원 종류에 따른 실시간 식물의 광합성 효율을 판단하기에 어려움이 있음
- 식물체 전체 또는 식물 군락의 광합성률을 측정하기 위한 장치 개발하여 백색 기반 LEDs에 따른 캐노피 광합성률을 비교하고자 실험을 수행함



그림 68. 식물 캐노피 광합성을 측정 장치

- 온도 20℃, 습도 60%, 광도 200μmol/m²/s, 이산화탄소 700ppm으로 설정되어 있는 캐노피 광합성 챔버에 이고들빼기 3개체를 넣고 이산화탄소 농도를 측정하였고 이고들빼기에 의해 1분당 16ppm의 이산화탄소가 소비됨을 알 수 있었음
- 다양한 백색 기반 LED에서 생장이 가장 우수하였던 2700K+Far-red와 2700K 두 처리구의 캐노피 광합성률을 측정하고, 그 결과 2700K+Far-red와 2700K의 식물체 전체 광합성률은 각각 0.092와 0.081μmol/plant/s을 기록하였음
- 따라서 Far-red 광원이 이고들빼기의 식물체 전체 광합성률을 유의적으로 증가시켰

고 이러한 결과는 지상부 biomass 축적에 기여될 수 있음을 보여줌

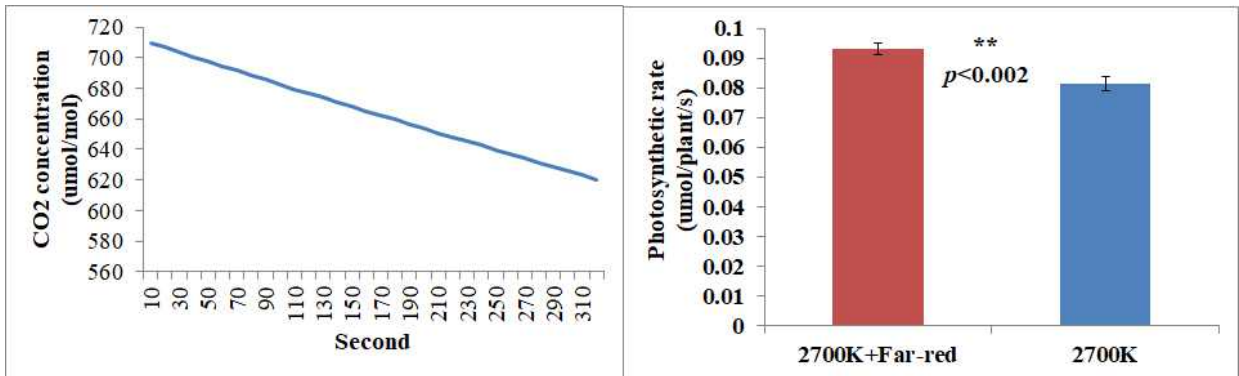


그림 69. 이고들빼기 식물 캐노피 광합성률의 변화(좌)와 far-red 유무에 따른 광합성률 차이(우)

- 본 실험을 통해 다양한 백색 기반 LED 중 2700K+Far-red의 지상부 성장, 광합성률, 광 이용효율은 가장 우수하였고 인공광 이용형 식물공장에서 고품질의 이고들빼기의 대량생산을 위한 광원으로 2700K+Far-red이 적합함을 다시 한 번 확인함
- 본 장치를 활용하면 앞으로 특성 광처리 시 실시간으로 작물의 광합성 능력을 확인하여 보다 빠르고 능동적으로 성장 결과를 예측하고 판단할 수 있음

③ 이고들빼기 이차대사산물 프로파일링

- 약용식물로서의 가치를 좀 더 높이기 위해서 이고들빼기의 이차대사산물의 종류와 양에 대한 분석을 추가 수행하였음
- 이고들빼기를 식물공장에서 재배하고 채취한 시료를 동결 건조한 샘플(50mg)과 70% 메탄올 1mL을 이용하여 혼합해주고 4°C에서 5분동안 초음파 추출하였음. 그 후, 17,000rpm에서 10분 동안 원심분리 후 상층액을 LC-MS 분석에 이용하였음

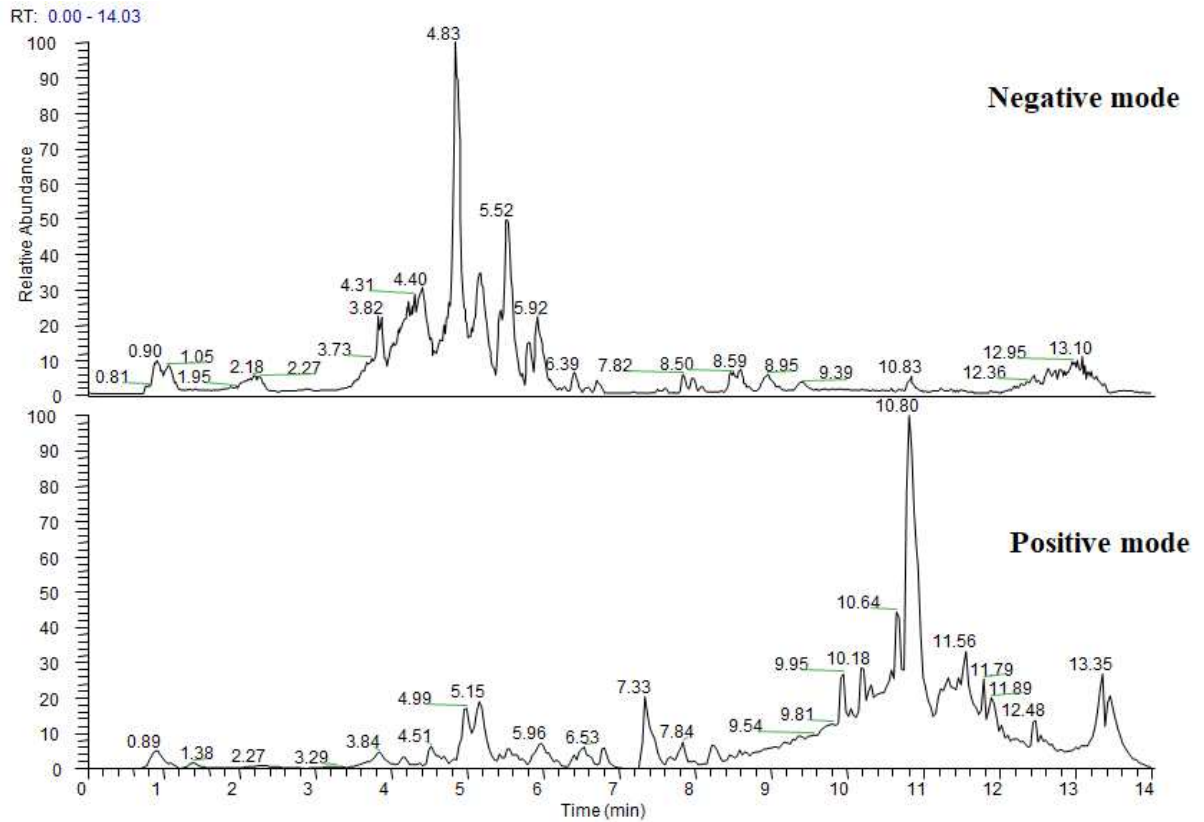


그림 70. 이고들빼기 LC-MS profiling

- 이고들빼기의 이차대사물질 분석 결과 대표적인 생리활성물질로는 caftaric acid, chlorogenic acid, chicoric acid, 1,3-Di-O-caffeoylquinic acid, Youngiaside B, Youngiaside B, Youngiaside D, Ixerochinoside와 같은 화합물들 주로 분석되었음
- 추후 이고들빼기를 원물로 하는 건강기능성식품이나 의약품개발 및 영업 마케팅에 중요한 자료로 활용될 수 있음

*논문

1. 2020, Manipulating light quality to promote shoot growth and bioactive compound biosynthesis of *Crepidiastrum denticulatum* (Houtt.) Pak & Kawano cultivated in plant factories, 박송이, Journal of applied research on medicinal and aromatic plants, Vol;16, 국외, SCI, 100237

[표 10] 이고들빼기 secondary metabolite profiling

NO.	RT (min)	Tentative metabolites	Measured m/z		MS fragment	M.W.	Formular	Error (ppm)	UV (nm)
			(-)	(+)					
1	2.11	Caftaric acid	311.0409	335.0363	311>179,149	312	C13H12O9	0.2	220, 300
2	3.82	Chlorogenic acid	353.0886	377.0844	353>191>173	354	C16H18O9	0.4	220, 300
3	4.13	N. I.	387.1667	411.1622	387>369	388	-	-	220, 300
4	4.45	Chicoric acid	473.0724	497.0692	311>179,149	474	C22H18O12	1.0	220, 300
5	4.84	Chicoric acid (isomer 2)	473.0724	497.0672	311>179,149	474	C22H18O12	0.6	220, 300
6	5.12	1,3-Di-O-caffeoylquinic acid	515.1194	517.1330	515>353>191>173	516	C25H24O12	0.2	220, 300
7	5.52	N. I.	327.0910	-	-	-	-	-	220
8	5.87	Youngiaside B	557.2037	581.1974	557>537>423	558	C29H34O11	1.5	220
9	5.94	Youngiaside C	557.2040	581.1968	-	558	C29H34O11	2.0	220
10	6.09	Youngiaside D	557.2036	581.1979	-	558	C29H34O11	1.3	220
11	6.41	N. I.	379.1980	-	-	-	-	-	220
12	6.71	Ixerochinoside	691.2418	715.2358	691>447>175	692	C37H40O13	1.3	220
13	7.33	N. I.	274.2723	-	-	-	-	-	-
14	7.83	N. I.	675.3615	699.3548	675>397>235	676	-	-	-
15	8.58	N. I.	559.3119	-	-	-	-	-	-
16	8.93	N. I.	325.1849	-	-	-	-	-	-
17	9.38	N. I.	339.2003	-	-	-	-	-	-

제11절 엽채류, 약용식물 재배 기술 식물공장 자동화 시설 고도화 실증 기관 전수 및 컨설팅

- 대량생산을 위한 약용식물(이고들빼기)의 파종 방법 고도화 실증 기관인 팜에이트에 전수 및 컨설팅
- 이고들빼기의 안정적인 생산을 위한 심지를 이용한 재배 기술 전수
- 이고들빼기의 기존 재배 배지인 원예용 상토는 오염과 곰팡이와 같은 다양한 문제점을 갖고 있어 인공광 이용형 식물공장에서 안전한 작물 생산을 위한 적합한 배지를 선발 후 실증 기관에 재배 기술 전수



그림 71. 약용작물 생산체계 전수 및 컨설팅

- 고기능성 이고들빼기의 생산량과 생리활성물질 함량을 고려한 최적은 2700K+Far-red (red/far-red 비율 1.2)인공광 조건을 확립하였고 안정적인 대량 생산을 위한 이고들빼기 생산 체계를 실증 기관인 팜에이트에 전수 및 컨설팅
- 약용작물의 식물공장 자동화 시설 고도화 실증을 위한 온도 20℃, 습도 60%, 광도 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 광주기 16시간, 이고들빼기 전용 배양액(EC 2.0 dS/m, pH 5.5)와 같은 적합한 필수 재배 환경 조건을 확립 후 팜에이트에 전수 및 컨설팅
- 식물공장 자동화 시설에 방문하여 인공광 환경과 배양액과 관련된 재배 환경 문제점 파악 후 해결점 제시
- 추가적으로 엽채류와 허브를 생산 증진을 위한 이미 개발된 요소기술(음이온 처리 기술, far-red 광 추가 조사 기술)의 현장 적용을 권유하였고 현재 식물공장 현장에서 관련 기술 적용을 검토 중에 있음



그림 72. 팜에이트 식물공장 자동화 시설 현장 방문

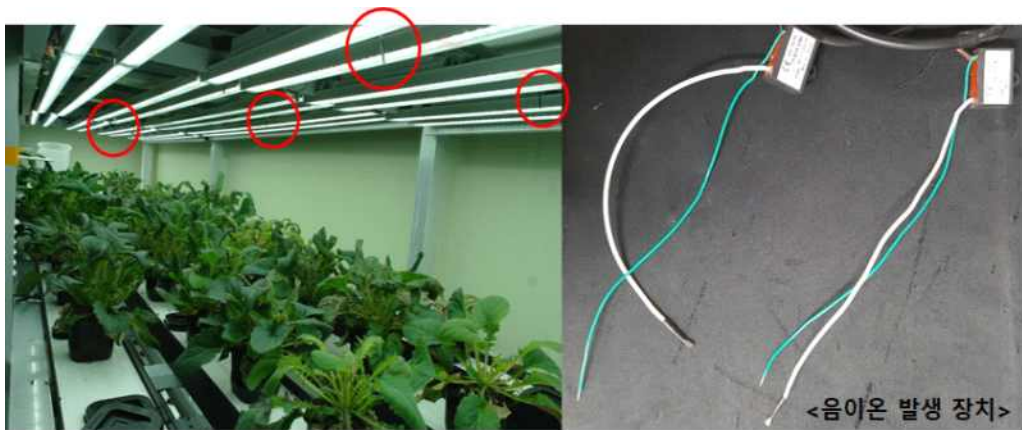


그림 73. 음이온 발생 장치 설치 예시

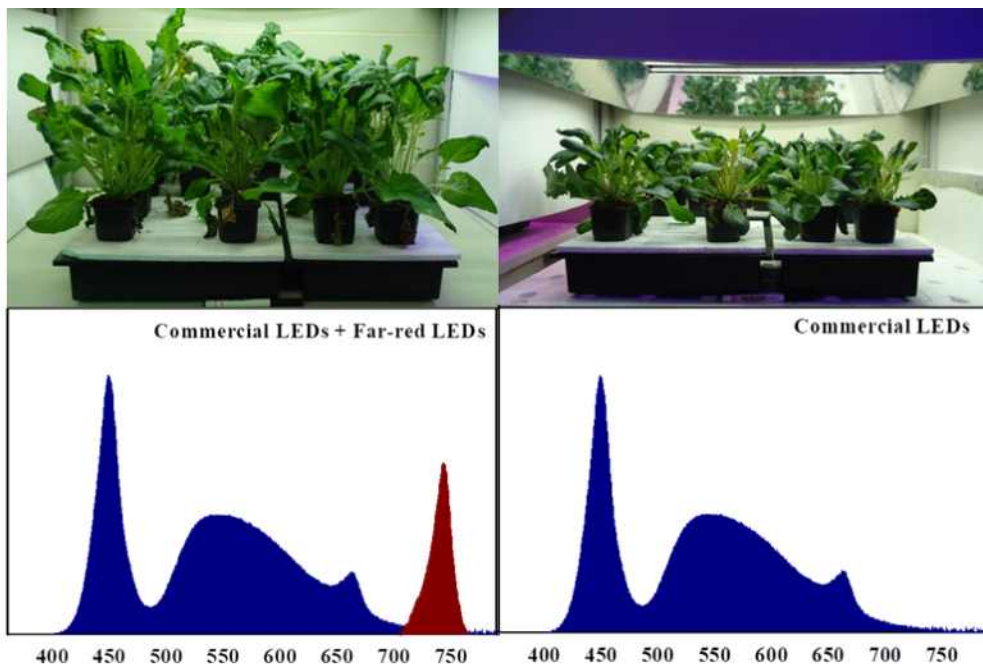


그림 74. Far-red 광원 설치 예시

제12절 경제성 평가의 의의

- 식물공장은 IT와 BT, 건축기술 및 LED 기술 등 다양한 기술이 집약된 기술의 결정체로서 식물공장의 보급 및 확대는 관련 연관 산업 성장으로 인해 사회적으로 다양한 생산유발 및 고용 유발을 가져올 수 있음
- 식물공장은 미래의 한국 농업 경쟁력 확보 및 신성장 동력 발굴을 위한 농업의 4차 산업 혁명 유망 산업분야임. 최근 식물공장의 시장성이 이슈화되고 있으며, 농업이 다른 분야와 융합하여 새로운 산업으로의 성장 가능성을 높게 평가 받고 있음
- 주요국의 시장분석 및 시사점은 다음과 같음
 - 일본의 경우 농기계 제조업체, IT 서비스 기업 등 민간기업이 주도적으로 식물공장 제품 및 서비스를 개발하여 사업화하고 있음
 - 미국의 경우 대규모 경작지를 효율적으로 관리할 수 있는 농업 로봇 개발에 집중하고 있음
 - 중국의 경우 정부의 지원 정책에 알리바바, 텐센트 등의 대기업을 중심으로 관련 솔루션을 개발하고 있음
 - 식물공장은 지속가능한 농업 혁신방안의 하나로 각국의 농업 환경에 따라 추진되고 있으며, 정부의 지원하에 기업형 농업 또는 민간기업 등의 대기업 참여로 발전하고 있음. 따라서 우리나라 농업환경과 기술 수준에 맞추어 전략을 수립할 필요가 있으며, 정부의 지원 정책이 필요하며, 식물공장 보급 이후 해당 품목의 생산량 증가에 따른 판로 개척의 어려움 등 부작용에 대비한 연구와 대책이 필요함
- 식물공장과 최근 연구를 살펴보면 다음과 같음
 - 김재훈(2010)은 우리나라 실정에 맞는 식물공장 개발 방안 및 실용화 가능성에 대한 발전방안에 대한 연구에서 LED 관련 경제성 분석을 수행함
 - 김창길 외(2011)는 식물공장 관련 운영사례를 정리하고 전라북도에서 식물공장을 활용한 분자농업의 산업화 가능성을 검토, 발전 전략을 제시하였으며, 전북의 경우 농생명 관련 LED 특화 지역으로서 식물공장 및 분자농업 분야의 전문성 보유와 입지적 우위성이 있는 것으로 분석하였으며, 관련된 단계별 분자농업 발전 전략을 제시함
 - 임송택 외(2011)는 식물공장에 대한 경제성 분석을 수행하였으며, 경제성 뿐만 아니라 환경성 분석을 통해 식물공장이 지속가능한 농업의 대안으로서 기능을 할 수 있는지에 관해 검토함. 상추를 대상으로 한 분석결과 식물공장의 경우 거액의 초기시설투자비 등으로 인해 시설상추에 비해 생산비가 14배에 달하며, 환경적 측면에서도 국내 식물공장의 에너지 투입량 및 이산화탄소 배출량이 시설채소에 비해 60배 가량 많은 것으로 나타나 식물공장이 지속가능한 대안이 될 수 없다고 주장함
 - 김연중 외(2013)는 식물공장의 보급·확대를 위해 식물공장의 실태 분석을 통한 문제점과 개선 방안을 찾아내고, 주요 품목에 대한 경영모델 시스템 개발을 제안함
- 대부분 관련 선행연구는 식물공장 도입 초기에 수행되어 관련 식물공장이 시험용 또는 설치된 지 얼마 되지 않아 적절한 경제성 및 경영성과를 분석하기 어려운 실정이었으며, 급변하는 식물공장 관련 기술 개발 속도를 감안할 때 새로운 환경하에서 식물공장의 경제성 분석이 매우 필요한 현실임. 또한 대부분의 선행연구들이 경제성 분석과 재무 분석을 구별하지 않고 분석하여, 경제성 분석에서 포함되어야 할 식물공장들이 가지고 있는 사회적 편익을 적절하게 반영하지 않은 측면이 있다고 할 수 있음
- 본 연구는 최근 개발된 식물공장을 대상으로 경제성 평가를 수행하였으며, 기존 선행연구에서 포함되지 않았던 식물공장의 공적(사회적)편익을 계상하여 식물공장의 경제성을 분석하고자 함

제13절 비용과 편익의 유형 및 범위

- 식물공장의 경제성 분석(cost-benefit analysis)에서 중요한 것은 비용과 편익의 범위를 정하는 것 임. 식물공장의 경우 개별 기업 차원에서 발생하는 편익이 있으며, 한편으로는 노동시간 절감 및 수송비 절감으로 인한 보다 큰 영역에서의 편익 즉 일종의 양의 외부효과(externality)가 존재할 수 있음
- 외부효과가 있을 경우 한 재화의 가격은 그 재화의 사회적 가치를 제대로 반영하지 못하며 이 경우 그 재화는 사회에서 필요 이상으로 또는 필요 이하로 생산될 수 있으며, 이는 사회 전체로 볼 때 자원의 비효율적인 배분이 발생함을 의미함
 - 즉 식물공장 제품의 경우 이러한 양의 외부효과를 고려할 경우 사회적으로 필요한 양보다 보다 적은 양의 제품이 제공될 수 있음. <그림 75>에서 양의 외부효과는 외부적 한계편익(marginal external benefit:MEB)곡선으로 표시됨. 이 경우 사회적 한계편익(marginal social benefit:MSB)는 사적 한계혜택을 나타내는 수요함수(D)와 외부적 한계편익의 합으로 표시되면 이 경우 사회적으로 바람직한 수준의 식물공장 제품 수준은 q^* 가 됨. 만일 이러한 외부적 한계편익을 고려 하지 않을 경우 식물공장 제품 수준은 사회적으로 바람직한 수준인 q^* 보다 적은 q_1 이 될 것임
 - 따라서 식물공장의 경제성 분석에 있어 사적 비용 및 편익뿐만 아니라 이러한 외부적 비용 편익을 반영해야만 사회적으로 적절한 식물공장 제품 공급 수준을 달성할 수 있는 결과를 도출할 수 있음

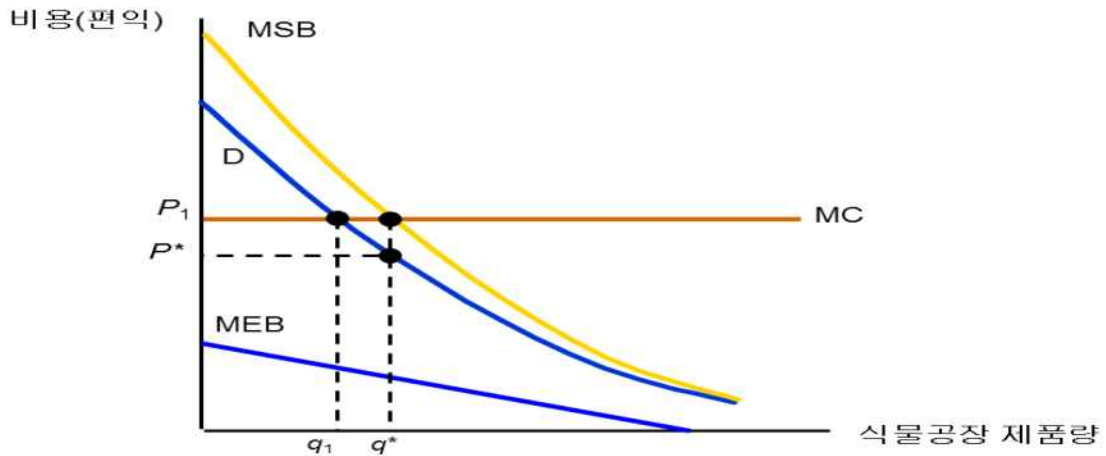


그림 75. 외부효과와 식물공장 제품의 효율적인 수준

제14절 비용·편익 분석 방법

- 일반적으로 경제성 분석은 순현재가치(net present value: NPV), 편익/비용 비율(benefit-cost ratio: B/C Ratio), 내부수익률(internal rate of return: IRR)의 기법을 사용하여 시행함. 순현재가치(net present value: NPV)는 미래의 여러 시점에서 발생 할 현금의 순유출입(net cash flow)을 분석시점의 현재가치로 할인하여 더한 값으로서, 특정 프로젝트의 순현재가치를 나타내며 일반적으로 다음과 같이 구할 수 있음

$$PV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$$B/C \text{ 비율} = \frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

- 내부수익률기준(internal rate of return, IRR)은 어떤 공공사업이나 정책의 순편익의 현재가치의 합, 즉 NPV를 0으로 만들어주는 할인율로 다음의 관계를 충족하는 I의 값이 됨. 내부수익률이 사회적 할인율로 선택되는 이자율보다 더 클 경우에는 사회경제적 측면에서 해당사업이 효율적인 사업으로 판단 가능함

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+I)^t}$$

[표 11] 경제성 분석기법의 비교

구분	판단기준	장점	단점
순현재가치 (NPV)	NPV > 0	<ul style="list-style-type: none"> • 대안선택시 명확한 기본제시 • 타분석에 이용가능 • 장래발생편익의 현재가치제시 	<ul style="list-style-type: none"> • 할인율 사전선정 필수 • 대안 선순위결정시 규모의 차이로 인한 오류발생가능
편익/비용비율 (B/C Ratio)	B/C비율 > 1	<ul style="list-style-type: none"> • 이해용이 • 사업규모 고려가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 할인율 사전선정 필수 • 상호 배타적 대안 의 오류 발생가능
내부투자수익률 (IRR)	IRR > r	<ul style="list-style-type: none"> • 사업상 수익성 측정가능 • 타 대안과 비교가 용이 • 평가과정과 경과 이해가 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 사업의 절대적 규모 비교려 • 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성

1. 칼랑코에 비용·편익 분석

가. 자동화 비닐하우스 경제성

- 대상작물은 분화류의 일종인 칼랑코에(Kalanchoe)로 선정하였으며, 식물공장 제품의 경제성 평가를 위한 비교 대상으로서 자동화 비닐하우스의 자료를 사용함. 경기도농업기술원 선인장다육연구소에서 시행한 자료를 바탕으로 330m² 기준으로 재계산을 하였으며 자동화 비닐하우스의 경우 조수입에서 경영비를 제외한 소득은 615,288로 추정됨

[표 12] 자동화 비닐하우스 생산량 및 조수입

구분	기본계획
대상면적(m ²)	330
m ² 당 생산량	82.26
대상지 생산량	27,147
단가(원)	863
생산수율	80%
조수입(원)	18,742,063

[표 13] 자동화 비닐하우스 경영비(330m²)

: 원

구분	금액
종묘	1,915,629
비료	353,161
농약	314,634
광열동력	3,884,767
제대료	6,110,750
시설/기계감가상각	1,230,711
고용노력	1,663,066
수리	64,211
유통수수료	2,161,771
임차료	428,074
합계	18,126,774

나. 식물공장의 조수입 및 비용

- 식물공장 관련 자료는 한국과학기술원(강릉분원)에서 제작한 Tray 자동이송장치를 이용한 실증 재배 자료를 사용함. 자동화 비닐하우스와 비교를 위해 330m²을 기준으로 실험되었으며 재배베드 수량은 각 단마다 14개(규격은 7m x 0.7m)이며 5단으로 구성되어 총 재배 베드 수는 70개임. 카랑코에 화분 규격은 지름 10cm기준으로 한 개의 베드 당 약 530개가 생산가능하며 연간 생산 횟수는 1회 생산기간을 110일로 할 경우 약 3.3회이다. 연간 총 생산량은 123,172개이며, 연간 조수입은 95,667,692원으로 추정됨

[표 14] 자동화 비닐하우스 경영비(330m²)

구분	기본계획
시설면적(m ²)	330
재배베드 수량	14
재배단수	5
총재배베드 수	70
분화식재수(개/베드)	530
총화분수	37,100
연간생산횟수	3.32
총생산량	123,172
단가	863
수율	90%
조수입	95,667,692

- 식물공장 시설 투자비는 식물재배용 LED 광원에 114,000,000, 양액 재배 시스템에 32,000,000, 건축공사에 120,000,000 등 총 364,000,000원으로 추정됨. 연간 생산비의 경우 전력비가 48,000,000원, 인건비 24,526,474원 등 총 76,879,464원으로 추정됨

[표 15] 보급형 식물공장 시설투자액

: 원

구분	금액
식물재배용 LED 광원	114,000,000
제어 및 배선	18,000,000
베드 프레임	22,000,000
베드	18,000,000
양액재배시스템	33,000,000
공조설비	32,000,000
에어샤워	7,000,000
건축공사	120,000,000
합계	364,000,000

[표 16] 보급형 식물공장 생산비

단위: 원

구분	금액
전력비	48,000,000
수도요금	13,801
수경비료	600,000
종묘	1,739,189
기타자재	2,000,000
인건비	24,526,474
합계	76,879,464

다. 식물공장의 편익 및 경제성 추정

- 보급형 식물공장의 경제적 편익은 크게 두 가지로 구분될 수 있음. 즉 식물공장 차원에서 생산성 및 효율 향상 등으로 발생할 수 있는 수익인 사적 편익과 식물공장이 기존 농업과 비교할 경우 발생할 수 있는 양적 외부효과인 사회적(공적)편익임. 본 연구에서는 이러한 공적 편익으로 노동 시간 절감, 물류비 절감 편익, 용수 절감 편익을 대상으로 분석함

[표 17] 보급형 식물공장 편익 항목

구분	편익항목	
편익	사적 편익	사회적(공적) 편익
세부항목	·생산량 증가 ·생산효율 증가	·노동시간 절감 편익 ·물류비 절감 편익 ·용수절감 편익

- 식물공장의 조수입은 95,667,692원이며 시설투자비를 제외한 생산비의 경우 매년 76,879,464원이며 이로 인한 보급형 식물공장의 사적편익인 수익은 매년 18,788,229원으로 추정됨. 보급형 식물공장은 기존 자동화 비닐하우스와 비교할 때 보다 적은 양의 노동시간 투입이 가능하며 이로 인한 사회적 편익으로서 노동시간 절감 편익은 연간 9,188,168원으로 추정됨

[표 18] 보급형 식물공장 노동시간 절감 편익 산출

구분	값 비고
자동화 비닐하우스 연간 노동시간(A)	4.04/m ²
자동화 비닐하우스면적(B)	330m ²
연간총노동시간(C=A*B)	1,333 시간
노동시간 절감율 (D)	50%
절감된 노동시간(E=C*D)	666.4시간
평균시급(F)	13,787원/시간
노동시간 절감편익(=E*F)	9,188,168원

주: 평균시급(13,787원/시간)= 농림어업 숙련 종사자 월 총근로시간(178.5시간)/월 임금총액(2,461,000원)

- 식물공장은 농산물 수요처인 도심 인근에 위치해 농작물 운송에 따른 에너지 소비 등 물류비 절감 편익을 가져올 수 있음. 이와 같은 물류비 절감 편익은 다음과 같은 방법을 준용하였으며, 보급형 식물공장의 연간 물류비 절감 편익은 823,986원으로 추정됨

※	$\text{절감편익} = \text{물류센터 매출액} \times \text{매출액 대비 물류비 비중}(6.6\%) \times$ $\text{물류비 절감 비율}(30\%) \times \text{물류산업 중간투입 비중}(43.5\%)$
---	---

자료: 2011년도 예비타당성조사 보고서 통합물류센터 건립지원사업(KDI, 2011년)

- 마지막으로 식물공장은 기존 농법에 비해 양액재배 및 용수 재활용 등으로 인해 농업용수 절감을 가져올 수 있음. 이로 인한 편익은 연간 32,202원으로 추정됨

[표 19] 보급형 식물공장 용수 절감 편익 산출

구분	값 비고
자동화 비닐하우스 연간 용수사용량(A)	80.6m ³
용수 절감율 (B)	70%(보급형 식물공장 용수사용량 24.2m ³)
절감된 용수사용량(C=A*B)	56.40m ³
용수단가(D)	571원/m ³ (서울수도요금)
용수 절감편익(=C*D)	32,202원

- 경제성 평가는 자산의 내용연수는 30년, 사회적 할인율(4.5%), 분석기간 30년으로 하였으며 건물 내용연수는 30년이기 때문에 잔존가치는 없는 것으로 가정하였음. 분석 결과 B/C=1.29, NPV=105(백만원), IRR=6.8%임

2. 업체류 비용·편익 분석

- 업체류 경제성 분석은 비교 대상(노지 또는 자동화 비닐하우스)이 없기 때문에 식물공장의 조수입 및 비용과 보급형 식물공장 편익 항목 중 물류비 편익과 용수절감 편익을 감안하여 분석함

가. 식물공장의 조수입 및 비용

- 해당 식물공장의 면적은 200평(661.2m²)이며 1개월 수확량은 6,717kg, 단가는 5,100원/kg으로 연간 조수입은 411,064,243원으로 추정됨
- 식물공장 시설 투자비는 재배 기본랙에 640,500,000원, 운영시스템에 37,648,000원 등 총 894,724,908원으로 추정됨. 건축비용은 460,000,000원으로 추정되며, 연간 생산비의 경우 전력비가 72,224,640원, 인건비 92,143,920원 등 총 255,528,360원으로 추정됨

[표 20] 보급형 식물공장 생산비

구분	금액	: 원
직접재료비		46,751,840
급여		92,143,920
복리후생비		3,696,000
전력비		72,224,640
수도세		1,575,960
수선비		39,136,000
합계		255,528,360

나. 식물공장의 편익 및 경제성 추정

- 식물공장의 조수입은 411,064,243원이며 시설투자비를 제외한 생산비의 경우 매년 255,528,360원이며 이로 인한 보급형 식물공장의 사적편익인 수익은 매년 155,535,883원으로 추정됨. 식물공장의 연간 물류비 절감 편익은 3,540,496원, 용수절감편익은 3,677,240원으로 추정됨
- 경제성 평가는 자산의 내용연수는 30년, 사회적 할인율(4.5%), 분석기간 30년으로 하였으며 건물 내용연수는 30년이기 때문에 잔존가치는 없는 것으로 가정하였음. 분석 결과 B/C=1.96, NPV=1,296(백만원), IRR=11.6%임

3. 약용류(이고들빼기) 비용·편익 분석

- 약용류 경제성 분석은 비교 대상(노지 또는 자동화 비닐하우스)이 없기 때문에 식물공장의 조수입 및 비용과 보급형 식물공장 편익 항목 중 물류비 편익과 용수절감 편익을 감안하여 분석함

가. 식물공장의 조수입 및 비용

- 해당 식물공장의 면적은 200평(661.2m²)이며 연간 수확량은 7,300kg, 단가는 57,420원/kg으로 연간 조수입은 419,166,000원으로 추정됨
- 식물공장 시설 투자비 및 건축비는 2,032,087,362원으로 추정되며, 연간 생산비의 경우 전력비가 47,326,000원, 기타 자재비 19,228,667원 등 총 202,702,587원으로 추정됨

나. 식물공장의 편익 및 경제성 추정

- 식물공장의 조수입은 419,166,000원이며 시설투자비를 제외한 생산비의 경우 매년 216,702,587원이며 이로 인한 보급형 식물공장의 사적편익인 수익은 매년 216,463,413원으로 추정됨. 식물공장의 연간 물류비 절감 편익은 3,610,277원, 용수절감편익은 868,000원으로 추정됨
- 경제성 평가는 자산의 내용연수는 30년, 사회적 할인율(4.5%), 분석기간 30년으로 하였으며 건물 내용연수는 30년이기 때문에 잔존가치는 없는 것으로 가정하였음. 분석 결과 B/C=1.77, NPV=1,567(백만원), IRR=10.3%임

4. 민감도 분석

- 경제성 분석에는 불확실성이 존재하며 따라서 미래에 발생할 수 있는 다양한 변동상황이 경제성

평가 결과에 어떤 영향을 미치는가를 분석할 필요가 있음. 이러한 분석을 민감도 분석 (Sensitivity Analysis)라고 함

- 향후 식물공장의 보급으로 인해 시설투자액 및 생산비가 현재 수준보다 절감될 가능성이 크기 때문에 본 과제의 경제성 평가 대상작물 중 카랑코예를 대상으로 시설투자액 및 생산비 절감에 대한 민감도 분석을 시행함

[표 21] 시설투자액 절감에 따른 민감도 분석

	현재	5%	10%
NPV	105,650,769(원)	123,850,769(원)	142,050,769(원)
B/C	1.29	1.36	1.43
IRR	6.8	7.3	7.9

- 시설투자액이 현재 수준보다 5% 절감되었을 경우 B/C=1.36, NPV=124(백만원), IRR=7.3%이며, 10%절감되었을 경우 B/C=1.43, NPV=142(백만원), IRR=7.9%임

[표 22] 생산비 절감에 따른 민감도 분석

	현재	5%	10%
NPV	105,650,769(원)	168,264,820(원)	230,878,871(원)
B/C	1.29	1.46	1.63
IRR	6.8	8.1	9.3

- 생산비가 현재 수준보다 5% 절감되었을 경우 B/C=1.46, NPV=168(백만원), IRR=8.1%이며, 10% 절감되었을 경우 B/C=1.63, NPV=231(백만원), IRR=9.2%임

5. 산업연관분석

- 산업연관표는 일정기간 동안 일정지역 내에서 재화와 서비스의 생산 및 처분과 관련된 모든 거래를 일정한 원칙과 형식에 따라 기록한 통계표임. 이러한 산업 연관표는 전국 산업연관표와 지역산업연관표로 나눌 수 있음. 지역산업연관분석 모형은 작성 대상 지역과 투입계수의 산출 방법 등에 따라 단일지역산업연관모형(SRIO: Single-Regional Input Output Model), 지역간 산업연관모형(IRIO: Inter-Regional Input Output Model) 및 다지역 산업연관 모형(MRIO: Multi-Regional Input Output Model)으로 구분함(한국은행, 2004)
- 산업연관표를 이용해 생산유발계수행렬을 구할 수 있으며, 이는 최종수요 1단위가 발생할 때 경제 전반에 걸쳐 파급되는 직·간접 생산효과를 나타낼 수 있음



그림 76. 산업연관분석 모형

- 식물공장 보급이 국가 전체에 미치는 파급효과를 분석하기 위해 전국산업연관표를 이용함.
 - 분석에 사용된 자료는 「2015년 실측 산업연관표」이며 상품기준 381부문을 기본부문으로 설정하고 통합소분류 165부문, 통합중분류 83부문, 통합대분류 33부문으로 통합됨
 - 식물공장 분석에는 통합중분류 기준으로 특수목적용기계로 분류하여 분석함
- 식물공장 보급이 타 산업에 미치는 생산유발, 부가가치 유발효과, 취업유발효과를 분석한 결과는 다음과 같음

[표 21] 식물공장 보급이 타 산업의 생산, 부가가치, 취업에 미치는 영향 분석

부분명	생산유발효과	부가가치유발효과	취업유발효과
특수목적용기계	2.154(원)	0.724(원)	9.2(명/10억원)
식물공장 보급	2,918(억원)	918(억원)	1,246명

- 생산유발효과를 볼 경우 식물공장 산업에서의 1원 생산 증가는 국민경제 전체로 볼 경우 2.154원의 생산을 유발함. 부가가치유발의 경우 식물공장 산업에서의 1원 생산 증가는 국가전체에 0.724원의 부가가치를 유발함. 한편 식물공장의 취업유발계수는 9.2로서 10억의 생산이 발생할 경우 약 9.2명의 취업유발 효과가 있음
- 본 연구의 업체류 식물공장 시설 및 건축비용을 기준으로 전국에 약 100여개의 식물공장을 운영할 경우 국가 전체적인 직·간접적인 생산유발효과는 2,918억원(=1,355억×2.154), 부가가치 유발효과는 918억원(=1,355억×0.724), 취업유발효과는 1,246명(=135.5(십억)*9.2)으로 분석됨

6. 경제성 분석의 시사점

- 그 동안 경제성 평가 연구에서 포함되지 않았던 식물공장의 사회적 편익을 포함하여 식물공장 경제성 분석한 결과 카랑코에 경제성은 B/C=1.29, NPV=106(백만원), IRR=6.8%로 나타났으며, 업체류 경제성은 B/C=1.96, NPV=1,296(백만원), IRR=11.6%, 약용류는 B/C=1.77, NPV=1,567(백만원), IRR=10.3%로 나타나 보급형 식물공장의 경제성이 있는 것으로 평가됨

- 산업연관분석 결과 전국에 약 100여개의 식물공장을 운영할 경우 국가 전체적인 직·간접적인 생산유발효과는 2,918억원, 부가가치 유발효과는 981억원, 취업유발효과는 1,246명으로 분석되어 식물공장의 보급은 농업부문에 신성장 동력원을 창출할 수 있음
- 시설투자액이 현재 수준보다 5~10% 낮아질 경우 B/C는 1.36~1.43수준으로 높아지며, 생산비가 현재 수준보다 5~10% 낮아질 경우 B/C는 1.46~1.63수준으로 높아져 사업성이 크게 향상되는 것으로 분석됨. 따라서 식물공장의 보급을 위해서는 시설투자액 및 생산액을 현재 수준보다 낮출 수 있는 기술개발 및 연구가 필요함

제3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 목표

1. 팜에이트

- 품종별 수광 분포 및 광질 연구를 통한 광 효율 개선
- 생산 공정 재배 자동화를 위한 시스템 고도화
- 소재 작물 품종의 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화

2. 한국과학기술원

- 칼라코에 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화
- 환경/양액제어 시스템 자동화
- 통합 DB 분석 자동화
- 분화류 단기 실증 재배
- 이고들빼기 성분 분석

3. 충북대학교

- 약용작물(이고들빼기) 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화
- 고기능성 약용작물(이고들빼기) 생산 증대를 위한 광질 및 수광 분포 개선
- 엽채류, 약용식물 재배 기술 식물공장 자동화 시설 고도화 실증 기관 전수 및 컨설팅

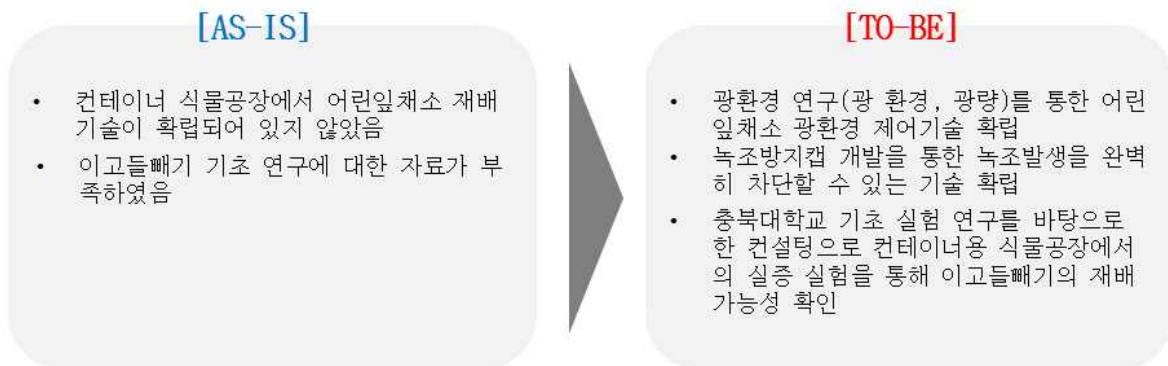
4. 전남대학교

- 스마트 플랜트 팜의 보급을 위한 경제성을 검토하기 위함
- 운영비 및 인건비 절감의 효과, 경제성 평가 및 산업연관 분석

제2절 목표 달성여부

1. 팜에이트

- 품종별 수광 분포 및 광질 연구를 통한 광 효율 개선(달성완료)
 - 녹조 발생은 최소화하면서 단 기간에 최적 생산량을 낼 수 있는 광질 구명
- 생산 공정 재배 자동화를 위한 시스템 고도화(달성완료)
 - 컨테이너형 수직농장형 식물공장 자동화 시스템을 통한 어린잎채소 및 약용작물 실증 재배 실시
- 소재 작물 품종의 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화(달성완료)
 - 어린잎채소 재배를 위한 녹조방지캡 개발 1건
 - 어린잎채소 재배용 광환경 제어기술 1건
 - 어린잎채소 양액레시피 1건
- 고도화 달성 내용



2. 한국과학기술연구원

- 칼랑코에 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화(달성완료)
 - 자동 이송 모듈 설계도 1건
 - 생육단계별 재배 및 환경관리 표준
- 환경/양액제어 시스템 자동화(달성완료)
 - 기존 식물공장 환경제어 및 양액제어 시스템 통합
 - 관련 제어 자동화율 100%
- 통합 DB 분석 자동화(달성완료)
 - 엽채류, 분화류, 약용류 DB 설계 3종 완성
 - 생육, 기능성분 값 수동 DB입력 완료
 - 관련 프로그램 등록 총 4건 달성
- 분화류 단기 실증 재배(달성완료)
 - 칼랑코에 단기 실증 재배 2회
- 이고들빼기 성분 분석(달성완료)
 - 노지재배 식물 대비 식물공장 재배 식물 성분분석(이고들빼기, 버터헤드 상추 2종 분석 완료)
- 고도화 달성 내용

[AS-IS]

- 별도의 환경제어기 양액제어기 구성
- 센서정보 수집 수준의 DB 구성
- 분화류 자동화 설비 없음
- 생육 단계를 고려한 기존 분화류 표준재배법 없음

[TO-BE]

- 환경/양액 제어 PLC 통합 web 서버 구축
- 수동입력을 통한 생육정보 DB 통합
- 분화류 자동이송 설비 구축
- 생육단계별 재배 및 환경관리 표준 제시

3. 충북대학교

- 약용작물(이고들빼기) 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화
 - 녹조 발생은 최소화하면서 단 기간에 최적 생산량을 낼 수 있는 광질 구명
 - 필수 환경요인: 온도 20-23℃, 광도 250-300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 광주기 16시간, CO₂ 700-1,000ppm, 습도 60-70%,
 - 배지 조건: 성형배지(테라플러그, 한국스미더스코리아)
 - 재배 시스템: 심지를 이용한 심지재배 방식(배지의 수분함량 45%)
 - 발아율 약 1.8배 증대
 - 자동화 재배를 위한 심지를 이용한 수경재배 장치 기술 개발 및 특허 출원 완료(특허 출원 번호: 10-2019-0179376)
- 고기능성 약용작물(이고들빼기) 생산 증대를 위한 광질 및 수광 분포 개선
 - 메인 광원: 2700K white LEDs
 - 보조 광원: Far-red LEDs
 - Red/Far-red 비율: 1.2
 - 성장 및 광 이용효율 약 1.9배 증대
 - 백색 LED 기반 성장 증진 광원 조사 기술을 확립 후 학술 발표 2회 완료
- 엽채류, 약용식물 재배 기술 식물공장 자동화 시설 고도화 실증 기관 전수 및 컨설팅
 - 약용작물(이고들빼기)의 번식 방법: 종자 번식
 - 약용작물(이고들빼기)의 적합한 수경 재배 시스템 선별: 성형배지를 이용한 심지재배
 - 재배환경 조건 컨설팅: 이고들빼기의 생산체계 컨설팅
 - 엽채류와 허브류 성장 증진을 위한 재배 기술(음이온 처리 기술, far-red 광 추가조사 기술) 컨설팅
- 고도화 달성 내용

[AS-IS]

- 이고들빼기의 기존 재배방식(펄라이트와 피트모스의 혼합상토)과 심지재배 방식은 상토의 오염과 노동력을 많이 요구되어 자동화 재배에 용이하지 않았음
- 이전 연구를 통해 RGB 8:1:1 LEDs의 조합이 이고들빼기 성장을 증대시켰지만, 단색광 LED의 단가가 높아 보급화하기에 문제가 있었음

[TO-BE]

- 성형배지와 심지재배 장치 개발을 통해 이고들빼기의 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화
 - 발아율 1.8배 증대, 노동력 감소
- 백색 LEDs와 Far-red 광원의 조사 기술 확립을 통한 이고들빼기의 생산량 극대화 및 광이용효율 증대
 - 성장과 광이용효율을 각각 1.9배씩 증대

4. 전남대학교

- 3품종 소재작물 자동화설비 실증재배를 통한 경제성 분석을 시행

- 현대 기업 활동 및 산업은 생산, 유통, 소비, 제품지원, 연구개발 등의 일련의 활동이 유기적으로 결합되어 있기 때문에 산업 전체를 유기적이며 총체적으로 바라보고 분석하는 기법이 필요함
 - 가치사슬은 기업활동에서 부가가치가 생성되는 일련의 연쇄과정에서 직·간접적으로 연관되어 있는 모든 활동을 연계 과정을 분석해 가치 창출 과정에서 핵심적인 요소를 파악하여 부가가치 제고 방안을 제시하는 분석 기법임
 - 이러한 가치사슬 분석 기법은 개별 기업활동 영역에서 분석할 수도 있지만 보다 거시적인 관점에서 산업연관분석을 통해 할 수도 있음. 현재 식물공장의 경우 보급 초기이기 때문에 정밀한 기업활동 관점에서의 가치사슬 분석보다는 보다 거시적인 관점에서 파급효과를 보는 것이 필요함. 따라서 본 연구에서는 산업연관분석을 통해 식물공장 보급이 미치는 경제적 파급효과를 분석하였음
- 고도화 달성 내용

[AS-IS]

- 기존 식물공장 경제성 분석 식물공장 도입 초기에 수행됨
- 경제성 분석과 재무분석 구별하지 않음
- 경제성 분석에서 사회적 편익을 고려하지 않음



[TO-BE]

- 최근 기술을 반영한 식물공장의 경제성 분석
- 식물공장의 공적 편익(사회적 편익)을 반영한 경제성 분석
- 식물공장의 사회적(공익적) 편익 계측을 통한 정부 재정 지원에 대한 논리 개발

제3절 목표 미달성 시 원인 및 차후대책

1. 팜에이트 : 해당사항 없음
2. 한국과학기술연구원 : 해당사항 없음
3. 충북대학교 : 해당사항 없음
4. 전남대학교
 - 후속연구로 식물공장 제품에 대한 소비자의 선호도 및 식물공장 제품에 대한 인식도, 지불의향 등을 중심으로 전반적인 소비자 트렌드에 대한 연구 수행 예정이며 주요 연구 내용은 다음과 같음
 - 소비자의 일반 농산물 구매 패턴 분석
 - 식물공장에서 생산한 농산물의 인지도 및 평가
 - 식물공장 농산물의 구입횟수 조사
 - 식물공장 제품 구입이유와 구입처 조사
 - 식물공장 농산물의 가격 및 품질 평가
 - 식물공장 농산물에 대한 지불의향가격 조사
 - 본 연구는 그 동안 다루지 않았던 식물공장 제품에 대한 소비자의 선호도 및 식물공장 제품에 대한 인식도, 지불의향 등을 중심으로 전반적인 소비자 트렌드에 대한 연구를 수행하려고 함. 이러한 식물공장 제품에 대한 소비자 조사 연구 결과는 향후 식물공장 제품 마케팅 및 소비 지원 정책에 활용될 수 있음.

제4장 연구결과의 활용 계획

제1절 기관별 연구결과의 활용 계획

1. 팜에이트

- 경제성 확보 식물공장 비즈니스 모델 구축 및 생산시스템 보급
- 시스템 및 품목별 재배기술의 선진국 수준 달성에 의한 해외 수출 판로 개척
 - 컨테이너형 식물공장 모델 해외 수출 후 바이어들과 미팅 예정(2021년 예정)
 - 해외 기업과의 MOU 체결 및 JV 설립을 위한 마케팅 진행 예정(2021년 예정)
- 식물공장 생산 원물의 바이오(식의약) 산업 2차 제품화 연계를 통해 신성장 동력 창출 및 전후방 산업의 동반 성장 활성화 기대
- 식물공장 자동화 시스템 모델 구축에 의한 노력 절감 및 생산성 증대

2. 한국과학기술연구원

- 본 분화류 자동화 설비 고도화 연구의 결과물인 식물공장 자동화 시스템은 분화류 이송 모듈, 데이터 자동수집, 환경/양액 제어 자동화, 재배 기술 적용 등을 통하여 최적의 재배 시스템을 구성하여 수요기업에 기술이전 계획임
 - 학술대회 및 81 전시회 등에 참여하여 성능과 시스템을 관련 전문가와 수요업체 및 농가에게 적극 홍보
 - 관심업체들에게 기술소개자료 송부를 통한 업체 사업화 방향과 개선방향 반영
- 실증재배 및 산업화를 통해 수집되는 데이터는 지속적으로 KIST 천연물 식물 및 분화류 재배 시스템의 기능향상에 활용

3. 충북대학교

(가)연구개발 결과의 활용방안

- 현장적용 방안
 - 과제를 통한 현장보급형 식물공장 자동화 시스템을 고도화
 - 신사업분야인 약용식물 소재작물 발굴 및 재배기술 확보/보급
- 실용화, 제품화 방안
 - 관련 학술 및 전시회 등에 참가하여 식물공장 자동화 시스템을 적극적 홍보

4. 전북대학교

- 식물공장의 보급은 스마트 농업의 구현으로 생산·유통·소비·농업·농촌 부분에 신성장 동력원을 창출하게 되고 이를 통해 농업의 생산·유통·소비 전 과정에 걸친 생산성·효율성·품질 향상 등 고부가가치 창출을 가능하게 함
- 식물공장의 보급 및 확산을 위해서는 식물공장의 경제적 효과 분석 및 부가가치 창출 효과 등의 기초 연구의 필요성이 커지고 있음. 본 연구는 최근에 개발된 보급형 식물공

장 제품을 대상으로 그 동안 관련 경제성 평가 연구에서 포함되지 않았던 식물공장의 사회적 편익을 계측했다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있으며, 이러한 연구 결과는 향후 식물공장 보급 정책 등에 활용될 수 있음

참 고 문 헌

1. Seok-Jin Oh, Hyeong-Kyu Kwon, Jin-Young Jeon, Han-Seob Yang (2015). Effect of Monochromatic Light Emitting Diode on the Growth of Four Microalgae Species (*Chlorella vulgaris*, *Nitzschia* sp., *Phaeodactylum tricornutum*, *Skeletonema* sp.). Kor. J. Soc. 21(1):1-8
2. Wallen D G , Geen G H (1971) Light quality in relation to growth, photosynthetic rates and carbon metabolism in two species of marine plankton algae, Mar, Biol, 10;34-43
3. Noh, E. and Son, J. (2010) Plant Growth and Nutrient Uptake of Kalanchoe Plants (*Kalanchoe blossfeldiana* 'New Alter') and Nutrient Accumulation of Growing Media with Growth Stage at Different Nutrient Strengths in Ebb and Flow Subirrigation Systems. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(6):973-979
4. Amaki, W. and Kunii, M. (2015). Effects of light quality on the flowering responses in *Kalanchoe blossfeldiana*. Acta Hort. 1107, 279-284
5. Kim, S., Heo, Y., Hwang, R., Park, Y., Choi, Y., Suh, J. and Kang, J. (2014). Effect of LED Light Quality on Growth and Flowering of Kalanchoe. Journal of Environmental Science International. 23(9); 1573~1581
6. Kamura, M., Amaki, W., Ono, E. and Watanabe, H. (2007). Effects of blue LED monochromatic light on phototropism in *Kalanchoe blossfeldiana* [in Japanese]. Horticultural Research (Japan) 6(1): 495
7. Esmeijer, M.H.. CO₂ in greenhouse horticulture, 3rd edition, Applied Plant Research, Zoetermeer, The Netherlands, 1999
8. 김연중 외. 2013. 『인공광형 식물공장 경영 모델 연구』. 한국농촌경제연구원.
9. 김재훈. 2010. 『식물공장 시스템의 동향과 발전방향』. Journal of Plant Biotechnology, 한국식물생명공학회.
10. 김창길 외. 2011. 『녹색성장을 위한 식물공장의 분자농업 산업화 가능성 연구』. 한국농촌경제 연구원.
11. 농촌진흥청. 2018. 『식물공장』
12. 임송택 외. 2011. “식물공장은 지속가능한 대안인가?”. 『농업경영·정책연구』 38권 4호 pp. 917~942.
13. 한국은행. 2004. 「산업연관분석해설」.
14. KDI. 2011. 『통합물류센터 건립지원사업 예비타당성 조사보고서』
15. Bae, J.H., Park, S.Y., and Oh, M.M. (2017). Supplemental Irradiation with Far-red Light-emitting Diodes Improves Growth and Phenolic Contents in *Crepidiastrum de*

- nticulatum* in a Plant Factory with Artificial Lighting. Hortic. Environ. Biotechno
1. 58(4); 357-366
16. Park, S.Y., Bae, J.H., and Oh, M.M. (2020). Manipulating Light Quality to Promote Shoot Growth and Bioactive Compound Biosynthesis of *Crepidiastrum denticulatum* (Houtt.) Pak & Kawano Cultivated in Plant Factories. J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants 16; 10023

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화				
	(영문) Advancement of a field-distributable plant factory automation system				
주관연구기관	농업회사법인 팜에이트		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 임원	
참 여 기 업	한국과학기술연구원, 충북대학교, 전남대학교			(성명) 강 대 현	
총연구개발비 (750,000천원)	계	750,000천원	총 연 구 기 간	2019. 01. ~ 2020. 01.(1년 0월)	
	정부출연 연구개발비	600,000천원	총 참 여 연 구 원 수	총 인 원	24명
	기업부담금 (현금)	37,500천원		내부인원	24명
	연구기관부담금 (현금+현물)	150,000천원		외부인원	-
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <p>1) 목표</p> <ul style="list-style-type: none"> - 저비용/고효율 현장보급형 식물공장 자동화 시스템 모델 개발 - 식물공장 자동화 설비에 최적화된 고소득 작물(3종) 생산 표준화 모델 개발 및 실증 - 식물공장 자동화 시스템을 통한 운영비 절감 및 경제성 평가를 통한 비즈니스 모델 확립 <p>2) 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식물공장 자동화 설비에 최적화된 고소득 작물(3종) 생산 표준화 모델 개발 및 실증 - 식물공장 자동화 시스템을 통한 운영비 절감 및 경제성 평가를 통한 비즈니스 모델 확립 <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 보급형 식물공장 자동화 생산시스템 모델 구축 및 실증 - 품목별 단기 실증재배를 통한 보급형 식물공장의 경제성 평가 - 어린잎1, 분화류1, 약용식물1. 총 3종에 대한 생육단계별 생산공정 분석 및 표준화 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 경제성 확보 식물공장 비즈니스 모델 구축 및 생산시스템 보급 - 시스템 및 품목별 재배기술의 선진국 수준 달성에 의한 해외 수출 판로 개척 - 식물공장 생산 원물의 바이오(식의약) 산업 2차 제품화 연계를 통해 신성장 동력 창출 및 전후방 산업의 동반 성장 활성화 기대 - 식물공장 자동화 시스템 모델 구축에 의한 노력 절감 및 생산성 증대 					

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	319025-01-1-SB010		
사업구분	농식품기술개발사업				
연구분야	농림식품 기계·시스템, 농업기계·시스템, 농업자동화·로봇화		과제구분	단위	
사업명	1세대 스마트 플랜트팜 산업화 사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화		과제유형	(기초,응용,개발)	
연구기관	농업회사법인 팜에이트(주)		연구책임자	강대현	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2019.01.22. ~2020.01.21	600,000	150,000	750,000
	2차연도				
	3차연도				
	4차연도				
	5차연도				
	계				
참여기업	농업회사법인 팜에이트, 한국과학기술연구원, 충북대학교, 전남대학교				
상대국		상대국연구기관			

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2020.02.20

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
농업회사법인 팜에이트	부사장	강대현

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	팜에이트(주) 부사장 강대현 (인)
-----------	----------------------

I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

과제를 통한 현장보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화 및 신사업분야인 약용식물을 이용하여 소재 작물 발굴 및 재배기술 확보/보급을 하고자 함

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

녹색 신 성장기술의 가속화 추진 및 미래의 식량생산에 대한 새로운 기술 모델 및 비전을 제시하고자 함

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

식물공장 운영비 절감, 경제성 평가 및 경제적 파급효과를 통한 식물공장 보급에 기여할 것으로 예상됨

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

매 달 1회씩 주기적인 미팅을 통하여 기관 별 진행사항 공유 및 성과도출 방안 협의를 진행함

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

특허 출원 6건, 학술발표 대회 3건 등 기간 내 연구목표를 모두 달성하였음

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
재배단 자율 이송모듈 설비 고도화를 통한 생산공정 자동화	10	100	식물공장 자동화 시스템을 통한 생산공정 자동화 실시
고효율 최적광원 선발 및 수광효율 최적화 광원 고도화	5	100	작물 별 최적광원 선발
자동 환경제어 시스템 및 생육데이터 분석을 통한 생산 안정 및 효율성 증대	5	100	환경제어 및 빅데이터 분석 관리 역량을 실제 자동화 라인에 적용
개발 모델의 국내 설치 후 5품종의 자동화 생산을 통한 경제성 창출 실증	10	100	양산형 자동화 생산 시설에서의 재배관리 모델 구축 및 실증
칼랑코에 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화	5	100	칼랑코에 표준화 모델 제시 및 고부가가치화
환경/양액제어 시스템 자동화	5	100	자동화 라인 환경/양액 시스템 최적화 모델 개발
통합 DB 분석 자동화	5	100	환경 및 생육 데이터 전문 데이터를 통한 분석 및 모델링
분화류 단기 실증 재배	5	100	자동이송 모듈을 통한 칼랑코에 단기 실증 재배
이고들빼기 성분 분석	5	100	주관기관과의 협업을 통한 이고들빼기 성분 분석 진행
분화류 적합 최적 이송모듈 자동화	10	100	칼랑코에 통합제어 고도화
약용작물 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화	10	100	자동화를 위한 절절한 배지선발 및 수경재배 방식 선정 및 테스트
고기능성 약용작물 생산 증대를 위한 광질 및 수광 분포 개선	5	100	백색 LED기반 생장 증진 광질 조건 구명
엽채류, 약용식물 재배 기술 식물공장 자동화 시설 고도화 실증 기관 전수 및 컨설팅	5	100	품목별 재배 환경 조건 자료 수집 및 컨설팅 진행
품목별 자동화 식물공장의 실증 재배를 통한 식물공장의 경제성 평가	10	100	경제성 분석 실시
식물공장 지원 활동별 가치 사슬 분석을 통한 부가가치 증대 방안 제시	5	100	품목별 판매 연계 성공 모델 제시
합계	100점	100	기술목표치에 대한 기술사항은 충족

Ⅲ. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

각 기관별 세부연구목표 달성은 90% 이상 충족

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

없음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 1) 식물공장 자동화 라인 실증 재배를 통한 고부가가치 작물에 대한 경제성 있는 재배 관리 모델 구축
- 2) 식물공장 자동화 라인을 통한 운영비 절감, 경제성 평가 및 경제적 파급효과 분석을 통한 식물공장 보급에의 기여

IV. 보안성 검토

o *보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함*

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

--

2. 연구기관 자체의 검토결과

--

[별첨 3]

연구성과 활용계획서(팜에이트)

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농림식품 기계·시스템, 농업기계·시스템, 농업자동화·로봇화	
연구과제명	보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화			
주관연구기관	농업회사법인 팜에이트(주)	주관연구책임자	강 대 현	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	600,000,000원	37,500,000(현금)	150,000,000(현금+현물)	750,000,000원
연구개발기간	2019.01.22.~2020.01.21			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(전시회 참가)			
	<input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 품종별 수광 분포 및 광질 연구를 통한 광효율 개선	발생은 최소화하면서 단 기간에 최적 생산량을 낼 수 있는 광질 구명
② 생산 공정 재배 자동화를 위한 시스템 고도화	컨테이너형 식물공장 자동화 시스템을 통한 어린잎채소 및 약용작물 실증 재배 실시
③ 소재 작물 품종의 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화	- 어린잎채소 재배를 위한 녹조방지캡 개발 1건 - 어린잎채소 재배용 광환경 제어기술 1건 - 어린잎채소 양액레시피 1건
· · ·	

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연구 활용)
												논문	논	학			정	홍	
	특허출	특허등	품종등	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창	투자유	SCI	비SC	문평	술발	지도	양성	정책활	보전	

	원	록	록						출	치			I	균	표			용	시	용
단위	건	건	건	건	만	백	백	백	명	백	건	건	건		건		명	건	건	
가중치				30	20				10							20	10			10
최종목표				3												3				
연구기간내 달성실적				3	2				2							2	1			1
달성율(%)				100	100				100							67	100			100

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	어린잎채소 재배를 위한 녹조방지캡 개발
②	어린잎채소 재배용 광환경 제어기술
③	어린잎채소 양액레시피

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준				기술의 활용유형(복수표기 가능)					
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		v								v
②의 기술		v								v
③의 기술		v								v

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	- 녹조방지캡 생산라인에 실제 적용을 통한 어린잎채소 품질 향상 가능 - 식물공장 자동화 시스템 보급 확산을 위한 기술로써 농가 활용 가능
②의 기술	- 광환경 제어기술을 통한 단 기간 내 생산촉진 및 생산량 증진 - 광 연구를 통한 어린잎채소 기초 재배기술 확립 및 광연구에의 활용
③의 기술	- 어린잎재배 전용 양액레시피 개발 및 실제 어린잎채소 재배에 적용 가능 - 농가 활용 가능

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치																			
최종목표																			
연구기간내 달성실적																			
연구 종료 후 성과창출 계획																			

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	어린잎채소 재배를 위한 녹조방지캡 개발		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(직접실시)		
이전소요기간	2주	실용화예상시기 ³⁾	2020. 02. 01
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	컨설팅, 기술지도		

핵심기술명 ¹⁾	어린잎채소 재배용 광환경 제어기술		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(직접실시)		
이전소요기간	2주	실용화예상시기 ³⁾	2020. 02. 01
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	컨설팅, 기술지도		

핵심기술명 ¹⁾	어린잎채소 양액레시피		
이전형태	<input checked="" type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(직접실시)		
이전소요기간	2주	실용화예상시기 ³⁾	2020. 02. 01
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	컨설팅, 기술지도		

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행조건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

연구성과 활용계획서(KIST)

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	농공학-농업기계
연구과제명	보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화			
주관연구기관	농업회사법인 팜에이트		주관연구책임자	강대현
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	200,000,000원			200,000,000원
연구개발기간	2019.01.22. ~ 2020.01.21			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(연구 개발) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 칼라코에 생육단계별 생산공정 분석 및 표준화	① 칼라코에 생육단계별 생산 공정 분석 및 표준화(달성완료) - 자동 이송 모듈 설계도 1건 - 생육단계별 재배 및 환경관리 표준
② 환경/양액제어 시스템 자동화	② 환경/양액제어 시스템 자동화(달성완료) - 기존 식물공장 환경제어 및 양액제어 시스템 통합 - 관련 제어 자동화율 100%
③ 통합 DB 분석 자동화	③ 통합 DB 분석 자동화(달성완료) - 엽채류, 분화류, 약용류 DB 설계 3종 완성 - 생육, 기능성분 값 수동 DB입력 완료 - 관련 프로그램 등록 총 4건 달성
④ 분화류 단기 실증 재배	④ 분화류 단기 실증 재배(달성완료) - 칼라코에 단기 실증 재배 2회
⑤ 이고들빼기 성분 분석	⑤ 이고들빼기 성분 분석(달성완료) - 노지재배 식물 대비 식물공장 재배 식물 성분분석(이고들빼기, 버터헤드 상추 2종 분석 완료)

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표				연구기반지표				
	지식 재산권	기술 실시	사업화	기술	학술성과	교육	인력	정책 활용-홍보	기타

				(이전)							인 증	논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표	지 도	양 성	정 책 활 용	홍 보 전 시	(타 연구 활용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		SC I	비 SC I							
단위	3건	건	건	건	만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건	3		
가중치	60																	40		
최종목표	3																	3		
연구기간내 달성실적	4																	4		
달성율(%)	133																	133		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	분화류 자동 이송 모듈 기술
②	엽채류, 분화류, 약용류 DB 설계
③	식물공장 환경제어 및 양액제어 시스템 통합 기술

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 결 해	정책 자료	기타 (프로 그램 등록)
①의 기술			v			v				
②의 기술			v							v
③의 기술			v							v

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	범용적 분화류 식물공장 설비 보급확산을 위하여 추가 테스트 이후 기술 수요 후보 업체로의 기술이전을 실시하겠음
②의 기술	KIST 강릉분원 내 후보 천연물 식물 재배 및 데이터 획득 활용
③의 기술	통합제어 시스템 UI 개선을 통한 최적 제어 시스템을 추가연구를 통해 개발하여 기술 확산을 위하여 에 활용 업체로의 기술이전을 실시하겠음

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		논문평균 IF			학술발표	정책 활용		홍보 전 시
												SCI	비SCI							
단위	건	2건	건	건	만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명					
가중치																				
최종목표		2											1							
연구기간내 달성실적																				
연구종료 후 성과창출 계획		2											1	2.0						

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)-해당사항없음

핵심기술명 ¹⁾			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기 ³⁾	
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

연구성과 활용계획서(충북대)

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농림수산식품	
연구과제명	보급형 식물공장 자동화 시스템 고도화			
협동연구기관	충북대학교 산학협력단	주관연구책임자	오명민	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	70,000,000원			70,000,000원
연구개발기간	2019.01.22. ~ 2020.0.21			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(학술발표, 논문, 특허) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
①약용작물(이고들빼기) 자동화 재배를 위한 육묘 및 재배 시스템 고도화	<ul style="list-style-type: none"> - 필수 환경요인: 온도 20-23℃, 광도 250-300μmol/m²/s, 광주기 16시간, CO₂ 700-1,000ppm, 습도 60-70%, - 배지 조건: 성형배지(테라플러그, 한국스미더스코리아) - 재배 시스템: 심지를 이용한 심지재배 방식(배지의 수분함량 45%) - 발아율 약 1.8배 증대 - 자동화 재배를 위한 심지를 이용한 수경재배 장치 기술 개발 및 특허 출원 완료(특허 출원 번호: 10-2019-0179376)
②고기능성 약용작물(이고들빼기) 생산 증대를 위한 광질 및 수광 분포 개선	<ul style="list-style-type: none"> - 메인 광원: 2700K white LEDs - 보조 광원: Far-red LEDs - Red/Far-red 비율: 1.2 - 성장 및 광 이용효율 약 1.9배 증대 - 백색 LED 기반 성장 증진 광원 조사 기술을 확립 후 학술 발표 2회 완료
③엽채류, 약용식물 재배 기술 식물공장 자동화 시설 고도화 실증 기관 전수 및 컨설팅	<ul style="list-style-type: none"> - 약용작물(이고들빼기)의 번식 방법: 종자 번식 - 약용작물(이고들빼기)의 적합한 수경 재배 시스템 선별: 성형배지를 이용한 심지재배 - 재배환경 조건 컨설팅: 이고들빼기의 생산체계 컨설팅 - 엽채류와 허브류 성장 증진을 위한 재배 기술(음이온 처리 기술, far-red 광 추가조사 기술) 컨설팅

- 국내 최초로 약용작물(이고들빼기)의 인공광 이용형 식물공장 자동화 재배의 보급화를 위해

백색 LED 기반 성장 증진 광원 조사 기술을 확립하여 비즈니스 모델 구축 및 생산 시스템 보급

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍 보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	60													40						
최종목표	1													1						
연구기간내 달성실적	1													2						
달성율(%)	100													200						

4. 핵심기술

구분	핵심기술명																
①	<p>○ 심지를 이용한 수경재배 장치(특허 출원 번호: 10-2019-0179376)</p> <p>- 심지를 이용한 대량 수경재배에서 재배 포트에 손쉽게 심지를 꽂을 수 있도록 하고, 배지의 수분함량을 일정하게 유지시킬 수 있는 수경재배 장치</p>																
②	<p>○ 백색 LED 기반 생장 증진 광원 조사 기술 개발</p> <p>- RGB기반으로 식물공장에서 이고들빼기의 생장에 가장 우수했던 RGB 811 광원에 비해 2700K+Far-red 광원은 이고들빼기 지상부의 생체중을 약 2배 증대시켰음</p> <p>- 백색 LED는 RGB기반 광원보다 LED칩의 사용갯수를 줄일 수 있어 설치 비용을 절약할 수 있을 뿐만 아니라 연구를 통해 광질을 소폭 수정(추가 LED 조사)한다면 광이용효율도 향상시킬 수 있음</p> <p>- 본 과제에서 총 재배기간 동안 광이용효율(총 재배기간 동안 사용된 광 에너지 대비 총 지상부 생산량)은 RGB 811 광원과 비교하여 2700K+Far-red 광원이 약 2배 증가시켰음</p> <div data-bbox="303 1534 845 1836"> </div> <table border="1" data-bbox="869 1534 1412 1848"> <thead> <tr> <th>Spectrum</th> <th>PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PAR PPFD (400~700nm)</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>PFD (400~800nm)</td> <td>346.5</td> </tr> <tr> <td>Blue (400-500nm)</td> <td>28.8</td> </tr> <tr> <td>Green (500-600nm)</td> <td>105.7</td> </tr> <tr> <td>Red (600-70nm)</td> <td>115.6</td> </tr> <tr> <td>Far-red (700-800nm)</td> <td>96.5</td> </tr> <tr> <td>Red/far-red ratio</td> <td>1.20</td> </tr> </tbody> </table>	Spectrum	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	PAR PPFD (400~700nm)	250	PFD (400~800nm)	346.5	Blue (400-500nm)	28.8	Green (500-600nm)	105.7	Red (600-70nm)	115.6	Far-red (700-800nm)	96.5	Red/far-red ratio	1.20
Spectrum	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)																
PAR PPFD (400~700nm)	250																
PFD (400~800nm)	346.5																
Blue (400-500nm)	28.8																
Green (500-600nm)	105.7																
Red (600-70nm)	115.6																
Far-red (700-800nm)	96.5																
Red/far-red ratio	1.20																

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 결	정책 자료	기타 (학술 발표)
①심지를 이용한 수경재배 장치의 기술	V	V				V				
②백색 LED 기반 성장 증진 광원 조사 기술 개발의 기술	V	V								V

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①심지를 이용한 수경재배 장치의 기술	<ul style="list-style-type: none"> - 식물공장에서 수경재배는 기본적인 시스템으로 작물의 수경재배는 필수적이기 때문에 수경재배가 가능한 식물만이 식물공장에서 재배가 가능한 상황임. 하지만, 심지를 이용한 수경재배 장치는 근권부의 수분 함량에 민감하게 반응하는 약용작물, 분화류, 난초류 등의 재배가 가능하게 하는 기술임. 이에 해당 기술의 적절한 활용은 새로운 신산업 창출이 가능할 것으로 사료됨 - 다양한 수경재배 시스템과 비교하여 심지재배는 물의 이용효율이 매우 높고 배지의 수분함량을 일정하게 유지할 수 있기 때문에 작물의 균일한 재배가 가능하게 하는 기술임 - 개발된 심지재배 장치는 식물공장 자동화 시스템 보급 확산을 위한 기술로써 활용 가능한 기술임
②백색 LED 기반 성장 증진 광원 조사 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 백색 LED 기반 성장 증진 광원 조사 기술은 약용작물의 식물공장 비즈니스 모델 구축 및 식물공장 자동화 시스템 보급 확산에 기여할 수 있음 - 식물공장에서 생산된 약용작물(이고들빼기)의 바이오(의약, 제약 등) 산업 연계를 통한 신성장 동력 창출 및 전후방 산업의 동반 성장 활성화 기대 - 식물공장은 날씨, 계절, 기후 등에 영향을 받지 않는 식물생산 시스템으로 고기능성 식물 원료를 안정적으로 생산이 가능하여 전 세계 어디서나 동일하게 적용 가능한 기술임

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표				연구기반지표			
	지식	기술실	사업화	기	학술성과	교 인	정책	기 타

	재산권			시 (이전)							술 인 증	논문			학 술 발 표	육 지 도	력 양 성	활용-홍보		(타 연 구 활 용 등)	
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		SC I	비 SC I					논 문 평 균 IF	정 책 활 용		홍 보 전 시
단위	건	건	건	건	만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건		건		명				
가중치	60														40						
최종목표	1										1				1						
연기간내 달성실적	1										1				2						
연구요 후 성과창출 계획																					

·현재 “Manipulating light quality to promote shoot growth and bioactive compound biosynthesis of *Crepidiastrum denticulatum* cultivated in plant factories”라는 제목의 논문은 SCI급 저널인 Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 에 온라인 게재 완료되었음.

연구성과 활용계획서(전남대)

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야		
연구과제명	보급형 식물공장 자동화 시스템 경제성 분석			
주관연구기관	전남대학교 산학협력단		주관연구책임자	김윤형
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	20,000,000원			20,000,000원
연구개발기간	2019. 01. 22 - 2020. 1. 21			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
①3 실증재배를 통한 경제성 분석	경제성 분석 결과 제시
②가치사슬 분석	거시적 측면에서 가치사슬 분석인 산업연관분석을 통해 식물공장 보급의 파급효과 제시
③	
·	
·	
·	

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
												논문	학술 발표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치	SC I	비 SC I	논 문 평 균 IF	교 육 지 도	인 력 양 성	정 책 활 용	홍 보 전 시		

단위	건	건	건	건	만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건	
가중치														20	50			30
최종목표														1	1			1
연구기간내 달성실적														1	1			1
달성율(%)														100	100			100

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	
②	
③	
⋮	

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장에로 해결	정책 자료	기타
①의 기술										
②의 기술										
③의 기술										
⋮										

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	
②의 기술	
③의 기술	
⋮	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용-홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치																			
최종목표																			
연구기간내 달성실적																			
연구종료후 성과창출 계획																			

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기 ³⁾	
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술이전시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등)

주 의

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