

발간등록번호

11-1543000-004694-01

고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개발

2024.07.09

주관연구기관 / (주) 퓨처그린
공동연구기관 / 서울대학교

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “고품질 쌀기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개발”
(개발기간 : 2021.04.01.~ 2023.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 07. 09.

주관연구기관명 : 주식회사 퓨처그린 (대표자) 김 지 동 (인)

공동연구기관명 : 서울대학교 산학협력단(대표자) 김 재 영 (인)

주관연구책임자 : 김 지 동 (인)

공동연구책임자 : 전 창 후 (인)



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	기술사업화지원사업	총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)	-				
내역사업명 (해당 시 작성)	공공기술 사업화 촉진	연구개발과제번호	821029-03				
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0203	60%	LB0805	30%	EA0701	10%
	농림식품 과학기술분류	AA0203	50%	AA0204	30%	RC0102	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명 고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개발							
전체 연구기간 2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)							
총 연구개발비 총 1,053,200 천원 (정부지원연구개발비: 825,000천원, 기관부담연구개발비 : 228,200천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금:천원)							
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]	기술성숙도 (해당 시 작성)	착수시점 기준() 종료시점 목표()			
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							

	최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> 고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개발 딸기 재배 전용 식물공장 설계 및 상용화와 식물공장 고품질 딸기의 안정적 생산 공정의 매뉴얼화를 목표로 하며, 주년생산과 지속가능한 운영을 위한 작물 생리학 기반 요소 기술 개발을 연구 목표로 함 																
연구개발 목표 및 내용	전체 내용	<ul style="list-style-type: none"> 2020년 딸기 전용 수직형 재배시스템(컨테이너형)을 상업화 시설로 제작하여 UAE에 수출한 경험이 있음. 식물공장 현지 운영을 통해 몇 가지 문제점을 도출하였음. 이를 통해 재배 대상 식물에 대한 재배관리 및 재배 환경 조절 방법을 개선하고 딸기의 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템을 개발하고자 함. ‘스마트 식물 모니터링 장치 및 방법’기술을 이전받아 차세대 딸기 재배용 식물공장 개발 및 사업화에 적용할 계획임. <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> <p>고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 개발 및 상용화</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; background-color: #f9f9f9;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 30%; background-color: #e8f5e9;">1년차(2021)</th> <th style="width: 30%; background-color: #e8f5e9;">2년차(2022)</th> <th style="width: 30%; background-color: #e8f5e9;">3년차(2023)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #e8f5e9; text-align: center;">주요기간 식물공장 설계 및 제작</td> <td style="background-color: #fff9c4;"> 차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발 - 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정 - 재배대 설계 및 광원 배치 - 양액 시스템 구축 - 공조 시스템 설계 - 기타 장치 </td> <td style="background-color: #fff9c4;"> 파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 및 성능 평가 - 시제품 사양 및 설계 검토 - 시제품 제작 및 성능 평가 - 식물공장 제어 소프트웨어 개발 및 구축 </td> <td style="background-color: #fff9c4;"> 딸기 재배 전용 식물공장 제품화 - 딸기 재배 전용 식물공장 실증보완 및 제품화 - 모듈러 유닛 제품화 </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e8f5e9; text-align: center;">중요기술 개발 및 실증</td> <td style="background-color: #fff9c4;"> 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정 - 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 품종 스크리닝 - 품종 선정에 따른 식물공장 내 재배환경 설정 </td> <td style="background-color: #fff9c4;"> 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발 - 모니터링을 통한 수분 스케줄링 시스템 개발 - 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 연구 </td> <td style="background-color: #fff9c4;"> 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 표준화 및 매뉴얼 확립 - 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 재배관리 표준화 - 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 매뉴얼 확립 </td> </tr> <tr> <td style="background-color: #e8f5e9; text-align: center;">서울대</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </div>		1년차(2021)	2년차(2022)	3년차(2023)	주요기간 식물공장 설계 및 제작	차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발 - 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정 - 재배대 설계 및 광원 배치 - 양액 시스템 구축 - 공조 시스템 설계 - 기타 장치	파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 및 성능 평가 - 시제품 사양 및 설계 검토 - 시제품 제작 및 성능 평가 - 식물공장 제어 소프트웨어 개발 및 구축	딸기 재배 전용 식물공장 제품화 - 딸기 재배 전용 식물공장 실증보완 및 제품화 - 모듈러 유닛 제품화	중요기술 개발 및 실증	딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정 - 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 품종 스크리닝 - 품종 선정에 따른 식물공장 내 재배환경 설정	딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발 - 모니터링을 통한 수분 스케줄링 시스템 개발 - 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 연구	딸기 재배 전용 식물공장의 재배 표준화 및 매뉴얼 확립 - 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 재배관리 표준화 - 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 매뉴얼 확립	서울대			
	1년차(2021)	2년차(2022)	3년차(2023)															
주요기간 식물공장 설계 및 제작	차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발 - 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정 - 재배대 설계 및 광원 배치 - 양액 시스템 구축 - 공조 시스템 설계 - 기타 장치	파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 및 성능 평가 - 시제품 사양 및 설계 검토 - 시제품 제작 및 성능 평가 - 식물공장 제어 소프트웨어 개발 및 구축	딸기 재배 전용 식물공장 제품화 - 딸기 재배 전용 식물공장 실증보완 및 제품화 - 모듈러 유닛 제품화															
중요기술 개발 및 실증	딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정 - 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 품종 스크리닝 - 품종 선정에 따른 식물공장 내 재배환경 설정	딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발 - 모니터링을 통한 수분 스케줄링 시스템 개발 - 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 연구	딸기 재배 전용 식물공장의 재배 표준화 및 매뉴얼 확립 - 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 재배관리 표준화 - 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 매뉴얼 확립															
서울대																		
		<ul style="list-style-type: none"> 차세대 딸기 재배 전용 식물공장 목표사양 수립 및 설계 파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 및 성능 평가 																

			<ul style="list-style-type: none"> ▪ 딸기 재배 전용 식물공장 제품화 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 표준화 및 매뉴얼 확립 	
		1단계 [1,2년차]	목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발 ▪ 파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 & 성능평가 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발
			내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발 <ol style="list-style-type: none"> 1) 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정 2) 재배대 설계 및 광원 배치 3) 양액 시스템 구축 4) 공조 시스템 설계 5) 기타 장치 ▪ 파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 & 성능 평가 <ol style="list-style-type: none"> 1) 시제품 사양 및 설계 검토 2) 시제품 제작 및 성능 평가 3) 식물공장 제어 소프트웨어 개발 및 구축
				<ul style="list-style-type: none"> ▪ 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정 <ol style="list-style-type: none"> 1) 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 품종 스크리닝 2) 품종 선정에 따른 식물공장 내 재배환경 설정 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발 <ol style="list-style-type: none"> 1) 모니터링을 통한 수분 스케줄링 시스템 개발 2) 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 연구
2단계 [3년차]	목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 딸기 재배 전용 식물공장 제품화 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장에서의 고품질 딸기의 안정적 생산 공정 매뉴얼화를 위한 재배 환경 확립 및 기형과 방지를 위한 수분방법 개발 		
	내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 딸기 재배 전용 식물공장 제품화 <ol style="list-style-type: none"> 1) 딸기 재배 전용 식물공장 실증·보완 및 제품화 2) 모듈러 유닛 제품화 ▪ 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 표준화 및 재배 매뉴얼 확립 <ol style="list-style-type: none"> 1) 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 재배관리 표준화 2) 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 매뉴얼 확립 		

연구개발성과	<p>[1단계 : 1년차]</p> <p>주관연구기관</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정 ▪ 재배대 설계 및 광원 배치 ▪ 양액 시스템 구축 ▪ 공조 시스템 설계 ▪ 기타 장치 설계 ▪ 시제품 사양 및 설계 검토 ▪ 시제품 제작 및 성능 평가 <p>공동연구기관</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 딸기 품종별 개화 특성 분석 ▪ 딸기 품종별 꽃대 형태 및 패턴 변화 분석 ▪ 딸기 품종별 화기 구조 특성 분석 ▪ 식물공장 딸기 재배 시스템 모듈에 적용 가능한 지하부 부피 및 배치 구명
	<p>[1단계 : 2년차]</p> <p>주관연구기관</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 식물공장 제어 소프트웨어 구축 ▪ 시제품 성능 평가에 따른 성능개선 ▪ 진동 수분 방법의 기구적 개발

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 파일럿 2차 시제품 제작(예정) <p>공동연구기관</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 딸기 품종별 화분 수 및 화분 활성률 분석 ▪ 증기압차에 따른 딸기의 개약 특성 분석 ▪ 딸기 품종별 꽃의 구조적 특성 분석 ▪ 식물공장 딸기 재배에 적용할 수 있는 진동 수분 방법 개발 <p>[2단계 : 1년차]</p> <p>주관연구기관</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 딸기 재배전용 식물공장 실증보완 및 제품화 <ul style="list-style-type: none"> - 모듈러유닛 제품화 - 2차 시제품 재배 시스템 구축 ▪ 안드로이드 기반 식물공장 복합 제어 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 제어용 모듈 H/W (master, slave) - 제어용 태블릿 S/W 및 H/W 펌웨어 <p>공동연구기관</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 개화 및 착과 특성 분석 ▪ 식물공장 내 딸기 개화기 적합 환경 구명 ▪ 식물공장 딸기 재배에 적용할 수 있는 진동 수분 방법 고도화 ▪ 고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 운영 매뉴얼
--	--

<p>연구개발성과 활용계획 및 기대 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 식물공장 재배에 적합한 딸기 품종 선발을 통해 연중생산 가능한 작부체계 수립이 가능함. ▪ 재배 작기와 무관하게 생산 가능하여 가격이 높게 형성된 시즌에 출하, 경제성 확보에 유리함. ▪ 딸기 재배에 적합한 농지 확보가 어려운 해외 국가에 식물공장 설비를 수출할 수 있음. ▪ 국내 식물공장 생산 기술 및 과채류 재배기술을 세계 최고 수준으로 높일 수 있음. ▪ 실시간 모니터링 및 의사결정 보조 시스템 확립을 통한 스마트 식물공장 구축이 가능함. ▪ 향후 국내 기후변화에 적극적인 대처 방안으로 딸기 재배용 식물공장을 개발, 외부 기후 영향을 최소화한 안정적인 딸기 생산이 가능함. ▪ 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 수출을 통한 국내 식물공장 시스템 개발 산업에 긍정적인 영향을 기대할 수 있음. ▪ 농업 관련 교육기관에 보급하여 교육-기술이전-창업 효과 기대
------------------------------------	--

연구개발성과의 등록 ·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화학 물질	신품종	
								생명 정보	생물자 원		정보	실물
	1	4	2		1	1						

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)	딸기	식물공장	주년생산	모니터링	스마트팜
영문핵심어 (5개 이내)	Strawberry	Plant factory	Year-round cultivation	Real-time monitoring	Smart farm

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

최종보고서										보안등급							
										일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]							
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명		기술사업화지원 사업								
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원					내역사업명 (해당 시 작성)		공공기술 사업화 촉진								
공고번호		2021-41			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		연구개발과제번호		821029-03								
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0203	60%	LB0805	30%	EA0701	10%										
	농림식품과학기술분 류	AA0203	50%	AA0204	30%	RC0102	20%										
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문															
		영문															
연구개발과제명		국문		고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개발													
		영문		Development of the next generation plant factory system for stable year-round production of high-quality strawberry													
주관연구개발기관		기관명		주식회사 퓨처그린		사업자등록 번호		865-88-01011									
		주소		(우) 17095		법인등록번호		134811-0455487									
연구책임자		성명		김 지 동		직위		대표이사									
		연락처		직장전화		휴대전화											
				전자우편		국가연구자번호											
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)													
		단계 (해당 시 작성)		1단계		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)											
				2단계		2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 개월)											
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계		연개발비외 지원금					
		현금		현금		현물		현금		현물			합계				
총계		825,000		5,320		222,880		-		-		-	830,320	222,880	1,053,200		
1단계		1년차		225,000		0		75,000		-		-		-	225,000	75,000	300,000
		2년차		300,000		0		100,000		-		-		-	300,000	100,000	400,000
2단계		1년차		300,000		5,320		47,880		-		-		-	305,320	47,880	353,200
		n년차															
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편		비고					
		서울대학교		전 창 후		교수						역할		기관유형			
공동연구개발기관												공동		대학			
위탁연구개발기관																	
연구개발기관 외 기관																	
연구개발담당자 실무담당자		성명		박성범		직위		부장									
		연락처		직장전화		휴대전화											
				전자우편		국가연구자번호											

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024년 02월 23일

연구책임자: 김 지 동

주관연구개발기관의 장: (주) 퓨처그린

공동연구개발기관의 장: 서울대학교 산학협력단장 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발의 개요

(1) 딸기 전용 식물공장 연구개발의 현황 및 전망

가. 국내 딸기 재배 현황

- 고부가가치 원예작물 중 하나인 딸기는 2019년 기준 시설재배 면적은 6,421ha, 생산량은 233,291ton, 생산액은 1조 5천억 원으로 전체 국내 채소류의 13.6%를 차지함(2019, KOSIS).
- 2019년 기준 ‘설향’과 ‘매향’이 전국 딸기 재배면적의 87%를 차지함.
- ‘설향’은 일계성 딸기의 대표 품종으로 축성 재배에 적합하며 병해충 저항성이 강하고, 기형과 발생이 적은 다수성 품종임.
- ‘고슬’은 중일성 딸기로 고온에서도 화방이 잘 발생하고 착과되면서도 일계성 딸기에 비해 품질이 크게 떨어지지 않다고 알려져 식물공장 도입 품종으로 사용되었지만 검증할 필요가 있음.

나. 국내외 딸기 전용 식물공장의 현황 및 문제점

- 최근 국내에서 딸기 재배를 위한 완전 밀폐형 식물공장이 개발되고 있으나 시제품 제작은 초기 단계에 불과한 수준임.
- 식물공장에서 딸기를 포함한 과채류의 과실 생산 시 식물체의 영양생장과 생식생장에 맞는 적절한 재배 환경을 조성해야 하며, 이를 위해 생육단계별 재배 특성을 고려한 기술이 요구됨.
- 식물공장에서의 딸기 재배는 향후 기후 변화에 대응하는 적극적 방안의 하나이며, 더 나아가 재배 가능 농지 확보가 어려운 해외에 식물공장의 수출을 가능하게 함.
- K-food의 주역으로 해외에서도 인기가 높은 고품질 국내 딸기 품종의 생산을 연계하면 식물공장 플랜트 수출 분야에서 높은 경쟁력 확보가 가능함.
- 국내를 비롯해 해외의 실정을 고려하면 새로운 산업으로서의 성장 가능성이 높게 평가됨.

다. 차세대 딸기 전용 식물공장

- 최근 국내뿐만 아니라 동남아 지역(태국, 대만, 몽골 등)과 중동지역(UAE, 카타르, 사우디아라비아 등)에서 딸기 재배용 식물공장 요구가 있음.
- (주)퓨처그린에서 2020년 딸기 전용 수직형 재배시스템(컨테이너형)을 상업화 시설로 제작하여 UAE에 수출한 경험이 있음.
- 수출용 컨테이너형 식물공장 이외에도 딸기 재배용 계단형 재배시스템 등 적합한 재배 모듈을 위한 다양한 시도 중임.
- 수출된 식물공장의 현지 운용을 통해 몇 가지 문제점을 도출하였고 재배 대상 식물에 대한 재배 관리 및 재배 환경 조절 방법을 개선하고 확립할 필요가 있음.
- 특히, 식물공장 딸기 재배에 적합한 품종 선택과 딸기 재배에 필수 과정인 수분·수정을 위한 새로운 수분 방법 개발이 요구됨.
- ‘스마트 식물 모니터링 장치 및 방법’기술을 농업진흥청으로부터 이전 받아 차세대 딸기 재배용 식물공장 개발 및 사업화에 적용할 계획임.
- 본 기술을 활용해 베드 상에서 자라는 식물체를 관찰하고, 모니터링 데이터를 수집하여 각 재배 단계에 필요한 재배관리 방법, 화아분화 유도를 위한 환경조절 시기 및 단계, 수분·수정을 위한 품매 유도 시기 등을 확립하고자 함.

2) 현 보유기술 및 문제점 도출

(1) 딸기 전용 수직형 재배시스템(컨테이너형)

가. 딸기 전용 수직형 식물공장의 초기 모델 개요

- ㈜퓨처그린에서 2020년 상업화 시설의 샘플로 제작하여 UAE로 수출된 컨테이너형 식물공장임.
- 식물성장용 White LED를 사용한 인공광 이용형 식물공장임.
- 재배대 모듈 이동, 양액 공급, 약제(살충제) 및 수증기(습도) 자동분사, 수분 유도 Fan 작동, 광도 조절 등 자동화 제어 시스템을 적용함.
- 중일성 딸기인 고슬 품종을 이용하였고, 재배 시 풍매를 유도할 수 있도록 수분 유도 Fan을 설치하였음.

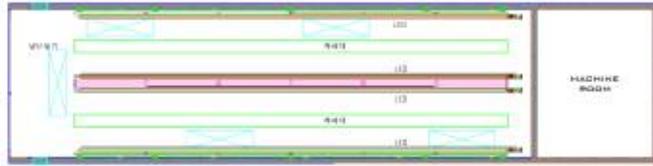


그림 1. 딸기 전용 수직형 재배 식물공장 평면도

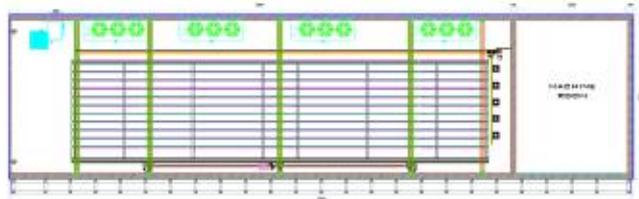


그림 2. 딸기 전용 수직형 재배 식물공장 측면도 (LED)

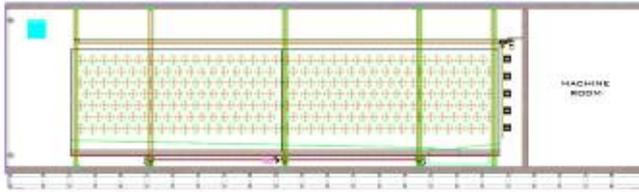


그림 3. 딸기 전용 수직형 재배 식물공장 측면도 (재배대)

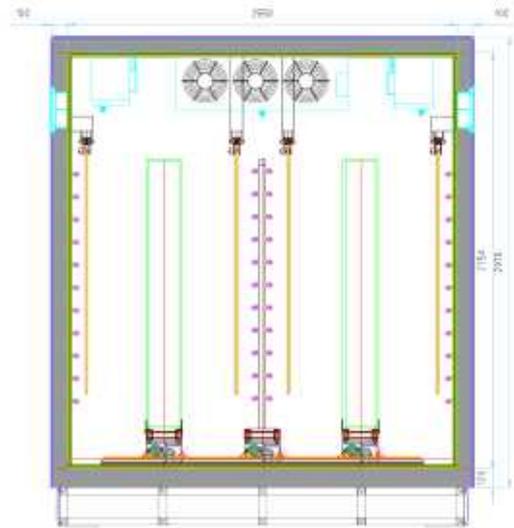


그림 4. 딸기 전용 수직형 재배 식물공장 정면도

나. 구조 및 외함

- 현장에서 조립 없이 운송 후 바로 작동할 수 있도록 완성형 컨테이너 타입으로 제작하였음.
- 컨테이너 외함(encloser)은 항공, 특수차량 등에 주로 사용되는 탄소섬유 복합재료를 사용하여 단열성을 높였음.
- 수직형 베드 설계로 다단형 베드에 비해 공간 활용도를 높였음.
- 공간이용효율을 높이기 위해 2개 열의 재배대 및 중앙 LED는 자동으로 좌우 이동이 가능하도록 설계함.
- 2개 열의 재배대를 배치하여 약 1,000주의 딸기 재배가 가능함.



그림 5. 컨테이너 외함 제작



그림 6. 현지에 설치한 컨테이너



그림 7. 재배실 내부



그림 8. 재배실 제어 패널 (터치스크린)

다. LED 인공광 시스템

- 자체개발한 식물성장 전용 White LED를 이용한 LED 인공광 시스템.
- LED 디밍을 통한 시간별 광도 조절이 가능함.
- 작업 위치에 따라 재배대 및 LED 모듈의 위치 이동가능함.



그림 9. 이동형 재배대, LED모듈 시스템

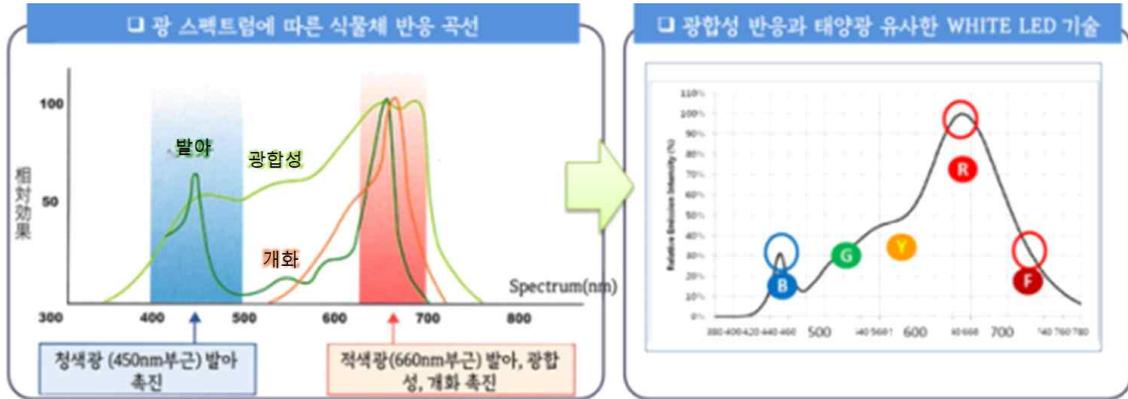


그림 10. 퓨처그린 개발 White LED 기술

라. 복합 관수 시스템

- 개별 재배포트에는 점적관수가 가능하게 함.
- 재배대 내 근권부에는 분무 시스템을 설치하여 근권부 수분 및 양액 공급이 가능하게 함



그림 11. 재배 포트 및 양액 점적관수 시스템



그림 12. 양액 점적관수 및 근권 분무 시스템

마. 약제/수증기 분사 노즐 및 수분 유도 Fan

- 약제/수증기 분사 노즐이 설정된 시간에 따라 이동하며 필요시 약제 혹은 수증기를 분사함.
- 수분(꽃가루 받이) 유도 Fan을 이용하여 정면 또는 45° 방향으로 풍매 수분을 유도하며, 바람 세기 및 작동 시간 조절이 가능함.

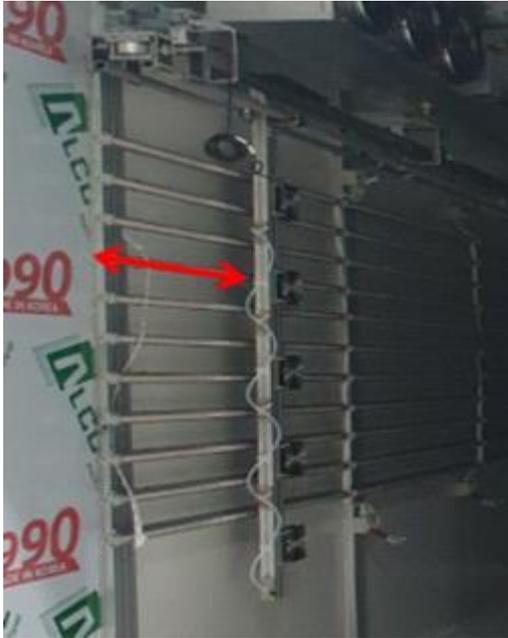


그림 13. 약제/수증기 자동분사 장치



그림 14. 수분 유도 Fan 이동 장치

바. 양액 공급 및 관리 시스템

- 양액탱크 내 수위에 따라 원수 공급이 자동 제어되며, 순환식 양액 재배 시스템을 적용함.
- 원수 공급 및 배수량은 유량 센서를 통해 모니터링이 가능함.
- 설정값에 따라 양액의 pH 및 EC를 일정하게 유지할 수 있음.
- 설정된 양액 온도에 따라 냉각기(chiller)가 작동해 수온을 자동 관리함.



그림 15. 양액 자동 조제/공급 시스템



그림 16. 양액 및 약제 관리/공급 시스템



그림 17. pH, EC 및 유량 센서



그림 18. 양액 냉각기(chiller)

사. 공조 시스템 및 CO₂ 공급장치

- 재배실 내부온도 설정 및 자동 관리 가능한 공조시스템임.
- 실외 열교환기 1조와 유닛 쿨러 5대로 분리 설계하여 구역별 온도 편차를 최소화함.
- 설정값에 따라 자동으로 CO₂ 농도를 유지함.
- 재배실 내에 설치된 배기 Fan을 통해 내부 공기 환기 및 습도 관리가 원활케 함.



그림 19. 공조 시스템



그림 20. CO₂ 공급장치

(2) 계단형 재배시스템

가. 계단형 재배시스템의 특징

- 2020년 (주)퓨처그린에서 수직으로 설치된 LED 인공광과 태양광 집광 시스템을 활용하기 위한 재배시스템을 개발함.
- 다단형과 수직형 재배대를 혼합, 변형하여 제작한 시제품임.
- 수직형 재배대에서 발생한 근권부의 온도문제를 해결하기 위해 냉각 라인을 추가하였음.



그림 21. 계단형 재배시스템 3D 모델링

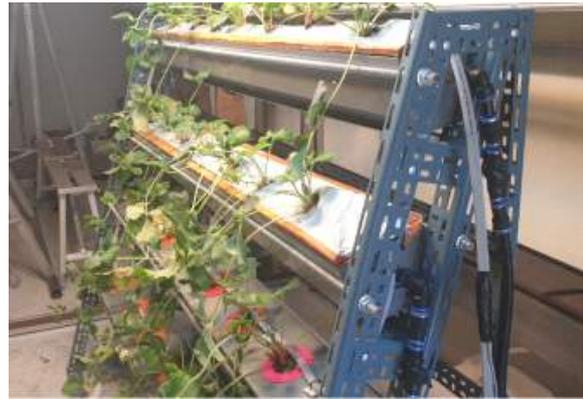


그림 22. 계단형 재배시스템 설치 운용 모습

(3) 딸기 전용 수직형/계단형 재배시스템 운용시 문제점

가. 온도 관리

- 식물공장 외부 환경(온도 및 습도)에 따른 내부 환경 제어에 어려움이 있었음.
- 식물공장 내부 공간 및 재배대 위치에 따른 온도 편차가 발생하였음.
- 재배 배지 온도 상승에 따라 딸기의 생육이 저해되었음.

나. 상대습도 관리

- 식물공장 내부의 높은 상대습도에 의해 곰팡이 병 등이 발생함.

다. 관수 시스템

- 수직형 재배대에서 작물 근권부의 수분 및 습도 관리가 어려움.
- 구역별 관수 시간 및 관수량에 불균형이 발생함.
- 재배대 내 근권부의 수분 함량 편차가 발생함.

라. 딸기의 수분·수정

- 수분·수정률이 낮고 기형과 발생률이 높았음.
- 온실 재배 딸기와 비교하였을 때 과중이 낮았음.

마. 기타

- 약제/수증기 자동분사 장치의 분무량 및 압력이 부족함.
- 양액 순환 시 상토 유출에 따른 순환시스템에 막힘 문제가 발생함.
- 표준규격을 초과한 컨테이너형 식물공장 사이즈에 따른 물류비용이 과다 발생함.



그림 23. 수직형 재배 시스템 모습

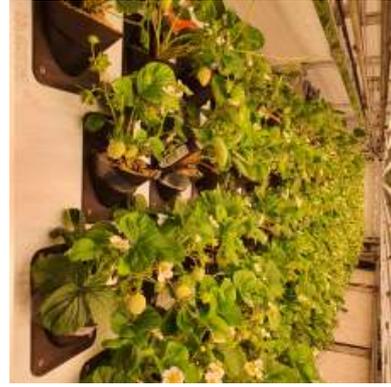


그림 24. 수직형 재배 시스템에서 재배되는 딸기.

3) 현행 시스템의 문제점 해결 방안

(1) 식물공장 시스템

가. 온·습도 관리

- 외부 기온 영향을 줄이기 위한 컨테이너 단열 소재 보완이 필요함.
- 식물공장 내 상대습도 관리를 위한 자동 습도 조절 및 공조 시스템 개선이 필요함.

나. 양액 시스템 및 재배대

- 순환식 양액 공급 시스템 개선을 위한 소독 및 필터링 기술 개발이 필요함.
- 균일한 양액 공급과 근권부 과습을 해결하기 위한 재배대 및 관수 시스템 개선이 필요함.

다. 기타

- 대량 양산체제 대응을 위한 재배 시스템의 확장형 모듈 유닛 개발이 필요함.
- 재배시스템의 확장성을 위한 재배실과 기계실의 분리설계가 필요함.
- 물류비 효율화를 위한 표준규격의 컨테이너 활용 및 적절한 단열소재 개발.

(2) 딸기 재배

가. 품종 선정

- 식물공장 딸기 재배를 위한 품종 기준 확립(작형, 화아분화 특성 등)이 필요함.
- 식물공장 재배 환경에 적합한 품종 선정이 요구됨.

나. 재배관리

- 식물공장 내 재배관리를 위한 생육단계별 매뉴얼 작성이 필요함.
- 수분·수정 문제 해결을 위한 시스템 개선이 필요함.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용 [주관 주식회사 퓨처그린] (1단계 1년차)

(1) 차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발

가. 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정

- 재배 장치 테스트 설계 구상
 - 테스트용 설계도면 모음

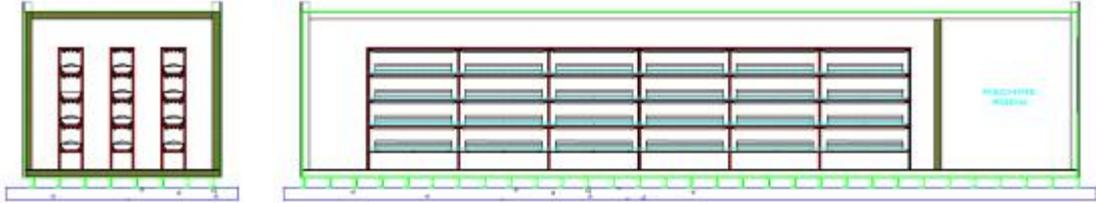


그림 1. 테스트1 -컨테이너 타입(약 12M)

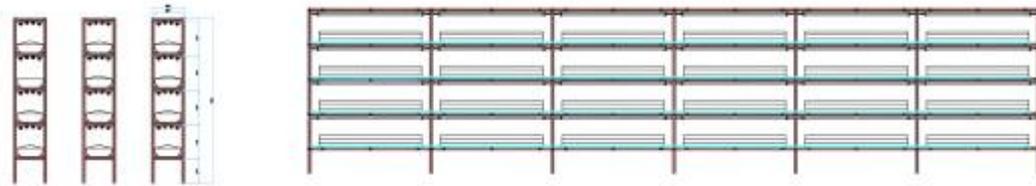


그림 2. 테스트2 - 4단(단 높이 400mm) & 8.4M 재배대

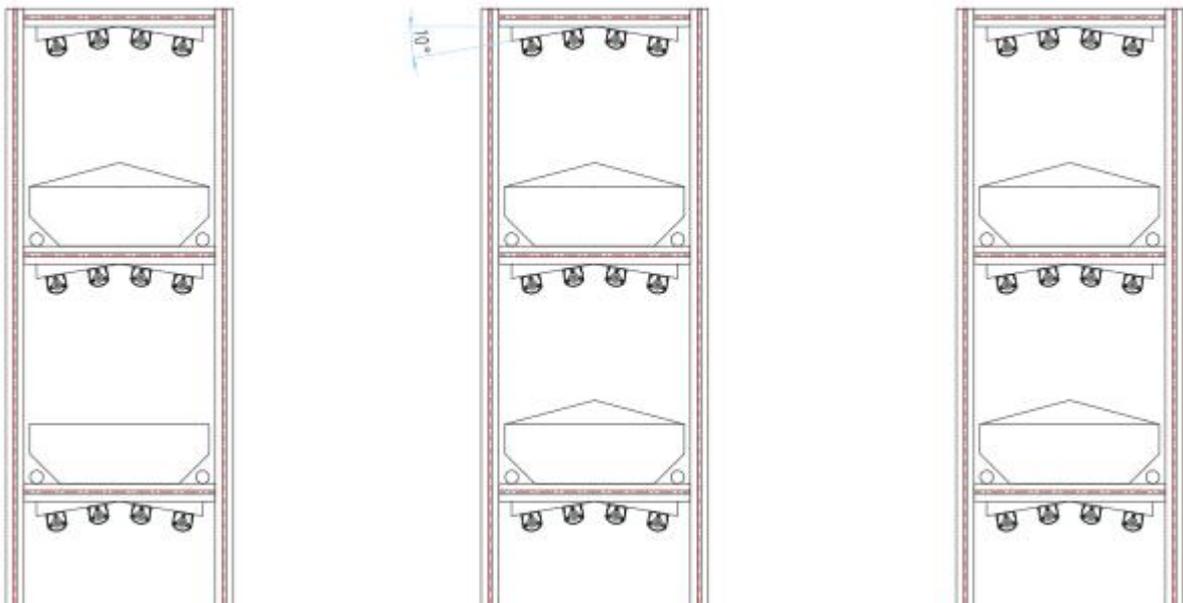


그림 3. 테스트 3 - LED에 조사각(10°) 부여 (LED 수량: 층당 4EA)

나. 재배대 설계 및 광원 배치

- 재배실 및 재배장치 최종 설계 도면 및 광원배치

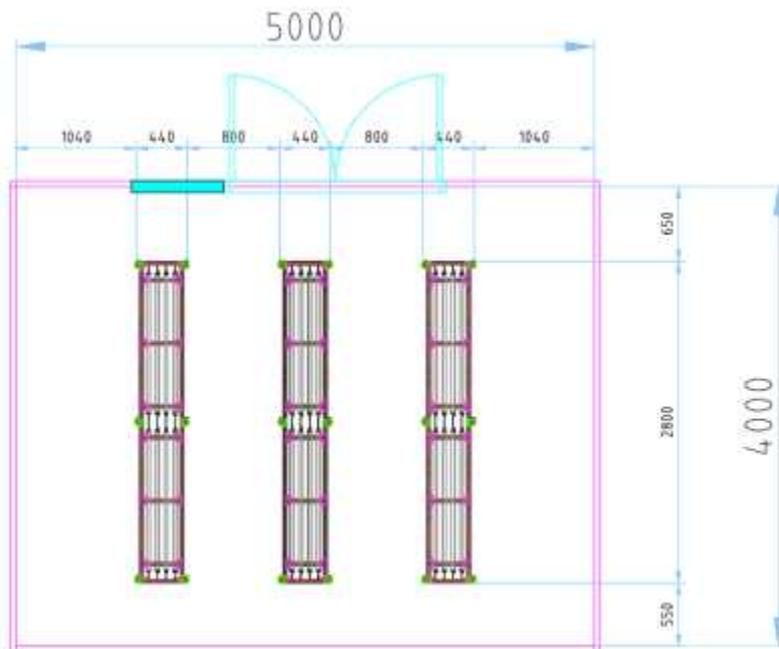


그림 4. 재배실 최종 도면(5M×4M)

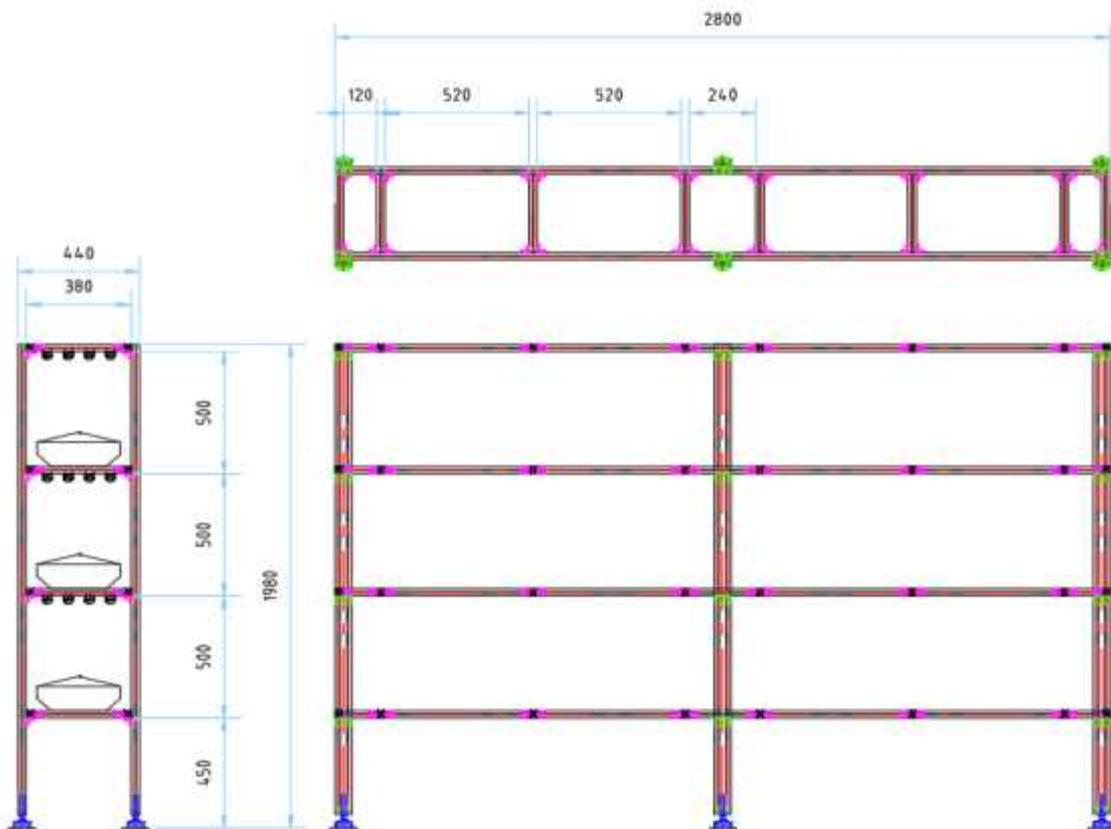


그림 5. 재배 장치(기본형) 최종 도면(3단 & 2.8M)

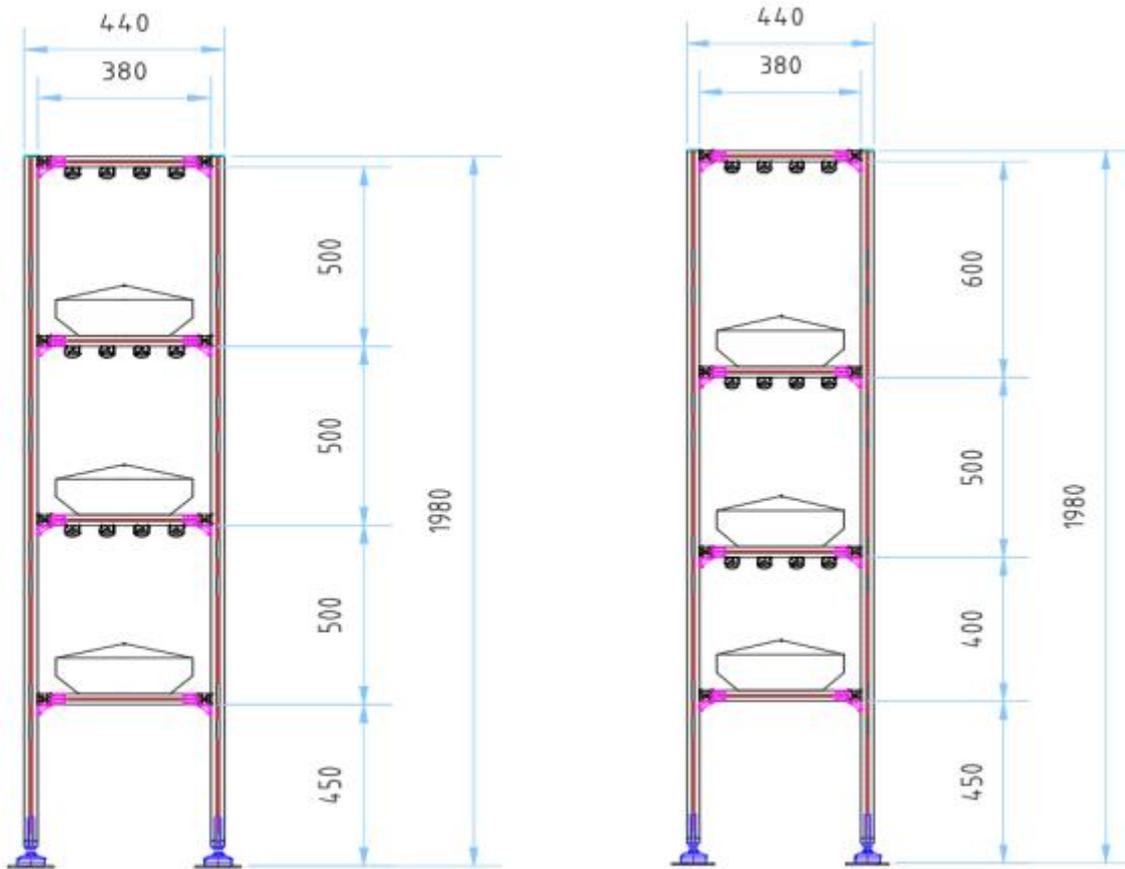


그림 6. 재배 장치 광원 배치(단 높이 혼용/기본형 2개 등-500mm 동일 & 1개 등 - 400mm, 500mm, 600mm)

○ 재배대 세부내역

- 재배실 면적: 4M*5M*2.5M(H)[20m²/약 6평]
재배 가능 수량: 216 株
- 재배 프레임: 440*2800*1980mm(H)[3단 * 3개 등]
재배 단 높이: 400, 500, 600mm(1개 등) / 500mm(2개 등)
프레임 재질: 알루미늄
- 수조: 300*1200*140mm(H)
수조 커버 높이 40mm(높이 70mm 4ea 샘플제작)
수조 수량: 3개 등 18set(1개 등 6set)
포트홀 크기: Ø 120
제식 간격: 180mm
1set 재배 수량: 12 株
- 인공광
광원: 식물성장용 LED 바(AC-IC 28W - Analog Dimming)
1개 층 LED 수량: 8 EA/ 전체 72 EA
LED 타입: 3:1 - 24 EA/ 5:2 - 48 EA

다. 양액 시스템 구축

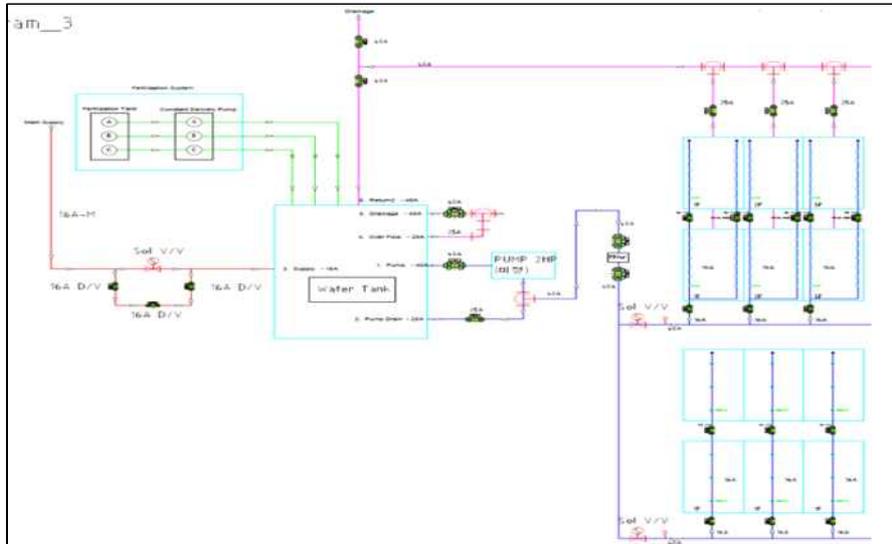


그림 7. 양액 시스템 설계도면



그림 8. 철러 냉각기(양액 온도 조절용)



그림 9. 양액 공급제어용 펌프

라. 공조 시스템 설계

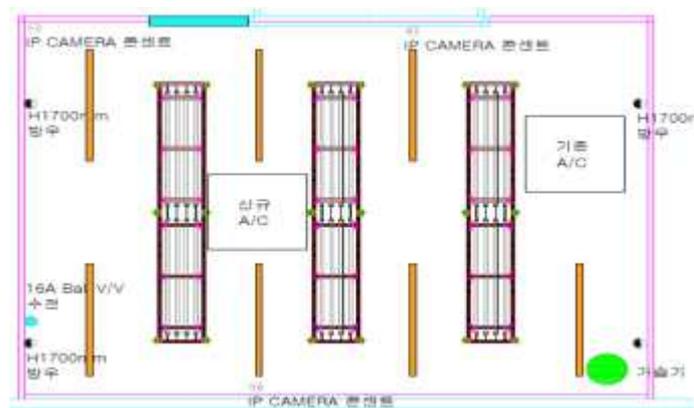


그림 10. 공조시스템 설계(기존 A/C 외 신규 A/C 구축)

○ 공조 시스템의 최적 용량 설계

항목	계산	열량
LED 조명	$28W * 6EA (모듈 별) * 2칸 * 3단 * 3동$ $= 3.024KW * 860kcal/h$	2600 kcal/h
펌프류	$2HP PUMP 3EA + 0.5HP 칠러 3EA + 0.3KW 펌프 3EA$ $= 6.49KW * 860kcal/h$	5582 kcal/h
가습기	$90w * 2EA = 180W$	155 kcal/h
전체 열량		8337 kcal/h
공조 열량	(unit cooler)	7000 kcal/h

- LED를 제외한 항목은 상시 가동이 아니므로 일정 열량만 계산 적용하여 적정 공조 열량을 산정함

마. 기타 장치

- LED 인공광 장치와 디밍 제어장치 구축
- 급수 공급장치(수전 배관 & 원수 탱크 및 공급 펌프) 및 제어장치
- 온도& 습도 센서 및 조절 장치
- pH & EC 센서 및 조절 장치
- 인공 수분 수정 장치(노즐 & 진동 제공 장치)
- 전기 제어장치
- 제어판넬 및 원격모니터링 장치
- 생육환경요소 & 생육상태 관찰용 카메라 및 데이터 저장장치

- 수분장치 시스템 설계(에어 & 진동 시스템)

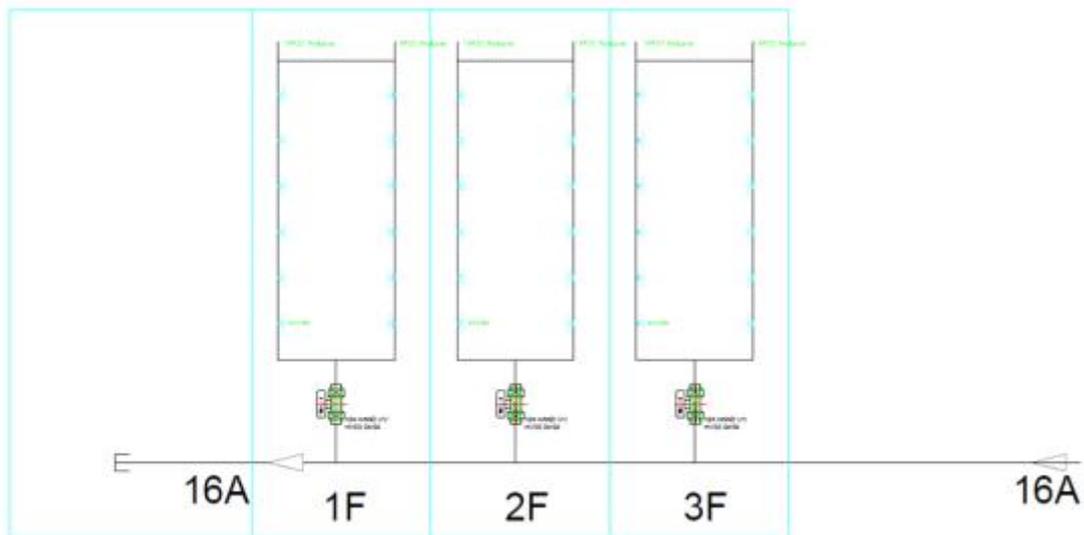


그림 11. 수분장치 설계(에어&진동)

(2) 파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 & 성능 평가

가. 시제품 사양 및 설계 검토

○ 시제품 레이아웃

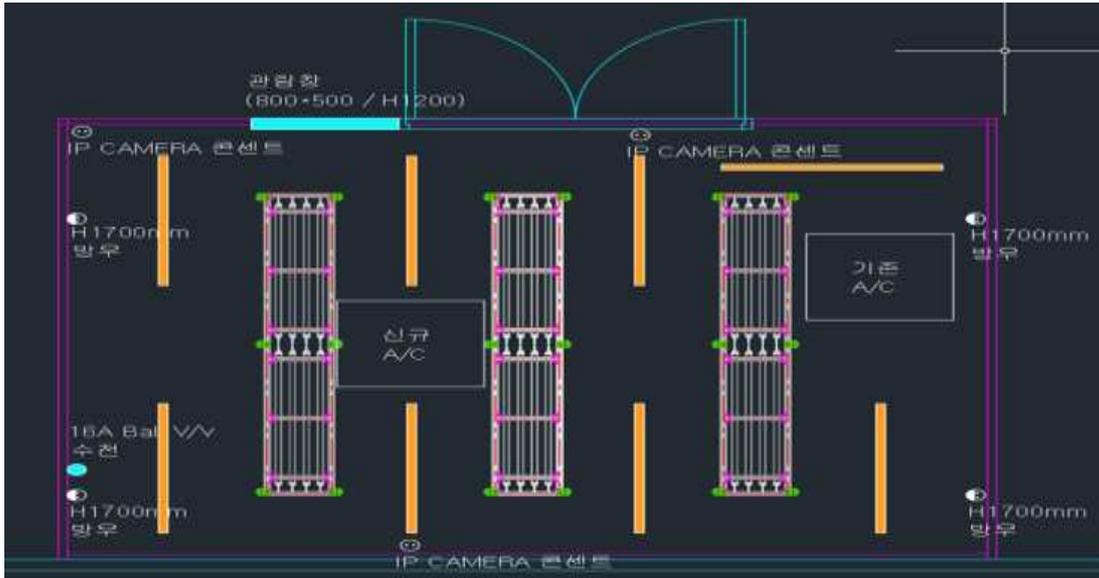


그림 12. 시제품 설계[3개 재배동(3단)/출입구 옆 관람창/관찰카메라 3곳]

○ 시제품 설계 검토

- 3개 재배동(합 3열, 3층)을 2종류로 구분하여 1개 동에서는 층마다 높이를 다르게 구성
2개 동에서는 층의 높이를 균일하게(500mm) 위치시킴[조사각 없음]
- 주요 자재 재질 : 알루미늄(녹 방지 적용 재배 프레임) & 강화 PVC(수조/배관용 자재 외)
- 출입구 바로 옆에 재배실을 전체적으로 확인할 수 있는 관람창을 설치함
- 관찰카메라 3곳 설치(입구, 모서리, 재배대 사이) : 재배환경요소 및 생육모습 관찰용
- 원격모니터링(WEB & APP)을 통한 실시간 재배환경요소 체크 및 대응조치강화 제고

○ 재배환경요소 제어설정 현황

[재배대]

- Nozzle / 진동 모터 / 드리퍼(급수장치) / Air
- LED 인공광(on/off 및 조도)

[양액탱크]

- 원수공급 / 칠러펌프 / 메인펌프 / 드리퍼(급수장치) / 노즐 / 수온 / 수위조절[Low~High]

[pH/EC]

- 배양액 A,B,C 공급(공급1~3초 / 대기 120초) / 양액pH / 양액 EC / 설정치 초과 시 알람

[재배실내]

- CO₂ / 공조Fan / 가습기 / 온도 / 습도

나. 시제품 제작 및 성능 평가

○ 재배실 구축 & 수전 설치



그림 13. 재배실 구축 &수전 설치 완료



○ 공조시스템 & 재배대 구축



그림 14. 공조시스템 & 재배대 구축



○ LED 인공광 설치 및 배선연결



그림 15. LED 인공광 설치



그림 16. 인공광 배선연결

○ 재배용 수조 조립(근권부 노즐)



그림 17. 수조 & 근권부 양액공급배관 결합



그림 18. 수조 재배대 고정

○ 제어판넬 및 터치 패널 구축



그림 19. 재배패널 작업



그림 20. 터치 패널 설치

○ 수분·수정용 에어배관 & 컴프레샤 설치



그림 21. 에어배관 설치



그림 22. 에어용 컴프레샤 3기

○ 수분·수정용 진동모터 설치 및 배선정리



그림 23. 진동모터 설치 & 결선



그림 24. 진동모터 앤드캡 & 배선정리

○ 급수용 공급펌프 설치 & 양액순환용 펌프/칠러냉각기 연결



그림 25. 급수용 공급 펌프 설치



그림 26. 양액 순환용 펌프/칠러 냉각기 연결

○ 급수장치(드리퍼) & CO₂ 배관 설치



그림 27. 드리퍼(급수용) 설치



그림 28. CO₂ 공급용 배관 설치

○ 프로그램 통신 설정 & 터치판넬 테스트



그림 29. 프로그램용 통신 설정



그림 30. 터치 판넬 테스트

○ 시제품 재배장치 구축



그림 31. 시제품 구축화면(딸기 정식 전)

○ LED 인공광 점등 및 디밍 테스트



그림 32. LED 인공광 점등 테스트



○ pH / EC 센서 모니터링 & 온/습도, CO₂ 센서 설치



그림 33. pH & EC 센서 모니터링 장치



그림 34. 온/습도, CO₂ 센서 설치

○ 원격모니터링 장치(환경요소 및 생육상태) 구축



그림 35. 원격 모니터링(재배실 홀)



그림 36. 원격 모니터링(용인 사무실)

○ 재배시스템 운용 모습



그림 37. 정식 후 개화('매향')



그림 38. 딸기 재배시스템 운용

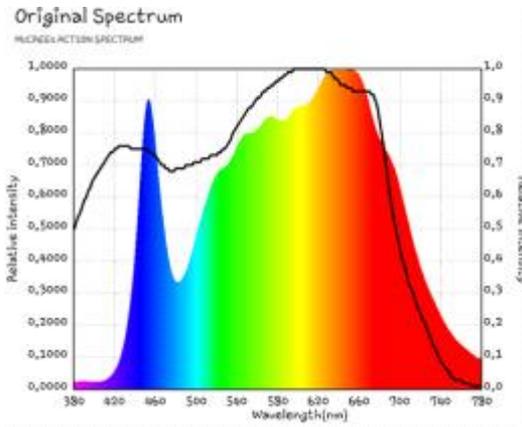
(3) 식물재배 시스템 운용 및 문제점 개선과 고찰

가. 식물재배시스템 운용(주요 항목)

○ LED 인공광 운용

- 모듈러 유닛 1개당 LED 28W 4ea 설치
- 3:1 Spectrum LED 24ea
- 5:2 Spectrum LED 48ea
- 제어방식 : PLC, Touch 및 PC 제어
- 제어범위 :
 - * Dimming : 층별 조광기를 이용하여 50~100% analog 방식
[조광기 - Touch 주변 설치]
 - * PLC를 이용한 on/off (수동/자동), 시간대별 on/off 설정(10분 단위)
- LED 설치 간격 : 75mm

○ LED 측정 데이터 (측정위치: 재배대 중앙)



단 높이	측정 위치	측정 높이	측정광량
400mm	재배 포트	@160mm	292.3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
	수조 내부	@270mm	239.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
500mm	재배 포트	@260mm	240.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
	수조 내부	@370mm	189.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
600mm	재배 포트	@360mm	182.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
	수조 내부	@470mm	137 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

그림 39. LED 스펙트럼 및 광량 데이터

○ LED 디밍(Dimming)

단 높이	측정 위치	측정 높이	%	측정광량	비고
500mm	수조 내부	@370mm	100%	189.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
			90%	183.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
			80%	168 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
			70%	145.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
			60%	123.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
			50%	76 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
			40%	39.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	플리커 발생
			30%	8.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	PCB 1칸 off
			20%	측정 불가	
			10%	측정 불가	

그림 40. 조도별 광량 체크(디밍 구간)

○ 딸기 인공 수분 수정 장치 운용



그림 41. 인공 수분 수정장치 작동원리

나. 운용상 문제점 도출

○ 변온 & 시간별 온도 설정과 제어 제한

- 기존외기 온도에 따라 운영이 되는 에어컨으로 여름철(혹서기 기준 26℃ 설정), 혹한기 (난방) 운영으로 재배실 사용이 불가하여 추가로 신규 에어컨을 구축한 후에도 변온 및 시간별 온도 설정 등이 불가능함이 확인됨.
- 설정 온도 외 추가 조작이 불가능한 문제로 시간별 운영 불가능 확인됨
- LED 점등/소등에 따른 변온 설정 불가 (예) 야간 15℃ / 주간 26℃ 등
- A/C 방식 적용 시 18℃ 설정 후 최저 16℃ 측정

○ 해결책 도출 : 유니트 쿨러 및 프로그램 추가 설치

- 설정 온도 외 추가적인 제어를 위한 유니트 쿨러 장치 설치 협의
- 공조 시스템(유니트 쿨러) 추가 설치



그림 42. 설치전 신규 A/C



그림 43. 유니트 쿨러 설치

- 공조시스템 추가 설치 후 관련 온도조절 데이터(주&야간 변온) 추가설정



그림 44. 터치패널에 공조 ON/ OFF 추가

재배실 온도/습도 설정

시	온도 (°C)	습도 (%)	시	온도 (°C)	습도 (%)
00	14.0	90.0	12	24.0	80.0
01	14.0	90.0	13	24.0	80.0
02	14.0	90.0	14	24.0	80.0
03	14.0	90.0	15	24.0	80.0
04	14.0	90.0	16	24.0	80.0
05	14.0	90.0	17	24.0	80.0
06	16.0	90.0	18	24.0	80.0
07	18.0	90.0	19	24.0	90.0
08	20.0	80.0	20	22.0	90.0
09	24.0	80.0	21	20.0	90.0
10	24.0	80.0	22	18.0	90.0
11	24.0	80.0	23	16.0	90.0

그림 45. 시간대별 온도 설정 추가

- 1분 단위 온/습도 확인 및 환경 데이터

시간	온도 현재	온도 설정	습도 현재	습도 설정	공조 On/Off	가습 On/Off
2021-12-27 0:00	17.7	14	90.7	90	ON	OFF
2021-12-27 0:01	17.6	14	89.8	90	ON	ON
2021-12-27 0:02	17.5	14	88.1	90	ON	ON
2021-12-27 0:03	17.2	14	86.9	90	ON	ON
2021-12-27 0:04	16.9	14	85.1	90	ON	ON
2021-12-27 0:05	16.6	14	84.2	90	ON	ON
2021-12-27 0:06	16.3	14	83.5	90	ON	ON
2021-12-27 0:07	16	14	82.9	90	ON	ON
2021-12-27 0:08	15.8	14	83.2	90	ON	ON
2021-12-27 0:09	15.5	14	82.6	90	ON	ON
2021-12-27 0:10	15.3	14	82.4	90	ON	ON
2021-12-27 0:11	15.1	14	81.9	90	ON	ON
2021-12-27 0:12	14.9	14	81.7	90	ON	ON
2021-12-27 0:13	14.6	14	81.7	90	ON	ON
2021-12-27 0:14	14.4	14	81.9	90	ON	ON
2021-12-27 0:15	14.3	14	82.5	90	ON	ON
2021-12-27 0:16	14.1	14	82.7	90	ON	ON
2021-12-27 0:17	14	14	84.1	90	OFF	ON
2021-12-27 0:18	14	14	87.4	90	OFF	ON
2021-12-27 0:19	14.1	14	89	90	OFF	ON
2021-12-27 0:20	14.1	14	90.3	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:21	14.2	14	91.3	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:22	14.4	14	91.9	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:23	14.5	14	92.3	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:24	14.5	14	92.6	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:25	14.7	14	92.8	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:26	14.8	14	92.8	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:27	14.9	14	92.9	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:28	15	14	92.9	90	OFF	OFF
2021-12-27 0:29	15	14	92.9	90	OFF	OFF

시간	온도 현재	온도 설정	습도 현재	습도 설정	공조 On/Off	가습 On/Off
2021-12-27 10:21	23.3	24	81.3	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:22	23.3	24	80	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:23	23.2	24	78.5	80	OFF	ON
2021-12-27 10:24	23.1	24	80.2	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:25	23	24	81.3	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:26	23	24	81.4	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:27	23.1	24	81.7	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:28	23.2	24	81.9	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:29	23.3	24	81.6	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:30	23.3	24	80.7	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:31	23.3	24	80.1	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:32	23.2	24	78.6	80	OFF	ON
2021-12-27 10:33	23.1	24	80.2	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:34	22.9	24	80.9	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:35	22.9	24	79.9	80	OFF	ON
2021-12-27 10:36	22.9	24	80.4	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:37	23	24	80.9	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:38	23.2	24	81.3	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:39	23.3	24	81.3	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:40	23.3	24	80.7	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:41	23.3	24	80.1	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:42	23.3	24	79.3	80	OFF	ON
2021-12-27 10:43	23.2	24	80.9	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:44	23	24	80.9	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:45	23	24	79.9	80	OFF	ON
2021-12-27 10:46	23	24	79.5	80	OFF	ON
2021-12-27 10:47	23	24	82.6	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:48	23	24	82.8	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:49	23.2	24	83.2	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:50	23.3	24	83	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:51	23.3	24	82.3	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:52	23.3	24	81.1	80	OFF	OFF
2021-12-27 10:53	23.3	24	80	80	OFF	OFF

그림 46. 1분 단위 온/습도 환경 데이터 저장, 유니트쿨러 및 가습기 시간대별 ON/OFF 상태 표시, 저장 가능

- 가습기 사용 시 물이 떨어지는 문제 발견
- 해결책 도출: 가습기 설치 위치(변경)
- 가습기 설치 위치(변경)

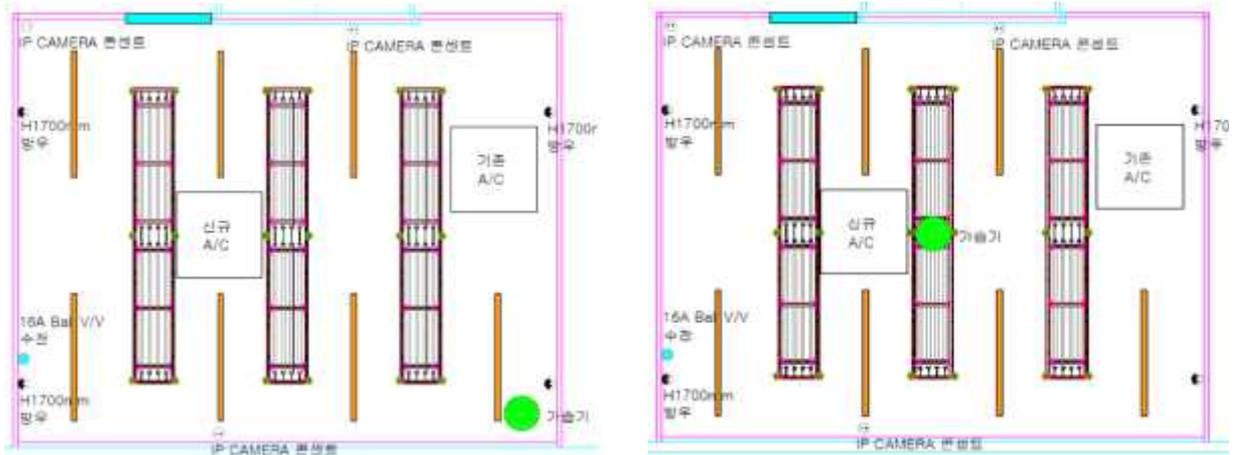


그림 47. 가습기 위치 변경



그림 48. 가습기 위치 변경 및 토출구 홀 타공으로 균일한 습도 유지

[주관 퓨처그린] 1단계(2년차)

(1) 식물재배 시스템 시제품 개선 및 제작

가. 시제품 개선

○ PPFD 광량 증가 위한 LED 바 증설

- 개선사항 : 모듈러 유닛 당 LED 28W 4ea에서 28w 6ea로 변경



그림 49. LED 설치 4ea(좌), 설치 6ea(우)

- LED 광량(PPFD) 변화

(단높이 500mm기준, 재배대 중앙 PPFD 데이터)

개선 전 (4ea)	개선 후 (6ea)
240.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$

(추후 PPFD 분포 정도 측정 예정)

○ 균일한 습도 관리를 위해 가습기 추가설치 및 가습기 덕트 설치

- 개선사항:

- 1) 직접 분사 방식 시 재배실 내 균일한 습도 유지 어려움
- 2) 가습기 주변 과포습 상태가 되며, 기타 구역은 건조하여 재배실 내 습도 불균형
- 3) 추가 설치 및 덕트를 설치하며 균일한 습도 유지 및 관리 가능

항목	개선 전	개선 후
가습기 주변 습도	90%	90%
재배실 반대편 내부 습도	> 50%	90%
균일도	$\pm 40\%$	$\pm 5\%$

- 가습기 1대 추가 설치 및 덕트 설치로 균일한 습도 유지 가능



가습기 1대



가습기 2대



덕트 추가 설치



덕트-가습기 연결 상태

그림 50. 가습기 개선 사항

○ 수정을 문제개선을 위한 진동장치 구조 및 부품 (브라켓 등) 개선

- 문제점 : (낮은 수정율의 원인으로 추정)

- ① 기존 설치된 수분장치는 진동바의 위치 변동이 상하로만 가능하여 딸기 꽃대(화방) 주위의 원하는 위치에 진동 전달이 부족함 (상하 200mm 위치변동)
- ② 진동바를 지지하는 브라켓이 고정되어 있어 진동 전달 범위가 한정적임
- ③ 좌우 배관이 한 세트로 묶여있어 진동 시 효과 미비

- 개선사항 :

- ① 관절 타입 브라켓(부품 2종)을 신규 개발하여 고정 브라켓을 대체하여 상하 200mm와 좌우 50mm 위치 변동, 각도 조절 180° 자유도를 구현하여 문제점 ①, ②를 개선함
- ② 좌우 배관 분리 및 관절 타입의 브라켓 적용

- 진동장치 구조 및 브라켓 개선 적용으로 진동배관 위치를 화방 위치에 따라 자유롭게 이동하여 공동연구기관의 품종별 수정을 실험환경 구축하였음 (1년차 실험1, 2년차 실험1 실험4)

[개선 전]



상하 200mm 내외 이동 가능

[개선 후]



관절 타입 브라켓 (각도, 좌우 이동성 확보)



좌우 배관이 한 세트 (이동성 불편)



배관 분리로 진동전달 개선

그림 51. 진동장치 배관분리 및 브라켓 개선

○ 진동장치용 브라켓 제작 (3D 프린터)

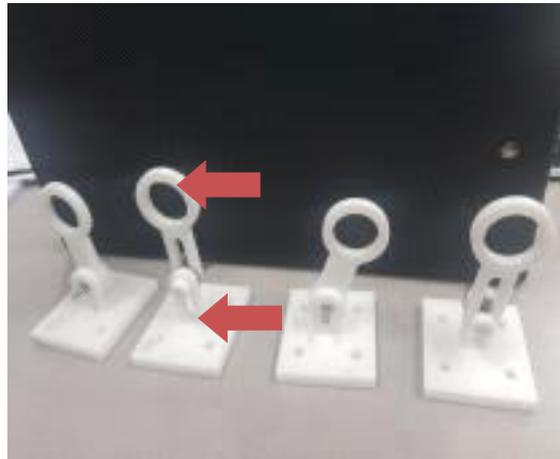


그림 52. 브라켓 부품 2종 자체 제작 (3D 프린터)

나. 시제품 제작

○ 녹조 억제 커버 제작

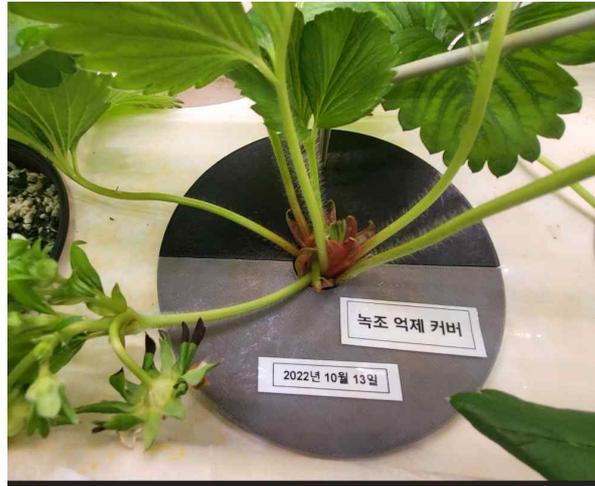
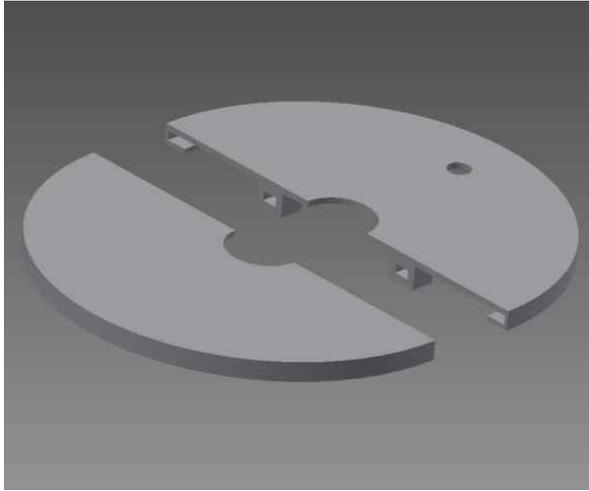


그림 53. 재배포트 커버 (딸기 크라운 중앙 위치 고정 기능 & 녹조 방지용 외부 빛 차단)

○ 딸기 재배 전용 베드 구축

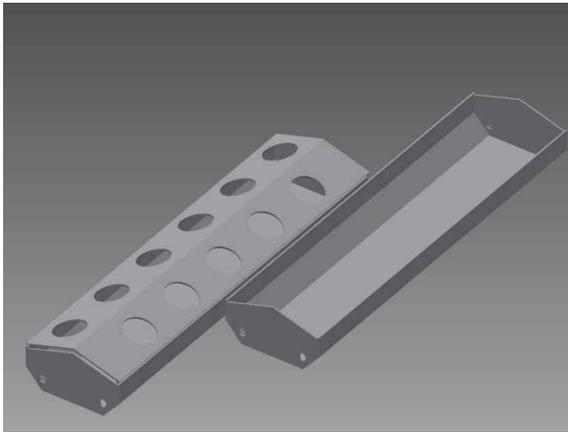


그림 54. 딸기 재배 전용 베드(외부 빛 조사 차단 & 내부별도배관을 통한 뿌리부분에 양액공급)

○ 식물공장 제어 소프트웨어 구축

- 모듈 별 현재 값, 설정 값, 비상 알람, 데이터 자동 저장 가능
- 원격 프로그램을 활용한 외부 PC, Mobile 모니터링 또는 제어 가능
- cam을 활용한 시각적 영상 활용
- 모듈 별 작동 상태, 설정, 현재값 등 확인 가능



그림 55. 메인 화면



그림 56. LED 및 양액 설정 화면



그림 57. 온습도, 수온 등 설정 화면



그림 58. 관수 설정 화면

FormSubForm

1등 2등 3등 ETC Dropper Pump 근동부 Nozzle **Air 설정** 진동모터 설정 온/습도 설정 대기

1등 2등 3등

Rack #1 Air 공급 설정

시	사용/미사용	공급시간(주)	대기시간(주)	환수	시	사용/미사용	공급시간(주)	대기시간(주)	환수
00	미사용	0	0	0	12	미사용	0	0	0
01	미사용	0	0	0	13	미사용	0	0	0
02	미사용	0	0	0	14	미사용	0	0	0
03	미사용	0	0	0	15	미사용	0	0	0
04	미사용	0	0	0	16	미사용	0	0	0
05	미사용	0	0	0	17	미사용	0	0	0
06	미사용	0	0	0	18	미사용	0	0	0
07	미사용	0	0	0	19	미사용	0	0	0
08	미사용	0	0	0	20	미사용	0	0	0
09	미사용	0	0	0	21	미사용	0	0	0
10	미사용	0	0	0	22	미사용	0	0	0
11	미사용	0	0	0	23	미사용	0	0	0

그림 59. 수분 수정용 AIR 공급 설정 화면

FormSubForm

1등 2등 3등 ETC Dropper Pump 근동부 Nozzle Air 설정 **진동모터 설정** 온/습도 설정 대기

1등 2등 3등

Rack #1 진동모터 동작 설정

시	사용/미사용	동작시간(주)	대기시간(주)	환수	시	사용/미사용	공급시간(주)	대기시간(주)	환수
00	미사용	0	0	0	12	미사용	0	0	0
01	미사용	0	0	0	13	미사용	0	0	0
02	미사용	0	0	0	14	미사용	0	0	0
03	미사용	0	0	0	15	미사용	0	0	0
04	미사용	0	0	0	16	미사용	0	0	0
05	미사용	0	0	0	17	미사용	0	0	0
06	미사용	0	0	0	18	미사용	0	0	0
07	미사용	0	0	0	19	미사용	0	0	0
08	미사용	0	0	0	20	미사용	0	0	0
09	미사용	0	0	0	21	미사용	0	0	0
10	미사용	0	0	0	22	미사용	0	0	0
11	미사용	0	0	0	23	미사용	0	0	0

그림 60. 수분 수정용 진동모터 설정 화면

계재실 온도/습도 설정

시	온도 (°C)	습도 (%)	시	온도 (°C)	습도 (%)
00	0.0	0.0	12	0.0	0.0
01	0.0	0.0	13	0.0	0.0
02	0.0	0.0	14	0.0	0.0
03	0.0	0.0	15	0.0	0.0
04	0.0	0.0	16	0.0	0.0
05	0.0	0.0	17	0.0	0.0
06	0.0	0.0	18	0.0	0.0
07	0.0	0.0	19	0.0	0.0
08	0.0	0.0	20	0.0	0.0
09	0.0	0.0	21	0.0	0.0
10	0.0	0.0	22	0.0	0.0
11	0.0	0.0	23	0.0	0.0

그림 61. 온습도 설정 화면 (시간대 별 변온 설정 가능)

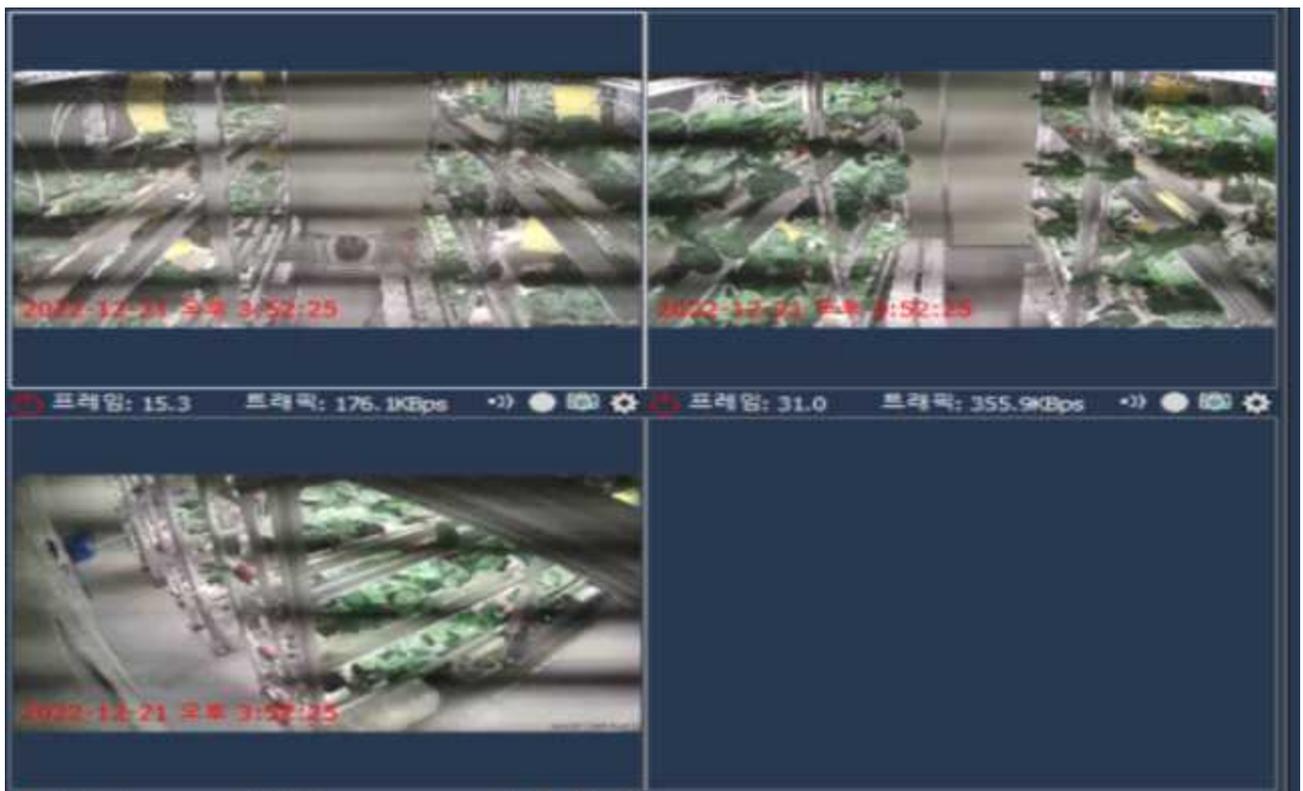


그림 62. cam 실시간 영상 및 저장 기능 화면

2단계(1년차)

(1) 딸기 재배전용 식물공장 실증보완 및 제품화

가. 딸기 재배 전용 식물공장 보완 및 실증

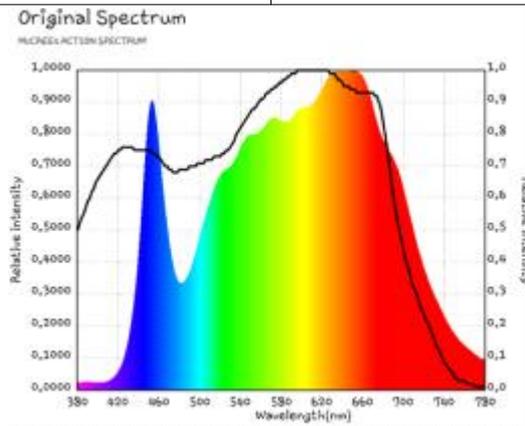
○ 재배모듈

1. LED

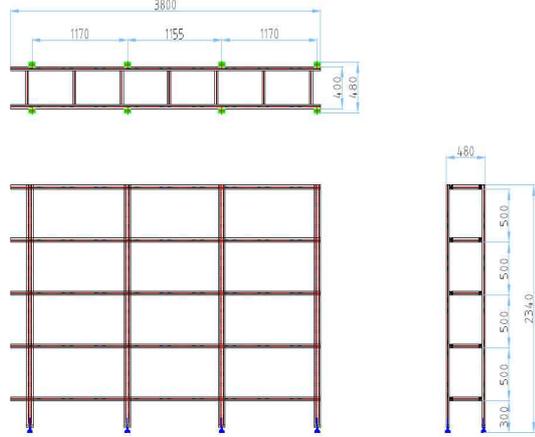
- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 연구실 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - AC 제품으로 정밀한 광량 제어 불가 (아날로그 제어) - 광량 제어 시 불안정한 파장 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - DC 제품으로 정밀 광량 제어 가능 (0~100%) (제어프로그램을 활용한 디지털 제어) - 일출/일몰 효과 구현 가능 |
|---|--|



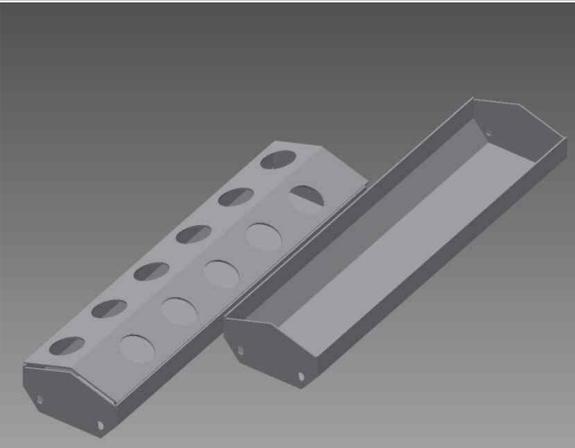
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 전 $300\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
 $12\text{EA} \times 3\text{단} \times 3\text{동} = 108\text{EA}$
 $108\text{EA} \times 28\text{W LED} = \text{약 } 3\text{kw}$ | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 후 $500\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$
 $12\text{EA} \times 4\text{단} \times 2\text{동} = 96\text{EA}$
 $96\text{EA} \times 48\text{W LED} = \text{약 } 4.6\text{kw}$ |
|---|---|



2. 재배 프레임

<ul style="list-style-type: none"> 1차 연구실 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - 면적 대비 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 20FT 컨테이너 내부 규격에 따른 설계
	
<ul style="list-style-type: none"> 개선 전 <ul style="list-style-type: none"> - 440 * 2,800 * (H)1980mm 3단 3개동 면적 변경 시 재 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 개선 후 <ul style="list-style-type: none"> - 480 * 3,800 * (H)2,300mm 4단 2개동 제품화 - 40ft 컨테이너 설치 시 3개동 설치

3. 재배 베드(수조)

<ul style="list-style-type: none"> 1차 연구실 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - 베드 본체와 커버 분리형 - 베드 내부 과습으로 인한 병해충 취약 - 재배면적 대비 과도한 부피 	<ul style="list-style-type: none"> 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 오픈형 설계 - 원활한 배수 설계 - 초화박스 재배 방식 변경
	
<ul style="list-style-type: none"> 개선 전 <ul style="list-style-type: none"> - 300 * 1,200 * (H)140mm - 재배 프레임 변경 시 재 시공 - 재배 가능 수량 : 216株 (재배면적 약 6.5m²) 	<ul style="list-style-type: none"> 개선 후 <ul style="list-style-type: none"> - 360 * 3,700 * (H)75mm - 재배 프레임 확장 시 연장 가능 - 20ft 기준 384株 (1차 연구실 대비 약 80% 증대) (재배면적 약 10.7m²) - 40ft 설치 시 1,152株 재배 가능

4. 양액 배관

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 연구실 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - 드리퍼 튜브로 인한 재배 어려움 - 튜브 내 이물질로 인한 막힘 현상 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 점적 호스 변경으로 재배환경 개선 - 이물질 막힘 방지
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 전 <ul style="list-style-type: none"> - 1株 당 2L/h 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 후 <ul style="list-style-type: none"> - 초화박스 1개 당 8L/h (150mm 간격 기준)

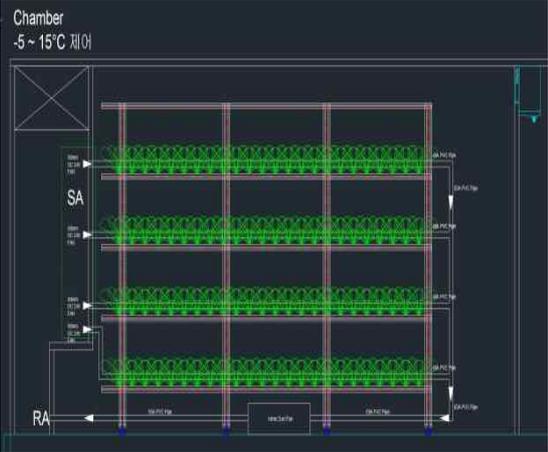
5. 냉방공기배관

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 연구실 문제점 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 딸기 크라운 부위 온도 및 습도 제어
<ul style="list-style-type: none"> - 기능 없음 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 전 <ul style="list-style-type: none"> - 재배실 공조 활용 재배 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 후 <ul style="list-style-type: none"> - 별도 냉방 공기 공급

○ 인공수분 환경제어시스템

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 연구실 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - 진동 모터 수량 1EA로 균일한 진동 전달 불가 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 진동모터 수량 증가
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 전 <ul style="list-style-type: none"> - 재배 단 별 진동모터 2EA 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 후 <ul style="list-style-type: none"> - 재배 단 별 진동모터 6EA

○ 국부냉방 시스템

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 연구실 문제점 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 별도 냉방 공간 제작 - 공급 및 리턴 배관 설치
<p>- 기능 없음</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 전 <ul style="list-style-type: none"> - 재배실 공조 활용 재배 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개선 후 <ul style="list-style-type: none"> - 재배실 공조 외 추가 딸기 크라운 전용 냉방설치 - 별도의 냉방 공간(건조 냉방 공기)을 활용하여 각 단 별 건조 냉방 공기 공급 가능

○ 양액기

- 1차 연구실 문제점
 - 개별 공급으로 시설비 상승
 - 재배 프레임 수량만큼 양액 제조



- 개선 전
 - 재배 프레임 별 탱크, 양액 제조장치, 센서 설치

- 2차 연구실 개선 사항
 - 유닛화로 시설비 절감 및 설치 기간 단축
 - 배관 간소화



- 개선 후
 - 1대의 유닛으로 구성 (탱크, 센서, 양액 제조장치 등)하여 일괄 제어
 - 재배 프레임 수량이 추가되면 양액 탱크 용량만 변경

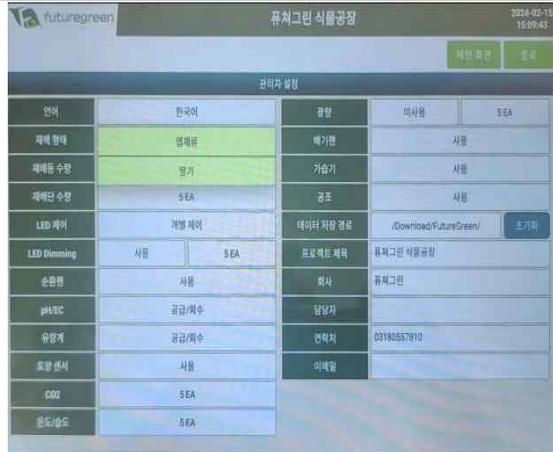
○ 안드로이드 기반 제어 프로그램

- 1차 연구실 문제점
 - PLC 기반으로 제작 기간 및 설치 기간 상승
 - 프로그램 수정 및 변경 시 일정기간 소요



- 개선 전
 - PLC 기반 PC Touch screen

- 2차 연구실 개선 사항
 - 태블릿 및 H/W 모듈 개발로 제작 불필요
 - 수정 및 변경 즉시 가능



- 개선 후
 - 태블릿 android app 제어

○ 배기팬

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 연구실 문제점 <ul style="list-style-type: none"> - 가습 후 제습 기능이 없어 재배실 내부 과습 상태 유지 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2차 연구실 개선사항 <ul style="list-style-type: none"> - 외부 배출용 배기팬 설치
<p>- 기능 없음</p>	
<p>개선 전</p> <ul style="list-style-type: none"> - 제습기 설치 	<p>개선 후</p> <ul style="list-style-type: none"> - 야간 가습 후 습도 제어 가능 - 이산화탄소 농도 상승 시 강제 배출 가능

○ 회수탱크

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 연구실 문제점 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2차 연구실 개선 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 회수탱크, 수위센서, 배수 펌프 설치
<p>- 기능 없음</p>	
<p>개선 전</p> <ul style="list-style-type: none"> - 별도의 케이스 보관 후 작업자 배출 	<p>개선 후</p> <ul style="list-style-type: none"> - 양액 공급 후 폐액 보관 및 수위에 따라 자동 배수

나. 모듈러 유닛 및 2차 구축 (제품화)

○ 재배모듈

1. LED

- 기존 연구실 대비 보다 정밀한 광량 제어를 위한 개선

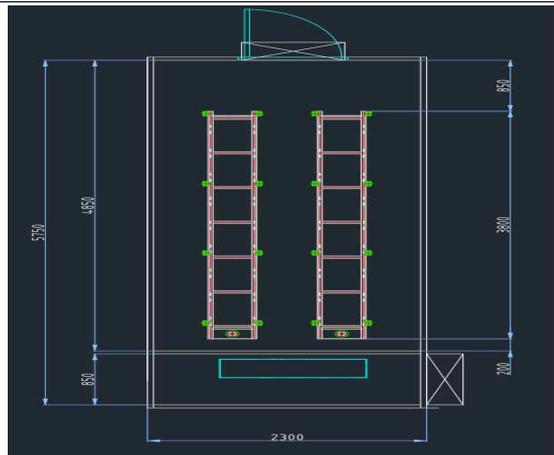
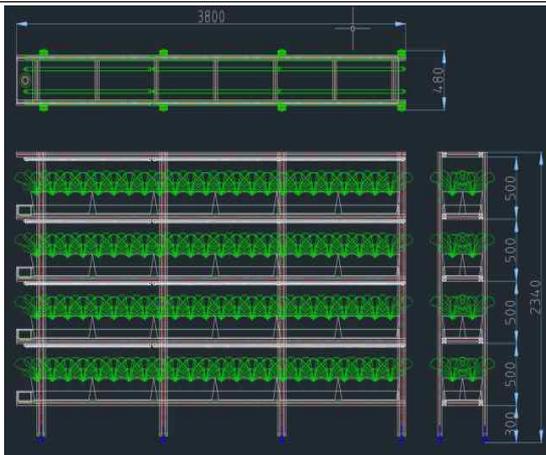


- LED 사양 : DC 48W (SMPS Type) 96 EA
1,200 * 30 * 30mm

- 개선사항
 - 안정적인 디지털 광량 제어 (0 ~ 100% 제어 가능)
 - 30분 단위 설정으로 일출/일몰 효과 제어 가능

2. 재배 프레임

- 컨테이너 내부 사이즈에 맞는 규격화 설계



- 재배프레임 규격 : AL6061 480 * 3,800 * (H)2,300mm
4단 2개동 (20ft 컨테이너 기준)

- 개선 사항
 - 컨테이너 내부에 맞는 규격화 설계
 - 컨테이너 크기 변경 시 확장 가능 (예, 40ft 설치 시 길이 방향 x3)

3. 재배 베드(수조)

- 재배 수량 증산 및 딸기 과습 방지



- 재배 베드 규격 : PVC 360 * 3,700 * (H)75mm
(재배 베드 기준 재배 면적 약 10.7㎡)
2차 연구실 (20ft 컨테이너) 기준 384株 재배 가능 (1차 연구실 대비 약 80% 증대)

▪ 개선 사항

- 오픈형 설계
- 원활한 배수 설계
- 초화박스 재배 방식 변경
- 재배 프레임 확장 시 연장 가능
- 40ft 설치 시 1,152株 재배 가능

4. 양액배관

- 재배방식 변경에 따른 유지관리 및 운영의 용이한 구조 변경 적용



- 양액배관 규격 : 압력보상형 점적 호스 외경 16mm / 점적 간격 150mm / 유량 2L/h

▪ 개선 사항

- 공급방식 변경
- 이물질로 인한 튜브 막힘 최소화

5. 냉방 공기 배관

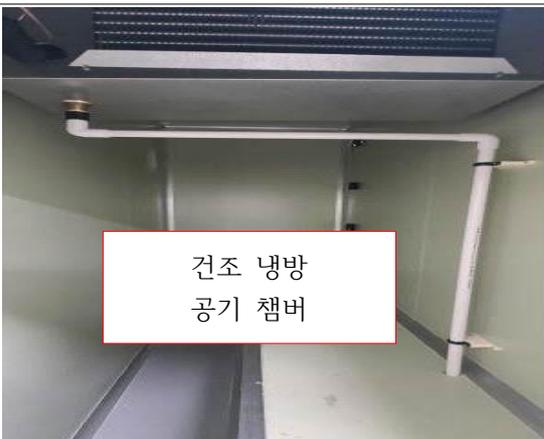
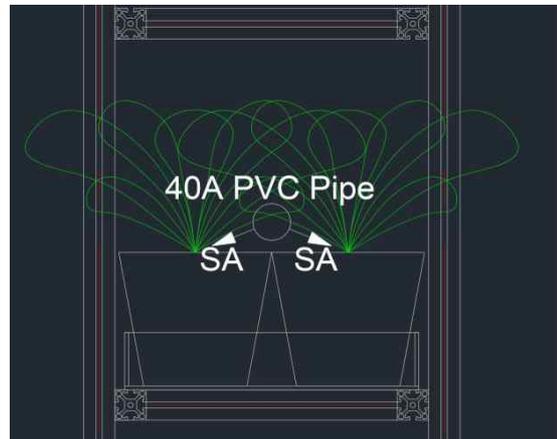
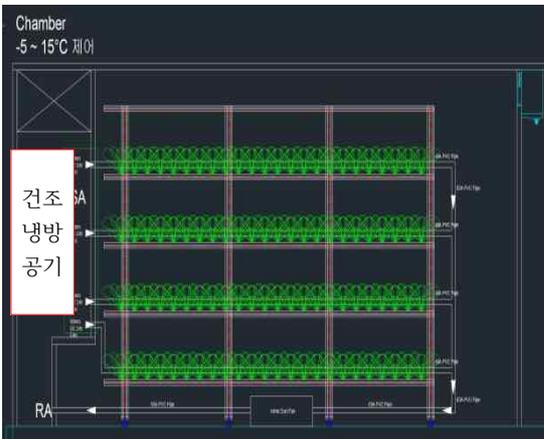
- 크라운 주변 냉방 공기 공급함으로써 꽃의 수분 유도 증대



- 양액배관 규격 : PVC 40A PIPE
- 개선사항
 - 크라운 주변 냉방 건조 공기 공급 가능

○ 국부냉방 시스템

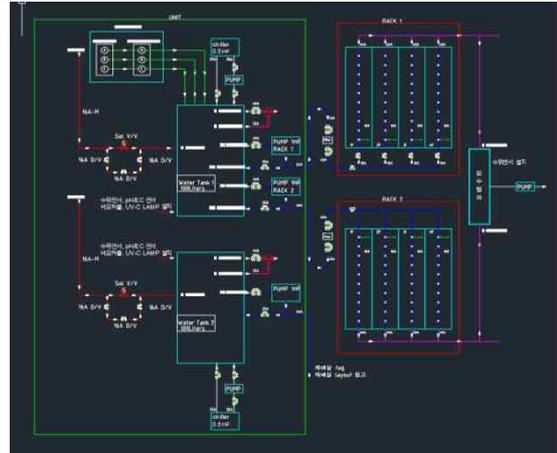
- 개약 이후 화분 비산 정도를 높여 꽃의 수분을 유도 가능



- 국부냉방 규격 :
 - 냉장 챔버 : 인버터 / 2HP 1EA
 - 공급용 FAN : DC 24V 80 * 80 *15mm 8 EA
 - 회수용 인라인 FAN : AC 220V 4" 2 EA
- 개선사항
 - 별도 냉방 공간에서 공급용 DC fan, 회수용 인라인 fan을 이용하여 크라운 주변 냉방 공기를 공급, 순환하는 구조
 - 크라운 주변 냉방공기 공급함으로써 개약 이후 화분 비산 정도를 높여 꽃의 수분 유도

○ 양액기

- 유닛화로 시설비 절감 및 구조 간소화



- 양액기 규격 :
 - 양액탱크 : PVC 100L
 - 가슴기 탱크 : PVC 50L
 - 펌프류 : AC 220V 1HP 3 EA
 - 냉각기 : 0.5HP 2 EA
 - 냉각기 순환펌프 : AC 220V 40W 2 EA
 - 정량 토출 펌프 : DC 24V 3 EA
 - UV LAMP : UV-C 17W 2 EA
 - 수위 센서 : 5HOLE 2 EA
 - SOL V/V : DC 24V 10kgf/cm² 2 EA
 - pH/EC 센서 : PE-300 1SET
- 개선사항
 - 양액기 유닛화로 공간 활용 증가
 - 배관 간소화로 유지관리 용이
 - 일괄 제어 가능

○ 인공수분 환경제어시스템

- 균일한 진동 전달을 위한 진동모터 추가 설치



- 인공수분 환경제어시스템 규격 :
 - 진동모터 : DC 24V 진동전용 48 EA
 - 진동배관 : PVC 16A
- 개선사항
 - 재배 프레임 3구역으로 분류 후 진동모터 설치
 - 세기 및 진동 전달 균일도 상승

○ 배기팬

- 재배실 내부 습도 관리 필요



- 배기팬 규격 : AC 220V 400 * 400mm 2EA

- 개선사항

- 외부 배출용으로 야간 가습 및 CO₂ 허용 농도 상승 시 강제 배출
- 외부 병해충 유입 방지 커버 제작

○ 회수탱크

- 폐액 자동 배수용 탱크 제작



- 회수탱크 규격

- 회수용 펌프 : AC 220V 40W 1 EA
- 수위센서 : 5 HOLE 1 EA
- 회수탱크 : PVC 200L

- 개선사항

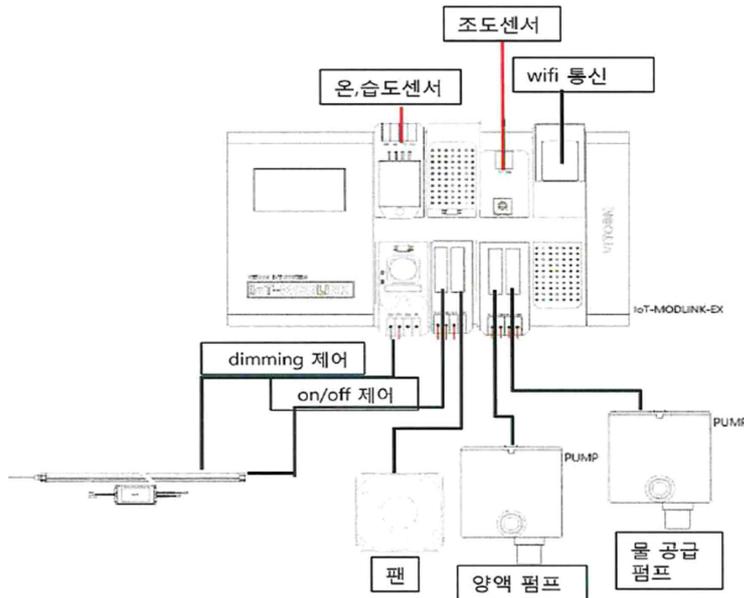
- 양액 공급 후 폐액 보관
- 수위 제어로 자동 배수

(2) 안드로이드 기반 식물공장 복합 운영 시스템 개발

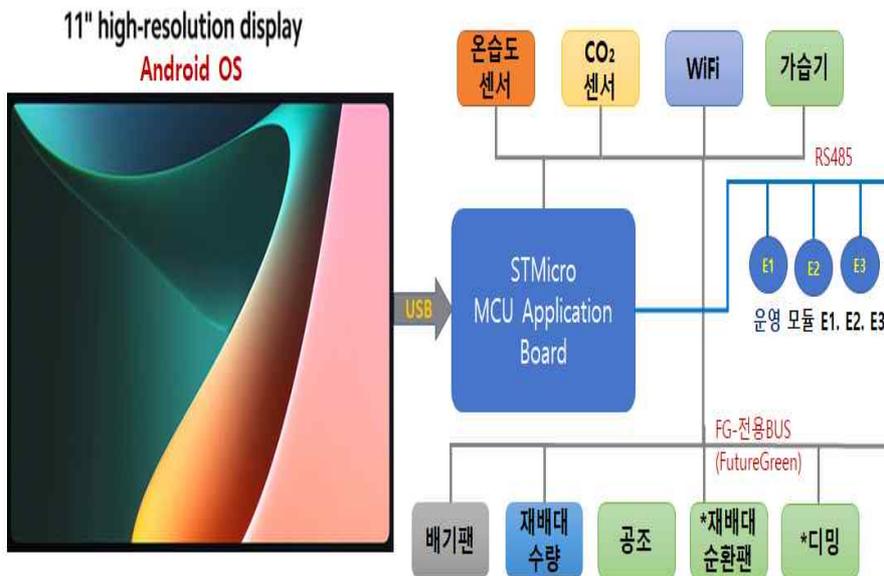
- 목적 : 식물공장 내에서 다양한 센서와 환경제어를 보다 편리하고 효율적인 관리를 위해 개발
- 필요성 : PLC 자동 제어 프로그램을 안드로이드 기반 프로그램으로 전환함으로써 제작 비용과 기간을 단축하고, 향후 유지보수 용이. 또한 모바일 기기를 활용하여 언제 어디서나 시스템을 제어할 수 있는 편의성

가) 시나리오 및 설계

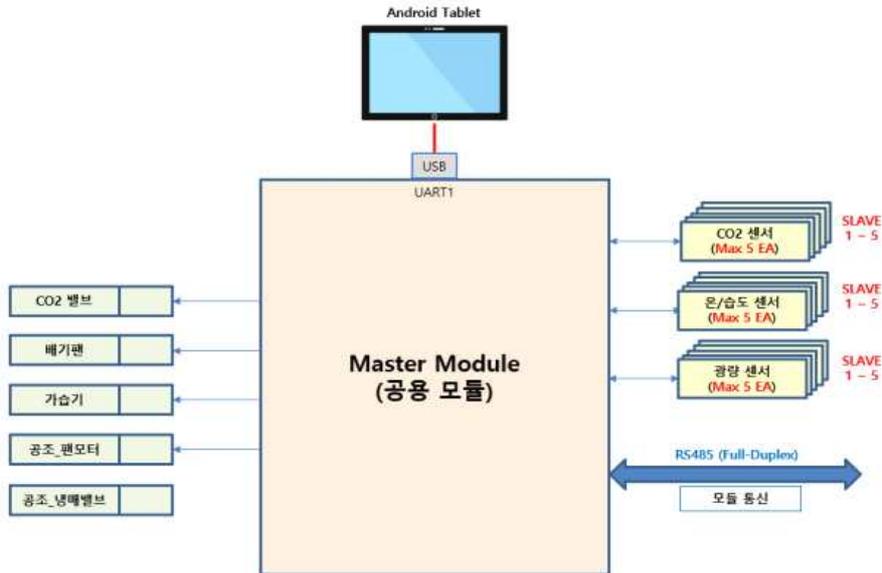
- H/W 시나리오 및 설계



[제어모듈 H/W 기획]

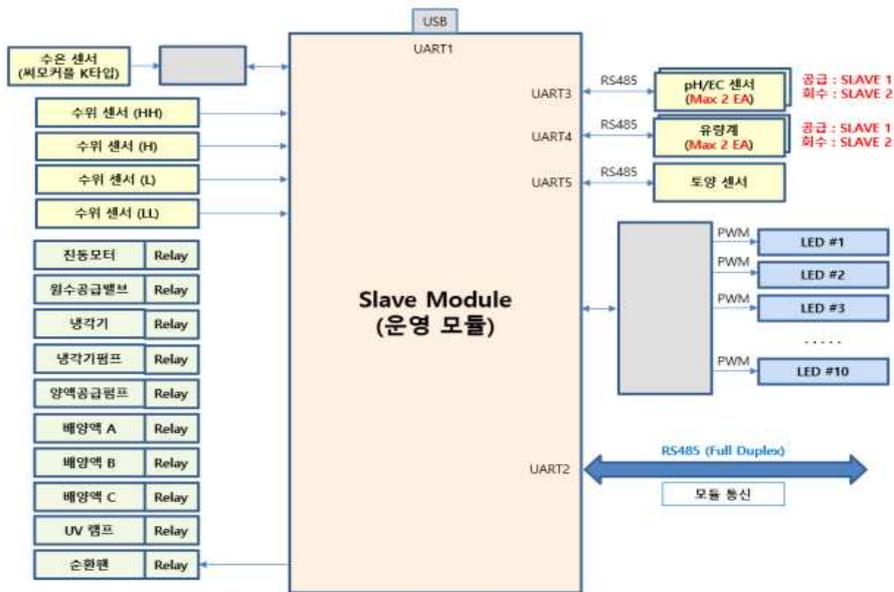


H/W 상세 개략도]



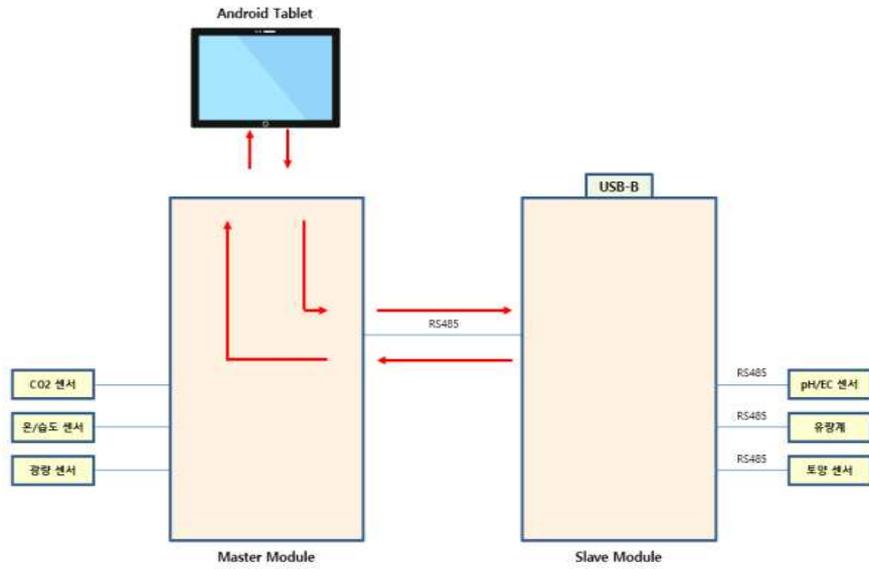
[공용모듈 구조도]

※ 공용모듈은 태블릿, 운영모듈 간 제어 출력 및 재배실 환경 장치 등 RS485 통신을 이용하여 센서 및 장치, 운영모듈의 제어 출력을 전달받아 태블릿과 연동하는 역할



[운영모듈 구조도]

※ 운영모듈은 (재배대 또는 재배동)을 의미하며, 재배대 1개동의 운영의 필요한 프로세스를 제어하는 장치



[Master & Slave 모듈 통신 구조도]

※ RS 485 통신을 이용하여 master 모듈은 재배실의 이산화탄소, 온/습도, 광량 상태를 slave 모듈은 각 재배대에 필요한 pH/EC, 유량, 토양의 정보 등 수집하여 태블릿으로 송출



[S/W 시나리오]

※ 운영방법, 시나리오 등 구상

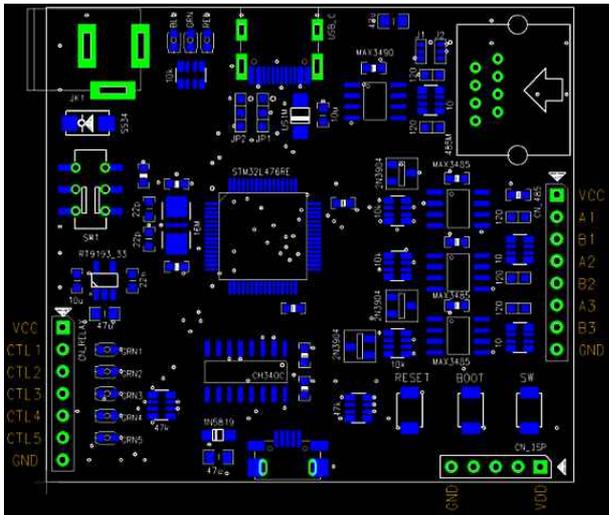
futuregreen		프로젝트 제목			2023 / 08 / 01 14 : 00 : 00					
통신 연결 상태	ALARM LIST	RESET	재배구역	MAIN	EXIT					
2층 재배대 진동모터 설정 화면 (재배구역 변경 시 재배대 번호 변경)										
시간	사용/미사용	동작시간(초)	대기시간(초)	사용횟수	시간	사용/미사용	동작시간(초)	대기시간(초)	사용횟수	
00	사용	000	000	0	12	사용	000	000	0	LED
01	미사용	000	000	0	13	미사용	000	000	0	UV
02	사용	000	000	0	14	사용	000	000	0	pH / EC 수온관리
03	미사용	000	000	0	15	미사용	000	000	0	진동모터
04	사용	000	000	0	16	사용	000	000	0	양액 공급
05	미사용	000	000	0	17	미사용	000	000	0	재배대 배기 FAN
06	사용	000	000	0	18	사용	000	000	0	온도 / 습도
07	미사용	000	000	0	19	미사용	000	000	0	CO ₂
08	사용	000	000	0	20	사용	000	000	0	조작
09	미사용	000	000	0	21	미사용	000	000	0	
10	사용	000	000	0	22	사용	000	000	0	
11	미사용	000	000	0	23	미사용	000	000	0	

[S/W 시나리오]

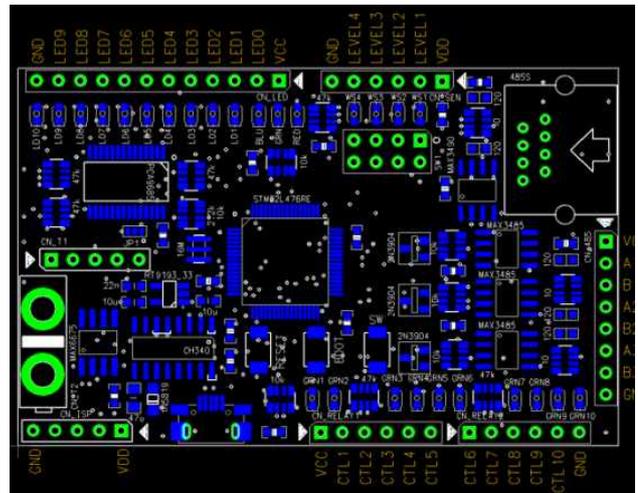
※ 제어 항목 별 제작용 UI 작성

나) 시제품 제작

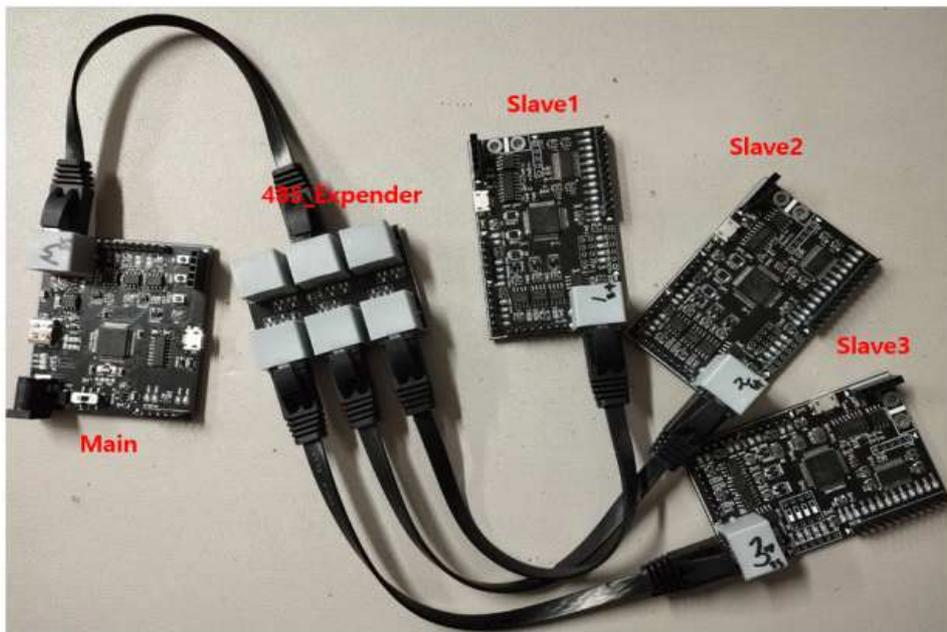
○ H/W 시제품



[Master Artwork]



[Slaver Artwork]



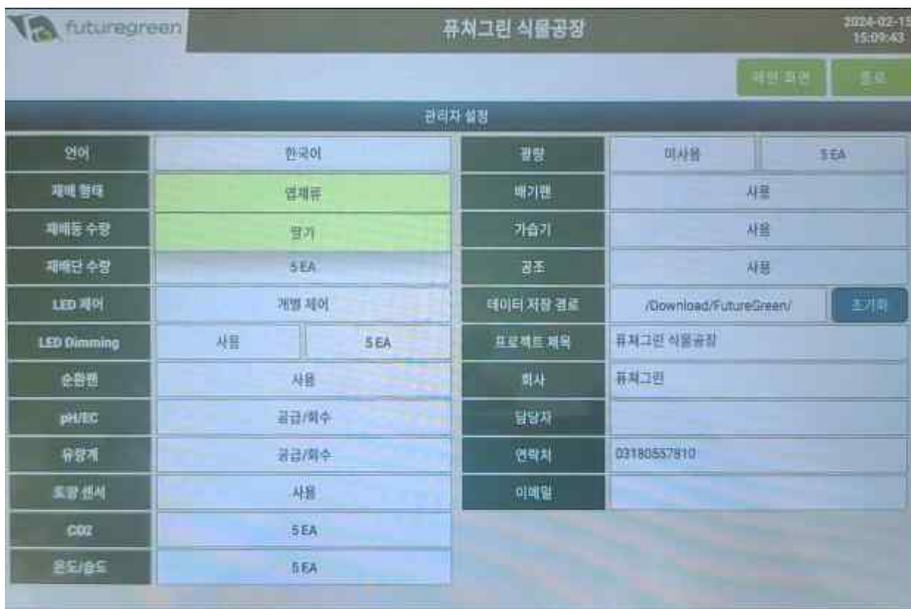
[H/W 시제품 및 구성 예시]

- ※ Slave Module은 RS 485 통신을 활용하여 최대 15 EA 설치 가능
- ※ Main Module, Slave Module, 485 통신 Module 3가지 형태로 구성
- ※ Specification : STM32L CPU, MAX3890E IC, RS485 Full Duplex, 486 Expander 등

○ S/W 시제품



[관리자 설정 로그인 화면]



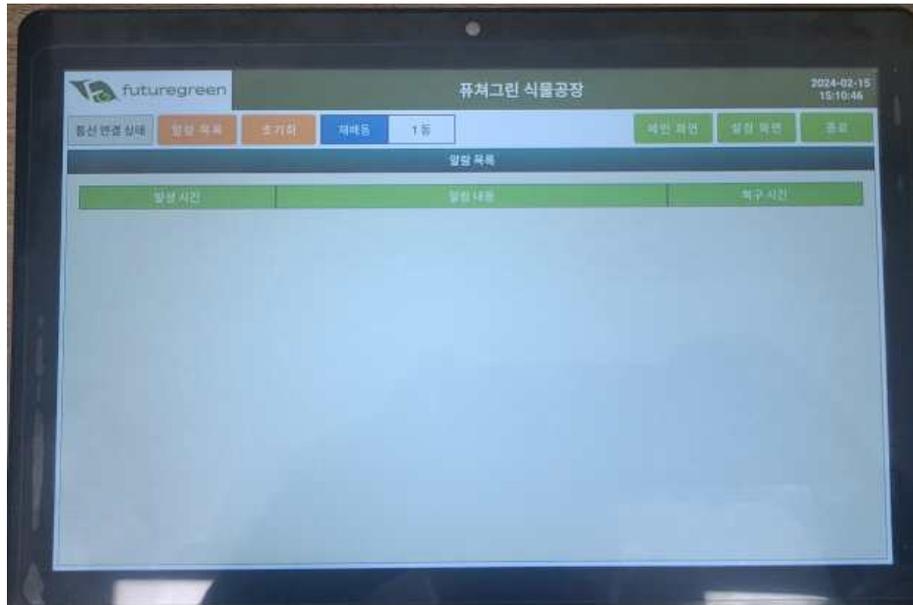
[세부 설정 화면]

※ 세부 설정에서 재배형태, 재배면적, 센서 수량, 회사 정보 등 수정이 가능하며, 추후 시스템 변경 시 환경 설정만 통하여 재배 환경 수정 가능



[메인 화면]

※ 각 종 시스템 작동 유/무 상태 확인 가능



[알람 리스트 화면]

※ 각 항목 별 상, 하한 설정값에 연동하여 자동 알람 및 정지 (알람 발생 시 해당 부분 작동 정지)

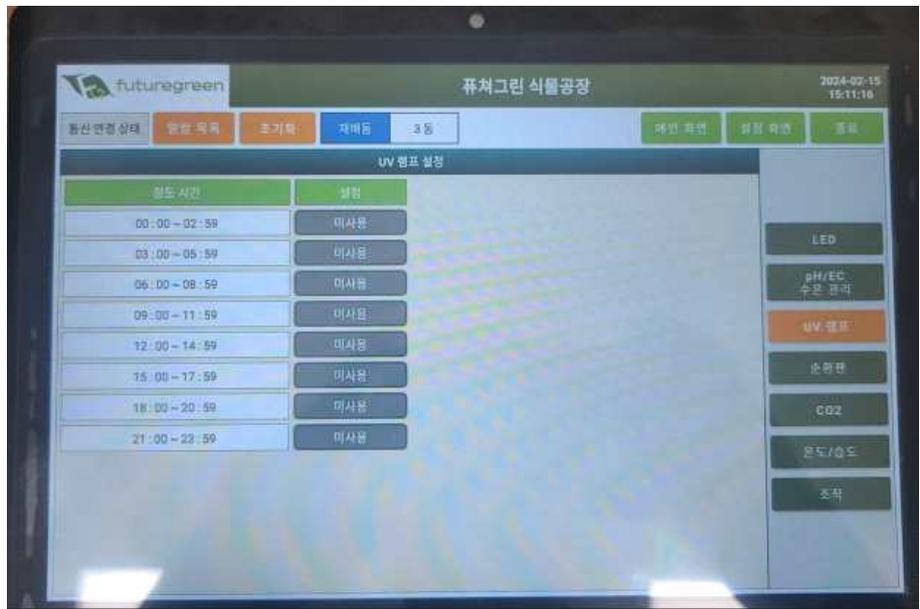


[LED 설정 화면]

※ 재배동, 단 별 및 30분 단위, ON/OFF, 광량 세기 등 설정 가능



[양액 제조 및 수온, 관수량 화면]



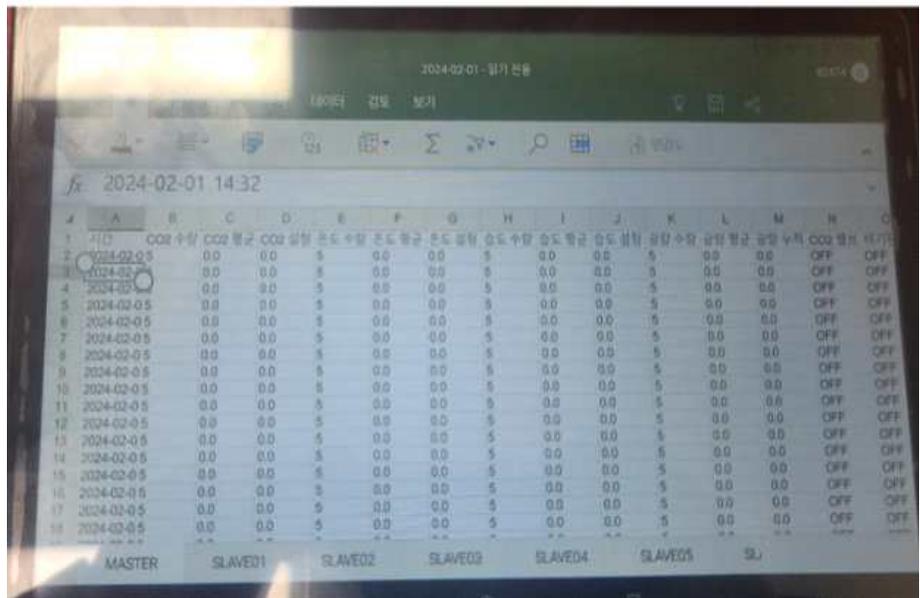
[UV LAMP 설정 화면]



[재배대 순환팬 화면]

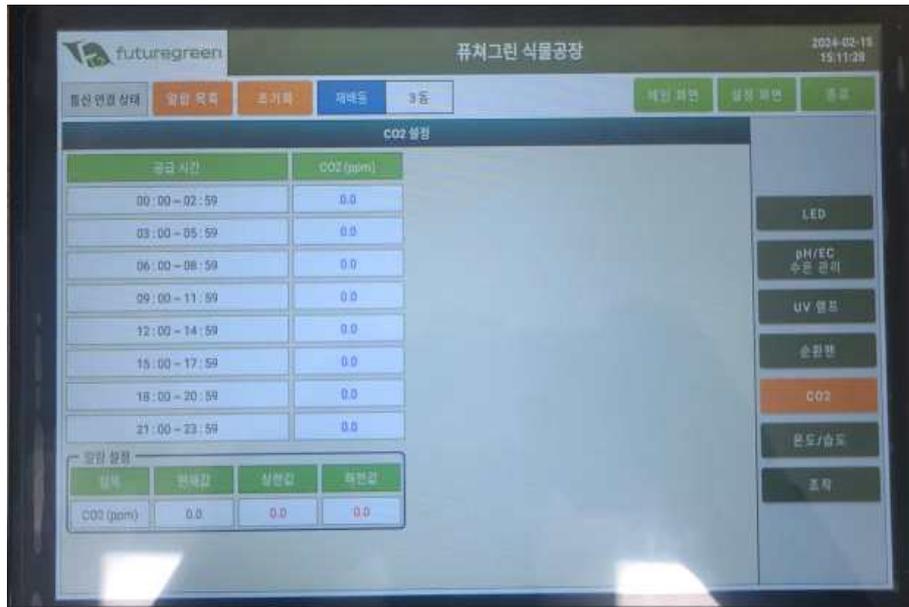


[Part 별 조작 화면]



[환경데이터 저장 파일]

※ 2분 단위 자동 저장 기능



[재배실 CO₂ 설정 화면]



[온/습도 설정 화면]

※ 시간 대 별 변온, 변습 제어 가능하며, 온/습도 센서에 배기팬 연동 자동 제어

다) 향후 계획

- 2호기 식물공장에 개발한 복합 운영 제어 시스템을 설치하고 전기장치류와 연결하여 각종 센서들과 하드웨어 통신 점검과 소프트웨어의 제어 시나리오에 대한 시운전을 통해 점검 예정임.
- 점검 및 시운전 완료 시 다양한 품종의 딸기 재배를 공동연구기관과 계속 연구활동 진행 계획임.
- 향후 식물공장 데이터 관리를 위한 서버 구축 및 모바일용 애플리케이션 개발 시 보안 대책 강구 예정임.
- 하드웨어 시스템의 사업화 위해 향후 KC 인증을 취득할 계획임.

(3) 성과요약 및 시스템, 성능 비교

항목	기존 시스템 (타사 식물공장)	기존 시스템 (당사, 본 과제 이전)	개발 시스템 (본 과제 성과)
수분 방식	<ul style="list-style-type: none"> 수정별(총매) 인력에 의한 국부적인 인공수분(필요 시) 	<ul style="list-style-type: none"> 무총매, 인공수분(바람) 광범위 인공수분 방식 	<ul style="list-style-type: none"> 무총매, 인공수분(진동 및 바람) 광범위 인공수분 방식
수분율	<ul style="list-style-type: none"> 85% 전후(총매) 	<ul style="list-style-type: none"> 30% 이하(인공수분) 	<ul style="list-style-type: none"> 53%(현재 단계, 개선 중)
제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> PLC 기반 제어 자체 제어 모듈 	<ul style="list-style-type: none"> PLC 기반 제어 	<ul style="list-style-type: none"> 안드로이드 기반 APP 제어 시스템 구축 기간 단축 수정/변경 즉시 가능
모듈러 유닛	<ul style="list-style-type: none"> 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 1M 단위 12株 재배 모듈 (박스형태) 	<ul style="list-style-type: none"> 확장성을 고려한 제작형 모듈 → 추후 추가 시 확장 용이한 구조
공간활용성	<ul style="list-style-type: none"> (정보없음) 	<ul style="list-style-type: none"> 40ft 기준 1,000株 	<ul style="list-style-type: none"> 1호기 216株 2호기 384株 (1호기 대비 80% 증대) → 40ft 재배 시 1,152株
재배대방식	<ul style="list-style-type: none"> 수평 적층, 수직형 	<ul style="list-style-type: none"> 수직형 다단 구조 	<ul style="list-style-type: none"> 수직형 다단 구조
국부냉방 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 재배대 내부 온/습도 균일 및 크라운 온/습도 제어
LED	<ul style="list-style-type: none"> 적색, 청색, 백색 등 LED 조합 	<ul style="list-style-type: none"> 식물생장전용 백색LED AC 28W 108EA 	<ul style="list-style-type: none"> 식물생장전용 백색LED DC 48W 96EA
재배프레임	<ul style="list-style-type: none"> 분체도장, 프로파일 재배대 	<ul style="list-style-type: none"> 440 * 2,800 * 1,980mm 3단 3동 알루미늄 프로파일 	<ul style="list-style-type: none"> 480 * 3,800 * 2,300mm 4단 2동 (재배면적 30% 증가) 알루미늄 프로파일
재배베드	<ul style="list-style-type: none"> 스티로폼 베드(사이즈 특정 불가) 	<ul style="list-style-type: none"> 300 * 1,200 * (H)140mm 	<ul style="list-style-type: none"> 360 * 3,700 * (H)75mm (재배수량 80% 증가)
양액 배관	<ul style="list-style-type: none"> 농업용 PE배관 등 	<ul style="list-style-type: none"> Dripper방식 (유지관리 어려움) 	<ul style="list-style-type: none"> 맞춤형 PE배관 (유지관리 용이)
양액기	<ul style="list-style-type: none"> 일괄제어 	<ul style="list-style-type: none"> 개별 공급 및 제어 	<ul style="list-style-type: none"> 유닛화 적용 및 배관 간소화 유지관리 용이
배기팬	<ul style="list-style-type: none"> 배출용 	<ul style="list-style-type: none"> 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 재배실 내부 습도 제어 가능 이산화탄소 과농도 시 강제 배출 가능
회수탱크	<ul style="list-style-type: none"> 순환 또는 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 자동 배수 시스템 유지관리 용이
온/습도 편차	<ul style="list-style-type: none"> ±2℃ ±10% (밀폐형일 경우 예상) 	<ul style="list-style-type: none"> ±2℃ ±10% 	<ul style="list-style-type: none"> ±2℃ ±5%
관수균일	<ul style="list-style-type: none"> 5%(예상) 	<ul style="list-style-type: none"> 5% 	<ul style="list-style-type: none"> 5%
PPFD	<ul style="list-style-type: none"> LED 단독 사용 시 : 200-250μmol/m²s 	<ul style="list-style-type: none"> 300μmol/m²s 	<ul style="list-style-type: none"> 500μmol/m²s (65% 증가)

(4) 경제성 분석, 사업화 진출 계획

가) 성과물의 제공가치 및 경제성(수익율)



9%: 현재 실험실의 연중재배 달성
26%: 우수농가 수준 생산력 달성

○ 수익률 산출근거 및 상세

- 규모 : 70평, 4단
- 투자비 : 245 백만원
- 판가 : 성수기(1~5월) kg 당 10,000원(하한)~15,000원(상한) 평균치 - KAMIS 정보 참조
 비수기(6~12월) kg 당 15,000원(하한)~25,000원(상한) 평균치 - 추정치

항목	일반농가	우수농가(평균)	당사 실험실	사업화 1단계	사업화 2단계	사업화 3단계
수확기간(개월)	4.5	4.5	연중	연중	연중	연중
모종수(주/평,단)	30.1	30.1	22.6	24.9	27.2	27.2
수확량(kg/주,년)	0.43	0.54	0.6	1.0	1.0	1.35
생산량(kg-년)	907	1,139	3,802	6,970	7,603	10,288
매출액(천원)	11,332	14,231	64,152	117,612	146,044	197,620
제조 및 판관비	6,368	-	67,474	83,041	83,333	83,333
영업이익(천원)	4,963	-	-3,322	34,570	62,713	114,290
영업이익율(%)	43.8	-	-5	29	43	58

- 용어설명

- 일반농가 : 딸기 시설재배 전국 평균
- 우수농가(평균) : 딸기 시설재배 전국 우수농가 평균치
- 당사 실험실 : 본 과제의 시제품을 단순히 70평으로 늘렸을 경우
- 사업화 1단계 : 일반 농가의 수확량을 연중 재배 기술 개선을 통해 연중 수확을 실현하는 경우
- 사업화 2단계 : 사업화 1단계에서 단위 면적당 모종 수를 10% 증가하는 경우
- 사업화 3단계 : 우수 농가의 수확량을 연중 재배 기술 개선을 통해 연중 수확을 실현하는 경우
- 영업이익 : 식물공장의 설비감가상각 제외, 농가 통계청 소득분석표 참조하여 추정

[공동 서울대학교] 1단계(1년 차)

(1) 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정

가. 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 품종 스크리닝

- 딸기의 품종별 개화 특성 분류 및 화기 구조 확인
 - 품종별 개화 특성 분류
 - 품종별 암술과 수술의 구조 확인 및 특성 비교

나. 품종 선정에 따른 식물공장 내 재배환경 설정

- 딸기의 화아분화 유도를 위한 환경 제시
 - 화아분화 유도를 위한 식물공장 내 재배 환경 구명
 - 정상적 개화 유도를 위한 영양생장 및 생식생장 시기의 최적 환경 조절

(시험 1) 딸기 품종별 개화 특성 분석

가. 시험 목적: 식물공장 딸기 연중 생산 가능성 확인을 위한 온실과 식물공장 재배에 따른 딸기 품종별 개화 특성 비교.

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: ‘킹스베리’, ‘매향’, ‘설향’ 정식묘(정식일: 2021년 9월 16일)
- 시험 장소: 서울대학교 수원 농장 유리온실, 딸기 재배전용 식물공장(Fig. 1)
 - 식물공장 재배환경
 - 광원: 백색 LED(warm white:cool white=5:2)(Fig. 2)
 - 일장: 11/13h(주/야간)
 - 광도: $214\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
 - 온도: 25/14°C(주/야간)
 - 상대습도: 84/88%(주/야간)
 - CO₂ 농도: 800 μmol



Fig. 1 A greenhouse (A) and a plant factory (B) for strawberry cultivation.

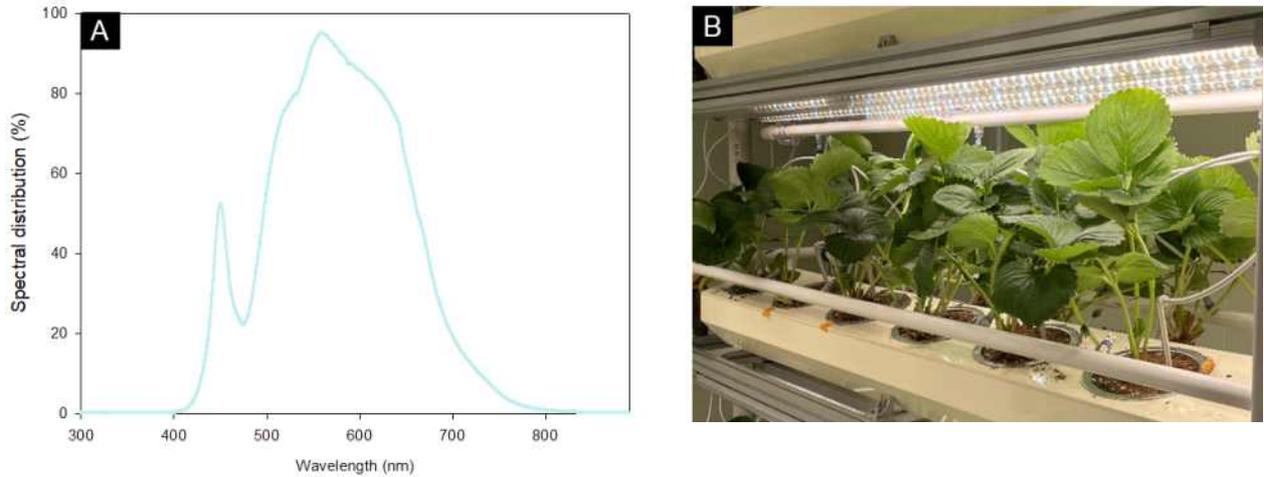


Fig. 2 Spectral distribution of white LEDs (A) used in the plant factory (B) for strawberry cultivation.

○ 화기 발달 단계 조사 방법

- 화방 당 꽃 개수를 10개로 조절함.
- 각 화방별 10개의 꽃은 개화 특성에 따라 2번화가 2개일 때 1번화(primary) 1개, 2번화(secondary) 2개, 3번화(tertiary) 4개, 4번화(quaternary) 3개 또는 2번화가 3개일 때 1번화 1개, 2번화 3개, 3번화 6개 꽃을 남기고 적화하였음.
- 개화한 꽃(Fig. 3A)과 수술이 노화된 꽃(Fig. 3B)을 관찰 후 날짜를 기록하였음.

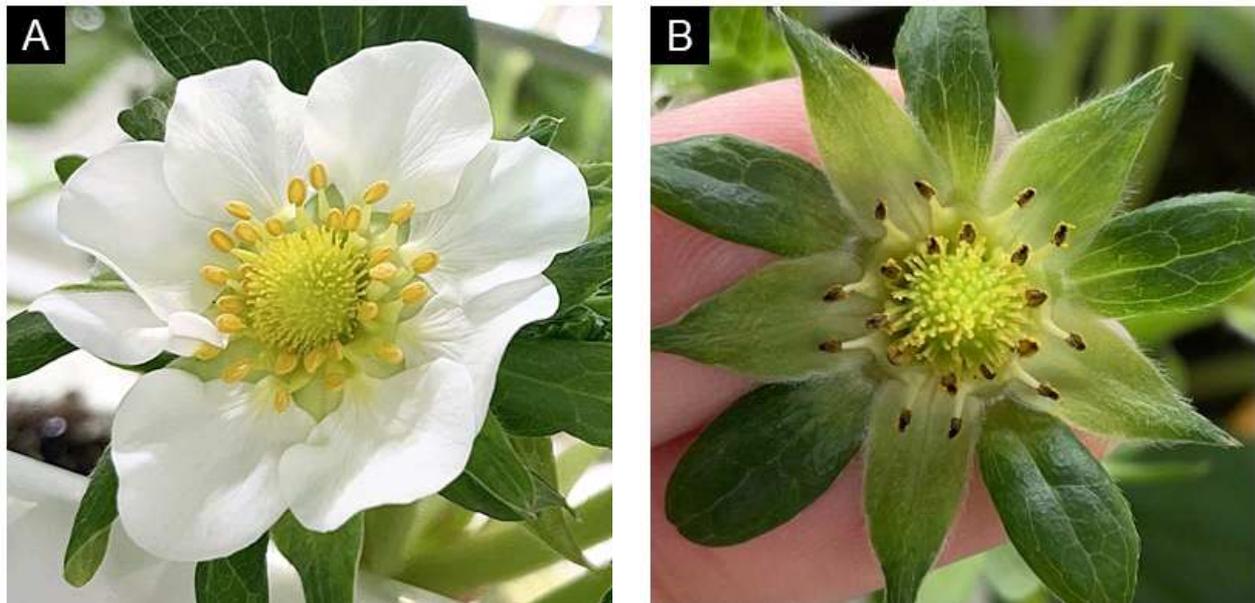


Fig. 3 Flower anthesis (A) and senescence of stamen (B).

○ 측정 항목:

- 온실과 식물공장에서 재배한 딸기의 제1화방 1번화 개화일.
- 개화(Fig. 3A)부터 수술 노화(Fig. 3B)까지의 일수
- 제1화방 1번화 개화부터 10번째 꽃 개화까지의 일수

다. 시험 결과

- 9월에서 12월까지 온실의 기온과 상대습도는 서서히 낮아졌으며, 식물공장의 경우 기온은 주간 25도와 야간 15도 내외, 상대습도는 주간 84%와 야간 88% 내외로 유지되었음(Fig. 4).

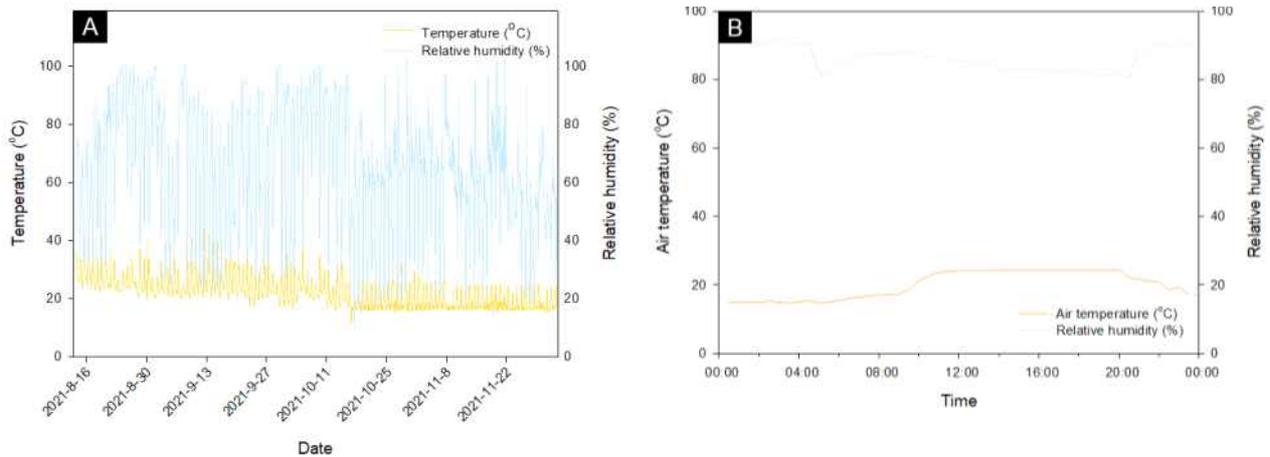


Fig. 4 Air temperature and relative humidity measured in the greenhouse (A) and diurnal air temperature and relative humidity measured in the plant factory (B) for strawberry cultivation.

- 시험된 세 품종에서 식물공장이 온실보다 제1화방 1번화 개화까지 걸리는 기간이 짧았고, ‘매향’, ‘설향’ 품종이 ‘킹스베리’ 품종보다 재배 환경 차이에 따른 개화 일수 차이가 유의적으로 컸음 (Fig. 5).
- ‘킹스베리’, ‘매향’, ‘설향’ 품종 모두에서 1번화 개화가 온실보다 식물공장에서 더 빨랐던 것은 재배 기간 동안 온도, 습도, 광도, CO₂ 농도 등 환경 조건이 정밀하게 조절되는 식물공장에서 딸기 식물체의 개화가 촉진되었기 때문인 것으로 사료됨.

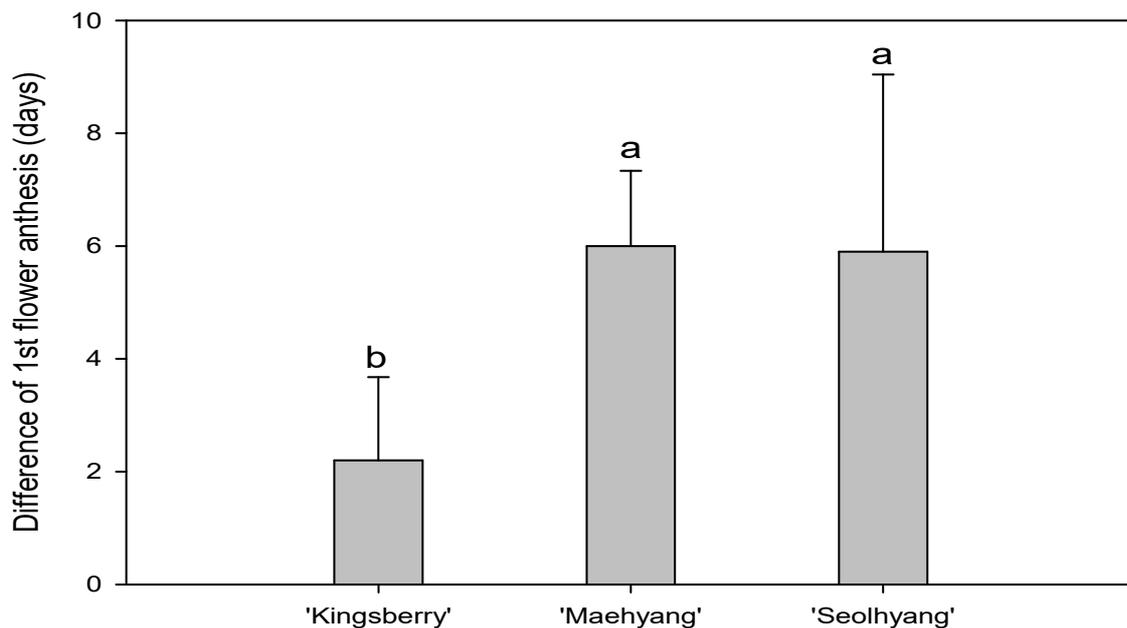


Fig. 5 Difference of the 1st flower anthesis of strawberry grown in the greenhouse and plant factory.

- 온실과 식물공장에서 1화방 1번화 개화부터 화방 내 10개 꽃 개화까지의 소요 일수는 시험한 세 품종에서 식물공장이 온실에서보다 짧았고, ‘설향’ 품종에서 재배 공간에 따른 차이가 가장 컸음 (Fig. 6).
- 식물공장에서 모든 품종의 일수가 단축된 것은, 생육에 적합한 환경 조성을 통해 개화 기간을 단축할 수 있음을 의미함.

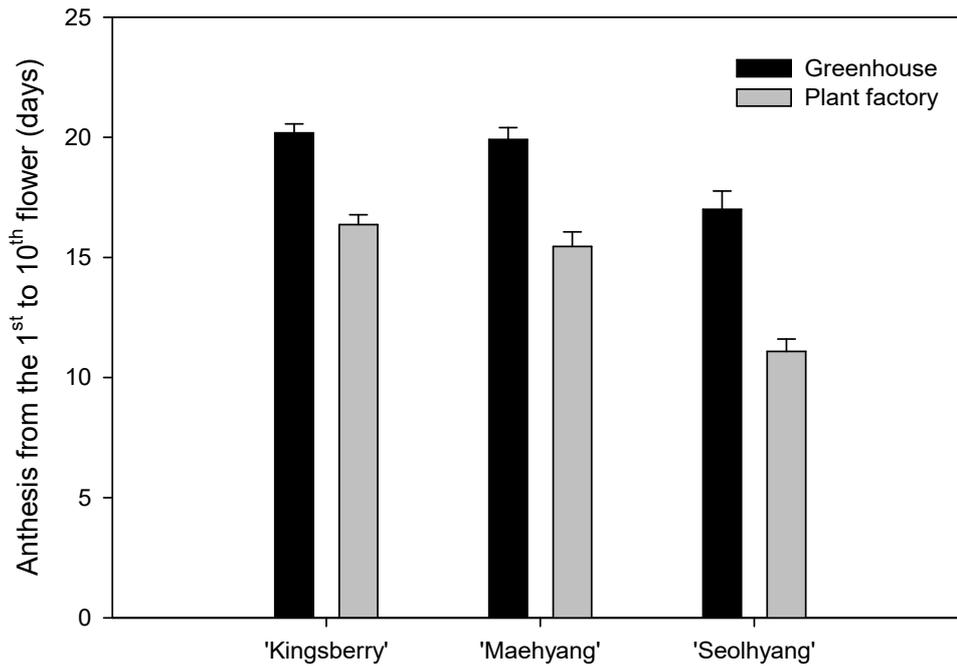


Fig. 6 Days from the antheses of the 1st flower to 10th flower of ‘Kingsberry’, ‘Maehyang’, and ‘Seolhyang’ strawberry.

- 개화부터 수술 노화까지 소요된 일수는 재배 시스템(온실 혹은 식물공장), 품종 및 화서에 관계 없이 같았으며, 이 특징은 식물공장 재배에서 수분·수정 스케줄링에 주요하게 활용될 수 있을 것임(Table 1).

Table 1 Days from anthesis to anther senescence of strawberry cultivated in the greenhouse and plant factory.

Cultivar	Inflorescence	Cultivation system	
		Greenhouse	Plant factory
'Kingsberry'	Primary	3.82 ± 0.24	3.31 ± 0.35
	Secondary	3.55 ± 0.24	4.14 ± 0.38
	Tertiary	3.82 ± 0.22	5.19 ± 0.25
	Quaternary	3.01 ± 0.21	4.93 ± 0.34
'Maehyang'	Primary	5.29 ± 0.21	5.30 ± 0.31
	Secondary	4.69 ± 0.22	4.36 ± 0.20
	Tertiary	4.97 ± 0.16	4.59 ± 0.23
	Quaternary	4.80 ± 0.37	3.83 ± 0.48
'Seolhyang'	Primary	5.44 ± 0.28	5.60 ± 0.60
	Secondary	4.68 ± 0.23	4.00 ± 0.71
	Tertiary	3.32 ± 0.27	3.15 ± 0.33
	Quaternary	4.29 ± 0.21	4.38 ± 0.26

라. 결과 고찰

- 식물공장은 온실과 달리 딸기 재배기간 동안 최적화된 환경을 조성해 줄 수 있어 제1화방 1번화 개화 뿐 아니라 이후에 개화하는 꽃(10개 꽃까지)의 개화 소요 일수를 단축시켰음.
- 현재 제2화방 출현이 확인되었고 추가 시험 진행 중임.
- '설향' 품종이 '킹스베리'와 '매향' 품종에 비해 개화 속도가 빨랐음.
- 식물공장에서 '매향'과 '설향' 품종이 '킹스베리' 품종보다 개화 촉진 효과가 더 컸고, 설향' 품종은 식물공장에서 10개 꽃까지 개화하는데 소요된 기간이 다른 두 품종보다 유의적으로 짧았음.
- 개화부터 수술 노화와 약 열개부가 완전히 개방되어 대부분의 화분이 방출될 때까지 기간은 재배 시스템(온실 혹은 식물공장), 품종과 화서에 따른 유의적인 차이가 없었음.
- 식물공장에서의 적절한 환경조절을 통해 우리나라 품종의 딸기의 개화를 빠르고 안정적으로 유도할 수 있음을 확인하였으며, 이는 식물공장에서의 성공적인 딸기 연중생산 체계 구축에 가장 중요한 요소 중 하나를 확인한 것임.

(시험 2) 딸기 품종별 꽃대의 형태 및 패턴 변화 분석

가. 시험 목적: 식물공장 내 새로운 수분 시스템 도입을 위한 딸기 생육에 따른 품종별 꽃대의 형태 및 패턴 변화 분석.

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: '킹스베리', '매향', '설향'
- 재배 장소: 서울대학교 수원 농장 유리온실
- 꽃 발달 단계 조사 방법:
 - 시험 1과 동일하게 화방 당 꽃 개수를 10개로 조절함.
 - 발달 단계:
 - Stage BF (before flowering): 개화 2일 전
 - Stage A: 1번 화가 완전히 개화 했을 때부터 1번 화 꽃잎이 탈락되었을 때 까지(Fig. 7A, B, C)
 - Stage B: 수분이 완료된 꽃 개수가 1개에서 2개(Fig. 7D)
 - Stage C: 수분이 완료된 꽃 개수가 3개에서 4개
 - Stage D: 수분이 완료된 꽃 개수가 5개에서 6개
 - Stage E: 수분이 완료된 꽃 개수가 7개에서 9개
 - Stage F: 수분이 완료된 꽃 개수가 10개



Fig. 7 Anthesis (A), anther dehiscence (B), fallen petals (C), senescence of stamen (D).

○ 측정 항목

- 상토 표면으로부터 수직면 기준 화방의 꽃대가 위치하는 각도(Fig. 8A).

- 관부에서 화방의 1번화가 개화하는 지점까지 꽃자루(peduncle)길이(①), 2번 화에서 3번 화로 발달하는 분지까지 길이(②)(Fig. 8B).

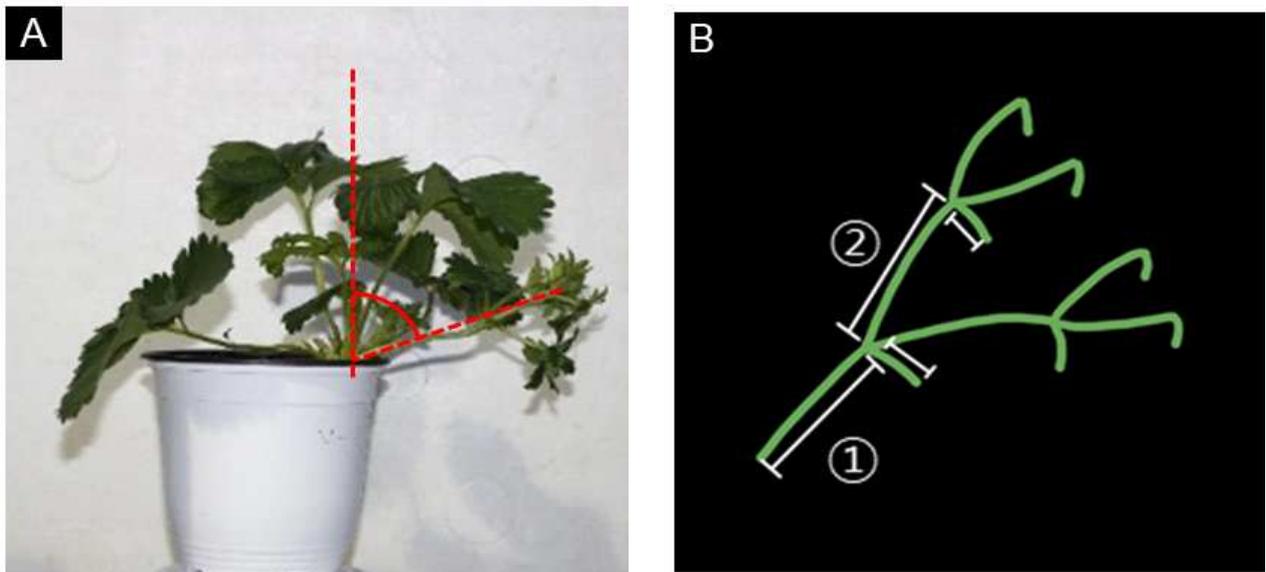


Fig. 8 Measurement of peduncle angle (A) and floral peduncle lengths (B) of strawberry.

다. 시험 결과

- ‘킹스베리’, ‘매향’, ‘설향’ 품종의 꽃대 기울기는 발달 단계에 따라 증가하였으며, 과실 수확기에는 수평에 가까운 모습을 보임(Fig. 9).
- 화방 발달 단계 stage F에서 ‘킹스베리’ 꽃대 각도가 가장 컸고 ‘매향’이 가장 작았으며 stage F를 제외한 모든 단계에서 ‘설향’이 가장 컸음(Fig.10).
- 화방 발달 단계에 따른 ‘킹스베리’, ‘매향’, ‘설향’ 품종의 꽃대 각도 변화는 ‘킹스베리’가 가장 컸고, ‘매향’이 가장 완만했음(Fig.10).
- 발달 단계에 따라 꽃대 각도가 증가하는 것은 꽃과 과실의 수 증가 및 과실 비대에 따른 꽃대 무게 증가가 그 원인으로 보임.

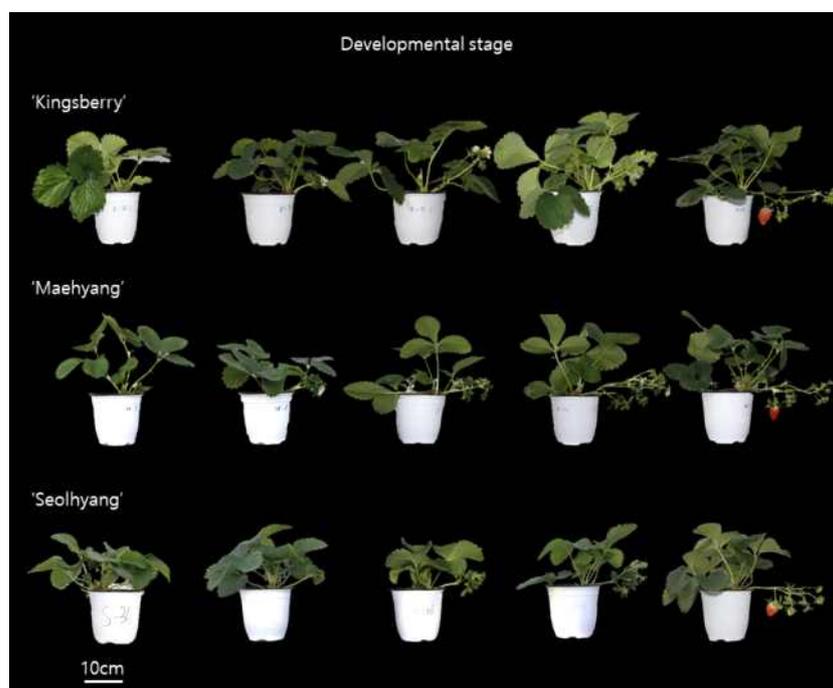


Fig. 9 Changes in peduncle shapes at different developmental stages of ‘Kingsberry’, ‘Maehyang’, and ‘Seolhyang’ strawberries.

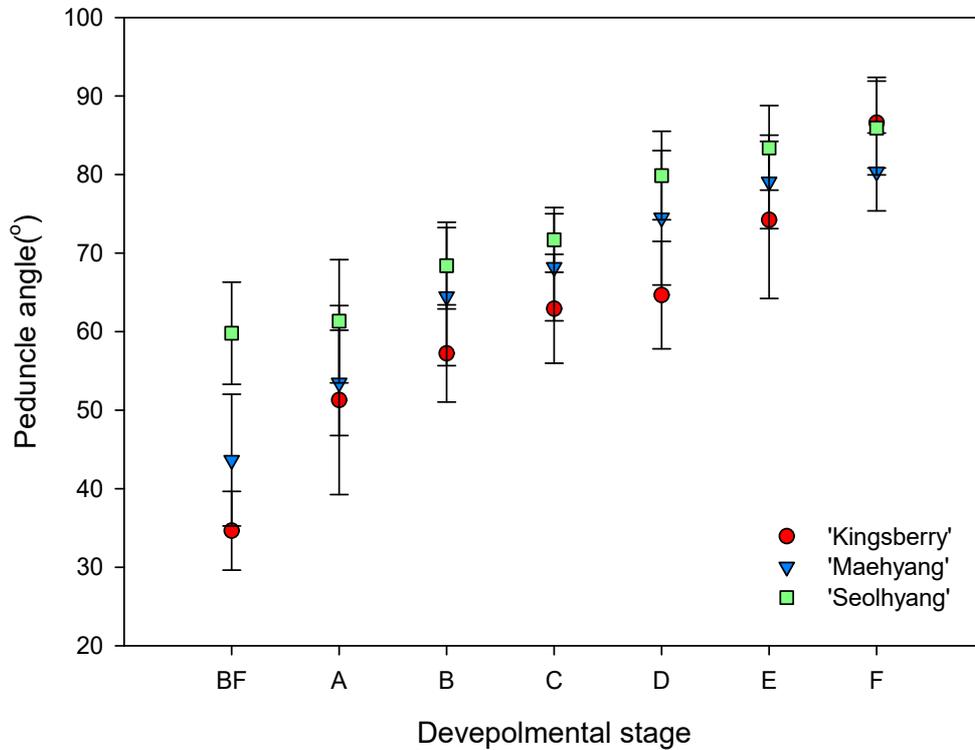


Fig. 10 Changes in peduncle shapes at different developmental stages of 'Kingsberry', 'Maehyang', and 'Seolhyang' strawberries.

- 꽃대 길이와 각도를 조사한 결과를 토대로 1번 화와 2번 화의 공간 분포를 분석하였음.
- 각 꽃의 위치는 발달 단계가 진행됨에 따라 점차 크라운에서의 수평 거리는 증가하고 높이는 감소하는 경향을 보였음(Fig. 11).
- 꽃대 길이 증가는 시험된 세 품종 모두 stage A에서 B로 진행될 때 대부분 이루어 졌으며, 이후 stage B에서 F까지는 거의 변화가 없었음(Fig. 11).
- Stage A에서 1번 화까지 꽃대 길이는 '매향' 품종에서 가장 짧았고 '설향' 품종에서 가장 길었음(Fig. 11).
- '킹스베리'는 발달 초기와 후기의 꽃대 각도 변화 폭이 큰 반면, '매향'과 '설향' 품종은 '킹스베리'에 비해 변화 폭이 작았음(Fig. 11).
- 발달 단계에 따른 품종 별 꽃대 길이 및 각도 차이를 고려하여 식물공장 재배 시 공가 분사 및 진동 수분 시스템이 설계·제작되어야 할 것임.

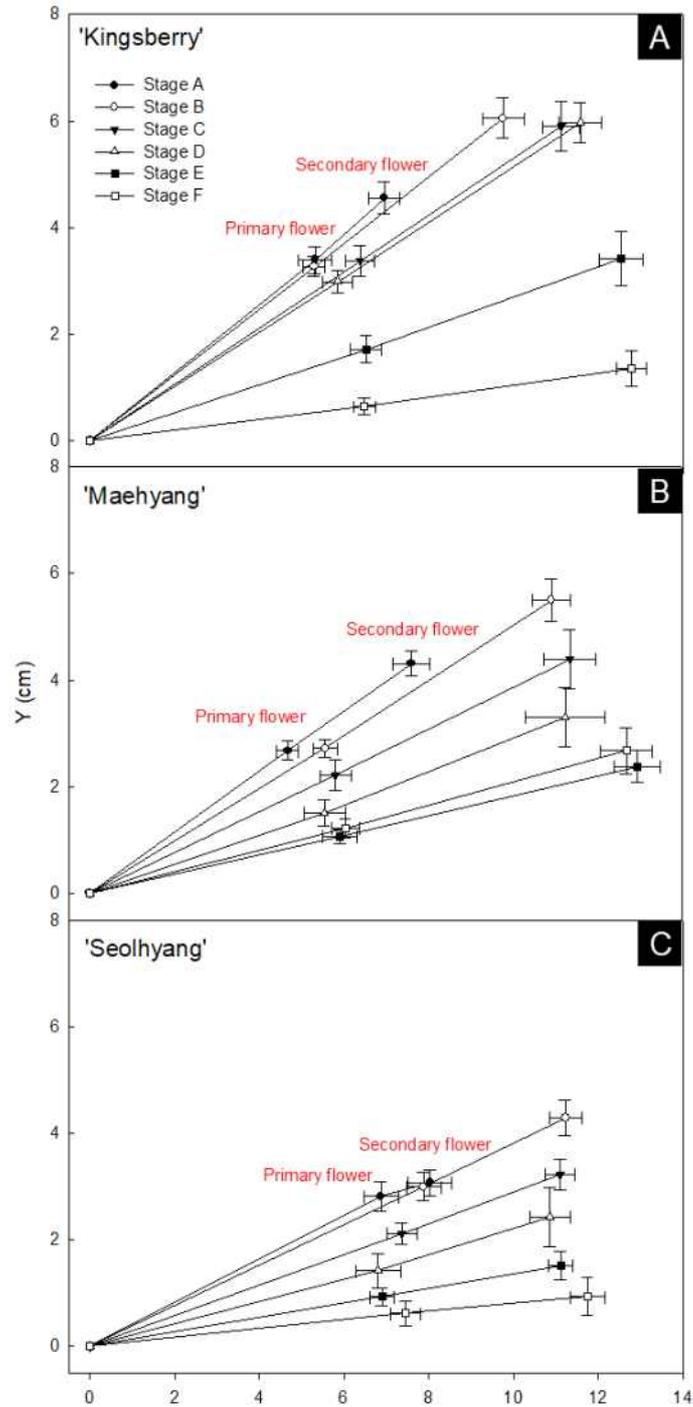


Fig. 11 Position of primary and secondary flower at different developmental stages of 'Kingsberry', 'Maehyang', and 'Seolhyang' strawberries.

라. 결과 고찰

- 시험된 세 가지 품종의 발달 단계별 꽃대 각도 차이는 단계가 진행됨에 따라 증가하였고 품종별 각도의 차이는 1번화 개화 전 단계인 BF Stage에서 가장 컸음.
- 딸기 품종별 꽃대 형태 및 패턴 변화 분석을 통해 식물공장 딸기 재배의 가장 큰 문제 중 하나인 기형과 발생률을 낮출 수 있는 새로운 수분 시스템(공기 분사 및 진동 수분 시스템) 설계를 위한 주요 정보를 획득할 수 있었음.

(시험 3) 식물공장 재배에 적합한 딸기 품종 선정을 위한 화기구조 특성 분석

가. 시험 목적: 식물공장 재배 및 새로운 수분 시스템 도입에 적합한 딸기 품종 선정을 위한 화기구
조 특성 비교

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: ‘알비온’, ‘고슬’, ‘킹스베리’, ‘매향’, ‘설향’
- 재배 장소: 서울대학교 수원 농장 유리온실
- 시험 기간: 2021년 9월 16일 정식
- 시험 방법: SkyScan 1272 scanner (Bruker micro-CT, Kontich, Belgium) (Fig. 12)를 이용하여 컴퓨터 단층촬영(CT) 3차원 이미지를 분석함.



Fig. 12 SkyScan 1272 scanner (Bruker micro-CT, Kontich, Belgium)

다. 시험 결과

- 화탁 크기, 수술대 위치, 수술대 길이, 약 크기, 약 개수, 암술 길이, 암술 개수 등 화기 구조는 품종에 따라 차이가 있었음(Fig. 13).
- ‘알비온’과 ‘고슬’ 품종은 다른 세 가지 품종에 비해 수술대 길이가 길어 약의 위치가 전체 화탁 중앙 부분까지 있는 암술과 가까웠음(Fig. 13).
- ‘킹스베리’, ‘설향’, ‘매향’ 품종의 수술대 각도는 다른 두 품종에 비해 각도가 컸으며 암술과의 거리가 멀었음(Fig. 13).
- ‘알비온’, ‘고슬’, ‘설향’ 품종은 ‘매향’ 품종에 비해 약 크기가 컸음(Fig. 13).
- ‘킹스베리’ 품종은 관찰된 다른 품종들에 비해 약의 개수가 많았고, 암술대의 길이가 길며 암술의 개수가 많았음(Fig. 13).
- ‘매향’ 품종은 약의 크기가 관찰된 다른 품종들에 비해 작았음(Fig. 13).

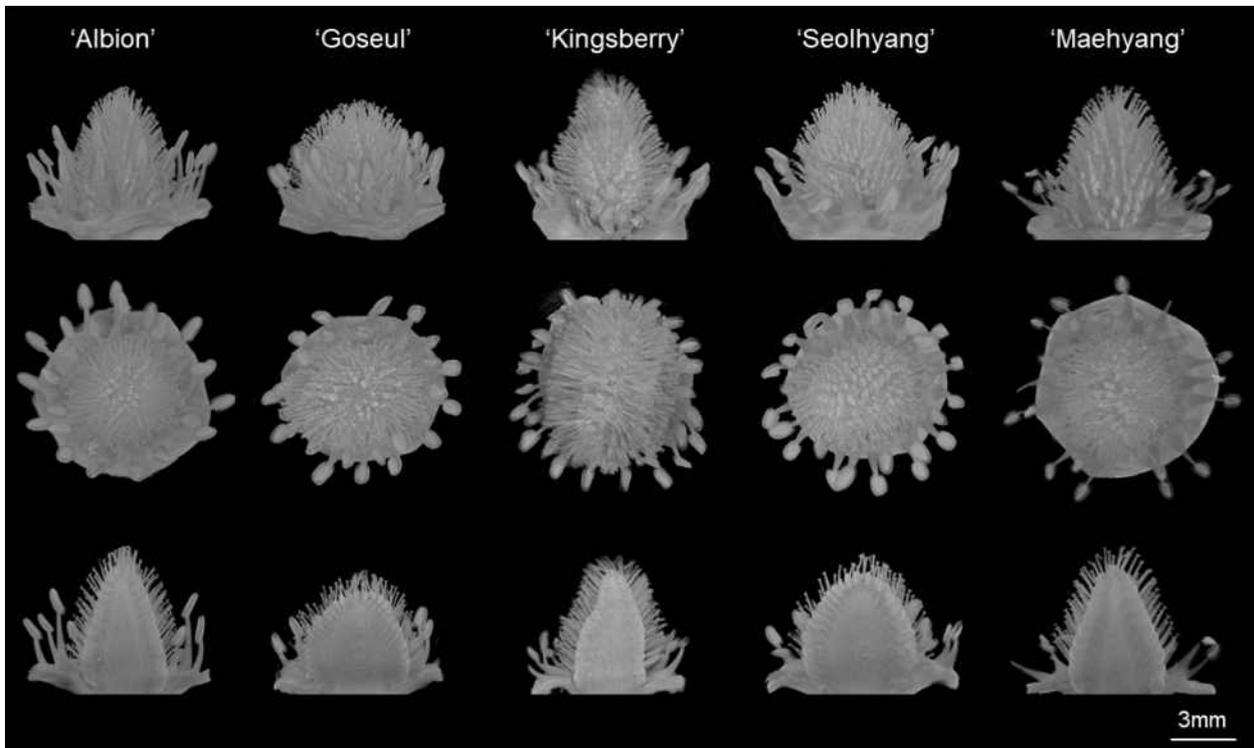


Fig. 13 3D flower structure of 'Albion', 'Goseul', 'Kingsberry', 'Seolhyang', and 'Maehyang' strawberries at anthesis.

라. 결과 고찰

- 품종 별 화기 구조 차이에 의해 수분·수정률이 달라지고 이에 따라 기형과 발생률과 과중에 영향을 줄 것으로 보임.
- 특히, 총매를 이용하지 않는 식물공장 재배 시스템에서는 약과 화분 수가 많고, 화분의 구조적 위치가 수분에 유리한 품종이 적합할 것으로 생각됨.
- 식물공장 딸기 재배에서는 기형과 발생률 저감 및 품질 향상을 위해 화기 구조를 고려하여 수분 수정률이 높은 품종을 선택하는 것이 중요할 수 있으며, 약의 위치를 고려하면 '알비온'과 '고슬' 등이, 약의 크기와 개수를 고려하면 '킹스베리'와 '설향'이 유리할 것으로 판단됨.
- 반면, 약의 위치, 약과 암술과의 거리 및 약의 크기와 개수를 고려했을 때 식물공장에서의 '매향' 재배에서는 기형과 발생률이 상대적으로 높을 것으로 판단되며, 이를 저감하기 위해서는 물리적 수분 시스템 도입이 필요하다고 판단됨.

(시험4) 식물공장 딸기 재배 시스템 모듈에 적용 가능한 재배 포트 및 배지 선정

가. 시험 목적: 식물공장 딸기 재배 시스템 모듈에 적용 가능한 재배 포트 선정을 위한 적정 근권 용적과 양액 순환식 재배에 적합한 배지 선정을 위해 물리성, 화학성 및 재배적 특성 구명

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: '설향' (정식일: 2021년 8월 11일)
- 시험 장소: 서울대학교 수원 농장 유리온실
- 시험 기간: 2021년 8월 11일 - 2021년 10월 12일
- 처리구: 1140, 830, 240mL의 3가지 포트 부피와 원예용상토(So), 코이어(Co), 파쇄암면(Rw)의 3가지 배지 종류 교호 처리(각 1140_So, 1140_Co, 1140_Rw, 830_So, 830_Co, 830_Rw, 240_So, 240_Co, 240_Rw) (Fig. 14).

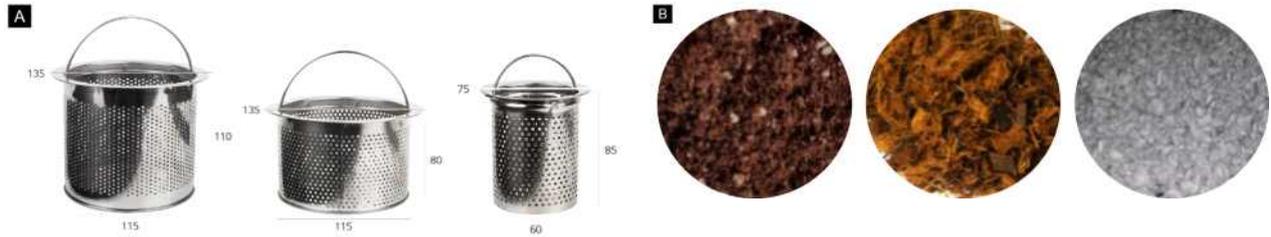


Fig. 14 Three different sizes of pots (A) and substrates (B) (Commercial growing soil, coir, and rockwool granules)

○ 시험 방법:

- 시험 전 3가지 배지 모두 야마자키 딸기 양액으로 2주 간 버퍼링을 진행함.
- 정식 후, 화아분화 유도를 위해 5주에서 8주 간 양액 공급을 중단함.
- 정식 후(DAT, days after transplanting) 20일, 40일, 60일에 관주된 양액을 수집 후 EC 및 pH를 측정함.
- 각 처리구의 배액은 정식 후 20일, 40일, 60일에 급액과 배액량을 조사하고 EC와 pH를 측정함.

다. 시험 결과

- 딸기 생육은 각각 포트 부피 및 배지 종류에 영향을 받았음.
- 포트 부피에 따라 차이를 보였으며, 특히 엽면적과 엽 건물중이 240mL 포트 처리구에서 유의적으로 작았음(Fig. 15, Table 2).
- 엽 건물중은 상토와 코이어에서 암면보다 높았으며 상토와 코이어 간 유의미한 차이를 보이지 않았음(Fig. 15, Table 2).

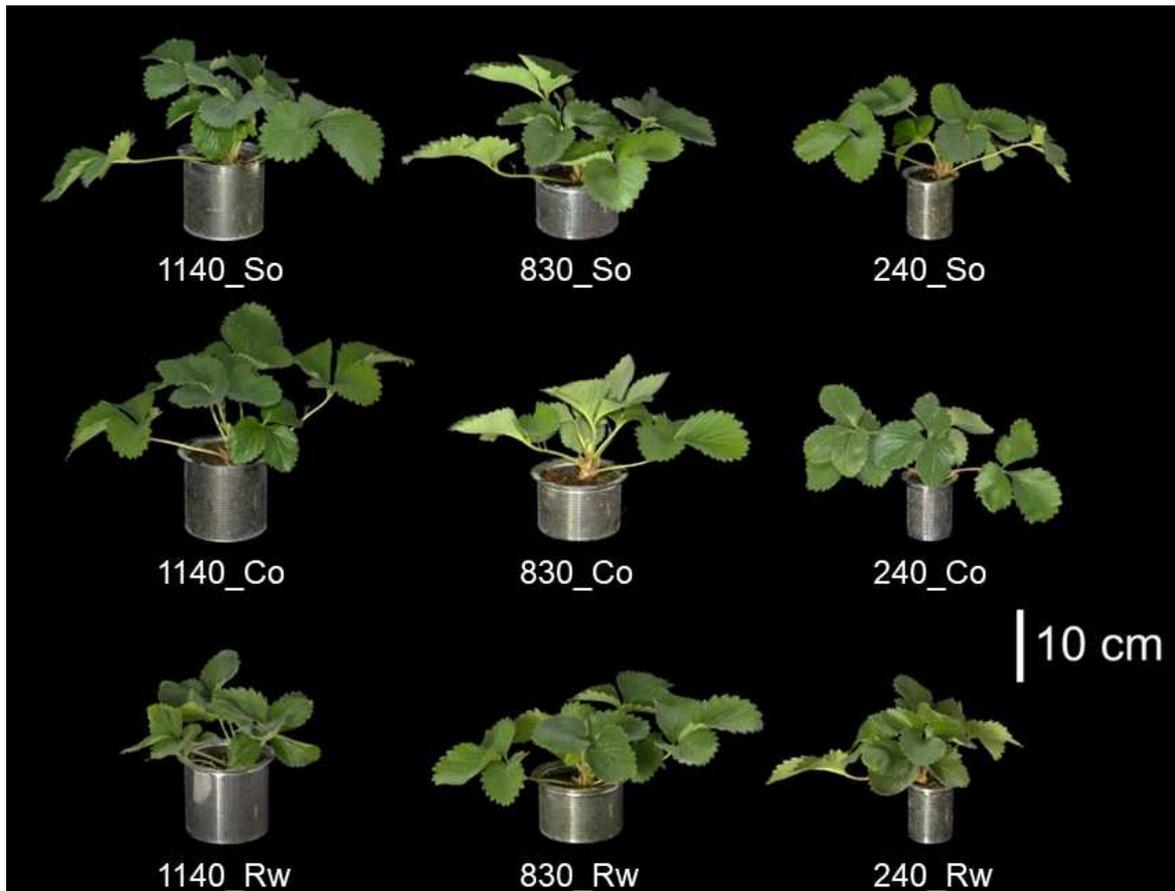


Fig. 15 Strawberry plants of each treatment at 63 days after transplanting.

Table 2 Growth parameters of strawberry plants at 63 DAT.

Treatment		Crown diameter (mm)	Maximum petiol length (cm)	Leaf area (cm ²)	Dry weight (g)		
Volume	Media				Leaf	Crown	Root
1140	So	15.8ab ^z	14.4a	835.2a	6.66ab	0.93a	3.56ab
	Co	15.3ab	12.9ab	791.5ab	5.94a-d	0.79ab	3.76ab
	Rw	15.0ab	13.0ab	694.7a-c	5.27b-d	0.82ab	2.01b
830	So	16.9a	14.7a	862.1a	7.12a	0.99a	5.00a
	Co	15.5ab	12.3ab	772.0ab	6.25a-c	0.98a	4.06ab
	Rw	14.4b	11.9ab	689.5a-c	5.41b-d	0.85ab	2.56ab
240	So	15.3ab	12.4ab	636.7bc	5.09b-d	0.64b	2.89ab
	Co	14.7ab	12.0ab	548.8c	4.50d	0.63b	2.61ab
	Rw	15.3ab	10.8b	587.2c	4.69cd	0.71ab	2.58ab

Significance

Volume	ns	**	***	***	***	ns
Media	*	**	**	**	ns	*
Volume*Media	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^zMeans within each column followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's studentized range test at $p < 0.05$.

ns = no significant; *, **, and *** = significant at $p < 0.05$, 0.01 , and 0.001 , respectively.

- 1140mL과 830mL 포트 처리구에서 흡수한 양액 비율에는 유의적 차이가 없었고, 240mL 포트 처리구에서 유의적으로 낮았음(Figs. 16A, B, C).
- 흡수량은 포트 부피에 따른 차이를 보였으나 배지 종류에 따른 유의적 차이가 없었음(Figs. 16A, B, C).
- 암면이 충전된 1140mL과 830mL 포트 처리구는 양액이 공급된 20과 60 DAT에서 배액의 pH가 유의적으로 가장 높았음(Figs. 16D, E, F).
- 20과 40 DAT에서 암면 처리구의 EC 또한 pH와 유사한 경향을 보였음(Figs. 16G, H, I).
- 1140mL 포트와 830mL 포트 간 생육에 유의적 차이가 없었던 반면, 240mL 포트 처리구에서 지상부 생육이 유의적으로 낮았던 것은 지하부 공간이 충분하지 않았기 때문으로 보임.

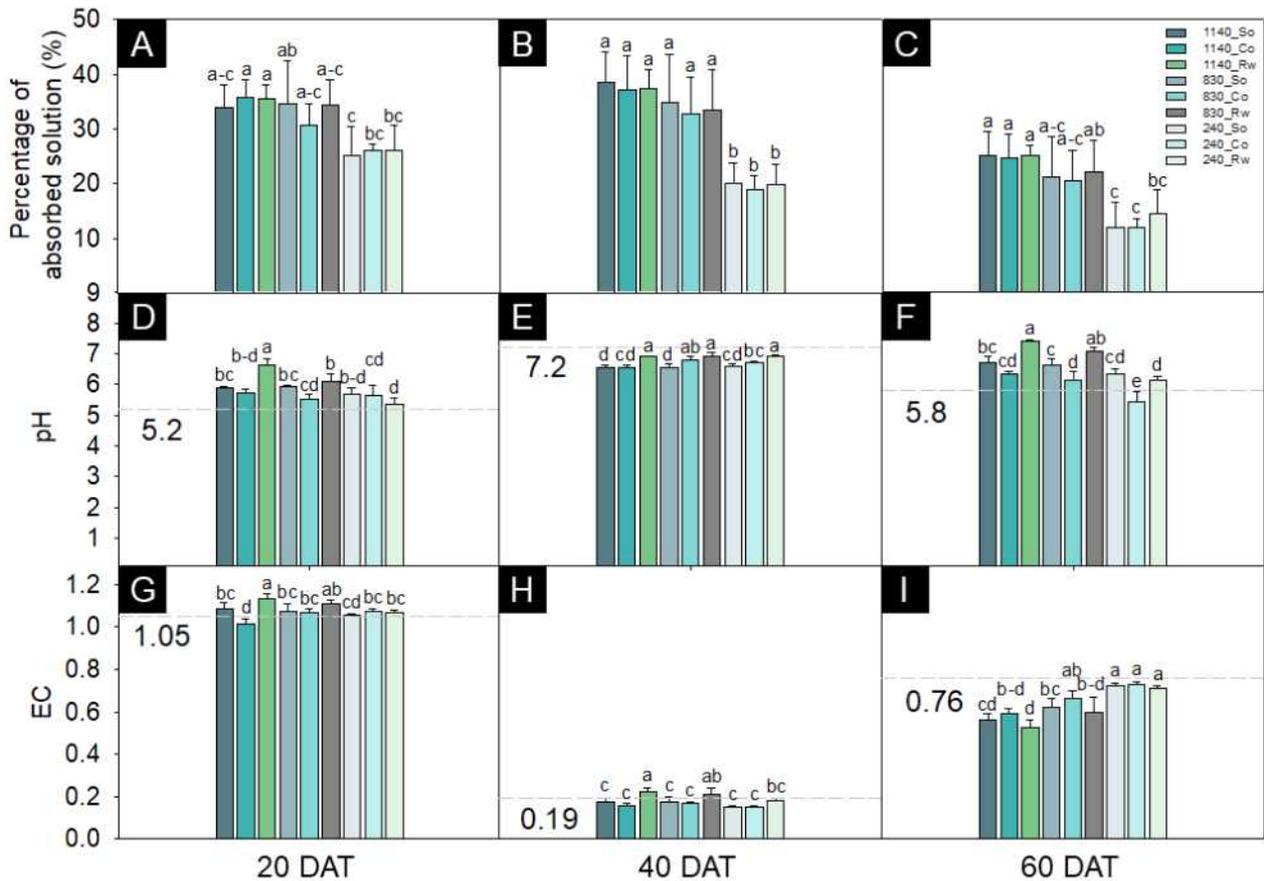


Fig. 16 The percentage of absorbed solution (A-C) and pH (D-F), EC (G-I) of drainage solution of each treatment on 20, 40, and 60 DAT. The dash line means pH and EC of irrigated nutrient solution.

라. 결과 고찰

- 식물공장 딸기 재배 시스템에서 공간 효율을 높이기 위해 지상부 및 지하부 생육에 지장이 없는 최소한의 지하부 부피를 확보하는 것이 중요함.
- 1140mL 포트와 830mL 포트 간 생육에 유의적 차이가 없는 것을 확인하였고, 결과를 추후 식물 공장 설계에 반영 될 수 있을 것으로 보임.
- 양액 순환식 딸기 재배 전용 식물공장 운용 시 재배 배지에 따른 식물의 양분 흡수와 배액의 변화를 확인하는 것은 양액 관리에 있어 매우 중요함.
- 딸기 과실 재배가 장기 재배인 만큼 상토와 코이어는 양액을 흡수하고 pH를 유지하는 능력이 높아 재배 기간이 길어짐에 따라 활용성이 높을 것으로 기대됨.

[공동 서울대학교] 1단계(2년 차)

(1) 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발

가. 모니터링을 통한 수분 스케줄링 시스템 개발

- 생육 단계 모니터링을 활용한 수분 시기 확인 및 기준 제시
 - 식물공장 내부 환경에 따른 개약 시기 확인
 - 모니터링을 통한 화분 비산 시기 확인

나. 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 연구

- 식물공장 딸기 재배 시 바람을 이용한 수분방법 개발
 - 풍속 및 상대습도에 따른 화분 비산 능력 평가
 - 식물공장 재배에 풍매를 활용한 수분방법 개발

(시험 1) 딸기 품종별 화분 수 및 화분 활성률 분석

가. 시험 목적: 식물공장 내 딸기 수분 시기 설정을 위한 딸기 품종별 화분 특성 분석

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: '고슬,' 킹스베리,' '매향,' 및 '설향'의 개약 전 약
- 처리 장소: 딸기 재배전용 식물공장(Fig. 1)
 - 식물공장 재배환경
 - 광원: 백색 LED(warm white:cool white=5:2)
 - 일장: 12/12h(주/야간)
 - 온도: 25/15°C
 - 상대습도: 75/95%
 - 관비: pH 5.9, EC 1.5dS m⁻¹
 - CO₂ 농도: 500μmol mol⁻¹

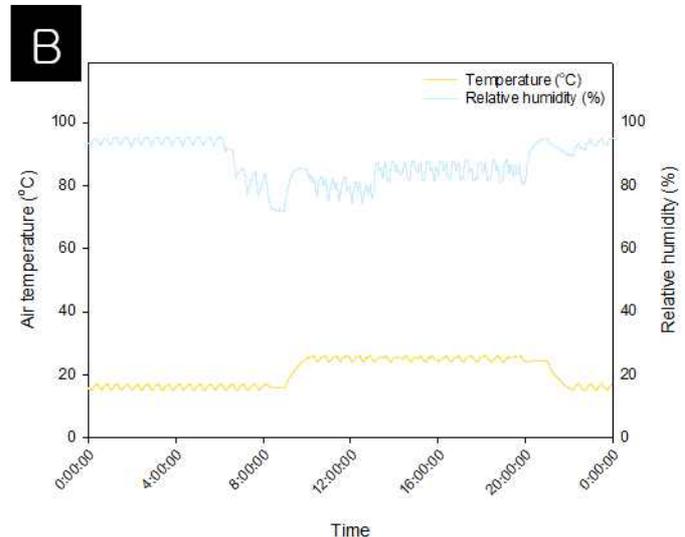


Fig. 1. Strawberry fruit production systems installed in a plant factory (A) and changes in air temperature and relative humidity (B).

○ 시험 방법:

- 개약 전 약을 샘플링하여 개약 후(after anther dehiscence; AAD) hemocytometer을 이용하여 화분 수를 계산함.
- 처리구: AAD 24, 48, 72, 및 96h
- 처리 장소: 딸기 재배전용 식물공장(Fig. 1)
- 개약된 약은 식물공장에서 24, 48, 72, 및 96h 후 아세토카민 용액으로 염색해 화분 활성을 확인함(Fig. 2).



Fig. 2. Experimental methods for the pollen viability test.

○ 측정 항목:

- 화분 수
- AAD 24h, 48h, 72h, 및 96h 화분활성

다. 시험 결과

- 화분 수는 네 품종 중 ‘매향’ 품종이 유의적으로 적었음(Table 1).
- 약 당 화분 수는 ‘설향’ 품종에서, 꽃 당 화분 수는 ‘고슬’ 품종에서 가장 많았으나 ‘매향’ 품종을 제외한 세 품종에서 유의적인 차이가 없었음.

Table 1. The number of pollen grains per anther and flower of the ‘Goseul,’ ‘Kingsberry,’ ‘Maehyang,’ and ‘Seolhyang’ strawberries.

Cultivar	No. of pollen grains	
	(/anther)	(/flower)
‘Goseul’	573.6×10 ³ a ²	14.0×10 ⁶ a
‘Kingsberry’	577.4×10 ³ a	12.6×10 ⁶ a
‘Maehyang’	386.0×10 ³ b	8.0×10 ⁶ b
‘Seolhyang’	612.9×10 ³ a	13.9×10 ⁶ a

²Means in columns followed by different letters are significantly different by Duncan’s multiple range test at P ≤ 0.05.

- 시험된 네 품종 중 ‘고슬’ 품종은 시간이 지남에 따라 화분활성이 80% 이상으로 높게 유지되었음(Table 1 and Fig. 4).
- ‘킹스베리’ 품종은 화분활성이 70% 이상으로 유지되었으나 AAD 96h에서 화분활성이 40% 이하로 낮아졌음.
- 화분 수가 가장 적은 ‘매향’ 품종에서 화분활성이 60% 이하로 유지되었음.
- ‘설향’ 품종은 시간이 지남에 따라 화분활성이 60% 이상으로 유지되었음.

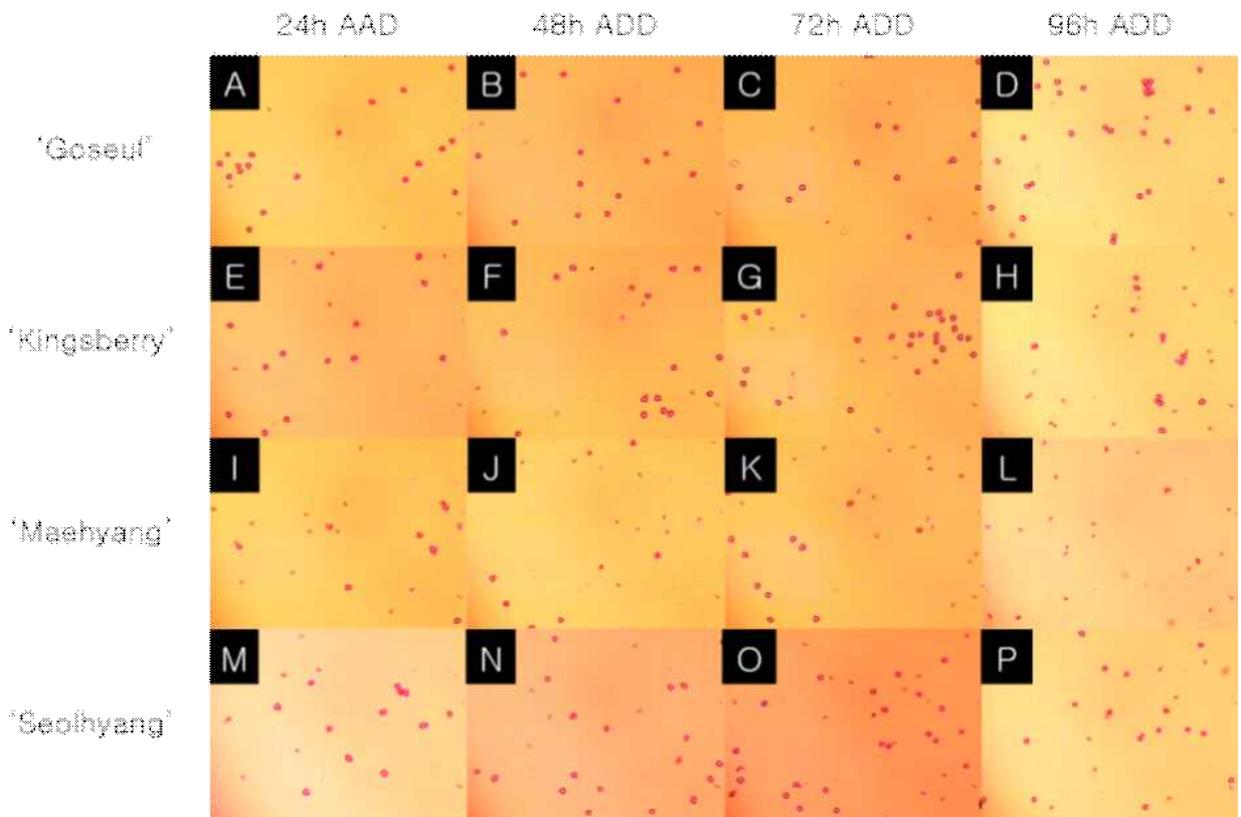


Fig. 3. The microscopic image of pollens of 'Goseul(A, B, C, and D),' 'Kingsberry (E, F, G, and H),' 'Maehyang (I, J, K, and L),' and 'Seolhyang (M, N, O, and P)' strawberries 24, 48, 72, and 96 hours after anther dehiscence (ADD).

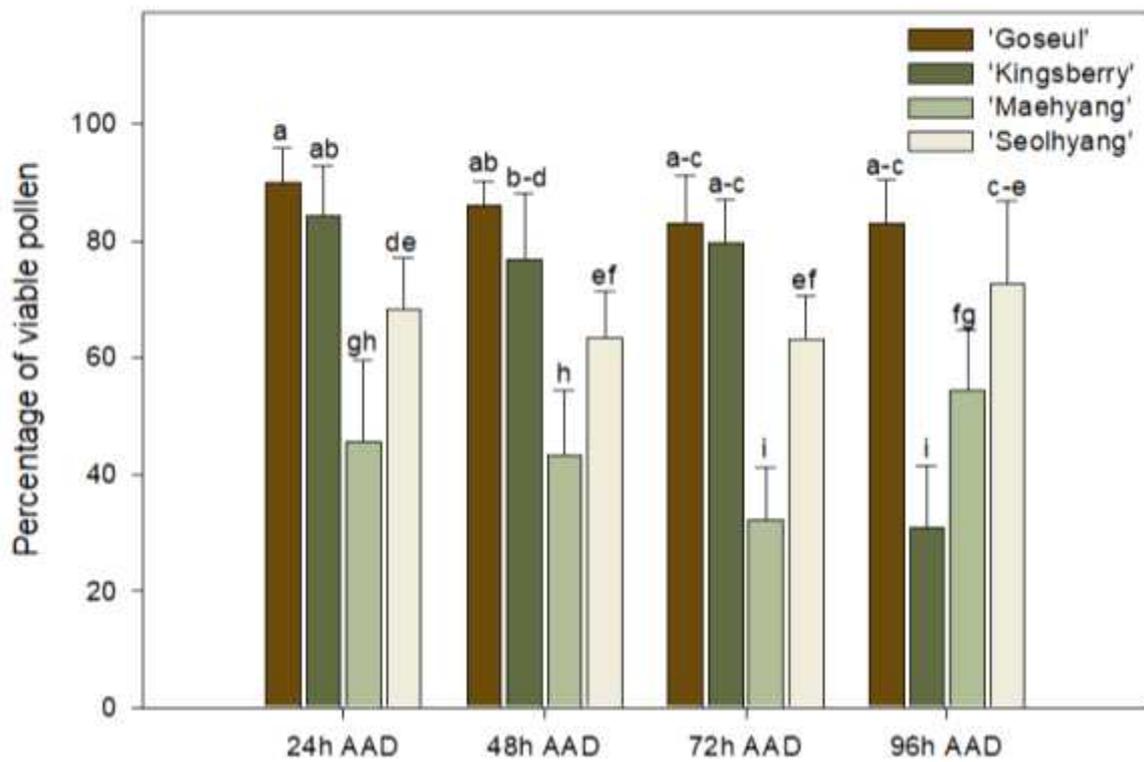


Fig. 4 The pollen viability of 'Goseul,' 'Kingsberry,' 'Maehyang,' and 'Seolhyang' strawberries 24, 48, 72, and 96 hours after anther dehiscence (AAD).

라. 결과 고찰

- 식물공장 내 새로운 수분 방법을 적용하고 적정 수분 시기 설정을 위해 품종별 화분 수와 시간에 따른 화분활성 변화를 확인하였음.
- 식물공장 환경에서 개약 후 48시간까지 시험된 모든 품종에서 화분활성이 지속되었고, ‘고슬’과 ‘설향’ 품종은 96시간까지 유지되었으며, 화분 수 또한 두 품종에서 가장 많았음.
- 딸기 식물공장 재배 시스템에서 과실 생산 시, 화분 수가 많고 개약 후 높은 화분 활성을 유지할 수 있는 품종을 선정하는 것이 유리하며, 이러한 품종 특성을 고려하여 적정 수분 기간을 설정할 수 있음.

(시험 2) 증기압차(Vapor-pressure deficit; VPD)에 따른 딸기의 개약 특성 분석

가. 시험 목적: 수분 스케줄 전략 수립을 위한 딸기 재배전용 식물공장 내부 온습도 환경에 따른 개약 시기 비교

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: 개약 전 ‘설향’ 꽃(Fig. 5A)
- 시험 장소: 온습도 조절 챔버(Fig. 5B)
 - 챔버 환경
 - 광원: 백색 LED(warm white:cool white=5:2)
 - 온도: 25°C
 - 상대습도: 35%(28~48%) 및 90%(87~96%)

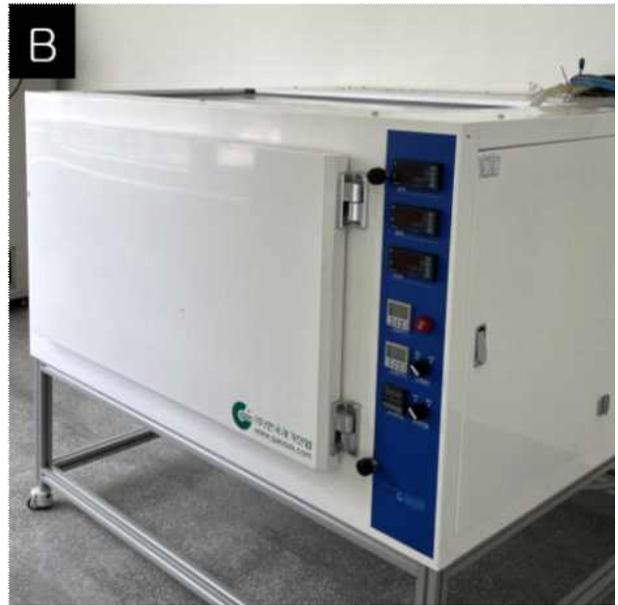
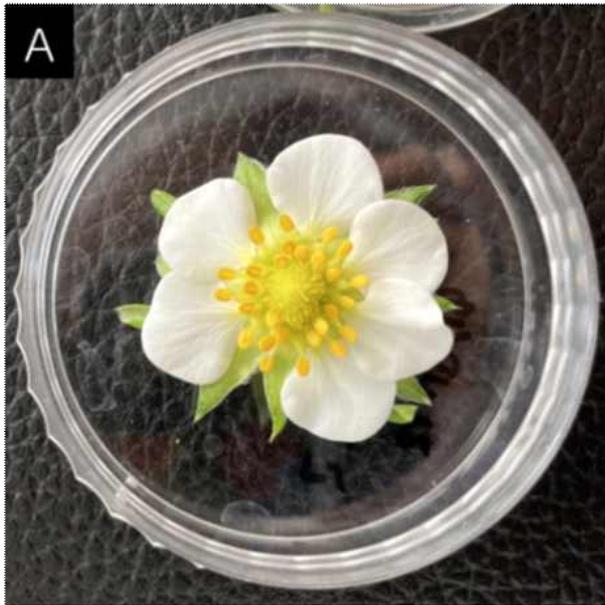


Fig. 5. Strawberry flower before anther dehiscence (A) and air temperature and relative humidity control chamber (B).

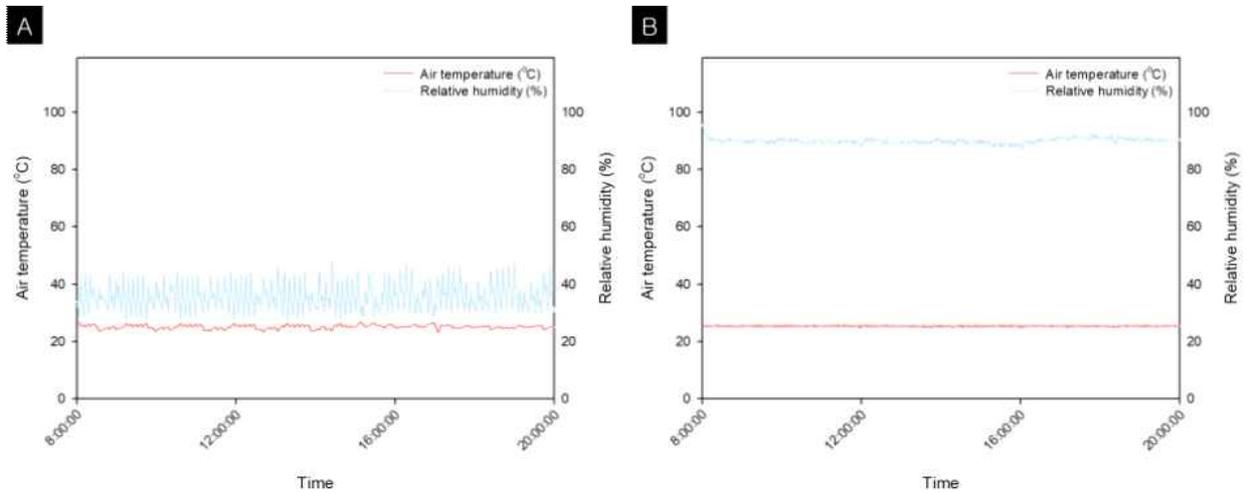


Fig. 6. Air temperature and relative humidity vapor-pressure deficits 2.09kPa (A) and 0.32kPa (B).

○ 시험 방법:

- 처리구: VPD 2.09kPa(1.67~2.31kPa) 및 VPD 0.32kPa(0.13~0.42kPa)(Fig. 6)
- 개약 유무: 모니터링을 통해 10분 간격으로 관찰하여 약 표면에서 화분이 관찰되면 개약된 것으로 판별함(Fig. 7A).
- 수술을 위치 및 크기에 따라 3가지 종류(Short; S, Medium; M, 및 Tall; T) 그리고 전체(Total)로 나눠 분석함(Fig. 7B).

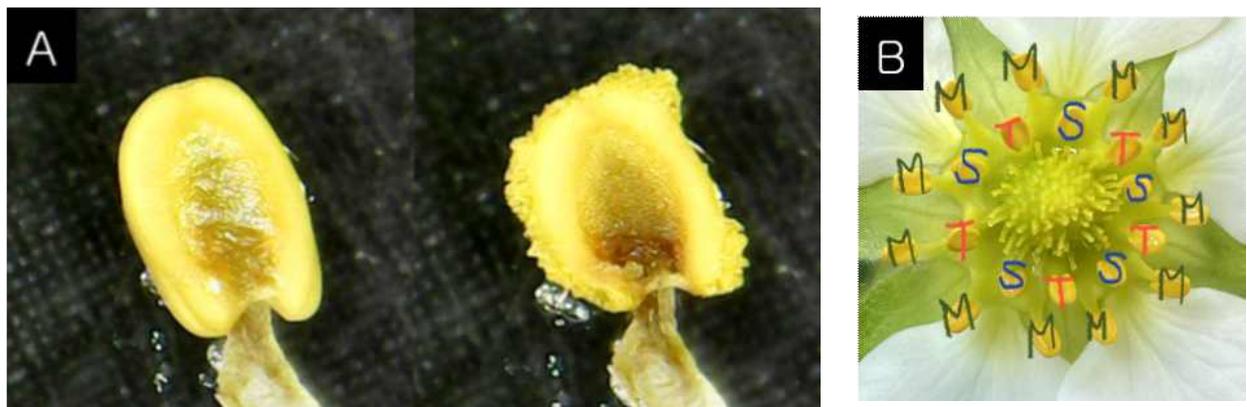


Fig. 7. Strawberry anther before and after dehiscence (A) and three stamen types (T; tall, M; medium, and S; short) (B).

○ 측정 항목:

- 전체(Total) 약과 3가지 종류(Short; S, Medium; M, 및 Tall; T) 약의 시간에 따른 개약 유무

다. 시험 결과

- VPD 2.09kPa 처리구에서 개약은 10분부터 시작되었고 40분에 비율이 0.4 이상, 90분에서 비율이 0.8 이상이었음.
- VPD 0.32kPa 처리구에서 개약은 60분부터 시작되었고 130분에서 비율이 0.4 이상, 180분에서 비율이 0.8 이상이었음.
- VPD 2.09kPa 처리구에서 130분, 0.32kPa 처리구에서 270분에 모두 개약되었음.

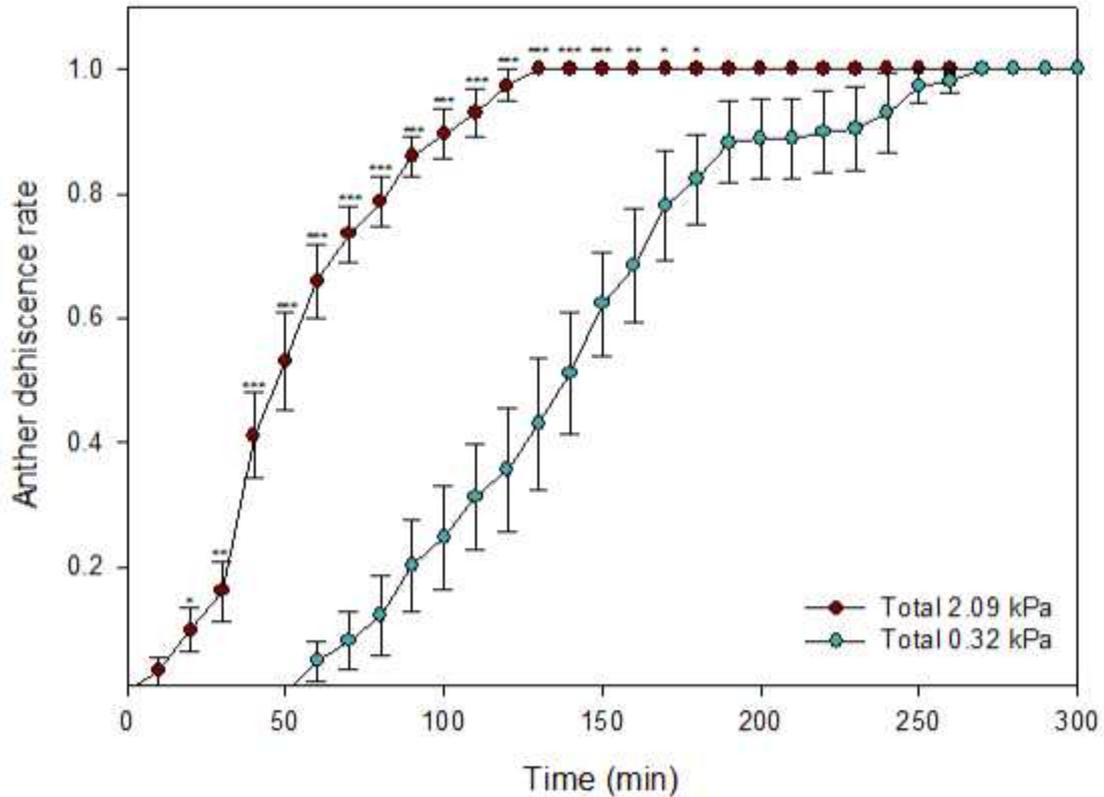


Fig. 8. Anther dehiscence rate of total anther in 2.09 kPa and 0.32 kPa treatments.

- VPD 2.09kPa 처리구에서 개약은 M과 T에서 10분부터 시작되었고 S에서 30분부터 시작되었음.
- VPD 2.09kPa 처리구에서 S는 90분, M은 40분, 그리고 T는 60분에서 개약 비율이 0.5 이상이었음.
- VPD 2.09kPa 처리구에서 100% 개약까지 도달하는 시간은 M, T, 그리고 S 순서로 짧았음.
- VPD 0.32kPa 처리구에서 개약은 M과 T에서 60분부터 시작되었고 S에서 70분부터 시작되었음.
- VPD 0.32kPa 처리구에서 S는 170분, M은 140분, 그리고 T는 130분에서 개약 비율이 0.5 이상이었음.
- VPD 0.32kPa 처리구에서 100% 개약까지 도달하는 시간은 S, M, T 모두 270분이었음.

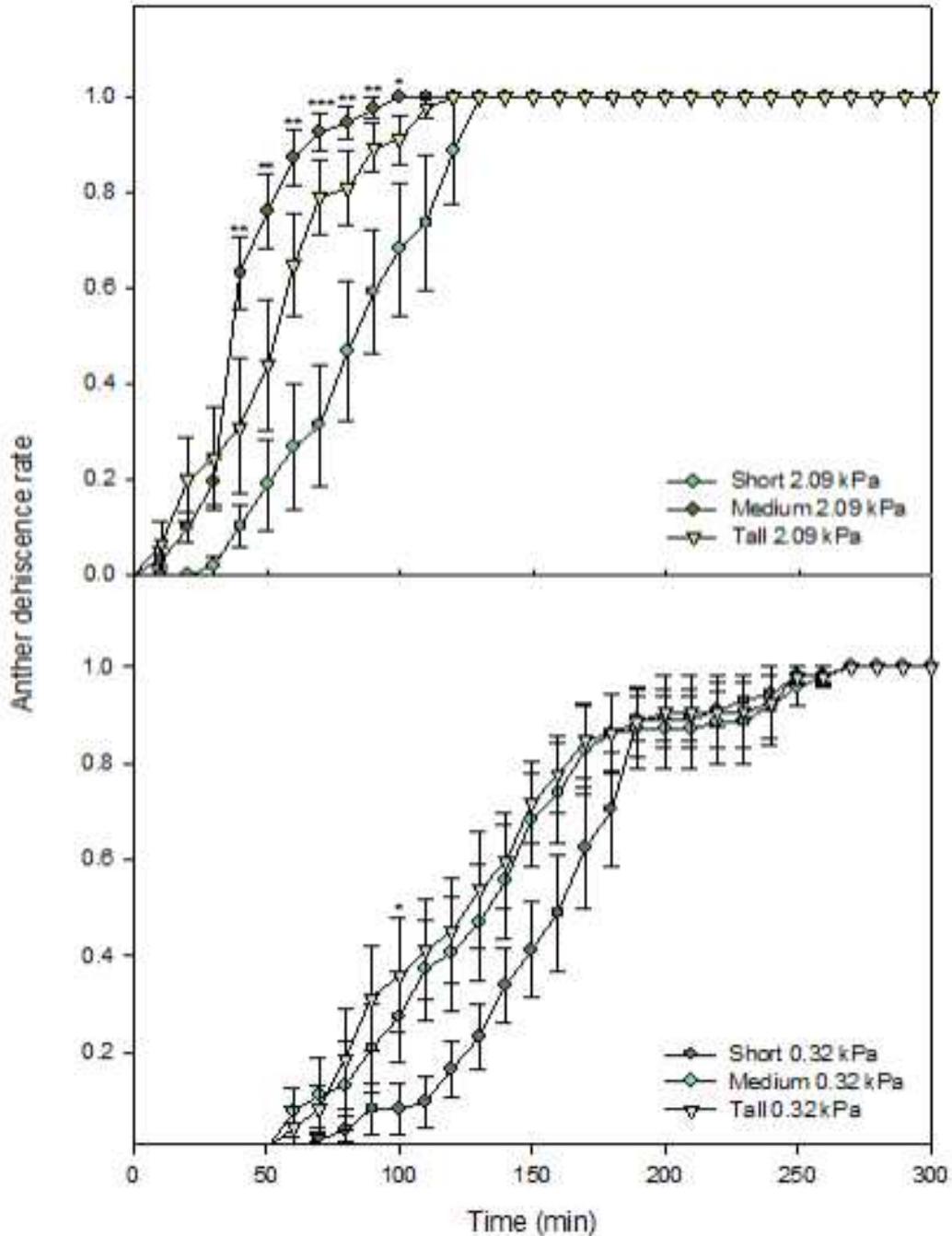


Fig. 9. Anther dehiscence rate of short, medium, and tall anthers in VPD 2.09 kPa and VPD 0.32 kPa treatments.

라. 결과 고찰

- 식물공장 내부 온습도 환경에 따른 수분 스케줄 전략 수립을 위해 증기압차에 따른 개약 시기를 비교하였음.
- 챔버 내부의 VPD가 1.67kPa에서 2.31kPa 범위로 유지될 때, 0.13kPa에서 0.42kPa 범위로 유지될 때보다 개약이 약 50분 빠르게 시작되었으며 꽃의 전체 약이 모두 개약하는데 걸린 시간 또한 140분 빨랐음.
- 약의 종류에 따른 개약 시기는 두 처리구 모두 S에서 가장 늦었으나, 증기압차가 높은 2.09kPa에서 0.32kPa보다 약 종류에 따른 개약 시기의 차이가 더 컸음.
- 수분시기에 식물공장 내 증기압차가 높은 환경(동일 기온일 경우 화기 부근의 상대습도를 낮춘 공기 환경)을 조성하여 개약을 빠르게 유도할 수 있을 것임.

(시험 3) 딸기 품종별 꽃의 구조적 특성 분석

가. 시험 목적: 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 연구를 위한 딸기 품종별 꽃의 구조적 특성 분석

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: ‘고슬,’ 킹스베리, ‘매향,’ 및 ‘설향’ 꽃
- 시험 장소: 서울대학교 수원 농장 유리온실
- 시험 방법:
 - Micro-computed tomography(micro-CT) (SkyScan1272, Bruker, Massachusetts, USA)를 이용하여 컴퓨터 단층촬영(CT) 이미지를 획득함.
 - 3D Slicer software(version 5.0.3, <https://www.slicer.org/>)를 이용하여 3차원 이미지를 분석함.
 - 수술을 위치 및 크기에 따라 3가지 종류(Short; S, Medium; M, 및 Tall; T)로 나눠 분석함.
- 측정 항목:
 - 수술대 길이(Filament length; FL), 약 길이(Anther length; AL), 약 너비(Anther width; AW), 약과 주두 사이의 거리(Distance from stigma to anther) 및 수술대 각도(Angle of filament)

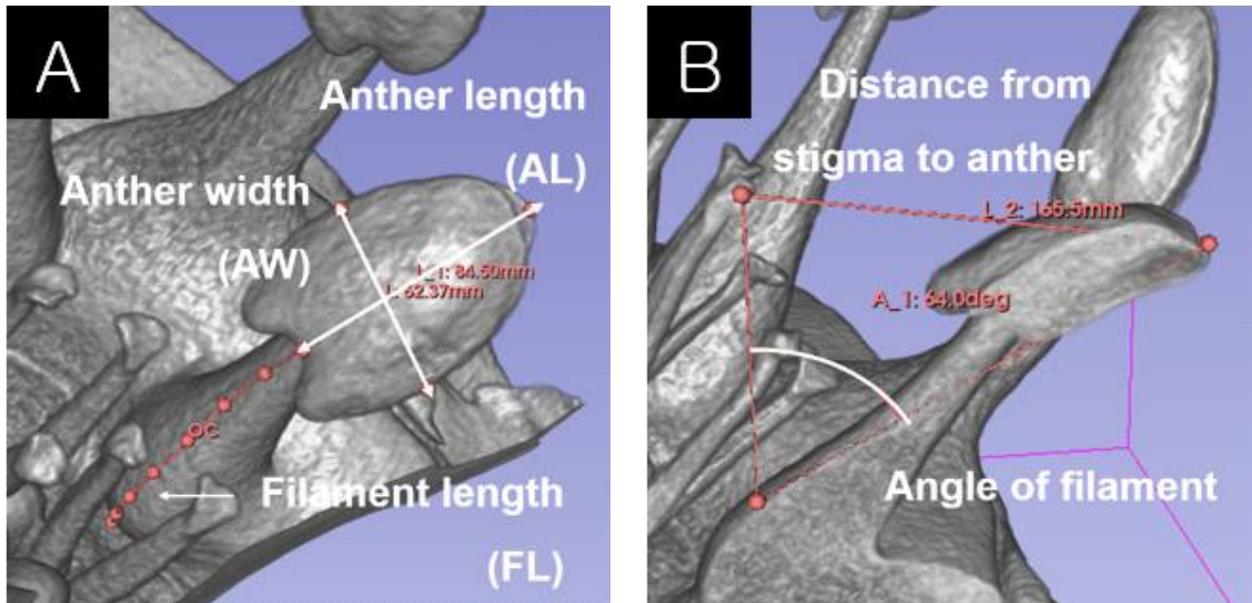


Fig. 10. Filament length, anther length, anther width (A), distance from stigma to anther and angle of filament (B).

다. 시험 결과

- 컴퓨터 단층촬영(CT) 이미지를 통해 꽃의 구조적 특성을 분석한 결과 S, M, 및 T에서 수술대의 길이는 ‘설향’ 품종에서 유의적으로 짧았고, M에서 ‘킹스베리’ 품종 그리고 T에서 ‘킹스베리’와 ‘고슬’ 품종에서 유의적으로 길었음.
- S에서 약의 길이는 ‘고슬’ 품종에서 가장 길었고 ‘매향’ 품종에서 가장 짧았으며, 약의 너비는 ‘고슬’과 ‘킹스베리’에서 유의적으로 길었고 ‘매향’ 품종에서 가장 짧았음.
- M에서 약의 길이는 ‘고슬’과 ‘킹스베리’ 품종에서 유의적으로 길었고 ‘매향’ 품종에서 유의적으로 짧았으며, 약의 너비는 ‘고슬’ 품종에서 가장 길었고 ‘매향’ 품종에서 유의적으로 짧았음.
- T에서 약의 길이는 ‘고슬’과 ‘킹스베리’ 품종에서 유의적으로 길었고 ‘매향’ 품종에서 유의적으로 짧았으며, 약의 너비는 ‘킹스베리’ 품종에서 유의적으로 길었고 ‘매향’ 품종에서 유의적으로 짧았음.

Table 2. The filament length (FL), anther length (AL), and anther width (AW) of three stamen types (short, medium, and tall) in ‘Goseul,’ ‘Kingsberry,’ ‘Maehyang,’ and ‘Seolhyang’ strawberries.

Cultivar	Short			Medium			Tall		
	FL (mm)	AL (mm)	AW (mm)	FL (mm)	AL (mm)	AW (mm)	FL (mm)	AL (mm)	AW (mm)
‘Goseul’	1.07 a ²	0.57 a	0.70 a	1.57 b	0.54 a	0.82 a	2.07 a	0.53 a	0.72 b
‘Kingsberry’	1.09 a	0.53 b	0.71 a	1.84 a	0.53 ab	0.79 b	1.95 b	0.53 a	0.75 a
‘Maehyang’	1.05 a	0.45 d	0.54 c	1.60 b	0.44 c	0.62 c	1.84 b	0.43 c	0.59 c
‘Seolhyang’	0.86 b	0.49 c	0.64 b	1.35 c	0.52 b	0.79 b	1.54 c	0.47 b	0.71 b

²Means in columns followed by different letters are significantly different by Duncan’s multiple range test at $P \leq 0.05$.

- S에서 약과 주두 사이의 거리는 ‘매향’ 품종에서 유의적으로 짧았으며, 수술대 각도는 ‘설향’ 품종에서 유의적으로 컸음.
- M에서 약과 주두 사이의 거리는 ‘킹스베리’와 ‘설향’ 품종에서 유의적으로 길었으며, 수술대 각도는 ‘설향’ 품종에서 유의적으로 컸음.
- M과 T에서 약과 주두 사이의 거리는 ‘고슬’ 품종에서 유의적으로 짧았으며, 수술대 각도 또한 유의적으로 작았음.
- ‘고슬’ 품종은 M의 약과 주두 사이의 거리가 가장 가깝고 각도가 가장 작았으며, T의 수술대 길이가 가장 길고 약과 주두 사이의 거리가 가장 가까웠으며 각도가 가장 작았음.
- ‘킹스베리’ 품종은 S의 약과 주두 사이의 거리는 가장 멀었으며 각도는 가장 작았음. M의 수술대의 길이는 가장 길었으며 약과 주두 사이의 거리는 가장 멀었음. T의 약과 주두 사이의 거리가 가장 멀었음.
- ‘매향’ 품종은 S의 수술대의 길이는 가장 길었으며 약과 주두 사이의 거리는 가장 가까웠고 각도는 가장 작았음. T의 각도가 가장 컸음.
- ‘설향’ 품종은 S의 약과 주두 사이의 거리는 가장 멀었고 각도는 가장 컸음. M의 수술대의 길이는 가장 짧았으며 약과 주두 사이의 거리는 가장 멀었고 각도는 가장 컸음. T의 수술대의 길이가 가장 짧았으며 약과 주두 사이의 거리는 가장 멀었고 각도는 가장 컸음.

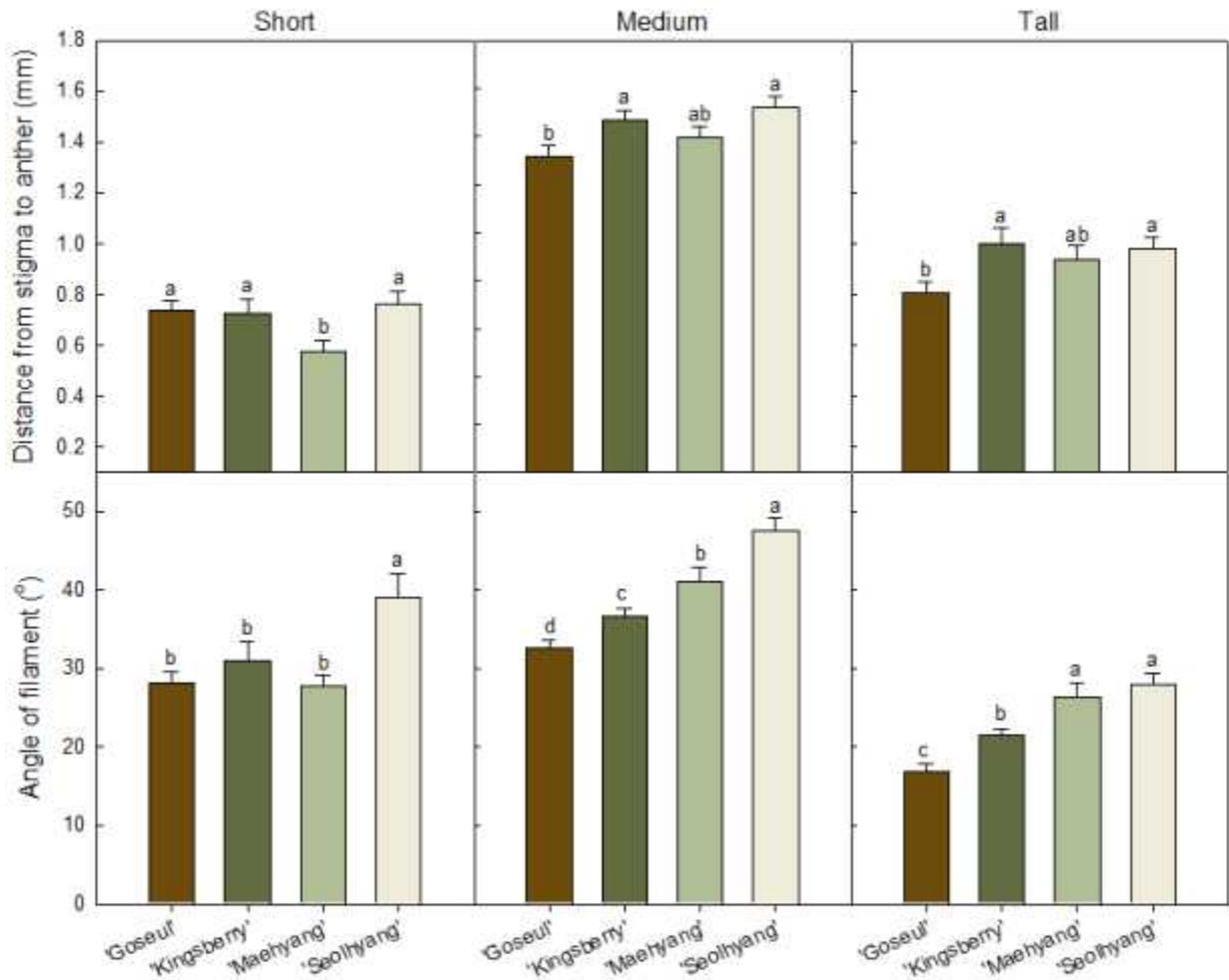


Fig. 11. The distance from stigma to anther and angle of the filaments of three stamen types (T; tall, M; medium, and S; short) in the 'Goseul,' 'Kingsberry,' 'Maehyang,' and 'Seolhyang' strawberries.

라. 결과 고찰

- 식물공장에 적용 가능한 수분 방법을 개발하기 위해 컴퓨터 단층촬영(CT) 3차원 이미지를 활용하여 딸기 품종별 꽃의 구조적 특성을 분석하였음.
- S와 T는 내곽에 있는 수술로 상대적으로 암술과 가까이 위치하며 S는 화탁의 하단부 주두와 가까이 하단부에 위치한 암술에 수분되기 쉬우며, T는 화탁의 중상단부 주두와 가까이 화탁의 중상단부에 수분될 가능성이 큼.
- M은 외곽에 있는 수술로 상대적으로 암술과 멀리 위치하며 주두와 거리가 가깝고 수술대의 각도가 작을수록 화분이 암술 주두에 수분될 가능성이 큼.
- 식물공장 내 수분을 보조할 수 있는 새로운 수분 방법을 도입할 때 화기의 구조적 특성을 고려한다면 더 효과적일 것으로 보임.
- 딸기 품종별 꽃의 구조적 차이는 과실 생산성 및 기형과 발생률에 차이를 줄 수 있을 것이며, 수분에 더 유리한 구조를 가진 품종을 선택하는 것이 이후 새로운 수분 방법 적용에 더 효과적일 것임.

(시험 4) 식물공장 딸기 재배에 적용할 수 있는 진동 수분 방법 개발

가. 시험 목적: 식물공장 딸기 재배에 적용할 수 있는 수분 방법 개발

나. 시험 재료 및 방법

○ 시험 재료: '고슬,' 킹스베리,' '매향,' 및 '설향'

○ 시험 장소: 딸기 재배전용 식물공장

- 식물공장 재배 환경

- 광원: 백색 LED(warm white:cool white=5:2)
- 일장: 12/12h(주/야간)
- 온도: 25/15°C
- 상대습도: 75/95%
- 관비: pH 5.9, EC 1.5dS m⁻¹
- CO₂ 농도: 500μmol mol⁻¹

○ 시험 방법:

- 수분을 위해 꽃대를 진동 모터가 연결된 진동바에 고정 후 매일 오전 8시부터 오후 5시까지, 관수시간 오전 10시를 제외하고, 10초간 진동 후 5초 대기, 시간당 3번 총 21번의 진동 처리함.
- 과형 비교를 위해 인공수분을 함.



Fig. 12. A vibration pollination system developed for strawberry pollination and installed at cultivation modules.

○ 측정 항목:

- 과실 생체중(fruit fresh weight), 과실 직경(fruit diameter), 과실 길이(fruit length) 및 정상과(N) 비율(percentage of normal shape fruit)
- 과실 불수정 위치에 따라 Apical(a), Middle(m), Basal(b) 3부분으로 나눈 후 a, am, amb, m, mb 및 m 6가지 종류로 기형과 형태를 분류(Fig. 13)

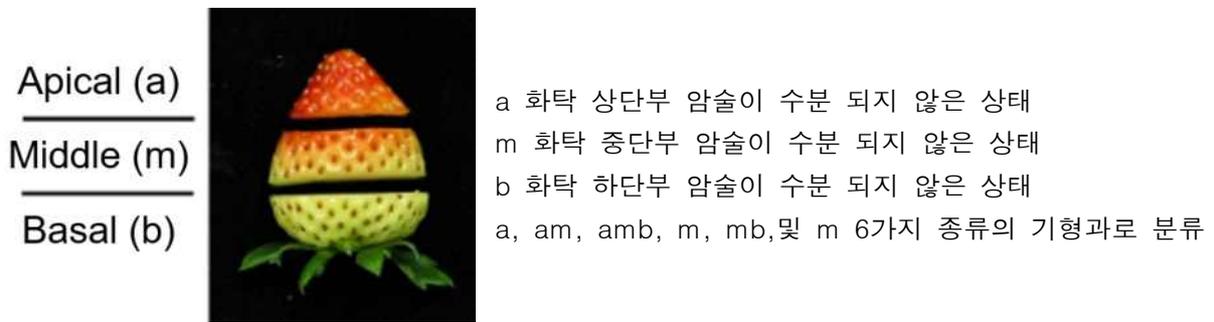


Fig. 13. Fruit malformation categorization methods according to the position of not-fertilized locations.

다. 시험 결과

- 진동 수분 방법으로 수분된 과실의 생체중은 ‘고슬’ 품종에서 유의적으로 높았으며 ‘매향’ 품종에서 가장 낮았음.
- 과실의 직경은 ‘고슬’ 품종에서 유의적으로 길었고 ‘매향’ 품종에서 유의적으로 짧았음.
- 과실의 길이는 ‘킹스베리’ 품종에서 유의적으로 가장 길었고 ‘매향’ 품종에서 유의적으로 짧았음.
- 정상과 비율은 ‘설향,’ ‘고슬,’ ‘킹스베리,’ 그리고 ‘매향’ 순서로 높았으며 ‘매향’ 품종에서는 정상과의 비율이 0%였음.

Table 3. Fresh weight, diameter and length of fruits, and percentage of normal-shape fruit of ‘Goseul,’ ‘Kingsberry,’ ‘Maehyang,’ and ‘Seolhyang’ strawberries as affected by the vibration pollination treatment (n=60).

Cultivar	Fruit fresh weight (g)	Fruit diameter (mm)	Fruit length (mm)	Normal-shape fruit (%)
‘Goseul’	12.0 a ²	30.8 a	30.9 b	40
‘Kingsberry’	7.8 b	22.4 c	38.5 a	32
‘Maehyang’	2.1 d	15.2 d	19.1 d	0
‘Seolhyang’	6.8 c	24.0 b	27.8 c	53

²Means in columns followed by different letters are significantly different by Duncan’s multiple range test at $P \leq 0.05$.

- ‘고슬’ 품종은 a, ‘킹스베리’ 품종은 m, ‘매향’ 품종은 amb, ‘설향’ 품종은 a 종류의 기형과가 가장 높은 비율을 차지하였음.
- 인공수분 된 과실 형태와 진동 수분에 의해 착과된 정상과 과실 형태는 유사하였음.

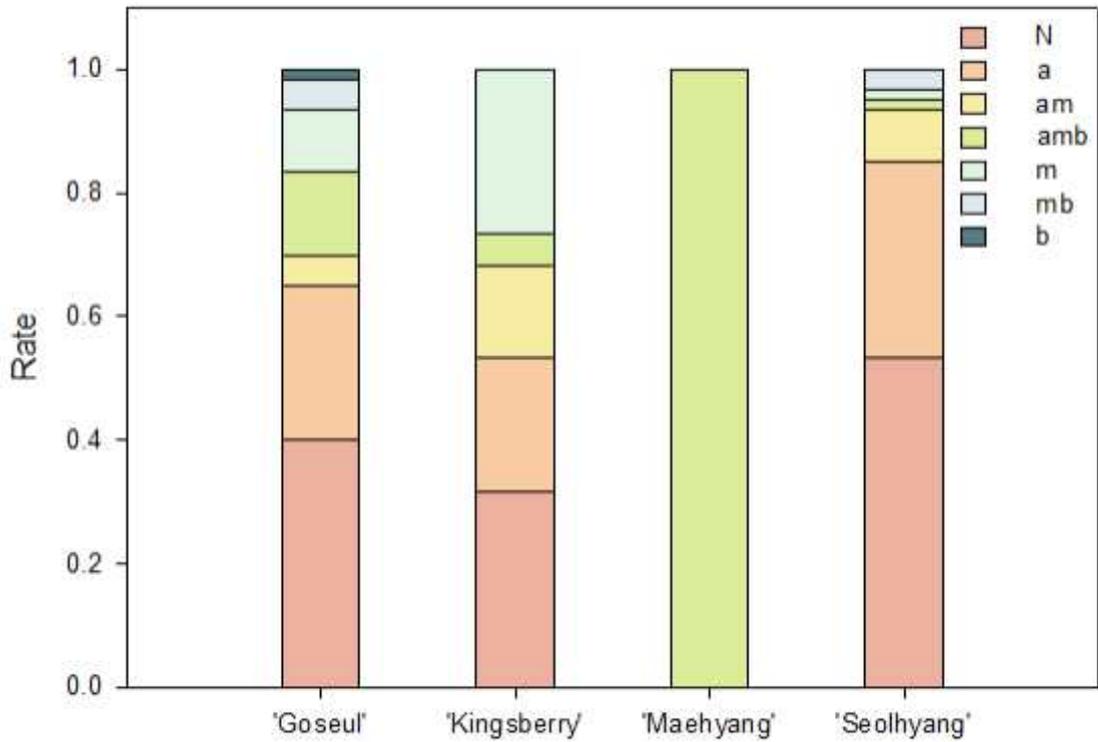


Fig. 14. Malformed fruit of strawberry cultivars classified by the achene development in the different positions of the receptacles.

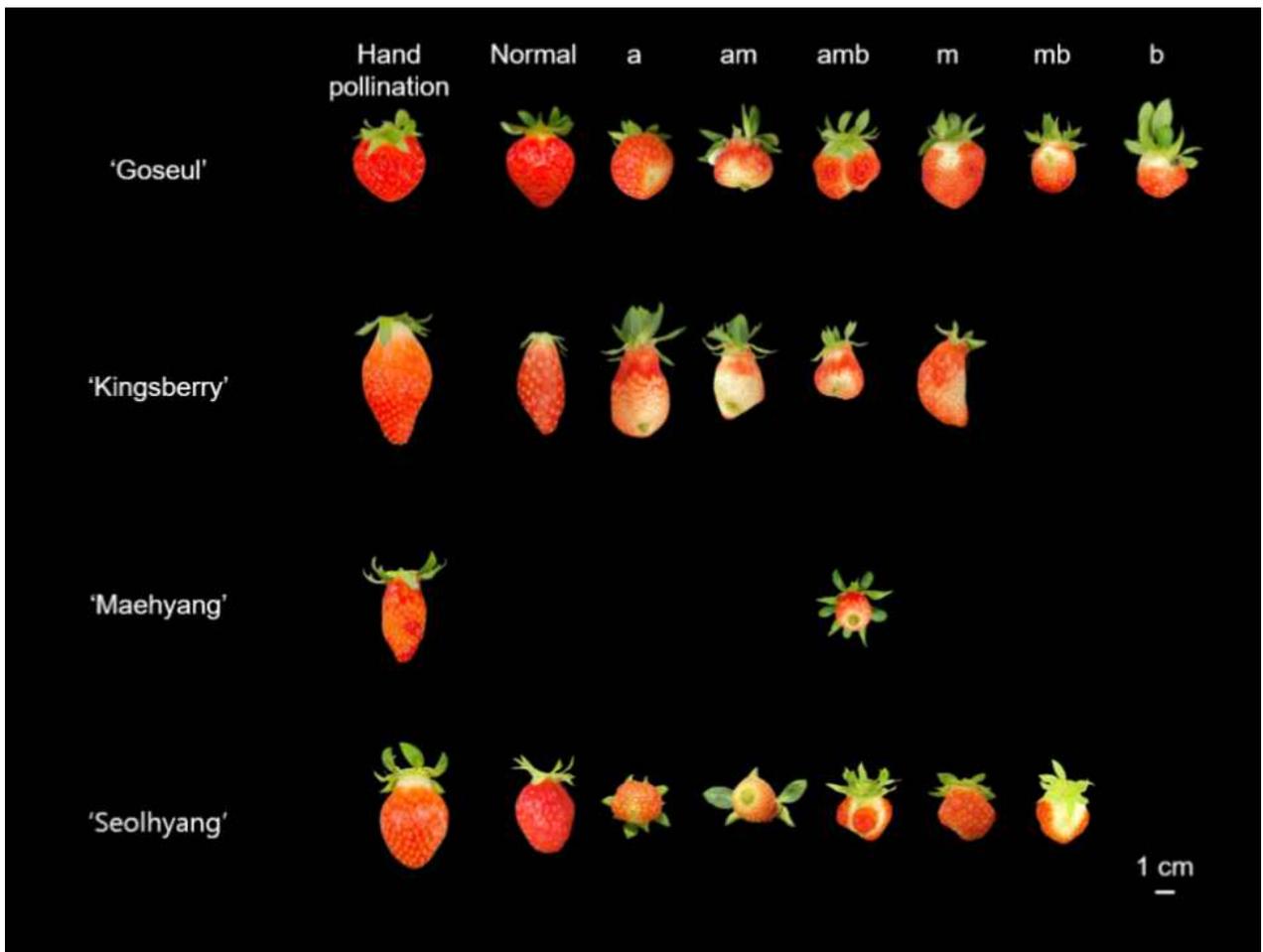


Fig. 15 Image of strawberry fruits pollinated by vibration pollination system.

라. 결과 고찰

- 식물공장 내 딸기 재배에 적용 가능한 진동 수분의 효과성을 확인하기 위해 진동 수분을 적용 후 착과된 과실의 형태를 분석하였음.
- 품종에 따라 과실 무게, 과실형태, 정상과 비율 및 기형과의 종류의 비율이 상이하였음.
- ‘고슬’과 ‘설향’ 품종에서 다양한 형태의 기형과가 발생하였으며 (시험 2)의 결과 화분 수가 많은 ‘설향’ 품종에서 정상과 비율이 가장 높았고, (시험 2)의 결과 화분 수가 많고 화분 활성이 높게 유지되었던 ‘고슬’ 품종은 과실의 무게가 가장 높았으며 정상과 비율 또한 높았음.
- (시험 2)의 결과 화분 수가 적고 화분 활성이 낮았으며 (시험 3)의 결과 구조적으로 S의 위치가 가장 가까웠던 ‘매향’ 품종은 결과적으로 화탁의 하단부만 수분되는 형태의 기형과 발생이 많았음.
- 식물공장 딸기 재배에 진동 수분 방법을 도입하였고 총매를 이용하지 않는 기계적 수분법의 가능성을 확인하였으나 정상과 비율을 높이기 위해서는 딸기 화기 구조에 적합한 기계적 수분 방식을 더 고도화할 필요가 있으며, 추가로 품종에 따른 꽃의 특성이 과실 생산에 영향을 줄 수 있다는 것을 확인하였음.
- 본 시험에서는 상대적으로 낮은 증기압차 환경에서 진동 수분 처리가 시도되었으나, 이후 수분을 시도하는 과정에서 식물공장 내부 온도 및 습도 환경 조절을 통해 보다 효과적인 수분을 유도할 수 있을 것으로 생각됨.

[공동 서울대학교] 2단계(3년 차)

가. 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 재배관리 표준화

- 딸기 재배관리 표준화를 위한 작물 생육단계 설정
 - 고화질 카메라를 활용한 작물 생육단계 전단계 모니터링
 - 생육단계별 적합한 재배환경 제시 및 재배관리 표준화

나. 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 매뉴얼 확립

- 식물공장 딸기 재배 시 진동을 이용한 수분방법 개발
 - 딸기 재배관리 표준화를 위한 작물 생육 단계 설정
 - 딸기 식물공장의 재배 매뉴얼 표준화

(시험 1) 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 개화 및 착과 특성 분석

가. 시험 목적: 식물공장 내 딸기 재배관리 표준화를 위한 개화 및 진동 유무에 따른 착과 특성 분석

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: 폐쇄형 육묘 시스템에서 육묘된 '설향'(정식일: 2023년 7월 28일)
- 시험 장소: 딸기 재배 전용 식물공장
 - 식물공장 재배환경
 - 광원: 백색 LED(warm white:cool white=5:2)
 - 일장: 12/12h(주/야간)
 - 온도: 22/14°C
 - 상대습도: 75/95%
 - 관비: pH 5.9, EC 1.5dS m⁻¹
 - CO₂ 농도: 500μmol mol⁻¹
- 시험 방법:
 - 폐쇄형육묘시스템에서 육묘된 '설향'묘를 딸기 전용 식물공장에 정식 후 재배하였으며, 재배 전 기간을 영상 모니터링함.
 - 수분을 위해 진동 처리한 처리구와 인공수분을 하지 않은 대조구의 과실을 비교함.
 - 진동 처리 방법
 - 진동 처리 시간: 11:00~15:00
 - 진동 처리 방법: 7/3sec(on/off)
 - 진동 주기: 60번/1h
- 측정 항목:
 - 정식 후 세 번째 화방까지의 1번화 개화일
 - 1번화 개화 후 첫 번째 과실 수확일
 - 진동 유무에 따라 1화방에서 수확된 과실의 무게 및 형태(n=6)



Fig. 1. Monitoring systems installed in a plant factory.

다. 시험 결과

- 정식묘는 식물공장 환경 조건에서 정식 후 평균 60일 전후로 1화방 1번화(primary) 개화가 시작되었으며, 2화방 1번화 및 3화방 1번화 개화까지는 평균 90일 및 120일 소요되었음.
- 한 화방의 1번화 개화 후 화방의 첫 번째 과실 수확까지 평균 30일 소요되었음.
- 동일한 화방 내 1번화 개화 후 2번화(secondary) 개화까지는 평균 4일, 5일 소요되었음.
- 대부분 꽃은 주간을 위한 점등이 시작되고 3시간 내로 개화하는 특징이 있었고, 개화 후 꽃잎 탈락까지 평균 3일 소요되었음.



Fig. 2. The first flower cluster (A) and ripened strawberry fruits (B) cultivated in a plant factory.

- 진동 처리하지 않은 대조구와 진동 처리한 처리구에 따른 과실 무게를 5g 이하, 5~10g, 10~15g 및 15g 이상으로 나눠서 비교하였음.
- 대조구와 진동 처리구에서 모두 5~10g의 과실 수가 가장 많았으나, 최대 과중은 각각 10.7g과 19.1g이었음.
- 각 범위의 평균 과실 무게는 대조구보다 진동 처리구에서 컸음.
- 대조구 과실 대부분은 일부 암술이 수분 수정되지 않은 기형과였으며, 특히 과실의 선단부가 수분이 되지 않은 형태가 많았음.
- 진동 처리구 과실은 대조구에 비해 과실의 형태가 정상과에 가까웠으나, 여전히 기형과 형태의 과실이었음.

Table 1. The number of fruits and the average fruit weight in each weight range in control and vibration treatment (n=6)

Fruit weight (g) range	Control		Vibration treatment	
	No. of fruits	Average fruit weight (g)	No. of fruits	Average fruit weight (g)
< 5	2	4.7	1	4.9
5 – 10	21	7.4	15	7.6
10 – 15	4	10.5	9	11.8
≥ 15	0	0	2	18.9

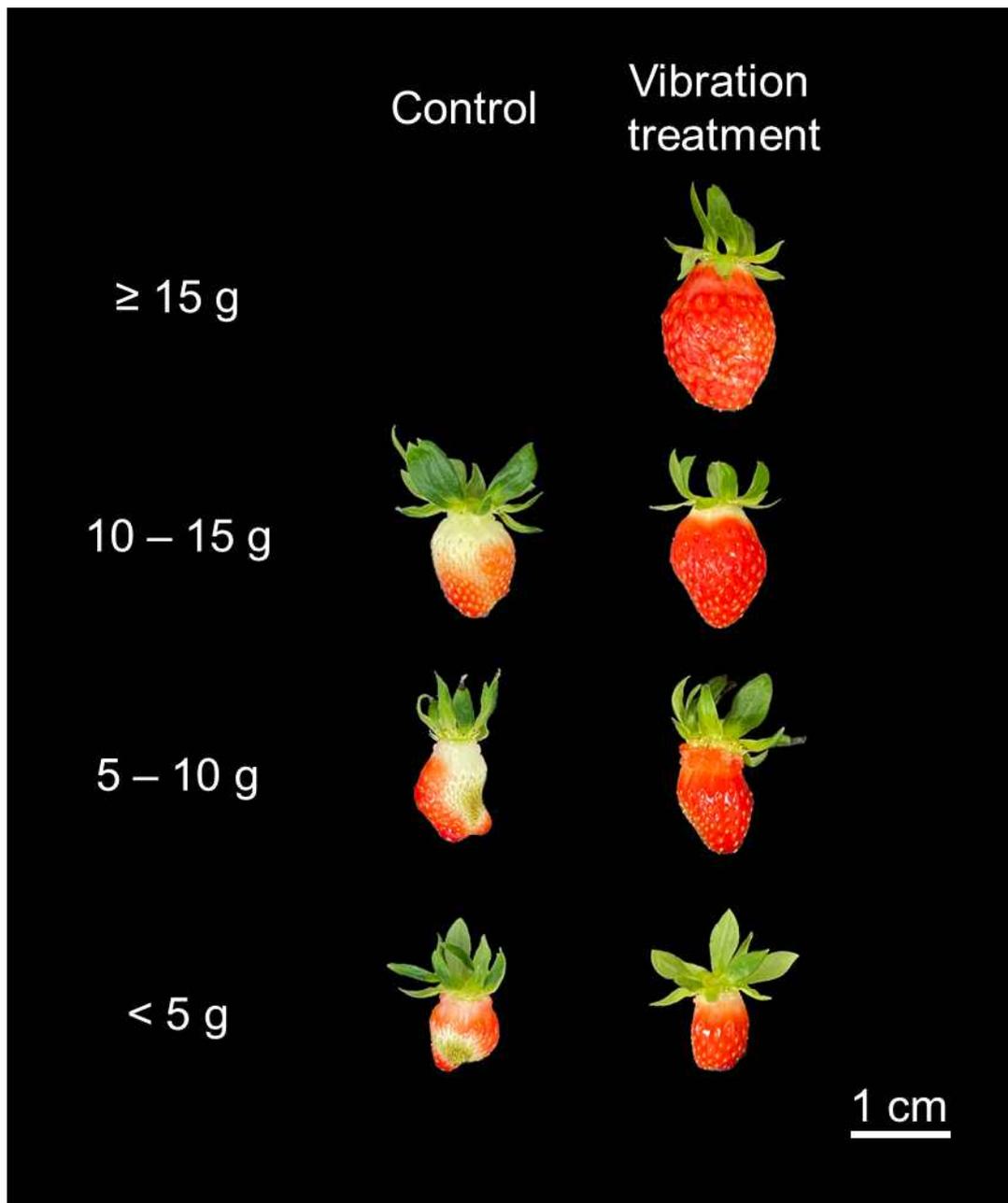


Fig. 3. Strawberry fruits in each weight range in control and vibration treatment.

라. 결과 고찰

- 폐쇄형 육묘시스템에서 육묘 된 정식묘는 화아분화가 되지 않은 영양생장기에 있는 묘로 과실 재배를 위해서는 생식생장이 유도되어야 함.
- 딸기 재배전용 식물공장 내 환경을 일장 12시간 및 주·야간 평균 기온 22/14°C로 설정하였을 때 연속적인 화아분화가 가능하였음.
- 딸기 재배전용 식물공장 내 일정한 환경 조건에서 정식 후 3화방 과실 생산까지의 식물체 세력 유지가 가능하였으나, 3화방 이상의 장기적인 재배를 위해서는 지하부 부피 확보, 정밀한 환경 관리, 세력이 왕성한 품종 선정 등의 재배관리가 필요함.
- 과실 품질은 복합적인 환경 요인에 의해 결정되며, 특히 과실의 당도는 온실 재배 시 일사량 및 기온 등에 의해 유지가 어려울 수 있지만, 환경 조건을 적극적으로 조절할 수 있는 식물공장 시스템에서는 과실의 당도 유지가 가능하다는 장점이 있음.
- 진동을 처리하지 않은 과실에 비해 진동 처리한 과실의 무게가 증가하였고, 진동 처리한 과실의 형태는 진동 처리하지 않은 과실에 비해 정상과에 가까웠으나, 딸기의 상품과 생산을 위해서는 진동 수분방법에 개선이 필요할 것으로 생각됨.

(시험 2) 식물공장 내 딸기 개화기 적합 환경 구명

가. 시험 목적: 식물공장 내 딸기 개화기 개약 및 화분 비산 유도를 위한 온습도 환경 구명

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: '설향' 꽃
- 처리 장소: 온습도 조절 챔버
 - 챔버 환경
 - 기온: 25°C
 - 상대습도: 35%(28~48%) 및 90%(87~96%)
 - 평균 VPD: 2.06 및 0.33kPa

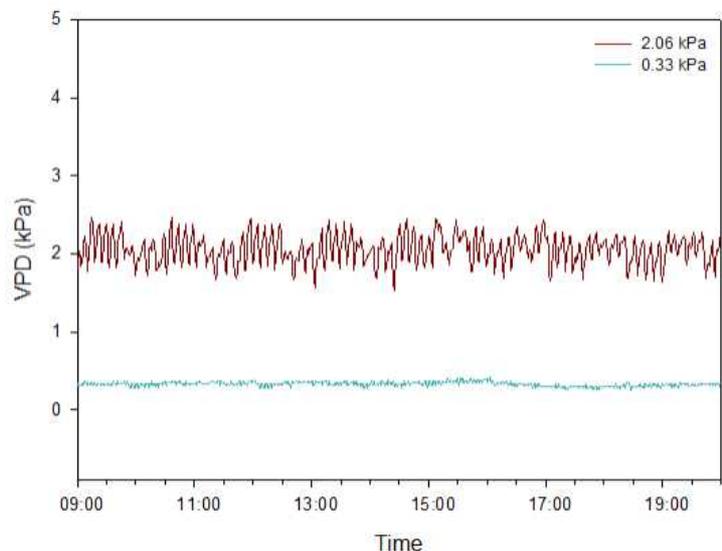


Fig. 4. A sampled strawberry flower before anther dehiscence (A) and vapor pressure deficit (VPD) treatments in a growth chamber set at 25°C (B).

○ 시험 방법:

- 처리구: VPD 20.6 및 0.33kPa
- 한 시간 간격으로 7시간 동안 개약 후 약 외부로 방출된 화분을 관찰하여 화분 면적 변화를 분석함.
- 화분 면적 상대값 = $\frac{\text{Projected area of anther} + \text{Projected area of pollen clumps}}{\text{Projected area of anther}}$
- 수술을 위치 및 크기에 따라 3가지(Short, Medium 및 Tall)로 나눠 분석함.

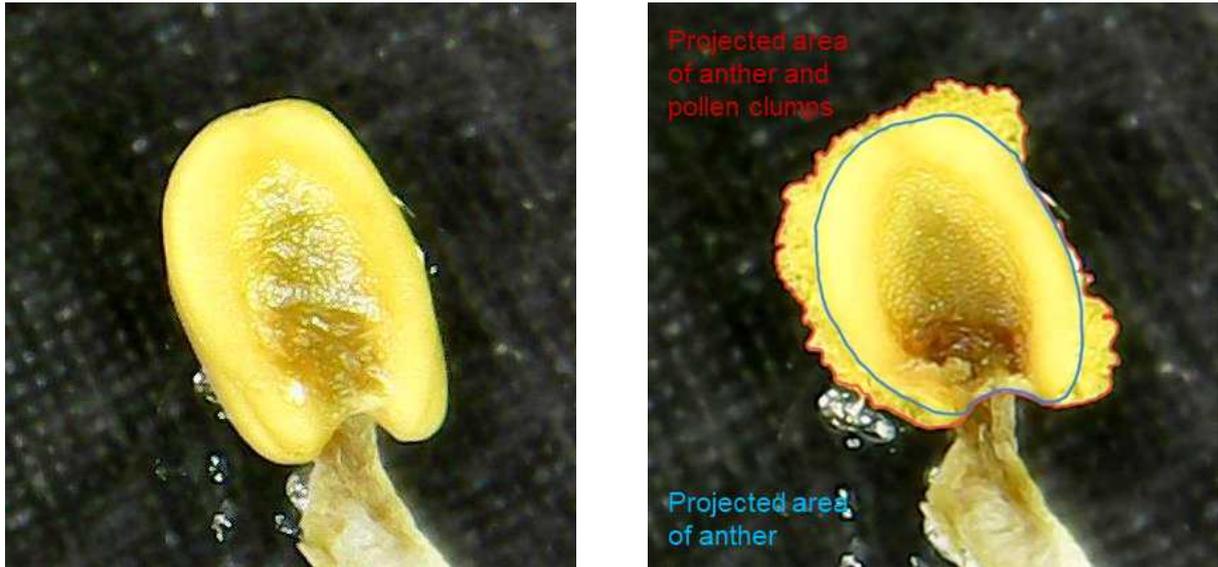


Fig. 5. Anther before dehiscence (A) and after dehiscence (B) of strawberry flower.

다. 시험 결과

- 두 가지 VPD(2.06 및 0.33)의 처리 시간에 따라 개약 후 약 외부로 방출된 화분을 한 시간 간격으로 관찰한 결과, 두 VPD 처리구 모두 Tall 수술에서 가장 먼저, Short 수술에서 가장 늦게 화분이 약 외부로 방출되었음.
- 처리 3시간부터 Medium 수술과 Tall 수술에서 두 VPD 처리구 간 방출된 화분 면적 상대값의 유의한 차이가 있었음.
- 처리 5시간부터 VPD 2.06kPa의 Short, Medium 및 Tall 수술 간 방출된 화분 면적 상대값의 유의한 차이가 있었음.
- 반면, 처리 7시간까지 VPD 0.33kPa의 Short, Medium 및 Tall 수술 간 방출된 화분 면적 상대값의 유의한 차이가 없었음.

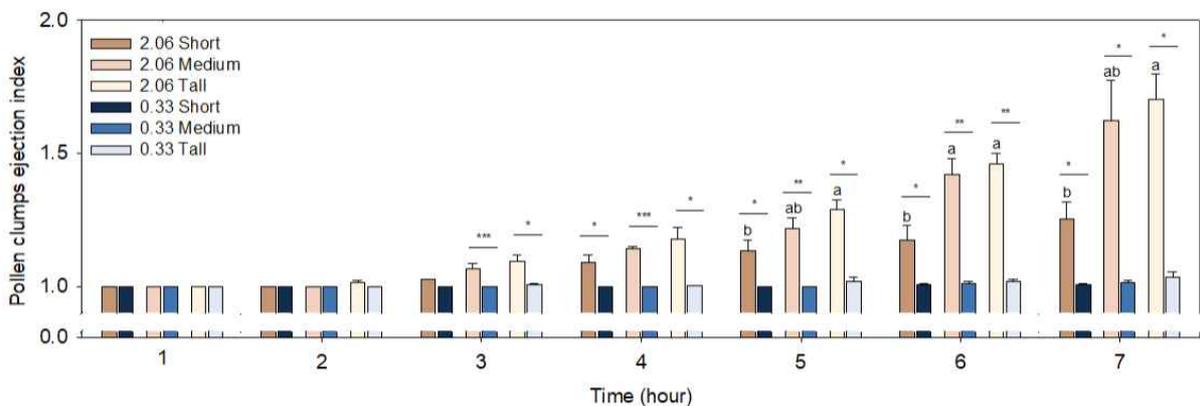


Fig. 6. Changes in pollen clumps ejection index of anthers in short, medium, and tall stamens at every hour in the vapor pressure deficit 2.06 and 0.33 kPa treatments.

라. 결과 고찰

- 식물공장 내 꽃의 개약 및 화분 비산 유도를 위한 환경 조건을 구명하기 위해 VPD에 따라 약 외부로 방출되는 화분량의 변화를 비교하였음.
- 상대습도가 낮은 VPD 2.06kPa 환경에서 상대습도가 높은 0.33kPa 환경보다 개약이 더 빨랐고, 개약 이후 화분이 약 외부로 빠르게 방출되었음.
- 반면, 상대습도가 높은 VPD 0.33kPa 환경에서는 개약 후 화분이 약 외부로 방출되는 양이 적었음.
- 수분 시기에 식물공장 내 상대습도를 낮춰 높은 VPD 조건의 환경을 조성하는 것은 빠른 개약과 화분 방출로 식물공장 내 화분 비산이 원활해질 수 있을 것임.
- 초기 식물공장 내 주간 상대습도를 높게 조성하였으나, 위와 같은 연구 결과를 반영하여 주간 개약 및 화분 비산 유도를 위해 주간 상대습도를 낮춰 높은 VPD 조건의 환경을 조성해 주었음.

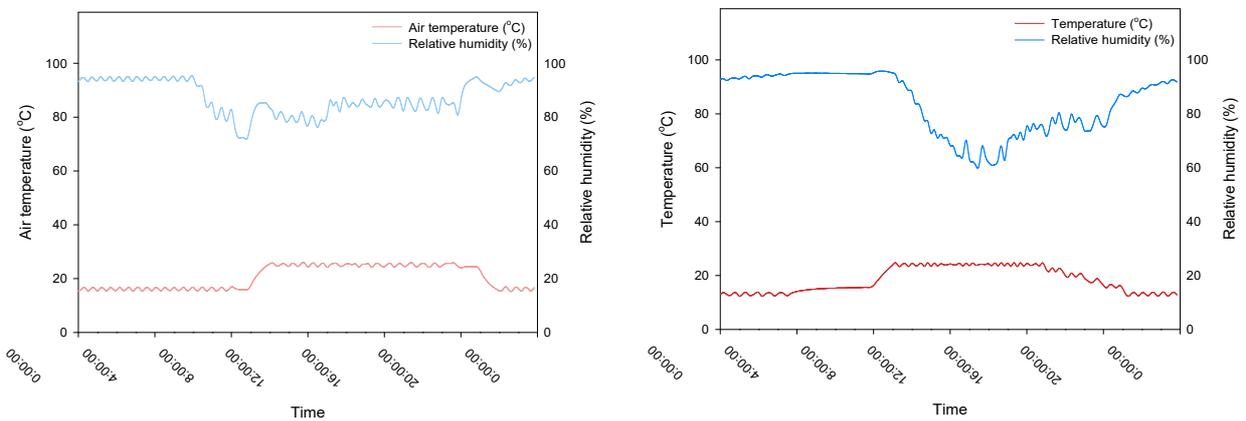


Fig. 7. Low daytime vapor pressure deficit (VPD) (A) and high daytime VPD (B) in a plant factory.

(시험 3) 식물공장 딸기 재배에 적용할 수 있는 진동 수분 방법 고도화

가. 시험 목적: 식물공장 딸기 재배에 적용할 수 있는 수분 방법 개발을 위한 최적 진동 방법 구명

나. 시험 재료 및 방법

- 시험 재료: 개약 전 '설향' 꽃
- 시험 방법: 개약 전 '설향' 꽃을 온습도 조절 챔버에 3시간 비치 후 주파수별 진동을 처리하여 화분 비산 정도를 비교함.
 - 챔버 환경
 - 기온: 25°C
 - 상대습도: 35%(28~48%)
 - 평균 VPD: 2.06kPa
 - 진동 처리
 - 챔버에서 3시간 비치한 꽃을 가진기 축에 고정하여 주파수별 상하 진동을 처리함.



Fig. 8. Vibration generator (A) and strawberry flower attached to the generator (B).

- 주기(cycle): 20초 가동 후 10초 미가동을 주기로 3번 반복하여 총 60초간 진동
- 가속도(acceleration rms): 15G
- 주파수(frequency): 50, 100, 200, 400, 800 및 1600Hz

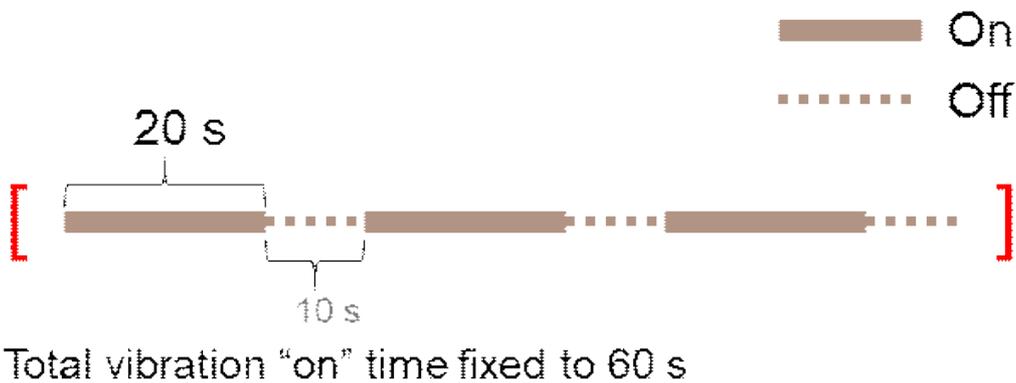


Fig. 9. A schematic diagram of a vibration cycle repeating 20 s on and 10 s off three times for a total of 60 s.

- 진동 처리 전후로 꽃을 심도별 접사 촬영하고 포커스 스택킹 기법을 활용하여 얻은 이미지를 통해 진동 후 화분 비산 정도를 분석함.

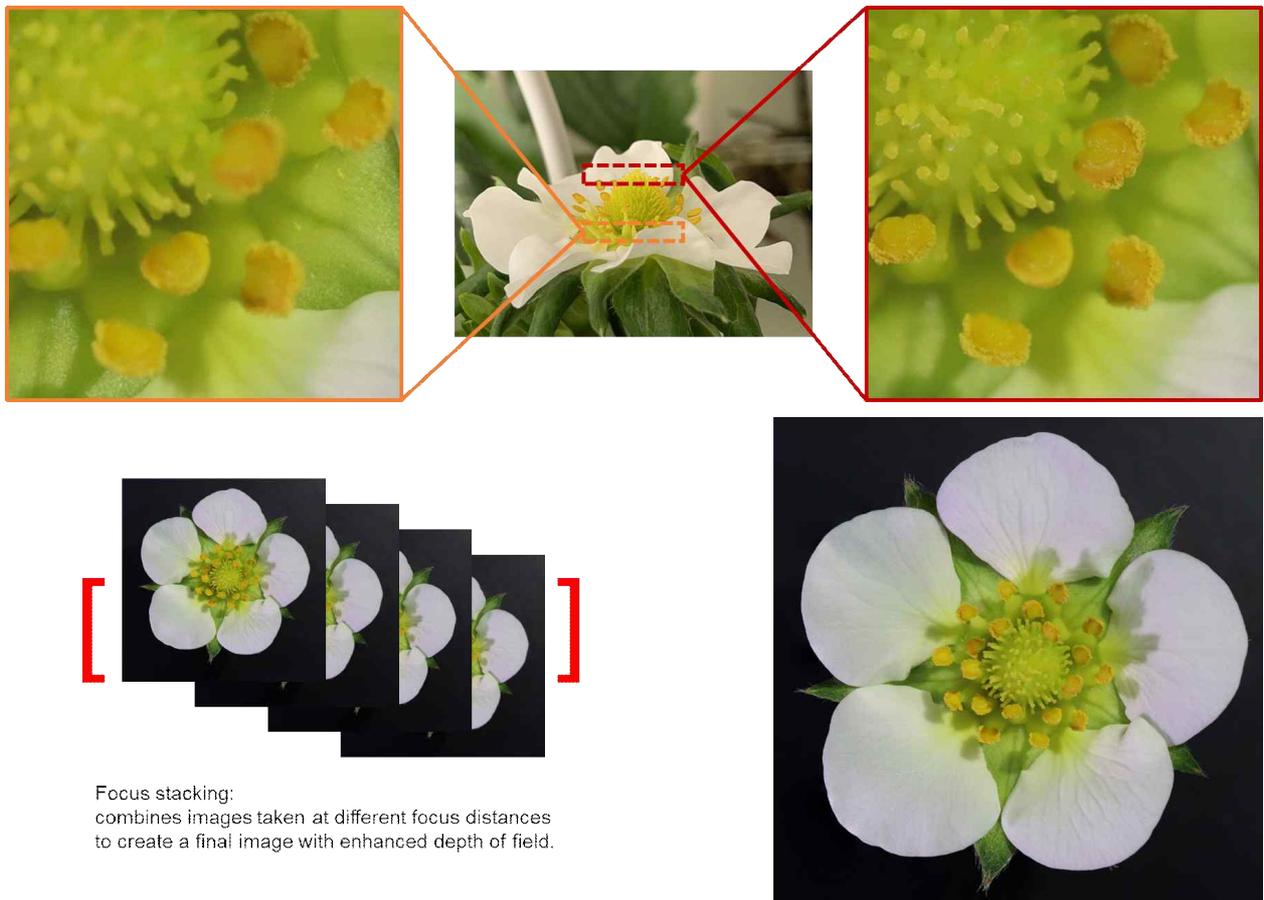


Fig. 10. A high resolution images of strawberry flower using a technique of focus stacking

- 진동 이후 약 외부로 방출된 화분 면적 상대값 = $\frac{A-B}{A}$

A: Projected area of anther and pollen clumps before vibration

B: Projected area of anther and pollen clumps after vibration

- 수술을 위치 및 크기에 따라 3가지(Short, Medium 및 Tall)로 나눠 분석함.

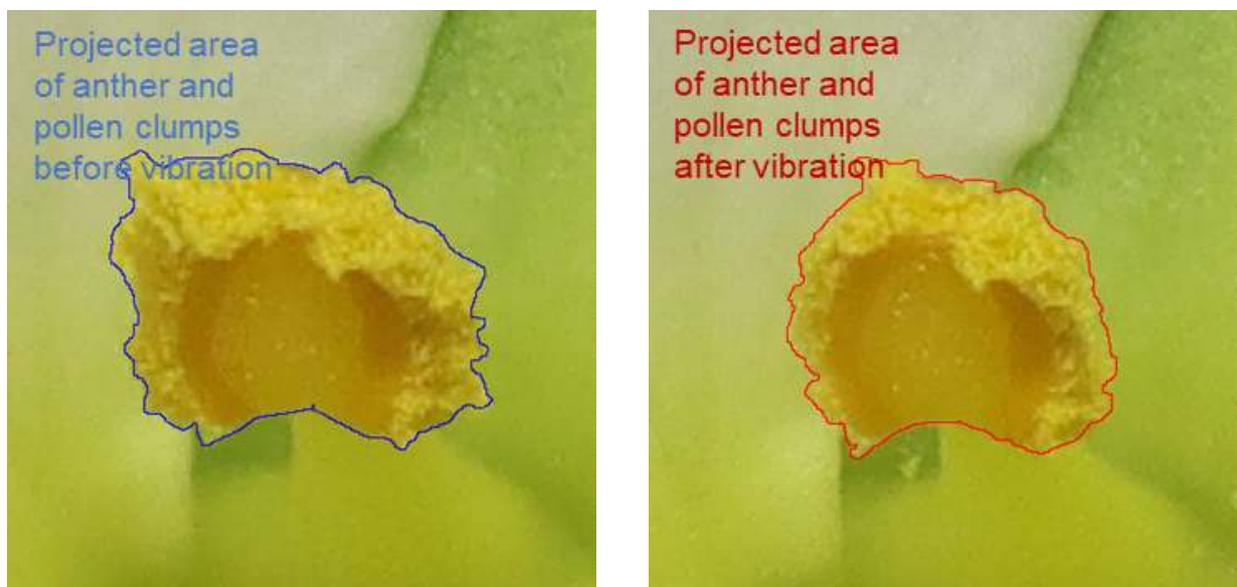


Fig. 11. Projected area of anther and pollen clumps before (A) and after vibration (B).

다. 시험 결과

- Short, Medium 및 Tall 3가지 종류의 수술에서 진동 주파수 처리에 따라 약으로부터 떨어진 화분 면적의 비율은 유사한 경향이었음.
- Short, Medium 및 Tall 수술에서 주파수 400Hz에서 가장 많은 양의 화분이 떨어졌음.
- 반면, Short, Medium 및 Tall 수술에서 주파수 800Hz에서 가장 적은 양의 화분이 떨어졌음.

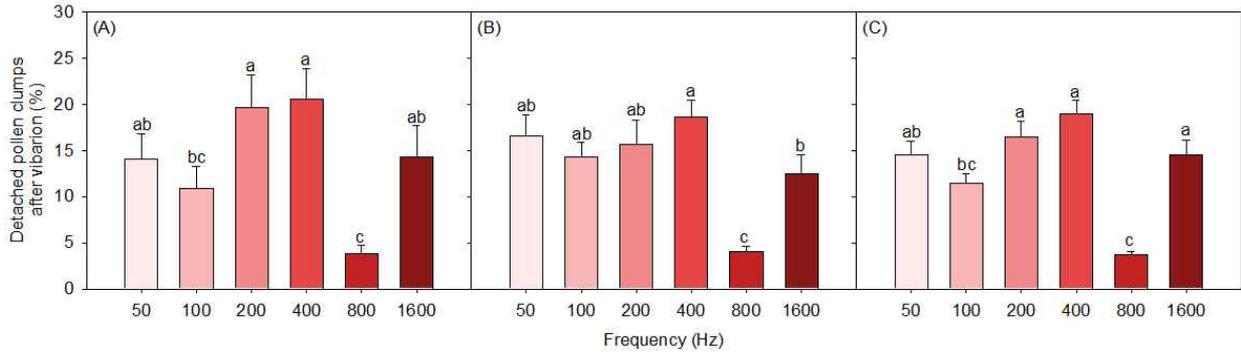


Fig. 12. Detached pollen clumps after different frequencies of vibration treatment in short (A), medium (B), and tall (C) stamens after three hours.

- Short, Medium 및 Tall 수술을 모두 합친 경우에서도 주파수 400Hz에서 가장 많은 양의 화분이 떨어졌고, 주파수 800Hz에서 가장 적은 양의 화분이 떨어졌음.

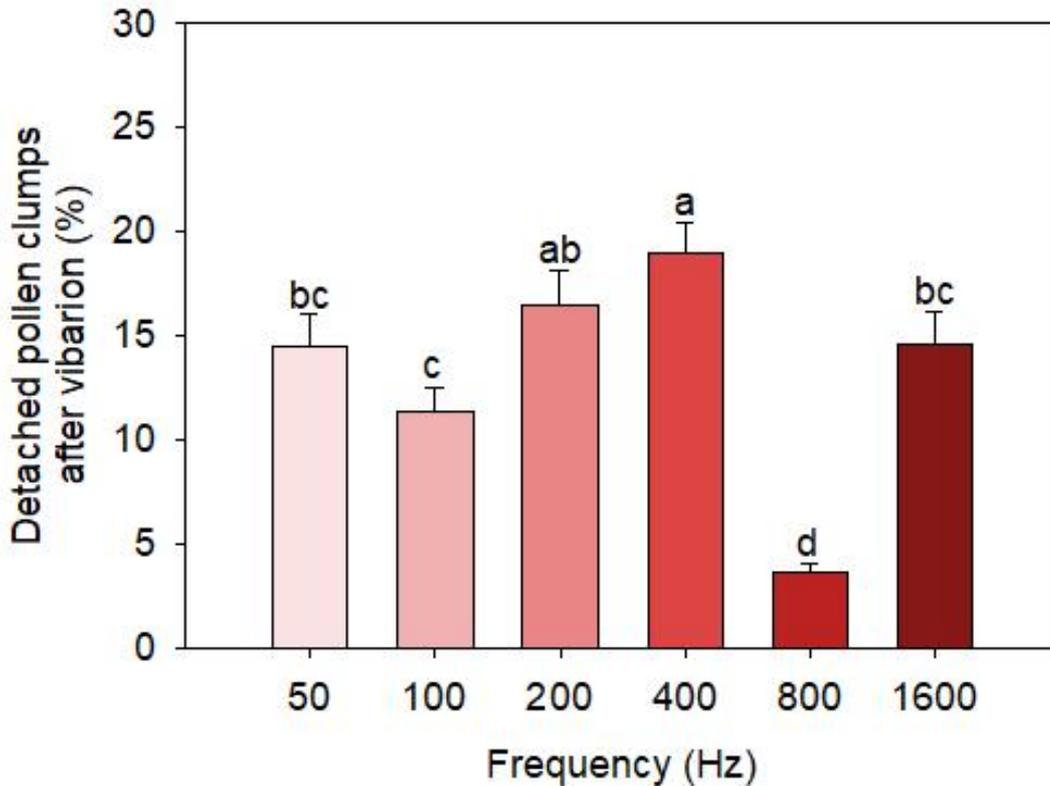


Fig. 13. Detached pollen clumps after different frequencies of vibration treatment in total stamens after three hours.

라. 결과 고찰

- 진동 주파수에 따른 화분 비산 정도를 분석하기 위해 개약 후 화분이 약 외부로 방출된 꽃에 진동 처리를 한 후 떨어진 화분량을 분석하였음.
- 주파수의 증가 혹은 감소에 따른 경향은 보이지 않았으나, 특정 진동수에 떨어지는 화분량이 다른 것을 확인하였음.
- 화분의 비산 뿐만 아니라 비산된 화분이 암술머리에 붙어 수분 되는 과정이 과실 생성에 중요한 과정이기 때문에 화탁 상단에 있는 암술까지 화분이 도달할 수 있는 진동 조건을 찾는 것이 중요함.
- 진동의 종류와 특히, 진동의 세기(가속도)에 따른 차이가 있을 것으로 고려되며, 적절한 진동 처리를 찾기 위해서는 추가적인 실험이 필요할 것으로 생각됨.
- 실제 식물공장에 적용 시에는 진동이 가해질 때 꽃의 방향이 일정하지 않고, 개약 후 방출된 화분의 양이 다르므로 본 연구 결과를 그대로 적용하기는 어렵겠지만, 화분 비산에 효과적인 주파수대의 진동을 적용하는 등으로 활용될 수 있을 것임.

고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한
차세대 식물공장 운영 매뉴얼



고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 운영 매뉴얼



연구기관
주식회사 퓨처그린
서울대학교

목 차

제1장 딸기 주년생산을 위한 차세대 식물공장 개발	
1.1. 식물공장 시스템 체계	03
제2장 딸기 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개요	
2.1. 폐쇄형 딸기 육묘 시스템	07
2.1.1. 개요 및 운영 목적	07
2.1.2. 구성 및 설계	09
2.1.3. 환경 조절 및 운용 방법	10
2.2. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템	12
2.2.1. 개요 및 운영 목적	12
2.2.2. 구성 및 설계	12
2.2.3. 제어 방법	17
제3장 식물공장 딸기 과실 생산 기술	
3.1. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 재배 환경	19
3.1.1. 재배 환경 조절	19
3.1.2. 국부 환경 조절	22
3.2. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 재배 관리	24
3.2.1. 재배 품종 선정	24
3.2.2. 재배 및 과실 생산	27

본 결과물은 농림식품기술기획평가원의 기술사업화지원사업의
“고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개발”
연구 결과를 반영하여 제작하였음.

제2장

딸기 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개요

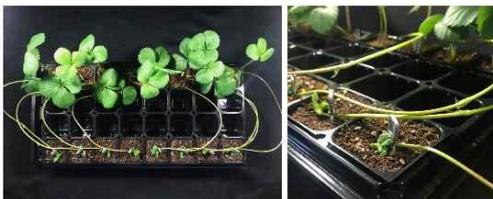
- 2.1. 폐쇄형 딸기 육묘 시스템
- 2.2. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템

2.1. 폐쇄형 딸기 육묘 시스템

2.1.1. 개요 및 운영 목적

○ 폐쇄형 딸기 육묘 시스템 개요

폐쇄형 딸기 육묘 시스템에서 '독립영양채묘법'을 통해 생산된 증식체는 화이분화를 거쳐 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템의 정식묘로 사용된다. '독립영양채묘법'이란 증식체로부터 독립적으로 광합성이 가능한 최소 크기의 자묘를 채묘하여 딸기 묘의 증식 효율을 극대화하는 방법이다. 증식체는 세 개의 자묘를 생산한 후 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템으로 옮겨져 정식묘로 활용된다.



* 출처: 김연미씨앗배기진, 딸기 묘 증식 '독립영양채묘법' 개발(2019)

딸기의 독립영양채묘법 증식체(모주)와 자묘

○ 운영 목적

■ 연중 정식묘 공급

딸기 주년생산을 위한 차세대 식물공장을 효율적으로 운영하기 위해서는 균일한 품질의 딸기 정식묘가 안정적으로 공급되어야 한다. 일반적으로 국내에서 재배되는 딸기 정식묘 공급 시기는 매우 한정적이다. 그러나 과실 생산 전용 식물공장에서 딸기를 재배하는 경우 관행의 작기를 따르지 않기 때문에, 폐쇄형 딸기 육묘 시스템을 활용하여 균일한 품질의 딸기 정식묘를 연중 공급하는 것이 매우 중요하다.

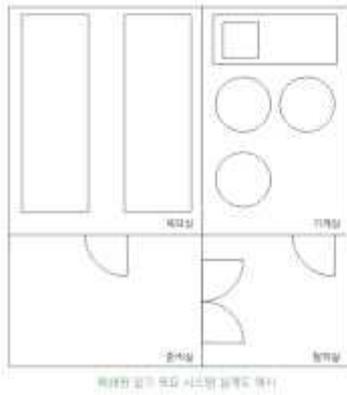
■ 무병 정식묘 공급

온실에서 생산된 정식묘를 식물공장 내부로 도입하는 경우, 외부로부터 병해충이 유입될 가능성이 있으므로 묘에 대한 병해충 방제가 필수적이다. 일반적으로 식물공장은 위생적인 밀폐형 재배 시설이기 때문에 병해충에 노출되지 않은 무병묘를 도입하는 것이 가장 이상적이다. 폐쇄형 딸기 육묘 시스템은 바이러스 무병주인 조직배양묘를 무주로 이용하여 증식함으로써 무병 정식묘를 안정적으로 공급할 수 있는 큰 장점이 있다.

2.1.2. 구성 및 설계

① 폐쇄형 딸기 육묘 시스템 구성 및 설계

폐쇄형 딸기 육묘 시스템은 외부로부터의 병해충 유입을 차단하기 위해 육묘 시설을 폐쇄 구조로 설계한다. 단의 면적당 재배효율을 높이기 위해 폐쇄형 시스템 내부에 다단 배드를 설치한다. 재배 배드 상단에는 인공광원을 설치하며 밑줄 초시하며, 공조 시스템을 활용하여 주간 및 야간 온도를 관리한다. 동시에 지면관수를 활용하여 재관액을 효율적으로 공급한다.



폐쇄형 딸기 육묘 시스템 설계도 예시

2.1.3. 환경 조절 및 운용 방법

① 폐쇄형 딸기 육묘 시스템 운용 및 재배 관리 방법

■ 재배 환경 조절

폐쇄형 딸기 육묘 시스템에서 효율적인 육묘 환경을 조성하기 위해 광도 15μmol m⁻² s⁻¹ 및 이산화탄소 농도 400~2,000μmol mol⁻¹로 유지하는 것이 바람직하다. 밀집과 기온의 경우 재배 품종 특성에 따라 최적 범위가 다를 수 있다. 밀집성 품종의 경우 밀집 고온 조건을 유지하는 것이 영양생장에 유리하므로 밀집 14~20k lx, 주간 및 야간 기온을 각각 23~30℃ 및 16~22℃로 유지하는 것이 효과적이다.

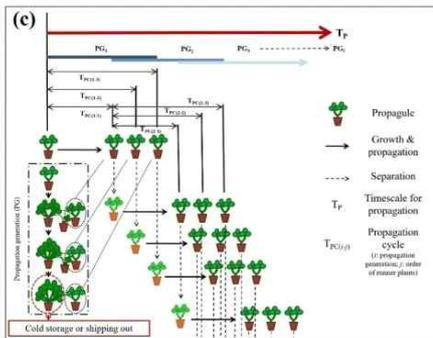
* 출처: 육천호 외 (2021) 2021년 12월 24일



폐쇄형 딸기 육묘 시스템

① 독립영양체모법

‘독립영양체모법’은 빠른 증식과 효율적인 공간 활용을 위해 작은 크기의 증식체를 사용하는 것이 특징이다. 완전히 전개된 엽수 2매, 관부 직경 4~5mm 크기의 묘를 최초의 증식체로 사용한다. 증식체에서 영양번식 기관인 리너가 발생하면, 리너를 배치에 고정하고, 리너가 최초의 증식체 크기에 도달하면 자묘를 증식체로부터 분리한다. 세 개의 자묘를 생산한 증식체는 엽수 6~7매 및 관부 직경 10~14mm의 크기에 도달하게 된다. 증식체는 이후 폐쇄형 딸기 육묘 시스템 외부로 나와 저온 저장 후 화아 분화를 유도하여 출하되거나, 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템의 정식묘로 사용된다.



* 출처: Seon Woo Park, Sung Kyeom Kim, Yurina Kwack, Changhoo Chun (2020) Simulation of the number of strawberry transplants produced by an autotrophic transplant production method in a plant factory with artificial lighting, Horticulturae 6(4):63

독립영양체모법을 이용한 딸기 증식 방법 체계도

2.2. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템

2.2.1. 개요 및 운영 목적

① 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템 개요

딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템은 딸기 과실 재배를 위한 인공광 이용형 식물공장을 의미하며, 연중 과실 생산을 위한 환경 조절 기술, 수분·수정을 위한 화분 매개 기술 등을 갖춘 시설이다. 딸기 재배 전용 모듈 및 베드를 이용하여 재배 면적당 생산량을 극대화할 수 있으며, 작물의 각 발달 단계에 필요한 재배 관리 기술을 적용해 운용할 수 있다.

② 운영 목적

■ 안정적 딸기 과실 주년생산

딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템은 딸기 과실의 안정적 주년생산을 목적으로 한다. 이를 위해 균일한 품질의 정식묘의 안정적 공급이 선행되어야 하고, 정식 이후 연속적인 화아분화 유도를 통해 과실의 주년생산이 가능하다. 복합적인 환경 조절과 재배 관리를 통해 과실 생산의 효율을 높이는 것이 매우 중요하다.

■ 식물공장 과실 생산 기술 개발

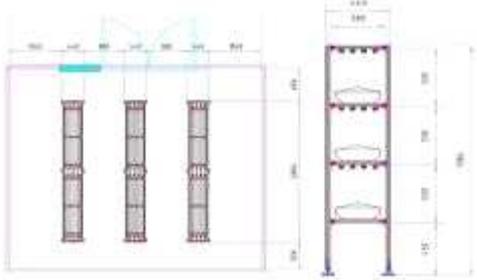
딸기 품종에 따라 최적 생육 조건과 화아분화 유도 환경이 다르므로 이에 적합한 발달 단계별 재배 관리 방법을 적용해야 한다. 식물공장 내 다양한 환경 및 수분 방법을 적용함으로써, 딸기 품종에 따른 최적 생육 조건 및 수분 시스템을 확립할 수 있다.

2.2.2. 구성 및 설계

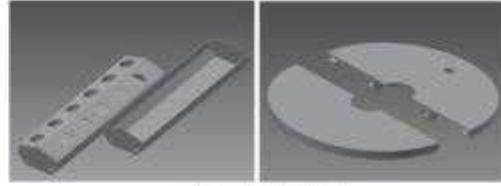
1) 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템 구성 및 설계

■ 다단 구조 및 트레이 베드 설계

딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템은 딸기 과실 재배에 특화된 시스템으로 설계되었다. 단위 면적당 과실 생산 효율을 높이기 위해 다단 구조가 적용되었다. 딸기 전용 트레이는 딸기의 최상 발달 특성을 고려하여 수확이 쉽도록 베드 키스에 최우선적으로 경사를 주고, 개별 모드 재배가 가능하도록 설계하였고, 개별 재배 모드에 커버를 씌워 배지의 녹조 발생을 방지하였다. 지하부는 외부관을 차단하고 배액이 배수 배관을 통해 빠져나갈 수 있도록 설계되었다.



딸기 과실 생산 전용 식물공장은 두 단계로 구성된다



딸기 재배 전용 베드 및 베드 커버 설계



딸기 재배 전용 베드 및 베드 커버

■ 지상부 환경 제어 시스템

딸기 과실 생산 전용 식물공장 내 지상부 환경의 정밀한 제어를 위한 시스템으로 최적 일장 및 광도 설정을 위한 광 환경 제어, 주야간 온도 제어를 위한 공조, 균일한 상대습도 조절을 위한 가습기 및 덕트, 광합성 효율 증진을 위한 이산화탄소 공급, 과실 생산을 위한 수분 보조 장치인 비람 및 진동 제어 시스템이 구축되어 있으며 복합적 제어를 통해 정밀한 환경 조절이 가능하다.



딸기 과실 생산 전용 식물공장 내 기존 및 상대습도 환경 제어 시스템



딸기 과실 생산 전용 식물공장 내 수분 보조 장치 시스템

■ 지하부 환경 제어 시스템

딸기 과실 생산 전용 식물공장 내 지하부 환경의 정밀한 제어를 위한 시스템으로 배양액 조제를 위한 pH 및 EC 측정 센서 및 조절 장치, 배양액 온도 조절을 위한 냉각기, 배양액 공급을 위한 점적관수 장치, 근권부 양수분 공급이 가능한 노즐 장치가 구축되어 있으며 이를 통해 최적의 지하부 환경을 유지할 수 있다.



딸기 과실 생산 전용 식물공장 내 배양액 제어 및 점적 관수 시스템

2.2.3. 제어 방법

○ 시스템 제어 방법

■ 딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템 제어 프로그램

딸기 과실 생산 전용 식물공장 제어 프로그램을 사용하여 식물공장 내부 환경 조절이 가능하다. 일장, 주야간 온습도, 이산화탄소 농도, 배양액의 pH 및 EC, 배양액의 온도, 배양액 공급 시간, 수분 보조를 위한 바람 및 진동 공급 시간 등을 설정할 수 있다. 정밀한 환경 조절을 위하여 다양한 센서를 통해 측정 값을 확인하고 설정 값의 허용 범위를 벗어났면 비상 알람이 울리도록 알람 시스템이 탑재되어 있다. 동시에 데이터 자동 저장 기능을 활용하여 다양한 환경 데이터를 백업하며, 원격 프로그램을 통해 외부 PC, mobile 기기 등에서 확인하고 제어할 수 있다.



딸기 과실 생산 전용 식물공장 시스템 제어패널 메인화면

17 고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 운영 매뉴얼

3.1. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 재배 환경

3.1.1. 재배 환경 조절

○ 식물공장 딸기 과실 재배를 위한 재배 환경 조절 기술

■ 지상부 환경 조절 기술

식물공장은 인위적인 환경 조절이 가능한 시스템으로, 재배하고자 하는 작물의 최적 환경을 유지하는 데 매우 효과적이다. 딸기 과실 주년생산을 위해서는 환경 조절을 통한 화분분화 유도 기술이 매우 중요한 역할을 한다. 국내에서 주로 재배되는 일계성 딸기는 단일 식물로 광합성 최적 온도는 20~23℃ 범위이다. 식물공장 내 정식 후 11시간 이하의 광주기를 유지하고, 주간 기온은 23℃ 전후로, 야간 기온은 13℃ 전후로 유지해 재배하였을 때 연속적인 화아분화를 유도할 수 있으며, 이를 통한 딸기의 연속적인 화방 출현 및 과실 생산이 가능하다.

식물공장 내 상대습도는 작물의 생육뿐만 아니라 화아분화 이후 개화에도 영향을 미친다. 개화기에 주간 상대습도가 높아지면, 약이 터져 화분이 약으로부터 방출되는 개각 단계에서 화분이 응집되게 하여 화분비산이 원활하게 이루어지지 않는다. 충분한 화분비산을 통해 효과적인 수분을 유도하기 위해서는 주간 상대습도를 낮게 유지하는 것이 중요하며, 주야간 상대습도가 지속해서 높게 유지되면 경우 기형과 발생이 많아질 수 있다.

일때면 식물공장 내부는 이산화탄소 농도가 낮아지기 때문에 지속적으로 이산화탄소를 공급해 광합성 효율을 유지해야 한다. 이산화탄소 농도가 증가할수록 광합성 속도도 증가하는 경향이 있지만, 식물공장 내 정식 된 작물의 생육 상태에 따라 농도를 조절하는 것이 이상적이다. 또한 작업자 출입으로 인해 식물공장 내부 이산화탄소 소실이 쉽게 일어날 수 있어 주의해야 한다.

19 고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 운영 매뉴얼

제 3 장

식물공장 딸기 과실 생산 기술

3.1. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 재배 환경

3.2. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 재배 관리

■ 지하부 환경 조절 기술

딸기 배양액 조성은 아마자키처방, 치바농시처방, 일본원시처방, 유럽처방 등이 이용된다. 딸기 배양액의 적정 pH는 6.0~6.5이며, 정식 직후에는 배양액의 농도를 낮게 유지하고 생육이 진전됨에 따라 농도를 높여주는 것이 일반적이다. 과실 생산 기에는 EC 1.0dS m⁻¹ 내외로 유지하는 것이 좋다. 배양액의 급액량은 배지의 종류, 지하부 부피 등에 따라 달라지지만, 재배 기간 동안 배액률을 20%로 유지하는 것이 이상적이다.

작물의 양분 흡수 패턴은 식물체의 생육 단계 및 영양·생식생장의 균형과 고형 배지 종류에 따라서 달라질 수 있다. 식물공장 내 딸기 재배에 이용할 수 있는 고형 배지로는 코코피트, 상엽용 혼합 배지, 암면 등이 있다. 비순환 수경 재배가 아닌 순환 수경 재배를 목표로 시 주기적으로 배액의 원소를 분석하여 작물의 양분 흡수 패턴을 확인하는 것이 이상적이다. 식물공장 내 장기적인 연속재배 시 미량원소 결핍에 의한 징해가 나타나기 쉽다. 원소 결핍이 관찰된 경우, 배양액을 갱신하고, 미량원소 함량을 조정해 주는 것이 바람직하다.

식물공장 내 딸기 장기 재배 시 목표로 하는 재배 기간에 따라 충분한 지하부의 부피를 확보해야 하며, 이에 따른 적정 재배 방법을 선택해야 한다. 개별 포트 사용 시 개체별 관리가 쉬운 장점이 있으나, 근권부 부피의 제한으로 재배 기간이 길어질수록 뿌리 생육이 불량해져 양분 흡수가 저해될 수 있다. 따라서 재배 기간에 따라 적합한 지하부 부피를 설정하는 것이 중요하다.



딸기 과실 생산 전용 식물공장 내 지하부

제3장 식물공장 딸기 과실 생산 기술 20

필수원소의 식물 체내 생리적 역할

원소	생리적 역할	
다량원소	N	원형질 구성분인 단백질 구성, 생육 촉진, 동화작용 조정
	P	광합성 중간생산물, ATP 핵산 효소 구성, 분열과 신장
	K	세포 수분조절, 질산 환원과 단백질 합성, 저항성 증대
	Ca	세포막 형성, 유기산 중화, 뿌리 생육 촉진, 신호전달 체계
	Mg	엽록소 구성, 탄수화물 대사, 인 흡수와 이동
미량원소	S	아미노산 비타민 화합물, 산화 환원 작용, 리그닌 형성
	Fe	엽록소 형성, 철효소로 산화 환원 작용, Cu·Mn과 길항 관계
	B	Ca 흡수와 핵산 형성, 수분 탄수화물 질소대사 관여
	Mn	엽록소 생성, 광합성, 비타민C 합성, 산화환원효소의 활성화
	Zn	효소의 구성 원소, 산화환원 촉매, Fe·Mn과 길항 관계
	Mo	산화환원효소 구성, 근류균 질소고정, 비타민C 생성
	Cu	산화환원효소 조성분, 에틸렌 옥신 생성 촉매

말기의 양액 처방

처방	(단위: me L ⁻¹)					
	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg
원시처방	16.0	1.34	4.0	8.0	8.0	4.0
야마자키	5.0	0.5	1.3	3.0	2.0	1.0
차바농시처방	11.0	1.0	3.0	6.0	5.0	4.0
유럽처방	12.0	0.6	4.0	6.3	6.6	2.8

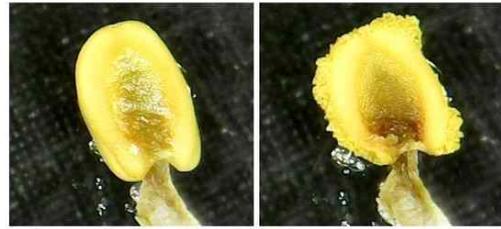
* 출처: 농촌진흥청, 농업기술실용화재단, 딸기

3.1.2. 국부 환경 조절

○ 식물공장 수분 보조 시스템을 위한 국부 환경 조절 기술

■ 국부 상대습도 조절 기술

개약 시기와 개약 이후 화분이 약으로부터 방출되는 정도는 화기 주변부 환경에 영향을 받을 수 있다. 수분 보조 수단을 효과적으로 적용하기 위해서는 개화 이후 개약 단계에 화기 주변부 상대습도를 낮게 유지함으로써 개약을 유도하고 화분비산이 원활하게 이뤄질 수 있도록 하는 것이 좋다. 화기 주변부 상대습도를 낮추는 방법으로 건조한 바람을 화기 주변부에 공급하여 국부적으로 습도를 조절하는 방법을 활용할 수 있다. 이를 위해 국부 상대습도 조절 시스템을 개발 중이며 식물공장 전체 상대습도를 조절하는 것과 비교하였을 때 효율적으로 에너지를 이용할 수 있다는 장점이 있다.



개약 전 약과 개약 후 약으로부터 방출된 화분

■ 진동 수분 기술

개약 이후 화분이 약으로부터 방출되었을 때 물리적인 자극으로 약의 비산이 일어날 수 있다. 딸기는 한 화기에 암술과 수술이 모두 있는 완전화이며, 일반적으로 수술 20~25개와 암술 200~400개로 형성되어 있다. 암술의 70~80% 이상이 수분-수정되어야 정상적인 형태의 과실이 형성된다. 딸기의 화기는 개방화 구조이기 때문에, 추가적인 수분 보조 수단 없이 화기의 암술이 모두 수정되는 것이 쉽지 않다. 수분 보조 수단으로 물리적인 자극인 진동을 적용하여 개약 이후 화분이 암술로 이동하도록 하는 방법을 활용할 수 있다. 이를 위해 적정 진동수와 진동의 세기를 구명하는 연구가 진행 중이며 이를 통해 효과적으로 수분을 보조할 수 있다는 장점이 있다.



개약 이후 진동에 따른 화분비산

3.2. 딸기 과실 생산 전용 식물공장 재배 관리

3.2.1. 재배 품종 선정

○ 품종 선정에 따른 고려 사항

■ 품종별 생육 특성

딸기 품종에 따라 최적 생육 조건과 화아분화 유도 환경이 다르므로 재배를 목표로 하는 품종에 적합한 생육 단계별 재배 관리 기술을 적용해야 한다. 또한, 수분 보조 수단을 활용할 때 품종의 화기 특성을 고려해 최적의 방식을 적용해야 한다.

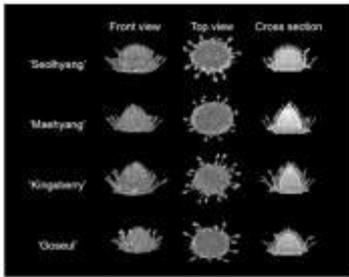


딸기 개화기 및 착과기

■ 세부 화기 구조

딸기는 품종에 따라 화각의 형태 및 크기, 암술의 수, 수술의 길이 및 각도 등 세부적인 화기 구조 특성이 다르다. 이러한 화기 구조의 특성은 수분 보조 수단인 바람 및 진동을 이용한 수분 방식의 성공률에 영향을 주는 요인으로 적용할 수 있다. 식물 공장에서는 총매가 아닌 바람 및 진동을 주요 수분 방법으로 사용할 경우, 성공적인 수분을 위해서 먹으로부터 방출된 화분이 화각에 있는 암술 전체에 골고루 비산되는 것이 중요하다.

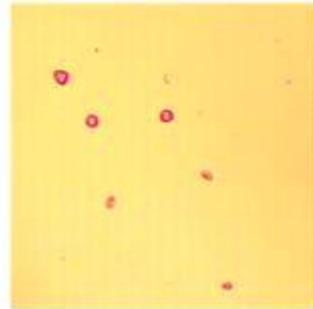
화각 첨단부에 있는 암술과 길이가 가장 긴 수술의 거리가 가깝고, 수분 되어야 하는 암술의 수가 많지 않으며, 화각을 둘러싸고 있는 수술의 각도가 작은 등의 세부 화기 구조 특성을 가진 품종을 선정하는 것이 수분 보조 수단을 통한 수분에 유리할 수 있다. 식물공장 딸기 과실 재배 시 효과적인 수분 보조 방법을 적용하기 위해서는 세부 화기 구조 특성을 고려하여 이용하고자 하는 수분 방식에 적합한 품종 선정이 선행되어야 한다.



주요 딸기 품종별 화기 구조 특성

■ 화분 수 및 화분 활성

딸기는 품종에 따라 화분 수 및 화분 활성이 다르다. 화분 수가 많고 화분 활성이 높게 유지되는 품종을 선정하는 것이 성공적인 과실 재배에 중요한 역할을 한다. 화분 활성은 수분 수장에 영향을 주는 매우 중요한 요인으로 화분 활성이 높게 유지된다는 것은 개역 이후 수분 과정에서 활력이 높은 화분이 수분 될 가능성이 높다는 것을 의미한다. 품종별 화분 수 및 화분 활성 특성을 고려해 적합한 품종을 선정해 재배하는 것이 식물공장 딸기 과실 생산에 유리하다.



딸기 화분 활성 조사

3.2.2. 재배 및 과실 생산

○ 식물공장 딸기 과실 재배를 위한 수분 기술

■ 총매

개화기에 꿀벌을 방사하여 수분을 매개하는 총매는 기형과 발생률이 낮고 수분을 위한 추가적인 노동력 소요가 많지 않다는 장점이 있어 딸기 온실 재배에 주로 이용된다. 식물공장에서 벌을 이용하는 총매를 도입할 경우 벌의 활동성 확보를 고려한 환경 조성이 필요하다. 식물공장 면적이 작은 경우 벌의 활동 공간에 제약이 생길 수 있으며, UV-B 파장대의 인공광원 추가 설치 등 벌의 활동성을 높이기 위한 적절한 환경 조성이 필요하다. 또한 먹이로부터 매개충을 도입할 경우 식물공장 내부 위생 관리에 노동력이 추가로 소요될 수 있으며, 매개충을 통해 병원균이 유입될 가능성이 있어 그 사용에 주의가 필요하다.

■ 인공수분

소규모 딸기 재배 시 인력으로 수분을 하는 인공수분이 이용될 수 있다. 국내에서 주로 재배되는 딸기 품종의 경우 대부분 자가수분이 가능한 품종으로 인공수분이 가능하지만, 노동력이 많이 소요되며, 인공수분 시 개역 시기 및 암술의 활성 등을 고려해야 하므로, 대규모 상업적 재배에 인공수분을 이용하는 데는 어려움이 있다.

■ 수분 보조 수단

딸기의 수분 보조 수단으로 바람과 진동을 이용한 시스템을 개발하여 적용할 수 있다. 수분 보조 시스템은 식물공장 내 재배단 골조에 추가적인 설치가 가능하다는 장점이 있다. 바람과 진동을 적용해 화분비산이 원활하게 일어날 수 있도록 할 수 있으며, 총매 혹은 인공수분 등 기존에 사용하던 수분 방법과 함께 활용될 수 있다. 이러한 복합적인 수분 방법은 아직 개발 단계로 수분 보조 수단을 효과적으로 이용하기 위한 추가적인 연구가 진행 중이다.

○ 식물공장 딸기 주년생산을 위한 재배 관리 기술

■ 재배 관리

관행의 온실 재배에서는 정식 이후 한 작기 수확이 끝나면 식물체를 정리해 매년 새로운 정식묘를 사용하지만, 딸기는 장미과의 다년생 초본식물로 연속재배가 가능한 작물이다. 식물공장은 작물의 생육 적온 및 기타 환경을 유지할 수 있으므로 장기적인 연속재배가 가능하며, 이를 위해서는 작물의 영양생장과 생식생장의 균형을 유지하는 것이 매우 중요하다. 목표로 하는 재배 기간에 따라 엽수 및 화방을 조절하고 새로운 정식묘의 갱신 주기에 따른 전체적인 재배 일정 관리가 필요하다.

식물공장 내 장기적인 연속재배를 위해서는 재배 중 엽수를 확보해 충분한 광합성이 가능하게 하여 작물의 생육을 촉진하는 것이 바람직하다. 그러나 엽수가 너무 많으면 하위 엽이 가려져 광합성이 저해되고 호흡에 의한 양분 소모가 많아질 수 있으므로 주기적인 노엽 제거가 필요하다. 식물공장 내 환경은 일정하게 유지되기 때문에 신엽 출현이 온실에 비해 빠르고 일정하다는 특성이 있고 관행의 온실 재배에 비해 엽의 노화가 상대적으로 빠를 수 있다. 황화된 하위 엽과 영양생장의 결과로 발생하는 러닝은 모두 제거해 주는 것이 좋다.

식물공장 내 딸기 재배 시 칼슘 결핍 증상 중 하나인 신엽의 앞끝마름 현상이 발생할 수 있는데, 급격한 성장, 착과량 증가, 배지의 산성화, 증산 및 근압의 저하, 뿌리 생육 저하 등이 원인일 수 있다. 이를 방지하기 위해 토양 수분량을 적절히 유지하여 뿌리 활성 및 증산을 확보하는 것이 중요하며, 아간 동안 높은 상대습도를 유지하고 주간 상대습도를 낮춰 주는 것이 좋다. 근압에 의해 엽맥 선단 수공에 수액이 배출되는 일액현상은 근압이 높다는 의미로 뿌리의 활성을 확인할 수 있는 지표이다. 이른 오전의 일액현상 관찰을 통해 작물의 상태를 확인하고 증상이 심할 경우 뿌리의 생육을 확인해 보는 것이 좋다.



신엽의 일찍현상 및 잎끝마름 현상

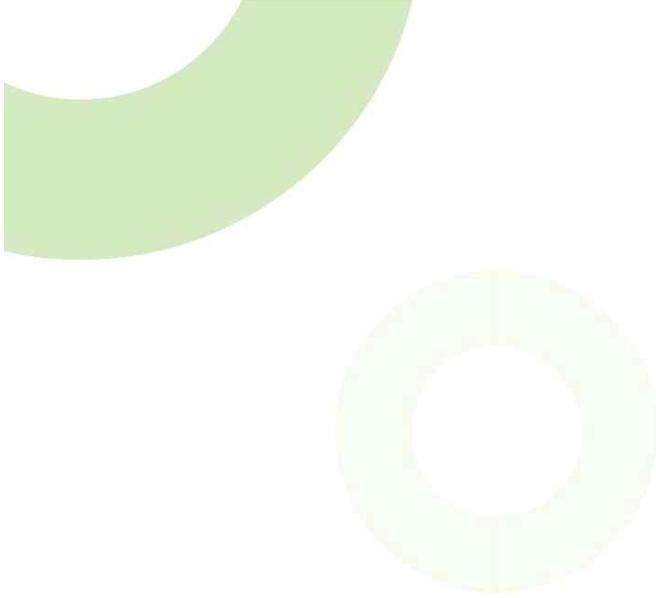
■ 적과 및 적화

화방의 화기 및 과실을 제거해 주는 적화 및 적과는 화방당 최종 수확하는 과실의 수를 조절하여 불필요한 양분의 소모를 막고 상품과 수량을 높이는 방법이다. 적화 및 적과는 과실의 중량 등 상품성을 높이기 위해 필수적으로 행해야 한다. 식물공장의 경우 일정한 환경에 의해 화방 출현, 개화 및 과실 성숙이 온실에 비해 빠른 경향이 있어 적엽 일정 관리 시 이를 고려해야 한다.

장기 재배를 위해서는 화방당 5~7개 착과를 목표로 관리하는 것이 적절한다. 화방 출현이 지속될수록 후기 화방의 화기가 작아질 수 있어 화방당 수확 개수를 줄이는 것이 바람직하다. 이는 품종의 특성에 따라 달라질 수 있어 재배 중 작물의 화기와 과실을 관찰하며 적절히 조절해야 한다. 모의 크기가 작거나 충실하지 못한 화방이 출현하였을 때 화방 자체를 제거해 충실한 다음 화방의 출현을 유도할 수 있다.

■ 위생 관리

식물공장의 다단 재배 시스템에서 재배 관리 작업으로 인해 아래층에 있는 베드와 구조물 또는 식물체에 부산물 및 이물질이 쌓일 수 있다. 장기간 제거되지 않으면 야간 습도가 상대적으로 높게 유지되는 딸기 식물공장 환경 특성에 의해 곰팡이 또는 병원균의 증식이 쉬우므로 주기적인 청소를 통해 곰팡이와 병원균 발생 요인을 사전에 제거해야 한다.



고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 운영 매뉴얼

발행일 2023년 12월
 발행인 서울대학교 전창후
 집필인 서울대학교 전창후, 최미연, 이해인, 이병관, 명지상, 신재욱
 주식회사 퓨처그린 김지동, 박효범
 발행처 디자인하모니
 ISBN 979-11-986471-0-8

* 이 매뉴얼의 내용에 대한 무단인용이나 전재, 복제를 금합니다.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

(1) 정성적 연구개발성과

단계	연차	연구목표	가중치	개발내용	달성도
1 단 계	1 년 차	○ 차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발 ○ 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정	100%	○ 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정 ○ 재배대 설계 및 광원 배치 ○ 양액 시스템 구축 ○ 공조 시스템 설계 & 기타 장치 ○ 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 품종 스크리닝 ○ 품종 선정에 따른 식물공장 내 재배 환경 설정	100%
	2 년 차	○ 파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 & 성능평가 ○ 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발		○ 시제품 사양 및 설계 검토 ○ 시제품 제작 및 성능 평가 ○ 식물공장 제어 소프트웨어 개발 및 구축 ○ 모니터링을 통한 수분 스케줄링 시스템 개발 ○ 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 연구	
2 단 계	1 년 차	○ 딸기 재배 전용 식물공장 제품화 ○ 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 표준화 및 재배 매뉴얼 확립	100%	○ 딸기 재배 전용 식물공장 실증·보완 및 제품화 ○ 모듈러 유닛 제품화 ○ 영상기반 모니터링을 활용한 식물공장 딸기 재배관리 표준화 ○ 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 매뉴얼 확립	100%

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성, 연구개발과제의 특성에 따라 수정 가능합니다)

[등록 기탁]

- 논문: 1건
- 지식재산권(특허등록/특허출원): 1건/3건 (해외출원 1건 포함)
- 저작권 (프로그램) 1건

[특성 반영]

- 학술발표: 4건
- 기술실시: 4건
- 사업화현황: 5건
- 매출실적: 1건
- 수출실적: 1건
- 고용창출: 2건
- 인력양성: 2건
- 홍보실적: 3건
- 포상 및 수상실적: 2건

[고유성과]

- 교육지도: 6건

[기타성과]

- 매뉴얼 작성: 1건

< 정량적 연구개발성과 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2021~2022)	2단계 (2023)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	학술발표	목표(단계별)	1	1	2	5
		실적(누적)	3	1	4	5
	특허출원	목표(단계별)	0	2	2	10
		실적(누적)	2	0	2	10
	특허등록	목표(단계별)	0	1	1	5
		실적(누적)	1	0	1	5
	논문(SCI)	목표(단계별)	0	2	2	-
		실적(누적)	0	1	1	-
	인력양성	목표(단계별)	0	1	1	10
		실적(누적)	2	1	3	10
	홍보전시	목표(단계별)	1	2	3	10
		실적(누적)	2	1	3	10
	기타연구	목표(단계별)	0	1	1	5
		실적(누적)	1	1	2	5
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	고용창출	목표(단계별)	1	1	2	10
		실적(누적)	1	1	2	10
	교육지도	목표(단계별)	2	2	4	10
		실적(누적)	4	2	6	10
	기술실시	목표(단계별)	0	1	1	10
		실적(누적)	0	4	4	10
	기술료	목표(단계별)	0	10,000	10,000	5
		실적(누적)	0	317	317	5
	제품화	목표(단계별)	0	1	1	5
		실적(누적)	0	5	5	5
	매출액	목표(단계별)	0	424,000	424,000	10
		실적(누적)	0	0	0	10
	수출액	목표(단계별)	0	99,000	99,000	5
		실적(누적)	0	1,842	1,842	5
계	목표(단계별)	5	15 (533,015)	20 (533,020)	100	
	실적(누적)	16	16 (334)	32 (350)	100	

< 성능지표 및 측정방법 >

평가 항목 (주요성능 ¹)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ² (%)	세계 최고수준 보유국/보유기관	연구개발 전 국내 수준	연구개발 목표치		목표 설정 근거
			성능수준	성능수준	1단계(21~22)	2단계(23~28)	
수분수정	%	50%	-	-	85% 이상		
상대습도 제어	%	15%	-	-	±5% (설정값대비)	±10%	
온도편차	%	15%	±1도	±2도	±2도	±2도	
공간 활용성	주	10%	-	1,000주/ 40ft 컨테이너	1,000주	1,200주	수직형→ 다단식
관수균일	%	10%	-	-	5% 이내	±2도	

○ 성능지표 평가방법

순번	평가항목 (성능지표)	평가방법	평가환경
1	수분수정	현미경, 고성능 카메라 영상분석 판정 (자체 평가)	파일럿 시제품 (식물공장)
2	상대습도	시제품 내부 복수 위치의 습도 데이터를 외부 검증기관 의뢰 (또는 전문가 입회 하 성능 평가)	파일럿 시제품 (식물공장)
3	온도편차	시제품 내부 복수 위치의 온도 데이터를 외부 검증기관 의뢰 (또는 전문가 입회 하 성능 평가)	파일럿 시제품 (식물공장)
4	공간 활용성	시제품 내부 재식 주수를 전문가 입회 하 성능 평가	파일럿 시제품 (식물공장)
5	관수균일	시제품 내부 복수 위치의 관수 데이터를 외부 검증기관 의뢰 (또는 전문가 입회 하 성능 평가)	파일럿 시제품 (식물공장)
6	PPFD	지정 거리에서 PPFD 측정기기로 측정	파일럿 시제품 (식물공장)

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

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주 저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Optimization of the Pot Volume and Substrate for Strawberry Cultivation in a Hydroponic System	Horticultural Science and Technology	Hyein Lee, Meiyun Cui, Byungkwan Lee, Hyunseung Hwang, Changhoo Chun*	41(6)	Korea	Korean Society for Horticultural Science	SCIE	2023.12.31.	1226-8763	100

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021 한국원예학회 추계 학술발표회	이혜인	2021년 10월 22일	e-conference	국내
2	2022 한국원예학회 춘계 학술발표회	이혜인	2022년 5월 26일	e-conference	국내
3	2022 한국원예학회 춘계 학술발표회	이혜인	2022년 11월 04일	제주 국제컨벤션센터	국내
4	2023 한국원예학회 춘계 학술발표회	이혜인	2023년 5월 25일	대전컨벤션센터	국내

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[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 수분을 위한 기구적 환경제어 시스템	대한민국					(주)퓨처그린	2022.08.08	10-2435110	100%	활용
2	식물 수분을 위한 기구적 환경제어 시스템	대한민국	(주)퓨처그린	2022.12.29	10-2021-0191468					100%	
3	식물 수분을 위한 기구적 환경제어 시스템	국제	(주)퓨처그린	2022.11.05	PCT/KR202/017296					100%	

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√									

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	스마트팜 복합 제어 프로그램 S1	2024년02월16일	(주)퓨처그린	2024년02년27일	C-2024-007710	(주)퓨처그린	70%

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

- * 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	인공수분환경 제어시스템	2023년12월	(주)퓨처그린	서울대학교농생명과학대학	딸기인공수분	2년9개월		
2	모듈러유닛-양액기	2023년12월	(주)퓨처그린	서울대학교농생명과학대학	딸기재배	2년9개월		
3	모듈러유닛-재배모듈	2023년12월	(주)퓨처그린	서울대학교농생명과학대학	딸기재배	2년9개월		
4	국부냉방시스템	2023년12월	(주)퓨처그린	서울대학교농생명과학대학	딸기재배	2년9개월		
5	안드로이드기반 제어 프로그램	2023년12월	(주)퓨처그린	서울대학교농생명과학대학	식물공장운영	2년9개월		
6	식물공장	2024년05월	(주)퓨처그린	서울대학교농생명과학대학	딸기재배	2년9개월		

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	통상실시권	식물공장형육묘시스템 생육 스케줄링에 따른 일괄 제어방법	농촌진흥청	2023.02.01	0	0
2	직접실시	딸기의 인공수분 시스템	(주)퓨처그린	2023.12.31	0(무상)	0(무상)
3	직접실시	재배 시스템 모듈러 유닛	(주)퓨처그린	2023.12.31	0(무상)	0(무상)
4	직접실시	재배 시스템 제어 프로그램	(주)퓨처그린	2023.12.31	0(무상)	0(무상)

사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	기술 (직접) 실시	직접사업화- 기존업체- 상품화	국내	인공수분 환경제어시스템	딸기의 식물공장 내 수정 벌을 사용하지 않고 수분하는 인공적 환경제어 시스템을 개발	퓨처 그린	0	0	0	
2	기술 (직접) 실시	직접사업화- 기존업체- 상품화	국내	안드로이드 기반 제어 프로그램	식물공장 내에서 다양한 센서와 환경제어용 운영 프로그램을 자체 개발 제작	퓨처 그린	0	0	0	
3	기술 (직접) 실시	직접사업화- 기존업체- 상품화	국내	모듈러유닛- 재배모듈	재배 프레임, 베드, LED, 양액기, 공조, 제어 등의 시스템을 규격화하여 확장 가능한 모듈러 유닛 개발	퓨처 그린	0	SDG 1,894	2023	
4	기술 (직접) 실시	직접사업화- 기존업체- 상품화	국내	모듈러 유닛 -양액기	양액의 제조,공급,회수,필터 /가습용 원수 저장탱크 /양액 수온조절 냉각, /제어를 위한 센서류	퓨처 그린	0	0	0	
5	기술 (직접) 실시	직접사업화- 기존업체- 상품화	국내	국부냉방시스템	딸기의 재배효율을 올리기 위한 건조하고 냉각된 공기를 딸기의 크라운 부위 근처에 전달할 공급장치	퓨처 그린	0	0	0	

* 1) 기술이전 또는 자기실시 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 국내 또는 국외 중 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
모듈러유닛-재배모듈	2023		SGD 1894.75	1,482,568	1 SGD=972.45
합계			SGD 1894.75	1,482,568	1 SGD=972.45

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		시제품 제작완료			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2년 9개월			
	소요예산(천원)	825,000			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		0	10,000,000	50,000,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	1	5	10
국외		-	0.1	0.5	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		- 식물공장의 적용가능한 에너지절감형 공조패널 및 LED조명 제품개발 - 식물공장 지능형 양액순환 시스템 개발			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출	1,840	3,000,000	10,000,000	
			1,000,000	10,000,000	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	2023년	
1	기술사업화지원 사업	주식회사 퓨처그린	1	1	2
합계			1	1	2

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	7
		생산인력	1
	개발 후	연구인력	7
		생산인력	2

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	충남 지역 논산 딸기 농가 컨설팅	2021년 5월 12일	이혜인, 명지상	충남지역 논산 딸기 농가	2
2	시흥시 자작나무농장 컨설팅	2021년 12월 3일	최미연, 이병관, 이혜인, 명지상, 신재욱	시흥시 자작나무농장	5
3	경남 합천군 여름 딸기 농가 컨설팅	2022년 7월 26일	이혜인, 최미연, 명지상	경남 합천군 딸기 농가	3
4	경남지역 고성 딸기 농가 및 진주 딸기 농가 컨설팅	2022년 9월 13일	이혜인, 이병관	경남지역 고성 딸기 농가, 진주 딸기 특화 단지	2
5	강원 지역 딸기 식물공장 방문 컨설팅	2023년 4월 26일	이혜인, 최미연	강원도 삼척 소달중학교	2
6	논산 지역 딸기 농가(아침애딸기) 방문 컨설팅	2023년 9월 14일	이혜인, 최미연, 이병관, 명지상	논산 지역 딸기 농가(아침애딸기)	4

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	서울대	2021	1				1		1				
		2022	1					1	1				
		2023		1			1		1				

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	중앙일간지	중앙일보	[국민의 기업] 실내서도 기후·환경 상관없이 식물 재배LED 조명 활용한 수직형 농장 보급 앞장	2021.08.25
2	전시회 참석	2022 스마트팜 코리아 전시회	2022 스마트팜 코리아 전시회	2022.06.16-06.18
3	박람회 참석	2023 싱가포르 국제식품박람회	2023 싱가포르 국제식품박람회	2023.04.25-04.28
4	전시회 참석	AFTER 2023 농림축산식품과학기술대전	2023 농림축산 과학기술대전	2023.11.27-11.29

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	수상	우수포스터발표상	우수포스터발표상	이혜인	2022년 5월 26일	(사)한국원예학회
2	수상	우수포스터발표상	우수포스터발표상	이혜인	2023년 5월 25일	(사)한국원예학회

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.D D)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
퓨처그린	3D 프린터	Ender-3 Pro	○	×	×	21.03.16	293	퓨처그린
퓨처그린	3D 프린터용 필라멘트	PLA 1kg	×	×	×	21.03.16	33	퓨처그린
퓨처그린	3D 프린터용 필라멘트	PLA 1kg	×	×	×	21.05.04	35	퓨처그린
퓨처그린	3D 프린터용 베드 접착제	Glue stick 20g	×	×	×	21.05.04	21	퓨처그린
퓨처그린	3D 프린터용 필라멘트	PLA 1kg	×	×	×	21.06.08	85	퓨처그린
퓨처그린	레이저거리 측정기	GLM150C	×	×	×	21.06.08	291	퓨처그린
퓨처그린	레이저레벨기	SH029	×	×	×	21.06.08	141	퓨처그린
퓨처그린	일체형 풍속계	ST-111	×	×	×	21.06.18	27	퓨처그린
퓨처그린	분리형 풍속계	ST-113	×	×	×	21.06.18	75	퓨처그린
퓨처그린	전압조정기	1KVA 0-240V	○	×	×	21.09.07	190	퓨처그린
퓨처그린	직류전원 공급기	MK-6003D (60V/3A)	○	×	×	21.09.07	264	퓨처그린
퓨처그린	3D 프린터	Ender-3 Pro	○	×	×	22.06.20	293	퓨처그린
퓨처그린	전동임팩SET	GDR 18V-200	×	×	×	22.11.08	327	퓨처그린
퓨처그린	전동임팩	GDR 18V-200(본체)	×	×	×	22.11.08	173	퓨처그린

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템 * 등록번호	구축일자 (YY.MM.D D)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
서울대학교	스펙트럼 측정용 악세서리	F600-UWIS-SR, CR2, IRRADCAL-UWV for CR2	×	×	×	21.05.20	3,373	서울대학교 관악캠퍼스
서울대학교	냉각기	대일 DA-500B	×	×	×	21.08.17	359	서울대학교 관악캠퍼스
서울대학교	가습기	HR-50	×	×	×	21.08.24	423	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	카스전자저울	카스전자저울(EC-15D)	×	×	×	21.11.05	314	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	열화상카메라	FLIR-E6390	×	×	×	21.11.05	1,758	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	용존산소량 측정기	D08-147-911	×	×	×	21.11.05	521	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	풍속계	UEI DAFM4	×	×	×	21.11.05	587	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	3D 이미지 분석용 워크스테이션	조립	×	×	×	22.10.09.	3,742	서울대학교 관악캠퍼스
서울대학교	산업용 제습기	NED-062P	×	×	×	22.10.31	638	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	가진기 시스템	MS-20	×	×	×	23.05.24	2,554	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	진동측정분석기	DAQ200	×	×	×	23.05.24	1,980	서울대학교 수원캠퍼스
서울대학교	가속도센서	3225F6	×	×	×	23.05.24	1,265	서울대학교 수원캠퍼스

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

1. 안드로이드 기반 식물공장 복합제어 시스템 H/W 및 S/W 개발, 시제품 제작
2. S/W 저작권 등록 완료 (제C-2024-007710호)
(스마트팜 복합 제어 프로그램 S1 / 2024.02.27)

[기여사항]

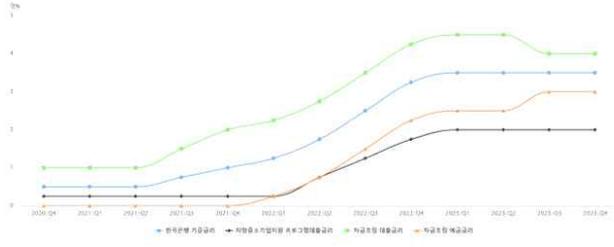
- PLC 자동 제어 프로그램을 안드로이드 기반 프로그램으로 전환함으로써 제작 비용과 기간 단축 및 향후 유지보수 용이
- 제어시스템 규격화
 - 제어 시스템의 설계, 구축, 운영 등에서 일관성을 유지하고 효율성 극대화
- 자체 통신 프로토콜 제정
 - 특정 요구사항이나 환경에 맞추어 효율적인 통신 방법 개발 및 구현
- 타 연구 기관 기여 가능
 - 자체 통신 프로토콜 제정으로 인한 타 연구 기관 등의 다양한 관점 및 경험 제공
 - 프로토콜의 안정성, 보안성, 성능 등을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 산업 표준화 기구에 제안하거나 관련 산업에 적용 가능

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 차세대 딸기 재배 전용 식물공장 시스템 개발	○ 딸기 전용 식물공장 시스템의 각 부분별 목표 사양 수립 및 시제품 규격 설정	○ 100
○ 파일럿 규모의 딸기 전용 식물공장 시제품 제작 & 성능 평가	○ 시제품 제작 및 설치(서울대학교 수원캠퍼스 2개소), 식물수분 기구적 환경제어 시스템 개발 및 성능개선	○ 100
○ 딸기 재배 전용 식물공장 제품화	○ 딸기 재배 전용 식물공장 실증 보완 및 제품화 및 모듈러 유닛 제품화하였음	○ 100
○ 딸기 재배 전용 식물공장에 적합한 딸기 품종 선정	○ 품종별 꽃의 특성과 화기 구조적 특징을 분석하여 딸기 재배 전용 식물공장에 도입하여 재배하기 용이한 품종 특성을 구명하였음.	○ 100
○ 딸기 재배 전용 식물공장에 적용 가능한 수분 방법 개발	○ 개발된 진동 수분 방법을 도입해 과실의 형태를 분석하였으며 새로운 수분 방법의 활용 가능성을 확인하였음	○ 100
○ 딸기 재배 전용 식물공장의 재배 표준화 및 매뉴얼 확립	○ 새로운 수분 방법인 진동 수분의 고도화를 위한 연구를 진행하였으며, 영상기반 모니터링을 활용해 식물공장 딸기 재배관리법을 표준화하여 재배 매뉴얼을 작성하였음	○ 100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

정량적 성과지표	목표	달성	원인분석
논문 (SCI 급)	2	1	<ul style="list-style-type: none"> 본 연구 과제에서 수행되었던 실험 결과 해석 및 분석은 완료되었으나 논문 투고까지 기간이 소요되어 과제 수행 기간 내 성과를 달성하지 못하였음 현재 논문(Pollen performance traits at various night temperature and morphological feature of floral organs in strawberry plants) 투고 진행 중(under review)이며 종료 후 1차년도 달성 예상됨
기술료	10,000 천원	천원	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구결과 및 시제품 구축 결과물이 소규모 실험실 수준으로 외부 기술이전 또는 판매를 위한 상업화가 아직 부족하다 판단됨 (추가적인 기술 및 제품 최적화, 사업화 투자가 필요함)
매출액	424,000 천원	0 천원	<ul style="list-style-type: none"> 국내산업 경기하락에 따른 식물공장 민간투자 축소  <p>[기준금리, 자금조성금리, 중소기업지원금리 그래프]</p>
수출액	99,000 천원	1,842 천원	<ul style="list-style-type: none"> 기초연구 및 시제품 개발에 시간 소요 국내 데모 식물공장의 실증·검증 기간 필요 해외 프로모션 경비, 인력 부족

2) 자체 보완 활동

항목	달성/목표	활동내용
저작권 (소프트웨어)	1 / 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 안드로이드 기반 식물공장 복합 제어 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 안드로이드 기반 S/W 및 H/W 펌웨어 - S/W 저작권 등록 완료 (제C-2024-007710호) (스마트팜 복합 제어 프로그램 S1 / 2024.02.27)
제품화	5 / 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 모듈러 유닛 요소기술의 제품화 (인공수분, 모듈러 유닛-양액기, 모듈러 유닛-재배모듈, 국부냉방, 제어시스템)
투자유치 설명회	5 / 0	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 투자유치 사업설명회 총 5회 <ul style="list-style-type: none"> - 농림수산식품경영체 13차 IR (농업정책보험금융원, 23.09.06) - 유니온 파트너스 (23.09.19.) - AFW 파트너스 (23.01.18.) - 시너지팩토리 (23.01.19.) - DB금융투자 (23.01.31)
매출액	2024년	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 26,982,000원 (정량목표 미반영)
수출액	2024년	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수출국 일본, 수출액 US\$ 1,163 (정량목표 미반영)

3) 연구개발 과정의 성실성

개발 목표 대비 딸기 전용 재배 시스템을 1차년도에 구축함으로써 1단계 목표 대비 조기 달성하였고 1차 재배 시스템 성능 개선 및 실증을 통해 제품화 조기 달성하였음. 시제품의 개선을 통한 제품화 및 당초 3차년도 계획에 없었던 2차 재배 실험실을 구축 및 안드로이드 기반의 식물공장 복합 제어 시스템(하드웨어, 소프트웨어)를 개발함으로써 연구개발에 성실히 임하였음.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 외부기후에 영향 받지 않고 연중생산이 가능한 안정적인 작부 체계 수립이 가능하게 됨
- 딸기 농가의 경제성 확보에 보탬 : 재배 작기와 무관한 생산 & 고가 시기에 출하 가능케 함
- 설비 수출의 기회 획득 : 딸기재배용 적합한 농지 확보가 어려운 국가 진출의 기회
- 식물공장 설비 생산기술 및 과채류 재배기술력 극대화
- 스마트 식물공장 구축 기술 선도 : 실시간 모니터링 및 의사결정 보조 시스템 확립
- 국내 식물공장 개발산업에 대한 긍정적인 영향
- 창업 기대효과 : 농업 관련 교육기관에 보급 및 교육&기술이전의 기회

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 식물공장 재배에 적합한 딸기 품종 선발을 통해 연중생산 가능한 작부 체계 수립이 가능함
- 작기와 무관하게 생산 및 가격이 높게 형성된 시기에 출하, 경제성 확보에 유리함
- 국내 식물공장 생산 기술 및 과채류 재배기술을 세계 최고 수준으로 높일 수 있음
- 실시간 모니터링 및 의사결정 보조 시스템 확립을 통한 스마트 식물공장 구축이 가능함
- 기후 무관 연중 생산이 가능한 딸기 재배용 식물공장을 개발 보급(국내/해외)
- 모듈러 유닛 기반 식물공장 시스템 개발을 통해 시스템 구축비용 인하 및 경쟁력 확보
- 맞춤형 딸기 재배 식물공장 시스템 개발
- 농업 관련 교육 기관에 재배기술 및 운영매뉴얼을 보급하여 교육-기술 이전-창업 효과 기대
- 수분 수정률을 최고로 높이기 위한 최적의 진동강도와 주파수에 대한 추가적인 연구가 필요함
- 연중재배 기술의 고도화를 이루고 기관, 대학 등 연구용 시설에 대한 매출 및 수출 증대를 위해 지속적인 사업화 활동 추진 계획임

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	0	
	비SCIE	0	
	계	0	
국내논문	SCIE	1	
	비SCIE	0	
	계	1	
특허출원	국내	3	
	국외	0	
	계	3	
특허등록	국내	1	
	국외	0	
	계	1	
인력양성	학사	0	
	석사	0	
	박사	0	
	계	0	
사업화	상품출시	0	
	기술이전	0	
	공정개발	0	
제품개발	시제품개발	0	
비임상시험 실시		0	
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	
		2상	
		3상	
	의료기기		
진료지침개발			
신의료기술개발			
성과홍보		7	
포상 및 수상실적			
정성적 성과 주요 내용			

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 공통 요구자료	1) 자체평가의견서 2) 연구성과 활용계획서 3) 연구부정행위 예방 확인서
2. 자체 제출자료	1) 전문가 보고서 (온도, 습도 성능검증) 2) 전문가 보고서 (공간 활용성-재배 주수) 3) 전문가 보고서 (관수 균일 확인) 4) 자체 보고서 (PPFD 측정 데이터)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 **기술사업화지원** 연구개발사업 **고품질 딸기의 안정적 주년생산을 위한 차세대 식물공장 시스템 개발연구개발과제** 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 **농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)**에서 시행한 **기술사업화지원** 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.