

421041-03

과
제
명
이상기후
대응
스마트 온실
냉난방
패키지
개발
최
종
보
고
서

2024

농림축산식품부
과학기술정보통신부
농촌진흥청
농림식품기술기획평가원
스마트팜연구개발사업단

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업 2024년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004733-01

이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발

2024.05.28.

주관연구기관 / 국립목포대학교 산학협력단
공동연구기관 / 한국생산기술연구원
공동연구기관 / 에너지팜스주식회사
공동연구기관 / 주식회사이산
공동연구기관 / 주식회사써니너스
위탁연구기관 / 서울대학교 산학협력단

농림축산식품부
과학기술정보통신부
농촌진흥청
(전문기관)농림식품기술기획평가원
스마트팜연구개발사업단

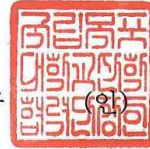
제 출 문

농림축산식품부 장관 · 과학기술정보통신부 장관 · 농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발”(개발기간 : 2021. 04. 07. ~ 2023.12.31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024.05.28.

주관연구기관명 : 국립목포대학교 산학협력단 임 한 규



공동연구기관명 : 한국생산기술연구원 이 상 목



공동연구기관명 : 에너지팜스주식회사 서 혁 진



공동연구기관명 : 주식회사이산 신 경 호




공동연구기관명 : 농업회사법인주식회사씨니너스 명 동 주



위탁연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 김 재 영



최종보고서										보안등급		
										일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]		
중앙행정기관명		농림축산식품부 과학기술정보통신부 농촌진흥청			사업명		사업명		스마트팜 다부처 패키지 혁신기술 개발사업			
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원 (재)스마트팜연구개발사업단			내역사업명 (해당 시 작성)		차세대 융합·원천기술 연구사업					
공고번호		제농축 2021-45호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		-					
					연구개발과제번호		421041-03					
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0802		40%	LB0805		30%	LB0203		30%		
	농림식품과학기술분류	RA0406		40%	RC0102		30%	AA0204		30%		
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문	이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발									
		영문	Development of smart greenhouse cooling and heating package technology for abnormal climate									
연구개발과제명		국문	이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발									
		영문	Development of smart greenhouse cooling and heating package technology for abnormal climate									
주관연구개발기관		기관명	국립목포대학교 산학협력단			사업자등록번호		411-82-08251				
		주소	(우)58554 전남 무안군 청계면 영산로 1666			법인등록번호		205771-0004119				
연구책임자		성명	나해영			직위		교수				
		연락처	직장전화				휴대전화					
			전자우편				국가연구자번호					
연구개발기간		전체	2021. 04. 07- 2023. 12. 31(2년 9개월)									
		단계 (해당 시 작성)	1단계	2021. 04. 07- 2022. 12. 31(1년 9개월)								
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발 외 지원금	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	지원금
총계		2,600,000	27,000	378,000					2,627,000	378,000	3,005,000	
1단계		1년차	800,000		135,000				800,000	135,000	935,000	
		2년차	900,000	13,500	121,500				913,500	121,500	1,035,000	
2단계		1년차	900,000	13,500	121,500				913,500	121,500	1,035,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
공동연구개발기관		한국생산 기술연구원	박 인	수석연구원			역할		공동1	정부 출연연		
		에너지팜스(주)	이성주	연구소장					공동2	중소 기업		
		(주)이산	신경호	대표					공동3	중소 기업		
		(주)써니너스	명동주	대표					공동4	중소 기업		
위탁연구개발기관		서울대학교 산학협력단	전창후	교수					위탁	대학		
연구개발담당자 실무담당자		성명	김은지			직위		학생연구원				
		연락처	직장전화				휴대전화					
			전자우편				국가연구자번호					
이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.												
2024 년 02 월 29 일												
연구책임자:						나 해 영						

주관연구개발기관의 장: 국립목포대학교 산학협력단

임한규



공동연구개발기관의 장: 한국생산기술연구원

이상복 (직인)



공동연구개발기관의 장: 에너지팜스주식회사

서혁진 (직인)



공동연구개발기관의 장: 주식회사 이산

신경호 (직인)



공동연구개발기관의 장: 농업회사법인 주식회사 씨너스 명동주



위탁연구개발기관의 장: 서울대학교 산학협력단

김재영 (직인)



농림축산식품부장관 과학기술정보통신부장관 농촌진흥청장 농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	스마트팜 다부처 패키지 혁신기술개발사업	총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)					
내역사업명 (해당 시 작성)	차세대 융합·원천기술 연구사업	연구개발과제번호		421041-03			
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0802	40%	LB0805	30%	LB0203	30%
	농림식품 과학기술분류	RA0406	40%	RC0102	30%	AA0204	30%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명	이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발						
전체 연구개발기간	2021. 04. 07. - 2023. 12. 31(2년 9개월)						
총 연구개발비	총 3,005,000 천원 (정부지원연구개발비: 2,600,000 천원, 기관부담연구개발비: 405,000 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]	기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()			
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)	-						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)	-						

연구개발 목표 및 내용	최종 목표	이상기후 대응 스마트 온실 고효율 냉난방 시스템 및 운용 기술 및 냉난방 설계 가이드 라인 개발																																							
	전체 내용	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; background-color: #0056b3; color: white; margin: 0;">이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 5px 0;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%; background-color: #0056b3; color: white;">1단계 1년차</th> <th style="width: 15%; background-color: #0056b3; color: white;">1단계 2년차</th> <th style="width: 15%; background-color: #0056b3; color: white;">2단계 1년차</th> <th style="width: 15%; background-color: #ff9900; color: white;">최종목표</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white; text-align: center;">목포대학교</td> <td>패시브 냉방 효과 분석 및 복합열원 히트펌프 설치</td> <td>패시브 냉방 기술 효과 분석 및 관련 조건수 페드 실증</td> <td>온실 하이브리드 냉난방 시스템 개발 및 실증</td> <td>Passive 쿨링(쿨링패드, 미스트쿨링, 차광·차열막) 활용 기술 개발 및 실증</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white; text-align: center;">한국생산기술연구원</td> <td>이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X PAD 및 냉난방 시스템 개발</td> <td>이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X PAD 및 냉난방 시스템 적용</td> <td>조건수 알루미나 시트형 냉각 PAD 제조 조건 최적화 및 시스템 실증 성능평가 및 실증</td> <td>Active & passive 시스템 최적 설계 및 성능평가</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white; text-align: center;">에너지테크놀러지스</td> <td>복합 열원 히트펌프 및 국부 냉난방 시스템의 설계 및 개발</td> <td>복합 열원 히트펌프 및 하이브리드 냉난방 시스템을 Lab Scale 온실에 설치</td> <td>복합 열원 히트펌프 및 국부 냉난방 시스템의 설치 및 실증</td> <td>지중열원을 활용한 Active & passive 시스템 열원설비 설계 및 성능 최적화 기술 개발</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white; text-align: center;">이산</td> <td>온실 에너지 모니터링 시스템 개발</td> <td>에너지 환경 모니터링 실시간데이터베이스구축</td> <td>스마트형 온실 에너지 통합 관제시스템 및 개발</td> <td>Active & passive 냉난방 최적 운용 알고리즘 및 관제 시스템 개발</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white; text-align: center;">씨너스</td> <td>육묘 국소냉난방 효과 분석 및 스마트 온실 열수지 분석</td> <td>개발된 하이브리드 냉난방 기술의 온실 실증 데이터 분석</td> <td>하이브리드 냉난방 이종과채류 재배 매뉴얼 작성</td> <td>스마트팜 온실 냉난방 과채류 재배 매뉴얼 및 설계 가이드라인 개발</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white; text-align: center;">서울대학교 (위탁)</td> <td>파프리카와 딸기의 기관별 온도 민감도 분석 및 시스템 도입 가능성 확인</td> <td>파프리카와 딸기 시용체의 기관별 국소 냉난방 및 양액 냉각·가온 시스템 확립</td> <td>국소 냉난방 및 양액 냉각·가온 시스템 고효율 스마트 펌프 내 실증</td> <td>이상기후 대응 작물재근권부 생육환경 최적화</td> </tr> </tbody> </table> </div>						1단계 1년차	1단계 2년차	2단계 1년차	최종목표	목포대학교	패시브 냉방 효과 분석 및 복합열원 히트펌프 설치	패시브 냉방 기술 효과 분석 및 관련 조건수 페드 실증	온실 하이브리드 냉난방 시스템 개발 및 실증	Passive 쿨링(쿨링패드, 미스트쿨링, 차광·차열막) 활용 기술 개발 및 실증	한국생산기술연구원	이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X PAD 및 냉난방 시스템 개발	이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X PAD 및 냉난방 시스템 적용	조건수 알루미나 시트형 냉각 PAD 제조 조건 최적화 및 시스템 실증 성능평가 및 실증	Active & passive 시스템 최적 설계 및 성능평가	에너지테크놀러지스	복합 열원 히트펌프 및 국부 냉난방 시스템의 설계 및 개발	복합 열원 히트펌프 및 하이브리드 냉난방 시스템을 Lab Scale 온실에 설치	복합 열원 히트펌프 및 국부 냉난방 시스템의 설치 및 실증	지중열원을 활용한 Active & passive 시스템 열원설비 설계 및 성능 최적화 기술 개발	이산	온실 에너지 모니터링 시스템 개발	에너지 환경 모니터링 실시간데이터베이스구축	스마트형 온실 에너지 통합 관제시스템 및 개발	Active & passive 냉난방 최적 운용 알고리즘 및 관제 시스템 개발	씨너스	육묘 국소냉난방 효과 분석 및 스마트 온실 열수지 분석	개발된 하이브리드 냉난방 기술의 온실 실증 데이터 분석	하이브리드 냉난방 이종과채류 재배 매뉴얼 작성	스마트팜 온실 냉난방 과채류 재배 매뉴얼 및 설계 가이드라인 개발	서울대학교 (위탁)	파프리카와 딸기의 기관별 온도 민감도 분석 및 시스템 도입 가능성 확인	파프리카와 딸기 시용체의 기관별 국소 냉난방 및 양액 냉각·가온 시스템 확립	국소 냉난방 및 양액 냉각·가온 시스템 고효율 스마트 펌프 내 실증	이상기후 대응 작물재근권부 생육환경 최적화
		1단계 1년차	1단계 2년차	2단계 1년차	최종목표																																				
목포대학교	패시브 냉방 효과 분석 및 복합열원 히트펌프 설치	패시브 냉방 기술 효과 분석 및 관련 조건수 페드 실증	온실 하이브리드 냉난방 시스템 개발 및 실증	Passive 쿨링(쿨링패드, 미스트쿨링, 차광·차열막) 활용 기술 개발 및 실증																																					
한국생산기술연구원	이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X PAD 및 냉난방 시스템 개발	이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X PAD 및 냉난방 시스템 적용	조건수 알루미나 시트형 냉각 PAD 제조 조건 최적화 및 시스템 실증 성능평가 및 실증	Active & passive 시스템 최적 설계 및 성능평가																																					
에너지테크놀러지스	복합 열원 히트펌프 및 국부 냉난방 시스템의 설계 및 개발	복합 열원 히트펌프 및 하이브리드 냉난방 시스템을 Lab Scale 온실에 설치	복합 열원 히트펌프 및 국부 냉난방 시스템의 설치 및 실증	지중열원을 활용한 Active & passive 시스템 열원설비 설계 및 성능 최적화 기술 개발																																					
이산	온실 에너지 모니터링 시스템 개발	에너지 환경 모니터링 실시간데이터베이스구축	스마트형 온실 에너지 통합 관제시스템 및 개발	Active & passive 냉난방 최적 운용 알고리즘 및 관제 시스템 개발																																					
씨너스	육묘 국소냉난방 효과 분석 및 스마트 온실 열수지 분석	개발된 하이브리드 냉난방 기술의 온실 실증 데이터 분석	하이브리드 냉난방 이종과채류 재배 매뉴얼 작성	스마트팜 온실 냉난방 과채류 재배 매뉴얼 및 설계 가이드라인 개발																																					
서울대학교 (위탁)	파프리카와 딸기의 기관별 온도 민감도 분석 및 시스템 도입 가능성 확인	파프리카와 딸기 시용체의 기관별 국소 냉난방 및 양액 냉각·가온 시스템 확립	국소 냉난방 및 양액 냉각·가온 시스템 고효율 스마트 펌프 내 실증	이상기후 대응 작물재근권부 생육환경 최적화																																					
1단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> • Passive 쿨링(쿨링패드, 미스트쿨링, 차광·차열막)활용 기술 개발 및 실증 • Active & passive 시스템 최적 설계 및 성능평가 • 지중열원을 활용한 active & passive 시스템 열원설비 설계 및 성능 최적화 기술 개발 • 이상기후 대응 작물재 근권부 생물환경 최적화 • Active & passive 최적 운용 알고리즘 및 관제 시스템 개발 																																							

		내용	<ul style="list-style-type: none"> 경 실시간 모니터링 데이터베이스 설계 및 구축 고온기 냉난방기술의 효율성에 대한 분석 및 근권 생육 환경 최적화 냉난방기술 사용에 따른 효율성 검증 및 개발 냉각 PAD 실증 이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X PAD 및 냉난방 시스템 개발 파프리카와 딸기의 기관별 온도 민감도 분석 및 시스템 도입 가능성 확인 파프리카와 딸기 식물체의 기관별 국소 냉·난방 및 양액 냉각, 기온 시스템 확립 열교환기에 적용 가능한 초친수 알루미늄 시트형 냉각 PAD 제조 및 내구성 향상 기술 개발 지열과 공기열 히트펌프를 복합하여 적용한 히트펌프 시스템의 열원부 및 부하측 시스템 설계 지열 및 공기열원 히트펌프 복합형 시스템을 실험용 온실에 설치 양액 국소 냉난방 시스템 개발 에너지 환경 모니터링 실시간 데이터베이스 구축
		2단계 (해당 시 작성)	<p>목표</p> <ul style="list-style-type: none"> Active & passive 시스템 최적 설계 및 개발 실증 실험 및 적용 <p>내용</p> <ul style="list-style-type: none"> 스마트 온실 재배 적응 시험, 냉·난방 시스템 성능 및 생육 개선 분석 국소 냉·난방 및 양액 냉각, 기온 시스템 전남 스마트 벨리 내 실증 실험 초친수 알루미늄 시트형 냉각 PAD 제조 조건 최적화 및 시스템 실증 성능평가 전남스마트팜혁신밸리 실증시험 온실에 양액 온도조절 시스템 설치 및 상용화 검증 에너지 통합 관제 시스템 개발
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> 패시브 냉방 방법에 따른 냉방 효과 분석 고온기 환경 근권부 생육 개선을 위한 육묘 시스템 개발 알루미늄 시트 타입 초친수 냉각패드 개발 알루미늄 초친수 냉각패드가 적용 복합열교환기 설계 복합열원 히트펌프 및 국부냉난방 시스템의 설계 및 개발 DB 인터페이스 설계 온,습도 관제시스템 유효 데이터 모델 설계 및 서비스 콘텐츠 설계 IoT 기반 정보 수집 플랫폼 개발, 냉난방 시스템 알고리즘 개발 / 서비스 UI/UX 설계 열수지 분석을 통한 냉방 적용 최적화 고온기 적용가능한 고효율 냉방 방식 구명 		
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> 작물체 부위별 최적 온도 관리로 단기재배 방울토마토의 생육 저하 없이 난방 연료 소비량 절감 이상기후 환경 요인에서 작물 생육의 온도를 모두 일정하게 유지함으로써 최적 생육환경 부여 및 수확량 증대 가능 이상기후 대응이 가능한 온실 냉·난방 제어 시스템의 고효율화 교두보 마련 핵심 부품 국산화를 통한 스마트팜 산업 초격차 유지 및 경제성 향상에 기여 시설비용과 설치공간 제약이 적은 양액 예열·예냉 시스템 구현으로 현장 적용 온실 에너지 관제 시스템의 국산화로 스마트팜 기술 선도를 위한 경쟁력 확보 상업용 온실에 경쟁력 있는 하이브리드 냉방시스템 개발로 시설원에 농가의 경쟁력 향상 및 수출 증대로 이어질 것 조기 수확을 위한 관부 난방 적용 		
연구개발성과의 비공개여부 및 사유			

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시 설·장 비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생 물 자 원		정보	실물
	14	12				6						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입 처 (전 화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호		
국문핵심어 (5개 이내)	증발냉각		지중열교환		국소냉방		양액냉각		히트펌프			
영문핵심어 (5개 이내)	Evaporative cooling		Earth-Air heat exchanger		Local cooling (Zone cooling)		Nutrient solution cooling		Heat pump			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
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)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발 배경

- 기후변화로 인하여 매년 일조시간은 감소하고 있으나, 일사량과 평균기온은 증가하는 추세로 고온기 온실 환경의 열악함으로 인하여 주년재배가 어려워지며, 재배환경의 불량으로 인하여 생산성이 급격히 떨어지므로 스마트팜 기술의 도입으로 인한 생산성 향상에 한계가 있음
- 고온기 온실냉방을 위해 차광, 환기 등 주간 냉방부하 절감을 위한 기술과 기화식 냉방(포그, 미스트, 패드 앤 팬), 히트펌프, 냉각기를 이용한 국소냉방, 야간냉방 등에 대한 개별적 연구는 수행되었으나, 고온 억제를 위한 냉방기술의 패키지화에 대한 연구가 미진한 상태임
- 최근에서 시설원예의 농가 경영비 중 광열비가 30~50%를 차지할 정도로 에너지 소비 효율이 매우 낮아 국가적으로 심각한 문제로 대두되고 있음
 - 최근 10년간 시설원예 전체 면적이 4.6% 증가하는 동안 가온재배 면적은 30.8% 증가함.
 - 하절기 고품질 농산물 수요에 따라 시설 냉방이 요구되나 환기, 차광, 기화냉방 등은 효율이 낮거나 국내 기후에 적합하지 않고 적극적 냉방은 하절기 과도한 냉방부하로 경제성이 확보되지 않는 문제가 있음. (국립농업과학원, 2018)
 - 유류난방 비중은 꾸준한 감소 추세에도 81%로 여전히 높은 수준이고, 최근 농업용 전기사용 면적이 저렴한 에너지 가격으로 인해 연평균 20%씩 급증하고 있고, 가온 온실에서 농업용 전기를 이용해 난방하는 면적이 거의 10%에 임박함(농림식품부, 2018)
 - 앞으로 기상 온난화로 인해 온실의 냉방 수요가 급증할 것이고, 전기를 사용하지 않는 냉방 방법을 병용하는 하이브리드 냉방기술이 대안이 될 것으로 예상됨



그림 1. 온실 하이브리드 냉난방 모듈과 시스템 개념도

2) 연구개발 목적

- 이상기후에 따른 봄, 가을 고온 현상과 여름철 고온을 극복하여 시설원예의 주년 안정생산 목표를 달성하고 시설 농가 소득을 안정화하기 위해서 이상기후(이상 고온, 이상 저온) 대응 스마트 온실의 고효율 냉난방 시스템 및 운용기술 및 냉난방 설계 가이드라인 개발이 목적임
 - 중동, 동남아시아 등으로 에너지 효율이 높은 스마트팜 온실과 냉방장비 수출이 가능할 것임

3) 연구개발 필요성

- 최근에서 시설원예의 농가 경영비 중 광열비가 30~50%를 차지할 정도로 에너지 소비 효율이 매우 낮아 국가적으로 심각한 문제로 지속적으로 대두되고 있음
 - 최근 10년간 시설원예 전체 면적이 4.6% 증가하는 동안 가온재배 면적은 30.8% 증가함.
 - 하절기 고품질 농산물 수요에 따라 시설 냉방이 요구되나 환기, 차광, 기화냉방 등은 효율이 낮거나 국내 기후에 적합하지 않고 적극적 냉방은 하절기 과도한 냉방부하로 경제성이 확보되지 않는 문제가 있음. (국립농업과학원, 2018)
 - 유류난방 비중은 꾸준한 감소 추세에도 81%로 여전히 높은 수준이고, 최근 농업용 전기사용 면적이 저렴한 에너지 가격으로 인해 연평균 20%씩 급증하고 있고, 가온 온실에서 농업용 전기를 이용해 난방하는 면적이 10% 이상임(농림식품부, 2018)
 - 신재생에너지의 비중은 0.88%로 미미한 수준이며, 에너지절감 효과를 극대화하기 위해서는 고효율 공조기 적용과 더불어 보온성 향상, 열분

배 기술 등을 다양한 기술이 필요한 상황임

- 2016~2020년 기간 농식품부 스마트팜 확산사업을 추진하기 위하여 사전 점검 컨설팅을 받은 시설원에 농가는 1,371호이며, 이중 냉방장비로써 차광막, 냉동기기(공기열, 지열 히트펌프, 에어컨, 지하수 순환팬 등)와 팬 앤 패드(Fan & Pad), 포그(fog) 냉방시스템 등이 보급된 농가는 433 농가로 31.6%이며, 차광막 375 농가(27.4%), 포그시스템 75 농가(5.5%), 냉방기기 64 농가(4.7%), 패드 앤 팬 3 농가(0.2%)로 매우 적어 시설 주년 이용률이 낮은 상황임

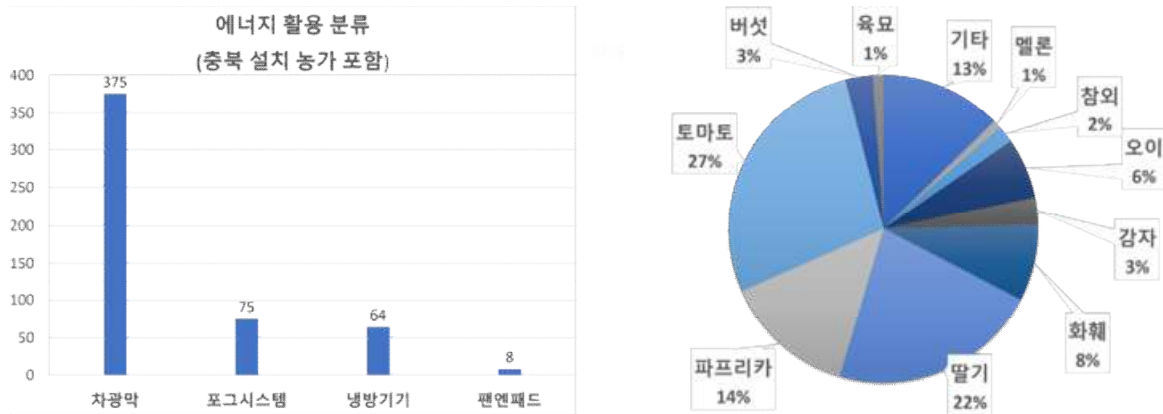


그림 2. 스마트팜 시설 대상 농가의 냉방기기 보급 현황(2020, 한국온실작물연구소)

- 냉방장비가 보급된 작물은 화훼 27%, 토마토 31%, 파프리카 16%, 딸기 14%, 오이 6%, 버섯 5% 순으로 나타나 파프리카, 토마토, 딸기, 화훼류 등 고부가가치 시설원에 작물은 경제적이고 효율적 활용이 가능한 냉방장치와 작동프로그램이 확보될 경우 생육 및 초세 조절의 용이, 과실 비대 촉진을 통한 생산성 증대, 동화 산물 축적을 통한 품질 향상 등의 효과가 있으며 특히, 정식기간을 단축하고 수확 종료일 연장하여 수확 기간이 늘어나면서 생산성을 크게 높일 수 있는 장점을 반영한 것으로 판단됨
 - 특히, 여름 딸기 및 상추재배, 여름 육묘 생산 등 새로운 작물, 작부체계 도입으로 틈새시장을 개발하여 소득을 높일 수 있을 것을 판단되어 미래농업의 지속안정 발전을 위해 필요
- 공기열, 지열, 기화열 냉방장치 등 온실 냉방장비 연중 활용으로 시설·장비 가동률을 높여 감가상각비를 낮추고, 농가 수익성을 개선할 수 있음
- 작물의 지하부 물리 및 화학적 특성이 작물의 성장, 활성 및 토양과의 상호작용에 미치는 영향
 - 온도에 의한 지하부의 반응은 생장이 발생하지 않는 최저온도, 더 이상 성장할 수 없는 최대온도 및 성장률을 최대로 하는 적정온도로 구분됨
 - 최저 및 최적 온도는 식물종에 따라 다르며 일반적으로 각각 0~12℃ 및 25~35℃ 범위에 있으며, 35℃ 이상의 온도 조건에서는 작물의 호흡 급등으로 인해 생산성과 품질이 매우 떨어짐

- 기존 방법: 1,300,000원 (PAD 초친수 코팅 비용이 별도의 PAD 모듈과 비슷한 가격)
- 본 연구과제로 초친수 비용 절감 (PHPS (2,000,000원/kg)을 고분자 (1,000,000원/kg)으로 대체)
- 합계: 1,100,000원 (공정비용 절감 고려)

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 주관연구개발기관 국립목포대학교 산학협력단

(1) 1단계 1년차

(실험 1) 포그 쿨링, 차광막 활용 기술 개발

○ 연구 목표

- 패시브 냉방 방법에 따른 냉방 효과 분석

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 패시브 냉방 방법

- 차광 스크린 : 55% 알루미늄 차광 필름
- 포그 시스템 : 에어포그 시스템 (경농, 한국)



그림 5-1. 포그 시스템(Air-fog system)

- 실험방법

■ 처리수준

- 대조구 : 무처리
- 포그 처리 : 11~15 시까지 30초 작동 2분 대기 작동
- 스크린 처리 : 온실 내 온도 30℃가 넘어가면 스크린 작동
- 스크린, 포그 처리



<대조구> <스크린 처리구> <포그 처리구> <스크린, 포그 처리구>
 그림 5-2. 처리구별 외관 사진

○ 연구수행 결과

- 아래 그래프는 09시 ~ 17시 까지의 상대습도와 온실 내 온도에 대한 산점 도입

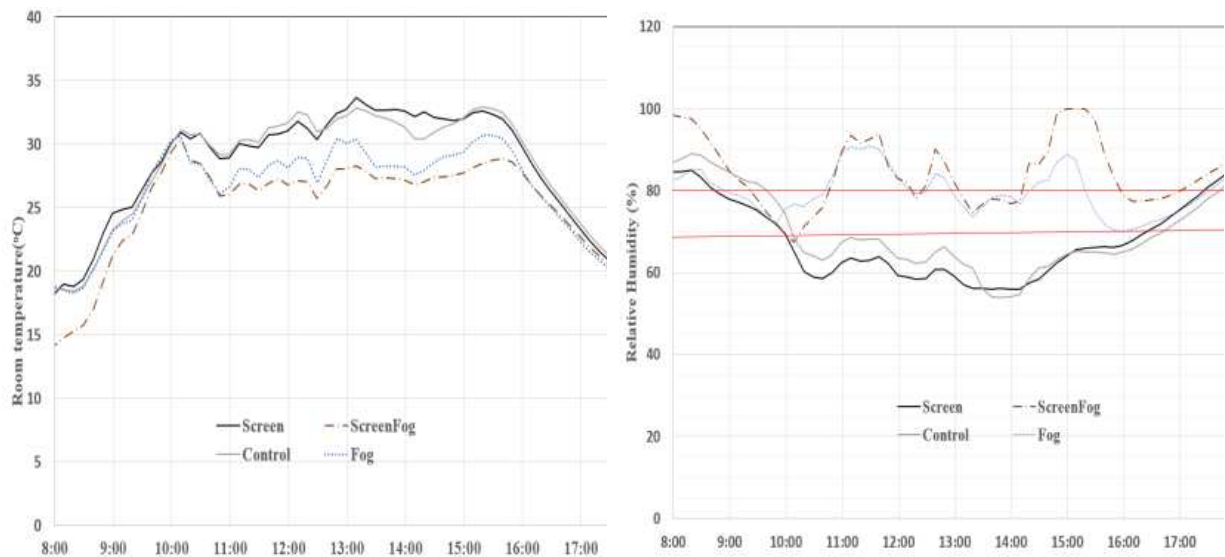


그림 5-3. 하우스 내 패시브 쿨링 방법에 따른 온습도 일변화(좌:온도, 우:습도)

- 대조구에서 파프리카의 생육 적온인 25~30°C을 넘어 최대 35°C까지 올라갔으며 상대습도는 온도가 올라감에 따라 감소하였고 스크린 처리구는 대조구와 비슷한 양상을 보였지만 온실 내 온도는 최대 33°C만 상승하였고 포그 처리구는 최대 온도는 31°C 수준으로 나타났지만 상대습도가 과습 조건인 80%을 보이기도 하였고 스크린과 포그를 같이 처리한 온실에서는 온도는 25~30°C 사이를 잘 유지 하였지만 상대습도가 최대 92%까지 올라감
- 파프리카의 생육에 적합한 습도는 70-80%로 알려져 있지만, 포그에 의한 가습으로 80% 이상으로 올라가다가 내려감을 반복함

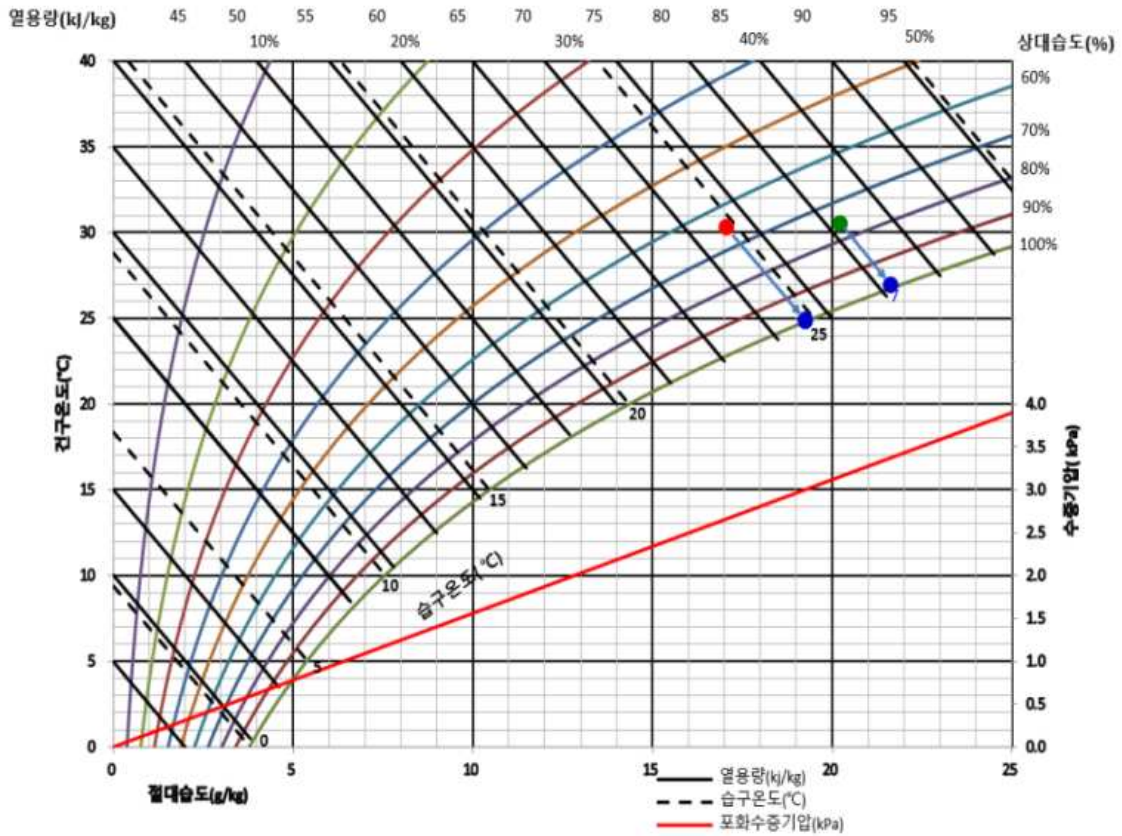


그림 5-4. 포그와 스크린, 포그 냉방의 냉방 효율 분석을 위한 물리어드이 어그램

- 온도가 높으면 작물은 기공폐쇄와 호흡량 증가로 인해 작물의 광합성 속도가 감소하고, 상대습도가 과습하면 병충해 감염이 쉽고 증발산량이 감소하여 작물 내 수분 유동이 원활하지 못하게 되어 광합성 효율이 감소하게 됨
- 대조구와 비교하여 스크린와 포그 사용은 최대 2°C와 4°C 정도의 온도 감소 효과가 있었고, 포그 사용시 습도가 높은 환경을 조성하게 되었고, 스크린과 포그 동시에 사용한 처리구에서는 온도는 6~7°C정도 감소 효과가 있으나 포그 단독으로 사용한 처리구보다 상대습도가 높게 상승하는 것을 알 수 있음
- 포그와 스크린 동시에 패시브 냉방한 것(그림 1-4 붉은색 점)과 포그 냉방(그림 1-4 녹색 점)의 물리어드이어그램을 이용해 습구 온도는 25°C와 27°C로 구하였는데, 냉방 효율은 85%. 99%로 나왔는데, 포그 냉방할 때 스크린이 냉방 효율을 올리는데, 효과가 없는 것으로 나타남
- 스크린과 포그는 대조구에 비해 온도 감소 효과가 있으나 포그는 기존의 타이머 방식이 아닌 수증기압 포차에 따른 제어할 때 더 효율적인 냉방이 가능할 것으로 보임
- 최적 상대습도(60-70%) 및 최적 수증기압포차(0.5-1.2kPa)와 최적 온도 조건(25-30°C)에서 패시브 냉방 방법별로 1점식 스코어를 매겨 분석한 적정성 평가 결과는 포그 냉방(68%), 포그 및 스크린 차광(63%), 스크린(24%), 대조구(14%)로 비슷한 양상으로 분석됨

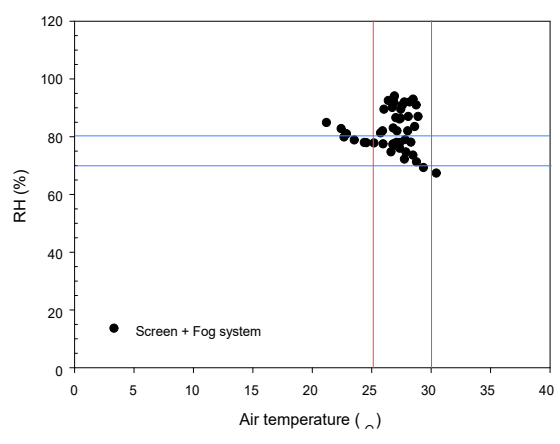
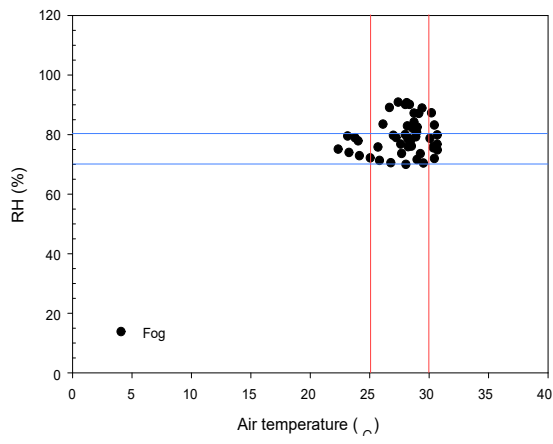
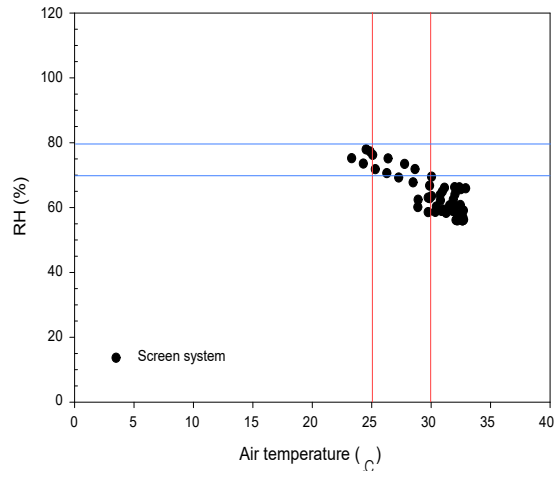
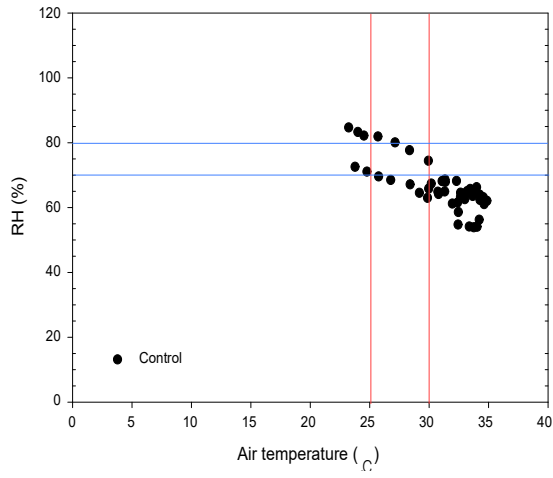


그림 5-5. 하우스 내 패시브 쿨링 방법에 따른 온습도 분포
(시계방향:대조구, 차광망, 차광망+포그시스템, 포그시스템)

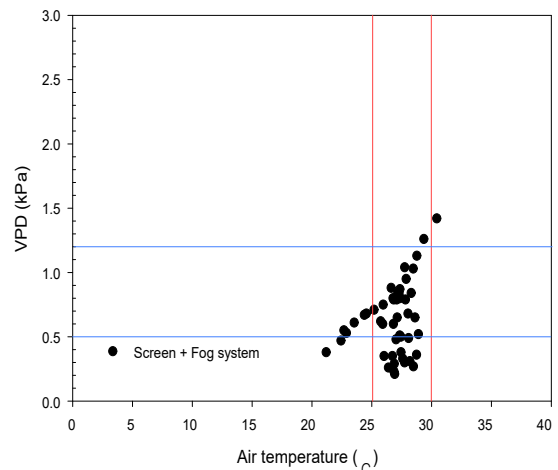
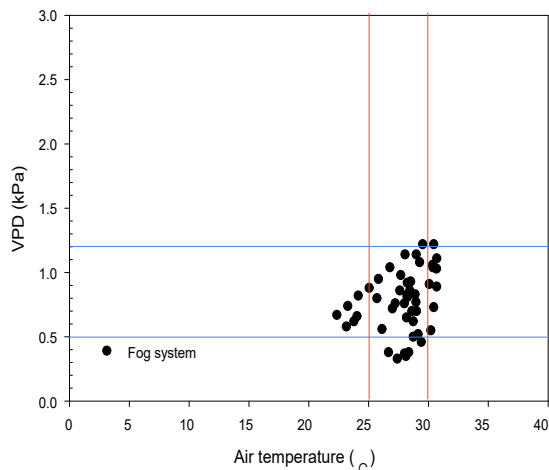
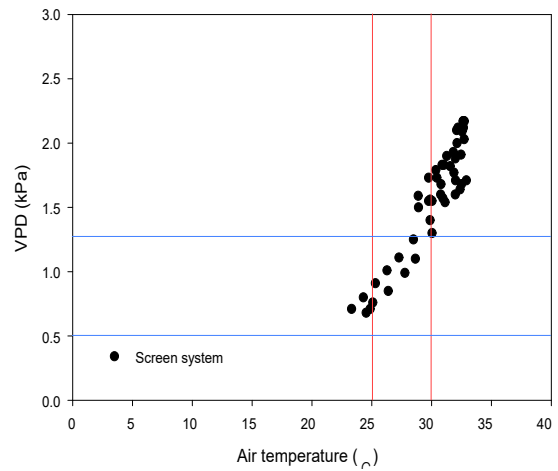
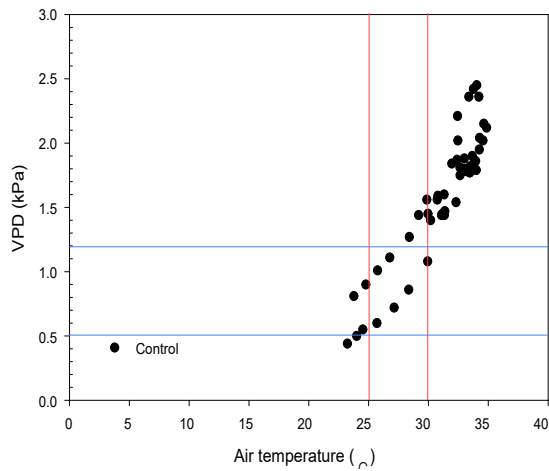


그림 5-6. 하우스 내 패시브 쿨링 방법에 따른 온도와 수증기압포차의 분포 (시계방향:대조구, 차광망, 차광망+포그시스템, 포그시스템)

(실험 2) 이상기후 육묘 단계 작물체 근권부 생육환경 최적화 연구

○ 연구 목표

- 고온기 환경 근권부 생육 개선을 위한 육묘 시스템 개발

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험재료

- 파프리카 : 시로코(Sirocco)
- 토마토 : 대프니스(Dafnis)
- 상추 : 적상추

- 실험방법

■ 처리수준(근권부 처리온도)

- 20°C
- 25°C

■ 근권부 온도 조절 방법

- 성장상 내부의 파이프를 통한 물순환으로 냉각 및 가온하여 근권부 온도 조절



그림 5-7. 근권부 온도조절이 가능한 생장상

■ 재배방법

- 출아율 조사 후 28일간 실험 진행
- 파종 후 7일간 저면관수 실시, 이후 하루 한 번 두상관수 실시
- 광 18시간, 암 6시간으로 일장 조절
- 최아
 - 펄트리디쉬(90×15mm)에 필터페이퍼(90mm)에 증류수 5ml를 적셔 종자 100개 치상
 - 증류수에 적신 종자를 암조건인 30℃ 챔버(Multi-Room Incubator)에서 24시간 동안 최아

- 생육조사

■ 출아율

- 최아 종류 후 상토로 채워진 50공 트레이에 10개씩 파종
- 4반복으로 실험 진행
- 파종 후 7일간 출아율 조사

■ 일주일 간격으로 식물체 파괴 조사를 통해 초장, 근장, 지상부 생체중, 지상부 건물중, 지하부 생체중, 지하부 건물중, 엽수, 엽면적, 엽록소 측정

- 엽면적측정기(LI-3100 AREA METER)를 이용하여 7일 간격으로 파괴조사 실시
- 지상부와 지하부의 생체중 측정 후, 시료를 70℃ 건조기에서 72시간 건조 후 건물중 측정
- 엽록소 측정기(SPAD)를 이용하여 식물체의 성장점 부근에서 4반복으로 측정

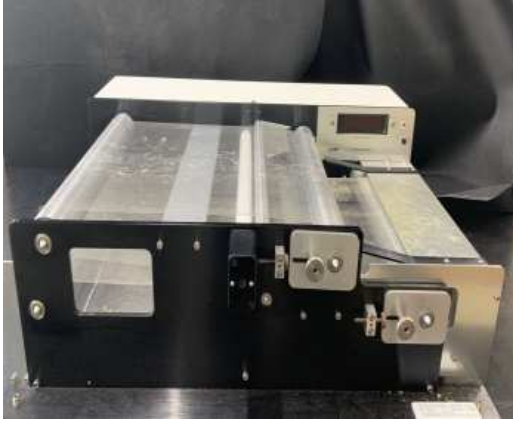


그림 5-8. 엽면적 측정기 (LI-3100)



그림 5-9. 엽록소 측정기 (SPAD 522 PLUS)

○ 연구수행 결과

- 파프리카

■ 출아율

- 두 처리구 모두 2일 차에는 출아율을 보이지 않았음
- 파종 3일 경과 시 25℃에서 출아한 것이 발견됨.
- 이후 4일 차부터 20℃에서도 출아를 시작하여 20℃ 30%, 25℃ 40% 출아함.
- 출아율 조사 시점인 7일 경과시에는 60%로 같은 출아율을 나타냄.

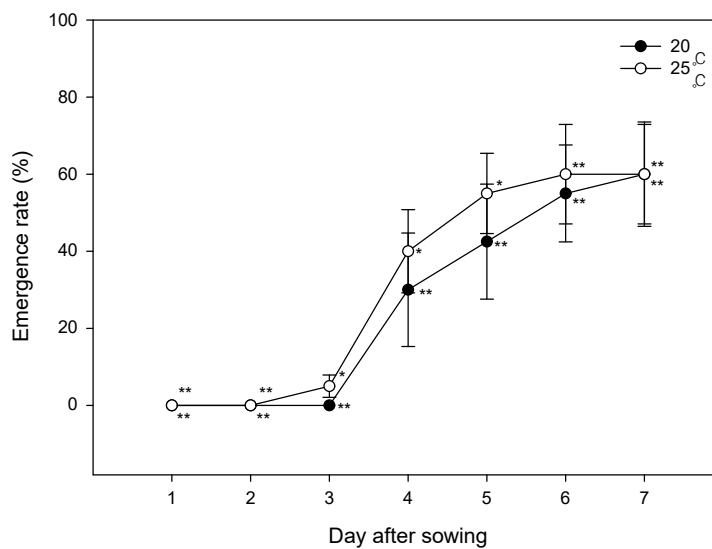


그림 5-10. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 출아율

■ 초장

- 파종 14일 경과 시 초장은 유의한 차이를 보이지 않았음
- 파종 21, 28일 경과 시 25℃의 생육이 더 좋은 결과를 나타냄.
- 이후 파종 35일 경과 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.

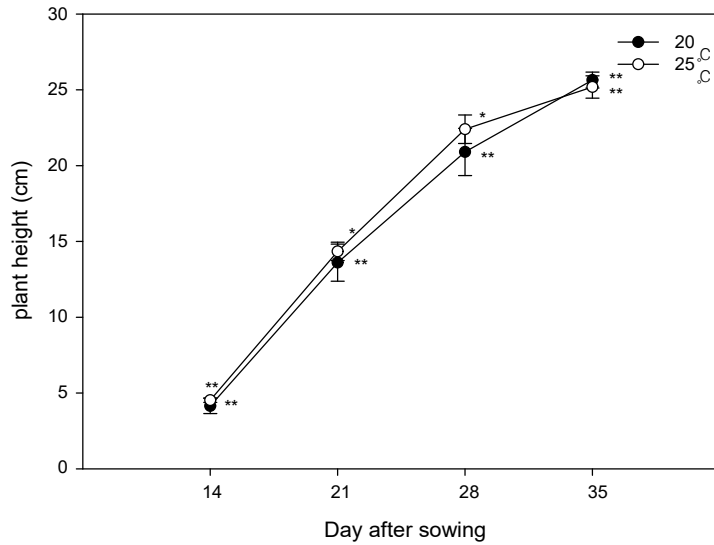


그림 5-11. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 초장

■ 근장

- 파종 후 21일 경과 시 20°C 9.32cm, 25°C 12.74cm로 25°C의 생육이 더 좋은 것을 확인함.
- 파종 28일과 35일 경과 시에는 두 처리구간 유의한 차이를 나타내지 않았음.

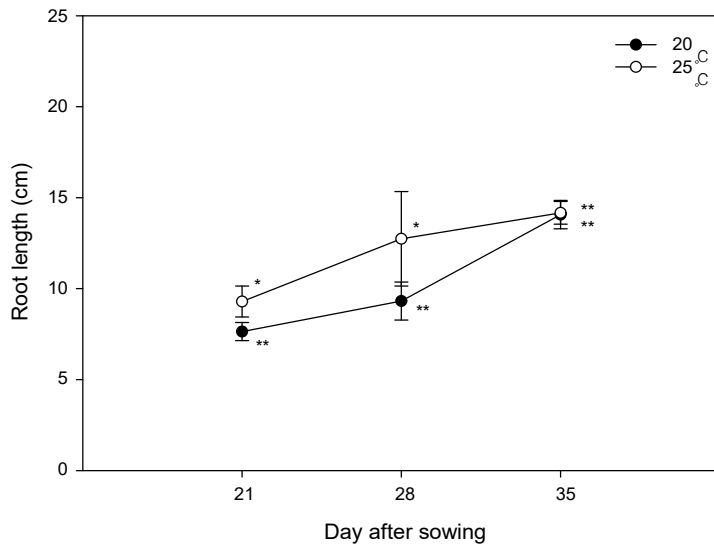


그림 5-12. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 근장

■ 엽수

- 파종 후 14일 경과 시 20°C 1.86개, 25°C 2개의 차이를 보였음
- 파종 21일 경과 시에는 유의한 차이를 보이지 않음.
- 이후 파종 28일 경과 시 20°C 8개, 25°C 8.57개로 25°C의 생육이 좋았음.
- 하지만 실험 종료 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.

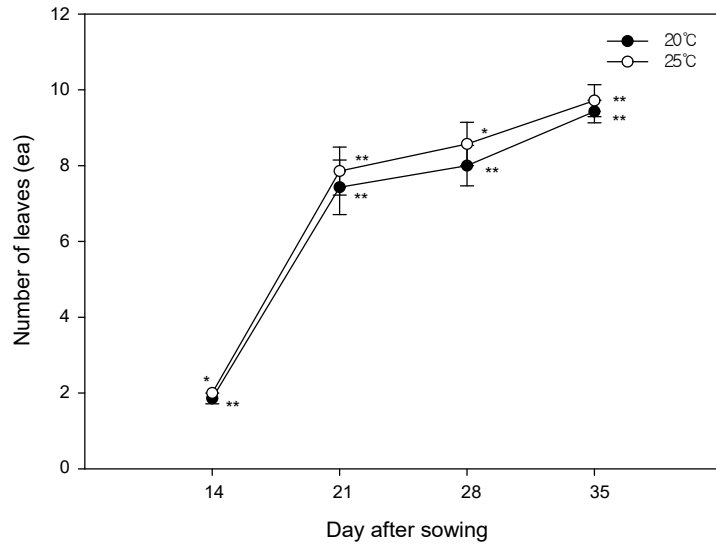


그림 5-13. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 엽수

■ 엽면적

- 실험 기간 중 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음

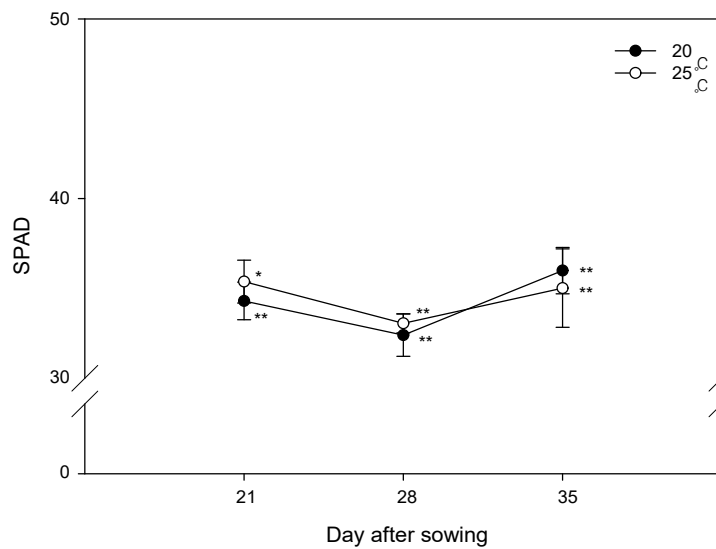


그림 5-14. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 엽록소

■ 지상부 생체중 및 건물중

- 생체중은 파종 후 21일 경과 시 20°C 1.64g, 25°C 1.89g으로 차이를 보였으나, 28일 경과 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음.
- 실험 종료 시점 35일 경과 시에는 25°C 생체중이 0.36g 더 높게 나타남.
- 건물중은 파종 후 21일 경과 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았으나, 28일 경과 시부터 25°C가 0.05g 높게 나타남
- 실험 종료 시까지 25°C의 처리구의 건물중이 높게 나타남.

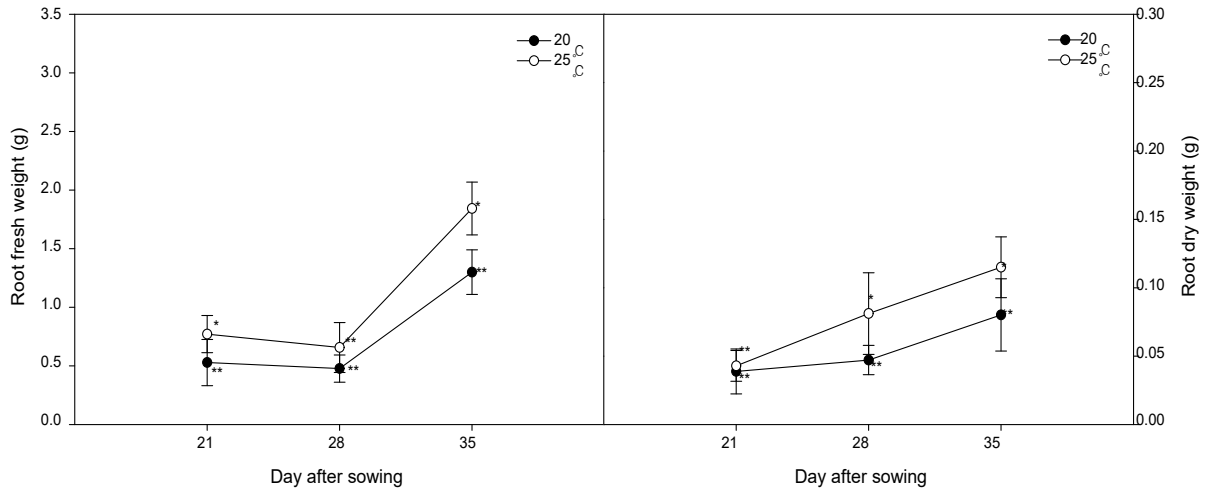


그림 5-15. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 지상부 생체중과 건물중

■ 지하부의 생체중, 건물중

- 생체중은 파종 후 21일 경과 시 20°C 0.53g, 25°C 0.77g의 차이를 보였으나 28일 경과 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.
- 건물중의 경우 파종 후 21일 경과 시 유의한 차이를 보이지 않았으나 28일 20°C 0.05g, 25°C 0.08g으로 차이를 보이기 시작함.
- 파종 35일 경과 시에는 25°C 0.12g으로 20°C와 0.04g 차이가 발생하여 지하부 생체중과 건물중의 경우 25°C의 생육이 더 좋은 결과를 나타냄.

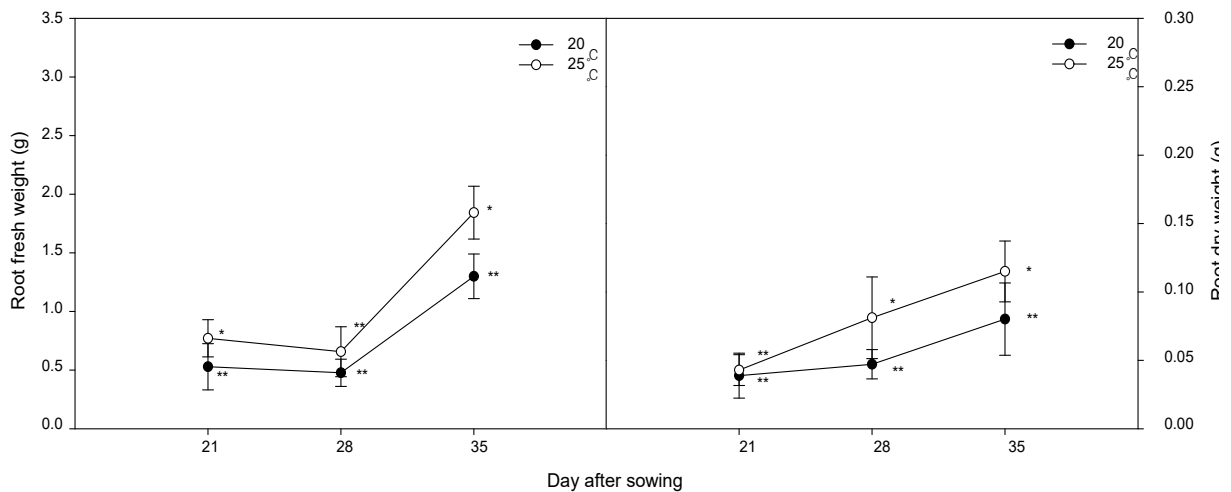


그림 5-16. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 지하부 생체중과 건물중

■ 엽록소

- 실험 기간 중 두 처리구 모두 유의한 차이를 보이지 않음.

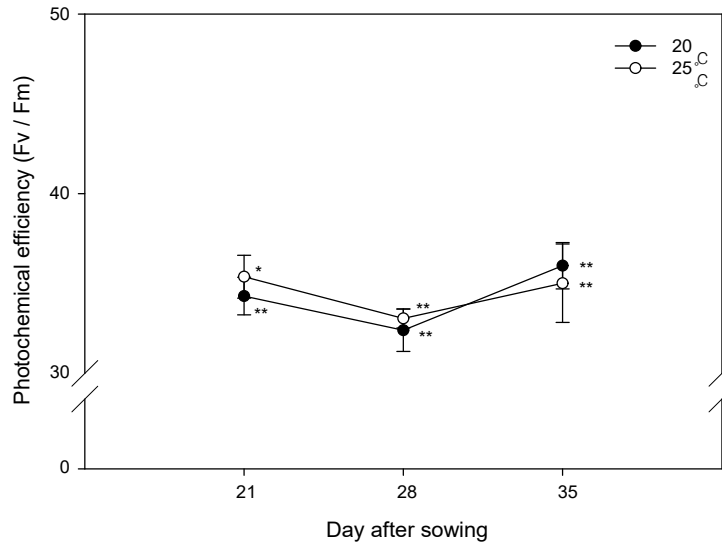


그림 5-17. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 엽록소



그림 5-18. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 생육 (A, 25°C; B, 20°C)

- 토마토

■ 출아율

- 파종 직후 20°C 17.5%, 25°C 47.5%로 25°C가 높은 출아율을 보임.
- 파종 후 4일 경과 시까지 25°C가 높은 출아율을 보였으나 5일 경과 이후부터는 20°C의 출아율이 높았음.
- 출아율 조사 종료 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.

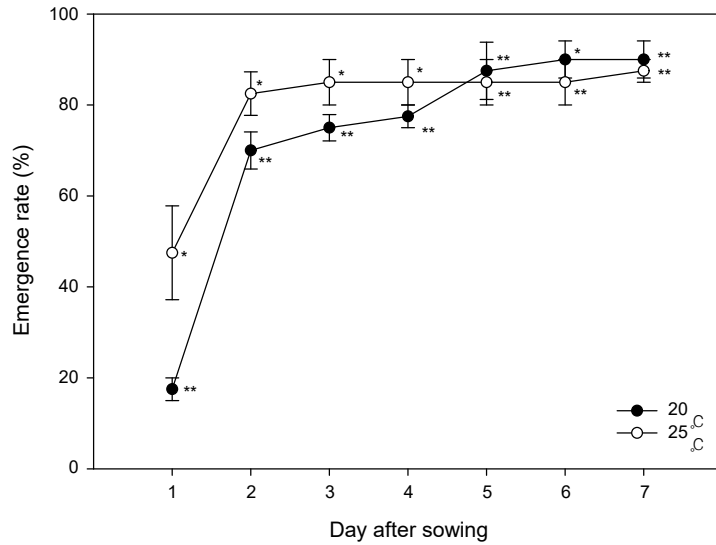


그림 5-19. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 출아율

■ 초장

- 파종 14일 경과 후 20°C 7.42cm, 25°C 8.61cm의 결과를 나타냄
- 파종 21일 경과 시 두 처리구가 급격히 증가하였으며, 20°C 17.19cm, 25°C 18.25cm의 결과를 나타냄
- 실험 종료 시 토마토 초장은 근권부 온도 20°C, 25°C 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음.

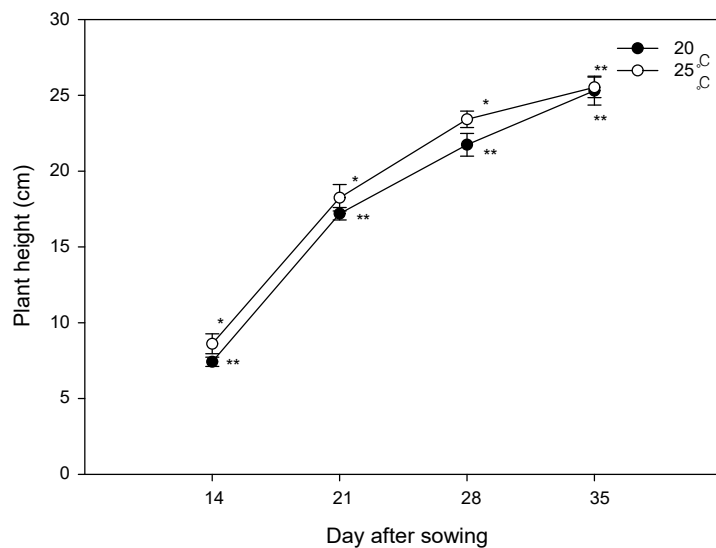


그림 5-20. 근권부 온도 설정에 따른 토마토 초장

■ 근장

- 파종 21일 경과 후 20°C 9.09cm, 25°C 11.48cm로 2.39cm의 차이를 보임.
- 파종 28일과 35일 경과 후 20°C와 25°C 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.

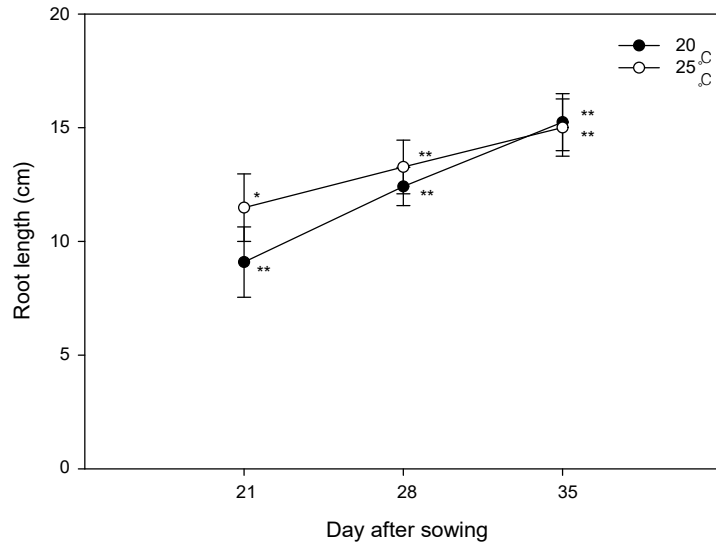


그림 5-21. 근권부 온도 설정에 따른 토마토 근장

■ 엽수

- 실험 기간 파종 후 35일간 모두 25°C의 처리구가 좋은 결과를 나타냄
- 실험 종료 시 근권부 온도 20°C 5.08개, 25°C 5.58개의 결과를 나타냄

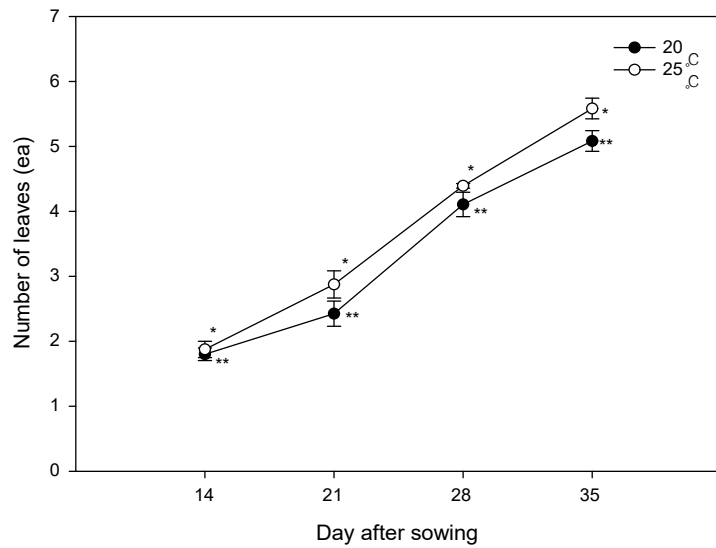


그림 5-22. 근권부 온도 설정에 따른 토마토 엽수

■ 엽면적

- 파종 후 21일 경과 시 토마토의 엽면적은 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음.
- 파종 후 28일 경과 시 25°C 엽면적이 20°C 처리구보다 10.86cm³ 높았으나, 7일 이후 조사한 결과 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음.

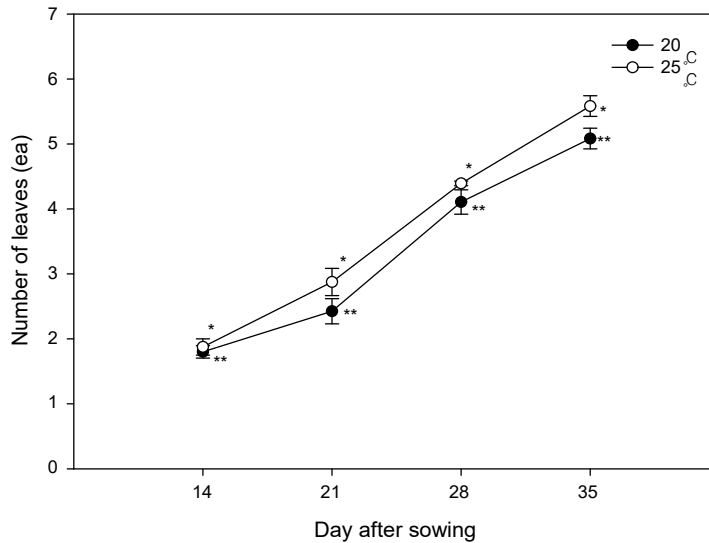


그림 5-23. 근권부 온도 설정에 따른 토마토 엽수

■ 지상부 생체중 및 건물중

- 파종 후 21일 경과 시 토마토 지상부의 생체중은 20°C와 25°C 두 처리구간 유의한 차이를 나타내지 않았음.
- 파종 28일 경과 시부터 두 처리구간 유의한 차이가 발생하여, 파종 35일 경과 시 20°C 4.88g, 25°C 5.51g으로 근권부 온도 25°C의 처리구의 생체중의 결과가 더 높은 것을 확인함.
- 건물중의 경우 생체중과 달리 파종 후 21일 경과 시 두 처리구간 20°C 0.22g, 25°C 0.34g으로 유의한 차이를 나타냄.
- 파종 후 35일 경과 시 두 처리구간 유의한 차이가 나타나지 않을 것처럼 보였으나, 20°C 0.4g, 25°C 0.43g으로 두 처리구간 유의한 차이를 나타냄.

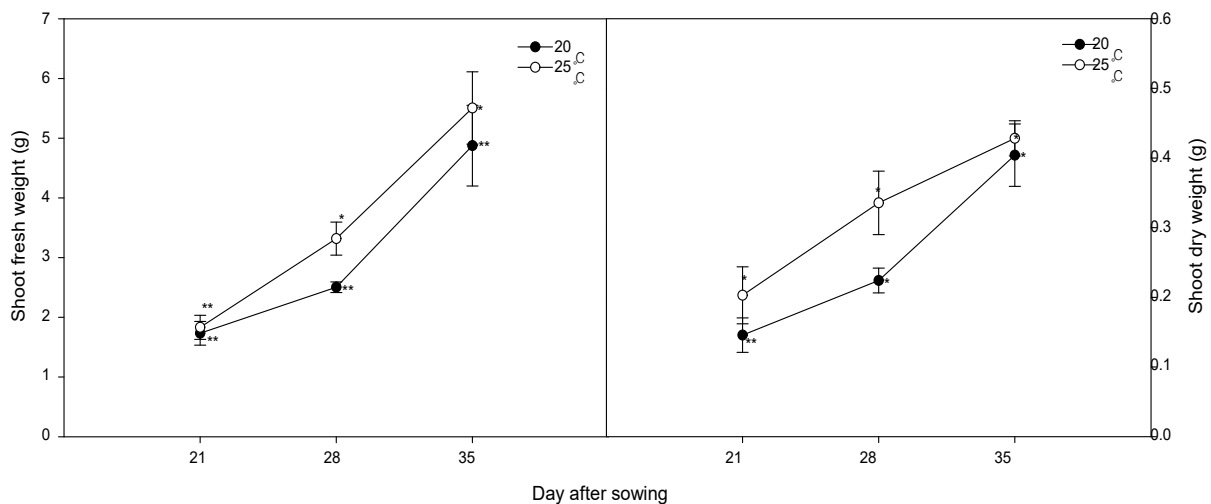


그림 5-24. 근권부 온도 설정에 따른 토마토 지상부 생체중과 건물중

■ 지하부의 생체중 및 건물중

- 토마토의 지하부 생체중은 실험기간 동안 두 처리구간 유의한 차이를 보이며 25°C가 더 높은 결과를 나타냄.
- 파종 후 35일 경과 시 20°C 0.44g, 25°C 0.95g으로 큰 차이를 보이며 실험이 종료됨.
- 지하부 건물중의 경우 또한 실험 기간 중 두 처리구간 유의한 차이를 나타냄.
- 실험 기간 동안 25°C의 처리구의 건물중이 높았음.
- 실험 종료 시 20°C 0.03g, 25°C 0.04g의 차이를 보이며 실험이 종료 됨.
- 토마토의 경우 근권부 온도를 25°C로 설정하였을 때 지상부와 지하부의 생체중과 건물중의 무게가 더 무거운 것을 확인할 수 있었음.

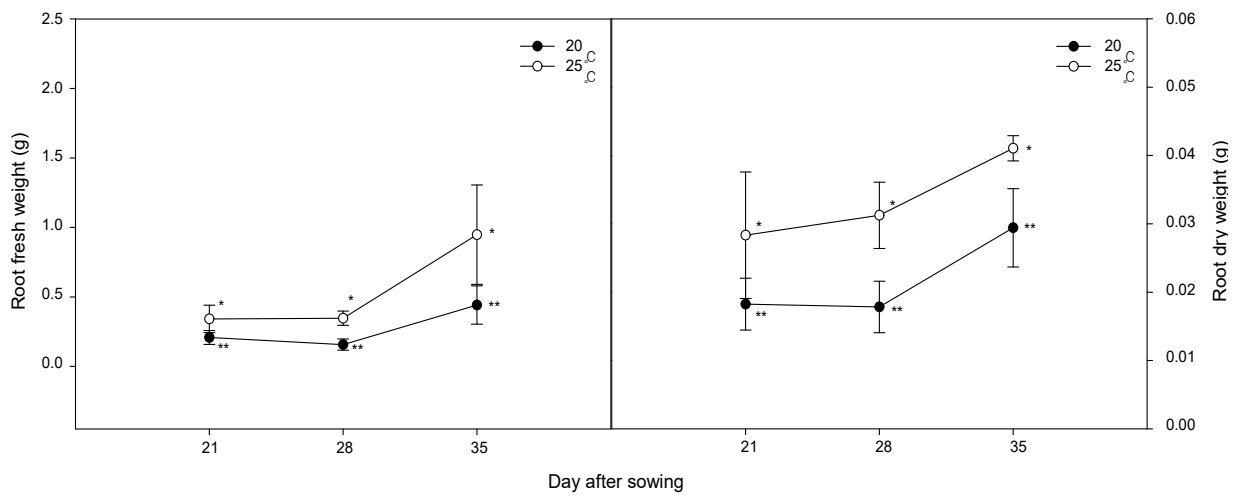


그림 5-25. 근권부 온도 설정에 따른 토마토 지하부 생체중과 건물중

■ 엽록소

- 실험 기간 중 토마토의 엽록소 수치는 25°C의 처리구에서 높은 결과를 나타냄.

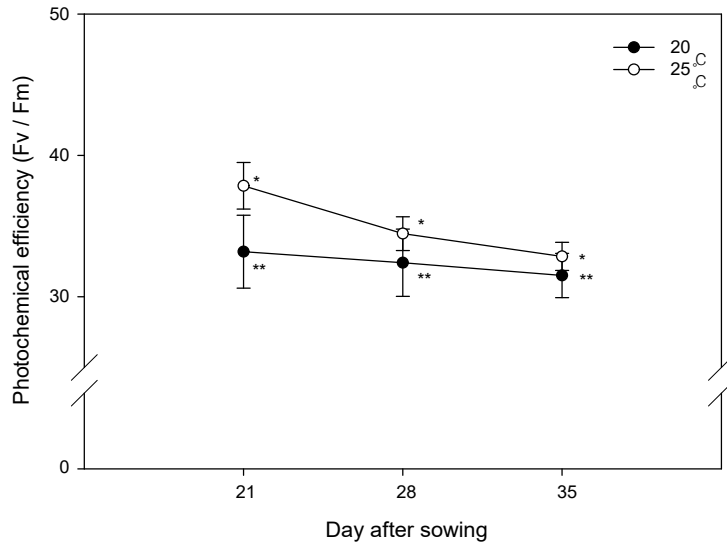


그림 5-26. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 엽록소

- 상추

■ 출아율

- 근권부 온도 설정에 따른 상추의 출아율의 경우 실험기간 중 두 처리구 간 유의한 차이를 보이지 않았음.
- 파종 후 6일 경과 시 두 처리구 모두 급격히 증가함.

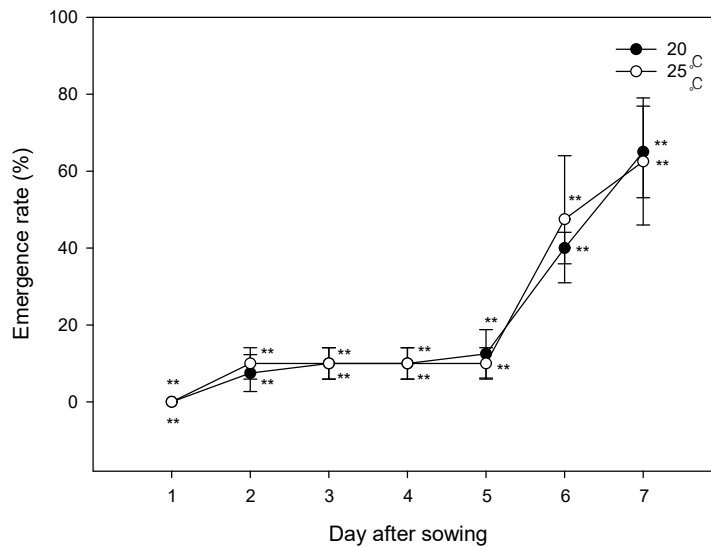


그림 5-27. 근권부 온도 설정에 따른 파프리카 출아율

■ 초장

- 파종 14일 경과 시 근권부 온도 20, 25°C에서 두 처리구간 유의한 차이를 나타내지 않았음.
- 파종 후 21일 경과 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않은 것처럼 보였으나, 20°C 8.02cm, 25°C 7.56cm로 유의한 차이를 나타냄.
- 실험 종료 시 20°C 14.42cm, 25°C 13.13cm로 20°C의 상추 초장이

더 큰 것을 확인할 수 있었음.

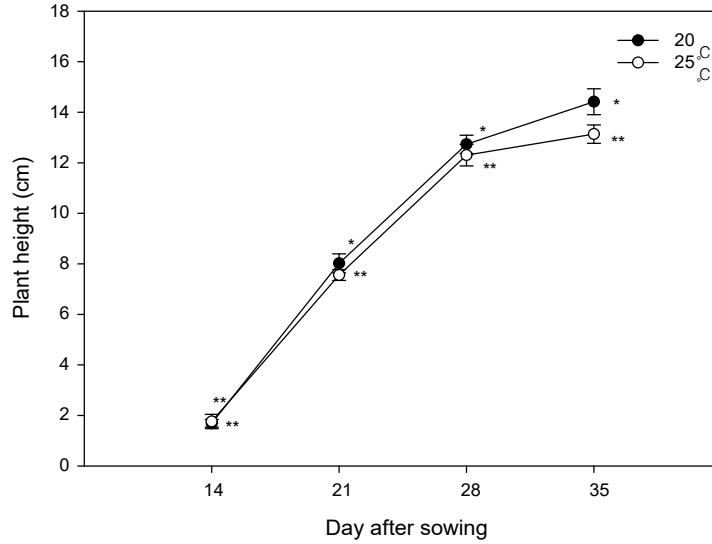


그림 5-28. 근권부 온도 설정에 따른 상추 초장

■ 근장

- 파종 21일과 35일 경과 시에는 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.
- 파종 후 28일 경과 시에는 20°C 7.73cm, 25°C 10.89cm로 큰 차이를 나타내었으나. 이후 35일 경과 시 유의한 차이를 보이지 않아 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료됨.

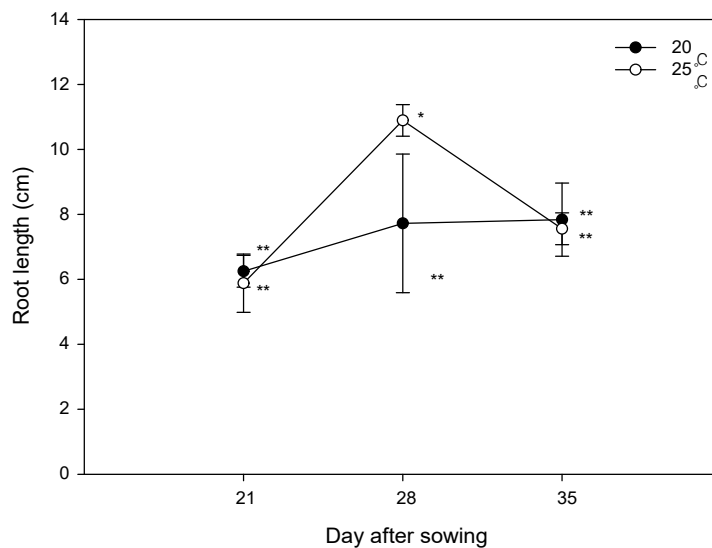


그림 5-29. 근권부 온도 설정에 따른 상추 근장

■ 엽수

- 근권부 온도 설정에 따른 상추 엽수는 파종 후 14일 경과 시 20°C 2.24개, 25°C 2.43개로 유의한 차이를 나타냈음.
- 이후 파종 35일 경과 시까지 근권부 25°C의 처리구가 더 좋은 결과를

나타냄.

- 실험 종료 시 20℃ 7.92개, 25℃ 8.56개로 25℃의 처리구가 양호한 결과를 나타냄.

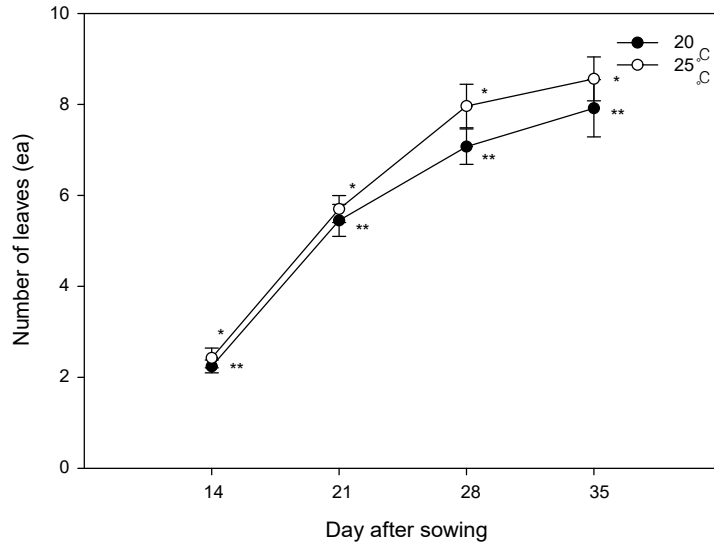


그림 5-30. 근권부 온도 설정에 따른 상추 엽수

■ 엽면적

- 상추의 엽면적은 실험 기간 중 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.

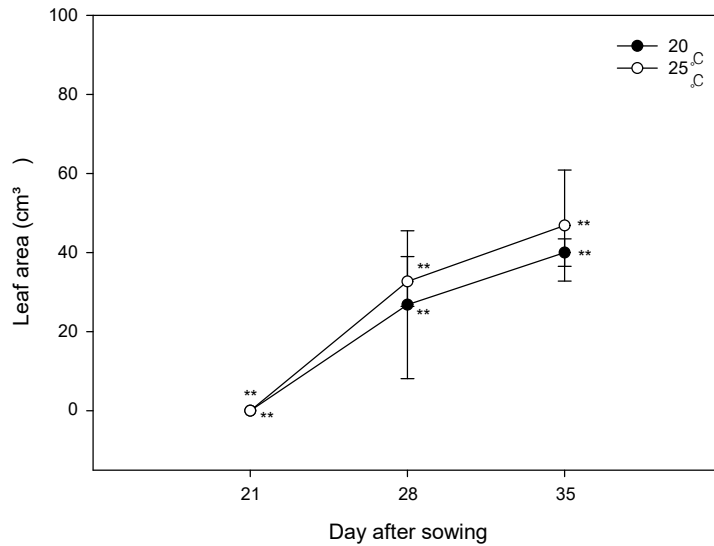


그림 5-31. 근권부 온도 설정에 따른 상추 엽면적

■ 지상부 생체중 및 건물중

- 상추 지상부 생체중의 경우 파종 후 21일 경과 시 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.
- 파종 28일 경과 후 20℃ 1.59g, 25℃ 1.99g의 차이를 나타냄.

- 실험 종료 시 상추의 지상부 생체중에서는 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.
- 지상부 건물중의 경우 실험 진행 중 두 처리구 모두 유의한 차이를 나타냄.
- 실험 종료 시 20℃ 0.1g, 25℃ 0.11g으로 25℃의 생육이 좋음을 확인할 수 있었음.
- 근권부 온도 설정에 따른 상추 지상부 생체중과 건물중은 25℃의 생육이 더 좋은 것을 확인할 수 있었음.

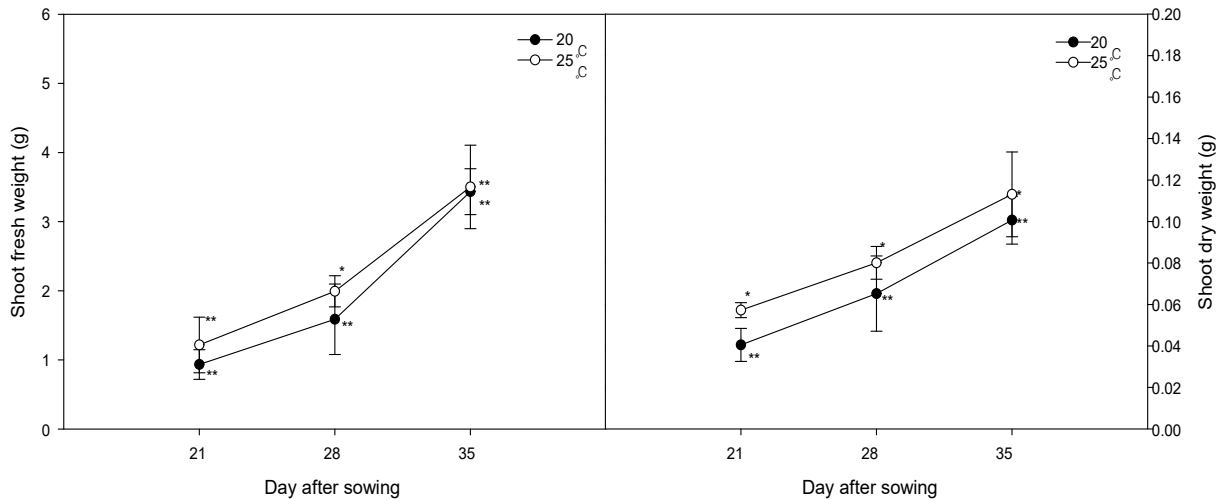


그림 5-32. 근권부 온도 설정에 따른 상추 지상부 생체중과 건물중

■ 지하부의 생체중 및 건물중

- 생체중의 경우 파종 후 21일 경과 시 생체중의 경우 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않음.
- 파종 후 28일 경과 시 20℃ 0.1g, 25℃ 0.24g으로 유의한 차이를 보임.
- 실험 종료 시 20℃의 생체중이 급격히 00g 증가하여 0.15g의 결과를 보였으나, 25℃의 생체중이 0.32g으로 높게 나타나 지하부 생체중의 경우 근권부 온도 25℃가 좋을 것으로 판단됨.
- 건물중 또한 파종 후 21일 경과 시 근권부 온도를 달리하여 실험을 수행하였을 때 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음.
- 파종 28일 경과 후 20℃ 0.005g, 25℃ 0.01g으로 큰 차이를 나타냄.
- 생체중과 같이 건물중도 실험 종료 시 25℃의 지하부 건물중이 0.01g으로 급격히 증가하였으나, 25℃ 0.1g으로 25℃의 생육이 좋은 결과를 나타냄.
- 상추의 지하부 생체중과 건물중의 결과로 근권부 온도를 25℃로 설정하는 것이 상추의 지하부 생육에 좋은 것으로 나타남.

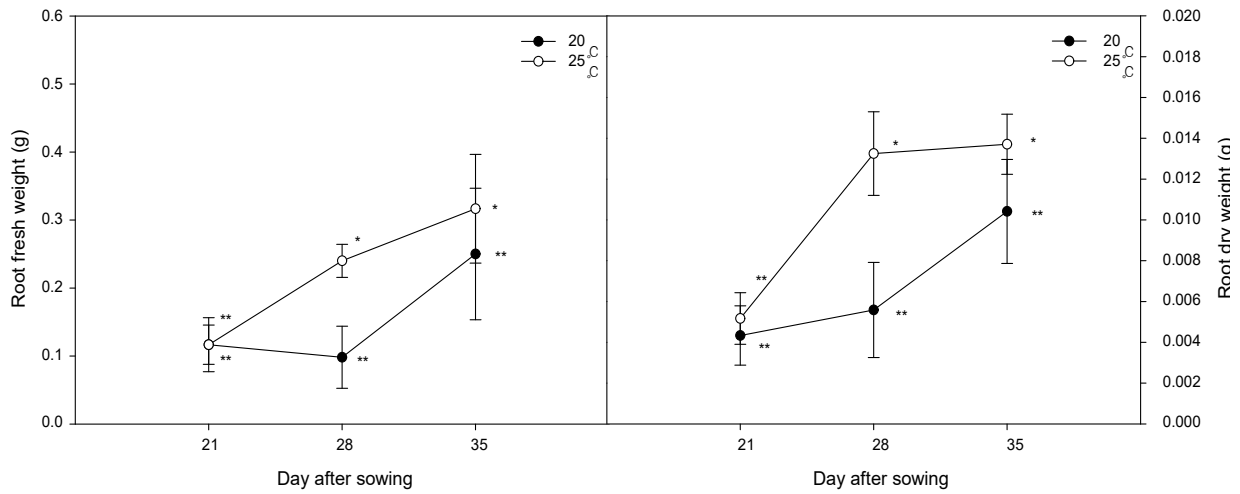


그림 5-33. 근권부 온도 설정에 따른 상추 지하부 생체중과 건물중

■ 엽록소

- 근권부 온도와 상추의 엽록소 관계를 알아보기 위하여 실험을 수행한 결과, 파종 후 21일 경과 시 20°C 8.29, 25°C 10.6의 수치를 나타내 25°C가 더 높음을 확인할 수 있었음.
- 파종 후 28일 경과 시 20°C 9.37, 25°C 10.11로 25°C가 높았으나 파종 35일 경과 후부터 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음.

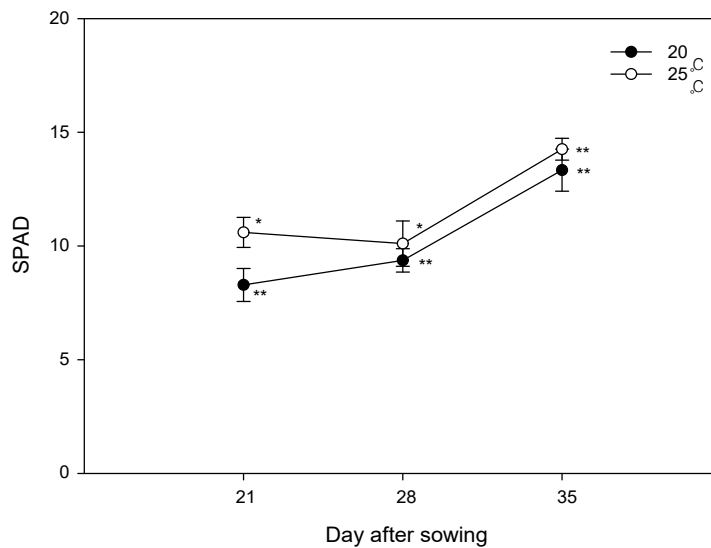


그림 5-34. 근권부 온도 설정에 따른 상추 엽록소

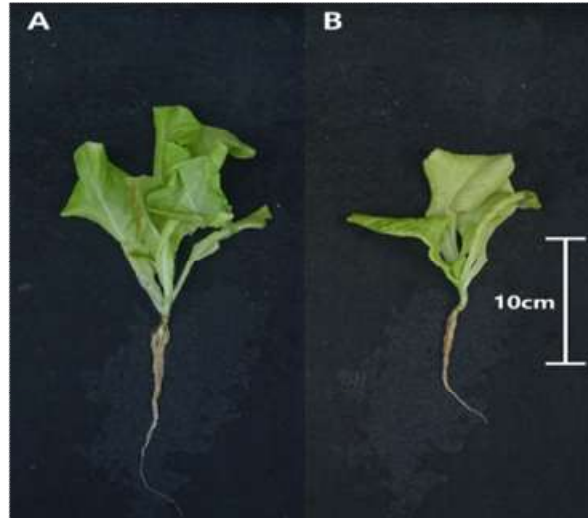


그림 5-35. 근권부 온도 설정에 따른 상추 생육 (A, 20℃; B, 25℃)

(2) 2단계 2년차

(실험 1) 포그 쿨링, 차광막 활용 기술 개발

○ 연구 목표

- 패시브 냉방 방법에 따른 냉방 효과 분석

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료

- 토마토(대프니스) : 파종('22.03.10), 정식('22.04.12)
- 장소 : 목포대학교 부속농장 비닐하우스

- 패시브 냉방 방법

- 차광 스크린 : 55% 알루미늄 차광 필름
- 포그 시스템 : K-1공압방제시스템 (경농, 한국)



그림 5-36. 포그 시스템(Air-fog system)

- 실험방법

■ 처리수준

- 대조구 : 무처리
- 포그 처리 : 10시30분~14시 30분까지 20초 작동 3분 멈추도록 설정
- 스크린 처리 : 온실 내부 온도 30℃ 초과하면 차광되도록 설정

• 스크린, 포그 처리 : 포그 및 스크린 동시 처리



<대조구> <스크린 처리구> <포그 처리구> <스크린, 포그 처리구>
그림 5-37. 처리구별 사진

○ 연구수행 결과

- 실험기간 외부 최고온도는 28℃, 최대광량(PPFD)은 $1,380\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었음.

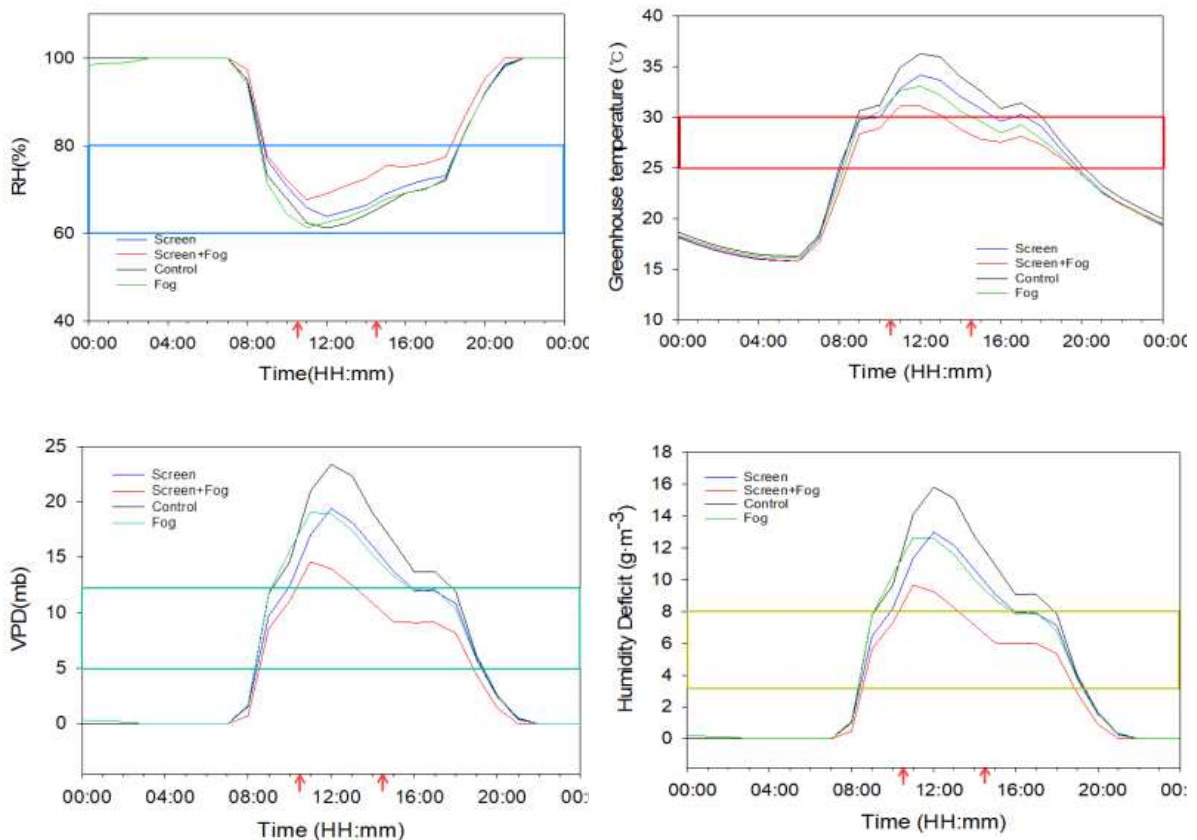


그림 5-38. 하우스 내 패시브 쿨링방법에 따른 RH, 온실 온도, VPD, HD의 일변화(22.06.12)

- 모든 처리구를 비교할 때, 냉방 효과는 포그와 스크린 조건을 동시에 처리 하는 것이 온습도 및 VPD,HD의 적정 범위에 가깝게 나타났고, 포그처리는 내부온도를 낮추는 면에서 포그+스크린 처리 다음으로 효과적인 결과가 있었으며, 스크린 처리는 습도와 수증기압포차, 수분부족분에서 포그+스크린 처리 다음으로 포그처리보다 토마토 고온기 생육의 적정범위에 가깝

게 나타남.

- 내부 온도(°C)

■ 포그+스크린(27.8~31.1°C),포그(29.6~33.1°C),스크린(30.0~34.1°C),대조구(31.2~36.2°C).

■ 고온기를 감안한 비닐온실 적정유지온도를 25~30°C로 할 때, 포그+스크린 처리에서 가장 큰 쿨링 효과를 나타냄.

- 내부 습도(%)

■ 포그+스크린 (67.7~75.4%),스크린(63.9~70.7%), 포그(61.3~67.9%),대조구(61.2~67.9%).

■ 포그+스크린에 이어 스크린처리가 포그처리보다 적정습도로 설정한 60~80%에 가깝게 높은 결과를 나타냄.

- 수증기압포차(mb)

■ 포그+스크린(9.2~14.6mb), 스크린(12.4~19.4mb), 포그(13.3~19.0mb), 대조구(14.6~23.4mb) 순으로 적정 범위(5~12mb)에 가까운 결과를 보임.

- 수분부족분(g/m³)

■ 일반적으로 수분부족분의 작물생육에 적합한 최적값은 3.0 g/m³ 전후로 알려져 있으며, 본 실험에서는 고온기임을 감안한 적정 범위를 3~8 g/m³로 설정하여 비교한 결과, 포그+스크린 (6.0~9.7 g/m³), 스크린(8.2~13.0 g/m³), 포그(8.8~12.7 g/m³), 대조구(9.6~15.8 g/m³) 순으로 수증기압 포차와 비슷한 경향으로 건조한 조건을 향해 높아짐

표 5-1. 쿨링처리가 초장, 화방높이, 줄기 직경, 생체중 등에 미치는 영향

Treatment	Plant height (cm)	Truss height (cm)	Stem diameter (mm)	Flowering group	No. of leaf	Leaf area(cm ²)	Fresh weight (g)	Dry Weight (g)
Screen	272 ^{b*}	14.3 ^{ab}	7.3 ^b	8.8 ^a	15.3 ^a	4677 ^a	852 ^b	148 ^a
Screen+Fog	319 ^a	23.3 ^a	8.9 ^a	9.0 ^a	15.3 ^a	5158 ^a	1186 ^a	175 ^a
Control	271 ^b	10.5 ^b	7.4 ^b	9.8 ^a	17.5 ^a	4746 ^a	968 ^{ab}	181 ^a
Fog	306 ^a	19.0 ^{ab}	7.9 ^{ab}	8.9 ^a	17.5 ^a	5205 ^a	1144 ^a	175 ^a

*Mean separation within columns by DMRT(Duncan's multiple range test) at 5% level.

- 생육조사

■ 초장, 화방거리, 줄기굵기, 생체중에서는 포그+스크린이 가장 높게 나타남.

■ 엽면적에서유의적인 차이는 없었지만 포그+스크린 처리가 높게 나타남.

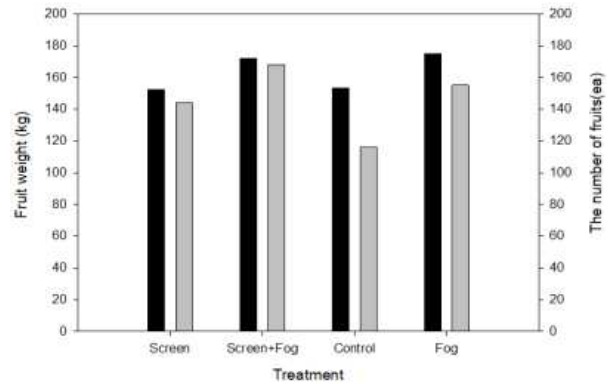
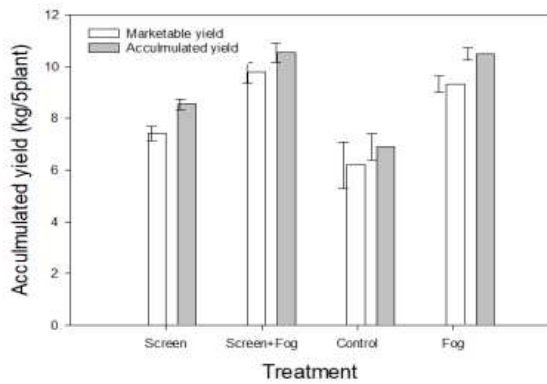


그림 5-39. 처리로 인한 전체수확량 및 상품과 수확량

그림 5-40. 처리로 인한 상품과수 및 중량

- 수확량

- 전체 수확량 : 포그+스크린(10.5kg), 포그(10.5kg), 스크린(8.54kg), 대조구(6.88kg)
- 상품과 수확량 : 포그+스크린(9.76kg), 포그(9.31kg), 대조구(6.19kg), 스크린(7.42kg)

- 포그+스크린 처리가 온습도, 수증기압포차, 수분부족분 등에서 고온기 적정 환경범위로 설정한 범위에 가장 근접한 냉방효과를 나타내었고, 이와 함께 수확량 및 상품율, 생육조사 결과에서도 양호한 결과를 보임
- 포그처리는 스크린 처리보다 습도가 2~3% 더 낮았지만, 내부온도는 1℃ 정도 낮은 쿨링효과가 있었고, 수확량에서 포그+스크린 처리와 비슷한 정도로 높은 결과를 나타내었는데, 이는 고온기 토마토 재배의 관건인 수분수정의 온도 한계 범위(30~33℃)내에서 수광량을 높게 관리하는 것이 수량면에서 유리하다고 분석됨.

(실험 2) 이상기후 육묘 단계 작물체 근권부 생육환경 최적화 연구

○ 연구 목표

- 고온기 환경 근권부 생육 개선을 위한 육묘 시스템 개발

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험재료

- 파프리카 : 시로코(Sirocco)
- 토마토 : 대프니스(Dafnis)

- 실험방법

■ 유리 온실 환경

- 광 : 명 12H, 암 12H / PPFD : $190 \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
- 관수 : 6분 간격 1분간 점적관수(06시 00분 ~ 18시00분)

■ 실험 처리

- 대기온도 : 20, 25, 30, 35℃
- 근권부 온도 : 15, 20, 25, 30℃
- 각 대기온도별 근권부 온도를 15, 20, 25, 30℃로 처리

• 각 처리별로 5반복으로 실험 진행

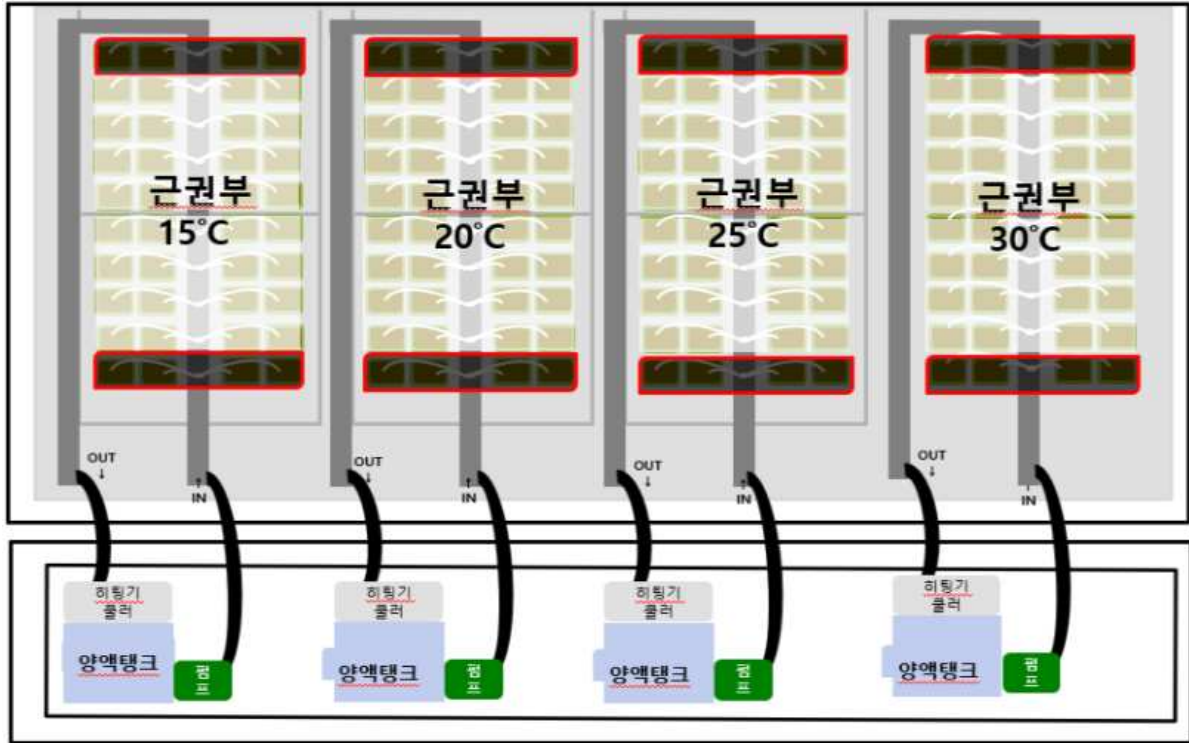


그림 5-41. 고온기 및 저온기에 국소 냉난방 모식도

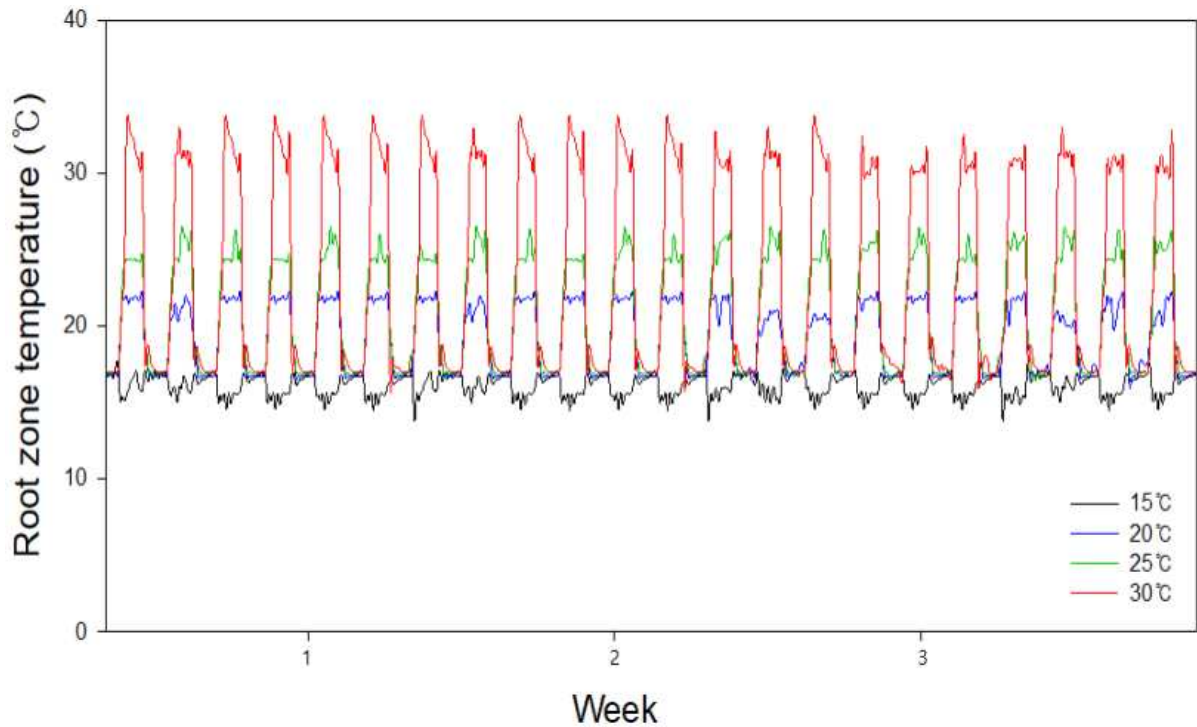


그림 5-42. 양액 온도에 따른 근권부 배지 온도

- 생육조사

- 일주일 간격으로 식물체 파괴 조사를 통해 초장, 근장, 엽수, 엽면적, 지하부 생체중/건물중, 지상부 생체중/건물중, 엽록소 측정
- 엽면적측정기(LI-3100 AREA METER)를 이용하여 7일 간격으로 파괴조

사 실시

- 지상부와 지하부의 생체중 측정 후, 시료를 70℃ 건조기에서 72시간 건조 후 건물중 측정
- 엽록소 측정기(SPAD)를 이용하여 식물체의 성장점 부근에서 4반복으로 측정

■ 발아율 조사

- 파종 후 14일 동안 발아율을 조사
- 한처리구에 9개 종자를 파종하여 4반복 수행

■ 광합성 측정

- 광합성 측정기 (Li-6800, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)를 이용
- CO₂ 농도 50, 400, 600, 800, 1200, 1600 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 에 따른 광합성 속도를 측정
- 광합성 측정 설정은 잎 온도 25°로 설정하였고, 유동량 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 고정

■ 근권부 온도 조절 방법

- 냉각기(DA-500B, Eaeil, Korea)와 전기온수기(KD-PD-S13K, KDheater, Korea), 그리고 조절기(RMD-100-220-30A, Run electronics, Korea)를 이용하여 근권부 처리 온도에 따라 냉각 및 가온을 통해 온도가 조절된 양액을 배지에 공급

○ 연구수행 결과

- 토마토 발아율

- 대기온도 20, 25, 30, 35℃의 평균 발아율은 각각 68, 90, 82, 72%로 대기온도 25℃의 발아율이 가장 높았음.
- 대기온도 20, 25℃의 경우 파종 5일째 발아가 시작됐지만 30, 35℃는 파종 6일째 발아가 시작되었음.
- 대기 온도 20, 25, 30, 35℃의 모든 처리구에서 근권부 온도 20℃를 처리하였을 때 발아율이 각각 91, 91, 94, 94%의 결과를 나타냄
- 대기온도 20, 25, 30℃에서는 근권부온도를 15℃ 처리하였을 때 초기 발아율이 가장 낮았으나 대기온도 35℃의 경우 근권부온도 15℃ 처리구에서 초기 발아율이 근권부온도 20℃ 다음으로 높았음.

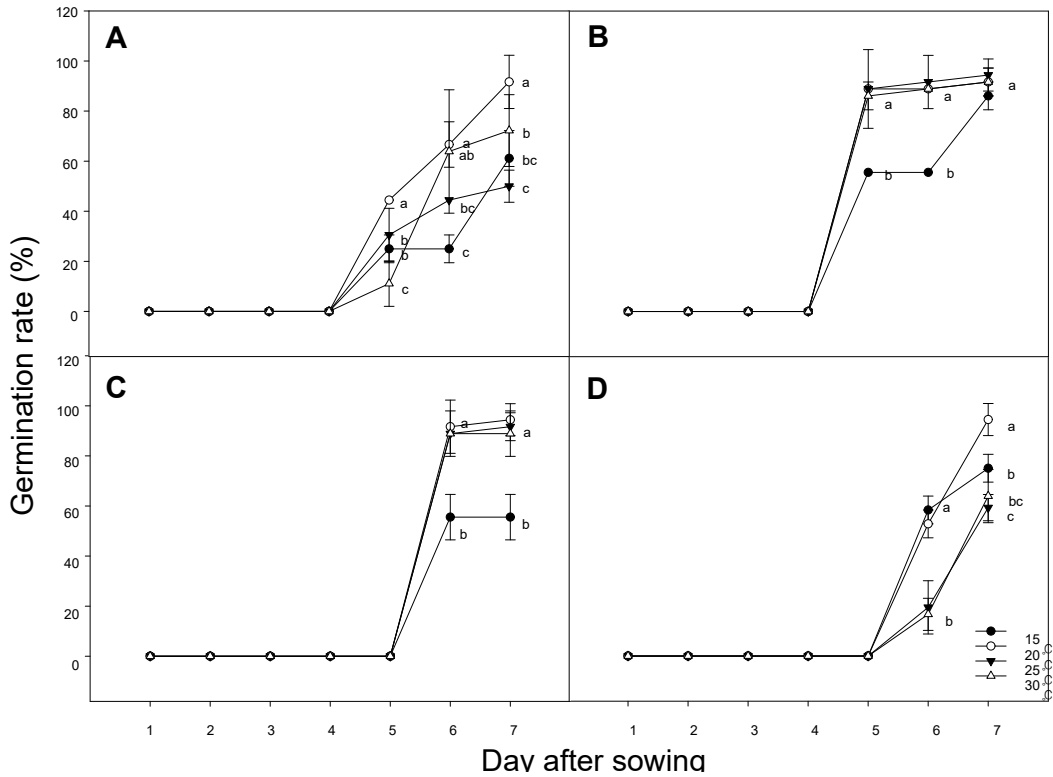


그림 5-43. 대기 온도 별 근권부 온도에 따른 토마토 발아율
 대기 온도 20°C(A), 대기 온도 25°C(B), 대기 온도 30°C(C), 대기 온도 35°C(D)

- (토마토) 대기온도 20°C

■ 초장

- 이식 3주 후 근권부 온도 15°C와 25°C 처리구가 각각 11.02cm, 11.64cm로 처리구가 가장 높은 수치를 나타냄.

■ 근장

- 이식 1,2주 경과 시 경우 생육의 차이를 보이지 않았지만, 3주 이후 근권부 온도에 따른 근장의 생육 차이가 나타나기 시작함.
- 이식 3주 후 근권부 온도 15°C 처리구는 14.54cm로 가장 높은 결과를 나타냈고, 20°C 21.49cm, 25°C 14.27cm로 두 처리구간 유의한 차이를 나타내지 않았음.

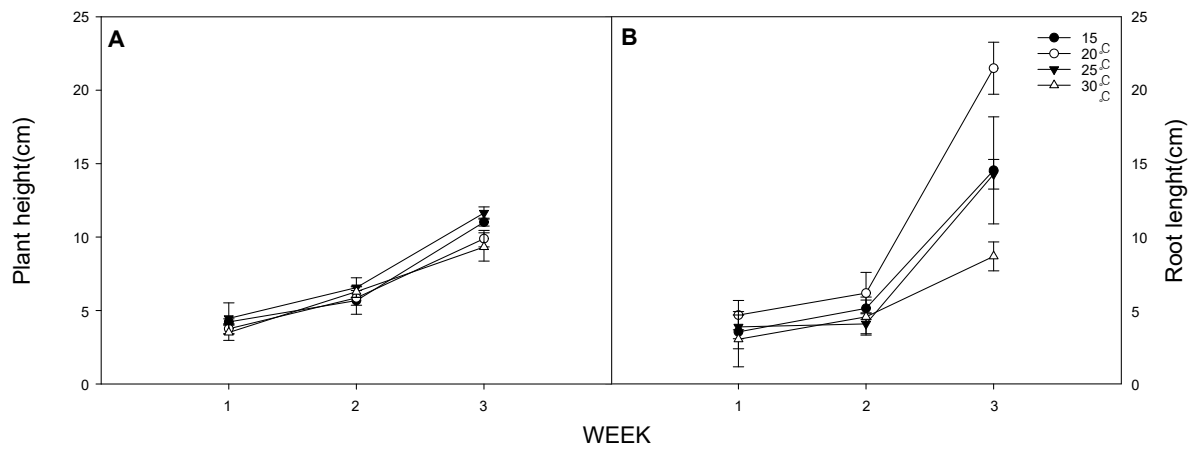


그림 5-44. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 초장(A) 과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 1주 경과 시 모든 처리구의 엽수는 2개였으며, 이식 2주 경과부터 차이를 보이기 시작함.
- 이식 3주 후 근권부 온도 처리구가 각각 15°C 6.2개, 20°C 6.6개, 25°C 6개, 30°C 6.2개로 20°C 네 처리구간 차이가 없었음.

■ 엽면적

- 이식 2주 경과부터 엽면적의 차이가 나타나기 시작함.
- 엽면적의 경우 이식 2주 경과 시 30°C 처리구의 엽면적이 가장 넓었지만 이식 3주 후 토마토 근권부 온도 15°C 119.79cm², 20°C 177.90cm², 25°C 166.01cm², 30°C 115.27cm²로 20°C 처리구의 엽면적이 다른 처리구 보다 결과가 높았음.

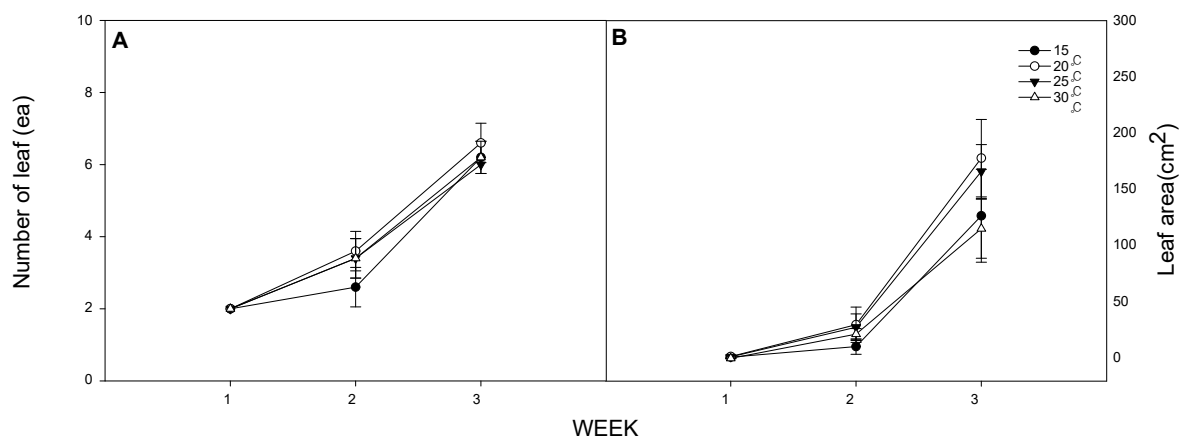


그림 5-45. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 엽수(A)와 엽면적 (B)

■ 지상부 생체중

- 이식 2주 경과부터 지상부 생체중의 차이가 보이기 시작함

- 이식 3주 후 지상부 생체중은 근권부 온도 15℃ 3.19g, 20℃ 7.58g, 25℃ 7.52g으로 근권부 20℃가 높은 결과를 나타내었고, 근권부 온도 30℃ 처리구는 5.47g로 가장 낮은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 2주 경과부터 지상부 건물중의 차이가 보이기 시작함.
- 이식 3주 후 지상부 건물중은 근권부 온도 15℃ 0.358g, 20℃ 0.57g, 25℃ 0.53g, 30℃ 0.361로 근권부 20, 25℃ 처리구가 높은 수치를 나타냄.

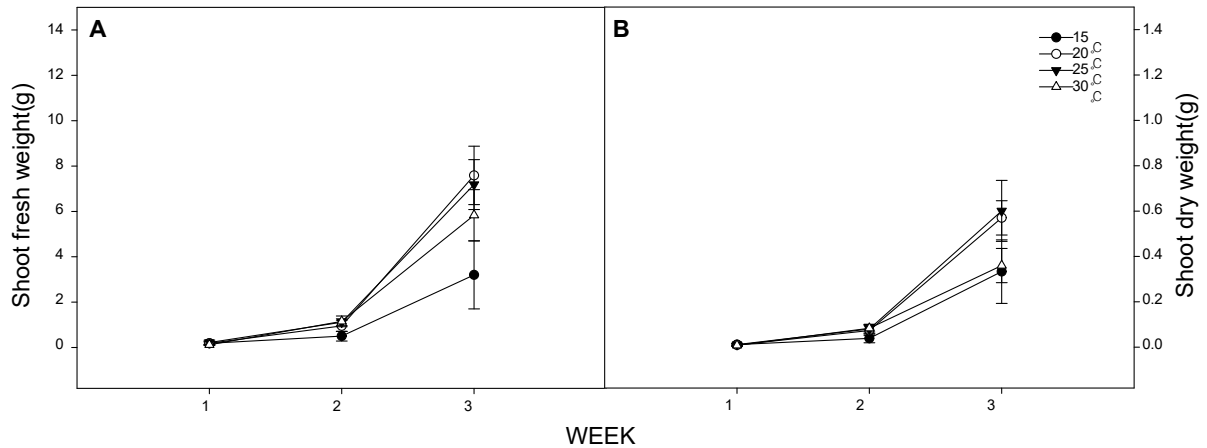


그림 5-46. 대기 온도 20℃ 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지상부 생체중(A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 2주 경과부터 지하부 생체중 무게 차이가 보이기 시작함.
- 이식 3주 후 지하부 생체중은 15℃ 3.198g, 20℃ 7.585g, 25℃ 7.529g, 30℃ 5.475g으로 근권부 20℃ 처리구의 생체중이 7.585g으로 높은 수치를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 2주 경과부터 지하부 건물중 무게 차이가 보이기 시작함.
- 이식 3주 경과 시 지하부 건물중은 15℃ 0.358g, 20℃ 0.570g, 25℃ 0.538g, 30℃ 0.36g으로 나타났으며, 근권부 20, 25℃ 처리구의 건물중이 각 0.570g, 0.538g으로 높은 결과를 나타냄.

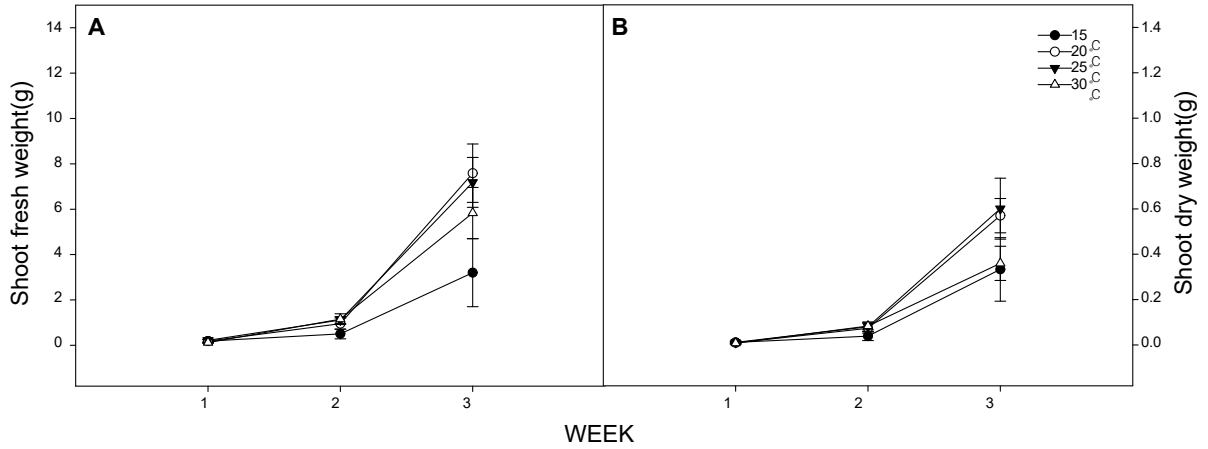


그림 5-47. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지하부 생체중(A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 후 엽록소를 측정 한 결과 근권부 온도 15, 20, 25, 30°C 처리구는 각각 39.76, 41.98, 40.94, 39.98로 나타남.

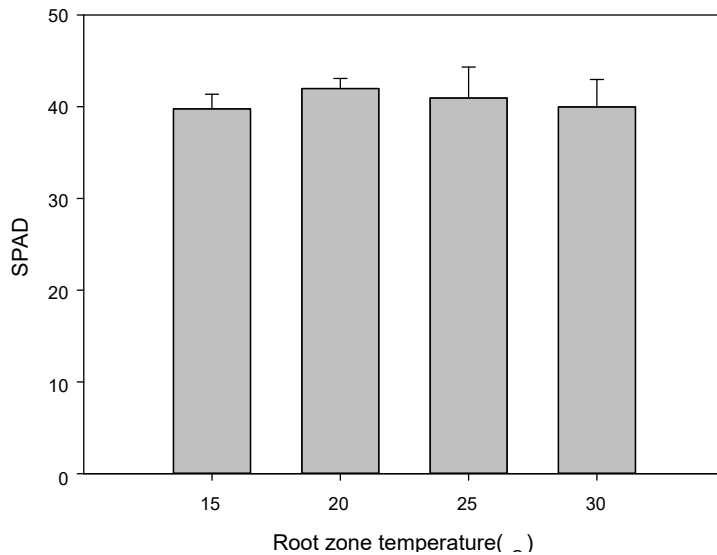


그림 5-48. 대기 온도 20°C 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 토마토 엽록소 지수



그림 5-49. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 생육

- (토마토) 대기온도 25℃

■ 초장

- 이식 3주 후 근권부 온도 15℃ 11.10g, 20℃ 9.89g, 25℃ 11.30g, 30℃ 9.32g로 나타났으며, 근권부 25℃의 초장이 11.30g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 근장

- 이식 2주 경과부터 근장의 차이가 보이기 시작함.
- 이식 3주 후 근권부 15℃ 15.10cm, 20℃ 19.58cm, 25℃ 20.36cm, 30℃ 18.82cm로 근권부 온도 25℃ 처리구가 20.36cm로 높은 결과를 나타냄.

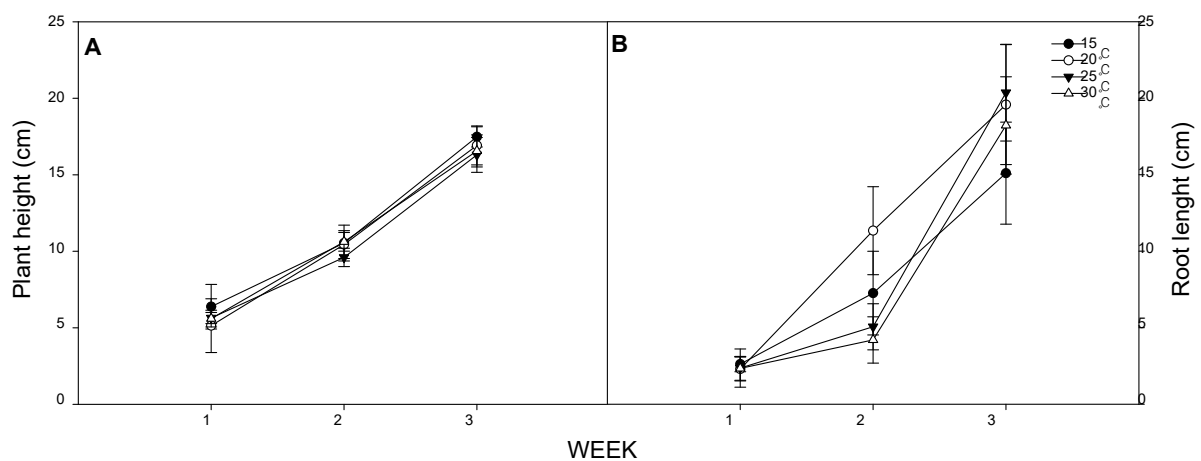


그림 5-50. 대기 온도 20℃ 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 초장(A) 과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 근권부 온도 15℃ 5.6개, 20℃ 5.8개, 25℃ 5.2개, 30℃ 5.2개로 네 처리구 모두 차이가 없었음.

■ 엽면적

- 이식 3주 경과 시 근권부 온도 15℃ 183.67cm², 20℃ 191.56cm², 25℃ 178.85cm², 30℃ 157.28cm²으로 나타났으며, 근권부 20℃ 엽면적이 191.56cm²로 높은 결과를 나타냄.

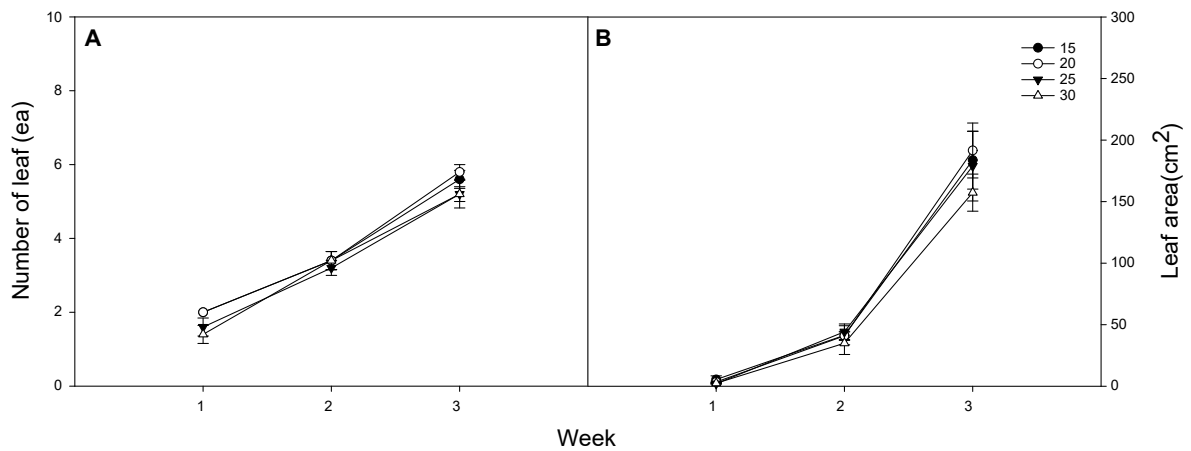


그림 5-51. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 엽수(A)와 엽면적 (B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지상부 생체중은 근권부 온도 15°C 13.12g, 20°C 15.81g, 25°C 12.35g, 30°C 10.72g으로 나타났으며, 근권부 20°C의 엽면적이 15.81g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지상부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.38g, 20°C 0.63g, 25°C 0.54g, 30°C 0.44g로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의 지상부 건물중 무게가 0.63g으로 결과 수치를 나타냄.

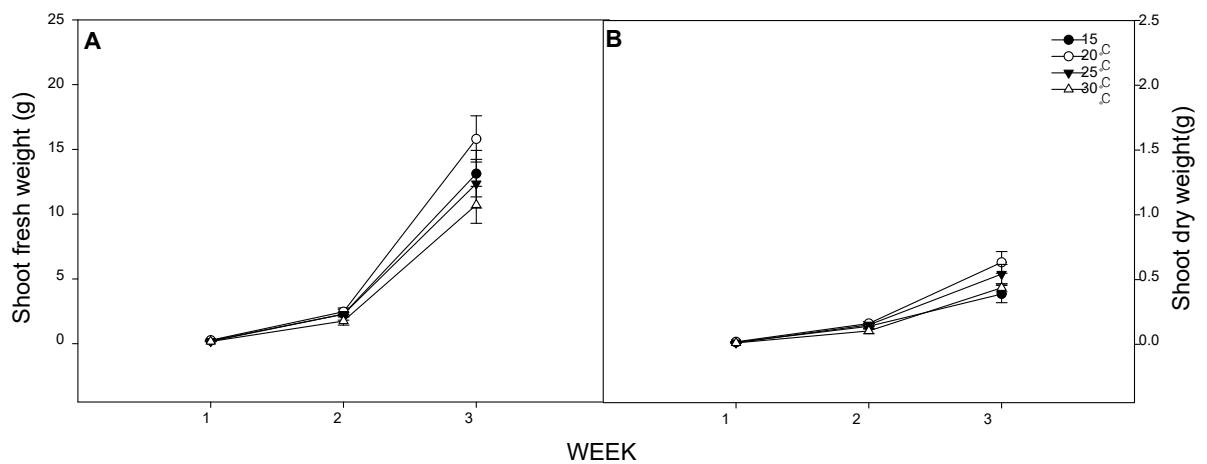


그림 5-52 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지상부 생체중(A) 과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중은 근권부 온도 15°C 0.94g, 20°C 1.57g, 25°C 0.93g, 30°C 0.79g으로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의 지하부 생체중이 1.57g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중은 근권부 온도 15°C 0.06g, 20°C

0.09g, 25°C 0.07g, 30°C 0.08g으로 나타났으며, 근권부 온도 20°C 처리구의 지하부 건물중이 0.09g으로 높은 결과를 나타냄.

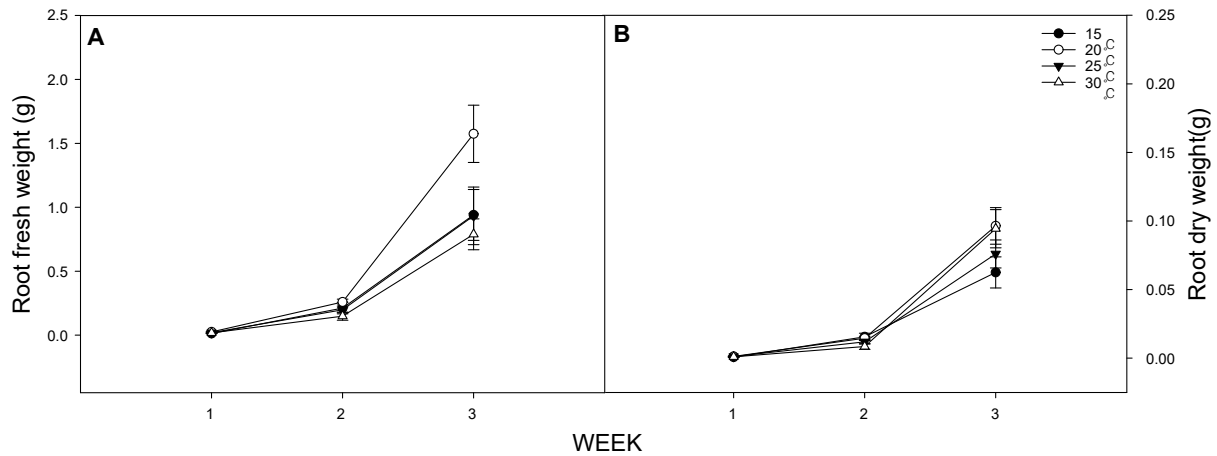


그림 5-53. 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지하부 생체중(A) 과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과 시 엽록소를 측정 한 결과 근권부 온도 15°C 44.96, 20°C 47.28, 25°C 44.78, 30°C 43.42로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의 엽록소가 47.28로 높은 결과를 나타냄.

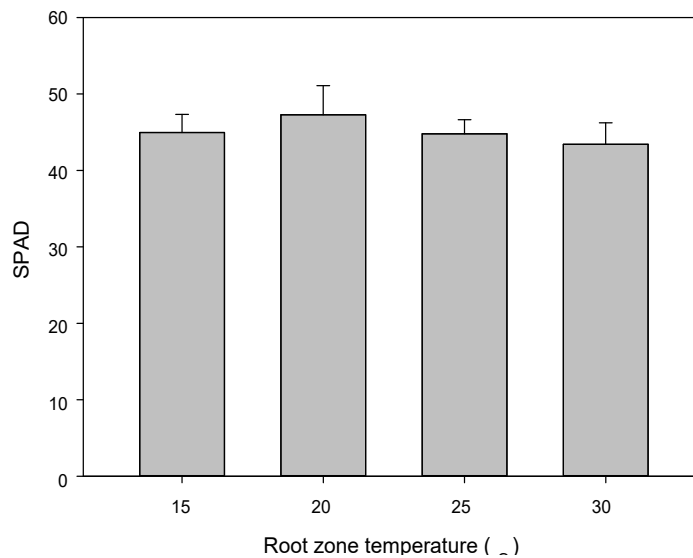


그림 5-54. 대기 온도 25°C 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 토마토 엽록소 지수



그림 5-55. 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 생육

- (토마토) 대기온도 30°C

■ 초장

- 이식 3주 경과 시 초장의 길이가 근권부 온도 15°C 22.18cm, 20°C 21.78cm, 25°C 23.78cm, 30°C 25.5cm로 나타났으며, 근권부 30°C의 초장의 길이가 25.5cm로 높은 결과를 나타냄.

■ 근장

- 이식 3주 경과 시 근장의 길이가 근권부 온도 15°C 11.5cm, 20°C 21.92cm, 25°C 22.16cm, 30°C 14.7cm로 나타났으며, 근권부 25°C의 근장이 22.16cm로 높은 결과를 나타냄.

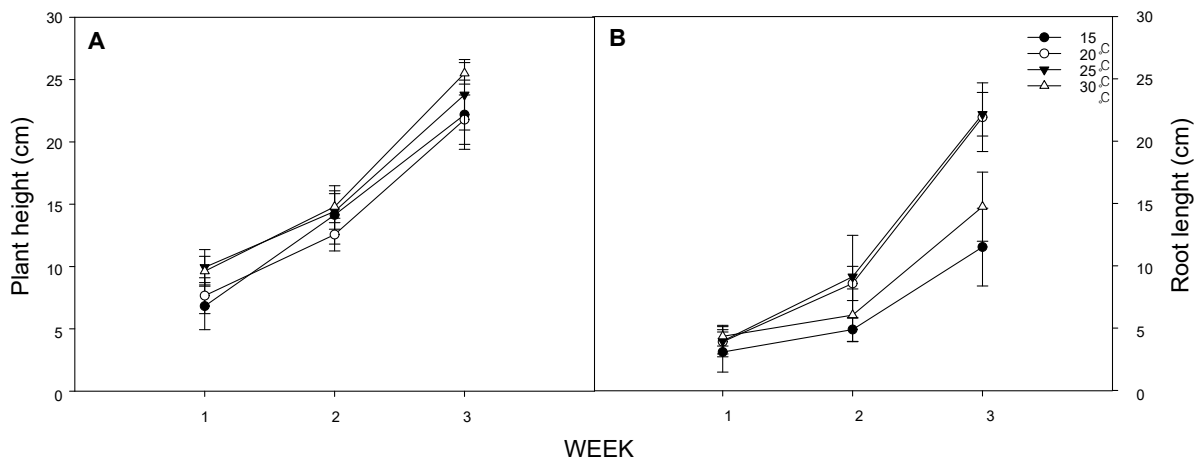


그림 5-56. 대기 온도 30°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 초장(A) 과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 토마토 엽수는 근권부 온도 15°C 5개, 20°C 6개, 25°C 6개, 30°C 5.8개로 나타났으며, 네 처리구 모두 차이가 없었음

■ 엽면적

- 이식 후 2주 경과부터 엽면적의 차이가 보이기 시작함.
- 이식 3주 경과 시 토마토 엽면적은 근권부 온도 15°C 110.88cm², 20°C 146.25cm², 25°C 125.36m², 30°C 125.36cm²으로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의 엽면적이 46.25cm²으로 높은 결과를 나타냄.

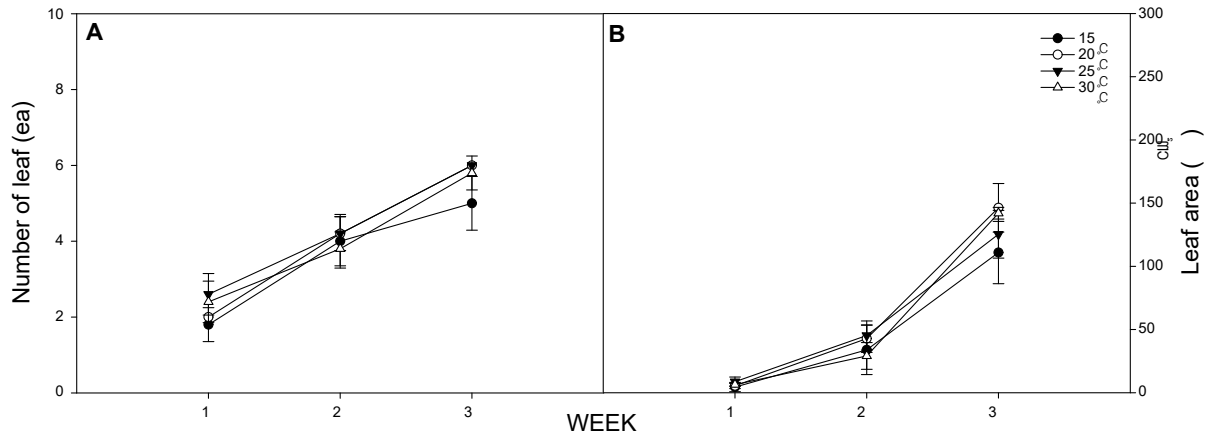


그림 5-57. 대기 온도 30°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지상부 생체중은 근권부 15°C 6.18g, 20°C 8.94g, 25°C 8.97g, 30°C 7.85g으로 나타났으며, 근권부 온도 20, 25°C의 처리구가 각 8.94g, 8.97g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지상부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.43g, 20°C 0.69g, 25°C 0.47g, 30°C 0.50g으로 나타났으며, 근권부 20°C의 처리구의 지상부 건물중이 0.69g으로 높은 결과를 나타냄.

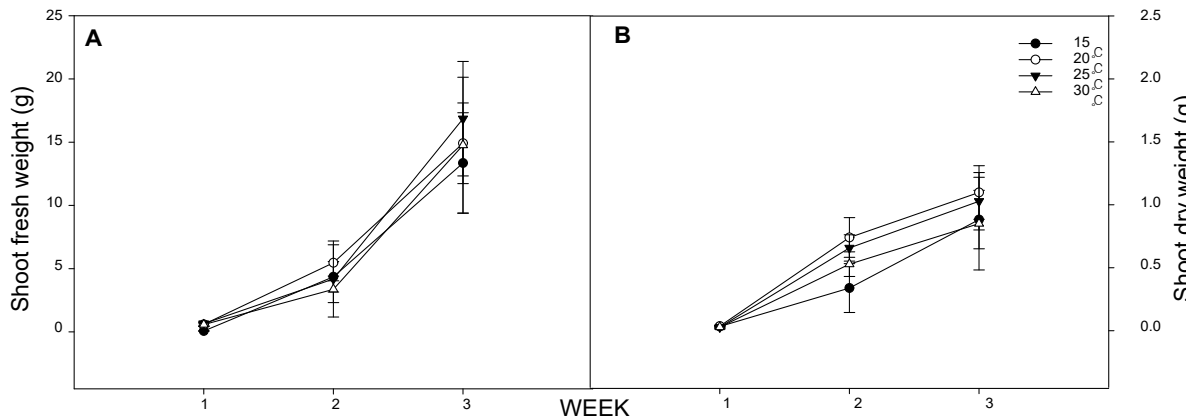


그림 5-58. 대기 온도 30°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지상부 생체중 (A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 2주 경과부터 지하부 생체중 무게 차이가 보이기 시작함.
- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중은 근권부 온도 15°C 0.31g, 20°C 1.40g, 25°C 1.09g, 30°C 0.51g으로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의

지하부 생체중이 1.40g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지하부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.02g, 20°C 0.04g, 25°C 0.08g, 30°C 0.04g으로 나타났으며, 근권부 25°C의 지하부 건물중이 0.08g으로 높은 결과를 나타냄.

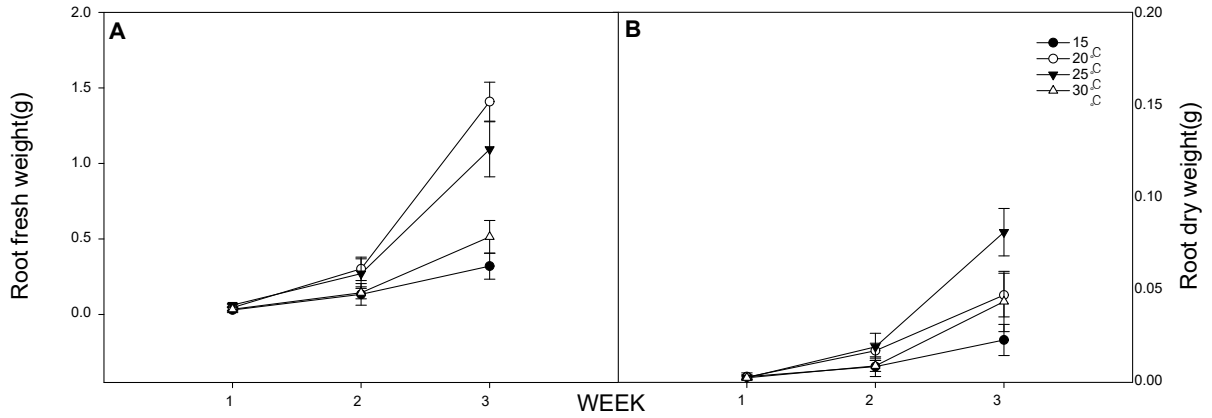


그림 5-59. 대기 온도 30°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지하부 생체중 (A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과 시 엽록소를 측정 한 결과 근권부 온도 15°C 46.22, 20°C 46.48, 25°C 46.92, 30°C 43.9로 나타났으며, 네 처리구 모두 차이가 없었다.

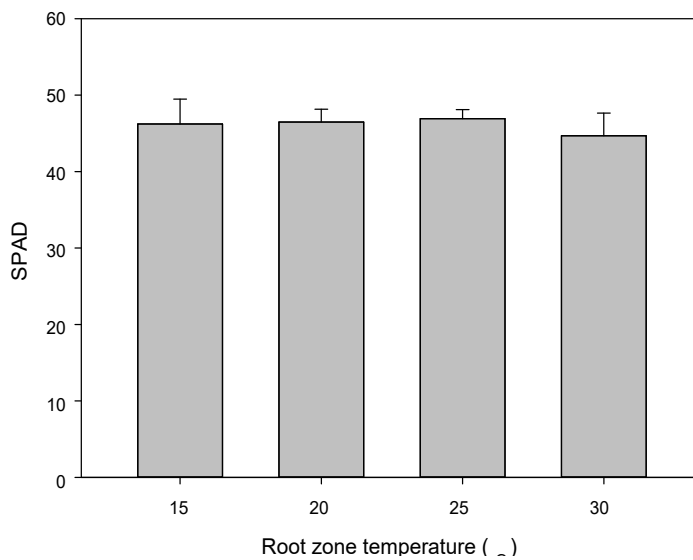


그림 5-60. 대기 온도 30°C 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 토마토 엽록소 지수



그림 5-61. 대기 온도 30°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 생육

- (토마토) 대기온도 35°C

■ 초장

- 이식 3주 후 초장은 근권부 온도 15°C 21.74cm, 20°C 25.24cm, 25°C 24.88cm, 30°C 23.14cm로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의 초장이 25.24cm로 높은 결과를 나타냄.

■ 근장

- 이식 3주 후 근장은 근권부 온도 15°C 24.06cm, 20°C 26.62cm, 25°C 25.56cm, 30°C 28.52cm로 나타났으며, 근권부 30°C의 근장이 28.52cm로 높은 결과를 나타냄.

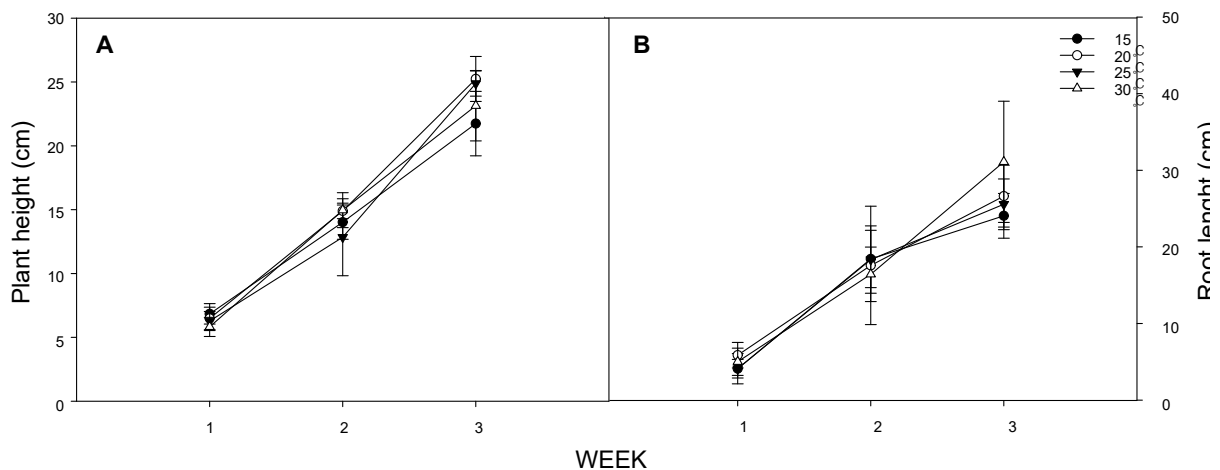


그림 5-62. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 초장(A)과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 엽수는 근권부 온도 15°C 7개, 20°C 8개, 25°C 9개, 30°C 8.5개로 나타났으며, 근권부 온도 25°C의 엽수가 9개로 높은 결과를 나타냄.

■ 엽면적

- 이식 3주 경과 시 엽면적은 근권부 온도 15°C 189.16cm², 20°C 239.32cm², 25°C 316.05cm², 30°C 252.60cm²로 나타났으며, 근권부 온도 25°C의 엽면적이 316.05cm²로 높은 수치를 나타냄.

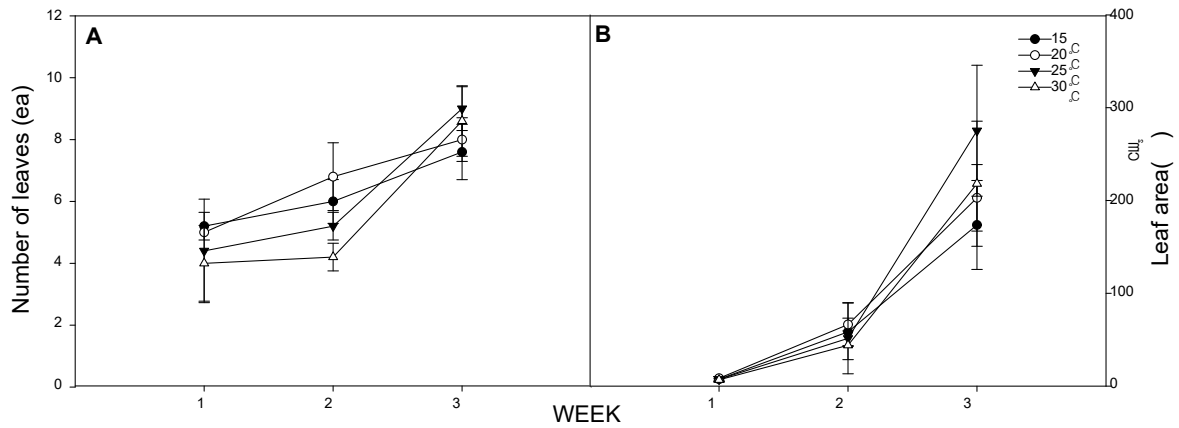


그림 5-63. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지상부 생체중은 근권부 온도 15°C 13.34g, 20°C 14.91g, 25°C 17.89g, 30°C 16.09g으로 나타났으며, 근권부 온도 25°C의 지상부 생체중이 17.89g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지상부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.837g, 20°C 1.214g, 25°C 1.106g, 30°C 0.797g으로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의 지상부 건물중이 1.214g으로 높은 결과를 나타냄.

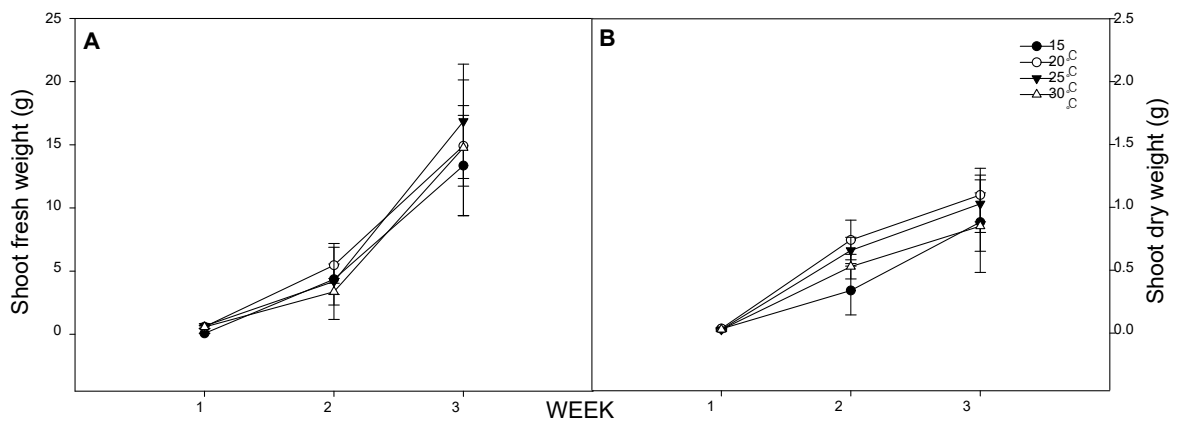


그림 5-64. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지상부 생체중 (A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중은 근권부 온도 15°C 2.926g, 20°C 2.308g, 25°C 2.199g, 30°C 2.567g으로 나타났으며, 근권부 온도 15°C의 지하부 생체중이 2.926g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지하부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.022g, 20°C 0.047g, 25°C 0.081g, 30°C 0.043g으로 나타났으며, 근권부 온도 20°C의 지상부 건물중이 0.047g으로 높은 결과를 나타냄.

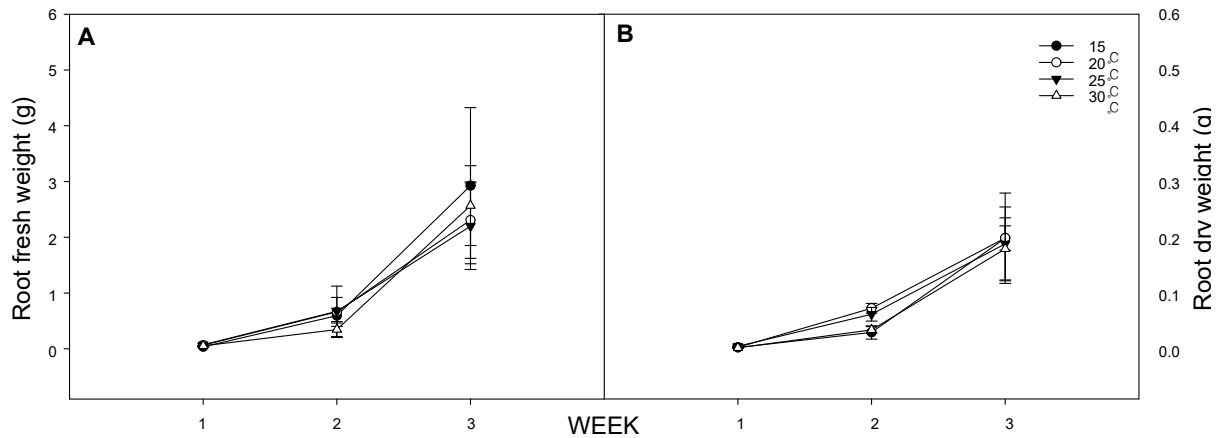


그림 5-65. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 지상부 생체중 (A)과 지상부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과시 엽록소를 측정 한 결과 근권부 온도 15°C 47.72, 20°C 52.38, 25°C 51.82, 30°C 51.82로 나타났으며, 근권부 온도 네 처리구 모두 엽록소 결과 차이가 없었음.

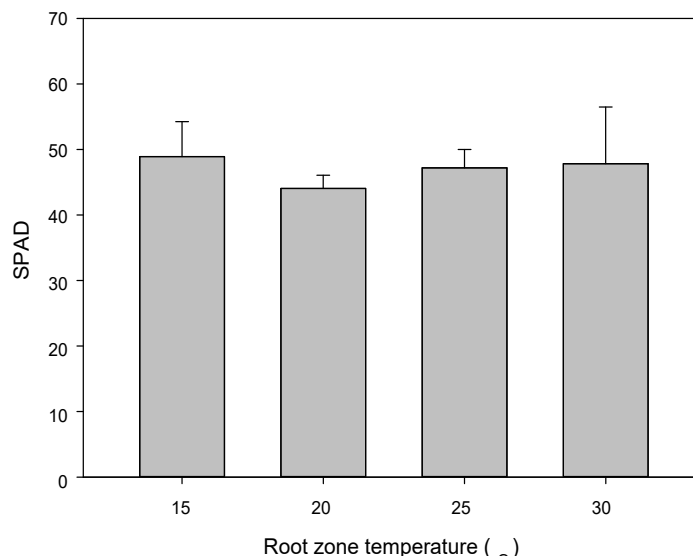


그림 5-66. 대기 온도 35°C 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 토마토 엽록소 지수



그림 5-67. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 토마토 생육

- 토마토 광합성 측정

■ 대기온도 20°C

- 대기온도 20°C의 경우 토마토의 CO₂ 적정 공급량이 800μmol·mol⁻¹이며, 이상을 공급하였을 때 광합성 속도가 감소함.
- 모든 CO₂ 공급량에서 15°C와 20°C가 광합성 속도의 결과가 높았음.
- CO₂ 800μmol·mol⁻¹처리구를 비교 하였을 때 근권부 온도 20°C 처리구가 21.86μmol·m⁻²·s⁻¹로 높은 결과를 나타냈으나 15°C 처리구가 21.29μmol·m⁻²·s⁻¹로 높은 결과를 나타내 두 처리구간 유의한 차이를 나타내지 못함.
- 근권부 온도 25, 30°C 처리구는 각각 18.32, 18.78μmol·m⁻²·s⁻¹로 두 처리구간 유의한 차이를 나타내지 못했으며 15, 20°C 보다는 낮은 결과를 나타냄

■ 대기온도 25°C

- 대기온도 25°C의 경우 토마토의 CO₂ 적정 공급량이 800μmol·mol⁻¹이며, 이상을 공급 하였을 때 광합성 속도가 감소함.
- CO₂ 800μmol·mol⁻¹처리구를 비교하였을 때 근권부 25°C의 처리구가 18.67μmol·m⁻²·s⁻¹로 높은 결과를 나타냈으며, 다른 처리구들은 15°C 18.39μmol·m⁻²·s⁻¹, 25°C 16.94μmol·m⁻²·s⁻¹, 30°C 17.61μmol·m⁻²·s⁻¹로 유의한 차이가 보이지 않았음.

■ 대기온도 30°C

- 대기온도 30°C의 경우 토마토의 CO₂ 적정 공급량이 800μmol·mol⁻¹이며, 이상을 공급 하였을 때 광합성 속도가 감소함.
- CO₂ 800μmol·mol⁻¹처리구를 비교하였을 때 15°C 12.93μmol·m⁻²·s⁻¹, 20°C 13.87μmol·m⁻²·s⁻¹, 25°C 14.27μmol·m⁻²·s⁻¹, 30°C 11.49μmol·m⁻²·s⁻¹로 근권부 25°C의 처리구가 높은 결과를 나타냈으며, 근권부 30°C 처리구는 11.49μmol·m⁻²·s⁻¹로 낮은 결과를 나타냄.

■ 대기온도 35°C

- 대기온도 20, 25, 30°C에 비해 전체적인 작물의 광합성 속도가 늦어지는 것을 확인할 수 있었지만, 모든 근권부 온도 처리구에서 CO₂를 추가 공급할수록 광합성 속도가 증가함.

- 선행연구에서 냉방에 되는 반밀폐형 온실의 파프리카와 고온 스트레스를 받은 파프리카의 광합성 속도 차이는 온실 내 높은 온도로 인해 기공이 닫혀 낮은 기공전도도에 의해 CO₂ 공급이 늦어져 광합성 속도가 늦어지는 결과로 나타났다고 보고된 바 있음.

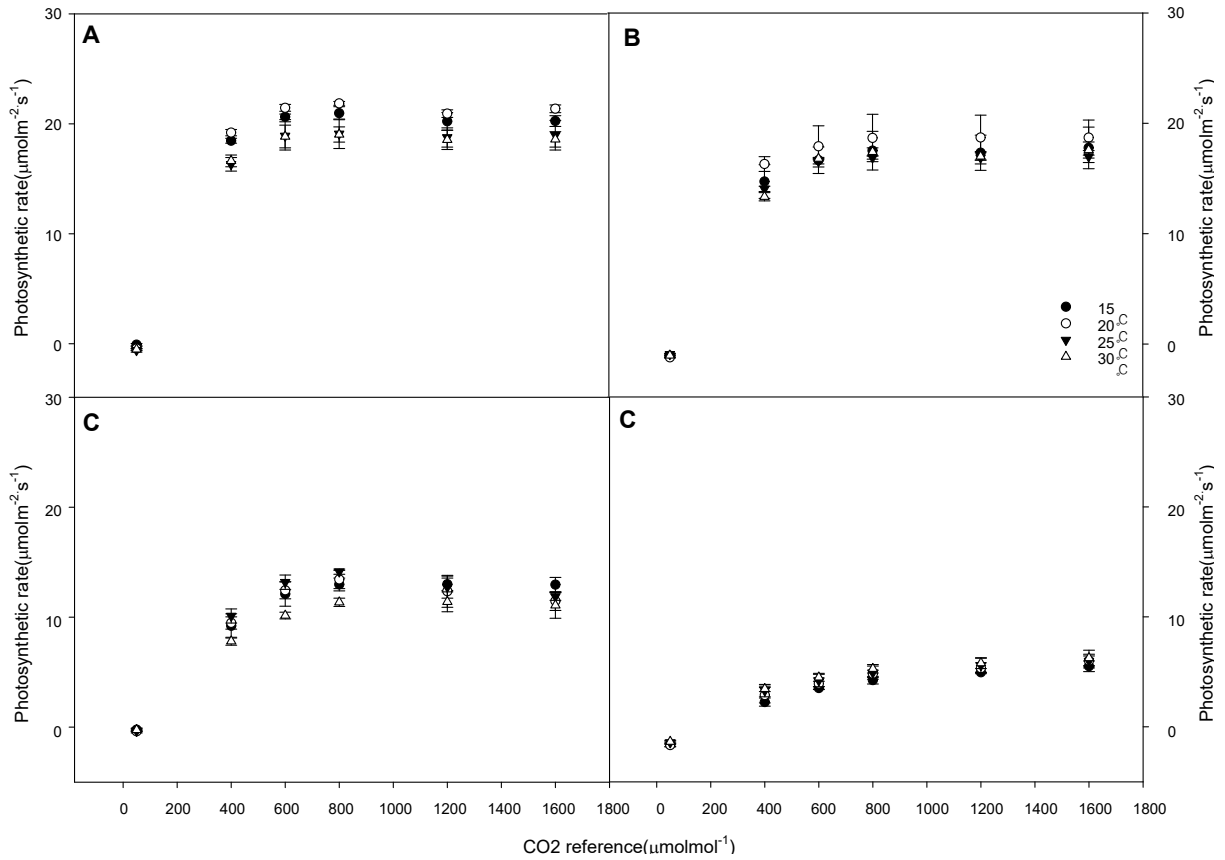


그림 5-68. 근권부 온도 별 CO₂ 공급량에 따른 토마토 광합성 속도 대기 온도 20°C(A), 대기 온도 25°C(B), 대기 온도 30°C(C), 대기 온도 35°C(B)

- 파프리카 발아율

- 각각 다른 대기온도 내에서 근권부 온도를 조절한 후 파종 후 1주일 동안 파프리카의 발아율을 조사한 결과 대기온도 25°C의 발아율이 다른 온도 처리구에 비해 85%로 가장 높았음.
- 대기온도 20, 30, 35°C의 경우 발아 시작일이 파종 후 6일인 반면 대기 온도 25°C에서는 파종 후 5일째에 발아가 시작됨.
- 근권부 온도에 따른 발아율은 대기온도 20, 25, 30°C에서는 근권부 온도를 30°C로 처리하였을 때의 발아율이 각각 72, 100, 100%로 가장 높은 발아율을 나타냄.
- 대기온도 35°C의 경우 근권부 온도 15, 20, 25, 30°C의 발아율이 각각 70, 58, 59, 63%로 근권부 온도 15°C일 때 발아율이 가장 높은 것을 확인하였음.

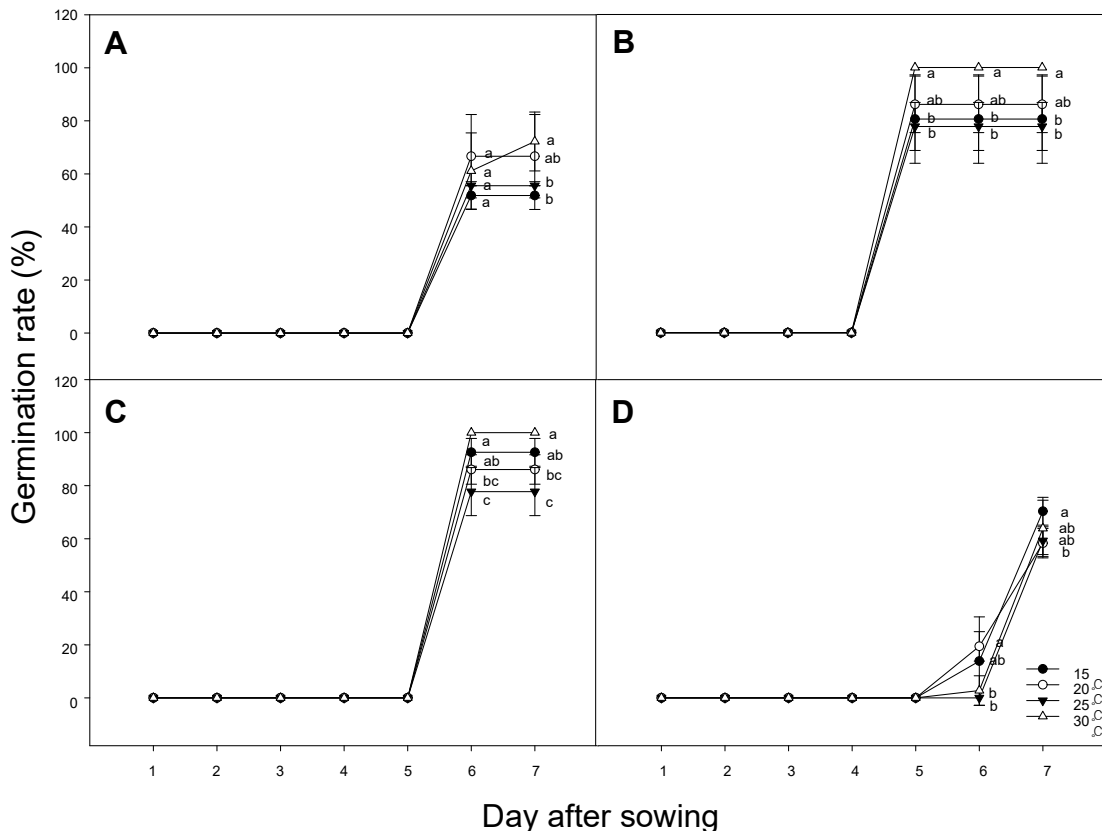


그림 5-69. 대기 온도 별 근권부 온도에 따른 파프리카 발아율
 대기 온도 20°C(A), 대기 온도 25°C(B), 대기 온도 30°C(C), 대기 온도 35°C(D)

- (파프리카) 대기온도 20°C

■ 초장

- 이식 3주 경과 시 근장은 근권부 온도 15°C 4.9cm, 20°C 3.8cm, 25°C 4.48cm, 30°C 5.22cm로 나타났으며, 근권부 온도 30°C 초장이 5.22cm로 높은 결과를 나타냄.

■ 근장

- 이식 3주 경과 시 근장은 근권부 온도 15°C 11.6cm, 20°C 9.82cm, 25°C 10.12cm, 30°C 10.96cm로 나타났으며, 근권부 온도 15°C의 근장이 11.6cm로 높은 수치를 나타냄.

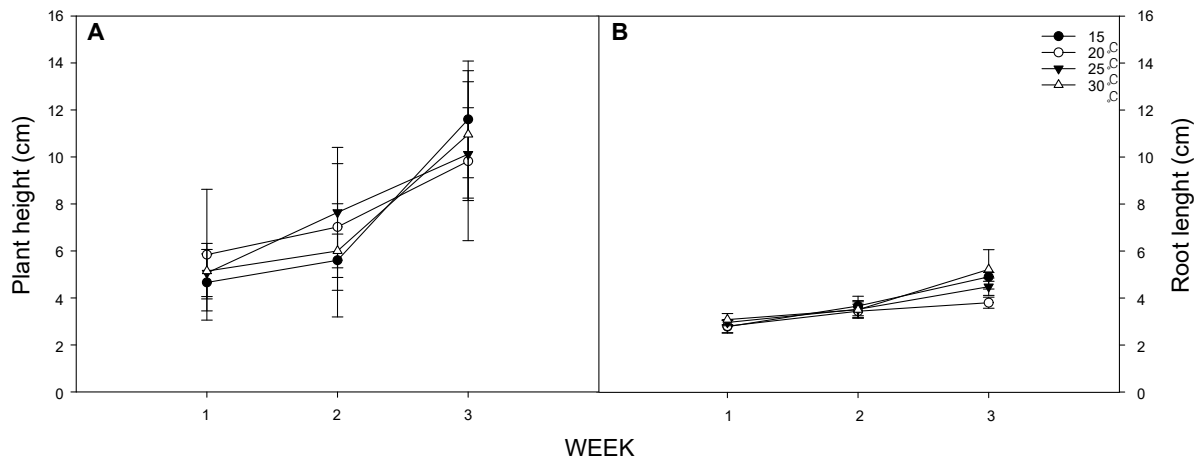


그림 5-70. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 초장(A)과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 엽수는 근권부 온도 15°C 5.8개, 20°C 5.2개, 25°C 5.6개, 30°C 6개로 나타났으며, 근권부 처리구마다 차이가 없었음.

■ 엽면적

- 이식 3주 경과 시 엽면적은 근권부 온도 15°C 27.04cm², 20°C 13.41cm², 25°C 23.17cm², 30°C 37.64cm²로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 엽면적이 37.64cm²로 높은 수치를 나타냄.

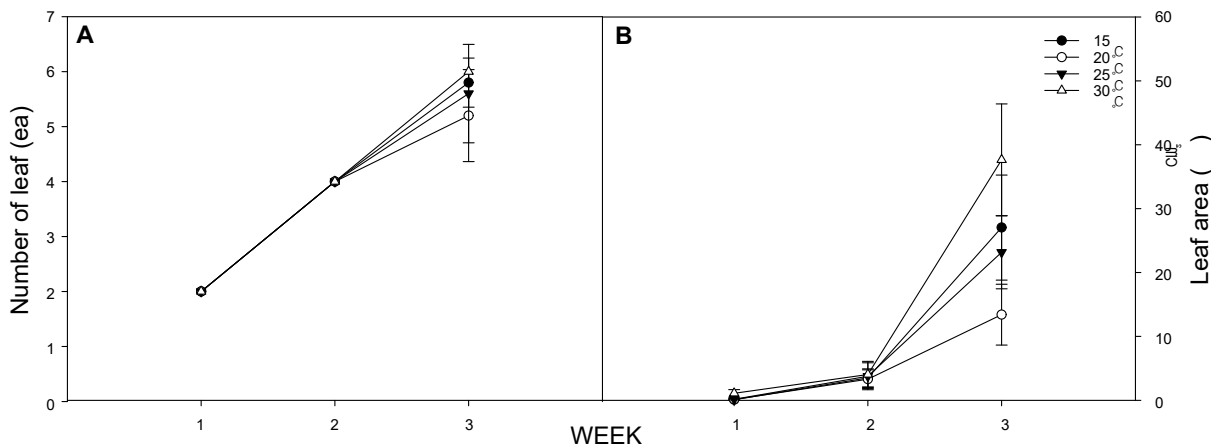


그림 5-71. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 엽수(A)과 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지상부 생체중은 근권부 온도 15°C 1.37g, 20°C 0.77g, 25°C 1.07g, 30°C 1.52g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C 처리구의 지상부 생체중이 1.52g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지상부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.09g, 20°C 0.06g, 25°C 0.09g, 30°C 0.13g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C

처리구의 지상부 건물중이 0.13g으로 높은 결과를 나타냄.

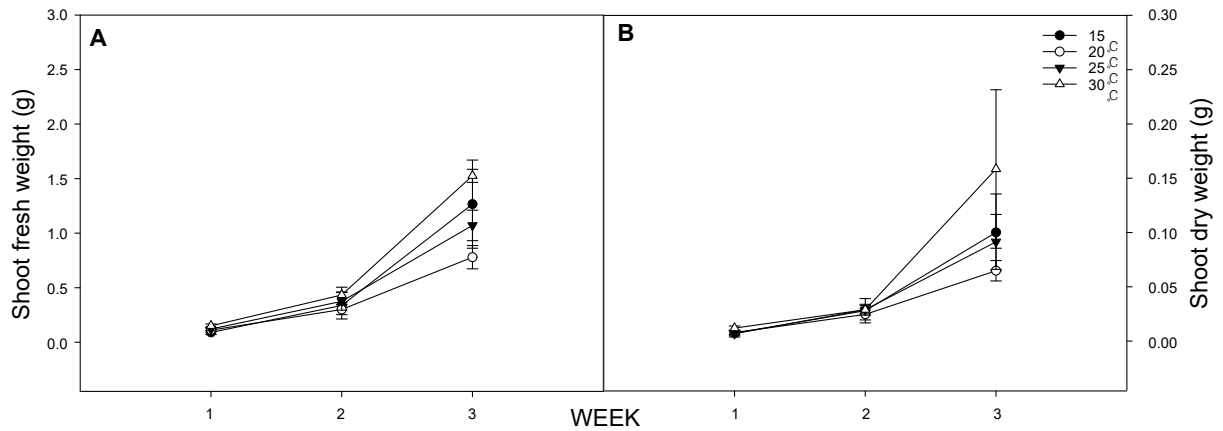


그림 5-72. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지상부 생체 중(A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중은 근권부 온도 15°C 0.35g, 20°C 0.32g, 25°C 0.44g, 30°C 0.46g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C 처리구의 지하부 생체중이 0.46g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지하부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.018g, 20°C 0.012g, 25°C 0.0196g, 30°C 0.019g으로 나타났으며, 근권부 온도 25, 30°C 처리구가 높은 결과를 나타냄.

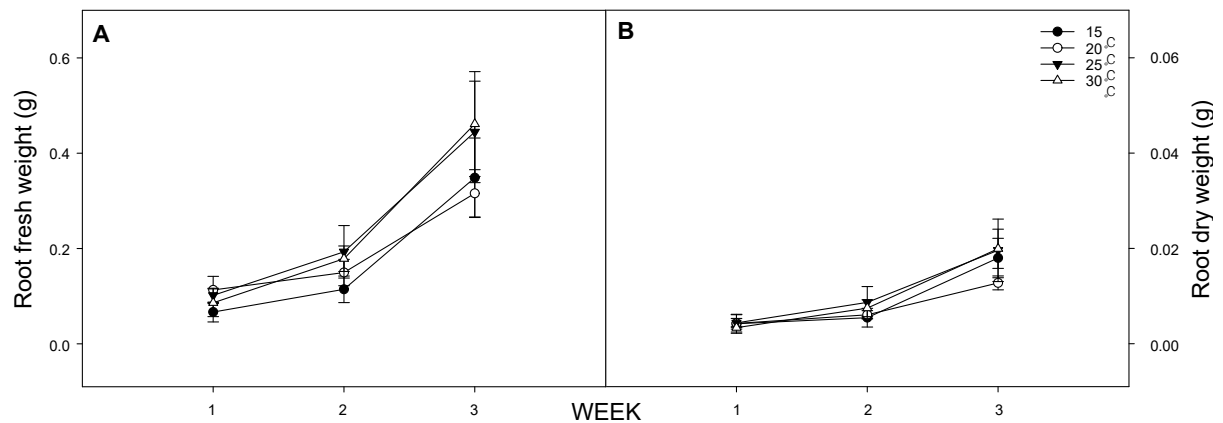


그림 5-73. 대기 온도 20°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지하부 생체 중(A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과시 엽록소를 측정 한 결과 근권부 온도 15°C 33.74, 20°C 32.9, 25°C 29.24, 30°C 31.64로 나타났으며, 근권부 온도 15°C 처리

구의 엽록소 수치가 33.74로 높은 결과를 보임.

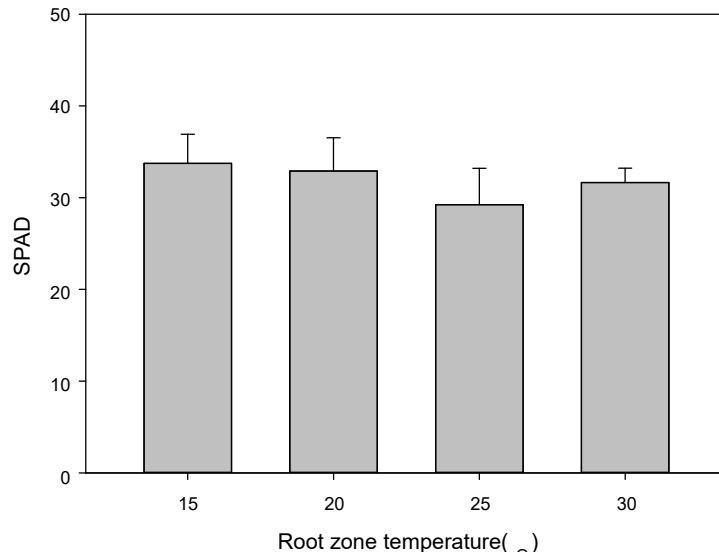


그림 5-74. 대기 온도 20℃ 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 파프리카 엽록소 지수



그림 5-75. 대기 온도 20℃ 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 생육

- (파프리카) 대기온도 25℃

■ 초장

- 이식 3주 경과 시 초장의 길이는 근권부 온도 15℃ 8.16cm, 20℃ 8.22cm, 25℃ 8.22cm, 30℃ 8.18cm로 네 처리구들 초장의 차이가 없음.

■ 근장

- 이식 3주 이후 근권부 온도 15℃ 7.80cm, 20℃ 10.72cm, 25℃ 13.66, 30℃ 14.32cm로 나타났으며, 근권부 온도 30℃의 근장이 14.32cm로 높은 결과가 나타남.

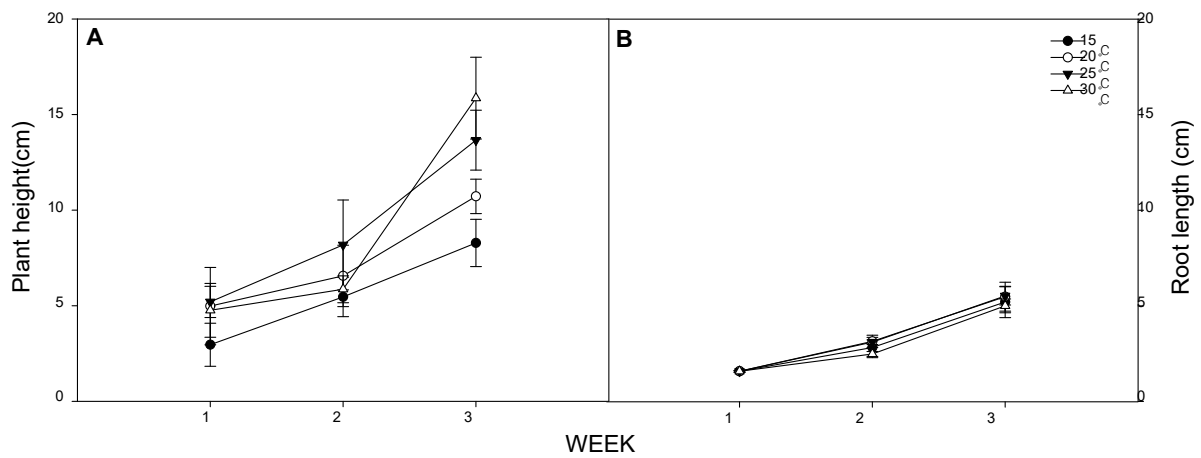


그림 7-76. 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 초장(A)과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 엽수는 근권부 온도 15°C 6.2개, 20°C 7개, 25°C 7.4개, 30°C 7.8개로 근권부 온도 30°C의 엽수가 7.8개로 높은 결과를 나타냄.

■ 엽면적

- 이식 3주 경과 시 엽면적은 근권부 온도 15°C 115.29cm², 20°C 121.46cm², 25°C 164.79cm², 30°C 200.35cm²로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 엽면적 수치가 200.35cm²로 높은 결과를 나타냄.

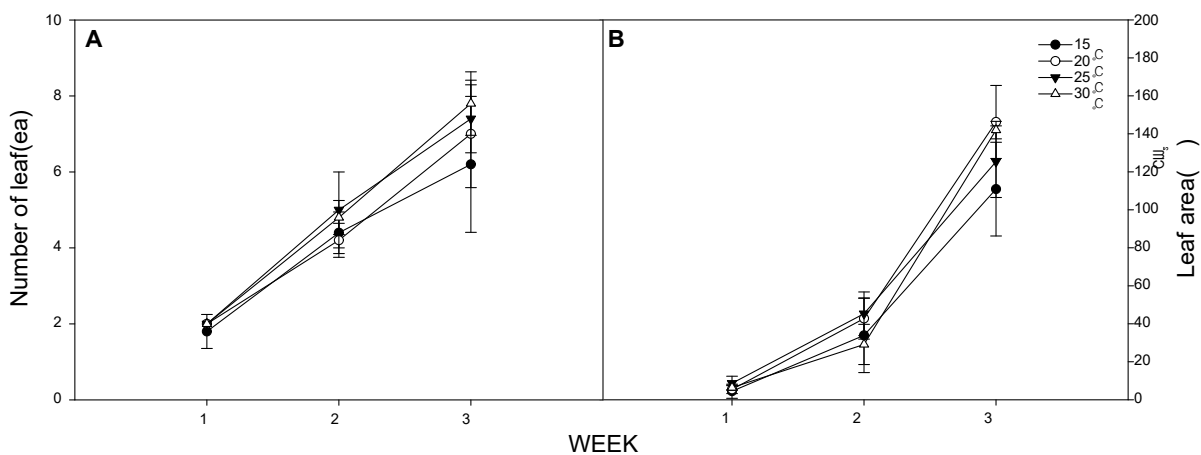


그림 7-77. 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 이후부터 지상부 생체중은 근권부 온도 15°C 4.27g, 20°C 5.43g, 25°C 6.53g, 30°C 8.29g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 지상부 생체중이 8.29g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 이후부터 지상부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.38g, 20°C 0.43g, 25°C 0.59g, 30°C 0.68g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 지상부 건물중이 0.68g으로 높은 결과를 나타냄.

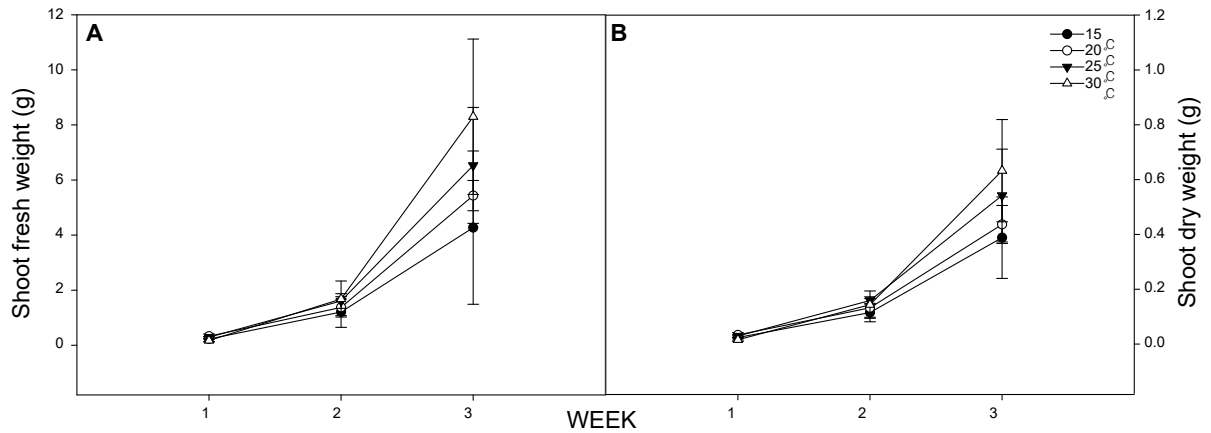


그림 5-78. 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지상부 생체 중(A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 3주 이후부터 지하부 생체중은 근권부 온도 15°C 1.14g, 20°C 1.40g, 25°C 1.97g, 30°C 2.07g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 지하부 생체중이 2.07g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 이후부터 지하부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.062g, 20°C 0.076g, 25°C 0.096g, 30°C 0.094g으로 나타났으며, 근권부 온도 25°C의 지하부 건물중이 0.96g으로 다른 처리구 보다 높은 결과를 나타냄.

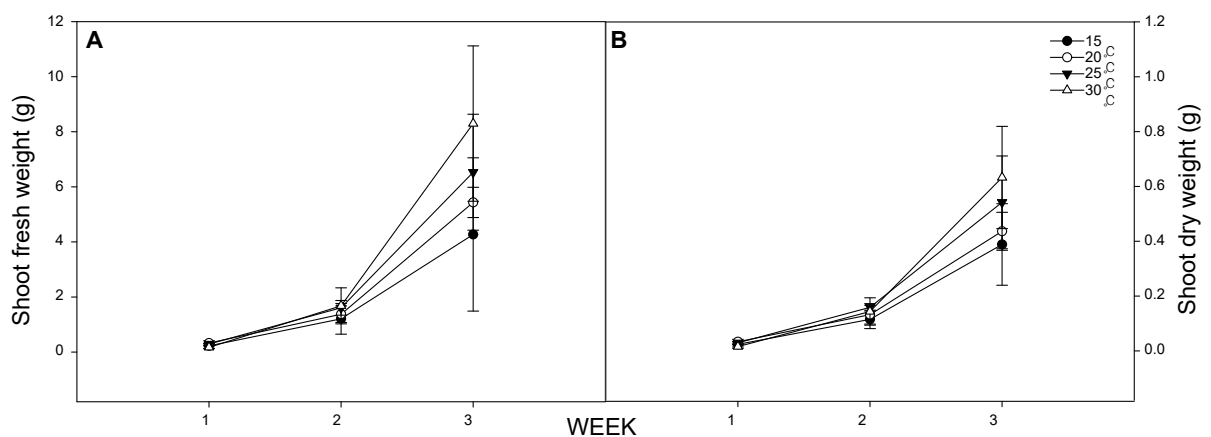


그림 5-79. 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지하부 생체 중(A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과시 엽록소를 측정한 결과 근권부 온도 15℃ 47.92, 20℃ 42.38, 25℃ 41.38, 30℃ 38.52로 나타났으며, 근권부 온도 15℃ 처리구의 엽록소 수치가 47.92로 높은 결과를 보임.

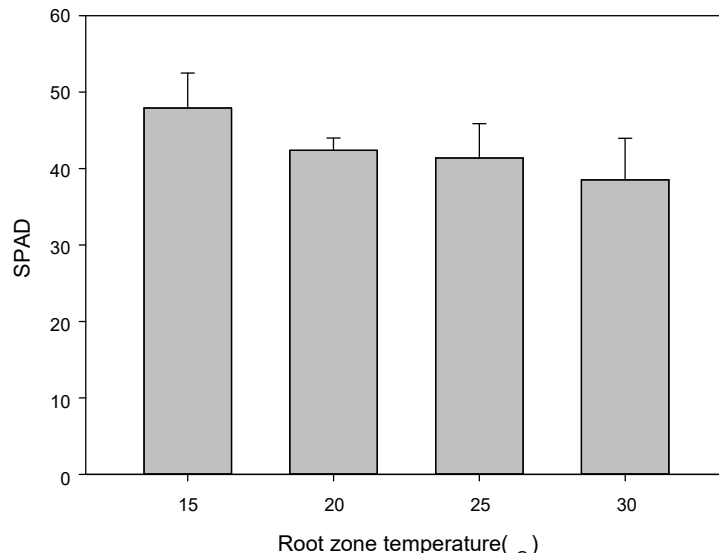


그림 5-80. 대기 온도 25℃ 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 토마토 엽록소 지수



그림 5-81. 대기 온도 25℃ 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 생육

- (파프리카) 대기온도 30℃

■ 초장

- 이식 3주 이후 근권부 온도 15℃ 8.14cm, 20℃ 9.54cm, 25℃, 30℃ cm로 나타났으며, 근권부 온도 30℃의 초장이 14.32cm로 높은 결과가 나타남.

■ 근장

- 이식 3주 이후 근권부 온도 15℃ 9.58cm, 20℃ 11.78cm, 25℃ 14cm, 30℃ 11.56cm로 나타났으며, 근권부 25℃의 근장은 14cm로 높은 결과가 나타남.

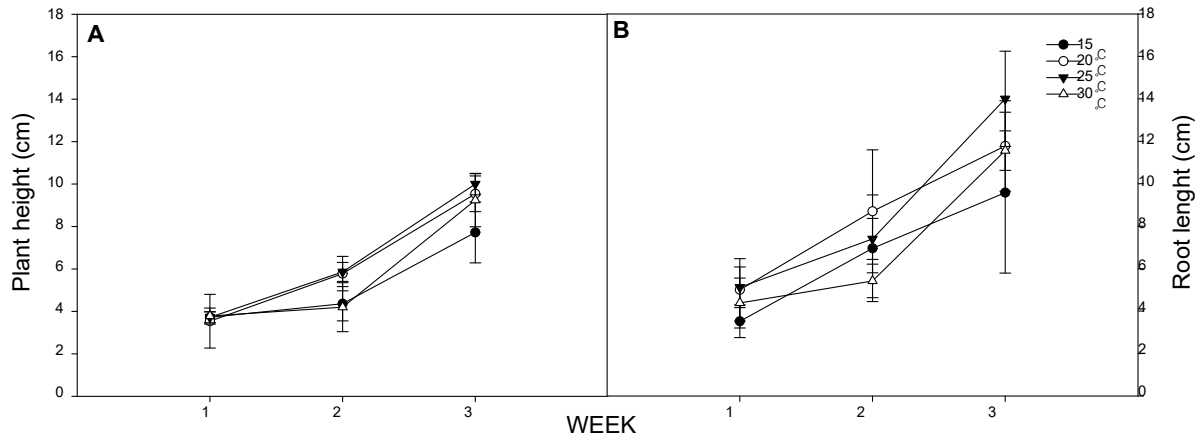


그림 5-82. 대기 온도 30°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 초장(A)과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 엽수는 근권부 온도 15°C 5.2개, 20°C 7.8개, 25°C 8.6개, 30°C 6.8개로 근권부 온도 25°C의 엽수가 8.6개로 높은 결과를 나타냄.

■ 엽면적

- 이식 3주 경과 시 엽면적은 근권부 온도 15°C 69.038cm², 20°C 123.12cm², 25°C 137.90cm², 30°C 138.11cm²로 근권부 온도 30°C의 엽면적이 138.11cm²로 높은 결과를 나타냄.

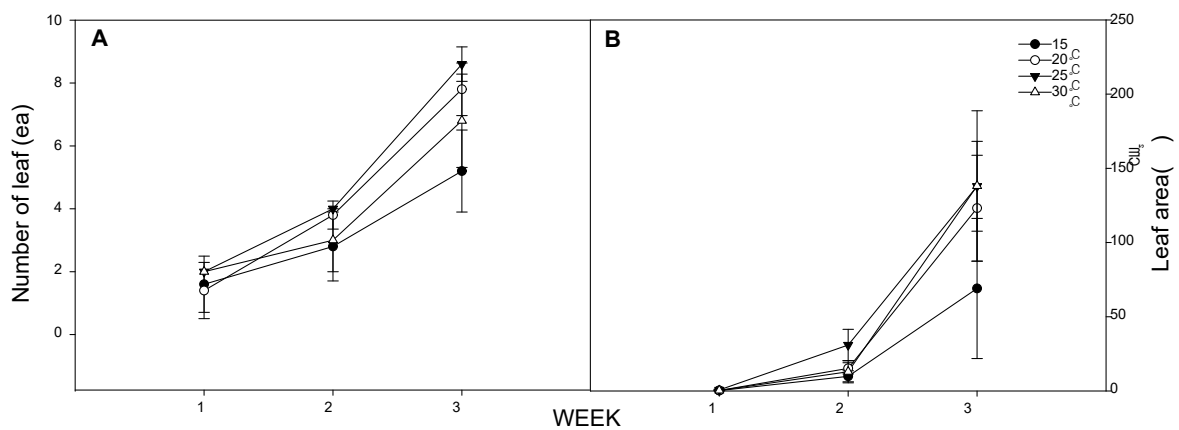


그림 5-83. 대기 온도 30°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 이후부터 지상부 생체중은 근권부 온도 15°C 4.27g, 20°C 5.43g, 25°C 6.53g, 30°C 8.29g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C 처리구의 지상부 생체중이 8.29g로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 이후부터 지상부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.48g, 20°C

0.36g, 25℃ 0.63g, 30℃ 0.29g으로 나타났으며, 근권부 온도 25℃ 처리구의 지상부 건물중이 0.63g로 높은 결과를 나타냄.

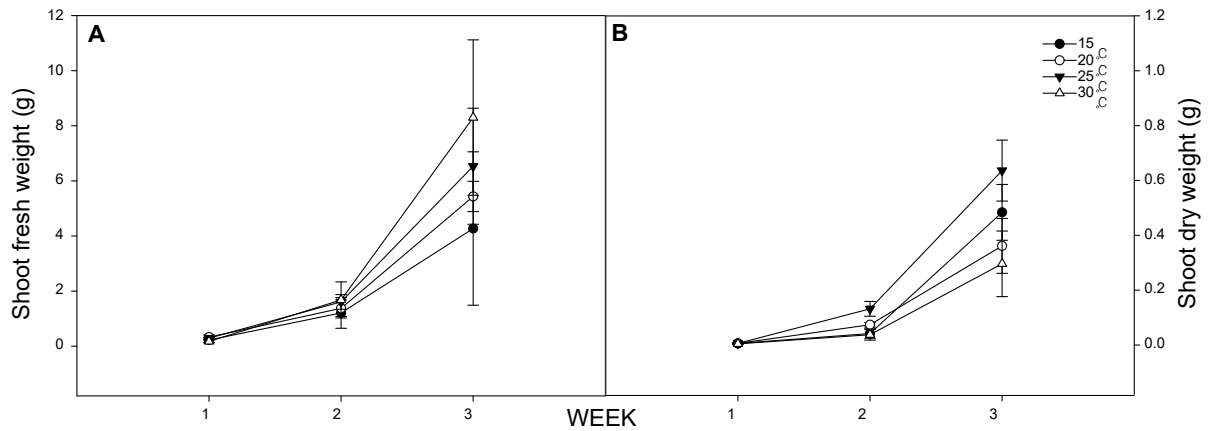


그림 5-84. 대기 온도 30℃ 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지상부 생체중(A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

• 이식 3주 이후부터 지하부 생체중은 근권부 온도 15℃ 0.41g, 20℃ 1.11g, 25℃ 1.68g, 30℃ 0.88g으로 나타났으며, 근권부 25℃ 처리구의 지하부 생체중이 1.68g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

• 이식 3주 이후부터 지하부 건물중은 근권부 온도 15℃ 0.02g, 20℃ 0.04g, 25℃ 0.08g, 30℃ 0.04g으로 나타났으며, 근권부 온도 25℃ 처리구의 지하부 건물중이 0.08g으로 높은 결과를 나타냄.

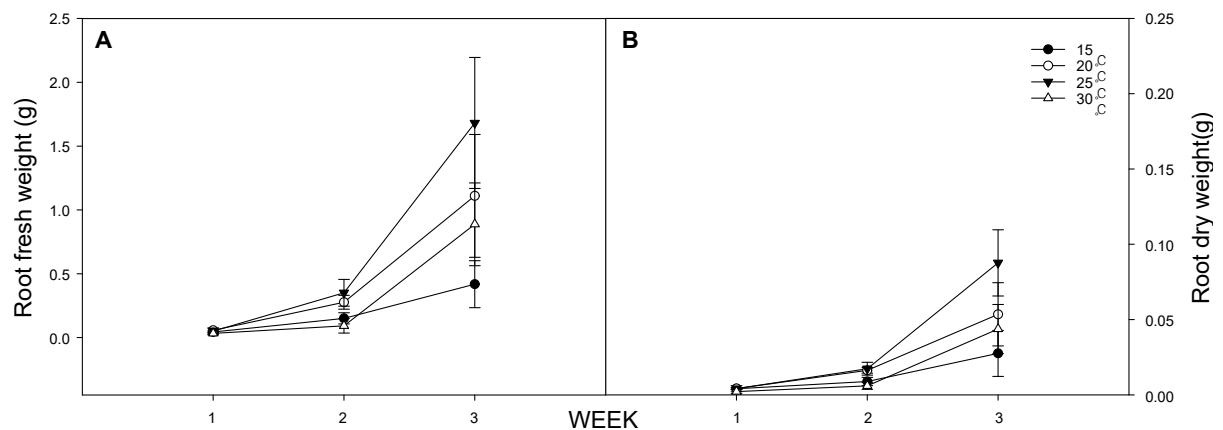


그림 5-85. 대기 온도 30℃ 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지하부 생체중(A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

• 이식 3주 경과시 엽록소를 측정 한 결과 근권부 온도 15℃ 38.6, 20℃ 41.7, 25℃ 40.62, 30℃ 37.3로 나타났으며, 근권부 온도 20℃ 처리구

의 엽록소 수치가 41.7로 높은 수치를 보임.

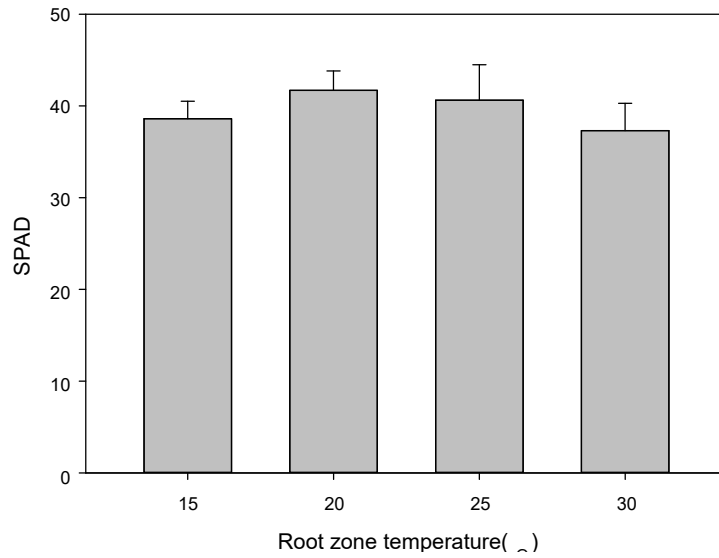


그림 5-86. 대기 온도 30°C 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 파프리카 엽록소 지수



그림 5-87. 대기 온도 25°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 생육

- (파프리카) 대기온도 35°C

■ 초장

- 이식 3주 이후 근권부 온도 15°C 9.14cm, 20°C 9.32cm, 25°C 9.22cm, 30°C 9.76 cm로 나타났으며, 근권부 온도 별 초장의 차이가 없었음.

■ 근장

- 이식 3주 이후 근권부 온도 15°C 14.96cm, 20°C 14.84cm, 25°C 18.3cm, 30°C 18.1cm로 나타났으며, 근권부 온도 25, 30°C의 근장은 각각 18.3, 18.1cm의 결과를 나타냄

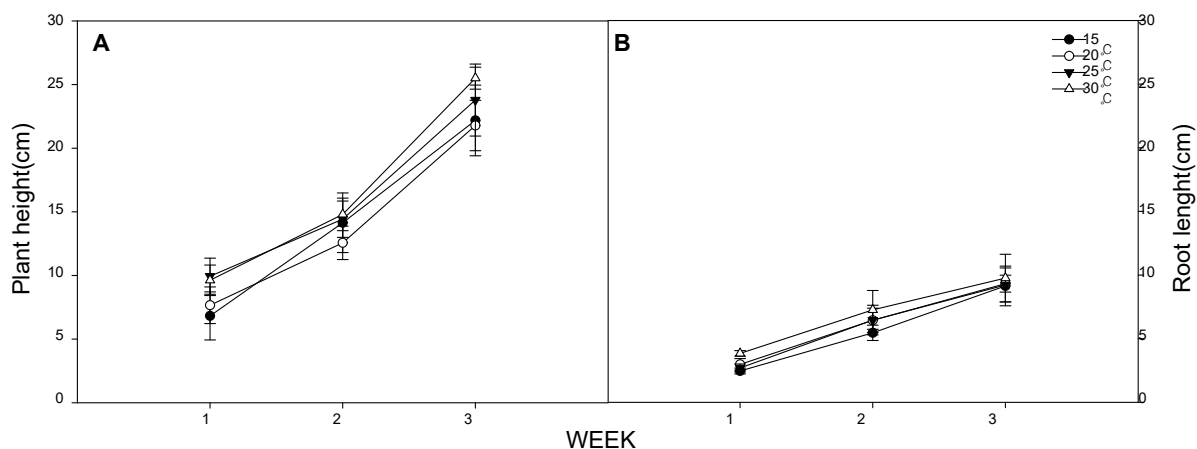


그림 5-88. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 초장(A)과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 이후 파프리카 엽수는 근권부 온도 15°C 10.6개, 20°C 10.2개, 25°C 9.8개, 30°C 12개로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 엽수가 12개로 높은 결과를 나타냄.

■ 엽면적

- 이식 3주 이후 파프리카 엽면적은 근권부 온도 엽면적은 15°C 158.4cm², 20°C 184.76cm², 25°C 172.27cm², 30°C 263.89cm²로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 엽면적이 263.89cm²으로 높은 결과를 나타냄.

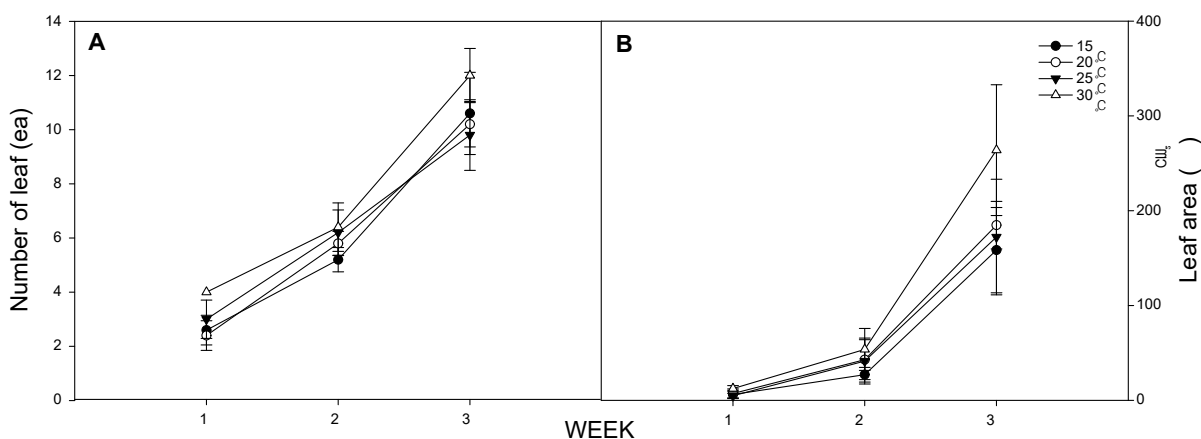


그림 5-89. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 이후 지상부 생체중은 근권부 온도 15°C 6.45g, 20°C 7.16g, 25°C 5.97g, 30°C 10.68g로 나타났으며, 근권부 30°C 지상부 생체중이 10.68g으로 높은 수치를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 이후 지상부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.456g, 20°C

0.505g, 25°C 0.501g, 30°C 0.8g로 나타났으며, 근권부 30°C의 지상부 건물중이 0.8g으로 높은 수치를 나타냄.

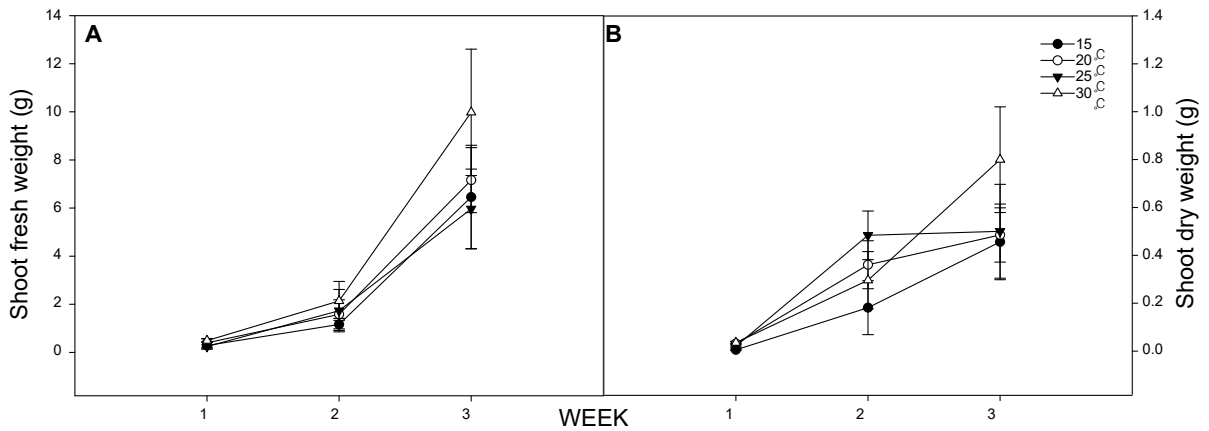


그림 5-90. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지상부 생체중(A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 3주 이후 지하부 생체중은 근권부 온도 15°C 2.2g, 20°C 1.95g, 25°C 3.02g, 30°C 3.81g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C 지하부 생체중이 3.81g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 이후 지하부 건물중은 근권부 온도 15°C 0.106g, 20°C 0.102g, 25°C 0.154g, 30°C 0.169g으로 나타났으며, 근권부 온도 30°C의 지하부 건물중이 0.169g으로 높은 결과를 나타냄.

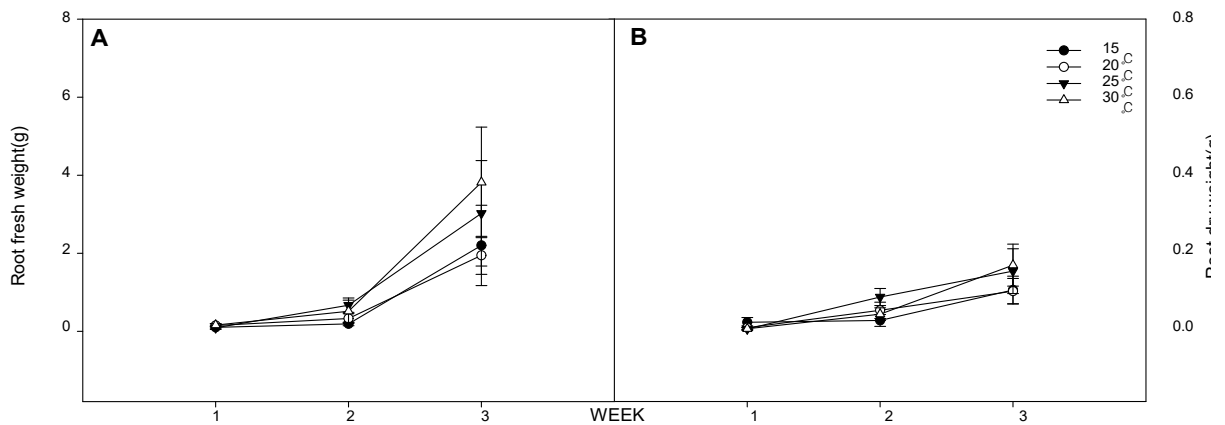


그림 5-91. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 지하부 생체중(A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과 시 엽록소의 수치는 근권부 온도 15°C 48.9, 20°C 44.04, 25°C 47.2, 30°C 47.82로 나타남.

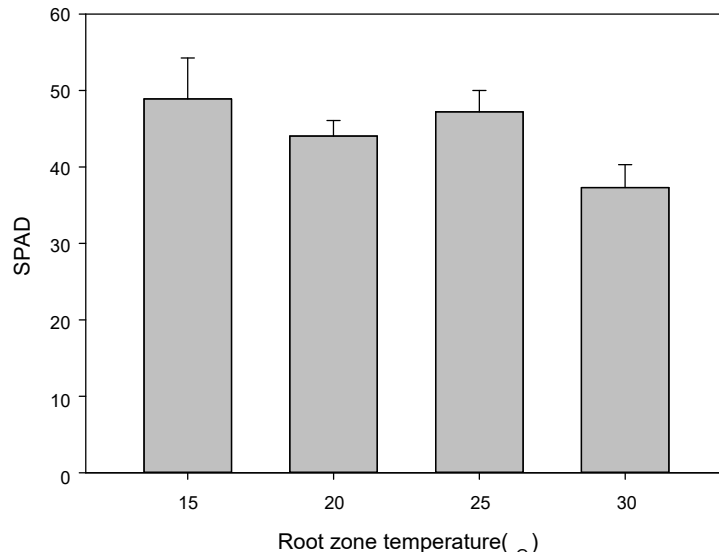


그림 5-92. 대기 온도 35°C 설정 시 이식 3주 후 근권부 온도에 따른 파프리카 엽록소 지수



그림 5-93. 대기 온도 35°C 설정 시 근권부 온도에 따른 파프리카 생육

- 파프리카 광합성 측정

■ 대기온도 20°C

- 대기온도 20°C의 경우 파프리카의 CO₂ 적정 공급량이 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 이며, 이상을 공급하였을 때 광합성 속도가 감소함.
- CO₂ 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 처리구를 비교하였을 때 근권부 온도 15°C 15.98 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 20°C 19.19 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 25°C 19.24 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 30°C 20.94 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 근권부 온도 30°C의 처리구가 높은 결과를 나타냈으며, 근권부 온도 15°C 처리구는 15.98 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 낮은 결과를 나타냄.

■ 대기온도 25°C

- 대기온도 25°C의 경우 파프리카의 CO₂ 적정 공급량이 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 이며, 이상을 공급하였을 때 광합성 속도가 감소함.
- CO₂ 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 처리구를 비교하였을 때 근권부 온도 15°C 18.03 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 20°C 17.05 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 25°C 18.86 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 30°C 18.27 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 유의한 차이가 없어지만, 근권부 온도 25°C 결과가 20°C 결과보다 1.81 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 높은 결과를 나타냄.

■ 대기온도 30℃

- 대기온도 30℃의 경우 파프리카의 CO₂ 적정 공급량이 800μmol·mol⁻¹이며, 이상을 공급하였을 때 광합성 속도가 감소함.
- CO₂ 800μmol·mol⁻¹처리구를 비교하였을 때 근권부 온도 15℃ 12.04μmol·m⁻²·s⁻¹, 20℃ 11.93μmol·m⁻²·s⁻¹, 25℃ 13.60μmol·m⁻²·s⁻¹, 30℃ 13.43μmol·m⁻²·s⁻¹로 유의한 차이가 없어지만, 25, 30℃가 각각 13.60, 13.43μmol·m⁻²·s⁻¹로 높은 결과를 나타냄.

■ 대기온도 35℃

- 모든 근권부 온도 처리구에서 CO₂를 추가 공급할수록 광합성 속도가 증가함.
- 선행연구에서 냉방이 되는 반밀폐형온실의 파프리카와 고온 스트레스를 받은 파프리카의 광합성 속도 차이는 온실 내 높은 온도로 인해 기공이 닫혀 낮은 기공전도도에 의해 CO₂ 공급이 늦어져 광합성 속도가 늦어지는 결과로 나타냄. 반면에 본 실험에서는 다른 대기 온도 처리구들보다 전반적인 작물의 광합성 속도가 느려졌지만, 대기온도 35℃의 모든 근권부 온도처리구에서 CO₂를 추가 공급할수록 광합성 속도가 증가한 것으로 나타나 파프리카 생육적정 온도와 CO₂ 적정 공급량에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 보임.

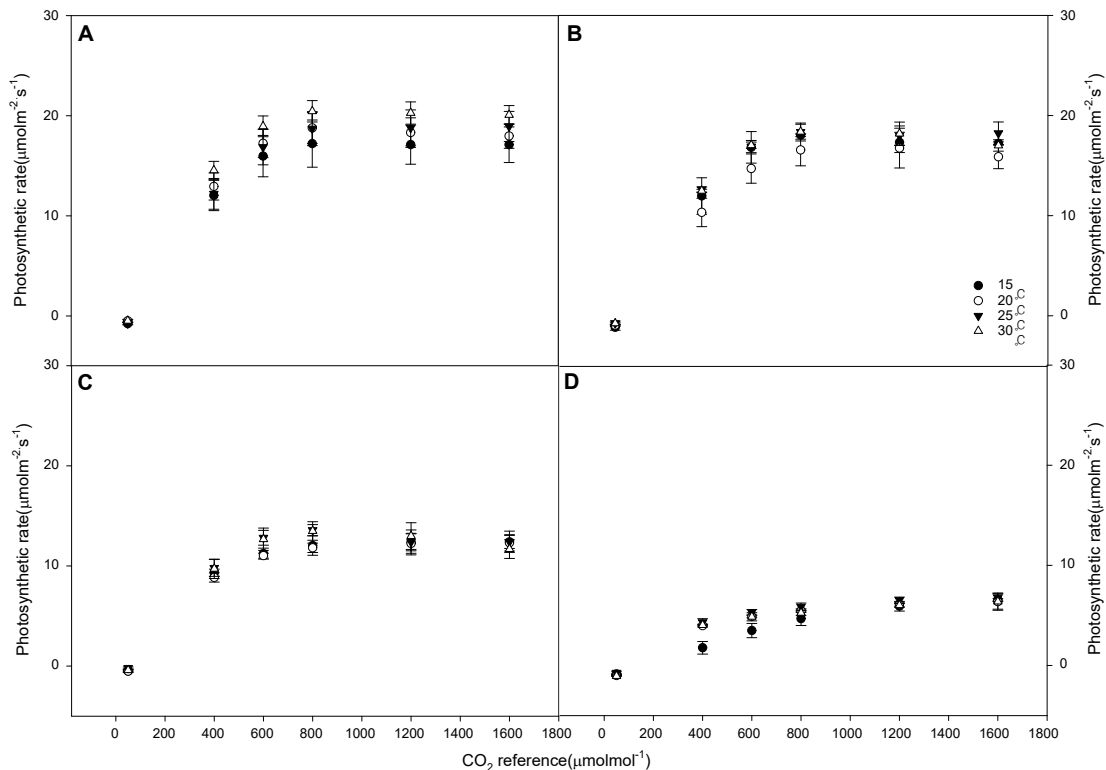


그림 5-94 근권부 온도 별 CO₂ 공급량에 따른 파프리카 광합성 속도
대기 온도 20℃(A), 대기 온도 25℃(B), 대기 온도 30℃(C), 대기 온도 35℃(D)

○ 연구 목표

- 스마트 온실 재배 적용시험, 시스템 성능 및 생육 개선 분석
 - 근권부 냉방 및 난방의 영향과 작물 생육에 대한 재배 매뉴얼 작성
 - 스마트 온실 냉난방 시스템 활용시 작물 생육(상추, 옥묘) 및 생산성 비교

○ 연구 내용 및 결과

- 실험재료
 - 파프리카 : 시로코(Sirocco)
 - 토마토 : 대프니스(Dafnis)
 - 상추 : 웰빙적치마
- 실험 장소 : 국립목포대학교 부속농장 반밀폐형 유리 온실
- 실험 기간
 - 토마토 : 2023년 07월 17일 ~ 08월 08일
 - 파프리카 : 2023년 09월 08일 ~ 09월 28일
 - 상추: 2023년 11월 03일 ~ 11월 24일
- 재배 환경
 - 온도 : 주간 26℃ 야간 18℃
 - 광 : 자연광
- 처리 내용
 - 처리수준(양액 처리 온도) : 무처리구, 15-20℃, 20-25℃, 25-30℃
 - 근권부 온도 조절 방법 : 에너지팜스의 양액 온도 조절 시스템을 이용해 양액의 온도를 조절하여 EBB베드에 공급하여 근권부 온도 제어 및 측정
 - 관수 방법 : 각 처리구마다 주간(12시간)에 90분 간격으로 10분간 양액 공급하여 저면관수 실시
 - 재배 방법
 - 파프리카, 토마토
 - 파프리카 표준 양액으로 적신 240공 암면 트레이에 파종하여 질석을 복토한 후 대기 온도 28℃, 상대습도 100% 생장상에서 3일간 발아
 - 이후 습도를 점차 낮춰가며 4일간 옥묘
 - 이후 상토가 채워진 이색포트에 정식하여 3주간 실험 실시
 - 상추
 - 물로 적신 상토가 충전된 128공 트레이에 파종하여 대기 온도 23-25℃, 상대 습도 80-90% 생장상에서 14일간 발아 및 재배
 - 이후 상토가 채워진 이색포트에 정식하여 3주간 실험 실시

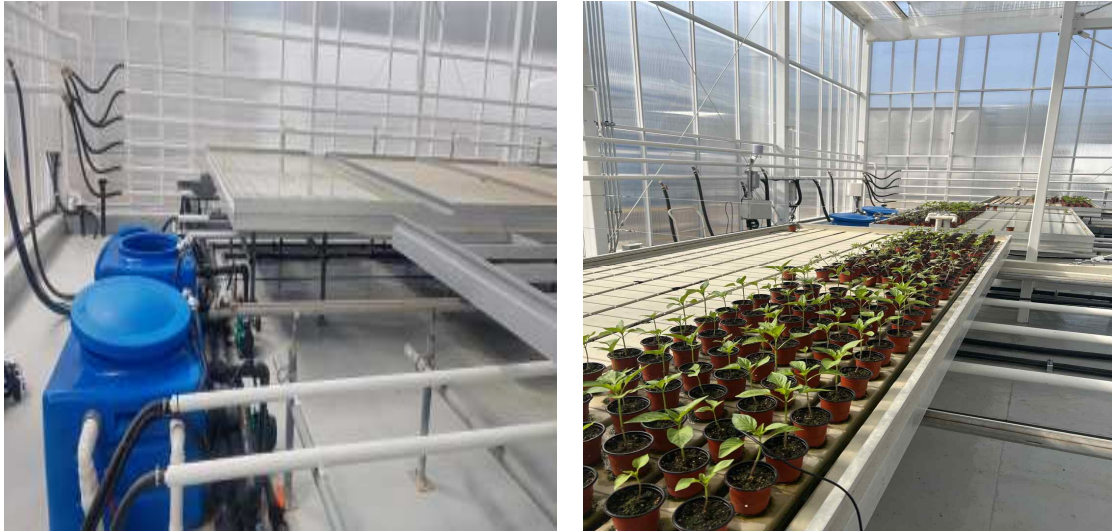


그림 5-95. 근권부 냉난방 시스템을 활용한 온실

- 생육 조사

- 정식 후 1주 간격으로 조사
- 초장, 근장, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중, 엽수, 엽면적, 엽록소

○ 연구 결과

- 근권부 온도

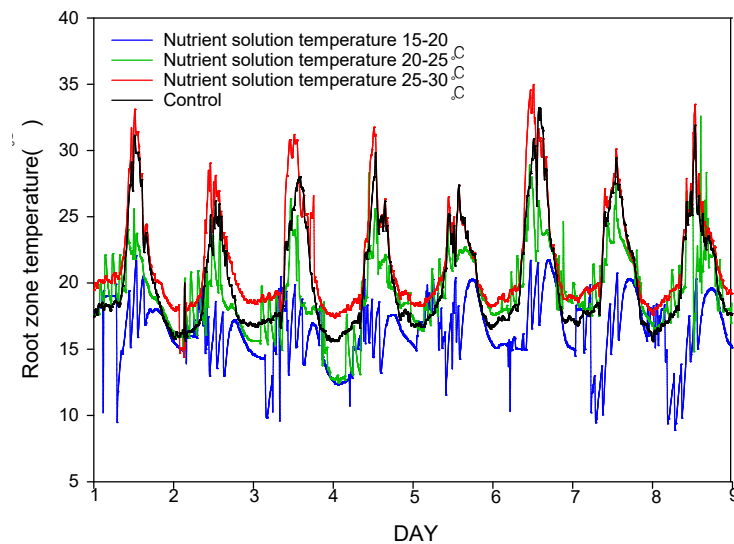


그림 5-96. 근권부 냉난방 시스템을 이용하여 설정한 근권부 온도

- 토마토

- 토마토 재배 기간은 2023년 07월 17일 ~ 08월 08일로 평균 온도 28.33°C였음

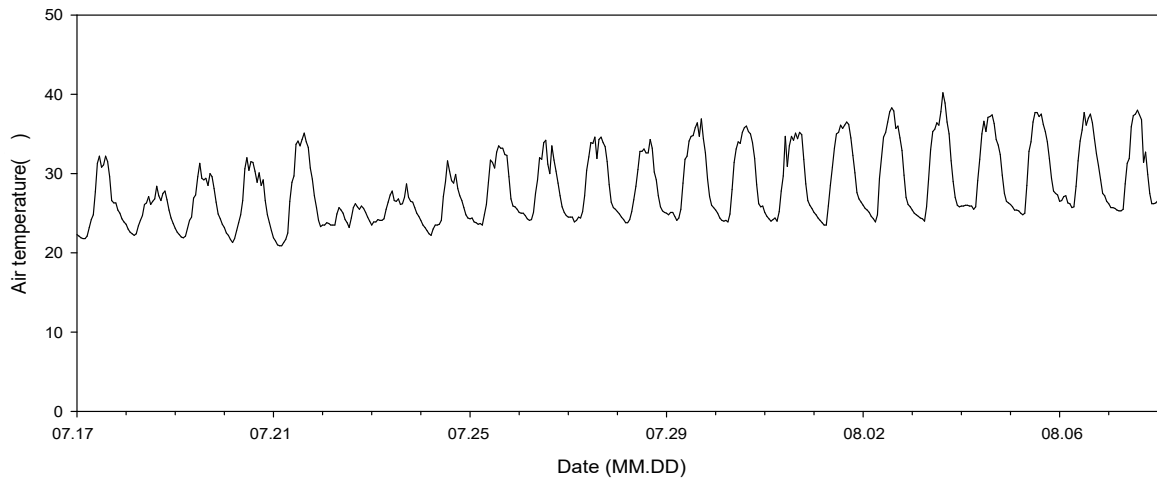


그림 5-97. 토마토 재배 온실 내부 온도

■ 초장

- 근권부 냉난방 시스템 무처리구의 초장이 길었고, 20-25°C 처리구의 초장이 짧았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 43.70cm, 15-20°C 처리구 43.67cm, 20-25°C 처리구 40.39cm, 25-30°C 처리구 35.12cm로 무처리구의 초장이 길었음

■ 근장

- 근권부 냉난방 시스템 20-25°C 처리구와의 근장이 길었고, 무처리구의 초장이 짧았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 22.67cm, 15-20°C 처리구 22.85cm, 20-25°C 처리구 29.20cm, 25-30°C 처리구 27.89cm로 20-25°C 처리구의 근장이 길었음

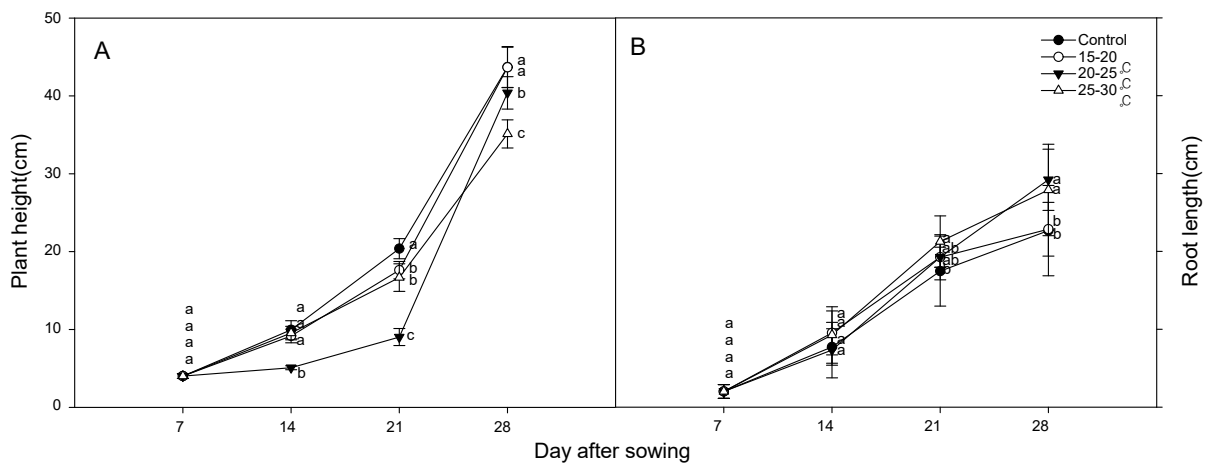


그림 5-98. 양액 온도 설정에 따른 토마토 초장(A)과 근장(B)



그림 5-99. 근권부 온도 설정에 따른 토마토 생육

■ 엽수

- 근권부 냉난방 시스템 20-25℃ 처리구의 엽수가 많았고, 25-30℃ 처리구의 엽수가 가장 적었음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 9.1개, 15-20℃ 처리구 8.8개, 20-25℃ 처리구 9.3개, 25-30℃ 처리구 8.0개로 20-25℃ 처리구의 엽수가 많았음

■ 엽면적

- 근권부 냉난방 시스템 20-25℃ 처리구의 엽면적이 가장 넓었고, 25-30℃ 처리구의 엽면적이 가장 좁았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 325.17cm², 15-20℃ 처리구 316.97cm², 20-25℃ 처리구 409.27cm², 25-30℃ 처리구 211.64cm²로 20-25℃ 처리구의 엽면적이 가장 넓었음

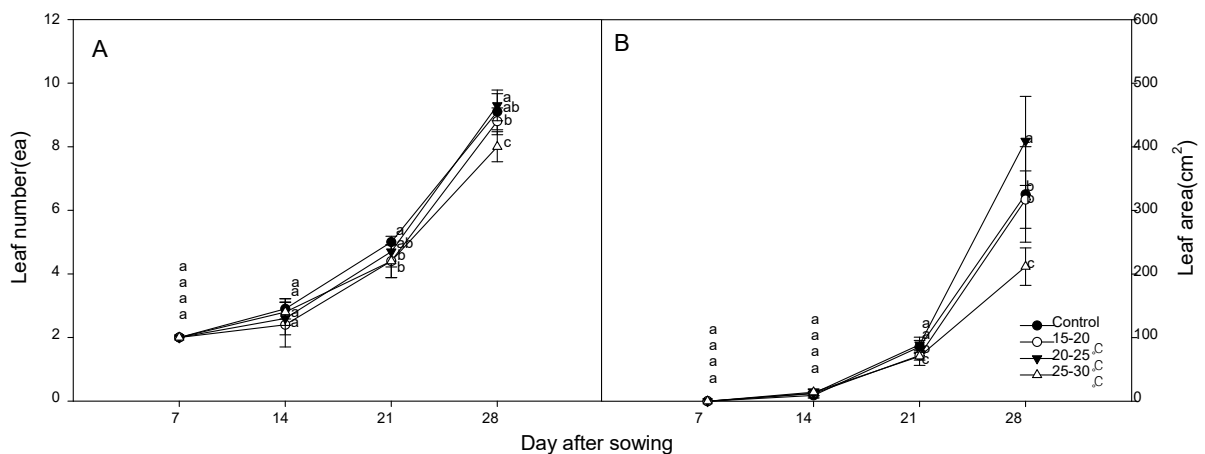


그림 5-100. 양액 온도 설정에 따른 토마토 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 경경

- 근권부 냉난방 시스템 20-25℃ 처리구의 경경이 가장 두꺼웠고, 무처리구의 경경이 가장 얇았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 5.38mm, 15-20℃ 처리구 5.59mm, 20-25℃ 처리구 6.26mm, 25-30℃ 처리구 5.40mm로 20-25℃ 처리구의 경경이 가장 두꺼웠음

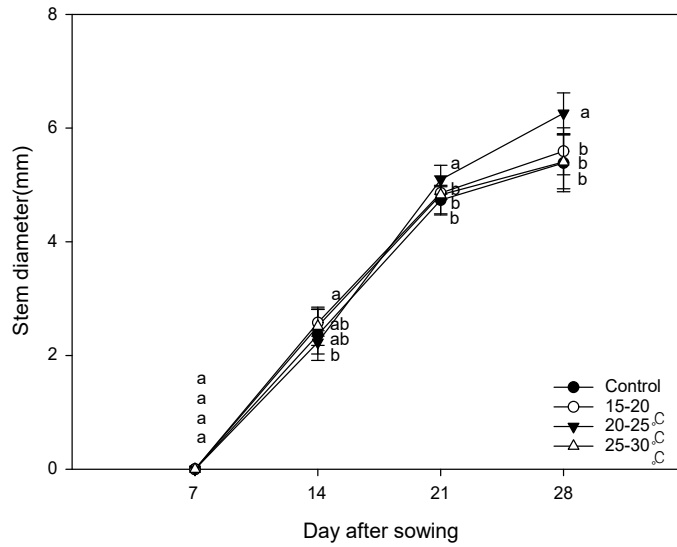


그림 5-101. 양액 온도 설정에 따른 토마토 경경

■ 지상부 생체중

- 근권부 냉난방 시스템 20-25℃ 처리구의 지상부 생체중이 가장 무거웠고, 25-30℃ 처리구의 지상부 생체중이 가장 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 25.21g, 15-20℃ 처리구 26.34g, 20-25℃ 처리구 33.14g, 25-30℃ 처리구 15.66g로 20-25℃ 처리구의 경경이 가장 두꺼웠음

■ 지상부 건물중

- 근권부 냉난방 시스템 20-25℃ 처리구의 지상부 건물중이 가장 무거웠고, 25-30℃ 처리구의 지상부 건물중이 가장 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 2.09g, 15-20℃ 처리구 2.02g, 20-25℃ 처리구 2.73g, 25-30℃ 처리구 1.44g으로 20-25℃ 처리구의 지상부 건물중이 가장 무거웠음

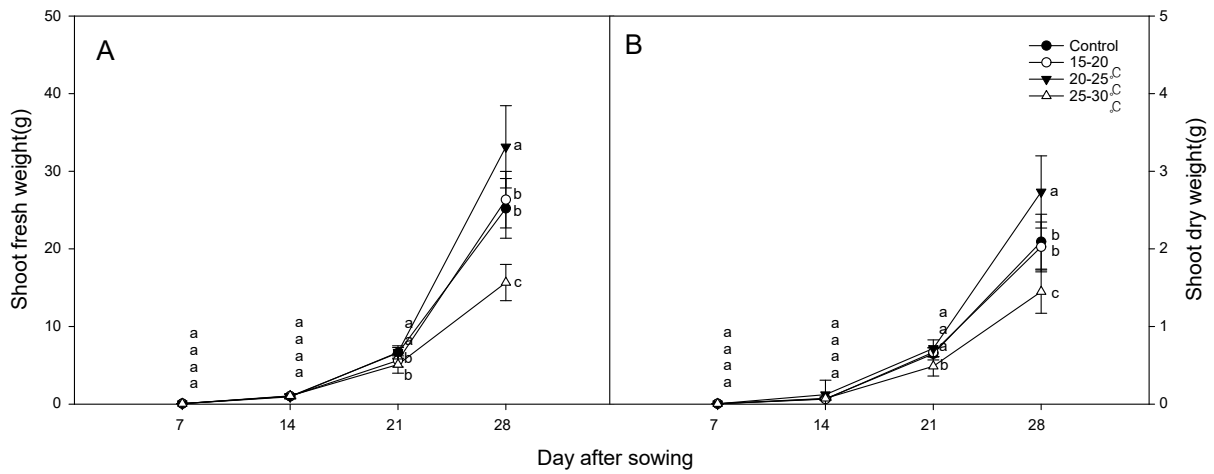


그림 5-102. 양액 온도 설정에 따른 토마토 지상부 생체중(A)와 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 근권부 냉난방 시스템 무처리구의 지하부 생체중이 가장 무거웠고, 25-30°C 처리구의 지하부 생체중이 가장 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 3.8g, 15-20°C 처리구 3.0g, 20-25°C 처리구 3.3g, 25-30°C 처리구 2.0g으로 무처리구의 지하부 생체중이 가장 무거웠음

■ 지하부 건물중

- 근권부 냉난방 시스템 20-25°C의 지하부 건물중이 가장 무거웠고, 25-30°C 처리구의 지하부 건물중이 가장 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 0.26g, 15-20°C 처리구 0.25g, 20-25°C 처리구 0.30g, 25-30°C 처리구 0.18g으로 20-25°C의 지하부 건물중이 가장 무거웠음

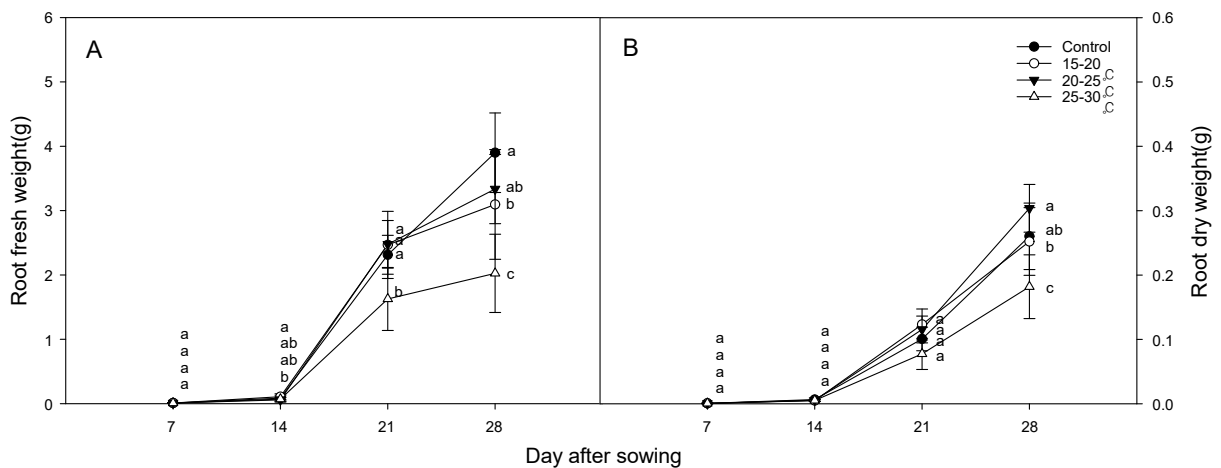


그림 5-103. 양액 온도 설정에 따른 토마토 지하부 생체중(A)와 건물중(B)

■ SPAD

- 근권부 냉난방 시스템 15-20℃의 SPAD 값이 가장 높았고, 무처리구의 SPAD 값이 가장 낮았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 47.07, 15-20℃ 처리구 51.84, 20-25℃ 처리구 50.09, 25-30℃ 처리구 46.43으로 15-20℃의 SPAD 값이 가장 높았음

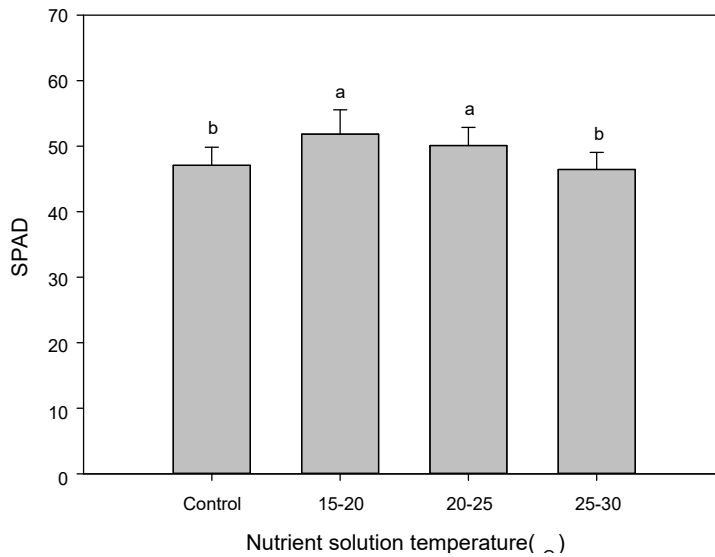


그림 5-104. 양액 온도 설정에 따른 토마토 SPAD

■ 결론

- 평균 온도 28℃에서 토마토 재배 시 근장, 엽수, 엽면적, 경경, 지상부 생체중 및 건물중은 근권부 냉난방 시스템 25-30℃ 처리구의 생육이 우수하였고, 초장과 지하부 건물중 및 생체중은 근권부 냉난방 시스템 무처리구가 우수하였음

- 파프리카

- 파프리카 재배 기간은 2023년 09월 08일 ~ 09월 28일로 평균 온도 24.84℃였음

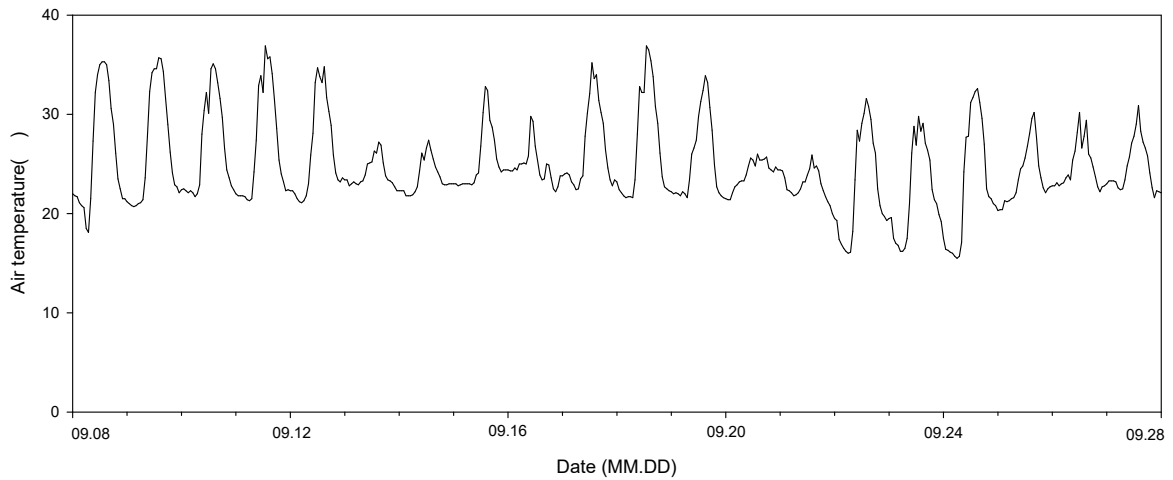


그림 5-105. 파프리카 재배 온실 내부 온도

■ 초장

- 근권부 냉난방 시스템 무처리구의 초장이 길었고, 20-25°C 처리구의 초장이 짧았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 32.34cm, 15-20°C 처리구 28.65cm, 20-25°C 처리구 28.04cm, 25-30°C 처리구 32.18cm로 무처리구의 초장이 길었음

■ 근장

- 근권부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구의 근장이 길었고, 20-25°C 처리구의 근장이 가장 짧았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 16.90cm, 15-20°C 처리구 13.33cm, 20-25°C 처리구 17.08cm, 25-30°C 처리구 17.34cm로 25-30°C 처리구의 근장이 길었음

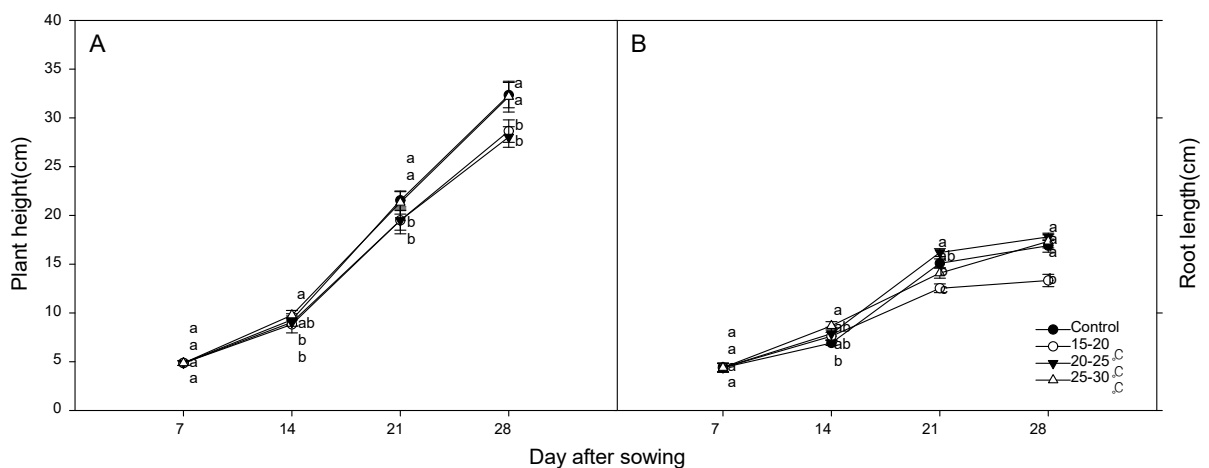


그림 5-106. 양액 온도 설정에 따른 파프리카 초장(A)과 근장(B)

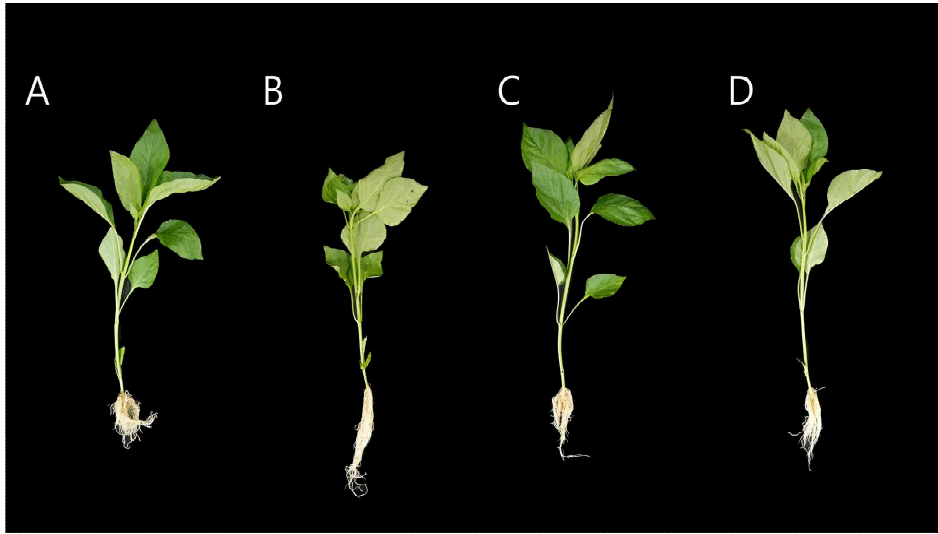


그림 5-107. 양액 온도 설정에 따른 파프리카 생육 무처리구(A), 15-20°C(B), 20-25°C(C), 25-30°C(D)

■ 엽수

- 근권부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구의 엽수가 가장 많았고, 무처리구와 20-25°C 처리구의 엽수가 적었음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 10.6개, 15-20°C 처리구 11.1개, 20-25°C 처리구 10.6개, 25-30°C 처리구 11.9개로 25-30°C 처리구의 엽수가 많았음

■ 엽면적

- 근권부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구의 엽면적이 가장 넓었고, 20-25°C의 엽면적이 가장 좁았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 376.39cm², 15-20°C 처리구 380.38cm², 20-25°C 처리구 265.04cm², 25-30°C 처리구 423.34cm²로 25-30°C 처리구의 엽면적이 넓었음

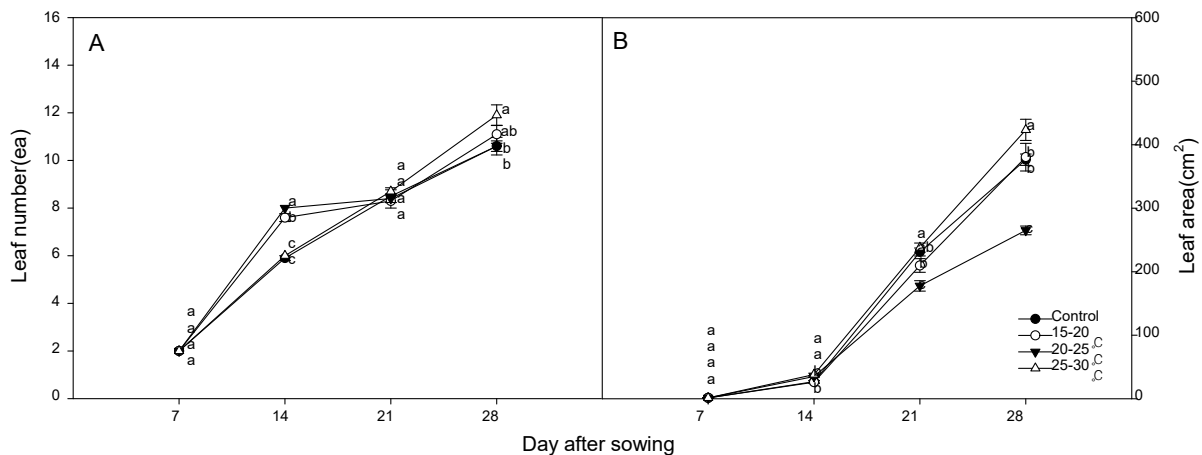


그림 5-108. 양액 온도 설정에 따른 파프리카 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 경경

- 근권부 냉난방 시스템 25-30℃ 처리구의 경경이 두꺼웠고, 20-25℃의 경경이 얇았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 5.73mm, 15-20℃ 처리구 5.58mm, 20-25℃ 처리구 5.20mm, 25-30℃ 처리구 5.94mm로 25-30℃ 처리구의 경경이 두꺼웠음

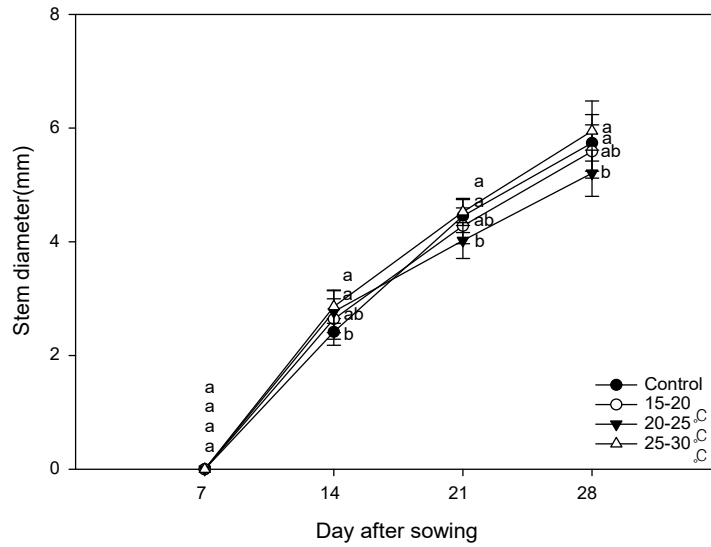


그림 5-109. 양액 온도 설정에 따른 파프리카 경경

■ 지상부 생체중

- 근권부 냉난방 시스템 25-30℃ 처리구의 지상부 생체중이 무거웠고, 20-25℃의 지상부 생체중이 가장 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 19.43g, 15-20℃ 처리구 18.20g, 20-25℃ 처리구 11.94g, 25-30℃ 처리구 19.72g으로 25-30℃ 처리구의 지상부 생체중이 무거웠음

■ 지상부 건물중

- 근권부 냉난방 시스템 25-30℃ 처리구의 지상부 생체중이 가장 무거웠고, 20-25℃의 지상부 생체중이 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 1.62g, 15-20℃ 처리구 1.45g, 20-25℃ 처리구 1.34g, 25-30℃ 처리구 1.90g으로 25-30℃ 처리구의 지상부 건물중이 무거웠음

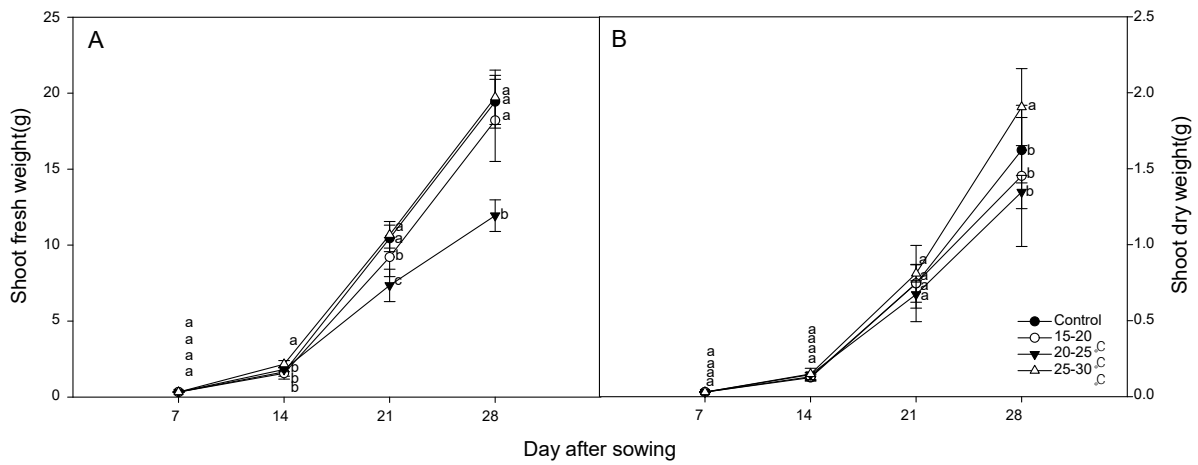


그림 5-110. 양액 온도 설정에 따른 파프리카 지상부 생체중(A)와 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 근권부 냉난방 시스템 20-25°C 처리구의 지하부 생체중이 가장 무거웠고, 무처리구 지하부 생체중이 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 3.84g, 15-20°C 처리구 4.50g, 20-25°C 처리구 5.23g, 25-30°C 처리구 4.10g으로 20-25°C 처리구의 지하부 생체중이 무거웠음

■ 지하부 건물중

- 근권부 냉난방 시스템 15-20°C 처리구의 지하부 생체중이 가장 무거웠고, 무처리구 지하부 생체중이 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 0.229g, 15-20°C 처리구 0.297g, 20-25°C 처리구 0.293g, 25-30°C 처리구 0.286g으로 15-20°C 처리구의 지하부 건물중이 무거웠음

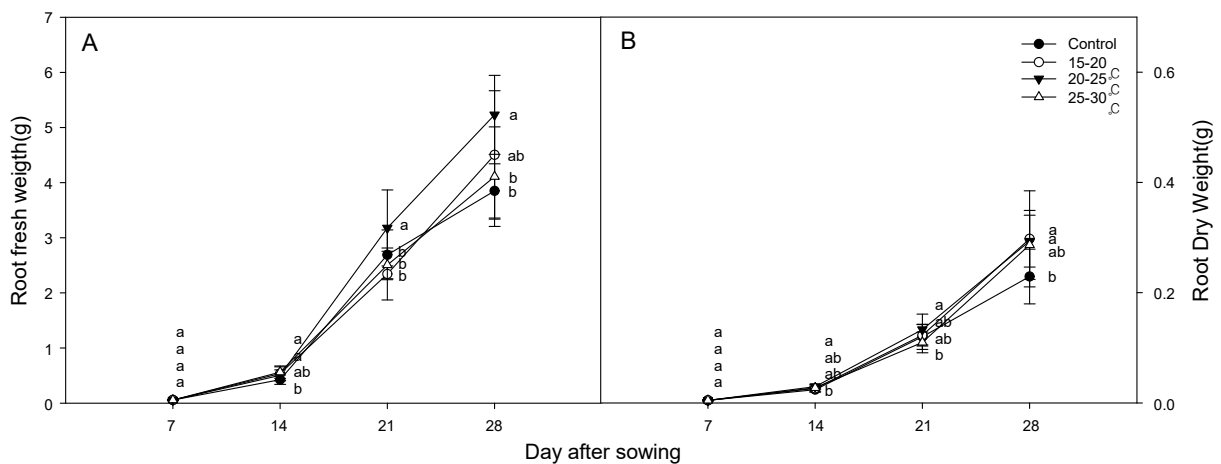


그림 5-111. 양액 온도 설정에 따른 파프리카 지하부 생체중(A)와 건물중(B)

■ SPAD

- 근권부 냉난방 시스템 25-30℃ 처리구의 SPAD값이 높았고, 20-25℃ 처리구의 SPAD 값이 가장 낮았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 36.42, 15-20℃ 처리구 36.13, 20-25℃ 처리구 34.32, 25-30℃ 처리구 37.73으로 25-30℃ 처리구의 SPAD 값이 높았음

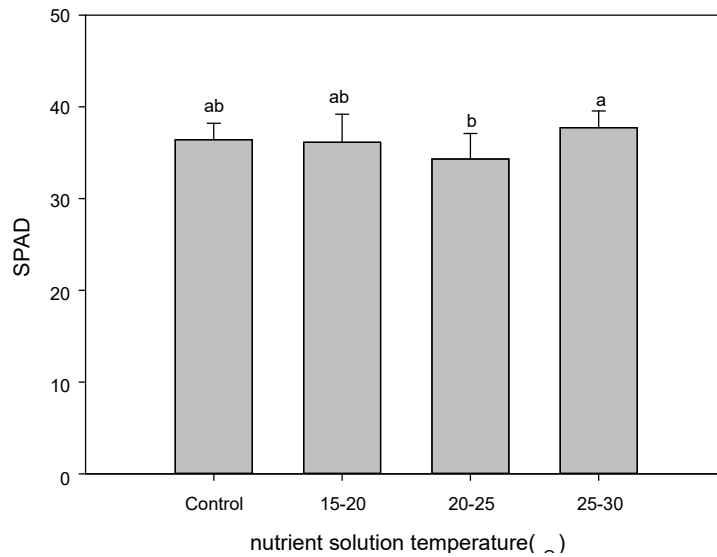


그림 5-112. 양액 온도 설정에 따른 파프리카 SPAD

■ 결론

- 평균 온도 24℃에서 파프리카 재배 시 지하부 생체중 및 건물중을 제외한 생육은 근권부 온도 25-30℃ 처리구가 양호하였음

- 상추

- 파프리카 재배 기간은 2023년 11월 03일 ~ 11월 24일로 평균 온도 20.47℃였음

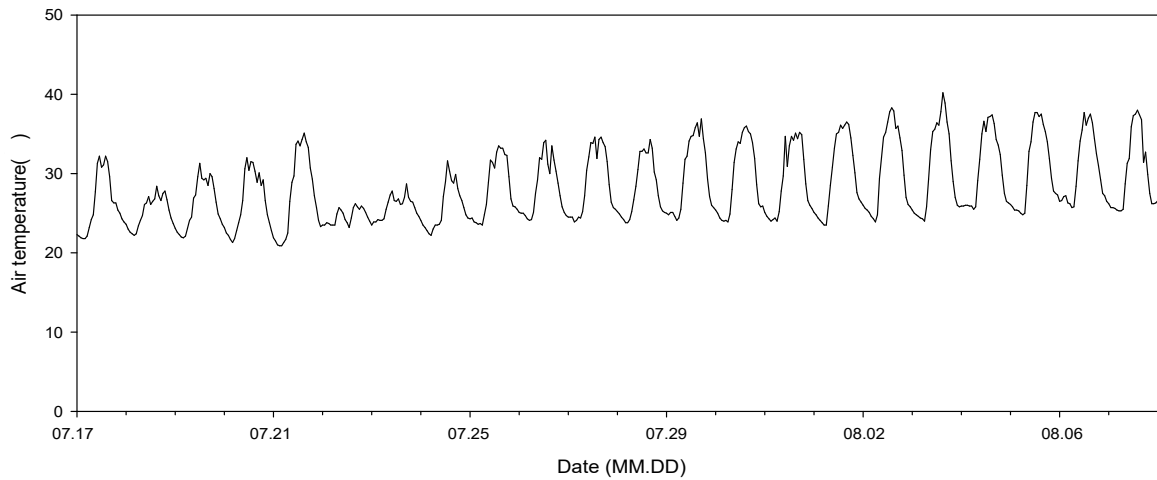


그림 5-113. 토마토 재배 온실 내부 온도

■ 초장

- 근권부 냉난방 시스템 15-20°C 처리구의 초장이 길었고, 20-25°C 처리구의 초장이 짧았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 21.65cm, 15-20°C 처리구 22.65cm, 20-25°C 처리구 22.48cm, 25-30°C 처리구 21.35cm로 15-20°C 처리구의 초장이 길었음

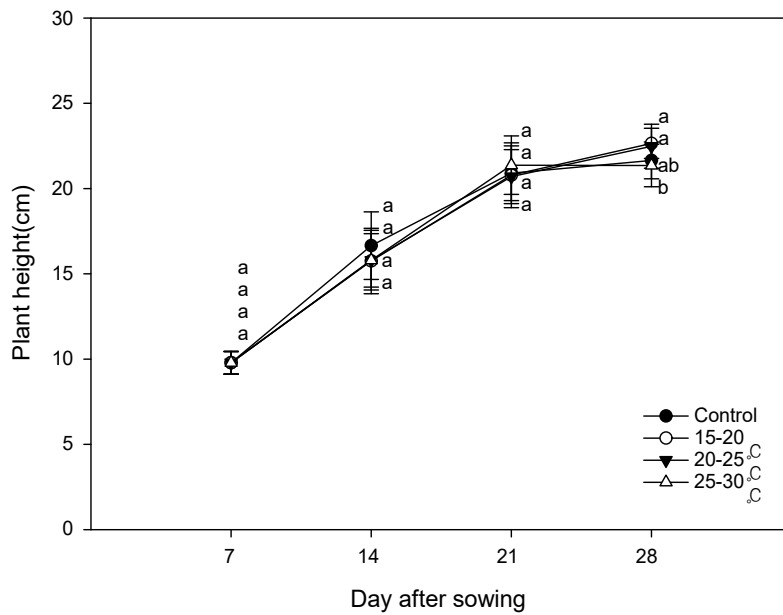


그림 5-114. 양액 온도 설정에 따른 상추 초장



그림 5-115. 근권부 온도 설정에 따른 초장 생육
무처리구(A), 15-20°C(B), 20-25°C(C), 25-30°C(C)

■ 엽수

- 근권부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구의 엽수가 많았고, 무처리구의 엽수가 적었음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 14.7개, 15-20°C 처리구 15.3개, 20-25°C 처리구 17.3개, 25-30°C 처리구 16.2개로 25-30°C 처리구의 엽수가 많았음

■ 엽면적

- 근권부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구의 엽면적이 넓었고, 15-20°C 처리구의 엽면적이 좁았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 772.84cm², 15-20°C 처리구 835.37cm², 20-25°C 처리구 934.99cm², 25-30°C 처리구 1008.51cm²로 25-30°C 처리구의 엽면적이 넓었음

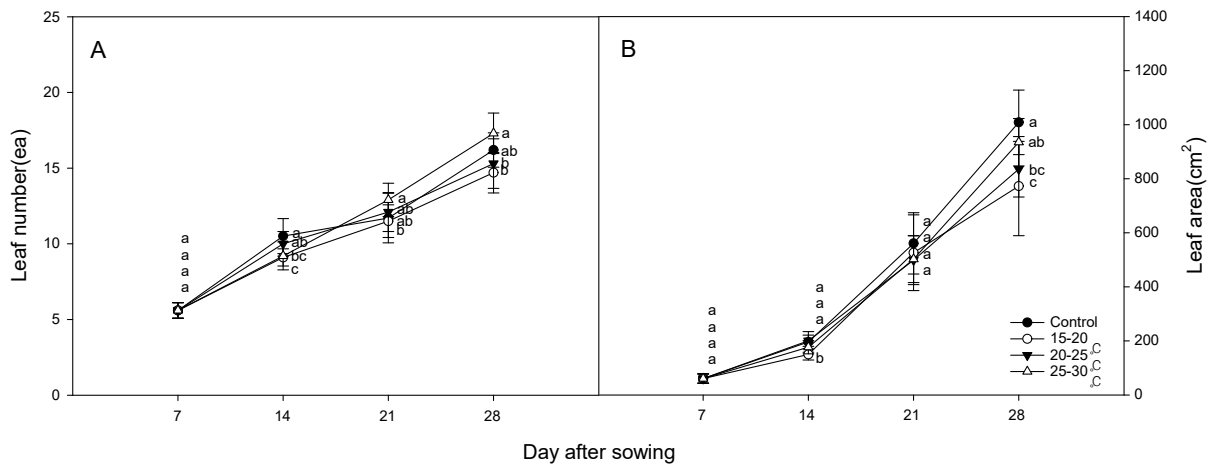


그림 5-116. 양액 온도 설정에 따른 상추 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 근권부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구의 지상부 생체중이 무거웠고, 무처리구의 지상부 생체중이 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 39.69g, 15-20°C 처리구 42.54g, 20-25°C 처리구 47.80g, 25-30°C 처리구 50.36g으로 25-30°C 처리구의 지상부 생체중이 무거웠음

■ 지상부 건물중

- 근권부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구의 지상부 건물중이 무거웠고, 무처리구의 지상부 생체중이 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 1.61g, 15-20°C 처리구 1.87g, 20-25°C 처리구 2.51g, 25-30°C 처리구 2.61g으로 25-30°C 처리구의 지상부 건물중이 무거웠음

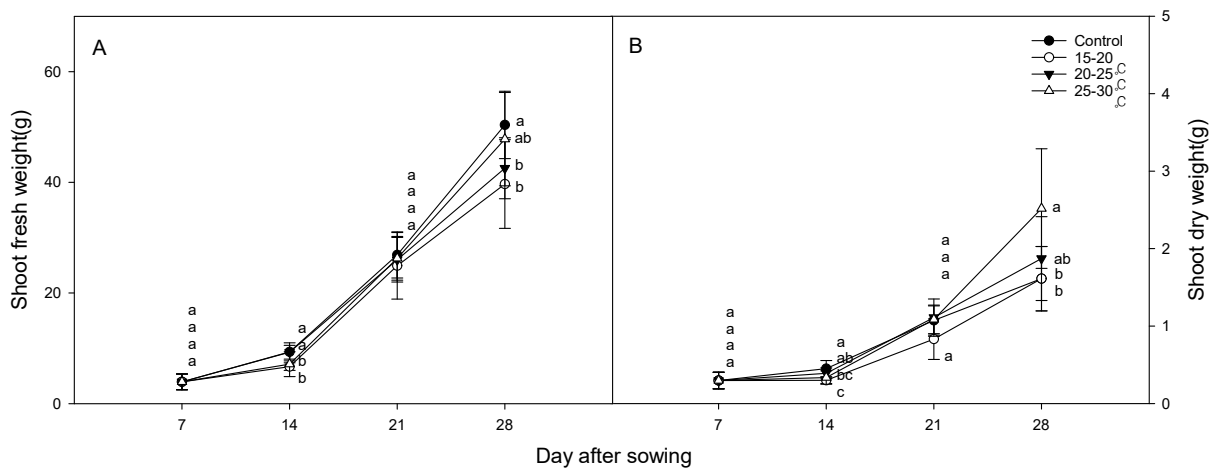


그림 5-117. 양액 온도 설정에 따른 상추 지상부 생체중(A)와 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 근권부 냉난방 시스템 25-30℃ 처리구의 지상부 건물중이 가장 무거웠고, 15-20℃ 처리구의 지상부 생체중이 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 1.61g, 15-20℃ 처리구 1.87g, 20-25℃ 처리구 2.51g, 25-30℃ 처리구 2.61g으로 25-30℃ 처리구의 지상부 건물중이 무거웠음

■ 지하부 건물중

- 근권부 냉난방 시스템 25-30℃ 처리구의 지상부 건물중이 가장 무거웠고, 무처리구의 지하부 건물중이 가벼웠음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 0.22g, 15-20℃ 처리구 0.24g, 20-25℃ 처리구 0.35g, 25-30℃ 처리구 0.50g으로 25-30℃ 처리구의 지하부 건물중이 무거웠음

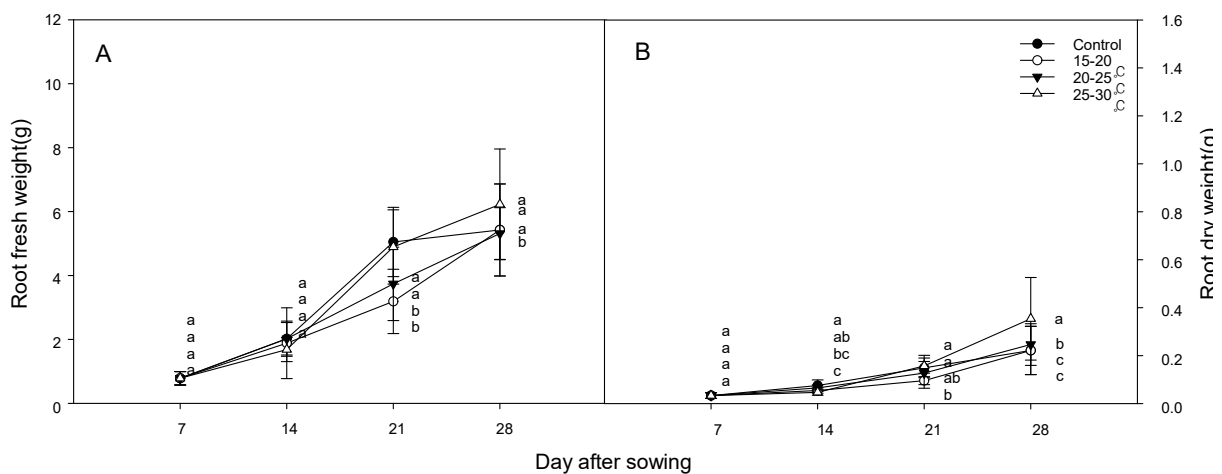


그림 5-118. 양액 온도 설정에 따른 상추 지하부 생체중(A)와 건물중(B)

■ SPAD

- 근권부 냉난방 시스템 20-25℃ 처리구의 SPAD 값이 가장 높았고, 무처리구의 SPAD 값이 가장 낮았음
- 파종 후 28일인 초기생육은 근권부 냉난방 시스템 무처리구 17.53, 15-20℃ 처리구 18.49, 20-25℃ 처리구 22.17, 25-30℃ 처리구 19.99로 20-25℃ 처리구의 SPAD 값이 가장 높았음

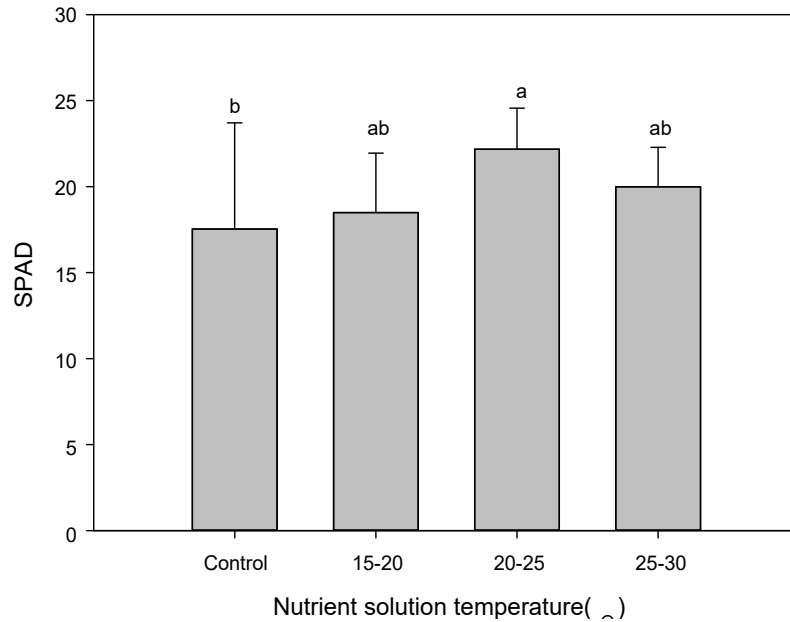


그림 5-119. 양액 온도 설정에 따른 상추 SPAD

■ 결론

- 평균 온도 20°C에서 상추 재배 시 초장, SPAD를 제외한 생육은 근권 부 냉난방 시스템 25-30°C 처리구가 양호하였음

2) 공동연구개발기관 한국생산기술연구원

(1) 1단계 1년차

○ 연구 목표

- 이상기후에 따른 온실 냉방 부하 절감과 기존 냉각 PAD의 효율 향상을 위하여 금속표면 초친수 처리기술과 증발냉각 기술을 접목한 하이브리드 열교환 PAD 개발

○ 연구수행 내용 및 결과

- 알루미늄 시트 타입 초친수 냉각패드 개발

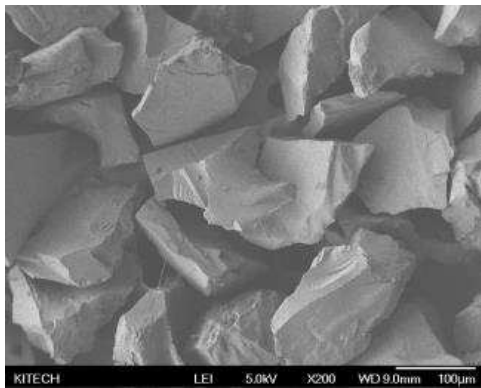
■ 표면처리를 이용한 초친수 러프니스 구조 제조

- 냉각패드용으로 사용하는 알루미늄 플레이트는 얇고 쉽게 손상이 가기 때문에 널리 알려진 표면처리 방법인 에칭이나 레이저 식각 등을 사용하기 어려움
- 따라서, 플레이트를 손상시키지 않으며 초친수 러프니스를 형성할 방법으로 샌드블라스팅과 수열처리 방법을 선택함
- 그림 6-1에 초친수 러프니스 구조 형성 모식도를 나타냄
- 샌드블라스팅을 통해 표면에 마이크로구조를 형성한 뒤 수열처리로 마이크로-나노 초친수 러프니스 구조를 형성함
- 샌드블라스팅을 통한 마이크로 러프니스 형성

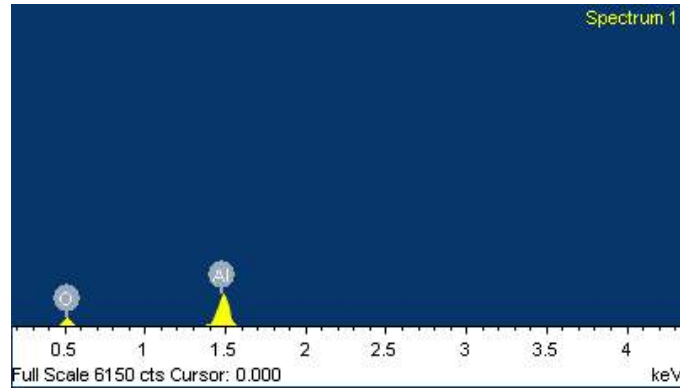


그림 6-1. 초친수 러프니스 구조 형성 모식도

- 샌드블라스팅은 모래 등 작은 입자를 분사시켜 금속표면을 다듬어 표면처리를 하는 방법임
- 처리 후에도 표면 경도나 내마모성 등 기계적 성질이 변하지 않기 때문에 냉각패드용 알루미늄 플레이트의 표면처리에 적합함
- 샌드블라스팅을 위해 알루미늄 옥사이드 입자를 사용하였음
- 사용된 알루미늄 옥사이드의 입자 크기는 주사전자현미경 분석 결과와 같이 약 $100\mu\text{m}$ 임
- 에너지 분산형 분광분석에서 Al 및 O의 주피크가 확인됨 (그림 6-2)



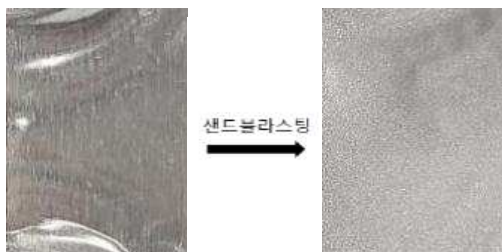
(a) 주사전자현미경 (SEM)



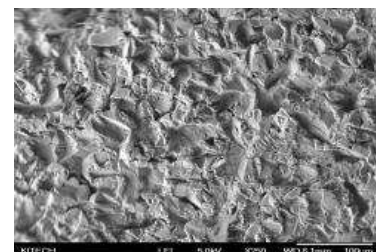
(b) 에너지분산형 분광분석 (EDS)

그림 6-2. 샌드블라스팅 모래 입자 특성분석

- 샌드블라스팅시 분사압력을 0.25 MPa 로 설정함
- 플레이트의 각 면에 알루미늄 옥사이드 입자를 30초간 샌드블라스팅을 실시함
- 그림 6-3에 샌드블라스팅 전, 후 표면 사진과 주사전자현미경 사진을 나타냄
- 샌드블라스팅 후 플레이트 표면에 미세한 요철(나노 러프니스)이 생긴 것을 확인함



(a) 알루미늄 플레이트 표면사진

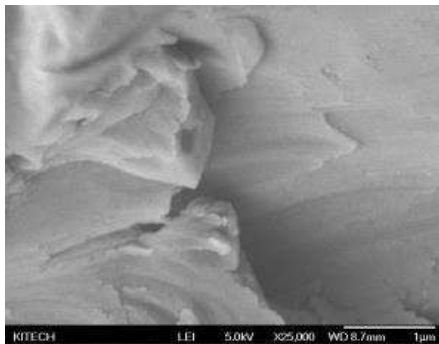


(b) 주사전자현미경 (SEM)

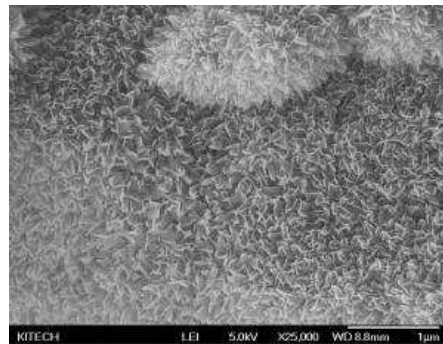
그림 6-3. 알루미늄 플레이트 표면 샌드블라스팅 전, 후 비교

- 수열처리를 통한 마이크로-나노 러프니스 형성

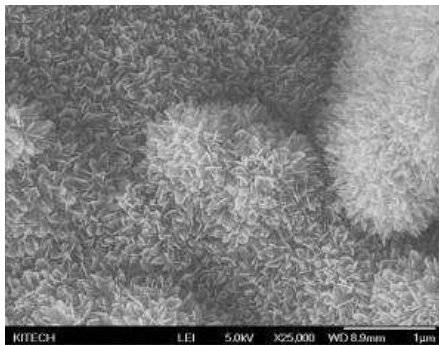
- 수열처리는 간단하고 균일한 제어가 가능하며 높은 conversion을 가지는 표면처리 방법으로 널리 알려져 있음
- 알루미늄 플레이트의 수열처리 방법은 다음과 같음
- 샌드블라스팅 처리된 알루미늄 플레이트를 증류수에 담지하여 수열처리함
- 수열 처리시간을 10, 20, 30분으로 변화 시켜 플레이트의 표면변화를 확인함
- 그림 6-4에 수열처리가 완료된 알루미늄 플레이트의 주사전자현미경 사진을 나타내었음
- 10~30 범위에서 나노구조의 성장이 명확히 확인되며 시간의 증가에 따른 나노구조의 차이는 크게 확인되지 않음
- 샌드블라스팅과 수열처리를 통해 마이크로-나노 러프니스 구조를 성공적으로 형성하였음



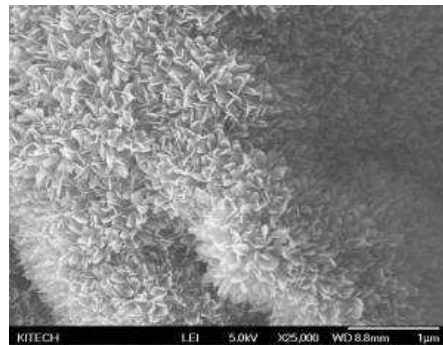
(a) 0 min



(b) 10 min



(c) 20 min



(d) 30 min

그림 6-4. 수열처리 시간에 따른 주사전자현미경(SEM) 사진

- 수열처리를 통한 마이크로-나노 러프니스 형성
 - 마이크로-나노 러프니스 처리가 완료된 샘플의 친수성을 평가하였음
 - 그림 6-5는 표면처리 유무에 따른 수접촉각 사진을 나타냄
 - 표면처리하지 않은 알루미늄 플레이트의 수접촉각은 85.4°, 샌드블라스팅 샘플 22°, 수열처리 샘플 <math>< 5^\circ</math>로 측정되었음
 - 샌드블라스팅 샘플의 경우 마이크로 러프니스 구조가 형성되었으나 나노 구조가 형성되지 않아 초친수 특성이 나타날 만큼 충분한 러프니스를 가지지 못함
 - 수열처리 샘플은 마이크로-나노 러프니스 구조가 형성되어 물방울을

떨어트리자마자 물방울이 퍼지며 표면이 젖는 것이 확인됨

- 마이크로-나노 러프니스 구조는 알루미늄 플레이트의 표면적을 증가시켜 친수성을 극대화시킴
- 즉, 수열처리를 통해 알루미늄 표면에 마이크로-나노구조를 형성시켜 친수성 표면을 제조할 수 있음

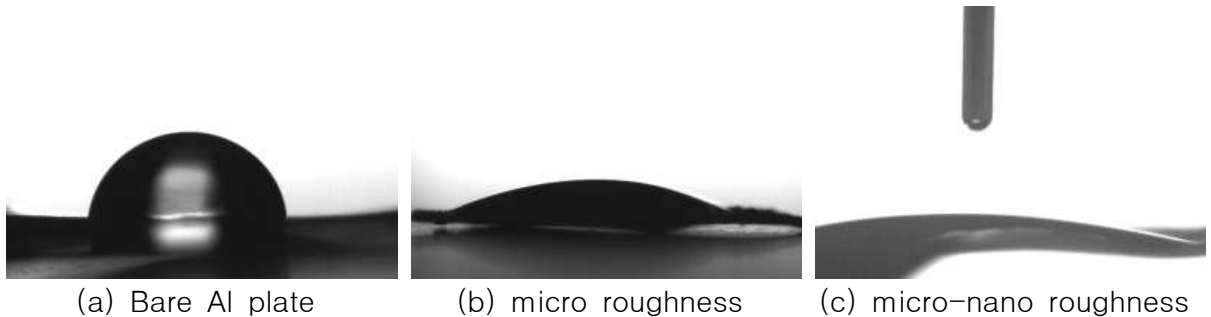


그림 6-5. 표면처리에 따른 수접촉각 사진

■ 알루미늄 플레이트 표면의 초친수화 기술 개발

- 초친수성이란 물에 강한 친화력을 가지는 성질로 초친수 표면 구현을 위해서는 러프니스뿐만 아니라 높은 표면 에너지가 요구됨에 따라 높은 표면에너지 구현을 위한 초친수 개질제의 개발이 필요함
- γ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane (γ -GPS)을 사용한 초친수 표면 설계
 - 그림 6-6에 γ -GPS의 기본 구조를 나타내었음
 - γ -GPS는 실란커플링제로서 가수분해가 가능한 메톡시 작용기가 알루미늄 플레이트 표면의 하이드록실기와 반응하여 표면개질이 진행됨
 - γ -GPS의 에폭시 작용기는 친수특성을 나타냄

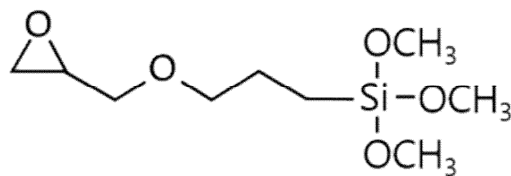


그림 6-6. γ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane의 구조

- γ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane (γ -GPS)을 사용한 초친수 코팅
 - γ -GPS를 사용하여 알루미늄 플레이트에 성공적으로 코팅하였으며 코팅 과정은 다음과 같음
 - 증류수를 코팅용매로 선정하여 용액의 농도를 1 wt%로 제조하였으며 원활한 표면개질을 위해 코팅용액을 24시간 동안 상온에 방치하여 γ -GPS를 가수분해시킴
 - 표면처리가 완료된 알루미늄 플레이트로 코팅용액에 60초간 dip-코팅을 진행한 후 98°C 오븐에서 1시간 동안 경화시킴
 - 표면 개질 여부를 확인하기 위해 FT-IR 분석을 수행하였으며 그 결과를 그림 7에 나타냄

- 그림 6-7에서 보는 바와 같이, 2882cm⁻¹와 2943cm⁻¹에서 γ -GPS 작용기의 개질에 의한 CH₂ stretching 피크가 형성된 것을 확인함
- 이러한 결과로 비춰볼 때 γ -GPS의 개질이 성공적임을 알 수 있음

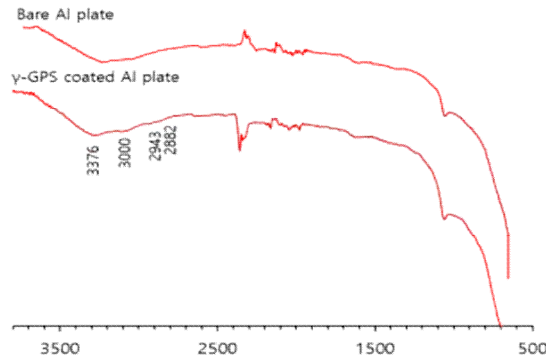


그림 6-7. γ -GPS 코팅 Al plate의 IR 스펙트럼

- Perhydropolysilazane(PHPS)을 사용한 초친수 표면 설계
 - Perhydropolysilazane(PHPS)은 Si-H 그룹과 Si-N 반복단위로 이루어진 무기고분자로 대기에 포함된 수분으로도 SiO₂ 나노층을 형성하는 특징을 가짐
 - SiO₂ 나노층은 친수 특성을 가지며 강한 내구성을 가지기 때문에 코팅제로 선정하였음

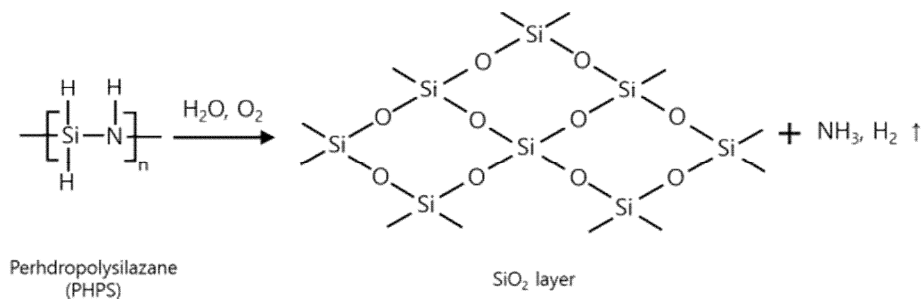


그림 6-8. Perhydropolysilazane (PHPS)의 구조

- Perhydropolysilazane(PHPS)을 사용한 초친수 코팅
 - Perhydropolysilazane (PHPS)을 사용한 코팅 방법은 다음과 같음
 - Di-n-butyl ether (DBE)를 코팅용매로 선정하여 용액의 농도를 1wt%로 제조하였음
 - 표면처리가 완료된 알루미늄 플레이트를 각기의 코팅용액에 60초간 dip-코팅을 진행하였음
 - 코팅한 플레이트를 150℃ 오븐에서 1시간 동안 경화시킨 후 SiO₂ 나노층 형성을 위해 수증기가 가득 찬 60℃ 오븐에서 12시간 동안 추가 경화시킴
 - PHPS의 표면개질 여부를 확인하기 위해 FT-IR 분석을 수행하였으며 그 결과를 그림 9에 나타내었음
 - 그림 6-9에서 보는 바와 같이, PHPS가 코팅 된 샘플은 2173 cm⁻¹에서 PHPS의 Si-H stretching 피크와 829, 918cm⁻¹에서 Si-N 피크가

형성한 것을 확인함

- 이는, 알루미늄 플레이트에 PHPS의 표면 개질이 이루어졌다는 것을 의미함
- 수증기가 가득 찬 오븐에서의 경화 후, PHPS의 Si-H 피크와 Si-N 피크가 사라졌으며 SiO₂의 Si-O stretching 피크와 vibration 피크가 1100-1100 cm⁻¹ 그리고 1100-1200cm⁻¹에서 나타난 것을 확인함
- 이는 수증기 하에서 PHPS가 SiO₂ 나노층으로 바뀌었다는 것을 의미함
- 또한, 3000-3500 cm⁻¹에서 나타나는 하이드록실 피크가 감소한 것으로 볼 때 알루미늄 표면의 Al-OH가 코팅으로 인해 감소한 것으로 판단됨
- 이러한 결과에 비춰볼 때 PHPS의 개질이 성공적임을 알 수 있음

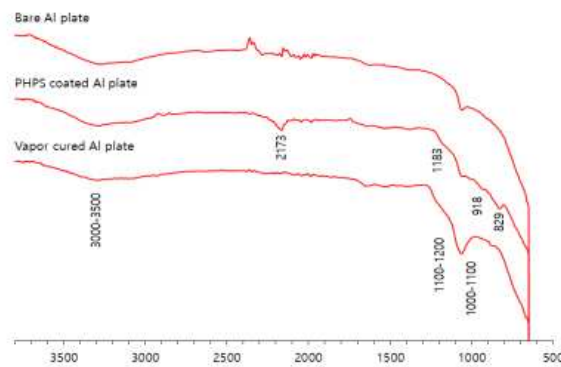


그림 6-9. PHPS 코팅 Al plate의 IR 스펙트럼

■ 제조된 알루미늄 플레이트 표면의 초친수 성능평가

- 표면 개질제에 따른 표면 특성
 - γ-GPS와 PHPS로 코팅한 알루미늄 플레이트의 초기 수접촉각을 측정하여 친수성을 평가함
 - 그림 6-10에 표면 개질제에 따른 초기 수접촉각 사진을 나타내었음
 - PHPS는 물이 표면에 닿자마자 퍼지는 초친수 성능을 보이는 반면에 γ-GPS는 21.7°의 수접촉각을 나타냄
 - 이는 γ-GPS의 에폭시 그룹이 친수 특성을 나타내지만, 발수 특성을 가지는 유기사슬에 의해 친수 성능이 감소한 것으로 판단됨
 - γ-GPS는 초친수 표면 개질제로 적합하지 않음을 확인하였음



γ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane :

21.7°



Perhydropolysilazane : < 5°

그림 6-10. 표면 개질제에 따른 초기 수접촉각

- PHPS의 농도에 따른 표면 특성
 - 0.5 wt%, 1 wt%, 2 wt%, 3 wt%로 농도로 60초간 Dip 코팅 후 초친수 특성을 확인함
 - 코팅한 샘플은 5 μ L의 물방울을 표면에 적하한 후 물이 표면에 퍼지는 속도로 초친수성을 측정함 (그림 6-11)
 - 0.5 wt%는 초기 수접촉각이 5° 이하로 초친수 특성을 보이지만 물방울 적하 후 20초가 지날 때까지 물이 표면에 완전히 젖지 않음 이는 너무 낮은 PHPS 농도로 인해 코팅 두께가 얇고 코팅이 균일하지 않았기 때문으로 판단됨
 - 1 wt%는 물방울을 표면에 떨어트린 후 2초 후에 물이 표면에 완전히 젖는 것이 확인됨
 - 2 wt%는 물방울을 떨어트린 후 0.3초 만에 물방울이 표면에 완전히 젖는 것이 확인됨
 - 이는 1 wt%를 사용했을 때 보다 10배 이상 빠른 속도임
 - 2 wt% 샘플의 표면을 주사전자현미경으로 확인해 본 결과 PHPS 코팅 이후에도 마이크로-나노 러프니스 구조가 살아있음이 확인됨 (그림 6-12)
 - 2 wt% 코팅이 마이크로-나노 러프니스 구조에 영향을 미치지 않음을 알 수 있음
 - 마이크로-나노 러프니스 구조와 SiO₂ 나노층의 높은 표면에너지로 가장 좋은 초친수 특성을 나타냄을 확인함
 - 3 wt%는 물방울을 떨어트린 후 20초가 지난 후에도 물이 표면에 완전히 젖지 않았으며 가장 큰 접촉각을 보임
 - 그림 6-12에서 보듯이, 너무 높은 코팅 농도로 인해 표면에 두꺼운 SiO₂층이 형성되며 기존의 러프니스 구조를 덮어버렸기 때문임
 - 이러한 결과로 비쳐볼 때 초친수 코팅에 적합한 농도는 2 wt%임이 확인되었음

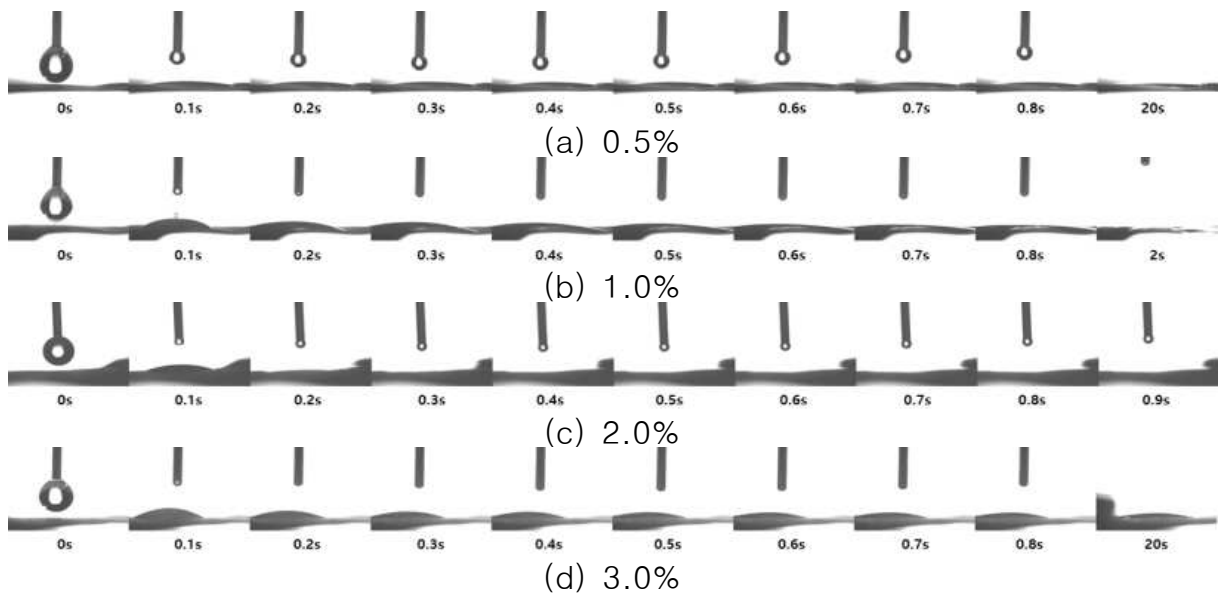
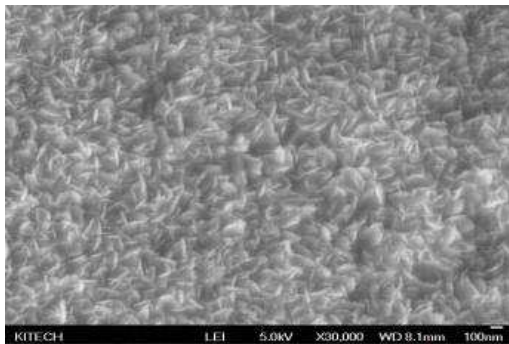
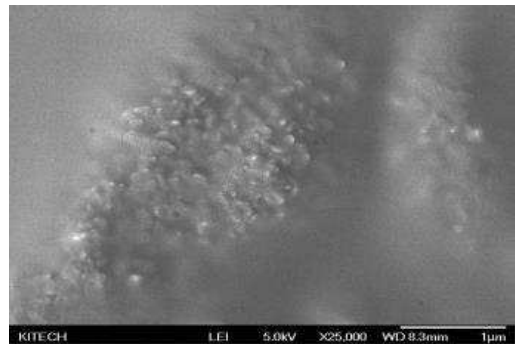


그림 6-11. 코팅용액의 농도에 따른 젖음성 평가



(a) 코팅용액 농도 2wt%



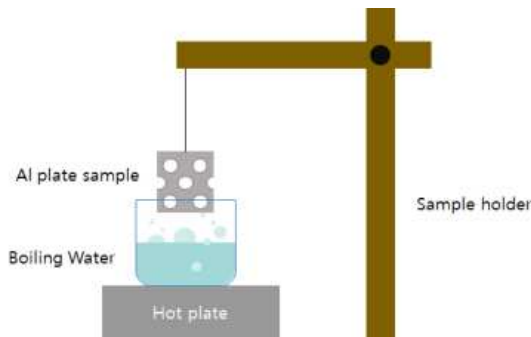
(b) 코팅용액 농도 3wt%

그림 6-12. 코팅용액 농도에 따른 알루미늄 플레이트 표면 SEM

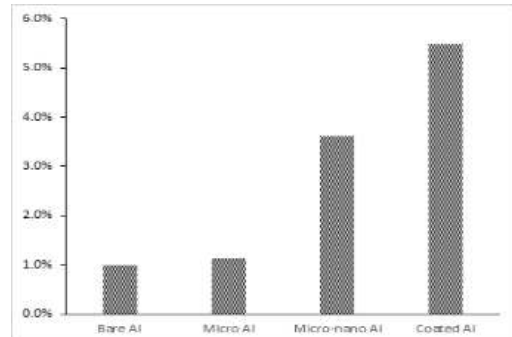
• 함수율 평가

- 함수율 측정 실험 장치와 그래프를 그림 13에 나타내었음
- 함수율의 측정 방법은 다음과 같음
- 알루미늄 플레이트 샘플을 샘플 홀더에 묶어 끓는 물 위 증기 속에 2분간 노출시킴
- 수증기를 흡착한 샘플과 완전히 건조된 샘플의 무게 차이로 함수율을 계산함
- Bare 알루미늄 플레이트와 마이크로 러프니스를 가진 알루미늄 플레이트의 함수율은 각각 1.0%와 1.1%로 표면에 물이 거의 흡착하지 않음
- 이는 표면이 친수성을 갖지 않아 샘플 표면에 물 분자가 얇게 퍼지며 수막을 형성하지 않고 큰 물방울로 맺혀 아래로 떨어졌기 때문임
- 마이크로-나노 러프니스 알루미늄 플레이트의 경우 3.6%의 함수율을 나타냄

- 높은 표면적을 가지는 마이크로-나노 구조가 표면을 친수로 만들어 상대적으로 많은 물이 흡착될 수 있기 때문임
- PHPS 코팅 처리를 한 알루미늄 플레이트의 경우 가장 높은 5.5%의 흡수율을 나타냄
- 코팅하지 않은 샘플보다 1.5배 높은 값을 보이며 아무런 처리를 하지 않은 Bare 플레이트보다 5배 이상 많은 양의 물을 흡착하는 것을 확인함
- 이는 높은 표면에너지를 가지는 나노 SiO₂ 층으로 인해 초친수 표면이 형성되어 작은 물분자가 더 쉽게 흡착하기 때문임
- 이러한 결과로 비취볼 때 코팅샘플이 가장 좋은 초친수 특성을 나타냄을 확인함



(a) 흡수율 측정장치 모식도



(b) 흡수율 측정 그래프

그림 6-13. 흡수율 측정 장치 및 그래프

표 6-1. 샘플의 흡수율 테스트에 따른 무게 변화

샘플명	테스트 전	테스트 후	흡수율
Bare Al	0.487 g	0.4615 g	1.0 %
Micro Al	0.4876 g	0.4931 g	1.1 %
Micro-nano Al	0.4336 g	0.4493 g	3.6 %
Coated Al	0.5265 g	0.5553 g	5.5 %

- 알루미늄 초친수 냉각패드가 적용 복합열교환기 설계
 - Module형 초친수 Fin 적용 Hybrid H/X Pad 용량설계
 - 열교환기 용량 선정
 - 기존 쿨링 패드 대체와 냉/난방 병합을 위한 Lab. scale 용량 1 kW 용량 선정
 - 1 kW 열교환기 적용을 위한 Air to water 사이클 해석진행
 - 전열량은 관내 측과 공기 측의 평균값을 사용하였고 여기서 \dot{m}_o , \dot{m}_i 와 c_{po} , c_{pi} 는 공기와 물의 질량유량과 정압비열이며 T_o , T_i 는 유입공기와 물의 온도임

· 열교환기 UA는 Unmixed-unmixed cross-flow에 대한 ϵ -NTU 관계식 이용

$$Q = (Q_o + Q_i)/2$$

$$Q_o = \dot{m}c_{p_o}(T_{o2} - T_{o1})$$

$$Q_i = \dot{m}c_{p_i}(T_{i1} - T_{i2})$$

$$\epsilon = 1 - \exp\left[-\frac{NTU^{0.22}}{C_r} \{ \exp(-C_r NTU^{0.78}) - 1 \} \right]$$

$$\epsilon = Q/Q_{\max}$$

$$C_r = \frac{(\dot{m}c_p)_{\min}}{(\dot{m}c_p)_{\max}}$$

$$UA = (\dot{m}c_p)_{\min} NTU$$

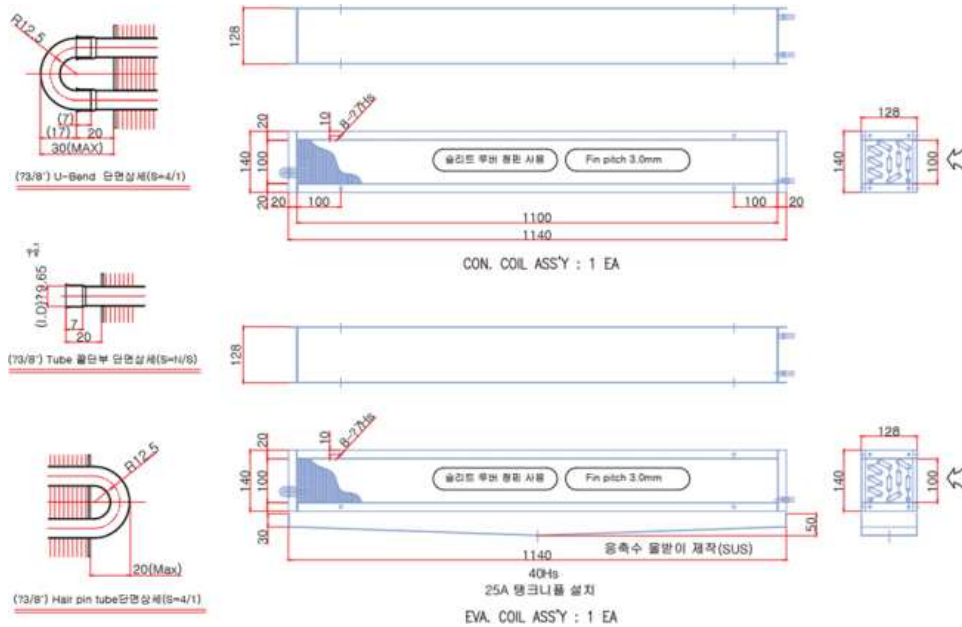


그림 6-14. 초친수 알루미늄 플레이트 적용 1 kW급 열교환기 설계

표 6-2. 설계 프로그램 활용 열교환기 용량 검증

Air side		Heat exchanger design data
Inlet	D.B.T [°C]	49.41
	W.B.T [°C]	46.22
Outlet	D.B.T [°C]	65.00
	W.B.T [°C]	47.82
Volumetric flow rate [m ³ /min]		6.30
Heat capacity [kW]		1.735

■ 최적 Fin pitch, Thickness, Tube diameter 선정

- 열교환기 용량 대비 초친수 알루미늄 플레이트 적용을 위한 상세 설계 진행
- 초친수 처리공정 후 확산 조립공정 적용으로 젖음성과 성능확보를 위한 최적화
- 최적 Fin pitch 2.5 mm, Thickness 0.15 mm, Tube diameter : 3/8 inch 선정

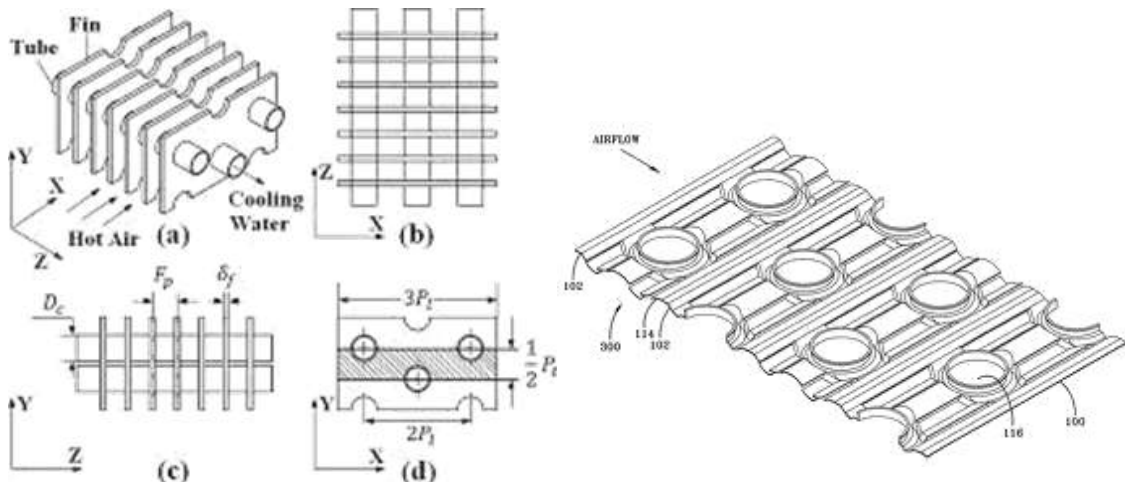


그림 6-15. 초친수 알루미늄 플레이트 적용 열교환기 최적 설계

■ 유입 온도, 습도에 따른 기류특성 분석

- 온실 열환경 제어를 위한 열원시스템의 설계를 수치해석을 이용하여 검증
- 대상 온실 : 시설재배용 비닐하우스(단동)
- 대상 시설 재배용 온실 규모: 568 m³
- 온실 열환경 제어 방식 : Fan coil unit을 이용한 내부 공기순환 형식
- 온실 내부 기류특성 분석을 위한 격자를 생성하였고, 공기의 유속이 급격히 변화하는 Fan coil unit 주변은 조밀한 격자를 적용함 (수치해석에 적용된 격자수는 538,265개)
- 시설재배용 온실의 수치해석은 냉방운전과 난방운전으로 구분하여 수행하였으며, 냉난방운전 시 외기온도는 히트펌프 시험평가 규격에 따라 -

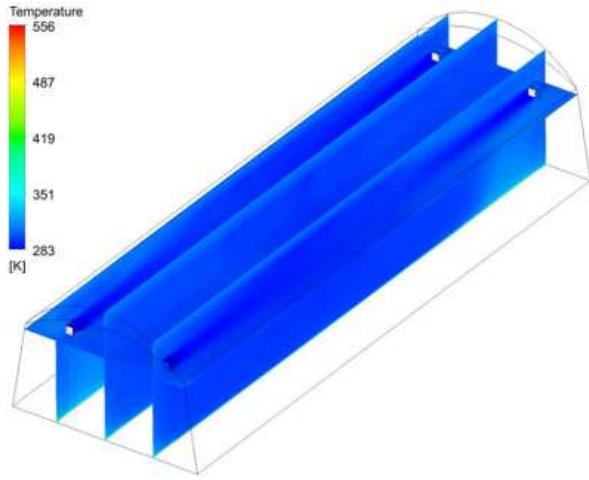
7℃와 35℃로 선정하여 수치해석 수행

- 시설재배용 비닐하우스의 냉방 시 외부에서 유입되는 태양열은 미국 냉동공조학회 기상데이터인 IWEC 데이터를 기반으로 대전지역 7월 정도의 태양열의 평균값을 적용

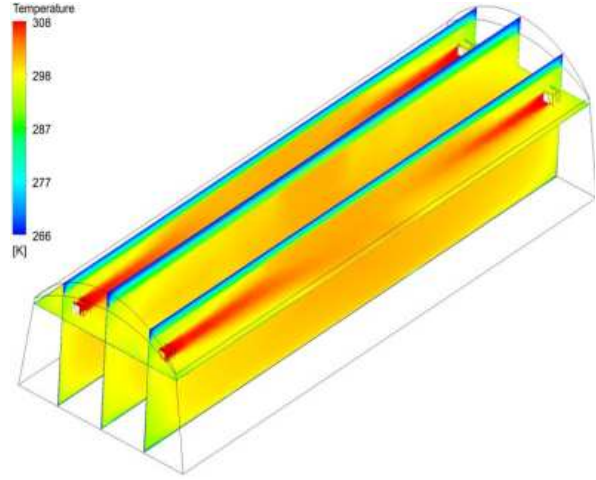
표 6-3. 시설재배용 온실의 기류분석을 위한 경계조건

Fan coil unit의 토출 공기유속 [m/s]	4
Fan coil unit의 토출 공기유량 [kg/s]	4.64
Fan coil unit의 토출 공기온도(냉방) [℃]	10
Fan coil unit의 토출 공기온도(난방) [℃]	35
외기온도 (냉방) [℃]	35
외기온도 (난방) [℃]	-7
외부에서 유입되는 열량 (냉방) [kW]	85.2
외부로의 열손실 (난방) [kW]	54.9

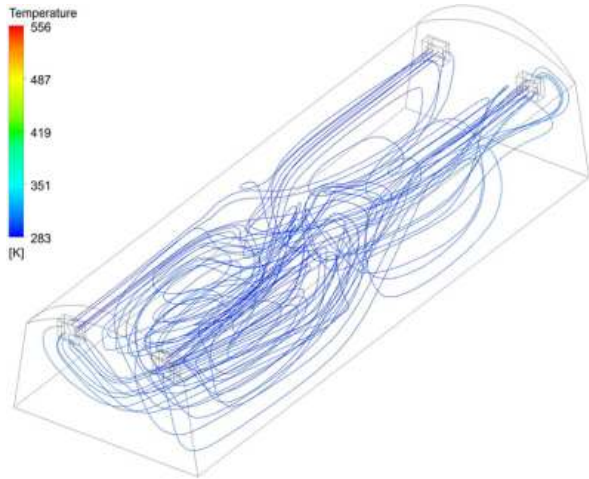
- 수치해석 결과
 - 냉난방 시 Fan coil unit 부근에서 급격한 온도변화가 관찰되고, 비닐하우스 하부로 내려갈수록 온도 분포가 균일해지는 것을 확인할 수 있음
 - 난방 시 비닐하우스 상부 단열을 위한 빈공간의 온도는 낮게 유지되지만 작업공간의 대부분의 온도는 균일하게 유지되는 것을 확인할 수 있음
 - Fan coil unit 부근에서 공기의 유속이 가장 빠르며, 비닐하우스 중심부까지 유속을 유지하는 것을 확인할 수 있음
 - 냉난방 시 공기의 유선을 살펴보면 큰 Dead zone 없이 전체적인 유동이 관찰됨을 확인



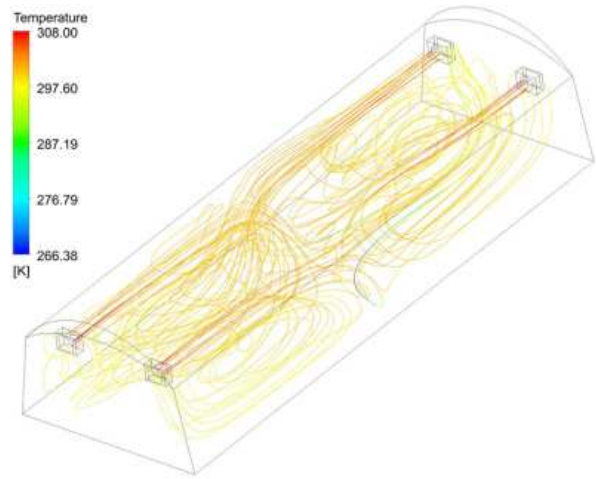
(a) 냉방 시 온실 내부 온도분포



(b) 난방 시 온실 내부 온도분포



(c) 냉방 시 온실 내부 기류분포



(d) 난방 시 온실 내부 기류분포

그림 6-16. 냉난방에 따른 온실 내부 온도 및 기류분포 해석결과

- Lab. scale Hybrid H/X Pad 성능시험 장치 설계 및 구축
 - 초친수 알루미늄 플레이트를 적용한 열교환기의 성능을 검증하기 위해 온도, 유량제어 장치를 겸비한 성능시험 장치를 설계
 - 장치는 순환펌프를 이용해 냉수, 온수를 순환시키고 냉방과 난방운전을 병행하여 실험할 수 있도록 온도제어용 항온조를 설치하여 순환수 온도를 제어함
 - 본 성능시험 장치를 이용해 하이브리드 방식 열교환기를 상사하여 실험함으로써 가로, 세로, 폭, Tube 배열 등을 검증하고 결과분석을 통해 최적 조건을 설정하고자 함

표 6-4. Lab. scale Hybrid H/X Pad 성능시험 장치 Part list

	품목	규격
1	Heat exchanger	1 kW
2	Micro gear pump	M1916 / DA8016 (Connection port 3/4")
3	Receiver	1 liter (Connection port 5/8")
4	Pressure sensor	-1 ~ 30 bar (Terminal version)
5	Temperature sensor	1/16 inch RTD
6	Refrigerant mass flow meter	Oval CN006 (Connection port 1/2")

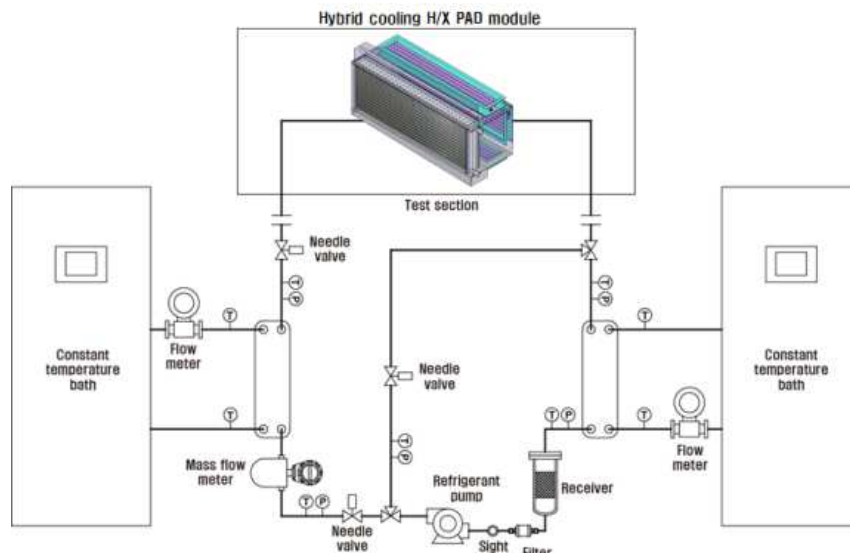


그림 6-17. Lab. scale Hybrid H/X Pad 성능시험 장치 개략도

- 쿨링패드 이용 Fan & Pad, 증발냉각 시스템 사이클 해석 및 설계
 - 분사노즐, 열원공급 및 분무 Pump, 3중 환기 Fan 용량설계
 - 기류분석 결과를 반영한 저소음 Cross fan (MFD930-24) 선정
 - EES 프로그램을 이용한 사이클 해석 모델 개발
 - 열원공급 시스템 성능에 따른 냉방 난방능력 및 성능파악
 - 외부온도 변화에 따른 성능파악

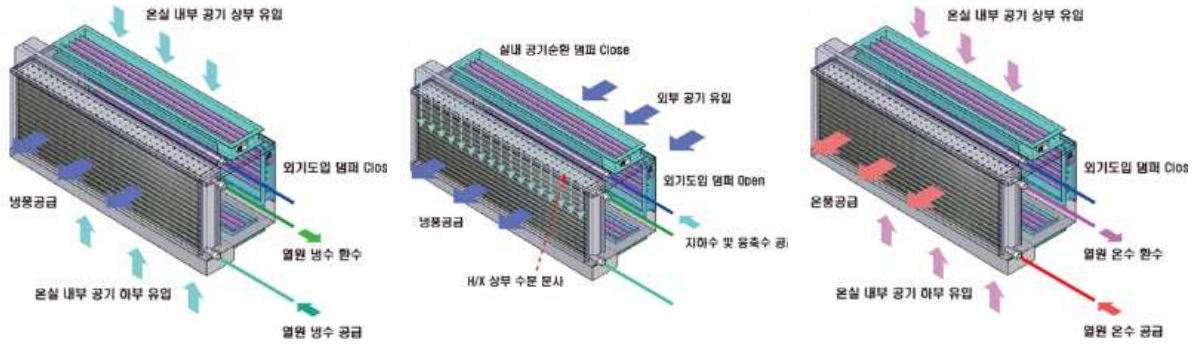


그림 6-18. Lab. scale Hybrid H/X Pad 운전방식

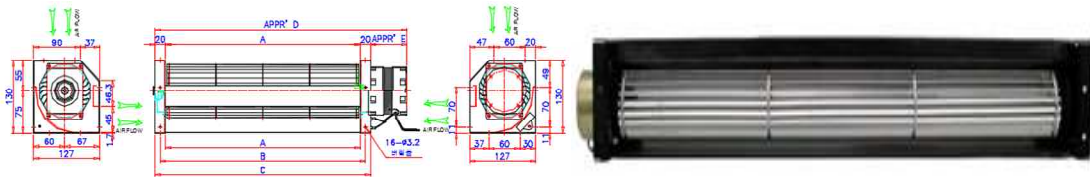


그림 6-19. Hybrid H/X Pad 적용 3종 환기 Fan 선정

■ 증발냉각 시스템 적용 냉방 난방 사이클 해석

• 냉방 사이클 해석

- 외기온도 30, 35, 40도 조건에서 해석을 수행하였으며, 외부공기가 하이브리드 열교환 패드에서 냉각되어 공기 토출구를 통해 온실 내부로 공급되는 방식으로 사이클 해석 수행

• 난방 사이클 해석

- 외기온도 5도 조건에서 해석을 수행하였으며, 외부공기가 하이브리드 열교환 패드에서 가열되어 공기 토출구를 통해 챔버 내부로 공급되는 방식으로 사이클 해석 수행

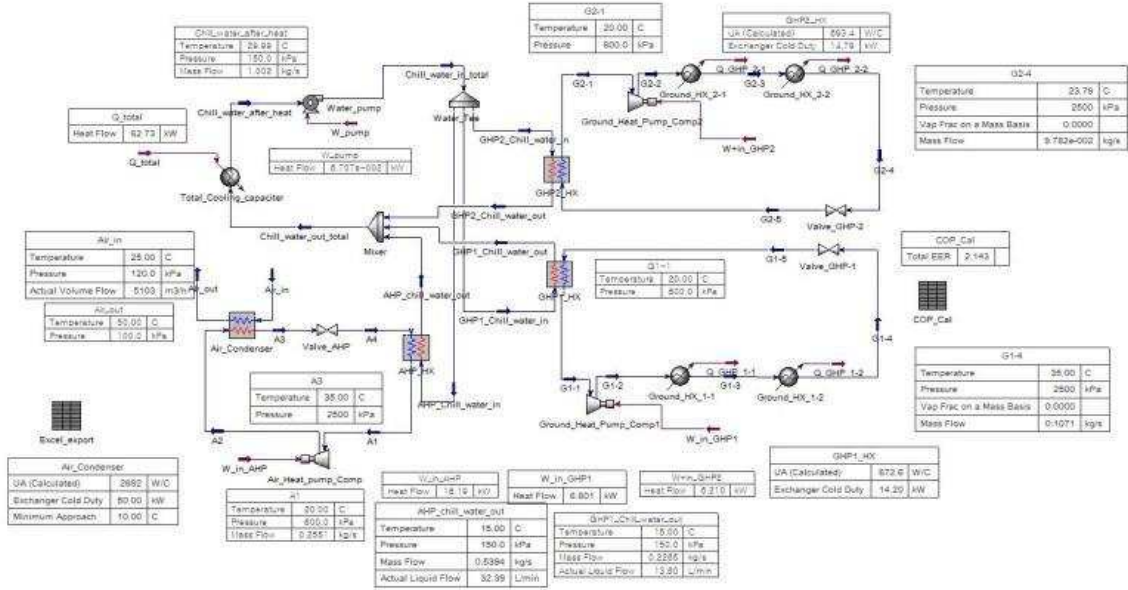
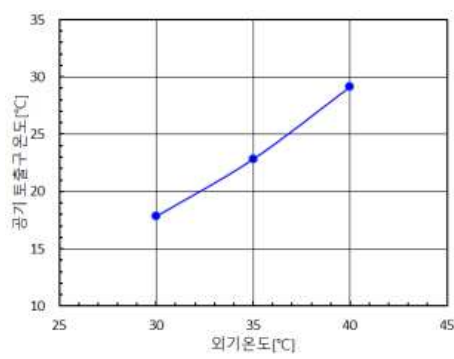


그림 6-20. 냉방 난방운전 사이클 해석결과



운전모드	열교환 능력
냉방운전 외기 30°C	720.1 W
냉방운전 외기 35°C	730.8 W
냉방운전 외기 40°C	657.1 W
난방운전 외기 5°C	842.5 W

그림 6-21. 냉방 난방운전 시 외기온도에 따른 토출 공기온도 변화 및 열교환 능력

(2) 1단계 2년차

○ 연구 목표

- 이상기후에 따른 온실 냉방 부하 절감과 기존 냉각 PAD의 효율 향상을 위하여 금속표면 초친수 처리기술과 증발냉각 기술을 접목한 하이브리드 열교환 PAD 개발

○ 연구수행 내용 및 결과

- 하이브리드 쿨링패드 경쟁제품/시장분석
 - 중국과 동남아시아 위주의 기술개발과 사업화 진행
 - 국내의 경우 축사와 돈사에 초기투자비가 비교적 낮아 보급이 확대
 - 낮은 증발냉각 효과와 표면 오염문제, 동절기 난방운전 불가로 축소 추세

표 6-6. 증발 냉각 패드 대표적 경쟁제품

기업	국가	제품명 및 특징	제품사진
SANHE	China	Evaporative cooling pad - 상부 분사 단순 증발냉각 효과 - 하절기 전용, 난방운전 불가 - 부직포 장시간 운전 시 오염발생	
ZEPHYR	India	Evaporative cooling pad - 상부 분사 단순 증발냉각 효과 - 하절기 전용, 난방운전 불가 - 부직포 장시간 운전 시 오염발생	
HAIYEN	Vietnam	Khung cooling pad - 상부 분사 단순 증발냉각 효과 - 하절기 전용, 난방운전 불가 - 부직포 장시간 운전 시 오염발생	
CONDAIR	Switzerland	Condair SH2 - 상부 분사 가습기술 적용 - 가습 효과 극대화 & 증발 냉각 - 별도 수처리 장치 내장	

- 하이브리드 쿨링 패드의 국내 시장규모는 HVAC 시장의 요소기술 부분으로 열교환기와 더불어 800억 규모로 예상되며, 글로벌 시장 즉, 중동시장과 동남아시장을 포함한 경우 5,000억 규모로 예상됨.
- 열교환기 적용 가능한 초친수 알루미늄 시트형 냉각 PAD 제조 및 내구성 향상 기술 개발
- 초친수 AL Fin coating 기술 개발
 - 물방울과 금속표면이 이루는 각도인 접촉각으로 물의 젖음성을 평가할 수 있으며 초친수 표면은 물의 접촉각이 5° 이하인 표면을 말함
 - 초친수 표면을 구현하기 위해서는 표면에 두가지 조건, 즉 표면의 거칠기와 친수성 작용기가 구현돼야 함
 - AL Fin에 표면 거칠기를 유도하기 위한 방법은 산/염기 등의 식각, 레이저 가공 등이 있지만 부식을 막고 대면적에 적용하기 위해서는 1차년도에 최적화하였던 Sand blasting 공법을 사용하여 표면 거칠기를 형성함
 - 표면 거칠기를 극대화하기 위해서는 Micro 단위의 거칠기와 Nano-size의 거칠기가 모두 있는 계층적 거칠기가 바람직함에 따라 Sand blasting으로 Micro 크기의 거칠기를 부여하고 이를 고온의 물에 처리하여 Nano-meter 크기의 거칠기를 부여함으로써 계층적 거칠기를 유도하였음

- 또한 AL Fin 표면이 친수성 작용기를 나타내기 위한 Coating은 1차년도에 PHPS Coating의 우수함을 확인하였기에 PHPS Coating으로 진행함
- PHPS Coating은 최종적으로 Nano-meter 두께의 실리카(SiO_2)로 코팅층을 형성하기 때문에 매우 친수성이 높을 뿐만 아니라 안정한 실리카로 인해 부식 등의 문제를 야기하지 않으며 이는 염수분무테스트로 확인하였음



그림 6-22. AL Fin 1차 표면 거칠기 가공용 Sand blaster

- Hybrid 냉각 PAD용 초친수 AL Fin 제작
 - 초친수 표면 처리 공정기술 개발
 - Copper 전열관 삽입을 위하여 Hole 가공이 된 AL Fin plate 200 장을 그림 6-24와 같은 공정을 통하여 초친수 표면 처리를 진행함

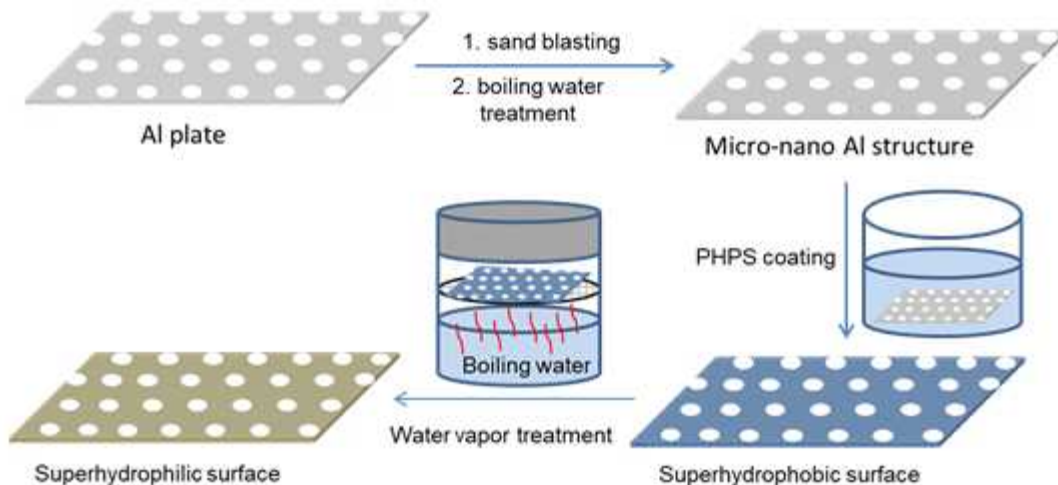


그림 6-23. Hybrid 냉각 PAD용 초친수 AL Fin 제작 모식도

표 6-5. 초친수 처리 AL Fin 제원

제조사	(주) 우성에이스
AL 계열	50 계열
Hole size	9.84 mm (40 Hole)
Plate size	255 × 88 mm
Thickness	0.11 mm



(a) 초친수 처리 전 AL Fin



(b) 초친수 처리 후 AL Fin

그림 6-24. Hybrid 냉각 PAD용 AL Fin 사진

- AL Fin을 Sand blasting 처리를 통해 1차 표면 거칠기 가공을 진행함
- Sand size 120 mesh 크기의 Al_2O_3 입자를 사용하였고, Blasting 압력은 2.5bar, Blasting nozzle 직경은 6 mm, Blasting 분사각도는 90° , Nozzle과 Fin 간격은 200 mm, Sand blasting 처리 시간은 30초로 진행함
- 1차 Sand blasting 처리로 Fin 표면에 Micro size의 거칠기를 부여하고 고온수에 20분간 침전처리 후 $120^\circ C$ Oven에서 3시간의 건조하여 계층적 거칠기가 부여된 AL Fin을 제작하였음.
- 1차년도에 확정된 PHPS 농도 2%(용매: di-n-butyl ether)로 제조된 용액에 Fin을 Dip coating으로 2차 처리를 진행하였고, $150^\circ C$ Steam oven에서 3시간 가교를 통해 최종 시제품인 초친수 특성을 갖는 AL Fin 200 장을 제작함



(a) 농도 2% PHPS 용액
Dip coating



(b) 150°C Steam oven
3시간 가교



(c) 세척 후 완성된 AL Fin
최종 시제품

그림 6-25. Hybrid 냉각 PAD용 AL Fin 제작 사진

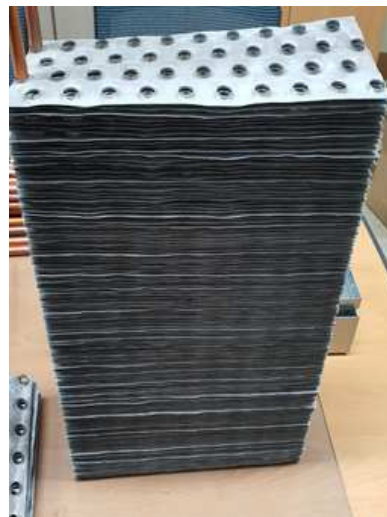


그림 6-26. Hybrid 냉각 PAD용 AL Fin 적층 사진

■ 내염수 특성 내구성 평가

- 아무런 처리를 하지 않은 Bare 알루미늄 플레이트, 러프니스가 형성된 플레이트, 코팅이 완료된 플레이트의 내염수 특성을 확인함
- 5 wt%의 NaCl 용액에 플레이트를 담지하여 시간의 변화에 따른 표면 변화를 관찰함
- Bare 알루미늄 플레이트의 경우 테스트 진행 96시간 이후 표면의 변화가 발생
- 러프니스 형성 후 코팅을 실시하지 않은 경우 24시간 만에 표면 변화가 발생하는 것을 확인
- 표면의 러프니스로 인한 비표면적 증가와 표면 보호층이 제거되어 부식의 가속화가 발생한 것으로 보임
- PHPS 코팅을 실시한 경우 720시간 경과 후 표면의 변화가 확인되지 않음
- PHPS가 친수성 향상 및 보호 층을 형성하여 내부식성이 향상된 것으로 판단됨

• PHPS 코팅이 친수성 및 내구성을 크게 향상시키는 것을 확인하였음

표 6-6. 염수분무 시간에 따른 알루미늄 플레이트 표면 변화

	0h	12h	24h	96h	240h	480h	720h
Bare							
러프니스							
코팅							

- 내염수 테스트 진행 후, 코팅 샘플에 대한 초친수 특성을 확인함 (그림 6-27)
- 내염수 테스트를 완료한 샘플표면에 5 μ L의 물방울을 적하한 후 물이 표면에 퍼지는 속도를 측정함
- 물방울을 떨어트린 후 0.3초 만에 물방울이 표면에 완전히 젖는 것이 확인됨
- 이는 내염수 테스트 전과 동일한 결과로 PHPS 코팅의 염수에 대한 우수한 내구성을 확인함

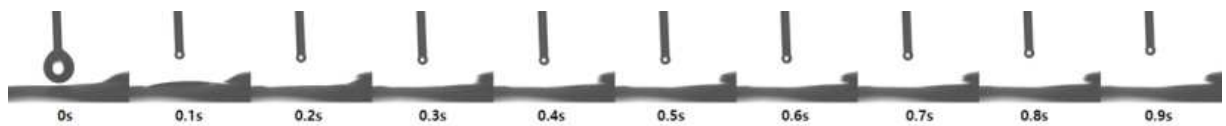




그림 6-27. 내염수 테스트 후 코팅 샘플의 초친수 특성 변화

시험성적서

한국기술교육대학교 산학협력단 충남 천안시 동남구 용성로 1600 Tel : 041-580-4881 Fax : 041-580-4896	성적서번호: G2021-1158G 페이지(1)/(총 2)	
---	---------------------------------------	---


1. 의뢰자
 - 기관명: 한국생산기술연구원
 - 주소: 충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89
2. 시험대상품목/물질/시료 설명: 코팅 알루미늄 플레이트 2종
3. 시험기간: 2021. 11. 08. - 2021. 12. 08. (720 시간)
4. 시험방법: 중성염수분무시험
5. 시험결과: 빗장참조(2페이지)

이 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
 성적서 권위확인용 (전화) 041-580-4880, (이메일) ric@koreatech.ac.kr로 연락주시길 바랍니다.

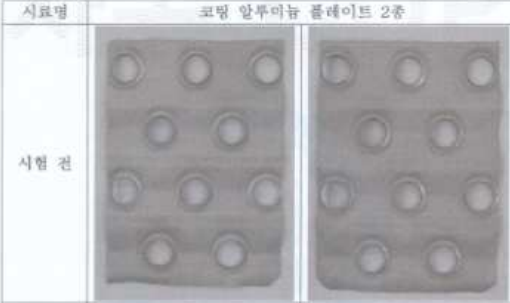
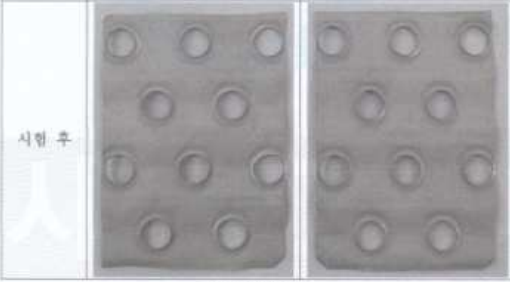
작성자 성명: 박도준	기술책임자 성명: 권수경	2021. 12. 09 
----------------	------------------	---

한국기술교육대학교 공용장비센터 (인)

시험성적서

한국기술교육대학교 산학협력단 충남 천안시 동남구 용성로 1600 Tel : 041-580-4880 Fax : 041-580-4896	성적서번호: G2021-1158G 페이지(2)/(총 2)	
---	---------------------------------------	---

- 시험용액: 5% NaCl
 - 시험온도: 35 ℃
 - 시험사건: 코팅 알루미늄 플레이트 2종

	코팅 알루미늄 플레이트 2종
시료명	
시험 전	
시험 후	

#부식 발생 없음

그림 6-28. 내염수 테스트 공인인증 시험성적서

- Lab. scale 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 제작 및 성능평가
 - Lab. scale 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 제작
 - 1차년 초친수 AL Fin 표면처리 결과를 바탕으로 Plate 제작
 - 초친수 AL Fin 200장 적용 열교환기 설계 (3/8 inch × 4R × 10S)
 - Plate coating 마감 후 Tube 조립과 U band 용접접합
 - 상부 Spray tray 설계 및 제작 (7/8 inch pipe / 6° 3 hole 470 mm)
 - 하부 물받이 Tray 및 배수 Port 설치



그림 6-29. 초친수 AL Fin 제작 및 조립

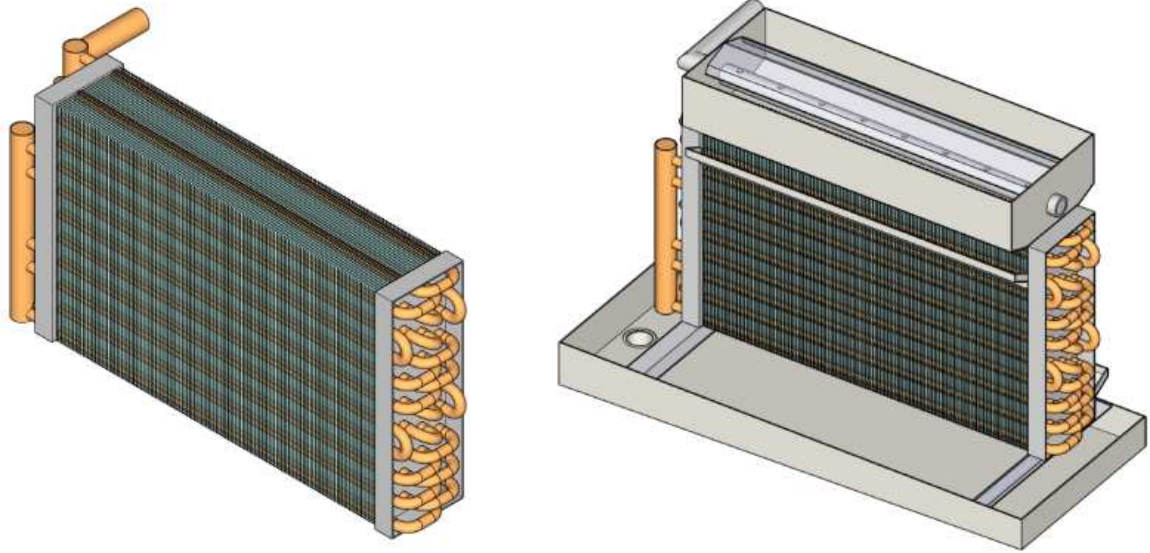


그림 6-30. 초친수 AL Fin 적용 열교환기 및 Spray tray 제작

- 초친수 냉각 PAD 하우징 설계 및 제작 : 외기 도입부와 취출부를 고려한 Module housing 설계
- 하부 물받이 Tray 구매 조건 선정 Port 15A
- Housing 562 × 375 × 220 mm : Fan 설치 간격 102 mm (응축수 비산방지)
- 초친수 열교환 PAD 외기도입 및 공급을 위한 Fan $\varnothing 200 \times 9W \times 4P$ 설치
- Fan speed 조절용 제어기 설치 (풍속 1.0 ~ 1.5 m/s 제어)
- 외기도입 및 응축수 비산 방지용 가이드 베인 3개소 설치

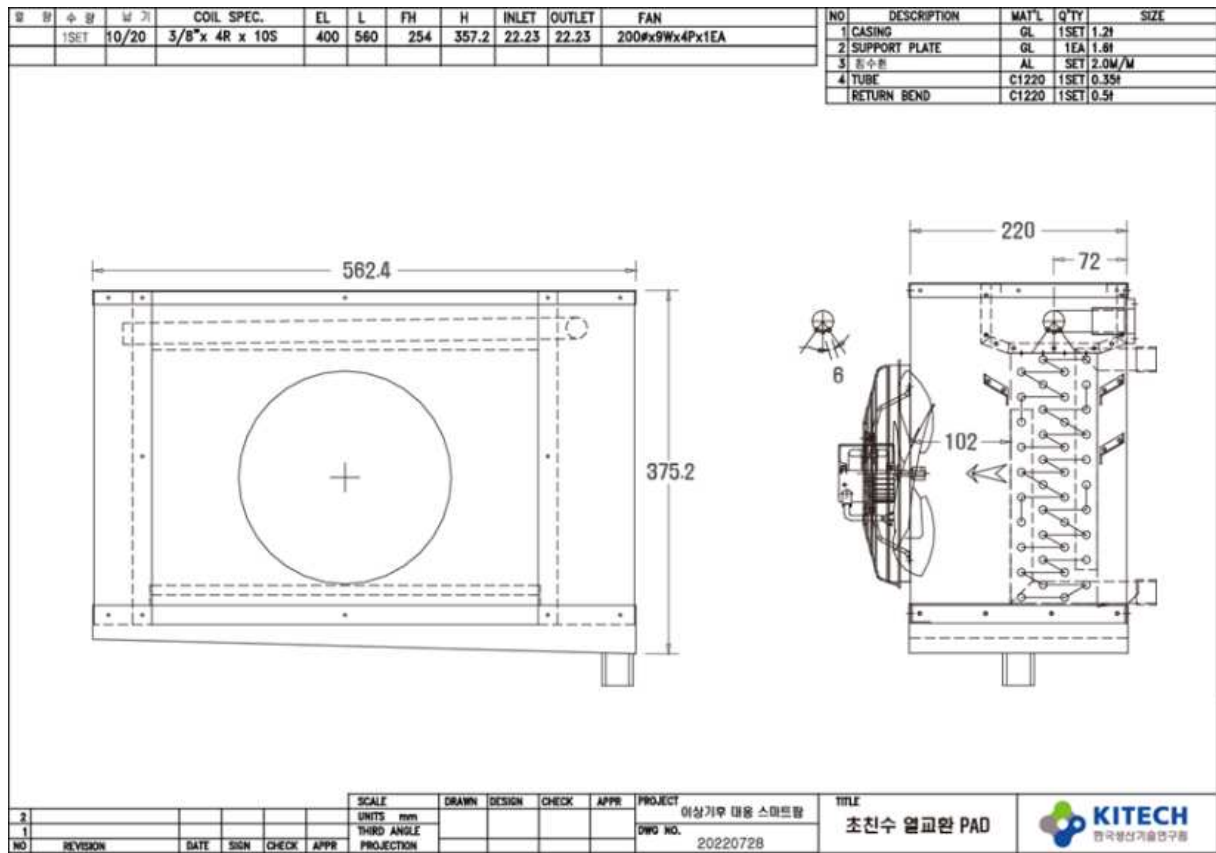


그림 6-31. 초친수 AL Fin 적용 열교환기 설계도면

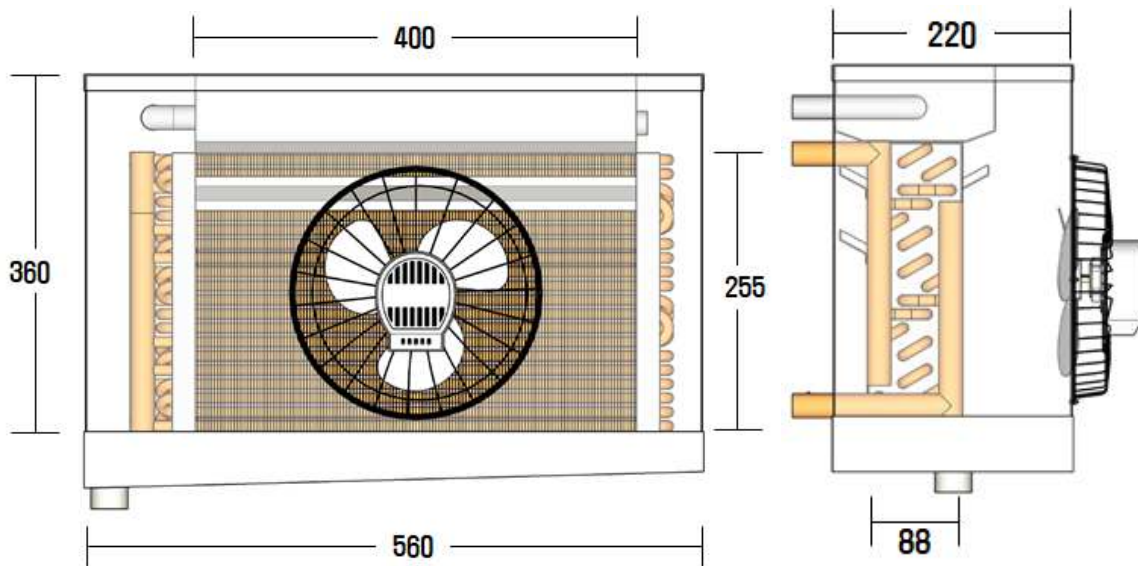


그림 6-32. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 외형

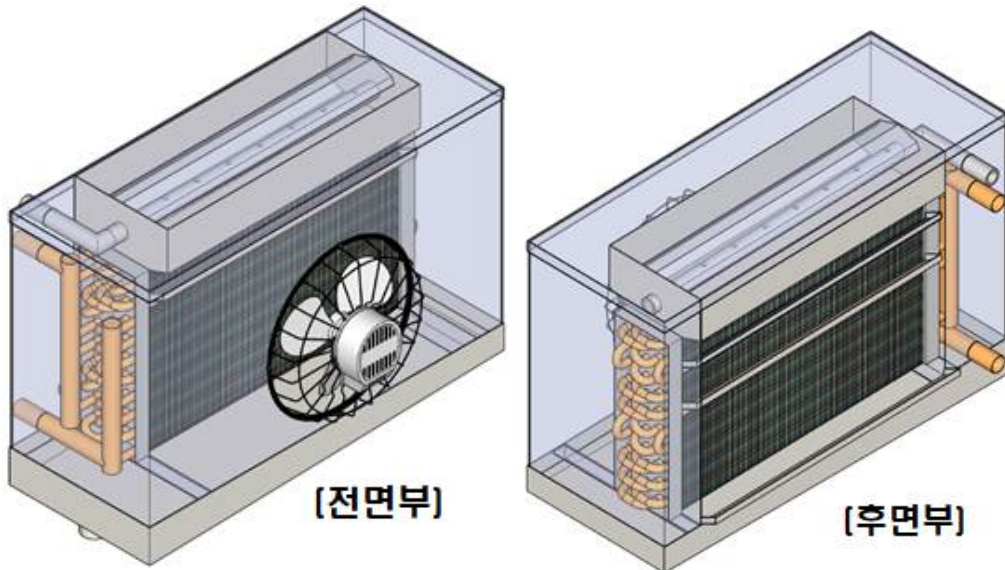


그림 6-33. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 모델링



그림 6-34. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 사진 및 AL Fin 형상

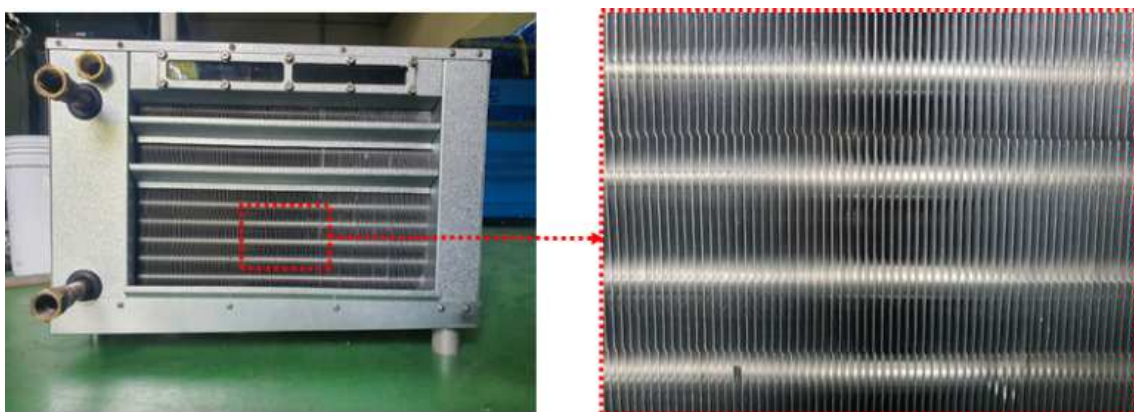


그림 6-35. 기존 Fin 적용 H/X module 사진 및 AL Fin 형상

- Lab. scale 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 성능평가 방법
 - 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 성능평가 실험장치 설계 및 제작
 - 아크릴 덕트 제작 (400 mm × 250 mm × 600 mm) H/X Module 전

면부 설치

- 냉수 및 온수 공급을 위한 5 kW급 항온조와 일정 유량 제어를 위한 유량계 설치
- 증발 냉각을 위한 지하수 또는 시수 모사 공급용 항온조와 유량계를 설치하여 동일유량을 공급 이때 상부 Tray에서 분무되는 유량과 풍속의 밸런스 제어로 비산 최적화 설정
- 기존 열교환 Fin 적용과 초친수 Fin 적용 PAD module 제작 비교 실험 진행
- Hybrid H/X module 냉각능력과 가열능력 그리고 증발 냉각능력 비교 실험 진행

표 6-7. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 성능실험 조건

Parameter	Condition
Chilled water temperature (°C)	10
Chilled water flow rate (LPM)	17.5
Spray water temperature (°C)	17
Spray water flow rate (LPM)	10
Hot water temperature (°C)	45
Hot water flow rate (LPM)	17.5
Cooling outdoor temperature (°C)	28, 30, 32, 34
Heating outdoor temperature (°C)	10, 12, 14, 16
Air velocity (m/s)	1.3

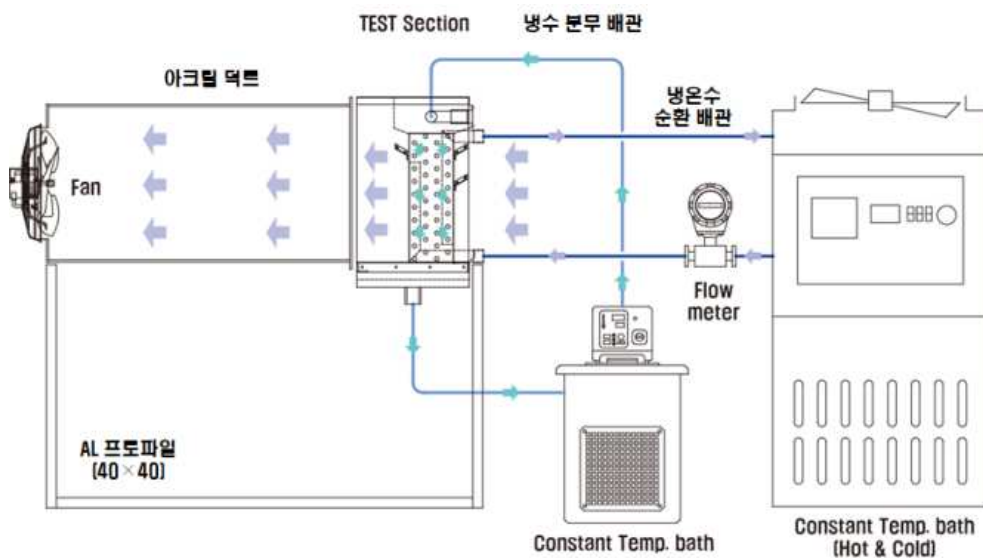


그림 6-36. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 성능실험 장치 개략도

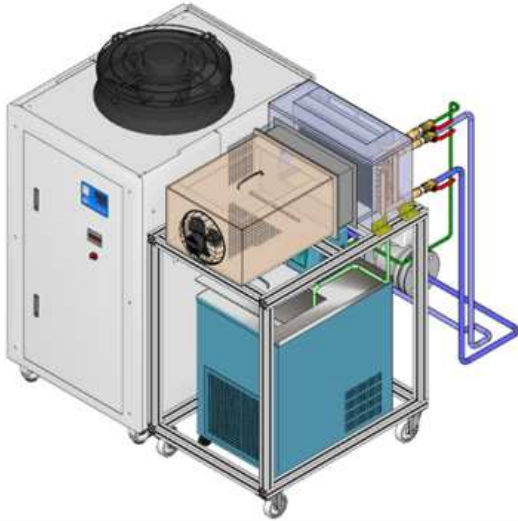


그림 6-37. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 성능실험 장치 모델링 및 사진

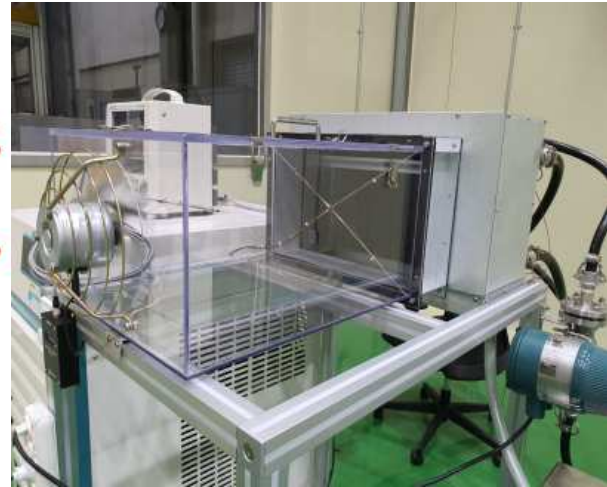
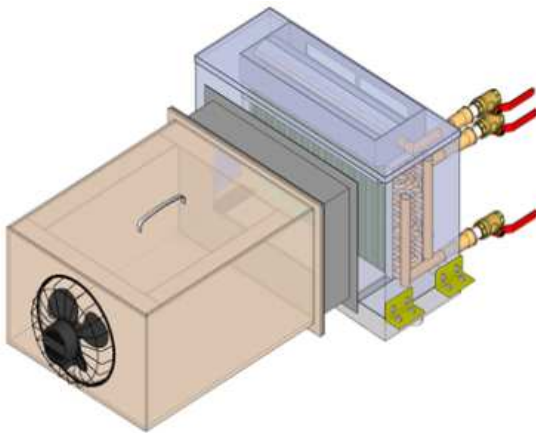


그림 6-38. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module TEST Section

- Lab. scale 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 성능평가 결과
 - 성능평가는 초친수 Fin을 적용한 H/X PAD와 기존 Fin을 적용한 PAD의 증발 및 냉각능력 그리고 가열능력을 비교 실험을 통해 성능을 분석함
 - 실험조건은 표에 나타낸 것과 같이 하절기와 동절기 외기조건을 변화하여 성능변화를 측정함
 - 증발 냉각운전의 경우 Spray 분사량과 풍속에 따라 응축수 비산의 영향을 분석한 결과 풍속 1.3 m/s에서 기존 Fin을 적용한 PAD에서 100 mm ~ 200 mm의 응축수 비산 현상이 나타났으며, 초친수 Fin을 적용한 H/X PAD의 경우 젖음성 향상효과로 인하여 비산이 발생하지 않는 것으로 나타남.
 - 하절기 강제 냉각조건으로 실험한 결과 외기온도가 상승함에 따라 냉각능력이 동일하게 상승하는 경향을 나타내었으며, 기존 Fin을 적용한 PAD의 경우 냉각능력이 2.68 ~ 3.08 kW로 초친수 Fin을 적용한 PAD 보다 평균 0.11 kW 높게 나타남

- 동일한 외기조건에서 Spray 분사를 통한 증발 냉각조건으로 운전한 결과 초친수 Fin을 적용한 패드가 표면의 젖음성 향상 효과로 인하여 증발에 의한 냉각능력이 1.41 ~ 2.41 kW로 기존 대비 평균 0.10 kW 증가하는 것으로 분석됨
- 동절기 난방운전 조건으로 실험한 결과 초친수 Fin을 적용한 PAD의 가열능력이 3.61 ~ 3.28 kW로 기존 대비 평균 0.11 kW 증가하는 것으로 나타남
- 위와 같은 결과에서 알 수 있듯이 시설원예 농가의 하절기 증발 냉각운전을 통한 냉방효과 향상과 동절기 난방 비용 절감을 통한 에너지 소비 절감에 큰 영향이 있을 것으로 판단됨



(a) 기존 Fin 적용 PAD 응축수 비산

(b) 초친수 Fin 적용 PAD 응축수 비산

그림 6-39. 초친수 및 기존 Fin 적용 냉각 PAD의 응축수 비산 측정 결과

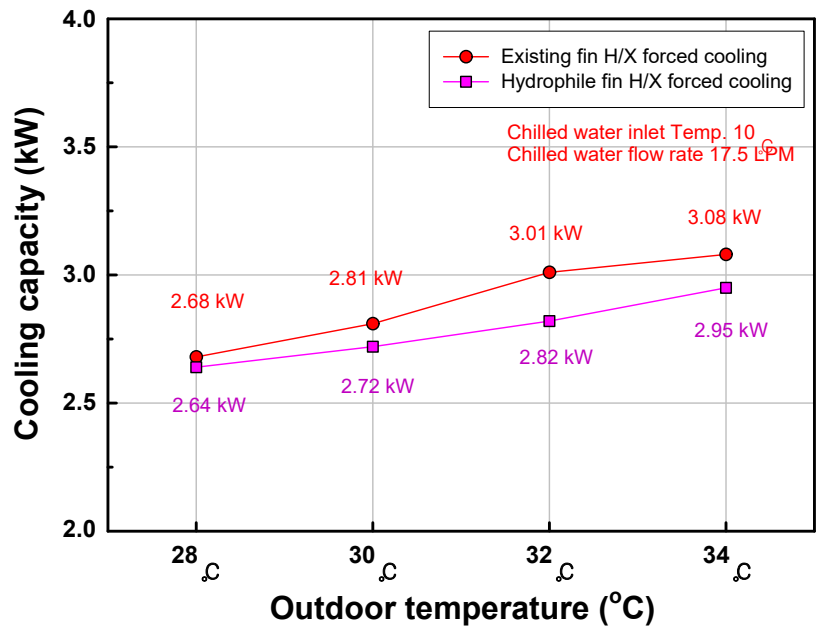


그림 6-40. 하절기 외기변화에 따른 초친수 및 기존 Fin 적용 강제 냉각능력 변화

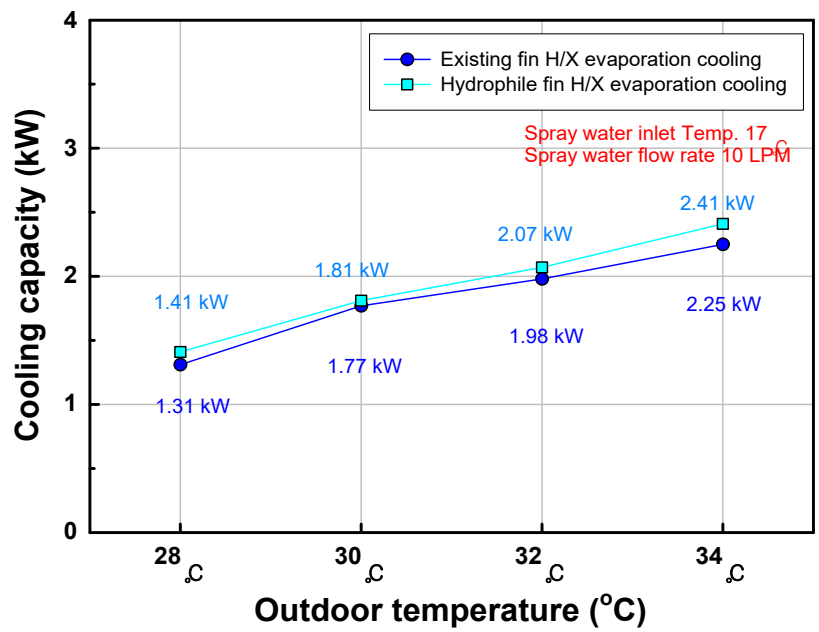


그림 6-41. 하절기 외기변화에 따른 초친수 및 기존 Fin 적용 증발 냉각능력 변화

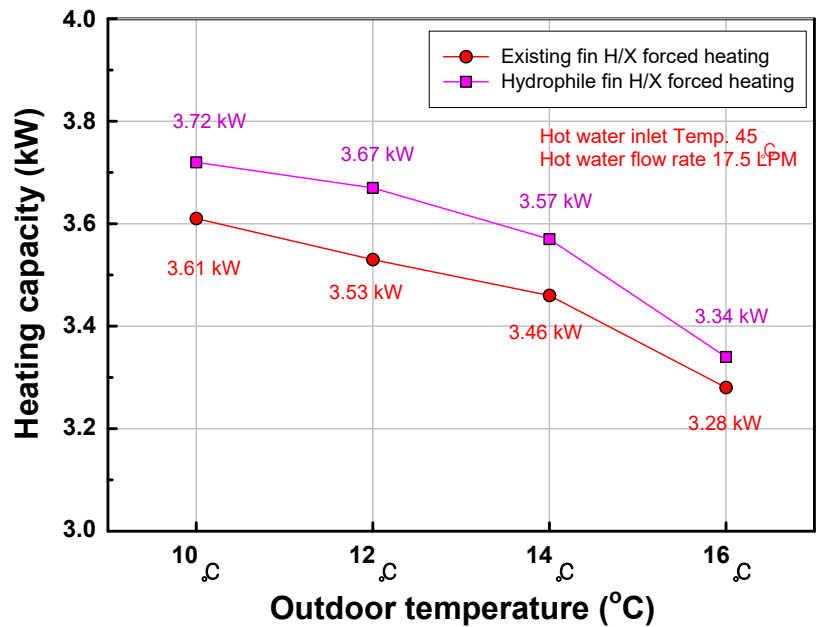


그림 6-42. 동절기 외기변화에 따른 초친수 및 기존 Fin 적용 강제 가열능력 변화

- Multi channel hybrid H/X, 증발냉각 시스템 제작 및 성능평가

■ Multi channel hybrid H/X, 증발냉각 시스템 제작

- Lab. scale 초친수 냉각 PAD 실험결과 반영 적용 Multi module화 설계
- 1차년 열유동 해석결과를 바탕으로 시설재배용 온실에 증발냉각 시스템 설계 배치
- 초친수 PAD module을 열원설비에 Multi type으로 배치하여 하절기, 동절기 열유동 해석을 통해 성능을 검증함
- 대상 온실 : 시설재배용 비닐하우스(단동)
- 대상 시설 재배용 온실 규모: 568 m³
- 온실 열환경 제어 방식 : Multi channel hybrid H/X PAD를 이용한 내부 공기순환 형식

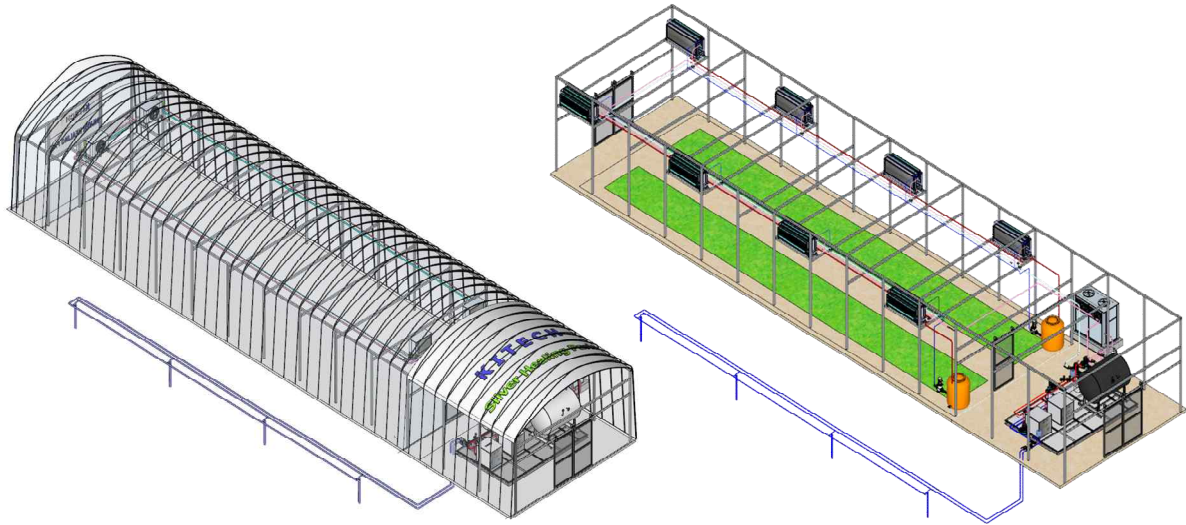


그림 6-43. Multi channel hybrid H/X PAD 대상 온실 및 배치도

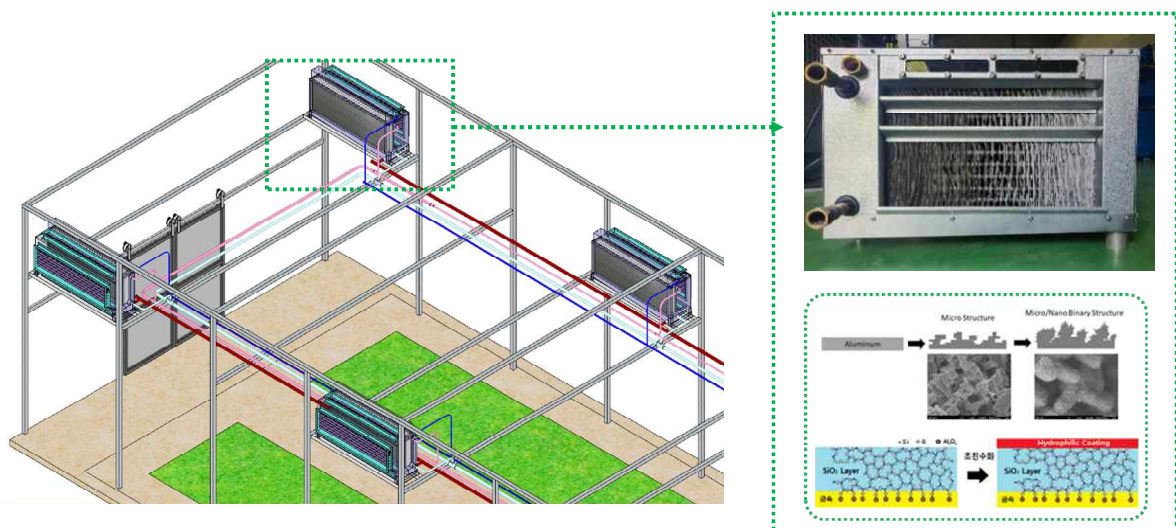


그림 6-44. Multi channel hybrid H/X PAD 설치 형상

- Multi channel hybrid H/X, 증발냉각 시스템 성능평가 결과
 - 온실 부하조건 설정을 위한 격자수 생성 (난방 : 1,502,663개, 강제 냉각 : 1,590,059개, 증발냉각 : 1,599,892개)
 - 초친수 냉각 PAD 토출 풍속 및 풍량을 1.3 m/s, 5.57 kg/s로 동일하게 설정
 - Lab. scale 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 성능평가 결과를 바탕으로 토출 공기온도를 난방 28℃, 강제 냉각 15℃, 증발 냉각 25℃ 설정
 - 외기온도를 극한조건으로 하절기 34℃, 동절기 영하 20℃ 설정

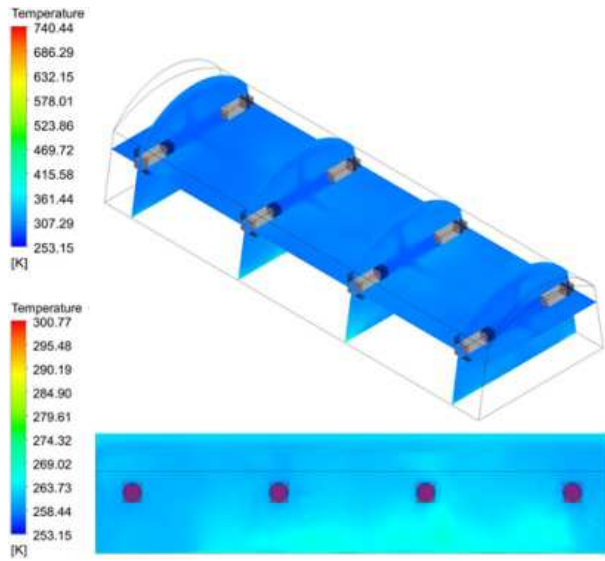


(a) 강제 냉각 격자 (b) 증발 냉각 격자 (c) 강제 난방 격자
 그림 6-45. Multi channel hybrid H/X PAD 열유동 해석 격자생성

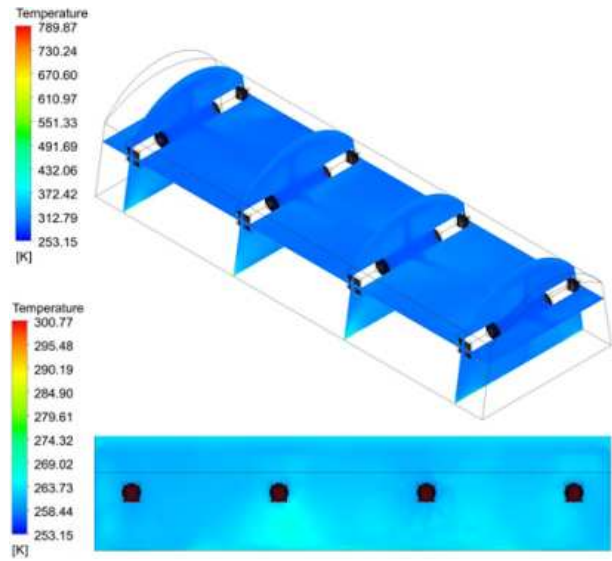
표 6-8. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 열유동 해석 조건

	강제 냉각	증발 냉각	강제 난방
해석 격자수	1,502,663	1,590,059	1,599,892
초친수 PAD 토출 풍속 (m/s)	1.3	1.3	1.3
초친수 PAD 토출 풍량 (kg/s)	5.57	5.57	5.57
초친수 PAD 토출 온도 (°C)	28	15	25
외기온도 (°C)	-20	34	34
외부 유입 열량 (kW)	-42.22	78.41	78.82

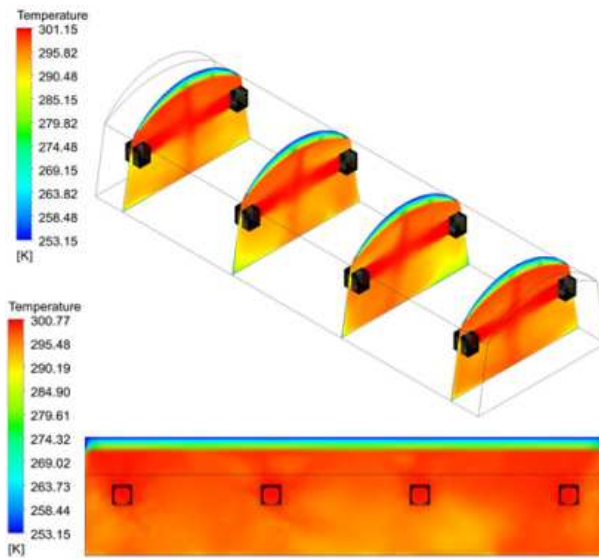
- 냉난방 시 초친수 PAD 부근에서 급격한 온도변화가 관찰되고, 온실 하부로 내려갈수록 온도 분포가 균일해지는 것을 확인할 수 있음
- 난방 시 온실 상부 단열을 위한 빈공간의 온도는 낮게 유지되지만 작업 공간의 대부분의 온도는 균일하게 유지되는 것을 확인할 수 있음



(a) 강제 냉각 온도분포



(b) 증발 냉각 온도분포



(c) 강제 난방 온도분포

그림 6-46. Multi channel hybrid H/X PAD 적용 온실 열해석 결과

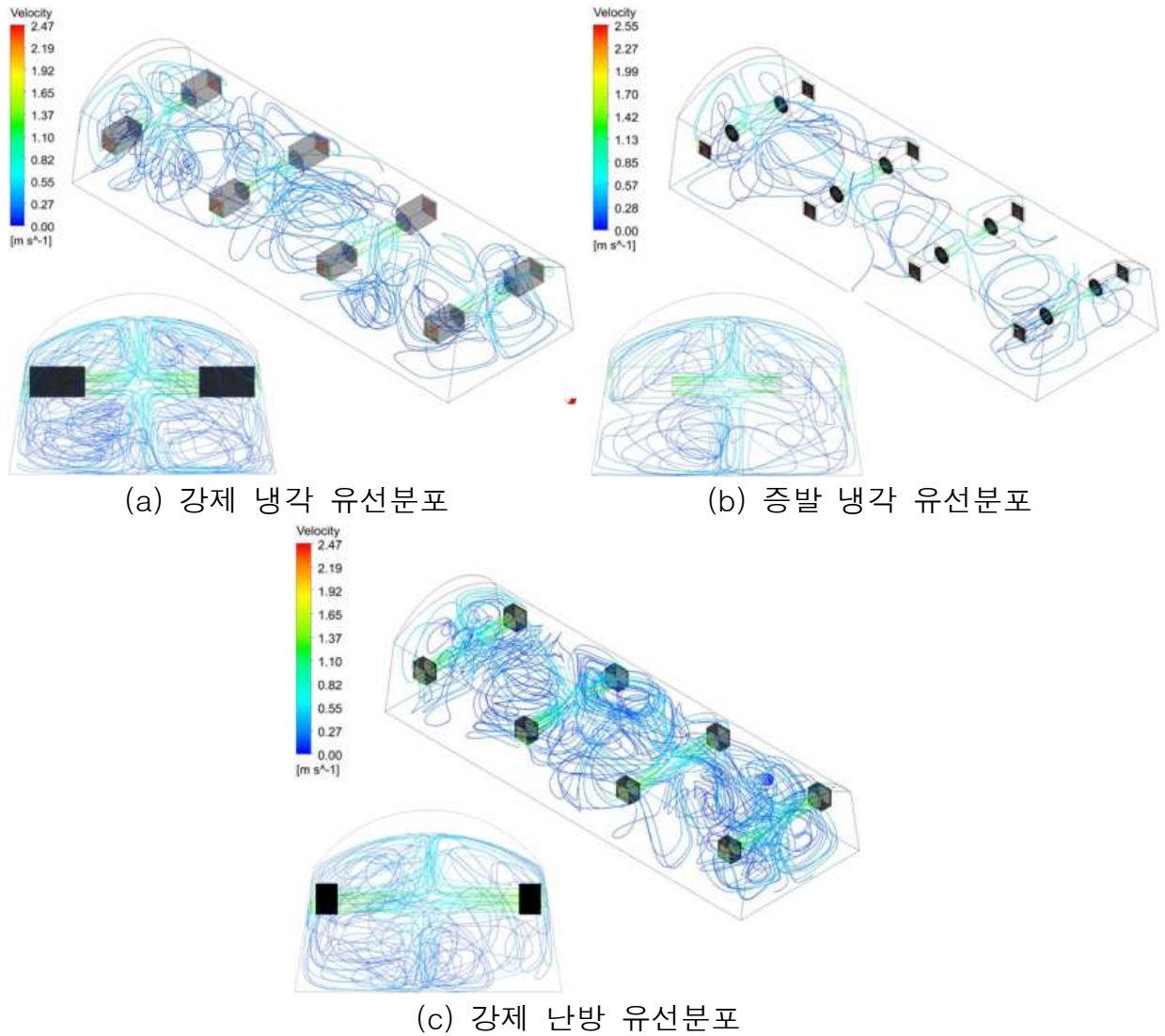


그림 6-47. Multi channel hybrid H/X PAD 적용 온실 유동해석 결과

표 6-9. 초친수 냉각 PAD 적용 Hybrid H/X module 열유동 해석 결과

	강제 냉각	증발 냉각	강제 난방
온실 내부 평균온도 (°C)	22.27	34.48	33.57
냉/난방부하 산출 (kW)	40.5 (11.6 RT)	79.0 (22.6 RT)	79.4 (22.7 RT)
온실 내부 온도 표준편차 (°C)	2.57	9.50	6.85
온실 내부 온도균일도 (%)	11.54	27.55	20.41

- 냉난방 시 공기의 유선을 살펴보면 큰 Dead zone 없이 전체적인 유동이 관찰되므로 본 연구에서 설계된 냉난방 시스템으로 균일한 열환경을 구현할 수 있을 것으로 판단됨
- 실증 온실 공간을 대상으로 Multi channel 초친수 PAD의 열유동 해석을 진행한 결과 하절기 냉방운전에서 초친수 PAD의 필요열량은 약 79 kW가 필요하며, 동절기에는 약 40 kW의 능력이 소요되는 것으로 나타남에 따라 초친수 PAD의 Fin & Tube 개수와 용량설계 기초 DATA를 확보함

○ 연구 목표

- 초친수 알루미늄 시트형 냉각 Pad 제조 조건 최적화
- Hybrid H/X Pad 적용 증발냉각 시스템 실증 성능평가

○ 연구수행 내용 및 결과

- 초친수 알루미늄 시트형 냉각 Pad 제조 조건 최적화
 - Sand blasting 공법을 적용하여 Micro 크기의 표면 거칠기를 형성하고 이를 고온의 물에 처리하여 Nano-meter 크기의 거칠기를 부여함으로써 계층적 거칠기를 유도함
 - Fin 표면 친수성 작용기를 나타내기 위하여 PHPS Coating 공법을 적용하고 Nano-meter 두께의 실리카(SiO_2)로 코팅층을 형성하여 친수성의 향상과 표면 부식 등의 문제 해결

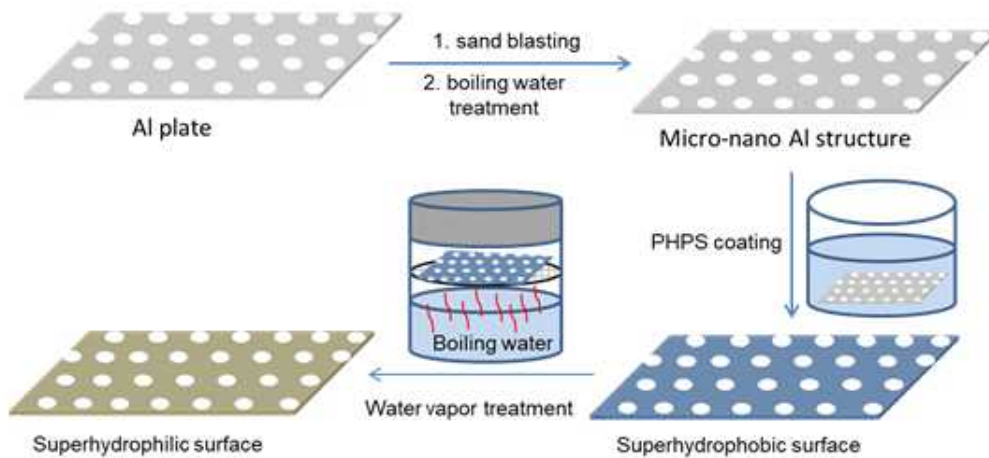
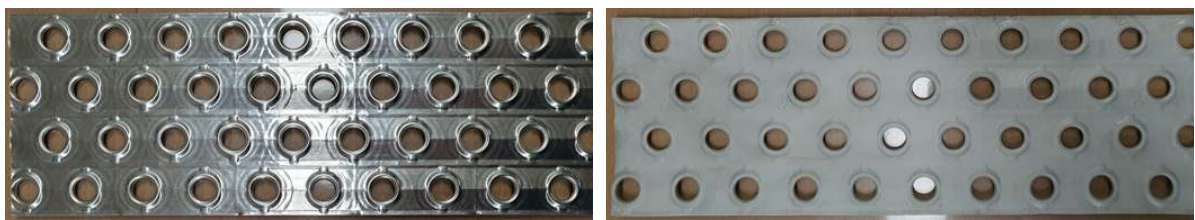


그림6-48. 초친수 Al 냉각 PAD용 Fin 제작 공정



(a) 초친수 처리 전 Al Fin

(b) 초친수 처리 후 Al Fin

그림6-49. 초친수 Al 냉각 PAD용 Fin 제작 사진

표 6-10. 초친수 AL Fiin 제조 조건 최적화

PAD Fin 제조 공정	요소 공정	단위	
Fin 표면 가공	Sand particle	-	Al_2O_3
	Sand size	mesh	120
	Sand pressure	bar	2.5
	Blasting nozzle	mm	6
	Time	sec	30

Fin 표면 처리	Hot water temperature	℃	50
	Time	min	20
	Dry temperature	℃	120
	Time	hour	3
Fin coating	PHPS concentration	%	2
	Coating mode	-	Dip coating
	Steam temperature	℃	150
	Time	hour	3

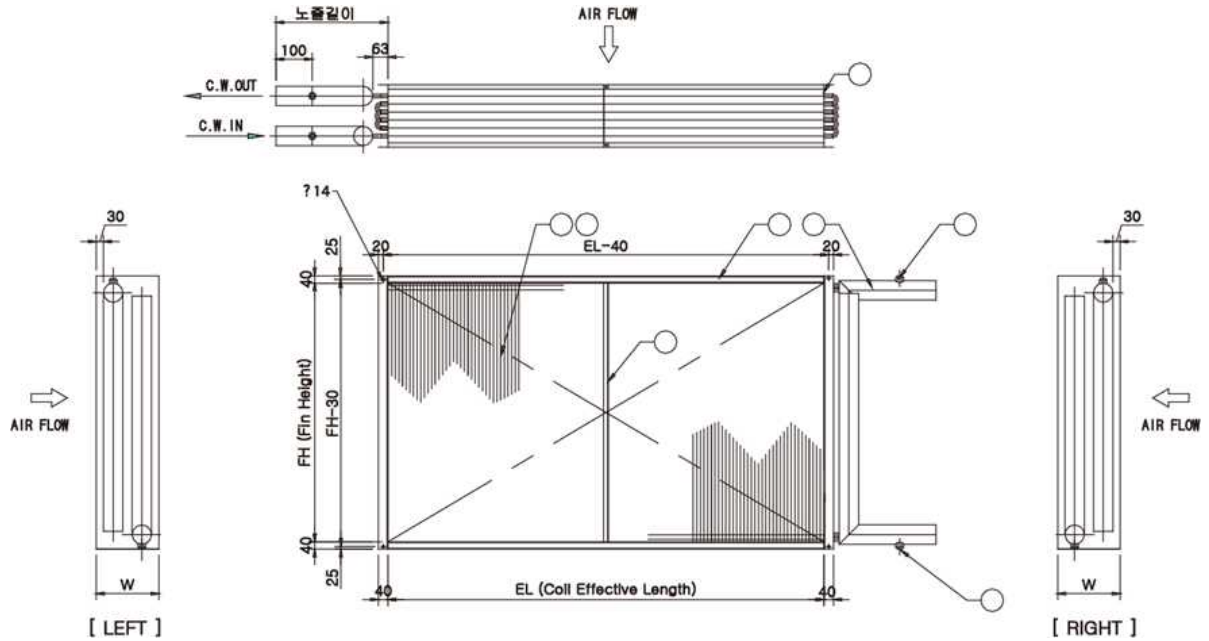
- Hybrid H/X Pad 적용 증발냉각 시스템 실증 성능평가

■ 실증형 초친수 Fin 적용 냉각 PAD 제작

- 1단계 초친수 Al Fin 표면처리 결과를 바탕으로 PAD제조 조건 최적화 Plate 제작
- 초친수 Al Fin 적용 열교환기 설계 (5/8 inch×2R×22S)
- Fin 면적 1600×838.2 전체 크기 1680×959.4×170
- 1단계 제작 공정과 동일하게 Plate coating 마감 후 Tube 조립과 U band 용접접합
- 하부 물받이 Tray 및 배수 Port 설치



그림6-50. 초친수 Al Fin 제작 및 조립 공정

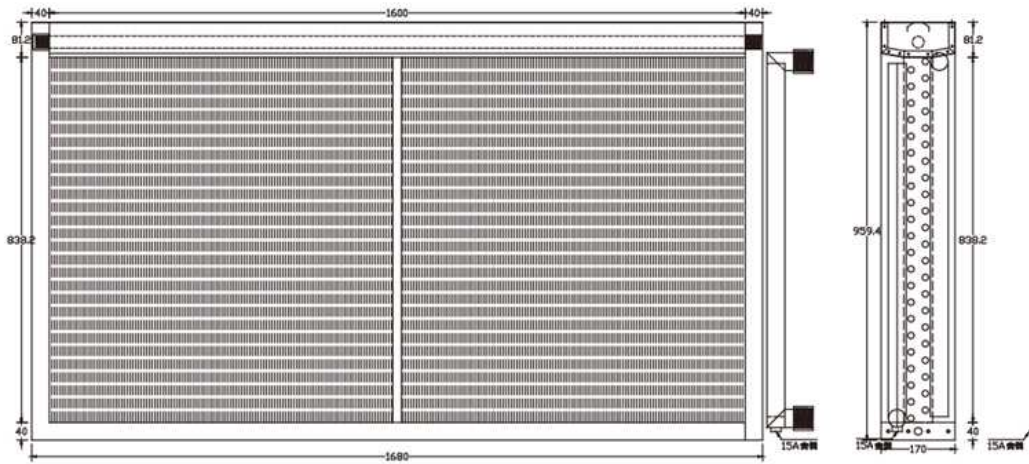


WATER COIL

NO	수량		TUBE	ROW	PASS	EL	FH	W	HEADER		순환 방식	노출 길이	FPI	FIN	FRAME	LPM	기타
	LEFT	RIGHT							IN	OUT							
AHU-1	1	-	5/8"	2	22	1,600	838	170	40 A	40 A	Sing.	900	8	AL.[흑색]	SGCC	140	냉각수관통

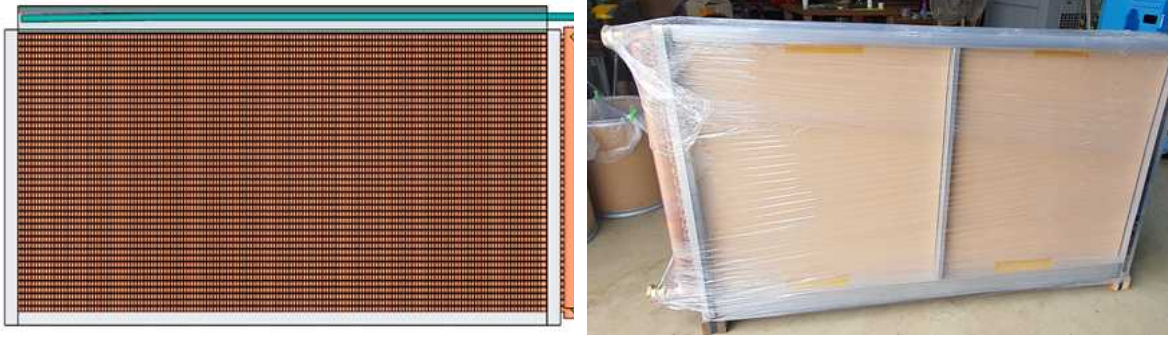
그림6-51. 실증형 초친수 Fin 적용 냉각 PAD 기본 설계

일	일	수량	날기	COIL SPEC.	EL	L	FH	H	INLET	OUTLET	FAN	NO	DESCRIPTION	MAT'L	Q'TY	SIZE
		1	10/20	5/8" x 2R x 22S	1600	1880	838.2	959.4	41.28	41.28		1	CASING	GL	1SET	1.2t
												2	SUPPORT PLATE	GL	1EA	1.2t
												3	FAN P	AL	SET	3.2M/M
												4	TUBE	C1220	1SET	0.5t
													RETURN BEND	C1220	1SET	0.7t



NO	REVISION	DATE	SKN	CHECK	APPR	SCALE	DRAWN	DESIGN	CHECK	APPR	PROJECT	TITLE
2						SCALE					화성이엔지	크릴
1						UNITS mm						
						THIRD ANGLE						
						PROJECTION					DWG NO.	20230410

그림 6-52. 실증형 초친수 Fin 적용 냉각 PAD 설계도면



(a) 실증형 초친수 냉각 PAD 모델링 (b) 실증형 초친수 냉각 PAD 제작 사진

그림 6-53. 실증형 초친수 Fin 적용 냉각 PAD 제작

- 실증 데이터 확보를 위한 실증사이트 설비구축
 - 주관기관(목포대학교) 100평(330m²) 규모 온실 열원공급 및 Hybrid 증발 냉각 PAD 설치
 - 성능 비교를 위해 동일한 용량의 기존 PAD 설치 AHU와 개발 PAD를 설치한 AHU 구축
 - 냉각 용량 38.7 kW, 가열 용량 49.1 kW, Fan 용량 14,000 CMH (2.0 kW × 2 EA)

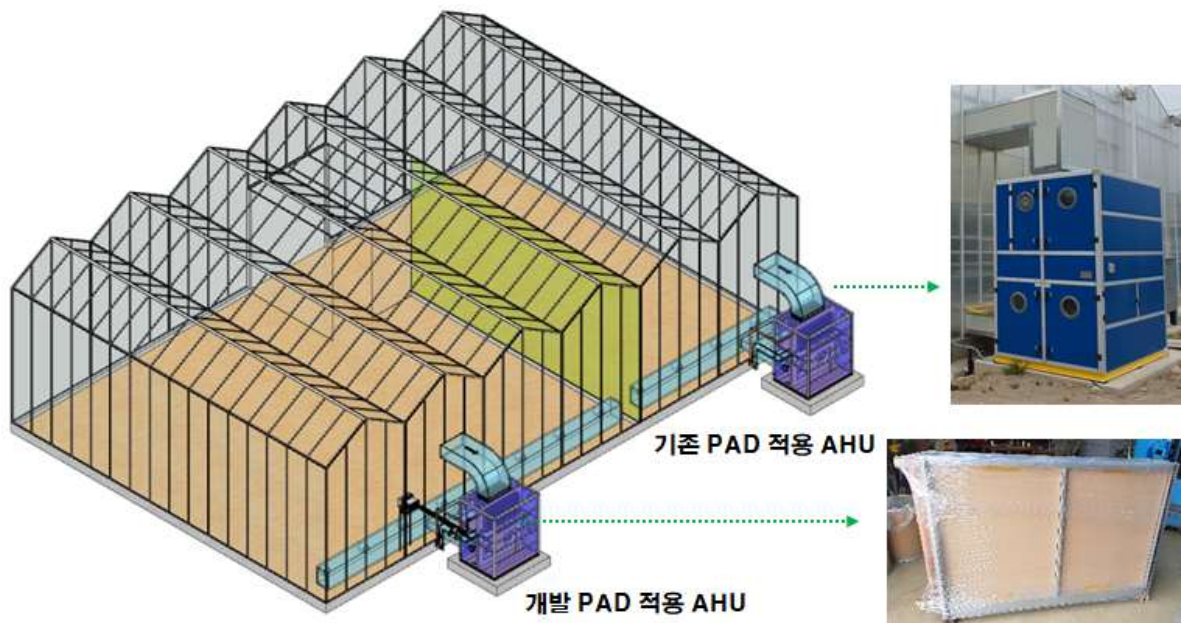


그림 6-54. 실증사이트 구축 조감도

- 하절기 증발냉각, 강제냉각 성능 데이터 확보와 동절기 난방 성능 실증 데이터 확보를 위하여 기존 AHU와 개발 PAD 적용 AHU의 Supply duct와 Return duct 내부에 T-type 온도센서를 3개씩 설치하여 공기의 온도변화 측정
- Hybrid 증발 냉각 PAD 입구와 출구에 온도센서와 유량계(0~10 m³/h)

를 설치하여 냉방과 난방 운전 시 열원의 온도변화를 통한 열교환량을 분석함

- 증발 냉각을 위한 PAD spray water의 온도와 유량을 측정하기 위한 온도센서와 유량계를 설치하여 증발냉각 용량을 측정함

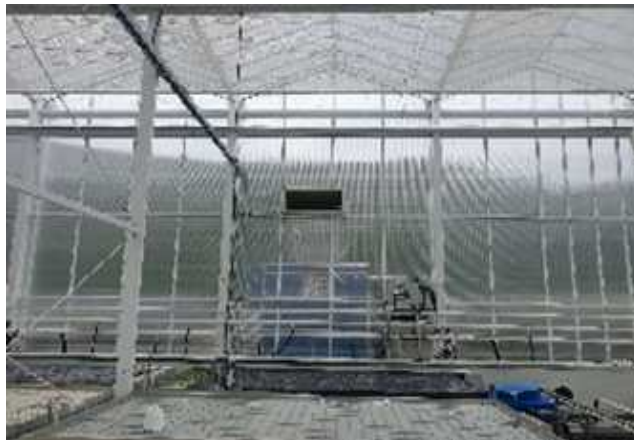


그림 6-55. 실증사이트 외부 및 내부 구축 사진

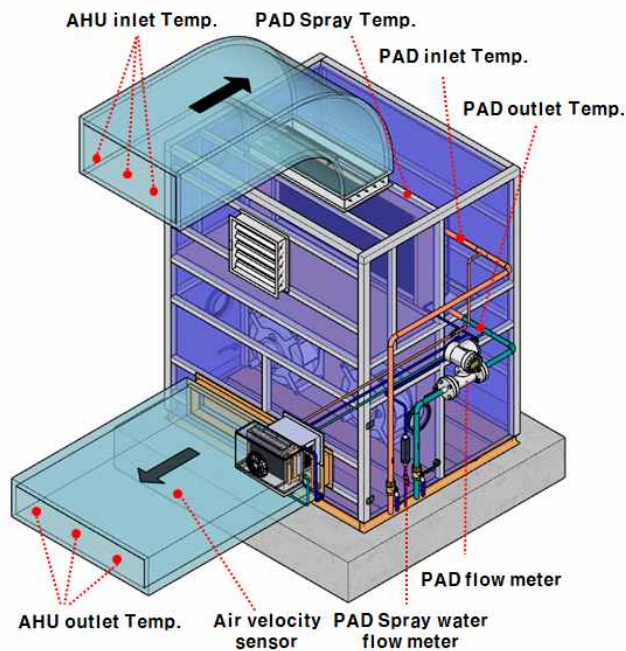
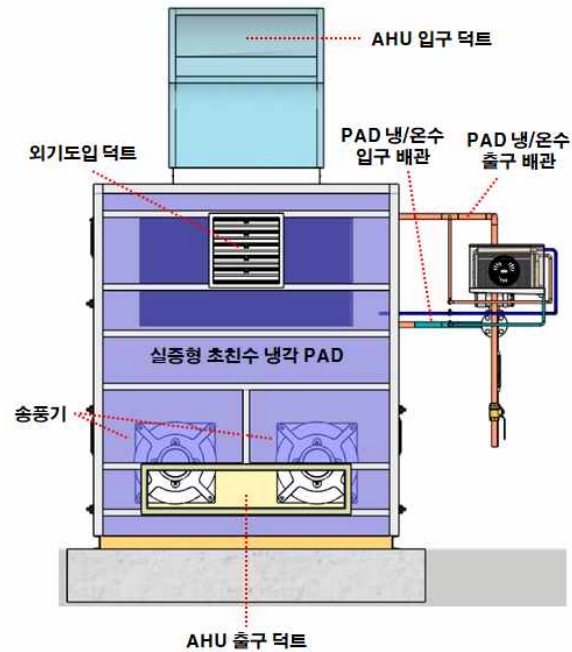
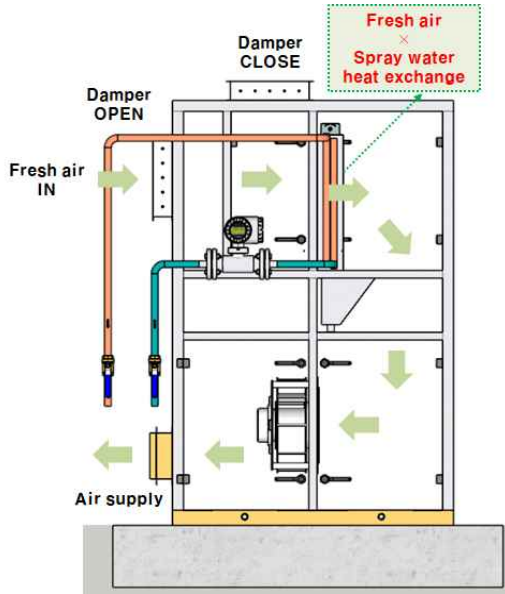


그림 6-56. AHU 배관 구성 및 데이터 측정 위치

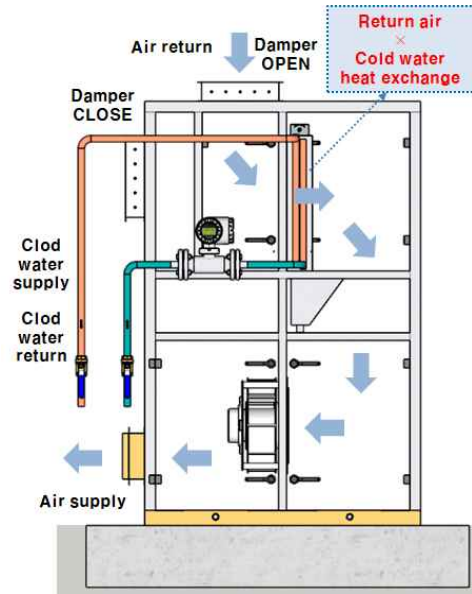
- 실증형 초친수 Fin 적용 냉각 PAD 성능평가 방법
 - 실증사이트의 냉방과 난방 실증 데이터 취득을 위하여 운전 모드를 강제 냉각 방식, 증발 냉각 방식, 난방 방식으로 구성
 - 하절기 증발 냉각 방식 : 온실 내부공기 순환 Damper를 닫고 외기 도입 Damper를 열어 순수외기를 Spray water의 증발효과로 냉각하는 방식
 - 하절기 강제 냉각 방식 : 온실 내부공기 순환 Damper를 열고 외기 도입 Damper를 닫아 내부순환 공기와 공급 냉수의 열교환으로 냉각하는 방식
 - 동절기 강제 난방 방식 : 강제 냉각 방식과 동일하게 온실 내부공기 순환 Damper를 열고 외기 도입 Damper를 닫아 내부순환 공기와 공급

온수의 열교환으로 난방하는 방식

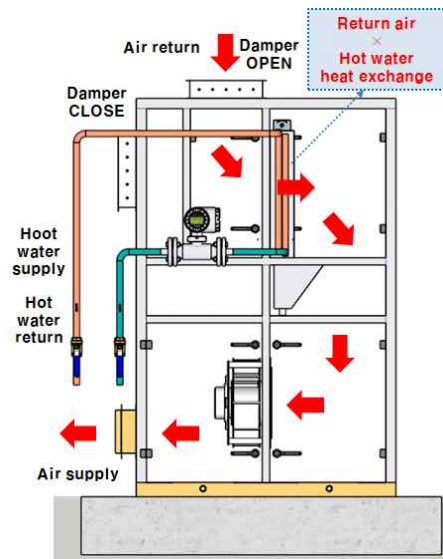
- 하절기 증발냉각 및 강제냉각 성능실험은 8월~9월 온실 냉방 가동 중 13시~18시 사이에 모드를 변화하여 데이터를 취득
- 동절기 난방 성능실험은 12월 온실 난방 가동 중 13시~18시 사이에 데이터를 취득 분석



(a) 하절기 증발 냉각 방식



(b) 하절기 강제 냉각 방식



(c) 동절기 강제 난방 방식

그림 6-57. 실증운전 모드 구성

표 6-11. 초친수 냉각 PAD 적용 실증 성능실험 조건

Parameter	Condition
Chilled water temperature (°C)	12
Chilled water flow rate (LPM)	93 (5.6 m ³ /h)
Spray water temperature (°C)	20
Spray water flow rate (LPM)	12 (0.72m ³ /h)
Hot water temperature (°C)	40
Hot water flow rate (LPM)	86 (5.2 m ³ /h)
Air velocity (m/s)	6.0~7.0

■ 실증형 초친수 Fin 적용 냉각 PAD 성능평가 결과

- 실증사이트의 냉방과 난방 실증 데이터 취득을 위하여 실험조건과 같이 운전 모드를 하절기 강제 냉각 방식과 증발 냉각 방식, 동절기 난방 방식으로 각각 4일의 실험을 진행함
- 실험조건은 표에 나타낸 것과 같이 하절기와 동절기 외기조건을 변화하여 성능변화를 측정함
- 증발 냉각 방식의 경우 평균 외기온도 32°C에서 Spray 공급온도 20°C, 분사량 12 LPM, 풍속 7 m/s로 운전하였을 때 평균 10.72 kW의 냉각 능력으로 측정됨에 따라 하절기 Hybrid PAD의 적용으로 평균 10 kW이상의 추가 냉각 효과가 발생하는 것으로 판단됨
- 강제 냉각 방식의 경우 평균 외기온도 32°C에서 공급열원의 온도 12°C, 유량 93 LPM, 풍속 6.65 m/s로 운전하였을 때 공기 측 냉각능력이 21.79 kW, 공급수의 냉각능력이 22.65 kW로 측정되었으며, 하절기 증발 냉각 방식과 강제 냉각 방식의 운전 제어로 온실 냉방 에너지 절감 가능성을 확인함
- 동절기 난방 운전의 경우 외기온도 8°C에서 공급열원의 온도 41°C, 유량 86 LPM, 풍속 6.22 m/s로 운전하였을 때 공기 측 난방능력이 평균 27.52 kW, 공급수의 난방능력이 평균 18.54 kW로 측정되었으며, 온수 유량에 대비하여 공급수 측의 난방능력이 낮게 측정됨에 따라 동절기 난방능력 확보를 위하여 열교환기의 배관 열수 추가가 요구됨
- 위와 같은 결과를 통해 시설원에 농가의 하절기 증발 냉각 운전을 통한 냉방효과 향상과 동절기 난방 비용 절감을 통한 에너지 소비절감에 큰 영향이 있을 것으로 판단됨

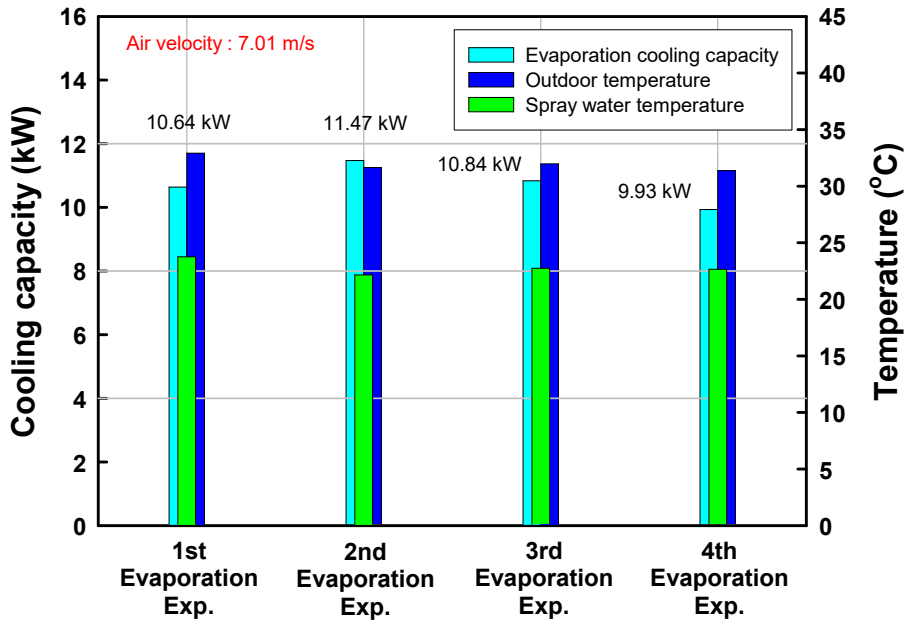


그림 6-58. 하절기 증발 냉각 실증운전 실험결과

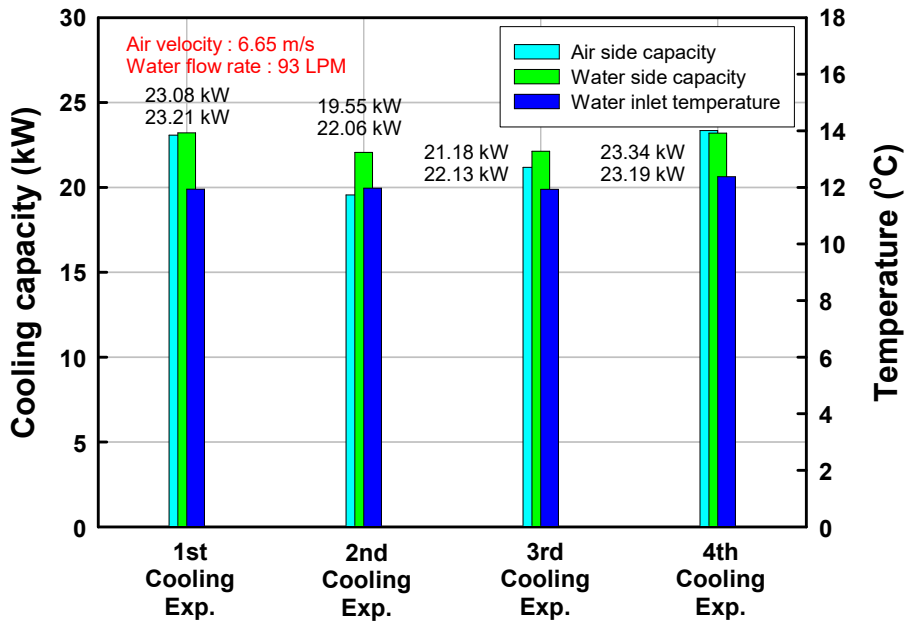


그림 6-59. 하절기 강제 냉각 실증운전 실험결과

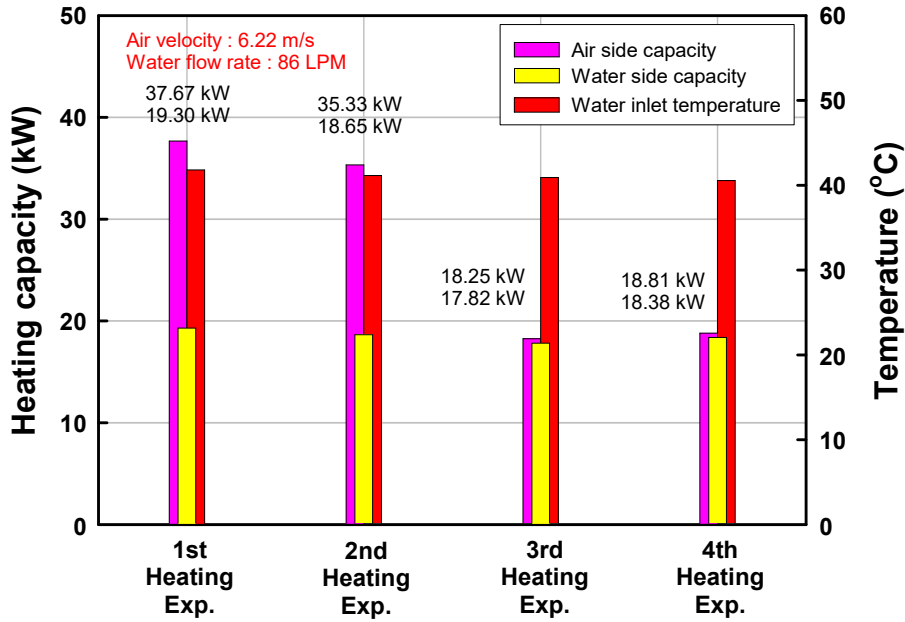


그림 6-60. 동절기 강제 난방 실증운전 실험결과

○ 기존 기술과의 차이점

- 기존의 냉각 패드는 섬유 재질로 시간이 지남에 따라 이끼/곰팡이 등에 의하여 오염이 심함
- 기존에는 냉각 패드와 열교환기가 따로 구성 됨
- 0°에 가까운 수분접촉각을 갖는 초친수 표면을 알루미늄 핀 표면에 구현
- 800시간 이상의 염수분무 테스트를 통과한 고내구성의 초친수 코팅을 달성
- 열교환기용 알루미늄 핀에 내구성이 매우 우수하고, 초친수 특성이 극대화된 코팅 기술을 적용하여 냉각패드와 열교환기를 일체화시킴

○ 초친수 하이브리드 냉각 PAD 시스템 적용효과

- 기존 AHU 냉방능력은 23.44 kW로 초친수 PAD 적용 AHU의 냉방능력이 22.22 kW, 추가 증발 냉각능력이 10.72 kW로 총 32.94 kW의 냉각능력이 측정됨에 따라 34%가 증가하는 것으로 나타남.

3) 공동연구개발기관 에너지팜스 주식회사

(1) 1단계 1년차

○ 연구 목표

- 양액 및 국소부위 냉/난방을 히트펌프에 의해 복합적용 시스템 개발

○ 연구수행 내용 및 결과

- 양액 및 국소부위 냉/난방을 히트펌프에 의해 복합적용 시스템 개발

■ 양액 및 국소냉난방 적용을 위한 온실 부하산정

- 실험온실 현황파악
- 온실데이터 입력
- 재배작물, 요구사양 입력

- 냉/난방 에너지 요구량 산정
- 국소냉난방 적용용량 결정 (공간 공조의 50% 적용)

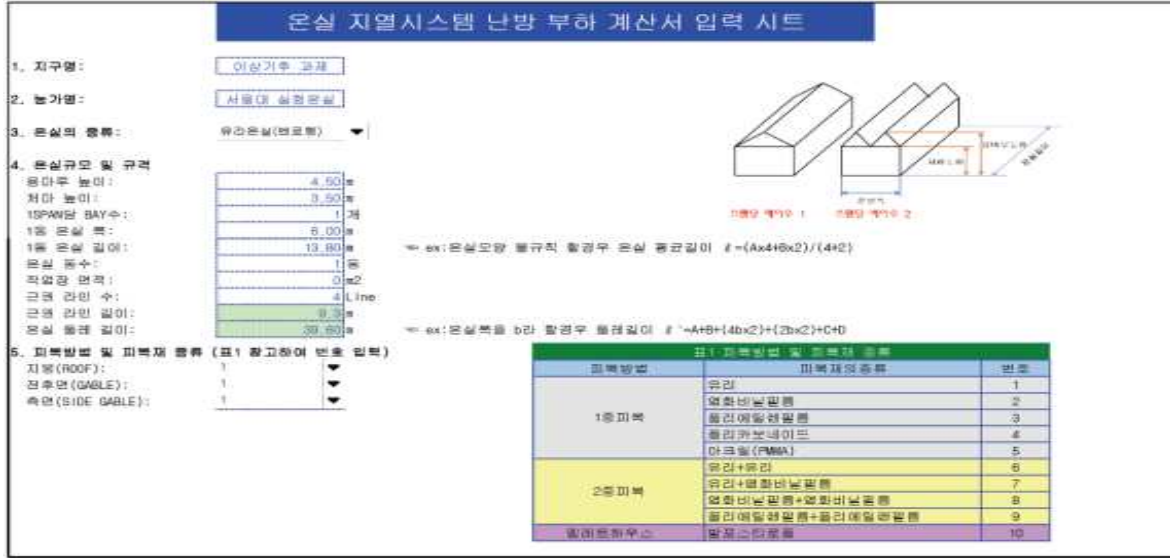


그림 7-1. 서울대 온실 냉난방 부하산정

- 히트펌프 양액/국소부 냉난방 복합시스템 계통설계

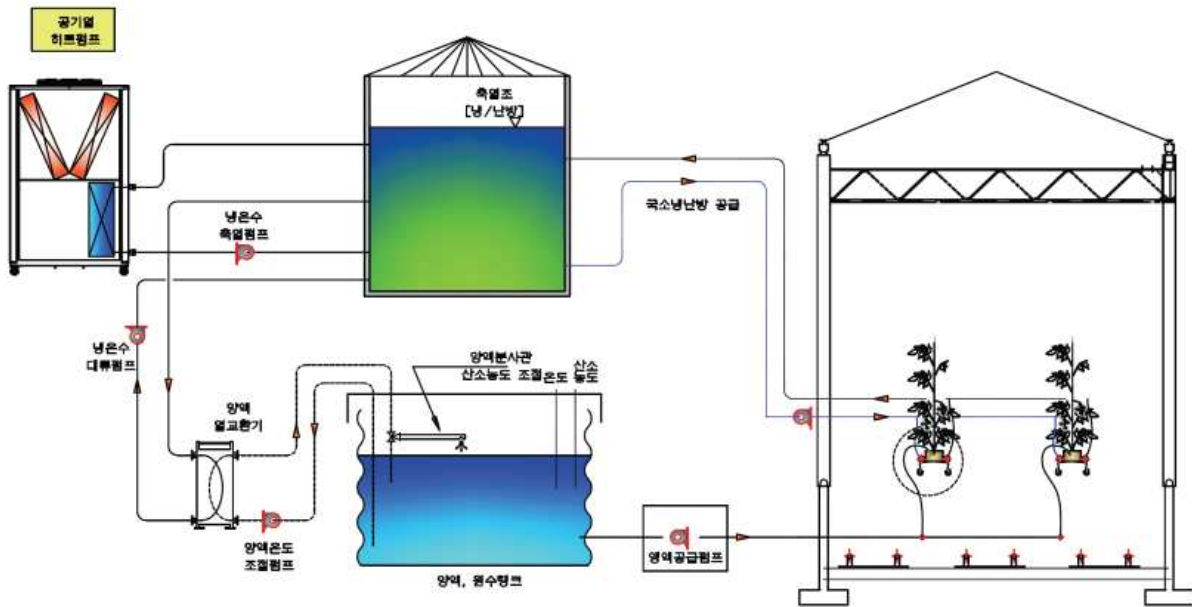


그림 7-2. 양액/국소부 냉난방 복합시스템 계통설계

- 국소부 냉난방과 양액 냉난방을 1개의 시스템으로 복합적용할 수 있는 기술개발
- 히트펌프와 축열조, 열교환기를 활용하여 작물 성장에 필요한 온도조건 및 영양분 흡수를 개선하는 방법
- 히트펌프/순환펌프/열교환기 등 기기선정 및 설치

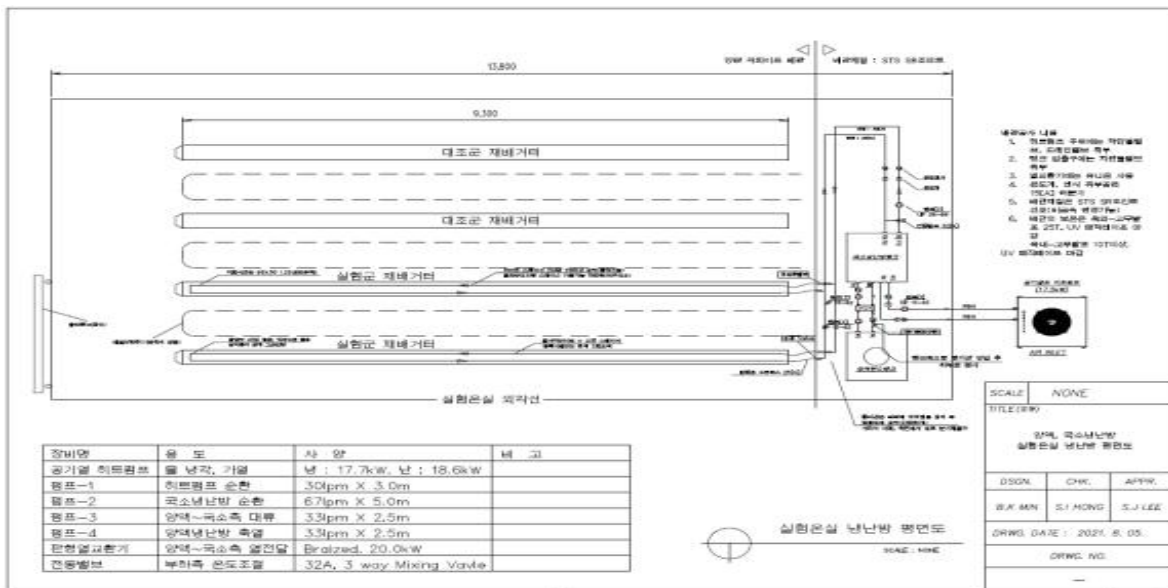


그림 7-3. 온실 냉난방 시공설계

- 파프리카 레일난방관에 난방을 공급하기 위한 시설 설계, 설치
- 파프리카 배지에 근접냉방을 공급하도록 국소냉/난방 열교환기 설계, 설치
- 히트펌프에 의한 냉난방 축열 설계, 설치
- 축열된 국소냉/난방을 활용해 양액 온도조절하는 복합시스템 열교환기, 펌프, 제어시스템 설계, 설치



냉난방-양액 탱크 및 배관



공기열 히트펌프



국소냉난방 열교환기, 센서 설치

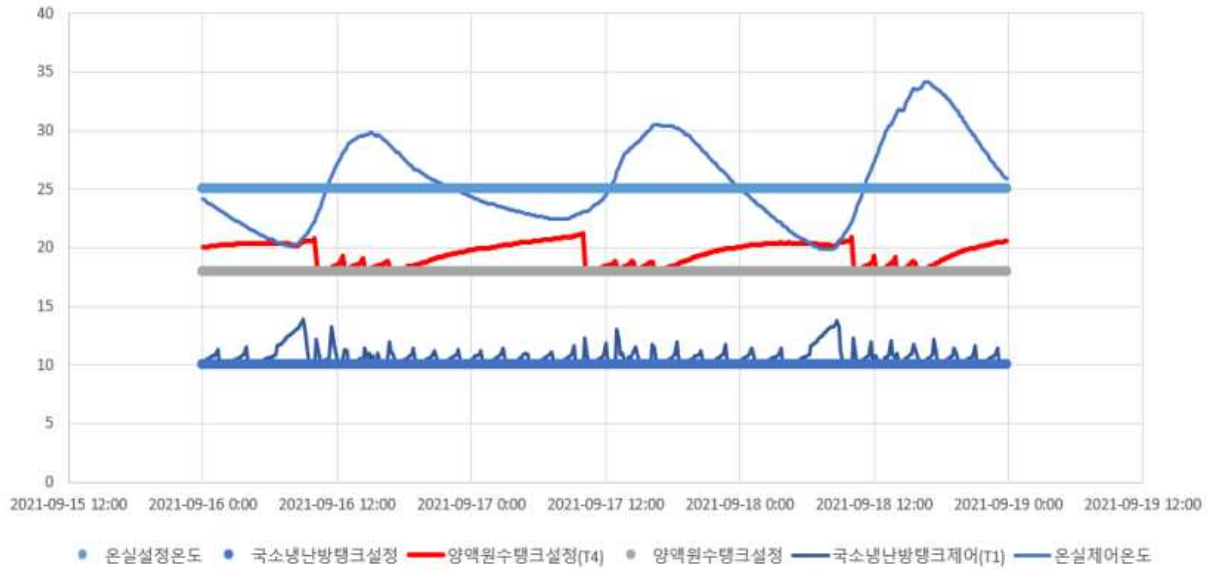


제어설치, 운전, 모니터링

그림 7-4. 서울대온실 국소부/양액 냉난방 복합시스템 설치

- 양액 및 국소부위 냉/난방을 히트펌프에 의해 복합적용 시스템 개발완료

서울대학교_온실_국소냉난방_202109



서울대학교_온실_국소냉난방_202109

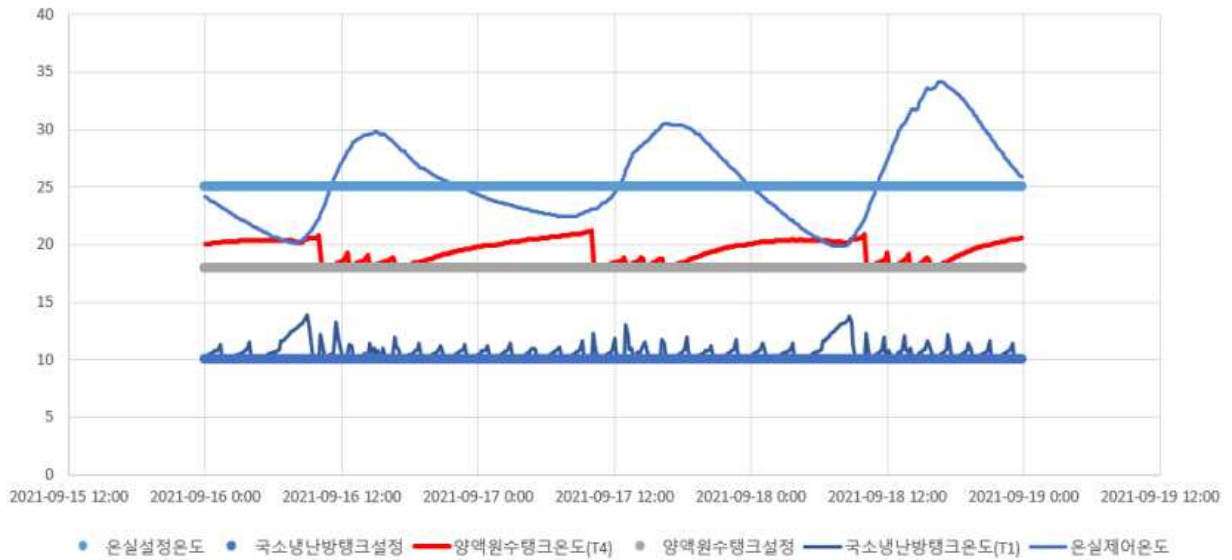


그림 7-5. 서울대 온실 국소, 양액 냉방제어상태(2021년09월)

서울대학교_온실_국소냉난방_2022_02

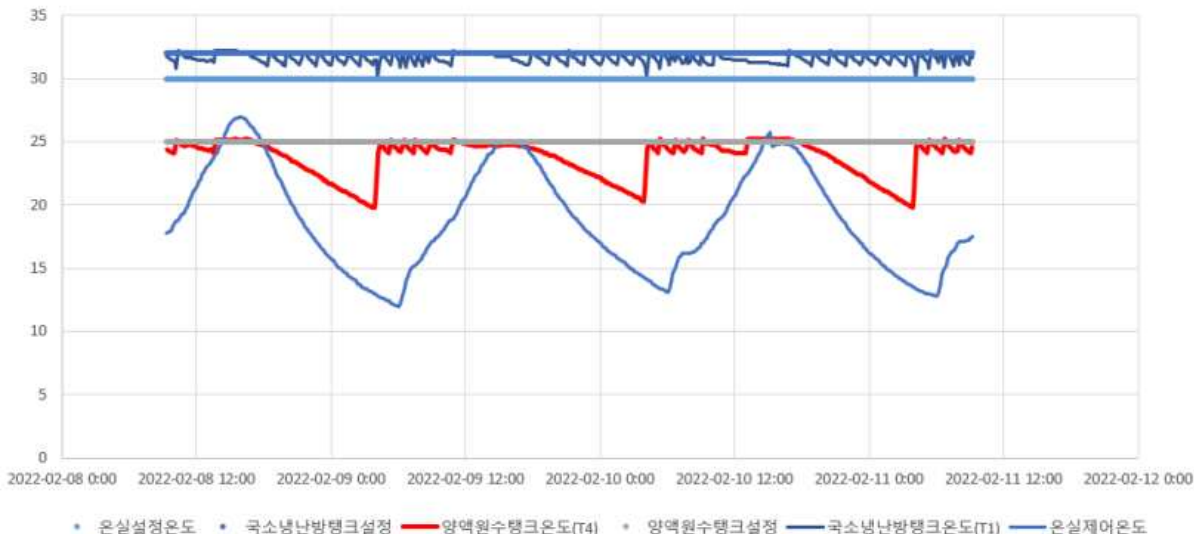


그림 7-6. 서울대 온실 국소,양액 난방제어상태(2022년02월)

- 양액 및 국소냉난방을 히트펌프에 의해 복합적용한 시스템 개발 및 설치 완료
 - 서울대학교 온실에 시스템을 설치하여 양액 냉난방 축열조와 국소부 냉난방 축열조에 각각 설정온도 범위에서 제어되고 있음
 - 냉방운전 및 난방운전 시 설정에 적합하도록 열 저장
 - 제어 스케줄에 의한 운전상태 확인
 - 국소난방 : 온도유지
 - 양액난방 : 양액공급 준비시간대 가열
- 국소부 온도 조절이 가능한 시설 원에 시스템 특허등록



(54) 발명의 명칭 국소부 온도 조절이 가능한 시설 원에 시스템

(57) 요약

본 발명에 따른 국소부 온도 조절이 가능한 시설 원에 시스템은, 히트펌프로부터 열을 전달받은 냉온수는 배지 주변에 설치된 국소부 열교환기인 배지 배관으로 공급되고, 냉온수로부터 열원을 전달받은 양액은 배지에 직접 공급되도록 구성됨으로써, 실내 전체를 냉,난방하지 않고 배지와 작물의 뿌리 등 국소부의 온도를 조절할 수 있으므로, 효율이 증가하고 비용은 절감될 수 있는 이점이 있다. 또한, 배지에 직접 공급되는 양액의 온도를 조절하여 공급함으로써, 작물의 뿌리에서의 온도와 충격이 발생하는 것을 방지할 수 있으므로, 최적의 생육 환경을 조성할 수 있는 이점이 있다. 또한, 외기의 온도, 실내의 온도 및 배지의 온도에 따라 배지 배관으로 공급되는 냉온수의 온도를 조절하여 공급함으로써, 겨울철에 과열 난방이나 지면 난방이 발생하는 것을 방지하고, 여름철에는 과냉되는 것도 방지할 수 있다.

대표도

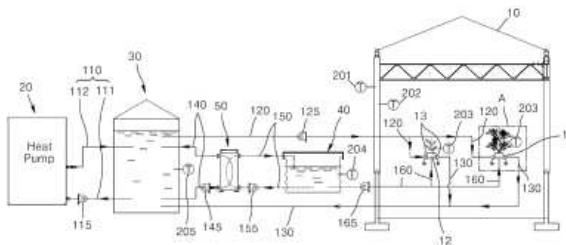


그림 7-7. 개발기술 특허등록 완료(제 10-2447355호)

(2) 1단계 2년차

○ 연구 목표

- 냉수코일 잉여열을 회수하여 PAD에 공급하는 액티브&패시브 일체형 공조기 개발
- 양액 온도와 산소포화도를 동시에 최적화 조절하는 양액시스템 개발

○ 연구수행 내용 및 결과

- 복합열 히트펌프 활용 양액 온도조절 시스템 설계
 - 목포대 온실적용 복합열(지열+공기열) 히트펌프 활용 양액 냉난방 설계

온실 지열시스템 난방 부하 계산서 입력 시트

1. 지구명: 목포대학교

2. 농가명: 과채실원 유리온실

3. 온실의 종류: 유리온실(변호형)

4. 온실규모 및 규격

봉머리 높이:	7.20m
처마 높이:	6.30m
1SPAN당 BAY수:	2개
1동 온실 폭:	8.00m
1동 온실 길이:	16.00m
온실 층수:	1층
작업장 면적:	0m ²
근권 라인 수:	5 Line
근권 라인 길이:	13.0m
온실 둘레 길이:	48.00m

5. 피복방법 및 피복재 종류 (표1 참고하여 번호 입력)

지붕 (ROOF): 1

전후면 (GABLE): 4

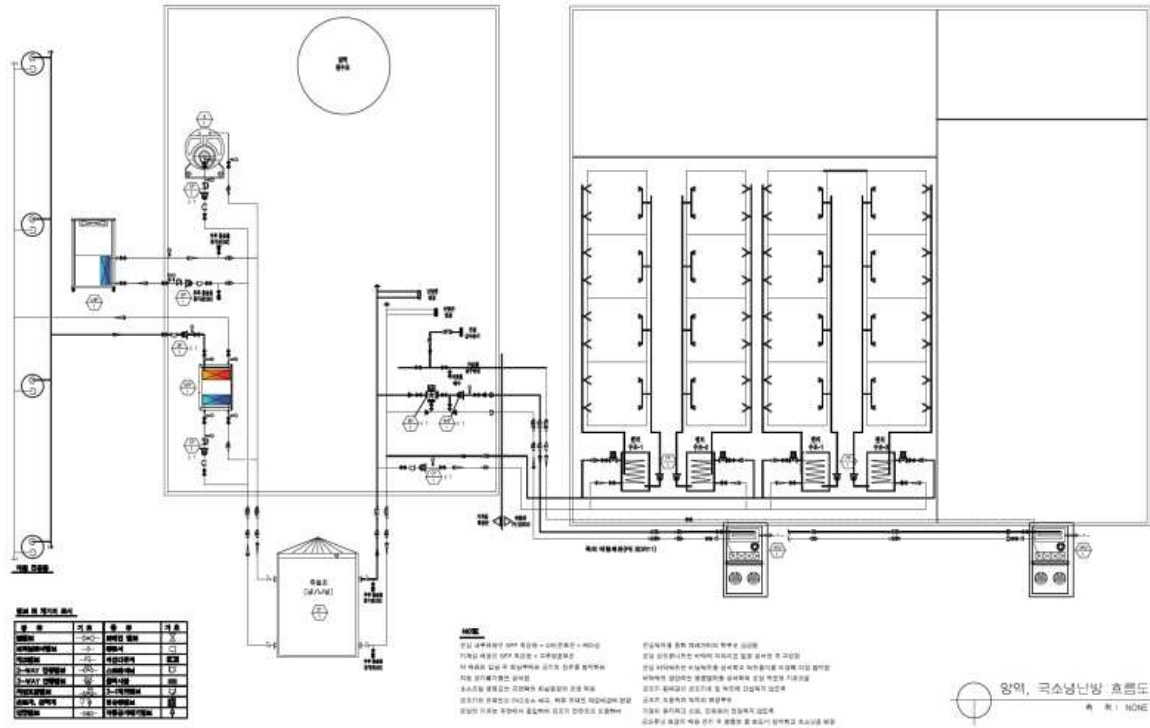
측면 (SIDE GABLE): 4

ex: 온실모양 불규칙 할경우 온실 평균길이 $L = (Ax4+Bx2)/(4+2)$

ex: 온실폭을 b라 할경우 둘레길이 $L' = A+4b+(4bx2)+(2bx2)+C+D$

표1 피복방법 및 피복재 종류		
피복방법	피복재의종류	번호
1층 피복	유리	1
	명화비닐필름	2
	폴리에틸렌필름	3
	폴리카보네이트	4
	아크릴(PMMA)	5
2층 피복	유리+유리	6
	유리+명화비닐필름	7
	명화비닐필름+명화비닐필름	8
	폴리에틸렌필름+폴리에틸렌필름	9
패널트하우스	양호스틸로프	10

그림 7-8. 목포대 온실 냉난방 부하산정



ENERGY 에너지원스주식회사 대전 서구 도안동로11번길 32, #403	주 시	지 구	건물명	건축	도 면 적	양액 국소냉난방 히트펌프
	사업단계	공 구	A3 NONE	도 면 적	0-0	AA-01
목포대학교 유리온실 신축공사		목적용도	난방	대 용	0	도면번호

그림 7-9. 목포대온실 양액 냉난방 히트펌프 시스템 흐름도

- 히트펌프+축열을 적용한 양액에 의한 냉난방 온도조절 시스템 열교환기, 펌프, 제어시스템 설계, 설치



양액 냉난방 탱크 및 배관설치



지열 / 공기열 히트펌프 설치



국소냉난방 장비, 배관 설치



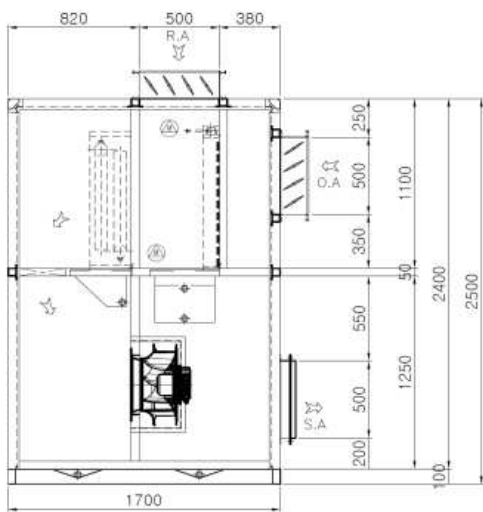
제어설치, 운전, 모니터링

그림 7-10. 목포대온실 양액 냉난방 히트펌프 시스템 설치

- 냉수코일 잉여열을 회수하여 PAD에 공급하는 액티브&패시브 일체형 공조기 개발

■ 목포대 온실용 잉여열 회수 PAD일체형 공조기 설계, 제작

- 실험온실 2개 구역에 각기 설치할 수 있는 공조기 설계
- 공조기는 PAD를 내장, 별도의 공조실을 온실에 만들지 않아도 패시브 냉방 공급
- 공조기 냉방 시 발생하는 결로수에 의해 PAD 냉각을 촉진하는 기능 보유
- 기타 외기냉방, 가습, EC팬에 의한 풍량조절기능 보유(세미클로즈 온실 기능 수행)

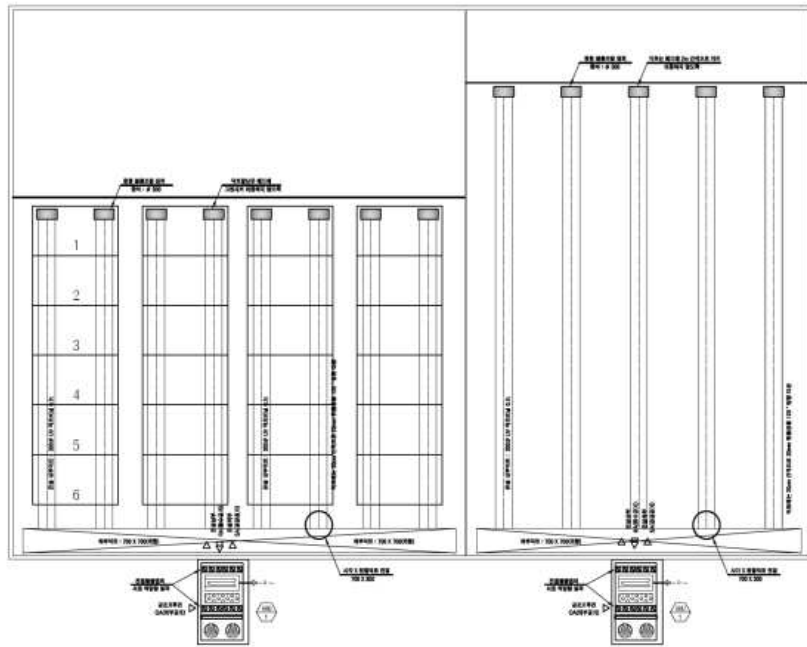


장비번호	수량	명칭	순환량			냉온수 코일					
			종량 (CMH)	질량 (kg)	체적공력 (m³)	냉량(kW)	면적구 (㎡)	순환유량 (LPM)	온천온도 (°C)	순환온도 (°C)	
AHJ-1	2	EC팬 공조기	7,000 x 2	600	2.0 X 2	38.7	48.1	40	140	7.0→10.0	50.0→45.0
냉·난 공기 조건			기화·상역기			공과 공기 조건					
냉방	난방	순환유량 (LPM)	발효양량 (m)	발효공력 (W)	감기서양 (Ph / V / Hr)	관	열교환기	냉방	난방	Inlet (°C)	Outlet (°C)
25.0	20.0	20	4.5	4.5	F / 220 / 60	PVC	Cellulose Paper	30.0	38.0		
중재재질			중재재질			중재재질					
관	중재재질	냉	중재재질	중재재질	중재재질	중재재질	중재재질	중재재질	중재재질	중재재질	중재재질
유체전 보온 패시브 판넬	AL PROFILE-40x	AL - 보온우동터, 외기후, 환기팬	STE 304 1.5T	공실	환경제어	Mod Bus					

그림 7-11. 목포대 잉여열활용 PAD일체형 공조기 개발

■ 목포대 실험온실 시스템설치 설계

- 온실 주덕트(우레탄 판넬)와 분배용 가지덕트 설계(타공비닐)
- 거터하부 및 벤치하부에 덕트설치 계획



양액온도 조절기
산소농도 조절기

에너지팩스주식회사 대전 서구 도안동로11번길 32, #403	부서	제구				건설분야	건축		
	사업단계	종구	-			도면종류	AJ NONE	도면명	설계 제품도
목포대학교 유리온실 신축공사						세종	0-0	도면번호	AA-01
						발판번호	0		

그림 7-12. 개발한 공조기 설치 및 덕트시스템 설계

- 양액 온도와 산소포화도를 동시에 최적화 조절하는 양액시스템 개발
 - 양액온도와 산소포화도 동시조절 시스템 개념설계
 - 기존 국소부 및 양액 복합시스템과 산소농도 조절시스템 연계검토
 - 시스템 흐름 및 기능설계
 - 선행기술 조사, 특허출원 진행
 - 선행기술 조사를 통한 기존기술과의 차별성 검토
 - 실시도면, 기술등록 청구항 및 명세서 작성
 - 특허출원 준비

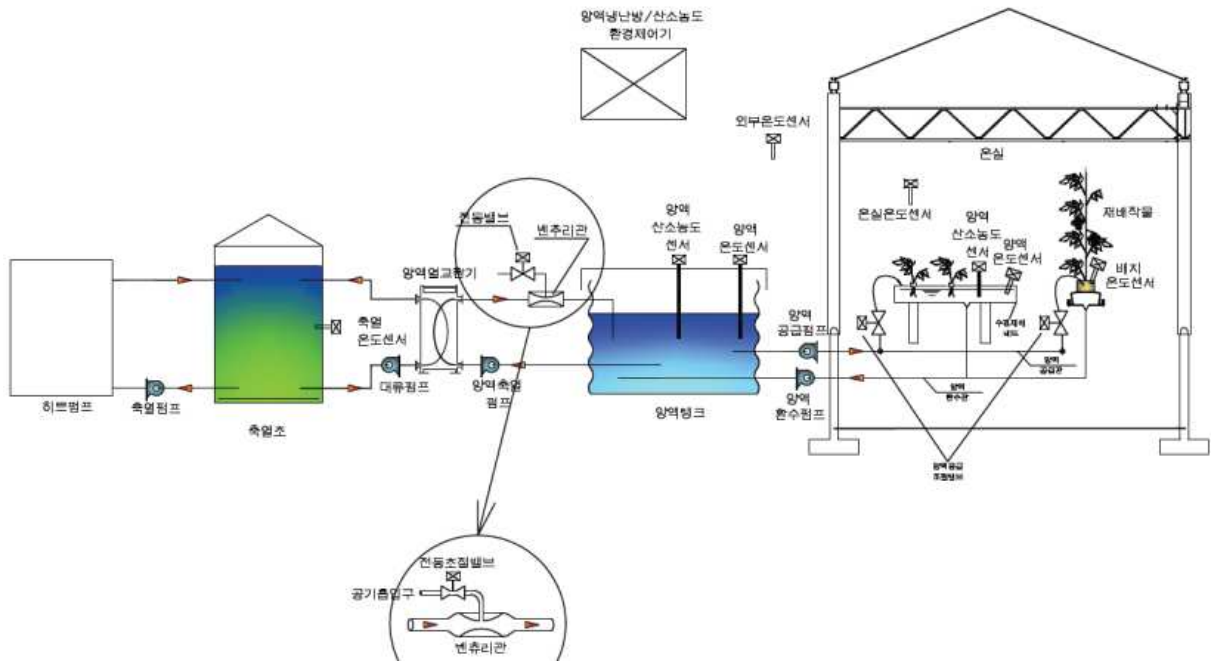


그림 7-13. 양액의 온도와 산소농도를 조절하여 공급 시스템 개념설계

발명의 명칭	요약	대표청구항	청구항 수
화분유닛과 이것이 구비된 작물 재배용 수조	본 발명은 계절에 따른 실내의 냉난방조건에 대응하여 최적 실내의 냉난방조건에 따른 냉매의 순환을 통해	실내의 냉난방조건에 따른 냉매의 순환을 통해	
국소부 온도 조절이 가능한 시설 원예 시스템	본 발명에 따른 국소부 온도 조절이 가능한 시설 원예 시스템	작물 재배를 위한 시설물의 외부 공기 또는 지중	
양기과 효과를 이용한 고품배지재배 냉난방장치	본 발명은 양기과 효과를 이용한 고품배지재배 냉난방장치	작물을 재배할 수 있는 공간을 갖는 고품배지, 상	
양기과 효과를 이용한 고품배지재배 냉난방장치	본 발명은 양기과 효과를 이용한 고품배지재배 냉난방장치	작물을 재배할 수 있는 공간을 갖는 고품배지, 상	
자연광 병용 고품도 식물재배 컨테이너	본 발명은 컨테이너 식물재배 시스템에서 다양한 기술적 용	태양광 중에 포함된 열선 대역을 분리하여 식물재	
내부온도편차 저감 배관식 온실용 냉난방시스템	본 발명은 내부온도편차 저감 배관식 온실용 냉난방시스템	길이방향으로 나열되며, 폭방향으로 특정간격 이	
식물재배용 지중온습도 조절장치	본 발명은 식물재배용 조절장치에 있어서, 비닐하우스 밖	식물재배용 조절장치에 있어서, 비닐하우스 밖에	
식물재배용 지중온습도 조절장치	본 발명은 식물재배용 조절장치에 있어서, 비닐하우스 밖	식물재배용 조절장치에 있어서, 비닐하우스 밖에	
용특한 에너지상산과 저장기술을 이용한 온실	본 발명은 용특한 에너지상산과 저장기술을 이용한 온실	여온실 에너지공급시스템에 있어서, 에너지를 생산	
온수와 냉수 축열조 동시 운용 농업용 지열	본 발명은 온수와 냉수 축열조 동시 운용 농업용 지열	시스템 내부에 온수가 저장되며 상기 온수를 통해 부하	
온수와 냉수 축열조 동시 운용 농업용 지열	본 발명은 온수와 냉수 축열조 동시 운용 농업용 지열	시스템 내부에 온수가 저장되며 상기 온수를 통해 부하	
하이브리드형 분산 난방 시스템 및 그 설치방법	본 발명은 하이브리드형 또는 온실의 경우 어떠한 방식의 난방장치를	사용스마트팜의 특성을 따라 난방효율이 상대적으로	
온실에 발전소의 온배수열과 이산화탄소를	본 발명은 온실 열에너지 및 이산화탄소 공급 시스템으로서	온실 배관망 시스템으로서, 발전소에서 배출되는	
PIPING NETWORK SYSTEM SIMULTANEOUS	The present invention relates to a system for supplying		
농작물 및 어류양식이 가능한 하이브리드 스	본 발명은 농작물 및 어류양식이 가능한 하이브리드 스마트외부가	투명하게 형성되며, 온도센서와 습도센서	
히트펌프를 이용하는 국소 온실 환경 관리 시	본 발명은 히트펌프(400)를 포함하며 온실(1)에 위치하는	고히트펌프(400)를 포함하며 온실(1)에 위치하는 고	
히트펌프를 이용하는 국소 온실 환경 관리 시	본 발명은 히트펌프(400)를 포함하며 온실(1)에 위치하는	고히트펌프(400)를 포함하며 온실(1)에 위치하는 고	

그림 7-14. 관련기술 선행문헌 조사

○ 연구수행결과

- 냉수코일 잉여열을 회수하여 PAD에 공급하는 액티브&패시브 일체형 공조기 개발, 설치완료
 - 공조기 냉방시 발생하는 응축수 및 잉여열을 활용하도록 공조기 내장형 잉여열 회수설비 설계, 설치
 - 응축수 코일 하부에 드레인 탱크 설치
 - 냉방코일 일부를 잉여열 탱크에 설치하여 항상 차가운상태 유지
 - 응축 및 냉각된 드레인수를 PAD에 공급하여 기화냉각 촉진, 에너지저감

- 패시브 냉방공급을 위한 PAD 시스템을 공조기 내장 잉여열 시스템과 연계
 - PAD 일체형 공조기를 잉여열 활용 시스템과 연계
 - 공조복도를 설치하지 않아도 세미클로즈 온실과 유사기능 수행 (외기냉각, PAD 기화냉각, 액티브 냉난방, 가습)

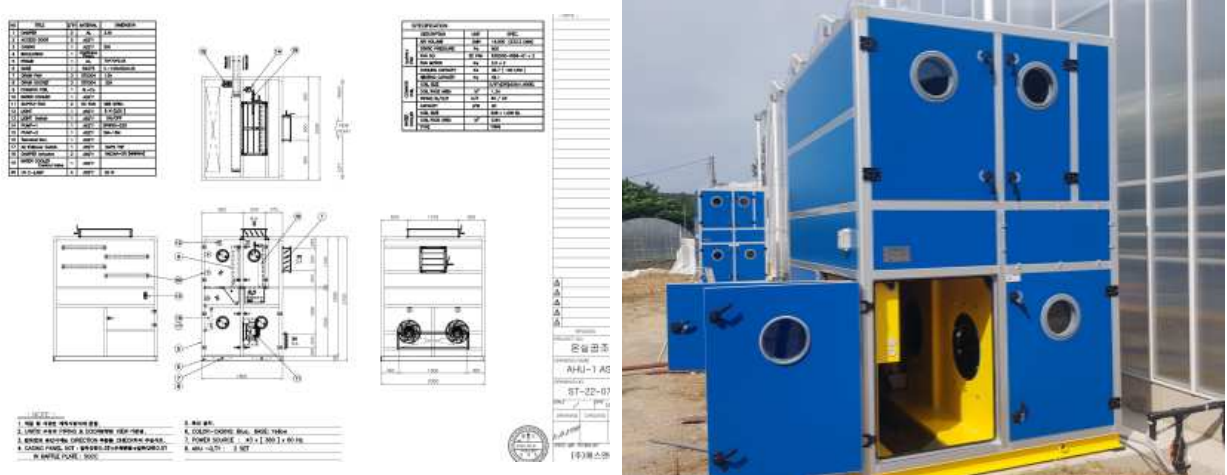


그림 7-15. 액티브&패시브 일체형 공조기 개발, 설치완료

- 양액 온도와 산소포화도를 동시에 최적화 조절하는 양액시스템 개발
 - 양액의 온도와 산소 농도를 조절하여 공급하는 시설원에 특허출원
 - 히트펌프 시스템으로 양액 온도조절과 동시에 또는 별도 요구에 따라 산소농도를 조절하는 시스템 고안 및 특허출원 완료 (출원번호 10-2022-0146818)

(3) 2단계 1년차

○ 연구 목표

- 지열&공기열 복합형 히트펌프시스템 실증실험(목포대 온실)

○ 연구 내용 및 결과

- 목포대 실험온실 지열&공기열 복합형 히트펌프시스템 상용화 검증
 - 온실에 대한 냉/난방 부하계산 및 열원시스템 용량계산

온실 냉/난방 부하 계산서 입력 시트

1. 지구명:

2. 농가명:

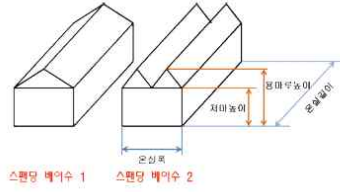
3. 온실의 종류:

4. 온실규모 및 구역

용마루 높이:	7.20m
처마 높이:	6.30m
1SPAN당 BAY수:	2개
1동 온실 폭:	8.00m
1동 온실 길이:	16.00m
온실 동수:	1동
작업장 면적:	0m ²
근권 라인 수:	5 Line
근권 라인 길이:	13.0m
온실 둘레 길이:	48.00m

5. 피복방법 및 피복재 종류 (표1 참고하여 번호 입력)

지붕(ROOF):	1
전후면(GABLE):	4
측면(SIDE GABLE):	4



ex: 온실모양 불규칙 할경우 온실 평균길이 $L = (Ax4+Bx2)/(4+2)$

ex: 온신폭을 b라 할경우 둘레길이 $L' = A+B+(4bx2)+(2bx2)+C+D$

표1 피복방법 및 피복재 종류		
피복방법	피복재의종류	번호
1중피복	유리	1
	염화비닐필름	2
	폴리에틸렌필름	3
	폴리카보네이트	4
	아크릴(PMMA)	5
2중피복	유리+유리	6
	유리+염화비닐필름	7
	염화비닐필름+염화비닐필름	8
	폴리에틸렌필름+폴리에틸렌필름	9
플레트하우스	판포스티로폼	10

그림 7-16. 목포대 온실 구조 및 피복재 반영

과채실험 유리온실 냉/난방 시스템 난방부하 계산서

1. 설계제원

가. 사업명: 목포대학교 지열 냉난방

나. 농가명: 과채실험 유리온실

다. 온실의 종류: 유리온실(벤로형)

라. 온실규모 및 구역

용마루 높이:	7.20 m
처마 높이:	6.30 m
1SPAN당 BAY수:	2.00 개
1동 온실 폭:	8.00 m
1동 온실 길이:	16.00 m
온실 동수:	1.00 동
근권 라인 수:	5 Line
근권 길이:	13.00 m
작업공간 :	0.00 m ²

마. 피복방법 및 피복재 종류

구분	피복재	피복방법	비고
지붕(ROOF)	유리	1중피복	
전후면(GABLE)	폴리카보네이트(18t)	1중피복	
측면(SIDE GABLE)	폴리카보네이트(18t)	1중피복	

바. 보온피복(커튼) 방법 및 보온피복재 종류

구분	보온피복재	보온피복방법
지붕(ROOF)	폴리에틸렌필름+알루미늄층착	2중커튼
전후면(GABLE)	보온피복양용	피복양용
측면(SIDE GABLE)	보온피복양용	피복양용

사. 재배(기준)작물: 토마토

아. 외기 온도 기준점: 목포

자. 난방 방식: 튜브레일 난방 온실

그림 7-17. 목포대 온실 난방 부하계산

■ 냉/난방 부하계산 확정

- A구역 난방부하 : 38,620kcal/h, 45.0kW
- B구역 난방부하 : 27,495kcal/h, 32.0kW
- A구역 냉방부하 : 30,445kcal/h, 35.5kW

- B구역 냉방부하 : 21,676kcal/h, 25.3kW
- 합계 : 난방부하 : 66,115kcal/h, 77.0kW
냉방부하 : 52,121kcal/h, 60.8kW

■ 열원시스템 설치용량 산정

- 난방용량 : 59,136kcal/h, 68.8kW
(지 열 : 32,476kcal/h, 37.8kW)
(공기열 : 26,660kcal/h, 31.0kW)
- 냉방용량 : 55,152kcal/h, 64.1kW
(지 열 : 31,932kcal/h, 37.1kW)
(공기열 : 23,220kcal/h, 27.0kW)

■ 지열/공기열 복합열원 히트펌프 시스템 설치

장비 일람표

구분	부품명	수량	단위	제조사	모델명	주요특징	설치위치	비고
1	지열 히트펌프	1	대	지열	지열	지열	지열	지열
2	공기열 히트펌프	1	대	공기열	공기열	공기열	공기열	공기열

구분	부품명	수량	단위	제조사	모델명	주요특징	설치위치	비고
1	수동 밸브	1	개	수동	수동	수동	수동	수동
2	자동 밸브	1	개	자동	자동	자동	자동	자동

구분	부품명	수량	단위	제조사	모델명	주요특징	설치위치	비고
1	수동 밸브	1	개	수동	수동	수동	수동	수동
2	자동 밸브	1	개	자동	자동	자동	자동	자동

구분	부품명	수량	단위	제조사	모델명	주요특징	설치위치	비고
1	수동 밸브	1	개	수동	수동	수동	수동	수동
2	자동 밸브	1	개	자동	자동	자동	자동	자동

구분	부품명	수량	단위	제조사	모델명	주요특징	설치위치	비고
1	수동 밸브	1	개	수동	수동	수동	수동	수동
2	자동 밸브	1	개	자동	자동	자동	자동	자동

구분	부품명	수량	단위	제조사	모델명	주요특징	설치위치	비고
1	수동 밸브	1	개	수동	수동	수동	수동	수동
2	자동 밸브	1	개	자동	자동	자동	자동	자동

에너지엔지니어링 & 건축공사 대전 서구 도안동 11번길 32, #403	무	서	지	구		건설분야	건축	기재설비 장비일람표	
	사	장	단	위	공		도		면
목포대학교 유리온실, 신축공사					구		도	면	번호
					구		도	면	번호

그림 7-18. 목포대 복합열원 시스템 장비사양 도면

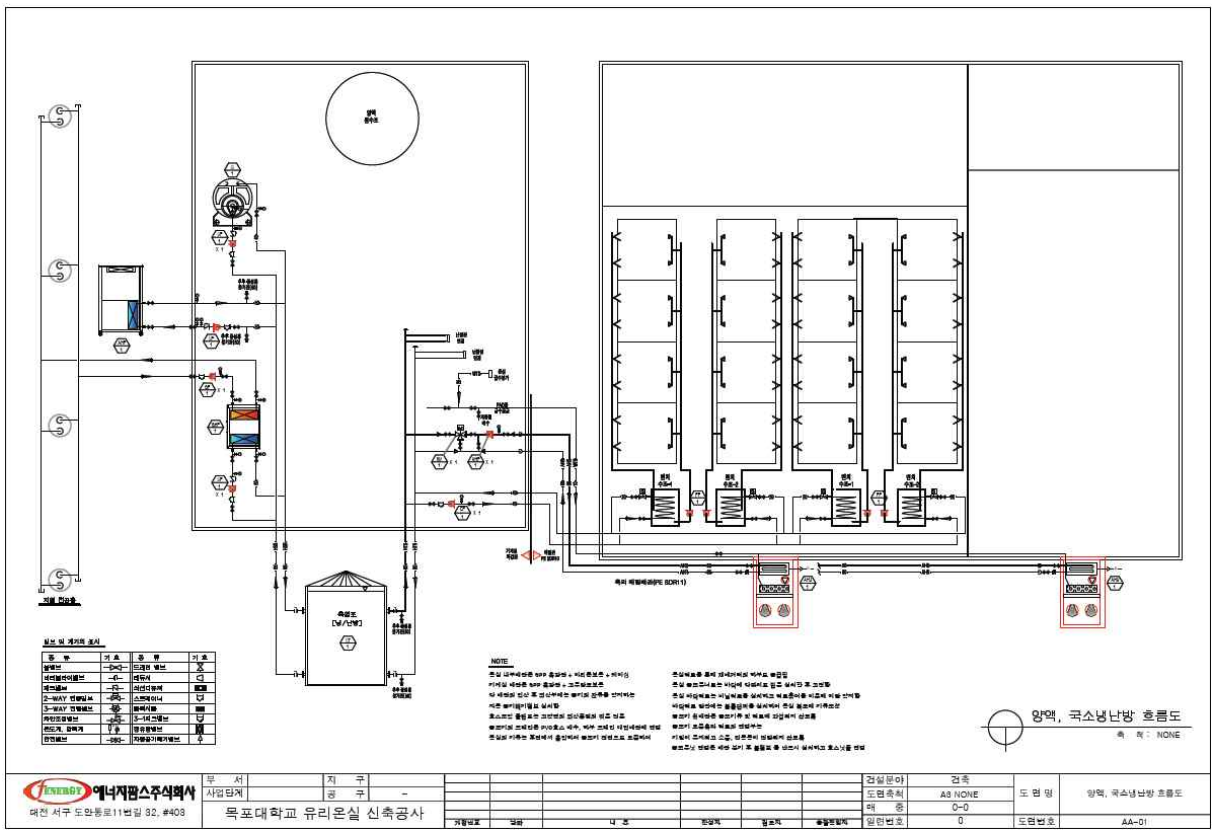


그림 7-19. 목포대 복합열원 시스템 설치 흐름도



양액 냉난방 탱크 및 배관설치

지열 / 공기열 히트펌프 설치

국소냉난방 장비, 배관 설치

제어설치, 운전, 모니터링

그림 7-20. 목포대 복합열원 시스템 설치



실증용 양액탱크 설치



히트펌프, 국소냉/난방탱크 설치



양액공급, 온도제어기 설치, 시운전

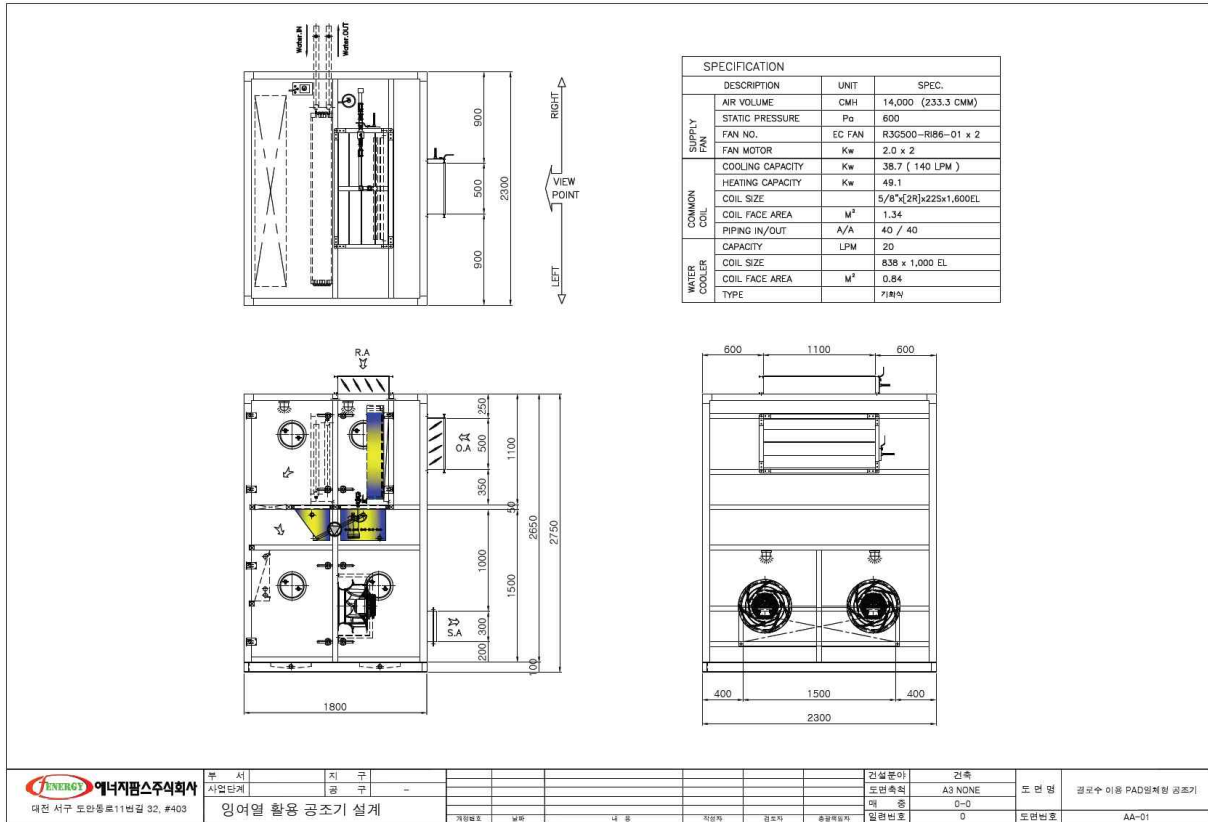


국소부, 양액 냉/난방 실증시험

그림 7-22. 국소냉난방, 양액온도조절 실험설비 설치

- 아트팜 온실에 실험군으로 국소냉난방 조절용 재배블록 15set X 2, 30세트 설치, 기타 80세트 이상은 기존방식으로 국소냉난방 공급하지 않고 실험군 및 대구군 비교실험 진행
- 양액공급 정지 시 배관 내에 정체된 양액이 배지에 공급되는 현상을 발견하고 이를 개선하기 위하여 양액 환수배관 및 환수시간 제어기기 설치
- 이를 통해 양액배관이 장거리로 증가할 경우에도 배관내부 정체양액으로 인해 배지별로 다른온도의 양액이 공급되는 현상을 개선할 수 있음
- 다만 환수배관의 압력조절, 환수 운전간격은 시운전을 수행하며 온실의 특성을 반영하여야 할 것임
- 양액의 온도조절 및 공급량 조절은 목포대학교의 실험기준에 의함
- 연구 목표
 - 잉여열 회수, PAD냉각시스템 활용설계(목포대온실 공조기)
- 연구 내용 및 결과
 - 잉여열 회수, PAD냉각시스템 활용 설계
 - 공조기 내부 냉방 열교환기의 결로수를 활용하여 PAD의 공급수로 이용할 수 있는 PAD일체형 공조기 설계
 - 공조기 냉방코일의 결로수 받이를 드레인 펌프를 활용 PAD 공급수조로 펌핑
 - PAD 공급수 수조의 충진은 일반 급수를 1차적으로 활용하며 2차로 공조기의 결로수를 공급함으로 저온 결로수에서 공급된 냉열로 인해 PAD의 성

능을 개선시킬 수 있음



ENERGY 에너지플러스주식회사
대전 서구 도안동로11번길 32, #403

부서	지부	건설분야	건축	도면번호	AA-01
사업단	공구	도면속칭	A3 NONE	도면명	경로수 이용 PAD일체형 공조기
잉여열 활용 공조기 설계		매종	0-0	도면번호	
계량번호	MM	내용	직장	공도	유형

그림 7-23. 잉여열 활용 PAD 일체형 공조기



잉여열 활용 PAD일체형 공조기 제작



목포대 실험온실 설치

그림 7-24. 잉여열 활용 PAD 일체형 공조기 제작, 설치

- 실용화에 따른 경제성

■ 양액 냉난방기의 용도

- 출시한 양액 냉난방기는 겨울철 시설원에 작물에 공급하는 양액을 작물이 흡수하기 좋은 온도로 가열하여 공급하고 반대로 여름철에는 냉각하여 공급함으로 작물의 수분 및 양분의 흡수를 돕고 중요기관(뿌리부분)의 생장을 촉진하는 역할을 수행함.

■ 기존기술에 대한 내용

- 기존의 양액난방기술은 보일러를 사용하여 겨울철 온수가열하는 방법으로 양액을 난방하여 사용하고 있음. 이런 경우 냉방이 필요한 하절기에는 감온 기능이 없어 냉각하지는 못하던 시장 상황임

■ 개발 기술에 대한 장점

- 개발 기술은 히트펌프를 이용하여 양액을 난방 뿐 아니라 냉각까지 겸하고 있어 난방 기간 뿐 아니라 냉방기간 까지도 양액의 온도를 조절하여 양액공급 부위를 흡수에 최적의 상태로 조성할 수 있는 양액 냉난방기임

- 경제성 검토

① 에너지 사용량 산정

양액난방 공급 시 히트펌프를 사용하는 방법과 화석연료로 가열하는 방식을 비교검토

- 양액 냉난방기 설치비 : 30,000 천원

- 양액 가열열량 :

3ha 기준 100ton / day X 15℃(5.0℃ → 20℃를) 가열

= 100 X 1,000 X 15

= 1,500,000kcal/day

- 겨울철 가열량 :

(1월 - 31일, 2월 - 15일, 11월 - 15일, 12월 - 31일 로 산정)

= 92day / yr X 1,500,000kcal / day

= 138,000,000kcal/yr

② 기존방식 에너지 비용

- 보일러 효율 90%, 경유단가 : 1,400W/lit, 발열량 : 9,200kcal/lit 일 때

= 138,000,000kcal/yr / 90% X 1,400W/lit / 9,200kcal/lit

= 23,300,000W/yr

∴ 기존방식 : 23,300,000W/yr

③ 개발방식

- 히트펌프 COP : 3.0, 전력단가 : 43W/kWh (농업전력) 일 때

= 138,000,000kcal/yr / 860kcal/h/kW X 43W/kWh

= 6,900,000W/yr

④ 운전비 차액

③ - ④

= 23,300,000 - 6,900,000

= 16,700,000W/yr 저감

⑤ 투자비 경제성(회수년수)

경제성 = 양액 냉난방기 설치비 / 연간 저감비용

= 30,000,000 / 16,700,000

= 1.8년

∴ 개발한 히트펌프형 양액냉난방기를 설치하면 2년 이내에 시설 투자비를 회수할 수 있음.

- 장비효율 및 에너지 비용 정리

- 보일러 효율 90% : 통상의 경유보일러 장비효율
- 히트펌프 COP 3.0 : KS인증받은 공기열히트펌프의 난방COP 및 순환펌프 동력을 합산한 효율
- 전기요금 : 2024년 기준 농업용 전기료+연료비 연동+환경부담금
- 경유단가 : 통상의 저유황경유 단가 ₩1,400 / lit

4) 공동연구개발기관 주식회사 이산

(1) 1단계

○ 연구 목표

- 계획수립 및 자료조사 /양액, 국소 냉난방 관리 시스템 요구사항 분석
- DB 인터페이스 설계 / 온,습도 관제시스템 유효 데이터 모델 설계 및 서비스 콘텐츠 설계
- IoT 기반 정보 수집 플랫폼 개발, 냉난방 시스템 알고리즘 개발 / 서비스 UI/UX 설계

○ 연구 수행 내용 - 실험 재료 및 방법

Monitoring Conceptual Architecture

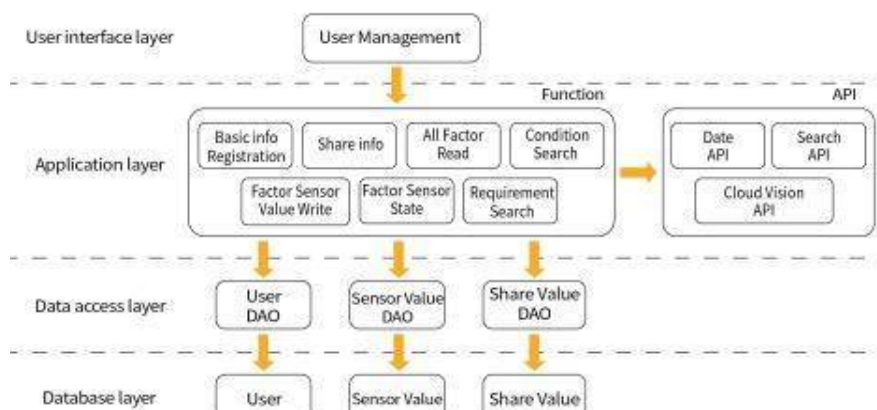


그림 8-1. 모니터링 관제 시스템 컨셉 설계

- 연구 시스템 개발을 위한 작업 진행 요소와 WBS(작업분할구조) 세부 내용

표 8-1. WBS 세부 내용

세부 요소	세부 내용
1. Sprout	프로젝트 명
1.1 프로젝트 계획	프로젝트를 진행을 위한 계획
1.1.1 시스템 개요 선정	브레인스토밍을 통한 시스템 구성 선정
1.1.2 벤치마킹	유사한 시스템과 관련된 시장 조사
1.1.3 관련 자료 수집	프로젝트 진행을 위한 사전 조사
1.1.4 관련 기술 동향 파악	프로젝트와 관련된 기술 동향 파악
1.2 요구사항 모델링	요구사항을 모델링
1.2.1 요구사항 분석	프로젝트의 요구사항 분석
1.2.2 요구사항 명세서 작성	도출된 요구사항으로 요구사항 명세서 작성
1.2.3 다이어그램 작성	요구사항에 맞게 다이어그램 작성
1.3 설계	1.2를 토대로 프로젝트 설계
1.3.1 UI 디자인	프로젝트 UI 디자인
1.3.2 개념적 아키텍처 설계	프로젝트 개념적 아키텍처 설계
1.3.3 DB 설계	프로젝트 DB 설계
1.4 구현	1.3을 토대로 구현
1.4.1 소스코드 작성	1.3을 토대로 소스코드 작성
1.4.2 실험 운영	프로젝트 산출물 테스트하고 유지 및 보수
1.5 보고서 작성 및 평가	프로젝트 보고서를 작성 및 평가
1.5.1 산출물 수록	프로젝트 산출물을 보고서에 수록
1.5.2 보고서 작성	최종 보고서 작성

- 관제시스템 개발을 위한 프로덕트 백로그 상에 작성된 프로세스별로 작업이 진행중이며 현재 작업 단계를 Status(상태)로 표기

표 8-2. 프로젝트 백로그

Task Name	Subject	Priority	Status
Backlog 1	농장 관리 기능	1순위	
Task 1	농장 데이터베이스를 구축한다.		Complete
Task 2	농장식 별 기능을 개발한다.		Complete
Task 3	로그인 기능을 개발한다.		Complete
Task 4	로그아웃 기능을 개발한다.		Complete
Backlog 2	환경정보 수집, 관리 기능	2순위	
Task 5	환경정보 수집, 관리 관련 데이터베이스를 구축한다.		Complete
Task 6	환경정보 수집, 관리 페이지를 만든다.		Complete
Task 7	게시글 작성 기능을 개발한다.		Complete
Task 8	게시글 수정 기능을 개발한다.		Complete
Task 9	게시글 삭제 기능을 개발한다.		Complete
Task 10	Dashboard 게시 기능에 추가한다.		Complete
Backlog 3	작물정보 열람 기능	3순위	Complete
Task 11	작물정보 열람 페이지를 만든다.		Complete
Task 12	스마트사업단 API를 이용해 정보가 필요한 작물 이름을 검색하면 관련된 정보를 제공한다.		In progress
Backlog 4	온실 환경정보 수집, 관리 기능	4순위	
Task 13	온실 환경정보 수집, 관리 데이터베이스를 구축한다.		Complete
Task 14	온실 환경정보 수집, 관리 페이지를 만든다.		Complete
Task 15	관리자 요구 작성 기능을 개발한다.		Complete
Task 16	관리자 요구 삭제 기능을 개발한다.		Complete
Task 17	Dashboard 게시 기능에 추가한다.		Complete
Backlog 5	요구 조건별 온실 환경 검색 기능	5순위	Complete
Task 18	온실환경 조건 검색 페이지를 만든다.		Complete
Task 19	스마트 사업단 API를 통해 유사 온실 환경정보 공유		In progress
Backlog 6	개별 데이터 확인 기능	6순위	Complete
Task 20	개별 데이터 확인 페이지를 만든다.		Complete
Task 21	개별 데이터 조회 기능을 개발한다.		Complete
Task 22	개별 데이터 수정 기능을 개발한다.		Complete
Backlog 7	작물 관련 정보 제공 기능	7순위	In progress
Task 23	작물별 성장시기별 카테고리를 만든다.		In progress
Task 24	스마트 사업단 API를 이용해 카테고리에 해당하는 작물정보를 제공한다.		In progress
Backlog 8	전체 검색 기능	8순위	Complete
Task 25	메인페이지의 검색창을 만든다.		Complete
Task 26	시스템의 전체 데이터베이스에서 검색 내용과 연관된 검색 내용을 선별해서 전송하는 알고리즘을 개발한다.		Complete
Backlog 9	웹사이트, 어플 모두 사용 가능한 기능	9순위	Complete
Task 27	웹사이트와 어플 둘 다 접속이 가능하도록 웹앱으로 개발한다.		Complete

- 관제시스템 개발시 농장별 데이터 수집을 위한 장치가 필요함. 스마트온실의 유형별로 다른 지역, 규모, 작물, 재배방식에 각각 대응할 수 있는 정보 수집 장치를 필요로 하고 서버로의 전송을 위해 이장치는 485 to Ethernet 통신이 가능한 아래의 요구조건을 충족하도록 제작함.

표 8-3. 정보수집장치 요구사항 정의서

업무	기능요구사항
디자인 및 기구	1. 농장 환경을 고려하여 안테나 외부 설치 설계 2. 설치 간격 및 커버리지를 고려하여 설계 3. 작물로 인한 데이터 손실을 고려하여 설계할 것 4. 정확한 온습도 센싱을 위한 기구설계 및 보정을 위한 알고리즘 적용 5. 이동 설치가 용이하도록 설계할 것
Position AP	- 해당 위치의 센싱 정보 획득 (Gyro, 온도, 습도) - 획득된 정보와 AP 자체의 보유 배터리 정보 취합 - BLE 기능을 통하여 해당 AP의 정보를 주기적으로 송신(TX)
Alert Zone AP	- 정밀구역 또는 온실보에 설치하여 BLE 신호 발생 - 정밀구역 또는 온실보에 설치하여 Gyro, 온도, 습도, VOC 정보 획득 - 획득된 정보와 Alert Zone AP 자체의 보유 배터리 정보 취합 - BLE 기능을 통하여 해당 AP의 정보를 주기적으로 송신(TX)
Terminal 및 펌웨어	- Position AP와 Alert Zone AP의 BLE TX신호를 수신 - 해당 BLE의 RSSI신호를 수신하여 신호세기 감지 - Position AP/Alert Zone AP 의 BLE 신호를 수신하여 ID 및 센싱값 확인 - Position AP/Alert Zone AP의 신호 세기를 측정하여 데이터 에러 여부 판단 - 데이터 에러 발생시 자체의 Alert를 통하여 알림기능 포함 - Position AP/Alert Zone AP의 센싱 정보 및 ID 정보를 Lora 통신을 이용하여 Gateway로 전송
Gateway	Terminal에서 오는 485 신호를 Ethernet로 변환하여 관제 시스템 서버로 전달

- 동작정의

■ Position AP & Alert Zone Ap

- ① 안전 관제 시스템에 매핑된 위치에 설치 (Position AP)
- ② 전파 간섭시 데이터 품질검증을 통해 경고 발생 (Alert Zone AP)
- ③ 해당 위치의 센싱 정보 획득 (기울기, 온습도, VOC)
- ④ 획득된 정보와 AP 자체 정보 취합
- ⑤ BLE 기능을 통하여 해당 AP의 ID와 센싱 정보를 주기적으로 송신(Tx)

■ Worker Terminal

- ① Position AP와 Alert Zone AP의 BLE Tx 신호를 수신
- ② 해당 블루투스의 RSSI신호를 수신하여 신호세기 감지
- ③ AP의 BLE 신호를 수신하여 ID 및 센서값 확인
- ④ AP의 측정된 신호중 정의된 데이터 에러구간 여부 판단, 에러구간 진입시 자체 알람

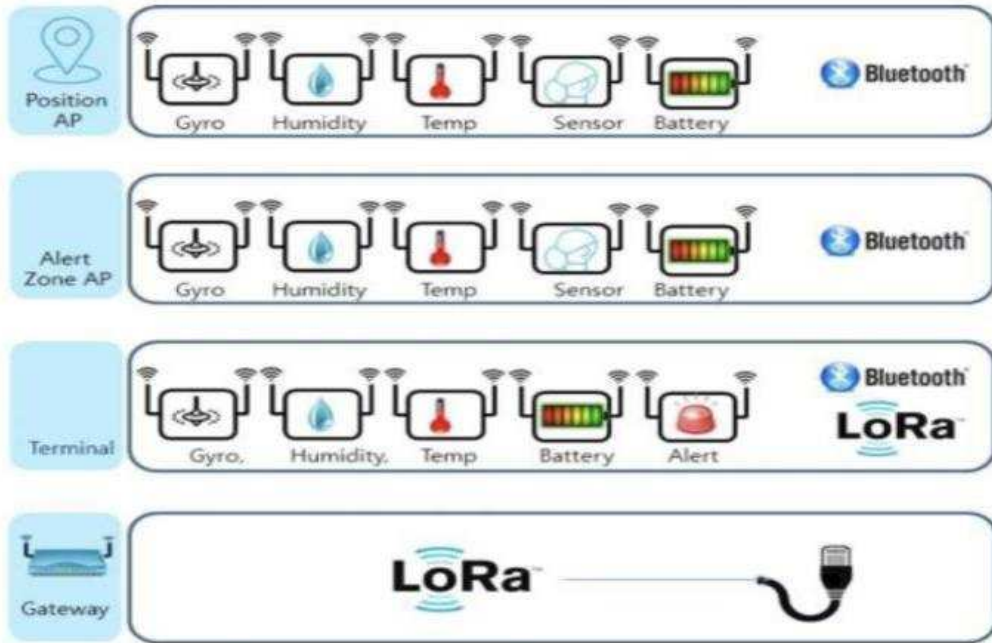

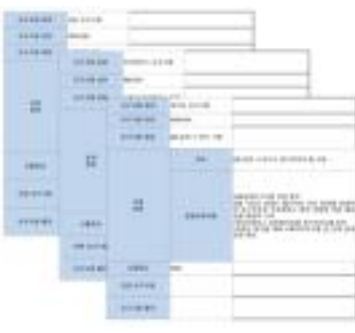


그림 8-2. H/W 구성도


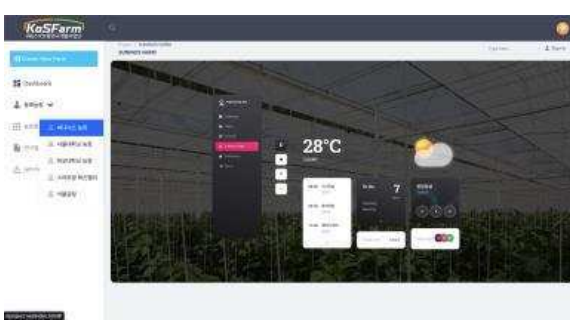


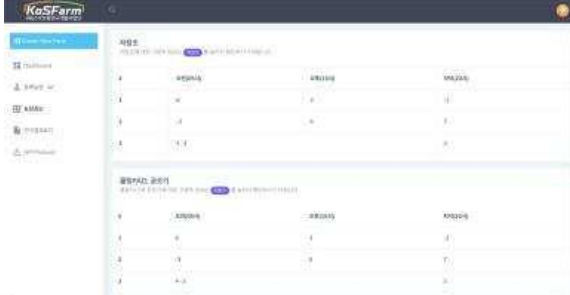
- 모니터링 관제시스템 모델 테스트를 위한 개발요구서

개발요구서	구성	개요
		<p>모니터링통합관제시스템에서 필요로 하는 기능적으로 요구되는 사항들을 파악하여 각각의 시스템 기능들이 어떻게 구축되어야 하는지에 대해 정의.</p>

○ 연구수행결과

- DB 인터페이스, 온·습도 관제시스템 유효 데이터 모델 및 서비스 콘텐츠 설계
- 냉난방 시스템 알고리즘 및 서비스 UI/UX 설계
- 다양한 온실에 대응 가능한 적층형과 분산형이 가능한 데이터베이스 설계
- DB 인터페이스, 온·습도 관제시스템 유효 데이터 모델 및 서비스 콘텐츠 설계 (Database에 수집되는 정보의 가변성과 데이터 적층방식의 변화, 사용자 요구의 변화에 따라 대응할 수 있도록 설계함.)

표 8-4. UI/UX 결과 및 설명

결과	개요
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 통합 대쉬보드 2. 온실내 열수지 측정 모델을 위한 데이터 뷰화면을 구축하였다. 3. 온실내,외 온도와 습도 그리고 근권부 온,습도를 측정하여 모니터링 하는 시스템
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 농장별 모니터링 환경 구축 2. 공공데이터 정보와 농장 환경정보를 매핑하여 환경설정에 참고할 수 있도록 설계
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기본적인 온실 정보와 실험자의 연구 정보에서 결과값이 어떻게 보이는지 설명 가능 2. 모든 테이블 스타일은 기본정보에서 상속된다.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 온실환경정보를 통해 내외부 환경보정 값 편차를 찾아 존별 편차 및 시간별 편차를 보정하는데 활용한다. 2. 편차보정에는 기상정보스왑 보정프로그램을 활용한다.
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 냉난방 장비의 효율과 정보 뷰 2. 저장조의 상태와 온도를 볼수 있다. 3. 쿨링패드의 현재 상태 정보 4. 공조기 특히 공조팬의 RPM정보와 온도를 별도의 데이터베이스로 관리함

Column Name	Datatype	PK	NN	AI	Default	Explanation
userID	VARCHAR(20)	☐	☐			사용자 ID
userPassword	VARCHAR(20)				NULL	사용자 비밀번호
userName	VARCHAR(20)				NULL	사용자 이름
userPass	VARCHAR(20)				NULL	사용자 비번
userEmail	VARCHAR(50)				NULL	사용자 이메일 주소

그림 8-3. 데이터베이스 설계 : Account Table _ user

Column Name	Datatype	PK	NN	AI	Default	Explanation
factorCensorID	INT(11)	☐	☐		NOT NULL	센서 ID
FactorCensorST	INT(11)				NOT NULL	센서 상태 정보
FactorCensorSetTIME	Time(50)				NOT NULL	정보 읽는 시간 설정
FactorValueID	VARCHAR(20)				NULL	정보 값 연동 장비 No
Date	DATETIME				NULL	정보 값 등록 일시
FactorContent	VARCHAR(2048)				NULL	정보 값

그림 8-4. 데이터베이스 설계 : Factor Table _ temperature

■ 저장조 투입량 계산 쿼리

```
$query = "select count(*) as cnt from man_domember where Ddate =
{$d} and Dcode={$dcode} {$hcode_query} "; $crow =
db_fetch_row($query,$connect); $chart1_data .= "[" . $i . "일'," .
($crow[cnt]+0) . "];"
```

■ 공조기 평균가동률 구하기

```
$query = "select count(*) as cnt from dodone where Ddate = {$d} and
Dcode = {$dcode} {$hcode_query} and Del=0 "; $lrow =
db_fetch_row($query,$connect); $chart2_data1 .= "[" . $i . "일'," .
($lrow[cnt]+0) . "]; if ( $crow[cnt] > 0 ) $avg =
(floor($lrow[cnt]/$crow[cnt]*100)/100); else $avg = 0; $chart2_data2 .
= "[" . $i . "일'," . $avg . "];"
```

- IoT 기반 정보 수집 플랫폼 개발

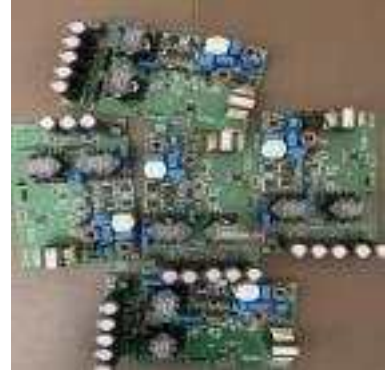
- 테스트베드 농장의 환경과 지역 재배작물 재배방식이 다르기 때문에 데이터의 값과 패킷 전송 방식등이 모두 상이
- 이에 대응할 수 있는 통합 데이터 정보 수집용 플랫폼을 필요
- 이를 위해 485와 231c, Tcp, Ethernet을 선택이 가능한 플랫폼을 개발



network access con^t board



Device Connecting Module



전력량제어보드



통신용Board PCB



하우징 작업



써니너스 농장 test

그림 8-5. IoT 기반 정보 수집 플랫폼 개발

- 관제시스템 연동 소프트웨어 개발 결과

- 관제시스템 유효 데이터 모델과 서비스 콘텐츠 설계 관련 플랫폼 유효성 평가는 자체 실험을 통해 안정적임을 확인
- 공인된 유효성을 득하고자 한국정보통신산업진흥원과 1차 미팅을 하였으며 결과 신뢰할 수 있는 데이터를 상당 부분 누적해야 할 필요가 있어 데이터 누적 중
- 데이터 누적과 시스템 업데이트 후 사업 3년차에 인증 신청 예정

1. 스마트팜 기상정보 스왑, 분석 프로그램

- 스마트팜을 운영하는 경영체의 열에너지 비용이 전체 경영비의 30%를 차지하기 때문에 이를 효율적으로 관리 할 수 있는 방법이 필요하고 운영자의 환경제어 기준이 틀려 작물의 생산량과 온실운영의 효율성이 각기 달라 이를 표준화 하여 지역별 다른 외기 환경에서 운영 기준점을 만들어 이를 통해 온실환경을 설정하는 프로그램이 필요함.

- 환경이 다른 온실의 데이터를 수집하여 통합하는 소프트웨어 기상청 공공데이터와 온실의 외기 환경데이터를 통합하고 오차값을 적용하여 1주단위 외기환경을 예측하여 온실내 환경제어를 입력할 수 있다.

- 온실에 맞는 적정 온,습도 제어 기준점을 얻을 수 있다.

- 각 온실별 외기 내기 환경을 수집하고 기상청 정보를 예측하여 환경제어 설정



2. 스마트팜 기상정보 스왑, 분석 프로그램

- 온실 데이터를 취합하여 빅데이터를 구축하는 과정에서 스마트팜 온실의 유형이 다르고(유리온실과 비닐온실 등) 재배 품목이 다르기 때문에 이에 대한 환경 데이터를 수집함에 있어 동일 정보의 파라미터 값이 틀리고 각 정보에 대한 설치 모듈이 각각 틀려 프로토콜이 틀리기 때문에 각 온실 서버에서 정보를 취합하는 정보수집 장치를 개발하여 모듈별 규정을 정하고 온실 경영체의 재산인 데이터의 보안이 적용된 소프트웨어가 필요함

- 환경이 다른 온실의 데이터를 수집하여 통합하는 소프트웨어

- 작물에 대한 이해가 있다면 누구나 설정하여 데이터를 전송할 수 있도록 구성

- 보안된 데이터를 빅데이터로 전송하고 빅데이터 자료를 활용할 수 있음

3. 온실 국소부 제어를 위한 대표 DLBC모터 자동 추종 시스템

• 선택된(추종 대상 지정) 팬의 드라이브에서 현재 온도, 최저·고 온도, 최저·고 속도(RPM)와 주파수 신호와 최대전류 값을 받아와서 원하는 영역(국소부 단위로 선택)의 공조팬들 만을 자동으로 추종하여 운전할 수 있도록 하는 프로그램

• 혹한기 또는 혹서기 스마트팜 온실의 최적 상태 유지를 위해 필요한 냉,난방 기술로 현재온도 최저 최고 온도 최저 최고 RPM 속도 등을 이용하여 추종대상의 공조기 주행상황을 판단하고, 상황에 따른 추종하는 공조팬 자동 운전을 통해 최적 온도를 계획할 수 있는 프로그램

• 대형 스마트팜에서 사용하는 485 to tcp/ip 통신에 최적화된 소프트웨어로 기존 데이터 변환장치가 필요없는 장점이 있다.

• Agile 개발 방법론을 기반으로 핵심 기능 중심으로 반복, 점진적으로 시스템을 구현하고 형상 및 변경 관리를 실시하여 고유 형상 항목을 식별하여 추적 관리함



4. 스마트팜 공조팬 속도와 소비전력 테스트 프로그램



• 혹한기 또는 혹서기 스마트팜 온실의 최적 상태 유지를 위해 필요한 냉,난방 기술로 이는 동일 공간 연동 하우스나 단일 온실내에 넓은 공간에 동일한 온도를 유지하기 위해 필요한 기술이다.

• 선택된 팬의 드라이브에서 측정 시점 최저·고 온도, 최저·고 속도(RPM)와 주파수 신호와 최대 전류값을 받아와서 원하는영역(국소부 단위로 선택)의 해당 공조팬이 대표 공조팬을 추종하여 운전할 수 있도록 하기 위해서는 추종 대상의 팬에 대한 정확한 정보가 필요하고 이 데이터의 유효성 검사가 매우 중요하기 때문에 개발된 프로그램이다.

• 온실 국소부 제어를 위한 대표 DLBC모터 자동 추종 시스템을 운용하기 위해서 추종 대상 공조팬의 선정시 정확하 동작 정보가 필요하고 이를 검증하기 위해 별도로 구동하는 시스템으로 현장에서 직접 계측하고 값을 검증하기 위한 소프트웨어이다.

(2) 2단계

○ 연구 목표

- 온실 에너지 모니터링 시스템 개발

■ DB 인터페이스, 유효 데이터 모델 및 서비스 콘텐츠 설계

- IoT 기반 정보 수집 플랫폼 개발, 냉난방 시스템 알고리즘 및 서비스 UI/UX 설계
- 에너지 환경 모니터링 실시간 데이터베이스 구축
 - 양액, 국소 냉난방 관리 시스템 프로토타입 분석
 - 에너지 환경 모니터링 DB 인터페이스 개발, 유효 데이터 통합 DB 서버 구축, 서비스 모니터링 웹서버 개발.
 - IoT 기반 근거리 개체 자동인식(식별) 수집기, 에너지 환경 모니터링 엔진 및 서버 및 스마트폰 UI/UX 및 모바일 웹서버 개발.
- 온실 에너지 모니터링 관제 시스템 및 앱 개발
 - 시범 운용 방안 계획 및 통합시험 절차 수립
 - IoT 기반 수집기, 생육정보 기반 제어 콘텐츠 웹서버, 스마트폰 UI/UX 및 모바일 웹서버 고도화
- 연구 내용 및 결과
 - 온실 내 IoT 센서를 이용한 네트워크 구축, 구역별 시설내 작물의 국소 냉난방 제어와 양액 온도 변화량 계측 정보를 모니터링 할 수 있는 시스템으로써, 양액의 적정 온도를 관리하고 수집 저장하여 빅데이터 구축의 자료로 활용이 가능함. 관련된 정보를 도표, 그래프, 리포팅 등의 콘텐츠로 표현이 가능한 시스템 개발
 - 계획수립 및 자료조사 /양액, 국소 냉난방 관리 시스템 요구사항 분석
 - DB 인터페이스 설계 / 온,습도 관제시스템 유효 데이터 모델 설계 및 서비스 콘텐츠 설계
 - IoT 기반 정보 수집 플랫폼 개발, 냉난방 시스템 알고리즘 개발 / 서비스 UI/UX 설계



그림 8-6. 양액, 국소 냉난방 관리 시스템 구성도

- IoT(Internet of Things) 기반 정보 수집 플랫폼은 온실 내부의 수평, 수직 별 구역으로 나누어 센싱 정보를 기록하며 제어기의 동작 관리, 온,습도 관리와 온실내 온도변화를 수집하고, 실시간 모니터링이 가능하도록 플랫폼과 API를 통해 데이터베이스에 전송, 데이터베이스를 구축함. 구축된

통합 데이터베이스는 IoT 기술을 통해 서버 및 스마트 기기와 연동하여 서비스 확장성과 접근제어의 편의성을 제공

- 양액, 국소 냉난방 관리 프로토타입 분석 / 시스템 요구사항 보완
 - 에너지 환경 모니터링 DB 인터페이스 개발, 유효 데이터 통합 DB 서버 구축, 서비스 모니터링 웹서버 개발
- IoT 기반 근거리 개체 자동인식(식별) 수집기 개발 / 에너지 환경 모니터링 엔진 및 서버 개발, 스마트폰 UI/UX 및 모바일 웹서버 개발



그림 8-7. 에너지 환경 모니터링 실시간 데이터베이스 개념도

- 에너지 통합 관제시스템은 1차년 2차년 개발된 Parts를 통합한 관제시스템으로 온실 내외부 환경데이터와 각각의 액추레이터의 활동 정보를 실시간으로 모니터링하고 주어진 환경 조건환경에서 응급 알람 서비스와 동시에 방어적 자동제어가 가능한 통합관제시스템으로 스마트 기기를 이용한 원격 모니터링이 가능하고 온실 내부 Map 연계, IoT 센서 및 네트워크를 이용한 작업장 통합 환경 모니터링 시스템은 이상기후에 대응할 수 있도록 알람기능과 조건식에 따른 대응 알고리즘을 자동으로 수행 할 수 있는 시스템으로 개발함
- 에너지 통합 관제시스템 개발/시범 운용 방안 계획 수립 / 통합시험 절차 수립.
- IoT 기반 수집기 고도화, 생육정보 기반 제어 콘텐츠 웹서버 고도화, 스마트폰 UI/UX 및 모바일 웹서버 고도화
 - * 테스트베드 : 씨너스/목포대학교 실험온실

표 8-5, 온실데이터 목록

데이터 주소	명 칭	설정범위	표시 표시값
30001.0	HP-전체 운전명령FD	-	0:정지, 1:운전
30001.1	지열HP-개별 운전명령FD	-	0:정지, 1:운전
30001.2	공기열HP-개별 운전명령FD	-	0:정지, 1:운전
30001.3	HP-냉방모드명령FD	-	0:난방, 1:냉방
30001.4	제어-로컬모드상태	-	0:원격, 1:로컬(에너지팜스제어)
30001.5	지열HP-운전상태	-	0:정지, 1:운전
30001.6	공기열HP-운전상태	-	0:정지, 1:운전
30001.7	지열순환펌프-운전상태	-	0:정지, 1:운전
30001.8	냉난방순환펌프-운전상태	-	0:정지, 1:운전
30001.9	공기열순환펌프-운전상태	-	0:정지, 1:운전
30001.A	보일러순환펌프-운전상태	-	0:정지, 1:운전

30002.0	지열HP-통합알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.1	공기열HP-통합알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.2	지열순환펌프-EMPR알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.3	냉난방순환펌프-EMPR알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.4	공기열순환펌프-EMPR알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.5	보일러순환펌프-EMPR알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.6	지열HP-지열수고온알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.7	지열HP-지열수저온알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.8	지열-제어온도알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.9	축열조-제어온도알람상태	-	0:해제, 1:알람
30002.A	온실-통신알람상태	-	0:해제, 1:알람
30003	지중->지열HP온도(T1)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30004	지중<-지열HP온도(T2)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30005	지열HP->축열조온도(T3)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30006	지열HP<-축열조온도(T4)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30007	공기열HP->축열조온도(T5)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30008	공기열HP<-축열조온도(T6)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30009	축열조성층1온도-하(T7)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30010	축열조성층2온도-제어(T8)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30011	축열조성층3온도-상(T9)	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30012	지열HP-냉방설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30013	지열HP-난방설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30014	지열HP-재가동편차설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30015	공기열HP-운전편차설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30016	공기열HP-재가동편차설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30017	지열HP-축열조설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30018	공기열HP-축열조설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30019	보일러-축열조설정온도	°C	123(통신값)->12.3(표시값)
30020	예비		
30021	예비		
30022	예비		
30023	예비		
30024	예비		
30025.0	온실베드수조1-운전명령FD	-	0:정지, 1:운전
30025.1	온실베드수조2-운전명령FD	-	0:정지, 1:운전
30025.2	온실베드수조3-운전명령FD	-	0:정지, 1:운전
30025.3	온실베드수조4-운전명령FD	-	0:정지, 1:운전
30025.4	온실베드수조1-순환펌프운전상태	-	0:정지, 1:운전
30025.5	온실베드수조2-순환펌프운전상태	-	0:정지, 1:운전
30025.6	온실베드수조3-순환펌프운전상태	-	0:정지, 1:운전
30025.7	온실베드수조4-순환펌프운전상태	-	0:정지, 1:운전
30026.0	온실베드수조1-제어온도센서알람상태	-	0:해제, 1:알람

30026.1	온실베드수조2-제어온도센서알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.2	온실베드수조3-제어온도센서알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.3	온실베드수조4-제어온도센서알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.4	온실베드수조1-순환펌프ELCB알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.5	온실베드수조2-순환펌프ELCB알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.6	온실베드수조3-순환펌프ELCB알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.7	온실베드수조4-순환펌프ELCB알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.8	온실베드수조1-저수위알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.9	온실베드수조2-저수위알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.A	온실베드수조3-저수위알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.B	온실베드수조4-저수위알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.C	온실온습도센서-통신알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.D	외기온습도센서-통신알람상태	-	0:해제, 1:알람
30026.E	공조기토출온습도센서-통신알람상태	-	0:해제, 1:알람

표 8-6, 제어 목록

데이터 주소.비트	명 칭	설정범위	표시 표시값
40001	HP-전체운전명령		0:정지, 1:운전
40002	지열HP-개별운전명령		0:정지, 1:운전
40003	공기열HP-개별운전명령		0:정지, 1:운전
40004	HP-냉방모드명령		0:난방, 1:냉방
40005	온실베드수조1-운전명령		0:정지, 1:운전
40006	온실베드수조2-운전명령		0:정지, 1:운전
40007	온실베드수조3-운전명령		0:정지, 1:운전
40008	온실베드수조4-운전명령		0:정지, 1:운전
40009	지열HP-냉방설정온도명령	10~50°C	12.3(표시값)->123(통신값)
40010	지열HP-난방설정온도명령	10~50°C	12.3(표시값)->123(통신값)
40011	지열HP-재가동편차설정온도명령	0.5~5°C	12.3(표시값)->123(통신값)
40012	공기열HP-운전편차설정온도명령	0~5°C	12.3(표시값)->123(통신값)
40013	공기열HP-재가동편차설정온도명령	0.5~5°C	12.3(표시값)->123(통신값)
40014	예비		

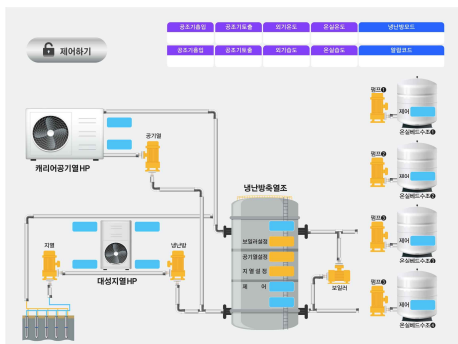
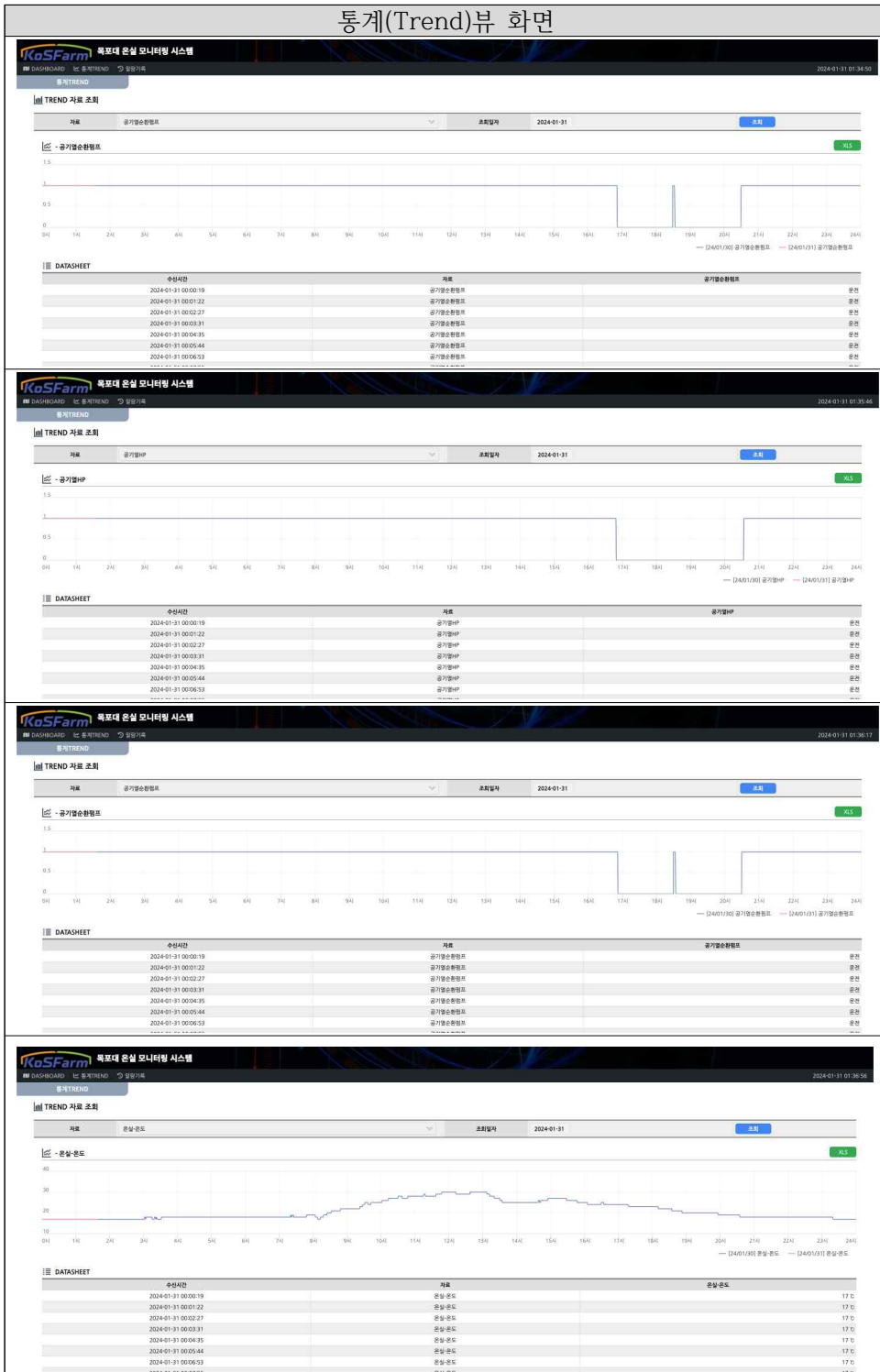


그림 8-8. 메인화면(대시보드)



그림 8-9. 제어화면



5) 공동연구개발기관 농업회사법인 주식회사 써니너스

(1) 1단계 1년차

(실험 1) 육묘 국소냉난방 효과 분석 및 스마트팜 열수지 분석

○ 연구 목표

- 온실 환기 조건에 따른 일사량, 증발산량, 실내외 온·습도 환경 데이터 분석

- 연구수행 내용 및 결과
 - 육묘 국소냉난방 효과 분석
 - 온실 내부 실험 환경 구성



그림 9-1. 모니터링 테스트베드 Zoning, 현장 실험 장비 구축

- 국소부의 냉난방 효과를 분석하고자 블루투스 기반 근권부 온,습도 센서를 설치하고 데이터 수집영역을 선정하여 데이터 모니터링 환경을 구축함.
- 근권부 온도와 온실 내부 기상 조건에 따른 양액의 온도 조절 알고리즘을 작성함
- 조건 : 적극적 냉방에도 불구하고, 냉방 부하 부족에 의한 온실의 기온이 올라가는 상황에서 근권의 적정 온도(16-20℃)를 유지하기 위해 양액 온도를 적정 온도 아래로 조절하여 평균 온도를 유지할 수 있도록 균형 제어를 하는 개념임

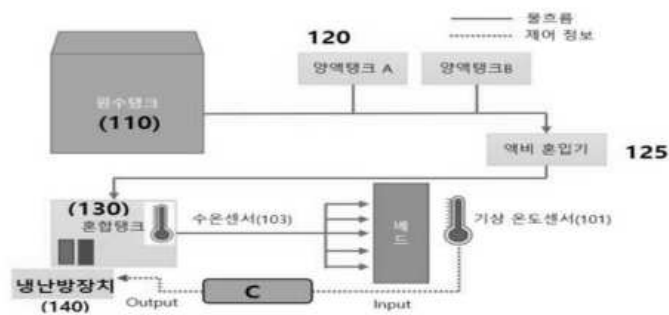


그림 9-2. 시스템 개요도

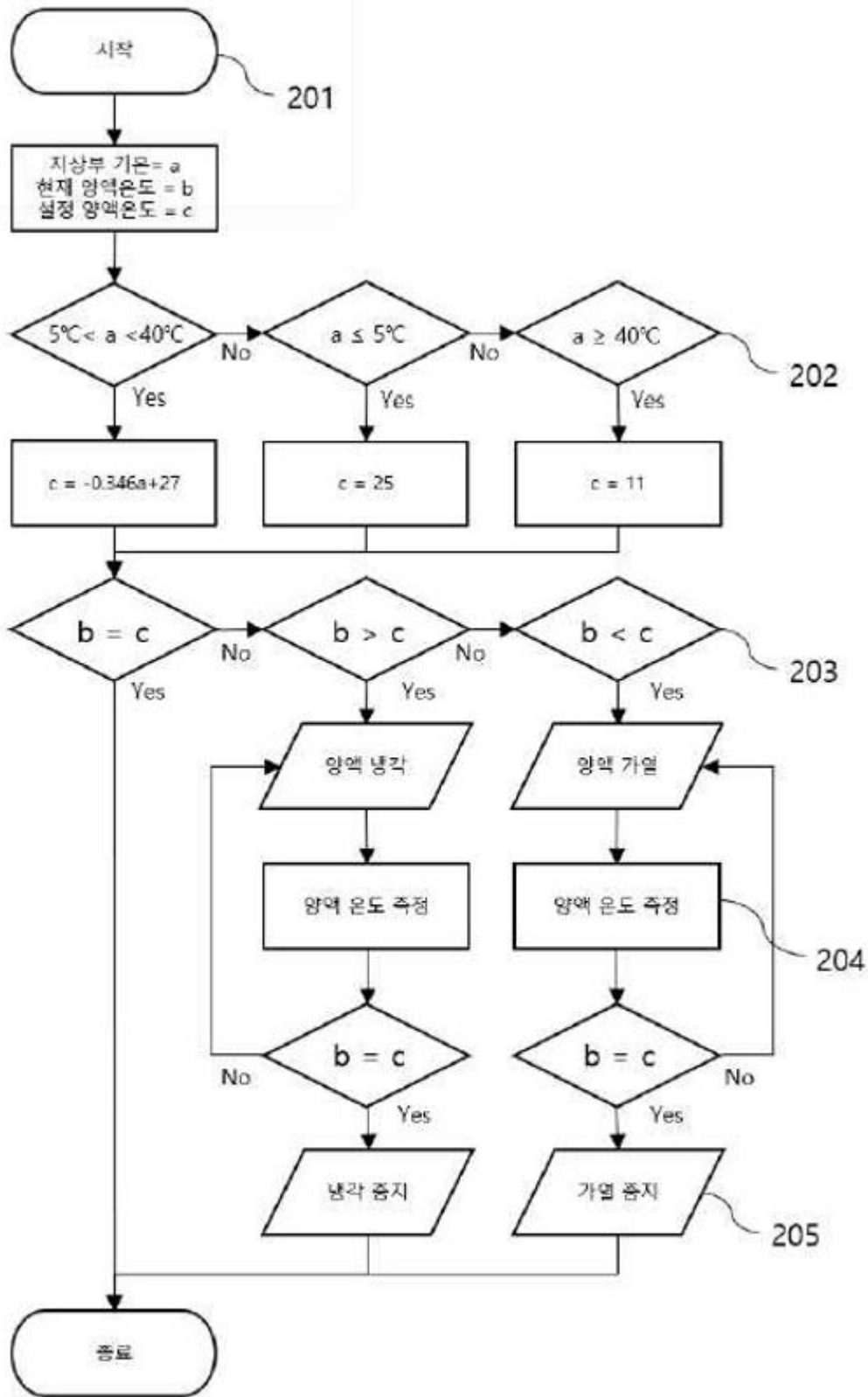


그림 9-3. 냉방 부하 부족에 의한 양액 조절의 균형 제어를 통한 스트레스 회피 알고리즘

(실험 2) 온실 에너지 실험을 열수지 모델 작성

○ 연구 목표

- 열수지 분석을 통한 냉방 적용 최적화

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 대상온실은 벤로형 반밀폐온실로 단면적 72m² (120m×235m), 처마높이

7m, 지붕높이 7.6m임. 온실내부 총 부피는 197,400m³, 내부공기는 241,815kg임. (공기밀도 온도 15도일때 1.225kg/m³)

- 온실내부와 외부에 복사계 를 설치하여 상향/하향의 일사량과 복사량을 측정함. 동시에 온실내부의 온도, 외기온도, 측면유리와 구조물의 온도를 동시에 측정함.
- 작물 재배시기에 맞춰 9월~10월에 걸쳐 2개월간 실험 진행.
- 온실내부의 열수지 균형 계산을 위해 가온하는 순 일사량은 온실바닥에 흡수된 에너지와 같으며 식물은 아래 인용된 방정식에서 관찰할 수 있듯이 지붕에서 방출된 방사선을 뺀 것으로 간주됨. (Amelec Vilorio, 2020)

$$R_g = S_s \cdot [1 - (\alpha + \tau \cdot \alpha_s)] + S_g \cdot \tau \cdot \tau_{ter} \cdot [\epsilon_{atm} \cdot T_{atm}^4 - \epsilon_{ter} \cdot T_c^4] \quad (W)$$

Ss : 태양복사 수집영역 (m²)

I : 입사 태양 복사 (W/m²)

α : 지붕의 태양광 흡수 계수

T : 일사용 지붕재(Ar산란광유리)의 투과 계수

α_s : 바닥재, 토양, 배지 및 식물 태양광 흡수 계수

Sc : 바닥재 영역 (m²)

Σ : 스테판-볼츠만 상수 (5.67x10⁻⁸ W/m²-K⁴)

τ_{ter} : 태양열 방사에 의한 지붕재의 투과 계수

ϵ_{atm} : 대기의 방사율

Tatm⁴ : 대기중 방출되는 에너지 온도

ϵ_{ter} : 태양열 방사에 의한 지붕재의 방출량

Tc⁴ : 온실 데크의 절대 온도

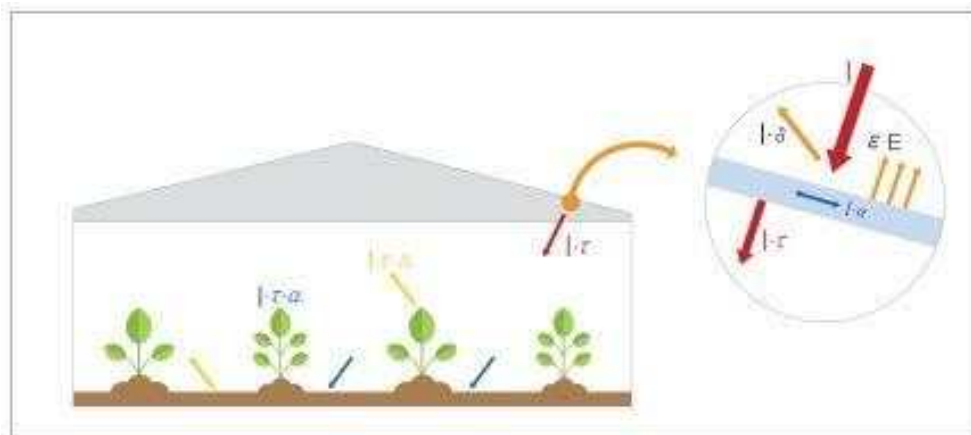


그림 9-4. 온실 내 열수지 계산식 개념도

- 조건 1 : 온실밀폐, 차광없음 - 기준조건
- 조건 2 : 온실밀폐 + 차광스크린 100%설치
- 조건 3 : 천창환기 30% + 차광없음
- 조건 4 : 천창환기 60% + 차광없음
- 조건 5 : 천창환기 100% + 차광없음의 조건에서 온실내부 온도변화 측정

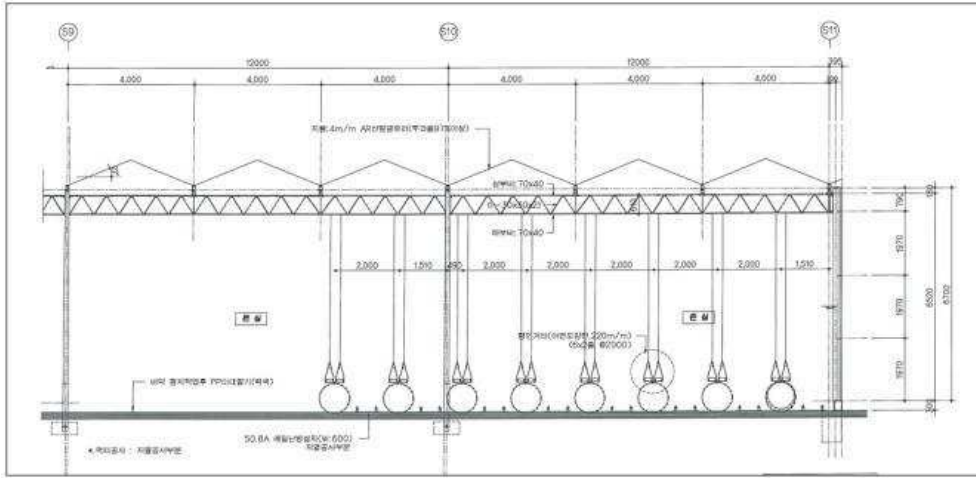


그림 9-5. 온실 주 단면도

- 스마트팜의 열수지를 계산하기 위해서는 스마트팜의 외부와 내부 사이의 열 에너지 변화의 다른 습도의 가변값을 파악해야 함. 이 값이 시간단위로 변하는 경우에 다른 열에너지를 계산 하고 그 결과에 따라 온실 내부의 열수지를 계산 할 수 있음.

실험을 위해 측정한 변수값	
	온실 외부 온도
	온실 내부 온도
	온실 데크 온도
	온실 바닥 온도
	온실 외부 상대 습도
	온실 내부 상대 습도



그림 9-6. 온실 내부 온습도 측정센서



그림 9-7. 온실 내부 일사량 측정센서

- 온도 센서는 캘리브레이션을 통해 보정된 값을 가지고 평균치나 등가의 수치를 산출하지만 습도는 20 % 이하라는 수치에서 측정하기 매우 어려운 매개 변수가 됨
- 이에 낮은 습도 수준에서 더 큰 습도 변화를 예측하여 보상값을 30~40% 구간은 (± 2), 40~60%(± 1.5)로 보정함.

○ 연구수행 결과

- 반밀폐 온실의 환경 모니터링 분석

- 파프리카는 과채류 중에서 야간 동안 고온을 요구하는 작물로 온도유지를 위해 야간 저온 시 난방으로 열을 공급하고, 주간 고온 시 환기나 차광을 통해 온도상승을 억제함. (파프리카 재배 시 15℃이하, 28℃이상 되지 않게 온실 내부를 관리해야 하고 근권부 온도는 18~20℃가 적당하다.)
- 기존 온실의 경우 일사량이 풍부한 시간에 CO₂를 공급하면 광합성이 최대로 증진되나, 온실 내부 온도가 급격히 상승하므로 환기가 필요함. 환기 시 CO₂가 외부로 손실됨. 만약 환기를 최소화하고 냉방으로 온도 관리가 가능하다면 CO₂ 손실을 최소화 할 수 있음.
- 온실 에너지 분석을 위해 써니너스의 반밀폐형 온실에 모니터링 시스템을 구축하고 일사량, 복사량, 온도변화를 측정함. 실험결과를 이용하여 온실 에너지 모델식의 계수를 조정하고 열수지를 분석함.



그림 9-8. 배지 수분 및 온도 측정 센서



그림 9-9. 온실 정보 수집 보드 개발

- 연구 수행 중인 온실 환경제어시스템은 패키지로 구성되어 있음
- 온실 내 환경정보를 수집할 수 없으므로 게이트웨이단에서 데이터 패킷을 수집하는 별도의 장치가 필요함.
- 이를 위해 패킷수집을 위한 보드를 제작하여 3공동과제에서 진행하고 있는 데이터 수집장치에 넣어 서버로 데이터를 전송할 수 있도록 하여 에너지 모니터링 시스템을 운용함.

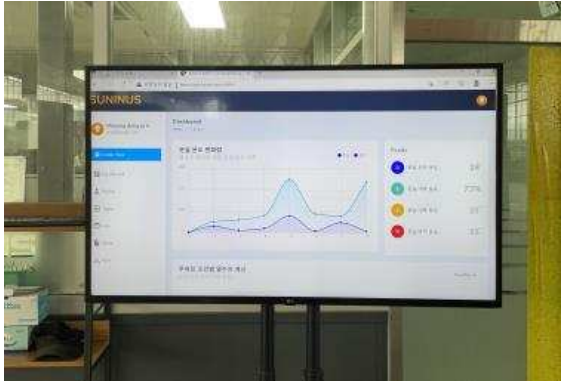


그림 9-10. 온실 온도, 일사량 모니터링 시스템 그림 9-11. 온실 모니터링 화면 디테일

- 복사량 측정 실험결과 및 분석

- 단파복사 측정값 : 분석 온실외부 상향/하향, 온실내부 상향/하향에서 측정된 단파복사(일사)값을 이용하여 온실 유리벽체의 단파 투과도(τ_{cover}), 단파흡수율(α_{cover}), 지면흡수율(α_{soil})을 계산함.

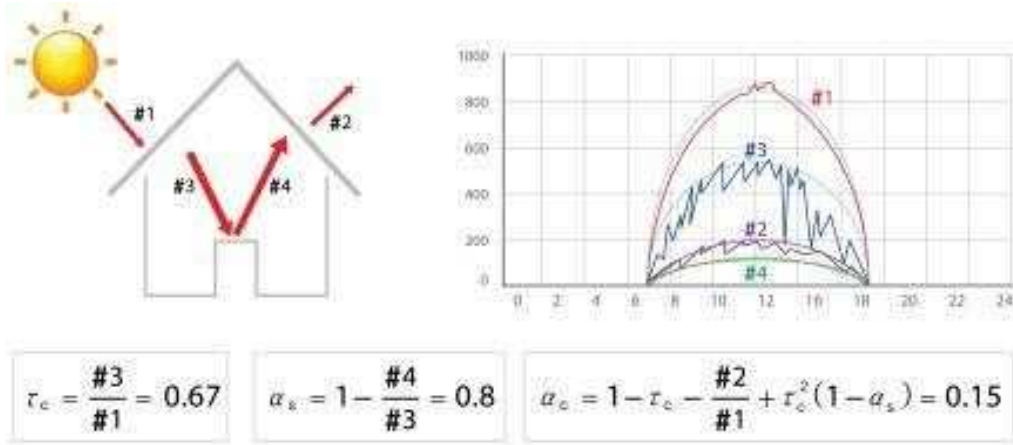


그림 9-12. 유리벽체의 단파 투과도, 단파흡수율, 지면흡수율 계산방식 및 예시

- 실험조건에 따라 계산 결과값이 약간의 차이를 보였으나, 온실 유리벽체의 단파 투과도(τ_{cover})는 56%~72%, 단파흡수율(α_{cover})은 10%+/-, 지면흡수율(α_{soil})은 73%~82%의 값을 나타냄. 차광스크린의 단파투과도는 36%정도로 100% 차광 시 온실벽체와 차광스크린을 모두 투과하는 단파는 25% (70%×36%)로서 75%정도의 차광효과가 있음.

표 9-1. 실험조건별 단파 투과도, 단파흡수율, 지면흡수율, 스크린투과도 측정값

순번	실험 조건	환경 조건					측정값			
		날짜	남중 시각	남중 고도	일출 시각	일몰 시각	α_C	α_S	τ_C	τ_S
조건 1	Reference	9월 8일	12:24:20	+60	6:03	18:45	0.08	0.82	0.65	-
	환기x 차광스크린x	9월 9일	12:23:59		6:04	18:43	0.04	0.82	0.68	-
		9월 10일	12:23:38		12:23	18:42	0.01	0.85	0.72	-
조건 2	환기x 차광스크린o	9월 19일	12:20:27	+55	6:11	18:29	-	-	0.69	0.
		9월 20일	12:20:06		6:12	18:27	-	-	0.69	0.
		9월 21일	12:19:45		6:13	18:26	-	-	0.69	0.
조건 3	환기30% 차광스크린x	10월 10일	12:13:36	+48	6:27	17:59	0.13	0.73	0.56	-
		10월 11일	12:13:20		6:28	17:58	0.10	0.75	0.57	-
		10월 13일	12:12:50		6:30	17:55	0.11	0.79	0.69	-
조건 4	환기60% 차광스크린x	10월 16일	12:12:08		6:32	17:51	0.13	0.73	0.56	-
		10월 17일	12:11:55		6:33	17:50	0.10	0.75	0.57	-
		10월 18일	12:11:43	+45	6:34	17:48	0.11	0.79	0.69	-
조건 5	환기100% 차광스크린x	9월 27일	12:17:39		6:17	18:17	0.04	0.78	0.68	-
		9월 28일	12:17:18		6:18	18:16		0.79	0.74	-
		9월 29일	12:16:58	+52	6:19	18:14		0.82	0.73	-

- 장파복사 측정값 분석 : 온실외부 상향, 온실내부 상향/하향에서 측정한 장파복사(적외선복사)값과 온실벽체 온도, 지면온도, 대기온도의 상관관계를 통해 적외선 복사율(ϵ)을 유추함. 주간에는 일사에 의해 온도편차가 크게 나타나므로 야간온도를 이용.
- 지표복사의 방사율(emissivity)은 96%, 온실벽체의 방사율은 98% 수준으로 측정됨. 대기복사의 경우, 외기온도를 통해 고도의 온도(T_{sky})를 추정하고 이를 기준으로 복사량을 산정하게 되는데, 실험값과 잘 일치하고 있음.

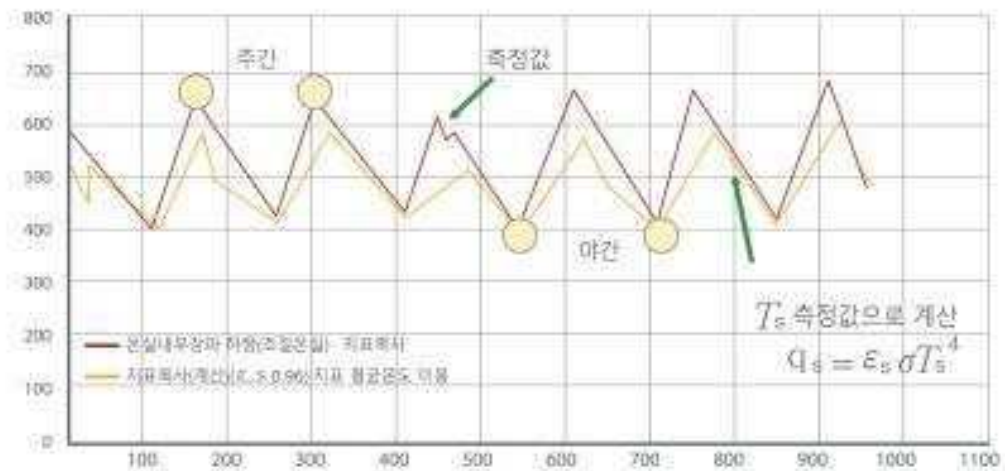


그림 9-13. 지표면 복사 측정 결과

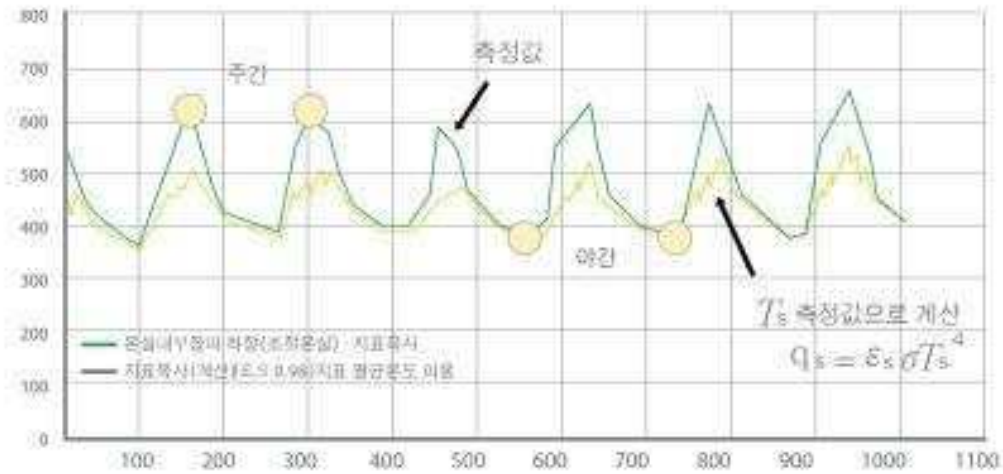


그림 9-14. 온실벽체 복사 측정결과

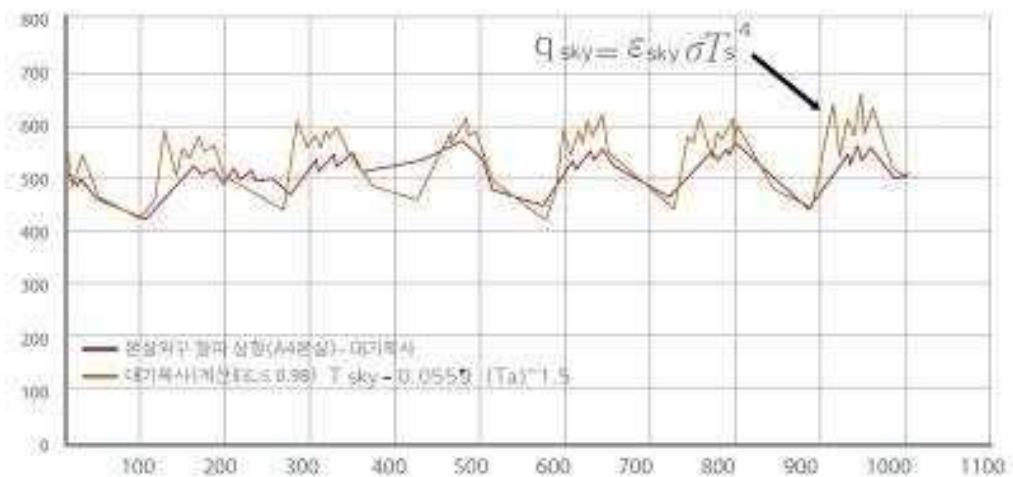


그림 129-15. 대기복사 측정/계산결과

- 온도 측정 결과 및 분석

- 온실의 환기창을 모두 닫고 밀폐실험을 수행한 결과 (9/8~9/10, 최고 일사량 850~1000W/m²조건), 일출 7시간 경과시점에 60℃ 수준의 최대온도에 도달. 온실내부온도(T_i)와 외기온도(T_a)의 차이값(T_i-T_a)은 최대 30℃ 수준. 환기가 이루어지 않으므로 온실내부는 일출직전에서만 외기온도와 유사한 수준으로 냉각됨.
- 차광스크린을 100% 설치한 조건(9/19~9/21, 최고 일사 800W/m²조건)에서도 일출 7시간 경과시점에 최대온도에 도달하였으나, Case 1에 비하여 10℃낮은 50℃ 수준. 온실내부온도(T_i)와 외기온도(T_a)의 차이값(T_i-T_a)도 10℃낮은 30℃ 수준으로 나타남. Case 1과 마찬가지로 환기가 이루어지 않으므로 온실내부는 일출직전에서만 외기온도와 유사한 수준으로 냉각됨.

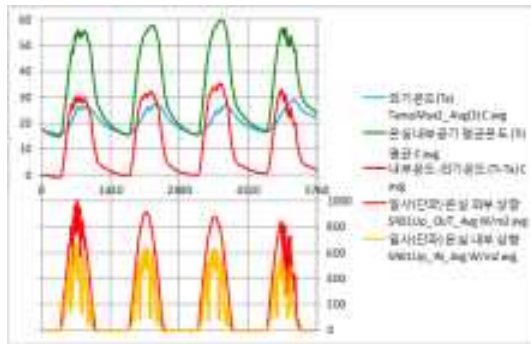


그림 9-16. Case 1 온도 측정결과
(온실 밀폐, 차광스크린 사용X)

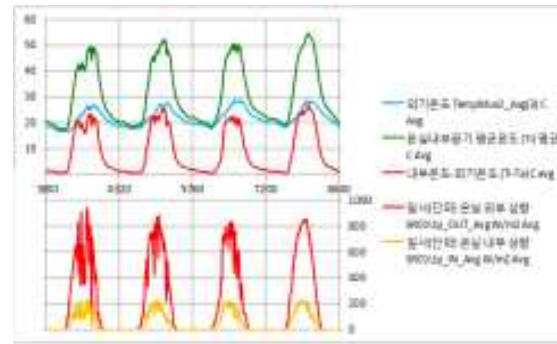


그림 9-17. Case 2 온도 측정결과
(온실 밀폐, 차광스크린 100% 사용)

- 환기창 개도를 30%, 60%, 100%로 변화시키면서 온실내부 온도변화를 측정함. (9/27~10/18 측정) 일반적으로 환기창을 많이 여는 경우, 환기가 활발하게 일어나고 온도상승폭도 작게 나타나지만, 본 실험에서는 환기창 개도(30%~100%)와 온도간에 상관관계가 정확히 나타나지 않았음. 밀폐조건인 Case 1과 비교해서는 온도상승폭이 작게 나타났으며, 외기온도 대비 10~20도 정도 높은 온도가 측정됨. 환기 시 외부 풍속 등에 의해 영향을 받은 것으로 추정됨.

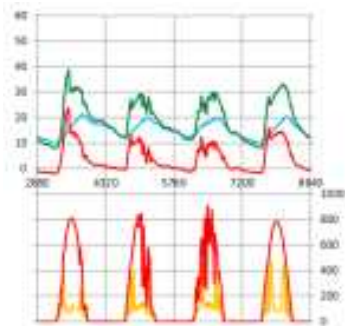


그림 9-18. Case 3 온도 측정결과
(천창환기 30%, 차광X)

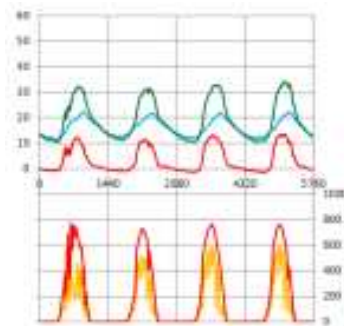


그림 9-19. Case 4 온도 측정결과
(천창환기 60%, 차광X)

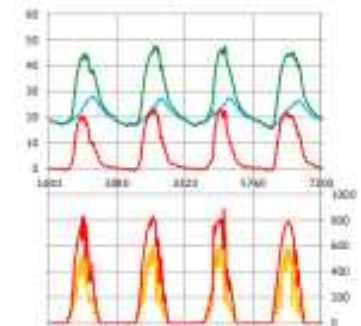


그림 9-20. Case 5 온도 측정결과
(천창환기 100%, 차광X)

(2) 1단계 2년차

○ 연구 목표

- 벤로 온실 내외부의 순복사 수지 데이터 분석을 통한 열수지 모델 작성

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 대상 온실은 목포대 부속농장에 있는 벤로형 온실로 단면적 96m² (16m×8m), 처마높이 6m, 지붕높이 7.2m임. 온실내부 총 부피는 921.6m³, 내부공기는 1128.96kg임. (공기밀도 온도 15도일때 1.225kg/m³)
- 대상 온실의 내외부에 온도, 습도, 일사량계, 알베도 미터, 풍속계 및 CO₂ 센서를 설치



그림 9-21. 벤로형 온실 내외부 기상관측센서(좌) 및 알베도 미터 센서(우)



그림 9-22. 온실 내부 온습도 센서(좌) 및 토마토 재배(우)

○ 연구수행 결과

- 벤로형 온실의 토마토 환경 모니터링 분석 및 열수지 모델 작성

- 토마토는 과채류 중에서 야간 동안 온도유지를 위해 야간 저온 시 난방으로 열을 공급하고, 주간 고온 시 환기나 차광을 통해 온도상승을 억제함. (토마토 재배 시 15℃ 이하, 28℃이상 되지 않게 온실 내부를 관리해야 하고 근권부 온도는 18~20℃가 적당함)
- 천창 환기온도 설정은 09시부터 18시까지 20℃, 18시부터 21시까지 17~20℃, 21시부터 06시까지 17℃, 06시부터 09시까지 18~20℃로 하였음
- 온풍 난방 개시 온도는 18시부터 21시까지 17~20℃, 21시부터 06시까지 17℃, 06시부터 09시까지 17~20℃로 설정함
- 보온스크린은 상부 180W/m²이하에서 닫히고 200W/m²이상에서 열리도록 하고, 하부는 190 W/m²에서 닫히고 210W/m²이상에서 열리도록 설정함
- 차광스크린은 상부 200W/m²이상에서 열리고, 400W/m²에서 50%, 500W/m²에서 80%, 800W/m²에서 90% 닫히도록 설정
- $L_n = L_{\uparrow} - L_{\downarrow}$ (L_n : 유효복사량[W/m²], L_{\uparrow} : 온실 위에서의 복사량, L_{\downarrow} : 대기 장파 복사량)
- $R_n = (1 - \rho_s) I_g + L_n$ (R_n : 순복사량[W/m²], ρ_s : 온실 반사율[알베도], I_g : 전천일사량)

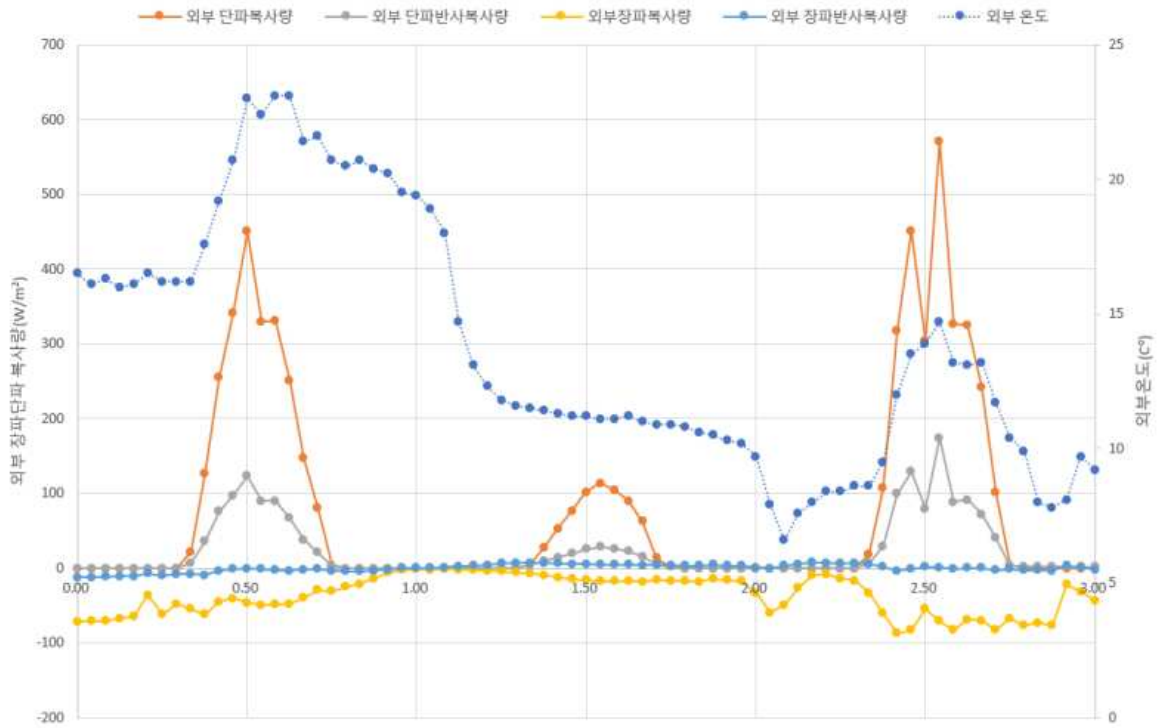


그림 9-23. 토마토 벤로온실 위 기온 및 외부 상부와 하부의 장파 복사량(4.5-42 μ m)과 상부와 하부의 단파 복사량(300-3000nm)

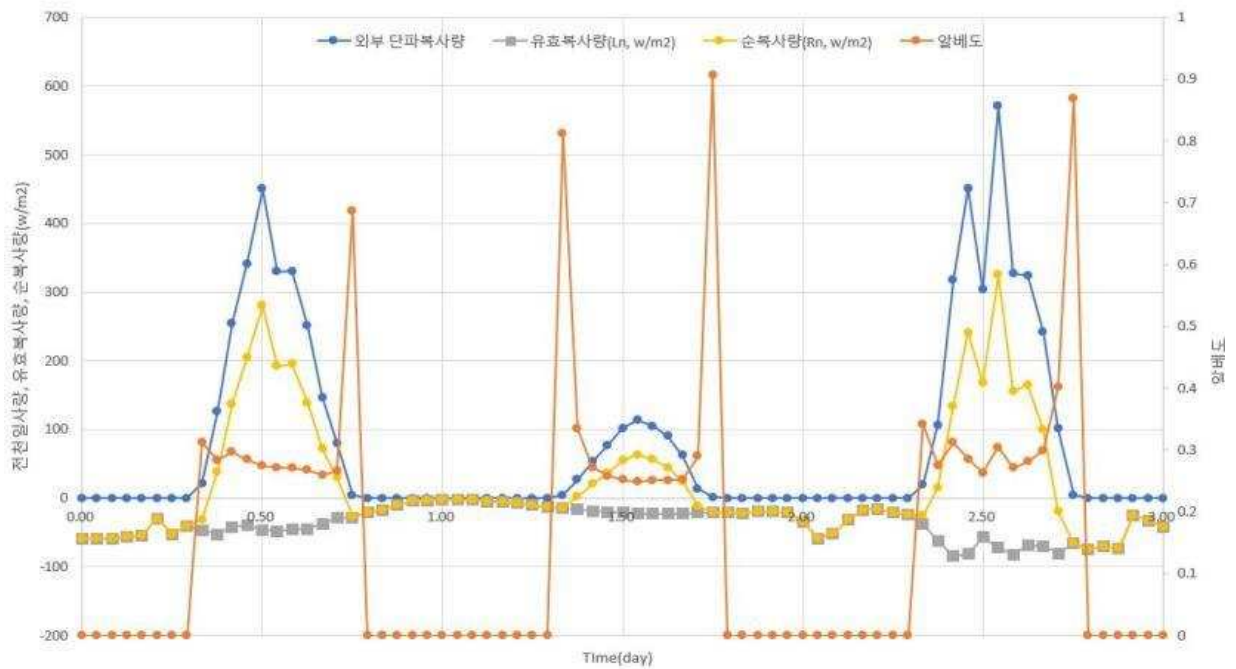


그림 9-24. 토마토 벤로온실 위 외부 단파 복사량(300-3000nm), 유효복사량, 순복사, 알베도의 일변화(2022년. 11월 12-14일)

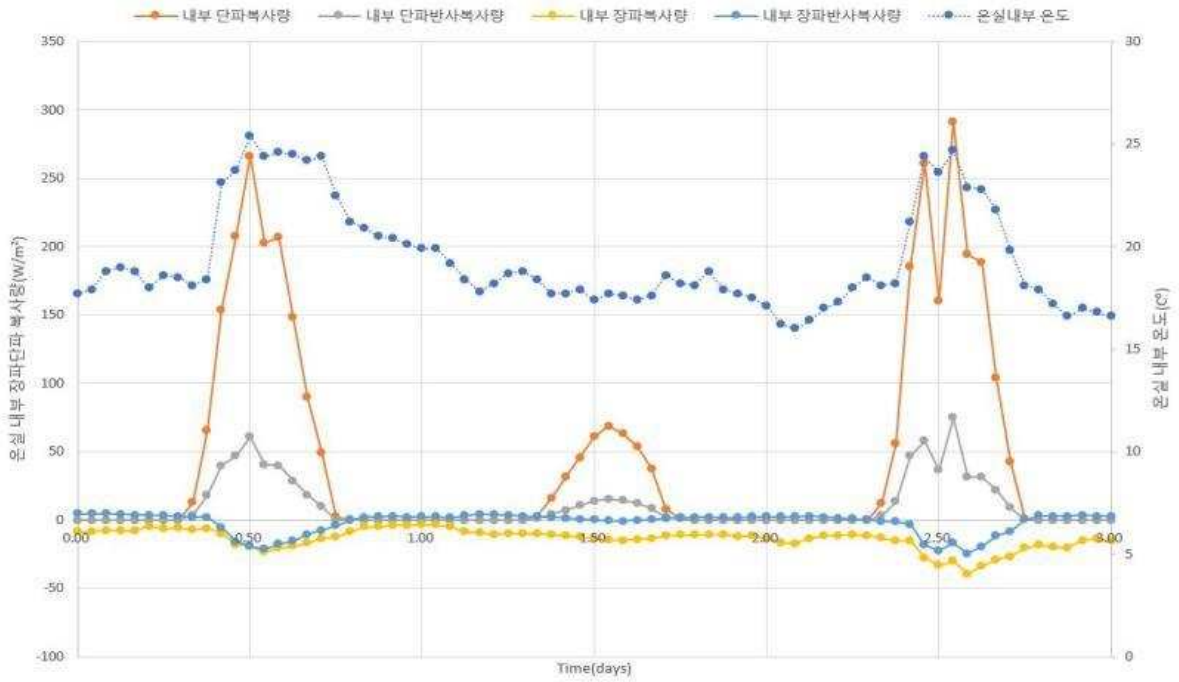


그림 9-25. 토마토 벤로온실 내 기온 및 외부 상부와 하부의 장파 복사량(4.5-42 μ m)과 상부와 하부의 단파 복사량(300-3000nm)

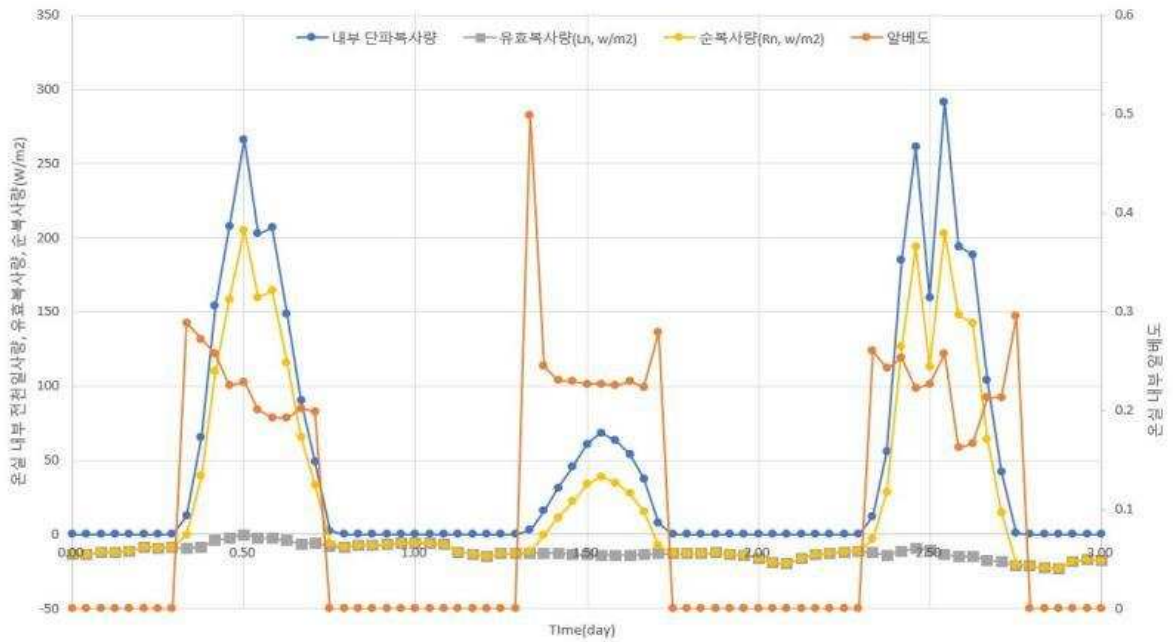


그림 9-26. 토마토 벤로온실 내 외부 단파 복사량(300-3000nm), 유효복사량, 순복사, 알베도의 일변화(2022년. 11월 12-14일)

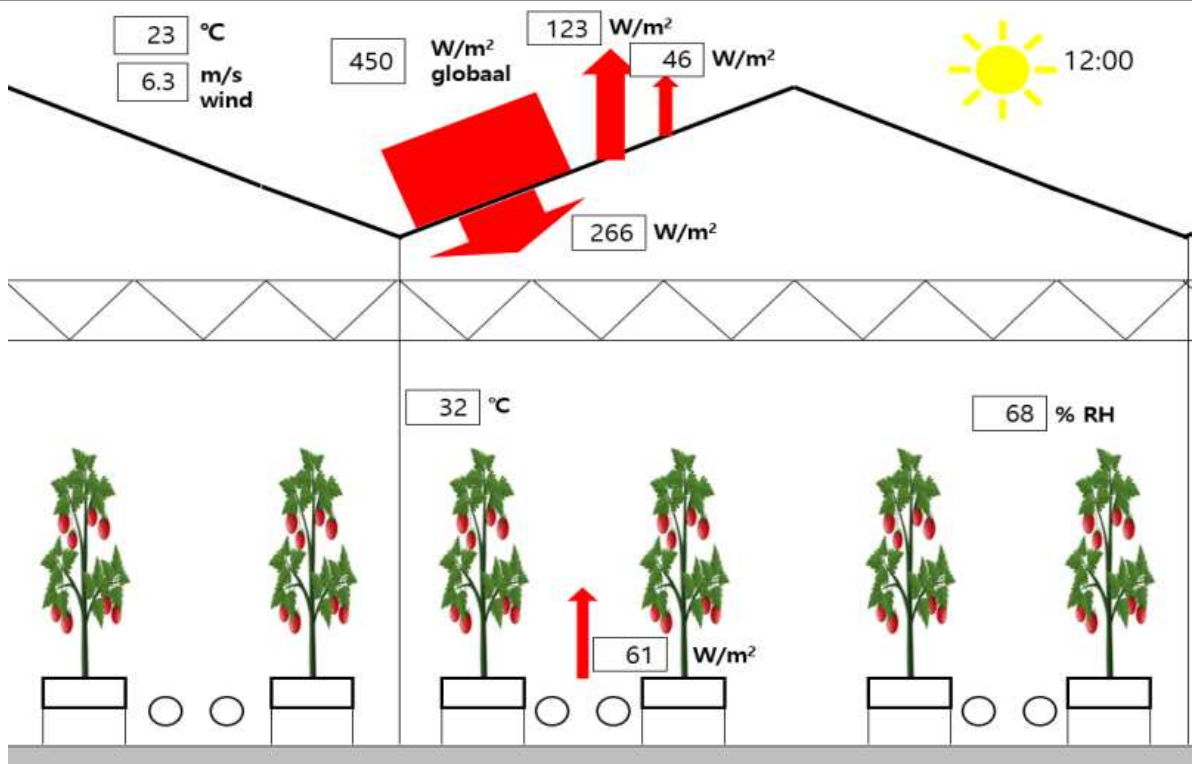


그림 9-27. 토마토 벤로온실 내 열수지(12:00)

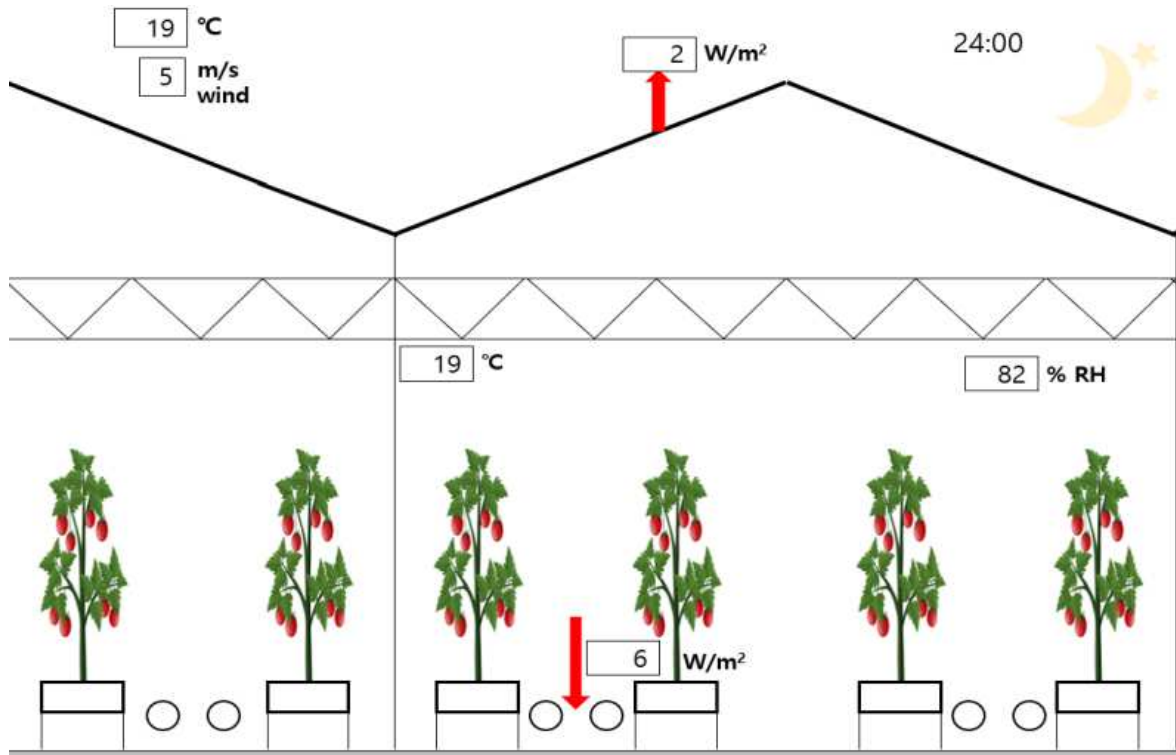


그림 9-28. 토마토 벤로온실 내 열수지(24:00)

- 열수지로 계산된 난방부하값과 기상 분석 기반 난방 부하값의 비교
 - 난방 부하 : 열수지 계산에 의한 방열량은 2,393kJ로 산정되어 일난방부하 모니터링으로 활용이 가능함
 - 1년 동안 순복사량 측정과 열수지 분석을 통해 측면 복층 PC의 벤로형 유리 온실의 냉난방 부하 산정에 활용할 예정임

(실험 2) 이상기후 육묘 단계 작물체 근권부 생육 환경 최적화 연구

○ 연구 목표

- 이상기후 육묘 단계 토마토 및 파프리카 근권부 생육 환경 실증

○ 연구 수행결과

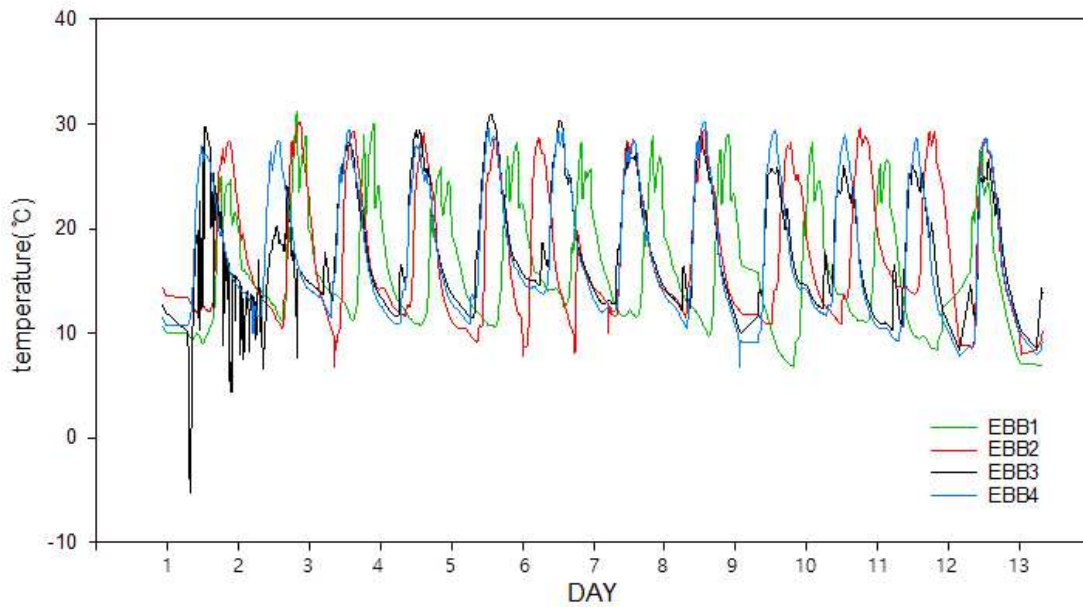


그림 9-29. EBB 배드 별 근권부 온도

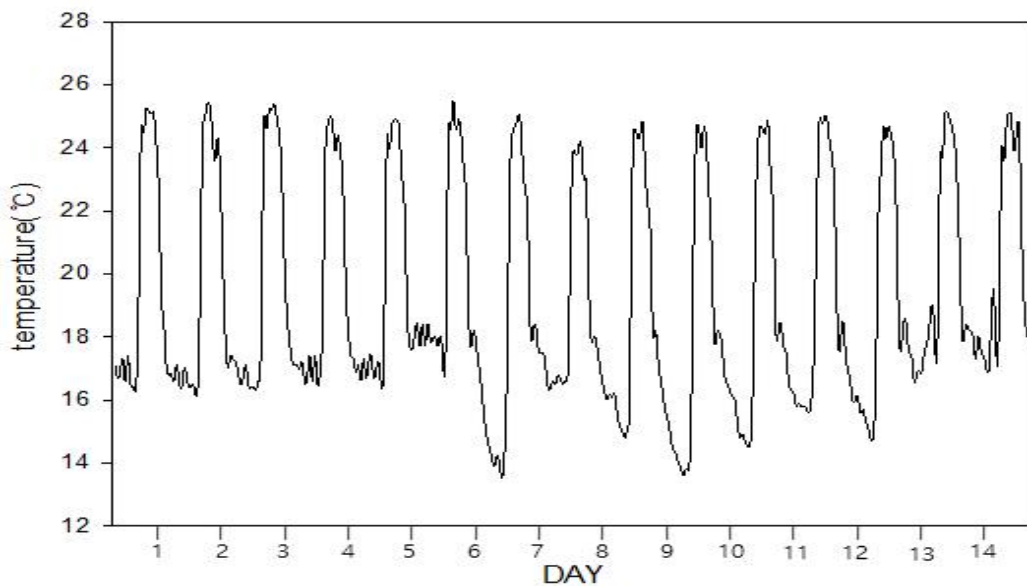


그림 9-30. 벤로형 유리온실 온실의 대기 온도

- (토마토) 벤로형 유리온실 실증

■ 초장

- 이식 3주 경과 시 초장이 EBB배드1처리구 12.26cm EBB2배드처리구 14cm, EBB3배드처리구 17.46cm, EBB4배드처리구 16.3cm로 나타났으며, EBB3배드처리구의 초장이 17.46cm로 높은 결과를 나타냄.

■ 근장

- 이식 3주 경과 시 근장이 EBB배드1처리구 19.76cm, EBB배드2처리구 19.9cm, EBB배드3처리구 23.3cm EBB배드4처리구 21.6cm로 나타났으며, EBB배드3처리구의 근장이 23.3cm로 높은 결과를 나타냄.

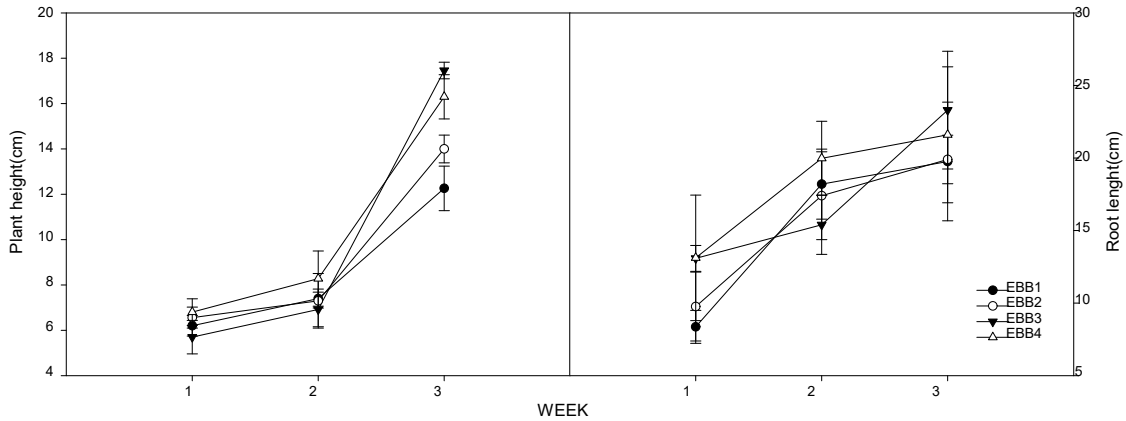


그림 9-31. 근권부 온도에 따른 토마토 초장(A)과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 엽수가 EBB배드1처리구 5.2개, EBB배드2처리구 5.8개, EBB배드3처리구 6.4개 EBB배드4처리구 7.4개로 나타났으며, EBB배드4처리구의 엽수가 7.4개로 높은 결과를 나타냄.

■ 엽면적

- 이식 3주 경과 시 엽면적이 EBB배드1처리구 55.006cm², EBB배드2처리구 62.512cm², EBB배드3처리구 92.867cm², EBB배드4처리구 99.709cm²로 나타났으며, EBB배드4처리구의 엽면적이 99.709cm²로 높은 결과를 나타냄.

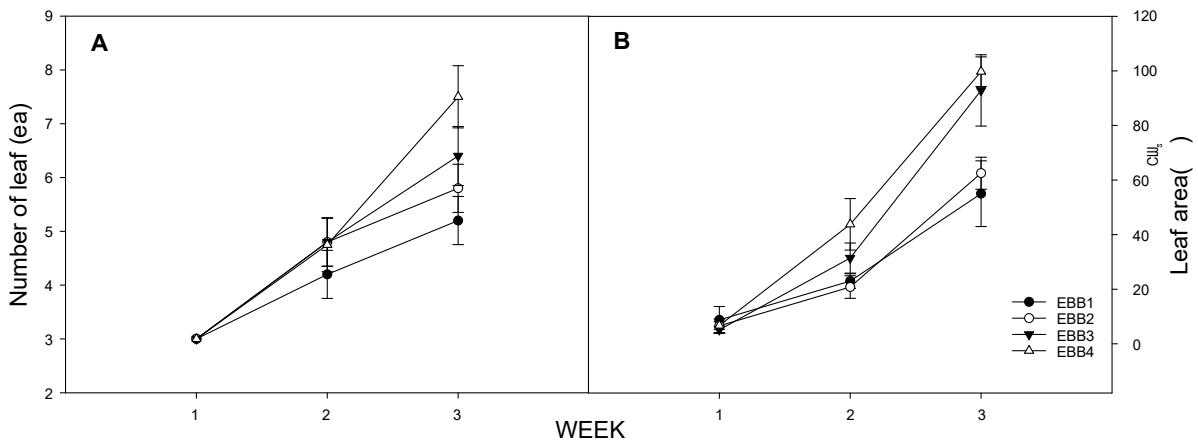


그림 9-32. 근권부 온도에 따른 토마토 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지상부 생체중의 무게는 EBB배드1처리구 3.234g, EBB배드2처리구 4.099g, EBB배드3처리구 6.219g, EBB배드4처리구 6.610g로 나타났으며, EBB배드4처리구의 지하부 생체중 무게가 6.610g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지상부 건물중의 무게는 EBB배드1처리구 0.411g, EBB배드2처리구 0.452g, EBB배드3처리구 0.698g, EBB배드4처리구 0.901g으로 나타났으며, EBB배드4처리구의 지하부 건물중 무게가 0.901g로 높은 결과를 나타냄.

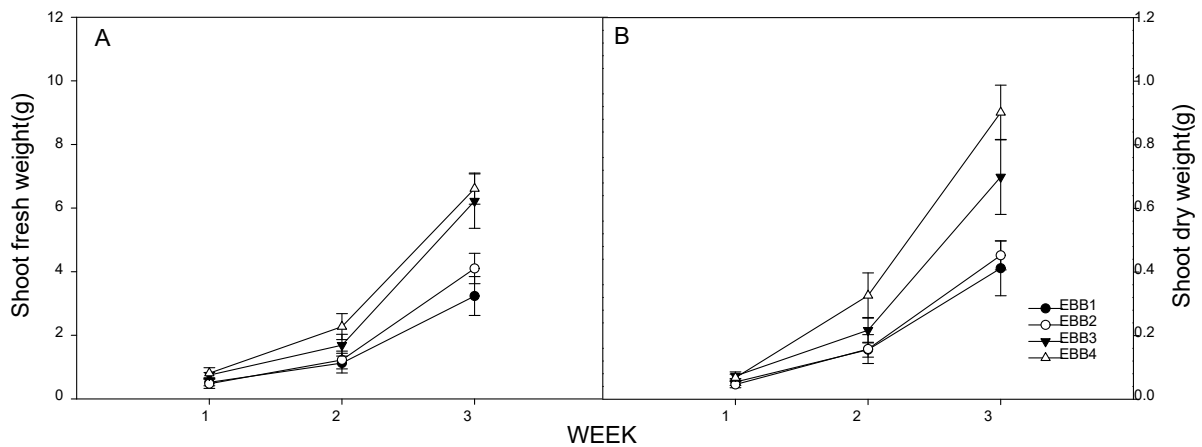


그림 9-33. 근권부 온도에 따른 토마토 지상부 생체중(A)과 지상부 건물중(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중의 무게는 EBB배드1처리구 0.809g, EBB배드2처리구 1.112g, EBB배드3처리구 1.905g, EBB배드4처리구 2.661g으로 나타났으며, EBB배드4처리구의 지하부 생체중 무게가 2.661g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지하부 건물중의 무게는 EBB배드1처리구 0.088g, EBB배드2처리구 0.100g, EBB배드3처리구 0.107g, EBB배드4처리구 0.162g으로 나타났으며, EBB배드4처리구의 지하부 건물중 무게가 0.162g으로 높은 결과를 나타냄.

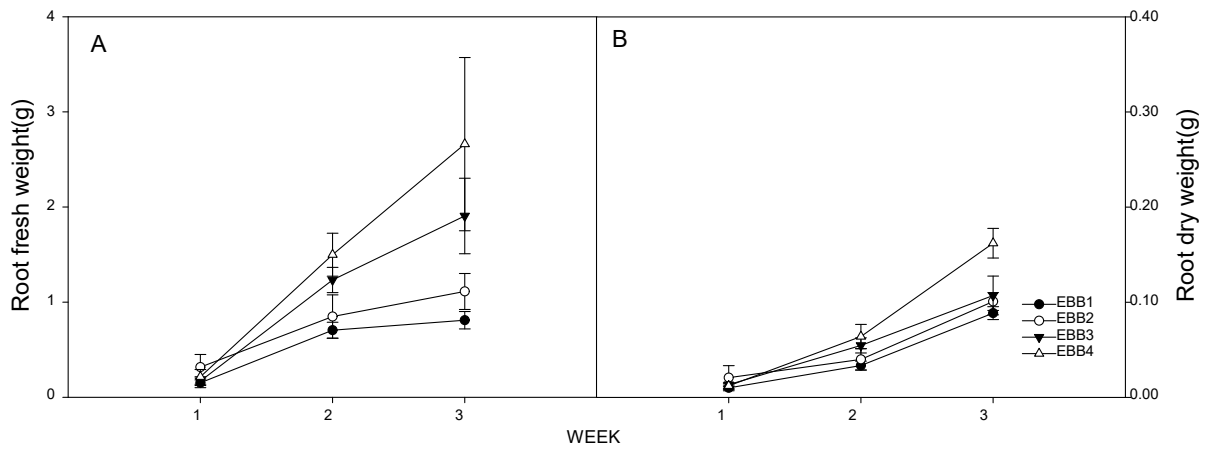


그림 9-34. 근권부 온도에 따른 토마토 지하부 생체중(A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과 시 엽록소는 EBB배드1처리구 36.38, EBB배드2처리구 33.4, EBB배드3처리구 37.08 EBB배드4처리구 32.6으로 나타났으며, EBB배드3처리구의 엽록소가 37.08 으로 높은 결과를 나타냄.

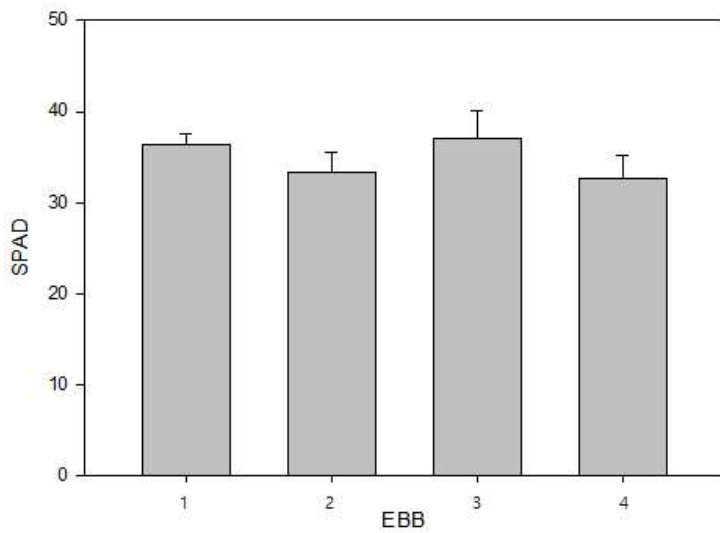


그림 9-35. 근권부 온도에 따른 토마토 엽록소

- (토마토) 벤로형 유리온실 실증

■ 초장

- 이식 3주 경과 시 초장의 길이가 EBB배드1처리구 6.8cm EBB배드2처리구 7.68cm, EBB배드3처리구 8.9cm, EBB배드4처리구 7.82cm로 나타났으며, EBB배드3처리구의 초장이 8.9cm로 높은 결과를 나타냄.

■ 근장

- 이식 3주 경과 시 근장의 길이가 EBB배드1처리구 7.5cm, EBB배드2처리구 9.26cm, EBB배드3처리구 11cm, EBB배드4처리구 10.68cm로 나타났으며, EBB배드3처리구의 근장이 11cm로 높은 결과를 나타냄.

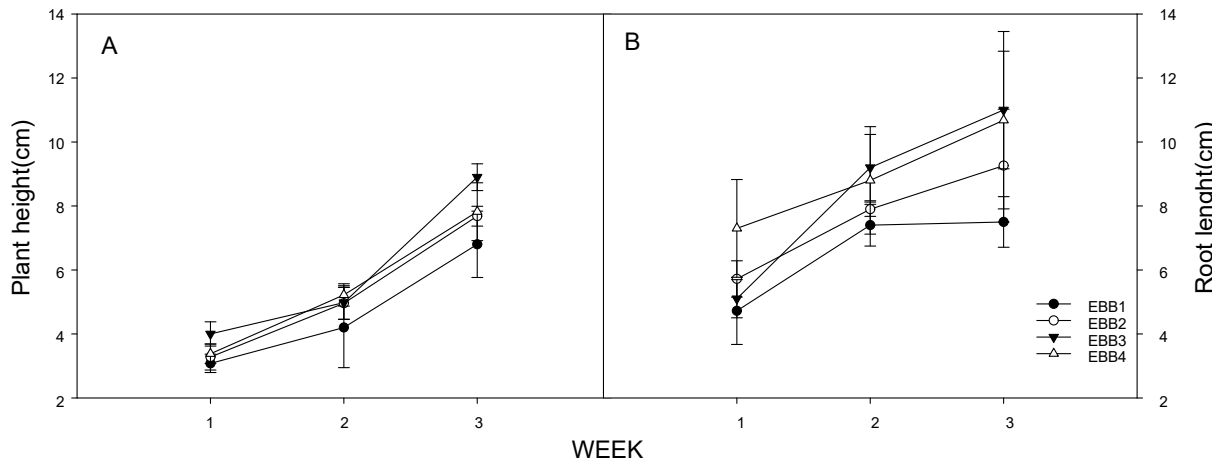


그림 9-36. 근권부 온도에 따른 파프리카 초장(A)과 근장(B)

■ 엽수

- 이식 3주 경과 시 엽수가 EBB배드1처리구 6.4개, EBB배드2처리구 7.4개, EBB배드3처리구 8.4개 EBB배드4처리구 8.2개로 나타났으며, EBB배드3처리구의 엽수가 8.4개로 높은 결과를 나타냄.

■ 엽면적

- 이식 3주 경과 시 엽면적의 넓이가 EBB배드1처리구 15.871cm², EBB배드2처리구 21.651cm², EBB배드3처리구 36.584cm², EBB배드4처리구 22.379cm²로 나타났으며, EBB배드3처리구의 엽면적이 36.584cm²으로 높은 결과를 나타냄.

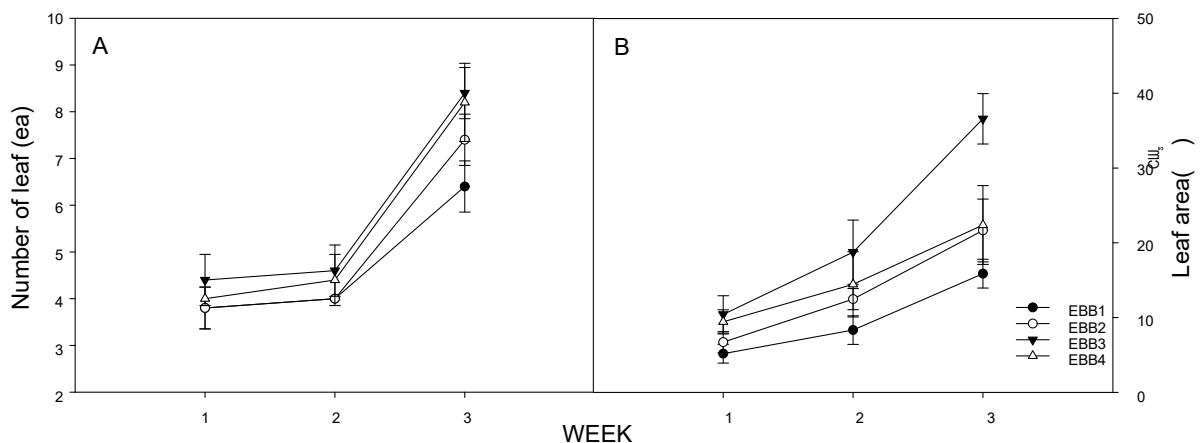


그림 9-37. 근권부 온도에 따른 파프리카 엽수(A)와 엽면적(B)

■ 지하부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중의 무게는 EBB배드1처리구 0.313g, EBB배드2처리구 0.647g, EBB배드3처리구 1.425g, EBB배드4처리구 1.106g으로 나타났으며, EBB배드3처리구의 지하부 생체중 무게가 1.425g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지하부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지하부 생체중의 무게는 EBB배드1처리구 0.0448g, EBB배드2처리구 0.0685g, EBB배드3처리구 0.1098g, EBB배드4처리구 0.0878g으로 나타났으며, EBB배드4처리구의 지하부 생체중 무게가 0.1098g으로 높은 결과를 나타냄.

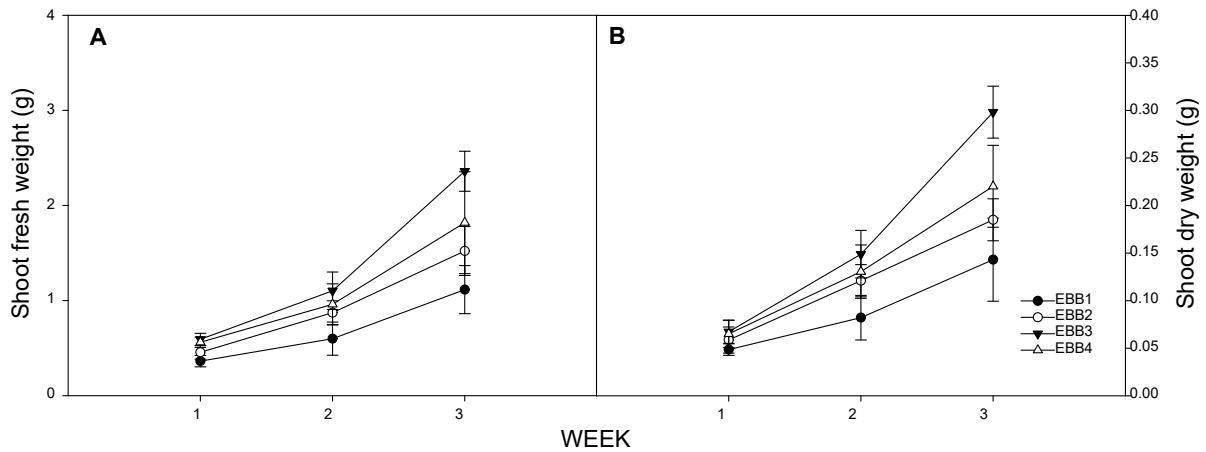


그림 9-38. 근권부 온도에 따른 파프리카 지상부 생체중(A)과 지상부 건물중(B)

■ 지상부 생체중

- 이식 3주 경과 시 지상부 생체중의 무게는 EBB배드1처리구 1.114g, EBB배드2처리구 1.520g, EBB배드3처리구 2.360g, EBB배드4처리구 1.819g으로 나타났으며, EBB배드3처리구의 지상부 생체중 무게가 2.360g으로 높은 결과를 나타냄.

■ 지상부 건물중

- 이식 3주 경과 시 지상부 건물중의 무게는 EBB배드1처리구 0.143g, EBB배드2처리구 0.185g, EBB배드3처리구 0.298g, EBB배드4처리구 0.220g로 나타났으며, EBB배드3처리구의 지상부 건물중의 무게가 0.298g으로 높은 결과를 나타냄.

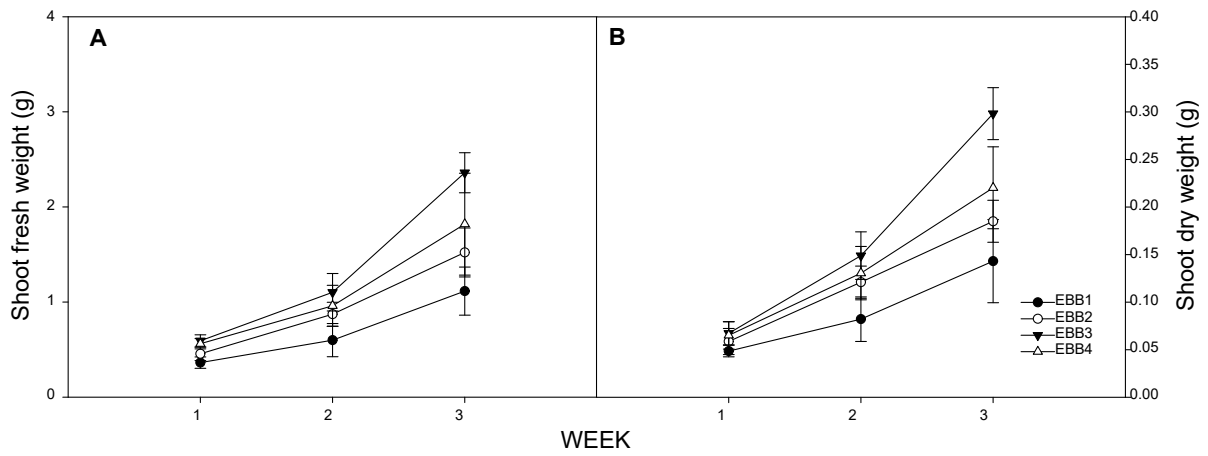


그림 9-38. 근권부 온도에 따른 파프리카 지상부 생체중(A)과 지상부 건물중(B)

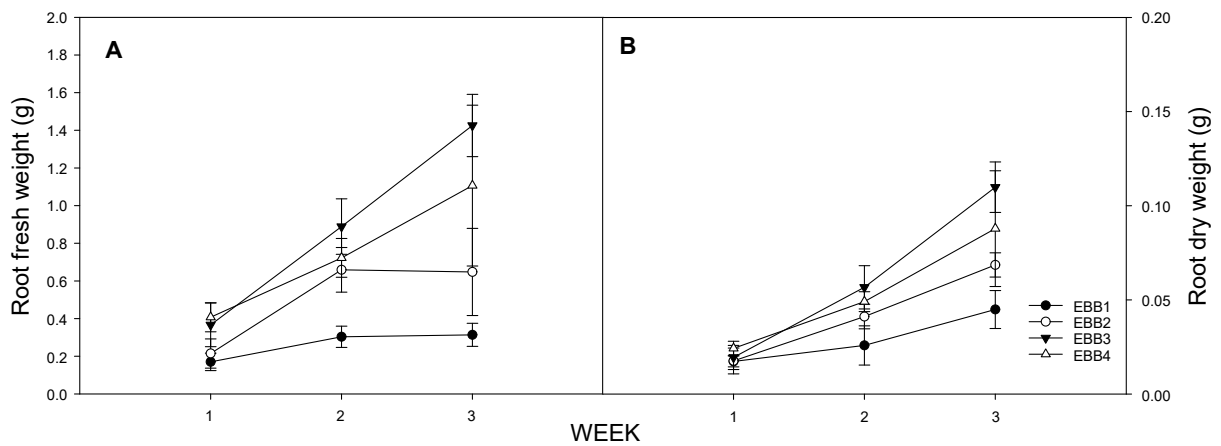


그림 9-39. 근권부 온도에 따른 파프리카 지하부 생체중(A)과 지하부 건물중(B)

■ 엽록소

- 이식 3주 경과 시 엽록소는 EBB배드1처리구 33.6, EBB배드2처리구 34.28, EBB배드3처리구 31.02 EBB배드4처리구 29.18으로 나타났으며, EBB배드2처리구의 엽록소가 34.28로 높은 수치를 나타냄.

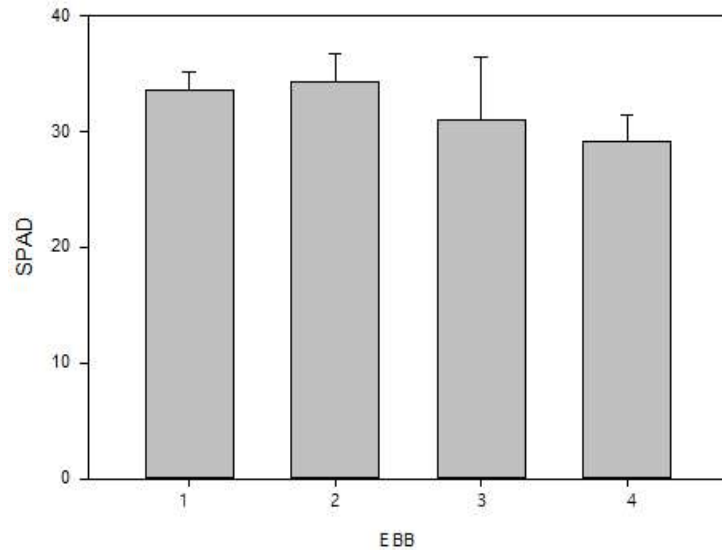


그림 9-40. 근권부 온도에 따른 파프리카 엽록소

(3) 2단계 1년차

○ 연구 목표

- 하이브리드 냉난방의 스마트 온실 재배 작물 적용에 따른 시스템 효과 분석 및 재배 매뉴얼 작성 (별도 첨부)
 - 상업용 온실에 하이브리드 냉난방 시스템 설치에 따른 냉방 효과 분석 및 경제성 분석
 - 근권부 냉방 및 난방의 영향과 작물생육에 대한 재배 매뉴얼 작성

○ 연구 내용

- 실험 재료 : 마카린
- 실험 장소 : 농업회사법인 아트팜 (강진군 군동면)
- 실험 기간 : 2023년 09월 ~ 12월
- 재배 환경
 - 온도 : 주간 00℃ 야간 00℃
 - 관수 방법 : 파프리카 표준 양액을 00분 간격으로 00분간 관수
- 처리 내용
 - 하이브리드 냉난방 시스템 처리구, 무처리구
 - 2023년 08월 11일 정식 후 09월 23일 초기생육 조사 실시



그림 9-41. 하이브리드 냉난방 시스템이 설정된 온실 내부

- 생육 조사
 - 초기생육 조사 후 4주 간격으로 조사
 - 초장, 근장, 지상부 생체중 및 건물중, 엽수, 엽면적, 엽록소, 경경, 마디 수, 과실 수, 화방 수
- 연구 결과
 - 근권부 온도

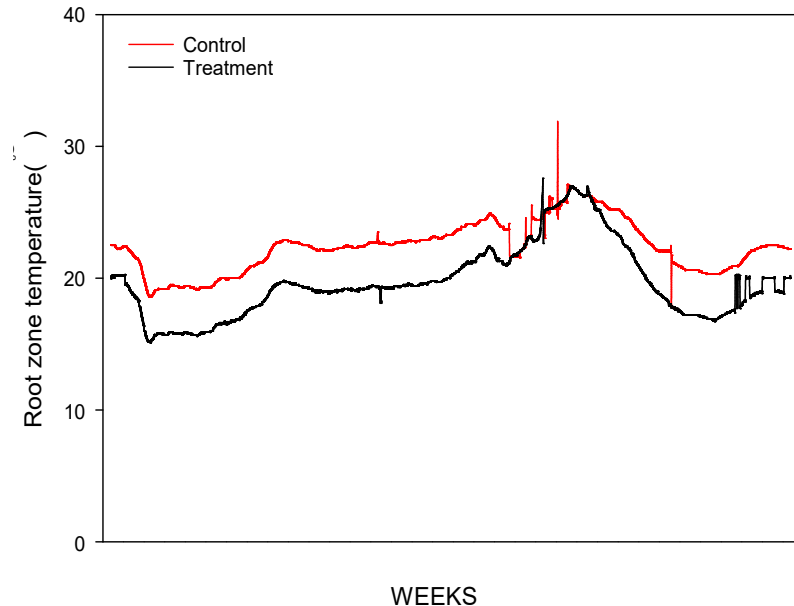


그림 9-42. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 설정한 근권부 온도

- 초장
 - 연구 수행 기간에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구가 무처리구보다 초장이 더 길었음
 - 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구는 179.11cm, 무처리구는 194.66cm로 하이브리드 냉난방 시스템 처리구의 초장이 더 길었음

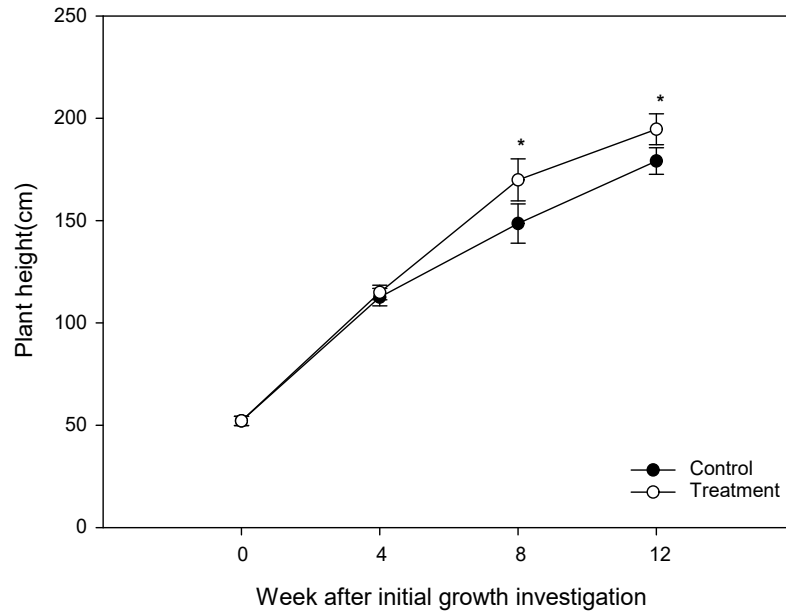


그림 9-43. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 초장

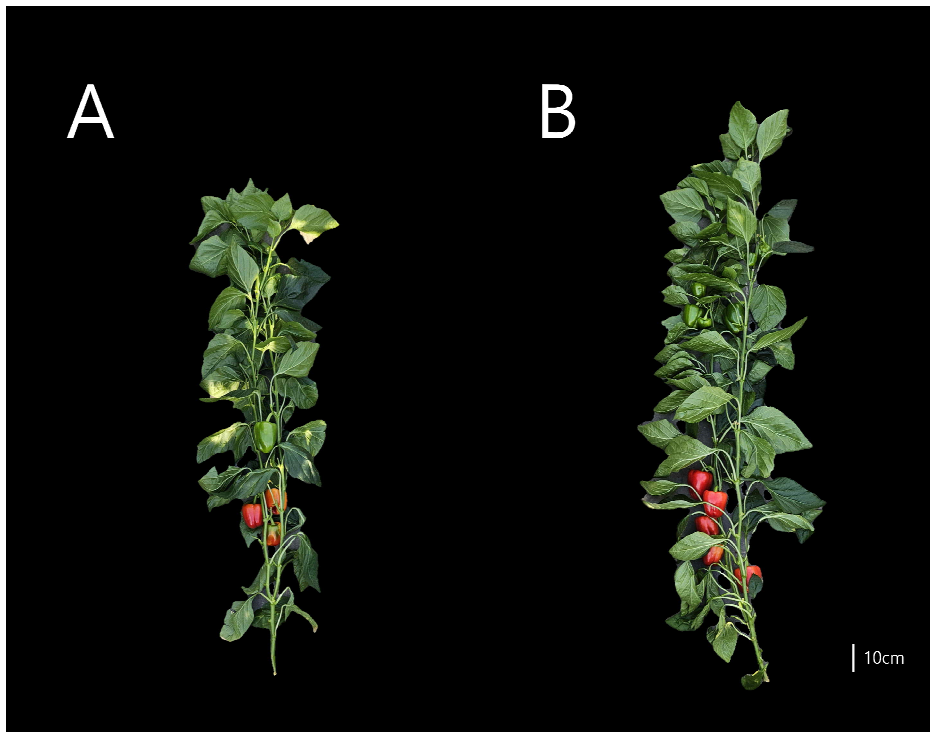


그림 9-44. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 생육

- 엽수

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구 105.2개로 하이브리드 냉난방시스템 처리구의 엽수가 더 많은 듯 하였으나 무처리구의 엽수가 96.8개로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

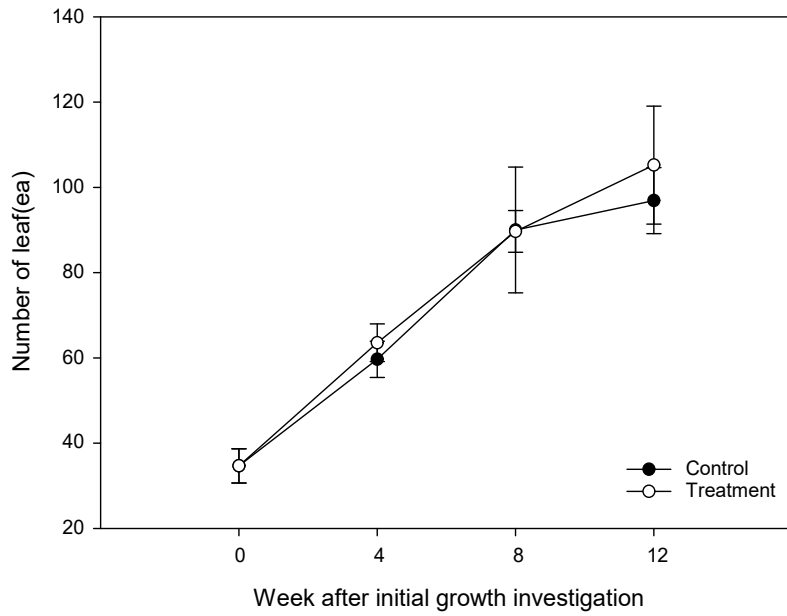


그림 9-45. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 엽수

- 엽면적

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구 11813.72cm^2 로 하이브리드 냉난방시스템 처리구의 엽면적이 더 넓은 듯 하였으나 무처리구의 엽면적이 11249.87cm^2 로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

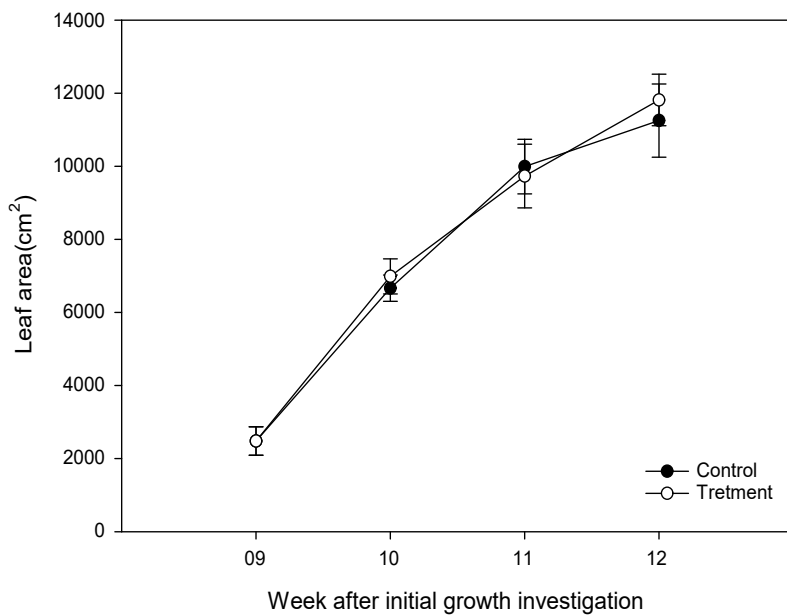


그림 9-46. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 엽면적

- 마디 수

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구 44.7개로 하이브리드 냉난방시스템 처리구의 엽면적이 더 넓은 듯 하였으나 무처리구의 엽면적이 43.4개로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

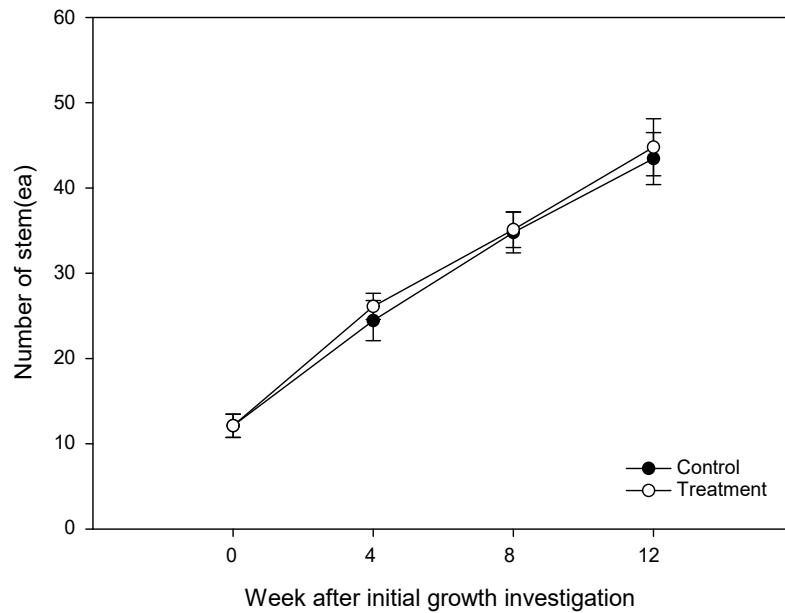


그림 9-47. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 마디 수

- 화방 수

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구 12.11개로 하이브리드 냉난방시스템 처리구의 엽면적이 더 많은 듯 하였으나 무처리구의 화방이 11.8개로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음
- 초기 생육 조사 후 8주까지 하이브리드 냉난방 시스템 무처리구의 화방이 더 많았음

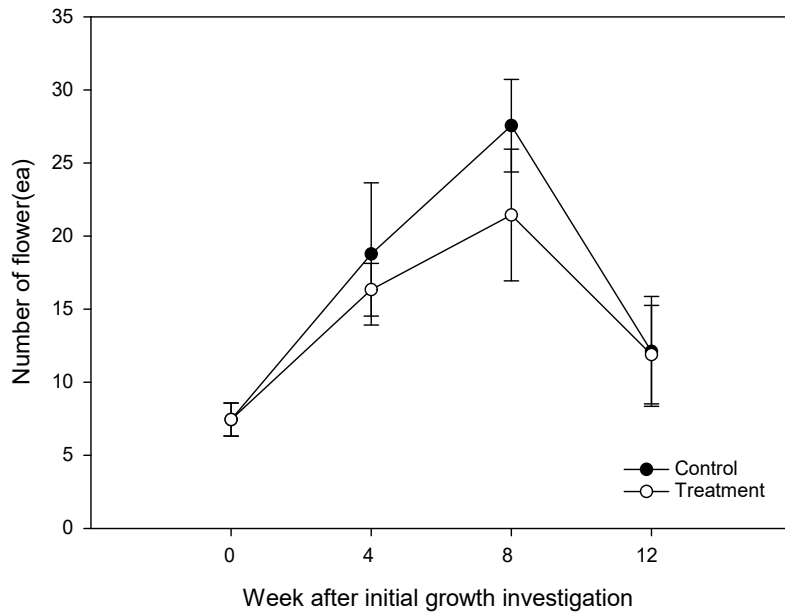


그림 9-48. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 화방 수

- 경경

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구 16.02mm로 하이브리드 냉난방시스템 처리구의 경경이 더 두꺼운듯 하였으나 무처리구의 경경이 15.81mm로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

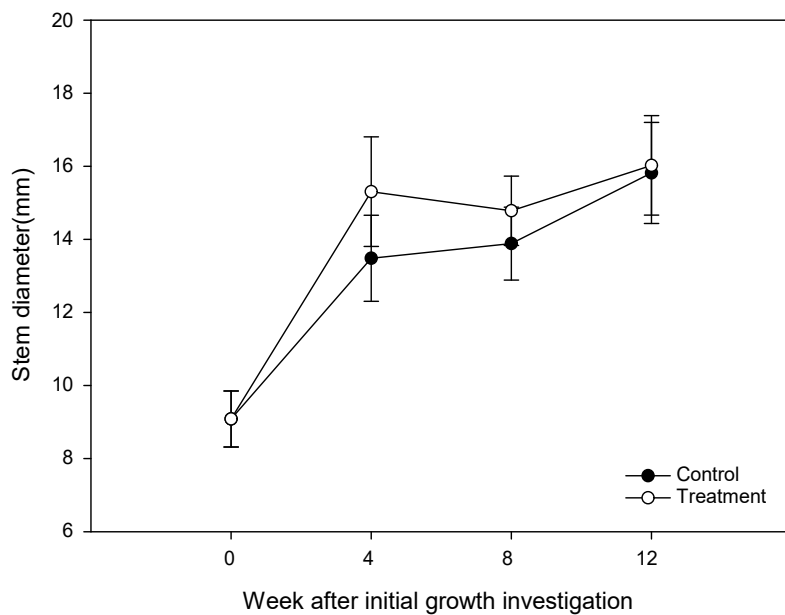


그림 9-49. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 경경

- 지상부 생체중 및 건물중

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구가 806.5g으로 하이브리드 냉난방시스템 처리구의 지상부 생체중이 더 무거운 듯 하였으나 무처리구가 806.5g으로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

- 지상부 생체중 및 건물중

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구와 무처리구가 96.3g으로 유의한 차이를 보이지 않았음

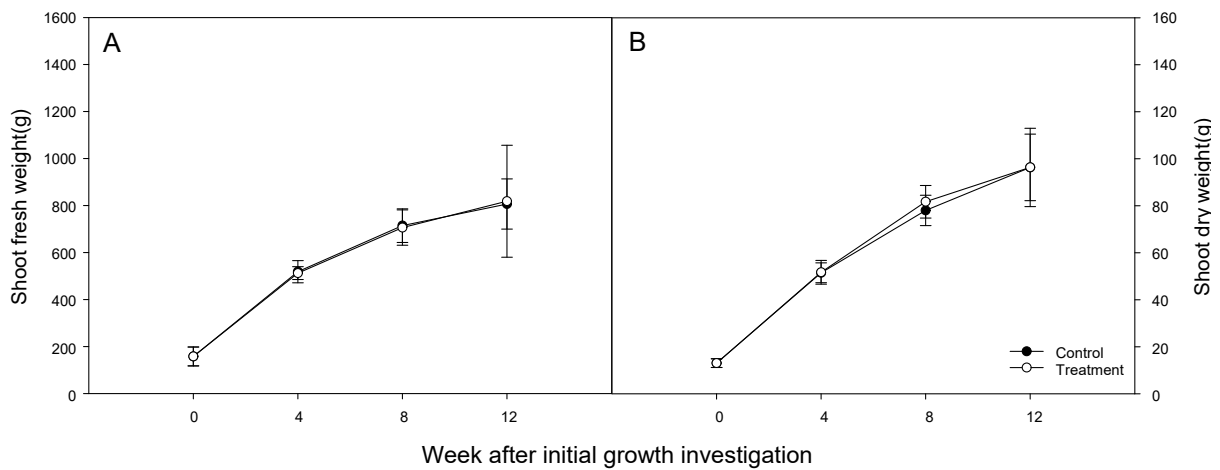


그림 9-50. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 지상부 생체중 및 건물중

- 과실 수

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구가 9.6개로 과실이 더 많은 듯하였으나 무처리구가 9.6개로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

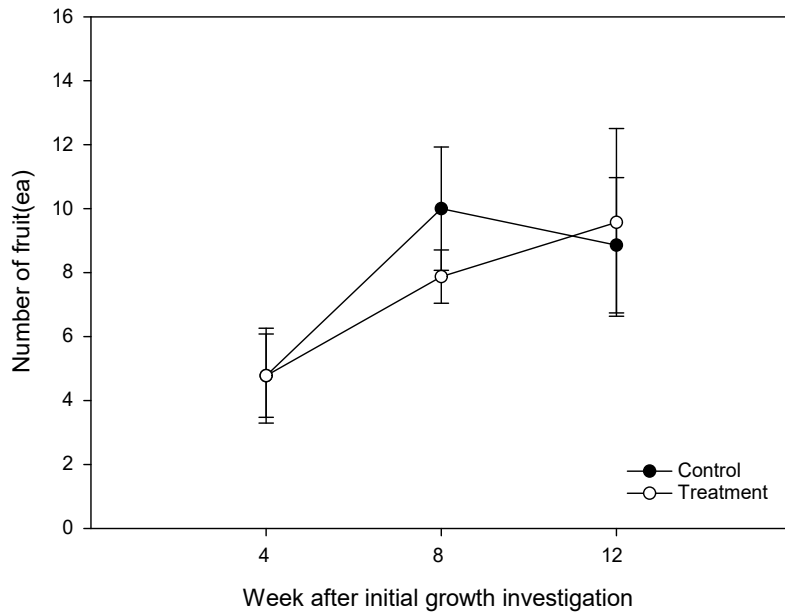


그림 9-51. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 과실 수

- 과실 생체중

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 무처리구가 1409.5g으로 하이브리드 냉난방 시스템 무처리구의 과실 생체중이 더 무거운듯하였으나 무처리구가 1278.13g으로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

- 과실 건물중

- 초기 생육 조사 후 12주에 하이브리드 냉난방 시스템 처리구가 357.5g으로 하이브리드 냉난방 시스템 처리구의 과실 건물중이 더 무거운듯하였으나 무처리구가 340.6g으로 두 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음

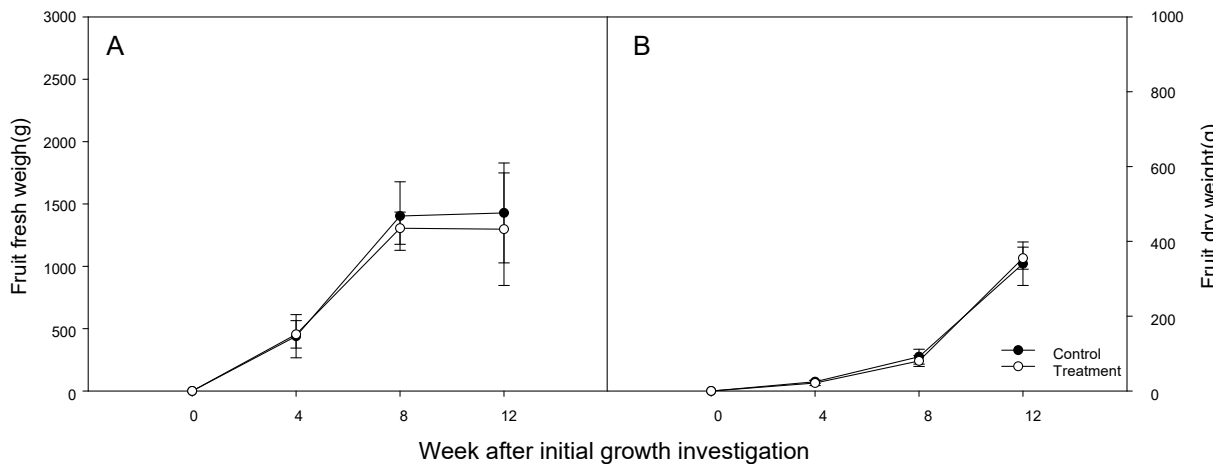


그림 9-52. 하이브리드 냉난방 시스템을 이용하여 양액 온도를 설정한 파프리카 과실 생체중 및 건물중

6) 위탁연구개발기관 서울대학교 산학협력단

(1) 1단계 1년차

(실험 1) 파이프 순환 냉방 시 함수율에 따른 다양한 배지의 열적 특성 분석

○ 연구 목표

- 근권부 냉·난방에 적합한 생육 배지를 선정하고자 배지 별 열적 특성을 분석함

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료: 코이어, 원예용 상토(식물세계, 농우바이오), 펄라이트, 및 암면
- 실험 방법

- 각 배지를 지름 150mm, 부피 1.4L인 포트에 담아 건물중과 최대 함수량을 측정함.
- 포트에 담긴 배지를 40°C의 인큐베이터에 넣고 처리구의 배지 함수율을 중량 기준 각각 40%와 80%로 조정함
- 8mm 직경의 실리콘 파이프를 포트 외부에 감아 15°C의 냉각수를 2.7L min⁻¹의 유속으로 순환시킴
- 배지 내에 삽입된 4개의 온도 센서(T-type thermocouple)를 이용해 내부 온도 변화를 측정함

- 분석 요소

- 평균 냉각 속도: 배지 내 4점의 시간에 따른 온도 평균값의 변화를 이용하여 배지의 냉각 시의 온도 변화를 확인하였음
- 내부 열 분포: 시간에 따른 배지의 중심부와 측면부의 온도 차이를 계산하였으며, 이를 통해 내부 열 분포의 균일성을 분석하였음
- 열전도도: 배지의 수분 함유량별 열전도도를 열유량계(HFM 436 Lambda, NETZSCH, Germany)를 활용하여 측정하였음

○ 연구수행 결과

- 배지의 건물중과 최대 함수량을 확인한 결과 배지의 건조 부피 밀도는 펄라이트가 가장 높았으며, 최대 수분 보유 능력은 코이어와 암면 배지가 가장 높았음

표 10-1. 배지 별 건조 부피 밀도 및 최대 수분 보유 능력.

Substrate	Dry bulk density (g L ⁻¹)	Maximum water holding capacity (g g ⁻¹)
Coir	67.1 d ²	7.38 a
Soil	150.0 b	3.38 b
Perlite	171.4 a	1.23 c
Rockwool	100.0 c	7.47 a

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

- 모든 배지에서 평균 냉각 속도는 함수율이 40%일 때가 80%일 때보다 빨

랐으며, 냉각 속도는 두 함수율 처리 모두 펄라이트에서 가장 빨랐고 코이어가 다음으로 빨랐음

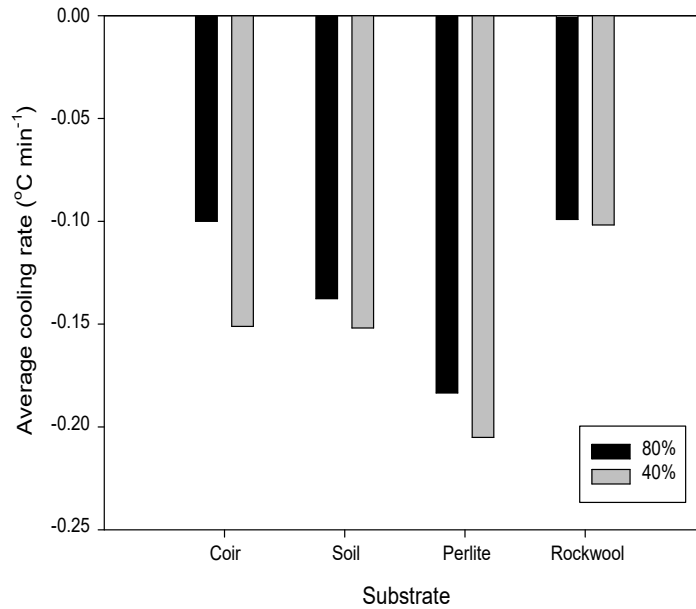


그림 10-1. 배지 함수율별 파이프 냉각에 따른 평균 냉각 속도.

- 배지 중심부와 측면부의 온도 차는 모든 배지에서 함수율이 40%일 때가 더 컸음. 코이어와 원예용 상토의 경우 배지 중심부와 측면부의 온도 차가 컸으며, 펄라이트와 암면 배지에서는 온도 차가 작았음

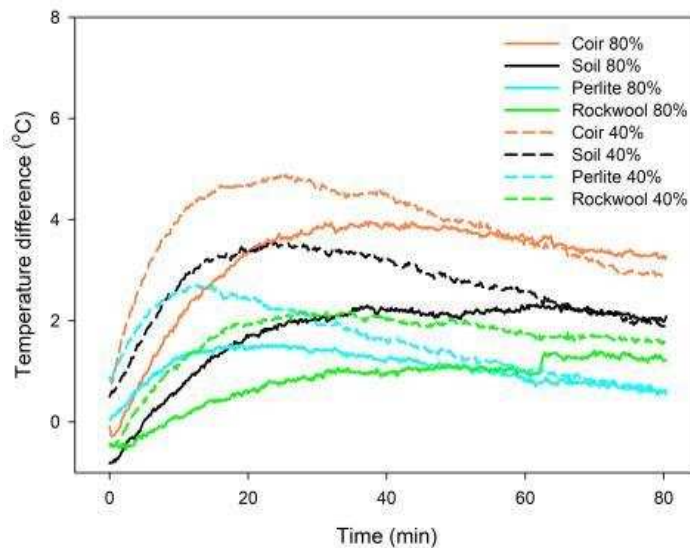


그림 10-2. 배지 함수율 별 파이프 냉각에 따른 배지 중심부 및 주변부의 온도 변화.

- 높은 평균 냉각 속도를 보인 배지일수록 열전도도가 낮은 경향을 보였으나, 평균 냉각 속도 양상과 열전도도의 뚜렷한 상관관계를 보이지는 않았음

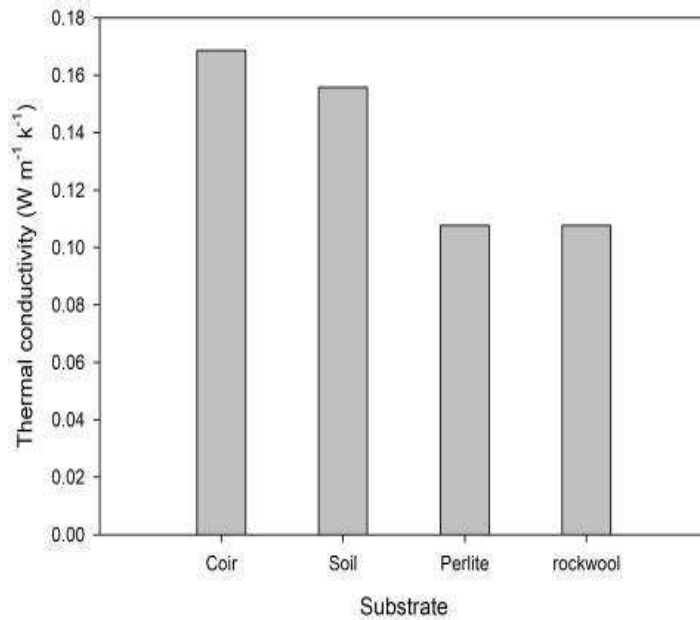


그림 10-3. 기온 25°C 배지별 열전도율.

○ 결과 분석 및 의의

- 평균 냉각 속도와 내부 온도 분포의 차이는 배지의 종류 및 함수율에 따라 달라짐.
- 암면 배지를 제외하면 냉각 속도가 빠른 배지일수록 내부의 온도 분포가 균일한 경향을 보였으며, 냉각 속도가 빠른 배지는 배지의 온도 조절이 쉬워 근권부 온도 조절을 용이하게 함
- 배지의 냉각 속도는 최대 함수량과 연관되는 것으로 확인되었으며. 최대 함수량과 열전도도를 복합적으로 고려하여 배지의 온도 조절 모델을 구축해야 함
- 코이어 배지의 경우 일반적인 상용 배지 중에서는 냉각 속도가 느린 편으로 분석되어, 급격한 냉방 혹은 난방 시 효율이 낮고 내부 온도 분포가 불균일해질 가능성이 있음. 하지만 온도 변화가 심하지 않아 안정적인 근권부 온도 환경을 조성하는데 유리할 것으로 판단됨

(실험 2) 여름철 온실 내 고온 환경에서 근권부 냉방시스템에 따른 파프리카 생육 확인

○ 연구 목표

- 근권부 냉방시스템 적용에 따른 파프리카의 생육을 확인하고자 함

○ 연구 수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료: Scirocco 파프리카 종자 (*Capsicum annuum* 'Scirocco')
- 정식 전 재배 환경

- 파종 및 발아: 2021년 7월 25일, 240구 암면 플러그 트레이에 파종 후 질석으로 복토하였음. 이후 파프리카 표준 양액(EC 2.2, pH 5.5)으로 포습한 후 암상태 및 기온 27°C, 상대습도 90% 환경의 incubator에서

발아시켰음

- 육묘: 파종 1주일 후 절반 이상이 발아하였을 때 growth chamber로 옮겨 육묘하였음. growth chamber 내 재배 환경은 온/습도 27°C/50%로 유지하였고, cool-white LED 광원을 광도 180 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 16시간 동안 조사하여 2주간 육묘를 진행하였음
- 정식: 2021년 8월 17일, 육묘 후 파프리카 유묘를 buffering이 완료된 코이어 배지 슬라브(chip:dust=5:5)에 슬라브 당 3주씩, 40cm 재식 간격으로 절곡이식법을 이용하여 정식하였음

- 정식 후 재배 환경

- 재배 장소: 서울대학교 수원 농장 유리온실 (경기도 수원시)
- 관수 방법: 정식 후 파프리카 표준 양액(EC 2.2, pH 5.5)을 이용하여, 일중 고온기(11:00-17:00) 중 2시간 간격으로 3분씩 회당 0.1L의 점적 관수를 실시하였음
- 과실 수확: 정식 46일 후인 2021년 10월 1일에 파프리카 과실을 수확하였으며, 식물체를 샘플링하여 생육 조사를 실시하였음

- 처리내용

- 냉방 무처리 (Control): 냉방 처리 없이 재배하였음
- 양액 냉방 (NSC²): 양액탱크 내 양액 온도를 18°C로 유지하여 일중 고온기(11:00-17:00)에 점적관수를 통해 냉각된 양액을 식물체에 관주하였음
- 파이프순환 냉방 (PC^y): 물탱크 내 물 온도를 10°C로 유지하였으며, 고온기에 냉방수 온도를 약 20°C로 맞춰 코이어 배지 슬라브의 바깥쪽을 둘러싼 2단 사각 파이프를 통해 유속 15-16L min⁻¹로 순환시켜 근권부 냉방을 하였음
- 양액 및 파이프순환 냉방 (NSC+PC): 고온기에 냉각된 양액(18°C)의 관주 및 냉방수(20°C)의 순환을 통한 근권부 냉방을 병행하였음

²NSC: nutrient solution cooling; ^yPC: pipe cooling

- 분석 요소

- 배지 온도 측정: 총 10cm 높이의 코이어 슬라브 배지 내 윗면으로부터 3cm, 7cm 지점을 상, 하로 지정 후 중심부에 T-type thermocouple을 위치시켜 배지 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X, Campbell Scientific, US)로 데이터를 수집하였음
- 파이프 표면 온도 측정: 슬라브를 순환하는 냉방 파이프에 냉각수가 공급되는 유입부와, 순환한 냉각수가 배출되는 유출부의 표면에 T-type thermocouple을 밀착하고 단열 처리하여 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X)로 수집하였음
- 파프리카 식물체의 생육 및 초기 꽃과 과실을 조사하였음

○ 연구수행 결과

- 실험 기간의 온실 내 기온은 실험 전반기인 8월보다 후반기인 9월에 높은

경향을 보였는데, 전반기의 온실 내 최고 기온은 35℃를 넘지 않았으며 후반기의 최고 기온은 40℃ 이상으로 측정되었음. 상대습도의 경우 일 평균 기온이 낮았던 전반기에 높은 경향을 보였음

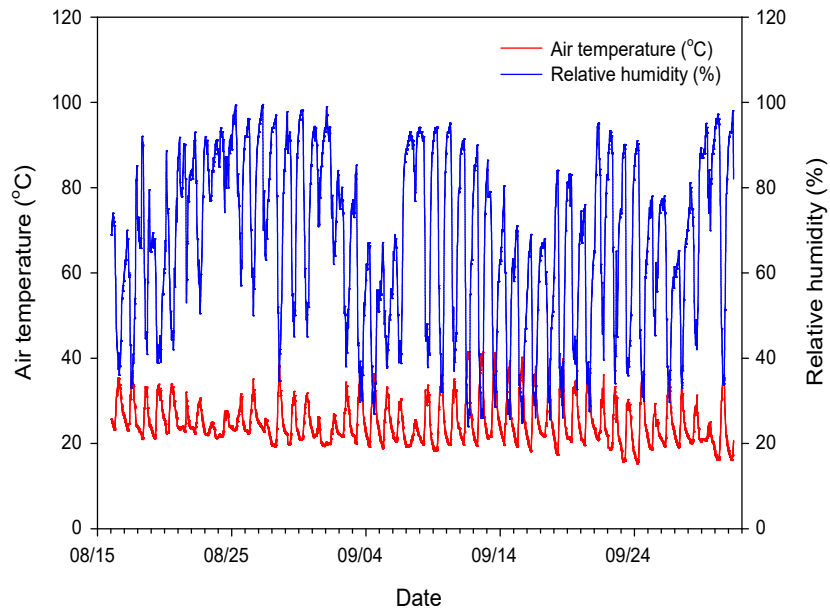


그림 10-4. 실험 기간 중 온실 내 기온 및 상대습도.

- 코이어 슬라브 내 배지 온도는 낮 동안 전반적으로 PC와 PC+NSC에서 NSC와 Control보다 낮았음
- 배지 내부의 상하부 온도 차는 PC와 PC+NSC에서는 비교적 컸고, NSC와 Control에서는 작았음

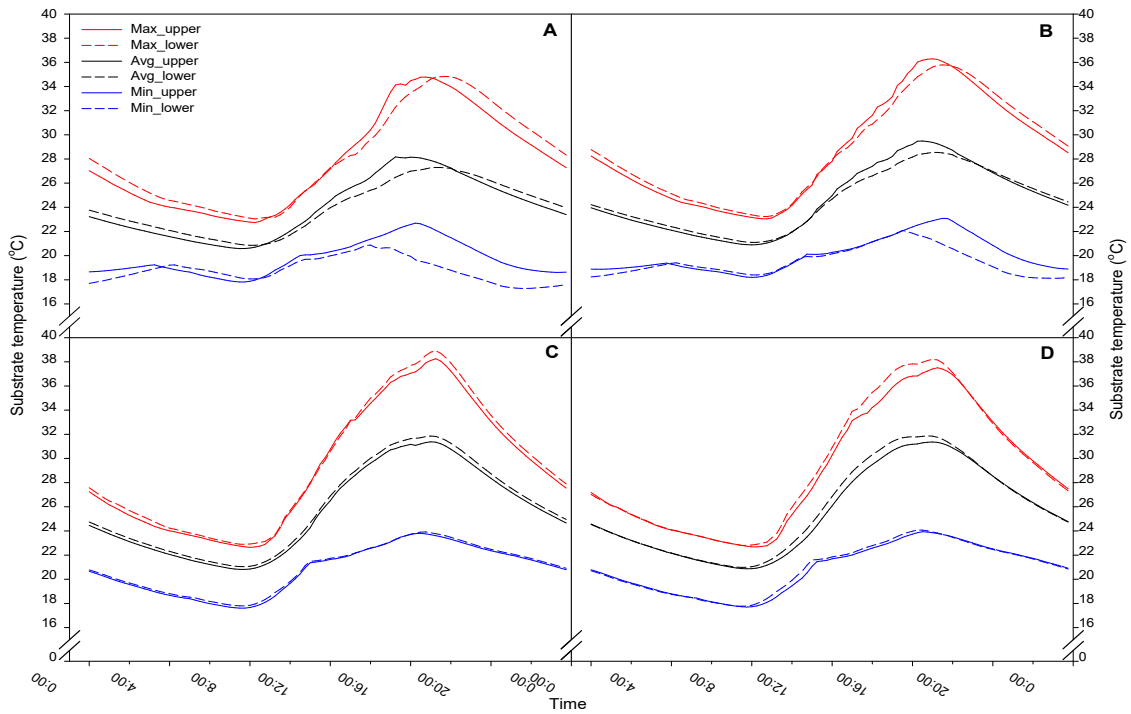


그림 10-5. 처리구 PC+NSC (A), PC (B), NSC (C) 그리고 Control (D)에서 배지의 상·하부의 최대, 평균, 및 최소 온도의 시간에 따른 변화.

- PC와 PC+NSC에 사용된 냉방 파이프의 유입구와 유출구 표면의 온도 차는 냉방처리가 진행된 11-17시 사이에 크게 벌어졌고, 오후 3시경 가장 컸다

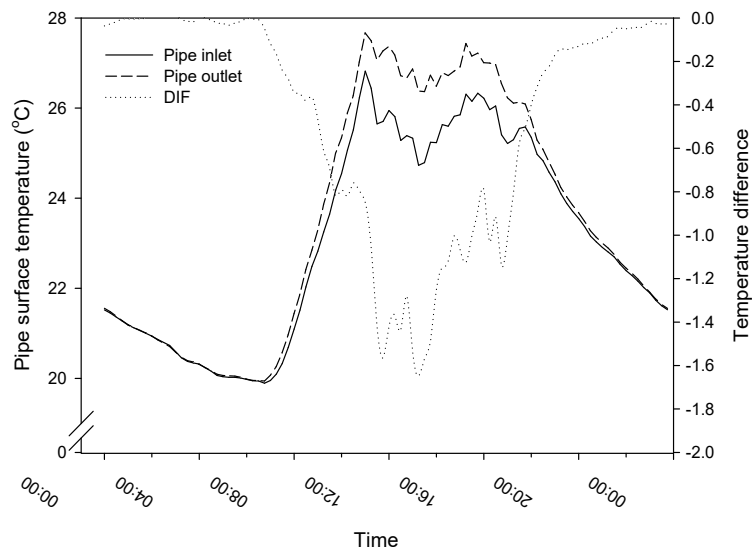


그림 10-6. 냉방 처리에 이용된 실리콘 파이프 유입구 및 유출구의 일중 표면온도 및 차이.

- 파프리카의 생육은 PC에서 초장, 엽수, SPAD, 및 잎과 줄기의 생체중과 건물중에서 타 처리구들에 비해 우수한 경향을 보였으나, 그 차이가 통계적으로 유의한 수준은 아니었음

표 10-2. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 생육 특성.

Treatment	Shoot length (cm)	Stem diameter (mm)	Number of internodes	Number of leaves	SPAD value	Fresh weight		Dry weight		Leaf area (cm ²)
						Leaf (g)	Stem (g)	Leaf (g)	Stem (g)	
Control	64.9 a ^z	12.7 a	15.0 a	37.5 a	50.1 a	83.0 a	104.8 a	9.9 a	9.6 b	2988 a
NSC ^y	61.0 a	11.8 a	15.3 a	34.8 a	49.7 a	77.8 a	96.8 a	9.3 a	9.2 b	2727 a
PC ^x	65.1 a	12.2 a	15.8 a	42.0 a	51.2 a	84.3 a	112.3 a	10.5 a	11.1 a	3113 a
PC+NSC	62.6 a	11.7 a	16.0 a	41.5 a	49.2 a	73.8 a	100.0 a	9.0 a	9.3 b	2813 a

^yNSC: nutrient solution cooling; ^xPC: pipe cooling

^zMean values in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 파프리카의 꽃과 과실을 통한 생식생장 조사 결과에서는 유의적 차이는 확인되지 않았으나, 착과수 차이에 의해 과실의 수량과 비대 정도에 차이가 생겼으며, 과실 수량이 많은 처리구에서는 개별 과실의 중량이나 직경은 다소 감소하는 경향을 보였음.

표 10-3. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 화기 및 과실 발달 특성.

Treatment	Number of flowers	Number of fruits	The largest fruit diameter (mm)	The largest fruit fresh weight (g)	The largest fruit dry weight (g)	Total fruit fresh weight (g)	Total fruit dry weight (g)
Control	2.3 a ^z	2.0 a	12.0 a	1.1 a	0.09 a	1.4 a	0.11 a
NSC ^y	3.3 a	1.8 a	13.4 a	2.3 a	0.21 a	3.6 a	0.33 a
PC ^x	2.8 a	2.3 a	10.9 a	1.2 a	0.11 a	2.0 a	0.21 a
PC+NSC	3.0 a	2.8 a	15.0 a	1.2 a	0.16 a	2.1 a	0.22 a

^yNSC: nutrient solution cooling; ^xPC: pipe cooling

^zMean values in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

○ 결과 분석 및 의의

- 코이어 슬라브 내 배지 온도가 PC 및 PC+NSC에서 낮았던 것은 냉방 파이프를 이용한 냉방 방식이 근권 온도를 낮추는데 더 효과적이었으며, 양액 냉각을 통한 냉방의 경우 양액의 공급량과 시간의 부족으로 충분한 효과를 내지 못했기 때문으로 판단됨
- 배지 내부의 상부와 하부 온도의 차이가 PC와 PC+NSC에서 컸던 것은 냉방 파이프와 배지가 접촉하는 부분이 슬라브의 중단 및 하단이었기 때문으로 보이며, 충분한 냉각 및 배지 내부의 균일한 열 분포를 위해서는 배지와 냉방 파이프가 접촉하는 면적을 늘리는 것이 중요함
- 전반적으로 영양생장이 우수한 처리구와 생식생장이 우수한 처리구가 일치하지 않았으며, 착과수와 과실 크기 및 중량은 음의 상관관계를 보였으며, 재배 목적에 따라 이를 고려한 처리가 필요할 것으로 판단됨

- 실험 장소인 경기도 수원시의 실험 전반기 8월에는 우천일이 많고 흐린 날씨가 지속되었기 때문에 온실 내부 일 최고 기온이 35°C 이하로 유지되어 근권 냉방의 효과를 충분히 검증할 수 있는 고온 환경이 조성되지 못한 것으로 판단됨
- 연구 과제 계약 및 온실 내 냉방시스템 구축이 지연되어 고온기 근권부 냉방의 효과를 온실 내에서 구명하기 어려웠고, 보다 정밀한 분석을 위해 챔버 내 실험을 추가하였음

(실험 3) 고온 환경에서 근권부 냉방 시스템에 따른 파프리카의 생리적, 형태적 특성 및 광합성 특성 확인

○ 연구 목표

- 챔버 내 고온 환경을 조성하여 근권부 냉방 적용에 따른 파프리카의 생리적, 형태적 특성 및 광합성 특성을 확인하고자함

○ 연구수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료

- Scirocco 파프리카 (*Capsicum annuum* 'Scirocco')

- 정식 전 재배 환경

- 파종 및 발아: 240구 암면 플러그 트레이에 파종하였으며, 파종 후 질석으로 복토하여 파프리카 표준 양액 (EC 2.2, pH 5.5)으로 포습한 뒤 암 상태 및 기온 27°C, 상대습도 90% 환경의 incubator로 옮겼음
- 육묘: 파종 1주일 후 절반 이상이 발아하였을 때 incubator에서 growth chamber로 옮겨 육묘하였음. growth chamber 내 재배 환경은 온/습도 27°C/50%, cool-white LED 광원을 광도 180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 16시간 동안 조사하여 2주간 육묘를 진행하였음
- 정식: 육묘 후 파프리카 유묘를 buffering이 완료된 코이어 배지(Coир block:dust=5:5)가 충전된 1.4L 이색포트에 절곡이식법을 이용하여 정식하였음

- 정식 후 재배 환경

- 재배 장소: 생육 챔버실
- 기온 및 상대습도: 고온 미처리 시 기온 26/23°C 및 상대습도 80/95%, 고온 처리시 40/23°C 및 상대습도 50/95%
- 광 환경: Warm-white LED를 광도 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정하여 14시간 일장처리하였음
- 관수 방법: 정식 후 파프리카 표준 양액(EC 2.2, pH 5.5)을 이용하여, 일중 고온기(11:00-17:00) 중 2시간 간격으로 3분씩 회당 0.1L의 점적 관수를 실시하였음
- 생육조사 실시: 실험 처리 2주 및 4주 후

- 처리내용

- NHZ: 고온이 조성되지 않은 환경에서 재배한 처리
- NCy: 고온 환경 시 냉방을 처리하지 않고 재배한 처리

- NSCx: 고온 환경 시 냉방된 양액(15°C)을 점적관수를 통해 3분 동안 총 100mL를 관비하여 근권부를 냉방한 처리
 - PC^w: 8mm 직경의 실리콘 파이프를 포트 내부에 균일하게 3회 감아 15°C의 냉각수가 2.7 L min⁻¹의 유속으로 순환하여 근권부를 냉방한 처리.
- ^zNH: no heating; ^yNC: no cooling; ^xNSC: nutrient solution cooling;
^wPC: pipe cooling

- 분석 요소

- Growth chamber 내 기온 및 상대습도 측정: 센서 및 데이터로거 (TR-72nW, T&D corporation, Japan)를 이용하여 기온 및 상대습도 측정하였음
- 포트 내 배지 온도 측정: 배지 내에 삽입된 2개의 온도 센서(K-type thermocouples)를 이용해 내부 온도 변화를 측정하였으며, 데이터로거 (UA11-K, Radionode, Korea)로 데이터를 수집하였음
- 파프리카 식물체 생육 측정: 파프리카 식물체의 줄기 길이, 줄기 직경, 절간 수, 엽수, SPAD 값, 잎, 줄기 및 뿌리 생체중, 엽면적, 뿌리 건물 중 및 root to shoot 비율을 측정하였음
- 파프리카 잎 광합성 속도 측정: 광합성 측정기기(Li-6800, LICOR Inc., US)를 이용하여 처리구 별 파프리카 잎의 광합성 속도를 측정하였음
- 파프리카 뿌리 전해질 누출: 생육 조사 시 파프리카 뿌리 끝단을 샘플링 하여 전해질 누출량을 측정하였음

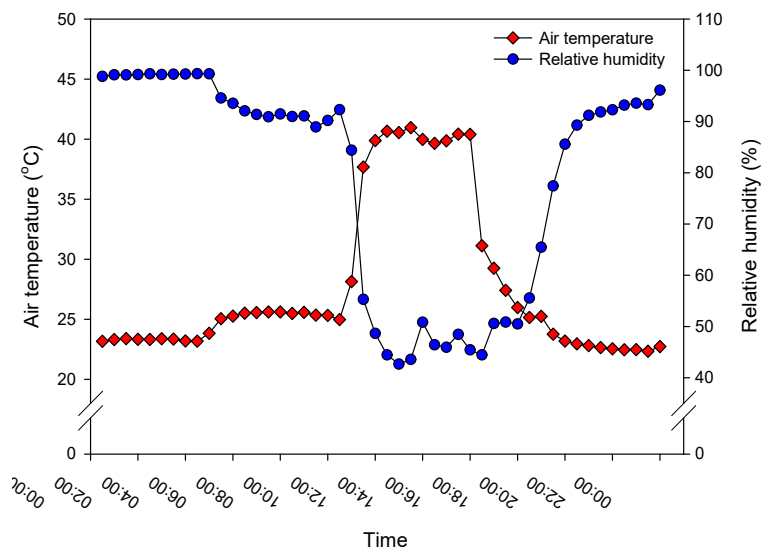


그림 10-7. 여름 작기 환경을 구현한 챔버 내 기온 및 상대습도.

○ 연구수행 결과

- 고온 환경(40°C)에서 냉각수 순환을 이용한 PC 처리에서 배지 온도가 가장 낮았고(23.3°C), PC와 NSC 처리구에서는 NC와 비교하여 중앙 및 측면에서 각각 0.7-7.1°C 및 1.0°C 정도 낮았음

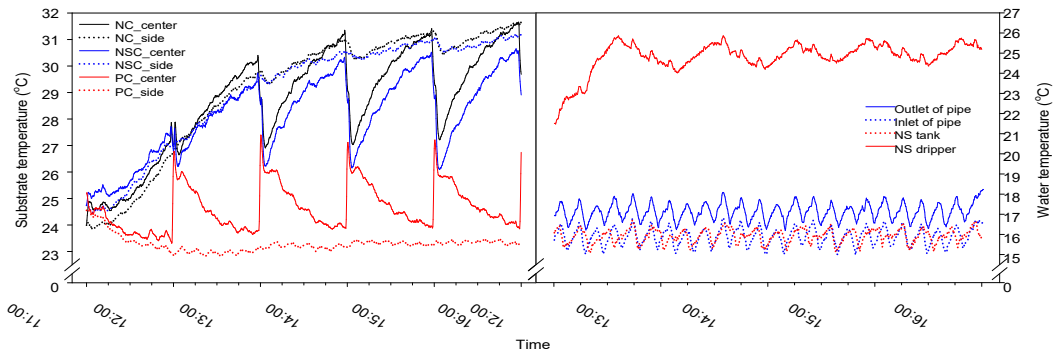


그림 10-8. 배지 내 중앙부 및 주변부 온도 (A) 그리고 PC 처리구의 입구 및 출구 냉각수 탱크 및 점적 관수 핀의 온도 (B).

- 실험 처리 2주 차에 고온을 처리하지 않은 NH에서 식물체의 생체중 및 엽면적이 가장 낮았음

표 10-4. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 처리 2주차 생육 특성.

Treatment	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Number of internodes	Number of leaves	SPAD value	Fresh weight			Leaf area (cm ²)
						Leaf (g)	Stem (g)	Root (g)	
NH ^y	15.4 a ^z	6.2 a	9.8 a	11.3 a	47.2 a	15.6 b	7.1 b	13.2 b	535 b
NC	15.4 a	6.3 a	9.2 a	12.0 a	47.8 a	19.8 a	9.5 a	21.3 a	677 a
NSC	15.5 a	6.7 a	9.5 a	12.8 a	48.6 a	20.4 a	10.2 a	24.0 a	688 a
PC	15.1 a	6.7 a	9.7 a	12.8 a	50.4 a	20.4 a	9.3 ab	24.3 a	681 a

^yNH: no heating; NC: no cooling; NSC: nutrient solution cooling; PC: pipe cooling

^zMean values in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 실험 처리 4주 차에 NH 처리의 줄기 길이가 가장 길었으며, 절간 수 및 상대 엽록소 함량(SPAD)이 가장 높았음. 줄기 직경은 NC 처리가 가장 낮았으며, 잎과 뿌리 생체중 및 엽면적은 NH 처리에서 가장 낮았음. 하지만 고온기에 냉방을 처리한 NSC와 PC에서 각각 뿌리 생체중 및 엽면적이 가장 높았음

표 10-5. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 처리 4주차 생육 특성.

Treatment	Shoot length (cm)	Stem diameter (mm)	Number of internodes	Number of leaves	SPAD value	Fresh weight			Leaf area (cm ²)
						Leaf (g)	Stem (g)	Root (g)	
NH ^y	31.3 a ^z	9.6 a	14.3 b	34.3 a	51.8 a	66.3 b	49.0 a	31.8 b	2079 b
NC	27.9 b	9.1 b	11.2 a	33.7 a	48.7 b	76.4 a	46.0 a	42.2 ab	2234 ab
NSC	28.7 b	9.8 a	12.0 a	36.3 a	48.1 b	76.2 a	46.1 a	48.9 a	2231 ab
PC	28.6 b	9.6 a	12.2 a	36.2 a	50.5 ab	79.7 a	48.3 a	40.5 ab	2355 a

^yNH: no heating; NC: no cooling; NSC: nutrient solution cooling; PC: pipe cooling.

^zMean values in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 실험 처리 4주 차에 파프리카 식물체를 측면에서 바라볼 때 고온을 처리하지 않은 NH에서 잎 사이의 간격이 넓은 반면, 고온을 처리한 NC는 잎이 늘어진 것을 볼 수 있음. 고온기에 근권부 냉방을 처리한 NSC와 PC는 NC에 비해 잎 사이의 간격이 더 벌어진 것을 볼 수 있음. 또한, NH 처리의 전체 뿌리 길이 및 줄기 길이가 가장 길었음

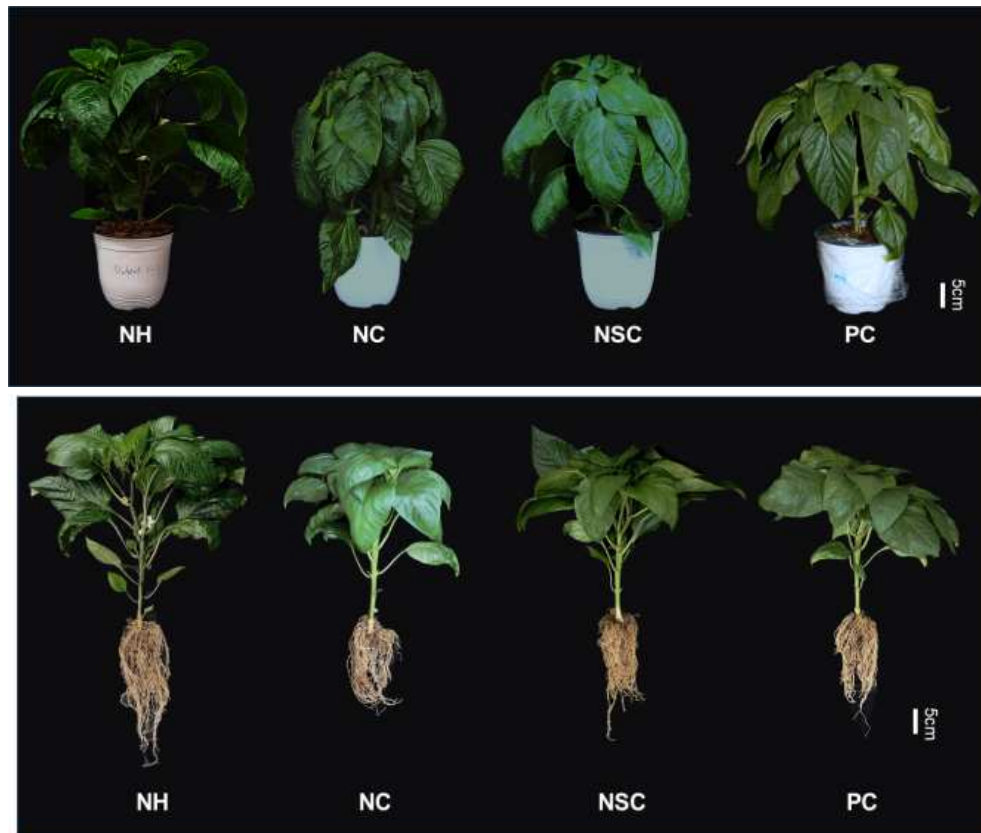


그림 10-9. 재배 4주차 파프리카의 생육.

- 실험 처리 2주 차에 뿌리 건물중은 NH 처리에서 가장 낮았으며, 고온 환경에서 냉방을 처리하지 않은 NC 보다 냉방을 처리한 NSC와 PC가 더 높았음. 실험 처리 4주 차에도 뿌리 건물중은 NH 처리가 가장 낮았으며, 고온 환경에서 냉각된 양액을 관비한 NSC가 가장 높았음. 실험 처리 2주 차

에 Root-to-shoot 비율은 유의미한 차이가 없었으나 실험 처리 4주 후 전체적으로 뿌리 건물중의 비중이 더 높아졌으며 특히 NSC 처리가 가장 높았음

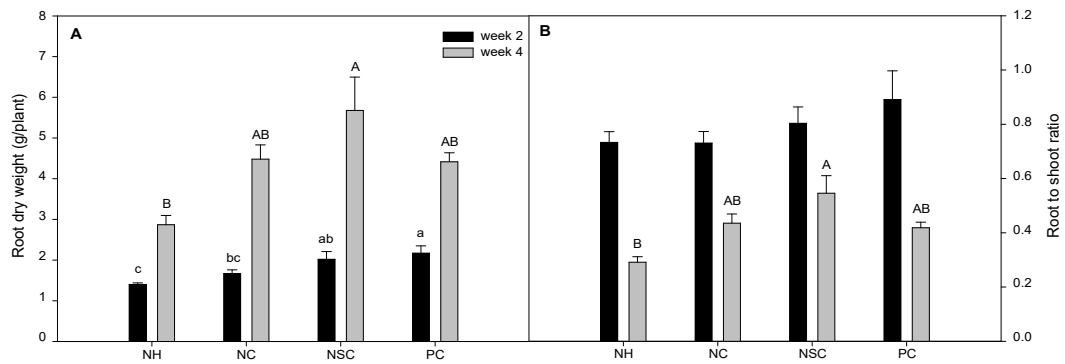


그림 10-10. 처리 2주차 및 4주차의 뿌리 건물중 (A) 과 지상부와 지하부의 건물중 비율 (B).

- 실험 처리 4주 차에 파프리카 식물체의 화아 직경은 고온을 처리하지 않은 NH에서 가장 컸으며, NSC 처리에서 가장 낮았음

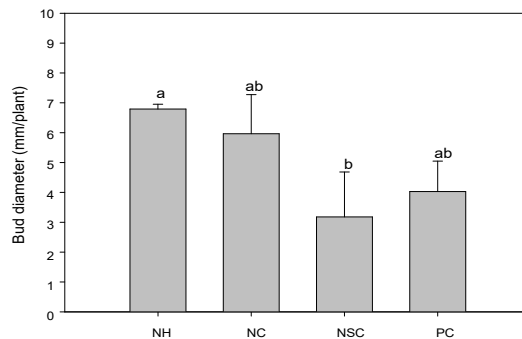


그림 10-11. 처리 4주차 파프리카의 화아 직경.

- 실험 처리 4주 차에 파프리카 잎의 순광합성량은 챔버 내 기온이 27°C일 때 NH 처리에서 $1,500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이하의 광도까지는 가장 높았으며, NC 처리에 비해 PC와 NSC 처리의 순광합성량이 더 높았음. 챔버 내 기온이 40°C일 때 고온 환경에서 냉방처리를 하지 않은 NC와 냉방처리한 NSC와 PC의 순광합성량이 광도가 높아질수록 차이가 더 커졌으며 NSC와 PC가 더 높았음

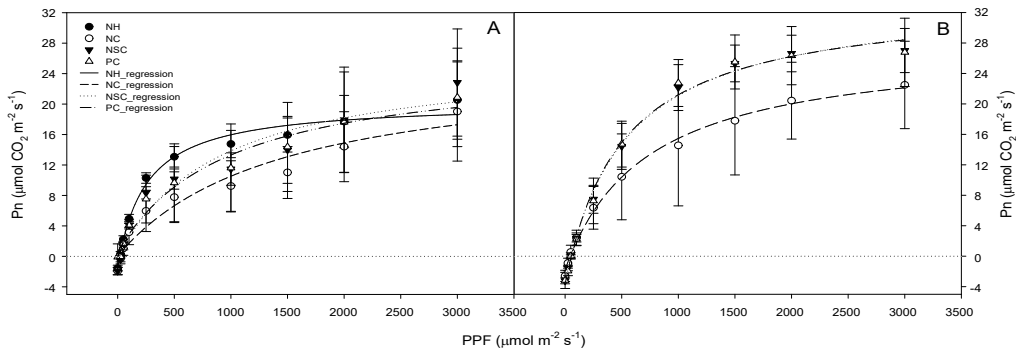


그림 10-12. 챔버 내 기온 27°C (A)와 40°C (B)에서 파프리카의 5번째 또는 6 번째 본엽에 광량 0-3,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 조사하였을 때의 광합성량 (P_n) 측정 및 광합성 반응 곡선.

- 실험 처리 4주 차에 파프리카 잎의 F_v/F_m 은 NH 처리가 가장 높았으며, 고온 환경에서 재배된 나머지 처리구에서 낮았으나 고광도 조건에서의 측정 값의 분산이 컸음

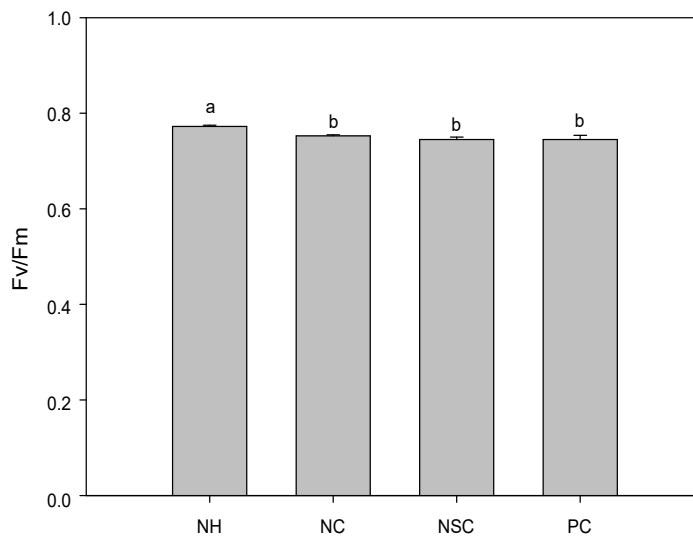


그림 10-13. 처리 4주차 파프리카의 5번째 또는 6번째 본엽의 최대 광자 효율 (F_v/F_m).

- 실험 처리 4주 차에 파프리카 뿌리 전해질 누출량은 고온 환경에서 냉방처리를 하지 않은 NC가 가장 높았으며, 나머지 냉방처리는 고온을 처리하지 않은 NH와 유의미한 차이가 없었음

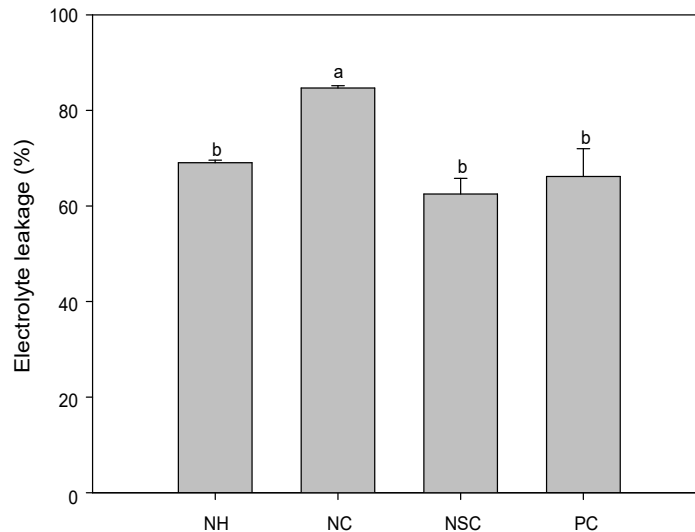


그림 10-14. 처리 4주차 파프리카 뿌리의 전해질 누출.

○ 결과 분석 및 의의

- 고온에 노출되지 않은 NH 처리의 잎 사이의 간격은 넓었으며, 잎자루와 줄기 사이의 각도가 다른 처리에 비해 좁고 캐노피가 높아 수광에 매우 유리할 것으로 보이며, 고온에 노출된 NC 처리의 잎 사이 간격이 좁아 다른 처리에 비해 수광에 불리할 것으로 판단됨
- 고온 노출에 의한 식물체의 생육 변화가 근권부 냉방을 통해 일부 회복된 것을 확인하였음
- NSC 및 PC 처리와 같은 근권부 냉방을 통해 파프리카 식물체의 뿌리 생체중과 건물중 및 순광합성량이 촉진되었음
- 냉방 방식 중 NSC는 냉각된 양액에 의해 식물체 뿌리의 온도를 직접적으로 감소시켰을 것으로 추정되며, 생육 배지를 통해 간접적으로 뿌리 온도에 영향을 미치는 PC 처리보다 더 효과적이었음
- 또한, NSC와 PC 처리의 전해질 누출량이 NH와 유의미한 차이가 없는 것을 볼 때 고온 환경에서 근권부 냉방을 통해 뿌리가 고온에 의해 받는 스트레스가 NC 처리보다 적었던 것으로 보임
- 이러한 결과는 NSC 방식이 PC보다 더 효율적이며, 고온 환경에 따른 부정적인 영향을 완화시킬 수 있어 영양생장을 높일 수 있으며, 여름철 파프리카 재배에 고효율 냉방 방식으로 적용될 수 있음을 확인하였음

(2) 1단계 2년차

(실험 1) 폐쇄형육묘시스템 내 딸기 육묘 시 화아분화 촉진을 위한 관부 냉각 시스템 개발 및 적용

○ 연구 목표

- 실험 1-1: 폐쇄형육묘시스템 내 딸기 육묘 시 출하 전 관부 냉각을 통해 화아분화를 촉진하기 위한 적정 온도를 확인하고 그에 따른 생육 및 화아

분화 촉진 정도를 확인하고자 하였음

- 실험 1-2: 폐쇄형육묘시스템 내 딸기 육묘 시 출하 전 화아분화 촉진을 위한 관부 냉각의 적정 적용 시간을 확인하기 위해 주야간 냉각 시간을 비교하고, 그에 따른 생육 및 화아분화 촉진 정도를 확인하고자 하였음

○ 연구 수행 내용

- 실험 재료: 관부 직경 8mm, 엽수가 3장인 설향 (*Fragaria × ananassa* Duch. 'Seolhyang') 딸기 묘
- 재배 환경
 - 재배 장소: 폐쇄형육묘시스템
 - 일장 및 온습도
 - 실험 1-1: 10 h d⁻¹, 20/25°C, 60/95%
 - 실험 1-2: 14 h d⁻¹, 21/28°C, 60/90%
 - 관수 방법: 야마자키 딸기 표준액(EC 1.2, pH 6.0)을 하루 1회 45분간 저면관수하였음
- 처리내용
 - 처리 방법: 직경이 5mm인 실리콘 튜브를 딸기 관부 주위로 2.5 바퀴 회전 시켜, 이를 통해 냉각된 물을 순환시킴

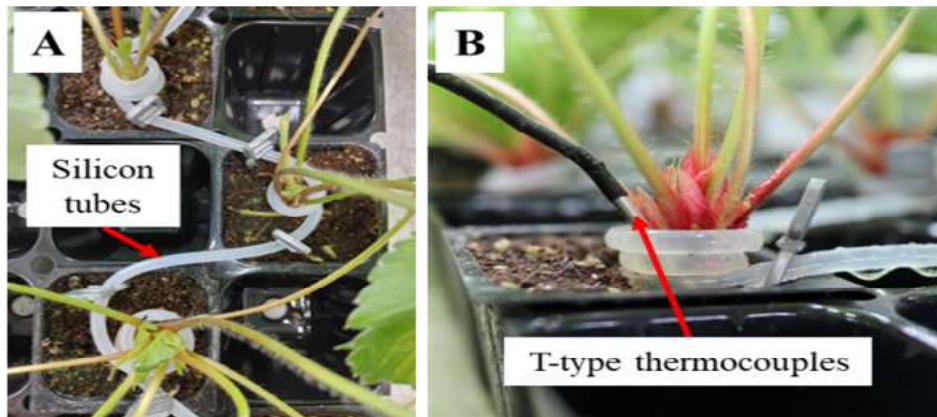


그림 10-15. 관부 냉각 및 관부 온도 측정을 위해 설치된 실리콘 파이프(A)와 온도 센서(B)

■ 실험 1-1 처리내용:

- 냉각 무처리 (TC^z): 냉각 처리 없이 재배하였음
- 10°C 냉각 (T10^y): 물탱크 내 물 온도를 10°C로 유지하였으며, 야간에 14시간 동안 실리콘 파이프를 통해 냉각된 물을 순환시켜 관부 냉방을 하였음
- 15°C 냉각 (T15^x): 물탱크 내 물 온도를 15°C로 유지하였으며, 야간에 14시간 동안 실리콘 파이프를 통해 냉각된 물을 순환시켜 관부 냉방을 하였음
- 20°C 냉각 (T20^w): 물탱크 내 물 온도를 20°C로 유지하였으며, 야간에 14시간 동안 실리콘 파이프를 통해 냉각된 물을 순환시켜 관부 냉방을 하였음

^zT_C: control with no cooling treatment; ^yT₁₀: cooling with coolant at 10°C; ^xT₁₅: cooling with coolant at 15°C; ^wT₂₀: cooling with coolant at 20°C

■ 실험 1-2 처리내용:

- 냉각 무처리 (Control): 냉각 처리 없이 재배하였음
- 주간 냉각 처리 (DC^z): 물탱크 내 물 온도를 4°C로 유지하였으며, 주간 에 14시간 동안 실리콘 파이프를 통해 냉각된 물을 순환시켜 관부 냉방을 하였음
- 야간 냉각 처리 (NC^y): 물탱크 내 물 온도를 4°C로 유지하였으며, 야간 에 10시간 동안 실리콘 파이프를 통해 냉각된 물을 순환시켜 관부 냉방을 하였음
- 주야간 냉각 (DNC^x): 물탱크 내 물 온도를 4°C로 유지하였으며, 주야간 24시간 내내 실리콘 파이프를 통해 냉각된 물을 순환시켜 관부 냉방을 하였음

^zDC: day time cooling; ^yNC: night time cooling; ^xDNC: day and night time cooling

- 분석 요소

- 배지 온도 측정: 냉각된 물이 순환하는 실리콘 파이프와 딸기의 관부 사이에 T-type thermocouple을 밀착시켜 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(UA11-K, Radionode Co., South Korea)로 데이터를 수집하였음
- 처리 4주 및 6주 후에 딸기 식물체의 화아분화 검경과, 생육조사를 실시하였음

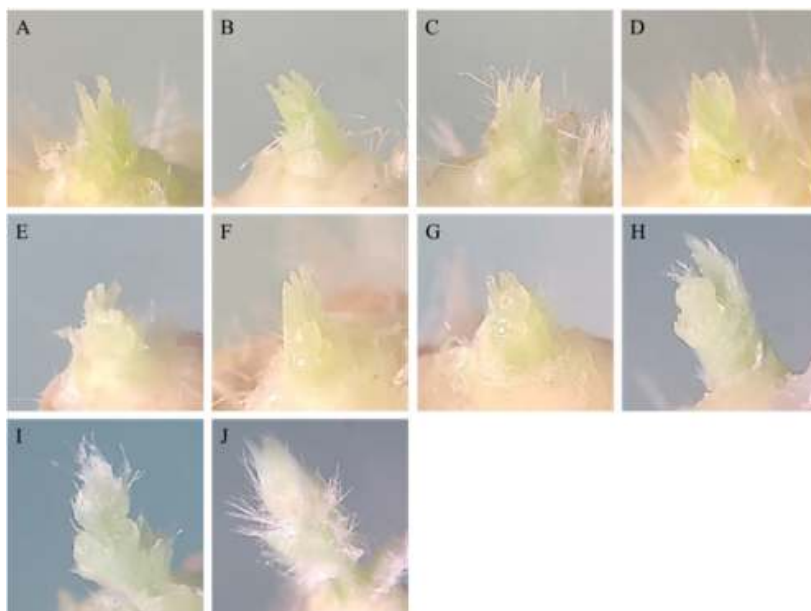


그림 10-16. Stage 별 딸기 화아분화 검경 사진. 각각 stage 1 (A), stage 2 (B), stage 3 (C), stage 4 (D), stage 5 (E), stage 6 (F), stage 7 (G), stage 8 (H), stage 9 (I), stage 10 (J)를 나타냄.

○ 연구수행 결과 (실험 1-1)

- 야간에 냉각처리 중 관부의 온도는 T10 처리구에서 가장 낮았으며, 그 다음으로 T15, TC 그리고 T20 처리구 순으로 낮았음
- T20 처리구의 야간 관부 온도가 TC보다 높았던 이유는 야간 대기 온도가 20.5°C 까지 떨어져, 20°C의 냉각수 처리의 효과가 미미했기 때문이라고 생각됨

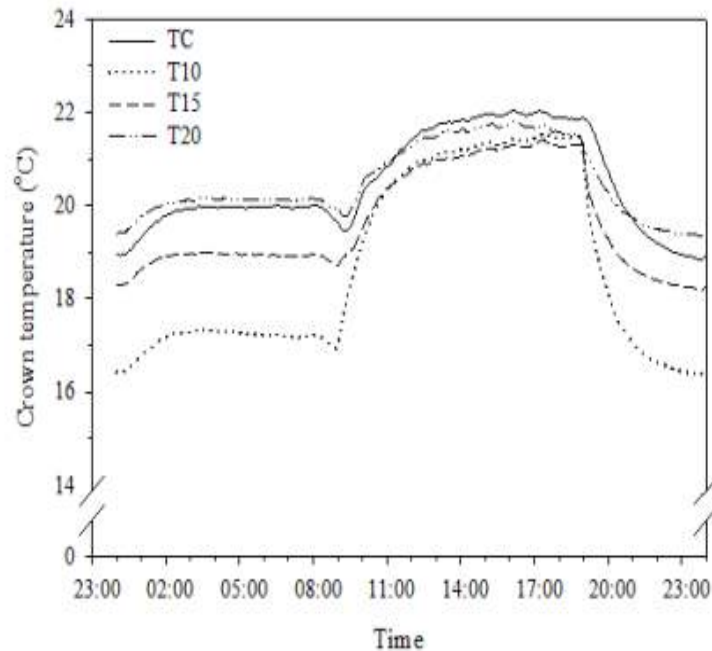


그림 10-17. 야간 냉각 처리에 따른 일중 관부 온도의 변화.

- 처리 4주차에 T10 그리고 T15 처리구에서 각각 6.2 그리고 5.8의 평균 화아분화 단계가 관찰되었으며, 이는 TC 처리구의 3.0단계에 비해 화아분화가 촉진되었음을 의미함
- 처리 6주차에는 T10, T15, T20 처리구 모두에서 TC에 비해 낮은 화아분화 단계를 보였으며, 이는 T10 및 T15 처리에서 6주간의 지속적인 크라운 냉각이 화아분화 이후 휴면을 유도했기 때문으로 판단됨
- 위 결과를 통해 4주간의 냉각 처리는 화아분화를 촉진 시킬 수 있으나, 그 이상 긴 기간의 처리는 화아분화 및 딸기 생육에 부정적 영향을 미칠 수 있어, 적정 냉각 처리 기간 확립이 필요할 것으로 생각됨

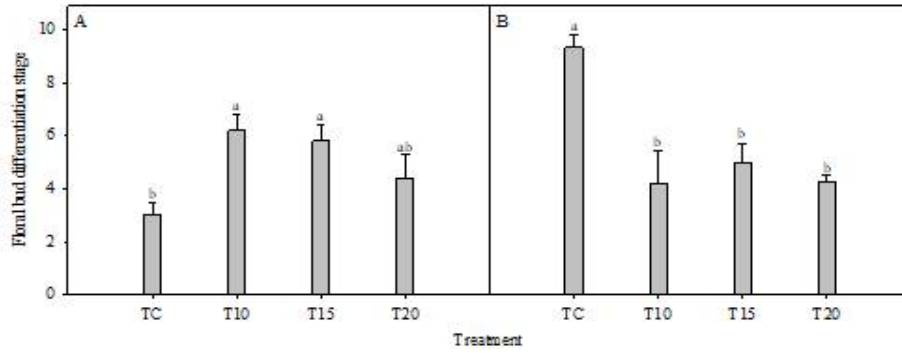


그림 10-18. 야간 냉각 처리에 따른 4주차(A)와 6주차(B) 묘의 화아분화 단계.

- 4주차의 생육조사 결과, T10 처리구에서 관부와 뿌리의 생체중이 가장 높았으며, T15, T20 모든 냉각 처리구에서 TC에 비해 증가한 경향을 나타냄

표 10-6. 관부 냉각 온도 처리에 따른 4주차 묘의 생육 특성

Treatment	Plant length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Crown diameter (mm)	Fresh weight (g plant ⁻¹)			Dry weight (g plant ⁻¹)			Leaf area (cm ²)	SPAD value
						Leaf	Crown	Root	Leaf	Crown	Root		
TC ¹	17.5 a ²	7.9 a	7.2 a	4.5 ab	9.6 a	11.42 a	1.51 b	1.74 c	1.87 a	0.21 a	0.30 a	462.9 a	36.8 a
T10	15.7 b	7.6 a	6.6 a	5.7 a	10.7 a	13.72 a	2.22 a	3.27 a	2.45 a	0.30 a	0.39 a	527.2 a	35.1 a
T15	19.2 a	8.4 a	7.6 a	4.0 b	10.9 a	10.74 a	1.85 ab	2.69 ab	1.61 a	0.23 a	0.33 a	397.7 a	34.5 a
T20	18.9 a	7.9 a	6.6 a	5.2 ab	10.8 a	12.45 a	1.59 ab	2.26 bc	2.06 a	0.21 a	0.37 a	408.3 a	36.5 a

¹TC: control with no cooling treatment; T10: cooling with coolant at 10°C; T15: cooling with coolant at 15°C; T20: cooling with coolant at 20°C.

²Means within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 6주차 생육조사 결과 T10 처리구에서 초장, 엽장 그리고 엽폭이 가장 작았으며, 그에 반해 뿌리 및 관부의 건물중은 처리구 중 가장 높았음
- 6주차 생육조사 결과 T20 처리구에서 뿌리 및 관부 건물중을 제외한 모든 생육 값이 가장 높았음

표 10-7. 관부 냉각 온도 처리에 따른 6주차 묘의 생육 특성

Treatment	Plant length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Crown diameter (mm)	Fresh weight (g plant ⁻¹)			Dry weight (g plant ⁻¹)			Leaf area (cm ²)	SPAD value
						Leaf	Crown	Root	Leaf	Crown	Root		
TC	18.3 bc ²	8.3 a	7.2 a	6.3 ab	11.8 a	15.37 b	2.07 a	2.31 c	2.83 ab	0.30 b	0.45 b	621.2 ab	37.7 a
T10	15.8 c	7.1 b	5.9 b	5.3 bc	12.2 a	11.92 b	2.66 a	4.21 a	2.81 ab	0.46 a	0.65 a	501.1 bc	38.2 a
T15	19.0 ab	8.1 ab	7.1 a	4.7 c	12.1 a	13.65 b	2.56 a	3.23 b	2.36 b	0.37 ab	0.46 b	475.3 c	37.7 a
T20	21.5 a	9.0 a	7.4 a	6.7 a	12.4 a	22.2 a	2.59 a	4.10 a	3.56 a	0.36 ab	0.50 b	694.7 a	37.3 a

¹TC: control with no cooling treatment; T10: cooling with coolant at 10°C; T15: cooling with coolant at 15°C; T20: cooling with coolant at 20°C.

²Means within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

○ 연구수행 결과 (실험 1-2)

- Control 처리구에서 일중 관부 온도는 최저온도 20.7°C에서 최고온도 24.2°C 까지 변화 하였음

- DC 처리구에서 관부온도는 냉각 처리로 인해 야간에 비해 주간에 더 낮았으며, 관부 온도는 18.3°C와 22.8°C 사이에서 변화하였음
- NC 처리구에서 야간 관부 온도는 처리에 따라 최대 16.2°C 까지 하락하였으며, 주간 온도 또한 Control 처리구에 비해 근소하게 낮았음
- DNC 처리구에서는 야간과 주간 모두에서 관부 온도가 하락하였으며, 야간에 비해서는 주간 온도가 근소하게 높았음

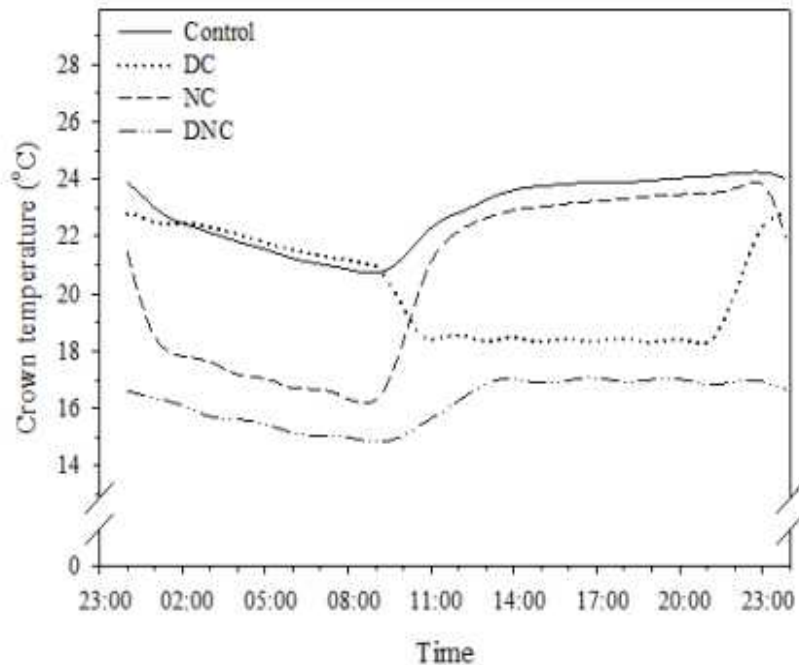


그림 10-19. 주야간 냉각 처리에 따른 일 중 관부 온도의 변화

- 처리 4주차에 진행한 화아검경 결과, 야간 냉각이 포함된 NC 그리고 DNC 처리구에서, Control 과 DC 처리구에 비해 화아분화가 촉진되었음
- 처리 6주차에 진행한 화아검경 결과, DNC 처리구에서 가장 높은 9.2의 화아분화 단계를 보였으며, 다음으로 NC 처리구에서 화아분화 단계가 높았음
- 위 결과에 따라 야간의 관부 냉각이 화아분화 촉진에 주요한 역할을 하는 것으로 판단됨

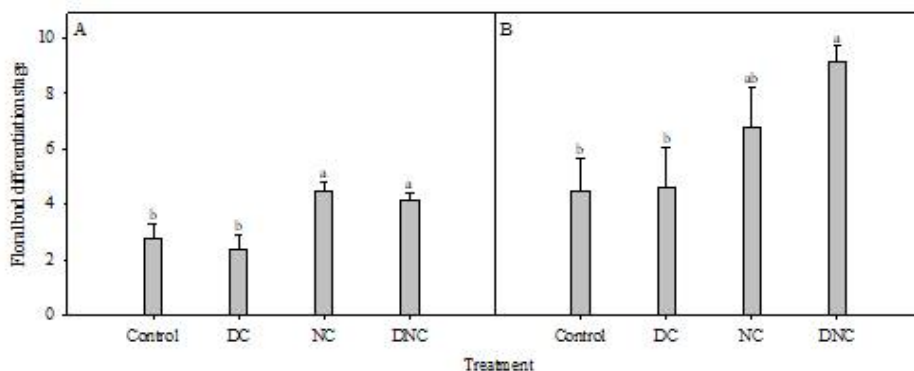


그림 10-20. 관부 냉각 시간 처리에 따른 4주차(A)와 6주차(B) 묘의 화아분화 단계

- 4주차 생육조사 결과, NC와 DNC 처리구에서 뿌리의 생체중과 건물중이 야간 냉각 처리가 없는 DC와 Control에 비해 높았음

표 10-8. 관부 냉각 시간 처리에 따른 4주차 묘의 생육 특성.

Treatment	Plant length (cm)	No. of leaves	Crown diameter (mm)	Fresh weight (g plant ⁻¹)			Dry weight (g plant ⁻¹)			Leaf area (cm ²)	SPAD value
				Leaf	Crown	Root	Leaf	Crown	Root		
Control ¹	25.9 a ²	4.3 a	10.8 a	10.22 a	1.66 a	1.36 b	4.48 a	0.25 a	0.23 b	400.0 a	39.6 ab
DC	25.2 a	4.7 a	9.6 b	9.41 a	1.46 a	1.39 b	2.88 ab	0.23 a	0.27 b	373.6 a	39.5 ab
NC	28.2 a	4.5 a	10.5 ab	10.77 a	1.78 a	2.09 a	1.55 b	0.30 a	0.41 a	422.7 a	37.5 b
DNC	25.6 a	4.2 a	10.7 a	10.48 a	1.52 a	2.24 a	0.91 b	0.22 a	0.53 a	420.2 a	40.8 a

¹Control: no cooling treatment; DC: day time cooling; NC: night time cooling; DNC: day and night time cooling.

²Means within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 6주차 생육조사 결과, 관부 직경, 잎과 관부 생체중, 뿌리 건물중 그리고 엽면적이 DNC 처리구에서 가장 높았음
- 잎, 관부 그리고 뿌리의 생체중 및 건물중이 DC 처리구에서 가장 낮았음
- DNC 처리구에서 엽색의 변화가 관찰 되었으며, 이는 계속된 관부 냉각에 의한 스트레스 때문일 것으로 판단됨

표 10-9. 관부 냉각 시간 처리에 따른 6주차 묘의 생육 특성.

Treatment	Plant length (cm)	No. of leaves	Crown diameter (mm)	Fresh weight (g plant ⁻¹)			Dry weight (g plant ⁻¹)			Leaf area (cm ²)	SPAD value
				Leaf	Crown	Root	Leaf	Crown	Root		
Control	26.2 a ²	5.3 ab	9.7 b	11.50 ab	1.53 b	2.57 ab	2.38 ab	0.27 bc	0.41 ab	481.4 ab	38.5 a
DC	25.3 a	4.5 bc	10.2 ab	8.90 b	1.62 b	2.08 b	1.80 b	0.22 d	0.35 b	353.8 bc	37.6 a
NC	28.7 a	4.3 c	10.7 ab	8.81 b	1.91 ab	3.79 a	3.35 a	0.46 a	0.47 ab	316.6 c	36.8 a
DNC	27.6 a	5.8 a	11.1 a	12.90 a	2.40 a	2.25 b	2.74 ab	0.43 ab	0.67 a	495.4 a	39.3 a

¹Control: no cooling treatment; DC: day time cooling; NC: night time cooling; DNC: day and night time cooling

²Means within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

○ 결과 분석 및 의의

- 10도 및 15도의 관부 냉각 처리구에서 화아분화가 유의하게 촉진되는 것을 확인하였으며, 이후 화아분화가 오히려 늦춰진 것을 볼 때, 화아분화를 위한 냉각 처리시 적정 기간을 넘기지 않는 것이 중요할 것으로 판단됨
- 냉각 시간을 조절한 실험 결과, 야간 저온 처리의 용이성을 제외하고도, 생리학적으로 야간의 냉각 처리가 화아분화 촉진에 유의한 효과를 보임을 확인함
- 다만 장시간의 관부 냉각은 식물체의 휴면을 유도할 수 있고, 엽의 탈색을 유도할 수 있어, 관부 냉각 처리의 적정 온도 및 적정 시간을 확립하는 것이 중요할 것으로 판단됨
- 최근 식물공장에서도 연중 딸기 생산을 위한 연구가 진행되고 있으며, 이러

한 식물공장 딸기 육묘 시 화아분화 처리를 통해 딸기 전용 식물공장에의 지속적인 화아분화 묘 공급이 가능해질 것으로 생각됨

(실험 2) 겨울철 딸기 재배 시 양액 가온과 군락 내(관부) 및 근권부 난방 시스템 적용이 생육 및 생산량에 미치는 영향 분석

○ 연구 목표

- 근권부 난방시스템을 적용하여 식물체 관부 및 근권부가 생육 적온에 머무르는 시간을 조절, 이에 따른 딸기의 생육 및 수확량 변화를 확인하고자 실험을 진행하였음

○ 연구 수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료: 설향 딸기 묘 (*Fragaria X ananassa* Duch. 'Seolhyang')
 - 재배 환경
 - 재배 기간 및 장소: 2021년 11월 25일 서울대학교 수원 농장 유리온실 (경기도 수원시)에 정식하였으며, 2022년 4월 28일까지 재배하였음
 - 관수 방법: 야마자키 딸기 표준액을 농도 조절하여(EC 0.8, pH 6.0) 관수를 실시하였음
 - 처리내용
 - 냉방 무처리 (Control): 양액의 온도를 약 25°C로 맞춰 오전 8시와 오후 2시에 각각 5분과 3분 씩 관비 되었음
 - 관부 난방 처리 (CBH²): 저온기에 난방수 온도를 약 27°C로 맞춰 딸기 관부를 둘러싼 구리 주름관을 통해 유속 15-16L min⁻¹로 순환시켜 관부 난방을 하였음. 양액 난방 또한 병행 처리됨
 - 근권부 난방 처리 (RBH³): 저온기에 난방수 온도를 약 27°C로 맞춰 코이어 배지 슬라브의 바깥쪽을 둘러싼 2단 사각 파이프를 통해 유속 15-16L min⁻¹로 순환시켜 근권부 난방을 하였음. 양액 난방 또한 병행 처리됨
- ²CBH: crown-based plant-ambient local heating; ³RBH: root-based plant-ambient local heating

○ 연구수행 결과

- 난방 처리 결과, RBH 처리구는 코이어 슬라브 하단의 온도를, 그리고 CBH는 슬라브 상단의 온도를 효과적으로 높인 것을 확인하였으며, 이는 두 처리 시스템에서 난방 파이프의 위치에 따른 것으로 판단됨
- RBH의 경우 효과적으로 근권부의 온도를 생육 적온 내로 유지시키는 것을 확인한 반면, Control과 CBH의 경우 관비 시 온도가 일시적으로 상승한 것을 제외하면 처리에 따른 근권부 온도 변화는 확인되지 않음
- 양액 난방에 따른 코이어 배지 단면 온도 변화를 확인한 결과 양액 난방에 따라 뿌리 주위의 온도가 직접적으로 변화하는 것을 확인하였으나, 양액량에 따른 총 열 에너지가 부족해 지속적인 온도 상승을 요하는 것을 어려울 것으로 판단됨

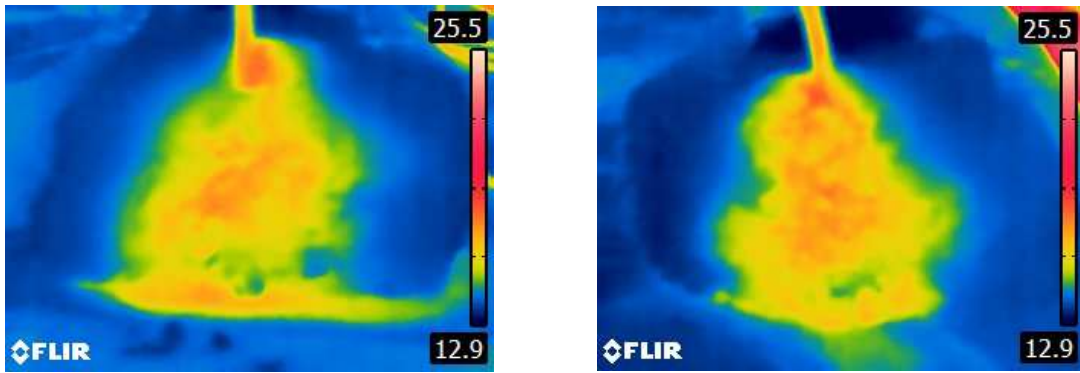


그림 10-21. 난방 양액 공급에 따른 코이어 베지 단면 온도 변화

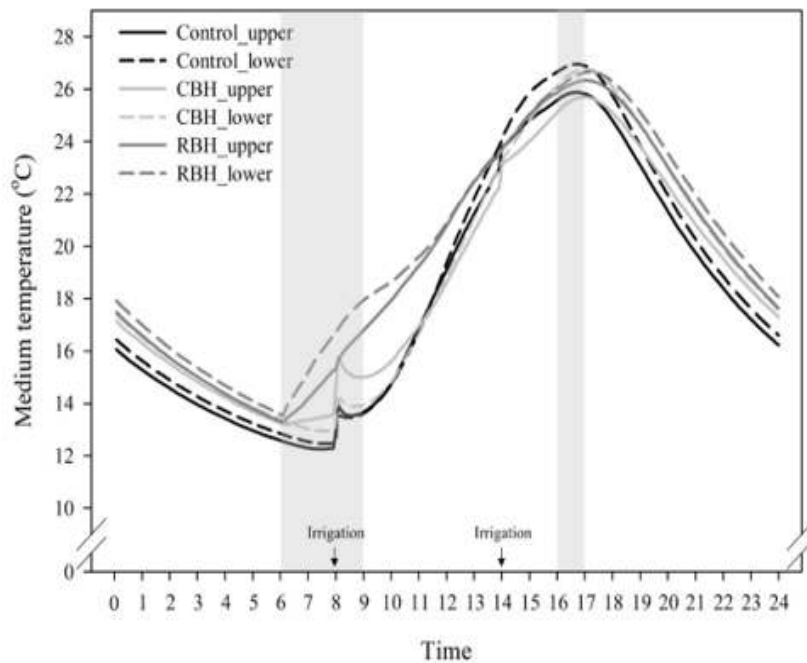


그림 10-22. 관부 및 근권부 난방 처리에 따른 일중 관부 온도의 변화.

표 10-10. 관부 및 근권부 난방 처리에 따른 처리구별 적온 유지 시간.

Treatment	Retention time (h d ⁻¹)		
	February	March	April
Control ^y	4.3 b ^z	6.2 b	5.2 b
CBH ^y	4.8 b	7.2 ab	6.0 ab
RBH	6.2 a	8.5 a	6.3 a

^yControl: no heating treatment; CBH: crown-based plant-ambient local heating; ^yRBH: root-based plant-ambient local heating.

^zMeans within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 생육조사 결과, 관부 직경 및 엽 생체중이 RBH 처리구에서 유의하게 가장 높았으며, 뿌리 생체중 및 건물중 또한 모든 처리구 중 RBH 처리구에서 가장 높았음
- Control의 엽면적이 다른 두 처리구에 비해 작았음
- CBH 처리구에서 Control에 비해 관부 직경이 증가하고 엽 생체중이 증가하여 지상부 생육이 증가한 것으로 판단됨

표 10-11. 관부 및 근권부 난방 처리에 따른 생육 특성.

Treatment	Plant length (cm)	Crown diameter (mm)	Fresh weight (g plant ⁻¹)			Dry weight (g plant ⁻¹)			Leaf area (cm ²)	SPAD value
			Leaf	Crown	Root	Leaf	Crown	Root		
Control ^Y	22.1 a ^Z	19.9 b	38.2 b	14.5 a	22.2 b	10.37 a	2.96 a	4.32 b	1074 a	41.4 a
CBH	23.8 a	20.6 ab	42.8 ab	15.5 a	27.2 b	11.75 a	3.32 a	5.24 b	1142 a	41.8 a
RBH	23.5 a	22.0 a	44.8 a	16.9 a	34.4 a	11.67 a	3.42 a	6.59 a	1190 a	41.4 a

^YCBH: crown-based plant-ambient local heating; ^YRBH: root-based plant-ambient local heating

^ZMeans within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 과실 수확량이 Control에 비해 CBH에서 6.0%, RBH에서 13.6% 증가함

표 10-12. 관부 및 근권부 난방 처리에 따른 과실 특성.

Treatment	Fruit diameter (mm)	Fruit length (mm)	Fruit weight (g)	Yield (g plant ⁻¹)
Control ^Y	33.4 a ^Z	42.7 a	18.5 a	179.3
CBH	32.7 a	42.2 a	17.6 a	190.0
RBH	33.2 a	42.6 a	18.4 a	155.0

^YCBH: crown-based plant-ambient local heating; ^YRBH: root-based plant-ambient local heating

^ZMeans within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

○ 결과 분석 및 의의

- 양액 난방에 의한 열 에너지 전달은 지속적인 근권부 온도 변화를 일으키기에는 적합하지 않으며, 그 일시적인 효과로 인해 온도를 급격하게 올릴 필요성이 있는 아침 시간에 이용한다면 효과적인 것으로 판단됨
- 뿌리 생육은 근권부 온도에 직접적인 영향을 받는 것으로 보이며 이를 위해서는 RBH 시스템의 적용이 효과적인 것으로 판단됨
- CBH 처리구에서 타 처리구에 비해 수확량이 증가 하였으며, RBH 처리구에서는 오히려 감소한 것을 보아, 근권부 온도 상승에 따른 뿌리 생육 증가는 개화 촉진 및 수확량 증대로 직접 연결되지 않을 수 있음

(실험 3) 여름철 파프리카 재배 시 근권부 냉방 시스템 실용화를 위한 에너지 분석 및 생육, 수확량 확인

○ 연구 목표

- 근권부 냉방시스템 적용에 따른 파프리카의 생육 및 수확량 변화를 확인하고, 시스템 운용에 따른 열 에너지를 분석하여 그 효율을 확인하고자 하였음

○ 연구 수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료: Scirocco 파프리카 묘 (*Capsicum annuum* 'Scirocco')
- 재배 환경
 - 재배 장소: 2022년 4월 29일 파종된 파프리카 묘를 정식 후 35일차인 2022년 6월 2일 서울대학교 수원 농장 유리온실(경기도 수원시)에 정식 하였음.

- 관수 방법: 정식 후 파프리카 표준 양액을 농도 조절하여(EC 3.0, pH 5.5) 고온기(11:00-17:00) 중 1시간 간격으로 점적관수를 실시하였으며, 해당 관수량은 배액률에 따라 조절하였음.
- 과실 수확: 정식 75일 후인 2022년 8월 16일부터 2022년 9월 23일까지 파프리카 과실을 수확하였으며, 식물체를 샘플링하여 생육 조사를 실시하였음.

- 처리내용

- 냉방 무처리 (Control): 냉방 처리 없이 재배하였음.
- 양액 냉방 (NSC²): 양액탱크 내 양액 온도를 18°C로 유지하여 고온기(11:00-17:00)에 점적관수를 통해 냉각된 양액을 식물체에 관주하였음.
- 양액 및 근권부 냉방 (SSC^x+NSC): 물탱크 내 물 온도를 10°C로 유지하였으며, 고온기에 냉방수 온도를 약 14°C로 맞춰 코이어 배지 슬라브의 바깥쪽을 둘러싼 2단 사각 파이프를 통해 유속 15-16L min⁻¹로 순환시켜 근권부 냉방을 하였음. 양액 냉방 또한 병행 처리됨.

²NSC: nutrient solution cooling; ^xSSC: substrate surround cooling

- 분석 요소

- 배지 온도 측정: 코이어 슬라브 배지 내 중심부에 T-type thermocouple 을 위치시켜 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X, Campbell Scientific, US)로 데이터를 수집하였음
- 순환수의 유입, 배출구 온도 측정: 슬라브를 순환하는 냉방 파이프에 냉각수가 공급되는 유입부와, 순환한 냉각수가 배출되는 유출부의 내부에 T-type thermocouple을 삽입하여 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X)로 데이터를 수집하였음
- 순환수 유속 측정: 슬라브를 순환하는 냉방 파이프 내부에 유속 센서를 삽입하여 유속을 측정하였음
- 파프리카 식물체의 생육 및 과실 수확량 및 일소과 발생량을 조사하였음

○ 연구수행 결과

- 냉방 처리된 NSC 그리고 SSC+NSC 처리구에서 파프리카 일소과의 발생량이 Control에 비해 유의하게 감소하였음
- 근권부 냉방과 양액 냉각이 병행처리된 SSC+NSC 처리구에서 다른 두 처리구에 비해 유의하게 과실 수가 증가하였으며, 평균 과실 중은 냉방 처리된 두 처리구 모두에서 Control에 비해 증가하였음
- SSC+NSC 처리구에서 수확량이 Control에 비해 114%, NSC에 비해 50% 증가한 것을 확인하였으며, 이는 과실 수의 증가에 따른 결과로 판단됨

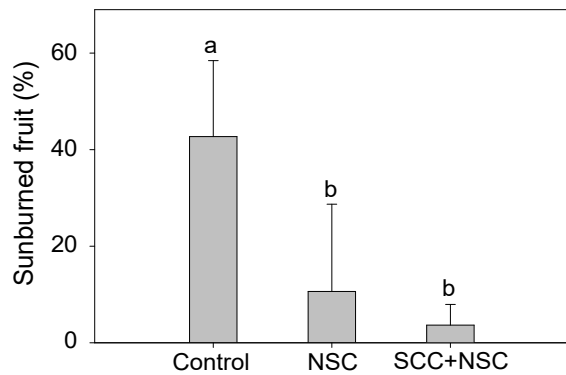


그림 10-23. Control 처리구에서 발생한 일소과(A) 및 양액 및 근권부 냉방처리에 따른 일소과 발생률(B).

표 10-13. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 과실 특성.

Treatment	Fruit number (/plant)	Average Fruit weight (g)	Yield (g/plant)
Control ^Y	6.8 b ^Z	83.6 a	568.5 b
NSC	7.8 b	104.1 a	812.0 b
SSC+NSC	11.8 a	103.3 a	1218.9 a

^YControl: no cooling; NSC: nutrient solution cooling; ^XSSC+NSC: substrate surround and nutrient solution cooling.

^ZMeans within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 생육조사 결과, 초장, 마디 수 및 엽 수가 SSC+NSC 처리구에서 유의하게 가장 높은 값을 보여 근권 냉방 처리에 의해 지상부 생육이 증가하였음
- 뿌리 생체중 및 건물중이 SSC+NSC 처리구에서 Control에 비해 증가함을 보였으며, 그 중 생체중이 유의한 차이를 보여 지하부 생육이 증가하였음

표 10-14. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 생육 특성.

Treatment	Plant length (cm)	Stem diameter (mm)	Nod number	Leaf number	Fresh weight (g plant ⁻¹)			Dry weight (g plant ⁻¹)			Leaf area (cm ²)	SPAD value
					Stem	Leaf	Root	Stem	Leaf	Root		
Control ^Y	161.3 b ^Z	16.16 ab	22.17 b	55.3 b	428.7 b	341.0a	523.2 b	58.21 ab	42.71 a	55.01 b	7620 a	55.68 a
NSC	161.7 b	15.44 b	23.00 ab	57.0 ab	413.7 b	299.3 a	625.3 ab	53.84 b	44.13 a	64.34 ab	7819 a	60.02 a
SSC+NSC	170.5 a	17.27 a	24.17 a	61.5 a	500.5 a	346.2 a	812.4 a	65.96 a	50.19 a	83.42 a	8416 a	52.68 a

^YControl: no cooling; NSC: nutrient solution cooling; SSC+NSC: substrate surround and nutrient solution cooling.

^ZMeans within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 근권부 냉방에 사용된 냉각수 온도에 따른 근권부 온도 변화를 확인하였음
- 냉각수 온도에 따라 근권부 온도가 변화함을 확인하였으나, 외기 온도가 높아질수록 그 차이가 줄어들어, 냉방 효율이 떨어졌음
- 관수가 시행된 매 정시 관부 온도가 급격히 올라가는 것을 확인하였으며, 이는 관수 호스 내 잔수의 온도가 태양열에 의해 올라갔기 때문이라고 판단됨

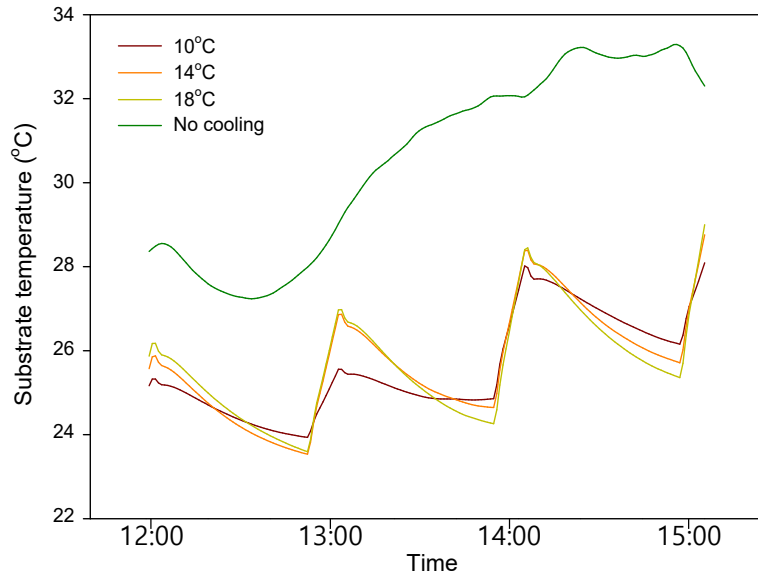


그림 10-24. SSC 시스템을 이용한 근권부 냉방 및 냉각수 온도에 따른 근권부 온도 변화

○ 결과 분석 및 의의

- SSC 시스템에 의해 근권부 온도를 생육 적온 내로 유지 시킬 수 있었음.
- SSC+NSC 처리에 의해 일소과 발생량이 감소하여 수확량이 증가하였으며 고온기 파프리카 재배시 근권부 온도 조절이 고온 스트레스를 일부 방지할 수 있음을 확인됨.
- SSC+NSC 처리에 의해 뿌리 생체중이 증가하고, 엽수, 마디수 및 초장을 증가시킴.
- 처리구 별 수확량 및 생육조사 결과를 확인하였을 때, WCC 방식이 NSC 방식보다 더 효율적이며, 고온 환경에 따른 부정적인 영향을 완화 시킬 수 있어 영양생장을 높일 수 있음이 구명됨
- 관수 파이프의 잔수 온도가 태양열에 의해 높아져 관수 시 근권부 온도를 높이는 현상을 확인하였으며, 그늘막 설치 및 관수 파이프 매설 등을 통해 이를 방지할 시 NSC 단일 처리 및 WCC와의 병행 처리 시 효율 또한 증가할 수 있을 것으로 판단됨

(3) 2단계 1년차

(실험 1) 근권부 난방 시스템 실용화를 위한 겨울철 파프리카 재배 시 에너지 분석 및 생육, 수확량 확인

○ 연구 목표

- 근권부 난방시스템 적용에 따른 겨울철 파프리카의 생육 및 수확량 변화를 확인하고, 시스템 운용에 따른 열 에너지를 분석하여 근권부 온도조절 시스템의 연중 이용 가능성과 그 효율을 확인하고자 하였음.

○ 연구 수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료: Scirocco 파프리카 묘 (*Capsicum annuum* 'Scirocco')

- 재배 환경

- 재배 장소: 2022년 9월 15일 파종된 파프리카 묘를 파종 후 28일차인 2022년 10월 11일 서울대학교 수원 농장 유리온실(경기도 수원시)에 정식하였음.
- 관수 방법: 정식 후 파프리카 표준 양액을 농도 조절하여(EC 3.0, pH 6.0) 주간(8:00-17:00) 1시간 간격으로 점적관수를 실시하였으며, 해당 관수량은 배액률에 따라 조절하였음.
- 과실 수확: 정식 일 101일 후인 2023년 1월 20일부터 2023년 3월 20일까지 파프리카 과실을 수확하였으며, 식물체를 샘플링하여 생육 조사를 실시하였음.

- 처리내용

- 난방 무처리 (Control): 난방 처리 없이 재배하였음.
- 양액 난방 (NSH²): 양액탱크 내 양액 온도를 25°C로 유지하여 점적관수를 통해 난방된 양액을 식물체에 관주하였음.
- 양액 및 근권부 난방 (SSH³+NSH): 물탱크 내 물 온도를 40°C로 유지하였으며, 일출 직전(06:00-08:00)과 일몰 직후(16:00-20:00)에 난방 수온도를 30°C로 맞춰 코이어 배지 슬라브의 바깥쪽을 둘러싼 2단 사각 파이프를 통해 유속 15-16L min⁻¹로 순환시켜 근권부 난방을 하였음. 양액 난방 또한 병행 처리됨.

²NSH: nutrient solution heating; ³SSH: substrate surround heating

- 분석 요소

- 배지 온도 측정: 코이어 슬라브 배지 내 중심부에 T-type thermocouple을 위치시켜 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X, Campbell Scientific, US)로 데이터를 수집하였음
- 순환수의 유입, 배출구 온도 측정: 슬라브를 순환하는 냉방 파이프에 냉각수가 공급되는 유입부와, 순환한 냉각수가 배출되는 유출부의 내부에 T-type thermocouple을 삽입하여 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X)로 데이터를 수집하였음
- 순환수 유속 측정: 슬라브를 순환하는 냉방 파이프 내부에 유속 센서를 삽입하여 유속을 측정하였음
- 에너지 이용 효율 측정: 순환수의 온도 변화 및 유속 측정치를 활용하여 이용 에너지의 효율 및 에너지 전달률을 계산하였음
- 파프리카 식물체의 생육 및 과실 수확량 및 일소과 발생량을 조사하였음

○ 연구수행 결과

-난방 시스템이 적용되지 않은 Control의 배지 온도가 16.8°C 까지 감소한 반면, 양액 난방이 적용된 NSH 및 근권부 난방과 양액 난방이 병행처리된 SSH+NSH 처리구에서 각각 18.3-19.2°C 및 19.4-22.1°C 사이로 유지되었음

-근권부 난방 시스템의 총 투입 에너지 중 53%가 배지에 흡수되었으며 47%가 공기중에 전달되어 근권부 주변 공기 온도를 높이는데 사용되었음

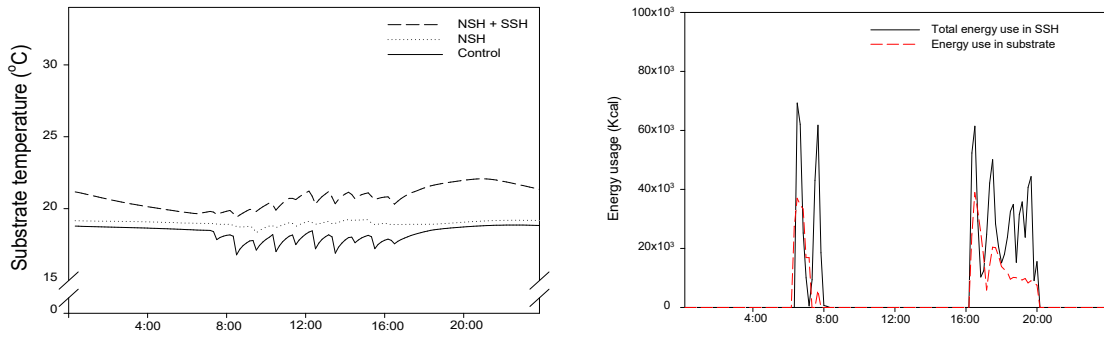


그림 10-25. 양액 및 근권부 난방 처리에 따른 근권부 온도와 근권부 난방 시스템의 에너지 이용량.

- 양액 흡수 특성을 분석한 결과 NSC 및 SSC+NSC 처리구에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이온의 흡수가 Control에 비해 증가하였음.

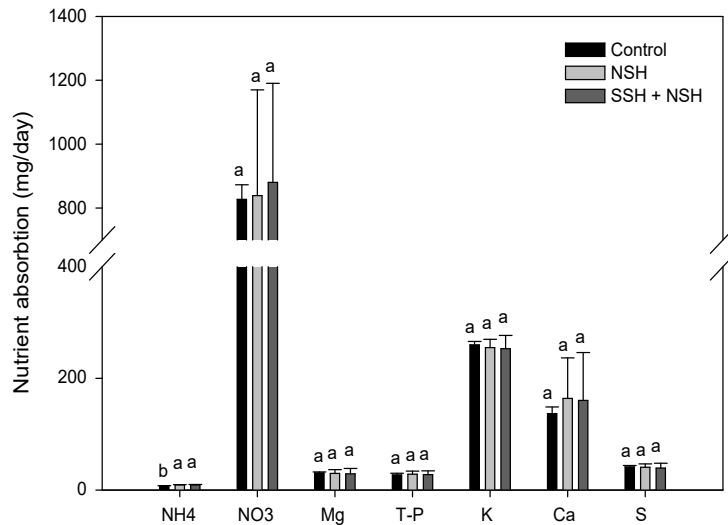


그림 10-26. 양액 및 근권부 난방 처리에 따른 양분 흡수 특성.

- 과실 조사 결과 NSH 및 SSH+NSH 처리구에서 난방 처리를 추가함에 따라 단계적으로 과실 수가 유의하게 증가하였으며, 평균 과실 중은 난방 처리된 두 처리구 모두에서 Control에 비해 증가하였음
- SSH+NSH 및 NSH 처리구에서 수확량이 Control에 비해 각각 44 및 26% 증가하였음

표 10-15. 양액 및 근권부 난방 처리에 따른 과실 특성.

Treatment	Fruit number	Average Fruit weight	Yield
	(/plant)	(g)	(g/plant)
Contorl	3.1 c ^z	129.8 b	400.3 c
NSH	3.9 b	138.9 a	538.2 b
SSH+NSH	5.0 a	141.9 a	715.5 a

^yControl: no heating; NSH: nutrient solution cooling; SSH+NSH: substrate surround and nutrient solution cooling.

^zMeans within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 생육조사 결과 초장, 마디 수, 엽면적 및 엽수가 SSH+NSH 처리구에서 유의하게 가장 높은 값을 보여 근권 난방 처리에 의해 지상부 생육이 증가하였음.

표 10-16. 양액 및 근권부 난방 처리에 따른 생육 특성.

Treatment	Plant length (cm)	Stem diameter (mm)	Nod number	Leaf number	Fresh weight (g plant ⁻¹)		Dry weight (g plant ⁻¹)		Leaf area (cm ²)	SPAD value
					Stem	Leaf	Stem	Leaf		
					Contorl ^y	120.0 b ^z	14.1	24.5 b		
NSH	151.2 a	14.7	27.8 a	92.0 a	215.4 a	342.1 ab	7505.7 a	40.3 ab	42.1 b	56.1 a
SSH+NSH	155.3 a	14.7	28.0 a	97.2 a	228.0 a	390.0 a	8860.6 a	42.2 a	54.2 a	55.2 a

^yControl: no heating; NSH: nutrient solution cooling; SSH+NSH: substrate surround and nutrient solution cooling.

^zMeans within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

○ 결과 분석 및 의의

- 근권부 난방 시스템에 의해 근권부 온도를 생육 적온 내로 유지 시킬 수 있었음
- SSH+NSH 처리에 의해 과실 수, 과실 중량 및 수확량이 증가하였음
- SSH+NSH 처리에 의해 엽수, 엽면적, 마디수 및 초장을 증가시킴
- 겨울철 원수 온도가 감소함에 따라 관수 시 배지 온도가 감소하여 양액 난방이 필요함을 확인함
- 처리구 별 수확량 및 생육조사 결과를 확인하였을 때, 양액 난방을 단일 처리 하는 것 보다 양액 난방과 근권부 난방을 병행 처리하는 방식이 더 효율적이며, 저온 환경에 따른 부정적인 영향을 완화 시킬 수 있어 영양생장 및 생식생장을 높일 수 있음이 구명됨

(실험 2) 근권부 냉방 시스템 실용화 및 실증을 위한 여름철 토마토 재배 시 에너지 분석 및 생육, 수확량 확인

○ 연구 목표

- 근권부 냉방시스템의 범용성을 확인하고자 시스템 적용에 따른 토마토의 생육 및 수확량 변화를 확인하고, 시스템 운용에 따른 열 에너지를 분석하여 그 효율을 확인하고자 하였음

○ 연구 수행 내용 - 실험 재료 및 방법

- 실험 재료: TY-Charmant 토마토 묘(*Solanum lycopersicum* L. 'TY-Charmant')
- 재배 환경
 - 재배 장소: 2023년 3월 9일 파종된 토마토 묘를 정식 후 일 후인 2023년 5월 12일 서울대학교 수원 농장 유리온실(경기도 수원시)에 정식하였음.
 - 관수 방법: 정식 후 토마토 표준 양액을 농도 조절하여 (EC 3.0, pH 6.0) 주간(8:00-17:00) 1시간 간격으로 점적관수를 실시하였으며, 회당 관수량은 배액률에 따라 조절하였음.
 - 과실 수확: 정식 일 후인 2023년 7월 3일부터 2023년 8월 31일까지 토마토 과실을 수확하였으며, 식물체를 샘플링하여 생육 조사를 실시하였음.
- 처리내용
 - 냉방 무처리 (Control): 냉방 처리 없이 재배하였음
 - 양액 냉방 (NSC²): 양액탱크 내 양액 온도를 18°C로 유지하여 점적관수를 통해 냉각된 양액을 식물체에 관주하였음
 - 양액 및 근권부 냉방 (SSC³+NSC): 물탱크 내 물 온도를 10°C로 유지하였으며, 고온기에 냉방수 온도를 약 14°C로 맞춰 고온기(09:00-17:00)에 코이어 배지 슬라브의 바깥쪽을 둘러싼 2단 사각 파이프를 통해 유속 15-16L min⁻¹로 순환시켜 근권부 냉방을 하였음. 양액 냉방 또한 병행 처리됨

²NSC: nutrient solution cooling; ³SSC: substrate surround cooling
- 분석 요소
 - 배지 온도 측정: 코이어 슬라브 배지 내 중심부에 T-type thermocouple을 위치시켜 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X, Campbell Scientific, US)로 데이터를 수집하였음.
 - 순환수의 유입, 배출구 온도 측정: 슬라브를 순환하는 냉방 파이프에 냉각수가 공급되는 유입부와, 순환한 냉각수가 배출되는 유출부의 내부에 T-type thermocouple을 삽입하여 온도를 측정하였으며, 데이터 로거(CR-1000X)로 데이터를 수집하였음.
 - 순환수 유속 측정: 슬라브를 순환하는 냉방 파이프 내부에 유속 센서를 삽입하여 유속을 측정하였음.
 - 토마토 식물체의 생육 및 과실 수확량을 조사하였음.
- 연구수행 결과
 - 냉방 시스템이 적용되지 않은 Control의 배지 온도가 30.5°C 까지 증가한 반면, 양액 냉방이 적용된 NSC 및 근권부 난방과 양액 난방이 병행처리된 SSC+NSC 처리구에서 각각 25.1-29.6°C 및 23.9-28.0°C 사이로 유지되었음
 - Control의 주간 평균 배지 온도는 28.7°C 였으며, NSC 및 SSC+NSC 처리구의 평균 온도가 27.7 및 26.3°C로 감소하였음

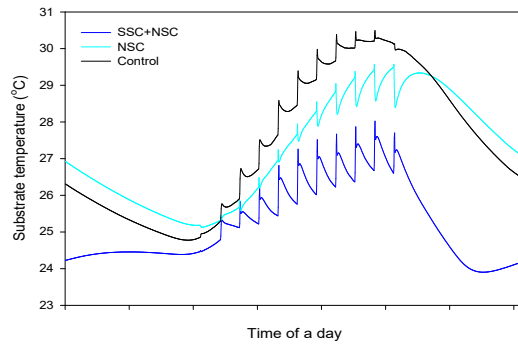


그림 10-27. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 근권부 온도.

- 양액 흡수 특성을 분석한 결과 NSC 및 SSC+NSC 처리구에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이온의 흡수량이 그리고 SSC+NSC 처리구에서 T-P의 흡수량이 Control에 비해 유의하게 증가하였음.

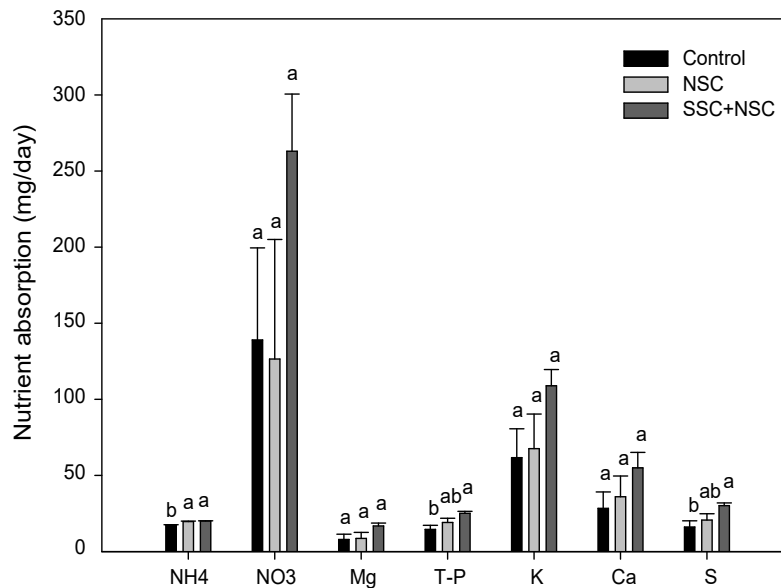


그림 10-28. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 양액 흡수 특성.

- 과실 조사 결과 NSC 및 SSC+NSC 처리구에서 과실 중량이 유의하게 증가하였으며, 과실 수는 냉방처리에 따른 유의적인 차이가 보이지 않았음.
- NSC 및 SSC+NSC 처리구에서 수확량이 Control에 비해 각각 15 및 35% 증가하였음.

그림 10-29. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 과실 특성.

Treatment	Fruit number (/plant)	Average Fruit weight (g)	Yield (g/plant)
Control ¹⁾	12.7 a ²⁾	118.4 b	1503.9 b
NSC	13.6 a	128.5 a	1729.5 ab
SSC+NSC	15.0 a	136.0 a	2024.4 a

¹⁾Control: no cooling; NSC: nutrient solution cooling; SSC: substrate surround and nutrient solution cooling

²⁾Means within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

- 생육조사 결과 경경, 줄기 생체중이 두 냉방 처리구 모두 Control에 비해 유의하게 높은 값을 보여 냉방 처리에 의해 지상부 생육이 증가하였음.

표 10-17. 양액 및 근권부 냉방 처리에 따른 생육 특성.

Treatment	Plant length (cm)	Stem diameter (mm)	Nod number	Fresh weight (g plant ⁻¹)		Dry weight (g plant ⁻¹)		Leaf area (cm ²)	SPAD value
				Stem	Leaf	Stem	Leaf		
Control ¹⁾	399.4 a ²⁾	11.9 b	43.0 a	553.0 b	248.4 a	82.4 b	37.4 a	4554.9 a	45.1 a
NSH	394.2 a	14.0 a	44.5 a	690.2 a	291.0 a	99.6 a	42.0 a	5363.4 a	49.2 a
SSH+NSH	389.2 a	14.0 a	42.1 a	609.0 ab	301.2 a	88.6 ab	43.8 a	5399.9 a	47.9 a

¹⁾Control: no cooling; NSC: nutrient solution cooling; SSC: substrate surround and nutrient solution cooling

²⁾Means within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

○ 결과 분석 및 의의

- 근권부 냉방 시스템에 의해 근권부 온도를 생육 적온 내로 유지 시킬 수 있었음.
- SSC+NSC 처리에 의해 과실 중량 및 수확량이 증가하였음.
- SSC+NSC 처리에 의해 경경, 줄기 생체중 및 건물중이 증가하였음.
- 처리구 별 수확량 및 생육조사 결과를 확인하였을 때, 양액 냉방을 단일 처리 하는 것 보다 양액 냉방과 근권부 냉방을 병행 처리하는 방식이 수확량 향상에 더 효율적이며, 고온 환경에 따른 부정적인 영향을 완화 시킬 수 있음이 구명됨.
- 양액 및 근권부 온도조절 시스템이 파프리카 뿐 아니라 같은 가지과 작물인 토마토에서도 수확량 증가 효과가 있음을 확인함.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

단계	연차	기관	연구목표	가중치 (%)	개발내용	달성도 (%)
1	1	국립목포대학교 산학협력단	작물체 근권부 생육환경 최적 화 연구	50	1) 파프리카, 토마토, 상추의 발아 및 육묘 단계에서의 근	100

				권부 최적화조건 구명	
		패시브 냉방 방법에 따른 냉방 효과 분석	50	1) 물리어 다이어그램을 이용한 냉방효율 및 환경 적합도 분석	100
2		작물체 근권부 생육환경 최적화 연구	50	1) 이상기후 대응 파프리카, 토마토, 상추의 발아 및 파프리카, 토마토 육묘 단계에서의 근권부 최적화조건 구명	100
		패시브 냉방 방법에 따른 냉방 효과 분석	50	1) 포그 쿨링, 차광막을 활용한 냉방효율 분석	100
1		H/X 초친수 표면 제조	50	1) H/X 알루미늄 표면에 성공적으로 초친수 코팅을 수행함	100
		H/X PAD 설계	50	1) 시뮬레이션을 통한 H/X 쿨링패드 설계 완료	100
2	한국생산기술연구원	Lab scale 초친수 PAD 적용 H/X 성능평가	70	1) 초친수 냉각 PAD 및 이를 적용한 H/X module 제작 2) 제작된 H/X module의 풍속 및 온도변화에 대한 성능평가	100
		Multi channel hybrid H/X 열유동해석	30	1) Multi channel hybrid H/X, 증발냉각 시스템 열유동해석	100
1		양액 및 국소부위 냉난방 히트펌프에 의해 복합적용 시스템 개발	100	1) 양액 및 국소부 냉난방을 히트펌프 시스템 1세트로 복합적용한 시스템 개발 완료	100
	에너지팜스(주)	지열,공기열 복합형 히트펌프 시스템 설치	40	1) 복합열원 히트펌프 시스템 설치 후 냉방/난방 운전완료	100
2		냉수코일 잉여열 회수 PAD에 공급하는 액티브&패시브 공조기 개발	40	1) 잉여열 활용 PAD 일체형 공조기 개발 및 설치완료	100
		냉난방과 양액 산소농도 조절을 동시 조절시스템 개발	20	1) 선행조사, 시스템 개발하고 특허출원 완료	100
1		관제시스템 개발요구서	20	1) 모니터링 통합관제시스템 개발요구서 제작함	100
		시스템 서비스 UI/UX 개발	30	1) 온,습도 관제시스템 유효 데이터 모델 및 서비스 UI/UX 완료.	100
	㈜이산	데이터베이스 설계	30	1)수집되는 정보의 가변성과 데이터 적층방식의 변화, 사용자 요구의 변화에 따라 대응할 수 있도록 설계	100
		정보 수집 플랫폼 개발	20	1)다양한 패킷 전송 방식에 대응할 수 있는 통합 데이터 정보 수집용 플랫폼 개발	100
2		환경 모니터링 DB 인터페이스 개발	20	1) 데이터베이스 입,출력을 위한 인터페이스 구현완료	100
		유효 데이터 통합 DB 서버 구축	30	1) 통합데이터 베이스를 위한 보안서버 구축완료	100
		UI/UX 및 모바일 웹서버 개발	30	1) 모바일 플랫폼 전용 상용 서버 구축	100
1	㈜씨니너스	육묘 국소냉난방 효과 분석	50	1) 침수로 인해 실험 불가.	30
		스마트팜 열수지 분석	50	1) 대기복사량, 온실벽체 복사, 지표면 복사 측정 결과값을 도출	100

	2				2) 환기창 개도율별 실험시 외기 환경 영향로 온실 에 너지 변화가 크게 없음 3) 밀폐실험을 수행한 결과 일출 7시간 지점 60℃ 수 준의 최대온도에 도달, 일 몰 직전에야 외부온도와 유 사한 수준으로 냉각됨	
			열수지 모델 작성을 위한 환경 데이터 수집	50	1) 열수지 모델 작성 2) 열수지 모델 작성에 따 른 냉난방 부하 선정	80
1	1	서울대학교 산학협력단	원예 작물별 식물체 기관에 따른 온도 민감도 확인 및 시 스템 적용성 분석	50	1) 파프리카 근권부를 냉방부 위로 선정하였으며, 근권부 냉 방시스템을 적용하여 재배	100
			시스템 적용에 따른 환경 요 인 모니터링 및 작물의 생육 확인	50	1) 파이프 순환 냉방 시 함수 율에 따른 다양한 배지의 열 적 특성 분석 2) 여름철 온실 내 고온 환경 에서 근권부 냉방시스템에 따 른 파프리카의 생육을 확인 3) 챔버 내 고온 환경에서 근 권부 냉방 시스템에 따른 파 프리카의 생리적, 형태적 특성 및 광합성 특성을 확인	100
			관부 냉각 시스템 적용에 따 른 딸기 묘의 화아분화 단계 확인 및 시스템 적용성 분석	30	1) 폐쇄형 식물공장 내 딸기 육묘시 관부 냉각을 실시하여, 냉각 온도, 시간에 따른 화아 분화 촉진 효과 및 생육을 확 인	100
			원예 작물별 국부 냉난방 시 스템 적용 재배 가능성 확인	70	1) 파프리카 근권부 및 양액 냉각 시스템을 적용하여 재배 를 진행하였고, 이에 따른 생 육 및 수확 특성을 확인 2) 딸기 근권부 및 관부 난방 시스템을 적용하여 재배를 진 행하였고, 이에 따른 생육 및 수확 특성을 확인	100
			하이브리드 냉난방 시스템을 이용한 작물 별 국부 냉난방 시스템 적용	100	1) 국부 냉난방 시스템을 적 용하여 온도별 파프리카, 토마 토, 상추의 생육을 비교하였고 대형온실에서 실증을 실시하 였음	100
			초친수 AI 시트형 냉각 Pad 제조조건 최적화	50	AI 시트형 표면에 초친수 특 성을 부여하는 공정조건을 Sand Blasting, 초친수 코팅	100
2	1	국립목포대학교 산학협력단				
	1	한국생산 기술연구원				

					최적조건을 확립하여 정리함	
		Hybrid H/X Pad 적용 증발냉각 시스템 실증 성능평가	50		100평 규모의 온실에 Hybrid H/X Pad를 적용하여 하절기 및 동절기에 운전하고 성능을 평가함	100
1	에너지팜스(주)	지열&공기열 복합형 히트펌프 시스템 실증실험	40		목포대학교 복합형 히트펌프 시스템 재배실험	100
		국소냉난방, 양액온도조절시스템 실증실험	40		아트팜 국소냉난방, 양액온도 조절 시스템 설치, 운영실험	100
		잉여열 회수, PAD냉각시스템 활용	20		목포대 공조기 PAD시스템 설치, 운영실험	100
1	(주)이산	온실 에너지 모니터링 시스템 개발	50		관제시스템 및 어플 개발완료	50
		에너지 환경 모니터링 실시간 데이터베이스 구축	50		데이터 분석용 데이터베이스 구축	50
1	(주)써니너스	하이브리드 냉난방 이용 과채류 재배 매뉴얼 작성 및 냉난방 설계가이드라인 작성	100		근권부 냉난방 이용 파프리카 재배 매뉴얼 작성	100
					냉난방 설계 가이드라인 작성	100
1	서울대학교 산학협력단	근권부 냉난방 시스템 개발 및 실증	100		1) 근권부 냉방 시스템을 온실내 설치하여 작물재배 실증 시험을 진행하였음 2) 근권부 난방 시스템을 온실내 설치하여 작물재배 실증 시험을 진행하였음	100

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

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2021~2022)	2단계 (2023)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	논문 SCI	목표(단계별)	3	5	8	
		실적(누적)	4	4	8	
	논문 비SCI	목표(단계별)	5	4	9	
		실적(누적)	5	1	6	
	특허 출원	목표(단계별)	3	1	4	15
		실적(누적)	5.5	3	8.5	15
	특허 등록	목표(단계별)	2	4	6	20
		실적(누적)	2	2	4	20
	SW저작권	목표(단계별)	4	2	6	10
		실적(누적)	4	2	6	10
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술실시(이전)	목표(단계별)	1	4	5	10
		실적(누적)	0	5	5	10
	기술료	목표(단계별)	-	15,000	15,000	20
		실적(누적)	-	19,800	19,800	20
	제품화	목표(단계별)	-	2	2	15
		실적(누적)	-	2	2	15
	고용창출	목표(단계별)	1	1	2	10
		실적(누적)	2	1	3	10
계			19	(건) 23 (천원) 15,000	(건) 32 (천원) 15,000	100
			21	(건) 20 (천원) 19,800	(건) 41 (천원) 19,800	100

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

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/ 비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Nanoscale Coatings Derived from Fluoroalkyl and PDMS Alkoxysilanes on Rough Aluminum Surfaces for Improved Durability and Anti-Icing Properties	ACS Applied Nano Materials	Tien N. H. Lo	4	미국	American Chemical Society	SCIE	2021.07.08	2574-0970	100%
2	Facile Synthesis of Fluorinated Polysilazanes and Their Durable Icephobicity on Rough Al Surfaces	Polymers	Tien N. H. Lo	14	스위스	MDPI	SCIE	2022.01.14.	2073-4360	100%
3	Photosynthetic Changes and Growth of Paprika Transplants as Affected by Root-zone Cooling Methods under High Air Temperature Conditions after Transplanting	HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY	이병관	40	대한민국	한국원예학회	SCIE	2022.01.14	1226-8763	100%
4	동점기 반밀폐형 온실과 일반형 온실의 시설 내부 기상 환경 비교	HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY	김은지, 전용환	40	대한민국	한국원예학회	SCIE	2022.08.31	1226-8763	100%
5	Icephobicity of Hierarchically Rough Aluminum Surfaces Sequentially Coated with Fluoroalkyl and PDMS Alkoxysilanes	polymers	Tien N. H. Lo	15	스위스	MDPI	SCIE	2023.02.13	2073-4360	100%
6	Effects of supplemental root-zone pipe heating systems on the growth and development of strawberry plants in a greenhouse during the	New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science	Jaewook Shin	-	뉴질랜드	New Zealand Dept. of Scientific and Industrial Research	SCIE	2023.06.14	0114-0671	100%

7	winter season 온실 내 대기온도와 근권부 온도가 토마토 초기생육에 미치는 영향	HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY	주세훈, 이범선	41	대한민국	한국원예학회	SCIE	2023.08.31	1226-8763	100%
8	Comparison of photosynthetic efficiency and growth characteristics of paprika in semi-closed vs. conventional greenhouses	Horticulture, Environment, and Biotechnology	김은지, 이범선	65	대한민국	한국원예학회	SCIE	2023.11.20	2211-3452	100%
9	고온기 반밀폐형온실 냉방이 파프리카 생육과 광합성 특성에 미치는 영향	생물 환경조절 학회지	김은지, 박경섭	30	대한민국	생물 환경조절학회	비SCIE	2021.10.31	1229-4675	100%
10	근권부 온도가 파프리카 출아 및 묘 생육에 미치는 영향	한국국제 농업개발 학회지	김은지, 박가은	33	대한민국	한국국제 농업개발학회	비SCIE	2021.12.31	1225-8504	100%
11	근권부 국부 냉방이 토마토 묘 생육에 미치는 영향	생물 환경조절 학회지	김은지, 황현승	31	대한민국	생물 환경조절학회	비SCIE	2022.10.31	1229-4675	100%
12	온실 난방 개시온도와 CO ₂ 시비 농도가 애호박의 생육과 수량에 미치는 영향	생물 환경조절 학회지	구희웅	31	대한민국	생물 환경조절학회	비SCIE	2022.10.31	1229-4675	50%
13	근권부 온도가 파프리카 및 토마토 발아에 미치는 영향	한국국제 농업개발 학회지	김은지, 주세훈	34	대한민국	한국국제 농업개발학회	비SCIE	2022.12.31	1225-8504	100%
14	온실 내 대기과 근권부 온도 조절을 통한 파프리카의 초기생육 촉진	한국국제 농업개발 학회지	주세훈, 고윤	35	대한민국	한국국제 농업개발학회	비SCIE	2023.12.31	1225-8504	100%

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명

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	우수한 결빙 방지 특성을 갖는 표면 코팅용 조성물	대한민국					한국생산기술연구원	22.08.18.	10-2435526	100%	○
2	국소부 온도 조절이 가능한 시설 원예 시스템	대한민국					에치팜스㈜	22.09.21.	10-2447355	100%	○
3	하이브리드 열교환 패드, 하이브리드 열교환 패드를 포함하는 하이브리드 열교환 모듈	대한민국					한국생산기술연구원	23.01.02.	10-2484764	100%	○
4	양액의 산소 농도를 조절하여 공급하는 시설 원예 시스템 및 방법	대한민국					에치팜스㈜	23.09.04.	10-2576048	100%	○
5	국소부 온도 조절이 가능한 시설 원예 시스템	대한민국	에치팜스㈜	22.03.29.	10-2022-0038852	10-2447355				100%	○
6	하이브리드 열교환 패드, 하이브리드 열교환 패드를 포함하는 하이브리드 열교환 모듈	대한민국	한국생산기술연구원	22.04.07.	10-2022-0052121	10-2484764				100%	○
7	결빙방지 효과가 우수한 불소계 유기 폴리실라잔	대한민국	한국생산기술연구원	22.06.08	10-2022-0069751					100%	○
8	지상부 기온과 연계하는 양액 온도 관리시스템	대한민국	국립묘지대학교 산학협력단	22.10.26.	10-2022-0139376					50%	○
9	양액의 온도와 산소 농도를 조절하여 공급하는 시설 원예 시스템	대한민국	에치팜스㈜	22.11.07.	10-2022-0146818	10-2576048				100%	○
10	우수한 결빙 방지 특성을 갖는 표면 코팅용 조성물	대한민국	한국생산기술연구원	21.11.11.	10-2021-0154459	10-2435526				100%	○
11	인공지능 기반 시설 원예 시스템 및 이의 작물 성장률의 최적화 방법	대한민국	에치팜스㈜	23.08.11.	10-2023-0105678					100%	○
12	딸기묘 관부 냉각시스템 및 이를 이용한 딸기묘 화아분화	대한민국	서울대학교 산학협력단	23.11.07.	10-2023-0152731					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

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	스마트온실 모듈별 ICS(설비제어시 스템)보안모니 터링 프로그램	21.08.01	이산주식회사	21.11.23	C-2021-049454	이산주식회사	100%
2	스마트팜 기상정보 스왑, 분석 프로그램	21.10.01	이산주식회사	21.11.23	C-2021-049455	이산주식회사	100%
3	온실 국소부 제어를 위한 대표 DLBC모터 작동 추종시스템	22.10.06	이산주식회사	22.10.13	C-2022-039196	이산주식회사	100%
4	스마트팜 공조팬 속도와 소비전력 테스트 프로그램	22.10.06	이산주식회사	22.10.13	C-2022-039197	이산주식회사	100%
5	다중 농장관리를 위한 인력관리 API(에이피아이) 시스템	23.09.18	이산주식회사	23.10.10	C-2023-044552	이산주식회사	100%
6	농업 생산현장의 작업 관리 View(뷰) 모듈 프로그램	23.09.18	이산주식회사	23.10.10	C-2023-044553	이산주식회사	100%

□ 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		

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)
(22쪽 중 8쪽)]

□ 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)

□ 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	지상부 기온과 연계하는 양액온도 관리시스템	농업회사법인 탐진들	23.05.31	500,000	
2	통상실시권	특허권 사용계약서(통상실시권)	대영지에스(주)	23.10.05	8,400,000	
3	통상실시권	스마트팜 공조팬 속도와 소비전력 테스트 프로그램	농업회사법인 탐진들	23.10.25	10,000,000	
4	통상실시권	온실 국소부 제어를 위한 대표 DLBC모터 자동 추종시스템	농업회사법인 탐진들	23.10.25	10,000,000	
5	통상실시권	특허권 사용계약서(통상실시권)	하랑 영농조합법인	23.11.08	8,950,000	

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*
1	-	-	32백만원	32백만원	자재 구매

□ 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	자기실시	신제품 개발	국내	양액냉난방기	판매	아트팜 영농	28,500		2023	10년
2	자기실시	신제품 개발	국내	양액냉난방기	판매	농업회사 새봄	4,200		2023	10년
3	자기실시	신제품 개발	국내	양액냉난방기	판매	하랑 영농	15,700		2024	10년

- * 1」 기술이전 또는 자기실시
- * 2」 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3」 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
양액냉난방기	2023, 24	48,100		48,100	매출계산서 합계
합계		48,100		48,100	

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

(22쪽 중 9쪽)

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		양액냉난방기, 국소부 냉난방기 판매		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	4년(2010 ~ 2024)		
	소요예산(천원)	300,000		
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후
		48,100	500,000	1,500,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후
국내		20	30	50
	국외			
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	초친수 PAD를 적용한 복합형 공조기		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후
		0	200,000	800,000
	수출			

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2022년	2023년	
1	스마트팜 온실 냉난방 과채류 재배 매뉴얼 및 설계 가이드라인 개발	영농조합법인 주식회사 써니너스	1			1
2	Active & passive 냉난방 최적 운용 알고리즘 및 관제시스템 개발	이산주식회사	1			1
3	스마트팜 온실 냉난방 과채류 재배 매뉴얼 및 설계 가이드라인 개발	영농조합법인 주식회사 써니너스			1	1
4	스마트팜 온실 냉난방 과채류 재배 매뉴얼 및 설계 가이드라인 개발	영농조합법인 주식회사 써니너스			1	1
합계			2	1	1	

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	4
		생산인력	

□ 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	국소, 양액냉난방	200,000		500,000		2	
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

(22쪽 중 10쪽)

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	국립현대미술관 산학협력단	2023		1	1		1	1					2	

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

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)
(22쪽 중 11쪽)]

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

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

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

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

당초 국소부 냉/난방은 온실 전체공조 투자여력이 없는 온실에 저비용으로 작물생육에 도움을 줄 수 있는 방향으로 연구, 실증을 진행하였음. 그러나 초기구매 및 설치후 반응은 중,대형 온실의 작물생산 및 뿌리생장에 긍정적 효과가 입증되었음. 높은수준의 공조를 보유한 농가에서도 혹은, 혹서기 양액관수에 어려움을 느끼고 있었고, 설치 후 개선효과에 대해 상당한 만족과 추가설치를 요청하고 있는 상황임. 기존 온실전체 공조를 구현한 중,대형 온실에도 국소부, 양액 냉난방기는 수요가 많은 것으로 예상되며 작물의 품질 및 생장에 좋은 효과를 미칠 것임.

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 패시브 냉각 효과 분석 및 복합열원 히트펌프 효과 분석 ○ 패시브 냉방 기술 효과 분석 및 팬앤 초친수 패드 실증 ○ 온실 하이브리드 냉난방시스템 개발 및 실증 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 패시브 냉방(쿨링 패드, 미스트 쿨링, 차광·차열막 활용) 기술 개발 ○ 소형온실 패시브 냉각에 대한 냉방 효과분석 ○ 초친수 알루미늄 시트형 냉각 Pad 냉방 효과 분석 ○ 하이브리드 냉난방에 따른 작물 적용 효과 분석 ○ 스마트 온실 냉난방 시스템 활용시 작물 생육 분석 및 최적화 	○100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실용 Hybrid H/X Pad 및 냉난방 시스템 개발 ○ 이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X Pad 및 냉난방 시스템 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실용 Hybrid H/X Pad 및 냉난방 시스템 개발 ○ 이상기후 대응 온실용 Hybrid H/X Pad 및 냉난방 시스템 적용 	○ 100 ○ 100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국소냉난방, 양액온도조절시스템 설치, 실증실험 ○ 지열&공기열 복합형 히트펌프시스템 실증실험 ○ 잉여열 회수 PAD냉각시스템 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 아트팜농장 국소냉난방, 양액조절시스템 설치, 실증실험 진행 ○ 목포대 실험온실 설치, 실증실험 진행 ○ 목포대 온실 공조기에 설치, 운영 	○ 100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실 에너지 모니터링 시스템 개발 ○ 에너지 실시간 데이터베이스 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 온실 에너지 모니터링 시스템 개발 완료 ○ 에너지 환경 모니터링 실시간 데이터베이스 구축 완료 	○ 100% ○ 100%
<ul style="list-style-type: none"> ○ 육묘 국소냉난방 효과 분석 및 스마트팜 열수지 분석 ○ 개발된 하이브리드 냉난방 기술의 온실 실증 데이터 분석 ○ 근권부 냉방 및 난방의 영향과 작물 생육에 대한 재배 매뉴얼 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 육묘 국소냉난방 효과 분석 및 스마트팜 열수지 데이터 일부 축적 ○ 개발된 하이브리드 냉난방 기술의 온실 실증 데이터 축적 ○ 상업용 온실에서 근권부 냉방 및 난방이 작물 생육에 미치는 영향 분석·실증 및 매뉴얼 작성 	○ 80 ○ 80 ○100
<ul style="list-style-type: none"> ○ 양액 및 국부 냉난방에 따른 생육 지표 분석 및 작물생산성 증진 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양액 및 국부 냉방에 의한 수확량 49.7%증가 ○ 양액 및 국부 난방에 의한 수확량 78.7%증가 	○100

사업화 계획서

연구개발과제명	이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발		과제번호	421041-03		
주관연구개발기관	목포대학교 산학협력단		주관연구책임자	나해영		
공동연구개발기관	에너지팜스(주)		공동연구책임자	이성주		
제품명	시설, 양액 동시 냉난방기		제품 형태	H/W	●	S/W
관련 선행기술	종류 (해당 시)	특허명 (등록번호)	국소부 온도 조절이 가능한 시설 원에 시스템 (제 10-2447355호)			
		기술이전명				
사업화 종류	구분	수입품 대체	신규시장 창출	기존 상품 개선	●	
	내용	기존 2가지 장비기능을 1개로 일체화한 시스템				
개발 제품 주요 경쟁력	목표 수요처	시장규모	50억원/년			
		기술개발 필요성	용량별로 모듈화 하여 시설원에 크기 및 필요조건에 적합한 제품을 제작, 설치함			
		목표 시장 예상 점유율	30%			
	기술 차별성	구분	비용 절감 20%	기술 고도화 기타		
	내용	2가지 필요장비를 1개로 통합하여 차별화됨				
타사 제품 비교	제품명					
	단가					
예상 매출액 (백만원)	구분	2021	2022	2023	2024	
	연구개발계획서					
	매출액			300	500	
	수출액					
생산계획	생산능력	10,000/년				
	양산 체계 구축 계획	2023년 3가지 용량 장비선정, 설계 2024년 공장 내 패키지 시스템 제작공간 확보, 양산체계 구축				
판매전략	판로확보 방안	온실 전체냉/난방 투자비가 부담스런 농가위주로 판매루트 개척 기존 냉난방 온실 중 양액 온도조절 안하는곳에 추가시스템 구축				
	마케팅 전략	시설원에 협회지 광고게제 농기계 전시회 홍보, 지자체 원에특작과에 홍보물 배포				
기타 부가설명						

사업화 계획을 위와 같이 제출합니다.

2024년 02월 29일

주관연구개발기관 : 국립목포대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 나해영 (인)



실증 성과보고서

연구개발과제명	이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발				과제번호	421041-03						
주관연구개발기관	목포대학교 산학협력단				주관연구책임자	나해영						
공동연구개발기관	에너지팜스(주)				공동연구책임자	이성주						
실증개요	실증성과명	국소부 및 양액 냉난방시스템				구분	H/W	●	S/W			
	실증장소	제3자농장	해당		미해당	실증장소유형	스마트팜혁신밸리					
		장소명	서울대 / 목포대 온실				일반(법인)농가					
		실증면적(㎡)	70㎡, 384㎡				정부출연·지자체				●	
		주소					기타					
실증현황	실증조건	실증품목(종)	파프리카 / 딸기									
		필수기자재	히트펌프, 축열조, 지열, 연결배관, 제어시스템, 양액냉난방기									
		기타필수조건	생육단계, 계절에 맞추어 온실 및 양액설정조절									
	실증목적	구분	성과물 성능에 대한 검·인증				트랙레코드·실증데이터 확보					
			목표 환경 신뢰성·재현성 검증				●	제품서비스 시연(시범농가)				
	내용											
	실증방법	활용기술	인공지능		빅데이터		사물인터넷					
			지능형로봇		신재생에너지		●	기타				
		수집데이터	환경데이터		●	생육데이터		제어데이터				
			경영데이터		기타							
내용	쿨링패드 일체형 및 잉여열 활용 온실공조기 개발, 목포대 연구온실 설치하여 2023년 패드 및 잉여열활용 냉방실증 예정 국소부 및 양액 냉난방 복합시스템 개발, 서울대, 목포대 온실 설치, 작물 재배실험 수행											
실증결과	내용	국소부와 양액 냉/난방을 일체형 시스템으로 구현하여 온실에 적용하여 생육환경제어 능력을 검증함										

결과를 위와 같이 제출합니다.

2024년 02월 29일

주관연구개발기관 : 국립목포대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 나해영 (인)

스마트팜 R&D 빅데이터 플랫폼 연계/활용 계획서

연구개발 과제명	이상기후 대응 스마트 온실 냉난방 패키지 개발	과제번호	421041-03
주관연구 개발기관	국립목포대학교 산학협력단	주관연구 책임자	나 해 영

기본 정보

데이터 용량(MB)	정형	영상	음향	이미지	3D	분광 데이터	기타
	1						

수집

구분	양식명	유형	부류품목	용량	수집 시작일	수집 종료일	등록일시 (예정)
1	온실 열수지 해석 결과	정형	파파리카	0.485	23.06.	23.11.	23.11
2	성과 기술을 이용한 채소 작물 생육 데이터 (상추)	정형	상추	0.014	23.11	23.12	23.12

분석

정상 파일 수	타입오류	범위오류
2	0	0

모델

구분	양식명	유형	운영체제	개발언어	라벨링 도구	성능지표/ 결과	등록일시 (예정)
1	유리 온실의 열수지 모델	데이터 모델	Windows 10	C	-	$R^2 / 0.8253$	23.11.
2							
3							
4							
5							

활용

구분	양식명	유형	대분류	사이트 URL	동영상 URL	등록일시 (예정)
1	온실 모니터링 시스템		제어	http://gate		23.12.
2						
3						

기타 부가설명

※ 과제별 데이터/인공지능 관련 연구 개발 및 스마트팜 R&D 빅데이터 플랫폼 연계/활용 과정의 추가 의견 등 관련 내용작성

결과를 위와 같이 제출합니다.

2024년 02월 21일

주관연구개발기관 : 국립목포대학교
산학협력단

주관연구책임자 : 나 해 영 (인)