

118100-03

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

발간등록번호

11-1543000-003877-01

대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한
냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구

대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구

2022. 03. 28.

2021

주관연구기관 / (주)우원엠앤이
협동연구기관 / (주)월드에너지
협동연구기관 / 건국대학교 산학협력단

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구”(개발기간 : 2018. 11. ~ 2021. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 03. 28.

주관연구기관명 : (주)우원엠앤이
협동연구기관명 : (주)월드에너지
협동연구기관명 : 건국대학교 산학협력단

변운섭 (인)
류진상 (인)
송창선 (인)



주관연구책임자 : 황동곤
협동연구책임자 : 이영석
협동연구책임자 : 김창완

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

최종보고서										보안등급						
										일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]						
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명			첨단생산기술개발사업						
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			사업명		내역사업명 (해당 시 작성)		ICT융복합시스템							
공고번호		118100-03			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		118100-03-3-CG000									
					연구개발과제번호		1545022479									
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0805	50%	EA0701	50%											
	농림식품과학기술분류	AA0204	100%													
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문		대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구												
		영문		Development of Cooling Package Technology and Field Test for Stable Cultivation of a Large-scale Glass Greenhouse in Summer												
연구개발과제명		국문		대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구												
		영문		Development of Cooling Package Technology and Field Test for Stable Cultivation of a Large-scale Glass Greenhouse in Summer												
주관연구개발기관		기관명		(주)우원엠앤이		사업자등록번호		113-81-69847								
		주소		(우)08768 서울시 관악구 조원중앙로 1길13(신림동)		법인등록번호		110111-2266545								
연구책임자		성명		황동곤		직위										
		연락처	직장전화				휴대전화									
			전자우편				국가연구자번호									
연구개발기간		전체		2018. 11. 20 - 2021. 12. 31(3년 1개월)												
		단계 (해당 시 작성)		1단계		2018. 11. 20 - 2021. 12. 31(3년 1개월)										
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()				합계		연구개발비 외 지원금				
		현금		현금		현금		현금		현금			합계			
총계		1,100,000		38,000		330,000				1,138,000		330,000		1,468,000		
1단계	1년차		300,000		10,000		90,000				310,000		90,000		400,000	
	2년차		400,000		14,000		120,000				414,000		120,000		534,000	
	3년차		400,000		14,000		120,000				414,000		120,000		534,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편		비고 역할		기관유형		
협동연구개발기관		(주)월드에너지		이영석								공동		중소기업		
		건국대학교 산학협력단		김창완								공동		대학		
위탁연구개발기관		경상북도 농업기술원 구미화훼시험장		김산영								위탁		공립연		
연구개발기관 외 기관																
연구개발담당자 실무담당자		성명		서충국		직위										
		연락처	직장전화				휴대전화									
			전자우편				국가연구자번호									

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

2022 년 03 월 28 일

연구책임자:

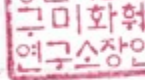
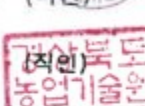
황 동 곤 (인)

주관연구개발기관의 장: 변 문 섭

협동연구개발기관의 장: 류 진 상

협동연구개발기관의 장: 송 창 선

위탁연구개발기관의 장: 김 상 국



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

사업명	첨단생산기술개발사업	총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)	118100-03-3-CG000			
내역사업명 (해당 시 작성)	ICT융복합시스템	연구개발과제번호	1545022479			
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0805	50%	EA0701	50%	%
	농림식품 과학기술분류	AA0204	100%		%	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구					
연구개발과제명	대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구					
전체 연구개발기간	2018. 11. 20 - 2021. 12. 31(3년 1개월)					
총 연구개발비	총 1,468,000천원 (정부지원연구개발비: 1,100,000천원, 기관부담연구개발비 : 368,000 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 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	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유리온실 내부온도 30℃ 유지 냉방 패키지 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유리온실 적정 온·습도 유지, 일사유입 저감 냉방 패키지 기술 개발 - 작물별 생육적정온도 25~30℃(최대 35℃) 유지 - 작물별 수확량 향상 - 건축적 요소인 차광스크린, 환기창과 설비적 요소인 패시브 칠드빔, 포그 시스템, 지하수 활용 히트펌프 시스템, 강제배기팬, 순환기류팬의 도입 검토 - 온도 저감 효과, 시스템효율, 작물별 생육특성, 수확량 증대 및 종합 경제성 분석을 토대로 최적 냉방 패키지 기술 도출 				
	전체 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유리온실 관련 국내·외 기준 및 사례 조사 ○ 냉방 패키지 기술 조사 ○ 냉방 패키지 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 건축적 기술과 설비적 기술의 냉방 효과를 검토하여 적합한 냉방 패키지 기술 도출 - 실증 온실 현장 조사를 통해 적합한 기술들을 조합 - 건축적 기술은 차광 스크린, 환기, 비닐 차단막(냉방 시 냉기 유출 차단)으로 구성 - 설비적 기술은 공냉식 히트펌프와 축열조, 본 연구과제에서 개발한 상부토출형 팬코일유니트로 구성 				

		<ul style="list-style-type: none"> ○ 냉방 패키지 실증 계획 수립 <ul style="list-style-type: none"> - EnergyPlus, RTS, 수계산 등 다양한 방법을 통해 온실의 냉방부하를 계산하고 비교하여 냉방부하 산출의 신뢰성 검증 - 조도 시뮬레이션을 통해 냉방 패키지 중 차광 스크린 가동 시 적정 조도 확보 여부 확인 - 냉방부하를 바탕으로 냉방 패키지 장비 선정 ○ 냉방 패키지 성능 최적화 <ul style="list-style-type: none"> - 온실에 적합한 냉방설비 개발(상부토출형 팬코일유니트) - 시뮬레이션을 통해 개발한 설비의 냉방 성능 검증 - 시뮬레이션을 통해 개발한 냉방설비 최적 배치 ○ 냉방 패키지 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 협약을 체결한 온실에 냉방 패키지 시공 - 냉방 패키지 제어 프로그램 제작 - 냉방 패키지 운영 계획 수립 ○ 냉방 패키지 시험 가동 <ul style="list-style-type: none"> - 2021년 초 시험 가동 (냉방 패키지는 여름철 냉방을 위해 개발되었지만 겨울철은 난방도 가능) - 온실 전체에 설정한 온도를 균일하게 유지하는 것으로 성능 확인 ○ 냉방 패키지 성능 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 전산유체해석 시뮬레이션(CFD)를 통해 냉방 패키지의 냉방 성능 검증 - 성능 검증 결과 평균온도 25.9℃까지 온도하강 및 유지 가능 - 관련 분야 전문가를 통해 객관적인 검증 및 결과의 타당성 확인 ○ 냉방 패키지 경제성 분석 및 개선방안 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 실증에 적용한 냉방 패키지와 대안을 설정하여 초기투자비와 연간 운영비를 산출하고, 생애주기비용을 비교 - 냉방 패키지를 포함한 4가지 케이스의 경제성을 분석한 결과 개발한 냉방 패키지가 경제성 측면에서 가장 유리한 것으로 확인 - 생육온도에 따른 수확량 증대 사례 검토를 통해 냉방 패키지 가동 시 수확량 및 상품성 증대 효과 예측 - 냉방 패키지 가동 시 약 18% 이상의 수확량 또는 상품성 증대 효과 달성 예상 ○ 비즈니스 모델 구축 ○ 냉방 패키지 확대 적용을 위한 시설재배작물 재배환경 조사 				
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">1단계 (해당 시 작성)</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">목표</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">내용</td> </tr> </table>	1단계 (해당 시 작성)	목표		내용	
1단계 (해당 시 작성)	목표					
	내용					

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정성적 성과 <ul style="list-style-type: none"> - 냉방 패키지의 요소별 냉방 성능 검증 - 냉방 패키지의 난방 성능(난방 활용 가능성) 검증 - 온실의 냉방 설계 활성화를 위한 DB 구축 (온실 냉방 패키지 설계 가이드라인, 냉방 패키지 도면)
--------	--

	<ul style="list-style-type: none"> - 온실 농가의 편의성과 냉방 패키지 사업 활성화를 위한 툴 개발 - 온실 냉방 패키지 적용 가능성 분석 (경제성) - 스마트팜 연구 활성화를 위한 초석 마련 (스마트팜 연구협력 MOU 체결) <p>○ 정량적 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 냉방 패키지 및 냉방설비 제품 관련 특허 출원 및 등록 2건 - 냉방설비 제품 관련 기술이전 1건, 시제품 제작 1건, 제품화 1건, 매출액 180만원 - 사업 활성화를 위한 고용창출 14명 - 냉방 패키지 관련 게재 논문 2건(SCIE, 비SCIE 각 1건) - 냉방 패키지 관련 학술회의 발표 4건 - 온실 관련 전문 인력양성 3명 - 냉방 패키지 홍보를 위한 홍보전시 2건 - 냉방 패키지 표준화와 홍보를 위한 소프트웨어 등록 1건
--	---

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>○ 연구개발성과의 수요처</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시설원에 영농기업 및 온실 농가 : 냉방 패키지에 대한 정보 제공과 컨설팅 서비스 제공(설계, 최적화, 경제성 분석, 냉방 특화 상품 판매 등) - 연구기관 : 기설치 또는 설치 예정되어 있는 냉방설비의 최적화 서비스 제공 - 온실 설계 및 시공업체 : 냉방 패키지 전문설계(부하계산, 배관선정, CFD 시뮬레이션)와 냉방 특화 상품(상부토출형 팬코일유닛) 공급 <p>○ 연구성과 활용 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램, 상부토출형 팬코일유닛, 냉방 패키지 최적화 솔루션을 중심으로 사업화 진행 - 온실 규모별 최적 냉방패키지 선정서비스, 구축 컨설팅, 작물 재배 기술 컨설팅을 종합한 통합 솔루션을 제시하여 판매하고, 이를 기존온실 및 신규온실로 확대 - 동일한 문제를 갖고 있는 하절기 외기온도 33℃ 이상의 미국, 유럽, 동남아 시장에서 모두 적용될 수 있는 기술로써 원천기술로 활용 <p>○ 경제적 파급효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 하절기 추가 운영으로 유리온실의 경제성 확보 및 연중 일정 생산량 확보 - 농산물 수출이 증대되고, 내수에서는 품질 향상으로 가격 경쟁력 확보 - 일반 소비자에게는 연중 동일 품질의 농산물 공급으로 선택의 폭이 넓어짐 - 온실 설계 및 시공 관련 고급 일자리 및 공사 분야의 일자리 창출
---------------------------	---

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

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화학물	신제품	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	2	2				1						
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	유리온실		재배		냉방 패키지 기술			현장 실증		선인장		
영문핵심어 (5개 이내)	Glass greenhouses		Cultivation		Cooling package technology			Field test		Cactus		

< 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

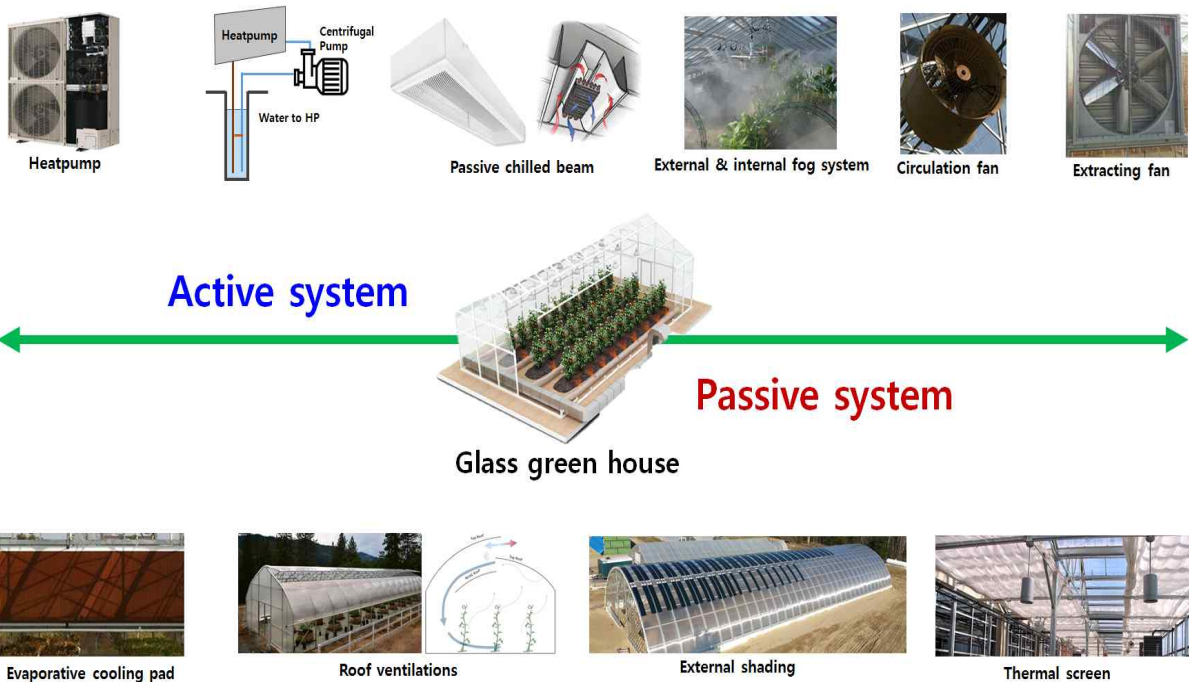
별첨 자료 (참고 문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 개요

1) 연구개발 목표 시스템

- 기존 비냉방 작물재배 유리온실에 냉방패키지를 적용하여 여름철 내부 환경(온습도 등) 현장 실증
- 안정 성장을 위한 액티브, 패시브 시스템 조합 최적 냉방 패키지 기술 도출 및 실증적용에 따른 효과분석
- 유리온실 냉방 패키지 조합 기술 개발



1-2. 연구개발 대상의 국내 현황

1) 국내 기술 수준 및 시장 현황

가. 우리나라 작물 시설 시장 동향

- 우리나라 시설원에 산업은 고소득 농업으로서 시설채소와 시설화훼 작물이 일반적으로 다른 작물에 비해 높은 소득을 보임
- 노지채소와 과수작물의 재배면적은 감소하는 추세를 나타내고 있지만, 시설채소와 시설화훼는 1990년 25,450ha에서 2000년 52,189ha로 10년간 2배 이상 급속히 증가

- 농업에서 시설원예 산업이 차지하는 비중은 1970년대부터 급증하기 시작하여 1980년 25%에서 1990년 28%, 1995년에는 38% 까지도 증가하였으나 IMF 이후 다소 감소하여 현재 31% 수준으로 안정적인 추세를 유지
- 국내 농업에서 시설원예의 비중은 계속 증가되어 왔고, 또한 농가 소득에서도 가장 중요한 위치를 점하고 있음
- 이러한 시설원예 산업도 시대와 소비자의 기호에 따라 소비자 중심의 원예 산업으로 변화되어 왔으며, 앞으로 당분간 시설채소 및 화훼 수요는 증가될 것으로 판단
- 정부도 수출농업의 육성을 위한 유리온실을 중심으로 시설원예 관련사업의 대규모 및 단지화의 필요성을 인식하고 1996년부터 시설화훼 사업의 일환으로 경북 구미시와 전북고창군을 사업지구로 선정하여 사업을 시행한 바 있음
- 이 들 두 개 지구는 국내에서 처음 실시된 최대 규모의 화훼생산 단지이며, 새만금 간척지에도 1,500ha 규모의 시설 채소 및 화훼 단지를 조성할 계획을 가지고 있음
- 최근 태안군 이원 간척지도 민간투자 방식으로 “태안 열에너지 단지조성 사업”을 계획으로 전체 사업규모는 약 460ha(2008~2012년까지) 정도이고, 이 중 시설원예 면적은 약 300ha 임

나. 우리나라 유리온실 현황

- 전체 온실 중 비닐온실이 99%, 유리온실이 0.7% 차지('2010 기준)
- 유럽 대비 유리온실 규모는 3% : (한국) 345ha (네덜란드) 10,374ha

(단위 : ha)

구분	비닐온실			경질판온실			유리온실			계
	채소	화훼	소계	채소	화훼	소계	채소	화훼	소계	
'90	23,698	1,752	25,450	-	-	-	-	-	-	25,450
'95	39,962	2,931	42,893	38	10	48	77	75	152	43,093
'00	41,236	3,176	44,412	60	21	81	184	139	323	44,816
'05	46,527	3,126	49,653	48	219	267	213	103	316	50,236
'10	48,465	2,708	51,173	98	213	311	272	73	345	51,829

다. 유리온실 보급이 저조한 사유

- 정부 보조사업 : 전체 온실 면적은 10년 이상 52천ha 수준
- (신축기준) 온실 신축시 유리온실 30억원/ha, 비닐온실 평균 7.5억원/ha 소요
- 난방기 유류 대비 난방비 절감율 및 사업비 (냉방 비용은 자료 없음)

구분	유류 대비 절감율	사업비
지열 냉난방기	78%	14억/ha
목재펠릿 난방기	40%	1.5억원/ha
공기열 냉난방기	60%	4억/ha

라. 유리온실 냉방 환경 도입 배경

- 냉방기술 도입 필요성 : 자동화 연동 유리온실과 같이 첨단화된 대규모 온실은 투자수익의 제고와 안정생산을 목표로 적극적인 냉방이 필요
- 유리온실 냉방기술 도입 현황

온실	플라스틱 온실	유리온실
냉방 도입 비율	4%	48%
냉방 시스템	미확인	증발냉각시스템 60% 지열히트펌프 40%

○ 유리온실 냉방시스템 기술 현황

환기 시스템	증발 냉각	지열 히트펌프
		
상부 또는 측면에 자연 및 강제 환기 순환으로 냉각	고압의 물 분사, 물이 증발되는 과정에서 주변에 열을 흡수하여 냉각	온실 바닥 및 주변에 지열 열교환기 매설 후 운영
주변 온도 보다 3℃ 높음, 일정 온도 이하에서만 사용	온도 분포 불균일, 습도 조절이 어려움	난방에는 운영비 절감 효과가 있으나 냉방인 경우 공기열원 냉방기와 동일한 운영비 소요

2) 유리온실 냉방부하 산출

가. 냉방부하 산출의 중요성

- 냉방시스템 도입을 위해서는 온실의 냉방설계를 통한 설비용량의 결정이 중요
 - 설비용량의 부족은 혹서기에 작물의 성장장애를 유발할 수 있으며, 과대설계는 설치비나 에너지비용 측면에서 불리하므로 정확한 냉방부하 산정을 통하여 적정 설비용량을 결정해야 함
 - 최근에 지열히트펌프를 이용한 냉방이 보급 되고 있는 추세를 감안하면 온실의 냉방부하 산정방법을 포함하는 새로운 설계기준의 제정이 필요한 실정
- * (참고자료) Empirical Analysis on the Cooling Load and Evaporation Efficiency of Fogging System in Greenhouses, Sang-Woon Nam¹, Protected Horticulture and Plant Factory

나. 선진국 사례

- 미국의 온실 냉방설계 기준은 강제환기와 증발냉각시스템으로 구성되어 있으며 열수지식(Heat Balance)을 이용하여 기온과 환기율 관계를 구하는 방법으로 설계(ASABE, 2008)
- 일본의 온실 냉방설계 기준은 증발 냉각법으로 구성되어 있으며, VETH 선도를 이용하여 설계

다. 냉방 부하산출 기준 정보

- 기상대의 관측치 30년의 기상자료 (기온, 풍속, 일사량, 강수량, 적설량, 운량 및 기압) 이용
- 환기의 경우, 설정온도는 우선 환기팬의 작동에 의하여 온도를 조절하기 위하여 저속 환기 (0.5회/분)와 고속 환기 (1.0회/ 분)로 구분하며 각각의 설정온도는 25.0 ℃ 및 27.0 ℃ 임
- 냉방의 경우, 하절기 3개월 동안 (6월, 7월 및 8월)은 50 % 차광을 전제로 검토하고 온실 내 설정온도는 33.0℃ 로 함
- 냉방의 경우, 저속 및 고속 환기에 의해 적정온도로 유지할 수 없으면 지열히트 펌프로 기계적 냉방이 되도록 함
- 경제성 분석의 경우, 국내에 있는 지열히트펌프 및 태양열 집열기 설치회사에 의

회하여 경제성분석에 필요한 설치비, 운전비 및 감가상각비 등의 자료를 확보

라. 냉방 부하산출 선행 연구

- 최고 외기온도 발생년도 (36.7℃)를 기준으로 냉방부하를 산정
- 유리온실 기준 : 폭 8m, 측고 5.5m, 동고 6.5m, 기둥 간격 4m 온실 (바닥면적 100,000m², 길이 250 m, 50연동), 50% 차광
- 최대냉방부하는 88,562 MJ/h (100,000 m² 기준)

Aug, 16. 2001	Ambient temp.	Indoor temp	Max. cooling load
냉방 시스템	34.3 °C	33 °C	88,562 MJ/h

* (참고자료) 태안 시설원예단지의 온실 냉난방 부하 분석, 서원명, JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, NOV. 2009, pp. 45-52

3) 시장현황

가. 온실 냉방의 필요성 대두

- 21세기말(2081~2100년) 지구의 평균기온은 평년(1986~2005년) 대비 5.9℃ 상승 전망(IPCC AR5, RCP8.5)
- 한반도는 5.7℃ 상승, 경기도는 5.3℃ 상승 전망(21세기말, RCP 8.5)
- 기후변화에 의한 기온상승은 농작물의 성장과 발육에 영향을 주어 발아기, 개화기, 수확기 등 생물계절을 변화시키고, 최종 수확물의 품질과 저장력까지 영향을 미칠 것으로 예상되어 이에 한 변화예측 연구 필요
- 가뭄·홍수의 증가에 따른 물 관리 어려움이 발생할 것에 비하여 경기지역 기후변화에 따른 한발 위험성을 평가하여 농업용수 수요 예측기술 개발 필요

4) 선인장 작물의 시장 현황

가. 작물 특성

- (참고자료) 농업기술길잡이, 선인장재배, 2013년, 농업진흥청

- 선인장은 다년생 식물에 해당되기 때문에 2차 식물체(Second body)의 조직을 형성
- 2차 도관(목질)과 2차 체관과 나무껍질(bark) 조직의 형성으로 볼 때 형태적으로나 기능적으로도 쌍자엽식물의 특징
- 우리나라 선인장 재배 면적



- 세계 시장 규모 (KATI 통계자료 참조)

(단위 : ton, 천달러)

국가	'04		'06		'08		'09		'10		'11	
	물량	금액	물량	금액	물량	금액	물량	금액	물량	금액	물량	금액
합계	361	2,147	229	2,178	209	2,523	218	2,606	323	2,755	274	2,583
네덜란드	160	993	92	1,091	1,091	1,314	146	1,627	155	1,289	120	1,133
미국	51	487	48	549	32	371	30	264	105	668	100	805
캐나다	41	255	41	436	27	248	8	87	1.7	79	1	37
일본	1.6	27	0.5	10	0.9	60	2.8	40	27	155	14	76
기타	108	385	48	92	26	530	31	588	34	564	39	532

나. 선인장 온실 환경

- 온도, 습도, 산소, 빛 환경에 대한 선인장 생육 조건
- (참고자료) 농업기술길잡이, 선인장재배, 2013년, 농업진흥청

항목	선인장 온실 환경 (보편적인 경우)
온도 조건	온도가 높을수록 유리 생육 온도 : 25~30℃ (최대 35도), 5도 미만 및 40도 이상 : 피해
습도 조건	상대습도가 높을수록 유리
산소 조건	산소 농도가 높을수록 유리. 저 산소 상태에서도 생존가능
빛 조건	상한 빛 유리, 보편적으로 채광 40~50% 유지

5) 경쟁기관현황

- 국내 관련 경쟁사 현황

냉방 기술	냉방 기술	장비 도입	경쟁사
Passive 기술	환기	현장 구성	시장 구매
	채광	현장 구성	시장 구매
	증발 잠열	현장 구성	시장 구매, 현장 조립
Active 기술	히트펌프	장비 제조사	- 국내외 히트펌프 제조사 - 히트펌프 설계사
	냉동기	장비 제조사	- 국내 열원 제조사 LG전자, 센추리, 오택캐리어, 신성엔지니어링, 월드에너지

1-3. 연구개발 대상의 국외 현황

1) 국외 기술 수준 및 시장 현황

가. 기술현황

- ① 유럽 유리온실 (식물공장) 개요
 - 1950년대 북유럽 일부 국가에서 일조량 부족 문제 극복을 위해 시작한 채소류의 재배 시설로 알려지며, 최초로 자동화 설비를 적용한 식물공장도 유럽에서 개발
 - 오스트리아 루스너(Ruthner)사가 태양광 이용형 식물공장 내에서 태양광을 효과적으로 이용하기 위해 작물의 이동을 컨베이어 시스템으로 제어하는 시스템을 개발
 - 현재 네덜란드 등을 중심으로 발달한 유럽의 식물공장은 대부분 자동화된 냉난방 및 공조 설비를 갖춘 유리온실의 형태로 되어 있고 주로 화훼류 등 고부가가치 작물 재배 또는 식물의 육묘 등에 적용
 - 최근에는 입체형 가동과 실용화 수준의 공정 자동화 연구도 진행 중에 있음
 - 일각에서는 유럽의 유리온실 시스템을 식물공장이라 보기 힘들다는 의견도 제시하는 데, 그 이유로는 유리온실 시스템에 자동화 설비를 갖춘 형태가 식물공장과 유사
 - 차이점은 태양광에 의존하고 인공조명 설비가 보조적인 역할에 그치기 때문에 연중 안정적 생산이란 식물공장의 특징이 제대로 구현되기 힘들
 - 네덜란드의 유리온실



② 일본 완전제어형 식물공장의 실용화 단계

- 현재 식물공장 관련 연구가 가장 활발하게 진행되는 국가는 일본임
- 1970년대 관련 연구를 시작해서 지금은 태양광 이용형에서 완전 제어형에 이르는 다양한 형태의 식물공장에 대한 연구가 진행 중에 있음
- 식용 작물을 생산 하는 식물공장의 사업화도 가장 앞선 것으로 평가
- 이 같은 일본의 연구 성과는 낮은 식량자급률에 따른 식량 안보 문제, 농업 인구의 노령화와 감소로 인한 농업 생산성 저하, 식품 안전성에 대한 관심 증가 등 농업을 둘러싼 여러 가지 문제에 대처하기 위해서는 기술 집약형 농업인 식물공장이 필요하다는 전략적 판단 하에 자금 지원 등의 육성책을 지속해 온 정부의 뒷받침이 있었기 때문에 가능
- 2008년 당시 가동 중인 50개의 식물공장을 대상으로 사업 주체, 설치연도, 설치 면적과 재배 면적, 조명 설비 등 다양한 기준으로 분석한 조사 결과는 식물공장의 사업화 추이와 향후 발달을 전망하는데 도움이 됨

나. 시장현황

① 스마트 온실 시장의 변화

- 신기술 : HVAC(Heating, Ventilation & Air conditioning)기술, LED조명, 관개 시스템, 밸브 제어시스템, 센서 및 카메라 기술, 지리정보 기술, 스마트 예측 기술

② 시장 규모 (스마트 온실 시장)

- 글로벌 시장은 2018년의 12.6억 달러에서 2018년과 2023년 사이에 12.6 %의 연평균 성장하여 2023년까지 22.8억 달러로 성장할 것으로 예상
- 시장을 주도하는 주요 요인은 엄청난 인구 증가로 인한 식량 수요 증가, 유리한 정부 규제 및 스마트 온실 조명 기술에 대한 인센티브 등에 기인

③ HVAC 및 LED는 스마트 온실의 주요 기술

- HVAC 시스템은 제어된 환경 내에서 최적의 온도를 유지하는 데 사용
- HVAC 시스템은 식물 성장에 이상적인 온도를 유지하고 외부 온도의 변화로 인한 악영향을 없애고 일년 내내 재배를 가능하게 함으로써 온실에서 중요한 역할

- HVAC 시스템은 개선된 실내 환경을 제공하고 운전 비용을 최소화
- LED 조명은 온실 환경에서 보조 조명으로 작동하고 HVAC는 환기 및 조명과 같은 다른 활동과 함께 난방 및 냉방을 제공하여 식물에 적절한 영향을 제공
- LED 조명은 컴팩트한 설계, 조절 가능한 광 스펙트럼 및 시원한 방향 방출로 인해 최고의 조명 시스템
- LED 조명 시스템은 또한 30,000에서 50,000 시간의 긴 작동 수명을 가지며 에너지 소비량이 현저히 적음

④ 시장 환경 변화

- 유럽은 전통적으로 온실 원예에서 첨단 기술을 구현하는 선두 주자이며, 2017년에 전반적인 스마트 온실 시장의 가장 큰 몫을 차지하고 있음
- 네덜란드, 스페인, 이탈리아와 같은 국가는 많은 온실 재배시설을 가지고 있음
- CEA(Controlled Environment Agriculture)는 주로 겨울철에 성장이 거의 불가능한 네덜란드와 스칸디나비아 국가에서 번창
- 최근 유럽의 인구가 급격히 증가하고 있으며, 아프리카와 아시아의 시장에서 과일과 채소를 냉동 상태로 수입
- 실내 원예는 주요 국가에서 재배된 농작물에서 신선한 농산물을 얻기 위해 빠른 추진력을 얻고 있으며, 가까운 미래에 통제된 환경 농업에 대한 거대한 수요를 창출 할 것으로 기대

⑤ 스마트 온실 HVAC 기술 전망

- 1980년 대비 온실 에너지 사용을 2010년 까지 40% 이하 절감
- 2002년 “에너지원으로서의 온실(Greenhouse as source of energy)” 프로젝트
- 2020년 까지 에너지 절감을 위해 재배법 개선과 인공광 이용기술 개발, 태양광, 지열, 바이오연료 등 다각적 접근 중
- 소형 열병합 발전기(CHP)
- 히트펌프를 이용한 냉난방
- 인공광 기술
- 목표 : 품질향상, 생산량 및 품질 향상, 에너지 절감

⑥ 스마트 온실의 주요지역

- Heliospectra(스웨덴), LumiGrow(미국), Rough Brothers(미국), Nexus Corporation(미국), Argus Control Systems(캐나다), Certhon(네덜란드), Logiqs(네덜란드), Greentech Agro(미국), Netafim(미국) 및 International Greenhouse Company(미국)
- (참고자료) 네덜란드 Certhon사의 HVAC(냉난방 시스템) 구축 환경



[Smart 온실 내부 공조 장비]



[Smart 온실 기계실]

1-4. 연구개발의 목표 및 내용

1) 최종목표

유리온실 내부온도 30℃ 유지 냉방 패키지 기술개발

- 작물 재배 유리온실의 여름철 내부 환경(온도, 습도 등)을 현장 실증 및 안정 생산 목표치를 위한 최적 냉방 패키지 기술 도출
- 건축적 요소인 차광스크린, 환기창, 패시브 칠드빔과 설비적 요소인 포그 시스템, 히트펌프, 지표수 활용, 환기 팬 등의 다양한 기술을 검토하여 유리온실에 적합한 기술을 조합한 융복합 설계로 유리온실의 실내환경 개선
- 냉방부하 계산, 실증단지의 시스템 조합별 비교검토, 설계 및 경제성 분석을 통해 도출된 최적 냉방 패키지 기술의 온도 저감 효과, 에너지 절감, 작물 별 생육 특성 향상, 수확량 증대 등을 평가

2) 세부목표

가. 실증단지

- 유리온실 적정 온·습도 유지, 일사유입 저감 냉방 패키지 기술 개발
- 작물 별 생육적정온도 25 ~ 30℃(최대 35℃) 유지 기능
- 작물 별 수확량 향상
- 건축적 요소인 차광스크린, 환기창과 설비적 요소인 패시브 칠드빔, 포그 시스템, 지하수 활용 히트펌프 시스템, 강제배기팬, 순환기류팬의 도입 검토
- 온도 저감 효과, 시스템효율, 작물 별 생육특성, 수확량 증대 및 종합 경제성 분석을 토대로 최적 냉방 패키지 기술 도출
- 실증현장 개요

설치년도	1998년
소재지	경상북도 구미시
규모	전체 1동
건축면적	10,064m ²
실증면적	냉방공간 : 2,475m ² , 비냉방공간 : 2,475m ²
온실 내부온도	45℃
재배 작물종류	선인장
냉방 사용여부	사용안함

○ 실증현장 사진



○ 주요 성능치

평가항목 (주요성능)	단위	비중 (%)	연구개발전 수준	개발목표치	평가방법
1. 온실 실내온도 조건	℃	30	45 이상	25~30	공인인증
2. 온실 실내습도 조건	%	20	60~80	50~60	공인인증
3. 냉방에너지 소비량 (냉방 단위 에너지)	kWh/m ²	20	-	600 이하	공인인증
4. 수확량 증대	%	20	100	130	공인인증
5. 시뮬레이션 정확성	%	10	-	Cv(RMSE) ±15	ASHRAE M&V Guideline

나. 적용범위(또는 서비스)

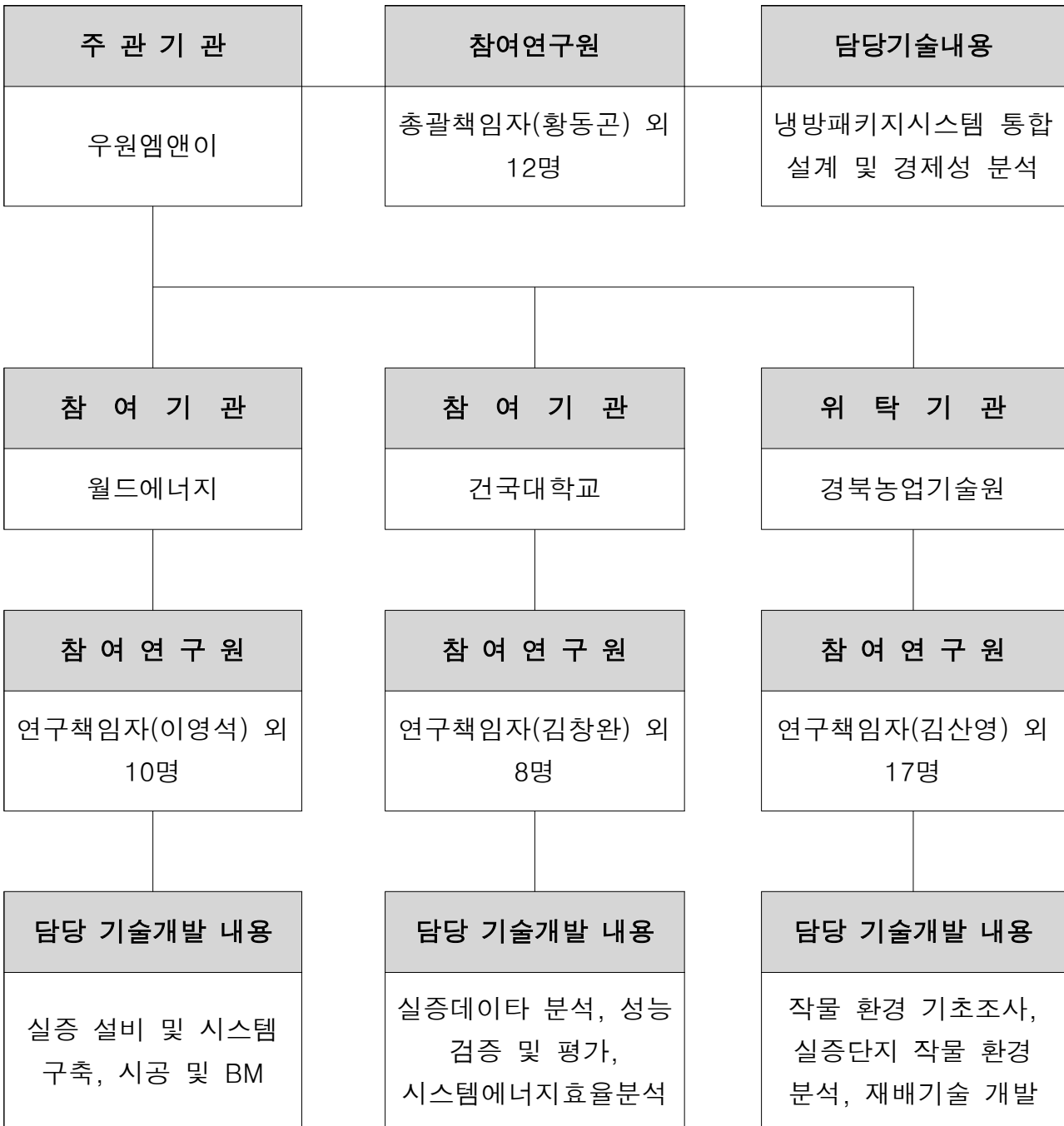
- 대규모 유리온실 실증적용을 통한 검증 이후 규모별 유리온실에 온도저감 냉방 패키지 기술 활용이 가능함
- 안정 성장 온도 목표치 별 냉방 패키지 시스템 종류 및 성능치를 선정하여 다양한 작물 재배에 확대 적용이 가능

1-5. 추진체계

1) 기관별 참여현황

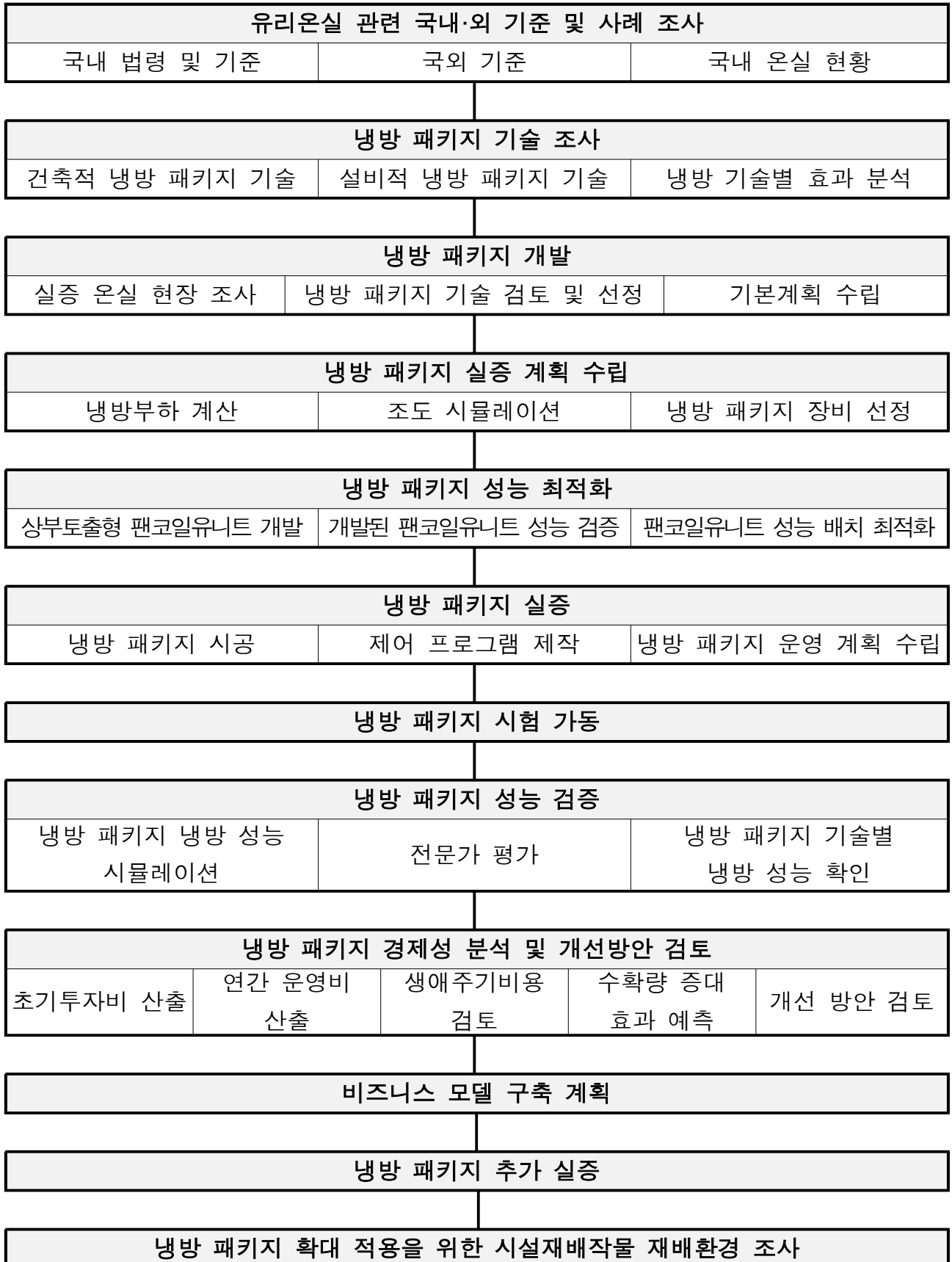
기 관 별 참 여 현 황	연구기관수	참여연구원수
중소기업	2	24
대 학 교	1	9
연구기관	1	18

2) 연구기관 구성 및 담당 기술개발 내용



2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1. 연구개발과제의 수행 과정 개요



[그림 1] 연구개발과제 수행 과정

2-2. 유리온실 관련 국내·외 기준 및 사례 조사

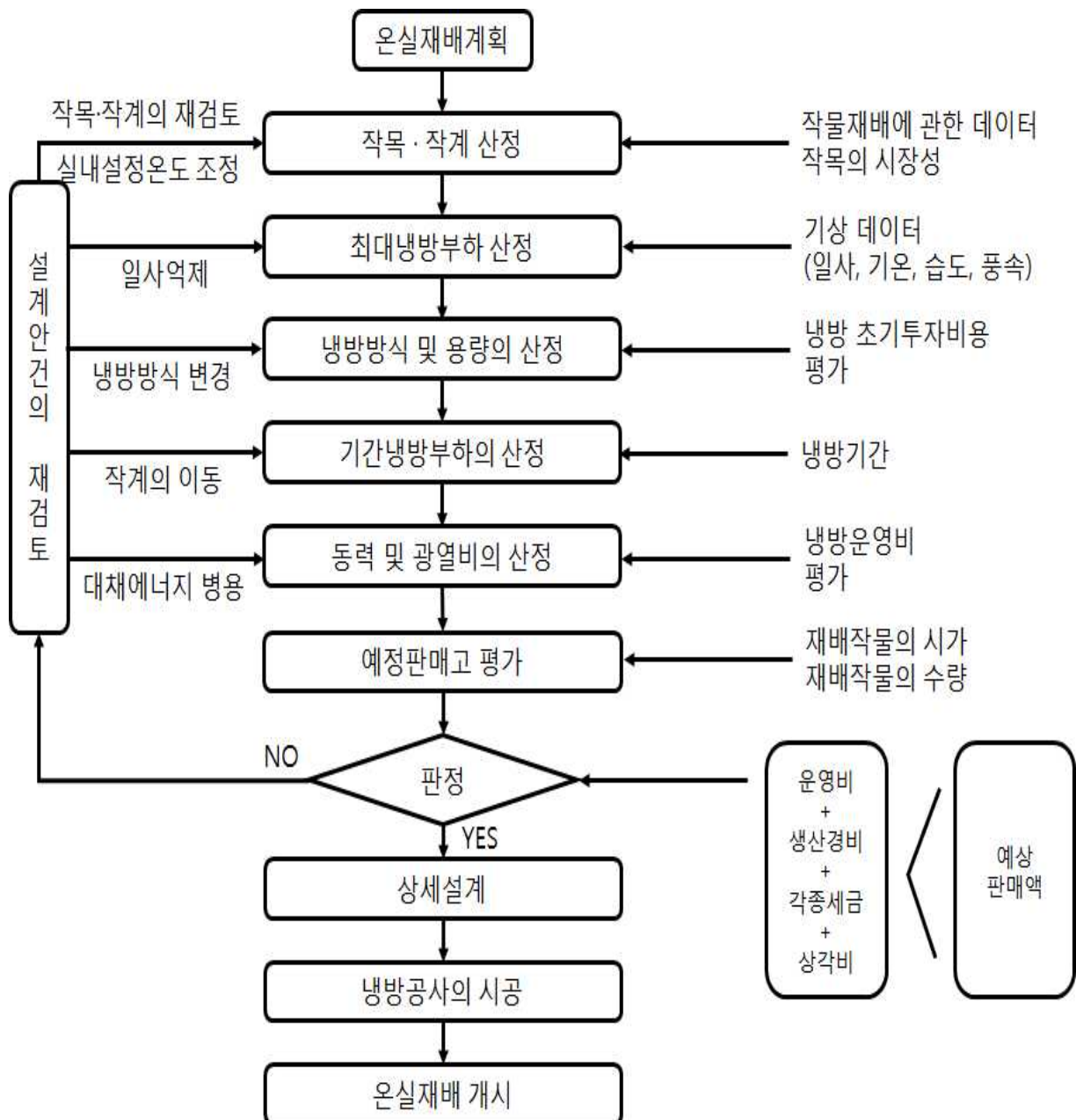
1) 유리온실 관련 국내 법령 및 기준 조사

- 건축법 시행령 제15조 11항에 따라 일반적으로 유리온실은 가설건축물로 해당되며, 고정식 온실로 3년 이상 존치하고 대규모로 시공되기 때문에 허가대상으로 구분된다.¹⁾
- 국내 온실 설계기준은 1995년 대학과 농어촌공사에서 ‘원예시설의 구조안전기준’을 작성하여 처음으로 제시하고 있다.²⁾ 1999년에는 유리온실 관련 정부지원 사업의 추진을 위해 건축기준에 준하는 ‘온실구조 설계기준’을 고시하였다.³⁾
- 현재 연구기관에서는 ‘원예시설의 구조안전기준’과 ‘온실구조 설계기준 및 해설’을 혼용하여 사용하고 있고⁴⁾ 대학에서는 ‘원예시설의 구조안전기준’을 사용하고 있으며, 건축 설계사무소에서는 ‘건축구조설계기준’을 준용하고 있다.⁵⁾ 이외에 자연재해로 발생하는 피해를 줄이기 위해 2007년 ‘원예·특작시설 내재해형 기준’이 고시되었다.⁶⁾
- 국내 온실의 설계기준은 구조기준과 표준설계도 중심으로 보급되었으나 적용대상과 기준이 상이하여 표준화가 필요한 실정이며, 특히 최적의 생육환경 확보를 위한 온실의 환경설계에 관한 기준은 연구가 부분적으로 이루어져 필요성이 대두되고 있다.

[표 1] 국내 온실 설계기준 현황⁷⁾

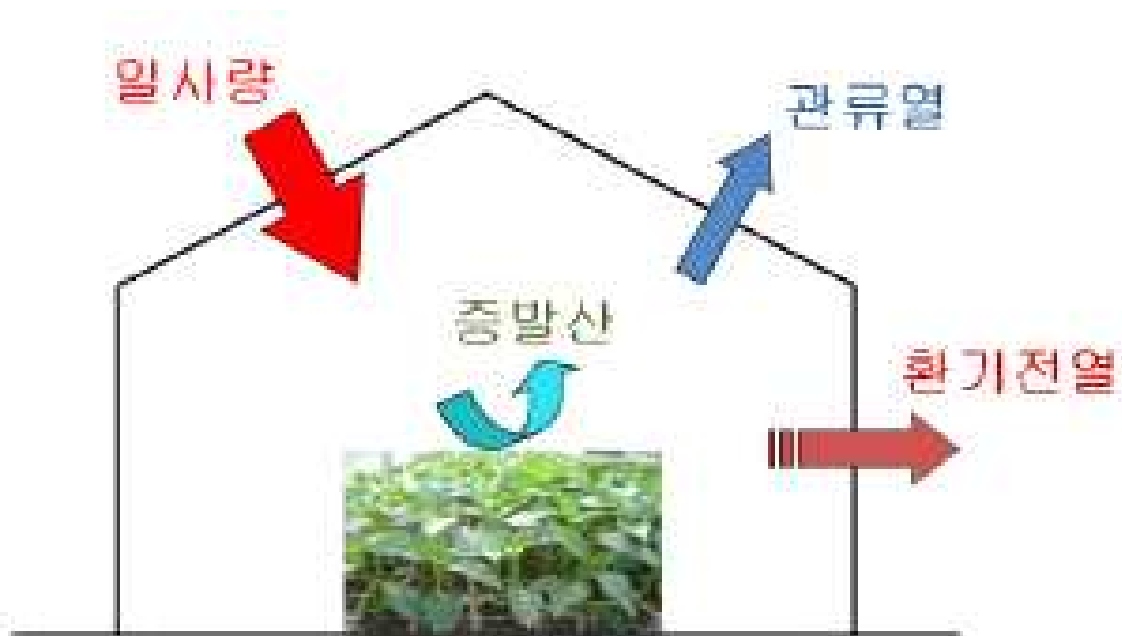
구분	원예시설의 구조안전기준	온실구조 설계기준 및 해설	원예·특작시설 내재해형 기준	건축구조설계기준
발행 기관	농어촌공사	농림축산식품부	농림축산식품부	대한건축학회
발행 연도	1995년	1999년	2007년	2009년
적용 대상	플라스틱, 유리온실	농업용 강구조 고정식 온실	비닐하우스, 인삼재배시설, 간이버섯재배사	가시설, 농가 건축물 및 소규모 창고
적용 도서	-	한국형 유리온실 표준설계도	원예·특작시설 내재해형 규격 설계도/시방서	-
설계 방법	허용응력설계법	기본풍속 및 기본 지상적 설하중의 기본값	허용응력설계법	기본풍속 및 기본 지상적 설하중의 기본값

- 온실의 냉·난방, 환기 등과 관련된 온실환경 설계기준은 1997년 농어촌진흥공사에서 발행한 ‘원예시설의 환경설계기준(안)’, 2015년 농촌진흥청에서 발행한 ‘온실 환경설계기준(안)’이 있으나 고시 등 공식적인 발표는 되지 않았다.^{8,9)}
- ‘원예시설의 환경설계기준(안)’은 작물 재배에 적절한 온실의 실내환경을 유지하기 위한 광환경/환기/난방/냉방/관수 및 관비/탄산가스 시비/제어기기의 설계와 계획, 설비 선정에 관한 자료를 제공하고 있다. 냉방 패키지 기술과 관련하여 냉방설계 순서와 냉방부하 산출 방법, 증발냉각시스템 (패드&팬 방식, 포그&팬 방식) 설계에 관한 기준을 제공하고 있으나 1997년에 작성되어 최신 냉방 기술(지열, 히트펌프, 제습냉각 등)에 관한 기준은 제시하고 있지 않다.
- ‘원예시설의 환경설계기준(안)’의 냉방설계 순서는 아래와 같다.



[그림 2] 원예시설의 환경설계기준(안) 냉방설계의 순서

- ‘온실 환경설계기준(안)’은 광환경/난방시스템/냉방시스템/환기/재배시스템 및 관수로 구분하여 설계기준을 제시하고 있다. 냉방설계 순서와 냉방부하 산출 방법은 ‘원예시설의 환경설계기준(안)’과 비교하여 큰 차이가 없다. (냉방부하에서 지중전도열량이 제외됨)
- 냉방부하는 온실로 유입되는 일사량과 온실 피복재를 통한 관류열량, 환기로 배출되는 열량, 작물 증발산에 의한 소비열량으로 산출하며, 열수지 모식도는 [그림 3]과 같다.
- 유입 일사량과 관류열량 산출에 적용되는 실외기온은 지역별 냉방설계용 기상자료의 TAC 2.5%를 권장하고 있다. (설비 투자수준에 따라 TAC 1% 또는 TAC 5% 값 적용)
- 냉방방식은 크게 증발냉각시스템과 히트펌프시스템으로 구분하여 각각의 설치용량과 선정기준에 관한 정보를 제공하고 있다.
- ‘원예시설의 환경설계기준(안)’과 ‘온실 환경설계기준(안)’은 작물 재배에 적합한 온실 내부환경을 조성하기 위한 기준 및 가이드라인을 제공하고 있으나 실제 설계되어 시공까지 이어질 수 있을 정도의 수준으로 발전이 필요한 것으로 판단된다. 또한 여름철 고온으로 인한 온실 농가의 피해가 확대되고 있는 시점에서 우리나라 기후 특성에 맞는 한국형 온실환경 설계기준의 정립이 요구된다.



[그림 3] 온실 열수지 모식도

2) 유리온실 관련 국외 기준 조사

- 미국의 ASABE (American Society of Agricultural Engineers)에서는 온실의 형태와 구조 등에 관한 EP 460과 냉·난방 및 환기에 관한 EP 406으로 분류하고 있다.^{10,11)} ASABE EP 406에서는 차광, 환기, 증발냉각 (패드&팬, 포그 방식)을 이용한 냉방 방식을 제시하고 있다.
- ASHRAE (American Society Of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Handbook Chapter 24에서는 기계식 냉방 (히트펌프, 냉동기 등) 방식의 높은 운전비를 이유로 차광, 환기, 증발냉각을 통한 냉방 방식만을 제시하고 있다.¹²⁾
- NGMA (National Greenhouse Manufacturers Association)에서는 온실 설계와 관련하여 Curtain systems/Electrical designs/Glazing/Ventilation and cooling 등으로 세분화하여 제시하고 있으나 냉방 방식은 ASABE와 ASHRAE와 동일하게 환기와 증발냉각을 통한 방식만을 제시하고 있다.¹³⁾
- 국외의 설계기준은 온실의 형태, 크기, 구조, 환경 등 온실 설계 및 시공에 필요한 종합적인 정보가 비교적 잘 정리되어 있는 것으로 판단된다. 그러나 높은 냉방운전비용 등으로 적극적인 냉방 방식 (히트펌프, 냉동기 등)에 대한 자료들은 부족한 것으로 조사되었으며, 온실의 냉·난방부하 산정방법에서도 국가별로 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

[표 2] 국외 온실 설계기준 현황

구분	기관	기준	비고
미국	ASABE	ASABE EP 460 (Commercial Greenhouse Design and Layout) ASABE EP 406 (Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses)	
	ASHRAE	ASHRAE Applications Handbook Chapter 24 (Environmental Control for Animals and Plants)	
	NGMA	Standards and guidelines	
유럽	CEN	EN 13031-1 (Greenhouses - Design and construction) ¹⁴⁾	NEN 3859 ¹⁵⁾ (네덜란드)
일본	JGHA	Handbook of protected horticulture ¹⁶⁾	
중국	중국국가표준 (GuojiaBiaozhun)	GB/T 18621-2002 (Design regulation on greenhouse ventilation and cooling) ¹⁷⁾	

3) 국내 온실 현황 조사

가. 국내 온실 현황 조사 개요

- 유리온실에 적합한 냉방 패키지 기술 개발을 위하여 국내 온실 현황 조사를 실시하였다. 국내 문헌조사를 통하여 국내 온실의 규격, 환경조절시스템 설치 등의 현황을 파악하였다. 국내 문헌은 ‘유리온실과 플라스틱 온실의 환경조절시스템 비교분석’ 논문을 참고하였다. (충남, 충북, 전남, 전북 지역을 중심으로 유리온실 25개 농가에 현장방문 실측 및 면접조사를 실시하여 온실 규격, 보온커튼, 냉·난방 시스템 및 연료, 실·내외 환경계측을 분석함)¹⁸⁾
- 문헌조사와 병행하여 국내 유리온실 현장조사를 실시하였다.

나. 온실 규격

- 온실의 길이는 유리온실의 경우 100m를 초과하는 온실이 상당수인 것으로 나타났다으며, 지붕경사는 대체로 25~30° 사이에 있으며 유리온실의 측고는 대부분 3m를 초과하고 5m를 초과하는 경우도 25%로 조사되었다.
- 유리온실의 형태는 벤로형 60%, 와이드스팬형 40%로 나타났다.
- 유리온실에서는 대부분 파프리카를 재배하였고, 플라스틱 온실은 토마토를 많이 재배하였다.

[표 3] 온실 규격 현황

온실의 폭 (W)		연동수		온실 길이(L)		지붕경사		온실 측고 (H)	
≤6m	0(0%)	≤5	5(20%)	≤60m	4(16%)	≤20°	3(12%)	≤3m	5(20%)
≤8m	18(72%)	≤10	5(20%)	≤80m	5(20%)	≤25°	7(28%)	≤4m	8(32%)
≤10m	4(16%)	≤15	4(16%)	≤100m	7(28%)	≤30°	12(48%)	≤5m	5(20%)
>10m	3(12%)	≤20	5(20%)	>100m	9(36%)	>30°	3(12%)	>5m	7(25%)
		>20	6(24%)						

다. 보온커튼

- 보온커튼의 경우 유리온실의 경우 알루미늄 스크린(LS_10)을 가장 많이 사용하고 있으며 층수는 대부분 2층으로 나타났다.

[표 4] 보온커튼 설치 현황

보온커튼 종류		보온커튼 층수	
알루미늄 스크린	17 (68%)	1층	1 (4%)
다겹보온커튼	1 (4%)	2층	21 (84%)
부직포	4 (16%)	3층	1 (4%)
천+알루미늄 스크린	1 (4%)	그 외	2 (8%)
그 외	4 (16%)		

라. 냉·난방 시스템 및 연료

- 온실에 냉방을 실시하고 있는 농가는 전체의 26%에 불과하였고, 냉방을 실시하는 농가 중 48%가 히트펌프를 활용하여 있는 것으로 나타났다. (지열히트펌프 40%, 공기열히트펌프 8%)
- 유리온실은 온수난방이 40%로 가장 많았고, 지열+온수난방이 20%로 나타났으며, 난방연료는 대부분 경유를 사용하고 있으며 경유와 전기를 병용하는 농가가 뒤를 이었다.

[표 5] 냉·난방 시스템 및 연료 사용 현황

냉·난방 시스템		난방 연료	
지열	3 (12%)	전기	3 (12%)
온풍	4 (16%)	경유	8 (32%)
온수	10 (40%)	LPG	2 (8%)
지열+온수	5 (20%)	병커씨유	4 (16%)
지열+온풍	3 (12%)	전기+경유	7 (28%)
		그 외	1 (4%)

마. 실내·외 환경계측

- 유리온실 농가에서는 대부분 실내·외 온·습도와 광, 실내풍속 및 CO₂농도를 계측하고 있는 것으로 조사되었다. 환기창을 제어하는데 필요한 실외풍속을 계측하는 농가는 비교적 낮았고 지온을 측정하는 농가도 많지 않은 것으로 나타났다.

[표 6] 환경계측 현황

환경계측 실태 (실내)		환경계측 실태 (실외)	
건구온도	24 (96%)	건구온도	20 (80%)
상대습도	19 (76%)	상대습도	18 (72%)
일사량	19 (76%)	일사량	19 (76%)
풍속	18 (72%)	풍속	12 (48%)
CO ₂ 농도	16 (64%)	CO ₂ 농도	0 (0%)
토양온도	9 (36%)	토양온도	0 (0%)

바. 환경조절 전략

- 최근 대규모 다연동 온실의 경우 높은 측고에 측창을 설치하지 않는 경향을 보이고 있다. 측창을 설치한 농가는 32%, 지붕창을 설치한 농가는 100%로 나타났으며, 유리온실에서는 난방, 환기창, 보온커튼, 관수 등의 환경조절시스템을 100% 갖추고 있었다.
- 차광(96%), 환기(84%), CO₂공급(72%) 등도 대부분 갖추고 있으나 냉방설비나 보광설비를 설치한 농가는 많지 않은 것으로 나타났다.

[표 7] 환경조절 전략 현황

환경조절 실태			
난방	25 (100%)	차광	24 (96%)
냉방	12 (48%)	보광	0 (0%)
환기창	25 (100%)	CO ₂ 공급	18 (72%)
환기팬	21 (84%)	관개	25 (100%)
보온커튼	25 (100%)		

사. 환경제어

- 제어방식은 유리온실의 경우 자동제어가 72%를 차지하였고, 자동제어를 하는 경우 복합제어를 하는 것으로 나타났다.
- 온실의 환경제어시스템은 유리온실의 경우 68%가 수입 제품을 사용하는 것으로 조사되었다.

[표 8] 환경제어 현황

환경제어 방식		환경제어 항목		환경제어시스템 제조사	
자동	18 (72%)	단일제어	7 (28%)	국산	8 (32%)
반자동	7 (28%)	복합제어	18 (72%)	외산	17 (68%)
수동	0 (0%)				

아. 농촌진흥청 국립원예특작과학원 온실 현장조사

- 2019년 4월 23일 전라북도 완주군에 위치한 국립원예특작과학원 화훼 온실의 냉방설비를 조사하였다. 화훼 온실은 접목 선인장 외 다수의 화훼류를 개발하고 있는 약 240평 (793.4㎡, 80평 단동형 온실 3개 연결) 규모의 온실이다.
- 패시브 시스템으로 천장과 벽체에 여름철 차광을 위한 전동 차광막과 겨울철 보온을 위한 보온막이 설치되어 있으며, 자동 개폐 측창과 수동으로 개폐 가능한 창이 벽체에 있다.
- 액티브 시스템으로 지열히트펌프에서 열원(냉·온수)을 공급받아 온실 내부에서는 팬코일로 냉난방을 하며, 기류 순환팬을 이용하여 내부의 공기를 순환시킨다.

[표 9] 온실 주요 설비

구분	적용 설비	비고
차광	천장, 벽체 - 전동 차광막	차광율 약 50% 정도
보온	천장, 벽체 - 전동 보온막	
열원	지열 히트펌프	
냉·난방	팬코일유닛	총 30대 설치
환기	기류 순환팬, 자연환기, 측창	

- 실내환경은 바닥에서 약 1.5m 지점에서 실내온도, 상대습도, 조도, UV 등을 약 240평 규모의 온실에서 3개 지점 측정하고 있다. 온실 환경제어설비는 네덜란드의 Priva社 제품이 설치되어 있다.
- 겨울철 실내온도를 12~13℃로 설정하여 난방 가동하며, 여름철 실내온도는 냉방을 사용하지 않을 경우 40℃이상으로 상승하였다. 야간에는 냉방을 거의 가동하지 않고 있으며 실내에서 측정하고 있는 온도에 따라 측창이 자동으로 개폐되어 실내온도 조절하고 있다. 측창 외에 벽측의 창은 수동으로 개폐하여 생육환경을 유지하고 있다.



(a) 차광막



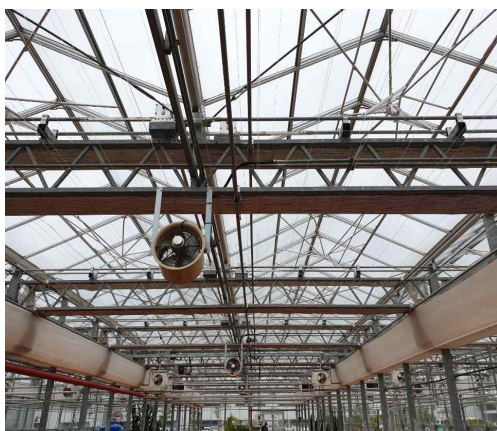
(b) 보온막



(c) 냉·난방 설비



(d) 팬코일유닛



(e) 기류순환 팬



(f) 측정센서



(g) 환경제어설비

[그림 4] 온실 차광 및 보온 설비

자. 우일팜 현장조사

- 2018년 12월 18일 경기도 화상시에 위치한 농업회사법인 우일팜의 냉방설비를 조사하였다. 우일팜은 2000년에 설치되었으며 약 30,000평(100,000㎡) 규모에서 토마토를 재배한다.
- 패시브 시스템은 태양광과 온도 및 습도에 따라 자동 개폐되는 차광 스크린과 환기를 할 수 있는 천창, 기화열을 이용하여 내부 온도를 하강시키는 외부포그 설비와 온실 내부에 스프링클러가 설치되어 있다.
- 액티브 시스템은 지열히트펌프에서 열원을 공급받아 공조기에서 냉풍(또는 온풍)을 생산하고 공조기를 거쳐 비닐덕트를 통해 온실 내부를 냉·난방 하며, 기류 순환팬을 이용하여 내부 공기를 순환시킨다. (지열히트펌프 설치 전 사용한 보일러 설비가 있음)
- 약 30,000평 냉난방을 위하여 지열히트펌프 1,600 USRt가 설치되어 있어 있으나 냉방이 원활하게 되지는 않고 있다. 냉방부하 계산결과 3,750평에 필요한 냉방용량이 1,600 USRt로 분석되어 냉방용량이 부족한 것으로 판단된다.
- 여름철 실내온도는 냉방설비를 가동함에도 38~40℃까지 상승한다. 우일팜에서 재배하는 토마토의 최적 생육온도가 23~24℃임을 감안했을 때 추가적인 냉방용량 확보가 요구되고 있다.
- 통합환경제어 시스템을 통해 기상 및 재배환경 변수 및 설비를 자동 제어하고 있으며, 제어설비는 Priva 社 제품이 설치되어 있다.

[표 10] 우일팜 주요 설비

구분	적용 설비	비고
차광	스크린 개폐	
보온	벽체 보온 커튼	
열원	지열히트펌프, 보일러	50USRt 32대 (지열히트펌프)
냉·난방	공조기	비닐덕트 하부 설치 (바닥면)
환기	기류순환팬, 천창 자동 개폐	
기타	외부포그, 스프링클러	



(a) 외부



(b) 내부



(c) 지열히트펌프

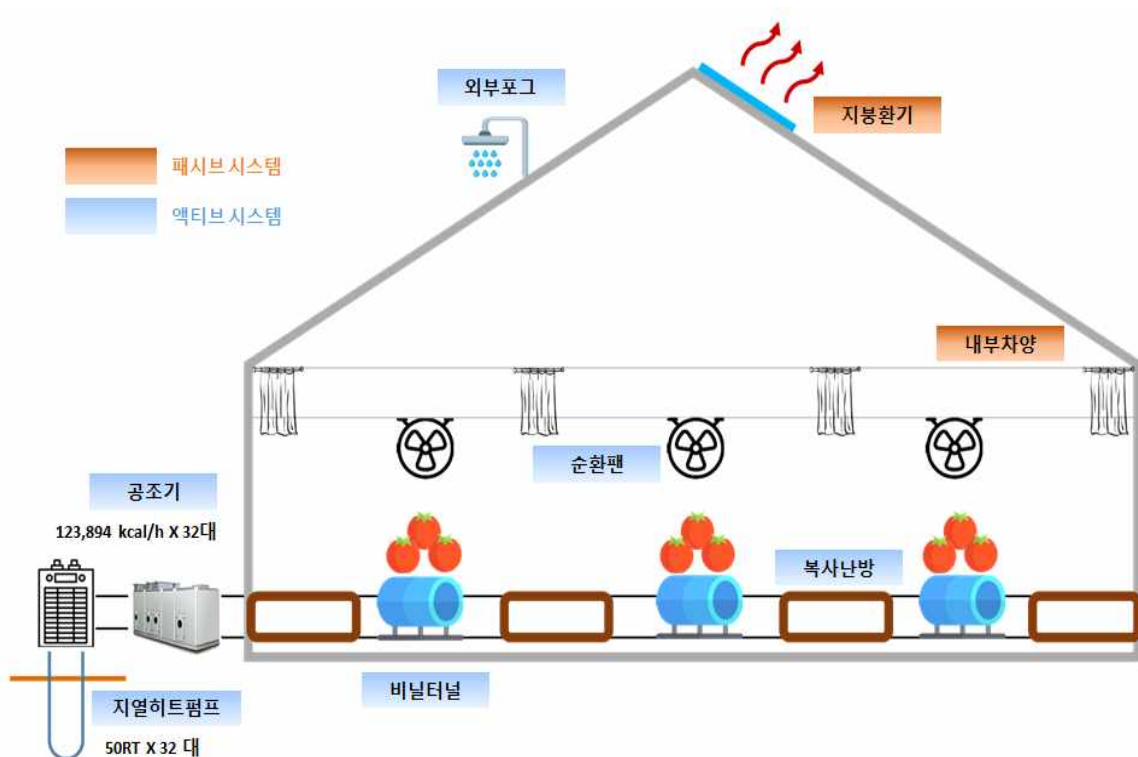


(d) 비닐덕트



(e) 기류순환팬

[그림 5] 우일팜 현장사진



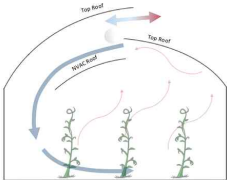



[그림 6] 우일팜 냉방설비 설치 현황

2-3. 냉방 패키지 기술 조사

1) 건축적 냉방 패키지 기술과 효과

- 자연환기, 외부 차광, 내부 차광 등은 여름철 온실의 실내온도를 하강하기 위한 건축적 기술로 가장 많이 활용되고 있다. 태양광은 온실의 실내온도를 상승시키는 주요 요인으로 차광을 통해 광량을 감소시킬 경우 실내온도는 하강시킬 수 있으나 작물 생육에 필요한 충분한 광량을 확보할 수 없어 냉방 기술로써 활용에는 한계가 있다.
- 일반적으로 온실 구조물과 내·외부 차광에 의해 실외의 광량에 15~50%가 감소하여 유입된다. 자연환기는 지붕과 창문 등의 개방을 통해 실외의 공기를 실내로 유입하고, 이를 통해 작물의 적정 생육온도 및 CO₂ 농도, 습도 유지 등의 기능을 하지만 필요환기량과 온실 전체의 원활한 기류순환을 유도하는데 어려움이 있다.
- 건축적 냉방 기술은 초기투자비가 상대적으로 저렴하고 동력 사용이 거의 없어 대부분의 온실 농가에서 적용하고 있지만, 설비적 냉방 기술과 대비하여 여름철 온실의 실내온도 하강 효과가 작다. 건축적 냉방 기술을 활용한 온실의 실내온도 하강 효과는 [표 11]과 같다.

[표 11] 건축적 냉방 기술 및 효과

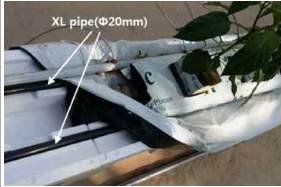
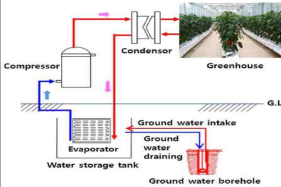


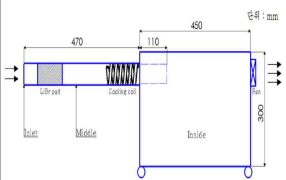
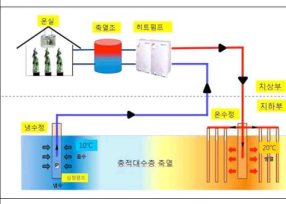
기술	개념도	설명	물성치	효과	평균 효율	평가 방법	위치/기후/면적
자연 환기		자연환기 모드에서 지붕과 문을 개방	-	기본	2~3 °C 감소	실험	중국/ 습한 아열대/ 2,304m ²
외부 차광		70% 음영의 고밀도 UV 폴리에스테르 조각으로 외부 차광	70% 차광	좋음			
내부 차광		50% 그늘 반사 알루미늄 섬유로 내부 차광 구성	50% 차광	우수			
다겹 보온 커튼		유리온실용 알루미늄 다겹보온커튼	알루미늄 다겹보온 커튼	2.2 °C 감소 / 난방비용 87% 감소	실험	한국/-/ 461m ²	

2) 설비적 냉방 패키지 기술과 효과

- 강제환기팬, 증발냉각시스템, 히트펌프, 지하수 활용, 근권부나 작물체 주위 국부냉방, 지붕살수 등은 여름철 온실의 실내온도를 하강하기 위한 설비적 기술로 활용되고 있다.
- 증발냉각시스템은 가장 경제적인 냉방 방법으로 패드시스템과 포그시스템이 대표적이다. 패드시스템은 강제환기 팬이 필요하며 온실의 한쪽 벽면에 패드를 설치하고 반대 벽면에서 배기하기 때문에 패드와 거리가 멀어질수록 온도가 상승하여 실내온도의 편차가 생기는 단점이 있다. 포그시스템은 포그노즐을 온실 전체에 고르게 배치하면 균일한 실내온도를 조성할 수 있지만 포그노즐의 구멍이 막히지 않도록 적절한 필터와 화학적인 처리제 사용 및 수질 확보가 필요하다. 패드시스템과 포그시스템 등의 증발냉각방식은 건조한 지역에 효과가 큰 방법으로 하절기에 고온다습한 우리나라에서는 실내온도 하강 효과가 상대적으로 낮다.
- 히트펌프를 활용한 냉방은 화훼류 및 육묘생산 등에서 일부 이용되고 있으나 경제성의 문제로 야간냉방에만 국한되어 적용되고 있다. 최근에는 히트펌프의 효율 증대, 다양한 히트펌프 제품군 개발, 상대적으로 저렴한 농가의 전기요금 체계, 냉·난방 겸용 사용을 통한 난방비 절감 등의 이유로 히트펌프 보급이 활성화 되고 있다. 또한 신재생에너지를 활용한 지열히트펌프도 냉·난방 수단으로 많이 적용되고 있다. 설비적 냉방 기술을 활용한 온실의 실내온도 하강 효과는 [표 12]와 같다.

[표 12] 설비적 냉방 기술 및 효과


기술	개념도	설명	물성치	효과	평균 효율	평가 방법	위치/기후/면적
기류 순환팬		공기와 식물 사이의 열교환을 향상시키기 위해 안정적이고 적당한 공기 흐름을 제공하기 위해 순환 팬 설치	90W	약함	2~3 °C 감소	실험	중국/ 습한 아열대/ 2,304m ²
간접 직접 증발 냉각 유닛		증발식 냉각장치는 간접 증발식 냉각 열교환기와 3개의 패드로 구성되어 직접 증발식 냉각장치로 설계	물 25 L 용량, 2 개의 순환 펌프		12.1 ~ 21.6 °C 감소 / 효율 30.5%상승	실험	이라크 바그다드/-/ 5m ² (11m ³)

기술	개념도	설명	물성치	효과	평균 효율	평가 방법	위치/기후/면적
국소 난방 장치		유리온실용 양액재배 배지 국소난방장치	105kW (GSHP)	4.7 °C 감소 / 난방비용 87% 감소		실험	한국/-/461 m ²
지하수 열원 히트펌프		지하수열원 히트펌프 파프리카 재배 벤로형 유리온실에 적용	105kW (GSHP)	4.7 °C 감소 / 난방비용 87% 감소		실험	한국/-/461 m ²
증발 냉각 패드		길이 42.1m, 너비 1.9m의 셀룰로오스 종이 패드가 북쪽 벽에 위치, 남쪽 벽에는 10개의 1.1kW 강제배기팬이 설치	1.1 kW (10개)	보통 2~3 °C 감소		실험	중국/ 습한 아열대/ 2,304 m ²
포그 시스템		토마토 재배용 상업용 온실에 포그노즐 적용	2분 분사 1분 정지	온도 개선 크지 않음 (0.9 °C 감소)		실험	한국 (논산)/ -/-
냉각 및 제습		Fan and Pad 방식에 리튬브로마이드 용액과 냉각 코일을 적용하여 냉각 및 제습	-	15% 감습		실험	한국/-/-
계간 축열 (히트펌프)		냉열을 냉수로 전환하여 냉수정을 통해 저장하여 여름철 냉방에 사용 (야간만 냉방)	50RT X 2대 히트펌프, 축열조 40m ³	토마토 26% 증수		실험	한국 (부여) /-/2,025 m ²

3) 냉방 기술별 효과 분석

- 고온기 냉방 기술별 온도강화 효과와 효율향상 연구¹⁹⁾에 따르면 흑색 차광망 설치로 최대 3.8~7.6℃ 정도의 온도 하강효과가 있는 것으로 나타났다. 증발냉각 시스템 중 포그시스템은 4.1℃, 미스트시스템은 3.7℃, 패드시스템은 6.7℃ 정도의 온도 하강효과가 있는 것으로 나타났다. (온도 하강효과는 실험을 기반으로 한 결과값이며 측정지역의 기후조건에 따라 냉방효과의 차이가 있음)
- 온실냉방시스템의 효율적 이용에 관한 연구²⁰⁾에 따르면 환기만으로는 고온기 온실 내부의 온도를 외기온도 이하로 낮출 수 없다고 보고되었다. 온실 내부의 온도 하강을 위한 냉방 기술 중 차광은 약 4℃, 수막은 차광과 병행할 경우 2~5℃, 증발냉각시스템은 약 7℃ 정도의 온도 하강효과가 있는 것으로 나타났다.
- 국내 문헌 조사 결과 냉방 기술별 기후조건 등의 영향으로 온도 하강효과의 차이는 있었으나 증발냉각시스템이 가장 효과적인 것으로 나타났다. 국내와 더불어 국외 문헌 조사를 통해 냉방 기술별 효과를 조사하였으며, 국외 문헌의 냉방 기술별 효과는 [표 13~17]과 같다.

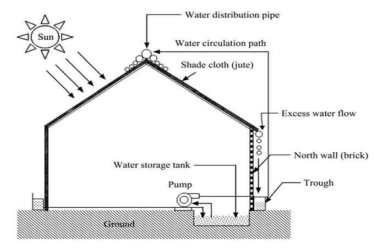
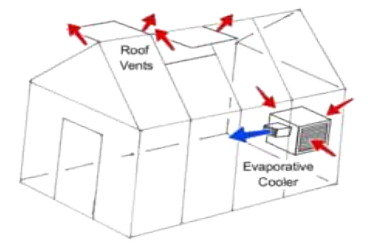
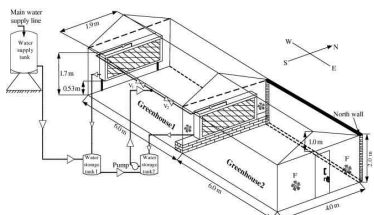

[표 13] 포그시스템의 냉방 효과

구분	기술	개념도	저자	연도	효과	종합
설비 기술	포그 시스템		Montero and Anton	1990	3℃ 감소	평균 4.6~5.3 ℃ 감소
			Montero et al.	1994	5℃ 감소	
			Hayashi et al.	1998	4~8℃ 감소	
			Öztürk	2003	6.6℃ 감소	
			Handarto et al.	2006	6℃ 감소	
			Katsoulas et al.	2006	3℃ 감소	
			Katsoulas et al.	2009	2.5~3.5℃ 감소	
			White	2015	9℃ 감소	
			Misra and Ghosh	2017	2~4℃ 감소	

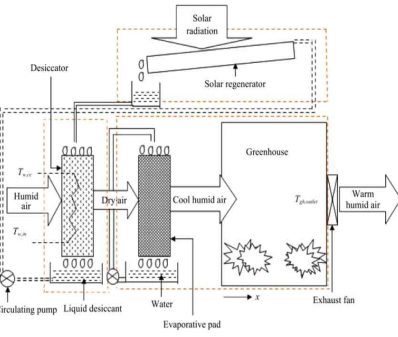
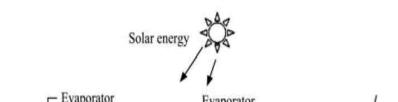
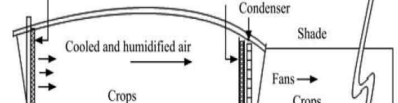
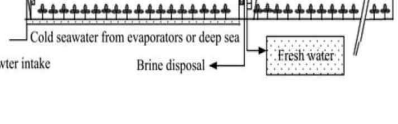

[표 14] 패드시스템의 냉방 효과

구분	기술	개념도	저자	연도	효과	종합
설비 기술	패드 시스템		Landsberg et al.	1979	8~12℃ 감소	평균 5.2~7.0 ℃ 감소
			Chandra et al.	1989	4~5℃ 감소	
			Jain and Tiwari	2002	4~5℃ 감소	
			Radhwan and Fath	2005	3~10℃ 감소	
			Sukla et al.	2006	5~8℃ 감소	
			Ganguly and Ghosh	2007	6℃ 감소	
			Max et al.	2009	1.2~2.6℃ 감소	
			Lo'pez et al.	2012	11.6℃ 감소	
			Misra and Ghosh	2013	5~7℃ 감소	
			Ali Dayioglu	2015	7℃ 감소	
Xu et al.	2015	2~3℃ 감소				


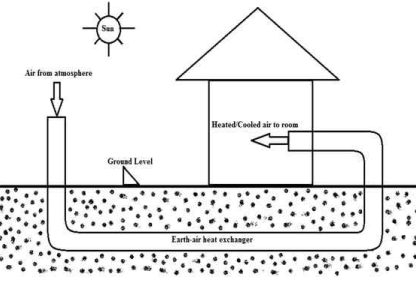
[표 15] 지붕 증발냉각의 냉방 효과

구분	기술	개념도	저자	연도	효과	종합
설비 기술	지붕 증발 냉각		Sutar and Tiwari	1995	10°C 감소	평균 5.6~7.3 °C 감소
			Cohen et al.	1983	5°C 감소	
			Giacomelli et al.	1985	10°C 감소	
			Ghosal et al.	2003	2~6°C 감소	
		Helmy et al.	2013	1.1~5.4°C 감소		

[표 16] 증발 및 혼합모드 냉각방식의 냉방 효과

구분	기술	개념도	저자	연도	효과	종합
설비 및 기술	증발 및 혼합 모드		Abbouda and Almuhanna	2012	8.1°C 감소	평균 6.2~7.1 °C 감소
			Lychnos and Davies	2012	5.5~7.5°C 감소	
			Al-Busaidi and Al-Mulla	2014	4.8~7.4°C 감소	
			Abu-Hamdeh et al.	2016	8.1°C 감소	
			Banik and Gangu	2017	4.3°C 감소	

[표 17] 기타 건축 및 설비기술의 냉방 효과

구분	기술	개념도	저자	연도	효과	종합
건축 & 설비 기술	보온 커튼		Shukla et al.	2008	5°C 감소	평균 5.5°C 감소
	지중 대 공기열 교환기		Ghosal et al.	2004	5~6°C 감소	

- 농촌진흥청의 지열 냉난방시설 도입사례에서는 지열히트펌프를 적용한 지열 냉난방 적용 온실 농가의 효과 및 설비용량, 투자금 자료를 제시하고 있다. 히트펌프 적용 시 난방비 절감 효과와 함께 냉난방을 통한 작물의 적정 생육환경 확보로 수확량이 증가하였고 투자금 회수기간도 4년 내 가능한 것으로 보고되었다.


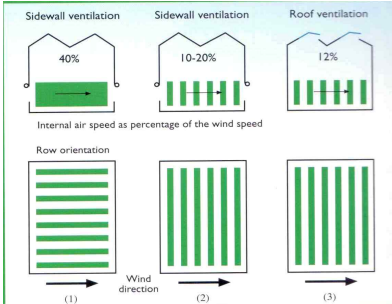

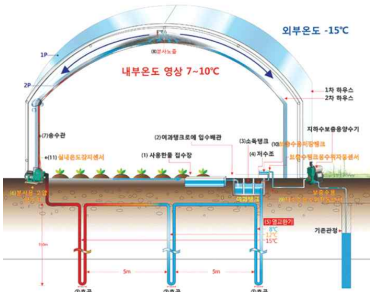
[표 18] 지열히트펌프 설치 효과

구분	시설	품목/면적	적용설비	설비용량	효과	투자금
지열 냉난방	아현영농 조합법인 (충남 부여)	파프리카/ 3ha	제습기, 양액시설, 지열냉난방시설 (1ha), 증류보일러(2ha)	지열냉난방 (축열조144톤, 320RT + 35RT)	난방비 연간 1,190만원 절감, 수확량 18% 증가(야간 적온)	자기자본 5억 투입, 수익 약 1억2천만원 증가, 4년 내 회수 가능
	참샘영농 조합법인 (전북 김제)	파프리카/ 2.3ha	제습기, 양액시설, 하이브리드형 냉난방시설	지열냉난방 (축열조1,200톤, 340RT)	난방비 연간 3억5천7백만원 절감, 수확량 33% 증가	1ha에 10억 투입(50% 보조), 수익 4억3천5백만원 증가
	프랜토피아 (경남 진주)	육묘/ 17a(온실), 7a(조직배양)	지열냉난방시설 (수평형, 수직밀폐형, 수직개방형)	지열냉난방 (25RT, 축열조 20만kcal)	난방비 연간 5,083만원 절감	10a에 55백만원 투입(60% 보조)

4) 냉방 효과와 초기투자비 및 유지관리를 고려한 냉방 기술 비교

○ 온실의 대표적 냉방 기술인 차광, 환기, 증발냉각, 히트펌프의 냉방 효과와 초기투자비 및 유지관리측면에서 적용성을 비교하였다.

[표 19] 냉방 기술 비교

구분	차광	환기	증발냉각	히트펌프	
개념도					
개요	온실의 내·외부에 차광을 통해 태양열 조절	상부 또는 측면에 자연 및 강제 환기 순환으로 냉각	물이 증발되는 과정에서 주변에 열을 흡수하여 냉각	히트펌프를 활용하여 냉각	
특성	<ul style="list-style-type: none"> - 설비적 냉방 기술에 비해 냉방 효과가 낮음 - 보조적 환경 조절 방식 	<ul style="list-style-type: none"> - 설비적 냉방 기술에 비해 냉방 효과가 낮음 - 온도하강을 위해 많은 환기량 요구됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 고온다습한 기후에서는 효과가 상대적으로 낮음 - 패드시스템은 온도 편차 발생 우려 	<ul style="list-style-type: none"> - 냉방 효과가 가장 우수 - 초기투자비가 비쌈 - 생산량 증대 및 운영비 최소화로 ROI 확보 필요 	
적용성	냉방 효과	▼	▼	▼	▲
	초기투자비	▲	▲	▼	▼
	유지관리	▲	▲	▼	▲

2-4. 유리온실 냉방 패키지 개발

1) 냉방 패키지 개발 및 실증 개요

- 냉방 패키지 개발 및 실증을 위하여 농업회사법인 (주)구미선인장과 실증 사이트 제공과 냉방 패키지 설치 관련하여 협약을 체결하였다. 협약 후 현장 조사와 농장주 인터뷰, 재배작물의 최적 생육환경을 분석하여 적합한 냉방 패키지를 개발하고 실증을 계획하였다.
- 2018년 10월18일 냉방 패키지 적용과 관련하여 수요기업으로 참여하는 MOU를 체결하였다.
- 2019년 3월 27일은 냉방 패키지 구축과 관련하여 실증 면적과 위치, 농업회사법인 (주)구미선인장에서 연구를 위해 기본적으로 정비해야할 기본설비에 대하여 협의하여 협약서를 작성하였다.
- 2019년 12월 24일은 냉방 패키지 설비 공사 관련 합의를 체결하였다. 합의를 통해 냉방 패키지 실증을 위해 연구기관이 수행하는 공사의 범위와 농업회사법인 (주)구미선인장의 시공 범위와 제공 자료에 대하여 정의하였다.

[표 20] 냉방 패키지 실증 협약 과정

연구기간	협의 내용	비고
1차년도 (2018.11.20 ~2019.08.19)	<ul style="list-style-type: none"> - 2019년 3월 27일 협의 - 구미선인장에서 실증과 대조군 부지 제공하기로 협의 (약 1,500평) - 연구기관에서 냉방 패키지 설비 구축 - 농업회사법인 (주)구미선인장은 실증 온실에 작물을 재배할 수 있는 기본환경을 구축 	“연구개발과제 선인장 재배 실증사이트 구축 협약서” 체결
2차년도 (2019.08.20 ~2020.08.19)	<ul style="list-style-type: none"> - 2019년 12월 24일 협의 - 연구기관에서 전기 인입을 포함한 냉방 패키지 공사 진행 - 농업회사법인 (주)구미선인장은 시공을 위한 진입로와 냉방 패키지 운영을 위한 수도, 전기 제공 - 재배시설 구성 및 작물 반입 시기는 상호 협의 - 연구 종료 후에도 5년간 자료 제공 	“냉방패키지 설비공사 합의서” 작성

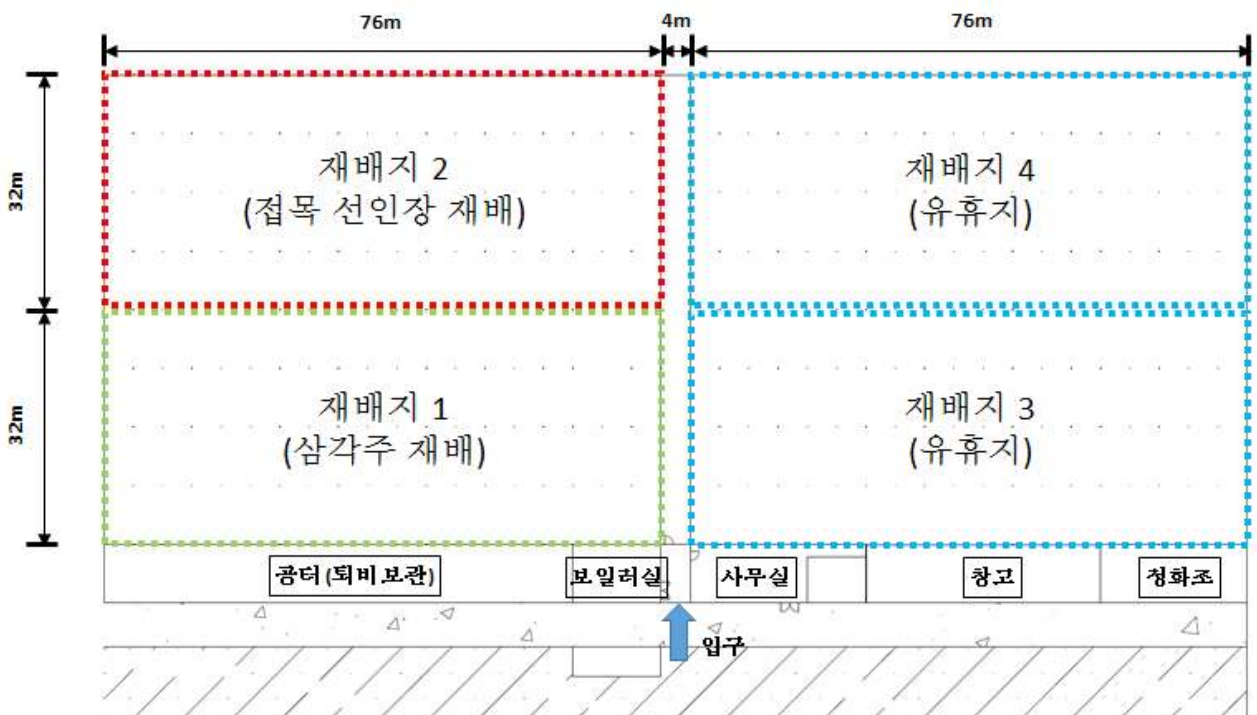
2) 실증 온실 현장 조사

가. 현장 조사 개요

- 농업회사법인 (주)구미선인장은 경상북도 구미시에 위치하고 있으며, 1998년에 약 3,000평 규모로 설치되어 현재 접목 선인장을 재배하고 있다.
- 전체 3,000평의 중 가로 중앙은 통로로 활용되고 있으며 4등분 된 온실 내부의 2개의 구역에서 선인장을 재배하고 있다. 재배지 1에서는 선인장 접목을 위한 삼각주(대목), 재배지 2에서는 생육된 삼각주에 비모란(접수)를 접목하여 재배하고 있고 재배지 3~4는 유희지로 되어 있다.
- 실증 온실에 적합한 냉방 패키지 시스템을 설계 및 적용하기 위하여, 현장을 방문하여 사진을 촬영하고 실측하였다. 냉방 패키지 시스템의 설치가 작업 동선에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 온실의 전체 레이아웃(길이, 폭)과 기둥의 배치 간격, 구조물의 높이, 재배지 상부에 설치된 차광, 열차단막 등의 설치 높이 등을 실측하고 도면화 하였다.

[표 21] 실증 온실 개요

실증 온실명	농업회사법인 (주)구미선인장		
위치	경상북도 구미시		
총 규모	3,000평 (≒ 10,000㎡)	외피 재질	유리(천장)+비닐(벽체)
설치연도	1998년	재배 작물	접목선인장



[그림 7] 실증단지 유리온실 평면도



(a) 온실 외부



(b) 온실 내부



(c) 재배지 1



(d) 재배지 2



(e) 재배지 3



(f) 재배지 4



(g) 차광



(h) 사무실

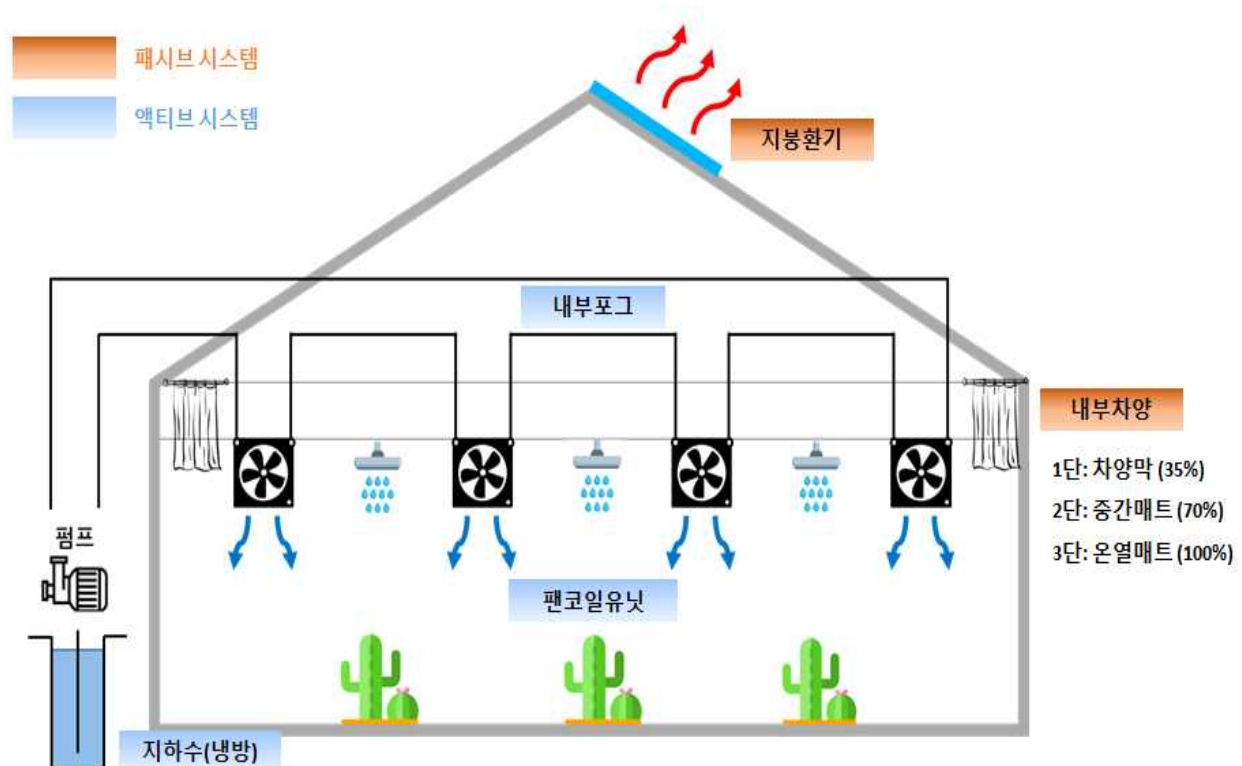
[그림 8] 실증 온실 사진

나. 설비 현황

- 재배지1, 2 : 패시브 시스템으로 보온천, 차광막, 열차단을 위한 수직보온커튼과 환기를 위한 천창 개폐설비가 설치되어 있으며, 액티브 시스템으로는 냉방을 위한 팬코일유닛(지하수를 활용하여 냉수 공급)와 난방을 위한 온풍기, 전기보일러가 설치되어 있다.
- 유희지1, 2 : 패시브 시스템으로 천창 개폐설비가 설치되어 있다. (기타 온실환경 유지를 위한 설비가 구축되어 있지 않음)

다. 인프라 구축 현황과 설비 사양

- 수전설비 용량은 1KVA가 있으나 팬코일유닛, 순환팬, 전기보일러 등에 전부 사용되어 추가적인 냉방설비의 가동을 위해서는 증설이 필요하다.
- 냉방을 위한 팬코일유닛은 20대 설치되어 있으며, 지하수는 하루 350m³까지 사용 가능하다.
- 온실 내부 기류 순환을 위한 팬이 9대 설치되어 있으며, 풍량은 160m³/min이다.
- 차광은 3단으로 구성되어 있으며 35~100%까지 차광이 가능하다.



[그림 9] 구미선인장 냉방설비 적용 개념도

[표 22] 구미선인장 기설치 설비 사양

구분		내용	비고
전기	용량	1KVA (3상 380V)	여유용량 없음
팬 코일 유닛	수량	20대	
	전기사양	100W	4P, 220V, 60Hz
	지하수	350m ³ /일	심도 156m, 구경 200mm
순환팬	수량	9대	
	풍량	160m ³ /min	
	사양	1,150rpm, 220V, 1.6P	
차광	1단	35% 차광	
	2단	75% 차광	
	3단	100% 차광	온열매트

라. 농장주 인터뷰 내용

- 국내 약 40개 정도의 선인장 재배 농가가 있으며 대부분 유럽과 미국으로 수출
- 수출시장은 크나 여름철 실내온도 및 습도 유지가 어렵고 선인장 접목 등에 많은 노동력이 필요하여 생산량은 매년 비슷하게 유지
- 2018년 여름철 고온으로 인하여 온실 내부의 온도가 최대 45℃까지 상승하여 선인장 재배에 피해가 컸으며, 온도 상승에 따른 피해로 냉방에 대하여 체감하고 대책을 찾고 있음
- 연구 외에도 자체적으로 노후시설(차광 스크린 등) 보수 계획을 수립하고 있음

마. 현장 생육환경

- 낙동강과 인접(100m 이내)한 지역으로 풍부한 농업용수 활용이 가능하다.
- 자연환기(천창), 차광 스크린 등의 패시브 시스템과 여름철 팬코일유닛과 겨울철 온풍기와 같은 액티브 시스템을 활용하여 냉·난방 하지만 선인장 생육에 적절한 온실환경을 유지하지 못하고 있으며, 여름철 온실 내부온도는 대체로 40℃ 이상이 유지되며 2018년은 최대 45℃까지 상승한 것으로 확인되었다.
- 환경계측을 위한 센서, 패시브 및 액티브 시스템과 연계할 수 있는 자동제어가 열악한 것으로 조사되었다.

바. 최적 생육환경

- 2018년 농촌진흥청 농업기술길잡이에 따르면 선인장 생육적온은 25~30℃이며, 5℃ 이하에서는 동해 피해, 40℃ 이상에서는 고온 장애가 발생된다고 보고되었다. 상대습도는 높을수록 유리하나, 습도가 너무 높으면 병 발생이 우려된다.
- 광도는 품종에 따라 다소 차이는 있지만 정오 기준으로 4~5만 lux가 적절한 것으로 나타났으며, 최소 3만 lux 이상이 필요하며 차광은 35~55% 설치가 적정하다고 보고되었다.
- 접목시기는 3~10월(장마철, 고온기 제외)이며, 접목 후 2주후에 형성층의 세포 분화, 3주 정도에 대목과 접수의 유관속 형성, 늦어도 1개월에 접목융합이 완성된다.
- 선인장은 CAM 식물로 분류되어 밤에 기공을 열고 이산화탄소를 흡수하고, 밤에 흡수된 이산화탄소와 보유된 수분, 흡수된 빛을 결합하여 낮에 광합성을 한다.

[표 23] 접목 선인장 생육조건

항목	생육조건	접목 선인장 사진
온도	생육적온: 25~30℃ (최고 40℃, 최저 10~15℃) * 5℃ 이하 : 동해 피해 40℃ 이상 : 고온 장애 (근활력감소, 일소현상 등)	
습도	접목활착률: 적정온도30℃, 적정습도80% (습도가 높으면 병 발생 우려)	
빛	적정광도 : 정오 기준 4~5만 lux (적색품종 : 4만5천 lux, 핑크색 : 4만 lux) * 최소 3만 lux 이상 (차광 45~55% 설치)	
지온	접목 후 발근기 : 25~30℃ 유지 생육기 : 최적 25℃ 이하로 조절	
환기	뜨거운 낮이 아닌 밤에 기공을 열고, 이 때 이산화탄소를 흡수	

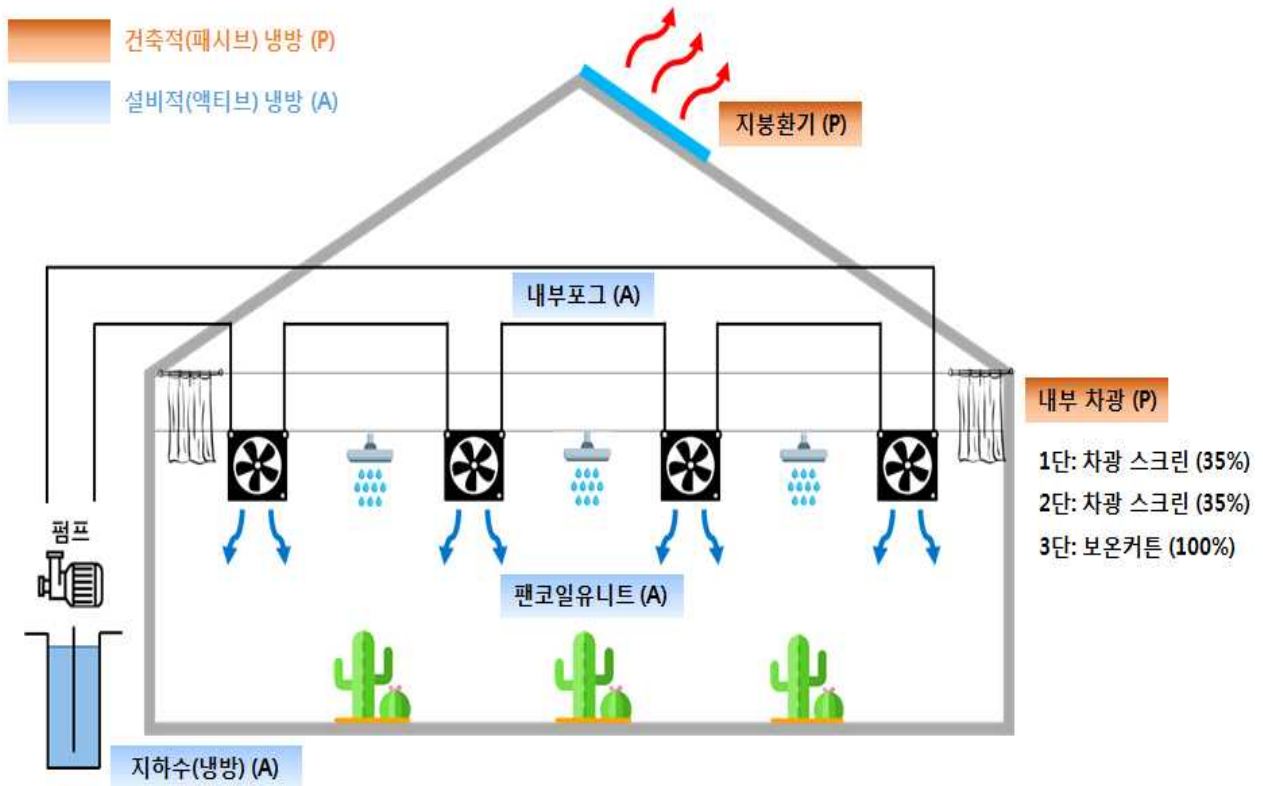
3) 냉방 패키지 기본 계획

가. 냉방 패키지 기본 계획 개요

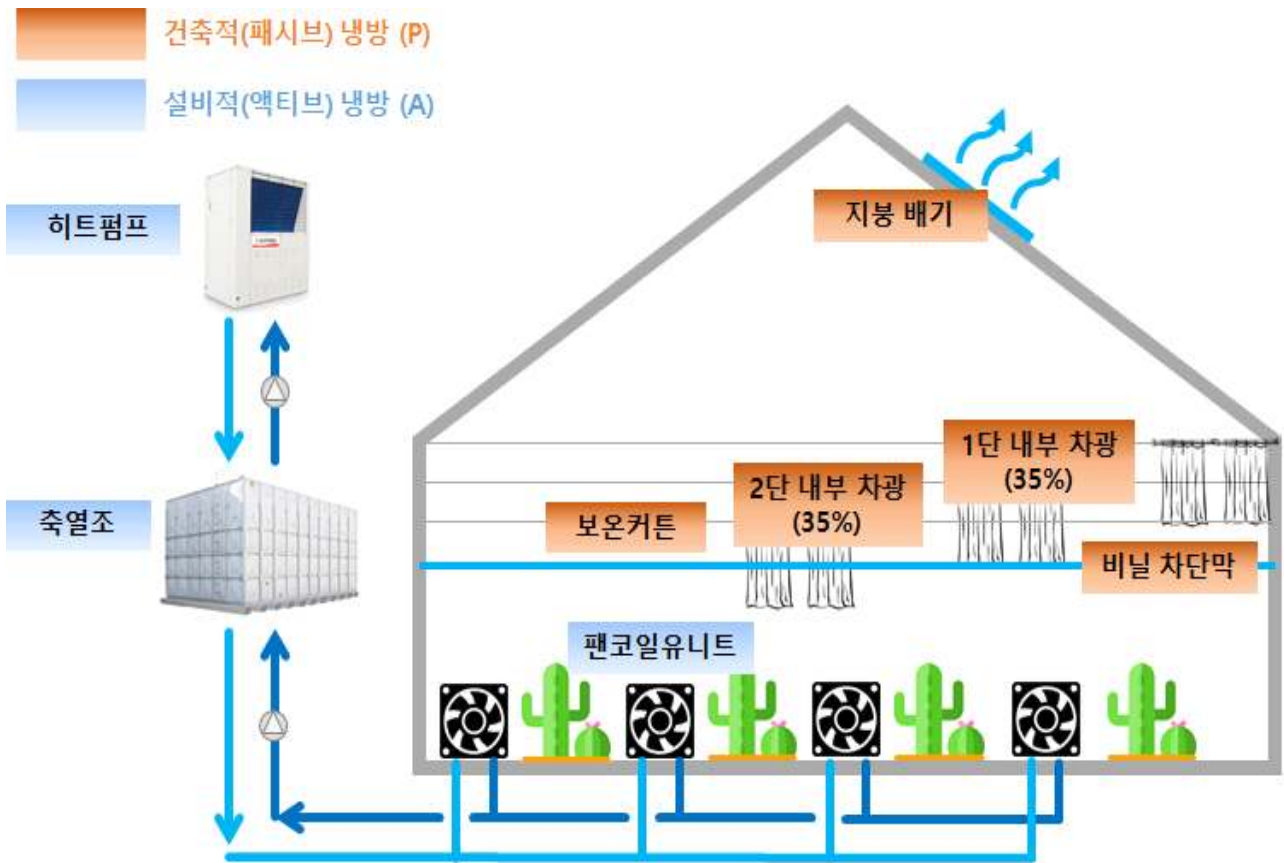
- 전체 온실 중 접목 선인장을 재배하고 있는 재배지 2를 대조구역으로 설정하였고, 재배지 3을 실증구역으로 선정하여 냉방 패키지 적용을 계획하였다.
- 냉방 패키지 기술의 효과를 정량적으로 확인하기 위하여 동일한 재배조건인 온실 내에서 재배구역을 구분하여 실내환경과 작물의 생산량 및 품질을 비교할 수 있도록 계획하였다.
- 대조구역인 재배지 2는 여름철 실내온도를 낮추기 위하여 지붕에 위치한 천창을 통한 자연환기, 2단 차광 스크린 개폐, 내부 포그 시스템, 지하수를 이용한 팬코일유닛 국부냉방을 가동하고 있으나 적정 생육온도 유지가 어려운 실정이다. 대조구역의 냉방 시스템은 [그림 11]과 같다.
- 실증구역인 재배지 3에 적용하는 냉방 패키지 설비는 [그림 12]와 같으며, 건축과 설비적 기술을 통합하여 계획하였다. 현재 온실의 현황과 농장주의 요구사항을 바탕으로 기술을 조합하였다.
- 냉방 패키지 기술 중에서 건축적 기술은 자연환기, 2단 차광 스크린, 하절기 냉기의 외부 유출을 최소화할 수 있는 수평 비닐 차단막으로 크게 분류하였다. 설비적 기술은 히트펌프, 축열조, 팬코일유닛으로 구성하여 적합한 기술을 검토하였다.



[그림 10] 실증구역 계획



[그림 11] 대조구역 냉방 시스템 개념도



[그림 12] 실증구역 냉방 패키지 개념도

4) 냉방 패키지 기술 검토 및 선정

가. 차광 스크린

- 차광 스크린은 PE필름, PO필름, 직조필름, 유리 등의 피복과 함께 태양광을 반사, 투과, 흡수하여 온실 내부의 온도 상승을 억제한다. 차광의 방법은 설치위치에 따라 외부 차광과 내부 차광으로 분류할 수 있으며, 온실의 피복재에 차광 효과가 있는 액체 형태의 차광제를 살포하는 방법도 적용되고 있다.
- 차광은 약 2~3℃ 온도 상승을 억제하는 효과가 있으며, 내부 차광 스크린에 비해 외부 차광 스크린이 온도 상승 억제효과가 큰 것으로 보고되었다.
- 차광 스크린의 재질은 광을 대부분 흡수하여 차단하는 부직포 종류와 광을 반사시켜 10% 미만만 투과시키는 알루미늄 필름, PE필름을 직조한 흑색 차광막 등이 있다.
- 차광 스크린은 초기투자비 외에 지속적으로 발생하는 운영비가 거의 없으며, 온도 상승 억제효과뿐만 아니라 작물이 강한 태양광을 받아 표면이 타는 일소과 발생을 저감할 수 있어 냉방 패키지 기술 중 건축적 냉방기술로 분류하여 적용하였다.
- 냉방 패키지 기술이 적용되는 실증 온실은 이미 내부에 흑색 차광 스크린(2단)이 설치되어 있으며, 외부 차광 스크린을 추가적으로 설치하면 천창의 사용 제한, 초기투자비 증가 등의 어려움이 있어 현장의 여건을 고려하여 기존에 온실 내부에 설치된 흑색 차광 스크린을 보수하여 적용하였다. 그러나 타 온실에 냉방 패키지 기술을 적용할 때는 현장 여건에 맞게 자유롭게 구성 가능하다.

[표 24] 차광 스크린 비교 검토

구분	흑색 차광 스크린	알루미늄 차광 스크린	차광제 도포
개요			
설치 위치	온실 내부, 외부 설치	온실 내부, 외부 설치	온실 외부(피복재) 도포
특성	<ul style="list-style-type: none"> - 일사 축열(온도 억제 효과 낮음) - 지온과 작물체 온도, 일소과 발생 저감 - 초기투자비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> - 태양광을 반사하여 차광과 열 차단 효과 높음 - 동절기는 보온커튼으로 활용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 차광제의 희석 정도에 따라 차광율을 조절할 수 있음 - 빗물과 바람에 의해 제거되어 주기적인 도포 필요

나. 환기

- 환기는 실내온도를 작물의 적정 생육온도로 낮추는 동시에 실내의 이산화탄소 (CO₂) 농도 저하를 막고, 실내의 습도조절, 작물 균락과 작물의 가스교환 촉진 등의 기능을 한다.
- 측창과 천창의 개폐를 통한 자연환기와 송풍기를 이용한 강제환기로 분류된다. 환기를 통해 온실 내부의 온도를 낮추기 위해서는 시간당 45~60회 환기가 필요하다.
- 자연환기의 경우 매시간 일정량의 환기량을 확보할 수 없으며, 특히 대규모 온실의 경우에는 온실 전체에 균일하게 기류를 순환시키는게 어려워 온도를 낮추는데 한계가 있다.
- 강제환기의 경우 필요한 환기량을 확보할 수 있지만 환기량이 커서 설치가 제한되며(급기 및 배기구, 송풍기 설치 위치 확보), 토출되는 기류의 속도가 빨라 작물 생육에 악영향을 줄 수 있어 적용하는데 어려움이 있다.
- 대부분의 온실에서는 자연환기 또는 강제환기 방식으로 환기를 하고 있지만, 작물의 적정 생육온도까지 온도를 하강시키는 것은 한계가 있다.
- 실증 온실에서는 온실의 온도 하강을 위한 적극적인 냉방을 추가적으로 구성하였기 때문에 주간에는 온도 하강을 위한 환기는 불필요하지만, 작물의 생육에 필요한 이산화탄소 공급과 습도조절, 야간의 온도 하강을 위해 자연환기(천창 이용)를 적용하였다.



(a) 천창



(b) 천창 개폐장치

[그림 13] 자연환기 천창 예시

다. 증발냉각 시스템

- 증발냉각이란 물이 증발하면서 필요한 잠열만큼 공기를 냉각시켜 온도를 하강하는 방식으로, 패드 시스템과 포그 시스템이 대표적이다.
- 패드 시스템은 강제환기 팬이 필요해서 팬 앤 패드 시스템이라고 부르며 팬과 패드의 거리가 10m 이상일 경우 실내기온의 편차가 큰 단점이 있고, 패드의 주

기적인 교체와 곰팡이 번식 등의 문제와 온실 벽체에 패드를 설치하기 때문에 설치에 제한이 있다.

- 포그 시스템은 환기팬이 없는 자연환기 온실에서도 사용이 가능하고 포그 노즐을 실내에 고르게 배치하면 균일한 온도분포를 실현할 수 있어 보급이 늘어나고 있으나, 과습으로 인한 작물의 생육불량, 곰팡이 발생 등의 문제가 발생할 수 있고 노즐의 막힘 현상이 빈번하게 발생한다.
- 해외 사례를 보면 패드 시스템은 약 3~12℃, 포그 시스템은 3~9℃ 온도 하강 효과가 있는 것으로 보고되었다. 증발냉각 시스템은 건조한 지역에 효과가 큰 방법이나, 하절기에 고온다습한 우리나라에서는 효과가 상대적으로 낮다. 또한 물이 수증기로 상태변화 시 온도가 하강하며 상대습도는 상승하기 때문에 환기를 하여 온실의 상대습도가 100%에 도달하지 않게 유지하는 것이 필요하다.
- 본 연구에서 개발 및 실증하는 냉방 패키지 기술은 하절기 확실한 온도 하강 효과, 경제성 확보, 신축 또는 기존 온실의 적용 가능성, 운영자의 제어 편의성 등을 기본으로 한다. 증발냉각 시스템은 신축 또는 기존 온실에 적용이 용이하고 초기투자비 측면에서 경제성은 확보할 수 있으나, 온도 하강 효과의 한계가 뚜렷하고 과습 방지를 위한 관리가 어려우며 작물 생육 저하, 질병 발생 등의 위험이 있다. 이에 추가적인 증발냉각 시스템의 적용이나 변경은 고려하지 않고 기존의 관수설비를 최대한 활용하는 것으로 계획하였다.



(a) 팬 앤 패드 시스템



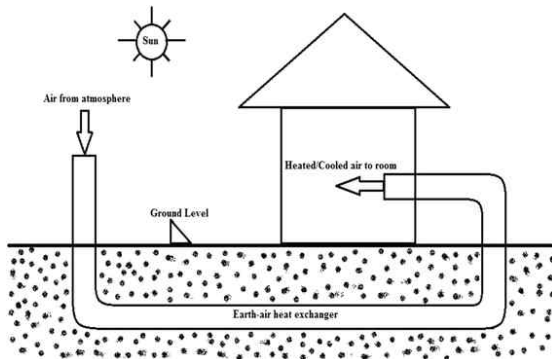
(b) 포그 시스템

[그림 14] 증발냉각 시스템 예시

라. 쿨튜브 시스템 (Cool Tube)

- 쿨튜브는 외기를 지중에 유입하여 열교환시켜 온실로 공급하는 방식으로, 여름에는 온도 하강, 겨울에는 온도 상승을 기대할 수 있다.
- 해외 사례를 보면 하절기 5~6℃ 온도 하강 효과가 있는 것으로 보고되었다.

- 신재생에너지인 지열을 활용하였으나 온도 하강 효과에 한계가 있어 냉방 패키지 기술에서 제외하였다.



(a) 개념도



(b) 적용 예시

[그림 15] 쿨튜브 시스템 예시

마. 열원시스템

- 냉방 패키지 기술 중 적극적 냉방을 위해 열원을 공급해 주는 열원시스템의 적용성에 대하여 검토하였다. 온실에서 냉방을 하고 있는 농가는 전체 농가의 26%이며 대부분 냉난방을 같이 할 수 있는 히트펌프를 적용하는 것으로 보고되었다.
- 히트펌프는 저온열원에서 고온열원을 얻기 위한 장치로 냉매의 팽창/증발/압축/응축 사이클에 의해 저온 열원측에서 고온 열원측으로 열을 수송하며, 저온 열원측(증발기)은 냉방에 이용하고 고온 열원측(응축기)은 난방에 이용할 수 있다.
- 공기와 물(지하수, 강, 호수 등의 지표수), 지열 등 사용하는 열원에 따라 공기열/수열원/지열 히트펌프와 냉매를 이용한 전기구동형 히트펌프(EHP)로 구분할 수 있다.
- 공기열/수열원/지열원 히트펌프는 온실뿐만 아니라 일반적인 건물의 냉난방에 적용되어 성능이 검증된 시스템이며, 냉난방을 하나의 장비로 할 수 있고 축열조와 연계하여 설비용량을 줄일 수 있으며 동력원이 전기이기 때문에 농가에 적용되는 값싼 전력요금으로 이용할 수 있는 장점이 있다.
- 특히 공기열 히트펌프는 설치에 대한 제약이 없어, 본 연구에서 개발 및 실증하는 냉방 패키지 기술에서 추구하는 확실한 온도 하강 효과, 경제성 확보, 신축 또는 기존 온실의 적용 가능성, 운영자의 제어 편의성 등의 기본요건을 만족할 수 있다고 판단되어 냉방 패키지 기술의 열원시스템으로 적용하였다.

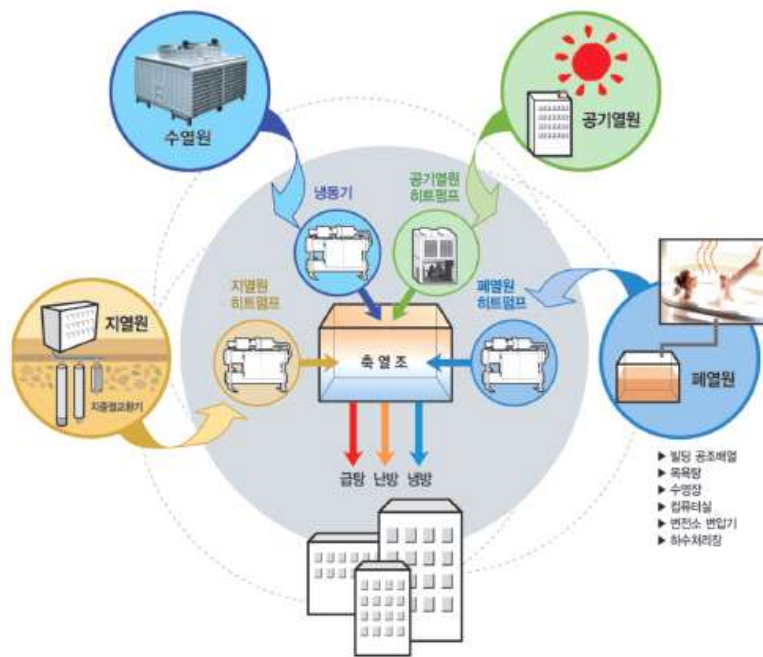
[표 25] 냉방 패키지 열원시스템 비교

구분	공기열 히트펌프 (공기-물)	수열원 히트펌프 (물-물)	지열원 히트펌프 (물-물)	전기구동형 히트펌프 (공기-냉매)
개요				
열원	외기를 열원으로 사용	지하수, 해수, 하천, 호수 등의 물을 열원으로 사용	지중열을 열원으로 사용	외기를 열원으로 사용
구성	공기열 히트펌프, 순환펌프	수열원 히트펌프, 순환펌프, 열교환기	지열 히트펌프, 순환펌프, 열교환기, 지열천공	히트펌프 (EHP)
특성	<ul style="list-style-type: none"> - 설치가 간단함 - 설치지역의 외기온도 변화에 따라 성능 저하가 있을 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 수원의 연중 온도 변화에 영향을 받음 - 열교환기에 물때나 부식 발생이 될 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 신재생에너지인 지열을 이용하여 친환경적 - 야간 축열 시 지중열 지열 천공과 열교환기 등의 설치로 상대적으로 초기투자비가 높음 	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템이 간단함 - 냉수 또는 온수 공급을 위한 펌프가 필요 없음 - 히트펌프의 설비용량 증대 및 설치대수 증대 (축열조와 연계 불가)
설치 제약	설치에 대한 제약이 없음	하천, 호수에 인접하거나 지하수 사용이 가능한 장소에 설치 가능	지중열 교환을 위한 지열천공 필요	설치에 대한 제약이 없음
축열조 연계	가능	가능	불리	불가
초기투자비	100%	144%	107%	312% (배관 공사비 포함)

* 초기투자비는 실증구역을 기준으로 각 제품의 단가만을 비교하였으며, 제조업체와 제품용량에 따라 초기투자비 차이가 있을 수 있음

바. 수축열 시스템(축열조)

- 수축열 시스템은 심야시간대 냉수를 축열조에 저장하였다가 주간 냉방에 사용하는 시스템으로, 주간 피크 전력부하를 분산시키고 히트펌프의 전력 사용량을 절감할 수 있다.
- 온실의 냉방부하는 난방부하에 비하여 훨씬 크기 때문에 히트펌프의 용량은 최대난방부하를 이용하여 선정하였고, 냉방 시에는 냉방부하 변동에 따라 히트펌프와 축열조를 병행하여 사용할 수 있도록 계획하였다.
- 냉방 패키지 기술에 수축열 시스템을 적용함으로써 열원시스템의 설치용량을 최소화하고, 에너지 절약 운전 (야간 운전으로 COP 상승)이 가능하도록 구성하였다.



[그림 16] 축열시스템 개요도 예시

사. 공조시스템

- 온실의 냉방부하를 처리할 수 있는 열원을 공급하는 것과 함께 열린 형태의 대공간인 온실 전체의 실내온도를 균일하게 조성하기 위한 공조시스템도 중요하다. 이에 현재 온실에서 많이 사용되고 있는 시설재배용 팬코일유닛과 공기조화기+비닐덕트 방식, 본 과제에서 개발한 상부토출형 팬코일유닛의 공조 성능을 비교하였다.
- 실증 온실을 대상으로 각 공조시스템의 성능을 시뮬레이션 해석을 통해 확인하였다. 시뮬레이션 해석 결과를 바탕으로, 내부 기류가 원활하게 흐르고 작물 높이에서 낮은 유속이 형성되는 상부토출형 팬코일유닛을 냉방 패키지 기술로 선정하였다.

[표 26] 냉방 패키지 공조시스템 비교

구분	상부토출형 팬코일유닛	시설재배용 팬코일유닛	공기조화기 + 덕트
개요 및 시뮬레이션 결과			
			
특성	<ul style="list-style-type: none"> - 4방향으로 냉기를 토출하여 온실 내부의 온도와 기류를 고르게 유지 - 토출되는 기류의 속도를 낮게 유지할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 온실에 많이 적용되는 방식 토출 방향에 따라 작물에 직접 냉기가 닿을 수 있음 - 설치 높이가 높을 경우 겨울철 난방 성능이 떨어짐 	<ul style="list-style-type: none"> - 온실 전체에 덕트를 고르게 배치하여 온도와 기류를 고르게 유지할 수 있음
설치 제약	설치에 대한 제약이 없음	설치에 대한 제약이 없음	작물 재배 방식에 따라 덕트 배치 필요

5) 냉방 패키지 기술 개발

- [표 27]은 최적 냉방을 위해 구성한 냉방 패키지 구성과 적용방안을 나타낸다.
- 차후 타 온실에 냉방 패키지 기술을 적용할 때, 차광 스크린과 환기 방식은 온실의 규모와 재배작물의 종류에 적합하게 변경하여 구성할 필요가 있다.

[표 27] 냉방 패키지 기술 구성

냉방 패키지 기술			내용	
건축적 기술	차광 스크린	흑색 차광 스크린	효과	- 온실의 온도 상승을 1차적으로 제어
			적용 방안	- 실내온도 상승과 조도에 따라 개폐를 조정 - 차광 스크린은 현장여건을 고려하여 방식 결정
	환기	자연환기	효과	- 주간에는 작물 생육에 필요한 이산화탄소 공급과 습도 조절 - 야간에 온실의 온도 하강 (냉방)
			적용 방안	- 측창/천창을 통한 자연환기 - 온실 규모와 작물을 고려하여 강제환기 검토
	기타	비닐 차단막	효과	- 냉기 유출을 최소화하여 냉방 효과를 극대화
			적용 방안	- 차광 스크린과 같이 수평형으로 설치하며, - 실내온도 상승과 조도에 따라 개폐를 조정
설비적 기술	열원 시스템	공기열 히트펌프	효과	- 온실 실내온도를 작물 생육 적정온도로 조정
			적용 방안	- 설비용량은 난방부하에 맞춰 선정 - COP가 우수한 설비 설치
		축열조	효과	- 히트펌프의 설비용량을 최소화 할 수 있음
			적용 방안	- 주간 냉방부하의 50~60%를 감당할 수 있도록 용량 선정 - 온도 성층화를 위한 축열조 내 디퓨저 필요
	공조 시스템	상부토출형 팬코일유닛	효과	- 온실 실내온도와 기류의 순환을 균일하게 유지
			적용 방안	- 온실의 규모와 주간 냉방부하를 고려하여 적정 대수를 선정하고 배치해야함 - 필요 시 시뮬레이션을 통해 성능 확인

2-5. 유리온실 냉방 패키지 실증 계획

1) 실증 온실 냉방부하 계산

- 실증 온실에 필요한 열원 용량 산출을 위하여 EnergyPlus와 RTS 프로그램, 수계산(ASHRAE Handbook HVAC Applications Chapter 24, 농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 블로그)을 활용하여 온실의 냉방부하를 계산하고 비교하였다.
- EnergyPlus 프로그램은 미국 에너지성에서 개발된 프로그램으로 건축 및 기계설비의 상세 모델링 및 제어 구현이 가능하여 국내외 관련 분야 연구에서 많이 활용되고 있다. RTS 프로그램은 대한설비공학회의 ‘공조부하계산 특별위원회’에서 작성한 국내 표준화 냉방부하 계산 방법으로 범용적으로 사용되고 있다.

가. EnergyPlus 시뮬레이션을 이용한 냉방부하 계산 결과

- 실증단지의 유리온실은 1998년도 준공된 건물로 설계도서 확보가 어려워, 시뮬레이션 수행을 위한 입력값 확인이 어렵다. 이에 유리온실과 관련된 논문을 참고하여 적용된 부재와 가장 유사한 물성치 값을 입력하였다. 시뮬레이션에 적용된 물성치 값은 [표 28]과 같다.
- 냉방부하 계산에 필요한 기상데이터는 경북 구미의 2017년도 기상청 건구온도, 습구온도, 상대습도, 일사량, 해면기압 등의 데이터를 활용하였다.

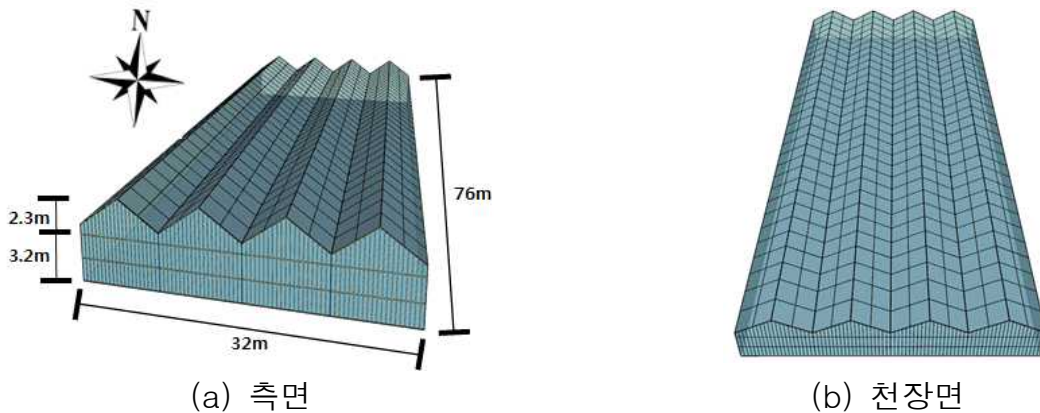
[표 28] 시뮬레이션 입력 물성치

자재	구분	값	비고
창 프레임	열전도율 [W/m·K]	2.1	
	밀도 [kg/m ³]	2,700	
	비열 [J/kg·K]	880	
유리	열관류율 [W/m ² ·K]	1.05	
	SHGC	0.6	
실내온도		30℃	
차광 [%]		35 / 35	2단 차광 스크린
침입 외기량 [m ³ /h]		4,864	수평 비닐 차단막 높이 기준 환기 1회

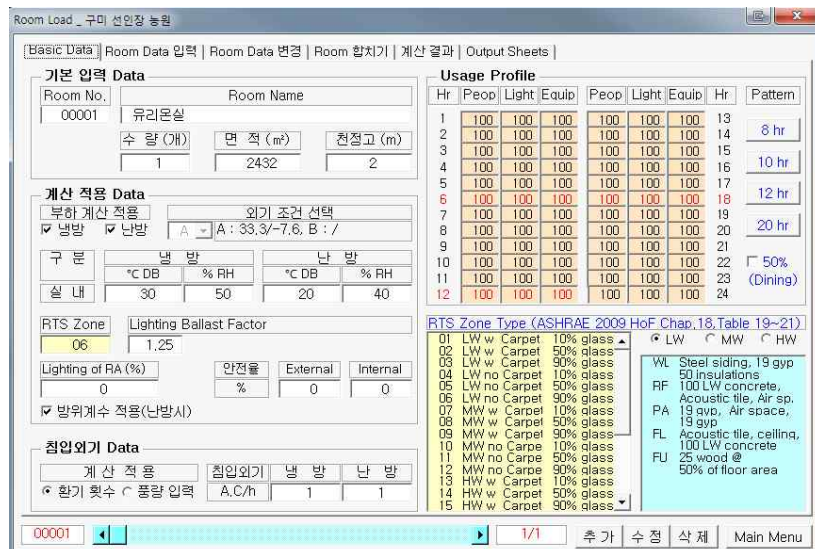
- [그림 17]과 같이 바닥면적 2,432m²(76m X 32m), 측고 3.2m의 실증 온실을 3D 모델링한 후 EnergyPlus V8.9를 이용하여 냉방부하를 계산하였다. 차광률 35%의 차광 스크린을 2단으로 구성하였으며, 차광 스크린 아래 냉기 유출을 최소화하는 수평 비닐 차단막을 구성하였다.
- 시뮬레이션 결과 실증 온실의 냉방부하는 134USRt, 일일 누적 냉방부하는 1,082USRt로 계산되었다.

나. RTS 프로그램을 이용한 냉방부하 재계산

- RTS 프로그램에 입력한 물성치는 EnergyPlus와 동일하게 적용하였다. 외기온도는 건물 부하계산에 적용되고 있는 건축물의 에너지절약설계기준의 설계용 외기온습도 조건을 적용하였다. (구미와 인접한 대구의 외기 온습도 조건 입력)
- RTS 프로그램 계산 결과 냉방부하는 141.3USRt, 일일 누적 냉방부하는 1,537.5USRt로 계산되었다.



[그림 17] 실증 온실 3D 모델링



[그림 18] RTS 입력화면

다. 수계산을 이용한 실증단지 온실의 냉방부하 산출

- 농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 블로그의 주간냉방부하 산출방법을 참고하여 계산하였으며, 산출방법은 아래와 같다.

$$Q = A_g \times [(K_w \times A_w / A_g + 3.1) \times (T_o - T_i) + R_s \times (1 - \eta) - 44.8]$$

* Q : 냉방부하 (kcal/h)

A_g : 온실바닥면적 (m²)

A_w : 온실표면적 (m²)

K_w : 열전달률 (1.9kcal/m²h°C, PE필름+AL증착필름의 2중커튼으로 가정)

R_s : 단위면적당 1시간동안의 최대일사량 (750kcal/m²·°C)

T_o : 주간의 최고외기온도 (°C)

T_i : 주간의 실내설정온도 (°C)

η : 차광률 (%)

- 바닥면적 2,432m², 유리의 표면적은 2,888m² (바닥에서 1m만 공조), 주간 최고 외기온도는 건축물의 에너지절약설계기준의 설계용 외기 온습도 조건 33.3°C(대구), 실내온도는 선인장 최적 생육온도 30°C를 기준으로 계산하였다.
- 실증 온실의 여름철 주간냉방부하는 차광률 30%일 때 약 397USRt, 차광률이 50%일 때는 약 277USRt로 계산되었다.
- ASHRAE Handbook HVAC Applications Chapter 24에서 제시하는 방법은 아래와 같음

$$q_t = q_c + q_i$$

$$q_c = UA(t_i - t_o)$$

$$q_i = 0.5VN(t_i - t_o)$$

* U : Overall heat loss coefficient, W/m²·K

A : exposed surface area, m²

t_i : inside temperature, °C

t_o : outside temperature, °C

V : greenhouse internal volume, m³

N : number of air exchanges per hour

- 열손실계수(U)는 천장 6.4W/m²·K(single-glazing), 벽체 6.8W/m²·K(single film), 환기횟수(V)는 시간당 3회를 기준으로 계산하였다. 실외온도는 위의 산출과 동일하게 33.3℃, 실내온도는 30℃를 기준으로 계산했을 때, 실증 온실의 냉방부하는 약 31USRt로 산출되었다.

라. 실증 온실 냉방부하 산정

- 수계산은 개략적인 냉방부하 산출방법으로 기후 및 지역 특성 등이 반영되지 않아, 시뮬레이션을 통해 산출된 냉방부하보다 상대적으로 작거나 크게 산출되어 비교 대상에서 제외하였다.
- EnergyPlus를 이용한 실증 온실의 냉방부하는 134USRt, RTS 프로그램은 141.3USRt로, RTS 프로그램을 이용한 냉방부하가 약 5% 높게 산출되었다. 피크 냉방부하는 약 5%로 차이가 크지 않았지만, 일일 누적 냉방부하는 RTS 프로그램이 약 42% 높게 나타났다.
- 실증 온실의 냉방 패키지 용량을 결정하기 위한 냉방부하는 최종적으로 RTS 프로그램으로 계산한 값을 적용하였다. 이는 건물의 기계설비 설계에 냉난방 부하를 계산하는데 많이 사용되고 있는 RTS 프로그램을 이용하여, 차후 국내 스마트 팜 냉난방 설비 설계에 적용이 용이하게 하기 위함이다.

[표 29] 실증 온실 냉방부하 비교

구분	RTS	EnergyPlus
일 누적 냉방부하 [USRt]	1,537.5	1,082.0
피크 냉방부하 [USRt]	141.3	134.0
단위냉방부하 [W/m ²]	204.3	193.8

마. 실증 온실 냉난방부하 분석

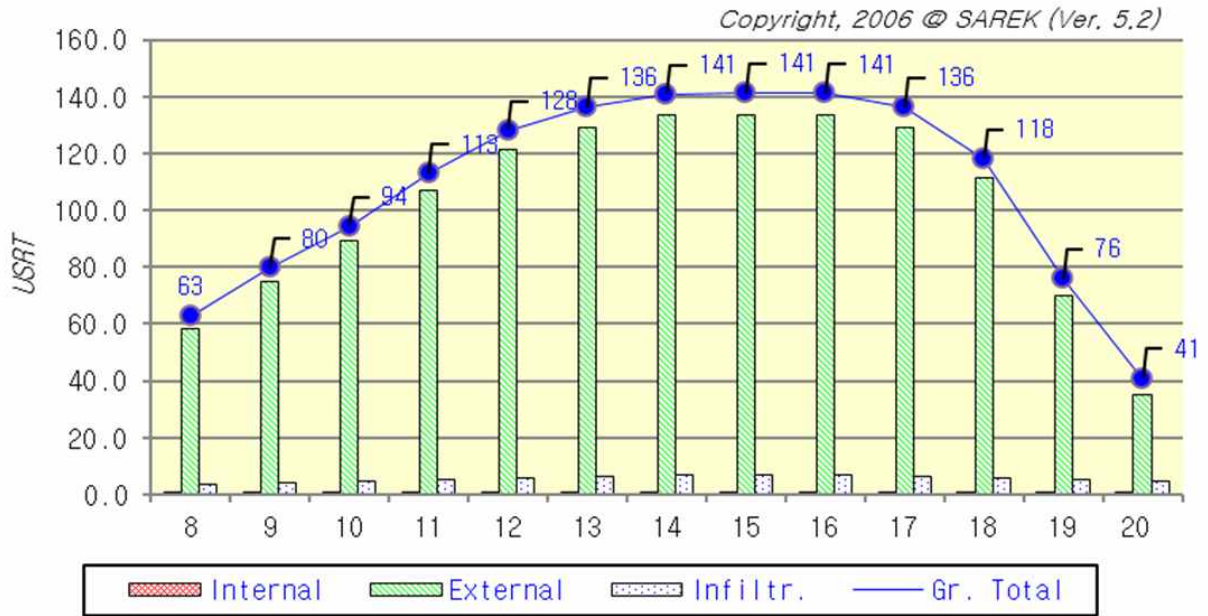
- 냉방부하는 일반적으로 조명, 인체발열 등 실내에서 발생하는 내부부하(Internal Load), 외피에 의한 열전도와 일사 취득의 외부부하(External Load), 환기 또는 틈새바람에 의한 외기부하(Infiltration Load)로 구분된다.
- 온실은 외피가 유리 또는 비닐로 구성되어 태양광을 투과시키기 때문에 일반적인 건물과 비교해 조명을 설치하지 않거나 최소로 설치하여 조명밀도가 현저히 낮고, 바닥면적 대비 재실자(작업인원) 수가 적어 내부부하의 발생이 적은 반면에 외피에 의한 열전도와 일사 취득이 높아 [그림 19]와 같이 외부부하의 비중이 높게 나타났다.

- 전체 냉방부하 496,725W 중 외부부하는 469,830W로 약 94.59%를 차지하고 있으며, 내부부하는 2,860W로 약 0.58%, 외기부하는 24,035W로 약 4.84%를 차지하는 것으로 분석되었다. 또한 현열부하로 분류되는 외부부하 비중이 높아 현열비도 높게 나타났다. (현열비 : 0.96)
- 외부부하와 외기부하로 구성되는 난방부하는 202,489W로 계산되었다. 전체 난방부하 202,489W 중 외부부하는 157,516W로 약 77.79%를 차지하고 있으며, 외기부하는 44,973W로 약 22.21%를 차지하는 것으로 분석되었다.

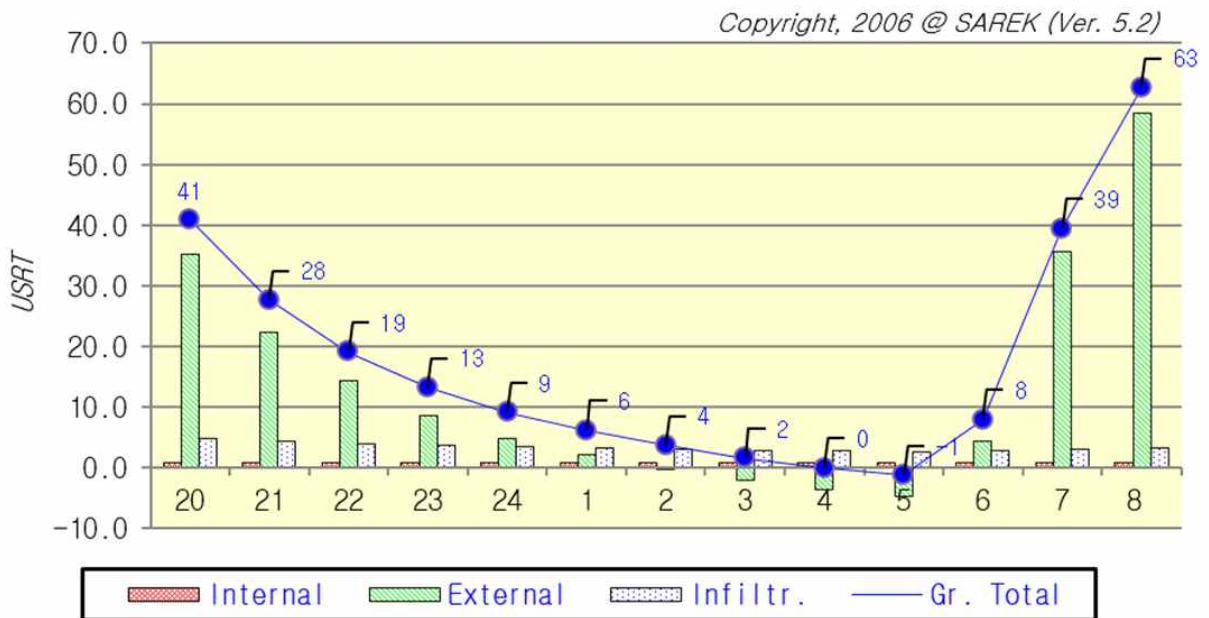
BUILDING BLOCK PEAK LOAD										Peak Time : 7 Mon. 21st, 15:00
Items		Cooling Load (㉔)					Heating Load			
		m ² /h	현열부하	잠열부하	전열부하	%	㉔	%	m ² /h	
External Load	Glass	3,240 m ²	465,631		465,631	93.7	141,093	69.7	3,240 m ²	
	Roof	61 m ²	2,335		2,335	0.5	2,748	1.4	61 m ²	
	Wall	14 m ²	308		308	0.1	655	0.3	14 m ²	
	Partit.	346 m ²	1,556		1,556	0.3	13,020	6.4	346 m ²	
Infiltration		4,864	5,377	18,658	24,035	4.8	44,973	22.2	4,864	
Internal Load	People	10 p	767	2,093	2,860	0.6				
	Light'g	0.0 kW	0		0	0.0				
	Equip't	0.0 kW	0		0	0.0				
	RA L.	0.0 kW	0		0	0.0				
OA Load	AHU					0.0	0	0.0		
Others	SF/RF				0	0.0	0	0.0	Humid. Load	
Sub - Total					496,725	100	202,489	100		
Duplicated Load			0	0	0		0			
Grand Total					496,725		202,489			
					(141.3 USRT)					

[그림 19] 실증 온실 냉방부하 계산 결과

- [그림 20]과 [그림 21]은 시각별 냉방부하 변화를 나타낸다. 여름철 일출시간인 오전 5~6시부터 냉방부하가 증가하다 15시에 141.3USRt로 최고점에 다다르고 이후부터 감소한다. 시각별 냉방부하 중 내부부하와 외기부하는 일정하나 외피부하는 태양의 고도 변화에 따른 취득 일사량의 차이로 증가 및 감소가 나타났다.
- 일몰 후 오후 9시부터 오전 6까지는 냉방부하가 0~41USRt로 자연환기에 의한 외기냉방을 통해 적정 실내환경을 조성할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 20] 시각별 냉방부하 변화-1 (8~20시)



[그림 21] 시각별 냉방부하 변화-2 (20~8시)

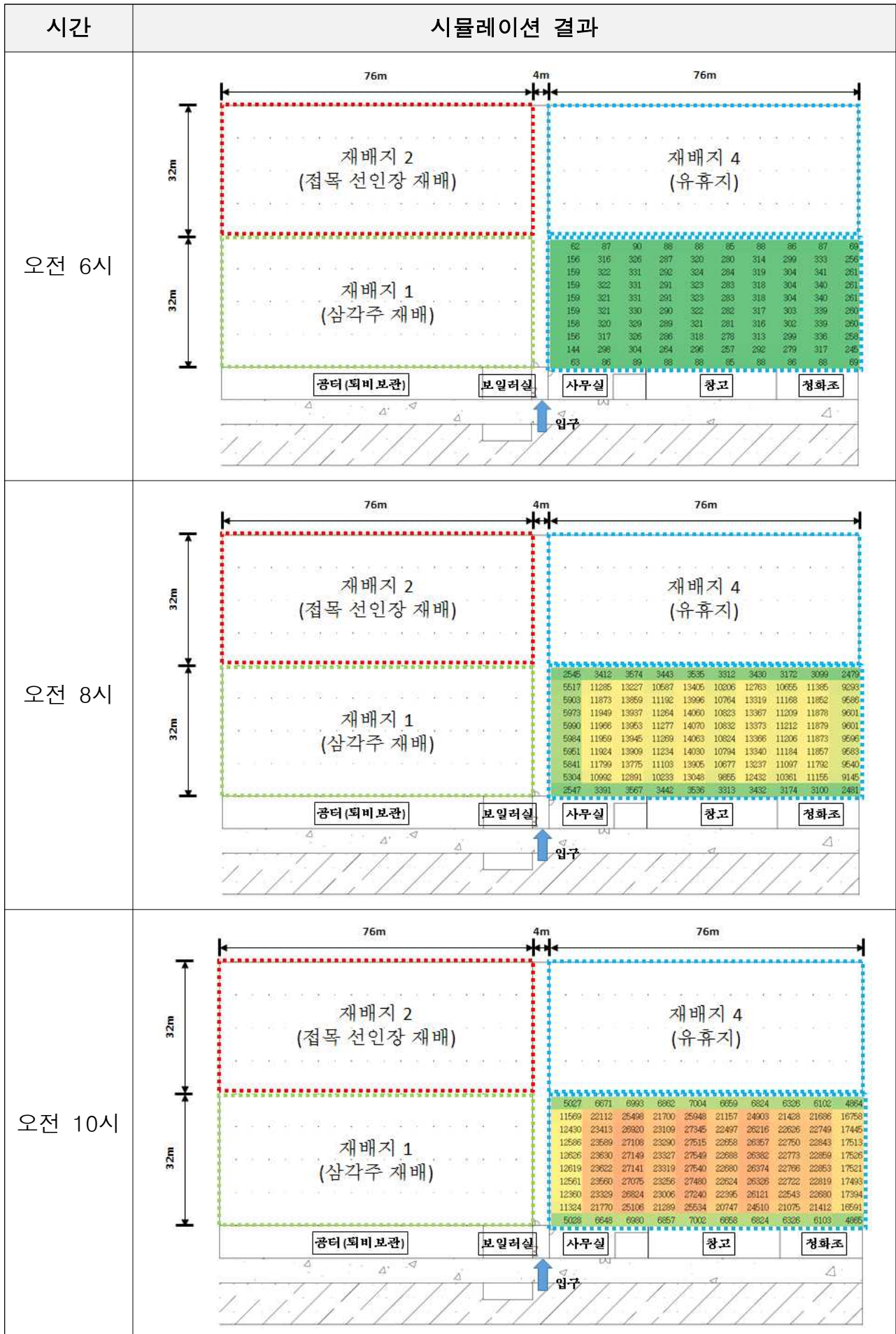
2) 실증 온실 조도 시뮬레이션

가. 조도 시뮬레이션 개요

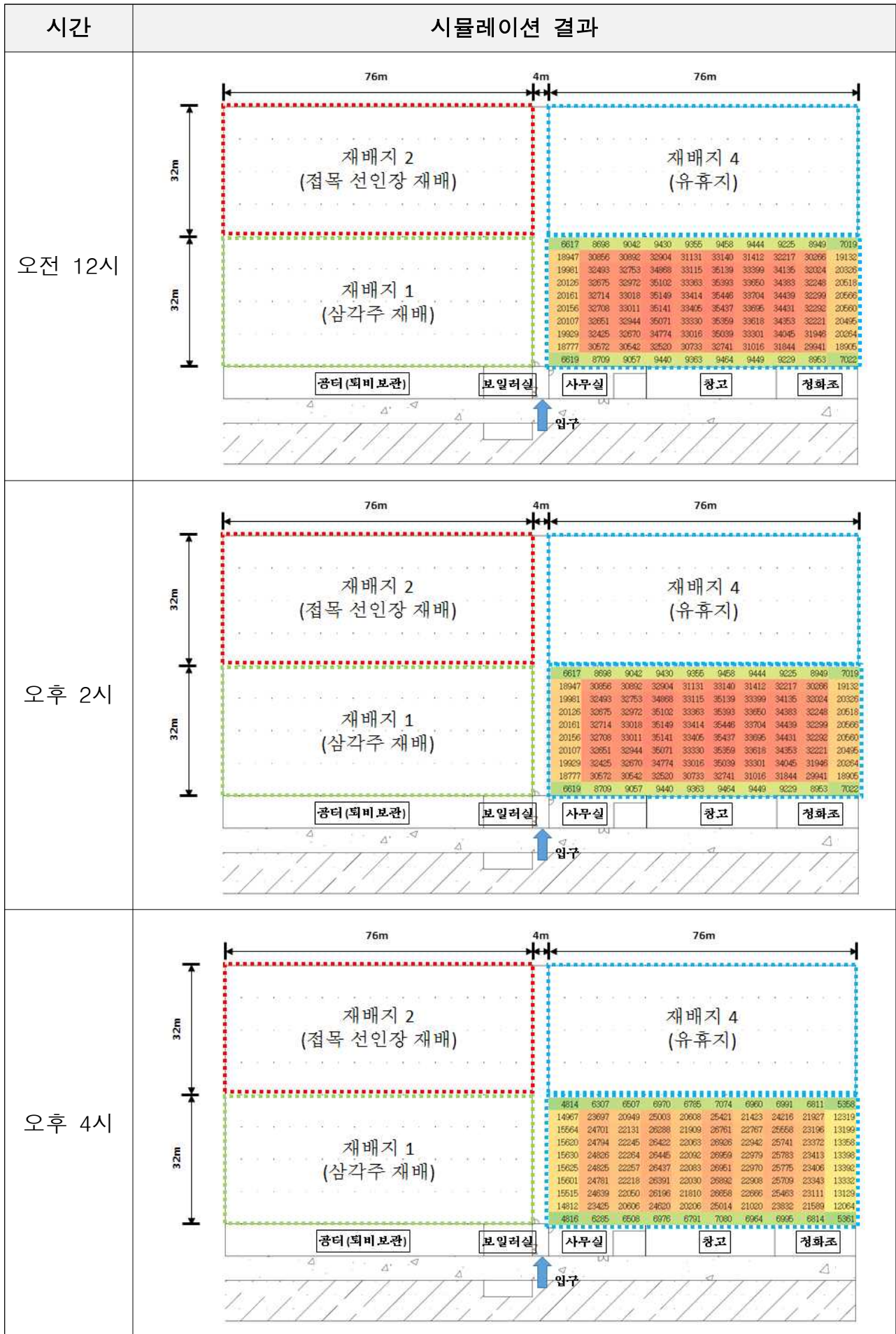
- 차광 스크린은 여름철 냉방부하를 감소할 수 있는 중요한 요소이지만 과도한 차광은 오히려 작물 생육에 악영향을 줄 수 있다. 이에 조도 시뮬레이션을 통해 작물 생육에 적절한 조도를 확보할 수 있는지 확인하였다.
- 조도 시뮬레이션은 EnergyPlus를 이용하였고, 실증 온실 바닥면적 2,432m²에 균일한 격자형식으로 측정점을 배치하고 30cm 높이에서 전체적인 조도를 파악하였다. (접목선인장의 높이를 고려함)

나. 조도 시뮬레이션 결과

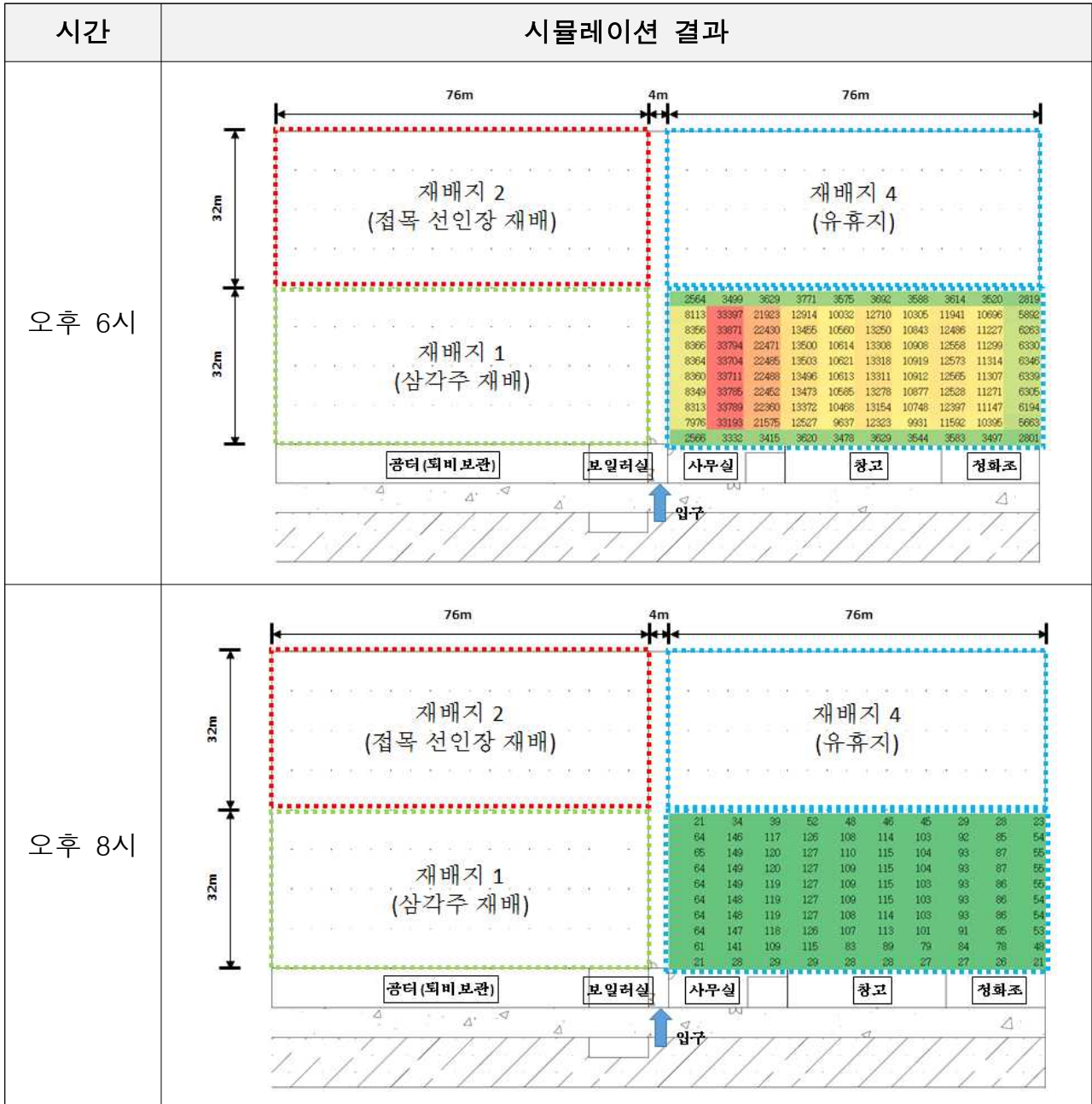
- 오전 6시의 조도는 평균 248lux로 해석되었다.
- 오전 8시의 조도는 평균 9,601lux로, 외벽에 가까운 바닥과 대비해 중앙부의 조도가 약 2.33배 높은 것으로 해석되었다.
- 오전 10시의 조도는 평균 19,025lux, 중앙부는 평균 24,055lux로 외벽에 가까운 바닥과 대비해 중앙부의 조도가 약 2.39배 높은 것으로 해석되었다.
- 오전 12시의 조도는 평균 26,296lux, 중앙부는 평균 33,294lux로 외벽에 가까운 바닥과 대비해 중앙부의 조도가 약 2.4배 높은 것으로 해석되었다. 오전 12시에는 일부를 제외하고 접목 선인장 재배에 요구되는 최소 3만 lux 이상을 확보하는 것으로 분석되었다.
- 오후 2시의 조도는 평균 26,110lux, 중앙부는 평균 33,086lux로 외벽에 가까운 바닥과 대비해 중앙부의 조도가 약 2.41배 높은 것으로 해석되었고, 일부를 제외하고 요구 조도를 충족하는 것으로 분석되었다.
- 오후 4시의 조도는 평균 18,844lux, 중앙부는 평균 23,870lux로 외벽에 가까운 바닥과 대비해 중앙부의 조도가 약 2.41배 높은 것으로 해석되었다.
- 오후 6시의 조도는 평균 11,975lux, 중앙부는 평균 15,847lux로 외벽에 가까운 바닥과 대비해 중앙부의 조도가 약 3.11배 높은 것으로 해석되었다.
- 오후 8시의 조도는 평균 86lux, 중앙부는 평균 110lux로 외벽에 가까운 바닥과 대비해 중앙부의 조도가 약 2.54배 높은 것으로 해석되었다.



[그림 22] 조도 시뮬레이션 결과 (오전 6시 ~ 10시)



[그림 23] 조도 시뮬레이션 결과 (오전 12시 ~ 오후 4시)



[그림 24] 조도 시뮬레이션 결과 (오후 6시 ~ 오후 8시)

다. 조도 시뮬레이션 결과 분석

- 접목 선인장은 정오 기준으로 4~5만 lux를 유지하는 것이 좋으나 국내 농가 대부분이 여름철 실내온도를 낮추기 위해 차광 스크린을 설치하여 대부분 1만lux이하로 유지되는 것으로 보고되었다.
- 조도 시뮬레이션 결과 2단 차광 스크린을 적용했을 때, 정오 기준 전체 평균 26,296lux로 나타나 4~5만 lux에는 부족한 것으로 분석되었다. 그러나 정오 기준으로 실증 온실 중앙부의 평균 조도는 33,294lux로 최소 3만 lux이상의 조도를 확보할 수 있는 것으로 나타나 접목 선인장의 생육과 품질에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 또한 2019년까지 2단 차광 스크린을 사용하였어도 광량의 부

족으로 인한 품질 저하 등의 문제는 없는 것으로 확인하였다.

- 실증 온실에 설치된 차광 스크린은 2단으로 구성되었으며, 개폐를 자유롭게 할 수 있어 실내온도 변화에 따라 차광 스크린 개폐를 조절하여 정오에 광량을 확보해야할 것으로 판단된다.
- 적정 광량의 확인은 설치된 센서로 확인이 가능하도록 계획하였고, 농장주에게 차광 스크린 개폐와 외벽과 인접한 곳에서의 작물 재배를 최소화할 수 있도록 요청하여 재배 작물의 품질을 확보할 수 있도록 계획하였다.

[표 30] 조도 분포

구 분	전체 평균 [lux]	중앙부 평균 [lux]	외벽부 평균 [lux]
6시	248	309	138
7시	4,155	5,178	2,336
8시	9,601	12,089	5,178
9시	14,577	18,417	7,750
10시	19,025	24,055	10,082
11시	23,422	29,637	12,373
12시	26,296	33,294	13,855
13시	27,178	34,431	14,286
14시	26,110	33,086	13,708
15시	23,128	29,303	12,151
16시	18,844	23,870	9,908
17시	16,348	21,227	7,674
18시	11,975	15,847	5,019
19시	4,909	6,370	2,311
20시	86	110	44

3) 냉방 패키지 장비 선정

가. 공기열 히트펌프

- 공기열 히트펌프의 용량과 수량은 고장과 에너지 절약 운전을 고려하여 선정하였다. 여름철 냉방 시에는 4대의 히트펌프가 축열조와 함께 냉방부하에 따라 대수 제어되어 가동되며, 겨울철 난방 시에는 난방부하에 따라 부분적으로 가동하도록 계획하였다.
- 정격냉방운전 조건인 출구온도 7℃, 입구온도 12℃보다 높게 냉수를 공급하여 COP를 향상하고, 이를 통해 냉방 소비전력을 최소화하는 에너지 절약 운전이 가능하도록 계획하였다.

[표 31] 공기열 히트펌프 선정

구분		제품사양	선정 근거
용도		실증 온실 냉방	
형식		공냉식	
수량		4	고장 대비, 에너지 절약 운전
정격냉방용량		[USRt]	16.83
		[kW]	59.17
정격난방용량		[kW]	71.35
		[kcal/h]	61,361
소비전력	냉방	[kW]	22.84
	난방	[kW]	22.48
냉수	입출구 온도	[℃]	20/15
	유량	[ℓ/min]	170
온수	입출구 온도	[℃]	40/45
	유량	[ℓ/min]	205

나. 축열조

○ 축열조의 용량은 하절기 주간 냉방부하(7~20시)의 약 46.4%를 담당하도록 계획하였다. 21시부터 6시까지 공기열 히트펌프를 운전하여 축열조에 냉수를 저장하고, 7시부터 20시까지는 축열조에서는 방냉과 동시에 공기열 히트펌프를 가동하여 필요한 냉수를 공급한다. 축열조의 용량산정은 아래와 같다.

- 축열량 : 67.2USRt (히트펌프 4대 냉방용량) X 10시간 = 672.0USRt
- 단위 체적당 저장열량 : (20℃(출구온도) - 15℃(입구온도)) ÷ 3,024kcal/USRt·h
X 1,000kg/m³ X 1kcal/kg℃ = 1.65 USRt/m³
- 축열조 유효용량 : 672.0USRt (축열량) ÷ (1.65USRt/m³ (단위 체적당 저장열량) X 95% (손실율)) = 427.82m³
- * 축열조에서 손실되는 열량을 전체 5%로 선정
- 축열조 용량 : 427.82m³ ÷ 90% (유효율) = 480m³
- * 축열조 용량은 유효율 90%를 기준으로 선정

다. 상부토출형 팬코일유니트

○ 상부토출형 팬코일유니트는 하절기에 실내온도 30℃, 상대습도 50%의 온실 내부 공기를 흡입하여 코일에서 냉각 후 온도 22℃, 습도 79.48%의 공기를 토출하도록 계획하였다. 팬코일유니트에서 냉각되어 토출되는 공기의 온도를 작물의 적정 생육온도에 가깝게 유지하기 위한 토출되는 풍량과 온도, 코일용량을 선정하였다.

[표 32] 상부토출형 팬코일유니트 흡입 및 토출공기 상태점

		구분		상태점			구분		상태점
하 절 기	흡입	온도	[℃]	30.0	동 절 기	흡입	온도	[℃]	20.0
		상대습도	[%]	50.0			상대습도	[%]	-
		절대습도	[kg/kg]	0.01331			절대습도	[kg/kg]	-
		엔탈피	[kcal/kg]	15.35			엔탈피	[kcal/kg]	-
	토출	온도	[℃]	22.0		토출	온도	[℃]	22.43
		상대습도	[%]	79.48			상대습도	[%]	-
		절대습도	[kg/kg]	0.01318			절대습도	[kg/kg]	-
		엔탈피	[kcal/kg]	13.29			엔탈피	[kcal/kg]	-

[표 33] 상부토출형 팬코일유니트 선정

구분		제품사양	선정 근거
용도		실증 온실 냉방	
수량		18	온실 전체에 균일한 기류와 온도를 유지하기 위한 수량 선정
냉방용량	[W]	36,390	
난방용량	[W]	10,853	
송풍기	풍량	[m³/h]	13,355
	정압	[Pa]	102
	동력	[kW]	1.13
냉수	입출구 온도	[°C]	15/20
	유량	[ℓ/min]	105
온수	입출구 온도	[°C]	45/40
	유량	[ℓ/min]	32

라. 순환펌프

- 공기열 히트펌프에서 생산된 냉온수를 축열조에 저장 및 순환시키는 1차측 순환 펌프는 부하 변동에 따라 히트펌프의 대수 또는 부분 운전이 용이하도록 4대로 구성하였다.
- 냉난방 부하가 크지 않으면 각 4대씩 설치된 히트펌프와 순환펌프 중 일부만 가동되고, 일부는 가동되지 않게 제어하여 전기 동력 사용을 최소화할 수 있게 계획하였다.
- 공기열 히트펌프 및 축열조에서 팬코일유니트로 냉온수를 공급 및 순환시키는 2차측 순환펌프는 냉방부하 기준으로 유량을 선정하였으며, 난방에 필요한 유량은 냉방에 필요한 유량에 대비하여 약 38%로 작게 요구되기 때문에 순환펌프를 2대로 분할하여 난방 시에 배관 내 적정 유속을 확보할 수 있도록 계획하였다.

[표 34] 1차측 순환펌프 선정

구분		제품사양	선정 근거		
용도		히트펌프-축열조 냉온수 순환			
수량		4	고장 대비, 에너지 절약 운전		
유량	[ℓ/min]	250	공기열 히트펌프 온수유량 기준		
양정	[m]	11.5	배관손실	$30\text{m} \times 0.01 = 0.3 \text{ m}$	
			배관부속	배관손실의 30% = 0.1 m	
			장비 마찰손실	공기열 히트펌프	= 2.0 m
				축열조	= 5.0 m
				밸브	= 3.0 m
			소계	= 10.4 m	
			안전율	10% = 1.1 m	
합계	= 11.5 m				
동력	[kW]	1.5			

[표 35] 2차측 순환펌프 선정

구분		제품사양	선정 근거		
용도		팬코일유닛 냉온수 공급			
수량		2	고장 대비, 에너지 절약 운전		
유량	[ℓ/min]	1,000	냉방부하 기준		
양정	[m]	18.0	배관손실	$230\text{m} \times 0.01 = 2.3 \text{ m}$	
			배관부속	배관손실의 30% = 0.7 m	
			장비 마찰손실	축열조	= 3.0 m
				공조장비	= 5.0 m
				밸브	= 5.0 m
			소계	= 16.0 m	
			안전율	10% = 1.6 m	
선정	= 17.6 m				
동력	[kW]	5.5			

2-6. 유리온실 냉방 패키지 최적화

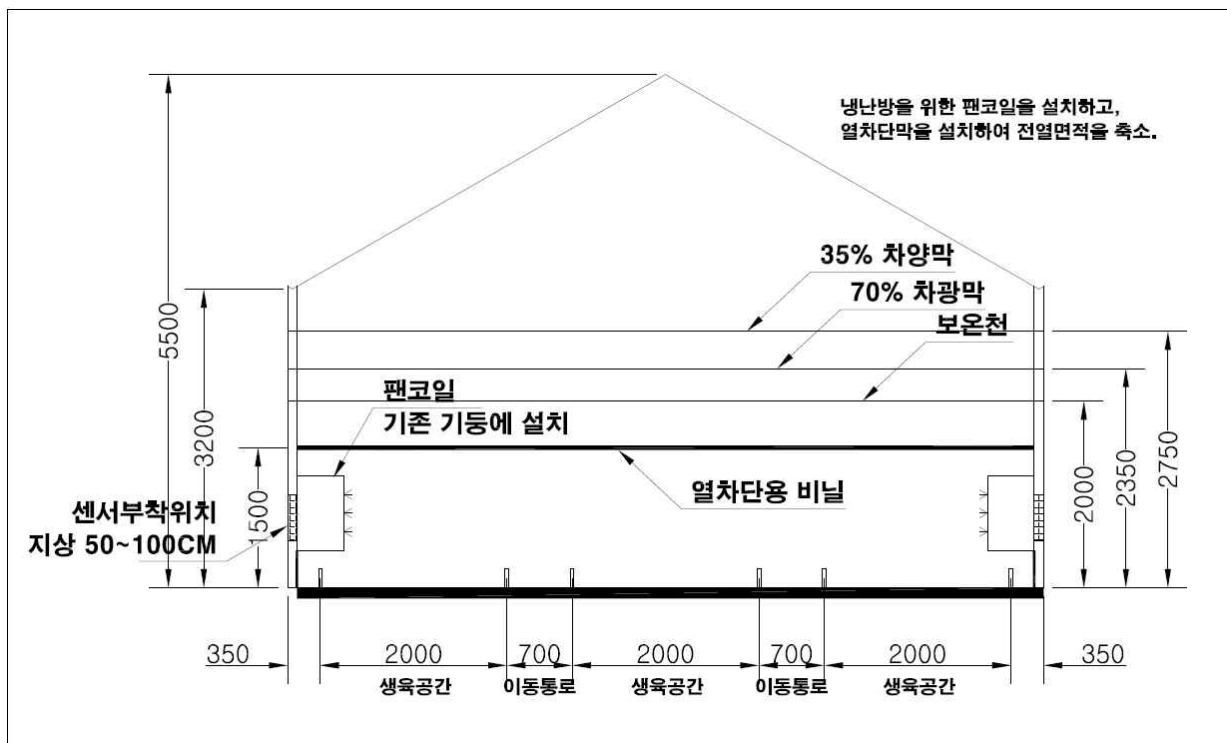
1) 개요

- 실증 온실의 재배환경과 작물 생육을 고려하여 적합한 냉방 방식을 검토하였다.
- 온실의 냉방에는 팬코일유닛나 비닐덕트를 활용한 냉방 방식이 대부분 적용되고 있다. 이러한 냉방 방식을 온실 적용성과 냉방 성능을 종합적으로 검토하여 개선할 수 있는 새로운 방식의 상부토출형 팬코일유닛를 개발하였다.

2) 대안 검토

가. 시설재배용 팬코일유닛

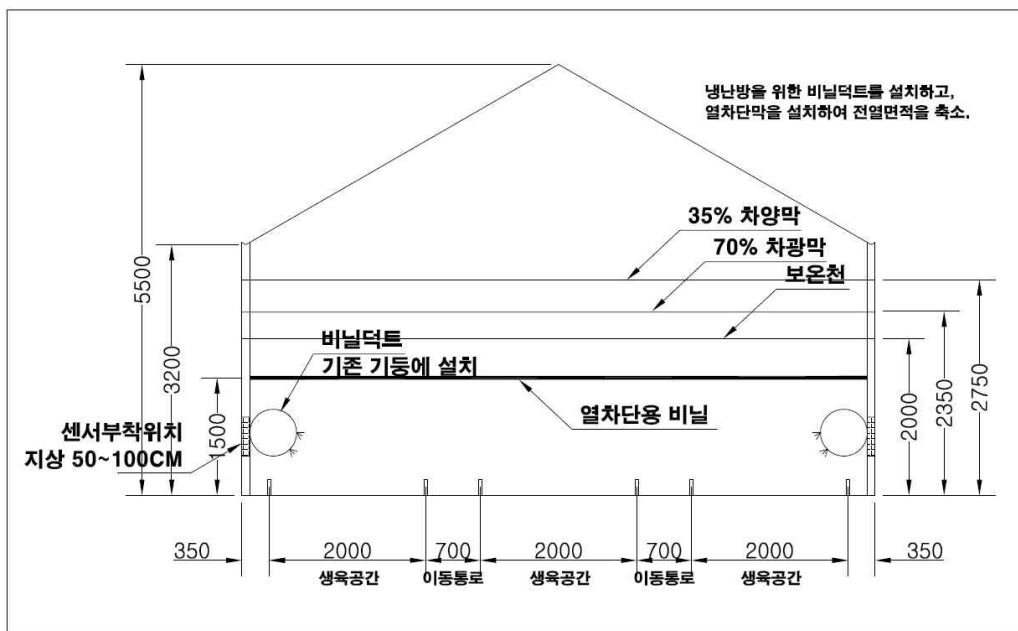
- 팬코일유닛 내의 코일에서 열교환하여 냉각 또는 가열된 공기를 급기하는 방식으로, 다수의 팬코일유닛를 배치하면 온실에 균일한 온도분포를 유지할 수 있다. 온실의 냉난방을 위한 다수의 제품이 출시된 상태이며, 설치비용이 저렴하고 비닐덕트 설치 시 발생하는 응축수 처리가 필요없다는 장점이 있다.
- 팬코일유닛에서 토출된 공기가 재배작물에 직접 접촉될 경우 작물의 생육에 악영향을 미칠 수 있으나, 취출방향을 수평으로 하여 작물과의 직접적인 접촉을 피할 수 있다.
- 그러나 대공간인 온실 전체에 균일한 온도분포를 유지하기 위하여 팬코일유닛의 설치위치와 급기와 배기 방향 설정이 중요하다.



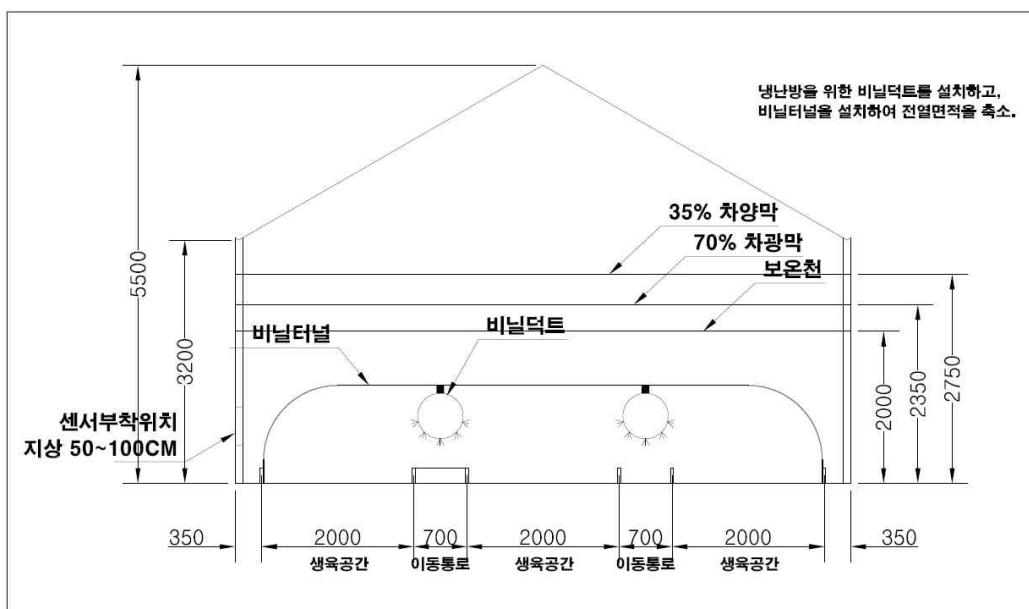
[그림 25] 팬코일유닛를 이용한 냉방 개념도

나. 비닐덕트

- 공기조화기에서 냉각된 공기를 비닐덕트를 통하여 유리온실 내로 급기하는 방식으로, 비닐덕트를 기둥에 고정하여 쉽게 설치할 수 있다. 비닐덕트 설치비용이 상당히 저렴하며, 파손 시에도 손쉽게 유지보수를 할 수 있는 장점이 있다
- 반면에 비닐덕트를 이용한 냉방을 위해서 고가의 공기조화기와 설치공간이 필요하며, 온실 전체에 균일한 풍량을 공급하기 위해서는 상당히 큰 직경의 비닐덕트가 요구되는 문제점이 있다. 또한 냉방 시 비닐덕트 표면의 응축수가 생성되어 재배작물 또는 바닥에 떨어질 경우 작물 성장에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 응축수 제거를 위한 방안이 요구된다.



[그림 26] 비닐덕트를 이용한 냉방 개념도



[그림 27] 비닐덕트 및 터널을 이용한 냉방 개념도

3) 상부토출형 팬코일유니트 개발

- 시설재배용 팬코일유니트는 기성제품으로 설치가 용이하지만 설치수량, 배치, 급기되는 공기의 각도에 따라 온도 분포의 차이가 크고, 온실 내부의 기둥이나 구조물에 고정하여 설치해야하기 때문에 현장 조건에 따라 고소작업이 필요하거나 고정을 위한 별도의 구조물이 요구된다.
- 또한 대부분의 온실 환경이 다습한 곳이 많기 때문에 온실 구조물에 고정되는 팬코일유니트는 설치 시의 위험한 작업과 오랜 시간이 지났을 경우의 구조물 등의 부식 등으로 인하여 팬코일유니트 낙하 등의 사고가 발생할 수 있으며, 겨울철 동파, 모터의 고장, 진동, 이물질 유입 등의 고장 발생 시 수리가 필요한 경우가 있다.



(a) 팬코일유니트 설치



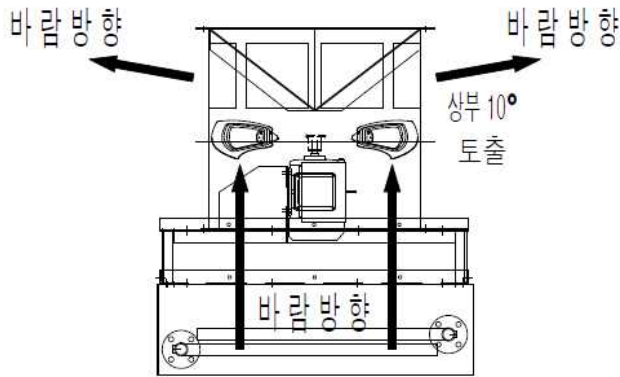
(b) 팬코일유니트 설치 확대

[그림 28] 실증 온실 기존 팬코일유니트 설치 현황

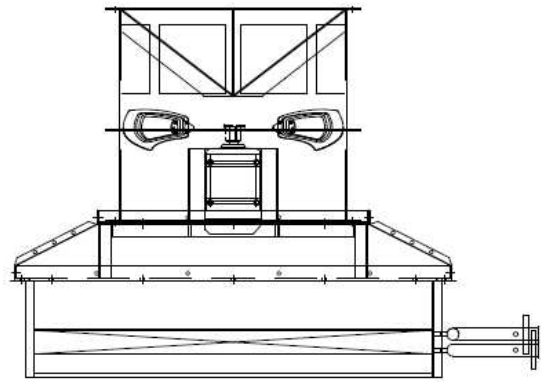
- 비닐덕트 방식은 온실 전체에 균일하게 냉각된 공기를 급기할 수 있다. 그러나 행잉거터 방식과 같이 재배베드가 비닐덕트 설치에 적합한 경우만 설치가 용이하고 실증 온실과 같이 별도의 재배베드가 없는 경우에는 설치가 어렵고 오히려 작업자의 동선에 방해가 될 위험이 있다.
- 2가지 방식의 장단점을 보완하고 온실의 냉방 성능을 최적화하기 위하여 상부토출 형태의 팬코일유니트를 개발하였다.
- 상부토출형 팬코일유니트는 하부에서 공기를 흡입하여 코일을 통해 냉각 후 상부 10°로 토출하는 원통형의 플레이트로 구성되어있다. 상부의 원형 토출구에

여러 개의 사각형 구멍을 통해 팬에서 불어내는 바람이 360°로 토출되어 냉각된 공기가 작물에 직접 닿지 않으며 적절한 유속으로 사방으로 균일하게 냉각된 공기를 공급할 수 있는 장점이 있다.

- 또한 지지물을 통해 바닥에 직접 고정하여 설치가 가능하고 상부의 토출구와 하부의 다리 사이에 팬과 모터를 하나의 프레임을 이용하여 제작을 하고 그 프레임의 아래에 코일을 볼트와 너트에 의해 조립을 하여 각각의 부품에 이상이 발생하였을 때 손쉽게 해당 부품만 수리하거나 교체할 수 있는 구조이다.
- 그리고 공기를 흡입하여 상부로 토출하는 구조이므로 흡입되는 공기에 포함된 이물질 등이 코일 하부의 거름망에 의해 걸러졌다가 팬코일유니트의 가동 중단 시 중력에 의해 하부로 떨어지게 되어 팬코일유니트에 이물질이 끼는 것을 차단할 수 있어 성능 저하의 원인을 미연에 방지할 수 있다.



(a) 개념도



(b) 외형도



(c) 설치사진-1



(d) 설치사진-2

[그림 29] 상부토출형 팬코일유니트 개발 및 적용 사진

(a) 하부 제작



(b) 구조 제작



(c) 현장 설치



(d) 동력 연결



(e) 팬 설치



(f) 배관 연결



[그림 30] 상부토출형 팬코일유닛 제작 및 설치 사진

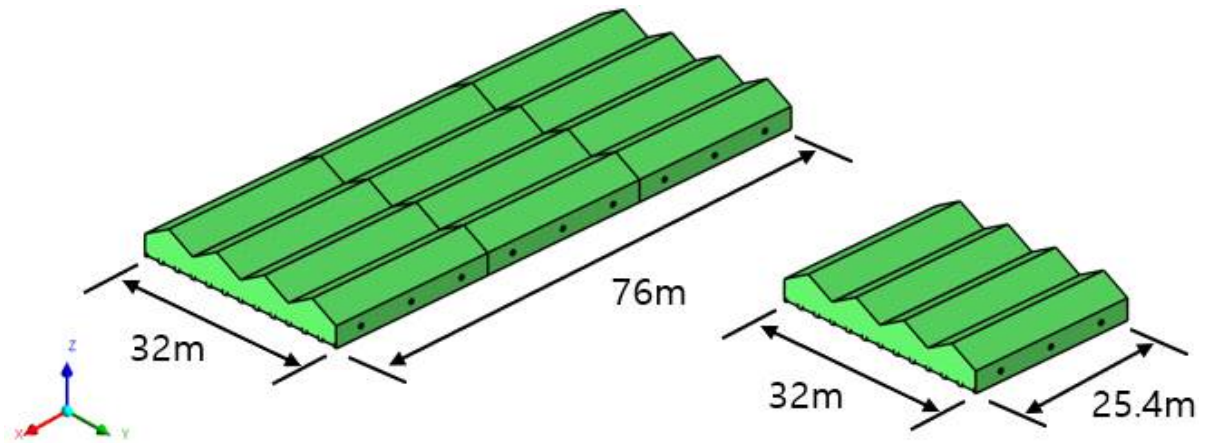
4) 상부토출형 팬코일유니트 성능 검증 및 최적화

가. 전산유체해석 (CFD, Computational Fluid Dynamics) 해석 개요

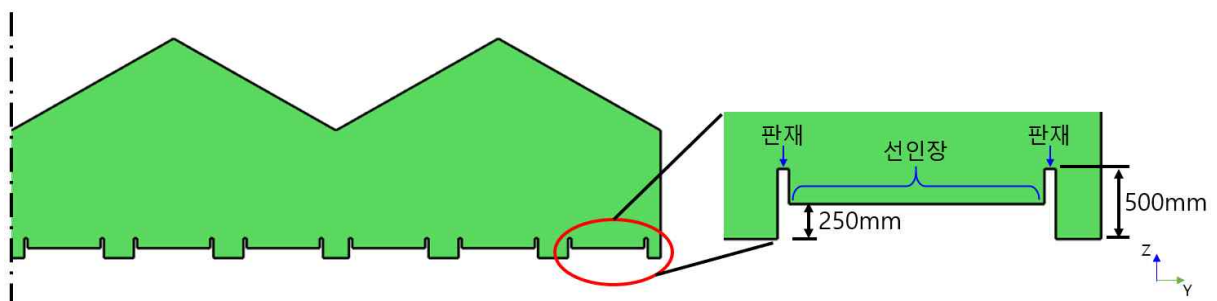
- 개발한 상부토출형 팬코일유니트의 성능을 비교 검증하고, 냉방 패키지 기술 실증 전 단계에서 설치 위치 및 토출 방식, 비닐 차단막 설치 유무에 따른 유리온실 내부 유동 분석하여 성능을 확인하였다.
- 시뮬레이션 해석은 실증 온실 내부의 균일한 유동장 형성 및 높은 유속에 의한 선인장 피해 최소화를 중점적으로 분석하였다.

나. 건축 형태 모델링

- 온실 전체 공간의 건축적 형태의 차이가 없으며 대칭성을 갖고 있어 팬코일유니트도 균등하게 배치하기 때문에 1/3 범위만을 시뮬레이션 해석하여도 결과 분석에 문제가 없을 것으로 예상하여 범위를 제한하였다.
- 반면에 냉각된 공기의 유동이 재배작물에 영향을 주는지를 확인하기 위하여 판재 높이(500mm)와 선인장 높이(250mm)를 고려하여 유리온실 밀면 형상 모델링을 수행하였다.



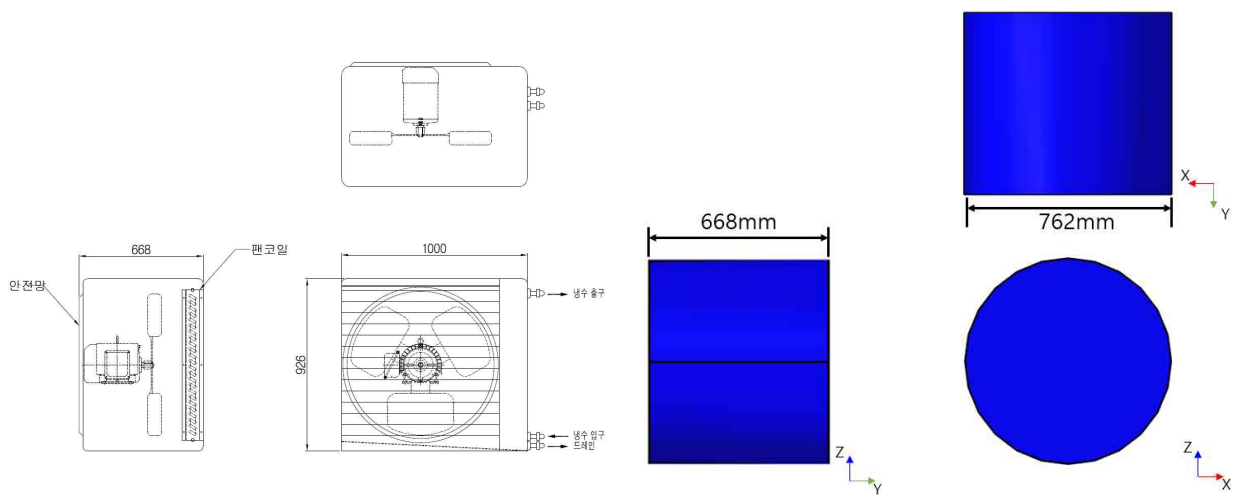
[그림 31] 시뮬레이션 해석 범위



[그림 32] 판재와 선인장 높이를 고려한 유리온실 모델

다. 팬코일유닛 모델링

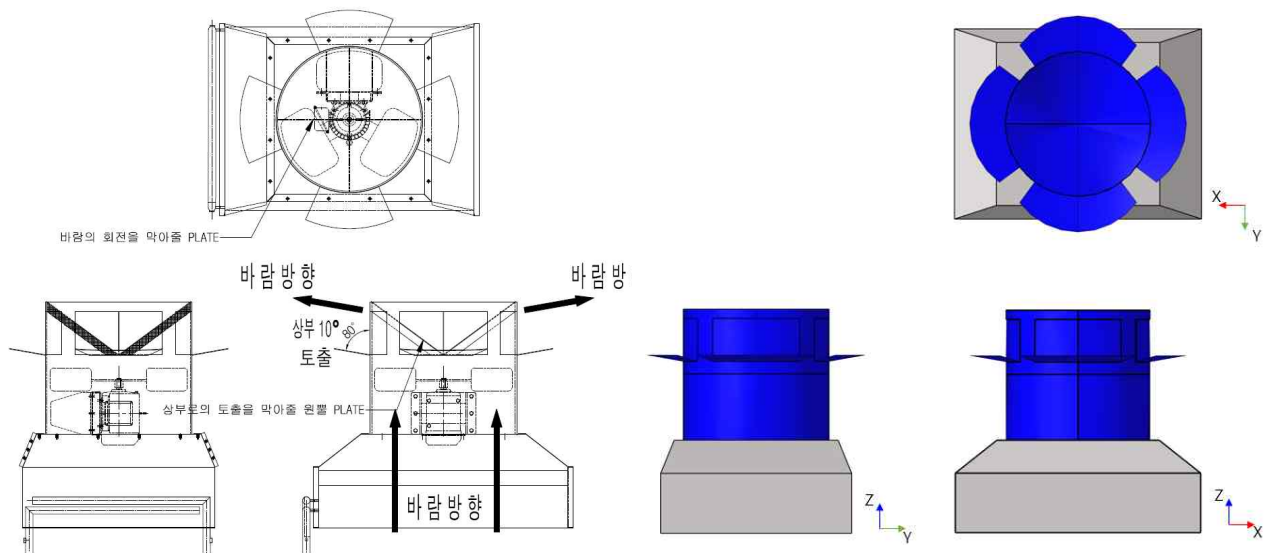
- 건축적 형태 모델링 후 냉방 설비를 모델링하였다. 온실에서 일반적으로 설치되는 시설재배용 팬코일유닛과 상부토출형 팬코일유닛의 제원을 토대로 총 2 종류의 모델을 생성하였다.
- 시설재배용 팬코일유닛은 수평 방향으로 유동이 토출되는 형태로 온실 내 구조물을 이용하여 고정하는 것으로 가정하여 배치하였다.
- 상부토출형 팬코일유닛은 하부에서 상단으로 유동이 토출되는 형태로 기타 구조물에 고정할 필요없이 설치가 가능하여, 이를 고려하여 배치하였다.



(a) 외형도

(b) CFD 간략화 모델

[그림 33] 시설재배용 팬코일유닛 모델링



(a) 외형도

(b) CFD 간략화 모델

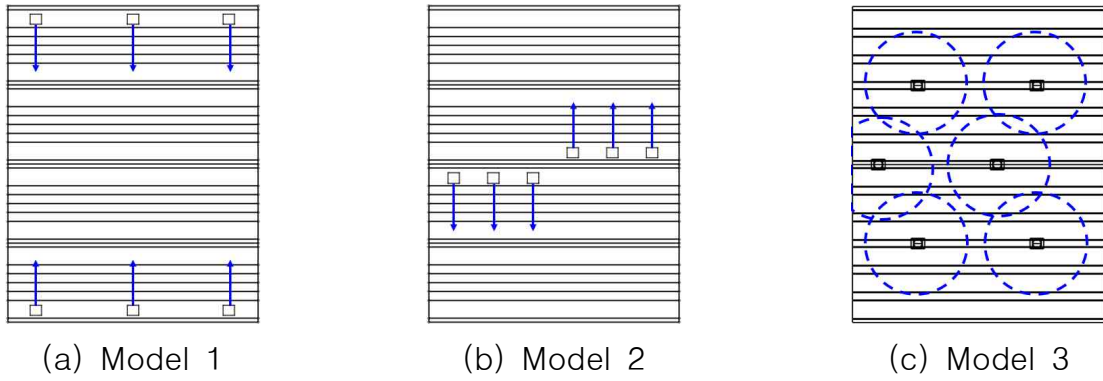
[그림 34] 상부토출형 팬코일유닛 모델링

라. 시뮬레이션 해석 케이스 분류

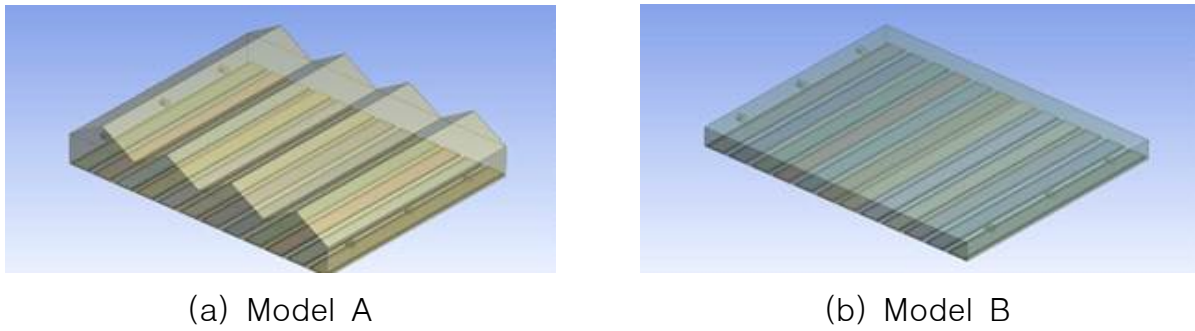
- 냉방 시에 냉기가 외부로 유출되는 것을 최소화하는 비닐 차단막의 설치 유무와 팬코일유닛 형태 및 배치 방식을 변수로 총 12개의 시뮬레이션 해석 케이스를 구분하였다.
- 해석 케이스는 ‘Model’ - ‘팬코일유닛 설치 방식’ - ‘비닐 차단막 유무’ - ‘토출각’ 순서로 분류하였다.
- Model 1은 시설재배용 팬코일유닛을 온실 벽면에서 0.5m 이격하고 1.5m 높이에 배치, Model 2는 온실 중앙부 1.5m 높이에 배치한 케이스이다. Model 3은 온실 중앙부 0.6m 높이에 상부토출형 팬코일유닛을 배치한 케이스이다.
- 팬코일유닛 형식과 배치에 따라 Model 1~3이 분류되고, 비닐 차단막 적용 여부에 따라 미적용 시는 “A”, 적용 시는 “B”로 분류된다.
- 마지막으로 시설재배용 팬코일유닛의 경우 토출각도에 따라 0~30°로 분류된다. 상부토출형 팬코일유닛의 경우 사방으로 공기가 토출되기 때문에 토출각도 값이 없다.

[표 36] 시뮬레이션 해석 케이스 구분

No	구분	팬코일유닛	비닐 차단막	토출각도
1	Model 1-A-0	온실 벽 쪽 설치 (시설재배용 팬코일유닛)	X	0°
2	Model 1-A-10			10°
3	Model 1-B-0		O	0°
4	Model 1-B-10			10°
5	Model 2-A-10	온실 중앙부 설치 (시설재배용 팬코일유닛)	X	10°
6	Model 2-A-20			20°
7	Model 2-A-30			30°
8	Model 2-B-10		O	10°
9	Model 2-B-20			20°
10	Model 2-B-30			30°
11	Model 3-A	온실 지면에 설치 (상부토출형 팬코일유닛)	X	-
12	Model 3-B		O	-



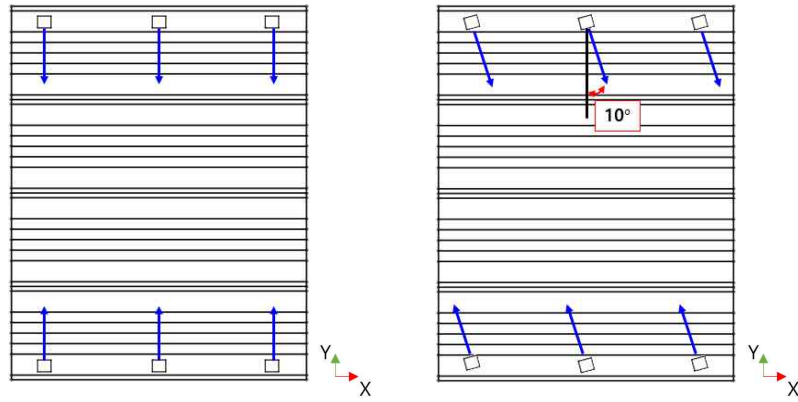
[그림 35] 팬코일유닛 형식 및 배치 방식에 따른 케이스 분류



[그림 36] 비닐 차단막 설치에 따른 케이스 분류

모델	개념도
Model 1-A	
Model 1-B	
Model 2-A	
Model 2-B	
Model 3-A	
Model 3-B	

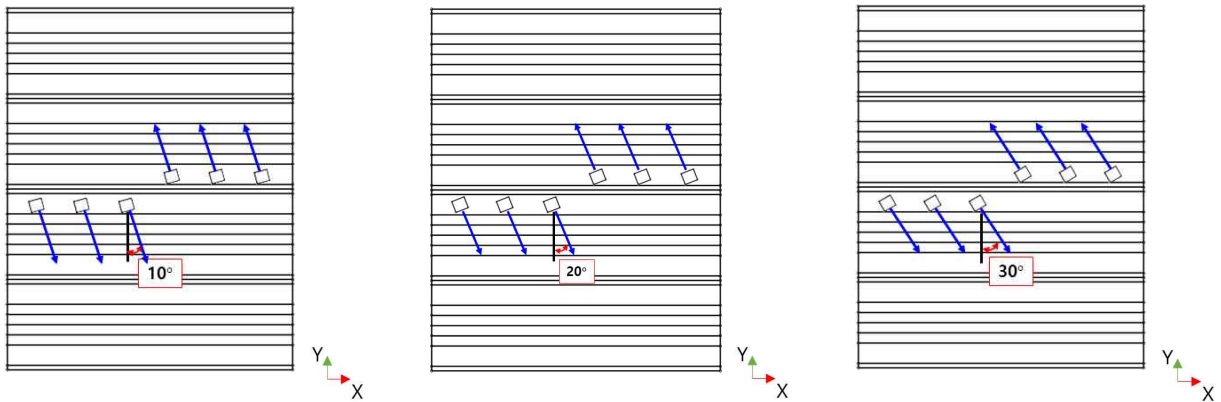
[그림 37] 해석 케이스별 형상 및 유동 토출 방식



(a) 토출 각 0°

(b) 토출 각 10°

[그림 38] Model 1 토출각도에 따른 케이스 분류



(a) 토출 각 10°

(b) 토출 각 20°

(c) 토출 각 30°

[그림 39] Model 2 토출각도에 따른 케이스 분류

마. 시뮬레이션 해석 조건

① 격자 생성 (Meshing)

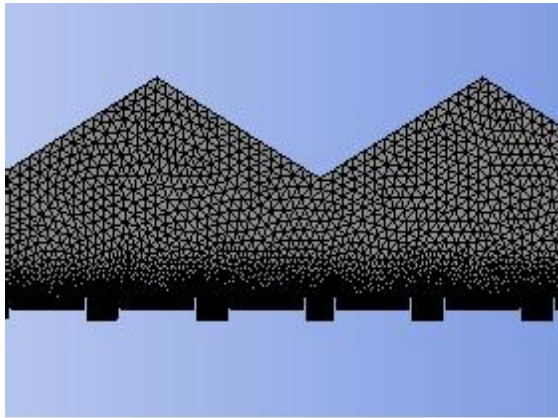
- 전산유체해석(CFD) 결과는 격자(Mesh) 구성 방식에 의해 결과의 차이가 발생하기 때문에 적절한 격자를 형성하는 것이 중요하다.
- 온실 내 바닥 판재 부분에 대한 Face Sizing 적용하였다. (Element Size : $5e^{-2}m$, Behavior: Hard)
- 중력에 의한 유동 하강효과를 고려하여 유리온실의 바닥 판재 부분에 Inflation 기능을 적용하였으며 Tetrahedron 요소로 격자를 생성하였다. (Maximum Layers: 2, Growth Rate: 1.2)
- 온실 전체 모델에 대한 격자 사이즈는 최소($3.1857e^{-2}m$), 최대($0.254850m$)로 생성하였다.

② 팬코일유니트 Meshing 조건

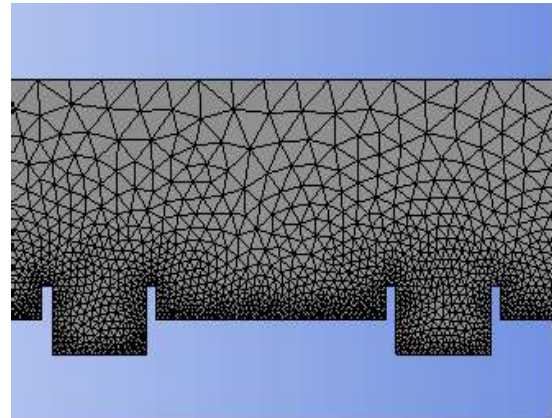
- Fan에 대한 Face Sizing 적용하였다. (Element Size : $8e^{-2}m$, Behavior : Hard)
- Fan에 대한 Inflation을 적용하여 5층 격자를 구성하였다. (Maximum Layers : 5, Growth Rate : 1.2)

③ 전체 해석모델의 Mesh Elements & Nodes

- Model A 기준 Elements : 약 17,400,000개 / Nodes : 약 4,700,000개
- Model B 기준 Elements : 약 21,000,000개 / Nodes : 약 5,200,000개

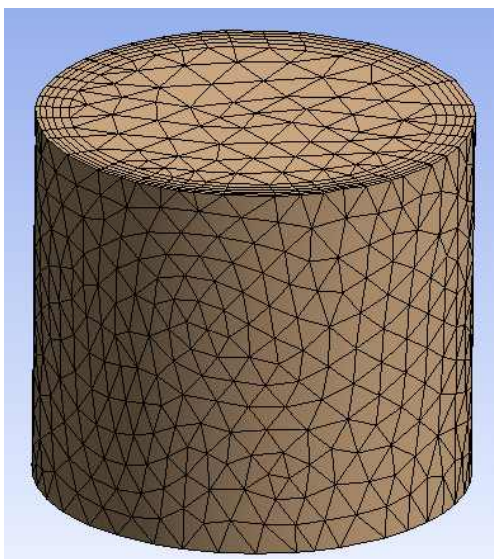


(a) Model A Meshing

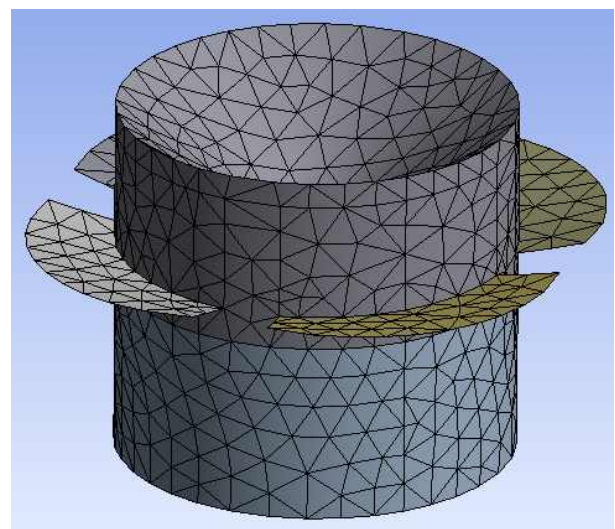


(b) Model B Meshing

[그림 40] Model A, B Mesh 형상



(a) 시설재배용 팬코일유니트



(b) 상부토출형 팬코일유니트

[그림 41] 팬코일유니트 Mesh 형상

④ 유동 해석 조건 (Setup)

○ Solver Type : Pressure-Based

○ Velocity Formulation : Absolute

○ Time : Steady

○ 자연대류를 고려하여 중력을 적용하였다. (중력 가속도 : -9.81m/s^2)

○ Viscous Model : Standard $k-\epsilon$ 난류 모델 설정

○ 작동 유체는 Air(Incompressible ideal gas)로 설정하였다.

○ Cell Zone Condition : 팬코일유니트는 팬의 P-Q Curve를 3D Fan Zone 기능에 적용하여 설정하였다.

[표 37] 시뮬레이션 조건

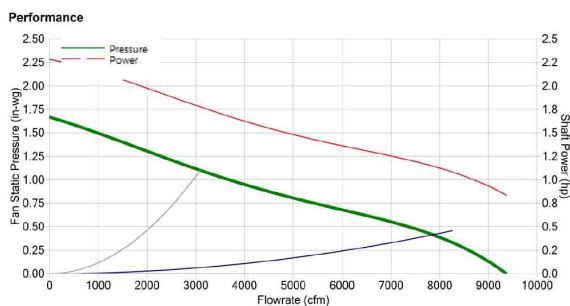
Specific Heat	Thermal Conductivity	Viscosity	Molecular Weight
1006.43 J/kgK	0.0242 W/mK	sutherland	28.966 kg/mol

[표 38] Model 1,2 경계조건

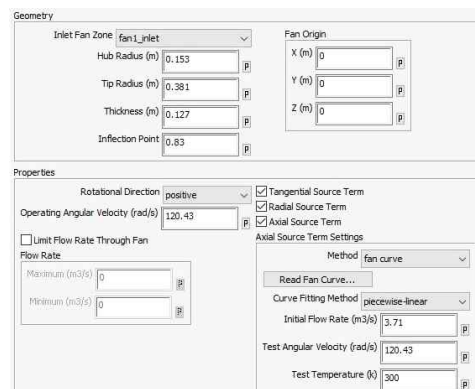
Geometry	유리온실 벽면 (Model A, B)	Fan Wall	Fan Inlet & Outlet
경계조건	Wall		Interior

[표 39] Model 3 경계조건

Geometry	유리온실 벽면 (Model A, B)	Fan Wall	Fan 하단 공기 유입구	상부 바람막이 및 토출구 plate	Fan Inlet & Outlet
경계조건	Wall				Interior



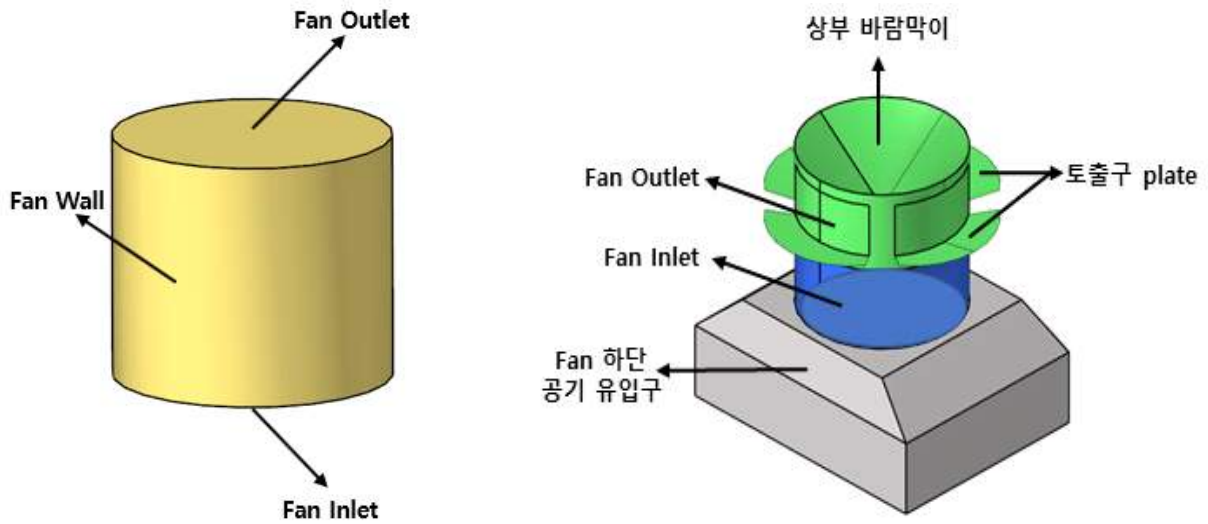
(a) Fan 성능 곡선



(b) Fan 성능 곡선의 3D Fan zone 적용

[그림 42] Cell Zone Condition

○ [그림 43]은 팬코일유니트 형상에 따른 경계조건을 나타낸다.



(a) 시설재배용 팬코일유니트

(b) 상부토출형 팬코일유니트

[그림 43] 팬코일유니트 경계조건

○ [표 40]은 시뮬레이션 해석방법을 나타낸다.

○ 수렴 조건 : Continuity 0.01

○ 정상상태 Iteration 3,000 (단 모든 모델에서 수렴 조건으로 인하여 Iteration 내에 수렴)

[표 40] 시뮬레이션 해석방법

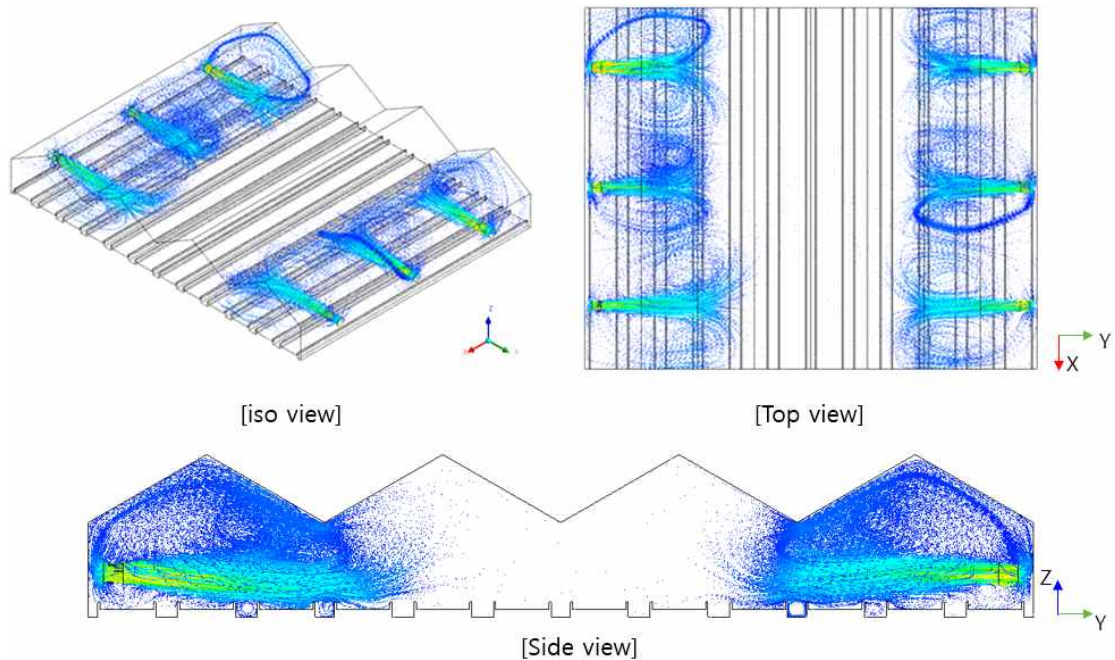
Scheme	Gradient	Pressure	Momentum	Energy	Turbulent Dissipation Rate	Turbulent Kinetic Energy
SIMPLE	Least Squares Cell Based	Second Order	Second Order Upwind		First Order Upwind	

5) 시뮬레이션 해석 결과

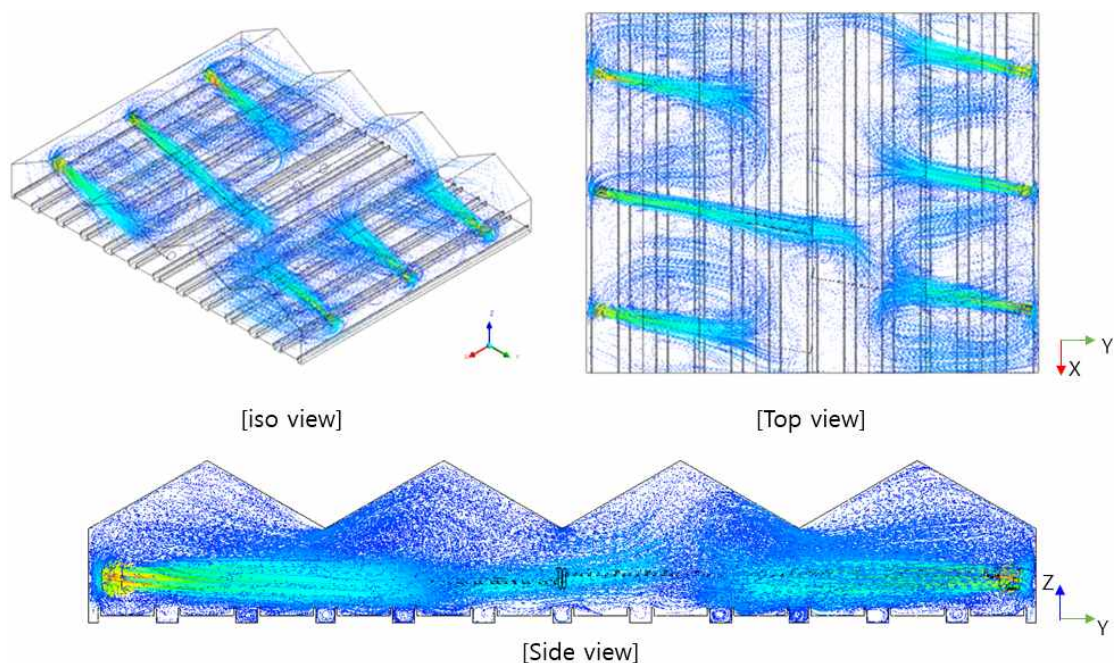
가. Model 1 해석 결과

- 온실의 내부 유동 해석 결과, 비닐 차단막은 유동의 상승을 막기 때문에 팬코일 유닛에서 토출되는 유동이 직진성을 가지며 더 넓은 유동장을 형성하는 것으로 나타났다.

Model 1-A-0 : 시설재배용 팬코일유닛 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 0°

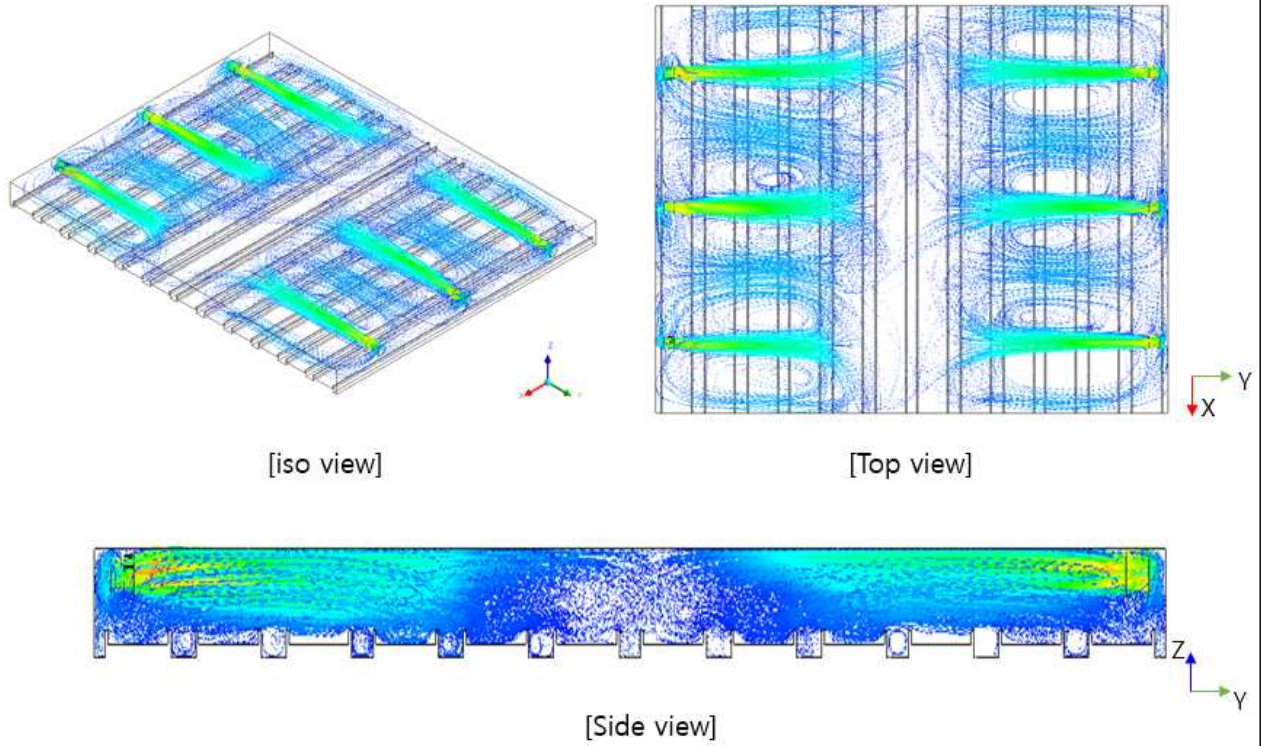


Model 1-A-10 : 시설재배용 팬코일유닛 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 10°

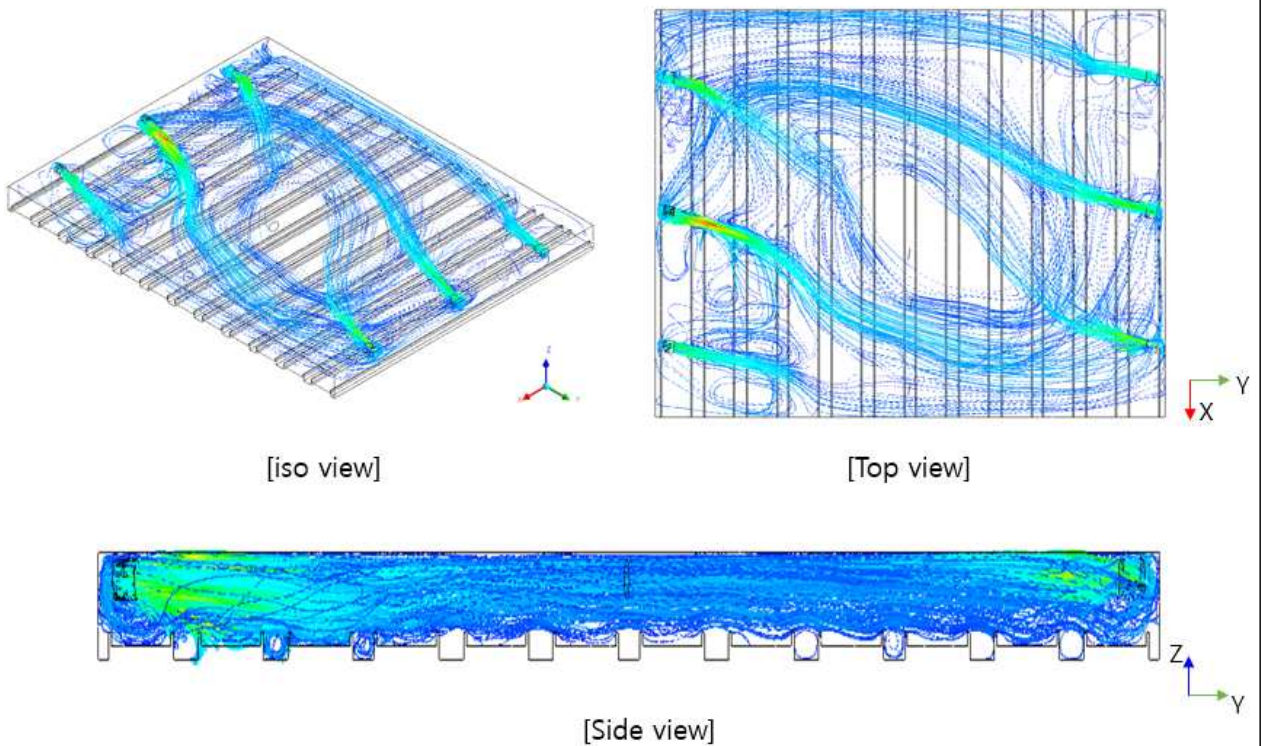


[그림 44] Model 1-A 유동 해석 결과

Model 1-B-0 : 시설재배용 팬코일유닛 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 0°

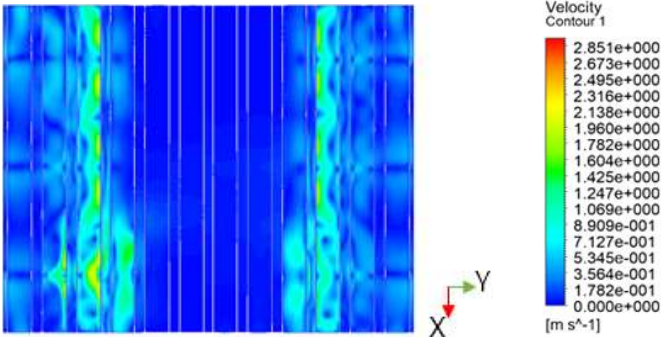
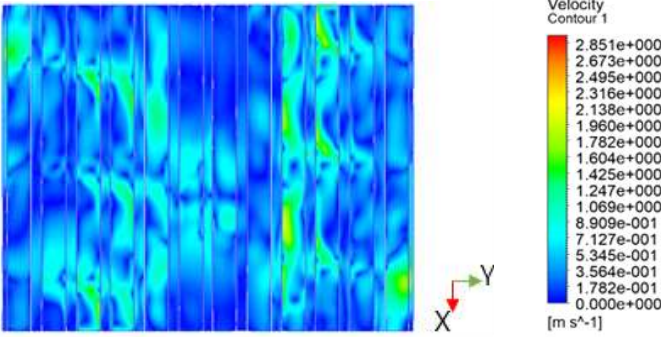
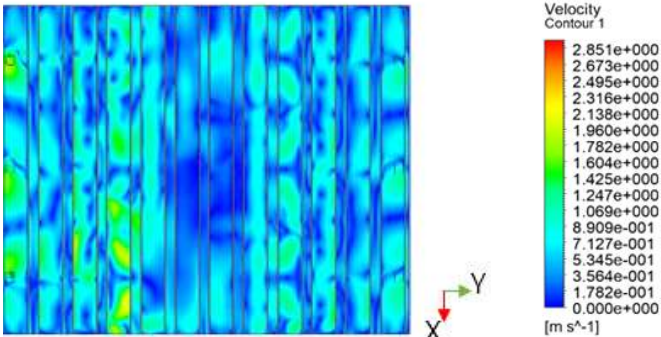
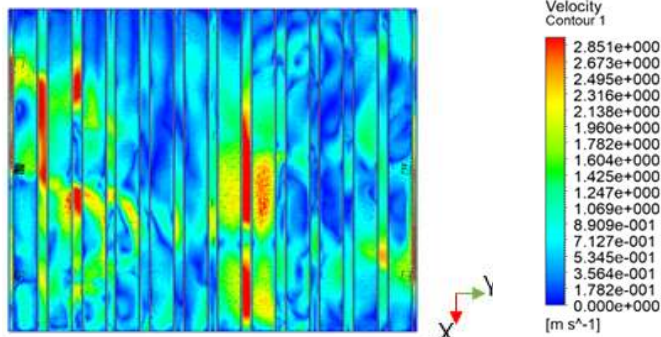


Model 1-B-10 : 시설재배용 팬코일유닛 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 10°



[그림 45] Model 1-B 유동 해석 결과

- 온실 내부 선인장 상단부(0.3m)에서의 유속 해석 결과, 비닐 차단막이 있는 경우 유동의 직진성으로 인해 선인장 상단부에서의 유속이 증가하였다. 팬코일유니트의 토출각이 있는 경우, 선인장 상단부에서의 유속이 대체로 높았다.

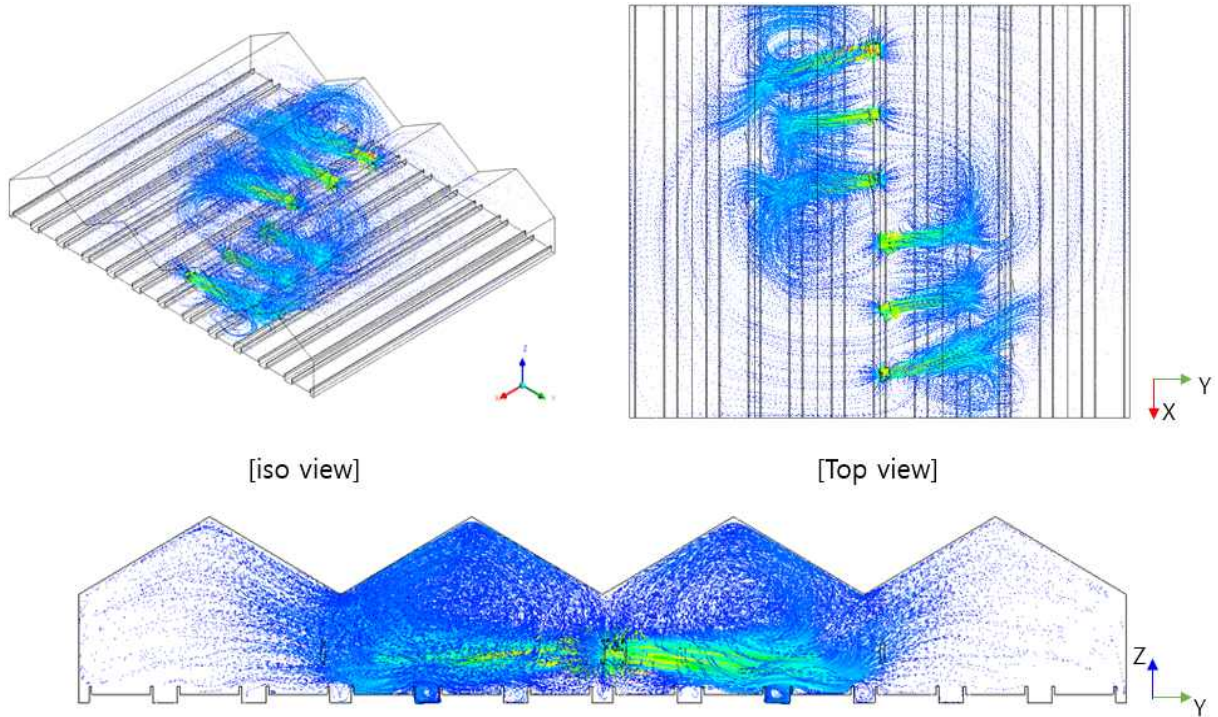
Model 1-A-0 : 시설재배용 팬코일유니트 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 0°	
	Max : 2.58m/s
Model 1-A-10 : 시설재배용 팬코일유니트 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 10°	
	Max : 2.24m/s
Model 1-B-0 : 시설재배용 팬코일유니트 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 0°	
	Max : 2.30m/s
Model 1-B-10 : 시설재배용 팬코일유니트 + 벽측 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 10°	
	Max : 4.66m/s

[그림 46] Model 1 유속 해석 결과

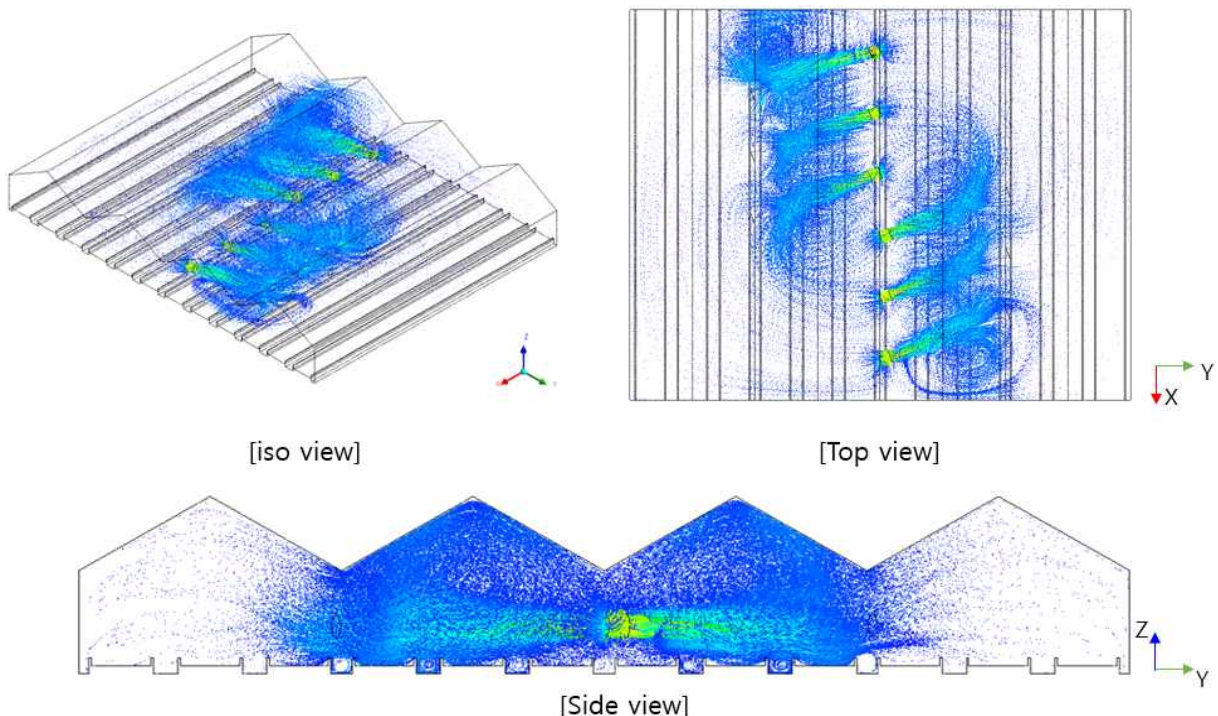
나. Model 2 해석 결과

- 온실의 내부 유동 해석 결과, 비닐 차단막은 유동의 상승을 막기 때문에 팬코일 유닛에서 토출되는 유동이 직진성을 가지며 더 넓은 유동장을 형성하는 것으로 나타났다.

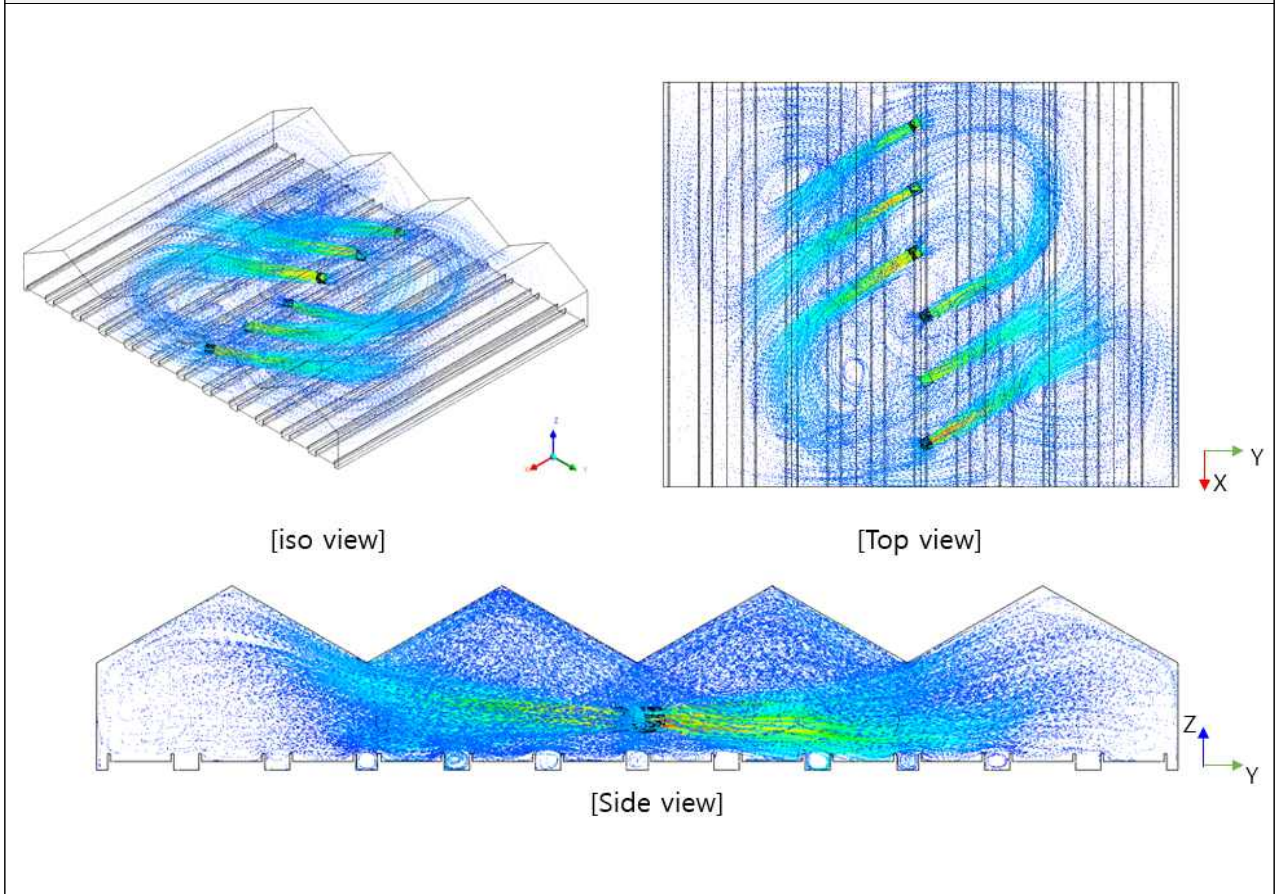
Model 2-A-10 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 10°



Model 2-A-20 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 20°

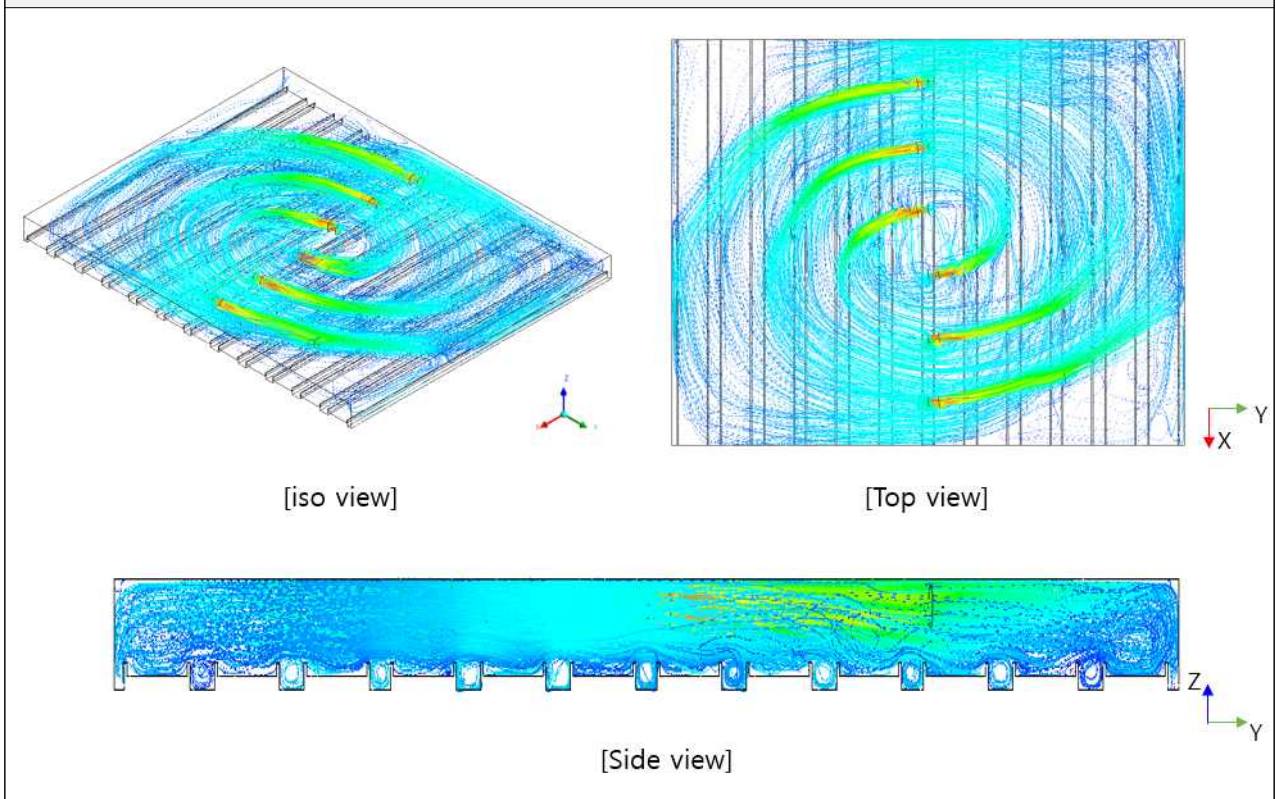


Model 2-A-30 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 30°

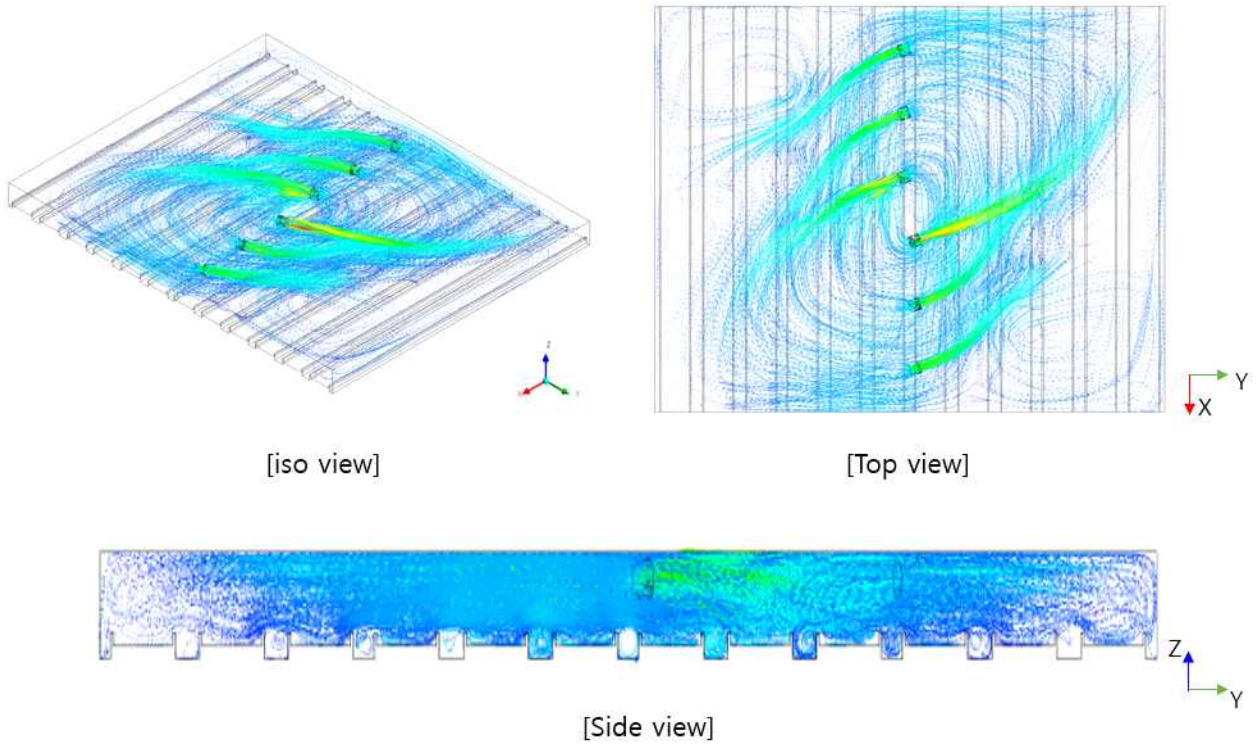


[그림 47] Model 2-A 유동 해석 결과

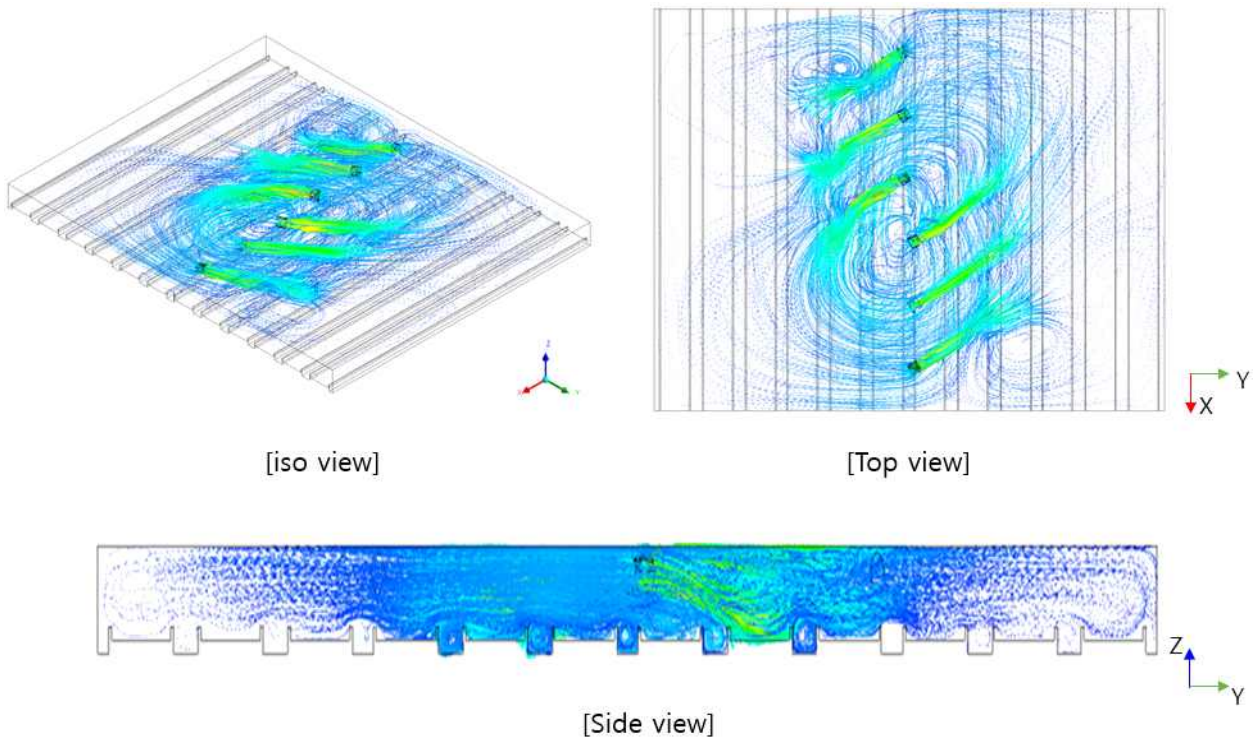
Model 2-B-10 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 10°



Model 2-B-20 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 20°

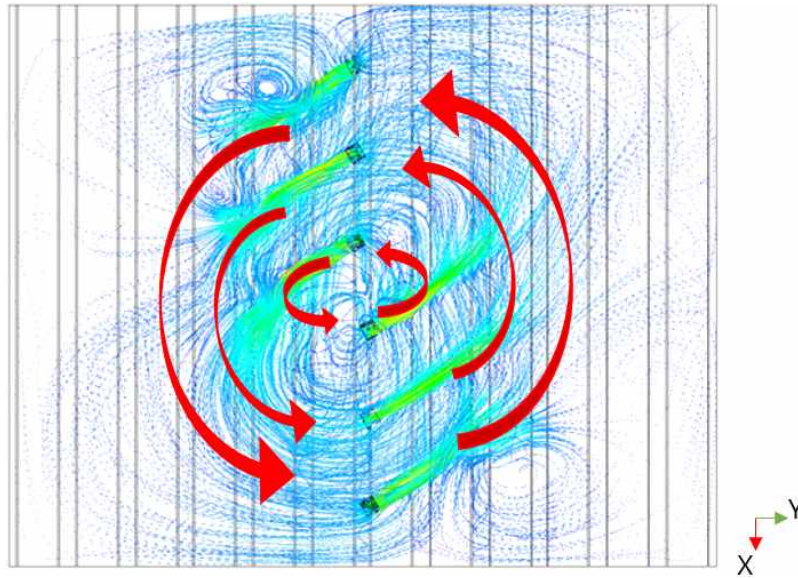


Model 2-B-30 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 30°



[그림 48] Model 2-B 유동 해석 결과

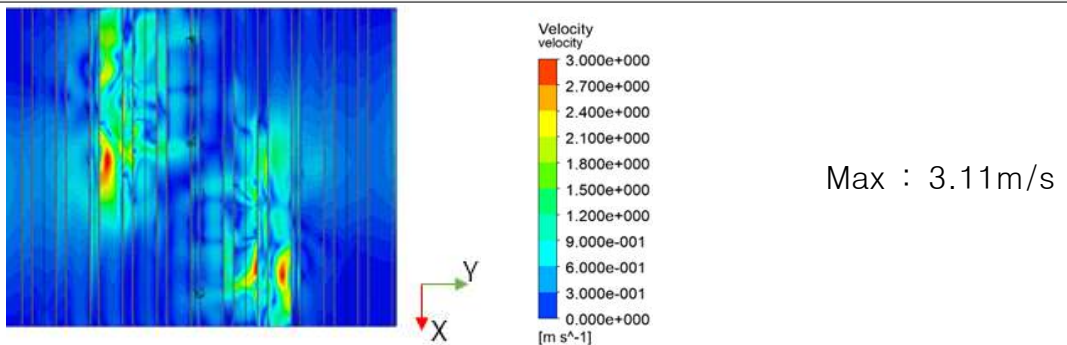
- 팬코일유니트의 토출각도가 커짐에 따라 토출된 유동이 옆의 팬코일유니트로 흘러 들어가며 좁은 유동장 형성하는 것으로 해석되었다.



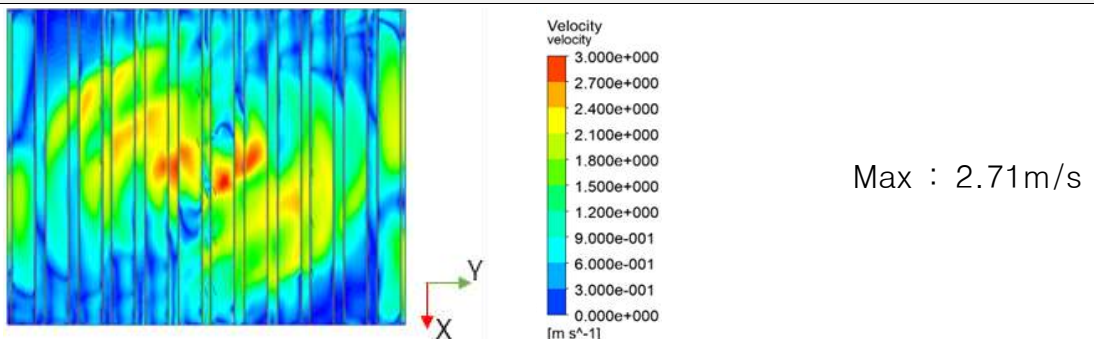
[그림 49] 큰 토출 각에 따른 재순환 현상

- 온실 내부 선인장 상단부(0.3m)에서의 유속 해석 결과, 비닐 차단막이 있는 경우 유동의 직진성으로 인해 선인장 상단부에서의 유속이 증가하였다. 또한 팬코일유니트의 토출각도가 있는 경우 팬코일유니트 주변 유속에 크게 증가하는 것으로 해석되었다.

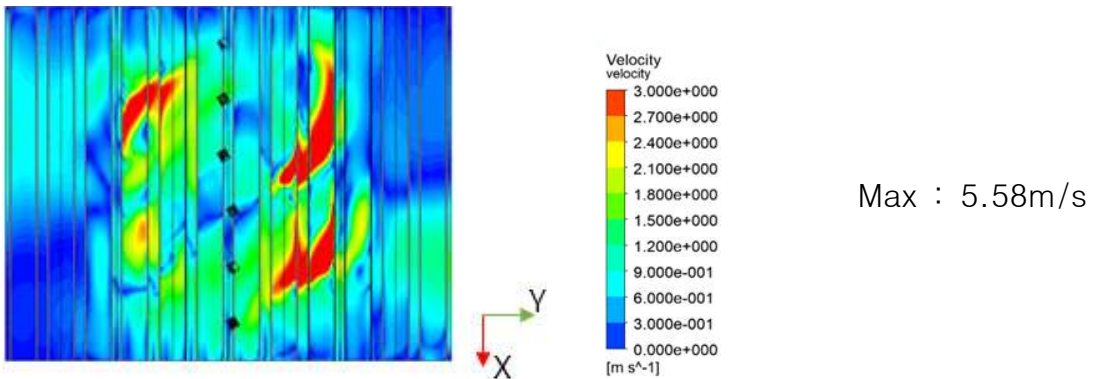
Model 2-A-10 : 시설재배용 팬코일유니트 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 10°



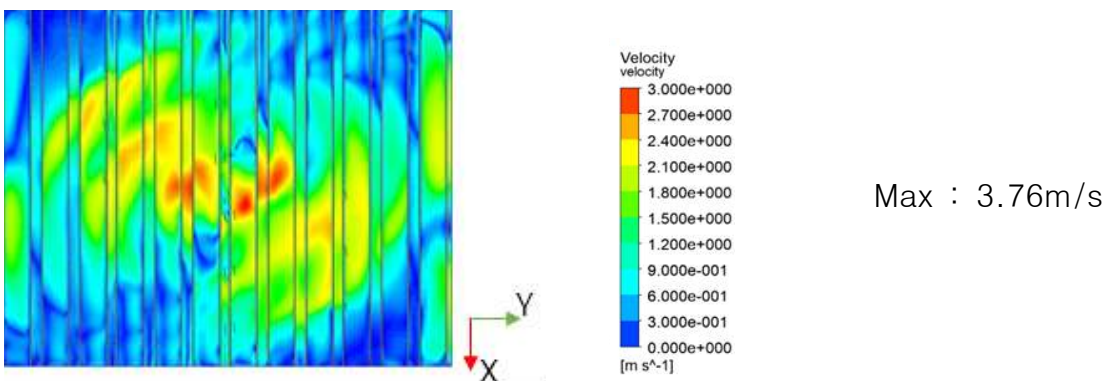
Model 2-A-20 : 시설재배용 팬코일유니트 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 20°



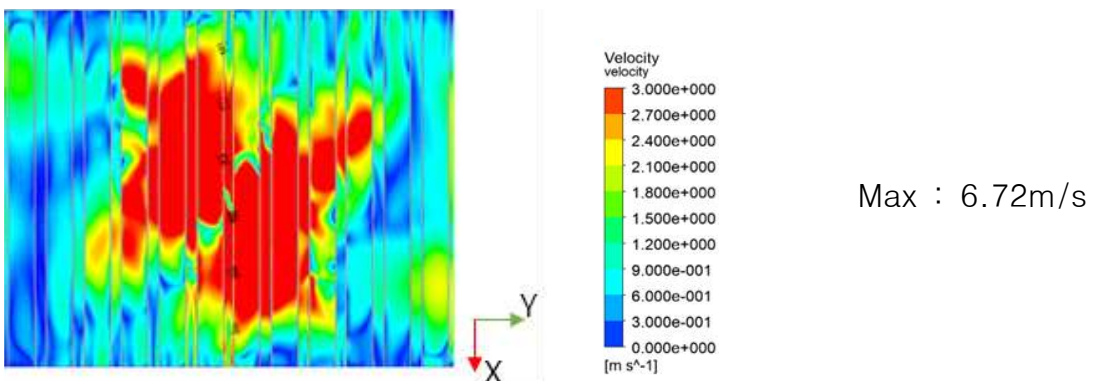
Model 2-A-30 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 미설치 + 토출각도 30°



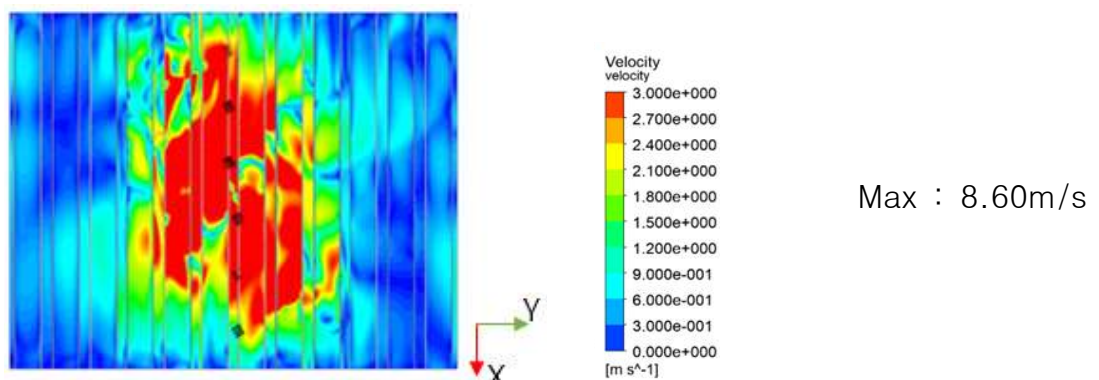
Model 2-B-10 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 10°



Model 2-B-20 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 20°



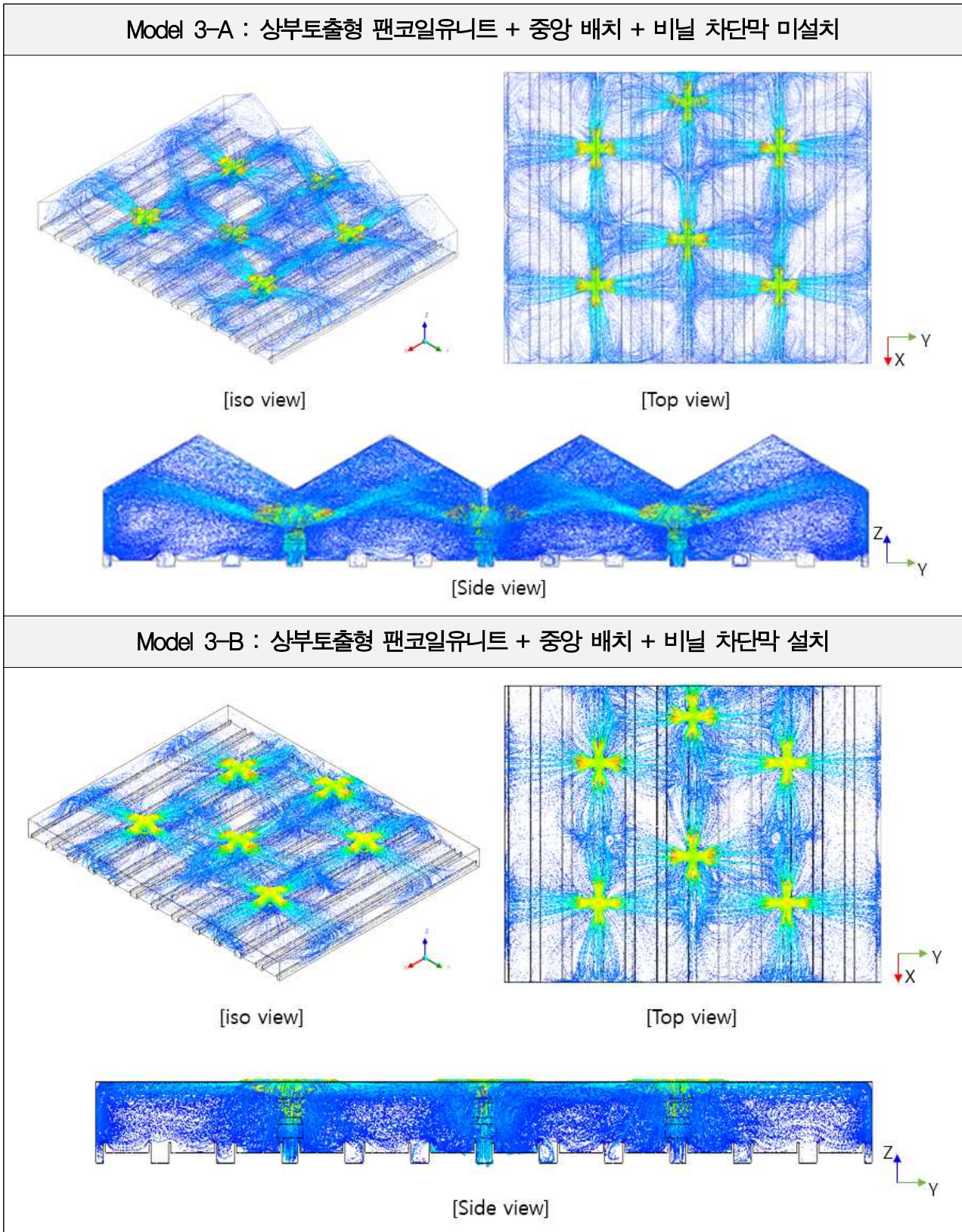
Model 2-B-30 : 시설재배용 팬코일유닛 + 중앙 배치 + 비닐 차단막 설치 + 토출각도 30°



[그림 50] Model 2 유속 해석 결과

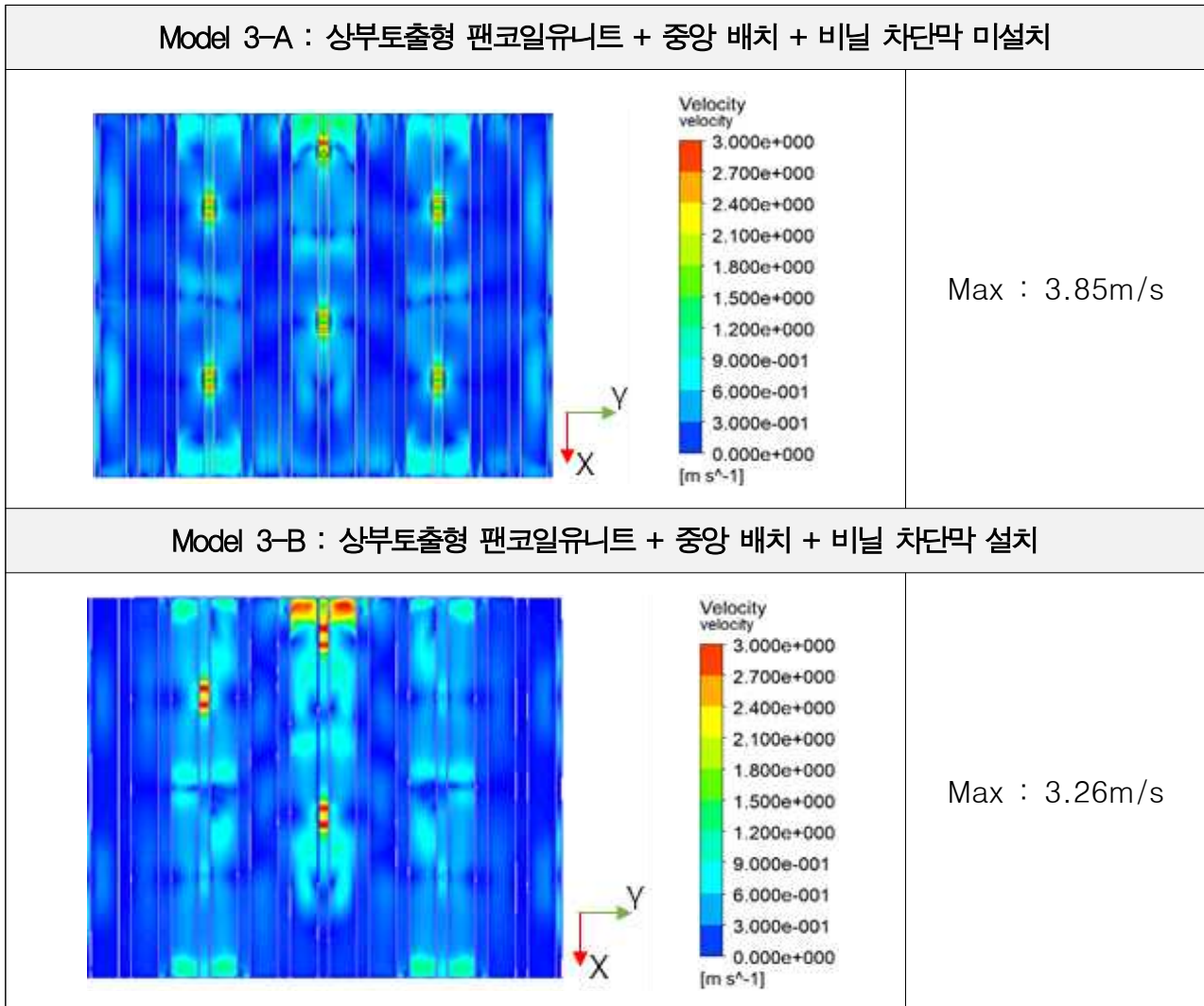
다. Model 3 해석결과

- 온실의 내부 유동 해석 결과, Model 3의 경우 비닐 차단막 유무에 상관없이 넓은 유동장이 형성되는 것으로 나타났다. 또한 Model 1과 2의 경우에 비해 비닐 차단막이 유동장 형성에 미치는 영향이 작은 것으로 해석되었다.



[그림 51] Model 3 유동 해석 결과

- 온실 내부 선인장 상단부(0.3m)에서의 유속 해석 결과, 비닐 차단막이 있는 경우 국부적으로 높은 유속이 발생하는 구역이 있는 것으로 나타났다. Model 1과 2의 경우에 비해 선인장 상단부에서의 유속이 일정하게 나타나는 것으로 해석되었다.

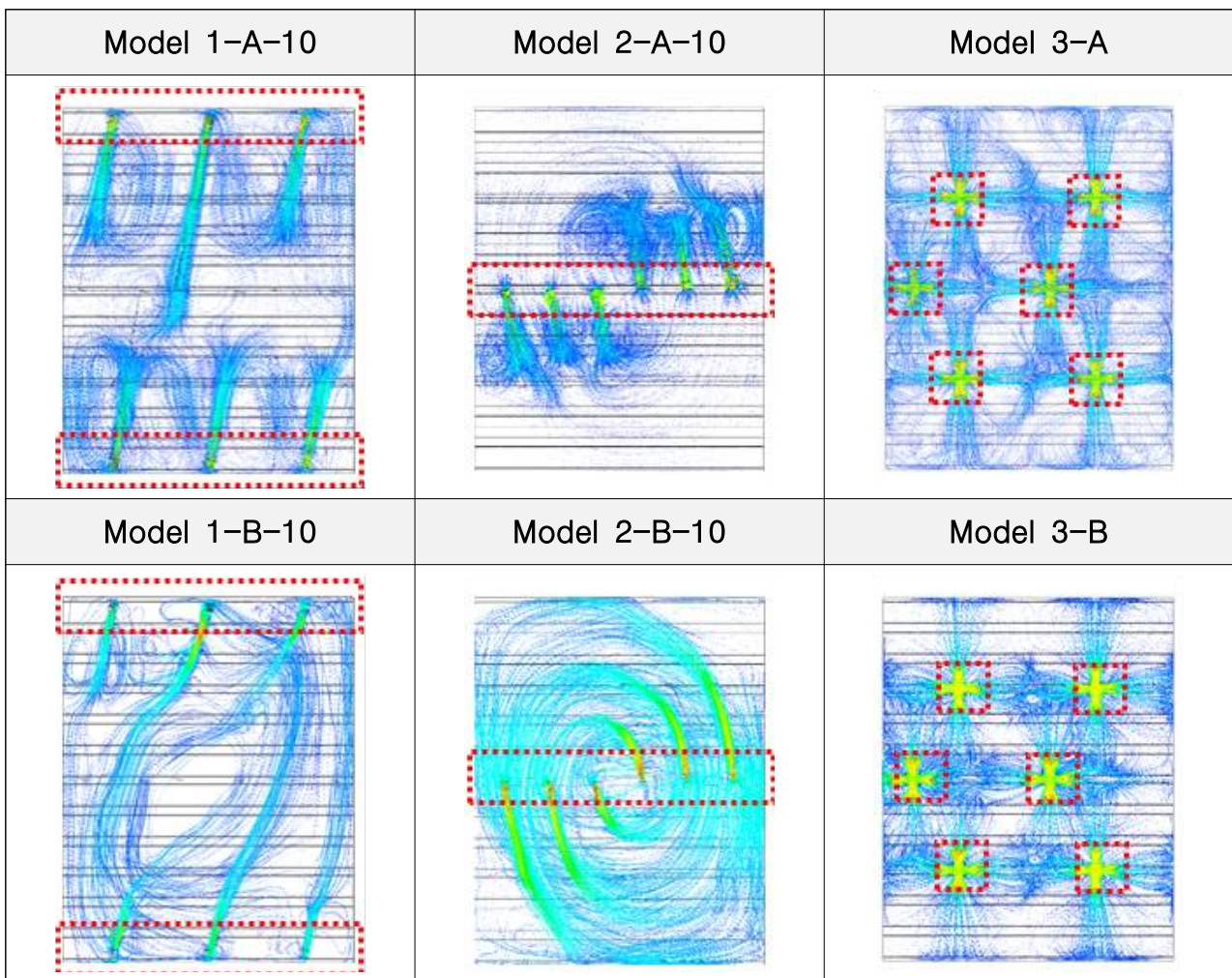


[그림 52] Model 3 유속 해석 결과

6) 시뮬레이션 해석 결과 고찰

가. 온실 전체 내부 유동 흐름 및 분포

- 비닐 차단막이 있는 경우, 시설재배용 유닛을 중앙에 배치한 Model B 케이스가 온실 내부에 넓은 유동장이 형성되는 것으로 나타났다.
- 벽면에 시설재배용 팬코일유닛 설치시, Model 1과 2 케이스는 온실 내부에 균일한 유동장을 형성하는데 한계가 있는 것으로 해석되었다.
- 상부토출형 팬코일유닛을 중앙에 배치한 Model 3 케이스가 실증구역 내부에 균일한 유동장을 형성하는데 가장 유리한 것으로 해석되었다.



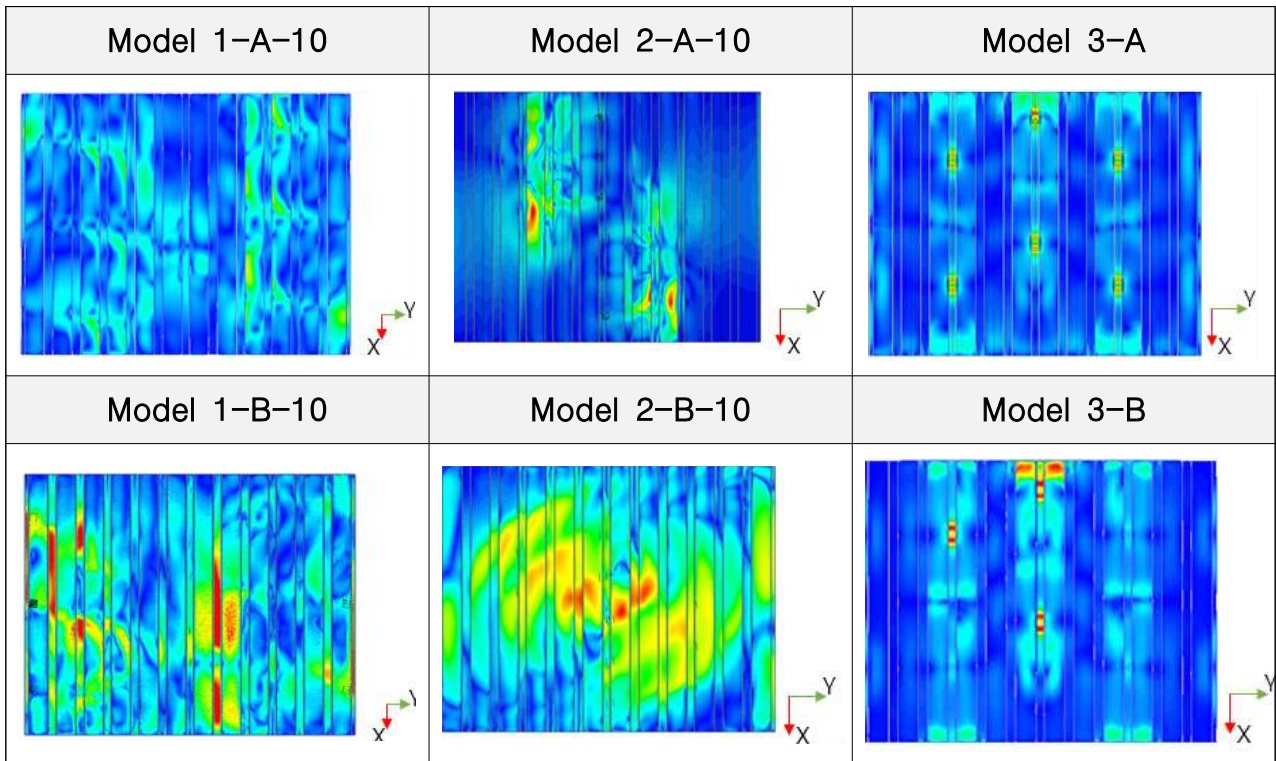
[그림 53] 케이스별 내부 유동 비교

나. 선인장 상단부(0.3m) 유동 흐름 및 유속

- 시설재배용 팬코일유닛 설치 시, Model 1과 2 케이스는 팬코일유닛에서의 거리에 따라 선인장 상단부의 유속이 불균일하게 나타났다.
- 상부토출형 팬코일유닛 설치 시, Model 3 케이스는 선인장 상단부에서 유속이

전반적으로 균일하게 나타났다.

- 상부토출형 팬코일유니트 설치 시, Model 3 케이스의 최대 유속은 팬코일유니트 하단부에서 발생하므로 선인장에 영향을 미치지 않는 것으로 해석되었다.
- 시설재배용 팬코일유니트 설치 시, Model 1과 2 케이스는 비닐 차단막에 의해 팬코일유니트의 인접 선인장은 유속에 의해 직접적인 영향을 받을 수 있는 것으로 해석되었다.

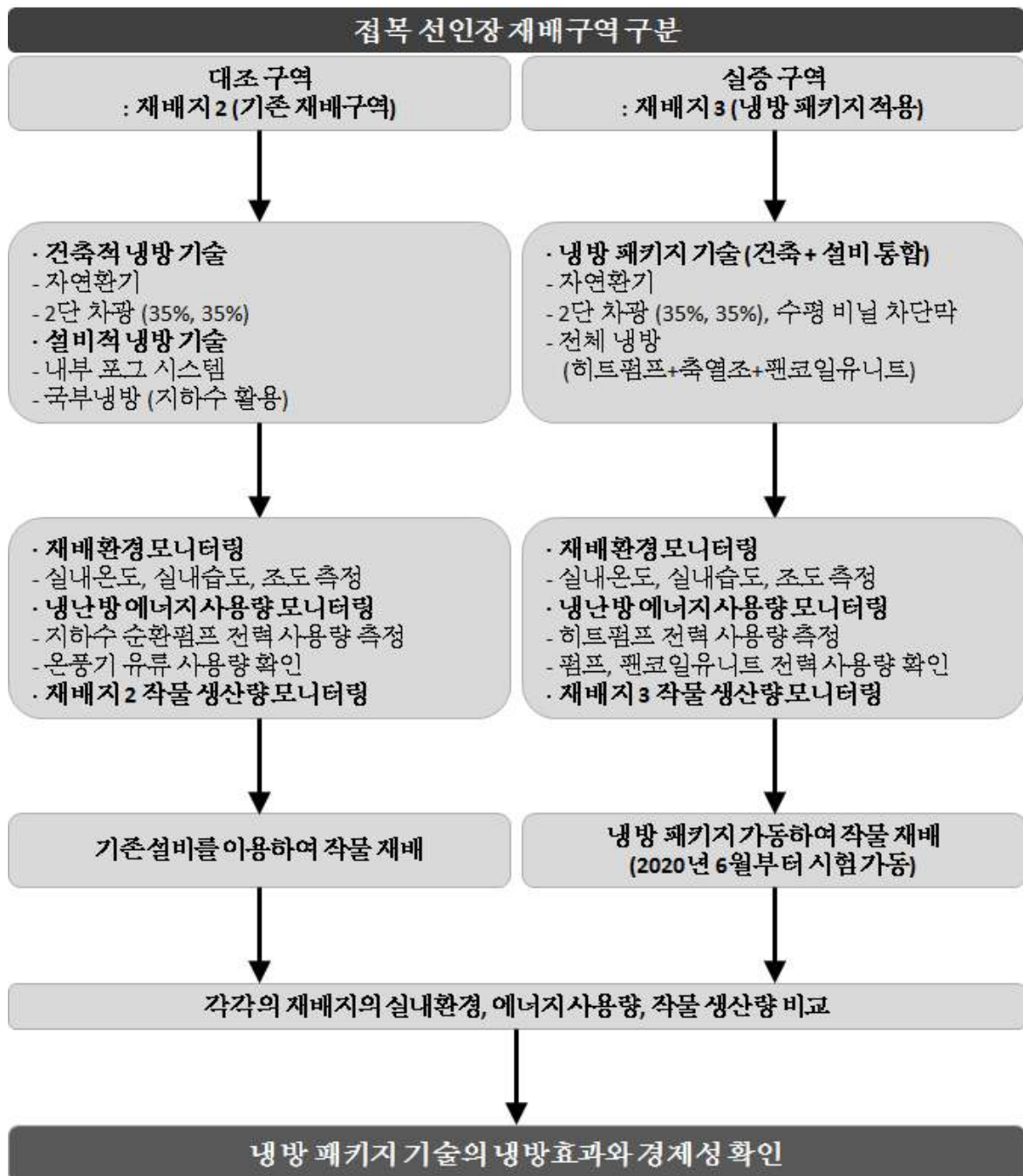


[그림 54] 케이스별 선인장 상단부 유속 비교

2-7. 유리온실 냉방 패키지 실증

1) 실증 프로세스

- 실증 온실은 접목 선인장을 재배하고 있는 대조구역(재배지 2)에 온도, 습도, 조도 센서를 설치하여 실내환경을 모니터링하고 있다. 실증구역(재배지 3)에도 실내환경을 설치할 수 있는 센서를 설치하고, 냉방 패키지 설비를 적용하여 접목 선인장의 재배를 계획하였다.
- 실내 온도 변화를 모니터링하여 냉방 패키지 설비의 냉방 효과를 확인하고, 각각의 재배지에서 생산된 작물의 생산량 및 품질, 수익 등을 비교하여 경제성을 확인하고자 계획하였다.



[그림 55] 실증 프로세스

2) 냉방 패키지 설치

가. 열원설비 배치

- 실증 온실의 건축적 형태와 농장주의 의견, 작물 재배와 작업동선을 고려하여 냉방 패키지 열원설비를 배치하였다. 공기열 히트펌프, 축열조, 순환펌프는 온실의 기존 보일러실 옆 공간을 활용하여 기초공사를 통해 부지를 마련하고, 기초 위에 설비를 설치하였다.

나. 축열조

- 축열조는 20m X 6m X 4m 크기로, 축열조 내 저장된 냉수 또는 온수의 열손실과 외부 충격으로 인한 파손 위험을 최소화하기 위하여 일부를 지하에 매립한 콘크리트 구조로 설치하였고 누수를 방지하기 위하여 내부 바닥면과 측면벽을 방수처리 하였다.
- 또한 축열조 내부에 점검 사다리와 안전바 등을 스테인리스 자재를 이용하여 제작, 설치하고 내부에 조명을 설치하여 만일의 사태에 발생할 수 있는 사고에서 인명의 피해를 방지할 수 있도록 하였다.
- 축열조 내 물의 온도가 최대한 균등하게 유지되도록 공급 및 분배 배관을 축열조 내부에 설치하였으며, 배관에서 물을 토출할 수 있도록 구멍을 내었다. 토출홀은 분배 효율성을 고려하여 대각선으로 간격을 동일하게 배치하였다. 또한 밸브를 설치하여 냉방부하에 따라 축열조 활용을 제어할 수 있도록 하였다.

다. 상부토출형 팬코일유니트 설치

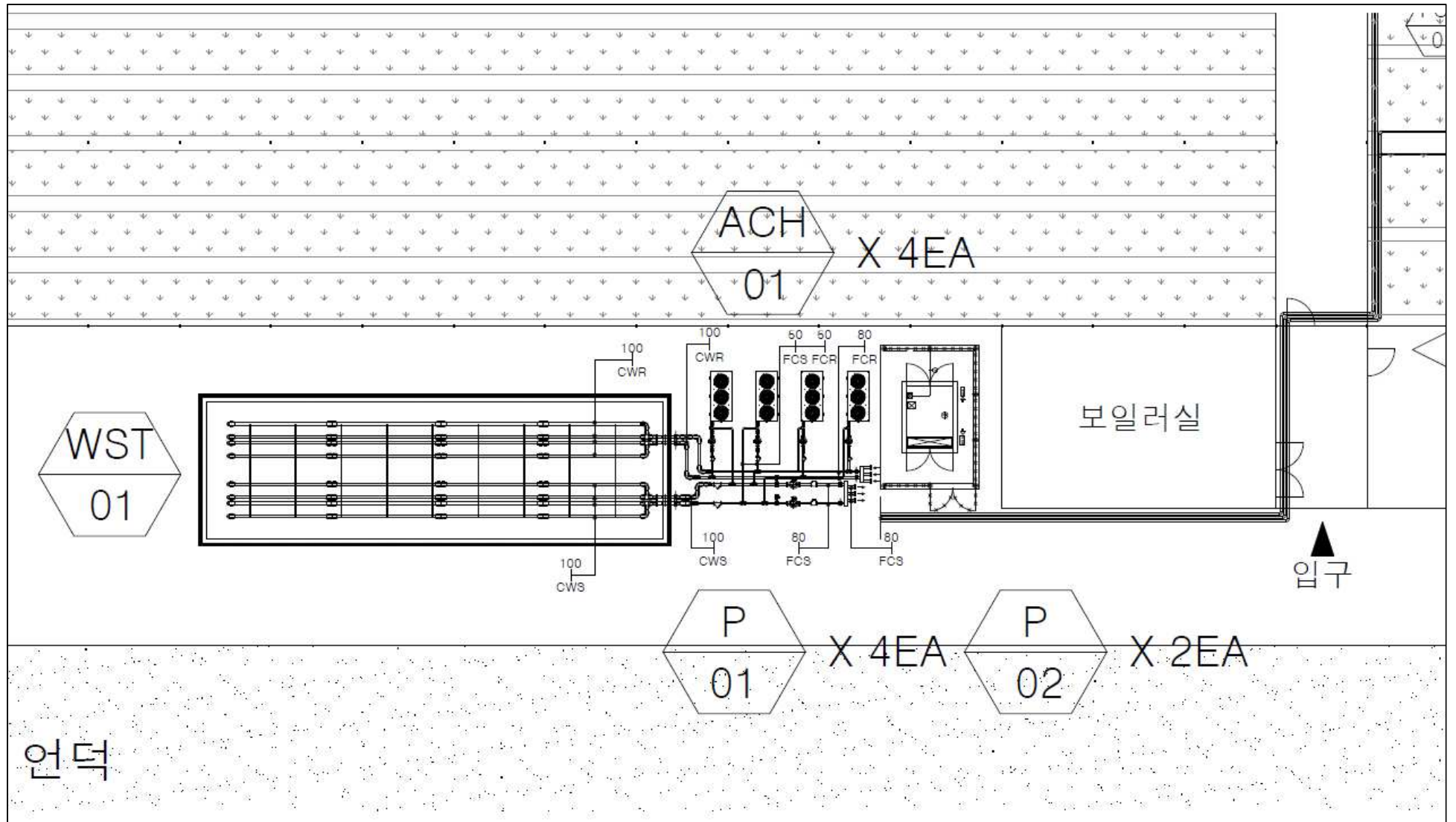
- 상부토출형 팬코일유니트는 작물 재배에 영향을 주지 않도록 온실 내 통로 공간을 활용하여 3열로 배치하였고 유량을 조절할 수 있는 밸브를 각각 설치하여 유량 불균형 현상을 방지하였다. 또한 온실 내부의 온도 편차에 따라 부분적으로 가동할 수 있도록 팬코일유니트마다 온도센서를 설치하였다.
- 설정온도가 25℃이고 팬코일유니트가 흡입하는 공기의 온도가 28℃라면 설정 온도보다 3℃가 높기 때문에 해당 팬코일유니트는 동작을 하게 된다. 만약 이 때 다른 곳에 설치된 팬코일유니트에서는 흡입하는 공기의 온도가 23℃로 워혀진다면 설정 온도보다 2℃가 낮기 때문에 냉방이 필요 없다고 판단을 하여 팬코일유니트가 작동하지 않는다. 이처럼 팬코일유니트 마다 설치된 온도센서를 통하여 팬코일유니트의 동작 여부를 결정하게 되므로 불필요한 가동이 없도록 구성 및 제어하였다.

라. 배관 연결

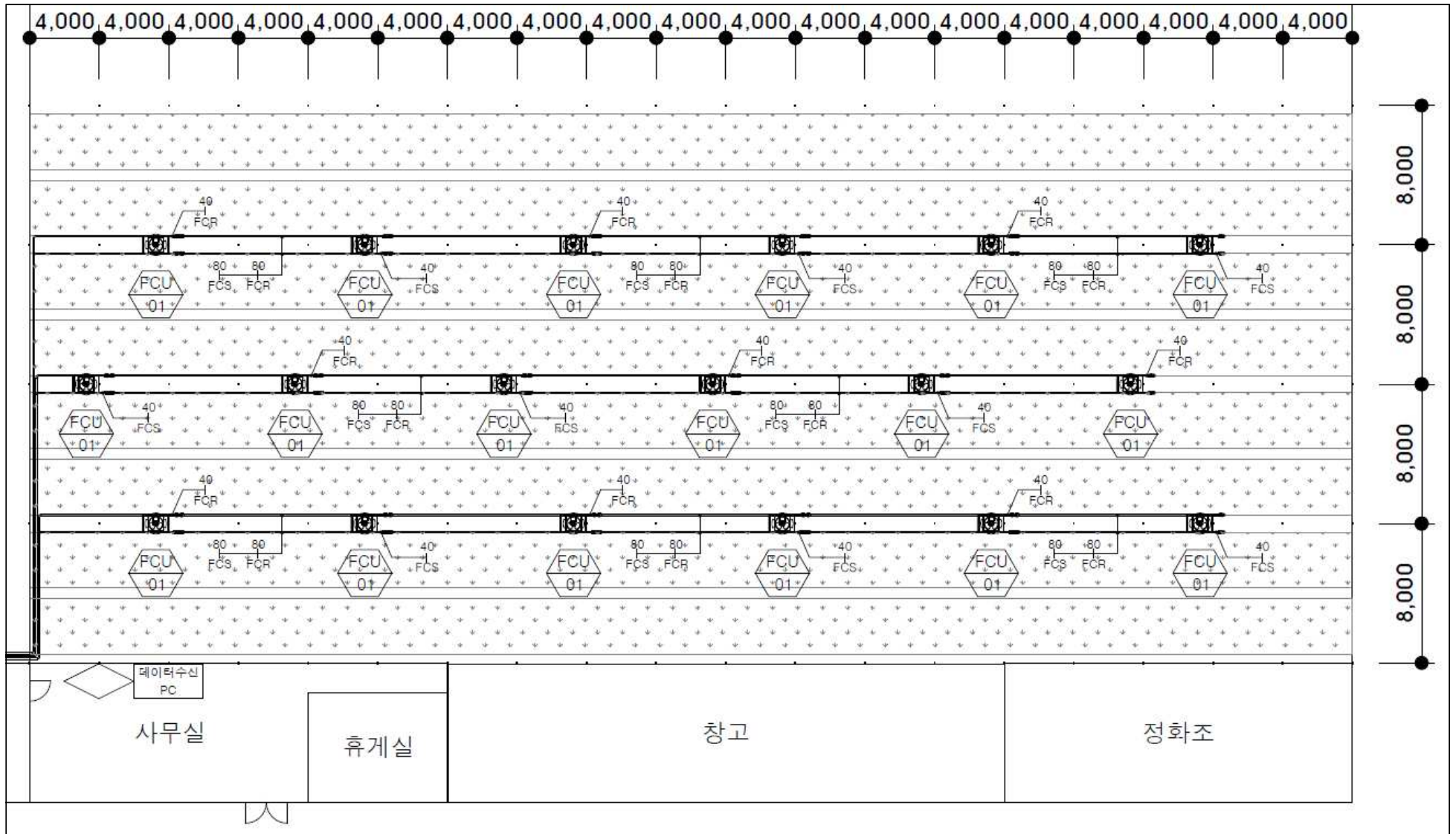
- 배관 자재는 수급이 용이하고 운반과 시공이 용이한 PE 배관을 적용하였다. 스테인레스나 철 재질의 강관을 사용할 경우 용접 작업을 통하여 배관을 연결해야 하기 때문에 시공이 어려워지며, 차후 보수시에도 어려움이 예상되었다. 이에 온실 농가에서 쉽게 구매하여 사용할 수 있는 PE 배관을 선정하였다.
- PE 배관은 내화학성의 재질로 음료수통, 의료기구 등에 널리 적용되고 있다. 인체에 유해하지 않고 배관 자재 자체의 부식이 없으며 염분이 높은 해양 현장의 해수 라인, 산성과 염기성이 높은 화학 배관라인에도 많이 적용되고 있다.
- 재질 자체의 유연성이 우수하여 지형이나 설치 현장의 조건에 제약받지 않고 배관의 시공이 용이하며 지진이나 지반 침하 등에도 강관에 비해 안전하고 탄력성이 뛰어나 변형이 발생한다고 해도 원상복원이 용이하고 강관에 비해 중량도 1/7 수준에 불과해 노령의 인력도 충분히 운반이나 시공이 가능하다.
- 또한 영하 40℃의 온도에서도 내부의 유체가 동결되지 않을 정도로 좋은 단열성을 가지고 있어 외부에 설치하기도 적절하며, 내벽이 매끈하게 되어 유체의 흐름 저항성도 적고, 내부 스케일 등의 부식현상이 없어 막힘 현상이 적다.
- PE 배관을 조립하기 위해서는 전기용착, 플랜지 접합, 조임식 접합 등 여러 방법이 있지만 전기 용착과 같은 경우는 전기 용착기 등의 별도의 장비가 필요하기 때문에 연구 과제의 특성상 플랜지 접합과 조임식 접합을 이용하여 배관을 시공하였다.
- 외부에 노출되는 배관은 동파방지를 위하여 보온을 하였고, 온실 내부에 3열로 배치된 팬코일유닛에 균등하게 유량을 공급 및 환수할 수 있도록 헤더 방식을 적용하였다.
- 헤더 이후부터 온실 내부의 팬코일유닛까지 연결되는 배관은 작물 재배에 영향을 최소화하며 지중 냉각 (또는 가열), 배관의 단열 효과를 얻기 위하여 지중에 매립하였다.
- 작물 생장에 지중온도가 중요한 역할을 하기 때문에 여름철 배관경로에 따라 지중온도를 냉각하면 작물 생장에 효과적일 것으로 판단된다. 또한 배관을 지중에 매립함으로써 추가적인 단열이 필요하지 않아 경제성 확보가 가능하다.

마. 수전설비 설치

- 냉방 패키지 가동에 필요한 전기를 공급할 수 있는 수전설비를 열원설비 옆 공간을 활용하여 설치하였다. 기존 50kW 규모의 수전이 운영되었지만 냉방 패키지 가동을 위해 약 150kW 추가 용량이 필요하여 수전설비를 증설하였다.



[그림 59] 냉방 패키지 공조배관 평면도 확대(열원설비 부분)



[그림 60] 냉방 패키지 공조배관 평면도 확대(팬코일유닛 부분)

(a) 거푸집 공사



(b) 기초공사



(c) 공기열 히트펌프



(d) 순환펌프



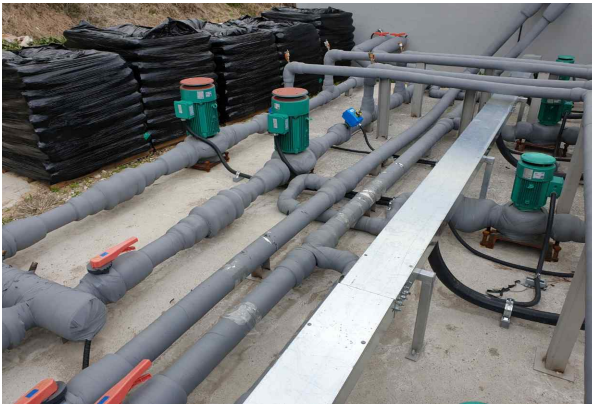
(e) 열원설비 및 배관 (보은 전)



(f) 열원설비 및 배관 (보은 후)










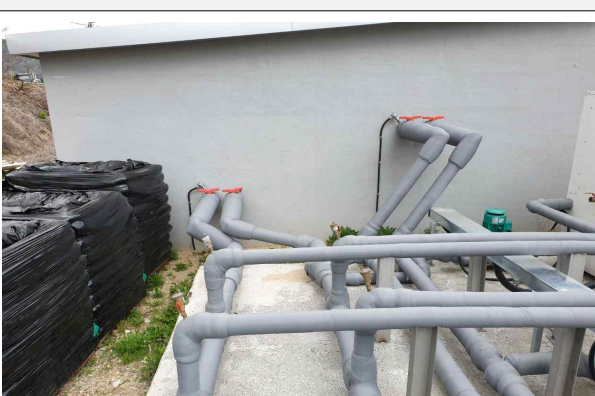
(g) 히트펌프-축열조 배관 연결



(h) 헤더 및 밸브류



[그림 62] 공기열 히트펌프 설치 사진

<p>(a) 터파기</p>	<p>(b) 버림 콘크리트 타설</p>
	
<p>(c) 바닥 철근 공사</p>	<p>(d) 내부 거푸집</p>
	
<p>(e) 축열조 내부 배관</p>	<p>(f) 축열조 외부 연결 배관</p>
	
<p>(g) 축열조 외부</p>	<p>(h) 축열조 배관 연결</p>
	

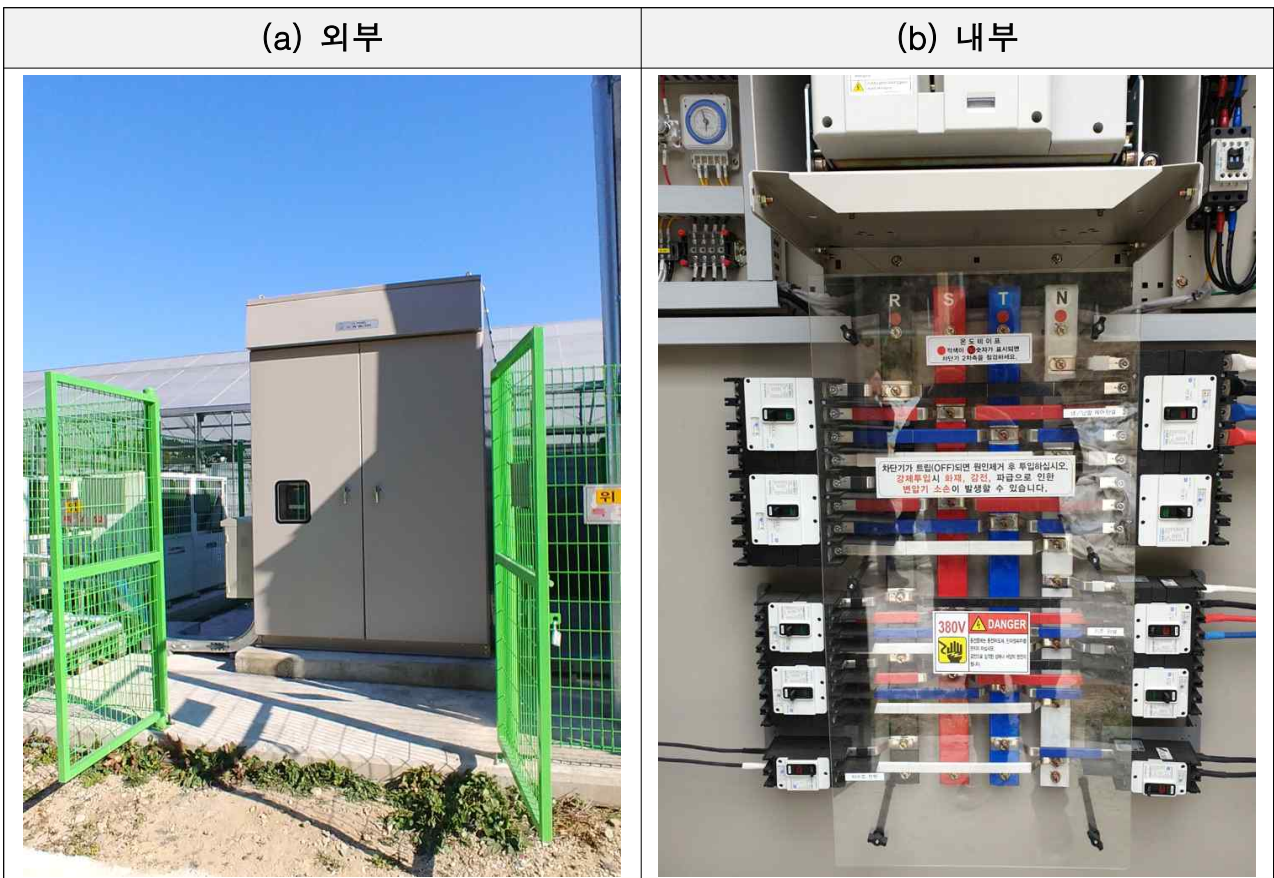
[그림 63] 축열조 설치 사진

<p>(a) 배관자재</p>	<p>(b) 배관 부속</p>
	
<p>(c) 배관 매립 전</p>	<p>(d) 배관 매립(외부)</p>
	
<p>(e) 배관 매립 후 마감 전</p>	<p>(f) 배관 매립 후 마감 과정</p>
	
<p>(g) 배관 매립 후 마감 (온실 내부)</p>	<p>(h) 배관 매립 후 마감 (외부)</p>
	

[그림 64] 배관 설치 사진



[그림 65] 팬코일유니트 설치 사진



[그림 66] 수전설비 설치 사진

3) 냉방 패키지 제어 및 모니터링

가. 제어판넬 설치

- 냉방 패키지 제어를 위해 온실 내부에 제어판넬을 설치하였고 온실 내 별도로 구획되어 있는 사무실에도 설정과 제어가 가능한 시스템을 구축하였다.
- 제어 항목은 히트펌프 가동(ON/OFF, 냉방/난방 운영), 냉수 또는 온수 온도 설정, 실내온도 설정, 순환펌프 가동, 팬코일유닛 가동 등으로 분리되어 있다. 또한 적산전력량계를 설치하여 전기 사용량을 확인할 수 있도록 계획되어 있다.



[그림 67] 제어판넬 설치 사진

나. 모니터링

- 온실 사례 조사와 실증 온실에서 재배되고 있는 선인장의 생육에 영향을 주는 요소를 고려하여 온도, 습도, CO₂ 농도, 광량 등의 계측기를 설치하였다. 냉방효과와 작물의 적정 생육환경을 조성하였을 때와 기존 생육환경 시의 작물 생산량을 비교하기 위하여 실증구역과 대조구역에 각각 계측센서 설치하였다.
- 계측용 센서는 작물이 재배되는 위치를 고려하여 최대한 근접한 위치에서 데이터를 획득할 수 있도록 지상 50cm~100cm 높이에서 설치하였다. 또한 무선 통신 방식을 적용하여 온실 내 작업 동선에 불편함을 없애고 계측기 통신선의 단선 등의 문제를 사전에 제거하였다.
- 계측기에서 취득한 데이터는 온실 내 사무실에 설치된 컴퓨터로 통합하여 저장되며, 저장된 파일은 인터넷으로 연결되어 (주)월드에너지 연구소(군포 소재)에서 실시간으로 확인 및 저장을 할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 스마트폰에서도 확인이 가능하다.
- 온습도 센서는 6대, CO₂ 센서는 2대, 광량 센서는 2대, 센서에서 측정된 데이터를 수집하는 데이터수집장치 1대로 구성하였다.

[표 41] 계측 항목 및 사양

품목	외형	사양
온습도 센서 (EE244)		<ul style="list-style-type: none"> - 2.4GHz(10mW) - 4~20mA Output - Battery 4x1.5V AA size - 5분 측정 시 1년간 지속가능 - 40℃~60℃
CO ₂ 센서 (EE871)		<ul style="list-style-type: none"> - Range : 0~2,000 ppm - Accuracy : ± 50ppm +2% - Modbus RTU - 40℃~60℃ - Interval : 15s ~ 1h
광량 센서 (HD2021T)		<ul style="list-style-type: none"> - Range : 0 ~ 2000w/m2 - Spectral range : 450~1050nm - Output : 4~20mA - Power : 16~30Vdc - 20℃~60℃
데이터 수집장치 (EE242)		<ul style="list-style-type: none"> - 2.4GHz(10mW) - 4~20mA output - Ethernet, RS-485, TCP/IP, Modbus RTU - 40℃~60℃

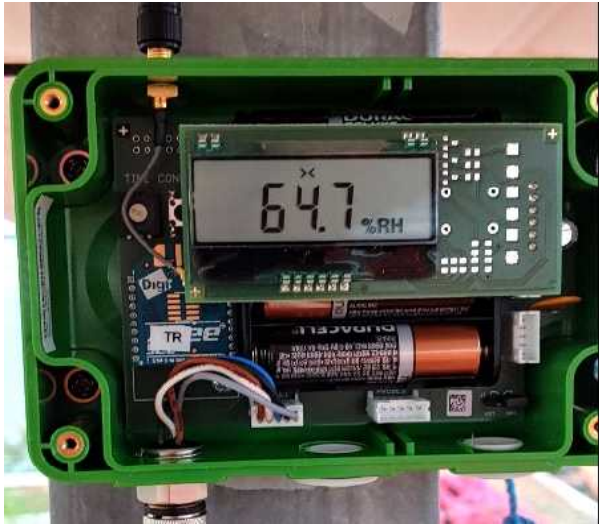
(a) 데이터 수집장치



(b) 온도, 습도, CO₂ 센서



(c) 온도, 습도, CO₂ 센서 내부



(d) 광량 센서



(e) 데이터 수집장치 연결



(f) 계측기 설치



[그림 68] 모니터링 장비 설치 사진

다. 제어 프로그램

- 냉방 패키지 제어 프로그램을 제작하여 온실 내 제어판넬뿐만 아니라 사무실의 컴퓨터에서 제어할 수 있도록 하였다. 또한 원격으로 접속이 가능하며 스마트폰으로도 제어가 가능하도록 하여 관리 편의성을 확보하였다.
- [그림 69~70]은 제어판넬에 설치된 터치스크린의 운전화면이다, 온실내부의 온도를 터치 화면에 표시하여 모든 온도 및 설비의 작동 상태를 한 번에 볼 수 있도록 구성하였다.



[그림 69] 제어판넬 터치프로그램 운전화면-1



[그림 70] 제어판넬 터치프로그램 운전화면-2

○ 다음은 제어판넬의 운전화면의 주요 기능을 나타낸다. (그림 69~70 참조)

① 설비의 운전 시작 및 정지 버튼 : 냉방 패키지 시스템의 “운전”과 “정지” 버튼을 이용하여 시스템의 가동 여부를 선택한다.

②, ⑤ 냉수 입/출구 온도 및 온실내부 온도 값

냉수 입/출구 온도 : 히트펌프나 축열조로부터 온실 내부의 팬코일로 들어오는 냉수의 온도(입구 온도)와 팬코일을 거쳐 온실 내부에서 외부로 나가는 냉수의 온도(출구 온도)를 표시한다.

③ 설비 운전 상태 확인 : 냉방 패키지 시스템의 “운전”과 “정지” 상태를 표시한다.

④ 설비 알람 상태 확인

판넬에 설치된 터치스크린에서 확인할 수 있는 알람의 리스트는 아래와 같다.

a) 팬코일1~18 알람

b) 냉수펌프1-1, 냉수펌프1-2 알람

c) 냉수펌프2-1, 냉수펌프2-2, 냉수펌프2-3, 냉수펌프2-4 알람

주) 히트펌프 관련 알람은 히트펌프 제어장치에서 확인 가능하다.

○ [그림 71]은 제어판넬에 설치된 터치스크린의 설정화면으로 온실내부의 부하에 따라 사용자가 최적의 운전을 하기 위해서 설비의 운전 조건을 설정하기 위한 화면이다.

○ 아래는 터치프로그램 설정화면의 주요 기능을 나타낸다.

① 초기설정 : 냉수펌프1~2, 히트펌프1~4 운전여부 선택, 냉난방 선택

②, ③, ④ 팬코일설정1~3 : 각 팬코일유니트의 가동 시작/정지 온도 확인 및 세팅

⑤, ⑥ 입력상태1~2 : 냉수펌프, 팬코일1~18 OCR 상태 확인

⑦, ⑧ 출력상태1~2 : 설비의 운전 상태 확인

⑨ 시간 : 터치스크린의 현재 시간 설정

⑩, ⑪ 온도보정1~2 : 냉수 입/출구 온도, 온실 내부 온도 값 보정

⑫ 수동운전 : 히트펌프1~4, 전동밸브 수동운전

⑬ 데이터 저장 : 냉수 입/출구 온도, 온실 내부 온도를 터치스크린에 1분에 한번씩 저장하고 저장된 데이터는 하루에 한차례 터치스크린에 설치된 SD카드에 저장되

며 SD카드에는 약 6개월 정도의 데이터가 기록됨.

주) PC에 저장되는 데이터와 별도로 터치스크린 자체 프로그램에도 데이터가 저장 되므로 계측용 센서의 배터리 방전 또는 고장 등으로 인한 작동 불능 시에도 온실 내부의 온도를 데이터화 하여 확인할 수 있다.

⑭ IP 설정 : 사무실의 컴퓨터에서 제어를 하기 위한 제어판넬의 IP 설정



[그림 71] 제어판넬 터치프로그램 설정 화면



[그림 72] 제어판넬 터치프로그램 초기설정 화면

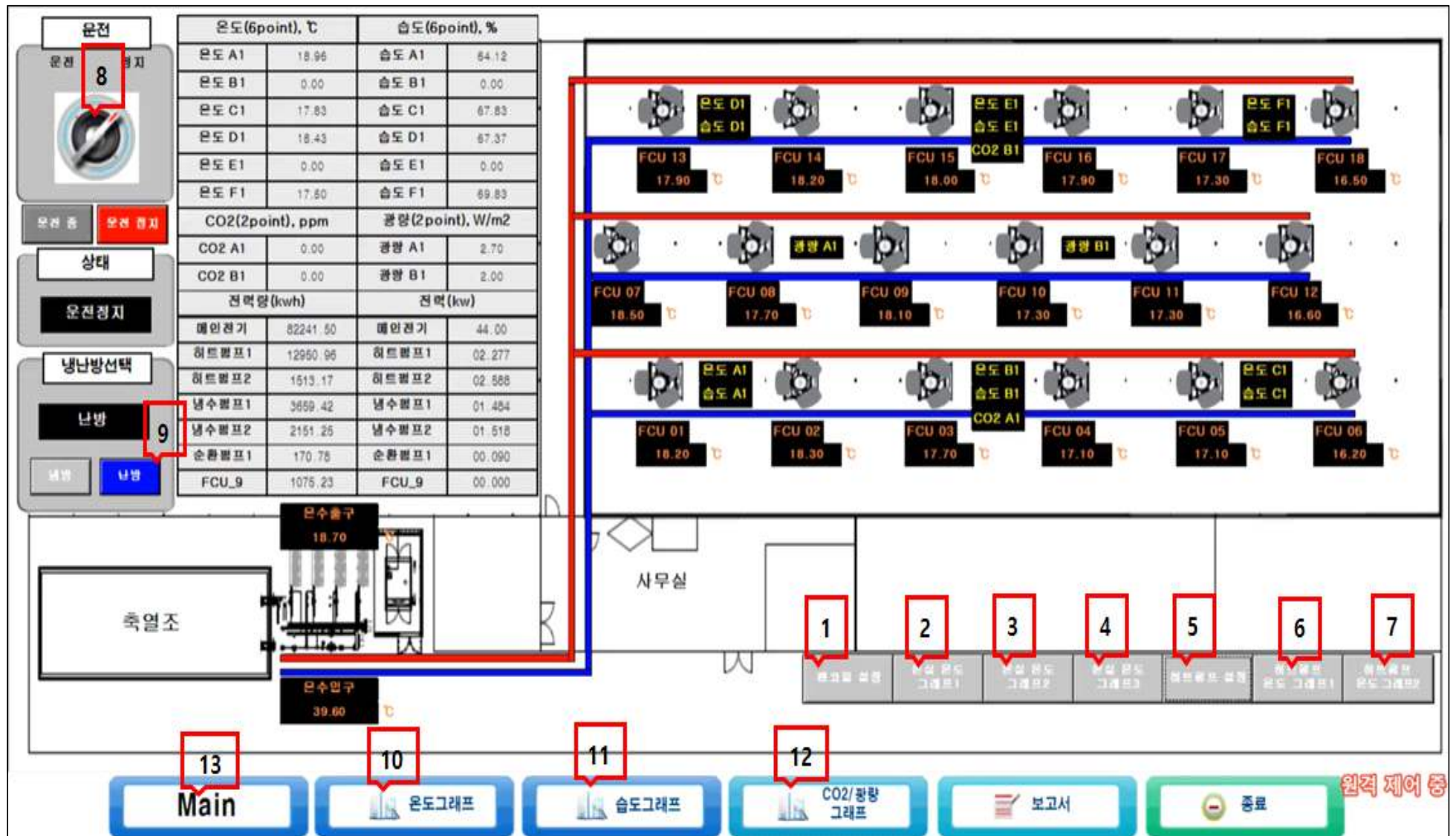


[그림 73] 제어판넬 터치프로그램 출력상태 화면-1

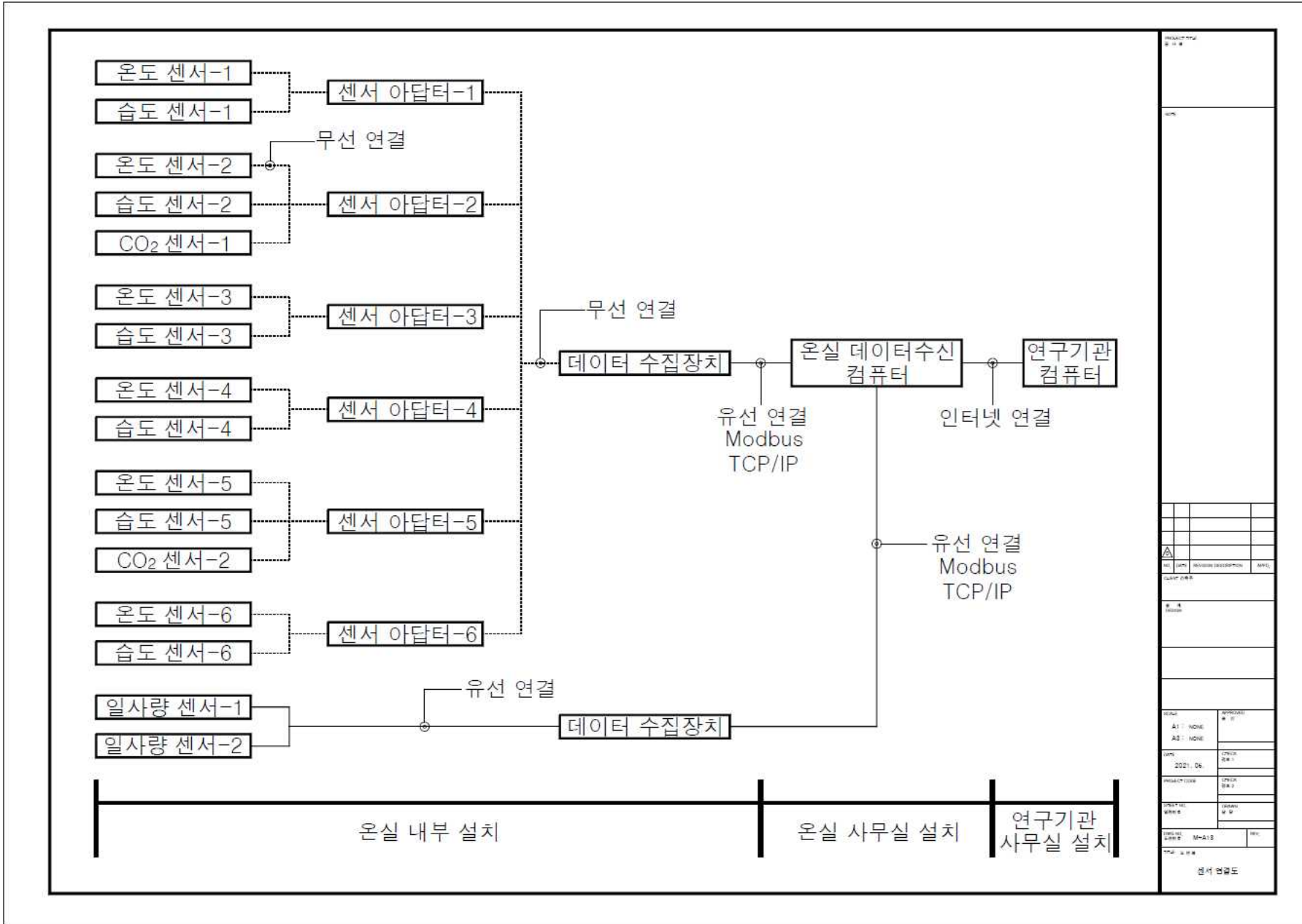


[그림 74] 제어판넬 터치프로그램 출력상태 화면-2

- [그림 75]는 제어 프로그램의 메인 화면이다. 온실의 평면을 활용하여 각 설비의 가동과 온도 및 습도, CO₂, 광량, 전력 사용량 등을 쉽게 파악할 수 있도록 구성하였다.
- 아래는 제어 프로그램의 주요 기능을 나타낸다.
- ① 팬코일 설정 : 각 팬코일유니트의 가동 시작/정지 온도 확인 및 세팅 가능
- ② 온실온도 그래프 1 : 1~6번 팬코일유니트의 온도 및 온실 입구/환수 온도 이력 확인 가능
- ③ 온실온도 그래프 2 : 7~12번 팬코일유니트의 온도 이력 확인 가능
- ④ 온실온도 그래프 3 : 13~18번 팬코일유니트의 온도 이력 확인 가능
- ⑤ 히트펌프 설정 : 히트펌프 1~4호기의 상태 확인 가능
- ⑥ 히트펌프 온도 그래프 1 : 히트펌프 1~2호기의 상태 이력 확인 가능
- ⑦ 히트펌프 온도 그래프 2 : 히트펌프 3~4호기의 상태 이력 확인 가능
- ⑧ 운전 정지 : 설비의 운전 시작 및 정지 버튼
- ⑨ 냉난방 선택 : 설비의 냉방 및 난방 운전을 선택
- ⑩ 온도 그래프 : 대조구역과 실증구역의 온도 데이터 확인 가능
- ⑪ 습도 그래프 : 대조구역과 실증구역의 습도 데이터 확인 가능
- ⑫ CO₂/광량 그래프 : 대조구역과 실증구역의 CO₂/광량 데이터 확인 가능
- ⑬ Main : 실증구역과 대조구역의 데이터 창을 변경



[그림 75] 제어 프로그램 메인 화면



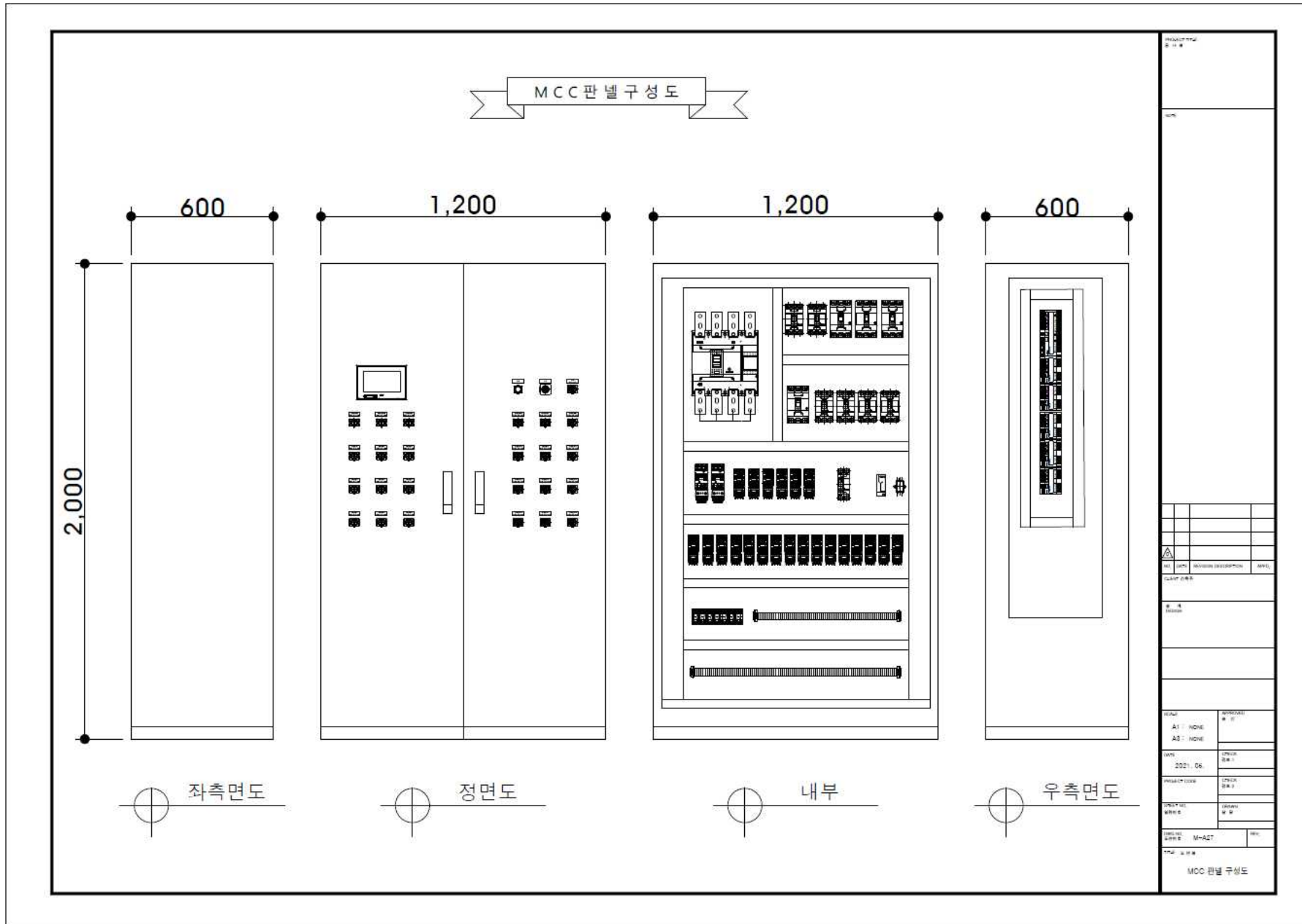
[그림 76] 센서 연결도

터미널 신호 체계도 - 1

TB-00	HOT MARK	NAME	TB-03	HOT MARK	NAME	TB-04	HOT MARK	NAME	TB-05	HOT MARK	NAME		
1	R	MAIN POWER 3Ø4W 380/220V 60Hz	13	BLACK	팬코일 #1 3Ø3W 380V 60Hz	34	BLACK	팬코일 #9 3Ø3W 380V 60Hz	55	BLACK	팬코일 #16 3Ø3W 380V 60Hz		
2	S		14	RED		35	RED		56	RED			
3	T		15	BLUE		36	BLUE		57	BLUE			
4	N		16	BLACK	37	BLACK	58	BLACK	59	RED	팬코일 #17 3Ø3W 380V 60Hz		
5	RED	순환펌프 #1-2 3Ø3W 380V 60Hz	17	RED	팬코일 #2 3Ø3W 380V 60Hz	38	RED	팬코일 #10 3Ø3W 380V 60Hz	60	BLUE			
6	BLUE		18	BLUE		39	BLUE		61	BLACK		팬코일 #18 3Ø3W 380V 60Hz	
19	BLACK	냉수펌프 #2-1 3Ø3W 380V 60Hz	20	RED	팬코일 #3 3Ø3W 380V 60Hz	40	BLACK	팬코일 #11 3Ø3W 380V 60Hz	62	RED			
2	RED		21	BLUE		41	RED		63	BLUE			
3	BLUE		22	BLACK		42	BLUE		TB-05	HOT MARK	NAME		
4	BLACK	냉수펌프 #2-2 3Ø3W 380V 60Hz	23	RED	팬코일 #4 3Ø3W 380V 60Hz	43	BLACK	1				BLACK	히트펌프 #1 3Ø3W 380V, 22.84kW
5	RED		24	BLUE		44	RED						
6	BLUE		25	BLACK		45	BLUE		3	BLUE			
7	BLACK	냉수펌프 #2-3 3Ø3W 380V 60Hz	26	RED	팬코일 #5 3Ø3W 380V 60Hz	46	BLACK	4	BLACK	히트펌프 #2 3Ø3W 380V, 22.84kW			
8	RED		27	BLUE		47	RED				5	RED	
9	BLUE		28	BLACK		48	BLUE				6	BLUE	
10	BLACK	냉수펌프 #2-4 3Ø3W 380V 60Hz	29	RED	팬코일 #6 3Ø3W 380V 60Hz	49	BLACK	7	BLACK	히트펌프 #3 3Ø3W 380V, 22.84kW			
11	RED		30	BLUE		50	RED				8	RED	
12	BLUE		31	BLACK		51	BLUE				9	BLUE	
			32	RED	팬코일 #7 3Ø3W 380V 60Hz	52	BLACK	10	BLACK	히트펌프 #4 3Ø3W 380V, 22.84kW			
			33	BLUE		53	RED				11	RED	
						54	BLUE	12	BLUE				

PROJECT TITLE			
NO.			
REV.			
DATE			
DRAWN BY			
CHECKED BY			
APPROVED BY			
DATE			
PROJECT CODE			
DRAWING NO.			
SCALE			
SHEET NO.			
TOTAL SHEETS			
MATERIAL			
M-426			
DATE			
DRAWN BY			
터미널 신호 체계도 - 1			

[그림 77] 터미널 신호 체계도



[그림 78] MCC판넬 구성도

4) 냉방 패키지 운영 계획 수립

가. 냉수온도 선정

- 냉수온도를 상승시키면 공기열 히트펌프의 냉방능력 향상, 입력 에너지 감소, 효율(성능계수, COP, Coefficient of Performance)을 향상시킬 수 있다.
- 건물에서는 인간의 열적 체감 온도를 고려하여 상대습도를 낮춰주기 위해 7℃의 냉수를 사용하나, 온실은 작물을 대상으로 하기 때문에 냉수온도를 높여 운전하면 에너지 최적화가 가능하다. 이에 냉방 시 팬코일유닛에 공급 및 환수되는 냉수온도를 15/20℃로 설정하였다.
- 정격조건(7/12℃)보다 온도를 높게 선정하여 냉방용량을 안정적으로 확보하고, COP를 향상하여 에너지절약 운전이 가능하도록 운영전략을 수립하였다.

나. 축열조 운영

- 축열조는 주간 냉방부하의 약 46.4%를 담당하도록 설계하여 히트펌프의 설치용량과 초기투자비를 최소화하였다.
- 공기열 히트펌프는 외기와 열교환을 통해 냉수를 생산하기 때문에 외기온도에 따라 생산되는 냉방용량과 에너지 효율(COP)의 차이가 발생한다. 상대적으로 외기온도가 낮은 21시부터 6시까지 심야시간대에 히트펌프를 가동하여 축열조에 냉수를 저장함으로써 에너지 절약적 운전이 가능하도록 계획을 수립하였다.

다. 주간 운영 전략

- 차광 스크린(2단) 개폐로 일사량을 조절하여 실내온도 상승을 억제하고, 공기열 히트펌프에서 생산된 냉수를 팬코일유닛에 공급하여 냉방한다.
- 히트펌프의 냉방 용량 이상의 냉방부하가 발생할 경우 축열조에서 냉수를 공급한다. 비닐 차단막은 실내온도에 따라 조절한다. (냉방부하가 높은 주간, 특히 12~16시 운영)

라. 야간 운영 전략

- 공기열 히트펌프에서 생산된 냉수를 축열조에 저장하여 주간에 사용한다. 야간에는 일사부하가 작아 냉방 패키지 운영이 필요없이 자연환기로 적정한 실내온도를 유지한다. (창을 개방하여 자연환기 냉각 및 이산화탄소 공급)

[표 42] 주야간 운영 전략

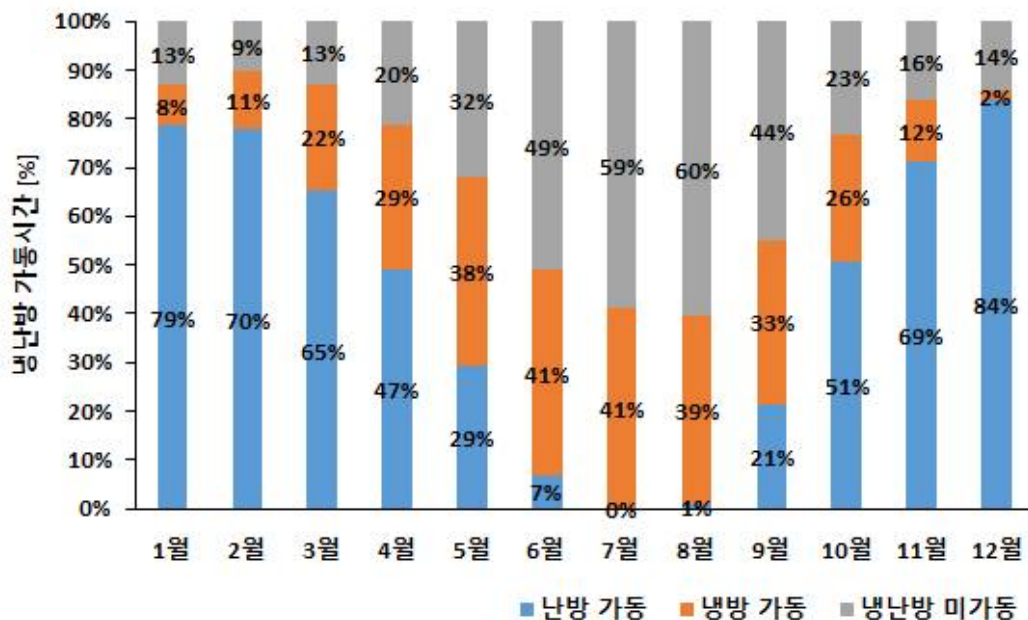
구분	건축적 기술			설비적 기술		
	차광 스크린	자연환기	비닐 차단막	공기열 히트펌프	축열조	팬코일유닛
주간	○	X	△(개폐 조절)	○	○	○
야간	X	○	X	○	X	X

마. 냉난방 모드 구분

- 냉난방 부하계산 결과를 바탕으로 냉방 및 난방 전환시점을 설정하였다.
- 1차적으로 시간별 냉난방 부하를 기준으로 냉난방이 필요한 시간을 산출하였다. 이를 기준으로 월별 난방 가동시간이 50% 이상을 차지하는 기간은 난방 모드, 그 외에는 냉방모드로 구분하였다.

예) 1월 전체 744시간(31일 X 24시간), 난방 616시간 필요, 냉방 61시간 필요, 67시간은 냉난방 필요 없음

- 1~4월은 난방모드, 5~9월은 냉방모드, 10~12월은 난방모드로 운영하는 것으로 계획하였다.
- 월별로 냉난방 시기를 구분하였지만 세밀한 전환시기의 조정은 기상상태에 따라 운영자가 조정이 가능하도록 구성하였다.



[그림 79] 월별 냉난방 가동시간

5) 냉방 패키지 제어 알고리즘

가. 개요

- 작물의 최적 생육환경을 조성하면서 에너지 절약적인 냉방 패키지 운전을 위해 2가지 방식의 제어 알고리즘을 계획하였다.
- 첫 번째는 설정온도에 따라 히트펌프를 대수 운전하는 방식이며, 두 번째는 월별 부하를 기준으로 패턴 운전하는 방식이다.

나. 설정온도에 따라 히트펌프 대수 운전 제어

① 기본컨셉

- 운영자측에서 판단하여 냉방 패키지 ON/OFF
- 냉방 시에는 부하에 따라 히트펌프를 순차적으로 가동, 부족분은 축열조 공급
- 난방 시에는 부하에 따라 히트펌프만 순차적으로 가동 (축열조 운전 필요 없음)
- 실내온도 설정은 기본적으로 냉방 30℃ , 난방 15℃를 기준으로 함

② 온도조건

- 축열조 온도는 열손실을 고려하여 2℃ 낮게 유지

[표 43] 냉방 패키지 열원설비 온도조건

실내		냉수온도[℃]		축열조온도[℃] *축열운전 시		온수온도[℃]	
온도[℃]	습도[%]	입구	출구	입구	출구	입구	출구
냉방 : 30℃ 난방 : 15℃	80% 이하	15	20	13	18	40	45

③ 히트펌프 기동 시퀀스

a) 팬코일유니트 기동

* 팬코일유니트에 설치된 온도센서에 따라 설정온도 이상인 곳만 부분 가동

b) 팬코일유니트 운전상태 확인(ON) 후 순환 펌프-2 기동

c) 순환 펌프-2 운전상태 확인 후 60초 후 히트펌프 기동(히트펌프 측의 환수온도에 따라 대수 제어)

④ 히트펌프 정지 시퀀스

a) 팬코일유닛 정지

b) 팬코일유닛 운전상태 확인(OFF) 후 히트펌프 정지

c) 2분간 순환 펌프-2를 운전한 후 순환 펌프 정지

d) 시스템의 이상발생 시 펌프 즉시 정지

⑤ 히트펌프 운영

○ 히트펌프 4대를 타임 스케줄에 의해 주단위로 변경

예) 1234, 2341, 3412, 4123 순

⑥ 축열조 기동 시퀀스

a) 20시에 축열조 입구 온도 확인 (출구온도 기준 13℃)

b) 출구온도 15℃ 이상이 확인되면 순환 펌프-1 기동

c) 순환 펌프-1 운전상태 확인(ON) 후 60초 후 히트펌프 기동

⑦ 축열조 정지 시퀀스

a) 출구온도 15℃ 이하가 충족되면 히트펌프 정지

b) 2분간 냉온수 펌프를 운전한 후 냉온수 펌프 정지

c) 시스템의 이상발생 시 펌프 즉시 정지

d) 20시부터 익일 6시까지 출구온도 15℃ 이상일 경우 히트펌프 재기동

⑧ 축열조 운영

○ 축열조는 냉방시즌에만 운영, 난방시즌에서는 동파방지만 조치

⑨ 대수 제어 조건

a) 다음의 조건이 충족될 경우 stage up (대수 증가 운영)

- 환수온도가 5분동안 설정값 이상일 경우
- 부하가 5분동안 설정값 이상일 경우

b) 다음의 조건이 충족될 경우 stage down (대수 감소 운영)

- 환수온도가 5분동안 설정값 이하일 경우
- 부하가 5분동안 설정값 이하일 경우

⑩ 냉방 부하 계산

○ (환수온도 - 공급온도) X 환수 유량(l/s) X 4.17 = 000kW

⑪ 냉방부하 설정값

[표 44] 냉방부하에 따른 히트펌프 운영

Stage	Stage up setpoint (운전 대수 증가)	Stage down setpoint (운전 대수 감소)	비고
1	히트펌프 1대 총 부하의 90%	히트펌프 1대 총 부하의 40%	
2	히트펌프 2대 총 부하의 90%	히트펌프 2대 총 부하의 40%	
3	히트펌프 3대 총 부하의 90%	히트펌프 3대 총 부하의 40%	
4	히트펌프 4대 총 부하의 90%	히트펌프 4대 총 부하의 40%	
5	축열조	-	

다. 월별 부하를 기준으로 패턴 운전 제어

① 기본컨셉

- 실내온도에 따라 자동운전
- 실내온도 기준이 충족되지 않으면 월별 운전패턴에 따라 자동 운전
- 실내온도 설정은 기본적으로 냉방 30℃ , 난방 15℃를 기준으로 함

○ 냉방시즌은 5~9월, 난방시즌은 10~4월로 정함 (부하패턴과 농장주 의견 반영)

② 온도조건

○ 대수운전 조건과 동일함

③ 운전모드 구분

○ 월별 부하에 따른 히트펌프 최대가동대수를 기준으로 난방 2가지, 냉방 2가지로 총 4가지 운전 패턴으로 구분함

○ ‘난방-1’ 패턴은 월별 히트펌프 최대가동대수가 2대인 2~4월, 10월, 11월에 적용 (냉방패키지 가동 시 히트펌프 2대 운전)

○ ‘난방-2’ 패턴은 월별 히트펌프 최대가동대수가 3대인 1월, 12월에 적용 (냉방패키지 가동 시 히트펌프 3대 운전)

○ ‘냉방-1’ 패턴은 축냉량을 기준으로 축냉 필요시간이 3~4시간인 5~6월, 9월에 적용 (주간에는 냉방패키지 4대 가동, 0시부터 4시간 축냉)

○ ‘냉방-2’ 패턴은 축냉량을 기준으로 축냉 필요시간이 5~6시간인 7~8월에 적용 (주간에는 냉방패키지 4대 가동, 0시부터 6시간 축냉)

[표 45] 월별 히트펌프 운전모드 구분

월	운전패턴	히트펌프 가동 대수	필요 축냉량 [W]	축냉 필요시간 [hours] *히트펌프 4대 가동 기준
1월	난방-2	3		
2월	난방-1	2		
3월	난방-1	2		
4월	난방-1	2		
5월	냉방-1	4	688,686	3
6월	냉방-1	4	863,213	4
7월	냉방-2	4	1,094,487	5
8월	냉방-2	4	1,268,960	6
9월	냉방-1	4	515,612	3
10월	난방-1	2		
11월	난방-1	2		
12월	난방-2	3		

라. 작물재배환경 제어

① 상대습도 제어

- 냉방시즌에는 실내 전체 6개의 상대습도 센서의 값 중 3개 이상에서 10분 동안 80% 초과하여 측정될 경우 냉방설비 가동 알람 (온도는 30℃ 이하이나 상대습도만 80%를 초과할 경우는 운영자측에서 자유롭게 냉방설비 가동 판단)
- 난방시즌에는 실내 전체 6개의 상대습도 센서의 값 중 3개 이상에서 10분동안 30% 미만일 경우 천창 개폐 알람

② 이산화탄소 제어

- 실내 전체 6개의 이산화탄소 센서의 값 중 3개 이상에서 10분동안 150ppm 미만으로 측정될 경우 천창 개폐 알람

③ 조도 제어

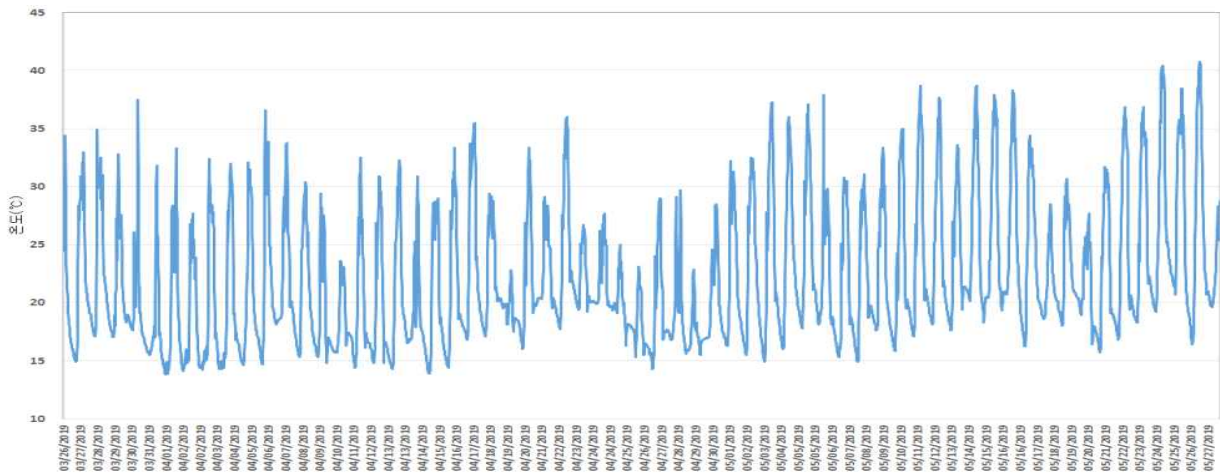
- 실내 전체 6개의 조도 센서의 값 중 3개 이상에서 10분동안 50,000lux을 초과할 경우 스크린 개폐 알람

2-8. 유리온실 냉방 패키지 시험 가동

1) 실증 온실 냉방 패키지 가동 전 실내환경

가. 2018년~2019년 실증 온실 온습도 변화

- 실증 온실의 낮기온은 35℃ 이상인 경우가 많으며, 40℃가 넘는 경우도 있어서 고온장해가 우려되며, 여름철 고온장해를 억제할 수 있는 시설보완이 시급한 것으로 나타났다. 2018~2019년의 경우 접목 선인장 재배온실의 온도가 최대 45℃까지 상승하여 고온으로 인한 피해가 큰 것으로 나타났다.
- 실증 온실의 습도변화는 주간에 10~40% 내외였으며, 야간에는 80~90% 정도였다. 여름철 고온기에 냉방 시스템 작동 시 상대습도는 다소 높아질 것으로 예상되며 과습으로 인해 잿빛곰팡이병 등의 병발생은 약간 높아질 수 있으나 큰 문제는 발생하지 않을 것으로 판단되며, 고온 피해 억제로 생육상황은 전반적으로 양호할 것으로 예상된다.



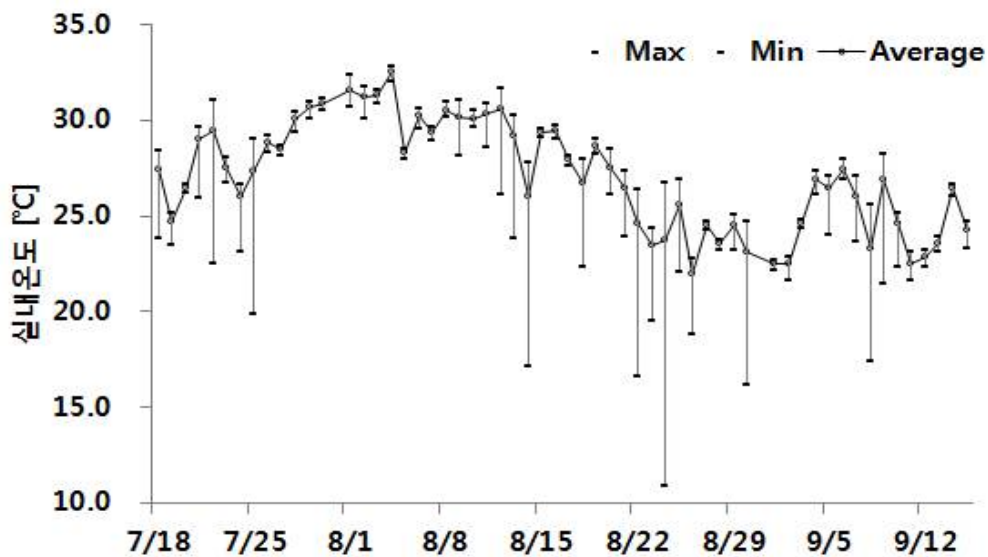
[그림 80] 실증 온실 냉방 패키지 가동 전 온도 (2019년)



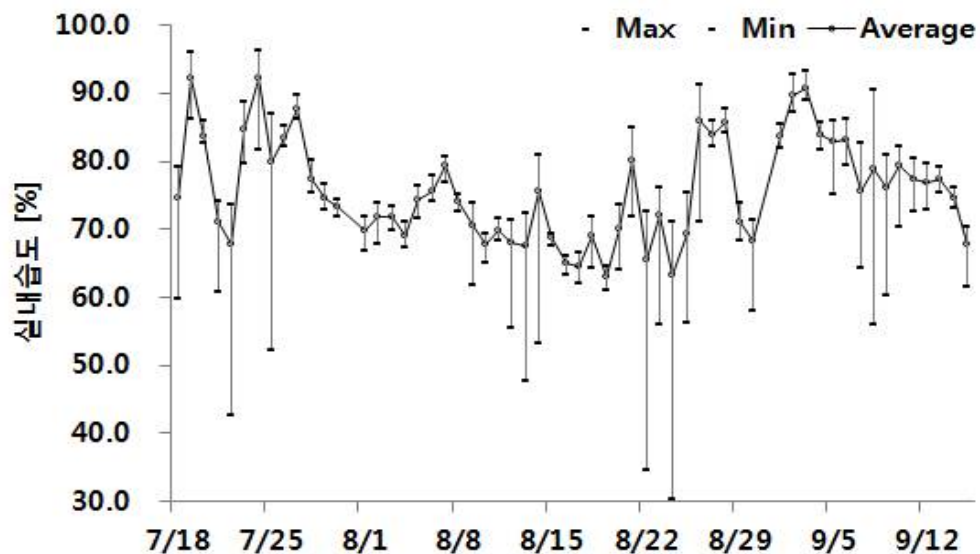
[그림 81] 실증 온실 냉방 패키지 가동 전 습도 (2019년)

나. 2019년 하절기 대조구역 실내환경 변화

- 냉방 패키지가 설치되지 않은 실증 온실의 대조구역 2019년 하절기 실내환경을 보면, 7월 중순부터 9월 중순의 일 평균온도는 25℃이상을 나타냈으며 일 평균 최고온도는 32.9℃로 기록되었다.
- 대조구역의 바닥면적은 2,432㎡로 전체의 온도분포를 위해 6개 지점에서 온습도 센서를 설치하였으며, 각 지점별로 평균 1.15℃ 차이가 있는 것으로 나타났다.
- 실내 상대습도는 대부분 60% 이상으로 유지되었으며, 6개 지점별로 평균 4.2% 차이가 있는 것으로 나타났다.
- 일부 지점에서 일 평균온도와 상대습도가 낮게 기록되었는데, 이는 온실 내 일시적 전기 공급에 문제가 있는 것으로 확인되었다.

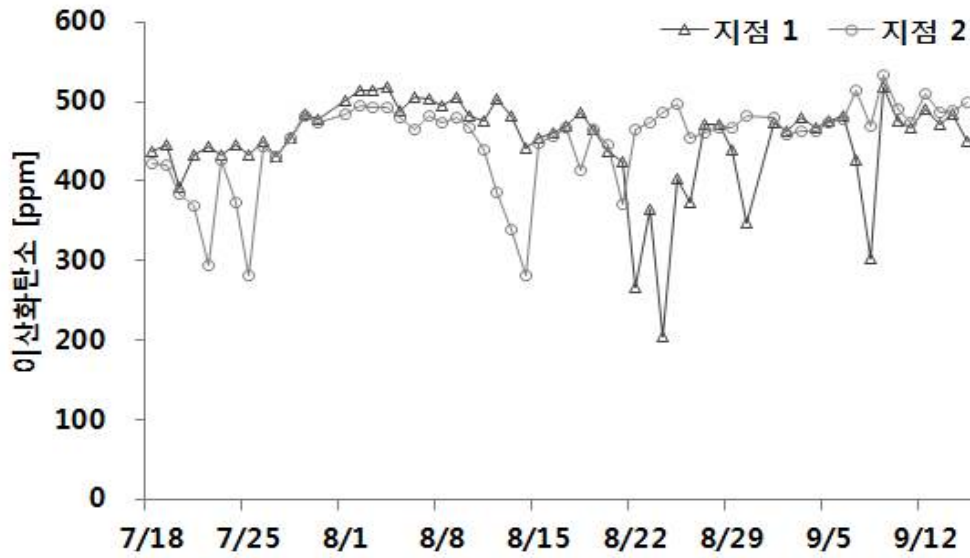


[그림 82] 2019년 하절기 대조구역 온도 변화



[그림 83] 2019년 하절기 대조구역 상대습도 변화

- CO₂ 농도는 일반적인 실외농도인 300~400ppm 보다 높은 400~500ppm이 기록되었다.



[그림 84] 2019년 하절기 대조구역 CO₂ 변화

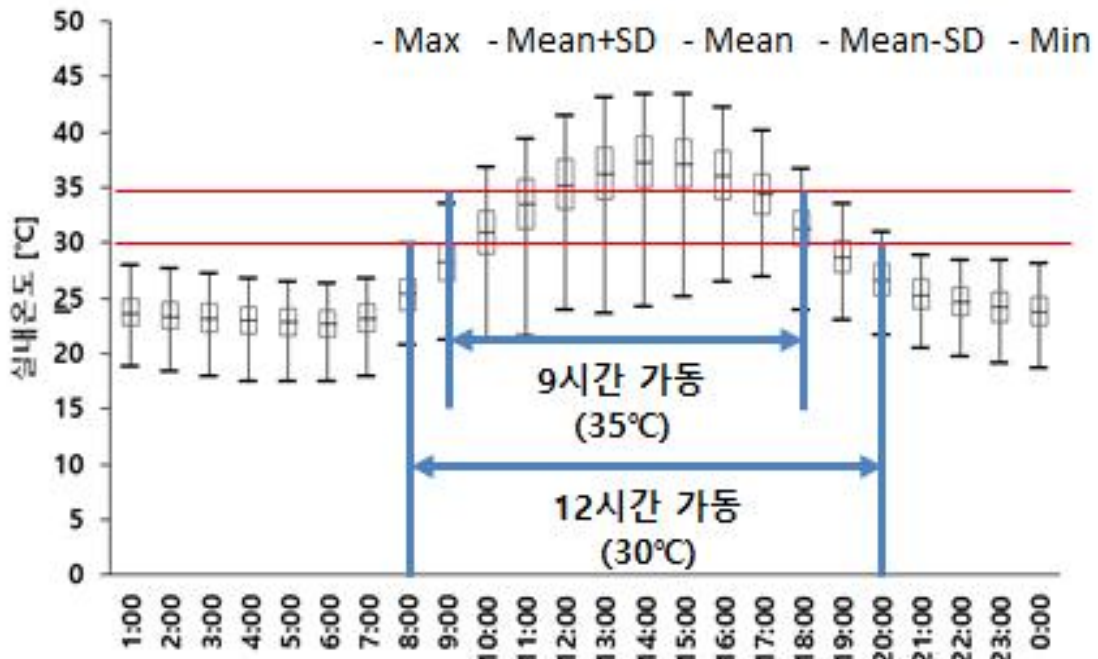
다. 2019년 8월 실증구역 온도 변화

- 냉방 패키지 설치 전 2019년 8월 실증 온실의 온도 변화를 보면, 8월 초부터 중순까지 실내온도 30 °C 또는 35 °C를 유지하기 위해 냉방이 필요한 것으로 나타났다. 8월26일 이후에는 온도가 상대적으로 낮아져 냉방 패키지가 부분적으로 운영될 것으로 예상된다.



[그림 85] 2019년 8월 실증구역 실내온도 변화 (냉방 패키지 미가동)

- 온실 내부온도를 30℃로 설정할 경우 냉방 패키지는 12시간 가동, 35℃로 설정한 경우에는 약 9시간 가동이 필요할 것으로 분석되었다.
- 8월의 시간별 평균온도 기준으로 냉방 패키지가 평균적으로 5~9시간 가동이 예상된다.



[그림 86] 2019년 8월 실증구역 시간대별 실내온도 분포 (냉방 패키지 미가동)

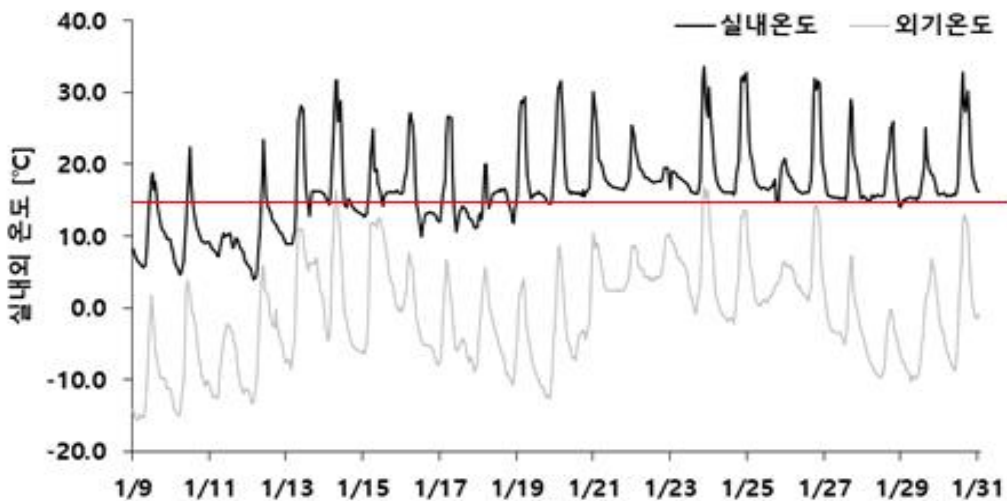
[표 46] 2019년 8월 실증구역 시간대별 실내온도 (냉방 패키지 미가동)

시간	평균	최대	최소	표준편차	시간	평균	최대	최소	표준편차
1:00	23.7	27.9	18.8	2.4	13:00	36.2	43.1	23.6	4.7
2:00	23.4	27.7	18.4	2.5	14:00	37.3	43.4	24.1	4.7
3:00	23.2	27.1	17.9	2.5	15:00	37.2	43.4	25.1	4.4
4:00	23.0	26.7	17.5	2.4	16:00	36.1	42.1	26.4	4.3
5:00	22.8	26.4	17.5	2.4	17:00	34.4	40.0	27.0	3.7
6:00	22.7	26.3	17.4	2.4	18:00	31.3	36.6	23.9	3.3
7:00	23.2	26.8	17.9	2.5	19:00	28.7	33.5	23.0	2.9
8:00	25.4	29.9	20.8	2.9	20:00	26.7	30.9	21.7	2.8
9:00	28.2	33.5	21.1	3.4	21:00	25.4	28.8	20.5	2.6
10:00	31.0	36.8	21.0	3.9	22:00	24.7	28.4	19.7	2.6
11:00	33.6	39.4	21.5	4.5	23:00	24.2	28.3	19.1	2.6
12:00	35.3	41.4	23.9	4.5	0:00	23.8	28.1	18.7	2.6

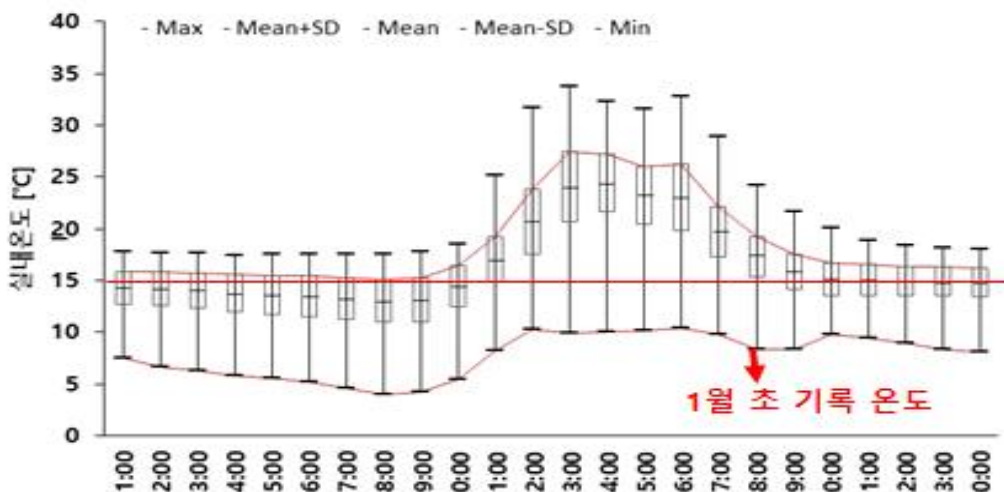
2) 실증 온실 냉방 패키지 히트펌프 시험 가동

가. 2021년 1월 냉방 패키지 히트펌프 가동 결과

- 실증 온실에 설치된 냉방 패키지는 여름철 냉방뿐만 아니라 겨울철 난방도 가능하다. 설치 후 2020년 12월부터 2021년 2월 겨울철에 난방을 위해 시험 가동을 하였다. 2021년 1월은 최저온도가 -15.7°C 로 혹한의 날씨가 지속되는 악조건에서 시험 가동을 하였다.
- 실내온도를 15°C 로 설정한 상태로 냉방 패키지를 가동하여 실내온도가 대부분 15°C 이상으로 기록되었다. 또한 온실 6개 지점에 설치된 온도센서 값의 편차도 0.7°C 로 크지 않아 전체적으로 균일한 온도가 유지되는 것으로 확인되었다.
- 다만 1월 초 일부기간동안에는 15°C 이하의 온도가 기록되었는데 이는 히트펌프 내 코일 동파로 인한 일부 수리가 발생한 시기이다. 냉방 패키지 자체의 문제가 아닌 히트펌프 제조사의 제조과정의 문제로 보수하여 정상적으로 복구하였다.



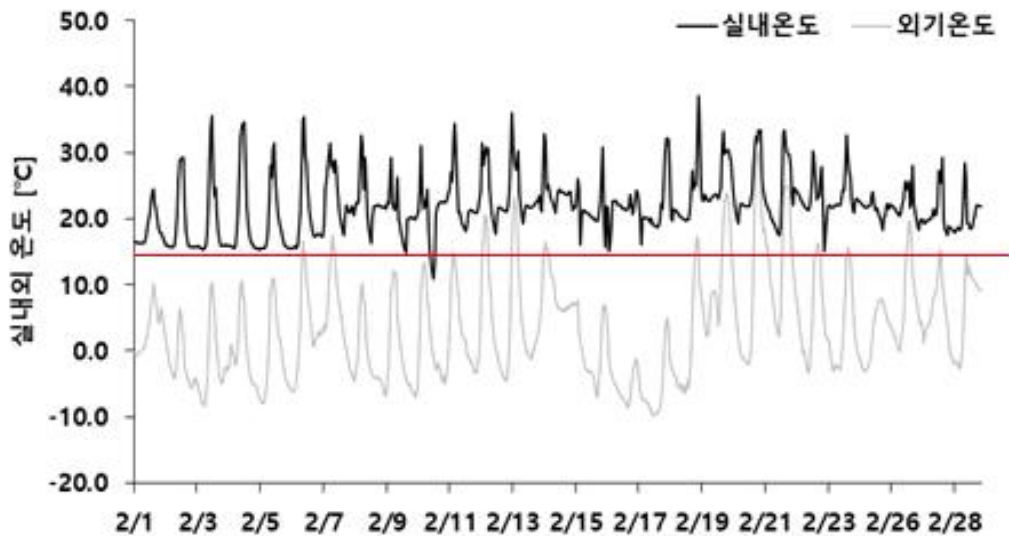
[그림 87] 2021년 1월 실증구역 실내외 온도 변화 (냉방 패키지 가동)



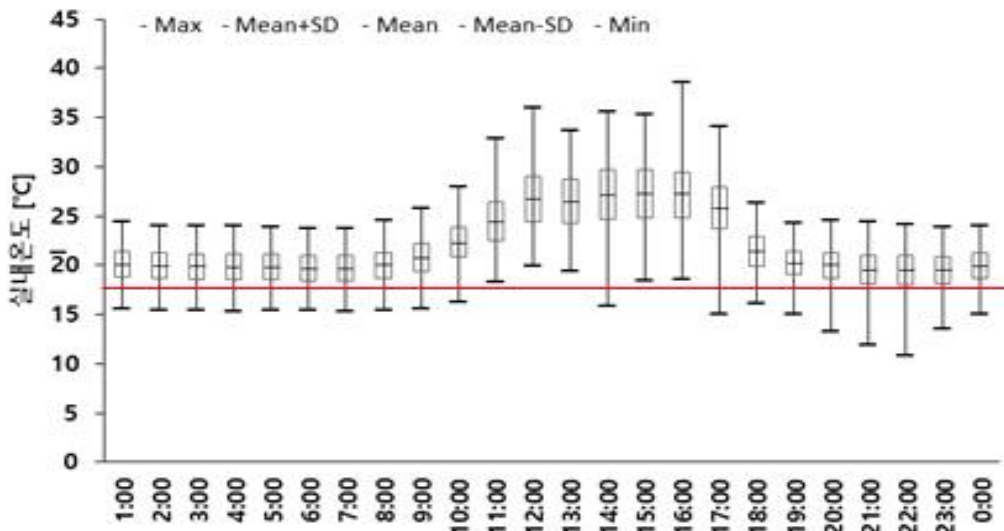
[그림 88] 2021년 1월 실증구역 실내온도 변화 (냉방 패키지 가동)

나. 2021년 2월 냉방 패키지 히트펌프 가동 결과

- 2월의 월 평균 외기온도는 약 3.2℃로 냉방 패키지를 통해 난방을 지속적으로 가동하였다.
- 1월과 동일하게 실내온도를 15℃로 설정한 상태로 냉방 패키지를 가동하여 실내 온도가 대부분 15℃ 이상으로 기록되었다. 또한 온실 6개 지점에 설치된 온도센서 값의 편차도 1.2℃로 1월보다는 편차가 크게 나타났지만 실증구역의 바닥면적 2,432㎡를 고려했을 때 전체적으로 균일한 온도가 유지되었다.
- 2021년 1~2월 시험 가동 결과를 보면 냉방 패키지를 통한 냉방뿐만 아니라 부가적으로 난방 성능도 충분히 확보가 된 것으로 확인되었다. 또한 상부토출형 팬코일을 통해 대공간인 온실 전체의 온도도 균등하게 유지할 수 있는 것으로 성능을 확인하였다.



[그림 89] 2021년 2월 실증구역 실내외 온도 변화 (냉방 패키지 가동)



[그림 90] 2021년 2월 실증구역 실내온도 변화 (냉방 패키지 가동)

2-9. 냉방 패키지 성능 검증

1) 냉방 패키지 성능 검증 개요

- 농업회사법인 (주)구미선인장을 대상으로 전산유체해석을 통하여 냉방 패키지 기술별 온도 하강 효과를 평가하고, 유리온실 내부온도 30℃ 유지 여부를 검증하였다. 실제와 동일한 환경에서 냉방 패키지 성능을 검증하기 위하여 태양광 복사 효과를 적용하였다.

2) 냉방 패키지 기술별 설계인자 선정

가. 차광 스크린 설치 여부 (2단)

- 온실에 유입되는 태양광을 일부 차단시키는 설계인자로 온실의 온도 상승을 1차적으로 제어

나. 상부토출형 팬코일유닛 가동 여부

- 약 22℃의 유동을 토출하는 냉각팬으로 유리온실 내부 온도분포에 지배적인 영향을 미치는 설계인자

다. 비닐 차단막 설치 여부

- 태양광을 차단하거나 직접적으로 온도하강을 제어하지 않지만 상부토출형 팬코일유닛 가동 시 냉기 유출을 최소화하며 온실 내부 유동장 형성에 영향을 미치는 설계인자

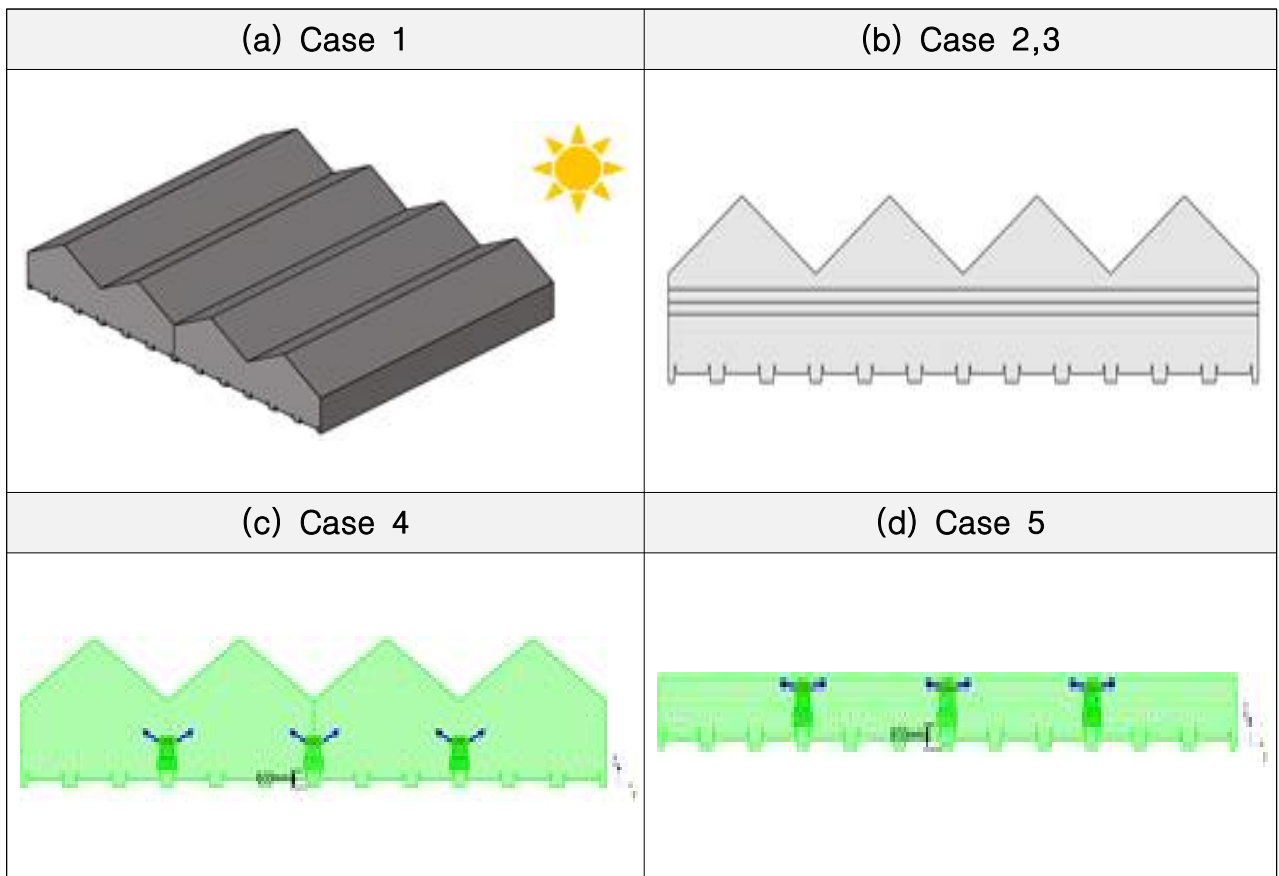
3) 설계인자에 따른 해석 케이스 분류

- 온실 내부 온도 상승에 직접적인 영향을 미치는 태양광 복사효과가 기본적으로 적용된 상태에서 팬코일유닛 가동 여부, 차광 스크린 및 비닐 차단막의 설치 여부에 따른 온실 내부 온도를 분석하기 위해 5개의 해석 케이스로 분류하였다.
- Case 1은 별도의 냉방설비 없는 상태의 온실로, 태양광 복사효과만 고려하였다.
- Case 2는 온실의 일반적인 여름철 상황을 구성하기 위하여 차광 스크린 1단 (35%)을 구성하여 해석을 진행하였고, 차광 스크린은 흑색 차광 스크린 (PE 직조)을 적용하였다.

- Case 3은 차광 스크린 2단(35%, 35%) 조건에서 시뮬레이션 해석을 하였다.
- Case 4는 차광 스크린 2단, 상부토출형 팬코일유닛 가동 상태에서 시뮬레이션 해석을 하였다.
- Case 5는 전체 냉방 패키지 운영 시 성능을 검증하기 위하여 차광 스크린 2단, 팬코일유닛 가동, 비닐 차단막 조건에서 시뮬레이션 해석을 하였다.

[표 47] 시뮬레이션 해석 케이스

구분	차광 스크린	팬코일유닛 (냉방)	비닐 차단막	비고
Case 1	X	X	X	최악 조건
Case 2	O (1단)	X	X	온실의 일반적인 여름철 상황
Case 3	O (2단)	X	X	온실의 일반적인 여름철 상황
Case 4	O (2단)	O	냉방설비 갖춘 온실	
Case 5	O (2단)	O	O	냉방 패키지



[그림 91] 해석 케이스 분류

4) 열유동 해석조건

가. 태양광 복사 모델 선정 (Solar Radiation)

- 태양광 복사 모델은 P-1, Rosseland, Surface to Surface, Do Model 등의 적용이 가능하다.
- P-1 모델은 scattering 효과가 포함되는 모델과 Optical Thickness가 큰 연소모델에서 사용한다. Optical Thickness가 작거나 모델의 복잡성에 따라 정확성이 떨어지며 국소적 열원 또는 싱크에서 발생하는 복사량을 과도하게 예측하는 단점이 있다.
- Rosseland 모델은 P-1 모델과 동일한 방식이지만 입사 복사에 대한 수송정리를 계산하지 않아 더 빠르며 메모리를 적게 차지한다. 두꺼운 매체에 대해 적용이 가능하나 coupled solver로 사용이 불가하다.
- Surface to Surface 모델은 매체가 복사에 관여하는 모델(태양열 집열기, 복사를 이용한 난방기 등)을 제외하고 단힌 물체에 대한 복사 열전달을 해석할 때 유용하다. 그러나 이동하는 물체와 2d axisymmetric 모델이 불가하며 단일한 구조의 단힌 물체에 대해서만 적용이 가능하다.
- Do 모델은 모든 범위의 광학 두께에 적용이 가능하고, Surface to Surface 모델에서부터 연소모델까지 적용이 용이하다. 또한 반투명 모델에 대해서도 적용이 가능한 장점이 있다.
- 유리온실은 바닥면을 제외한 모든 면이 투명하며, 바닥면적뿐만 아니라 층고가 높은 대공간이다. 적합한 태양광 복사 모델 중 유리온실의 세가지 조건을 모두 만족하는 Do 모델로 선정하였다.

Application	Model/Method
Underhood	S2S, DO
Headlamp	MC, DO (non-gray)
Combustion in large boilers	DO, P1 (WSGGM)
Combustion	DO (WSGGM)
Glass applications	Rosseland, P1, DO (non-gray)
Greenhouse effect	MC, DO
UV Disinfection (water treatment)	DO, P1 (UDF)
HVAC	DO, MC, S2S

[그림 92] 유리온실에 적용 가능한 태양광 복사 모델

나. 열유동 해석 경계조건 설정 (Set up)

- 위도와 경도에 따라서 태양의 복사효과가 달라진다.
- 시뮬레이션 해석대상 유리온실은 경북 구미에 설치된 온실로 위도(36.33758), 경도(128.2802)를 적용하였다.
- 하절기 최고온도는 기상청의 자료에 따라서 가장 더운 날인 2020년 하절기 최고 온도를 기준으로 설정하였다. (8월 11일 오후 2시)
- DO Irradiation을 설정하여 차광 스크린과 같은 반투명 벽에 대한 복사 에너지를 적용하였다. 차광 1단은 Diffuse Fraction을 0.35로, 차광 2단은 Diffuse Fraction을 0.7로 설정하였다.

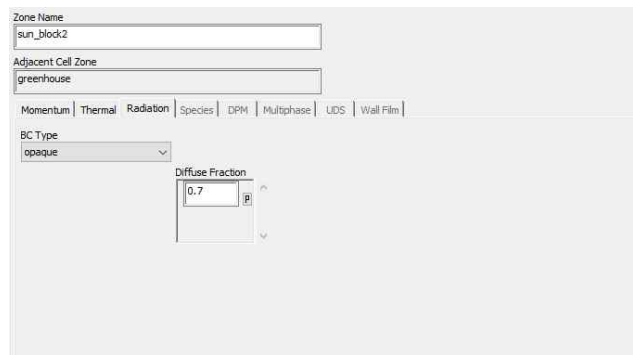
[표 48] 태양광 복사 모델 경계조건

구분	내용
모델	Discrete Ordinates Model Do Irradiation
위치	경상북도 구미시 옥성면
경도 및 위도	경도: 128.2802 위도: 36.33758 Timezone (+GMT): +9
날짜 설정	8월 11일 오후 2시 (2020년 하절기 최고 온도)

[그림 93] 태양광 복사 모델 적용



(a) 차광 스크린 1단 경계조건



(b) 차광 스크린 2단 경계조건

[그림 94] 차광 스크린 모델 적용

[표 49] 유리온실의 Material Properties

파라미터		값
Turbulent Model		Standard k-ε
Gravity (m/s ²)		9.81
Solver Type		Pressure-Based, Steady
Air (유리온실 내부)	Density (kg/m ³)	1.225
	Specific Heat (J/kgK)	1006.43
	Thermal Conductivity (W/mK)	0.242
	Viscosity	Sutherland
	Molecular Weight (kg/mol)	28.966
Glass (상단, 벽면)	Density (kg/m ³)	2800
	Specific Heat (J/kgK)	750
	Thermal Conductivity (W/mK)	0.7
Polyethylene (비닐 차단막)	Density (kg/m ³)	915
	Specific Heat (J/KgK)	1900
	Thermal Conductivity (W/mK)	0.33
Soil Average (바닥)	Density (kg/m ³)	1301
	Specific Heat (J/KgK)	1046.7
	Thermal Conductivity (W/mK)	0.8368
유리온실 외부 대기온도 (K)		308

5) 열유동 해석 방법

- Solver Type : Pressure-Based
- Velocity Formulation : Absolute
- Time : Steady
- 자연대류를 고려하여 중력 적용 (중력 가속도 : -9.81m/s^2)
- Viscous Model : Standard $k-\epsilon$ 난류 모델 설정
- 연속방정식: 시간의 변화에 상관없이 질량유량이 변하지 않는 것을 의미

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

- 운동량방정식: 정압, 응력텐서, 중력에 의한 힘 및 외력에 의한 힘을 의미

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{V}) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = - \vec{\nabla} p + \vec{\nabla} \cdot (\tau) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

- 에너지방정식: 유효전도도, 내부에너지, 체적당 발열량을 의미

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \vec{\nabla} \cdot [\vec{V} (\rho E + p)] = \vec{\nabla} \cdot k_{eff} \vec{\nabla} T + \vec{\nabla} \cdot (\tau_{eff} \cdot \vec{V}) + S_h$$

- $k-\epsilon$ 난류 모델: 평균속도 구배에 의해 발생하는 난류에너지, 부력에 의해 발생하는 난류에너지 압축성 난류에서의 변동팽창이 전체 소산에 미치는 영향을 의미

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \vec{\nabla} \cdot (\rho k \vec{V}) &= \\ \vec{\nabla} \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \vec{\nabla} k \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M & \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \vec{\nabla} \cdot (\rho \epsilon \vec{V}) &= \\ \vec{\nabla} \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \vec{\nabla} \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} & \end{aligned}$$

- 난류 점성계수 모델: 어떤 물질의 흐름을 방해하려는 성질을 의미

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

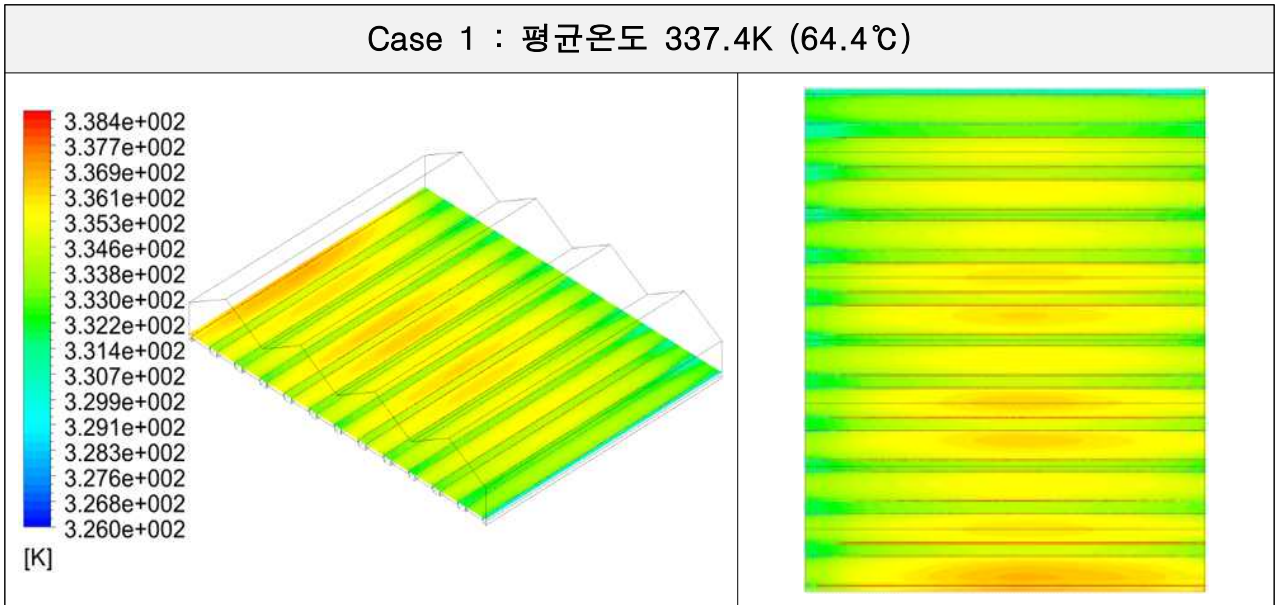
- 난류 모델에 사용된 상수 값

$$\begin{aligned} C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \\ \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3 \end{aligned}$$

6) 열유동 해석 결과

가. Case 1 해석 결과

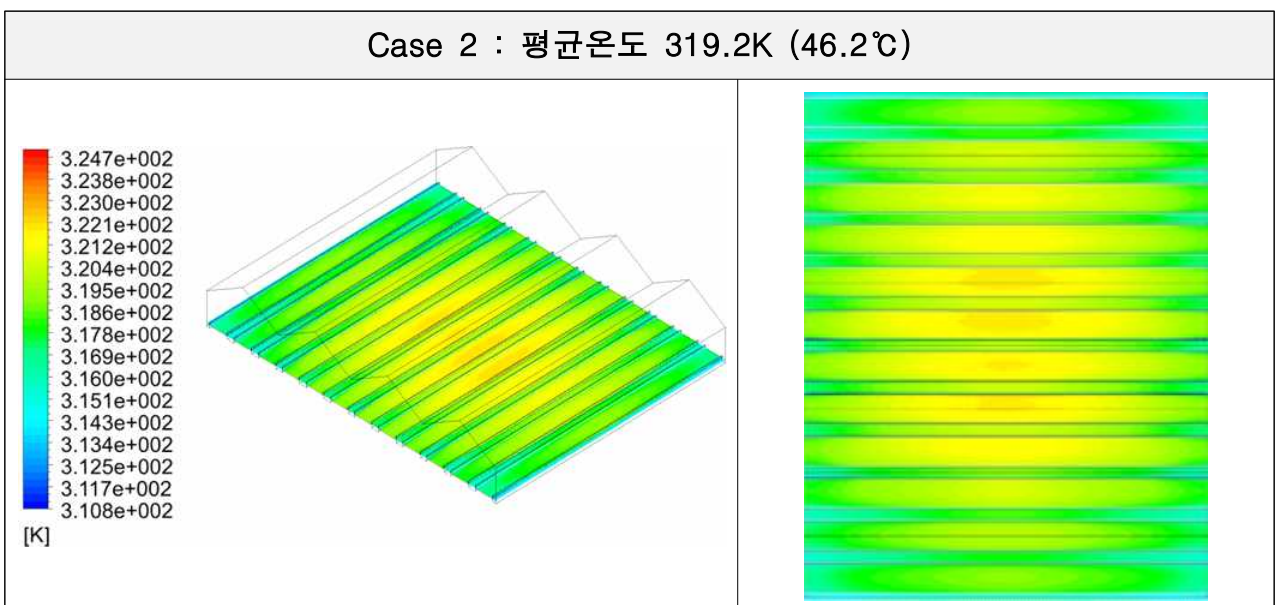
- Case 1은 별도의 냉방설비 없는 상태의 온실로 평균 온도가 64.4℃로 가장 높게 해석되었다.



[그림 95] Case 1 온도 분포 결과

나. Case 2 해석 결과

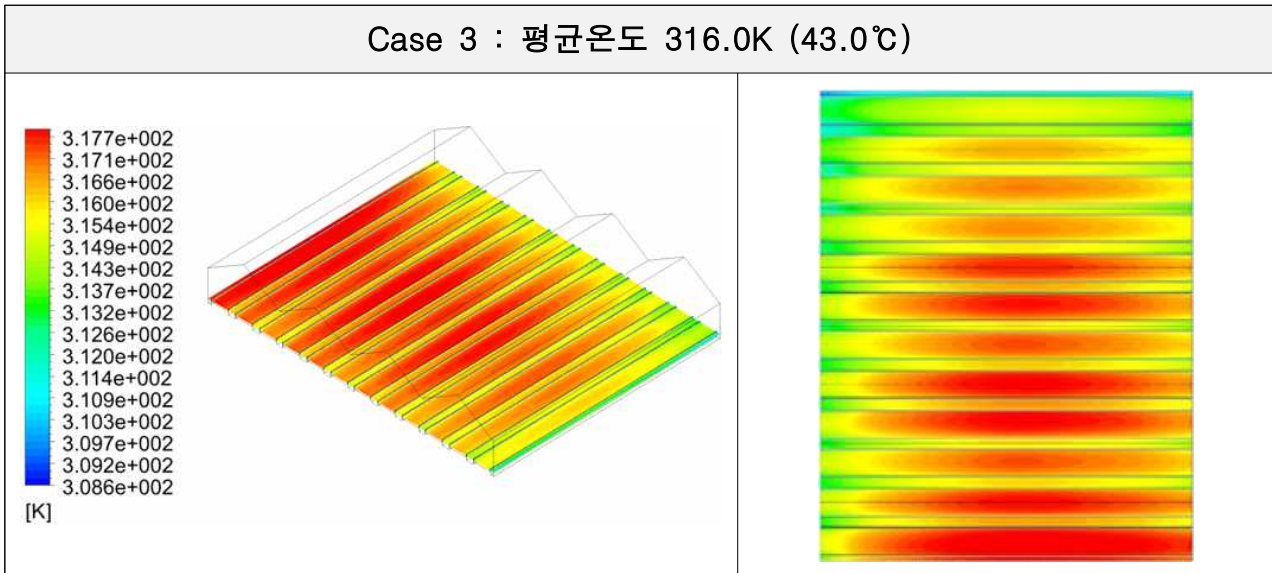
- Case 2는 차광 스크린 1단(35%)를 적용한 온실로 태양광 복사 에너지가 차광막에 일부 흡수 및 반사되어 온실 내부의 평균 온도가 Case 1에 비해 18.2℃ 낮은 46.2℃로 해석되었다.



[그림 96] Case 2 온도 분포 결과

다. Case 3 해석 결과

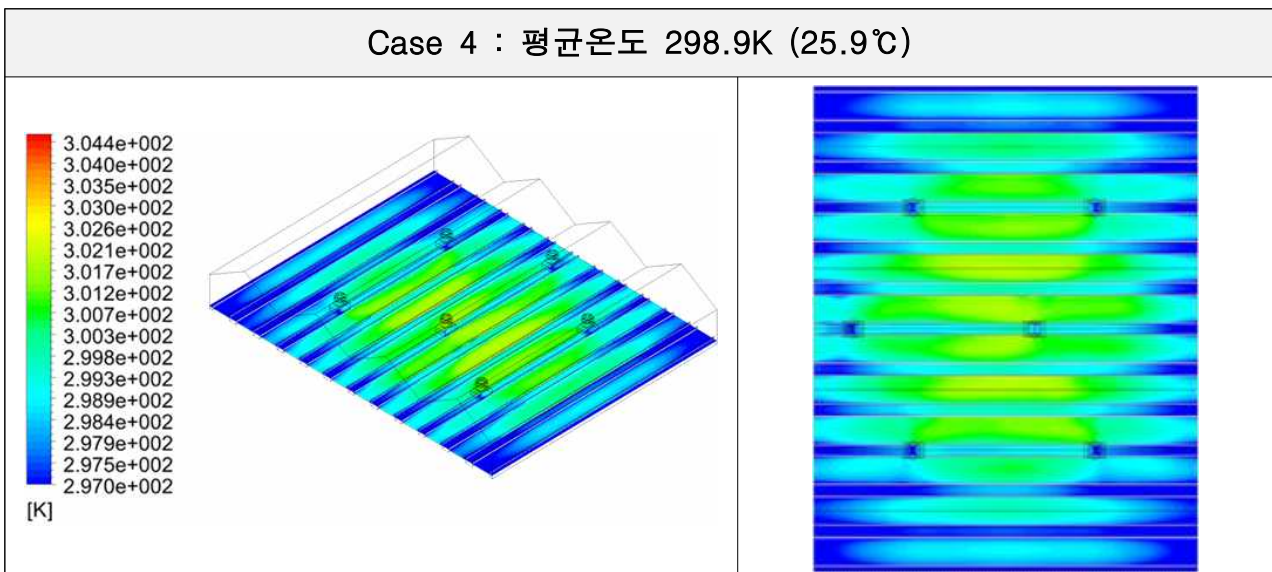
- Case 3은 차광 스크린 2단(35%, 35%)를 적용한 온실로 태양광 복사 에너지가 차광막에 일부 흡수 및 반사되어 온실 내부의 평균 온도가 Case 2에 비해 3.2℃ 낮은 43.0℃로 해석되었다.



[그림 97] Case 3 온도 분포 결과

라. Case 4 해석 결과

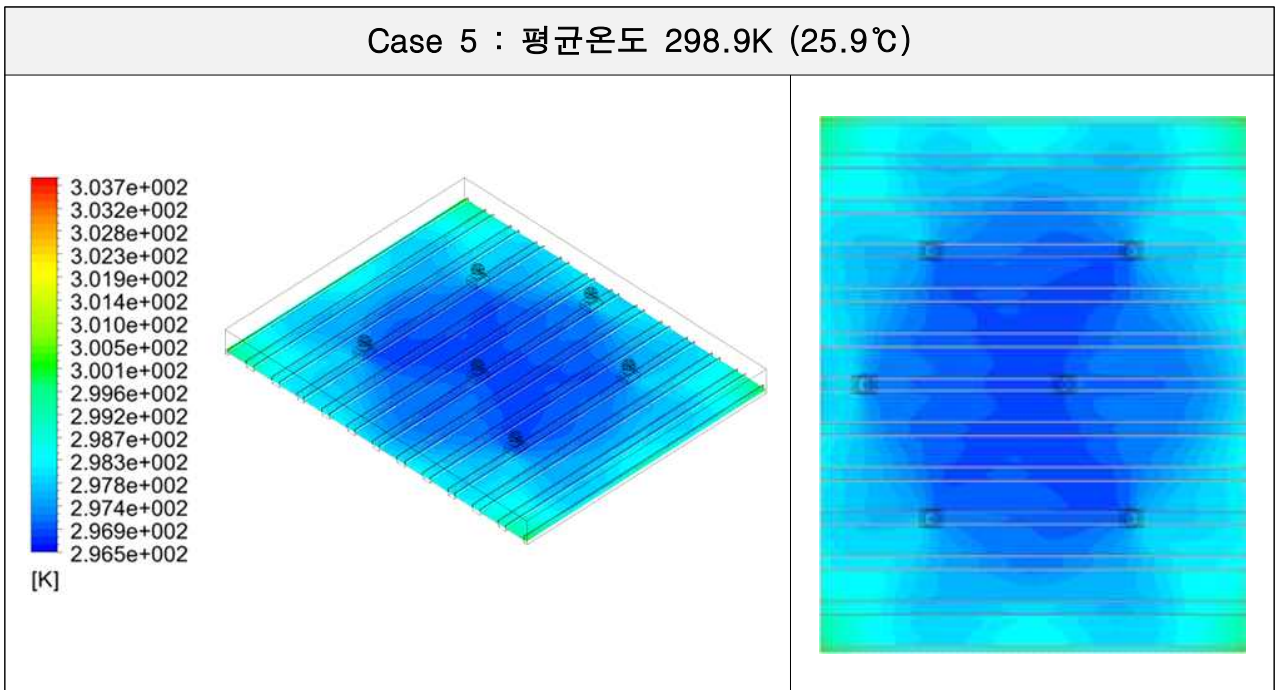
- Case 4는 차광 스크린 2단과 함께 상부토출형 팬코일유니트를 적용한 온실로 Case 3에 비해 평균 온도가 17.2℃ 낮은 25.9℃로 해석되었다.
- 선인장 생육조건인 25℃~30℃를 충족하나, 온실의 높은 층고로 인하여 유동이 높고 늦게 순환하여 정중앙 부분의 온도가 상대적으로 높게 나타났다.



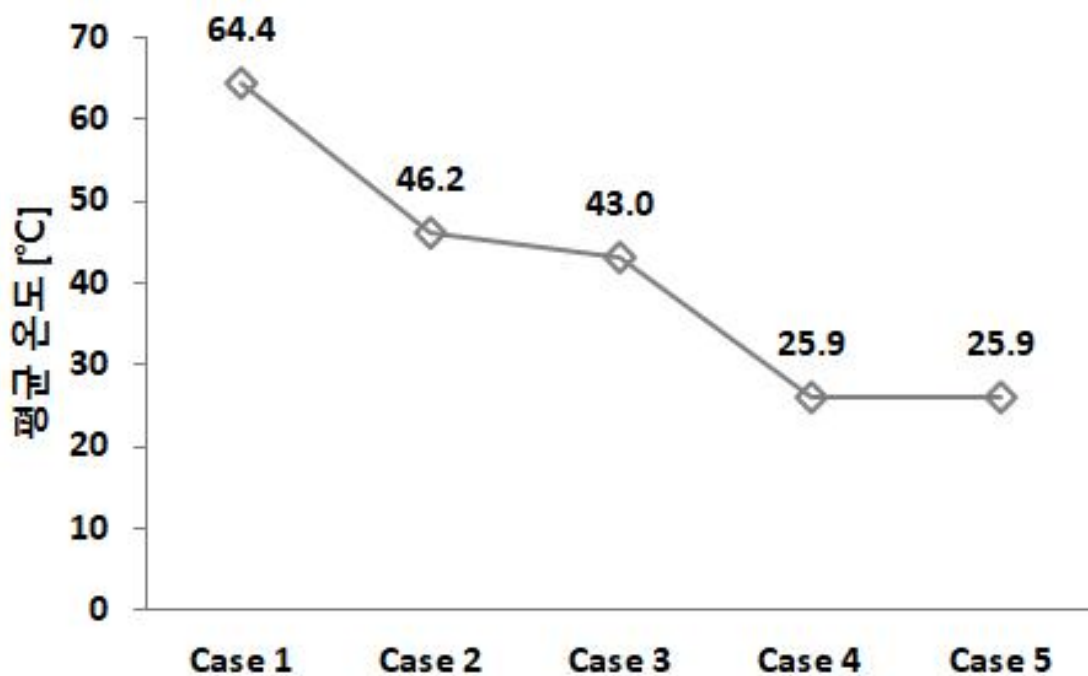
[그림 98] Case 4 온도 분포 결과

마. Case 5 해석 결과

- Case 5는 차광 스크린 2단과 함께 상부토출형 팬코일유닛, 비닐 차단막을 적용한 온실로 평균 온도는 25.9℃로 Case 4와 차이가 없다.
- 그러나 비닐 차단막을 적용하여 유동이 낮고 빠르게 순환하여 정중앙 부분의 온도가 Case 4와 비교하여 낮게 분포하는 것으로 나타났다.



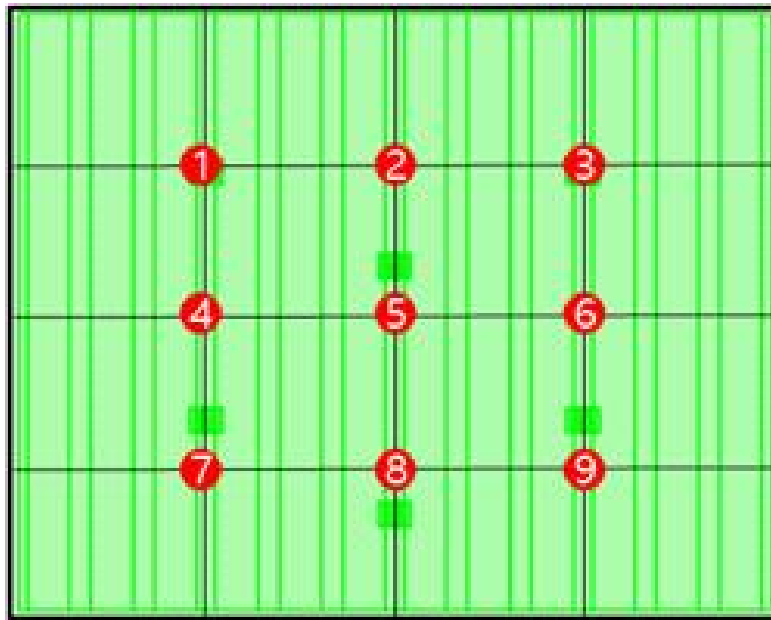
[그림 99] Case 5 온도 분포 결과



[그림 100] Case별 평균 온도 변화

바. Case별 온도 및 표준편차

- 생육작물인 접목선인장 상단부 0.3m에서 온도의 분포가 균일한지 확인을 위하여 각 Case에 같은 위치의 점 9개를 확인하여 온도 분포를 확인하였다.
- Case 1~4는 온실의 높은 층고로 인해 표준편차가 약 1로 산출되었다. 반면에 Case 5는 비닐 차단막으로 인하여 유동이 빠르게 순환하여 표준편차가 0.55로 상대적으로 낮게 산출되었다.



[그림 101] 온도 도출 node 위치

[표 50] Case 별 임의의 노드 별 온도 및 표준편차

온도	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
node 1 (K)	61.318	47.765	42.643	24.371	26.34
node 2 (K)	62.288	46.154	42.931	25.715	26.2
node 3 (K)	59.573	46.744	44.179	25.886	27.111
node 4 (K)	61.147	48.021	41.016	28.094	25.384
node 5 (K)	62.225	48.962	42.834	27.523	26.1
node 6 (K)	59.105	48.319	41.989	26.983	25.94
node 7 (K)	60.78	47.42	41.736	25.364	26.278
node 8 (K)	61.783	46.011	43.194	26.087	26.7
node 9 (K)	61.38	46.945	41.387	26.079	27.086
표준편차	1.099	0.994	0.991	1.137	0.555

7) 냉방 성능 검증

- 차광 스크린(2단), 팬코일유닛, 비닐 차단막 설치 및 가동에 따른 온실 내 선인장 상단부 0.3m에서의 평균 온도를 확인하여 냉방 패키지의 냉방 성능을 검증하였다.
- Case 1과 같이 냉방을 위한 설비가 없는 경우 태양광 복사 효과로 인해 평균 온도가 약 64.4℃까지 상승하는 것으로 나타났다. 작물 재배뿐만 아니라 사람이 재실 또는 작업하는 것도 어려운 상태이다.
- 1단 차광 스크린을 통해 태양광을 일부 차단하는 Case 2의 경우는 평균 온도가 약 46.2℃로 해석되었다.
- 2단 차광 스크린을 적용한 Case 3의 경우는 평균 온도가 약 43.0℃로 해석되었다. 냉방 패키지 중 패시브 설비인 차광 스크린만을 활용해서는 작물의 생육적온을 유지하기 어려운 것으로 나타났다.
- 차광 스크린 2단과 상부토출형 팬코일유닛을 가동하는 Case 4의 경우는 평균 온도가 약 25.9℃로 작물의 생육적온 범위로 유지되는 것으로 나타났다. 그러나 온실의 높은 층고와 상부로 토출하는 팬코일유닛으로 인해 온실의 정중앙 부분의 온도가 다소 높고 온실 전체의 온도 분포가 균일하지 않은 것으로 나타났다.
- Case 5는 차광 스크린 2단과 상부토출형 팬코일유닛, 비닐 차단막을 설치 및 가동하는 경우로 평균 온도는 약 25.9℃로 Case 4와 유사하게 나타났다. 그러나 Case 4와 달리 비닐 차단막이 냉각되어 토출되는 공기가 상승하는 것을 막아 냉기가 빠르게 순환하여 온실 정중앙 부분의 온도가 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 온도 표준편차도 균일하였다.
- 냉방 성능 검증 결과, 일반적으로 온실에서 재배하는 작물의 생육적온이 25~30℃인 것을 고려하면 재배작물의 상관없이 대부분의 유리온실에 냉방 패키지를 적용해도 충분한 냉방 성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 비닐 차단막까지 추가적으로 설치했을 때는 빠르고 효율적으로 냉방할 수 있을 것으로 예상된다.

8) 냉방 성능 전문가 평가

- 냉방 성능 검증 결과를 전문가를 통해 객관적으로 평가하였다. 해석 조건의 타당성, 해석 결과의 정확성, 추후 연구 발전 가능성, 기타(진행 방식) 등을 평가항목으로 평가를 진행하였다.
- 전문가 평가 결과 81.5점으로 전체적으로 객관적인 성능 검증이 이루어졌고, 결과 또한 타당한 것으로 확인되었다.

전문가 자문 평가표

[연구과제 기본정보]

연구 책임자	(소속) _____ (성명) 김창완		
지원 기관명	대)농림축산식품부	연구기간	2020. 08. 20. - 2021. 12. 31.
사 업 명	첨단생산기술개발사업		
연구 과제명	[단독] (3차) 실증데이터 분석, 성능 검증 및 평가, 냉방 패키지 기술별 시뮬레이션 및 현장 실증 연구		

[평가 내역]

평가항목	평가점수	자문위원	
		학교 교수	비학교 교수
1) 해석 조건의 타당성 (해석 조건을 올바르게 선정하여 해석을 진행하였는가)	25	20	22
2) 해석 결과의 정확성 (해석 결과가 비교적 정확한 수치로 도출되었는가)	25	19	20
3) 후속 연구 발전 가능성	25	23	21
4) 기타 (진행 방식)	25	19	19
총 합 계	100	81	82

2021년 11월 29일

[그림 102] 전문가 자문 평가표

평가자	평가 내용
학교 ·교수	<ul style="list-style-type: none"> - 유리온실의 바닥면을 불투명으로 설정한 것과 나머지 유리로 구성된 Wall 부분을 투명 조건으로 설정하여 태양에너지가 유리를 통해 온실의 내부 온도를 확인하는 경계조건 적용함. - 단계 별 냉방패키지 가동 시 온도를 확인하기 위해 적교로 구성된 차광막을 조건으로 넣을 시 Opaque 조건을 적용하여 태양에너지 흡수율 조건 반영함. - 팬 조건을 임의의 숫자가 아닌 P-Q커브를 이용하여 팬 가동 조건을 적용하여 팬의 냉각성능을 실측모델에 맞도록 구현함. - 비닐차단막은 팬이 토출되는 공기를 막기 때문에 유리온실의 지붕을 지우고 모델링 진행하였으나, 이 부분의 경우 지붕의 Wall과 비닐차단막의 Wall 경계조건을 달리하여 진행 가능함. - 종합적으로 해석 방법론 및 결과가 타당하게 수행됨.
학교 ·교수	<ul style="list-style-type: none"> - 모델의 Mesh는 2100만개이며, Continuity를 0.01과 정상상태에서 Iteration 3000로 해석을 진행은 타당성을 보이므로 convergence 평가가 잘 수행되었음. - 유동이 흐르는 팬의 Mesh는 공기의 마찰력을 고려하여 Inflation 5층 격자를 구성하여 유동에 대한 정확성 증가를 고려하여 해석 결과가 타당함. - 유리온실의 위치, 팬의 P-Q 커브를 정확하게 알면, 작물이 성장할 수 있는 최적 온도를 예측할 수 있고, 지금 적용한 팬을 이용한 냉방 패키지 외에 다양한 냉방패키지를 적용 시 그에 따른 효과를 비교 분석 가능함.

[그림 103] 전문가 자문 평가내용

2-10. 유리온실 냉방 패키지 경제성 분석 및 개선방안 검토

1) 초기투자비 및 연간 운영비 산출 개요

- 실증 온실을 대상으로 냉방 패키지 적용에 따른 경제성을 분석하기 위하여 초기 투자비와 운영비를 산출하여 비교하였다.
- 냉방 패키지는 크게 건축적 기술과 설비적 기술로 구분할 수 있는데 초기투자비는 설비적 기술에 한정하여 산출하였다. 건축적 기술은 일반적인 온실에서 많이 설치하고 있으며 난방으로도 사용하기 때문에 초기투자비 산출에서 제외하였다.
- 각각의 설비는 유사한 용량에도 업체마다 차이가 발생할 수 있어, 가능한 동일한 제조사에 일괄적으로 요청하여 동일한 조건에서 제품 단가를 비교하였다. 또한 배관공사와 축열조 초기투자비 등은 실증에 사용된 비용을 기준으로 비교하였다.
- 운영비(전기요금)는 EnergyPlus 시뮬레이션을 통하여 냉난방부하와 에너지 사용량을 산출하였다. 산출된 결과값을 한국전력 ‘농사용전력(을)’ 요금 기준을 적용하여 연간 운영비를 산출하고 비교하였다.

2) 분석 케이스 분류

- 경제성 분석을 위하여 온실에 적용이 용이한 설비로 구성하여 총 4개 케이스로 분류하였고, 케이스별로 초기투자비와 운영비 산출을 위하여 장비일람표와 공조 배관도 등의 도면을 작성하였다.
- 열원설비는 공기열 히트펌프 또는 공기열 히트펌프+축열조, 전기구동형 히트펌프(EHP)로 구분하였고, 공기열 히트펌프 적용 시 공조설비는 상부토출형 팬코일 유닛을 적용하였다. 전기구동형 히트펌프가 열원인 케이스는 시중에서 일반적으로 적용되는 스탠드형 실내기를 적용하였다. 이외에 냉방없이 보일러를 통해 난방만 하는 케이스를 추가하였다.

[표 51] 경제성 분석 케이스 분류

구분		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
건축적 기술		흑색 차광 스크린(2단) + 자연환기 + 비닐 차단막			
설비적 기술	열원설비	보일러	공기열 히트펌프(냉수)	공기열 히트펌프(냉수)	전기구동형 히트펌프(냉매)
	축열조	-	-	콘크리트 축열조	-
	공조설비	팬코일유닛 (시설재배용)	팬코일유닛 (상부토출형)	팬코일유닛 (상부토출형)	실내기 (스탠드형)
	펌프	온수 순환	냉온수 순환	냉온수 순환	-

[표 52] 경제성 분석 Case 1 설비 및 용량

구분	대수	용량	전기 사용량	비고
보일러	2대	116.3kW (난방)	13.4liter/h(등유)	하이핀 방식
팬코일유닛	14대	14,279W (난방)	130W	시설재배용
펌프	2대	335ℓ/min 20m	3.7kW	인라인

[표 53] 경제성 분석 Case 2 설비 및 용량

구분	대수	용량	전기 사용량	비고
히트펌프	8대	59.17kW (냉방) 71.35kW (난방)	22.84kW (냉방) 22.48kW (난방)	공냉식
팬코일유닛	18대	36,390W (냉방) 10,853W (난방)	1.13kW	상부토출형
펌프	8대	250ℓ/min 20m	3.7kW	인라인

[표 54] 경제성 분석 Case 3 설비 및 용량

구분	대수	용량	전기 사용량	비고
히트펌프	4대	59.17kW (냉방) 71.35kW (난방)	22.84kW (냉방) 22.48kW (난방)	공냉식
축열조	1개	480ton	-	콘크리트
팬코일유닛	18대	36,390W (냉방) 10,853W (난방)	1.13kW	상부토출형
펌프	4대	250ℓ/min 11.5m	1.5kW	인라인 (히트펌프-축열조)
	2대	1,000ℓ/min 18m	5.5kW	인라인인라인 (축열조-히트펌프)

[표 55] 경제성 분석 Case 4 설비 및 용량

구분	대수	용량	전기 사용량	비고
히트펌프	6대	87.0kW (냉방) 98.3kW (난방)	28.7kW (냉방) 26.3kW (난방)	공냉식
실내기	36대	14.5kW (냉방) 16.3kW (난방)	190W	스탠드형

3) 초기투자비 산출 결과

- 보일러만 설치하여 난방만 할 수 있는 Case 1의 초기투자비는 냉방을 위한 설비가 아니기 때문에 비교에서 제외하였다. 다만 운영비에서는 냉방뿐만 아니라 난방 운영비까지 비교하기 때문에 케이스에 포함하였다.
- 각 케이스별 냉방 패키지 초기투자비는 156,200~171,600천원으로 산출되었다. 단위 면적당 초기투자비는 약 64,227~70,559원/m²으로 나타났다.
- 공기열 히트펌프+팬코일유니트로 구성된 Case 2가 156,200천원(약 64,227원/m²)으로 가장 낮고 전기구동형 히트펌프로 구성된 Case 4가 171,600천원(약 70,559원/m²)으로 가장 높게 산출되었다.
- 케이스별 약 냉방 패키지 초기투자비는 4,360천원에서 15,400천원 정도의 차이가 있는 것으로 나타났다. 초기투자비 측면에서는 공기열 히트펌프+팬코일유니트로 구성된 Case 2가 가장 유리한 것으로 분석되었다.

[표 56] 케이스별 초기투자비

구분	Case 2	Case 3	Case 4
열원설비	110,000,000원	55,000,000원	171,600,000원
축열조	-	70,000,000원	-
공조설비	19,000,000원	19,000,000원	-
펌프	10,200,000원	8,240,000원	-
배관	17,000,000원	15,000,000원	-
소계	156,200,000원	167,240,000원	171,600,000원

4) 운영비 산출 결과

가. 요금 산출 기준

- 요금은 크게 유류비(등유)와 전기요금으로 구분된다. Case 1은 보일러와 순환펌프로 구성되어 등유와 전기요금이 발생한다. Case 2~4는 전기요금만 발생된다.
- 등유는 오피넷의 2021년 주유소 면세유 평균가격을 기준으로 리터당 798.67원을 적용하였다. 전기요금은 한국전력 “농사용전력(을), 고압(A,B)”을 기준으로 2022년 4월 1일부터 적용되는 요금을 적용하였다. 기본요금은 1,210원/kW, 전력량 요금은 여름철(6~8월) 및 겨울철(11~2월) 41.8원/kWh, 봄·가을철(3~5, 9~10월)은 39.8원/kWh를 적용하였다.

Home
국내유가통계
주유소

평균판매가격
면세유평균가격

면세유평균판매가격 전체 주유소의 제품별 면세유평균 판매가격

제품별
지역별
상표별

· 구분 일간 주간 월간 분기 연간

· 기간 2021년 ~ 2021년

· 제품 전체선택 휘발유 자동차용경유 실내등유

조회

2021년 (원/리터) 최고값 최저값
화면인쇄 엑셀저장 CSV저장

구분	휘발유	자동차용경유	실내등유
2020년	644.20	687.87	676.74
2021년	802.03	829.11	798.67
전년대비	157.83	141.24	121.93

도움말
작성기준

· 면세유 평균판매가격 = 개별 주유소 면세유 판매가격의 합 / 전체 면세유 주유소 개수

· 주간평균 가격은 해당 주 일요일~목요일의 평균 가격임(금요일에 주간 통계 발표)

[그림 104] 유류비 산출 기준

농사용

- **농사용전력(갑)** : 양곡생산을 위한 양수, 배수펌프 및 수문조작에 사용하는 전력
- **농사용전력(을)** : 다음 중 하나에 해당하는 계약전력 1,000kW 미만의 고객으로 농사용전력(갑) 이외의 고객
 - 농사용 목포 또는 전조재배에 사용하는 전력
 - 농작물 재배 축산·양잠·수산물양식업, 농작물 저온보관시설, 수협 또는 어촌계의 저온보관시설
 - 농수산물 생산자의 농수산물 건조 시설, 수협 또는 어촌계의 수산물 제빙·냉동시설
 - 농작물 재배 축산·양잠·수산물양식업 고객의 해출 구제(驅除) 및 유인용 전등

적용일자: 2021년 1월 1일

구분	기본요금(원/kw)	전력량 요금(원/kWh)	
갑	360	16.6	
을	저압	1,150	
	고압(A,B)	여름철(6~8월)	36.9
		봄·가을철(3~5, 9~10월)	34.9
		겨울철(11~2월)	36.9

적용일자: 2022년 4월 1일

구분	기본요금(원/kw)	전력량 요금(원/kWh)	
갑	360	21.5	
을	저압	1,150	
	고압(A,B)	여름철(6~8월)	41.8
		봄·가을철(3~5, 9~10월)	39.8
		겨울철(11~2월)	41.8

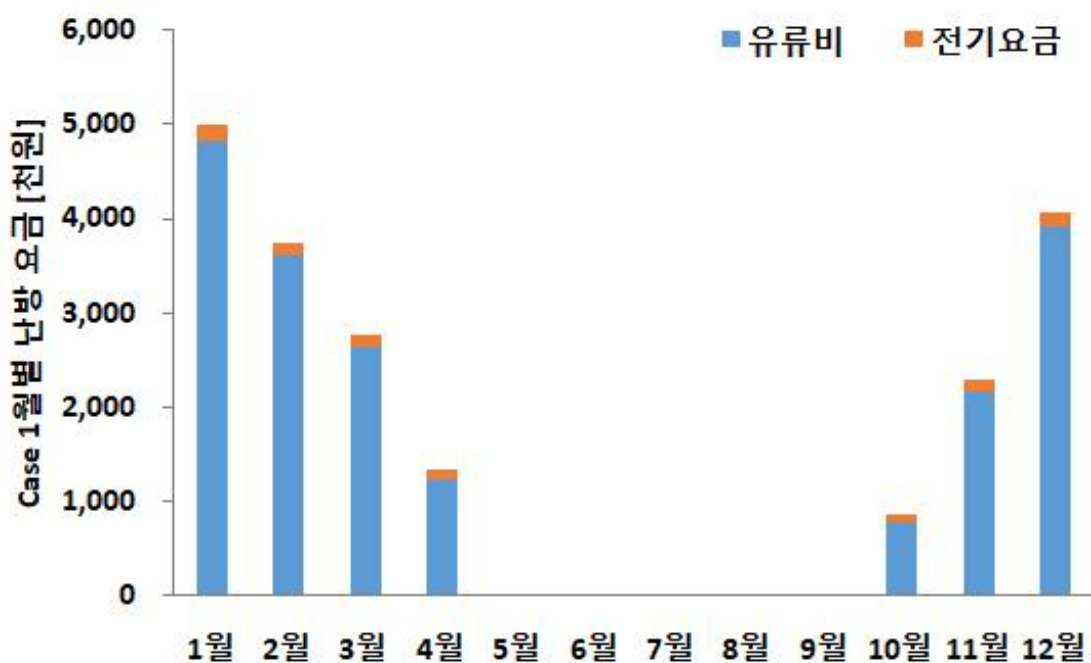
[그림 105] 전기요금 산출 기준

나. 난방 요금

- 1~4월, 10~12월을 난방 기간으로 설정하여 난방 요금을 산출하였다.
- Case 1의 연간 난방 요금 20,045,003원 중에서 유류비는 19,159,350원, 전기 요금은 885,653원으로 전체 난방비의 대부분(약 95.6%)이 유류비가 차지하는 것으로 나타났다. 연간 난방 요금을 단위 면적당으로 계산하면 8,242.2원으로 산출되었다.
- 1월 난방 요금이 4,997,647원으로 가장 많이 발생하였고, 10월이 856,940원으로 가장 적게 발생하였다.

[표 57] Case 1 난방 요금 산출 결과

구분	유류비 [원]	전기 기본요금 [원]	전기요금 [원]	소계 [원]
1월	4,832,066	18,150	147,432	4,997,648
2월	3,604,658	18,150	119,217	3,742,025
3월	2,631,090	18,150	109,090	2,758,330
4월	1,232,478	18,150	78,652	1,329,280
10월	771,784	18,150	67,008	856,942
11월	2,170,251	18,150	108,717	2,297,118
12월	3,917,023	18,150	128,487	4,063,660
소계	19,159,350	127,050	758,603	20,045,003

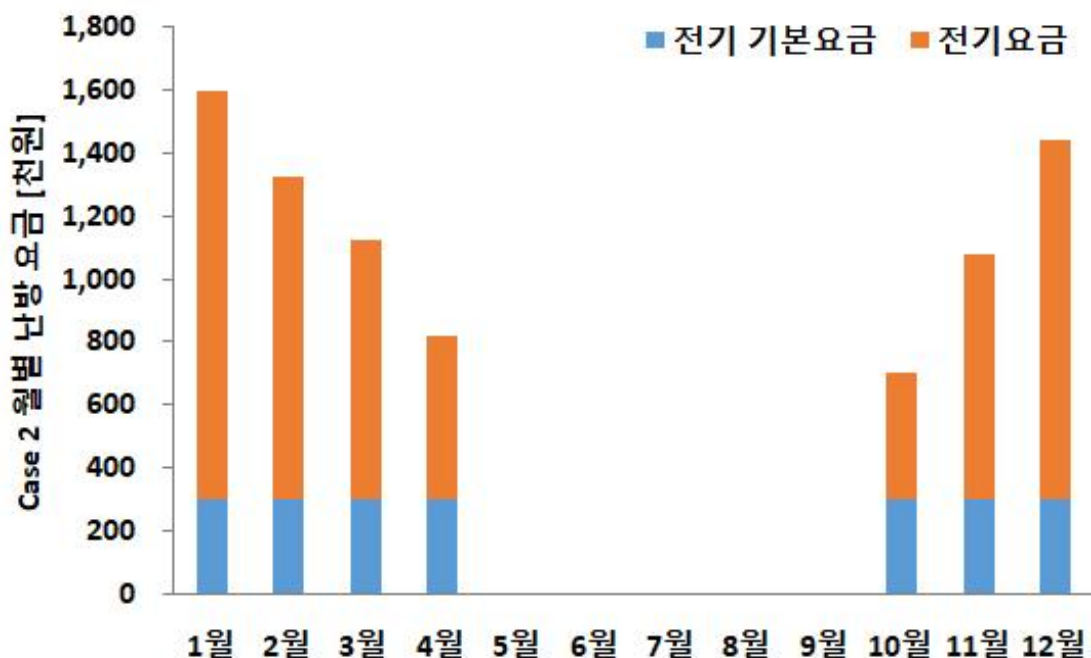


[그림 106] Case 1 월별 난방 요금

- Case 2의 전기 기본요금은 2,117,500원, 전기 사용에 따른 전기요금은 5,967,818원, 총 연간 난방 요금은 8,085,318원으로 산출되었다. 연간 난방 요금을 단위 면적당으로 계산하면 3,324.6원으로 산출되었다.
- 1월 난방 요금이 1,595,506원으로 가장 많이 발생하였고, 10월이 701,867원으로 가장 적게 발생하였다. 난방 패키지 중에 전기를 사용하는 설비를 기준으로 수전용량이 설치되고 전기기본요금이 부과함에 따라 월별 약 30만원의 전기기본요금이 발생한다. 이에 3~4월, 10월과 같이 난방 수요가 적은 월에는 전체 전기요금 중 기본요금이 약 26.9~43.1%로 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

[표 58] Case 2 난방 요금 산출 결과

구분	전기 기본요금 [원]	전기요금 [원]	소계 [원]
1월	302,500	1,293,006	1,595,506
2월	302,500	1,022,380	1,324,880
3월	302,500	823,393	1,125,893
4월	302,500	516,549	819,049
10월	302,500	399,367	701,867
11월	302,500	775,457	1,077,957
12월	302,500	1,137,666	1,440,166
소계	2,117,500	5,967,818	8,085,318

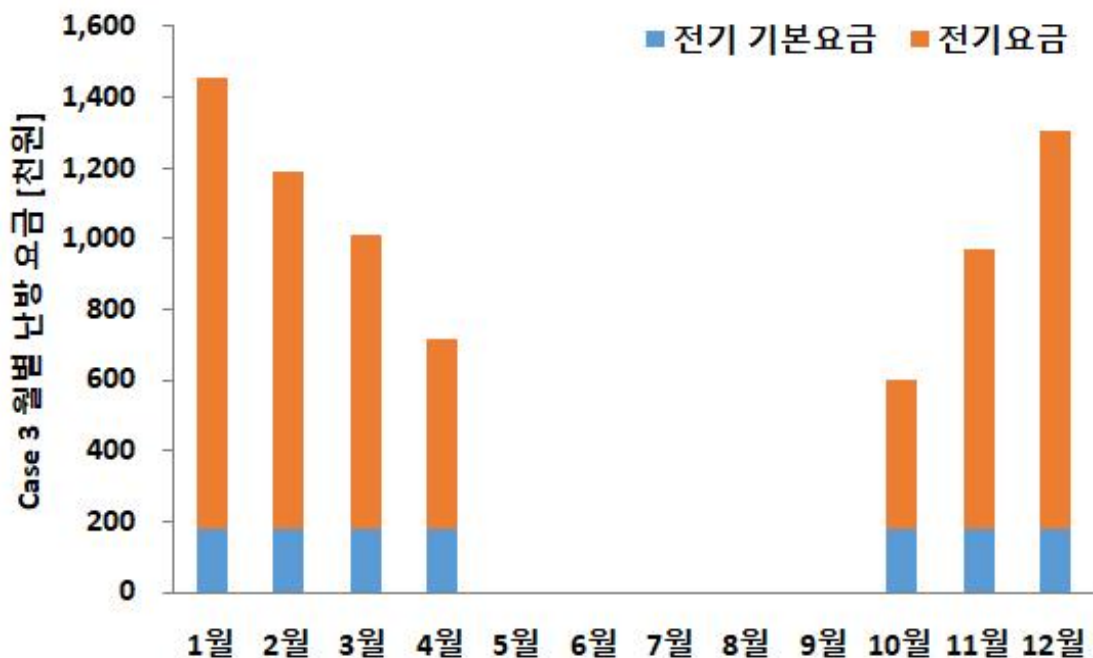


[그림 107] Case 2 월별 난방 요금

- Case 3의 전기 기본요금은 1,270,500원, 전기 사용에 따른 전기요금은 5,975,113원, 총 연간 난방 요금은 7,245,613원으로 산출되었다. 연간 난방 요금을 단위 면적당으로 계산하면 2,979.3원으로 산출되었다.
- 1월 난방 요금이 1,452,097원으로 가장 많이 발생하였고, 10월이 600,361원으로 가장 적게 발생하였다.
- Case 3도 Case 2와 동일하게 3~4월, 10월의 경우는 전체 전기요금 중에서 전기 기본요금이 상당 부분을 차지하는 것으로 나타났다. 그러나 Case 2와 비교하여 히트펌프의 설치 수량에 따라 전기 기본요금의 차이가 크게 나타났다.

[표 59] Case 3 난방 요금 산출 결과

구분	전기 기본요금 [원]	전기요금 [원]	소계 [원]
1월	181,500	1,270,597	1,452,097
2월	181,500	1,005,731	1,187,231
3월	181,500	831,440	1,012,940
4월	181,500	536,158	717,658
10월	181,500	418,861	600,361
11월	181,500	787,814	969,314
12월	181,500	1,124,512	1,306,012
소계	1,270,500	5,975,113	7,245,613

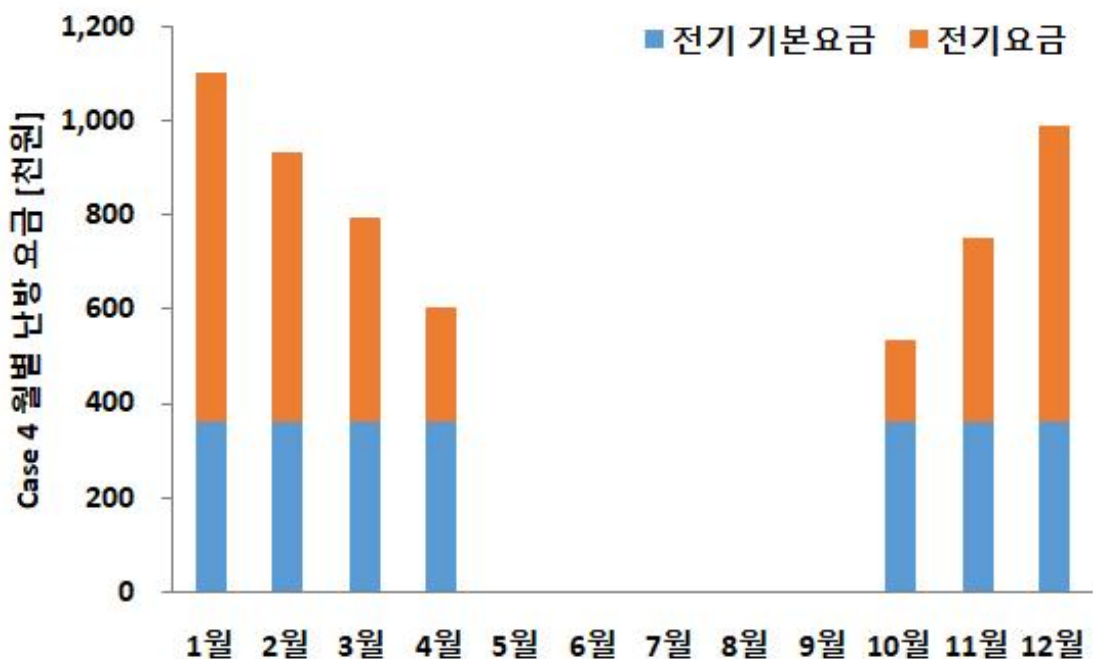


[그림 108] Case 3 월별 난방 요금

- Case 4의 전기 기본요금은 2,541,000원, 전기 사용에 따른 전기요금은 3,162,506원, 총 연간 난방 요금은 5,703,506원으로 산출되었다. 연간 난방 요금을 단위 면적당으로 계산하면 2,345.2원으로 산출되었다.
- 1월 난방 요금이 1,100,363원으로 가장 많이 발생하였고, 10월이 535,428원으로 가장 적게 발생하였다.
- 전기 사용량에 따른 전기요금은 Case 2와 3과 비교하여 작았지만 전기 기본요금이 크게 산출되었고, 이에 따라 전체 난방 요금이 상승하였다.

[표 60] Case 4 난방 요금 산출 결과

구분	전기 기본요금 [원]	전기요금 [원]	소계 [원]
1월	363,000	737,363	1,100,363
2월	363,000	568,032	931,032
3월	363,000	429,173	792,173
4월	363,000	240,219	603,219
10월	363,000	172,428	535,428
11월	363,000	389,531	752,531
12월	363,000	625,760	988,760
소계	2,541,000	3,162,506	5,703,506



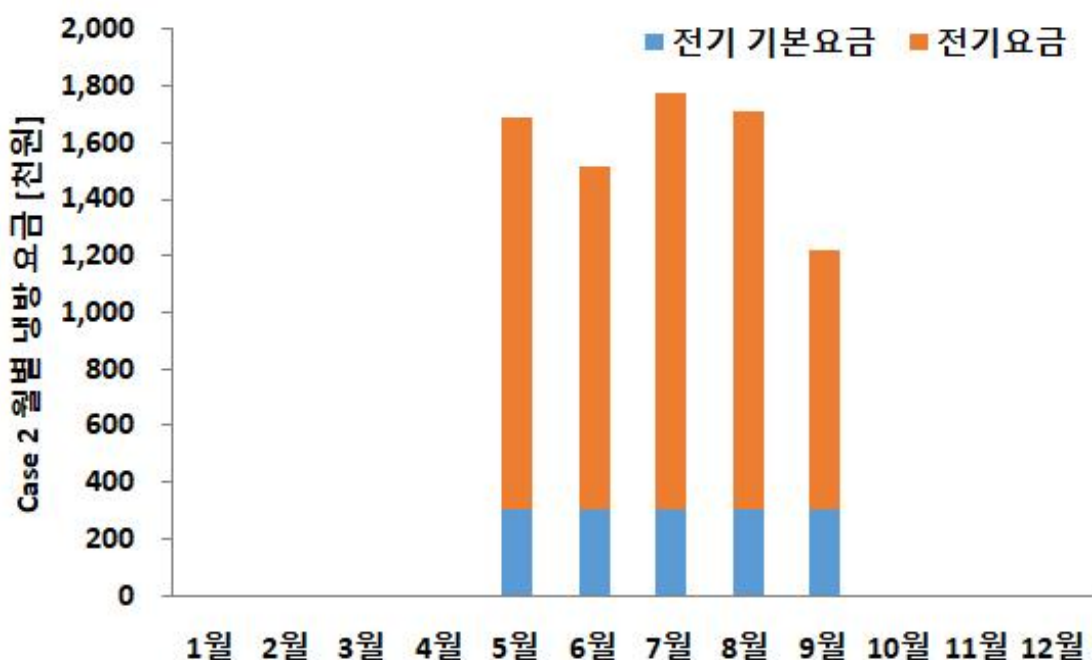
[그림 109] Case 4 월별 난방 요금

다. 냉방 요금

- 5~9월을 냉방 기간으로 설정하여 냉방 요금을 산출하였다. Case 1은 냉방 기능이 없어 요금 산출에서 제외하였다.
- Case 2의 전기 기본요금은 1,512,500원, 전기 사용에 따른 전기요금은 6,398,125원, 총 연간 냉방 요금은 7,910,625원으로 산출되었다. 연간 냉방 요금을 단위 면적당으로 계산하면 3,252.7원으로 산출되었다.
- 7월 냉방 요금이 1,775,640원으로 가장 많이 발생하였고, 9월이 1,219,947원으로 가장 적게 발생하였다.
- 난방 요금의 경우 1월과 10월의 요금 차이가 2배 이상 나타났으나 냉방 요금의 경우 그 차이가 적은 것으로 나타났다.

[표 61] Case 2 냉방 요금 산출 결과

구분	전기 기본요금 [원]	전기요금 [원]	소계 [원]
5월	302,500	1,389,229	1,691,729
6월	302,500	1,210,367	1,512,867
7월	302,500	1,473,140	1,775,640
8월	302,500	1,407,942	1,710,442
9월	302,500	917,447	1,219,947
소계	1,512,500	6,398,125	7,910,625

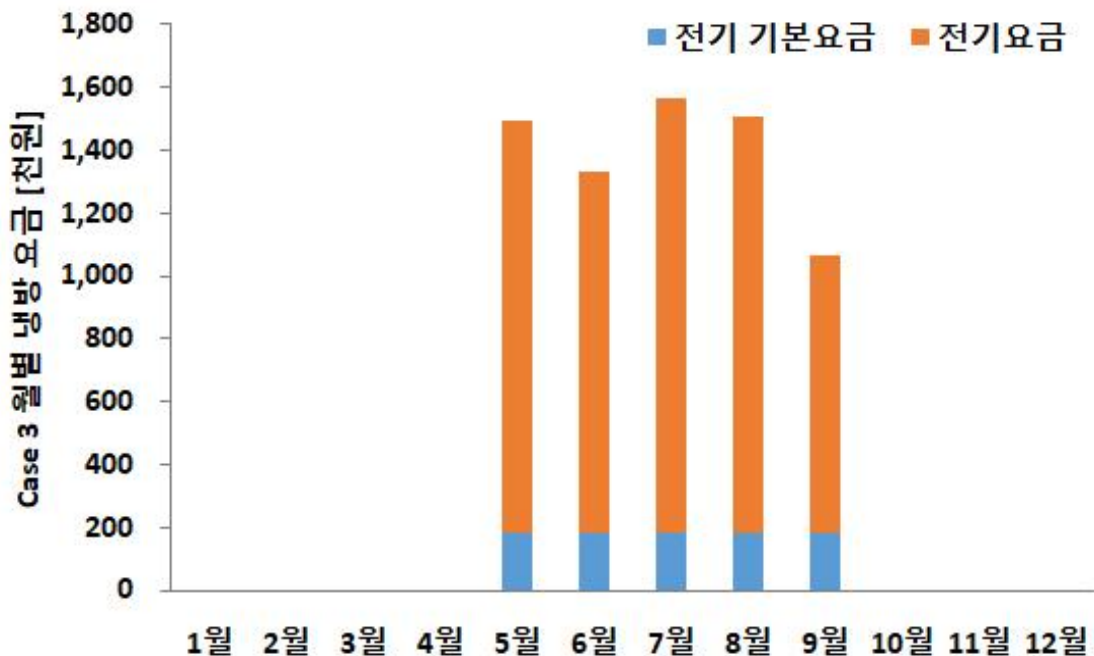


[그림 110] Case 2 월별 냉방 요금

- Case 3의 전기 기본요금은 907,500원, 전기 사용에 따른 전기요금은 6,057,243원, 총 연간 냉방 요금은 6,964,743원으로 산출되었다. 연간 냉방 요금을 단위 면적당으로 계산하면 2,863.8원으로 산출되었다.
- 7월 냉방 요금이 1,564,465원으로 가장 많이 발생하였고, 9월이 1,067,512원으로 가장 적게 발생하였다.
- Case 2와 비교하여 전기 사용량에 따른 전기요금은 차이가 크지 않았지만 전기 기본요금은 40% 낮았다. 이에 전체 냉방 요금은 연간 945,882원 작게 발생하는 것으로 예상되었다.

[표 62] Case 3 냉방 요금 산출 결과

구분	전기 기본요금 [원]	전기요금 [원]	소계 [원]
5월	181,500	1,313,194	1,494,694
6월	181,500	1,147,777	1,329,277
7월	181,500	1,382,965	1,564,465
8월	181,500	1,327,295	1,508,795
9월	181,500	886,012	1,067,512
소계	907,500	6,057,243	6,964,743

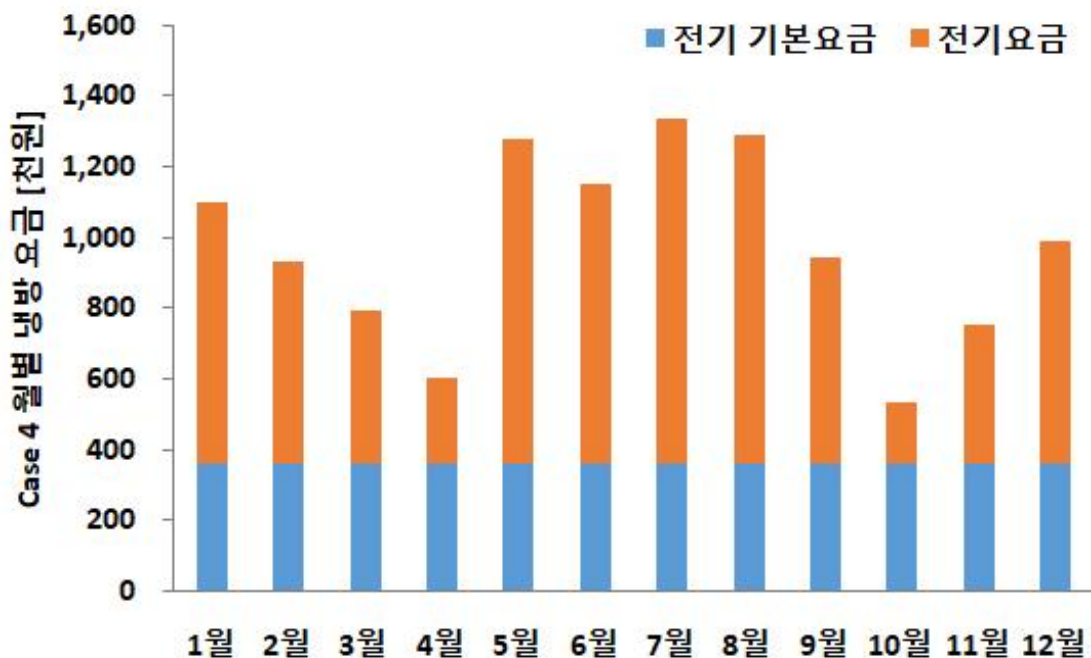


[그림 111] Case 3 월별 냉방 요금

- Case 4의 전기 기본요금은 1,815,000원, 전기 사용에 따른 전기요금은 4,179,746원, 총 연간 냉방 요금은 5,994,746원으로 산출되었다. 연간 냉방 요금을 단위 면적당으로 계산하면 2,464.9원으로 산출되었다.
- 7월 냉방 요금이 1,334,755원으로 가장 많이 발생하였고, 9월이 942,504원으로 가장 적게 발생하였다.
- Case 2와 3과 비교하여 연간 냉방 요금이 969,997~1,915,879원 낮게 산출되었다. 전기 사용량에 따른 전기요금은 히트펌프의 COP가 높아, 다른 Case에 비교하여 낮았지만 전기 기본요금이 커서 차이가 감소하였다.
- 전기 기본요금이 높은 이유는 정격 전력사용량은 비슷하지만 한랭지에서 가동될 때에 전력사용량이 높기 때문이다. 일반적으로 수전설비는 설비의 최대 전력사용량을 기준으로 용량을 선정한다.

[표 63] Case 4 냉방 요금 산출 결과

구분	전기 기본요금 [원]	전기요금 [원]	소계 [원]
5월	363,000	916,991	1,279,991
6월	363,000	787,341	1,150,341
7월	363,000	971,755	1,334,755
8월	363,000	924,155	1,287,155
9월	363,000	579,504	942,504
소계	1,815,000	4,179,746	5,994,746



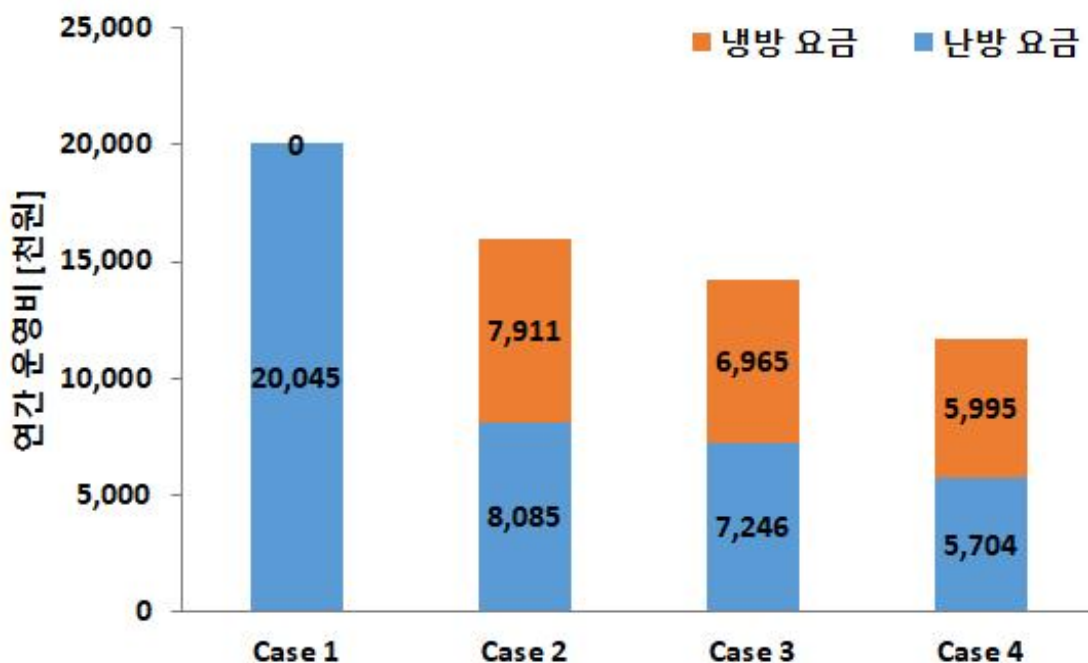
[그림 112] Case 4 월별 냉방 요금

라. 연간 운영비

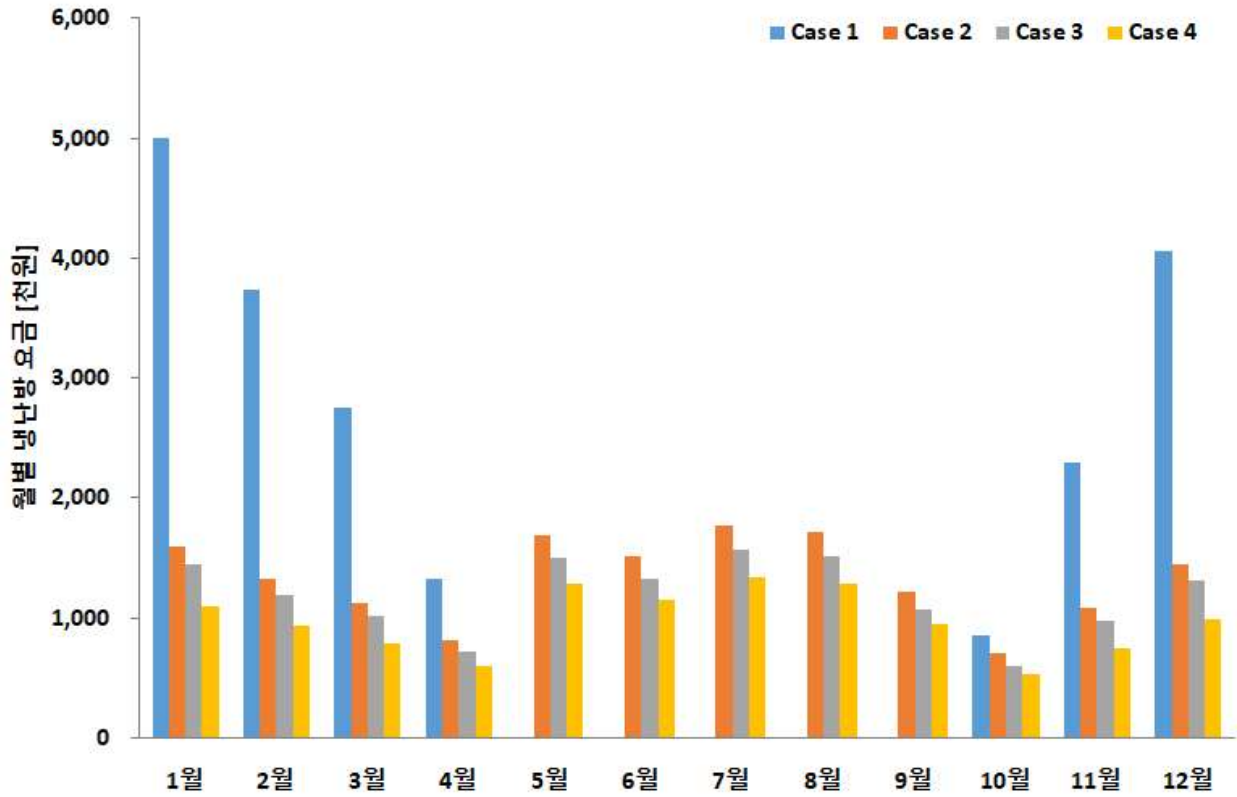
- 연간 운영비 산출 결과 Case 4 > Case 3 > Case 2 > Case 1 순으로 낮은 것으로 나타났다. Case 1의 경우 냉방은 하지 않지만 등유를 사용하여 상대적으로 난방 요금이 높게 산출되었다.
- 공냉식 히트펌프를 열원으로 하는 Case 2와 3의 경우 연간 운영비 차이가 1,785,587원으로 크지 않았다. 그러나 전기구동형 히트펌프를 열원으로 하는 Case 4의 경우 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 히트펌프 간의 COP 차이도 있지만 순환펌프류의 유무와 공조설비의 전기 사용량의 차이인 것으로 분석된다.
- 일반적으로 난방부하보다 냉방부하가 크기 때문에 냉방 요금이 더 클 것으로 예상할 수 있지만, 난방 기간에는 가동시간이 상대적으로 더 길기 때문에 Case 4를 제외하고 냉방 요금보다 난방 요금이 크게 산출되었다. Case 4의 경우 난방보다 냉방 시 히트펌프의 COP가 더 높기 때문에 요금이 비슷하게 산출되었다.

[표 64] 연간 운영비 비교

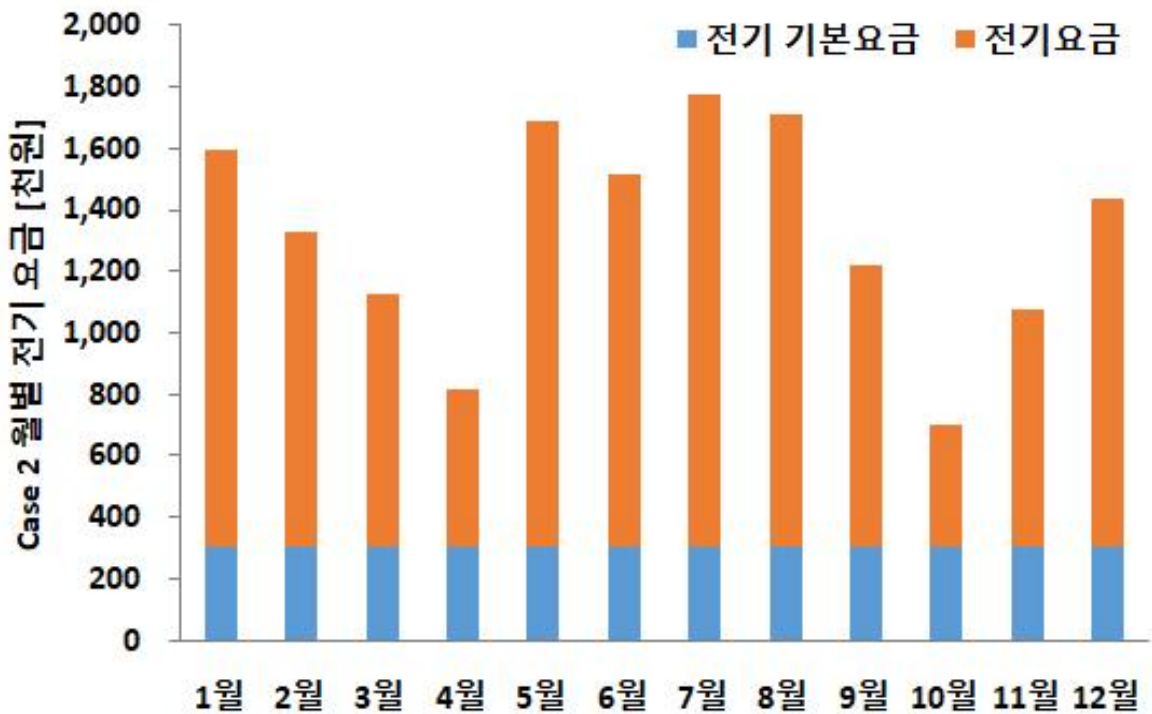
구분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
난방 요금 [원]	20,045,003	8,085,318	7,245,613	5,703,506
냉방 요금 [원]	-	7,910,625	6,964,743	5,994,746
소계 [원]	20,045,003	15,995,943	14,210,356	11,698,252
단위 면적당 연간 운영비 [원/㎡]	8,242.2 (100%)	6,577.3 (79.8%)	5,843.1 (70.9%)	4,810.1 (58.4%)



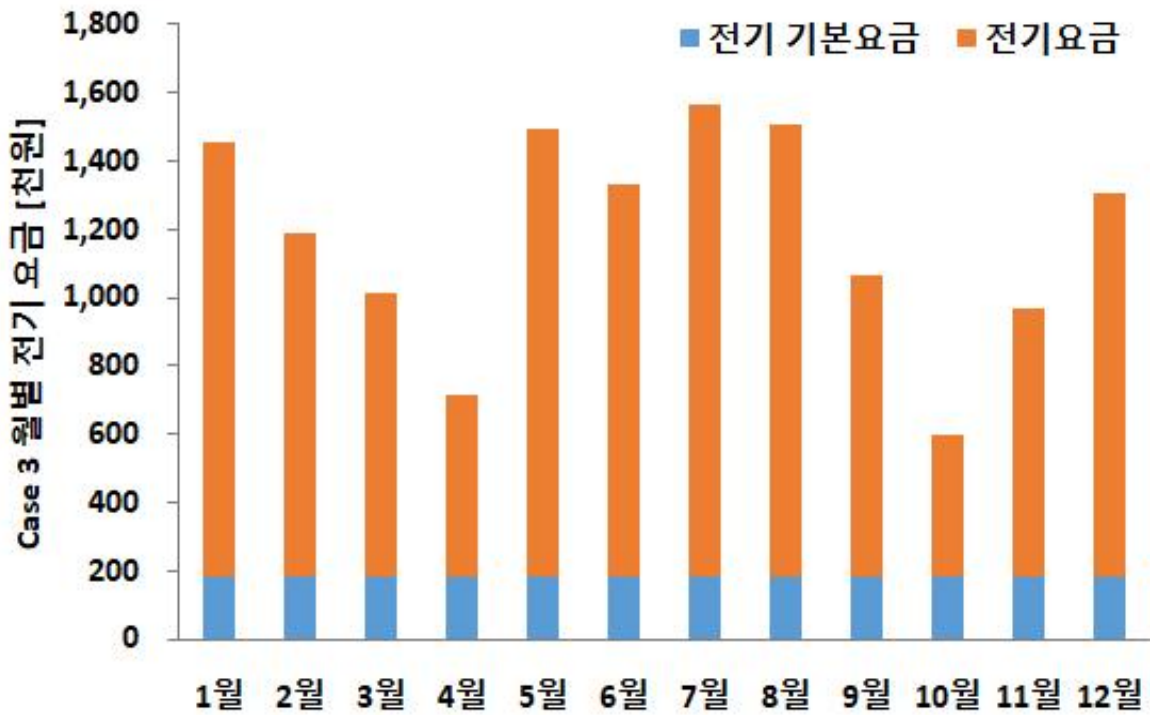
[그림 113] 연간 운영비



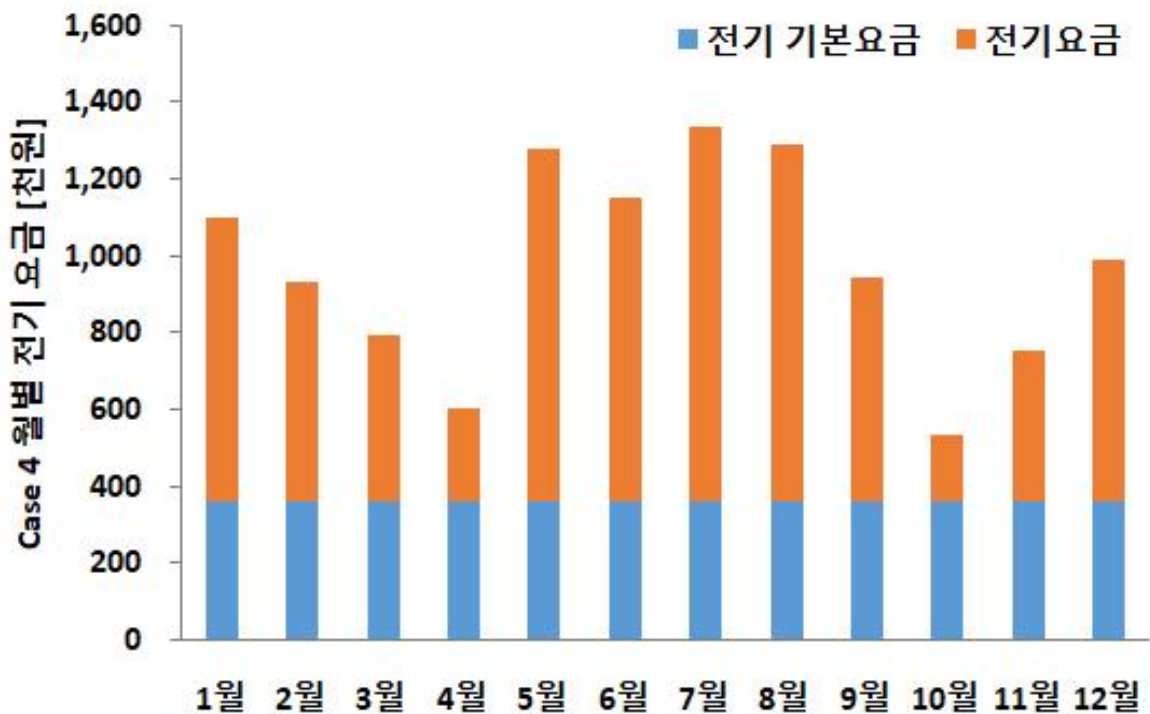
[그림 114] 월별 냉난방 요금



[그림 115] Case 2 월별 전기요금



[그림 116] Case 3 월별 전기요금



[그림 117] Case 4 월별 전기요금

5) 경제성 분석

가. 생애주기비용(LCC : Life Cycle Cost) 산출 방법

- 현재가치화법(NPV, Net Present Value)을 활용하여 냉방 패키지 케이스별 경제성(Life Cycle Cost)을 분석하였다. 경제성 분석에 사용한 모델은 할인율(이자율), 내용연수, 물가 상승률이 중요한 인자로 구분한다.
- 여기서 내용연수(Service Life)란 ASHRAE(미국공조냉동학회)에 의하면 “이 이상 사용하면 수리비나 기타의 비용이 해마다 많아져 이익이 없어지고 마는 상태까지의 사용연수“ 라고 정의하고 있다.
- 건축 설비에서의 경제성 분석 기간이란 설비기기의 내용연수를 의미하며 본 분석에서 사용한 내용연수 기준은 ”조달청고시 제 2021-41호, 내용연수“의 냉난방기 기준(내용연수 9년)을 적용하여 분석을 실시하였다.

[표 65] 경제성 분석 모델

구분	내용	비고
분석모델	<ul style="list-style-type: none"> · LCC모델 : NIST 모델(Ehlen/Marshall, 1996) 적용 · PVLCC = IC + PVOMR + PVD <p>여기서, PVLCC : 현재가치의 총 기대비용 IC : 초기비용 PVOMR : 유지보수비용의 현재가치 PVD : 철거 및 폐기비용의 현재가치</p>	
분석방법	<ul style="list-style-type: none"> · 현재가치화법(NPV, Net Present Value) · ASTM의 표준화된 방법인 E-917(ASTM, 1994)에서 채택한 NPV는 현재가치로 할인된 화폐가치임 · 일반적으로 LCC 검토시 다음과 같은 식으로 표현 $NPV = C_I + \sum_{k=1}^N C_{MK} \left[\frac{1}{(1+i)^k} \right]$ <p>여기서, C I : 초기비용 N : 설계수명 CMK : k번째 년도에서의 소요비용 i : 할인율</p>	
할인율	· 0.68%	
분석기간	· 9년	조달청 내용연수
교체주기	· 9년	조달청 내용연수

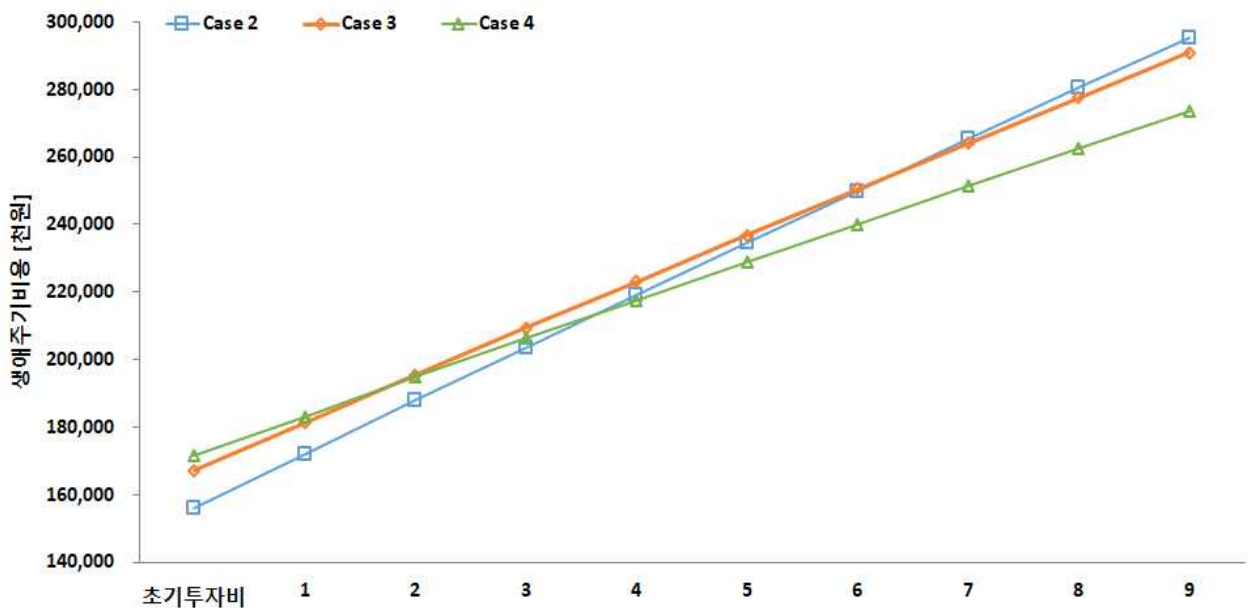
- 일반적으로 현재가치를 미래가치로 환산할 때는 이자율을 적용하고, 미래가치를 현재가치로 환산할 때는 할인율을 적용한다.
- 경제성을 비교할 때에 물가상승률을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우에 시스템의 경제성 우선순위가 달라지므로 분석에서 고려해야할 필요가 있다.
- 본 경제성 분석에서는 통계청 및 한국은행 경제통계시스템(ECOS)의 최근 10년간(2011년~2020년) 정기에금 금리와 물가상승률 자료를 참조하여 할인율을 선정하고 분석에 적용하였다.
- 정기에금 금리 : 한국은행 경제통계시스템 참조
- 소비자 물가지수 : 한국은행 경제통계시스템 참조
- 물가상승률 : 통계청 “소비자물가조사” 참조
- 실질 할인율 : 정기에금 금리 - 물가상승률

[표 66] 할인율 선정

년도	정기에금 금리	소비자 물가지수	물가상승률	실질 할인율
2011	3.69%	89.85	4.00%	-0.31%
2012	3.43%	91.82	2.20%	1.23%
2013	2.71%	93.01	1.30%	1.41%
2014	2.42%	94.20	1.30%	1.12%
2015	1.72%	94.86	0.70%	1.02%
2016	1.47%	95.78	1.00%	0.47%
2017	1.52%	97.65	1.90%	-0.38%
2018	1.84%	99.09	1.50%	0.34%
2019	1.74%	99.47	0.40%	1.34%
2020	1.05%	100.00	0.50%	0.55%
평균	2.16%	-	1.48%	0.68%

나. 생애주기비용 산출

- 초기투자비는 Case 2 > Case 3 > Case 4 순으로 낮았으며, 연간 운영비는 반대로 Case 4 > Case 3 > Case 2 순으로 낮게 산출되었다.
- 9년 기준 연간 생애주기비용을 비교하면, Case 2는 295,388,324원, Case 3는 290,891,081원, Case 4는 273,92,066원으로 Case 4 > Case 3 > Case 3 순으로 낮게 산출되었다.
- Case 4가 생애주기비용 측면에서 가장 유리하지만 본 경제성 분석에서는 제외 하한 수전설비까지 초기투자비에 포함하여 계산할 경우 Case 3이 가장 유리할 것으로 예상된다.



[그림 118] 생애주기비용(LCC)

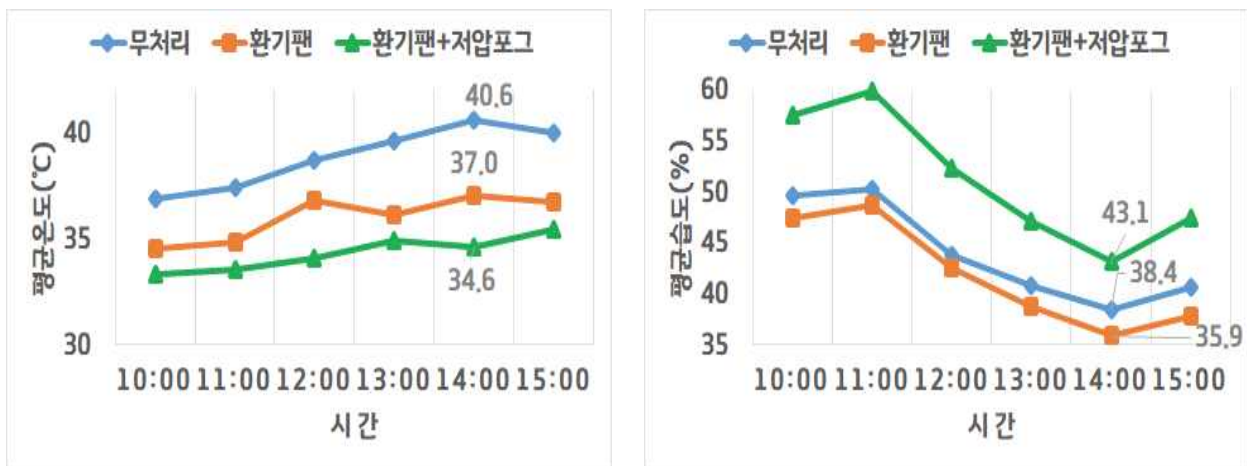
[표 67] 생애주기비용(LCC) 산출 결과

구분	Case 2	Case 3	Case 4
초기투자비	156,200,000	167,240,000	171,600,000
1년	172,087,905	181,354,378	183,219,241
2년	187,868,502	195,373,427	194,760,005
3년	203,542,516	209,297,790	206,222,821
4년	219,110,666	223,128,107	217,608,218
5년	234,573,668	236,865,013	228,916,716
6년	249,932,232	250,509,139	240,148,836
7년	265,187,063	264,061,111	251,305,093
8년	280,338,862	277,521,552	262,386,000
9년	295,388,324	290,891,081	273,392,066

6) 냉방 패키지 적용에 따른 수확량 증대 효과

가. 생육온도에 따른 상품성 비교(2021, 경기도농업기술원 연구보고서 사례)

- 최근 지구온난화에 따라 기상이변이 발생되고, 이로 인해 이상고온의 피해가 증가되어 여름철 기온 상승으로 인한 고사 등 생리장해가 발생한다.
- 일반적으로 여름철 재배는 고온과 강광에 의한 호흡, 증산, 스트레스로 인해 광합성 산물의 소모 증가로 생육 불량, 상품성 저하 및 수량 감소를 유발하므로 작물의 고온경감이 요구된다.
- 여름철 한낮에 온실 내부 기온은 외부보다 5℃ 이상 높아지게 되므로 대다수 작물의 생육한계온도인 35℃를 초과하는 날이 많아 온실에서 작물재배가 어려움이 많다.
- 이에 따라 상품성 증가와 수량 증가 등을 위해 고온 경감 기술이 필요한데 온도 하강 처리에 따른 온도, 습도, 지온, 토양수분함량의 변화를 보면, 온실 평균기온은 무처리 대비하여 환기팬 작동 시 1.6℃, 환기팬+저압포그 시 2.7℃의 온도 하강 효과가 있다. 하루 중 온도 하강정도가 가장 큰 시간대는 오후 1~2시였으며, 무처리 대비 환기팬 작동 시 3.6℃, 환기팬 + 저압포그시설 가동 시 1일 평균기온이 최대 6℃ 온도하강 효과를 나타냈다.



[그림 119] 온도하강 시설에 따른 온습도 변화

- 온도하강 처리에 따른 '정야'의 생육은 큰 차이를 보이지 않았으나 엽온의 경우 무처리에서는 43.6℃, 환기팬 42.4℃, 환기팬+저압포그에서는 41.2℃로 온도가 낮아지는 경향을 보였다.
- 온도하강 조절에 따라 상품성의 경우 무처리를 대비할 때 환기팬에서는 12.1%, 환기팬과 저압포그시설에서는 관상가치 등 상품화율이 19.8% 향상되었다.

- 온도하강 처리에 따른 ‘라우린제’의 생육도 큰 차이를 보이지 않았으나 엽온의 경우 무처리에서는 44.5℃, 환기팬 41.8℃, 환기팬+저압포그에서는 38.5℃로 온도가 낮아지는 경향을 보였다.
- 온도하강 조절에 따라 다육식물 상품성의 경우 무처리 대비할 때 환기팬에서는 8.0%, 환기팬과 저압 포그처리 시에서는 관상가치 등 상품화율이 18.1% 향상되었다.
- 여름철 고온기 온실 재배에는 환기팬+저압 포그시설을 설치하여 온실 내부의 평균온도를 약 35℃ 전후로 유지했을 때 상품성은 18.1~19.8% 향상되었다. 지열 히트펌프를 통해 냉난방을 하는 아현영농조합법인의 사례에서는 수확량이 약 18% 증가하였고, 참생영농조합법인에서도 수확량이 약 33% 증가한 것으로 보고되었다.
- 본 연구과제에서 개발하고 실증한 냉방 패키지의 경우 여름철 온실 내부온도를 최대 25.9℃까지 유지할 수 있는 성능을 갖추고 있음을 확인하였고, 전체 온실 공간에 균일한 온도로 유지하는 것이 가능하다. 이에 본 연구과제에서 개발한 냉방 패키지를 설치하여 작물을 재배할 경우 약 18% 정도의 수확량 또는 상품성 증대 효과를 달성할 수 있을 것으로 예상된다.

[표 68] 온도하강 조절방법에 따른 “정야” 생육비교

온도하강 처리	초장 [cm]	초폭 [cm]	엽후 [mm]	엽온 [℃]	고온피해율 [%]	상품화율 [%]
무처리	2.5	2.5	1.0	43.6a	27.8a	72.2c
환기팬	2.6	2.6	1.2	42.4b	15.7b	84.3b
환기팬+저압포그	2.4	2.8	1.1	41.2c	8.0c	92.0a

※ 정식 : '20. 4. 8., 생육조사 : '20. 8. 31., 관수 : 4주 간격, 고온피해율 : 고시주, 비상품주율

[표 69] 온도하강 조절방법에 따른 “라우린제” 생육비교

온도하강 처리	초장 [cm]	초폭 [cm]	엽후 [mm]	엽온 [℃]	고온피해율 [%]	상품화율 [%]
무처리	2.7	5.1	2.4	44.5a	24.0a	76.0c
환기팬	2.9	5.1	2.1	41.8b	16.0b	84.0b
환기팬+저압포그	2.7	4.9	2.8	38.5c	5.9c	94.1a

※ 정식 : '20. 4. 8., 생육조사 : '20. 8. 31., 관수 : 4주 간격, 고온피해율 : 고시주, 비상품주율

7) 에너지 사용량 분석을 통한 냉방 패키지 개선 방안 검토

가. Case 3 에너지 사용량 분석

- Case 3 기준 냉방 패키지는 연간 292,646.8kWh, 단위 면적당 120.3kWh/m²의 전기를 사용하는 것으로 분석되었다.
- 1차 에너지 사용량으로 환산하면 330.83kWh/m²·년(전기 에너지 환산 시 2.75 적용)이다. 이는 건축물에너지효율등급인증 기준 3등급(320이상 380미만)에 해당된다. 또한 본 연구과제에서 목표로 했던 6등급 수준(600kWh/m²·년)과 비교하여 약 55.13% 수준이다.
- 일반적인 건물의 경우 단열재 강화 및 기밀성이 높아지면서 건축물에너지효율등급 1등급 이상을 대부분 취득하는 추세이다. 그러나 외피가 유리로 되어있고 일사취득률이 높으며, 상대적으로 기밀성도 낮은 온실의 건축 형태를 고려했을 때 3등급 수준이면 냉방 패키지의 효율이 우수한 것으로 판단된다.

[표 70] Case 3 설비별 에너지 사용량

구분	히트펌프	축열조 (히트펌프)	펌프 (순환펌프)	펌프	팬코일유닛	소계
1월	16,547.2	0.0	0.0	3,212.0	10,637.8	30,397.1
2월	12,344.0	0.0	0.0	2,502.5	9,214.0	24,060.5
3월	9,010.1	0.0	0.0	2,585.0	9,295.4	20,890.4
4월	4,220.6	0.0	0.0	1,969.0	7,281.7	13,471.3
5월	20,299.8	3,470.2	276.0	2,887.5	6,061.3	32,994.8
6월	17,689.0	1,357.9	108.0	2,629.0	5,674.9	27,458.8
7월	20,349.6	3,394.8	270.0	2,887.5	6,183.4	33,085.3
8월	19,611.5	2,942.2	234.0	2,843.5	6,122.3	31,753.5
9월	14,089.3	528.1	42.0	2,293.5	5,308.7	22,261.6
10월	2,642.9	0.0	0.0	1,677.5	6,203.7	10,524.1
11월	7,431.9	0.0	0.0	2,486.0	8,929.3	18,847.2
12월	13,413.7	0.0	0.0	2,871.0	10,617.5	26,902.2
소계	157,649.6	11,693.2	930.0	30,844.0	91,530.0	292,646.8

나. 냉방 패키지 개선방안

- 냉방 패키지를 구성하는 설비의 에너지(전기) 사용량을 보면, 히트펌프의 에너지 사용량이 가장 높은 것으로 나타났다. 다음으로는 팬코일유닛, 펌프 순이다.
- 히트펌프는 전체 에너지 사용량 중 약 53.9%로 가장 많은 비율을 차지한다. 공냉식 히트펌프의 COP는 외기온도에 영향을 받아 변화한다. 여름철 냉방 기간에는 외기온도가 낮을수록 COP가 좋고, 겨울철 난방 기간에는 외기온도가 높을수록 COP가 좋다. 여름철 COP 향상을 위해 히트펌프 본체 위에 차양 설치를 고려할 수 있다. 차양은 태양복사열을 일부 막아줘 냉방 기간 COP를 높일 수 있다. 겨울철에는 외기온도가 상대적으로 높은 주간시간대 히트펌프를 가동하여 축열조에 저장하였다가 야간시간대에 사용하면 COP를 높일 수 있다.
- 상부토출형 팬코일유닛은 전체 에너지 사용량 중 약 31.3%로 상당 비율을 차지한다. 이에 온실 내부의 온도 편차에 따라 부분적으로 가동하여 에너지를 절약할 수 있도록 구성하였다. 팬코일유닛마다 온도센서를 설치하여 설정온도와외의 편차에 따라 부분적으로 가동된다. 설정온도가 25℃이고 팬코일유닛가 흡입하는 공기의 온도가 28℃라면 설정 온도보다 3℃가 높기 때문에 해당 팬코일유닛은 동작을 하게 된다. 만약 이 때 다른 곳에 설치된 팬코일유닛에서는 흡입하는 공기의 온도가 23℃로 워혀진다면 설정 온도보다 2℃가 낮기 때문에 냉방이 필요 없다고 판단을 하여 팬코일유닛가 작동하지 않는다. 이외에 팬코일유닛의 에너지 사용량 최소화를 위해서는 인버터 적용을 고려할 수 있다.
- 순환펌프는 냉방 패키지의 전체 에너지 사용량 중 약 10.5%를 차지한다. 실증한 냉방 패키지의 순환펌프는 냉난방 부하에 따라 순환펌프를 제어할 수 있다. 그러나 인버터를 설치하여 제어할 경우 부분부하에 따라 펌프 모터의 회전수를 제어하여 전기 사용량을 최소화할 수 있다. 그러나 인버터 설치 시 초기투자비가 상승하는 단점이 있다.

2-11. 냉방 패키지 비즈니스 모델

1) 고객 세분화

가. 시설원에 영농기업 및 온실 농가

- 고가의 투자비가 동반되는 유리온실에서 여름철 3개월은 고온으로 인하여 시설 활용도가 저하되고 있다.
- 시설원에 재배 기업 또는 농가 대부분이 여름철 고온으로 인하여 작물 재배에 피해를 받거나 최악의 경우 여름철 재배를 못하는 경우가 있다. 그러나 국내 유리온실 농가 중 냉방설비를 설치한 농가는 약 26%에 불과하다. 냉방설비가 설치된 유리온실에서는 주로 지열과 공기열 히트펌프를 주로 설치하여 사용하고 있다.
- 영농기업 및 온실 농가에서 냉방설비 도입에 대한 수요가 있음에도 이러한 정보를 제공하거나 종합적인 컨설팅을 서비스하는 전문업체는 극히 소수이다.
- 이에 냉방 패키지 비즈니스 모델에서는 시설원에 농업기업 및 온실 농가를 주요 고객으로 선정하였고, 이들을 대상으로 냉방 패키지에 대한 정보 제공과 컨설팅(설계, 최적화, 경제성 분석, 냉방 특화 상품 등) 서비스를 제공하는 것을 첫 번째 목표로 계획하였다.

나. 연구기관

- 농업 관련 연구기관에서는 온실에 냉방설비를 갖추었지만 과도한 에너지 사용량 문제로 사용을 제한하고 있다.
- 이에 냉방 패키지 비즈니스 모델에서는 설치되어 있는 냉방설비의 최적화 서비스를 제공하는 것을 두 번째 목표로 계획하였다.

다. 온실 설계 및 시공업체

- 온실 설계 및 시공업체에서는 정확한 냉난방부하 산출 기준을 정립하여 활용하는 업체들이 극히 소수이며, 온실 냉방에 특화된 냉방설비의 개발과 적용은 미비한 상태이다.
- 이에 냉방 패키지 비즈니스 모델에서는 온실 설계 및 시공업체와 협업관계를 유지하는 동시에 고객으로 선정하였고, 냉방 패키지 전문설계(부하계산, 배관선정, CFD 시뮬레이션 등)와 냉방 특화 상품(상부토출형 팬코일유닛)을 직접 공급하는 것을 세 번째 목표로 계획하였다.

2) 제공가치

가. 스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램

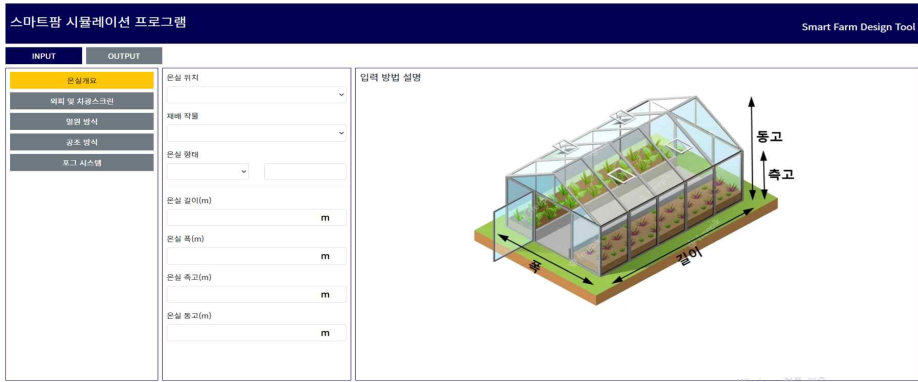
- 본 연구과제를 통해 개발한 스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램은 냉방 패키지의 적정 용량 계산부터 시스템 선정이 가능하고 선정된 냉방 패키지의 초기투자비부터 연간 운영비, 생애주기비용을 간단하게 산출할 수 있다.
- 온실 전문가부터 전문지식이 없는 고객들이 쉽게 접근할 수 있도록 입력항목을 최대한 단순화하였고, 필요한 정보만을 쉽게 확인할 수 있게 구성하였다.
- 스마트폰 어플 방식으로 누구나 쉽게 접근할 수 있는 장점이 있으며, 소프트웨어 저작권 등록을 완료한 상태이다.

나. 상부토출형 팬코일유니트

- 상부토출형 팬코일유니트는 대공간인 온실 내부 온도를 균등하게 유지하고 작물에 냉기 또는 온기가 직접 닿지않게 토출구를 조절한 온실 냉방에 특화된 냉방 설비이다.
- “온도 균등 분포가 가능한 온실 냉난방용 팬코일 유니트”로 현재 국내 특허등록이 결정된 상태이다.

다. 냉방 패키지 최적화 솔루션

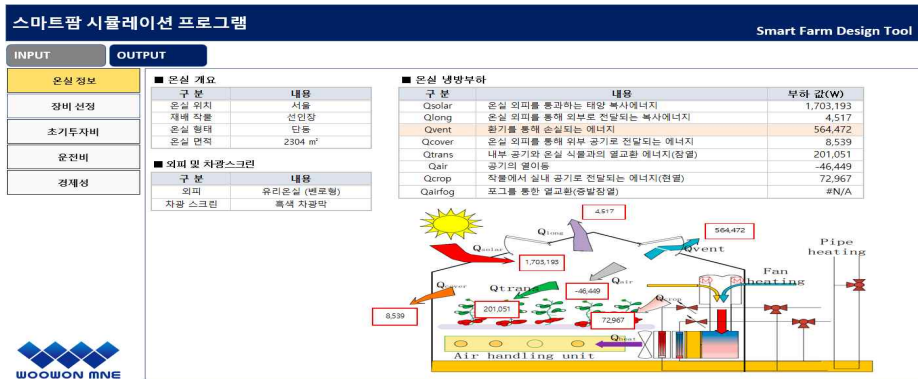
- 본 연구과제에 참여한 기관들의 협력을 통해 최적화 솔루션을 제공할 수 있다.
- (주)우원엠앤이는 냉방부하 산출부터 냉방 패키지 설계 서비스를 제공하고, (주)월드에너지는 상부토출형 팬코일유니트를 포함한 냉방 패키지 시공, 건국대학교는 CFD 시뮬레이션을 포함한 냉방 패키지 최적화, 경상북도 농업기술원 구미화훼시험장은 작물생육과 관련된 서비스를 제공한다.
- 냉방 패키지 관련 일체의 서비스를 제공할 수 있는 협력체계가 구축되어 있다.
- 이와 관련하여 “작물의 환경 스트레스를 저감하는 온실 냉난방 패키지 시스템”으로 현재 국내 특허등록이 결정된 상태이다.



[그림 120] 냉방 패키지 설계 지원 프로그램 입력화면-1



[그림 121] 냉방 패키지 설계 지원 프로그램 입력화면-2



[그림 122] 냉방 패키지 설계 지원 프로그램 결과화면-1

구분	Case 1	Case 2	Case 3
난방 1월	-	-	-
난방 2월	-	-	-
난방 3월	-	-	-
- 4월	284	284	284
- 5월	293	293	293
냉방 6월	-	-	-
냉방 7월	-	-	-
냉방 8월	-	-	-
냉방 9월	-	-	-
- 10월	293	293	293
- 11월	284	284	284
난방 12월	-	-	-
난방합계	-	-	-
냉방합계	-	-	-

[그림 123] 냉방 패키지 설계 지원 프로그램 결과화면-2

특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-2329260 호
Patent Number

출원번호 제 10-2021-0055369 호
Application Number

출원일 2021년 04월 29일
Filing Date

등록일 2021년 11월 16일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention

작물의 환경 스트레스를 저감하는 온실 냉난방 패키지 시스템

특허권자 Patentee

(주)우원엠앤이(110111-*****)
서울특별시 관악구 조원중앙로1길 13 (신림동)

발명자 Inventor

등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



특허청
Korean Intellectual
Property Office

2021년 11월 16일

특허청장

COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

김용래



QR코드로 원제기준
등록사항을 확인하세요



[그림 124] (주)우원엠앤이 특허증

특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특허 제 10-2214528 호
Patent Number

출원번호 제 10-2020-0095484 호
Application Number

출원일 2020년 07월 30일
Filing Date

등록일 2021년 02월 03일
Registration Date



발명의 명칭 Title of the Invention
온도 균등 분포가 가능한 온실 냉난방용 팬코일 유니트

특허권자 Patentee
(주)월드에너지(134811-*****)
경상북도 문경시 가은읍 가은공단길 97

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.



2021년 02월 03일



QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요

특허청장

COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

김용래



[그림 125] (주)월드에너지 특허증

3) 핵심역량

가. 냉방 패키지 관련 특허 보유

- 냉방 패키지 관련 2건의 특허를 보유하고 있다.

나. 냉방 패키지 초기투자비 DB 구축

- 냉방 패키지 비즈니스 모델에서 설정한 고객이 냉방 패키지 구축을 고려할 경우, 대략적인 초기투자비를 쉽게 파악하여 비교할 수 있도록 온실 바닥면적당 초기 투자비 DB를 구축하였다.

[표 71] 초기투자비 비교

구분		초기투자비
열원	공기열 히트펌프	22,620원/m ²
	수열원 히트펌프	32,570원/m ²
	전기구동형 히트펌프	70,560원/m ² (전체 공사비 기준)
축열조 (콘크리트 기준)		2,8790원/m ²
공조	상부토출형 팬코일유니트	7,820원/m ²
	시설재배용 팬코일유니트	7,470원/m ²
펌프		3,390원/m ²
배관 (PE배관 기준)		6,170원/m ²
덕트 (비닐덕트 기준)		4,120원/m ²

다. 냉방 패키지 운영비(전기요금) DB 구축

- 냉방 패키지 운영비 자료를 제공하여, 고객이 수익성을 자체적으로 검토할 수 있는 환경을 구축하였다.

[표 72] 월별 운영비(전기요금) 비교

구분	단위 면적당 운영비 (전기요금)	구분	단위 면적당 운영비 (전기요금)
1월	598 원/m ²	7월	644 원/m ²
2월	489 원/m ²	8월	621 원/m ²
3월	417 원/m ²	9월	439 원/m ²
4월	296 원/m ²	10월	247 원/m ²
5월	615 원/m ²	11월	399 원/m ²
6월	547 원/m ²	12월	538 원/m ²

라. 온실 냉방 패키지 설계 가이드라인, 표준도면

- 냉방 패키지 실증 연구데이터를 기초로 온실의 냉방 패키지 기술 설계도면을 작성하여 제공함으로써 다양한 온실에 적용 시 참고할 수 있는 자료를 구축하였다.
- 또한 온실 냉방 패키지를 비롯한 냉방 관련 설계와 시공에 참조할 수 있는 가이드라인을 별도로 작성하였다.

[표 73] 온실 냉방 패키지 설계 가이드라인 목차

구분	목차	비고
1장	냉방 패키지 설계 가이드라인 활용 방향	
1.1	가이드라인의 필요성	
1.2	가이드라인의 활용	
2장	온실 구축 개요	
2.1	온실 설계 개요	
2.2	온실 공사 개요	
2.3	온실 냉방 패키지 구축 시 고려사항	
3장	온실 설계	
3.1	커튼 시스템	
3.2	환기	
3.3	난방	
3.4	냉방	
3.5	관수설비	
3.6	재배시설	
3.7	방제 시스템	
3.8	전기	
3.9	복합환경 제어 시스템	
3.10	탄산시비	
4장	온실 냉방 패키지 설계	
4.1	냉방 기술별 냉방 효과	
4.2	냉방 패키지 기술 구성	
4.3	열원시스템 설계	
4.4	축열시스템 설계	
4.5	공조시스템 설계	
4.6	기타	

[표 74] 온실 냉방 패키지 표준도면 리스트

냉방 패키지 기술	도면 리스트	비고
공랭식 히트펌프 + 축열조 + 상부토출형 팬코일유니트	M-A01 장비일람표	
	M-A02 열원흐름도	
	M-A03 장비배치도	
	M-A04 수평 차광 스크린 설치 평면도	
	M-A05 수평 보온 커튼 설치 평면도	
	M-A06 측면 보온 커튼 설치 평면도	
	M-A07 축열조 평면도	
	M-A08 축열조 단면도	
	M-A09 축열조 입면도	
	M-A10 공조배관 평면도	
	M-A11 팬코일유니트 상세도	
	M-A12 센서 배치도	
	M-A13 센서 연결도	
	M-A14 전기공사 범례표	
	M-A15~A16 전기결선도	
	M-A17~A24 데이터로거 결선도	
	M-A25~A26 터미널 신호 체계도	
M-A27 MCC판넬 구성도		
공랭식 히트펌프 + 축열조 + 팬코일유니트 + 비닐덕트	M-B01 장비일람표	
	M-B02 장비배치도	
	M-B03 공조배관 평면도	
	M-B04 공조덕트 평면도	
공랭식 히트펌프 + 축열조 + 시설재배용 팬코일유니트	M-C01 장비일람표	
	M-C02 장비배치도	
	M-C03 공조배관 평면도	
전기구동형 히트펌프 + 실내기	M-D01 장비일람표	
	M-D02 공조배관 평면도	

(a) 표지

온실 냉방 패키지
설계 가이드라인

- 과 제 명 : 대규모 유리온실의 여름철 안정적 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구
- 연구 기관 : (주)원앤에이
- 연구책임자 : 황동근

2021. 12

(b) 목차

목 차

1. 냉방 패키지 설계 가이드라인 활용 방향 1

1.1 가이드라인의 필요성 1

1.2 가이드라인의 활용 2

2. 온실 구축 개요 3

2.1 온실 설계 개요 3

2.2 온실 공사 개요 4

2.3 온실 냉방 패키지 구축 시 고려사항 5

3. 온실 설계 7

3.1 커튼 시스템 7

3.2 환기 13

3.3 난방 18

3.4 냉방 28

3.5 관수설비 35

3.6 재배시설 37

3.7 방제 시스템 39

3.8 전기 41

3.9 복합환경 제어 시스템 42

3.10 탄산시비 43

(c) 내용-1

1.2 가이드라인의 활용

본 가이드라인은 온실 설계 및 시공 담당자, 시설원예농가에서 작물에 적합한 생육환경 조성을 위해 필요한 냉방 패키지(냉난방 설비)를 구축할 때 고려해야 할 사항과 방법을 가이드라인 하는 것을 목적으로 한다.

온실 설계 담당자	온실 시공 담당자	시설원예농가
냉방 패키지 설계 가이드라인		
가이드라인	표준 도면	냉방 패키지 설계 물
패시브(자광 스크린, 환기) 설계 고려사항	구축된 유리온실 기준 냉방 패키지 도면 제공	개략적인 온실의 냉난방 부하 산출
액티브(냉방, 난방) 설계 고려사항	패시브 적용 도면	개략적인 냉난방 패키지 공사비 산출
재배시설 설계 고려사항	열원설비(공냉식 히트펌프, EHP) 적용 도면	연간 에너지 사용량 산출
환경제어시스템 설계 고려사항	다양한 방식의 공조설비 적용 도면	연간 운영비 산출
온실 설계 및 시공 업무 기초자료로 활용	냉방 패키지 구성에 대한 이해도 향상	냉방 패키지 도입 시 경제성 손쉽게 파악

[그림 1] 가이드라인 활용 방안

(d) 내용-2

4.3 열원시스템 설계

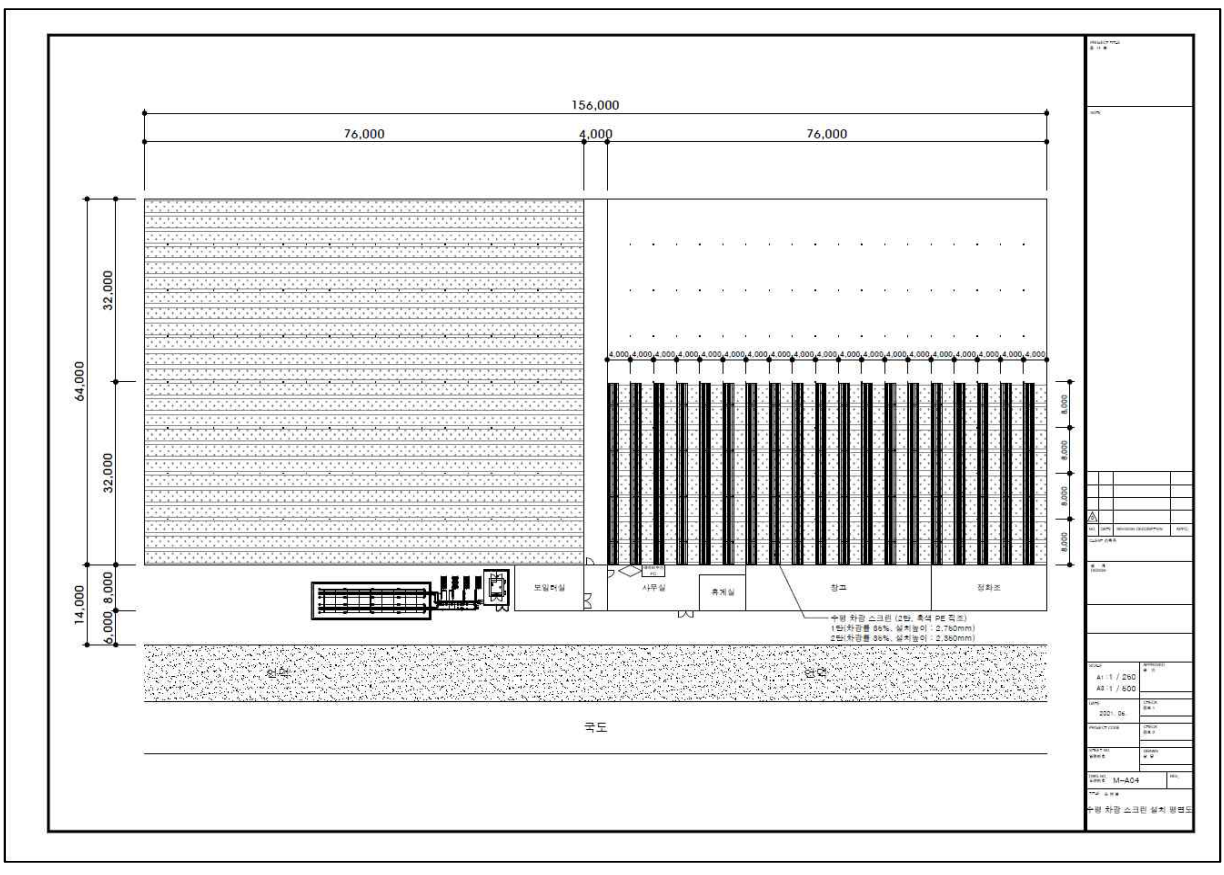
- (1) 열원시스템 선정
- ① 온실에 냉방을 위해 별도로 열원설비를 설치하면 초기투자비가 상승하기 때문에 냉난방을 같이 할 수 있는 히트펌프를 적용한다.
 - ② 히트펌프는 저온열원에서 고온열원을 얻기 위한 장치로 냉매의 팽창/증발/압축/응축 사이클에 의해 저온 열원측에서 고온 열원측으로 열을 수송하며, 저온 열원측(증발기)은 냉방에 이용하고 고온 열원측(응축기)은 난방에 이용할 수 있다.
 - ③ 물을 냉매로 하는 공기열/수열원/지열원 히트펌프는 축열조와 연계하여 설비용량을 줄일 수 있고 농가에 적용되는 값싼 전액요금으로 이용할 수 있는 장점이 있다.
 - ④ 전기구동형 히트펌프는 설치는 간단하지만 냉매를 사용하기 때문에 축열조와 연계가 어려워 설치용량이 커지는 단점이 있다.
 - ⑤ 열원시스템은 [표 26]과 같이 히트펌프 방식별 특성과 온실의 위치와 인프라 등을 고려하여 선정한다.
 - ⑥ 히트펌프는 전기를 동력으로 사용하기 때문에 설치용량에 따라 수전 설비 계획이 반드시 필요하다.
- (2) 냉수 공급 및 환수 온도 선정
- ① 히트펌프의 정격냉방운전 조건은 출구온도 7℃, 입구온도 12℃이다. 이보다 높은 냉수 온도로 설정하면 높은 효율(COP : Coefficient of Performance)로 에너지 절약 운전이 가능하다.
 - ② 일반적인 건물은 냉방에서는 실내온도를 24~26℃로 설정하여 냉각 및 감습을 위해 냉수온도를 7℃로 설정하지만 온실에서는 30~35℃ 이하로 유지하면 되기 때문에 냉수온도를 15~20℃로 계획한다.
 - ③ 냉수 공급과 환수 온도 차이를 크게 하면 순환펌프 동력을 줄일 수 있다. 온도 차는 히트펌프 제조사에 가능한 범위를 확인 후 적용한다. 공급 및 환수 온도차가 너무 크면 냉방에 걸리는 시간이 길어지기 때문에 최대 10~15℃로 계획한다.

[그림 126] 온실 냉방 패키지 설계 가이드라인

(a) M-A01 장비일람표

장비일람표																				
■ 냉방 시스템 장비																				
장비명	수량	종도	형식	설치위치	정격냉방용량	정격난방용량	합동용량	냉방용도	공급온도	공급온도	정격소비전력	전원	압축기	유격	중량	비고				
A01-01	4	냉방구역 냉방수 공급	공냉식	냉방수동	1000	1000	2000	냉방	7℃	12℃	1000	3P	4000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
■ 수조 장비																				
장비명	수량	종도	형식	설치위치	용량	용량	유체용량	규격	재료	비고										
A01-01	1	냉방수동	공냉식	냉방수동	1000	1000	2000	1000	1000	1000	1000									
■ 팬 코일 유닛																				
장비명	수량	종도	형식	설치위치	냉방용량	난방용량	정격냉방용량	정격난방용량	정격소비전력	전원	압축기	유격	중량	비고						
A01-01	18	냉방수동	공냉식	냉방수동	1000	1000	2000	2000	1000	3P	4000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
■ 펌프																				
장비명	수량	종도	형식	설치위치	유량	양정	소비전력	전원	비고											
A01-01	4	냉방수동	공냉식	냉방수동	1000	1000	1000	1000	1000											
A01-02	2	냉방수동	공냉식	냉방수동	1000	1000	1000	1000	1000											

(b) M-A14 수평 차광 스크린 설치 평면도



[그림 127] 온실 냉방 패키지 표준도면

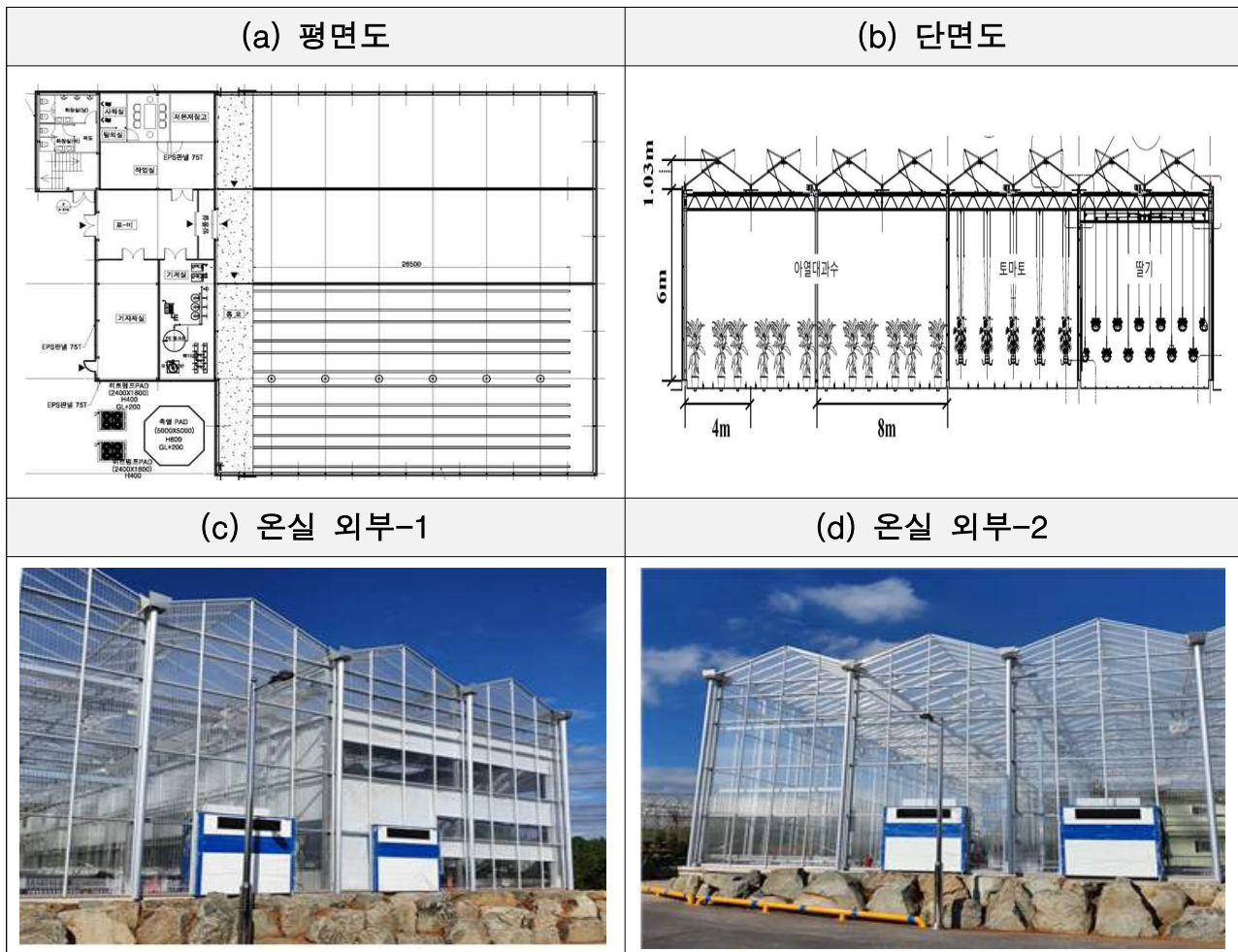
2-12. 냉방 패키지 추가 실증

1) 냉방 패키지 추가 실증 계획

- (주)구미선인장에 설치한 냉방 패키지 외에 유사한 냉방 패키지가 적용된 온실을 대상으로 추가적으로 온실 환경 측정과 경제성을 분석하였다.

2) 추가 실증 온실 개요

- 추가 실증 온실은 전라남도 나주시 왕곡면 덕산리에 위치한 나주농업기술센터의 스마트팜 체험형 교육 온실로 면적은 1,570.4㎡이며 딸기, 멜론, 아열대 과수를 재배하는 8연동 유리온실이다.
- 1층은 재배공간을 제외하고 기자재실, 기계실, 작업실, 저온저장고 공간으로 구분되어 있으며, 2층은 교육장과 제어실, 회의실로 구획되어 있다.
- 온실은 8개의 기둥이 4m 간격으로 나열되어 있으며, 전체 온실 바닥면적 중 1/4은 딸기를 재배하고, 나머지 1/4은 멜론, 나머지 2/4는 아열대 과수를 재배 하도록 계획되어 있다.

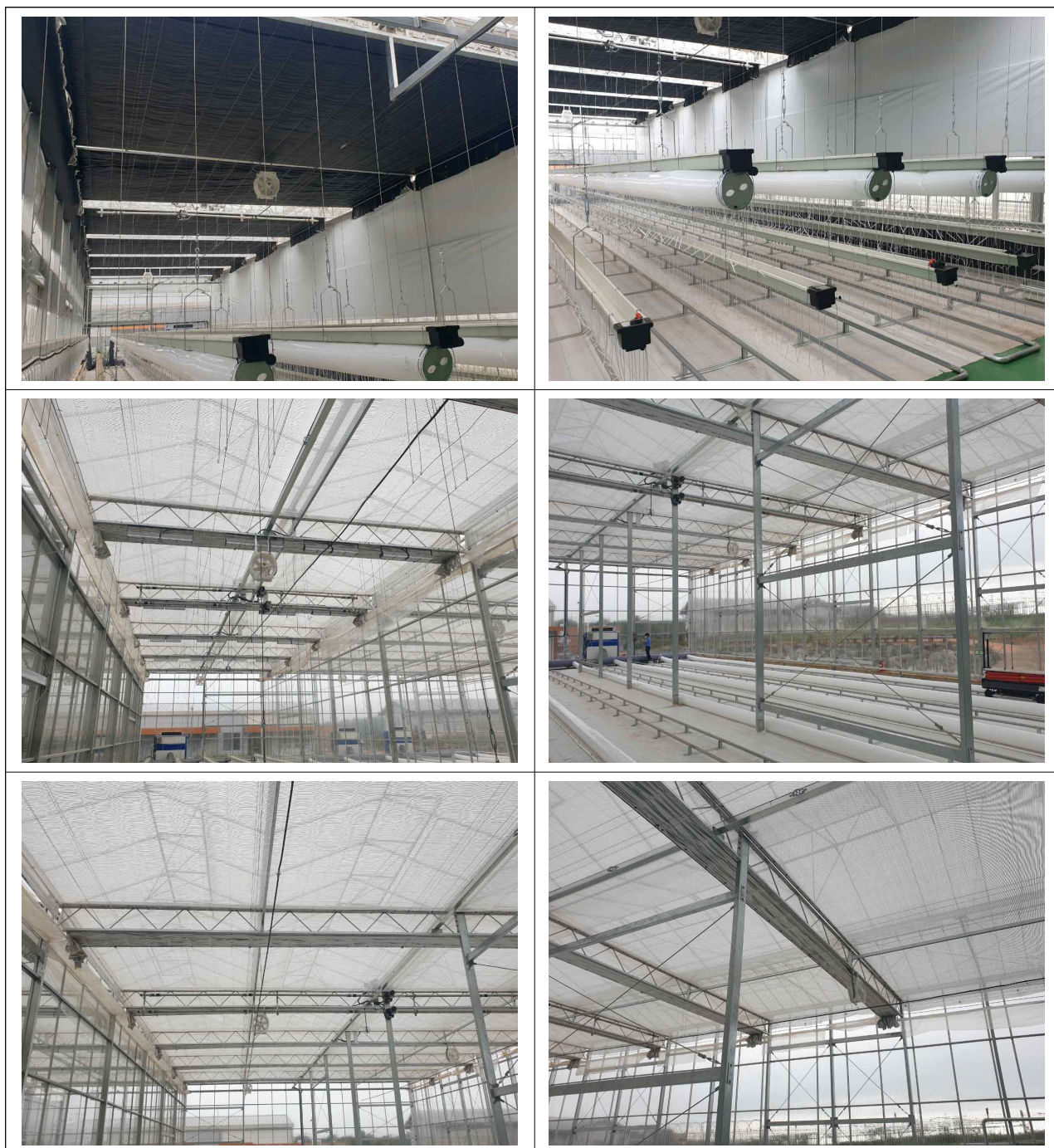


[그림 128] 추가 실증 온실 개요

3) 추가 실증 온실 냉방 패키지 구성

가. 패시브 냉방 패키지

- 모든 재배구역의 차광 스크린은 수평으로 개폐되는 수평식 스크린 시스템을 적용하였다.
- 딸기 재배구역은 생육적온이 멜론 및 아열대 과수보다 낮은 딸기의 생육환경을 고려하여 내부 측면과 천장에 차광 스크린을 설치하여 여름철 고온 피해를 억제하였다. 아열대 과수와 멜론 재배구역은 딸기 재배구역과 달리 차광률이 높지 않은 알루미늄 차광 스크린을 적용하였다.



[그림 129] 추가 실증 온실 패시브 냉방 패키지

나. 액티브 냉방 패키지

- 추가 실증 온실은 열원으로 공기열 히트펌프 130kW 2대와 축열조가 설치되었고 실내 공조 장치로는 풍량 6,000CMH 공조기 4대가 설치되었다. 공조기에서부터 비닐덕트를 통해 온실 전체의 환경을 유지한다.
- 딸기와 멜론 재배구역에는 행잉거터 방식을 적용되어, 비닐덕트는 양액재배를 하는 재배부의 하단에 설치하였다. 아열대 작물 재배구역에서는 재배방식을 고려하여 비닐덕트를 바닥에 설치하였다.
- 기계실에 설치된 제어판넬을 통해 각 재배구역의 냉온수 순환펌프와 보일러 및 히트펌프 순환펌프, 밸브 등을 제어할 수 있다.
- 포그 시스템은 전용 제어판넬을 통해 각 재배구역별 포그 시스템의 가동 여부와 포그의 분사 속도를 자동 혹은 수동으로 조절할 수 있다.
- 재배구역별로 제어판넬이 각각 설치되어, 재배구역의 재배작물 생육환경에 맞게 천창, 수평 차광 및 보안 스크린, 측면 커튼의 개폐와 공조기의 ON/OFF, 행잉 거터의 UP/DOWN을 제어할 수 있다.



[그림 130] 추가 실증 온실 비닐덕트 설치 사진

(a) 히트펌프 및 축열조



(b) 외부 배관 연결



(c) 기계실 내부



(d) 헤더 및 순환펌프



(e) 보일러



(f) 양액공급장치



(g) 기계실 내 제어판넬



(h) 재배구역 내 제어판넬




[그림 131] 추가 실증 온실 액티브 냉방 패키지

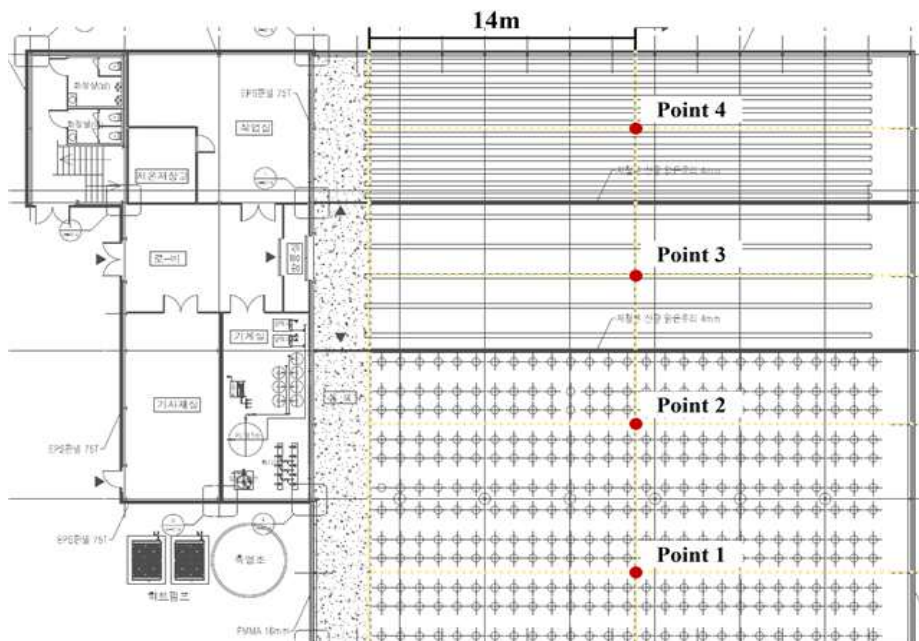
4) 추가 실증 온실 환경 측정

가. 온실 환경 측정 개요

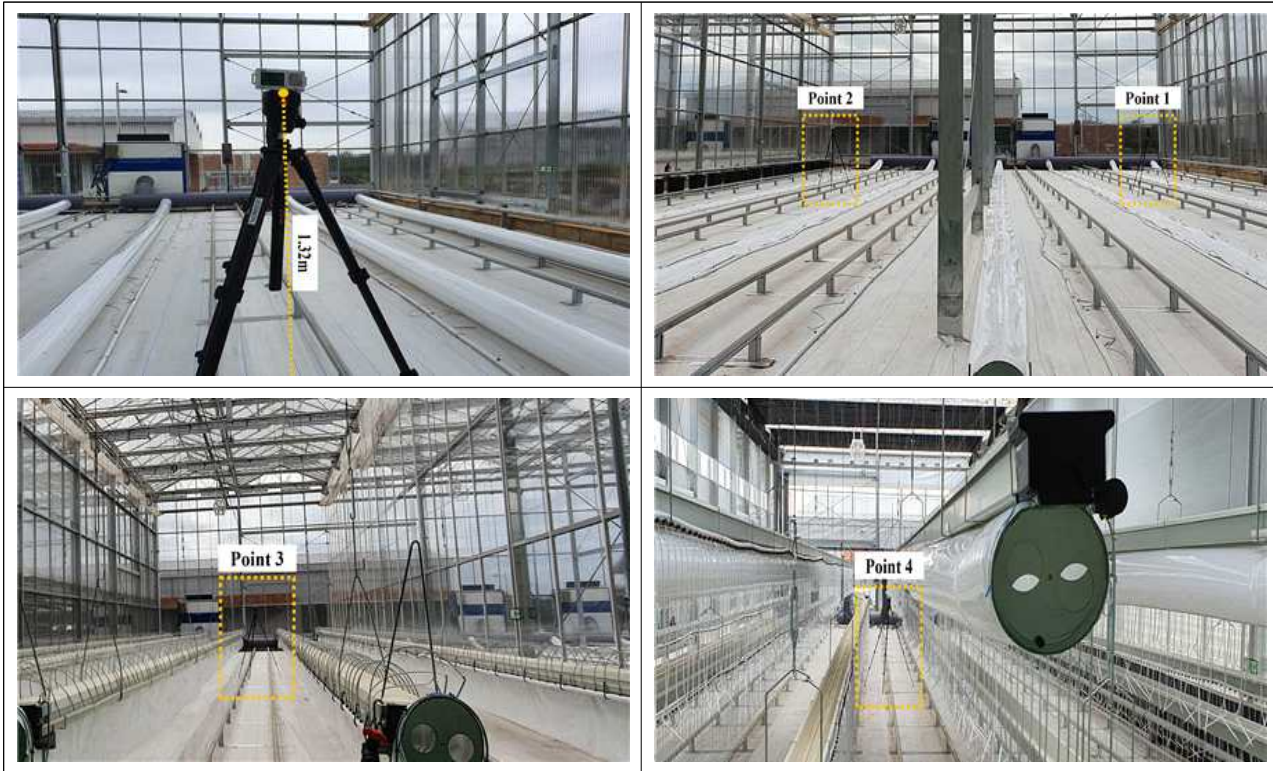
- 온실의 냉방 성능 및 시뮬레이션 분석을 진행하기 위해 온실의 환경을 측정하였다. 측정 기간은 9월 16일 16시부터 9월 17일 16시로, 24시간 동안 측정하였고 외기 온습도의 경우 나주시 농업기술센터의 기술지원과가 운영하는 나주시 왕곡면 덕산리 542-6의 과수 지대 이동형 AWS(Automatic Weather System, 자동기상관측시스템)를 통한 외기 온습도 데이터를 취득하였다.
- 딸기 및 멜론 재배구역에는 각각 1개의 온습도 센서를 설치하였으며 아열대 과수 재배구역에는 면적이 넓어 2개의 온습도 센서를 설치하였다. 센서는 작물이 재배되는 높이를 기준으로 삼각대를 활용하여 지면으로부터 1.32m에 설치하였으며, 5분 간격으로 온실 내부의 건구온도와 상대습도를 측정하였다.

[표 75] 온습도 데이터 로거 사양

제품 사진	항목	건구온도 측정 사양	상대습도 측정 사양
	Range	20°C-70°C	15%-95%
	Accuracy	±0.21°C from 0°C-50°C	±3.5% from 25%-85%
	Resolution	0.024°C at 25°C	0.07% at 25°C and 30%
	Response Time	4min in air moving 1m/s	43sec in airflow of 1m/s
	Drift	<0.1°C per year	<1% per year



[그림 132] 추가 실증 온실 환경 측정 위치

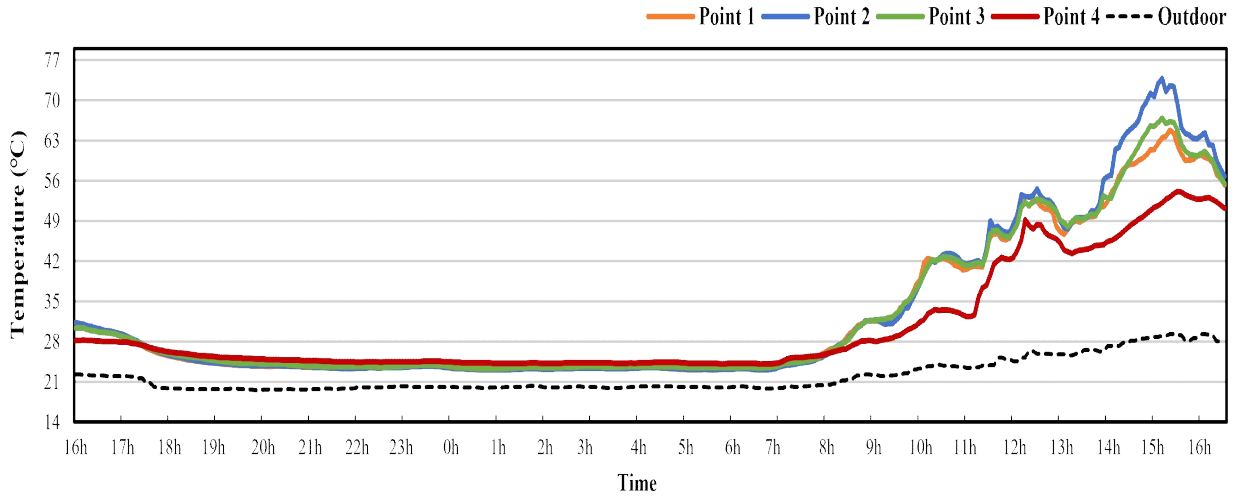


[그림 133] 추가 실증 온실 환경 측정 사진

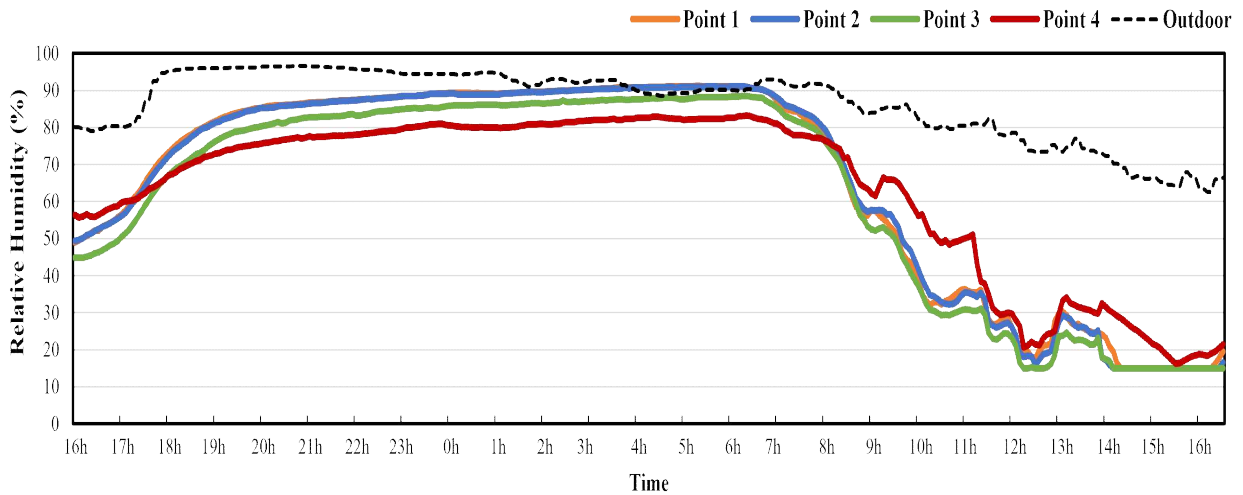
나. 온실 환경 측정 결과

- 냉방 및 환기가 가동되지 않은 상태에서 온실 내부 건구온도는 외기온도에 비해 야간에는 지중온도의 영향으로 평균적으로 3℃ 높은 것으로 측정되었다. 주간에는 일사의 유입에 의해 차광 스크린이 가동되지 않은 아열대 과수 및 멜론 재배 구역의 실내 건구온도는 최대 평균 68℃로, 외기 온도에 비해 약 39℃ 높게 분포하는 것으로 측정되었다.
- 반면에 딸기 재배구역의 실내 건구온도는 최대 54℃로, 차광 스크린의 영향으로 다른 재배구역과 비교하여 약 14℃ 낮은 온도로 분포하는 것으로 나타났다.
- 일반적인 작물의 생육 한계 온도는 25~35℃이므로 작물의 생육환경에는 불리한 내부 온열환경을 나타내었는데 여름철 온실에서 환기와 차광을 비롯한 냉방이 필수적일 것으로 판단된다.
- ㈜구미선인장의 냉방 패키지 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션과도 유사한 것으로 나타났다. ㈜구미선인장의 경우 냉방 패키지가 없는 경우 최대 약 64.4℃까지 상승하였으나 차광 스크린을 적용함에 따라 약 18.2~21.4℃ 온도가 하강하였다. 추가 실증 온실에서도 차광 스크린 가동에 따라 약 14℃ 온도가 하강하는 것으로 나타났다. 온도 하강의 차이는 있으나 환경 측정할 때 환기가 제대로 이루어지지 않은 것을 고려했을 때, 환기가 원활히 이루어졌을 때는 약 20℃의 온도 하강이 예상된다.

- 온실의 내부 상대습도는 상승된 건구온도의 영향으로 외기 상대습도에 비해 낮게 분포하는 것으로 나타났다. 그러나 야간에는 온도 하강에 따라 상대습도가 쉽게 포화상태에 도달되어 병 발생이 증가하고 작물의 수량 및 품질이 저하될 수 있을 것으로 판단되었다.



[그림 134] 측정지점별 온실 건구온도 및 외기온도



[그림 135] 측정지점별 온실 상대습도 및 외기 상대습도

5) 생육환경 개선 검증

- 추가 실증 온실에서 재배하는 딸기를 기준으로 작물의 적정 생육환경을 조성했을 때와 일반적인 재배조건에서 작물 생육의 차이를 비교하였다. 재배 품종은 국내 딸기 재배농가에서 보편적으로 재배되는 설향 품종을 선정하였다.
- 정식일은 2021년 9월 17일로 대부분의 딸기 재배농가가 비슷한 시기에 정식하였다. 냉방 패키지(난방으로도 활용 가능)를 활용한 추가 실증 온실과 관행 재배 온실, 스마트팜 온실에서 재배하는 딸기의 정식 초기 생육상태를 엽병, 엽장, 초장, 엽폭 순으로 1달 간격으로 조사하여 비교하였다.
- 정식 후 1달이 지난 10월 기준, 추가 실증 온실의 딸기 생육상태는 엽병 8.84cm, 엽장은 9.88cm, 초장은 19.18cm, 엽폭은 7.53cm로 관행 재배 온실보다 평균 약 0.57cm, 스마트팜 온실보다 평균 약 0.31cm 생육상태가 우수한 것으로 나타났다.
- 정식 후 2달이 지난 11월에는 엽병 9.09cm, 엽장은 9.93cm, 초장은 19.48cm, 엽폭은 7.56cm로 관행 재배 온실보다 평균 약 0.72cm, 스마트팜 온실보다 평균 약 0.40cm 생육상태가 우수한 것으로 나타났다. 또한 충실도 역시 냉방 패키지 시스템이 적용된 온실에서 높게 나타났다.
- 냉방 패키지 적용으로 작물의 생육은 일반적인 재배 온실(관행 재배, 스마트팜)과 비교하여 평균 약 4.0~7.2% 개선된 것으로 나타났다.

[표 76] 생육상태 비교

구분		10월	11월
추가 실증 온실	엽병(cm)	8.84	9.09
	엽장(cm)	9.88	9.93
	초장(cm)	19.18	19.48
	엽폭(cm)	7.53	7.56
관행 재배 온실	엽병(cm)	8.27	8.29
	엽장(cm)	9.32	9.17
	초장(cm)	18.56	18.62
	엽폭(cm)	7.01	7.12
스마트팜 온실	엽병(cm)	8.48	8.68
	엽장(cm)	9.61	9.43
	초장(cm)	18.86	19.07
	엽폭(cm)	7.24	7.29

6) 추가 실증 온실 적용 냉방 패키지 경제성 분석

가. 경제성 평가 개요

- 냉방 패키지의 경제성 평가를 위하여 5개의 온실의 냉방 방안을 선정하여 비교하였다. (그림 136 참조)
- 첫 번째 냉방 방안(냉방 패키지 1)은 열원설비를 별도로 설치하지 않고 차광 스크린과 팬, 포그 시스템(습도 조절, 증발냉각)을 통해 온도 하강과 습도를 조절하는 방식이다. 포그 시스템은 환기횟수(4.1회/h)를 기준으로 필요 환기량을 산정한 뒤 재배작물의 생육조건에 적합한 온도(30℃), 상대습도(90%)를 맞추기 위해 수분 공급량을 계산하여 적용하였다. 차광 스크린은 차광, 암막, 보온 커튼 3가지로 구성하였으며 최종 투과율은 0.6으로 적용하였다. 팬은 온실의 체적, 환기창으로 유입 및 출입되는 공기의 질량 유량, 공기의 밀도 등을 기준으로 체적 교체법을 사용하여 필요 환기량을 계산하고 팬 풍량 및 수량을 계획하였다.
- 두 번째 냉방 방안(냉방 패키지 2)은 추가 실증 온실에 적용한 냉방 패키지로 공랭식 히트펌프와 축열 시스템을 적용한 방식이다. 열원설비는 일일 부하 2,633kWh를 기준으로 축열조 320Ton(축열률 70%, 축열 시간 10시간), 공랭식 히트펌프 95kW 2대로 계획하였다. 축열된 열량을 우선적으로 사용하며 부족할 시 주간에 히트펌프를 가동하여 부하를 처리하도록 설계하였고, 공기조화기의 냉수 입·출구 온도차이는 5℃를 기준으로 풍량을 선정하였다.
- 세 번째 냉방 방안(냉방 패키지 3)은 직팽식 공조기(4대)를 통해 냉방을 하는 방식이다. 외기 도입 비율을 30%, 실내·외 온도에 따라 외기냉방이 가능하도록 설계하였고 외기 냉방제어 방법 중 온도제어를 적용하여 환기나 엔탈피는 고려하지 않은 비교적 간단한 방식으로 적용하였다. 실내 최저 온도점 24℃ 기준으로 외기냉방 가능 시간의 비율은 5년간 평균 16.7%로 계산되었다.
- 네 번째 냉방 방안(냉방 패키지 4)은 시스템 에어컨 형태로 실내 공기 재순환을 통해 온도 조건만 조절하는 방식이다.
- 다섯 번째 냉방 방안(냉방 패키지 5)은 열원으로 지열을 사용한 신재생에너지 시스템을 적용하는 방식이다.
- 경제성 평가는 전기, 가스 및 물가 상승률에 대해서는 한국전력에서 발표한 농사용 전기요금 개정 추이의 내용을 확인하여 2012년 대비 연간 약 0.78% 인상을률로 LCC 분석에 적용하였다. 가스 요금은 한국가스공사 발표 내용 기준으로 2012년 대비 현재 연간 약 4.2% 인하율로 LCC 분석에 적용하였다.
- 5개의 냉방 방안을 적용하여 경제성을 비교하는 온실의 냉방부하는 445.6kW이며 장비 세부 사양은 다음과 같다.

장비선정 / 온실면적 1500m ² 설정 / 피크부하: 445.6kW (383,220.8kcal/h, 119.8RT)					
냉방유형	냉방패키지 1 포그 시스템	냉방패키지 2 공랭식히트펌프 + 축열조 + 공조기	냉방패키지 3 전기구동형 히트펌프 + 공조기	냉방패키지 4 전기구동형 히트펌프 + 실내기	냉방패키지 5 지열히트펌프 + 팬코일유니트
에너지원	· 없음	· 히트펌프 = 95kW x 2 · 축열조(축열률 70%) = 320 Ton 건물 1일 부하(1day) : 2,633kWh 축열 시간 : 10h ΔT : 5°C Specific heat : 4.19kJ/kg·k	· 히트펌프 = 285kW x 2 외기부하: 123.03kW (현열+ 잠열) 적용 비율 : 30%	· 히트펌프 = 230kW x 2	· 지열히트펌프 = 230kW x 2
면적당 설비 기준	· 포그 시스템 =2LPM (At 30°C) 목표 상대습도 90% 환기횟수: 4.1 * h · 차광 스크린 Shading curtains Black out curtains Thermal curtains · 팬 시스템 =3,300CMH*7	· 포그 시스템 =2LPM (At 30°C) 목표 상대습도 90% 환기횟수: 4.1 * h · 차광 스크린 Shading curtains Black out curtains Thermal curtains · 팬 시스템 =3,300CMH*7 · 공조기(스탠드형) =3,600 x 37 m ³ /h	· 포그 시스템 =2LPM (At 30°C) 목표 상대습도 90% 환기횟수: 4.1 * h · 차광 스크린 Shading curtains Black out curtains Thermal curtains · 팬 시스템 =3,300CMH*7 · 공조기 =42,225 x 4 m ³ /h	· 포그 시스템 =2LPM (At 30°C) 목표 상대습도 90% 환기횟수: 4.1 * h · 차광 스크린 Shading curtains Black out curtains Thermal curtains · 팬 시스템 =3,300CMH*7 · 실내기(스탠드형) =3,600 x 37 m ³ /h	· 포그 시스템 =2LPM (At 30°C) 목표 상대습도 90% 환기횟수: 4.1 * h · 차광 스크린 Shading curtains Black out curtains Thermal curtains · 팬 시스템 =3,300CMH*7 · FCU(스탠드형) =3,600 x 37 m ³ /h

[그림 136] 경제성 평가 대상 냉방 패키지 개요

나. 초기투자비 산출

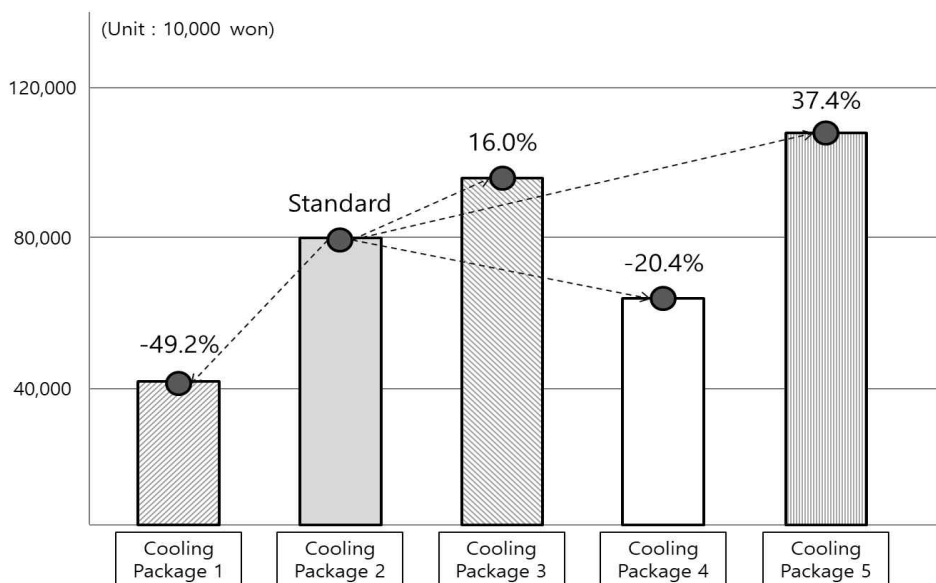
- 온실의 초기투자비 산정을 위해 온실 전문업체에서 최근 시공한 5개의 온실(스마트팜)의 공사비 내역을 기준으로 면적당 공사비를 산출하였다.
- 초기투자비는 건축공사와 기계설비 공사, 전기공사로 구분하였다. 건축공사는 가설공사, 기초공사, 철골 공사, 피복 공사로 세부 분류하였다. 기계 설비공사는 포그 시스템, 차광 스크린, 공기 유동팬, 양액 시설, 냉방시설로 세분화 하였다.
- 5개 온실의 공사비 내역을 분석하여, 온실 건축공사 중 가설 공사는 단위 면적당 4,721원, 기초 공사는 15,933원, 철골 공사는 57,289원, 피복 공사는 32,318원으로 선정하여 초기투자비를 산출하였다.
- 기계설비 공사에서 포그 시스템은 단위 면적당 6,981원, 차광 스크린은 58,116원, 공기 유동팬 시스템은 25,397, 양액 시설은 28,563원, 냉방시설은 24,649원, 전기공사는 8,851원을 기준으로 초기투자비를 산출하였다.

[표 77] 단위 면적당 초기투자비

구분		초기투자비	구분		초기투자비
건축 공사	가설 공사	4,721원/m ²	기계 설비 공사	포그 시스템	6,981원/m ²
	기초 공사	15,933원/m ²		차광 스크린	58,116원/m ²
	철골 공사	57,289원/m ²		공기 유동팬	25,397원/m ²
	피복 공사	32,318원/m ²		양액 시설	28,563원/m ²
전기공사		8,851원/m ²	냉방시설		24,649원/m ²

다. 초기투자비 산출 결과

- 포그 시스템만 사용하는 냉방 패키지 1은 추가 실증 온실에 적용한 냉방 패키지 2(공랭식 히트펌프+축열조)와 비교하여 초기투자비가 49.2% 낮은 것으로 나타났다. 그러나 온실 내 온도를 작물의 생육적온까지 하강하지 못하고 상대습도 또한 생육에 유리한 환경을 조성하지 못하는 단점이 있다.
- 냉방 패키지 2를 기준으로 냉방 패키지 3은 초기투자비가 16.0% 높고, 냉방 패키지 5는 37.4% 높은 것으로 산출되었다. 반면에 냉방 패키지 4는 20.4% 낮은 것으로 나타났다. 냉방 패키지 5의 경우 지열원을 사용하기 때문에 다른 방식과 비교하여 초기투자비가 가장 높게 나타났다.

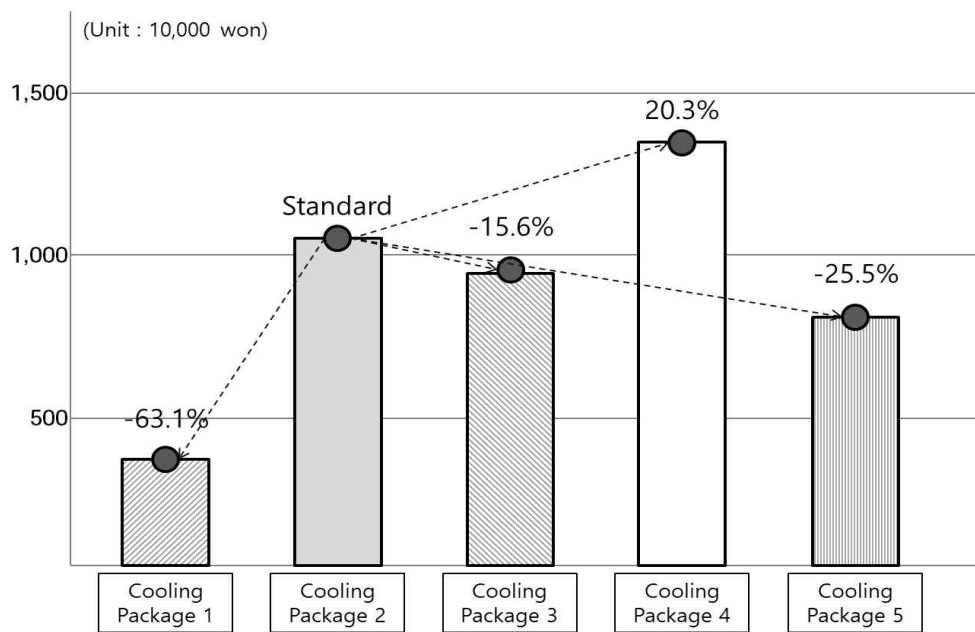


[그림 137] 냉방패키지별 초기투자비 분석

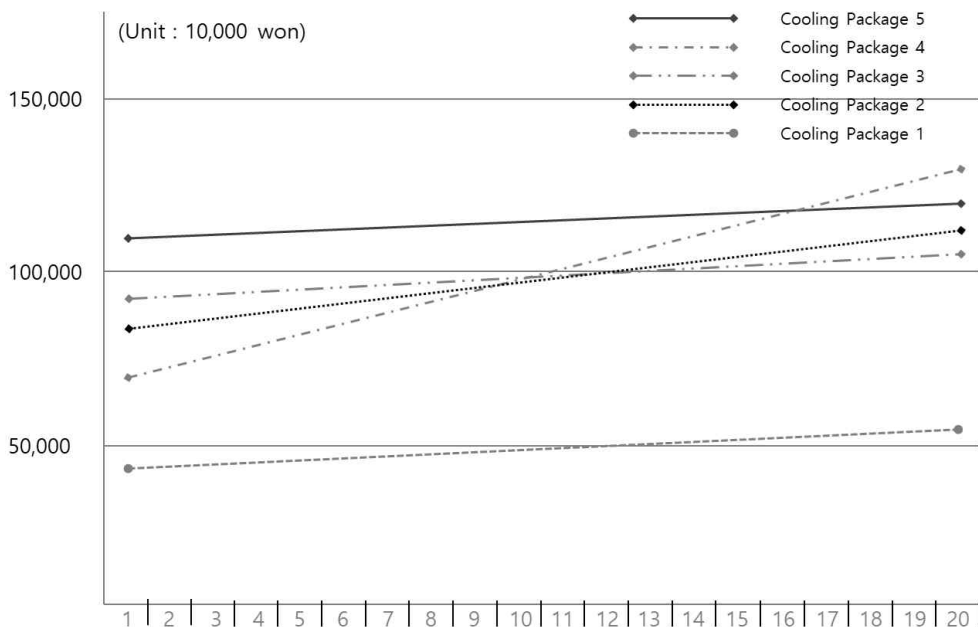
라. 운영비 및 생애주기비용(LCC : Life Cycle Cost) 산출 결과

- 냉방 패키지 1~5의 운영비 산출 결과, 냉방 패키지 1의 운영비가 가장 낮은 것으로 나타났다. 냉방 패키지 2와 비교하면 약 63.1% 낮게 산출되었다.
- 냉방 패키지 4의 에너지 사용량이 가장 높았으며, 냉방 패키지 2과 비교하면 약 20.3% 높은 것으로 산출되었다.
- 냉방 패키지 3은 냉방 패키지 2에 비해 공기를 열원으로 사용함으로써 생기는 에너지 절감 효과와 공조기와 리턴 덕트를 통한 실내 공기를 재사용할 수 있어 공조기의 코일 용량의 감소가 에너지 절감의 형태로 나타난 것으로 분석되었다.
- 지열히트펌프를 사용한 냉방 패키지 5가 초기투자비 측면에서는 냉방 패키지 2에 비해 약 37.4% 높았지만 에너지 사용량 측면에서는 약 25.5% 낮아 운영비 측면에서는 유리한 것으로 분석되었다.

- 포그 시스템만을 이용한 냉방 패키지 1은 초기투자비, 유지관리비 측면에서 다른 냉방 패키지에 비해 낮지만 냉방 성능일 기대할 수 없어 경제성 평가 대상에서 제외하였다.
- 냉방 패키지 4가 초기투자비는 낮았지만 연간 운영비가 높아 20년 기준 생애주기비용은 가장 높은 것으로 나타났다. 냉방 패키지 5는 연간 운영비는 가장 낮지만 높은 초기투자비로 인하여 생애주기비용이 가장 높게 산출되었다.
- 냉방 패키지 3의 생애주기비용이 가장 낮았지만 추가적인 기계실 면적이 확보되어야 하며, 온실 내 레이아웃을 변경하기 어려운 것을 고려하면 냉방 패키지 2가 가장 적절한 것으로 예상된다.



[그림 138] 냉방패키지별 1년 운영비 분석



[그림 139] 냉방패키지별 20년 생애주기비용 분석

2-13. 냉방 패키지 확대 적용을 위한 시설재배작물 재배환경 기초 조사

1) 선인장 재배환경 조사

- 선인장의 생육적온은 25~30℃이며, 하절기 40℃ 이상에서는 고온 장애 발생 우려가 있어 30℃부터는 환기나 냉방시스템 운영 등의 관리가 필요하다.
- 적정습도는 접목 선인장에서 80%, 삼각주에서 70~80%이며 이 조건에서 발근도 잘되고 생육도 왕성하나 습도가 너무 높으면 병 발생이 우려된다.
- 빛 조건은 적색계통은 4만 5000 lux, 핑크색 계통은 약간 많이 차광되는 4만 lux 정도에서 구색이 선명하고 생육이 좋으며 삼각주는 계절에 상관없이 일정한 차광이 필요하다.

[표 78] 선인장 생육조건

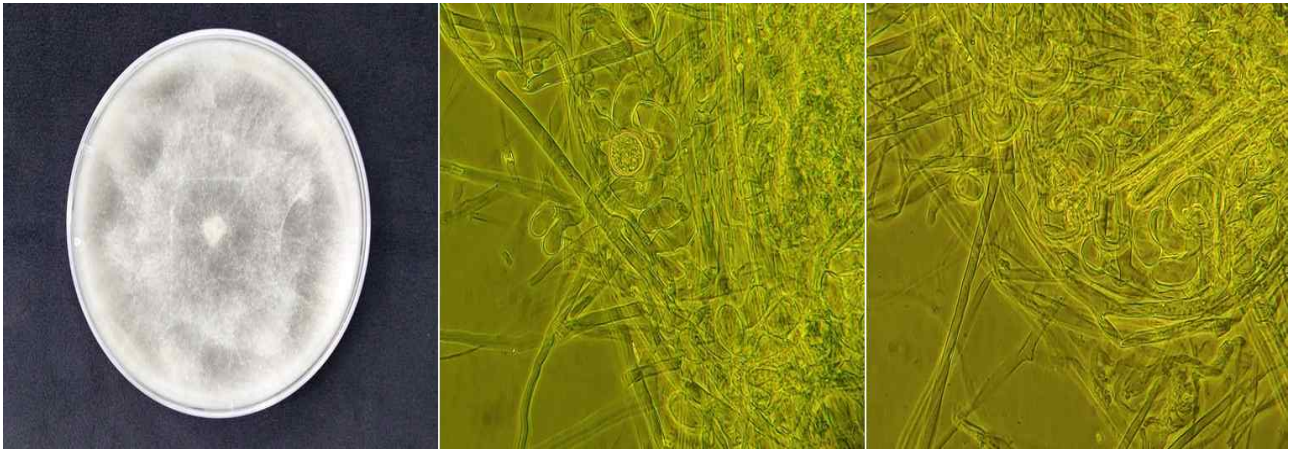
항목	접목 선인장	삼각주
빛	<ul style="list-style-type: none"> - 적정광도 : 정오 기준 4~5만 lux - 최소 3만 lux 이상 유지 (하절기에 차광망 45~55% 설치) - 광이 부족하면 진녹색이나 적색, 황색 등 원래의 색이 옅어지고 가시의 굵기나 크기가 가늘고 약해지며 끝이 뾰족해짐 - 적색계통은 4만 5000 lux, 핑크색 계통은 약간 많이 차광되는 4만 lux 정도에서 구색이 선명하고 생육이 좋음 - 400~500nm의 광을 많이 투과해 주는 조건에서 구색을 나타내는 색소의 함량을 높이는 작용을 함 	<ul style="list-style-type: none"> - 삼각주는 계절에 상관없이 일정한 차광을 해 주어야 하며 통상 4~10월 사이에는 50% 정도의 차광 필요
온도	<ul style="list-style-type: none"> - 생육적온 : 25~30℃ - 35℃ 이상이면 생육저하 및 고온피해가 있으므로 30℃부터 온도관리 필요 - 접목 후 발근기는 지온을 25~30℃로 유지해 주며, 생육기에는 최적 25℃ 이하로 조절해 주는 것이 생육을 촉진해줌 - 5℃ 이하 : 동해 피해 - 40℃ 이상 : 고온 장애 (근활력감소, 일소현상 등) 	<ul style="list-style-type: none"> - 삼각주의 적정온도는 25~30℃ - 겨울철 최저온도는 15℃ 이상, 가급적 20℃ 정도로 높게 관리하는 것이 좋은 대목을 양성할 수 있음 - 하절기에는 고온으로 인해 가늘게 도장되는 경우가 많으므로 35℃ 이상으로 온도가 올라가지 않도록 환기에 유의 - 환기 시 너무 강한 바람은 삼각주가 뒤틀리는 원인이 되기도 함

항목	접목 선인장	삼각주
습도	<ul style="list-style-type: none"> - 접목활착률 : 상대습도가 높을수록 유리하나 높으면 병 발생 우려도 있음 (적정습도 80%) - 고온기에 냉방 시스템 작동 시 상대습도는 다소 높아져 과습으로 잿빛곰팡이병 등의 병발생 증가 우려 	<ul style="list-style-type: none"> - 적정습도는 70~80%이며, 이 조건에서 발근도 잘되고 생육도 왕성함

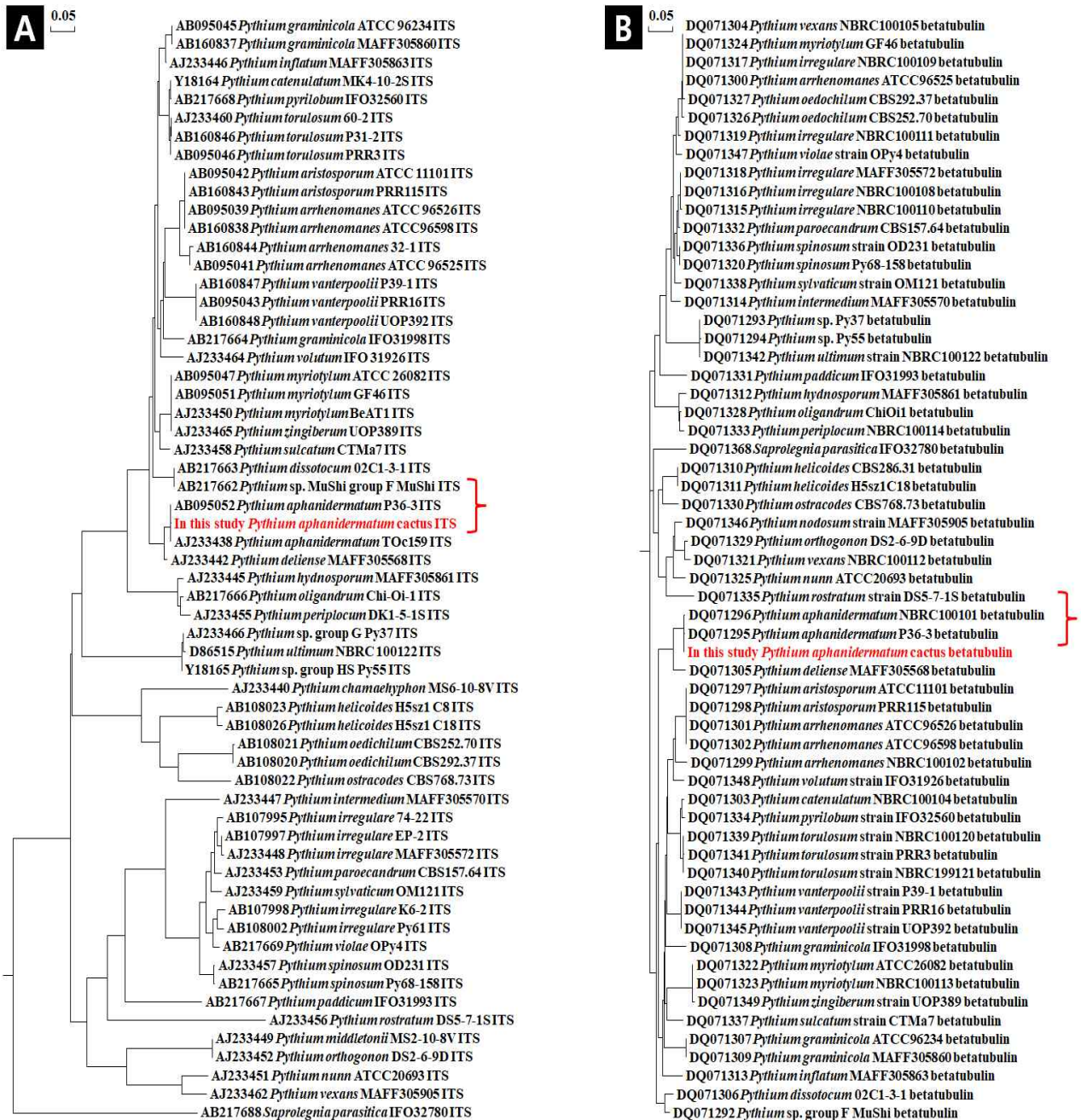
- 접목 선인장 재배 온실에서 토양이 과습하거나 다습한 조건에서는 뿌리부분부터 역병 등의 병이 감염될 수 있다. 고온 다습한 재배온실에서 피해 증상을 보인 시료를 채취하여 분석한 결과 *Pythium aphanidermatum*균에 의한 피해로 진단된 사례도 있다.
- 접목 선인장 재배온실에서 역병이나 *Pythium aphanidermatum*균 등 토양병을 예방하기 위해서는 토양이 습하지 않게 배수나 환기에 신경을 쓰고, 온실 내 고온 환경이 되지 않도록 관리가 필요하다.



[그림 140] 접목 선인장의 *Pythium aphanidermatum*균에 의한 피해증상 (2019, 경북)



[그림 141] *Pythium aphanidermatum* 균 배양 (2019, 경북)



[그림 142] *Pythium aphanidermatum* 균의 계통 분석

- 바이러스 감염문제는 선인장 재배에서 있어서 심각한 문제로 대두되고 있으며 지금까지 알려진 선인장에 감염되는 바이러스는 8종 정도이다. 삼각주 등 대목에 바이러스가 감염되면 접목활착률이 떨어지고 생육이 저조하며, 구색이 퇴색하고 품질이 떨어지게 된다. 줄기에서는 짙고 옅은 모자이크 무늬를 나타낸다.
- 바이러스에 감염된 삼각주 등의 대목에 접목된 선인장에서는 황화 및 기형으로 나타나며 심하면 고사한다. 감염 초기에는 육안식별이 곤란할 정도로 병증이 외부로 드러나지는 않지만, 시간이 지나면 모자이크, 기형, 위축, 괴저증상을 일으키기 때문에 관리가 필요하다.
- 접목 선인장 재배농가에서 품종별로 CVX 감염여부를 진단했을 때 대부분의 농가에서 바이러스가 감염된 것으로 나타났으며, 온실 환경 관리와 더불어 바이러스 등의 병해충 관리도 철저히 해야할 것으로 판단된다.

Family	Genus	Virus	Symptoms
Alphaflexiviridae	Potexvirus	Cactus Virus X(CVX)	황화, 반점
		Opuntia Virus X(OVX)	무
		Schlumbergera Virus X(SVX)	무
		Zygocactus Virus X(ZVX)	적색 증상
Tombusviridae	Carmovirus	Saguaro Cactus Virus(SCV)	무
Virgaviridae	Tobamovirus	Sammons' Opuntia virus(SOV)	무
		Cactus Mild Mottle virus(CMMoV)	모자이크증상, 괴사
		Rattail Cactus Necrosis associated Virus(RCNaV)	괴사

[그림 143] 선인장 감염 바이러스와 증상



[그림 144] 접목 선인장 CVX 감염증상 (2019, 경북)

[표 79] 재배농가의 비모란 모주 품종별 CVX 감염 진단 (2019, 경북)

구분	모주 품종별 바이러스 감염률(%)							
	아울	아성	아홍	연호	불빛	연빛	아황	리ски
농가1	73.3	60.0	26.7	20.0	53.3	-	-	-
농가2	33.3	-	-	13.3	46.7	60.0	53.3	-
농가3	53.3	-	20.0	-	-	0	26.7	13.3

2) 선인장 생육에 미치는 영향인자의 민감도 분석

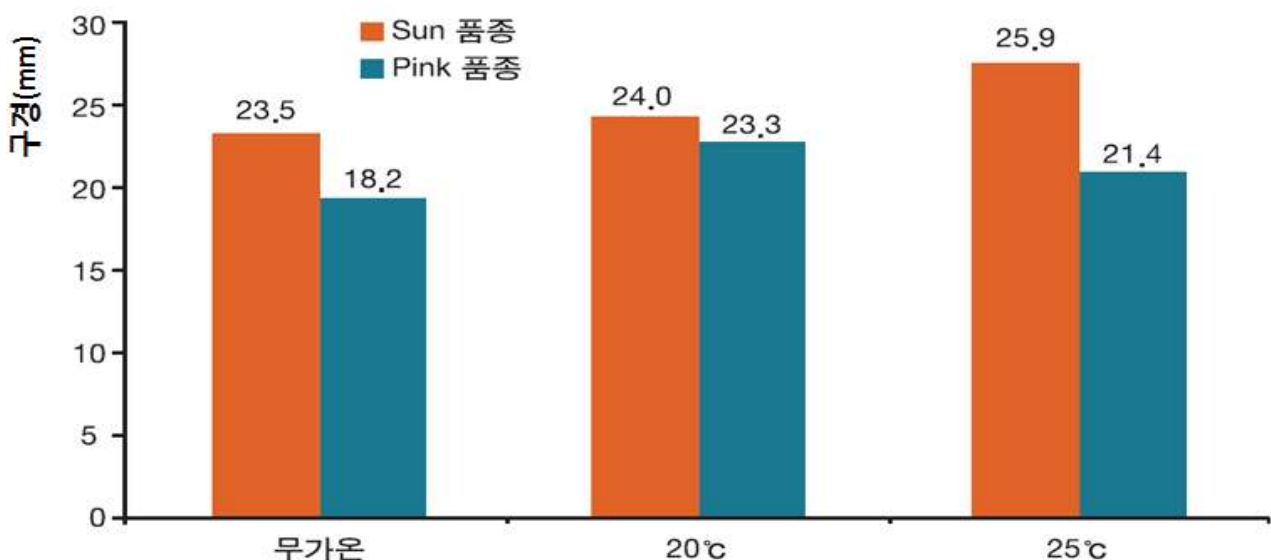
가. 온도 조건

- 야간온도를 15℃로 고정하고 주간온도를 15, 20, 25 및 30℃로 조정하여 삼각주를 재배한 결과 식물체의 높이는 주간온도가 높을수록 증가하였다. 특히 주간온도 25℃ 처리와 주간온도 30℃ 처리 간의 초장의 차이는 현저하였다.
- 줄기의 폭은 이와는 반대로 주간 온도가 높을수록 가늘어지며 수출용 접목선인장 대목으로 가장 많이 쓰이는 폭 2.6~3.5cm(길이 9cm)의 삼각주는 주간온도 30℃ 및 주간온도 25℃의 경우에만 생산이 가능하였다.

[표 80] 주야간 온도차에 따른 삼각주 생육(2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

온도(℃)		측지수 (개)	줄기길이 (cm)	줄기 폭 (cm)	규격품생산량 (cm)
주간온도	야간온도				
15	15	1.3	15.1	5.4	0
20	15	1.9	35.8	4.2	0
25	15	1.5	43.7	3.0	21.7
30	15	2.5	92.1	2.7	33.2

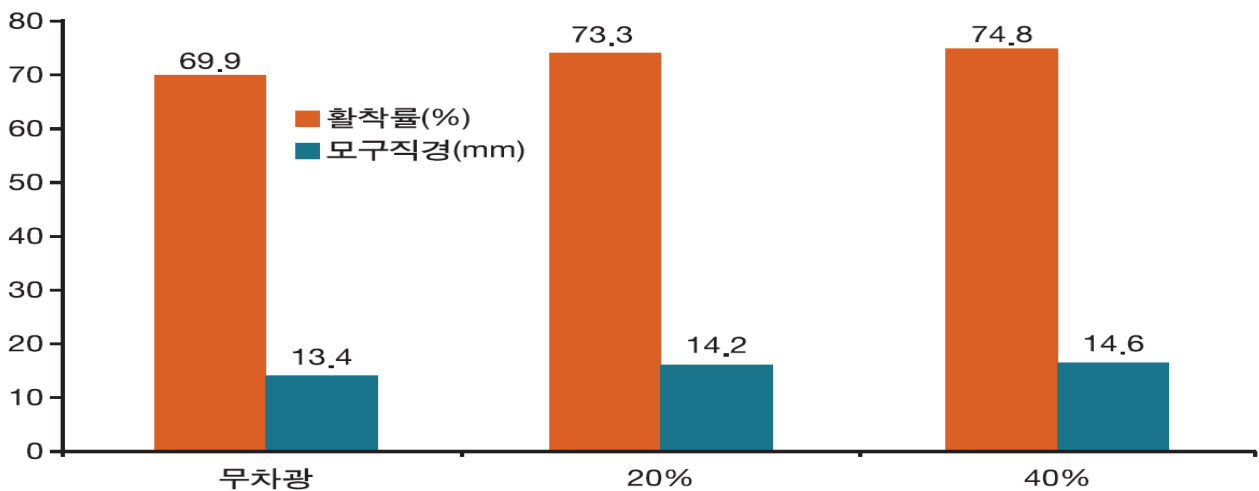
- 삼각주 대목을 기르는 온실은 동절기에 온도를 낮게 관리하면 대목에 살이 찌고 너무 넓어지며 수분함량이 많아 접목률이 떨어지고 부패하기가 쉬우므로 되도록 20℃ 정도로 높게 관리하는 것이 좋은 대목을 양성할 수 있다.



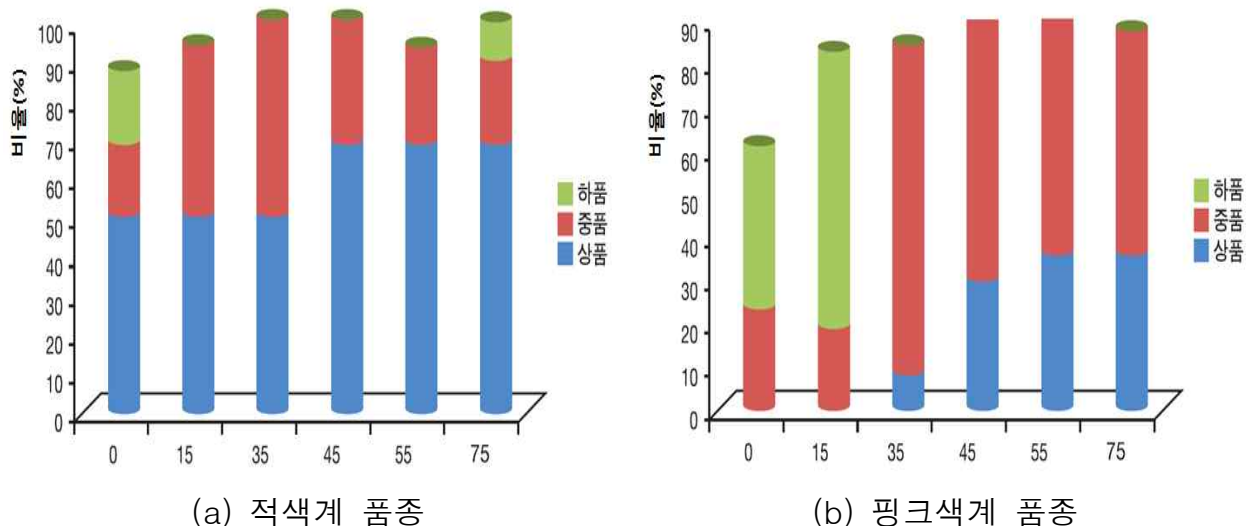
[그림 145] 동계 근권부 온도 조절에 따른 구경의 생육촉진

나. 빛 조건

- 국내에 많이 재배되고 있는 접목선인장은 겨울에는 충분한 광을 받을 수 있도록 하는 것이 좋지만 4~10월까지의 차광을 해 주는 것이 좋다. 빛의 투과정도는 한낮 12시를 기준으로 4~5만 lux를 유지하는 것이 좋으며, 비모란의 적색계통은 4만 5000 lux, 핑크색 계통은 약간 많이 차광되는 4만 lux 정도에서 구색이 선명하고 생육이 가장 좋다.
- 투과 광량을 기준으로 여름철에는 적색의 비모란 계통은 PE필름에 45% 정도의 차광망 1겹 정도, 핑크색은 PE필름에 55% 차광망을 1겹 정도를 씌우는 게 적절하다.
- 정식 후 재배기간 중에 광환경은 생육 및 접목활착률에 많은 영향을 미치며, 일년 중 가장 많이 재배하는 4~5월 정식 시 40% 정도의 차광망으로 차광하였을 때 무차광이나 20% 차광에 비하여 활착률과 구경생육이 높았다.



[그림 146] 차광정도에 따른 활착률과 모구직경 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)



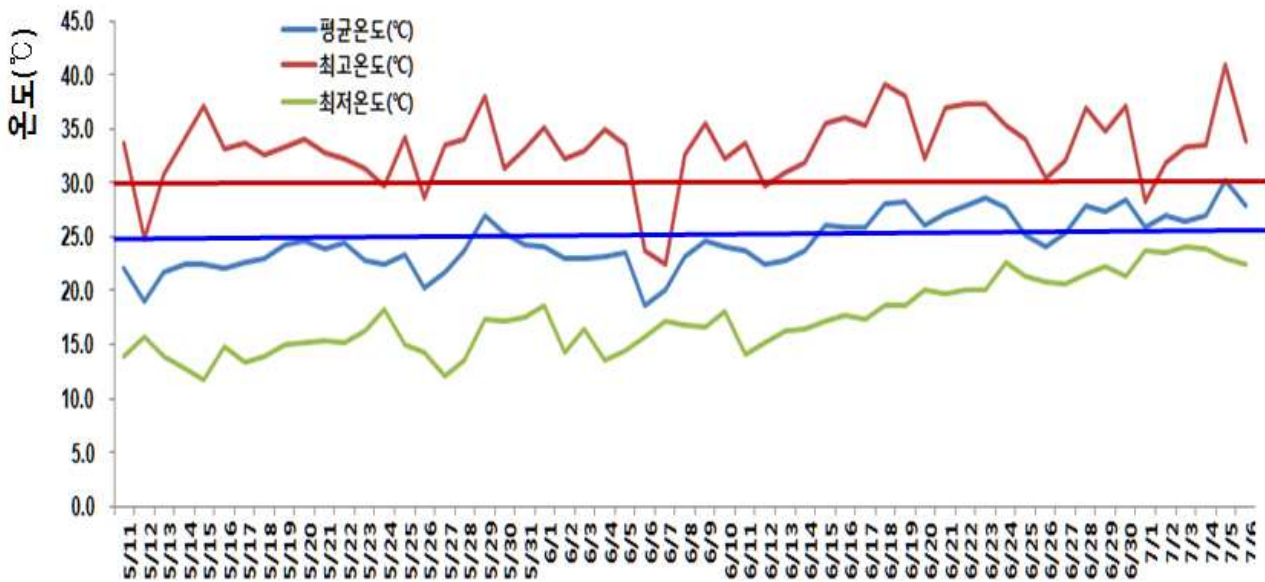
[그림 147] 차광정도별 생육 및 품질 변화 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

3) 국화 재배환경 조사

- 2018년 농촌진흥청 농업기술길잡이에 따르면 국화의 생육적온은 온도 20℃이며, 30℃ 이상에서는 고온 장애가 발생되며, 광도는 1~4만 lux가 적정한 것으로 조사되었다.
- 국화 온실의 2018년도 5~7월경 온도변화를 보면 최고온도는 대부분 30℃ 이상이며, 35℃가 넘는 경우도 많아서 고온장애가 우려되고 있다.

[표 81] 국화 재배환경 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

항목	국화 온실 재배환경	비고
온도 조건	- 생육적온: 20℃ (화아분화적온: 15~24℃) - 30℃ 이상 : 고온 장애 (개화지연, 개화율 저하, 꽃목의 신장 등)	25℃부터 온도가 올라갈수록 광합성 효율 감소
습도 조건	- 습도가 높으면 병 발생 우려	
빛 조건	- 적정광도 : 1~4만 lux	



[그림 148] 국화 온실의 온도 조사 현황 (2018, 경북 구미)

- 고온이 되면 화색의 발현도 나빠져 품종 고유의 색깔을 낼 수 없으며, 특히 적색이나 분홍색 계통의 색상 발현에 관여하는 안토시아닌은 25℃ 이상의 온도 조건에서는 거의 생성되지 않는다.
- 고온에서 재배된 국화의 절화 수명은 절화 후의 물울림이 나빠져 절화 수명이 매우 짧아지며, 절화장과 꽃목길이가 길어져 품질이 불량해진다.

[표 82] 온도가 꽃잎의 생장 및 색소 생성에 미치는 영향 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

온도(°C)	신선중 증가분 (%)	생성 색소(nmol/꽃잎)			생성 단백질 (mg/꽃잎)
		안토시아닌	카로티노이드	클로로필	
6	40	0	0.29	0.12	0.16
11	200	3.7	0.87	0.15	0.13
15	240	4.6	1.17	0.20	0.16
20	250	2.9	1.30	0.21	0.15
25	460	0.92	1.43	0.22	0.22
30	470	0	2.08	0.15	0.23
35	340	0	1.19	0.05	0.26

[표 83] 고온이 절화의 형질과 수명에 미치는 영향 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

구분	절화장 (cm)	절화중 (g/50cm)	꽃목 길이 (cm)	엽 수	절화 수명 (일)
대조구	64	48.7	5.3	28.3	36.1
고온구	79	48.3	8.7	24.8	4.3
고온 차광구	73	37.3	11.0	20.8	5.1

- 30°C 이상의 고온에 의해 관생화(꽃 속에 작은 꽃을 포함하는 기형화가 발생하거나 개화소요 일수가 길어지는 피해가 나타난다.
- 화아분화기나 화아발달기의 고온에 의해 꽃눈의 발달이 저해되어 개화기가 매우 늦어지거나 소화(小花)의 착생이 비정상적으로 되는 등 30°C 이상에서는 고온장해가 나타난다.

[표 84] 온도가 개화와 관생화 발생에 미치는 영향 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

온도(°C)	단일처리 후 30°C 이상 적산 기간(시간)				개화 소요 일수	관생화 발생(%)			
	낮/밤	20일 이전	20~30일	30~40일		계	정상	경미	심함
25/15		3.6	0	2.6	6.2	74	94	6	0
30/15		35.0	6.2	28.9	70.1	77	52	33	15
25/13		5.9	0	0.6	6.5	86	100	0	0
30/13		28.5	4.5	27.9	60.9	89	73	20	7

[표 85] 화아분화 및 발달기의 암기 온도에 따른 생육 및 개화 (2018, 농촌진흥청농업기술잡이)

품종	온도	화아분화기 고온		화아발달기 고온
		발뢰 소요 일수 ^a	개화 소요 일수 ^a	개화 소요 일수 ^b
Gem	20℃	23.6	59.6	35.3
	25	23.0	58.7	39.9
	30	23.8	63.5	48.2
	35	25.9	69.2	71.2
Dramatic	20℃	23.0	59.3	37.0
	25	21.4	59.9	39.6
	30	21.7	62.5	48.8
	35	28.5	69.9	67.6

*^a : 단일처리 개시일로부터의 일수, ^b : 발뢰일로부터의 일수

4) 장미 재배환경 조사

- 장미의 생육적온은 주간에는 24~27℃이며, 야간에는 15~18℃, 30℃ 이상에서는 고온 장애가 발생하는 것으로 조사되었다. 적정광도는 5만 lux이며 광이 부족할 경우에는 수은등이나 나트륨등으로 보광이 필요하다.

[표 86] 장미 재배환경 (2018, 농촌진흥청 농업기술잡이)

항목	장미 온실 재배환경	비고
온도 조건	<ul style="list-style-type: none"> - 생육적온 : 주간 24~27℃ 야간 15~18℃ - 5℃ 이하 : 생육정지 - 0℃ 이하 : 휴면 - 30℃ 이상 : 고온 장애 (꽃잎수 감소 및 퇴색, 잎 퇴화 등) 	적정지온 : 18~20℃
습도 조건	<ul style="list-style-type: none"> - 습도가 높으면 병 발생 우려 	
빛 조건	<ul style="list-style-type: none"> - 적정광도 : 광포화점 5만 lux - 고온기(7~9월) 일조가 강할 때는 차광 	강우나 흐린날 광이 부족할 경우 수은등이나 나트륨등으로 보광 (3,000~ 11,000 lux)

5) 착색단고추(파프리카) 재배환경 조사

- 착색단고추의 생육적온은 온도 19~21.5℃이며, 24℃ 이상에서는 고온 장애가 발생되며, 광도는 3~4만 lux가 적정한 것으로 조사되었다.
- 적정발아 온도는 25~26℃이며 낮 온도는 28℃, 밤 온도는 22℃로 조절하며 육묘 중에는 낮 온도는 25℃, 밤 온도는 23~24℃, 그리고 근권온도는 16~20℃로 관리가 요구된다.
- 이식 후 온도는 주간에는 25℃, 야간에는 22℃로 관리하고 배지 내 온도는 22℃ 내외로 하며, 정식 후에서 화방 착과기까지의 온도는 주간 24~25℃, 야간 21~22℃로 유지하고, 착과 이후에는 주간 21~24℃, 야간 18~20℃로 관리하고 근권부 온도는 18~20℃로 관리가 필요하다.

[표 87] 착색단고추(파프리카) 재배환경 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

항목	착색단고추 온실 재배환경	비고
온도 조건	- 생육적온 : 19.0~21.5℃ (25℃ 이하, 야간 18℃ 이상) - 평균온도 24℃ 이상 : 고온장애 (호흡량 증가, 낙화, 낙과, 수정불량 등)	새벽에서 아침의 온도는 시간당 1℃씩 증가, 주간에서 야간 온도 변화는 1~2.5℃/h 이내로 관리
습도 조건	- 최적습도 : 70~80%	65%이하 가습, 85%이상 제습
빛 조건	- 광포화점 : 3만~4만Lux - 하계 일조가 강할 때는 차광	

[표 88] 생육단계별 착색단고추 변온온도 관리 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

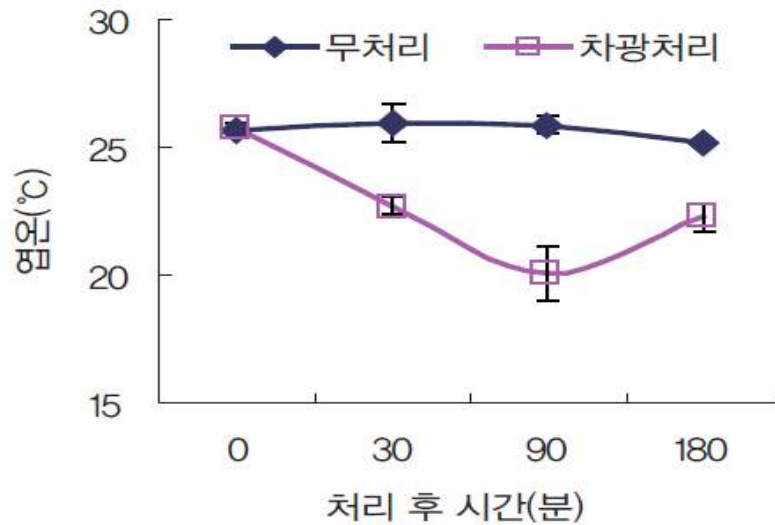
생육단계	새벽	일출	오전	오후	초저녁	야간
영양생장기 (℃)	18~20 상승속도(1℃/h)	20	21~ 23	23~ 25	20~18 하강속도(1.5℃/h)	18~19
착과기 (℃)	18~20 상승속도(1℃/h)	20	21~ 23	23~ 27	20~17 하강속도(2.5℃/h)	18~19

- 상품수량과 열과율 등을 고려할 때 착색단고추 생장에 최적의 상대습도는 70~80%이며, 시설내부의 상대습도가 50% 이하로 낮을 때 수분스트레스를 유발한다. 습도를 제어하기 위해 65% 이하가 되었을 경우는 가습을, 85% 이상이 되었을 경우에는 제습을 고려해야 한다.

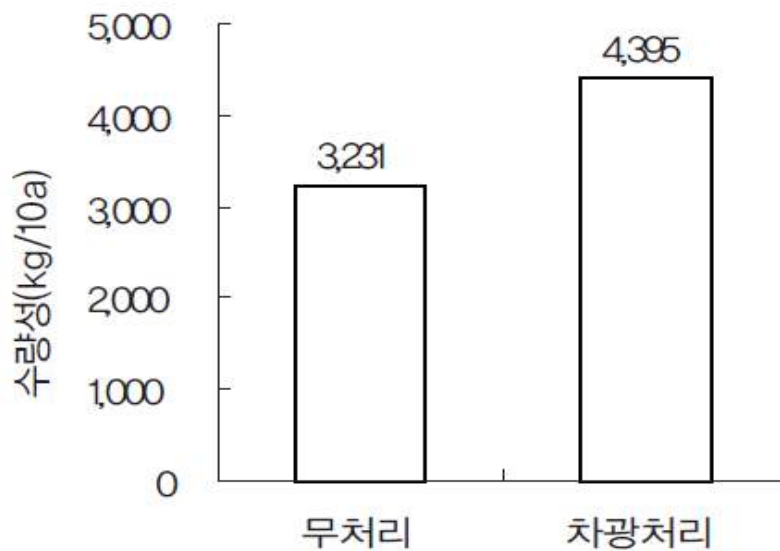
[표 89] 주간 습도수준에 따른 과실수량, 열과발생 (2018, 농촌진흥청 농업기술길잡이)

공중습도(%)	상품수량(g/주)	평균 과중(g)	열과율(%)
60-70	2,060	176	17.4
70-80	1,755	181	26.3

- 여름철 고온기에 차광망(35%)을 설치하여 시설 내 입사광량을 감소시키면 온도를 5℃ 이상 떨어뜨려 작물의 활력을 유지하는 데 도움을 주어 착과 및 증수에 도움이 된다.



[그림 149] 차광처리에 의한 엽온하강 효과



[그림 150] 차광처리에 의한 수량증대 효과

6) 기타 시설재배작물 재배 환경

분류	작물	생육온도(°C)				생육 지중온도(°C)			광도화점 ¹⁾ [klux]	광보상점 ²⁾ [klux]	토양(pH)	토양수분(%)	일사량(J/㎡)	상대습도(%)		CO ₂ (ppm)	출처
		적온		최저	최고	적온	최저	최고						주간	야간		
		주간	야간														
과채류	수박	25~30	16~20	10	35	18~20	13	25	80	4	5.0~6.8					농업기술길잡이	
과채류	참외	22~28	18~20	8	35	15~18	13	25	5~60	1	6.0~6.5	585				농업기술길잡이	
과채류	오이	25~28	15~16	8	35	20~23	13	25	40~55	1	5.5~6.8		70~80	90	800~1,500	농업기술길잡이	
과채류	호박	23~25	13~15	15	35	15~18	13	25	45	1.5	5.6~6.8					농업기술길잡이	
과채류	딸기	17~23	10	3	30	15~18	13	25			5.0이상				500~800	농업기술길잡이	
과채류	가지	22~30	18~20	13	35	18~20	15	25	40		6.5				800~1,500	농업기술길잡이	
과채류	멜론	28~30	18~22	15	35	20~25	8	40	50~60	1	6.0~6.5				500~800	농업기술길잡이	
과채류	토마토	21~29.5	15.5~21	10.5	30	18~20	13	25	70		6.0~6.5	70~120	65~80		500~800	농업기술길잡이	
과채류	고추	20~30		10	35	18~20			30		6.0~6.5		80			농업기술길잡이	
과채류	파프리카	22~25	18~20	15	35										600	농사로 농사백과	
근채류	무	15~20		8	40				50		5.5~6.8	60~80			1,000~3,000	농업기술길잡이	
근채류	당근	18~20		3	28						6.0~6.6	70~80			1,000~3,000	농업기술길잡이	
근채류	연근	20~30		15	30		12								1,000~3,000	농사로 농사백과	
근채류	우엉	25~30		3							6.5~7.5				1,000~3,000	농사로 농사백과	
근채류	토란	20~25									5.7~7.4				1,000~3,000	농사로 농사백과	
엽채류	배추	13~18		-3	25				40	1.5~2.0	5.8~6.5				1,500~2,500	농업기술길잡이	
엽채류	양배추	17~20			25						5.8~6.5				1,500~2,500	농업기술길잡이	
엽채류	시금치	15~20	12~15	-10	25				20~25	1.5	6.5~7.0				1,500~2,500	농업기술길잡이	
엽채류	상추	15~20		5	30	15~20			25	1.5	6.5~7.0				1,500~2,500	농업기술길잡이	
엽채류	미나리	22~24		10	30											농사로 농사백과	
엽채류	숙갓	15~20		5	25											농사로 농사백과	
엽채류	부추	18~20		5	30				40		6.0~6.5	80~90				농업기술길잡이	
엽채류	샐러리	20~25	13이상	5	25						5.6~6.8					농사로 농사백과	
절화류	장미	24~27	15~18	5	30	18~20			37~50		6.0~6.5				1,000~1,500	농업기술길잡이	
절화류	국화	18~20	18~20	8	24				30~40		6.0~6.6		60~80		1,000~1,200	농업기술길잡이	
절화류	백합	20~25		13	30												
절화류	카네이션	15~20	10	7	30				50		6.0~6.5					농업기술길잡이	
절화류	속근안개조	15~18	10~15	7	20												
절화류	거베라	20~22	15	7	30				35						1,000~1,500	농사로 농사백과	
절화류	프리지아	13~16	13	7	30						5.6~6.5					농업기술길잡이	
절화류	글라디올러스	23~24	10~14	10	35											농사로 농사백과	
절화류	금어초	15~20		7	25						5.5~7.5					농사로 농사백과	
절화류	스타티스	25이하	10이상								6.5					농사로 농사백과	
절화류	백색칼라	20~23	10								5.8~6.2					농업기술길잡이	
절화류	유색칼라	18~25	12~18	12		23이하					5.8~6.2					농업기술길잡이	
절화류	꽃도라지	23	8~10	5							5.0~6.0					농사로 농사백과	
절화류	아이리스	13~17		5	30											농사로 농사백과	
절화류	튤립	15~20	15이상	8	30						6.5~6.9					농사로 농사백과	
절화류	해바라기	25~30	20	10												농사로 농사백과	
절화류	스토크	20~25		7	25												
절화류	심비디움	20~25	10~15	12	30				50~70				70~80			농업기술길잡이	
분화류	선인장	25~30		10	40	25~30			40		5.5~6.5					농업기술길잡이	
분화류	철쭉	20~25		4	35						4.5~5.5					농업기술길잡이	
분화류	야자류	25~30		12	40												
조화류	페튜니아	20		7	30												
조화류	팬지	15~20		7	25												

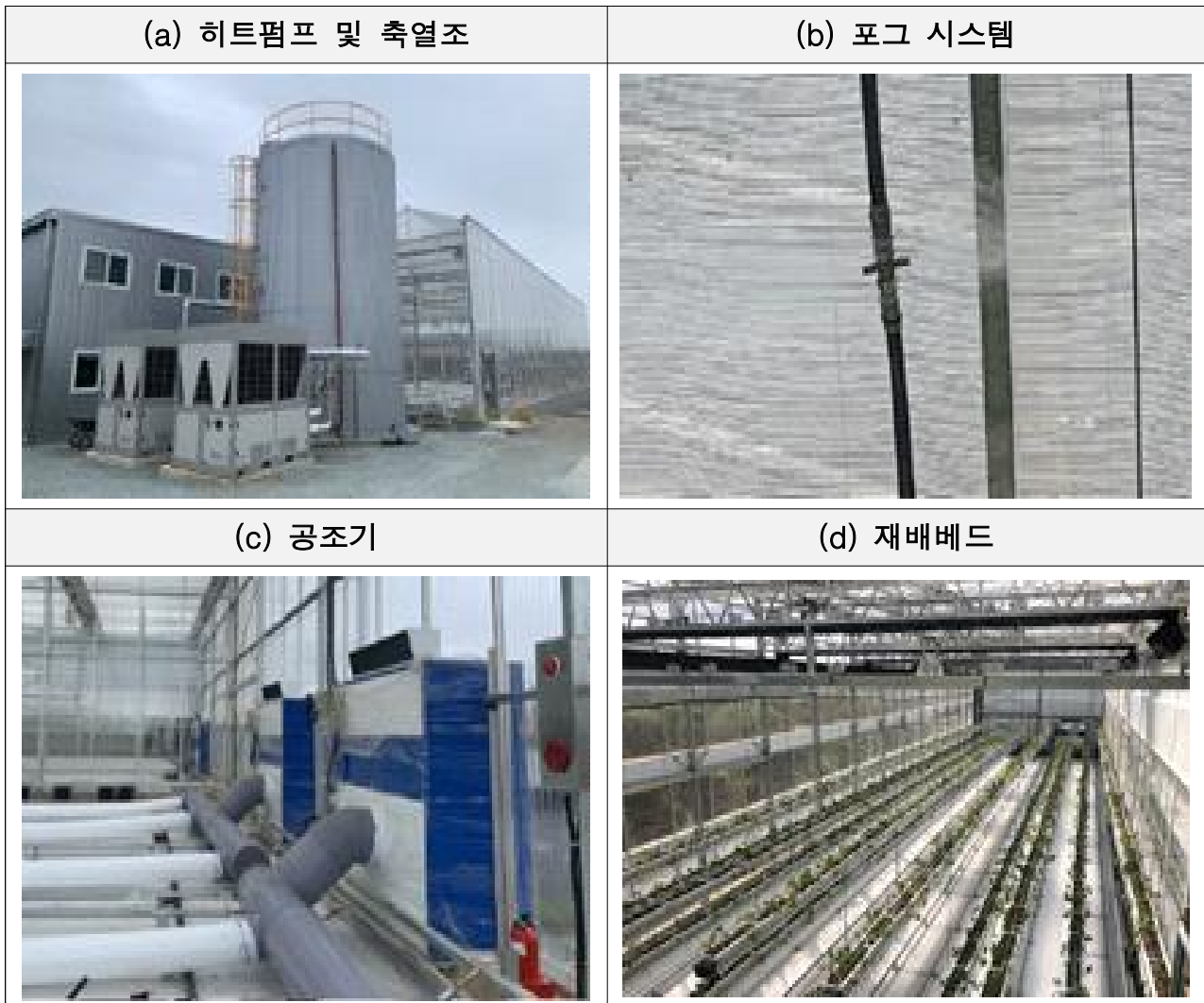
2-14. 과제종료 후 냉방 패키지 실증평가 계획

1) 냉방 패키지 실증 온실 개요

- 2021년 11월11일 나주농업기술센터와 체결한 협약서를 바탕으로 냉방 패키지의 성능 테스트를 계획하였다.

[표 89] 냉방 패키지 실증 온실

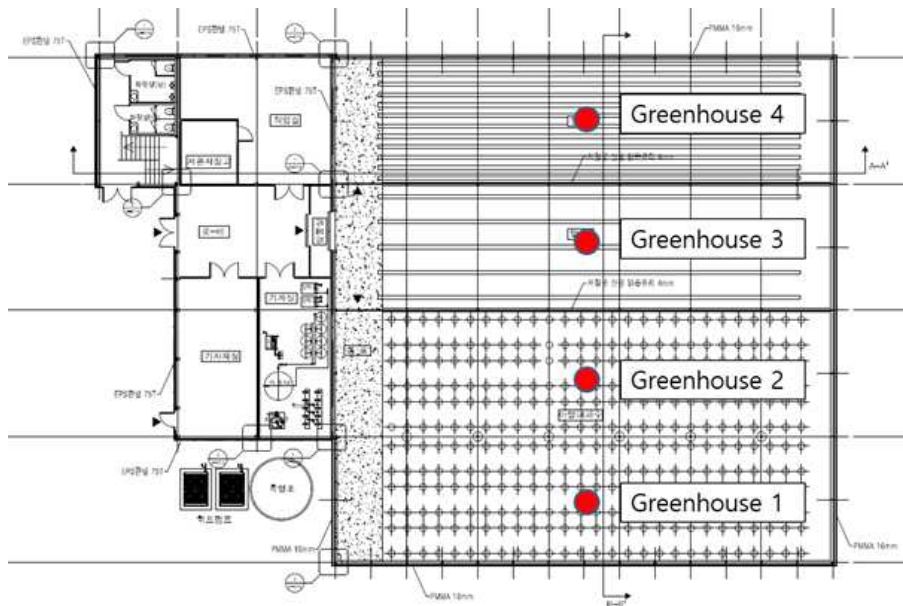
온실명	나주농업기술센터 스마트팜 체험형 교육온실
위치	전라남도 나주시 왕곡면 덕산리
규모	1,570.4m ²
외피	유리(천장) + 폴리카보네이트(벽체)
재배작물	아열대과수(멜론), 토마토, 딸기
냉방 패키지	공기열 히트펌프(130kW 2대) + 축열조 + 공조기(비닐덕트)



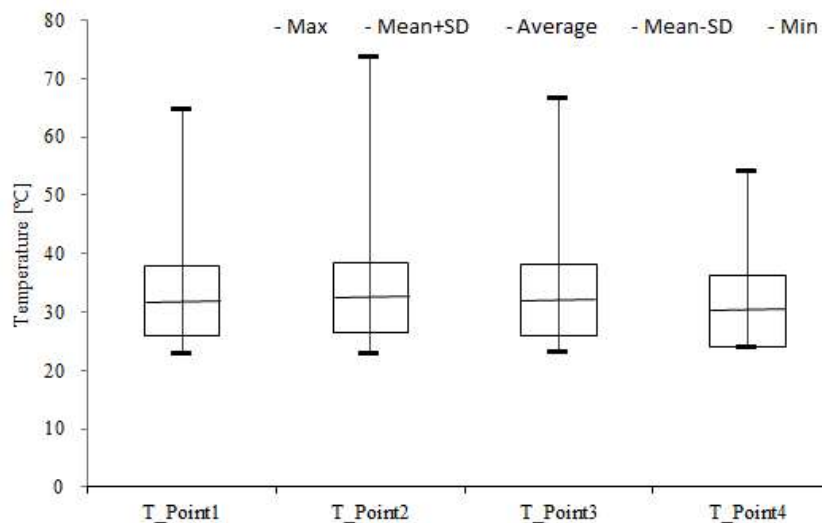
[그림 151] 냉방 패키지 주요 구성

2) 냉방 패키지 실증평가 계획

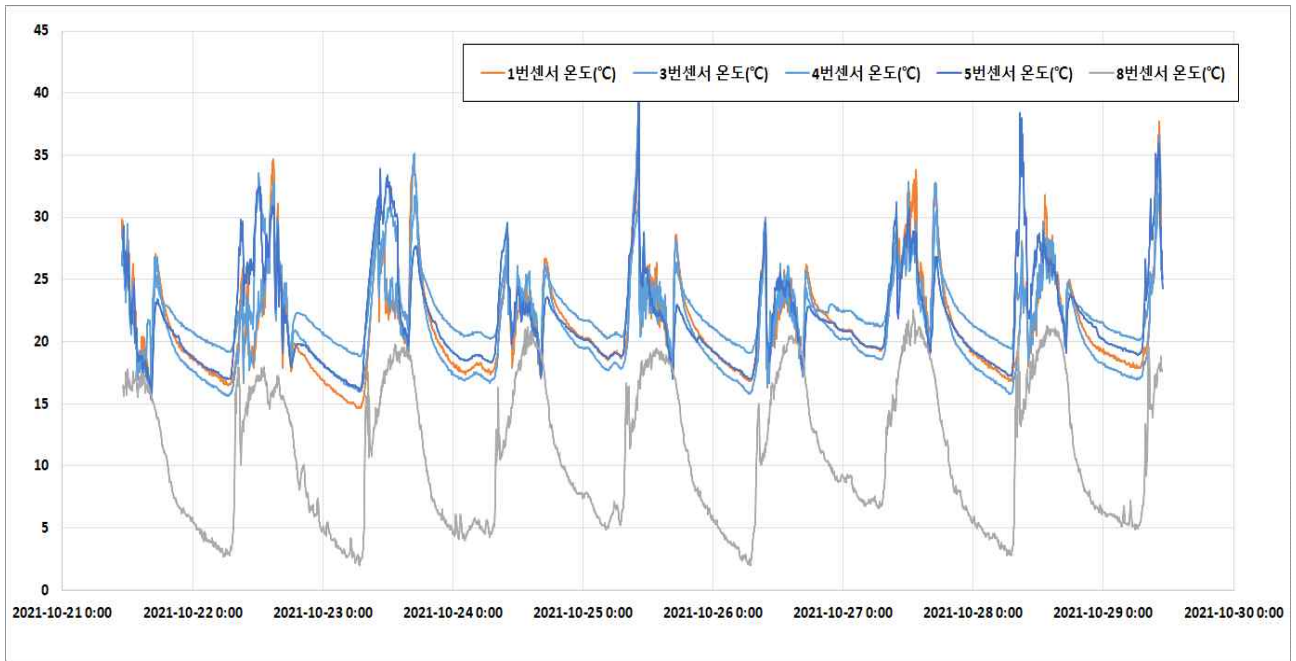
- 냉방 패키지의 여름철 냉방 성능을 확인하기 위하여 2022년 5월부터 온실 내 환경 측정을 실시할 예정이다. 또한 여름철뿐만 아니라 겨울철까지 측정하여 난방 성능까지 확인하는 것을 계획하였다.
- 냉방 패키지 냉방 성능 확인을 위하여 온습도계와 조도 측정을 계획하고 있으며, 에너지 성능을 확인하기 위하여 메인 분전반에 적산전력량계를 설치할 예정이다.
- 온실 내부의 온도 데이터를 취득하여 냉방 패키지의 설정온도 범위내로 유지되는지를 평가하고, 유지되는 온도가 작물 생육에 적합한지 등을 분석하는 것을 계획하였다. 또한 온도와 함께 조도를 측정하여 적절한 빛 환경이 유지되는지를 종합적으로 평가할 예정이다.



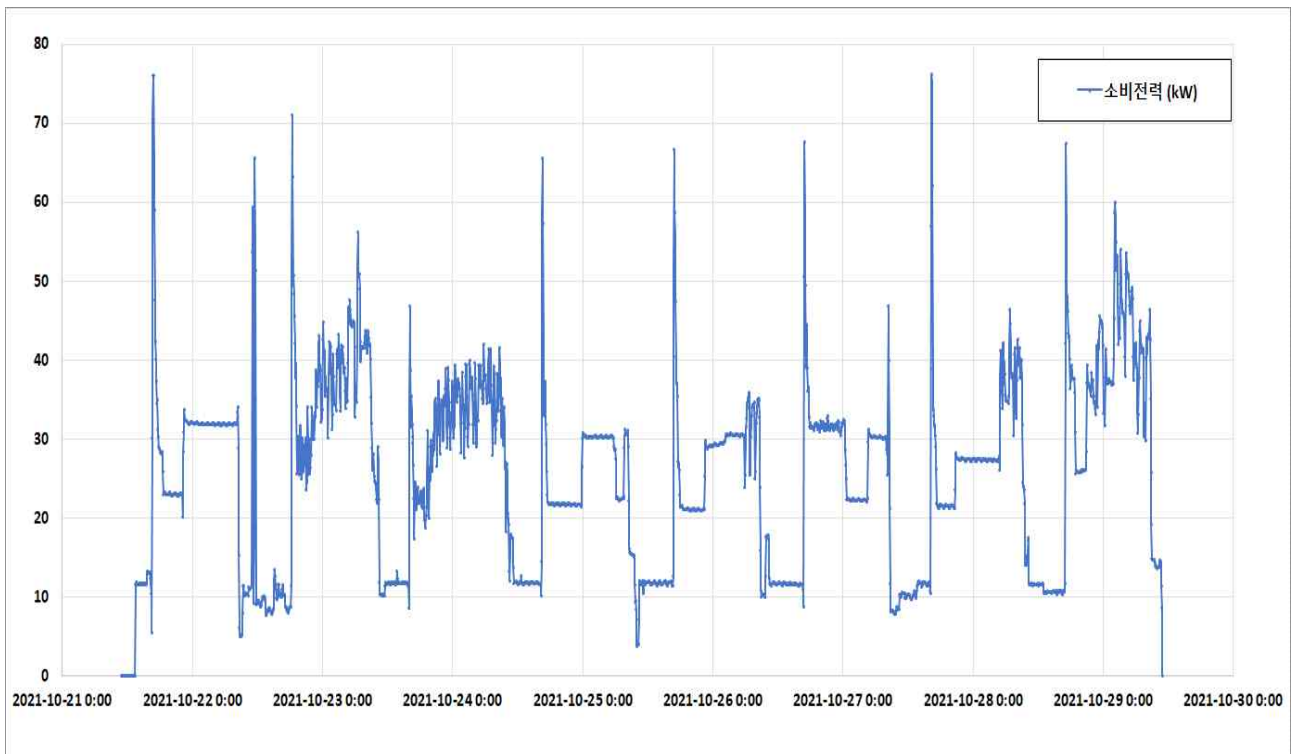
[그림 152] 온실 내 온습도 측정 위치



[그림 153] 측정지점별 온도 분포 및 냉방 성능 평가 예시



[그림 154] 온실 내 온도 변화 측정 예시



[그림 155] 냉방 패키지 소비전력 변화 측정 예시

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 냉방 패키지의 요소별 냉방 성능 검증
- 냉방 패키지의 난방 성능(난방 활용 가능성) 검증
- 온실의 냉방 설계 활성화를 위한 DB 구축
(온실 냉방 패키지 설계 가이드라인, 냉방 패키지 도면)
- 온실 농가의 편의성과 냉방 패키지 사업 활성화를 위한 툴 개발
- 온실 냉방 패키지 적용 가능성 분석 (경제성)
- 스마트팜 연구 활성화를 위한 초석 마련 (스마트팜 연구협력 MOU 체결)

(2) 정량적 연구개발성과

- 냉방 패키지 및 냉방설비 제품 관련 특허 출원 및 등록 2건
- 냉방설비 제품 관련 기술이전 1건, 시제품 제작 1건, 제품화 1건, 매출액 180만원
- 사업 활성화를 위한 고용창출 14명
- 냉방 패키지 관련 게재 논문 2건(SCIE, 비SCIE 각 1건)
- 냉방 패키지 관련 학술회의 발표 4건
- 온실 관련 전문 인력양성 3명
- 냉방 패키지 홍보를 위한 홍보전시 2건
- 냉방 패키지 표준화와 홍보를 위한 소프트웨어 등록 1건

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명	연도		1차연도 (2018~2019)	2차연도 (2019~2020)	3차연도 (2020~2021)	계	가중치 (%)
	목표(연차별)	실적(누적)					
전담기관 등록·기탁 지표	논문(SCIE)	목표(연차별)			1	1	
		실적(누적)			1	1	
	논문(비SCIE)	목표(연차별)		1		1	
		실적(누적)			1	1	
	학술발표	목표(연차별)		1	1	2	5
		실적(누적)	1	2	1	4	5
	특허 출원	목표(연차별)		1	1	2	10
		실적(누적)		1	1	2	10
	특허 등록	목표(연차별)					10
		실적(누적)			2	2	10
	저작권 (소프트웨어)	목표(연차별)					
		실적(누적)			1	1	
연구개발과제 특성 반영 지표	기술실시 (이전)	목표(연차별)			1	1	
		실적(누적)			1	1	
	사업화 (제품화)	목표(연차별)			1	1	35
		실적(누적)			1	1	35
	사업화 (매출액)	목표(연차별)				1,800	
		실적(누적)				1,800	
	사업화 (고용창출)	목표(연차별)		1	2	3	25
		실적(누적)	3	4	7	14	25
	사업화 (시제품 제작)	목표(연차별)					
		실적(누적)			1	1	
	인력양성 (졸업자수)	목표(연차별)		1	1	2	5
		실적(누적)		2	1	3	5
홍보 (전시)	목표(연차별)		1	1	2	10	
	실적(누적)		1	1	2	10	
계	목표(연차별)		0	6	8	14	100
	실적(누적)		4	10	1,819	1,833	100

< 연구개발성과 성능지표 >

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중(%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치	목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준		
1 온실 실내온도 조건	℃	30	네덜란드	25~30	45 이상	25~30	재배작물의 생육조건 고려
2 온실 실내습도 조건	%	20	네덜란드	50~60	60~80	50~60	재배작물의 생육조건 고려
3 냉방에너지 소비량 (냉방 단위 에너지)	kWh/m ² ·년	20	-	-	-	600 이하	건축물에너지 효율등급인증 (주거용 이외의 건물 6등급 수준)
4 수확량 증대	%	20	-	-	100	130	-
5 시뮬레이션 정확도	%	10	-	-	-	Cv(RMSE) ± 15	ASHRAE M&V Guideline

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Design of end coil angular position and centerline shanpe of C-type side load coil spring for reduciong side load of MacPherson strut suspension	Journal of Mechanical Science and Technology	Seunghyeon Cho	35	대한민국	The Korea Society of Mechanical Engineers	SCI	2021.02.27	1153-1160	30
2	스마트 유리온실의 냉각 팬, 비닐 차단막 및 차광막에 따른 냉각효과 분석	Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A	장혁균	45	대한민국	The Korea Society of Mechanical Engineers	비SCIE	2021.10.01	1226-4873	50

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	대한설비공학회 2019년도 하계학술발표대회	박두용	2019.06.20	용평리조트	대한민국
2	대한설비공학회 2019년도 동계학술발표대회	박두용	2019.11.22	고려대학교 하나스퀘어	대한민국
3	한국정밀공학회 2019년도 추계학술대회	김창완	2019.11.01	창원컨벤션센터	대한민국
4	2020년 대한기계학회 춘추학술대회	장혁균	2020.12.18.	온라인	대한민국

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	온도 균등 분포가 가능한 온실 냉난방용 팬코일 유니트	대한민국	(주)월드에 너지	2020.07 .30	10-2020- 0095484	10-221 4528	(주)월드에 너지	2021.02. 03	10-2214 528	30%	√
2	작물의 환경 스트레스를 저감하는 온실 냉난방 패키지 시스템	대한민국	(주)우원엠 앤이	2021.04 .29	10-2021- 0055369	10-232 9260	(주)우원엠 앤이	2021.11. 16	10-2329 260	100%	

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√									
2					√					

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램	2021.08.01	(주)우원엠앤이	2021.12.29	제C-2021-059 115호	(주)우원엠앤이	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		

표준화

○ 국내 표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제 표준

번호	표준화단계구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	온실 냉난방용 팬코일	2020.07	(주)월드에너지	농업회사법인 (주)구미선인장	온실 냉난방	6개월	-	-

□ 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	직접 실시	온실 냉난방용 팬코일	(주)유성엔지니어링	2021.12.20	5,390,000	-

□ 사업화 투자실적

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

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신제품 개발	국내	온실용 팬코일의 제품화	온실의 균등한 온도 분포를 위한 팬코일유니트 제품 판매	(주)월드에너지	1,800	-	2022년	5년

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
온실용 팬코일의 제품화	2022년	1,800	-	1,800	세금계산서 기준
합계		1,800	-	1,800	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		시장 점유율	국내		
			국외		
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)				합계
			2018년	2019년	2020년	2021년	
1	온실 냉방 패키지 설계 툴	(주)우원엠앤이	1	2	2	5	10
2	온실용 팬코일의 제품화	(주)월드에너지	1	1	2	-	4
합계			2	3	4	5	14

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	0
		생산인력	0
	개발 후	연구인력	14
		생산인력	0

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

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

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 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)	명칭	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	공학계열	2020		√			√		√				
2	공학계열	2020	√				√		√				
3	공학계열	2021	√	√			√		√				

□ 산업 기술 인력 양성

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

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	연구개발 홍보	(사)한국설비기술사설계협회	(사)한국설비기술사설계협회 연구개발 홍보회	2020.02.04
2	연구개발 홍보	(사)한국설비기술사설계협회	(사)한국설비기술사설계협회 연구개발 홍보회	2020.06.01

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[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)

[그 밖의 성과]

- 온실 냉방 패키지 가이드라인
- 온실 냉방 패키지 도면
- 스마트팜 연구협력 MOU 체결

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

- 소프트웨어(냉방 패키지 설계 지원 프로그램) 등록 1건, 기술이전 1건, 시제품 제작 1건, 매출액 180만원 추가 달성
- 특허 등록 2건 조기 달성
- 고용창출 11명, 인력양성 1명, 학술발표 2건 초과 달성
- 온실 냉방 분야 특허와 고용을 통하여 스마트팜 분야 사업 활성화 및 기술 발전에 기여
- 온실 냉방 설계 관련 소프트웨어 개발로 농가에서 쉽게 냉방 설치용량과 초기투자비, 운영비를 확인할 수 있어 농가의 편의성 향상 예상 (온실 관련 업체에서도 활용 가능)

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 유리온실 적정 온·습도 유지, 일사유입 저감 냉방 패키지 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건축적 기술은 차광 스크린, 환기, 비닐 차단막(냉방 시 냉기 유출 차단)으로 구성 ○ 설비적 기술은 공냉식 히트펌프와 축열조, 본 연구과제에서 개발한 상부토출형 팬코일유닛으로 구성 ○ 실증 온실뿐만 아니라 다양한 온실에 활용할 수 있도록 냉방 패키지 설계 가이드라인 및 표준도면, 설계 지원 프로그램 등 개발 	○100%
<ul style="list-style-type: none"> ○ 작물별 생육적정온도 25~30℃ (최대 35℃) 유지 기능 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전산유체해석 시뮬레이션(CFD)를 통해 냉방 패키지의 냉방 성능 검증 ○ 성능 검증 결과 평균온도 25.9℃까지 온도하강 및 유지 가능 ○ 관련 분야 전문가를 통해 객관적인 검증 및 결과의 타당성 확인 	○90%
<ul style="list-style-type: none"> ○ 작물별 수확량 향상 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생육온도에 따른 수확량 증대 사례 검토를 통해 냉방 패키지 가동 시 수확량 및 상품성 증대 효과 예측 ○ 냉방 패키지 가동 시 약 18% 이상의 수확량 또는 상품성 증대 효과 달성 예상 ○ 추가 실증 온실에서 작물의 생육상태 비교 결과 생육이 개선된 것으로 확인 	○80%
<ul style="list-style-type: none"> ○ 건축적 요소인 차광스크린, 환기장치와 설비적 요소인 패시브 칠드빔, 포그 시스템, 지하수 활용 히트펌프 시스템, 강제배기팬, 순환기류팬의 도입 검토 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건축적 기술과 설비적 기술과 냉방 효과를 조사하고 검토하여 냉방 패키지 기술 도출 ○ 실증 온실 현장 조사를 통해 적합한 기술들을 조합 	○100%
<ul style="list-style-type: none"> ○ 온도 저감 효과, 시스템효율, 작물별 생육특성, 수확량 증대 및 종합 경제성 분석을 토대로 최적 냉방 패키지 기술 도출 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실증에 적용한 냉방 패키지와 대안을 설정하여 초기투자비와 연간 운영비를 산출하고, 생애주기비용을 비교 ○ 냉방 패키지를 포함한 4가지 케이스의 경제성을 분석한 결과 개발한 냉방 패키지가 경제성 측면에서 가장 유리한 것으로 확인 	○100%

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- ① 실증 온실측의 일방적인 협약내용 불이행
 - 냉방 패키지 실증을 위해 농업회사법인 (주)구미선인장측에서 실증 온실과 기본 인프라(수도, 전기 등)를 제공하고 연구기관에서 냉방 패키지 개발 및 설치, 성능 검증을 수행하는 내용의 참여의사 확인서와 MOU 등을 체결하였다.
 - 2021년 1~2월 겨울철 시험 가동 후 여름철 운영을 통해 성능을 검증하려 했으나 (주)구미선인장측에서 냉방 패키지 가동에 필요한 전기 공급을 일방적으로 휴지하여 공인인증 등의 성능 검증을 실시하지 못했다.
 - (주)구미선인장에서 전기 휴지를 신청한 2021년 4월부터 수차례 전기 휴지 해제를 요청하였으나 시설지원과 전기요금 문제 등을 이유로 전기 휴지 해제를 거부하여, 연구기관에서 전기요금 문제를 해결하기 위해 연구비 외 기업에서 별도의 비용을 마련하여 여름철 냉방 패키지 가동 시 발생하는 전기요금을 부담하겠다고 제안하였으나 거부하여 공인인증 등의 냉방 패키지 성능 검증을 수행하지 못하였다.
 - 또한 전문기관인 농림식품기술기획평가원과 방문하여 전기 휴지 관련 문제에 논의하였으나 (주)구미선인장에서 전기 휴지 해제를 거부 하였다. (2021년 6월18일 협의)
 - 최종적으로 냉방 패키지 개발과 실증을 위해 협약을 체결한 온실측의 일방적 전기 휴지로 인하여 냉방 패키지를 설치하고도 부득이 성능 검증을 완전히 수행하지 못하였다.
-

2) 자체 보완활동

- ① 연구기간 연장 및 대안온실을 통한 실증 계획
 - 2021년 8월 종료되는 연구기간을 12월까지 연장하여 본 연구과제에서 개발 및 실증한 냉방 패키지와 유사한 기술이 적용된 대안온실을 통해 냉방 성능 등을 평가하려 하였으나, 대안 온실의 공사가 지연에 따라 가을철에 준공되어 여름철 냉방 성능 평가는 완전히 수행하지 못하였다.
 - 그러나 대안온실을 소유하고 있는 나주농업기술센터측과 2021년 11월 11일 “스마트팜 연구개발과제 기술 개발 및 실증 연구 협약서”와 “스마트팜의 냉방 패키지 시스템 보급·확산을 위한 상호 협력 양해각서”를 체결하여 연구기간 종료 후에도 냉방 패키지의 가동 데이터를 수신하고 공인인증 등의 성능 테스트를 할 수 있는 여건을 마련하였다.
 - 또한 대안온실이 완공된 시점에 자체적으로 온실 환경을 측정하였다.

 - ② 시뮬레이션을 통한 냉방 패키지 기술 성능 검증 및 전문가 평가
 - 구축된 냉방 패키지를 시뮬레이션을 통해 간접적으로 성능을 검증하였다. 또한 성능 검증의 전문성과 신뢰성을 확인하기 위하여 관련 분야 전문가를 통해 평가를 받았다.
 - 평가 결과 객관적인 성능 검증이 이루어졌으며, 결과 또한 타당한 것으로 확인되었다.
-

-
- ③ 스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램 개발
 - 온실 농가부터 온실 시공전문업체, 연구기관 등에서 실무에 활용할 수 있도록 냉방 패키지 설계 지원 프로그램을 별도 개발하였다.
 - 간단한 입력정보만으로 냉방부하부터 냉방 패키지 기술 조합, 시공비용, 운영비까지 산출할 수 있어 냉방 패키지 도입을 고려하는 기관 등에서 쉽게 활용할 수 있다.
-

3) 연구개발 과정의 성실성

- ① 연구비 외 실증비용(전기요금) 부담 제안
 - 냉방 패키지 실증을 위하여 (주)구미선인장측에서 제공하는 전기요금을 연구기관(기업)에서 연구개발비 외에 기업이 별도로 부담하는 제안도 하였지만 협의가 이루어지지 못했다.

 - ② 냉방 패키지 보급과 확산, 사업화 등을 위한 협력 체계 구축
 - 나주농업기술센터와 협력을 통해 냉방 패키지의 성능 테스트뿐만 아니라 온실 냉방 패키지 기술 보급과 확산, 사업화 및 비즈니스 모델 개발에 대한 협력 체계를 구축하였다.
 - 또한 스마트팜 전문 시공업체인 (주)그린플러스와 냉방 패키지 기술 개발과 사업화를 위한 협력 체계를 구축하였다.

 - ③ 목표 정량적 연구 성과 외 추가 달성
 - 목표 정량적 성과 100% 달성
 - 냉방 패키지 설계 관련 소프트웨어 등록 1건 추가 달성
 - 연구개발을 통해 개발한 팬코일유니트 판매 (매출액 발생)
 - 특허 등록 2건 조기 달성
 - 고용창출 11명 초과 달성
 - 인력양성 1명 초과 달성
 - 학술발표 2건 초과 달성

 - ④ 온실 냉방 패키지 관련 DB 구축
 - 냉방 패키지 설계 가이드라인 작성
 - 다양한 냉방 패키지 방식 도면
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- ① 국내외 기술 개발현황에서 차지하는 위치
 - OECD 국가기준 국가농업경쟁력 17위인 대한민국과 스마트 유리온실을 적극 도입한 네덜란드(국가농업경쟁력 1위)와의 기술격차 축소
 - 국내 기후환경을 기준으로 냉방 패키지 최적화를 진행하여 정량적인 데이터 축적
 - 다양하게 조합될 수 있는 냉방기술들을 시뮬레이션을 통하여 성능을 검토하고 경제성 분석을 하여 시장 활성화 기반 조성

 - ② 온실 현장 수요 충족
 - 온실의 냉방 패키지 구성 시 가장 중요한 냉방부하 산출 방법을 소개하고 다양한 방식으로 비교하여, 타 온실의 설비 용량 선정 시 참고값으로 활용 가능
 - 온실 현장에서 냉방 패키지 도입을 고려할 때 필요한 자료(냉방부하, 냉방 패키지, 초기투자비, 연간 운영비)를 간단한 설정값 입력만을 통해 확인할 수 있는 “스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램”을 제공하여 냉방 패키지 시장 활성화 및 시장 수요 충족
 - 온실 냉방 패키지를 포함한 냉방 관련 설계와 시공에 도움을 줄 수 있는 가이드라인과 표준도면 제공

 - ③ 온실 특화 냉방설비 제품 개발로 시장 개척
 - 온실에 적용되는 냉방설비는 시설재배용 팬코일유닛 또는 공조기가 대부분이었는데 새로운 형태의 팬코일유닛 제작을 통해 시장의 다양한 수요 흡수
 - 작물에 냉기 또는 온기가 직접 닿지않게 토출구를 조절한 상부토출형 팬코일유닛을 통해 대공간인 온실 내부 온도를 균등하게 유지하여 작물 생산성 향상 기여

 - ④ 원천기술 활용을 통한 해외시장 공략
 - 하절기 외기온도 33℃ 이상을 기록하는 미국, 유럽, 동남아 온실 시장에서 모두 적용될 수 있는 기술로써 원천기술로 활용 가능
 - 수출용 온실 개발을 위한 기초자료로 활용하여 해외 시장 공략

 - ⑤ 스마트팜(시설원예) 시장에 파급효과
 - 하절기 추가 운영으로 유리온실의 경제성 확보 및 연중 일정 생산량 확보
 - 농산물 수출이 증대되고, 내수에서는 품질 향상으로 가격 경쟁력 확보
 - 일반 소비자에게는 연중 동일 품질의 농산물 공급으로 선택의 폭이 넓어짐
 - 온실 설계 및 시공 관련 고급 일자리 및 공사 분야의 일자리 창출
-

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- ① 연구개발성과 타 연구과제에 활용
 - 현재 당사에서 진행하고 있는 “(스마트팜 실증고도화 연구사업) 수출용 고온다습형 스마트 온실 패키지 모델 개발” 과제에 본 과제에서 수행한 기술 구성, 성능 검증 자료 활용
 - 실증 연구 협약을 체결한 나주의 스마트농업 체험형 교육온실을 신규 과제의 실증온실로 활용하여 성능 테스트 진행 및 자료 활용 (협의 단계)
- ② 활용 계획 (사업화)
 - 본 연구를 통해 개발한 기술을 활용하여 스마트팜 관련 업체 및 농가를 대상으로 사업화 진행
 - 사업 활성화를 위한 신규 채용
- ③ 협약당시 사업화지표 달성
 - 매출액 종료 3차연도 300백만원, 4차연도 600백만원, 5차연도 1,200백만원
 - 고용창출 종료 후 매년 1명
- ④ 특허 등록 계획
 - 본 연구과제를 통해 개발한 스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램 특허 등록을 통해 스마트팜 분야 사업 활성화 도모

< 연구개발성과 활용계획표 >

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

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 온실 냉방 패키지 설계 가이드라인
	4) 온실 냉방 패키지 표준도면
2.	1)
	2)

< 참고문헌 >

- 1) 건축법 시행령 제15조
- 2) 한국농어촌공사, 1995, 원예시설의 구조안전기준
- 3) 농림축산식품부, 1999, 온실구조 설계기준
- 4) 이시영, 2016, [특별기고] 한국형 온실 설계기준 정립해야, 한국농어민신문
- 5) 대한건축학회, 2009, 건축구조설계기준
- 6) 농림축산식품부, 2007, 원예·특작시설 내재해형 기준
- 7) 이현우, 2014, 한국 시설원에 산업 및 온실 설계기준, ICT융합 및 온실설계 기준 국제심포지엄
- 8) 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 1997, 원예시설의 환경설계기준(안)
- 9) 농촌진흥청 국립농업과학원, 2015, 온실 환경설계기준(안)
- 10) ASABE, 2003, ASABE EP 460 (Commercial Greenhouse Design and Layout)
- 11) ASABE, 2008, ASABE EP 406(Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses)
- 12) ASHRAE, 2011, ASHRAE Applications Handbook Chapter 24
- 13) NAGMA, Standards and guidelines
- 14) EN 13031-1(Greenhouses - Design and construction)
- 15) NEN 3859(Greenhouses - Design and construction)
- 16) JGHA, Handbook of protected horticulture
- 17) GuojiaBiaozhun, GB/T 18621-2002(Design regulation on greenhouse ventilation and cooling)
- 18) 남상운, 신현호, 서동욱, 유인호, 2014, 유리온실과 플라스틱 온실의 환경조절시스템 비교 분석, CNU Journal of Agricultural Science, Vol.41, No.3, pp-251-258

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	118100-03		
사업구분	첨단생산기술개발사업				
연구분야	AA0204 (원예작물 시설)		과제구분	단위	
사업명	첨단생산기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구		과제유형	개발	
연구개발기관	(주)우원엠앤이		연구책임자	황동곤	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2018. 11. 20 ~ 2019. 8. 19	300,000	100,000	400,000
	2차년도	2019. 8. 20 ~ 2020. 8. 19	400,000	134,000	534,000
	3차년도	2020. 8. 20 ~ 2021. 12. 31	400,000	134,000	534,000
	계		1,100,000	368,000	1,468,000
참여기업	(주)우원엠앤이, (주)월드에너지, 건국대학교 산학협력단, 경상북도 농업기술원 구미화훼시험장				
상대국	-	상대국연구개발기관	-		

2. 평가일 : 2022. 02. 22

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주)우원엠앤이	연구소장	황동곤

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 보통

- 유리온실 내부온도 30℃ 유지를 위한 냉방 패키지 개발을 위하여 건축적 기술 및 설비적 기술의 냉방 효과와 특성을 분석하여 최적안을 도출
- 다양한 시뮬레이션으로 냉방부하를 산출 후 비교하여 적정 설비용량 산출
- 온실에 적합한 냉방설비를 개발하여 적용 (상부토출형 팬코일유니트)
- 냉방 패키지 겨울철 시험 가동과 시뮬레이션을 통해 성능 검증

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 냉방기술들을 시뮬레이션을 통하여 성능을 검토하고 경제성 분석을 하여 시장 활성화 기반 조성
- 온실의 냉방 패키지 구성 시 가장 중요한 냉방부하 산출 방법을 소개하고 다양한 방식으로 비교하여, 타 온실의 설비 용량 선정 시 참고값으로 활용 가능
- 온실 현장에서 냉방 패키지 도입을 고려할 때 필요한 자료(냉방부하, 초기투자비, 운영비)를 간단하게 확인할 수 있는 프로그램을 제공하여 냉방 패키지 시장 활성화 및 시장 수요 충족

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 스마트팜 냉방 패키지 설계 프로그램, 상부토출형 팬코일유니트, 냉방 패키지 최적화 솔루션를 중심으로 사업화 진행 가능
- 온실 규모별 최적 냉방 패키지 선정 서비스, 구축 컨설팅, 작물 재배 기술 컨설팅을 종합한 통합 솔루션을 제시하고, 이를 기존온실 및 신규온실로 확대 가능
- 하절기 외기온도 33℃ 이상의 해외국가 시장 진출 시 원천기술로 활용 가능

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

- 정량적 성과 조기 및 추가 달성(특허 등록, 논문 게재, 소프트웨어 등록, 고용창출 등)
- 냉방 패키지 보급과 확산, 사업화 등을 위한 협력 체계 구축 (나주농업기술센터와 MOU 체결 및 차후 연구 진행을 위한 온실 제공 협약서 체결)
- 시설원에 농가, 온실 관련 업체에 도움을 줄 수 있는 DB 구축 (냉방 패키지 설계 가이드라인, 표준도면, 설계 프로그램)

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

○ 목표 정량적 성과 100% 달성 (특허 2건, 제품화 1건, 논문 SCI/비SCI 각 1건 등)
○ 냉방 패키지 설계 관련 소프트웨어 등록 1건 추가 달성
○ 연구개발을 통해 개발한 팬코일유니트 판매 (매출액 발생)
○ 특허 등록 2건 조기 달성
○ 고용창출 11명 초과 달성
○ 인력양성 1명 초과 달성
○ 학술발표 2건 초과 달성

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
유리온실 적정 온·습도 유지, 일사유입 저감 냉방 패키지 기술 개발	20	100	- 건축적 기술과 설비적 기술의 냉방 효과를 조사하고 분석하여 적절한 기술 개발 수행 완료
작물별 생육적정온도 25~30℃(최대 35℃) 유지 기능	20	90	- 전산유체해석 시뮬레이션(CFD)를 통해 온실 전체가 균일하게 25.9℃로 유지되는 것을 확인하였고, 관련 분야 전문가 평가를 통해 신뢰성 검증
작물별 수확량 향상	20	80	- 생육온도에 따른 수확량 증대 사례 검토를 통해 냉방 패키지 가동 시 수확량 및 상품성 증대 효과 예측 - 냉방 패키지 가동 시 약 18% 이상의 수확량 또는 상품성 증대 효과 달성 예상
건축적 요소인 차광스크린, 환기창과 설비적 요소인 패시브 칠드빔, 포그 시스템, 지하수 활용 히트펌프 시스템, 강제배기팬, 순환기류팬의 도입 검토	20	100	- 해외 사례를 통해 각 기술별 냉방 효과를 분석하고, 실증 온실 현장 조사를 통해 적용성을 검토하여 적절한 기술을 도입
온도 저감 효과, 시스템효율, 작물별 생육특성, 수확량 증대 및 종합 경제성 분석을 토대로 최적 냉방 패키지 기술 도출	20	100	- 실증에 적용한 냉방 패키지와 대안을 설정하여 초기투자비와 연간 운영비를 산출하고, 생애주기비용을 비교 - 냉방 패키지를 포함한 4가지 케이스의 경제성을 분석한 결과 개발한 냉방 패키지가 경제성 측면에서 가장 유리한 것으로 확인
합계	100점	94점	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 목표하였던 정량적 성과를 100% 달성하였고, 그 외에 추가적으로 성과를 달성하는 등 성실히 연구를 수행함
- 온실에 적합한 냉방 패키지 기술을 개발하기 위하여 기술별 냉방 효과와 온실에 적용성을 객관적으로 비교 분석하여 최적안을 도출함
- 냉방 패키지를 실증하였고 시험 가동과 시뮬레이션을 통해 성능을 정량적으로 확인함
- 정량적 성과 외에 시설원에 농가 및 온실 관련 업체에 도움이 될 수 있는 냉방 패키지 설계 가이드라인과 표준도면, 설계 프로그램 등을 별도로 작성하여 스마트팜(온실) 시장의 활성화에 기여하고자 노력함

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 연구목표 중 일부에 대해 부족한 달성도는 냉방 패키지 실증에 관해 협약한 온실측의 일방적인 협약 불이행으로 인한 결과임
- 냉방 패키지 시공 후, 2021년 1~2월 겨울철 시험 가동하고 여름철 운영을 통해 성능을 검증하려 했으나 실증 온실(㈜구미선인장)측에서 냉방 패키지 가동에 필요한 전기 공급을 일방적으로 휴지하여 성능 검증을 일부 실시하지 못함
- 실증 온실에서 전기 휴지를 신청한 2021년 4월부터 수차례 전기 휴지 해제를 요청하였으나 시설지원과 전기요금 문제 등을 이유로 전기 휴지 해제를 거부하여, 연구기관에서 전기요금 문제를 해결하기 위해 연구비 외 기업에서 별도의 비용을 마련하여 여름철 냉방 패키지 가동 시 발생하는 전기요금을 부담하겠다고 제안하였으나 거부함
- 전문기관인 농림식품기술기획평가원과 방문하여 전기 휴지 관련 문제에 논의하였으나 전기 휴지 해제 문제를 해결하지 못함
- 이에 연구기간 연장 및 대안온실을 통해 추가적인 실증을 계획하는 등 연구과제 수행을 위해 자체적으로 연구 보완을 실시함

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 연구개발성과의 수요처를 크게 3가지로 구분하여 활용 가능할 것으로 예상
- 시설원에 영농기업 및 온실 농가 : 냉방 패키지에 대한 정보 제공과 컨설팅 서비스 제공(설계, 최적화, 경제성 분석, 냉방 특화 상품 판매 등)
- 연구기관 : 기설치 또는 설치 예정되어 있는 냉방설비의 최적화 서비스 제공
- 온실 설계 및 시공업체 : 냉방 패키지 전문설계(부하계산, 배관선정, CFD 시뮬레이션)와 냉방 특화 상품(상부토출형 팬코일유닛) 공급

IV. 보안성 검토

--

1. 연구책임자의 의견

--

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

--

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	AA0204 (원예작물 시설)	
연구과제명	대규모 유리온실의 여름철 안정적인 재배를 위한 냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구			
주관연구개발기관	(주)우원엠앤이	주관연구책임자	황동근	
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	1,100,000천원	368,000천원	-	1,468,000천원
연구개발기간	2018. 11. 20 - 2021. 12. 31 (3년 1개월)			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(직접 실시) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 유리온실 적정 온·습도 유지, 일사유입 저감 냉방 패키지 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건축적 기술은 차광 스크린, 환기, 비닐 차단막 (냉방 시 냉기 유출 차단)으로 구성 ○ 설비적 기술은 공냉식 히트펌프와 축열조, 본 연구과제에서 개발한 상부토출형 팬코일유니트로 구성 ○ 실증 온실뿐만 아니라 다양한 온실에 활용할 수 있도록 냉방 패키지 설계 가이드라인 및 표준도면, 설계 지원 프로그램 등 개발
② 작물별 생육적정온도 25~30℃(최대 35℃) 유지 기능	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전산유체해석 시뮬레이션(CFD)를 통해 냉방 패키지의 냉방 성능 검증 ○ 성능 검증 결과 평균온도 25.9℃까지 온도하강 및 유지 가능 ○ 관련 분야 전문가를 통해 객관적인 검증 및 결과의 타당성 확인
③ 작물별 수확량 향상	<ul style="list-style-type: none"> ○ 생육온도에 따른 수확량 증대 사례 검토를 통해 냉방 패키지 가동 시 수확량 및 상품성 증대 효과 예측 ○ 냉방 패키지 가동 시 약 18% 이상의 수확량 또는 상품성 증대 효과 달성 예상 ○ 추가 실증 온실에서 작물의 생육상태 비교 결과 생육이 개선된 것으로 확인
④ 건축적 요소인 차광스크린, 환기창과 설비적 요소인 패시브 칠드빔, 포그 시스템, 지하수 활용 히트펌프 시스템, 강제배기팬, 순환기류팬의 도입 검토	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건축적 기술과 설비적 기술과 냉방 효과를 조사하고 검토하여 냉방 패키지 기술 도출 ○ 실증 온실 현장 조사를 통해 적합한 기술을 조합

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
⑤ 온도 저감 효과, 시스템 효율, 작물별 생육특성, 수확량 증대 및 종합 경제성 분석을 토대로 최적 냉방 패키지 기술 도출	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실증에 적용한 냉방 패키지와 대안을 설정하여 초기투자비와 연간 운영비를 산출하고, 생애주기비용을 비교 ○ 냉방 패키지를 포함한 4가지 케이스의 경제성을 분석한 결과 개발한 냉방 패키지가 경제성 측면에서 가장 유리한 것으로 확인

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식재산권				기술실시(이전)		사업화				기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출		투자유치	논문SCI	비SCI			논문평균IF	학술발표	
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건	
가중치	10	10					35			25				5	5		10		
최종목표	2	2					1	2,100		8		1	1	2	2		2		
당해연도	목표	1					1			2		1		1	1		1		
	실적	1	2			1	1	1.8		7		1	1	1	1		1	1	
달성률(%)	100	조기달성			추가달성		100	조기달성		350		100	100	100	100		100	추가달성	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	온실 냉방 패키지 설계 툴
②	온실 냉난방용 팬코일
③	냉방 패키지 최적화 솔루션

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계최초	국내최초	외국기술복제	외국기술소화·흡수	외국기술개선·개량	특허출원	산업체이전(상품화)	현장애로해결	정책자료	기타
①의 기술										v
②의 기술						v				v
③의 기술						v				v

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 소프트웨어 등록된 프로그램을 업그레이드하여 특허 출원 및 등록 예정 ○ 스마트팜(온실)에 냉방 패키지 설치를 고려하는 시설원에 농가 및 온실 전문업체를 대상으로 사업화 ○ 온실 현장에서 냉방 패키지 도입을 고려할 때 필요한 자료를 간단한 설정값 입력만을 통해 확인할 수 있는 “스마트팜 냉방 패키지 설계 지원 프로그램”을 제공하여 냉방 패키지 시장 활성화 및 시장 수요 충족
②의 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ “온도 균등 분포가 가능한 온실 냉난방용 팬코일 유니트” 로 등록된 특허를 바탕으로 사업화 ○ 온실에 적용되는 냉방설비는 시설재배용 팬코일유니트 또는 공조기가 대부분이었는데 새로운 형태의 팬코일유니트 제작을 통해 시장의 다양한 수요 흡수 ○ 작물에 냉기 또는 온기가 직접 닿지않게 토출구를 조절한 상부토출형 팬코일유니트를 통해 대공간인 온실 내부 온도를 균등하게 유지하여 작물 생산성 향상에 기여
③의 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ “작물의 환경 스트레스를 저감하는 온실 냉난방 패키지 시스템”으로 등록된 특허를 개선하여 사업화 ○ 하절기 외기온도 33℃ 이상을 기록하는 미국, 유럽, 동남아 온실 시장에서 모두 적용될 수 있는 기술로써 원천기술로 활용성 검토

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용액)	
	특허출원	특허등록	품종등록	S M A R T	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출		투자유치	논문 SCI	논문 비SCI			논문 평균 I F	학술 발표		정책 활용
단위	건	건	건	평가기획	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	10	10					35			25				5		5		10		
최종목표	2	2					1	2,100		8		1	1		2		2			
연구기간내 달성실적	2	2			1		1	1.8		14		1	1		4		3		2	1
연구종료후 성과창출 계획	1	1						2,098.2		3										

별첨 자료 3

온실 냉방 패키지 설계 가이드라인

- 과 제 명 : 대규모 유리온실의 여름철 안정적 재배를 위한
냉방 패키지 기술 개발 및 현장 실증 연구
- 연 구 기 관 : (주)우원엠앤이
- 연구책임자 : 황동곤

2021. 12

목 차

1. 냉방 패키지 설계 가이드라인 활용 방향	1
1.1 가이드라인의 필요성	1
1.2 가이드라인의 활용	2
2. 온실 구축 개요	3
2.1 온실 설계 개요	3
2.2 온실 공사 개요	4
2.3 온실 냉방 패키지 구축 시 고려사항	5
3. 온실 설계	7
3.1 커튼 시스템	7
3.2 환기	13
3.3 난방	18
3.4 냉방	28
3.5 관수설비	35
3.6 재배시설	37
3.7 방제 시스템	39
3.8 전기	41
3.9 복합환경 제어 시스템	42
3.10 탄산시비	43

4. 온실 냉방 패키지 설계	45
4.1 냉방 기술별 냉방 효과	45
4.2 냉방 패키지 기술 구성	49
4.3 열원시스템 설계	51
4.4 축열시스템 설계	53
4.5 공조시스템 설계	54
4.6 기타	54

1. 냉방 패키지 설계 가이드라인 활용 방향

1.1 가이드라인의 필요성

(1) 기후변화에 따른 온실 냉방의 필요성

- ① 최근 10년간 기상변화를 보면 겨울일수는 30년 평균 대비 4.2일이 감소한 반면에 여름일수는 평균 4일이 증가함
- ② 국내 여름철 냉방을 하는 온실은 전체 온실 중 26%에 불과하고 비냉방 온실의 경우 여름철 실내온도가 45°C까지 상승함
- ③ 작물의 생육적온(20~30°C) 이상의 온도가 장시간 이어질 경우 열해, 열사 등의 고온생리장해가 발생되며, 이러한 장해는 작물의 생산 및 품질에 악영향을 주어 고스란히 시설원예농가에 피해가 되고 있음

(2) 온실의 냉방 패키지 적용과 관련된 기초자료 부족

- ① 시설원예농가 대부분이 유류 의존도가 높은 난방설비로 경영난이 가중되고 있어, 냉방설비에 대한 추가적인 투자가 어려움
- ② 최근 신재생에너지를 활용한 냉난방설비가 보급되고 있지만 높은 초기투자비가 보급에 장애요소가 되고 있음
- ③ 또한 냉방설비 설치를 위한 적절한 냉방부하 계산 방법, 냉방설비 구성, 설계를 위한 기초적인 자료가 부족한 실정임

(3) 스마트 온실 사업의 활성화에 따른 효율적인 냉난방 기술 개발 필요

- ① 4차 산업혁명과 함께 정보통신기술이 시설원예에 적용되면서 생산 및 품질을 향상시킬 수 있는 시설환경 제어 기술이 개발되고 있음
- ② 작물 생육에 적합한 시설환경 제어를 위해 온실의 냉난방 설비기술 개발 및 설치가 선행되어야 함
- ③ 또한 최근 스마트 온실부터 에너지 자립형 온실까지 에너지 효율에 대한 이슈가 높아지면서 효율적인 냉난방 기술의 개발과 적용의 필요성이 높아지고 있음

1.2 가이드라인의 활용

본 가이드라인은 온실 설계 및 시공 담당자, 시설원예농가에서 작물에 적합한 생육환경 조성을 위해 필요한 냉방 패키지(냉난방 설비)를 구축할 때 고려해야할 사항과 방법을 가이드라인 하는 것을 목적으로 한다.

온실 설계 담당자	온실 시공 담당자	시설원예농가
냉방 패키지 설계 가이드라인		
가이드라인	표준 도면	냉방 패키지 설계 틀
패시브(차광 스크린, 환기) 설계 고려사항	구축된 유리온실 기준 냉방 패키지 도면 제공	개략적인 온실의 냉난방 부하 산출
액티브(냉방, 난방) 설계 고려사항	패시브 적용 도면	개략적인 냉난방 패키지 공사비 산출
재배시설 설계 고려사항	열원설비(공냉식 히트펌프, EHP) 적용 도면	연간 에너지 사용량 산출
환경제어시스템 설계 고려사항	다양한 방식의 공조설비 적용 도면	연간 운영비 산출
온실 설계 및 시공 업무 기초자료로 활용	냉방 패키지 구성에 대한 이해도 향상	냉방 패키지 도입 시 경제성 손쉽게 파악

[그림 1] 가이드라인 활용 방안

2. 온실 구축 개요

2.1 온실 설계 개요

온실 설계 단계는 기본 및 실시설계로 구분할 수 있다. 공정별로는 건축, 구조, 설비, 전기, 제어 등으로 분류할 수 있다.

[표 1] 온실 설계 단계 분류

구분	기본설계	실시설계	비고
건축	<ul style="list-style-type: none"> · 지질조사, 측량, 지반조성검토 · 인프라 조사 · 온실 배치 · 온실 평면, 입면, 단면 계획 	<ul style="list-style-type: none"> · 배치도 작성 · 건물 평면, 입면, 단면 설계 · 기초, 구조, 마감설계 · 시공방법, 작업순서, 공정검토 · 시방서 및 공정표 작성 · 공사 내역서 산출 	
구조	<ul style="list-style-type: none"> · 설계 데이터 검토 · 구조계획 	<ul style="list-style-type: none"> · 구조 검토 및 계산 · 구조(기초, 골조 등) 설계 	
설비	<ul style="list-style-type: none"> · 광환경 검토 · 보온 계획 · 환기 계획 · 냉난방 계획 · 관수 및 배수 계획 · 재배시설 계획 · 관리시설 계획 	<ul style="list-style-type: none"> · 차광 스크린 및 커튼시스템 설계 · 환기 설계 · 냉난방 부하 계산 · 장비선정 및 배관, 덕트 등 설계 · 관수 및 배수 부하검토 및 설계 · 재배시설(육묘, 양액, 수경재배 등) 및 특수시설 검토 및 설계 · 시방서 및 공정표 작성 · 공사 내역서 산출 	
전기	<ul style="list-style-type: none"> · 수전 및 배전 계획 · 조명, 전열, 동력 계획 	<ul style="list-style-type: none"> · 수전, 배전, 조명, 전열, 동력 설계 · 전력부하 계산 및 용량 검토 · 판넬 구성 및 배선 설계 	

		<ul style="list-style-type: none"> · 시방서 및 공정표 작성 · 공사 내역서 산출 	
제어	<ul style="list-style-type: none"> · 환경제어요소 검토 · 제어범위 및 방법 검토 	<ul style="list-style-type: none"> · 제어 시스템 설계 · 제어판넬 설계 · 통신, 경보, 안전 시스템 설계 	

http://www.fatri.com/bbs/board.php?bo_table=1&wr_id=21 참조

2.2 온실 공사 개요

온실 공사는 크게 건축과 설비, 전기 및 제어 공사로 구분할 수 있다.

건축은 토목/가설/기초/철골조/창호/피복/흙통/부속시설, 설비는 광 조절/환기/냉난방/습도 조절/관수시설/탄산가스 조절/에너지 절감 설비, 전기 및 제어는 동력/제어/조명/감시 설비 등으로 분류할 수 있다.

[표 2] 온실 공사 단계 분류

건축	설비	전기 및 제어
<ul style="list-style-type: none"> · 토목공사 · 가설공사 · 기초공사 · 철골조 공사 · 알루미늄창호공사 · 피복공사 · 흙통공사 · 부속시설 건축 	<ul style="list-style-type: none"> · 광 조절 - 차광 스크린, 커튼, 인공 조명 · 환기 - 천창개폐장치, 측창개폐장치 강제환기설비, 실내공기 순환설비 · 난방 - 온풍난방기, 온수 및 증기보일러, 배관 및 방열설비, 보온커튼 · 냉방 - 팬&패드 시스템, 지붕스프링클러 지하수 순환, 히트펌프, 수막 · 습도 조절 - 포그 장치, 가습기, 제습기 · 관수시설 - 살수식, 점적식, 지중관수 등 · 탄산가스 조절 - 액화탄산가스시비장치 등 · 에너지 절감 - 축열조, 태양광/열, 지열 등 · 기타 - 시비시설, 재배베드, 유인시설 등 	<ul style="list-style-type: none"> · 동력설비 · 제어설비 · 조명설비 · 감시설비

http://www.fatri.com/bbs/board.php?bo_table=1&wr_id=25 참조

2.3 온실 냉방 패키지 구축 시 고려사항

(1) 기본방향

온실의 냉방 패키지는 작물 재배에 적합한 환경을 위해 온도 및 광 조절, 습도 조절 설비 등이 요구되며, 작물 생육에 적합한 환경을 제공하고 높은 생산성을 확보할 수 있도록 기능을 갖추어야 한다. 또한 시설 내의 환경뿐만 아니라 작업성과 경제성을 동시에 고려하여 설계 및 시공해야 한다.

(2) 광 환경

냉방 패키지에서 광 환경을 조절하는 설비는 필수적인 요소이다. 온실에서 과도한 일사량은 온실 내부 온도를 상승시켜 고온장해를 초래하며, 강한 일사로 작물의 잎, 줄기, 과실 등이 타는 일소현상이 발생할 수 있다. 반면에 일사의 투과를 줄이면 겨울철 보온에 불리하고 작물의 생육에 적절한 광량을 확보할 수 없기 때문에 적절한 투광성을 확보해야 한다.

광 환경을 조절하기 위해서는 1차적으로 온실의 골조율 및 피복자재, 2차적으로 차광 스크린의 재질 선정이 중요하다. 충분한 일사량 확보를 위해서는 골조율(Frame rate)을 낮출 수 있는 압연강재 사용이 유리하다. 피복자재는 PE부터 불소필름, PC 경질판, 유리 등이 적용되며 차광 스크린은 PE필름, PO필름, 직조필름 등을 적용할 수 있다. 피복자재 및 차광 스크린의 선정은 작물에 생육조건을 고려한 생육적온과 광 요구도, 내구연한을 고려한 경제성을 종합적으로 검토하여 선택해야 한다.

(3) 온열 환경

온실의 냉방 패키지는 온실 내부의 온·습도를 작물 생육에 적합하게 조절 하고, 바닥면적이 넓고 층고가 높은 온실의 특성을 고려하여 수평과 수직 온도 분포를 균일하게 유지할 수 있는 성능을 갖춰야 한다. 또한 일교차 등을 고려하여 시간적으로도 온도의 균일하게 유지할 수 있어야 한다.

온실의 온열 환경 조절을 위한 패시브 기술은 차광 스크린, 커튼 시스템, 환기설비, 증발냉각 등이 있으며 액티브 기술은 히트펌프를 활용한 냉난방 등이 있다. 이러한 기술들은 작물의 생육온도와 재배방식, 전기 및 가스요금을 고려하여 구성해야 한다.

(4) 보온성

낮 시간대에는 일사가 유입되면서 온도가 상승하여, 여름철의 경우 환기나 냉난방 시스템을 가동하지 않으면 외기온도보다 2.5~3배 정도 온도가 상승할 수 있다. 반면에 밤 시간대에는 온실 내부에서 외부로 천공을 향한 열복사가 일어나 외기온도보다 오히려 온도가 떨어지며, 특히 겨울철 보온성을 확보하지 못한 경우 동해 피해나 난방비가 많이 발생할 수 있다.

냉방 패키지 계획 시에는 여름철뿐만 아니라 겨울철 운영까지 고려하여 보온성을 확보할 수 있는 대책 마련이 필요하다.

(5) 통합제어

냉방 패키지는 차광 스크린, 보온커튼, 증발냉각, 히트펌프 등 다양한 설비로 구성되며, 이러한 설비들은 온실 환경에 복합적으로 영향을 주기 때문에 상호 연동되어 제어되어야 한다.

통합제어는 각종 센서로부터 얻은 정보를 통해 작물에 따라 최적 생육환경 조성과 함께 노동력을 절감시켜줄 수 있도록 냉방 패키지 설비를 포함한 온실의 모든 설비를 최적 제어할 수 있는 장점이 있다. 반면에 센서 설치부터 제어컨트롤러, 프로그램까지 초기투자비가 발생하기 때문에 경제성을 동시에 고려하여야 한다.

(6) 경제성

냉방 패키지는 여름철 고온으로 인한 피해를 최소화하고, 품질을 향상시킬 수 있지만 초기투자비와 여름철 냉방 운영에 따른 전기요금이 추가적으로 발생한다. 이에 투자에 대한 경제성을 사전에 검토하여 계획해야 한다.

(7) 작업성

냉방 패키지는 작물의 재배방법과 작업자의 이동 동선, 환경 등을 고려하여 작업자의 작업 효율을 높일 수 있도록 계획되어야 한다.

3. 온실 설계

3.1 커튼 시스템

(1) 차광 스크린 개요

- ① 커튼 시스템은 차광 스크린(광도 조절, 암막)과 보온커튼(열전도 및 관류, 누기 최소화)으로 분류할 수 있다.
- ② 차광 스크린과 보온커튼은 재질에 따라 구분되며, 기본적으로 개폐 장치나 시스템의 구성은 동일하다.
- ③ 차광 스크린은 PE필름, PO필름, 직조필름, 유리 등의 피복과 함께 태양광을 반사, 투과, 흡수하여 온실 내부의 온도 상승을 억제한다. 그러나 반대로 차광 스크린에 의해 광량이 감소함으로써 작물 생육이 부진해질 수 있기 때문에 적정하게 설치 및 운영이 필요하다. 또한 설치 후 주기적인 세척으로 광투과율이 지나치게 감소하는 것을 방지해야하며, 상황에 따라 인공광을 활용한 보광 등의 적극적인 대책이 필요할 수 있다.
- ④ 차광 스크린은 설치위치에 따라 외부 차광과 내부 차광으로 분류할 수 있으며, 온실의 피복재에 차광 효과가 있는 액체 형태의 차광제를 살포하는 방법도 있다.
- ⑤ 차광 스크린의 재질은 광을 대부분 흡수하여 차단하는 부직포 종류와 광을 반사시켜 10% 미만만 투과시키는 알루미늄 필름, PE필름을 직조한 흑색 차광막 등이 있다.
- ⑥ 차광 스크린은 자연환기상태일 때 약 4~10°C 온도 하강 효과가 있으며, 외부 차광 스크린이 내부 차광 스크린에 비해 온도 상승 억제효과가 우수하다.

[표 3] 차광율에 따른 온실 내부온도 억제 효과 예시(7월 기준)

구분	무차광	30% 차광	50% 차광	70% 차광	외기온도
밀폐상태	69.4°C	57.2°C	49.1°C	41.0°C	28.8°C
자연환기상태	44.3°C	39.6°C	36.5°C	33.4°C	

[표 4] 차광 스크린 자재별 온실 내부온도 억제 효과 예시

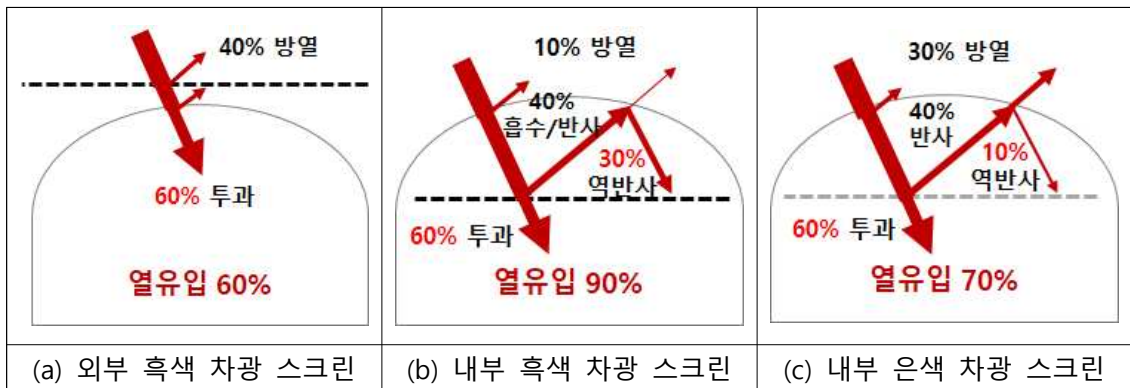
구분	기온	지온	차광 스크린 온도
무차광 (PE 피복재)	34.2°C	31.1°C	37.4°C
PE 피복재 + 흑색차광 (40%)	33.4°C	29.1°C	39.5°C
PE 피복재 + 은색차광 (40%)	31.6°C	29.0°C	34.0°C
외부	32.2°C	31.2°C	-

(2) 보온커튼 계획

- ① 보온커튼은 겨울철 온실의 보온 및 난방에 영향을 주는 중요한 구성 요소이다.
- ② 보온커튼은 보온 및 단열 성능이 우수한 피복재를 선정해야하며 단층으로 설치하기보다는 피복 층수를 늘리고, 틈새를 최소화하여 보온성을 높여야 한다.
- ③ 또한 보온커튼별로 두께나 하중 등을 고려하여 개폐장치를 선정해야 한다.

(3) 차광 스크린 선정

- ① 온실 내부에 차광 스크린을 설치하는 경우에는 작물의 생육에 지장이 없고 작업에 방해가 되지 않도록 계획해야한다. 외부 차광막은 온도 상승 억제효과는 뛰어나지만 태풍 등의 기상조건에 대응이 가능하도록 계획해야 한다.



[그림 2] 차광 설치 위치에 따른 열유입 비교



[그림 3] 외부 차광 스크린 설치

- ② 차광 스크린의 재질 선정 전 온실의 형태, 설치방향, 골조율, 피복재에 의해 1차적으로 광량이 감소하기 때문에 이를 고려해야 한다.

[표 5] 시설유형별 골조율과 광투과율

시설유형	골조율	광투과율
유리온실 (양지붕형)	18~20%	65~70%
유리온실 (벤로형)	10~12%	70~72%
경질온실	13~15%	65~67%
비닐하우스	8~10%	60~65%

최영하 외, 2005, 고유가시대 시설재배 에너지절감 기술 p27.

[표 6] 연질 피복재의 초기 광학적 특성(파장 330~1100nm)

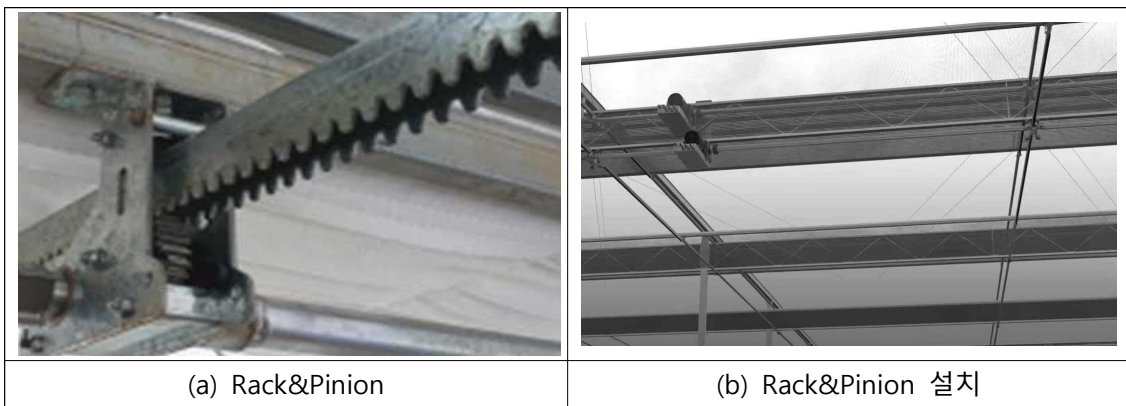
구분	두께	반사율	투과율	흡수율
폴리올레판 (PO)	0.10mm	7.4%	89.2%	3.4%
	0.15mm	7.8%	87.4%	4.8%
에틸렌아세트산비닐 (EVA)	0.10mm	7.6%	87.2%	5.2%
	0.15mm	7.6%	86.0%	6.3%
폴리에틸렌 필름 (PE)	0.10mm	8.1%	87.1%	4.8%
	0.15mm	7.8%	85.3%	6.9%

농촌진흥청, 2013, 농업기술길라잡이 시설원예 p142.

- ③ 흑색 차광 스크린(PE직조)은 일사를 축열하기 때문에 온실의 온도 억제효과는 낮으나 지온과 재배작물의 온도 억제와 일소과 발생을 저감하는 효과를 얻을 수 있다.
- ④ 알루미늄 필름 스크린(서열네트)은 연동비닐, 유리온실 등에 1~2겹(차광률 30%, 60% 2중)으로 주로 사용되며, 일사를 반사하여 차광 및 차열 효과가 우수하며 동절기에는 보온커튼으로 활용할 수 있다.
- ⑤ 온실 피복재에 도포하여 차광효과를 얻는 차광 페인트는 시공은 간편하나 빗물에 의하여 페인트가 벗겨지기 때문에 주기적인 유지보수가 요구된다.

(4) 커튼 시스템 개폐장치

- ① Pull&Push Screen system (Rack&Pinion)
 - 톱니바퀴에 레일을 걸어 개폐하는 방식으로 벤로형 온실에서 도입되었다. 실 폭 방향으로 설치되어 Truss 간격의 각 구간별 온실 길이 방향으로 개폐된다.
 - 감속기의 구동력이 랙의 기어에 의해 힘이 전달되어 정확하고 고장이 적다.



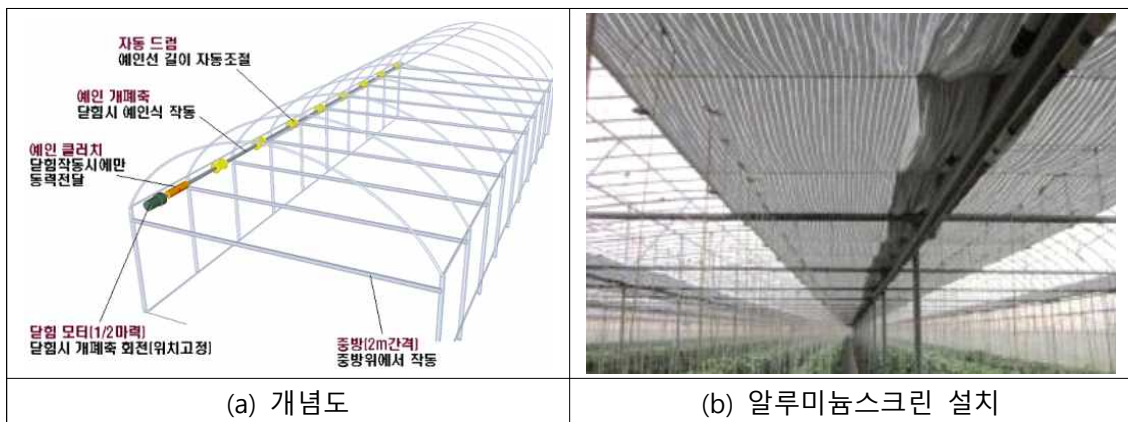
[그림 4] Rack&Pinion 방식

- ② Wide Screen system (예인식)
 - 온실의 한쪽 기둥 측고부위에 닫힘 모터와 자동 드럼을 부착하여 예인선이 드럼의 홈에 감기면서 차광 스크린 또는 보온커튼을 끌어당겨 펼치는 방식이다.

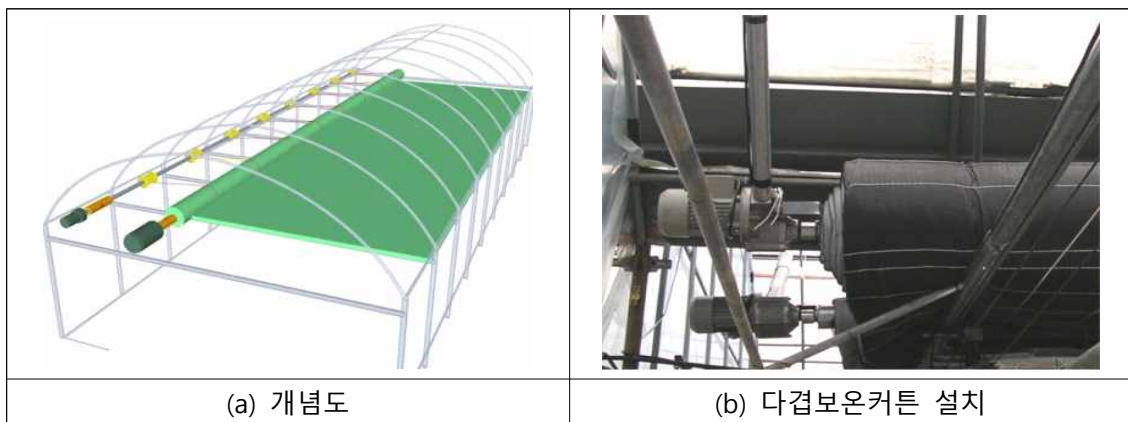
- 공사비가 저렴하여 비닐하우스부터 유리온실까지 현재 가장 광범위하게 설치하여 사용하는 방식으로, 대부분 온실의 길이 방향으로 설치되어 온실 폭 방향으로 개폐된다.

③ Roll Screening (권취식)

- 회전축을 활용하여 커튼 또는 차광 스크린을 롤 형식으로 감아주고, 풀어줌으로써 개폐하는 방식이다.
- 주로 수직 보온커튼의 개폐에 사용되며 천정 및 지붕 보온커튼에도 일부 활용되고 있으며, 비닐하우스의 천창 및 측창 개폐에도 많이 이용된다.
- 다른 개폐방식과 비교하여 공사비가 가장 저렴하고 조작과 유지관리가 편리하지만 커튼 또는 차광 스크린이 감겨진 부위에 그늘이 진다는 단점이 있다.



[그림 5] 예인식 개폐장치



[그림 6] 권취식 개폐장치

(5) 차광 스크린 설계

- ① 재배작물의 생육환경(온도, 습도, 조도 등)과 외기 조건을 고려하여 적합한 차광 스크린 재질을 선정한다.
- ② 온실의 종류와 구조를 고려하여 적합한 개폐장치를 검토한다.
- ③ 작물 재배 방법 및 시기, 개폐장치를 고려하여 구역을 분할한다.
- ④ 제어조건(실내외 온도 및 습도, 일사, 시간, CO₂, 바람 등)과 제어 방식을 고려하여 개폐 여부를 제어값을 설정한다.

3.2 환기

(1) 개요








- ① 환기는 실내온도를 작물의 적정 생육온도로 유지하는 동시에 실내의 이산화탄소(CO₂) 농도 저하를 막고, 실내의 습도조절, 작물 균락과 작물의 가스교환 촉진 등의 기능을 한다.
- ② 측창과 천창의 개폐를 통한 자연환기와 송풍기를 이용한 강제환기로 분류할 수 있다.
- ③ 환기를 통해 온실 내부의 온도를 작물의 생육적온까지 낮추기 위해서는 시간당 45~60회 환기가 필요하다.

(2) 환기횟수 및 환기율 산출




- ① 환기량 : 단위시간당 환기에 의한 외부공기 유입량
* 환기량(m³/h) = 실의 용적(m³) X 환기횟수(회/h)
- ② 환기횟수 : 단위시간당 실의 용적에서 이루어진 외부공기의 교환 횟수
* 환기횟수(회/h) = 환기량(m³/h) ÷ 실의 용적(m³)

(3) 자연환기

- ① 자연환기는 풍속이 2m/s 이상일 경우에는 풍압이 주 원동력이 되고, 바람이 1m/sec 이하에서는 온도차에 의한 대류현상에 의해 환기가 이루어진다.
- ② 자연환기의 경우 매시간 일정량의 환기량을 확보할 수 없으며, 특히 대규모 온실의 경우에는 온실 전체에 균일하게 기류를 순환시키는게 어려워 온도를 낮추는데는 한계가 있다.
- ③ 환기창은 보통 겨울철에는 1/4, 봄·가을에는 1/2, 외기온도가 상승하면 3/4, 여름철에는 전체를 열어 개도율을 조절한다.
- ④ 환기창은 권취식, 프로젝트식, 3-Way식, 연속형 천창, 분산형 천창, 패널굴절식, 풀오픈식 등으로 구분된다.
- ⑤ 환기창의 개폐방식은 X형 개폐암 방식, Rack&Pinion 방식, Swing 방식 등이 있다.

구분	개요	설치 예시
권취식	<ul style="list-style-type: none"> - 비닐하우스의 지붕이나 측벽 하부에서 원하는 위치까지 감아올려서 개폐 - 환기 효과(온도차, 풍력)는 우수하나 개폐축의 휨현상이 발생할 수 있음 	
프로젝트식	<ul style="list-style-type: none"> - 유리온실 또는 경질판 온실 지붕이나 측벽의 창틀에 설치하고 밀어 올려 개폐 - 온도차에 의한 환기는 우수하나 풍력에 의한 환기 효과는 다소 떨어짐 	
3-Way식 (미닫이)	<ul style="list-style-type: none"> - 유리온실 또는 경질판 온실의 측창으로 주로 사용되고 환기창의 2/3이 열리는 방식 - 풍력에 의한 환기 효과가 우수 	
연속형 천장	<ul style="list-style-type: none"> - 와이드스판형 유리온실에 사용 - 지붕면 길이방향으로 연속형 창틀을 설치하여 개폐 - 일반적으로 사용되는 형태 	
분산형 천장	<ul style="list-style-type: none"> - 벤로형 유리온실에 사용 - 작은 크기의 창틀을 지붕면 전체에 분산 배치하여 개폐 	
패널굴절식	<ul style="list-style-type: none"> - 패널에 절점을 두고 패널 상부가 가이드 레일을 따라 하향하도록 구성하여 개폐 - 환기에 의한 냉방효과가 우수 	
풀오픈식	<ul style="list-style-type: none"> - 지붕 전체가 개폐되는 방식 - 환기 효과는 우수하나 경제성은 불리 - 바람에 의한 영향이 큼 	

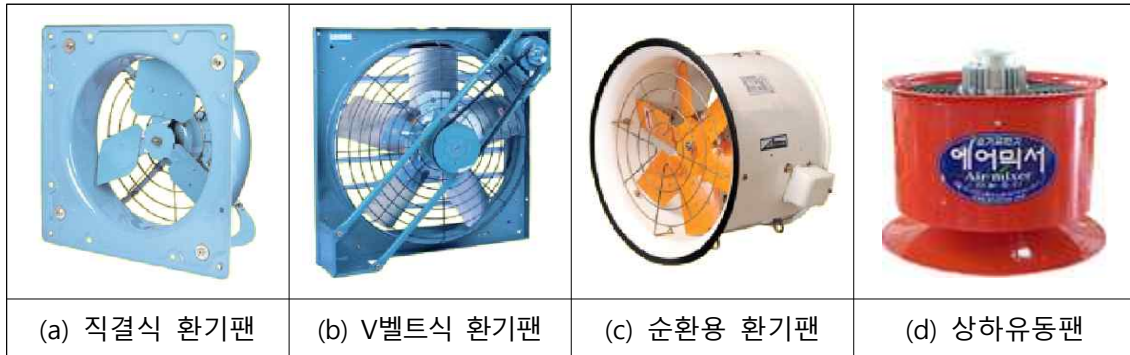
[그림 7] 자연환기창 형태

구분	개요	설치 예시
링크-암 방식	<ul style="list-style-type: none"> - 창틀 아래쪽 암축에 의하여 내부로부터 외부로 창을 밀어 올리는 방식 - 창을 개폐하는 속도가 빠르나 강풍에 의해 창이 흔들려 온실의 구조 안정성에 불리 	
Rack&Pinion 방식	<ul style="list-style-type: none"> - 유리온실 또는 경질판 온실에 사용 - 큰 창을 개폐할 수 있는 장점이 있으나 시간이 오래 걸리는 단점이 있음 	
Swing 방식	<ul style="list-style-type: none"> - 벤로형 유리온실의 천장에 사용 - 다지점 개폐암과 Rack&Pinion을 이용 - 개폐축이 회전하지 않고 수평으로 작동 	

[그림 8] 환기창 개폐방식

(4) 강제환기

- ① 자연환기만으로 내부 온도를 낮추기 어렵거나 연동온실과 같이 환기율이 낮은 온실에 적용된다.
- ② 강제환기의 경우 필요한 환기량을 확보할 수 있지만 환기량이 커서 설치가 제한되며(급기 및 배기구, 송풍기 설치 위치 확보), 토출되는 기류의 속도가 빨라 작물 생육에 악영향을 줄 수 있어 적용하는데 어려움이 있다.
- ③ 환기팬은 온실의 북쪽 또는 동쪽에 설치하고 흡기구는 환기팬을 북쪽에 설치했으면 남쪽, 동쪽에 설치했으면 서쪽에 설치한다.
- ④ 강제환기는 직결식 환기팬, V벨트식 환기팬, 순환용 환기팬, 상하유동팬이 사용된다.
- ⑤ 직결식 환기팬은 저소음, 고풍압을 요하는 온실에 적합하고, V벨트식은 고풍량을 요구하는 온실, 순환용 환기팬은 온실 내부 공기를 순환시키는 용도로 사용된다. 상하유동팬은 상하공기 유동에 의해 환기를 원활하게 유도하는 역할을 한다.



[그림 9] 환기팬 분류

(5) 자연환기 설계

- ① 지역별 기후적 특성을 고려하여 자연환기에 의한 환기량을 극대화할 수 있도록 설계한다. (계절별 풍향, 풍속, 지형에 따른 풍향 빈도 등)
- ② 자연환기는 환기창이 클수록 좋으며 온실 내부 온도를 균일하게 유지하기 위하여 환기창을 전체적으로 균등하게 계획해야 한다.
- ③ 천창의 면적이 클수록 환기에 유리하나 강풍을 고려한 구조적 안전성을 확인하고 계획해야 한다.
- ④ 측창은 환기 효과가 우수하지만 3연동 이상의 연동온실에서는 측창보다 천창에 의한 환기를 고려해야 한다.
- ⑤ 환기구는 바람이 불어오는 방향 또는 바람이 지나가는 방향에 따라 풍압 및 부압을 고려하여 공기가 유입 및 유출되도록 계획한다.

(6) 강제환기 설계

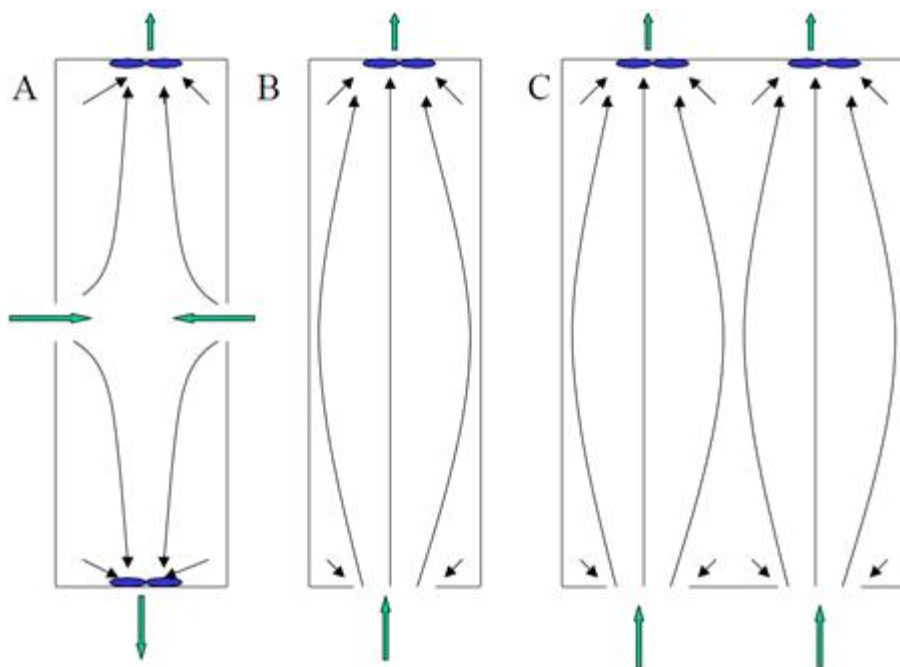
- ① 천창, 측창의 위치 및 크기, 개폐방식, 제어조건를 고려하여 하여 환기량 및 환기횟수를 결정한다.
- ② 환기량이 결정되면 환기팬의 사양 및 설치대수 결정한다.
- ③ [그림 10]의 A와 같이 길이 50m 이상의 온실에서는 양측에 배기팬을 설치하고 중간에 흡기구를 계획한다. B와 같이 길이 50m 이하의 온실에서는 한쪽은 흡기구, 반대에 배기팬을 설치한다.
- ④ [그림 10]의 C와 같이 너비 10m 이상의 온실에서는 온실에 각각 흡기와 배기팬을 설치한다.
- ⑤ 흡기구의 면적은 배기팬 면적의 2배로 계획하고, 배기팬은 높은 위치,

흡기구는 재배작물 군락에 직접 바람이 닿지 않는 위치에 설치한다.

⑥ 고온기 배기팬은 온실 풍하측에 설치한다.

[표 7] 하절기 온도 하강을 위한 지역별 환기횟수 (내부온도 35℃ 기준)

지역	40% 차광			무차광		
	6월	7월	8월	6월	7월	8월
서울	0.50	0.49	0.65	0.19	0.90	1.17
서산	0.53	0.59	0.83	0.97	1.07	1.47
대전	0.56	0.81	0.89	1.01	1.43	1.56
전주	0.54	0.90	0.94	0.98	1.58	1.65
광주	0.57	0.84	1.00	1.04	1.48	1.74
진주	0.54	0.79	0.84	0.98	1.40	1.49
부산	0.33	0.51	0.65	0.62	0.93	1.17
대구	0.78	1.03	0.92	1.37	1.80	1.62
제주	0.39	0.81	0.78	0.74	1.44	1.38
원주	0.60	0.71	0.80	1.08	1.26	1.41
수원	0.45	0.50	0.65	0.83	0.92	1.16



[그림 10] 환기팬 설치 위치 예시

3.3 난방

(1) 개요

- ① 작물 생육이 가능한 가장 낮은 온도인 최저한계온도까지는 생육이 가능하지만 생육이 둔화되고, 한계온도를 벗어나면 동해가 발생한다.
- ② 온실 난방은 외기온도가 낮은 늦가을에서 겨울, 초봄까지 온실 내부를 작물이 생육할 수 있는 온도까지 상승 및 유지하는데 목적이 있다.
- ③ 국내 온실에서는 주로 경유와 등유 등을 활용한 온풍 및 온수난방이 대부분이며 최근에는 전기를 활용한 온풍기, 지열 히트펌프 등도 적용되고 있다.
- ④ 난방 설계는 온실이 위치하는 지역의 기후와 재배작물, 온실 형태 및 피복재 등을 고려하여 난방부하를 산출하고 재배방식과 초기투자비, 운영비 등을 종합적으로 고려하여 계획해야 한다.

(2) 온실 난방부하 산출

- ① 난방설비의 용량을 결정하려면 난방기간 중 외기온도가 가장 낮은 시간대에 필요한 열용량 산출이 필요한데, 이를 최대난방부하라 한다. 최대난방부하는 아래와 같이 산출한다.

$$Q_g = \{A_g \times (q_t + q_v) + A_s \times q_s\} \times f_w$$

* Q_g : 최대난방부하(kcal/h)

q_t : 피복면적당 관류 전열 손실량(kcal/m²·h),

q_v : 피복면적당 틈새환기 열 손실량(kcal/m²·h)

q_s : 바닥면적당 토양 전열량(kcal/m²·h)

A_g : 온실 피복면적(m²), A_s : 온실 바닥면적(m²)

f_w : 풍속보정계수(일반지역의 온실 1.0, 강풍지역 온실 1.1)

- ② 관류 전열 손실량은 피복재를 통해 내부의 열이 외부로 방열되는 것으로 다음과 같이 산출한다. 설계 외기온도는 안전성을 위해 10년 또는 20년 기준 최저온도값을 적용하지만 난방 용량의 과대 선정 우려가 있기 때문에 건축물의 에너지절약설계기준 또는 기상청의 외기온도 적용도 고려해야 한다.

$$q_t = h_t \times (T_s - T_d) \times (1 - f_r)$$

* h_t : 관류열전달계수(kcal/m²·h·°C)

T_s : 난방설정온도(°C), T_d : 설계 외기온도(°C)

f_r : 보온피복의 열절감율

[표 8] 피복자재별 관류열전달계수

피복자재	관류열전달계수 (kcal/m ² ·h·°C)	피복자재	관류열전달계수 (kcal/m ² ·h·°C)
1중 유리	5.0 ~ 5.4	2중 유리	2.6 ~ 3.0
1중 플라스틱	5.5 ~ 5.8	1중 유리, 1층 보온커튼	2.6 ~ 3.0
2중 아크릴	2.6 ~ 3.0	2중 플라스틱, 1층 보온커튼	1.9 ~ 2.1
2중 플라스틱, 1중 폴리에틸렌	3.4 ~ 3.8		

농촌진흥청, 2014, 시설원예 에너지 절감기술·농업기술길잡이 114(개정판) p77.

[표 9] 피복자재별 열절감율

보온 방법	피복자재	난방 부하계수 (kcal/m ² ·h·°C)		열절감율(%)	
		유리	플라스틱	유리	플라스틱
1중 피복		5.3	5.7		
2중 피복	유리, PVC필름	3.2	3.4	35	40
1중 커튼	PE필름	3.3	3.5	30	45
	PVC필름	3.7	4.0	35	40
	PE필름	3.3	4.0	30	45
	부직포	4.0	4.3	25	30
	알루미늄 혼입필름	2.9	3.1	40	45
	알루미늄 증착필름	2.7	2.9	50	55
2중 커튼	PE필름 2층	2.9	3.1	45	45
	PE필름+알루미늄 필름	1.9	2.0	65	65
외면피복	섬피	2.1	2.3	60	-

농촌진흥청, 2014, 시설원예 에너지 절감기술·농업기술길잡이 114(개정판) p77.

[표 10] 냉·난방설비의 용량계산을 위한 설계 외기온·습도 기준

구 분 도시명	냉	방	난	방
	건구온도(°C)	습구온도(°C)	건구온도(°C)	상대습도(%)
서울	31.2	25.5	-11.3	63
인천	30.1	25.0	-10.4	58
수원	31.2	25.5	-12.4	70
춘천	31.6	25.2	-14.7	77
강릉	31.6	25.1	-7.9	42
대전	32.3	25.5	-10.3	71
청주	32.5	25.8	-12.1	76
전주	32.4	25.8	- 8.7	72
서산	31.1	25.8	- 9.6	78
광주	31.8	26.0	- 6.6	70
대구	33.3	25.8	- 7.6	61
부산	30.7	26.2	- 5.3	46
진주	31.6	26.3	- 8.4	76
울산	32.2	26.8	- 7.0	70
포항	32.5	26.0	- 6.4	41
목포	31.1	26.3	- 4.7	75
제주	30.9	26.3	0.1	70

건축물의 에너지절약설계기준 [별표 7]

- ③ 틈새환기 열 손실량은 온실 내부와 외부 공기의 엔탈피차와 환기율에 비례하나 이를 고려할 경우 계산과정이 복잡하기 때문에 환기전열계수를 이용하여 계산한다.

$$q_v = h_v \times (T_s - T_d)$$

* h_v : 환기전열계수(kcal/m²·h·°C)

[표 11] 환기전열계수

구분	환기전열계수 (kcal/m ² ·h·°C)	구분	환기전열계수 (kcal/m ² ·h·°C)
유리온실	0.3 ~ 0.5	보온피복온실	0.0 ~ 0.2
플라스틱온실	0.2 ~ 0.4	완전기밀온실	0.0

농촌진흥청, 2014, 시설원예 에너지 절감기술·농업기술길잡이 114(개정판) p78.

- ④ 토양 전열량은 주간의 일사에 의하여 토양 내부에 저장된 열이 전달되는 것으로 열전달이 하향(온실 내 열이 토양을 가열)일 때는 정(+), 상향(토양의 열이 온실을 가열)일 때는 부(-)를 가진다.

[표 12] 토양전열계수

보온피복 내외 기온차(°C)	무		유	
	난지	한지	난지	한지
10	-20	-15	-15	-10
15	-10	-5	-5	0
20	0	+5	+5	+10

(단위 : kcal/m²·h·°C)

농촌진흥청, 2014, 시설원예 에너지 절감기술·농업기술길잡이 114(개정판) p79.

- ⑤ 최대난방부하 외에 일정기간 온실의 목표온도를 유지하는데 필요한 기간난방부하 산출이 필요하다. 기간난방부하는 연료 소비량을 추정하여 경제성을 검토하는데 활용한다.

(3) 온실 난방 방법

- ① 난방 사용 연료에 따라 경유와 중유, 연탄, 전기, 가스 난방으로 구분할 수 있으며, 최근에는 신재생에너지를 활용한 태양열 난방도 있다.

[표 13] 사용연료에 따른 난방 방법

구분	장점	단점	비고
경유 난방	- 취급 간단 - 온도 조절 용이	- 연료비용이 많음	3만~20만kcal/h 적용
중유 난방	- 발열량이 큼 - 온도 조절 용이 - 경유보다 경제적	- 연료 가열장치 필요	10만~100만kcal/h 적용
연탄 난방	- 가격 저렴	- 온도 조절 어려움 - 축열조 필요 - 주기적으로 연탄 교체 필요	유해가스 우려
전기 난방	- 열효율이 높음 - 취급간단 - 유해가스 없음	- 수전설비 필요 - 축열조 필요	
가스 난방	- 열 효율이 높음 - 유해가스 없음 - 배기 탄산가스 이용 가능 - 취급 간단	- 연료 및 설비가 고가 - 가스관리 필요	
태양열 난방	- 신재생에너지 활용	- 보조열원 필요 - 초기투자비 고가	

농촌진흥청, 2014, 시설원예 에너지 절감기술·농업기술길잡이 114(개정판) p90.

- ② 난방 방법에 따라서 온풍 난방과 온수 난방으로 구분할 수 있다.
- ③ 온풍 난방은 시설비가 저렴하여 보편적으로 사용되고 있다. 온수 또는 전기열선으로 공기를 가열하여 송풍기를 통해 온실을 난방하는 방법 등이 있다. 온도를 단시간에 상승시킬 수 있지만 건조한 열이 공급되므로 정밀한 온도관리가 필요한 작물에는 적합하지 않다.

- ④ 온수 난방은 온실 내에 방열관을 설치하여 방열관에서 발생하는 복사열을 이용한 난방 방식이다. 온실 내 온도를 단시간에 상승시킬 수는 없지만 여열이 많기 때문에 정지 후에도 일정시간동안 실내온도를 유지할 수 있다. 배관과 방열관이 필요하기 때문에 설치비용이 비싸고 급작물 온실 또는 대규모 시설에 적합하다.

(4) 난방설비 용량 선정

- ① 온풍 난방기 설비용량은 다음과 같이 산정한다.

$$Q_b = Q_g \times f_h \times (1 + \gamma)$$

- * Q_b : 난방설비 용량(kcal/h)
- Q_g : 최대난방부하(kcal/h)
- f_h : 송풍방법에 따른 보정계수(송풍장치 없음 : 1.05~1.1, 송풍장치 있음 : 0.9~1.0)
- γ : 안전계수 (0.1)

- ② 온수 난방기 설비용량은 다음과 같이 산정한다.

$$Q_b = (Q_g \times f_{hB} + Q_{loss}) \times (1 + \gamma)$$

- * Q_b : 난방설비 용량(kcal/h)
- f_{hB} : 배관방식에 따른 보정계수(상부배관 : 1.05~1.1, 하부배관 : 1.0~1.05)
- Q_{loss} : 온실 외부에 배관을 설치할 경우 열손실(kcal/h)
- γ : 안전계수 (핀이 없는 배관 : 0.3, 핀이 있는 배관 : 0.2)

- ③ 온수 난방의 경우 필요한 방열관 길이는 다음과 같이 산정한다.

$$L_p = Q_g \times f_p \div q_p$$

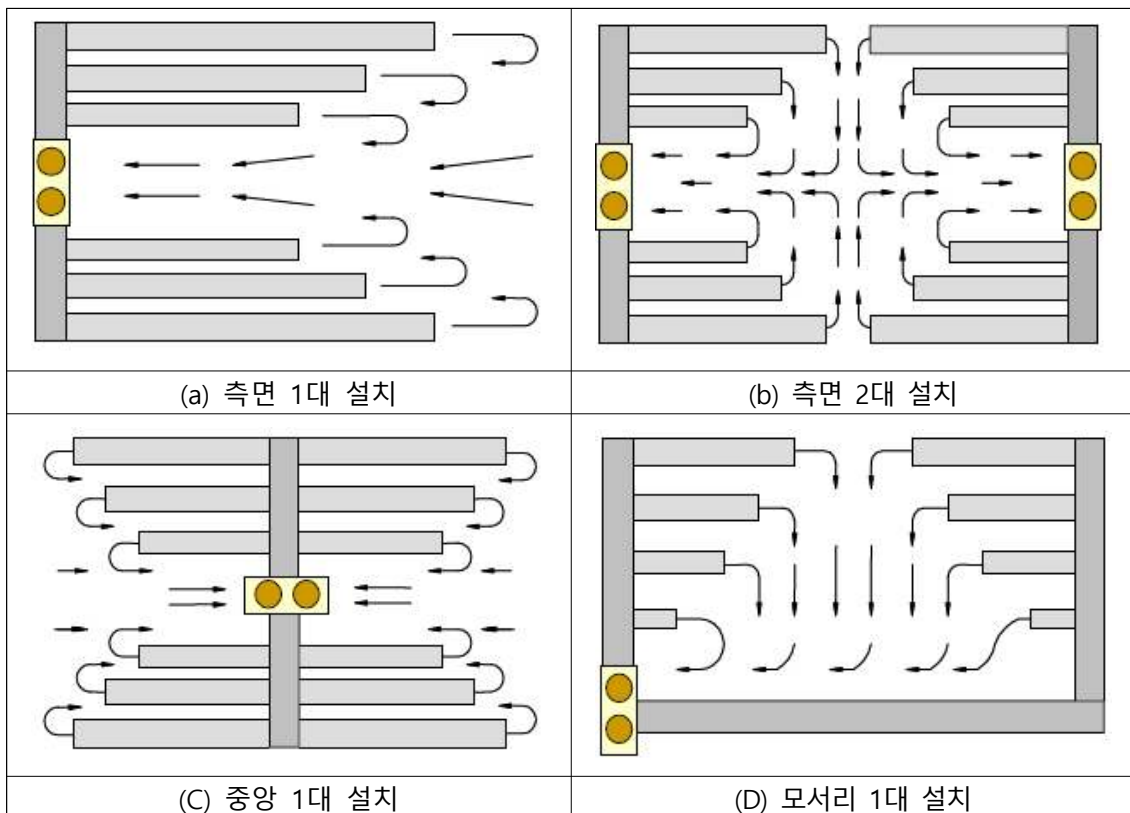
- * L_p : 필요한 방열관 길이
- f_p : 수직으로 겹친 배관수에 따른 보정계수(겹친 배관수 2~6단에서 1.0~1.4)
- q_p : 방열량(핀이 없는 배관 100~150kcal/m·h, 핀이 있는 배관 400~650kcal/m·h)

(5) 난방 설계 일반사항

- ① 난방설비에 의한 실내온도 분포는 가능한 균일하여야 한다.
- ② 온도조절 기능이 자동화되어야 한다.
- ③ 난방설비에 의한 입사태양광 차단을 최소화하여야 한다.
- ④ 난방설비에 의한 농작업 장애나 재배 면적 감소를 최소화하여야 한다.

(6) 온풍 난방 설계

- ① 대규모 온실의 경우 온실 내 온도를 고르게 분포하게 유지하기 위해서는 덕트를 이용하여 온풍을 배분할 필요가 있다.
- ② 덕트는 온실의 규모, 재배 베드, 난방설비 설치 위치 등을 고려하여 배치해야 한다.
- ③ 난방설비 설치 위치에 따른 덕트 배치 예시는 [그림 11]과 같다. 난방설비와 가까운 덕트의 길이를 짧게하여 실내 공기 순환을 바깥쪽에서 안쪽으로 유도하고, 이를 통해 온도가 고르게 분포하도록 한다.



[그림 11] 덕트 배치 예시

(7) 온수 난방 설계

- ① 배관 내 유속은 0.5~1.0m/s가 적당하다.
- ② 배관의 배치는 측면에 집중 또는 온실 전체에 분산 배치하는 방식이 있으며 특징은 [표 14]와 같다. 온수 난방일 경우에는 방열면적을 넓히기 위해 방열관을 파이프 주위에 부착한다. 온실의 측면에는 방열관이 촘촘히 부착된 에어로핀 방열관을 주로 사용한다.

[표 14] 온실 난방배관 배치 비교

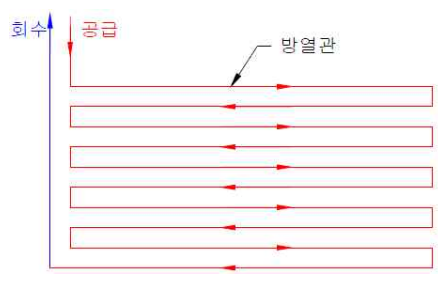
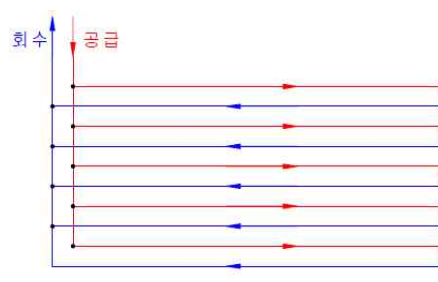
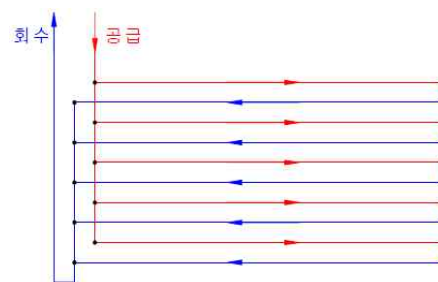
구분	측면 집중 배치	공간 분산
개요		
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 온실 측면에 방열관을 2~3열로 집중적으로 설치 - 배관 설치비용이 적고 온수 순환 경로가 짧아 경제적 - 공간 내 온도분포 불균일 우려 - 소규모 온실에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> - 온실 내 배관을 분산하여 배치 - 배관 설치비용이 상승하고 온수 순환펌프의 양정 증가로 펌프 소비전력 상승 - 재배 등 작업 시 불편



[그림 12] 방열관 종류

- ③ 난방을 위한 온수의 공급 및 환수 방식은 직렬식, 직접 회수 방식, 역 회수 방식(리버스 리턴)으로 구분되며 특징은 [표 15]와 같다. 온실 내부 온도 분포를 균일하게 유지하기 위해서는 역 회수 방식 적용을 고려해야 한다.

[표 15] 온수 공급 및 환수 방식

구분	개요	특징
직렬식		<ul style="list-style-type: none"> - 소형온실에 적용 - 온수 입구와 출구의 온도 차이가 커서 온도 불균형 발생 - 배관 설치비는 가장 저렴
직접 회수		<ul style="list-style-type: none"> - 먼저 공급된 온수가 먼저 회수되면서 열손실 및 유량 불균형 발생 (배관저항 불균형)
역 회수		<ul style="list-style-type: none"> - 먼저 공급된 온수가 가장 나중에 회수되는 방식 - 배관경로에서 압력손실을 균등하게 할 수 있음

(8) 난방설비 운영

- ① 작물은 해가 뜨면 광합성을 시작하나 시설 내 기온은 광합성에 충분한 정도의 기온이 안 되기 때문에 이때 1~2시간 정도 예비 가운을 하고, 광선이 충분하면 광합성을 최대한 높일 수 있도록 기온을 적정

수준으로 유지해 준다.

- ② 해가 진 후 4~6시간 정도는 동화 산물의 전류를 촉진시킬 수 있도록 약간 높은 기온을 유지하도록 한다.
- ③ 전류가 끝난 후부터는 호흡에 의한 소모를 줄일 수 있도록 작물 생육에 지장이 없는 정도의 낮은 기온으로 관리해 준다.
- ④ 주야간 변온 관리 방식을 작물과 기상조건에 따라 응용하는 것이 바람직하며, 이러한 합리적인 변온관리로 작물의 수량과 품질을 향상시키는 것은 물론 난방비를 크게 절감할 수가 있다.

3.4 냉방

(1) 개요

- ① 자연환기, 강제환기팬, 증발냉각시스템, 히트펌프, 지하수 활용, 근권부나 작물체 주위 국부냉방, 지붕살수 등은 여름철 온실 내부온도를 하강하기 위한 설비적 기술로 활용되고 있다.
- ② 증발냉각시스템은 가장 경제적인 냉방 방법이나 여름철 상대습도가 높은 우리나라는 적용의 한계가 있다.
- ③ 히트펌프를 활용한 냉방은 화훼류 및 육묘생산 등에서 일부 이용되고 있으나 경제성의 문제로 야간냉방에만 국한되어 적용되고 있다.
- ④ 최근에는 히트펌프의 효율 증대, 다양한 히트펌프 제품군 개발, 상대적으로 저렴한 농가의 전기요금 체계, 냉·난방 겸용 사용을 통한 난방비 절감 등의 이유로 히트펌프 보급이 활성화 되고 있다.
- ⑤ 또한 신재생에너지를 활용한 지열히트펌프도 냉·난방 수단으로 많이 적용되고 있다.

(2) 온실 냉방부하 산출

- ① 온실의 냉방부하는 온실로 유입되는 일사량과 온실 피복재를 통한 관류열량, 환기로 배출되는 열량, 작물 증발산에 의한 소비열량으로 산출하며, 산출 방법은 다음과 같다.

$$Q_T = Q_R - Q_W - Q_V - Q_P$$

- * Q_T : 온실의 냉방부하 (W)
 Q_R : 온실로 유입되는 일사량 (W)
 Q_W : 온실 피복재를 통한 관류열량 (W)
 Q_V : 환기로 배출되는 열량 (W)
 Q_P : 작물의 증발산에 소비되는 열량 (W)

- ② 온실로 유입되는 일사량은 냉방설계용 일사량 분포자료를 활용한다. (TAC 2.5%를 권장, 설비 투자수준에 따라 TAC 1% 또는 TAC 5% 값 적용)

[표 16] 위험율별 냉방설계 일사량

지역	위험율별 설계 일사량 (W/m ²)			자료기간
	TAC 1%	TAC 2.5%	TAC 5%	
대관령	901	852	788	30년 (1981-2010)
춘천	896	848	796	30년 (1981-2010)
강릉	899	855	796	30년 (1981-2010)
서울	838	786	726	30년 (1981-2010)
인천	866	822	772	30년 (1981-2010)
원주	886	840	786	30년 (1981-2010)
수원	821	777	721	30년 (1981-2010)
서산	899	853	799	30년 (1981-2010)
청주	875	828	774	30년 (1981-2010)
대전	916	860	797	27년 (1984-2010)
추풍령	840	790	735	29년 (1982-2010)
안동	838	791	741	28년 (1983-2010)
포항	888	846	792	30년 (1981-2010)
대구	868	822	765	30년 (1981-2010)
전주	852	804	747	30년 (1981-2010)
광주	892	843	782	30년 (1981-2010)
부산	909	861	809	30년 (1981-2010)
목포	926	883	830	30년 (1981-2010)
흑산도	885	845	799	13년 (1998-2010)
제주	926	891	845	30년 (1981-2010)
고산	914	872	821	23년 (1988-2010)
진주	901	857	806	30년 (1981-2010)

농촌진흥청 국립농업과학원, 2012, 온실 환경설계기준(안) p184.

- ③ 온실 피복재를 통한 관류열량의 산출은 다음과 같다. 온실 피복재 열관류율은 단일피복 온실 $6.2\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, 이중피복 온실 $4.0\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ 을 적용하고, 외기온도는 건축물의 에너지절약설계기준 또는 기상청의 외기온도 적용한다.

$$Q_w = U_h \times A_c \times (T_i - T_o)$$

- * U_h : 온실 피복재 열관류율($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
 A_c : 피복재 면적(m^2)
 T_i, T_o : 실내외 온도($^\circ\text{C}$)

- ④ 환기에 의해 배출되는 열량의 산출 방법은 다음과 같다. 자연환기 온실의 경우 측창만 설치된 단동온실의 환기율은 $0.2\sim 0.6$ 회/min, 측창과 천창을 설치한 단동온실은 $0.7\sim 0.8$ 회/min, 연동온실은 $0.8\sim 1.1$ 회/min로 보고되고 있다.

$$Q_v = \rho_i \times c_p \times V_r \times (T_i - T_o)$$

- * ρ_i : 실내공기의 밀도(kg/m^3)
 c_p : 실내공기의 비열($\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$)
 V_r : 환기율(m^3/s)
 T_i, T_o : 실내외 온도($^\circ\text{C}$)

- ⑤ 작물의 증발산에 소비되는 열량의 산출 방법은 다음과 같다. 재배면적의 비는 온실 대비 작물재배면적이며, 증발산계수는 생육단계와 잎의 무성도에 따라 다르지만 $0.5\sim 0.6$ 을 적용한다.

$$Q_p = F_p \times E_p \times Q_R$$

- * F_p : 재배면적의 비
 E_p : 작물의 증발산계수
 Q_R : 온실에 유입되는 일사량(W)

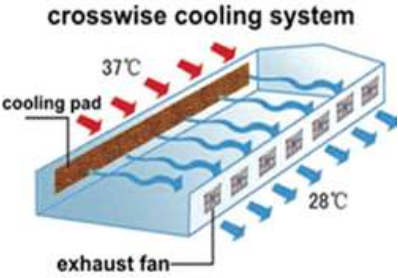



(3) 온실 냉방 방법

① 패드 시스템

- 물이 증발하면서 필요한 잠열량만큼 공기를 냉각시켜 온도를 하강하는 증발냉각 방식이다.
- 패드 시스템은 강제환기 팬이 필요해서 팬 앤 패드 시스템이라고 부르며 팬과 패드의 거리가 10m 이상일 경우 실내기온의 편차가 큰 단점이 있고, 패드의 주기적인 교체와 곰팡이 번식 등의 문제와 온실 벽체에 패드를 설치하기 때문에 설치에 제한이 있다.
- 또한 건조한 지역에서 냉각 효과가 큰 방법으로 여름철에 고온다습한 우리나라에서는 실내온도 하강 효과가 상대적으로 낮다.

② 포그 시스템

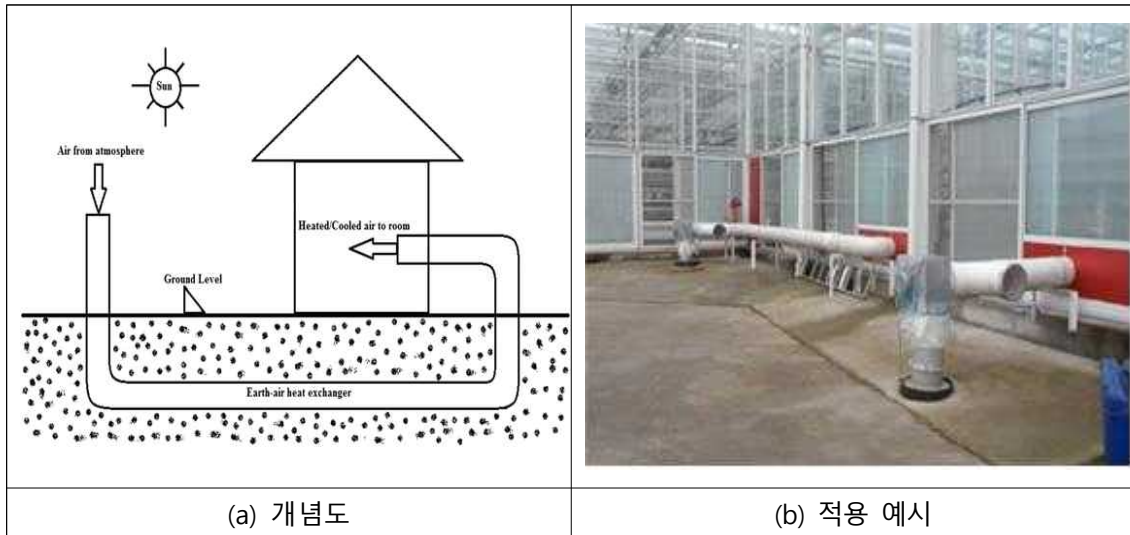
- 패드 시스템과 같은 증발냉각 방식으로 환기팬이 없는 자연환기 온실에서도 사용이 가능하고 포그 노즐을 실내에 고르게 배치하면 균일한 온도분포를 실현할 수 있어 보급이 늘어나고 있다.
- 과습으로 인한 작물의 생육불량, 곰팡이 발생 등의 문제가 발생할 수 있고 노즐의 막힘 현상이 빈번하게 발생하는 단점이 있다.

 <p>crosswise cooling system</p> <p>37°C</p> <p>cooling pad</p> <p>28°C</p> <p>exhaust fan</p>	
<p>(a) 팬 앤 패드 시스템 개념도</p>	<p>(b) 팬 앤 패드 시스템 적용 예시</p>
	
<p>(c) 포그 시스템 개념도</p>	<p>(d) 포그 시스템 적용 예시</p>

[그림 13] 증발냉각 시스템

③ 쿨튜브 시스템 (Cool Tube)

- 외기를 지중에 유입하여 열교환시켜 온실로 공급하는 방식으로 여름에는 온도 하강, 겨울에는 온도 상승을 기대할 수 있다.
- 여름철 5~6°C 온도 하강 효과를 기대할 수 있다.



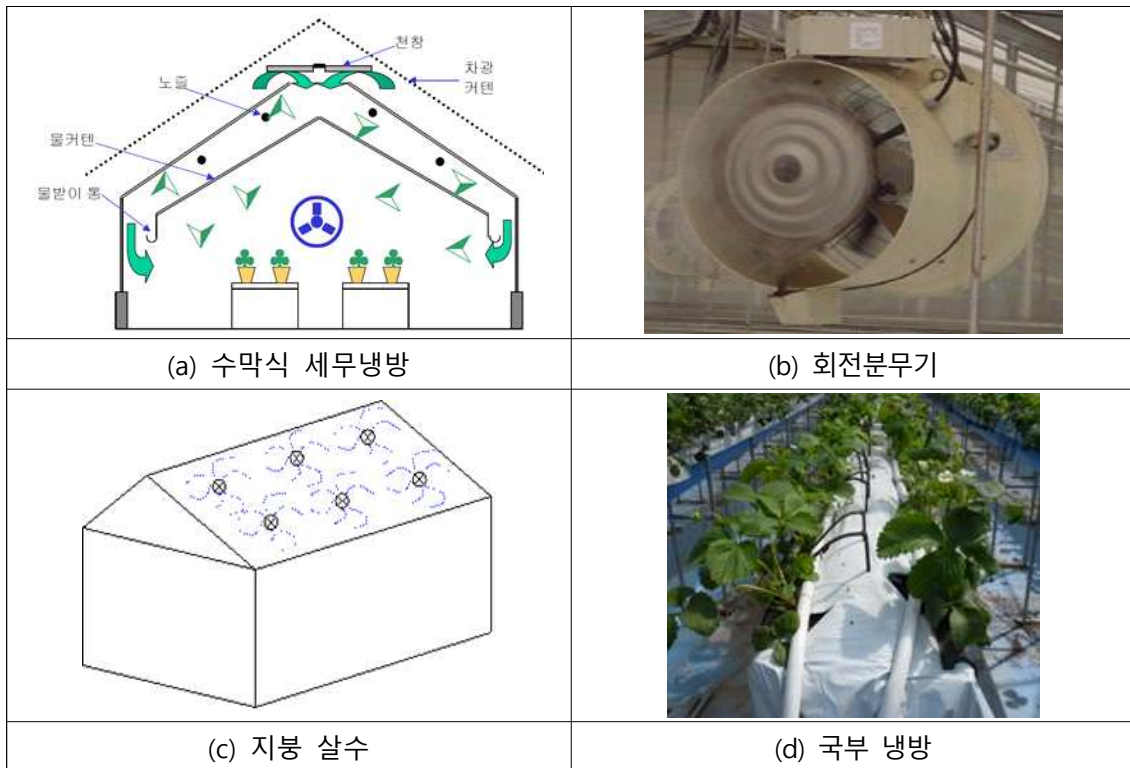
[그림 14] 쿨튜브 시스템

④ 히트펌프

- 저온열원에서 고온열원을 얻기 위한 장치로 냉매의 팽창/증발/압축/응축 사이클에 의해 저온 열원측에서 고온 열원측으로 열을 수송하며, 저온 열원측(증발기)은 냉방에 이용하고 고온 열원측(응축기)은 난방에 이용할 수 있다.
- 공기와 물(지하수, 강, 호수 등의 지표수), 지열 등 사용하는 열원에 따라 공기열/수열원/지열 히트펌프와 냉매를 이용한 전기구동형 히트펌프(EHP)로 구분할 수 있다.
- 냉난방을 하나의 장비로 할 수 있고 축열조와 연계하여 설비용량을 줄일 수 있다.
- 동력원이 전기이기 때문에 농가에 적용되는 값싼 전력요금으로 이용할 수 있는 장점이 있으나 수전설비를 위한 초기투자비가 상승하는 단점이 있다.

⑤ 기타

- 증발냉방을 활용한 수막식 세무냉방, 지붕살수, 회전분무기를 활용한 냉방 방식이 있다.
- 온실 전체를 냉방할 경우 설비용량이 커져 초기투자비와 운영비가 많이 발생하기 때문에 근권부 또는 관부만 냉방하는 국소 냉방도 있다.



[그림 15] 기타 온실 냉방 방식

(4) 냉방 설계 일반사항

- ① 냉방설비 초기투자비와 운영비 등을 고려하여 수익성을 충족할 수 있도록 계획한다.
- ② 온실 내부 온도를 균일하게 유지할 수 있도록 계획한다.
- ③ 과도하게 냉각된 공기를 공급하거나 냉각된 공기가 작물에 직접 닿지 않도록 계획한다.
- ④ 증발냉각 시스템은 물이 수증기로 상태변화 시 온도가 하강하며 상대 습도는 상승하기 때문에 환기를 하여 온실의 상대습도가 100%에 도달하지 않게 유지하는 것이 필요하다.

(5) 팬 앤 패드 시스템 설계

- ① 팬과 패드 사이는 약 10m 정도가 적당하며, 거리가 10m 이상인 경우는 온도 구배를 고려하여 공기 순환팬 설치가 필요하다.
- ② 패드의 두께는 약 10cm 이상, 온실 내 유속은 약 0.7~0.8m/s로 유지할 수 있도록 계획한다.

(6) 포그 시스템 설계

- ① 온실 전체에 고르게 분무할 수 있도록 노즐을 배치한다.
- ② 설정온도에 따라 분무를 하게되면 과습으로 생육불량이나 곰팡이 등의 발생할 수 있기 때문에 간헐적 분무할 수 있도록 제어한다.
- ③ 1~5분 가동하고 1분 정지하는 방식으로 분무한다.

3.5 관수설비

(1) 개요

- ① 관수설비는 작물의 생육을 돕기 위해 수분을 공급하는 설비로 물탱크, 펌프, 배관, 노즐, 점적기 등으로 구성된다.
- ② 관수설비는 관수량과 관수시간을 고려하여 물탱크 용량, 펌프 사양, 배관 규격 및 배열, 노즐 설치 간격 등을 계획해야 한다.
- ③ 관수설비를 이용하여 시비(fertilization)를 동시에 할 경우 양분과 수분을 동시에 공급하므로 노동력이 절감되고 시비효율 및 생산성을 향상시킬 수 있다.

(2) 관수량 산출 방법

- ① 적은 양을 자주 관수하면 토양수분장력(토양이 물을 보유하고 있는 힘)이 낮게 유지되고, 많은 양을 가끔 관수하면 토양수분장력이 높게 유지하여 작물의 뿌리를 깊게 키울 수 있다. 이에 작물의 하루 물 소모량을 파악하여 관수량을 산출해야한다.
- ② 작물의 하루 물 소모량은 기상조건과 작물 종류, 생육단계에 의해 결정되며 기준 증발산량과 작물계수를 이용하여 산출한다. 산출 방법은 다음과 같다.

$$\text{하루 물 소모량} = \text{기준 증발산량} \times \text{작물계수}$$

- ③ 기준 증발산량은 겨울철(11~2월) 0.5~1mm, 봄(3~4월) 및 가을철(9~10월) 2~3mm, 여름철(5~8월), 4~6mm이며 맑은 날은 30% 정도 크게하고 비가 오거나 흐린 날은 절반 정도로 계산한다.
- ④ 작물계수는 작물의 종류와 생육단계에 따라 차이가 있지만 작물 종류별 차이는 크지 않다. 생육초기의 작물계수는 0.4~0.5, 신장기는 0.7~0.8, 최성기는 1.0~1.3정도를 적용한다.
- ⑤ 하루 물 소모량을 통해 관수량을 산출하며, 산출 방법은 다음과 같다.

$$\text{관수량}(\text{ton/일}) = \text{하루 물 소모량}(\text{mm}) \times \text{온실 면적}(\text{평})/300 \times \text{관수면적비}$$

[표 17] 시설작물의 개략적인 하루 물 사용량(mm)

구분	겨울	늦가을·초봄	봄·가을	늦봄·초가을	여름
생육초기	0.2~0.5	0.8~1.0	1.2~1.5	1.6~2.0	2.0~3.0
신장기	0.4~0.8	1.4~1.6	2.1~2.4	2.8~3.2	3.5~5.0
최성기	0.5~1.3	2.0~2.5	3.0~3.9	4.0~5.2	5.0~8.0
후기	0.4~1.0	1.5~2.0	2.4~3.0	3.2~4.0	4.0~6.0

농촌진흥청, 2018, 스마트 온실환경관리 가이드라인(2018) p52.

(3) 관수 방법

① 두상 관수 설비

- 천정형 또는 지상식 스프링클러 장치를 설치하여 재배작물의 위쪽에서 관수하는 방식으로 적정 분사량을 고려하여 노즐과 배관을 선정해야 한다.

② 점적 관수 설비

- 가는 구멍이 뚫린 호스를 지중에 약간 묻거나 땅 위로 늘여서 물방울 형태로 관수하는 방식으로 작물 주변에만 제한적으로 물을 공급하는 수분 절약형 관수 방법이다.
- 호스에서 물이 균일하게 공급할 수 있도록 점적호스 또는 점적기를 설치하는 것이 중요하다.

(4) 관수 설계

- ① 작물에 물이 균일하게 공급되도록 스프링클러와 점적기를 배치한다.
- ② 점적 관수의 경우 토양의 성질과 작물의 재배밀도를 고려하여 점적 간격을 결정한다. (일반적으로 20~30cm 간격)
- ③ 관수배관은 배관의 재질과 길이, 유량을 고려하여 관경을 선정한다.
- ③ 배관 내 이물질 혼입으로 막힘 현상이 발생할 수 있으니 여과기를 설치한다. 여과기는 스크린 필터나 디스크 필터가 주로 사용된다.
- ④ 자동관수센서를 통해 토양상태를 점검하고 관수량을 조절하여 최적의 양분과 수분 관리가 이루어지도록 한다.

3.6 재배시설

(1) 개요

- ① 온실의 재배시설은 재배작물의 종류, 작업 효율성, 냉난방 방식, 초기 투자비 등을 고려하여 계획해야 한다.
- ② 재배방법에 따라 토경재배와 수경(양액)재배로 구분할 수 있으며, 재배베드 설치 방식에 따라 고정식, 이동식 등으로 구분할 수 있다.

(2) 토경재배

- ① 흙을 사용하는 재배방법으로 재배시설을 구축하는 비용은 저렴하지만 수경재배에 비해 노동력이 많이 필요하고 작물이 흙에 묻거나 파손의 위험이 있다.
- ② 땅에서 1m 높이의 고설재배베드를 설치하여 토양에 양액을 공급하며 재배하면 양액재배보다 적은 비용으로 상품성과 노동력을 절감할 수 있다.

(3) 수경(양액)재배

- ① 흙을 사용하지 않고 희석한 배양액을 이용하여 작물을 재배하는 방식으로 토경재배와 비교하여 초기투자비는 비싸지만 품질과 생산성을 향상시키고 노동력을 절감할 수 있다.
- ② 펄라이트, 암면, 코코넛피트, 모래, 자갈 등의 고형화된 배지에 양액을 공급하는 고형배지 방식과 양액을 직접 뿌리에 공급하는 순수 수경 방식으로 구분된다.
- ③ 토양조건이 불리한 장소에서도 재배 가능하고 양액의 순환이용과 양분을 쉽게 조절할 수 있기 장점이 있다.

(4) 재배베드 설치 방식

- ① 고정식 베드
 - 한번 설치 후 이동이 불가능한 방식
- ② 행잉거더 시스템
 - 재배용 거더를 트러스에 매달아 재배하는 방식으로 상하 조절이 가능

하고 냉난방을 위한 덕트 설치 시 공간 확보에 유리

③ 다단식

- 작물이 배지에서 심어져 자라는 선반인 베드를 수평으로 여러단 배치하여 재배하는 방식으로 식물공장에 주로 적용
- 인공조명 등의 보광 필요
- 다단으로 설치된 베드를 회전시킴으로 노동력 절감 가능



[그림 16] 재배시설 설치 예시

3.7 방제 시스템

(1) 개요

- ① 식물에 병이 발생하는 현상은 기주식물, 병원체, 환경조건을 3변으로 하는 삼각형으로 표시하여 설명하고 있다. 삼각형의 한 변은 이들 3 요소의 하나씩을 나타내며 각 변의 길이는 발병을 조장하는 특징들의 합과 비례한다.
- ② 온실에서 병해충을 방지하기 위해서는 온도, 습도, 토양 습도를 적절히 조절하거나 병해에 저항성이 강한 품종을 재배, 병원균을 제거하기 위해 약제를 분무하는 방법이 있다.
- ③ 약제를 분무하는 방제 시스템은 고정식과 레일식, 고정식으로 분류할 수 있다. 온실 규모와 형태, 재배작물, 재배시설을 고려하여 적절한 방식을 적용해야 한다.

(2) 방제 시스템 설계

① 고정식 분무 방제 시설

- 온실 상부에 분사 노즐을 적정 간격으로 설치하여 분무 방제하는 방식으로 관수와 습도 조절, 엽면시비, 증발냉방 등의 목적으로 같이 사용할 수 있다.
- 방제 시스템용으로 별도 설비를 설치할 필요가 없고 보통 3~5분 내에 온실 전체를 고르게 방제할 수 있는 장점이 있다.
- 반면에 약제를 고압으로 분무하기 위해 노즐 구경이 작아져야 하는데 농업용수에 의해 노즐 구멍이 자주 막히는 단점이 있다.

② 레일 자주식 분무 시설

- 온실 상부에 분사 노즐을 설치하고 정해진 레일에 따라 이동하며 분무 방제하는 방식으로 재배작물의 키가 작은 엽채류 작물에 적합하다.
- 온실 상부에서 분사하기 때문에 작물의 앞 뒷면이나 옆면, 잎이 무성한 경우에는 방제 효과가 적고 고정식에 비해 방제 시간이 길다.
- 또한 온실의 형태, 작물의 재배방식에 따라 레일 설치와 이동이 제한될 수 있고, 레일을 이동하면서 작물이 걸려 끌려가거나 상처를 입을 수 있다.

③ 레일 멀티 자주식 분무 시설

- 분사 노즐이 수직으로 설치되어 레일에 따라 이동하고, 분사 각도를 상/하/좌/우로 조절하며 분무 방제하는 방식으로 키가 큰 작물이나 과수에 적합하다.
- 식재된 고랑을 따라 이동하며 분사되어 작물 전면에 고른 방제가 가능하지만 공사비가 비싼 단점이 있다.

④ 이동식 방제 시설

- 시공 및 설치가 필요치 않고 필요시 장소를 이동하며 방제할 수 있는 방식이다.
- 이동은 용이하지만 한쪽에서만 분무하기 때문에 방제 시간이 오래 걸리고 방제 면적의 편차가 발생하여 소규모 온실에 적합하다.

(3) 생물적 방제 및 IPM(Integrated Pest Management) 시스템

- 약제 분무 전에 병해충의 유입방지를 위한 방충시설과 차단 및 통제 시스템을 검토해야 한다.
- 약제 분무 외에 해충의 천적을 이용하거나 기피제, 유인제 등을 통해 방제하는 방법을 적용할 수 있다.



[그림 17] 방제 설비 예시

3.8 전기

(1) 설계 및 시공 기본사항

- ① 사용전원은 온실에 설치된 설비의 전원 사양을 고려하여 설계한다.
- ② 대부분의 온실에서는 220V 또는 380V 전원을 사용하는 제품이 설치되기 때문에 저압으로 설계한다.
- ③ 전력 부하는 한국전력공사의 공급 규정에 의한 단위 입력 적용 기준으로 산정한다.
- ④ 배선은 전기설비기술기준의 내선 규정 400-3(시설장소와 배선 방법)을 적용하여 계획한다.
- ⑤ 전선은 전기설비기술기준 제189도(저압극내 배선 사용 전선)를 기준으로 계획한다.
- ⑥ 전선관은 전기설비기술기준 내선 규정 제410-5(금속관의 굵기 선정)을 적용하여 계획한다.
- ⑦ 기타 전기부품은 전기용품 안전관리법에 준하는 제품을 적용한다.

(2) 분전반 및 제어반 설계

- ① 부하사용 전압
 - 동력 : AC 380V - 3상 또는 220V - 단상
 - 조명 : AC 220V - 단상
 - 전열 : AC 220V - 단상

(3) 조명 설계

- ① 사무, 관리, 작업용은 단순 조명을 적용한다. (형광등, LED 등)
- ② 작물의 생육을 위한 보광용으로 인공조명을 적용한다. (고부가가치 작물 또는 광 환경에 민감한 작물에 적용)

3.9 복합환경 제어 시스템

(1) 개요

- ① 과거에는 각종 설비의 가동을 수동으로 제어할 수 있는 제어 시스템이 적용되었지만 최근에는 작물의 생산성과 품질 향상을 위해 복합환경 제어 시스템의 적용이 늘어나고 있다.
- ② 복합환경 제어 시스템은 여러 센서로부터 얻어진 정보를 분석하여 각종 설비들을 자동으로 조절해 작물에 알맞은 최적 생육환경을 조성하는 제어 시스템으로 2개 이상의 환경요소를 조절한다.
- ③ 계측용 센서와 제어용 컴퓨터, 환경조절장치 등의 하드웨어와 제어 알고리즘을 포함한 소프트웨어로 구성된다.
- ④ 복합환경 제어 시스템은 초기투자비가 높기 때문에 온실의 규모와 작물의 생육조건, 설비, 경제성 등을 종합적으로 고려하여 적용 여부를 판단해야 한다.

(2) 주요 계측 항목

- ① 실내 : 온도, 습도, 광(일사량 또는 조도), CO₂, 토양 온도 및 습도
- ② 실외 : 온도, 습도, 광(일사량 또는 조도), 풍향, 풍속, 강우
- ③ 양액 : 전기전도도(EC), 산도(pH), 용존 산소, 수위센서

(3) 제어 항목

- ① 커튼 시스템 : 차광 스크린, 보온 커튼
- ② 환기 : 천창 및 측창 개폐, 환기팬, 순환팬
- ③ 난방 설비 : 보일러, 히트펌프, 난방기, 순환펌프 등 난방관련 설비
- ④ 냉방 설비 : 히트펌프, 냉방기, 순환펌프, 포그 발생기, 제습기 등 냉방 관련 설비
- ⑤ 탄산가스 : 탄산가스 발생기
- ⑥ 가습 및 제습기
- ⑦ 관수 장치
- ⑧ 양액 시스템

3.10 탄산시비

(1) 개요

- ① 온실에 탄산가스 농도를 증가시켜 광합성 속도를 빠르게 하고, 이를 통해 생장기간 단축, 수확량 증가, 품질 향상 효과를 얻을 수 있다.
- ② 탄산가스 농도가 증가하면 광합성량이 증가하지만 포화점 이상에서는 기공이 닫히고 증산작용이 감소하며 작물 온도가 올라가 작물에 해를 입힐 수 있기 때문에 적정 범위에서 탄산가스 농도가 유지될 수 있도록 계획 및 관리해야 한다.

[표 18] 원예작물의 시설 내 탄산가스 적정농도(시설원예학, 2011)

구분	탄산가스 적정농도 범위(ppm)
엽채류, 장미	700~1,000
오이, 피망, 가지, 강낭콩, 토마토	700~1,000
멜론, 딸기	500~1,000

농촌진흥청, 2018, 스마트 온실환경관리 가이드라인(2018) p38.

(2) 탄산시비 방법

- ① 액화 탄산가스 시비
 - 가스봄베 또는 대형 탱크로리를 설치하여 배관을 통해 온실에 공급
 - 식용 탄산가스를 사용해야하기 때문에 가격이 비쌈
 - 탄산가스를 온실 내 고르게 공급하기 위해 순환팬 설치 필요
- ② 드라이아이스 시비
 - 드라이아이스가 승화하면서 발생한 탄산가스를 활용
 - 설비는 간단하지만 배송과 보관이 어렵고 가격이 비쌈
 - 소규모 온실에 적합
 - 탄산시비와 함께 여름철에는 냉방효과도 얻을 수 있음
- ③ 연소식 탄산가스 시비
 - 연료를 연소시키면서 발생한 배기가스를 온실에 공급
 - 배기가스에는 탄산가스 외에 질소산화물, 일산화탄소 등의 유해물질을 포함하고 있기 때문에 작물에 피해가 발생할 수 있음

④ 고체 탄산가스 시비

- 탄산칼슘과 묽은 산 또는 열을 가하여 발생한 탄산가스를 활용
- 사용은 쉽지만 가격이 비싸고 농도 조절이 어려움

⑤ 보일러 배기가스를 이용한 탄산가스 시비

- 연소식 탄산가스 시비와 동일하지만 유해물질을 제거하고 탄산가스만을 공급할 수 있는 장점이 있음
- 겨울철에는 탄산가스 공급과 함께 발생한 열을 난방에 활용할 수 있으나 여름철에는 사용이 어려움

[표 19] 탄산가스 시비방법 별 장단점 비교

구분	장점	단점
액화 탄산가스 시비	- 탄산가스 제어 용이 - 불순물 발생 없음	- 탄산가스탱크와 기화기 필요 - 대규모 온실에 적용 가능
드라이아이스 시비	- 작은 온실에 적용하기 쉬움	- 드라이아이스 배송 및 보관이 어려움 - 액화탄산가스보다 비쌈
연소식 탄산가스 시비	- 시비기 가격이 저렴 - 장치가 간단	- 연소 배출물이 발생함 - 탄산가스 및 온도 구배 발생 - 온도와 습도 조절 불가능
고체 탄산가스 시비	- 쉽게 탄산가스 사용이 가능	- 탄산가스 발생량 대비 가격이 비쌈 - 농도 조절이 어려움
보일러 이용 탄산가스 시비	- 탄산가스 시비/난방 겸용 가능 - 온실 온습도 변화 최소화 - 배출물 저감 및 관리가 용이	- 송풍기, 컨덴서 등 추가 장치비용 발생 - 물탱크와 같은 열저장소가 필요

농촌진흥청, 2018, 스마트 온실환경관리 가이드라인(2018) p43.

4. 온실 냉방 패키지 설계

4.1 냉방 기술별 냉방 효과

(1) 건축적 냉방 기술의 냉방 효과

- ① 건축적 냉방 기술은 자연환기, 차양이 대표적이며 여름철 2~3°C 온도 하강 효과를 기대할 수 있다.

[표 20] 건축적 냉방 기술별 냉방 효과

기술	개념도	설명	물성치	효과	평균 효율	평가 방법	위치/기후/ 면적
자연 환기		자연환기 모드에서 지붕과 문을 개방	-	기본	2~3 °C 감소	실험	중국/ 습한 아열대/ 2,304m ²
외부 차양		70% 음영을 제공하는 고밀도 UV 폴리에스테르 조각으로 외부차양 구성	70% 차광	좋음			
내부 차양		50% 그늘 반사 알루미늄 섬유로 내부차양 구성	50% 차광	우수			
다겹 보온 커튼		유리온실용 알루미늄 다겹보온커튼	알루미늄 다겹보온 커튼	2.2 °C 감소 / 난방비용 87% 감소	실험	한국/-/ 461m ²	

(2) 설비적 냉방 기술의 냉방 효과

- ① 패드 시스템은 평균 5.2~7.0°C 정도의 냉방 효과가 있는 것으로 나타났으나 측정지역의 기후조건에 따라 냉방효과의 차이가 크다.
- ② 포그 시스템도 팬 앤 패드 시스템과 비슷하게 평균 4.6~5.3°C 냉방 효과가 있는 것으로 조사되었다.
- ③ 지붕 증발냉각의 냉방 효과는 평균 5.6~7.3°C로 조사되었다.
- ④ 증발냉방과 제습 또는 냉각 코일을 혼합했을 때의 냉방 효과는 평균 6.2~7.1°C로 조사되었다.

[표 21] 패드 시스템 냉방 효과

개념도	저자	연도	효과	종합
<p>exhaust fan 风机 湿帘 cooling 湿帘 cooling pad pad Jienuo thermostat equipment Sophia zhou 13583669706 aonuodi089@gmail.com Hole for fan 140cm fan dimation 138cm 应挖孔 54英寸百叶扇</p>	Landsberg et al.	1979	8~12°C 감소	<p>평균 5.2~7.0°C 감소</p>
	Chandra et al.	1989	4~5°C 감소	
	Jain and Tiwari	2002	4~5°C 감소	
	Radhwan and Fath	2005	3~10°C 감소	
	Sukla et al.	2006	5~8°C 감소	
	Ganguly and Ghosh	2007	6°C 감소	
	Max et al.	2009	1.2~2.6°C 감소	
	Lo'pez et al.	2012	11.6°C 감소	
	Misra and Ghosh	2013	5~7°C 감소	
	Ali Dayioglu	2015	7°C 감소	
	Xu et al.	2015	2~3°C 감소	


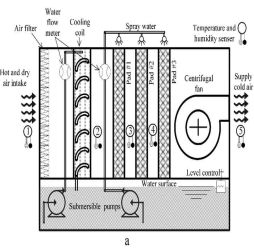

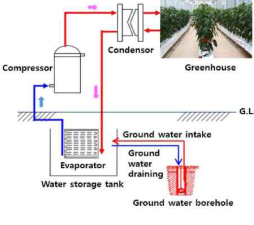

[표 22] 지붕 증발냉각 냉방 효과


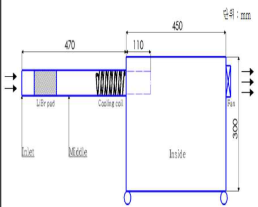
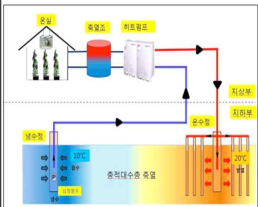
개념도	저자	연도	효과	종합
	Sutar and Tiwari	1995	10°C 감소	평균 5.6~7.3°C 감소
	Cohen et al.	1983	5°C 감소	
	Giacomelli et al.	1985	10°C 감소	
	Ghosal et al.	2003	2~6°C 감소	
	Helmy et al.	2013	1.1~5.4°C 감소	

[표 23] 증발 및 혼합모드 냉방 효과

개념도	저자	연도	효과	종합
	Abbouda and Almuhanna	2012	8.1°C 감소	평균 6.2~7.1°C 감소
	Lychnos and Davies	2012	5.5~7.5°C 감소	
	Al-Busaidi and Al-Mulla	2014	4.8~7.4°C 감소	
	Abu-Hamdeh et al.	2016	8.1°C 감소	
	Banik and Gangu	2017	4.3°C 감소	

[표 24] 설비적 냉방 기술 및 효과

기술	개념도	설명	물성치	효과	평균 효율	평가 방법	위치/기후/면적
기류 순환팬		공기와 식물 사이의 열교환을 향상시키기 위해 안정적이고 적당한 공기 흐름을 제공하기 위해 순환 팬 설치	90W	약함	2~3 °C 감소	실험	중국/ 습한 아열대/ 2,304m ²
간접 직접 증발 냉각 유닛		증발식 냉각장치는 간접 증발식 냉각 열교환기와 3개의 패드로 구성되어 직접 증발식 냉각장치로 설계	물 25 L 용량, 2 개의 순환 펌프	12.1 ~ 21.6 °C 감소 / 효율 30.5%상승	실험	이라크 바그다드/-/ 5m ² (11m ³)	
국소 난방 장치		유리온실용 양액재배 배지 국소난방장치	105kW (GSHP)	4.7 °C 감소 / 난방비용 87% 감소	실험	한국/-/461 m ²	
지하수 열원 히트 펌프		지하수열원 히트펌프 파프리카 재배 벤로형 유리온실에 적용	105kW (GSHP)	4.7 °C 감소 / 난방비용 87% 감소	실험	한국/-/461 m ²	
증발 냉각 패드		길이 42.1m, 너비 1.9m의 셀룰로오스 종이 패드가 북쪽 벽에 위치, 남쪽 벽에는 10개의 1.1kW 강제배기팬이 설치	1.1 kW (10개)	보통	2~3 °C 감소	실험	중국/ 습한 아열대/ 2,304m ²

기술	개념도	설명	물성치	효과	평균 효율	평가 방법	위치/기후/면적
포그 시스템		토마토 재배용 상업용 온실에 포그노즐 적용	2분 분사 1분 정지	온도 개선 크지 않음 (0.9 °C 감소)		실험	한국 (논산)/ -/-
냉각 및 제습		Fan and Pad 방식에 리튬브로마이드 용액과 냉각 코일을 적용하여 냉각 및 제습	-	15% 감습		실험	한국/-/-
계간 축열 (히트 펌프)		냉열을 냉수로 전환하여 냉수정을 통해 저장하여 여름철 냉방에 사용 (야간만 냉방)	50RT X 2대 히트펌프, 축열조 40m³	토마토 26% 증수		실험	한국 (부여) /-/2,025m²

4.2 냉방 패키지 기술 구성

(1) 냉방 패키지 기술 개요

- ① 온실에 일반적으로 설치되는 차광 스크린과 측창 및 천창을 이용한 자연환기로는 여름철 작물 생육에 적합한 온도를 유지할 수 없다.
- ② 차광 스크린과 자연환기 외에 기계환기 방식으로 온도를 유지하기 위해서는 40~60회 정도의 환기횟수가 필요한데, 이는 환기팬의 설치공간 확보도 문제지만 많은 풍량과 빠른 풍속으로 인해 작물 성장에 악영향을 줄 수 있다.
- ③ 상대적으로 저렴하게 적용할 수 있는 냉방 방식은 증발냉각을 이용한 패드 시스템인데 여름철 고온다습한 우리나라 기후에서는 큰 효과를 내기 어렵다. 또한 관수를 위한 스프링클러를 활용하여 증발냉각 효과를 일부 활용하고 있다.

- ④ 여름철 온실 내부 온도를 작물 생육적으로 유지하기 위해서는 차광 스크린과 환기(자연환기 및 기계환기), 증발냉각 외에 히트펌프 등 냉방설비가 추가적으로 요구되지만 가장 큰 문제는 초기투자비용이다. 이에 작물의 상품성(경제성)과 재배방식 등을 고려한 구성 및 설계가 요구된다.
- ⑤ [표 25]는 냉방 패키지 기본 구성을 나타낸다. 온실의 냉방 패키지는 건축적 기술로 차광 스크린, 보온 커튼, 환기, 포그 시스템이 기본적으로 포함되며, 설비적 기술인 히트펌프와 축열조, 냉방기 등은 경제성을 고려하여 적용여부를 결정한다.
- ⑥ 설비적 기술 적용에 따른 초기투자비와 연간 운영비(전기요금)는 냉방 패키지 설계 톨을 통하여 개략적으로 비교할 수 있다.

[표 25] 냉방 패키지 기술 구분

냉방 패키지 기술		기술 역할
건축적 기술	차광 스크린	- 일사를 차단하여 온실 내부 온도 상승을 억제
	보온 커튼	- 겨울철 열 손실 최소화 (보온)
	환기	- 외기를 유입하여 온실 내부 온도 유지 - 이산화탄소 농도 유지
	포그 시스템	- 증발냉각으로 여름철 온실 내부 온도 하강 - 증발냉각, 관수, 방제로 동시 활용
설비적 기술	히트펌프	- 냉방을 위한 냉수 생산 및 공급
	축열조	- 야간 축열을 통해 히트펌프 설치 용량 최소화
	공조(냉방기)	- 냉수를 공급받아 공기를 냉각하여 온실 내부 온도 유지
	국소냉방	- 근권부, 관부 냉방으로 설비 용량 최소화 및 생육 촉진
효율성 기술	보온 터널	- 냉각된 공기가 유출되지 않도록 하여 냉방 효율 극대화

4.3 열원시스템 설계

(1) 열원시스템 선정

- ① 온실에 냉방을 위해 별도로 열원설비를 설치하면 초기투자비가 상승하기 때문에 냉난방을 같이 할 수 있는 히트펌프를 적용한다.
- ② 히트펌프는 저온열원에서 고온열원을 얻기 위한 장치로 냉매의 팽창/증발/압축/응축 사이클에 의해 저온 열원측에서 고온 열원측으로 열을 수송하며, 저온 열원측(증발기)은 냉방에 이용하고 고온 열원측(응축기)은 난방에 이용할 수 있다.
- ③ 물을 냉매로 하는 공기열/수열원/지열원 히트펌프는 축열조와 연계하여 설비용량을 줄일 수 있고 농가에 적용되는 값싼 전력요금으로 이용할 수 있는 장점이 있다.
- ④ 전기구동형 히트펌프는 설치하는 간단하지만 냉매를 사용하기 때문에 축열조와 연계가 어려워 설비용량이 커지는 단점이 있다.
- ⑤ 열원시스템은 [표 26]과 같이 히트펌프 방식별 특성과 온실의 위치와 인프라 등을 고려하여 선정한다.
- ⑥ 히트펌프는 전기를 동력으로 사용하기 때문에 설비용량에 따라 수전 설비 계획이 반드시 필요하다.

(2) 냉수 공급 및 환수 온도 선정

- ① 히트펌프의 정격냉방운전 조건은 출구온도 7°C, 입구온도 12°C이다. 이보다 높은 냉수 온도로 설정하면 높은 효율(COP : Coefficient of Performance)로 에너지 절약 운전이 가능하다.
- ② 일반적인 건물의 냉방에서는 실내온도를 24~26°C로 설정하여 냉각 및 감습을 위해 냉수온도를 7°C로 설정하지만 온실에서는 30~35°C 이하로 유지하면 되기 때문에 냉수온도를 15~20°C로 계획한다.
- ③ 냉수 공급과 환수 온도 차이를 크게 하면 순환펌프 동력을 줄일 수 있다. 온도 차는 히트펌프 제조사에 가능한 범위를 확인 후 적용한다. 공급 및 환수 온도차가 너무 크면 냉방에 걸리는 시간이 길어지기 때문에 최대 10~15°C로 계획한다.

[표 26] 히트펌프 방식 비교

구분	공기열 히트펌프 (공기-물)	수열원 히트펌프 (물-물)	지열원 히트펌프 (물-물)	전기구동형 히트펌프 (공기-냉매)
개요				
개요	외기를 열원으로 사용	지하수, 해수, 하천, 호수 등의 물을 열원으로 사용	지중열을 열원으로 사용	외기를 열원으로 사용
냉방설비 구성	공기열 히트펌프, 순환펌프, 냉방기	수열원 히트펌프, 순환펌프, 열교환기, 냉방기	지열 히트펌프, 순환펌프, 열교환기, 지열천공, 냉방기	실외기, 냉방기(실내기)
특성	<ul style="list-style-type: none"> - 설치가 간단함 - 여름철 외기온도가 높을수록 성능 저하 	<ul style="list-style-type: none"> - 연중 온도가 일정한 지하수를 열원으로 사용하여 성능 저하 없음 - 강/호수 등의 물을 사용할 경우 열교환기에 물때나 부식이 발생할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 신재생에너지인 지열을 이용하여 친환경적 - 지열 천공과 열교환기 등의 설치로 상대적으로 초기투자비가 높음 	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템이 간단함 - 냉수 또는 온수 공급을 위한 펌프가 필요 없음 - 주간에 전력사용량 집중
설치 제약	설치에 대한 제약이 없음	하천, 호수에 인접하거나 지하수 사용이 가능한 장소에 설치 가능	지중열 교환을 위한 지열천공 필요	설치에 대한 제약이 없음
축열조 연계	가능 (히트펌프의 용량 최소화)	가능 (히트펌프의 용량 최소화)	불리 (24시간 가동 시 지중열 회복시간 확보 불가)	불가

4.4 축열시스템 설계

(1) 축열시스템 설계 고려사항

- ① 수축열 시스템은 심야시간대 냉수를 축열조에 저장하였다가 주간 냉방에 사용하는 시스템으로, 주간 피크 전력부하를 분산시키고 히트펌프의 전력 사용량을 절감할 수 있다.
- ② 온실의 냉방부하는 난방부하에 비하여 크기 때문에 히트펌프의 용량은 최대난방부하를 기준으로 선정하고, 냉방 시에는 냉방부하 변동에 따라 히트펌프와 축열조를 병행하여 사용할 수 있도록 계획한다.
- ③ 냉방 패키지 기술에 수축열 시스템을 적용함으로써 열원시스템의 설치 용량을 최소화하고, 에너지 절약적 운전 (야간 운전으로 COP 상승)이 가능하도록 구성한다.

(2) 축열시스템 용량 선정 예시

- 축열조의 용량은 하절기 주간 냉방부하(7~20시)의 약 46.4%를 담당하도록 계획
- 21시부터 6시까지 히트펌프를 운전하여 축열조에 냉수를 저장하고, 7시부터 20시까지는 축열조에서는 방냉과 동시에 공기열 히트펌프를 가동하여 필요한 냉수를 공급함
- 축열량 : 67.2USRt (히트펌프 4대 냉방용량) X 10시간 = 672.0USRt
- 단위 체적당 저장열량
 $(20^{\circ}\text{C}(\text{출구}) - 15^{\circ}\text{C}(\text{입구})) \div 3,024\text{kcal/USRt}\cdot\text{h} \times 1,000\text{kg/m}^3 \times 1\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C} = 1.65 \text{USRt/m}^3$
- 축열조 유효용량
 $672.0\text{USRt} (\text{축열량}) \div (1.65\text{USRt/m}^3 (\text{단위 체적당 저장열량}) \times 95\% (\text{손실율})) = 427.82\text{m}^3$
- * 축열조에서 손실되는 열량을 전체 5%로 선정
- 축열조 용량 : $427.82\text{m}^3 \div 90\% (\text{유효율}) = 480\text{m}^3$

4.5 공조시스템 설계

(1) 공조시스템 설계 고려사항

- ① 온실의 냉방부하를 처리할 수 있는 열원을 공급하는 것과 함께 열린 형태의 대공간인 온실 전체의 실내온도를 균일하게 조성하기 위한 공조시스템도 중요하다.
- ② 현재 온실에서는 시설재배용 팬코일유니트와 팬코일유니트+덕트 방식이 많이 적용되고 있다.
- ③ 공조시스템은 내부 기류가 원활하게 유동하고 냉각된 공기가 작물에 직접 닿는걸 최소화할 수 있도록 계획해야 한다.
- ④ 또한 작물 재배와 작업에 영향이 없도록 계획한다.

4.6 기타

(1) 순환펌프 설계 고려사항

- ① 냉온수를 축열조에 저장 및 순환시키는 1차측 순환펌프와 축열조에서 공조설비로 순환되는 1차측 순환펌프로 구성된다.
- ② 순환펌프는 대수를 여러대로 계획하여 냉난방부하에 따라 부분 가동할 수 있게 계획한다.

(2) 배관 설계 고려사항

- ① 냉난방에 요구되는 유량에 차이가 크기 때문에 난방 시에도 배관 내 적정 유속을 확보할 수 있도록 계획한다.

[표 27] 냉방 패키지 공조시스템 비교

구분	상부토출형 팬코일유닛 (본 과제에서 개발)	시설재배용 팬코일유닛	공기조화기 + 덕트
개요 및 시뮬레이션 결과 예시			 
			
특성	<ul style="list-style-type: none"> - 4방향으로 냉기를 토출하여 온실 내부의 온도와 기류를 고르게 유지할 수 있음 - 토출되는 기류의 속도를 낮게 유지할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 온실에 많이 적용되는 방식 토출 방향에 따라 작물에 직접 냉기가 닿을 수 있음 - 설치 높이가 높을 경우 겨울철 난방 성능이 떨어짐 	<ul style="list-style-type: none"> - 온실 전체에 덕트를 고르게 배치하여 온도와 기류를 고르게 유지할 수 있음 - 초기투자비가 상대적으로 높음
설치 제약	설치에 대한 제약이 없음	설치에 대한 제약이 없음	공조기 설치 장소 확보 필요 (작물 재배 방식에 따라 덕트 배치)
초기투자비	100%	96%	792%

별첨 자료 4

장비일람표

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

■ 공랭식 히트 펌프

※ 정격 냉방능력 : 입구 12°C / 외기온도 DB 35°C 기준
 ※ 정격 난방능력 : 입구 40°C / 외기온도 DB 7°C 기준, 한랭지 냉방능력 : 입구 40°C / 외기온도 DB -15°C 기준

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	정격 냉방용량		정격 난방용량		한랭지 난방용량		냉수 온도				정격 소비전력			전원	압축기				중량	냉매	비고	
					kW	USRt	kW	kcal/h	kW	kcal/h	입구	출구	입구	출구	냉방	난방	한랭지		형식	출력	W	L				H
ACH-01	4	실증구역 냉온수 공급	공냉식	실증온실	59.17	16.83	71.35	61,361	42.38	36,447	20	15	40	45	22.84	22.48	20.67	3-380-60	SCROLL	4.28×2	934	2,180	1,783	6.55	R-410A	히트펌프 우선운전방식, 기타표준부속품 일체포함

■ 수축열조

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	축열량	용량	유효용량	규격			재질	비고
								W	L	H		
WST-01	1	수축열조 (여름 : 축냉, 겨울 : 축열)	개방형	실증온실	672.0	480	430	20,000	6,000	4,000	콘크리트	축열조 내 온도 상승화를 위한 배관 포함, 기타표준부속품 일체포함

■ 팬코일유니트

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	냉방				난방				송풍기				전원	실내온도		비고								
					설계용량	유량	냉수온도	입구공기온도	출구공기온도	설계용량	유량	온수온도	공기온도 (°C)	형식	풍량	정압		동력	냉방		난방							
FCU-01	18	실증구역 냉난방	상부투출형	실증온실	36,390	31,296	105	15.0	20.0	30.0	22.0	22.0	19.5	10,853	9,333	32.0	45.0	40.0	20.0	22.4	축류형	13,355	102	1.13	3-380-60	30.0	20.0	기타표준부속품 일체포함

■ 펌프

※ 전동기는 고효율에너지저장 인증 제품 또는 최저 소비효율 기준을 만족하는 제품 적용
 ※ KS인증제품 또는 KS에서 정한 효율 이상으로써 표기성능 동등이상의 제품 적용

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	유량	양정	소비전력	전원	비고
P-01	4	1차속 순환 (히트펌프 - 축열조)	인라인	실증온실	250	11.5	1.5	3-380-60	기타표준부속품 일체포함
P-02	2	2차속 순환 (축열조 - 팬코일유니트)	인라인	실증온실	1,000	18.0	5.5	3-380-60	기타표준부속품 일체포함



NO. DATE REVISION DESCRIPTION APPROV.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE APPROVED
 A1 : NONE
 A3 : NONE

DATE CHECK
 2021. 05. 검토 1

PROJECT CODE CHECK
 검토 2

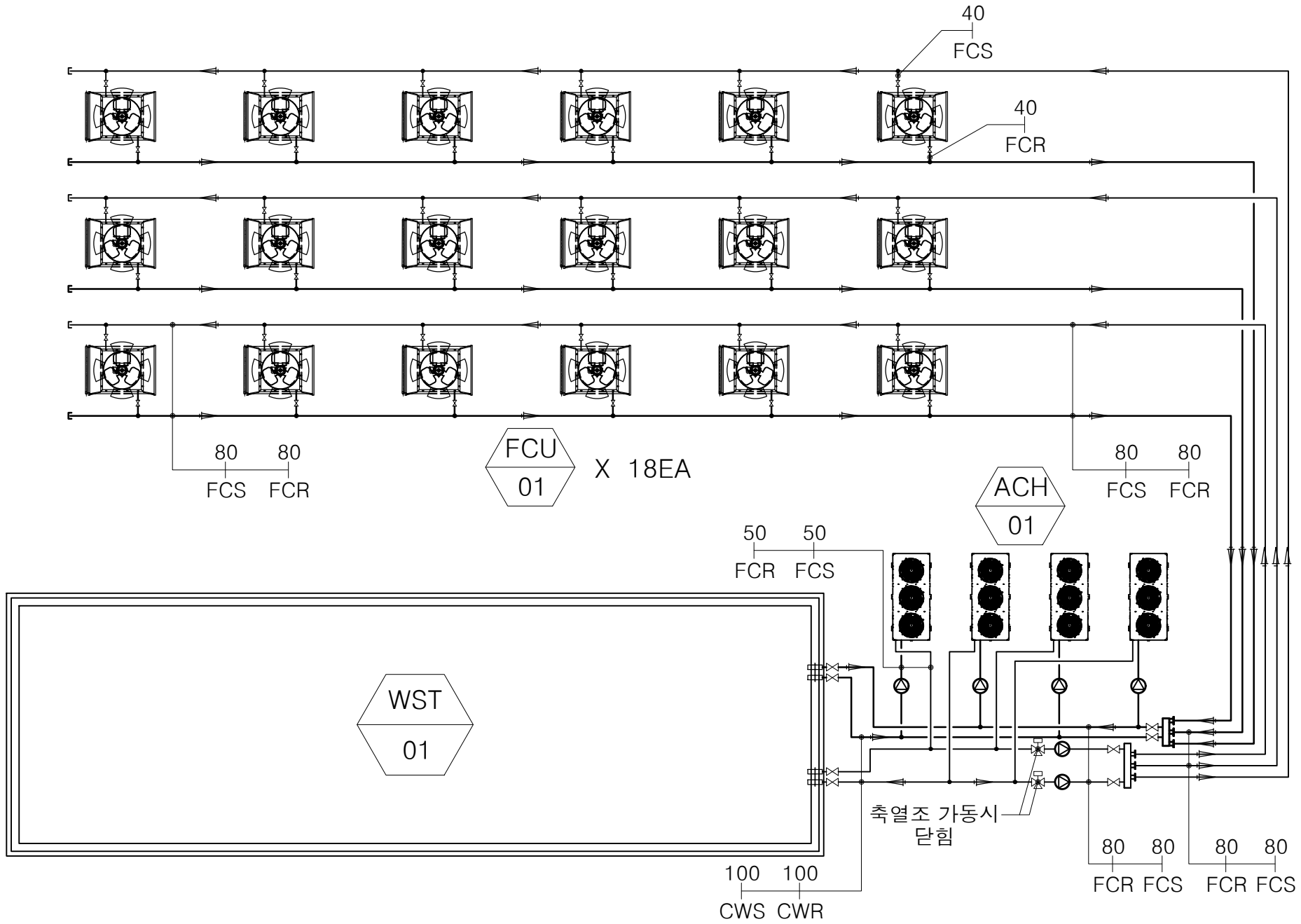
SHEET NO. DRAWN
 일련번호 도면

DWG NO. REV.
 도면번호 M-A01

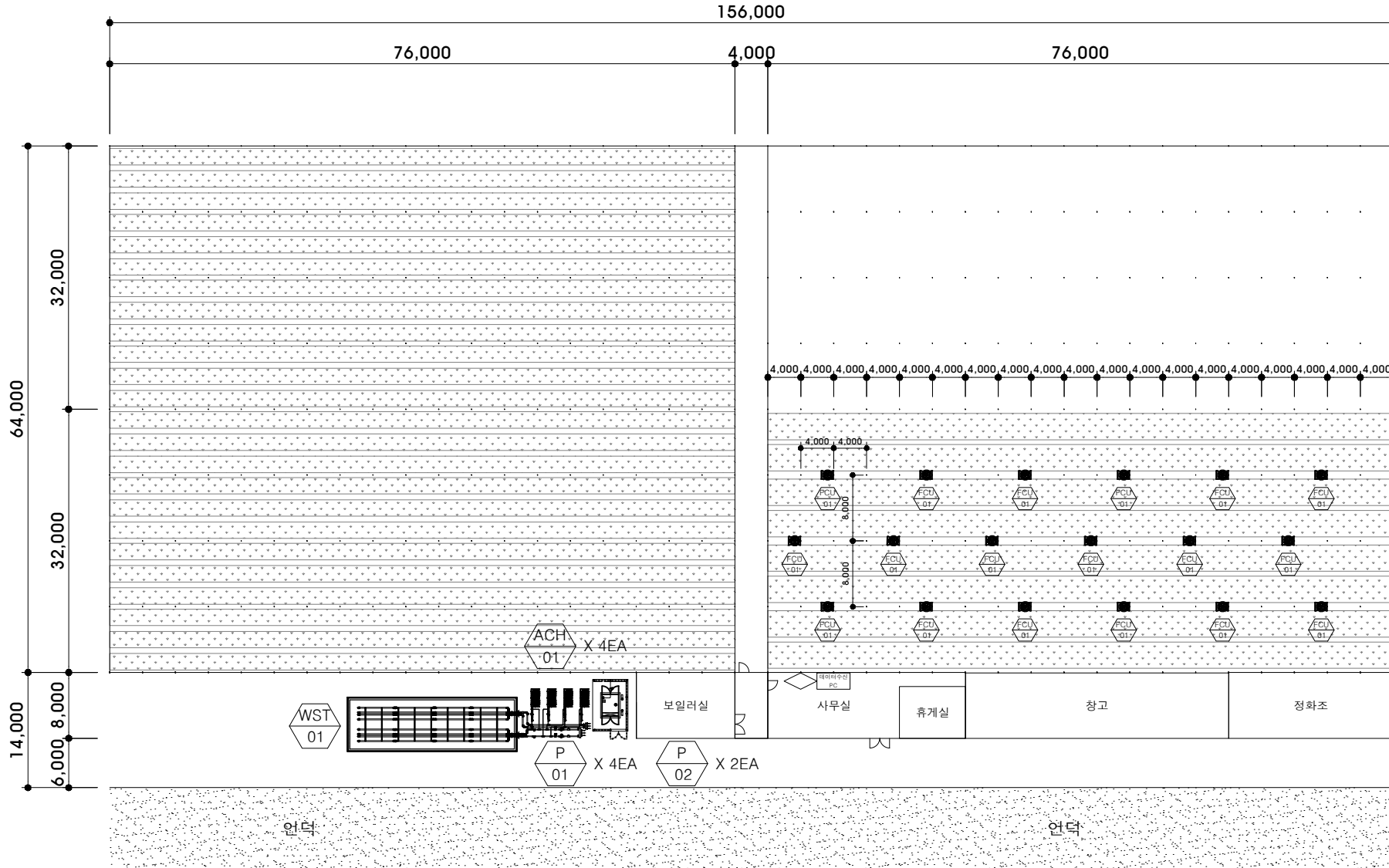
TITLE 도면 명

장비일람표

열원 흐름도



PROJECT TITLE 열원 흐름도											
NOTE											
<table border="1"> <tr> <td>NO.</td> <td>DATE</td> <td>REVISION DESCRIPTION</td> <td>APPRO.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.				
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.								
CLIENT 건축주											
설계 DESIGN											
<table border="1"> <tr> <td>SCALE</td> <td>APPROVED 승인</td> </tr> <tr> <td>A1 : NONE</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>A3 : NONE</td> <td> </td> </tr> </table>				SCALE	APPROVED 승인	A1 : NONE		A3 : NONE			
SCALE	APPROVED 승인										
A1 : NONE											
A3 : NONE											
DATE 2021. 05.		CHECK 장부 1									
PROJECT CODE		CHECK 장부 2									
SHEET NO. 장부번호		DRAWN 와 양									
DWG NO. 도면번호		REV.									
M-A02											
TITLE 도면명											
열원 흐름도											



PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPROV.

설 계
DESIGN

SCALE

A1 : 1 / 250
A3 : 1 / 500

DATE
2021. 05.

PROJECT CODE

SHEET NO.
발판번호

DWG NO.
도면번호

APPROVED
승 인

CHECK
일부 1

CHECK
일부 2

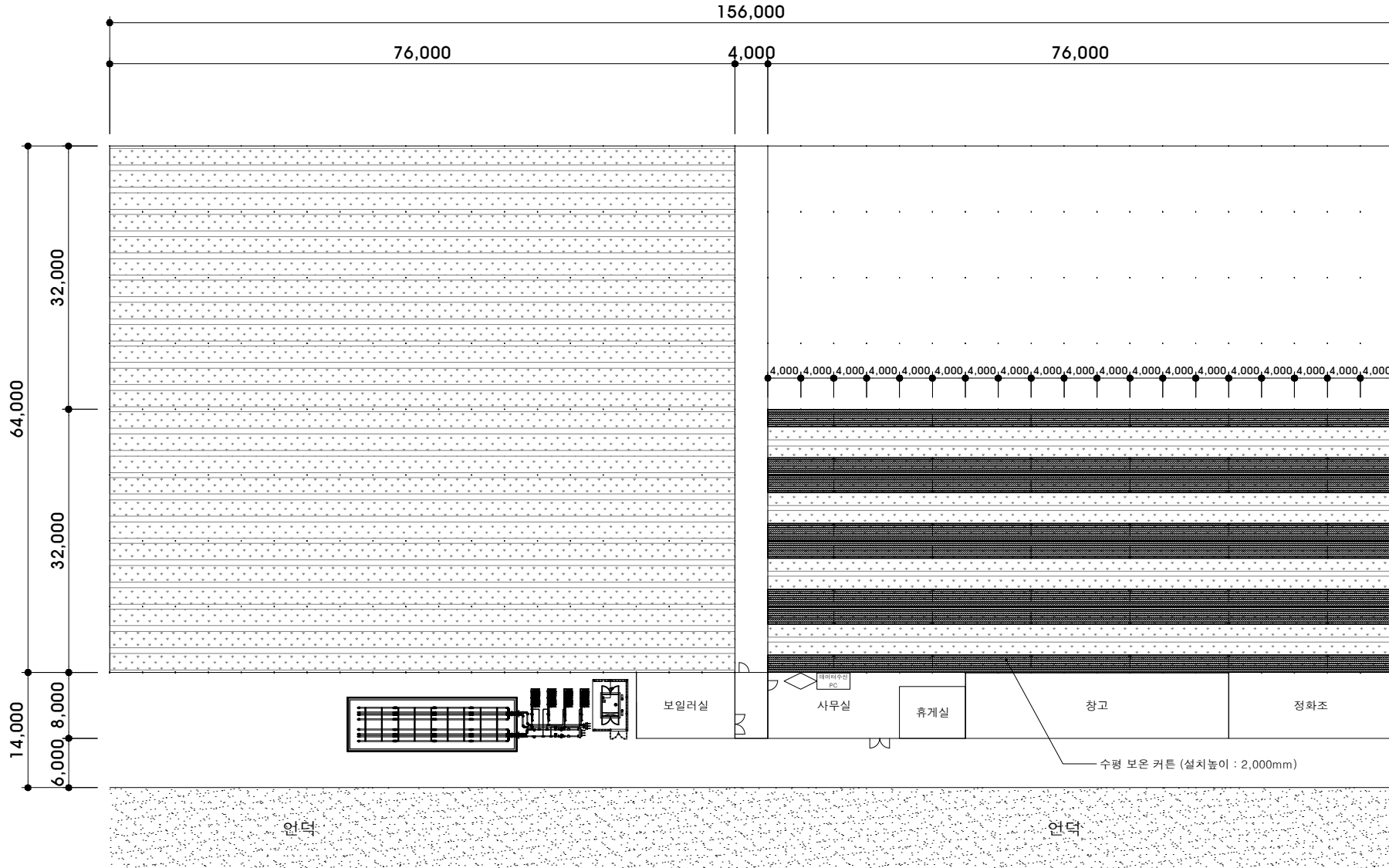
DRAWN
와 양

REV.

M-A03

TITLE 도면 명

장비배치도



안락

안락

국도

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.

설 계
DESIGN

CLIENT 건축주

SCALE

A1 : 1 / 250
A3 : 1 / 500

DATE
2021. 05.

PROJECT CODE

SHEET NO.
필연번호

DWG NO.
도면번호 M-A05

TITLE
도면명

수평 보온 커튼 설치 평면도

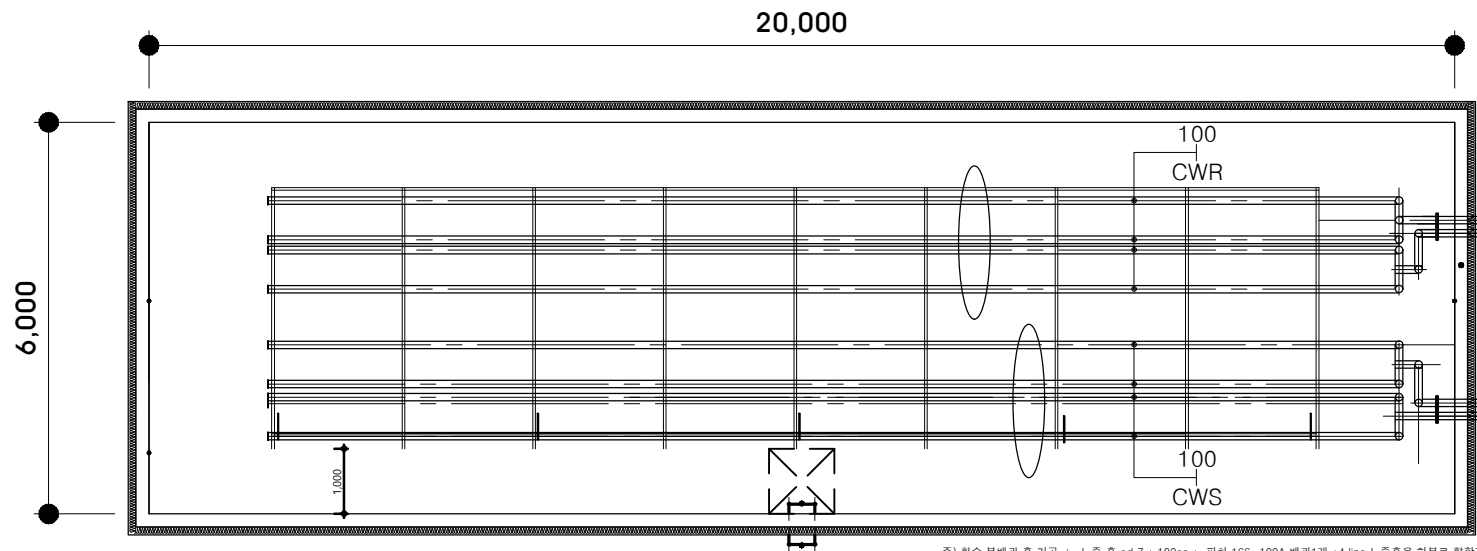
APPROVED
승 인

CHECK
필수 1

CHECK
필수 2

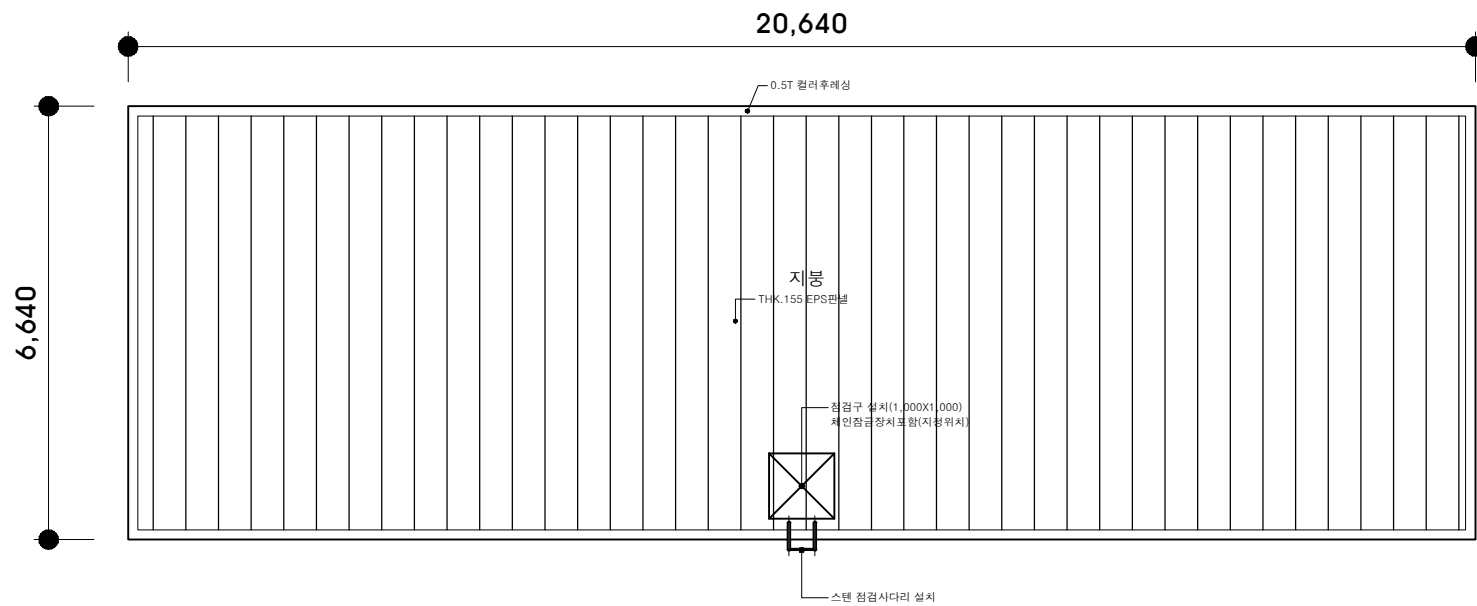
DRAWN
와 양

REV.



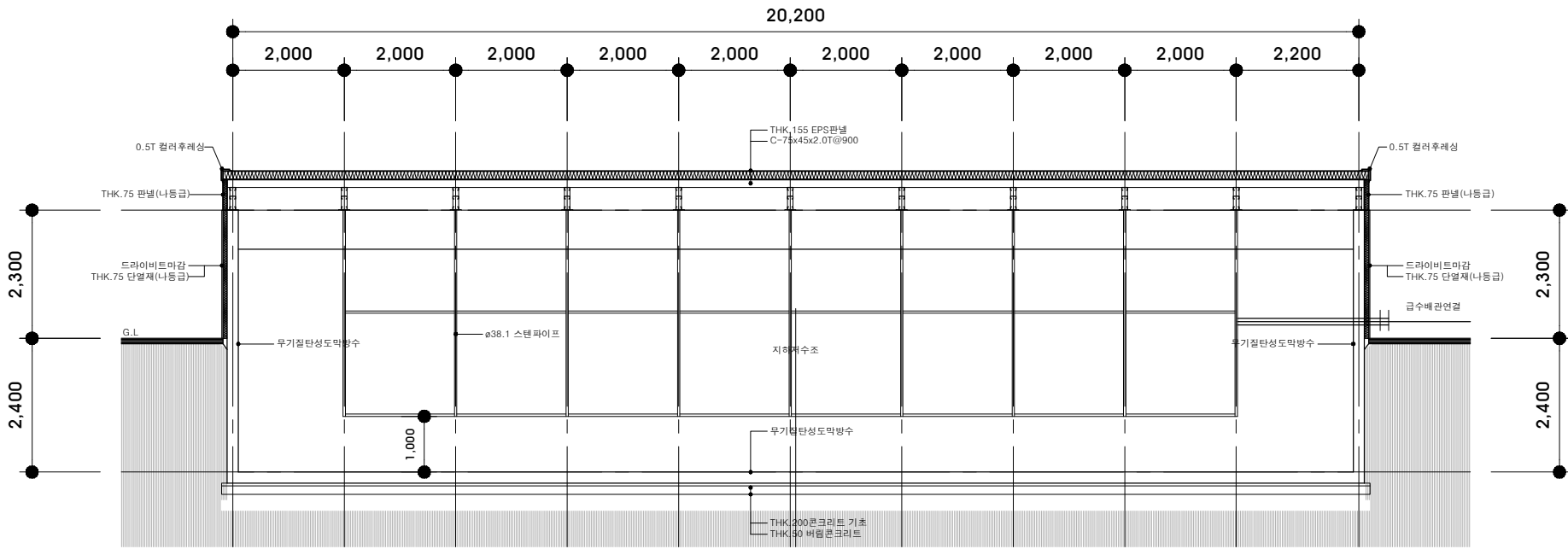
주) 환수분배관 출 가공 : 노즐 출 od.7 * 102ea * 피치 166_100A 배관1개 * 4 line 노즐출은 하부로 향할것.

축열조 공급 및 분배관 배치도

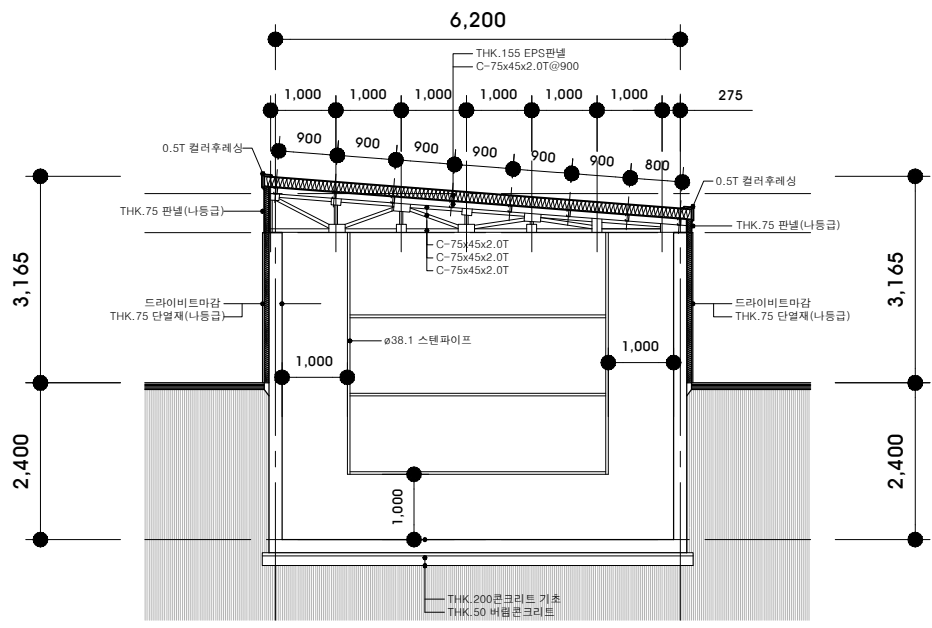


축열조 지붕 평면도

PROJECT TITLE 공 사 명											
NOTE											
<table border="1"> <tr> <td>NO.</td> <td>DATE</td> <td>REVISION DESCRIPTION</td> <td>APPRO.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.				
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.								
CLIENT 건축주											
설 계 DESIGN											
SCALE A1 : 1 / 40 A3 : 1 / 80		APPROVED 승 인									
DATE 2021. 05.		CHECK 장투 1									
PROJECT CODE		CHECK 장투 2									
SHEET NO. 장투번호		DRAWN 와 양									
DWG NO. 도면번호		REV.									
M-A07											
TITLE 도면 명											
축열조 평면도											



주단면도-1



주단면도-2

PROJECT TITLE 공 사 명											
NOTE											
<table border="1"> <tr> <td>NO.</td> <td>DATE</td> <td>REVISION DESCRIPTION</td> <td>APPRO.</td> </tr> <tr> <td colspan="4">CLIENT 건축주</td> </tr> </table>				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.	CLIENT 건축주			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.								
CLIENT 건축주											
설 계 DESIGN											
<table border="1"> <tr> <td>SCALE</td> <td>APPROVED 승 인</td> </tr> <tr> <td>A1 : 1 / 40 A3 : 1 / 80</td> <td></td> </tr> </table>				SCALE	APPROVED 승 인	A1 : 1 / 40 A3 : 1 / 80					
SCALE	APPROVED 승 인										
A1 : 1 / 40 A3 : 1 / 80											
DATE 2021. 05.		CHECK 장 투 1									
PROJECT CODE		CHECK 장 투 2									
SHEET NO. 장련번호		DRAWN 와 양									
DWG NO. 도면번호		REV.									
M-A08											
TITLE 도면 명											
축열조 단면도											

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE
A1 : 1 / 40
A3 : 1 / 80

DATE
2021. 05.

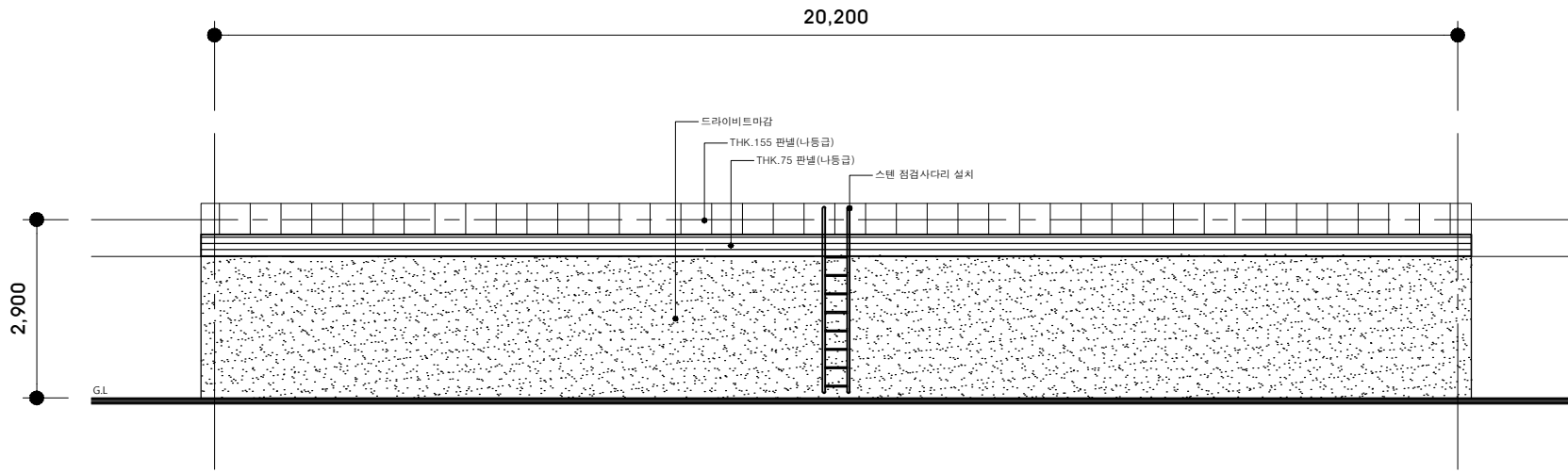
PROJECT CODE

SHEET NO.
장면번호

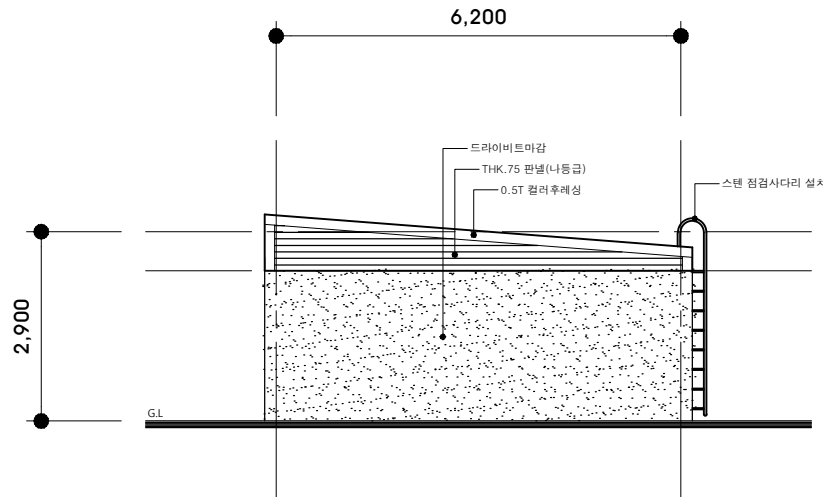
DWG NO.
도면번호

TITLE
도면명

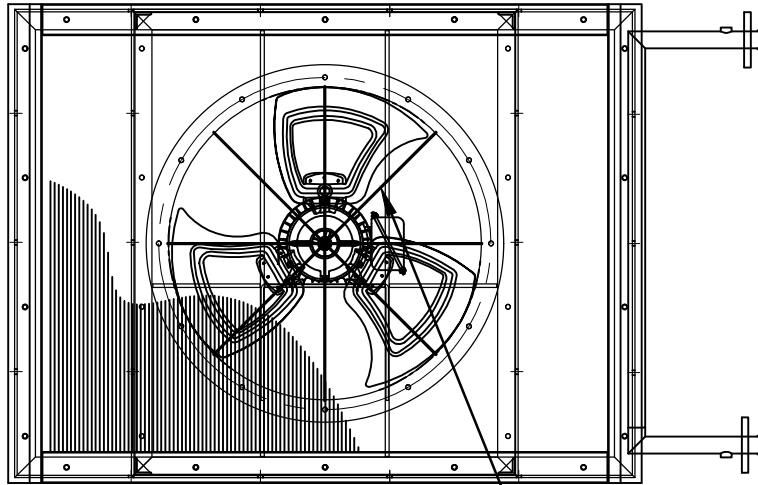
축열조 입면도



입면도-1

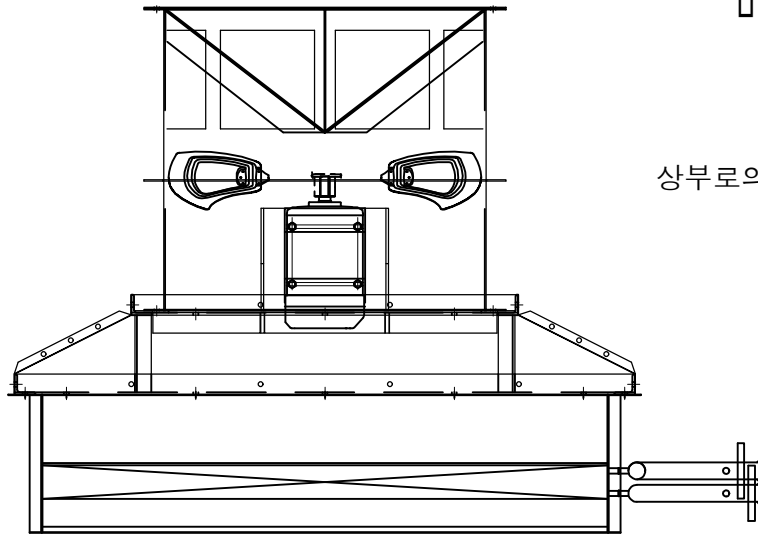


입면도-2



평면도

바람의 회전을 막아줄 PLATE

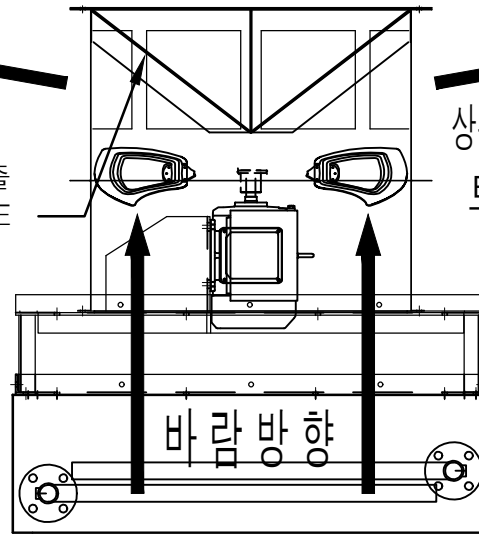


외형도

바람 방향



상부로의 토출을 막아줄
원뿔 PLATE



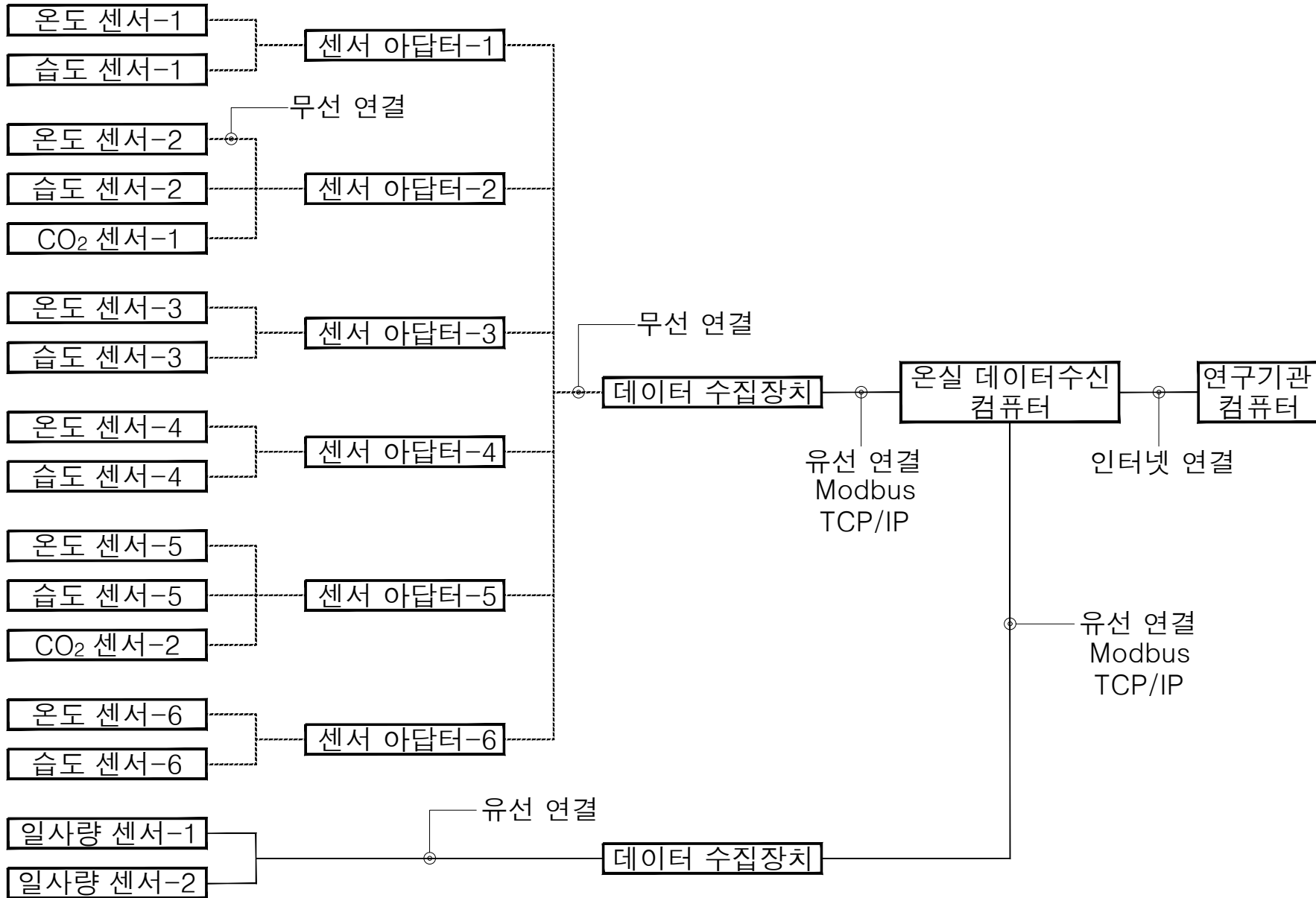
바람 방향



상부 10°
토출

개념도

PROJECT TITLE 공 사 명											
NOTE											
<table border="1"> <tr> <td>NO.</td> <td>DATE</td> <td>REVISION DESCRIPTION</td> <td>APPRO.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.				
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.								
CLIENT 건축주											
설 계 DESIGN											
SCALE		APPROVED 승 인									
A1 :											
A3 :											
DATE 2021. 05.		CHECK 장투 1									
PROJECT CODE		CHECK 장투 2									
SHEET NO. 장투번호		DRAWN 와 양									
DWG NO. 도면번호		REV.									
M-A11											
TITLE 도면명											
팬코일유니트 상세도											



온실 내부 설치

온실 사무실 설치

연구기관
사무실 설치

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPROV.

CLIENT 건축주

설 계

DESIGN

SCALE

A1 : NONE

A3 : NONE

APPROVED

승 인

DATE

2021. 05.

CHECK

일부 1

PROJECT CODE

CHECK

일부 2

SHEET NO.

일련번호

DRAWN

와 양

DWG NO.

도면번호 M-A13

REV.

TITLE

도면명

센서 연결도

범례표

NO.	DEVICE NO.	NAME OF INSTRUMENT	MODEL	MAKER	SPECIFICATION	Q'TY
1	PLC	CONTROLLER	POL638.00/POL955	SIEMENS	DC24V	1
2	MMI	TOUCH CONTROL PANEL	TOPRW0700WD	M2I	DC24V	1
3	MCCB0	CIRCUIT BREAKER	ABS-604	LSIS	500A	1
4	MCCB1	CIRCUIT BREAKER	ABS-32	LSIS	10A	1
5	MCCB2~5	CIRCUIT BREAKER	ABS-33	LSIS	5A	3
6	MCCB6~7	CIRCUIT BREAKER	ABS-33	LSIS	30A	1
7	MCCB8~11	CIRCUIT BREAKER	ABS-104	LSIS	100A	4
8	88P1~4	CHW PUMP CONTACTOR	MC-9	LSIS	AC220	2
9	88P5~6	CIR. PUMP CONTACTOR	MC-50	LSIS	AC220	2
10	88A1~18	FCU CONTACTOR	MC-9	LSIS	AC220	18
11	51P1~4	PUMP OVERLOAD RELAY	GMP-22	LSIS	1~5A	4
12	51P5~6	PUMP OVERLOAD RELAY	GMP-40	LSIS	8~10A	2
13	51A1~18	PUMP OVERLOAD RELAY	GMP-22	LSIS	1~5A	18
14	NF	NOISE FILTER	SN-M6H-CM	ORIENT	AC250V 6A	1
15	S.M.P.S	DC POWER SUPPLY	UNO-PS/1AC/24DC	PHOENIX CONTACT	60W	1
16	R1~R6	RELAY	DRM570730LT	WEIDMULLER	AC220V 4C	6
17	T1	TIMER	YSYT-A22-53-6S	YONG SUNG	AC220V	1
18						
19						
20	LT1	PILOT LAMP	YSPL2-AL22R	YONG SUNG	AC220V RED	1
21						
22						
23	SS1~24	SELECTOR SWITCH	YSAR2-311	YONG SUNG	25 , 1a1b	24
24	SS25	SELECTOR SWITCH	YSAR2-211	YONG SUNG	25 , 1a1b	1
25	BZ	BUZZER	YSMB2-22A	YONG SUNG	AC220V	1
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						

SYMBOL SPECIFICATION	
Symbol	Description
	Breaker
	Thermal overcurrent relay
	A contact
	B contact
	Selector switch
	Pilot lamp
	Flow switch
	Push button switch
	Temperature switch
	Resistor
	Switch for emergency
	Relay
	Heater
	Fuse(box)
	TB1(Terminal Block)
	TB2(Terminal Block)
	TB3(Terminal Block)
	TB4(Terminal Block)
	TB5(Terminal Block)
	TB6(Terminal Block)

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO. DATE REVISION DESCRIPTION APPRO.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE

A1 : NONE
A3 : NONE

DATE
2021. 05.

PROJECT CODE

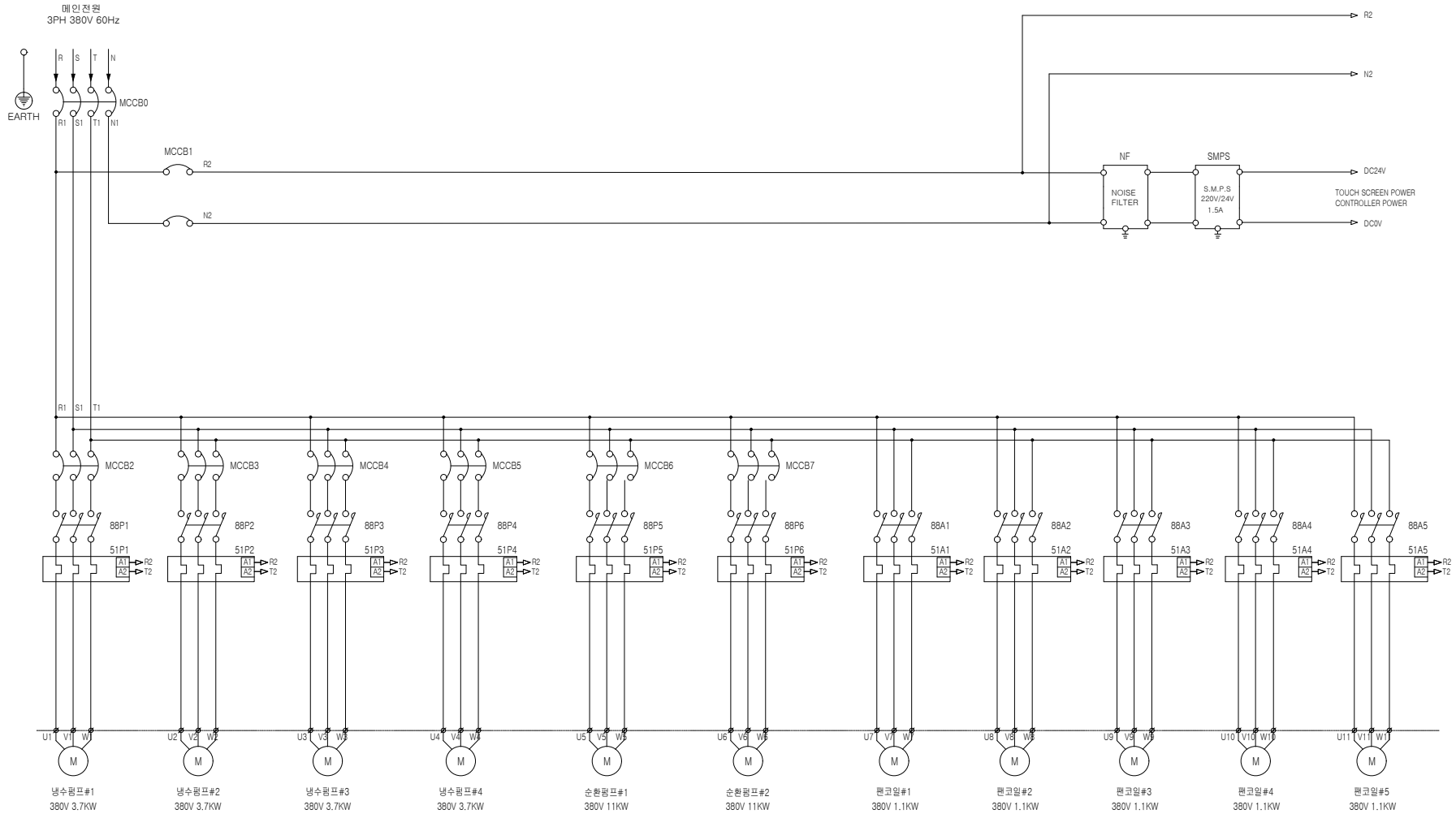
SHEET NO.
시트번호

DWG NO.
도면번호

TITLE 도면 명

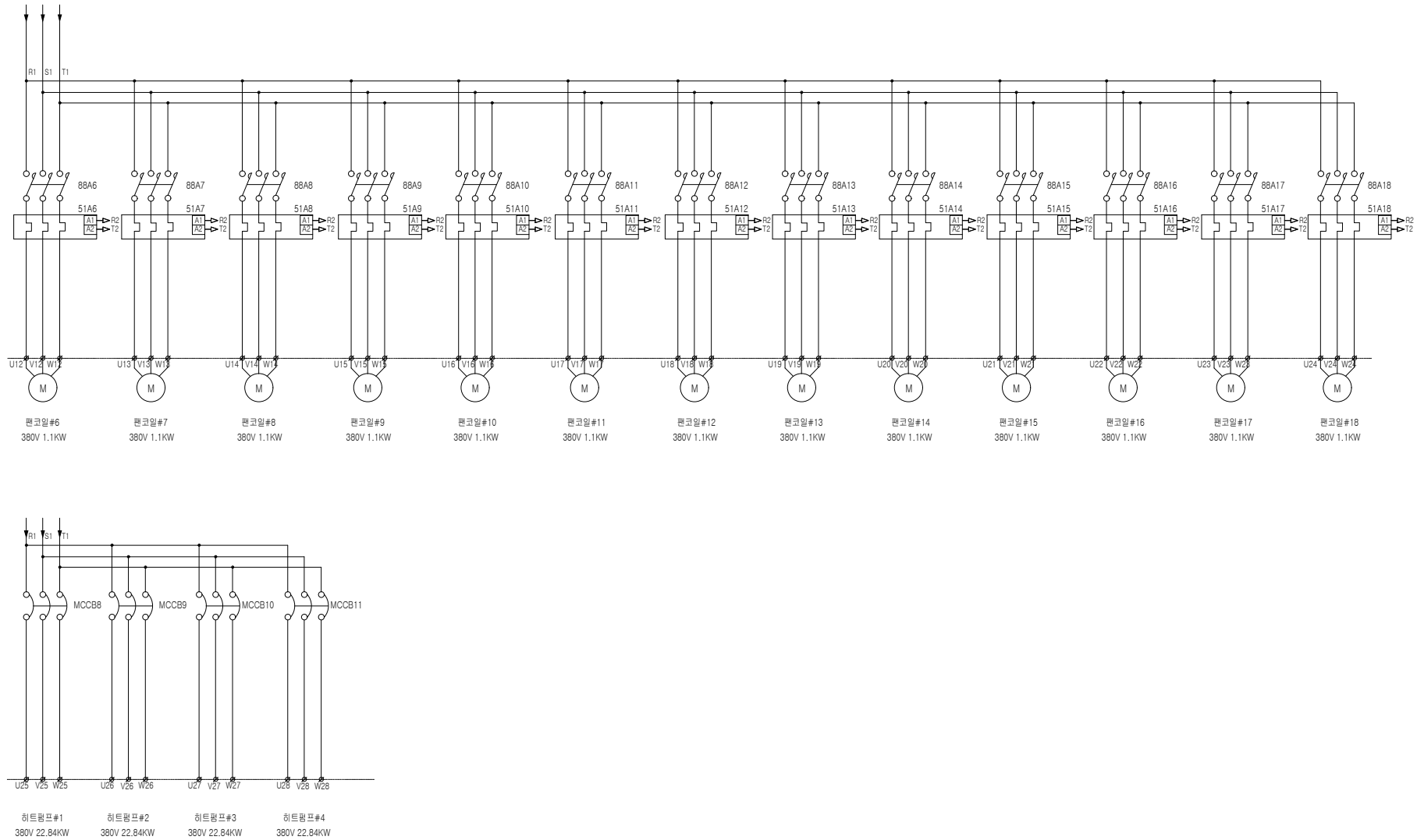
전기공사 범례표

전기 결선도 - 1



PROJECT TITLE 공 사 명																			
NOTE																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">⚠</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">NO.</td> <td style="font-size: 8px;">DATE</td> <td style="font-size: 8px;">REVISION DESCRIPTION</td> <td style="font-size: 8px;">APPRO.</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="font-size: 8px;">CLIENT 건축주</td> </tr> </table>								⚠				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.	CLIENT 건축주			
⚠																			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.																
CLIENT 건축주																			
DESIGN																			
SCALE		APPROVED 승 인																	
A1 : NONE																			
A3 : NONE																			
DATE		CHECK																	
2021. 05.		장부 1																	
PROJECT CODE		CHECK																	
		장부 2																	
SHEET NO. 장면번호		DRAWN 와 양																	
DWG NO. 도면번호		M-A15	REV.																
TITLE 도면명																			
전기결선도-1																			

전기결선도 - 2



PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

⚠						
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION				APPRO.
CLIENT 건축주						

설 계
DESIGN

SCALE
A1 : NONE
A3 : NONE

DATE
2021. 05.

PROJECT CODE
DRAWN
외 양

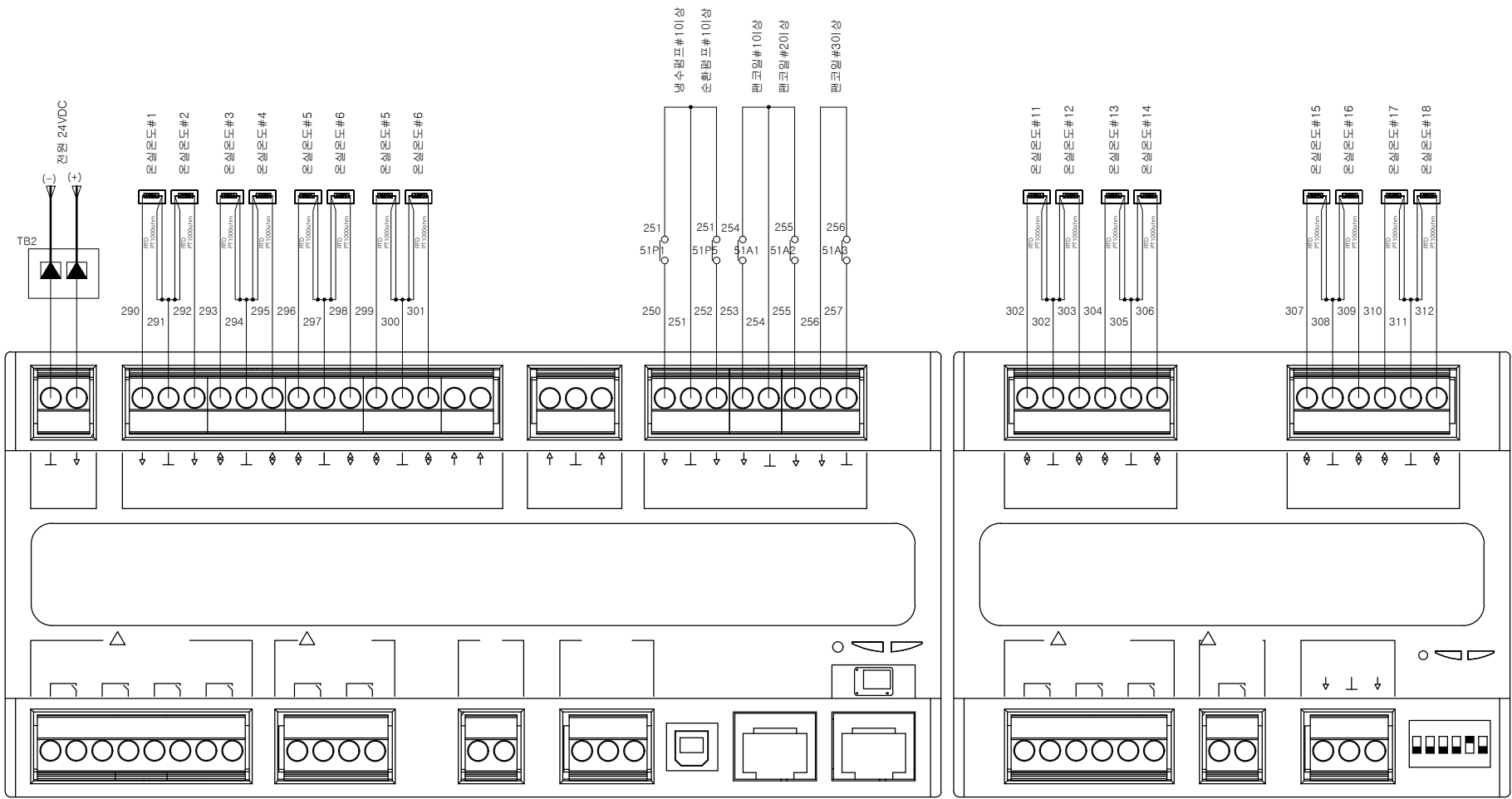
SHEET NO.
도면번호

REV.
M-A16

TITLE 도면명

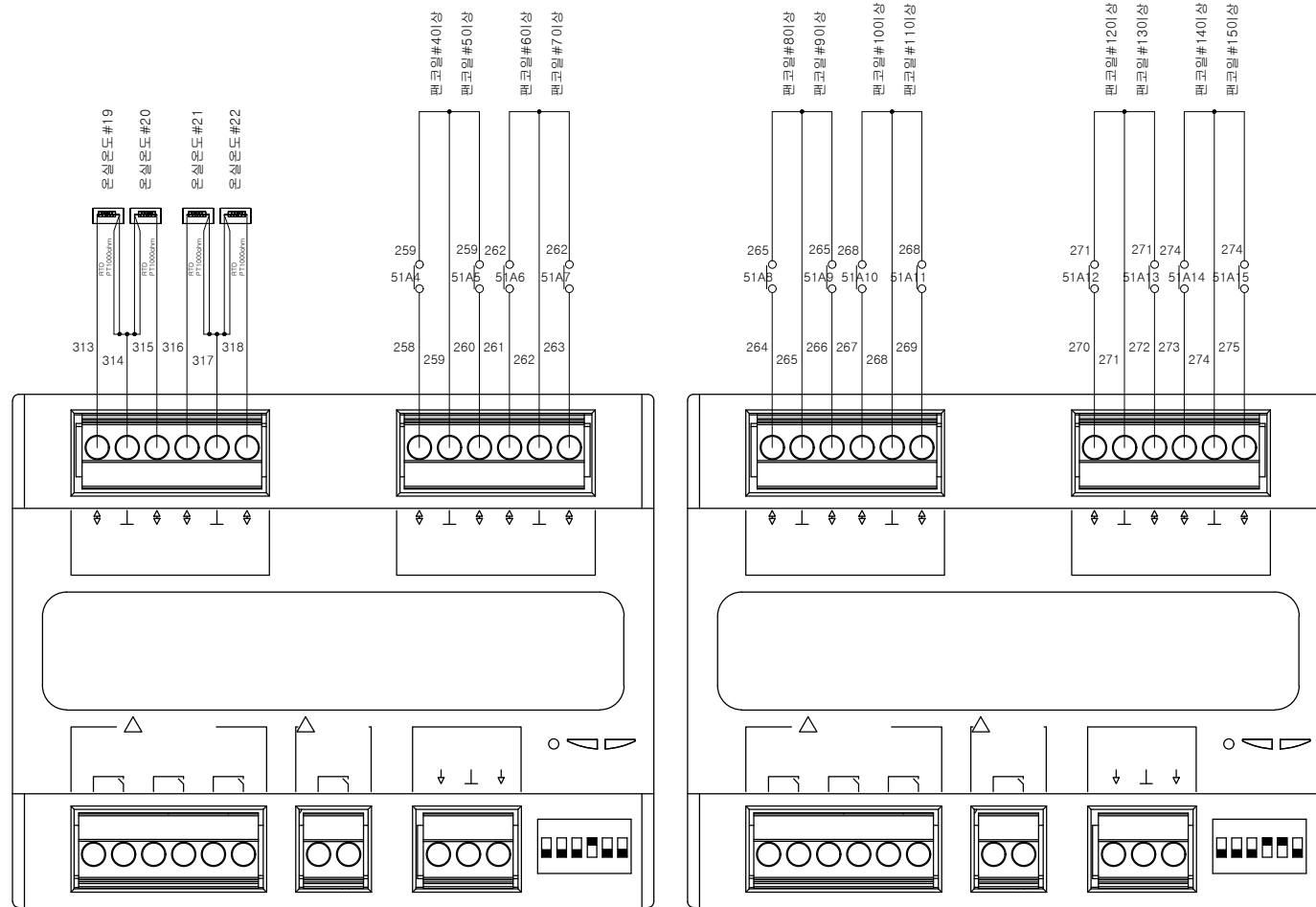
전기결선도-2

데이터로거 결선도 - 1



PROJECT TITLE 용 사 명			
NOTE			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.
		CLIENT 건축주	
설 계 DESIGN			
SCALE			
A1 : NONE		APPROVED 승 인	
A3 : NONE			
DATE 2021. 05.		CHECK 검 투 1	
PROJECT CODE		CHECK 검 투 2	
SHEET NO. 시트번호		DRAWN 도 원	
DRAW NO. 도원번호		REV.	
M-A17			
TITLE 도원명			
데이터로거 결선도-1			

데이터로거 결선도 - 2



PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.
-----	------	----------------------	--------

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE
A1 : NONE
A3 : NONE

APPROVED
승 인

DATE
2021. 05.

CHECK
장 투 1

PROJECT CODE

CHECK
장 투 2

SHEET NO.
장련번호

DRAWN
와 영

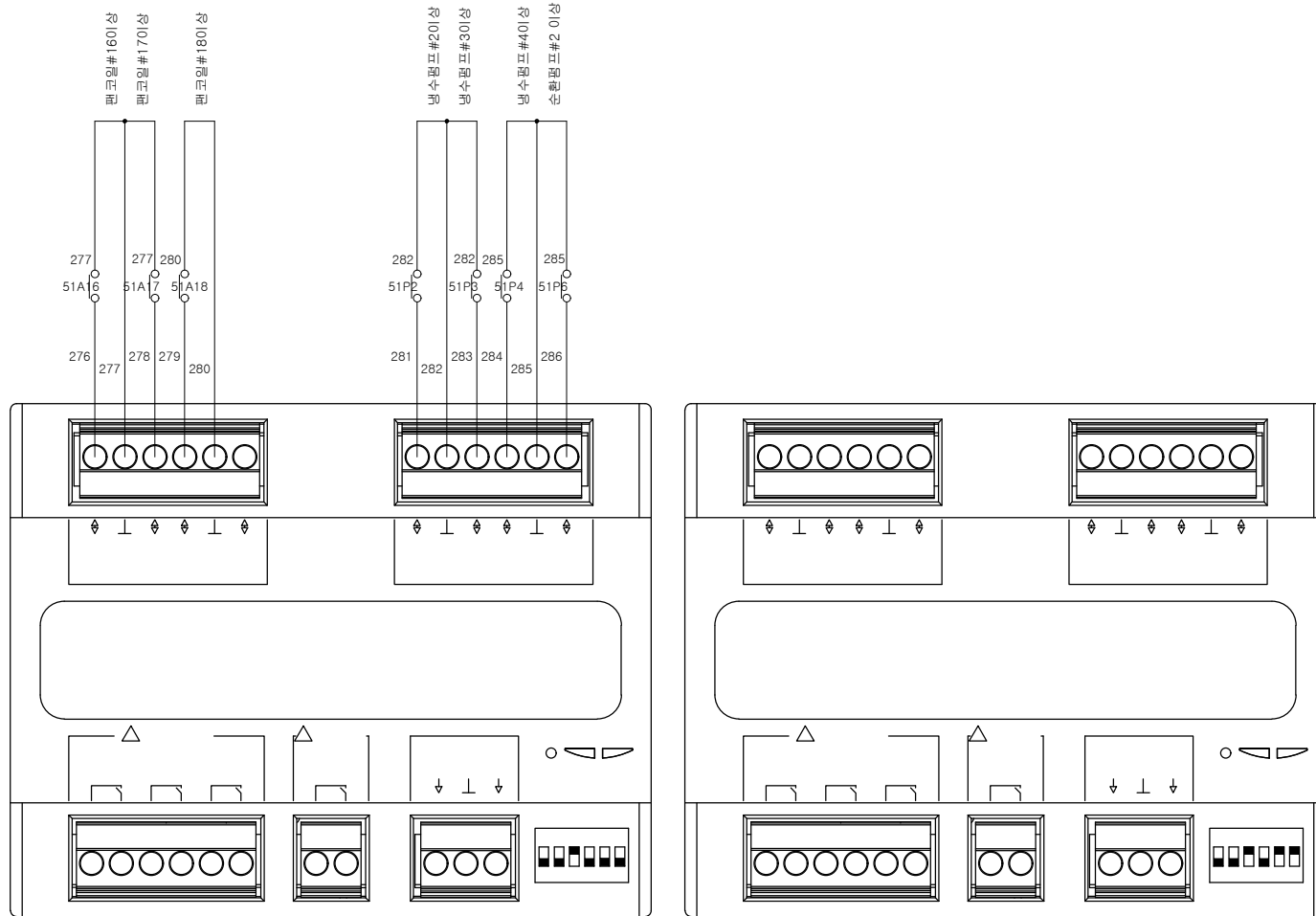
DWG NO.
도면번호 M-A18

REV.

TITLE
도면명

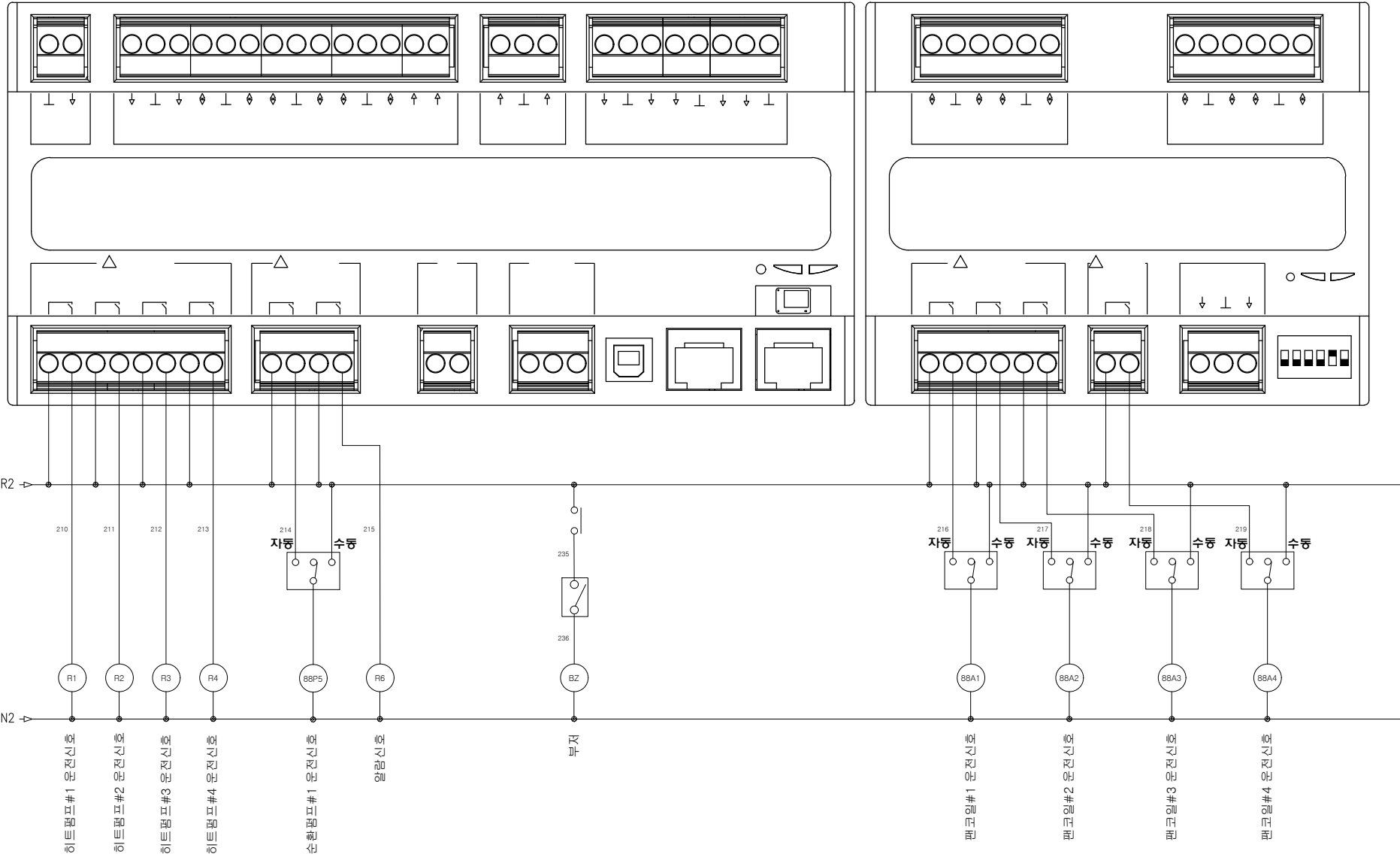
데이터로거 결선도-2

데이터로거 결선도 - 3



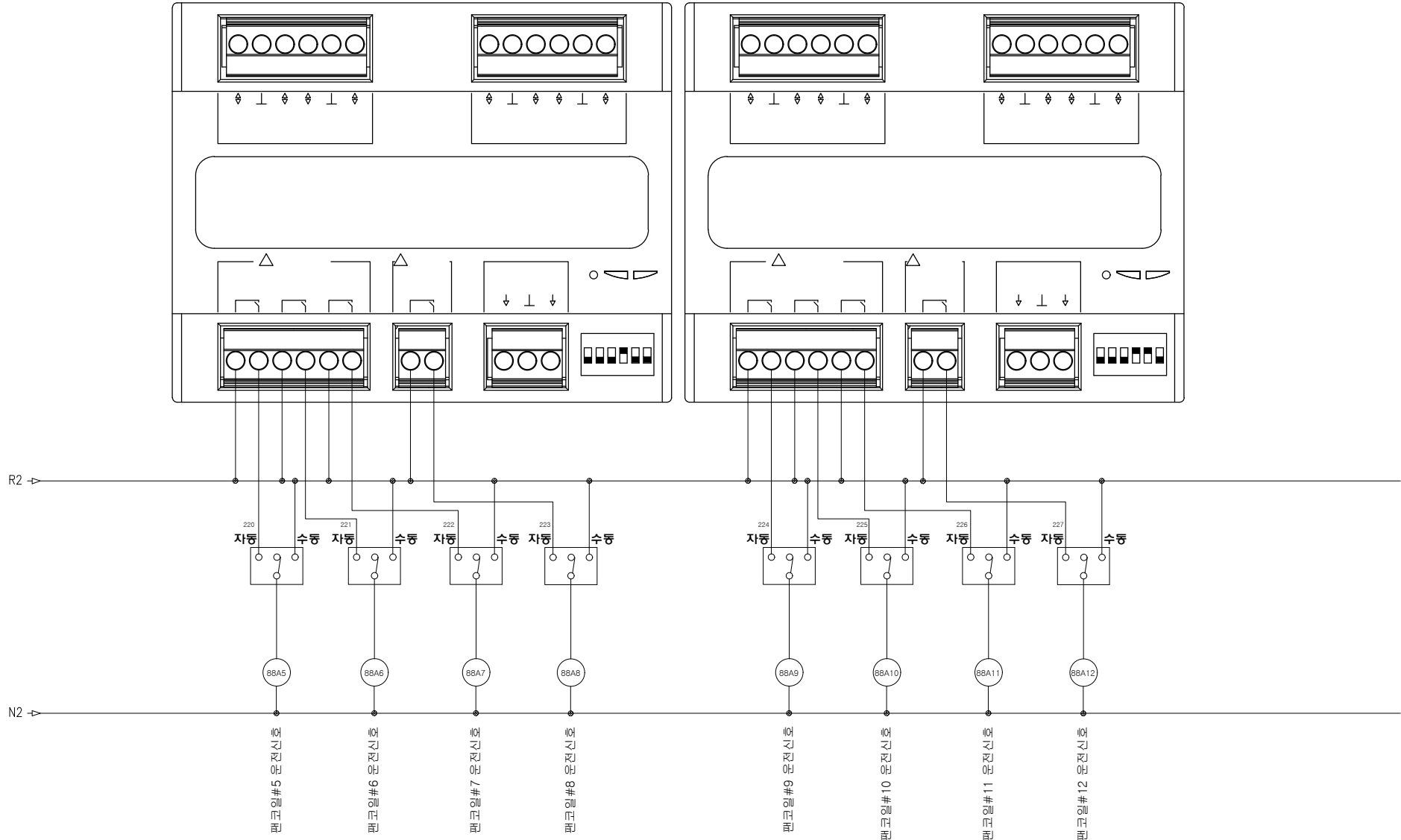
PROJECT TITLE 공 사 명																																																																											
NOTE																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">⚠</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>NO.</td> <td>DATE</td> <td>REVISION DESCRIPTION</td> <td>APPRO.</td> </tr> <tr> <td colspan="4">CLIENT 건축주</td> </tr> <tr> <td colspan="4">설 계 DESIGN</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="height: 50px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">SCALE</td> <td colspan="2">APPROVED 승 인</td> </tr> <tr> <td colspan="2">A1 : NONE A3 : NONE</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">DATE</td> <td colspan="2">CHECK 검 투 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">2021. 05.</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">PROJECT CODE</td> <td colspan="2">CHECK 검 투 2</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">SHEET NO. 장면번호</td> <td colspan="2">DRAWN 화 양</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">DWG NO. 도면번호</td> <td colspan="1">M-A19</td> <td>REV.</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="1"></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">TITLE 도면 명</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">데이터로거 결선도-3</td> </tr> </table>								⚠				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.	CLIENT 건축주				설 계 DESIGN								SCALE		APPROVED 승 인		A1 : NONE A3 : NONE				DATE		CHECK 검 투 1		2021. 05.				PROJECT CODE		CHECK 검 투 2						SHEET NO. 장면번호		DRAWN 화 양						DWG NO. 도면번호		M-A19	REV.					TITLE 도면 명				데이터로거 결선도-3			
⚠																																																																											
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.																																																																								
CLIENT 건축주																																																																											
설 계 DESIGN																																																																											
SCALE		APPROVED 승 인																																																																									
A1 : NONE A3 : NONE																																																																											
DATE		CHECK 검 투 1																																																																									
2021. 05.																																																																											
PROJECT CODE		CHECK 검 투 2																																																																									
SHEET NO. 장면번호		DRAWN 화 양																																																																									
DWG NO. 도면번호		M-A19	REV.																																																																								
TITLE 도면 명																																																																											
데이터로거 결선도-3																																																																											

데이터로거 결선도 - 4



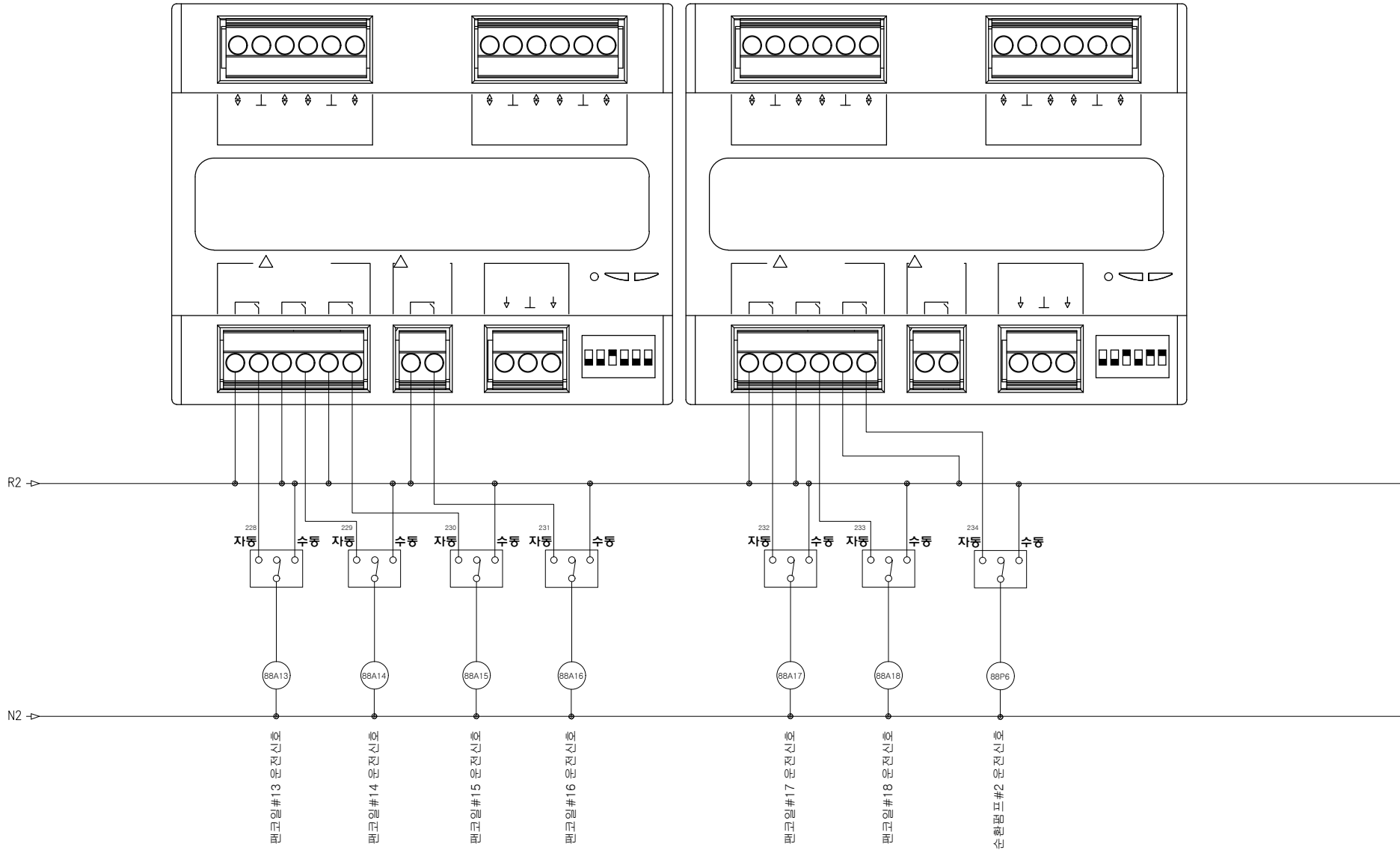
PROJECT TITLE 공 사 명											
NOTE											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">NO.</td> <td style="width: 15%;">DATE</td> <td style="width: 60%;">REVISION DESCRIPTION</td> <td style="width: 20%;">APPRO.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.				
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.								
CLIENT 건축주											
설 계 DESIGN											
SCALE A1 : NONE A3 : NONE		APPROVED 승 인									
DATE 2021. 05.		CHECK 장 투 1									
PROJECT CODE		CHECK 장 투 2									
SHEET NO. 장련번호		DRAWN 와 양									
DWG NO. 도면번호 M-A20		REV.									
TITLE 도면명											
데이터로거 결선도-4											

데이터로거 결선도 - 5



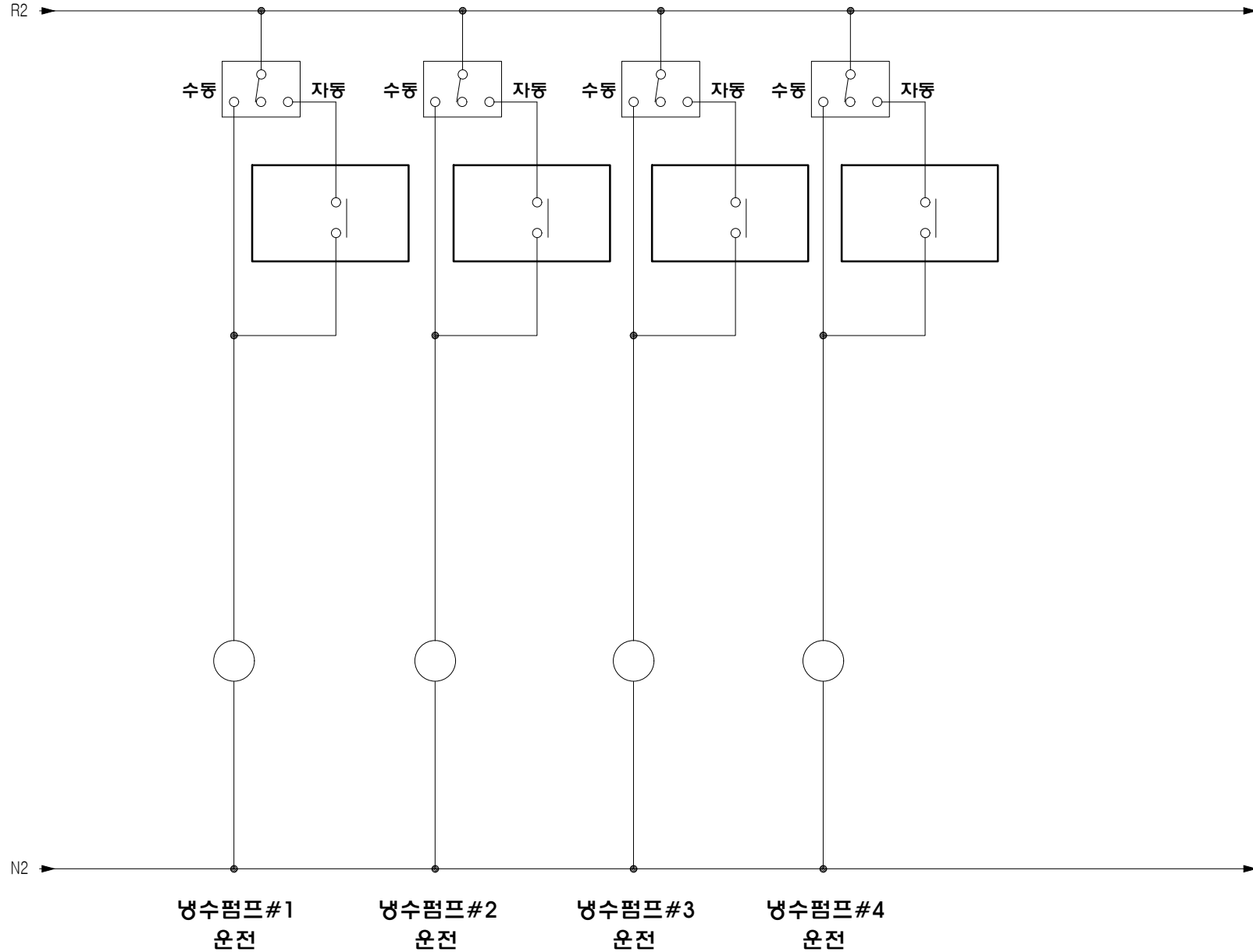
PROJECT TITLE 공 사 명			
NOTE			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.
CLIENT 건축주			
설 계 DESIGN			
SCALE		APPROVED 승 인	
A1 : NONE A3 : NONE			
DATE 2021. 05.		CHECK 장부 1	
PROJECT CODE		CHECK 장부 2	
SHEET NO. 장면번호		DRAWN 와 양	
DRAW NO. 도면번호		REV.	
M-A21			
TITLE 도면명			
데이터로거 결선도-5			

데이터로거 결선도 - 6



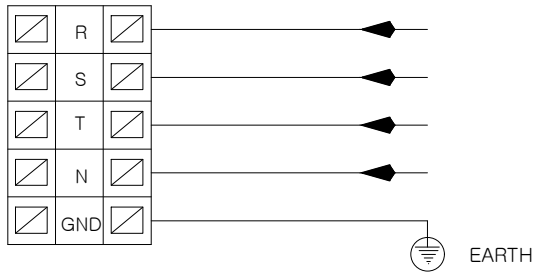
PROJECT TITLE 공 사 명			
NOTE			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.
CLIENT 건축주			
설 계 DESIGN			
SCALE	APPROVED 승 인		
A1 : NONE			
A3 : NONE			
DATE	CHECK		
2021. 05.	장부 1		
PROJECT CODE	CHECK		
	장부 2		
SHEET NO. 장번번호	DRAWN		
	와 양		
DWG NO. 도면번호	M-A22		REV.
TITLE 도면명			
데이터로거 결선도-6			

데이터로거결선도 - 7



PROJECT TITLE 공 사 명			
NOTE			
⚠			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.
CLIENT 건축주			
설 계 DESIGN			
SCALE		APPROVED 승 인	
A1 : NONE A3 : NONE			
DATE		CHECK 일부 1	
2021. 05.			
PROJECT CODE		CHECK 일부 2	
SHEET NO. 일련번호		DRAWN 화 양	
DWG NO. 도면번호		M-A23	REV.
TITLE 도면명			
데이터로거 결선도-7			

데이터로거 결선도 - 8



동력전원 인입 라인

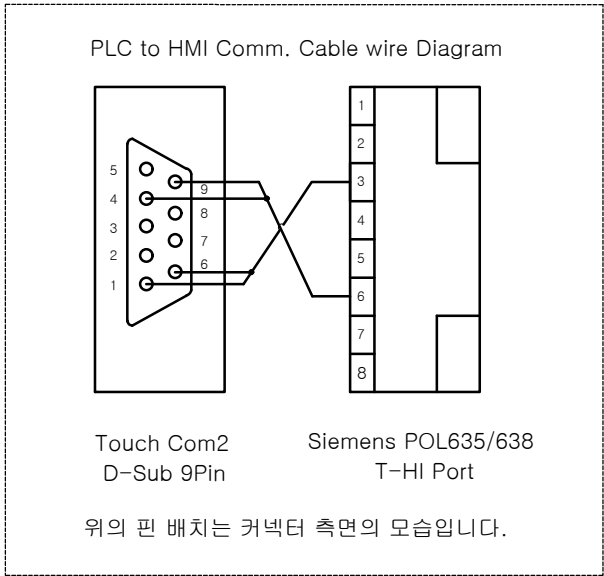


히트펌프#4 운전신호

히트펌프#3 운전신호

히트펌프#2 운전신호

히트펌프#1 운전신호



PROJECT TITLE 공 사 명																			
NOTE																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">⚠</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">NO.</td> <td style="font-size: 8px;">DATE</td> <td style="font-size: 8px;">REVISION DESCRIPTION</td> <td style="font-size: 8px;">APPRO.</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="font-size: 8px;">CLIENT 건축주</td> </tr> </table>								⚠				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.	CLIENT 건축주			
⚠																			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.																
CLIENT 건축주																			
설 계 DESIGN																			
SCALE																			
A1 : NONE		APPROVED 승 인																	
A3 : NONE																			
DATE		CHECK																	
2021. 05.		장 투 1																	
PROJECT CODE		CHECK																	
		장 투 2																	
SHEET NO. 장련번호		DRAWN 화 양																	
DWG NO. 도면번호		REV.																	
M-A24																			
TITLE 도면 명																			
데이터로거 결선도-8																			

터미널 신호 체계도 - 1

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

TB-00	HOT MARK	NAME
1	R	MAIN POWER 3 4W 380/220V 60Hz
2	S	
3	T	
4	N	

TB-03	HOT MARK	NAME	TB-04	HOT MARK	NAME	TB-04	HOT MARK	NAME	TB-04	HOT MARK	NAME
1	BLACK	순환펌프 #1-1 3 3W 380V 60Hz	13	BLACK	팬코일 #1 3 3W 380V 60Hz	34	BLACK	팬코일 #9 3 3W 380V 60Hz	55	BLACK	팬코일 #16 3 3W 380V 60Hz
2	RED		14	RED		35	RED		56	RED	
3	BLUE		15	BLUE		36	BLUE		57	BLUE	
4	BLACK	순환펌프 #1-2 3 3W 380V 60Hz	16	BLACK	팬코일 #2 3 3W 380V 60Hz	37	BLACK	팬코일 #10 3 3W 380V 60Hz	58	BLACK	팬코일 #17 3 3W 380V 60Hz
5	RED		17	RED		38	RED		59	RED	
6	BLUE		18	BLUE		39	BLUE		60	BLUE	
TB-04	HOT MARK	NAME	19	BLACK	팬코일 #3 3 3W 380V 60Hz	40	BLACK	팬코일 #11 3 3W 380V 60Hz	61	BLACK	팬코일 #18 3 3W 380V 60Hz
1	BLACK	냉수펌프 #2-1 3 3W 380V 60Hz	20	RED		41	RED		62	RED	
2	RED		21	BLUE		42	BLUE		63	BLUE	
3	BLUE		22	BLACK	43	BLACK	TB-05	HOT MARK	NAME		
4	BLACK	냉수펌프 #2-2 3 3W 380V 60Hz	23	RED	팬코일 #4 3 3W 380V 60Hz	44	RED	팬코일 #12 3 3W 380V 60Hz	1	BLACK	히트펌프 #1 3 3W 380V, 22.84kW
5	RED		24	BLUE		45	BLUE		2	RED	
6	BLUE		25	BLACK		46	BLACK		3	BLUE	
7	BLACK	냉수펌프 #2-3 3 3W 380V 60Hz	26	RED	팬코일 #5 3 3W 380V 60Hz	47	RED	팬코일 #13 3 3W 380V 60Hz	4	BLACK	히트펌프 #2 3 3W 380V, 22.84kW
8	RED		27	BLUE		48	BLUE		5	RED	
9	BLUE		28	BLACK		49	BLACK		6	BLUE	
10	BLACK	냉수펌프 #2-4 3 3W 380V 60Hz	29	RED	팬코일 #6 3 3W 380V 60Hz	50	RED	팬코일 #14 3 3W 380V 60Hz	7	BLACK	히트펌프 #3 3 3W 380V, 22.84kW
11	RED		30	BLUE		51	BLUE		8	RED	
12	BLUE		31	BLACK		52	BLACK		9	BLUE	
			32	RED	팬코일 #7 3 3W 380V 60Hz	53	RED	팬코일 #15 3 3W 380V 60Hz	10	BLACK	히트펌프 #4 3 3W 380V, 22.84kW
			33	BLUE		54	BLUE		11	RED	
									12	BLUE	

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPROV.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

설 계
DESIGN

SCALE	APPROVED 승 인
A1 : NONE	
A3 : NONE	

DATE	CHECK 일부 1
2021. 05.	

PROJECT CODE	CHECK 일부 2

SHEET NO. 일련번호	DRAWN 과 명

DWG NO. 도면번호	REV.
M-A25	

TITLE 도면명

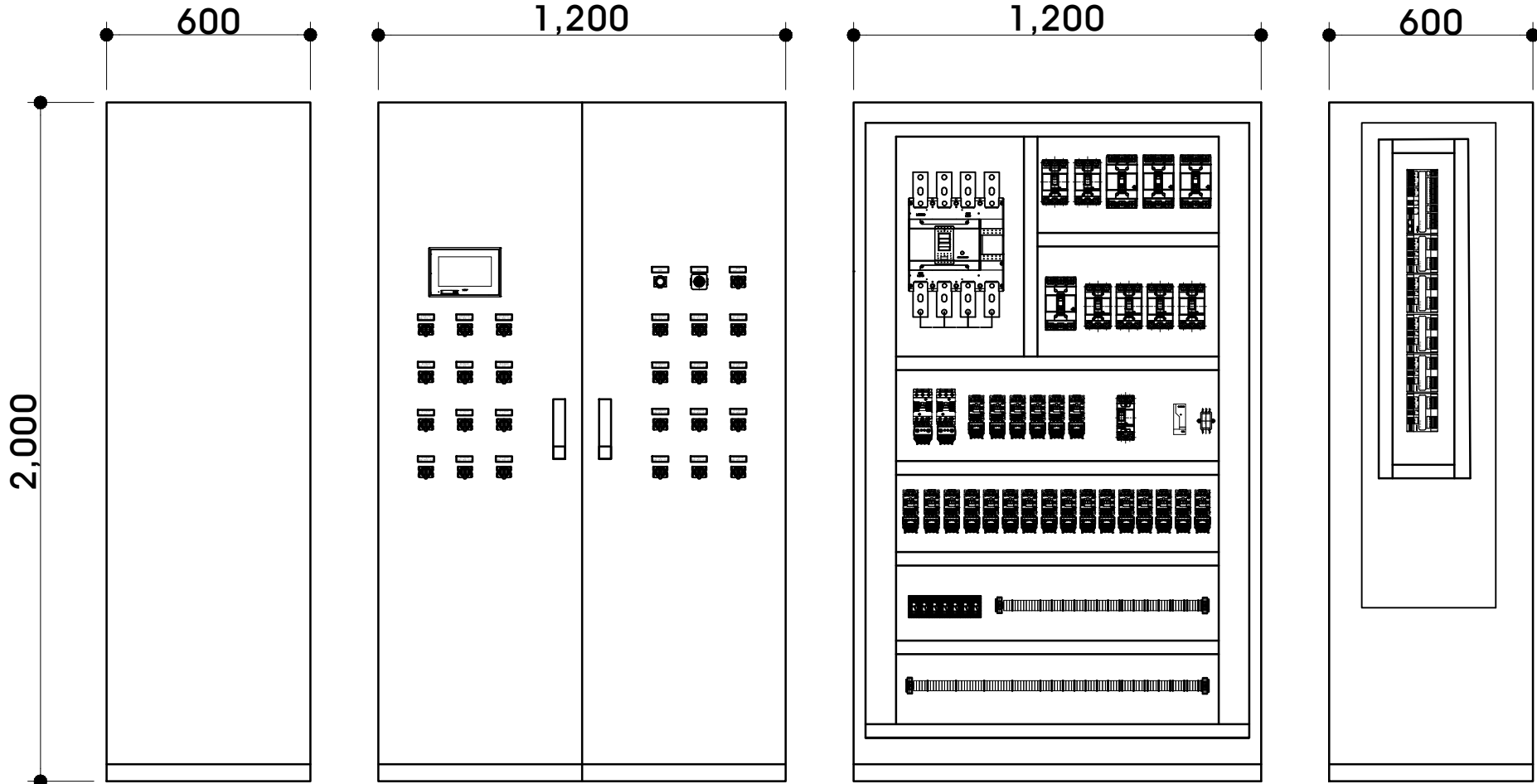
터미널 신호 체계도 - 1

터미널 신호 체계도 - 2

TB-01	HOT MARK	NAME	TB-01	HOT MARK	NAME	TB-02	HOT MARK	NAME
1	291	온실 온도 #1 / DC24V	24	290	온실 온도 #1 / DC0V	1	R2	조작전원 COMMON 단자
2	293	온실 온도 #2 / DC24V	25	292	온실 온도 #2 / DC0V	2	R2	
3	295	온실 온도 #3 / DC24V	26	294	온실 온도 #3 / DC0V	3	R2	
4	297	온실 온도 #4 / DC24V	27	296	온실 온도 #4 / DC0V	4		
5	299	온실 온도 #5 / DC24V	28	298	온실 온도 #5 / DC0V	5	236	DO출력 SPARE-01
6	301	온실 온도 #6 / DC24V	29	300	온실 온도 #6 / DC0V	6	237	DO출력 SPARE-02
7	303	온실 온도 #7 / DC24V	30	302	온실 온도 #7 / DC0V	7	500	히트펌프#1 운전신호
8	305	온실 온도 #8 / DC24V	31	304	온실 온도 #8 / DC0V	8	501	
9	307	온실 온도 #9 / DC24V	32	306	온실 온도 #9 / DC0V	9	502	히트펌프#2 운전신호
10	309	온실 온도 #10 / DC24V	33	308	온실 온도 #10 / DC0V	10	503	
11	311	온실 온도 #11 / DC24V	34	310	온실 온도 #11 / DC0V	11	504	히트펌프#3 운전신호
12	313	온실 온도 #12 / DC24V	35	312	온실 온도 #12 / DC0V	12	505	
13	315	온실 온도 #13 / DC24V	36	314	온실 온도 #13 / DC0V	13	506	히트펌프#4 운전신호
14	317	온실 온도 #14 / DC24V	37	316	온실 온도 #14 / DC0V	14	507	
15	319	온실 온도 #15 / DC24V	38	318	온실 온도 #15 / DC0V	15	241	냉수펌프#1 원격신호
16	321	온실 온도 #16 / DC24V	39	320	온실 온도 #16 / DC0V	16	241P	
17	323	온실 온도 #17 / DC24V	40	322	온실 온도 #17 / DC0V	17	242	냉수펌프#2 원격신호
18	325	온실 온도 #18 / DC24V	41	324	온실 온도 #18 / DC0V	18	242P	
19	327	온실 온도 #19 / DC24V	42	326	온실 온도 #19 / DC0V	19	243	냉수펌프#3 원격신호
20	329	온실 온도 #20 / DC24V	43	328	온실 온도 #20 / DC0V	20	243P	
21			44			21	244	냉수펌프#4 원격신호
22			45			22	244P	
23			46			23		
						24		
						25		

PROJECT TITLE 용 사 명			
NOTE			
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPROV.
CLIENT 건축주			
설 계 DESIGN			
SCALE			
A1 : NONE		APPROVED 승 인	
A3 : NONE			
DATE	CHECK		
2021. 05.	장부 1		
PROJECT CODE	CHECK		
	장부 2		
SHEET NO. 장안번호	DRAWN 와 양		
DWG NO. 도면번호	M-A26		REV.
TITLE 도면 명			
터미널 신호 체계도 - 2			

MCC 판넬 구성도



좌측면도

정면도

내부

우측면도

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.
CLIENT 건축주			

설 계
DESIGN

SCALE A1 : NONE A3 : NONE	APPROVED 승 인
DATE 2021. 05.	CHECK 장부 1
PROJECT CODE	CHECK 장부 2
SHEET NO. 장부번호	DRAWN 와 양
DWG NO. 도면번호 M-A27	REV.

TITLE 도면 명

MCC 판넬 구성도

장비일람표

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

■ 공랭식 히트 펌프

※ 정격 냉방능력 : 입구 12°C / 외기온도 DB 35°C 기준
 ※ 정격 난방능력 : 입구 40°C / 외기온도 DB 7°C 기준, 한랭지 냉방능력 : 입구 40°C / 외기온도 DB -15°C 기준

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	정격 냉방용량		정격 난방용량		한랭지 난방용량		냉수 온도				정격 소비전력			전원	압축기				중량	냉매	비고	
					kW	USRt	kW	kcal/h	kW	kcal/h	입구	출구	입구	출구	냉방	난방	한랭지		형식	출력	W	L				H
ACH-01	4	실증구역 냉온수 공급	공냉식	실증온실	59.17	16.83	71.35	61,361	42.38	36,447	20	15	40	45	22.84	22.48	20.67	3-380-60	SCROLL	4.28*2	934	2,180	1,783	6.55	R-410A	히트펌프 우선운전방식, 기타표준부속품 일체포함

■ 수축열조

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	축열량	용량	유효용량	규격			재질	비고
								W	L	H		
WST-01	1	수축열조 (여름 : 축냉, 겨울 : 축열)	개방형	실증온실	672.0	480	430	20,000	6,000	4,000	콘크리트	축열조 내 온도 상승화를 위한 배관 포함, 기타표준부속품 일체포함

■ 팬코일유니트

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	냉방				난방				송풍기				전원	실내온도		비고								
					설계용량	유량	냉수온도	입구공기온도	출구공기온도	설계용량	유량	온수온도	공기온도 (°C)	형식	풍량	정압		동력	냉방		난방							
																						W	kcal/h	l/min	입구(°C)	출구(°C)	°C, DB	°C, WB
FCU-01	24	실증구역 냉난방	천면토출형	실증온실	18,600	15,996	54	15.0	20.0	30.0	22.0	22.0	19.5	10,853	9,333	32.0	45.0	40.0	20.0	22.4	축류형	9,180	-	0.75	3-380-60	30.0	20.0	기타표준부속품 일체포함

■ 펌프

※ 전동기는 고효율에너지저장 인증 제품 또는 최저 소비효율 기준을 만족하는 제품 적용
 ※ KS인증제품 또는 KS에서 정한 효율 이상으로써 표기성능 동등이상의 제품 적용

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	유량	양정	소비전력	전원	비고
P-01	4	1차속 순환 (히트펌프 - 축열조)	인라인	실증온실	250	11.5	1.5	3-380-60	기타표준부속품 일체포함
P-02	2	2차속 순환 (축열조 - 팬코일유니트)	인라인	실증온실	1,000	18.0	5.5	3-380-60	기타표준부속품 일체포함



NO. DATE REVISION DESCRIPTION APPROV.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE

A1 : NONE
A3 : NONE

DATE

2021. 05.

PROJECT CODE

CHECK
필도 1
필도 2

SHEET NO.
필란번호

DRAWN
필란

DWG NO.
도면번호

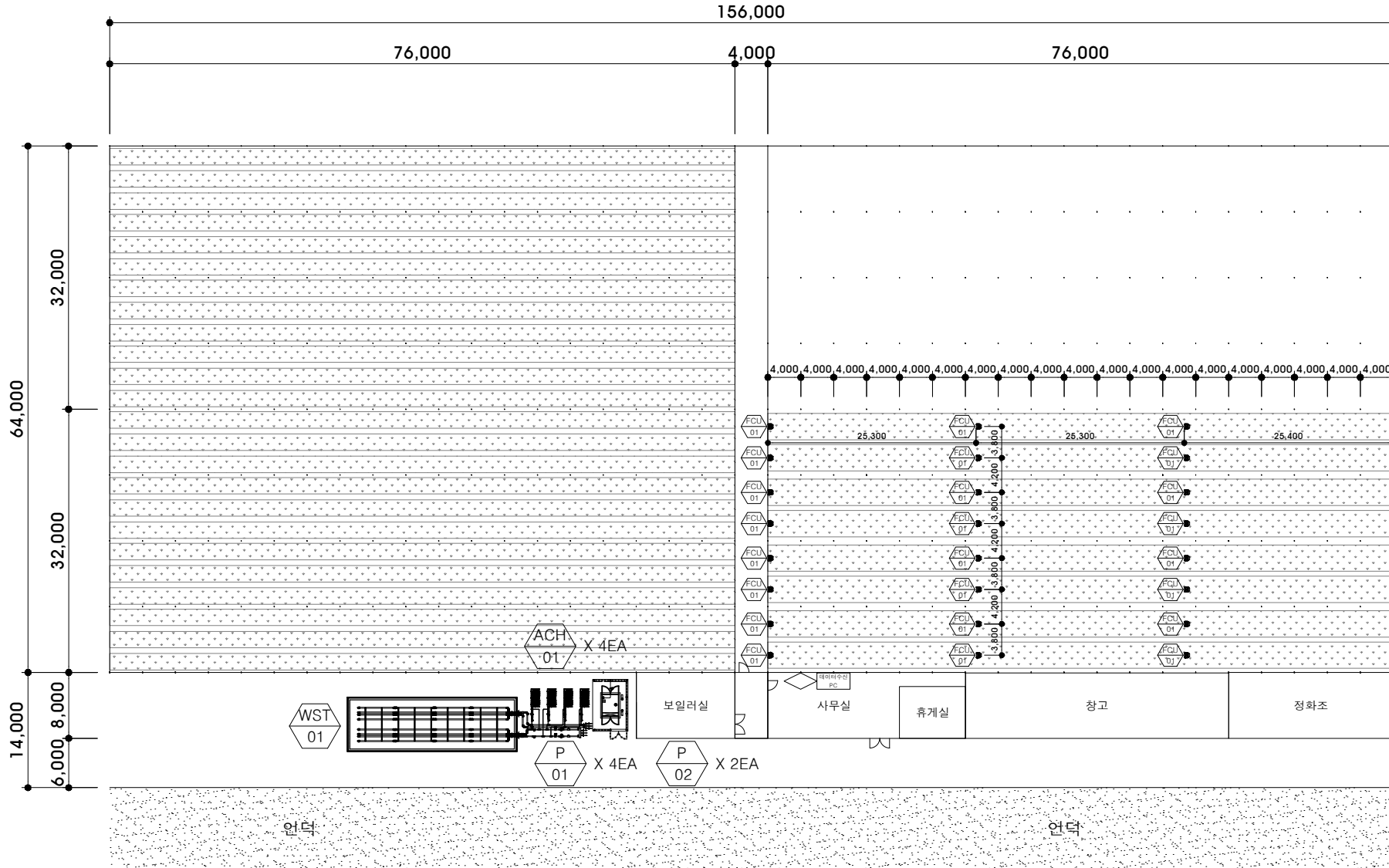
M-B01

REV.

TITLE

도면명

장비일람표



연락

연락

국도

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE	APPROVED 승 인
A1 : 1 / 250	
A3 : 1 / 500	

DATE	CHECK 검 토 1
2021. 05.	

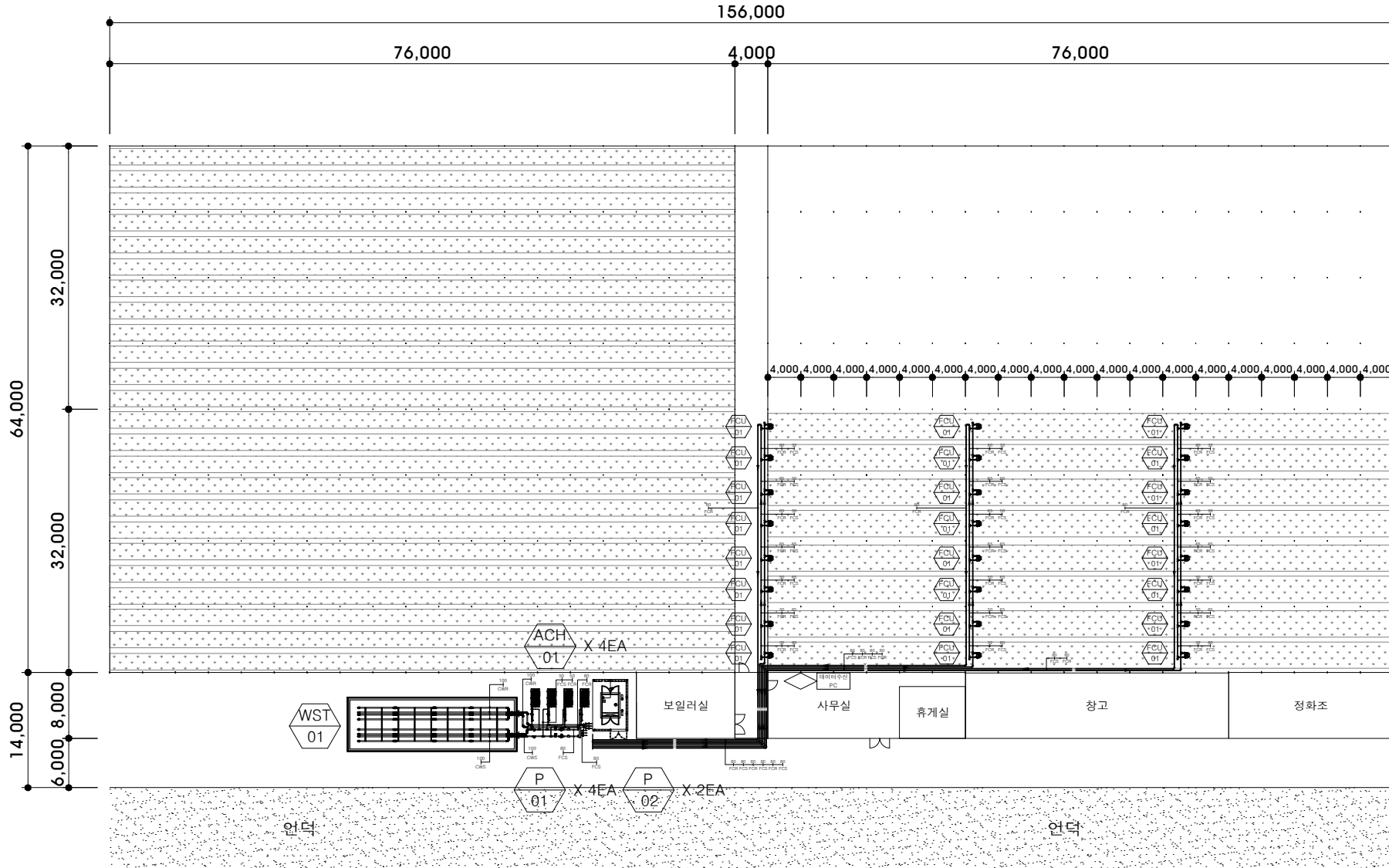
PROJECT CODE	CHECK 검 토 2

SHEET NO. 시트번호	DRAWN 도 입

DWG NO. 도면번호	REV.
M-B02	

TITLE 도면명

장비배치도

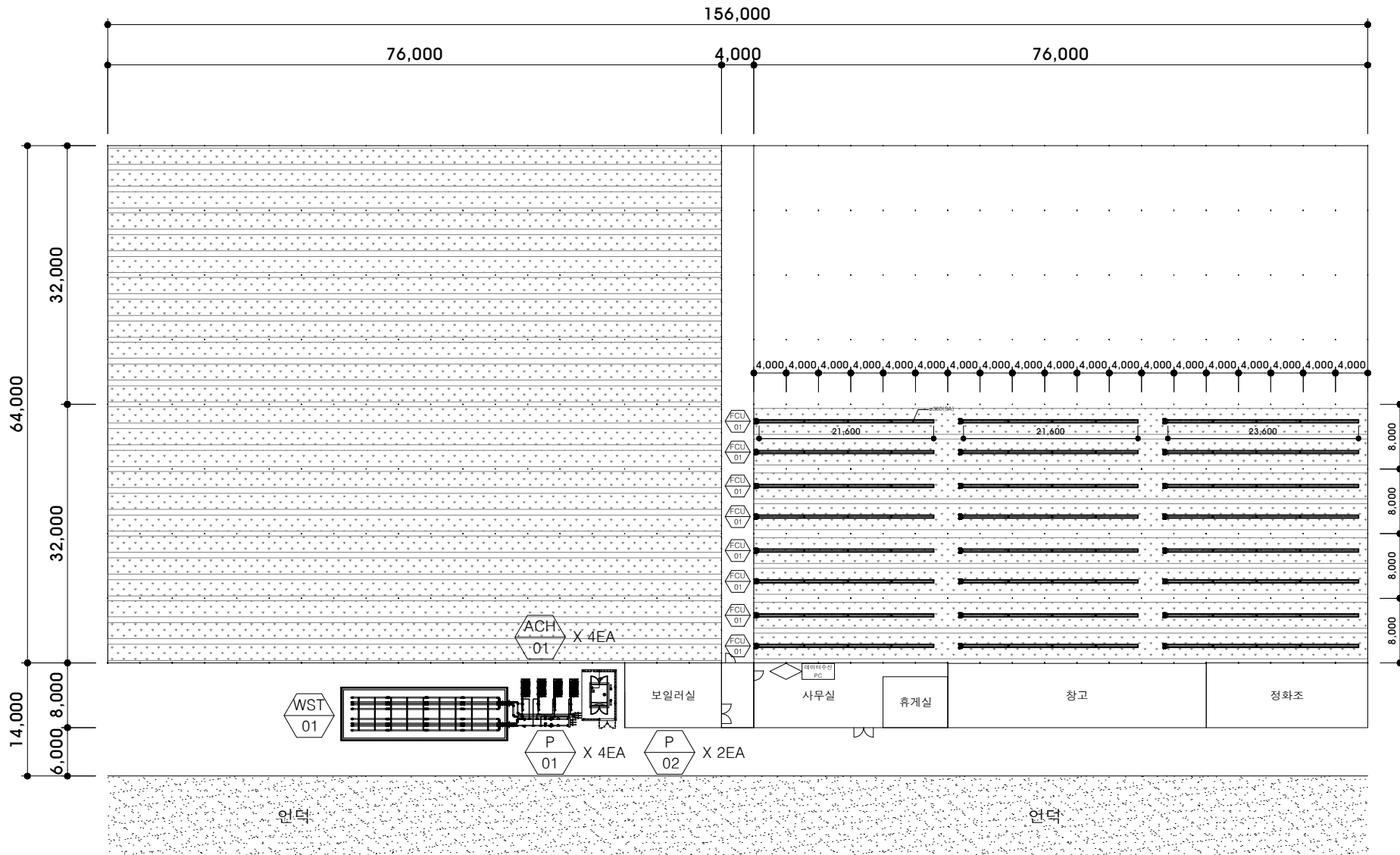


국도

PROJECT TITLE 공 사 명											
NOTE											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO.</th> <th>DATE</th> <th>REVISION DESCRIPTION</th> <th>APPRO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.				
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.								
CLIENT 건축주											
설 계 DESIGN											
SCALE A1 : 1 / 250 A3 : 1 / 500		APPROVED 승 인									
DATE 2021. 05.		CHECK 일부 1									
PROJECT CODE		CHECK 일부 2									
SHEET NO. 시안번호		DRAWN 와 양									
DWG NO. 도면번호		REV. M-B03									
TITLE 도면 명 공조배관 평면도											

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE



NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE
A1 : 1 / 250
A3 : 1 / 500

DATE
2021. 05.

PROJECT CODE

SHEET NO.
시트번호

DWG NO.
도면번호 M-B04

TITLE
도면명
공조덕트 평면도

REV.

장비일람표

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

■ 공랭식 히트 펌프

※ 정격 냉방능력 : 입구 12°C / 외기온도 DB 35°C 기준
※ 정격 난방능력 : 입구 40°C / 외기온도 DB 7°C 기준, 한랭지 냉방능력 : 입구 40°C / 외기온도 DB -15°C 기준

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	정격 냉방용량		정격 난방용량		한랭지 난방용량		냉수 온도				정격 소비전력			전원	압축기				냉매	비고		
					kW	USRt	kW	kcal/h	kW	kcal/h	입구		출구		냉방	난방	한랭지		형식	출력	규격				중량	
											°C	°C	°C	°C							W	L				H
ACH-01	4	실증구역 냉온수 공급	공냉식	실증온실	59.17	16.83	71.35	61,361	42.38	36,447	20	15	40	45	22.84	22.48	20.67	3-380-60	SCROLL	4.28×2	934	2,180	1,783	6.55	R-410A	히트펌프 우선운전방식, 기타표준부속품 일체포함

■ 수축열조

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	축열량	용량	유효용량	규격			재질	비고
								W	L	H		
WST-01	1	수축열조 (여름 : 축냉, 겨울 : 축열)	개방형	실증온실	672.0	480	430	20,000	6,000	4,000	콘크리트	축열조 내 온도 상승화를 위한 배관 포함, 기타표준부속품 일체포함

■ 팬코일유니트

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	냉방				난방				송풍기			전원	실내온도		비고						
					표준 능력		보정 능력		유량	냉수온도		표준 능력		보정 능력			유량	온수온도		형식	풍량	동력	냉방	난방	
					W	kcal/h	W	kcal/h		l/min	입구(°C)	출구(°C)	W	kcal/h	W										kcal/h
FCU-01	33	실증구역 냉난방	시설재배용	실증온실	20,800	18,000	17,604	14,430	34.4	15.0	20.0	29,050	25,000	14,279	12,280	41.0	40.0	35.0	PROPELLER	3,000	130	1-220-60	30.0	20.0	기타표준부속품 일체포함

■ 펌프

※ 전동기는 고효율에너지자재 인증 제품 또는 최저 소비효율 기준을 만족하는 제품 적용
※ KS인증제품 또는 KS에서 정한 효율 이상으로써 표기성능 동등이상의 제품 적용

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	유량	양정	소비전력	전원	비고
P-01	4	1차측 순환 (히트펌프 - 축열조)	인라인	실증온실	250	11.5	1.5	3-380-60	기타표준부속품 일체포함
P-02	2	2차측 순환 (축열조 - 팬코일유니트)	인라인	실증온실	1,000	18.0	5.5	3-380-60	기타표준부속품 일체포함



NO. DATE REVISION DESCRIPTION APPROV.

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE
A1 : NONE
A3 : NONE

DATE
2021. 05.

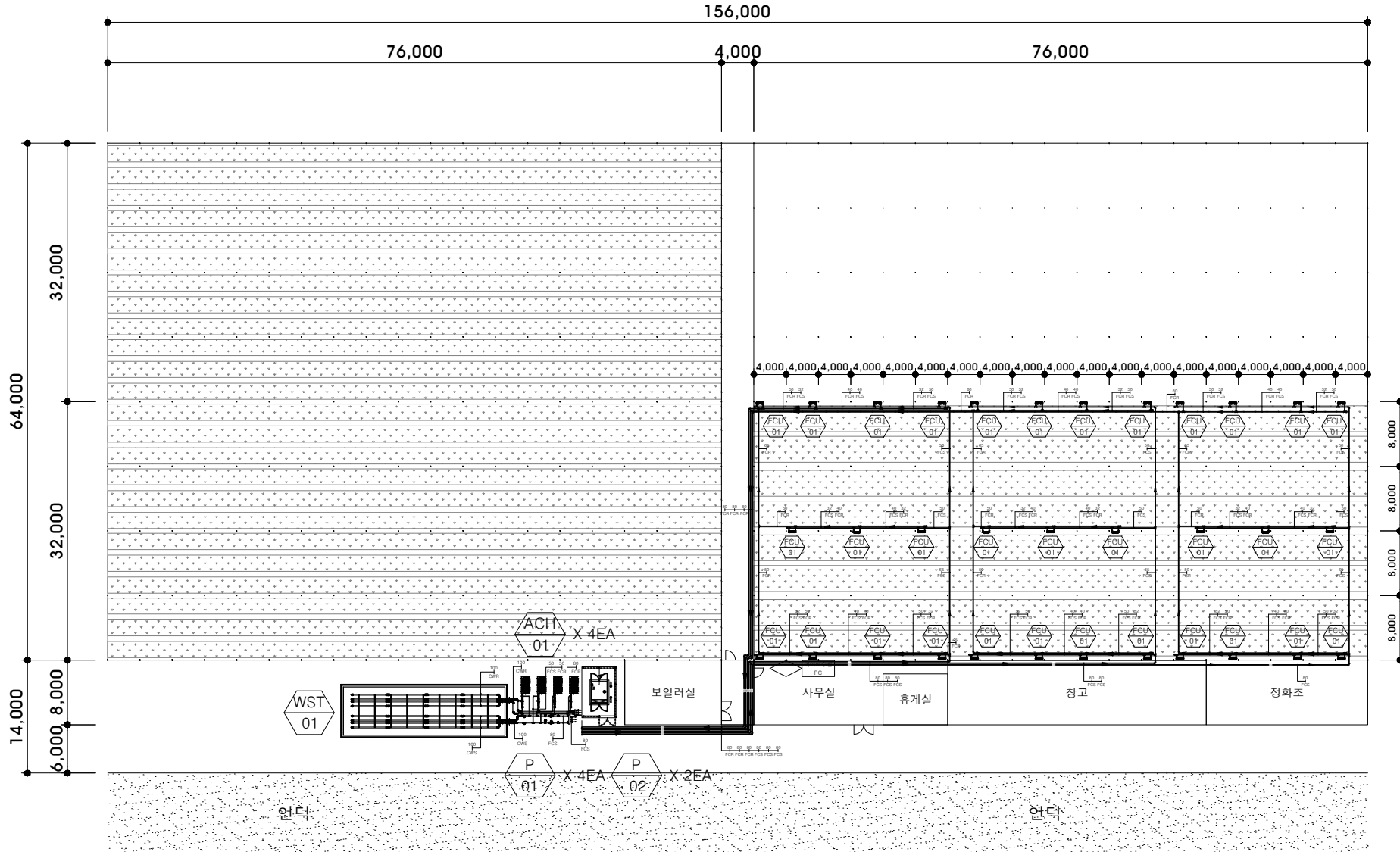
PROJECT CODE

SHEET NO.
설계번호

DWG NO.
도면번호

TITLE

장비일람표



PROJECT TITLE 공 사 명											
NOTE											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NO.</th> <th>DATE</th> <th>REVISION DESCRIPTION</th> <th>APPRO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>				NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.				
NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.								
CLIENT 건축주											
설 계 DESIGN											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SCALE</th> <th>APPROVED 승 인</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A1 : 1 / 250</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>A3 : 1 / 500</td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>				SCALE	APPROVED 승 인	A1 : 1 / 250		A3 : 1 / 500			
SCALE	APPROVED 승 인										
A1 : 1 / 250											
A3 : 1 / 500											
DATE 2021. 05.		CHECK 일부 1									
PROJECT CODE		CHECK 일부 2									
SHEET NO. 시트번호		DRAWN 도면									
DWG NO. 도면번호		REV.									
M-C03											
TITLE 도면 명											
공조배관 평면도											

장비일람표

PROJECT TITLE
공 사 명

NOTE

■ 전기 구동형 히트펌프

장비 번호	수량	용도	형식	설치위치	용량				소비전력		압축기	송풍기		전원	규격	냉매	장비 번호	수량	용도	형식	용량				소비전력		송풍기	전원	규격	비고
					냉방 kW	난방 kW	냉방 kW	난방 kW	저온난방 kW	형식		용량 m³/h	Ph-V-Hz								W × H × D, mm	냉방 kW	난방 kW	W	W	형식				
OAC-01	1	실증구역 냉난방(1구역)	공냉식	온실 외부	87.0	98.3	28.7	26.3	40.9	SSC Scroll x3	Propeller	13,500+	3-380-60	(880x1,695x765)+ (1,295x1,695x765)	R-410A	IAC-01	6	실증구역 냉난방(1구역)	직립형	14.5	16.3	190	190	Sirocco Fan	2,100/1,830/1,650	1-220-60	610x1,850x400	기타표준부속품 일체포함		
	1	실증구역 냉난방(2구역)															6	실증구역 냉난방(2구역)												
	1	실증구역 냉난방(3구역)															6	실증구역 냉난방(3구역)												
	1	실증구역 냉난방(4구역)															6	실증구역 냉난방(4구역)												
	1	실증구역 냉난방(5구역)															6	실증구역 냉난방(5구역)												
	1	실증구역 냉난방(6구역)															6	실증구역 냉난방(6구역)												

NO.	DATE	REVISION DESCRIPTION	APPRO.
-----	------	----------------------	--------

CLIENT 건축주

설 계
DESIGN

SCALE
A1 : NONE
A3 : NONE

DATE
2021. 05.

PROJECT CODE

SHEET NO.
일련번호

DWG NO.
도면번호

TITLE
도면명

장비일람표

주 의

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